

预应力施工技术在路桥施工中的应用

文 / 刘玉衡 昆山市交通工程集团有限公司

摘要: 在路桥工程中, 预应力施工技术以其优越的工程性能与经济效益, 得到了广泛应用。本文围绕路桥施工中预应力施工技术展开讨论, 从预应力的概述入手, 分析其应用优势, 阐述应用要点, 给出了应用策略, 以期能为路桥施工提供参考, 提升路桥工程项目的建设效果, 促进行业的发展。

关键词: 路桥; 预应力; 施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.04.067

引言

在路桥施工中, 预应力施工技术的应用, 不仅增强了桥梁的承载能力, 还显著提高了施工效率和结构的使用寿命, 是进行大跨度、大载重设计的首选技术方法。因此, 探索其施工技术要点及应用策略, 具有重要意义。

一、预应力技术

预应力技术是在构件中施加预先的内力, 提高结构承载能力和耐久性, 常用于混凝土结构。预应力技术主要分为两种形式, 分别为先张法和后张法。先张法是在混凝土浇筑之前, 将钢筋或钢索预先张拉至设计值, 而后进行混凝土浇筑, 使得钢筋在固化后与混凝土形成整体。后张法则是在混凝土浇筑完成后, 通过专用设备对已嵌入混凝土内部的钢筋进行张拉, 从而产生预应力。这两种方法各有优缺点, 适用于不同类型的工程和施工条件^[1]。

二、预应力施工技术在路桥施工中的应用优势

(一) 提高结构刚度

预应力施工技术通过在混凝土构件中施加预先的内力, 改变了其受力状态, 从而显著提高了结构的刚度。由于预应力能够有效抵消一部分外部荷载所导致的弯曲和变形, 使得桥梁在荷载作用下的挠度和变形大大减少, 降低宽度和高度的设计限制, 使得跨径更大, 结构更美观, 还能够提高结构在风荷载、地震等动态荷载下的抗震能力, 确保桥梁的安全与稳定。

(二) 降低工程成本

采用预应力施工技术可以在整体设计中减少混凝土和钢筋的使用量, 降低了材料成本。由于预应力结构的梁体和板体设计得较薄, 还可以减少基础和桥墩的规模, 降低施工成本。此外, 预应力施工还可以缩短施工周期, 提高施工效率, 进而减少人工成本和机械使用时间。综合考虑, 虽然预应力施工技术的初期投资较高, 但其长期的经济效益和成本节约效果显著。

(三) 提高承载能力

预应力技术通过施加内力, 可以显著提高混凝土构件的承载能力, 特别是在高强度、高荷载的桥梁应用中, 预应力技术显得尤为重要。施加的预应力能够有效

提高混凝土的抗拉和抗弯能力, 使得构件在承载大荷载时不会轻易产生裂缝或损伤。同时, 预应力结构能够承受更多的动力荷载和偶然荷载, 如车辆通行带来的冲击、风荷载或地震力等, 从而提高整个桥梁的安全性和可靠性, 确保其在各种极端条件下仍能正常使用。

(四) 延长工程使用寿命

预应力施工技术的应用显著增加了桥梁的耐久性, 从而有效延长了工程的使用寿命。由于预应力构件在受力过程中能够有效减少裂缝的产生和扩展, 使得混凝土的保护性得以提升。此外, 预应力能够降低温度变化、湿度变化等外部环境因素对混凝土材料的影响, 防止因环境因素导致的疲劳破坏。通过提高耐久性, 预应力施工技术不仅减少了日常的维护和修复费用, 而且降低了因结构损伤而引发的安全隐患, 从而保障了桥梁的长期安全运营^[2]。

三、预应力施工技术在路桥施工中的应用

某路桥项目主跨设计为120米, 总长达到500米, 桥面宽度为24米, 设计为双向四车道, 以适应快速增长的交通需求。本项目的主要结构由后张拉预应力混凝土箱梁组成, 能够有效地减轻自重并提升抗弯能力。

