

钢斜拉桥索梁锚固构造

裴岷山

(中交公路规划设计院 北京市 100010)

摘 要:介绍了钢斜拉桥索梁锚固构造的型式和各种构造的结构特点与受力特性,提出了设计中应该重视的环节,供设计参考。

关键词:钢斜拉桥;索梁锚固;构造特点;受力特性

近年来,随着我国交通建设事业的跨越式发展,斜拉桥这一桥梁结构型式以其独特的竞争力和适应能力,在大、中跨径尤其是大跨径桥梁中得到了工程界的特殊青睐。斜拉索在钢箱梁上的锚固区域要将巨大的索力分散到整个主梁截面,受力大、应力集中、构造复杂,在车辆荷载的重复作用下,还存在疲劳破坏的危险,是控制设计的关键部位。

目前国内外已建成的钢斜拉桥,尤其是大跨径钢斜拉桥,其斜拉索与钢梁的锚固型式归纳起来,可以分为锚箱式、销铰式、锚管式和拉板式 4 大类。通过多座大桥如多多罗大桥、南京长江二桥、苏通长江公路大桥、广东汕头岩石大桥、福建青州闽江大桥和浙江舟山桃天门大桥的静载、疲劳试验和理论分析,设计工程师已经充分掌握了上述 4 种锚固结构的构造特点和受力特性,明确了设计中应重视的问题。本文将对此做归纳总结,为设计工作提供借鉴和参考。

1 锚箱式锚固结构

如图 1 所示,锚箱式锚固结构是在腹板外侧焊接箱形结构,拉索锚固在锚箱的承压板上,主要由 2 块锚固板、承压板、锚固板间的加劲板、锚固板上的加劲板、垫板构成。这种型式已在多多罗桥、南京二桥和苏通大桥采用。

1.1 构造特点

(1)采用楔形承压垫板以适应各斜拉索横向的不同倾角。

(2)斜拉索减振可以使用内置式阻尼器,并能保证阻尼器牢固地连接在主梁上,能充分发挥阻尼

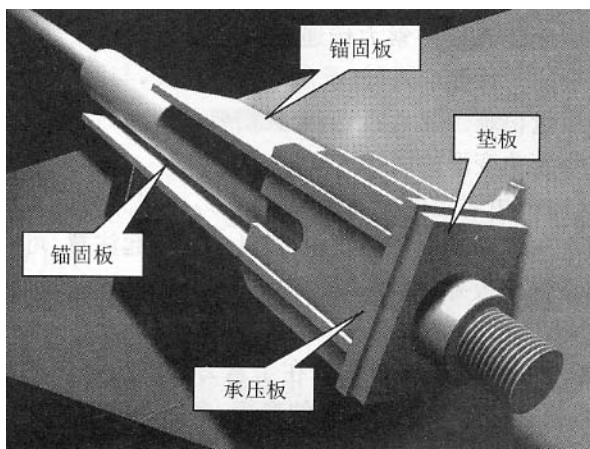


图 1 锚箱式锚固结构

器的作用。

(3)对结构材质没有特殊的要求,一般桥梁用钢即可满足。

(4)拉索锚头置于风嘴内,景观效果好,但检查维修不便。

(5)拉索在塔端和梁端张拉皆可。

1.2 受力特性

(1)斜拉索拉力是通过锚固板和承压板与腹板连接的焊缝,以剪力的形式传递到腹板上,腹板上的力通过横隔板、顶板和底板,传递到整个截面,并均匀扩散。

(2)锚箱的锚固板、承压板与腹板连接的焊缝中应力较大,其中承压板下边缘的焊缝应力最大,因此要确保焊缝安全。

一方面可采用要求焊缝熔透、增大焊脚尺寸、加

厚腹板等措施,另一方面要保证焊接质量,尤其承压板与主梁腹板焊缝端部需加工匀顺,并同时采用锤击的措施,以减小应力集中的影响。

(3)2 块锚固板间加劲板是锚箱受力的关键部位之一,由于承压板受弯挠曲,使锚固板有向两边鼓出的变形,而加劲板限制了这种变形,组成了受力框架。

(4)承压板受力比较复杂,板内既有弯曲应力,又有挤压应力。因此,在设计中考虑承压板弯曲非常重要,需要使用厚板增加其刚度;同时承压板是支承在 2 块锚固板上,为了减小其弯曲,将其变为 4 边支承结构很有必要。

