

# Analysis of Key Points of Construction Technology for Prestressed Concrete Structures in Factory Building Construction

Hui Guo Huiyang Ye Fudong Li Zihao Zheng Mingjiu Bai

China Construction Steel Engineering Group Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

With the acceleration of China's industrial modernization process, factory construction is developing towards large span, heavy load and high durability. Traditional concrete structures are difficult to meet the demands due to problems such as easy cracking and limited span. Prestressed concrete technology, by applying compressive stress in advance, effectively enhances the crack resistance, rigidity and load-bearing capacity of structures, thus becoming a key solution in factory building engineering. However, its construction involves complex links such as tensioning control, duct grouting, and anchoring safety, with high technical requirements and is easily affected by environmental factors. This article first elaborates in detail on the basic principles of prestressed concrete structures, then analyzes in detail the key technologies of prestressed concrete construction in factory building from multiple perspectives, followed by a specific analysis of relevant factory building engineering cases, and finally summarizes common problems and prevention measures, with the aim of providing useful references and inspirations for related research.

## Keywords

Factory building construction Prestressed concrete structure Key points of construction technology

# 厂房建设中预应力混凝土结构的施工技术要点分析

郭辉 叶慧洋 李福东 郑子豪 柏明久

中建科工集团有限公司, 中国·广州深圳 518000

## 摘要

随着中国工业化进程加速, 厂房建设向大跨度、重载、高耐久性方向发展, 传统混凝土结构因易开裂、跨度受限等问题难以满足需求。预应力混凝土技术通过预先施加压应力, 有效提升结构抗裂性、刚度及承载能力, 成为厂房工程中的关键解决方案。然而, 其施工涉及张拉控制、孔道灌浆、锚固安全等复杂环节, 技术要求高且易受环境因素影响。本文先是详细阐述了预应力混凝土结构基本原理, 随后从多角度详细分析了厂房建设中预应力混凝土施工关键技术, 紧接着具体分析了解相关厂房工程案例, 最后总结了常见问题与防治措施, 以为相关研究提供有益参考与借鉴。

## 关键词

厂房建设; 预应力混凝土结构; 施工技术要点

## 1 引言

厂房作为工业生产的核心载体, 其结构需满足大跨度、重载、抗振动及耐久性等特殊需求。传统混凝土结构因抗裂性差、跨度受限, 难以适应现代化厂房的发展趋势。预应力混凝土技术通过预先引入压应力, 有效抵消外荷载产生的拉应力, 显著提升结构刚度与承载能力, 同时减少混凝土用量, 降低工程成本。然而, 厂房施工中预应力体系选型、张拉顺序控制、孔道灌浆密实性等环节易受施工环境、设备精度及人员操作影响, 导致质量隐患。本文以厂房工程为背景, 深入探讨预应力混凝土施工技术的要点, 结合规范要求与工程实践, 提出针对性质量控制措施, 为提升厂房结构性能

与施工效率提供理论支持。

## 2 厂房建设中预应力混凝土施工关键技术

### 2.1 施工前准备

在厂房预应力混凝土施工前, 需做好全面细致的准备工作。首先要进行设计图纸审核与预应力配筋优化, 组织技术人员详细会审图纸, 重点核查预应力筋布置形式、张拉端与固定端位置、锚具型号及数量等是否符合结构受力需求, 同时借助 BIM 建模或结构计算软件优化配筋率与间距, 在满足承载力要求的同时减少材料浪费, 如某厂房大跨度梁设计通过调整预应力筋曲线半径和间距, 使梁高降低 15%, 承载力提升 20%。材料选型方面, 预应力筋优先选用低松弛高强度钢丝, 松弛率  $\leq 2.5\%$ , 可减少长期预应力损失; 锚具系统采用 OVM 或 HVM 系列, 需满足相关规程要求并通过抽检; 管道材料中金属波纹管 and 塑料波纹管需分别符合

