

真空开关

〔日〕 岩原皓一 • 吴永宽 译 张兆璉 校

煤炭工业出版社

真 空 开 关

〔日〕岩原皓一

吴永宽 译 张兆珽 校

煤 炭 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书对真空开关的工作原理、装置结构、以及在工业中的应用作了较全面的介绍。书中着重叙述了真空断路器、真空负荷开关、真空接触器的技术性能，试验方法，使用中的注意事项，以及安装调试与维护检修；并讨论了真空中的灭弧机理，操作过电压及其抑制措施。

该书内容通俗易懂，可供研制、设计、使用真空开关的工作人员阅读。

岩原皓一

真空開閉器具と適用の実際

株式会社 电气书院

1975

*

真 空 开 关

吴永宽 译 张兆璠 校

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092^{1/32}$

印张 6

字数 131 千字

印数 1—4,000

1981年 3 月 第 1 版

1981年 3 月 第 1 次印刷

书号 15035·2375 定价 0.65 元

目 录

1 概论	1
1.1 什么叫真空开关	1
1.2 真空开关的种类	3
1.3 真空开关的发展过程	6
1.4 真空开关的特点	8
2 真空中的绝缘强度和遮断原理	10
2.1 真空中的绝缘强度	10
2.1.1 真空绝缘强度	10
2.1.2 真空绝缘击穿的机理	11
2.1.3 影响真空绝缘的因素	13
2.2 真空中的电弧	15
2.2.1 小电流电弧	15
2.2.2 大电流电弧	16
2.2.3 纵向磁场中的电弧移动	17
2.3 真空中的熄弧原理	18
2.4 截断现象	22
3 真空开关的结构和工作	26
3.1 真空开关管的结构	26
3.1.1 基本结构	26
3.1.2 零部件材料	31
3.1.3 制造工艺	36
3.1.4 真空开关管的真空寿命	36
3.2 真空断路器的结构和工作	42
3.2.1 概述	42
3.2.2 7.2/3.6千伏级真空断路器	45

3.2.3	24/36千伏级真空断路器 (普通型)	49
3.2.4	缩小型真空断路器	54
3.2.5	特殊断路器	56
3.3	真空负荷开关的结构和工作	60
3.3.1	概述	60
3.3.2	柱上真空开关的结构	61
3.3.3	柱上真空开关的工作	64
3.3.4	地下用的真空开关	68
3.3.5	减震安装型真空开关	69
3.3.6	室内用真空开关	69
3.3.7	20千伏级柱上真空开关	70
3.4	真空接触器的结构和工作	70
3.4.1	真空开关管	71
3.4.2	操作电磁铁	73
3.4.3	操作机构	74
3.4.4	辅助触点组	75
3.4.5	锁钩结构	76
3.4.6	抽出型组合单元	77
4	真空开关的特性	80
4.1	真空断路器的特性	80
4.1.1	概述	80
4.1.2	技术规格	80
4.1.3	开断特性	81
4.1.4	小电流开断特性	89
4.1.5	合闸容量	91
4.1.6	短时电流容量	92
4.1.7	额定电流通电容量	93
4.1.8	耐压试验	94
4.1.9	操作特性	94
4.2	真空负荷开关的特性	96

4.2.1	额定性能	96
4.2.2	通电特性	97
4.2.3	绝缘特性	100
4.2.4	通断特性	104
4.2.5	操作特性	105
4.3	真空接触器的特性	107
4.3.1	真空接触器的使用标准	107
4.3.2	真空接触器的特性	115
5	操作过电压及其抑制方法	128
5.1	截流过电压	129
5.1.1	截流现象	129
5.1.2	截流过电压	131
5.2	反复重燃过电压	134
5.3	合闸过电压	135
5.4	操作过电压的抑制方法	136
6	真空断路器、真空负荷开关和真空接触器的应用	140
6.1	真空开关应用注意事项	140
6.2	真空断路器的选择和注意事项	143
6.2.1	概述	143
6.2.2	价格	144
6.2.3	真空开关管的寿命	146
6.2.4	关于操作过电压	146
6.2.5	在电容器回路上的应用	148
6.2.6	在高频炉回路上的应用	148
6.2.7	海拔高度的影响	149
6.2.8	周围气体的影响	149
6.2.9	低压回路上的应用	150
6.3	真空负荷开关的选择和注意事项	151
6.3.1	真空负荷开关的特点	151
6.3.2	使用条件	153

6.3.3 应用举例	154
6.4 真空接触器的选择和注意事项	161
7 维护与检修	172
7.1 真空断路器的维护与检修	172
7.1.1 检修的分类	173
7.1.2 真空断路器的检修标准	174
7.1.3 真空断路器拒动现象及处理措施	177
7.2 真空负荷开关的维护与检修	178
7.2.1 使用注意事项	178
7.2.2 检修注意事项	181
7.3 真空接触器的维护与检修	181

