

新时期道路桥梁工程中预应力技术的应用分析

王金辉

(山东格瑞特交通科技有限公司, 山东 威海 264200)

【摘要】本文在分析道路桥梁工程发展现状的基础上,重点探讨了预应力技术在新时期道路桥梁工程中的应用优势、难点和要点。文章指出,合理应用预应力技术可以有效提升桥梁的承载能力和耐久性,但同时也面临着设计施工难度大、质量控制要求高等挑战。因此,需要加强对预应力技术的研究和创新,优化设计方案,严格施工管理,充分发挥其在道路桥梁工程中的积极作用。本文的研究对于推动预应力技术在新时期道路桥梁工程中的应用具有重要意义。

【关键词】道路桥梁工程; 预应力技术; 应用优势; 应用难点; 应用要点

引言:

随着我国经济社会的快速发展,道路桥梁作为交通运输网络的重要组成部分,其建设规模和技术水平不断提升。在道路桥梁工程领域,预应力技术凭借其独特的优势,得到了越来越广泛地应用。预应力技术通过在混凝土构件中预先施加压应力,可以有效抵消外荷载产生的拉应力,从而提高构件的抗裂性能,延长桥梁的使用寿命。新时期,面对日益复杂的道路桥梁工程建设环境和更高的质量要求,如何进一步发挥预应力技术的优势,突破应用难点,把握应用要点,已成为业界关注的热点问题。本文将围绕这一问题展开深入探讨,为预应力技术在新时期道路桥梁工程中的应用提供参考。

一、预应力技术在道路桥梁工程中的应用优势

(一) 提高桥梁构件抗裂性能

预应力技术的应用可以显著提升道路桥梁工程中桥梁构件的抗裂性能。通过在混凝土构件中预先施加压应力,预应力技术能够有效抵消外荷载作用下产生的拉应力,使构件始终处于压应力状态,从而大大降低了混凝土开裂的风险。这种抗裂性能的提高,不仅可以保障桥梁结构的整体性和安全性,还能够减少由于裂缝引发的钢筋锈蚀、混凝土碳化等耐久性问题,延缓桥梁构件性能的退化速度。此外,预应力技术还能够优化桥梁构件的受力状态,使其在承受交通荷载、温度变化等复杂环境因素影响时,表现出更优异的抗裂抗变形能力,提高桥梁结构的适应性和可靠性。

(二) 增大桥梁跨径, 减少桥墩数量

预应力技术的运用为道路桥梁工程中桥梁跨径的增大提供了有力支撑。传统的桥梁设计通常受限于材料强度和构件尺寸,难以实现大跨径的要求。而预应力技术则通过在桥梁上部结构中引入高强度预应

力筋,并通过张拉使其与混凝土构件形成预应力组合结构,可以大幅提高桥梁结构的抗弯承载能力,使得单跨越距离显著增加。这不仅使得桥梁的跨越能力得到极大提升,也为实现特殊地形条件下的桥梁建设提供了可能。与此同时,由于单跨距离的增加,桥梁下部结构所需的桥墩数量也相应减少,不仅降低了桥梁建设的工程量和成本,也有利于减少对河道、航道等通航空间的影响,提高桥梁的经济性和适用性。

(三) 延长桥梁使用寿命, 降低维护成本

一方面,预应力技术能够从根本上提高桥梁构件的抗裂性和耐久性,减缓各种环境因素和荷载作用对桥梁结构的损伤,使其能够长期保持良好的性能状态,延迟桥梁老化和功能退化的进程。另一方面,由于预应力技术提高了桥梁结构的整体性和耐久性,减少了桥梁在使用过程中出现裂缝、锈蚀、碳化等病害的概率,从而大大降低了桥梁运营期间的检测、维修和加固等维护工作的频次和强度,节约了大量的人力物力投入。此外,预应力技术还可以通过优化桥梁构件的配置和受力状态,提高桥梁结构的冗余度和适应性,使其能够更好地适应交通量增长、荷载标准提高等使用需求的变化,延长桥梁的使用寿命,降低全寿命周期成本。

