

公路桥梁施工中预应力混凝土技术的应用与优化

李 龙 李 博

延安新悦交通工程有限公司 陕西 延安 716000

摘 要：公路桥梁施工质量关乎交通运输安全与发展，预应力混凝土技术在此领域应用广泛且意义重大。本文先是概述了预应力混凝土技术原理及优势，接着详细阐述其在公路桥梁施工各环节应用，涵盖原材料选择、预应力筋相关操作、混凝土浇筑养护等。同时分析了应用中常见的预应力损失过大、混凝土裂缝、压浆不密实等问题，针对性地提出优化预应力筋布置、改进工艺、控制混凝土质量及提高压浆质量等措施，旨在助力提升公路桥梁施工水平与质量。

关键词：公路桥梁；施工；预应力；混凝土技术；应用与优化

引言：随着我国交通事业的蓬勃发展，公路桥梁建设规模不断扩大，对其结构性能与施工质量也提出了更高要求。预应力混凝土技术凭借能够有效提高结构抗裂性、增强承载能力、减小结构自重等优势，在公路桥梁施工中占据着关键地位。然而在实际应用过程中，该技术面临着诸多问题，影响施工效果与桥梁后续使用性能。因此，深入探讨其应用情况并研究优化措施十分必要，这对于保障公路桥梁高质量建设有着重要意义。

1 预应力混凝土技术概述

预应力混凝土技术是一种在混凝土结构承受外部荷载之前，预先对其施加内部应力的先进工艺，旨在优化混凝土结构在使用阶段的性能表现。其核心原理在于通过张拉预应力筋并进行可靠锚固，在混凝土内部建立起预压应力状态。在施工实践中，先将高强度的预应力筋精准地铺设在设计位置，随后利用专门的张拉设备对其施加拉力，使其伸长并产生弹性势能。在保持张拉应力的状态下，对混凝土进行浇筑并使其硬化成型。当混凝土达到一定强度后，释放预应力筋的张拉力，此时预应力筋回缩，其回缩力传递给混凝土，从而在混凝土结构中形成预压应力。预应力混凝土技术具有显著优势。它能够有效控制混凝土结构在受载时的裂缝开展，大幅提高结构的抗裂性与耐久性，减少维护成本并延长结构使用寿命。同时，通过合理配置预应力筋，可优化结构受力分布，实现更大的跨度与空间，适应多样化的建筑设计需求^[1]。

2 预应力混凝土技术在公路桥梁施工中的应用

2.1 原材料选择与准备

在公路桥梁预应力混凝土施工中，原材料的选择与准备至关重要。预应力筋通常选用高强度、低松弛的钢丝、钢绞线或精轧螺纹钢，以确保能承受较大的预应力并减少应力损失。其质量需符合相关国家标准，具备

良好的抗拉强度、屈服强度和延伸率等性能指标。混凝土原材料方面，水泥应优先选择强度等级不低于 42.5 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，以保障混凝土的强度发展。粗骨料宜采用质地坚硬、级配良好的碎石，粒径一般控制在 5 - 25mm，且含泥量不得超过规定限值。细骨料通常选用中粗砂，其细度模数、含泥量等也需满足要求。同时，还需准备适量的外加剂，如减水剂可改善混凝土的工作性能，提高其流动性和可泵性，确保混凝土在浇筑过程中能够顺利进行，并使混凝土在硬化后具有良好的密实性和强度。

2.2 预应力筋的制作与安装

预应力筋的制作与安装是公路桥梁预应力混凝土施工的关键步骤。制作时，首先根据设计要求确定预应力筋的长度，然后进行下料。下料过程中应严格控制精度，一般采用砂轮切割机等设备，避免使用电弧切割导致预应力筋端部受损。预应力筋的编束也极为重要，需将多根预应力筋梳理整齐，用铁丝每隔一定距离绑扎牢固，防止在运输和安装过程中出现松散、缠绕现象。在安装预应力筋时，要确保其位置准确无误，对于直线预应力筋，应保证其顺直；对于曲线预应力筋，需按照设计给定的曲线坐标进行定位，可采用定位筋或定位支架固定，定位筋间距一般不宜过大，以防止预应力筋在混凝土浇筑过程中移位。同时，要注意预应力筋与管道之间的间隙均匀，确保预应力筋在管道内能够自由伸缩，避免因摩擦过大而增加预应力损失。

2.3 预应力筋的张拉

预应力筋的张拉是预应力混凝土施工的核心环节。张拉前，需对张拉设备进行校验和标定，确保其精度和可靠性，常用的张拉设备有千斤顶和油泵等。同时，要检查混凝土的强度是否达到设计规定的张拉强度，一般要求混凝土强度达到设计值的 80% - 90% 以上方可进行

