

建筑工程中预应力混凝土结构的应用优势

文 / 张腾飞 青岛华商工程有限公司

王 涛 青岛华商工程有限公司

摘要：随着我国城市化进程的加快，建设工程对安全、经济和可持续发展提出了越来越高的要求。预应力混凝土是一种新型结构，具有良好的受力性能、良好的经济性能，已成为现代建筑设计中的一种重要选择。随着工程技术的发展，预应力混凝土具有较高的刚度、抗裂、抗剪、抗疲劳等性能。同时，采用预应力混凝土可以有效地节省材料、降低工程成本，提高结构的安全性和可靠性，满足现代建筑对高性能、长寿命的要求。

关键词：建筑工程；预应力混凝土结构；应用优势

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.014

引言

随着建筑行业的快速发展，建筑工程的各种施工技术也得到相应的发展。预应力混凝土材料技术是现代建筑工程施工中的新技术，是为了避免工程施工中出现混凝土裂缝，保证混凝土施工质量的先进技术。通过将预应力混凝土材料技术应用在现代建筑工程施工中，能够显著的改善建筑工程的质量、延长施工寿命以及降低工程造价，在社会效益和经济效益方面都具有非常好的应用效果。

一、预应力混凝土施工技术的类型

（一）有粘结预应力的混凝土施工技术

有粘结预应力的混凝土施工技术使结构未受力前即进入拉压状态，既可改善结构抗裂性，又可使结构在外部荷载作用下更有效地分配应力，提高承载力。利用预应力钢筋和混凝土间的粘结作用，有效地传递应力，这种粘结效应保证了预应力钢筋的拉力能均匀地分布于混凝土中，使整个结构受力更均匀，降低局部应力集中，提高结构的耐久性与安全性。由于预应力钢筋与混凝土间的粘结作用，施工人员可根据实际工程需求灵活调整预应力钢筋布置及张拉顺序，方便复杂结构设计及施工，并为结构优化设计提供更多可能性^[1]。

（二）无粘结预应力的混凝土施工技术

由于预应力与混凝土的无粘结作用，施工人员不必等到混凝土完全硬化，就可在混凝土强度达到某一程度后立即张拉。这种灵活多变的施工模式，不但缩短了建设周期，而且提高了施工效率，使整个工程得以早日交付使用。无粘结预应力混凝土是通过对预应力钢筋进行张拉，使结构内部处于一种均匀的预应力状态，从而降低因粘结不良而引起的应力集中。这种均匀的应力分布，使结构能更好地抵抗外力作用下的弯、剪力，从而提高结构的抗裂性和耐久性。无粘结预应力混凝土施工技术具有良好的适应性，具有较强的设计灵活性，可适用于各种复杂结构及施工环境，特别适合于大跨度、高层建筑的建设。同时，该技术还可以有效地解决因温度、湿度等因素引起的混凝土收缩、膨胀等问题，提高结构的稳定性与安全性^[2]。

（三）全预应力混凝土施工技术

采用全预应力技术对结构各部位施加预应力，使结构整体受力性能得到显著提高，技术可使混凝土未受力前先受拉，使结构在服役过程中可抵消部分或所有荷载引起的拉应力，显著改善结构的承载力及抗裂性能。由于预应力分布均匀，结构在长期荷载下可维持较小的应力应变，有利于减小裂纹的产生与扩展，延长结构使用寿命，尤其在严酷环境下。预应力的施加直接影响到结构的受力性能，所以在施工过程中，预应力钢筋的张拉、锚固以及混凝土浇筑等工序的精度控制显得尤为重要。这就要求建设单位具有较高的技术水平，完善的质量管理体系，保证合理施加预应力，保证结构安全。如图1所示：



