

高速公路后张法预应力混凝土桥梁施工技术

陈新欣

和天(湖南)国际工程管理有限公司 湖南长沙 410221

摘要: 本文介绍了后张法预应力混凝土连续箱梁的施工技术在新机场高速公路桥梁工程中的应用,包括施工流程、关键技术和质量控制措施。通过后张法的应用,有效提升了桥梁结构的耐久性和稳定性,并显著节省了工程成本,展示了后张法在现代桥梁施工中的经济效益与技术优势。

关键词: 后张法; 预应力混凝土; 连续箱梁; 桥梁施工

后张法是现代桥梁建设中常用的预应力施工技术之一,广泛应用于需要高强度和耐久性的桥梁工程中。该技术在混凝土硬化后对预应力筋施加拉力,通过预应力筋的张拉和孔道压浆等环节,形成结构上的预应力效应,从而提升桥梁的抗裂性、抗弯性和抗震性能。本文以新机场高速公路工程为例,探讨后张法预应力混凝土在连续箱梁施工中的应用情况及其带来的施工质量和经济效益的提升。

1. 基本概念分析

后张法施工主要由预应力筋的安装、浇筑混凝土、预应力张拉和孔道压浆等步骤组成,相较于先张法能够适应现场施工环境变化较大、设计跨度更大的桥梁及其他大型结构施工,通常施工流程如图1。后张法的最大优势在于其灵活性与高效性,尤其在施工中可进行精细调整,进而实现对混凝土的精准控制^[1-2]。

2. 后张法预应力混凝土桥梁施工特点及优势分析

2.1 结构耐受性与抗裂性较强

后张法预应力混凝土桥梁的施工特点之一是其抗裂性能和结构耐受性方面的优越性。这种施工方法通过在混凝土构件中施加预应力,有效地降低了混凝土在受力状态下产生的拉应力,从而显著减少了裂缝的形成^[3]。特别是在桥梁这种长期暴露于自然环境下且承受反复荷载的结构中,抗裂性能至关重要。后张法的预应力布置可以根据结构的受力特点灵活调整,从而最大程度地抵抗外部荷载对结构的影响,延长桥梁的使用寿命。通过合理的预应力设计,后张法桥梁能够在较小的截面内实现较高的承载力,不仅有效提升了材料的利用效率,还增强了桥梁的耐久性和稳定性,降低了后

期的维护成本。

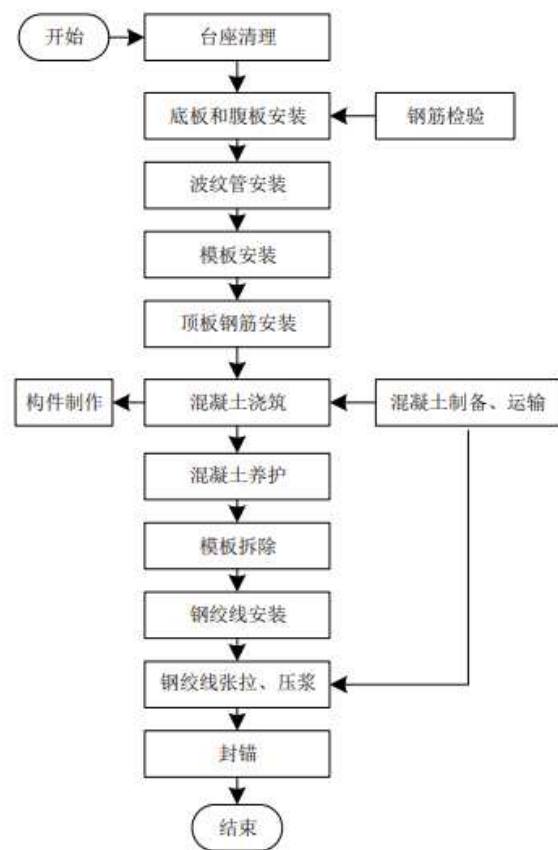


图1 后张法施工流程

2.2 钢筋强度高

后张法预应力混凝土桥梁的另一个显著特点是所使用的钢筋具有较高的强度。后张法允许在混凝土硬化后施加预应力,因此可以采用高强度的钢筋材料,充分发挥钢筋的高强性能,从而使结构具有更高的抗拉强度和承载能力。与传

