2017年全国电力可靠性年度报告

国家能源局
中国电力企业联合会
2018 年 5 月

目　录

第一章　2017 年全国电力工业基本情况 1

第一节　发电机组基本情况 1

第二节　电网输变电设施基本情况 3

第三节　供电设施基本情况 4

第二章　2017 年火电 100 兆瓦及以上、水电 40 兆瓦及以上、核电机组运行可靠性 5

第一节　2017 年纳入可靠性指标统计评价的发电机组装机容量构成 5

第二节　1000 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性 8

第三节　600 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性 11

第四节　300 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性 16

第五节　200 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性 22

第六节　超临界及以上燃煤机组运行可靠性 24

第七节　100 兆瓦及以上容量燃气轮机组运行可靠性 25

第八节　100 兆瓦及以上容量燃煤机组备用时间分析 26

第九节　2016 年新投产燃煤机组运行可靠性 29

第十节　非计划停运分析 31

第十一节 按地区分类的 100 兆瓦及以上容量燃煤机组运行可靠性 33
第十二节 40 兆瓦及以上容量水电机组运行可靠性 34
第十三节 700 兆瓦等级水电机组运行可靠性 44
第十四节 核电机组运行可靠性 46

第三章 2017 年 200 兆瓦及以上容量火电机组主要辅助设备运行可靠性 48

第一节 磨煤机运行可靠性 50
第二节 给水泵组运行可靠性 56
第三节 送风机运行可靠性 60
第四节 引风机运行可靠性 63
第五节 高压加热器运行可靠性 66
第六节 国产、进口辅助设备可靠性对比分析 69
第七节 电除尘、脱硫系统运行可靠性 71

第四章 2017 年全国电网 220 千伏及以上电压等级变压器、断路器、架空线路等十三类输变电设施运行可靠性 74

第一节 2017 年全国电网十三类输变电设施统计数量 74
第二节 输变电设施运行可靠性总体情况 75
第三节 电网变压器运行可靠性 76
第四节 电网断路器运行可靠性 93
第五节 电网架空线路运行可靠性 109
第六节 我国与北美 NERC 三类主要设施可靠性对比分析 123

第五章 2017 年全国直流输电系统可靠性 125

第一节 直流输电系统概况.....125
第二节 可靠性指标总体情况.....127
第三节 强迫停运及降额运行情况.....135
第四节 计划停运情况.....140
第五节 我国与国外直流输电系统可靠性对比分析.....143

第六章 2017 年全国 10 千伏供电系统用户供电可靠性..... 146

第一节 全国供电可靠性总体情况.....146
第二节 各区域供电可靠性.....148
第三节 各省级电力公司供电可靠性.....149
第四节 地市级及以上城市供电企业供电可靠性.....153
第五节 部分城市工商业用户供电可靠性.....159
第六节 停电原因分析.....161
第七节 我国与国际供电可靠性对比分析.....167

附表 1 2017 年火电 100MW 及以上容量机组运行可靠性主要指标.....169
附表 2 2017 年水电 40MW 及以上容量机组运行可靠性主要指标.....174
附表 3 2017 年全国电网 220kV 及以上电压等级架空线路、变压器、电抗器、断路器等 13 类输变电设施运行可靠性主要指标 175
附表 4 2017 年全国点对点直流输电系统运行可靠性主要指标.....180
附表 5 2017 年全国背靠背直流输电系统运行可靠性主要指标 182
附表 6 2017 年全国各区域供电可靠性主要指标 183
附表 7 2017 年各区域故障停电原因分类 184
附表 8 2017 年全国各区域预安排停电原因分类 185

第一章　2017 年全国电力工业基本情况

2017 年，我国电力消费增速同比提高，全年全社会用电量 6.4 万亿千瓦时，同比增长 6.6%，增速比上年增加 1.6 个百分点。

截至 2017 年底，全国发电装机容量达 17.8 亿千瓦，同比增长 7.7%。其中火电装机 11.0 亿千瓦，占 62.2%；水电装机 3.4 亿千瓦，占 19.3%；核电装机 3582 万千瓦；风电装机 1.6 亿千瓦；并网太阳能发电装机 1.3 亿千瓦。2017 年，我国非化石能源发电装机占全国总装机的 38.8%，比 2016 年提高 2.2 个百分点；非化石能源发电量同比增长 10.1%，占全年发电量的 30.3%，比 2016 年提高了 1.0 个百分点。2017 年，人均装机和年人均用电量分别达到 1.3 千瓦、4616 千瓦时。

2017 年，全国 220 千伏及以上输电线路回路长度 68.8 万千米，220 千伏及以上公用变电设备容量 37.3 亿千伏安，分别同比增长 6.5%、7.9%。

2017 年，全国 10 千伏用户总容量 29.17 亿千伏安，同比增长 12.02%。10 千伏线路总长度 443.07 万千米，其中架空线路和电缆线路长度分别为 383.54 万千米、69.33 万千米，同比分别增长 5.06%、16.62%。架空线路绝缘化率 21.49%，线路电缆化率 15.65%，同比分别增加 2.57 和 1.28 个百分点[1]。（可靠性统计口径）

2017 年，全国全口径发电量为 6.42 万亿千瓦时，同比增长 6.6%。全国发电设备利用小时 3790 小时、与 2016 年 3797 小时大体持平。全国火电机组供电标准煤耗 309 克 / 千瓦时，同比降低 3 克 / 千瓦时。全国电网电路损耗率 6.4%，同比降低 0.0454 个百分点。

第一节　发电机组基本情况

近五年，全国发电设备总装机容量、发电量及其增长情况见表 1-1。

[1] 统计范围包括：国家电网、南方电网、内蒙古电力、陕西地电、山西地电、广西水利。

表 1-1　近五年全国发电设备总装机容量及发电量情况

分类 \ 统计年度		2013	2014	2015	2016	2017
装机容量	总装机容量（兆瓦）	1251650	1364630	1521211	1650507	1777085
	装机净增容量（兆瓦）	109860	112980	156581	129296	126577
	比上年增长的比例（%）	9.62	9.03	11.47	8.50	7.67
装机容量构成	火电装机容量（兆瓦）	864960	918190	1000499	1060944	1104946
	占总装机容量比例（%）	69.11	67.28	65.77	64.28	62.18
	火电净增容量（兆瓦）	49420	53230	82309	60445	44002
	比上年增长的比例（%）	6.06	6.15	8.96	6.04	4.15
	水电装机容量（兆瓦）	279750	304440	319526	332071	343587
	占总装机容量比例（%）	22.35	22.31	21.00	20.12	19.33
	水电净增容量（兆瓦）	30300	24690	15086	12545	11517
	比上年增长的比例（%）	12.15	8.83	4.96	3.93	3.47
	核电装机容量（兆瓦）	14610	20080	27167	33642	35817
	占总装机容量比例（%）	1.17	1.47	1.79	2.04	2.02
	核电净增容量（兆瓦）	2040	5470	7087	6475	2175
	比上年增长的比例（%）	16.23	37.44	35.29	23.83	6.47
	风电装机容量（兆瓦）	73610	96860	131302	147472	163252
	占总装机容量比例（%）	5.88	7.10	8.63	8.93	9.19
	风电净增容量（兆瓦）	12990	23250	31440	16170	15781
	比上年增长的比例（%）	21.43	31.59	35.56	12.31	10.70
火电装机比例	火电 100 兆瓦及以上：					
	台数	1889	1950	2033	2121	2157
	装机容量（兆瓦）	702369	739584	789683	835784	864014
	占火电装机比例（%）	81.45	80.77	78.93	79.30	78.12
	火电 200 兆瓦及以上：					
	台数	1585	1656	1732	1822	1859
	装机容量（兆瓦）	661884	700094	749197	795438	823572
	占火电装机比例（%）	76.75	76.46	74.88	75.48	74.46
	火电 300 兆瓦及以上：					
	台数	1372	1450	1534	1623	1662
	装机容量（兆瓦）	618073	657743	708506	754512	782766
	占火电装机比例（%）	71.67	71.83	70.81	71.59	70.77

分类 \ 统计年度		2013	2014	2015	2016	2017
水电装机比例	水电 40 兆瓦及以上：					
	台数	1023	1099	1160	1215	1258
	装机容量（兆瓦）	190701	209614	219382	228908	236906.3
	占水电装机比例（%）	68.10	69.45	68.66	68.93	69.43
	水电 200 兆瓦及以上：					
	台数	333	366	376	392	408
	装机容量（兆瓦）	134915	151405	156938	163473	169322.5
	占水电装机比例（%）	48.18	50.16	49.12	49.22	49.63
发电量	总发电量（亿千瓦时）	53530	55725	56938	60228	64171
	比上年增长比例（%）	7.63	4.10	2.18	5.78	6.55
发电量构成	火电发电量（亿千瓦时）	42027	41955	41868	43273	45558
	占总发电量比例（%）	78.51	75.29	73.53	71.85	70.99
	水电发电量（亿千瓦时）	8906	10601	11117	11748	11931
	占总发电量比例（%）	16.64	19.02	19.52	19.51	18.59
	核电发电量（亿千瓦时）	1115	1332	1714	2132	2481
	占总发电量比例（%）	2.08	2.39	3.01	3.54	3.87

第二节　电网输变电设施基本情况

近五年，220 千伏及以上电压等级的输电线路长度、变电设备容量情况见表 1-2。

表 1-2　近五年全国输电线路长度及变电设备容量情况

分类 \ 统计年度	2013	2014	2015	2016	2017*
220 千伏及以上输电线路回路长度（千米）	543896	577142	607643	645609	687786
其中：直流部分	19988	24818	25429	28808	37147
±800 千伏	6904	9966	10580	12295	20634
±660 千伏	1400	1336	1336	1334	1334
±500 千伏	10653	11875	11872	13539	13539
±400 千伏	1031	1640	1640	1640	1640
其中：交流部分	523908	552325	582213	616801	650639
1000 千伏	1936	3111	3114	7245	9409
750 千伏	12666	13881	15665	18266	19369
500 千伏	146166	152107	157984	165875	172368
330 千伏	24065	25146	26811	28366	30857
220 千伏	339075	358080	378639	397050	418636

分类 \ 统计年度	2013	2014	2015	2016	2017*
220 千伏及以上公用变设备容量					
（万千伏安）	264786	273581	315408	323521	347001
1000 千伏	3900	5700	5700	9900	12300
750 千伏	6500	8090	10850	13570	15110
500 千伏	90112	99842	106857	116501	123532
330 千伏	8575	8704	9364	9766	10549
220 千伏	155699	151245	164254	173784	185509

* 部分数据摘自中电联规划与统计信息部 2017 年全国电力生产统计指标快报。

第三节　供电设施基本情况

近五年，10 千伏线路长度及 10 千伏用户总容量情况见表 1-3。

表 1-3 近五年 10 千伏线路长度及 10 千伏用户总容量情况 [2]

分类 \ 统计年度	2013	2014	2015	2016	2017
10 千伏线路长度（千米）					
全口径	4001593	4224529	3959835	4138412	4430699
城市	627097	717192	665628	717372	856510
农村	3374497	3498337	3294207	3421040	3574189
其中：架空线路					
全口径	3476039	3598513	3409092	3650515	3835366
城市	317955	343957	328939	368594	441529
农村	3158084	3254556	3080153	3281921	3393836
其中：电缆线路					
全口径	498820	611745	550743	594529	693333
城市	282153	370518	336689	379804	444703
农村	216667	241227	214054	214725	248630
10 千伏用户总容量（万千伏安）					
全口径	206028	210458	230149	260437	291710
城市	105269	107275	112839	127138	132118
农村	100759	103183	117310	133289	159592

[2] 可靠性统计口径：国家电网、南方电网、内蒙古电力、陕西地电、山西地电、广西水利。

第二章　2017 年火电 100 兆瓦及以上、水电 40 兆瓦及以上、核电机组运行可靠性

第一节　2017 年纳入可靠性指标统计评价的发电机组装机容量构成

纳入 2017 年电力可靠性统计的发电机组为 100 兆瓦及以上火电、40 兆瓦及以上水电和核电机组（本章均为此统计口径），共 2911 台，总装机容量 10.06 亿千瓦（占全国总装机的 56.62%），分别比 2016 年增加 45 台、0.33 亿千瓦。2017 年全国 100 兆瓦及以上容量火电机组运行可靠性综合指标见附表 1，40 兆瓦及以上容量水电机组运行可靠性综合指标见附表 2。

一、纳入可靠性统计的发电机组构成

2017 年纳入可靠性统计的火电机组 1923 台（含 167 台燃气轮机组），装机容量 7.8 亿千瓦，占火电总装机的 70.5%；水电机组 971 台，装机容量 2.12 亿千瓦，占水电总装机的 62.06%；核电机组 17 台，装机容量 0.15 亿千瓦，占核电总装机的 40.84%。发电机组装机类型构成见图 2-1。

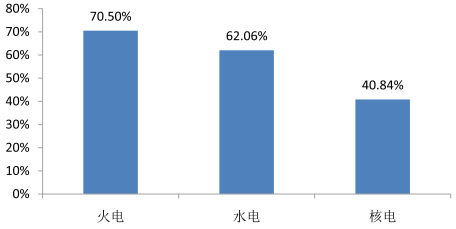


图 2-1　2017 年发电机组统计装机与总装机占比图

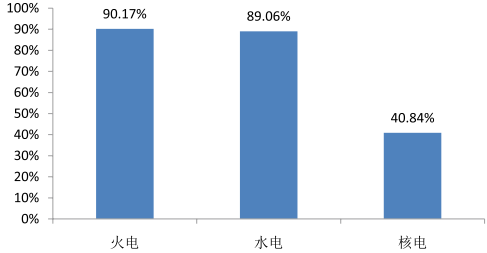


图 2-2　2017 年发电机组统计容量与应统计容量的占比

二、100 兆瓦及以上容量火电机组装机构成

2017 年纳入可靠性统计的燃煤机组 1756 台，容量 7.31 亿千瓦，占参与评价火电机组装机容量的 93.74%；燃气轮机组 167 台，容量 0.49 亿千瓦，占 6.26%。

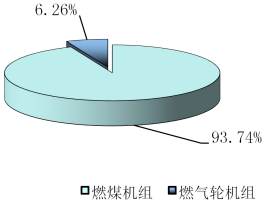


图 2-3 100 兆瓦及以上容量燃煤机组装机构成

三、100 兆瓦及以上容量燃煤机组装机容量构成

2017 年纳入可靠性统计的 1000 兆瓦容量机组 91 台，容量 0.92 亿千瓦，占统计燃煤机组装机容量的 12.55%；600-699 兆瓦容量机组 489 台，容量 3.05 亿千瓦，占 41.77%；300-399 兆瓦容量机组 825 台，容量 2.64 亿千瓦，占 36.16%；200-299 兆瓦容量机组 163 台，容量 0.34 亿千瓦，占 4.60%；100-199 兆瓦容量机组 168 台，容量 0.23 亿千瓦，占 3.11%。

燃煤机组装机容量构成见图 2-4。

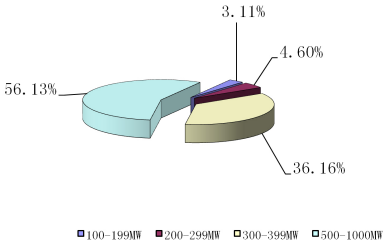


图 2-4 100 兆瓦及以上容量燃煤机组装机容量构成

四、40 兆瓦及以上容量水电机组装机构成

按机组类型分：2017 年纳入可靠性统计的轴流机组 149 台，总容量 0.16 亿千瓦，占统计水电装机容量的 7.52%；混流机组 725 台，容量 1.71 亿千瓦，占 80.56%；抽水蓄能机组 97 台，容量 0.25 亿千瓦，占 11.92%。水电机组装机构成见图 2-5。

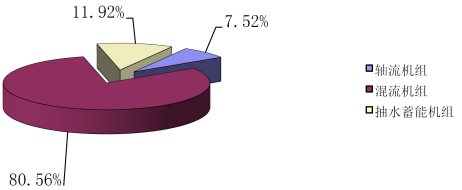


图 2-5 40 兆瓦及以上容量水电机组装机构成

按单机容量分：40-99 兆瓦机组 379 台，总容量 0.23 亿千瓦，占统计水电装机容量的 10.79%；100-199 兆瓦机组 209 台，容量 0.28 亿千瓦，占 13.45%；200-299 兆瓦机组 111 台，容量 0.26 亿千瓦，占 12.37%；300-399 兆瓦机组 122 台，容量 0.38 亿千瓦，占 18.11%；400 兆瓦及以上容量机组 150 台，容量 0.96 亿千瓦；占 45.28%。水电机组装机容量见图 2-6。

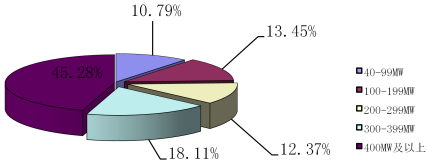


图 2-6　按机组容量分类的水电机组装机容量构成

第二节　1000 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性

2017 年纳入可靠性统计的 1000 兆瓦等级火电机组 91 台，均为燃煤机组，比 2016 年增加 11 台，容量增加 0.11 亿千瓦。2017 年台年平均利用小时数 5007.42 小时，同比增加 154.82 小时。等效可用系数 92.72%，同比提高了 1.11 个百分点。发生强迫停运共 38 次，同比增加 12 次 ；停运时间共 2467.14 小时，同比增加 1596.16 小时。

一、1000 兆瓦燃煤机组 5 年来的主要运行可靠性指标

表 2-1 1000 兆瓦燃煤机组 5 年来的主要运行可靠性指标

指标 / 年份		统计台数（台）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
1000 兆瓦	2013	53	88.64	92.03	0.35	0.69
	2014	60	83.13	90.91	0.26	0.44
	2015	67	78.82	91.24	0.52	0.23
	2016	80	75.77	91.61	0.18	0.33
	2017	91	78.31	92.72	0.20	0.42

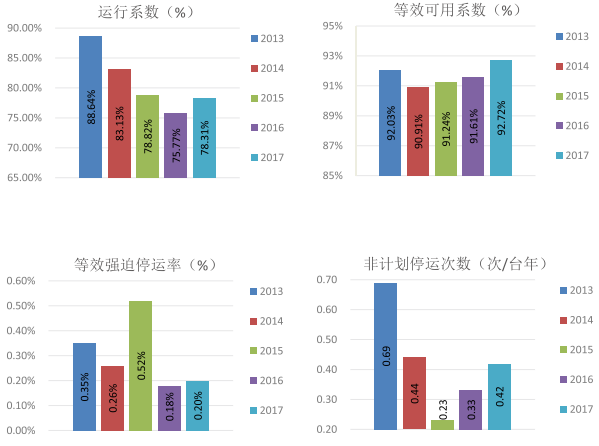


图 2-7 1000 兆瓦燃煤机组近五年主要可靠性指标

二、锅炉、汽机、发电机的等效非计划停运小时及其对整机等效可用系数的影响

表 2-2 锅炉、汽机、发电机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家		统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时 / 台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
			总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
锅炉	东方锅炉	38	15.16	5.93	0.17	0.07
	上海锅炉	33	14.10	1.13	0.16	0.01
	哈尔滨锅炉	16	30.01	3.10	0.34	0.04
	北京巴威	4	17.56	13.52	0.2	0.15

制造厂家		统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时 / 台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
			总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
汽机	上海汽机	55	15.64	2.92	0.18	0.03
	东方汽机	26	1.79	0.04	0.02	0.00
	哈尔滨汽机	8	0.00	0.00	0.00	0.00
	北重电	2	3.00	3.00	0.03	0.03
发电机	上海电机	54	1.22	0.2	0.01	0.00
	东方电机	25	0.55	0.00	0.01	0.00
	哈尔滨电机	8	0.00	0.00	0.00	0.00
	北重电	2	0.00	0.00	0.00	0.00
	日本日立	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	德国西门子	1	0.00	0.00	0.00	0.00

全国 91 台燃煤 1000 兆瓦机组可靠性指标分布情况见表 2-3 和图 2-8，运行指标较好的机组见表 2-4。

表 2-3　1000 兆瓦等级燃煤机组可靠性指标分布

指标 / 对标值	等效可用系数（%） EAF	运行系数（%） SF	出力系数（%） OF	等效强迫停运率（%） EFOR	非计划停运次数 UOT	非计划停运小时 UOH
最优值	100.00	100.00	84.06	0.00	0.00	0.00
第 5% 值	100.00	96.02	81.03	0.00	0.00	0.00
第 25% 值	99.85	86.78	75.82	0.00	0.00	0.00
中位值	92.83	81.01	73.24	0.00	0.00	0.00
第 75% 值	88.85	71.74	71.03	0.13	1.00	12.77
末位值	62.36	37.77	42.91	5.55	2.00	652.87
总平均值	92.72	78.31	72.99	0.20	0.42	27.57

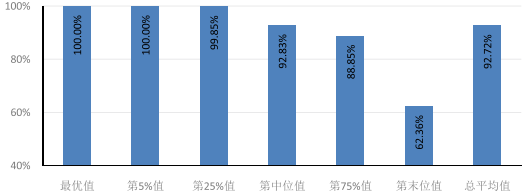


图 2-8　1000 兆瓦等级燃煤机组等效可用系数指标分布

表 2-4　1000 兆瓦等级运行指标较好燃煤机组

机组名称	运行暴露率 EXR（%）
神华国华徐州发电有限公司 2 号机组	100.00
江西大唐国际抚州发电有限责任公司 1 号机组	99.31
神华浙江国华浙能发电有限公司 6 号机组	96.02
华润电力（海丰）有限公司 1 号机组	93.14
国电浙江北仑第三发电有限公司 6 号机组	92.84

第三节　600 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性

2017 年 600 兆瓦等级火电机组统计 489 台，均为燃煤机组。其中国产 459 台，进口 30 台。

一、600 兆瓦等级燃煤机组近五年主要可靠性指标

表 2-5　600 兆瓦等级燃煤机组近五年内主要可靠性指标

分类 \ 指标 / 年份		统计台数（台）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
600-699 兆瓦	2013	415	81.88	91.17	0.45	0.64
	2014	429	78.09	92.42	0.43	0.43
	2015	442	72.55	92.35	0.42	0.40
	2016	474	69.08	91.86	0.23	0.37
	2017	489	71.29	92.54	0.57	0.71

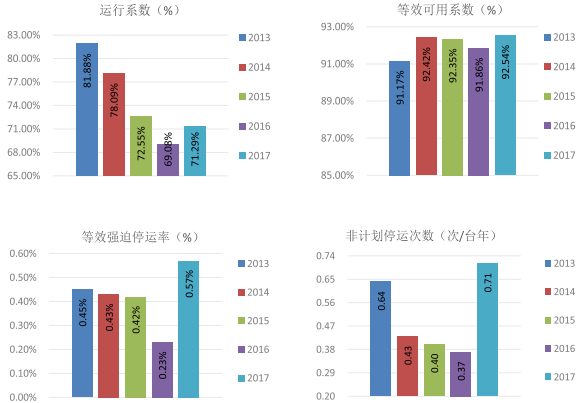


图 2-9　600 兆瓦等级机组近五年主要可靠性指标趋势

2017 年等效可用系数同比上升了 0.68%，主要因素是计划停运时间同比减少了 102.58 小时 / 台年；非计划停运次数和等效强迫停运率均高于 2016 年。发生强迫停运共 282 次，停运时间共 15461.2 小时，分别同比增加 123 次和 9220.89 小时。

按投运年份分类，从图 2-10 中可以看出，投运十年以下的机组 335 台，占 600

兆瓦等级机组的 68.51%，平均等效可用系数 92.92%，高于 600 兆瓦等级燃煤机组平均等效可用系数 0.38 个百分点。

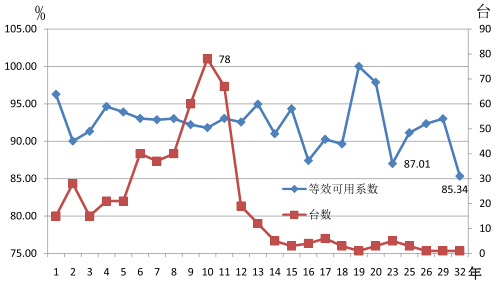


图 2-10　2017 年 600 兆瓦等级机组按投运年份和台数分类的平均等效可用系数

二、锅炉、汽机、发电机的等效非计划停运小时及其对整机等效可用系数的影响

（一）600 兆瓦等级机组的锅炉

表 2-6　600 兆瓦等级机组锅炉的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时 / 台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
哈尔滨锅炉	153	40.14	11.37	0.46	0.13
东方锅炉	138	44.76	12.96	0.51	0.15
上海锅炉	131	20.87	11.35	0.24	0.13
北京巴威	37	11.99	0.38	0.14	0
美国巴威	4	26.55	0.00	0.3	0.00
英国三井巴布科克	4	66.81	58.77	0.76	0.67
美国福斯特	4	2.18	0.00	0.00	0.00
日本三菱	4	0.00	0.00	0.00	0.00

（二）600 兆瓦等级机组的汽机

表 2-7　600 兆瓦等级机组汽机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时／台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
东方汽机	158	8.93	6.07	0.10	0.07
上海汽机	149	5.85	3.74	0.07	0.04
哈尔滨汽机	138	9.23	2.00	0.11	0.02
英国通用电气阿尔斯通	8	1.55	1.55	0.02	0.02
日本三菱	6	1.43	0.00	0.02	0.00
日本东芝	6	0.78	0.00	0.01	0.00
北重电	5	1.06	0.00	0.01	0.00
日本日立	5	0	0.00	0.00	0.00

（三）600 兆瓦等级机组的发电机

表 2-8　600 兆瓦等级机组发电机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时／台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
东方电机	150	1.02	0.58	0.01	0.01
哈尔滨电机	140	8.93	0.89	0.10	0.01
上海电机	140	0.79	0.32	0.01	0.00
北重电	7	1.54	0.00	0.02	0.00
日本三菱	6	0.86	0.86	0.01	0.01
德国西门子	6	0.00	0.00	0.00	0.00
日本东芝	6	0.00	0.00	0.00	0.00
东风电机厂	5	2.28	2.28	0.03	0.03
日本日立	5	0.00	0.00	0.00	0.00

全国 489 台燃煤 600 兆瓦等级机组可靠性指标对标情况见表 2-9 和图 2-11，运行指标较好机组见表 2-10。

表 2-9　600 兆瓦等级燃煤机组可靠性指标分布

指标 / 对标值	等效可用系数（%）EAF	运行系数（%）SF	出力系数（%）OF	等效强迫停运率（%）EFOR	非计划停运次数 UOT	非计划停运小时 UOH
最优值	100.00	100.00	91.52	0.00	0.00	0.00
第 5% 值	100.00	96.66	80.12	0.00	0.00	0.00
第 25% 值	99.94	85.20	74.12	0.00	0.00	0.00
中位值	93.87	73.96	70.13	0.00	0.00	0.00
第 75% 值	88.49	61.86	64.32	0.21	1.00	20.23
末位值	47.55	0.00	0.00	59.50	10.00	3532.40
总平均值	92.54	71.29	69.67	0.57	0.71	57.33

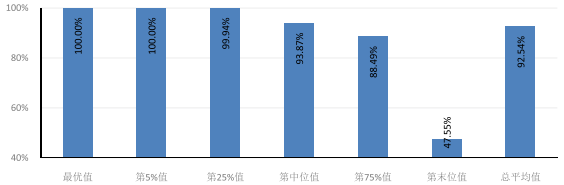


图 2-11　600 兆瓦等级燃煤机组等效可用系数指标分布

表 2-10　600 兆瓦等级运行指标较好燃煤机组

机组名称	运行暴露率 EXR（%）
淮浙煤电有限责任公司凤台发电分公司 1 号机组	100.00
内蒙古大唐国际托克托发电有限责任公司 1 号机组	100.00
华能国际电力股份有限公司上安电厂 6 号机组	100.00
浙江大唐国际乌沙山发电有限责任公司 1 号机组	100.00

机组名称	运行暴露率 EXR（%）
神华国华孟津发电有限责任公司 2 号机组	100.00
华能国际电力股份有限公司邯峰电厂 1 号机组	99.09
华能北方公司上都发电有限责任公司 4 号机组	98.55
神华河北国华沧东发电有限责任公 1 号机组	98.52
浙江浙能兰溪发电有限责任公司 3 号机组	98.28
江苏大唐国际吕四港发电有限责任公司 3 号机组	97.94
神华陕西国华锦界能源有限责任公司 4 号机组	97.26
江苏国信扬州第二发电厂 1 号机组	97.20
河北大唐国际王滩发电有限责任公司 1 号机组	96.61
福建大唐国际宁德发电有限责任公司 2 号机组	96.56
国电南宁发电有限责任公司 1 号机组	96.55
国电泉州发电有限公司 3 号机组	96.29
上海申能吴泾第二发电厂 2 号机组	93.31
国家电投淮沪煤电有限公司田集发电厂 2 号机组	91.95
神华山西鲁能河曲发电有限公司 3 号机组	91.93
天津大唐国际盘山发电有限责任公司 4 号机组	91.81

第四节　300 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性

2017 年纳入可靠性统计的 300 兆瓦等级燃煤机组 825 台，其中国产燃煤机组 761 台，进口燃煤机组 64 台。

一、300 兆瓦等级燃煤机组近五年主要可靠性指标

表 2-11　300 兆瓦等级燃煤机组近五年主要可靠性指标

分类 \ 指标 / 年份		统计台数（台）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
300 兆瓦等级	2013	745	78.86	92.03	0.34	0.49
	2014	748	87.02	91.92	0.38	0.47
	2015	787	69.42	93.07	0.27	0.31
	2016	819	67.36	93.86	0.31	0.35
	2017	825	69.62	93.16	0.63	0.65

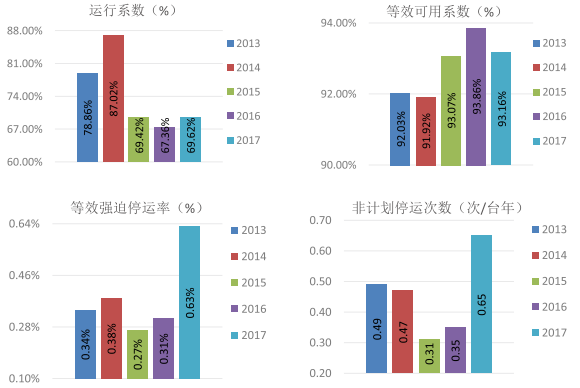


图 2-12　300 兆瓦等级燃煤机组近五年主要可靠性指标趋势

从表 2-11 和图 2-12 中可以看出，300 兆瓦等级燃煤机组的台数逐年增加，运行系数和等效可用系数处于波动状态，等效强迫停运率和非计划停运次数从 2016 年开始呈上升趋势，主要因素是计划停运和非计划停运时间 2017 年同比均有所增加，比 2016 年分别增加了 29.36 小时 / 台年和 29.19 小时 / 台年。

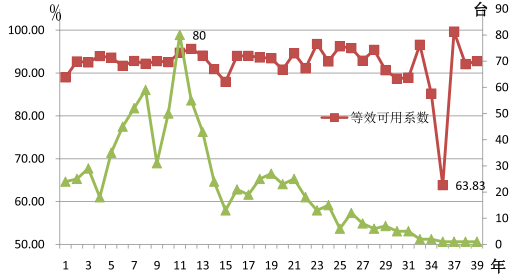


图 2-13　2017 年 300 兆瓦等级机组按投运年份和台数分类的平均等效可用系数

按投运年份分类，从图 2-13 中看出，投运年份 30 年以上的机组 18 台；投运 15 至 30 年的 243 台，占 300 兆瓦级燃煤机组的 29.45%，平均等效可用系数 91.82%，低于全部 300 兆瓦等级燃煤机组等效可用系数 1.34 个百分点。300 兆瓦等级燃煤机组运行仍然处于较为稳定的状态，其等效可用系数 93.16%，高于全国 100 兆瓦以及上燃煤机组平均水平。

二、锅炉、汽机、发电机的等效非计划停运小时及其对整机等效可用系数的影响

（一）300 兆瓦等级燃煤机组的锅炉

表 2-12　300 兆瓦等级机组锅炉的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时 / 台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
东方锅炉	221	69.64	19.84	0.80	0.23
哈尔滨锅炉	215	25.40	7.27	0.29	0.08
上海锅炉	209	20.91	6.07	0.24	0.07
武汉锅炉	57	19.78	11.17	0.23	0.13
北京巴威	57	45.49	9.08	0.52	0.10

制造厂家	统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时 / 台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
美国福斯特	12	0.55	0.00	0.01	0.00
日本三菱	10	76.82	0.00	0.88	0.00
英国三井巴布科克	6	24.60	0.00	0.28	0.00
法国斯坦因	6	0.28	0.00	0.00	0.00
德国巴布科克	4	13.40	0.00	0.15	0.00
俄罗斯塔干罗格	4	5.66	5.66	0.06	0.06
加拿大巴布科克	4	2.09	1.21	0.02	0.01
西班牙福斯特 • 惠勒	4	0.00	0.00	0.00	0.00

（二）300 兆瓦等级燃煤机组的汽机

表 2-13　300 兆瓦等级机组汽机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时 / 台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
上海汽机	275	7.45	3.34	0.09	0.04
东方汽机	233	8.29	3.69	0.09	0.04
哈尔滨汽机	187	4.07	1.43	0.05	0.02
北重电	60	8.23	0.42	0.09	0.00
英国通用电气阿尔斯通	12	10.08	8.40	0.12	0.10
德国西门子	10	0.00	0.00	0.00	0.00
日本三菱	9	8.66	5.81	0.10	0.07
美国通用电气	8	1.72	0.00	0.02	0.00
美国西屋	6	0.64	0.00	0.01	0.00
日本日立	6	0.44	0.00	0.01	0.00
意大利安沙尔多	6	0.00	0.00	0.00	0.00

（三）300 兆瓦等级燃煤机组的发电机

表 2-14　300 兆瓦等级机组发电机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时 / 台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
上海电机	279	2.90	0.82	0.03	0.01
东方电机	227	3.54	1.70	0.04	0.02
哈尔滨电机	187	2.52	0.83	0.03	0.01
北重电	54	0.38	0.38	0.00	0.00
英国通用电气阿尔斯通	12	0.51	0.00	0.01	0.00
德国西门子	10	0.00	0.00	0.00	0.00
日本三菱	9	0.00	0.00	0.00	0.00
美国通过电气	8	34.43	34.00	0.39	0.39
济发设备	8	0.00	0.00	0.00	0.00
美国西屋	6	0.45	0.45	0.01	0.01
意大利安沙尔多	6	0.00	0.00	0.00	0.00
俄罗斯圣彼得堡	4	1.41	0.00	0.02	0.00

全国 825 台 300 兆瓦等级燃煤机组可靠性指标对标情况见表 2-15 和图 2-14，运行指标较好机组见表 2-16。

表 2-15　300 兆瓦等级燃煤机组可靠性指标分布

指标 / 对标值	等效可用系数（%）EAF	运行系数（%）SF	出力系数（%）OF	等效强迫停运率（%）EFOR	非计划停运次数 UOT	非计划停运小时 UOH
最优值	100.00	100.00	93.78	0.00	0.00	0.00
第 5% 值	100.00	94.63	80.12	0.00	0.00	0.00
第 25% 值	99.87	84.29	73.99	0.00	0.00	0.00
中位值	94.68	74.18	69.82	0.00	0.00	0.00
第 75% 值	90.06	59.47	64.44	0.20	1.00	11.73
末位值	56.95	0.00	0.00	34.66	9.00	1896.90
总平均值	93.86	67.36	69.91	0.31	0.35	18.51

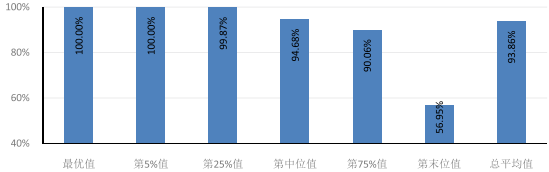


图 2-14　300 兆瓦等级燃煤机组等效可用系数指标分布图

表 2-16　300 兆瓦等级运行指标较好燃煤机组

机组名称	运行暴露率 EXR（%）
国电江苏谏壁发电有限公司 11 号机组	100.00
华能国际电力股份有限公司德州电厂 2 号机组	100.00
浙江浙能嘉兴发电有限公司 2 号机组	100.00
华能国际电力股份有限公司运河电厂 5 号机组	100.00
华能国际电力股份有限公司淮阴电厂 6 号机组	100.00
浙江浙能长兴发电有限公司 4 号机组	100.00
大唐许昌龙岗发电有限责任公司 1 号机组	100.00
大唐林州热电有限公司 1 号机组	100.00
大唐国际发电股份有限公司张家口发电厂 3 号机组	99.66
大唐国际发电股份有限公司张家口发电 2 号机组	99.07
国电沈阳热电有限公司 1 号机组	98.40
大唐阳城发电有限责任公司 4 号机组	97.74
国电宁夏石嘴山发电有限责任公司 4 号机组	97.30
国家电投霍煤鸿骏铝电 7 号机组	96.76
辽宁大唐国际锦州热电有限公司 1 号机组	96.63
国电汉川第一发电有限公司 4 号机组	95.80
大唐山东鲁北发电厂 1 号机组	95.59
华能国际电力股份有限公司浑池热电 1 号机组	94.88
华电国际电力股份有限公司漯河发电厂 1 号机组	94.55
国电九江发电有限公司 6 号机组	94.47

第五节　200 兆瓦等级燃煤机组运行可靠性

2017 年 200 兆瓦等级火电机组共 163 台，均为燃煤机组，其中国产 154 台，进口 9 台。

一、200 兆瓦等级燃煤机组近五年主要可靠性指标

表 2-17　200 兆瓦燃煤机组近五年主要可靠性指标

分类 \ 指标 / 年份		统计台数（台）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
200 兆瓦等级	2013	197	73.53	93.63	0.28	0.40
	2014	184	67.48	91.34	0.40	0.39
	2015	171	63.39	92.51	0.17	0.27
	2016	174	61.67	94.32	0.17	0.20
	2017	164	61.01	94.09	0.44	0.44

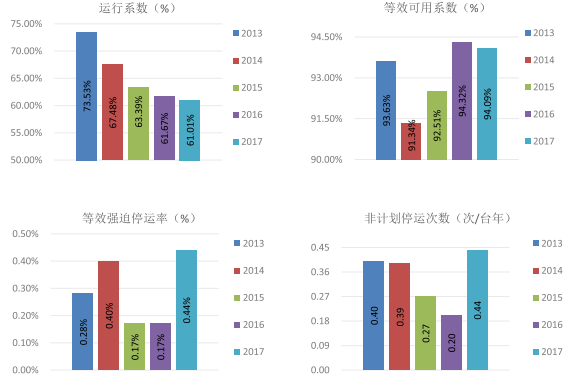


图 2-15　200 兆瓦等级燃煤机组近五年主要可靠性指标趋势

从表 2-17 和图 2-15 中可以看出，200 兆瓦等级燃煤机组台数和运行系数总体呈下降趋势，等效非计划停运率和非计划停运次数同比上升，2017 年平均等效可用系数同比降低了 0.23 个百分点。

二、锅炉、汽机、发电机的等效非计划停运小时及其对整机等效可用系数的影响

（一）200 兆瓦等级燃煤机组的锅炉

表 2-18　200 兆瓦等级机组锅炉的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时 / 台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
哈尔滨锅炉	54	20.19	3.36	0.23	0.04
东方锅炉	52	24.37	5.17	0.28	0.06
武汉锅炉	26	4.55	0.00	0.05	0.00
无锡锅炉	7	43.08	0.00	0.49	0.00
上海锅炉	6	83.80	0.05	0.96	0.00
北京巴威	5	0.00	0.00	0.00	0.00
四川锅炉	4	0.00	0.00	0.00	0.00
俄罗斯塔干罗格	4	0.00	0.00	0.00	0.00

（二）200 兆瓦等级燃煤机组的汽机

表 2-19　200 兆瓦等级机组汽机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时 / 台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
哈尔滨汽机	87	6.60	0.16	0.08	0.00
东方汽机	45	3.58	0.00	0.04	0.00
北重电	19	0.82	0.49	0.01	0.01
俄罗斯圣彼得堡	4	0.00	0.00	0.00	0.00

