

电力机车丛书

# 主断路器



中国铁道出版社

# ZHUDUANLUQI

统一书号: 15043·5324

定 价: 0.65 元

电力机车丛书

# 主 断 路 器

陈 开 运 编

中 国 铁 道 出 版 社

1984年·北京

## 内 容 提 要

本书从设计角度介绍电力机车、动车用主断路器的技术要求、灭弧原理、结构选择、动作原理以及使用维护要求等，并对主断路器发展方向作一简单介绍。

本书主要为从事主断路器的设计、使用、检修的技术人员及工人提供理论基础，也可供教学参考。

电力机车丛书

### 主 断 路 器

陈开运、编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 张贵珍 封面设计 刘景山

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168 $\frac{1}{32}$  印张：3.25 字数：82千

1984年7月第1版 1984年7月第1次印刷

印数：0001—5,000册 定价：0.65元



# 前 言

本书乃是一本介绍交流电力机车、电动车组用的高压断路器(包括操动机构)的技术书籍。本书从电力机车、电动车组对断路器提出的技术要求开始介绍,并对有关的电弧理论、断路器的工作过程、具体结构设计及使用维护等加以阐述,对今后的发展提出一些看法。

与牵引电机、牵引变压器相比,高压断路器的理论还比较粗糙,不够系统,也没有成套的设计计算方法;况且随着断路器的发展,各种新灭弧介质的断路器不断诞生,也增添了各种新的理论知识,因而在理论上总显得有些不足。

由于编者的工作经验不多,收集的资料也有限,再加上时间仓促,书中存在不妥之处实属难免,希读者予以批评指正。

编 者

1 9 8 3 .12.

# 目 录

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>第一章 概 述</b> .....              | 1  |
| 一、主断路器的用途 .....                   | 1  |
| 二、主断路器的主要技术要求 .....               | 1  |
| 三、电力机车、动车用主断路器的特点及目前采用的主要型式 ..... | 8  |
| <b>第二章 电弧理论与消弧方式</b> .....        | 9  |
| 一、电弧的物理特性 .....                   | 9  |
| 二、影响电弧稳定的各种因素 .....               | 13 |
| 三、交流电弧的现象 .....                   | 17 |
| 四、交流电弧的开断 .....                   | 18 |
| 五、交流电弧的熄灭 .....                   | 21 |
| <b>第三章 主断路器的分断负荷</b> .....        | 24 |
| 一、恢复电压的基本概念 .....                 | 24 |
| 二、短路故障电流的计算 .....                 | 30 |
| 三、短路故障开断时的恢复电压 .....              | 34 |
| 四、开断变压器空载电压时的恢复电压 .....           | 37 |
| 五、并联电阻的作用 .....                   | 41 |
| 六、非线性电阻的应用 .....                  | 49 |
| <b>第四章 主断路器的结构与动作原理</b> .....     | 54 |
| 一、灭弧室及非线性电阻 .....                 | 54 |
| 二、隔离开关 .....                      | 69 |
| 三、储气缸及控制传动装置 .....                | 71 |
| 四、TDZ1-200/25型主断路器动作过程综述 .....    | 81 |
| 五、其它附属装置 .....                    | 82 |
| 六、ASEA公司生产的机车用主断路器 .....          | 83 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第五章 使用和维护</b> .....       | 85 |
| 一、各部分的保养要点与注意事项.....         | 85 |
| 二、检查、试验方法.....               | 86 |
| <b>第六章 主断路器今后的发展方向</b> ..... | 90 |
| 一、六氟化硫断路器与真空断路器的比较.....      | 90 |
| 二、电力机车、动车用真空断路器的特殊要求.....    | 95 |

# 第一章 概 述

## 一、主断路器的用途

铁道干线用的交流电力机车、动车从接触网获取的 25 kV 单相工频 (50Hz) 交流电, 经受电弓、高压断路器、高压电流互感器送至机车内部的牵引变压器。这个高压断路器就是交流电力机车、动车最主要的, 同时也是最重要的保护设备。

