

安徽省马鞍山长江公路大桥雷电防护技术研究

杨春明, 范正义, 王亚坤

(安徽省马鞍山市气象局, 马鞍山 243000)

摘要:分析雷电环境对马鞍山长江公路大桥的影响,结合大桥自身的结构特点,按二类防雷要求,对大桥的直击雷、侧击雷、等电位以及闪电电涌侵入的雷电防护措施做深入研究,重点探讨了项目接闪、引下、接地、均压、等电位、配电系统、信号系统等雷电防护要点,判定出科学可靠、经济合理的大桥防雷措施,同时计算分析了雷击大桥时产生的磁场强度对航道内过往船只的影响,结果表明:雷击点与船体最小安全距离在不小于 14.9 m 时,才会避免船只外部设备和信号受到干扰。

关键词:大桥;直击雷;侧击雷;闪电电涌侵入;磁场强度

中图分类号: TM726 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-009X(2014)03-0036-05

Lightning protection for Yangtze river highway bridge in Anhui Maanshan city

Yang Chunming, Fan Zhengyi, Wang Yakun

(Maanshan Meteorological Bureau of Anhui, Maanshan 243000)

Abstract: Based on the analysis of the effect of thunder and lightning environment on Yangtze river highway bridge in Maanshan city, combined with the structural characteristics of the bridge, this paper gives an intensive study on protection measures of direct lightning, side flash, and equipotential as well as lightning surge invasion of the bridge according to level two lightning protection requirements. It focuses on the investigation of thunder and lightning protection points, such as project lightning, turning down, ground connection, voltage-sharing, equipotential, distribution system and signal system etc. Then, some scientific, reliable, economical and reasonable bridge anti-thunder measures are obtained. Meanwhile, the impact of magnetic field intensity on vessels passing through the fairway which is generated by lightning stroke is calculated and analyzed. The results indicate that only when the minimum safe distance between lightning stroke and the hull is not less than 14.9 m, the external device and signal of the vessel can not be disturbed.

Key words: bridge; direct lightning; side flash; lightning surge invasion; magnetic field intensity

0 引言

雷电是一种被人们广泛认知的自然现象,它

随时随地的威胁着人类的生命财产安全,不仅造成经济上的巨大损失,危害公共服务,并被“国际减灾十年”公布为最严重的十种自然灾害之一,它

收稿日期: 2014-02-25.

基金项目: 2014年度安徽省气象局新技术集成项目(AHXJ201401).

作者简介: 杨春明(1974-),男,大学,工程师.主要从事雷电防护研究.

造成的经济损失仅次于干旱和洪涝,已经构成制约社会可持续发展的重要因素。在我国经济快速发展、基础设施建设迈进高速发展的时期,桥梁作为交通运输的重要纽带,其规模和数量也都得到快速发展。由于桥梁通常高于周边环境,这种结构的特殊性,使得其遭受雷电破坏的概率较大,后果也较严重,因此进行系统的防雷设计是确保桥梁获得最大程度防雷安全的重要前提。根据规范要求^[1],防雷设计应采取建筑物内部防雷和外部防雷结合的方法,需满足“因地制宜、安全可靠、技术先进、经济合理”的总体要求,直接雷击防护属于建筑物外部防雷范畴,根据国际电工委员会雷电防护技术标准 IEC62305-3,主要应该采取使雷电流接闪、引下和接地等防护措施^[2];闪电电涌侵入属于建筑物内部的防雷范畴,根据国际电工委员会雷电防护技术标准 IEC62305-5,防雷措施主要是针对建筑物内部电气和通信线缆。这些内外防雷的规定在规范中均有明文指示。国内外诸多学者在桥梁防雷技术方面有许多的研究和成果^[3-10]。目前大桥雷电防护方面的研究论文主要参考的是建筑防雷设计规范,对桥梁防雷标准^[11]参照的较少,本文在论述的过程当中将二者结合起来作为参考依据,探讨了大桥内外雷电防护技术要点,同时还分析了雷击产生的磁场强度对航道内船只的影响,弥补了桥梁防雷研究中的空白,也进一步拓展了桥梁雷电研究领域,为读者提供了更为广泛的参考依据。