（三）200 兆瓦等级燃煤机组的发电机

表 2-20　200 兆瓦等级机组发电机的等效非计划停运小时及其对整机的影响

制造厂家	统计台数（台）	等效非计划停运小时（小时 / 台年）		影响整机等效可用系数的百分点（%）	
		总计	其中设备因素	总计	其中设备因素
哈尔滨电机	79	3.84	0.70	0.04	0.01
东方电机	39	0.00	0.00	0.00	0.00
北重电	19	0.00	0.00	0.00	0.00
济发设备	6	0.34	0.00	0.00	0.00
山电设备	4	0.00	0.00	0.00	0.00

第六节　超临界及以上燃煤机组运行可靠性

2017 年纳入可靠性统计的超临界及以上燃煤机组共 481 台，可靠性主要综合指标见表 2-21。超零界及以上燃煤机组与 10 万千瓦及以上容量燃煤机组近五年平均等效可用系数趋势见图 2-16。

表 2-21　近五年纳入可靠性统计的超临界及以上燃煤机组运行可靠性指标

统计年份	统计台数（台）	利用小时（小时 / 台年）	非计划停运次数（次 / 台年）	非计划停运小时（小时 / 台年）	等效可用系数（%）
2013	354	5405.60	0.67	41.92	91.44
2014	379	5009.54	0.51	36.92	91.98
2015	415	4564.89	0.38	28.49	91.88
2016	454	4406.45	0.34	16.96	91.50
2017	481	4557.57	0.69	56.80	92.20

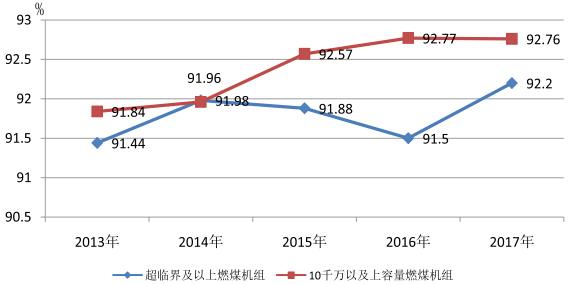


图 2-16　超临界以及上燃煤机组等效可用系数趋势图

第七节　100 兆瓦及以上容量燃气轮机组运行可靠性

纳入 2017 年可靠性统计的 100 兆瓦及以上燃气及燃气轮机组共 167 台，总容量 0.49 亿千瓦。燃气轮机组近五年的可靠性主要指标见表 2-22。燃气轮机组与燃煤机组等效可用系数近五年的趋势见图 2-17。

表 2-22　燃气轮机组近五年的可靠性主要指标

统计年度	统计台数（台）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
2013	94	47.72	92.54	0.14	0.44
2014	112	46.41	92.60	0.08	0.26
2015	145	45.89	92.82	0.49	0.37
2016	152	44.65	92.3	1.63	0.39
2017	167	46.50	92.60	0.24	0.35

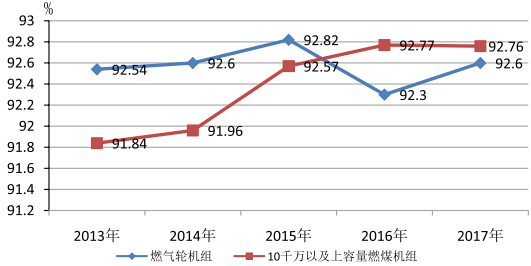


图 2-17　燃气轮机与燃煤机组等效可用系数趋势图

第八节　100 兆瓦及以上容量燃煤机组备用时间分析

表 2-23　按区域电网分类的燃煤机组备用时间

区域电网	2013 年备用（小时/台年）	2014 年备用（小时/台年）	2015 年备用（小时/台年）	2016 年备用（小时/台年）	2017 年备用（小时/台年）
华北电网	948.53	1014.8	1482.58	1768.24	1506.91
东北电网	1997.73	1890.77	2145.91	2169.27	1848.08
华东电网	564.21	1050.12	1508.57	1567.30	1525.46
华中电网	1498.93	1917.86	2579.75	2732.66	2376.83
西北电网	821.00	1019.24	1666.37	1994.36	1865.58
西南电网	1918.04	2724.52	3794.50	4521.09	4718.35
南方电网	901.08	1587.55	2447.62	3075.04	2420.20
蒙西电网	1209.77	1010.89	1533.63	2070.64	1634.49
全国	1002.12	1321.65	1867.55	2115.88	1922.04

* 注：按照新划分调度关系，西南电网包含四川、重庆、西藏；蒙西电网包含内蒙古西部，华中电网包含河南、湖北、湖南、江西。

• 各区域电网备用时间总体上有不同程度的降低见图 2-18。

全国 100 兆瓦及以上容量火电机组平均备用时间也比 2016 年降低了 193.84 小时。除西南电网外，各区域燃煤机组备用时间均有不同幅度的降低。特别是南方电网连续两年备用时间降低最多，同比降低 654.84 小时。

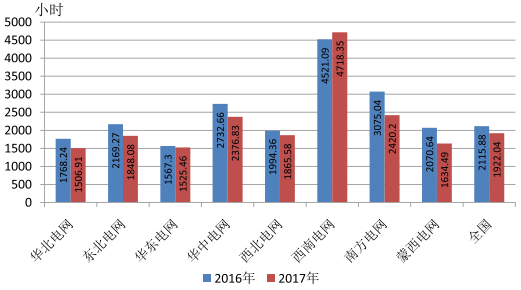


图 2-18　2016-2017 年各大区域备用小时

• 各区域电网之间备用时间差距较大

华北电网机组备用时间 2017 年最少，为 1506.91 小时。西南电网备用时间最长，为 4718.35 小时，南方电网其次，为 2420.2 小时。

• 机组利用率提升

2017 年全国燃煤机组台年平均备用小时为 1922.04 小时，比 2016 年降低 193.84 小时，各区域备用小时均在 1500 小时以上。

表 2-24　各省（市、区）燃煤机组备用及运行时间

电网分类	统计台数（台）	平均容量（兆瓦 / 台）	利用小时（小时 / 台年）	运行小时（小时 / 台年）	备用小时（小时 / 台年）
北京市	4	192.50	1739.34	2219.22	6397.78
河北省	97	347.94	5316.63	7375.10	854.05
山西省	109	356.84	4302.93	5973.56	1991.92
内蒙区	149	369.60	4730.17	6720.40	1619.73

电网分类	统计台数（台）	平均容量（兆瓦／台）	利用小时（小时／台年）	运行小时（小时／台年）	备用小时（小时／台年）
天津市	20	440.20	4742.65	6750.08	1450.44
山东省	136	365.23	5209.17	6826.85	1385.90
辽宁省	63	381.43	4323.35	6881.19	1384.81
吉林省	50	300.90	3496.23	5737.14	2236.65
黑龙江省	49	313.47	3859.74	6019.18	2196.71
江苏省	128	510.94	5059.52	6683.57	1394.11
浙江省	69	590.14	5013.85	6872.30	1273.26
安徽省	78	531.92	4533.51	6315.82	1724.18
上海市	27	531.48	4507.91	6490.93	1229.14
福建省	41	504.98	4194.70	5869.43	2253.93
河南省	106	443.40	3745.74	5811.99	2512.98
湖北省	46	469.57	4061.70	5469.45	2706.73
湖南省	39	459.62	3463.68	5096.78	2895.06
江西省	33	513.33	5001.14	6871.52	1023.35
四川省	33	364.24	1892.15	3034.45	5249.40
重庆市	21	449.05	2776.81	4261.99	4037.83
陕西省	62	406.29	4901.04	6751.56	1394.91
甘肃省	51	318.33	3261.88	4884.36	3226.36
青海省	6	436.67	4400.19	6114.76	2148.04
宁夏区	36	414.72	5107.13	7327.51	846.04
新疆区	63	304.60	3697.02	6291.05	2110.07
广东省	112	466.40	4488.04	6574.82	1260.72
广西区	21	490.00	2272.78	4410.71	3811.88
云南省	32	387.50	1345.31	2111.43	6543.59
贵州省	65	396.92	3645.72	5386.12	2516.03
海南省	10	303.60	5310.44	8153.40	396.41

备用时间较少的五个省份分别是海南省 396.41 小时、宁夏自治区 846.04 小时、河北省 854.05 小时、江西省 1023.35 小时、上海市 1229.14 小时；备用时间相对较长的五个省份分别是云南省 6543.59 小时、北京市 6397.78 小时、四川省 5249.4 小时、重庆市 4037.83 小时、广西壮族自治区 3811.88 小时。

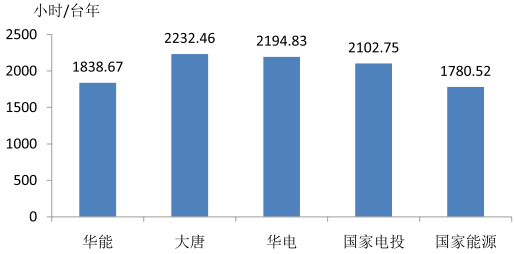


图 2-19　2017 年主要发电集团备用小时

第九节　2016 年新投产燃煤机组运行可靠性

2016 年投产、纳入 2017 年可靠性统计的燃煤机组共 48 台，容量 0.27 亿千瓦。近五年来燃煤机组投产后第一年运行可靠性指标见表 2-25。

表 2-25　近五年燃煤机组投产后第一年运行可靠性指标

指标 / 年份	投产年份（年）	统计台数（台）	平均容量（兆瓦）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
2013	2012	64	526.76	79.79	93.01	1.45	1.23
2014	2013	44	552.05	78.43	93.07	1.28	1.50
2015	2014	93	540.86	71.87	92.20	0.86	0.72
2016	2015	64	598.13	67.61	92.02	0.48	1.20
2017	2016	48	571.79	69.31	94.70	1.29	1.33

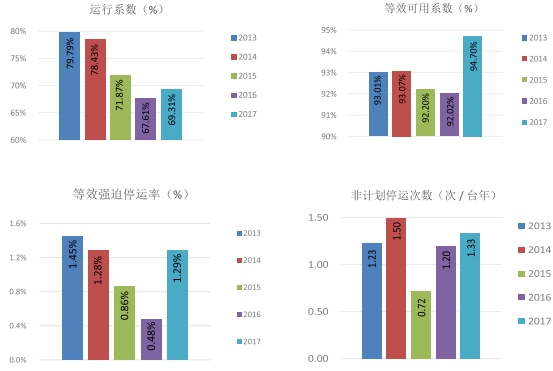


图 2-20　燃煤新投产机组投产后第一年可靠性指标趋势

2016 年投产燃煤机组在 2017 年的等效可用系数同比上升 2.68 个百分点，高于全国 10 万千瓦级以上容量燃煤机组平均值 1.97%；等效强迫停运率同比上升 0.81%；非计划停运次数增加 0.13 次 / 台年，高于全国 10 万千瓦级以上容量燃煤机组平均值 0.68 次 / 台年。2017 年新投产火电机组主要可靠性指标与同比情况见图 2-21 及图 2-22。由图可见，2016 年新投 300 兆瓦容量等级机组等效可用系数与往年基本持平，600 兆瓦及以上容量等级的机组等效可用系数同比增加 5.45%，1000 兆瓦及以上容量等级的机组等效可用系数同比增加 1.86%，稳定性均有所提升。

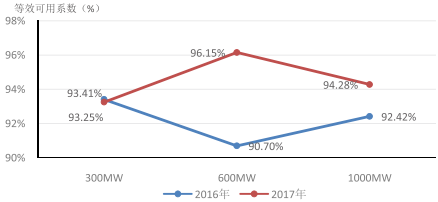


图 2-21　2016-2017 年新投产机组按容量划分等效可用系数

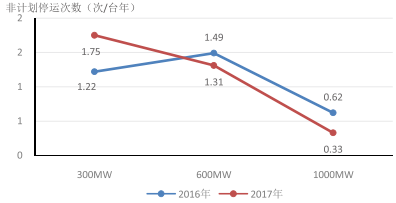


图 2-22　2016-2017 年新投产机组按容量划分非计划停运次数

第十节　非计划停运分析

2017 年燃煤机组（1756 台）共发生非计划停运 1124 次，非计划停运总时间为 95925.67 小时，台年平均分别为 0.65 次和 52.59 小时，同比分别增加 0.3 次、34.87 小时。其中持续时间超过 300 小时的非计划停运共 58 次，非计划停运时间 37333.35 小时，占全部燃煤机组非计划停运总时间的 38.92%。

发生强迫停运 972 次，强迫停运总时间 70148.85 小时，占全部燃煤机组非计划停运总时间的 73.13%。强迫停运台年平均次数和时间分别为 0.57 次和 35.59 小时。

三大主设备中，锅炉引起的非计划停运台年平均为 0.22 次和 23.71 小时，占全部燃煤机组非计划停运总时间的 43.4%，为主要的非计划停运的部件。锅炉、汽轮机、发电机三大主设备引发的非计划停运占非计划停运总时间的 57.36%。表 2-23 为三大主设备引发非计划停运的比重。

表 2-26　三大主设备引发非计划停运的比重

序号	主设备	停运次数（次 / 台年）	停运时间（小时 / 台年）	* 百分比
1	锅炉	0.22	23.71	43.4
2	汽轮机	0.09	5.33	9.75
3	发电机	0.05	2.30	4.21

* 百分比：占机组非计划停运时间的百分比。

按照造成发电机组非计划停运的责任原因分析，产品质量不良为最主要因素，占总非停时间的 24.91%，其次为设备老化，占总非停时间的 20.76%，前五位主要责任原因造成的非停时间占总数的 82.2%。

表 2-27　非计划停运的前五位责任原因

序号	责任原因	停运次数（次 / 台年）	停运时间（小时 / 台年）	* 百分比
1	产品质量不良	0.18	13.61	24.91
2	设备老化	0.08	11.34	20.76
3	检修质量不良	0.09	7.56	13.84
4	燃料影响	0.06	7.48	13.69
5	施工安装不良	0.06	4.92	9.00

* 百分比：占机组非计划停运时间的百分比。

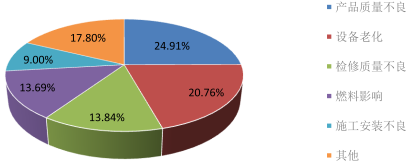


图 2-23　非计划停运的前五位责任原因占机组非计划停运时间的百分比

从表 2-28 可以看出，2017 年按照燃煤机组非计划停运事件持续事件长短，划分为五类：停运次数最多的是小于 10 小时的非计划停运事件，并且大部份是强迫停运事件，占燃煤机组总非停次数的 36.92%；其次在 10-100 小时的区间内，占燃煤机组总非停次数的 36.83%；超过 1000 小时的非计划停运 8 次，其中 5 次由于脱硫和除尘设施造成机组长时间非计划停运事件应，当引起企业的重视。

表 2-28　非计划停运事件按持续时间划分表

火电机组非计划停运时间（小时）	停运总次数（次）	占停运次数百分比（%）
<10	415	36.92
10-100	414	36.83
100-500	268	23.84
500-1000	19	1.69
1000	8	0.71
备注：各分级数值范围中，下限值包含，上限值为不包含		

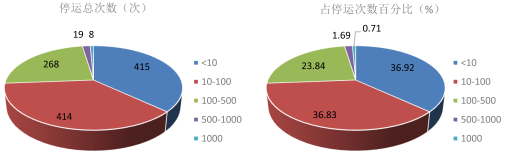


图 2-24　非计划停运事件按持续时间划分停运总次数和占比

第十一节　按地区分类的 100 兆瓦及以上容量燃煤机组运行可靠性

2017 年各地区 100 兆瓦及以上容量燃煤机组运行可靠性指标见下表。

表 2-29　2017 年各地区 100 兆瓦及以上容量燃煤机组运行可靠性指标

地区	统计台数（台）	平均容量（兆瓦 / 台）	每千瓦装机发电量（兆瓦时 / 千瓦）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
华北	515	363.03	4.86	76.43	93.54	0.70
东北	162	336.02	3.96	72.18	93.10	0.48
华东	343	532.55	4.79	74.61	91.99	0.43
华中	278	449.33	3.68	61.77	93.25	0.46
西北	218	358.56	4.29	72.43	93.56	0.93
南方	240	432.35	3.71	63.76	91.34	0.96
全部	1756	416.23	4.35	70.93	92.76	0.65

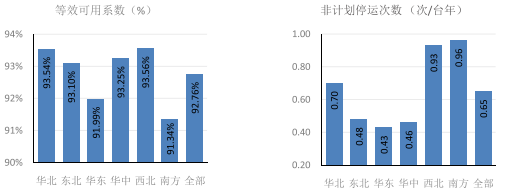


图 2-25　2017 年各地区 100 兆瓦及以上容量燃煤机组等效可用系数、非计划停运次数

第十二节　40 兆瓦及以上容量水电机组运行可靠性

一、40 兆瓦及以上容量水电机组近五年运行可靠性指标

表 2-30　40 兆瓦及以上容量水电机组近五年运行可靠性指标

指标 / 年份	统计台数（台）	平均容量（兆瓦 / 台）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）	强迫停运次数（次 / 台年）	强迫停运时间（小时 / 台年）
2013	758	199.73	48.62	91.71	0.13	0.37	0.28	6.84
2014	827	213.86	51.74	92.6	0.11	0.3	0.22	4.87
2015	885	218.62	51.8	92.05	0.08	0.27	0.19	3.41
2016	945	214.14	54.19	92.44	0.09	0.26	0.22	4.09
2017	971	218.07	54.96	92.55	0.14	0.19	0.14	6.91

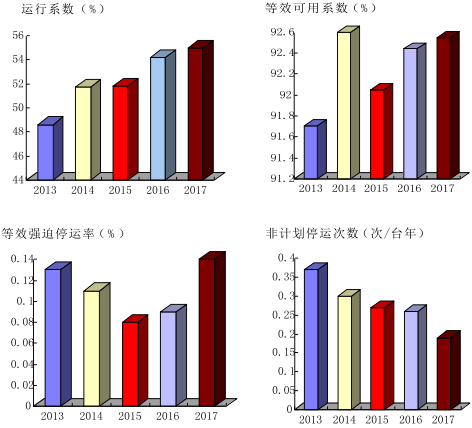


图 2-26　40 兆瓦及以上水电机组可靠性指标趋势

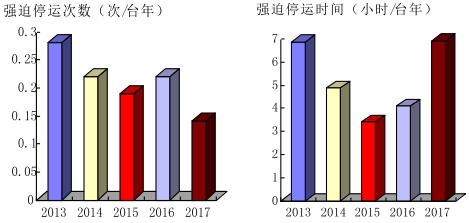


图 2-27　近五年水电机组强迫停运次数和时间趋势

从上图及表中可以看出，2017 年水电机组的等效可用系数与 2016 年相比有所上升，上升幅度为 0.11%，非计划停运次数则降低了 0.07 次 / 台年。

2017 年，40 兆瓦及以上容量水电机组的运行系数 54.96%，同比上升了 0.77%；等效可用系数 92.55%，同比上升了 0.11%；等效强迫停运率 0.14%，同比上升了 0.05%；非计划停运次数 0.19 次 / 台年，同比下降 0.07 次 / 台年。

二、2017 年 40 兆瓦及以上各容量水电机组运行可靠性指标分布

表 2-31　2017 年 40 兆瓦及以上各容量水电机组运行可靠性指标分布

指标 / 分类	统计台数（台）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
水电轴流机组	149	61.03	92.24	0.00	0.10
40-99 兆瓦	65	49.70	90.38	0.01	0.16
100-199 兆瓦	75	66.50	93.16	0.00	0.03
200-299 兆瓦	9	54.70	91.05	0.00	0.22
水电混流机组	725	57.47	92.99	0.15	0.05
40-99 兆瓦	305	55.47	93.59	0.02	0.04
100-199 兆瓦	128	47.11	92.09	1.41	0.05
200-299 兆瓦	82	48.72	91.77	0.08	0.11
300-699 兆瓦	134	63.18	91.84	0.04	0.04
700-750 兆瓦	76	58.09	94.88	0.01	0.04

分类 \ 指标	统计台数（台）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
抽水蓄能机组	97	34.28	89.75	0.25	1.33
40-99 兆瓦	9	31.00	66.57	0.74	0.89
100-199 兆瓦	6	30.02	86.57	0.10	0.67
200-299 兆瓦	20	32.66	89.21	0.32	0.80
300 兆瓦及以上	62	35.00	90.74	0.23	1.63
全部	971	54.96	92.55	0.14	0.19

三、近五年 40 兆瓦及以上水电机组运行可靠性指标

表 2-32　近五年 40 兆瓦及以上水电机组运行可靠性指标

分类	年份	统计台数	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
轴流机组	2013	140	58.58	92.66	0.19	0.19
	2014	140	61.68	93.35	0.02	0.13
	2015	144	64.01	92.75	0.00	0.11
	2016	151	64.19	93.14	0.02	0.13
	2017	149	61.03	92.24	0.00	0.10
混流机组	2013	537	52.99	91.62	0.10	0.14
	2014	602	55.49	92.85	0.07	0.09
	2015	656	54.57	92.38	0.06	0.09
	2016	709	55.47	92.76	0.08	0.07
	2017	725	57.47	92.99	0.15	0.05
抽水蓄能机组	2013	81	16.30	91.57	0.53	2.20
	2014	85	20.27	90.50	0.89	2.05
	2015	85	22.83	89.18	0.43	1.98
	2016	85	37.02	89.45	0.29	2.08
	2017	97	34.28	89.75	0.25	1.33
全部	2013	758	48.62	91.71	0.13	0.37
	2014	827	51.74	92.60	0.11	0.30
	2015	885	51.80	92.05	0.08	0.27
	2016	945	54.19	92.44	0.09	0.26
	2017	971	54.96	92.55	0.14	0.19

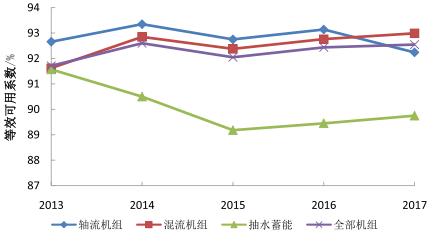


图 2-28 近五年 40 兆瓦及以上水电机组等效可用系数

四、近五年 40 兆瓦及以上各容量等级水电机组运行可靠性指标

表 2-33　40 兆瓦及以上各容量等级水电机组近五年运行可靠性指标

机组型式	指标 / 分类	年份	统计台数	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
轴流机组	40-99 兆瓦	2013	68	53.33	93.13	0.66	0.27
		2014	67	50.28	92.59	0.09	0.24
		2015	69	51.17	91.63	0.01	0.21
		2016	68	51.1	91.19	0.03	0.25
		2017	65	49.70	90.38	0.01	0.16
	100-199 兆瓦	2013	63	62.24	92.54	0.03	0.10
		2014	64	68.26	93.28	0.00	0.02
		2015	66	69.32	94.06	0.00	0.02
		2016	74	67.58	94.12	0.02	0.03
		2017	75	66.50	93.16	0.00	0.03
	200-299 兆瓦	2013	7	58.15	91.81	0.01	0.29
		2014	7	62.10	92.39	0.00	0.14
		2015	7	68.15	91.17	0.00	0.00
		2016	9	74.5	92.14	0.00	0.00
		2017	9	54.70	91.05	0.00	0.22

机组型式	指标 / 分类	年份	统计台数	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
混流机组	40-99 兆瓦	2013	224	54.65	92.19	0.01	0.05
		2014	246	55.22	94.56	0.06	0.06
		2015	267	55.29	92.93	0.00	0.06
		2016	301	56.39	93.01	0.11	0.05
		2017	305	55.47	93.59	0.02	0.04
	100-199 兆瓦	2013	107	46.78	91.82	0.04	0.08
		2014	108	43.89	92.77	0.02	0.07
		2015	114	46.06	92.92	0.04	0.11
		2016	125	47.14	93.49	0.37	0.12
		2017	128	47.11	92.09	1.41	0.05
	200-299 兆瓦	2013	70	45.88	92.78	0.21	0.29
		2014	76	53.27	91.76	0.01	0.11
		2015	82	51.06	91.65	0.12	0.18
		2016	84	50.66	91.17	0.01	0.06
		2017	82	48.72	91.77	0.08	0.11
	300 兆瓦及以上	2013	136	55.57	91.20	0.10	0.25
		2014	172	57.79	92.96	0.09	0.13
		2015	193	56.37	92.35	0.07	0.07
		2016	199	57.48	92.89	0.05	0.07
		2017	210	60.83	93.24	0.03	0.04
抽水蓄能机组	40-99 兆瓦	2013	9	34.56	90.60	0.70	2.11
		2014	9	40.46	92.98	0.11	1.44
		2015	9	36.57	92.54	0.09	1.22
		2016	9	43.61	86.86	0.44	2.99
		2017	9	31.00	66.57	0.74	0.89
	100-199 兆瓦	2013	6	21.83	93.45	0.04	0.67
		2014	6	20.49	89.82	0.21	0.83
		2015	6	19.83	84.97	0.34	1.17
		2016	6	30.43	84.94	0.16	1.50
		2017	6	30.02	86.57	0.10	0.67

机组型式	指标 / 分类	年份	统计台数	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
	200-299 兆瓦	2013	20	14.82	91.74	0.25	0.95
		2014	20	18.59	90.88	0.24	0.90
		2015	20	20.16	90.24	0.36	1.05
		2016	20	40.72	88.85	0.27	1.65
		2017	20	32.66	89.21	0.32	0.80
	300 兆瓦及以上	2013	46	15.70	91.42	0.65	2.96
		2014	50	20.02	90.33	1.19	2.76
		2015	50	23.34	88.96	0.47	2.58
		2016	50	35.98	90.01	0.30	2.15
		2017	62	35.00	90.74	0.23	1.63

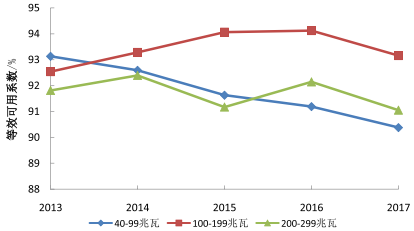


图 2-29　近五年 40 兆瓦及以上水电轴流机组等效可用系数

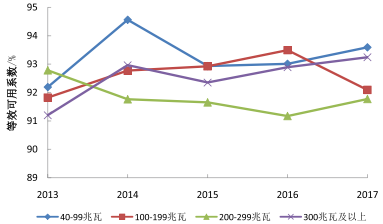


图 2-30　近五年 40 兆瓦及以上水电混流机组等效可用系数

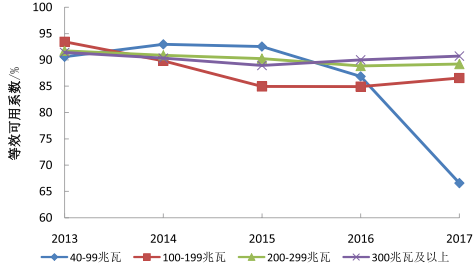


图 2-31　近五年 40 兆瓦及以上抽水蓄能机组等效可用系数

2017 年全国 725 台水电 40 兆瓦级以上混流机组可靠性指标分布情况见下表。

表 2-34　2017 年水电 40 兆瓦级以上混流机组可靠性指标分布

指标	等效可用系数	运行系数	出力系数	等效强迫停运率	非计划停运次数	非计划停运时间
最优值	100	100	99.98	0.00	0.00	0.00
第 5% 值	100	88.3	95.94	0.00	0.00	0.00
第 25% 值	97.85	68.03	86.09	0.00	0.00	0.00
中位值	95.51	54.71	77.45	0.00	0.00	0.00
第 75% 值	90.54	41.11	63.86	0.00	0.00	0.00
最末值	46.05	6.40	20.4	62.52	3.00	3826.07
总平均值	92.99	57.47	76.41	0.15	0.05	7.97

2017 年全国 149 台水电 40 兆瓦级以上轴流机组可靠性指标分布情况见下表。

表 2-35　2017 年水电 40 兆瓦级以上轴流机组可靠性指标分布

指标	等效可用系数	运行系数	出力系数	等效强迫停运率	非计划停运次数	非计划停运时间
最优值	100	99.07	99.44	0.00	0.00	0.00
第 5% 值	100	93.67	97.16	0.00	0.00	0.00
第 25% 值	96.85	73.28	87.38	0.00	0.00	0.00

指标	等效可用系数	运行系数	出力系数	等效强迫停运率	非计划停运次数	非计划停运时间
中位值	94.73	60.64	77.13	0.00	0.00	0.00
第 75% 值	90.7	43.77	68.31	0.00	0.00	0.00
最末值	36.26	12.66	47.64	0.22	400	104.12
总平均值	92.24	61.03	80.15	0.00	0.1	1.89

2017 年全国 97 台抽水蓄能机组可靠性指标分布情况见下表。

表 2-36　2017 年抽水蓄能机组可靠性指标分布

指标	等效可用系数	运行系数	出力系数	等效强迫停运率	非计划停运次数	非计划停运时间
最优值	98.86	88.57	99.6	0.00	0.00	0.00
第 5% 值	95.84	51.77	98.55	0.00	0.00	0.00
第 25% 值	93.94	39.87	96.58	0.00	0.00	0.00
中位值	92.71	36.09	92.01	0.03	1.00	1.52
第 75% 值	87.81	28.82	77.1	0.34	2.00	11.53
最末值	60.73	51.97	3.40	3.82	8.00	135.15
总平均值	89.75	34.28	91.39	0.25	1.33	12.8

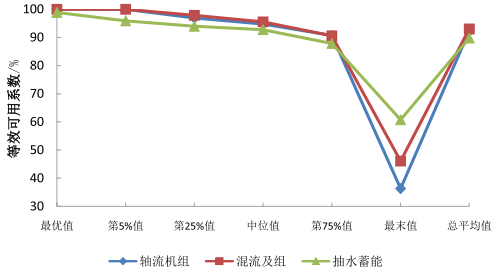


图 2-32　水电机组等效可用系数分布图

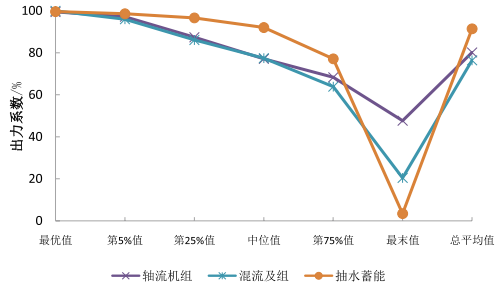


图 2-33　水电机组出力系数分布图

五、新投产 40 兆瓦及以上水电机组投产后第一年运行可靠性指标

2016 年新投产水电机组纳入 2017 年可靠性指标统计的共 26 台，总容量为 8475.72 兆瓦，2017 年等效可用系数为 89.66%。

表 2-37　新投产 40 兆瓦及以上水电机组投产后第一年运行可靠性指标

投产年	统计台数	平均容量（兆瓦）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
2012*	39	353.85	64.30	91.04	0.32	0.94
2013*	61	404.55	58.34	93.91	0.18	0.38
2014*	48	329.44	57.07	91.91	0.29	0.10
2015*	44	192.63	55.28	94.26	0.04	0.16
2016*	26	293.23	48.77	89.66	0.16	0.85

* 对应指标为该年度新投产机组在下一年度的运行可靠性指标。

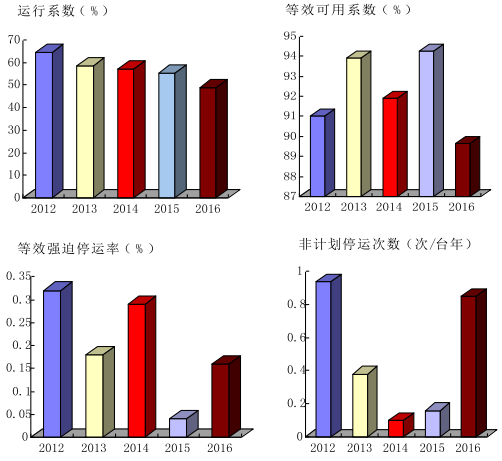


图 2-34　新投产 40 兆瓦及以上水电机组投产后第一年运行可靠性指标

六、水电机组非计划停运

2017 年水电机组（971 台）共发生非计划停运 179 次，非计划停运总时间 12558.99 小时，台年平均分别为 0.19 次和 8.09 小时，其中非停次数较 2016 台年平均值降低了 0.05 次，但非停时间增加了 3.61 小时 / 台年。其中持续时间超过 300 小时的非计划停运 4 次，非计划停运的总时间 9775.09 小时，占全部非计划停运总时间的 77.83%。

强迫停运共发生 138 次，总计 11601.21 小时，占全部非计划停运总时间的 92.37%。强迫停运台年平均值为 0.14 次和 6.91 小时，其中强迫停运次数比 2016 年减少了 0.08 次，但强迫停运小时数增加了 2.82 小时。

水电厂主设备中，水轮机引起的非计划停运台年平均次数和时间分别为 0.02 次和 0.84 小时，累计停运时间占非计划停运总时间的 6.57%；变压器引起的非计划停运台年平均次数和时间分别为 0.00 次和 0.79 小时，累计停运时间占非计划停运

总时间的 6.16%；发电机引起的非计划停运台年平均次数和时间分别为 0.02 次和 0.35 小时，累计停运时间占非计划停运总时间的 2.72%，见表 2-38。

表 2-38　2017 年主设备引发非计划停运的比重

序号	主设备	停运次数（次／台年）	停运时间（小时／台年）	*百分比(%)
1	水轮机	0.02	0.84	6.57
2	变压器	0.00	0.79	6.16
3	发电机	0.02	0.35	2.72

*百分比：占机组非计划停运时间的百分比。

引发非计划停运的责任原因中外部原因为第 1 位，尽管只发生了 3 次，其引起的非计划停运时间达到了 9.44 小时／台年，占非计划停运总时间的 73.47%；其次是产品质量不良，引起的非计划停运次数为 95 次，非计划停运小时为 2.29 小时／台年，累计停运时间占非计划停运总时间的 17.86%；排在第三位的是施工安装不良，引起的非计划停运次数为 17 次，非计划停运小时为 0.38 小时／台年，累计停运时间占非计划停运总时间的 2.94%. 表 2-39 为非计划停运的前三位责任原因。

表 2-39　2017 年非计划停运的前三位责任原因

序号	责任原因	停运总次数（次）	停运时间（小时／台年）	*百分比(%)
1	外部原因	3	9.44	73.47
2	产品质量不良	95	2.29	17.86
3	施工安装不良	17	0.38	2.94

*百分比：占机组非计划停运时间的百分比。

第十三节　700 兆瓦等级水电机组运行可靠性

一、700 兆瓦等级水电机组运行可靠性指标

2017 年参与统计 700 兆瓦等级水电机组仍为 76 台，均为混流机组，与 2016 年相同。2017 年等效可用系数 94.88%，比 2016 年下降了 0.35 个百分点；利用小时台年平均 4415.86 小时，比 2016 年增加了 109.68 小时；备用时间为 3223.35 小时，比 2016 年减少了 181.95 小时；计划停运时间为 447.99，比 2016 年增加了 31.3

小时；非计划停运次数为 0.04 次 / 台年，非计划停运时间为 0.52 小时 / 台年，其中非停次数与 2016 年相同，但非计划停运时间减少了 0.42 小时 / 台年。

700 兆瓦等级常规水电机组 5 年来的主要运行可靠性指标见表 2-40，变化趋势图见图 2-35。

表 2-40　700 兆瓦等级常规水电机组 5 年来的主要运行可靠性指标

指标 / 年份	统计台数（台）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次 / 台年）
2013	53	50.52	92.55	0.01	0.19
2014	68	56.00	94.42	0.00	0.06
2015	76	53.68	94.57	0.01	0.04
2016	76	56.36	95.23	0.02	0.04
2017	76	58.09	94.88	0.01	0.04

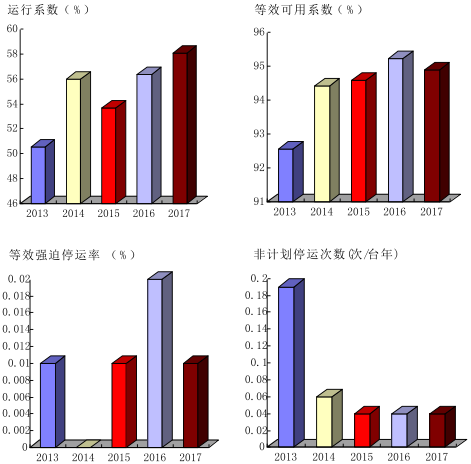


图 2-35　700 兆瓦等级常规水电机组可靠性指标趋势

二、700 兆瓦等级常规水电机组非计划停运

2017 年 700 兆瓦等级水电机组共发生非计划停运 3 次，非计划停运事件的台年平均值为 0.04 次和 0.94 小时，其中三峡水力 07 号机组发生 1 次、小湾 02 号机组发生 1 次，溪洛渡 07 号机组发生 1 次，非计划停运累计时间为 39.37 小时。与 2016 年非停总次数相同，但累计非停时间减少了 26.68 小时。

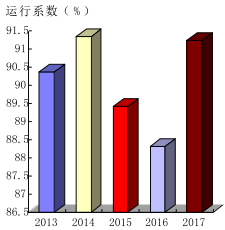
在这 3 次非停中，水轮发电机引发 2 次，水电厂辅助设备引发 1 次；这 3 次非计划停运的责任原因中，1 次为设备老化，持续时间为 25.15 小时；1 次为施工安装不良，持续时间为 8.15 小时；另 1 次为规划设计不周，持续时间为 6.07 小时。

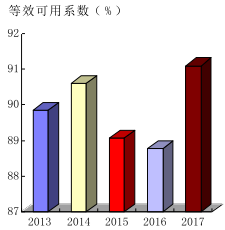
第十四节　核电机组运行可靠性

纳入 2017 年可靠性统计的核电机组有 17 台，总容量 0.15 亿千瓦，占总全国已投产核电机组的 40.84%，核电机组的综合可靠性主要指标见表 2-41。

表 2-41　核电机组近五年运行可靠性指标

年份	统计台数（台）	平均容量（兆瓦／台）	运行系数（%）	等效可用系数（%）	等效强迫停运率（%）	非计划停运次数（次／台年）
2013	15	830.01	90.37	89.86	0.17	0.27
2014	15	830.01	91.35	90.60	0.17	0.40
2015	16	846.2	89.41	89.07	0.79	0.50
2016	17	860.48	88.32	88.77	0.77	0.23
2017	17	860.48	91.24	91.10	0.09	0.24





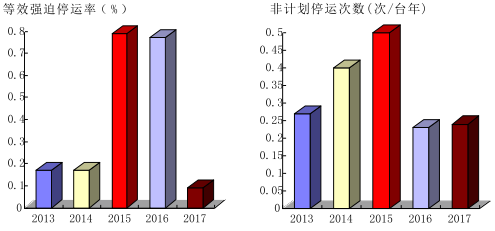


图 2-36　核电机组可靠性指标趋势

2017 年核电机组共发生 4 次非计划停运事件，具体事件为：核电控制和保护系统保护逻辑系统保护误动；核电控制和保护系统保护执行器系统继电器通道故障；核辅助系统主蒸汽系统汽机主汽门漏油；反应堆堆芯和反应堆冷却系统化学容积控制系统隔离阀故障。累计停运时间为 124.12 小时，比 2016 年减少 875.91 小时，等效强迫停运率同比大幅度降低。2017 年等效可用系数同比上升 2.78%，主要因素是计划停运时间和非计划停运时间的降低。

