

变电站二次接线工艺改进及故障排查技术研究

孟 健

内蒙古送变电有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010010

摘要: 变电站二次接线承担着保护、控制、测量、信号传输等关键功能,其施工质量与运行可靠性直接关系到电网安全。针对二次接线中存在的标识混乱、压接不牢、屏蔽接地不良等工艺缺陷,以及回路接地、绝缘损坏、接线错误等常见故障,本文系统分析了二次接线的工艺标准与质量控制要点,提出了从线缆敷设、端头制作、芯线标识到屏蔽接地的全流程改进措施,同时构建了基于原理分析、分段排查、仪器检测的故障排查方法体系。

关键词: 变电站;二次接线;工艺改进;故障排查;回路可靠性

引言:二次接线是变电站电气二次系统的“神经网络”,连接着保护装置、测控单元、操作机构等各类设备。传统二次接线施工依赖工人经验,缺乏标准化作业指导,芯线标识脱落、端子压接松动、屏蔽层接地不规范等问题屡见不鲜。故障发生后,排查人员面对密集的端子排和错综的电缆芯线,往往难以快速定位故障点。本文立足二次接线施工与运维实际,从工艺改进和故障排查两个维度展开系统研究,提出可操作的优化措施,旨在提升二次接线质量与故障处置效率。

1 二次接线的作用与工艺要求

1.1 二次接线的基本功能与分类

二次接线是连接变电站二次设备的核心纽带,承担信号传输、能量供给、逻辑控制三重功能。按用途分为控制回路、信号回路、测量回路、保护回路及电源回路:控制回路传输操作指令,信号回路传递状态信息,测量回路输送模拟量,保护回路承载跳闸命令,电源回路提供工作电能。结构上包括屏柜内部配线和屏间电缆连接,内部配线多在出厂时完成,现场工作集中于电缆接线。屏间电缆连接涉及大量芯线对号接入,是工艺控制的重点和难点。一个220kV变电站二次电缆总长达数十公里,芯线数以千计,任何一处接线质量问题都可能引发设备误动或拒动,对施工工艺有着严格的技术要求。

1.2 现行工艺标准及其执行难点

现行二次接线工艺标准主要依据GB50171及电网公司企业标准,对线缆选型、芯线处理、端子压接、标识标注、屏蔽接地等环节提出明确要求。例如芯线端头采用专用压接钳压接,压接后不得有裂纹毛刺;电缆屏蔽层在开关场侧单端接地,接地线截面积不小于4平方毫米;回路编号管采用热缩管或打号机打印,字迹清晰耐久。然而标准执行面临诸多困难:工期压力下施工人员简化工艺,压接不实、编号管漏套等问题时有发生;不同厂

家端子与线缆匹配性差异导致压接质量不稳定;屏柜内部空间狭窄,芯线弯曲半径不足,强行弯折易损伤绝缘。这些难点需通过工艺改进和管理强化加以解决。

1.3 工艺缺陷与故障的关联分析

工艺缺陷是二次回路故障的重要诱因,二者存在明确因果关系。芯线标识脱落或模糊会导致接线错误,轻则信号无法上传,重则误发操作指令引发开关误动。端子压接不牢固使接触电阻增大,长期运行后发热氧化,最终导致回路断线或接触不良。屏蔽层接地不规范使抗干扰能力下降,开关操作或雷击时感应电压可能窜入回路,引发保护装置误动作。芯线绝缘层在剥切过程中受损,随时间推移逐渐劣化,最终发展为短路故障。工艺缺陷具有隐蔽性,在施工验收阶段难以全部发现,往往在投运后才暴露,此时排查难度大、处理成本高^[1]。因此,从源头改进接线工艺是降低二次回路故障率的根本途径。

2 二次接线工艺改进措施

2.1 线缆敷设与芯线处理工艺优化

线缆敷设是二次接线的首道工序,其质量直接影响后续作业。敷设前应依据电缆清册核对电缆型号、规格及走向,编制敷设顺序表,避免交叉混乱。电缆沟内电缆应按电压等级分层敷设,强电与弱电电缆分开布置,间距不小于300毫米,防止电磁干扰。电缆进入屏柜前预留适当长度,预留量按屏柜高度加1米计算,便于芯线弯曲和二次改接。芯线处理是工艺改进的关键环节。剥切外护套时采用环切法,切口深度控制在外护套厚度的三分之二,严禁伤及芯线绝缘层。屏蔽层处理时,将屏蔽编织线向后翻折,用铜绞线绑扎后引出接地线,接地线与屏蔽层的连接采用锡焊或专用压接管,确保接触可靠。芯线端头采用预绝缘端子,根据芯线截面积选用匹配的端子规格,使用棘轮式压线钳一次压制成型,压痕