图1 全预应力混凝土施工

（四）部分预应力混凝土施工技术

相较于全预应力混凝土，部分预应力混凝土仅在关键受力部位施加预应力，既可减少预应力钢筋用量，又可降低材料造价，又能保证结构的强度、刚度，达到经济性和经济性的统一。部分预应力混凝土可根据结构受力特征及设计需求选择性施加预应力，使设计人员能更准确地控制结构应力与变形，优化结构设计，满足不同工程需要。部分预应力混凝土施工工艺具有施工方便的特点，无需对结构整体施加预应力，施工过程中张拉和锚固工作相对简单，既可降低施工难度，又可缩短工期，提高施工效率^[3]。

二、预应力混凝土的力学性能

（一）强度与应力分析

预应力混凝土结构的抗压承载力明显提高，其主要原因是预应力的引入。预应力钢筋张拉使混凝土未受力

前先受拉,该预应力能抵消部分或所有荷载引起的拉应力,起到减小或消除裂缝、提高结构抗压性能的作用。再者,预应力混凝土具有更好的受力性能。预应力钢筋张拉可使结构受力更合理,减小应力集中现象,对提高结构耐久性能、延长使用寿命具有重要意义。应力分布均匀,可降低局部超载风险,提高结构整体安全性能。对预应力混凝土进行应力分析,对其进行预测与控制具有重要意义。准确地分析预应力混凝土结构的应力,使工程人员能够预测各种荷载状态下的性能。研究结果可为结构优化设计提供依据,保证结构在不同工况下的工作性能与安全性。

(二) 变形与应变分析

预应力可以有效地控制受力状态下的初变形,特别是弯剪时,预应力可以抵消部分变形,减小变形。这一特点使其在大跨度、高层建筑中具有良好的稳定性与刚度,能满足现代建筑对变形控制的要求。预应力混凝土受力性能的影响很大,预应力混凝土受力状态的影响较大。施加预应力可以减小混凝土拉应力区的应变,减少裂纹的产生。合理地设计预应力值,可使混凝土结构在长期荷载下具有较好的工作性能。这样的应变控制能力,不但可以提高结构的耐久性,而且可以延长结构的使用寿命。工程人员可通过精确的变形及应变计算,来预估不同荷载状态下的结构行为,进而进行最优设计。研究结果对提高结构安全、减少材料浪费、提高工程经济具有重要意义^[4]。

(三) 破坏机理分析

预应力混凝土的失效机制有别于普通混凝土,预应力的引入使结构受力状态发生了变化,预应力混凝土受力后,内部受力情况更为复杂,设计中应充分考虑预应力对结构破坏形态的影响。预应力在提高结构承载力的同时,也会产生应力集中和局部失效的危险。在分析预应力混凝土构件失效机理时,应充分考虑材料的非线性特性。预应力混凝土在达到极限状态之前,其应力-应变关系呈现非线性特征,尤其是处于高应力状态时,这种非线性特征更加明显。这一非线性特性对预测结构失效模式及安全储备至关重要,因此,在失效机理分析中应充分考虑材料的非线性特征。最后,对预应力混凝土结构的失效机理进行分析,为提高结构耐久性提供理论依据,深入分析结构的失效机理,识别结构的薄弱环节,预测其可能的失效模式,进而制定维修加固措施。研究结果对延长结构寿命、降低维修费用、保证长期服役安全具有重要意义^[5]。

三、预应力混凝土在工程建筑结构中的应用

(一) 在建筑加固施工的应用

首先,采用外加预应力的方法,可以使预应力混凝土结构的性能达到最优。在加固过程中,张拉和锚固预应力钢筋,使结构内部产生附加拉应力,抵消或减小荷

载引起的拉应力,不仅可改善结构抗裂性能,而且可显著提高结构的承载力。其次,通过改变结构受力状态,对预应力混凝土加固技术进行优化。在加固施工过程中,采用预应力技术改变结构内力分布,将一部分荷载传递给预应力钢筋,从而减轻原结构的受力。这种受力状态的变化,可以使结构的刚度、稳定性得到恢复或提高,从而延长结构的使用寿命。最后,通过对预应力钢筋张拉力的准确计算与控制,使工程人员能够根据设计要求对结构应力状态进行调整,从而实现对结构性能的准确控制。这种控制能力使预应力混凝土加固技术能满足不同结构病害及加固要求^[6]。

