

一种新型的钢绞线拉索式落梁防止装置

朱万旭^{1, 2} 欧进萍¹ 黄颖² 严军² 杨帆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:文中提出了一种新型的钢绞线拉索式落梁防止装置系列。该种装置是在参考国外体系基础上,在国内率先研发成功的产品系列,其主要部件—连接锚索的索体采用隔离防腐的钢绞线组成,其两端锚具采用将多根钢绞线集中在一起整束挤压锚固的方法制成。文中对该装置的构成、特点、试验和工程设计及应用进行了详细的描述。研究表明该装置具有结构紧凑、静载性能好、疲劳寿命高和锚固可靠等特点,为我国桥梁结构在强烈地震作用下的安全提供了一种可靠的保障。该体系经过在我国台湾等地区的工程应用验证。

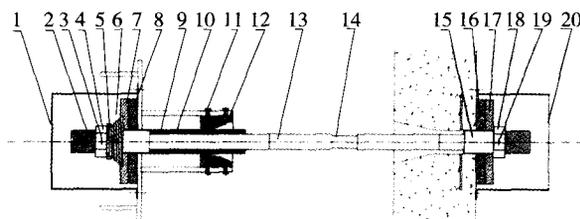
关键词:钢绞线 拉索 整束挤压 落梁防止装置

1 引言

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。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。我国是一个地震多发国家,在地震中有落梁破坏的实例,但对中小桥防落梁构造的研究,与国外相比还有一定的差距。

经过调研,在国外众多的防落梁装置型式,钢绞线拉索式应用得最为广泛。据统计,全日本在需要装防止落桥装置的桥梁中,约有30%安装了钢绞线拉索连接式的防止落梁装置。我们在参考国外体系的基础上,开始了钢绞线拉索式防落梁装置的研发,并对其关键部件—拉索的结构进行了改进,提高了整套装置的可靠性。

2 钢绞线拉索式落梁防止装置的构成



- 1. 保护罩
- 2. 锚碇套
- 3. 紧定螺钉
- 4. 螺母
- 5. 止挡板
- 6. 弹簧
- 7. 缓冲垫
- 8. 缓冲橡胶
- 9. 热缩外护套
- 10. 延长套管
- 11. 螺栓
- 12. 偏向器
- 13. 外套管
- 14. 钢绞线
- 15. 锚碇套
- 16. 固定端缓冲橡胶
- 17. 固定端缓冲垫
- 18. 螺母
- 19. 紧定螺钉
- 20. 固定端保护罩

注: 1、设计时应考虑a为螺母厚度±20mm 2、c值必须小于b, b由设计移动量确定。

图1 钢绞线拉索式落梁防止装置标准图

如图1所示,钢绞线拉索式落梁防止装置主要是连接锚索(组件为2、3、4、9、10、13、14、15、18、19),加上弹簧(组件为5、6)、缓冲器(组件为7、8、16、17)、偏向器(组件为11、12)和保护罩(组件为1、20)四个辅助部件组成。

2.1 连接锚索

表1 常用的连接索体规格表

规格项目	DJ20	DJ75	DJ100	DJ180
构成	1×φ15.24	3×φ15.24	4×φ15.24	7×φ15.24
公称直径(mm)	15.24	32.84	36.79	45.72
截面积(mm ²)	140	420	560	980
钢绞线抗拉强度(MPa)	1860	1860	1860	1860
标准屈服荷载Py, kN	220	660	880	1540
索体剖面图				
索体外径	23	50	54	65

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。采取这种隔

表2 常用规格的钢绞线拉索式落梁防止装置的部件表

项目	型号	DJ20	DJ75	DJ100	D180
拉索长	L_{min}	800	1000	1000	1600
	A	36	56	62	80
锚固套	B	270	350	400	500
	C	100	180	200	200
	B'	200mm ~ 1000mm			
延长套管	D	55	82	93	115
	E	63.5	94	107	133
	F	34	45	60	63
	G	110	125	130	150
螺母	H	43	63	69	85
	I	19	19	19	19
	J	60	77	85	105
止挡板	K	57	74	82	102
	M	150	173	192	237
	Φ	7.5	8	9	11
	N	制作长度一般为200mm~450mm(以50mm为单位)			
缓冲垫	O	160	230	260	340
	P	43	63	69	85
	Q	19	28	28	38
	R	152	176	195	240
	m	150	200	200	220
偏向器	l	100	150	150	170
	a	60	90	90	90
	b	—	—	—	50
	c	—	—	—	60
	d	110	150	150	—
	t	4	4	4	4
	Y	280	360	390	490
	Z	以10mm为单位			

