

地震区简支梁桥防落梁装置的设计

朱万旭^{1,2} 黄颖² 杨帆² 高宇²

(1 哈尔滨工业大学土木工程学院 哈尔滨 150090 2 柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要:文中指出了对地震活动区域的简支梁桥设置防落梁防止装置的重要性,介绍了防落梁装置的主要应用型式及其特点、选择方法和注意事项,并阐述了常用型式—拉索式防落梁装置的设计步骤、具体构造及其在我国的工程应用实例。认为防落梁装置的设置将为我国桥梁结构在强烈地震作用下的安全提供可靠的保障。

关键词:简支桥梁 落梁防止装置 拉索 钢绞线

1 引言

世纪之交,地震频发,特别是最近的日本9级大地震,所造成的损失举世震惊。桥梁作为交通线上的枢纽工程,一旦发生崩塌则使整个交通网络陷入瘫痪,给震后救灾工作带来巨大困难,使次生灾害加重,特别是对现代化的城市,将影响整个城市生产的运转和功能的发挥,导致巨大的损失。例如1995年日本阪神地震造成大量高速公路及高速铁路桥隧的毁坏,交通陷入瘫痪,经济总损失高达1000亿美元,所以桥梁抗震安全性不言而喻。调查与分析近百年来世界发生的大地震的震害和原因,可得出结论:科学合理的抗震设计和抗震构造措施是减轻地震灾害的最有效途径。

随着改革开放,我国的桥梁事业有了长足的发展,特别是PC桥梁的发展更是迅速。继1985年建成主跨180m的连续刚构后,1996年又建成主跨达270m的连续刚构,目前正在建跨径达420m的PC钢管拱。大跨径已成为一个主流,人们也更注重大跨径桥梁的研究。但实际上,我国桥梁在数量上,中小桥(一般为简支体系桥梁)还占有相当大的比重。从现有的中小桥和抗震设计规范来看,对中小桥防落梁构造的研究,与国外相比还有一定的差距。我国是一个地震多发国家,特别是华北、西北、西南三大地震活动区,都有地震落梁破坏的实例。落梁破坏势必造成严重的交通中断,比如2008年汶川大地震,震后修复也比较困难,损失是巨大的。美国和日本在每次大的地

震后,都对落梁破坏的桥梁进行分析、研究,不断改进防落梁构造。现在日本就采用二次防落梁构造,用于阪神地震后既有桥梁的加固和新建桥梁的抗震设计。因此,对防落梁构造的深入研究是十分必要的,选择适当的防落梁构造,防患于未然,以比较少的投资,获取长远的效益。

2 防落梁装置主要型式

目前,国外防止PC桥落梁的构造在日本、台湾等多地震区域的桥梁中应用比较广泛,有着比较成熟的经验和设计理论。防落梁装置的构造形式有十多种。

(1) 锚栓式。这种形式可以起到防止纵、横向落梁,主要用在防止纵向落梁上,在国外已有了定型产品,被大量使用。

(2) 挡块式。这种形式可以起到防止纵、横向落梁,主要用在防止横向落梁上,也是被广泛使用的一种形式。

(3) 钢托架式。这种形式可以起到防止纵、横向落梁,主要用在防止纵向落梁上,此种形式被大量用在钢桥上,预应力混凝土桥上用的较少。

(4) 钢制动式。这种形式可以起到防止纵向落梁,主要是用在空心板梁和箱梁桥上。

(5) 钢板连接式。这种形式可以防止纵向落梁,主要用在现有桥梁的加固设计中。

(6) 锚固钢棒式。一般用来防止纵向落梁。

(7) S_E 的1.5倍增大法。 S_E 为梁端部到下部

构造的盖梁或台帽边缘的距离。在斜桥、曲线桥、高墩桥梁中,采用将 S_E 值增大,防止上、下部构造间较大相对位移所造成的落梁。

(8) 钢棒连接式。这种形式以往广泛用在多跨简支梁上,防止纵向落梁。

(9) 钢绞线拉索连接式

这种形式用于防止纵向落梁,这是较新形式的落梁防止构造,具有柔性大(全方位的自由度)、可以取得大的设计移动量、缓冲性能好、耐久性强等优点,是在日本、台湾等多地震国家、地区较为常见的形式,技术上比较成熟,已是标准构造。最大的优点是可以根据弹簧的变形,推测出由于地震所引起的上、下部构造间的相对位移量。其适应面广,可根据设计力的大小,选配相应的钢绞线束拉索。

