

# 公路桥梁预应力施工工艺的应用研究

汪泓

广东虎门技术咨询有限公司

**摘要：**公路桥梁作为现代交通建设的重要组成部分，其安全、稳定和持久性关系到千家万户的生活和经济活动。随着工程技术的发展，预应力技术已广泛应用于公路桥梁施工中，以其独特的优势满足更高的工程要求。然而，如何准确、高效地进行预应力施工，确保预应力的持久性和稳定性，成为当前工程技术界关注的焦点。因此，深入探讨公路桥梁预应力施工工艺的应用，对于提高我国公路桥梁建设的技术水平和工程质量具有重要意义。

**关键词：**公路桥梁；预应力；施工工艺

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.23.054

## 一、引言

预应力技术在公路桥梁建设中的应用不仅满足了更大跨度、更高承载能力的需求，还在优化结构设计、提高工程经济效益和确保结构安全性方面发挥了不可替代的作用。通过引入预应力，桥梁结构中存在的应力可以得到有效调整，使其在使用过程中更为稳定，减少了由于外部载荷或环境因素导致的不必要的裂缝和变形。此外，预应力技术还允许设计师采用更加经济、环保的材料和施工方法，降低整体的工程成本。更为重要的是，预应力技术在提高桥梁的抗震、抗疲劳和抗侵蚀性能方面也显示出显著的优势，为公路桥梁的长期稳定运营提供了坚实保障。因此，预应力技术不仅赋予了公路桥梁更为优越的性能指标，也为现代交通建设注入了持续创新的动力<sup>[1]</sup>。

## 二、预应力施工工艺概述

预应力是一种通过先行施加应力于结构材料中，再对结构施加外部载荷时，所产生的应力与先行施加的应力相互抵消或减小，从而改善或增强结构性能的技术。它可以根据施加的时机、方法和设备进行分类，如预制预应力、现浇预应力、外部预应力等。在预应力施工的基本工艺流程中，首先要选择合适的预应力筋材，并按照设计要求进行布置；随后，采用专用设备对预应力筋进行张拉，以施加预定的预应力；在张拉达到设计值后，通过浇筑混凝土或采用其他固定方法，将施加的预应力固定在结构中；最后，随着混凝土的硬化或其他固定方法的完成，预应力逐渐转移给结构，从而实现预应力的效果。预应力原材料的选择十分关键，它直接决定了预应力的大小和效果。常用的预应力筋材包括高强度钢丝、钢绞线和钢棒，它们都具有高的抗拉强度和良好的伸长性，能够满足预应力的要求。此外，预应力的固

定和转移还需要使用一些特殊的材料，如锚具、套筒和黏结剂，它们需要具有足够的强度和稳定性，以确保预应力的安全和有效<sup>[2]</sup>。

## 三、公路桥梁预应力筋束及其施工工艺

### （一）预应力筋束的选型和布置

公路桥梁预应力筋束的选型和布置对于整体桥梁结构的性能和安全性至关重要。筋束的选型通常基于设计要求、受力特点以及经济效益的综合考虑。常见的预应力筋材如高强度钢丝、钢绞线和钢棒，因其具有卓越的抗拉强度和良好的伸长性，成为主流的选择。在布置预应力筋束时，需要深入考察桥梁的受力状况和结构特点。筋束的布置应确保其能有效地抵御外部载荷带来的不利应力，同时也要考虑筋束在桥梁整体中的均匀分布，避免产生结构应力集中。同时，筋束的布置还应考虑到施工的便利性和经济性，确保预应力筋束能够在最佳的位置实现预应力效果，提高桥梁的承载能力和使用寿命。此外，根据不同的设计和施工需求，筋束的布置可能采用直线、曲线或复合的方式，以满足特定的工程条件和性能要求。

### （二）张拉顺序和张拉工艺

张拉顺序与张拉工艺在公路桥梁预应力施工中占据着核心地位。正确的张拉顺序能确保预应力在结构中均匀分布，防止因应力集中导致的结构损伤或裂缝。通常，张拉从桥梁的中部开始，逐渐向两端进行，这样可以确保桥梁在施加预应力时保持平衡，避免过度偏移。然而，特定的设计或受力条件可能需要采用不同的张拉顺序。至于张拉工艺，首先需要对预应力筋束进行预张拉，达到一定的初张拉力度，然后再进行正式的张拉。使用专用的张拉设备，如液压张拉机，将预应力筋束拉到预定的张拉力度，并采用锚具或其他固定方法将筋束固定在位。在张拉过程中，必须密切监控筋束的应力和伸长量，确保其达到设计要求。张拉结束后，预应力筋束与混凝土结构之间的接触面需要进行密封处理，以防止筋束与环境中的有害物质接触，导致腐蚀或其他损伤<sup>[3]</sup>。

