

曲线斜拉桥现浇混凝土梁索导管定位技术研究

彭永超¹, 吴 勇²

(1. 中交路桥建设有限公司, 北京市 10027; 2. 中交路桥华东工程有限公司, 上海市 201203)

摘 要: 宁波舟山港六横公路大桥一期工程(梅山互通至柴桥枢纽段)全桥控制性工程梅山水道桥采用双塔双索面混凝土斜拉桥,主桥位于平曲线段,主梁采用混凝土 π 形设计,设 2% 的单向超高。本桥为空间非对称索力结构且位于曲线段,斜拉索须经三次张拉才能完成节段施工,每次张拉都会对索导管的空间位置造成影响。因此,能否对索导管的空间坐标进行精确定位,将直接影响斜拉索后续张拉的顺利进行以及挂篮的结构受力安全。对现浇混凝土梁索导管定位技术进行研究分析,并强调其中的注意事项及突出特点,能为之后的斜拉桥索导管定位施工提供相关经验。

关键词: 斜拉桥;混凝土梁;索导管

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)08-0225-04

Research on Positioning Technology of Cable Conducts for Cast-in-place Concrete Beams of Curved Cable-stayed Bridges

PENG Yongchao¹, WU Yong²

(1. China Communications Road and Bridge Construction Co., Ltd., Beijing 10027, China; 2. China Communications Road and Bridge East China Engineering Co., Ltd., Shanghai 201203, China)

Abstract: The first phase of the Ningbo Zhoushan Port Liuheng Highway Bridge (Meishan Interchange to Chaiqiao Hub Section) is a fully controlled project. The Meishan Waterway Bridge is a double-pylon double-plane concrete cable-stayed bridge. Its main bridge is located on a flat curved section. Its girder is designed in a concrete π -shape with a unidirectional overheight of 2%. This bridge is a spatial asymmetric cable structure located on a curved section. The stayed cables need to be tensioned three times to complete the segment construction, and each tensioning will affect the spatial position of the cable conduit. Therefore, the precise positioning of the spatial coordinates of the cable conduit will directly influence the smooth tensioning of the stayed cable and the structural stress safety of the form traveler. The positioning technology of cable conduits for cast-in-place concrete beams is studied and analyzed, and the focus is on its precautions and prominent features, which can provide the relevant experience for the positioning construction of cable conduits for cable-stayed bridges in the future.

Keywords: cable-stayed bridge; concrete beam; cable conduit

1 工程概况

宁波舟山港六横公路大桥一期工程(梅山互通至柴桥枢纽段)全线控制性工程梅山水道桥采用双塔双索面混凝土斜拉桥,桥跨布置为 125 m+260 m+125 m=510 m,主桥位于半径为 2 657.6 m 的平曲线段。主梁采用混凝土 π 形设计,设 2% 的单向超高。斜拉索采用扇形双索面布置,单个索塔单侧设 20 对斜拉索。塔端斜拉索通过分丝管索鞍贯通,梁端采用索导管预埋进行张拉锚固。梅山水道桥总体布置

如图 1 所示,主梁标准横截面如图 2 所示。

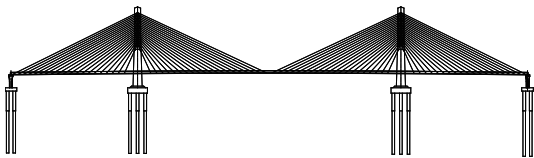


图 1 梅山水道桥总体布置图(单位:mm)

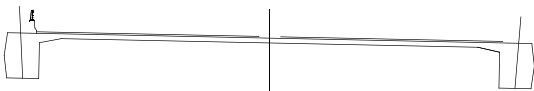


图 2 主梁标准横截面图(单位:mm)

2 索导管定位技术

2.1 方法概述

现浇混凝土主梁索导管在挂篮空载状态下精确

收稿日期: 2025-01-05

作者简介: 彭永超(1994—),男,本科,工程师,从事桥梁设计工作。

定位预埋于梁体内,底口锚垫板与张拉齿块锚面贴合,顶口通过临时支撑进行固定,待主梁钢筋、预应力施工及斜拉索一张全部完成,即可进行混凝土浇筑。索导管定位按照预先修正过的锚固点坐标及顶口中心点坐标,采用徕卡高精度0.5"站仪来确保平面及高程精度满足5 mm的要求。索导管在梁体位置示意图如图3所示。

