

公路桥梁工程中预制 T 形梁施工技术

王金辉

(凉山州交通运输应急指挥中心, 四川 西昌 615000)

摘要 随着我国道路运输行业的快速发展, 公路桥梁的建设需求不断增加, 如何提高桥梁建设的质量与效率成为公路桥梁工程建设中面临的重要挑战。预制 T 形梁作为一种新型的桥梁结构形式, 凭借其优异的力学性能和施工便捷性, 在公路桥梁工程中得到了广泛应用。本文对公路桥梁工程中预制 T 形梁施工技术进行深入探究, 分析其设计与制造工艺、运输与吊装技术, 以及实际工程中的应用实例和经验教训, 以为今后的桥梁建设提供理论支持和实践指导。

关键词 公路桥梁工程; 预制 T 形梁; T 梁台座施工; 钢筋加工安装施工; 安装预应力管道施工

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.21.016

0 引言

预制 T 形梁不仅能有效加快施工进度, 减少现场混凝土浇筑的工序, 还能提高桥梁的整体质量与耐久性。相比传统桥梁结构, 预制 T 形梁的标准化生产使得其在工期和成本控制上具有显著优势。同时, 借助现代化的生产工艺, 预制构件的强度和一致性得到了保障, 进一步提升了桥梁的安全性和使用寿命。在实际的桥梁建设过程中, 预制 T 形梁的施工技术涉及多个环节, 包括设计、制造、运输、吊装及现场安装等, 每个环节都对工程的整体成功具有重要影响。

1 公路桥梁工程概况

某项目是关键的交通网络建设工程, 全长 16.07 km, 设计为双向六车道, 限速 100 km/h, 整体式路基宽 33.5 m, 桥涵等级为公路 -I 级, 旨在提升区域交通安全和效率。项目沿线设施丰富, 包括 25 座大桥以应对复杂地形, 确保稳固与美观; 6 座天桥保障行人安全, 减少交通干扰; 45 道涵洞维护生态平衡, 避免路基积水受损。同时, 设有 2 处交通枢纽实现快速交通流转换, 1 处互通将高速与地方道路连接, 提高服务能力。施工预计使用混凝土 55.4 万 m^3 和钢筋 5.59 万吨, 团队建立了严格的材料管理体系, 从采购到质量检验, 确保材料达标。预制 T 形梁是项目重点, 共 2 366 处, 分为 20 m、30 m、40 m 三种规格^[1]。

2 公路桥梁工程中预制 T 形梁施工技术

2.1 T 梁台座施工

T 梁台座施工前, 需先清理施工区域杂物、浮土, 用大吨位压路机碾压地面, 安排专人监测地基压实度与沉降量。台座基础采用 C30 钢筋混凝土扩展基础, 钢筋

绑扎、模板安装严格按设计执行, 浇筑时结合插入式和附着式振捣器, 留置试块检测强度。在模板方面, 底模用 7 mm 厚优质钢板并检测平整度, 侧模镶嵌小钢槽, 拼接处设橡胶管防漏浆。为保障台座牢固, 两侧对称设置间距 0.5 m 的高强度地锚环。考虑梁体张拉上拱, 经精确计算在底模设置反拱度, 确保桥面铺装平整度。

2.2 钢筋加工安装施工

T 梁钢筋加工与安装时, 先用数控调直机调直盘圆钢筋, 控制速度并抽样检查外观。调直后, 用高精度切断机按设计长度切断钢筋, 每次作业前检查刀具、定位装置, 抽样测长。接着, 依据设计要求用弯曲机弯曲钢筋, 复杂形状需制作专门模具, 每根都用角度尺和半径样板检查。绑扎时, 先在工作台画出肋板钢筋位置线, 用八字扣绑扎; 侧模板支好后, 在模板上弹线控制梁板顶面钢筋位置, 借助线绳、靠尺、铅锤操作, 并用卡尺测间距。焊接时严格控制电流、电压、时间, 单面焊缝 $\geq 10 d$, 双面焊缝 $\geq 5 d$, 完成后进行外观检查和拉伸试验。按 0.6 ~ 0.8 m 间距布设高强度、耐久性好的保护层垫块, 双丝绑扎固定。绑扎完成后, 将绑丝调整向结构内部, 精确测量梁端外露钢筋长度, 确保梁体安装顺利。

