

# 绝缘管型母线运维检测及试验探究

王雪松, 张向军

(阿坝水电开发有限公司, 四川 黑水 624000)

**摘要:**目前,随着国内电力行业的不断发展,传统的矩形母线、共箱母线及电力电缆已无法满足大容量、绝缘化和紧凑化的需求。此外,国家电网公司十八项反措亦明确提出了 35 kV 及以下变压器低压母线应考虑绝缘化的要求<sup>[1]</sup>,而绝缘管型母线具有这些传统母线没有的优势,在各行业得到广泛的应用。主要阐述了绝缘管型母线在日常运维检修过程中应用到的项目及方法,可以增强读者对绝缘管型母线在日常运维检修过程中检测及试验项目的认知。

**关键词:**电力;绝缘管型母线;运维;检修及试验;探究;标准

**中图分类号:** TJ765.4;O212.6;A715

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-2184(2022)01-0021-03

## Research on Operation and Maintenance Inspection and Test of Insulated Tubular Busbar

WANG Xuesong, ZHANG Xiangjun

(Aba Hydropower Development Co., LTD, Heishui, Sichuan, 624000)

**Abstract:** With the continuous development of domestic power industry, the traditional rectangular busbar, common box busbar and power cable can not meet the needs of large capacity, insulation and compactness. In addition, the State Grid Corporation of China also clearly puts forward in the Eighteen Countermeasures the requirement that insulation should be considered for low-voltage busbar of transformers with voltage of 35 kV or lower than 35 kV<sup>[1]</sup>, and the insulated tubular busbar has been widely used in various industries due to its advantages that the traditional busbar does not have. This paper mainly expounds the items and methods applied to the insulated tubular busbar in the process of daily operation and maintenance. Through this paper, readers can enhance their understanding of the inspection and test items of insulated tubular busbar in the process of daily operation and maintenance.

**Key words:** electric power; insulated tubular bus; operation and maintenance; maintenance and test; explore; standards

## 0 引言

绝缘管型母线(以下简称绝缘管母)是一种新型的母线型式,近些年来,绝缘管母广泛应用到发电厂、变电站、光伏发电工程等领域。在绝缘管母如此广泛的应用前提下,笔者在实际运维工作过程中,却并未发现相关的行业或企业通用技术标准,这为绝缘管母的日常运维检修工作带来了较大争议,为解决这一难题,结合实际工作经验,对绝缘管母的日常运维检修项目及方法提出了可行性探究。

## 1 绝缘管母简介

绝缘管母其实质是利用铜或铝等金属作为导

体,外敷绝缘层、屏蔽层、护套层的一种母线型式,绝缘管型母结构见图 1<sup>[2]</sup>,另外有些绝缘管母还有均压屏蔽层、绝缘防水层、接地屏蔽层等,还有防紫外线的绝缘层以及三色保护组成,各方面的结构非常严谨,起到了各种防护措施。绝缘管母具有载流量大、集肤效应低、机械强度高、外形尺寸小、绝缘性能强等众多优点。绝缘管型母不是简单的一段母线,在实际工程中需要由多段直线或弯曲母线、中间接头、母线终端、三通、支撑结构和穿墙结构组成一个整体母线系统才能够投入使用。总体上,是一个分相形式。到目前为止,国内生产绝缘管型母的企业有三十多家,采用的生产工艺有浇注、绕包和挤包三种,他们采用的绝缘材

收稿日期:2022-01-10

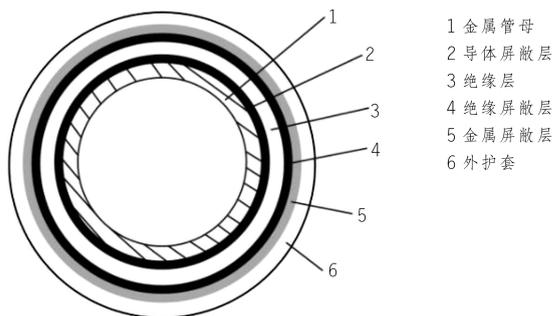


图1 绝缘管型母结构

料分别是环氧树脂、聚脂薄膜或聚四氟乙烯带涂硅油复合绝缘、三元乙丙橡胶或硅橡胶。

## 2 绝缘管母停电检修项目

### 2.1 外观检查

长期运行的绝缘管母,由于振动、发热等诸多因素,导致其支撑部件螺栓有所松动,尤其是户外型绝缘管母,容易遭受飞石、鸟粪等侵害。因此,在绝缘管母停电后的首要任务是检查其外观整体完好性,确保外护套层无划伤、破损等,同时检查其接地线连接可靠,并对绝缘管母整体进行卫生清扫。