位置居中、深度均匀。

2.2 标识系统规范化

标识系统是二次接线可读性和可维护性的基础。芯线标识采用热缩式编号管,相较于老式塑料套管,热缩管加热后紧密包裹芯线,不会滑动脱落,耐温等级更高。编号管内容包含回路编号、端子号、对侧设备编号等完整信息,打印采用热转印技术,字迹耐磨耐擦。电缆标识采用自粘式缠绕标签,标注电缆编号、起止位置、规格型号,标签外部加装透明热缩管保护。端子排标识采用机打标签,粘贴于端子排上方,标明回路功能和所属设备。屏柜前后柜门内侧张贴二次接线图,图纸中标注各电缆的接入位置,方便现场查线和故障排查。标识制作纳入工序验收范围,施工完成后逐项拍照存档,形成电子化接线档案。标识系统规范化看似增加工作量,但能显著减少接线错误和后续排查时间,投入产出比很高。

2.3 屏蔽接地与抗干扰措施

屏蔽接地是保障二次回路抗干扰能力的重要环节。变电站内电磁环境复杂,断路器分合、隔离开关切换等操作会产生强烈的暂态电磁场,未加屏蔽的二次回路可能感应出数百伏的干扰电压。屏蔽层接地的原则是单端接地,接地点选择在开关场侧的电缆终端。接地线采用编织铜带,截面积不小于4平方毫米,与屏蔽层的连接处用铜扎线绑扎后锡焊固定。接地线另一端连接至接地铜排,压接端子与铜排之间涂抹导电膏,降低接触电阻。对于模拟量输入回路,如电流互感器、电压互感器的二次回路,可采用双屏蔽电缆,内屏蔽在保护室接地,外屏蔽在开关场接地,形成双层防护^[2]。控制回路电缆的备用芯线应在两端接地,作为屏蔽层的补充。施工完成后进行干扰测试,模拟开关操作并监测回路感应电压,验证屏蔽效果是否满足要求。

2.4 质量验收与过程控制

工艺改进需要配套严格的质量验收机制。施工过程中实施“三检制”:作业人员自检、班组互检、专职质检员专检。每道工序完成后填写检查记录,拍照留存关键节点影像,形成可追溯的质量档案。芯线压接环节采用压痕检测卡比对压痕形状,判断压接是否合格;屏蔽层接地使用毫欧表测量接地电阻,阻值不得超过10毫欧。电缆敷设完成后进行绝缘电阻测试,500伏兆欧表测量芯线对地及芯线之间绝缘电阻,阻值不低于10兆欧。回路接线完成后进行对线试验,确认芯线两端对应关系准确无误。验收记录纳入竣工资料移交,为运行维护提供依据。对于工艺质量优秀的班组给予绩效奖励,对于反复

出现的问题组织专项培训,形成持续改进的质量文化。

3 二次回路常见故障及其排查技术

3.1 典型故障类型与成因

二次回路故障按性质可分为接地故障、短路故障、断线故障和绝缘劣化故障四类。接地故障是直流系统中发生率最高的故障类型,表现为回路某一点对地绝缘下降或直接接地。造成接地的原因包括:电缆在敷设过程中绝缘层被金属锐边划伤;端子排受潮积尘后绝缘降低;芯线端头过长触及接地金属部件。短路故障多见于相邻芯线之间,剥线时芯线残留铜屑、端子排金属异物都可能导致短路。断线故障表现为回路不通,芯线压接处断裂、端子螺钉松动、中间接头虚接是常见原因。绝缘劣化是渐进性故障,电缆长期处于高温高湿环境,绝缘材料老化龟裂,泄漏电流逐渐增大。四类故障中,接地故障占比最高,约占总故障数的70%;断线故障次之,约占15%;短路和绝缘劣化合计占15%。准确识别故障类型是高效排查的前提。

3.2 基于原理图的回路分析方法

面对故障现象,首先应进行原理分析,而非盲目检查端子。排查人员应熟悉相关回路的电气原理图,理解正常工况下电流路径和电压分布。以断路器控制回路为例,合闸回路中,合闸按钮、防跳继电器触点、合闸线圈等元件串联在电源正负极之间,任一环节断开都会导致合闸失败。故障分析时,根据现象推断可能的故障位置。若合闸时线圈两端无电压,可判断故障点在电源侧或合闸指令通路;若线圈两端有电压但断路器不动作,则故障在线圈本身或机械传动部分。原理分析将故障范围从“全回路”缩小到“局部区段”,减少盲目性。分析过程中可借助回路电压法,测量各关键点的对地电位,与正常值对比,偏离正常值超过20%的点即为可疑点。原理分析需要排查人员具备扎实的二次回路基础知识,应纳入运维人员的常规培训内容^[3]。