1

概 论

1.1 什么叫真空开关

所谓真空开关,就是近年来新出现的真空断路器、真空负荷开关和真空接触器的统称。它可以代替以往的开关设备,广泛地应用于变配电设备和工业动力方面的起动控制设备上(参见图1.1、1.2和图1.3)。

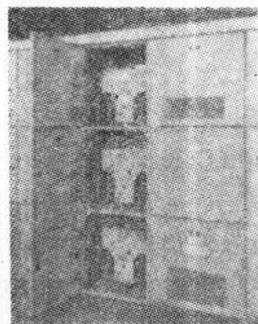


图 1.1 三层封闭式真空
断路器配电盘

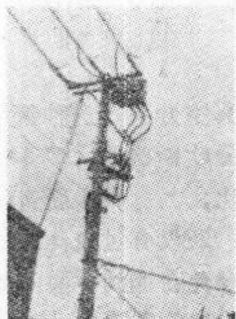


图 1.2 装在柱上的6.9千伏
-600安真空负荷开关

这种开关的触头,都是密封在一个真空的容器中,来完成交流电路的通断。其电弧不外露,非常安全,通断性能也稳定,没有人们所讨厌的大的噪声和弧光等,这些都是以往的开关设备所不具备的。

真空开关把具有优异的灭弧机能的高真空,恰当地用在

1109215

开关设备上，这就是真空开关管。按照真空开关管的通断能力，分为真空断路器、真空负荷开关和真空接触器。图 1.4 为上述各种真空开关所用的真空开关管的外形。

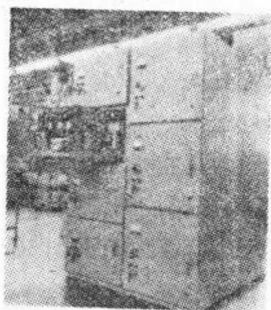


图 1.3 装有真空接触器的组合开关柜

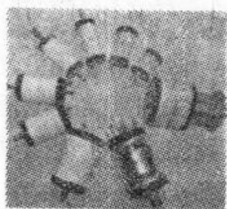


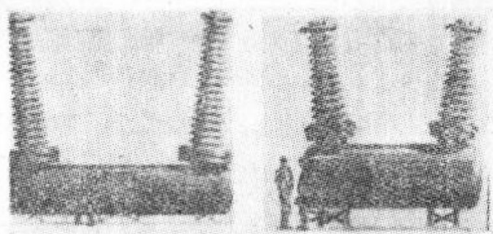
图 1.4 各种真空开关管的外形

真空开关是一种新型的开关设备，与以往惯用的油断路器、磁吹断路器、油开关以及高压空气电磁接触器等开关设备相比，具有很多新奇的地方；而在一般的开关设备的参考书中，还没有过较详细的介绍，因此在使用真空开关的过程中，难免会遇到一些问题。为此，本书将对真空开关的工作原理、结构和动作、工作特性、操作过电压及其保护方法、使用中的注意事项以及维修保养等方面，一一加以介绍。

读者可从本书了解到这种新型电器较之以往的开关设备有哪些优点，并且如何正确地使用它们。特别是近年来公害问题日益引起人们的关注，从这个观点出发，就更有必要重新评价真空开关的不用油、分断时不产生气体与熔化的金属蒸汽、无噪声和有害的弧光等优点。相信今后在控制电器方面，真空开关必将得到更广泛的应用。

1.2 真空开关的种类

油是一种很好的灭弧介质，从超高压的交流断路器到 3 千伏的开关，都可以用油来做灭弧介质。同样，也可以把真空灭弧原理应用到这一电压范围的交流断路器上。随着电真空技术的发展，现已由简单的真空开关经过高压交流接触器、配电用的真空开关、小容量断路器，而发展到额定电压为 24~36 千伏的真空断路器，并已产品化。72 千伏级单断点的真空开关管也试制出来了，8 个断点的 132 千伏~3500 兆伏安的真空断路器已由英国 GEC 公司制造出来。美国的 GE 公司也在计划制造 145 千伏、362 千伏和 800 千伏的真空断路器，图 1.5 为该设想的 362 千伏和 800 千伏的真空断路器的外形。



a、800 千伏真空断路器 b、362 千伏真空断路器

图 1.5 GE 公司制造的 800 千伏和 362 千伏的真空断路器外观（设想图）

真空开关一方面向着高压方向发展外，另一方面由于它具有在真空容器中灭弧、电弧和炽热气体不外露、动作行程短、体积小重量轻等特点，不仅可以用来代替以往的交流断路器、负荷开关和高压交流接触器等，而且还可以预想到下述一些新的用途，并可做出相应的产品来：

