

浅谈电梯接地防护与检验

张铁军

聊城市特种设备检验研究院

摘要：伴随着高层建筑的日益增多以及智能化时代的到来，电梯已然成了高层建筑必不可少的组成部分。电梯在便捷居民出行的同时，其安全性也引起了广泛关注，由于电梯故障引发的安全事故时有发生，严重危及到居民的人身安全。电梯接地保护的目的在于避免设备由于电气设置绝缘不良等导致的电梯外露设备带电，进而引发人员触电事故。做好电梯接地保护工作，定期开展检验工作，是确保电梯安全可靠运行的重要途径。因此文章在分析电梯接地防护形式和检验要求的基础上，结合实例，探讨电梯接地防护缺陷的解决方案，仅供参考。

关键词：电梯；接地防护；检验

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.03.041

电梯在现如今人们的日常生活中十分普遍，无论是高层住宅还是大型商场等，均可以看到电梯的身影。然由于电梯是一个电气元器件种类繁多，接触人员较广的机电类特种设备，预防使用中的触电身亡是其管理的重要内容。接地保护措施的合理设置就是确保电梯设备安全使用的重要措施。但是由于工作人员电气意识薄弱及检验方法不规范等，由于电梯漏电导致的触电事件时有发生。强化电气接地保护专业知识学习，提升接地保护意识，落实接地保护检验工作十分必要。

一、电梯常见的接地保护型式

接地保护是指电气设备通过与大地的接线方式防止意外情况下金属外壳带电发生人员触电事故的一种保护，其中接地方式有TN、TT、IT等。《低压电气装置第1部分：基本原则、一般特性评估和定义》（GB/T16895.1—2008）对电气系统的接地类型代号中字母的解释，第一个字母表示电气系统的对地关系，其中T表示一点对地直接连接，I表示所有带电部分与地隔离或某点通过高阻抗接地；第二个字母表示电气装置的外露导电部分的对地关系，其中N表示外露导电部分与低压系统的接地点直接电气连接（在交流系统中，接地点通常就是中性点），T表示外露导电部分对地直接电气连接，与低压系统的任何接地点无关；其他后面连接的字母表示的是中性线与保护线的关系，S表示中性线和保护线是分开的，C表示中性线和保护线是合一的（PEN线）。目前，我国供电局配电网绝大多数为中性点直接接地的低压系统，而且检规第2.10条规定供电电源自进入机房（机器设备间）起，中性导体（N，零线）与保护导体（PE，地线）应当始终分开。因此，本文重点介绍电梯常见的TN-S和TN-C-S接地系统。

（一）TN-S 接地系统

TN-S，也就是我们常说的三相五线制。在该接地系统布置中PE线是专用的保护接地线，而且中性线N和接地线PE始终分开。工作过程中，系统中PE线不通过工作

电流。因此，TN-S系统较其他接地方式更安全可靠。

（二）TN-C-S 接地系统

根据《交流电气装置的接地设计规范》（GB/T50065-2011）7.1条对低压系统接地的型式的介绍，知TN-C-S系统中零线N与保护接地线PE从供电网到机房电源柜前是合用一根线（PEN），而从电源柜引到电梯设备前分开采用两条导线。根据《全国民用建筑工程设计技术措施》（电气分册）中5.5.6条要求将TN-C系统转变为TN-C-S系统时，要求在电源进线处将PEN线转换为PE线和N线时，先将PEN进线连接PE接线排并作接地，而后在连接N线线排。因此，该系统的PE线和N线除了依靠PEN线在变压器中性点共同接地和在电源柜处进行重复接地外，两线不再有任何的电气连接。当该系统在运行中发生三相负载不完全平衡的情况时，虽然N线会有电流通过，但由于N线和PE线在总电源处进行了接地，因而N线上的电流不会传导给PE线，从而保障设备不带电。因此，该接地系统同时具有TN系统和TN-C系统的优势。

