

预应力技术在大跨度建筑结构中的设计探索

文 / 刘 剑 汉中天宇工程咨询设计有限公司

摘要: 在建筑工程项目中,为了更好地提高大跨度建筑结构的正常使用性能,通常会在混凝土结构中施加预应力技术,对大跨度建筑结构使用预应力技术,能够使大跨度建筑获得更好地使用性、耐久性,并且预应力混凝土中的空心板结构不会出现承载力和刚度下降的情况。由此可见,对于大跨度建筑结构而言,在工程项目施工中采用预应力技术有着更加良好的社会效果和经济效益,具有更高的推广可行性。

关键词: 预应力技术; 大跨度建筑; 设计

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.100

引言

随着现代城市化进程的加快,大跨度建筑结构在体育馆、展览馆、桥梁等公共建筑中的应用日益广泛。这类结构不仅要求具备较大的空间跨度,还需满足高承载、高稳定性及良好的抗震、抗风性能。传统建筑技术已难以满足这些需求,而预应力技术的出现为解决这些问题提供了有效途径。预应力技术通过在结构中预先施加压力,抵消了部分或全部由荷载引起的拉应力,从而提升了结构的整体性能。本文旨在通过对预应力技术在大跨度建筑结构中的设计探索,为相关领域的研究与工程实践提供参考。

一、常用大跨度结构形式

在城市化进程不断加速的今天,地下空间的开发利用已成为缓解城市用地紧张、提升城市功能布局效率的重要手段。特别是在大型公共设施如地铁站、地下停车场、综合管廊及商业综合体等领域,大跨度地下结构的设计与建造显得尤为重要。然而这类结构在设计时面临着诸多挑战,其中最为显著的是受地上空间使用功能的影响,其上部往往需要覆盖一定厚度的土层(通常为1~3m),直接导致结构顶板承载了巨大的覆土荷载^[1]。加之结构设计中往往要求较大的柱距以满足空间使用的灵活性,进一步加剧结构顶板的受力复杂性和厚度需求,使得整个结构自重显著增加。而顶板上部的覆土荷载与顶板自身重量共同作用,不仅要求结构具有极高的承载能力,还需具备良好的抗变形能力,以确保结构的安全稳定。传统的梁-板构造形式,在应对如此巨大的荷载和变形需求时,往往显得力不从心,难以满足现代大跨地下空间结构的设计标准和性能要求。因此,探索并创新顶板构造形式,优化其受力性能,成了地下大跨空间结构领域研究的核心课题。

针对这一难题,工程师通过研究,提出多种新型构造形式,旨在提高结构的整体性能和施工效率。这些创新形式大致可以归纳为六大类,第一类为密排框架(肋梁)结构,通过增加框架密度和肋梁数量来分散荷载,提高结构刚度。第二类为折板或拱形结构,利用折板或拱形的几何特性,将部分垂直荷载转化为轴向压力,有效减轻顶板负担。第三类为变截面(加腋)板结构,通过调整板厚和形状,优化应力分布,减少材料用量。第四类为预应力混凝土结构,在混凝土浇筑前施加预应力,提高结构的抗裂性和承载能力。第五类为型钢-混凝土组合结构,结合钢材的抗拉强度和混凝土的抗压性能,形成优势互补,提升整体性能。第六类为以及Y形柱结构,通过独特的柱体形状,增强结构的稳定性和承载力。这些新型结构形式已经在多个国内城市和地区的实际工程中得到了成功应用,例如,在北京、广州、深圳等一线城市,以及成都、南宁、大连、青岛、南通等具有代表性的城市,各类型结构的实际应用案例不仅验证了其技术可行性和经济合理性,也为后续类似工程的设计提供了宝贵的参考和借鉴,如表1所示。

二、预应力技术在大跨度建筑钢筋混凝土梁结构中的设计应用

(一) 预应力型钢混凝土梁结构案例

本文以南京金山大厦为例进行分析,南京金山大厦主楼高度为134.85m,其结构层次分明,巧妙地融合了地下三层的坚实基础与地上三十五层的巍峨身姿,展现出一种既稳重又不失轻盈的美感。在设计之初,为了满足建筑多样化的功能需求,工程师面临了一个重大的挑战,即如何在确保结构安全的前提下,实现建筑内部空间的灵活布局。特别是在主楼的上部,考虑到建筑功能性和美观性的双重因素,从第7层开始,原本在高层建

