

OVM250 扣索体系在卢浦大桥中的应用与施工

韦福堂 李东平 黎照亮

【摘要】卢浦大桥是目前世界上跨度最大的全钢结构提篮式系杆拱桥，钢拱肋安装采用悬臂吊装，斜拉扣索承重的施工方法，本文针对扣索施工介绍 OVM250 扣索体系的运用和施工技术。

【关键词】OVM250 扣索体系 循环牵引 动态离散法 减震套索

1、工程概述

上海卢浦大桥是一座横跨黄浦江的中承式拱桥，跨径为：100m+550m+100m。拱肋安装采用多种施工工艺，其中跨中部分拱肋安装主要采用拱上吊机垂直提升、现场焊接、斜拉扣索承重的悬臂施工法。

采用该施工法包括 Zb6、Z8#~Z21# 段拱肋安装，共 29 个吊装节段，每节段包括上下游拱肋，拱肋之间设永久风撑和临时风撑。除 Z21# 外，其余节段的水平投影长为 13.5m，最重节段约 350t，最大安装高度约 110m，每个节段在拱顶外侧布置 4 个临时扣索锚点，即每个节段用 4 束临时扣索扣挂承重。除 Zb6、Z20# 节段拱肋对应的边跨索设置 4 束外，其他对应的扣索全为 2 束，固定端设在锚碇处，扣索与锚碇内体内预应力索联接传递反力。全桥扣索共 28 对计 176 根，根据节段编号为：中跨 ZS3~ZX1~ZX13，拉索安装水平角度为 $41^\circ \sim 15^\circ$ ；边跨 BS3~BX1~BX13，拉索安装水平角度为 $53^\circ \sim 34^\circ$ 。中跨和边跨张拉端均设在三角区的临时钢索塔上，见图 1。本着设计、施工、监测、

控制和经济性等综合因素，卢浦扣索选择 OVM250 扣索体系。

2、OVM250 扣索在卢浦桥中的结构形式

2.1 锚具结构形式

OVM250 扣索体系总体结构由固定端群锚体系、索体、紧索索夹、张拉端群锚体系以及减振装置构成。根据卢浦大桥的特殊性，张拉端锚具全为可调式螺母锁紧群锚，但是固定端由于锚固部位的结构特点，中跨、边跨固定端锚固体系均不同，其中中跨固定端锚固体系由 P 锚、OVM250 拉索群锚夹片和锚板、延伸筒构成，张拉后，P 锚压紧夹片，两者共同起锚固作用，增强了临时扣索锚固性能，见图 2。边跨固定端采用 OVM 多孔联接器结构，内锚孔夹持锚碇体内预应力索，扣索 P 锚锚在多孔连接器的外环槽口内，见图 3。扣索索体为带黑色 PE 护套的高强低松弛钢绞线，强度等级为 1860Mpa。护套与钢绞线间不含油脂或蜡层，整束扣索不含防护套管。

