

某自锚式悬索桥预应力主缆孔道补救方案

黄迎东

(上海市市政工程建设发展有限公司, 上海市 200025)

摘 要: 上海某大桥主桥为双塔自锚式悬索桥, 主体结构采用(40+70+40)m 三跨塔梁组合结构体系, 由钢筋混凝土主塔、预应力混凝土箱梁、主缆、吊索组成。主要针对主缆混凝土浇筑对预应力管道破坏的施工问题进行分析, 从施工过程记录、预应力孔道变形参数汇总分析、后续解决流程及方案三方面综合分析, 全过程记录施工过程中因混凝土浇筑对主缆预应力孔道造成破坏的成因及对策。通过结合实践数据的过程记录及分析来验证类似问题的解决策略, 指导类似项目如何工前预防、工后补救, 避免对工程造成不可逆的巨大损失。

关键词: 自锚式悬索桥; 预应力主缆孔道破坏修复; 钢结构; 自密实微膨胀混凝土; 施工; 密闭主缆结构
中图分类号: U448 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2023)12-0157-03

1 工程概况

上海某自锚式悬索桥主桥为双塔自锚式悬索桥, 如图 1 所示, 主体结构采用(40+70+40)m 三跨塔梁组合结构体系, 由钢筋混凝土主塔、预应力混凝土箱梁、主缆、吊索组成。主塔为塔梁固结, 为 2.5 m×1.6 m 矩形实心截面, 顺桥向尺寸 2.5 m, 横桥向为 1.6 m, 高 10~11 m; 主缆矢高 10 m, 矢跨比 1:7, 由 24 根 $\phi_{15.2-17}$ 的高强度低松弛钢绞线组成。主缆中跨索和边跨均为两端张拉, 主缆外套采用 1 260 mm×1 300 mm 钢结构箱型截面(见图 2), 内填充 C60 自密实微膨胀细骨料混凝土。主缆在边跨及中跨跨中部分深入主梁体内, 张拉后形成整体。吊索采用 PES7-85 塑包镀锌高强度平行钢丝束。

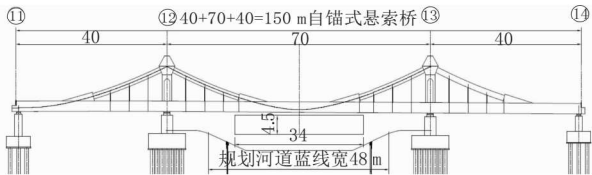


图 1 自锚式悬索桥主桥跨径布置图(单位:m)

出现问题是在钢结构主缆密闭空间(钢结构外套)浇筑自密实微膨胀混凝土施工阶段。

2 主缆混凝土浇筑情况记录

7:30 该桥南侧钢结构主缆 C60 自密实微膨胀填充混凝土施工, 固定泵压力控制<4.0 MPa, 9:25

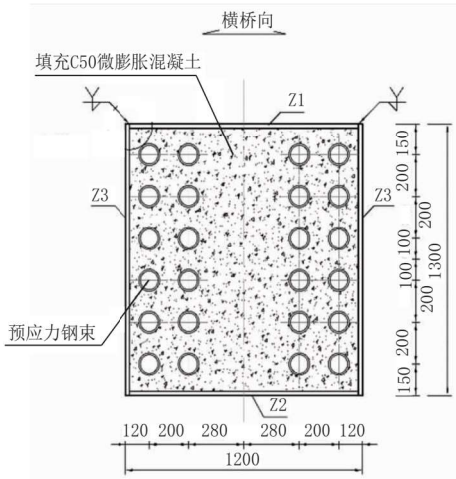


图 2 主桥主缆截面(单位:mm)

西侧钢结构主缆填充完成。东侧两根钢结构主缆 13:50 开始填充施工, 16:10 浇筑完成。按照设计图纸要求混凝土浇筑前预应力孔道内填充芯棒并分节段进行混凝土浇筑, 浇筑全过程建设、监理旁站监督, 过程中芯棒抽动顺利, 未见任何异常情况。

