



电力监测与故障诊断技术全书

(四) 变电站、避雷器、电容器卷

(上)

国家电网公司武汉高压研究所

二〇〇五年九月

目 录

2005 年:

01. 重视和加强防止复杂气候环境及输变电设备故障导致电网大面积事故的安全技术研究	孙才新 (1)
02. 输变电设备状态在线监测与诊断技术的现状与前景	孙才新 (14)
03. 用紫外成像检测电气设备外绝缘状况	迟殿林等 (25)
04. 变电站 RTU 及远动信道故障诊断监测系统设计	曾 凡等 (28)
05. 变电站电气设备的状态检修和状态监测技术现状及其发展趋势	陈钢 (33)
06. 变电站电气设备在线监测的方法	王少华 (36)
07. 变电站阀控式铅酸蓄电池的检测方法	何小霞 (39)
08. 变电站专家系统的研究	杨超等 (41)
09. 变电站小四器在线监测技术	郭志龙等 (44)
10. 变配电站计算机监控系统的设计	郑荣进 (48)
11. 发电厂和变电站直流系统接地故障检测总体方案	李东辉等 (50)
12. 分布式变电站远程视频监控系统的广域通信策略	曾怡达等 (54)
13. 高压设备在线监测及诊断系统在临海 220kV 变电站的应用	徐华等 (61)
14. 500kV 江门变电站监测运动一体化系统的建设	黄国政 (64)
15. 给予计算机视觉的远程变电站状态监测与诊断新策略	赵书涛等 (67)
16. 基于 B / S 模式的变电站远程监测系统研究	于 (72)
17. FTLD / CT ² C 及其在变电站电缆温度监测中的应用	杨 盛等 (74)
18. 基于计算机视觉的远程变电站状态监测与诊断新策略	赵书涛等 (77)
19. 基于网络通信的变电站数字视频远程监控系统	徐颖秦等 (81)
20. 六盘水供电局变电站远程图像监控系统探讨	龙玲玲 (84)
21. 浅谈分布式光纤感温线预警系统新技术在变电站中的应用	汤健 (87)
22. 实现变电站远程图像监控系统的跨网段应用	巫阳波等 (91)
23. 数据库在基于 LON 网络的变电站电压监测系统中的应用	黄天成等 (93)
24. 天津陈塘庄 220kV 变电站综合自动化系统的特点及运行分析	程法庆 (97)
25. 影响变电站电气设备倒闸操作的综合因素分析	朱黎等 (101)
26. 避雷器阀片检测用 L-C 恒流充放电装置	邹晓兵等 (104)
27. 避雷器放电计数器在线检测仪的研制	关根志等 (106)
28. 避雷器泄露电流自动监测系统	张文华 (110)
29. 给予 RS-485 总线的金属氧化物避雷器在线检测系统的研究	杨小平等 (112)
30. 金属氧化物避雷器在线检测的改进补偿法研究	王文利 等 (117)
31. MOA 泄漏电流在线监测方法	胡道明 等 (120)
32. 基于 CAN 总线的分布式 MOA 在线监测系统设计	曹万磊 等 (124)
33. 一种测量 MOA 阻性泄露电流新方法的研究	刘会家等 (126)
34. DJ 型电网监测无功补偿装置及新一代电容器投切器件—复合开关	赵崇西等 (130)
35. 电容器容量损耗自动分类机的优化改进	郭曙光等 (131)
36. 混合型有源电力滤波器与并联电容器组联合补偿技术研究	徐勇海等 (135)
37. 基于 MATLAB 的高压电容器直流局部放电检测	刘华昌等 (142)
38. 浅析电力电容器的防火防爆	汪承龙 (145)
39. 谐波分析、电容器组自动投切及配变实时监测一体化装置研制	赵剑锋 等 (147)

40. 极对壳绝缘局部放电试验对电容器绝缘老化的评定作用	倪学锋 等 (151)
41. 基于电容传感器法的电缆接头局部放电在线检测	龚丹妹 等 (155)
42. 2004 年国际大电网会议系列报道-电力系统保护与自动化	赵希才 (157)
43. DST-3 便携式多功能局部放电检测仪	崔 靖 (162)
44. 农村 35kV 无人值班变电站遥控拒动现象分析	武立平 (163)
45. 电器设备绝缘在线监测系统	罗光伟 (164)
46. 电器设备在线监测系统的 Modem 通信实现	杨桂芳等 (168)
47. 电网故障信息快速集成和智能诊断系统的研究	汤少卿等 (171)
48. 高压电气设备外绝缘表面脏污和出现裂纹危险点分析与预控	傅泽华 (175)
49. 基于 RFID 数据终端的电力设备巡检系统	洪文鹏等 (178)
50. 接地选线绝缘监测装置在直流系统中的应用	刘庆宝 (180)
51. USB 接口便携式绝缘子泄露电流检测系统	肖立等 (182)

2004 年:

01. 220kV 变电站供电可靠性定量研究	周志超等 (187)
02. 220kV 变电站全停事故隐患探讨	于连荣 (190)
03. 500kV 变电站电容器组爆裂的故障分析	徐林峰 (192)
04. 500kV 变电站计算机监控系统的应用	沈曙明 (194)
05. 500kV 变电站计算机监控系统应用的几个问题	沈曙明 (196)
06. 500kV 变电站开关操作瞬态电场测量与研究	卢斌先等 (199)
07. IT 系统在高压变电站设备维护中的应用	(205)
08. 变电站管形母线系统检测研究	杨耀杰 (207)
09. 变电站控制与信号系统的仿真	张炳达 (210)
10. 变电站设备接地线导通检查	史峻 (214)
11. 变电站设备绝缘在线监测系统的研究与应用	张东进 (216)
12. 变电站现场总线监测控制系统的设计	苏小东 (220)
13. 变电站远程维护系统的多用户接入控制	罗毅等 (222)
14. 变电站在线监测系统集成实现	李少华等 (226)
15. 分布式光纤温度传感器原理及其在变电站温度监测中的应用	匡绍龙等 (229)
16. 故障树分析法在变电站通信系统可靠性分析中的应用	韩小涛等 (232)
17. 关于大庆油田 110kV 变电站微机综合自动化系统配置的研讨	史春森等 (236)
18. 基于 AT73C501 的变电站绝缘在线监测装置的研究	黄俊杰 (241)
19. 基于 Tabu 搜索的变电站警报处理系统	李超等 (245)
20. 基于故障群组合优化的变电站故障诊断	张炳达 (249)
21. 基于混合因果网络的配电变电站故障诊断	孙雅明等 (254)
01. 35kV 变电设备绝缘参数的带电检测	李建明 (259)
22. 基于决策树的变电站故障诊断知识表示与获取	白建社等 (262)
23. 基于面向对象技术的变电站故障诊断和恢复处理	刘伟祥 (267)
24. 基于事例和规则混合推理的变电站故障诊断系统	杜 等 (271)
25. 基于组件模型和多层数据库的变电站就地监控软件	张炳达 (275)
26. 江陵换流变电站交流滤波器开关跳闸故障分析	许世刚等 (278)
27. 汕尾电网变电站的告警信息通知系统	张超树 (281)
28. 使用 XML 实现变电站中 IED 的自动识别和远程配置	卞鹏等 (285)
29. 天津北郊 500kV 变电站计算机绝缘在线监测系统	陈沛然等 (288)

