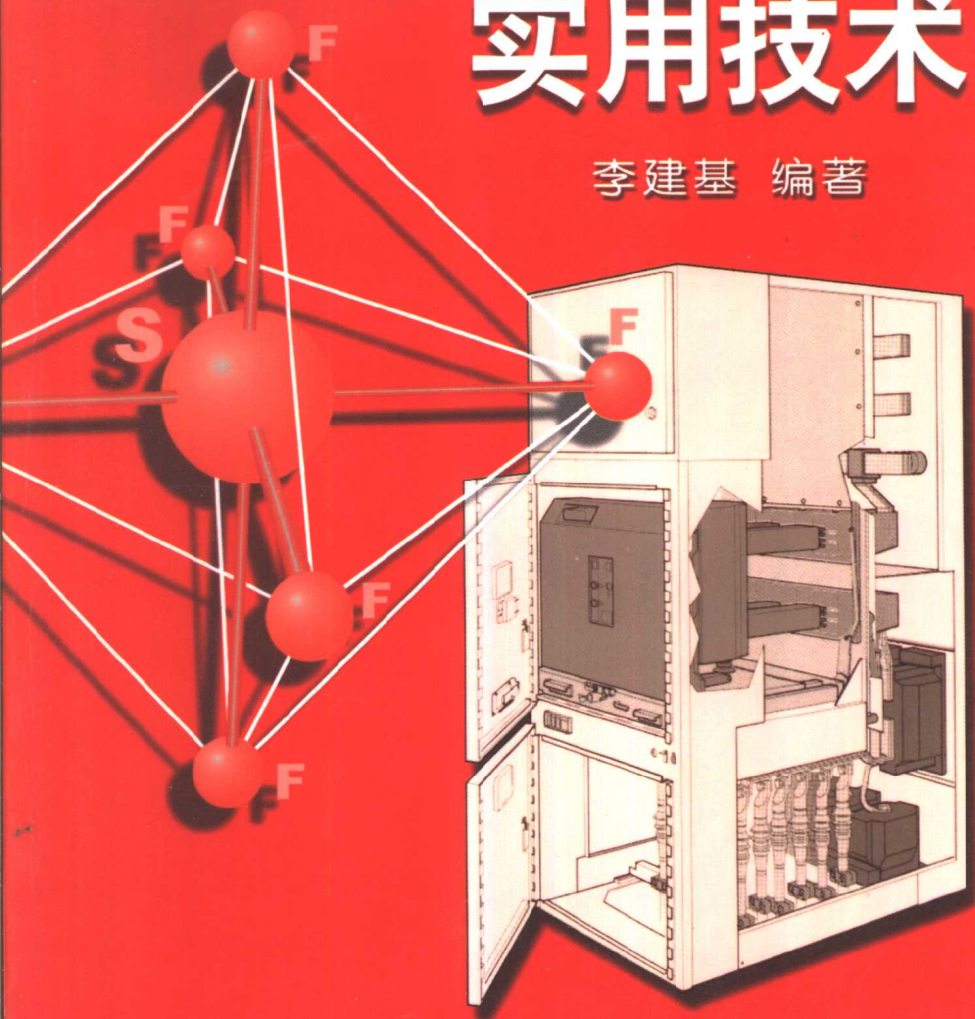


高中压开关设备 实用技术

李建基 编著



机械工业出版社
China Machine Press

高中压开关设备 实用技术

李建基 编著



机械工业出版社

本书介绍了国内外高压开关设备及其技术创新。在高压、超高压及特高压领域,介绍了 SF₆ 断路器和 SF₆ 封闭式组合电器(GIS)。在高压断路器方面,除了介绍压气式断路器的进步外,着重介绍了热膨胀式断路器。在超高压和特高压方面,着重介绍了 550kV 单断口和 1100kV 双断口 SF₆ 断路器。在 GIS 方面,除介绍 1100kV GIS 外,着重介绍了 GIS 的三相共简化、复合化和小型化。在中压产品领域,着重介绍了配磁力操动机构的真空断路器、SF₆ 的各种灭弧原理及自能式 SF₆ 断路器。对城网用的负荷开关——限流熔断器组合电器做了专门介绍。本书还介绍了预装式变电站,对农网的特点及对高压开关的特殊要求也进行了介绍。

本书可供电力设计使用部门、高压电器科研和制造部门的工程技术人员及高等院校有关专业师生参考,特别可供制定规划、产品选型、技术交流及了解产品最新水平与动态和技术创新等参考。

