

土木工程中预应力技术的应用与发展

贾晓霞 刘笑添

滨州市沾化区代建建设工程有限公司 山东 滨州 256800

【摘要】：在土木工程领域，结构性能的优化与提升始终是核心追求。随着工程规模不断扩大、结构形式日益复杂，对结构强度、刚度、耐久性等性能指标的要求愈发严苛。预应力技术作为一项关键技术，凭借其独特的优势，在提高结构性能、拓展应用范围等方面发挥着不可替代的作用。本文分析土木工程中预应力技术的应用与发展。阐述预应力技术原理，分析其在房屋建筑、桥梁工程、特种结构等领域的具体应用实例，展现其提升结构性能、拓展应用范围的优势。同时，探讨该技术面临的挑战，如成本、施工难度等，并展望其在智能化、绿色化、工业化方向的发展趋势，旨在为土木工程领域预应力技术的进一步发展提供参考。

【关键词】：土木工程；预应力技术；应用实例；发展趋势

DOI:10.12417/2811-0528.26.04.059

1 预应力技术原理

预应力技术是为解决混凝土抗拉能力弱、易开裂问题而诞生的创新技术。混凝土虽具有较高的抗压强度，但抗拉强度较低，在承受荷载时容易产生裂缝，影响结构的安全性和耐久性。预应力技术通过预先对混凝土构件施加压应力，在使用过程中逐步释放该应力以抵消外部荷载产生的拉应力，从而有效控制裂缝的产生和发展，提高结构的整体性能。

预应力技术的施工方法主要分为先张法和后张法两类。先张法需先张拉预应力束，随后浇筑混凝土，待混凝土达到一定强度后放松预应力束，利用预应力束与混凝土的握裹力施加预应力。此方法施工方便，便于大批量生产，但预应力束多呈直线或折线布置，受力相对不够合理，更适合小跨径桥梁等工程。后张法则先预留预应力孔道，再浇筑混凝土，待混凝土达到设计强度后，在孔道中穿索并张拉预应力束。预应力束按曲线布置，受力更为合理，能够更好地适应大跨度结构的受力需求，广泛应用于大跨径桥梁等大型工程。

2 预应力技术在土木工程中的应用实例

2.1 房屋建筑领域

预应力混凝土框架结构：在房屋建筑领域，预应力混凝土框架结构的应用十分广泛且成效显著，某省体育中心综合训练馆便是一个极具代表性的案例。该工程在结构设计上独具匠心，采用了有粘结预应力框架梁、柱结构体系。从整体布局来看，其梁跨度达到了36米，柱距设定为8米，整个建筑共3层，混凝土强度等级选用C40，为结构提供了坚实的基础支撑。

在构件细节方面，梁和柱均采用预应力设计。主梁的尺寸规格为600mm×2400mm，在预应力配筋上，选用了4束9φ15.2的规格；预应力柱的截面尺寸为1300mm×1300mm，其中一层柱的预应力配筋为2束9φ15.2，二层柱则采用4束12φ15.2的

配筋方式。预应力钢筋选用的是1860MPa级高强度低松弛钢绞线，这种材料具有高强度和低松弛的特性，能够有效保证预应力的长期稳定性。

由于该工程跨度较大，在梁、柱中应用预应力技术显得尤为必要。预应力技术的引入，显著提高了结构的承载能力和抗裂性能。在承受荷载时，预应力能够有效抵消部分拉应力，减少裂缝的产生和发展，从而增强结构的整体稳定性和耐久性。

在施工过程中，考虑到预应力柱张拉力较大这一因素，若张拉顺序不当，可能会在张拉过程中产生过大的压缩变形，进而对梁底支撑产生不利影响，甚至危及施工安全和结构质量。为了规避这一风险，施工人员采用了柱、梁交叉张拉顺序。这种张拉顺序经过精心设计和实践验证，能够合理分配张拉力，有效控制变形，确保了施工过程的安全性和最终结构的质量稳定性。

预应力混凝土平板结构：某医院综合住院楼及门（急）诊楼二期工程，在结构设计上充分考虑了建筑功能需求和空间利用效率，采用了独特的预应力混凝土平板结构。该工程地下2层、地上4层，总高度达21.6米，结构基本柱网尺寸为9m×9m。

由于医院排污管道需要以一定坡度排向城市管网，这一特殊要求对第1层楼结构层高度产生了严格限制，大部分区域高度不能大于350mm。为了在有限的高度内满足建筑功能需求，第1层楼盖采用了现浇预应力空心无梁楼盖结构体系。

