

钟雨珊,陈景荣. 高速公路机电系统防雷设计[J]. 气象研究与应用,2022,43(4):139-142.

Zhong Yushan, Chen Jingrong. Lightning protection design for highway electromechanical systems [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(4): 139-142.

高速公路机电系统防雷设计

钟雨珊¹, 陈景荣^{*2,3}

(1.江门市气象局, 广东 江门 529000; 2.广东省气候中心, 广州 510641; 3.广东天文防雷工程有限公司, 广州 510080)

摘要: 高速公路机电系统在雷雨季节容易受到雷电的干扰和危害, 开展高速公路机电系统防雷设计分析研究, 对促进高速公路机电系统运行安全性和质量提升有着积极的意义。以广东省某一高速公路为例, 探讨雷电损坏机电系统设备的可能途径, 并提出高速公路机电系统针对性的综合防雷设计方法。

关键词: 高速公路; 机电系统; 防雷设计; 雷电防护

中图分类号: U418

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.4.23

广东被列为“交通强国建设试点单位”。《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》明确到 2025 年, 交通运输综合治理能力进一步增强, 交通运输高质量发展走在全国前列, 其中要建设出省通道 36 条^[1], 进一步增强高速公路对外联通能力。随着“十四五”建设绿色智能交通目标的提出, 高速公路的机电系统集成化程度不断提高, 而机电系统是高速公路管理体系中的重要组成部分, 能够实现对高速公路上行驶车辆的监测、引导和管理, 对于高速公路运营质量的提升有着重要意义^[2]。机电系统涉及电子技术、计算机网络技术、电气控制、通信技术及所需的硬件设备, 极易受雷电的影响^[2-6]。广东地处热带、亚热带季风气候区, 受冷暖空气和海陆相互作用的影响, 时常有强对流雷暴天气发生^[7], 特别是广东西部沿海地区容易发生强雷暴天气。在气候变暖背景下雷电等气象灾害频发多发, 雷电灾害对高速公路机电系统造成的危害风险程度也将越来越大。如何确保在雷雨季节机电系统设备的防雷安全成为高速公路建设必须考虑的因素, 除了机电系统的防雷设计和施工要符合规范外, 日常维护和每年定期的防雷检测是十分重要的一环, 以及相关研究人员或从业人员需要对其防雷效果持续改进与研究。有关学者

就此开展了相应的研究^[2-4,8-13], 为高速公路的机电系统防雷设计与安全运行提供了有益的参考, 如王斯滨^[8]对高速公路机电系统防雷检测的相关内容进行了探讨, 指出了各接地系统安全距离、浪涌保护器规范安装和综合布线等问题; 余长春^[9]对云湛高速公路的防雷设施配置从各类设施的形态和结构尺寸角度进行防雷设计; 柏杨等^[10]对扬州市某收费站的防雷工程进行设计分析研究; 陶杰等^[11]对高速公路机电系统进行了防雷设计探讨。随着智能高速公路的发展, 极端天气灾害频发影响下的高速公路机电系统防雷安全仍然面临严峻的挑战, 因此, 开展其机电系统防雷设计分析极具现实的意义。本文以广东某高速公路为例, 在介绍高速公路机电系统的组成和工作原理基础上, 基于防雷规范和广东地区的雷电特点, 探讨雷电损坏机电系统设备的可能途径, 分析机电系统直击雷防护系统和感应雷防护系统的设计方法, 以期为新时期高速公路机电系统防雷与安全发展提供参考。

1 机电系统组成

高速公路机电系统由收费、交通监控、通信、照明及低压配电等电气、电子系统组成^[14], 或由收费系

收稿日期: 2022-09-02

基金项目: 江门市气象局科学技术研究项目(201903)