(一) 波纹管施工

波纹管作为预应力筋的保护套管, 用于在混凝土浇筑过程中保护和定位预应力钢筋, 是确保预应力效率和施工质量的重要组成部分。波纹管通常由高强度塑料或金属材料制成, 其柔韧性和耐腐蚀性特点使其能够在浇筑过程中有效防护预应力筋, 防止混凝土的侵蚀和锈蚀。在本工程施工时, 波纹管的尺寸和壁厚需要根据设计要求进行精确选择, 以满足张拉筋的数量和间距。在具体施工时, 波纹管的安装需严格按照设计图纸进行。施工单位应在模板和钢筋骨架上精确定位波纹管的位置, 使用固定支架将波纹管固定在准确位置, 保持其线形平直。波纹管的连接需采用专用接头, 并确保接头处紧密连接, 无明显缝隙, 以防止混凝土浇筑过程中砂浆渗入。波纹管安装完成后, 需进行严格的检查, 确保保护管无破损、无阻塞, 并且其位置与设计完全吻合。在混凝土浇筑前, 还要使用专用工具对波纹管进行内部清理, 确保通道畅通, 没有任何杂物, 确保后续预应力

筋顺利进入波纹管内部，并且在张拉过程中不受阻碍。

（二）布设孔道

孔道的准确布设不仅确保了预应力筋的有效位置和张拉过程中的顺滑，还影响着结构本身的刚性和抗裂性能。在施工开始前，施工单位必须对设计方案进行详细的审查，以明确孔道的数量、位置和尺寸。根据设计图纸，施工单位会使用激光水平仪或水准仪测量并标定孔道的准确位置，确保孔道的垂直度和水平度符合设计要求。标定完成后，应该根据施工要求，在模板或钢筋骨架上准确固定波纹管。在固定孔道时，施工单位需确保波纹管的布局符合设计要求，包括其相对位置和倾角。波纹管应保持顺直，并尽量减少弯曲和扭曲，在后期张拉过程中避免张拉筋的卡阻。为了确保波纹管连接处密封良好，避免混凝土浇筑时产生漏浆现象，施工单位会使用专用的连接套件，将各个波纹管之间进行连接。浇筑混凝土前，对布设的孔道进行全面检查，确保其内部无杂物堵塞，保证通道畅通。在混凝土浇筑过程中，需要特别注意波纹管的保护，防止混凝土渗入孔道内部，确保混凝土能够顺利填充于模具中，而不影响孔道的完整性。待混凝土达到设计强度后，即可进行预应力筋的张拉操作。在张拉之前，再次对孔道进行清理，确保内部畅通无阻，防止张拉过程中出现意外情况。张拉过程中，需按预定的张拉顺序和张拉力进行，以保证孔道内应力的均匀分布。

（三）预应力筋穿束

预应力筋穿束直接影响到结构的预应力效果和安全性。在完成孔道的布设和混凝土的浇筑后，预应力筋的穿束工作随即展开。将预应力筋穿入孔道时，施工单位会根据设计布置，将预应力筋的端部与波纹管口仔细对接，并逐段进行推动。在本工程施工时，为确保筋体顺利穿过孔道，施工单位可使用各类辅助工具，如穿束器或滑轮装置，减少摩擦力，并保护波纹管的完整性。在整个穿束过程中，施工单位应避免预应力筋在孔道中出现扭转或弯曲现象，避免因穿束不当，导致后续的张拉操作受到影响，并确保预应力筋在孔道内的自由度，防止其因固定不当，而导致的卡顿现象。施工单位应定期检查孔道的通畅度，确保预应力筋在穿束过程中顺利流动，必要时可以使用清洁气体或专用工具进行清理。穿束完成后，施工单位应对预应力筋进行复核，确保其位置、数量和长度符合设计要求。在此过程中，施工单位可以进行必要的标记，以便后续的张拉操作。当所有的预应力筋均已成功穿过孔道且确认无误后，便可开展张拉工作。

（四）预应力张拉

预应力张拉要求极其严格，施工期间必须严格遵循施工计划及质量控制规范。在开始张拉前，施工单位应当对已经安装的预应力筋和波纹管进行全面的检查，确保筋体无锈蚀、破损或其他影响张拉效果的瑕疵，确

