

变电站运行与检修技术丛书

# 110kV 变电站 开关设备检修技术

丛书主编 杜晓平

本书主编 王翊之 方 凯



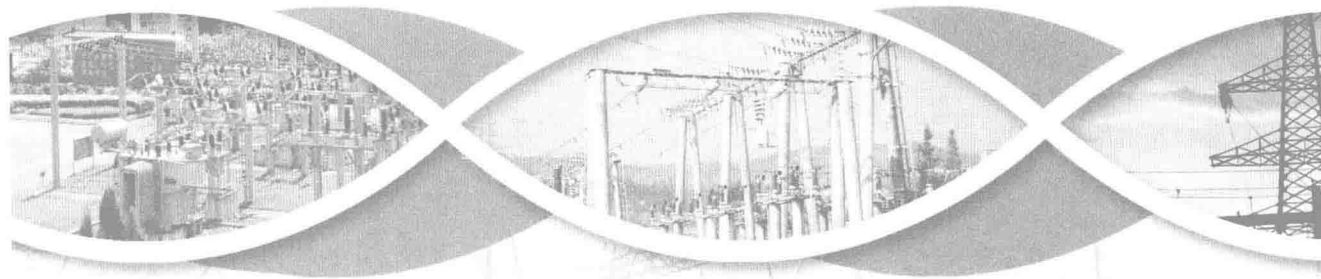
中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

变电站运行与检修技术丛书

# 110kV 变电站 开关设备检修技术

丛书主编 杜晓平

本书主编 王翊之 方 凯



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书是《变电站运行与检修技术丛书》之一。本书结合多年来现场工作的宝贵经验,主要介绍了110kV变电站开关设备检修技术。全书共分26章,主要介绍了高压开关的基本知识和高压断路器、SF<sub>6</sub>断路器、隔离开关等的相关内容。

本书既可作为从事变电站运行管理、检修调试、设计施工和教学等相关人员的专业参考书和培训教材,也可作为高等院校相关专业师生的教学参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

110kV变电站开关设备检修技术 / 王翊之, 方凯主编

— 北京: 中国水利水电出版社, 2016.1

(变电站运行与检修技术丛书 / 杜晓平主编)

ISBN 978-7-5170-3979-2

I. ①1… II. ①王… ②方… III. ①变电所—开关站—设备检修 IV. ①TM643

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第321372号

|      |   |
|------|---|
| 书 名  | 变电站运行与检修技术丛书<br><b>110kV 变电站开关设备检修技术</b>  |
| 作 者  | 丛书主编 杜晓平<br>本书主编 王翊之 方 凯  |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 68367658 (发行部) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点  |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心   |
| 印 刷  | 北京瑞斯通印务发展有限公司   |
| 规 格  | 184mm×260mm 16开本 20.75印张 492千字  |
| 版 次  | 2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷   |
| 印 数  | 0001—4000册  |
| 定 价  | <b>69.00元</b>   |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 《变电站运行与检修技术丛书》

## 编 委 会

丛书主编 杜晓平

丛书副主编 楼其民 李 靖 郝力军 王韩英

委 员 (按姓氏笔画排序)

王瑞平 方旭光 孔晓峰 吕朝晖 杜文佳

李有春 李向军 吴秀松 应高亮 张一军

张 波 陈文胜 陈文通 陈国平 陈 炜

邵 波 范旭明 周露芳 郑文林 赵寿生

郝力飙 钟新罗 施首健 钱 肖 徐军岳

徐街明 郭伯宙 温佶强

# 本书编委会

主 编 王翊之 方 凯

副主编 郑晓东 郝力军 施首健

参编人员（按姓氏笔画排序）

吕红峰 刘松成 严明安 李一鸣 吴杰清

何正旭 陈文通 周 彪 郑 雷 高 寅

# 前 言

全球能源互联网战略不仅将加快了世界各国能源互联互通的步伐，也势必强有力地促进国内智能电网快速发展，许多电力新设备、新技术应运而生，电网安全稳定运行面临着新形势、新任务、新挑战。这对如何加强专业技术培训，打造一支高素质的电网运行、检修专业队伍提出了新要求。因此我们编写了《变电站运行与检修技术丛书》，以期指导提升变电运行、检修专业人员的理论知识和操作技能水平。