作者简介: 钟雨珊(1979—), 女, 工程师, 主要从事防雷工程服务。E-mail: 791756285@qq.com

* 通讯作者: 陈景荣(1970—), 男, 高级工程师, 主要从事防雷工程服务。E-mail: 13602732442@139.com

统、监控系统、通信系统、供配电系统、隧道系统等组成^[15-16],收费系统实现安全便捷地完成收费工作,监控系统的功能是辅助收费及进行高速公路管理,通信系统提供各项业务数据通道,供配电系统为各个系统提供能量来源,隧道系统实施隧道安全措施及管理。从防雷的角度,根据雷电入侵电子设备系统的可能途径,需要掌握各系统硬件设备的安装位置分布和其防雷外部环境,以及各设备与外界的连接情况。从机电系统硬件设备的安装位置分,可以归类为办公楼内设备、收费岛设备、外场沿线设备、隧道设备。比如收费亭内的车道控制器、车辆检测器等,安置在收费岛的设备包括置于高速公路广场和道路两侧的路况监测设备、气象监测设备、可变情报板、通行信号灯、限速标志等,置于办公大楼监控室的终端设备、设备机房、以及供配电的高低压房和 UPS 房等。

2 机电系统的雷电防护

2.1 共用地网设计

办公楼、收费岛位于城郊,土壤电阻率约为 $3000\Omega\cdot\text{m}$,要求接地电阻 $\leq 2\Omega$ 。采用共用地网设计,地网采用闭合环形的方式设计,除利用办公楼的基础钢筋作自然接地体外,在办公楼四周设置人工地网。由于地网位于高土壤电阻率地带,土质情况复杂,为了达到接地电阻值要求,在办公楼与收费岛之间设置人工地网,互相连接,并与宿舍楼地网连接。必要时采取钻孔的办法解决角钢打不下去的问题,并施放降阻剂,增大与土壤接触的表面积,地沟回填采取换土的办法处理。

人工地网垂直接地体采用 $\text{L}50\times 50\times 5$ 热镀锌角钢,相隔 $3\sim 5\text{m}$ 一支,水平接地体采用 -40×4 热镀锌扁钢,扁钢与角钢应作三面焊接,焊缝饱满,焊口涂防锈漆保护,另加接地模块。地极的地沟深度应 $\geq 0.6\text{m}$,沟宽 0.6m ,有行人通过的地方,敷设深度应 $\geq 1\text{m}$,埋设接地模块的地坑深为 1.5m 以上,在适当位置设置地极标志及地极手井。共用地网设置(图 1)

2.2 供配电防雷设计

高压线路进入办公楼配电房前埋地敷设,埋设长度不小于 $2\sqrt{\rho}$,且不小于 50m 。低压配电线路禁止室外架空敷设,在各位置区域配电线路上设置多级电源电涌保护器(SPD),具体如下:

- (1)在变压器前端设置电力系统高压避雷器。
- (2)在办公楼低压配电柜、收费岛总配电箱、各

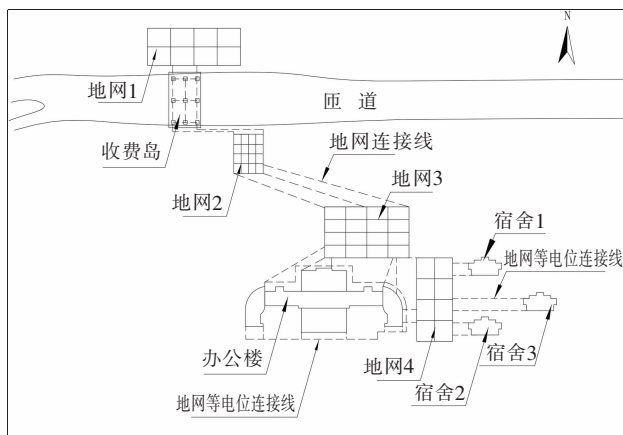


图1 共用地网示意图

宿舍楼总配电箱、沿线机电设备(含隧道)等相应配电开关负载端设置一组 SPD,参数要求 $I_{\text{imp}} \geq 12.5\text{KA}$, $U_p \leq 2.5\text{KV}$ 。

(3)为防止各高杆灯遭受雷击时的高电压通过配电线路窜入配电系统,在各高杆灯馈电开关处设置一组 I 类试验的 SPD,要求 $I_{\text{imp}} \geq 12.5\text{KA}$, $U_p \leq 2.5\text{KV}$ 。

