

解析公路桥梁预应力施工技术应用

张 健

宁波捷晟建设有限公司 浙江 宁波 315318

摘 要：本文深入剖析公路桥梁预应力施工技术，阐述材料与设备选型、施工流程等关键环节，介绍其在混凝土路面加固、大跨度桥梁等场景的应用，分析张拉偏差、管道堵塞等常见问题及解决策略。强调从材料、设备、人员等方面把控施工质量，指出智能化、绿色化是技术创新与发展趋势，为提升公路桥梁预应力施工水平提供参考。

关键词：预应力施工技术；材料设备；应用场景；质量控制；智能化

引言：公路桥梁建设中，预应力施工技术至关重要。它能有效提升结构承载能力与耐久性，满足日益增长的交通需求。然而，其施工涉及多环节复杂技术，从材料设备的精准选择，到施工流程的严格把控，任一环节失误都可能影响工程质量。深入研究预应力施工技术，对保障公路桥梁安全、延长使用寿命意义重大。

1 预应力施工技术的关键环节

1.1 材料与设备选型标准

预应力钢材作为施工中的关键材料，其高强度特性是承受结构巨大荷载的基础，低松弛性能确保在长期使用中应力不发生明显衰减，而良好的耐腐蚀能力则使其在复杂多变的环境条件下仍能保持稳定性能。不同类型的钢材在实际应用中各有侧重，钢绞线因其由多股钢丝绞合而成，具备较高的柔韧性和承载能力，特别适用于大跨度桥梁等受力复杂的结构，在张拉过程中能够更灵活地适应各种应力变化。相比之下，钢丝具有更高的加工精度，更适合用于小型构件的预应力施工，有助于实现更精确的应力施加^[1]。锚具与波纹管是构成预应力体系的重要配套部件。锚具的锚固效率直接影响预应力的有效传递，其疲劳性能决定结构在反复荷载作用下的耐久性，密封性则保障预应力筋免受外界环境侵蚀。波纹管与锚具之间的匹配设计至关重要，合理的尺寸配合和构造形式可使预应力筋在张拉及锚固阶段始终处于良好状态，避免因连接不良引发预应力损失。张拉设备的选择直接关系到施工质量的可控性。智能张拉系统以高精度压力控制为核心，通过自动化手段实现张拉力的精准施加。该系统配备的数据采集与反馈机制可在施工过程中实时监测各项参数变化，一旦发现偏差，立即自动调整，确保张拉过程完全符合设计要求，从而有效防止因张拉误差带来的结构安全隐患。

1.2 施工流程与技术控制要点

预应力筋下料与穿索是施工起始步骤。下料时需精

确计算长度，考虑锚具厚度、张拉工作长度等因素，确保预应力筋长度准确。防锈处理采用涂抹防锈油脂、包裹防护层等方式，防止钢筋在施工与使用过程中锈蚀。穿束过程按既定顺序进行，采用合理的牵引方法，避免预应力筋相互缠绕，影响后续张拉。张拉工艺参数把控是施工关键。张拉力与伸长量双控标准，通过对比实际伸长量与理论计算值，校验张拉力是否准确传递，判断预应力筋是否存在异常。张拉顺序对结构受力影响显著，不合理的张拉顺序可能导致结构局部应力集中或变形过大。需依据结构特点与设计的要求，制定科学的张拉顺序，保证结构在张拉过程中的受力均衡。孔道压浆旨在保护预应力筋并增强结构整体性。浆体需具备良好的流动性，以便在压力作用下顺利填充孔道，避免出现空洞。密实性控制通过调整压浆配合比、控制压浆速度实现。压浆压力与持压时间设定直接影响压浆效果，适当的压力与持压时间能确保浆体充分填充孔道，排出空气，使预应力筋与混凝土紧密结合。

2 预应力施工技术的典型应用场景

2.1 混凝土路面与结构加固

在混凝土路面工程中，预应力体系的运用有效改善路面性能。纵向预应力筋沿路面长度方向布置，如同给路面施加一道向内收紧的力，通过施加预压应力，将车辆荷载反复碾压以及温度升降所产生的拉应力完全抵消，从根源上遏制裂缝产生。这种预压应力形成的内部约束，改变了路面受力模式，使路面在承受外力时处于更有利的应力状态，显著提升路面耐久性，延长使用寿命^[2]。横向预应力筋则布置在路面横向，像坚固的边框，增强板边约束，将路面板牢牢固定，防止因横向位移或翘曲导致接缝损坏，维持路面平整度，为车辆提供平稳舒适的通行环境，保障行车安全性。对于既有结构加固，体外预应力技术展现独特优势。在梁体外部增设预应力筋，新增预应力筋产生的预压力能够像杠杆一样，