二、电梯接地保护常见问题

（一）采用 TT 系统接地型式

在电梯安装过程中，部分安装单位和使用单位出于经济、安装进度等因素的考虑，在机房墙体上打一金属结构接地桩，并将电梯设备总接地线与其连接，而非与低压系统的接地点直接电气连接。因此，根据《低压电气装置第1部分：基本原则、一般特性评估和定义》的理解，现场设备的接地形式为TT系统。然而在TT接地系统中电气设备外露可导电部分的接地电阻只能起到降低对地电压的作用，电气系统依然存在一定的危险对地电压。因此，对于类似电梯这种被保护容量较大的设备，在接地保护方面依然需要靠漏电保护器作为主要保护装置。对于TT接地形式有TN-C系统和TN-C-S两种整改方案。TN-C系统比TN-C-S和TN系统减少根导线的成本，但当设备发生接地故障时或三相不平衡时，PEN线中会通过电流，同时不符合检规要求。因此，应在电梯电源箱处把N分成2根线，一根为零线N、另一根为接地线PE，且PE与N始终分开，即做成TN-C-S的供电系统。

（二）PE 线接线不规范

设备电源箱内采用黄绿相间的专用接地线作为设备的PE线，且未将PE线的进线端（从配电网引入的接地线）和PE线的出线端（从电源柜到设备的线）均未接入公共接地排上。设备将两接地端用螺丝固定在电源柜上，通过电源柜导电性实现两端的电气连接。该连接方式存在两个问题：（1）螺栓未拧紧，接触不充分；（2）铁皮柜锈蚀，导电性差。因此，这种连线方式将导致接地电阻增大，从而增大了设备故障时发生人员触电的事故概率。

（三）电气设备未可靠接地

根据检规2.10条要求所有电气设备及线管、线槽的外露可以导电部分应当与保护导体（PE，地线）可靠连接。而在现场经常发现保护线接到电源柜后，某些部件如曳引机、轿厢、层门、限速器等连接到保护线以及线槽可导电部分未设置跨接线等问题。

三、电梯接地保护检验方法和注意事项

（一）接地形式判断

在现场检验过程中，经常碰到无法准确判断机房电源柜接地线是从配电网中的中性点连接还是直接对地连接时，我们可用万用表的欧姆档位或通断档位判断PE线和N线的关系。若接地系统为TN形式，由于系统中PE线和N线都是从变压器中性点引出，那么在机房用万用表的通断档测PE线与N线时，其测量结果会有蜂鸣声显示两者连通；或用欧姆档测PE线与N线的电阻时，测量得到的阻值会比较小。②若接地系统为TT形式，由于PE线单独接地，那么用万用表的通断档测PE线与N线，其测量结果会表示中断；而用显示欧姆档测量的阻值较大且可能是一个变动的数值。

（二）判定 PE 线与 N 线是否始终分开

进入机房后，由于布线复杂很难通过目测的方法准确判断现场情况是否符合检规对电梯接地的要求。在现场我们可以通过采用万用表测试进行判断：①检查前首先进行断电操作确认无触电危险后，将电源柜引出到电梯控制柜的N线和PE线从接线排上拆开；②将万用表调至欧姆挡（或通断档）把两根表笔分别与拆下来的N线和PE线连接，进行测试；③若测量值为无穷大（通断档为无蜂鸣报警声），则说明现场设备的PE线与N线自进入机房后始终分开，符合检规要求；否则不符合检规要求。

四、实例分析

（一）基本概况

图3为某电梯的安全电路、门锁电路电源与安全回路、门锁回路原理图，其电压为交流110V，110V电源处设置了FU4熔断器（2A），0V处直接接地。该电路的接

地保护功能原理为：当电气安全装置接地或直接接触金属结构件导致接地时，电流经电源→安全开关→金属结构件地线→B110（0V）处接地线形成短路电流回路。该回路产生短路电流后，使FU4熔断器（2A）断开，导致安全电路、门锁电路失电，电梯停止运行。

（二）电梯接地保护功能的缺陷分析

根据图3进行分析，电梯电源0V端接地且投入使用一段时间后，安全回路、门锁回路可能会出现以下3种异常情况。

1. 安全回路、门锁回路因环境变化（温湿度变化、机房与井道进水）、安装工艺错误（底坑线路有接点）、线路老化等因素产生漏电电流。安全回路、门锁回路在环境变化、线路老化时，线路与金属结构件之间绝缘阻值下降，电流经过安全触点→等效漏电电阻（R2）→金属结构件接地线→B110（0V）处接地线形成回路，安全回路、门锁回路产生漏电。此种情况下，线路因老化导致绝缘电阻下降，总电流增大，电源超额定负荷输出，导致电气元器件易发热并损坏。线路漏电后，安全与门锁接触器线圈电压减小，接触器易发热且吸合可靠性降低，电梯故障率明显升高。线路老化严重时，可导致电路短路引起火灾事故。

