

# 城市复杂条件下铁路连续梁桥悬臂施工技术研究

姚伟 关进喜

中交二航局第四工程有限公司

**摘要:**为对铁路混凝土连续梁桥悬臂施工的关键技术问题探讨,以沪通铁路太仓至四团段连续梁为依托,对城市复杂条件下提了连续梁桥悬臂施工技术进行了研究,设计了一种轻型装配式0号块支架结构,利用桥墩刚度设计了构造简洁的锚固结构;采用了刚性防护菱形配合自平衡反压法进行挂篮预压,降低了挂篮施工对环境的影响和要求。总结了铁路连续梁桥悬臂施工过程的施工要点和质量控制要点,提升了主梁施工质量,也可为类似结构施工提供借鉴。

**关键词:**混凝土连续梁;悬臂浇筑;施工技术;质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.12.051

## 引言

混凝土梁桥是一种跨越能力良好,经济效益显著的桥梁结构形式之一,被广泛的应用在公路、铁路等基础设施工程中。

目前国内外连续梁桥的研究和实践均有较多经验。对于其施工技术方面的研究主要集中在悬臂施工技术研究中,有学者对悬臂施工和支架施工进行了系统比较分析<sup>[1]</sup>,也有学者对采用挂篮进行悬臂施工的关键技术问题进行了探索和总结<sup>[2~3]</sup>,对于悬臂施工技术在铁路连续梁工程中的应用也有所研究<sup>[4]</sup>。张媛芳等人对桥梁施工各种的菱形挂篮悬浇技术进行了总结<sup>[5]</sup>。

对于悬臂施工过程的安全防护和安全管理技术的相关研究也有开展,有学者对高速公路悬臂施工安全技术及悬臂施工安全性进行了分析与研究,总结了主要安全事项<sup>[6~7]</sup>。

综上,现有研究主要针对悬浇工艺和安全控制技术等方面展开。对于城市复杂条件下铁路连续梁的施工工艺、质量提升与安全控制技术的研究较少,为了开展相关探讨,本文以沪通铁路为依托开展相关研究。

## 一、工程概述

### (一) 依托工成概况

依托工程为新建上海至南通铁路太仓至四团段HTZQ II-5标人民塘装卸线特跨海高速公路(32+48+32)m连续梁为依托。该项目的地理位置见图1。人民塘装卸线特56-59号墩跨海高速公路连续梁桥跨径布置为(32+48+32)m,客车设计时速为160km/h、货车设计时速80km/h,轨道形式为有渣轨道。由桥梁中心线向两侧至排水管设置2%横坡,由小里程向大里程向下设置2.6‰纵坡,圆曲线半径R=2800m。

该项目位于上海市区,现场施工条件复杂,建设管理难度极高。大桥跨越的海高速公路,交通状况复杂,安全风险大且复杂。在施工过程中需要综合考虑封闭措施、改移限行标识、防撞防护等措施,施工过程注意监测交通风险,保障临时结构安全。

## (二) 结构特点

大桥主梁采用单箱单室变截面形式,箱梁全长113.1m,中支点梁高3.40m,跨中及边支点梁高为2.80m。箱梁的标准断面见图1,标准段顶板厚度为35cm,端支点处加厚至45cm,中支点处局部加厚至60cm。腹板厚度标准段位40cm,端支点附近变化到70cm,中支点附近局部变化到90cm。两侧翼缘悬臂长度为1.45m,悬臂端部厚度为0.2m,悬臂更不厚度为0.55m。底板厚度40~60cm,端支点附近局部加厚到50cm,在端支点、中支点附近局部加厚到77cm。全桥共设置4道横隔板。梁顶面宽度7.10m,挡砟墙内侧净宽4.50m,底板宽度为4.2m。支点处布置双制作,边支座横向间距3.80m,中支座横向间距为3.40m。

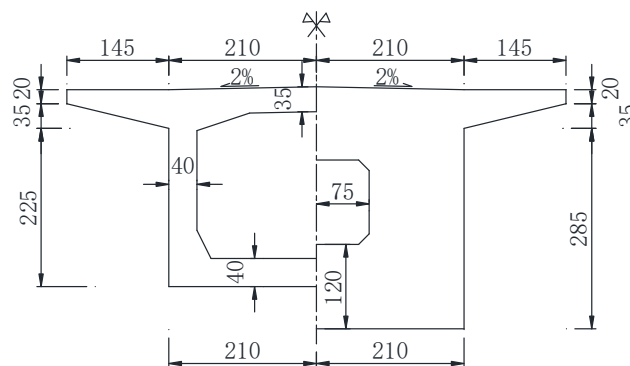


图1 箱梁断面构造示意图(cm)