第三章　2017 年 200 兆瓦及以上容量火电机组主要辅助设备运行可靠性

200 兆瓦及以上容量火电机组主要辅助设备指磨煤机、给水泵组、送风机、引风机和高压加热器，近五年运行可靠性指标如下：

表 3-1　近五年火电机组主要辅助设备运行可靠性指标分布

辅助设备分类		统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	计划停运系数（%）	非计划停运系数（%）	非计划停运率（%）
磨煤机	2013	5242	65.01	92.45	7.41	0.13	0.20
	2014	5509	60.61	92.68	7.78	0.02	0.13
	2015	5830	56.11	93.71	6.23	0.05	0.09
	2016	6211	53.73	92.94	7.01	0.05	0.09
	2017	6700	55.15	93.73	6.23	0.05	0.09
给水泵组	2013	3036	53.25	93.23	6.71	0.06	0.12
	2014	3110	51.62	93.29	6.36	0.02	0.09
	2015	3332	48.14	94.29	5.68	0.03	0.06
	2016	3495	46.31	93.99	5.97	0.04	0.08
	2017	3721	46.42	94.29	5.67	0.03	0.07
送风机	2013	2184	79.16	93.14	6.85	0.01	0.01
	2014	2244	75.23	93.22	6.60	0.01	0.01
	2015	2388	70.17	94.10	5.89	0.01	0.01
	2016	2511	66.69	93.50	6.50	0.00	0
	2017	2669	67.72	94.18	5.82	0.00	0.01
引风机	2013	2174	78.86	93.17	6.80	0.03	0.03
	2014	2257	75.12	93.17	6.54	0.01	0.03
	2015	2418	70.20	94.03	5.93	0.03	0.05
	2016	2556	66.73	93.60	6.39	0.02	0
	2017	2734	67.58	94.06	5.92	0.03	0.04
高压加热器	2013	3278	78.95	93.16	6.73	0.11	0.14
	2014	3423	75.17	93.13	6.81	0.17	0.10
	2015	3626	69.97	94.22	5.73	0.05	0.07
	2016	3854	66.37	93.82	6.13	0.05	0.07
	2017	4121	67.44	94.13	5.83	0.04	0.06

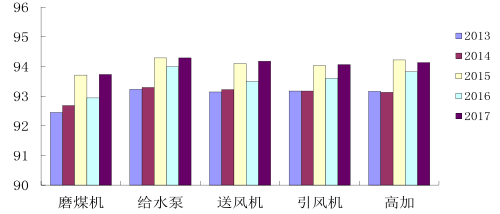


图 3-1　2013—2017 年五种辅助设备可用系数（%）

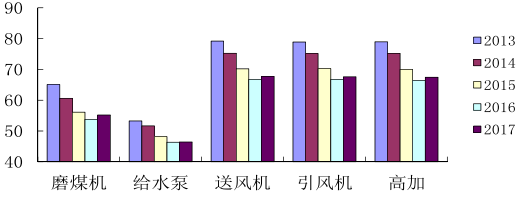


图 3-2　2013—2017 年五种辅助设备运行系数（%）

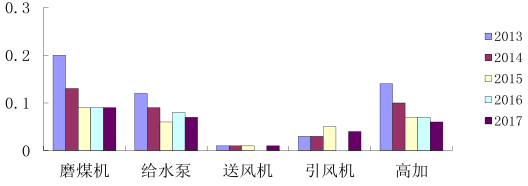


图 3-3　2013—2017 年五种辅助设备非计划停运率（%）

近五年磨煤机、高压加热器发生的非计划停运率呈下降趋势，给水泵前三年呈下降趋势，2016 年有所上升，本年呈下降状态，送、引风机的非计划停运率持续较低。

图 3-1、图 3-2、图 3-3 可知：

• 可用系数：2017 年磨煤机、给水泵、送风机、引风机、高压加热器同比均有所提高，分别为 0.79%、 0.3%、0.68%、0.46%、0.31%。

• 运行系数：2017 年磨煤机、给水泵、送风机、引风机、高压加热器同比均有所提高，分别为 1.42%、0.11%、1.03%、0.85%、1.07%。设备每台年运行小时分别提高 124.39 小时、9.64 小时、90.23 小时、74.46 小时、93.73 小时。

• 非计划停运率：2017 年给水泵、高压加热器同比分别降低 0.01%、0.01%；磨煤机同比持平；送风机、引风机同比分别升高 0.01%、0.04%。

2017 年五种辅助设备可用系数指标分布情况见表 3-2。

表 3-2　2017 年五种辅助设备可用系数指标分布情况　单位：%

设备	磨煤机	给水泵	送风机	引风机	高压加热器
总台数	6700	3721	2669	2734	4124
最优值（占比）	100（34.30%）	100（44.13%）	100（45.18%）	100（44.11%）	100（44.78%）
中间值	96.37	97.66	97.12	97	97.3
最末值	42.09	44.03	52.95	46.03	46.02
平均值	93.73	94.29	94.18	94.06	94.13

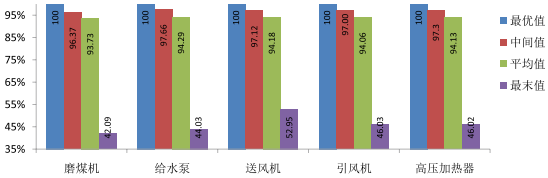


图 3-4　2017 年五种辅助设备可用系数对标值分布图

第一节　磨煤机运行可靠性

一、2017 年磨煤机按主机容量分类运行可靠性指标

表 3-3　2017 年磨煤机按主机容量分类运行可靠性指标分布

主机容量（兆瓦）	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	计划停运系数（%）	非计划停运系数（%）	非计划停运率（%）
200-299	478	47.35	95.33	4.64	0.02	0.05
300-399	3012	53.62	94.04	5.89	0.07	0.12
500-599	56	61.04	90.54	9.46	0.00	0.00
600-699	2571	56.92	93.25	6.72	0.03	0.05
1000-1100	484	61.04	92.74	720	0.06	0.10

二、2017 年磨煤机按转速分类运行可靠性指标

表 3-4　2017 年磨煤机按转速分类运行可靠性指标分布

磨煤机分类	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	计划停运系数（%）	非计划停运系数（%）	非计划停运率（%）
低速磨	1508	50.02	94.30	5.62	0.07	0.15
中速磨	4966	57.09	93.61	6.35	0.04	0.07
高速磨	226	46.98	92.42	7.58	0.00	0.00

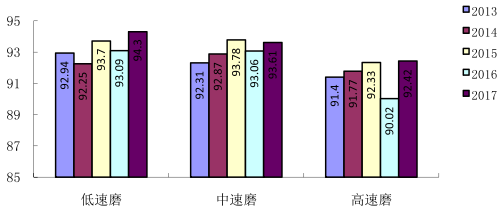


图 3-5　2013-2017 年低、中、高速磨煤机可用系数

可用系数：低、中、高速磨同比分别提高 1.21%、0.55%、2.4%；平均台年可用小时增加了 106.00 小时、48.18 小时、210.24 小时。

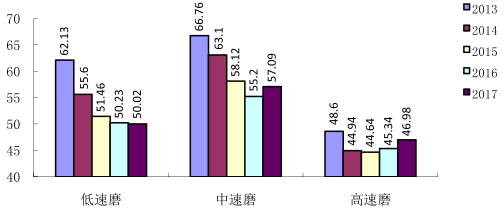


图 3-6　2013-2017 年低、中、高速磨煤机运行系数

运行系数：低速磨同比降低了 0.21%，中、高速磨同比分别提高了 1.89%、1.64%；平均台年运行小时减少了 18.40 小时及分别提高了 165.56 小时和 143.66 小时。

三、2017 年按制造厂分类运行可靠性指标（按 10 台及以上统计台数排序，下同）

（一）低速磨煤机

表 3-5　2017 年低速磨煤机按制造厂分类运行可靠性指标分布

制造厂家	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）	设备因素影响	
					非停小时 *	（%）**
沈阳重型机械厂	715	46.44	94.11	0.17	2.54	73.42
上海重型机器厂	242	55.08	93.13	0.11	0.59	5.71
福斯特·惠勒公司（FW）	112	67.26	94.64	0.11	1.17	5.29
西安电力机械厂	91	49.7	97.27	0.12	1.53	5.62
北京电力设备总厂	60	46.8	94.73	0.01	0	0
焦作矿山机械厂	41	51.87	91.72	0.00	0	0
北京重型机器厂	20	67.57	96.69	0.00	0	0
三井巴布科克能源有限公司（BABCOCK）	20	56.28	94.38	0.00	0	0
洛阳中信重型机械公司	16	33.62	94.08	0.02	0	0
其它厂家	16	33.14	97.51	0.53	15.42	9.96

制造厂家	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）	设备因素影响	
					非停小时 *	（%）**
济南发电设备厂	13	28.4	97.75	0.05	0	0
长春发电设备总厂	12	62.66	100	0.00	0	0
东方锅炉（集团）股份有限公司	12	32.55	100	0.00	0	0
沈阳重型机械集团	12	47.77	99.87	0.01	0	0
济南锅炉厂	10	55.55	100	0.00	0	0

*　此项为由于设备因素造成的非计划停运小时，单位：小时 / 台年；（本章下同）
**　此项为设备因素造成的非计划停运小时占同类磨煤机全部非计划停运时间的百分比。（本章下同）

（二）中速磨煤机

表 3-6　2017 年中速磨煤机按制造厂分类机运行可靠性指标分布

制造厂家	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）	设备因素影响	
					非停小时 *	（%）**
上海重型机器厂	1871	58.04	93.35	0.06	0.67	37.19
北京电力设备总厂	1755	57.46	94.28	0.05	0.84	44.03
长春发电设备总厂	519	58.57	92.87	0.07	0	0
沈阳重型机械厂	266	54.2	92.74	0.10	0.46	3.63
巴布科克（BABCOCK）公司	65	59.6	92.42	0.08	0	0
三菱（MHISUBISHI）公司	42	45.06	89.91	0.08	0	0
石川岛播磨株式会社（IHI）	39	53.67	94.31	0.78	0	0
北京重型机器厂	28	56.8	93.51	0.02	0	0
上海电力机械厂	24	62.47	87.78	0.33	10.25	7.36
福斯特·惠勒公司（FW）	20	61.17	83.69	0.68	0	0
湘潭电机股份有限公司	19	47.39	97.79	0.09	0	0
ABB 瑞士公司	18	53.81	98.39	0.32	4.71	2.54
燃烧工程公司（CE）	18	58.75	91.5	0.09	2.56	1.38
美国	16	44.23	96.45	0.00	0	0
上海电机厂	13	37.07	95.04	0.00	0	0

制造厂家	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）	设备因素影响	
					非停小时 *	（%）**
哈尔滨重型机器厂	12	37.6	91.83	0.00	0	0
列宁格勒金属工厂（JIM3）	12	54.21	89.84	0.40	0	1.36
上海锅炉厂有限公司	12	52.97	95.33	0.00	0	0
塔干罗格锅炉厂（TK3）	12	53.51	98.68	0.00	0	0
太原重型机器厂	12	76.69	92.6	0.00	0	0
阿尔斯通公司	11	53.49	82.79	0.01	0	0
沈阳重型机械集团	11	51.39	93.84	0.00	0	0
北方重工集团有限公司电站设备分公司	10	36.5	99.78	0.30	0	0
北方重工有限公司	10	55.22	100	0.00	0	0
德国	10	49.94	93.32	0.00	0	0
上海电力修造总厂有限公司	10	65	94.52	0.00	0	0
沈阳重型机械厂（北方重工集团有限公司）	10	69.05	100	0.00	0	0

（三）高速磨煤机

表 3-7　2017 年高速磨煤机按制造厂分类运行可靠性指标分布

制造厂家	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）	设备因素影响	
					非停小时 *	（%）**
长春发电设备总厂	96	46.86	93.55	0.00	0	0
沈阳重型机械厂	78	45.88	90.76	0.00	0	0
新西伯利亚动力机械厂（HTI）	16	54.85	86.92	0.00	0	0
北方工程（NEI）公司	12	59.7	97.21	0.00	0	0

四、2017 年磨煤机非计划停运

（一）非计划停运原因分析

表 3-8　2017 年磨煤机非计划停运原因分析

技术原因	非计划停运次数		非计划停运小时			非计划停运次数百分数（%）***	非计划停运小时百分数（%）***
	累计	平均每台年	累计	平均每台年	平均每次		
漏粉	224	0.03	2939.43	0.43	13.12	8.75	10.48
堵塞	1050	0.15	2249.01	0.33	2.14	41.00	8.02
磨损（机械磨损）	133	0.02	1783.67	0.26	13.41	5.19	6.36
振动大	75	0.01	1604.30	0.23	21.39	2.93	5.72
损坏	30	0.00	1597.46	0.23	53.25	1.17	5.70

*** 指此原因引起的非计划停运次数（小时数）占全部非计划停运次数（小时数）的百分数。（本章下同）

本年磨煤机非计划停运的主要技术原因排在前五位的分别是：漏粉、堵塞、磨损（机械磨损）、振动大和损坏（设备零件破损）。造成设备故障的主要设备部件前五位（频繁出故障的设备零件）是双进双出低速钢球磨、磨煤机电动机冷却器、双进双出低速钢球磨本体螺旋筒、辊一环式（MPS）中速磨本体；辊一碗式（HP）中速磨本体出口管。前五位主要责任原因是设备老化、燃料影响、产品质量不良、检修质量不良及管理不当。

2013—2017 年由于堵塞、漏粉、振动大和断裂等原因造成磨煤机非计划停运小时占总非计划停运小时的百分数见下图。

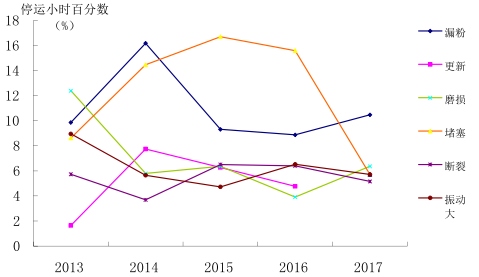


图 3-7　2013-2017 年磨煤机主要非停技术原因停运小时百分数

从上图看：在近五年磨煤机经常发生的故障中，由于漏粉、磨损造成的设备停

运小时同比有所增加，由于堵塞、断裂、振动大造成的设备停运小时同比都有不同程度的降低。

（二）低、中、高速磨煤机非计划停运的主要原因

表 3-9　低、中、高速磨煤机非计划停运主要原因

磨煤机分类	主要原因	停运次数百分数（%）	停运小时百分数（%）
低速磨煤机	堵塞	68.93	11.68
中速磨煤机	漏粉	11.55	11.52

注：因本年高速磨未发生非停事件，故表内未列入。

（三）单台全年非计划停运时间最长三台设备

表 3-10　前三名单台全年非计划停运时间最长设备

辅助设备	投运时间	累计非计划停运小时	非计划停运主要原因	制造厂家	责任原因
来宾 03 号机组 03 号磨煤机	2006.12	759.33	筒体衬板脱落	沈阳重型机械厂	产品质量不良
韶关 10 号机组 01 号磨煤机	2001.03	744	出粉管着火变形	福斯特·惠勒公司	燃料影响
珙县 02 号机组 02 号磨煤机	2011.08	659	螺旋推进器螺旋线断裂	上海重型机器厂	设备老化

第二节　给水泵组运行可靠性

一、2017 年给水泵组按主机容量分类运行可靠性指标

表 3-11　2017 年给水泵组按主机容量分类运行可靠性指标分布

主机容量（兆瓦）	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	计划停运系数（%）	非计划停运系数（%）	非计划停运率（%）
200-299	349	48.94	96.92	3.08	0.00	0.01
300-399	1954	44.82	94.45	5.50	0.05	0.11
500-599	22	43.42	91.26	8.74	0.00	0.00
600-699	1147	51.29	93.37	6.61	0.02	0.03
1000-1100	195	63.71	93.42	6.58	0.00	0.00

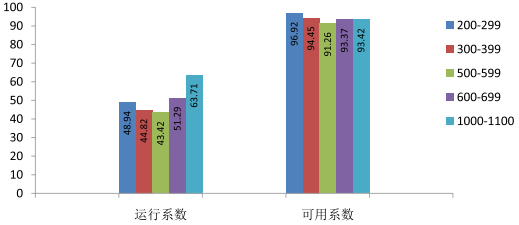


图 3-8　2017 年给水泵按机组容量分类运行系数、可用系数（%）

二、2017 年给水泵组按制造厂分类运行可靠性指标

表 3-12　2017 年给水泵组按制造厂分类运行可靠性指标分布

制造厂家	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）	设备因素影响	
					非停小时 *	（%）**
上海电力修造总厂有限公司	1544	46.97	94.47	0.08	0.9	39.7
沈阳水泵厂	731	43.18	93.98	0.10	0.93	18.94
上海水泵厂	159	40.58	93.25	0.01	0.06	0.28
KSB	154	44.97	93.97	0.01	0.19	0.82
北京电力设备总厂	98	42.73	95.68	0.02	0.68	1.88
郑州电力机械厂	67	49.69	95.66	0.02	0	0
苏尔寿公司（SULZER）	64	55.99	96.17	0.12	0	0
威尔泵有限公司	57	38.25	93.55	0.00	0.12	0.19
日本	52	60.79	96.17	0.18	0	0
东方汽轮机厂	48	57.77	89.45	0.00	0	0
华北电力设备成套公司	43	52.04	92.71	0.08	3.63	4.38
上海电机厂	38	20.86	91.9	0.01	0	0
杭州发电设备集团公司	35	49.89	93.61	0.06	0	0
上海汽轮机有限公司（STC）	35	61.74	95.02	0.15	0	0
三菱（MHISUBISHI）公司	34	41.59	88.98	0.04	1.53	1.46
上海凯士比泵有限公司	31	55.96	97.74	0.00	0	0

制造厂家	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）	设备因素影响	
					非停小时 *	（%）**
英格索兰水泵厂	30	44.99	94.55	0.72	28.51	23.96
上海电建修造厂	29	43.8	95.66	0.25	0	0
沈阳风机厂	27	66.27	95.58	0.02	1.24	0.93
英国	24	40.79	87.93	0.00	0	0
上海电气集团公司	23	57.33	94.17	0.00	0	0
日立（HITACHI）公司	22	62.52	91.3	0.00	0	0
湘潭电机股份有限公司	22	43.97	97.73	0.00	0	0
哈尔滨汽轮机厂有限责任公司（HTC）	20	63.74	98.17	0.00	0	0
上海第一水泵厂	17	49.14	97	0.00	0	0
上海凯士比泵公司	16	63.64	92.45	0.00	0	0
苏尔寿（SULZEER）公司	16	55.66	94.11	0.00	0	0
沈阳电机股份有限公司	14	43.03	94.88	0.00	0	0
EBARA 公司	12	53.97	91.87	0.00	0	0
阿尔斯通公司	12	3.01	90.18	0.00	0	0
荏原博泵泵业有限公司	12	45.46	95.94	0.00	0	0
前苏联	10	35.8	94.38	0.00	0	0

三、2017 年给水泵非计划停运

（一）非计划停运原因

表 3-13　2017 年给水泵非计划停运原因

技术原因	非计划停运次数		非计划停运小时			非停次数百分数（%）***	非停小时百分数（%）***
	累计	平　均每台年	累计	平　均每台年	平均每次		
漏水	38	0.01	2066.42	0.54	54.38	12.06	19.63
断裂	14	0.00	1799.53	0.47	128.54	4.44	17.09
磨损（机械磨损）	21	0.01	1115.88	0.29	53.14	6.67	10.60
振动大	16	0.00	1066.67	0.28	66.67	5.08	10.13
脱落	5	0.00	952.72	0.25	190.54	1.59	9.05

本年给水泵非计划停运的主要技术原因排在前五位的分别是：漏水、断裂、磨损（机械磨损）、振动大、脱落。统计数据显示，造成设备故障的主要设备部件前五位（频繁出故障的设备零件）是给水泵本体尾盖故障、给水泵本体叶轮损坏、给水泵电动机转子风扇、给水泵液力耦合器泵轮及给水泵本体等故障；前五位主要责任原因是设备老化、产品质量不良、检修不良、运行不当、管理不当等。

2013—2017 年由于漏油、漏水、振动大、卡涩、磨损（机械磨损）、更新等原因造成给水泵非计划停运小时占总非计划停运小时的百分数见图 3-10。

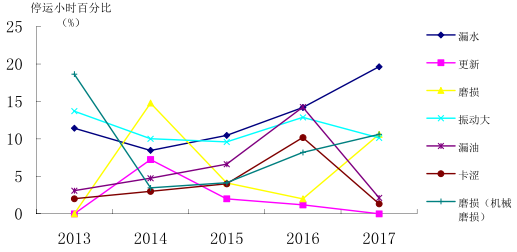


图 3-9　2013-2017 年给水泵非停主要技术原因停运小时百分比

上图可知，因漏水、磨损等造成设备故障同比有不同程度的增加，因设备振动大、漏油、卡涩等造成设备故障同比有不同程度的减少。

（二）单台全年非计划停运时间最长三台设备

表 3-14　前三名单台全年非计划停运时间最长设备

辅助设备	投运时间	累计非计划停运小时	非计划停运主要原因	制造厂家	责任原因
天电奇台 01 号机组 02 号给水泵组	2015.09	1464	给水泵芯包返厂修	上海电力修造总厂有限公司	产品质量不良
华能大连 03 号机 01 给水泵	1998.12	758.83	汽泵叶轮磨损	英格索兰水泵厂	产品质量不良
青铜峡铝业 #1 号机组 0A 号给水泵	2010.11	690.9	保护跳闸	沈阳水泵厂	设备老化

第三节　送风机运行可靠性

一、2017 年送风机按主机容量分类运行可靠性指标

表 3-15　2017 年送风机按主机容量分类运行可靠性指标分布

主机容量（兆瓦）	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	计划停运系数（%）	非计划停运系数（%）	非计划停运率(%)
200—299	280	58.73	96.39	3.61	0.00	0.01
300—399	1330	66.99	94.23	5.77	0.00	0.01
500—599	16	76.09	92.50	7.50	0.00	0.00
600—699	848	69.68	93.53	6.47	0.01	0.01
1000-1100	163	75.78	93.05	6.95	0.00	0.00

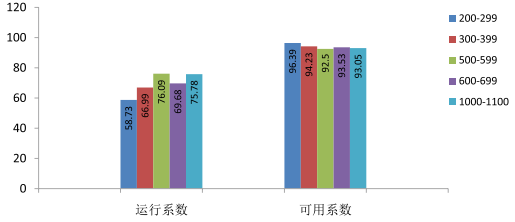


图 3-10　2017 年 200 兆瓦及以上火电机组按主机容量分类送风机运行系数、可用系数（%）

二、2017 年送风机按制造厂分类运行可靠性指标

表 3-16　2017 年送风机按制造厂分类运行可靠性指标分布

制造厂家	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）	设备因素影响	
					非停小时 *	（%） **
上海鼓风机厂有限公司	1170	69.3	93.92	0.01	0.23	64.18
成都电力机械厂	462	68.18	94.45	0.00	0.11	12.52
沈阳风机厂	452	65.32	94.97	0.00	0.10	10.86

制造厂家	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）	设备因素影响	
					非停小时 *	（%） **
成都风机厂	48	71.29	94.11	0.00	0	0
武汉鼓风机厂	40	61.17	98.29	0.00	0	0
英国	40	71.72	93.05	0.00	0	0
丹麦	34	77.35	92.6	0.00	0	0
豪顿华工程有限公司	30	67.41	92.81	0.00	0	0
美国	20	66.98	94.23	0.00	0	0
三菱（MHISUBISHI）公司	20	60.53	86.67	0.01	0	0
山东电力设备厂	20	66.66	92.67	0.00	0	0
德国	14	59.45	94.88	0.00	0	0
上海锅炉厂有限公司	14	55.71	94.74	0.01	0.61	2.01
泰勒公司（TIT）	13	72.83	89.58	0.02	1.56	4.81
ABB 德国公司	12	74.2	86.36	0.00	0	0
沈阳电机股份有限公司	12	49.06	98.46	0.00	0	0
华北电力设备成套公司	11	53.24	96.39	0.00	0	0
湘潭电机股份有限公司	10	81.31	95.82	0.00	0	0

三、2017 年送风机非计划停运

（一）非计划停运原因

表 3-17　2017 年送风机非计划停运

技术原因	非计划停运次数		非计划停运小时			非停次数百分数（%）***	非停小时百分数（%）***
	累计	平　均每台年	累计	平　均每台年	平均每次		
断裂	4	0.00	155.67	0.06	38.92	5.26	15.63
松动	3	0.00	154.07	0.06	51.36	3.95	15.47
磨损（机械磨损）	2	0.00	96.43	0.04	48.22	2.63	9.68
保护停用	7	0.00	95.88	0.04	13.70	9.21	9.63
漏水	2	0.00	74.95	0.03	37.48	2.63	7.52

本年送风机非计划停运的主要技术原因排在前五位的分别是：断裂、松动、磨损（机械磨损）、保护停用和漏水；统计数据显示，造成设备故障的主要设备部件前五位（频繁出故障的设备零件）是动叶可调轴流送风机本体轴承、动叶调节轴流故障、离心送风机本体入口风箱、动叶可调轴流冷却水系统、送风机电动机保护装置等；前五位主要责任原因是设备老化、产品质量、规划、设计不周，检修质量不良、管理不当等。

2013—2017 年由于振动大、温度高、断裂等原因造成送风机非计划停运小时占总非计划停运小时的百分数见下图。

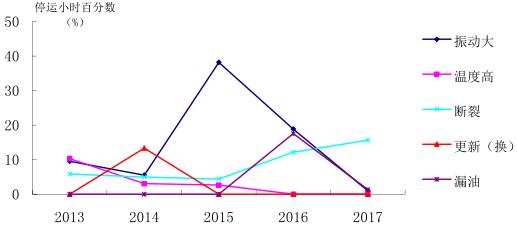


图 3-11　2017 年送风机主要非停技术原因停运小时百分数

从近五年跟踪的频发故障情况看，因温度高造成设备停运本期明显减少，无法用数字体现及绘出折线图；因振动大造成非停事件近两年明显少于同期；断裂故障造成非停本期略高于同期。

（二）单台全年非计划停运时间最长三台设备

表 3-18　前三名单台全年非计划停运时间最长设备

辅助设备	投运时间	累计非计划停运小时	非计划停运主要原因	制造厂家	责任原因
六盘山 01 号机 22 号送风机	2010.11	75.30	内部检查	上海鼓风机厂有限公司	设备老化
滇东二 02 号机 01 号送风机	2010.02	72.6	主给水阀门阀体断裂	上海鼓风机厂有限公司	产品质量不良
嵩屿 04 号机组 01 送风机	2006.07	48.20	管子焊口沙眼泄漏	上海鼓风机厂有限公司	设备老化

第四节　引风机运行可靠性

一、2017 年引风机按主机容量分类运行可靠性指标

表 3-19　2017 年引风机按主机容量分类运行可靠性指标分布

主机容量（兆瓦）	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	计划停运系数（%）	非计划停运系数（%）	非计划停运率（%）
200-299	287	60.06	96.37	3.63	0.01	0.01
300-399	1381	66.69	94.14	5.84	0.02	0.03
500-599	16	76.23	92.50	7.50	0.00	0.00
600-699	849	69.23	93.28	6.67	0.05	0.07
1000-1100	169	76.03	92.94	7.06	0.00	0.00

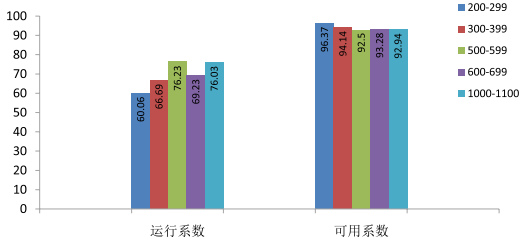


图 3-12　2017 年 200 兆瓦及以上火电机组按主机容量分类引风机运行系数、可用系数

二、2017 年引风机按制造厂分类运行可靠性指标

表 3-20　2017 年引风机按制造厂分类运行可靠性指标分布

制造厂家	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）	设备因素影响	
					非停小时 *	（%）**
成都电力机械厂	1406	67.6	94.4	0.04	0.85	35.41
上海鼓风机厂有限公司	539	68.31	94.08	0.07	3.83	61.09
沈阳风机厂	187	66.97	94.93	0.02	0.31	1.71
成都风机厂	145	69.86	92.56	0.01	0.08	0.34
山东电力设备厂	28	72.97	94.56	0.00	0	0
三菱（MHISUBISHI）公司	27	49.49	87.61	0.07	0.10	0.08
成都凯凯电站风机有限公司	26	79.38	94.79	0.00	0	0
泰勒公司（TIT）	26	68.37	91.38	0.00	0	0
武汉鼓风机厂	24	72.82	96.45	0.00	0	0
丹麦	21	84.4	92.29	0.00	0	0
英国	20	68.69	93.49	0.00	0	0
成都电力修造厂	15	51.83	96.16	0.00	0	0
上海锅炉厂有限公司	13	60.83	92.86	0.04	0.65	0.25
美国	12	76.95	96.68	0.00	0	0
德国	10	64.13	95.39	0.00	0	0
华北电力设备成套公司	10	58.96	94.06	0.00	0	0

三、2017 年引风机非计划停运

（一）引风机非计划停运原因

表 3-21　2017 年引风机非计划停运原因

技术原因	非计划停运次数		非计划停运小时			非停次数百分数（%）***	非停小时百分数（%）***
	累计	平均每台年	累计	平均每台年	平均每次		
松动	7	0.00	1145.82	0.41	163.69	5.26	18.60
失灵	5	0.00	861.53	0.31	172.31	3.76	13.98
卡涩	11	0.00	809.00	0.29	73.55	8.27	13.13
断裂	8	0.00	659.52	0.23	82.44	6.02	10.71
裂纹（开裂）	5	0.00	355.67	0.13	71.13	3.76	5.77

本年引风机非计划停运的主要技术原因排在前五位的分别是：松动、失灵、卡涩、断裂、裂纹（开裂）。统计数据显示，造成设备故障的主要设备部件前五位（频繁出故障的设备零件）是离心引风机本体轴承、动叶调节轴流引风机本体动叶片、静叶调节轴流引风机本体故障、静叶调节轴流引风机本体调节机构、动叶调节轴流引风机本体轴承座等故障；前五位主要责任原因是产品质量不良、运行不当、设备老化、规划、设计不周，检修质量不良等。

2013—2017 年由断裂、温度高、磨损（机械磨损）、烧损等原因造成引风机非计划停运小时占总非计划停运小时的百分数见下图。

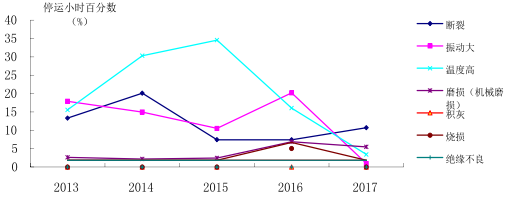


图 3-13　2013—2017 年引风机主要非停技术原因停运小时百分数

从近几年追踪的情况看，因设备振动大、温度高、烧损等原因造成设备故障同比有不同程度的降低，因设备断裂造成设备故障同比有不同程度的增加。

（二）单台全年非计划停运时间最长三台设备

表 3-22　前三名单台全年非计划停运时间最长设备

辅助设备	投运时间	累计非计划停运小时	非计划停运主要原因	制造厂家	责任原因
日照 03 号机组 03 号引风机	2008.12	981.25	轴承松动	上海鼓风机厂有限公司	检修质量不良
清河 09 号机组 0A 号引风机	1997.08	744	保护动作	成都电力机械厂	运行不当
韶关 10 号机组 02 号引风机	2010.03	543.23	动叶故障	上海鼓风机厂有限公司	产品质量不良

第五节　高压加热器运行可靠性

一、2017 年高压加热器按主机容量分类运行可靠性指标

表 3-23　2017 年高压加热器按主机容量分类运行可靠性指标分布

主机容量（兆瓦）	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	计划停运系数（%）	非计划停运系数（%）	非计划停运率（%）
200-299	375	56.57	96.21	3.50	0.29	0.51
300-399	2054	66.49	94.39	5.59	0.02	0.04
500-599	22	76.21	92.85	7.11	0.03	0.05
600-699	1248	69.35	93.38	6.61	0.01	0.01
1000-1100	371	74.78	92.66	7.33	0.02	0.02

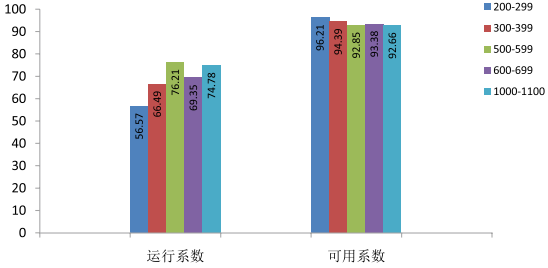


图 3-14　2017 年 200 兆瓦及以上火电机组按主机容量分类高压加热器运行系数、可用系数

二、2017 年高压加热器按制造厂分类运行可靠性指标

表 3-24　2017 年高压加热器按制造厂分类运行可靠性指标分布

制造厂家	统计台数（台）	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）	设备因素影响	
					非停小时 *	（%）**
上海动力设备有限公司（SPEC）	1148	67.22	94.12	0.02	0.56	11.75
哈尔滨锅炉厂有限责任公司	662	65.22	93.84	0.03	0.54	6.42
东方锅炉（集团）股份有限公司	633	60.99	93.72	0.28	3.57	40.85
上海电气集团公司	407	75.27	94.64	0.05	2.73	20.14
杭州富春锅炉容器有限公司（杭州锅炉厂）	325	70.7	93.68	0.04	0.51	2.99
青岛锅炉辅机厂	88	70.94	94.96	0.00	0	0
哈尔滨汽轮机厂有限责任公司（HTC）	70	65.35	94.45	0.00	0	0
上海电力修造总厂有限公司	45	71.7	95.37	0.16	2.45	1.99
东方汽轮机厂	41	69.27	95.78	0.00	0	0
福斯特·惠勒公司（FW）	38	71.78	94.25	0.00	0	0
四川锅炉厂	36	68.54	97.32	0.00	0	0
华北电力设备成套公司	34	73.03	92.54	0.26	16.59	10.18
上海汽轮机有限公司（STC）	33	70.95	90.72	0.00	0	0
德国	30	83.12	92.56	0.00	0	0
东方电气集团公司	23	79.39	96.63	0.00	0	0
列宁格勒金属工厂（JIM3）	22	81.18	98.51	0.00	0	0
阿尔斯通公司	21	43.06	93.27	0.00	0	0
三菱（MHISUBISHI）公司	20	52.33	88	0.00	0	0
上海发电设备成套设计研究所	18	68.33	90.72	0.01	0.58	0.23
杭州压力容器制造厂	17	68.67	97.9	0.00	0	0
上海电力机械厂	15	66.72	92.55	0.00	0	0
大连日立机械设备有限公司	14	81.62	99.61	0.00	0	0
青岛汽轮机厂	14	73.58	90.8	0.00	0	0
杭州发电设备集团公司	12	60.54	94.99	0.00	0	0
杭州锅炉集团有限公司	12	78.25	95.28	0.00	0	0
济南市压力容器厂	12	53.38	93.74	0.17	8.08	1.75
美国	12	82.97	98.35	0.00	0	0
日立（HITACHI）公司	12	65.07	95.15	0.00	0	0
济南变压器厂	10	68.78	99.34	0.00	0	0

三、2017 年高压加热器非计划停运

（一）非计划停运原因

表 3-25　2017 年高压加热器非计划停运原因

技术原因	非计划停运次数		非计划停运小时			非停次数百分数（%）***	非停小时百分数（%）***
	累计	平均每台年	累计	平均每台年	平均每次		
漏水	33	0.01	3406.55	0.80	103.23	15.94	22.39
腐蚀	27	0.01	3076.00	0.72	113.93	13.04	20.22
磨损爆（泄）漏	20	0.01	2018.80	0.47	100.94	9.66	13.27
漏汽	18	0.00	1632.00	0.38	90.67	8.70	10.73
开焊	8	0.00	884.98	0.21	110.62	3.87	5.82

本年高压加热器非计划停运的主要技术原因排在前五位的分别是：漏水、腐蚀、磨损爆（泄）漏、漏汽、开焊。统计数据显示，造成设备故障的主要设备部件前五位（频繁出故障的设备零件）是高压加热器 U 型管、高压加热器管板、疏水管道、高压加热器筒体、高压加热器汽侧安全门阀体等故障；前五位主要责任原因是设备老化、产品质量不良、管理不当、检修质量不良、施工安装不良等。

2013—2017 年由于漏水、漏汽、冲蚀、磨损爆（泄）漏、裂纹（开裂）原因造成高压加热器非计划停运小时占总非计划停运小时的百分数见下图。

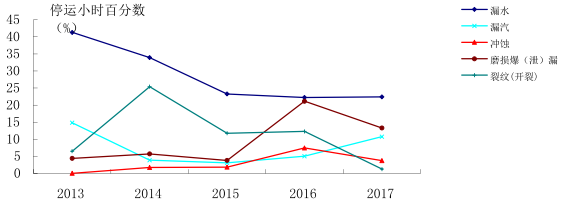


图 3-15　2013—2017 年高加主要非停技术原因停运小时百分数

从图 3-15 可以看出，因磨损爆（泄）漏、裂纹、冲蚀、漏水等原因造成设备故障同比有不同程度的降低，因漏汽造成设备故障同比有所增加。

（二）单台全年非计划停运时间最长三台设备

表 3-26　前三名单台全年非计划停运时间最长设备

辅助设备	投运时间	累计非计划停运小时	非计划停运主要原因	制造厂家	责任原因
丰镇发电厂 05 号机组 03 号高压加热器	1995.02	744	高加组泄漏	东方锅炉（集团）股份涌现公司	设备老化
马头电厂 08 号机 01 号高压加热器	1994.12	458.45	蒸冷泄露	东方锅炉（集团）股份涌现公司	设备老化
天津军电热 09 号机 01 号高压加热器	2010.07	360.25	高加内部管子泄漏	上海电气集团公司	产品质量不良

第六节　国产、进口辅助设备可靠性对比分析

一、200 兆瓦及以上容量辅助设备

2017 年 200 兆瓦及以上容量参加统计的五种辅助设备中，国产化率分别为 90.84%、84.33%、88.80%、92.21%、92.62%。2016 年分别为 90.40%、83.61%、88.53%、92.06%、92.11%。五种辅助设备国产化率同比均有提高。

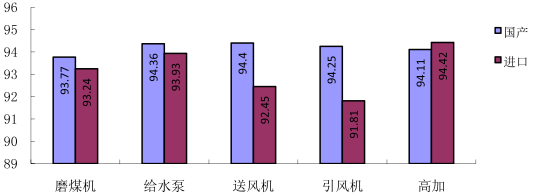


图 3-16　2017 年 200 兆瓦及以上容量火电机组五种辅助设备国产、进口可用系数比较（%）

图 3-16 可知，国产设备五种辅机的可用系数分别为 93.77%、94.36%、94.40%、94.25%、94.11%，比进口设备的可用系数磨煤机、给水泵、送风机、引风机分别高 0.53%、0.43%、1.95%、2.44%，高压加热器低 0.31%。

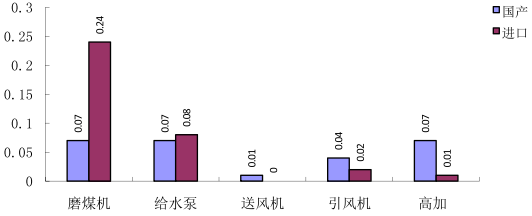


图 3-17　2017 年 200 兆瓦及以上容量火电机组五种辅助设备国产、进口非计划停运率比较（%）

图 3-17 可知：国产设备五种辅机的非计划停运率分别为 0.07%、0.07%、0.01%、0.04%、0.07%；比进口设备的非计划停运率磨煤机、给水泵分别降低了 0.17%、0.01%，送风机、引风机、高压加热器分别升高了 0.01%、0.02%、0.06%。

二、300 兆瓦等级容量辅助设备

2017 年 300 兆瓦容量等级的五种辅助设备按国产、进口分类主要可靠性指标见下表：

表 3-27　2017 年 300 兆瓦等级容量五种辅助设备按国产、进口分类主要可靠性指标分布

指标	磨煤机		给水泵		送风机		引风机		高加	
	国产	进口	国产	进口	国产	进口	国产	进口	国产	进口
台数	2694	302	1698	256	1187	143	1260	121	1852	202
运行系数（%）	53.71	52.48	46.02	36.92	67.36	63.90	67.08	62.69	66.67	64.80
可用系数（%）	94.04	94.08	94.51	94.04	94.38	92.91	94.37	91.77	94.46	93.73
非计划停运率（%）	0.09	0.42	0.10	0.20	0.01	0.01	0.03	0.04	0.04	0.01
计划停运系数（%）	5.92	5.70	5.44	5.89	5.61	7.08	5.61	8.21	5.52	6.27

