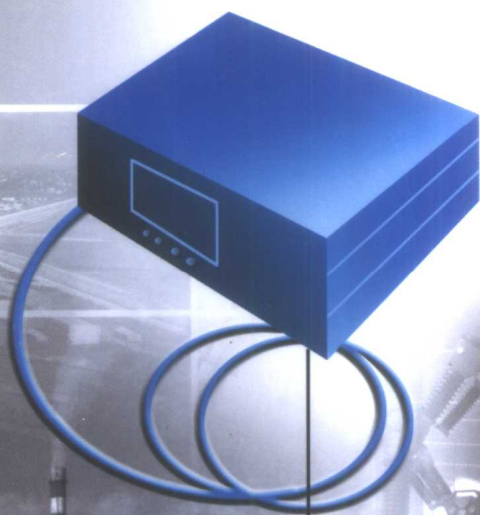


电力设备故障与诊断丛书 ●

DUANLUQI GUZHANG
YU JIANCE

断路器故障 与监测

方可行 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力设备故障与诊断丛书

断路器故障 与监测

方可行 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书对常用的高压断路器，如多油、少油、空气、真空、SF₆及气体绝缘断路器的原理、结构等基本知识作了系统的介绍，对它们的运行、维护、检修及管理进行了阐述，并在收集、整理大量故障案例及分析的基础上，结合当前检修制度改革的需要，介绍了各种监测设备状态的在线监测装置。本书实用性强，通俗易懂，层次分明，说理透彻。

本书可供从事电力运行、检修和工程技术人员的自学和培训之用，亦可作为有关院校师生的参考读物。

图书在版编目 (CIP) 数据

断路器故障与监测/方可行编著. —北京：中国电力出版社，2002

(电力设备故障与诊断丛书)

ISBN 7-5083-1250-3

I. 断… II. 方… III. 断路器-故障监测 IV. TM561

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 080961 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 4 月第一版 2003 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 16.75 印张 377 千字

印数 0001—3000 册 定价 26.00 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

断路器作为电力系统最重要的控制设备,其性能的优异与可靠直接关系到电力系统的安全运行。新技术、新设备、新材料的推广和应用,对提高电力系统的安全可靠性起很大的作用,特别是高压断路器、空气断路器、油断路器、真空断路器、SF₆断路器和GIS等各种不同种类和不同型号的断路器在不同电压等级和不同的网络结构中发挥着重要作用。为了对上述断路器有更多的了解,提高对故障和事故的识别、分析、诊断和处理的能力,本书在简单介绍各种断路器性能的基础上,搜集一些近年来的各种断路器典型的故障案例,进行了整理、编辑,希望能对广大读者起到借鉴作用。

当前电网建设发展迅速,电力设备大量增加,但减员增效势在必行。必须加强管理,考虑到改革现行的检修制度为状态检修的需要,书中比较系统的介绍了在线监测技术供大家学习、研究和应用时参考,并为适应断路器受控技术,简要介绍了智能化高压断路器。

本书从应用角度出发,力求深入浅出,避开较多的公式推导和高深的理论阐述。在编写过程中,查阅了大量文献和资料,参考、引用了许多专业工作者和有关专家提供的实例、经验总结、专题报告以及发表的文章、出版的书籍和未正式出版的资料;收录了有关同志的试验数据和研究成果,特别是汇集整理的各种断路器值得借鉴的典型故障案例与分析诊断,在此谨向他们表示诚挚的感谢。

本书由西安交通大学冯允平教授主审,并承国家电力公司金文龙、中国电力科学研究院杜彦明、袁大陆,江苏省电力试验研究院张宗九、王继,常州供电局沈镜明、董其国,苏州供电局姜祥生,徐州电业局丁杨、程真何、吕四芳等教授级高级工程师、高级工程师和专家以及西安高压开关厂总工办的专家们对编写工作给予了大力支持和热情帮助,在此深表敬意,谨致谢意。

