

桥梁施工中钢箱梁与现浇梁的施工工艺与质量控制

王 志

四川省交通建设集团有限责任公司 四川 成都 610041

摘 要：钢箱梁与现浇梁是桥梁工程中两类核心承重结构，其施工工艺合理性与质量控制有效性直接决定桥梁整体承载能力与使用寿命。传统施工中，两类梁体因结构特性差异易出现工艺适配性不足、质量管控针对性不强等问题。本文围绕钢箱梁与现浇梁展开研究，梳理二者结构特性与适用场景，详细分析钢箱梁预制加工、运输吊装及现浇梁混凝土施工、预应力施工等工艺要点，构建专项与共通结合的质量控制体系。研究成果可为桥梁工程中两类梁体施工提供技术参考，助力提升施工质量与结构安全性。

关键词：钢箱梁；现浇梁；施工工艺；质量控制；桥梁工程

1 钢箱梁与现浇梁施工相关基础理论

1.1 钢箱梁与现浇梁的结构特性

钢箱梁以钢材为主要受力材料，典型结构由顶板、底板、腹板及加劲肋组成，多采用箱型截面，具有强度高、刚度大、自重轻的特性，钢材弹性模量约206GPa，抗拉强度可达345MPa以上，能有效承受大跨度荷载；截面形式灵活，可根据受力需求设计为单箱单室、多箱多室等，且构件可工厂预制，现场安装便捷。现浇梁以钢筋混凝土为核心材料，通过现场绑扎钢筋、浇筑混凝土形成整体结构，截面多为T型、I型或箱型，混凝土抗压强度通常不低于C50，依托钢筋与混凝土协同受力传递荷载；结构整体性强、耐久性好，抗裂性能通过配置预应力筋进一步提升，但自重较大（约25kN/m³），对下部基础承载要求更高。二者结构特性差异直接决定施工工艺与质量控制的侧重点。

1.2 两类梁体的适用场景与选型依据

钢箱梁与现浇梁适用场景依工程条件、功能需求而定。钢箱梁自重轻、跨度适应强，跨度50-200m，适用于大跨度桥梁，如跨江跨海大桥、城市互通立交主线桥，尤其适合施工场地受限、需快速拼装处，像既有交通线路上方桥梁改造，工厂预制、现场吊装可缩短占道时间。在低温、高湿度等恶劣环境，钢材抗腐蚀处理技术成熟，适用性佳。现浇梁适用于中小跨度（10-40m）桥梁，如城市市政、公路支线桥梁，整体浇筑适合曲线段、异形截面施工，材料易得、成本低，在工期宽松、有浇筑条件的项目应用广。选型依跨度、周期、环境及成本，确保结构匹配需求^[1]。

1.3 施工质量控制的核心指标

钢箱梁与现浇梁施工质量控制围绕结构安全性、耐久性与稳定性设定核心指标。强度上，钢箱梁控制钢材

屈服强度、焊接接头抗拉强度（不低于母材90%）；现浇梁确保混凝土抗压、抗拉强度达标（如C50混凝土28d抗压强度 $\geq 50\text{MPa}$ ），预应力筋张拉控制力偏差 $\leq \pm 5\%$ 。刚度方面，钢箱梁安装后跨中挠度不超跨度1/500；现浇梁拆模后挠度符合限值，长期使用增量可控。耐久性指标，钢箱梁防腐涂层干膜厚度 $\geq 200\mu\text{m}$ 、附着力等级不低于1级；现浇梁混凝土抗渗等级 $\geq \text{P6}$ 、抗冻等级 $\geq \text{F150}$ ，钢筋保护层厚度偏差 $\pm 5\text{mm}$ 内。几何尺寸精度与连接节点质量也是核心指标。