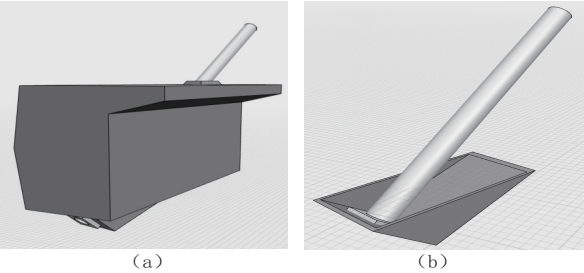


图3 索导管示意图

索导管定位精度受到坐标改正值、测量定位方法、现场施工环境等因素的影响。因此,在索导管定位过程中,要尽量减小可控因素的影响,为不可控因素的影响留有冗余值^[1]。

2.2 坐标值修正

由于斜拉索须经3次张拉才能完成本节梁段施工,须在初始定位阶段就考虑好后续张拉及浇筑混凝土对索导管角度及标高的影响并提前修正,预先确定预抬或预低^[2]。如图4所示,已知索导管初始定位角度为 a ,索导管长度为 L_0 ,梁端锚点到索塔锚点的距离为 L ,一张锚点标高变化值为 h ,可计算出 $h_1=h\times(L-L_0)/L$; $H=L_0\times\sin a$ 。根据反三角函数,一张后角度 $a_1=\sin^{-1}\frac{H+h_1-h}{L_0}$,则可计算出一张角度变化值 $\Delta_{\text{一张}}=a-a_1$,三张及成桥角度变化值计算方法如上所述。在索导管计算参数示意图中,设计提供的索导管锚点坐标为 X_0 、 Y_0 、 H_0 ,成桥后索管的水平夹角为 α_0 、垂直倾角为 θ_0 。具体位置如图4、图5所示。

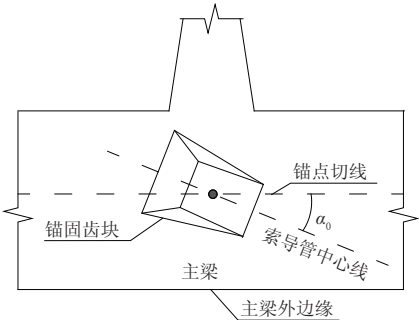


图4 索导管平面图(单位:mm)

通过专业计算软件,结合张拉过程中索力及伸长量的变化,得到一张、三张及成桥后的角度变化

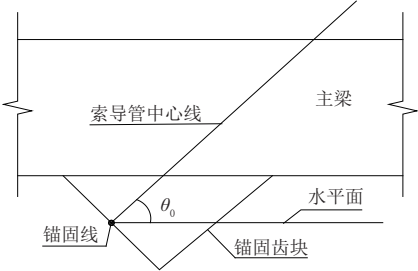


图5 索导管侧面图(单位:mm)

值,如表1所示(以SU 14-SU20为例)。

表1 索导管角度修正值(以SU 14-SU20为例) 单位:°

索管编号	一张角度变化值	三张角度变化值	成桥角度变化值	成桥角度修正值	修正后角度
SU20	-0.748	-0.512	-0.482	-0.494	30.886
SU19	-0.729	-0.513	-0.533	-0.612	31.159
SU18	-0.838	-0.449	-0.448	-0.496	31.849
SU17	-1.042	-0.434	-0.422	-0.442	32.453
SU16	-1.033	-0.419	-0.397	-0.393	33.099
SU15	-1.348	-0.410	-0.381	-0.369	33.766
SU14	-1.356	-0.401	-0.372	-0.367	34.468

根据监控提供的梁节预抬值,首先得到修正过的锚固点坐标(X_1 、 Y_1 、 H_1),而后按照表1计算成果,对垂直倾角 θ_0 进行修正,得到 θ_1 。通过修正后的锚固点坐标(X_1 、 Y_1 、 H_1)、水平夹角 α_0 、修正后的垂直倾角 θ_1 ,计算出修正后的索导管顶口中心坐标(X_2 、 Y_2 、 H_2)^[3]。具体计算过程如下:

$$X_2 = X_1 + L \times \sin(360^\circ \pm \delta + \alpha_0) \tag{1}$$

$$Y_2 = Y_1 + L \times \cos(360^\circ \pm \delta + \alpha_0) \tag{2}$$

$$H_2 = H_1 + L \times \sin \theta_1 \tag{3}$$

式中: L 为索导管长度(包括锚垫板厚度); δ 为锚点处切线的坐标方位角,由于本桥处于曲线段,每个锚点的坐标方位角均不相同; α_0 为索导管投影与锚点切线的水平夹角^[4-6]。

2.3 索导管定位

索导管定位有2种方法,一种是工装模拟索导管定位法,即通过定制微型索导管,模拟索导管定位。这种方法的关键在于确保工装焊接的质量,从而保证工装与索导管的相似性。定位工装如图6所示。

