

OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系的研究与应用

李文献 赵靖钊 宋强 韦壮科

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

(续接上期)

综合考虑各方面因素,最终确定模型试验的缩尺比例为1/1.4,转向器采用19- ϕ 15.24。模型设计时,混凝土采用50号,钢筋采用I、II级钢,选取受力最不利的C1束为试验索孔、C2束为试验备用索孔,试验模型节段含C1、C2两层索孔。节段模型试验的基本参数如下,模型总体布置如图4所示。



模型加载现场



19孔分丝索鞍

图4 中山岐江大桥主塔鞍座处节段模型试验

3.1.4.3 模型测试内容

本次模型试验是一个静力荷载试验,测试内容为在设计索力下转向器下方混凝土内部应

力分布情况。

3.1.4.4 模型试验结论

中山市岐江大桥主塔鞍座采用新型索鞍(转向鞍)结构,在设计上是一个的创新。由于实际结构复杂,仅利用有限元法对其进行精确值仿真分析比较困难,基于模型试验,可以得出如下结论。

1) 模型试验结果表明:节段模型内混凝土横桥拉应力分布比较规律,但量值不大,沿塔高向、纵桥向的压应力比较均匀,纵桥向压应力最大值为2.18MPa,远小于混凝土抗压强度35.0MPa。在单索300吨(13倍设计张拉力)拉力的情况下,拉索中部拉应力最大,最大应力为1.93MPa,向两边逐渐递减,量值上由1.79MPa降致0.77MPa;同时,拉应力沿塔高度方向也逐渐递减,在鞍座下11cm范围内,量值上由1.89MPa降致1.12MPa;在1.3倍设计张拉力情况下,混凝土拉应力均小于其设计抗拉强度3.0MPa,说明索塔内混凝土不会开裂。

2) 从模型测试结果可以看出,主塔鞍座处采用新型转向鞍构造形式,转向鞍下部混凝土的应力分布比较均匀,无应力集中现象,说明该转向鞍起到分散、均匀传递荷载作用,凿开混凝土模型未发现转向鞍管外有变形现象,因此,可以说明该结构的设计比较合理,可行。

3) 通过模型的理论计算结果与实测结果比较,可以看出原型桥梁的理论计算模式(实体计算模式)是合理可行的。

综上所述,可以认为主塔鞍座采用新型索鞍构造的设计是比较可行的;主塔结构在设计荷载作用下的受力是比较合理、安全的。

3.1.4.5 新旧索鞍处塔内应力对比

漳州战备大桥在建造前也做了索鞍处的节段模型试验，这两座桥的试验数据对比见表1：

漳州战备大桥与中山市岐江大桥试验数据对比表 表1

内外管索鞍（漳州战备大桥）	分丝管索鞍（中山市岐江大桥）
<p>模型试验结果表明：</p> <p>1、纵桥向压应力最大值28.6 MPa，接近于混凝土抗压强度35.0MPa。</p> <p>2、在鞍座下拉应力量值为2.67 MPa。</p>	<p>模型试验结果表明：</p> <p>1、纵桥向压应力最大值2.18 MPa，远小于混凝土抗压强度35.0 MPa。</p> <p>2、在鞍座下拉应力量值为1.89 MPa。</p>

从对比可知采用分丝技术的索鞍远优于内外管索鞍。

3.2 矮塔斜拉桥抗滑锚的研究

国外目前的矮塔斜拉桥抗滑的典型做法是：在鞍座区，将作为斜拉索的无粘结钢绞线的护套剥去并清洗表面油脂，使得位于锚具内和索鞍处的钢绞线为裸索，然后在索鞍内钢管和减振防护区内灌注高强环氧砂浆，利用环氧砂浆的粘结力以抵抗两侧拉索拉力差即抗滑力，然后对称锚固于索塔上。采用内外管索鞍由于整束钢绞线在抗滑锚内相互挤压在一起，只有外圈得到充分的环氧砂浆的握裹，每根钢绞线的握裹力是不均匀的。采用新型索鞍后，由于每根钢绞线在抗滑锚内是均分散的，所以每根钢绞线所受环氧砂浆的握裹力是均匀的。

