

电器制造与应用丛书

高压断路器 及其应用

李建基 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电器制造与应用丛书

高压断路器 及其应用

李建基 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共分14章:前2章从宏观角度论述了世界电力市场与高压开关设备市场及中国电力市场与高压开关设备市场;第3章、第4章阐述了输配电系统与高压开关设备的配合及高压断路器的运行经验;第5章介绍了SF₆气体性能及在高压开关设备的应用;第6章~第13章以极大的篇幅综述了高压压气式SF₆断路器、高压自能式SF₆断路器、高压断路器的操动机构、户内中压真空断路器、中压断路器的操动机构、发电机断路器、户外中压断路器及重合器等的原理、性能、结构及技术参数。书中还介绍了高压断路器的选型、安装与运行维护。

本书可供电力系统和大型工业企业(如冶金工业、石化工业、水泥工业、采矿工业、建筑业、纺织、造纸及汽车工业等)设计研究院的电气工程师参考,也可供高压开关设备的研究、设计和制造技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高压断路器及其应用/李建基编著. —北京:中国电力出版社, 2003

(电器制造与应用丛书)

ISBN 7-5083-1771-8

I. 高… II. 李… III. 高压电器: 断路器 IV. TM561

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 086117 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>)

北京航远印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004年1月第一版 2004年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 15印张 333千字

印数 0001—3000册 定价: 24.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

我国电力工业的持续高速发展，为高压开关制造业带来极好的发展机遇。高压断路器在电网中起控制和保护作用。它的地位至为重要，随着电压等级的升高，显得更加重要。

由于国内断路器制造厂家多（约几百家）、产品型号多（有的产品型号多达百个），加之外企和产品的大量涌入，这就需要对各类断路器加以研究分析，理清发展思路，认清发展方向，理性选择产品。

本书的编写，想在这方面作些尝试，从国内外电力市场和高压开关设备市场入手，以产品为主线展开，论述各类断路器产品的发展水平与动向，介绍产品的性能、特点、结构及参数，图文并茂。

编写的内容，突出时代特征，强调实用性、动态性和市场性。

本书编写内容涵盖中压、高压和超高压。制造企业包括国企、民企和合企。产品包括高压压气式 SF_6 断路器、高压自能式 SF_6 断路器、户内中压真空断路器、户外中压断路器、发电机断路器及重合器等。对于每类产品给出典型示例。其内容还包括产品的安装与维护及高中压断路器的操动机构。对于 SF_6 气体，辟专章介绍了其各种特性及在高压开关设备中的应用。

本书的编写和出版得到许多企业和同仁提供的大量宝贵资料，在此一并致以衷心的感谢。

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 2003 年

目 录

前言

第一章	世界电力市场与高压开关设备市场	1
第一节	世界电力的发展	1
第二节	高压开关设备的世界市场	3
第二章	中国电力市场与高压开关设备市场	10
第一节	我国电力的发展	10
第二节	我国配电断路器的使用和生产情况	13
第三节	高压开关设备市场	17
第四节	高压断路器的发展	20
第三章	输配电系统与高压开关设备	23
第一节	标称电压与额定电压	23
第二节	绝缘配合及绝缘水平	25
第三节	高压断路器标准	39
第四节	高压断路器的额定特性	44
第五节	高压开关设备的正常和特殊使用条件	46
第六节	高压断路器的 ANSI 标准	49
第四章	高压断路器的运行经验及故障	65
第一节	高压断路器的运行经验	65
第二节	高压断路器的故障调查	73
第三节	高压断路器的选型	79
第五章	SF₆ 气体与高压开关设备	85
第一节	性能优异的 SF ₆ 气体	85
第二节	SF ₆ 气体的化学特性	85

第三节	SF_6 气体的物理特性	86
第四节	SF_6 气体的电气特性	87
第五节	SF_6 气体的纯度	88
第六节	SF_6 气体的分解特性	89
第七节	SF_6 气体与温室效应	90
第八节	SF_6 气体与混合气体	91
第九节	SF_6 混合气体与 GIS	92
第十节	SF_6 混合气体与 GIL	92
第十一节	SF_6 气体的产量及使用情况	93
第十二节	SF_6 气体排放量的限制	95