【作者简介】郭辉 (1993-), 男, 中国宁夏中卫人, 本科, 工程师, 从事施工技术 & 总包管理研究。

相应标准，且塑料波纹管密封性要通过灌水试验验证。施工设备与场地布置上，先张法施工需设置长线台座，长度依构件尺寸确定，刚度要满足张拉时变形要求；张拉设备需与压力表配套校验，确保张拉力值误差在规定范围内；场地布置要合理，预应力筋堆放区防雨防潮，穿束及张拉作业区预留足够空间，避免交叉施工干扰。

## 2.2 预应力筋制作与安装

在厂房预应力混凝土施工中，预应力筋制作与安装以及预制板和预应力梁的连接施工是关键。预应力筋制作安装时，下料长度要精准，依孔道长度、张拉设备长度等计算，切割用砂轮切割机，之后两端绑扎防散股；钢绞线存放要垫木方、盖防雨布防酸碱，穿束前涂防锈油或包薄膜<sup>[2]</sup>。穿束上，直线筋用人工或卷扬机牵引，速度不超 2m/min，曲线筋靠定位支架固定，支架间距、偏差有要求，反弯点增定位点。管道成型，金属波纹管用旋入套管法连接并密封，塑料波纹管热熔连接，固定用“井”字形钢筋网片，转折点加密。此外，预应力梁上铺预制板，采用斜插筋法不出筋叠合板技术，解决了板连接筋伸入梁施工难题，简化流程、提高效率，保障连接质量。

## 2.3 张拉与锚固施工

在厂房预应力混凝土施工里，张拉与锚固施工环节极为关键。张拉顺序遵循一定原则，先中间后两边，采用对称张拉的方式，以此避免结构出现侧向弯曲；在框架结构中，要先张拉竖向预应力筋，再依次张拉横向和纵向筋。同步控制方面，采用双控系统，即结合压力表读数与伸长量来把控，当多台千斤顶同步张拉时，压力差要控制在  $\pm 5\%$  以内，伸长量差则不超过  $\pm 6\%$ 。张拉力值与伸长量有着严格的双控标准，张拉力值按设计要求的  $0.75f_{ptk}$ （如 1395MPa）来控制，超张拉时也不能超过  $0.8f_{ptk}$ （1488MPa）；伸长量校核时，实际伸长值与理论值的偏差要控制在  $\pm 6\%$  以内，若超出这个范围，就得暂停张拉，仔细检查锚具滑移、管道摩擦或者计算误差等情况。锚具安装与夹片锁紧工艺也不容马虎，安装锚具前要清理好锚垫板表面，保证其与孔道同心；安装夹片时要敲击整齐，顶压锚固时压力要达到预应力吨位的 40% 及以上，夹片锁紧后还要检查齿痕深度，若单侧齿痕过浅，就得重新顶压。

## 2.4 孔道灌浆与封锚

在厂房预应力混凝土施工中，孔道灌浆与封锚环节至关重要。水泥浆配比与流动性控制是基础，水灰比需控制在  $\leq 0.42$ ，同时掺入减水率  $\geq 25\%$  的减水剂和膨胀率  $\geq 3\%$  的微膨胀剂，且 3h 泌水率要  $\leq 2\%$ 。流动性方面，通过流动锥试验，流出时间应控制在 18 - 25s，以此确保灌浆密实无空洞。真空辅助灌浆技术的应用能进一步提升灌浆质量，灌浆前对孔道抽真空至  $-0.08\text{MPa}$ ，维持 1min 后开始灌浆，灌浆压力控制在  $0.5 - 0.7\text{MPa}$ ，稳压时间  $\geq 2\text{min}$ ，该技术可减少气泡和离析，提高灌浆密实度，尤其适用于曲线孔道<sup>[3]</sup>。封锚混

凝土密实性要求也不容忽视，封锚前要清理锚具表面并涂刷环氧树脂防腐，封锚混凝土采用 C45 补偿收缩细石混凝土，保护层厚度  $\geq 50\text{mm}$ 。养护时，需覆盖塑料薄膜并洒水养护，时间  $\geq 14\text{d}$ ，从而有效防止开裂，保证封锚质量，确保整个预应力混凝土结构的稳定性和耐久性。