本丛书共有六个分册，分别是《110kV 变电站保护自动化设备检修运维技术》《110kV 变电站电气设备检修技术》《110kV 变电站电气试验技术》《110kV 变电站开关设备检修技术》《110kV 变压器及有载分接开关检修技术》以及《110kV 变电站变电运维技术》。作为从事变电站运维检修工作的员工培训用书，本丛书将基本原理与现场操作相结合、理论讲解与实际案例相结合，立足运维检修，兼顾安装维护，全面阐述了安装、运行维护和检修相关内容，旨在帮助员工快速准确判断、查找、消除故障，提升员工的现场作业、分析问题和解决问题能力，规范现场作业标准化流程。

本丛书编写人员均为从事一线生产技术管理的专家，教材编写力求贴近现场工作实际，具有内容丰富、实用性和针对性强等特点。通过对本丛书的学习，读者可以快速掌握变电站运行与检修技术，提高自己的业务水平和工作能力。

本书是《变电站运行与检修技术丛书》的一本，主要内容包括高压开关设备的基础知识，高压断路器，SF<sub>6</sub>断路器安装及验收标准规范，SF<sub>6</sub>断路器状态检修，SF<sub>6</sub>断路器反事故技术措施要求，

SF<sub>6</sub> 断路器巡检项目、要求及运行维护，SF<sub>6</sub> 断路器 C 级检修标准化作业，SF<sub>6</sub> 断路器常见故障原因分析、判断及处理，隔离开关的结构和工作原理，隔离开关安装及验收标准规范，隔离开关状态检修，隔离开关反事故技术措施要求，隔离开关巡检项目及要求，隔离开关 C 级检修标准化作业，隔离开关检修工艺要求，隔离开关常见故障原因分析、判断及处理，中置式开关柜结构，中置式开关柜二次回路，中置式开关柜安装验收及质量标准，中置式开关柜状态评价导则，中置式开关柜状态检修导则，中置式开关柜反事故技术措施要求，中置式开关柜巡检项目及要求，中置式开关柜检修，中置式开关柜检修工艺，中置式开关柜常见故障原因分析、判断及处理等。

在本丛书的编写过程中得到过许多领导和同事的支持和帮助，使内容有了较大改进，在此向他们表示衷心的感谢。本丛书的编写参阅了大量参考文献，在此对其作者一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中疏漏和不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 11 月