统的普通钢筋混凝土结构相比，预应力混凝土的钢筋拉伸强度得到了更有效的利用，既提高了结构的整体性能，又减小了构件截面尺寸^[4]。

2.3 自身重量减小

后张法预应力混凝土桥梁相较于传统钢筋混凝土桥梁，自身重量显著减小，这主要得益于预应力的引入和材料的高效利用。后张法通过在混凝土中施加预应力，可以在结构构件中抵消一部分使用荷载带来的内力，从而降低了对混凝土截面尺寸的要求。较小的截面尺寸意味着桥梁构件所需的混凝土体积减少，从而大幅度降低了桥梁的自重^[5]。

2.4 抗震性较强

后张法预应力混凝土桥梁在抗震性方面也表现出色。预应力混凝土通过预应力筋对混凝土施加一定的预拉力，使得结构在荷载作用下的受拉区得以减小，从而有效提高结构的抗震能力。在地震作用下，桥梁结构往往会受到较大的水平荷载，而后张法引入的预应力能够帮助抵御这些不利的力学效应，显著减小结构的变形和裂缝的产生。

3. 后张法预应力施工技术在高速公路桥梁工程中的应用情况

3.1 施工准备阶段

3.1.1 检测施工设备

在后张法预应力施工技术的应用中，施工准备阶段至关重要。首先，施工设备的检测是施工准备的首要步骤，主要包括张拉设备、搅拌设备、输送泵等关键设备的检查和校验，确保设备的性能和精度符合施工要求。张拉设备是后张法施工的核心工具，其工作状态和精度直接影响预应力的效果和结构的安全性。因此，施工前必须对张拉设备进行严格的检测与校准，确保其在张拉过程中能提供稳定且准确的力量^[6]。同时，搅拌设备和输送设备也需经过检验，以确保混凝土的搅拌均匀性和浇筑的连续性。设备的检测工作能够有效避免施工中因设备故障或不精确操作而造成的工程质量问题，为施工的顺利开展打下坚实基础。

3.1.2 检验材料

在施工准备阶段，材料的检验同样至关重要。预应力混凝土桥梁的质量在很大程度上取决于所使用的材料质量，特别是预应力钢筋和混凝土原材料。施工前需对预应力钢筋进行外观检查、机械性能检测，包括拉伸强度、屈服强度和延性等指标，确保钢筋的强度和塑性符合设计要求。混凝土

的原材料，如水泥、砂石、水等，也需进行严格的检测，以确保其质量稳定、符合标准。在施工现场，还需对预应力孔道进行质量检查，确保其内壁光滑、无杂物，以保证后续张拉时摩擦损失最小化^[7]。通过对材料的全面检验，可以有效提高施工的整体质量水平，确保预应力效果和桥梁结构的安全性。



图2 桥梁孔道混凝土检验

3.2 支架安装与模板搭设

支架安装与模板搭设是后张法预应力混凝土桥梁施工的关键步骤之一。在该阶段，需要根据设计图纸进行支架的搭设，以保证桥梁在施工过程中的结构稳定性。支架的搭设应考虑桥梁的荷载分布和现场地质条件，确保其具备足够的承载力和稳定性。同时，模板的安装也必须严格按照设计要求进行，以确保混凝土浇筑后的构件形状和尺寸准确无误。模板的支设质量直接影响到混凝土表面的平整度和美观性，因此在安装过程中需严格控制模板的连接节点和支撑系统的稳固性^[8]。在支架和模板搭设完成后，还需进行整体的检查和调整，确保其在浇筑混凝土过程中不会发生变形或位移，为后续施工环节奠定良好基础。