本书乃集先贤学者之智慧,愿能启发同行之灵感,然而实为抛砖引玉。由于编者的各方面水平和能力所限,不足及错误之处恳请批评指正,不胜感谢。

编者

2002年8月

目录

前言

第一章 高压断路器	1
第一节 高压断路器的基本参数	4
第二节 高压断路器的种类	6
第三节 操动机构的种类及其特点	60
第二章 高压断路器的检修	74
第一节 高压断路器的检修管理	74
第二节 高压断路器的状态检修	79
第三节 断路器的故障诊断与人工智能技术	89
第三章 油断路器的故障及监测	105
第一节 油断路器的异常与故障	105
第二节 油断路器的监测	111
第四章 真空断路器的故障及监测	114
第一节 真空断路器的故障	114
第二节 真空断路器的监测	121
第三节 真空断路器的寿命	130
第五章 SF ₆ 断路器的故障与监测	134
第一节 SF ₆ 断路器的故障	134
第二节 SF ₆ 断路器的监测	143
第三节 SF ₆ 断路器运行注意问题	179
第六章 GIS 的异常故障及监测	187
第一节 GIS 的异常及故障	187
第二节 GIS 的监测与发展	195
第七章 高压断路器的在线监测	222
第一节 具有综合功能的状态监测装置	222

第二节 具有专项参数的在线监测装置	231
第八章 智能化高压断路器	245
附录 常用断路器型号及其主要生产厂家	255
参考文献	259

第一章

高压断路器

断路器是能开断、闭合和承载运行状态的正常电流，并能在规定时间内承载、闭合和开断规定的异常电流（如短路电流）的电器设备，通常也称为开关。IEC 标准的定义是：所设计的分、合装置应能关合、导通和开断正常状态电流，并能在规定的短路等异常状态下，在一定时间内进行关合、导通和开断。

通常将额定电压为 3kV 及以上主要用于开断或闭合电路的高压电器称为高压断路器。本章将讨论有关高压断路器的问题。

在电力系统中，高压断路器同发电机、变压器、线路等一样，都是电力系统中的重要设备。它的主要功能为：

(1) 在正常的闭合状态时应为良好的导体，不仅对正常电流，且对规定的短路电流也应能承受其发热和电动力的作用而可靠地接通；

(2) 对地及断口间具有良好的绝缘性能；

(3) 在闭合状态的任何时刻，应能在不发生危险过电压的条件下，在尽可能短的时间内开断额定电流以下的电流；

(4) 在开断状态的任何时刻，应能在断路器触头不发生熔焊的条件下，在短时间内安全地闭合规定的短路电流。

断路器的工作特点是：瞬时的从导通状态变为绝缘状态或者瞬时的从绝缘状态变为导通状态。

总之，高压断路器在电力系统中起了两方面的作用：一是控制作用，即根据电网运行要求，将一部分电器设备或线路投入或退出运行状态，转为备用或检修状态；二是保护作用，即在电器设备或线路发生故障时，通过继电保护及自动装置动作断路器，将故障部分从电网中迅速切除，保护电网的无故障部分得以正常运行。

随着电力系统运行电压的提高和断路容量的不断扩大，对断路器的断流和灭弧性能提出了更严格的要求，出现了不同原理、多种形式的断路器，如：多油断路器、少油断路器、空气断路器、真空断路器、SF₆ 断路器、SF₆ 气体绝缘金属铠装全封闭组合电器 (GIS) 等，随着科技的发展，新原理、新材料、新工艺的应用和制造水平的提高，性能优越的断路器的应用将越来越广泛，如表 1-1、表 1-2 所示。

表 1-1 1998、1999 年在同一电压等级中各类断路器所占比例 (%)

电压(kV)	550		363		252		126		72.5		40.5		24		12		27.5/55	
年 份	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
SF ₆ 断路器 (%)	100	100	100	100	84.10	81.68	58.32	66.76	16.06	89.64	30.40	47.29	78.85	60	7.58	9.91		

续表

电压(kV)	550		363		252		126		72.5		40.5		24		12		27.5/55	
年 份	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
少油断路器(%)					15.90	18.32	41.68	33.24	83.94	10.36	10.99	3.38	21.15	40	8.82	3.69		
多油断路器(%)											27.99	19.09			3.89	2.96		
真空断路器(%)											30.63	30.25			79.70	83.44	100	100