(4)在办公楼配电房地面四周沿墙敷设一圈 -40×4 扁钢,从不同方向两处与共用接地网连接。

2.3 办公楼监控机房防雷设计

为消减闪电感应和雷击电磁脉冲的干扰,加强屏蔽和等电位连接并设置第二级电源电涌保护器。利用大楼天面板筋焊成不大于 $300\text{mm}\times 300\text{mm}$ 的小网格,监控机房不应设置在最顶层。从办公楼共用地网利用 35mm^2 铜缆套 PVC 胶管引至离办公楼 $3\sim 5\text{m}$ 米地极手井处,然后再用 35mm^2 铜缆套 PVC 胶管引至室内地平及 UPS 房内,再从室内地平套金属管引至三楼监控机房。在监控机房静电地板下设置等电位连接网格,采用 -40×3 紫扁铜,并与办公楼内柱主钢筋重复接地(图 2)。

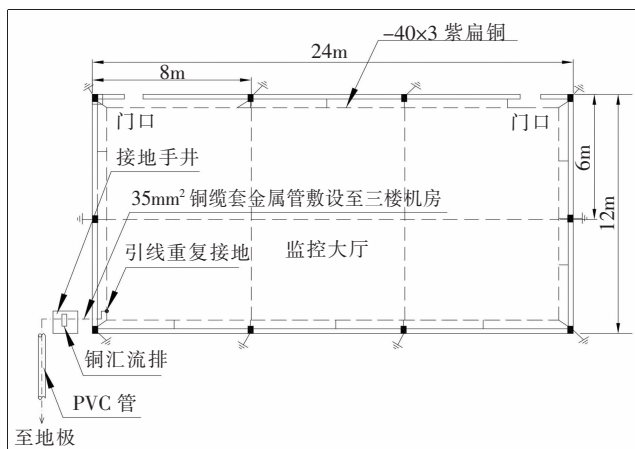
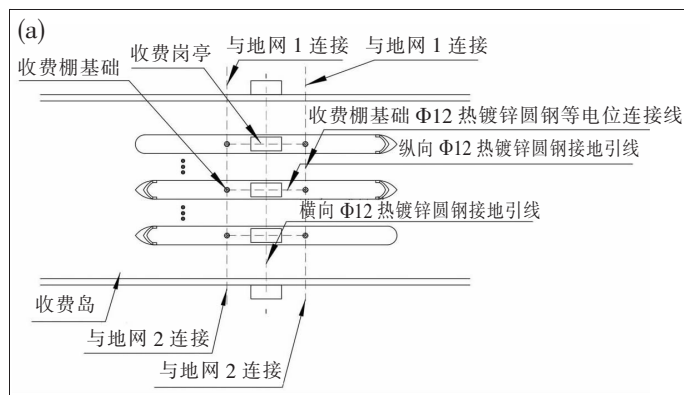


图2 监控机房接地线设计示意图

监控机房设备放置距外墙及柱的距离大于 1m。机房采用金属门窗并就近进行接地, 将防静电地板金属构件、天花金属龙骨、设备金属外壳、金属机柜等金属构件进行接地。出入机房的低压电源和信号线缆, 在入口处做等电位连接, 强、弱线缆分金属槽敷设, 与外界通信的光缆金属加强芯等金属部件在进入大楼处进行接地。在机房配电箱处设置第二级电涌保护器 (SPD), 参数要求 I_n 为 20~30KA, $U_p \leq 2.0KV$, 需要特别保护的设, 设置第三级电涌保护器 (SPD), 参数要求 I_n 为 5~10KA, $U_p \leq 1.5KV$ 。



非光纤的通信线路需设计安装适配的信号电涌保护器 (SPD)。

2.4 收费岛防雷设计

2.4.1 收费岛接地设计

利用 $\Phi 12$ 热镀锌圆钢将收费岛两侧人工地网在地中将人工地网 1 和人工地网 2 进行两处连接, 并与收费棚基础钢筋连接。利用 $\Phi 12$ 热镀锌圆钢在地中从收费亭纵向、横向与等电位接地线连接, 作为收费亭接地引入线, 在收费亭下人孔内设置铜接地排, 用 $35mm^2$ 铜线引至收费亭供各设备接地 (图 3)。

