

文章编号: 0451-0712(2005)12-0015-04

中图分类号: U443.362

文献标识码: B

销铰锚固型式在桃夭门大桥上的应用

邱建英

(舟山市大陆连岛工程指挥部 舟山市 316000)

摘 要: 桃夭门大桥是我国首次将斜拉索与钢箱梁采用销铰连接的斜拉桥,通过销铰连接构造的设计、试验和施工实践,说明这种结构的可行性和优越性。

关键词: 斜拉桥; 斜拉索; 钢箱梁; 销铰连接; 锚固耳板; 连接件

桃夭门大桥是舟山市大陆连岛一期工程中最大的一座跨海大桥,为 7 跨连续半漂浮体系混合式斜拉桥,其主跨跨径目前在同类桥梁中居全国第二。桥跨布置为 48 m+48 m+50 m+580 m+50 m+48 m+48 m,桥梁全宽为 27.6 m。边跨为预应力混凝土箱梁,中跨为扁平流线型钢箱梁,钢—混结合段设在中跨距索塔中心线 16.7 m 处。斜拉索标准索距为:中跨 13 m,边跨 6 m。最大索长为 293.121 m,重约 203 kN,全桥共设 168 根斜拉索,其中与钢箱梁的连接均采用了销铰连接锚固方式。

1 采用销铰连接的意义

斜拉桥在我国已经较普遍地用于大跨径桥梁,在已建成的钢斜拉桥和钢—混斜拉桥中,斜拉索与钢箱梁的连接一般采用钢锚箱的连接方式。实践证明这种连接构造制造加工难度较大,运营期间的维护也比较麻烦,目前国内斜拉索的使用寿命较短,运营 15 年左右就得更换拉索,换索工作也有一定困难。而销铰锚固具有施工方便、传力明确,一定程度上还可抑制斜拉索振动,无疑可以延长斜拉索的使用寿命,换索是在桥面上进行,且换索操作非常简便。

2 销铰连接的构造特点和要求

销铰连接的设计思路是先将锚固耳板与钢箱梁腹板用高强度螺栓相连,在露出桥面板以上的耳板部分做铰,实现钢箱梁与斜拉索的连接,这样就可以使斜拉索与钢箱梁的连接工作全部在桥面上操作,施工方便,又可利用销铰转动灵活的特点,改善斜拉

索的受力状况。

2.1 销铰构造与传力途径

销铰连接主要由以下几部分组成:锚固耳板、耳板销孔衬套、高强度螺栓、销轴、连接件、补板等。

传力途径为:斜拉索→销铰连接件→锚固耳板→钢箱梁腹板→钢箱梁。

2.2 销铰对材料的要求

2.2.1 耳板及耳板销孔衬套

由于耳板受力较大,尤其是销孔周围在斜拉索索力的作用下应力集中明显,所以对材料的要求比较高,除要求有较高的强度外,还要求有较好的韧性。本桥销铰用材采用日本进口的高强度结构钢(厚度 78~90 mm),耳板用钢材的力学性能要求见表 1。