2017 年 300 兆瓦级容量火电机组参与统计评价的五种辅助设备，国产化率分别为：89.44%、86.90%、89.25%、91.24%、90.17%；同期为 88.36%、86.15%、88.60%、91.35%、89.27%；同比磨煤机、给水泵、送风机、高压加热器国产率高于进口设备；引风机略低。

运行系数：五种辅机国产设备高于进口设备。

非计划停运率：磨煤机、给水泵、引风机国产辅助设备低于进口设备，高压加热器国产辅助设备高于进口设备。送风机国产辅助设备持平于进口设备。

三、600 兆瓦容量等级辅助设备

2017 年 600 兆瓦容量等级五种辅助设备按国产、进口分类的主要可靠性指标见下表：

表 3-28　2017 年 600 兆瓦容量等级五种辅助设备按国产、进口分类主要可靠性指标分布

指标	磨煤机		给水泵		送风机		引风机		高压加热器	
	国产	进口	国产	进口	国产	进口	国产	进口	国产	进口
台数	2405	166	999	148	738	110	793	56	1197	51
运行系数（%）	56.69	60.32	50.67	55.44	69.30	72.22	68.85	74.63	69.1	75.24
可用系数（%）	93.30	92.50	93.48	92.66	93.94	90.73	93.52	89.90	93.37	93.66
非计划停运率（%）	0.05	0.05	0.04	0.01	0.01	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00
计划停运系数（%）	6.67	7.47	6.5	7.33	6.05	9.27	6.43	10.10	6.62	6.34

国产化率分别为 93.54%、87.10%、87.03%、93.40%、95.91%；同期为 93.09%、85.74%、87.70%、93.00%、95.65%；本期只有送风机略低于同期，其余设备均高于同期。

运行系数：国产设备均低于进口设备。

可用系数：国产设备磨煤机、给水泵、送风机、引风机高于进口设备，高压加热器低于进口设备。

非计划停运率：磨煤机、国产设备器与进口设备持平；给水泵、送风机、引风机、高压加热器国产设备均高于进口设备。

第七节　电除尘、脱硫系统运行可靠性

2017 年参与统计电除尘设备、脱硫系统分别为 1603 套、1124 套，同比分别增加 6 台、37 台。运行系数同比电除尘器降低 2.53%，台年平均运行小时减少 221.63 小时；脱硫设备降低 1.74%；台年平均运行小时减少 152.42 小时。可用系数同比电除尘器提高 0.76%，台年平均可用小时增加 66.58 小时；脱硫设备降低 0.02%；台年平均可用小时减少 1.75 小时。

具体指标见下表。

表 3-29　2013-2017 年 200 兆瓦及以上火电机组电除尘设备主要可靠性指标分布

年份	台数	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）
2013	1362	78.17	92.18	0.16
2014	1482	79.42	92.57	0.11
2015	1586	68.73	93.2	0.14
2016	1597	68.11	93.13	0.05
2017	1603	65.58	93.89	0.01

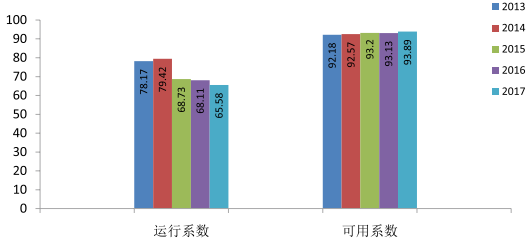


图 3-18　2013-2017 年 200 兆瓦及以上火电机组电除尘运行系数、可用系数（%）

表 3-30　2013-2017 年 200 兆瓦及以上火电机组脱硫设备主要可靠性指标

年份	台数	运行系数（%）	可用系数（%）	非计划停运率（%）
2013	921	78.43	92.59	0.1
2014	1003	79.53	92.75	0.01
2015	1081	69.69	93.96	0.01
2016	1087	68.23	93.31	0.01
2017	1124	66.49	93.29	0.03

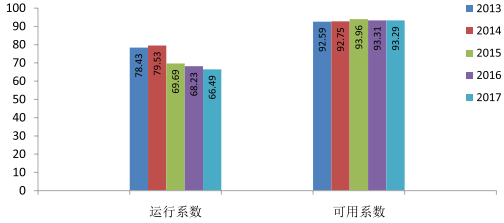


图 3-19　2013-2017 年 200 兆瓦及以上火电机组脱硫设备运行系数、可用系数（%）

第四章　2017 年全国电网 220 千伏及以上电压等级变压器、断路器、架空线路等十三类输变电设施运行可靠性

十三类输变电设施包括：架空线路、变压器、断路器、电抗器、电流互感器、电压互感器、隔离开关、避雷器、耦合电容器、阻波器、组合电器、电缆线路、母线。

第一节　2017 年全国电网十三类输变电设施统计数量

2017 年，全国有 37 个省级电网企业及所辖 384 个地市级供电公司（含所属发电厂、检修公司、超高压公司）报送了 220kV 及以上电压等级架空线路、变压器、电抗器等十三类输变电设施的可靠性统计数据。2017 年全国电网纳入可靠性统计的十三类输变电设施数量见下表。

表 4-1　2017 年全国电网十三类输变电设施统计数量情况

类别	220kV	330kV	400kV	500kV	660kV	750kV	800kV	1000kV	综合
架空线路	4483.51	284.906	20.630	2052.07	26.667	183.578	340.694	95.617	7487.67
变压器	10303	387	0	4257	0	245	0	158	15350
电抗器	176	131	0	1900	0	400	0	173	2780
断路器	34048	1675	0	6045	0	306	0	8	42082
电流互感器	102239	2956	0	14652	0	3	0	1	119851
电压互感器	52787	4341	0	16699	0	931	0	418	75176
隔离开关	130304	3835	0	15265	0	827	0	17	150248
避雷器	96827	4044	0	17811	1	1366	0	487	120536
耦合电容器	8786	102	0	350	0	0	0	0	9238
阻波器	13128	664	0	2401	0	4	0	0	16197
电缆线路	40.066	0	0	0.584	0	0	0	0	40.650
组合电器	3208	86	0	1569	0	24	0	52	4939
母线	9839	269	0	1317	0	61	0	11	11497

注：上表中统计数量单位：架空线路、电缆线路为百公里，其它设备为台（段）。

第二节　输变电设施运行可靠性总体情况

2017 年，计划停运时间除阻波器、电缆线路和母线外，其他设施均高于 2016 年，其中架空线路增幅最大，同比增加 7.427 小时。受计划停运时间增加影响，除阻波器、电缆线路和母线外，其他输变电设施可用系数均低于 2016 年。断路器、隔离开关、耦合电容器强迫停运率同比分别上升 0.018、0.001、0.001 次／百台年，其他设施强迫停运率均较去年有不同幅度下降。2017、2016 年全国电网架空线路等十三类输变电设施主要指标及对比见以下图表。

表 4-2　2017、2016 年全国电网十三类输变电设施主要可靠性指标

类别	可用系数 %		强迫停运率		非计划停时间		计划停时间	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
架空线路	99.570	99.497	0.067	0.055	1.055	0.453	34.085	41.512
变压器	99.867	99.856	0.156	0.154	0.173	0.138	11.254	12.201
电抗器	99.904	99.827	0.399	0.220	0.015	0.514	8.404	14.535
断路器	99.958	99.942	0.123	0.141	0.037	0.019	3.623	4.973
电流互感器	99.986	99.981	0.010	0.010	0.019	0.004	1.164	1.584
电压互感器	99.976	99.970	0.083	0.023	0.034	0.004	2.031	2.549
隔离开关	99.992	99.986	0.008	0.009	0.009	0.002	0.716	1.212
避雷器	99.983	99.978	0.024	0.01	0.001	0.002	1.495	1.944
耦合电容器	99.992	99.990	0.01	0.011	0	0.001	0.625	0.727
阻波器	99.987	99.988	0.046	0.036	0.001	0.001	1.040	0.930
电缆线路	99.917	99.922	0	0	0	0	7.280	6.851
组合电器	99.993	99.991	0.021	0.016	0.008	0.021	0.617	0.773
母线	99.959	99.961	0.287	0.166	0.038	0.015	3.518	3.401

注：上表中强迫停运率单位：架空线路、电缆线路为次／百公里年，其它设备为次／百台（段）年；非停、计停时间单位：架空线路、电缆线路为小时／百公里年，其它设备为小时／台（段）年。

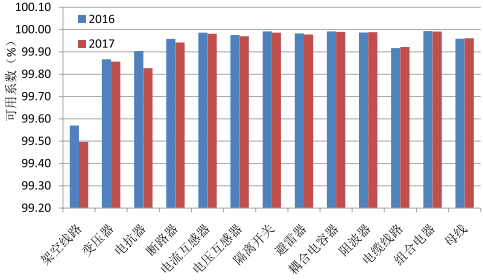


图 4-1　2017、2016 年全国电网十三类输变电设施可用系数对比

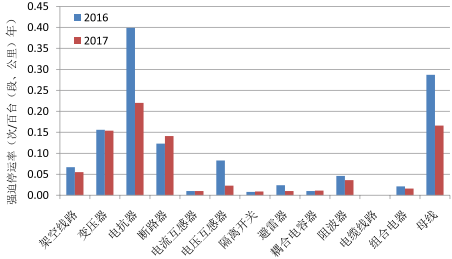


图 4-2　2017、2016 年全国电网十三类输变电设施强迫停运率对比

第三节　电网变压器运行可靠性

一、近五年指标对比

2017 年，变压器的统计数量较 2013 年增加 32.373 百台，五年来年均增长率达到 4.99 %。变压器可用系数近五年总体保持在 99.850% 以上，受计划停运时间逐年增加影响，近三年呈逐年下降趋势，2017 年变压器可用系数较 2013 年下降 0.102

个百分点。变压器强迫停运率近五年保持平稳，一直维持在 0.2 次 / 百台年左右。变压器近五年主要可靠性指标及对比见以下图表。

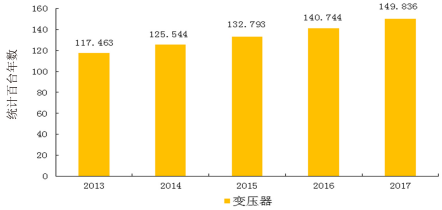


图 4-3　变压器近五年统计百台年数对比

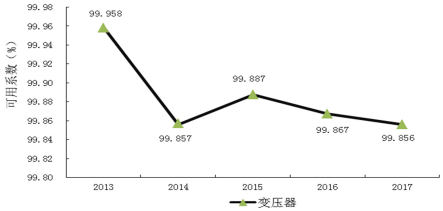


图 4-4　变压器近五年可用系数对比

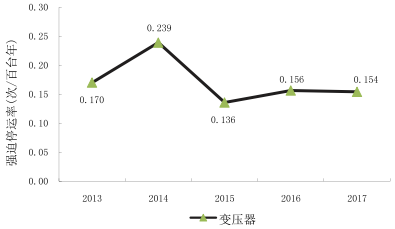


图 4-5　变压器近五年强迫停运率对比

表 4-3　变压器近五年分电压等级可靠性主要指标对比

分类	年份	统计数量（百台年）			强迫停运率（次／百台年）			可用系数（%）		
		220kV	500kV	750kV	220kV	500kV	750kV	220kV	500kV	750kV
变压器	2013	82.586	30.233	1.161	0.073	0.364	0	99.97	99.935	99.886
	2014	87.829	32.556	1.263	0.114	0.307	1.584	99.873	99.892	99.778
	2015	92.168	34.529	1.628	0.141	0.058	0.615	99.888	99.909	99.628
	2016	96.812	37.121	2.050	0.103	0.162	0.488	99.889	99.840	99.74
	2017	101.162	41.201	2.366	0.079	0.316	0.423	99.890	99.800	99.752

二、按运行单位分析

2017 年，国网、南网、内蒙古电力集团公司 220kV 及以上电压等级变压器在全国电网的占比分别是 78.67%、18.09% 和 3.24%。2017 年可用系数前五名的省级电力公司分别是深圳供电局有限公司 99.998%、广西电网公司 99.990%、山西省电力公司 99.985%、福建省电力公司 99.973% 和上海市电力公司 99.969%。可用系数后五名的省级电力公司分别是冀北电力有限公司 99.713%、湖北省电力公司 99.705%、青海省电力公司 99.681%、浙江省电力公司 99.656% 和西藏电力有限公司 99.655%。2017 年变压器按运行单位分类运行可靠性指标见下表。

表 4-4　2017 年变压器按运行单位分类运行可靠性指标

单　位	统计数量（百台年）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	平均强迫停运时间（小时／次）	计划停运率（次／百台年）	平均计划停运时间（小时／次）
国家电网有限公司	117.883	99.847	0.144	0.044	21.072	12.922
冀北电力有限公司	4.698	99.713	0.426	0.004	18.942	19.554
北京市电力公司	2.296	99.952	0.000	0.000	16.114	4.165
河北省电力公司	5.042	99.943	0.000	0.000	12.099	4.977
山西省电力公司	4.760	99.985	0.000	0.000	4.202	1.248
天津市电力公司	2.224	99.945	0.450	0.073	24.280	4.771
山东电力集团公司	10.570	99.884	0.000	0.000	22.139	8.934
辽宁省电力公司	5.860	99.887	0.171	0.602	20.136	9.293
吉林省电力公司	2.217	99.925	0.000	0.000	20.300	6.560

单　位	统计数量（百台年）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	平均强迫停运时间（小时／次）	计划停运率（次／百台年）	平均计划停运时间（小时／次）
黑龙江省电力公司	2.760	99.856	0.000	0.000	21.736	12.575
内蒙古东部电力有限公司	1.675	99.918	0.000	0.000	22.682	6.841
江苏省电力公司	13.345	99.812	0.000	0.000	33.120	16.124
浙江省电力公司	10.323	99.656	0.194	0.036	35.551	29.699
安徽省电力公司	4.955	99.756	0.202	0.006	23.210	21.388
上海市电力公司	4.029	99.969	0.000	0.000	3.475	2.704
福建省电力公司	4.618	99.973	0.000	0.000	6.930	2.377
河南省电力公司	6.816	99.927	0.293	0.014	20.981	6.380
湖北省电力公司	4.671	99.705	0.000	0.000	31.901	25.810
湖南省电力公司	3.821	99.949	1.308	0.019	19.103	4.400
江西省电力公司	3.432	99.933	0.000	0.000	6.701	5.822
四川省电力公司	6.215	99.899	0.000	0.000	12.229	8.744
重庆市电力公司	2.982	99.857	0.000	0.000	17.104	12.519
西藏电力有限公司	0.251	99.655	0.000	0.000	7.971	30.206
陕西省电力公司	1.585	99.851	0.000	0.000	10.097	13.086
甘肃省电力公司	1.998	99.792	0.000	0.000	18.518	18.180
青海省电力公司	1.146	99.681	1.745	0.671	20.939	26.878
宁夏电力公司	1.604	99.811	0.000	0.000	36.170	16.371
新疆电力公司	2.971	99.776	0.337	0.059	25.917	18.755
南方电网有限公司	27.103	99.890	0.221	0.016	17.599	9.559
广东电网公司	9.286	99.879	0.000	0.000	14.215	10.583
广西电网公司	2.800	99.990	0.357	0.000	11.070	0.896
云南电网公司	4.410	99.780	0.680	0.062	14.966	19.190
贵州电网公司	2.641	99.929	0.000	0.000	23.853	6.147
海南电网公司	0.499	99.965	4.006	0.308	30.043	2.308
广州供电局有限公司	1.819	99.929	0.000	0.000	52.227	6.184
深圳供电局有限公司	1.721	99.998	0.000	0.000	6.973	0.171
南网超高压输变电公司	3.637	99.950	0.000	0.000	12.374	4.317
内蒙古电力集团公司	4.849	99.879	0.000	0.000	38.357	9.439

三、按投运时间分析

2017 年全国电网变压器投运时间在 5 年以上、10 年以内的数量最多，达到 5432 台，可靠性指标情况较好的也是是 5 年以上、10 年以内变压器，可用系数达到 99.891%，非计划停运率为 0.276 次 / 百台年。2017 年变压器按投运时间可靠性指标情况见以下图表。

表 4-5　2017 年全国电网变压器按投运时间可靠性指标情况

投运时间	电压等级	台数	可用系数（%）	计划停运率	非计划停运率
5 年以内	综合	4196	99.877	20.060	0.448
	220	2490	99.927	19.938	0.132
	330	104	99.869	18.178	0.000
	500	1313	99.851	18.113	1.111
5 年以上 , 10 年以内	综合	5432	99.891	19.812	0.276
	220	3581	99.911	20.570	0.167
	330	145	99.834	20.690	1.379
	500	1599	99.852	18.298	0.437
10 年以上 , 20 年以内	综合	4699	99.819	22.276	0.637
	220	3392	99.855	23.864	0.294
	330	114	99.686	16.667	0.000
	500	1186	99.740	18.051	1.687
20 年以上	综合	1023	99.761	24.912	0.577
	220	840	99.840	24.719	0.469
	330	24	99.662	30.258	0.000
	500	159	99.361	25.166	1.228

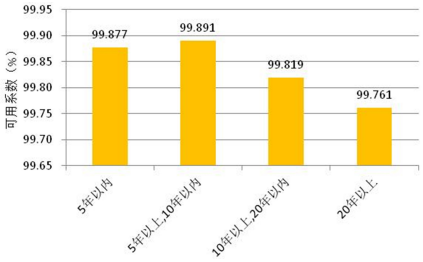


图 4-6 变压器按投运时间可用系数对比

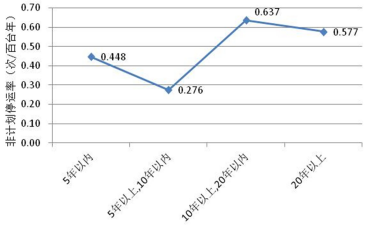


图 4-7 变压器按投运时间非计划停运率对比

四、影响变压器可靠性指标的主要因素

2017 年变压器可用系数比 2016 年降低 0.011 个百分点，影响 2017 年可靠性指标的主要因素是计划停运次数和时间的增加。计划停运影响的可用系数比 2016 年上升 0.012 个百分点，非计划停运影响的可用系数与 2016 年持平。

（一）计划停运影响分析

2017 年，220kV、330kV、500kV 变压器计划停运次数、时间均高于 2016 年，该因素导致 2017 年较 2016 年可用系数降低 0.003 个百分点。

表 4-6　2017、2016 年变压器计划停运情况

分类	年份	220kV		330kV		500kV	
		次数 *	时间 **	次数 *	时间 **	次数 *	时间 **
变压器	2016	1996	9.451	70	16.155	639	13.693
	2017	2214	9.513	73	18.596	760	16.308
	比较	218	0.062	3	2.441	121	2.615

注：* 变压器次数单位：次。
** 变压器时间单位：小时 / 台年。

表 4-7　2017、2016 年变压器计划停运影响可用系数情况

分类	电压等级（kV）	计划停运影响可用系数（%）		
		2016	2017	比较
变压器	220	0.111	0.110	-0.001
	330	0.185	0.213	0.028
	500	0.159	0.195	0.036

（二）非计划停运的影响分析

1. 非计划停运对可靠性指标影响分析

2017 年，220kV 变压器非计划停运次数同比增加 8 次，时间同比增加 0.002 小时 / 台年。330kV 变压器非计划停运次数同比下降 5 次，时间同比减少 5.863 小时 / 台年。500kV 变压器非计划停运次数同比增加 34 次，时间同比增加 0.419 小时 / 台年。总体来看非计划停运影响综合可用系数下降 0.0004 个百分点。2017 年与 2016 年变压器非计划停运情况和影响可用系数情况见下表。

表 4-8　2017、2016 年变压器非计划停运情况

分类	年份	220kV		330kV		500kV	
		次数 *	时间 **	次数 *	时间 **	次数 *	时间 **
变压器	2016	15	0.012	7	5.895	8	0.028
	2017	23	0.014	2	0.032	42	0.447
	比较	8	0.002	-5	-5.863	34	0.419

注：* 变压器次数单位：次。
** 变压器时间单位：小时 / 台年。

表 4-9　2017、2016 年变压器非计划停运影响可用系数情况

分类	电压等级（kV）	非计划停运影响可用系数（%）		
		2016	2017	比较
变压器	220	0.000	0.000	0.000
	330	0.067	0.000	-0.067
	500	0.001	0.005	0.004

2. 变压器非计划停运事件分析

2017 年，全国电网变压器共发生非计划停运 68 次，比 2016 年增加 35 次，其中 220kV 有 23 次，比 2016 年增加 8 次；330kV 有 2 次，比 2016 年减少 5 次；500kV 有 42 次，比 2016 年增加 34 次；750kV 有 1 次，比 2016 年减少 1 次；2017 年 1000kV 未发生非计划停运。2017 年累计非计划停运 0.133 小时 / 台年，比 2016 年减少 0.040 小时 / 台年，影响可用系数 0.002%。

a. 按电压等级分析

2017 年，非计划停运相对较多的为 500kV 变压器，达 42 次，主要为第三类非计划停运，停运时间为 0.339 小时 / 百台年。2017 年 500kV 变压器非计划停运分布情况见下表。

表 4-10　2017 年 500kV 变压器非计划停运分布情况

停运类别	次数	占非计划停运次数百分比 %	小时 / 百台年	占非计划停运时间百分比 %
第一类非计划停运	11	26.19	0.014	3.13
第二类非计划停运	2	4.76	0.092	20.54
第三类非计划停运	28	66.67	0.339	75.67
第四类非计划停运	1	2.38	0.003	0.67
强迫停运	13	30.95	0.014	3.13
非计划停运合计	42	100	0.448	100

b. 按停运时间分析

2017 年全国电网变压器发生的 68 次非计划停运，有关情况见下表。

表 4-11　2017 年变压器非计划停运按停运时间分析情况

变压器非计划停运时间（小时）	非停次数（次）
＜ 5	37
5-50	24
50-500	7
500-800	0
≥ 800	0
各分级数值范围中，下限值为包含，上限值为不包含。	

2017 年全国电网变压器发生 100 小时以上非计划停运事件 7 次，其中 500kV 变压器非计划停运事件具体情况如下：

2017 年 6 月，国网山东省电力公司检修公司文亭 500kV 变电站 #1 主变 A 相、B 相、C 相由于产品质量不良，导致主变铁心故障，各发生 1 次第三类非计划停运，非停时间均为 304.83 小时。

2017 年 6 月，国网山东省电力公司检修公司益都 500kV 变电站 #3 主变 A 相、B 相、C 相由于产品质量不良，导致主变油浸高压线圈散热不良过热，各发生 1 次第三类非计划停运，非停时间均为 120.00 小时。

2017 年 1 月，辽宁省电力有限公司检修公司 500kV 唐家变电站 #2 主变 A 相由于产品质量不良，导致主变油浸低压线圈匝间绝缘击穿，发生 1 次第二类非计划停运，非停时间为 407.78 小时。

c. 按部件分析

充油式套管是造成 220kV 及以上变压器非计划停运次数最多的部件。分电压等级来看，造成 220KV、330KV 变压器非计划停运的主要部件是充油式套管；造成 500kV 变压器非计划停运的主要部件是铁芯附件；造成 750kV 变压器非计划停运的主要部件是引流线。非计划停运按部件分析的情况见下表。

表 4-12　2017 年 220kV 变压器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
充油式套管	7	55.417	36.90%
高压线圈	2	21.333	14.20%
气体继电器 本体	1	17.400	11.59%
强油风冷却器	1	16.167	10.76%

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
一次系统	4	6.483	4.32%
在线滤油机	1	5.333	3.55%
灭火装置	1	2.783	1.85%
有载开关储油柜	1	2.500	1.66%
其它	5	22.767	15.16%

表 4-13　2017 年 330kV 变压器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
充油式套管	1	11.817	99.86%
强油风冷却器	1	0.017	0.14%

表 4-14　2017 年 500kV 变压器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
铁芯附件	3	914.500	49.64%
高压线圈	3	360.000	19.54%
低压线圈	1	353.000	19.16%
一次系统	5	57.117	3.10%
充油式套管	4	42.617	2.31%
油纸电容式套管	4	29.017	1.58%
绝缘油	1	27.217	1.48%
引流线	5	15.100	0.82%
继电保护	6	13.050	0.71%
无励磁分接开关	1	10.333	0.56%
二次回路公用设备	1	9.700	0.53%
有载分接开	1	1.083	0.06%
中压线圈	1	0.967	0.05%
其它	6	8.500	0.46%

表 4-15　2017 年 750kV 变压器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
引流线	1	122.333	100%

表 4-16　2017 年 220kV 及以上变压器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
铁芯附件	3	914.500	43.00%
高压线圈	5	381.333	17.93%
低压线圈	1	353.000	16.60%
引流线	6	137.433	6.46%
充油式套管	12	109.850	5.17%
一次系统	9	63.600	2.99%
油纸电容式套管	4	29.017	1.36%
绝缘油	1	27.217	1.28%
气体继电器	1	17.400	0.82%
强油风冷却器	2	16.183	0.76%
继电保护	6	13.050	0.61%
无励磁分接开关	1	10.333	0.49%
二次回路公用设备	1	9.700	0.46%
在线滤油机	1	5.333	0.25%
灭火装置	1	2.783	0.13%
有载开关储油柜	1	2.500	0.12%
有载分接开	1	1.083	0.05%
中压线圈	1	0.967	0.05%
其它	11	31.267	1.47%

d. 按责任原因分析

产品质量不良是造成 220kV 及以上变压器非计划停运的主要责任原因。分电压等级来看，造成 220Kv、500kV 变压器非计划停运的主要责任原因是产品质量不良，

造成 330kV 变压器非计划停运的主要责任原因是气候因素。非计划停运按原因分类的情况见下表。

表 4-17　2017 年 220kV 变压器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
产品质量不良	12	53.600	35.69%
外力损坏	1	38.300	25.50%
施工安装不良	2	21.333	14.20%
自然灾害	1	17.400	11.59%
待查	2	6.450	4.29%
气候因素	2	4.083	2.72%
设备老化	2	2.583	1.72%
其它	1	6.433	4.28%

表 4-18　2017 年 330kV 变压器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
气候因素	1	11.817	99.86%
产品质量不良	1	0.017	0.14%

表 4-19　2017 年 500kV 变压器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
产品质量不良	20	1676.167	90.99%
气候因素	5	41.933	2.28%
电力系统影响	1	27.483	1.49%
调整试验不当	3	26.000	1.41%
动物事故	3	8.600	0.47%
施工安装不良	2	4.067	0.22%
待查	8	57.950	3.15%

表 4-20　2017 年 750kV 变压器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
产品质量不良	1	122.333	100%

表 4-21　2017 年 220kV 及以上变压器非计划停运按责任原因分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
产品质量不良	34	1852.116	87.09%
气候因素	8	57.833	2.72%
外力损坏	1	38.300	1.80%
电力系统影响输电线路限制	1	27.483	1.29%
调整试验不当	3	26.000	1.22%
施工安装不良	4	25.400	1.19%
自然灾害	1	17.400	0.82%
动物事故	3	8.600	0.40%
其它	1	6.433	0.30%
设备老化	2	2.583	0.12%
待查	10	64.400	3.03%

e. 按制造厂家分析

变压器按制造厂家分类（按统计台数排序，下同）的运行可靠性指标见下表。

表 4-22　2017 年 220kV 变压器按制造厂家分类运行可靠性指标

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时／台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次／百台年）
合肥 ABB 变压器有限公司	837	99.880	0.239	0.028	89.014	0.119
特变电工（沈阳）变压器集团公司	820	99.901	0	0.002	100	0
保定天威保变电气股份有限公司	806	99.906	0	0	0	0
特变电工衡阳变压器有限公司	770	99.922	0.399	0.012	33.339	0.133
常州西电变压器有限责任公司	736	99.800	0.139	0.000	0.366	0.139

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时／台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次／百台年）
山东电力设备有限公司	575	99.896	0	0	0	0
西安西电变压器有限责任公司	430	99.876	0	0	0	0
江苏华鹏变压器有限公司	417	99.940	0	0	0	0
特变电工股份有限公司新疆变压器厂	368	99.857	0.286	0	0	0
广州西门子变压器有限公司	357	99.911	0	0	0	0
山东达驰电气有限公司	318	99.945	0	0.009	100	0
济南西门子变压器有限公司	316	99.862	0	0	0	0
中山 ABB 变压器有限公司	315	99.913	0	0	0	0
山东鲁能泰山电力设备有限公司泰安泰山电气有限公司	250	99.924	0	0	0	0
葫芦岛电力设备厂	238	99.905	0	0	0	0
常州东芝变压器有限公司	185	99.967	0	0	0	0
哈尔滨变压器厂	177	99.885	0	0	0	0
西门子（SIEMENS）公司	164	99.937	0	0	0	0
山东泰开变压器有限公司	161	99.898	0	0	0	0
青岛青波变压器股份有限公司	123	99.854	0	0.075	100	0
江苏南通晓星变压器有限公司	117	99.824	0	0	0	0
云南变压器厂	84	99.978	1.204	0.000	100	1.204
济南志友集团股份有限公司	77	99.720	0	0	0	0
卧龙电气烟台东源变压器有限公司	75	99.902	0	0	0	0
长春三鼎变压器有限公司	65	99.871	0	0	0	0
重庆 ABB 变压器有限公司	60	99.979	0	0	0	0
浙江三变科技股份有限公司	46	99.876	0	0	0	0
江西变压器厂	43	99.950	0	0	0	0
上海 AREVA 变压器有限公司	42	99.895	0	0	0	0

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次 / 百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时 / 台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次 / 百台年）
东芝（TOSHIBA）公司	37	99.895	0	0	0	0
太原变压器厂	25	99.990	0	0	0	0
重庆重变电器有限责任公司	22	99.111	0	0	0	0
三变科技股份有限公司	21	99.881	0	0	0	0
上海电力变压器厂	18	99.945	0	0	0	0
上海正泰电气股份有限公司	17	99.995	0	0	0	0
（BRUSH）电气机械公司	15	99.844	0	0	0	0
阿尔斯通公司	14	100	0	0	0	0
伊林（ELIN）联合公司	13	99.638	0	0	0	0
广州电力设备厂	13	99.968	0	0	0	0
重庆市亚东亚集团变压器有限公司	12	100	0	0	0	0
天威保变（合肥）变压器有限公司	12	99.779	0	0	0	0
AREVA 公司	11	99.893	0	0	0	0
西电济南变压器股份有限公司	11	99.863	0	0	0	0
ELTA 变压器厂	10	100	0	0	0	0
特变电工衡阳变压器有限公司	10	100	0	0	0	0

* 此项为由于设备因素造成的非计划停运小时。
** 此项为设备因素造成的非计划停运小时占该制造厂提供产品的全部非计划停运时间的百分比。（下同）
另：统计台数少于末行台数的制造厂家未列入上表（下同）。

表 4-23　2017 年 330kV 变压器按制造厂家分类运行可靠性指标

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次 / 百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时 / 台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次 / 百台年）
西安西电变压器有限责任公司	144	99.778	0	0	0	0
特变电工股份有限公司新疆变压器厂	49	99.762	0	0	0	0
保定天威保变电气股份有限公司	39	99.732	0	0	0	0

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次 / 百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时 / 台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次 / 百台年）
特变电工（沈阳）变压器集团公司	31	99.665	3.318	0.001	100	3.318
常州西电变压器有限责任公司	19	99.709	0	0	0	0
特变电工衡阳变压器有限公司	17	99.844	0	0	0	0
山东电力设备有限公司	11	100	0	0	0	0
济南西门子变压器有限公司	10	100	0	0	0	0

表 4-24　2017 年 500kV 变压器按制造厂家分类运行可靠性指标

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次 / 百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时 / 台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次 / 百台年）
保定天威保变电气股份有限公司	500	99.841	0	0	0	0
特变电工（沈阳）变压器集团公司	456	99.788	0.706	0.837	80.896	0.235
重庆 ABB 变压器有限公司	372	99.852	0.281	0.010	29.700	0.281
特变电工衡阳变压器有限公司	340	99.843	0	0	0	0
西安西电变压器有限责任公司	325	99.891	0.958	0.024	64.740	0.319
常州东芝变压器有限公司	303	99.842	0	1.203	100	0
常州西电变压器有限责任公司	252	99.692	0	0	0	0
重庆重变电器有限责任公司	207	99.846	0	0	0	0
东芝（TOSHIBA）公司	165	99.563	0	0	0	0
山东电力设备有限公司	123	99.766	2.591	0.029	100	2.591
济南西门子变压器有限公司	106	99.941	0	0	0	0
西门子（SIEMENS）公司	101	99.819	0	0	0	0
三菱（MHISUBISHI）公司	78	99.749	0	0	0	0
山东达驰电气有限公司	60	99.695	1.923	18.110	100	1.923
扎布罗什变压器厂（ЛгАШ）	52	98.828	0	0	0	0
广州西门子变压器有限公司	43	99.849	0	0	0	0
特变电工股份有限公司新疆变压器厂	41	99.532	0	0	0	0

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时／台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次／百台年）
山东泰开变压器有限公司	30	99.807	0	0	0	0
上海 AREVA 变压器有限公司	27	99.827	0	0	0	0
日立（HITACHI）公司	25	99.972	0	0	0	0
中国特变电工康嘉（沈阳）互感器有限公司	21	100	0	0	0	0
ABB 德国公司	18	100	0	0	0	0
AREVA 公司	18	99.854	0	0	0	0
上海阿尔斯通有限公司	18	100	0	0	0	0
ABB 瑞士公司	13	99.856	0	0	0	0
安沙尔多（ANSAIDO）公司	12	99.932	8.333	0	0	0
江苏南通晓星变压器有限公司	12	99.735	0	0	0	0
阿尔斯通公司	11	99.954	0	0	0	0
三菱东芝	11	100	0	0	0	0
GEC- 阿尔斯通公司	10	99.520	0	0	0	0

表 4-25　2017 年 750kV 变压器按制造厂家分类运行可靠性指标

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时／台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次／百台年）
西安西电变压器有限责任公司	69	99.904	0	0	0	0
保定天威保变电气股份有限公司	57	99.580	0	0	0	0
特变电工（沈阳）变压器集团公司	41	99.749	0	0	0	0
山东电力设备有限公司	33	99.553	3.250	2.500	100	3.250
特变电工衡阳变压器有限公司	23	99.766	0	0	0	0
重庆 ABB 变压器有限公司	12	100	0	0	0	0
特变电工股份有限公司新疆变压器厂	10	99.998	0	0	0	0

表 4-26　2017 年 1000kV 变压器按制造厂家分类运行可靠性指标

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时／台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次／百台年）
特变电工（沈阳）变压器集团公司	48	99.436	0	0	0	0
保定天威保变电气股份有限公司	36	99.621	0	0	0	0
山东电力设备有限公司	31	99.114	0	0	0	0
西安西电变压器有限责任公司	29	99.568	0	0	0	0
特变电工衡阳变压器有限公司	10	99.306	0	0	0	0

第四节　电网断路器运行可靠性

一、近五年指标对比

2017 年，断路器的统计数量较 2013 年增加 53.292 百台。五年来年均增长率达到 2.77 %。断路器可用系数近五年一直维持在较高水平，近两年呈逐年下降趋势。2017 年断路器可用系数较 2013 年下降 0.035 个百分点。断路器强迫停运率近五年呈上升趋势，2017 年强迫停运率较 2013 年上升 0.067 次／百台年。断路器近五年主要可靠性指标及对比见以下图表。

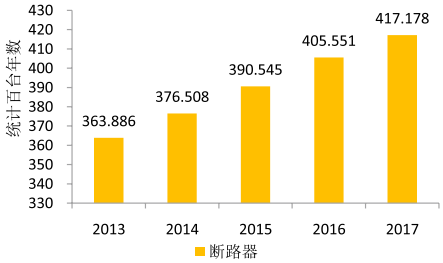


图 4-8　断路器近五年统计百台年数对比

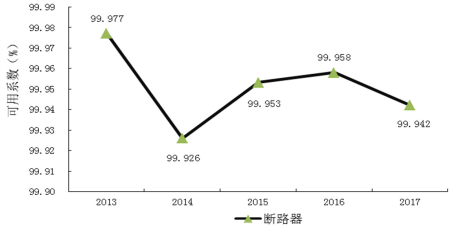


图 4-9　断路器近五年可用系数对比

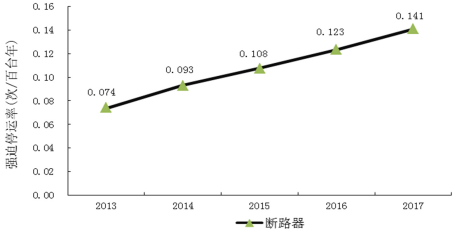


图 4-10　断路器近五年强迫停运率对比

表 4-27　断路器近五年分电压等级可靠性主要指标对比

分类	年份	统计数量（百台年）			强迫停运率（次／百台年）			可用系数（%）		
		220kV	500kV	750kV	220kV	500kV	750kV	220kV	500kV	750kV
断路器	2013	294.227	53.452	1.886	0.037	0.187	0.5301	99.984	99.964	99.906
	2014	305.109	54.448	2.068	0.075	0.202	0	99.931	99.925	99.846
	2015	316.062	56.749	2.322	0.104	0.106	0	99.956	99.963	99.717
	2016	327.856	59.084	2.810	0.079	0.203	3.915	99.961	99.962	99.600
	2017	337.341	60.223	3.016	0.107	0.332	0.332	99.944	99.952	99.625

二、按运行单位分类

2017 年，国网、南网、内蒙古电力集团公司 220kV 及以上电压等级断路器参统数量在全国电网的占比分别是 77.10%、18.77% 和 4.13%。2017 年可用系数前五名的省级电力公司分别是上海市电力公司 99.999%、深圳供电局有限公司 99.999%、陕西省电力公司 99.995%、福建省电力公司 99.994%、山西省电力公司 99.989%。可用系数后五名的省级电力公司分别是湖北省电力公司 99.880%、天津市电力公司 99.874%、甘肃省电力公司 99.869%、新疆电力公司 99.832%、宁夏电力公司 99.777%。

表 4-28　2017 年断路器按运行单位分类的运行可靠性指标

单位	统计数量（百台年）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	平均强迫停运时间（小时／次）	计划停运率（次／百台年）	平均计划停运时间（小时／次）
国家电网有限公司	321.637	99.942	0.112	0.011	11.547	5.034
冀北电力有限公司	12.130	99.969	0.247	0.004	8.903	2.583
北京市电力公司	2.502	99.985	0.000	0.000	10.793	1.322
河北省电力公司	10.244	99.978	0.000	0.000	6.443	1.955
山西省电力公司	12.518	99.989	0.160	0.002	3.755	0.976
天津市电力公司	3.528	99.874	0.283	0.018	29.477	7.174
山东电力集团公司	10.349	99.977	0.193	0.000	6.184	1.983
辽宁省电力公司	16.521	99.961	0.000	0.000	8.535	3.316
吉林省电力公司	8.543	99.944	0.000	0.000	10.886	4.915
黑龙江省电力公司	10.507	99.970	0.286	0.001	10.755	2.605
内蒙古东部电力有限公司	6.403	99.958	0.000	0.000	20.459	3.496
江苏省电力公司	45.310	99.893	0.044	0.014	21.298	9.294
浙江省电力公司	25.814	99.906	0.000	0.000	12.009	8.211
安徽省电力公司	17.671	99.965	0.000	0.000	7.074	3.040
上海市电力公司	8.029	99.999	0.000	0.000	1.370	0.126
福建省电力公司	12.460	99.994	0.080	0.000	2.970	0.563
河南省电力公司	20.366	99.988	0.098	0.000	5.401	1.009