3 落梁防止装置的试验

为确保可靠性，采取了多种试验进行验证。

3.1 组装件静载试验

组装件静载试验如图4所示。选取3、7、12、19、27根钢绞线束挤压拉索进行了静载试验，每种型号均做三次以上试验。试验结果比较理想，如图5、6所示，锚固效率系数和极限延伸率相当高，很好地达到FIP1993《后张预应力体系验收建议》和我国GB/T14370-93《预应力筋用锚具、夹具和连接器》标准要求的锚固效率系数 $\eta_A \geq 0.95$ 和极限延伸率 $\epsilon_{apu} > 2\%$ 。试件达到极限受力状态时，中心钢丝都没有缩进，钢绞线端部很齐。最终的破坏形式为钢丝剪切或颈缩破断。试验前后均测量了各根钢绞线端部与锚固套端部的

距离，最大的差值不到2mm，这说明钢丝在整个试验过程中滑移量相当小，表明其锚固性能是相当可靠的。试验过程中，弹簧可以很好地受压力并，不妨碍拉索轴向受力，卸荷后，弹簧可以回复。



锚索 弹簧 缓冲器 千斤顶 传感器 支撑台座 千斤顶 缓冲器 弹簧
(a) 装置图



(b) 试验中弹簧压并 (c) 试验后弹簧回复

图4 落梁防止装置组装件试验图片

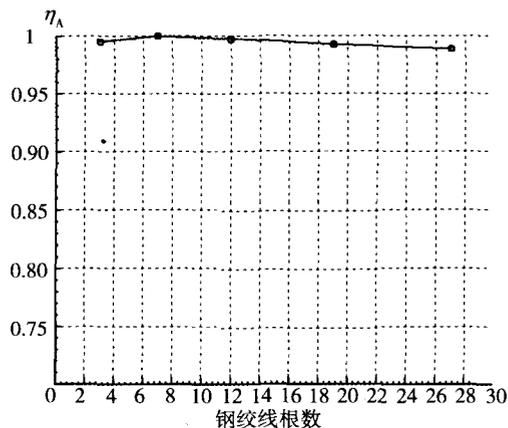


图5 拉索静载试验锚固效率系数

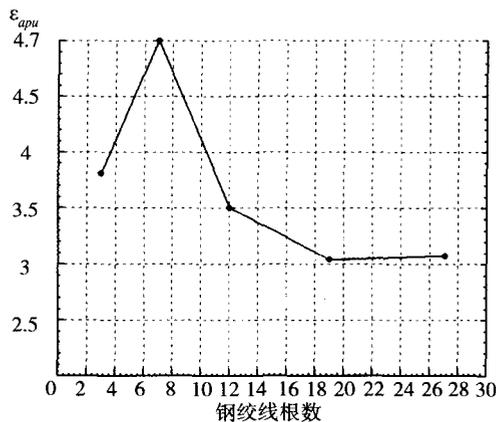


图6 拉索静载试验极限延伸率

3.2 疲劳试验

文献[5]规定,拉索系统必须能够通过应力上限为 $0.45\sigma_b$,应力幅为200MPa的200万次疲劳试验,并且,疲劳试验后的拉索极限破断力不得低于钢绞线束实际强度的92%和钢绞线束标准强度的95%。通过理论上不难分析,挤压锚对钢绞线的损伤要比夹片锚的小得多,而且钢绞线进入锚具内是基本平行的,没有如其它锚具形式受到弯曲应力。因此挤压锚的疲劳寿命比其它锚具形式高。

为了验证,选取三组3根钢绞线整束挤压拉索在国家建筑质量监督检验中心,两组12根钢绞线拉索在武汉大桥局桥研院试验室,进行了疲劳试验和疲劳试验后的拉伸破坏,试验结果表明拉索均达到了文献[5]规定的要求。