1 研究区域及资料来源

马鞍山长江公路大桥起于安徽省马鞍山市和县姥桥镇省道 206 线,止于马鞍山市当涂县牛路口,大桥全长约 36.274 km,其中跨江主体工程长 11.209 km,南岸接线长 19.320 km,北岸接线长 5.745 km,为全封闭、全立交 6 车道高速公路标准设计,设计车速为 100 km/h,桥梁路面宽度为 33 m,路基宽度为 33.5 m,设计荷载为公路 I 级,大桥首次采用了塔梁固结体系,左汊主桥采用了 2×1 080 m 三塔两跨悬索,左、右塔高 185.8 m,中塔高 178.8 m(图略);右汊主桥采用 2×260 m 三塔斜拉,桥塔为椭圆拱型,左、右塔高 92.4 m,中塔高 109.5 m(图略),全线在 N33、N26、N19、N11、N6、N3、0、1、2、Z3、Z6、Z9、Z16、Z23、Z30、Z37、Z43、Z49、Z54、Z59、Z65、Z71、Z76、Z81、Z85、Z93、Z100、Z107、Z114、Z117、3、5、6、7、9、S7、S14、

S22、S26、S30、S33、S40、S43、S49 等 44 个桥墩设有接地装置。

用于本研究的资料来源于马鞍山地区 4 个观测站 1959~2013 年的气象观测资料。

2 雷电环境及对大桥的危害

在本研究区域,雷电频繁,根据雷击灾害调查资料显示:1998-07-13T12:00,位于左汊桥(Z6 桩处)曾发生雷击造成大堤防汛民工死亡的事故;2010-04-18T4:15 左右,马鞍山市雨山区佳山乡南村(右汊桥 2.5 km 处)约有 40 多户村民遭雷击,经济损失约 15 万元。2011-07-26T6:00,位于江心乡三联村(Z81-Z100 处)10 多户住宅遭雷击,其中一棵大树主干被雷劈断,雷击造成建筑物、诸多家电设施损坏,损失约 6 万元。可见雷电对建筑物及其内外设施及人民的生命财产损害极为严重。分析和调查表明:雷电对大桥带来的危害主要通过以下途径:一是直击雷和侧击雷,它将直接对大桥产生热效应和机械破坏;二是闪电电涌侵入,也是导致雷击损失最严重的方式之一。大桥上安装诸多的金属管线、电子设备以及电源系统,一旦闪电电涌由线路侵入这些管线和设备,带来损害难以估量,同时因雷电瞬间产生的高电位带来的电位差会使金属之间产生电火花,导致水泥开裂损坏桥梁,等电位连接处理也不容忽视,另外,桥面产生跨步电压同样会对人生命造成危害,雷击产生的磁场强度对桥下过往船只的信号、设备也会产生影响。

3 大桥防雷类别确定

根据 GB 50057—2010 附录 A 中规定,不同高度建筑物的年预计雷击次数 N 值需分别计算,因大桥南北之间高度设计不同,结合桥体结构的特点,将大桥分为 3 个路段,即:和县段引桥(S1);桥身段(S2);当涂段引桥(S3)。具体计算如下:

$$N = k \times N_g \times A_e, N_g = 0.1 T_d \quad (1)$$

$$A_e = \begin{cases} [LW + 2(L+W) \sqrt{H(200-H)}] \times 10^{-6} & (H < 100 \text{ m}) \\ [LW + 2H(L+W) + \pi H^2] \times 10^{-6} & (H \geq 100 \text{ m}) \end{cases} \quad (2)$$

