

# 房建工程中装配式建筑套筒灌浆技术探究

杨攀

江西建工第一建筑有限责任公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8512

**[摘要]** 装配式建筑是建筑工业化与绿色化发展的核心方向，套筒灌浆技术作为预制构件钢筋连接的关键核心技术，直接决定装配式建筑结构的整体性、安全性与耐久性。本文基于学术理论与技术规范，以“原理-材料-工艺-质控”为逻辑框架，分四大章节系统探究套筒灌浆技术在房建工程中的应用要点。通过解析技术核心原理与特性，明确灌浆料、套筒等关键材料的性能匹配要求，优化施工全流程工艺参数，构建全周期质量控制体系，为装配式建筑套筒灌浆技术的标准化、规范化应用提供理论支撑与技术参考。

**[关键词]** 房建工程；装配式建筑；套筒灌浆技术；结构连接；质量控制

## Research on Sleeve Grouting Technology for Prefabricated Buildings in Housing Construction Engineering

Yang Pan

Jiangxi Construction Engineering First Co., Ltd.

**[Abstract]** Prefabricated construction is the core direction of the industrialization and green development of the construction industry. As a key core technology for the connection of steel bars in prefabricated components, sleeve grouting technology directly determines the integrity, safety, and durability of prefabricated building structures. Based on academic theories and technical specifications, this paper systematically explores the application key points of sleeve grouting technology in housing construction engineering through four chapters, adopting the logical framework of "principle-material-construction quality control". By analyzing the core principles and characteristics of the technology, clarifying the performance matching requirements of key materials such as grouting material and sleeve, optimizing the process parameters of the entire construction process, and constructing a full-cycle quality control system, this study provides theoretical support and technical reference for the standardized application of sleeve grouting technology in prefabricated buildings.

**[Key words]** housing construction engineering; prefabricated building; sleeve grouting technology; structural connection; quality control

### 前言

在“双碳”目标与建筑工业化转型的双重驱动下，装配式建筑凭借施工高效、节能环保、质量可控等优势，已成为我国房建工程的主流建设模式。钢筋连接技术作为装配式建筑结构传力的核心枢纽，其可靠性直接影响建筑的承载能力、抗震性能及使用寿命。套筒灌浆连接技术通过高强无收缩灌浆料在密闭套筒内的固化粘结作用，实现预制构件钢筋的等强度连接，具有力学性能稳定、适应性强、施工便捷等突出特点，被广泛应用于多层及高层装配式混凝土结构工程。

当前，套筒灌浆技术在实际应用中仍面临材料性能适配性不足、施工工艺不规范、质量检测难度大等技术瓶颈，现有研究多聚焦于工程案例分析或试验数据验证，缺乏对技术体系的

系统性理论梳理。基于此，本文摒弃案例与数据分析，从纯技术理论视角，构建四大章节的学术框架，系统阐述套筒灌浆技术的原理特性、材料要求、施工工艺及质量控制要点，旨在完善该技术的理论体系，推动其在房建工程中的标准化应用，为提升装配式建筑结构连接质量提供学术参考。

### 1. 套筒灌浆技术的基本原理与核心特性

#### 1.1 技术基本原理

套筒灌浆连接技术的核心是通过在预制构件预埋的金属套筒内注入高强无收缩灌浆料，利用灌浆料固化后形成的三重作用实现钢筋可靠连接：一是灌浆料与钢筋表面的化学粘结作用，通过水化产物与钢筋表面的氧化膜形成化学键合，产生粘结力；二是灌浆料与套筒内壁的机械咬合作用，套筒内壁设计

的凹凸槽或螺纹结构,与硬化后的灌浆料形成嵌固效应,防止相对滑移;三是灌浆料的微膨胀特性,确保硬化过程中与钢筋、套筒紧密贴合,避免产生空隙,保障传力连续性。

在受力传递过程中,钢筋所受拉力通过粘结力传递至灌浆料,再经机械咬合力传递至套筒,最终由套筒传递至另一根钢筋,形成“钢筋-灌浆料-套筒”的完整力学传递路径,实现钢筋的等强度连接,确保连接部位力学性能与钢筋母材一致。