2 桥梁施工中钢箱梁的施工工艺要点

2.1 钢箱梁预制与加工工艺

钢箱梁预制与加工需在工厂标准化作业，核心工艺包括原材料预处理、构件加工与焊接成型。原材料预处理阶段，钢材需进行表面除锈（采用抛丸除锈，除锈等级达到Sa2.5级），去除氧化皮、油污后涂刷车间底漆（干膜厚度 $\geq 80\mu\text{m}$ ）；板材切割采用数控等离子切割或激光切割，切割精度控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内，确保构件尺寸准确。构件加工环节，顶板、底板、腹板需按设计图纸进行折弯、冲压，加劲肋（如U型肋、I型肋）加工需采用专用模具，确保截面形状一致；腹板与加劲肋组装时采用胎架定位，定位偏差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ，通过点焊固定后进行焊接。焊接成型采用二氧化碳气体保护焊或埋弧焊，腹板与顶板、底板的角焊缝需连续焊接，焊脚高度符合设计要求（通常 $\geq 8\text{mm}$ ），焊接后需进行无损检测（超声波检测焊接内部缺陷，磁粉检测表面缺陷），确保焊接合格率100%。

2.2 钢箱梁运输与吊装工艺

钢箱梁运输需结合构件尺寸、重量选择运输设备与路线，小型钢箱梁（单段重量 $\leq 50\text{t}$ ）可采用平板拖车运输，运输前需用专用支架固定，支架与钢箱梁接触面需

铺垫橡胶垫,防止运输中构件变形;大型钢箱梁(单段重量 $>100\text{t}$)需采用液压轴线平板车,通过多轴协同控制保持运输平稳,运输路线需提前勘察,确保路面承载力、转弯半径满足要求。吊装工艺需先进行吊装方案设计,根据钢箱梁重量(如 150t 钢箱梁)选择合适起重机(如 500t 汽车吊),吊装点设置需符合设计要求(通常在腹板与加劲肋连接处),采用专用吊具(如卸扣、钢丝绳),吊具与钢箱梁接触面需设置保护垫^[2]。吊装前需进行试吊(起吊高度 $10\text{--}20\text{cm}$,停留 $10\text{--}15$ 分钟),检查吊具受力、构件平衡情况;正式吊装时需控制起吊速度($\leq 0.5\text{m/min}$),通过牵引绳调整构件姿态,避免与周边结构碰撞,确保平稳就位。

2.3 钢箱梁现场安装与连接工艺

钢箱梁现场安装需遵循“精准定位、分次连接、对称施焊”原则,安装前需复核支座顶面标高、轴线位置,偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内,支座垫石需找平(采用环氧树脂砂浆找平,厚度 $5\text{--}10\text{mm}$)。首段钢箱梁就位后,通过全站仪进行三维定位,调整标高(采用千斤顶顶推,调整精度 $\leq \pm 1\text{mm}$)、轴线偏位(采用侧向牵引,偏差 $\leq \pm 2\text{mm}$),定位后临时固定(采用型钢支撑或点焊固定)。后续钢箱梁安装需与已安装段精准对接,相邻梁段接缝间隙需控制在 $2\text{--}5\text{mm}$ 内,对接后先进行临时连接(安装高强度螺栓,螺栓初拧扭矩达到设计扭矩的 50%),再进行永久连接。连接工艺以焊接为主,焊接顺序从中间向两端对称施焊,先焊腹板对接焊缝,再焊顶板、底板对接焊缝,焊接过程中需控制层间温度($\geq 150^\circ\text{C}$, $\leq 350^\circ\text{C}$),避免焊接应力集中;焊接完成后需再次进行无损检测,合格后拆除临时固定装置,完成安装。

