

公路桥梁施工中的预应力施工技术

郑 强

四川省交通建设集团有限责任公司 四川 成都 610000

摘要: 公路桥梁施工中, 预应力技术是提升结构性能的关键。本文详细阐述了预应力施工核心材料与设备, 包括预应力筋、锚具、波纹管等的性能要求与选用标准; 介绍了预应力施工关键工艺环节, 如预应力筋制作安装、孔道成型定位、张拉施工流程控制等; 分析了不同结构形式桥梁的预应力施工适配技术; 提出了预应力施工质量控制措施, 涵盖施工前准备、过程监控、隐患防控及检验标准。通过全面把控预应力施工各环节, 可有效保障公路桥梁施工质量与安全。

关键词: 公路桥梁; 预应力技术; 施工工艺; 质量控制

引言: 公路桥梁作为交通基础设施的重要组成部分, 其施工质量直接关系到交通运行的安全与效率。预应力技术作为一种先进的结构加固与增强手段, 在公路桥梁施工中得到了广泛应用。该技术通过预先施加压力, 有效抵消了桥梁结构在使用过程中产生的拉应力, 从而提高了结构的承载能力、抗裂性能和耐久性。然而, 预应力施工涉及多个复杂环节, 对材料、设备、工艺及质量控制均提出了较高要求。因此, 深入研究公路桥梁施工中的预应力施工技术, 对于提升桥梁建设质量、保障交通安全具有重要意义。

1 预应力施工核心材料与设备

1.1 预应力筋类型与性能要求

预应力筋作为预应力结构中的关键受力部件, 其类型选择直接影响结构性能。常见类型包括高强度钢丝、钢绞线及精轧螺纹钢。高强度钢丝具有抗拉强度高、延伸率适中的特点, 适用于对结构刚度要求较高的场景; 钢绞线由多根钢丝捻制而成, 具备更高的承载能力与柔韧性, 广泛应用于大跨度桥梁工程; 精轧螺纹钢则凭借可锚固性优势, 在节点连接部位发挥重要作用^[1]。性能方面, 预应力筋需满足抗拉强度标准值要求, 确保在极限荷载下不发生断裂; 延伸率指标需符合规范, 保证结构在受力过程中具备足够的变形能力; 同时, 需具备稳定的化学性能, 抵抗氯离子侵蚀与应力腐蚀, 保障结构长期耐久性。

1.2 锚具、夹具与连接器选用标准

锚具系统是预应力筋与结构连接的枢纽, 其选用需严格遵循力学性能与耐久性标准。锚具需通过静载锚固性能试验, 确保锚固效率系数不低于规定值, 防止预应力筋滑移; 夹具需具备可靠的夹持能力, 在张拉过程中保持预应力筋位置稳定; 连接器需满足互换性要求, 实

现不同批次预应力筋的无缝对接。材质方面, 锚具、夹具及连接器应采用高强度合金钢, 经热处理工艺提升硬度与抗疲劳性能, 表面需进行防腐处理, 延长使用寿命。

1.3 波纹管等成孔材料技术参数

波纹管作为后张法预应力施工中的成孔材料, 其技术参数直接影响孔道成型质量。金属波纹管需具备足够的环刚度, 防止混凝土浇筑过程中发生变形; 塑料波纹管则需通过耐酸碱试验, 适应不同环境下的化学侵蚀。管径选择需与预应力筋直径匹配, 确保穿束顺畅; 波距与波高参数需符合规范, 保证孔道摩阻系数在设计范围内, 减少预应力损失。

1.4 预应力张拉设备技术特性

张拉设备是预应力施工的核心装备, 其技术特性决定张拉精度与施工效率。千斤顶需具备分级加载能力, 通过压力表精确控制张拉力; 油泵需提供稳定油压, 确保张拉过程平稳; 限位板与工具锚需协同工作, 防止预应力筋偏移。设备校准周期需严格执行, 定期检测张拉力与伸长量对应关系, 保障施工数据可靠性。

1.5 灌浆材料配比与性能指标

灌浆材料性能对预应力筋防腐与结构整体性至关重要。水泥基灌浆料需通过流动度试验, 确保在孔道内充分填充; 泌水率指标需控制在规范范围内, 防止水分流失导致孔道空隙; 膨胀率需满足补偿收缩要求, 增强灌浆体与孔道壁的粘结力^[2]。配比设计需综合考虑环境温度与湿度条件, 通过试验确定最佳水灰比, 保障灌浆材料工作性能与硬化后强度。

2 预应力施工关键工艺环节

2.1 预应力筋制作与安装操作要点

预应力筋制作需严格遵循设计长度与下料要求, 采用机械切割方式保证断面平整, 避免热损伤影响力学性

能。下料完成后需进行外观检查,剔除存在裂纹、油污或锈蚀的筋体。安装前需根据结构曲线形状进行预弯处理,确保与孔道走向一致;穿束过程中应采用专用导引器,防止筋体扭转或刮伤波纹管内壁。对于长束预应力筋,需分段穿束并设置临时固定装置,避免混凝土浇筑时发生位移。安装完成后需复核筋体位置,偏差值应控制在规范允许范围内,为后续张拉工序奠定基础。