第六章 高压 SF_6 断路器 99

第一节	高压断路器的发展历程	99
第二节	高压 SF_6 断路器的发展	100
第三节	高压 SF_6 断路器当前达到的水平	102
第四节	SF_6 断路器的设计与结构	103
第五节	高压 SF_6 开关设备在我国的使用情况	105
第六节	高压 SF_6 开关设备在我国的生产情况	106
第七节	瓷柱式与罐式 SF_6 断路器及其选用	121
第八节	压气式灭弧室	130
第九节	压气式 SF_6 断路器示例	133

第七章 高压自能式 SF_6 断路器 148

第一节	导言	148
第二节	第一代自能灭弧室	153
第三节	第二代自能灭弧室	157
第四节	自能式 SF_6 断路器示例	166

第八章 高压断路器的操动机构 183

第一节	总况	183
-----	----	-----

第二节	液压操动机构	184
第三节	气动操动机构	189
第四节	弹簧操动机构	192
第五节	液压弹簧操动机构	204
第六节	电机操动机构	209
第九章	高压 SF₆ 断路器的安装、运行和维护	211
第一节	安装、使用及维护的要求	211
第二节	安装与维护示例	216
第三节	高压断路器的运行与维护	220
第十章	户内中压真空断路器	223
第一节	世界中压真空断路器的发展	223
第二节	我国中压真空断路器技术的进步	236
第三节	中压真空断路器的结构演变	240
第四节	中压真空断路器的产品类型	243
第五节	真空灭弧室的生产	244
第六节	真空灭弧室的使用与维护	278
第七节	户内真空断路器的结构	282
第八节	户内真空断路器的技术参数 (表 10-4 ~ 表 10-36)	314
第九节	真空断路器的使用与维护	341
第十一章	中压断路器的操动机构	344
第一节	真空断路器对操动机构的要求	344
第二节	电磁操动机构	344
第三节	弹簧操动机构	345
第四节	永磁操动机构	364
第十二章	发电机断路器	377
第一节	对发电机断路器的要求	377
第二节	发电机断路器的发展现状	378

第三节	发电机断路器的选型	380
-----	-----------------	-----

第四节	发电机断路器的典型示例	382
-----	-------------------	-----

第十三章	户外中压断路器	396
-------------	----------------	------------

第一节	概述	396
-----	----------	-----

第二节	户外柱上真空断路器	397
-----	-----------------	-----

第三节	户外真空断路器示例	400
-----	-----------------	-----

第四节	户外 SF_6 断路器	421
-----	----------------------------	-----

第五节	户外 SF_6 断路器示例	425
-----	------------------------------	-----

第十四章	重合器	445
-------------	------------	------------

第一节	概述	445
-----	----------	-----

第二节	重合器和分段器识别故障与恢复供电的方案	446
-----	---------------------------	-----

第三节	重合器的结构	449
-----	--------------	-----

第四节	重合器示例	451
-----	-------------	-----

参考文献		469
------	-------	-----

世界电力市场与高压开关设备市场

第一节 世界电力的发展

一、世界电力的现状和发展

世界各国累计, 1995 年的发电装机容量为 30.0 亿 kW, 1998 年为 32.5 亿 kW, 2000 年为 33.29 ~ 34.26 亿 kW。估计从 1995 年 ~ 2020 年的 25 年中, 世界能源消耗将增加 50%, 电力消耗将翻一番, 达到 60.0 亿 kW。全世界人均年用电量为 2400kWh。世界人均年用电量最高者为挪威, 2001 年挪威人均用电量约为 24960kWh。整个欧洲人均用电量相当高, 为 6500kWh。一些国家的人均年用电量见表 1-1。

表 1-1 一些国家人均年用电量 kWh

国 家	2000 年	2001 年	国 家	2000 年	2001 年
挪威	24860	24960	德国	6050	6160
瑞典	15200	15590	英国	5690	5730
芬兰	14600	15220	西班牙	4945	5160
比利时	7515	7820	意大利	4830	4950
法国	6950	6970	葡萄牙	3770	4090
奥地利	6470	6820	美国	12100	12220
荷兰	6375	6480	日本	7625	7690
丹麦	6325	6190			