2.2 张拉端锚点结构

卢浦大桥扣索临时索塔为全钢结构，扣索张

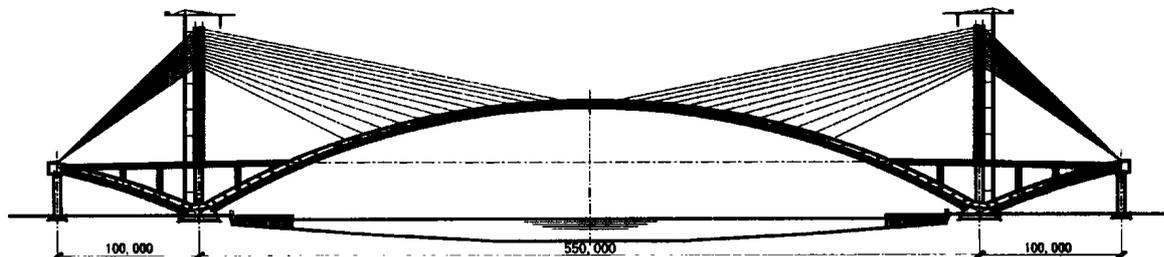


图 1 主桥临时扣索立面图

拉端锚固点设在索塔内, 采用锚固钢梁的型式来承受扣索的水平分力。扣索虽然是斜拉形式, 但相对于永久斜拉索有很大的区别, 主要是由于空间不足而使中边跨拉索不对称, 同一对扣索水平角度不相等, 为了保证索塔在恒载下平衡, 以受压为主, 为此锚固钢梁除 BS3、ZS3 设置水平外, 其它顺桥向倾斜一定角度, 目的是使中边跨扣索反力的交点基本落在主塔的轴线上, 以免出现偏心受力, 见图 4。

2.3 索力监测系统

索力测量是施工控制的重要手段, 索力在各个施工阶段的变化值是整个钢拱肋结构标高、内力的直接反映, 测量数据是施工调整的重要依据。由于长期(当拆索时拆去)跟踪测量各索力的实际值, 为了有效的对扣索索力进行即时监控, 每一束扣索固定端均设置一个穿心式振弦传感器, 进行在线测量, 不但可以测出即时的索力值, 而且还可以测出对应的温度值。

3、临时扣索技术要求

临时扣索虽然是临时结构, 但在使用以及施工过程中必须达到以下技术要求:

1) 本桥的临时扣索在可靠性、安全性方面应与正式工程中的斜拉索永久索具有同等重要性来考虑。

2) 根据设计索力, 拉索设计安全系数为 2.0,

所用的锚具应符合国家的“锚夹具技术标准”中的要求。

3) 临时钢索塔承受水平力差小于 500KN, 扣索安装和调整时水平总索力差也要不大于 500KN。

4) 每根索中各钢绞线张力的不均匀性不大于 3%, 整索索力与设计值差不大于 3%。

5) 在扣索上下端距离锚具一定范围内设置减振套索, 使同一索面内的扣索相互约束而不易起振。

4、扣索安装施工

4.1 单根挂索

平行钢绞线挂索施工工艺发展至今已经相当成熟, 但运用于钢拱桥扣索却还存在很多难点, 为了能够实现施工连续不间断而又满足索塔水平力差 $\leq 500\text{KN}$ 的技术要求, 在施工中我们开发出一套循环牵引系统, 该系统安全可靠, 大大缩短了施工工期, 而且解决了卢浦大桥施工用空间严重不足的矛盾。原理是通过设置于临时索塔根部的摩擦式卷扬机和设置于塔顶的导向轮, 使钢丝绳形成一个“闭环”系统, 该系统通过卷扬机的定向转动, 钢丝绳利用特殊的夹持器夹持和牵引钢绞线, 达到不间断循环牵引的目的。

4.2 穿索顺序

由于采用的扣索锚固体系比较特殊, 中跨钢绞线可以孔-孔对应, 而边跨固定端采用的是多

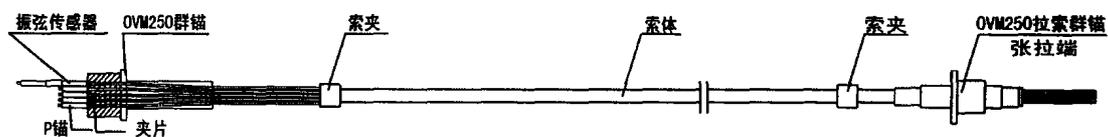


图 2 中跨扣索结构图

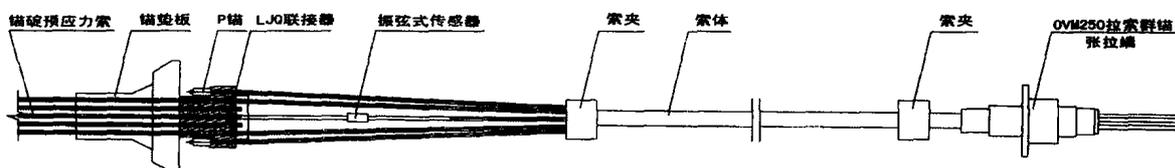


图 3 边跨扣索结构图

孔连接器方案，平行钢绞线拉索的“平行”原则已经很难保证。我们采用孔位最近原则，保证钢绞线不“打绞”，同时确保钢绞线偏转角度 $<3^\circ$ 。穿索顺序见图 5。