# 目 录

前言

|  |     |
|--|-----|
| 第 1 章 高压开关设备的基础知识                        | 1   |
| 1.1 高压开关设备分类                             | 1   |
| 1.2 高压开关设备的主要技术参数                        | 5   |
| 1.3 电弧理论                                 | 7   |
| 1.4 电接触                                  | 13  |
| 第 2 章 高压断路器                              | 19  |
| 2.1 SF <sub>6</sub> 断路器工作原理              | 19  |
| 2.2 SF <sub>6</sub> 断路器                  | 22  |
| 2.3 真空断路器工作原理                            | 24  |
| 2.4 真空断路器                                | 27  |
| 2.5 高压断路器产品符号和含义                         | 29  |
| 2.6 高压开关设备的操动机构                          | 30  |
| 2.7 操动机构产品型号表示形式及含义                      | 56  |
| 第 3 章 SF <sub>6</sub> 断路器安装及验收标准规范       | 57  |
| 3.1 断路器安装主控项目                            | 57  |
| 3.2 断路器安装一般项目                            | 57  |
| 3.3 断路器安装作业要点                            | 57  |
| 3.4 断路器安装作业注意事项                          | 58  |
| 3.5 断路器安装实施标准细则                          | 58  |
| 3.6 断路器验收的标准要求                           | 63  |
| 第 4 章 SF <sub>6</sub> 断路器状态检修            | 65  |
| 4.1 状态检修概述                               | 65  |
| 4.2 SF <sub>6</sub> 断路器状态评价导则相关内容及要求     | 75  |
| 第 5 章 SF <sub>6</sub> 断路器反事故技术措施要求       | 84  |
| 5.1 高压开关设备反事故技术措施                        | 84  |
| 5.2 SF <sub>6</sub> 电气设备运行、试验及检修人员安全防护细则 | 89  |
| 5.3 SF <sub>6</sub> 电气设备气体监督细则           | 92  |
| 第 6 章 SF <sub>6</sub> 断路器巡检项目、要求及运行维护    | 95  |
| 6.1 SF <sub>6</sub> 断路器巡检项目及要            | 95  |
| 6.2 SF <sub>6</sub> 断路器运行维护工作            | 98  |
| 6.3 SF <sub>6</sub> 断路器可能出现的故障           | 101 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>第 7 章 SF<sub>6</sub> 断路器 C 级检修标准化作业</b> .....    | 103 |
| 7.1 断路器检修的基本知识 .....                                | 103 |
| 7.2 SF <sub>6</sub> 断路器 C 级检修标准化作业 .....            | 111 |
| <b>第 8 章 SF<sub>6</sub> 断路器常见故障原因分析、判断及处理</b> ..... | 115 |
| 8.1 断路器常见故障分析 .....                                 | 115 |
| 8.2 SF <sub>6</sub> 断路器（或同类型断路器）常见故障 .....          | 121 |
| 8.3 现场实际案例 .....                                    | 124 |
| <b>第 9 章 隔离开关的结构和工作原理</b> .....                     | 131 |
| 9.1 GW4 型隔离开关的结构 .....                              | 131 |
| 9.2 GW4 型隔离开关的工作原理 .....                            | 134 |
| <b>第 10 章 隔离开关安装及验收标准规范</b> .....                   | 136 |
| 10.1 高压隔离开关安装工艺 .....                               | 136 |
| 10.2 GW4 型隔离开关安装调试工艺 .....                          | 139 |
| 10.3 GW4 隔离开关验收标准规范 .....                           | 143 |
| <b>第 11 章 隔离开关状态检修</b> .....                        | 146 |
| 11.1 状态检修实施原则 .....                                 | 146 |
| 11.2 状态评价工作的要求 .....                                | 146 |
| 11.3 新投运设备状态检修 .....                                | 146 |
| 11.4 老旧设备状态检修 .....                                 | 147 |
| 11.5 检修分类 .....                                     | 147 |
| 11.6 设备的状态检修策略 .....                                | 148 |
| 11.7 实施状态检修应注意的几个问题 .....                           | 149 |
| 11.8 隔离开关的状态评价 .....                                | 150 |
| <b>第 12 章 隔离开关反事故技术措施要求</b> .....                   | 153 |
| 12.1 隔离开关设备反事故技术措施 .....                            | 153 |
| 12.2 防止电气误操作事故 .....                                | 154 |
| <b>第 13 章 隔离开关巡检项目及要 求</b> .....                    | 158 |
| 13.1 隔离开关巡检项目及要 求 .....                             | 158 |
| 13.2 隔离开关运行中出现的主要 问题 .....                          | 159 |
| 13.3 提高隔离开关运行可靠性的 措施 .....                          | 162 |
| 13.4 隔离开关运行维护、检修方 面建议 .....                         | 164 |
| <b>第 14 章 隔离开关 C 级检修标准化 作业</b> .....                | 165 |
| 14.1 隔离开关检修的基本知识 .....                              | 165 |
| 14.2 隔离开关 C 级检修标准化 作业 .....                         | 168 |
| <b>第 15 章 隔离开关检修工艺要 求</b> .....                     | 173 |
| 15.1 GW16A/17A - 252/550 型 隔离开关结构与动作原理 .....        | 173 |
| 15.2 检修周期和项目 .....                                  | 175 |
| 15.3 大修前的准备 .....                                   | 176 |

