 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i9.11584

Research on Prefabricated Construction Technology of Capping Beam in Expressway Bridge Engineering

Wenjun Yang

The 4th Branch of Poly Changda Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

As a critical load-bearing component of the substructure of highway bridges, the construction quality and efficiency of the bent cap have a significant impact on the overall bridge project. Traditional cast-in-place construction methods are characterized by inherent limitations including prolonged construction periods, substantial on-site workloads, notable environmental impacts, and elevated safety risks, rendering them inadequate to fully meet the requirements of modern highway construction for industrialized fabrication and green construction practices. This paper focuses on the prefabricated assembly construction technique for bent caps, systematically elaborating on its process principles and technical characteristics. The prefabricated assembly construction technique for bent caps, through factory-based prefabrication of components and rapid on-site assembly, can significantly shorten the construction period of substructures, reduce safety risks associated with elevated operations, and minimize construction-related environmental disturbances, all while ensuring structural quality. It demonstrates broad prospects for promotion and application in conventional bridge projects as well as reconstruction and expansion works. Further development of this technique relies on the continuous optimization of high-precision connection technologies and the enhancement of construction equipment supporting capabilities under complex terrain conditions.

Keywords

highway bridge; bent cap; prefabricated assembly construction; precast erection; joint connection; quality control

高速公路桥梁工程施工中盖梁装配式施工工艺探索

杨文君

保利长大工程有限公司第四分公司，中国 · 广东 广州 510000

摘　要

盖梁是高速公路桥梁下部结构的重要受力构件，施工质量及能力对整个桥梁工程有较大影响。传统现浇施工工艺存在施工周期长、现场作业量大、环境影响大、安全风险高等固有缺陷，不能满足现代高速公路建设工业化建造、绿色施工的要求。本文对盖梁装配式施工工艺实行了系统的说明，系统地介绍了装配式盖梁施工工艺的工艺原理以及技术特点，装配式盖梁施工工艺借助构件工厂化预制和现场快速装配，在保证结构质量的时候大大缩短了下部结构施工周期，减少了高空作业的安全风险，减少了施工环境的干扰，在常规桥梁及改扩建工程中有着广阔的推广应用前景。该工艺的更深一步发展要靠着高精度连接技术的不断改进和繁复地形条件下施工装备的配套能力的增加。

关键词

高速公路桥梁；盖梁；装配式施工；预制拼装；节点连接；质量控制

1 引言

改革开放以来，我国高速公路建设事业取得了举世瞩目的成就，路网规模不停增大，技术等级一直增加。到 2025 年底，全国高速公路通车里程超过 19 万公里，桥梁作为高速公路的重要组成，建设规模以及技术水平也同步增加。盖梁是桥梁下部结构施工中连接墩柱和上部梁体的重要受力构件，施工质量的好坏直接影响到桥梁结构整体的安全性及耐久性。

传统盖梁施工大多使用现场搭设支架、绑扎钢筋、安装模板、浇筑混凝土的现浇工艺。该工艺在长期工程实践中积累了丰富的经验，技术成熟度高，但是其固有的局限性也日益突出。一方面，现浇工艺占用施工时间长，现场钢筋绑扎、模板安装、混凝土养护等工序依次实行，不能压缩工期；另一方面，大量的高空支架搭设、模板作业存在较大安全风险，施工过程中产生的噪声、粉尘、废水排放也对周边环境造成影响。高速公路改扩建工程中现浇工艺对既有交通的长时间干扰，又加大了交通组织的难度。

2 装配式盖梁施工工艺概述

2.1 工艺定义与基本原理

装配式盖梁施工工艺就是将盖梁构件在预制场内完成钢筋加工、模板安装、混凝土浇筑、养护等全部生产工序，

【作者简介】杨文君（1993–），男，中国湖南娄底人，本科，工程师，从事高速公路路基、桥隧、路面施工方面研究。

待构件混凝土强度到了设计要求后，使用专用运输设备运送至施工现场，凭借起重吊装设备将构件精确就位，使用套筒灌浆连接、预应力连接或螺栓连接等方式实现盖梁以及墩柱及其他构件之间的可靠连接，最终形成满足设计要求的桥梁下部结构受力体系。

该工艺的重点就是把传统的“现场原位建造”形式转变为“工厂集中制造、现场快速装配”的形式。混凝土构件的成型养护环境由露天作业变为室内标准化生产，质量保障条件明显改善，现场作业内容由多工种立体交叉作业变为以吊装和节点连接为主的单一化作业，施工组织复杂度减少。

2.2 工艺发展历程

装配式技术在桥梁工程中的应用最早可以追溯到 20 世纪中期，早期的应用主要是预制混凝土梁、预制桩基等构件的装配，下部结构的装配化程度较低。其制约因素有两方面，一是盖梁构件体积大、重量重，对预制生产设备以及运输吊装设备要求高；二是盖梁与墩柱的连接节点受力繁复，连接可靠性是制约装配化应用的关键技术瓶颈。