表 1 常用地下空间结构案例

项目名称	结构类型	最大跨度	顶板覆土厚度
南通 1 号线	密排框架（肋梁）结构	28.35m	0.5m
大连 1 号线	折板或拱形结构	19.3m	10.1m
南宁 5 号线	变截面（加腋）板结构	17.8m	5.27m
某火车站地下通道	预应力混凝土结构	21m	1.13m
某地下车库顶盖结构	型钢-混凝土组合结构	17.1m	-
北京地铁 6 号线	Y 形柱结构	19.38m	3m

筑中常见的长7.6m的剪力墙设计并未直接延伸至地面，而是采用创新的悬挑设计^[2]。这一决定虽然为上部楼层创造了更加开阔灵活的使用空间，但同时也对结构承载力提出了极高的要求。为了解决这一难题，设计团队巧妙地构思并实施了一个独特的结构转换方案——在第6层设置了转换托梁。这一转换托梁不仅承担起了上部未落地剪力墙所传递的巨大荷载，还确保了整个建筑结构的稳定性和安全性。在设计过程中，经过精密的计算与分析，最终决定采用后张有黏结预应力型钢混凝土梁结构作为转换托梁的主体。这种结构形式充分结合了预应力技术的优点和型钢混凝土的高强度特性，能够有效地抵抗由上部荷载产生的复杂应力和变形。此外，为了进一步优化转换托梁的受力性能，设计团队还创新性地采用“直线+曲线”的钢绞线组合形式，如图1所示。这种设计不仅使得钢绞线在梁体内分布更加合理，提高了材

料的利用效率，还通过曲线段的设置，使得预应力能够更好地在梁体内传递和分布，从而进一步增强了转换托梁的承载能力和整体稳定性。

（二）结构选型

在南京金山大厦大跨度建筑项目中，结构选型是确保建筑安全与功能实现的关键步骤。在具体结构选型上，南京金山大厦采用有黏结预应力混凝土梁，通过孔道灌浆技术，将预应力筋与混凝土紧密黏结在一起，形成整体受力体系^[3]。预应力筋在张拉过程中产生的压应力，通过混凝土的有效传递，使得整个梁体在承受外荷载之前就已经处于受压状态，从而显著提高了梁的抗裂性和承载能力。有黏结预应力混凝土梁的优势在于其良好的整体性和协同工作能力，预应力筋与混凝土的紧密结合，使得两者能够共同承担荷载，有效分散了应力集中现象，从而延长结构的使用寿命。为了进一步说明预应力技术在南京金山大厦中的应用效果，预应力筋采用的高强度低松弛钢绞线，其强度等级达到1860MPa，通过精确的张拉控制，实现了预定的预应力水平，在孔道灌浆过程中，采用高性能的灌浆材料，确保了灌浆的饱满度和密实度，最终，经过严格的检测和验收，预应力混凝土梁的各项性能指标均达到了设计要求。不仅确保了建筑的安全性和稳定性，还展现了预应力技术在现代建筑中的巨大潜力和价值。

（三）混凝土梁结构性能研究

预应力型钢混凝土梁（板）是一种复杂的结构体系，已经受到诸多学者的广泛关注和深入研究。在实验中，研究人员对13根梁试件进行了垂直弯曲性能测试。通过观察这些梁在加载过程中的破坏模式、裂缝的形成和发展规律以及刚度下降的情况，优化预应力型钢混凝土梁的正截面承载力及裂缝宽度的计算方法。并在抗震

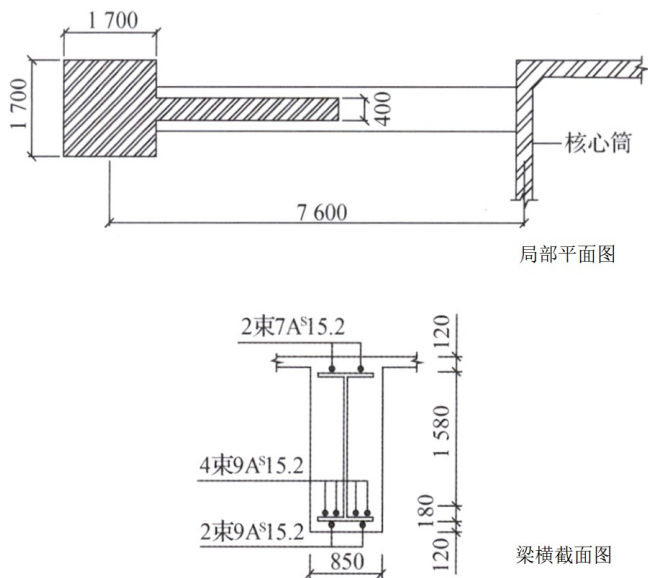


图 1 南京金山大厦预应力与型钢布置图

性能试验中，分别对带有预应力和不带预应力的型钢混凝土框架被置于同时承受垂直和水平荷载的情况下，试验结果显示，虽然预应力能够帮助减缓裂缝的发展，并对整体结构的抗震性能提升作用有限^[4]。针对预应力型钢混凝土梁在恒定垂直负荷下的耐火性，研究发现预应力受到温度变化的影响非常显著。在高温环境下，预应力可能会减少到初始值的一半以下。而通过对一系列预