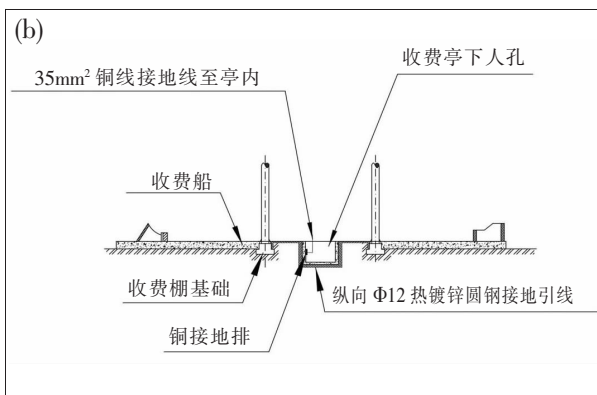


图 3 收费岛接地线设计示意图

(a) 收费岛接地线设计示意图; (b) 收费亭接地线设计示意图

2.4.2 收费岛设备防雷设计

电源、通信线缆应分别套金属管埋地引入, 埋地长度 $\geq 50m$, 严禁明线架空引入, 金属管两端应作接地处理。除在收费岛总配电箱箱设置 SPD 外, 在车道工控机、电动栏杆、雨棚信号灯、车道摄像机、计重控制器等处设置安装第二级电源 SPD, 要求 $I_n \geq 20KA$, $U_p \leq 1.5KV$, 信号线路设计安装适配的信号电涌保护器。收费亭、自动栏杆、通行信号灯、计重装置金属构件、费显装置及车道摄像机支撑架与收费岛预留接地端子连接。收费亭内的金属工作台、金属机柜、各种机电设备的金属外壳与预留接地线连接。

2.5 外场沿线机电设备的防雷设计

外场沿线的机电设备有门架式安装和立杆式安装 (含安装在桥梁上), 按照功能分有 LED 信息显示屏、微波车辆检测器、视频车辆检测器、能见度检测器、摄像机设备等, 以及为其供电需要而设置的户外配电箱和为其通信需要而设置的通信设备等。这些机电设备最容易收到雷电干扰和危害。

所有电子设备的雷电防护需要综合考虑直击雷防护、供电线路雷电高压入侵、信号线路雷电波入

侵、地网的地电位反击、雷电电磁脉冲的空间辐射影响、线路的综合布线等。

外场设备的直击雷防护, 立杆式安装时采用在立杆顶端设置接闪杆, 设置专用引下线与共用接地网连接, 门架式安装时其直击雷防护在门架的两端设置接闪杆, 设置专用引下线与门架基础和人工地网组成的共用地网连接。

设备的供电线路全程采用穿金属管 (槽) 或铠装电缆直接埋地敷设, 在各配电箱处设置电源 SPD, 具体参数要求根据设备要求而定, SPD 的有效电压保护水平应限制在设备的耐压水平内。

信号线缆与电源线缆分管敷设, 采用光缆时在接线箱处将金属加强芯等金属部件进行接地, 并对线路金属屏蔽体和设备金属外壳进行接地。采用非光缆通信线路时, 在传输线端口设置适配的信号 SPD。

外场沿线设备的接地采用共用接地网进行设计, 在高速公路两侧红线范围设置人工地网, 并将相邻 20m 范围内的基础钢筋进行连接, 共用接地网的接地电阻 $\leq 4\Omega$ 。

2.6 隧道机电系统的防雷设计

利用隧道的结构钢筋作为自然接地体,在洞口处增设人工地网组成共用接地网,接地电阻 $\leq 4\Omega$ 。在各强、弱电系统的配置箱和设备安装位置预留接地端子。在隧道两侧设置一组 40×4 热镀锌扁钢贯通隧道作为等电位连接干线,与隧道自然接地体地网的接地预留端子连接,隧道内的各种金属构件和设备金属支架、设备金属外壳等就近与预留的接地端子连接。隧道的配电线路和通信线缆在进入洞口处进行等电位接地,SPD设置参考2.5的要求。