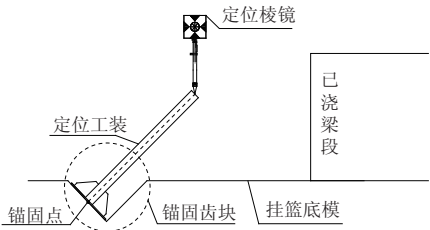


图6 定位工装图

另一种方法是利用法线方程,计算出与索导管锚垫板贴合的齿块锚面的方程,然后通过任意三点的放样,将齿块锚面角度调整到位,最后放样出修正后的锚点坐标及索导管顶口中心坐标即可。法线方程计算如下:

$$AX + BY + CZ + D = 0$$

(4)

假设锚点坐标和锚固套筒顶口坐标分别为 $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2)$,则法向量为:

$$P(X_2 - X_1, Y_2 - Y_1, Z_2 - Z_1)$$

(5)

此时锚盒方程为:

$$(X_2 - X_1)(X - X_1) + (Y_2 - Y_1)(Y - Y_1) + (Z_2 - Z_1)(Z - Z_1) = 0$$

(6)

方程(6)经过化简即可得到方程(4)中的 $A、B、C、D$ 。

齿块锚面放样时,先测定锚面四角中一点的三维坐标,调整至误差 5 mm 以内,其余三个角点依次按此方法调整。最后放样出索导管锚点的三维坐标,即完成索导管粗调^[7]。粗调完成后,利用分中圆盘对索导管顶口进行精调,直至平面及高程误差在 5 mm 以内。现场定位如图 7 所示。



图 7 索导管现场定位

2.4 索导管监测

斜拉索分三次张拉,一张(单根张拉)、二张(整体张拉)位于挂篮弧形首前端,三张(整体张拉)位于梁底齿块。在张拉过程中,索导管与斜拉索的位置会发生改变,且影响位置变化的因素有些是可控的,有些是不可控的。因此,在观测条件稳定的状态下,在每次张拉结束后,须对索导管及斜拉索的位置进行监控量测,找到每个工况下索导管的变化规律,为下一节索导管的准确定位提供数据支持。因此,所选索导管的长度、直径及斜拉索索力等参数应具有代表性,以梅山水道桥 3 号索塔 14#索导管为例,对其每个工况下的状态进行监测,监测数据如表 2、表 3 所示。

表 2 Z3-14#索导管监测记录表

单位:m

位置	工况	左幅			右幅		
		里程	偏距	H	里程	偏距	H
中跨	定位(1)	20 734.703	—17.338	24.914	20 734.635	17.220	24.479
	一张后(2)	20 734.706	—17.350	24.936	20 734.632	17.193	24.529
	二张后(3)	20 734.687	—17.340	24.950	20 734.630	17.194	24.534
	打完灰(4)	207 34.685	—17.336	24.919	20 734.628	17.194	24.497
	三张后(5)	20 734.686	—17.335	24.956	20 734.626	17.196	24.542
	挂篮行走后(6)	20 734.684	—17.337	24.943	20 734.629	17.199	24.523
边跨	定位(1)	20 903.309	—17.321	23.481	20 903.280	17.409	22.846
	一张后(2)	209 03.305	—17.343	23.500	20 903.276	17.419	22.866
	二张后(3)	20 903.318	—17.357	23.505	20 903.279	17.419	22.899
	打完灰(4)	20 903.322	—17.363	23.455	20 903.285	17.419	22.837
	三张后(5)	20 903.320	—17.361	23.529	20 903.288	17.420	22.885
	挂篮行走后(6)	20 903.319	—17.364	23.517	20 903.286	17.420	22.863

由表 2 和表 3 绘制得到图 8,通过分析索导管高程变化曲线图发现,Z3-14#的四个索导管在各工况下的变化情况基本一致,一张索导管顶口抬高,二张抬高,浇筑混凝土降低,三张抬高,挂篮行走降低。根据此规律并结合斜拉索张拉修正值,确定初始定位时预抬的高度。

2.5 索导管定位误差分析

误差主要来源于观测仪器、观测时段和现场安

装固定等方面。

仪器方面:采用徕卡高精度 0.5 秒全站仪,测距精度为 0.6 mm + 1 ppm,配合徕卡圆棱镜和徕卡小棱镜,多次观测后取平均值,反复调整、复核,最终确定索导管放样结果^[8-9]。

