

用电实用技术丛书

电工现场作业 技能手册

主编 马雁 刘海涛 陈蕾



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

用电实用技术丛书

电工现场作业 技能手册

主编 马雁 刘海涛 陈蕾



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共 5 篇 36 章, 分别介绍了 10kV 及以下供用电设备的选择、安装、运行维护、倒闸操作、检修及作业中的安全操作等内容。

全书内容系统全面, 通俗易懂, 岗位实用, 可供广大城乡、工矿企事业电工学习参考, 也可作为电工培训教材。

图书在版编目 (C I P) 数据

电工现场作业技能手册 / 马雁, 刘海涛, 陈蕾主编
— 北京: 中国水利水电出版社, 2011.3
(用电实用技术丛书)
ISBN 978-7-5084-8459-4

I. ①电… II. ①马… ②刘… ③陈… III. ①电工—
技术手册 IV. ①TM-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第040329号

书 名	用电实用技术丛书 电工现场作业技能手册
作 者	主编 马雁 刘海涛 陈蕾
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 32.25 印张 1139 千字
版 次	2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—3100 册
定 价	86.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

本书编写人名单

主 编：马 雁 刘海涛 陈 蕾

副主编：张贤斌 陈家斌 崔军朝 葛秦岭 刘东升 张光明
李强友 季 宏 季 钢 朱秀文 孟凡钟 李文霞
张 利 沈 磊 杨 旭 谢 伟 雷 明 孟建峰
雷 鸣 张露江 易保华 徐红霞

编 委：段志勇 吴 起 臧小萌 张建村 耿 伟 陈 钊
殷俊河 郭 锐 杨大冬 闫志刚 周 勇 张永刚
周卫民 郭宝明 杨 巍 刘宏伟 赵 鹏 宋志勇
石海霞 冷 冰 程魁杰 罗碧华 郭 琦 王佳佳
宋 东 王玉莲 张建乡 王 璞 王云浩 王佑民
方 富 王瑞奇 康 巍 朱瑞芳 张华伟 牛新萍
朱建华 孙莹莹 李 楠 常 建



前言

随着国民经济的发展，人民生活不断提高，电力工业也得到飞速的发展，随着科技创新电气设备不断更新，电力职工专业技术水平必须跟上科技的发展，才能保证电网安全、优质、经济运行。为满足广大电工岗位技能提高的需求，我们组织电力系统专家编写《电工现场作业技能手册》，供广大电工在工作中学习参考。

本书的特点：一是内容较系统全面，对 10kV 及以下供用电设备从选择、安装、运行、倒闸作业、检修及作业安全操作等内容进行了系统的介绍；二是内容简明扼要，通俗易懂，简便实用，易于操作，便于自学；三是实用性强，注重实践和可操作性，尤其是青年职工一学就会，拿来就用，立竿见影，读者学习本书后就能很快胜任本职工作；四是本书依据现行国家技术标准编写的。

由于编者水平有限，书中如有不妥之处，恳请读者专家给予指正。

编 者

2010 年 10 月

目 录

前言

第一篇 电气设备选择及安装

第一章 高压配电设备的选择及安装	1	第一节 瓷夹、瓷柱(珠)及瓷瓶配线	
第一节 高压配电设备的类型	1	安装操作	71
第二节 高压配电设备的选择	2	第二节 护套线配线安装操作	79
第三节 高压配电设备的安装操作	7	第三节 槽板配线安装操作	82
第四节 工程质量标准及保证措施	15	第六章 低压电器的选择及安装	86
第二章 配电变压器的选择及安装	17	第一节 工程材料(设备)	86
第一节 变压器的结构及技术数据	17	第二节 低压电器的选择	86
第二节 变压器容量及安装位置选择	19	第三节 低压电器的安装操作	89
第三节 变压器的安装操作	21	第四节 工程质量标准及保证措施	92
第四节 变压器的试验与检查	27	第七章 异步电机的选择及安装	94
第五节 互感器的安装	29	第一节 电机的分类及技术参数	94
第六节 工程质量标准及保证措施	29	第二节 电动机的选择	95
第三章 架空电力线路的规划设计及施工安装	31	第三节 电机安装操作	95
第一节 工程设备材料及参数	31	第四节 工程质量标准及保证措施	104
第二节 配电线路的规划与设计	33	第八章 电气照明器具的选择及安装	107
第三节 线路施工安装操作	38	第一节 工程材料	107
第四节 工程质量标准及保证措施	50	第二节 照明灯具的选择	108
第四章 电缆线路施工安装	52	第三节 照明装置的安装操作	110
第一节 工程材料	52	第四节 工程质量标准及保证措施	118
第二节 电缆线路路径选择及敷设方式	54	第九章 电气接地装置安装	120
第三节 电力电缆的选用	56	第一节 工程材料	120
第四节 电力电缆工程施工操作	60	第二节 接地装置的施工操作	120
第五节 工程质量标准及保证措施	69	第三节 工程质量标准及保证措施	127
第五章 低压配线安装	71		

第二篇 电气设备运行管理

第十章 变压器运行管理	129	第三节 真空断路器的运行管理	143
第一节 变压器的运行要求	129	第四节 隔离开关的运行管理	147
第二节 变压器运行维护	130	第五节 高压熔断器的运行管理	150
第三节 变压器的运行异常处理	131	第六节 负荷开关的运行管理	151
第十一章 高压配电设备运行管理	139	第七节 避雷器的运行管理	154
第一节 断路器的运行要求	139	第八节 电压互感器的运行管理	156
第二节 SF ₆ 断路器的运行管理	140	第九节 电流互感器的运行管理	163

第十节 并联电力电容器的运行管理	167	第五节 按钮的运行管理	218
第十一节 绝缘子、套管的运行管理	175	第六节 交流接触器的运行管理	220
第十二节 接地装置的运行管理	178	第七节 控制继电器的运行管理	225
第十三节 高压配电装置的运行管理	180	第十五章 电工仪表的运行管理	231
第十二章 电力线路运行管理	185	第一节 电工仪表的基本要求	231
第一节 架空电力线路运行要求	185	第二节 电工仪表的运行故障处理	231
第二节 架空电力线路运行管理	188	第三节 电能表的运行管理	235
第三节 架空电力线路运行故障处理	190	第十六章 电动机的运行管理	238
第十三章 电力电缆线路运行管理	194	第一节 电动机的运行要求	238
第一节 电缆线路的运行要求	194	第二节 电动机的运行管理	240
第二节 电缆线路的运行管理	194	第三节 电动机运行故障处理	246
第三节 电缆线路的运行故障处理	199	第十七章 照明装置及线路的运行管理	251
第十四章 低压电器的运行管理	203	第一节 灯具的使用要求	251
第一节 低压配电装置的运行管理	203	第二节 照明装置的运行管理	254
第二节 低压断路器的运行管理	207	第三节 照明线路、开关故障处理	257
第三节 刀开关的运行管理	214	第四节 照明灯具故障处理	258
第四节 低压熔断器的运行管理	216	第五节 家用电器常见故障处理	265