表 1-2

1999 年各类断路器产品产量

产 量 类 别	电压 (kV)									
	550	363	252	126	72.5	40.5	24	12	27.5/55	
SF ₆ 断路器 (台)	42 (11)	38 (40)	767 (660)	1209 (1058)	398 (22)	2787 (2028)	15 (41)	8373 (6334)		
少油断路器 (台)			172 (125)	602 (756)	46 (115)	199 (733)	10 (11)	3120 (7367)		
多油断路器 (台)						1125 (1867)		2496 (3247)		
真空断路器 (台)						1783 (2043)		70463 (66228)	342 (423)	
封闭式组合电器 GIS (间隔)	1 (5)	(8)	42 (94)	645 (450)	25					
敞开式组合电器 (组)			34 (2)	60 (27)						
金属封闭开关设备 (台)						3775 (3936)		72219 (66704)		

注 () 内的数字为 1998 年 208 个企业高压断路器产量的统计数据。

从上述表 1-1 及表 1-2 中可看出：

(1) 少油断路器全面减产。126kV 少油断路器减少 20.37%；72.5kV 少油断路器减少 60%；40.5kV 少油断路器减少 72.85%（比上年减少 534 台）；10kV 少油断路器减少 57.65%（比上年减少 4247 台）。少油断路器产量的逐年减少，反映了高压开关设备无油化为大势所趋。

(2) 多油断路器。40.5kV 多油断路器 1999 年产量下降 12.73%；12kV 多油断路器产量下降 23.13%。40.5kV 多油断路器产量下降是受户外 SF₆ 和户外真空断路器发展的影响；12kV 多油断路器产量下降是真空和 SF₆ 柱上断路器的迅速发展和普及的必然结果。

(3) 12kV 真空断路器比 1998 年增长 6.39%，增长幅度远小于上年的 32.65%（16300 台），且其真正增长的是户外真空断路器（柱上）。

表 1-1 为 1998、1999 年不同电压等级中各类断路器所占的比例。

从表中可以看出，1999 年度除 252kV 等级外，少油断路器所占比例均大幅度减少；40.5kV 级真空断路器所占比例基本与上年持平，SF₆ 断路器所占比例增加明显（比上年增

长 16.89%), 少油和多油断路器所占比例减幅较大; 在 12kV 产品中只有少油断路器减幅较大 (减少 5.13%), 其余产品变化较小。

表 1-2 可以看出, SF₆ 断路器市场中压产品增幅稍大, 高压产品数量比较稳定; 少油断路器 252kV 增长纯属特例, 其余电压等级都在减少。

对六种特性断路器的性能列出 22 项分别进行对比, 如表 1-3 所示。

表 1-3 六种断路器的性能对比

特 性 类 型	多油式	少油式	压缩空气式	真空式	SF ₆	GIS
1. 电压等级 (kV)	10 ~ 220	10 ~ 330	110 ~ 1150	10 ~ 35	10 ~ 1150	35 ~ 500
2. 最大开断电流 (kA)	20 以下	40 以下	50 以下	40 及以下	60 以下	60 以下
3. 单断口电压水平 (kV)	55 (55)	110 (154)	62.5 (122.5)	40.5	250 (550)	250
4. 城网改造中地位	不宜用	不宜用	不能用	可大用	可大用	可大用
5. 农网中地位	不宜用	可用	不能用	可大用	可用	可用
6. 占地 (面积和空间)	大	较大	大	小	小	很小
7. 能否发展成 GIS	不能	不能	不能	能	能	—
8. 能否快速重合闸	不能	能	能	能	能	能
9. 连续多次开断能力	不能	有限次数	十几次	8 ~ 50 次	6 ~ 20 次	≤ 20 次
10. 燃弧时间	长	长	短	短	短	短
11. 能否频繁操作	不能	不能	能	能	能	能
12. 切电容器过电压	较高	要加压油活塞	低	低	低	低
13. 切电抗器过电压			高	高	低	低
14. 噪音	较大	较大	特大	小	较小	较小
15. 有无火灾危险	有	有	无	无	无	无
16. 加工要求	低	低	高	低	很高	很高
17. 产品积木式	不能	能	能	能	能	能
18. 运输	不方便	方便	方便	很方便	方便	方便
19. 检修	很不方便	不方便	很不方便	检修周期 10 年, 很 方便	检修周期 10 ~ 15 年, 检修不方便	检修周期 10 ~ 20 年检 修不方便
20. 维护	麻烦	较麻烦	麻烦	简单	麻烦	麻烦
21. 价格	便宜	便宜	最贵	较高	较高	贵
22. 发展趋势	已淘汰, 但运行中很 多 35kV 级 仍需生产	使用最 多, 但已停 止发展	已停止发 展	在 10 ~ 35kV 中 将 成为主要发 展产品	高压、超 高压都在发 展, 有广阔 前途	高压、超 高压都在发 展, 有广阔 的使用前途

