

预应力技术在大跨混凝土框架结构中的应用

谢俊

西安特变电工电力设计有限责任公司 陕西 西安 710000

摘要：预应力技术在大跨混凝土框架结构中的应用广泛且效果显著。本文章首先阐述了预应力技术的基本原理，随后详细论述了结构内力分析与截面设计，包括构件选型、结构设计与构造要求、预应力筋的下料、铺设与张拉等环节。通过具体案例分析，展示了预应力技术在实际工程中的成功应用，验证了其在提高结构性能、缩短施工周期及降低工程造价方面的显著优势。

关键词：预应力技术；大跨混凝土；框架结构；应用

引言：随着现代建筑技术的飞速发展，大跨混凝土框架结构因其空间利用率高、造型灵活多样而广泛应用于体育馆、展览馆、机场航站楼等大型公共建筑中。然而，大跨度结构对材料的强度、刚度及稳定性提出了更高要求，传统施工方法难以满足需求。预应力技术作为一种先进的结构加固与施工技术，通过预先对结构施加压力，有效改善了结构的受力性能，成为解决大跨混凝土框架结构难题的关键手段。

1 预应力技术基本的原理

预应力技术的基本原理是利用混凝土的高抗压强度和钢筋的高抗拉强度，通过张拉预应力筋使混凝土在承受荷载前预先受压。在荷载作用下，预应力筋中的拉应力与混凝土中的压应力相平衡，从而推迟或避免混凝土的开裂，提高结构的整体性能。在混凝土结构中，预应力技术的基本作用显著。首先，它显著提高了结构的承载力，使得结构能够承担更大的荷载。其次，预应力技术能够减小结构的变形，尤其是在大跨度结构中，这种效果尤为明显。通过预先施加应力，预应力技术可以有效地控制结构的挠度和变形，保证结构的稳定性和安全性。此外，预应力技术还极大地改善了裂缝控制。通过合理的预应力设计，可以显著降低混凝土受拉区域的裂缝宽度和数量，甚至在某些情况下实现无裂缝设计，从而提高结构的耐久性和使用寿命。在大跨度结构中，预应力技术的特殊优势更为突出。大跨度结构往往面临更大的跨度和更复杂的荷载条件，对结构的性能要求更高。预应力技术能够通过合理的预应力设计，提高结构的整体刚度和稳定性，同时减少材料的使用量，降低结构自重，满足大跨度结构对轻质高强、大跨径和良好受力性能的需求。因此，预应力技术在大跨度混凝土结构中的应用前景广阔^[1]。

2 结构内力分析与截面设计

2.1 构件选型

在预应力混凝土结构的构件选型过程中，需综合考虑结构的受力特性、使用功能、经济性及施工便捷性等多方面因素。预应力技术通过预先在混凝土中引入内部应力，显著提升了结构的承载能力和抗裂性能，因此在构件选型时，应优先考虑能够充分发挥预应力优势的构件类型。常见的预应力混凝土构件包括预应力梁、预应力板、预应力柱以及预应力墙等。预应力梁因其能有效抵抗弯矩和剪力，成为大跨结构中不可或缺的一部分；预应力板则通过增加板面的预压应力，减少了板在荷载作用下的挠度和裂缝宽度，提高了楼板的整体性能；预应力柱则通过提高柱子的抗压承载力和稳定性，为高层建筑和大跨结构提供了强有力的支撑；而预应力墙则主要用于增强结构的侧向刚度和抗风抗震能力。在选型时，还需根据具体工程条件进行个性化设计，如考虑结构的跨度、荷载分布、边界条件等因素，以确保所选构件既能满足结构安全性的要求，又能实现经济性和美观性的平衡。同时，随着新材料、新技术的不断涌现，预应力混凝土结构的构件选型也将更加多样化和精细化^[2]。

2.2 结构设计与构造要求

在大跨框架结构设计中，大跨梁作为结构关键部分，需兼顾结构安全和建筑使用功能的双目标，设计时应适当施加预应力以优化大跨梁的截面尺寸，确保结构安全并减少挠度与裂缝。同时，需将预应力及其施工模拟工况纳入计算模型，以获得精确的设计结果。施工控制方面，预应力筋的等效荷载对梁内力、张拉顺序及边界条件有显著影响。为减少施工阶段与使用阶段的受力差异，避免构件变形开裂，应实施择期张拉策略。施工应与预应力筋张拉同步进行，分批张拉以保障构件均衡受力。精细的施工控制流程能有效控制施工阶段的应力状态，确保大跨框架结构在完工后达到预期的力学性能和使用寿命。