2.2 孔道成型与定位施工规范

孔道成型需根据设计要求选择金属波纹管或塑料波纹管,管材连接应采用专用接头并密封处理,防止混凝土浇筑时漏浆。定位钢筋网片间距需符合设计要求,通过绑扎或焊接方式固定波纹管,确保孔道线形平滑无折角。在结构弯折部位应增设防崩钢筋,避免张拉过程中波纹管变形。混凝土浇筑前需对孔道进行通孔检查,采用内径略小于波纹管的清孔器来回拖拉,清除管内杂物与积水。浇筑过程中应避免振捣棒直接接触波纹管,防止管壁破损导致孔道堵塞。

2.3 预应力张拉施工流程与控制要点

张拉前需完成千斤顶与油泵的配套标定,建立压力表读数与张拉力的对应关系曲线。张拉顺序应遵循对称分级加载原则,先张拉至初应力值并持荷,测量筋体初始伸长量后继续加载至控制应力。每级加载后需停留观察,记录伸长量变化情况,实际伸长值与理论值偏差应控制在规范范围内。张拉过程中应密切关注压力表读数波动,发现异常立即停止作业并检查设备状态。终张拉完成后需持荷稳定,确保锚具充分咬合预应力筋。

2.4 孔道灌浆施工技术要求

灌浆材料需采用专用水泥基浆体,通过试验确定最佳水灰比,保证流动度与泌水率满足施工要求。灌浆前需对孔道进行湿润处理,但不得残留积水。采用真空辅助灌浆工艺时,应先启动真空泵抽吸孔道内空气,待真空度稳定后开始压浆。压浆应从最低点注入,待最高点排气孔排出浓浆后封闭排气口,继续加压至规定压力值并稳压。灌浆过程中需连续作业,避免中途停顿导致浆体分层^[3]。灌浆完成后应检查锚具周边密封情况,防止浆体渗漏影响锚固质量。

2.5 端部锚固处理工艺细节

锚具周边混凝土需进行凿毛处理,清除浮浆与松散颗粒,露出密实骨料层。锚垫板安装应与孔道轴线垂直,偏差角度不得超过设计允许值。封锚混凝土强度等级应高于结构本体,浇筑前需对锚具缝隙进行密封处理,防止水分渗入导致锈蚀。浇筑过程中应采用小型振捣器充分密实,避免出现蜂窝麻面等缺陷。封锚完成后需进行

保湿养护,养护周期应符合材料性能要求,确保混凝土强度稳定增长。

3 不同结构形式桥梁预应力施工适配技术

3.1 梁式桥预应力施工适配方法

梁式桥预应力施工需重点把控纵向预应力体系布置。对于简支梁桥,预应力筋多采用直线布置形式,张拉端设置在梁端支座附近,通过合理设计锚固区构造确保应力传递均匀。连续梁桥则需结合结构弯矩包络图确定预应力筋线形,在负弯矩区采用顶板预应力束,正弯矩区布置底板预应力束,形成双向受力体系。施工阶段需严格控制张拉顺序,避免因局部应力集中导致结构开裂。体外预应力技术适用于大跨度梁桥,需通过转向块实现预应力筋空间转向,转向块位置需通过力学计算确定,确保结构受力符合设计预期。

3.2 刚构桥预应力施工技术要点

刚构桥预应力施工需协调墩梁固结部位的应力分布。墩顶区域需布置密集的竖向预应力筋,通过精确控制张拉力消除混凝土收缩徐变产生的拉应力。对于T型刚构桥,悬臂段预应力筋需采用分段张拉工艺,每阶段张拉完成后及时压浆封锚,防止锈蚀影响结构耐久性。连续刚构桥跨中区域需设置下挠补偿预应力束,通过预留孔道实现二次张拉,调整结构长期变形。施工监测环节需重点关注墩顶应力变化,采用振弦式传感器实时采集数据,为张拉参数调整提供依据。

3.3 拱桥预应力施加工艺调整

拱桥预应力施工需适应拱轴线形变化特征。混凝土拱桥主拱圈预应力筋多沿拱轴线方向布置,采用分段跳槽张拉工艺,减少张拉对拱圈线形的影响。钢拱桥则通过体外预应力索实现结构加固,索体布置需避开节点区域,转向装置需满足大位移变形要求。系杆拱桥需协调系杆与拱肋的预应力施加时序,先完成系杆张拉形成自平衡体系,再进行拱肋预应力施工。施工阶段需采用全站仪监测拱顶下沉量,确保结构变形控制在允许范围内。