30. 一种基于变电站高压触点温度在线监测的新方法	刘建朋等 (298)
31. 对现行 MOA 监测方法的分析与改进	尹华德 (302)
32. 浅谈避雷器的检测手段	顾映宾 (304)
33. 避雷器在线监测系统应用	郭红英等 (305)
34. 金属氧化物避雷器检测技术	张宏利 (308)
35. 能单独检测芯体电流的双重密封外套交流无间隙金属氧化物避雷器	闫中华 (310)
36. 浅谈金属氧化物避雷器故障的红外诊断技术	阳琴 (314)
37. 氧化锌避雷器在线监测的方法	李翱翔等 (316)
38. 电容式电压互感器介损的现场测试方法	李献东 (321)
39. 电容型设备绝缘在线监测的诊断方法研究	覃汉敏 (325)
40. 一起耦合电容器故障引发局部电网甩负荷的分析	朱志飞 (327)
41. 电力主设备制造与运行监测新技术	辛承林等 (331)
42. 电气设备绝缘在线监测技术试应用实例分析及可行性探讨	高东明 (343)
43. 高压电气设备绝缘在线监测系统的研究	罗光伟 (349)
44. 高压开关行业近年来发展状况及未来趋势	何利利 (354)
45. 光谱法检测输变电设备盐密的实验室研究	吴光亚等 (370)
46. 红外成像技术在变电设备的应用	李倡 (373)
47. 基于远程用电实时监测的电力用户需求侧管理支持系统	秦开宇等 (377)
48. 接地网导体状态的诊断方法	刘渝根 (380)
49. 接地网腐蚀的诊断研究	袁涛 (383)
50. 可视化集中式绝缘在线监测系统软件的开发	徐小宇等 (389)
51. 数据融合技术在电力设备在线监测系统数字滤波中的应用	黄德祥等 (394)
52. 一种高压电气设备智能化绝缘在线监测系统	李化 (398)
53. 一种高压设备绝缘在线监测系统的数据采集装置	黄俊杰 (401)
54. 在传统变配电所实现综合自动化	张翔军 (405)
55. 直流系统绝缘监测综合判据	王继伟等 (407)
56. 电机设备的状态检修	陈胜利等 (408)
57. 高压设备绝缘在线监测系统的现场应用与分析	邓岳华等 (412)
58. 合成绝缘子人工加速老化试验方法的评价	吴光亚等 (416)

2003 年:

01. 110kV 变电站远程图像监控系统技术方案	(420)
02. 220KV 变电站智能电压监测系统应用	侯西南 (426)
03. 500kV 长沙变电所监控系统特点	朱宗强 (428)
04. CAN 总线在变电站高压开关柜在线检测系统中的应用	张艳伟等 (430)
05. CSC2000 综合自动化变电站的保护与监控	刘峰 (433)
06. DEP260 变电站事故预警系统的研制	国汉林 (436)
07. FCS 在变电站综合自动化系统中的应用	陈新岗 (441)
08. 采用 ScadaCam 安全监测系统监测远方变电站	王崔夫兰 (443)
09. GD3000 型变电站远程监控系统的开发与应用	宋衍国 (445)
10. 奔滕 100kV 变电站绝缘在线监测系统	李丽君 (448)
11. 变电所综合自动化系统监测方案论证	王术合 (450)
12. 变电站保护与监控系统的微机控制	王新闻 (456)
13. 变电站电参量户外监测系统	戴堂云等 (459)

14. 变电站户外绝缘问题分析及对策	王凤欣 (463)
15. 变电站监控和保护系统更新策略探讨	梁跃龙 (466)
16. 变电站监控系统的 Web 服务器实现方案	江宏 等 (469)
17. 变电站监控系统与微机防误系统通信的设计	林跃彤 (471)
18. 变电站绝缘子污秽泄漏电流的在线监测	蔡巍 (474)
19. 变电站图像监控系统中一种低码率的图像分形压缩方法	屈稳太 (476)
20. 变电站远程多媒体监控系统设计	郑先锋 (480)
21. 变电站远程监视系统整体技术解决方案	马波 (483)
22. 变电站远程视频监控系统	陈振中 (485)
23. 变电站远程图像监控系统的功能与组网探讨	袁荣湘 等 (489)
24. 变电站综合自动化监控系统数据库结构的研究	王兆峰 等 (493)
25. 采用神经网络和专家系统的变电站故障诊断系统	杜 等 (499)
26. 超高压变电站计算机监控系统介绍	黄国方 等 (502)
27. 大型变电站计算机监控系统的开发与应用	张明锐 (504)
28. 分布式变电站高压电气设备在线监测系统设计	胡文平 等 (508)
29. 分布式变电站监控系统数据库结构的研究	王兆峰 等 (511)
30. 红外热成像在线监测系统在变电站的应用	高伟国 等 (515)
31. 基于 OPC 的变电站自动化监控主站软件的设计思想	张琦 等 (519)
32. 基于 CAN 总线和 DSP 的变电站监控系统	曲延滨 等 (522)
33. 基于 GSM 短信息业务的预装式变电站监测系统	郭学梅 等 (526)
34. 基于 Multi-Agent 的分布式变电站监控系统体系结构	李兰芳 等 (529)
35. 基于 RS-485 总线的变电所监测监控系统设计	赵 斌 等 (532)
36. 基于粗糙集和感知器网络的分层进阶变电站故障诊断方法研究	董海鹰 等 (538)
37. 基于虚拟仪器技术的变电站外绝缘泄漏电流在线监测系统	陈玉 等 (543)
38. 静态图像压缩标准 JPEG2000 在变电站图像监控系统中的应用	屈稳太 等 (546)
39. 李家峡变电所 2#主变铁芯多点接地故障诊断与处理	王燕秋 (551)
40. 利用综合自动化系统有效实现变电所防误闭锁控制	齐军 等 (556)
41. 美国电力公司采用绝缘在线监测装置提高变电站可靠性	(558)
42. 一种基于 Web 的多 Agent 变电站故障诊断方法研究	董海鹰 等 (560)
43. 一种基于多 Agent 的变电站故障诊断方法研究	董海鹰 等 (565)
44. 浅谈 220kV 无人值班变电站监控系统设计	张廷 (569)
45. 三岔变电站绝缘在线监测	王作松 等 (571)
46. 提高对牵引变电所二次回路故障的判断与处理能力	范选朝 (574)
47. 无人值守变电站开关室风机自动控制系统	王楠 等 (576)
48. 箱式变电站监控系统	郭文敏 等 (579)
49. 用新技术提高变电所综合监控系统的功能	戴文升 (583)
50. 远红外点温仪在变电所的应用	王泳 (585)
51. DEHN 公司避雷器在监控系统中的应用	孙家熊等 (586)
52. 避雷器持续电流及其监测	邱庆昌 (589)
53. 避雷器故障的红外诊断研究	陈新岗 等 (592)
54. 阀型避雷器的在线监测	张明华 (596)
55. 用红外热像仪带电监测氧化锌避雷器	李浩 (598)
56. 金属氧化物避雷器的停电预防性试验和带电检测	段健鹏 (599)
57. 基于 RS-485 总线的金属氧化物避雷器在线监测系统的研究	杨小平等 (600)