主缆混凝土浇筑完成后, 现场土工布包裹淋水养护及时, 夜间中雨, 次日上午 8:10 分施工人员对芯棒进行拔除, 发现无法顺利拔除, 手动葫芦辅助芯棒拔断, 遂检查主缆, 发现钢套筒外突变形 10~20 mm。

3 预应力孔道挤压变形分布及外在表象

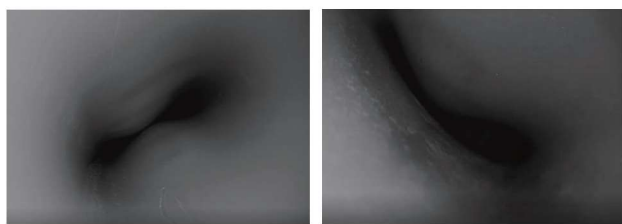
经管道内窥镜设备探视发现芯棒及波纹管变形情况严重, 如图 3 和图 4 所示。

4 预应力孔道细部状况及数据分析

对主桥主缆所有预应力孔道细部状况进行数据

收稿日期: 2023-07-25

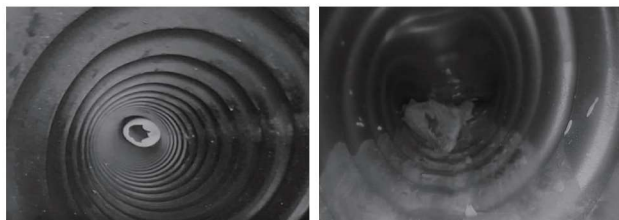
作者简介: 黄迎东(1966—), 男, 学士, 高级工程师, 从事工程建设管理工作。



(a)芯棒变形影像照片 1

(b)芯棒变形影像照片 2

图3 芯棒变形影像

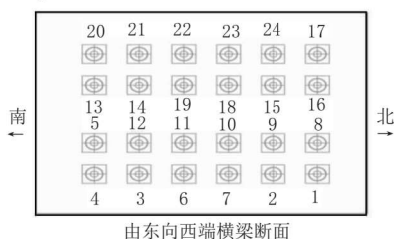


(a)波纹管变形影像照片 1

(b)波纹管变形影像照片 2

图4 波纹管变形影像

检测。主桥主缆预应力孔道编号图如图5所示,主桥11~14墩主缆预应力孔道现状图分别如图6至图8所示。检测结果表明:主桥边跨、主跨均有波纹管挤压破损、芯棒挤压变形严重及芯棒拔断受阻的现象,边跨无法探测段最长达到28 m,中跨无法探测段最长达到60 m。