2. 当维保人员更换门锁接触器时漏接线路，或当电路老化后门锁接触器线路断开，在这两种情形下，门锁接触器（K40）0V端线路意外接触控制柜金属结构件，地线成为工作零线。安全电路、门锁电路0V端线路断开后，门锁接触器（K40）0V端线路接触金属结构件时，电流经过电源→门锁接触器→金属结构件地线→B110（0V）处接地线，形成通路。此时，地线成为工作零线，因未形成短路电流回路，FU4（2A）熔断器无法断开，接地线上出现工作电流，导致电梯接地保护功能失效。该类故障常见于老旧电梯，且因为此时电梯仍能正常运行，所以此类故障较难被发现及消除。

3. 当电梯因门锁故障停在层站之间，维保人员于轿顶试图检查轿门开关触点时，意外接触轿门开关触点

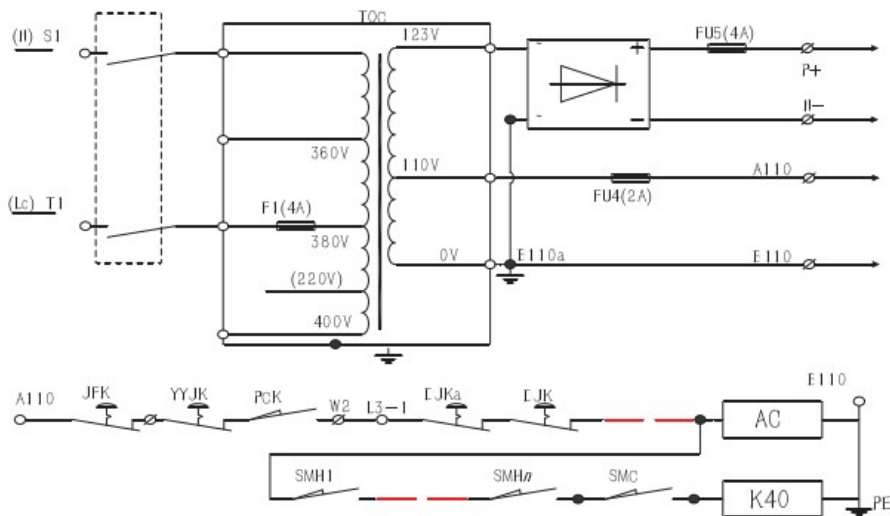


图3 某电梯安全电路、门锁电路电源与安全回路、门锁回路原理图

(110V端), 熔断器不断开。维保人员意外接触层轿门门锁触点(110V端)时, 电流经过电源→人体(R4)→金属结构件地线→B110(0V)处接地线形成回路4。50Hz的交流接触电压为110V(UT)时, 电流路径为双手对身体躯干成并联。因井道环境影响, 维保人员手上及身上都带有汗液, 在此汗液(含盐渍)浸润条件下, 人体总阻抗ZTA1(手到手阻抗)约1200Ω(皮肤阻抗可以忽略)。因此, ZTA2(单手到躯干阻抗)=ZTA1(手到手阻抗)/2=600Ω, 由于双手对身体躯干成并联, 所以ZT(双手到躯干阻抗)=ZTA2(单手到躯干阻抗)/2=300Ω。计算得接触电流IT=UT/ZT=367mA。该电流足以导致人员触电伤亡。该种情况已有多起事故案例。分析安全回路、门锁回路接地保护功能原理与3种异常情况可以得出: 安全回路、门锁回路接地保护功能是利用电路产生短路电流使熔断器断开后安全回路、门锁回路失电, 从而起到保护作用。而以上3种异常情况均未形成短路回路, 电源端不能产生足够大的电流使熔断器及时断开。但电路产生了漏电电流, 足以导致人员触电伤亡。因此, 接地保护功能采取安全回路、门锁回路110V电源处设置熔断器或断路器与0V端接地的形式时必须增加剩余电流保护装置。

根据GB/T13955-2017《剩余电流动作保护装置安装和运行》的一般要求, 用于直接接触电击事故防护时, 应选用无延时的剩余电流动作保护器(RCD), 其额定剩余动作电流不超过30mA。间接接触电击事故防护的主要措施是采用自动切断电源的保护方式, 以防止由于电气设备绝缘损坏, 发生接地故障时, 电气设备的外露可接近导体持续带有危险电压而产生有害影响或电气设备损坏事故。当电路发生绝缘损坏造成接地故障, 其接地故障电流值小于过电流保护装置的動作电流值时, 应安装RCD。