第三篇 电气设备倒闸操作

第十八章 电气设备倒闸操作要求	267	第二十一章 互感器、电容器的投退操作	301
第一节 电气设备倒闸操作任务及原则	267	第一节 互感器的投退操作	301
第二节 设备操作人员及现场要求	268	第二节 电容器的投退操作	302
第三节 电气设备倒闸操作的基本要求	269	第二十二章 电机的投退操作	305
第四节 电气设备倒闸操作步骤	273	第一节 电动机投退操作要求	305
第五节 电气设备倒闸操作票的填写	275	第二节 异步电动机的投运操作	308
第六节 验电及装设接地线的操作	277	第三节 小型发电机组并列操作	312
第七节 倒闸操作对设备的要求	279	第二十三章 电气设备试验操作	314
第八节 防止电气设备误操作措施	280	第一节 电气设备试验操作要求	314
第十九章 开关设备的投退操作	285	第二节 万用表、钳形表的使用操作	314
第一节 断路器的操作	285	第三节 电气设备绝缘测试操作	316
第二节 隔离开关的操作	287	第四节 断路器导电回路电阻测试操作	321
第三节 负荷开关的操作	289	第五节 接地电阻和土壤电阻率的测量	322
第四节 高压熔断器的操作	290	操作	322
第二十章 变压器的投退操作	292	第六节 相序、相位核定操作	323
第一节 变压器的操作准备工作及		第七节 变压器核相操作	326
原则	292	第八节 互感器的极性测定操作	332
第二节 变压器的投退操作	294	第九节 变压器的试验操作	333
第三节 变压器调压操作	296	第十节 三相笼型异步电动机定子绕组首、	
第四节 变压器并列操作	298	尾测定操作	338

第四篇 电气设备检修

第二十四章 变压器检修	340	第二十五章 高压开关检修	358
第一节 变压器检修准备工作	340	第一节 LW-10 型 SF ₆ 断路器检修	358
第二节 变压器检修工艺及质量要求	342	第二节 ZN28-10 型系列真空断路器	
第三节 变压器修理后试验	350	检修	364
第四节 变压器渗漏油修理	351	第三节 隔离开关检修	370

第二十六章 电力线路检修	373	第一节 电动机修理程序及项目	398
第一节 电力线路检修类型及周期.....	373	第二节 中小型三相异步电动机的拆卸和	
第二节 电力线路检修准备工作.....	375	组装.....	399
第三节 导线修理.....	376	第三节 三相异步电动机定子绕组修理	401
第四节 杆塔的维修及更换.....	379	第四节 电动机转子故障修理	406
第五节 拉线、横担、绝缘子更换.....	383	第五节 交流电机铁芯修理	410
第六节 接地装置维修.....	384	第六节 电动机转轴修理	411
第七节 电力电缆故障修理.....	385	第七节 异步电动机浸漆和烘干	415
第二十七章 低压电器维修	389	第八节 单相电机修理	416
第一节 交流接触器修理.....	389	第九节 异步电动机检修后试验	420
第二节 空气开关修理.....	392	第二十九章 照明灯具的修理	423
第三节 刀开关修理.....	394	第一节 白炽灯修理.....	423
第四节 低压电器试验.....	394	第二节 荧光灯修理.....	424
第二十八章 电动机修理	398	第三节 碘钨灯、高压水银灯的修理.....	428

第五篇 电气作业安全技术

第三十章 触电形式及防护方法	430	第三十四章 电力施工安全技术	470
第一节 触电形式.....	430	第一节 变电设备的施工安全技术.....	470
第二节 触电事故规律及防护方法.....	431	第二节 架空线路施工安全技术.....	474
第三十一章 电击防护技术	433	第三节 电缆施工安全技术.....	481
第一节 安全电压及应用.....	433	第四节 低压内线安装安全技术.....	482
第二节 电气安全距离.....	433	第三十五章 电气设备运行维修操作安全	
第三节 电气绝缘要求.....	437	技术.....	486
第四节 电气保护接地接零及应用.....	441	第一节 配电设备维修操作安全要求.....	486
第五节 电磁场、静电防护技术.....	444	第二节 电力线路维修操作安全技术.....	489
第六节 防雷电伤害人身的措施.....	448	第三十六章 电气作业中危险点及预控	493
第三十二章 防止误触电技术	451	第一节 电气作业中危险点的特征及	
第一节 在电气设备上工作安全规定.....	451	查找.....	493
第二节 防止误进带电间隔技术.....	453	第二节 电气设备试验作业中的危险点及	
第三节 防止误登带电杆塔技术.....	455	预控.....	494
第四节 手持式电动工具安全使用.....	455	第三节 配电设备维修作业中的危险点及	
第五节 电气安全用具的使用.....	461	预控.....	497
第三十三章 在停电设备上作业时防止突然来		第四节 电力线路维护作业中的危险点及	
电保护技术	463	预控.....	499
第一节 停电设备突然来电原因及防护.....	463	第五节 计量仪表现场作业中的危险点及	
第二节 防止双电源用户倒送电措施.....	464	预控.....	504

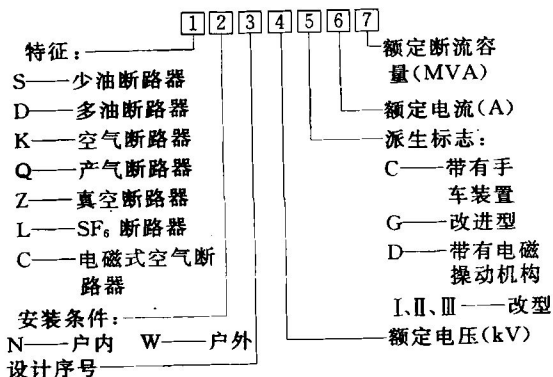
第一章 高压配电设备的选择及安装

第一节 高压配电设备的类型

高压开关是用于开断与关合额定电压为 10kV 及以下输、配电线路的电器设备。按其功能通常可分为断路器、负荷开关、隔离开关、接地开关四种。还可以按交流与直流、户内与户外、灭弧介质、用途及结构特征等进行分类。分类及主要作用见表 1-1。表中“×”表示不具备的作用。

