

路桥工程中预应力施工技术的运用

文 / 范鹏程 安徽建工公路桥梁建设集团有限公司

摘要:在当下路桥工程建设进程中,预应力施工技术凭借无可比拟的独特优势,已深度融入到工程的各个关键环节,成为保障工程结构稳固坚实、具备长久耐久性以及强大承载能力的核心技术手段。本文着眼于这一关键技术,全面且深入地剖析其在路桥工程中的应用原理,细致梳理施工流程,着重解析关键技术要点。并结合具体实际工程案例,直观阐述其应用后所达成的显著效果。旨在为路桥工程建设中科学、高效运用预应力施工技术给予全方位参考,助力推动路桥工程建设质量与水平迈向新高度。

关键词:路桥工程; 预应力施工技术; 混凝土浇筑; 预应力张拉

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.14.069

引言

伴随我国交通基础设施建设持续向纵深发展,规模不断扩张,路桥工程作为交通网络中至关重要的节点与纽带,其建设规模日益宏大,技术要求也愈发严苛。预应力施工技术作为一项先进且成熟的施工工艺,通过在结构构件受荷之前预先施加应力,从根本上改善了结构的受力性能,大幅增强构件的抗裂性、刚度以及耐久性。无论是桥梁的梁体、桥墩,还是道路的路面基层,都能看到它的身影。科学合理运用预应力施工技术,不仅可以显著提升路桥工程的质量与安全性,有效延长工程使用寿命,还能切实降低工程后期维护成本,蕴藏着巨大的经济效益与社会效益,对其深入研究意义深远。

一、预应力施工技术原理与优势

(一) 基本原理

预应力施工技术的核心是在混凝土结构或构件承受外力荷载前,通过预先张拉预应力筋(包括钢绞线、钢丝束等)并对其锚固,使混凝土预先受到压应力。如图1所示,结构在承受外荷载时,外荷载所产生的拉应力会抵消掉混凝土的预压应力,推迟混凝土裂缝出现并限制裂缝发展,强化结构的抗裂性、刚度^[1]。

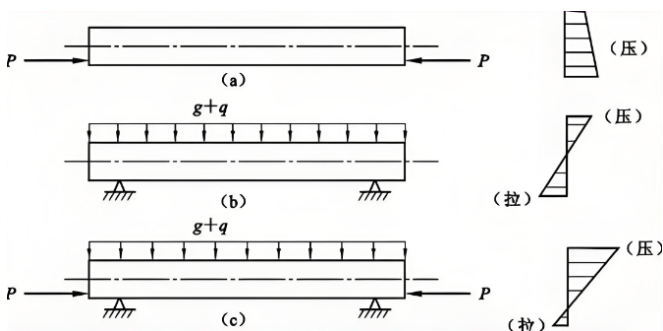


图1 预应力技术原理示意图

以简支梁为例,在梁的受拉区布置预应力筋,张拉预应力筋后,梁体会产生返拱,相当于在梁上施加了一个与外荷载相反的作用力,使梁在承受外荷载时,受拉区混凝土所受拉应力减小,提升了梁的承载性能。

(二) 技术优势

1. 提高结构承载能力

预应力施工技术通过对混凝土施加预压应力,可有效提升结构抗弯、抗剪性能,使路桥结构能承受更大的荷载。在大跨度桥梁建设中,采用预应力技术能明显增加桥梁跨度,减少桥墩设置数量,控制施工成本。

2. 增强结构耐久性

预应力结构可有效控制裂缝出现、发展,降低雨水、腐蚀性介质等外界因素对混凝土内部钢筋的侵蚀,使结构耐久性得到提升,延长了路桥工程的使用寿命。

3. 减小结构变形

在施加预应力之后所产生的返拱力可抵消部分、全部由外部荷载引起的结构变形,使路桥结构在施工期间保持更好的平整度、稳定性,提升形成的安全性、舒适性^[2]。例如,道路路面基层施工中采用预应力工艺,有助于减少路面在车辆荷载作用下的沉降与变形。