填充的浆体是钢绞线拉索抗滑移能力的主要组成部分，浆体是环氧砂浆等。钢绞线拉索的粘结传递长度设计值，可以简化地取为“拉索与浆体”和“浆体与抗滑锚筒壁”之间的粘结长度之和：

$$L = L_1 + L_2 = \frac{\Delta P}{s_1 f_{bond}} + \frac{\Delta P}{s_2 f_{bond}} = \frac{\Delta P}{f_{bond}} \left(\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} \right) \quad (1)$$

式中：ΔP为索力差，s₁为钢绞线拉索与浆体间的握裹周长，s₂为钢管内壁周长。f_{bond}为钢材与浆体间的粘结强度（这里忽略钢绞线与钢管的差异）。此外，浆体弹性模量对粘结传递长度也有一定的影响。而新型转向鞍采用的抗滑措施，是否能有效地避免拉索因索塔两边荷载不平衡而引起的微动磨擦？如何保证在采用

新型索鞍后的抗滑锚能满足桥梁抗滑设计要求？这还须通过试验验证，最好通过粘结力基础性试验来确定。

3.2.1 环氧砂浆与单根环氧涂层钢绞线粘结试验

试验目的：检验环氧砂浆与单根环氧涂层钢绞线粘结性能。

通过对不同规格、多种粘结长度的环氧涂层绞线做了大量的试验，试验结果表明，环氧砂浆与单根环氧涂层钢绞线粘结力比镀锌钢绞线的要好。



试验加载概貌



环氧搅拌

图5 环氧砂浆与单根环氧涂层钢绞线粘结性能试验

3.2.2 上虞市三环曹娥江大桥塔端节段抗滑锚试验

2003年3月，我公司为了京承潮白河大桥已做了一个塔端节段抗滑试验，取得了理想的效果。为了更进一步研究在偏载力作用下抗滑锚内的应力传递过程以及抗滑锚到底能承受多大的偏载力。项目组和上海市政设计院合作在我公司进行了上虞市三环曹娥江大桥塔端节段55孔抗滑锚试验，对其可靠性进行更深入的研究。

3.2.2.1 试验的主要目的:

1) 锚固装置的的抗滑力的测试, 即锚固装置内的环氧砂浆对拉索的握裹力的大小是否满足设计100吨抗滑力的2.5倍的安全系数;

2) 检测锚固装置内的拉索在施加拉力的作用下的应变—应力情况, 与理论的设计要求是否相符;

3) 检测试验架区域内的拉索在施加荷载的作用下的应变—应力情况, 反应拉索在主塔内的受力状况;

4) 在上述工作的基础上, 提出设计、施工意见或建议。

1) 上虞市曹娥江大桥斜拉索采用钢绞线型拉索, 规格为15-43、15-55和15-61三种, 经过系统考虑, 试验采用15-55规格的拉索;

2) 本试验主要是检测锚固装置的抗滑移性能, 因此对塔上装置进行简化, 由试验架来模拟主塔的构造, 索塔两边用和实桥一样的锚固装置;

3) 本试验必须承受试验所需要最大荷载的两倍以上。

3.3.2.2 试验方法

在锚固筒里的钢绞线上及两个锚固筒之间的钢绞线上布置适合的应变测点, 同时在锚固筒的周边布置相应的位移测点, 通过这些点来监控拉索与环氧砂浆从张拉开始到张拉结束的全过程的情况, 如图6、图7所示。