## 1.2 核心技术特性

### 1.2.1 力学性能可靠

套筒灌浆连接的抗拉强度、抗剪强度均达到或超过钢筋母材标准值,可承受荷载、反复荷载作用,抗震性能优异。在极端荷载下,连接部位呈延性破坏特征,避免脆性断裂,保障结构整体性。

### 1.2.2 适用范围广泛

适用于HRB400、HRB500等常用带肋钢筋,钢筋直径覆盖12mm-40mm,可满足预制柱、梁、墙板等各类构件的连接需求,不受钢筋长度、间距及构件形式限制,适配不同房建工程结构设计。

### 1.2.3 施工高效便捷

套筒在预制构件生产时预埋完成,现场仅需完成钢筋对位、套筒封堵、灌浆作业等工序,无需大量焊接或绑扎工作,施工流程简化,可显著缩短现场施工周期,契合装配式建筑工业化施工理念。

### 1.2.4 耐久性突出

灌浆料具备优异的抗渗、抗冻、抗碳化及耐腐蚀性,可有效保护钢筋免受环境侵蚀;套筒经防腐处理后,能长期抵抗施工现场潮湿、多尘等恶劣环境,确保连接部位长期可靠,延长建筑使用寿命。

## 2.套筒灌浆技术的关键材料性能要求

套筒灌浆技术的应用效果依赖于灌浆料与灌浆套筒的性能质量及二者的适配性,其核心技术指标需严格遵循现行行业标准。

### 2.1 灌浆料性能要求

灌浆料作为粘结传力的核心材料,需满足以下关键性能指标。

①强度性能:标准养护下,1d抗压强度 $\geq 35\text{MPa}$ ,3d $\geq 60\text{MPa}$ ,28d $\geq 85\text{MPa}$ ;抗拉强度 $\geq 6\text{MPa}$ ,确保承载与粘结可靠性。

②工作性能:初始流动度 $\geq 300\text{mm}$ ,30min流动度 $\geq 270\text{mm}$ ,倒锥法流动时间 $\leq 20\text{s}$ ,保障套筒内充分填充,无死角空隙。

③体积稳定性:1d-3d自由膨胀率0.02%-0.10%,28d $\leq 0.30\%$ ,竖向膨胀率 $\geq 0.02\%$ ,补偿收缩,避免裂缝产生。

④耐久性:抗渗等级 $\geq \text{P8}$ ,抗冻等级 $\geq \text{F200}$ ,28d抗碳化深度 $\leq 5\text{mm}$ ;氯离子含量 $\leq 0.06\%$ ,碱含量 $\leq 3.0\text{kg/m}^3$ ,无钢筋锈蚀风险。

⑤凝结时间:初凝 $\geq 120\text{min}$ ,终凝 $\leq 360\text{min}$ ,兼顾施工操作时间与进度要求。

### 2.2 灌浆套筒性能要求

灌浆套筒应采用优质碳素结构钢或合金结构钢制造,关键性能指标如下:

①尺寸精度:内径、长度、壁厚及内壁凹凸槽尺寸允许偏差 $\pm 0.5\text{mm}$ ;钢筋插入深度 $\geq 10$ 倍钢筋直径,确保连接有效性。

②力学性能:抗拉强度 $\geq 415\text{MPa}$ ,屈服强度 $\geq 235\text{MPa}$ ,延伸率 $\geq 21\%$ ;套筒-灌浆料-钢筋组合体抗拉强度 $\geq 1.15$ 倍钢筋母材标准值。

③防腐性能:表面采用热镀锌(厚度 $\geq 85\mu\text{m}$ )或电泳涂装(厚度 $\geq 30\mu\text{m}$ )处理,抵抗施工现场锈蚀。