图书在版编目(CIP)数据

高中压开关设备实用技术/李建基编著. —北京:机械工业出版社,2001.1
ISBN 7-111-08459-4

I. 高… II. 李… III. 高压-断路器 IV. TM561

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 54291 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:周娟 版式设计:张世琴 责任校对:韩晶
封面设计:李雨桥 责任印制:郭景龙
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2001 年 7 月第 1 版·第 2 次印刷
850mm×1168mm¹/₃₂·10.75 印张·286 千字
3 001—5 500 册
定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

我国电力工业的持续高速发展、城乡电网改造的全面展开以及举世瞩目的三峡工程的建设,为我国高压开关制造业带来了极好的发展机遇,同时“入世”在即,这对我们是个机遇。我们应紧紧把握住这千载难逢的大好时机。

企业之间的竞争,说到底是有市场的竞争,而市场的竞争又表现为产品的竞争,产品的竞争又依赖于技术创新。因此,一个企业要想占领市场,就要有依靠技术创新开发的高新产品。不断进行技术创新,不断更新产品,才能在市场的竞争中立于不败之地,才能求发展、求效益。

本书的编写,以产品为主线展开,介绍了国内外产品的发展水平和动向,结合产品介绍技术创新。编写的内容,突出现代性、实用性、动态性和市场性。

在编写时,力求有新意和全面。从电压等级讲,包括中压、高压、超高压及特高压。在高压、超高压及特高压领域,几乎是 SF_6 产品一统天下,包括 SF_6 断路器和GIS。在高压断路器方面,除了介绍压气式断路器的进步外,着重介绍了引人注目的热膨胀式断路器;在超高压和特高压方面,着重介绍了先进的550kV单断口和1100kV双断口断路器。在GIS方面,着重介绍了1100kV GIS及GIS的三相共简化、复合化及小型化。中压产品也占了相当大的篇幅。对作为中压无油开关的两大支柱——真空和 SF_6 开关分章专门介绍。在真空断路器方面,着重介绍了配磁力操动机构的真空断路器。在 SF_6 断路器方面,着重介绍了 SF_6 的各种灭弧原理及自能吹弧式断路器。在开关柜方面,着重介绍了成为目前潮流的中置柜。在城市馈线中,负荷开关-限流熔断器组合电器的使用越来越多,因此,辟专门章节做了介绍。

特别是 SF₆ 负荷开关在环网柜中的使用增多，对其灭弧室结构做了综合介绍。预装式变电站在国外城网中已普遍使用，在我国也已兴起，故对预装式变电站也开辟专门章节做了较大篇幅的介绍，特别对其内部故障电弧及其限制措施做了详细介绍。考虑到农网不同于城网，它有其自身的特点及对高压开关有特殊要求，故开辟专门章节介绍了农网用开关设备。

在编写时，追求新意和全面，是笔者的初衷，这个情境很难达到，今后还要在这两方面下工夫。由于笔者水平所限，加之收集资料困难，错误在所难免，恳请读者指正，不胜感激。

编 者
2000 年

目 录

前言

第 1 章 电力与高压开关设备	1
1.1 充满生机与活力的电力工业	1
1.2 我国电力工业的发展特点	3
1.3 城乡电网的建设与改造	4
1.3.1 我国城乡电网基本情况	4
1.3.2 城乡电网存在的问题	5
1.3.3 城市电网建设改造规划	7
1.3.4 农村电网建设改造规划	7
1.3.5 坚持技术进步, 实现现代化	9
1.4 我国输配电网及对高压开关的要求	10
1.4.1 城网的特点	10
1.4.2 城网对高压开关的要求	11
1.4.3 农网的特点	12
1.4.4 农网对高压开关的要求	12
1.4.5 接触网(电铁)的特点	13
1.4.6 接触网(电铁)对高压开关的要求	14
1.5 世界电力与高压开关市场	14
第 2 章 六氟化硫气体	17
2.1 六氟化硫气体的特性	17
2.1.1 SF_6 气体的化学特性	18
2.1.2 SF_6 气体的物理特性	18
2.1.3 SF_6 气体的电气特性	19
2.1.4 SF_6 气体的纯度	20