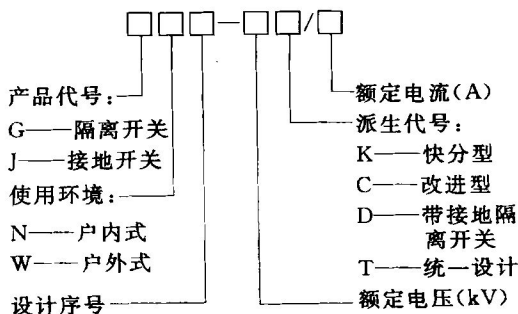
分 类	主要作用	负 荷 电 流			短 路 电 流		
		长期 承载	开断	关合	短时 承载	开断	关合
1. 断路器	控制、保护	○	○	○	○	○	○
2. 负荷开关	控制	○	○	○	○	×	×
3. 隔离开关	安全隔离	○	×	×	○	×	×

型号含义:



隔离开关的种类型号较多，主要的分类方法，是根据安装地点（即工作环境）分为户内和户外两大类。按有无接地隔离开关可分为有接地隔离开关和无接地隔离开关。此外，还可根据结构不同，分为单极和三极隔离开关、单柱、双柱和三柱隔离开关。

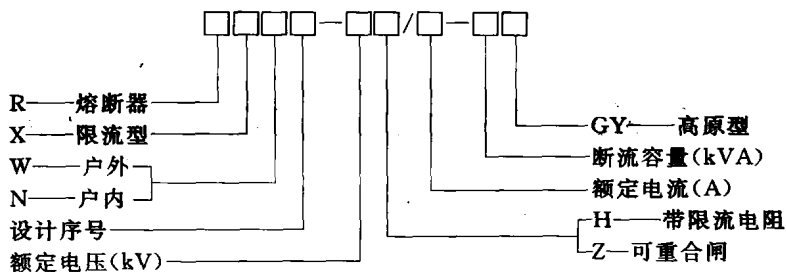
隔离开关型号的含义与高压断路器的型号相似，国产隔离开关的型号，也是采用统一的字母（汉语拼音字母）和数字混合编制如下：



高压熔断器装于户外，是配电变压器的操作控制设备和保护设备。正常运行时，可用它将变压器接入和退出电网；当过载电流或短路电流通过熔断器时，熔丝熔断，使电路断开，达到保护变压器的目的。其熔丝是装在能分解气体的熔管内，当熔丝熔断时，熔管依靠重力和接触部分的弹力跌落下来。这时，电弧被拉长，加之气体的灭弧作用，使电弧熄灭。

该装置主要由固定支架的瓷绝缘子和活动的熔管两部分组成，它没有灭弧装置，只能用来接通或断开空载变压器或带轻负荷的变压器。

高压熔断器的型号含义:



目前常用于 6~10kV 电压等级的高压熔断器有 $RW_3 - (6) 10$ 和 $RW_4 - (6) 10$ 两种。

四、电容器

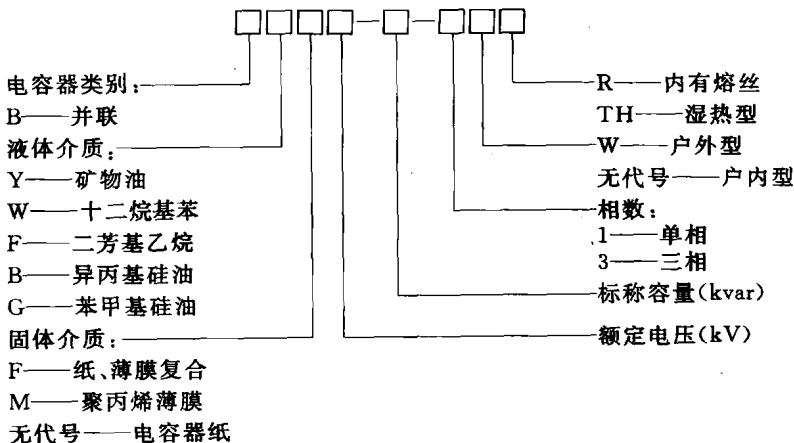
移相电容器主要用于交流 50Hz 的电力网中提高功率因数，作为产生无功功率的电源。

按安装方式分为户内式和户外式。按相数分为单

相和三相电容器。

按额定电压分为高压和低压电容器，高压电容器的额定电压为 10.5kV、6.3kV、3.15kV；低压电容器的额定电压为 0.525kV、0.4kV、0.23kV。

移相电容器型号含义：



无论是单相还是三相移相电容器，电容元件（芯子）均放在外壳（油箱）内，箱盖与外壳焊在一起，其上装有引线套管，套管的引出线通过出线连接片与元件的极板相连接。

箱盖的一侧焊有接地片，做保护接地用。在外壳的两侧焊有两个搬运的吊环。电容器的元件主要采用卷绕的形式，在电容器纸上铺上铝箔卷绕成圆柱形卷束，然后再压成扁平状元件。

五、避雷器

避雷器有保护间隙、管形避雷器、阀形避雷器、磁吹避雷器和氯化物避雷器等。

避雷器装设在被保护物的引入端，其上端接在线路上，下端接地。正常时，避雷器的间隙保持绝缘状态，不影响系统的运行。当因雷击而有高压冲击波沿线路袭来时，避雷器间隙击穿而接地，从而强行切断冲击波。这时，能够进入被保护物的电压，仅是雷电流通过避雷器及其引下线和接地装置产生的所谓残压。雷电流通过以后，避雷器间隙又恢复绝缘状态，以便系统正常运行。

第二节 高压配电设备的选择

配电设备的选择就是根据配电网的要求，确定所用配电设备型式和技术参数，保证电气设备在正常运行和故障情况下，都能安全可靠工作。

各种配电设备的具体选择条件虽然不完全一样，但对他们的基本要求是相同的，就是要保证电气设备可靠地工作，必须根据正常工作额定电压、额定电流和环境条件选择，按短路条件进行热稳定和动稳定校验。

