DOI: 10.7672/sgjs2026100103

快速路项目桥墩立柱与钢盖梁固结精度控制

徐宁军[1],陆建军[2],徐梦璐[2],俞洪良[3],王 哲[3]
(1. 杭州萧山环境投资建设集团有限公司,浙江 杭州 311202; 2. 杭州萧山城市基础设施建设有限公司,浙江 杭州 311201; 3. 浙江大学建筑工程学院,浙江 杭州 310058)

[摘要] 杭州通城大道快速路桥梁部分桥墩采用下部现浇混凝土立柱、上部钢盖梁的复合结构式桥墩,其中混凝土立柱与钢盖梁连接处钢筋骨架对精度要求高,结合工程实际,确定采用全站仪定位法。基于固结施工步骤,提出全站仪定位法的精度控制措施,对钢筋骨架的制作、运输、吊装等过程进行精度控制,包括制作过程中的精度控制、吊运过程中的防变形控制、立柱钢筋骨架安装固定、立柱浇筑与钢盖梁开孔精度控制、临时支座及支撑安装与钢盖梁安装等。工程应用表明,该措施有效保证了固结施工的精度,提高了施工质量和施工速度。

[关键词] 桥梁工程;桥墩;混凝土立柱;钢盖梁;精度控制
[中图分类号] U445 [文献标识码] A [文章编号] 2097-0897(2026)10-0103-05

Consolidation Accuracy Control of Pier Column and Steel Cap Beam in Expressway Project

XU Ningjun[1], LU Jianjun[2], XU Menglu[2], YU Hongliang[3], WANG Zhe[3]
(1. *Hangzhou Xiaoshan Environmental Investment and Construction Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang* 311202, *China*; 2. *Hangzhou Xiaoshan Urban Infrastructure Construction Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang* 311201, *China*; 3. *College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang* 310058, *China*)

Abstract: Some piers of Hangzhou Tongcheng Avenue Expressway Bridge adopt composite structural piers with lower cast-in-place concrete columns and upper steel cap beams. The steel skeleton at the connection between concrete columns and steel cap beams has high accuracy requirements. Combined with engineering practice, the total station positioning method is determined. Based on the consolidation construction steps, the precision control measures of the total station positioning method are proposed, and the precision control of the fabrication, transportation and hoisting of the steel bar skeleton is carried out, including precision control in the fabrication process, anti-deformation control in the hoisting process, installation and fixation of the column steel bar skeleton, precision control of the column pouring and opening of the steel cap beam, temporary support and support installation and installation of the steel cap beam. The engineering application shows that this measure effectively ensures the accuracy of consolidation construction and improves the construction quality and construction speed.

Keywords: bridges; bridge piers; concrete columns; steel cap beam; precision control

1 工程概况

通城大道快速路项目工程是杭州市萧山区规划“三纵两横”快速路路网中最东侧的 1 条纵向快速路,北起萧绍路,南至晨晖路,全长 3.2km。该项目中,部分桥墩采用了下部为现浇混凝土立柱、上部为钢盖梁的复合结构。

通城大道快速路工程共分为两部分。第 1 部分为通城大道快速路 1 期工程剩余部分萧绍路—内官河工程(TCK6 + 341.533—TCK6 + 613.533),长 272m,包含主线高架 1 座,地面桥 1 座及道路工程,高架主线均为钢-混凝土组合梁,桥梁标准断面宽 25m,北侧接 1 期工程,南侧衔接 3 期工程;第 2 部分为通城大道快速路 3 期工程(内官河—晨晖路段,TCK6+613.534—TCK9+573.968),其中现状萧山枢纽段跨铁路段桥梁 470m 已建成,剩余段长

[作者简介] 徐宁军,高级工程师,E-mail:645875959@qq.com
[通信作者] 王 哲,硕士研究生,E-mail:3279988413@qq.com
[收稿日期] 2025-10-05

2.49km,包括主线高架 1 座、平行匝道 4 对、地面桥 2 座及道路工程,主线高架梁分为 PC 梁与钢-混凝土组合梁。工程建设内容包含道路、桥梁、给排水、综合管线及绿化、照明、电缆排管、智能交通等配套设施。