### （三）张拉后的固定和保护

张拉后的固定和保护是确保公路桥梁预应力持久和稳定的关键步骤。完成张拉工作后，预应力筋束所施加的应力需要通过专用的锚具或其他固定方法牢固固定在结构中，以防止筋束的松弛或失效。这些锚具要求具有高强度、抗腐蚀性并能够持久地与预应力筋束及周围的混凝土紧密结合。固定完成后，为了防止筋束受到环境

因素，如水分、盐分或化学物质的侵蚀，需要对筋束进行有效的保护。常见的做法是使用具有防水和抗腐蚀性能的材料对筋束进行封闭或包裹，如使用特殊的保护膜或涂层。此外，结构内的预应力筋束还需要定期进行检测和维护，以确保其保持良好的状态，及时发现和处理可能的损伤或腐蚀问题。透过这些措施，可以确保公路桥梁预应力筋束在整个使用周期内都能有效地发挥其作用，为桥梁的稳定和安全提供坚实的支撑。

#### （四）预应力筋束的监控和检测

预应力筋束的监控和检测是确保公路桥梁结构完整性和长期稳定性的关键环节。随着预应力技术的不断进步，多种先进的传感器和监测系统已被开发并应用于实际工程中，用以实时监测预应力筋束的应力状态、伸长量和其他关键参数。通过这些数据，可以及时发现筋束的异常变化，评估结构的健康状况，并为维护和修复提供有力的数据支持。除了实时监控，定期的物理检测也是不可或缺的。采用声发射、超声波和其他无损检测技术，可以深入了解筋束内部的完整性和潜在的损伤。这些检测方法旨在发现和评估微小的裂缝、腐蚀和其他隐患，确保预应力筋束在其整个生命周期中始终保持最佳状态，为公路桥梁提供持续且可靠的支撑。

### 四、公路桥梁预应力锚具及其施工工艺

#### （一）锚具的类型和选择

公路桥梁预应力锚具作为预应力系统的关键组成部分，其选择与类型直接影响到结构的稳定性和预应力的持久性。锚具主要根据预应力筋材、张拉方式及结构形式有多种类型，包括楔块锚具、夹板锚具、环形锚具等。楔块锚具适用于高强度钢丝或钢绞线，利用楔形原理固定筋材，保证张拉后的稳定性。夹板锚具多用于钢棒，通过夹持力实现固定。环形锚具则广泛应用于大跨度和重载的公路桥梁，以实现更高的承载能力。选择锚具时，不仅要考虑其与筋材的匹配性，还需考虑施工条件、经济性及锚具的可靠性和持久性。合理的锚具选择能够确保预应力的有效传递，增强结构的抗裂和抗变形能力，进而延长公路桥梁的使用寿命。

#### （二）锚具的安装和固定

公路桥梁预应力锚具的安装和固定是确保预应力效果得以持久传递的关键步骤。首先，锚具的放置位置应根据设计图纸和施工条件精确确定，确保其位于筋束张拉的有效区域内。在安装前，要对锚具进行全面检查，确认无缺陷或损伤，并确保所有零部件齐全。安装过程中，应使用专用工具和设备，按照制造商的建议和技术要求进行操作，确保锚具的稳固性和工作效能。完成安装后，进行初步固定，使用高强度的螺栓或焊接技术，使锚具牢固地与桥梁结构连接。随后，在预应力筋束张拉时，锚具会进一步地与筋束紧密结合，实现筋束的稳定固定。整个安装和固定过程要严格按照技术规范进行，确保公路桥梁在受到各种载荷作用时，预应力能够