优胜劣汰, 这是自然法则, 断路器的发展历史也是这样。性能优越、价格适中、方便耐用的产品会得到用户的青睐而具有发展前途, 而与此相反的产品则前景暗淡, 终将面临被淘汰的威胁。

使用中的断路器同其他电气设备一样, 由于所用设备材料的磨损及劣化而需要更换,

各部件之间相对位置的变更超出允许范围就需要进行调整，传动部分的润滑剂也要及时添加，总之，为保证断路器的性能而必须进行定期的维护和检修；更由于断路器一般动作频繁，零部件多，所用的材料品种也多，机械结构比其他输变电设备如变压器、互感器、避雷器等更为复杂，导致它造成故障的原因、机率和部件也就比其他电气设备多，再加之由于安装、调试和维护中存在的问题和制造中留下的缺陷等都构成故障发生的因素。

断路器的状态监测和故障诊断是保证断路器可靠运行和进行有效检修的重要内容，也是在新颖理论指导下实用性很强的应用科学。在挑战传统的检修制度和完善现代检修管理的今天，以提高可靠性为中心的状态检修策略中，无论是国内还是国外，都是热门话题，都在积极的探索和实践，都在不断的完善和创新，都在努力推动电力设备的科学化管理，使之更为合理有效的、最大限度的满足全社会各行各业对电能服务的需求，并同时为电力企业创造更大的经济效益。

第一节 高压断路器的基本参数

高压断路器的特性和工作性能，可用它的基本参数来表征。

一、额定电压

额定电压是保证断路器正常长期工作的电压。产品铭牌上标明的额定电压为正常工作的线电压。我国采用的额定电压等级有：3，6，10，(20)，35，66，110，220，330，500、(750) kV 等（括号中的数值为用户有要求时使用）。

额定电压决定着断路器的绝缘尺寸，对于 35kV 以上，几乎是决定它的结构尺寸，同时也决定断路器的熄弧条件。

二、最高电压

考虑到输电线始端与末端的电压可能不同，以及电力系统调压的要求，因此，对电器又规定了与各级额定电压相应的最高工作电压。断路器应能长期在此电压下正常工作。我国采用的最高电压有：3.6，7.2，12，(24)，40.5，72.5，126 (123)，252 (245)，363，550，(800)，1200kV（括号中的数值为用户有要求时使用）。

三、额定电流

额定电流是断路器可以长期通过的最大电流。电器长期通过额定电流时，其发热温度不会超过国家标准。我国目前所采用的额定电流标准有：200，400，630，(1000)，1250，1600，2000，2500，(3000)，3150，4000，5000，6300，8000，10000，12500，16000，20000A（括号内数字尽量不采用，它们只适用于老产品）。

额定电流决定电器的发热，因而也将决定导电回路的尺寸和断路器触头的尺寸。

四、额定短路开断电流

额定短路开断电流为在规定条件下，断路器能保证正常开断的最大短路电流。规定条

件（包括恢复电压参数、非周期分量比重、短路功率因数等）都应符合标准规定。通常，断路器开断短路电流时还包括非周期分量，所以一般情况下额定短路开断电流是用触头分离瞬间电流交流分量有效值和直流分量百分数来表示的。若直流分量不超过 20%，则额定开断电流仅以交流分量有效值表示，并简称为额定短路电流值，即 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100kA。

五、额定短时耐受电流

额定短时耐受电流即额定热稳定电流，为在规定的使用 and 性能条件下，在额定短路持续时间内，机械开关在合闸位置时能承载的电流有效值。额定短时耐受电流等于额定短路开断电流。

