

关于接触网感应电危害分析及轨道作业车等位线智能报警装置的设计探究

孙 强 罗先恩

中国铁路西安局集团有限公司安康供电段 陕西安康 725000

摘 要：从事接触网专业的设备检修人员，在停电时被停电设备周边线路影响产生的感应电流造成触电伤害的威胁尤为突出。供电轨道作业车平台上的等位线则是接触网作业前必须采取的安全措施，是接触网安全作业的最后一道“防线”。本文分析了铁路接触网作业感应电的危害及等位线智能报警装置的工作原理及在接触网停电作业中的必要、可行性。旨在以“技防”的手段提升接触网防感应电安全措施的可操作性，确保从业人员人身及接触网设备安全。

关键词：接触网；感应电；等位线；智能报警装置

1. 接触网感应电危害分析

1.1 感应电的产生及分类

通常，在物体上直接施加电压或者电位后，物体上就会带电。如果没有直接施加电压或电位，而是因为其周边有带电物体致使该物体带电，这种带电现象称之为感应电。

(1) 静电感应电

接触网在复线区段V形天窗作业时，未停电一行接触网四周建立起垂直于导线（包括接触线和承力索）表面的交变电场，处于该电场内的停电一行接触网或其他附近线路（电力线、供电线、回流线、加强线、架空地线、F线、PW线等）产生对地感应电压，从而停电的线路上带电。

(2) 电磁感应电

接触网复线区段V形天窗作业，当未停电一行接触网有电力机车通过时，负荷电流产生交变的电磁场，相对切割磁力线作用，对停电一行接触网或其他附近线路（电力线、供电线、回流线、加强线、架空地线等）产生电磁感应，从而停电线路产生感应电流。

1.2 感应电大小

(1) 静电感应电压

静电感应电压的大小，与带电线路电压及与导体平

行长度成正比，与带电线路间距成反比。经计算，当线路间距在130米以上时，静电感应电压才能降低到人体安全电压36V以下，具体如下表所示：

线间距（米）	静电感应电压（V）
5	5767
10	3406
20	1291
30	635
50	242
100	62
130	36
150	28

(2) 电磁感应电压

电磁感应电压的大小，与带电线路中的负荷电流大小、电流的变化率、两线路间的接近距离、平行的长度成正比关系。经计算，当邻线带电线路通过电流为1000A时，100米长的线路上产生的电磁感应电压达到33V，若邻线因短路等原因电流达到5000A时，20米长的线路上所产生的电磁感应电压便达到33V。如下表所示：

带电线路电流（A）	导线长度（m）	电磁感应电压（V）
1000	20000	6531
1000	10000	3266
1000	1000	327
1000	100	33
1000	10	3
5000	1000	1633
5000	100	163
5000	20	33
5000	10	16

作者简介：

孙强（1973—），男，工程师，西安局安康供电段安全科科长。

罗先恩（1980—），男，高级工程师，西安局安监室高级工程师，主要负责供电安全检查和安全生产监督管理工作。

1.3 现阶段接触网感应电特点

(1) 产生更频繁, 电压更高

大多数区段由原有的单线扩建为复线, 铁路及地方并行电线路同步增多, 且设备基础好, 运输运量增大, 线路通过的负荷电流同步提升, 停电设备上感应电发生频次及感应电流同步增大, 对接触网从业人员的威胁增加。

(2) 无保护切断装置, 危害性更强

在停电检修的电线路形成感应电流回路中, 无任何保护装置, 线路不具备自动切断感应电的能力, 人体一旦触及发生感应触电时, 自行脱离电源的能力丧失, 其周围作业人员也不易察觉, 多数情况下人体不能与带电体脱离, 从而直接造成电击死亡, 所以感应电触电相对高压触电威胁性更大、致命率更高。

(3) 隐秘性强, 易被忽视

感应电的出现及大小与周边的电线路环境、气候、湿度及邻线通过列车的取流大小等都有关系, 偶发性强, 加之设备周边环境变化后老思维未及时转变, 经验主义, 易出现安全意识不到, 防感应电措施不重视而造成疏漏的情况, 从而发生感应电伤害问题发生。

1.4 接触网感应电伤害案例

2016年12月1日19时17分, XX局XX供电段XX车间调整处置XX线XX车站下行Ⅲ道N7-N8软横跨等位线缺陷作业时, 接触网作业车向Ⅲ道移动平台过程中, 车上的高空作业人员用手触及到N7-N9接触网软横跨下部固定绳时, 被感应电击倒。

2022年2月18日, XX局XX供电段XX供电车间在XX线XX至XX间上行线V形天窗停电处理接触网缺陷作业时(上行线停电, 下行线有电), 一名职工触及回流线时被回流线上感应电击伤, 抢救无效死亡。

2 作业车等位线智能报警装置设计探究

2.1 轨道车等位线的作用及必要性

目前接触网停电作业大多由轨道车配合进行, 接触网停电后先在作业地点两端装设固定接地线, 然后在作业部位挂好等位线, 使感应电流完全泄露后作业人员方可接触停电设备开始作业。如两端接地线状态不良造成截面积减小及现场接地线作业标准落实有偏差的情况下, 便会造成接地线作用打折扣, 如未加装等位线, 感应电流未能迅速泄露, 势必会危及作业组员作业安全。因此在作业部位加装等位线便成为安全作业的最后一道防线, 且该防线能把控在高空作业人员自身的手中。