单位	统计数量（百台年）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	平均强迫停运时间（小时／次）	计划停运率（次／百台年）	平均计划停运时间（小时／次）
湖北省电力公司	15.099	99.880	0.000	0.000	16.160	10.462
湖南省电力公司	13.273	99.977	0.151	0.012	16.048	1.957
江西省电力公司	12.646	99.971	0.079	0.000	3.005	2.583
四川省电力公司	17.324	99.968	0.115	0.000	2.598	2.814
重庆市电力公司	7.066	99.989	0.000	0.000	10.190	0.972
陕西省电力公司	5.822	99.995	0.344	0.269	0.515	0.212
甘肃省电力公司	8.163	99.869	0.000	0.000	9.433	11.450
青海省电力公司	1.952	99.986	0.000	0.000	3.074	1.218
宁夏电力公司	5.457	99.777	0.000	0.000	38.484	19.322
新疆电力公司	11.382	99.832	1.142	0.093	30.661	14.460
南方电网有限公司	78.301	99.947	0.089	0.000	13.423	4.598
广东电网公司	22.840	99.909	0.000	0.000	10.289	8.008
广西电网公司	11.999	99.988	0.167	0.001	9.501	1.083
云南电网公司	17.149	99.961	0.233	0.000	6.006	3.426
贵州电网公司	9.658	99.956	0.104	0.000	17.187	3.827
海南电网公司	1.370	99.951	0.000	0.000	21.898	4.219
广州供电局有限公司	4.256	99.965	0.000	0.000	35.011	3.051
深圳供电局有限公司	1.670	99.999	0.000	0.000	5.389	0.092
南网超高压输变电公司	9.359	99.940	0.000	0.000	26.179	5.287
内蒙古电力集团公司	17.240	99.929	0.928	0.094	28.712	5.551

三、按投运时间分析

断路器投运时间在 10 年至 20 年区间内的数量最多，达到 17887 台，可靠性指标情况较好的是 5 年至 10 年以内断路器，可用系数达到 99.944%，非计划停运率为 0.255 次／百台年。2017 年断路器按投运时间可靠性指标情况见以下图表。

表 4-29　2017 年全国电网断路器按投运时间可靠性指标情况

投运时间	电压等级	台数	可用系数（%）	计划停运率	非计划停运率
5 年以内	综合	7627	99.942	13.166	0.307
	220	6203	99.952	12.920	0.103
	330	323	99.923	9.462	0.000
	500	949	99.959	12.099	1.744
5 年以上，10 年以内	综合	15297	99.944	12.926	0.255
	220	12017	99.946	12.976	0.166
	330	673	99.942	10.104	0.297
	500	2445	99.948	12.676	0.613
10 年以上，20 年以内	综合	17887	99.942	12.273	0.178
	220	14801	99.941	12.425	0.148
	330	546	99.916	11.538	0.183
	500	2540	99.953	11.542	0.353
20 年以上	综合	1270	99.917	10.428	0.154
	220	1026	99.930	9.814	0.095
	330	133	99.809	9.023	0.752
	500	111	99.924	17.848	0.000

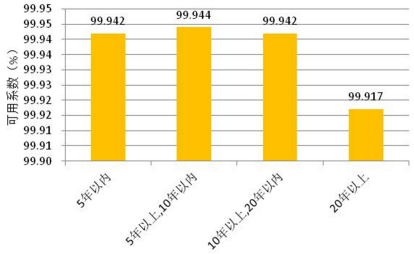


图 4-11　断路器按投运时间可用系数对比

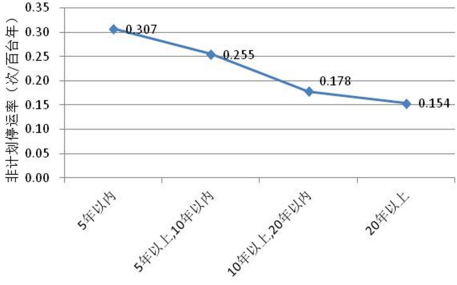


图 4-12　断路器按投运时间非计划停运率对比

四、影响断路器可靠性指标的主要因素

2017 年断路器可用系数同比下降 0.016 个百分点，计划停运影响的可用系数同比上升 0.016 个百分点，非计划停运影响的可用系数与 2016 年持平。

（一）非计划停运影响分析

220kV、330kV、500kV 断路器计划停运次数及时间均高于 2016 年。由于计划停运时间的增加，断路器可用小时比 2016 年有所下降。2017、2016 年断路器计划停运情况和影响的可用系数及对比情况见下表。

表 4-30　2017、2016 年断路器计划停运情况

分类	年份	220kV		330kV		500kV	
		次数 *	时间 **	次数 *	时间 **	次数 *	时间 **
断路器	2017	4259	4.779	171	6.928	735	4.122
	2016	3800	3.337	142	5.541	657	3.25
	比较	459	1.442	29	1.387	78	0.872

注：* 断路器次数单位：次。
** 断路器时间单位：小时 / 台年。

表 4-31　2017、2016 年断路器计划停运影响可用系数情况

分类	电压等级（kV）	计划停运影响可用系数（%）		
		2017	2016	比较
断路器	220	0.055	0.038	0.017
	330	0.080	0.063	0.017
	500	0.048	0.037	0.011

2017 年，220kV、330kV、500kV 断路器计划停运对可用系数的影响比 2016 年有不同程度上升。

（二）非计划停运的影响分析

1. 计划停运对可靠性指标的影响分析

2017 年，220kV 断路器非计划停运次数同比增加 16 次，时间同比减少 0.013 小时 / 台年。330kV 断路器非计划停运次数与 2016 年持平，时间同比增加 0.067 小时 / 台年。500kV 断路器非计划停运次数同比增加 26 次，时间同比减少 0.051 小时 / 台年。总体来看断路器非计划停运影响综合可用系数提高 0.0002 个百分点。2017 年与 2016 年断路器非计划停运情况和影响可用系数情况见下表。

表 4-32　2017、2016 年断路器非计划停运情况

分类	年份	220kV		330kV		500kV	
		次数 *	时间 **	次数 *	时间 **	次数 *	时间 **
断路器	2016	33	0.021	4	0.033	14	0.105
	2017	49	0.008	4	0.100	40	0.054
	比较	16	-0.013	0	0.067	26	-0.051

注：* 断路器次数单位：次。
** 断路器时间单位：小时 / 台年。

2017 年与 2016 年断路器非计划停运影响可用系数及对比情况见下表。

表 4-33　2017、2016 年断路器非计划停运影响可用系数情况

分类	电压等级（kV）	非计划停运影响可用系数（%）		
		2016	2017	比较
断路器	220	0.000	0.000	0.000
	330	0.000	0.001	0.001
	500	0.001	0.001	0.000

2. 非计划停运的事件分析

2017 年全国电网断路器共发生非计划停运 95 次，比 2016 年增加 32 次。其中：220kV 有 49 次，比 2016 年增加 16 次；330kV 有 4 次，与 2016 年持平；500kV 有 40 次，比 2016 年增加 26 次；750kV 有 2 次，比 2016 年减少 10 次；1000kV 未发生非计划停运。2017 年累计非计划停运 0.019 小时 / 台年，比 2016 年减少 0.018 小时 / 台年，影响全国电网断路器可用系数 0.0002%。

2017 年，非计划停运相对较多的为 500kV 断路器，达 42 次，主要为第三类非计划停运，停运时间为 0.023 小时 / 百台年。2017 年 500kV 断路器非计划停运情况见下表。

表 4-34　2017 年 500kV 断路器非计划停运分布情况

停运类别	次数	占非计划停运次数百分比 %	小时 / 百台年	占非计划停运时间百分比 %
第一类非计划停运	11	27.50	0.016	30.19
第二类非计划停运	9	22.50	0.014	26.42
第三类非计划停运	19	47.50	0.023	43.40
第四类非计划停运	1	2.50	0.000	0.00
强迫停运	20	50.00	0.016	30.19
非计划停运合计	40	100	0.053	100

a. 按停运时间分析

2017 年全国电网断路器发生的 95 次非计划停运按停运时间分级分析情况见下表。

表 4-35　2017 年断路器非计划停运按停运时间分级分析情况

断路器非计划停运时间（小时）	非停次数（次）
＜ 5	58
5-50	34
50-300	3
300-500	0
≥ 500	0
各分级数值范围中，下限值为包含，上限值为不包含。	

2017 年全国电网断路器发生 100 小时以上非计划停运事件 2 次，具体情况如下：

2017 年 2 月，陕西省电力公司检修公司 330kV 高明变电站 3352 高西开关 A、B 相瓷瓶因 3315 母联开关电流互感器炸裂受损需更换，发生 1 次第一类非计划停运，非停时间为 151.78 小时。

2017 年 1 月，内蒙古超高压供电局 500kV 武川变电站 5022 断路器瓷套击穿，发生 1 次第一类非计划停运，非停时间为 371.03 小时。

b. 按部件部件分析

按部件件分析，操作机构故障是造成 220kV 及以上断路器非计划停运次数最多的部件部件。从电压等级来看，造成 220kV、500kV、750kV 断路器非计划停运的主要原因是操作机构，造成 330kV 断路器非计划停运的主要原因是本体其他部件。

非计划停运按部件分析的情况见表 4-36、表 4-37、表 4-38、表 4-39、表 4-40。

表 4-36　2017 年 220kV 断路器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比 (%)
操作机构	11	109.400	39.02%
继电保护	2	92.617	33.03%
灭弧部分	7	33.600	11.98%
一次系统	12	18.517	6.60%
本体其他部件	12	17.483	6.24%
通讯系统	1	6.717	2.40%
引流线	1	1.667	0.59%
端子箱	1	0.217	0.08%
辅助部分	2	0.167	0.06%

表 4-37　2017 年 330kV 断路器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比 (%)
本体其他部件	3	161.017	97.67%
操作机构	1	3.833	2.33%

表 4-38　2017 年 500kV 断路器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
操作机构	28	188.400	57.92%
本体其他部件	5	47.717	14.67%
引流线	1	45.550	14.00%
灭弧部分	3	19.850	6.10%
一次系统	2	17.333	5.33%
二次回路公用设备	1	6.400	1.97%

表 4-39　2017 年 750kV 断路器非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
操作机构	1	23.883	99.86%
灭弧部分	1	0.033	0.14%

表 4-40　2017 年 220kV 及以上断路器非计划停运按部件分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
操作机构	41	325.517	40.98%
本体其他部件	20	226.217	28.48%
继电保护	2	92.617	11.66%
灭弧部分	11	53.483	6.73%
引流线	2	47.217	5.94%
一次系统	14	35.850	4.51%
通讯系统	1	6.717	0.85%
二次回路公用设备	1	6.400	0.81%
端子箱	1	0.217	0.03%
辅助部分	2	0.167	0.02%

c. 按责任原因分析

按责任原因分析，产品质量不良是造成 220kV 及以上断路器非计划停运的主要原因。从电压等级来看，造成 220kV 断路器非计划停运的主要原因是气候原因，造成 330kV 断路器非计划停运的主要原因是外力损坏，造成 500kV 断路器非计划停运的主要原因是产品质量不良，造成 750kV 断路器非计划停运的主要原因是气候因素。

非计划停运按责任因素分类的情况见表 4-41、表 4-42、表 4-43、表 4-44、表 4-45。

表 4-41　2017 年 220kV 断路器非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比 (%)
产品质量不良	10	100.250	35.75%
调整试验不当	1	39.533	14.10%
检修质量不良	2	37.867	13.51%
气候因素	14	23.617	8.42%
设备老化	1	8.667	3.09%
施工安装不良	1	6.717	2.40%
外力损坏	5	0.817	0.29%
运行不当	3	0.100	0.04%
自然灾害	9	0.033	0.01%
待查	3	62.783	22.39%

表 4-42　2017 年 330kV 断路器非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比 (%)
外力损坏	2	156.667	95.04%
产品质量不良	1	4.350	2.64%
气候因素	1	3.833	2.33%

表 4-43　2017 年 500kV 断路器非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
产品质量不良	25	201.717	62.02%
自然灾害	1	45.550	14.00%
气候因素	6	22.683	6.97%
调整试验不当	3	17.350	5.33%
检修质量不良	1	6.400	1.97%
待查	4	31.550	9.70%

表 4-44　2017 年 750kV 断路器非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
气候因素	1	23.883	99.86%
检修质量不良	1	0.033	0.14%

表 4-45　2017 年 220kV 及以上断路器非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
产品质量不良	36	245.600	30.92%
外力损坏	7	157.483	19.82%
检修质量不良	4	106.683	13.43%
气候因素	22	88.267	11.11%
自然灾害	10	69.167	8.71%
调整试验不当	4	26.017	3.28%
设备老化	1	6.717	0.85%
运行不当	3	0.100	0.01%
施工安装不良	1	0.033	0.00%
待查	7	94.333	11.87%

d. 按制造厂家分析

断路器按制造厂家分类（按统计台数排序，下同）的运行可靠性指标见表 4-46、表 4-47、表 4-48、表 4-49。

表 4-46　2017 年 220kV 断路器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时／台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次／百台年）
北京 ABB 高压开关设备有限公司	7312	99.945	0.151	0.004	27.382	0.027
西门子（杭州）高压开关有限公司	5048	99.944	0.080	0	0	0
河南平高电气股份有限公司	4233	99.958	0.190	0.002	60.809	0.095
西门子（SIEMENS）公司	3156	99.926	0.063	0	0	0
西安西电高压开关有限责任公司	3083	99.941	0.165	0.000	1.223	0
苏州阿海珐高压电气开关有限公司	1547	99.952	0	0	0	0
苏州阿尔斯通有限责任公司	1316	99.946	0.078	0	0	0
山东泰开高压开关有限公司	978	99.961	0.344	0	0	0
新东北电气（沈阳）高压开关有限公司	783	99.950	0	0	0	0
江苏省如高高压电器有限公司	540	99.965	0	0	0	0
阿尔斯通公司	349	99.956	0	0	0	0
意大利 AREVA	317	99.958	0	0	0	0
苏州开关厂	243	99.940	0	0	0	0
ABB 瑞士公司	200	99.958	0	0	0	0
GEC- 阿尔斯通公司	183	99.953	0	0	0	0
北京北开电气股份有限公司	142	99.848	0	0	0	0
宁波慈溪电器开关总厂	88	99.985	0	0	0	0
上海西门子高压开关有限公司	73	99.924	0	0	0	0
阿海珐输配电隔离开关（无锡）有限公司	64	99.980	0	0	0	0
ABB 德国公司	59	99.955	0	0	0	0
维奥输配电（广州）有限公司	54	99.699	0	0	0	0
上海华通开关厂有限公司	48	99.927	0	0	0	0

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时／台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次／百台年）
河南平高东芝高压开关有限责任公司	47	99.989	0	0	0	0
三菱（MHISUBISHI）公司	38	99.961	0	0	0	0
烟台东源开关设备制造有限公司	35	99.978	0	0	0	0
许继电气开关厂	33	99.967	0	0	0	0
（BRUSH）电气机械公司	31	99.973	0	0	0	0
通用电气（GEC）阿尔斯通（ALSTHOM）公司	31	99.977	0	0	0	0
云南开关厂	23	100	0	0	0	0
马格林尼（MAG）	22	99.984	0	0	0	0
法国断路器	19	99.806	0	0	0	0
美国断路器	19	100	0	0	0	0
日新（NIS）公司	19	99.997	0	0	0	0
施普列舍尔·舒（S&S）	18	100	0	0	0	0
瑞典断路器	17	99.993	0	0	0	0
勃朗．鲍威利（BBC）	17	99.947	0	0	0	0
德国断路器	17	99.959	0	0	0	0
厦门 ABB 华电高压开关有限公司	15	100	0	0	0	0
南京南瑞继保电气有限公司	15	99.921	0	0	0	0
扬州苏源电气设备有限公司	14	99.625	0	0	0	0
电力规划设计总院	14	100	0	0	0	0
河北电力设备厂	12	99.812	0	0	0	0
通用电气（AGE）公司	11	100	0	0	0	0
浙江运达风力发电工程有限工程公司	11	99.920	0	0	0	0
上海思源电力电容器有限公司	10	100	0	0	0	0

表 4-47　2017 年 330kV 断路器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次 / 百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时 / 台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次 / 百台年）
西安西电高压开关有限责任公司	765	99.930	0.134	0.006	47.112	0
北京 ABB 高压开关设备有限公司	208	99.942	0	0	0	0
河南平高电气股份有限公司	186	99.910	0	0	0	0
西门子（杭州）高压开关有限公司	115	100.000	0	0	0	0
苏州阿尔斯通有限责任公司	93	99.868	0	0	0	0
阿尔斯通公司	47	99.747	0	0	0	0
意大利 AREVA	45	99.841	0	0	0	0
西门子（SIEMENS）公司	44	100	0	0	0	0
苏州开关厂	19	100	0	0	0	0
苏州阿海珐高压电气开关有限公司	14	99.174	0	0	0	0
瑞士断路器	13	99.867	7.692	0	0	0
GEC- 阿尔斯通公司	11	99.670	0	0	0	0

表 4-48　2017 年 500kV 断路器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次 / 百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时 / 台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次 / 百台年）
北京 ABB 高压开关设备有限公司	1445	99.963	0.140	0	0	0
西门子（SIEMENS）公司	707	99.947	0.424	0.008	17.971	0.141
西安西电高压开关有限责任公司	686	99.956	0.578	0.038	44.138	0.289
西门子（杭州）高压开关有限公司	665	99.972	0.608	0.015	99.502	0.152
河南平高电气股份有限公司	311	99.968	0.329	0.007	100	0.329
苏州阿海珐高压电气开关有限公司	239	99.971	0	0	0	0

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时／台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次／百台年）
苏州阿尔斯通有限责任公司	205	99.980	0	0	0	0
新东北电气（沈阳）高压开关有限公司	195	99.945	0	0	0	0
ABB 瑞士公司	169	99.952	0	0	0	0
三菱（MHISUBISHI）公司	153	99.870	0	0	0	0
意大利 AREVA	129	99.995	0	0	0	0
阿尔斯通公司	120	100.000	0	0	0	0
瑞典断路器	70	99.955	0	0	0	0
瑞典 ABB 公司	54	99.959	0	0	0	0
GEC- 阿尔斯通公司	44	99.996	0	0	0	0
厦门 ABB 华电高压开关有限公司	36	99.986	0	0	0	0
ABB 德国公司	32	100	0	0	0	0
日新（NIS）公司	26	100	0	0	0	0
苏州开关厂	26	100	0	0	0	0
美国断路器	21	99.564	0	0	0	0
山东泰开高压开关有限公司	17	99.863	0	0	0	0
施耐德（SHEINDER）公司	15	99.996	0	0	0	0
法国阿海珐（AREAVA）公司	12	99.337	0	0	0	0
瑞士断路器	11	100	0	0	0	0
上海西门子高压开关有限公司	11	100	0	0	0	0
江苏省如高高压电器有限公司	11	99.894	0	0	0	0
勃朗．鲍威利（BBC）	10	100	0	0	0	0
日本断路器	10	99.662	0	0	0	0

表 4-49　2017 年 750kV 断路器按制造厂家分类的运行可靠性指标

制造厂家	统计台数（台）	可用系数（%）	强迫停运率（次 / 百台年）	设备因素影响		
				非停时间（小时 / 台年）*	占该厂非停总时间比例（%）**	强迫停运率（次 / 百台年）
河南平高电气股份有限公司	106	99.518	0.970	0	0	0
西安西电高压开关有限责任公司	83	99.645	0	0	0	0
北京 ABB 高压开关设备有限公司	49	99.822	0	0	0	0
新东北电气（沈阳）高压开关有限公司	48	99.789	0	0	0	0
山东泰开高压开关有限公司	17	99.092	0	0	0	0

第五节　电网架空线路运行可靠性

一、近五年指标对比

2017 年，架空线路统计数量较 2013 年增加 2086.836 百公里，五年来年均增长率达到 6.99%。可用系数近五年一直维持在较高水平，近三年呈逐年下降趋势。2017 年架空线路可用系数为 99.497%，较 2013 年下降 0.356 个百分点。架空线路强迫停运率近 5 年均有较大幅度下降，2017 年架空线路强迫停运率为 0.055 次 / 百公里年，较 2016 年下降 0.012 次 / 百公里年。架空线路近五年主要可靠性指标及对比见以下图表。

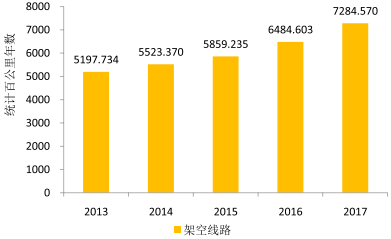


图 4-13　架空线路近五年统计百公里数对比

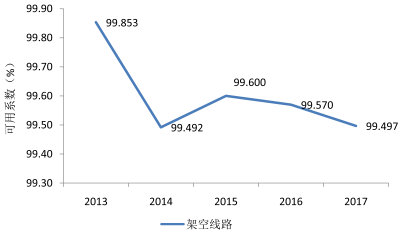


图 4-14　架空线路近五年可用系数对比

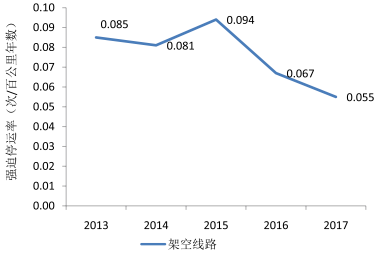


图 4-15　架空线路近五年强迫停运率对比

表 4-50 架空线路近五年分电压等级可靠性主要指标对比

分类	年份	统计数量（百公里年）			强迫停运率（次／百公里年）			可用系数（%）		
		220kV	500kV	750kV	220kV	500kV	750kV	220kV	500kV	750kV
架空线路	2013	3148.068	1577.613	112.000	0.072	0.115	0.009	99.928	99.814	99.842
	2014	3299.545	1649.611	128.975	0.068	0.100	0.062	99.720	99.519	98.680
	2015	3511.912	1700.743	142.817	0.085	0.118	0.028	99.841	99.405	99.150
	2016	3885.883	1891.736	163.274	0.065	0.069	0.073	99.872	99.382	99.126
	2017	4411.911	2015.533	178.030	0.050	0.070	0.028	99.823	99.341	99.032

二、按运行单位分析

2017 年，国网、南网、内蒙古电力集团公司 220kV 及以上电压等级架空线路参统数量在全国电网的占比分别是 71.47%、25.59% 和 2.94%。2017 年可用系数前五名的省级电力公司分别是深圳供电局有限公司 99.998%、上海市电力公司 99.993%、广西电网公司 99.983%、北京市电力公司 99.956%、山西省电力公司 99.929%。后五名的省级电力公司分别是浙江省电力公司 99.131%、湖北省电力公司 99.063%、安徽省电力公司 99.034%、宁夏电力公司 99.025%、青海省电力公司 98.104%。2017 年，架空线路按运行单位分类的运行可靠性指标见下表。

表 4-51　2017 年架空线路按运行单位分类运行可靠性指标

单位	统计数量（百公里年）	可用系数（%）	强迫停运率（次／百公里年）	平均强迫停运时间（小时／次）	计划停运率（次／百公里年）	平均计划停运时间（小时／次）
国家电网有限公司	5206.589	99.371	0.051	0.356	0.788	52.756
冀北电力有限公司	213.560	99.578	0.056	0.057	0.581	35.594
北京市电力公司	30.965	99.956	0.194	0.028	1.712	3.786
河北省电力公司	172.414	99.900	0.122	0.521	0.586	8.183
山西省电力公司	230.117	99.929	0.048	0.040	0.296	5.585
天津市电力公司	43.977	99.744	0.364	0.066	1.387	16.331
山东电力集团公司	335.204	99.768	0.027	0.003	0.737	18.996
辽宁省电力公司	247.273	99.754	0.040	0.174	0.958	21.350
吉林省电力公司	143.199	99.706	0.014	0.318	0.915	25.340
黑龙江省电力公司	179.153	99.663	0.039	0.060	0.469	29.331
内蒙古东部电力有限公司	135.370	99.539	0.015	0.011	0.842	39.172
江苏省电力公司	429.491	99.348	0.012	0.040	2.093	54.808
浙江省电力公司	279.493	99.131	0.036	0.217	1.771	75.434
安徽省电力公司	286.690	99.034	0.017	0.686	0.687	83.863
上海市电力公司	52.711	99.993	0.057	0.014	0.683	0.578
福建省电力公司	183.215	99.787	0.136	0.025	0.360	18.320
河南省电力公司	277.318	99.631	0.036	0.079	0.728	31.840
湖北省电力公司	306.747	99.063	0.042	0.424	0.808	77.561
湖南省电力公司	231.921	99.384	0.060	0.278	0.414	53.578

单位	统计数量（百公里年）	可用系数（%）	强迫停运率（次 / 百公里年）	平均强迫停运时间（小时 / 次）	计划停运率（次 / 百公里年）	平均计划停运时间（小时 / 次）
江西省电力公司	170.776	99.749	0.018	0.183	0.316	21.806
四川省电力公司	329.818	99.881	0.030	0.050	0.424	10.124
重庆市电力公司	125.693	99.481	0.024	2.571	0.438	42.003
西藏电力有限公司	34.173	99.689	0.029	0.016	0.029	27.234
陕西省电力公司	138.221	99.601	0.051	0.469	0.405	34.441
甘肃省电力公司	177.375	99.512	0.068	0.062	0.428	42.706
青海省电力公司	104.996	98.104	0.114	0.152	0.676	133.480
宁夏电力公司	83.094	99.025	0.012	0.001	1.179	84.115
新疆电力公司	263.624	99.669	0.144	0.923	0.561	26.321
南方电网有限公司	1864.172	99.814	0.052	0.200	0.267	13.139
广东电网公司	858.055	99.832	0.001	0.010	0.129	8.985
广西电网公司	186.354	99.983	0.102	0.041	0.118	1.476
云南电网公司	297.182	99.808	0.111	0.119	0.239	16.260
贵州电网公司	149.425	99.865	0.100	0.424	0.750	10.656
海南电网公司	42.529	99.873	0.235	0.011	0.964	11.000
广州供电局有限公司	37.603	99.888	0.053	4.688	0.798	5.118
深圳供电局有限公司	21.042	99.998	0.143	0.052	0.190	0.154
南网超高压输变电公司	271.983	99.583	0.051	0.293	0.390	34.636
内蒙古电力集团公司	213.809	99.849	0.178	1.031	1.394	11.822

三、按投运时间分析

2017 年全国电网架空线路投运时间在 5 年以上，10 年以内数量最多，达到 3028 百公里，可靠性指标情况较好的是 5 年以内架空线路，可用系数达到 99.524%，非计划停运率为 0.068 次 / 百公里年。

2017 年架空线路按投运时间可靠性指标情况见表 4-52。架空线路按投运时间可用系数对比见图 4-16，架空线路按投运时间非计划停运率对比见图 4-17。

表 4-52　2017 年全国电网架空线路按投运时间可靠性指标情况

投运时间	电压等级	长度	可用系数（%）	计划停运率	非计划停运率
5 年以内	综合	2530	99.524	0.640	0.068
	220	1425	99.822	0.836	0.070
	330	97	99.446	0.737	0.115
	500	591	99.599	0.449	0.073
5 年以上，10 年以内	综合	3028	99.475	0.632	0.054
	220	1911	99.875	0.771	0.049
	330	128	99.119	0.651	0.101
	500	740	99.359	0.430	0.073
10 年以上，20 年以内	综合	1489	99.509	0.772	0.088
	220	820	99.774	1.038	0.087
	330	41	99.483	0.568	0.071
	500	626	99.162	0.438	0.090
20 年以上	综合	440	99.473	0.775	0.076
	220	327	99.652	0.903	0.075
	330	18	99.189	0.609	0.111
	500	95	98.904	0.365	0.073

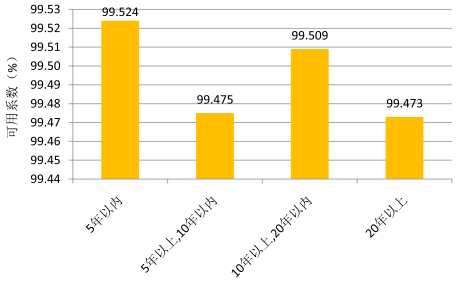


图 4-16　架空线路按投运时间可用系数对比

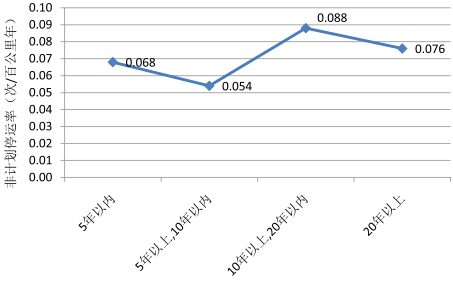


图 4-17　架空线路按投运时间非计划停运率对比

四、影响架空线路可靠性指标的主要因素

2017 年架空线路可用系数同比降低 0.073 个百分点，主要影响因素是计划停电。计划停运影响的可用系数同比上升 0.074 个百分点，非计划停运影响的可用系数同比下降 0.007 个百分点。

（一）计划停运影响分析

220kV、330kV 、500kV 架空线路计划停运影响可用系数、次数及时间同比上升。2017、2016 年架空线路计划停运情况见表 4-53。

表 4-53　2017、2016 年架空线路计划停运情况

分类	年份	220kV		330kV		500kV	
		次数 *	时间 **	次数 *	时间 **	次数 *	时间 **
架空线路	2016	2707	10.672	135	37.494	761	48.681
	2017	3752	13.754	183	52.765	876	54.744
	比较	1045	3.082	48	15.271	115	6.063

注：* 架空线路次数单位：次。
** 架空线路时间单位：小时 / 百公里年。

2017、2016 年架空线路计划停运影响的可用系数及对比情况见表 4-54。

表 4-54　2017、2016 年架空线路计划停运影响可用系数情况

分类	电压等级（kV）	计划停运影响可用系数（%）		
		2016	2017	比较
架空线路	220	0.125	0.162	0.037
	330	0.435	0.714	0.279
	500	0.581	0.653	0.072

（二）非计划停运的影响分析

a. 非计划停运对可靠性指标的影响分析

2017 年，220kV、330kV、500kV 架空线路非计划停运次数同比有所减少，其中 500kV 架空线路下降最多，为 51 次。2017 年，330kV、500kV 架空线路的非计划停运时间分别同比有所减少，220kV 架空线路非计划停运时间同比有所增加。500kV 架空线路非计划停运对可用系数的影响同比有所降低。220kV、330kV 架空线路非计划停运对可用系数的影响均同比有所升高。2017 年与 2016 年架空线路非计划停运情况和影响可用系数情况见下表。

表 4-55　2017、2016 年架空线路非计划停运情况

分类	年份	220kV		330kV		500kV	
		次数 *	时间 **	次数 *	时间 **	次数 *	时间 **
架空线路	2017	284	0.349	28	0.335	158	0.534
	2016	330	0.235	46	0.837	209	2.676
	比较	-46	0.114	-18	-0.502	-51	-2.142

注：* 架空线路次数单位：次。
** 架空线路时间单位：小时 / 百公里年。

2017 年与 2016 年架空线路非计划停运影响可用系数及对比情况见表 4-56。

表 4-56　2017、2016 年架空线路非计划停运影响可用系数情况

分类	电压等级（kV）	非计划停运影响可用系数（%）		
		2017	2016	比较
架空线路	220	0.004	0.002	0.002
	330	0.004	0.002	0.002
	500	0.007	0.037	-0.030

b. 架空线路非计划停运的事件分析

2017 年架空线路共发生非计划停运 486 次，同比减少 12 次。其中：220kV 有 284 次，同比减少 9 次；330kV 有 28 次，同比减少 10 次；400kV 有 2 次，同比增加 2 次；500kV 有 158 次，同比增加 6 次；660kV 未发生停运；750kV 有 6 次，同比减少 6 次；800kV 有 4 次，同比增加 4 次；1000kV 有 4 次，同比增加 3 次。累计非计划停运 0.409 小时／百公里年，比 2016 年下降 0.645 小时／百公里年，影响架空线路全年可用系数 0.005 个百分点。

2017 年，非计划停运相对较多的为 500kV 架空线路，达 158 次，主要为第一类非计划停运，停运时间为 0.431 小时／百台年。2017 年 500kV 架空线路非计划停运情况见表 4-57。

表 4-57　2017 年 500kV 架空线路非计划停运分布情况

停运类别	次数	占非计划停运次数百分比 %	小时／百台年	占非计划停运时间百分比 %
第一类非计划停运	129	81.65	0.431	80.71
第二类非计划停运	12	7.59	0.027	5.06
第三类非计划停运	17	10.76	0.076	14.23
第四类非计划停运	0	0.00	0.000	0.00
强迫停运	141	89.24	0.431	80.71
非计划停运合计	158	100	0.534	100

c. 按停运时间分析

2017 年全国电网架空线路发生的 486 次非计划停运按停运时间分级分析情况见下表。

表 4-58　2017 年架空线路非计划停运按停运时间分级分析情况

架空线路非计划停运时间（小时）	非停次数（次）
＜ 1	266
1-5	142
5-100	71
100-300	4
≥ 300	3
各分级数值范围中，下限值为包含，上限值为不包含。	

2017 年全国电网架空线路发生 5 至 100 小时非计划停运事件 71 次，合计停运时间 1350.57 小时；发生 100 至 300 小时非计划停运事件 4 次，合计停运时间 780.58 小时；发生 300 小时以上非计划停运事件 3 次，停运时间 1634.73 小时。典型非计划停运事件具体情况如下：

2017 年 12 月，新疆电力公司国网伊犁供电公司 220kV2287 恰特线在降雪天气，线路覆冰地线断线造成跳闸，停电时间为 528.30 小时。

2017 年 9 月，广东电网公司揭阳供电局 220kV 顺揭甲线、220kV 顺揭乙线各发生第三类非计划停运一次，停电时间为 389.37 小时。

d. 按部件分析

部件造成 220kV 及以上架空线路非计划停运次数最多的部件是导线。非计划停运部件分类情况见下表。

表 4-59　2017 年 220kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
导线	189	1206.717	35.42%
铁塔	15	1657.317	48.65%
绝缘子	45	419.433	12.31%
金具	20	88.683	2.60%
架空地线	6	18.683	0.55%
ADSS 光缆	1	11.000	0.32%
一次系统	4	3.567	0.10%
木杆	3	1.067	0.03%
自动装置	1	0.483	0.01%

表 4-60 2017 年 330kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
绝缘子	3	83.350	58.03%
导线	25	60.283	41.97%

表 4-61 2017 年 400kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
导线	2	0.033	100%

表 4-62 2017 年 500kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
导线	125	539.670	62.94%
绝缘子	14	125.900	14.68%
铁塔	2	102.120	11.91%
一次系统	5	33.270	3.88%
金具	4	29.630	3.46%
架空地线	8	26.900	3.14%

表 4-63 2017 年 750kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
铁塔	4	79.833	89.08%
一次系统	1	8.450	9.43%
导线	1	1.333	1.49%

表 4-64 2017 年 800kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
导线	3	15.800	99.48%
架空地线	1	0.083	0.52%

表 4-65 2017 年 1000kV 架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
导线	4	30.850	100

表 4-66　2017 年 220kV 及以上架空线路非计划停运按部件分类

非计划停运部件	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比 (%)
导线	349	1854.683	40.81%
铁塔	21	1839.267	40.47%
绝缘子	62	628.683	13.83%
金具	24	118.317	2.60%
架空地线	15	45.667	1.00%
一次系统	10	45.283	1.00%
ADSS 光缆	1	11.000	0.24%
木杆	3	1.067	0.02%
自动装置	1	0.483	0.01%

e. 按责任原因分析

2017 年架空线路非计划停运 486 次，其中自然灾害、气候因素造成 255 次，同比减少 31 次，占非计划停运总次数的 52.47%，同比减少 4.96 个百分点；自然灾害、气候因素造成的非计划停运时间为 3377.05 小时，占非计划停运总时间的 74.31%，同比减少 9.7 个百分点。2017 年责任原因为待查的非计划停运 38 次，非计划停运时间为 596.383 小时，占非计划停运总时间的 13.12%。

各类自然灾害中影响架空线路非计划停运最主要原因为大风，全年 220kV 及以上电压等级架空线路受大风影响一共发生非计划停运 86 次，最长非计划停运时间达 92.58 小时。2017 年架空线路受大风影响比较严重的是新疆、河北、天津、甘肃、辽宁、河南六个省级电力公司，其中受大风影响架空线路非停次数最多、时间最长的是新疆电力公司，分别是 19 次、0.394 小时 / 百公里年。受大风影响非停次数占总非停次数最多的是河北省电力公司，受大风影响非计划停运次数 15 次，占全部非停次数的 71.43%。受大风影响非停时间占总非停时间最多的是甘肃省电力公司，受大风影响非计划停运时间 0.035 小时 / 百公里年，占全部非停时间的 56.45%。2017 年架空线路非计划停运按责任原因分类情况见下表。

表 4-67　2017 年 220kV 架空线路非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
自然灾害	61	1706.417	50.09%
气候因素	81	988.783	29.02%
外力损坏	76	87.317	2.56%
动物事故	9	33.050	0.97%
产品质量不良	4	26.017	0.76%
设备老化	11	22.517	0.66%
运行不当	14	13.017	0.38%
施工安装不良	6	11.117	0.33%
管理不当	2	3.717	0.11%
规划、设计不周	1	2.067	0.06%
待查	19	512.933	15.06%

表 4-68　2017 年 330kV 架空线路非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
自然灾害	11	101.350	70.56%
外力损坏	8	22.167	15.43%
气候因素	8	20.033	13.95%
产品质量不良	1	0.083	0.06%

表 4-69　2017 年 400kV 架空线路非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
动物事故	2	0.033	100%

表 4-70　2017 年 500kV 架空线路非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
自然灾害	41	275.9167	32.18%
气候因素	46	267.3	31.17%
外力损坏	36	139.88333	16.31%
产品质量不良	7	86.349999	10.07%
待查	18	77.299999	9.01%
设备老化	1	3.216667	0.38%
施工安装不良	1	2.783333	0.32%
运行不当	4	2.55	0.30%
动物事故	3	2.1	0.24%
管理不当	1	0.083333	0.01%

表 4-71　2017 年 750kV 架空线路非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
运行不当	1	78.833333	87.97%
检修质量不良	1	8.450000	9.43%
自然灾害	3	1.366667	1.53%
外力损坏	1	0.966667	1.08%

表 4-72　2017 年 800kV 架空线路非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
气候因素	2	2.000000	94.49%
自然灾害	2	0.116666	5.51%

表 4-73　2017 年 1000kV 架空线路非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
外力损坏	1	24.700000	80.06%
待查	1	6.150000	19.94%

表 4-74　2017 年 220kV 及以上架空线路非计划停运按责任分类

非计划停运原因	非计划停运次数（次）	非计划停运时间（小时）	占非计划停运总时间的百分比（%）
自然灾害	118	2085.167	45.88%
气候因素	137	1291.883	28.43%
外力损坏	124	275.033	6.05%
产品质量不良	12	112.450	2.47%
运行不当	19	94.400	2.08%
动物事故	14	35.183	0.77%
设备老化	12	25.733	0.57%
施工安装不良	7	13.900	0.31%
检修质量不良	1	8.450	0.19%
管理不当	3	3.800	0.08%
规划、设计不周	1	2.067	0.05%
待查	38	596.383	13.12%

表 4-75　2017 年电网架空线路受大风影响情况

单位	非计划停运次数（次）	受大风影响非计划停运次数（次）及占比(%)	非计划停运时间（小时／百公里年）	受大风影响非计划停运时间（小时／百公里年）及占比（%）
全国	486	86(17.70%)	0.453	0.029(6.40%)
新疆电力公司	41	19(46.34%)	1.76	0.394(22.39%)
河北省电力公司	21	15(71.43%)	0.521	0.035(6.72%)
天津市电力公司	16	6(37.50%)	0.066	0.028(42.42%)
甘肃省电力公司	12	6(50.00%)	0.062	0.035(56.45%)
辽宁省电力公司	11	5(45.45%)	0.08	0.004(5.00%)
河南省电力公司	10	4(40.00%)	0.174	0.004(2.30%)

第六节　我国与北美 NERC 三类主要设施可靠性对比分析

选取 220kV、500kV 电压等级变压器、架空线路和电缆线路三类主要设施进行对标，中国和北美 NERC 的三类设施构成情况见下表，中国与北美 220kV 等级、500kV 等级三类设施可用率指标见下图。

从架空线路、电缆、变压器三类设施的指标对情况来看，220kV 等级电缆和变压器可用率，我国分别比北美 NERC 高出 0.351 和 0.030 个百分点，220kV 等级架空线路可用率，我国比北美 NERC 低 0.093 个百分点。500kV 等级架空线路、电缆和变压器的可用系数，我国分别低于北美 NERC0.599、0.049、0.053 个百分点。