额定短时耐受电流亦可理解为断路器在某一规定时间内允许通过的最大电流。它表明断路器承受短路电流热效应的能力。

六、额定短路持续时间

机械开关在合闸位置时能承载额定短时耐受电流的时间间隔。

220kV 及以上机械开关的额定短路持续时间为 2s；110kV 及以下为 4s，负荷开关为 2s 或 4s。

七、额定峰值耐受电流

额定峰值耐受电流即额定动稳定电流，为在规定的使用 and 性能条件下，机械开关在合闸位置时能承载的额定短时耐受电流第一个大半波的电流峰值。其后短时耐受电流持续时间不应小于 0.3s。

额定峰值耐受电流标准值等于 2.5 倍额定短时耐受电流。并且等于额定短路关合电流。

额定峰值耐受电流表明断路器在冲击短路电流作用下，承受电动力的能力，其值由导电和绝缘等部件的机械强度所决定。

八、合闸时间

处于分闸位置的断路器，从合闸回路通电起到所有极触头都接触瞬间为止的时间间隔称为合闸时间。除非另有说明，合闸时间就是直到主弧触头都接触瞬间的时间。根据 GB3309《高压开关设备常温下的机械试验》，合闸时间是从合闸命令开始到最后一极弧触头接触瞬间的时间间隔。在以前的有关标准中，合闸时间又称为固合时间。

九、分闸时间

断路器分闸时间是从接到分闸指令开始到所有极的弧触头都分离瞬间的时间间隔。根据脱扣方法的不同，具体定义如下：

(1) 对用任何形式辅助动力脱扣的断路器，分闸时间是处于合闸位置的断路器从分闸

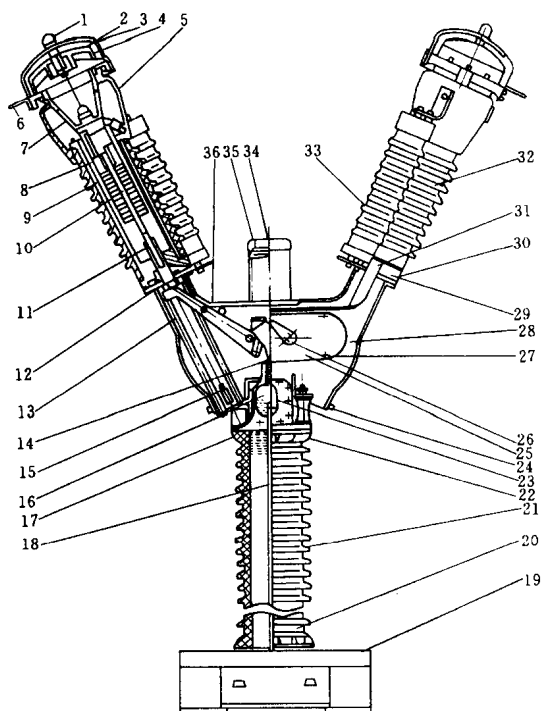


图 1-2 断路器结构图 (SW4-110)

1—螺母；2—防雨罩；3—排气阀盖；4—铝帽盖；5—铝帽；6—接线端；7—喇叭形基座；8—灭弧室玻璃钢筒；9—灭弧单元玻璃钢筒；10—动触杆；11—中间触头；12、17、27—螺栓；13—导轨；14—T字杆；15—油缓冲器；16—调节螺栓；18—绝缘拉杆；19—断路器底座；20—下瓷套；21—上瓷套；22—连接法兰；23—油位指示计；24、30—放油阀；25—罩壳；26—分合闸指示器；28—中间机构箱；29—灭弧单元基座；31—导电连接；32—灭弧单元瓷套；33—并联电容器；34—起吊孔；35—分闸弹簧；36—主拐臂

合，仍有一定市场。

电压在 110kV 及以上的户外式少油断路器，采用串联灭弧室积木式结构。图 1-2 呈 Y 形体的结构，两个灭弧室分别装在两侧，组成 V 形排列，构成双断口的结构。一个 Y 形体构成一个单元，根据电压的要求，可用几个单元串联起来。如每个单元的电压为 110 千伏，则用两个串联即成 220kV，3 个串联即成 330kV，如图 1-3 所示。这种结构的优点是：灭弧室及零部件均可采用标准元件、通用性强、使产品系列化、便于生产和维修；灭弧室研制工作量相对减少，便于向更高电压等级发展。