|             |                           |     |
|-------------|---------------------------|-----|
| 15.4        | 检修工艺及质量标准                 | 179 |
| 15.5        | 安装与调试                     | 203 |
| 15.6        | 三相联动安装调试                  | 211 |
| 15.7        | 结尾工作                      | 212 |
| 15.8        | 竣工验收                      | 212 |
| 15.9        | 常见故障处理                    | 213 |
| <b>第16章</b> | <b>隔离开关常见故障原因分析、判断及处理</b> | 219 |
| 16.1        | 隔离开关常见故障                  | 219 |
| 16.2        | 常见故障原因分析                  | 221 |
| 16.3        | 常见故障处理                    | 224 |
| 16.4        | 典型案例                      | 226 |
| <b>第17章</b> | <b>中置式开关柜结构</b>           | 242 |
| 17.1        | 柜体                        | 242 |
| 17.2        | 可移开部件                     | 243 |
| 17.3        | 开关柜常见电气元件                 | 250 |
| 17.4        | 压力释放装置                    | 254 |
| <b>第18章</b> | <b>中置式开关柜二次回路</b>         | 255 |
| 18.1        | 分合闸回路                     | 255 |
| 18.2        | 机构防跳回路                    | 256 |
| 18.3        | 储能回路                      | 256 |
| 18.4        | 指示灯回路                     | 257 |
| 18.5        | 温湿度控制器回路                  | 257 |
| 18.6        | 照明回路                      | 258 |
| 18.7        | 带电显示装置回路                  | 258 |
| 18.8        | 闭锁回路                      | 259 |
| <b>第19章</b> | <b>中置式开关柜安装验收及质量标准</b>    | 260 |
| 19.1        | 安装                        | 260 |
| 19.2        | 质量标准                      | 261 |
| 19.3        | 开关柜安装后的调试                 | 263 |
| 19.4        | 验收                        | 263 |
| 19.5        | 收尾工作和资料整理                 | 264 |
| <b>第20章</b> | <b>中置式开关柜状态评价导则</b>       | 265 |
| 20.1        | 开关柜元件状态评价                 | 265 |
| 20.2        | 开关柜整体状态评价                 | 266 |
| <b>第21章</b> | <b>中置式开关柜状态检修导则</b>       | 270 |
| 21.1        | 总则                        | 270 |
| 21.2        | 开关柜检修分类及检修项目              | 270 |
| 21.3        | 开关柜状态检修策略                 | 271 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 第 22 章 | 中置式开关柜反事故技术措施要求 .....                     | 273 |
| 第 23 章 | 中置式开关柜巡检项目及要 求 .....                      | 276 |
| 23.1   | 真空开关巡检项目及要 求 .....                        | 276 |
| 23.2   | 开关柜巡检项目及要 求 .....                         | 276 |
| 第 24 章 | 中置式开关柜检修 .....                            | 277 |
| 24.1   | 开关柜的闭锁功能 .....                            | 277 |
| 24.2   | 作业中危险点分析及控制措施 .....                       | 280 |
| 24.3   | 检修作业前的准备 .....                            | 280 |
| 24.4   | 检修作业前的检查 .....                            | 281 |
| 24.5   | “五防”闭锁装置检修作业步骤及质量标准 .....                 | 281 |
| 24.6   | 收尾工作 .....                                | 283 |
| 24.7   | 中置式开关柜 C 级检修标准化作业 .....                   | 283 |
| 24.8   | 10kV 真空断路器 (VD4 厦 门 ABB) C 级检修标准化作业 ..... | 291 |
| 第 25 章 | 中置式开关柜检修工艺 .....                          | 294 |
| 25.1   | 产品结构 .....                                | 294 |
| 25.2   | 五防联锁功能 .....                              | 296 |
| 25.3   | 维护周期 .....                                | 297 |
| 25.4   | 维护检查的项目 .....                             | 298 |
| 25.5   | 维护工艺及质量标准 .....                           | 299 |
| 25.6   | 可能发生的问题及其处理方法 .....                       | 302 |
| 第 26 章 | 中置式开关柜常见故障原因分析、判断及处理 .....                | 303 |
| 26.1   | 高压开关柜缺陷类型 .....                           | 303 |
| 26.2   | 开关柜缺陷处理要求 .....                           | 303 |
| 26.3   | 典型缺陷 .....                                | 303 |
| 26.4   | 现场案例 .....                                | 306 |
| 附录     | 常见开关机构图 .....                             | 316 |
|        | 参考文献 .....                                | 318 |

# 第1章 高压开关设备的基础知识

高压开关设备是指在电压 1kV 及以上的电力系统中运行的户内和户外交流开关设备，主要用于电力系统（包括发电厂、变电站、输配电线路和工矿企业等用户）的控制和保护，既可根据电网运行需要将一部分电力设备或线路投入或退出运行，也可在电力设备或线路发生故障时将故障部分从电网中快速切除，从而保证电网中无故障部分的正常运行及设备、运行维修人员的安全。

## 1.1 高压开关设备分类

高压开关设备最常见的是断路器、隔离开关、接地开关、金属封闭开关设备（开关柜）及气体绝缘金属封闭开关设备（GIS），除此之外，还包括负荷开关、熔断器、重合器等高压设备。