## 2.5 质量监测与验收

在厂房预应力混凝土施工里，质量监测与验收是保障工程质量的关键环节。预应力损失现场测试采用压力传感器实时监测张拉力，同时结合应变计测量混凝土应变，进而计算实际预应力损失值。测试频率为每  $500\text{m}^2$  构件或每批预应力筋抽检 1 次，若数据偏差超过设计值的 5%，就需及时调整张拉参数。混凝土强度与裂缝宽度检测也不容忽视，强度检测要按《混凝土强度检验评定标准》（GB/T 50107）留置同条件养护试件，强度达标后才可进行张拉；裂缝宽度用裂缝测宽仪检测，最大宽度不得超过  $0.2\text{mm}$ ，否则要进行补强处理<sup>[4]</sup>。验收标准方面，锚具封闭保护要求外露预应力筋保护层厚度在易腐蚀环境里  $\geq 50\text{mm}$ ，正常环境  $\geq 20\text{mm}$ ；灌浆密实度通过超声波检测，需达到  $\geq 95\%$ ，若存在空洞，要钻孔补灌。整个验收依据要符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204）及设计文件要求，以此确保施工质量达标。

## 3 厂房工程案例

### 3.1 工程概况

杭政工出【2022】28号东辰生物医药新制造业项目一期项目（以下简称东辰一期项目）为钢筋混凝土框架结构，在三层露天屋顶花园的部分主梁处采用多孔有粘结预应力束，每束 11 根钢绞线，金属波纹管成孔，标准 C4 抛物线型。预应力梁示意图如图 1。

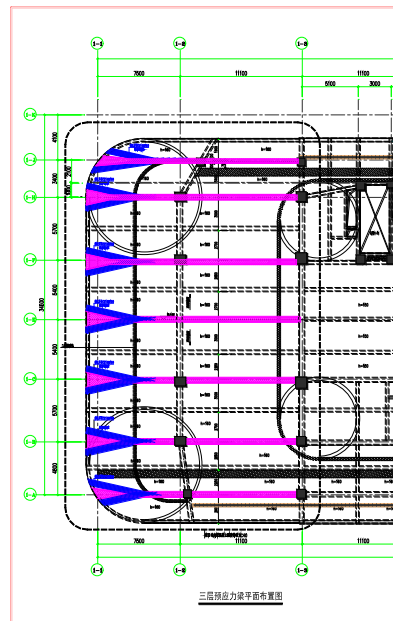


图 1 1# 楼三层预应力梁平面布置图

预应力筋采用1860级高强度低松弛钢绞线，直径15.2mm，截面积140mm<sup>2</sup>。预应力锚具采用QM型15-1孔夹片式系列，其中张拉端锚具采用夹片式群锚，固定端锚具采用挤压锚具。

预应力筋设计张拉控制应力 $0.75f_{ptk} = 0.75 \times 1860 = 1395N/mm^2$ ，不超张拉。本工程采用一次张拉至最终控制应力。预应力梁混凝土设计强度C40，混凝土强度达到100%设计强度后方可进行张拉。

有粘结预应力梁孔道采用金属波纹管留孔，接管采用大一号的波纹管。孔道灌浆用42.5普通硅酸盐水泥，水泥浆强度28天不低于30MPa，且不得掺入含氯化物等对预应力筋有腐蚀作用的外加剂。钢绞线、波纹管规格见表1。

表1 钢绞线、波纹管详单

序号	梁编号	钢绞线长度(m)	钢绞线重量(t)	波纹管长度(m)
1#楼三层	3YKLx-001(3B)	516.6	0.575	42.3
	3YKLx-001(5A)	505.2	0.562	41.3
	3YKLx-005(4A)	505.2	0.562	41.3
	3YKLx-007(5A)	505.2	0.562	41.3
	3YKLx-009(7A)	505.2	0.562	41.3
	3YKLx-003(1A)	505.2	0.562	41.3
	3YKLx-004(1A)	484.5	0.539	39.2

### 3.2 预应力体系选型

在东辰一期项目中，预应力体系选型至关重要。屋顶花园预应力梁均采用后张有粘结预应力体系，因其前段部分长度内，采用悬挑造型，最大跨度约19.9m，且后期需回填种植土，有粘结体系借孔道灌浆能高效传递预应力至混凝土，减少长期损失，灌浆后整体性好，可应对振动抗裂需求，同时有粘结预应力筋与混凝土协同可提升疲劳性能。