(10) 链式。这种形式在日本等国应用也比较普遍,主要用于小型简支梁,价格较为昂贵。

(11) 带耗能器的防落梁装置,其主要有三种:金属屈服阻尼器型、铅高阻尼橡胶阻尼器型及活塞式耗能型防落梁装置。

其中(1)~(6)属一次防落梁构造,(7)~(11)可与(1)~(6)中的一种组合,形成二次防落梁构造。在日本等防震技术先进的国家,拉索式和挡块、钢托架式应用得较为广泛。据95年的一个统计,全日本在需要装落桥防止装置的桥梁中,约有30%安装了钢绞线拉索连接式的落梁防止装置,如图1所示。

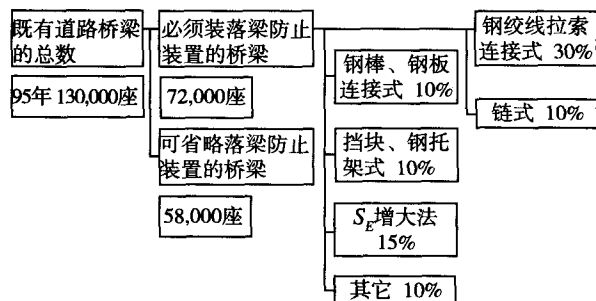


图1 落梁防止装置在日本的应用情况

在我国抗震设计规范中规定,为防止纵、横向落梁,采取挡块、锚栓、钢托架式三种防落梁构造。实际设计中则广泛采用抗震挡块防止横向落梁,但在挡块与梁体之间很少设置必要的缓冲

材料。对于纵向防落梁一般只满足 S_E 值的要求,很少采用其它防落梁构造。我国现行的《公路工程抗震设计规范》(JTJ004-89)仅在第4.4.3条和第4.4.5条中极为简单地提到了应考虑防止落梁的措施,在编的《公路桥梁抗震设计规范》(JTJ004-2005)将采用两种水准的抗震设防标准。

3 落梁防止装置选择方法及注意事项

3.1 防落梁构造的选择

对于已建成的桥梁进行加固和对新建桥所选用的防落梁构造是不同的,因为有些防落梁构造需要在新建桥的同时设置。

(1) 对于已建成的桥,需要加固时,一般采用追加预应力钢绞线(钢棒)拉索连接式等二次防落梁装置。

(2) 对新桥来讲,可选择的范围较大。一般来讲,对一次防落梁构造,只要能满足抗震要求即可;在可能发生烈度地震地区,桥梁上、下部结构之间可能会产生较大相对变位,为防止纵向落梁,目前常用附加有缓冲橡胶等耗能器的预应力钢绞线(钢棒)拉索连接式等二次防落梁装置。

(3) 钢托架式、抗震挡块也能用在先张和后张法施工的桥梁上,但其防纵向落梁效果不如防横向落梁效果好。钢制动式只适用在后张法施工的板梁和箱梁桥上。在防止横向落梁方面,常用挡块式及钢托架式。

3.2 注意事项

(1) 如果防落梁装置需埋在横隔板内的时候,横隔板的厚度要比通常的厚度加大一些,以提高横隔板的抗剪能力。

(2) 梁端与背墙连接时,最好在上部结构施工完后,再施工背墙,并安装防落梁装置。

(3) 对防落梁装置的选择,要考虑到日后维修、养护是否方便。

(4) 梁内开孔时,应避开预应力束及主筋位置,对于截面已削弱的,要检查是否有足够的安全性,是否需要补强。

(5) 如有必要,对某些装置需做防锈处理。

总之,防落梁装置的选择应从经济性、耐久性、施工是否易行、是否便于维修、管理等方面加以考虑。

4 拉索式落梁防止装置设计

目前,预应力钢绞线(钢棒)式落梁防止装置是防止简支梁纵向落梁的主要型式。其设计思路是:先计算设计承载力和设计的移动量,并据此选定预应力钢材的大小,再验算其承载力;如果通过承载力验算再选缓冲材料,并验算缓冲材料的抗压强度,最后还要对横隔板进行抗剪、抗弯、抗撕裂验算。