3.3 预应力张拉

预应力张拉是后张法预应力混凝土施工中的核心步骤，其目的是通过对预应力钢筋施加张力来提高结构的承载力和抗裂性能。张拉过程需在混凝土达到设计强度的特定比例后进行，以确保混凝土能承受施加的预应力而不产生不利变形。张拉时需使用专用的张拉设备，按设计要求的顺序和步骤进行操作，确保张拉力均匀传递到混凝土构件中。张拉过程中的张拉力大小和控制精度直接关系到预应力效果，因此需严格按照施工规范进行，并对每根预应力筋的张拉力进行监测和记录，以便对张拉结果进行评估和调整。通过合理的

张拉操作，可以有效提高桥梁的整体刚度和抗裂性能，确保桥梁在长期荷载作用下的稳定性和耐久性。

3.4 钢筋绑扎和孔道安装

在后张法预应力施工中，钢筋的绑扎和孔道的安装是非常重要的环节。钢筋绑扎需严格按照设计要求进行，确保钢筋的位置和间距符合设计图纸，以保证混凝土浇筑后的结构强度和耐久性。同时，预应力孔道的安装需确保其位置的准确性和孔道内壁的光滑性，以减少预应力筋在张拉过程中的摩擦阻力。孔道可以采用金属波纹管或塑料管，根据施工需要选择适合的材料，并在安装时注意孔道的密封性，防止在混凝土浇筑过程中出现漏浆现象。钢筋绑扎和孔道安装的精度直接影响到后续预应力的施加效果，因此在施工中需进行严格的质量控制，确保每个环节的施工质量均达到标准。

3.5 完成混凝土的搅拌、浇筑及养护工作

混凝土的搅拌、浇筑及养护是后张法预应力混凝土施工的最后阶段，也是决定构件质量的关键环节。在混凝土搅拌过程中，需严格控制各组分的配比，确保混凝土的和易性和强度满足设计要求。浇筑时应分层均匀进行，避免混凝土产生分离和离析现象，确保结构的密实性。在浇筑完成后，需对混凝土进行振捣，排除内部气泡，以提高混凝土的密实度和整体强度。混凝土的养护同样至关重要，需采取保湿覆盖或喷洒养护剂等方法，保持混凝土表面的湿润状态，防止早期干缩裂缝的产生。

4. 后张法预应力混凝土桥梁施工技术质量控制措施分析

4.1 建立完善的质量管理体系

建立完善的质量管理体系是确保后张法预应力混凝土桥梁施工质量的首要措施。质量管理体系应涵盖从施工准备到工程交付的各个环节，形成闭环管理机制，确保每个阶段的施工活动都能得到有效控制。首先，应制定明确的质量控制目标和标准，涵盖原材料采购、施工工艺、设备使用等多个方面，确保各个环节均符合设计和技术规范的要求。同时，施工过程中需要建立完善的质量检查制度，对每一道工序进行严格的检查和验收，发现问题及时整改，避免质量隐患的积累。此外，还应加强施工人员的质量意识，通过定期的培训和宣讲，使施工人员熟悉各项质量要求和控制措施。

4.2 加强对混凝土质量的控制

混凝土质量是后张法预应力桥梁施工中决定结构性能的关键因素，因此必须加强对混凝土质量的控制。在混凝土

的原材料选取上，应确保水泥、砂石等材料的质量符合国家相关标准，特别是水泥的强度等级和砂石的级配情况应符合设计要求。在混凝土配合比的设计上，应通过试配确定最佳配合比，以确保混凝土的和易性、强度和耐久性。在混凝土的搅拌过程中，应严格控制水灰比和搅拌时间，确保混凝土的均匀性和稳定性。此外，在混凝土的浇筑和振捣过程中，应采取分层浇筑和充分振捣的方式，避免产生离析和蜂窝现象，确保混凝土的密实度。在混凝土硬化后的养护过程中，应保持足够的养护时间和湿度，以确保混凝土的强度能够充分发展。

