

多种非开挖技术在泵站出水总管应急抢修中的组合应用实践

杨后军, 孙大为, 梁修军, 孙跃平

(上海管丽建设工程有限公司, 上海市 201109)

摘要: 以上海市都园路污水泵站出水总管应急抢修工程为例, 结合现场踏勘与 CCTV (closed-circuit television) 检测结果, 分析了管道腐蚀塌陷的成因及缺陷分布特征。针对泵站出水管位于 S4 高速立交下方、无法开挖的特殊工况, 对比了单一非开挖修复工艺与组合工艺的适用性, 提出“不锈钢快速锁+喷涂找平+CIPP 翻转法+注浆填充加固”组合工艺进行应急抢修。详细阐述了各工艺的技术特点、联用优势及施工关键参数, 通过修复效果检测、过流能力计算及造价分析验证了组合工艺实施的可行性。结果显示, 修复后管道过流能力提升 18.64%, 1 年运行无异常, 可为同类严重腐蚀穿孔管道的应急抢修提供参考。

关键词: 严重腐蚀; 应急抢修; 不锈钢快速锁; CIPP 翻转法; 注浆填充加固; 组合应用; 非开挖修复

中图分类号: TU992.25

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0265-06

Combined Application Practice of Multiple Trenchless Technologies in Emergency Repair of Main Outlet Pipe of Pumping Stations

YANG Houjun, SUN Dawei, LIANG Xiujun, SUN Yueping

(Shanghai Guanli Construction Engineering Co., Ltd., Shanghai 201109, China)

Abstract: Taking the emergency repair project of main outlet pipe of sewage pumping station in Duyuan Road, Shanghai as an example, combined with the on-site investigation and CCTV inspection result, the causes of pipe corrosion and collapse, and distribution features of defects are analyzed. In response to special construction condition where the outlet pipe of pumping station is located under S4 Expressway Interchange and cannot be excavated, a combined technology of “stainless steel quick lock + spray leveling + CIPP turnover method + grouting filling reinforcement” is proposed for emergency repair by comparing the applicability of the single trenchless repair process and the combined process. The technical characters, joint-use advantages and key parameters of each technology are explained in detail. The feasibility of implementing combined technologies is verified through repair effect test, flow capability calculation and construction cost analysis. The result shows that the pipe flow capability improves by 18.64% after repair, with no defect in one year of operation, which can provide a reference for emergency repair of similar severely corroded perforated pipes.

Keywords: severely corrosion; emergency repair; stainless steel quick lock; CIPP turnover method; grouting filling reinforcement; combined application; trenchless repair

0 引言

城市污水泵站出水总管是污水收集与输送的关键节点, 由于长期承受污水中硫化氢的化学腐蚀、地层不均匀沉降及外部荷载的作用, 易产生腐蚀、破裂、塌陷等结构性缺陷。当管道位于交通主干道、高速立交、通航河道等敏感区域时, 修复工程面临着“不能开挖、不可长时间断流、需同步解决结构加固

与防渗”的多重约束。单一非开挖修复技术存在显著局限: 结构性技术(如 CIPP 翻转法)在管壁严重缺失时易因过度膨胀失效; 非结构性技术(如喷涂法)仅能解决管道防腐问题及少量承担结构荷载, 难以应对敏感区域管道的复杂缺陷。而组合修复技术可通过多工艺协同, 同步实现应急支撑、基面优化、结构增强与外部稳定, 有效破解单一技术无法兼顾的多重工程难题。本文以上海市都园路污水泵站出水总管应急抢修工程为依托, 系统探讨“不锈钢快速锁+喷涂找平+CIPP 翻转法+注浆填充加固”组合工艺的技术原理、施工关键参数及应用效果, 旨在为同