耳板销孔要设置衬套,以改善销孔的受力状况。衬套材料采用 SF-1(钢背—塑料 3 层复合轴承材料),衬套材料性能要求见表 2。

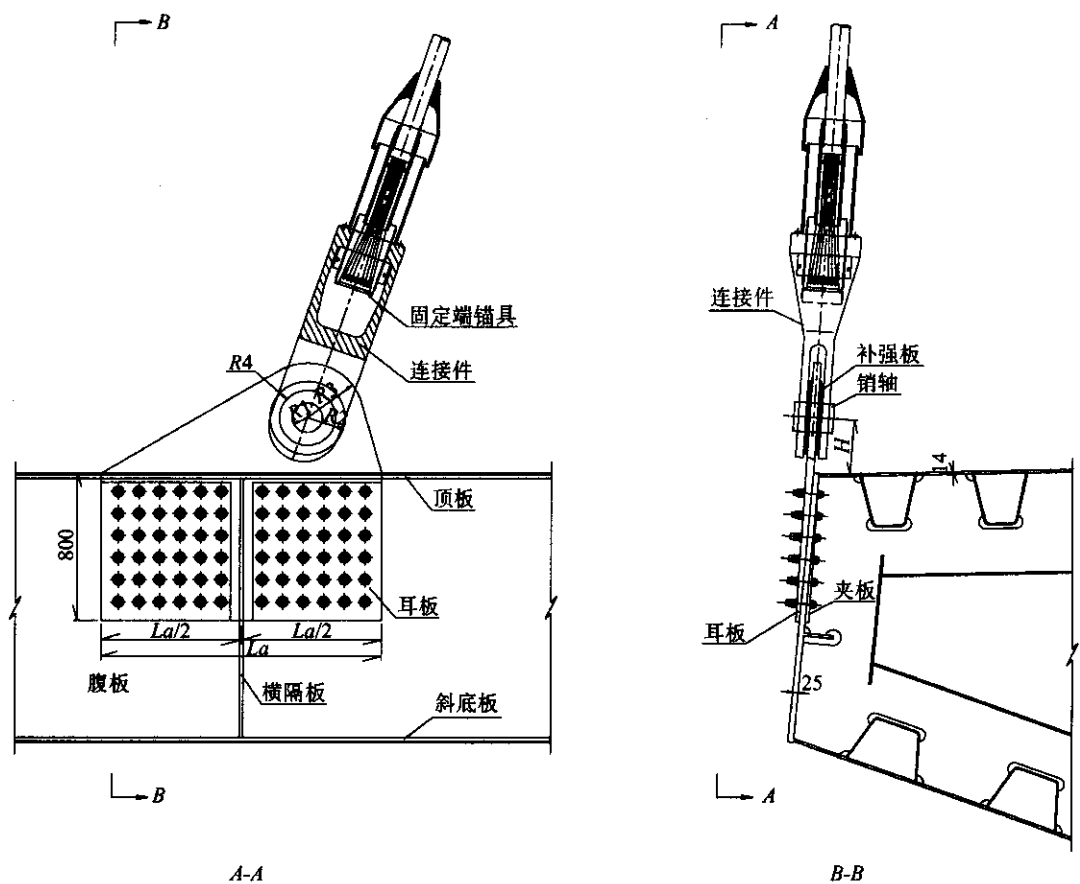
2.2.2 高强度螺栓

高强度螺栓采用 M30 大直径高强度螺栓连接副,性能等级为 10.9 S。

2.2.3 销轴

销轴需采用高强度调质钢材,本桥为 40Cr,热处理硬度为 285~312 HB。要求销轴表面屈服强度不低于 620 MPa。

连接件采用合金铸件,材料为 ZG35CrMo,经调质处理,要求屈服强度不低于 540 MPa。其化学成分及机械性能应符合《冶金设备制造通用技术条件铸钢件》(YB/T 036.3-92)的要求。



单位: mm

图 1 销铰连接构造

表 1 耳板所用钢材的力学性能

项目	屈服强度 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	延伸率 δ_5 /%	冷弯试验 180° $d=3a$	冲击试验		
					试验温度/℃	取样方向	Akv/J
横向取样	≥ 685	≥ 785	≥ 15	完好	常温	纵向	≥ 47
					-40		≥ 30

表 2 SF-1 材料的物理机械性能

项目	指标要求
最大抗压强度/MPa	280
使用温度/℃	-150~+270
线膨胀系数/(1/℃)	3×10^{-5}
导热系数/(Cal/sec cm C)	0.1
摩擦系数 μ 值	0.05~0.1(动)/0.1~0.15(静)

3 模型试验

为了确保销铰连接的可靠性,在工程建设初期进行了模型试验研究,模型与实桥的几何相似比为 1 : 1.5。试验对该结构的传力途径、应力分布及销铰的工作性能等进行了分析。下面对传力途径、耳板应力分布、销铰的灵活性、耳板与腹板的连接等几个关

键问题进行介绍。

3.1 传力途径

通过试验分析明显看出,斜拉索拉力通过耳板可较匀顺地传递给钢箱梁的腹板、顶板、底板、横隔板。在设计荷载作用下,耳板附近的腹板、顶板、底板、横隔板上实测最大应力见表 3。

表 3 腹板、顶底板、横隔板的实测最大应力 MPa

部位	σ_1	σ_3	τ_{xy}	备注
腹板	134.74	-152.43	42.71	与理论计算值比较接近
顶板	103.22	-121.11	96.30	
底板	-42.24	-101.99	-61.35	
横隔板	78.33	-48.35	56.69	

