

# 高压开关设备实用技术

李建基 编著

G

gao

ya

kaiguan

shebei

shiyong

jishu



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

封面设计：郝晓燕

ISBN 7-5083-2857-4



9 787508 328577 >

定价：28.00 元

销售分类建议：电工技术

# 高压开关设备实用技术

---

---

李建基 编著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 内 容 提 要

本书介绍了高压开关设备实用技术。全书共分 15 章。第 1 章电力与高压开关设备；第 2 章六氟化硫气体；第 3 章高压开关设备；第 4 章高压 SF<sub>6</sub> 断路器；第 5 章热膨胀式 SF<sub>6</sub> 断路器；第 6 章 1100kV 特高压开关设备技术；第 7 章高压紧凑型组合式开关设备；第 8 章气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS)；第 9 章中压 SF<sub>6</sub> 断路器；第 10 章中压真空断路器；第 11 章中压开关柜；第 12 章负荷开关-限流熔断器组合电器；第 13 章预装式变电站；第 14 章农网用开关设备；第 15 章户外高压隔离开关。书中附有大量的图表。

本书可供电力设计使用部门、高压开关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。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

高压开关设备实用技术/李建基编著. —北京: 中国电力出版社, 2005

ISBN 7 - 5083 - 2857 - 4

I. 高... II. 李... III. 断路器 IV. TM561

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 117244 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

2005 年 1 月第一版 2005 年 1 月北京第一次印刷  
850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 15.125 印张 397 千字  
印数 0001—4000 册 定价 28.00 元

## 前 言

电给人类带来了光明，开关则在黑暗与光明之间为人类架起了一座安全可靠的金色桥梁。

我国电力工业持续快速的发展，为高压开关制造业带来了极好的发展机遇，同时也面临挑战。高压开关制造业必须不断地进行技术创新，推出一代又一代新产品，才能满足电力市场日益增长的需求。

编写本书正是为了反映高压开关行业的技术创新、新产品的不断涌现及产品的发展水平与动向。在编写时强调三性，即实用性、市场性和动态性。编写的内容讲求实用性，介绍的技术和产品为市场主流，反映产品的水平与动向与世界同步，具有先进性。

本书在介绍高压开关设备时，不但有全面的介绍，也突出重点。一开始，介绍了我国充满生机与活力的电力工业，展望了近期和长远发展规划及对高压开关设备的要求，同时介绍了国外电力与高压开关设备市场。接着论述了我国高压开关制造业的现状、存在的问题及今后的发展方向。以后各类产品作为主要内容，分章编写，篇幅很大。但编写时有所侧重，如根据市场调查，126~252kV GIS已成为发展中的亮点，故作为重点，浓墨重彩。又如从统计得知，我国12kV真空断路器在同级断路器中所占比例不断攀升，从2002年的92.27%上升到2003年的95.76%。从世界看，我国已进入真空断路器大国的行列。为此对真空断路器和真空灭弧室一章用了很大篇幅，介绍世界最新发展成果，如专用和多功能真空断路器、固封极柱及真空灭弧室的环保设计等。在中压开关柜一章中，写了空气绝缘柜、固体材料绝缘柜及气体绝缘柜（充气柜），重点写了充气柜，因市场对此柜的需求不断增长，已成为发展中的亮点。在讲述负荷

开关时，着重介绍 SF<sub>6</sub> 负荷开关及近期的发展。在介绍环网柜时，主要介绍 SF<sub>6</sub> 环网柜，因为它代表了当代环网柜的主流，书中列举了大量环网柜制造商及其产品。本书最后一章为户外高压隔离开关。根据电力市场反馈的消息，多年来高压隔离开关在电网中的故障频发，已引起电力部门和高压开关制造部门的高度关注，并联手解决这个问题。这一章介绍了高压隔离开关存在的问题、产品完善化措施及新的完善改进型产品等。

这里要提到 SF<sub>6</sub> 气体，SF<sub>6</sub> 气体主要用于高压开关设备。SF<sub>6</sub> 气体具有优异的绝缘和灭弧性能，迄今没有另一种气体或混合气体能与它媲美。谈到对大气的影 响，首先 SF<sub>6</sub> 气体对臭氧层无影响，影响臭氧层的主要是氟氯烃类物质（氟里昂）。1997 年，在防止全球变暖的京都议定书中，将包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>）和 SF<sub>6</sub> 在内的 6 种气体列为温室效应气体，但在这 6 种温室气体的排序中，SF<sub>6</sub> 气体的影响最小（占 0.1%），而 CO<sub>2</sub> 的影响最大（占 60% 以上），因此不能夸大 SF<sub>6</sub> 气体对温室效应的影响。尽管如此，还是要在高压开关产品设计中，尽量减少 SF<sub>6</sub> 气体的用量和排放量，书中介绍了在各类产品中如何减少 SF<sub>6</sub> 气体用量和排放量。