### 1.1.1 断路器

高压断路器也称高压开关，是高压供电系统中最重要电器之一。高压断路器是具有一套完善的灭弧装置，能关合、承载、开断运行回路正常电流，并能在规定时间内关合、承载及开断规定的过载电流（包括短路电流）的开关设备。交流高压断路器是电力系统中最重要开关设备，它担负着控制和保护的双重任务。如果断路器不能在电力系统发生故障时迅速、准确、可靠地切除故障，就会使事故扩大，造成大面积的停电或电网事故，因此，高压断路器的好坏、性能的可靠程度是决定电力系统安全的重要因素。

根据断路器安装地点，可分为户内和户外两种。根据断路器使用的灭弧介质，可分为以下类型：

(1) 油断路器：油断路器是以绝缘油为灭弧介质，可分为多油断路器和少油断路器。在多油断路器中，油不仅作为灭弧介质，而且还作为绝缘介质，因此用油量多，体积大。在少油断路器中，油只作为灭弧介质，因此用油量少，体积小，耗用钢材少。

(2) 空气断路器：空气断路器是以压缩空气作为灭弧介质，此种介质防火、防爆、无毒、无腐蚀性，取用方便。空气断路器靠压缩空气吹动电弧使之冷却，在电弧达到零值时，迅速将弧道中的离子吹走或使之复合而实现灭弧。空气断路器开断能力强、开断时间短，但结构复杂、工艺要求高、有色金属消耗多。

(3) 六氟化硫（SF<sub>6</sub>）断路器：SF<sub>6</sub>断路器采用具有优良灭弧能力和绝缘能力的 SF<sub>6</sub> 气体作为灭弧介质，具有开断能力强、动作快、体积小等优点，但金属消耗多，价格较贵。近年来 SF<sub>6</sub> 断路器发展很快，在高压和超高压系统中得到广泛应用，尤其以 SF<sub>6</sub> 断路器为主体的封闭式组合电器，是高压和超高压电器的重要发展方向。

(4) 真空断路器：真空断路器是在高度真空中灭弧。真空中的电弧是在触头分离时电极蒸发出来的金属蒸汽中形成的。电弧中的离子和电子迅速向周围空间扩散。当电弧电流到达零值时，触头间的粒子因扩散而消失的数量超过产生的数量时，电弧即不能维持而熄灭。真空断路器开断能力强、开断时间短、体积小、占用面积小、无噪声、无污染、寿命长，可以频繁操作，检修周期长。

此外，还有磁吹断路器和自产气断路器，它们具有防火防爆，使用方便等优点，但是一般额定电压不高，开断能力不大，主要用作配电系统。

对高压断路器的基本要求：断路器在电力系统中承担着非常重要的任务，不仅能接通或断开负荷电流，而且还能断开短路电流。因此，断路器必须满足以下基本要求：

- (1) 在合闸状态时应为良好的导体。
- (2) 在分闸状态时应具有良好的绝缘性具有足够的开断能力。
- (3) 在开断规定的短路电流时，应有足够的开断能力和尽可能短的开断时间。
- (4) 在接通规定的短路电流时，短时间内断路器的触头不能产生熔焊等情况。
- (5) 具有自动重合闸性能。

(6) 在制造厂给定的技术条件下，高压断路器要能长期可靠地工作，有一定的机械寿命和电气寿命要求。

此外，高压断路器还应具有结构简单、安装和检修方便、体积小、重量轻等优点。

电力系统对交流高压断路器的要求主要有：

(1) 绝缘能力。高压断路器长期运行在高电压下，需有一定的绝缘承受能力，能够长期承受断路器额定电压及以下电压，并能短时承受允许范围的工频过电压、操作过电压和雷电过电压，而其绝缘性能不发生劣化。要求高压断路器对地及断口间具有良好的绝缘性能，在额定电压及允许的过电压下不致发生绝缘破坏，在额定电压下长期运行时，绝缘寿命在允许范围内。

(2) 通流能力。断路器能够长期承受额定电流及以下电流，其温升不超过规定允许值。并能短时承受规定范围内的短路电流，其电气和机械性能不发生劣化。要求高压断路器在合闸状态下为良好导体，不仅对正常负荷电流而且对规定的短路电流也能承受其发热和电动力的作用。

(3) 关合、开断能力。断路器能在规定时间内可靠开断其标称额定短路电流及范围内的电流，而不发生重燃和重击穿，在规定时间内能可靠关合规定范围内的故障电流而不致发生熔焊，能承受其电动力影响而不致发生机械破坏。必要时还要开断和关合空载长线路或电容器组等电容负荷，以及开断空载变压器或高压电机等小电感负荷。