当电力机车、动车发生短路、过载、欠压、接地等故障时, 高压断路器就自动断开高压电路, 以起到保护作用。高压断路器作为一个总保护设备, 一般称之为主断路器 (以下均用此名)。主断路器既是一个保护设备, 同时也作为一个控制“接通”或“切断”机车电源的设备。如在电力机车、动车进出库, 通过无电区、调换司机台等均需操作主断路器来“接通”或“切断”电源。

## 二、主断路器的主要技术要求

根据交流电力机车、动车的控制、负荷、保护、安装等的具体情况, 对主断路器提出了以下多方面的技术要求。

### (一) 开断负荷方面的要求

#### 1. 开断负荷电路和短路故障

为保证运用可靠, 在各种可能出现的负荷条件下, 主断路器均应可靠分断电弧。可能出现的负荷应包括各种短路故障时的负荷、各种过荷电流、正常的牵引负荷等。短路电流比正常的牵引负荷大得多; 由于接触网电压比较高, 电流比较大; 在主断路器开断后, 只有可靠地熄灭触头分离后所产生的电弧, 电路中的电流才能真正切断; 因此可靠地开断短路故障是主断路器最困难的任务。

标志主断路器开断短路故障能力的参数；

额定电压 $U_e$ ：单位kV；

额定开断电流 $I_{ke}$ ：单位kA；

额定断流容量 $P_{de}$ ：单位MVA。

这三个参数间的相互关系可用（1—1）式表示

$$P_{de} = U_e I_{ke} \quad (1-1)$$

例如：TDZ 1-200/25型主断路器 $U_e$ 为25kV， $I_{ke}$ 为8kA，  
则

$$P_{de} = 25 \times 8 = 200 \text{MVA}$$

为电力机车、动车选用主断路器时，首先要校核的就是主断路器开断短路故障的能力，各种可能出现的短路电流，均应在主断路器额定开断电流值以下。

## 2. 快速分断

当电力机车、动车发生故障时，要求保护系统的动作越快越好，这样才可以减轻短路电流对电力牵引设备的破坏，减少故障机车对接触网输电稳定性的影响。

标志主断路器开断过程快慢的参数是：

全分断时间 $t_k$ ：单位s

全分断时间 $t_k$ 是从主断路器接到开断（分闸）信号到电路电流终止（电弧熄灭）的全部时间，即全分断时间 $t_k$ 是由主断路器固有分闸时间 $t_g$ （从分闸线圈得电到主触头开始打开的时间）加主断路器的灭弧时间 $t_h$ （从主触头开始打开至电弧完全熄灭）。

例如：TDZ 1-200/25型主断路器的 $t_g$ 为 $\geq 0.025\text{s}$ ， $t_h$ 正常情况为 $0.02\text{s}$ ，则

$$t_k \geq 0.025 + 0.02 = 0.045\text{s}$$

对主断路器来讲，固有分闸时间与灭弧时间均应越短越好。

## 3. 开断牵引变压器空载电流

电力机车、动车在库内或经过接触网无电区时，主断路器一般均为开断牵引变压器的空载电流。该电流比正常负荷电流小得

多，所以分断空载电流时，电弧不是在电流过零时熄灭，而是在工频零点之前突然被载断，流经空载电流的变压器相当于一个大电感，加上 $di/dt$ 较大此时将会出现较高的过电压，这个过电压将会影响主断路器正常开断。为此，要求主断路器在分合牵引变压器空载电流时，不得出现危及主断路器正常工作的过电压。