式中: N 为建筑物年预计雷击次数; k 为校正系数,取 1.5; N_g 为雷击大地的年平均密度; T_d 为年

平均雷暴日数,马鞍山年平均雷暴日为 29.7; A_e 为与建筑物截收相同雷击次数的等效面积; L 、 W 、 H 为分别为建筑物的长、宽、高。

表 1 大桥不同路段年预计雷击次数计算表

大桥路段	S_1	S_2	S_3
长(m)	5 745.0	11 209.0	19 320.0
宽(m)	35.5	35.5	35.5
高(m)	15.0	185.8	12.0
年预计雷击次数 N (次/a)	3.66	20.87	11.28
防雷类别划分	二类	二类	二类

马鞍山长江公路大桥属于重要的公共建筑物,根据 GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范第 3.0.3 条,预计雷击次数大于 0.05 次/a 的部、省级办公建筑物和其他重要或人员密集的公共建筑物,应划分为第二类防雷建筑物,由表 1 计算结果可知,马鞍山长江公路大桥应划分为二类防雷建筑物。

4 大桥直击雷电防护

4.1 直击雷电防护

4.1.1 接闪器

(1) 桥面: 两侧采用带针状的照明钢质灯杆作为接闪器,桥梁中间的道路为常规通用车道,普通小型车辆的高度大约在 1.6 m 左右,大型载货车辆高一般为 4~5 m,如果在桥面顺桥向每隔 20 m 左右设置 1 根灯杆,以 4 根灯杆为一组(对称布置,一边 2 根),依据文献[1]中附录 D 的滚球法,4 支等高避雷针的计算公式为:

$$h_0 = \sqrt{h_r^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} + h - h_r,$$

这里, h_0 为保护范围最低点高度; h_r 为滚球半径,二类防雷建筑取 $h_r = 45\text{m}$; D 为灯杆间距; h 为灯杆高度。当灯杆高度为 $h = 8\text{m}$ 时,经计算,保护范围最低高度 h_0 约为 6.87 m,这样的高度可以基本解决车辆的直击雷防护。桥面接闪器的安装主要是防止或减少雷击车辆引发的人员伤亡和财产损失,可满足对桥面车辆的直击雷防护要求。

(2) 桥塔: 对于左汉主桥(悬索桥),在每根塔柱上端鞍罩顶部各设置 4 座 5 m 高的不锈钢接闪杆,与不锈钢鞍罩可靠连接后,形成组合式接闪器,将每座主塔横梁顶部钢制栏杆与两端组合式接闪器可靠连接,共同组成塔顶接闪系统;对于右汉主桥(斜拉桥),在主塔顶部正中的人孔边各设置一座 5 m 高的不锈钢接闪杆,在塔顶边缘设置接闪带,与避雷针可靠连接后,形成组合式接闪

器,左(右)汉桥塔接闪杆均选用 $\Phi 12\text{mm}$ 不锈钢圆钢,杆尖采用 $\Phi 16\sim\Phi 25\text{mm}$ 的半球形,其保护范围按照文献[1]中附录 D 的滚球法计算,塔顶结构及其设备均在保护范围内。桥塔接闪器的安装主要防止或减少雷击桥体造成石块崩落,引发二次安全事故。

4.1.2 引下(上)线

(1) 桥面: 利用灯杆做引下线,灯杆与大桥钢质栏杆及桥面接地水平连接线连接,在桥面采用 $\Phi 22\text{mm}$ 圆钢设置均压环,设置在大桥的两侧,间距 30 m 与水平连接线垂直连接 1 次。

(2) 桥墩: 桥墩利用桩基内至少 4 根(直径大于 $\Phi 16\text{mm}$) 钢筋做引下线,上与桥面均压环连接,下与基础接地极连接,桥墩引下线间距一般不大于 18 m,桥梁由于受其结构限制,不可能满足“专设引下线平均间距不应大于 18 m”的要求,参考该地方标准中 4.2.9 条规定对此做了变通,只需在主塔处要求引下线数量不少于 2 根,其平均间距不大于 12 m,即可满足此条件。