2.3 预应力筋的下料、铺设与张拉

预应力筋的下料、铺设与张拉是预应力混凝土结构中至关重要的施工步骤，它们直接影响着结构的预应力效果和最终承载能力。第一，预应力筋的下料需根据设计图纸精确计算所需长度，并考虑张拉过程中的伸长量、锚具长度及工作长度等因素进行适当调整。下料时应采用专用切割设备，确保切口平整，避免损伤预应力筋。同时，应对下好的预应力筋进行编号和分类堆放，以便于后续铺设和张拉工作的顺利进行。第二，接下来是预应力筋的铺设。在铺设前，需对孔道进行清理和检查，确保孔道畅通无阻。铺设时，应按照设计要求的曲线形状和位置进行，预应力筋应平行、顺直且无扭结。对于曲线段和复杂节点处，应特别注意预应力筋的铺设质量，必要时可采用辅助定位装置进行固定。铺设完成后，应及时进行验收，确保预应力筋的铺设满足设计要求。第三，最后是预应力筋的张拉。张拉前，应对张拉设备进行全面检查和校验，确保其性能稳定可靠。张拉时，应按照设计要求的张拉顺序和张拉力进行，采用双控法（即应力控制和伸长量控制）进行张拉，确保张拉效果满足设计要求。在张拉过程中，应密切观察预应力筋的伸长情况和锚具的工作状态，如有异常应及时处理。张拉完成后，应及时进行锚固和压浆工作，以保护预应力筋并传递预应力^[3]。

3 预应力技术在大跨混凝土框架结构中的应用

3.1 案例分析

本文以某博物馆一层24m门厅入口的预应力大跨混凝土框架结构为例，深入探讨了预应力技术在该类结构中的应用与优势。该博物馆位于地震设防烈度为8度（0.2g）的Ⅱ类场地，采用五层钢筋混凝土框架结构，其中一层门厅入口的跨度达到24m，对结构的承载力和变形控制提出了极高的要求。为应对大跨度带来的挑战，设计中采用了预应力技术。根据计算，24m跨度处预应力钢筋混凝土梁截面：700mm×1000mm，混凝土强度等级C40，采用2x7 ϕ 17.8有粘结预应力筋，线型采用长抛物线，张拉控制应力采用抗拉强度标准值的75%，即 $1860 \times 0.75 = 1395\text{Mpa}$ ，每根有粘结预应力筋的张拉控制力为199KN；经计算，跨中挠度14.47mm，梁跨中不出现裂缝，计算结果满足规范要求。预应力梁通过张拉预应力筋，在结构承受外荷载前预先产生反方向的应力，有效减小了结构在正常使用状态下的挠度和裂缝宽度。在该案例中，预应力筋的布置经过精心计算，确保在满足结构安全性的同时，实现了材料性能的最大化利用。施工过程中，考虑到预应力技术对施工精度的要求，项目

团队采取了多项技术措施，具体如下：（1）当混凝土强度达到设计强度的80%之后，方可进行张拉，张拉时应采用应力控制，伸长值校核的方法进行，实测伸长值与计算值的偏差在-6%~+6%范围之内，施工中做好现场施加预应力记录；（2）进行铺设预应力筋施工时，按设计图纸要求设置固定支架以保证预应力筋的曲线定位，当预应力筋与普通筋或其它管线位置有冲突时，应当首先保证预应力筋位置的准确，束形图中预应力筋至梁底距离为预应力孔道中心至梁底的距离，预应力梁中每隔约1.0m设置一个支撑点，在保证预应力筋控制点矢高的前提下可根据现场情况对张拉端锚具位置进行适当调整；（3）梁柱节点处先穿设预应力波纹管及钢绞线，并放置预应力固定端锚具，然后再绑扎柱箍筋；（4）有粘结预应力梁张拉完成之后应停12小时，以观察钢绞线的锚固情况，然后再进行孔道灌浆，孔道灌浆之前需用压力水将孔道冲洗干净，待出清水为止，每个孔道灌浆应一次完成，缓慢均匀地进行，不能中途停顿，喷嘴不能离开灌浆孔，以免空气进入孔道形成气泡，为使灌浆饱满，待排气孔排出浓浆后将排气孔封闭灌浆孔。同时，结合有限元分析方法，对结构进行了多工况下的模拟计算，验证了设计方案的合理性和可行性。最终，该博物馆一层门厅入口的预应力大跨混凝土框架结构成功完成施工并投入使用。经过实际检测，结构在各项性能指标上均满足设计要求，验证了预应力技术在解决大跨度混凝土结构问题中的有效性和优越性。本案例不仅展示了预应力技术的具体应用，也为类似工程提供了宝贵的参考和借鉴^[4]。

3.2 预应力梁应力应变测试

3.2.1 测点布置

对大跨预应力钢筋混凝土梁布置测点，在检测中对大跨梁底预应力筋张拉完成后记录梁底的预应力筋应力值。

3.2.2 非预应力钢筋的应变测试结果

通过混凝土应变测试以及纵向非预应力筋的应变测试，能够为混凝土以及钢筋的受力分析提供参考试证，进而掌握实际的构件整体受力情况。分别按理想理论计算得出测点应力值比值、实测测点应力值比值。结合进行分析，在加载预应力之处，预应力产生等效荷载为平衡梁自重，测点位置受到轴向力作用，进而产生压应力，这种压应力相对较小。而在加载后期，预应力等效荷载平衡了梁自重，梁下沿受压。对比分析计算结果与实测结果，会发现者存在一定的差异，之所以会出现这种情况，主要原因在与施工过程中会受到相关因素的影响。结合测试结果进行分析，表明测点应力的发展情况良好，虽然与理论值之间存在偏差，但是偏差处于可控