2.1.5 SF ₆ 气体的分解特性	21
2.2 SF ₆ 分子结构及性能	22
2.3 SF ₆ 气体与环境	29
2.3.1 SF ₆ 气体与生态	30
2.3.2 SF ₆ 气体与臭氧层	30
2.3.3 SF ₆ 气体与温室效应	32
2.3.4 SF ₆ 气体分解物与防护	34
2.4 国内外 SF ₆ 气体的产量及使用情况	35
2.5 SF ₆ 气体排放量的限制	37
2.5.1 替代气体和混合气体	37
2.5.2 高压产品减少用气量和排气量	39
第 3 章 高压开关设备	41
3.1 国外高压开关设备	42
3.1.1 美国西屋公司和通用电气公司	43
3.1.2 德国西门子公司	44
3.1.3 Alstom 公司	46
3.1.4 ABB 公司	48
3.1.5 日本公司	50
3.2 国内高压开关设备	51
第 4 章 高压 SF₆ 断路器	54
4.1 压气式 SF ₆ 断路器的结构	54
4.2 压气式 SF ₆ 断路器的工作原理	55
4.3 瓷柱式与罐式 SF ₆ 断路器的比较	56
4.4 定开距与变开距灭弧室	60
4.4.1 动喷口吹弧装置	60
4.4.2 定喷口吹弧装置	61
4.5 双向运动灭弧装置	64
4.6 混合灭弧原理	66
4.7 绝缘喷嘴的最佳化及材料改善	68

第 5 章 热膨胀式 SF₆ 断路器	69
5.1 国外热膨胀式断路器现状	69
5.2 高压热膨胀式断路器的结构	72
5.2.1 LTB 型热膨胀式 SF ₆ 断路器	72
5.2.2 FXT 型热膨胀式 SF ₆ 断路器	73
5.2.3 SI 型热膨胀式 SF ₆ 断路器	75
5.2.4 3AP 型热膨胀式 SF ₆ 断路器	77
5.2.5 日本富士公司热膨胀式 SF ₆ 断路器	79
5.3 第二代热膨胀式 SF ₆ 断路器	80
5.3.1 减少压缩行程的灭弧室	80
5.3.2 后部排气的灭弧室	81
5.3.3 双触头运动的灭弧室	82
5.4 高压断路器的操动机构	82
5.4.1 弹簧机构	83
5.4.2 气动机构	87
5.4.3 液压机构	91
5.4.4 液压弹簧机构	91
第 6 章 1100kV 特高压开关设备技术	95
6.1 导言	95
6.2 550kV 63/50kA 单断口 SF ₆ 断路器	95
6.2.1 三菱公司产品特点	96
6.2.2 东芝公司产品特点	96
6.2.3 日立公司产品特点	97
6.3 1100kV GIS	98
6.3.1 断路器	99
6.3.2 隔离开关	103
6.3.3 快速接地开关	104
第 7 章 高压紧凑型组合式开关设备	108
7.1 链式户外开关设备	109

7.2	HPL 组合开关模块	111
7.3	PASS 组合开关设备	113
7.4	HIS——一种高集成的高压开关设备	116
7.5	户外集装箱式移动变电站	116
第 8 章	SF₆ 封闭式组合电器 (GIS)	119
8.1	新的小型化 550kV GIS	121
8.2	GIS 的共简化、复合化和小型化	124
8.3	GIS 的二次现代化	131
8.4	GIS 的运行经验	134
第 9 章	中压 SF₆ 断路器	135
9.1	中压 SF ₆ 断路器灭弧原理	135
9.1.1	压气式	135
9.1.2	自能吹弧式	137
9.1.3	混合吹弧式	140
9.2	国外 SF ₆ 断路器综述	147
9.2.1	压气式 SF ₆ 断路器	147
9.2.2	自能吹弧式断路器	150
9.3	SF ₆ 旋弧式接触器	154
9.4	国内 SF ₆ 断路器综述	156
9.4.1	总体布置	158
9.4.2	机械传动	158
9.4.3	导电回路	158
9.4.4	灭弧系统	158
9.5	发电机断路器	159
9.5.1	HG 和 HE 系列 SF ₆ 发电机断路器	159
9.5.2	DR 型发电机断路器 (压缩空气断路器)	161
9.5.3	VD4G 型发电机断路器 (真空断路器)	162
第 10 章	中压真空断路器	165
10.1	中压无油化的进程	165