本书的编写和出版得到许多企业和同仁提供的宝贵资料，在此一并致以衷心的感谢。

在编写时，笔者追求完美与新意，但这个境界很难达到，尚需今后不断努力。

由于本书涉及面广，笔者水平所限，加之资料有限，错误在所难免，恳请读者指正，不胜感激。

编者

# 目 录

## 前言

## 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 .....	1
1.2 电力发展的基本方针 .....	1
1.3 电网发展战略 .....	2
1.4 发电与节电并举 .....	4
1.5 我国输配电网及对高压开关的要求 .....	6
1.5.1 城网的特点 .....	6
1.5.2 城网对高压开关的要求 .....	7
1.5.3 农网的特点 .....	9
1.5.4 农网对高压开关的要求 .....	9
1.5.5 接触网(电铁)的特点 .....	9
1.5.6 接触网(电铁)对高压开关的要求 .....	10
1.6 世界电力与高压开关市场 .....	10

## 第 2 章 六氟化硫气体

2.1 六氟化硫气体的特性 .....	13
2.1.1 SF <sub>6</sub> 气体的化学特性 .....	14
2.1.2 SF <sub>6</sub> 气体的物理特性 .....	14
2.1.3 SF <sub>6</sub> 气体的电气特性 .....	15
2.1.4 SF <sub>6</sub> 气体的纯度 .....	16
2.1.5 SF <sub>6</sub> 气体的分解特性 .....	17
2.2 SF <sub>6</sub> 分子结构及性能 .....	17
2.3 SF <sub>6</sub> 气体与环境 .....	25
2.3.1 SF <sub>6</sub> 气体与生态 .....	26
2.3.2 SF <sub>6</sub> 气体与臭氧层 .....	26

2.3.3 SF <sub>6</sub> 气体与温室效应 .....	28
2.3.4 SF <sub>6</sub> 气体分解物与防护 .....	30
2.4 国内外 SF <sub>6</sub> 气体的产量及使用情况 .....	32
2.5 SF <sub>6</sub> 气体排放量的限制 .....	33

### 第 3 章 高压开关设备

3.1 国外高压开关设备 .....	38
3.1.1 美国西屋公司和通用电气公司 .....	39
3.1.2 德国西门子公司 .....	40
3.1.3 法国 AREVA 核电公司 .....	42
3.1.4 ABB 公司 .....	43
3.1.5 日本公司 .....	45
3.1.6 国外巨商纷纷在中国建立合资企业 .....	48
3.2 我国高压开关设备制造业 .....	52
3.2.1 良好的发展势头 .....	52
3.2.2 发展中的亮点 .....	54
3.2.3 今后的发展 .....	58

### 第 4 章 高压 SF<sub>6</sub> 断路器

4.1 压气式 SF <sub>6</sub> 断路器的结构 .....	67
4.2 压气式 SF <sub>6</sub> 断路器的工作原理 .....	68
4.3 瓷柱式与罐式 SF <sub>6</sub> 断路器的比较 .....	69
4.4 定开距与变开距灭弧室 .....	73
4.4.1 动喷口吹弧装置 .....	73
4.4.2 定喷口吹弧装置 .....	74
4.5 双向运动灭弧装置 .....	77
4.6 混合灭弧原理 .....	80
4.7 绝缘喷嘴的最佳化及材料改善 .....	81

### 第 5 章 热膨胀式 SF<sub>6</sub> 断路器

5.1 国外热膨胀式断路器现状 .....	83
-----------------------	----



5.2	高压热膨胀式断路器的结构	86
5.2.1	LTB型热膨胀式 SF <sub>6</sub> 断路器	86
5.2.2	FXT型热膨胀式 SF <sub>6</sub> 断路器	87
5.2.3	SI型热膨胀式 SF <sub>6</sub> 断路器	89
5.2.4	3AP型热膨胀式 SF <sub>6</sub> 断路器	91
5.2.5	日本富士公司热膨胀式 SF <sub>6</sub> 断路器	93
5.3	第二代热膨胀式 SF <sub>6</sub> 断路器	94
5.4	高压断路器配用的操动机构	97
5.4.1	集成化液压操动机构	99
5.4.2	弹簧操动机构	100
5.4.3	HMB型弹簧液压操动机构	102
5.4.4	电动机操动机构	104

