

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.03.018

跨断裂带简支梁桥三级防落梁系统设计

刘 洋

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

摘 要:我国四成以上的国土位于地震烈度 7 度及以上地区,随着交通基础建设的快速发展,桥梁建设不可避免地会跨越高地震烈度区,甚至是活动断裂带。落梁已成为地震发生时最常见和最严重的桥梁破坏形式之一,因此跨断裂带桥梁的设计在充分进行结构抗震分析的基础上,必须要进行防落梁设计。结合王家村特大桥防落梁设计提出了跨断裂带简支梁桥的三级防落梁系统,包含支座系统、限位装置系统和防落梁长度系统三部分。该系统采取“三级设防”的策略来防止主梁坠落,可为高烈度区,尤其是跨断裂带简支桥梁的防落梁设计提供借鉴和参考。

关键词:跨断裂带桥梁;防落梁系统;限位装置

中图分类号: U448.21 + 7

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)03-0074-03

0 引 言

我国地处环太平洋地震带与欧亚地震带之间,地震断裂带活跃,其中四成以上的国土位于地震烈度 7 度及以上地区^[1]。随着我国交通基础建设的快速发展,桥梁建设不可避免地会跨越高地震烈度区,甚至是活动断裂带。高地震烈度区的桥梁(特别是简支梁桥)在瞬时强震作用下,上构和下构之间将产生极大的相对位移,若两者的相对位移量超过防落梁限位装置的极限或上、下构间的防落梁搭接长度,就会造成落梁。

1976 年唐山地震中,震区桥梁遭到严重破坏,其中约 18 座桥梁发生了落梁震害^[2];2008 年汶川地震中,多座桥梁发生了落梁,其中百花大桥、高树大桥等桥梁因一孔落梁导致了全联倒塌^[3];2021 年青海地震造成野马滩大桥和野马滩 2 号大桥两座桥梁发生落梁坍塌。历次地震灾害表明落梁已成为地震发生时最常见和最严重的桥梁破坏形式之一。落梁不仅会造成主梁损坏,还有可能因主梁坠落撞击桥墩而引起桥梁整体坍塌。除此之外,落梁还会导致交通生命线中断,救援通道被阻隔,直接阻碍抗震救灾行动的进行,且发生落梁震害后桥梁修复极其困难。因此,如何对桥梁结构进行专门的防落梁设计,使桥梁在强震时中不发生落梁显得尤为重要。

收稿日期: 2021-06-15

作者简介: 刘洋(1990—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

1 工程概况

三清高速公路起于曲靖三宝,止于昆明清水,近场区断裂构造发育,有小江断裂、万寿山断裂等多条活动断裂。其中小江断裂是一条全新世活动断裂,新构造时期以来十分活跃,该断裂带以左旋运动为主,兼有少量垂直运动。因地形和线位原因,三清高速在王家村附近跨越小江断裂东支,桥位处场地 50 a 超越概率 10% 水平地震动峰值加速度 0.5g,8.0 级地震时水平位错 5.73 m,垂直位错 3.37 m。

道路区域内存在活动断裂时一般采取避让或以路基方式穿越,因此在国内外已建或在建工程中都很难找到采用桥梁方式跨越活动断裂带的实例。因此,本工程在对桥跨布置进行了反复研究后,最终确定了在小江断裂带较窄处采用大角度一孔跨越断裂带的方案。跨越断裂处桥梁为 1×90 m 简支组合梁,墩高 47.7 m/49 m,组合梁桥型布置见图 1。桥位处桥梁与断裂带夹角约为 90°,断裂带宽 36 m,桥墩承台边缘距断裂带的安全距离大于 16 m。除本联组合梁外,两侧引桥均采用 40 m 跨简支混凝土梁。

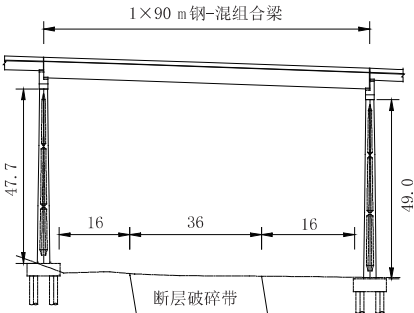


图 1 桥型布置图(单位:m)

本联组合梁为双箱等高结构,梁高 4.5 m,桥面全宽 16.55 m,箱室宽 4.0 m,箱室净距 3.85 m,悬臂长 2.35 m,组合梁标准横断面见图 2。

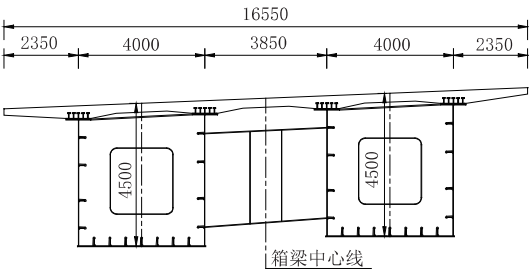


图 2 标准横断面图(单位:mm)