抵消部分荷载产生的弯矩,减轻梁体原有结构的受力负担,降低应力水平,延缓裂缝发展,有效提升梁体抗弯能力。锚固点设置是体外预应力加固的关键,其合理的位置与构造形式,如同精准的着力点,能确保预应力有效传递至被加固结构。通过优化应力传递路径,使预应力均匀分布于梁体,避免局部应力集中,实现结构整体性能提升,让老旧结构重获稳固性能。

2.2 大跨度桥梁与特殊结构

连续梁桥设计中,预应力筋配置需综合考虑结构受力特点。正弯矩区与负弯矩区受力方向不同,预应力筋配置比例需精确计算。正弯矩区主要承受向下的荷载,需布置足够的预应力筋提供向上的预压力,抵抗弯曲变形;负弯矩区在支点附近,预应力筋配置要满足结构抗剪与负弯矩承载需求。合龙段是连续梁桥施工关键部位,需根据温度变化、结构变形等因素,制定合理的预应力调整策略,保证合龙段混凝土浇筑后,结构顺利形成连续整体,避免出现裂缝与变形过大问题。悬臂施工桥梁的施工过程复杂,挂篮预应力张拉与体系转换协同控制至关重要。挂篮作为悬臂施工的移动作业平台,其预应力张拉质量影响节段施工精度与结构安全。张拉过程需严格按照设计顺序与张拉力进行,确保挂篮与已浇筑梁段连接牢固,保证悬臂施工稳定。体系转换阶段,随着悬臂节段不断延伸,结构受力体系逐渐变化,需精确控制各阶段预应力施加,使结构平稳过渡到设计受力状态。合龙段临时预应力筋拆除时机也需谨慎把握,过早拆除可能导致合龙段开裂,过晚拆除则影响结构正常受力,需综合考虑混凝土强度、环境温度等因素,选择合适时机拆除,保障桥梁施工质量与结构安全。

3 预应力施工技术的常见问题与解决策略

3.1 张拉阶段问题

张拉力出现偏差是预应力施工张拉阶段常见难题。张拉设备标定误差是导致偏差的重要因素,设备长期使用后,压力传感器、油泵等部件性能会发生变化,若未及时校准,实际输出压力与设定值不符,造成张拉力不准确。摩擦损失计算不准确同样影响张拉力精度,预应力筋在孔道内张拉时,与孔道壁的摩擦会消耗部分张拉力,摩擦系数取值偏差、孔道弯曲角度计算失误等,都会使理论计算的张拉力与实际需要的张拉力产生差异。操作人员技能不足也会引发张拉力偏差,若操作人员不熟悉张拉流程、未严格按设计要求控制张拉速度与持荷时间,易导致张拉力失控。针对这些问题,需建立完善的设备定期校验制度,依据设备使用频率与工况,合理确定校验周期,确保设备性能稳定可靠^[3]。采用应力-伸

长量双控法,通过对比实际伸长量与理论伸长量,校验张拉力是否准确传递,若两者偏差超出允许范围,及时分析原因并调整。同时强化现场技术交底工作,施工前组织操作人员学习张拉技术规范与操作要点,使其熟悉张拉流程与质量控制标准,减少人为操作失误。

3.2 管道堵塞与钢筋断裂

管道堵塞是预应力施工中影响进度与质量的关键问题。波纹管破损是导致堵塞的首要因素,运输时未妥善固定,颠簸中相互挤压碰撞,易出现破损、孔洞;安装过程操作不当,同样会使波纹管受损,导致混凝土浆液渗入堵塞管道。混凝土浇筑环节,振捣棒直接触碰波纹管,瞬间冲击力会造成其破裂,浆液顺着裂缝涌入,阻断预应力筋穿行通道。穿束时,若预应力筋强行穿过狭窄或弯折过度的孔道,与波纹管内壁剧烈摩擦,造成刮伤、变形,也会引发堵塞。预防管道堵塞需多管齐下。波纹管进场时,严格检查规格尺寸、壁厚是否达标,通过弯折测试检验柔韧性,杜绝不合格材料用于施工。穿束前采用通孔器逐段检查,或利用高压水冲洗管道,清除杂物并验证畅通性。优化穿束工艺,预埋塑料管作为辅助通道,引导预应力筋平稳穿过,降低与波纹管的摩擦损伤风险。钢筋断裂问题不容忽视。劣质钢筋内部存在气孔、夹渣等缺陷,难以承受张拉应力,极易发生断裂。张拉工艺设计不合理,如张拉速度过快、各部位张拉力不均衡,会造成应力集中,超出钢筋承载极限。严格把控钢筋原材料质量,加强进场检验,杜绝有缺陷材料;科学设计张拉工艺,合理控制张拉速度与顺序,分散应力分布,避免局部受力过大,才能有效预防钢筋断裂。