大桥设置纵向预应力,预应力配束形式与悬臂施工相适应,采用1860级预应力钢筋钢绞线,型号包括12- $\phi^{s}15.2$ 和9- $\phi^{s}15.2$ 两种型号。

## 二、总体施工工艺设计

### (一) 施工总体工艺流程

本桥总体施工工艺采用挂篮悬臂堆成浇筑法进行施工。主墩为57#、58#墩,墩顶0#节段采用轻型装配式直接结构进行现浇施工。单个主墩左右两侧各分为6个节段,采用菱形挂篮进行对称悬臂浇筑施工。边跨现浇段支架采用标准 $\Phi 60$ 型盘扣支架进行现浇施工,边跨现浇段均采用一次浇筑成型的方式完成,边跨现浇施工在悬臂施工的6#节段施工前浇筑完成。

全桥设有边跨合拢段和中跨合拢段,在对称悬浇结束后,先进行边跨合拢段施工,后进行中跨合拢段施工,边中跨合拢段浇筑均利用合拢吊架完成。在合拢前进行临时配重及劲性骨架锁定,合拢段施工完成后进行体系转换和合拢预应力束张拉。

### (二) 墩顶0号块施工

0#块支架采用新型装配式钢管支架,充分利用承台及桥墩作为支架的支撑结构,简化支架结构形式,降低施工能耗,支架的里面布置见图2。

立柱采用装配式 $\phi 630 \times 8\text{mm}$ 螺旋钢管立柱，根据墩高需要选择标准节段和调节节段利用法兰连接，在钢管立柱底部设置16mm底封板，顶部设置20mm顶封板。钢管顶部设置垫梁及双拼I40b承重横梁，承重横梁的一端支撑在钢管立柱上，另外一端支撑在永久墩墩顶上。在承重横梁上部设置I20a工字钢纵梁作为模板支撑构件。为了提高支架的横向稳定性，钢管与墩身之间通过连墩件、钢管与钢管之间通过剪刀撑焊接连接形成整体，连接结构采用[10槽钢，通过 $t=3\text{mm}$ 的钢板进行焊连。待墩身施工完成后进行钢管支架的安装，钢管支架安装采用汽车吊或塔吊等起重设备进行安装，安装时吊垂线保证其垂直度，满足要求后点焊牢靠后，解除吊装钢丝绳，然后在钢管四周进行施焊，按设计要求对所有焊缝均满焊，角焊缝的焊脚高度按照不小于 $8\text{mm}$ 控制。

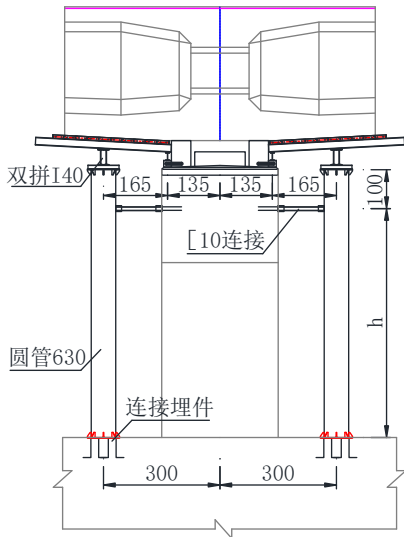


图2 主墩0#块轻型支架布置形式

0#段底模采用定制型钢，底模横桥向宽度与箱梁底板宽度相同，纵桥向每一侧端头预留不少于 $20\text{cm}$ 的长度位置满足端模的支立安装。底模与外侧模的连接采用“侧包底”的方式进行，即外侧模的底伸入底模顶往下一定高度包住整个底模。为确保底模和侧模的可靠贴合，底模横桥向两侧的侧边斜角和圆弧构造均与箱梁腹板保持一致。在支架预压完成后根据预压结果和预拱度设置要求，对底膜高程进行精确调整。

### (三) 临时固结结构与施工

铁路连续梁桥的临时固结可以充分利用桥墩尺寸和刚度大的特点，采用在永久墩上设置抗压混凝土垫块和锚固钢筋的方式实现。在墩顶和梁体底板支架以混凝土块体受压，通过配置锚固钢筋连接形成固结体系抵抗不平衡弯矩的方式。墩顶共布置4个混凝土块体，块体尺寸 $150\text{cm} \times 50\text{cm}$ ，墩身施工期间在单个块体范围内预埋共计36根竖向HRB400 $\phi 25\text{mm}$ 钢筋，0#块施工时将墩顶预埋N1钢筋接长进入梁体内锚固，安装水平钢筋网并浇筑混凝土形成墩梁临时固结，布置形式见图3。