### 3.3 施工难点与解决方案

在东辰一期项目的预应力梁施工中，面临三大施工难点及相应解决方案。

一，因该层预应力梁向外悬挑，需搭设超高支模架、外架并采取可靠连接措施。为此，首先针对相关工况编制高支模施工方案并通过审批，之后施工过程中针对悬挑露出部位额外增加立杆、斜杆、竖向与横向剪刀撑；外架增设斜抛撑，并与下方主体做可靠拉结；张拉前对千斤顶与油泵配套校验，周期不超过3个月，确保张拉力值误差在±1.5%以内；张拉时设置双安全防护，操作人员佩戴安全带并站在千斤顶侧面，后方设防坠落挡板，张拉区域用警示绳隔离。

二，高温环境灌浆材料性能调整上，夏季35℃高温使普通灌浆料流动性下降快，易泌水离析。解决方案为选用高温型灌浆料，添加聚羧酸减水剂和膨胀剂，提升初始流动度，

降低泌水率；灌浆前用冷水湿润孔道，采用分段灌浆法，每段长度不超30米；灌浆后覆盖湿麻袋和塑料薄膜养护，时间不少于7天，防止开裂。

三，混凝土在保证振捣密实的同时需做好波纹管保护措施。做法为必要时可适当减小混凝土石子粒径，混凝土振动器绝对不能直接振击波纹管，以防振瘪引起波纹管漏浆，影响张拉和孔道灌浆，必须采取有效的封裹措施，切实保证锚垫板处不致漏浆，预应力梁端部锚垫板应安放平整、牢固。

四，叠合板筋与预应力梁筋及内部管道空间冲突。本工程楼面板面基本采用叠合板施工，板侧存在伸入梁的锚筋，解决方案为在预应力梁上铺预制板时，采用斜插筋法不出筋叠合板技术，在解决了板连接筋伸入梁施工难题的同时，保证了其连接效果和抗震性能。

### 3.4 监测数据与长期性能评估

在本工程中，监测数据与长期性能评估工作至关重要。施工期，为确保质量，开展张拉力与混凝土应变监测：在千斤顶和锚具间装压力传感器，实时监测张拉力，预应力梁张拉时实际值比设计值低8%，及时停张检查锚具滑移并重新张拉；在梁端部预埋振弦式应变计，监测混凝土应变，保证应变增量与设计计算值偏差在±10%以内。长期性能评估方面，通过锚具回缩值测量和混凝土应变长期跟踪，发现3年后预应力损失率≤8%，满足≤15%的设计要求；每半年用裂缝测宽仪检测梁端部裂缝，最大宽度0.15mm且无扩展，证明部分预应力设计有效。

## 4 结论与展望

综上所述，本文围绕厂房建设中预应力混凝土结构施工技术展开研究，阐述了基本原理，详细剖析了施工前准备、预应力筋制作安装、张拉与锚固等关键技术要点，并通过实际工程案例，展示了预应力体系选型、施工难点解决及长期性能评估等内容，还针对常见问题提出防治措施。实践证明，合理应用该技术并严格控制施工环节，可提升厂房结构性能与施工质量。展望未来，随着工业建设需求升级，预应力混凝土技术将更高效、智能，可通过研发新型材料与智能监测设备，优化施工工艺，为厂房建设提供更可靠的技术支撑。

### 参考文献

- [1] 洪琦,杨海锋.高层厂房钢管混凝土柱-预制预应力梁组合结构体系设计应用[J].中国水泥,2025,(10):95-97.
- [2] 彭姚.先张法预应力混凝土双T梁力学性能研究[J].北方交通,2025,(09):1-6+12.
- [3] 郑实涛.预应力混凝土在建筑土建结构中的应用研究[J].城市开发,2025,(17):164-166.
- [4] 吴昌涛,应亮亮,刘传平.超长跨度预应力钢筋混凝土结构设计关键技术[J].铁路技术创新,2025,(04):83-88.