3 桥梁施工中现浇梁的施工工艺要点

3.1 现浇梁施工准备阶段工艺

现浇梁施工准备需涵盖支架搭设、模板安装与钢筋加工,确保后续施工基础稳定。支架搭设采用碗扣式或盘扣式支架,支架立杆间距、横杆步距需按设计计算确定(如立杆间距 $\leq 1.2\text{m}$,横杆步距 $\leq 1.5\text{m}$),立杆底部需设置垫板(钢板或木垫板,面积 $\geq 0.1\text{m}^2$),支架顶部安装可调托撑,用于调整模板标高。支架搭设后需进行预压(采用沙袋或水箱预压,预压荷载为梁体自重的 1.2 倍),预压时间 ≥ 72 小时,监测支架沉降量(最终沉降量 $\leq 2\text{mm}$),消除非弹性变形。模板安装采用钢模板或竹胶板,钢模板面板厚度 $\geq 6\text{mm}$,模板拼接缝隙需粘贴密封胶,防止漏浆;模板安装后需复核截面尺寸(如梁高偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$,腹板厚度偏差 $\leq \pm 3\text{mm}$)、轴线偏位($\leq 10\text{mm}$),确保符合设计要求。钢筋加工需

按图纸下料,钢筋连接采用焊接或机械连接(如直螺纹连接),焊接接头长度(单面焊 $\geq 10d$,双面焊 $\geq 5d$, d 为钢筋直径)、机械连接接头拧紧扭矩需符合规范,加工完成的钢筋需分类堆放,避免锈蚀。

3.2 现浇梁混凝土施工工艺

现浇梁混凝土施工需严格控制配合比、浇筑流程与养护质量,确保混凝土强度与耐久性。混凝土配合比需根据设计强度(如 $\text{C}50$)、工作性要求设计,水泥选用普通硅酸盐水泥($\text{P.O}42.5\text{R}$),粗骨料采用连续级配碎石(粒径 $5\text{--}25\text{mm}$),细骨料采用中砂(细度模数 $2.3\text{--}3.0$),掺加高效减水剂(减水率 $\geq 20\%$)与粉煤灰(掺量 $\leq 30\%$),混凝土坍落度控制在 $120\text{--}160\text{mm}$ 。浇筑前需清理模板内杂物、洒水湿润模板,混凝土运输采用罐车,运输时间 ≤ 1.5 小时,到场后需检测坍落度,不符合要求时不得使用。浇筑采用分层浇筑法,分层厚度 $\leq 30\text{cm}$,采用插入式振捣器振捣,振捣时间控制在 $20\text{--}30$ 秒(至混凝土表面无气泡、泛浆为止),避免漏振、过振;浇筑顺序从梁体一端向另一端推进,腹板与底板、顶板浇筑需同步进行,防止模板受力不均变形。浇筑完成后需及时覆盖土工布洒水养护,养护时间 ≥ 14 天,养护期间混凝土表面温度与环境温度差需 $\leq 25^\circ\text{C}$ 。

3.3 现浇梁预应力施工工艺

现浇梁预应力施工需按“张拉准备、分批张拉、孔道压浆”流程操作,确保预应力施加精准。张拉准备阶段,需检查预应力筋(如钢绞线,强度等级 $\geq 1860\text{MPa}$)、锚具(夹片式锚具)质量,对张拉设备(千斤顶、油表)进行校准(校准周期 ≤ 6 个月),确保张拉控制力误差 $\leq \pm 2\%$;清理预应力孔道(采用高压水冲洗,去除孔道内杂物),安装锚垫板、螺旋筋,确保位置准确。分批张拉需按设计顺序进行(通常从梁体两端向中间对称张拉),采用“双控法”控制(以张拉力控制为主,伸长值校核为辅),张拉控制力需达到设计值(如 1860MPa 钢绞线张拉控制应力为 1395MPa),实际伸长值与理论伸长值偏差需控制在 $\pm 6\%$ 内;每批张拉完成后需及时锚固,锚具外露预应力筋长度需 $\geq 30\text{mm}$,且 $\leq 50\text{mm}$ 。孔道压浆需在张拉完成后 24 小时内进行,采用水泥浆(水胶比 $0.26\text{--}0.28$,抗压强度 $\geq 30\text{MPa}$),压浆压力控制在 $0.5\text{--}0.7\text{MPa}$,压浆顺序从孔道低端向高端进行,确保孔道内水泥浆饱满,无空洞^[3]。