由东向西端横梁断面

图5 主桥主缆预应力孔道编号图

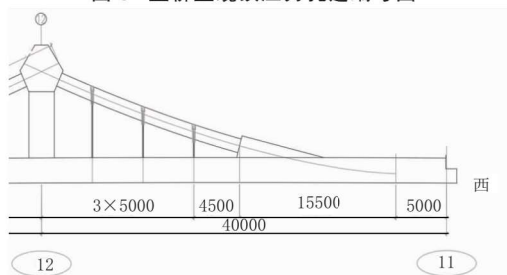


图6 主桥11~12号墩主缆预应力孔道现状图

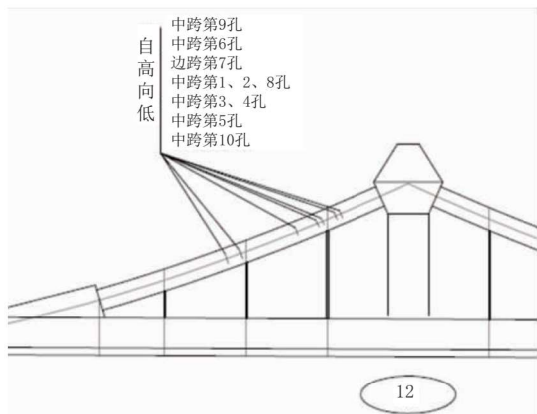


图7 主桥12号墩主缆预应力孔道现状图

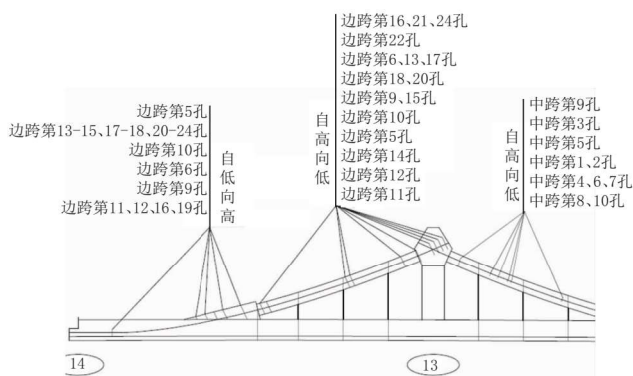


图8 主桥13~14号墩主缆预应力孔道现状图

5 预应力孔道变形原因分析

设计采用的预应力管道为塑料波纹管为柔性材质,本身刚度较小,且未进行横向定位加固,芯棒无法提供整体横向刚度,混凝土浇筑时其无法承受侧向压力导致变形;另外主缆钢套箱内侧未设置加劲,面外刚度较小,导致钢外框本身也发生局部屈曲,进一步增加混凝土对波纹管的压力。

6 后续施工处理流程及方案

6.1 施工处理流程

主缆临时加固支撑安装→堵管位置主缆切割及吊装→预应力孔道疏通及清孔→主缆外套安装→主缆内部钢筋安装及预应力孔道安装→主缆盖板封闭(焊缝探伤检测)→钢绞线穿束→混凝土压筑。

6.2 施工处理方案

6.2.1 临时支架设置

主缆切割端两侧各采用2根DN400的钢管支撑,钢管并列设置,如图9、图10所示。

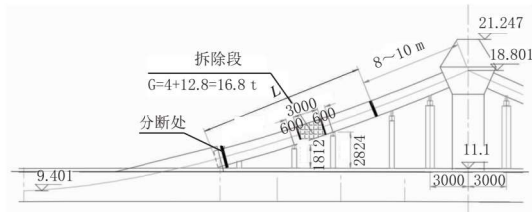


图9 主缆临时支架加固设计立面图(单位:cm)

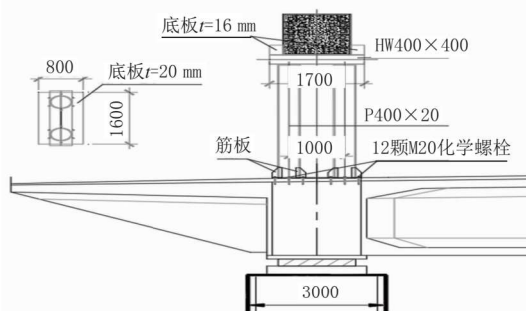


图10 主缆临时支架加固设计横断面图(单位:mm)

6.2.2 堵管位置主缆切割及吊装

根据预应力孔道堵管数据来确定主缆切割位置,主缆钢板采用碳棒气刨,内部混凝土采用金刚石绳锯切割,切割过程中主缆顶部外侧 2 根钢筋预留(主缆混凝土切割完成后吊装过程中割除),主缆切割断吊装采用 50 t 汽车吊,如图 11、图 12 所示。

