

贵州武佐河大桥斜拉索制作 关键特性控制与质量评价

杨承洞 史锦华

(1. 贵州高速公路集团有限公司, 贵阳 550004;
2. 重庆万桥科技发展有限公司, 重庆 400047)

摘要:以贵州武佐河大桥斜拉索制作为例,介绍平行钢丝斜拉索标准化制作过程中关键原材料的质量评定,提出质量控制的关键特性,并对该桥斜拉索的品质做出全面的质量评价。

关键词:斜拉索;关键特性控制;质量评价

文章编号:1009-6477(2015)02-0000-00 **中图分类号:**U448.27 **文献标识码:**B

1 工程概述

贵州省织金至纳雍高速公路武佐河大桥是主跨为 380m 的预应力混凝土斜拉桥,全长 1470m。塔柱采用“花瓶”空间索塔。斜拉索按双索面、扇形密索体系布置,每个主塔布置 24 对空间索,全桥共有 196 根斜拉索。斜拉索采用直径 7mm 的镀锌低松弛高强平行钢丝成品斜拉索,两端均设置张拉锚具,锚具均采用冷铸锚。斜拉索外挤双层聚乙烯护套,内层为黑色,外层为桔红色,且外层护套采用外表面带螺旋线型护套以抑制风雨振。

2 平行钢丝斜拉索制作关键特性及质量控制

贵州武佐河大桥斜拉索制作采用工厂制作的方式。工厂制作斜拉索具有如下明显优势:制作周期短;单根斜拉索长度偏差值能达到最小;整索受力均匀;索力调整容易控制,易于达到斜拉索稳定与安全的效果。

要想提高斜拉索的品质,即提高斜拉索的稳定性、耐久性和可靠性,关键是要对斜拉索生产过程进行质量控制,主要体现在对关键原材料及斜拉索制造各工序特性和指标的控制与评价。

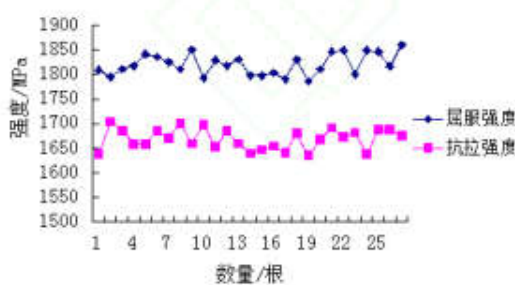
2.1 主要原材料检验及质量评定

2.1.1 高强镀锌钢丝

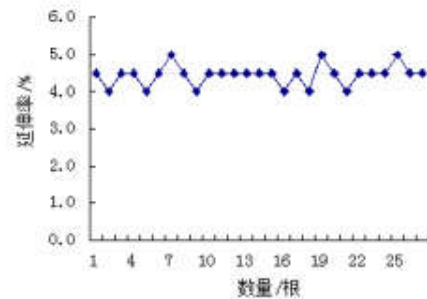
斜拉索是斜拉桥的关键受力构件[1],而镀锌钢丝则是斜拉索最主要的承载材料。斜拉索常规试验中的超张拉检验、弹性模量检测,型式检验中的静载试验、疲劳试验均离不开镀锌钢丝的支撑作用。贵州武佐河大桥斜拉索用镀锌钢丝由上海宝钢集团南通线材制品有限公司提供,随货提供完整的钢丝质量证明文件。GB/T 17101—2008《桥梁缆索用镀锌钢丝》标准要求对进场镀锌钢丝按每批 5%随机取样,并委托第 3 方进行力学性能检验,检测项目为抗拉强度、屈服强度和延伸率。因此,按照 GB/T 17101—2008 标准要求,对武佐河大桥 11 组(3 根/组)镀锌钢丝样本进行了力学性能检验,结果表明,镀锌钢丝具备高等级强度和良好的塑性。试验结果见表 1 和图 1。

表 1 镀锌钢丝力学性能统计

项目	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率/%
标准	≥1670	≥1430	≥4.0
平均	1821	1664	4.4
最大	1860	1698	5.0
最小	1786	1620	4.0
均方差	21.6	20.82	0.3



