

# 韧性城市视角下市政管道施工接口的防错断技术研究

谢俊康

广东省工程监理有限公司 广东 汕头 515100

**【摘要】**：本研究从韧性城市视角出发，聚焦市政管道施工接口的防错断技术。阐述了韧性城市建设对市政管道系统可靠性的要求，分析了市政管道接口错断的原因与危害。通过对现有防错断技术的调研与分析，提出了一系列针对性的改进技术和措施。研究表明，采用优化后的防错断技术能有效降低市政管道接口错断的风险，提高市政管道系统在各种灾害和不利条件下的韧性，为韧性城市的建设提供有力支撑。

**【关键词】**：韧性城市；市政管道施工；接口防错断技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.05.074

韧性城市这一概念的引入强调了城市面对多种灾害与不确定性时能迅速恢复与调适，市政管道系统稳定运行在韧性城市建设中具有重要意义，管道接口这一系统薄弱环节出现错断可能会诱发停水和漏水等事故、环境污染问题等系列严重后果影响了城市正常运行及居民生活质量。所以在韧性城市视野下对市政管道施工接口防错断技术进行研究有实际意义。

## 1 韧性城市和市政管道系统之间的联系

### 1.1 功能定位

韧性城市强调城市系统面临自然灾害和突发事件等影响时具有保持基本功能，迅速恢复和适应环境改变的功能，市政管道系统是城市基础设施中最核心的部分，担负着供水、排水、燃气和通信等主要职能，其平稳运行直接影响城市生命线是否顺畅<sup>[1]</sup>。韧性城市对市政管道系统提出了更高的要求，即既要满足日常运营的需要，又要在灾后保持其功能的连续性，以免由于局部的破坏而造成全面的瘫痪。比如当发生地震和洪水时，管道接口抗错断能力的强弱决定着系统是否能迅速恢复供水和排水功能以降低次生灾害给城市造成的损失。

### 1.2 辅助功能

市政管道系统韧性表现为它具有物理冗余和功能弹性，物理冗余是通过设计多条管线和备用通道等手段来实现的，以确保在单一管线受到损害的情况下，其他管线依然能够保持其基础功能；为了实现系统状态的动态调整和恢复，功能弹性采用了智能监测和快速修复等多种技术手段。在韧性城市的建设中，市政管道系统需要展现出“防范--回应--康复”的完整周期的韧性，这意味着通过初步的规划来减少潜在风险，中期进行实时的监控和预警，而在后期则迅速进行修复和响应，从而形成一个完整的闭环管理体系。比如智能传感器网络可以对管道的压力和流量进行实时监控，预先识别出可能存在的危险，从而为韧性的增强提供数据支撑。

## 2 市政管道建设接口误断原因及危害分析

### 2.1 施工操作不当

施工操作不当是造成接口错断现象的直接因素，表现为测量放线错误、管节对中偏差和垫层处理不到位。测量放线不准将使管节的安装位置发生偏移，加大接口应力集中的危险性，管节在对接过程中如果没有严格对准，就会由于局部受力不均而诱发错断，垫层处理不到位，例如夯实度不够或者选材不合理等，都会使接口承载能力下降，容易在外界载荷作用下出现错动<sup>[2]</sup>。另外，施工顺序不尽合理，维护不当等因素也间接地影响了接口的稳定性，需要采用标准化的施工流程和严格质量控制来避免。

### 2.2 地质条件改变

地质条件的复杂性为接口错断提供了外在诱因。地基沉降、土壤松动和地下水位的波动都将使管道的应力分布发生变化，造成接口脱节或者断裂。地基的不均匀沉降可引起管道弯曲变形并在连接处由于应力集中发生错断；土壤松动将减小管道的侧向支撑力和增大横向位移的危险；地下水位的变化会诱发浮力效应或者土壤湿陷给界面带来附加荷载。这些地质因素常常叠加在一起构成复合型的风险，需要在地质勘察和风险评估中进行预先识别并有针对性地采取加固措施。

## 3 韧性城市视角下市政管道施工接口的防错断技术

### 3.1 韧性适配材料的选择

韧性适应材料的选择是市政管道接口防错断工作的基本保障，其核心是筛选出同时具有高强度、高韧性、抗老化和环境适应性强等特点的接口材料，保证了界面在地质沉降、温度变化、外力冲击的复杂工作条件下维持结构的完整性<sup>[3]</sup>。韧性城市建设对于市政管道抗灾能力和耐久性都有很高的要求，而普通橡胶圈和水泥砂浆这类传统接口材料，具有缺乏韧性的特