3.3 消除挤压应力后的锚固试验

拉索的锚固套的挤压应力,长期可能有一定的松弛,对锚固性能是不利的。为了研究这种不利因素是否会导致锚固失效,将整根拉索放入热处理炉进行完全去应力退火,然后进行静载试验,观察钢绞线是否会从锚固套中滑出。具体做法是,在760℃的高温下放置6小时,然后取出空冷。两天以后,进行静载试验,发现钢绞线是在自由段破断,并没有任何一根钢丝从锚固套中滑出,说明其锚固是非常可靠的。

4 落梁防止装置的应用设计

目前一般的设计思路是: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和弹簧的调整量;如果通过再选缓冲材料,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

4.1.1 W/2法

根据W/2方法(静力法),在地震中主梁脱座后,由预应力钢绞线或钢棒(以下简称Cable)悬吊起来,则此时作用在连接锚索上的力为桥跨一半的重量,亦即上部结构的恒载反力 R_d 。

4.1.2 突加荷载原理

事实上,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,作用在连接索上的力可忽略不计;在 $t=0$ 时刻,梁体一端坠落,Cable上突然加上荷载 R_d ,并一直作用直到桥梁修复为止,其表示式(4-1)为:

$$P(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ R_d, & t > 0 \end{cases} \quad (4-1)$$

可推导出, $[H_F]_{\max} = \sqrt{2} R_d$ 。

事实上作用于落梁防止装置上的地震力也并非是如上所述的理想的突加荷载,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,同时参考日本道路协会《关于道路桥梁的耐震设计资料》等国外相关标准、文献,建议落梁防止装置的设计承载力应按式(4-2)计算:

$$H_F = 1.5R_d \quad (4-2)$$

4.2 设计移动量 S_E 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(4-3)和(4-4)计算,取两者中的大值:

$$S_E = 70 + u_B \quad (4-3)$$

$$S_E = 50 + l \quad (4-4)$$

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。

上下部结构之间的相对位移 u_B 的计算比较复杂,它与桥梁的结构形式(如斜桥、曲线桥等)、支座的类型(如橡胶支座、铅销橡胶支座、固定支座、可动支座等)等因素有关,对于振动形态非常复杂的桥梁,还需要采用动态时程分析法来计算。对于振动形态相对简单的简支桥梁一般可以用反应谱法或静力法。当采用静力法时,

$$u_B = \frac{P_u}{K_B} \quad (4-5)$$

式中, P_u —桥墩的水平极限承载力 (kN), 可根据抗震规范确定;

K_B —支座的剪切刚度 (kN/m)。

为保证在正常使用情况下落梁防止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。因此至落梁防止装置开始起作用的间隙 S_F 可以按式 (4-6) 来计算:

$$S_F = C_F S_E \quad (4-6)$$

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 连接锚索的选择

(1) 连接锚索的允许受力

$$P_a = P_y$$

P_a : 允许受力 (kN)

P_y : 屈服荷载 (kN)

(2) 连接锚索设计

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

P : 每组连接锚索的设计抗地震力

n : 连接锚索的组数

4.4 弹簧的长度的确定

(1) 弹簧的调整量

$$b = S_F / ns$$

b : 每个弹簧的调整量 (mm)

ns : 每组锚索弹簧的使用个数

(2) 弹簧的制作长度

$$N = b + \delta_1 / ns + 2 \times \phi + \delta_2$$

N : 制作长度以50mm为单位设计

δ_1 : 温度引起的伸缩量 (mm)

ϕ : 弹簧的直径 (mm)

δ_2 : 安装时最小的压缩量, 以100mm为倍数

设计

5 应用工程实例

目前, 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。如图7所示, 台湾旧山桥共应用了10根OVM.DJ20型防落梁装置。



图7 台湾旧山桥防落梁装置

6 小结

本文推出的钢绞线拉索式落梁防止装置系列, 是在参考国外体系的基础上在国内率先研发成功的, 其在锚固性能和防腐方面有其独到和先进之处, 为我国桥梁结构在强烈地震作用下的安全提供了一种可靠的保障手段。

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: 公路工程抗震设计规范 (JTJ004-89). 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
- [4] 柳州海威姆建筑机械有限公司. HVM锚固体系锚具鉴定资料. 2000-8
- [5] FIB, Acceptance of stay cable system using prestressing steels, 2005
- [6] OVM.DJ型落梁防止装置产品样本
- [7] 朱文正. 公路桥梁减、抗震防落梁系统研究. 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. 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. 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. 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. 广州大学学报. Vol.4 No.4, 2005.8