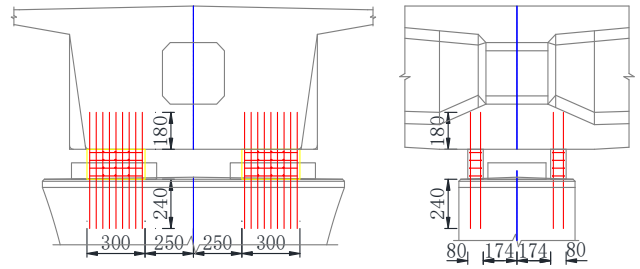


图3 临时锚固构造示意图 (cm)

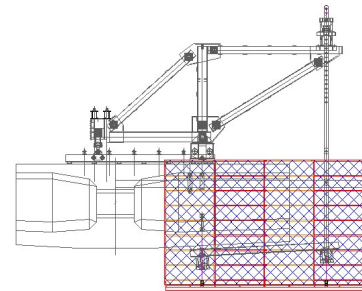
## 三、挂篮悬臂施工关键技术

### (一) 刚性防护式挂篮设计

大桥悬臂施工采用承载能力高的菱形挂篮结构，在满足传统挂篮承载要求的同时需要加强挂篮施工的防护效果，降低对既有交通的影响。跨越的海高速公路路面标高为 $+2.8\text{m}$ ，连续梁施工期间，在满足 $5\text{m}$ 净空的条件下，梁底部仍有 $2\text{m}$ 以上的空间容纳挂篮及防护构件，故本项目选用了刚性防护的兜底挂篮结构进行施工，兜底底部距梁底约 $1.78\text{m}$ ，通过兜底防护对挂篮底部进行封闭处理，见图4。为了提高连续梁施工过程的防护水平，在施工期间在梯笼至梁面、梁面至梁内、各作业平台之间、挂篮至侧面检修平台等位置布置通道，所有通道相应布置护栏，平台及护栏结构。



a) 挂篮骨架



b) 挂篮防护

图4 悬臂挂篮主体结构示意图

### (二) 自平衡挂篮预压

考虑到施工场地受限，为了简化挂篮预压对周边环境的影响，可采用自平衡挂篮预压法进行预压。通过在0#块底板内埋设反力架配合千斤顶进行挂篮预压，反力架由水平底架及斜架构成，底架、斜架均为双拼I36a工字钢，底架水平预埋在已浇筑0#段端头两侧腹板上，埋

入腹板内1m,距0#段阶段断面底1.4m;斜架下端与水平底座焊接固结。上端通过预埋的6根HRB400 $\phi$ 32与尺寸为70 $\times$ 40cm厚2cm的钢板塞孔焊接, $\phi$ 32钢筋埋入腹板0.6m,距水平底座2.1m。为了提高箱梁腹板的抗裂性,在型钢预埋范围的腹板内增加三层抗裂网片钢筋,网片钢筋采用直径16mm按照间距100mm加工制成。千斤顶加载断面在顺桥向上距0#段阶段线1.5m处,千斤顶下采用双拼HM588 $\times$ 300型钢对荷载进行分配。预压采用油压千斤顶反压进行加载,加载分级按施工最大荷载的60%、100%、120%分三次逐级施加。

### (三) 悬臂施工

悬臂施工混凝土采取水平分层连续浇筑,分层厚度为30cm,一次浇筑成型。箱梁底板混凝土浇筑采用腹板布料+底板补偿的方式进行。先从腹板下料,并利用腹板、底板混凝土的振捣使得混凝土流到底板位置。随着混凝土浇筑,腹板处的混凝土高度逐渐增加,大于30cm并且振捣密实后,停止从腹板处布料。此时,再直接从底板预留的下料孔处对箱梁底进行补偿浇筑,直至底板混凝土浇筑完成。

底板浇筑完成后,从腹板下料口下料继续腹板混凝土浇筑,此时震动棒不宜插入太深,避免扰动底板及腹板下部先浇筑混凝土,避免出现腹板混凝土向底板流动。操作中如出现翻入现象,应对腹板混凝土进行复振,并待混凝土灌注完后再对翻入混凝土进行清理。横隔梁部位的钢筋、预应力管道等较密集部位应反复加强振捣,尤其是支座位置预应力锚固位置等重点部位。

顶板混凝土浇筑时,横桥向由两侧翼缘板向线路中心浇筑,顺桥向由梁端向跨中浇筑,浇筑过程注意对预留孔洞和预埋件的保护。浇筑顶板时可采用简易整平机进行桥面整平,顶面初凝前做拉毛处理,以便与上层防水层良好连接。混凝土拉毛采用特制钢丝刷或带有锯齿状的平板刷进行拉毛,拉毛深度不小于2mm,拉毛采用横桥向拉毛,凹痕应平直。