(三) 电梯接地保护功能的缺陷解决方案

目前在用的电梯中, 接地保护功能的实现多数采用了熔断器或断路器与0V端接地的形式, 且未设置针对线路漏电和人员意外接触安全触点导致触电的保护功能(装置)。GB/T7588.1-2020《电梯制造与安装安全规范第1部分: 乘客电梯和载货电梯》对电路剩余电流保护功能(装置)提出了具体规定, 即第5.10.1.2.3条“附加保护”: “对于下列装置或电路, 应采用额定动作电流不大于30mA的剩余电流动作保护装置(RCD)进行附加保护: a) 依赖于5.10.1.1.1b)和5.10.1.1)中所述电路的插座; 和b) 电压高于AC50V的层站控制装置和指示器的控制电路及电气安全回路; 和c) 轿厢上电压高于AC50V的电路。”针对上述情况, 有以下解决方案。

在安全回路电源端增加剩余电流保护装置, 其功能为对安全回路、门锁回路交(直)流电源两端进行独立监测, 并计算电流差值。当差值异常时输出监测信号, 见图4、图5。其原理为: 当安全回路、门锁回路线路或电气安全装置(触点)直接或间接接地(通过人体或线路电阻接地)时, 因电源0V端接地, 接地线上产生漏电电流(即: I漏电电流=I110V端电流-I0V端电流), 电

源两端电流产生差值。剩余电流保护装置通过监控电流差值, 控制K1触点断开, 令安全回路失电, 起到保护作用。

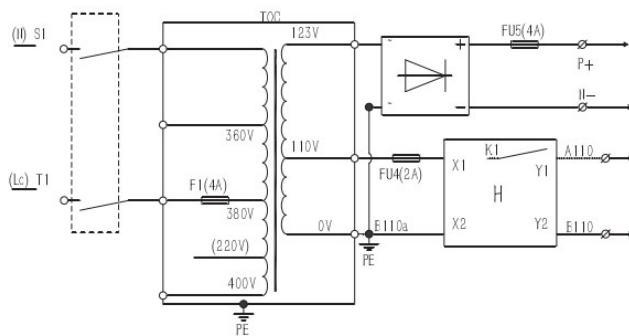


图4 交流安全回路、门锁回路解决方案

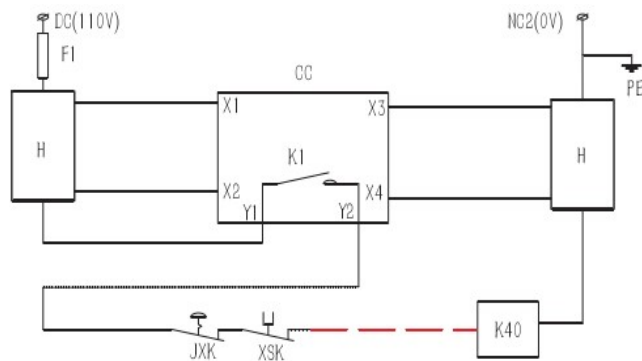


图5 直流安全回路、门锁回路解决方案

CC—比较电路; JXK—轿厢急停开关; XSK—限速器开关; K1—LPD接触器; H—霍尔电流传感器; Y1、Y2—LPD输出端口; K40—门锁接触器; X1、X2、X3、X4—LPD输入端口

综上所述, 电梯在日常工作生活中发挥着越来越重要的作用, 但是由于电梯安全检验工作疏漏导致的电梯安全事故时有发生。特别是电梯接地防护不到位, 检修不规范, 人员电气意识淡薄等, 导致电梯电气元件出现漏电危险, 危机人们的人身安全。因此, 应做好电梯日常检修工作, 提升检验人员的专业技能, 借助万用表、接地电阻仪等设备对接地项目进行检验, 以此排除接地问题导致的安全隐患。文章结合某电梯接地保护缺陷, 提出了在安全回路电源端增加剩余电流保护装置的解决方案, 可以实现当线路直接接地、漏电、地线断开、人员意外接触安全触点等情况下的有效保护, 进一步提升了电梯的安全性与可靠性。

参考文献

[1] 电梯监督检验和定期检验规则—曳引与强制驱动电梯: TSGT7001—2009[S].
 [2] GB/T 13955-2017, 剩余电流动作保护装置安装和运行[S].
 [3] 秦剑. 浅谈电梯检验过程中的安全及防护措施[J]. 中国设备工程, 2022(02): 155-156.