4.3 构筑完善的进度控制机制

在后张法预应力混凝土桥梁施工中，构筑完善的进度控制机制对于确保施工质量和工程按期完成至关重要。进度控制机制应包括详细的施工计划编制、进度跟踪与调整、以及资源的合理调配等内容。首先，在施工前应制定科学合理的施工进度计划，明确各阶段的施工任务和工期要求，并细化到每一天的具体工作安排。在施工过程中，应对每一个工序的完成情况进行实时跟踪，通过定期的进度会议和现场检查，及时发现进度偏差，并采取相应的调整措施。此外，还应合理配置人力、材料和设备资源，确保各项施工活动能够顺利衔接，不出现因资源不足或调配不当而导致的施工延误。同时，应建立进度控制与质量控制的联动机制，避免了赶工期而牺牲施工质量的情况发生。通过构筑完善的进度控制机制，可以确保桥梁工程的施工进度与质量同步提升，实现预期的工程目标。

5. 实际案例应用

5.1 案例概况

本文选择某高速公路工程为例，展示了此技术在桥梁施工中的具体应用与实施效果。高速公路全长约 27 公里，包含 9 个土建标段。本文主要分析了某标段内预应力混凝土连续箱梁的施工，桥梁长度 2935.899 米，桥梁宽度为 38 米和 18.75 米不等，桥梁结构形式包括预制小箱梁、现浇箱梁和钢箱梁。

5.2 施工措施

本工程采用预应力混凝土连续箱梁的后张法施工技术，主要分为底膜制作与钢筋加工、波纹管安装、混凝土浇筑、后张预应力施工、孔道压浆、以及封锚和箱梁封端等步骤。

5.2.1 底膜制作和钢筋加工

作为施工的第一步，采用 C30 现浇混凝土进行底座的

主要施工，并在底座顶层和底跨中设置不锈钢材料和圆曲线的预拱度，以保证基础的稳定性。在钢筋加工中，选择20mm直径的钢筋，按设计要求进行编号和分类堆放，并完成钢筋的绑扎固定。底板和腹板的支撑均采用钢筋结构，绑扎后进行进一步的固定，以确保在张拉时钢筋的位置和结构稳定。

5.2.2 波纹管安装

波纹管需依照定位钢筋进行固定，通过焊接方式确保安装的牢固性，避免在后续施工中发生移位或松动。波纹管安装的顺序由两端向中间逐步推进，每段的安装长度为10米，确保整体安装的顺畅性和紧密性。此外，在波纹管中部加入塑料衬材，以防止内部堵塞，从而保证后张拉过程中预应力的连续传递。

5.2.3 混凝土浇筑

环节，底板、腹板和顶板的混凝土浇筑采用一次性整体浇筑，依次从底板到腹板根部，再到顶板的顺序进行。为了提高混凝土密实度，底板浇筑时使用附着式高频振捣器进行二次振捣，腹板和梁端则使用直径30mm的振捣棒。浇筑过程中，严格控制振捣棒的操作位置，避免与钢筋、波纹管及模板接触，以防止因振捣不均匀导致内部结构的缺陷。

5.2.4 后张预应力施工

在混凝土强度达到标准要求后，开始后张拉施工。首先，核查张拉设备的状态，确保设备运转正常；根据施工方案确定张拉的吨位和钢绞线的伸长量，并合理安排张拉顺序，保证每根钢绞线受力均匀。张拉过程中，严格按照0→初应力→持荷2分钟→锚固的顺序执行，确保钢绞线张拉到位。为达到理想的张拉效果，张拉前进行详细的应力分布计算，张拉时严格控制孔道轴线、锚具及千斤顶的水平一致性，避免因偏差导致张拉力失效。