(5)垫板对改善承压板受力非常重要,通过垫板的刚度能直接将索力传递给锚固板和加劲板,使承压板的设计要求降低(承压板厚度太大,与腹板的焊接质量很难保证)。因此,垫板需要足够大的刚度,以减小弯曲变形的影响。

(6)由于锚固板处于悬臂状态,在强大的压力作用之下容易发生侧向屈曲,设计中应引起注意,可考虑在锚固板外侧增加限制侧向变形的加劲板或加长 2 块锚固板间的加劲板。

(7)锚箱结构的缺点在于索力与腹板存在偏心距,使腹板受到一个面外的弯矩。多多罗大桥由于考虑风嘴参与受力,将偏心弯矩由承压板和桥面板所组成的力偶来分担。而国内已建桥梁由于不考虑风嘴参与受力,通过在腹板内侧补强来承受腹板的偏心弯矩效应。

(8)主梁腹板内侧对应承压板的位置需要设置补强板,以利于力的分散。这样,由弯矩产生的承压板拉力被传递到内部补强板,再经补强板直接传递到主梁横隔板。

(9)根据计算分析,当索力偏心增大时,偏心产生的附加弯矩对锚箱构件和主梁构件的受力影响不明显,影响较小。

(10)根据多多罗大桥疲劳试验结果,疲劳裂纹最先发生于承压板和主梁腹板的熔透焊缝的末端和承压板与锚固板的焊缝处,发生原因为承压板的弯曲,设计中应引起注意。

2 销铰式锚固结构

销铰式锚固结构是将梁的腹板上伸或通过高强螺栓将耳板与腹板相连,斜拉索通过销子与耳板铰接,已在法国诺曼底大桥和中国桃天门大桥得到应

用,主要有以下 2 种构造形式:

如图 2 所示的耳板与腹板通过摩擦型高强螺栓连接,如桃天门大桥;图 3 所示的腹板在拉索处局部加厚,并向上延伸,如诺曼底大桥。

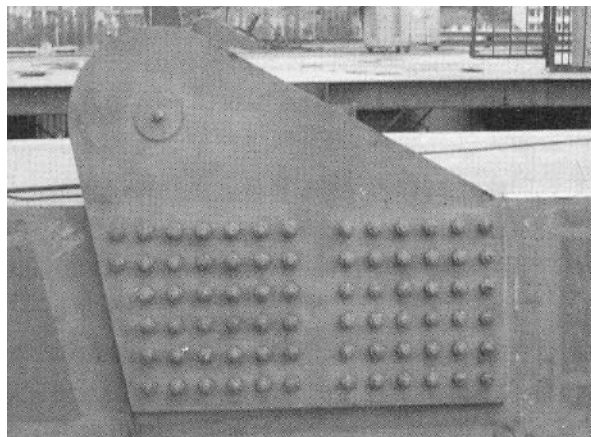


图 2 耳板与腹板螺栓连接构造(桃天门大桥)

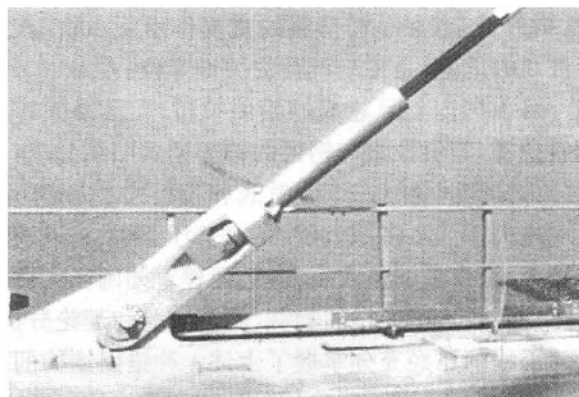


图 3 腹板外伸连接(法国诺曼底大桥)

2.1 构造特点

(1)螺栓连接式是将耳板设置于腹板外侧,耳板设计为楔形以适应各斜拉索横向倾角的不同;而腹板延伸式为适应各斜拉索横向倾角的不同,需要在拉索锚头处采取特殊的措施。

(2)由于斜拉索离桥面较高,且能随销轴转动,不能保证将阻尼器牢固地连接在主梁上,因此采用内置式阻尼器抑制拉索振动效果不理想。

(3)由于耳板(腹板)在销孔附近局部应力极大,因此钢材要求很高。浙江舟山桃天门大桥采用了日本进口的SUMTEN780S 钢材,抗拉强度达 785 MPa,板厚 90 mm;诺曼底大桥最大厚度也达到了 85 mm。

