

# 电气运行工人技术问答

高低压电器

杨传箭

水利电力出版社

732

## 内 容 提 要

本书以问答的形式,介绍了高、低压电器的运行知识。书中对电气运行工人在操作、巡视、维护、处理事故等工作中所遇到的有关高、低压电器运行的实际问题,着重从物理概念上作了解答。全书共分为高压断路器、隔离开关和负荷开关、低压开关、熔断器、过电压保护设备、电抗器、电力电容器、母线、电力电缆、蓄电池十部分。

本书可供电力系统及其他部门中具有一定电气运行实践经验的电气运行工人自学时使用,也可供其他从事电气工作的人员参考。

### 电气运行工人技术问答

#### 高 低 压 电 器

杨传箭

\*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 32开本 6.125印张 129千字

1989年8月第一版 1989年8月北京第一次印刷

印数00001—14130册

ISBN 7-120-00859-5/TM·239

定价2.75元

## 前 言

为了满足广大电气运行工人不断提高技术水平的需要，特编写了《电气运行工人技术问答》一套丛书。书中对电气运行工人在监盘、操作、巡视、维护、处理事故等工作中所遇到的问题，以及学习规程时可能碰到的疑难，着重从物理概念上作了解答。书中选题尽量做到有针对性和实用，解答力求深入浅出，在保持科学性的同时，注意了通俗性。读者可以此为“桥梁”，在掌握一些基础知识后，进而查阅分析更深的读物。

《电气运行工人技术问答》分若干分册出版，它们既独立，又有联系。《同步发电机》、《变压器》、《电动机》、《继电保护》分册均已出版，本书是《高、低压电器》分册。

《高、低压电器》分册的题目范围，包括高压断路器、隔离开关、负荷开关、低压开关、熔断器、过电压保护设备、电抗器、电力电容器、母线、电力电缆、蓄电池的原理、简单结构和运行。本册初稿承华北电力试验研究所李民厚高级工程师审阅，在此对他表示衷心的感谢。

由于本人水平所限，书中错误在所难免，敬请读者批评指正。

杨传箭

1987.8.24.北京。

# 目 录

## 前言

## 高 压 断 路 器

1. 电力系统中的高压断路器有什么作用？对它有何基本要求？…………… ( 1 )
2. 如何理解高压断路器铭牌上所列的各个项目？…………… ( 1 )
3. 断路器触头间的电弧是怎样产生的？…………… ( 4 )
4. 怎样熄灭电弧？…………… ( 5 )
5. 现代高压断路器有哪几类？其特点和使用范围如何？…………… ( 6 )
6. 少油断路器和多油断路器的主要区别是什么？…………… ( 8 )
7. 交流电过零点电弧不就自然熄灭了吗，还要复杂的灭弧方法干什么？…………… ( 9 )
8. 多油断路器的灭弧原理如何？…………… ( 11 )
9. 少油断路器的灭弧原理如何？…………… ( 13 )
10. 影响油断路器灭弧性能的因素有哪些？…………… ( 22 )
11. 为什么有的高压断路器有多个断口？…………… ( 23 )
12. 多断口断路器的断口处并联电容器有什么作用？…………… ( 24 )
13. 断路器断口并联电阻的作用是什么？…………… ( 26 )

14. 压缩空气断路器的灭弧原理如何? ..... ( 30 )
15. 六氟化硫( $\text{SF}_6$ )是一种什么样的气体? 为  
什么用它来作为断路器的灭弧介质呢? ..... ( 34 )
16.  $\text{SF}_6$ 断路器的灭弧原理如何? ..... ( 36 )
17.  $\text{SF}_6$ 全封闭组合电器有什么优点? ..... ( 39 )
18. 磁吹断路器的灭弧原理如何? ..... ( 40 )
19. 真空断路器的灭弧原理如何? ..... ( 42 )
20. 开断交流电路的断路器能否用来开断直流  
电路? ..... ( 46 )
21. 断路器开断单相电路和开断三相电路时灭  
弧情况有区别吗? ..... ( 47 )
22. 为什么按开断能力选择的断路器在运行中  
也有发现开断困难的现象? ..... ( 48 )
23. 高压断路器的操动机构有哪几种类型, 各  
有什么优缺点? ..... ( 51 )
24. 对高压断路器的操动机构有哪些基本要  
求? ..... ( 53 )
25. CY3型液压操动机构的工作原理如何? ...  
..... ( 56 )
26. CT6-X型弹簧储能操动机构原理如何? ..... ( 61 )
27. 高压断路器为什么都装有缓冲器? ..... ( 63 )
28. 高压断路器的触头是什么材料制成的? 什  
么叫触头的电磨损? ..... ( 64 )
29. 影响高压断路器触头接触电阻大小的因素  
有哪些? ..... ( 65 )
30. 为什么断路器在关合短路时有时会产生触  
头焊接现象? ..... ( 68 )