3.3 裂缝与耐久性控制

裂缝产生严重威胁预应力结构的耐久性与安全性。混凝土浇筑后,水泥水化反应释放大量热量,致使内部温度急剧升高,而结构表面热量快速散发,由此在混凝土内外形成显著温度梯度,产生温度应力。当温度应力超过混凝土抗拉强度极限,裂缝便会萌生。混凝土在硬化过程中,水分持续蒸发,体积随之收缩,若受到周围结构约束,收缩应力便会产生,同样会导致裂缝出现。预应力损失与温度应力、混凝土收缩相互作用,进一步加剧裂缝发展进程。

应对裂缝问题,可从多方面着手。优化混凝土配合比,选用水化热较低的水泥,掺入适量粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料,在保证强度的同时减少水泥用量,有效降低水化热。加强混凝土早期养护,及时覆盖保温保湿材料,控制混凝土内外温差,延缓水分蒸发速度,减少收缩变形。在设计阶段,充分考虑预应力损失因素,通

过增加预应力筋用量、调整张拉工艺等补偿设计,弥补施工与使用过程中的预应力损失,保障结构长期受力性能。施工过程中,加强温度监测,依据监测数据及时采取降温或保温措施,避免温度应力过大,切实提高预应力结构耐久性。

4 预应力施工技术的质量控制与优化方向

4.1 施工过程管理

材料质量是预应力施工质量的基础。预应力筋进场时需严格检验其力学性能、外形尺寸,确保满足高强度、低松弛、耐腐蚀的设计要求。存放过程中,要选择干燥通风场地,底部垫高并覆盖防水布,避免预应力筋锈蚀影响性能。锚具与波纹管同样需要细致检验,锚具的锚固效率、疲劳性能关乎预应力传递效果,波纹管的密封性与柔韧性影响孔道成型质量,二者均需按批次抽检,不合格产品严禁用于工程。设备管理对施工质量起着关键作用。张拉设备长期使用后,压力控制精度会下降,定期维护需检查油泵、千斤顶、传感器等部件的磨损情况,及时更换老化密封件与损坏零件^[4]。设备标定按特定流程进行,在规定周期内送至专业机构校准,保证张拉力输出准确。压浆设备维护注重管道清理与阀门检修,防止残留浆液堵塞管道,影响压浆密实度。定期维护与标定能使设备始终处于良好工作状态,保障施工过程稳定可靠。人员素质直接影响施工工艺执行效果。操作人员需通过技能认证,掌握预应力筋下料、穿束、张拉、压浆等各环节操作要点。施工工艺标准化培训围绕设计规范与操作规程展开,详细讲解不同施工场景下的技术要求,如张拉顺序、压浆压力控制等。通过系统培训,确保操作人员熟悉工艺流程,严格按标准施工,减少因人为因素导致的质量问题。

4.2 技术创新与发展趋势

智能化技术正深刻改变预应力施工的方式。智能张拉系统的应用,使张拉力的施加更加精准,通过高精度压力控制与实时数据采集,确保施工过程稳定可控。系

统还能将张拉数据同步上传,方便管理人员远程掌握施工质量情况,提高监管效率。在结构关键部位布置无线传感器,可实现对应力、应变等参数的实时监测,为施工过程中的决策提供有力支持。BIM技术的引入则进一步提升了施工的协同能力,通过三维建模模拟预应力施工流程,有助于提前识别设计与施工之间的潜在冲突,优化施工方案,提升整体效率与质量。绿色施工理念日益成为预应力技术发展的重点方向。环保型压浆材料的研发受到关注,新型材料在保持良好流动性与密实性的同时,减少水泥使用量,从而降低碳排放。锚具设计也朝着可回收方向发展,避免传统锚具永久嵌入结构造成的资源浪费,施工结束后可将其拆除并重复利用。施工工艺也在不断优化,力求通过调整流程减少设备运行时间,降低能源消耗。这些绿色探索推动预应力施工向可持续方向迈进,更好地适应建筑行业绿色转型的趋势,并逐步推动施工方式朝更高效、更环保的方向演进。

结束语

预应力施工技术在公路桥梁建设中占据关键地位。通过对关键环节的严格把控、典型应用场景的合理运用、常见问题的有效解决,以及强化质量控制与推动技术创新,能不断提升该技术的应用水平。未来,随着智能化技术与绿色施工理念的深入应用,预应力施工技术将不断升级,推动公路桥梁建设迈向更高水平,为交通事业发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]钟锦华.预应力技术在公路桥梁工程施工中的应用[J].汽车画刊,2024(05):266-268.
- [2]翟明,吴永国,赵庆亮.预应力施工技术在公路桥梁施工中的应用[J].运输经理世界,2024(15):98-100.
- [3]岳鑫.公路桥梁施工中的预应力技术优化研究及应用[J].交通世界,2024(18):139-141.
- [4]赵久敏,张昕琪.预应力技术在道路桥梁施工中的应用探讨[J].建设机械技术与管理,2024,37(3):135-137.