

大桥挂篮悬臂连续梁施工技术

白子君

(中交一航局西南工程有限公司)

摘 要：南流江大桥工程项目地处桂东南丘陵地貌区，总体地势中间高、两端低，为解决跨越复杂地形、缩短工期、提升质量等方面的问题，采用挂篮悬臂连续梁的施工方法。挂篮悬臂连续梁结构形式灵活，可以实现“一次性”跨越，无需中间墩柱支撑，大大降低了地基处理和基础施工的难度。挂篮悬臂连续梁施工技术不同于传统工艺，可以做到上下部结构同步进行，大大缩短了总体工期。同时，该结构采用了承插式的连接方式，在现场只需进行简单的灌浆和浇筑操作，施工质量容易掌控。与传统的现场浇筑施工工艺相比，挂篮悬臂连续梁的质量波动较小，成品率较高。

关键词：大桥工程；悬臂连续梁；挂篮；多段式预应力张拉

1 工程概况

南流江大桥位于玉林市博白县水鸣镇与亚山镇交界处，桥跨布置为 $3\times 30\text{ m}+(35+60+60+35)\text{ m}+3\times 30\text{ m}$ 共 10 跨，桥宽 26.5 m(含护栏及桥间中隔带)。其中上部结构共 3 联，第 1 联、第 3 联采用 3 跨先简支后结构连续预应力混凝土小箱梁，第 2 联单箱单室变截面预应力混凝土连续箱梁采用悬臂(菱形)挂篮法施工。根据工程特点，从地质条件、地形、原材料、施工设备等方面进行综合分析，整体施工难度较大。本文重点探讨施工技术的结构特点、关键施工工艺、安全管理等重点内容。

2 大桥挂篮悬臂连续梁施工技术优势

挂篮悬臂连续梁施工技术是指利用悬臂梁和挂篮等设备逐段地从桥墩或者支架上建造桥梁主梁的一种施工方法。与传统的先浇筑墩柱再搭设模架逐段浇筑梁体的施工工艺相比，挂篮悬臂连续梁施工工艺具有以下优势：1) 施工效率高，挂篮悬臂连续梁施工无需搭设大型模架，可以大幅缩短单跨施工工期，整体工期更短；2) 占地面积小，无需在桥面下大面积搭设模架，大大减少了施工现场的占地面积，适合于城市等空间受限的区域；3) 环境影响小，减少了对周边环境的扰动，尤其适用于穿越河流、山区等地形条件复杂的区域；4) 安全性高，挂篮作为受力构件，可以有效降低施工人员的坠落风险，提升了施工安全性；5) 造价经济低，无需大量钢模板和木方等材料，能够显著降低工程造价。

3 挂篮悬臂连续梁结构组成形式

挂篮悬臂连续梁的结构形式为：由桥墩或支架支撑的悬臂梁，逐跨浇筑完成主梁的连续结构。主要包括以下构件：桥墩或支架(作为整个悬臂结构的支撑点，承担着巨大的竖向力和弯矩荷载)，悬臂梁(由钢筋混凝土或钢结构组成，通过悬臂的方式逐步伸展完成主梁的浇筑)，挂篮(安装在悬臂梁端部，用于支撑浇筑模板和混凝土)，主梁(由悬臂梁逐段浇筑而成的连续梁体，最终形成完整的桥梁主梁)。

4 关键施工工艺

4.1 施工工艺及工法选择

对于大桥挂篮悬臂连续梁施工而言，关键工艺主要包括：

1) 挂篮系统的设计与架设。挂篮系统是实现悬臂浇筑的核心支撑，其结构设计和安装质量直接影响整个施工过程的顺利进行。挂篮系统应根据桥梁跨度、梁高等参数合理选型，并采取可靠的安全防护措施。

2) 悬臂浇筑工艺。悬臂浇筑是整个施工的核心环节，需要严格掌控混凝土配合比、浇筑顺序、振捣等各个环节，确保混凝土浇筑质量。同时，还要重视对混凝土早期养护的控制，避免出现收缩裂缝等问题。

3) 支座就位及张拉施工。支座是连接上部结构和下部结构的关键构件，其安装质量直接关系到整体结构的受力性能。支座就位时需要严格控制安装偏差，确保支座受力均匀。同时，针对挂

篮悬臂梁段的大变形特性,需要采取精确的张拉施工工艺,确保梁体应力状态达到设计要求。

针对以上关键工艺,合理选择施工工法至关重要。常见的工法包括:

1) 整体预制法:将整个梁段预制完成后再吊装就位,适用于跨径较小、梁体较轻的工程。

2) 分段预制法:将梁段分为若干小段预制,逐段完成吊装和现场连接,适用于跨径较大、梁体较重的工程。

3) 顺序浇筑法:通过逐段挂篮悬臂浇筑的方式完成整个梁体的浇筑与连接,适用于各种跨径条件下的工程。

在实际工程中,需要根据具体情况综合考虑,选择最适合的施工工法。同时,还要充分借鉴国内外同类工程的成功经验,不断优化和创新,提高大桥挂篮悬臂连续梁施工的整体水平。

4.2 施工工艺优化

悬臂浇筑作为大桥挂篮悬臂连续梁施工的核心环节,施工工艺优化至关重要。主要包括以下4个方面:

1) 混凝土配合比设计。悬臂浇筑对混凝土性能有较高要求,需要根据实际情况设计出适宜的配合比,既要满足强度、耐久性等基本指标,又要确保良好的流动性和易振实性,为现场浇筑创造有利条件。

2) 浇筑顺序控制。悬臂浇筑通常采用分段分批的方式进行,需要根据梁体结构特点合理确定浇筑顺序,既要考虑受力平衡,又要兼顾施工进度。同时,关键节点处(如连接段)的浇筑更要确保质量可控。

3) 振捣密实控制。由于悬臂浇筑环境复杂,振捣密实控制尤为关键。既要根据混凝土配合比选用合适的振捣设备,又要严格掌控振捣时序和力度,确保混凝土内部充分密实。

4) 养护措施落实。悬臂浇筑后的养护对混凝土强度发展和抑制早期收缩裂缝至关重要。需要采取遮阳、保湿等方法,并适时进行养护温度、湿度的监测和调控。

5 关键施工工序

5.1 浇筑施工

大桥悬臂施工中混凝土浇筑是关键环节,需要根据实际情况灵活调整。主要工艺流程如下:

1) 浇筑准备。合理布置施工缆索、临时支撑

等设施,确保浇筑安全。根据环境温度、湿度等因素调整混凝土出机温度、浇筑速度等参数。

2) 分批浇筑。通常采用分段、分批次的浇筑方式,每次浇筑高度控制在0.5~1.0 m,以确保混凝土灌注密实,避免产生蜂窝麻面等质量缺陷。

3) 振捣密实。采用高频率、高功率的振捣机进行振捣,确保混凝土密实充填,消除气泡。振捣时注意避免接触钢筋、模板,并控制振捣时间。

4) 表面处理。浇筑完成后及时抹面处理,保证混凝土表面平整光滑,符合外观质量标准,同时做好养护措施,保证混凝土强度的均匀发展。

在实际施工中,根据气温、风速、降雨等气象条件的变化,适时调整混凝土配合比、浇筑速度、振捣时间等参数,确保施工质量稳定可控。

5.2 预应力施工

大桥悬臂结构通常采用多段式预应力张拉的方式,即将整个桥梁结构划分为若干个施工段,分批次进行预应力张拉施工步骤为:

1) 确定张拉顺序。多段张拉根据桥梁结构设计要求,合理确定各施工段的预应力张拉顺序,并制定作业计划。张拉顺序从中间跨至两端,循序渐进地进行。选择位于中间跨的第一段进行预应力张拉,确保钢绞线预应力值达到设计要求。

2) 预应力锚固。张拉完成后,及时进行预应力锚固,防止张拉力值的损失。按照既定的张拉顺序,陆续对其他各施工段进行预应力张拉,直至全部完成。

3) 预应力控制。在张拉过程中,严格控制每一段的预应力值,确保满足设计要求。

4) 预应力损失检测。各段预应力张拉完成后,对整个结构的预应力损失情况进行检测,并与设计值进行对比和分析。如果损失过大,及时采取补偿措施。针对检测结果适当调整各段的预应力值,确保整个结构的预应力分布满足设计要求。调整完成后,再次进行预应力损失检测,直至合格^[1]。

通过多段式预应力张拉,可以有效控制每一施工段的预应力引入,避免因一次性过多的预应力而导致结构变形过大的问题。同时,还可以根据实际情况进行适当的预应力调整,确保整体结构受力平衡。