## 第 6 章 1100kV 特高压开关设备技术

6.1	导言	110
6.2	550kV 63/50kA 单断口 SF <sub>6</sub> 断路器	110
6.2.1	三菱公司产品特点	111
6.2.2	东芝公司产品特点	111
6.2.3	日立公司产品特点	112
6.3	1100kV GIS	113
6.3.1	断路器	115
6.3.2	隔离开关	118
6.3.3	快速接地开关	119

## 第 7 章 紧凑型组合式高压开关设备

7.1	紧凑型组合式高压开关设备的优势	123
7.2	结构型式	124

## 第 8 章 气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS)

8.1	概述	128
8.2	GIS 结构特点	130

8.3	GIS 基本组成元件 .....	135
8.4	GIS 的三相共简化、复合化和小型化 .....	146
8.5	GIS 的二次现代化 .....	149
8.6	GIS 的运行经验 .....	152

## 第 9 章 中压 SF<sub>6</sub> 断路器

9.1	中压 SF <sub>6</sub> 断路器灭弧原理 .....	154
9.1.1	压气式 .....	154
9.1.2	自能吹弧式 .....	156
9.1.3	混合吹弧式 .....	159
9.2	国外 SF <sub>6</sub> 断路器综述 .....	167
9.2.1	压气式 SF <sub>6</sub> 断路器 .....	167
9.2.2	自能吹弧式断路器 .....	170
9.3	SF <sub>6</sub> 旋弧式接触器 .....	175
9.4	国内 SF <sub>6</sub> 断路器综述 .....	176
9.4.1	总体布置 .....	179
9.4.2	机械传动 .....	179
9.4.3	导电回路 .....	179
9.4.4	灭弧系统 .....	179
9.5	发电机断路器 .....	180
9.5.1	HEC 型特大电流 SF <sub>6</sub> 发电机断路器 .....	181
9.5.2	FKG 型 SF <sub>6</sub> 发电机断路器 .....	184

## 第 10 章 中压真空断路器

10.1	中压无油化的进程 .....	186
10.2	真空断路器的结构和特性 .....	188
10.2.1	改进触头结构 .....	188
10.2.2	研制新的触头材料 .....	191
10.2.3	采用先进的一次封排工艺 .....	193
10.2.4	缩小灭弧室管径, 减少零件数 .....	194
10.2.5	专用化和多功能化 .....	195

10.2.6	固封极柱技术 .....	201
10.2.7	现代二次技术 .....	208
10.3	真空灭弧室 .....	209
10.3.1	真空灭弧的特点和绝缘性能 .....	209
10.3.2	真空灭弧室的结构 .....	209
10.3.3	真空灭弧室示例 .....	218
10.3.4	真空灭弧室的环保设计 .....	223
10.4	国内外真空断路器产品 .....	225
10.4.1	ZN12型真空断路器 .....	225
10.4.2	ZN28A与ZN28型真空断路器 .....	227
10.4.3	VS1型户内真空断路器 .....	229
10.4.4	NXAet型模块式真空断路器 .....	230
10.4.5	VL型低过电压真空断路器 .....	231
10.4.6	电极电弧自扩散真空断路器 .....	233
10.4.7	NVU型真空断路器 .....	236
10.4.8	配永磁操动机构的真空断路器 .....	238
10.4.9	同步断路器 .....	245
10.4.10	VBL型配非对称永磁操动机构的真空断路器 .....	247
10.5	真空接触器 .....	251

## 第 11 章 中压开关柜

11.1	空气绝缘金属封闭开关设备（开关柜） .....	262
11.2	气体绝缘金属封闭开关设备（充气柜） .....	276
11.2.1	充气柜的结构 .....	276
11.2.2	充气柜的关键工艺 .....	277
11.2.3	充气柜的使用场合 .....	282
11.2.4	充气柜的市场 .....	282
11.2.5	典型的充气柜 .....	284
11.3	固体绝缘开关柜 .....	316
11.4	开关设备中的故障电弧及其防护 .....	320
11.5	中压开关设备标准迈上新等级 .....	325