- 31.为什么要监视断路器的油位？ ..... ( 69 )
- 32.在运行中为什么要监视空气断路器吹风装置压力指示器中小球的位置(应在两红线之间)？ ..... ( 69 )
- 33.高压断路器一般允许分合多少次？ ..... ( 70 )
- 34.环境条件会不会对高压断路器的安全运行有影响？ ..... ( 72 )
- 35.对运行中的高压断路器重点检查什么？ ..... ( 73 )
- 36.高压断路器大修后运行人员重点检查什么项目？ ..... ( 74 )

### 隔离开关和负荷开关

- 37.隔离开关在电力系统中起什么作用？它可开断哪些电路？ ..... ( 76 )
- 38.对各类隔离开关的应用是如何考虑的，有何要求？ ..... ( 77 )
- 39.短路电流通过隔离开关需要考虑什么问题？ ..... ( 78 )
- 40.为什么在隔离开关操作后要注意将操作机构锁住？ ..... ( 78 )
- 41.为什么GN10-20型隔离开关的静触座和闸刀用“Π”形紫铜板制成？ ..... ( 79 )
- 42.为什么一些户外高压隔离开关触头处有消弧杆，而运行中发现消弧杆顶端有“嗤、嗤”放电声并有蓝色光圈（晚上观察）？ ..... ( 80 )
- 43.为什么停电时先拉负荷侧隔离开关，而送

- 电时先合电源侧隔离开关？……………（80）
44. 操作中误拉、误合隔离开关怎么办？……  
……………（81）
45. 负荷开关有何特点？……………（81）

## 低 压 开 关

46. 电厂里常用的低压开关有哪几类？……………（83）
47. 各类刀开关有何共性和有何特点？如何选用？  
……………（83）
48. 接触器有什么用途和特点？……………（84）
49. 接触器的技术参数有哪些？这些参数与运行有何关系？……………（85）
50. 如何分析各种接触器的结构？……………（89）
51. 接触器在运行中铁芯噪声过大或发生振动的  
原因是什么？应怎么办？……………（91）
52. 接触器线圈过热甚至烧毁可能是什么  
原因？……………（91）
53. 接触器触头严重发热是什么原因？……………（92）
54. 接触器铭牌上型号的含义是什么？……………（92）
55. 磁力起动器有什么特点？……………（93）
56. 磁力起动器铭牌上型号的含义是什么？…  
……………（94）
57. 热继电器的工作原理怎样？……………（95）
58. 如何选择热继电器？……………（97）
59. 何种场合采用自动空气开关？它有什么  
特点？……………（98）
60. 自动空气开关的灭弧系统是怎样灭弧的？

- ..... ( 100 )
61. 自动空气开关的主要技术参数有哪些？  
..... ( 103 )
62. 为什么有的自动空气开关一极有三套触头？  
..... ( 105 )
63. 限流式自动空气开关有什么特点？ ..... ( 106 )
64. 所谓漏电保护自动空气开关是怎么回事？  
..... ( 108 )

## 熔 断 器

65. 熔断器的作用是什么？它可分多少种类？  
..... ( 110 )
66. 熔体用什么材料制成？有何特点？ ..... ( 111 )
67. 熔断器的熔断过程怎样？如何熄弧？ .....  
..... ( 113 )
68. 什么是熔断器的安秒特性？它有何用？ ...  
..... ( 114 )
69. 熔断器有哪些主要技术参数？ ..... ( 115 )
70. 有的熔断器技术参数表中列上过电压一项，  
这是怎么回事？ ..... ( 116 )
71. 无填料封闭管式RM10系列熔断器的熔断  
过程怎样？ ..... ( 117 )
72. 有填料封闭式熔断器在结构、熔断过程方面  
有何特点？ ..... ( 118 )
73. 用于保护电压互感器的高压熔断器有什么  
特点？ ..... ( 120 )
74. 什么是自复式熔断器？ ..... ( 120 )