二、预应力技术在道路桥梁工程中的应用难点

(一) 设计计算复杂, 对设计人员专业能力要求高

预应力技术在道路桥梁工程中的应用,对桥梁设计人员的专业能力提出了更高要求。与传统的非预应力桥梁设计相比,预应力桥梁的设计计算过程涉及更多的参数和变量,需要考虑预应力筋的布置形式、张拉顺序、损失计算等诸多因素,并进行复杂的受力分析和断面验算。这就要求设计人员不仅要具备扎实的力学理论基础和丰富的桥梁设计经验,还需要熟练掌握

握预应力技术的特点和计算方法，能够根据不同的桥梁类型和荷载工况，合理选择预应力体系和参数，优化设计方案。

（二）施工工艺精度要求高，质量控制难度大

预应力技术在道路桥梁工程施工中的应用，对施工工艺的精度和质量控制提出了严苛的要求。与普通混凝土桥梁施工相比，预应力桥梁施工需要在混凝土浇筑前预留预应力筋道，并在混凝土达到一定强度后进行预应力筋的张拉和锚固，这就需要严格控制预应力筋道的位置、尺寸和顺直度，确保预应力筋能够顺利通过并实现有效张拉。同时，预应力筋的张拉力和伸长量也需要严格控制在设计范围内，偏差过大会导致预应力损失或过大，影响桥梁的受力性能。

（三）预应力筋张拉和锚固环节容易出现质量问题

在预应力技术的桥梁工程应用中，预应力筋的张拉和锚固环节最容易出现质量问题，也是导致预应力桥梁质量事故的主要原因之一。预应力筋在张拉过程中，由于受到大幅度拉伸变形，容易发生应力集中、局部破断等问题，特别是在张拉力过大、伸长量控制不当或存在摩擦损失等情况下，更易引发预应力筋的破坏。而在锚固环节，如果锚具安装不到位、夹片变形、螺旋筋锈蚀等，都可能导致预应力筋的锚固失效，引发锚固区开裂、预应力损失等问题，严重影响桥梁结构的安全性。此外，在后张法预应力施工中，预应力筋连接处的套筒灌浆不饱满、存在气泡或断丝等缺陷，也是导致预应力筋张拉和锚固失效的常见原因。

三、预应力技术在道路桥梁工程中的应用要点

（一）合理选择预应力体系和布置形式

在道路桥梁工程中应用预应力技术，选择合适的预应力体系和布置形式是至关重要的。根据国内外大量桥梁工程的设计与施工经验，跨径在 30 米以下的桥梁通常采用全预应力体系，能够充分利用预应力提高构件抗裂性能，延长桥梁使用寿命。但全预应力体系造价较高，施工质量控制要求严格，适用于重要桥梁或者耐久性要求较高的项目。对于跨径在 30 至 60 米的桥梁，部分预应力体系是更为经济合理的选择。部分预应力桥梁综合了预应力与非预应力的受力特点，在满足使用要求的同时，能够有效控制造价，简化施工工艺。当桥梁跨径超过 60 米时，体外预应力体系凭借其独特的受力机理和布置灵活性，成为长大跨径桥梁的首选。体外预应力筋布置在构件外部，便于检查维护和更换，且能够在桥梁成桥后根据需要调整预应力大小，提高桥梁适应变形能力。但体外预应力筋抗腐蚀和防火要求高，成本较高。在确定预应力体系后，预应力筋的布置形式也是关键的设计参数。

直线形布置简单易行，但对于连续桥梁，采用折线形或曲线形布置能够更好地适应弯矩分布，减小预应力损失。折线形布置在施工中较为常用，但其在梁端锚固区易产生应力集中，需要配置足够的箍筋加强。曲线形布置能够实现预应力与弯矩分布的最佳吻合，但施工难度大，成本较高，在高等级公路和铁路桥梁中使用较多。