(二) 在建筑混凝土多跨连续梁的应用

采用预应力混凝土对多跨连续梁进行优化,对于多跨连续梁,施加预应力能使梁处于预受压状态,有利于减小荷载下梁的下挠。通过对预应力大小及分布的准确计算,可实现梁体在不同受力状态下的变形控制,保证结构稳定及使用舒适性。预应力混凝土对结构进行了优化,提高了梁的抗裂能力和耐久性。预应力作用使受拉区区域混凝土受压,通过优化设计,不仅使结构外观更加美观,而且延长了维修周期,延长了结构的使用寿命。最后,通过对梁截面进行优化设计,可使梁截面变得更细,因其能有效分担荷载,可减小截面尺寸。该设计方案在降低材料用量、降低造价的同时,减轻了结构重量,提高了施工便捷性。

(三) 应用于建筑混凝土框架

预应力作用可使框架梁、柱处于预受力状态,减小荷载下裂缝的产生,改善结构的抗压、抗弯性能。通过精确控制预应力量及分布,工程师可确保结构之稳定及安全。采用预应力技术,工程师可以设计出更细的梁和柱,这是因为预应力可以有效地承受载荷,减少截面尺寸的要求。该设计方案不仅节约了材料,降低了造价,而且提高了建筑空间利用效率。采用预应力可改善框架结构的延性与韧性,使其能更好地吸收、分散能量,减少结构损伤。该方法不仅能提高结构的抗震性能,而且能保证建筑物的安全性。

(四) 应用于受弯结构

预应力的作用是使受拉区的混凝土提前受压,从而减小或避免荷载下的开裂。这种优化设计方法能有效地抑制裂缝的扩展,提高结构的耐久性、美观性,延长维修周期。通过合理设计预应力钢筋的位置及强度,可有效控制其受力状态,提高其极限承载力。这种优化设计方法,使预应力混凝土构件在大荷载、重复荷载作用下的稳定可靠性能得到了提高。采用预应力技术,可减小截面尺寸,减少混凝土用量及钢筋用量,同时保证结构的安全性。该方法不仅可以降低材料造价,而且可以减轻结构的重量,简化施工工序,提高施工效率。

四、建筑工程中预应力混凝土结构应用的优势

(一) 显著提高结构刚度和抗裂性

预应力的作用是使结构未受力前先进入拉伸状态，从而消除荷载产生的拉应力，减小结构变形，提高结构刚度。这种刚度的提高对保证结构在不同荷载工况下的稳定、减小长期服役过程中的变形具有重要意义。预应力的存在改善了混凝土受拉区的受力状况，减少了开裂。预应力能够减缓或阻止因干缩、温度变化或荷载作用而产生的裂纹扩展，对提高结构耐久性，延长结构使用寿命至关重要。预应力技术可使工程人员更精细地设计结构局部区域，如在应力集中区施加附加预应力，从而减小裂纹。这一细部优化设计，不但能改善结构整体性能，也能提高其对不同环境因素的适应性。

(二) 增强抗剪能力

预应力的引入使结构内部形成压应力，有利于抵抗剪切力的产生，增强结构的抗剪能力。尤其是对梁和板等受弯件，采用预应力技术可有效减小剪切裂缝，提高结构整体稳定性能。预应力钢筋可根据结构具体受力特征加以调整，在剪力较大区域增设预应力钢筋，可有效抵抗剪力，降低结构受剪变形及失效的风险。这一目标的实现使预应力混凝土结构能够更好地适应复杂受力环境。施加预应力能够延缓混凝土的老化劣化，降低因材料性能退化而导致的抗剪强度下降。此外，预应力还能增强混凝土和钢筋间的粘结强度，增强两者的协同工作能力，进一步提高结构抗剪性能。