资料来源 IEA, Eurostat, Eurprog

20 世纪 70 年代以前, 世界电力处于大发展时期, 之后

发展放慢，现发达国家电力年增长约为 $1\% \sim 3\%$ ，而现在发展中国家电力增长速度加快，达到 $3\% \sim 5\%$ ，特别是中国和印度。世界上电力发展不平衡，现还有 16 亿人口未用上电，占世界总人口的 $1/4$ 还多。

二、世界电力市场趋向自由化

放开管制，趋向自由化，这是世界电力发展的总趋势。如欧盟预期到 2005 年各成员国电力市场全部开放。截止 2002 年 1 月，欧盟 15 国电力市场已开放 67%。具体到各成员国，开放程度不尽相同。其中，德国、芬兰、英国、奥地利、瑞典 5 国已 100% 开放，其他成员国开放程度为丹麦 90%，西班牙 54%，卢森堡 40%，比利时 35%，意大利 35%，荷兰 33%，德国、希腊、爱尔兰、葡萄牙 4 国各为 30%。

三、电力部门提出寿命周期费用的概念 (Life-Cycle-Cost)

电力市场的自由化，给电力部门带来了机遇，也带来了挑战。电力部门供给的电力必须质优价廉，这样才有竞争力，保持并进一步扩大市场。为此，电力部门对使用的电力设备包括高压开关设备提出寿命周期费用的概念。

所谓寿命周期费用，是指电力设备的售价、运输费、安装费、投运费、管理费及维修费等费用之和应最低。这就是说，购买设备一改过去仅看产品销价，而评估寿命周期诸费用，使之综合费用为最低。

具体到高压开关设备，寿命周期费用要求售价要低，运输要方便，安装要容易，管理要简便，维修要少甚至免维修。寿命周期费用已成为电力部门评价电力设备的判据。

例如有的用户要求 GIS 的寿命周期费用包括：

- (1) GIS 一次硬件费 (包括运输安装费、征地费、二次控制、保护和监视装置费);
- (2) 维修费 (包括预防性维修、预期维修及大修费);
- (3) 运行费 (包括备件费、培训费等);
- (4) 停机费 (包括停机而造成的各种费用)。

第二节 高压开关设备的世界市场

一、高压开关设备的市场容量

全球输配电设备市场容量 1994 年为 414.85 亿美元, 其中开关设备销售额为 102.31 亿美元, 占输配电设备市场容量的 1/4 弱。1997 年欧洲高中压开关市场估计为 33.86 亿美元, 其中中压开关设备约占 51.2%, 高压开关设备占 48.8%。预计 1997~2004 年间, 年增长率为 2.1%, 2004 年预期高中压开关市场容量达到 39.28 亿美元, 其中中压销售额将占 55%, 高压销售额占 45%。

另据英国资深的市场研究者 Coulden 报告, 1998 年世界高压开关的销售额比 1997 年增加 4.3%, 达到 120 亿美元。高压开关设备的市场呈上升趋势。

从地域看, 1997~1998 年, 美国开关设备市场的销售额占世界销售额的 18%, 中国及其台湾省是第二大市场, 销售额为 13.88 亿美元, 接着是德国 (13.8 亿美元) 和英国 (6.15 亿美元)。世界其他许多地方需求量也有很大增长。

二、世界上的高压开关设备制造公司

世界上高压开关的生产主要集中在欧洲几大公司 (如 Siemens、ABB、Alstom、Schneider 等) 和日本几大公司 (如日立、三菱和东芝等)。它们的产品基本代表了世界水平。

这些巨型大公司都是托拉斯，产品门类很多，涉及领域广泛。一些国外企业在输配电市场的占有率为：ABB 公司占 26%，Alstom 公司占 13%，Siemens 公司占 12%，Schneider 公司占 8%，其他占 41%。

三、高压开关行业呈现大组合之势

从 20 世纪 80 年代以来，高压开关制造行业的大公司呈现出大组合、强强联合之势，而且愈演愈烈。由于世界电力大发展已过，作为主要电力设备的高压开关市场萎缩。为了占领有限的市场，企业兼并、组合成为大势所趋。这种大组合或是为了增强实力，提高研发能力，加快推出新品，或是为了扩展产品领域，使之从低压拓宽到中压甚而高压领域，或是为了在市场竞争中，变竞争对手为合作伙伴，占领更大的市场。总之，这种大组合，可以发挥各自优势，达到优势互补。