一、按正常工作条件选择配电设备

(一) 按额定电压选择

在选择配电设备时，必须使电器装置地点电路的最大工作电压 U_g 不超过电气设备的最高工作电压 U_{sd} ，才能保证在正常运行情况下电器的绝缘不致破坏，即

$$U_{sd} \geq U_g$$

电气设备最高工作电压是制造厂保证的电器可以长期工作的最大电压，通常超过额定电压的 10%~15%（见表 1-2）。

表 1-2

电气设备的允许工作条件

项目		设备		隔离 开关	断路器	电流 互感器	电压 互感器	变压器	电抗器	熔断器	电力 电容器
		绝缘子	支柱								
最高工作 电压	3~35kV	1.15 U_N				1.1 U_N				1.15 U_N	
	110kV	1.1 U_N								—	
最大工作 电流	低于 θ_N 时	—	每低 1℃可增加 0.5%， 至 0.2 I_N 为止				—	按 1%及 3%控制	I_N	I_N	—
	高于 θ_N 时	—	$I_N \sqrt{(75-\theta)/(75-\theta_N)}$				—	$I_N \frac{\theta-\theta_N}{100}$	同电流 互感器	—	—
环境温度 (℃)	额定 θ_N	40				40	40			25	
	最高	40				40	40			40	
	最低	-40				-30	-30	—	-40	-40	
短路 情况	动稳定	0.6 P_g		i_{kf}		$K_d \geq \frac{i_{ch}}{\sqrt{2} I_N}$	—	—	i_{kf}	—	—
	热稳定	—	$I_{\infty}^2 t_j$				—	$I_{\infty} \leq 2.5 I_N$ $t \leq \frac{900}{K_f^2}$	$I_{\infty}^2 t_j$	—	—
	短路电流	—	—	—	$S_{0.2}$ 或 S''	—	—	—	—	I'' 或 I_{ch}	—

注 1. 上表仅为一般的允许条件，不包括个别设备的特殊要求。

2. 表中 $K_f = \frac{I_{\infty}}{I_N}$ ； K_d 为动稳定倍数，由制造厂提供； i_{ch} 为短路冲击电流瞬时值； U_N 、 I_N 为设备本身的额定值； t_j 为

短路电流作用的假想时间 (s)； S' 为 os 的短路容量 MVA； I'' 为短路次暂态电流； P_g 为抗弯破坏负重 (kg)。

选择电路的额定电压时，只需满足电器装置地点电路的额定电压不大于电器的额定电压即可。

(二) 按额定电流选择

在选择电气设备时，为使发热不超过允许温度，就必须保证设备的额定电流不小于设备所在电路中最大连续工作电流，即

$$I_N \geq I_{gmax}$$

式中 I_N —— 设备的额定电流；

I_{gmax} —— 电路的最大连续工作电流。

电气设备所在电路的最大连续工作电流 I_{gmax} ，应根据该电气设备所在电路可能出现的最大长期运行方式去确定，例如：

(1) 变压器电路内的电气设备。因变压器可按一定规定过负荷运行，但电气设备没有过负荷能力，故用在变压器电路内的电气设备，应考虑用事故和检修时转移至该电路的负荷计算 I_{gmax} 。

(2) 送电线路内的电气设备。送电线路除担任正常工作的负荷外，还应考虑用事故和检修时转移至该电路的负荷计算 I_{gmax} 。

(3) 主母线。其最大长期工作电流并不等于主母线所连接的电源电流或总负荷电流，而应考虑实际上可能

的电流分布情况，一般可以乘以一负荷分配系数。

(4) 母线分段电路。可按分段母线容量最大一台机组停机时，可能通过的电流计算，一般为相邻两段母线上最大一台机组额定电流的 60%~80%。

周围空气温度对电器允许连续电流有很大影响，我国目前出产的电器按周围环境温度为 40℃ 设计（称为额定环境温度），如果电器装置地点周围环境温度大于 40℃，由于冷却条件变坏，它允许的工作电流要比额定电流小一些，其允许电流按下式校正

$$\frac{I_{\theta}^2}{I_N^2} = \frac{\theta_{xu} - \theta}{\theta_{xu} - 40}$$

$$I_{\theta} = I_N \sqrt{\frac{\theta_{xu} - \theta}{\theta_{xu} - 40}}$$

式中 θ —— 周围空气实际温度；

I_{θ} —— 当 $\theta > 40^\circ\text{C}$ 时，电器的长期允许工作电流；

θ_{xu} —— 电器的长期允许温度 (75℃)。

当周围空气实际温度 $\theta < 40^\circ\text{C}$ 时，则每低 1℃，允许电流就可增加 0.5%，但增加的总数不得超过额定电流的 20%。

我国有关标准规定，对于标准构造的电器，适应使用在周围环境温度的范围见表 1-2，并不得在大

于+60℃的周围空气温度下工作。

二、高压熔断器的选择

常用的高压熔断器有RN型户内式和RW型户外式两类。其中RN₁型适用于3~35kV电力线路和电气设备作为短路和过负荷保护；RW型适用于一般户外场所，作为电力线路和电力变压器的短路保护，以及作为小容量变压器的接通或断开之用。

选择高压熔断器，除应按照一般条件，满足工作电压和工作电流之外，还应考虑其断流容量。其关系式为

$$U_N > U_S$$

$$I_N > I_R$$

$$S_{dn} > S_d \text{ 或 } I_{dn} > I_d^{(3)}$$

式中 U_N ——熔断器及熔体的额定电压，kV；

I_N ——熔断器及熔体的额定电流，A；

U_S ——回路工作电压，kV；

I_R ——回路持续工作电流，A；

S_{dn} ——熔断器的额定断流容量，MVA；

I_{dn} ——熔断器的额定断流量，kA；

S_d ——短路容量，MVA；

$I_d^{(3)}$ ——短路电流，kA。

(一) RN₁型户内高压限流熔断器的选择

对于3~10kV RN₁型户内限流熔断器，应按下述原则选择：

(1) 熔断器额定电压应等于（不能高于或低于）安装地点的电网额定电压，因这种熔断器是限流的，熔断时将产生过电压。若将其用在低于它的额定电压的电网中，过电压倍数可达3.5~4倍，会使电网产生电晕或导致电网中其他设备损坏；若将其用在高于它的额定电压的电网中，则熔断时产生的过电压将引起电弧重燃，并难以熄灭，以致将熔断器的外壳烧坏。用在等于它的额定电压的电网中，熔断时过电压倍数仅为2~2.5倍，比设备线电压稍高一些，故无危险。

(2) 熔断器的额定电流必须不小于最大长期负荷电流，对于多级熔断器，必须满足特性配合的要求。

(3) 必须校验熔断器的断流能力，即流过熔断器的最大三相短路功率应不大于熔断器允许的断流容量。对于最大三相短路功率的计算，对限流熔断器用次暂态电流有效值 $I_N^{(3)}$ ，而对非限流熔断器用短路冲击电流的有效值 $I_a^{(3)}$ 。

(二) 电压互感器用熔断器的选择

用于保护电压互感器的户内高压熔断器，电压为35kV及以下的采用RN₂型，其熔件按机械强度选择。因负荷电流太小，若按负荷电流选，则所选熔件截面太细、易断。为了在过负荷时电压互感器得到保护，互感器低压侧熔断器的熔件按负荷电流选，一般选为2A。