10.2 真空断路器的结构和特性	167
10.2.1 改进触头结构	167
10.2.2 研制新的触头材料	169
10.2.3 采用先进的一次封排工艺	172
10.2.4 缩小灭弧室管径, 减少零件数	173
10.2.5 标准型与专用型	174
10.2.6 现代二次技术	174
10.3 真空灭弧室	175
10.3.1 真空灭弧的特点和绝缘性能	175
10.3.2 真空灭弧室的结构	176
10.3.3 真空灭弧室示例	183
10.4 国内外一些真空断路器产品	188
10.4.1 ZN12 型真空断路器	188
10.4.2 ZN28A 与 ZN28 型真空断路器	190
10.4.3 VS1 型户内真空断路器	190
10.4.4 NXAct 型模块式真空断路器	193
10.4.5 VL 型低过电压真空断路器	194
10.4.6 电极电弧自扩散真空断路器	196
10.4.7 NVU 型真空断路器	198
10.4.8 VM1 型配永磁操动机构的真空断路器	199
10.4.9 同步断路器	204
10.4.10 VBL 型配非对称磁力操动机构的真空断路器	206
10.5 真空接触器	210
第 11 章 中压开关柜	217
11.1 空气绝缘金属封闭开关设备 (开关柜)	218
11.2 SF ₆ 绝缘金属封闭开关设备 (充气柜)	225
11.2.1 铝筒封闭式充气柜	226
11.2.2 钢板封闭式充气柜	232
第 12 章 负荷开关—限流熔断器组合电器	235
12.1 使用负荷开关+限流熔断器的必要性	235

12.2	负荷开关与熔断器的配合	236
12.3	转移电流与交接电流	238
12.4	负荷开关的结构与选择	239
12.5	产气式负荷开关	240
12.6	压气式负荷开关	242
12.6.1	直动式结构	242
12.6.2	转动式结构	242
12.7	真空负荷开关	243
12.7.1	联动式结构	244
12.7.2	联锁式结构	244
12.8	SF ₆ 负荷开关	245
12.8.1	灭弧栅式	246
12.8.2	吸气活塞 + 去离子栅式	247
12.8.3	上下直动压气式	247
12.8.4	永磁旋弧式	247
12.8.5	回转压气式	248
12.9	负荷开关的选择与开发	251
12.10	熔断器的结构与选择	252
第 13 章	预装式变电站	258
13.1	预装式变电站的总体结构	259
13.2	预装式变电站的箱体	260
13.3	中压开关设备	264
13.3.1	SF ₆ 环网供电单元概况	265
13.3.2	环网供电单元的结构	266
13.3.3	环网供电单元举例	271
13.4	电缆插接件	276
13.5	变压器	277
13.6	低压配电装置	279
13.7	预装式变电站的控制系统	279
13.8	预装式变电站中的内部故障电弧及其防御	281

13.8.1	预装式变电站的内部故障电弧	282
13.8.2	内部故障电弧试验及判据	288
13.8.3	内部故障电弧的限制措施	292
第 14 章	农网用开关设备	301
14.1	农网用开关设备的特点	301
14.2	12kV 柱上断路器	302
14.2.1	LW3-12 系列户外柱上 SF ₆ 断路器	302
14.2.2	ZW8-12 型户外柱上真空断路器	305
14.2.3	ZW□-12 型户外柱上真空断路器	306
14.3	40.5kV 户外断路器	308
14.3.1	LW8-40.5 型罐式 SF ₆ 断路器	309
14.3.2	G1-E 型户外瓷柱式 SF ₆ 断路器	312
14.3.3	ZW7-40.5 型户外瓷柱式真空断路器	313
14.4	40.5kV 户外负荷隔离开关	315
14.5	重合器与分段器	318
14.5.1	电流—时间型“重合器+分段器”方案	319
14.5.2	电压—时间型“重合器+分段器”方案	320
14.5.3	重合器	321
14.5.4	分段器	325
参考文献		330

第 1 章 电力与高压开关设备

1.1 充满生机与活力的电力工业

我国在电力工业中，将贯彻“优化火电结构，大力发展水电，适当发展核电，因地制宜开发新能源，同步建设电网，积极减少环境污染，开发与节约并举，把节约放在首位”的方针。

我国的电力工业充满生机与活力。从 1978 年起到 1999 年，装机容量每年平均增加约 10GW。1997 年底，装机容量达到了 254GW，年发电量也超过了 1100TW·h。其中火力发电占 80%，水力发电占 19%。从 1997 年起，我国在装机容量和年发电量方面，稳居世界第二位。1998 年底，装机容量达到了 277GW，年发电量为 1160TW·h。2000 年 3 月，装机容量已达到 300GW，2010~2015 年将达到 450~550GW。

