

## 水利工程

## 流态土在给水排管工程中的应用

黄海俊

上海市水务建设工程安全质量监督中心站

DOI : 10. 32629/j pm. v7i 5. 8912

[摘要] 在市政给水排水管道的开挖回填流程里,传统的回填分层压实技术在复杂施工状况下,容易产生回填不密实、沉降不均衡等难题。而流态土具有高流动性、自密实特性以及强度可调节性,为开挖排管项目施工提供绿色且高效的全新解决办法。本文全面梳理流态土的材料特性和固化原理,基于技术参数比较其相对于传统回填技术的主要优势,重点阐述复杂工况自流回填、非开挖微创注浆、管土一体化基础构筑三条应用路径,并细化全流程质量管控要点,意在提高工程耐久性的同时符合绿色建筑理念。

[关键词] 流态土; 给水排管工程; 应用路径

## Application of Fluidized Soil in Water Supply and Drainage Pipeline Engineering

Huang Haijun

Shanghai Water Construction Project Safety and Quality Supervision Center Station

[Abstract] In the excavation and backfill process of municipal water supply and drainage pipelines, the traditional layered compaction backfill technology is prone to problems such as insufficient compaction and uneven settlement under complex construction conditions. With high fluidity, self-compacting performance and adjustable strength, fluidized soil provides a new green and efficient solution for the construction of open-cut pipeline projects. This paper comprehensively summarizes the material properties and curing mechanism of fluidized soil, compares its main advantages over traditional backfill technologies based on technical parameters, and focuses on elaborating three application approaches, including self-flow backfill under complex working conditions, trenchless minimally invasive grouting, and integrated pipe-soil foundation construction. Meanwhile, the key points of whole-process quality control are refined, aiming to improve engineering durability and conform to the concept of green construction.

[Key words] fluidized soil; water supply and drainage pipeline engineering; application approach

## 引言

城市给水排水管网是维系民生、保障城市运转的地下生命线,其施工质量的每一个环节,都关系到千家万户的用水安全与城市的防汛排涝能力。沟槽回填作为管道施工的收尾工序,看似简单,却长期是影响管网寿命的核心短板,同时传统工艺带来的大量弃土外运、砂石资源消耗,也与当前低碳环保、绿色施工的发展方向相悖。流态土技术的出现以现场开挖弃土为主要原料,掺入固化剂拌合而成的高流动性浆体,无需机械压实即可自流填充所有缝隙,固化后形成稳定整体,既解决了回填质量难题,又实现了弃土的就地消纳。随着相关行业标准落地,流态土在排管工程中的应用正逐步规模化。本文立足工程实践,深入探讨流态土的技术特性、应用路径与质量控制,旨在为该技术的推广应用提供切实可行的参考,助力市政

管网施工技术的升级迭代。

## 1 流态土的材料特性与技术原理

流态土是由基材、胶凝材料、水及外加剂按比例拌合的复合材料,基材以现场开挖土为主(占比80%~90%),要求有机质 $\leq 5\%$ 、最大粒径 $\leq 50\text{mm}$ ,优先选用粉质黏土;胶凝材料以普通硅酸盐水泥(掺量4%~10%)为主,辅以专用固化剂(掺量2%~5%),加速胶凝反应;水调节流动度,外加剂调控凝结时间与和易性<sup>[1]</sup>。其核心特性包括:高流动性与自密实性(扩展度 $\geq 160\text{mm}$ ,坍落度180~220mm,密实度 $\geq 98\%$ ),解决回填死角问题;强度可调(7天强度0.8~3.0MPa,28天0.5~5.0MPa),适配不同工程需求;低渗透性(渗透系数 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ )与高水稳性,阻隔地下水侵蚀;绿色环保,减少弃土外运80%以上。流态土固化是物理填充与化学胶结共同作用,固

化剂活性成分遇水发生水化反应，生成胶凝产物包裹联结土颗粒，形成整体结构。其强度预测公式为：

$$f_{cu,t} = K \cdot f_{cu,28} \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