二、路桥工程中预应力施工技术的施工流程与关键技术要点

(一) 施工流程

1. 施工准备

施工准备作为预应力施工的基础环节,起到重要的辅助作用。施工人员须详细审核图纸内容,全面掌握设计意图、技术要求、各部分构造细节,第一时间发现并解决图纸中的问题。对于预应力筋等原材料,应检查其外观是否有锈蚀、损伤等缺陷,抽样检测其强度、延伸率等力学性能;锚具、夹具应检验其硬度、锚固效率系数等指标;混凝土应严控配比设计与原材料质量。同时,全面调试张拉设备、压浆设备等机械设备,确保设备能安全、稳定、有效运行。做好施工现场平整工作,为后续施工创造良好条件,通过精准测量放线,明确预应力筋安装位置与结构的施工控制线。

2. 预应力筋制作与安装

结合设计标准,精准计算预应力筋的下料长度,使用专用工具下料,如砂轮切割机等,确保下料规范性,

避免损伤预应力筋端头。下料完毕后对其编束，将预应力筋梳理顺直，每隔一段距离用铁丝绑扎牢固，形成规则、完整的束体。在安装期间，通过定位钢筋将预应力筋精准放置在模板内的指定位置，保证其平面位置、高程偏差不得超过标准范围，采取可靠的加固措施，以防混凝土浇筑期间因振捣等因素产生位移。

3. 混凝土浇筑与养护

预应力筋安装完毕且质量检验合格后，开展混凝土浇筑工作。浇筑中，应采用适宜的振捣设备与方法，保证混凝土振捣密实度，以免出现蜂窝、麻面等质量缺陷。同时，振捣期间振捣棒不得直接接触预应力筋，以防其产生偏移或损伤。完成混凝土浇筑工作后，按照规定养护标准进行养护，可采用洒水保湿或覆膜养护等方法，保证混凝土强度在适宜的温度、湿度环境下正常增长，达到设计标准强度。

4. 预应力张拉

待到混凝土强度达到设计张拉强度后，可进行预应力张拉。张拉前，再次检查张拉设备是否能可靠运行，确认无误后，即可按照张拉顺序、张拉力进行操作。采用双控法，以张拉力控制为主，由油泵向千斤顶供油，使千斤顶的活塞伸出，对预应力筋施加拉力，达到设计张拉力值。伸长值校核为辅，测量预应力筋的实际伸长值，与理论伸长值对比，确定二者偏差并调节^[3]。

5. 孔道压浆与封锚

完成张拉工作后，及时向孔道压浆。先做好孔道清理工作，保持内部通畅。压浆采用专用的压浆设备，将搅拌均匀的水泥浆通过压浆泵注入预应力筋孔道内。为了确保压浆质量，可采用真空辅助压浆工艺，将孔内抽成真空并压入泥浆，提升水泥浆的密实度。完成压浆工作后，对锚具封锚处理，用混凝土将锚具包裹起来，避免受到外界侵蚀，确保预应力体系长期稳定。

（二）关键技术要点

1. 预应力筋的质量控制

作为预应力施工的核心材料之一，预应力筋的质量直接决定了施工效果。采购期间，应选择资质齐全、信誉良好的供应商，严格核对产品规格、型号、质量证明文件等。在存放期间，将预应力筋放置在干燥、通风环境下，避免受潮锈蚀，同时防止其受到尖锐物刮擦、机械挤压等损伤。使用前还需检查一次外观情况，对有疑问处抽样复试^[4]。

2. 张拉设备校准与维护

张拉设备使用前，严格按照规范标准对张拉设备校准，建立张拉力与油表读数的对应关系曲线。定期对设备进行维护保养，检查油泵油质、油量以及千斤顶密封性能、活塞运行情况等。一般情况下，张拉设备使用超