内官河—晨晖路段工程高架结构形式分为现浇箱梁结构、钢箱梁结构及钢-混凝土组合梁结构。其中,现浇箱梁结构范围为 P1~P12(U1~U4 联)、P15~P21(U5~U6 联)、P60~P67(U20~U21 联);钢箱梁结构范围为 P34~P37(U11 联);钢-混凝土组合梁结构范围为 P21~P34(U7~U10 联)、P37~P60(U12~U19 联)。其中 P21,P60 墩为现浇箱梁与钢-混凝土组合梁分界墩,P34,P37 墩为钢箱梁结构与钢-混凝土组合梁分界墩。

P21~P60 号墩的下部结构均采用复合结构式桥墩,下部为现浇混凝土立柱,上部为钢盖梁,如图 1 所示。虽然该区段对应的上部梁体包括钢-混凝土组合梁结构(P21~P34,P37~P60)和钢箱梁结构(P34~P37),但其桥墩构造是一致的。

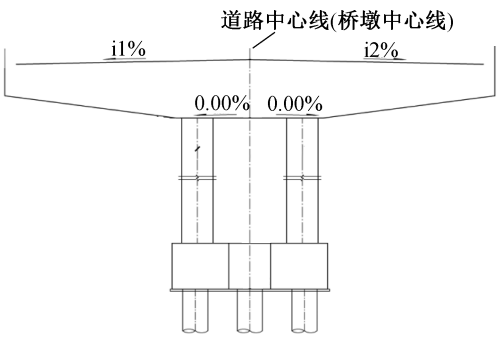

图 1 桥墩构造

Fig. 1 Bridge pier structure

2 施工难点

立柱钢筋布置如图 2 所示。混凝土立柱与钢盖梁的连接方式为每根立柱顶设置 2 个板式橡胶临时支座,立柱顶预留 20cm 后浇带;钢盖梁制作时在底板上预留立柱钢筋孔洞,钢盖梁吊装过程中,使立柱主筋准确伸入钢盖梁底板的孔洞内;钢盖梁就位于临时支座上后,对立柱主筋螺栓进行初拧,再通过预留的浇筑孔洞浇筑后浇带;待钢主梁架设完成、桥面板和后浇带浇筑后,采用双锁紧螺母拧紧固结。

钢盖梁底板上预留的立柱钢筋孔洞直径仅 40mm,而立柱主筋直径为 36mm,容错空间小,对立柱钢筋全过程精度控制的要求极高,钢筋穿过预留孔的难度较大,这也是施工过程中的重难点。因此,需采用合适的精度控制措施,确保钢筋能准确穿过预留孔。

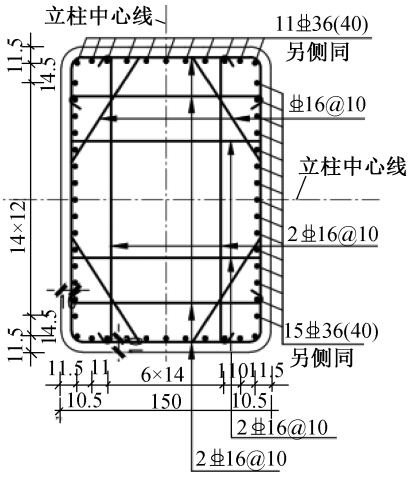

图 2 混凝土立柱钢筋布置

Fig. 2 Distribution of reinforcement in concrete column

3 精度控制措施

立柱钢筋骨架均在钢筋加工厂整体制作成型,制作完毕后使用 50t 汽车式起重机和平板运输车配合吊运至现场安装。该过程中,钢筋骨架的制作精度控制、防止吊运过程中的骨架变形尤为重要,因此使用全站仪定位法进行全过程精度检测。