75. 户外角型熔断器怎样断弧？…………… (122)
76. 户外自动跌落式熔断器怎样工作？…………… (122)
77. 怎样选用熔断器？…………… (122)
78. 在运行工作中对熔断器要注意什么？ ……  
…………… (124)

## 过电压保护设备

79. 什么叫过电压？由哪些原因引起过电压？  
…………… (125)
80. 避雷针起什么作用？…………… (127)
81. 避雷器有几种？各有什么作用？…………… (127)
82. 放电间隙有何特点？如何工作？…………… (128)
83. 管型避雷器的构造及工作原理如何？ ……  
…………… (129)
84. 阀型避雷器的构造及工作原理如何？ ……  
…………… (130)
85. 氧化锌避雷器有什么优点？…………… (134)

## 电 抗 器

86. 电抗器起什么作用？…………… (135)
87. 为什么采用分裂电抗器？…………… (136)
88. 垂直装设的三个电抗器为什么中间一相线圈与上下两相线圈的绕向相反？…………… (137)
89. 消弧电抗器的结构有什么特点？…………… (137)
90. 为什么消弧电抗器有铁芯,而限制短路电流用的电抗器没有铁芯？…………… (139)
91. 为什么中性点用消弧电抗器接地系统一般

- 采用过补偿方式？..... (139)
92. 对消弧电抗器的运行要注意哪些问题？ ...  
..... (140)

## 电 力 电 容 器

93. 电力电容器分几类？各有什么用途？ .....  
..... (142)
94. 为什么说电容器是无功功率的电源（无功  
补偿原理）？..... (143)
95. 电容器的电容值与无功容量之间的关系  
怎样？..... (145)
96. 电容器组有几种接线？各种保护装置又如  
何配置？..... (145)
97. 电容器组为什么要并联放电电阻？其阻值  
应如何选择？..... (146)
98. 电容器组合闸涌流有多大？有何影响？ ...  
..... (147)
99. 运行电压对电容器有什么影响？..... (148)
100. 电容器在什么情况下会遇到过电压？.....  
..... (150)
- 电容器的运行要注意什么？..... (152)

## 母 线

102. 为什么有的采用铜母线，有的采用铝母  
线？..... (153)
103. 为什么有的母线截面是矩形的，有的是圆  
形的？..... (153)

104. 为什么大容量发电机的出线、母线采用菱形或槽形或水内冷母线或封闭母线？ ..... (155)
105. 母线为什么要装伸缩补偿器？ ..... (156)
106. 为什么固定母线的部分金具采用非磁性材料？ ..... (157)
107. 单母线、双母线、发电机-变压器组接线各有什么优缺点？ ..... (157)

## 电 力 电 缆

108. 与架空线相比电缆有什么优缺点？ ..... (159)
109. 电力电缆主要的有哪几类？ ..... (159)
110. 油浸纸绝缘电力电缆的结构如何？ ..... (160)
111. 怎样辨识电缆的型号？ ..... (162)
112. 对电缆终端头和中间接头有何要求？ .....  
..... (164)
113. 常用的几种电缆终端头怎样制成？ ..... (164)
114. 为什么单芯交流电缆不能有钢铠？电缆外皮为什么要接地？ ..... (166)
115. 电力电缆运行时容许的最高温度是多少？  
..... (166)
116. 对电力电缆的运行要注意什么问题？ .....  
..... (168)
117. 怎样测量电缆端头连接处的温度？ ..... (169)
118. 电缆线路停电后要注意什么？ ..... (169)