1. 作为变压器负荷时的调压开关。

2. 作变压器内部的自动遮断装置,代替配电线路变压器的保护熔断器,从而使柱上变压器和保护装置一体化,省掉许多接线和安装部件,同时又美化了街道。图 1.6 示出其中一例。

3. 变电所的负荷开关以往都装在机壳里,而现在可以直接装在母线管内,见图1.7。

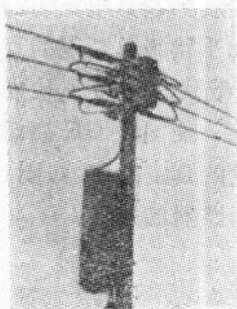


图 1.6 内装避雷器和自动遮断装置的柱上变压器



图 1.7 装在母线管内的真空负荷开关

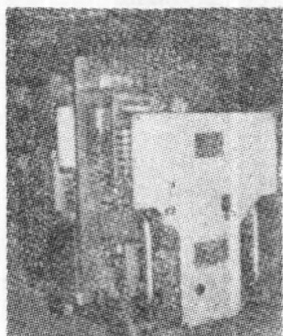


图 1.8 7.2千伏-600安-150兆伏安的真空断路器

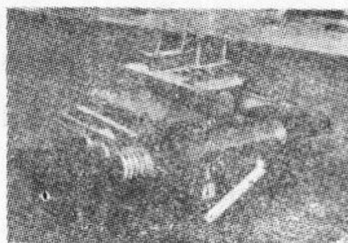


图 1.9 7.2千伏-400安手动操作柱上真空负荷开关

本书在用来开断交流电路的真空断路器 和负 荷开关方 面，将着重介绍做配电用的真空负荷开关，和作为高压交流 电磁接触器用的真空接触器。

表1.1为日本目前使用的真空断路器、真 空负 荷 开 关和 真空接触器的规格范围。典型产品照片如图1.8、1.9、1.10 所示。

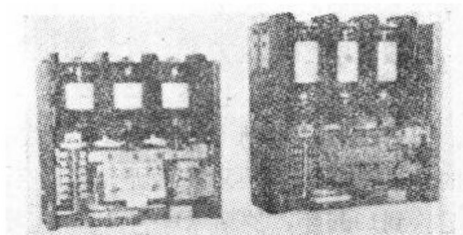


图 1.10 3.3千伏和6.6千伏高压真空接触器

表 1.1

种 类	额定电压 (千伏)	额定电流 (安)	额定开断 电 流 (千安)	寿 命
真空 断 路 器	3.6	400	8 } 40	普通用断路器的机械寿命为 10^4 次，为 满足频繁操作要求，产品做到寿命为 10^5 次。开断短路电流可达20次
	7.2	600		
	12	1200		
	24	2000		
	36	3000		
真空 负 荷 开 关	7.2	200	2 } 4	用于配电，次数不必太多 手动： 3×10^5 次 自动： 5×10^5 次
		300		
		400		
		600		
真空 接 触 器	3.3	200	20 } 50	机械的： 0.25×10^6 次 $\sim 2.5 \times 10^6$ 次 电气的： 2.5×10^5 次 $\sim 5.0 \times 10^5$ 次
	6.6	300		
		400		
		600		

1.3 真空开关的发展过程

很早以前，人们就发现了真空对交流电弧的灭弧作用。早在1893年，里藤豪塞（Rittenhause）曾为此获得专利，但是它的应用还是以后的事情。1926年，加利福尼亚工学院的索伦森（Sorensen）教授发表了关于真空开关的试验结果，并预言应用真空开关的时代不久就会到来。由于当时的真空技术还很落后，使真空开关在工业上的实际应用大大被推迟了。

20年后，即1946年，科勒（R·Koller）又发表了真空开关基本性能的学术论文，于是又重新研究起真空开关在工业上的应用问题。到1956年，罗斯（H·C Ross）对杰宁无线电制造公司生产的用于高频回路的真空开关管进行了改造，试制出用于电力回路上的真空开关，并发表了在电力系统上应用的试验结果。

后来，除GE公司外，又有很多制造厂家从事产品的研制和基本原理上的研究，从而迎来了今天的真空开关时代。真空开关之所以能作为工业产品来制造，是由于真空检漏装置的发明，金属除气工艺的发展，能将真空侧与大气侧可动地隔开的波纹管技术的进步，以及玻璃外壳与金属密封技术的提高等，起了重要作用。特别是二次世界大战后，这方面的技术发展得更为迅速。在这之前，由于这些技术没有相应地跟上，发展得较为缓慢。