3.3.2.2 试验装置的基本参数及试验方法

3.3.2.2.1 试验装置的基本参数

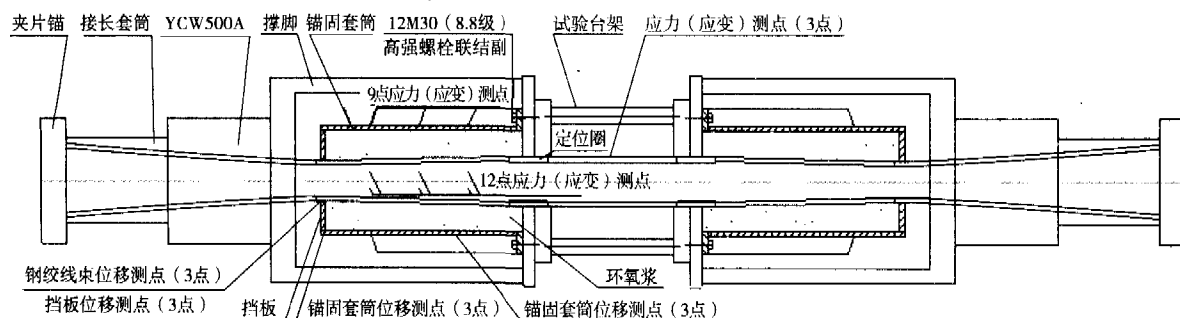


图6 上虞市三环曹娥江大桥塔端节段抗滑锚试验方案图



模型加载概貌

应变和位移的监控与测量

图7 上虞市三环曹娥江大桥主塔鞍座处节段抗滑锚模型试验

3.2.2.3 测试结果分析

锚固套筒内钢绞线应力与试验台架外钢绞线应力分析从测试数据中发现, 锚固套筒内钢绞线应力的发展与荷载的发展基本呈线性关系。其中锚固套筒内钢绞线应力分布见图8、图

9。图中的A1和C1曲线出现的非线性关系变化经分析可能是应变片粘贴时环氧树脂握裹不充分所致, 这并不影响锚固套筒内钢绞线应力的发展与荷载的线性关系, 因此可以不考虑其对整个试验结果的影响。

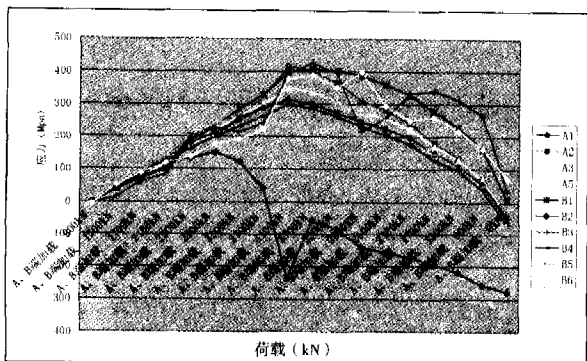


图8 锚固套筒内钢绞线应力分布图一

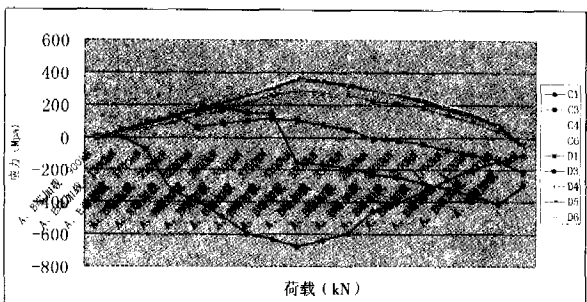


图9 锚固套筒内钢绞线应力分布图二

试验台架处钢绞线应力发展较为均匀，在对应荷载为4100kN时，最大应力为252.2MPa，也即经过锚固套筒内环氧树脂的握裹作用后，在荷载为4100kN时，非锚固区钢绞线受力为44.5kN，即占荷载的百分比为1.1%，这充分证明了锚固套筒内的环氧树脂起到了很好的握裹效果。见图10。