但要看到，我国人均装机容量只有 0.2kW，人均年用电量只有 987kW·h，远远落后于世界水平。世界人均年用电量最高的为挪威，为 23850kW·h，约为我国人均用电量 24 倍之多，世界人均用电量为 2400kW·h，约为我国的 2.4 倍。我国现还有 6000 万人口居住在边远地方，根本没有用上电。

在节电方面，1984~1993 年间，我国共节约电量 1000 亿 kW·h，平均每年节电约 100 亿 kW·h。我国到 2000 年的节电目标是形成年节电 1200~1400 亿 kW·h 和年转移 1000~1200 万 kW·h 的尖峰负荷到低谷，即每年在前一年节电成果的基础上，平均节约电量 170~200 亿 kW·h 和平均每年转移 140~170 万 kW 尖峰负荷到低谷。

在节电方面，要采取一系列措施，诸如：

(1) 积极采用高效 30 万 kW 以上容量的大机组。

(2) 对现有 12.5 万 kW、20 万 kW、30 万 kW 火力发电老机组进行改造, 控制和限制小火电机组的发展。

(3) 降低工业用电设备的能耗。在用电设备中, 工业占的比例最大, 为 76.7%, 节电潜力也巨大。工业领域中, 电动机的节能应列首位, 电动机耗电约占 60%。电动机节电降耗主要有两个方面: 一是电动机在设计中如何提高效率、功率因数, 降低损耗及优化设计; 二是电动机在运行过程中应降低运行损耗, 使系统达到较高指标。用电量仅次于电动机的设备是工业电炉, 电炉在中国有“电老虎”之称。对于电炉, 应采用高效新式电炉, 淘汰耗电大的老式电炉。

还有电灯照明的节电问题。“电灯下挂着三个葛洲坝”, 是说目前电灯浪费的电量相当三个葛洲坝的发电量。也就是说, 推广节能灯, 其意义不亚于建三座葛洲坝的发电量。因之, 灯泡应更新换代, 推广新光源。新光源虽然价格贵些, 但它发光效果是同容量的 5 倍, 是今后的发展方向。

(4) 加强电网建设, 采用高新设备实施经济调度, 降低线路损耗。

由于我国在火电方面主要发展矿口电站, 在水电方面主要开发长江、黄河及西南水力资源, 故发电与负荷中心相距甚远, 必须通过高压送电, 而每个电压等级有它的经济输送容量和距离。这就是说, 对于每种输送容量和输送距离, 可选择最合理、最经济的输电电压。按照国际电工委员会 IEC38 标准的规定, 将高压电压等级细分如下:

特高压为 1000kV 以上, 我国特高压电压等级规定为 1200kV。

超高压为 300~1000kV, 我国超高压电压等级为 330, 500 及 750kV。

高压为 100~300kV, 我国高压电压等级为 110, 220kV。

中压为 1~100kV, 我国中压电压等级主要为 3, 10, 35, 63kV。

1.2 我国电力工业的发展特点

从“八五”起,我国电力工业明显趋向大机组、远距离、超高压及交直流并用,积极采用高效 30 万 kW 以上机组,取代低效中小型机组。目前,全国百万伏以上电厂达 40 座。全国百万千瓦以上装机的电网达 11 个,装机容量计 184 万亿 kW,占全国装机容量的 92.1%。

电力系统趋向远距离、超高压输电,是由于我国能源分布造成的。我国西南地区水能资源丰富,可开发容量达 2.5 亿 kW,占全国可开发容量的 71.2%,全国规划 12 个水电基地,其中 7 个在西南,但我国工业集中在华东、华北、东北地区,因此,西电东送是我国输电的基本格局。其输电距离在 1000km 以上,甚至达 2000km。在这种情况下,500kV 输电电压已不够用,随着 2015 年金沙江梯级水电站的建成,我国可能出现 1100kV 特高压输电。我国煤炭资源丰富,全国煤炭储量已探明为 6400 亿 t,其中,山西和内蒙古约为 4000 亿 t。因此,火力发电将集中在山西和内蒙古,这样,北电南送也已成定局。其输电距离在 1000km 以上,也需要更高一级电压。

我国超高压输电研究始于 70 年代末。80 年代初,第一条 500kV 输电线路投运。1998 年底,全国 500kV 线路长度已达 1.5 万 km,变电容量达 1.0 亿 kVA 以上,并形成东北、华北、西北、华东、华中等 5 大电网。1994 年 6 月底,东北电网已达 2500 万 kW,华东电网已达 3311 万 kW。华中电网已达 2591.9 万 kW,华北电网已达 2122.1 万 kW,西北电网已达 1073.9 万 kW。其中东北、华北、华东、华中电网 2000 年前将超过 5000 万 kW。举世瞩目的三峡工程已于 1993 年开工。此项工程包括 9000km 500kV 交直流线路,2475 万 kVA 变电容量。