过6个月或张拉次数超过200次，需重新校准，保证设备性能始终达到施工标准。

3. 预应力张拉控制

预应力张拉作为施工的核心环节，操作时应严格按照设计要求的张拉顺序与张拉力作业。采取双控工艺时，如若实际伸长值与理论伸长值误差超过6%，则要立即停止张拉，检查误差产生原因。通常包括预应力筋的弹性模量与设计取值不符、孔道摩阻损失过大、张拉设备误差等因素导致误差过大，并针对性采取针对性措施，问题解决后即可继续张拉。此外，需严控张拉速度，避免张拉过快使结构瞬间受力过大产生损伤，或张拉过慢增大预应力损失。

4. 孔道压浆质量控制

孔道压浆质量直接影响预应力筋的耐久性、结构整体性。通过试验确定压浆所用水泥浆配合比，保证其具备良好的流动性、泌水性、强度。在压浆前，做好孔道清洁和湿润处理，以保证水泥浆和孔道壁间的粘结性。在压浆期间，严控压浆压力与时间，压浆压力不得超过0.5-0.7MPa范围，确保水泥浆充满整个孔道，且在孔道另一端均匀冒浆后，保持一定压力3-5min。完成压浆后，抽查孔道压浆后的饱和度、制作压浆试块检验强度等，严格检验压浆密实度^[5]。

三、预应力施工技术在路桥工程中的实际应用案例分析

（一）工程概况

某城市跨江大桥工程是城市交通的关键枢纽，连接着两岸的经济发展区域，对交通流量的承载需求极大。主桥设计为预应力混凝土连续箱梁桥，桥跨布置为(40+60+40)m，这种桥跨组合既满足了跨越江面的需求，又兼顾了结构受力的合理性。箱梁采用单箱单室截面，梁高随跨径变化，根部梁高4m，跨中梁高2m，如此设计能有效适应不同部位的受力特点，在满足强度要求的同时，减轻结构自重。该桥所在地区交通流量大，日均车流量达5万辆次，且重型货车占比约15%，这对桥梁的承载能力和耐久性提出了极高要求。

（二）预应力施工方案

1. 预应力体系设计

为了满足桥梁复杂的受力需求，在箱梁的纵向、横向和竖向均精心布置了预应力筋。纵向采用高强度低松弛钢绞线，直径15.2mm，其抗拉强度标准值 f_{ptk} 为1860MPa，张拉控制应力设定为 $0.75f_{ptk}$ ，即1395MPa，以此提供强大的纵向预压应力，抵抗桥梁在自重和车辆荷载作用下产生的拉应力；横向采用扁锚体系，预应力筋为直径12.7mm的钢绞线，有效增强箱梁横向的抗裂和承载能力；竖向采用精轧螺纹钢，直径32mm，保障箱梁在竖向方向的结构稳定性。

2. 施工措施

施工团队首先依据设计图纸，在模板上精确标记出定位钢筋的位置。定位钢筋采用直径12mm的HRB400钢筋，按照间距不大于50cm的标准进行布置，以此来固定预应力筋。在安装钢绞线时，施工人员小心翼翼地将编束好的钢绞线穿入孔道，避免钢绞线出现扭曲、缠绕的情况。在穿束过程中，使用专门的牵引设备，控制牵引速度在每分钟10m以内，确保钢绞线平稳就位。完成穿束后，再次复核预应力筋的平面位置和高程，保证其平面位置偏差严格控制在10mm以内，高程偏差在5mm以内，通过多次测量和微调，使预应力筋处于最佳的设计位置^[6]。

预应力筋安装完成且检验合格后浇筑混凝土。浇筑前，全面检查模板情况，保证其密封性、稳固性，以防出现漏浆、胀模现象。混凝土选用商品混凝土，坍落度控制在180-220mm之间，确保良好的流动性、施工可行性。混凝土浇筑中，使用插入式振捣棒振捣，均匀布置振捣点，间距不超过振捣棒作用半径的1.5倍，振捣持续20-30s，以混凝土表面无气泡、均匀泛浆为准。振捣棒与预应力筋间至少保持10cm间距，以免二者相互触碰导致预应力筋位置偏移或受损。