3.1 精度控制方法比选

不同精度控制方法对比如表 1 所示。

表 1 精度控制方法对比

Table 1 Comparison of precision control methods

方法	优点	缺点
传统几何测量法	无信号要求,成本低	精度较低,效率较低,适用范围极小,须通视
全站仪定位法	精度高(毫米级),效率高,适用范围大(几百米内),灵活性强,无信号要求,测量结果有实时性,能主动放样	设备维护成本高,对操作人员要求高,依赖电力,须通视
三维激光扫描精度检测	精度高(毫米级),效率极高,不需要信号	需有视场,设备维护成本极高,数据需后期处理才能得到结果,数据量大
GPS 差分定位法	精度高(厘米级),效率极高,适用范围大,不需要通视	需有卫星信号,成本较高

桥梁项目使用精度控制措施的主要目的是保证桥墩立柱与钢盖梁的精准固接,对精度要求高,同时施工现场对观测点的数量要求不高。因此,结合表 1 综合考虑,采用全站仪定位法。

考虑立柱钢筋精度及钢筋穿过预留孔的精度要求较高,应从制作、吊运、安装等全过程使用全站仪定位法进行精度控制。

3.2 制作过程中的精度控制

为保证钢筋骨架的制作精度,钢筋加工制作过

程需在加工厂设置专用的加工钢平台,钢平台平整度要求控制在 3mm 左右。平台上应设置主筋定位钢模具,模具定位孔位置严格按钢盖梁开孔图设置,并满足立柱钢筋保护层要求,即定位孔比主筋公称直径每边大 2mm。钢筋卡具如图 3 所示。钢筋制作平台搭建完成后进行验收,并安排测量人员使用全站仪对平整度进行复测。将测站架设在加工厂内某已知坐标的控制点上,在钢筋制作平台上均匀布设一系列观测点,通过测量这些点的三维坐标,反算和评估整个平台的平整度。复测结果显示,平台平整度为 2mm,满足要求。

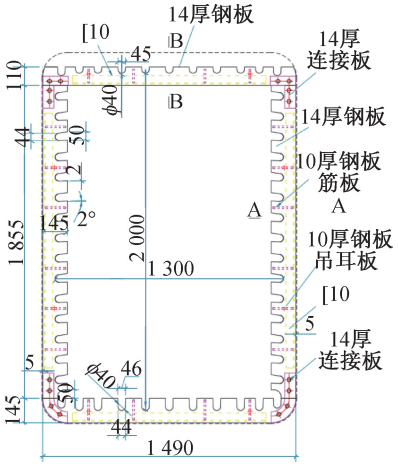

图 3　制作厂使用钢筋卡具

Fig. 3　Reinforcing bar fixtures used in factories

3.3　吊运过程中的防变形控制

立柱钢筋骨架在加工厂内制作完成后,吊装至平板车上,为使钢筋骨架在车上呈水平状态,需在平板车上每隔 1m 放置 100mm×100mm 短方木;钢筋骨架由平板车运输至施工现场,采用 50t 汽车式起重机进行整体吊装,吊装过程中主筋定位卡具不拆除,以防钢筋骨架发生偏移。

3.4　立柱钢筋骨架安装固定

待承台钢筋现场绑扎完成,承台钢模板安装完成固定后,在承台钢筋面上安装立柱骨架钢筋定位模具,如图 4 所示(以 2.2m×1.5m 为例)。定位模具安装时,应采用全站仪进行精确定位。在施工现场已有的测量控制网上架设测站,对定位模具本身的关键特征点,如角点、中心点或预刻划的十字线交点等进行观测,通过测量这些点的实际坐标,与设计坐标进行比对,发现两者相差在 3mm 以内,符合精度要求。安装后将定位模具与承台钢模焊接固定。

立柱底部定位模具安装完成后,由起重机把钢筋骨架吊入定位模具,骨架钢筋放置稳固后,用全站仪复测柱顶四角主筋位置。精确定位后,用钢丝绳固定立柱钢筋骨架四角斜拉,钢丝绳锚固在 1m×1m×1m 预制混凝土块上。最后拆下主吊点吊钩、钢丝绳和卡环。