(a) 镀锌钢丝强度



(b) 镀锌钢丝延伸率

图 1 镀锌钢丝强度和延伸率分布示意

2.1.2 冷铸锚具

贵州武佐河大桥斜拉索锚具采用冷铸墩头锚,关键受力零件锚杯、锚圈选用 40Cr 合金结构钢锻件[2]。为了获得优良的力学性能,锚杯、锚圈加工过程中,进行了调制热处理。经检测,锚圈和锚杯的表面硬度分别为 HB230-270 和 HB210-250,符合设计规范要求。此外,为保证武佐河大桥斜拉索用锚具产品的内部质量,锚具热处理后和螺纹加工前,聘请了专业无损检测机构人员根据 GB/T4162 —2008《锻轧钢棒超声检测方法》的要求对锚具进行了超声探伤检查,检测频率为 100%,检验结果为 B 级。锚具精加工后,按 JB/T4730.4—2005《承压设备无损检测》的要求进行了磁粉探伤,检测频率为 100%,检验结果为 II 级。检测部位均不存在龟裂状缺陷和密集的夹砂、气孔及表面疏松。

2.1.3 高密度聚乙烯 PE 护套料

贵州武佐河大桥地处低纬山区,地势高差悬殊,气候特点在垂直方向差异较大,立体气候明显。在武佐河大桥斜拉索招标文件中明确规定,斜拉索用高密度聚乙烯护套料具有良好的机械性能及耐候性能。因此,依据 CJ/T297—2008《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》标准,委托化学工业合成材料老化质量监督检验中心对高密度聚乙烯护套料进行了常规性能检验,检验结果表明各项技术指标优良,见表 2 和表 3。

表 2 桥梁缆索用 HDPE 护套料（黑色）参数

检验项目	技术指标	检验结果	检验项目	技术指标	检验结果
密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^3$)	0.942~0.978	0.951	邵氏硬度 Shore D	≥ 60	62
熔体流动速率 / ($\text{g} \cdot 10\text{min}^{-1}$)	≤ 0.45	0.23	简支梁缺口冲击强度/ ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	≥ 25	31
拉伸强度/MPa	≥ 25	33.9	维卡软化温度/ $^{\circ}\text{C}$	≥ 110	120
拉伸屈服强度/MPa	≥ 15	24.5	低温冲击脆化温度/ $^{\circ}\text{C}$	< -76	< -76
断裂标称应变/%	≥ 400	810	炭黑分散度/分	≥ 6	7

表 3 桥梁缆索用 HDPE 护套料（彩色）参数

检验项目	技术指标	检验结果	检验项目	技术指标	检验结果
密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^3$)	0.942~0.978	0.951	邵氏硬度 Shore D	≥ 60	62
熔体流动速率 / ($\text{g} \cdot 10\text{min}^{-1}$)	≤ 0.45	0.23	简支梁缺口冲击强度/ ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	≥ 25	31
拉伸强度/MPa	≥ 25	33.9	维卡软化温度/ $^{\circ}\text{C}$	≥ 110	120
拉伸屈服强度/MPa	≥ 15	24.5	低温冲击脆化温度/ $^{\circ}\text{C}$	< -76	< -76
断裂标称应变/%	≥ 400	810	弯曲弹性模量/MPa	≥ 550	850

2.2 平行钢丝斜拉索制作关键特性

2.2.1 扭绞成型

扭绞成型是斜拉索制作关键工序之一,扭绞质量决定了斜拉索股的平直性和均匀性,从而影响斜拉索受力状态。贵州武佐河大桥斜拉索制造生产线采用全自动同步扭绞技术。缆索自动扭绞装置采用分段柔性链轮联动方式扭绞,整个装置共设 164 只扭绞盘,2 只扭绞盘间距为 2m,扭绞盘通过传动装置同步旋转。共有 7 组驱动装置,其通过传动轴联轴器连被接成一体,且前部牵引、后部扭绞的链齿传动方式可提高缆索扭转角的一致性。斜拉索扭绞成型装置见图 2。在武佐河大桥斜拉索扭绞成型过程中,随机对 20 根规格为 PES(C)7-139、15 根规格为 PES(C)7-283 斜拉索扭绞角度进行了检测,结果表明,扭绞角度符合 $(3 \pm 0.5)^{\circ}$ 的设计规范要求。



图 2 斜拉索扭绞成型

2.2.2 挤塑及表面处理

斜拉索使用寿命很大程度上取决于护套质量。以往有试验表明,斜拉索 PE 护套间隙和微孔内水分的残存是造成护套防护失效且不可逆转的质量缺陷[3]。国内外一些参考文献表明,PE 护套料表面是否密实,塑化是否充分,除与 PE 塑料本身性能有关外,还与温度和压力密切相关,尤其要对以下温度和压力的取值进行严格控制。

1)挤塑机各区温度控制。根据材料类型和季节的不同而设定,须避免温度过低或过高。过低的温度容易导致挤塑材料熔合不充分,挤出塑料表面易产生鳞皮、皱折等缺陷;过高的温度容