4.3 单根张拉及顶压

对夹片顶压处理是预应力施工的一个工艺措施，已经被广泛运用于提高夹持效率，但是顶压工艺不十分成熟，尤其是现有顶压辅助设备无法避免由于临时结构的变形造成实际顶压力与理论不相符合的情况。为此，综合考虑以往顶压施工的不利因素，我们研究开发出一套新型顶压器，对工作夹片施加 60% 夹片夹持应力的顶压力，顶压效果非常良好。

4.4 单根张拉力

单根张拉是临时扣索施工的重点和难点，张拉质量直接影响到拱肋安装的安全。卢浦大桥属于全钢结构的拱桥，包括临时结构都是钢构件。根据理论计算和实测，钢拱肋、临时钢塔对环境温度变化的影响非常敏感，不同时段的结构变形量是难以用方程式来定量计算的。这类结构，制作安装时，同一束拉索内各根钢绞线的张拉力是递减的，张拉实施时把结构变形量离散化，然后根据离散变形量计算出各根钢绞线的张拉力。但这种方法存在很多缺点，由于温差的变化会影响结构在不同时段内变化的情况，加上环境气候的反复无常，因此，通过理论计算值作为张拉控制值是不实际的。

针对施工标高提起量和钢结构对环境的敏感

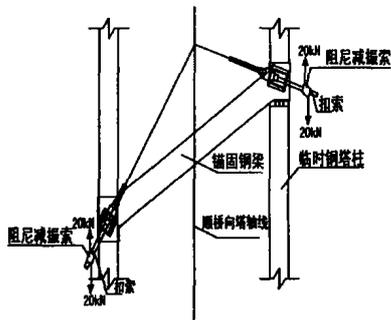


图 4 主塔内扣索锚固示意图

性，采用动态离散法进行控制，原理是利用传感器检测整个结构、环境的变化情况，并把此变化以控制力的方式反馈回来以动态调节各根钢绞线的即时张拉值。

4.5 索力、标高微调

平行钢绞线扣索的索力大部分由单根张拉汇总建立起来，标高、拉索索力的微调均采用整体张拉，螺母锁紧的方法进行。一般来说在悬臂安装阶段确定主拱线型，施工中以标高控制为主，但是卢浦桥却主要以索力控制为主，索力安全系数保证在 2.0 以上。为了保证各根拉索的索力误差控制在设计范围之内，除严格控制整体张拉工艺外，同时采用固定传感器检测，对显示的拉索力值进行校核，临时索塔控制点位移三维坐标和拱肋控制端口的三维坐标测量值配合，使索力、标高调整到最佳的安装值。

扣索作为临时结构，涉及到安装与拆除，所以钢绞线的工作长必须保留，因此整体张拉微调工艺与普通的整体调整工艺有很大的区别，我们采用了千斤顶、联接套的全穿心技术，方便可行。

4.6 临时扣索索力跟踪测量

临时扣索在整个拱肋在悬臂安装中至关重要，任何工况和环境因素的改变都会对整个结构的正常施工产生负面影响。在悬臂阶段保持拱肋安装轴线和钢拱肋内力尤其重要，扣索作为承重体系，结构变化很大程度上体现在拉索的索力的变化上，因此在拉索固定端预埋一个单孔传感器，由其跟踪拉索的实时变化值，从而反映整个拱肋结构的应力、变形情况，更好的指导施工。