2 三级防落梁系统

地震具有极大的随机性和不确定性,难以定量计算。根据经验^[4],在计算的基础上结合桥梁落梁原因,合理地进行桥梁防落梁构造设计往往更加有效。由于本工程桥位处的地震烈度高,水平向和垂直向位错大,为了避免强震时简支组合梁桥发生落梁,在进行抗震计算分析的基础上,本文对该桥进行了跨断裂带简支梁桥的三级防落梁系统设计。三级防落梁系统构成见图 3。

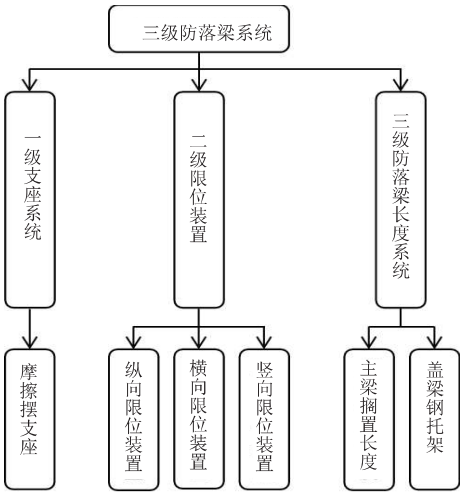


图 3 三级防落梁系统构成图

2.1 一级:支座系统

支座是连接桥梁上、下部结构的一种重要传力构件,能够有效地传递和调节上、下构所承受的荷载和变形,且在地震荷载作用下具有减震、隔震作用。当上、下构的相对位移超过支座允许位移量时,限位装置才会发挥作用,因此防落梁系统首先需要确定合适的支座系统。

在选择跨断裂带桥梁的支座类型时,应将桥梁看作一个整体综合考虑。支座除了应具有足够的竖向刚度和一定的变形能力外,还需具有一定的减震或隔震能力。摩擦摆支座特有的弧形滑动面能将上、下

部结构隔离,并且能通过滑动界面的滑动摩擦消耗地震能量,实现支座的减震功能。此外,摩擦摆支座还能通过摆动来延长下部结构的振动周期,以便错开地震波的周期进而来减小地震作用引起的放大效应,实现支座的隔震功能。因此,结合本项目跨越活动断裂带的实际情况,支座系统选用摩擦摆支座。

2.2 二级:限位装置

当强震作用所造成的桥梁上、下构间的相对位移超过支座允许位移量时,就需要采用限位装置来限制桥梁的相对位移。限位装置主要有挡块式、螺栓连接式、钢夹板连接式、锚杆式、预应力钢绞线连接式等。为限制组合梁纵桥向、横桥向和竖向的相对位移,本系统分别设置了纵向限位装置、横向限位装置和竖向限位装置。

纵向限位装置:为防止地震时断裂带的顺桥向位错和两侧桥墩的不同相运动而导致纵向落梁,主梁需设置纵向限位装置。纵向限位装置主要有梁-梁连接装置、梁-墩(台)连接装置和纵向挡块等三种。本联梁为 1×90 m 简支组合梁,相邻联为 40 m 跨简支混凝土梁,由于两者的结构形式、梁高等差别较大,地震时两者的固有周期和相位不同,不宜采用梁-梁连接装置。另外过渡墩和梁端附近亦无合适位置设置纵向挡块。因此,本系统纵向限位装置最终选用防落梁缓冲链,通过在主梁和过渡墩盖梁间设置柔性连接装置来减小主梁和桥墩间的相对位移,进而防止主梁脱落。此外,还需要在过渡墩 L 型盖梁高侧粘贴 30 mm 厚橡胶条,横桥向位置与组合梁腹板位置对齐,以缓冲地震时组合梁与 L 型盖梁可能产生的撞击。防落梁缓冲链构造见图 4。

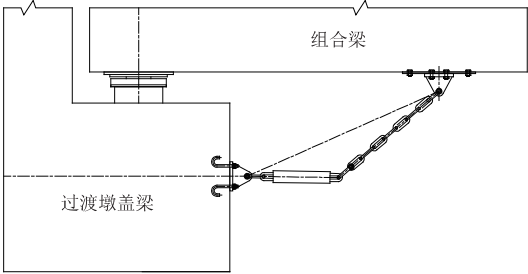


图 4 防落梁缓冲链构造图

横向限位装置:横向限位装置多采用构造简单,防落梁效果好的横向挡块,一般有混凝土挡块和钢挡块两种。挡块设置时需着重考虑其刚度匹配问题^[5]:若挡块刚度过大,主梁将地震荷载产生的惯性力全部传递给桥墩,桥墩难以承受,猛烈的撞击会损坏主梁或桥墩;若挡块刚度过小,则难以起到横向限位的作用。本系统横向限位装置主要由两道横向挡块组