办公楼、收费岛、宿舍楼等的防直击雷应符合相关技术规范要求。

3 结论

针对高速公路机电系统组成和容易受到雷电的干扰和危害的问题,对机电系统共用地网、供配电防雷、办公楼监控机房防雷、收费岛防雷、外场沿线机电设备等方面的防雷方案进行了设计,为高速公路机电系统防御雷电灾害提供系统设计方案,为高速公路安全运营提供基础支撑。根据防雷理论和实践经验,任何雷电防护系统的防雷安全度都不可能做到100%^[17],因此,防雷工程不是一劳永逸的事情,必须要定期对其进行检测,发现问题及时整改,同时,要求有关管理部门的领导群众定期开展防雷防御知识培训和科普教育,进一步增强雷电安全意识,提升新时代高速公路高质量发展中防雷减灾的能力与水平。

参考文献:

[1] 袁佩如,吴哲.广东省综合交通“十四五”规划[N].南方日报,2021-09-30.

- [2] 郭兴隆.高速公路机电系统设计与施工质量控制措施[J].中国设备工程,2021,37(7):8-10.
- [3] 吴晓伟,王永振,蔡坚健.金丽温高速公路温州段隧道设备雷击事故浅析[J].浙江气象,2012,33(3):40-43.
- [4] 程琳,裴晓芳,沈刚,等.江苏高速公路收费站一次雷击事故分析[J].气象科学,2011,31(S1):123-128.
- [5] 邱红斌.宜黄高速公路通信网雷击灾害分析[J].湖北气象,1998,(2):33-34.
- [6] 张红燕,周英明,周新,等.高速公路雷灾调查及分析[J].科技创业,2012(11):185-186.
- [7] 张东,林芳妮,何如意,等.珠江口以西登陆热带气旋引发粤东暴雨的成因和预报着眼点分析[J].热带气象学报,2019,35(1):14-24.
- [8] 王斯滨.高速公路机电系统防雷检测要点[J].河南科技,2020,(13):105-106.
- [9] 余长春.云湛高速公路防雷设施配置方案[J].广东公路交通,2020,46(2):37-41.
- [10] 柏杨,孙磊,陈建华,等.扬州市某收费站防雷工程设计[J].科技风,2021(29):123-126.
- [11] 陶杰,梁尊人.高速公路机电系统过电压保护与防雷接地设计[J].交通世界,2021(33):137-138.
- [12] 李灿.高速公路机电系统过电压保护与防雷接地设计[J].电子世界,2020(13):136-137.
- [13] 李萌.探讨高速公路机电系统中过电压保护和防雷接地的设计[J].科学技术创新,2020(33):130-131.
- [14] 中国气象局.QX/T 190-2013 高速公路设施防雷设计规范[S].北京:气象出版社,2014.
- [15] 杨顺翔.高速公路机电设施雷电破坏及其处理措施[J].甘肃科技,2021,37(4):49-50.
- [16] 王鑫涛.高速公路机电系统分析[J].黑龙江科学,2022,13(6):88-90.
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB50057-2010 建筑物防雷设计规范[S].北京:中国计划出版社,2011.

Lightning protection design for highway electromechanical systems

Zhong Yushan¹, Chen Jingrong^{2,3*}

(1. Jiangmen Meteorological Bureau, Guangdong Jiangmen 529000, China;

2. Guangdong Climate Center, Guangzhou 510641, China; 3. Guangdong Astronomical

Lightning Protection Engineering limited company, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Highway electromechanical systems are vulnerable to lightning disturbances and hazards during the thunderstorm season, and it is of positive significance to carry out analysis and research on the design of highway electromechanical systems for lightning protection to promote the operational safety and quality improvement of highway electromechanical systems. Using a highway in Guangdong Province as an example, the study investigates the possible ways of lightning damage to electromechanical system equipment, and proposes a comprehensive lightning protection design method for highway electromechanical systems.

Key words: Highway; electromechanical systems; lightning protection design; lightning protection