收稿日期: 2025-12-22

作者简介: 杨后军(1985—), 男, 本科, 高级工程师, 从事给排水管道非开挖修复技术研究及施工管理工作。

类敏感区域、复杂缺陷管道的应急抢修提供技术参考与工程借鉴。

1 工程概况

1.1 管道基本情况

2024年8月,养护人员在春申塘南岸S4高速桥下路段发现雨水口有污水溢出,且部分直接翻涌至春申塘河道,既干扰路面交通环境,又对春申塘水体构成污染风险,成为需优先解决的紧急问题。管理单位怀疑为路下都园路污水泵站泵后出水主管渗漏。该管道是都园路污水泵站污水外排的核心通道,承担区域污水集中输送任务,对区域水环境治理意义重大。依据管理单位提供的资料,该管道2001年建成,钢筋混凝土材质,管径DN1 000,埋深2.35 m;管线沿都园路敷设,向西穿越S4高速公路后右转向北穿越春申塘,最终接入春申路下污水干管。据管理部门的运行数据,该管道日均输水量1.8万~2.2万m³。污水泵站出水管道修复区域平面布置见图1。

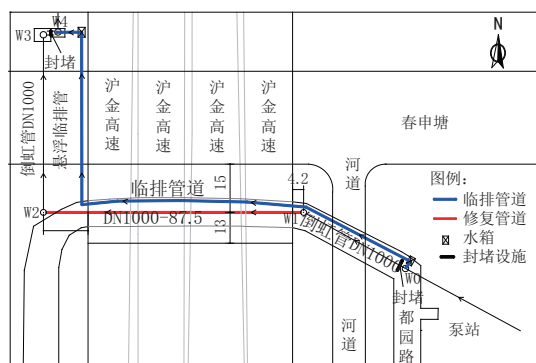


图1 污水泵站出水管道修复区域平面布置图

1.2 缺陷统计与缺陷成因分析

1.2.1 缺陷明细

对管道疏通清洗后采用CCTV检测,发现总缺陷79处,3级及以上严重缺陷19处,占比24.05%,其中,受硫化氢气体腐蚀,主要位于管道顶部,有15 m管道达到3级腐蚀,管壁混凝土剥落露出卵石及钢筋,形成10~80 mm深沟槽,里面有2 m长管道纵向严重腐蚀至穿孔4级破裂。依据《排水管道电视和声呐检测评估技术规程》(DB31/T 444—2022),经计算管道修复指数等级为三级,需要紧急修复^[1]。污水管道CCTV检测结果汇总见表1。管道严重腐蚀情况见图2,穿孔破裂情况见图3。

1.2.2 管道损坏成因分析

该段管道管龄超23年,由于日常输水量大,且污水介质腐蚀性强,长期运行已对钢筋混凝土管材的

表1 污水管道CCTV检测结果汇总表

缺陷名称	缺陷代码	缺陷等级	缺陷位置/m	缺陷长度/m	缺陷处数
腐蚀	FS	1	0~1.4	1.4	2
腐蚀	FS	2	2.9~13.8	10.9	11
腐蚀	FS	2	23.9~44.4	20.5	21
腐蚀	FS	2	56.8~70.0	13.2	14
腐蚀	FS	2	75.0~86.0	11	11
腐蚀	FS	3	13.8~23.8	10	10
腐蚀	FS	3	70.0~75.0	5	5
渗漏	SL	2	2.9	1	1
渗漏	SL	3	60.8	1	1
破裂	PL	3	60.8	1	1
破裂	PL	4	69.9~71.9	2	2

注:纵向缺陷每1 m按1处计算,不足1 m按1 m计算。



图2 管道严重腐蚀情况



图3 管道严重腐蚀穿孔破裂

结构完整性造成持续损耗。现场采用四合一气体检测仪检测,检查井中硫化氢气体浓度为28~35 mg/m³。硫化氢气体在管道顶部凝结并氧化后形成硫酸溶液,导致混凝土中性化严重,其中1处2 m长纵向严重腐蚀至穿孔4级破裂。另外,管道靠近春申塘岸坡,因岸坡地层稳定性差,易发生不均匀沉降,导致部分接口松动,出现渗漏、破裂现象。

1.3 工程约束条件

该管道沿春申塘南岸敷设,并穿越S4高速跨春申塘桥段,下方紧邻春申塘,环境约束严苛,开挖施工可能引发高速立交基础沉降,不具备开挖条件。目前该桥段正实施《S4公路入城段(莘庄立交-金都

路)交通功能完善工程》,与污水管道存在空间重叠,大幅增加了管道维修与渗漏处理的工程协调难度。且管道为区域污水总管,立交下无法使用机械开挖,人工开挖修复长时间架设临排,费用高昂,临排管道跨越通航春申塘,也不允许长时间占用河道。管道同时存在大面积腐蚀、局部破裂及接口失效,缺陷复杂多样。需同步解决结构加固、防渗漏及过流能力恢复问题。