(4)构造简单,便于安装和日常检修,但系统外露部位不美观。

(5) 拉索只能在塔端张拉。

2.2 受力特性

(1) 螺栓连接式是将索力通过销子以压应力的形式传递给耳板,由高强螺栓以摩擦力的形式直接传递到主梁的腹板;腹板延伸式是将索力直接传递到腹板,传力都非常明确、顺畅、简洁。

(2) 由于销轴对孔壁的挤压,在孔壁形成了巨大的局部压力,是结构的薄弱点,设计中需引起高度重视。可采取的措施有:耳板采用高强钢材;加大耳板厚度或销轴直径,以加大承压面积;在销轴外加一层软套,对应力状态的改善都会有帮助。

针对耳板局部应力的问题,可考虑采取如下措施。

① 耳板采用高强钢材,对跨径较大的桥梁,屈服强度至少要在 500 MPa 以上。如桃天门大桥耳板材质为 780 级高强结构钢(日本 SUMTEN780S),其材料化学成分为: $C \leq 0.15\%$; $Si 0.15\% \sim 0.35\%$; $Mn 0.80\% \sim 1.50\%$; $P \leq 0.03\%$; $S \leq 0.015\%$; $Ni \leq 0.60\%$; $Mo 0.20\% \sim 0.60\%$; $Cr 0.40\% \sim 0.80\%$; $Nb 0.02\% \sim 0.06\%$; $B \leq 0.005\%$ 。机械性能指标为:屈服强度 ≥ 685 MPa,抗拉强度 ≥ 785 MPa。

② 将销孔附近耳板做适当的加厚或将销轴的直径适当地加大,加大承压面积。

③ 在销轴外加一层软套,对应力状态的改善将很有帮助。因为软套在荷载不大时就可将原来的销轴和耳板的点、线接触变为面接触,降低了耳板孔周的局部应力。桃天门大桥在销轴外加了一层软套,轴套材质为 SF-1(钢背—塑料三层复合轴承材料),主要机械性能指标为:最大抗压强度 280 MPa;使用温度 $-150 \sim +270$ °C;线膨胀系数 $3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$;动摩擦系数为 0.05~0.1,静摩擦系数为 0.1~0.15。经静载试验表明,销轴套的使用能显著降低销孔局部应力,具有明显的效果。

3 锚管式锚固结构

锚管式锚固结构是在锚点处将腹板断开,并焊接锚管结构,拉索锚固在锚管端部的承压板上,索力通过钢管传递给主梁的腹板,这种锚固方式已在日本生口桥、中国的汕头岩石大桥和天津海河大桥得到应用,图 4 为天津海河大桥锚管式连接构造图。