## 四、施工质量控制要点

### (一) 钢筋安装

底板钢筋绑扎前在底模上预先放线标记,再按照放线位置进行底板钢筋绑扎,腹板线在外腹板上进行放线标记。施工中为确保腹板、顶板、底板钢筋的位置准确,结合1#块的安装情况,确定合理的架立筋布置位置和间距。在腹板钢筋绑扎过程中适当挪开底板钢筋的间距和位置,将竖向钢筋底端伸入底板钢筋内,最后将搭接部位钢筋位置进行复原。为保证腹板及横隔板线形,可预先将部分箍筋固定成钢筋骨架,后续箍筋按照骨架进行顺序绑扎。在悬臂端模位置应设置型钢卡具和端模卡槽,利用卡槽定位钢筋后实施钢筋的精准安装。

### (二) 混凝土浇筑与养生

在悬臂施工过程中,混凝土的初凝时间应控制在6h左右为宜,坍落度控制在18~22cm为宜,控制好混凝土的流动性、和易性以方便泵送。混凝土浇筑后要加强对混凝土养生,尤其注意冬季养生。冬季养护采用带模期间,外侧模粘贴橡塑海绵,内腔采用暖风机升温养护,顶面采用覆盖土工布+橡塑海绵或棉被保温养护,端部

和侧面通过养护篷布进行全面包裹保温,以避免在箱室内形成风道。箱内设置暖风机,保障梁体混凝土不低于5 $^{\circ}$ C,同时宜在暖风机周围设置喷雾,以小环境内具有良好的湿度条件。梁体养护期间及撤除保温设施时,需要加强对气温的监测,并及时调整养护措施。

### (三) 预应力张拉控制

连续梁的预应力张拉宜采用智能张拉设备进行预应力张拉,在混凝土实际强度和弹模达到设计的90%,且龄期大于5天以后才可进行预应力钢束的张拉。

纵向预应力分节段一次张拉完成,采用两端张拉时,两端应保持同步张拉,先长束后短束,并左右对称进行,左右两侧的不平衡力不应大于一根钢束的总合力。张拉顺序先腹板束,后顶板束的顺序进行,其中腹板应从中间向顶、底方向交替进行。底板钢束张拉应该先中间后两侧的顺序进行。

预应力张拉采用张拉力和伸长量双控式进行控制,以应力控制为主,以伸长量进行校核。若伸长量与理论伸长值相差不宜大于6%。

## 五、结束语

以上海至南通铁路太仓至四团段HTZQ II-5标人民塘装卸线特跨海高速公路为依托,对城市附在条件下铁路连续梁桥悬臂施工的关键问题进行了研究,得出以下主要结论:

(1) 设计了一种轻型装配式0号块支架结构,充分利用承台和桥墩的刚度为临时支架提供支撑,简化了临时支架结构,降低了施工能耗。

(2) 利用提梁桥墩刚度大的特点设计了悬臂施工过程临时固结体系,利用混凝土垫块受压配合锚固钢筋受拉,为悬臂施工过程提供了构造简洁的锚固结构。

(3) 结合防护要求和施工条件,采用了刚性防护菱形悬臂挂篮结构进行悬臂施工,采用自平衡反压法完成了挂篮预压,降低了挂篮施工对环境的影响和要求。

(4) 总结了铁路连续梁桥悬臂施工过程的施工要点和质量控制要点,主梁施工过程的质量提升提供了指导,也可为类似结构施工提供借鉴。

### 参考文献

- [1] 孙义晨. 挂篮悬臂与支架现浇连续梁施工工艺比选分析[J]. 运输经理世界, 2023, (33): 67-69.
- [2] 高卓炫. 挂篮悬臂浇筑施工技术在桥梁施工中的应用研究[J]. 交通世界, 2023, (36): 115-117.
- [3] 文芳. 预应力混凝土连续梁桥悬臂现浇施工关键技术研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(20): 54-56.
- [4] 张建忠. 铁路桥梁连续梁挂篮施工技术研究[J]. 科技资讯, 2023, 21(20): 98-101.
- [5] 张媛芳, 张媛. 桥梁施工中菱形挂篮悬臂浇筑施工技术[J]. 运输经理世界, 2023, (22): 112-114.
- [6] 杨红梅. 悬臂现浇连续箱梁菱形挂篮施工技术的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(07): 77-79.
- [7] 邱培林. 高速公路桥梁挂篮悬浇施工安全技术[J]. 科学技术创新, 2024, (04): 94-97.

作者简介: 姚伟(1997.06-),男,安徽合肥人,汉族,本科学历,助理工程师,研究方向: 铁路工程。