张拉操作。张拉过程中,应严格按照设计给定的张拉顺序进行。对于多束预应力筋,通常采用分批、对称张拉的方式,以避免结构产生过大的偏心受力。张拉控制应力应根据设计要求确定,通过千斤顶对预应力筋施加拉力,在张拉过程中要实时测量预应力筋的伸长值,并与理论伸长值进行对比,伸长值偏差一般应控制在 $\pm 6\%$ 以内。若发现偏差过大,应立即停止张拉,分析原因并采取相应措施进行调整。例如,可能是由于预应力筋与管道之间的摩擦系数异常、千斤顶故障或计算理论伸长值有误等原因导致。

2.4 混凝土的浇筑与养护

混凝土的浇筑与养护直接影响公路桥梁预应力混凝土结构的质量和耐久性。在浇筑前,应对模板、钢筋和预应力筋进行全面检查,确保其安装牢固、位置准确,并清理模板内的杂物和积水。混凝土的浇筑应采用分层浇筑、分层振捣的方法,每层厚度一般控制在30-50cm,以确保混凝土的密实性。对于大体积混凝土,还需考虑控制混凝土的水化热,可采用低热水泥、掺加粉煤灰等措施降低混凝土内部温度。在振捣过程中,要选择合适的振捣器,如插入式振捣器、平板振捣器等,确保混凝土振捣均匀,避免出现漏振、过振现象,使混凝土内部无气泡、孔洞等缺陷。浇筑完成后,及时进行养护。养护方法可根据实际情况选择洒水养护、覆盖养护或蒸汽养护等。洒水养护时,应保持混凝土表面湿润,养护时间一般不少于7天;对于采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥配制的混凝土,养护时间不得少于14天。

2.5 预应力筋的锚固与封锚

预应力筋张拉完成后,需进行锚固操作,以保持预应力的长期有效性。锚固装置应具有足够的锚固力和可靠性,常见的锚固形式有夹片式、支承式、锥塞式和握裹式等,根据预应力筋的类型和工程实际情况选择合适的锚固方式。在锚固过程中,要确保锚具安装正确,预应力筋被牢固地夹持在锚具内,且锚具与预应力筋之间的连接紧密,防止预应力筋在锚固后出现滑移或松弛现象。锚固完成后,需进行封锚处理,封锚的目的是保护锚具不受腐蚀,并使预应力筋与混凝土结构形成整体共同受力。封锚混凝土的强度等级一般不低于结构混凝土强度等级,在浇筑封锚混凝土前,应对锚具周围进行清理和凿毛处理,以增强封锚混凝土与原结构混凝土之间的粘结力。封锚混凝土应振捣密实,并进行养护,养护要求与结构混凝土相同^[2]。

3 预应力混凝土技术应用中的常见问题分析

3.1 预应力损失过大

预应力损失过大是公路桥梁预应力混凝土施工中常见的问题。其产生原因较为复杂,首先是锚具变形和预应力筋回缩,锚具质量不佳或安装不当,会在预应力筋张拉锚固后出现较大变形与回缩,消耗部分预应力。其次,预应力筋与孔道壁间的摩擦不容忽视,施工中孔道偏差、弯曲以及预应力筋表面粗糙等,都会增加摩擦阻力,使预应力沿程损失增加。再者,混凝土的收缩徐变也会导致预应力损失,混凝土在硬化过程中体积收缩、长期受载下的徐变,都会使预应力筋的预拉应力降低。另外,若预应力筋发生松弛,即其在高应力状态下随时间推移而自行降低应力,同样会造成预应力损失过大,进而影响结构的预压应力效果,降低结构抗裂性与承载能力。

3.2 混凝土裂缝

混凝土裂缝在公路桥梁预应力混凝土结构中较为突出。一方面,温度变化是重要因素,在混凝土浇筑初期,水化热使内部温度迅速升高,而外部散热快,形成较大温度梯度,当温度应力超过混凝土抗拉强度时产生裂缝;在使用阶段,环境温度的反复变化也会因热胀冷缩导致裂缝。另一方面,混凝土自身收缩变形,如干燥收缩,在水分散失过程中,混凝土体积减小,若受到约束则易开裂。此外,施工质量问题也可能引发裂缝,例如混凝土配合比不合理,水灰比过大导致强度不足,振捣不密实产生蜂窝麻面,使局部应力集中,养护措施不到位,未能提供适宜的温湿度环境,致使混凝土早期强度发展不良等。这些都为裂缝的产生埋下隐患,影响结构的整体性和耐久性。

3.3 预应力管道压浆不密实

预应力管道压浆不密实是预应力混凝土技术应用中经常遇到的状况。施工工艺不合理是主要原因之一,压浆过程中压力控制不当,压力过小无法使水泥浆充分填充管道,压力过大则可能冲破管道或使水泥浆泌水。此外,压浆顺序混乱,未遵循从低端向高端、从一端向另一端的原则,容易导致空气滞留形成空洞。压浆材料性能不佳也会造成压浆不密实,如水泥浆的流动性差、稳定性不足,容易出现离析、沉淀现象,不能均匀地分布在管道内。再者,管道密封不严,在压浆时出现漏浆,使管道内实际压浆量不足,无法达到密实效果。预应力管道压浆不密实会使预应力筋易受外界侵蚀,降低结构的耐久性,削弱预应力筋与混凝土之间的粘结力,影响结构协同受力性能^[3]。