### 2.2 主回路直流电阻测量

绝缘管母作为新型母线型式,因其制造、运输、安装等诸多条件限制,普遍采用分段式制造、现场组装的方式安装,因此安装完成的绝缘管母会出现多处接头,而在实际的运维检修过程中,为监视其接头处连接的牢固性,测量其主回路的直流电阻值十分必要。根据规范要求,主回路的直流电阻测量宜采用直流压降法<sup>[3]</sup>,测量的电流不小于100 A。测量时将绝缘管母其中一端三相短接,在另外一端测量A、B、C三相主回路电阻 $R_{AB}$ 、 $R_{BC}$ 、 $R_{CA}$ ,主回路直流测量示意图见图2,图中虚线为一端管母短接导线,测量时短接线的接头应可靠接触牢固。

直流电阻测试完毕后,测试结果与交接试验或历次试验结果对比不应有明显差距,同型号、同长度、同走向的绝缘管母的直流电阻值与三相电阻平均值的差异不应大于10%。若试验结果差异较大,则应对绝缘管母通以尽可能接近额定运行电流的电流值,并在待试品冷却至周围环境温度时再次测量主回路直流电阻值。若两次测量值

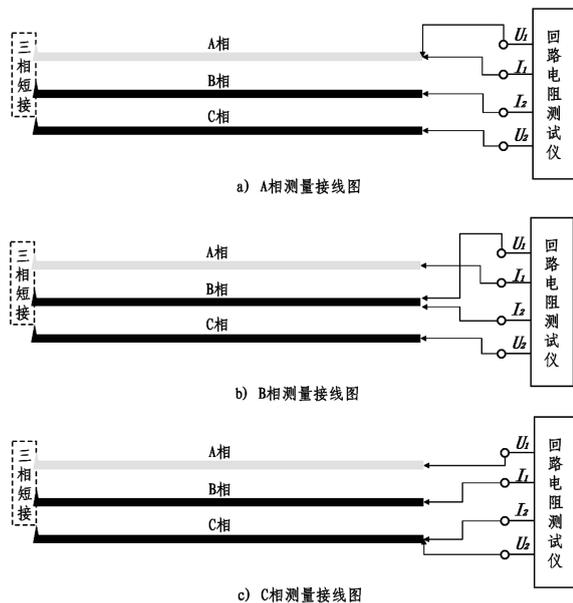


图2 主回路直流测量示意图

差异依然很大,则说明回路中某处存在虚接点,应查明原因后再进行规定的主回路直流电阻测试。

### 2.3 绝缘电阻试验

为检测绝缘管母在运行中整体是否存在受潮、绝缘劣化及热老化现象,同时也为高压试验提供预备试验,需对绝缘管母主回路进行相间及相对地绝缘电阻测量试验。参照母线、电力电缆等设备预防性试验项目,绝缘管母主回路绝缘电阻试验宜采用2 500 V及以上电压等级的兆欧表进行测量,测得的绝缘电阻值与历次试验结果相比应无明显差别,一般不小于1 000 M $\Omega$ <sup>[4]</sup>。由于还需进行交流耐压试验,绝缘电阻试验需在耐压试验前后分别进行测量,交流耐压后的绝缘电阻值不宜小于耐压前绝缘电阻值。

### 2.4 交流耐压试验

绝缘管母在运行中长期受着电场、温度和机械振动的作用会逐步发生劣化,形成缺陷。各种试验方法各有所长,均能发现一些缺陷,反映出绝缘状况,但除耐压试验以外的其他试验,试验电压往往都低于设备的工作电压,作为设备安全运行的保证还不够有力。交流耐压试验符合电力设备在运行中所承受的电气状况,同时交流耐压试验

电压一般比运行电压高,因此交流耐压试验合格的设备都有较大的安全裕度。交流耐压的试验电压一般比设备运行电压高得多,过高的试验电压会使绝缘介质发热、放电,会加速绝缘缺陷的发展,因此是一种破坏性试验。在进行交流耐压试验前,应该先对被试设备进行各种非破坏性试验,如测量绝缘电阻、介质损耗因数试验等,在对各项试验结果综合分析后,方可进行交流耐压试验,试验后应再次测量绝缘电阻,前后对比绝缘电阻值,不应有明显变化,防止在交流耐压试验过程中使缺陷扩大。