## 第 12 章 负荷开关-限流熔断器组合电器

12.1 使用负荷开关 + 限流熔断器的必要性 .....	330
12.2 负荷开关与熔断器的配合 .....	331
12.3 转移电流与交接电流 .....	333
12.4 负荷开关的结构与选择 .....	334
12.5 产气式负荷开关 .....	335
12.6 压气式负荷开关 .....	337
12.6.1 直动式结构 .....	337
12.6.2 转动式结构 .....	337
12.7 真空负荷开关 .....	338
12.7.1 联动式结构 .....	339
12.7.2 联锁式结构 .....	340
12.8 SF <sub>6</sub> 负荷开关 .....	341
12.8.1 灭弧栅式 .....	341
12.8.2 吸气活塞 + 去离子栅式 .....	345
12.8.3 上下直动压气式 .....	345
12.8.4 旋弧式 .....	345
12.8.5 回转压气式 .....	347
12.9 负荷开关的选择与开发 .....	349
12.10 熔断器的结构与选择 .....	350

## 第 13 章 预装式变电站

13.1 预装式变电站的总体结构 .....	357
13.2 预装式变电站的箱体 .....	358
13.3 中压开关设备 .....	362
13.3.1 环网柜概况 .....	362
13.3.2 环网柜的结构 .....	365
13.3.3 环网柜示例 .....	366
13.4 电缆插接件 .....	375
13.5 变压器 .....	377

13.6	低压配电装置	378
13.7	预装式变电站的控制系统	379
13.8	预装式变电站中的内部故障电弧及其防御	381
13.8.1	预装式变电站的内部故障电弧	382
13.8.2	内部故障电弧试验及判据	385
13.8.3	内部故障电弧的限制措施	390

## 第 14 章 农网用开关设备

14.1	农网用开关设备的特点	401
14.2	12kV 柱上断路器	402
14.2.1	LW3—12 系列户外柱上 SF <sub>6</sub> 断路器	402
14.2.2	ZW8—12 型户外柱上真空断路器	405
14.2.3	ZW□—12 型户外柱上真空断路器	407
14.3	40.5kV 户外断路器	409
14.3.1	LW8—40.5 型罐式 SF <sub>6</sub> 断路器	410
14.3.2	G1—E 型户外瓷柱式 SF <sub>6</sub> 断路器	413
14.3.3	ZW7—40.5 型户外瓷柱式真空断路器	413
14.4	40.5kV 户外负荷隔离开关	415
14.5	重合器与分段器	418
14.5.1	电流-时间型“重合器 + 分段器”方案	419
14.5.2	电压-时间型“重合器 + 分段器”方案	420
14.5.3	重合器	422
14.5.4	分段器	429

## 第 15 章 户外高压隔离开关

15.1	用途与分类	434
15.2	结构型式	434
15.3	高压隔离开关的完善改进	437
15.4	完善改进型高压隔离开关示例	441
15.4.1	GW4-252 完善改进型高压隔离开关	441
15.4.2	GW7-252 完善化改进型户外交流高压隔离开关	443

15.4.3	GW27-252 (W) 完善改进型高压隔离开关 .....	444
15.4.4	GW28/29-550 完善改进型户外高压隔离开关 .....	447
15.4.5	GW33-252D (W) 完善改进型三柱水平双断口式高压隔离 开关 .....	449
15.5	国外高压隔离开关 .....	453
<b>参考文献</b>	.....	<b>467</b>

# 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

在 2000 年以后的 20 年中，我国电力工业将保持高速发展的势头。从投资看，我国电力投资每年需要 5000 亿元，而且电源与电网投资更趋合理，各占一半。从近年及未来电力发展看，2000 年装机容量为 3.19 亿 kW，发电量为  $1.6386 \times 10^4$  亿 kW·h；2003 年装机容量达 3.845 亿 kW，同比增长 7.8%，发电量达  $1.891 \times 10^4$  亿 kW·h，同比增长 15.4%；到 2005 年装机容量将达 4.3 亿 kW，发电量达  $2.10 \times 10^4$  亿 kW·h；2010 年装机容量将达 6.50 亿 kW，发电量达  $2.80 \times 10^4$  亿 kW·h；2020 年装机容量将达 9.60 亿 kW，发电量将达  $4.30 \times 10^4$  亿 kW·h。

今后，我国每年新增装机容量将超过 3000 万 kW。

## 1.2 电力发展的基本方针

“十一五”期间和 2020 年电力发展的基本方针是：深化体制改革，加强电网建设，大力发展水电，优化发展火电，加快发展核电，因地制宜发展天然气发电，积极发展新能源发电。重视生态环境保护，加大技术改造力度，提高能源效率。