58. 判断金属氧化物避雷器劣化的方法及改进相关试验方法的建议	林毅 (605)
59. 氧化锌避雷器的状态监测	许刚义 (610)
60. MOA 在线监测系统几个问题的研究	陈继东 等 (613)
61. 电力电容器在线监测技术研究	党晓强等 (616)
62. 并联电容器常见故障的诊断及排除方法	欧阳军 (619)
63. 电容型设备绝缘在线监测与诊断技术综述	王楠等 (621)
64. 对耦合电容器渗漏油的检测分析	覃汉敏 (626)
65. 具有电容器特性在线检测功能的控制电路设计	朱佩龙 (628)
66. 直流局部放电测试技术在电容器老化判断中的应用	陈勇 等 (631)
67. 高电位电流母线异常温升在线实时诊断	陈振生 等 (633)
68. 高压设备绝缘在线监测的误差环节分析	徐小宇 等 (637)
69. 基于故障录波数据的分布式电网故障诊断系统	杜 等 (641)
70. 基于嵌入式 Modem 的漏电监测系统	李兴建 (645)
71. 基于视频监视系统的运动目标监测技术的实现	李 然 等 (648)
72. 电气设备状态监测与故障诊断技术的现状与展望	朱德恒 等 (651)
73. 绝缘在线监测系统的程控多路选通装置设计	蒋玉红 等 (659)
74. 蓄电池组的计算机监测技术研究——电力直流在线监测与控制技术研究之	毕宏彦 等 (662)
75. CIP51 及其在嵌入式单片机系统的应用	雷 鸣 等 (665)
76. PLC 在蜂窝除尘机组上的应用	杨平 (669)
77. 一次设备在线监测系统配置方案探讨	张忠杰 (670)
78. 蓄电池内阻检测	李国华 等 (673)
79. CPLD 在断路器在线监测数据采集系统中的应用研究	张永伟 等 (675)
80. 用电机打压累计计时器监测开关机构缺陷	孙杰 (678)
81. 智能式断路器可靠性检测系统	肖琴 (679)

2002 年:

01. 变电站主要电气设备状态监测和故障诊断技术应用	李 博 (682)
02. 综合自动化变电所监控系统的死机故障分析与处理	武文玲 等 (686)
03. 小波分析在变电站综合自动化中的应用	呼世杰 等 (690)
04. 变电站自动化系统中嵌入式 Web 服务器的设计与实现	金敏 等 (692)
05. 变电站自动化系统及其应用	刘太华 (696)
06. 变电站远程视频监控系统设计方案探讨	唐 蕾 等 (699)
07. 变电站远程监控系统体系结构及面向对象数据库研究	董海鹰 等 (702)
08. 变电站遥视系统的设计和运行	吕振华 (707)
09. 变电站网络系统	张 渤 (709)
10. 变电站绝缘子污秽闪络在线监测技术	仵海鹏 等 (713)
11. 变电站绝缘在线检测技术的应用	蒲国庆 等 (718)
12. 变电站绝缘在线监测系统	丁秉仁 等 (722)
13. 变电站绝缘在线监测技术的研究与应用	杨启洪 等 (725)
14. 变电站监控系统软件中设备管理器的一种设计方案	夏文雄 等 (730)
15. 变电站监控软件系统中内存数据库的研究	傅蕾 等 (734)
16. 变电站多媒体视频监控系统中的电话语音报警技术	唐蕾 等 (737)
17. 变电站电压质量监测系统的软件设计	漆文辉 (741)

18. 变电站变压器经济运行实时监控系统	郝治国 等 (746)
19. 变电所直流系统的在线诊断和监视	陈国琦 等 (750)
20. 变电所远程监控系统构建	秦 瀚 (753)
21. 变电所设备温度微机实时监测系统	刘建民 (755)
22. 关于无人值守变电所的研究: —— 变电所远程安全监控系统	张彬 等 (757)
23. 基于神经网络和模糊数学的变电设备绝缘诊断技术	徐大可 (762)
24. 基于神经网络的模糊控制在变电站综合控制中的应用	王志凯 等 (765)
25. 基于冗余嵌入 Petri 网技术的变电站故障诊断	赵洪山 等 (768)
26. 基于多 Agent 联合的变电站故障诊断模型	董海鹰 等 (772)
27. 基于灯光监视断路器控制回路的变电站无人值守改造	王玉梅 等 (777)
28. 微机监控、保护下放放在 500kV 变电所的实施	杨宗 等 (780)
29. 微机电力监控系统在现代化变电所的应用	曲家坤 (784)
30. 网络化大系统容错控制在变电站监控中心系统中的应用	严晓容 等 (786)
31. 图像监控及智能报警系统在无人值班变电所的应用	庞德坤 等 (790)
32. 多线程技术在变电站监控系统中的应用	孙开放 等 (794)
33. 地铁牵引变电站无功补偿及滤波微机监控系统(II)-软件设计	王必生 等 (797)
34. 超高压变电站监控自动化系统的应用与探讨	周敬东 等 (800)
35. 500kV 石牌变电站计算机监控系统调试经验	李军 等 (803)
36. 500kV 变电站微机监控保护下放模式的设计	唐卫华 (806)
37. 500kV 变电站计算机监控系统的发展建议	畅广辉 等 (810)
38. RCS 系列保护与监控系统组成综合自动化变电站的新方案	许永丰 等 (813)
39. WinSock 在变电站多媒体远程监控系统通信中的应用	唐志 等 (815)
40. 氧化锌避雷器三次谐波电流 I_{r3} 及其在线检测	毛震侃 (818)
41. 限制并联电容器组过电压中的一种新方法	李六零 等 (822)
42. 带电检测耦合电容器的绝缘缺陷	潘铁峰 (825)
43. 并联电容器的内部故障保护	王敏 (827)
44. DGA 在集合式电容器检测中的必要性及可行性	袁道君 (829)
45. 数字成像技术应用于一站图像监控系统的探讨	刘涤尘 等 (832)
46. 过电压在线监测数据采集的研究	刘强 等 (835)
47. 高压设备绝缘在线监测影响因素分析	袁红波 等 (839)
48. 高压开关设备光纤在线测温仪	滕峰成 等 (842)
49. 高压绝缘设备在线监测系统	林建龙 等 (844)
50. 电容型设备在线监测装置现状分析及建议	梁国文 等 (847)
51. 采用微机监控方式时的“五防”原则讨论	陈新圣 (851)
52. 澳大利亚昆士兰 Powerlink 公司实施电气设备状态监测	余荣 编译 (853)
53. 直流系统接地检测问题分析及改造	李红梅 等 (854)
54. 运行设备带电检测	吴波 等 (857)
55. 一种新型配变监测装置的设计与实现	陈晓民 (860)
56. SF ₆ 气体密度控制器现场检测的有关问题	李永富 等 (863)
57. 城市电网故障诊断系统	胡扬宇 等 (865)