保波纹管内部的清洁与通畅，防止在张拉过程中出现卡顿现象。所有的检查项都需详细记录，并确认符合设计要求后方可进行张拉操作。在本工程施工时，施工单位必须严格遵循设计参数施加张力，避免因张力与设计要求部分，而导致结构安全隐患问题。在进行张拉时，施工单位需密切监视设备的读数，精确控制张拉力，并在读数稳定后记录。通常，张拉会从结构的中部或关键部位开始，逐步对称地向两端扩展。此一过程中，施工单位需确保张拉力的传递均匀，避免突增的张拉力导致结构受损。每一道张拉操作都应按照设计要求逐步逐级增加，控制好整个过程中的应力变化。张拉完毕后，应对预应力筋进行锁定，并进行最终检查确认，包括检查锁定端子是否牢固、无松动或滑脱现象，同时对张拉过程中的数据进行分析，验证是否符合设计要求。施工单位需对张拉设备进行校验与维护，确保下次使用时设备的精确度和安全性。

（五）压力灌浆

压力灌浆是使用水泥浆等浆液填充预应力筋孔道与混凝土之间的空隙，增强结构的整体性和耐久性。通过有效的灌浆作业，可以降低孔道内的摩擦，确保预应力筋的力能顺利传递，同时还可以有效预防孔道内水分及其他有害物质的侵入。在本工程整个灌浆过程中，需采用专用的灌浆设备，如压力灌浆泵，设置合理的灌浆压力与流量。灌浆的压力应根据设计要求和具体的工程条件进行调整，确保压力足够，避免过高，以防止对孔道造成损坏或鼓胀现象。灌浆时，施工单位应从一端开始，逐步向另一端推进，保证灌浆的连续性和均匀性。在灌浆完成后，施工单位需监测灌浆材料的填充状态，观察是否有溢出或漏浆现象。必要时，可通过对孔道的再次检查，确认灌浆效果是否达到预期。

（六）封端

封端涉及保护预应力筋的锚固部位，防止水分和腐蚀性介质的侵入，延长路桥的结构使用寿命。在进行封端操作之前，施工单位需要对锚固部位进行全面检查，包括确认张拉操作已完成，确认张拉力和预应力筋的状态符合设计要求。如果发现任何问题，需立即进行调整或修复，以确保不影响后续的封端过程。清理锚固部位及周围区域，保证其干净且无碎屑、锈蚀或其他污染物质。封端具体包括两个主要步骤，分别为锚具安装和封端材料填充。锚具是固定预应力筋的关键部件，通常采用高质量的钢材制作，经过精确计算和加工后进行安装。在本工程施工时，为确保锚具的牢固性，施工单位需使用专用的安装工具，并严格按照设计规范进行固定，以避免预应力筋松动或移位。在填充封端材料时，施工单位应确保封端材料的均匀覆盖，避免空隙或薄厚不均的现象。根据材料特性可能需要使用专用灌浆设备或手工操作，封端材料的作业必须严格按照技术要求进行，确保材料充分固化并发挥其应有的保护作用。封端

完成后,必须对封端面进行后续的养护和检查,包括确保封端材料在规定的养护时间内保持湿度和温度条件,以达到最佳固化效果。施工单位还需定期进行检查,确认封端部位无裂纹、漏网、渗水等现象,发现问题及时修补^[3]。

四、预应力施工技术在路桥施工中的应用策略

(一) 做好施工计划

在预应力施工过程中,制定和执行一个详尽周全的施工计划是确保施工过程顺利进行、质量达到设计要求的關鍵。在施工前,施工单位应对项目进行全面分析,包括项目的规模、特点、工期要求、环境条件和施工区域的地质条件。了解预应力结构的类型,如预应力梁、板或墩柱等,及其关键技术参数。明确所需的人力、材料、设备和资金等资源,并制定合理的资源配置计划,确保在施工过程中有足够的资源供应,避免因资源短缺影响施工进度和质量。例如,计划中需要列出预应力筋、波纹管、锚具等关键材料的供应计划。根据设计文件和相关规范,确认具体的技术方案,包括预应力筋的布置方式、张拉工艺、灌浆材料的选择等。对于复杂的桥梁结构,可能需要通过试验段或模型试验来验证设计方案的合理性。将整个预应力施工过程细分为多个工序,每个工序都有明确的开始和结束时间节点、工艺流程和质量要求。制定详细的施工进度计划,采用项目管理软件Gantt图、PERT网络图等工具,将施工过程中的各个工序按时间顺序排列,明确关键路径,确保各工序之间协调同步。定期进行进度检查,及时调整计划,防止工期延误。在施工计划中明确质量与安全管理措施,包括作业指导书、操作规程、安全技术交底等,确保所有参与人员了解并遵守相关规定。计划中应包括各项质量检查和安全评估的安排,确保施工过程中的质量控制和防护措施到位。为了应对可能出现的突发情况,预先制定应急预案非常关键。应急预案应包括紧急联系人名单、应急设备清单、应急处理措施等,以确保在出现意外时能迅速采取有效措施,降低事故风险和影响。针对预应力施工的特殊性和技术要求,对施工人员进行系统的培训和技术交底,保证所有作业人员具备必要的技能和安全常识,能够正确操作预应力设备,理解和执行施工方案中的各项要求^[4]。