表 4-76　2017 年我国三类交流输变电设施构成及总量

设施类型	电压等级（kV）	设施总数
变压器	220	10,303 台
	500	4,257　台
架空线路	220	448,351 千米
	500	205,207 千米
电缆线路	220	4,006 千米
	500	58 千米

表 4-77　2016 年北美 NERC 三类交流输变电设施构成及总量

设施类型	电压等级（kV）	设施总数
变压器	200-299	1,942　台
	400-599	635　台
架空线路	200-299	171,960　千米
	400-599	54,128　千米
电缆线路	200-299	975　千米
	400-599	137　千米

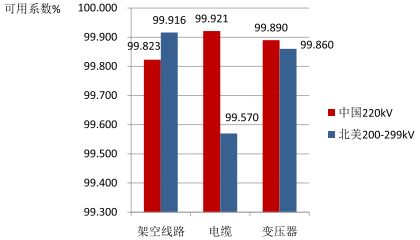


图 4-18　2017 年中国与 2016 年北美 220kV 等级三类设施可用率对标

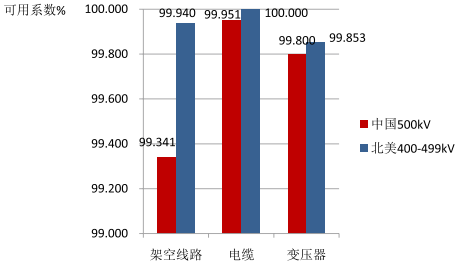


图 4-19　2017 年中国与 2016 年北美 500kV 等级三类设施可用率对标

第五章　2017 年全国直流输电系统可靠性

第一节　直流输电系统概况

2017 年，全国纳入可靠性统计的直流输电系统数量为 27 个，包括 15 个点对点超高压直流输电系统、9 个点对点特高压直流输电系统和 3 个背靠背直流输电系统。额定输送容量总计 111624 兆瓦，线路总长度达到 31221.57 千米。2017 年在运直流输电系统基本情况见表 5-1。

表 5-1　2017 年在运直流输电系统基本情况

序号	系统名称	极（单元）	投运日期	额定电压（千伏）	额定输送容量（兆瓦）	线路长度（千米）	电网集团
点对点超高压直流输电系统							
1	葛南直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	1989-9-1 1990-8-1	±500	582 582	1110.05	国家电网
2	天广直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2000-12-26 2001-6-26	±500	900 900	963	南方电网
3	龙政直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2003-6-1 2003-6-1	±500	1500 1500	860.44	国家电网
4	江城直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2004-6-1 2004-6-1	±500	1500 1500	940.72	国家电网
5	高肇直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2004-9-24 2004-5-31	±500	1500 1500	891	南方电网
6	宜华直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2006-12-1 2006-12-1	±500	1500 1500	1048.51	国家电网
7	兴安直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2007-12-3 2007-6-21	±500	1500 1500	1194	南方电网
8	德宝直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2010-4-21 2010-4-21	±500	1500 1500	534.34	国家电网
9	伊穆直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2010-9-30 2010-9-30	±500	1500 1500	906.49	国家电网
10	银东直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2011-3-25 2011-3-25	±660	2000 2000	1334.01	国家电网

序号	系统名称	极（单元）	投运日期	额定电压（千伏）	额定输送容量（兆瓦）	线路长度（千米）	电网集团
11	林枫直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2011-5-2 2011-5-2	±500	1500 1500	978.4	国家电网
12	柴拉直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2012-6-10 2012-6-10	±400	300 300	1033.6	国家电网
13	牛从甲直流（溪洛渡-广东）	极Ⅰ 极Ⅱ	2014-4-11 2013-10-12	±500	1600 1600	1224.69	南方电网
14	牛从乙直流（溪洛渡-广东）	极Ⅰ 极Ⅱ	2014-6-29 2014-6-29	±500	1600 1600	1224.69	南方电网
15	金中直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2016-6-18 2016-6-18	±500	1600 1600	1105.091	南方电网
点对点特高压直流输电系统							
16	楚穗直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2010-6-18 2009-12-28	±800	2500 2500	1374	南方电网
17	复奉直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2010-7-26 2010-7-26	±800	3200 3200	1891.3	国家电网
18	锦苏直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2012-7-19 双极低端投运 2012-12-6 全面投运	±800	3600 3600	2057.86	国家电网
19	天中直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2014-1-25 2014-1-25	±800	4000 4000	2210	国家电网
20	宾金直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2014-7-3 2014-7-3	±800	4000 4000	1705	国家电网
21	普侨直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2015-5-30 2014-1-29	±800	2500 2500	1412.38	南方电网
22	灵绍直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2016-8-24 2016-8-24	±800	4000 4000	1720	国家电网
23	祁韶直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2017-6-23 2017-6-23	±800	4000 4000	2383	国家电网
24	雁淮直流输电系统	极Ⅰ 极Ⅱ	2017-6-30 2017-6-30	±800	5000　5000	1119	国家电网
背靠背直流输电系统							
25	灵宝背靠背换流站	单元Ⅰ 单元Ⅱ	2005-7-1 2009-12-15	120 167	360 750	0	国家电网
26	高岭背靠背换流站	单元Ⅰ 单元Ⅱ 单元Ⅲ 单元Ⅳ	2008-11-1 2008-11-1 2012-11-13 2012-11-13	±125	750 750 750 750	0	国家电网
27	黑河背靠背换流站	单元Ⅰ	2012-1-7	±125	750	0	国家电网

第二节　可靠性指标总体情况

2017 年，全国直流输电系统运行情况平稳，25 个系统[3]合计能量可用率、能量利用率分别为 95.35%、54.42%，同比分别增加 0.68、0.25 个百分点，总计强迫停运 33 次。具体指标见表 5-2。

表 5-2　全国 2016、2017 年参与可靠性统计的直流输电系统可靠性指标比较

可靠性指标	年份	直流系统类型			合计
		点对点超高压	点对点特高压	背靠背	
系统数量（个）	2016 年	14	6	3	23
	2017 年	15	7	3	25
额定输送容量（兆瓦）	2016 年	37964	39600	4860	82424
	2017 年	41164	47600	4860	93624
能量可用率（%）	2016 年	96.003	93.112	96.971	94.671
	2017 年	95.808	94.885	96.030	95.350
强迫停运次数（次）	2016 年	20	14.5	6	40.5
	2017 年	19	11	3	33
强迫能量不可用率（%）	2016 年	0.061	0.167	0.749	0.152
	2017 年	0.172	0.208	0.015	0.182
计划能量不可用率（%）	2016 年	3.936	6.723	2.287	5.178
	2017 年	4.022	4.908	3.955	4.469
总输送电量（亿千瓦时）	2016 年	1711.56	1913.23	297.48	3922.27
	2017 年	1891.86	2240.89	330.16	4462.90
能量利用率（%）	2016 年	51.32	55.00	69.68	54.17
	2017 年	52.46	53.74	77.55	54.42

注：本报告中能量可用率、强迫能量不可用率、计划能量不可用率、能量利用率等可靠性评价指标计算方法为各系统指标按照额定输送容量加权计算。

一、点对点超高压直流输电系统可靠性指标情况

（一）能量可用率与强迫停运次数

2017 年纳入可靠性统计的 15 个点对点超高压直流输电系统能量可用率

[3] 2017 年新投运直流系统（祁韶直流和雁淮直流），运行时间不满一年，未参与本报告中可靠性指标的计算和分析

95.808%，同比减少 0.195%；强迫能量不可用率 0.172%，同比增加 0.111%；计划能量不可用率 4.022%，同比增加 0.086%；强迫停运次数 19 次，同比减少 1 次。其中，能量可用率最高的是高肇系统，为 99.124%；最低的是宜华系统，为 91.38%。强迫能量不可用率最高的是德宝系统，为 1.12%。计划能量不可用率最低的是高肇系统，为 0.620%；最高的是宜华系统，为 8.620%。

能量可用率与 2016 年相比，龙政、江城、高肇、宜华、兴安、德宝、伊穆、林枫分别降低 0.050%、0.058%、0.560%、5.114%、0.810%、0.118%、1.768%、2.409%，葛南、天广、银东、柴拉、牛从甲、牛从乙分别上升 8.169%、0.495%、1.316%、2.366%、1.374%、1.021%。

2017 年 15 个点对点超高压直流输电系统全年累计双极强迫停运 3 次，同比增加 3 次；单极强迫停运 16 次，同比减少 4 次。宜华、银东、林枫、牛从乙、金中 5 个系统全年未发生强迫停运，高肇、德宝、柴拉各发生 1 次双极强迫停运，天广、兴安系统单极强迫停运次数最多，均达到 3 次。

具体见表 5-4。

表 5-4　2017 年全年在运点对点超高压直流输电系统可靠性指标情况

系统	能量可用率 (%)	强迫能量不可用率 (%)	计划能量不可用率 (%)	单极强迫停运		双极强迫停运	
				次数	小时	次数	小时
葛南	92.290	0.140	7.570	1	23.82	0	0.00
天广	97.257	0.077	2.666	3	13.45	0	0.00
龙政	95.920	0.140	3.940	1	24.10	0	0.00
江城	97.450	0.020	2.540	1	2.82	0	0.00
高肇	99.124	0.256	0.620	2	4.73	1	20.00
宜华	91.380	0.000	8.620	0	0.00	0	0.00
兴安	98.338	0.449	1.213	3	78.48	0	0.00
德宝	95.690	1.120	3.190	1	191.43	1	4.67
伊穆	95.640	0.060	4.310	1	9.97	0	0.00
银东	96.490	0.000	3.510	0	0.00	0	0.00
林枫	91.690	0.000	8.310	0	0.00	0	0.00
柴拉	92.840	0.900	6.260	2	10.08	1	73.82
牛从甲	96.577	0.029	3.394	1	4.98	0	0.00
牛从乙	96.207	0.000	3.793	0	0.00	0	0.00
金中	95.966	0.000	4.034	0	0.00	0	0.00
合计	95.808	0.172	4.022	16	363.86	3	98.48

（二）能量输送情况

2017年全年在运的点对点超高压直流输电系统总输送电量1891.857亿千瓦时，能量利用率为52.46%，与2016年全年在运的14个系统合计值相比提高1.14个百分点。其中银东系统能量利用率最高，达到83.27%，柴拉系统能量利用率最低，为27.34%。

与2016年能量利用率相比：高肇、宜华、兴安分别下降了13.89%、4.88%、5.74%，葛南、天广、龙政、江城、德宝、伊穆、银东、林枫、柴拉、牛从甲、牛从乙分别上升了8.47%、11.61%、2.59%、4.07%、15.59%、2.07%、2.93%、2.45%、3.30%、0.01%、2.44%；14个系统2017年合计总输送电量1891.857亿千瓦时，较2016年增加180.293亿千瓦时。

具体见表5-5。

表5-5　2017年全年在运点对点超高压直流输电系统能量输送情况

系统	额定输送容量（兆瓦）	总输送电量（亿千瓦时）	能量利用率（%）
葛南	1164	55.188	54.12
天广	1800	87.700	55.62
龙政	3000	106.214	40.42
江城	3000	170.962	65.05
高肇	3000	114.940	43.62
宜华	3000	107.093	40.75
兴安	3000	152.320	57.96
德宝	3000	117.587	44.74
伊穆	3000	153.805	58.53
银东	4000	302.021	86.19
林枫	3000	80.570	30.66
柴拉	600	16.106	30.64
牛从甲	3200	147.260	52.53
牛从乙	3200	147.220	52.52
金中	3200	132.870	47.40
合计	41164	1891.857	52.46

（三）换流站可靠性指标

高坡站的能量可用率最高，为 99.646%；华新站的能量可用率最低，为 91.380%。华新换流站计划能量不可用率为 8.62%，导致其能量可用率较低；其他换流站的能量可用率均达到 92% 以上。

全年在运的点对点超高压直流输电系统换流站 2017 年发生强迫停运 12 次，同比减少 6 次；其中 9 次单极强迫停运、3 次双极强迫停运。

华新换流站连续七年未发生强迫停运；政平和胶东换流站连续六年未发生强迫停运；枫泾、龙泉 2 个换流站连续四年未发生强迫停运；鹅城和银东两个换流站连续三年未发生强迫停运；南桥换流站、广州换流站、高坡换流站、牛寨换流站（牛从甲）、从西换流站（牛从乙）、牛寨换流站（牛从乙）6 个换流站连续两年未发生强迫停运；葛洲坝换流站、江陵换流站、宜都换流站、宝安换流站、德阳换流站、宝鸡换流站、穆家换流站、团林换流站等 23 个换流站 2017 年当年未发生强迫停运。

2017 年参与可靠性统计的点对点超高压直流输电系统各换流站可靠性指标见表 5-6。

表 5-6　2017 年全年在运点对点超高压直流输电系统换流站可靠性指标

换流站	能量可用率 (%)	强迫能量不可用率 (%)	计划能量不可用率 (%)	强迫停运次数		
				单极	双极	合计
葛洲坝换流站	95.910	0.140	3.950	0	0	0
南桥换流站	92.800	0.000	7.200	0	0	0
天生桥换流站	97.828	0.889	2.083	2	0	2
广州换流站	99.516	0.000	0.484	0	0	0
龙泉换流站	97.640	0.000	2.360	0	0	0
政平换流站	96.060	0.000	3.940	0	0	0
江陵换流站	97.480	0.000	2.520	0	0	0
鹅城换流站	97.600	0.000	2.400	0	0	0
高坡换流站	99.646	0.000	0.354	0	0	0
肇庆换流站	99.243	0.248	0.509	1	1	2
宜都换流站	93.210	0.000	6.790	0	0	0
华新换流站	91.380	0.000	8.620	0	0	0
兴仁换流站	98.544	0.129	1.327	2	0	2

换流站	能量可用率 (%)	强迫能量不可用率 (%)	计划能量不可用率 (%)	强迫停运次数		
				单极	双极	合计
宝安换流站	98.958	0.000	1.042	0	0	0
德阳换流站	96.810	0.000	3.190	0	0	0
宝鸡换流站	95.720	1.120	3.160	1	1	2
伊敏换流站	96.260	0.060	3.690	1	0	1
穆家换流站	96.280	0.000	3.720	0	0	0
银东换流站	96.790	0.000	3.210	0	0	0
胶东换流站	97.040	0.000	2.960	0	0	0
团林换流站	93.780	0.000	6.220	0	0	0
枫泾换流站	92.670	0.000	7.330	0	0	0
柴达木换流站	93.310	0.840	5.850	0	1	1
拉萨换流站	94.990	0.030	4.980	1	0	1
从西换流站	98.111	0.029	1.860	1	0	1
牛寨换流站	96.621	0.000	3.379	0	0	0
从西换流站	97.972	0.000	2.028	0	0	0
牛寨换流站	96.704	0.000	3.296	0	0	0
金官换流站	96.189	0.000	3.811	0	0	0
桂中换流站	96.042	0.000	3.958	0	0	0
合计强迫停运次数				9	3	12

二、点对点特高压直流输电系统可靠性指标

（一）能量可用率与强迫停运次数

2017 年参与电力可靠性统计的 7 个点对点特高压直流输电系统合计能量可用率 94.885%，同比增加 1.773 个百分点；强迫能量不可用率 0.208%，同比增加 0.041 个百分点；计划能量不可用率 4.908%，同比减少 1.815 个百分点；强迫停运次数 11 次，同比与减少 3.5 次。

2017 年仅灵绍直流系统发生了一次双极强迫停运事件。楚穗、复奉、锦苏、天中、宾金、普侨六个 ±800kV 特高压直流输电系统均未发生双极强迫停运。具体见

表 5-7。

表 5-7 2017 年全年在运点对点特高压直流输电系统可靠性指标情况

系统	能量可用率(%)	强迫能量不可用率(%)	计划能量不可用率(%)	单极强迫停运		双极强迫停运	
				次数	小时	次数	小时
楚穗	95.652	0.189	4.152	1	6.983	0	0
复奉	94.540	0.000	5.460	0	0	0	0
锦苏	95.790	0.230	3.980	1	40.2166	0	0
天中	95.960	0.000	4.040	0	0	0	0
宾金	94.280	0.800	4.920	1	29.66	0	0
普侨	94.578	0.117	5.319	2	20.47	0	0
灵绍	93.590	0.040	6.370	0	0	1	3.617
合计	94.885	0.208	4.908	5	97.33	1	3.617

（二）能量输送情况

2017 年纳入电力可靠性统计的点对点特高压直流输电系统总输送电量 2240.89 亿千瓦时，能量利用率为 53.74%，其中最高为普侨系统，为 67.93%；最低为灵绍系统，为 28.72%。具体见表 5-8。

表 5-8 2017 年全年在运点对点特高压直流输电系统能量输送情况

系统	额定输送容量（兆瓦）	总输送电量（亿千瓦时）	能量利用率 (%)
楚穗	5000	282.18	64.42
复奉	6400	323.98	57.79
锦苏	7200	387.10	61.38
天中	8000	359.68	51.32
宾金	8000	389.15	55.53
普侨	5000	297.52	67.93
灵绍	8000	201.27	28.72
合计	47600	2240.89	53.74

（三）各换流站可靠性指标

各换流站均未发生双极强迫停运，穗东、宜宾、普洱站各发生 1 次单极强迫停

运。奉贤站的计划能量不可用率最高，为 5.340%；穗东站的计划能量不可用率最低，为 2.197%。苏州站的能量可用率最低，为 94.660%；穗东站的能量可用率最高，为 96.763%。

具体见表 5-9。

表 5-9　2017 年全年在运点对点特高压直流输电系统换流站可靠性指标

换流站	能量可用率 (%)	强迫能量不可用率 (%)	计划能量不可用率 (%)	强迫停运次数		
				单极	双极	合计
楚雄换流站	96.336	0.207	3.458	0	0	0
穗东换流站	96.763	0.040	2.197	1	0	1
复龙换流站	96.230	0.000	3.980	0	0	0
奉贤换流站	94.940	0.000	5.340	0	0	0
锦屏换流站	96.020	0.000	3.750	0	0	0
苏州换流站	94.660	0.000	3.900	0	0	0
天山换流站	96.650	0.000	3.350	0	0	0
中州换流站	96.060	0.000	3.940	0	0	0
宜宾换流站	95.480	0.390	4.130	1	0	1
金华换流站	95.330	0.360	4.300	0	0	0
普洱换流站	95.753	0.115	4.132	1	0	1
侨乡换流站	94.685	0.000	5.315	0	0	0
灵州换流站	96.040	0.000	3.960	0	0	0
绍兴换流站	96.630	0.000	3.370	0	0	0
合计强迫停运次数				3	0	3

三、背靠背直流输电系统可靠性指标情况

（一）能量可用率与强迫停运次数

2017 年全年在运的背靠背换流站合计能量可用率 96.030%，同比减少 0.941 个百分点；强迫能量不可用率 0.015%，同比减少 0.734 个百分点；计划能量不可用率 3.955%，同比增加 1.668 个百分点；强迫停运次数 3 次，同比减少 3 次。具体见表 5-10。

2017 年，仅黑河换流站发生强迫停运，共 3 次，能量可用率同比降低 5.190 %。

高岭单元 I、II、III、IV 四个单元 2017 年未发生强迫停运，I、II、III 三个单元的能量可用率比 2016 年分别降低 0.324%、0.370%、0.209%，单元 IV 能量可用率升高 1.373%。

灵宝换流站 2017 年未发生强迫停运，单元 I、II 两个单元的能量可用率降低 3.462%、1.713%。

表 5-10 2017 年全年在运背靠背直流输电系统可靠性指标情况

统计对象		能量可用率 (%)	强迫能量不可用率 (%)	计划能量不可用率 (%)	单元强迫停运	
					次数	小时
灵宝	换流站	96.360	0.000	3.640	0	0
	单元 I	95.096	0.000	4.904	0	0
	单元 II	96.960	0.000	3.040	0	0
高岭	换流站	96.310	0.000	3.690	0	0
	单元 I、II	96.830	0.000	3.170	0	0
	单元 I	96.960	0.000	3.040	0	0
	单元 II	96.710	0.000	3.290	0	0
	单元 III、IV	95.791	0.000	4.209	0	0
	单元 III	97.171	0.000	2.829	0	0
	单元 IV	94.412	0.000	5.588	0	0
黑河	单元 I	94.420	0.098	5.480	3	8.583
背靠背换流站合计		96.030	0.015	3.955	3	8.583

（二）能量输送情况

2017 年背靠背换流站总输送电量、能量利用率分别为 330.158 亿千瓦时、77.55%。与 2016 年相比：2017 年灵宝单元Ⅰ、单元Ⅱ总输送电量分别增加了 3.824 亿千瓦时、11.680 亿千瓦时，能量利用率分别提升了 12.35 个百分点、10.97 个百分点；高岭单元Ⅰ、单元Ⅱ、单元Ⅲ、单元Ⅳ总输送电量分别增加了 1.851 亿千瓦时、1.226 亿千瓦时、2.361 亿千瓦时、3.041 亿千瓦时，能量利用率分别增加了 2.82 个百分点、1.87 个百分点、3.59 个百分点、4.63 个百分点；黑河单元Ⅰ总输送电量及能量利用率分别增加了 8.697 亿千瓦时、13.31 个百分点。

各换流站能量输送情况见表 5-11。

表 5-11　2017 年全年在运背靠背直流输电系统能量输送情况

统计对象		额定输送容量（兆瓦）	总输送电量（亿千瓦时）	能量利用率（%）
灵宝	换流站	1110	86.923	89.39
	单元 I	360	28.838	91.45
	单元 II	750	58.085	88.41
高岭	换流站	3000	215.226	81.90
	单元 I、II	1500	105.781	80.50
	单元 I	750	53.464	81.38
	单元 II	750	52.317	79.63
	单元 III、IV	1500	109.444	83.29
	单元 III	750	55.597	84.62
	单元 IV	750	53.847	81.96
黑河	单元 I	750	28.010	42.63
背靠背换流站合计		4860	330.158	77.55

第三节　强迫停运及降额运行情况

一、强迫停运情况

2017 年全国全年在运的直流输电系统统计 33 次强迫停运中，双极强迫停运 4 次、单极强迫停运 21 次、阀组强迫停运 5 次、单元强迫停运 3 次。情况见表 5-12。

表 5-12 2017 年全年在运直流输电系统强迫停运情况

系统	阀组强迫停运		单极强迫停运		双极强迫停运		单元强迫停运		强迫停运合计	
	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	等效停运小时
葛南	–	–	1	23.82	0	0.00	–	–	1	11.91
天广	–	–	3	13.45	0	0.00	–	–	3	6.72
龙政	–	–	1	24.10	0	0.00	–	–	1	12.05

系统	阀组强迫停运		单极强迫停运		双极强迫停运		单元强迫停运		强迫停运合计	
	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	等效停运小时
江城	-	-	1	2.82	0	0.00	-	-	1	1.41
高肇	-	-	2	4.73	1	20.00	-	-	3	22.37
宜华	-	-	0	0.00	0	0.00	-	-	0	0.00
兴安	-	-	3	78.48	0	0.00	-	-	3	39.24
德宝	-	-	1	191.43	1	4.67	-	-	2	98.05
伊穆	-	-	1	9.97	0	0.00	-	-	1	4.98
银东	-	-	0	0.00	0	0.00	-	-	0	0.00
林枫	-	-	0	0.00	0	0.00	-	-	0	0.00
柴拉	-	-	2	10.08	1	73.82	-	-	3	78.86
牛从甲	-	-	1	4.98	0	0.00	-	-	1	2.49
牛从乙	-	-	0	0.00	0	0.00	-	-	0	0.00
金中	-	-	0	0.00	0	0.00	-	-	0	0.00
楚穗	2	26.12	1	6.98	0	0.00	-	-	3	10.02
复奉	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	0	0.00
锦苏	0	0.00	1	40.22	0	0.00	-	-	1	20.11
天中	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	0	0.00
宾金	3	220.68	1	29.66	0	0.00	-	-	4	70.00
普侨	0	0.00	2	20.47	0	0.00	-	-	2	10.23
灵绍	0	0.00	0	0.00	1	3.62	-	-	1	3.62
灵宝	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0	0.00
高岭	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0	0.00
黑河	-	-	-	-	-	-	3.00	8.58	3	8.58
全国累计	5	246.80	21	461.19	4	102.10	3.00	8.58	33	400.65

与2016年全国直流输电系统强迫停运情况相比，2017年双极强迫停运增加3次，总计强迫停运次数和累计各系统强迫停运等效停运小时均有所减少。近五年强迫停运次数比较见表5-13、图5-1。

表 5-13 全国近五年参与可靠性统计直流输电系统强迫停运次数比较

停运类型	指标类别	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
双极强迫停运	点对点双极数量（个）	15	16	17	20	22
	次数（次）	3	0	3	1	4
	平均次数（次 / 双极 • 年）	0.2	0	0.18	0.05	0.182
单极强迫停运	点对点单极数量（个）	30	32	34	40	44
	次数（次）	22	24	22	27	21
	平均（次 / 极 • 年）	0.73	0.75	0.65	0.675	0.477
单元强迫停运	背靠背单元数量（个）	7	7	7	7	7
	次数（次）	2	1	0	6	3
	平均次数（次 / 单元 • 年）	0.29	0.14	0	0.857	0.429
阀组强迫停运	双阀组系统数量（个）	3	4	5	6	7
	次数（次）	4	1	3	9	5
	平均次数（次 / 系统 • 年）	1.33	0.25	0.6	1.5	0.714

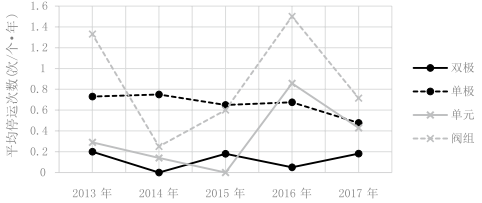


图 5-1 全国近五年参与可靠性统计直流输电系统平均强迫停运次数

二、强迫停运主要原因分析

2017 年全国直流输电系统累计等效强迫停运 400.95 小时，其中直流输电线路占 15.37%，换流站原因占 84.63%。

按照交流及其辅助设备（AC-E）、阀设备（V）、控制和保护系统（C & P）、直流一次设备（DC-E）、换流站内其他原因（O）、直流输电线路（TL）等六大类事

件原因分类统计，影响直流输电系统强迫停运和降额运行的主要原因是交流及其辅助设备故障，时间影响占比最高为 39.96%，较 2016 年的 10.17% 大幅上升；控制和保护系统导致的强迫停运影响率较 2016 年的 48.95% 大幅下降。

表 5-14　2017 年全国直流输电系统强迫停运和降额运行的主要分类原因

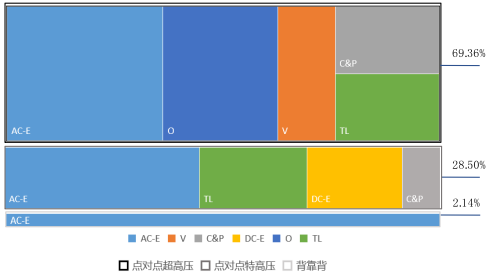
原因分类	统计对象	强迫停运次数（次）	降额运行次数（次）	等效强迫停运小时（h）	时间影响百分比（%）
交流及其辅助设备（AC-E）	德宝	2	0	98.05	24.45
	牛从甲	1	0	2.49	0.62
	宾金	2	0	50.78	12.67
	灵绍	0	1	0.30	0.07
	黑河	3	0	8.58	2.14
	AC-E 全国累计	8	0	159.91	39.96
阀设备（V）	葛南	1	0	11.91	2.97
	高肇	1	0	1.64	0.41
	兴安	2	0	23.37	5.83
	V 全国累计	4	0	36.92	9.21
控制和保护系统（C & P）	天广	1	0	5.64	1.41
	高肇	1	0	20.00	4.99
	伊穆	1	0	4.98	1.24
	柴拉	1	0	2.84	0.71
	楚穗	3	0	10.02	2.5
	C & P 全国累计	7	0	43.49	10.85
直流一次设备（DC-E）	宾金	1	0	14.83	3.70
	普侨	1	0	10.07	2.51
	DC-E 全国累计	2	0	24.90	6.21
其他原因（O）	柴拉	1	0	73.82	18.41
	O 全国累计	1	0	73.82	18.41
换流站原因合计		22	0	339.32	84.63

原因分类	统计对象	强迫停运次数（次）	降额运行次数（次）	等效强迫停运小时（h）	时间影响百分比（%）
直流输电线路（TL）	天广	2	0	1.08	0.27
	龙政	1	0	12.05	3.01
	江城	1	0	1.41	0.35
	高肇	1	0	0.73	0.18
	兴安	1	0	15.88	3.96
	柴拉	1	0	2.20	0.55
	锦苏	1	0	20.11	5.02
	宾金	1	0	4.39	1.09
	普侨	1	0	0.17	0.04
	灵绍	1	1	3.62	0.90
	TL 全国累计	11	0	61.62	15.37
总计		33	1	400.95	100

注：时间影响百分比是直流输电系统本类等效强迫停运小时与全部等效强迫停运小时之比的百分数。

表 5-15　2017 年三类直流输电系统累计等效强迫停运小时的分类原因构成

系统类型	指标	AC-E	V	C&P	DC-E	O	TL
点对点超高压	时间影响百分比	25.08%	9.21%	8.35%	0.00%	18.41%	8.32%
	等效停运小时	100.54	36.92	33.47	0.00	73.82	33.34
点对点特高压	时间影响百分比	12.74%	0.00%	2.50%	6.21%	0.00%	7.05%
	等效停运小时	51.08	0.00	10.02	24.90	0.00	28.28
背靠背	时间影响百分比	2.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	等效停运小时	8.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



注：交流及其辅助设备（AC-E），阀设备（V），控制和保护系统（C & P），直流一次设备（DC-E），其他原因（O），直流输电线路（TL）。

图 5-2　2017 年三类直流输电系统累计等效强迫停运小时分类构成

第四节　计划停运情况

2017 年，全国全年在运的直流输电系统计划停运 147 次，其中双极计划停运 35 次、单极计划停运 75 次、阀组计划停运 22 次、单元计划停运 15 次；计划停运等效停运小时累计 9719.003 小时。其中时间最长的是宜华系统，等效停运时间达 754.85 小时；时间最短的是高肇系统，等效停运时间达 54.125 小时。

情况见表 5-16。

表 5-16　2017 年全年在运直流输电系统计划停运情况

统计对象	阀组计划停运		单极计划停运		双极计划停运		单元计划停运		计划停运合计	
	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	小时	总次数	等效停运小时
葛南	–	–	2	65.350	2	630.633	–	–	4	663.308
天广	–	–	6	441.830	1	11.980	–	–	7	232.895
龙政	–	–	1	7.480	2	341.283	–	–	3	345.023
江城	–	–	1	3.366	1	220.600	–	–	2	222.283
高肇	–	–	5	77.910	1	15.170	–	–	6	54.125

统计对象	阀组计划停运		单极计划停运		双极计划停运		单元计划停运		计划停运合计	
	次数	小时	次数	小时	次数	小时	次数	小时	总次数	等效停运小时
宜华	–	–	2	224.200	2	642.746	–	–	4	754.850
兴安	–	–	6	43.660	2	84.170	–	–	8	106.000
德宝	–	–	1	2.833	1	278.217	–	–	2	279.633
伊穆	–	–	4	301.533	1	226.470	–	–	5	377.233
银东	–	–	3	96.140	1	259.450	–	–	4	307.517
林枫	–	–	6	530.600	2	463.025	–	–	8	728.325
柴拉	–	–	7	99.841	2	499.325	–	–	9	548.045
牛从甲	–	–	2	43.867	3	274.600	–	–	5	296.534
牛从乙	–	–	4	179.730	4	241.467	–	–	8	331.332
金中	–	–	1	23.750	1	341.483	–	–	2	353.358
楚穗	0	0	6	635.433	1	45.042	–	–	7	362.759
复奉	1	33.716	3	68.280	1	436.000	–	–	5	478.569
锦苏	3	15.880	3	71.826	1	308.490	–	–	7	348.373
天中	6	209.963	2	73.614	1	264.210	–	–	9	353.510
宾金	12	522.655	1	57.666	1	271.300	–	–	14	430.797
普侨	0	0	7	640.867	3	144.270	–	–	10	464.703
灵绍	0	0	2	129.816	1	492.780	–	–	3	557.691
灵宝	–	–	–	–	–	–	2	695.367	2	318.919
高岭	–	–	–	–	–	–	11	1291.900	11	322.971
黑河	–	–	–	–	–	–	2	480.250	2	480.250
全国累计	22	782.214	75	3819.592	35	6492.711	15	2467.517	147	9719.003

2017 年除天广系统、高肇系统和兴安系统外，全国全年在运的点对点直流输电系统和背靠背换流站均进行了年度检修，等效停运小时累计 7790.871 小时，占全部计划停运等效停运小时的 80.161%。

年度检修的等效停运小时最长的是宜华系统，达 642.746 小时；葛南系统达 630.633 小时；其他点对点系统和背靠背换流单元的年度检修计划停运等效停运小

时都在 600 小时以内。天广系统、高肇系统、兴安系统和普桥系统的年度检修等效停运小时占计划停运等效停运小时比例较低，其他系统年度检修时间占比均在 60%以上，灵绍系统的占比达到 100%。

宜华系统年度检修等效停运小时最长，达到了近一个月；天广系统、高肇系统、伊穆系统、兴安系统和江城系统年度检修等效停运小时较短，均在十天以内。

除年度检修之外，其他计划停运的等效停运小时最长的是林枫系统，达 265.300 小时；天广和普桥系统分别达 232.895 小时和 213.912 小时；其他点对点系统和背靠背换流单元的非年度检修计划停运等效停运小时都在 200 小时以内。

表 5-17　2017 年全年在运直流输电系统年度检修状况

统计对象	次数	系统等效停运小时（h）	时间百分比（%）	其他计划停运等效停运小时（h）
葛南	2	630.633	95.074	32.675
天广	0	0	0	232.895
龙政	2	341.283	98.916	3.740
江城	1	220.600	99.243	1.683
高肇	0	0	0	54.125
宜华	2	642.746	85.149	112.104
兴安	0	0	0	106.000
德宝	1	278.217	99.493	1.417
伊穆	1	226.467	60.034	150.766
银东	1	259.450	84.369	48.067
林枫	2	463.025	63.574	265.300
柴拉	1	496.925	90.672	51.120
牛从甲	1	242.665	81.834	53.869
牛从乙	1	288.200	86.982	43.132
金中	1	341.483	96.639	11.875
楚穗	1	284.558	78.443	78.200
复奉	1	436.000	91.105	42.569
锦苏	1	308.490	88.552	39.883

统计对象	次数	系统等效停运小时（h）	时间百分比（%）	其他计划停运等效停运小时（h）
天中	1	264.210	74.739	89.300
宾金	1	271.300	62.976	159.497
普侨	1	250.792	53.968	213.912
灵绍	2	557.691	100.000	0
灵宝	1	265.800	83.344	53.119
高岭	1	246.087	76.195	76.884
黑河	1	474.250	98.751	6.000
全国累计	27	7790.871	80.161	1928.132

注：时间百分比是直流输电系统固年度检修系统等效停运小时与计划停运等效停运小时之比的百分数，其他计划停运等效停运小时是除去年度检修之外其他计划停运的等效停运小时。

第五节　我国与国外直流输电系统可靠性对比分析

部分国内外在运的直流输电系统 2013-2014 年可靠性指标比较见表 5-18。

表 5-18　国内外直流输电系统 2013-2014 年可靠性指标比较

系统	能量可用率		能量利用率		强迫停运率		计划停运率	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Square Butte	76.6	95.6	69	71.3	1.11	0.59	22.32	3.75
Nelson River BP1	95.3	95.5	67.4	65.7	0.82	1.09	3.86	3.38
Nelson River BP2	96.5	96.2	75.8	75.8	0.23	0.41	3.28	3.43
Hokkaido-Honshu	94.7	97.9	17.1	17.4	0.05	0	5.25	2.09
CU	98	95.3	81.9	82.7	0.06	0.07	1.92	4.62
Gotland 2 & 3	97.4	99.6	20.6	25.8	2.02	0.07	0.55	0.33
Itaipu BP1	92.5	76.6	75.8	66.2	0.67	18.84	6.82	2.52
Itaipu BP2	95.4	95.9	75.8	66.2	0.03	1.55	4.62	2.53
Highgate	97.6	97.6	89.5	80.7	0.07	0.03	2.31	2.35
Virginia Smith	94.2	86.4	6.7	6.2	0	6.7	5.81	6.94
Vindhyachal	97.5	98.4	46.1	57.1	0.4	0.23	2.1	1.34
McNeill	97.4	39.2	42.5	16.8	0.08	1.8	2.5	59.05

系统	能量可用率		能量利用率		强迫停运率		计划停运率	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Fenno-Skan 1	58.9	71.5	40.5	68.2	0.53	0.74	11.11	2.76
Fenno-Skan 2	92.4	98.2	59.8	84.7	0.21	0.01	7.37	1.4
Rihand-Dadri	97	97.5	69.2	74.4	1.02	0.42	1.98	2.08
SACOI	87	85.2	82.7	65.1	1.57	0.16	11.41	9.08
New Zealand Pole 2	63.2	97.7	32.1	41.5	0.34	0.12	36.1	2.13
New Zealand Pole 3	0	91.7	0	28.7	0	0.05	0	8.28
Sakuma	98.8	98.8	0.3	0	0	0	1.22	1.23
Kontek	96.8	96.1	70.8	73.3	0.02	0	3.17	3.87
Chandrapur	99.6	99.6	91.1	94.4	0.01	0.15	0.35	0.3
Minami-Fukumitsu	95.7	96	9.3	9.8	0	0	4.34	4.02
SwePol	96.9	94.6	33.9	60.9	0.19	0.51	2.93	4.87
Vizag I East-South	99.9	90.9	49.9	49.4	0.02	4.55	0.09	4.55
Vizag II East-South	100	99.8	51.3	60.2	0	0	0	0.18
Kii Channel	98.4	98.6	73.3	72.4	0	0	1.61	1.4
Malaysia-Thailand	98.1	96.6	10.4	61.5	0.35	2.35	1.54	0.98
Grita	72.6	46.9	39.6	32.9	0.03	0.24	26.4	52.9
Talcher-Kolar	99.3	99.3	90.1	90.4	0.23	0.01	0.48	0.7
Sasaram	99.8	99.8	30.6	58.6	0.02	0.18	0.2	0
Higashi-Shimizu	99.9	95.1	29.3	26.8	0.03	0	0.11	4.92
Basslink	97.5	98.2	65.1	71.7	2.28	0.23	0.19	1.62
EstLink 1	94.9	91.4	54.4	17.6	0.9	7.79	4.17	0.79
EstLink 2	0	84.4	0	53	0	0.15	0	11.7
NorNed	82.1	96.8	71.9	90.7	14.2	0.21	3.7	3
Al Fadhili	0	97.8	0	6.2	0	1.04	0	1.14
SAPEI	95.7	98.1	37.5	41.4	0.81	1.01	3.5	0.93
Caprivi	96.9	97.4	14.9	16.8	0.07	0.16	2.99	2.33
Ballia-Bhiwadi	99.6	98.1	87.2	15.7	0.07	0.62	0.37	0.75
Adani	99	99.5	49.5	76.7	0.17	0.02	0.8	0.53
BritNed	96.9	96.1	75	91	0.49	0.03	2.66	3.89

系统	能量可用率		能量利用率		强迫停运率		计划停运率	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
葛南	69.95	53.72	35.64	30.06	0.71	2.15	29.33	44.13
龙政	96.10	89.32	42.84	47.09	0.10	0	3.80	10.68
江城	97.21	96.58	48.21	59.06	0.61	0.07	2.18	3.36
宜华	96.71	95.11	39	42.32	0.02	0	3.27	4.89
天广	96.21	98.12	42.4	53.43	0.07	0	3.72	1.88
高肇	97.66	98.79	35.1	55.58	0	0.003	2.34	1.21
兴安	97.85	96.50	56.19	57.95	0.06	0.37	2.10	3.12
楚穗	95.79	95.27	66.94	68.08	0.43	0.49	3.78	4.25
复奉	94.00	92.99	56.88	55.35	0.01	0	5.99	7.01
锦苏	87.60	90.82	35.61	54.08	0.48	0.59	11.92	8.58
天中	0	93.85	0	16.94	0	0.04	0	6.11