## 蓄 电 池

- 119. 为什么用蓄电池作为操作电源? ..... (170)
  - 120. 铅蓄电池的充、放电工作原理是怎样的? ..... (170)
  - 121. 蓄电池容量的含义是什么? ..... (173)
  - 122. 蓄电池的使用寿命与什么因素有关? .....  
..... (174)
  - 123. 蓄电池为什么有自放电(局部放电)现象? ..... (175)
  - 124. 蓄电池为什么不能放电过度和充电过度? .....  
..... (175)
  - 125. 为什么一般电厂的蓄电池组运行方式采用浮充制? 而又为什么要进行均衡充电和定期放电? ..... (176)
  - 126. 浮充电流应该多大较合适? ..... (177)
  - 127. 对蓄电池的巡视应重点注意什么? ..... (178)
  - 128. 蓄电池的短路是怎样引起的? 有何现象? .....  
..... (180)
  - 129. 蓄电池的反极是怎样引起的, 如何发现? .....  
..... (181)
  - 130. 在蓄电池运行工作中要了解哪些安全常识? ..... (181)
-

# 高压断路器

## 1. 电力系统中的高压断路器有什么作用？对它有何基本要求？

高压断路器在电力系统中主要有两方面的作用：第一，控制作用，即利用它的开、合，将电力设备或线路投入、退出运行；第二，保护作用，即当电力系统发生故障时，利用高压断路器迅速地将故障部分从系统中切除，保证电力系统的正常运行。

由于断路器工作在高电压、大电流的电力系统中，又担负切断工作电流和短路电流的任务，再加上电力系统的运行状态和负载性质是多种多样的，它所安装的自然环境也会对其工作性能产生影响，因此，对高压断路器的基本要求是：在铭牌规定的开断能力范围内应能可靠地熄灭电弧；有尽可能短的开断时间；在周围环境各种条件作用下能可靠工作；结构简单，便于运行中监视和操作，维修方便；具有防火、防爆性能；体积小，重量轻。

## 2. 如何理解高压断路器铭牌上所列的各个项目？

### 一、型号

型号是表明其类型及一般参数的标志。我国生产的断路器已采用统一的编类法，文字符号采用拼音字母，第一个字母表示类型，如S表示少油式，D表示多油式等。第二个字母是指屋内装置(N)或屋外装置(W)。第三位的数字是同一型式中的设计序号。横线后的数字是电压等级。如SN2-10/1000-

350, 代表少油、屋内、2型、10kV的断路器。斜线后的两个数字, 前者为额定电流(A), 后者为断流容量(MVA)。在标明电压的数字后如有字母则系补充说明, 如SW3-110G, 代表少油、户外、3型、110kV的改型(G)断路器。

当然, 国外来的断路器, 其型号就有些不同了。

## 二、额定电流

指长时间通过的最大容许工作电流。

## 三、额定电压

指绝缘部分能长期承受的最大容许工作电压。

## 四、额定开断电流

指在额定电压下, 断路器能可靠开断的最大电流。它是表征开断能力的参数, 其数值决定于断路器触头最初分开时全电流的有效值:

$$I_{k.} = \sqrt{I_j^2 + I_d^2}$$

式中  $I_{k.}$ ——额定开断电流;

$I_j$ ——触头分开后第一周期中, 短路电流交流分量的有效值;

$I_d$ ——触头分开后第一周期中, 直流分量的平均值。

额定开断电流是断路器开断能力的标志之一, 也可用额定开断容量来表达开断能力。对于三相断路器, 额定开断容量和额定开断电流的关系如下:

$$S_{k.} = \sqrt{3} U_n I_{k.}$$

式中  $S_{k.}$ ——额定开断容量;

$U_n$ ——断路器的额定电压。

当断路器用于低于额定电压的电路中时, 其开断电流不应大于额定开断电流。

### 五、额定合闸电流

断路器有可能在电路存在短路时闭合，应用自动重合闸时更有这种可能。额定合闸电流就是，断路器在额定电压下，利用相应的操动机构可靠闭合而不致发生触头熔接或其他损伤的最大电流。它是指闭合后第一个周期内可能出现的短路电流冲击值（峰值）。

### 六、开断时间

电力系统发生故障后，要求继电保护装置和断路器动作越快越好。这样，切除短路点，既可减轻短路电流对电力设备的损害，又可增加电力系统运行的稳定性。所以，开断时间是高压断路器的一个重要参数。开断时间 $t_R$ （单位：秒）指的是从断路器接到分闸信号（分闸线圈接受到断路脉冲）开始，到短路电流终止即电弧熄灭为止的全部时间。从断路器接到分闸信号到触头分离这一段时间称为固有分闸时间；从触头分离到各相电弧熄灭的时间称为燃弧时间。