(4) 动作特性要求。断路器的动作特性应满足电力系统稳定的要求，尽可能缩短切除故障的时间，减轻短路电流对其他电力设备的冲击，提高输送能力和系统的稳定性。

(5) 运行环境要求。断路器能够在允许的外部自然环境中长期运行，其性能不发生劣化，且使用寿命不受影响。

(6) 自我防护功能。断路器应具备一定的自保护功能，通常有防跳跃功能、操作压力低闭锁功能、SF<sub>6</sub>压力低闭锁功能、防止非全相运行功能等。

(7) 二次接口要求。断路器的监视回路、控制回路应能与保护系统、监控系统可靠

接口。

(8) 使用寿命要求。断路器的使用寿命能够满足电力系统要求，包括机械寿命和电气寿命。

### 1.1.2 隔离开关

隔离开关是发电厂和变电站电气系统中重要的开关电器，通常需与高压断路器配套使用，其主要功能是保证高压电器及装置在检修工作时的安全，起隔离电压的作用，不能用于切断、投入负荷电流和开断短路电流，仅可用于不产生强大电弧的某些切换操作，即是说它不具有灭弧功能。它在分闸位置时，触头间有符合规定要求的绝缘间隙和明显的断开标志；在合闸位置时，能承载正常回路条件下负荷电流及在规定时间内异常条件下故障电流的开关设备。当回路电流“很小”时，或者当隔离开关每极的两接线端之间的电压在关合和开断前后无显著变化时，隔离开关具有关合和开断回路电流的能力。

高压隔离开关的触头全部敞露在空气中，具有明显的断开点，隔离开关没有灭弧装置，因此不能用来切断负荷电流或短路电流，否则在高压作用下，断开点将产生强烈电弧，并很难自行熄灭，甚至可能造成飞弧（相对地或相间短路），烧损设备，危及人身安全，这就是所谓“带负荷拉隔离开关”的严重事故。高压隔离开关还可以用来进行某些电路的切换操作，以改变系统的运行方式。例如在双母线电路中，可以用高压隔离开关将运行中的电路从一条母线切换到另一条母线上。隔离开关种类多，一般可按下列几种方法分类。

- (1) 按安装地点分，可分为户内式和户外式。
- (2) 按闸刀运动方式分，可分为水平旋转式、垂直旋转式和插入式。
- (3) 按每相支柱绝缘子数目分，可分为单柱式、双柱式和三柱式。
- (4) 按操作特点分，可分为单极式和三极式。
- (5) 按有无接地闸刀分，可分为带接地闸刀和无接地闸刀。

隔离开关应满足下列要求。

- (1) 隔离开关应有明显的断开点，以易于鉴别电气设备是否与电源断开。
- (2) 隔离开关断开点间有足够的绝缘距离，以保证在过电压及相间闪络的情况下，不致引起击穿而危及工作人员的安全。
- (3) 应具有足够的短路稳定性，不能因电动力的作用而自动断开，否则将引起严重事故。
- (4) 要求结构简单，动作可靠。
- (5) 主隔离开关与接地隔离开关间要相互联锁，以保证先断开隔离开关，后闭合接地闸刀；先断开接地闸刀，后闭合隔离开关的操作顺序。

### 1.1.3 接地开关

接地开关是作为检修时保证人身安全，用于接地的一种机械接地装置。接地开关通常有两种：检修接地开关和快速接地开关。检修接地开关配置在断路器两侧隔离开关旁边，仅起到断路器检修时两侧接地的作用。在对电气设备进行检修时，对于可能送电至停电设

备的各个方向或停电设备可能产生感应电压的都要合上接地开关（或挂上接地线），这是为了防止检修人员在停电设备（或停电工作点）工作时突然来电，确保检修人员人身安全的可靠安全措施，同时开关柜所断开的电器设备上的剩余电荷，也可由接地开关合上接地而释放殆尽。而快速接地开关配置在出线回路的出线隔离开关靠线路一侧，它有两个作用：

（1）开合平行架空线路由于静电感应产生的电容电流和电磁感应产生电感电流。

（2）当外壳内部绝缘子出现爬电现象或外壳内部燃弧时，快速接地开关降主回路快速接地，利用断路器切除故障电流，一般快速接地开关是用在 110kV 以上的 GIS 高压设备上。