注：国外直流输电系统的强迫能量不可用率指标数据是仅换流站的指标，不包括直流输电线路影响，我国的直流输电系统的强迫能量不可用率指标数据是整个系统的指标。

2014 年，我国 10 个 ±500kV 直流系统强迫停运平均 1.8 次，国外同期同级系统平均 8 次；合计强迫能量不可用率 0.148%，国外系统为 0.299%。我国 ±500kV 直流输电系统的可靠性水平普遍好于国际同类系统。

第六章 2017 年全国 10 千伏供电系统用户供电可靠性

第一节 全国供电可靠性总体情况

一、供电可靠性指标

2017 年全国平均供电可靠率为 99.814%，同比上升了 0.009 个百分点；用户平均停电时间 16.27 小时/户，同比减少了 0.84 小时/户，用户平均停电频率 3.28 次/户，同比减少了 0.29 次/户。其中，全国城市平均供电可靠率同比上升了 0.002 个百分点，城市用户年平均停电时间由 2016 年的 5.20 小时/户下降到 5.02 小时/户，平均停电频率同比减少了 0.12 次/户；全国农村平均供电可靠率同比上升了 0.010 个百分点，农村用户年平均停电时间由 2016 年的 21.23 小时/户下降到 20.35 小时/户，平均停电频率同比减少了 0.32 次/户。2017 年城市用户供电可靠率与农村相比高出 0.175 个百分点，用户平均停电时间相差 15.33 小时/户，平均停电频率相差 2.97 次/户。

表 6-1 2017 年全国供电系统用户供电可靠性指标汇总

可靠性指标		全口径（1+2+3+4）	城市（1+2+3）	市中心（1）	城镇（2+3）	农村（4）
等效总用户数（万户）		907.56	241.04	25.71	215.32	666.52
用户总容量（万千伏安）		291709.54	132118.04	18739.83	113378.21	159591.50
线路总长度（万公里）		443.07	85.65	10.40	75.25	357.42
架空线路绝缘化率（%）		21.49	53.59	58.23	53.17	17.31
线路电缆化率（%）		15.65	51.92	68.88	49.58	6.96
供电可靠率（%）	*	99.814	99.943	99.968	99.940	99.768
	**	99.817	99.944	99.968	99.941	99.771

可靠性指标		全口径（1+2+3+4）	城市（1+2+3）	市中心（1）	城镇（2+3）	农村（4）
平均停电时间（时 / 户）	*	16.27	5.02	2.83	5.28	20.35
	**	16.01	4.94	2.76	5.20	20.01
平均停电频率（次 / 户）	*	3.28	1.10	0.62	1.16	4.07
	**	3.25	1.09	0.62	1.15	4.03
故障平均停电时间（时 / 户）	*	5.67	1.62	1.16	1.68	7.13
	**	5.40	1.54	1.09	1.60	6.80
预安排平均停电时间（时 / 户）		10.61	3.40	1.67	3.60	13.21

注：1：市中心区；　2：市区；　3：城镇；　4：农村
*：剔除重大事件前指标；**：剔除重大事件后指标

二、供电可靠性五年趋势情况

近五年，城市用户的供电可靠性保持平稳，供电可靠率在 99.95% 左右，用户平均停电时间在 4 到 5 个小时，用户平均停电频率低于 2 次，基本满足了经济社会对电力安全可靠供应的需求。与城市相比，农村用户的供电可靠性起伏较大，平均停电时间在 20 小时左右，平均停电频率超过了 4 次。

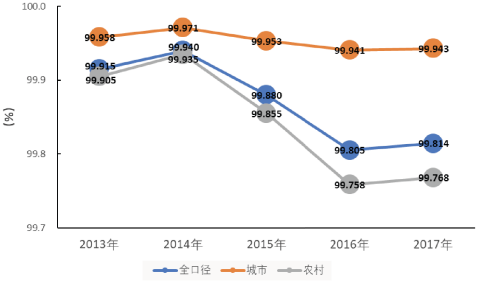


图 6-2　近五年全国供电系统供电可靠率变化

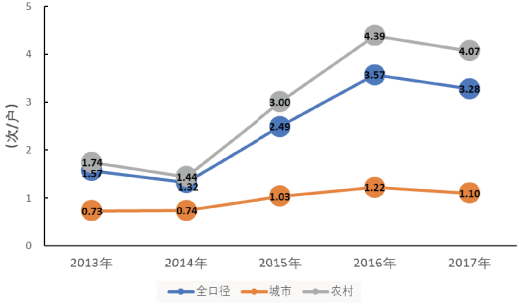


图 6-3　近五年全国供电系统用户平均停电频率变化

第二节　各区域供电可靠性

一、用户平均停电时间

2017 年全国六个区域中[4]，东北、华东及南方区域的平均供电可靠率同比小幅上升，华北、华东的平均供电可靠性指标优于全国平均值，其中，用户数最多、用户总容量最高的华东区域的供电可靠性平均水平领先其他区域；西北区域供电可靠性水平明显差于其他区域。

华北、华东、华中三个区域的城市用户平均停电时间低于全国平均值(5.02 小时/户)，华北、华东两个区域的农村用户平均停电时间低于全国平均值(20.34 小时/户)；区域内城市与农村用户平均停电时间相差最小的是华东地区，为 9.35 小时/户，区域内城市与农村用户平均停电时间相差最大的是西北地区，为 19.98 小时/户。

[4] 华北区域包括：北京、天津、河北、山西、山东、内蒙古；东北区域包括：黑龙江、吉林、辽宁；华中区域包括：江苏、浙江、上海、安徽、福建；华中区域包括：河南、湖北、湖南、江西、四川、重庆；西北区域包括：陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、西藏；南方区域包括：广东、广西、云南、贵州、海南

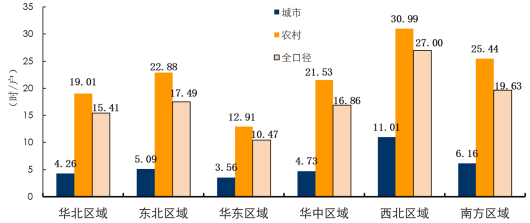


图 6-4 2017 年各区域城市、农村、全口径用户平均停电时间对比

二、用户平均停电频率

华北、东北、华东、华中四个区域的城市、农村用户平均停电频率均低于全国平均值（1.10 次 / 户、4.07 次 / 户）；区域内城市与农村用户平均停电频率相差最小的是华东地区，为 1.98 次 / 户，区域内城市与农村用户平均停电频率相差最大的是西北地区，为 4.27 次 / 户。

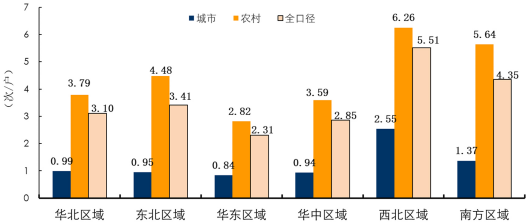


图 6-5　2017 年各区域城市、农村、全口径用户平均停电频率

第三节　各省级电力公司供电可靠性

一、用户平均停电时间

36 个省级电力公司中，北京、上海、天津、江苏的用户平均停电时间低于 10

小时 / 户，广西水利电业、西藏、陕西地电等 11 个公司的用户平均停电时间高于 20 小时 / 户。其中，上海、北京等 6 个公司所属城市用户平均停电时间低于 4 小时 / 户，西藏、广西水利电业等 7 个公司所属城市用户平均停电时间超过了 10 小时 / 户，最短与最长省份的停电时间相差 66.6 小时 / 户；上海、北京、江苏所属农村用户平均停电时间低于 11 小时 / 户，广西水利电业、西藏等 8 个公司所属农村用户平均停电时间超过了 30 小时 / 户，最短与最长省份的停电时间相差 74 小时 / 户。

36 个省级电力公司中，24 个公司的平均供电可靠率同比有所上升，提升幅度超过 10% 的有 8 个公司，其中海南、贵州、内蒙提升幅度较大，分别为 38.40%，35.34%、26.70%，用户平均停电时间分别减少了 16.3 小时 / 户、12.0 小时 / 户、7.0 小时 / 户；陕西地电的平均供电可靠率同比下降了 40.13%，东北三省公司的平均供电可靠率同比均有所下降。

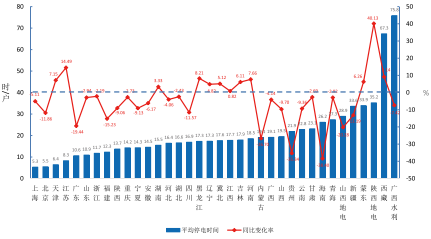


图 6-6　2017 年各省级电力公司用户平均停电时间分布（全口径）

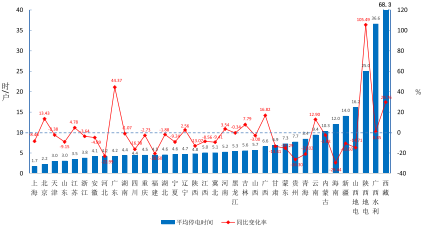


图 6-7　2017 年各省级电力公司用户平均停电时间分布（城市）

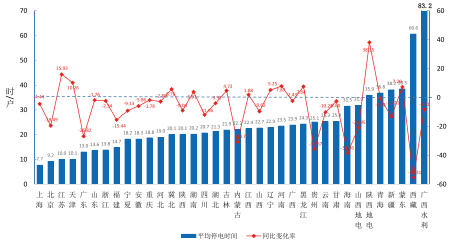


图 6-8　2017 年各省级电力公司用户平均停电时间分布（农村）

表 6-2　2017 年各省级电力公司用户平均停电时间指标对比情况　（单位：小时/户）

排名	全口径范围		城市范围		农村范围	
	名称	用户平均停电时间	名称	用户平均停电时间	名称	用户平均停电时间
1	江苏省电力公司	8.25	山东省电力公司	3.03	江苏省电力公司	10.04
2	广东省电网公司	10.59	江苏省电力公司	3.45	广东省电网公司	13.03
3	山东省电力公司	10.89	浙江省电力公司	3.76	山东省电力公司	13.56
4	浙江省电力公司	11.71	安徽省电力公司	4.14	浙江省电力公司	13.84
5	福建省电力公司	12.27	河北省电力公司	4.16	福建省电力公司	14.72
	第 25% 值	14.11	第 25% 值	4.34	第 25% 值	18.26
	中位值	17.49	中位值	5.06	中位值	22.02
	第 75% 值	22.88	第 75% 值	7.88	第 75% 值	25.33
	最末值	75.82	最末值	68.18	最末值	83.19
	总平均值	16.27	总平均值	5.02	总平均值	20.34

注：1、四大直辖市未参与排名

二、用户平均停电频率

36 个省级电力公司中，上海、北京、山东、江苏、天津的用户平均停电频率少于 2 次/户，广西水利电业、西藏等 7 个公司的用户平均停电频率高于 5 次/户。其中，上海、北京等 14 个公司所属城市用户平均停电频率低于 1 次/户，西藏、广西水利

电业所属城市用户平均停电频率超过了 10 次 / 户；上海、北京等 10 个公司所属农村用户平均停电频率低于 3 次 / 户，广西水利电业、西藏等 5 个公司所属农村用户平均停电频率超过了 8 次 / 户。

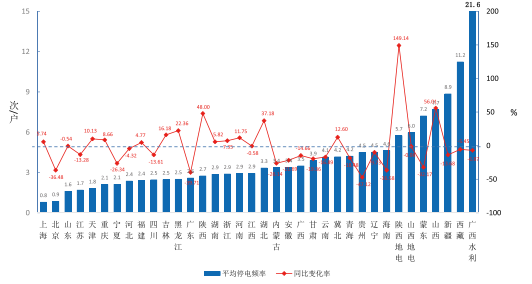


图 6-9　2017 年各省级电力公司用户平均停电频率分布（全口径）

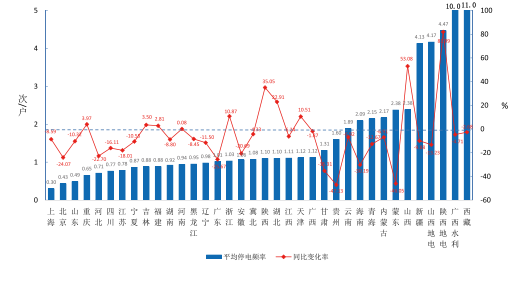


图 6-10　2017 年各省级电力公司用户平均停电频率分布（城市）

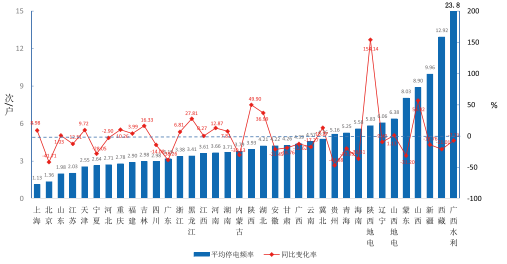


图 6-11　2017 年各省级电力公司用户平均停电频率分布（农村）

各省级电力公司城乡用户供电可靠性差异水平较为明显，其中城乡差距最小的是上海、江苏、北京，用户平均停电时间分别相差 6 小时 / 户、6.5 小时 / 户、7 小时 / 户；用户平均停电频率别相差 0.83 次 / 户、1.25 次 / 户、0.93 次 / 户。城乡差距较大的是蒙东、青海、新疆，用户平均停电时间分别相差 31.2 小时 / 户、28.4 小时 / 户、24.2 小时 / 户，用户平均停电频率别相差 5.65 次 / 户、3.1 次 / 户、5.83 次 / 户。

第四节　地市级及以上城市供电企业供电可靠性

一、主要城市供电企业指标

（一）用户平均停电时间

39 个主要城市（即 4 个直辖市、27 个省会城市及其它 8 个重点城市[5]）用户数占全国总用户数的 24.85%，用户平均停电时间为 8.45 小时 / 户，比全国平均值低 7.82 小时 / 户。城市用户的平均停电时间为 2.93 小时 / 户，比全国平均值低 2.09 小时 / 户，其中，在 2 小时及以下的有杭州供电公司、苏州供电公司等 7 个公司，超过 5 个小时的有拉萨供电公司、呼和浩特电业局等 5 个公司。农村用户的平均停电时间 12.52 小时 / 户，比全国平均值低 7.82 小时 / 户，其中，低于 10 小时的有

[5] 8 个重点城市包括 5 个计划单列市和苏州、唐山、佛山

佛山供电局、南京供电公司等 11 个公司，超过 20 小时的有拉萨供电公司、西宁供电公司等 7 个公司。

39 个主要城市中用户平均停电时间同比减少超过 10% 的有 21 个城市，其中，佛山供电局、海口供电局的用户平均停电时间同比分别减少 56.30%、41.44%；用户平均停电时间同比增加超过 10% 的有 5 个城市，其中，武汉供电公司、南昌供电公司的用户平均停电时间同比分别增加 31.42%、27.99%。

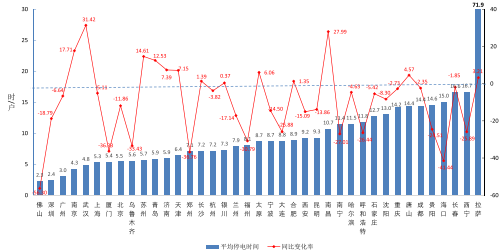


图 6-12　2017 年主要城市用户平均停电时间对比（全口径）

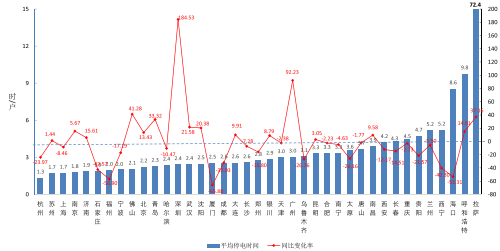


图 6-13 2017 年主要城市用户平均停电时间对比（城市）

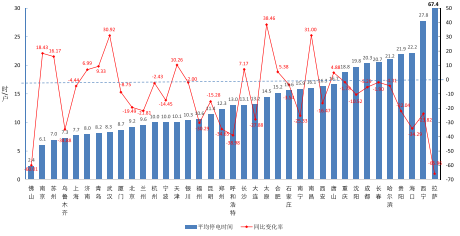


图 6-14 2017 年主要城市用户平均停电时间对比（农村）

（二）用户平均停电频率

2017 年 39 个主要城市所属用户的平均停电频率 1.76 次 / 户，比全国平均值低 1.52 次 / 户。这些城市所属城市用户的平均停电频率为 0.63 次 / 户，比全国平均值低 0.47 次 / 户，其中，所属城市用户的平均停电频率在 0.5 次及以下的有济南供电公司、上海市电力公司等 10 个公司，超过 1 次的有拉萨供电公司、呼和浩特电业局等 8 个公司；这些城市所属农村用户的平均停电频率为 2.59 次 / 户，比全国平均值低 1.48 次 / 户，其中，低于 2 次的有佛山供电局、上海市电力公司等 12 个公司，超过 5 次的有拉萨供电局、沈阳供电局等 4 个公司。

39 个主要城市中用户平均停电频率同比减少超过 10% 有 17 个城市，其中，深圳供电局、乌鲁木齐供电公司、佛山供电局的用户平均停电频率同比分别减少 61.00%、44.36%、41.62%；用户平均停电频率超过 10% 的有 8 个城市，其中，太原供电公司、武汉供电公司的用户平均停电频率同比分别增加 111.27%、87.24%。



图 6-15　2017 年主要城市用户平均停电频率对比（全口径）

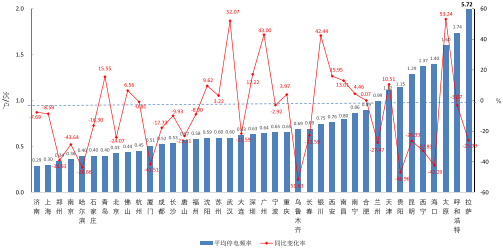


图 6-16　2017 年主要城市用户平均停电频率对比（城市）

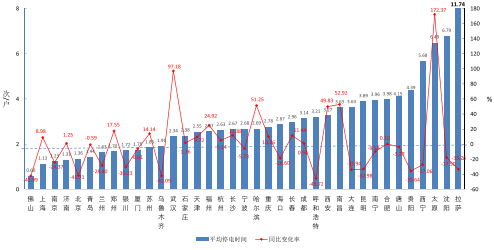


图 6-17　2017 年主要城市用户平均停电频率对比（农村）

二、地市级供电企业指标分布

2017 年全国四百多个地市级供电企业按所属用户平均停电时间分为四个梯队。处于第一梯队（112 个）的用户平均停电时间低于 10.76 小时 / 户，城市用户平均停电时间低于 3.84 小时 / 户，农村用户平均停电时间低于 14.79 小时 / 户。其中，城市用户的平均停电时间范围为 0.33-72.42 小时 / 户，6 个供电企业（占 1.34%）所属城市用户的供电可靠率达到了 99.99%，29 个供电企业（占 6.46%）的城市用户平均停电时间低于 2 小时 / 户，256 个供电企业（占 57.02%）城市用户平均停电时间高于全国平均水平（5.02 小时 / 户）；农村用户的平均停电时间范围为 1.95-99.06 小时 / 户，36 个供电企业（占 8.02%）的供电可靠率达到 99.9%，222 个供电企业（占 49.44%）农村用户平均停电时间高于全国平均水平（20.34 小时 / 户）。

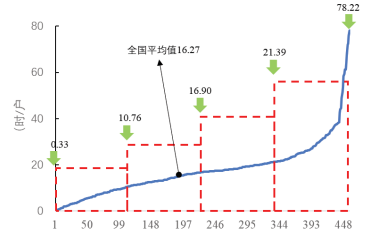


图 6-18　2017 年全国地市级供电企业用户平均停电时间分布（全口径）

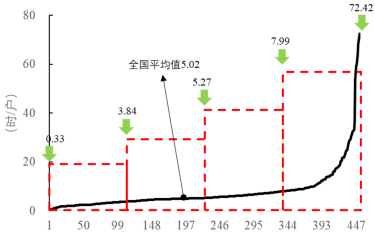


图 6-19　2017 年全国地市级供电企业用户平均停电时间分布（城市）

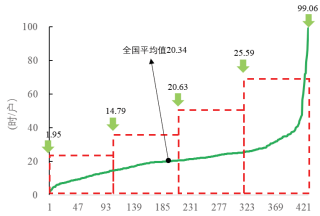


图 6-20　2017 年全国地市级供电企业用户平均停电时间分布（农村）

2017 年排名前十的地市级供电企业，城市用户平均停电时间均低于 2 小时 / 户，全口径范围大部分低于 5 小时 / 户；城市用户平均停电频率大部分低于 0.5 次 / 户，全口径范围大部分低于 1 次 / 户；重大事件对部分城市的供电可靠性影响较大。

表 6-4　2017 年排名前十的地市级供电企业

排名	全口径范围			全口径范围（剔除重大事件）			城市范围			城市范围（剔除重大事件）		
	名称	平均停电时间	平均停电频率	名称	平均停电时间	平均停电频率	名称	平均停电时间	平均停电频率	名称	平均停电时间	平均停电频率
1	佛山	2.28	0.54	中山	1.39	0.41	杭州	1.47	0.45	中山	0.93	0.31
2	深圳	2.40	0.63	珠海	1.76	0.66	威海	1.60	0.32	杭州	1.34	0.45
3	广州	3.04	0.64	佛山	2.18	0.51	苏州	1.71	0.60	珠海	1.40	0.47
4	南京	4.25	0.85	深圳	2.40	0.63	上海	1.73	0.30	威海	1.60	0.32
5	东莞	4.46	1.05	广州	3.04	0.64	南京	1.78	0.36	上海	1.69	0.29
6	威海	4.49	0.82	南京	4.25	0.85	济南	1.88	0.29	苏州	1.70	0.59
7	枣庄	4.65	0.80	东莞	4.46	1.05	石家庄	1.90	0.40	江门	1.72	0.28
8	武汉	4.84	1.31	威海	4.49	0.82	枣庄	1.92	0.32	南京	1.78	0.36
9	中山	4.90	0.62	枣庄	4.65	0.80	烟台	1.92	0.31	福州	1.84	0.53
10	上海	5.28	0.79	武汉	4.84	1.31	福州	1.96	0.58	济南	1.87	0.29

注：1. 四大直辖市以城市单位参与排名
2. 平均停电时间单位为：小时 / 户；平均用电频率单位为：次 / 户

高可靠性地区围绕地区发展定位和高可靠性用电需求，高标准制定配电网网架结构规划目标，配网自动化率和电缆化率等配电网基本指标都已经达到一个相当高的水平，具体指标如下：

表 6-5　2017 年排名前十的地市城市配电网基本情况

指标	佛山	深圳	广州	南京	东莞	威海	枣庄	武汉	中山	上海
配电自动化覆盖率（%）	84.04	77.10	86.60	100	55.22	97.85	100	9.44	100	53.68
电缆化率（%）	56.21	91.60	71.80	57.6	72.7	26.27	9.75	44.83	63.1	70.67
架空绝缘化率（%）	13.8	93.15	27.28	70.2	64.9	79.73	73	80.28	4.4	80.3
平均供电半径（千米）	6.32	4.47	6.92	2.56	4.83	4.22	5.45	4.8	3.2	2.34
带电作业率	67.1	39.10	61.79	50.18	60.0	91	92.92	85	67.0	81.02
双电源比率	1.14	1.03	1.12	20.72	0.50	0.45	1.61	1.53	0.32	36.2

第五节　部分城市工商业用户供电可靠性

世界银行发布的《2017 年营商环境报告》对我国部分城市获得电力情况进行了评估，其中供电可靠性指标是评价要素之一。为了在营商环境报告中能够更加准确地反映工商业用户的供电可靠性，我们对四大直辖市及广州、深圳、珠海等 7 个城市的工商业用户的供电可靠性指标进行了对比分析。

工商业用户多集中在基础设施更为完善、配电网更为坚强的城市地区，此类用户负荷计划性、周期性强，受天气及季节影响程度较小，负荷较为平稳。2017 年 7 个城市的工商业用户数为 316.25 万户[6]，占全口径用户总数的 6.44%，而工商业用户售电量占全口径用户比重高达近 75%，且工商业用户的平均电价比农业、居民用户高，由此产生的社会贡献更大。近几年为满足工商业用户用电需求，提高供电质量，供电企业围绕工商业用户集中的城市地区发展定位和高可靠性用电需求，高标准制定配电网网架结构规划目标，以发展电缆网为主，采用单环网和开关站结构，重点地区发展双环网结构，通过多分段多联络逐步实现网格化建设；城市地区优先开展配电网自愈能力建设，北京、上海、广州等超大型城市正在努力构建世界一流配电网；从供电设备标准化、智能化、绝缘化等多角度提升配电网建设质量；从上级双电源、供电企业和用户侧应急电源配置等方面优化电源配置；在运维抢修方面，强化停电计划管理、大力开展不停电作业、加大抢修力量建设、应用运维 APP 等智能终端、信息系统和状态检测新技术等提升供电可靠性；在优质服务方面，通过建立专业化服务团队、开展重要工商业用户安全评估、实施互联网 + 营销服务工程等措施提升工商业用户用电满意度。

表 6-6　2017 年 7 个城市工商业用户相关情况

指标	北京	天津	上海	重庆	广州	深圳	珠海
工商业用户数量（万户）	32.23	36.58	75.26	89.05	45.71	30.24	7.18
工商业用户售电量（亿千瓦时）	668.14	550.7	998.13	504.28	589	655.04	106.59
工商业用户售电量比重（%）	69.02	80.61	78.19	68.54	71.5	79.5	69.41
工商业用户售电均价（元 / 千千瓦时）	922.63	795.93	862.64	739.14	820.2	823.16	754.65
工商业用户供电可靠率	99.991	99.934	99.9887	99.8676	99.963	99.975	99.986

[6] 此处用户数为终端用户数。

指标	北京	天津	上海	重庆	广州	深圳	珠海
工商业用户平均停电时间（小时 / 户）	0.78	5.77	0.988	11.6	3.27	2.19	1.21
工商业用户平均停电频率（次 / 户）	0.19	1.68	0.196	1.72	0.66	0.58	0.36
工商业用户故障平均停电时间（小时 / 户）	0.15	3.17	0.148	1.48	0.7	1.26	0.57
工商业用户故障平均停电持续时间（小时 / 次）	1.71	2.71	2.92	3.74	0.92	3.02	1.60
工商业用户预安排平均停电时间（小时 / 户）	0.63	2.6	0.84	10.12	2.57	0.93	0.64
工商业用户预安排平均停电持续时间（小时 / 次）	3.63	4.1	3.52	7.04	2.91	4.82	5.33
工商业用户重复计划停电占比（%）	0.06	0.18	0.05	0.08	2.3	1.76	1.21
工商业用户临时停电占比（%）	0.11	0.7	0.20	0.83	0.3	1.56	1.07

注：珠海工商业用户数据为剔除重大事件日的数据

北京、上海作为国际大都市，其工商业用户的供电可靠率达到了较高水平，北京、上海工商业用户的平均停电时间已低于 1 小时，分别为 0.78 小时 / 户、0.99 小时 / 户，停电频率分别为 0.19 次 / 户、0.20 次 / 户。

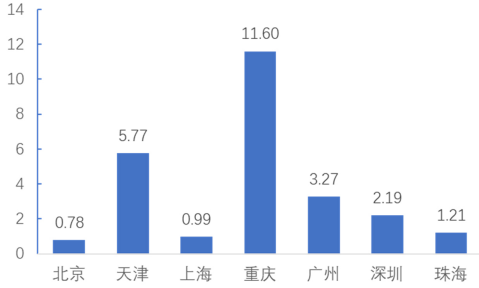


图 6-21　2017 年 7 个城市工商业用户平均停电时间

第六节　停电原因分析

2017 年影响供电可靠性的主要因素是预安排停电。全国用户故障平均停电时间 5.67 小时 / 户，预安排平均停电时间 10.61 小时 / 户，分别占总停电时间的 34.83%、65.17%；用户故障平均停电频率 1.76 次 / 户，预安排平均停电频率 1.52 次 / 户，分别占总停电频率的 53.65%、46.35%。

表 6-7　2017 年故障、预安排停电指标

可靠性指标	全口径（1+2+3+4）	百分比	城市（1+2+3）	百分比	农村（4）	百分比
故障平均停电时间	5.67	34.83%	1.62	32.30%	7.13	35.05%
预安排平均停电时间	10.61	65.17%	3.40	67.70%	13.21	64.95%
故障平均停电频率	1.76	53.65%	0.55	50.26%	2.20	53.99%
预安排平均停电频率	1.52	46.35%	0.55	49.74%	1.87	46.01%
故障停电平均持续时间	3.69	—	3.52	—	3.73	—
预安排停电平均持续时间	6.16	—	5.79	—	6.27	—
故障停电平均用户数	18.28	—	9.47	—	19.59	—
预安排停电平均用户数	17.73	—	8.96	—	19.36	—

一、故障停电分析

（一）用户故障平均停电指标分析

2017 年我国用户故障平均停电时间 5.67 小时 / 户，同比降低 11.13%；用户故障平均停电频率 1.76 次 / 户，同比降低 6.88%。其中城市、农村用户故障平均停电时间分别为 1.62 小时 / 户、7.13 小时 / 户，同比分别降低 6.90%、10.65%；城市、农村用户故障平均停电频率分别为 0.55 次 / 户、2.20 次 / 户，同比分别降低 6.78%、5.98%。

六个区域中，华北、南方区域的故障平均停电时间及占比均高于全国平均值，华东区域故障平均停电时间最短，为 3.58 小时 / 户；西北、南方区域故障平均停电频率均高于全国平均值，华中区域故障平均停电频率最少，为 1.05 次 / 户，华东区域故障平均停电用户数最少，为 8.69 户 / 次；东北区域故障平均停电持续时间最短，为 2.83 小时 / 户。

表 6-8　2017 年全国、各区域故障停电指标

区域		全国	华北区域	东北区域	华东区域	华中区域	西北区域	南方区域
用户故障平均停电时间 SAIDI-F（小时／户）	全口径	5.67	6.11	5.19	3.58	4.13	8.77	8.70
	城市	1.62	1.37	1.34	1.30	1.26	3.67	2.22
	农村	7.13	7.65	6.87	4.39	5.24	10.04	11.49
用户故障平均停电频率 SAIFI-F（次／户）	全口径	1.76	1.75	1.75	1.22	1.05	3.13	2.78
	城市	0.55	0.51	0.42	0.43	0.36	1.44	0.75
	农村	2.20	2.15	2.33	1.49	1.32	3.56	3.66
故障平均停电持续时间 MID-F（小时／户）	全口径	3.69	3.36	2.83	3.20	4.04	3.04	6.14
	城市	3.52	2.98	2.94	3.23	3.72	3.21	5.65
	农村	3.73	3.43	2.81	3.21	4.13	3.02	6.19
故障平均停电用户数 MIC-F（户／次）	全口径	18.28	26.77	15.12	8.69	15.49	21.82	34.75
	城市	9.47	13.52	6.91	5.09	7.79	11.48	18.74
	农村	19.59	28.61	16.52	9.16	17.02	22.33	36.61

（二）故障重复停电分析

2017 年，全国有 43.44% 的用户未发生过故障停电。在发生故障停电用户中，有近 43.63% 的用户故障停电 1 次；17.27% 的用户故障停电次数在 5 次及以上，对故障停电总时户数的影响达到 45.68%；5.18% 的用户故障停电次数超过 10 次。

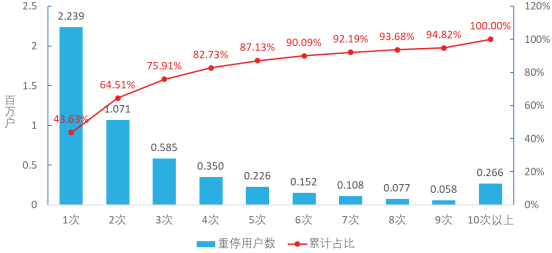


图 6-22　2017 年用户故障重复停电次数分布

（三）故障停电复电时间分析

2017 年用户故障停电平均持续时间 3.69 小时 / 次，同比减少 0.02 小时 / 次。其中，城市用户为 3.52 小时 / 次，同比增加了 0.24 小时 / 次；农村用户为 3.73 小时 / 次，同比减少了 0.03 小时 / 次。其中，31.97% 的故障停电能够在 1 小时以内排除并恢复供电；56.20% 的故障停电能够在 2 小时以内排除并恢复供电；6.51% 的故障停电恢复时间超过了 10 个小时。

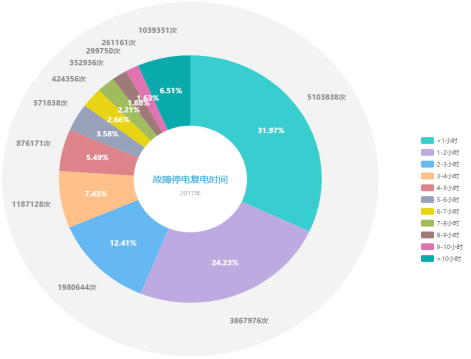


图 6-23　2017 年故障停电复电时间分析

（四）故障停电责任原因分析

2017 年，全国故障停电主要责任原因：自然因素占 30.00%，引起用户故障平均停电时间 1.7 小时 / 户，同比减少 0.84 小时 / 户；设备因素占 21.02%，引起用户故障平均停电时间 1.19 小时 / 户，同比增加 0.12 小时 / 户，其中设备老化是主要原因；外力因素占 20.85%，引起用户故障平均停电时间 1.18 小时 / 户，同比增加 0.26 小时 / 户，其中异物短路影响最多。

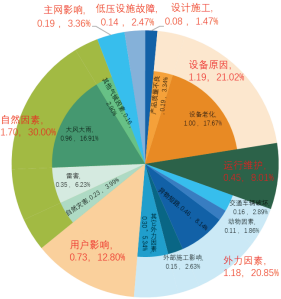


图 6-24　2017 年故障停电主要责任原因占比分布（单位：小时 / 户）

（五）故障停电设施分析

2017 年 10 千伏配网四类主要设施（架空线路、电缆线路、变压器、断路器）中三类设施的故障率得到有效控制。架空线路故障率为 10.23 次 /100 公里 • 年，同比下降 6.75%；变压器故障率为 0.24 次 /100 台 • 年，同比下降 7.69%；断路器故障率为 0.52 次 /100 台 • 年，同比下降 27.73%。近五年电缆的故障率呈上升趋势，2017 年电缆故障率达 3.37 次 /100 公里 • 年，同比上升 0.45 次 /100 公里 • 年，上升幅度更是达到 15.41%。

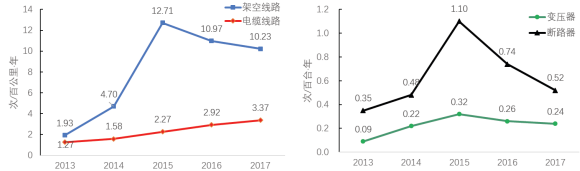


图 6-25　近五年配网四类主要设施故障率变化

二、预安排停电分析

（一）用户预安排平均停电指标分析

2017 年我国用户预安排平均停电时间 10.61 小时 / 户，同比降低 1.12%；用户预安排平均停电频率 1.52 次 / 户，同比降低 10.06%。其中城市、农村用户预安排平均停电时间分别为 3.40 小时 / 户、13.21 小时 / 户，同比分别降低 1.73%、0.30%；城市、农村用户预安排平均停电频率分别为 0.55 次 / 户、1.87 次 / 户，同比分别降低 16.70%、8.78%。

六个区域中，华北、南方区域的预安排平均停电时间均低于全国平均值，华东区域预安排平均停电时间最短为 6.89 小时 / 户；华北、华东区域预安排平均停电频率均低于全国平均值，华东区域预安排平均停电频率最少，为 1.09 次 / 户；华东区域预安排平均停电用户数、平均停电持续时间均为最少，分别 8.69 户 / 次、5.57 小时 / 户。

表 6-9 2017 年全国、各区域预安排停电指标

区域		全国	华北区域	东北区域	华东区域	华中区域	西北区域	南方区域
用户预安排平均停电时间 SAIDI-S（小时 / 户）	全口径	10.61	9.29	12.30	6.89	12.73	18.23	10.93
	城市	3.40	2.89	3.75	2.26	3.47	7.34	3.94
	农村	13.21	11.36	16.01	8.53	16.29	20.95	13.95
用户预安排平均停电频率 SAIFI-S（次 / 户）	全口径	1.52	1.36	1.66	1.09	1.80	2.38	1.57
	城市	0.55	0.48	0.52	0.40	0.58	1.10	0.62
	农村	1.87	1.64	2.15	1.33	2.27	2.70	1.98
预安排平均停电持续时间 MID-S（小时 / 户）	全口径	6.16	6.10	6.37	5.57	6.16	6.32	7.59
	城市	5.79	5.58	6.38	5.44	5.98	5.94	6.44
	农村	6.27	6.25	6.40	5.63	6.23	6.40	7.94
预安排平均停电用户数 MIC-S（户 / 次）	全口径	17.73	32.04	31.48	8.47	17.39	24.14	21.47
	城市	8.96	15.50	15.33	4.29	8.84	13.48	10.90
	农村	19.36	34.83	34.64	9.25	18.85	25.71	24.08

（二）预安排重复停电分析

2017 年，全国有 34.07% 的用户未发生预安排停电。在发生预安排停电用户中，有近 43.63% 的用户预安排停电 1 次；28.69% 的用户预安排停电次数在 3 次及以上，对预安排停电总时户数的影响达到 55.91%；1.52% 的用户故障停电次数超过 10 次。

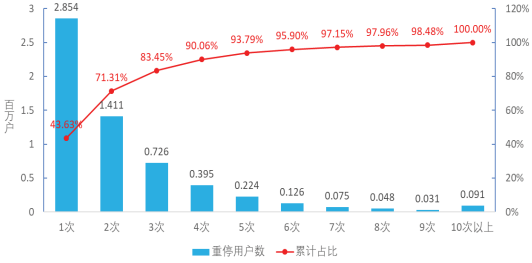


图 6-26　2017 年用户预安排停电次数分布

（三）预安排停电复电时间分析

2017 年预安排停电平均持续时间为 6.16 小时 / 次，同比增加了 0.54 小时 / 次。其中，城市 5.79 小时 / 次，同比增加 0.51 小时 / 次；农村 6.27 小时 / 次，同比增加 0.55 小时 / 次。其中，10.39% 的预安排停电能够在 1 小时以内恢复供电；18.83% 的预安排停电能够在 2 小时以内恢复供电；26.90% 的预安排停电恢复时间超过了 10 个小时。

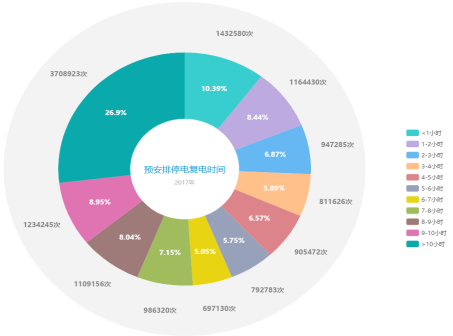


图 6-27　2017 年预安排停电复电时间分析

（四）预安排停电责任原因分析

2017 年所有预安排停电事件中，检修停电是最主要因素，占预安排停电的 56.46%，同比增加 5.52 个百分点，引起用户的平均停电时间为 5.99 小时 / 户，同比增加了 0.52 小时 / 户；工程停电是第二因素，占预安排停电的 41.01%，同比减少 4.09 个百分点，引起用户的平均停电时间为 4.47 小时 / 户，同比减少 0.37 小时 / 户；用户申请、调电、限电及低压作业引起的停电占预安排停电的 2.53%，引起用户的平均停电时间为 16.51 分钟 / 户。