在美国技术迅速发展的推动下，1960年前后，日本的东芝、日立也开始了真空开关的研制工作，到1956年，先后制造出真空开关和真空断路器，图1.11为日本最早的真空开关，图1.12为日本最早的真空断路器。

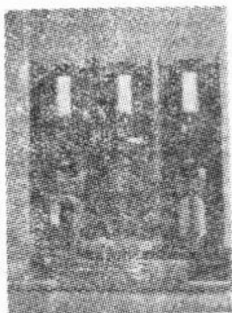


图 1.11 日本最早的真空开关



图 1.12 日本最早的真空断路器

以后，真空开关又发展到配电用的真空负荷开关和真空接触器。过去用油开关作为6千伏配电线路的分区开关，由于受水浸或雷击，内部跳火时常引起油着火，并象雨一样地溅落到地上，给人们造成危害。电力公司认定真空开关是防止这一公害的最好措施，大量地加以采用。这样一来，进一步促进了日本的真空开关技术的发展。本来美国在这方面是领先的，现在日本已居于世界首位。

真空开关在日本的实际使用情况也是很引人注目的。英国、南非、新西兰等国家，从日本引进技术，目前也达到了世界一流水平。

在研制初期，真空断路器还只限于小容量的，而后来对真空断路器的机构作了充分的研究，现在从电压3~30千伏这一范围内都可以制造，额定电流最大可以作到3000安，额定分断电流最大可达40千安。中压级的断路器作为一个分支也受到重视。特别是额定电压在24~36千伏级的真空断路器，最近取代了空气断路器。由于空气断路器有噪音公害问题而逐渐不受欢迎，必然要被真空断路器所取代。图1.13为36千伏的真空断路器的一个外形。

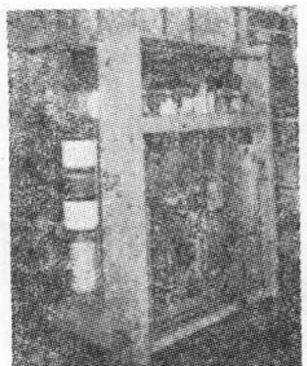


图 1.13 36千伏-1500兆伏安真空断路器

1.4 真空开关的特点

真空开关的优缺点分列如下:

优点

1. 在密封的容器中熄弧,电弧和炽热气体不外露。
2. 触头间隙很小,几毫米至40毫米以下。
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,动作声音很小,无噪音,适于城区使用。
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。工作可靠,通断性能稳定。

10. 在真空开关管的使用年限内，触头部分不需要维修、检查，即使维修检查，所需时间也很短。

缺点

1. 由于断流性能很强，分断时，将产生较高的浪涌电压。——当用来操作耐过电压水平低的干式变压器或小容量电动机时，要根据耐压标准加装浪涌保护或抑制器，这样就不会有问题。

2. 当真空度降低，遮断性能也要降低。——生产厂家在制造过程中对此是做得十分精细的，所以不必为此担心。万一遇到这种情况，可用验电笔或通过触头间的耐压试验进行检查，是能够检查出来的。另外，在后面还要提到的一些产品中，有的当一相因真空度降低时，使其释放，并不能再合闸，为安全起见，制造时已给予充分注意。

3. 造价高。——如从使用其它类型开关的可靠性，以及安装后的维护费用综合来考虑，使用真空开关的费用也不算高。



真空中的绝缘强度和遮断原理

2.1 真空中的绝缘强度

2.1.1 真空绝缘强度

一般情况下，气体的火花电压的理论公式按培斯陈 (Paschen) 定律可表示为式 (2.1)，它与实验数值极为接近：

$$V_s = B \frac{P \cdot d}{\ln \left\{ \frac{A \cdot P \cdot d}{\ln \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right)} \right\}} \quad (2.1)$$

式中 P —— 压力， d —— 间隙距离， γ —— 二次电子发射系数， A 、 B —— 常数。

但是，该定律仅在 $Pd = 1 \sim 2000$ 毫米·托^① 的范围内才成立，在 $Pd = 1$ 毫米·托以下，或 $Pd = 2000$ 毫米·托以上的条件下则不成立。这里所说的真空绝缘强度是指间隙的距离为几十毫米，压力在约 10^{-3} 托以下范围内的现象，相当于前一种情况。在这一范围内，如果间隙的距离一定，火花电压保持一定，与压力无关，该值的大小仅取决于触头材料。通常，硬金属的绝缘强度要高一些。

各种触头材料的真空绝缘强度如表 2.1 所示。压力与绝缘强度的关系如图 2.1 所示。

① 托 (Torr) —— 真空压力单位，1 托 = 1/760 毫米汞柱 —— 译者注