开断时间主要决定于灭弧装置的结构。对于同一断路器，当电流大小不同时，开断时间也不同。通常把开断时间大于0.12s（秒）者称为低速断路器；小于0.08s者称为高速断路器。

### 七、额定动稳定电流和额定热稳定电流

断路器在开断短路故障或进行自动重合闸时，不应因电动力的冲击和发热而造成损坏。其中应该注意的是，当断路器还在闭合位置时，在不少于一个周期的时间内，应能承受短路电流冲击值的作用，且此时不应有触头的熔接现象。所谓额定动稳定电流，是一个峰值电流，在这个容许的最大的峰值电流作用下，所产生的电动力不致损坏断路器。所谓额定热稳定电流，是指在制造厂给定的时间内，产生容许热量

的最大通过电流（有效值）。

对于断路器来说，额定动稳定电流 $i_{ds}$ 、额定热稳定电流 $I_{rs}$ 、额定开断电流 $I_{ke}$ 、额定合闸电流 $i_{he}$ ，都是同一短路电流在不同操作情况下，或不同时刻出现的电流有效值或峰值。各电流额定值间的关系如下：

$$i_{he} = i_{ds}$$

$$I_{rs} = I_{ke}$$

$$i_{he} = 1.8 \times \sqrt{2} I_{ke} = 2.55 I_{ke}$$

以上所列的是断路器铭牌上可能有的表征断路器性能的参数，不同类型的断路器铭牌还根据特点列出其他项目，这里不再赘述。

### 3. 断路器触头间的电弧是怎样产生的？

电路中的断路器开断时，只要电流大于80mA、电源电压大于10V，在断路器的动、静触头间就会出现电弧。而电弧的弧柱中含有大量的自由电子，故电弧是能导电的。触头分开后，电流以电弧的方式继续存在，一直到电弧熄灭，触头的间隙成为绝缘体，电流才全停止。

电弧是怎样产生的呢？或者说动、静触头间的气体或其他绝缘介质为什么会变成导电的呢？

断路器的触头是由金属材料做成的。我们知道，在常温下，金属内部就存在大量运动着的自由电子。当触头快要分开时，只剩下少数点的接触，接触电阻很大，电流集中通过这些接触点，引起接触点附近温度迅速升高。高温的阴极表面能够向周围空间发射电子（这叫热电子发射）。当触头分开时，电源电压加在动、静触头间很小的间隙上，造成触头电极附近很强的电场强度。在电场强度高达 $10^6 \text{V/cm}$ 时，



可能从极面拉出自由电子（这叫强电场发射）。由高温和强电场作用下发射出的电子，在电场力作用下，高速运动撞击触头间气体的中性质点，并从其中击出电子，使中性质点游离成正离子和新的自由电子，这个现象称为碰撞游离。

碰撞时，电子的动能传递给气体原子（中性质点），使触头间气体的温度显著增加，气体原子的热运动加剧。当温度升高到 $3000\sim 4000^{\circ}\text{C}$ 以上时，它们的互相碰撞也会产生电子和正离子，这个现象称为热游离。

在上述两种游离的作用下，触头间有了大量的自由电子，原来绝缘的气体间隙变成了导电通道，形成电弧。也可以说，这时介质被击穿，开始了弧光放电。

电弧形成后，弧柱温度达 $7000^{\circ}\text{C}$ 以上。在弧光放电时，电弧电压或者说弧柱的电场强度很低，通常只有 $10\sim 20\text{V}/\text{cm}$ ，故弧柱中的自由电子主要靠热游离产生。

触头电极的表面受到正离子的轰击，温度常常超过金属的汽化点，致使电弧中出现金属蒸气，弧柱的电导将大大增加，这是不利于电弧熄灭的。

#### 4. 怎样熄灭电弧？

从上题分析可知，电弧产生以前的过程，也就是触头间气体介质产生游离的过程。弧光放电时，在游离进行的同时，也有相反的过程，即去游离过程。去游离有两种方式，一是带电质点（电子和正离子）的再结合；一是它们从放电间隙中扩散出去。我们可以利用电弧中游离和去游离的矛盾，来熄灭触头间的电弧。若能减弱热游离的进行，加强再结合和扩散的作用，即帮助去游离过程加速进行，就会达到灭弧的目的。