4.1 设计承载力 H_F 的确定

在地震作用下,主梁脱座是一种复杂的动力现象。设主梁未落座前,作用在拉索上的力可忽略不计;在 $t=0$ 时刻,梁体一端坠落,拉索上突然加上荷载 R_d ,并一直作用直到桥梁修复为止,可推导^[7]出, $[H_F]_{\max} = \sqrt{2} R_d$

实际上梁体脱落时具有一定的初速度,另外为使落梁防止装置具有一定的安全系数,同时参考国外相关文献,建议落梁防止装置的设计承载力应按式(1)计算:

$$H_F = 1.5R_d \quad (1)$$

4.2 设计移动量 S_F 的取值

为了防止桥梁上下部结构之间的相对变位过大而产生落梁,需要加大梁的搁置长度 S_E 。梁搁置长度是桥梁上下部结构产生超过预期的相对大变位时,防止上部结构从桥墩顶部脱落而需要确保的梁端到下部结构支承边缘的距离,其最小值按式(2)和(3)计算,取两者中的大值:

$$S_E = 70 + u_B \quad (2)$$

$$S_E = 50 + l \quad (3)$$

式中: S_E 单位为cm; u_B 为大震(L_2 等级)时上下部结构之间的最大相对位移(cm); l 为梁的计算跨径(m),当相邻的桥梁跨度不同时,应按长跨的情况进行计算。

为保证在正常使用情况下防落梁装置不影响桥梁结构的受力状态,同时也应保证在未来不可预见的大震时允许主梁脱座,但能切实防止落梁,因此防落梁装置开始起作用的间隙 S_F 可以按

式(4)来计算:

$$S_F = C_F S_E \quad (4)$$

式中: C_F —设计系数,通常取0.75,若造成损伤支承功能和带来维修养护困难时,也可取 $C_F < 0.75$;

4.3 连接索的选择

(1) 连接锚索的允许受力

$$P_a = P_y$$

P_a : 连接锚索允许受力(kN)

P_y : 连接锚索屈服荷载(kN)

(2) 连接索设计

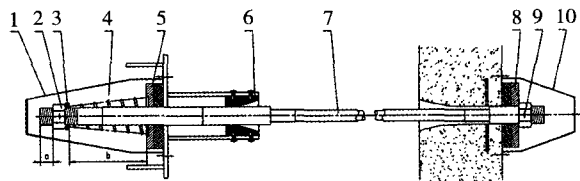
$$P = H_F / n \leq P_a$$

P : 每组连接锚索的设计抗地震力

n : 连接锚索的组数

4.4 钢绞线拉索式落梁防止装置构造

如图2所示,钢绞线拉索式落梁防止装置主要是连接索(组件为2、7、9),加上弹簧(组件为3、4)、缓冲器(组件为5、8)、偏向器(组件为6)和保护罩(组件为1、10)四个辅助部件组成。



1 保护罩(可选) 2 螺母 3 止挡板 4 弹簧 5 张拉端缓冲器
6 偏向器 7 连接索 8 固定端缓冲器 9 紧定螺钉 10 固定端保护罩(可选)

注: 1、设计时应 a 为螺母厚度 $\pm 20\text{mm}$;