## (二) 流通电流能力方面的要求

### 1. 关合短路故障

电力机车、动车有可能在投入运行之前就已存在绝缘故障，甚至存在短路故障。所以当主断路器闭合，将牵引变压器原边投入接触网的高压电网时，就会出现短路故障电流，在闭合过程中，通常在主触头尚未闭合之前触头间隙即被击穿，随即出现短路电流。短路电流所产生的电动力将阻碍触头闭合良好，此时若在触头间形成持续电弧，就会造成主断路器损坏或触头焊接，为防止出现上述情况，主断路器应具有足够的关合故障电流的能力。

标志主断路器关合故障电流能力的参数是：

额定极限通过电流 $i_g$ （峰值）：单位kA

例如：TDZ 1-200/25型主断路器 $i_g$ 为20kA。

### 2. 流通工作电流的能力

主断路器长期流通额定工作电流时，各部分的温度不得超过机车电器基本技术条件标准规定的允许值，以保证主断路器工作可靠。当主断路器处在闭合状态、通过短路电流时，不应因电动力而受到损坏，各部分温度不应超过短时工作的允许值，触头不应发生焊接或损坏。

标志主断路器这方面性能的参数是：

额定电流 $I_n$ ：单位A；

额定开断电流 $I_{ke}$ ：单位A；

额定动稳定电流 $i_{de}$ ：单位A；

额定热稳定电流 $I_{re}$ ：单位A；



额定热稳定时间 $t_{re}$ ：单位s。

其中各电流有如下关系

$$i_{de} = i_{ge} = 1.8\sqrt{2} I_{ke}$$

式中 1.8——电流冲击系数；

$$I_{ke} = I_{reo}$$

例如：TDZ 1-200/25 型主断路器的额定开断电流 $I_{ke} = 8000\text{A}$ ，则

$$I_{re} = 8000\text{A}$$

$$i_{ge} = i_{de} = 2.55 I_{ke} = 20000\text{A}$$

$$t_{re} \text{ 取 } 2\text{s}$$

### (三) 承受电压方面的要求

主断路器应能长期承受最大的工作电压，而且还能承受相应的大气过电压和内部操作过电压。

标志主断路器这方面性能的参数是：

额定电压 $U_e$ ：单位kV；

最大、最小工作电压 $U_{emax}$ 、 $U_{emin}$ ：单位kA；

工频试验电压（干放与湿放两种）：单位kV；

全波和截波冲击试验电压：单位kV；

恢复电压固有振荡频率 $f_0$ ：单位kHz

恢复电压振幅系数 $k_m$ 。

需要指出的是，电力机车、动车的供电电压与一般电网采用的电压不一致。机车车辆是一个流动的用电单位，因而当机车运行在牵引变电所供电区段的最近点及最远点时，在电力机车、动车上所得到的电压最大值及最小值与额定电压相比差值较大。所以，机车用主断路器与一般变电站用高压断路器相比，其工作范围较宽。为此，将这些参数作为标准在TB1333-81《机车电器基本技术条件》中明确规定，见表（1—1）。这些参数也作为主断路器的技术要求。

表 1—1

| 项 | 电器及其部件所在的电路情况        | 额定电压<br>$U_n$<br>(V) | 电压极限值  |     |
|---|----------------------|----------------------|--------|-----|
|   |                      |                      | 额定电压倍数 |     |
|   |                      |                      | 最 大    | 最 小 |
| 1 | 直接由交流接触网供电的电路        | 25,000               | 1.2    | 0.7 |
| 2 | 由蓄电池与能自动调压的电源并联供电的电路 | 110                  | 1.05   | 0.7 |

#### (四) 机车车辆方面的要求

##### 1. 机械寿命

如上所述,在电力机车、动车上主断路器既作为一种保护开关,也作为控制电源的总开关使用,除了机车在各种过载或短路故障状态下动作外,每当机车进出库、过无电区、中途长期停车、调换司机台……等都要操作主断路器。据现场运行统计,电力机车每运行100km至少要操作7~8次主断路器。为此要保证主断路器可靠运行,势必要求机车用主断路器比一般配电设备用的高压断路器有高得多的操作机械寿命。《机车电器基本技术条件》规定主断路器的机械寿命为10000次,是一般高压断路器的5倍,即便是这样,一万次的机械寿命对主断路器来讲还是太少了。