观测时段方面:施测点处在内海区域,观测环境比较复杂,因此选取温度、湿度、气压相对稳定的时段进行测量,是减小定位误差的有效措施。

表3 Z3-14#索导管监测差值表 单位:m

位置	工况差	左幅			右幅		
		里程	偏距	H	里程	偏距	H
中跨	2-1	0.003	-0.012	0.022	-0.003	-0.027	0.050
	3-2	-0.019	0.010	0.014	-0.002	0.001	0.005
	4-3	-0.002	0.004	-0.031	-0.002	0.000	-0.037
	5-4	0.001	0.001	0.037	-0.002	0.002	0.045
	6-5	-0.002	-0.002	-0.013	0.003	0.003	-0.019
边跨	2-1	-0.004	-0.022	0.019	-0.004	0.010	0.020
	3-2	0.013	-0.014	0.005	0.003	0.000	0.033
	4-3	0.004	-0.006	-0.050	0.006	0.000	-0.062
	5-4	-0.002	0.002	0.074	0.003	0.001	0.048
	6-5	-0.001	-0.003	-0.012	-0.002	0.000	-0.022

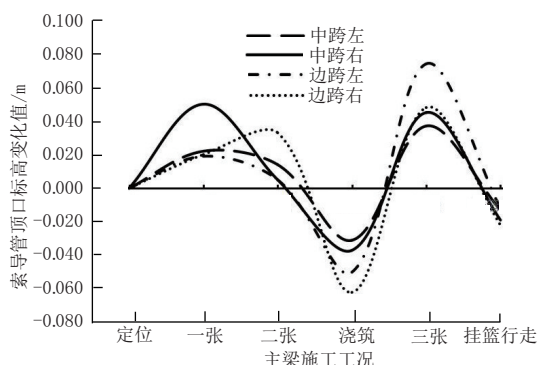


图8 索导管高程变化图(单位:mm)

现场安装固定:索导管定位完成后,需要现场利用角钢及固定架进行加固焊接,避免在穿索之前对索导管产生扰动,影响斜拉索安装^[10]。

2.6 索导管定位注意事项

索导管定位的初始阶段是保证索导管精度的关键环节,必须通过使用高精度仪器、选取稳定的观测时段加强现场固定工艺等措施,减小索导管定位的误差。但是在一张过程中,受斜拉索自重及张拉力不均匀的影响,难免造成卡索现象,因此,现场安装斜拉索的过程中,需要根据实际情况对索导管位置进行上、下、左、右的微调,以满足斜拉索的顺利安

装。根据前面几个节段的监测数据,在一张完成后、混凝土浇筑前,必须对索导管进行复测并及时调整,为后续二张、三张提供冗余空间^[11]。

3 总结

本文通过对斜拉桥现浇混凝土梁索导管定位方法的概述,角度、高程修正值的计算,现场实施定位方法的探究,张拉过程中监测、定位误差的分析,以及注意事项的提点,指出索导管定位的难点和重点,确保斜拉索的顺利安装,以及张拉和后期斜拉索减震装置的有效使用,可以为后续类似项目的索导管定位施工提供切实有效的参考依据。

参考文献:

- [1] 王国云.大型斜拉桥主梁索管精密定位的方法[J].中南公路工程,2004(1):112-114.
- [2] 孙勇,申奥,李明敏,等.大跨度矮塔斜拉桥施工预埋索导管角度的修正方法[J].黑龙江科技大学学报,2024,34(5):717-721;728.
- [3] 石怀远,马冲冲,徐大振.简述矮塔斜拉桥主梁索导管的定位[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(4):221-222.
- [4] 杨辉.大跨斜拉桥混凝土主梁索导管定位方法探讨[J].北方交通,2015(11):9-12.
- [5] 刘志航.培森柳江特大桥主梁索导管角度修正研究[J].西部交通科技,2023(5):141-144.
- [6] 陈焕煜.考虑斜拉桥施工阶段索导管倾角的预拱度修正计算[J].低温建筑技术,2018,40(3):81-83.
- [7] 赵云鹏.大跨度斜拉桥索导管测量及定位技术研究[J].价值工程,2024,43(10):146-149.
- [8] 马德东.斜拉桥索导管测量定位及精度分析[J].北方交通,2010(3):71-72.
- [9] 赵家仁.控制点晃动状态下斜拉桥索导管精密定位技术[J].世界桥梁,2020,48(1):35-40.
- [10] 杨辉,田世宽.斜拉桥索导管精密定位的一种方法[J].工程勘察,2017,45(1):69-73.
- [11] 张博恒.混凝土斜拉桥预埋索导管角度修正及穿索问题处理[J].住宅与房地产,2017(24):143.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com