断路器的绝缘油在每个柱上分成三个部分，并且相互隔绝。上部灭弧单元的油作为灭弧和绝缘用，中部中间机构箱中的油作为分闸缓冲器及机构润滑油用，下部支持瓷套（支柱）中的油作为绝缘用。

SW4-220 和 SW4-110Ⅲ型少油断路器为了使各灭弧单元的电压分布均匀,在各灭弧单元上并联了 1800pF 的并联电容器,使电压不均匀系数分别可达 1.09 和 1.05。

二、压缩空气断路器（简称空气断路器）

采用压缩空气作为灭弧介质的断路器，称为压缩空气断路器。压缩空气除了作灭弧

介质外,还作为触头开断后的弧隙绝缘介质。空气断路器具有灭弧能力强、动作迅速等特点。但结构较复杂,有色金属消耗量较大,因此,它一般应用于 220kV 及以上电压的大系统中。压缩空气断路器是利用预先贮存的压缩空气来灭弧,它的灭弧性能与压缩空气的压力有关,空气压力愈高,绝缘性能愈好,灭弧性能也愈好。我国一般选用的压缩空气的压

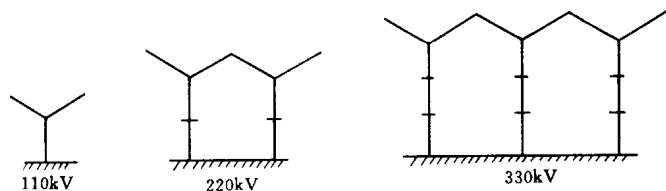


图 1-3 积木式结构示意图

力为 2MPa。

我国生产的空气断路器的型号有 KW1、KW3、KW4、KW5 型。

由于压缩空气断路器需要有气动机构作为压缩空气能量和传送能量的机构，而这种机构结构较复杂，需要体积庞大的空气压缩设备、转动设备，而且其密封部件工作可靠性较差，所以它正被性能更为优越的 SF₆ 断路器所淘汰。

三、真空断路器

真空断路器是以真空作为灭弧和绝缘介质，在真空容器中进行电流开断与闭合的断路器。真空是相对而言的，为绝对压力低于一个大电压的气体稀薄空间，真空的程度用真空度表示，亦即稀薄气体空间的绝对压力值，用 Pa 来表示。绝对压力越低，则真空度越高，要满足真空灭弧的要求，真空灭弧室出厂时真空度不低于 1.32×10^{-5} Pa，保存有效期末不得低于 6.6×10^{-2} Pa。

目前，我国的真空断路器已在 10kV 电压级开发出户内式额定电压 12kV，额定电流 4000A，额定短路开断电流 63kA，额定短路电流开断次数 16 次，机械寿命 10000 次的新产品；户外式额定电压 12kV，额定电流 630A，额定短路开断电流 20kA，额定短路电流开断 30 次，机械寿命 10000 次的三极户外真空断路器。电压 35kV、开断电流 25kA 的真空断路器也已作为油断路器的替代产品而广泛使用。

(一) 真空断路器的基本结构

真空断路器由载流灭弧装置和操动机构两部分组成。操动机构对断路器在分、合闸时，提供所需要的操作功，由于真空断路器的开距短、电弧能量小，与开断参数相同的其他断路器相比，操作功所需量远小于 SF₆ 断路器及油断路器。早期真空断路器采用电磁机构，现在多数改用弹簧机构，就机构本身而言，除机械寿命次数高外，与油断路器及 SF₆ 断路器的操动机构没有本质上的区别，因此讲真空断路器的结构特色，主要是真空灭弧室，它与油断路器或 SF₆ 断路器相比，有本质上的差异。

真空灭弧室的基本构造（如图 1-4 所示），不论德国、英国、美国与日本的各家制造厂都大致相似，但材料和触头结构方面却大不相同，且各有专利，互相保密。真空灭弧室的基本结构可分为以下几个主要部分。