（二）优化预应力筋张拉方案，确保张拉质量

预应力筋张拉是预应力桥梁施工的关键，事关桥梁的受力性能和使用安全，必须通过优化张拉方案和严格的质量控制措施加以保障。首先，要根据设计要求和施工条件，合理确定预应力筋张拉顺序和分级张拉力。一般情况下，中跨边梁宜先于张拉，集中力较大的腱束宜后张拉，荷载较大的构件可分多级进行张拉，每级张拉力不宜超过设计张拉力的 25%。同时要合理确定张拉速度，控制在规范允许的范围内，通常为 100 至 200MPa/min。在张拉过程中，要采用经校验的油压表和伸长量测量装置，实时监测张拉力和伸长量，控制张拉力偏差在 $\pm 5\%$ 以内，伸长量偏差在 $\pm 6\%$ 以内。当实测伸长量与理论值差异超过 $\pm 6\%$ 时，必须分析原因并及时采取纠偏措施。张拉完成后，及时进行锚固和压浆是确保预应力长期有效的关键。锚固要在张拉力稳定后进行，且快速、平稳、可靠，避免因锚固不到位导致预应力损失。压浆要在锚固后 24 小时内完成，采用与构件相容的水泥基压浆料，压浆压力控制在 0.4 至 0.6MPa，压浆至管道外溢且密实为合格。张拉设备是预应力质量的重要保障，要定期进行校验和维护，包括千斤顶、油泵、压力表等，确保其性能满足规范要求。张拉操作人员必须经过专业培训，持证上岗，严格执行张拉工艺流程，确保分级张拉力、张拉速度和伸长量控制在规定范围内。通过优化张拉方案和加强质量控制，确保预应力筋张拉质量，是预应力桥梁安全耐久运营的根本保证。

（三）严格控制预应力筋的锚固质量

预应力筋锚固质量的优劣直接决定了预应力能否有效地传递至混凝土结构，进而影响桥梁的受力性能和使用寿命，因此必须采取严格的质量控制措施。锚具作为预应力筋锚固的关键构件，其选型和安装至关重要。根据《公路桥梁预应力筋用锚具》等相关规范，锚具的极限强度必须达到预应力筋强度标准值的 95% 以上，且经过不少于 200 万次疲劳荷载试验，确保在反复荷载作用下仍能保持可靠的锚固性能。同时，锚具与预应力筋的配合面积不应小于预应力筋横截面面积的 96%，保证足够的咬合力。在锚具安装时，应使用专用的调平和定位工具，控制锚板与垂直面的偏差在 $\pm 1^\circ$ 以内，锚板顶面与预应力筋轴

线的偏差在 $\pm 2\text{mm}$ 以内,确保锚具受力均匀,避免因倾斜安装导致局部应力过高。锚固区作为预应力传递的重要区域,其配筋和混凝土浇筑质量要求极高。锚板后应设置薄壁螺旋箍筋,箍筋直径不小于预应力筋直径,间距不大于 30mm ,且伸入锚板后不小于 250mm ,以约束锚固区混凝土,防止开裂。并在锚板周边合理布置纵向钢筋,搭接长度满足规范要求。浇筑锚固区混凝土时,应使用高强、高性能混凝土,坍落度控制在 $160\text{--}220\text{mm}$,连续浇筑,分层振捣密实,避免出现离析、蜂窝等缺陷。浇筑完成后,覆盖洒水养护,确保混凝土达到设计强度。

(四) 加强预应力构件的防腐蚀保护

加强预应力构件的防腐蚀保护是预应力桥梁养护的重中之重。首要措施是优化预应力构件的材料选型。在严重腐蚀环境下,宜采用具有更高耐蚀性能的材料,如环氧涂层钢绞线、不锈钢钢绞线等。正常环境下,也应选用优质的预应力筋,屈服强度不低于 1570MPa ,且具有良好的抗氢脆性和抗晶间腐蚀性。同时,通过合理设计预应力筋的应力水平和铺设方式,避免应力腐蚀和接触腐蚀。根据经验,预应力筋应力水平控制在 $0.75f_{tk}$ 以下,张拉应力控制在 $0.80f_{tk}$ 以下,且伸长率不小于 3.5% 。在断丝、锚固区等应力集中部位,可通过设置保护层、涂刷防腐材料等方式进行重点防护。预应力筋防护层的厚度和密实性也是防腐蚀保护的关键。新建桥梁的预应力筋最小保护层厚度不应小于 80mm ,既有桥梁不应小于 50mm 。防护层须采用高密实度混凝土,且对混凝土裂缝进行有效控制,裂缝宽度不宜超过 0.2mm 。在易发生腐蚀的接缝、管道口等部位,应采用防水堵漏和注浆等措施,阻断水和氯离子等腐蚀介质的侵入。对于腐蚀严重的既有桥梁,可采用阴极保护、表面涂装、环氧浸渍等补强措施,延缓预应力钢锈蚀速率。同时,在运营期间做好预应力构件的检测和监测工作,重点关注防护层开裂、锚具锈蚀等问题,并结合荷载试验、锈蚀电位测试等数据,科学评估预应力构件的健康状态,制定有针对性的防腐蚀方案,最大限度地发挥预应力体系的作用,确保桥梁安全耐久运营。