2.3 安装预应力管道施工

预应力管道的安装质量对预应力混凝土 T 梁的性能与安全至关重要。采用波纹管作为主要施工材料, 因其柔韧性和抗渗性。安装流程如下: 首先, 在箍筋处焊接钢筋托架以防止波纹管位移, 托架设计需考虑管径和长度, 合理设置间距并确保焊接质量。其次, 波纹管接头处须使用直径大一号的波纹管连接, 接头长度为管径的 5 倍, 确保插入深度适当并用胶带紧密

缠绕,以防漏浆。安装完成后,需检查波纹管,确保管壁无死弯并符合设计的弯曲半径,以避免阻碍钢束穿入。在最低点设置排水孔、最高点设置排气孔,孔径应 ≥ 20 mm,以排出积水与空气,提升压浆密实度。此外,波纹管内部需放置直径比波纹管小 5 mm 的硬质衬管,以增强抗压能力,并密封衬管端部防止杂物进入。

2.4 模板工程施工

模板工程对 T 梁的尺寸精度、外观及结构稳定性至关重要,整体式钢模板作为侧模可以保障成型质量。在肋板钢筋绑扎完成后,使用龙门天车支设侧模,提高拼装效率。为防止拼接缝漏浆,需在缝处设置密封海绵条,确保其连续、平整。侧模拼装后,利用全站仪和水准仪调整模板位置及标高,调试后采用 $\phi 18$ mm 对拉螺栓和木内撑加固,以抵消侧压力并增强模板刚度。钢筋绑扎前,应使用高压水枪清理底模板,并在密封前再次检查。接下来,在模板内侧均匀涂抹脱模剂并设置警示标识保护模板。同时,在底模端部放置 $30\text{ cm}\times 50\text{ cm}\times 5\text{ mm}$ 橡胶垫以缓冲冲击力,伸出模板的钢筋处套上橡胶皮套,翼缘板处设置止浆带,台座边缘放置密封橡胶条,确保混凝土不渗漏^[2]。

2.5 浇筑 T 梁混凝土施工

T 梁混凝土施工质量直接影响桥梁的安全和耐久性,因此必须注重浇筑、振捣和后处理等环节。在施工过程中,需确保一次性浇筑,以避免施工缝的产生。使用龙门天车吊运料斗,实现均匀浇筑,防止缺陷。混凝土坍落度控制在 $18\sim 22$ cm,车辆到场后用坍落度筒检测,卸料时间应在 20 分钟内完成,以防坍落度损失。浇筑时,应同步制作试块,数量、尺寸及养护条件需达标,通过抗压试验确定张拉时间,避免过早张拉导致受损。混凝土应从一端向另一端推进,分层浇筑,调整施工进度,以防两层结合不紧密。在振捣作业中,应选择合适的设备,并使用插入式振捣棒和附着式振捣器,确保均匀振捣。浇筑后,应进行二次收浆抹面处理,使用定型拉毛器按每米 10 道、深度 1 cm 进行拉毛,提高摩擦力。待混凝土强度达到 2.5 MPa 后方可拆除模板。拆模后,给裸露钢筋涂刷水泥浆以防锈蚀。最后,搭建养生棚,配备智能温湿度监测设备,保障混凝土充分水化。

2.6 穿束钢绞线施工

穿束钢绞线是预应力混凝土结构施工的关键,其质量直接影响预应力的施加效果。首先,需将预留孔道长度与设计要求的长度相加,用砂轮切割机切割,确保切口平整。切割后,将整齐的钢绞线放于专用托盘上,每隔 1.0 m 用铁丝绑扎。为了提高穿束效率,用胶带

包裹钢绞线的穿束端,按设计将 7 根钢绞线捆扎成束。在穿束前,检查孔道无杂物,若有堵塞需及时疏通。借助机械牵引设备进行穿束时,需匀速缓慢,专人监控外露长度,确保符合设计要求^[3]。