我国交直流输电均达到 500kV 等级。第一条 ± 500 kV 直流输电线路为葛洲坝—上海。另一条 ± 500 kV 直流输电工程为天生桥—广州。三峡电站预计有 14 条交流 500kV 线路和两条 ± 500 kV

直流输电线路。

三峡工程的装机总数为 26 台机组，单机容量均为 70 万 kW，电站总装机容量 1820 万 kW。年发电量 $847 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。主要给华中、华东及川东送电。向华东送电距离在 1000km 左右，送电容量为 600 万 kW，采用 $\pm 500 \text{ kV}$ 直流送电；向华中及川东各负荷中心输电距离都在 600km 以内，采用交流 500kV 送电。三峡电站出线回路数按选用 15 回并预留 2 回的方案进行设计。

为了满足超高压、远距离输电的需要，我国电压等级还将上一个新等级。有关专家建议：

(1) 我国应同时采用 750kV 和 1100kV 两个电压等级，未来西北电网采用 750kV，全国电网（西北除外）采用 1100kV 电压等级。

(2) 于 2005 年建成 750kV/1100kV 工业性试验线段。

(3) 于 2010 年前后建成西北第一条 750kV 线路。

(4) 于 2015 年左右建成我国第一条 1100kV 特高压输电线路。

1.3 城乡电网的建设与改造

从 1998 年起，国家已投入巨资，全面启动我国城乡电网建设与改造工程，将对全国 2400 个县的农村电网和 280 个城市电网进行建设和改造，任务重，时间紧，完成的投资规模大，工程量集中。

1.3.1 我国城乡电网基本情况

城乡电网是电网的重要组成部分，是把电力送向广大农村和城市、送向工矿企业和千家万户、为国民经济和社会提供供电服务的重要基础设施。我国电力工业经过近 50 年的建设与发展，目前已形成了 280 个城市电网和 2400 个县级农村电网，有力地支持了农村和城市经济与社会的发展。到 1997 年底，全国已建成 35kV 及以上的输配电线路 64 万 km，变电容量 7.7 亿 kVA。

其中城乡电网拥有 35~110kV 高压配电网输电线路 23 万 km, 变电容量 2.3 亿 kVA, 10kV 及以下中低压配电网线路近 300 万 km。

1.3.2 城乡电网存在的问题

在电网方面, 电网建设落后于电源建设, 尤其是城乡电网不适应电力发展的问题日趋突出。有电“送不进、供不出、用不上”的矛盾充分暴露出来。城乡电网薄弱已成为电力发展的瓶颈, 突出表现在以下几个方面:

(1) 城网配电能力不足, 严重过负荷。1994~1995 年长江沿岸武汉、南昌、南京、上海等地 50%~60% 变压器过载; 1997 年北京城近郊区 220kV 和 110kV 有 53% 的变电站、42.8% 的配电线路过负荷; 天津等城市仍不得不采取高峰限负荷或者拉闸限电措施。

(2) 高压网架脆弱, 配电网大量设备陈旧老化, 供电可靠性不高。上海、天津、武汉、南京、西安、重庆等供电历史较久的城网中, 有不少送变电设备已经运行 40 年以上。上海市中心城区 35kV 电缆 1000 多 km, 运行 40 年以上的约占 28%, 10kV 断路器约为 3000 台, 运行 40 多年以上的约为 37%。许多城网市区中低压配电网供电半径偏长, 有些中压 (10kV) 供电线为 6~10km, 农网竟达 30km 以上; 低压 (380V) 供电半径达 1km 以上, 农网则更为严重。

(3) 线损率高。目前全国线损率仍然很高, 配电网损耗更大, 大约高出综合线损 2 个百分点。农村电网线损更高, 普遍为 25%~30%, 有的甚至更高。现在, 全国还有近 2000 万 kVA 高耗能型变压器在运行。一些城网有 50% 左右的高耗能配电变压器。许多配电网无功补偿不足, 调节手段落后, 全国大约缺 6000 万 kvar 容性无功, 同时感性无功补偿装置也配置不足。

(4) 电能质量不合格的问题突出。除少数城市外, 电压质量仍然较低, 综合电压合格率不足 93%, 还有很多 10kV 母线电压