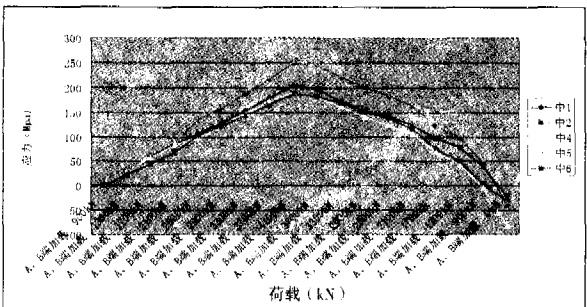


图10 试验台架处钢绞线应力分布图

对于位移情况：测试结果表明，因锚固套筒的环氧树脂握裹作用，钢绞线的位移量很小，符合要求。见图11-14。

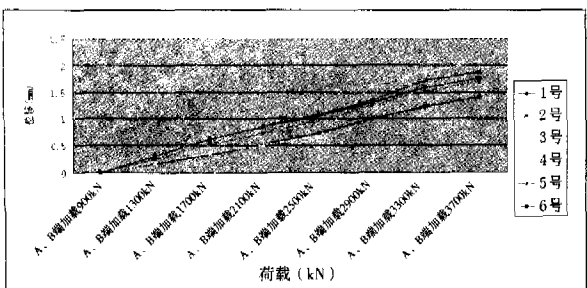


图11 1-6号位移测点荷载-位移曲线

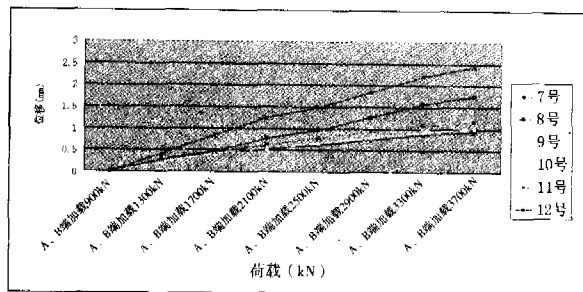


图12 7-12号位移测点荷载-位移曲线

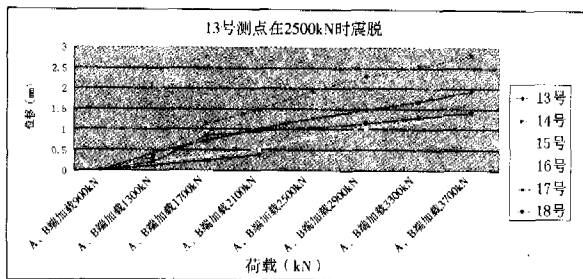


图13 13-18号位移测点荷载-位移曲线

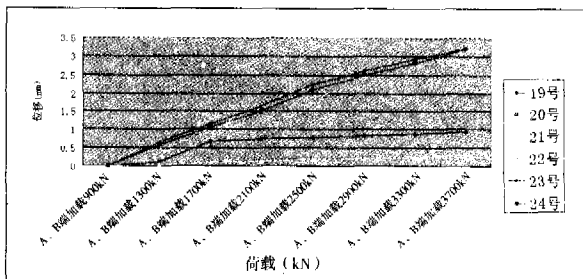


图14 19-24号位移测点荷载-位移曲线

3.2.2.4 试验结论与建议：

试验结果表明，在最大荷载为4100kN时，试验台架处钢绞线以及锚固套筒内钢绞线应力值的发展是较为均匀的，较好的表现为线性关系发展。钢绞线的滑移量非常小，未出现抗滑力失效的现象。充分说明了锚固装置内环氧树脂砂浆对钢绞线的握裹作用是有效的，说明了锚固装置完全能达到设计抗滑移能力100吨2.5倍的安全系数的要求。