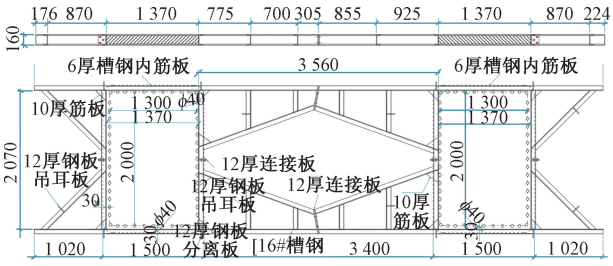

图 4　现场使用的钢筋卡具

Fig. 4　Reinforcement fixtures used on site

承台浇筑前,再次复测立柱钢筋位置。将测站架设在施工现场测量控制网上,测量立柱钢筋骨架顶部的四角主筋,确保吊运过程中钢筋骨架未发生变形或偏移。测量结果显示,主筋位置仅偏差 3mm,符合精度控制要求。用钢丝绳进行斜拉固定,保证承台浇筑时骨架在正确位置。承台浇筑需缓慢进行,不得直接倾倒;振捣过程中严禁碰到立柱主筋,以免立柱主筋发生偏位。承台浇筑完成后,方可拆除立柱底部定位模具。

3.5　立柱浇筑与钢盖梁开孔精度控制

安装立柱钢筋钢模板,并用钢丝绳斜拉固定,固定形式与钢筋骨架固定形式一致。立柱钢模板安装后,使用全站仪对主筋位置再次复测,浇筑前对偏位的钢筋进行调整,使主筋位置的偏差不超过 3mm。浇筑后继续复测主筋位置,并把复测数据及时反馈给钢盖梁加工制作厂,沟通确定钢盖梁钢板底部开孔位置。

立柱混凝土浇筑前预埋临时支撑钢板。浇筑完成后,方可拆除立柱顶部定位模具。

钢盖梁制作过程中,需重点控制底板钢筋预留孔开孔精度。预留孔开孔严格按总包单位提供的模具图进行,模具如图 5 所示。

3.6　钢盖梁安装精度控制

钢盖梁采用 300t 汽车式起重机单机吊装。为帮助钢筋通过预留孔,在钢盖梁底板和锚垫板之间增加导向管,如图 6,7 所示。吊装前使用全站仪对钢盖梁的预留孔进行观测,确保预留孔位置准确。吊装过程中对钢盖梁底部预先标记的点位进行观测(测站架设在能同时观测到这些点位的位置),同步测量高程,测得各点相对高差小于 2mm,说明钢盖梁始终处于水平状态,立柱主筋能顺利通过导向管伸入钢盖梁中。安装完成后,对双螺母进行初拧。