1. 外壳

外壳是为真空灭弧室造成一定真空度的机械承力空间，按制造材质分为玻璃、陶瓷与金属壳（将金属屏蔽罩外露于空气中，而在两端绝缘）。我国以往使用玻璃

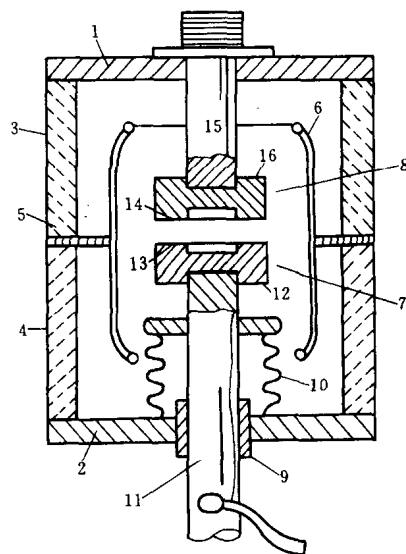


图 1-4 真空灭弧室基本结构

1—灭弧室金属上端盖；2—灭弧室金属下端盖；3—灭弧室上部陶瓷外壳；4—灭弧室下部陶瓷外壳；5—中间密封环状金属部件；6—金属屏蔽罩；7—动触子；8—定触子；9—导向管；10—金属波纹管；11—动触子导电杆；12—动触子金属基座；13—动触子铜铬合金表层；14—定触子铜铬合金表层；15—定触子导电杆；16—定触子金属基座

外壳居多,但陶瓷外壳的焙烘温度高,可实现一次排封封接工艺,易于实现机械化、自动化高效生产,而且比玻璃外壳有更高的机械强度和真空度。80年代开始,我国引进美国西屋公司的真空断路器制造技术如:采用陶瓷外壳。陶瓷外壳要求 Al_2O_3 含量大于 94%,能承受 1600℃ 高温,熔点 2030℃,故一次排封工艺的烤烘温度为 800℃,用熔点为 779℃ 的 AgCu28 作钎焊剂,焊接后强度高、密封好。同时也引进德国西门子技术制造的真空灭弧室,亦为陶瓷外壳,呈“中”字形,陶瓷制成套管,焊接于两个端部,而金属屏蔽罩外露,成为壳体的一部分,有人称之为金属外壳,采用两次排封工艺。

2. 动触头和静触头

真空断路器内的一对触头,既是闭合时的通流元件,又是开断时的灭弧元件,其几何造型和金属元素成分随制造厂而各不相同。因触头在真空环境内工作,表面不易生成氧化膜,所以要求能抗熔焊;截流值小,就要求金属饱和蒸气气压高;另一方面又要求材料含气杂质少,开断电流大,过零后介质强度要高,这又要求金属的饱和蒸气气压不能太高。这些性能要求是既苛刻而又互相矛盾的。

真空断路器的触头材料大致分成两大类:铜—铬 (Cu—Cr) 合金,主要用于高电压;铜—硒—碲 (Cu—Se—Te) 合金,用于低压大电流。欧洲大多采用铜铬,日本、美国采用铜—硒—碲较多。即使金属合金元素相同,而制造方法亦随不同制造厂而异,铜铬合金具有高开断能力,在相同触头直径下比铜硒碲合金高 10%。触头材料的成份和性能与断路器的开断性能、电压承受能力、过电压高低均有密切影响。

为提高真空断路器的开断能力,除了选择性能优良的触头材料外,还必须研究采用触头的结构型式。这些触头的共同特点是利用磁场力使真空断路器的电弧很快地运动,防止在电极触头上产生需要长时间冷却的受热区域。研究和试验证实:采用杯状触头,发展纵向磁场触头适合于开断大电流的需要。杯状触头的突出优点是在分断电流过程中,增加了横向磁场强度,使电弧沿着触杯以极高的速度运动,大大减轻触头的磨损率,从而提高分断能力。纵向磁场触头结构能提高真空断路器的开断能力,这大大地推动了真空断路器向大容量和小型化方向发展的进程。我国自行研制的纵向磁场触头结构的真空断路器已取得了较好的实用效果。