2001 年:

01. 变电站电气设备在线监测综述	张元林 等 (869)
02. 基于逻辑推理的专家系统在变电站故障诊断中的应用研究	任碧荣 等 (873)

03. 变电站高压电气设备状态检修的现状及其发展	黄建华 等 (877)
04. 总线式变电站绝缘在线监测系统的研究	史保壮 等 (883)
05. 变电站正常巡视及故障处理培训研究与实践	周建音 等 (887)
06. 变电站监控软件系统介绍	杨伟 等 (889)
07. 变电站监控系统的一种设计方案	张爱民 等 (892)
08. 变电站监控系统有载调压变压器滑挡保护功能扩充	李卫东 等 (896)
09. 变电站绝缘子污秽信息的监测与管理系统	张亚萍 等 (899)
10. 变电站微机监控系统	宋云辉 (902)
11. 变电站微机监控系统运行中常见的问题及对策	于晓辉 王明贤 (903)
12. 变电站远程图像监控系统设计	唐慧明 张 健 (904)
13. 变电站中 VRLA 蓄电池的监测	石德高 (907)
14. 常规变电站空气开关远方复位管理	王俊忠 (910)
15. 超高压变电站计算机监控系统优化设计建议	张伟 (912)
16. 发电厂 / 变电站监控系统远动功能设计方案	李光文 (914)
17. 500KV 变电站计算机监控系统的设计	李 伟 (917)
18. 500kV 变电站计算机网络监控系统	冯 华 (920)
19. 500kV 南昌变电站微机监控系统的介绍	黄利民 等 (923)
20. 变电站安全操作监控系统	吴 宁 等 (926)
21. 国产 500kV 变电站计算机监控系统的应用实践	徐忠伟 等 (930)
22. 基于组件模型技术的变电站监控软件	丁 杰 等 (933)
23. 论超高压变电所计算机监控系统的供电	刘 宾 (938)
24. 上海正大广场变电站计算机监控系统的研制	汪锡建 等 (941)
25. 适用于 500kV 变电站的全站闭锁式监控系统	牟 媛 (944)
26. 输配电变电站综合保护监控系统	(946)
27. 人工神经网络在无人值班室变电站中的应用	郭宗仁 等 (952)
28. 苏州地区 220kV 变电站计算机集中监控系统	赵家庆 (953)
29. 图像监控系统在变电所中的开发和应用	祝春捷 (956)
30. 图像监控系统在无人值班变电所的应用	陈水标 等 (959)
31. 无人值班变电所的远方图像监控技术的探讨	董小如 (964)
32. 无人值班变电所图像监控系统应用中的几个问题	肖南波 (967)
33. 锡矿山变电所电力管理与监控系统	姜万新 等 (969)
34. 原平 220kV 站 2 号主变导电回路过热性故障的诊断	赵科隆 等 (971)
35. 龙岩城关 2# 主变油温升高的诊断与处理	黄炳洪 (974)
36. ZnO 避雷器带电检测技术	廖敏夫 等 (976)
37. 避雷器的发热特点和受潮缺陷的红外诊断	白雪松 (979)
38. 避雷器的故障检测	毛承云 (982)
39. 远红外线技术在氧化锌避雷器故障检测中的应用	李桂莲 (985)
40. 并联电容器组故障分析及保护配置	吴万军 等 (987)
41. 电力电容器常见故障的原因分析及相应处理	续利华 (991)
42. 电容耐压泄漏自动检测分选仪中的检测电路设计	冯泽民 (993)
43. 电容器常见故障的预防措施	张文渊 (996)
44. 电容型设备绝缘在线监测方案论证	高 滨 等 (997)
45. 分层分布式微机监控保护系统	文念祝 (1000)
46. 关于国内监控系统与国外继电保护设备通信的探讨	韩玉雄 (1002)

47. 接地网腐蚀和断点的诊断理论分析-----肖新华 等 (1004)
48. 提高监控系统可靠性的方法-----李天龙 (1008)
49. 谐振过电压的计算机监测与消谐系统研究-----何人望 (1010)
50. 一种基于多媒体的远程视频监控系统方案-----陈学光 等 (1013)
51. 一种检测电气设备第 一故障的方法-----王少东 等 (1018)
52. 一种新型高压电气设备在线绝缘监测系统-----贾逸梅等 (1020)
53. 城市轨道交通电力监控自动化系统的功能-----张贵军 等 (1024)
54. 电力系统图像监控技术的开发和应用-----祝春捷 (1027)
55. 自律分散系统在电气化铁路监控系统中应用研究-----刘志刚 等 (1031)

2000 年:

01. 110KV分布监控式变电所在无极-----李占魁 等 (1034)
02. 110kV无人值班变电站管理模式的探讨-----周铁刚 (1036)
03. 500KV茂名变电站监控系统-----黄智威 等 (1039)
04. HG2001 水电站和变电站计算机监控系统-----姚占东 等 (1041)
05. Moxa卡在变电站监控系统中的应用及程序设计-----温权 (1044)
06. 北京首座非常规控制方式变电站的工程实施-----陈秀海 等 (1047)
07. 北京顺义 500kV非常规控制变电站微机监控方案-----陈秀海 (1050)
08. 变电站分布式微机监控系统的VB程序设计-----包培友 (1053)
09. 变电站监控系统程序失控防护措施-----吴钟飞 (1055)
10. 变电站绝缘在线监测系统中抗干扰问题的处理-----陈继东 (1056)
11. 变电站微机监控系统及应用-----陈耀池 等 (1058)
12. 变电站远程视频监控系统-----黄燕新 (1060)
13. 变电站综合自动化监控系统的应用实例-----姚胜东 罗 红 (1063)
14. 工业电视监控系统在无人值守变电站的应用-----关焯荣 等 (1066)
15. 基于ANN的变电站故障诊断系统及其容错性-----刘应梅 等 (1070)
16. 基于现场总线的变电站监测监控的设计与实现-----文康珍 等 (1074)
17. 基于现场总线的变电站监测监控系统-----黎文安 (1077)
18. 计算机监控系统在 500kV东善桥变电站的应用-----陈 刚 (1079)
19. 配电网综合自动化变电站微机监控系统-----胡振国 等 (1082)
20. 配电自动化及变电站保护监控系统技术-----李均明 等 (1084)
21. 我省综合自动化变电站的网络故障分析-----李 颢 等 (1089)
22. 无人值班变电站的几个主要问题-----于书文 等 (1092)
23. 现场总线在变电站监测监控中的应用-----庄口平 等 (1096)
24. 一个基于Wizcon平台的变电站自动化当地监控系统-----谷 米 等 (1098)
25. 模糊PLC在变电站微机监控中的应用-----包培友 等 (1104)
26. 500kV避雷器缺陷的在线检测-----陆 巍 等 (1106)
27. 电容型设备及避雷器的绝缘在线检测-----严玮 (1110)
28. 藕荷电容器状态检修探讨-----许胜利 (1113)
29. 高压阀型避雷器的在线监测-----张明华 (1115)
30. 金属氧化物避雷器漏电流检测的相位补偿法-----杨丽萍 (1118)
31. 全电子式氧化锌避雷器动作后泄漏电流在线检测仪原理及应用-----宋 伟 等 (1122)
32. 氧化锌避雷器避雷器泄漏电流在线监测技术综述-----郑 健 等 (1128)
33. MOA多元诊断参量有效性的模糊星座聚类分析-----陈继东 等 (1131)

34. 雷电流自动监测系统	林云志 等 (1134)
35. 电容型设备绝缘监测参数的修正方法	乐玲凤 (1138)
36. 高压并联电容器组故障原因与考核试验	常 辉 等 (1142)
37. 移相电容器的在线监测及其保护	李 利 等 (1145)
38. 传感器位置对CVT在线监测tan 的影响	韩宝银 (1148)
39. 高压电气设备绝缘在线监测系统的研制	聂 鹏 等 (1151)
40. 面向对象程序设计方法在电力系统图形监控中的应用	刘 斌 等 (1155)
41. 一种采用STD总线工业控制计算机的电力监控系统	尹翔陵 等 (1159)
42. 220kV临川变设备绝缘在线监测系统运行分析	崔金灵 (1163)
43. 分布式微机监控系统的软件容错设计	王劭伯 郭谋发 (1166)

附 页:

1. 相关标准	(1170)
2. 相关成果	(1176)
3. 相关会议	(1198)
4. 相关学位	(1215)
5. 相关专利	(1275)

重视和加强防止复杂气候环境及输变电设备故障导致电网大面积事故的安全技术研究

孙才新

重庆大学高电压与电力新技术教育部重点实验室(重庆 400044)

摘 要: 通过对我国复杂气候环境及主要自然灾害和输变电设备自身故障导致电网大面积停电事故的回顾,以及对导致电网事故的这类起因的持续性分析,提出我国在电网建设中要重视和加强防止复杂气候环境及主要自然灾害和输变电设备自身故障导致电网大面积停电事故的安全技术研究。

关键词: 气候环境 自然灾害 设备故障 事故 安全技术

1 引言

2003年8-9月间,相继发生了8.14美加、8.28英国伦敦、9.1新西兰和马来西亚、9.28意大利等灾难性大停电事故。国内专家从电网结构、设备、调度、保护及控制技术、电力市场化体制、厂网协调、系统计算分析和仿真实验、经济性和安全性统筹考虑等8个方面分析了美加大停电的原因,同时又指出了我国电网主要存在8方面的问题。虽然对大停电事故的原因和我国电网主要存在问题的分析更多地强调电网自身问题,但电网的事故原因来源是多方面的,正如美加电力联合特别工作组对事故起因的分析,对事故状况没有充分了解和没有充分做好输电走廊的树木管理,互联网的可靠性机构没有提供有效的电网诊断技术支持。实际上,不论国外发达国家,还是我国及其它中等发达或不发达国家,电网事故原因都很复杂,主要有:气候条件及自然灾害、电力设备与系统的故障、控制和保护系统故障、信息和通讯系统故障、电力系统不稳定和人为操作故障等。

我国特有的复杂气候环境及自然灾害对输变电设备安全影响和部分设备质量不高以及电网建设长期滞后使设备在长期运行中绝缘出现缺陷、老化等隐患,特别是继三峡电厂投运、金沙江等西部大型水电站群相继开工后,为了节省线路走廊以及减轻环境的压力,有必要采用更高一级电压的交流(含紧凑型)、直流输电、可控串补、移相器、统一潮流控制器等新的设备和技术,这些都将对我国电网的安全和可靠性提出更大的挑战。事实上,在美加等大面积停电事故中,气候条件及自然灾害、输变电设备与系统的故障是事故发展的前奏。美加电网8·14发生大停电前1个多小时,跳闸的第1条线路是一条345 kV输电线路因过负荷而使导线下垂触树的短路故障,并且一些早期建设的线路及设备陈旧也是事故的原因之一;8·28的伦敦大停电开始时,国家调度中心收到Hurst变电所变压器或并联电抗器的“瓦斯继电器报警信号”,说明设备油中已经产生了大量故障特征气体,可能导致严重的设备内部故障,但因报警信号组合以减少调度室报警显示数量,未判明是变压器还是并联电抗器故障,没有切

除有故障的并联电抗器而导致事故扩大。

2 我国的复杂气候环境及自然灾害常引发大面积停电事故

我国海拔在 1 km 以上的山地和高原超过全国总面积的 2/3, 煤电资源 94% 分布于大别山—昆仑山一线以北的地区, 90% 的水电资源分布于京广铁路以西; 我国的 SO_2 和 CO_2 排放量分别居世界第 1 和第 2, 并且是 SO_2 和 NO_x 排放量增长最快的地区; 我国不仅已成为世界第三大酸雨区, 而且我国也是世界上输电线路覆冰雪最严重的国家之一。因此, 高海拔、污秽、覆冰雪、酸雨(雾)等复杂气候环境及其输电线路覆冰、雷电等主要自然灾害是影响我国电网建设实施“西电东送、南北互供、全国联网”战略不可忽视的挑战性技术难题。