3.3 矮塔斜拉桥拉索的防腐系统研究

拉索结构的可靠性是设计的根本，而矮塔斜拉桥拉索的防腐设计是关键，它的好坏关系到使用年限。

3.3.1 索体的防腐设计

1) OVMAT拉索自由段索体采用四层防腐：

第一层：在光面绞线上涂环氧；

第二层：在外层PE和绞线之间灌注专用防

腐油脂；

第三层：单根绞线外包PE；

第四层：整束拉索外包HDPE护管，结构见图15。

2) 索鞍内的索和梁上预埋管内的索共设计

四层防腐：

第一层：在光面绞线上涂环氧；

第二层：在外层PE和绞线之间灌注专用防腐

油脂；

第三层：单根绞线外包PE；

第四层：小钢管（索鞍内）、预埋管（梁上）。

3) 锚固装置内索防腐：

第一层：在光面绞线上涂环氧；

第二层：锚固装置内灌注环氧砂浆；

第三层：外钢管。

OVM-U1环氧全涂装无粘结筋断面图

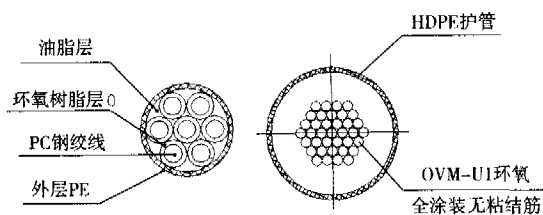


图15 OVMAT拉索索体截面

在矮塔斜拉桥拉索体系中，使用的拉索我们推荐使用环氧喷涂钢绞线，因为环氧喷涂钢绞线有以下优点：化学稳定性优良；温度稳定性优良；对金属材质的附着性好；抗阴极分解好；耐曲折度优良；抗冲击性优良；耐磨性好；低氧渗透性好；防腐性能优异。

3.3.2 OVMAT拉索体系防水设计

拉索与索塔和主梁的连接也是防腐设计的重点部位。尤其是拉索与主梁的连接处，雨水全部会聚于此，密封设计如果考虑不周全，水就会进入拉索体系内部造成腐蚀。

早期拉索体系的防水过渡装置为两半式扣合结构，接合缝用橡胶垫和玻璃胶密封，经过若干年后，橡胶垫弹性消失，加上拉索的振动，扣合面容易出现间隙，水分就有可能沿缝隙渗入。

项目组根据OVMAT拉索体系的特点设计了防水性能更可靠的梁端防水装置结构，见图16。

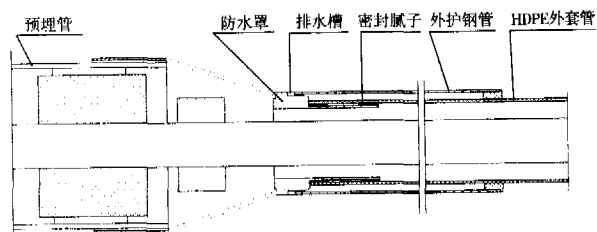


图16 梁端防水装置

该梁端防水装置采用整体结构，没有接合缝，防水装置小端口直接穿入HDPE外套管，只要HDPE外套管不开裂，水就不会进入预埋管里，而是从防水装置上的排水槽排出，防水性能更可靠。塔端防水过渡装置也是采用此原理设计，见图17。

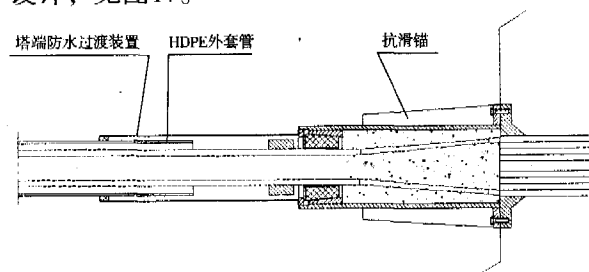


图17 塔端防水过渡装置

采用这些防护与密封措施对拉索进行整体防腐，使OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系具有更优异的防腐性能，为拉索的长期使用提供保证。