(3) 桥塔: 左、右汉桥塔均利用直径大于 $\Phi 22\text{mm}$ 的圆钢作为引上线,上与塔顶避雷针连接,下与基础接地极做可靠连接,如图 1、图 2 所示。

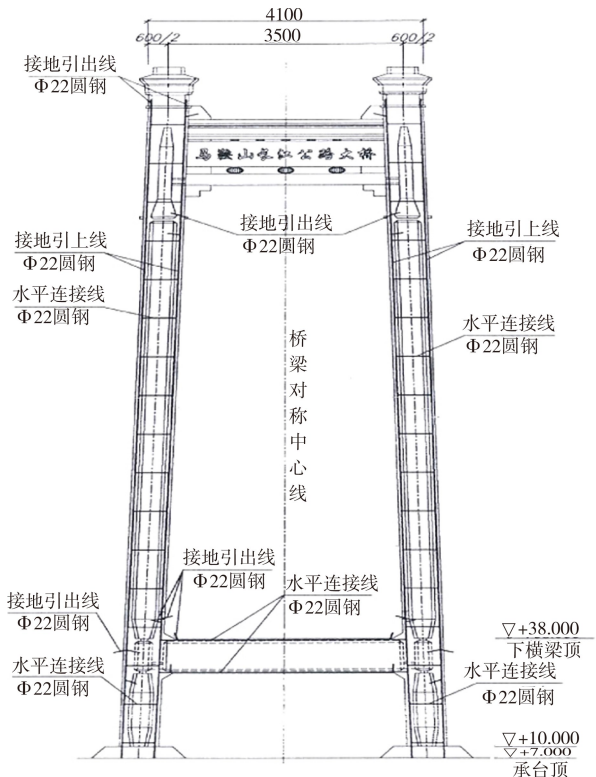


图 1 左汉桥直击雷防护示意图

4.1.3 接地装置

利用每根桩基中的 2 根通长结构钢筋作为接地主筋,在桩基的每个节段处采用塔接钢筋确保其贯通,将所有桩基的竖向主钢筋并焊在一起,共同作为接地极。若有保留的钢护筒时,也应将它与接地极并接。电气接地、保护接地、防雷接地的共用接地电阻值应不大于 1 Ω。

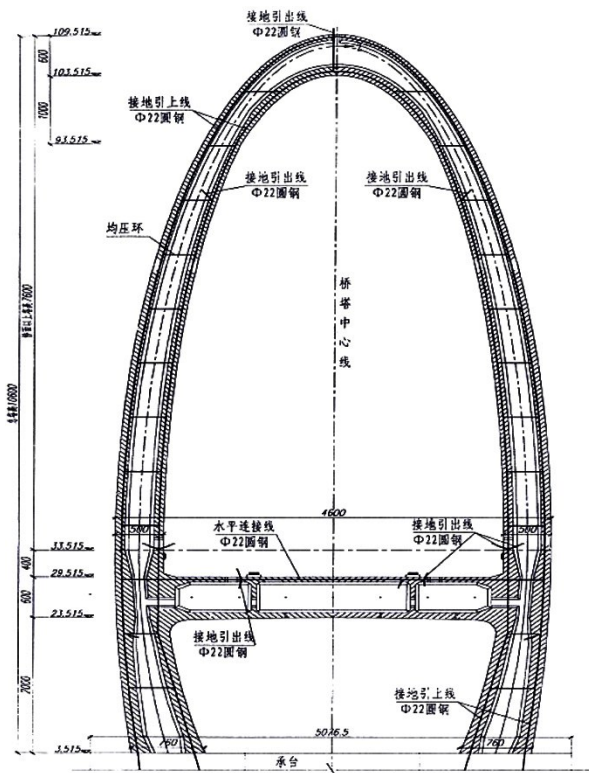


图 2 右汉桥直击雷防护示意图

4.2 侧击雷防护

侧击雷就是从侧面过来的雷电流,根据文献[1]的规定高度超过 45 m 的建筑物,应采取侧击雷防护措施,侧击雷的防护主要是在建筑物周围设置均压环,对于大桥可以利用固定在拉索上的避雷带抱箍形式支持架作为缆索的侧击雷保护装置使用,这样既节省了开支,也充分的利用了资源。