如 20 世纪 80 年代瑞士 BBC 公司与瑞典 ASEA 公司合并成 ABB 公司后，原来两个公司都有高压断路器系列，现拥有多个系列。ABB 公司加快了产品更新换代步伐。1999 年初，ABB 公司召开了一次新闻发布会，介绍了该公司的研究与开发 (R&D) 工作。研究成果在其产品中占有相当大的份额。在过去的 5 年中，研究成果在输配电领域约占 50%。也就是说，新成果和新产品在 5 年产品中占 50%。同时为了能够加快产品开发，ABB 公司加强和扩大了原 ASEA 公司的路德维卡强电流试验站。扩建后的短路容量达到 7500MVA，可产生高至 1600kV 的任何电压，短路电流达到 80kA (有效值)。试验站能提供 4MJ 电容器放电能量。路德维卡强电流试验站成为 ABB 公司研发高压开关设备的强大试验基地。

ABB 公司原来的 BBC 公司和 ASEA 公司都以生产高压 SF₆ 断路器而称著。为了占领中压市场，ABB 公司兼并了德国 Calor Emag 公司。该公司以生产中压真空断路器而称著，这样 ABB 公司在中压领域不仅拥有 SF₆ 断路器，而且拥有真空断路器，构成无油开关的两大支柱。在厦门 ABB 开关公司成立时，ABB 公司提供的就是下属 Calor Emag 公司的真空断路器（如 VD4 型）和中置柜（ZS1 型）。

最具爆炸性新闻的是日本两家大公司——三菱公司和东芝公司联手合作。两公司于 2002 年 3 月 1 日对外宣布联合成立输变电合资公司。新成立的合资公司将替代原来两家公司在输变电销售、设计、开发和制造方面的功能，成为日本最大的输变电公司。它的业务范围和规模将达到世界前三名公司（ABB、Siemens 和 Alstom）的水平。该公司认识到，在日本国内，电力公司投资的减少使市场出现疲软。在国外，电力市场相对保持稳定，但竞争更加激烈。新合资公司的成立将进一步增强其在市场上的竞争力。新公司注册资本初始阶段为 400 ~ 500 亿日元，东芝和三菱各占 50% 股份。公司总部计划设在东京。销售额 2003 年将达到 1500 亿日元。新合资公司的高压开关设备制造厂设在川崎和伊丹。

在这之前，日本成立了 AE 帕瓦株式会社。该公司成立于 2001 年 7 月 1 日，是由日立制作所、富士电机、明电舍组成的新合资公司。资金 200 亿日元，职工 3000 多名。这样的强强联合，构成实力雄厚的输配电设备集团。

四、易地生产，服务当地电力市场

世界上一些国家如美国、加拿大等电力工业发达，但高压开关制造业并不发达。同样，许多发展中国家发展电力工业，也仰仗国外高压开关制造公司。同时，电力的发展在发

达国家仅年增 1% ~ 2%，而发展中国家电力却呈现出迅速增长的势头，如中国。为了占领国外电力大市场，高压开关制造公司在海外建立合资或独资企业，易地生产，更好地服务于当地电力市场。举例来说：

ABB 公司生产 GIS 的基地有三个：一个在瑞士，一个在德国，另一个在中国。1999 年 12 月 21 日厦门 ABB 华电高压开关公司成立，2001 年 5 月 18 日厦门 ABB 华电高压开关公司首间隔 ELK-04 型 110kV GIS 下线。

西门子公司除了德国的生产基地柏林开关厂外，在外国有 5 个 SF₆ 断路器及 GIS 生产企业。它们分别是：美国 Jackson 公司、巴西 Sao Paulo 公司、中国杭州西门子高压开关公司、印度 Aurangabad 公司及上海西门子高压开关公司。