3.2 耳板应力

耳板是销铰连接的关键构件之一, 试验时选择了 2 个测试部位, 即距钢箱梁顶面 10 mm 处的 A—A 截面和销孔周边, 见图 2 所示。

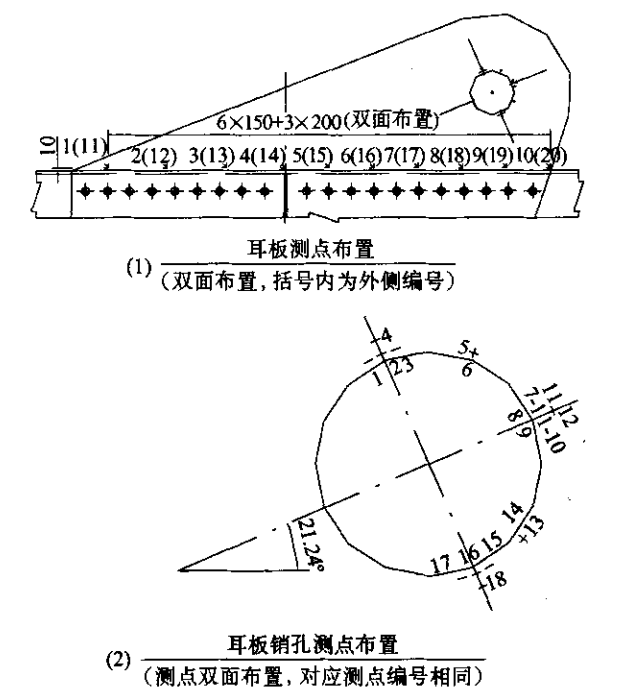


图 2 耳板测点布置

试验结果表明, 在 1.7 倍设计荷载作用下, A—A 截面各测点的应力均不大, 远远低于耳板材料的屈服强度。但由于构造的特点, 即耳板通过摩擦面与钢箱梁腹板连接, 内侧与钢箱梁腹板接触, 传递剪力, 为单面摩擦型连接, 因此, 应力在耳板厚度方向上分布是不均匀的, 内侧应力明显高于外侧。

表 4 的耳板销孔周围测点实测应力显示, 销孔周围应力均较高, 最大应力发生在 1 号测点, 在 1.7 倍设计荷载作用下, 实测最大应力为 674.42 MPa, 理论计算值为 664.71 MPa, 二者非常接近, 在计算时考虑了衬套, 将衬套用于仅能承压, 不能承拉和承剪的短柱模拟, 并将弹性模量取为钢材的 1/10。而当考虑衬套, 但对弹性模量不予折减时, 有限元计算销孔局部应力最大值为 870 MPa, 与实测值相差较大, 这说明衬套对降低销孔局部应力有非常明显的效果。

3.3 销铰的灵活性试验

斜拉索拉力在保持设计荷载不变的情况下, 在连接件销孔下方安放一台 5 t 手动千斤顶, 见图 3 所示, 通过加力使耳板销轴转动。试验时, 轻轻加力就可将连接件顶动, 最大顶升量达 20 mm, 按该值换算销轴转动角度为 2°20', 释放千斤顶时连接件能迅速回复原位。反复多次, 转动正常。

表 4 耳板销孔测点应力 MPa

测点号	1.0 倍设计荷载			1.4 倍设计荷载			1.7 倍设计荷载		
	内侧	外侧	理论计算	内侧	外侧	理论计算	内侧	外侧	理论计算
1	411.92	282.69	391.01	569.42	394.76	547.14	674.42	479.57	664.71
2	247.36	344.28		331.15	479.57		387.69	578.51	
3	60.58	286.73		106.01	387.69		138.32	469.47	
4	256.44	224.13	237.52	348.32	308.94	332.52	415.96	371.54	403.78
5	188.61	174.63	190.61	260.45	247.19	266.85	320.03	298.56	324.03
6	-274.16	-268.59	-277.94	-384.40	-378.82	-389.11	-477.26	-466.00	-472.49
7	/	/	97.24	/	/	136.13	/	/	165.30
8			-333.62			-467.07			-567.16
9	98.48	95.49	97.24	138.70	133.68	136.13	166.20	160.21	165.30
10	-336.28	-321.12	-333.62	-472.14	-433.09	-467.07	-570.89	-530.75	-567.16
11	/	61.35	77.98	/	98.19	109.18	/	124.93	132.57
12		-288.12	-295.06		-397.67	-413.08		-483.00	-501.60
13	192.30	159.99	197.38	270.50	229.77	276.33	329.56	281.92	335.54
14	-280.23	-275.60	-283.08	-397.25	-385.28	-396.31	-484.91	-462.42	-481.23
15	373.56	312.98	396.86	502.79	434.13	555.60	595.67	519.95	674.66
16	392.74	304.90		542.16	429.09		648.17	518.94	
17	264.52	287.74		358.41	408.89		429.09	495.72	
18	318.03	223.13	237.15	438.17	310.96	332.01	526.01	372.55	403.15