(三) 节约材料和降低工程造价

由于施加了预应力，工程师们可以根据同样的承载能力，设计出较小的截面尺寸。通过优化设计，既可减少混凝土、钢筋用量，又可降低材料造价，从总体上实现建筑材料的节约。采用预应力技术可使构件在施工过程中承受较大的载荷，减少对支架、临时支架的需求。这不仅减少了施工期间的人工、材料费用，而且缩短了工期，提高了项目的整体经济效益。最后，降低预应力混凝土耐久性，降低维修费用，对节省工程成本具有重要意义。由于预应力混凝土具有良好的抗裂、抗疲劳能力，因此，结构在服役期间的损坏与维修要求相对较低。这种耐久性降低了后期维修和维修的次数，降低了长期运行费用，提高了工程的经济性。

(四) 提高耐疲劳性能

通过预加载产生的压应力可抵消循环荷载产生的部分拉应力，减小内部应力波动，减少疲劳裂纹的产生与扩展，显著提升结构抗疲劳性能。预应力技术可使工程人员对结构局部进行精细化设计，尤其是应力集中区，采用附加预应力可降低应力集中效应，降低疲劳失效风险，对提升结构整体抗疲劳性能至关重要。施加预应力可增强混凝土和钢筋间的粘结强度，增强两者的协同工作能力，使循环荷载下的应力得以分散，降低疲劳损伤

累积。同时，预应力也能延缓混凝土的老化劣化，降低因材料性能退化而导致的疲劳性能下降。

(五) 结构质量安全可靠

预应力张拉可使结构内部产生持续压应力，减小荷载下开裂，提高结构整体稳定性。这种提高的承载力使预应力混凝土结构能够在地震、重荷等极端荷载作用下保持结构的完整性，从而保证结构的安全服役。预应力可以提高混凝土的抗裂、抗渗性能，减少水、有害物质侵入，延缓材料老化进程。因此，预应力混凝土结构可以在长期使用时保持原有的使用性能，降低对维修的要求，从而保证结构的长期使用安全。最后，对预应力混凝土结构的设计与施工精度提出更高的要求，从而提高了结构的可靠度。在预应力施工过程中，对预应力钢筋的张拉力、张拉位置及混凝土浇筑等进行严格的控制，保证了结构按设计要求精确执行，提高结构的可靠度和使用寿命。

结语

随着全球城市化进程的加快，预应力混凝土结构以其优越的受力性能及经济性得到了越来越多的重视。面对人口增长、资源短缺、环境污染等问题，预应力混凝土将得到更广泛的应用，对提高结构的安全、耐久、可持续发展具有重要意义。展望未来，预应力混凝土仍将引领建筑业向绿色、绿色方向发展，为实现绿色建筑与可持续发展目标提供有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 张云宝, 董海华, 王百勇. 装配式建筑预应力混凝土结构施工技术研究 [J]. 工程建设与设计, 2024, (20): 196-198.
- [2] 周峰, 贾成帅. 预应力混凝土在工程建筑结构中的应用及其性能分析 [C]// 广西网络安全和信息化联合会. 第二届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集. 青岛恒智建设工程管理有限公司; , 2024: 3.
- [3] 孙永佳. 建筑工程结构施工中预应力混凝土技术的应用与思考 [J]. 信息化建设, 2015, (08): 155.
- [4] 何珍, 王丹. 预应力混凝土材料技术在建筑工程中的优势与应用 [J]. 江西建材, 2014, (22): 76.
- [5] 刘惠霞, 王守剑. 预应力混凝土叠合式结构在建筑工程中的应用 [J]. 甘肃科技纵横, 2007, (02): 125+168.
- [6] 阿艳琴, 张宏, 宋媛媛, 等. 在建筑结构工程中应用预应力混凝土存在的问题 [J]. 黑龙江水利科技, 1998, (03): 66-67.

作者简介: 张腾飞, 1988年9月23日, 男, 汉, 山东省青岛市莱西市, 本科, 中级工程师, 研究方向: 土木工程技术。王涛, 1978年6月21日, 男, 汉, 山东省青岛市莱西市, 本科, 中级工程师, 研究方向: 土木工程技术。