5.3 合龙施工

在梁部及边跨现浇直线段完成后,即可进行

合龙施工。合龙顺序为：边跨合龙→解除临时支墩→中跨合龙。

1) 边跨合龙

装边跨合龙段刚性支撑，安装过程中先焊接固定段侧，再待低温时焊接另一端进行锁定，由于边跨合龙段长度仅 2 m，边跨合龙的外模采用大块钢模，以保证外观质量，内模采用小块钢模，采用吊架施工。内模安装好后，将两端悬臂的预应力筋对接并焊接连接，确保受力连续。连接处按设计要求加强处理。在底模上浇筑混凝土，连接两端悬臂混凝土，使整个梁体成为整体。浇筑时严格控制混凝土的配合比、和易性、振捣等参数，确保浇筑质量。在混凝土达到设计强度后，对预应力筋进行张拉，使整个梁体产生预压应力。张拉力确保符合设计要求，并做好记录。张拉力确保符合设计要求后，绑扎合龙段钢筋及安设波纹管，并穿设预应力钢束。钢筋及预应力钢束安装完毕后，安设临时钢支撑。边跨现浇段及悬灌段施工时，在合龙口底板内、顶板内各预埋 2 个支座钢板，在支座上安设型钢作刚性支撑及剪刀撑，型钢与预埋钢板焊牢。

2) 中跨合龙

先在合龙段两侧的悬臂端进行精确放线定位，确保两侧高度、线形等指标一致，为后续浇筑提供准确的参考基准。在中跨合龙段预留适当的空间搭设稳固的模板支架。支架根据跨径、荷载等因素合理设计，确保浇筑过程中不会发生位移变形。在合龙段预留足够的钢筋置放空间，按设计要求将主筋、箍筋等钢筋绑扎，并与两侧悬臂端的钢筋顺利接槎。核查两侧悬臂端的预应力筋布设情况，确保中跨合龙段预留有足够的预应力筋，并做好临时固定措施。待合龙浇筑完成后，进行统一的预应力筋张拉和混凝土浇筑，根据中跨合龙段的受力特点和环境条件，制定优良的混凝土配合比，以确保混凝土强度、抗裂性能等指标达到标准。

3) 临时固结支架拆除

连续梁合龙段纵向预应力筋全部张拉完后，拆除梁墩临时固结支座及墩柱的临时刚性支撑构造，观测墩顶梁体高程及应力和永久支座受力状态变化情况，发现异常情况立即停止作业并查明原因，保证施工安全。临时支座拆除时先用风镐对混凝土进行破碎处理，处理完后再用氧气乙炔

割除临时支座中钢筋。临时支座在凿除施工过程中不允许破坏永久支座和梁体。

4) 连续梁体系转换

中跨合龙后，拆除中墩的临时纵向锁定，均转换成永久支座，对称拆除墩身中心线两侧的直径 0.9 m 壁厚 10 mm 的钢管及混凝土，张拉中跨的预应力束，实现连续梁结构体系的转换。

5) 拆除挂篮

挂篮内模拆除时先拆除内滑梁，内模板待分解后再拆除。内滑梁及内模板利用人工及倒链拖至梁面，然后利用塔吊吊至地面^[2]。将挂篮倒退到模板上拆除，挂篮倒退时空载行走，不需要后锚进行锚固，依旧用原来挂篮轨道的精轧钢倒铺轨道，用螺母将轨道固定。吊前后底横梁的前后吊带均要拆除，底横梁倒退只能用两侧的倒链(距离大于梁顶板宽每侧各 1 m)挂上，通过倒链降低前后底横梁的高度。挂篮倒退依靠走行梁进行，走行梁的前后吊点吊在前进时预留孔内。挂篮倒退行走与前行一样，行走时注意两端平衡、左右两侧平衡及匀速行走，轨道一定要锚固牢固^[3]。

6 安全管理措施

大桥挂篮悬臂连续梁施工作为一项涉及高空作业、吊装等高风险作业的工程，必须严格落实各项安全管理措施(表 1)，确保施工全过程的安全畅通。针对连续梁施工风险源，进行安全风险辨识，建立健全的安全管理体系，对施工现场进行全面的安全检查和监督。

表 1 主要风险源辨识及应对措施

风险源	应对措施
挂篮施工造成人身伤害	1) 制定目标、指标及管理方案； 2) 制定管理程序，培训与教育； 3) 加强现场监督检查
高处作业造成人身伤害	1) 佩带高处作业安全三件套； 2) 经常检查脚手架的牢固情况
起重作业造成人身伤害	1) 现场设专人指挥，负责安全； 2) 编写详细的架设方案
施工现场漏电造成人身伤害	1) 现场施工用电线路要经过设计安装； 2) 采用三级配电两级保护； 3) 经常检查线路； 4) 编写详细的架设方案； 5) 操作人员、指挥人员持证上岗，严格按操作规程施工
交通事故伤害	实行内部准驾制度，定期召开培训及考核会

(下转第 28 页)