2 修复方法比选及工艺原理

2.1 单一非开挖修复工艺局限性分析

非开挖修复技术分为结构性修复与非结构性修复两类,目前常用的15类工艺在应对管道极端损坏时,均存在显著的短板。

结构性修复工艺,如CIPP翻转法,依赖原管残余强度,管壁缺失易致内衬凸出、爆裂;胀管法在管壁严重缺失时,易引发旧管崩裂与地面沉降;碎/裂管法,通过破碎旧管并同步拉入新管实现修复,但需依赖旧管周边地层的稳定性,且施工过程中会产生瞬时振动与地层扰动。本工程管道临近春申塘岸坡,地层稳定性差,且旧管已出现大面积腐蚀穿孔,破碎过程易引发岸坡滑移及高速立交基础沉降;同时,管道与S4高速施工区域空间重叠,无碎(裂)管施工所需的作业空间,因此该类工艺不具备实施条件。非结构性修复工艺,如喷涂法仅能密封微缝,无法承担荷载;点状修复效率低,衔接处易渗漏;化学注浆法虽可处理部分脱空,对大穿孔填充容易失效,无法彻底消除隐患。

单一修复工艺存在的共性局限:结构强度恢复不彻底,多仅解决密封或局部结构问题;大多缺乏有效的脱空处理能力,管道悬空受力隐患始终存在;对原管状态依赖度高,极端损伤时修复寿命低;施工环境适应性差。相关工程统计显示,单一工艺在复杂地质条件下失败率超30%。

2.2 组合工艺分析

本次采用非开挖修复组合工艺,以“应急支撑-基面优化-结构增强-外部稳定”全链条协同破局。管壁严重腐蚀缺失处采用不锈钢快速锁补全缺失管壁,提供结构支撑;2级腐蚀处采用特种砂浆喷涂找平,使管壁平整度误差小于10 mm;CIPP翻转内衬形成高强度、耐腐、抗渗的结构层;水泥-水玻璃注浆填充加固脱空区。其协同优势显著:三重防护阻断渗漏,修复后管道使用寿命增加50年;本次工程现场

检测数据显示,注浆填充脱空率达97%,内衬压溃风险降至5%以下;不锈钢快速锁与注浆填充加固适配复杂环境,相较开挖修复,工期缩短70%,过流能力提升18.64%。基于组合工艺的协同优势,结合本工程缺陷特征与约束条件,设计如下修复方案。

3 修复方案设计

3.1 壁厚设计

依据《城镇排水管道非开挖修复技术标准》(DG/TJ08-2354—2021),CIPP内衬管最小壁厚应按式(1)至式(5)计算^[2]。

$$t = 0.721D_0 \left[\frac{(Nq_t)^2}{CE_L R_w B' E'_s} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$q_t = 0.01H_w + \frac{\gamma H_s R_w}{1000} + W_s \quad (2)$$

$$R_w = 1 - 0.33 \frac{H_w}{H_s} \quad (3)$$

$$B' = \frac{1}{1 + 4e^{-0.213H}} \quad (4)$$

$$t \geq \frac{0.1973D_0}{E^{\frac{1}{3}}} \quad (5)$$

式中: t 为内衬管壁厚,mm; D_0 为内衬管外径,mm,取1000 mm; H_w 为管顶以上地下水位高,m,取0.25 m; N 为安全系数,推荐取2.0; C 为椭圆度折减因子,取1; q 为内衬管道的椭圆度,取2%; E_L 为内衬管的长期弹性模量,取1500 MPa; q_t 为内衬管承担的土体、地下水自重及地面活荷载之和,MPa; R_w 为水浮力系数; B' 为弹性支承系数; E'_s 为管侧土的综合变形模量,按现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》(GB 50332—2002)的规定确定,取2.68 MPa; γ 为土体容重,取19 kN/m³; H_s 为管顶覆土厚度,m,取1.15 m; W_s 为地面活荷载,慢车道,取0.022 MPa; H 为管道埋深,2.35 m; E 为内衬管的初始弹性模量,取3000 MPa。