目前国内在绝缘管母的预防性试验方面还暂未发布通用技术标准,但由于绝缘管母与电力电缆结构相似,因此可以参考电力电缆试验标准进行。近年来国内对于电缆类的交流耐压普遍采用串联谐振方式进行,在频率为 20~300 Hz 范围内使  $X_L = X_C$ , 达到谐振状态后进行交流耐压试验<sup>[5]</sup>。其中:

谐振频率计算公式为:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

式中  $L$  为电抗器电感量; $C$  为试品电容量

试验电流计算公式为:

$$I_c = U_\omega C$$

$$\omega = 2\pi f$$

式中  $U$  为试验电压; $f$  为谐振频率; $C$  为试品电容量。

绝缘管母主绝缘交流耐压试验同样适用此方法,试验电压值可以采用现场交接试验的 80% 进行,持续时间为 1 min,试验过程中被试品应无击穿放电。若在试验过程中出现击穿放电,则应立即停止加压,并在被试品完全放电后进行绝缘电阻测量试验,将测得的绝缘电阻值与试验前进行对比,若阻值变化不大,可以再次重复耐压试验。如果该设备还能经受规定的试验电压,则该放电为自恢复放电,并认为交流耐压试验通过。若两次绝缘电阻值相差较大或二次耐压再次击穿,则应可认定为主回路存在击穿,应查明原因修复故障后再次进行试验,且试验电压标准应提高至 GB50150 所规定的交接试验标准。

### 3 绝缘管母带电监测项目

#### 3.1 定期巡检

除上述停电检查外,根据长期工作经验得出,绝缘管母在运行中,还需通过观察法对其进行外观检查,也就是按照“两票三制”中的巡回检查制度进行定期巡检。其主要项目包括运行中绝缘管母各主要连接部分防护罩、绝缘管母外护层应无刮伤、破损或明显放电痕迹,所有接地引下线应接地良好、可靠。

#### 3.2 温度检测

运行中的绝缘管母会过较大电流,为检测设备运行的良好性能,红外成像检测成为必要的手段之一。通过对绝缘管母整体、接头、支架等处的温度趋势判断,可预防设备事故的发生。常规的判断方法有表面温度判断法、相对温差判断法、同类比较法、热谱图分析法、档案分析法<sup>[6]</sup>。红外成像检测的结果应根据制造厂商规定及长期的运行经验综合判断。

此外,前文提到由于绝缘管母制造、运输、安装等诸多条件限制,会造成同一回路存在多处接头,而连接头的紧固程度直接影响设备的安全稳定运行,因此对运行中的绝缘管母连接头温度监视也十分重要。示温贴片作为带电设备局部温度监视的手段之一,在电力电缆中已得到广泛应用。通过绝缘管母的温升试验值,选择合适阈值温度的示温贴片贴于接头处,当温度达到阈值,通过变色提醒运维人员注意加强监视,将事故消除在萌芽中。

#### 3.3 接地电流监测

绝缘管母在运行过程中,其表面由于电磁感应原理会产生较大的感应电动势,随之产生较大的对地电容电流,若这些电容电流不及时泄放至大地,将会对人身、设备造成不可估量的影响,因此绝缘管母表面可靠接地成为设备安全稳定运行的前提之一。运行中绝缘管母各处的接地电流不应有明显差异,与同负载下历次接地电流对比也不应有明显差异。

### 4 结 语

经过上述的工作方法,绝缘管母在两年多的实际运行中,未发生任何事故,且在历次绝缘监督和设备评级工作中都达到了 100% 的设备完好率。

当前,电力设备预防性试验包括常规停电试

(下转第 35 页)

和 SPDC 2, 最终所有测点都对应为实例化的逻辑节点。这些实例化的逻辑节点再根据建模原则组成实例化的逻辑设备, 逻辑设备再组成变电设备状态监测装置 IED 的模型。

### 3 结 语

简要介绍了 IEC61850 标准和智能水电厂概念, 重点剖析了信息模型的组成和层次关系, 针对水电厂主设备状态监测系统, 通过梳理系统结构图, 提出将单元层智能状态监测装置划分为不同的 IED 的信息建模思路, 依据智能水电厂公共信息模型技术要求, 重点选取了测点相关的逻辑节点类完成了数据建模。

后续的建模工作主要包括梳理系统内各个 IED 之间的网络通信情况, 确定 GOOSE 网和 MMS 网上的数据信息, 完善信息模型的数据集、报告控制块、GOOSE 控制块以及 GOOSE 订阅块, 通过 IEC61850 标准提供各项的 ACSI 服务, 实现 IED 之间的互联互通。