(二) 选择合适的材料

良好的材料,能够有效提高结构的性能、耐久性和安全性。波纹管应选用耐腐蚀、具备优良柔韧性的高强度塑料材料或金属材料,确保其能够在浇筑过程中有效保护和稳定预应力筋。同时,选择符合国家标准材料,以确保质量。根据设计要求选择合适的波纹管壁厚,以承受混凝土浇筑过程中的压力而不变形。选用符合或超过现行标准的高强度预应力钢筋,如PC钢筋,以提升其承载能力和抗拉性能。高强度材料能够缩小筋的截面,减轻结构自重。优先使用经特殊处理的抗锈蚀钢筋,或镀锌、涂塑等方式,避免钢筋在潮湿环境中生

锈,延长使用寿命。选择适合于相应环境和结构要求的灌浆材料,确保灌浆的工作性和抗渗能力。灌浆材料应具备良好的流动性和强度,能够有效填充预应力筋孔道与混凝土的空隙,增强结合力并降低摩擦,提高有效预应力的传递。在选择封端材料是,选用具有良好黏结性能和防水性能的封端材料,确保其在固化后能够稳定保护预应力筋的锚固部位,防止外部环境影响。在材料采购阶段,严格把关,要求供应商提供完整的合格证书、质检报告等,定期进行材料的抽样检测,确保材料符合设计和使用的标准。对于各类材料的存储,需注意防潮、防污染,确保材料在施工前保持良好的状态。

(三) 控制张拉过程

张拉是预应力施工的核心环节,控制张拉过程,确保了桥梁结构的稳定性和安全性。在张拉时,使用精确的张拉力传感器实时监测施加的力,确保其符合设计要求,避免瞬时施加过大的张拉力,导致结构损伤或预应力筋的破坏。定期检测预应力筋的应变情况,确保没有不正常的变形或应变,可以预警潜在的结构问题。在张拉过程中,如遇突发情况,如设备故障、意外变形等,应立即停止张拉,迅速采用应急方案进行处理,确保安全。对每次张拉过程中的数据进行详细记录,包括张拉力、位移变化、时间等,为后续的分析和维护提供重要依据。在完成张拉后,通过对记录的张拉数据进行分析,评估张拉效果,识别潜在的问题,并做出相应的调整。在张拉完成之后,按照设计标准和验收规范,对张拉结果进行系统检查。所有张拉过程的记录和分析结果都进行文档归档,以备后续审计和研究使用^[5]。

结语

综上所述,在路桥施工中,预应力施工技术具有显著的优势。施工单位应明确此技术的施工优势,掌握施工要点,并通过制定完善的施工计划、选择合适的材料以及控制张拉等方式,确保预应力施工的质量,提高路桥工程的施工质量和使用寿命。

参考文献

- [1]倪刚刚.探究预应力施工技术路桥施工中的应用及常见问题[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022(8):90-93.
 - [2]邓鹏,邵先祥.市政路桥施工中预应力技术的应用研究[J].建筑与装饰,2024(9):100-102.
 - [3]岳炜坤.浅析市政路桥施工中预应力技术的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2023(17):105-107.
 - [4]郑键滨.市政路桥施工中预应力技术的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2023(6):106-108.
 - [5]张瑞.市政路桥施工中预应力技术的应用研究[J].建筑工程技术与设计,2023(23):150-152.
- 作者简介:刘玉衡(1989.8-),男,汉,安徽泗县人,本科,工程师,从事工程管理工作。