式中，

$f_{cu,t}$ ——养护  $t$  天的无侧限抗压强度 (MPa)，

$f_{cu,28}$ ——28 天标准抗压强度 (MPa)，

$K$ ——土质系数(粉质黏土取 0.9~1.1, 粉土取 0.8~0.9)，

$\lambda$ ——固化速率系数(与固化剂掺量正相关，取值 0.05~

0.15)，

$T$ ——养护时间 (d)。

## 2 流态土应用于给水排水工程的技术优势

相较于传统素土、砂石回填工艺，流态土在给水排水工程中的技术优势体现在施工、质量、经济、环保等多个维度，且优势突出、实用性强，具体对比如下表所示，通过清晰对比可直观展现流态土的应用价值，为工程工艺选择提供明确参考(见表 1)。

表 1 流态土与传统回填材料技术经济对比

| 技术参数/评价维度     | 传统素土/砂石回填        | 流态固化土回填            | 技术参数差值/优势      |
|---------------|------------------|--------------------|----------------|
| 施工分层厚度 (cm)   | 20~30, 需分层压实     | 无分层, 一次浇筑成型        | 取消分层, 工序简化 60% |
| 密实度 (%)       | 85~95, 管周死角易不达标  | ≥98, 全域自密实无死角      | 提升 3~13 个百分点   |
| 工后沉降量 (mm)    | 100~300, 易引发管道破损 | <5, 沉降均匀稳定         | 沉降量降低 ≥80%     |
| 施工设备功率 (kW)   | 大型压实机, 功率 ≥110kW | 小型泵送设备, 功率 30~55kW | 能耗降低 50%以上     |
| 弃土消纳率 (%)     | ≤20, 需大量外运弃土     | ≥80, 就地消纳开挖弃土      | 消纳率提升 60 个百分点  |
| 7 天抗压强度 (MPa) | 0.3~0.8, 强度不稳定   | 0.8~3.0, 强度可调可控    | 强度提升 1.6~7.5 倍 |

## 3 流态土在给水排水工程中的应用路径

### 3.1 复杂工况下的全域自流密实回填技术

复杂工况下的全域自流密实回填工艺，是流态土于给水排水项目里最根本、最普遍的应用方式，主要面向城市核心地带、历史街道、管线密集区域等传统回填工艺难以施工的场景。这类区域通常存在沟槽宽度小于 0.5m、深度超出 5m，或者管道转弯、接口繁杂等状况，传统大型压实设备无法进入施工，人工夯实的回填质量难以保证，容易形成回填死角与空洞，从而引发管道渗漏、沉降等问题。该项技术全面基于流态土具备的高流动性、自密实性这一主要优势，运用预拌流态土与高压泵送相结合的施工方式，在施工现场周边科学选择搅拌站，严格按照设计配合比选择掺入水泥、固化剂及水的用量进行采购，浇筑时根据从管道底部开始、沿沟槽长度方向由一端向另一端对称浇筑的原则，利用流态土的自流特性，让其自行漫过管道顶部，填满管底弧形空隙、管壁和槽壁之间的狭窄缝隙，浇筑期间严格把控浇筑速率，防止速率过快导致管道上浮，同时设置限位设施，精确控制浇筑标高，保证流态土与管道、槽壁紧密贴合。对于大口径管道或深埋沟槽，采用分段浇筑的方式，每段浇筑长度控制在 10~15m，待前段流态土初凝前完成后段浇筑，避免出现施工缝，确保回填体整体连续性<sup>[2]</sup>。

### 3.2 非开挖修复中的微创注浆加固技术

非开挖修复中的微创注浆加固技术，主要面向既有给水排水管网的病害整治，随着城市管网服役年限延长，大量管道出现接口渗漏、管壁腐蚀、管周空洞、基础沉降等问题，传统开挖修复方式需阻断交通、破坏路面，施工周期长、社会影响大、成本高，而流态土的低扰动、高可注性特性，为老旧管网微创修复提供了理想解决方案<sup>[3]</sup>。该技术采用“定向钻孔+低压注浆”的施工模式，无需大面积开挖路面，仅在地面设置少量钻孔，孔径控制在 50~100mm，通过小型钻机垂直或倾斜向管道病害区域钻孔，直达管周空隙或破损部位(钻孔流程见图 1)，钻孔完成后，将配制好的超流态土(扩展度 ≥250mm)通过注浆泵，以 0.1~0.3MPa 的低压持续注入病害区域，超流态土在压力与自流作用下，能够渗透扩散至管道接口裂隙、管周空洞等所有病害部位，填充密实后快速固化，形成致密的固结体，既能够有效封堵渗漏通道，又能为管道提供均匀的侧向支撑，阻止管周土体流失，防止病害进一步发展。对于因基础沉降导致