##### 2. 空间尺寸

机车、动车上的电气设备较多,空间有限,各种电气设备安装十分拥挤,相应地要求这些电气设备的体积小,在电弧喷射时,不影响其它电器的工作,也不致引起接地故障。

##### 3. 振 动

机车、动车运行时的振动,必然会影响到电气设备的发热、动作性能、机械强度等。主断路器同样要考虑在各种振动条件下能正常地工作,并且具备足够的机械强度,特别是在挂车受到冲击负载时,不能因此而引起主断路器工作不良。

##### 4. 控制方式

电力机车、动车在停车、降弓时，车上只有蓄电池备作电源，为此希望主断路器采用直流电源控制。电力机车、动车备有列车制动需用的压缩空气，因此可以方便地采用体积小、控制功率小的压缩空气断路器。与一般高压断路器所不同的是，机车控制电源的电压波动范围较大（表 1—1）。机车、动车上的额定工作风压为  $686 \sim 883 \text{ kPa}$  ( $7 \sim 9 \text{ kgf/cm}^2$ )，在风压为  $392 \text{ kPa}$  ( $4 \text{ kgf/cm}^2$ ) 时应能正常操作主断路器。当电力机车、动车长期停车风压不足，或蓄电池维护不良电压较低时，要求主断路器只要在最小额定工作风压、最小控制电压时，就应能连续分断最大短路电流。

### （五）自然条件方面的要求

主断路器是一种高压电气设备，在电力机车上一般均安装在车顶中部，即主断路器的高压部分按户外装置安放，这样主断路器受自然环境的影响就比较大。另外，我国是一个地形复杂的国家，甚至在一个铁路局内，地理、气候、温度、湿度……都有很大差异。电力机车、动车作为一种流动的设备在全国各地运行，因此随着自然条件的变化，对主断路器产生了不同的影响，也就提出了不同的要求：

#### 1. 海拔高度

海拔高度对主断路器主要有两种影响：

##### （1）对外部绝缘的影响

海拔高，大气压力低，大气耐压水平降低（图 1—1）。根据我国铁路的情况，大部分铁路线在海拔  $2500 \text{ m}$  以下，为此根据海拔高度差异，在低海拔地区要求将介质强度试验值乘以修正系数（表 1—2）。

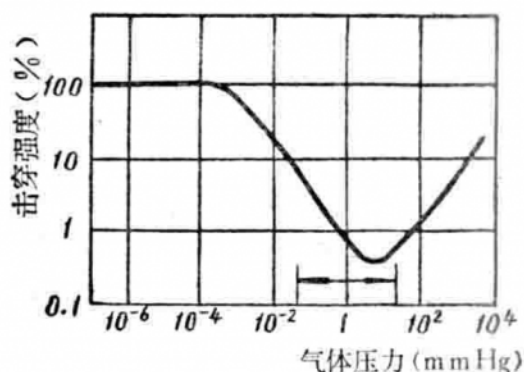


图 1—1 击穿电压与气体压力的关系

表 1—2

| 额定电压<br>(kV) | 冲击电压最大值<br>(kV)           |               | 工频耐压值            | 修正系数                                                                                                  |
|--------------|---------------------------|---------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | 全波<br>(1.5/40<br>$\mu$ s) | 截波            |                  |                                                                                                       |
| 25           | $K \cdot 140$             | $K \cdot 175$ | $K \cdot 75,000$ | $K = [1 + (2500 - H) 10^{-4}]$ $1000 \leq H \leq 2500 \text{m}$ $K = 1.15 \quad H \leq 1000 \text{m}$ |