2.1 复杂气候环境引起的电网外绝缘事故

2.1.1 1990 年以来复杂气候环境造成的主要闪络事故

1990 年 1、2 月份, 华北京津唐、冀南、山西、华中的河南和东北的辽西电网发生大面积污闪, 共有 218 条线路多次污闪跳闸; 先后有 25 座 110~220 kV 变电站停电。

1991 年末, 浙东及上海地区 2 条 500 kV 线路和 4 条 220 kV 线路污闪;

1992 年 1 月, 四川成都青白江地区相继有 7 条 220 kV 线路和 10 条 110 kV 线路; 江苏徐州地区 6 条 220 kV 线路污闪。

1993 年 2 月 16~17 日, 晋东南 220 kV 漳平线等发生污闪跳闸事故; 3 月 14 日乌鲁木齐电网大面积雾闪, 系统损失负荷 41.6%。

1994 年 2 月广东珠江三角洲地区 8 条 220 kV 线路污闪; 11 月山西中部地区 6 条 110~500 kV 线路污闪。

1995 年, 全国 110 kV 及以上电压等级线路污闪事故 9 次, 跳闸 85 次; 变电站污闪事故 13 次, 跳闸 22 次。

1996 年 2 月, 福建莆田—泉州一带 13 条 110 kV 和 220 kV 线路及 1 座 220 kV 变电站污闪; 12 月 27 日至 31 日, 华东、华中 6 省 1 市 10 条 500 kV 线路、37 条 220 kV 线路污闪; 该年冬至第二年春, 在京津唐、山东、陕西和新疆等电网也相继发生污闪, 涉及 500 kV、330 kV、220 kV 线路 19 条, 变电站 8 座。

1997 年, 华北、华中、山东、华东及西北地区在 1996 年底至 1997 年初, 相继发生大面积污闪事故, 涉及到 500 kV、330 kV、220 kV、110 kV 线路 51 条, 变电站 16 座, 其中以西北电网“2.27”污闪事故损失最大。

1998 年底至 1999 年初, 山东 11 条 110~500 kV 线路和 2 座 220 kV 变电站污闪。

1999 年 3 月, 京津唐 10 条 110~500 kV 线路在大雾中发生了以覆冰为主的污闪, 天贵 500 kV 线路因雾闪解列。

2000年12月,陕西秦岭电厂及周边330 kV线路和多条220 kV线路污闪。

2001年2月21~22日北方出现历史上罕见大雾,辽中电网、河北南部电网、京津唐电网、河南北部电网相继发生大面积雾闪,涉及35~500kV线路200余条,变电站140余座。

2002年1月15日,湖南常德地区受大雾影响,500 kV五岗、葛岗和岗云3条线路先后发生多次故障跳闸。

2003年2月21日,担负“西电东送”重要通道的500 kV阳淮线中阳东二线、二线东相继发生绝缘子覆冰引起的闪络,引起三相跳闸事故。

2.1.2 复杂气候环境引起外绝缘闪络的属性分析

复杂气候环境引起的绝缘子闪络事故中,往往习惯于称之为“污闪”或“雾闪”,国内外未作明显的界定。实际上,各个地区空气污染程度有轻有重,湿润条件可能是毛毛雨或小雨、雨加雪,覆冰或覆雪融化,清洁雾或酸雾。严格而论,污秽绝缘子(串)在毛毛雨或小雨、雨加雪、清洁雾下闪络称为污闪;在覆冰或覆雪下的闪络称为冰闪;在酸雾下的闪络称为雾闪较为客观。比如:晋东南1986~1996年共发生20次较大的“污闪”事故,其中气象条件为毛毛雨或雨加雪占31%、小雪38%、浓雾13%、覆冰或雪18%。1990年和2001年东北、华北、河南电网等的大面积“污闪”事故中,辽中辽宁南区域属于污秽与覆雪(雾凇),豫西豫北为污秽、覆冰(雾凇),京津唐为小雨加雪共存环境的闪络,但都是在浓雾弥漫的天气发生闪络,而且雾的pH值小于5.6,也可认为酸雾(SO_2 达 $426 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_x 达 $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$)是引起事故的直接原因。

尽管1990年以后,电力行业采取了调爬等措施(调爬不足也是原因之一),但覆冰雪又缩小了爬距,浓酸雾的导电率增大(pH值减小),这些多重外来因素使大面积“污闪”防不胜防。又如1998年以来,山西地区酸雨酸雾加剧,220 kV线路绝缘子串发生冰闪事故逐步上升,25次冰闪(16次为融雪、9次为冻雾凇)中:1998年1次,2000年4次,2002年7次,2003年10次;2003年2月21日凌晨,阳淮500 kV线路的覆冰闪络也与酸雾有关。广东珠海地区属典型的海盐水污染,但酸雨发生率从1998年至2001年却呈上升趋势,分别为26.7%、31.3%、61.1%、66.7%,pH值达3.95~5.24,因此从1991年到2002年春季,110~220 kV线路共发生污闪跳闸事故已达11次。

由于绝缘子的污闪电压将随海拔升高而降低,因此,高海拔、覆冰(雪)、污秽、酸雨酸雾等共存环境的污闪事故也时有发生。如:天贵交流500 kV线路的黔中和黔西南高原山区海拔为800~1650m,覆冰厚度10~40mm,从1992年12月19日投运至2001年,因贵州电网220 kV线路冰融化和雾引起污闪,使天贵线污闪跳闸15次,占35.7%;1999年3月3日甚至导致贵州电网与南方电网解列。2000年1月30日,昆明(海拔2 km左右)覆冰雪使35 kV及以下线路140多条次闪络跳闸,造成云南全省大面积停电。1984年贵州省输电线路大面积持续32天覆冰,导致全省27.37%线路跳闸,闪络跳闸达131条次,直接经济损失达1000万元以上。1988年2月上旬,安徽燕山海拔1.0~1.5 km处输电线路也发生覆冰闪络事故。2001年2月13日,二滩电站送出工程500 kV线路在西昌发生覆冰事故,中断送电达24 h。

除此之外,鸟粪引起的闪络事故也不可忽视,如1997年12月起的4年中,河南平顶山供电局相

继 11 次发生鸟害造成线路跳闸事故，甚至发现鸟粪短接 220 kV 绝缘子串 1.2 m 长，占合成绝缘子个长的 63%；山东 500 kV 邹淄线从 2001 年 7 月 28 日到 2002 年 3 月 6 日先后发生 4 次鸟粪引起闪络跳闸；山西省 11 个地市电网 110~500 kV 输电线路都曾发生过鸟粪引起的闪络跳闸事故。由于鸟粪引起的外绝缘闪络与污闪的机理相似，因此，通常仍称为污闪。