成,挡块布置见图5。第一道横向挡块为挡块1,挡块1位于两支座垫石之间。第二道横向挡块由挡块2和挡块3组成,其中挡块2位于组合梁箱室外侧,挡块3锚固于盖梁上。挡块与垫石间、挡块与挡块间均设置30 mm厚橡胶条,能够缓冲地震荷载下的撞击力,并消耗部分地震能量。

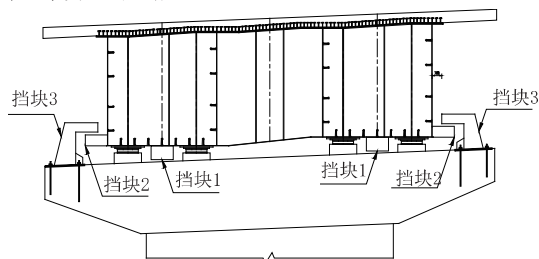


图5 挡块布置图

竖向限位装置:高地震烈度区,特别是跨断裂带桥梁,为防止竖向位错和竖向地震作用力引起的落梁,需要设置竖向限位装置。本系统的竖向限位装置由挡块2和挡块3组成,挡块2和3间亦需粘贴30 mm厚橡胶条,挡块3锚固于盖梁上需具有足够的抗拔能力。

2.3 三级:防落梁长度系统

防落梁长度系统由足够的主梁搁置长度和防落梁钢托架两部分组成。主梁的搁置长度是指在超预期地震作用下,假定未设置限位装置,为防止主梁从下构顶部脱落而需要确保的主梁梁端到下构边缘的距离。《公路桥梁抗震设计规范》^[6]中对搁置长度做了如下规定:主梁搁置长度的最小值 $a(\text{cm})$ 应按式(1)计算,且不小于60 cm。

$$a \geq 50 + 0.1L + 0.8H + 0.5L_k \quad (1)$$

式中: L 为一联桥梁的总长度,m; H 为一联桥梁的桥墩平均高,m; L_k 为一联桥梁的最大单孔跨径,m。

通过计算得到本桥分联墩搁置长度的最小值:

$$a \geq 50 + 0.1 \times 90 + 0.8 \times 48.4 + 0.5 \times 90 \approx 143 \text{ cm}。$$

本联组合梁除了满足主梁搁置长度的要求外,还在过渡墩墩顶盖梁的近断裂带侧设置了防落梁钢托架,进一步增加了主梁与桥墩的搭接长度。盖梁钢托架布置见图6。钢托架的纵桥向尺寸需大于断裂带

顺桥向位错量。同时,还需在钢托架顶设置橡胶垫块,避免主梁在超预期地震下从垫石上脱落时撞击盖梁和钢托架。此外,橡胶垫块厚度应与支座垫石厚度相同,横桥向位置应与支座垫石对齐。

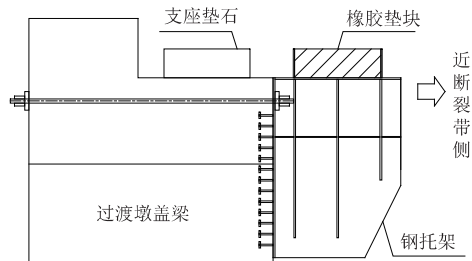


图6 防落梁钢托架布置图

3 结 语

跨断裂带简支梁桥的桥位处地震烈度高,且断裂带两侧存在水平向和垂直向相对运动,落梁风险极高。因此跨断裂带桥梁设计时,必须要在充分进行桥梁抗震分析的基础上进行防落梁设计。本文结合王家村特大桥提出了跨断裂带简支梁桥的三级防落梁系统。本系统主要由三部分组成:一级为支座系统;二级为限位装置系统,包括纵向、横向和竖向限制装置;三级为防落梁长度系统,包括足够的主梁搁置长度和防落梁钢托架。本系统综合考虑了跨断裂带桥梁的多种落梁原因,采取了“三级设防”的策略来防止主梁坠落,措施简单有效,可为高烈度区,尤其是跨断裂带简支梁桥的防落梁设计提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] GB 18306—2015,中国地震动参数区划图[S].
- [2] 杨杰.地震作用下简支梁桥防落梁装置分析[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [3] 王欣欣.落梁原因分析及防落梁措施[J].工程建设与设计,2015(1):96-99.
- [4] 刘重文,刘小闯,泮俊.高烈度震区落梁成因与对策[J].公路交通科技(应用技术版),2013(10):300-302.
- [5] 贺健,张胜利.防落梁装置对隔震桥梁地震相应的影响[J].城市道桥与防洪,2006(5):59-61,80.
- [6] JTG/T 2231-01-2020,公路桥梁抗震设计规范[S].