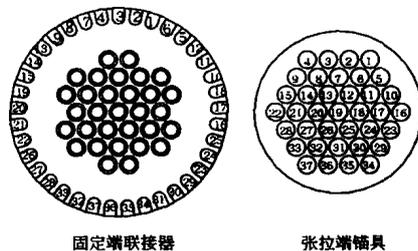


图 5 穿索顺序

4.6.1 传感器型号

采用 ZX-308A 振弦式单根传感器, 它的额定测力值为 20t, 可以测量某时刻的压力值、温度值、时钟值。

4.6.2 传感器安装工艺

ZX-308A 为穿心式单根索力传感器, 由传感体、仪表、导线构成, 安装上使单孔锚板、夹片、传感器支座配合, 钢绞线依次穿过传感器支座、ZX-308A 传感体、单孔锚板、工具夹片以及挤压套。测量时把导线与显示仪表相连, 仪表接通电源, 就可读出数据, 与标定曲线对应后可得到该索的测量值。

4.7 减振技术措施

卢浦大桥临时拉索无导索管(预埋管), 所以拉索减振阻尼器无法安装, 而上海地处台风的侵袭范围, 拉索减振措施对拉索安全乃至整个大桥安装施工都非常重要。施工过程中我们采用了柔性减振套索减振技术, 同一索面的拉索在横向、纵向相应部位布置互相约束的套索。

减振套索由“哈氟”抱箍、 $\Phi 15$ 钢丝绳和钢丝绳夹头构成。安装部位设于距离锚具 2.0m 的位置, 安装锁紧力约 20kN, 竖向同一索面各束拉索连成一体。比较安装之前后, 从传感器变化值可看出约降低 5kN 的激励量。

柔性减振套索使用过程中, 经受住了多次台风的影响, 特别是“威马逊”热带风暴的影响, 事实证明起到明显的减振效果。

4.8 边跨扣索固定端制作施工

边跨临时拉索的固定端设在后锚碇, 锚碇内设 31- $\Phi 15.24$ 体内预应力索, 临时拉索与体内预应力索连接传递拉索索力。拉索在拱肋拼装过程中, 由于环境的因素, 或多或少承受了外来力的激励, 而联接部位是最为薄弱的地方, 局部容易疲劳, 甚至破坏, 所以我们采取以下施工技术措施:

A、多孔联接器锚固槽口轴线与钢绞线轴线之

间的角度保证 $\leq 3^\circ$ 。

B、张拉端和固定端锚孔按每排孔水平排列, 两端锚孔相互对应, 不得有错位现象, 但是边孔固定端采用联接器方案, 孔位按最近原则布置, 见图 5。

C、P 锚挤压油压控制在 25-35Mpa, 外露钢绞线为 1-2cm。试验证明 P 锚在承受约钢绞线 50% 的破坏应力和 $\pm 0.5t$ 的风振动载的情况下暴露在空气中一年未发生任何滑脱现象, 拆索后解剖该 P 锚发现内部无任何锈蚀情况, 而且利用现场的千斤顶进行了静载试验, 单根破断力 $> 26t$, 十分安全。

4.9 防腐

扣索索体采用外包黑色 PE 的无粘结筋钢绞线, 虽然属于临时结构, 由于工期长, 防腐是必要的。因工艺需要, 部分需要剥除 PE, 待安装完成后, 该部位除张拉端涂以油脂外, 其它包括 P 锚, 全部用防锈漆涂刷, 尤其是多孔联接器的槽口内注意排水, 严防 P 锚长期泡在水中被腐蚀而留下安全隐患。

5、结论

OVM250 扣索体系成功应用于上海卢浦大桥的拱肋安装, 是大跨度全钢结构系杆拱桥施工的一项新技术, 事实证明 OVM250 扣索体系在系杆拱桥拱肋施工中应用的可行性、实用性、安全性和经济性, 值得今后在同类工程施工中加以推广和运用。另外, OVM250 扣索体系的应用, 得到了上海市政研究院、上海基础公司以及 OVM 公司相关人员的参与与支持, 在此一并表示感谢。

参考文献

- 《公路桥涵施工技术规范》, 交通部第一公路工程总公司, 人民交通出版社, 2000 年 10 月
- 《斜拉桥》, 林元培, 人民交通出版社, 1994 年 4 月
- 《斜拉桥换索工程》, 王文涛, 人民交通出版社, 1997 年 12 月