## (2) 对温升的影响

海拔高，空气稀薄，散热条件差。但是随着海拔的升高，环境温度的最高值也降低（在1000~2500m之间每上升100m递减0.5°C）了。

### 2. 环境温度

使用主断路器的环境温度为-25~+45°C。温度过低将使风传动部分运动阻力增加，影响动作性能，又由于橡胶变硬而破坏了密封。温度过高，将降低各导电部件的允许温升。

### 3. 污 秽

机车的闸瓦灰、受电弓碳滑板及接触导线磨损的导电灰尘、内燃、蒸汽机车的烟灰以及机车进入城市可能遇到的各种酸性或碱性的烟尘、含有硫或氧化硫的气体等的侵袭，这一切都可能严重污染主断路器的外部绝缘而引起放电闪络现象，及增加金属表面的腐蚀。

### 4. 湿 度

湿度大，增加了压缩空气中的水分。多水的压缩空气将降低主断路器的分断能力。潮湿的空气会使灭弧室内的绝缘破坏而引起灭弧室放电爆炸。同时还将使金属件锈蚀加剧，影响气动部件的工作性能。

### 5. 风雨冰雪

主断路器如密封不良，风雨天气时可使水分进入灭弧室，从而降低了主断路器绝缘性能。冰雪覆盖，可能使主断路器动作性能不良，甚至造成主断路器不能分断。

### 三、电力机车、动车用主断路器的特点 及目前采用的主要型式

电力机车、动车用主断路器比一般变配电用高压断路器的要求严格得多,但主断路器的造价对于被保护的牵引电动机、牵引变压器……来说则便宜得多。机车运行中主断路器一旦出故障,就要造成机破事故,就会影响整个铁路运输,给国家带来巨大损失,因此首先要求主断路器有高度的可靠性。作为电力机车、动车的主要保护设备——总开关,要求它在各种环境及各种工况下都不出故障。由于灭弧理论至今未能像电机、变压器等电气设备等理论比较成熟可供计算用,因此,主断路器的各种性能只能靠试验验证。为保证一种新型主断路器具有高度的可靠性,设计时首先要树立好用、好修、好造、好看的设计思想。一方面要在设计、加工、装配、调整上下功夫;另一方面在试验中要从严考验,要留有裕量。同时在使用维护中,应该十分重视统计各种故障概率的工作,给设计提供改进方向。

由于压缩空气供应方便,目前电力机车上的主断路器大部分采用压缩空气断路器。利用压缩空气灭弧的空气断路器是一个外能源供给的电气设备,它具有控制功率小、动作快、灭弧能力强,体积小等优点。目前国产韶山1型电力机车用的主断路器为TDZ1-200/25型,6G、6Y<sub>2</sub>机车上用的主断路器为DBTF30i250型。TDZ1-200/25型主断路器主要是把DBTF30i250型主断路器的控制机构加以简化改造,重新布置灭弧室与闸刀开关的相对位置而成。原使用的KT-25型主断路器由于体积庞大、性能低劣早已淘汰。本书在谈到主断路器实例时,均以TDZ1-200/25型主断路器为主。



## 第二章 电弧理论与消弧方式

当主断路器开断电路时，只要电路中存在电流，动静触头间就会出现电弧。此时触头虽已分开，但触头间的电弧继续流通，一直到触头分开到足够长距离，电弧熄灭以后电路才断开。因此了解主断路器的工作情况，对电弧必需具备一定的理论知识。

### 一、电弧的物理特性

电弧是一种气体放电现象。当电弧在动静触头间产生后，只要很低的电压就能维持电弧稳定燃烧而不熄灭，因而电弧也是一种自持放电现象。电弧在放电过程中，电感回路的释放能量与电源输送的能量同时通过电弧释放出来，因而在电弧中集中了大量能量，这些能量几乎全部变成热能，形成燃弧区局部温度极高、亮度很大的气体放电现象（图 2—1），造成燃弧区附近极强烈的物理、化学变化。在动静触头间