(五) 做好预应力筋和锚具的连接处理

预应力筋和锚具的连接处是预应力传递的薄弱环节,容易出现应力集中、局部变形等问题,因此需要采取有效措施,确保连接处理的可靠性。常见的预应力筋连接方式包括套筒灌浆连接、焊接连接和机械连接等,不同的连接方式在施工工艺、连接强度和可靠性方面各有特点。套筒灌浆连接是目前应用最广泛的连接方式,通过在预应力筋连接处设置金属套筒,并在张拉后向套筒内压注水泥基灌浆料,实

现预应力筋的可靠连接。为了确保灌浆连接的质量,需要严格控制套筒的尺寸和定位精度,并采用优质的灌浆材料和可靠的压浆工艺,确保灌浆饱满、密实,不出现离析、泌水等缺陷。对于采用锚夹具的预应力筋锚固连接,要重点控制锚夹具与预应力筋的接触面积和压力分布,必要时可在锚夹齿部设置软化垫层,减少应力集中。同时要严格控制锚夹力矩,避免预应力筋局部损伤或滑移。

(六) 重视后张法预应力施工过程监控

后张法预应力施工是现代道路桥梁工程中广泛采用的一种预应力施工方法,与先张法相比,具有施工灵活、便于质量控制等优点。但后张法施工对工艺流程和质量控制要求更高,需要重视施工过程监控,确保预应力施工效果。首先要加强对后张法施工各环节的工艺流程控制,包括预应力筋及构件制作、预应力筋安装、张拉和锚固等,严格按照规范和设计要求进行施工,并对关键工序进行旁站监理和质量验收。其次要建立完善的施工测量和监测体系,利用应变计、位移计等传感器,实时监测预应力筋的应变、伸长量和张拉力等参数,并结合理论计算和数值模拟,及时分析预应力筋的受力状态和施工效果,发现异常情况及时采取处置措施。同时还需要重视混凝土强度和弹性模量等性能参数的测试和监控,确保构件在预应力张拉时已达到设计强度,并准确计算预应力损失和有效预应力。对于大跨径、高墩柱等复杂桥梁结构,还需要开展施工阶段的结构安全监测,利用传感器和自动化监测系统,实时监测梁体挠度、支座反力、墩柱倾斜等结构响应,结合数值分析评估施工过程安全性和预应力体系效果。

结束语:

通过本文的研究,我对预应力技术的应用优势、难点和要点有了更全面和深入的认识。展望未来,随着材料、设计、施工等技术的不断进步,预应力技术必将在道路桥梁工程中发挥出更大的作用,推动桥梁结构走向更加轻型化、高强度、耐久化的发展方向。同时,我们也要看到,要真正实现预应力技术的优势,还需要在理论研究、设计优化、施工创新等方面持续探索和突破。

参考文献:

- [1] 黎梓峰. 预应力技术在道路桥梁工程施工中的质量管理研究[J]. 运输经理世界, 2023 (36): 126-128.
- [2] 燕明. 道路桥梁工程中预应力施工技术的应用研究[J]. 运输经理世界, 2022 (03): 127-129.
- [3] 祁孝庆. 新时期道路桥梁工程中预应力技术的应用分析[J]. 决策探索(中), 2020 (03): 42.