4.3 等电位连接

在左(右)副桥面外侧的防撞墙内,均采用了 40 mm×5 mm 镀锌扁钢作为贯通全桥的接地带,且每隔 12 m 与桥面钢筋连接一次,在匝道 T 接头,应做好贯通连接,因桥内设施较多,如:煤气管、水管、金属管线(或电源和信号桥架等),应每隔 30 m 设置 1 个电气预留接地端子,用作等电位连接。

4.4 闪电电涌侵入防护

闪电电涌按规范定义为闪电击中防雷装置或

者线路上以及由闪电静电感应或雷击电磁脉冲引发的过电压和过电流的瞬态波,主要是指大桥内部防雷。大桥除了主体建筑工程外,还有配电系统、交通监测系统、照明系统、收费系统等配套工程,各系统均装配有大量精密的电子仪器、控制设备及通信设备,这些设备遭感应雷侵害的可能性很大。因此,防感应雷措施也成为大桥防雷的重点。

4.4.1 电源系统

按文献[1]的标准要求,应采取三级防闪电电涌侵入措施:第一级是将通流量为 60 kA 的电源避雷器安装在总配电柜处,以防止闪电电浪涌对设备的侵袭;第二级是将通流量为 40 kA 的限压型避雷器安装在分配电箱处,以抑制雷电流和降低残压;第三级采用通流量为 20 kA 具有运行状态指示及声光报警功能的单相电源避雷器,以进一步保护设备。

4.4.2 信号系统

大桥交通监控系统中信号通信部分采用光缆进行传输,控制信号部分主要集中于大桥监控中心的监控机房和收费站,是大桥各种数据和信息的集散中心,内设多台服务器、电视墙多路视频信号等。因此,在监控中心的服务器、视频信号等线路上应分别设计信号 SPD 保护,在实践工作中,考虑到插入损耗的原因,一般设置一级信号 SPD 保护。

5 雷击磁场强度对大桥航道影响

大桥航道位于左、右汉桥下,根据通航论证结果,左汉按单孔双向通航,要求通航净宽不小于 790 m,单孔单向不小于 445 m,右汉要求单孔单向通航净宽不小于 190 m,单孔双向通航净宽不小于 330 m^[12]。马鞍山长江公路大桥桥面路基宽度约 33.5 m,主副通航孔净空高度分别大于 32 m 和 18 m,意味着桥下可通行万吨轮船。

由于雷击建筑物附近或直接击在建筑物上均会产生一定程度的空间磁场,在发生雷击时,船只通过航道上的高敏感设备会受到雷击磁场强度的干扰。马鞍山长江公路大桥航道处于 LPZ0 区,依据规范文献[1],建筑物无屏蔽时产生的无衰减磁场强度,按如下公式计算:

$$H_0 = i_0 / (2\pi S_a) \quad (3)$$

式中: H_0 为无屏蔽时产生的无衰减磁场强度(A/m); i_0 为最大雷电流(A),二类建筑取 75 kA; S_a 为雷击点与屏蔽空间之间的平均距离(m);

根据公式(3),其计算结果见表 2。

表 2 邻近雷击时左、右汉桥航道处无衰减磁场强度

雷击点与航道 船只距离(m)	10	14.9	20	30	40	50	100	150	200
磁场强度(A/m)	1194	800	597	398	299	239	119	80	60