④密封性能:接口设置密封槽或密封垫,灌浆孔、出浆孔孔径16mm-20mm,位置准确通畅,防止漏浆并保障排气顺畅。

### 2.3 材料匹配性要求

①流动性匹配:灌浆料流动度需适配套筒内径与长度,避免流动过小导致灌浆不密实或过大引发离析泌水。

②凝结时间匹配:灌浆料凝结时间需适配套筒散热性能,避免散热过快导致早期受冻或凝结异常。

③粘结强度匹配:灌浆料与套筒内壁粘结强度需大于其与钢筋的粘结强度,确保受力时优先发生钢筋-灌浆料界面破坏,保障连接安全性。

## 3.套筒灌浆技术的施工工艺要点

### 3.1 施工准备

#### 3.1.1 技术准备

编制专项施工方案,明确流程、操作要点及质控标准;开展技术交底与培训,确保施工人员熟悉技术原理与规范;核对构件型号、套筒位置与设计图纸一致性;根据现场温湿度调整灌浆料配合比。

#### 3.1.2 材料与设备准备

材料进场需提供合格证与出厂检验报告,见证取样复检合格后方可使用;灌浆料储存在干燥通风库房,保质期 $\leq 3$ 个月;套筒外观无锈蚀、裂纹及变形;调试灌浆泵、搅拌桶等设备,确保运行正常;准备密封胶、封堵材料等辅助工具。

#### 3.1.3 构件准备

清理预制构件套筒预留孔道,确保通畅无杂物、浮浆及油污;清理钢筋表面锈蚀、油污,保证洁净;放线定位构件安装位置、标高及垂直度,确保安装精度。

### 3.2 构件安装与钢筋对位

构件吊装采用专用吊具,缓慢下放至安装位置,调整标高与垂直度,偏差控制在规范允许范围内;确保预制构件钢筋准确插入套筒内,插入深度符合设计要求,避免偏位、倾斜或未插到底;钢筋对位后,采用临时固定措施加固构件,防止灌浆过程中位移。

### 3.3 套筒封堵与密封

采用专用封堵材料(如密封胶、聚合物砂浆)封堵套筒两端缝隙及构件接缝处;封堵应密实牢固,确保无漏浆通道;检

查密封效果，必要时进行压力测试，防止灌浆过程中出现漏浆影响灌浆密实度。

#### 3.4 灌浆料搅拌与灌浆作业

按配合比准确计量灌浆料与水，采用机械搅拌，搅拌时间2min-3min，确保拌合物均匀无结块；搅拌完成后立即使用，放置时间 $\leq 30\text{min}$ ；采用压力灌浆法，从下往上连续灌浆，灌浆压力控制在0.3MPa-0.5MPa；待出浆孔连续溢出均匀灌浆料且无气泡时，及时封堵出浆孔与灌浆孔，封堵后保持压力 $\geq 30\text{s}$ 。

#### 3.5 养护与成品保护

灌浆完成后12h内进行保湿养护，环境温度 $\geq 5^\circ\text{C}$ ；采用覆盖土工布、喷水或养护剂等方式，养护时间 $\geq 7\text{d}$ （高温或干燥环境延长至14d）；养护期间禁止扰动构件及连接部位，避免碰撞、振动导致灌浆料开裂或粘结失效。

### 4. 套筒灌浆技术的质量控制体系

#### 4.1 事前控制

建立材料进场验收制度，严格核查灌浆料、套筒的质量证明文件，执行见证取样复检制度，不合格材料严禁使用；审查施工方案的合理性与可行性，重点核查技术参数与质控措施；对施工人员进行岗前培训与考核，考核合格后方可上岗；检查施工设备性能状态，确保满足施工要求；复核构件安装精度与钢筋对位质量，不合格者不得进入下道工序。

#### 4.2 事中控制

全程监督灌浆料搅拌过程，确保配合比准确、搅拌均匀；实时监控灌浆压力与灌浆速度，确保灌浆连续无中断；观察出浆孔溢浆状态，判断灌浆密实度，发现漏浆立即停止灌浆并处理；记录施工过程参数（如温湿度、搅拌时间、灌浆压力等），形成可追溯的施工记录；对密封质量、养护措施进行巡检，及时纠正不规范操作。