注: 应力方向均为切向。

试验结束后将连接件卸下, 检查销轴及衬套, 未发现任何损坏现象。

3.4 耳板—腹板连接抗滑移试验

耳板与腹板的可靠连接, 是保证销铰正常工作的关键, 设计要求耳板与腹板用高强度螺栓连接后结合面的摩擦系数必须大于 0.45。为此又专门进行

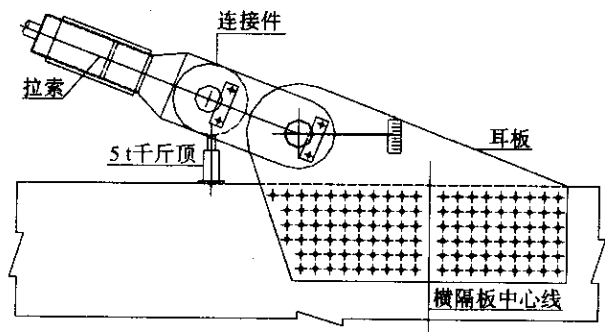


图3 销铰转动性能试验示意

了耳板—腹板抗滑移试验(采用试件进行)。

试件共分2组,每组3个试件,其中一组试件在高强度螺栓施拧后,放置较长时间再进行加载试验,以观察抗滑移性能随时间的变化情况。

试件材料、表面加工工艺及栓孔尺寸和间距与实桥一致,加载过程测定了荷载—滑移量曲线。

试验结果为:2组试件测得的摩擦系数在0.735~0.868之间,均远远高于设计要求,而且,其中放置较长时间(1年3个月)后再进行试验的试件,其摩擦系数没有减小的趋势。

通过上述试验可以说明,该桥采用的索梁销铰连接构造,传力匀顺、可靠;在设计荷载作用下各部位应力均小于容许值,强度满足设计要求;衬套的使用明显降低了销孔局部应力;在索力作用下,销轴转动灵活,处于正常工作状态。试验结果,验证了本桥所采用的销铰连接构造设计合理、安全可靠。

4 施工要点

(1)销轴粗加工后需进行超声波探伤,按国标GB/T4162—91验收,二级合格;精加工后需进行磁粉探伤,加工面不得有微裂等影响强度的缺陷存在。在销轴表面采用一类光亮镀铬防腐。因直接镀铬不甚理想,一般经多层电镀(即镀铜—镍—铬)才能达到防锈、装饰的目的。镀层厚度为50 μm 。

(2)销铰连接件为铸件,应全部进行二级探伤,连接件表面清洁度必须达到Sa3.0级,除销孔外均做喷铝处理。

(3)所有锚固耳板构件应做超声波探伤,使用时应避免板的纹理与主要受力方向一致。

耳板与钢箱梁腹板相互接触面要进行喷砂处理,表面清洁度要达到Sa3.0级,粗糙度达到40~80 μm ,12 h内完成电弧喷铝,涂层厚度为120~150 μm ,并且要求涂层外观均匀一致,无漏涂、无流挂、无

鼓泡。

(4)考虑到加工制作和施工的可能性,与销轴相关的公差与配合等级要求如下:

销轴与衬套间C10/d9;

衬套与耳板间H10/js10;

销轴与连接件间H9/d9。

(5)销轴衬套安装在锚固耳板销孔内。衬套外缘与耳板销孔紧密配合,相互间不能有位移发生,内缘与销轴之间要求能灵活转动。

(6)采用扭矩法对高强度螺栓的施拧进行控制。施拧顺序应采取从中心以辐射形式向四周边缘参差进行,最后拧紧四周端部的螺栓;高强度螺栓施拧完毕后,保证耳板与腹板连接面的摩擦系数不小于0.45。

高强度螺栓施拧时,应保证摩擦面涂层不被破坏,且不得在雨天作业。

(7)整个销铰结构的安装:通过销轴将连接件与锚固耳板连接,然后将斜拉索锚头从连接件尾部的圆孔中插入,并锚紧在设计位置,然后安装连接件的防水帽。

建成后的销铰结构见图4所示。目前该桥已经完工,并经过多次风雨的考验,未发现任何不良反应。

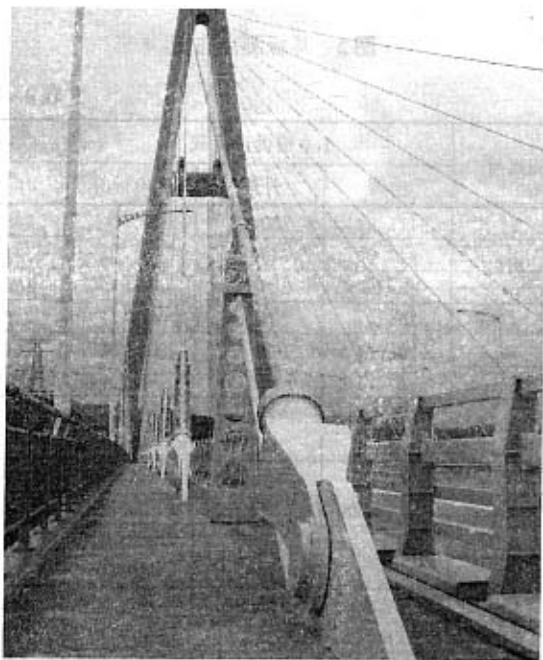


图4 建成后的销铰连接结构

5 结语

销铰连接应用在斜拉桥斜拉索与钢箱梁的连接上,在我国尚属首次,已初步显现其优越性,相信在今后的桥梁建设中会得到进一步的应用,通过不断的研究和改进,将会更加完善。