3.4 矮塔斜拉桥拉索锚具的研究

因矮塔斜拉桥结构对斜索的依赖程度较少，斜拉索拉力变动对梁的影响较小，且梁的刚度较大，斜拉索应力幅小，抗疲劳性能提高，斜拉索长度短。根据以上矮塔斜拉桥拉索的特点，对拉索梁端锚具的结构尺寸进行优化，采用常规的OVM250拉索锚具的锚固单元，保持了该锚具的优点，如低应力下的锚固可靠性、可靠的防松性能等，通过对梁端锚具的优化设计，使之更适合于矮塔斜拉桥。

锚具主要由夹片、锚板、螺母、延长筒、密封装置、防松装置和固化浆体、减振装置、新型防水罩、索箍、HDPE外套管等组成，见图18。

考虑到矮塔斜拉桥梁体刚度大，拉索长度短，基本上可以通过单根张拉到设计应力而不需整体调索，有时也可能由于施工误差需要调

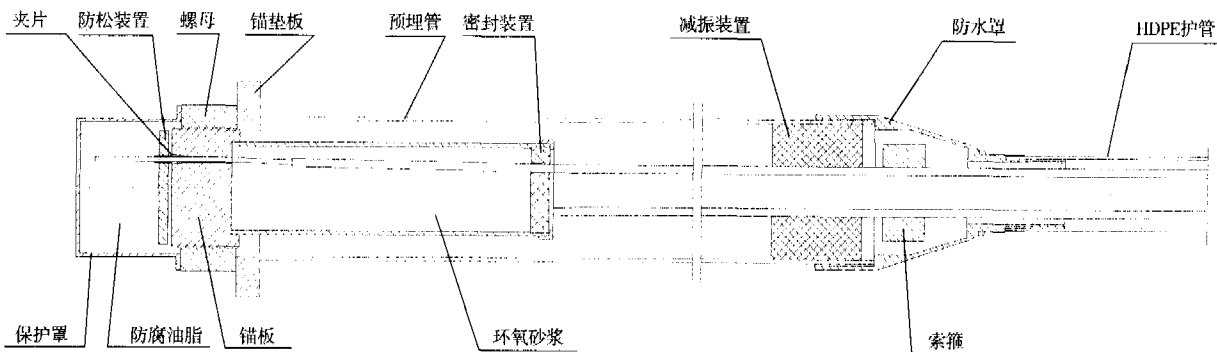


图18 优化后的OVMAT拉索锚具构造

索，但调索量很小，所以在锚板外圆加工螺纹以便换索及微调。

4. OVMAT矮塔斜拉体系技术特点

1) 索鞍内设置了分丝小管，钢绞线不存在相互挤压问题，受力情况得到明显改善。索鞍起到分散、均匀传递载荷作用，索鞍下部不会形成不利的应力集中，受力状况更趋合理，使索塔的设计有进一步优化的空间。

2) 小管内的无粘结钢绞线不剥PE，索的防腐较好，施工时的穿索及以后的换索均非常便利，换索时不需大型设备，不需封桥，换索投资少。

3) 索鞍除具有分丝作用的同时，还起到使抗滑锚均匀传递握裹力的作用，受力可靠，抗滑移性好。

4) OVM矮塔斜拉体系防腐防水性能好，特别是HDPE圆管采用下端固定，上端自由伸缩的

设计，使得防水罩可伸进圆管里，很好的解决了下端防水罩易进水的问题。

5) 结合矮塔斜拉的特点对梁端锚具进行优化设计，开发了矮塔斜拉系列锚具，更适合矮塔斜拉桥的受力工况及施工要求。

5. OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系的应用

由于OVMAT拉索体系的突出特点，得到了该领域专家的广泛认可和推广，至今相继在10多座矮塔斜拉桥中得到了成功应用。韩国KUMGA桥在世界范围内招标，看到分丝技术的诸多优势，决定采用了分丝技术的方案。现韩国还有两座桥也准备采用此方案。日本、印度尼西亚、马来西亚等国家也有采用此方案的意向。表2是OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系的应用情况。

6. OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系的施工

凡由OVM公司提供的OVMAT矮塔斜拉桥拉

OVMAT矮塔斜拉桥拉索应用概况一览表

表2

序号	桥名	跨径布置(m)	锚具/斜拉索	塔上锚固方式	完成时间	预应力专项施工单位
1	漳州战备大桥	81+132+81	OVM250-31镀锌钢绞线	贯通锚固(内外管)	2001	OVM工程公司
2	兰州小西湖大桥	81+136+81	OVM250AT-31镀锌钢绞线	贯通锚固(分丝管)	2003	OVM工程公司
3	常澄常州运河桥	70+120+70	OVM250AT-27环氧钢绞线	贯通锚固(内外管改进)	2003	OVM工程公司
4	太原汾河大桥	90+150+90	OVM250AT-28镀锌钢绞线	贯通锚固(内外管改进)	2004	OVM工程公司
5	漓石矮塔斜拉桥	81+136+81	OVM250AT-31环氧钢绞线	贯通锚固(分丝管)	2004	OVM工程公司
6	银川1号桥	70+70	OVM250AT-55环氧钢绞线	贯通锚固(分丝管)	2004	OVM工程公司
7	平顶山矮塔桥		OVM250AT-31镀锌钢绞线	贯通锚固(内外管改进)	2005	OVM工程公司
8	德清县英溪大桥	(65+60) X2	OVM250AT-31环氧钢绞线	贯通锚固(内外管改进)	2005	OVM工程公司
9	京承潮白河大桥	72+120X2+72	OVM250AT-43环氧钢绞线	贯通锚固(分丝管)	2005	OVM工程公司
10	中山市歧江大桥	81+132+81	OVM250AT-31环氧钢绞线	贯通锚固(分丝管)	2005	OVM工程公司
11	上虞曹娥江大桥	140	OVM250AT-43.55.61	贯通锚固(分丝管)	2005	OVM工程公司
12	昆山吴淞江大桥	125+125	OVM250AT-73环氧钢绞线	贯通锚固(分丝管)	2005	OVM工程公司
13	禹门口矮塔桥	(75+2X125+75) X2	OVM250AT-37环氧钢绞线	贯通锚固(分丝管)	2005	OVM工程公司
14	株洲市芦淞大桥	75+2X140+70	OVM250AT-31环氧钢绞线	贯通锚固(分丝管)	在建	OVM工程公司
15	柳州三门江大桥	100+160+100	OVM250AT-25环氧钢绞线	贯通锚固(分丝管)	在建	OVM工程公司
16	浦上矮塔斜拉桥	55+3X110+55	OVM250AT-37环氧钢绞线	开口贯通锚固	在建	OVM工程公司
17	韩国KUMGA桥	85+125X5+85	OVM250AT-42	贯通锚固(分丝管)	在建	未定

索体系产品,均由柳州欧维姆工程有限公司施工。柳州欧维姆工程有限公司是OVM公司的子公司,是一个具有国内最高资质的预应力工程施工专业公司。公司里有一支技术过硬的专门从事OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系产品的施工队伍,经过不断的实践和总结,形成了能保证施工质量OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系施工工法。

7. 结束语

经过几年的研究开发和在多个工程中的成功应用,OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系其各项指标均能满足主要技术经济指标,符合设计、施工要求。该体系已成功运用在兰州小西湖大桥、漓石矮塔斜拉桥、银川1号桥、京承潮白河大桥等工程并产生了很好的经济效益与社会效益。

使用结果表明OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系具有安全可靠、受力明确、施工方便、便于检测维修,具有优异的防腐性能和良好的抗疲劳性能等优点。该体系首次创新采用分丝技术设计的索鞍结构新颖,不仅克服了原体系索鞍在设计、施工中的不足,还很好地起到了分散、均匀传递载荷的作用,解决了原体系索鞍下部应力集中的问题,同时也解决了原体系不能单