易导致挤塑材料碳化,从而出现裂隙。

为了提高武佐河大桥斜拉索挤塑质量,通过对挤塑温度的反复试验,发现将挤塑机温度划分成 11 区可得到熔合充分、流动性好、挤塑成型好的融熔 PE 塑料。挤塑过程中,通过传感器对 11 区温度进行实时监控,工艺上需保证 PE 塑料结晶的均匀性。挤塑机各区温度控制见表 4。

表 4 挤塑机各区温度控制					℃
挤塑机温区	夏季		冬季		
	黑色层	彩色层	黑色层	彩色层	
1	135	135	145	145	
2	165	165	175	175	
3	175	175	185	185	
4	185	185	195	195	
5	195	195	205	205	
6	205	205	225	225	
7	220	220	225	225	
8	220	225	225	225	
9	220	225	225	225	
10	220	225	230	230	
11	225	225	235	235	

2)螺旋线温度控制。螺旋线是斜拉索抗风雨振的有效措施之一,故生产过程中须保证螺旋线在斜拉索上的缠绕附着力均匀、粘结牢固,避免“扭转”现象,且斜拉索在挤出前需对螺旋线进行预热。武佐河大桥 5 种规格斜拉索均采用 $\Phi 5\text{mm}$ 的螺旋线,预热温度设定为 130°C ,预热时间不低于 $25\sim 30\text{min}$ [4]。

3)冷却槽温度控制。采取 3 级梯度冷却方式,保证挤出塑料和螺旋线收缩均匀,粘结牢固。一般而言,夏季水温设置在 $28\sim 34^{\circ}\text{C}$,冬季水温控制在 $36\sim 42^{\circ}\text{C}$ 。

4)压力控制。挤塑过程中的重要压力参数指熔体压力,因此,适当增加熔体压力可有效降低挤出产量,增加表面密实度。影响熔体压力的因素非常复杂,涉及到螺杆尺寸、螺杆转速、材料性能、设备状态等。通常,熔体压力应控制在 $10\sim 30\text{MPa}$ [5]。

贵州武佐河大桥斜拉索制作挤塑工序中,对各环节温度和熔体压力进行了有效控制。经目测,该桥斜拉索外护套表面密实、光滑、圆整。挤塑过程中,每隔 30m 用超声测厚仪对 PE 护套厚度进行检测,其厚度偏差在 $-0.5\sim +1.0\text{mm}$ 之间,PE 厚度符合技术规范要求。

2.2.3 冷铸锚灌注

锚具是斜拉索的重要组成部分,斜拉索通过锚具将力传给桥塔和主梁。因此,锚具灌注质量的好坏,直接影响斜拉索锚固效应和抗疲劳强度性能。锚具灌注质量主要由灌注密实度和灌注材料固化强度来体现。

1)灌注过程中,填料称重须准确,震捣须均匀,并确保灌注完成后无剩料。

2)通过数字温控仪、数字调节仪对固化温度和固化时间进行分段多点控制,确保固化均匀。第 1 阶段:温度须控制在 $(120\pm 5)^{\circ}\text{C}$,固化时间为 1h;第 2 阶段:温度须控制在 $(150\pm 5)^{\circ}\text{C}$,固化时间为 1h;第 3 阶段:温度须控制在 $(180\pm 10)^{\circ}\text{C}$,固化时间为 6h[6]。

3)对同炉固化冷铸体试件进行抗压强度试验,常温下抗压强度 $\geq 147\text{MPa}$ 。

2.3 平行钢丝斜拉索制作关键技术指标评价

斜拉索质量评价既是全面评定斜拉索是否满足功能和性能要求的手段,又是改进斜拉索关键特性的依据,以达到不断提高斜拉索质量稳定性的目的。通常,需根据 JTG F80/1—2004《公路工程质量评定标准》和 GB/T18365—2001《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》要求 [8],对平行钢丝斜拉索关键工序指标进行数据统计,通过直方图(也称质量分布图)来评估产品质量的稳定性。贵州武佐河大桥斜拉索共计 196 根,制作过程中,按照驻场监理工程师的指令,检验人员随机将 40 根斜拉索作为样本并将其分为 10 组,对斜拉索长度偏差值、冷铸体试件强度及超张拉内缩值关键指标进行数据统计,并得到斜拉索产品的总体质量分布情况,见图 3。