范围内,二者基本吻合^[5]

4 预应力梁施工

4.1 预应力筋的铺设与固定

预应力筋的铺设与固定是预应力混凝土结构施工中一个极为重要且精细化的作业过程。在这个过程中,施工人员首先需要对施工图纸有深入的理解,明确预应力筋的铺设位置、数量、规格以及所需的曲线或直线形状。随后,他们会清理并检查模板,确保其表面干净、平整,无杂物或突起物,为预应力筋的铺设提供良好的环境。在铺设预应力筋时,施工人员会采用专用的吊装工具,小心翼翼地将预应力筋按照预定的路线逐一铺设到位。这个过程中,预应力筋需要保持平直,不能出现扭曲或打结的现象,同时还需要注意预应力筋之间的间距,确保符合设计要求。对于需要形成曲线的预应力筋,施工人员会使用专门的定位装置或工具,如曲线板、定位卡等,来确保预应力筋能够准确地沿着预定的曲线形状铺设。铺设完成后,固定预应力筋成为下一个关键步骤。施工人员会采用多种固定方法,如使用支架、夹具或焊接钢筋网等,将预应力筋牢牢地固定在模板上或周围的钢筋骨架中。

4.2 预应力张拉与锚固

预应力张拉与锚固是预应力混凝土施工中的关键步骤,对于确保结构的安全性和耐久性具有重要意义。

(1) 预应力张拉是指在预应力混凝土结构施工过程中,通过张拉设备对预应力筋施加拉力,使其产生预应力,从而提高结构在正常使用状态下的承载能力。张拉过程需严格控制张拉力和伸长量,确保满足设计要求。张拉方式多种多样,包括液压张拉、机械张拉、电热张拉和自应力张拉等,其中液压张拉以其张拉能力大、体积小、重量轻等优点在工程中应用最为广泛。张拉过程中,需逐步升高高压,按照预定的张拉程序进行张拉,如从0张拉力逐渐增加到10% σ_{con} (σ_{con} 为张拉控制应力),再增加到20% σ_{con} ,并分别记录伸长值,最终张拉到100% σ_{con} 并保持持荷一定时间,然后进行锚固。张拉过程中还需进行伸长值校验,确保实际张拉伸长量与理论伸长量之间的误差在允许范围内。(2) 预应力锚固是

指将预应力筋张拉至设计值后,通过锚具将其固定在混凝土结构中的过程。锚固的目的是使预应力筋在结构使用过程中保持张拉状态,从而持续为结构提供预应力。锚固方式多样,根据锚夹具的锚固原理可分为支承式和楔紧式两种。支承式锚夹具如螺杆式锚夹具和镦头式锚夹具,通过螺母或镦粗头对预应力筋进行支承和锚固;楔紧式锚夹具则利用预应力筋自身的拉力,通过楔形产生摩阻力进行锚固。在锚固过程中,需确保锚具、锚垫板等部件安装正确,锚固力满足设计要求。同时,还需对锚固后的预应力筋进行保护,防止其受到损伤或腐蚀^[6]。

结束语

综上所述,预应力技术在大跨混凝土框架结构中的应用,不仅显著提升了结构的承载力

和稳定性,还能够在净高受限的情况下很好地满足建筑使用功能。通过精心设计与施工配合,预应力技术有效解决了大跨度结构面临的诸多挑战,为现代建筑的发展注入了新的活力。未来,随着材料科学的进步和施工工艺的创新,预应力技术将在大跨混凝土框架结构中发挥更加重要的作用,推动建筑领域向更高、更强、更美的方向发展。

参考文献

- [1]徐佳奇,张卫,陈尚志.预应力技术在大跨混凝土框架结构中的应用[J].建筑结构,2020,50(08):132-137.
- [2]张彬,邹科华,罗明.有粘结预应力施工技术在大跨高截面梁及悬挑梁结构中的应用[J].建筑施工,2018,(09):789-792.
- [3]徐栋,赵瑜,朱骏.体外预应力在大跨连续刚构抗剪设计中的应用[J].同济大学学报(自然科学版),2019,(11):1455-1459.
- [4]王佳贵.多层不等跨连续预应力混凝土框架梁施工技术研究[J].铁道建筑技术,2019(05):141-145.
- [5]马延忠.预应力混凝土框架结构设计[J].甘肃科技,2019,35(07):97-100+114.
- [6]戴濛濛.预压装配式混凝土框架结构半刚性节点刚度退化研究[D].合肥工业大学,2019.