根据文献[12]的规范要求,在磁场干扰环境场强不大于 800 A/m 时,闪电击于二类建筑物附近的屏蔽空间磁场强度理论计算值能满足规范规定的要求,从表 2 的计算结果可知,发生雷击时,航道内船只距离雷击点大于 14.9 m 时,船外部电子设备、信号不会受到影响。由于船舱内部的通讯、网络等电子设备已处于屏蔽状态,所以这里只考虑了磁场强度对船外部电子设备、信号的影响。

6 结论

- (1) 大桥的防雷类别划分应通过年预计雷击次数的计算来确定。
- (2) 应充分利用桥梁自身基础结构作为防雷装置,既节约了开支,也节省了资源。
- (3) 大桥的共用接地电阻值应不大于 1 Ω。
- (4) 大桥的等电位连接应贯穿整个桥梁。
- (5) 为防止雷电波的侵入,大桥的电源和信号系统应安装 SPD 作为保护。
- (6) 发生雷击时,航道内船只距离雷击点大于 14.9 m 时,船外部电子设备、信号不会受到磁场强度的影响。

参考文献:

- [1] GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范[S].
- [2] IEC 61024—1 建筑物的雷电防护第一部分:一般原则[S].
- [3] 秦玉新,周开春,廖严峰. 浅谈长跨度桥梁的雷电防护[J]. 气象研究与应用,2010,31(3):80-83.
- [4] 彭锦荣,郭志勇,张健波,等. 斜拉索桥梁中拉索的防雷设计要点[J]. 气象研究与应用,2010,31(S2):161-163.
- [5] 李国晋,董秀荣,于振波. 斜拉桥和悬索桥防雷技术[J]. 山东气象,2010,30(123):58-60.
- [6] 古名岸,黄小红,胡全玲,等. 吉安大桥防雷设计与施工[J]. 井冈山大学学报(自然科学版),2010,31(3):91-94.
- [7] 陈军,胡波华. 大桥防直击雷设计初步分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版),2007,26(3):355-357.
- [8] 尹巧珍. 桥梁防雷装置设置的技术探讨[J]. 福建建筑,2008(6):97-100.
- [9] 宋兆俊,邓海利. 济宁市洸府河大桥综合防雷设计[J]. 中国科技信息,2012(14):69-69.
- [10] 徐鑫,周红. 东海大桥综合防雷工程的设计[J]. 低压电器,2006(10):28-30.
- [11] DB50/T 279—2008 桥梁工程防雷技术规范[S].
- [12] GB 50174—2008 电子信息系统机房设计规范[S].

(上接 35 页)

参考文献:

- [1] JJG(气象)002—2011 自动气象站温度传感器检定规程[S].
- [2] 黄培光,罗鹏,陈玲,等. 遥测站仪器大撤换中的各要素传感器更换方法[J]. 气象水文海洋仪,2013,30(1):105-107.
- [3] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2003.
- [4] 袁巧霞. 温度和含水率对土壤比热容影响的神经网络预测[J]. 农业机械学报,2008,39(5):108-111.
- [5] 王铄,王全九,樊军,等. 土壤导热率测定及其计算模型的对比分析[J]. 农业工程学报,2012,28(5):78-84.
- [6] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,2005.
- [7] 刘小宁,任芝花,王颖. 自动观测与人工观测地面温度的差异及分析[J]. 应用气象学报,2008,19(5):554-563.
- [8] 胡玉峰. 自动与人工观测的差异[J]. 应用气象学报,2004,15(6):719-726.
- [9] 邓天宏,王国安,焦建丽,等. 草温、0cm 地温、气温间变化规律分析[J]. 气象与环境科学,2009,32(4):47-50.
- [10] 王颖,刘小宁,鞠晓慧. 自动观测与人工观测差异的初步分析[J]. 应用气象学报,2007,18(6):849-854.
- [11] 李黄,王平,陈永清,等. 自动气象站实用手册[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [12] 朱建华. 更换自动气象站仪器的注意事项[J]. 广东气象,2010,32(5):61-62.