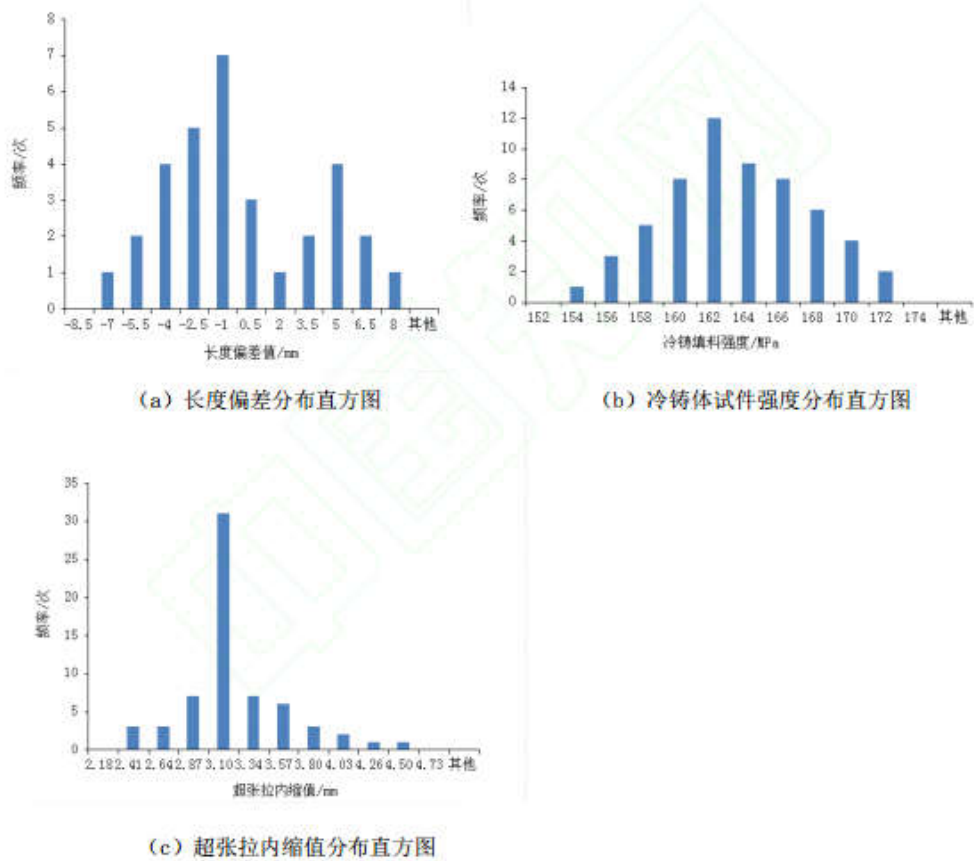


图3 武佐河大桥斜拉索产品质量分布

由图 3 可以看出,武佐河大桥斜拉索长度偏差、冷铸填料试件强度及超张拉内缩值等关键技术指标均呈正常稳定分布状态。

3 结语

随着斜拉索产品制作技术越来越成熟,对斜拉索的稳定性、耐久性和可靠性的要求也越来越高。把镀锌钢丝、冷铸锚具和高密度聚乙烯护套料 3 种关键原材料,扭绞成型、挤塑及表面处理和冷铸锚灌注 3 类关键特性作为斜拉索产品制作的关键质量控制点,实施重点控制,可以确保产品质量处于良好控制状态,保证斜拉索质量的稳定性、耐久性和可靠性。通过对关键技术指标的质量评价,贵州武佐河大桥所用斜拉索性能满足设计规范要求,且具有较高的稳定性。

参考文献

- 林元培. 斜拉桥(第二版)[M]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- 中铁大桥局集团第八工程有限公司. 厦蓉高速贵州境织金至纳雍段五合同段斜拉索采购招标文件[Z]. 贵州:中铁大桥局集团第八工程有限公司, 2012.
- 王伯惠. 斜拉桥结构发展和中国经验(上册)[M]. 北京:人民交通出版社, 2003.
- 王鑫莹. 斜拉索 PE 挤出工艺优化研究[J]. 科技信息, 2011(5):61, 70.
- 杨艳娟, 蔡 军. 塑料挤出成型过程中熔体温度测量和控制[J]. 塑料工业, 2008(5):5-8.
- 吴文明. 斜拉索耐久性和安全性探索研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2008.
- 段智馨. 钢绞线斜拉索防腐施工技术的探讨和应用[J]. 黑龙江科技信息, 2013(23):241-242.
- 黎世彬, 李 闯. 重庆大佛寺长江大桥斜拉索制造质量控制[J]. 公路交通技术, 2003(1):49-53.