到 2010 年全国装机容量将达到 6.5 亿 kW 左右，其中水电达到 1.45 亿 kW 以上，火电 4 亿 kW 以上，气电 2000 万 kW，核电 1170 万 kW、新能源 250 万 kW；全国发电量 2.8 ~ 3 万亿 kW·h。“十一五”期间，电源安排投产规模 1.65 亿 kW 左右，其中水电 4000 万 kW，火电 85000 万 kW，核电 300 万 kW，气电 2000 万 kW、风电 200 ~ 250 万 kW。“十一五”期间，年均投产发电装机 3300 万 kW。

对应于装机容量 9~9.5 亿 kW，水电装机达到 2.2~2.45 亿 kW，使水资源开发率由 2000 年的 21% 提高到 58%~65%；火电 5.75~6 亿 kW，比重由 74% 降到 63%；气电 5000 万 kW，比重为 5.5%~5.2%；核电 3700~4000 万 kW，比例由 0.16% 提高到 4%；新能源 1500~1600 万 kW，比例由 0.1% 提高到 1.6%。相应需消耗原煤 14 亿 t，天然气 500 亿 m<sup>3</sup>。到 2020 年全国发电量 4.3 万亿 kW·h，按 14.6 亿人口测算，人均用电量 2945kW·h，相当于美国 1952 年、西班牙 1982 年的水平。

### 1.3 电网发展战略

今后 20 年左右时间内全国电网发展的战略重点是：“西电东送，南北互供，全国联网”。全国电网建设的主要内容是，大力推进西电东送，加强区域电网结构，促进跨区联网，形成全国统一的联合联网；同时，加强各省级电网和受端电网的网架建设，加强城乡配电网建设，同步建设二次系统，重视无功的合理配置，全面提高电网调度自动化水平，推进电力市场技术支持系统建设，逐步形成全国统一的电力市场，实现资源优化配置。

在西电东送三个通道建设方面，北通道主要包括两部分：一是开发华北电网内部蒙西、山西煤电，分别建设相应的交流输电通道向京津冀鲁送电，到“十一五”期间，蒙西将形成 8 回，山西将建成 7 回 500kV 交流输电通道；二是开发陕北煤电（神木电厂），甘青宁水火电，“十一五”期间将建成 2 回交流 500kV、一回直流送电京津冀。西电东送北通道送电规模在 2005 年约为 700 万 kW，2010 年增加到 1800 万 kW，2020 年达到 4000 万 kW。新疆电网将通过哈密煤电基地向甘肃河西走廊和青海送电实现与西北主网的紧密联系。

中通道主要是在三峡外送的基础上，开发金沙江下游向家坝、溪洛渡（1860 万 kW）和白鹤滩、乌东德（1930 万 kW）等大型水电站和四川雅砻江、大渡河上的大型水电站，不断扩展



相应的输电通道，向华东、华中送电。此外，还有贵州三板溪水电以点对网方式送电华中电网。西电东送中通道送电规模在2005年达到700万kW的基础上，2010年增加到2180万kW，2020年再增加到4000~5000万kW。

南通道主要是开发云南、贵州的水电和煤电，同步加强相应的输电通道，向广东、广西送电。西电东送南通道送电规模在2005年达到1088万kW的基础上，2010年达到1500万kW，2020年达到2000~2500万kW。此外，南方电网还将向东南亚泰国送电，并建设相应的输电工程。

全国西电东送送电规模在2005年约为2500万kW，2010年达到5500万kW，2020年达到1亿kW以上。

在南北互供、跨区电网互联方面，除在建的三广直流工程外，2015年前后随着三峡地下电站开发，建设向华北送电的直流输电工程，南北之间将形成以三峡为支撑的主干通道。此外，将加大山西阳城送电华东的力度并实现华北与华东联网，另外建设西北与川渝、川渝与南方电网之间的互联工程。

全国联网为全国范围内的电力资源优化配置创造了条件。到2005年实现区域内省市间与大区间的电力规模2900万kW；到2010年6700万kW；到2020年增加到1.3亿kW左右。

初步规划，“十一五”期间全国将新建330kV及以上交流线路3.85万km，变电容量1.8亿kVA，平均每年新增7700km、3600万kVA。其中，建成750kV1700km、780万kVA；500kV3.3万km、1.6亿kVA；330kV3800km、1400万kVA；并建成直流线路3~4回，输电线路总长度2600~3800km，输电容量780~1080万kW。

到2010年，330kV及以上交直流线路达到12万km，变电容量达到4.8亿kVA。“十一五”期间，330kV及以上输变电工程投资规模约1600亿元左右，其中交流工程1400亿元、直流工程200亿元。

国家已决定，配合西北地区大型水火电源开发后电力送出