2.7 T 梁智能张拉施工

T 梁的智能张拉施工利用智能张拉系统提高张拉精准度,确保结构安全。施工前需标定设备,监测混凝土强度,确保养护超过 7 天且达到设计值的 85%。连接智能张拉设备时检查线路稳固性,设定相关参数(见表 1),接通电源并清零千斤顶位移参数。在张拉过程中,施工人员需站在 T 梁侧面以降低风险,实时观察锚具变形和钢束滑丝,发现异常即停工。智能张拉系统控制千斤顶进油与回油,实时采集数据并动态调整张拉。张拉完成后,系统自动生成数据表,施工人员需分析数据,确认符合设计要求,静置 2 小时后用专用工具打磨多余钢束,并用水泥净浆封堵锚头,为后续孔道压浆施工做好准备。

表 1 预制 T 梁智能张拉施工参数表

序号	智能张拉指标	张拉参数
1	位移测量精度/mm	0.1
2	测力系统精度/%F.S	1
3	施工温度要求/ $^{\circ}\text{C}$	$-10\sim 60$
4	双顶同步延伸误差/mm	≤ 5
5	无线传输距离/m	150

2.8 孔道压浆施工

预应力 T 梁孔道压浆施工首先是使用高压水枪对孔道进行彻底清洗,确保内部杂物、污垢等被完全去除。在清洗完成后,应通过自然风干或使用风干设备将孔道充分干燥,确保孔道内部没有潮湿的残留,以避免湿气影响水泥浆的性质和结合效果。接下来,需对压浆与真空设备进行全面检查与调试,确保所有仪器正常运作。在孔道的封锚处理过程中,需使用 M50 强度的水泥浆,按照实验室提供的配合比进行准确配料,确保混合物的强度和稳定性。混合时,采用强制式搅拌机进行充分搅拌,以确保水泥浆均匀无颗粒,搅拌后需使用专用工具将水泥浆均匀涂抹在孔道的端部,并进行压实和抹光,确保密封性,防止压浆时材料的溢出和漏浆。在搭建真空系统时,确保所有管道连接牢固,关闭球阀后启动真空泵,以将孔道内的压力维持在 $-0.075\sim 0.08$ MPa 之间,并持续 1 分钟,以确保空气完全被抽出,形成稳定的负压环境。在这一负压环境下,缓慢打开球阀,压入水泥浆,需用稠度仪实时监测稠度,以控制在 $14\sim 18$ s 之间。当压入的

水泥浆在出浆端无气泡且稠度与压浆前一致时，便可关闭出浆端的球阀。如果在施工过程中发现水泥浆泌水现象，则须保持稳定的压浆压力，直至泌水现象消失，确保水泥浆的质量和密实度^[4]。

2.9 封端模板施工

封端模板需选用强度高、刚度大、平整的定型钢模板，并依据设计绑扎端部钢筋网，严格控制钢筋间距、数量和锚固长度，形成稳定骨架。固定模板时，使用螺栓和支撑体系确保拼接紧密，避免漏浆，通过全站仪或钢尺测量T梁两端长度与设计值比对，及时调整超偏差部分。在混凝土浇筑过程中，需采用与T梁标号一致的C50混凝土，严格控制原材料配合比，分层浇筑，重点振捣棱角部位，确保表面无气泡和泛浆。封端后，覆盖塑料薄膜和麻袋进行养护，并定期洒水，同时在T梁侧面或端部标记生产日期和报告信息以便追溯管理。养护期间，制作试块进行抗压强度试验；待强度达到标准后，利用运梁平板车将T梁运输至存梁场，规划行驶路线以避免颠簸碰撞。