3.4 组合结构桥梁预应力施工适配策略

组合结构桥梁预应力施工需兼顾不同材料性能差异。钢-混凝土组合梁需通过剪力连接件实现协同受力,预应力筋布置需避开连接件位置,防止局部应力集中。波形钢腹板组合梁需采用体内外混合预应力体系,体内预应力筋承担主要弯矩,体外预应力索适应结构变形需求。施工阶段需控制混凝土浇筑顺序,避免对钢腹板产生侧向冲击^[4]。斜拉桥组合索塔需分阶段施加预应力,先完成塔柱预应力施工形成整体受力框架,再进行横梁预应力张拉,确保索塔空间受力性能。

4 预应力施工质量控制措施

4.1 施工前质量准备要求

预应力施工前需完成全面技术准备与材料设备核验,施工前的准备工作是把控施工质量、规避质量隐患的基础环节。技术层面应组织专项图纸会审,重点核查预应力筋布置线形、锚固区构造及张拉顺序是否符合结构受力要求,根据工程特点编制专项施工方案并经专家论证。材料准备需严格审查预应力筋、锚具、波纹管等核心物资的质量证明文件,按规范要求进行现场取样检测,确保抗拉强度、延伸率等关键指标达标。设备进场后需进行全面调试,千斤顶与油泵需完成配套标定,建立压力表读数与张拉力的线性关系曲线,压力表精度等级不得低于规定标准。施工班组需开展专项技术交底,明确各工序操作要点与质量标准,确保作业人员掌握关键控制参数,为施工过程的质量控制奠定坚实基础。

4.2 施工过程质量监控要点

预应力筋安装阶段需重点监控线形控制,采用全站仪实时测量筋体空间坐标,偏差值应控制在规范允许范围内,波纹管定位钢筋间距需符合设计要求并通过拉线检查,施工过程的实时监控是保障施工质量的关键手段。张拉作业时需安排专人记录压力表读数与伸长量变化,每级加载后停留观察,实际伸长值与理论值偏差超过规定范围时应立即停止张拉并分析原因。孔道灌浆需严格控制浆体流动度,采用流锥法测定时应在规定时间内完成注浆,压浆压力需根据孔道长度与弯曲半径动态调整,稳压时间需满足设计要求。锚具封锚前应检查锚固区混凝土密实度,采用敲击法排除蜂窝麻面等缺陷,封锚混凝土强度等级应高于结构本体,确保各工序施工质量符合规范与设计要求。

4.3 常见质量隐患防控方法

针对预应力筋锈蚀问题,需加强材料仓储管理,存放场地应设置防雨棚并垫高堆放,锚具与连接器需涂刷防锈油后分类存放。波纹管破损隐患可通过双重防护措施消除,内层采用塑料套管保护,外层包裹防水胶带,混凝土浇筑前进行穿孔检查。张拉断丝现象多因预应力筋损伤或锚具夹片质量缺陷引发,需加强下料过程管控,禁止使用气割切断筋体,锚具安装前应检查夹片牙纹磨损

情况。孔道灌浆不密实问题可通过优化浆体配比解决,适当添加减水剂与膨胀剂提升流动性与补偿收缩性能,采用真空辅助灌浆工艺提高密实度。

4.4 施工质量检验技术标准

预应力筋安装质量检验应采用钢尺测量间距偏差,允许误差值需符合规范要求,波纹管密封性检验可通过注水加压方式进行,严格执行质量检验标准,是验收施工质量的核心依据。张拉质量评定需结合双控指标,以应力控制为主、伸长量校核为辅,实测伸长值偏差超过 $\pm 6\%$ 时应判定为不合格。孔道灌浆密实度检测可采用无损检测技术,通过冲击回波法或超声波法定位不密实区域,必要时进行钻孔取芯验证^[5]。锚具锚固性能检验需委托专业机构进行静载锚固试验,锚固效率系数不得低于规定值,总应变需满足设计要求。结构实体检验应包含预应力损失测试,采用振弦式传感器长期监测应力变化,为结构安全评估提供数据支撑,确保预应力施工质量达标,保障结构长期安全稳定。

结束语

公路桥梁施工中,预应力技术通过优化材料选型、规范工艺操作、强化质量控制,有效提升了结构承载能力与抗裂性能。通过系统阐述预应力施工核心材料与设备、关键工艺环节、不同结构形式适配技术及质量控制措施,为公路桥梁建设提供了全面的技术指导。严格的质量准备、过程监控与隐患防控,确保了预应力施工质量的可靠性,为公路桥梁的长期安全稳定运行奠定了坚实基础。

参考文献

- [1]孙鹏.公路桥梁施工中的预应力施工技术[J].工程建设与设计,2025(2):143-145.
- [2]蒋川.公路桥梁施工中的预应力施工技术[J].建筑工程技术与设计,2025,13(21):139-141.
- [3]叶家谱.公路桥梁施工中的预应力技术研究应用[J].科学技术创新,2025(4):143-146.
- [4]白尚清,余亚娥,余亚玲.预应力技术在公路桥梁施工中的应用[J].工程建设与设计,2025(7):254-256.
- [5]李俊彦.公路桥梁施工中预应力技术措施与质量管控[J].大众标准化,2025(19):13-15.