同RN₁型一样，必须使熔断器额定电压不高干也不低于电网额定电压，必须使流过熔断器的最大三相短路功率不大于熔断器允许的断流容量。

对于35kV户外电压互感器的高压熔断器，一般用RW₂-35型羊角保险，由于其断流容量不够，故串接限流电阻以限制短路电流，因此不校验熔断器的断流能力。

三、隔离开关的选择

隔离开关没有灭弧装置，所以它只用于在断路器切断状态下，作为接通和切断电源之用。电力设计规范规定，隔离开关也可以在下列情况下作小功率操作：

(1) 切合电压互感器和避雷器回路。

(2) 切合励磁电流不超过2A的空载变压器。

(3) 切合电容电流不超过2A的空载线路。

(4) 切合电压为10kV及以下，电流为15A以下的线路。

(5) 切合电压为10kV及以下，环路均衡电流为70A及以下的环路。

隔离开关因无切断故障电流的要求，所以它只根据一般条件进行选择。

(1) 隔离开关的额定电压不小于安装地点的电网额定电压。

(2) 隔离开关的额定电流不小于流过隔离开关的最大长期负荷电流。

(3) 可安装户内式或户外式。

(4) 隔离开关允许的动稳定电流峰值不小于流过隔离开关的最大三相短路冲击电流。

(5) 隔离开关允许的10s热稳定电流发热 $I_{10}^2 \times 10$ ，不小于在隔离开关流过最大三相或两相短路电流时，在流过时间内的发热 $I_{\infty}^2 (t_{jx} + t_{jfx})$ （式中的 I_{∞} 为稳定短路电流， t_{jx} 为周期分量假想时间， t_{jfx} 为非周期分量假想时间）。

四、断路器的选择

选择高压电器元件，除了上述的一般条件外，由于它们在供电系统中有不同的功能，所以还要根据其特殊工作条件，满足一些附加的要求，在具体的选择中应予以考虑，下面分别说明。

目前在高压系统中常用的断路器有油断路器、空气断路器、SF₆断路器、真空断路器等多种类型。它们采用的灭弧介质不同，适用不同的场合和运行条件。如油断路器广泛应用在发电厂、变电所、配电站做切换额定电流。开断短路故障和瞬时自动重合闸之用，真空断路器在供电系统中适用于频繁操作之用等。

高压断路器是电力系统最重要的开关设备，它不仅应能安全地切合负载电流，而且更重要的是可靠

迅速地切除短路容量。即

$$S_{d1} > S_d$$

式中 S_{d1} ——额定断流容量, MVA;

S_d ——短路容量, MVA。

三相短路容量为:

$$S_d^{(3)} = \sqrt{3} U_P I_d^{(3)}$$

用高压断路的额定切断电流表示, 应满足

$$I_{d1} > I_d^{(3)}$$

式中 I_{d1} ——额定切断电流, kA;

$I_d^{(3)}$ ——三相短路电流, kA。

(1) 断路器的额定电压不小于安装地点电网额定电压。

(2) 断路器的额定电流不小于流过断路器的长期最大负荷电流。

(3) 可安装户内式或户外式。

(4) 断路器的允许切断电流不小于流过断路器的最大三相短路次暂态电流。

(5) 断路器的允许切断容量不小于流过断路器的最大三相短路次暂态容量。

(6) 断路器允许的动稳定电流不小于流过断路器的最大三相短路冲击电流。

(7) 断路器允许的 t_s 热稳定电流的发热 $I_t^2 t$, 不小于最大三相或两相短路电流在流过断路器时间内的发热 $I_\infty^2 (t_{js} + t_{jfe})$ 。

五、负荷开关的选择

高压负荷开关专门用在高压装置中通断负荷电流, 为此负荷开关具有灭弧装置。但它的断流能力不大, 因此不能用于开断短路电流, 在使用负荷开关时, 线路的短路故障电流借助与它串联的高压熔断器进行保护。

在选择负荷开关时, 也只根据一般条件。

综上所述, 对于断路器、隔离开关、熔断器的选择条件, 见表 1-3。

表 1-3

断路器、隔离开关、熔断器的选择

项目设备	按工作电压选择	按工作电流选择	按断流容量选择	按动稳定校验	按热稳定校验
断路器	$U_N \geq U_k^\Phi$	$I_N \geq I_k$	$S_{dn}^\Phi \geq S'' (S_{0.2})$ 或 $I_{dn} \geq I'' (I_{0.2})^2$	$i_{kf} \geq i_{cj}^{(3)}$	$I_t \geq I_\infty \sqrt{\frac{t_j}{t}}$
隔离开关	$U_N \geq U_k^\Phi$	$I_N \geq I_k$	—	$i_{kf} \geq i_{cj}^{(3)}$	$I_t \geq I_\infty \sqrt{\frac{t_j}{t}}$
熔断器	$U_N \geq U_k^\Phi$	$I_{NR} \geq I_{Nj} \geq I_k^\Phi$	$I_{dn} \geq I''$ 或 $S_{dn} \geq S''$	—	—

① 当海拔超过 1000m 时, 应与制造厂联系是否需要加强绝缘。

② 当断路器安装在低于额定电压回路中时, 其断流容量可按下式换算:

$$S_{dn}(U) = S_{dn} \frac{U}{U_N}$$

③ 对充填石英砂有限流作用的熔断器还必须满足 $U_g = U_N \cdot R$ 。即熔断器的额定电压等于其工作电压。

④ 除满足此条件外, 在投入空载变压器、静电电容器时, 要避免由于正常的冲击电流而引起误动作。

其中: U_N —设备额定电压, kV;

U_k —回路工作电压, kV;

I_N —设备额定电流, A;

I_k —回路持续工作电流, A;

S_{dn} —设备额定断流容量, MVA;

S'' —os 短路容量, MVA;

I_{dn} —设备额定断流量, MVA;

I'' —短路暂态电流, kA;

$S_{0.2}$ —0.2s 的短路容量, MVA;

$I_{0.2}$ —0.2s 的短路电流, kA;

i_{kf} —设备通过电流值, kA;

$i_{cj}^{(3)}$ —回路中可能发生的三相短路电流最大冲击值, kA;

I_t —设备在 t 秒内的热稳定电流, kA;

I_∞ —回路中可能通过的最大稳态短路电流, kA;

t_j —短路电流作用的假想时间, s;

t —热稳定电流允许的作用时间, s;

I_{NR} —熔断器的额定电流, A;