5.2.5 孔道压浆

采用单孔外循环模式，通过控制压浆设备的转速及浆液的水胶比，保证孔道内部的压力均匀。压浆前浆液水胶比设定为0.28，并在制备后保持30分钟内的流动性。实际压浆过程中，为避免浆液沉淀或分离，每隔3-5分钟对浆液进行均匀搅拌。在设备检查合格后开始压浆施工，确保管路连接正常，过程中随时关注压力和流量的变化，以确保压浆的充分性和均匀性。

5.2.6 封锚与箱梁封端

在压浆完成后，将封锚模板固定，并测量梁长以确保达到设计标准。封锚混凝土浇筑完毕后静置2小时，通过洒水进行养护，直到混凝土强度达到设计值的105%后，进行封锚堵头的封闭施工。为增加封锚的牢固性，在顶板和腹板分别插入直径16mm的钢筋，在堵头和箱梁连接处用高强度砂浆进行密封处理，确保施工的整体稳定性和耐久性。

5.3 经济效益

后张法施工技术在高速公路桥梁工程中的应用不仅提高了施工效率，还降低了施工成本，实现了显著的经济效益。总工程预算为2亿元人民币，基于施工技术带来的不同效益，分别计算各项成本节省金额。详见表1：

表1 经济效益说明

项目	成本节省比例	预估节省金额(万元)	经济效益分析
缩短工期	约20%	4000	后张法高效施工缩短了工期，节省了大量人工和设备的租赁费用。
材料节省	约15%	3000	精确控制钢筋和混凝土的使用量，减少了材料浪费，显著降低了原材料采购成本。
设备维护费用降低	约10%	2000	采用高效设备和工厂化生产，减少了设备的磨损和维护频率，降低了维护成本。
质量保证	长期效益	2500	后张法增强桥梁结构耐久性，降低了未来的桥梁维修和维护费用。
安全管理成本	约5%	1000	标准化施工和实时监测降低了事故风险，减少了因安全问题产生的额外开支。

通过后张法施工技术在本工程中的应用，总体预估节省金额为1.25亿元，占总预算的约12.5%。

6. 结束语

后张法预应力混凝土连续箱梁施工技术在本次高速公路工程中展示了其在桥梁建设中的技术优势和经济效益。通过细致的施工步骤和严格的质量控制，不仅提升了桥梁的抗裂性和耐久性，同时显著降低了施工成本。后张法的灵活性和高效性使得该技术适用于复杂工况的桥梁结构，为桥梁工程带来了更高的经济性和安全性。

参考文献：

- [1] 夏育龙. 新机场高速公路工程预应力混凝土连续箱梁后张法施工技术[J]. 全面腐蚀控制, 2024,38(09):131-135.
- [2] 代勤飞. 高速公路后张法预应力混凝土桥梁施工技术与应用[J]. 科技创新与应用, 2024,14(22):193-196.
- [3] 王波. 高速公路后张法T梁预制施工质量控制研究[J]. 运输经理世界, 2024,(11):65-67.
- [4] 郭朝华. 高速公路桥梁工程后张法预应力砼箱梁施

工技术研究 [J]. 江西建材 ,2024,(02):203-205.

[5] 蒙印涟 . 高速公路后张法预制箱梁孔道压浆施工技术探究 [J]. 企业科技与发展 ,2022,(07):127-129.

[6] 李亚龙 . 桥梁施工后张法预制箱梁的张拉控制对策 [J]. 建筑技术开发 ,2022,49(06):51-53.

[7] 刘宪纯 . 论后张法预应力箱梁施工质量通病预防施工技术 [J]. 绿色环保建材 ,2021,(07):113-114.

[8] 余志勇 . 后张法预制梁张拉质量控制及锚下有效预应力提升探讨 [J]. 青海交通科技 ,2021,33(03):138-144.