计算得出内衬管最小壁厚15.55 mm,本工程内衬管壁厚取16.0 mm,可满足要求。

3.2 过流能力设计

修复后管道的过流能力应不低于原有管道的设计流量^[3],管道流量按式(6)计算。

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

式中: Q 为设计流量,m³/s; A 为水流有效断面面积,m²; R 为水力半径,m^[4]; n 为管道在完好无损的条件下的粗糙系数; I 为水力坡降^[5]。

3.3 临排设计

根据管理单位提供的运行数据,污水泵站夏季平均流量 20 000 ~ 22 000 m³/d,见图4。按最大流量 22 000 m³/d 计算,临泵流量至少 254.6 L/s 方可满足导流要求。管道修复前,除需要做好导流外,协调管道沿线泵站预先抽水,降低管道内水位,为管道修复创造有利条件,确保临时排水安全。

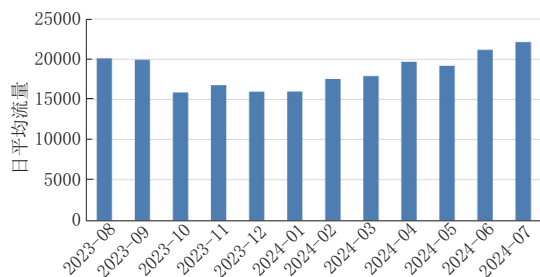


图4 污水泵站2023年8月-2024年7月日平均流量图

3.4 注浆设计

考虑到污水曾外溢至路面雨水口,管网周边土体整体考虑呈松散态势,部分管壁腐蚀,导致管周脱落。为保证修复质量,本次考虑在管外对周边土体进行注浆填充加固,具体范围为管下2.0 m,管上1.0 m,管侧1.5 m,填充加固因渗漏形成的土体空洞,注浆孔距1.5 m,梅花形布置。注浆材料以42.5号普通硅酸盐水泥搅拌均匀的纯水泥悬浊液,并掺入1.0%的水玻璃促凝剂,初凝时间控制在1~2 h,适应应急需求,注浆压力0.3 MPa以下,每立方米掺入水泥量为200 kg,浆液水灰比为1.0^[6-7]。注浆过程中拔管要均匀,严格控制拔管速度,边拔边注每次拔管长度为15 cm^[8]。管道注浆填充加固示意图见图5、图6。

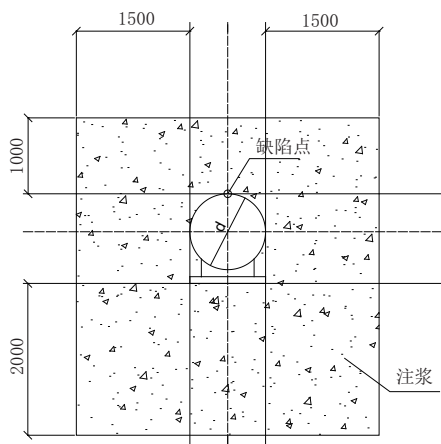


图5 管道横断面注浆填充加固示意图(单位:mm)

4 施工流程及关键参数

4.1 封堵导流

封堵采用“双井墙体封堵+临泵导流”系统保障

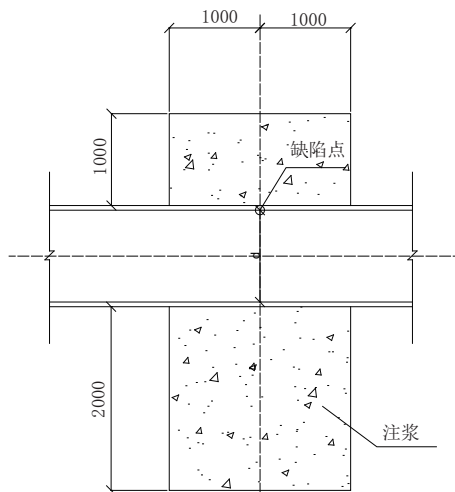


图6 管道纵断面注浆填充加固示意图(单位:mm)