3 公路桥梁工程中预制T形梁施工技术现状及应对措施

3.1 T梁混凝土结构有气泡

在T梁施工中，马蹄结构的拐角处常因振捣不严格而产生气泡，这会降低混凝土的密实度，削弱其承载能力和耐久性。要解决这一问题，可采取以下三项技术措施：首先，合理调整混凝土的配合比和外加剂的用量，精确计算水泥和骨料的比例，适量添加减水剂以提高流动性，同时使用引气剂改善气泡分布，减少气泡积聚。其次，严格控制马蹄位置的振捣工序，施工中使用插入式振捣棒应采取“快插慢拔”的方法，确保混凝土表面无气泡且泛浆平整，避免因振捣不足或过度振捣引起离析。最后，在钢筋密集区联合使用插入式振捣棒与附着式振捣器，后者可通过振动模板促使混凝土在钢筋间流动并排气，前者则直接振捣混凝土内部。合理安排振捣器的位置与时间，灵活调整参数，可以有效提高振捣效果，确保混凝土密实度和强度。

3.2 滑丝、断丝问题

在预制T梁预应力施工中，滑丝和断丝问题较为常见，危害较大。滑丝指预应力筋在锚夹具中滑动，无法有效建立预应力；断丝即预应力钢丝在张拉或后续使用时断裂。这两类问题会削弱T梁结构性能，威胁桥梁安全。焊接施工不规范、钢丝直径与锚夹具不匹配、材料质量把控不严，是导致滑丝和断丝的主要原因。焊接电流不当会降低钢丝强度，焊缝不合理会造成应力集中；钢丝直径过大，会使预应力施加不均。

针对滑丝和断丝问题，可采取相应解决措施。当数量未超规范值时，可通过超张拉补足应力，同时控制张拉应力与伸长量。若超出规范，需对滑丝钢绞线用千斤顶张拉，更换夹片后重新张拉锚固。针对断丝，施工单位应提前做好备用钢丝束，施工前检验质量。发生断丝后，及时拆除并更换，按规定张拉，做好数据记录分析^[5]。

3.3 T梁混凝土漏浆

T梁混凝土漏浆不仅削弱了T梁结构强度，威胁桥梁安全，还会因混凝土内部缺陷加速结构腐蚀，降低耐久性，缩短桥梁使用寿命。漏浆由多因素导致。一是模板拼接不严，重复使用和安装精度欠佳，使拼接缝宽窄不均，浇筑振捣时浆液渗漏。二是预埋钢筋封堵不完全，未密封的部位会导致浆液流出。三是模板在浇筑受力时发生形变，拼接缝增大，密封性降低，漏浆加剧。防治T梁混凝土漏浆，可采取如下措施：封堵预埋钢筋时，先铺塑胶垫，再用发泡胶二次密封；在模板拼接处设置止浆带，并在浇筑前紧固拉螺栓；建立模板定期检查制度，及时修复或更换有问题的模板；控制混凝土浇筑速度，避免压力过大；加强混凝土质量检测，检测坍落度、和易性等指标。

4 结束语

预制T形梁施工技术在公路桥梁工程中展现出显著的优势，不仅提高了施工效率，还有效增强了结构的安全性和耐久性。通过标准化生产，预制T形梁能够快速适应不同的施工需求，减少现场施工的复杂度，缩短工期，降低成本。此外，随着施工技术的不断进步，预制T形梁的制造、运输和安装工艺也日臻完善，为工程项目的顺利进行提供了有力保障。未来，随着智能建造技术的深度融合，预制T形梁施工技术将在大跨度桥梁等工程中展现更广阔的应用前景，持续推动公路桥梁建设向绿色化、工业化方向发展。

参考文献：

- [1] 范珉珠.公路桥梁工程中预制T形梁施工技术研究[J].交通世界,2023(08):171-173.
- [2] 荀小虎.桥梁工程中混凝土裂缝控制与防止措施研究[J].成都工业学院学报,2020,23(01):53-58.
- [3] 袁峰.公路桥梁工程预应力混凝土预制T梁关键技术[J].工程机械与维修,2024(08):105-107.
- [4] 白伟.铁路工程建设中T梁预制与架设施工技术探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2023(17):111-113.
- [5] 王喜弘.公路桥梁工程预应力混凝土预制T梁施工技术[J].建筑技术开发,2022,48(11):77-79.