作为智能水电厂集成标准化及决策智能化的重要体现, 水电厂主设备状态监测系统通过对各

(上接第 23 页)

验、带电测量及在线监测。其是保证电力设备安全稳定运行的有效手段之一, 也是绝缘监督的重要内容。但就目前而言, 绝缘管型母线暂时没有相应的关于预防性试验的行业和国家标准, 这导致绝缘管母的运维检修工作依然处于摸索阶段, 相关人员在工作中也存在较大争议。笔者旨在为相关人员对绝缘管母的运维检修工作提供一些工作思路, 并希望为推动企业标准、行业标准的制定尽一份绵薄之力。

#### 参考文献:

- [1] 国家电网有限公司. 国家电网有限公司十八项电网重大反事故措施[M]. 北京: 中国电力出版社, 2018. 12.

个现地智能装置进行 IEC61850 建模, 通过建立统一标准的数字信息模型, 便于不同自动化设备实现互联互通, 生产过程数据有效共享和利用, 从而实现提高生产维护效率和降低改造成本。

#### 参考文献:

- [1] 高志远, 黄海峰, 徐昊亮, 等. IEC61850 应用剖析及其发展探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(1): 162-169.  
 [2] 彭志强, 朱辰. IEC61850 在智能水电厂应用的相关技术[J]. 水电自动化与大坝监测, 2011, 35(4): 6-9.  
 [3] 吴维宁, 刘观标, 路正刚, 等. 智能水电厂技术导则[M]. 中华人民共和国电力行业标准(DL/T1547-2016), 2016: 2.  
 [4] 潘伟峰, 孙尔军, 朱传古, 等. 智能水电厂主设备状态监测与状态检修技术浅析[J]. 水电与抽水蓄能, 2017, 3(3): 29-34.  
 [5] 潘伟峰, 孙尔军, 朱传古, 等. 智能水电厂振摆保护与状态监测装置典型设计[J]. 水电与抽水蓄能, 2018, 4(4): 48-53.

#### 作者简介:

- 卢彦林(1981-), 男, 甘肃武威人, 高级工程师, 从事水电厂经营管理、检修技改和维护管理工作;  
 曹 伦(1988-), 男, 四川广元人, 工程师, 从事水电厂运营管理、检修技改和维护管理工作;  
 王 伟(1987-), 男, 四川眉山人, 工程师, 从事水电厂电气二次系统的检修技改和维护管理工作. (责任编辑: 吴永红)

- [2] DL/T 1658-2016, 35 kV 及以下固体绝缘管型母线[S].  
 [3] DL/T 304-2011, 绝缘金属封闭输电线路现场交接试验导则[S].  
 [4] QGDW 11150-2013, 国家电网公司水电站电气设备预防性试验规程[S].  
 [5] 陈化钢, 等. 电力设备预防性试验方法及诊断技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009. 497-498.  
 [6] DL/T 664-1999, 带电设备红外诊断技术应用导则[S].

#### 作者简介:

- 王雪松(1989-), 男, 吉林长春人, 阿坝水电开发有限公司, 工程师, 从事水电站电气一次系统、电气二次系统设备的日常维护、年度检修、技改等方面工作;  
 张向军(1976-), 男, 四川乐山人, 阿坝水电开发有限公司, 高级技师, 从事电气一次设备试验、检修、维护, 电气设备技改等方面工作. (责任编辑: 吴永红)

## 锦屏一级水电站通过大坝安全定检

日前, 世界最高拱坝锦屏一级水电站大坝安全定检会议召开。专家组认为锦屏大坝各项指标符合国家现行规范标准, 不存在影响大坝安全的隐患, 23 个评价要素均为 a 级, 评定为正常坝(A 级), 一致通过大坝安全定检。锦屏一级水电站位于四川省雅砻江干流上, 是雅砻江中下游水电开发规划的“控制性”水库梯级, 从前期勘察、设计施工、至投产运行, 历经了半个多世纪的风雨历程, 也承载了几代水电人的期盼和心血。锦屏一级混凝土双曲拱坝为世界第一高拱坝, 最大坝高 305 米, 电站装机容量 3 600 兆瓦。工程于 2005 年 11 月正式开工, 2014 年 7 月全部机组投产发电, 安全顺利运行至今, 在中国水电行业树立了标杆, 也是世界大坝建设的里程碑工程, 引领中国水电建设技术迈向世界领先水平。

(来源: 成都院)