作业环境,上游0号井设置2座1.5 m×1.5 m钢板井,2座井内分别设置1台潜水轴流泵,计划通过DN600临排管将水提升至下游春申塘北岸污水井内。针对DN1 000大管径管道,采用厚度800 mm的砖砌封堵墙,同步配合气囊辅助止水,确保封堵严密;原设计拟采用钢管悬吊过河,因受S4高速施工影响,改为采用浮筒浮力支撑的双排DN300PE管悬浮过河方案实施。本项目同时配置2台500QZ-75 kW潜水轴流泵,1用1备,单泵流量达260 L/s,扬程9.0 m,日均排水22 464 m³,略有冗余,在沿线泵站配合下,满足临时导流运行需求。

4.2 清淤与检测

清淤采用最大压力17 MPa、最大流量337 L/min高压冲洗车作业;本项目经试喷后,采用13 MPa压力清除管内沉积物,再由潜水员人工下井,清理冲到检查井内的硬质杂物,见图7。清理完毕采用分辨率1 080 P的管道机器人复检,同时人工标记深度大于10 mm的管道腐蚀及破裂位置。



图7 管底硬质沉积情况

4.3 不锈钢快速锁安装

钢筒采用2片宽300 mm、厚3 mm的SUS304不锈钢环片拼装,橡胶套采用三元乙丙橡胶(EPDM)。安

装前在管道内壁标记快速锁安装基准线,在检查井内将2片不锈钢环片预拼装成直径比管道内径小30~50 mm的套环,运至修复位置,套入橡胶套,密封台朝水流方向。按对角顺序分次拧紧M10螺栓,最终扭矩控制在200~250 N·m,确保环片均匀受力。每节锁扣连接后用橡胶锤敲击密合,直至橡胶套与管壁贴合紧密。橡胶套无褶皱、破损,不锈钢环片拼接处间隙不大于2 mm,螺栓无松动。不锈钢快速锁钢板厚度3.0 mm,实测3.1 mm,误差+3.33%,合格。对累计长度13.2 m的5处严重腐蚀导致管壁破裂缺失管段采用不锈钢快速锁修复。不锈钢快速锁修复后情况见图8。



图8 不锈钢快速锁修复后情况

4.4 喷涂找平

施工采用耐腐蚀性强的特种砂浆,水料比0.15~0.17;采用高压喷涂机,压力0.3~0.5 MPa;人工沿管轴方向推进,对管道上部腐蚀沟壑进行喷涂,速度0.5 m/min,压力0.4 MPa,厚度5~10 mm,分2遍喷涂至设计厚度,每遍喷涂后养护6 h。

4.5 CIPP 翻转法施工

对进场的不饱和聚酯树脂内衬软管进行检测,表面无干斑、破损等缺陷。管底埋深2.35 m,依据标准,拟定固化水头4.85 m,搭建翻转平台高度2.5 m,以2~3 m水头压力将软管翻转入管;固化采用1.4 MW锅炉,加热温度至68℃,保温2 h;继续加热至83℃,保温3 h至完成固化;固化压力全程控制在0.046~0.05 MPa,通过在两端管口预埋精度±1℃热电偶温度传感器,实时监测固化温度,确认固化效果。

4.6 注浆填充加固

采用管外注浆工艺,对接口及周边脱空部位进行土体注浆,形成防水帷幕。在内衬完成后,循环冷却至38℃以下,保证内衬内水头压力,沿管道轴线路面每1.5 m布设孔径50 mm的注浆孔,采用双液注浆泵分层注浆,注浆流量控制在10~15 L/min,压力控制在0.2 MPa,实时监测注浆压力并设置安全阀,

避免超压破坏管道。先注管道周边土体,浆液注入率为20%。待注浆液凝固后,切割内衬管端部多余内衬,保留30 mm与原井壁做45°倒角,间隙用体积膨胀率15%的聚氨酯灌浆料填充。

5 修复效果评价

5.1 工程检验

CCTV检测显示,内衬管表面光洁,无裂纹,无渗漏,无气泡,与管壁贴合紧密,见图9。现场实测内衬管平均壁厚16.85 mm,误差+5.3%,合格。监理见证取样送检,结果显示内衬管弯曲强度45.0 MPa、抗拉强度28.0 MPa,弯曲弹性模量3 599.0 MPa,满足《城镇排水管道非开挖修复技术标准》(DG/TJ 08-2354—2021)要求。依据《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268),对修复管道进行闭水试验,在内衬管充分冷却后,保持试验水头在内衬管顶向上2 m,24 h后,实测渗漏量0,满足规范要求。