进入 21 世纪以后，由于大吨位起重设备的普及、高强灌浆材料的研发成功以及连接节点构造形式的不断改进，装配式盖梁施工的技术障碍被逐渐消除。灌浆套筒连接技术的成熟、预应力连接方式的多样化发展，使盖梁预制拼装的结构性能越来越接近甚至优于现浇结构。近几年来，在国家推进建筑工业化发展的大背景下，装配式盖梁施工在高速公路新建及改扩建工程中得到了越来越大量的应用。

3 关键施工技术分析

3.1 预制阶段施工技术

3.1.1 钢筋骨架成型与预埋件定位

钢筋骨架加工成型质量好坏，直接影响盖梁构件结构受力性能及连接节点安装精度。装配式盖梁的钢筋骨架一般在专用胎架系统上绑扎成型。胎架按照盖梁设计尺寸及钢筋布置图制作，设置准确的钢筋定位卡槽及限位装置，保证各层钢筋间距、保护层厚度、钢筋骨架整体尺寸符合设计要求。

连接套筒的预埋定位属于预制阶段精度控制的重要环节。灌浆套筒或者金属波纹管等预埋件的轴线位置偏差，会直接影响现场安装时钢筋的对接精度。工程实践中一般使用定位钢板和胎架组合使用的方式，即在胎架上端设置带有精确开孔的定位钢板，将预埋套筒先固定在定位钢板上，再绑扎周边钢筋，保证预埋件位置准确、稳定。

3.1.2 模板工程

装配式盖梁的模板一般用大块整体钢模板。整体钢模板刚度大、变形小、拼缝少，有利于保证构件外观质量及尺寸精度。模板设计时应考虑脱模的方便性，在模板以及混凝土接触面涂覆高效脱模剂，在模板分节处设置定位销以及快速夹具，增加模板安装及拆除的能力。

对于带有预应力孔道的盖梁构件，模板安装时还要注意波纹管定位孔的精度控制。现代预制厂一般用数控钻孔设备加工模板上的预留孔位，使孔位偏差控制在毫米级以内，保证预应力孔道位置准确、线形平顺。

3.1.3 混凝土浇筑与养护

盖梁构件混凝土浇筑应连续、均匀、密实。浇筑时使用分层浇筑、逐层振捣的方式，分层厚度一般控制在 300mm 至 500mm 之间。振捣作业以插入式振捣棒为主、附着式振捣器为辅，保证构件各部位混凝土密实。对钢筋密集区、预埋件周围等振捣困难的部位，应使用小直径振捣棒并适当延长振捣时间。

养护环节是保证混凝土强度发展、防止早期裂缝的重要环节。装配式盖梁预制阶段一般使用蒸汽养护或者智能喷淋养护系统。蒸汽养护靠着控制升温、恒温、降温这三个阶段的温度曲线，加快混凝土强度增长，缩短预制周期。智能喷淋养护是定时定量喷水保持构件表面湿润，养护时间较充裕时使用。

3.2 运输与吊装技术

3.2.1 构件运输

盖梁构件运输要根据构件外形尺寸、重量、运输路线条件制定专项运输方案。运输车辆一般使用液压平板车或者专用构件运输车，车上装有可调节高度的托架系统，托架与构件接触面用橡胶垫或者木方做柔性缓冲层，防止运输过程中振动、冲击造成构件损坏。

构件装车时应按重心居中、绑扎牢固的原则实行固定。超长、超宽构件运输前要向交通管理部门申请超限运输许可，制定详细的运输路线和时间计划，避开交通高峰期、道路状况不良的路段。

3.2.2 现场吊装

现场吊装是装配式盖梁施工中风险最大的环节之一。吊装方案的制定要考虑到构件重量、吊装半径、起重设备性能、现场作业条件等各方面因素。常用起重设备有履带式起重机、汽车式起重机、架桥机等，设备选型应满足最不利工况下起重要求，留有安全余量。

吊装作业前要对起重设备的站位地基实行处理，保证地基承载力满足要求。吊装过程中设专人指挥，用统一的信号指令。构件吊装就位前应实行试吊，试吊时检查吊具受力是否均衡、平衡状态是否良好，确认无误后方可正式就位。

3.3 连接节点施工技术

连接节点是装配式盖梁结构受力传递的重要部位，连接节点施工质量的好坏直接影响到预制拼装结构能否到了“等同现浇”的性能要求。目前工程中比较成熟的连接方式主要有以下几种。

3.3.1 灌浆套筒连接

灌浆套筒连接是应用最广的一种连接方式。其原理就是将预制墩柱顶部伸出的纵向钢筋插入盖梁底部预埋的灌浆套筒内，向套筒内灌注高强度无收缩灌浆料，使钢筋与套

筒粘结锚固，继而传递轴向应力以及弯矩。

灌浆套筒连接施工质量控制要点有，套筒预埋位置准确，轴线偏差不超过设计允许值；灌浆料应有着适宜的流动度以及微膨胀性能，按规定的配合比准确拌制；灌浆作业应从套筒底部加入孔进浆，顶部排气孔出浆后及时封堵，保证套筒内部完全填充密实；灌浆过程中应连续作业，不得中断，按要求留置灌浆料试件实行抗压强度检验。