4 钢箱梁与现浇梁的质量控制体系

4.1 钢箱梁专项质量控制要点

钢箱梁专项质量控制需聚焦材料、加工、安装关键环节。材料控制方面,钢材需具备质量证明书,进场后

需抽样检测屈服强度、抗拉强度、伸长率,不合格材料严禁使用;焊接材料(焊条、焊丝)需与钢材匹配,如Q355钢采用E50系列焊条,焊条需按要求烘干(烘干温度350-400℃,保温1-2小时),存入保温筒随用随取。加工控制需重点监测构件尺寸精度,顶板、底板平面度偏差 $\leq 2\text{mm/m}$,腹板垂直度偏差 $\leq 1\text{mm/m}$;焊接质量需100%进行无损检测,对接焊缝超声波检测等级不低于B级,I级焊缝合格率需100%。安装控制需实时监测梁体标高、轴线,安装完成后跨中挠度需符合设计限值;高强度螺栓连接需检测终拧扭矩,扭矩偏差 $\leq \pm 10\%$,接触面抗滑移系数需 ≥ 0.45 (经试验检测),确保连接节点受力可靠。

4.2 现浇梁专项质量控制要点

现浇梁专项质量控制需针对混凝土、预应力与结构成型设置管控措施。混凝土质量控制中,原材料需分批抽检,水泥强度、安定性,骨料级配、含泥量,外加剂减水率需符合规范;混凝土浇筑中需按规定留置试块(每100m³留置1组,每组3块),试块28d抗压强度需 $\geq$ 设计强度值。预应力施工控制需检查预应力筋张拉顺序、张拉力与伸长值,张拉记录需完整可追溯;孔道压浆需检测水泥浆稠度(10-17s)、泌水率($\leq 3\%$),压浆后需采用无损检测(如雷达检测)检查孔道饱满度。结构成型控制需监测模板拆除时间(混凝土强度达到设计强度的75%以上方可拆模),拆模后检查梁体外观,表面不得有露筋、蜂窝、麻面(缺陷面积 $\leq 0.5\%$ 构件表面积),几何尺寸偏差需符合规范要求^[4]。

4.3 两类梁体共通质量控制措施

钢箱梁与现浇梁共通质量控制,要构建“人员、设备、过程、验收”全流程管控体系。人员上,特种作业

人员(如焊工、预应力张拉工、起重工)须持证,上岗前经专项培训与考核;技术人员向施工班组做好技术交底,明确工艺与质量标准。设备方面,定期维护施工机械,每月1次常规维护、每季度1次全面检修;计量器具(如全站仪、水准仪、扭矩扳手)每年校准1次,合格后使用。过程管控建立质量检查制度,施工实行“三检制”,关键工序(如钢箱梁焊接、现浇梁预应力张拉)设质量控制点并全程旁站。验收时,严格依规范组织,分项工程验收合格才可进入下一工序,验收资料完整归档,保障质量可追溯。

结束语

钢箱梁与现浇梁作为桥梁工程的核心结构,其施工工艺与质量控制直接关系桥梁安全运营。本文通过分析两类梁体结构特性与适用场景,梳理钢箱梁预制吊装、现浇梁混凝土及预应力施工等工艺要点,构建专项与共通结合的质量控制体系,为实际施工提供技术指引。未来,随着智能化技术发展,可进一步将BIM技术、物联网监测融入施工过程,实现梁体施工质量的实时监控与动态调整,推动桥梁工程施工向精准化、智能化方向发展,为交通基础设施高质量建设提供更强支撑。

参考文献

- [1]张磊.大型桥梁工程中跨钢箱梁安装施工技术探析[J].科学技术创新,2025(17):199-202.
- [2]董其畅,刘鹏.桥梁工程中钢箱梁顶推施工技术应用研究[J].科技资讯,2025,23(13):174-176.
- [3]叶文东.钢箱梁顶推施工技术在桥梁工程中的应用分析[J].运输经理世界,2025(21):91-93.
- [4]李洪杰.大跨度公路桥梁中的钢箱梁施工技术解析[J].科技资讯,2024,22(9):145-147.