4 预应力混凝土技术的优化措施

4.1 优化预应力筋布置

优化预应力筋布置对提升公路桥梁结构性能极为关键。应依据结构受力特征与设计要求确定预应力筋的线形，如直线形、抛物线形或折线形等，以实现更合理的力传递路径，减少应力集中。在连续梁桥中，抛物线形预应力筋布置可有效适应梁体弯矩变化，提高结构抗裂与承载能力。精确设计预应力筋的间距与锚固位置，避免间距过大或过小，确保结构受力均匀性。注重预应力筋在转折点和锚固点处的构造处理，设置过渡段与加强钢筋，降低局部应力集中程度，防止因应力突变引发裂缝或预应力损失增大。此外，借助计算机模拟分析技术，对不同预应力筋布置方案进行模拟运算，对比其结构响应，从而筛选出最优布置方案，实现结构力学性能的最大化提升，保障公路桥梁的安全性与耐久性。

4.2 改进张拉工艺

改进张拉工艺可显著提高公路桥梁预应力施工的质量与效率。采用先进的智能张拉系统，其具备高精度的压力传感器与位移传感器，能实时精确监测张拉过程中的应力与伸长值，并自动调整张拉参数，确保张拉控制的准确性与一致性，有效避免人为操作误差。优化张拉顺序，根据结构的对称性与受力特点，制定科学合理的分批、分段张拉方案，减少张拉过程中结构的变形与内力重分布不均，降低混凝土开裂风险。严格控制张拉速度与持荷时间，避免张拉速度过快导致预应力筋受力不均，以及持荷时间不足引起的预应力损失，定期对张拉设备进行校准与维护，保证设备性能稳定可靠，确保张拉作业的顺利进行与数据的精准性，为公路桥梁预应力施工提供有力技术保障。

4.3 加强混凝土质量控制

在原材料选择上，严格把控水泥、骨料、外加剂等质量关，确保其各项性能指标符合设计与规范要求。例如，选用高品质的水泥，降低水泥中的游离氧化钙含量，减少混凝土因水化热导致的裂缝风险；精选级配良好、质地坚硬的骨料，提高混凝土的强度与稳定性。优化混凝土配合比，通过试验确定最佳的水泥用量、水灰比、砂率及外加剂掺量，以增强混凝土的工作性能、抗裂性与耐久性。在混凝土拌制过程中，采用精确的计量设备，保证原材料计量准确，确保混凝土质量的均匀性

与稳定性。加强混凝土浇筑与振捣管理，严格按照操作规程进行分层浇筑、分层振捣，避免出现漏振、过振现象，保证混凝土的密实度。注重混凝土的养护工作，根据环境条件制定合理的养护方案，提供适宜的温湿度环境，延长养护时间，促进混凝土强度的充分发展与性能的稳定提升。

4.4 提高预应力管道压浆质量

采用先进的压浆工艺，如真空辅助压浆技术，在压浆前先对管道抽真空，排除空气与水分，形成负压环境，使水泥浆在压力差作用下更顺畅、更密实的填充管道，有效减少孔隙与空洞的形成。选用性能优良的压浆材料，确保水泥浆具有高流动性、微膨胀性、低泌水性与良好的稳定性，其水灰比、膨胀率等指标满足规范要求，增强压浆效果与对预应力筋的保护作用。加强对压浆管道的密封处理，在管道接口处采用密封性能好的材料与工艺，确保压浆过程中无漏浆现象发生，在压浆过程中，实时监测压浆压力、流量与浆液密度等参数，建立质量控制体系，确保压浆过程符合规范要求，保证预应力管道压浆的密实度与均匀性，有效防止预应力筋锈蚀，提高结构的整体稳定性与耐久性^[4]。

结束语

综上所述，预应力混凝土技术在公路桥梁施工中有着不可替代的重要地位。通过对其应用环节的严格把控以及针对常见问题实施优化措施，能有效提升桥梁结构的稳定性、耐久性与承载能力。从原材料的精挑细选到预应力筋的精准张拉，从混凝土的科学浇筑养护到压浆质量的严格保障，每个步骤都关乎工程的成败。

参考文献

- [1]苏国天.公路桥梁施工中预应力的应用及存在的问题[J].山西建筑, 2019, (36): 188-190.
- [2]李华, 张勇, 陈亮.高速公路桥梁施工中预应力施工技术的应用[J].住宅与房地产, 2019, (15): 116-117
- [3]陈钊.公路桥梁施工中预应力技术分析[J].交通世界, 2019, (10): 92-93.
- [4]吴骄文.浅谈公路桥梁施工中预应力的应用及存在的问题[J].科技展望, 2019, (05): 28-29.