的管道错位，可通过底部注浆的方式，利用流态土的轻微膨胀性(膨胀率约 1%~3%)，实现管道的抬升复位，达到无痕修复的效果。

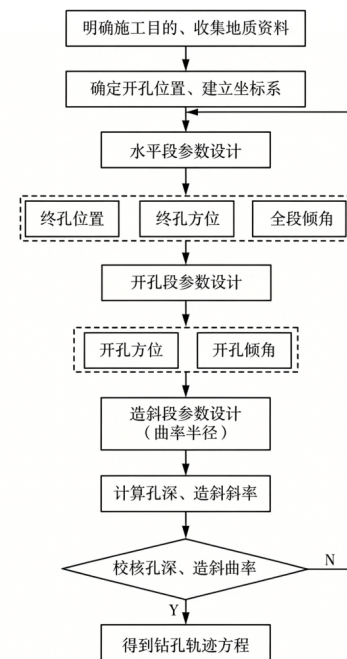


图 1 钻孔设计流程图

### 3.3 管-土一体化的柔性基础构筑技术

在给水排水工程基础施工领域，传统分离式结构长期存在受力不均、稳定性不足的短板，而管-土一体化的柔性基础构筑技术，正是依托流态土的独特性能，对传统管道基础施工模式进行的优化升级。不同于传统“管道+垫层+回填”的分段施工逻辑，该技术打破了基础与回填的界限，充分发挥流态土均质、可调、易成型的优势，将管道基础与沟槽回填作业有机融合，实现一道工序完成双重功能。施工时，在管道安装就位并完成接口密封后，无需单独铺设砂石垫层，直接向沟槽内浇筑流态土，直至达到设计管顶标高，浇筑过程中严格控制浇筑速度与浇筑顺序，保持对称均匀浇筑，避免管道因受力不均发生位移。流态土固化后，会形成连续致密的复合结构体，将管道

全方位包裹，构建起“刚性内核、柔性外壳”的管土一体化体系，这种结构能够有效协调管道与周边土体的变形，当遭遇车辆荷载、地震荷载或地基轻微沉降时，流态土固化体可通过自身柔性变形，分散管道所受的集中应力，避免管道局部承压过大而破损<sup>[4]</sup>。

#### 4 工程质量控制与关键技术要点

##### 4.1 材料配合比控制

结合管道种类、覆土厚度以及现场地质状况，要严格按照设计要求的配合比进行施工，防止随意更改配比、偷工减料等行为，这是流态土各项工程性能达到标准、适配给水排水工程要求的主要前提，也是保障流态土的流动性、强度的主要因素。施工前期，需对现场开挖土开展全面检测，精准掌握土料颗粒级配、有机质含量等核心指标，以此为基础确定基材比例，优先选用粉质黏土等适配性强的土料，严禁使用污染土、膨胀土等不合格基材<sup>[5]</sup>。胶凝材料和外加剂的选用要严格根据设计规范，逐个检验水泥、专用固化剂的强度级别与活性组分，保证其可有效促进胶凝反应，水应选用符合工程需求的拌合用水，防止含杂质、具腐蚀性的水对固化成效产生影响。施工前应重点检测流态土的扩展度、坍落度、初凝时间及不同龄期抗压强度，确认各项指标符合设计要求后，方可应用于现场施工。在现场开展施工工作时，运用电子计量装置精确掌控各组分的使用量，严格把控搅拌时长，保证拌合物均匀且不存在离析、结块现象。与此同时根据施工工况的细微变动，对配合比进行合理的小幅度调整，以确保流态土的性能能够持续符合施工要求（见图2）。