2.2 导线覆冰、雷电等主要自然灾害引起的电网停电事故分析

自然灾害历年来都是危害我国电网安全运行的主要因素之一，因暴风雨、大雾、冰雪、雷电、地震、滑坡、洪水等一系列自然灾害都会引起电网停电事故。本文将复杂气候环境引起电网外绝缘事故作为一个层面在前面做了分析，这里仅分析导线覆冰和雷电两种主要自然灾害导致的电网停电事故。

2.2.1 输电线路覆冰引起的事故

我国输电线路从 1954 年起，冰雪引起输电线路舞动或倒杆事故时有发生。这里仅分析 1990 年以来的事故。

1990 年 1 月 29 日，鄂西钟祥境内中山口大跨越导线发生从 1987 年以来的第 3 次覆冰舞动事故，月牙形冰最厚约 15~23 mm。

1991 年 2 月 18 日，中山口大跨越导线发生第四次覆冰舞动，双风线中相舞动严重；12 月 24~27 日又发生第 5、6 次覆冰舞动。

1992 年 10 月 4~5 日，龙羊峡水电厂 330 kV 线路在日月山海拔 3 321~3 348 m 地段导线雨淞覆冰厚度超过 20 mm，发生覆冰舞动，导致倒杆 8 座，电厂停发电 11 天。

1993 年 11 月 18~19 日，中山口大跨越导线发生第七次舞动，月牙形覆冰最厚处约 38~48 mm；11 月，葛双 II 回 500 kV 线路在距荆门市 19 km 处海拔 500 m 的山上导线覆冰厚度约 36 mm，导致杆塔 7 座倒塌、1 座局部严重变形。

1994 年 11 月 6 日，葛双 II 回在 1993 年事故地段再次发生覆冰倒杆事故。

1998 年 1 月 21~23 日，华中电网因冰雪造成 110 kV 及以下输电线路跳闸达 2 600 余条次。

1999 年 11 月 24 日，锦州地区 30 条高压和超高压线路发生舞动。

2000 年 2 月 30 日，昆明地区覆冰雪使 35 kV 及以下线路 140 多条次跳闸。

2001 年 12 月 12 日，500 kV 葛双 II 回发生二次 B 相因覆冰导致接地而引起跳闸事故。

我国输电线路导线覆冰的特点是：持续时间长，发生频率高，覆盖面积大；同一地区覆冰事故频繁发生；覆冰事故中机械故障和电气故障并存；输电线路覆冰的时间长（每年从冬季 10 月到翌年 4 月）；导线覆冰事故多发生在华中和西南等海拔较高地区，如云南、贵州、湖南、湖北、江西、四川、重庆等；导线覆冰高海拔地区以雾淞为主，平原地区以雨淞为主，但质地坚硬的雨淞或混合淞常引发输电线路重大覆冰事故；融雪形成的冰多数是绝缘子串融冰期发生闪络事故，如河南等北方地区。

2.2.2 输电线路的雷害事故

输电线路的雷害事故一直是危害电网安全的主要自然灾害之一。比如：1990 年 9 月 20 日，广东

电网茅村至顺德 220 kV 线路因雷击造成 A、C 两相短路,使 7 个发电厂解列,13 条 220 kV 线路跳闸,11 个 220 kV 变电站停电,造成广州、佛山、韶关、清远、肇庆等市大面积停电事故;2002 年 7 月 12 日,辽宁省大部分地区因雷击造成 500 kV 辽沙 1、II 线,丰徐 1 线和 11 条 220 kV 线路相继跳闸。

我国大量的运行经验表明,不仅高压输电线路雷害事故是线路事故的主要原因,而且超高压输电线路的雷害事故仍占线路故障的 40%—70%,其中 500 kV 线路的雷电绕击占有相当大的比率。对于 110~500 kV 输电线路雷害主要是直击雷,但 500 kV 线路的绕击耐雷水平(15—30kA)远低于其反击耐雷水平(可达 100kA 以上),因此,对山区 500 kV 线路的绕击是主要危险。比如:华中电网 500 kV 从 1986—1995 年 10 年间线路雷击 17 次,8 次绕击跳闸中有 5 次位于山区;天平 I、II 回 500 kV 线路从 1993~1998 年线路雷击 20 次,雷击多发生于显著的高山大岭斜坡地带;2000 年,四川 220 kV 西越线路所处的地理位置在强雷暴区,雷击跳闸重合不成功,造成越西变电站全停电达 6 次之多。

3. 我国电网的发展将继续面临复杂气候环境及自然灾害的挑战

3.1 能源分布与消费结构趋势

我国地势西高东低,山地丘陵约占 43%,高原 26%,平原仅占 12%;海拔在 1 km 以上的山地和高原超过全国总面积的 2/3。由两条山脉组成的地貌界明显地分为 3 级:①青藏高原,面积占全国的 1/4,平均海拔 4 km 以上。②由阿尔泰山(海拔 2.5~6.0 km)、天山(海拔 3~4 km)、阴山(海拔 1.5~2.0 km)、秦岭(海拔 2~3 km)等山脉,内蒙高原、黄土高原(海拔 1~2 km)以及塔里木盆地、准葛尔盆地、四川盆地等一系列高山、高原和盆地组成。③大兴安岭,太行山,巫山,雪峰山一线以东至海滨,其中东北、华北和长江下游平原的海拔在 200 m 以下,东南丘陵海拔大多在 500 m 以上,少数山岭超出 1 km。

我国地貌类型齐全,除山地、丘陵、高原、盆地和平原五大常态地貌外,独特的自然地理条件下还发育了山岳冰川、冻土、风沙、黄土地、红层、岩溶等多种多样特征的地貌并导致了复杂的大气环境。

我国的一次能源中,煤炭资源储量丰富,分布面广,大别山—昆仑山一线以北地区占 94%,以南地区占 6%左右;83%位于晋、陕、蒙和新、甘、青、宁等省区,其中“三西”(山西、陕西、蒙西)占全国的 1/3。因此,正在大力开发建设西部山西、蒙西、陕西、宁夏、贵州、豫西等煤电基地。

我国可开发的水能资源为 52GW(年发电量 2280TW·h),居世界第一。但 90%以上分布在京广线路以西,其中云、贵、川、渝共占 70%,如果加上陕、甘、宁、新等,水资源要占 85.1%,而中部晋、赣、湘、鄂等约占 7.5%,东部 14 个省仅占 7.4%。水电源主要分布在长江、黄河和珠江三大水系,为降低环保和运输的压力,自然是先开发西部的水电。在西部高海拔地区可开发的水电资源(见表 1)中拟建 12 个人型水电基地,其中就有 7 个在西部。