2、 b 值为设计移动量。







图2 钢绞线拉索式落梁防止装置标准图

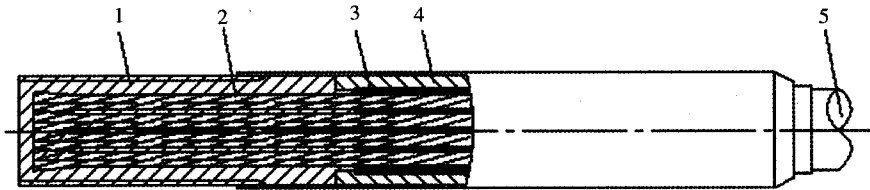
(1) 连接索

连接锚索分索体和锚具两部分,索体根据不同的设计吨位,采用相应的多根钢绞线;钢绞线外涂防锈油脂,单根包聚乙烯隔离后,整束再用聚乙烯管包裹,三层防锈,如表1。

索体两端的锚具采取外径较小的钢绞线整束挤压的方式,通过大型的挤压设备把锚固管压制锚固在钢绞线的两端,而后在锚固管开外螺纹,用螺母锁紧,如图3。

表1 常用的连接索规格表

规格 项目	DJ20	DJ75	DJ100	DJ180	DJ310	DJ500
构成	1× ϕ 15.24	3× ϕ 15.24	4× ϕ 15.24	7× ϕ 15.24	12× ϕ 15.24	19× ϕ 15.24
截面积 (mm ²)	140	420	560	980	1680	2660
钢绞线抗拉强度 (MPa)	1860	1860	1860	1860	1860	1860
标准极限负荷 (kN)	261	783	1044	1827	3132	4959
设计允许负荷 (kN)	222	666	888	1554	2664	4218
索体外径	23	49	53	64	85	103
索体单位质量(kg/m) (不包括锚头)	1.37	4.46	5.69	9.54	16.30	25.34
钢绞线排布						



1 挤压锚固套 2 钢绞线 3 握裹填料 4 密封筒 5 钢绞线成品索

图3 挤压锚具结构示意图

(2) 弹簧

拉索的松弛可以由弹簧吸收,可承受地震时所造成的较大移动量。国外的产品有圆锥型和圆柱型两种方式,基于前者应用较多较早,所以采用圆锥型弹簧。要求其在拉索需要发挥作用时能够很好地压并,事后能够恢复。

(3) 偏向器

偏向器采用复合材料制成,要求其材料抗压、抗拉强度比包裹拉索的高密度聚乙烯的要高。其对于地震造成的多方向弯曲,具有导向作用;缓和发生在连接索的局部弯曲应力,并且使锚固部位仅受到轴向力,没有弯应力和剪应力。

(4) 缓冲器

缓冲器由高阻尼缓冲橡胶和垫板组成,以缓和地震时强大的冲击力,其设计刚度小于支座的2倍。

(5) 保护罩

保护罩主要是防止水和潮气等腐蚀介质直接进入锚固端。但由于连接锚索是可以滑动

的,难免会从间隙中渗入潮气,因此,建议定期打开检查。

4.5 应用工程实例

目前,拉索式防落梁装置已经在我国台湾、陕西等地应用了多座桥梁,最大的型号为OVM.DJ310型。图4所示为台湾台中建国南路高架桥上,使用16套OVM.DJ100型防落梁装置,采用4根 ϕ 15.24强度级别为1860MPa光面钢绞线制拉索,拉索长3350mm,两端移动式,总移动量600mm。

图5所示为汶川地震后,四川省国道都江堰-映秀公路重建的百花大桥上安装了DJ160、DJ180两种规格的防止落梁装置,一端移动式。

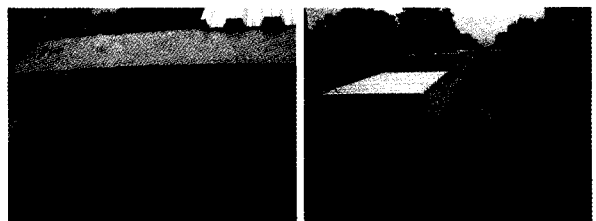


图4 台中建国南路高架桥

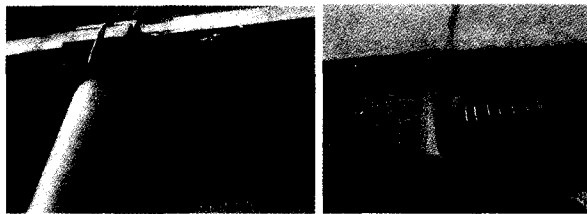


图5 四川省国道都江堰-映秀公路百花大桥

5 小结

我国是一个地震多发国家,在地震中诸多落梁破坏造成了严重的交通中断,延缓了救援,损失是巨大的。我们应当充分意识到在地震区的桥梁应设置确实可靠的防止落梁设施,借鉴国外成功的设计经验,为我国桥梁结构在强烈地震作用下的安全提供可靠的保障手段。