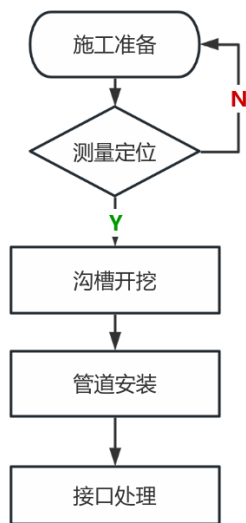


图2 材料配合比控制流程

##### 4.2 施工过程控制

规范把控施工全流程每一个环节，结合三条应用路径的施工特点落实针对性管控措施，才能从根本上规避流态土施工中的各类质量隐患。浇筑作业启动前，需对沟槽进行全面清理，彻底清除槽内积水、杂物及松散土体，对槽壁进行修整加固，防止施工过程中出现槽壁坍塌、漏浆等问题，对于潮湿或浸水沟槽，需提前做好排水、晾晒处理，确保槽内环境满足浇筑要求。流态土泵送过程中，合理调控输送泵出料速度，避免速度过快导致拌合物离析，严格控制出料口与浇筑面的距离，不超

过2m，防止流态土冲击管道接口，造成接口松动、渗漏。浇筑作业需坚持对称、分层原则，控制分层厚度不超过2m，保持管道两侧浇筑速度一致，避免单侧浇筑产生侧压力，导致管道上浮、位移。流态土浇筑完成后，需在初凝前完成表面找平修整，避免出现裂缝，养护工作需同步跟进，养护期不低于7天，养护期间严禁车辆通行、外力扰动，根据天气情况采取保湿、防冻措施，确保流态土固化强度稳定增长。同时安排专业人员全程巡查，实时监测施工参数，及时处理浇筑过程中的离析、漏浆、管道位移等问题，确保施工全过程符合设计标准与行业规范。

##### 4.3 质量检测验收控制

落实全流程质量检测，做好最终验收把关，能为流态土在给水排水工程中的应用质量提供有力保障，确保管道长期稳定运行。过程检测需同步跟进施工进度，每浇筑50m<sup>3</sup>流态土，现场检测一次扩展度与坍落度，确保其工作性能符合施工要求，避免因流动度不足导致回填不密实，或流动度过大引发离析。每浇筑100m<sup>3</sup>流态土，留置一组试块，分别测定7天、28天无侧限抗压强度，确保流态土固化强度达到设计标准，为工程质量提供数据支撑。采用地质雷达对管周流态土进行全面扫描，细致排查管周是否存在空洞、离析等隐患，对检测不合格部位，及时采取补灌、加固等处理措施，直至检测达标。最终验收阶段，全面审核过程检测资料，现场检测流态土密实度、渗透性等核心指标，检查管道接口是否渗漏、管道是否存在上浮、位移等情况，全面排查质量隐患。所有检测指标均符合设计与行业标准后，方可完成验收，同时做好检测记录与验收资料整理归档，实现工程质量可追溯，为后期维护提供完整依据。

#### 5 结论与展望

从全文整体来看，流态土具备高流动性、自密实性、强度可调节性等特点，它在复杂工况的回填、老旧管网的修复、管土一体化基础的建立中展现出明显优势。本文所提的三条应用途径包括新建、修复等主要场景，搭配完备的质量管控措施，能够明显提高管道工程的耐久性、安全性和稳定性，减少全生命周期的成本，符合绿色建筑与低碳发展的理念。放眼未来流态土技术会朝着轻质高强、生态化方向发展，与BIM技术和智能监测体系相结合，实现施工全流程数字化管理控制。建议进一步健全相关设计、施工以及验收标准，促进流态土在市政给水排水项目里规模化、规范化应用，为打造安全、韧性、绿色的现代化城市管网提供坚实技术保障。

#### [参考文献]

- [1]代恒军,吴光雄,李海峰,等.水泥协同工业固废固化流态土工作性能研究[J].硅酸盐通报,2025,44(12):4492-4502.
- [2]江胜华,杜伟,王冰,等.深基坑回填轻质流态土应用技术分析[J].安徽建筑,2025,32(01):55-57.
- [3]钮佳伟,吴越洲,顾鑫官.流态土流动度测试方法研究[J].土工基础,2024,38(02):346-349.
- [4]王宇杰.流态固化土水泥基复合固化剂研究与应用[D].太原理工大学,2023.
- [5]高强.水泥基流态土固化剂的试验研究[J].中国建材科技,2021,30(04):68-73.