表 1 我国西部地区各省(市、区)可开发水资源分布情况

项目	可开发水力	年发电量	占全国百	项目	可开发水力	年发电量	占全国百
----	-------	------	------	----	-------	------	------

	资源/万 kW	/亿 kW·h	分数/%		资源/万 kW	/亿 kW·h	分数/%
全国	37 853	19 233	100	甘肃	911	424	2.2
四川	9 166	5 152	26.8	青海	1 799	772	4.0
云南	7 117	3 944	20.5	新疆	854	460	2.4
贵州	1 292	652	3.4	宁夏	79	32	0.2
西藏	5 659	3 300	17.1	内蒙古西部	94	39	0.2
陕西	551	217	1.1	西部小计	27 522	14 992	77.9

注 1. 四川省数据已包括重庆市; 2. 按年发电量计算占全国百分数, 如按可开发水资源计算应为 72.7%。

表 2 我国西部水电基地情况统计表

水电基地名称	所在省份	规划 梯级 数	总装机 /MW	已建梯 级装机 /MW	在建梯 级装机 /MW	已开发梯 级占基地 /%
黄河上游水电基地 (龙羊峡至青铜峡)		23	14 155	3 653	1 600	37.0
金沙江水电基地(石鼓至宜宾)	四川、云南	10	58 200	0	0	0
大渡河水电基地(双江口至河 口)	四川	16	18 055	1 300	0	7.2
雅砻江水电基地(两河口至河 口)	四川	11	19 400	0	3 300	17.0
乌江干流水电基地	云南、贵州	11	8 680	1 215	0	14.0
澜沧江水电基地(云省境)	云南	14	21 370	1 500	1 350	13.0
南盘江红水河水电基地	云南、广西	11	13 120	2 440	2 520	38.0

“十五”期间水电建设重点项目(30 GW 左右): 龙滩水电站: 装机容量 4.2~6.0 GW; 小湾: 4.2 GW; 公伯峡: 1.5 GW; 三板溪: 1 GW; 瀑布沟: 3.2 GW; 水布垭: 1.6 GW; 锦屏一级: 3.2 GW; 构皮滩: 3 GW; 拉西瓦: 4~6 GW。“十五”期间水电建设战略项目初步安排 10 多个大型及特大型电站, 总装机容量 60 GW: 糯扎渡 6.0 GW、景洪 1.5 GW、思林 1.0 GW, 特大型水库及战略性工程: 溪洛渡 2.6 GW、向家坝 6.0 GW, 西电东送战略性工程: 虎跳峡 6.8 GW, 西电东送骨干电源: 白鹤滩 12.5 GW、乌东德 7.4 GW, 西电东送骨干电源: 雅龙江河口 2.0 GW; 独松 1.36 GW; 黄河黑山峡 2.0 GW, 北部西电东送战略性工程。

在 2001 年一次能源总消费量中, 矿物能源消费量占 87.5%, 比上年增长 1.3%, 为 1950 年的 4.6 倍。据世界能源署(CSEA)及专家的预计, 21 世纪前 30 年世界能源结构仍以矿物能源为主, 直到 2100

年，在一次能源构成中，煤的消费始终有 30%的份额；虽然可再生能源资源丰富和有利于环境保护，但除水电外的可再生能源在一次性能源中的比例 2003 年仅比 2000 年增长了 1 个百分点。由于能源和环境的双重压力，在 2010 年前后全球可能将掀起核电建设的新高潮，但“9.11”事件后，核电的未来是不确定的。我国一次能源的结构到 2100 年煤炭消费仍可达 50~60%，电力消费在总能源中的比例预计为：煤炭 64.1%，水电 9.4%，核电 2.0%，即我国的能源消费中煤炭消费占有显著地位。

3.2 大气环境污染仍将持续

大气环境的污染主要来自于废气的排放：①贫困污染，包括低效燃烧，森林破坏等造成的空气污染；②现代化污染，即工厂、汽车大量使用矿物燃料排放的SO₂、NO_x、铅、臭氧的污染和对地区酸化的影响；③温室气体的排放，尤其是CO₂排放引起的全球气候变暖。对于电力发展，关心的是前两者，即所谓的地区环境污染。据IEA预计，尽管采用除尘、脱硫技术，但CO₂、SO₂的排放量仍将很大，如CO₂排放量到 2030 年将达到 381.6 Mt，比 2000 年增加 68.6%。

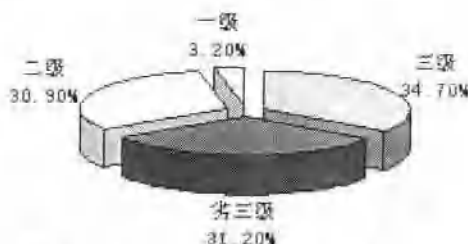


图1 全国城市空气质量分级比例

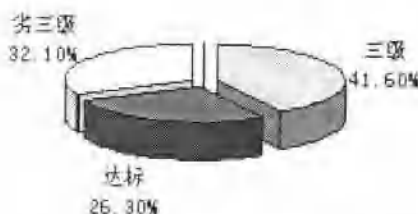


图2 不同空气质量状况下人口比例

表3 47个环保重点城市空气污染情况

年度	1995	1998	2002
SO ₂ 平均浓度/mg·m ⁻³	0.076	0.060	0.047
TSP/PM ₁₀ 平均浓度/mg·m ⁻³	0.287	0.252	0.110 ^①
NO _x /NO ₂ 平均浓度/mg·m ⁻³	0.051	0.051	0.037 ^②
SO ₂ 超标城市比例/%	48.9	36.2	23.4
颗粒物超标城市比例/%	72.3	63.8	61.7
空气质量达标城市比例/%	21.3	27.7	38.3

注：1. 2002 年为PM₁₀平均浓度；2. 2002 年为NO_x浓度。

2002 年，全国废气中二氧化硫排放量 19.27 Mt，仅比上年减少 1.1%。其中：工业二氧化硫排放量为 15.62 Mt，占二氧化硫排放总量的 81.1%；生活二氧化硫排放量 3.65 Mt，占二氧化硫排放总量的 18.9%。烟尘排放量 10.13 Mt，仅比上年减少 5.4%。造成我国大气严重污染的主要原因是以燃煤为主的能源结构，烟尘和CO₂排放量的 70%、SO₂的 90%、臭氧化物的 67%都来自于燃煤，加之机动车的快速增长也使空气污染进一步加剧。由于国内外的煤主要用于发电，因此火电厂对大气污染十分显著，如 1999 年火电厂的排放量占全国排放量的 43%，达 8.10 Mt，仅比 1995 年减少 1.6%。