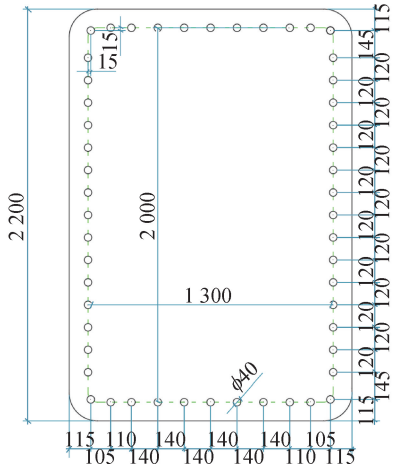

图 5 钢盖梁底板开孔模具

Fig. 5 Hole mold of steel cover beam bottom plate

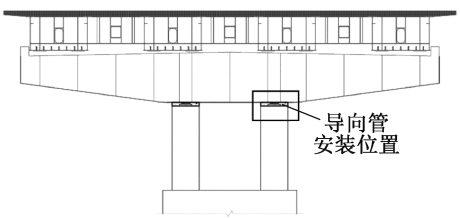

图 6 导向管安装位置

Fig. 6 Installation position of guide tube

图 7 底板与锚垫板间导向管

Fig. 7 Guide pipe between the bottom plate and anchor plate

4 精度控制效果

本文将基于全站仪定位法的精度控制措施应用于高架桥桥墩立柱与钢盖梁固结施工中。在施工各环节中,通过全站仪定位法使各关键点位的位置偏差控制在 5mm 内。采用该措施使立柱钢筋骨架在承台中的平面位置和垂直度符合设计要求,通过控制主筋位置,间接保证了立柱钢筋保护层的厚度满足规范。同时工厂制作的钢盖梁能准确套入现场已成型的立柱主筋,实现了预制构件与现场施工的无缝对接,避免了因位置偏差导致的无法安装或强行扩孔等问题。另外,精确定位确保了钢筋与混凝土的共同受力性能符合设计预期,同时为上部钢盖梁的稳定安装提供了基础,从整体上保障了工程的结构安全和使用功能。

以 P47 墩为例,该立柱主筋共计 104 根均准确无误地插入了钢盖梁底板与顶板,并采用螺母将立柱主筋在钢盖梁顶板处拧紧,实现立柱与钢盖梁的拼接。对钢盖梁安装的轴线偏位、梁底标高等内容进行检测,检测结果普遍偏差为 3mm 左右,其中钢盖梁中线最大的实测误差值为 3mm,两孔相邻横梁中线相对偏差为 1mm,墩台处梁底标高误差值为 2mm,两孔相邻横梁相对高差为 4mm,均满足质量验收规范的要求。截至 2025 年 4 月,本工程已顺利完成 26 座钢盖梁的拼接工作,占全部钢盖梁工程量的 65%,取得了突破性的进展。

5 结语

因通城大道快速路工程大量路段沿现有通车地面路建设,为降低施工对交通车道的挤占、缩短施工占用的时间,实现快速化施工,降低对周围环境的影响,同时降低或避免工人长时间高空作业,采用预制梁形式施工。本工程中率先采用复合结构桥墩,可为国内其他市政项目提供参考。基于全站仪定位法的精度控制措施,以全站仪定位法为核心,对钢筋制作、运输、连接过程进行精度控制,保证了高架桥墩混凝土立柱与钢盖梁连接的准确度与质量。

参考文献:

[1] 陈俊韬. 基于浮动车定位数据的城市快速路速度预测与主动匝道控制[D]. 济南:山东大学,2023.
CHEN J T. Urban expressway speed prediction and active ramp control based on floating car positioning data [D]. Jinan: Shandong University,2023.

[2] 孟媛. 城市快速路高架桥附属空间景观规划设计研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2022.
MENG Y. Research on the spatial landscape planning and design of the urban expressway viaduct[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology,2022.

[3] 张启才,马利刚. 双导梁架桥机安装极小半径曲线窄桥预制梁技术研究[J]. 施工技术(中英文),2025,54(6):81-86.
ZHANG Q C, MA L G. Technical study on prefabricated girder installation of narrow bridges with minimal radius curves by double guiding girder bridge-erection crane [J]. Construction technology,2025,54(6):81-86.

[4] 陈绪喜. 钢盖梁-混凝土柱组合桥墩临时铰接装置设计方法与受力性能研究[D]. 南昌:南昌大学,2023.
CHEN X X. Design method and mechanical performance study of temporary hinged device for steel cap beam concrete column composite bridge piers [D]. Nanchang: Nanchang University,2023.

[5] 杨进. 大跨度钢盖梁框架墩在高速公路工程中的应用——以定西市某高速公路项目为例[J]. 工程技术研究,2022,7(13):15-17.
YANG J. Application of the large-span steel-capped beam frame

pier in expressway engineering: taking a highway project in Dingxi as an example [J]. Engineering and technological research,2022,7(13):15-17.

[6] 游科华. 独柱墩桥梁钢盖梁加固技术试验研究[J]. 科技与创新,2025(12):58-61.
YOU K H. Experimental study on strengthening technology of steel cap beam of single-column pier bridge [J]. Science and technology & innovation,2025(12):58-61.

[7] 彤辉. 钢盖梁在高架桥分期实施中的应用方案和受力性能研究[J]. 公路,2025,70(4):155-162.
RONG H. Research on application and structural performance of steel cap beam in phased construction of viaduct[J]. Highway,2025,70(4):155-162.