应力超高强度混凝土梁进行弯曲试验，探讨了工字钢型号与高度、纵向钢筋直径及其配比、预应力筋尺寸等因素如何影响这些梁的承载能力和延展性能。研究结果表明，内置型钢可以提高梁的承载力和位移延展系数。然而，这种配置也表现出明显的脆性失效特征。而且，承载能力与型钢的高度呈现负相关，而位移延展系数则与之呈正相关，实验所用梁的截面设计如图2所示。

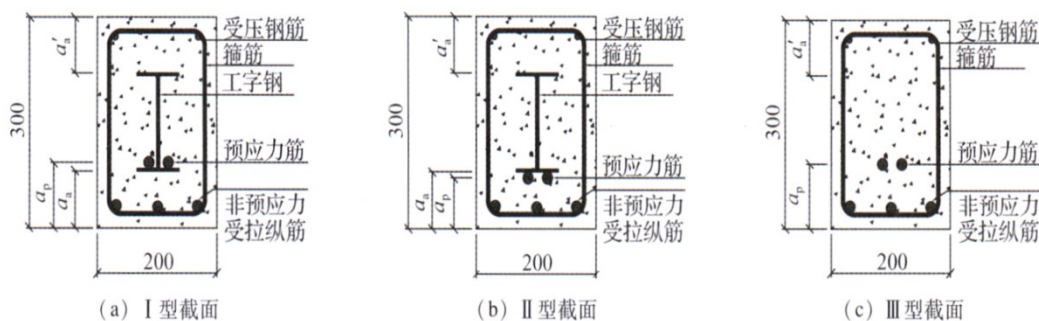


图2 试件截面示意图

而部分学者对预应力型钢混凝土梁进行了深入的研究，在研究中对两种1/5缩尺的无黏结（UPSRC）和有黏结（BPSRC）预应力型钢混凝土框架梁进行了抗震性能测试。研究表明，这两种类型的梁在承载能力和延性系数方面表现相近，然而，UPSRC框架梁在达到屈服点的时间较短，并且在最大荷载之后承载力下降得更快，不过，UPSRC框架梁显示出更好的变形恢复能力。通过数值模拟来分析预应力型钢高强混凝土梁的力学特性时发现，梁的延性与混凝土等级、受压钢筋的比例以及箍筋比例呈正相关，而与受拉钢筋的比例、预应力筋的比例以及型钢腹板厚度则呈负相关。对于无黏结预应力型钢混凝土框架梁的研究显示，在极限状态下，跨中及端部的受拉钢筋会屈服，同时部分受压钢筋也会屈服。此时，型钢的受拉翼缘接近屈服状态，而受压翼缘则保持弹性。研究还指出，相较于改变型钢用量或框架柱尺寸，调整普通钢筋直径对于框架梁的极限荷载及其裂缝宽度影响最为显著。

结束语

预应力技术在大跨度建筑结构设计中的展现出了显著的优势和广阔的应用前景。通过科学合理的预应力施加策略和结构优化设计，能够显著提升大跨度建筑的

承载能力、变形性能、抗震性能及抗风性能，为现代城市公共建筑的安全、高效、经济建设提供了有力支持。随着材料科学、计算机仿真技术及施工技术的不断进步，预应力技术在大跨度建筑结构中的应用将更加广泛和深入。同时，设计人员应持续关注新技术、新材料的发展动态，不断创新设计思路和方法，以推动预应力技术在大跨度建筑结构设计中的持续发展和应用。

参考文献

- [1] 杨洋. 现代预应力结构设计课程教学与实践探索[J]. 中外交流, 2021, 28(5): 1220.
- [2] 王帆. 预应力锚固技术在矿山岩土工程施工中的实践分析[J]. 世界有色金属, 2024, (05): 226-228.
- [3] 彭军. 预应力锚固技术在岩土工程施工中的应用[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(23): 181-184.
- [4] 蔡岸锋. 预应力锚固技术在岩土工程施工中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022, (29): 79-81.

作者简介：刘剑，1986年9月，男，汉族，陕西汉中人，本科，助理工程师，从事的研究方向或工作领域：建筑工程行业房建结构设计。