2.2 轨道车等位线的运用现状

轨道车等位线在接触网检修中的设置撤除由高空的作业车平台操作人进行, 一旦该措施未执行或执行时机不符, 均会存在严重隐患, 经不完全统计, 西安局供电专业3个月内轨道车等位线未按要求装设的情况达到20次以上, 举例如下:

4月11日, XX供电段XX接触网运行工区执行04-11-01号第一种工作票在XX至XX区间下行全面检查、处理缺陷V形停电作业, 15时47分, 作业人员调整设备参数过程中才发现轨道车上等位线未加挂, 严重危及作业人员人身安全。

5月29日, XX供电段XX接触网运行工区执行05-29-02号第一种工作票在XX车站至XX区间综合修V形停电作业, 5时32分, 设备检修完毕, 平台操作人忘撤除平台上等位线, 轨道车运行拉断等位线后将等位线杆遗留在接触网上, 被视频监控分析人员发现指出, 避免了弓网事故的发生。

2.3 智能报警装置作用设想

轨道车平台上加装等位线的措施由平台上人员手动执行, 操作存在不稳定性, 若能根据检修作业时作业车平台升降、车辆移动工况与等位线装、拆的时机间的逻辑关系, 在等位线装设撤除与作业车运行工况逻辑不符时进行报警、提示, 则可以消除该不稳定因素, 以“技防”的手段提升作业等位安全措施落实、撤除的可靠性, 确保作业安全, 故此提出“等位线智能报警装置”的设想。

2.4 装置的工作原理

“等位线智能报警装置”, 根据作业平台升降时的平台离位行程及车辆启动前制动风压的变化, 在作业车平台升降底座处安装作业平台离位行程开关, 作业车制动缸处安装风压传感器, 等位线杆勾头处加装勾头位置触动传感器, 通过作业平台离位行程开关、制动缸风压传感器、等位线杆勾头位置触动传感器、声光报警器等元件, 将等位线的装设撤除与作业车平台升降、作业车的运行停止时风压动作建立逻辑关系, 在等位线加挂拆除与车辆移动及平台升降逻辑错误及非正常操作的情况下产生声光报警提示, 提醒高空操作人员正确的进行等位线的装、撤操作。原理电路图如下:

(1) 等位线装设报警逻辑

轨道车停稳后, 当控制系统接收到等位线杆勾头位置触动传感器传输的勾头位置变化信息后, 认定等位线

已加挂，此时判定等位线加挂逻辑正确，平台抬升时平台离位行程开关动作，不报警。反之控制系统未接到等位线勾头位置触动传感器传输的勾头位置变化信息时，判定等位线未装设，此时作业车平台抬升平台离位行程开关动作时，判定装设逻辑错误，向声光报警器下达“等位线未加挂”报警命令，触发声光报警器声光报警。

(2) 等位线撤除报警逻辑

当控制系统接收到等位线杆勾头位置触动传感器传输的勾头位置恢复的信息后，判断等位线撤下，此时控制系统接收到作业车制动缸缓解（风压降低）信息时，认定逻辑正确不会报警。反之控制系统未接收到等位线杆勾头位置触动传感器传输的勾头位置恢复的信息时，判定等位线未撤除，此时控制系统收到风压传感器传输的作业车制动风压降低（车辆将动作）信号后，判定等位线撤除逻辑错误，向声光报警器下达“等位线未撤除”报警命令，触发声光报警器动作声光报警。

2.5 等位线智能报警装置作用解析

(1) 减少因操作频次多而出错的概率

接触网设备检修时轨道作业车随时移动、停止，而每次停车触及接触网设备，均需要进行加装、撤除等位线操作。以120分钟天窗时间来算，接触网全面检查约500米，正常情况下需设置、撤除等位线50次以上，任何一次遗忘等位线的加挂，都可能造成触电伤害的发生。

(2) 解决因作业环境差而出错情况

因生产运输、车流等多重因素下，多条线路、大多数车站区间的天窗时间安排在夜间、凌晨，加之西安局辖区的陕南山区大多线路处于连续的隧道内，无论天窗时间如何设置，均存在隧道内视觉视线差、现场嘈杂的情况。恶劣的环境下易出现等位线设置不及时、漏设置及未撤除遗留在接触网的情况。

(3) 解决一岗多责而精力旁顾的弊病

接触网轨道作业配合停电检修时，作业平台上的等位线装设撤除由作业平台操作人（监护人）负责，平台操作人需与司乘人员联系启停车辆、升降转动作业平台、监护平台上操作人员作业安全、把关检修质量等，易发生疏忽大意造成等位线未及时装设、撤除情况。

2.6 等位线智能报警装置效果验证

4月初，在安康供电段安康供电车间的4台轨道车上装设智能报警装置，近3个月以来，该装置运行可靠，多次发挥报警作用，4台作业车均再无等位线忘装设、撤除及未及时装设撤除等异常操作情况发生。

参考文献

- [1] JW-4型接触网作业车使用保养说明书。
- [2] 《普速铁路接触网运行维修规则》（铁总运[2017]9号）