有效地传递和分布，从而提高桥梁的使用寿命和安全性能。

#### （三）锚具的张拉和调试

公路桥梁预应力锚具的张拉和调试是确保预应力完整传递和长期稳定的重要环节。在锚具张拉之前，必须确保预应力筋束已按照设计要求正确放置，并且锚具与筋束之间的连接紧固无误。张拉过程使用专用张拉设备，逐步增加张拉力度至设计值，同时监测筋束的伸长量和锚具的应力分布，以确保其均匀并达到预定的效果。完成张拉后，需要对锚具进行调试，确认其与筋束的固定关系稳固，没有滑移或其他异常现象。此外，通过调试还能优化锚具的工作状态，确保其在后续的结构使用过程中能够稳定地承受各种载荷，并持续地传递预应力。整个张拉和调试过程都需要严格按照施工规范和技术标准进行，确保预应力筋束和锚具之间的完美协同，为公路桥梁提供坚实的预应力支撑。

#### （四）锚具的维护与保养

锚具作为预应力系统的核心部件，其性能与稳定性直接影响到预应力混凝土构件的长期行为和安全性。为确保锚具的可靠性，维护与保养显得尤为关键。首先，定期进行锚具的外观检查，关注其是否有锈蚀、损伤或变形的迹象。同时，对锚具及其周围的混凝土进行密切观察，以检测潜在的裂缝或渗漏。其次，定期进行张拉力测试，以确保锚具仍然能够承受预应力筋所施加的力量。在高风险环境下，如海洋或化学环境中，额外的防腐措施如涂层或防锈涂料的应用可以进一步延长锚具的使用寿命。最后，应定期更新和完善维护记录，确保所有维护活动都得到了妥善的记录和追踪，为未来的检查和研究提供宝贵的数据支持。

### 五、公路桥梁预应力混凝土梁及其施工工艺

#### （一）混凝土浇筑前的准备工作

公路桥梁预应力混凝土梁的浇筑是一个复杂而精细的过程，而浇筑前的准备工作则为这一关键步骤打下了坚实的基础。首先，必须确保模板的尺寸、形状和位置完全符合设计要求，同时确保模板的稳固性和密封性，避免混凝土浇筑时的渗漏或变形。接下来，预应力筋束应按照设计布置在模板内，并与预定的锚具进行连接。这些筋束需要进行预张拉，以保证在混凝土浇筑后能够有效传递预应力。在筋束布置完成后，应对其进行清洁和防锈处理，确保其在混凝土中的黏结性和持久性。最后，根据施工条件选择合适的混凝土配合比，并进行试拌，确保其流动性、坍落度和强度符合设计和施工要求。通过这些细致的准备工作，为后续的混凝土浇筑提供了有力的保障，确保预应力混凝土梁的质量和性能。

#### （二）混凝土浇筑的工艺要点

公路桥梁预应力混凝土梁的浇筑是一门艺术与科学的结合，关键在于精确、有序地完成每个步骤，确保混凝土的质量和预应力的有效传递。混凝土在浇筑前要进

行充分的搅拌，确保其均匀性和满足设计要求的工作性能。浇筑时，应从模板的一侧开始，逐渐向另一侧推进，避免混凝土的积聚和空气的困留，确保浇筑的连续性和均匀性。同时，采用振动棒对混凝土进行适度的振捣，消除混凝土内的气泡，增加其紧密性。浇筑完成后，需及时进行表面整平和抹光，以达到所需的外观质感。为了防止混凝土过早失水和开裂，需要进行充分的养护，如覆盖湿布或使用养护剂。整个浇筑过程中，要密切监测混凝土的温度和湿度，确保其在适宜的条件下固化，从而保证预应力混凝土梁的结构性能和耐久性。

### （三）混凝土的养护和后期应力引入

混凝土养护在公路桥梁预应力混凝土梁的施工中起到至关重要的作用，它确保了混凝土的逐步硬化和强度的发展。对刚浇筑完成的混凝土进行及时覆盖，使用湿布或特制的保湿膜，防止水分的迅速蒸发，从而避免表面开裂。在一定的时间内，根据气候和混凝土配合比，还需定期对其进行喷水，保持其持续湿润状态，确保混凝土在恒定的湿度和温度下进行硬化。随着混凝土的硬化，可以开始后期的应力引入。此时，依据设计要求，逐步进行预应力筋束的张拉，将预应力完全引入到混凝土梁中。整个应力引入过程需根据预定的张拉顺序和力值进行，同时对混凝土的应力状态和筋束的变形进行持续监测，确保其安全稳定地完成。