3. 波纹管

使动触头有一定的活动范围而不使灭弧室内真空空间压强发生变化,可使用金属波纹管来承受触头活动时的伸缩。真空断路器每合分操作一次,相应地使波纹管产生一次机械变形,它是真空灭弧室中最易损坏的部件,其金属材料的疲劳寿命,决定了真空灭弧室的机械寿命。

波纹管的种类很多,但实际使用的有液压成形和膜片焊接两种。液压成形波纹管形如壁厚为 0.1~0.15mm 厚的手风琴风箱。它由 1~2mm 厚的金属板拉薄为 0.1~0.15mm 厚的圆管,再经油压成形和热处理加工而成。制造材料可用不锈钢、磷青铜、黄铜等金属。其中不锈钢材料因有不易氧化,不易因受热失去弹性和耐腐蚀等优点而最常采用。液压成形波纹管的最大工作行程仅为自由长度的 20%~30%,并且因管壁厚度不均,各部分变形程度不同而影响其机械寿命,但价格比较便宜。

膜片焊接波纹管采用由 0.1 ~ 0.15mm 不锈钢片冲制成的环状膜片焊接而成, 其波数可以很大, 其工作行程可达波纹管长度的 2/3 以上。这种波纹管的疲劳寿命高, 但价格较贵。

波纹管的机械寿命是波纹管管壁疲劳破坏的极限, 其破坏主要由波纹管内部所受压力和负载行程作用下, 产生的应力变化造成的。当真空断路器开断一定次数后, 波纹管出现疲劳破坏, 管壁产生皱裂, 不再能保持真空灭弧室的气密性, 波纹管就失效了。

波纹管的疲劳寿命与它的工作行程有着密切的关系, 理论分析表明, 波纹管的疲劳寿命与工作行程的 3.5 次幂成比例。所以, 无论是在安装调试过程中还是在运行过程中, 尽可能避免波纹管的过量压缩和行程过大, 对提高真空断路器的机械寿命都是至关重要的。

4. 屏蔽罩

触头周围装设的金属屏蔽罩, 通常称为主屏蔽罩, 如图 1-4 中的 6。屏蔽罩要具有高的导热率和优良的凝结能力。屏蔽罩有三个作用:

(1) 防止燃弧过程中触头间产生大量的金属蒸气和金属粒喷溅到外壳绝缘筒的内壁, 造成真空灭弧室外部绝缘强度降低或闪络。

(2) 改善真空灭弧室内部电压的均匀分布, 提高其绝缘性能, 有利于真空灭弧室向小型化发展。

(3) 冷却和凝结电弧生成物, 使电弧的热量能通过屏蔽罩发散出去, 有助于电弧熄灭后残余等离子体的迅速衰减, 对增大灭弧室的开断能力起很大作用。

试验表明, 真空灭弧室中电弧能量的 70% 左右消耗在主屏蔽罩上, 因而燃弧时主屏蔽罩的温度升得很高。温度越高, 表面凝聚电弧生成物的能力越差。因此, 应采用导热性能好的材料来制造主屏蔽罩, 如无氧铜、不锈钢、镍或玻璃等材料。

主屏蔽罩在用铜或不锈钢两种材料制作时, 铜具有较高的导热率和优良的凝结能力, 但铜材熔点低, 和电弧生成物有较大的亲和力, 且屏蔽罩内壁上附有的金属屑会使燃弧后的灭弧室内电场分布不均匀。选用不锈钢做主屏蔽罩就能克服上述缺点。

(二) 真空断路器的特点

1. 真空断路器的优点

(1) 在密封的容器中熄弧, 电弧和炽热气体不外露。灭弧室作为独立的元件, 安装调试简单、方便。

(2) 触头间隙很小, 一般在 10mm 左右, 合闸功小, 机构可以简单, 可延长使用寿命。

(3) 熄弧时间短, 弧压低, 电弧能量小, 触头损耗小, 开断次数多。

(4) 动导杆的惯性小, 适用于频繁操作。

(5) 操作机构小, 整机体积小, 重量轻。

(6) 控制功率小。

(7) 开关操作时, 动作噪声小, 适用于城区使用。

(8) 灭弧介质或绝缘介质不用油, 没有火灾和爆炸的危险, 安全。

(9) 触头部分为完全密封结构, 不会因潮气、灰尘、有害气体等影响而降低其性能。