I_{Nj} —熔断器熔件的额定电流, A。

六、电流互感器选择

电流互感器的二次侧额定电流一般是5A。在选择电流互感器时除了按照电器元件的一般条件进行选择和校验外,因为它是作为测量用的,所以对于测量准确度是有一定要求的。

电流互感器的准确度通常分为很多等级,如0.2级、0.5级、1级、3级等,用在不同的需要场合。电流互感器的准确度与二次侧所接的负荷开关,如果功率消耗超过该准确度所允许的数值范围,则电流互感器的准确度将降低。

电流互感器二次侧的负载,包括所有接仪表和继电器电流线圈的电阻、导线电阻及连接处的接触电阻等。

保证电流互感器准确度的条件为

$$P_{LH \cdot N} > I_{2N}^2 (\sum r + 0.1 + R)$$

式中 $P_{LH \cdot N}$ ——电流互感器在某一准确度下的额定容量, W;

I_{2N} ——电流互感器二次侧额定电流, $I_{2N} = 5A$;

$\sum r$ ——测量仪表及继电器电流线圈总电阻, Ω , 可由相关手册中查出;

0.1——接触电阻值, Ω ;

R ——连接导线的计算电阻, Ω 。

实际上,连接导线的电阻 R' 应小于 R , 否则不能满足准确度的要求。通常连接导线的长度小于2m, 其截面不小于 $2.5mm^2$ 。

(1) 电流互感器的额定电压不小于安装地点的电网额定电压。

(2) 电流互感器的额定电流不小于流过电流互感器的长期最大负荷电流。

(3) 可安装户内式和户外式。

(4) 做出电流互感器所接负载的三相电路图, 根据负载的要求确定所需电流互感器的准确度级。例如, 测量仪表需0.5级, 过流保护需3级, 差动保护需D级。

(5) 根据电路图确定每相绕组所串联的总电阻抗欧姆数(包括负载电流线圈的阻抗、连接导线的电阻和接触电阻), 要求其中总欧姆数最大的一相, 不大于选定准确级下的允许欧姆数。

一般接触电阻取 0.1Ω , 连接导线电阻由其长度和截面确定。连接导线截面的确定方法如下: 根据所需准确级确定允许接的欧姆数, 此欧姆数减去最大的一相的电流线圈欧姆数及接触电阻欧姆数, 得最大允许的连接导线电阻, 再根据导线计算长度及电阻率, 用公式 $R = \rho L / S$ 确定导线最小允许截面积。一般限于机械强度的要求, 截面积应不小于 $2.5mm^2$, 并采用铜线。

在计算导线电阻的公式 $R = \rho L / S$ 中, 导线计算

长度 L 与实际导线长度 L_1 的关系, 依电流互感器的不同接法而有所不同。在图1-1中, 分别标出了单相、三相和两相时的计算长度 L 与互感器到负载 R_F 间的电缆长度 L_1 的关系。

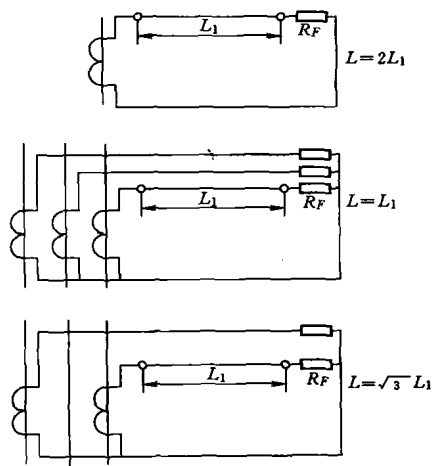


图1-1 电流互感器不同接法时导线计算长度 L 与实际长度 L_1 的关系

(6) 校验电动稳定。流过电流互感器最大三相短路冲击电流 $i_{sh}^{(3)}$ 与电流互感器原边额定电流振幅 $\sqrt{2}I_{1N}$ 之比, 应不大于动稳定倍数 K_d , 即

$$i_{sh}^{(3)} / \sqrt{2} I_{1N} \leq K_d$$

短路电流不仅在互感器内部产生作用力, 而且根据安装情况, 相与相间将产生作用力到绝缘瓷瓶帽上, 该力为

$$F^{(3)} = 0.5 \times 1.76 i_{sh}^{(3)2} \frac{L}{a} \times 10^{-2} (\text{kg})$$

式中 a ——互感器相间距离, cm;

L ——从绝缘瓶帽到最近支柱绝缘子的距离, cm;

$i_{sh}^{(3)}$ ——三相短路冲击电流, kA;

0.5——计及作用力在绝缘瓶帽与最近支柱绝缘子之间距离上的分布系数。

该力不应大于电流互感器绝缘瓷瓶帽上的最大允许荷重。

(7) 校验热稳定。产品目录给出1s热稳定倍数 K_t , 要求最大三相或两相短路电流发热不大于允许的发热, 即

$$I_{\infty}^2 (t_{jk} + t_{jfc}) \leq (I_{1N} K_t)^2 \times 1$$

七、电压互感器的选择

选择电压互感器除了考虑它的型式和额定电压之外, 也要考虑它的准确度。和电流互感器一样, 也要使它二次侧所接的负荷(电压表和其他仪表及继电器的电压线圈)不得超过其额定负荷。即

$$S_N > S_{jz}$$

式中 S_N ——电压互感器的额定容量, VA;

S_{JZ} ——电压互感器二次侧连接负载所消耗的功率, W。

实用中, 须注意负载应尽量在电压互感器二次侧各相分布平衡; 电压互感器和负载的连接线截面一般取 $1.5 \sim 4.0 \text{ mm}^2$ 。

(1) 电压互感器的额定电压不小于安装地点电网额定电压。

(2) 可装设户内式或户外式。

(3) 结构形式如下:

35kV 电压, 采用三个单相电压互感器接成 $Y_0/\Delta-12$, 每个单相电压互感器变比是 $\frac{35000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}-12$ 。

(4) 做出电压互感器副边接负荷的三相电路图, 根据所接负荷要求, 确定电压互感器准确级, 一般有功率测量用 0.5 级。

统计每相所接负荷的伏安数, 将同一相中所接表计电压线圈的有功功率相加和无功功率相加, 然后求总有功功率及总无功功率的平方和再开方, 就得该相所接负荷总伏安数, 并算出总功率因数角, 最后算出电压互感器每相副绕组所供的伏安数, 按最大一相确定所选准确级下的允许伏安数。

第三节 高压配电设备的安装操作

一、一般要求

采用的设备及器材均应符合国家现行技术标准的规定, 并应有合格证件。设备应有铭牌。

(1) 设备及器材到达现场后, 应及时做下列验收检查:

1) 包装及密封应良好。

2) 开箱检查清点, 规格应符合设计要求, 附件、备件应齐全。

3) 产品的技术文件应齐全。

4) 要求作外观检查。

(2) 施工中的安全技术措施, 应符合现行有关安全技术标准及产品的技术文件的规定。对重要工序, 尚应事先制定安全技术措施。

(3) 与高压电器安装有关的建筑工程施工, 应符合下列要求:

1) 与高压电器安装有关的建筑物、构筑物的建筑工程质量, 应符合国家现行的建筑工程施工及验收规范中的有关规定。当设备及设计有特殊要求时, 尚应符合其要求。

2) 设备安装前, 建筑工程应具备下列条件:

a) 屋顶、楼板施工完毕, 不得渗漏。

b) 室内地面基层施工完毕, 并在墙上标出地面标高; 在配电室内, 设备底座及母线的构架安装后, 做好抹光地面的工作; 配电室的门窗安装完毕。

c) 预埋件及预留孔符合设计要求, 预埋件牢固。

d) 进行装饰时有可能损坏已安装的设备或设备安装后不能再进行, 装饰的工作应全部结束。

e) 混凝土基础及构架达到允许安装的强度和刚度, 设备支架焊接质量符合要求。

f) 模板、施工设施及杂物清理干净, 并有足够的安装用地, 施工道路通畅。

g) 高层构架的走道板、栏杆、平台及梯子等齐全牢固。

h) 基坑已回填夯实。

3) 设备投入运行前, 建筑工程应符合下列要求:

a) 消除构架上的污垢, 填补孔洞以及装饰等应结束。

b) 完成二次灌浆和抹面。

c) 保护性网门、栏杆及梯子等齐全。

d) 室外配电装置的场地应平整。

e) 受电后无法进行或影响运行安全的工作施工完毕。

4) 设备安装用的紧固件, 除地脚螺栓外应采用镀锌制品; 户外用的紧固件应采用热镀锌制品; 电器接线端子用的紧固件应符合现行国家标准《变压器、高压电器和套管的接线端子》的规定。

5) 高压电器的瓷件质量, 应符合现行国家标准《高压绝缘子瓷件技术条件》和有关瓷产品技术条件的规定。

(4) 电器设备开箱检查。

1) 开箱检查清点, 电器规格应符合设计要求, 附件、备件应齐全。

2) 产品技术文件齐全。

3) 作外观检查, 设备应无机械损伤。

4) 填写“设备开箱检查记录”, 参加的甲、乙双方代表签证存档。

(5) 基础验收。

1) 基础的中心距离和高度误差不应大于 10mm。

2) 预留孔或预埋铁件中心线误差不应大于 10mm。

3) 预埋螺栓中心线的误差不应大于 2mm。

4) 填写“设备基础验收记录”。

二、SF₆ 断路器的安装

(一) 一般规定

(1) SF₆ 断路器在运输和装卸过程中, 不得倒置, 碰撞或受到剧烈振动。制造厂有特殊规定标记的, 应按制造厂的规定装运。

(2) SF₆ 断路器到达现场后的检查应符合的

要求:

- 1) 开箱前检查包装应无残损。
- 2) 设备的零件、备件及专用工具应齐全、无锈蚀和损伤变形。
- 3) 绝缘件应无变形、受潮、裂纹和剥落。
- 4) 瓷件表面应光滑、无裂纹和缺损,铸件应无砂眼。
- 5) 充有 SF₆ 等气体的部件,其压力值应符合产品的技术规定。
- 6) 出厂证件及技术资料应齐全。
- (3) SF₆ 断路器到达现场后的保管应符合下列要求:

- 1) 设备应按原包装放置于平整、无积水、无腐蚀性气体的场地,并按编号分组保管;在室外应垫上枕木并加盖篷布遮盖。
- 2) 充有 SF₆ 等气体的灭弧室和罐体及绝缘支柱,应定期检查其预定压力值,并做好记录;有异常时应及时采取措施。
- 3) 绝缘部件、专用材料、专用小型工具及备品、备件等应置于干燥的室内保管。
- 4) 瓷件应妥善安置,不得倾倒、互相碰撞或遭受外界的危害。

(二) SF₆ 断路器的安装与调整

(1) SF₆ 断路器安装前应进行下列检查:

- 1) 断路器零部件应齐全、清洁、完好。
- 2) 灭弧室或罐体和绝缘支柱内预充的 SF₆ 等气体的压力值和 SF₆ 气体的含水量应符合产品技术要求。
- 3) 绝缘部件表面应无裂缝、无剥落或破损,绝缘应良好,绝缘拉杆端部连接部件应牢固可靠。
- 4) 瓷套表面应光滑无裂纹、缺损,外观检查有疑问时应探伤检验;瓷套与法兰的接合面粘合应牢固,法兰结合面应平整、无外伤和铸造砂眼。
- 5) 传动机构零件应齐全,轴承光滑无刺,铸件无裂纹或焊接不良。

6) 组装用的螺栓、密封垫、密封脂、清洁剂和润滑脂等的规格必须符合产品的技术规定。

7) 密度断路器的压力表应经检验。

(2) SF₆ 断路器的安装,应在无风沙、无雨雪的天气下进行;灭弧室检查组装时,空气相对湿度应小于 80%,并采取防尘、防潮措施。

(3) SF₆ 断路器不应在现场解体检查,当有缺陷必须在现场解体时,应经制造厂同意,并在厂方人员指导下进行。

(4) SF₆ 断路器的组装,应符合下列要求:

- 1) 按制造厂的部件编号和规定顺序进行组装,不可混装。
- 2) 断路器的固定应牢固可靠,支架底架与基础

的垫片不宜超过三片,其总厚度不应大于 10mm;各片间应焊接牢固。

3) 同相各支柱瓷套的法兰面宜在同一水平面上,各支柱中心线间距离的误差不应大于 5mm,相间中心距离的误差不应大于 5mm。

4) 所有部件的安装位置正确,并按制造厂规定要求保持其应有的水平或垂直位置。

5) 密封槽面应清洁,无划伤痕迹;已用过的密封垫(圈)不得再使用;涂密封脂时,不得使其流入密封垫(圈)内侧而与 SF₆ 气体接触。

6) 应按产品的技术规定更换吸附剂。

7) 应按产品的技术规定选用吊装器具、吊点及吊装程序。

8) 密封部位的螺栓应使用力矩扳手紧固,其力矩值应符合产品的技术规定。

(5) 设备接线端子的接触表面应平整、清洁、无氧化膜,并涂以薄层电力复合脂;镀银部分不得锉磨;载流部分的可挠连接不得有折损、表面凹陷及锈蚀。

断路器调整后的各项动作参数,应符合产品的技术规定。

(6) SF₆ 断路器和操动机构的联合动作,应符合下列要求:

- 1) 在联合动作前,断路器内必须充有额定压力的 SF₆ 气体。
- 2) 位置指示器动作应正确可靠,其分、合位置应符合断路器的实际分、合状态。
- 3) 具有慢分、慢合装置者,在进行快速分、合闸前,必须先进行慢分、慢合操作。

(三) LW3-10 断路器安装实例

断路器本体为三相共箱式结构,内部充满了 SF₆ 气体,无论操动机构还是断路器本体,出厂时已调整到最佳状态,要求正确使用即可。在搬运和安装时,决不允许抬六只瓷套。否则,瓷套会受力折裂破坏密封,造成漏气,导致产品不能使用。

该断路器配用的弹簧储能操动机构,能保证断路器的合闸速度和分闸速度不因人的力量大小、操作技术熟练程度和操作电源的稳定性而受影响,保证断路器在线路短路状态下,具有可靠的关合性能和开断性能。弹簧机构由合闸手柄(向下拉到底三次,合闸弹簧即储满能)棘轮、凸轮、合闸弹簧、分闸弹簧、手动脱扣连杆、脱扣器等部分组成。当合闸手柄或电动机驱动棘爪上、下运动时,便推动棘轮作顺时针转动,合闸弹簧被逐渐拉伸,达到“死点”位置时,合闸能量即已储满。当超过“死点”时,Ⅰ型断路器立即合闸,同时使分闸弹簧储能。拉下脱扣环,则可使断路器才能合闸;Ⅱ型断路器则保持在储能位置,只有当合闸线圈受电时,合闸脱扣器动作,断路器才能

合闸。在合闸的同时,电动机再次驱动棘爪上下运动,又使合闸弹簧储能,做好重合闸准备。当分闸线圈接受分闸指令后,断路器在分闸弹簧作用下快速分闸;如受重合闸继电器控制则继续完成重合闸动作。

此外,装有电接点真空压力表,出厂时将报警闭锁值调至 0.2MPa (按 0.25MPa、 -10°C 考虑),只要按图接线即可。但不管如何,报警闭锁值不得低于 0.2MPa。

断路器安全平稳地固定在支架后,断路器接好一次线即可进行合分操作调试。调试完毕,再装回原样,手柄操作灵活,指针转动自如即可。

图 1-2 所提供的安装方式仅供参考,可根据自己的经验和实际布置进行设计、安装,但安装后必须满足下列要求:

- (1) 水泥杆的埋设应牢固、可靠。
- (2) 操作断路器时,水泥杆和支架应无摇动现象。
- (3) 断路器应可靠接地。
- (4) 断路器的接线端子在接触时不允许强力拉动,并保证接好线的端子在正常情况下不受强力(电力除外)牵扯。

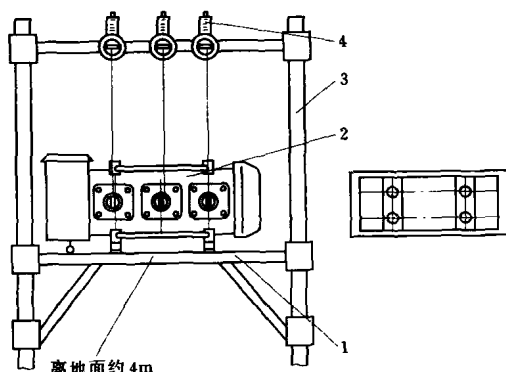


图 1-2 LW3-10 断路器电杆上安装示意图

1—支架; 2—断路器; 3—水泥杆;

4—户外高压隔离开关

(四) 试验

(1) SF₆ 断路器试验项目,应包括下列内容:

- 1) 测量绝缘拉杆的绝缘电阻。
- 2) 测量每相导电回路的电阻。
- 3) 耐压试验。
- 4) 测量断路器的分、合闸时间。
- 5) 测量断路器的分、合闸速度。
- 6) 测量断路器主、辅触头分、合闸的同期性及配合时间。
- 7) 测量断路器合闸电阻的投入时间及电阻值。
- 8) 测量断路器分、合闸线圈绝缘电阻及直流电阻。

9) 断路器操动机构的试验。

10) 套管式电流互感器的试验。

11) 测量断路器内 SF₆ 气体的微量水含量。

12) 密封性试验。

13) 气体密度继电器、压力表和压力动作阀的校验。

(2) 测量绝缘拉杆的绝缘电阻值,应符合标准规定。

(3) 测量每相导电回路的电阻值及测试方法,应符合产品技术条件的规定。

(4) 耐压试验,应符合下列规定:应在断路器合闸状态下,且 SF₆ 气压为额定值时进行。试验电压按出厂试验电压的 80%。

(5) 测量断路器的分、合闸时间,应在断路器的额定操作电压,实测数值应符合产品技术条件的规定。

(6) 测量断路器的分、合闸速度,应在断路器的额定操作电压。实测数值应符合产品技术条件的规定。

(7) 测量断路器主触头三相及同相各断口分、合闸的同期性及配合时间,应符合产品技术条件的规定。

(8) 测量断路器分、合闸线圈的绝缘电阻值,不应低于 10MΩ,直流电阻值与产品出厂试验值相比应无明显差别。

(9) 测量断路器内 SF₆ 气体的微量水含量,应符合下列规定:

- 1) 与灭弧室相通的气室,应小于 150×10^{-6} 。
- 2) 不与灭弧室相通的气室,应小于 500×10^{-6} 。
- 3) 微量水的测定应在断路器充气 24h 后进行。

注:上述值均为体积比。

(10) 密封性试验可采用下列方法进行:

1) 采用灵敏度不低于 1×10^{-6} (体积比) 的检漏仪对断路器各密封部位、管道接头等处进行检测时,检漏仪不应报警。

2) 采用收集法进行气体泄漏测量时,以 24h 的漏气量换算,年漏气度不应大于 1%。

3) 泄漏值的测量应在断路器充气 24h 后进行。

(11) 气体密度继电器及压力动作阀的动作值,应符合产品技术条件的规定,压力表指示值的误差及其变差,均应在产品相应等级的允许误差范围内。

(五) 工程交接验收

1. 在验收时,应进行下列检查

(1) 断路器应固定牢靠,外表清洁完整;动作性能符合规定。

(2) 电气连接应可靠且接触良好。

(3) 断路器及其操动机构的联动应正常,无卡阻现象;分、合闸指示正确;辅助开关动作正确可靠。