该结构体系在板厚设计上为300mm，在柱上板带支座区域采用实心截面设计。这种设计并非随意为之，而是经过精确计算和结构分析得出的。实心截面能够有效保证楼板在支座处的抗冲切和抗弯能力，确保楼板在承受荷载时不会因局部应力集中而发生破坏。

在预应力布置方面，两个方向柱上板带沿顺跨度方向布置

金属螺旋管,跨中板带交叉区域则沿单向布置金属螺旋管。预应力钢筋采用无粘结预应力筋,且仅在柱上板带布置。这种布置方式能够根据结构的受力特点,合理施加预应力,使结构在受力时更加均匀合理。

通过采用这种现浇预应力空心无梁楼盖结构体系,不仅有效满足了医院建筑对排污管道坡度的功能需求,还显著提高了空间利用率。无梁的设计使得楼层内部空间更加开阔,减少了梁对空间的占用,为医院内部的设备布置和人员流动提供了便利条件,同时也提升了建筑的整体美观度。

2.2 桥梁工程领域

预应力梁桥:某大桥全长 1818.5 米,分跨为 $62.4+6\times 111+62.4$ (米),桥宽 12 米,主桥长 792.7 米。在结构形式上,上部采用预应力连续箱梁结构,这种结构形式具有良好的整体性和受力性能,最大跨径达到 111 米,展现了当时先进的桥梁设计理念和技术水平。下部则采用深水沉井基础,为桥梁提供了稳固的支撑,确保桥梁在复杂的水文地质条件下能够稳定屹立。全桥共浇筑混凝土四万余方,投资达 3259 万元,如此大规模的工程投入,也体现了该桥在交通建设中的重要战略地位。

预应力技术在这座大桥中的应用堪称典范。通过在混凝土中施加预应力,有效提高了桥梁的抗裂性和抗压强度。在桥梁长期使用过程中,会受到车辆荷载、温度变化、风荷载等多种因素的作用,这些因素可能导致混凝土产生裂缝,进而影响桥梁的结构安全和使用寿命。而预应力技术的应用,能够提前在混凝土中建立压应力储备,当外部荷载作用使混凝土产生拉应力时,预应力可以部分或全部抵消拉应力,从而有效控制裂缝的产生和发展,确保桥梁在长期使用过程中的安全性和稳定性。

同时,预应力混凝土结构还具有良好的抗震性能。在地震等自然灾害发生时,桥梁结构会受到强烈的地震动作用,产生较大的惯性力。预应力混凝土结构由于其内部的预应力状态,能够改变结构的动力特性,提高结构的刚度和延性,有效减少地震对桥梁的破坏,保障桥梁在地震后的正常使用功能,为灾区的交通救援和重建工作提供重要支持。

预应力空间钢结构:某体育中心体育馆作为 2011 年世界大学生运动会篮球比赛场馆,其屋面钢结构设计独具特色,采用了预应力弦支穹顶结构体系。该体育馆总面积达 1.6 万平方米,总座位数 4600 个,屋面钢结构覆盖的整个屋盖曲面面积达 4753 平方米,规模宏大,气势恢宏。

预应力弦支穹顶结构体系是一种创新性的空间结构形式,它由上部单层网壳和下部弦支索杆体系巧妙构成。上部单层网

壳杆件采用圆钢管,这种材料具有较高的强度和良好的塑性,能够承受较大的荷载作用。下部索杆体系为肋环形,由环向索和径向拉杆组成,共设 2 环。其中,环向索选用平行钢丝索,这种钢丝索具有高强度和良好的柔韧性,能够有效地传递拉力;径向钢拉杆采用高强合金钢棒,具有高强度和耐腐蚀性,确保索杆体系的稳定性和可靠性。各环向索均为单索,撑杆采用圆钢管,通过合理的布置和连接,形成了一个整体受力合理的空间结构体系。

预应力技术在这座体育馆屋面钢结构中的应用发挥了至关重要的作用。它为弦支穹顶结构提供了必要的刚度,使结构在承受荷载时能够保持稳定的形状和几何不变性。同时,预应力技术还能够调整结构的内力分布,降低结构内力峰值。在结构受力过程中,通过合理施加预应力,可以使结构内部的应力更加均匀,避免局部应力集中现象的发生,从而提高结构的整体承载能力和稳定性。

在施加预应力大小的设计环节,需要进行精确的计算和分析。预应力的大小直接影响到结构的受力性能和使用效果。如果预应力过小,就无法充分发挥预应力技术改善结构受力性能的作用,结构可能仍然会出现较大的变形和应力集中问题;如果预应力过大,则会对上部单层网壳结构造成过大的负担,同时对周边构件产生较大的反向径向约束,产生不利影响,甚至可能导致结构破坏。因此,精确计算预应力大小是确保结构安全可靠的关键环节,需要综合考虑结构的几何尺寸、材料性能、荷载情况等多种因素,运用先进的结构分析软件和理论方法进行计算和优化。