接地开关在异常条件（如短路）下可在规定时间内承载规定范围内的异常电流；但在正常回路条件下，不要求承载电流。快速接地开关有关合短路电流的能力要求。大部分接地开关是与隔离开关组装成一体的，这样不仅能节省成本与空间，还能与隔离开关组成可靠的联锁。

#### 1.1.4 金属封闭开关设备（开关柜）

金属封闭开关设备（开关柜）又称成套开关或成套配电装置。它是以断路器为主的电气设备；是指生产厂家根据电气一次主接线图的要求，将有关的高低电压电器（包括控制电器、保护电器、测量电器）以及母线、载流导体、绝缘子等装配在封闭的或敞开的金属柜体内，作为电力系统中接受和分配电能的装置。金属柜体不仅能保护内部的电气设备，还能防止运行维护人员受到电气设备的伤害。开关柜设计成具有防护“五防”要求中功能：防止误分误合断路器、防止带电分合隔离开关、防止带电合接地开关、防止带接地分合断路器、防止误入带电间隔。

#### 1.1.5 气体绝缘金属封闭开关

气体绝缘金属封闭开关设备（Gas Insulated Switchgear, GIS）由断路器、隔离开关、接地开关、互感器、避雷器、母线、连接件和出线终端等组成，这些设备或部件全部封闭在金属接地的外壳中，在其内部充有一定压力的 SF<sub>6</sub> 绝缘气体，故也称 SF<sub>6</sub> 全封闭组合电器。GIS 设备自 20 世纪 60 年代实用化以来，已广泛运行于世界各地。GIS 不仅在高压、超高压领域被广泛应用，而且在特高压领域也被使用。与常规敞开式变电站相比，GIS 的优点在于结构紧凑、占地面积小、可靠性高、配置灵活、安装方便、安全性强、环境适应能力强，维护工作量很小，其主要部件的维修间隔不小于 20 年。

高压配电装置的类型有以下类型：

（1）空气绝缘的常规配电装置（Air Insulated Switchgear, AIS）。其母线裸露直接与空气接触，断路器可用瓷柱式或罐式。

（2）混合式配电装置（Hybrid Gas Insulated Switchgear, H-GIS）。母线采用开敞式，其他均为 SF<sub>6</sub> 气体绝缘开关装置。

（3）SF<sub>6</sub> 气体绝缘全封闭配电装置。

GIS 是运行可靠性高、维护工作量少、检修周期长的高压电气设备，其故障率只有常

规设备的 20%~40%，但 GIS 也有其固有的缺点，由于 SF<sub>6</sub> 气体的泄漏、外部水分的渗入、导电杂质的存在、绝缘子老化等，都可能导致 GIS 内部闪络故障。GIS 的全密封结构使故障的定位及检修比较困难，检修工作繁杂，事故后平均停电检修时间比常规设备长，其停电范围大，常涉及非故障元件。

### 1.1.6 熔断器及负荷开关

熔断器是最简单的保护电器，俗称保险丝。它的主要功能是保护电气设备免受过载和短路电流的损害。按安装条件及用途选择不同类型高压熔断器，如屋外跌落式、屋内式等，对于一些专用设备的高压熔断器应选专用系列。

负荷开关的构造与隔离开关相似，只是加装了简单的灭弧装置。它的工作原理与熔断器相通，也是有一个明显的断开点，有一定的断流能力，可以带负荷操作，但不能直接断开短路电流，如果需要，要依靠与它串接的高压熔断器来实现。

### 1.1.7 重合器

交流高压自动重合器简称重合器，是一种自具控制（即本身具备故障电流检测和操作顺序控制与执行功能，无需提供附加继电保护和操作装置）及保护功能的高压开关设备；它能够自动检测通过重合器主回路的电流，故障时按反时限保护自动开断故障电流，并依照预定的延时和顺序进行多次地重合。国内重合器使用较少，国外一般将其用在变电所内作为配电线路的出线保护设备，或用在配电线路中部和重要分支线入口作为线路分段保护设备。重合器可装在户外柱上，无需附加控制和操动装置，可省去操作电源和继电保护屏，也不必修建配电间，故占地小，土建费用低。重合器的使用寿命长，维护工作量小。