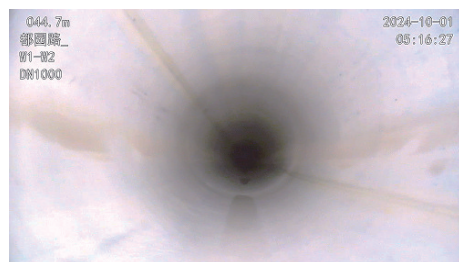


图9 修复后管道内情况

5.2 过流能力复核

管道修复前后过流能力比采用式(7)进行计算:

$$B = \frac{n_e}{n_1} \times \left(\frac{D_1}{D_E} \right)^{\frac{8}{3}} \times 100\% \quad (7)$$

式中: n_e 为原管道的粗糙系数,取0.013; n_1 为内衬管粗糙系数,取0.010; D_1 为内衬管的内径,966.3 mm; D_E 为原管道的内径,1 000 mm。

计算得 $B=118.64\%$,过流能力增加18.64%,略有提升,满足设计要求。

5.3 修复效果

修复后1年跟踪检测显示,管道内壁光滑,无渗漏、变形;采用精度±1 mm全站仪对路面沉降监测显示,S4高速桥下管道周边路面最大沉降量3 mm,小于《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1—2017)中‘路面沉降不大于5 mm’的限值,验证了工艺的结构安全性。管道修复后过流能力提升18.64%,验证了多组合工艺修复的有效性。

5.4 工程造价

依据《上海市城镇排水管道非开挖修复更新工程预算定额》,对组合工艺中所使用的修复技术综合计算,同种类操作计费按一次考虑,长度 87.5 m 中,采用组合工艺修复段的综合单价是单一 CIPP 结构性修复价格的约 2.0 倍,虽然局部损坏严重段的单价较高,但对整体修复效果有很好的保障。

6 结 语

针对污水泵站出水总管应急抢修,提出“不锈钢快速锁+喷涂+CIPP 翻转法+注浆”组合工艺,通过“临时支撑-基面修复-结构增强-周边加固”的协同作用,解决了高速立交桥下不具备开挖条件、通航河道临排受限的复杂工况难题。本工程采用非开挖修复组合工艺,技术可行性高,在不含临排架设情况下,仅用 12 d 完成 87.5 m 管道的全部修复作业,相较于常规开挖修复,工期缩短 70%,对交通影响极小,尤其适用于高速桥下、通航河道等敏感区域,以及“不具备开挖条件、需快速恢复交通”的复杂工况。

该工程的实施,保障了区域排水管道的正常运行、延长了管道的使用寿命,改善了水环境质量,并

配合推动 S4 高速公路入城段项目的顺利实施。修复后,管道过流能力提升了 18.64%,1 年运行无异常,从成本与价值来看,该组合工艺综合造价高于单一非开挖修复工艺,但考虑应急性及交通影响等社会成本,综合效益显著,具有突出的应用价值,建议在同类工程中推广。

参考文献:

- [1] 杨后军,孙大为,孙跃平.大口径老旧混凝土排水管道紫外光固化内衬修复质量控制要点[J].城市道桥与防洪,2025(3):316-320.
- [2] 向维刚,马保松,赵雅宏.给排水管道非开挖 CIPP 修复技术研究综述[J].中国给水排水,2020,36(20):1-9.
- [3] 解铭,郑涛,虞峰,等.非开挖修复技术在上海市四平路排水管道修复中的应用[J].环境工程,2020,38(12):45-48.
- [4] 林晓惠.堰塞坝溃决洪水演进过程分析及风险评估[D].成都:西华大学,2023.
- [5] 黎晓林,刘建华.大口径排水管道优化设计研究[J].中国给水排水,2013,29(13):60-63.
- [6] 陈思佳.舟山地区市政道路软土路基处理技术[D].西安:长安大学,2019.
- [7] 中建四局第六建筑工程有限公司.大型沉井施工方法:CN109706952A[P/OL].2019-05-03[2026-01-14].
- [8] 中铁第六勘察设计院集团有限公司,南京地铁建设有限责任公司,上海隧道工程有限公司.富水软土地区盾构近穿运营隧道主动保护结构及施工方法:CN110230499B[P].2024-03-22.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com



广 告