[8] 赵炜锋. 通城大道快速路总体设计[J]. 城市道桥与防洪,2023(8):11-14.
ZHAO W F. Overall design of Tongcheng avenue expressway[J]. Urban roads bridges & flood control,2023(8):11-14.

[9] 翟东. 钢盖梁桥墩在通城大道快速路中的应用[J]. 城市道桥与防洪,2024(7):105-108,114.
ZHAI D. Application of steel bent cap pier in Tongcheng avenue expressway[J]. Urban roads bridges & flood control,2024(7):105-108,114.

[10] 蒋相华. 杭州市通城大道快速路铁路并行段设计[J]. 中国市政工程,2024(4):11-15,148,149.
JIANG X H. Design of railway parallel section of Tongcheng avenue expressway in Hangzhou [J]. China municipal engineering,2024(4):11-15,148,149.

[11] 蒋相华. 萧山通城大道快速路总体设计方案[J]. 城市道桥与防洪,2024(7):31-34,12.
JIANG X H. Overall design scheme of Tongcheng avenue expressway in Xiaoshan[J]. Urban roads bridges & flood control,2024(7):31-34,12.

[12] 陈新元,刘广辉,唐超,等. 基于最小二乘法的预制节段梁拼装线形控制[J]. 施工技术(中英文),2023,52(16):121-126,137.
CHEN X Y, LIU G H, TANG C, et al. Linear control of prefabricated segmental beam assembly based on least squares method [J]. Construction technology, 2023, 52(16): 121-126,137.

[13] 梁全章,郭文华. 基于整体节点理念的钢盖梁与混凝土墩柱连接结构优化设计[J]. 桥梁建设,2024,54(3):129-134.
LIANG Q Z,GUO W H. Optimal design of connection details of steep cap beam and concrete pier column based on integral joint concept[J]. Bridge construction,2024,54(3):129-134.

[14] 蔡惠华,王峥. 桥梁预制立柱一体化安装关键技术研究与应用[J]. 施工技术(中英文),2025,54(6):94-99.
CAI H H,WANG Z. Research and application of key technology for integrated installation of bridge prefabricated column [J]. Construction technology,2025,54(6):94-99.

[15] 周君,翁方文,梁玉雄,等. 大跨公铁两用连续钢桁梁拼装过程受力分析[J]. 施工技术(中英文),2025,54(24):40-45,80.
ZHOU J,WENG F W,LIANG Y X,et al. Force analysis of the assembly process of long-span combined rail-cum-road continuous steel truss girder[J]. Construction technology,2025,54(24):40-45,80.

[16] 石磊. 桥梁工程预制梁拼装施工精度控制[J]. 交通世界,2025(22):164-166.
SHI L. Precision control of precast beam assembly construction in bridge engineering[J]. TranspoWorld,2025(22):164-166.

[17] 胡洋,韩扬,梁文鹏. 三维激光扫描技术在桥梁变形监测中的应用[J]. 测绘通报,2024(3):179-182.
HU Y,HAN Y,LIANG W P. Application of 3D laser scanning technology in monitoring bridge deformation [J]. Bulletin of surveying and mapping,2024(3):179-182.

[18] 侯兆华. 连续梁-钢管混凝土梁拱组合桥施工控制研究[J]. 中国新技术新产品,2024(9):102-104.
HOU Z H. Study on construction control of continuous beam-concrete filled steel tube beam-arch composite bridge[J]. New technology & new products of China,2024(9):102-104.

[19] 郑润来. 复杂钢结构杆件预拼装与施工误差控制技术[J]. 安装,2024(4):51-53.
ZHENG R L. Pre-assembly and construction error control technology of complex steel structure members[J]. Installation,2024(4):51-53.

[20] 李帅,许伟群,娄学谦. 潮间带地区海上风电高桩承台斜桩吊打关键技术[J]. 施工技术(中英文),2022,51(18):117-121.
LI S,XU W Q,LOU X Q. Key technology of inclined pile driving for high pile cap of offshore wind power in intertidal zone[J]. Construction technology,2022,51(18):117-121.