3.1 构造特点

(1) 采用楔形承压垫板能适应横向不同倾角的斜拉索。

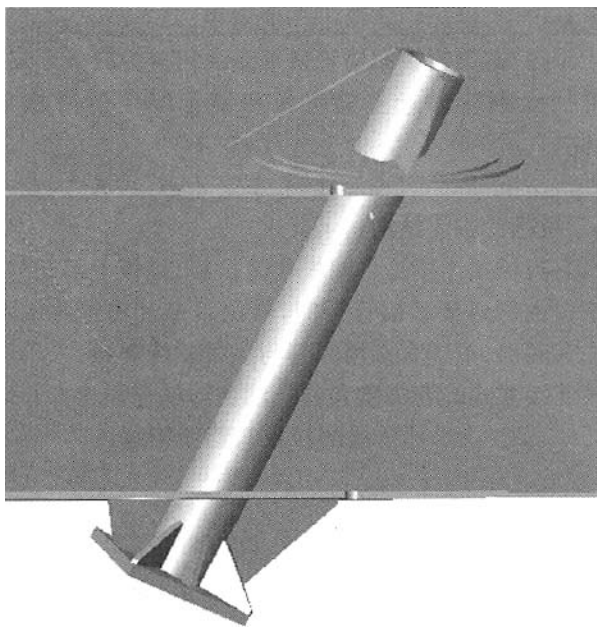


图 4 天津海河大桥锚管式连接构造

(2) 拉索减振可以使用内置式阻尼器,并能保证阻尼器牢固地连接在主梁上,能充分发挥阻尼器的作用。

(3) 锚头裸露于梁底,日常检修不方便,也不美观。

(4) 斜拉索在锚管出口处容易与管壁相碰。

(5) 对结构材质没有特殊的要求,一般桥梁用钢即可满足。

(6) 拉索在塔端和梁端张拉皆可。

3.2 受力特性

(1) 通过锚管与腹板间的焊缝,直接将索力传递到主梁的腹板,并在腹板上迅速扩散,传力顺畅、简洁。

(2) 索力和腹板没有偏心距,不存在面外弯矩。

(3) 根据广东汕头岩石大桥锚管式连接静载试验结果,索力的水平分力通过钢管管、下盖板、纵腹板和上盖板逐渐扩散传递,纵腹板传递的纵向轴力约占 24.5%,上盖板传递约占 22%,下盖板传递的轴力约占 23.3%,钢锚管传递的纵向轴力约占 20.7%,其他构件主要是纵向加劲肋传递的纵向轴力约占 9.5%。这样斜拉索水平分力的传递分配比例较均匀,避免了压力过于集中作用于某一构件上,对防止构件受压失稳十分有利。

(4) 拉索作用端钢锚管的应力较大,沿钢锚管的轴线方向逐渐减小。

(5) 钢梁腹板与锚管在接触挤压处有应力集中

现象出现,设计中应给予高度重视。

(6) 钢梁腹板和锚管所承受的压应力较大,可通过加大钢管附近主梁腹板和锚管厚度的措施来解决。

4 拉板式锚固结构

拉板式连接是将钢板作为拉板,拉板上部开槽,槽口内侧焊接于锚管外侧,斜拉索穿过锚管并锚固在其底部;下部直接用焊缝与主梁顶缘焊接。采用这种连接方式的有加拿大的安纳西斯桥和福建青州闽江桥,图 5 为已建桥梁的拉板式锚固构造。



图 5 拉板与腹板顶面对接构造

4.1 构造特点

(1) 采用楔形承压垫板能适应各斜拉索横向不同的倾角,可以使腹板采用固定倾角,降低了制造难度。

(2) 构造简单,便于安装和日常检修,但系统外露不美观。

(3) 对结构材质没有特殊的要求,一般桥梁用钢

即可满足。

(4) 拉索只能在塔端张拉。

4.2 受力特性

(1) 通过锚管与拉板间的焊缝将索力传递给锚拉板,再通过拉板与钢梁顶缘的焊缝,将索力传递给钢梁。

(2) 拉板与锚管、拉板与主梁顶板焊缝是受力的关键,但应力集中非常严重,尤其后者受竖向拉力、纵向剪应力和纵向拉力共同作用,应力状态复杂。因此,对焊缝质量应严格要求,并进行静载和疲劳评定。

(3) 为确保索力均匀地传给主梁,与拉板连接区域的主梁上翼板需加厚,拉板和锚管厚度需要加大。

5 结语

综上所述,锚箱式、销铰式、锚管式和拉板式 4 种索梁锚固方式由于结构不同,其构造特点和受力特性也不同,设计中应重点关注的结构薄弱点也各有不同。具体选用哪种型式,需要在设计中根据各桥梁的不同特点,综合考虑安全性、可实施性、可检查性、经济性和美观性等诸多因素后确定。

参考文献:

- [1] 苏通长江公路大桥跨江大桥工程初步设计总说明报告[R].
- [2] 同济大学桥梁系. 苏通大桥主航道桥专题研究报告[R].
- [3] 广东虎门技术咨询公司. 诺曼底桥的设计和施工[Z]. 1995.
- [4] 王嘉弟,等. 广东汕头礐石大桥钢箱梁索梁锚固传力路径及应力应变状态[D]. 西南交通大学,1996.
- [5] 金增洪,编译. 日本多多罗大桥简介[J]. 国外公路, 1999, 19(4).
- [6] 远藤武夫,松本毅,塚原弘光,三木千寿. 大跨度斜拉桥斜拉索锚固结构的疲劳[A]. 土木学会论文集[C]. 1995.
- [7] 西南交通大学. 南京二桥南汉大桥销铰式索梁锚固静载试验报告[R]. 1999.
- [8] 西南交通大学. 南京二桥南汉大桥锚箱式索梁锚固静载试验报告[R]. 2000.
- [9] 铁道部大桥工程局桥梁科学研究院. 浙江舟山连岛工程桃天门大桥钢箱梁段斜拉索销铰连接模型试验研究报告[R]. 2002.
- [10] 同济大学. 青州闽江大桥主梁顶部翼板正向强度和焊接强度试验报告[R]. 1999.