混凝土浇筑完成并达到设计强度的85%以上且龄期不

少于7d时，开始张拉预应力筋。张拉前，再次检查张拉设备并校准，确保参数正确、运行正常。张拉顺序为“先纵向、后横向、再竖向”，保证结构受力的均匀性。纵向张拉时，采用双控法张拉，以保持梁体受力均匀。在张拉期间，严格执行双控法，以张拉力控制为主，伸长值校核为辅，将实际伸长值与理论伸长值的偏差控制在6%。

张拉完成后，在48h内及时进行孔道压浆。压浆前清理并湿润孔道。采用真空辅助压浆工艺，将孔道内抽真空至-0.09MPa左右，再进行压浆作业。压浆中，将搅拌均匀的水泥浆以0.5-0.7MPa的压力压入孔道。其间密切观察压浆情况，确保水泥浆从孔道另一端饱满冒出且稠度一致。当水泥浆在孔道内充盈后，保持0.5MPa的压力稳压3-5min，以保证孔道压浆的密实度^[7]。

(三) 应用效果

在路桥工程建成通车后，经历了多年运行，各项性能表现出色。通过定期变形监测，桥梁最大竖向变形在15mm以内，远低于设计要求的30mm限值，结构整体性良好。在裂缝观测上，全桥未出现超过0.1mm宽的裂缝，保证了结构耐久性。通过荷载试验检测，桥梁实际承载能力达到设计荷载1.2倍，完全满足交通流量和重型车辆通行的需求。具体数据对比如表1所示：

表1 桥梁实际监测参数

监测项目	设计要求	实际监测结果	达标情况
最大竖向变形	≤ 30mm	15mm	达标
裂缝宽度	≤ 0.15mm	未出现宽度超过0.1mm裂缝	达标
承载能力	满足设计荷载	达到设计荷载的1.2倍	达标
预应力损失率	≤ 10%	8%	达标
梁体应力分布偏差	±10%	±5%	达标
桥面平整度偏差	±3mm	±2mm	达标
结构自振频率	符合设计模态分析	实测频率与设计值偏差在5%以内	达标

该桥凭借预应力施工技术的合理应用，有效保障了城市交通的安全和畅通，为区域经济发展提供了坚实支撑，也为同类型路桥工程的建设提供了宝贵的实践经验。

结语

综上所述，预应力施工技术在路桥工程中具有不可替代的重要作用，其合理应用能够显著提高路桥工程的质量、承载能力和耐久性。通过深入理解预应力施工技术的原理和优势，严格把控施工流程和关键技术要点，结合实际工程情况科学应用，并针对应用中存在的问题采取有效的改进策略，能够充分发挥预应力施工技术的优势，为路桥工程建设提供坚实的技术支撑。随着技术的不断发展和创新，预应力施工技术将在路桥工程领域得到更广泛、更深入的应用，推动我国交通基础设施建设迈向更高水平。

参考文献

[1] 洪丽. 市政路桥工程中预应力施工技术重点研

究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(21): 193-195.

[2] 戴永健. 市政路桥工程建设中预应力施工技术的应用研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(21): 196-198.

[3] 王军. 公路工程道桥施工中预应力施工技术的运用研究[J]. 人民交通, 2022(7): 78-80.

[4] 李长贵. 市政路桥工程中预应力施工技术重点探究[J]. 河南建材, 2022(2): 163-166.

[5] 张鑫, 于忠涛. 市政路桥工程中预应力施工技术重点探究[J]. 中国航班, 2022(2): 139-141.

[6] 尹智超. 市政路桥工程中预应力施工技术的应用[J]. 中国厨卫: 建筑与电气, 2021(8): 13-14.

[7] 秦侠. 市政路桥工程中预应力施工技术重点探究[J]. 善天下, 2020(14): 823-824.

作者简介: 范鹏程, 1990年, 男, 安徽合肥人, 大学本科学历, 工程师, 主要从事道路施工工作。