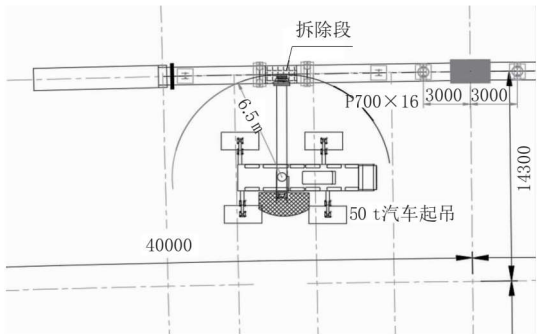


图 11 拆除段吊装工况平面图

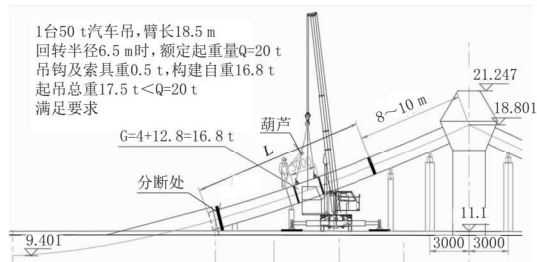


图 12 拆除段吊装工况立面图

6.2.3 预应力孔道疏通及清孔

预应力孔道采用 KHYD80-ZJ 矿用导向钻机沿预应力孔道进行钻孔疏通,完成后施工高压气泵进行清孔。

6.2.4 主缆外套安装

主缆重新预制,现场使用 50 t 汽车吊进行安装,底部采用 2 根 DN400 钢管支撑(与拆除工艺相同支撑)。

6.2.5 主缆内部钢筋安装及预应力孔道安装

主缆内部主筋采用植筋工艺,植筋深度不少于钢筋直径的 15 d。主缆内部预应力孔道采用钢管,钢管与波纹管的连接如图 13 所示。

6.2.6 主缆盖板封闭(焊缝探伤检测)

主缆内部钢筋及波纹管均安装完成后进行盖板封闭,主缆外套整体安装完成后进行焊缝无损探伤检

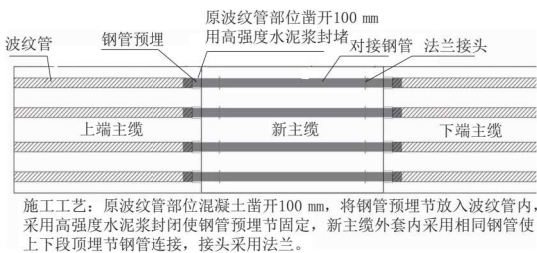


图 13 主缆波纹管对接设计图

测,检测合格进行下道工序。

6.2.7 钢绞线穿束

钢绞线在混凝土浇筑前进行预穿,穿束使用穿束机。

6.2.8 混凝土压筑

新主缆外套内部混凝土利用盖板上预留的浇筑孔进行压筑施工,与原主缆浇筑工艺相同。

7 结 语

本文给出完整的自锚式悬索桥主缆混凝土浇筑对预应力孔道造成破坏的起因、数据分析、补救措施过程。针对本次案例分析,总结归纳以下四点。

- (1)类似密闭主缆结构,在设计波纹管材料时优先采用刚度比较大的钢结构波纹管;
- (2)在没有其他降温条件下,建议在密闭主缆箱套内,布置冷却系统,从混凝土开始浇筑到混凝土达到设计强度,保证冷却系统发挥散热功能;
- (3)对主塔内部的混凝土分段分层浇筑,防止混凝土上下高差对预应力波纹管形成挤压破坏;
- (4)严格控制泵送压力,防止过大泵送压力对波纹管挤压破坏。

参考文献:

[1] 张元凯,当汝诚,金成棣.自锚式悬索桥的设计[J].桥梁建设,2002(5):30-32.
[2] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
[3] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[4] 严建伟.大跨径自锚式悬索桥空间主缆施工监控研究[D].南京:南京林业大学,2009.
[5] 赵承新.自锚式悬索桥主缆线形计算方法[J].桥梁检测与加固,2009(1):21-23.