拉索式防落梁装置作为国外同类功能结构应用的主要型式,有具有柔性大、可设计移动量宽、缓冲性能好、耐久性强等优点,必将在我国地震区桥梁建设中得到广泛应用。

(上接第10页)

3.2 荷载试验效果评价

邕江大桥加固维修工程完成后由广西大学设计研究院进行了第三方荷载试验。

荷载试验得出以下结论:

(1) 桥梁静载试验表明,桥梁具有良好刚度。

(2) 桥梁静载试验中,挠度校验系数最大值小于1,表明结构的承载力满足目前运营荷载的要求。

(3) 试验荷载卸载后的残余变形和残余应力很小,表明桥梁处于良好的弹性工作范围。

(4) 挂梁试验孔最大应力发生部位与2005年检测报告相同,应力有所增加,但增加不大,牛腿粘贴钢板与原结构协调工作,且分担部分局部应力。

(5) 对于双悬臂梁跨中截面底板应力,本次加固后荷载试验结果较2005年荷载试验结果,应力明显减小,说明采用OVM无粘结体外预应力加固体系等加固措施对结构的受力有明显改善。

参考文献

- [1] 日本道路协会. 关于道路桥梁的耐震设计资料. 平成9年3月
- [2] 中华人民共和国交通部标准. JTJ004-89. 公路工程抗震设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 1989.9
- [3] SEC株式会社. 落桥防止装置产品样本, 2000
- [4] 柳州欧维姆机械股份有限公司. GJ钢绞线整束挤压拉索鉴定资料. 2008.7
- [5] FIB, Acceptance of stay cable system using prestressing steels, 2005
- [6] 柳州欧维姆机械股份有限公司. OVM.DJ型落梁防止装置产品样本, 2009
- [7] 朱文正. 公路桥梁减、抗震防落梁系统研究[D]. 长安大学博士论文, 2004
- [8] 王卫峰. 公路桥梁耗能型连梁装置的研究[D]. 长安大学硕士论文, 2005
- [9] 汪芳芳. 公路桥梁落梁防止装置的研究[D]. 长安大学硕士论文, 2003
- [10] 魏洪昌. 国外防止PC桥落梁的构造及设计[J]. 公路交通科技, Vol.14 No.4, 1997.12
- [11] 朱文正, 刘健新. 公路桥梁防落梁系统研究现状评述[J]. 广州大学学报, Vol.4 No.4, 2005.8
- [12] 黄小国, 李建中, 张哲. 连续梁桥纵桥向防落梁装置结构模式对比研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), Vol. 37 No.9, 2009.9
- [13] 朱万旭, 欧进萍, 黄颖, 严军, 杨帆. 一种新型的钢绞线拉索式落梁防止装置[C]. 第二届结构工程新进展国际论坛论文集, 2008 中国 大连

(6) 单悬臂梁顶板最大拉应力, 本次加固后试验结果与2005年测试结果相比也有明显减少, 说明采用OVM无粘结体外预应力加固体系等加固措施对结构的受力有明显改善。

(7) 实测动应力均较小, 与2005年检测结构相比, 动应力峰值有较大减小。

(8) 跑车与跳车试验表明, 汽车与桥梁相互作用时频率密集度较加固前有很大降低, 竖向基频在1.22Hz~2.05Hz之间。

(9) 试验跨模态对称性良好, 基本振型及频率与2005年荷载试验结果相接近, 第一、二阶模态频率有所降低, 且高阶振型频率有较大提高, 与2005年荷载试验结果相比, 实测结构竖向振动阻尼比均大于1%, 可见加固后结构整体性提高。

综上所述, 邕江大桥通过本次加固维修后, 结构的刚度及承载力均能满足目前运营荷载的要求, 结构的受力性能有较大的改善, 达到了预期加固设计的效果。