电弧可以分为三个部分：阴极区、阳极区和弧柱区（图 2—2）。在电弧的阴极和阳极上，温度常超过金属气化点。在电弧孳生点，通常有明亮的极斑。电流几乎全在弧柱内流通。弧柱周围温度较低称为弧焰，电弧直径一般为几毫米到几厘米。沿电弧长度分布的电弧三个区域的电位降和电位梯度，示于图 2—3。由

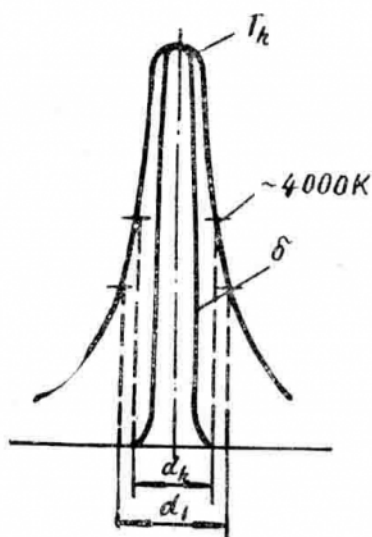


图 2—1 电弧温度  $T_h$  和电流密度  $\delta$  分布  
 $d_h$ ——弧柱直径，  
 $d_l$ ——弧焰直径。



于在阴极附近有空间电荷，电位有急剧的跃变，此即阴极电位降 $U_i$ ，沿着弧柱部分电位 $U_z$ 均匀上升，即电弧电位梯度保持不变。在阳极附近可以有未补偿的负空间电荷，这决定电位降 $U_a$ ，阴极和阳极电位降都集中在非常小的电弧长度内，约 $10^{-4}\text{cm}$ 。弧柱内充满着带电粒子，是一束游离的气体，质量极轻，在外力（如气体流动、电动力）的作用下，电弧能迅速移动、伸长。

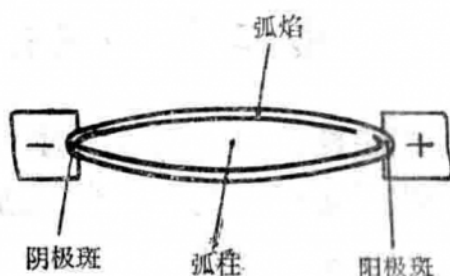


图 2-2 电弧

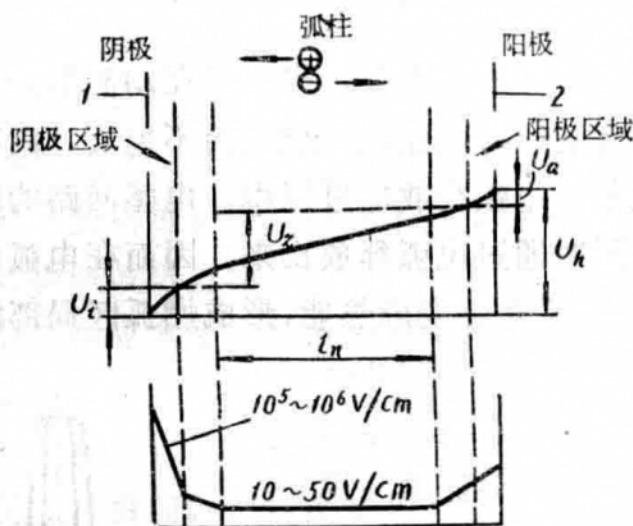


图 2-3 电弧三个区域的电位降和电位梯度的分布

### （一）主断路器电弧的产生

#### 1. 触头闭合时产生的电弧

电力机车受电弓升弓后，接触网高压电源加在主断路器隔离开关的动、静触头之间。在主断路器闭合过程中，隔离开关动、静触头在即将闭合之时，会发生电击穿而产生电弧。

#### 2. 触头开断时产生的电弧

主断路器动、静触头开断时，动、静触头之间相当一个可变