#### 4.3 事后控制

采用无损检测与破坏性检测相结合的方式质量检验：无损检测可采用超声波法或雷达法，检测灌浆密实度，排查内部空洞、裂缝等缺陷；按规范要求抽取一定比例的连接接头进行现场破坏性试验，检验抗拉强度是否符合标准；对检测不合格的接头，制定专项处理方案，采取补浆、加固或更换等措施，经复检合格后方可验收；整理施工资料、检测报告，形成完整的质量验收文件。

#### 4.4 质量通病防治

优化灌浆料流动度，确保搅拌均匀；控制灌浆压力与速度，保障连续灌浆；加强密封检查，防止漏浆；采用二次灌浆法，提高密实度。严格控制材料质量与匹配性；确保钢筋与套筒内壁洁净；规范养护流程，保证养护时间与湿度。避免灌浆料搅拌时用水量超标；控制施工环境温度，避免高温暴晒或低温施工；养护期间禁止扰动构件。

### 5. 套筒灌浆技术的发展趋势与创新方向

随着装配式建筑向高层化、大跨度化及智能化方向发展，

套筒灌浆技术面临更高的性能要求与应用挑战，其发展趋势聚焦于材料改良、工艺升级、检测优化及数字化融合四大维度。在材料创新方面，高性能灌浆料研发成为核心方向，通过复合纳米材料、纤维增强剂等改性手段，提升灌浆料的早期强度、流动稳定性及耐极端环境能力，同时开发低能耗、环保型灌浆料，契合绿色建筑发展理念。套筒材料则向轻量化、高强度方向发展，采用高强度铝合金、复合材料等替代传统钢材，在降低自重的同时提升防腐性能与力学适配性。

施工工艺方面，智能化施工装备的应用成为趋势，全自动灌浆机器人、精准配料系统等设备的推广，可实现灌浆料搅拌、灌浆作业的标准化控制，减少人为操作误差；模块化施工技术的融合，将套筒预埋、钢筋对位、灌浆密封等工序整合为标准化模块，提升施工效率与质量一致性。质量检测领域，无损检测技术的精准化升级是关键，基于超声波成像、CT扫描等技术的检测设备，可实现灌浆密实度的可视化检测，结合人工智能算法，提高缺陷识别精度与检测效率；同时，建立全生命周期质量追溯系统，通过物联网技术采集材料性能、施工参数、检测数据等信息，实现质量风险的提前预警与精准管控。

此外，数字化设计与模拟技术的深度融合，通过BIM技术构建套筒灌浆连接的三维模型，模拟施工过程中的力学行为与质量控制点，为施工方案优化提供数据支撑。未来，套筒灌浆技术将朝着“材料高性能化、工艺智能化、检测精准化、管理数字化”的方向持续创新，为装配式建筑的高质量发展提供更可靠的技术保障。

### 结论

套筒灌浆技术作为装配式建筑结构连接的核心技术，其原理科学性、材料适配性、工艺规范性及质控有效性直接决定房建工程质量安全。本文通过四大章节的系统探究，明确了该技术的力学传递机制与核心特性，界定了灌浆料与套筒的关键性能及匹配要求，优化了施工全流程工艺要点，构建了“事前-事中-事后”全周期质量控制体系。研究表明，只有严格遵循技术原理、把控材料质量、规范施工工艺并落实质控措施，才能充分发挥套筒灌浆技术的优势，保障装配式建筑结构的可靠性与耐久性。未来研究可聚焦于灌浆材料的高性能化改良、施工工艺的智能化升级及无损检测技术的精准化发展，进一步推动该技术在房建工程中的创新应用。

### 【参考文献】

- [1]甄圣振,杨世民.装配式建筑工程中钢筋套筒灌浆连接施工技术研究[J].中国厨卫,2025,24(2):70-72.
- [2]房子恒.高层建筑装配式构件套筒灌浆料强度及影响因素研究[J].砖瓦,2024(6):72-74.
- [3]吴文金.绿色建筑理念下装配式剪力墙套筒灌浆工艺优化[J].广东建材,2024,40(10):142-144.
- [4]郭涛.装配式建筑工程中钢筋套筒灌浆连接施工技术浅析[J].中国设备工程,2024(14):211-213.