Alstom 公司生产高压开关设备的企业主要有法国 Alstom T&D 公司、瑞士 Alstom AG 公司、德国 Alstom T&D 公司。

日本三家公司都在中国建有合资企业。

日本三菱和日新公司分别在西安和北京建有合资企业。由河南平高电气公司和日本东芝公司共同出资组建的平高东芝高压开关有限公司于 2002 年 3 月 2 日在平顶山市高新技术开发区举行开业典礼。总投资 2100 万美元，注册资金 1250 万美元，中日双方各出资 50%。新组建的河南平高东芝公司主要生产 72.5 ~ 550kV GIS、罐式断路器 (T-GCB)、复合式开关设备 (H-GIS) 等三大系列产品。2002 年将实现销售收入 1.8 亿元人民币。

中国电力工业一直高速发展，从 1997 年起，中国在装机容量和发电量方面居世界第二位。但中国高压开关制造业赶不上电力建设不断发展的需求。据有关资料统计表明，截止 1997 年底，挂网运行的 252 ~ 550kV GIS 中 76.7% 从国外

进口，其中 550kV GIS 进口量达 85%。因此，国外制造厂商看好中国高压开关的潜在市场，纷纷投资易地建厂。长江三峡左岸发电厂的 550kV GIS 39 间隔全部被 ABB 公司承包中标。

易地生产，满足当地电力市场需求，不仅交货期短，生产成本低，而且更可满足电力建设的需求。如西门子公司在欧洲建厂主要生产支柱式 SF₆ 断路器，而在美国组建的 Jackson 厂却改为生产罐式 SF₆ 断路器，因此种结构的抗震性好。

五、国外产品研发特点

世界上高压开关的生产主要集中在欧洲几大公司（如 Siemens、ABB、Alstom、Schneider 等）和日本几大公司（如三菱、东芝、日立等）。它们的产品基本上代表了世界水平。研究它们，可从中了解到世界发展水平与动向。

这些代表国外先进水平的产品，具有以下特点：

(1) 产品更新换代快。产品一般 5 年内更换 50% ~ 60%。前面已提到，1999 年初，ABB 公司召开了一次新闻发布会。会上介绍了该公司的研究与开发（R&D）工作。研究成果在其产品中占有相当大的份额。在过去的 5 年中，研究成果在输配电领域约占 50%，也就是说，新成果和新产品在 5 年产品中占 50%。

西门子公司也注重产品更新换代，新产品在 5 年中占 75%。其他公司也大概如此。

(2) 加大研发费用的投入。国外企业研究费用占销售额相当大的比例，以确保研究工作的顺利开展。据英国贸易与工业部（DTI）发布的第 8 年度研究与开发（R&D）投资报告。1997 年世界上 300 家最大企业的 R&D 投资额达 2180 亿

美元。其中西门子排行第3，投资额45.9亿美元，占销售额7.6%；日立公司排行第5，投资额39.2亿美元，占销售额5.9%；ABB公司排行第15，投资额26.9亿美元，占销售额8.5%；东芝公司排行第17，投资额25.8亿美元，占销售额6.1%；三菱公司排行第71，投资额9.3亿美元，占销售额3.8%；施耐德电公司排行第116，投资额4.4亿美元，占销售额4.2%。由以上可见，国外大公司注重科研工作，加大科研投入，加快产品更新换代。

这里为进一步说明加大研发费用投入情况，现举西门子公司为例。西门子在31个国家有研发人员56900名。2000年的研发预算超过56亿欧元（约合448亿元人民币），占总销售额的7.1%，占全德研发支出的10%，约60%的研发资金用于软件开发。总销售额的75%来自面世不到5年的产品。在移动通信领域，80%的销售额来自面世不到2年的产品。在2000年，西门子在德国专利局注册的专利位列第一，同时在世界范围内，西门子申请近7000项专利。在2000年，西门子约有发明8200项，平均每天约30项。

(3) 建立强大的试验研究基地。高压强电流试验对高压开关的开发至为重要。为了能够加快产品开发，各大公司都在加强和扩大它的强电流试验基地。

举ABB公司为例。为了研究21世纪的电力技术，该公司在过去几年中扩建瑞典路德维卡强电流试验站，并使之现代化。扩建后，短路容量达到7500MVA，可产生高至1600kV的任何电压，短路电流达到80kA（有效值）。电容器分两组，每组由装成12级塔形的电容器串联而成。最重的电容器组约为40t。两台短路发电机，短路容量总计4000MVA，额率16~60Hz。试验大厅（包括电压回路在内），