根调索、换索的问题。随着OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系的成功开发应用,将更有力地促进我国矮塔斜拉桥结构体系的发展。

参考文献

- [1] 陈享锦,王凯,李承根.浅谈部分斜拉桥[J].桥梁建设,2002,(1):44-47
- [2] 王凯,郑宏扬,李敏.漳州战备大桥主桥斜拉索设计.桥梁建设,2002,(1):8-10
- [3] 张多平,康炜.兰州小西湖黄河大桥设计分析.兰州铁道学院学报,2002(6):69-72
- [4] 严国敏.试谈部分斜拉桥-日本屋代南桥、屋代北桥、小田原港桥,国外桥梁,1996(1)
- [5] 刘海燕,陈开利编译.低塔斜拉桥斜拉索锚固装置的足尺模型试验,国外桥梁,2001(3)
- [6] 张多平,康炜.兰州市小西湖黄河大桥设计分析.兰州铁道学院学报,2002(6)
- [7] 刘钊,孟少平,臧华,张宇峰,黎兆亮,谢正元.部分斜拉桥索鞍锚固区设计探讨
- [8] 广西工学院土木工程检测中心.上虞市曹娥江大桥塔端拉索抗滑移试验报告
- [9] 广州大学路顺道桥工程检测中心.中山市歧江大桥主塔鞍座处节段模型试验研究报告
- [10] JTJ 023-85.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]
- [11] Masaru Nishimura, Hidetugu Mochizuki. Design and Construction of Sntanigawa Bridge; Proceedings of the 1st FIB Congress, Session 2, Japan
- [12] Norio Terada, Toshiaki Mochizuki. The Design and Construction of the Miyakodagawa Bridge in the 2nd Tomei Expressway; Proceedings of the 1st FIB Congress, Session 2, Japan

信息窗

我国古代造型奇特的桥梁

我国历史悠久,河流纵横,古人修建了许多造型奇特、独具匠心的桥梁,有的已为后人借鉴,现将中外闻名者,列举数桥如下:

1、浙江绍兴的八字桥:位于该市越城区仓桥直街,是我国最早的立交桥。长32.82m,一桥跨三河、通三街,始建于南宋宝佑四年(公元1256年)距今已七百余年,为国家重点文物之一。

2、陕西华县赤水河上的桥上桥,位于该县赤水镇西,下桥1660年建,共7孔,因河床淤高,桥孔拥塞,泄水不通畅,遂于1832年又修桥上桥,长70m,宽5m,用花岗石做桥面,主要供行人通过。

3、山西太原晋祠“鱼沼飞梁”,位于晋祠圣母殿前,有千年历史。水中立有八角石柱34根,呈十字形,为世界桥梁珍品,亦为国家重点文物。

4、四川雅安上里镇的上里桥,位于该市北,在古代南方丝稠之路上,为清乾隆14年建(公元1750年)有3孔

20余米长,全桥除泄水流外,南端尚有小径穿过,系古代立交桥。

5、广西三江县北独峒乡的芭团桥,也是古代立交桥。

6、湖南芷江的龙津桥,长246.7m宽12.2m,1996年重建,为当今世界最长的廊桥。

7、云南霁虹桥:位于滇西永平与保山交界处的博南古道澜沧江上,桥长106m、宽3.7m,由18根丝链构成,为世界最古老的铁索悬桥。

8、福建南平铁索悬桥:位于南平茫荡山风景名胜区的石佛山景区,桥长200余米。飞龙腾空,比号称世界最长的加拿大温哥华卡皮兰诺的铁索桥还长一半,因之实为世界上最长的铁索悬桥。

至于近代的其它桥梁,有大渡河索悬桥、山中小桥、侗族风雨桥也各具特色。

(孔祥金辑自《上海新民晚报》)