点、易老化开裂和抗腐蚀能力较弱,很难处理城市地质环境动态变化。因此,在选择材料时,应以“抗变形、耐老化、强适配”为三大核心目标,并结合管道的材质、使用场景和地质条件来做出科学的决策,在选择密封材料时,氢化丁腈橡胶、氟橡胶等高性能弹性材料是首选,这些材料具有出色的抗撕裂强度、耐高低温性能和化学稳定性,在 $-40^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$ 的环境中仍然能够保持较好的弹性密封,并有效地抵抗地下水土的侵蚀和老化损耗;考虑到酸碱土壤和高盐度地下水等独特的环境条件,可以选择使用如改性聚四氟乙烯这样具有更高耐腐蚀性的材料,以延长接口密封的使用寿命。对于结构增强材料,用碳纤维增强复合材料和不锈钢加固件代替传统钢材不仅增强了接口抗拉拔和抗剪切性能,而且避免了金属材料锈蚀造成结构失效。

### 3.2 柔性密封工艺的运用

柔性密封工艺的应用是增强界面防错断能力的关键途径,通过使用弹性密封和柔性连接使界面具有一定变形补偿能力,有效地吸收了地质沉降和温度变形引起的应力,从而避免了接口由于刚性连接而发生拉裂和错断现象,韧性城市视野下市政管道接口需要“刚柔并济”,采用水泥砂浆抹带和法兰刚性连接的常规刚性密封工艺,变形适应性不强,在地层微小沉降或者管道热胀冷缩的情况下,接口容易产生间隙,诱发渗漏,甚至破裂。柔性密封工艺对密封结构和施工流程进行了优化,达到了密封性能和变形适应性双改善的目的,工艺选择方面,主推弹性密封圈柔性连接技术,针对管道口径和压力等级的不同,选择O型、楔形或者唇形的密封圈,并通过密封圈截面尺寸、压缩量及安装压力等参数的精确控制来保证接口的紧密连接,在工时以机械压紧方式代替人工敲击的方式,确保密封圈的均匀受力,避免因局部挤压变形而影响密封效果<sup>[4]</sup>。在处理大口径管道接口时,可以采纳“柔性密封加刚性加固”的综合工艺方法。在弹性密封的基础上,还可以增加不锈钢卡箍和碳纤维缠绕带等加固结构,这样不仅可以保留接口的变形能力,还可以提高整体的承载强度。同时加强对施工过程的控制,在接口安装之前对管道的端面及凹槽进行严格的清洗,清除油污、杂物及毛刺等,保证密封面的平整和干净;安装完成后,进行了气密性和水密性的测试,并使用打压检测方法来确认密封的效果。只要试验压力不低于工作压力的1.5倍,并且稳压30分钟内没有渗漏或压降,那么就被认为是合格的。通过规范使用柔性密封工艺,使界面具有自适应变形的能力,从而有效地抵抗了城市环境的各种干扰,减少了错断风险。

### 3.3 抗震抗沉的构造安装

抗震抗沉结构安装作为解决城市地质灾害问题的核心技术,其接口结构设计和安装工艺的优化增强了接口抗剪切和抗

位移性能,保证了在地震、地层沉降和基坑开挖的运行条件下,管道不会错断失效。韧性城市建设对市政管道抗灾韧性提出了更高的要求,接口是管道系统中最薄弱的环节,易受地质灾害中剪切变形和轴向位移过大等因素影响造成损坏。抗震抗沉结构安装需从结构设计、安装精度、加固措施三方面入手,构建全方位的防护体系,结构设计中,以承插式柔性接口代替传统平口接口方式,通过管道承口和插口嵌套结构并结合弹性密封圈构成微量转动和轴向伸缩连接方式,界面产生 $\pm 5^{\circ}$ 转角和 $\pm 10\text{mm}$ 轴向位移以吸收地震波传过的能量和地层沉降引起的位移<sup>[5]</sup>。对于地震高发区,选择了带有限位装置的抗震界面,并通过刚性限位环的设置来控制界面最大变形量以避免因位移过大而造成密封失效。在管道安装过程中,严格监控轴线和高程的偏差,确保每米的轴线偏差不会超过 $5\text{mm}$ ,高程误差也不会超过 $\pm 3\text{mm}$ ,以保证接口受力的均匀性;利用激光测距、水准仪及其他精密仪器实时监控,装段并校验,以免累积误差触发接口应力集中。同时,加强接口周边回填防护,选用级配砂石、灰土等优质回填材料,分层夯实且压实度不低于95%,形成均匀支撑体,减少地层不均匀沉降对接口的影响,对跨越软土地层和断层破碎带管道界面,增加了钢筋混凝土支墩和钢板桩防护以约束界面周围土体变形。通过科学设置抗震抗沉结构,显著增强了接口抗灾能力,确保了市政管道极端运行工况的连续性和安全性。