## 1.2 高压开关设备的主要技术参数

高压开关设备在使用过程中需满足运行情况的要求，通常以开关设备的主要技术参数来说明。选用开关设备时需对有关的技术参数进行校核，确认设备是否满足技术要求。

### 1.2.1 绝缘性能

表示高压开关设备性能的参数有许多方面，作为高压电器，绝缘的要求非常重要。通常有以下参数可用来表示开关设备的绝缘性能。

(1) 额定电压（标称电压） $U_n$ 。它是表征高压开关设备绝缘强度的参数，它是高压开关设备在规定的使用性能条件下能连续运行的最高电压，并以它确定高压开关设备的有关试验条件。为了适应电力系统工作的要求，断路器又规定了与各级额定电压相应的最高工作电压。对 3~220kV 各级，其最高工作电压较额定电压约高 15%；对 330kV 及以上，最高工作电压较额定电压约高 10%。断路器在最高工作电压下，应能长期可靠地工作。在高压开关行业中，额定电压以前称为“最高电压”。

(2) 额定操作（雷电）冲击耐受电压。雷电冲击耐受电压是检验设备绝缘耐受雷电冲击电压的能力。操作冲击耐受电压是检验设备绝缘耐受在倒闸操作时产生操作过电压的能



力。这些指标对高压断路器的安全运行有着重要的意义。

### 1.2.2 通流能力

除了绝缘的要求，开关设备要求具有通过各种电流的能力，主要的参数如下。

(1) 额定电流  $I_n$ 。它是表征在规定的正常使用和性能条件下断路器通过长期电流能力的参数，即断路器允许连续长期通过时，各部分的发热温升不超过国家标准允许值的最大电流。

(2) 动稳定电流。它是表征断路器通过短时电流能力的参数，反映断路器承受短路电流电动力效应的能力。断路器在合闸状态下或关合瞬间，允许通过的电流最大峰值，称为电动稳定电流，又称为极限通过电流。断路器通过动稳定电流时，不能因电动力作用而损坏。

(3) 热稳定电流和热稳定电流的持续时间：热稳定电流也是表征断路器通过短时电流能力的参数，但它反映断路器承受短路电流热效应的能力。热稳定电流是指断路器处于合闸状态下，在一定的持续时间内，所允许通过电流的最大周期分量有效值，此时断路器不应因短时发热而损坏。国家标准规定：断路器的额定热稳定电流等于额定开断电流。额定热稳定电流的持续时间为 2s，需要大于 2s 时，推荐 4s。

高压断路器还需接通、开断电流，通过以下参数来表征断路器接通、开断电流的能力。

(1) 额定开断电流  $I_{cs}$ 。它是表征断路器开断能力的参数。在额定电压下，断路器能保证可靠开断的最大电流，称为额定开断电流，其单位用断路器触头分离瞬间短路电流周期分量有效值的千安数表示。当断路器在低于其额定电压的电网中工作时，其开断电流可以增大。但受灭弧室机械强度的限制，开断电流有一最大值，称为极限开断电流。

(2) 额定短路关合电流。它是表征断路器关合电流能力的参数。因为断路器在接通电路时，电路中可能预伏有短路故障，此时断路器将关合很大的短路电流。这样，一方面由于短路电流的电动力减弱了合闸的操作力，另一方面由于触头尚未接触前发生击穿而产生电弧，可能使触头熔焊，从而使断路器造成损伤。断路器能够可靠关合的电流最大峰值，称为额定关合电流。额定关合电流和动稳定电流在数值上是相等的，两者都等于额定开断电流的 2.55 倍。

(3) 额定背对背关合电容器组涌流。单组电容器投入时，所产生的涌流一般在电容器额定电流的十几倍，最高在二十几倍。第二组电容器再投入时，除由电源对电容器产生涌流外，已充电的第一组电容器也要对第二组进行充电，形成涌流，由于两组电容器的安装位置很近，其间电感很小，通常只有几个微亨。因此，投入第二组电容器时，第一组电容器向第二组电容器充电会产生很大的涌流，比投入第一组时要严重得多。若有更多组电容器，同理，后投入者的涌流将更大。额定背对背电容器组开断电流，是断路器在其额定电压和本标准规定的使用和性能条件下应能开断的最大电容电流，开断时不得出现重击穿，在运行中操作过电压未超过规定的最大允许值。

### 1.2.3 机械性能

断路器的机械性能直接决定断路器的各种电气性能，还关系到断路器的运行寿命。表