3.3.2 预应力连接

预应力连接方式适合于大悬臂盖梁或者分段预制拼装盖梁的纵向拼缝连接。该方式是在盖梁截面内设置纵向预应力孔道，在构件拼装就位后穿束张拉，利用预应力将分段构件压紧成整体。

预应力连接施工要点有预留孔道通畅性检查应在穿束前逐孔实行；预应力钢束张拉顺序应按设计规定的分批、对称原则实行；张拉过程中使用应力控制及伸长值校核的双控标准，实测伸长值以及理论伸长值的偏差应控制在 ±6% 以内；孔道压浆应在张拉完成后及时实行，压浆材料及工艺要求以及现浇结构预应力施工相同。

3.3.3 环氧树脂胶接缝连接

环氧树脂胶接缝连接主要用在干接缝拼装方案中。构件拼接面涂专用环氧树脂粘结剂，临时预应力将两个拼接面压紧贴合，环氧树脂固化后形成粘结强度高、密封性好的接缝。

环氧树脂胶接缝施工环境温度应控制在产品说明书规定的范围内，低温时应采取加热保温措施。涂抹要均匀、饱满，不能漏涂，也不能涂抹过厚。临时预压力的施加应使接缝处挤出少量胶体为宜，表示接缝已经充分压紧。

4 施工质量控制体系

4.1 尺寸精度控制

装配式盖梁施工对尺寸精度的要求比现浇结构高得多。精度控制贯穿于预制、运输、安装全过程。预制阶段应建立构件尺寸验收制度，对每个出厂的盖梁构件实行外形尺寸、预埋件位置、预留孔道位置的全面检测，形成精度档案。

现场安装阶段精度控制靠着可靠的测量手段和定位措施。常用的测量仪器有全站仪、精密水准仪、三维激光扫描仪等。盖梁吊装就位时，对构件顶面高程、轴线偏位、水平度三个主要参数实行实时监测，用千斤顶以及垫片实行精确调整，直到各项指标到了设计及规范要求为止。

对于曲线桥或者变宽桥梁的盖梁构件，由于每榀盖梁的尺寸、预埋件位置都不相同，精度控制要使用“一品一测、一品一档”的管理方式，在预制和安装阶段都要逐件匹配精度。

4.2 连接节点质量控制

节点连接质量控制是装配式盖梁质量控制的重中之重。灌浆套筒连接施工过程中灌浆作业控制之外，还要对套筒灌浆饱满度实行无损检测。目前工程中可以使用预埋传感器法或者冲击回波法来检测套筒内灌浆料是否密实。

预应力连接质量控制要点是张拉应力准确建立、孔道压浆密实。张拉设备标定应定期实行，张拉记录应完整、准确。孔道压浆后应实行压浆密实度检测，发现缺陷应及时补压浆处理。

4.3 构件进场检验与验收

构件进场验收是连接预制以及安装两个阶段的质量控制关口。验收内容应包含构件外观质量检查、尺寸复核、预埋件位置核查、混凝土强度资料审核、构件编号与设计图纸核对。外观检查主要是对构件表面的裂缝、蜂窝、麻面等外观缺陷实行观察，对于超过规范允许范围的缺陷要实行记录并评定其对结构性能的影响。尺寸复核应选取核心控制截面实行实测实量，实测数据与设计值的偏差应在允许范围内。

4.4 常见质量问题及预防措施

装配式盖梁施工中出现的质量问题有构件运输、吊装过程中产生的裂缝、预埋套筒位置偏差造成钢筋无法对位、灌浆不饱满造成连接强度不够、拼装接缝不密实造成渗漏等。针对以上问题，分别从加强构件加固措施、增加预制精度等级、精进灌浆施工工艺、改良接缝密封方案等预防性措施入手，在施工方案中制定专项质量风险解决预案。

5 结语

盖梁装配式施工工艺是高速公路桥梁建造技术向工业化发展的具体体现。使用构件预制、现场装配分阶段实行的方式，该工艺较好地解决了传统现浇工艺工期、安全、环保等各方面的不足，在常规桥梁工程中有着较好的技术经济融合效益。灌浆套筒连接、预应力连接等核心节点技术的成熟应用，给装配式盖梁结构性能的可靠性给予技术保障。

目前装配式盖梁施工工艺还在不停发展精进之中。以数字化预拼装、智能测量定位、超高性能混凝土应用为代表的技术创新，正在一直突破繁复线形、高精度控制方面工艺的瓶颈。伴随相关设计标准、施工规范、质量验收标准的逐步完善，装配式盖梁施工在高速公路桥梁建设领域的应用范围和深度会越来越大。

参考文献

[1] 刘小丹.高架桥梁立柱及盖梁装配施工技术探析[J].江西建材,2024(5):234-238.

[2] 贾亚楠.重丘区装配式桥梁盖梁施工技术[J].交通世界,2025(26).

[3] 城市公路高架桥预制立柱、盖梁施工精度控制[C]//工程技术与新能源经济学术研讨会论文集（三）,2025.

[4] 斯振兴.装配式盖梁预制拼装成套技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(10).

[5] 马起柱.市政高架桥梁桥墩立柱和盖梁装配式施工技术探讨[J].四川水泥,2023(1).