2.3 特种结构领域

预应力钢桁架结构:北京西站站房主楼为框剪力墙结构,综合楼天桥钢结构承载天桥钢梁加楼顶亭结构。将预应力技术应用于钢结构,可改善结构的内力分布,减小变形。通过合理布置预应力筋,对钢结构施加预应力,使结构在荷载作用下产生的内力得到重新分配,提高了结构的承载能力和稳定性,满足了北京西站作为大型交通枢纽对建筑结构的高要求。预应力钢-混凝土组合结构:深圳蛇口港口建造的一座 $120\text{m}\times 60\text{m}$ 大型仓库,采用跨度为 60m 的预应力屋架,屋架间距 15m,屋架矢高 6.4m,总重 64t;屋面采用跨度为 15m 的预应力檩条及混凝土密肋小板。屋架下弦截面为 $300\text{mm}\times 600\text{mm}$,弦配筋为 8 束(每束 27 ϕ 5 钢丝),混凝土强度等级采用 C50。考虑到构件运输问题,屋架采用分块预制现场组装整浇成型,共分为 15 个预制块体。由于屋架跨度大、质量重,难以直接起吊,采用在地面按照三榀一组进行组装,然后采用千斤顶整体顶升到位的施工方法。预应力钢-混凝土组合结构兼有组合结构和预应力结构的优点,提高了结构的整体性能和经济性。

3 预应力技术面临的挑战

3.1 施工难度

预应力技术施工工艺复杂,对施工精度和质量要求极高。先张法和后张法施工过程中,预应力筋的张拉控制、孔道留设、灌浆密实度等环节都直接影响结构的预应力效果和安全性。任何施工环节的失误都可能导致预应力损失过大,影响结构性能,甚至引发安全事故。因此,需要施工人员具备丰富的经验和精湛的技术,这在一定程度上增加了施工难度和风险。

3.2 材料性能要求

预应力技术对预应力筋和混凝土等材料的性能要求严格。预应力筋需具备高强度、低松弛等特性,以确保在长期使用过程中能够有效传递预应力;混凝土则需具有较高的强度和良好的耐久性,以承受预应力和外部荷载的作用。高性能材料的研发和应用成本较高,且材料的性能稳定性也受到多种因素的影响,如环境条件、施工工艺等,这对预应力技术的推广和应用带来了一定挑战。

4 预应力技术的发展趋势

4.1 智能化发展

随着科技的进步,智能材料和自动化技术将在预应力技术

中得到广泛应用。纳米材料等智能材料的加入,可提升预应力混凝土的功能性,如自感知、自修复等特性,实现对结构健康状况的实时监测和自动修复。自动化与机器人技术将逐步应用于预应力钢筋的张拉、混凝土的浇筑等工序,提高施工精度和效率,减少人为误差和施工安全风险,推动预应力技术向智能化方向发展。

4.2 工业化发展

预应力混凝土结构的工业化生产将成为未来发展趋势。通过建立自动化生产线、采用精准控制技术等,实现预应力混凝土构件的标准化、预制化和装配化生产,提高生产效率,保证产品质量稳定。工业化生产模式将缩短建设周期,加快基础设施建设步伐,推动土木工程行业向工业化、现代化方向迈进。

5 结语

预应力技术在土木工程领域的应用取得了显著成效,广泛应用于房屋建筑、桥梁工程、特种结构等多个领域,有效提高了结构的性能和质量,拓展了工程的应用范围。然而,该技术也面临着成本、施工难度和材料性能要求等方面的挑战。未来,随着智能化、绿色化、工业化等发展趋势的推动,预应力技术将不断创新和完善,克服现有问题,为土木工程领域的发展提供更强大的技术支持,创造更加安全、高效、可持续的工程结构。

参考文献:

- [1] 张敏,韩振玉,姚明新.预应力施工技术在市政桥梁工程中的应用[J].汽车画刊,2024,(12):162-164.
- [2] 郭晶晶.土木工程建设中结构与地基加固技术的应用探讨[J].科技与创新,2024,(24):194-196.
- [3] 付凯华.探究桥梁施工中预应力智能张拉技术应用措施[J].智能建筑与智慧城市,2024,(12):173-175.
- [4] 本刊编辑部.2024 预应力技术论坛暨第十三届预应力结构理论与工程应用学术会议在京顺利举行[J].工程建设标准化,2024,(11):41-43.
- [5] 詹宏伟.预应力混凝土连续梁桥悬臂施工控制技术研究[J].工程技术研究,2023,8(24):65-67.