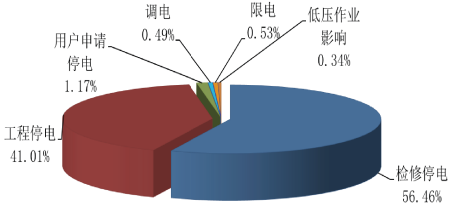


图 6-28　2017 年预安排停电主要责任原因分布

第七节　我国与国际供电可靠性对比分析

发达国家的配电网系统较为完善，日本和欧美国家尤为领先，供电可靠性已经达到很高水平。而我国供电可靠性水平处于第二梯队，与我国经济发展水平相对应，优于大多数亚洲、非洲、南美洲国家，落后于欧洲、北美等可靠性国际领先水平国家和地区。

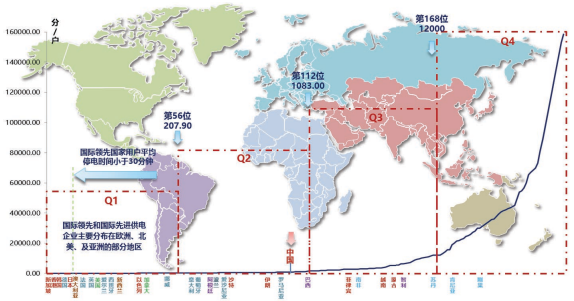


图 6-29　我国与世界部分国家（地区）供电可靠性对比

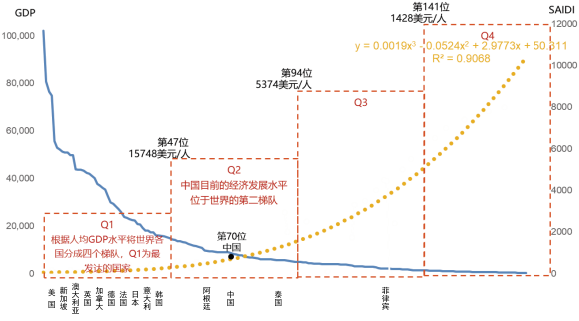


图 6-30　GDP 与 SAIDI 排名关系

附表1

2017年火电100MW及以上容量机组运行可靠性主要指标

机组分类	机组容量(MW)	台数	台年数	平均容量(MW/台)	利用小时UTH	可用小时		不可用小时及次数						降低出力等效停运小时	等效可用系数EAF(%)	等效强迫停运率EFOR(%)
						运行SH	备用RH	计划停运		非计划停运		强迫停运				
								次数	小时	次数	小时	次数	小时			
100-120MW		22	22	103.64	3349.17	4516.12	3594.06	1	635.44	0.23	14.39	0.23	14.39	0.06	92.58	0.32
	燃煤	22	22	103.64	3349.17	4516.12	3594.06	1	635.44	0.23	14.39	0.23	14.39	0.06	92.58	0.32
	燃煤国产	19	19	104.21	3354.92	4590.22	3692.08	1.05	461.23	0.21	16.47	0.21	16.47	0.07	94.55	0.36
	燃煤进口	3	3	100	3311.23	4027.02	2947.11	0.67	1785.2	0.33	0.68	0.33	0.68	0	79.61	0.02
125MW		22	21.3	125	4229.69	6169.73	2143.09	0.8	412.6	0.38	34.57	0.38	34.57	0	94.9	0.56
	燃煤	22	21.3	125	4229.69	6169.73	2143.09	0.8	412.6	0.38	34.57	0.38	34.57	0	94.9	0.56
	燃煤国产	18	17.4	125	4219.27	6014.88	2328.68	0.81	374.15	0.46	42.29	0.46	42.29	0	95.25	0.70
	燃煤进口	4	3.88	125	4276.35	6862.91	1312.33	0.77	584.76	0	0	0	0	0	93.32	0.00
130-138MW	燃煤	61	60.1	135.2	3364.42	4918.99	3074.16	0.82	540.7	0.73	226.16	0.67	220.36	194.49	89.03	4.29
	燃煤国产	61	60.1	135.2	3364.42	4918.99	3074.16	0.82	540.7	0.73	226.16	0.67	220.36	194.49	89.03	4.29
140-150MW	燃煤	52	50.1	146.92	4487.79	6085.86	2054.61	0.78	535.16	1.26	84.37	1.12	72.88	0.19	92.93	1.19
	燃煤国产	52	50.1	146.92	4487.79	6085.86	2054.61	0.78	535.16	1.26	84.37	1.12	72.88	0.19	92.93	1.19
160-185MW	燃煤	11	11	163.64	3626.24	5305.87	3078.52	0.82	372.59	0.36	3.02	0.36	3.02	3.47	95.67	0.12
	燃煤国产	5	5	162	4450.65	6130.44	2222.51	1	404.96	0.6	2.09	0.6	2.09	7.71	95.27	0.16
	燃煤进口	6	6	165	2951.72	4631.22	3778.89	0.67	346.11	0.17	3.78	0.17	3.78	0	96.01	0.08

2017年火电100MW及以上容量机组运行可靠性主要指标（续1）

机组分类	机组容量(MW)	台数	台年数	平均容量(MW/台)	利用小时UTH	可用小时		不可用小时及次数						降低出力等效停运小时	等效可用系数EAF(%)	等效强迫停运率EFOR(%)
						运行SH	备用RH	计划停运		非计划停运		强迫停运				
								次数	小时	次数	小时	次数	小时			
100-199MW		168	164	135.22	3859.96	5445.41	2678.5	0.83	519.65	0.75	116.44	0.69	110.52	71.4	91.92	2.00
	燃煤	168	164	135.22	3859.96	5445.41	2678.5	0.83	519.65	0.75	116.44	0.69	110.52	71.4	91.92	2.00
	燃煤国产	155	152	135.01	3902.1	5472	2653.71	0.84	507.94	0.81	126.36	0.73	119.92	77.6	91.87	2.15
	燃煤进口	13	12.9	137.69	3374.55	5139.12	2964.12	0.7	654.54	0.16	2.22	0.16	2.22	0	92.5	0.04
200MW		102	101	200	3827.61	5421.4	2798.77	0.73	507.67	0.51	32.68	0.42	25.96	0.94	93.83	0.48
	燃煤	102	101	200	3827.61	5421.4	2798.77	0.73	507.67	0.51	32.68	0.42	25.96	0.94	93.83	0.48
	燃煤国产	100	98.8	200	3866.39	5482.53	2726.71	0.75	517.95	0.52	33.35	0.43	26.49	0.96	93.7	0.48
	燃煤进口	2	2	200	1912.64	2403.17	6356.84	0	0	0	0	0	0	0	100	0.00
205-250MW		61	59.8	217.05	3664.18	5225.06	3066.54	0.89	456.12	0.32	23.39	0.27	18.31	3.09	94.49	0.38
	燃煤	61	59.8	217.05	3664.18	5225.06	3066.54	0.89	456.12	0.32	23.39	0.27	18.31	3.09	94.49	0.38
	燃煤国产	54	52.8	215.83	3806.43	5460.61	2785.14	0.95	500.26	0.36	26.65	0.3	20.86	3.52	93.94	0.41
	燃煤进口	7	7	226.43	2641.71	3531.96	5089.18	0.43	138.86	0	0	0	0	0	98.41	0.00
200-299MW		163	161	206.38	3763.59	5344.49	2903.66	0.79	487.47	0.44	29.04	0.36	22.96	1.78	94.09	0.44
	燃煤	163	161	206.38	3763.59	5344.49	2903.66	0.79	487.47	0.44	29.04	0.36	22.96	1.78	94.09	0.44
	燃煤国产	154	152	205.55	3844.46	5474.51	2748.08	0.82	511.48	0.46	30.89	0.38	24.43	1.89	93.79	0.46
	燃煤进口	9	9	220.56	2494.79	3304.49	5344.63	0.33	110.88	0	0	0	0	0	98.73	0.00

附表1

2017年火电100MW及以上容量机组运行可靠性主要指标（续2）

机组分类	机组容量(MW)	台数	台年数	平均容量(MW/台)	利用小时UTH	可用小时		不可用小时及次数						降低出力等效停运小时	等效可用系数EAF(%)	等效强迫停运率EFOR(%)
						运行SH	备用RH	计划停运		非计划停运		强迫停运				
								次数	小时	次数	小时	次数	小时			
300MW		357	352	300	4168.09	5880.03	2306.69	0.78	516.72	0.59	59.33	0.53	46.48	2.75	93.39	0.81
	燃煤	357	352	300	4168.09	5880.03	2306.69	0.78	516.72	0.59	59.33	0.53	46.48	2.75	93.39	0.81
	燃煤国产	351	346	300	4157.29	5864.25	2323.32	0.77	515.23	0.59	60.02	0.53	47.12	2.38	93.41	0.82
	燃煤进口	6	5.5	300	4847.08	6872.54	1261.27	1.09	610.64	0.73	15.56	0.55	5.85	26.24	92.55	0.47
310-328.5MW	燃煤	62	60.9	320.47	4044.05	5848.09	2269.93	0.85	618.77	0.58	23.21	0.46	6.75	0.24	92.67	0.12
	燃煤国产	56	54.9	320.21	3982.96	5785.23	2299.62	0.89	650.17	0.55	24.98	0.42	6.72	0.26	92.29	0.12
	燃煤进口	6	5.93	322.83	4604.74	6425	1997.42	0.51	330.61	0.84	6.96	0.84	6.96	0	96.15	0.11
330-340MW	燃煤	248	244	330.32	4209.24	6087.94	2038.54	0.83	605.33	0.65	38.5	0.58	28.33	2.21	92.67	0.49
	燃煤国产	241	237	330.33	4229.5	6118.1	1998.91	0.84	614.85	0.64	38.75	0.56	28.28	2.28	92.56	0.49
	燃煤进口	7	7	330	3523.99	5067.58	3379.23	0.57	283.13	1.14	30.06	1.14	30.06	0	96.42	0.59
350-352MW	燃煤	148	145	350.03	4459.52	6676.67	1554.92	0.68	483.12	0.83	48.6	0.77	42.97	17.44	93.73	0.68
	燃煤国产	111	108	350	4416.6	6709.06	1525.29	0.76	477.74	0.87	52.34	0.83	47.59	22.27	93.69	0.74
	燃煤进口	37	36.5	350.11	4586.89	6580.56	1642.84	0.44	499.08	0.71	37.52	0.6	29.24	3.11	93.84	0.48
360-380MW	燃煤	10	9.28	362.9	3974	5960.41	2132.9	0.75	689.63	0.43	31.55	0.32	16.14	2.01	92.06	0.30
	燃煤国产	2	2	370	5155.67	7778.15	148.58	1	833.28	0	0	0	0	0	90.49	0.00
	燃煤进口	8	7.28	361.13	3641.39	5448.77	2691.43	0.69	649.2	0.55	40.44	0.41	20.69	2.58	92.5	0.43

附表1

2017年火电100MW及以上容量机组运行可靠性主要指标（续3）

机组分类	机组容量(MW)	台数	台年数	平均容量(MW/台)	利用小时UTH	可用小时		不可用小时及次数						降低出力等效停运小时	等效可用系数EAF(%)	等效强迫停运率EFOR(%)
						运行SH	备用RH	计划停运		非计划停运		强迫停运				
								次数	小时	次数	小时	次数	小时			
300-399MW		825	810	320.39	4225.95	6098.79	2071.64	0.78	547.55	0.65	47.7	0.58	36.79	5.25	93.16	0.63
	燃煤	825	810	320.39	4225.95	6098.79	2071.64	0.78	547.55	0.65	47.7	0.58	36.79	5.25	93.16	0.63
	燃煤国产	761	748	318.57	4212.49	6082.14	2081.33	0.8	552.9	0.64	49.05	0.57	37.89	5.35	93.08	0.64
	燃煤进口	64	62.2	342.03	4376.53	6285.2	1963.14	0.55	487.67	0.76	32.62	0.66	24.45	4.22	94.06	0.45
500MW	燃煤进口	8	7.5	503.75	5019.2	6731.55	1470.08	0.8	501.02	1.07	91.13	0.67	67.21	0.11	93.24	0.99
600MW	燃煤	264	257	600	4199.24	6032.25	2101.4	0.68	571.81	0.67	61.04	0.56	31.34	5.31	92.74	0.54
	燃煤国产	241	234	600	4150.96	5987.45	2167.61	0.66	547.42	0.67	64.66	0.58	33.8	5.61	92.97	0.58
	燃煤进口	23	22.5	600	4702.4	6499.21	1411.38	0.93	826.06	0.71	23.35	0.4	5.66	2.25	90.28	0.12
630-650MW	燃煤	73	71.4	635.48	4416.1	6248.39	1660.94	0.78	811.38	0.67	39.29	0.57	30.77	0.32	90.29	0.49
	燃煤国产	71	69.4	635.63	4391.64	6213.27	1680.06	0.79	826.32	0.68	40.35	0.58	31.59	0.33	90.1	0.51
	燃煤进口	2	2	630	5272.19	7477.51	991.81	0.5	288.39	0.5	2.29	0.5	2.29	0	96.68	0.03
660-680MW	燃煤	152	150	661.42	4527.43	6573.08	1603.88	0.67	528.55	0.79	59.81	0.67	40.61	3.38	93.27	0.65
	燃煤国产	147	145	661.47	4528.71	6559.99	1635.59	0.67	512.49	0.76	57.42	0.65	40.29	2.62	93.49	0.64
	燃煤进口	5	5	660	4490.01	6953.54	681.7	0.8	995.41	1.6	129.35	1.2	49.91	25.41	86.87	0.74
600-699MW	燃煤	489	478	624.39	4341.21	6244.77	1869.22	0.69	593.8	0.71	57.33	0.6	34.33	3.91	92.54	0.57
	燃煤国产	459	449	625.2	4317.92	6218.67	1909.13	0.68	579.29	0.7	58.36	0.6	35.67	3.76	92.7	0.59
	燃煤进口	30	29.5	612	4703.34	6650.51	1248.74	0.88	819.49	0.85	41.25	0.54	13.51	6.32	90.1	0.23

附表1

2017年火电100MW及以上容量机组运行可靠性主要指标（续4）

机组分类	机组容量(MW)	台数	台年数	平均容量(MW/台)	利用小时UTH	可用小时		不可用小时及次数						降低出力等效停运小时	等效可用系数EAF(%)	等效强迫停运率EFOR(%)
						运行SH	备用RH	计划停运		非计划停运		强迫停运				
								次数	小时	次数	小时	次数	小时			
700MW	燃煤	8	8	700	4897.92	6838.57	549.13	0.88	1050.13	2.13	322.18	1.63	192.21	4.43	84.28	2.80
	燃煤国产	4	4	700	4705.76	6412.65	209.16	1.25	1597.04	3.25	541.15	2.25	281.23	0	75.59	4.20
	燃煤进口	4	4	700	5090.08	7264.49	889.09	0.5	503.22	1	103.2	1	103.2	8.86	92.98	1.52
800MW	燃煤进口	2	2	880	4668.67	7576.02	766.42	1	417.57	0	0	0	0	0	95.23	0.00
900MW	燃煤进口	2	2	900	4602.75	6237.56	1018.48	1	1501.65	0.5	2.32	0.5	2.32	0	82.83	0.04
1000MW	燃煤国产	91	89.5	1007.78	5007.42	6860.08	1264.3	0.73	608.06	0.42	27.57	0.32	12.78	1.89	92.72	0.20
500-000MW	燃煤	600	587	683.71	4507.43	6401.48	1702.7	0.7	605.78	0.69	54.16	0.57	31.71	3.4	92.44	0.51
	燃煤国产	554	542	688.58	4487.2	6374.9	1740.79	0.69	593.86	0.67	54.55	0.57	31.99	3.28	92.58	0.52
	燃煤进口	46	45	625	4775.52	6753.76	1197.9	0.84	763.84	0.84	49.03	0.58	28.06	4.94	90.66	0.45
100-000MW		1756	1722	416.23	4351.07	6213.39	1922.04	0.76	576.56	0.65	52.59	0.57	35.59	6.1	92.76	0.59
	燃煤	1756	1722	416.23	4351.07	6213.39	1922.04	0.76	576.56	0.65	52.59	0.57	35.59	6.1	92.76	0.59
	燃煤国产	1624	1593	416.56	4340,38	6199.7	1938.47	0.77	572.64	0.65	53.68	0.57	36.46	6.25	92.79	0.61
	燃煤进口	132	129	412.23	4484.27	6384.01	1717.31	0.65	625.45	0.67	39.08	0.53	24.71	4.31	92.38	0.43
燃气轮机		167	167	292.44	2644.57	4073.3	4043	1.18	637.51	0.35	9.01	0.33	7.55	2.27	92.6	0.24

附表2

2017年水电40MW及以上容量机组运行可靠性主要指标

机组分类	机组容量(MW)	台数	台年数	平均容量(MW/台)	利用小时UTH	可用小时		不可用小时及次数						降低出力等效停运小时	等效可用系数EAF(%)	等效强迫停运率EFOR(%)
						运行SH	备用RH	计划停运		非计划停运		强迫停运				
								次数	小时	次数	小时	次数	小时			
抽水蓄能机组	全部	85	85.23	250.24	3035.11	3242.64	4603.38	9.19	916.42	2.08	11.33	1.89	9.44	0	89.45	0.29
	40-99MW	9	9.02	63.33	2740.94	3820.47	3788.51	9.87	1134.04	2.99	16.98	2.99	16.98	0	86.86	0.44
	100-199MW	6	6.02	150	2766.56	2665.27	4775.9	9.8	1314.66	1.5	4.17	1.5	4.17	0	84.94	0.16
	200-299MW	20	20.05	240	3467.37	3567.23	4216.37	9.13	966.84	1.65	9.56	1.65	9.56	0	88.85	0.27
	300MW及以上	50	50.14	300	2924.08	3151.46	4747.84	9.01	868.12	2.15	12.11	1.83	9.43	0	90.01	0.30
水电轴流机组	全部	151	148.15	105.68	4555.49	5623.4	2537.58	1.54	602.58	0.13	1.07	0.05	0.99	0	93.14	0.02
	40-99MW	68	67.18	59.37	3648.99	4476.52	3519.71	1.95	769.92	0.25	1.51	0.09	1.23	0	91.19	0.03
	100-199MW	74	71.94	136.16	4701.06	5920.42	2324.49	1.11	518.27	0.03	1.09	0.03	1.09	0	94.12	0.02
	200-299MW	9	9.02	204.94	5742.48	6526.16	1545.5	1.88	688.34	0	0	0	0	0	92.14	0.00
水电混流机组	全部	709	707.42	232.91	3725.79	4859.09	3273.71	1.44	624.08	0.07	3.92	0.05	3.7	6.63	92.76	0.08
	40-99MW	301	300.21	60.2	3617.31	4939.73	3268.41	1.5	546.65	0.05	6.28	0.04	5.24	60.35	93.01	0.11
	100-199MW	125	124.8	136.2	3056.07	4129.81	4064.8	1.31	554.44	0.12	15.42	0.08	15.2	0	93.49	0.37
	200-299MW	84	84.13	236.36	3337.19	4437.99	3548.7	1.3	772.32	0.06	0.99	0.04	0.24	0	91.17	0.01
	300MW及以上	199	198.29	553.44	3918.26	5035.47	3101.81	1.51	620.77	0.07	2.28	0.07	2.28	0	92.89	0.05
全部机组		945	940.8	214.14	3717.19	4747.43	3357.21	2.16	653.35	0.26	4.48	0.22	4.09	5.42	92.44	0.09

附表3

2017年全国电网220kV及以上电压等级架空线路、变压器、电抗器、断路器等13类输变电设施运行可靠性主要指标

设施类型	电压等级（kV）	设施总数/线路全长*1	统计百台（段、公里）年数	强迫停运率*2	可用系数（%）	连续可用小时（小时/次）	非计划停运次数（次）	非计划停运时间*3	计停次数（次）	计停时间*3
架空线路	综合	7487.674	7284.570	0.055	99.497	30210.2	486	0.454	4896	41.512
	220	4483.510	4411.911	0.050	99.823	33470.035	284	0.349	3752	13.754
	330	284.906	276.169	0.098	99.282	23851.806	28	0.335	183	52.765
	400	20.630	20.630	0.097	94.390	3307.44	2	0.017	3	491.383
	500	2052.071	2015.533	0.070	99.341	20324.449	158	0.534	876	54.744
	660	26.667	26.730	0	95.778	7661.056	0	0	2	337.736
	750	183.578	178.030	0.028	99.032	20972.816	6	1.429	43	80.058
	800	340.694	275.487	0.015	96.888	9325.96	4	0.961	14	271.665
	1000	95.617	80.080	0.050	98.770	12621.341	4	0.958	23	106.767
变压器	综合	15350	149.836	0.154	99.856	40763.612	68	0.138	3147	12.201
	220	10303	101.162	0.079	99.890	39571.102	23	0.014	2214	9.513
	330	387	3.757	0.266	99.787	43782.988	2	0.032	73	18.596
	500	4257	41.201	0.316	99.800	44912.274	42	0.447	760	16.308
	750	245	2.366	0.423	99.752	39757.391	1	0.325	51	21.224
	1000	158	1.350	0	99.376	23989.964	0	0	49	54.697

附表3

2017年全国电网220kV及以上电压等级架空线路、变压器、电抗器、断路器等13类输变电设施运行可靠性主要指标（续1）

设施类型	电压等级（kV）	设施总数/线路全长*1	统计百台（段、公里）年数	强迫停运率*2	可用系数（%）	连续可用小时（小时/次）	非计划停运次数（次）	非计划停运时间*3	计停次数（次）	计停时间*3
电抗器	综合	2780	27.277	0.220	99.827	56989.71	15	0.514	405	14.536
	220	176	1.681	0	99.980	113255.755	1	0.013	12	1.746
	330	131	1.303	0	99.803	126527.594	0	0	9	17.257
	500	1900	18.904	0.212	99.903	65391.875	4	0.065	249	8.412
	750	400	3.957	0.505	99.632	34190.172	8	2.648	93	29.582
	1000	173	1.432	0	99.205	28285.258	2	1.595	42	66.336
断路器	综合	42082	417.178	0.141	99.942	68206.464	95	0.019	5260	4.973
	220	34048	337.341	0.107	99.944	68557.603	49	0.008	4259	4.779
	330	1675	16.479	0.121	99.919	82422.989	4	0.1	171	6.928
	500	6045	60.223	0.332	99.952	68038.214	40	0.054	735	4.122
	750	306	3.016	0.332	99.625	27421.127	2	0.079	94	32.812
	1000	8	0.119	0	99.881	103991.233	0	0	1	10.420
电流互感器	综合	119851	1190.489	0.010	99.981	197872.305	25	0.004	5242	1.584
	220	102239	1015.198	0.004	99.983	202449.816	11	0.002	4381	1.477
	330	2956	28.937	0.035	99.937	99736.796	3	0.001	251	5.460
	500	14652	146.081	0.048	99.981	206026.649	11	0.016	610	1.565
	750	3	0.030	0	100	26280	0	0	0	0
	1000	1	0.243	0	100	213013.167	0	0	0	0

附表3

2017年全国电网220kV及以上电压等级架空线路、变压器、电抗器、断路器等13类输变电设施运行可靠性主要指标 （续2）

设施类型	电压等级（kV）	设施总数/线路全长*1	统计百台（段、公里）年数	强迫停运率*2	可用系数（%）	连续可用小时（小时/次）	非计划停运次数（次）	非计划停运时间*3	计停次数（次）	计停时间*3
电压互感器	综合	75176	739.698	0.023	99.970	190928.927	38	0.004	3353	2.550
	220	52787	521.644	0.008	99.988	257991.803	17	0.003	1754	1.051
	330	4341	42.263	0	99.955	137056.796	1	0.003	269	3.941
	500	16699	163.416	0.080	99.939	127965.344	20	0.01	1098	5.253
	750	931	9.110	0	99.801	53817.036	0	0	148	17.389
	1000	418	3.265	0	99.460	33868.354	0	0	84	47.229
隔离开关	综合	150248	1491.421	0.009	99.986	294312.568	49	0.002	4387	1.212
	220	130304	1291.698	0.005	99.989	330626.453	25	0.001	3397	0.921
	330	3835	37.907	0	99.947	161895.647	8	0.006	197	4.587
	500	15265	153.109	0.033	99.979	202561.97	12	0.006	650	1.759
	750	827	8.143	0.246	99.755	48408.061	4	0.012	143	21.458
	1000	17	0.564	0	100	494281.817	0	0	0	0
避雷器	综合	120536	1186.328	0.010	99.978	241844.277	52	0.001	4241	1.944
	220	96827	955.255	0.001	99.988	305588.531	38	0.001	2700	1.061
	330	4044	39.487	0.025	99.960	153675.319	1	0	224	3.475
	500	17811	174.521	0.057	99.950	150103.245	13	0.004	1005	4.293
	660	1	0.010	0	100	8760	0	0	0	0
	750	1366	13.410	0	99.806	52107.71	0	0	225	16.972
	1000	487	3.644	0	99.441	36484.417	0	0	87	48.986

2017年全国电网220kV及以上电压等级架空线路、变压器、电抗器、断路器等13类输变电设施运行可靠性主要指标 （续3）

设施类型	电压等级（kV）	设施总数/线路全长*1	统计百台（段、公里）年数	强迫停运率*2	可用系数（%）	连续可用小时（小时/次）	非计划停运次数（次）	非计划停运时间*3	计停次数（次）	计停时间*3
耦合电容器	综合	9238	93.849	0.011	99.990	496771.333	2	0.001	163	0.727
	220	8786	89.319	0.011	99.990	485938.276	2	0.001	159	0.707
	330	102	1.020	0	100	893520	0	0	0	0
	500	350	3.509	0	99.983	768412.642	0	0	4	1.452
阻波器	综合	16197	164.601	0.036	99.988	419652.144	7	0	336	0.930
	220	13128	133.652	0	99.992	515726.569	1	0	226	0.592
	330	664	6.714	0	99.987	735128.1	0	0	8	1.118
	500	2401	24.194	0.248	99.964	196169.206	6	0.003	102	2.748
	750	4	0.040	0	100	35040	0	0	0	0
电缆线路	综合	40.65	39.916	0	99.922	204987.419	0	0	45	6.851
	220	40.066	39.332	0	99.921	214496.513	0	0	43	6.889
	500	0.584	0.584	0	99.951	65520.708	0	0	2	4.318
组合电器	综合	4939	45.598	0.016	99.991	12014.291	46	0.02	3279	0.774
	220	3208	29.576	0.007	99.991	9486.124	24	0.001	2707	0.782
	330	86	0.798	0.257	99.980	5064.198	13	0.064	125	1.660
	500	1569	14.542	0.004	99.996	45987.338	6	0.008	271	0.316
	750	24	0.222	0	99.894	3186.61	0	0	61	9.263
	1000	52	0.460	0.567	99.876	3407.776	3	1.602	115	9.074

附表3

2017年全国电网220kV及以上电压等级架空线路、变压器、电抗器、断路器等13类输变电设施运行可靠性主要指标 （续4）

设施类型	电压等级（kV）	设施总数/线路全长*1	统计百台（段、公里）年数	强迫停运率*2	可用系数（%）	连续可用小时（小时/次）	非计划停运次数（次）	非计划停运时间*3	计停次数（次）	计停时间*3
母线	综合	11497	114.255	0.166	99.961	128813.082	22	0.015	753	3.402
	220	9839	97.871	0.143	99.973	148289.962	17	0.016	561	2.356
	330	269	2.604	1.152	99.978	162921.124	3	0.003	11	1.521
	500	1317	13.040	0.153	99.873	66330.808	2	0.009	170	11.110
	750	61	0.610	0	99.827	48494.347	0	0	11	15.118
	1000	11	0.129	0	100	113337.35	0	0	0	0

注：*1 架空线路、电缆线路单位为：百公里；其它设备单位为：台（段）。

*2 架空线路、电缆线路单位为：次/百公里年；其它设备单位为：次/百台（段）年。

*3 架空线路、电缆线路单位为：小时/百公里年；其它设备单位为：小时/台（段）年。

附表4

2017年全国点对点直流输电系统运行可靠性主要指标

系统名称	额定电压	额定输送容量（MW）	投运时间			能量可用率（%）	能量利用率（%）	强迫能量不可用率（%）	计划能量不可用率（%）	强迫停运次数	总输送电量（MWh）
葛南	±500	1164	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	1989-9-1 1990-8-1	92.290	54.124	0.140	7.57	1	5518842
天广	±500	1800	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2000-12-26 2001-6-26	97.257	55.619	0.077	2.67	3	8770000
龙政	±500	3000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2003-6-1 2003-6-1	95.920	40.416	0.140	3.94	1	10621392
江城	±500	3000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2004-6-1 2004-6-1	97.450	65.054	0.020	2.54	1	17096184
高肇	±500	3000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2004-9-24 2004-5-31	99.124	43.617	0.256	0.62	3	11494000
宜华	±500	3000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2006-12-1 2006-12-1	91.380	40.751	0.000	8.62	0	10709323
兴安	±500	3000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2007-12-3 2007-6-21	98.338	57.960	0.449	1.21	3	15232000
德宝	±500	3000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2010-4-21 2010-4-21	95.690	44.744	1.120	3.19	2	11758733
伊穆	±500	3000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2010-9-30 2010-9-30	95.640	58.525	0.060	4.31	1	15380493
银东	±660	4000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2011-3-25 2011-3-25	96.490	86.193	0.000	3.51	0	30202128
林枫	±500	3000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2011-5-2 2011-5-2	91.690	30.658	0.000	8.31	0	8057032
柴拉	±400	600	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2012-6-10 2012-6-10	92.840	30.643	0.900	6.26	3	1610611

附表4

2017年全国点对点直流输电系统运行可靠性主要指标 （续1）

系统名称	额定电压	额定输送容量（MW）	投运时间			能量可用率（%）	能量利用率（%）	强迫能量不可用率（%）	计划能量不可用率（%）	强迫停运次数	总输送电量（MWh）
牛从甲	±500	3200	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2014-4-11 2013-10-12	96.577	52.533	0.029	3.39	1	14726000
牛从乙	±500	3200	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2014-6-29 2014-6-29	96.207	52.519	0.000	3.79	0	14722000
金中	±500	3200	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2016-6-18 2016-6-18	95.966	47.399	0.000	4.03	0	13287000
楚穗	±800	5000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2010-6-18 2009-12-28	95.652	64.425	0.189	4.15	3	28218000
复奉	±800	6400	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2010-7-26 2010-7-26	94.540	57.787	0.000	5.46	0	32397742
锦苏	±800	7200	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2012-7-19 2012-12-6	95.790	61.375	0.230	3.98	1	38710418
天中	±800	8000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2014-1-25 2014-1-25	95.960	51.324	0.000	4.04	0	35968000
宾金	±800	8000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2014-7-3 2014-7-3	94.280	55.530	0.800	4.92	4	38915379
普侨	±800	5000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2015-5-30 2014-1-29	94.578	67.927	0.117	5.32	2	29752000
灵绍	±800	8000	极Ⅰ 极Ⅱ	Pole Ⅰ Pole Ⅱ	2016-8-24 2016-8-24	93.59	28.72	0.04	6.37	1	20127000

附表5

2017年全国背靠背直流输电系统运行可靠性主要指标

系统名称	换流站/单元	额定输送容量（MW）	投运时间	能量可用率（%）	能量利用率（%）	强迫能量不可用率（%）	计划能量不可用率（%）	强迫停运次数	总输送电量（MWh）
灵宝背靠背	接流站	1100	2005-7-1	96.360	89.394	0.000	3.640	0	8692289
	单元Ⅰ 120kV	360	2005-7-1	95.096	91.445	0.000	4.904	0	2883801
	单元Ⅱ 167kV	750	2009-12-15	96.960	88.409	0.000	3.040	0	5808488
高岭背靠背	换流站	3000	2008-11-1	96.310	81.897	0.000	3.690	0	21522559
	单元Ⅰ ± 125kV	750	2008-11-1	96.960	81.376	0.000	3.040	0	5346435
	单元Ⅱ ± 125kV	750	2008-11-1	96.710	79.630	0.000	3.290	0	5231693
	单元Ⅲ ± 125kV	750	2012-11-13	97.171	84.623	0.000	2.829	0	5559719
	单元Ⅳ ± 125kV	750	2012-11-13	94.412	81.959	0.000	5.588	0	5384713
黑河背靠背	接流站	750	2012-1-07	94.420	42.633	0.098	5.480	3	2801000
	单元Ⅰ 125kV	750	2012-1-07	94.420	42.633	0.098	5.480	3	2801000

附表6

2017年全国各区域供电可靠性主要指标

区域	统计口径	供电可靠率(%)	用户平均停电次数(次/户*年)	用户平均停电时间(小时/户*年)	用户平均故障停电时间(小时/户*年)	用户平均预安排停电时间(小时/户*年)	等效总用户数	用户总容量(kVA)
华北区域	全口径	99.847	2.71	13.37	5.28	8.09	1813108	576588529
	城市	99.960	0.79	3.46	1.22	2.25	456719	294071447
	农村	99.809	3.35	16.70	6.64	10.06	1356389	282517082
东北区域	全口径	99.766	4.11	20.52	6.73	13.79	845336	187614294
	城市	99.939	1.09	5.30	1.45	3.85	231657	109655880
	农村	99.700	5.25	26.26	8.72	17.55	613679	77958414
华东区域	全口径	99.880	2.31	10.47	3.58	6.89	2179673	872538358
	城市	99.959	0.84	3.56	1.30	2.26	568478	350261262
	农村	99.853	2.82	12.91	4.39	8.53	1611196	522277096
华中区域	全口径	99.808	2.85	16.86	4.13	12.73	1844830	545212800
	城市	99.946	0.94	4.73	1.26	3.47	512780	297859694
	农村	99.754	3.59	21.53	5.24	16.29	1332050	247353106
西北区域	全口径	99.714	5.42	25.02	9.35	15.67	579506	135035008
	城市	99.904	2.17	8.42	3.37	5.05	128496	73996671
	农村	99.660	6.35	29.76	11.06	18.70	451009	61038337
南方区域	全口径	99.817	3.25	16.06	6.59	9.47	1417705	523084029
	城市	99.941	1.09	5.18	1.79	3.39	440064	163290676
	农村	99.761	4.23	20.96	8.75	12.21	977642	359793353
全国	全口径	99.814	3.28	16.27	5.67	10.61	9075562	2917095381
	城市	99.943	1.10	5.02	1.62	3.40	2410377	1321180382
	农村	99.768	4.07	20.35	7.13	13.21	6665185	1595914999

附表7

2017年各区域故障停电原因分类

区域	影响指标	自然因素		设备原因		外力因素		运行维护		用户影响		主网影响		设计施工		低压设施故障	
		*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
华北区域	AIHC	1.5699	11.02	0.8242	5.79	1.3903	9.76	0.1077	0.76	0.9607	6.75	0.2155	1.51	0.0631	0.44	0.1980	1.39
	AITC	0.4424	16.35	0.2238	8.27	0.4590	16.97	0.0370	1.37	0.2607	9.64	0.0470	1.74	0.0173	0.64	0.0622	2.30
东北区域	AIHC	2.7423	13.36	1.0357	5.05	1.4150	6.89	0.3632	1.77	0.8316	4.05	0.1406	0.69	0.0189	0.09	0.1796	0.88
	AITC	0.8227	20.01	0.3309	8.05	0.4970	12.09	0.0595	1.45	0.3232	7.86	0.0292	0.71	0.0052	0.13	0.0679	1.65
华东区域	AIHC	0.8284	7.71	1.0872	10.12	1.0417	9.70	0.1464	1.36	0.3189	2.97	0.2292	2.13	0.0429	0.40	0.0992	0.92
	AITC	0.2686	11.65	0.3038	13.17	0.3592	15.57	0.0472	2.05	0.1108	4.80	0.0804	3.49	0.0098	0.42	0.0383	1.66
华中区域	AIHC	1.1015	6.27	0.9985	5.68	1.0304	5.86	0.1194	0.68	0.3542	2.01	0.2472	1.41	0.0954	0.54	0.2040	1.16
	AITC	0.2673	9.36	0.2601	9.10	0.2685	9.40	0.0370	1.29	0.0961	3.36	0.0582	2.04	0.0146	0.51	0.0532	1.86
西北区域	AIHC	2.2602	8.69	1.3853	5.32	1.1740	4.51	1.2209	4.69	2.3804	9.15	1.3179	5.06	0.1544	0.59	0.1670	0.64
	AITC	0.7682	14.16	0.1934	3.56	0.4561	8.41	0.5742	10.58	1.1709	21.58	0.1607	2.96	0.0175	0.32	0.0720	1.33
南方区域	AIHC	2.2993	15.20	0.9247	6.11	0.9468	6.26	0.6012	3.97	0.8023	5.30	0.2076	1.37	0.1026	0.68	0.0373	0.25
	AITC	0.6112	20.28	0.2942	9.76	0.3012	10.00	0.2173	7.21	0.2620	8.69	0.0664	2.20	0.0269	0.89	0.0140	0.47
全国	AIHC	1.6939	10.24	1.0608	6.41	1.1765	7.11	0.4041	2.44	0.7219	4.36	0.3694	2.23	0.0742	0.45	0.1396	0.84
	AITC	0.4826	14.94	0.2880	8.91	0.3840	11.88	0.1498	4.64	0.2515	7.78	0.1003	3.11	0.0157	0.49	0.0462	1.43

注：* 指标的受影响值(AIHC：小时/户，AITC：次/户)

** 受影响占全部停电总值的百分数（%）

附表8

2017年全国各区域预安排停电原因分类

区域	影响指标	检修停电		电网建设施工		业扩工程施工停电		市政工程建设施工停电		调电		限电		用户申请停电		低压作业影响	
		*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
华北区域	AIHC	6.3241	44.40	2.1832	15.33	0.1134	0.80	0.1070	0.75	0.0208	0.15	0.0438	0.31	0.0823	0.58	0.0109	0.08
	AITC	0.7543	27.88	0.2916	10.78	0.0221	0.82	0.0131	0.48	0.0210	0.78	0.0177	0.66	0.0188	0.70	0.0038	0.14
东北区域	AIHC	9.1159	44.42	4.3045	20.97	0.1339	0.65	0.0806	0.39	0.0532	0.26	0.0291	0.14	0.0675	0.33	0.0858	0.42
	AITC	1.3617	33.12	0.5270	12.82	0.0284	0.69	0.0102	0.25	0.0182	0.44	0.0034	0.08	0.0228	0.55	0.0152	0.37
华东区域	AIHC	2.3143	21.54	4.3534	40.52	0.1031	0.96	0.0664	0.62	0.0518	0.48	0.0051	0.05	0.0302	0.28	0.0246	0.23
	AITC	0.3782	16.40	0.6347	27.52	0.0175	0.76	0.0093	0.40	0.0351	1.52	0.0013	0.06	0.0064	0.28	0.0054	0.23
华中区域	AIHC	7.6160	43.32	5.1618	29.36	0.1562	0.89	0.1104	0.63	0.0597	0.34	0.0062	0.04	0.2308	1.31	0.0119	0.07
	AITC	1.0267	35.94	0.6510	22.79	0.0222	0.78	0.0134	0.47	0.0466	1.63	0.0021	0.07	0.0246	0.86	0.0019	0.07
西北区域	AIHC	8.4633	32.52	6.6350	25.50	0.2272	0.87	0.2408	0.93	0.0669	0.26	0.0994	0.38	0.2001	0.77	0.0376	0.14
	AITC	1.0982	20.24	0.7121	13.13	0.0494	0.91	0.0419	0.77	0.0382	0.70	0.0357	0.66	0.0284	0.52	0.0168	0.31
南方区域	AIHC	5.7512	38.02	2.5091	16.59	0.3377	2.23	0.2684	1.77	0.0388	0.26	0.0961	0.64	0.1874	1.24	0.0282	0.19
	AITC	0.7079	23.49	0.2775	9.21	0.0612	2.03	0.0313	1.04	0.0897	2.98	0.0182	0.60	0.0308	1.02	0.0077	0.26
全国	AIHC	6.1545	37.21	4.1453	25.06	0.1798	1.09	0.1455	0.88	0.0533	0.32	0.0576	0.35	0.1273	0.77	0.0368	0.22
	AITC	0.8333	25.79	0.5343	16.54	0.0328	1.01	0.0176	0.54	0.0444	1.38	0.0201	0.62	0.0209	0.65	0.0091	0.28

注：* 指标的受影响值(AIHC：小时/户，AITC：次/户)，

** 受影响占全部停电总值的百分数（%）。