### 3.4 地质适配参数的优化

优化地质适配参数是接口防错断技术准确运用的关键,综合考虑施工区域地质条件对接口材料、结构及施工参数进行动态调整,使防错断技术能够和地质环境保持高度一致,避免出现“一刀切”应用所带来的技术故障,城市地下地质条件复杂多变,软土、砂层、硬岩和断层破碎带地质类型各异,管道接口受力状态和变形要求也有显著差别,如果使用统一技术参数容易产生适配性不强。地质适配参数优化需要以详实的地质勘察数据为依据,并建立“地质条件--参数的选择”对应关系,参数确定之前,进行综合地质勘察工作,着重查清了施工区地层岩性、土体含水率、孔隙比、承载力、地下水位和地震烈度等主要指标,分析了地层沉降趋势、潜在灾害风险及对管道接口造成的影响。对于软土地层由于承载力小、压缩性强和沉降量较大等特点,需要选择高弹性和变形量较大的界面材料和构造,界面容许轴向位移量增加到 $\pm 15\text{mm}$ ;同时对外围回填压实度测试频率进行加密处理;对于砂层地质而言,由于具有渗透性好、抗剪强度低等特点,容易出现管涌和流沙等问题,因此需要加强接口密封性能的研究,选择耐磨损和抗冲刷密封材料,并在此基础上增加接口加固圈的数量以增强抗剪切能力,对于硬岩或者风化岩层而言,其地质稳定性良好但是管道安装困难,需要对接口的尺寸公差进行优化,以提高安装精度,并避免由于

岩石约束而造成接口的应力集中。另外还建立参数动态调整机制,在施工期利用地质雷达、沉降观测点对地层的变化情况进行实时监控,如发现地层沉降速率大于预警值,对接口加固措施和回填方案进行了及时的调整,以保证参数总是和地质条件相适应。通过准确优化地质适配参数,使防错断技术更有针对性地实现接口抗错断韧性最大化。

### 3.5 全过程的质量监测

全过程质量监测作为确保市政管道接口防错断技术高效落地的重点方法,通过涵盖建设前、建设过程中及建成后全过程动态监测,对接口存在的质量隐患和变形风险进行了实时捕捉,为技术调整和风险控制提供了科学依据,韧性城市视野下市政管道接口质量稳定直接影响城市基础设施运营安全,传统的质量管控往往依赖于事后接受,很难在施工时发现隐性问题,容易造成后期在使用时错断、漏水等失效。为了实现质量风险的早期发现和及时处理,全过程质量监测需要建立一个“事前预判--事中控制--事后溯源”的完整闭环管理体系,施工前进行地质条件复核及技术参数校验监测工作,并利用地质雷达和钻孔取样对施工区的地层分布和地下水位等重要信息进行了重新确认,校验接口材料选型、结构设计参数是否适应地质条件;对进场接口材料、密封件和加固构件进行了质量抽检并测试了尺寸公差、力学性能和耐老化性,未通过验收者禁止进场。施工时,以自动化监测和人工巡检为主要手段,着重监

控界面的安装精度及受力变形状态,利用激光测距仪和倾角传感器对管道轴线偏差进行实时监控、接口转角和轴向位移保证了安装参数满足设计要求,采用应力应变传感器对接口密封件压缩量、加固结构受力进行监测,以避免局部出现应力集中;安排人员每隔1小时对接口的安装过程进行一次巡检,查看密封圈的安装情况和回填压实的标准情况。在项目完工之后,进行了接口的密封性检查和长时间的变形监测。通过水压和气密性的试验来验证密封的效果,并在此基础上设置了沉降观测点。还定期对接口附近的地层沉降和管道位移进行监测,并持续追踪1-2年,一旦发现数据异常,会立即采取紧急措施。通过全过程质量监测实现接口质量全周期控制,从源头上减少错断风险,确保市政管道长时间韧性运行。

## 4 结语

在韧性城市视野下进行市政管道施工接口防错断技术的研究,是确保城市“生命线”能够安全平稳运行的关键措施。在对已有技术进行分析及优化的基础上,所提系列防错断技术及措施针对性强、实用性高。实践应用证明,上述技术能有效地减少接口错断的风险和增强市政管道系统韧性。在今后的发展中,要进一步加大技术研发与实践探索力度,并与新兴技术相结合,继续完善防错断技术,从而为韧性城市发展提供更扎实的保证。

### 参考文献:

- [1] 张强.市政道路开裂和沉陷的原因与防治研究[J].四川水泥,2022(07):261-263.
- [2] 张健,张玄,闫家豪,徐碧涛.市政工程雨水管道接口与连接施工质量控制技术[J].安装,2024(11):56-58.
- [3] 李驰,王文科.顶管施工技术在市政给排水工程中的应用探究[J].城市建筑空间,2025,32(S1):314-315.
- [4] 杨波.市政工程建设中的顶管工程技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025(21):192-194.
- [5] 苏元能.基于数值模拟的市政管道基坑开挖稳定性分析[J].中国新技术新产品,2025(22):96-98.