## 六、先进的预应力施工技术及其趋势

### （一）自应力预应力技术

自应力预应力技术是预应力混凝土结构领域的一种创新方法。与传统的预应力技术不同，它不依赖于外部的张拉设备或锚具系统。自应力预应力技术主要利用特殊的混凝土材料或掺合物，在混凝土硬化过程中产生体积变化，从而在混凝土内部形成压缩应力。这种技术可以显著减少混凝土裂缝的产生，增强其耐久性和承载能力。此外，由于省去了传统预应力的张拉和固定环节，施工过程更加简便和高效。随着新型掺合物和混凝土材料的不断研发，自应力预应力技术得到了进一步的完善和优化。它在桥梁、隧道、高层建筑等领域的应用也日益广泛，被视为未来预应力混凝土施工的重要方向。

### （二）外部预应力技术

外部预应力技术在近年来在预应力混凝土结构领域得到了广泛应用。不同于传统的内部预应力，此技术将预应力筋束布置在混凝土构件的外部，并通过锚具或其他固定方式在混凝土表面产生压缩应力。这种方法的明显优势在于它允许更为灵活的筋束布置，可根据结构的实际受力情况进行调整。此外，由于预应力筋束位于构件外部，对其进行维护、检查和替换都变得更为简便。同时，外部预应力技术也大大降低了混凝土内部由于筋束产生的应力集中和裂缝问题。随着施工技术的进步和新材料的应用，外部预应力技术持续得到完善，其在桥梁、建筑和其他大型结构中的应用前景广阔，被认为是

预应力施工领域的一个重要发展方向。

### （三）超高强度预应力筋的应用

超高强度预应力筋在现代预应力混凝土结构中的应用标志着技术的一个巨大飞跃。这种材料拥有远超传统预应力筋的抗拉强度和弹性模量，使得其在同样的截面下能够提供更高的预应力值。这一特性不仅允许设计更为轻薄、优雅的结构，还能够有效提高结构的承载能力和抗震性能。超高强度预应力筋的引入，为设计师提供了更大的设计自由度，为传统的预应力结构打开了新的可能性，如更大跨度的桥梁、更瘦长的塔楼等。此外，由于这种筋的高强度特性，它还可以减少结构中钢筋的使用量，从而降低工程成本和施工难度。然而，与此同时，这种材料也对施工技术和设备提出了更高的要求，需要更为精密的张拉控制和更为严格的施工监测。随着研发进步和实践经验的积累，超高强度预应力筋的应用逐渐从试验性质向广泛应用过渡，预计在未来将在全球范围内得到更为广泛的推广和使用。

### （四）智能化预应力施工技术的发展趋势

智能化预应力施工技术的发展趋势是现代建筑工程领域中的一个热点。借助先进的传感器、物联网技术和大数据分析，施工过程可以实现实时监测、精确控制和自动优化。这些技术不仅确保了预应力施工的精度，还显著提高了工作效率和安全性。例如，通过内嵌在混凝土中的传感器，可以实时监测混凝土的固化过程、内部温度和应力分布，从而确保预应力的正确引入。再如，通过智能算法和机器学习，可以对施工数据进行深入分析，预测潜在的问题并提前采取措施。此外，自动化和机器人技术也在预应力施工中得到了广泛应用，如自动张拉机、智能喷浆机等。这些设备不仅提高了施工的精度，还显著降低了人工操作的风险。

## 结语

随着科技的不断进步，预应力施工技术及其应用领域也将继续迎来深刻的变革。智能化、自动化和可持续性将成为未来施工技术的三大核心趋势。物联网、大数据和机器学习等技术的广泛应用将使施工过程更加精确、高效和可靠。此外，环境友好型材料和再生资源的广泛采纳预计会赋予桥梁建设更强的可持续性和环境适应性。在这种背景下，桥梁工程将不仅仅是单纯的建设项目，更将成为科技、艺术和环境保护的完美结合。

## 参考文献

- [1] 魏永文. 公路工程桥梁施工中预应力技术探讨[J]. 建材发展导向, 2022, (20): 169-171.
- [2] 孙延光. 公路桥梁施工预应力技术措施研究[J]. 交通建设与管理, 2022, (04): 136-138.
- [3] 李涛. 预应力施工技术在公路桥梁工程中的应用[J]. 安阳工学院学报, 2022, (04): 91-93.