3.3 分段隔离与仪器检测方法

分段隔离是缩小故障范围的有效手段。以直流接地故障为例,采用拉路法逐段断开各馈线支路,观察接地报警是否消失。断开顺序遵循先室外后室内、先次要后重要的原则,避免影响保护装置正常运行。断开操作应在监控后台密切配合下进行,断开前确认相关设备已退出运行或采取替代措施。找到故障支路后,进一步采用二分法缩小范围,将支路从中间端子排拆开,测试两侧对地绝缘,判断故障在电缆段还是屏柜内部。仪器检测方面,接地故障查找仪可注入低频交流信号,通过钳形电流表跟踪信号路径,精确定位接地点。万用表用于测量电压、电阻,判断

回路通断和绝缘状态。绝缘电阻测试仪用于测量电缆对地及线间绝缘电阻,发现绝缘薄弱点。

3.4 典型故障排查案例

以某220kV变电站断路器拒动故障为例说明排查流程。故障现象:后台发出合闸指令后,断路器未动作,监控界面无合闸位置信号。排查人员首先查阅控制回路原理图,分析合闸回路构成:正电源→合闸按钮→防跳继电器常闭触点→合闸接触器线圈→负电源。采用电压法测量合闸接触器线圈两端电压,无电压,判断故障在电源或合闸指令通路。测量合闸按钮出口电压,有110伏,说明按钮及前端正常。检查防跳继电器触点状态,发现触点未闭合。进一步检查防跳继电器线圈回路,发现该继电器由保护装置启动,而保护装置合闸开出板件指示灯未点亮。判断故障点位于保护装置至操作箱之间的电缆芯线。用万用表测量该芯线两端通断,电阻无穷大。拆开电缆两端端子检查,发现芯线在端子压接处脱落,原因是压接时未去除芯线氧化层。重新压接后,合闸功能恢复正常。从故障发生到处理完成用时约40分钟,体现了系统化排查方法的高效性。

4 工艺改进与故障预防的联动机制

4.1 施工质量与运维风险的关联

施工质量与运维风险之间存在强关联关系。一项针对100个变电站的统计表明,施工阶段严格执行工艺标准的变电站,投运后三年内二次回路故障率为0.12次每站年;而工艺执行不到位的变电站,故障率达到0.47次每站年,相差近四倍。具体而言,压接工艺不合格的端子,在运行一年后接触电阻升高超过50%的比例达15%,成为断线故障的潜在隐患。标识系统不规范的电缆,每次检修平均需要额外花费20分钟进行芯线核对,且出错风险显著增加。屏蔽接地不良的回路,在雷雨季节的干扰故障率是良好屏蔽回路的六倍。这些数据说明,施工阶段的工艺投入直接转化为运行阶段的可靠性收益^[4]。因此,应建立施工质量与运维绩效的联动考核机制,将投运后一年内的故障率纳入施工单位的质量评价体系,形成正向激励。

4.2 数字化工具在工艺与排查中的应用

数字化技术为二次接线工艺改进和故障排查提供了新工具。施工阶段,移动终端可加载电子版接线图,施工人员扫码识别电缆编号和芯线回路号,减少人工核对差错。平板电脑展示三维接线模型,清晰显示电缆走向和端子排布局,降低读图难度。智能压接工具内置压力传感器,实时监测压接曲线,不合格压接自动报警并记录。故障排查阶段,数字化二次回路图纸支持关键词搜索和设备关联定位,快速查找相关回路。继电保护故障信息管理系统自动记录保护装置动作事件和波形数据,为故障分析提供线索。便携式智能对线仪可同时测试多根芯线,自动识别通断和相序,测试结果生成报告并上传云端。数字化工具的应用,使工艺质量从“人工保证”转向“数据保证”,故障排查从“经验驱动”转向“数据驱动”,是二次接线管理的发展方向。

结束语

变电站二次接线是电气二次系统的关键组成部分,其工艺质量和故障排查能力直接关系到电网运行可靠性。本文从二次接线的的作用与工艺要求出发,系统分析了线缆敷设、芯线处理、标识规范、屏蔽接地等环节的工艺改进措施,构建了基于原理分析、分段隔离、仪器检测的故障排查方法体系,并通过典型案例验证了方法的有效性。未来应进一步推广数字化工具的应用,建立施工质量与运维绩效的联动机制,推动二次接线管理向标准化、数字化、智能化方向持续发展。

参考文献

- [1]王圣昌,徐剑峰,王晓飞.变电站电缆敷设及二次接线的工艺改进[J].流体测量与控制,2024,5(4):62-65.
- [2]董礼廷.变电站二次接线施工关键技术与工艺优化策略应用研究[J].中国科技纵横,2024(8):67-69,176.
- [3]武俊文.变电站电缆敷设与二次接线工艺改进措施[J].光源与照明,2023(7):165-167.
- [4]翁其彩.变电站二次接线施工技术要点[J].科技创新与应用,2024,14(26):177-180.