

富水性土层顶管地下对接施工关键技术

黄捷¹, 刘振恺², 赵宁¹

(1. 上海城市环境集团有限公司, 上海市 200082; 2. 上海城建水务工程有限公司, 上海市 200082)

摘要: 为研究在富水性土层中进行顶管地下对接施工关键技术, 通过准确的测量控制, 在不具备顶管井施工条件的土层中, 借助预制钢筒骑马井的下沉施工, 实现暗挖转明挖, 焊接封闭机头壳体, 完成顶管贯通。将地下对接技术与骑马井沉井施工技术相结合, 采用BIM技术对施工过程进行模拟, 严格控制地面沉降, 在一定程度上提升了在富水性土层中实施顶管地下对接的安全性, 分析并提炼出该地下对接技术的特点及相关技术措施, 认为该技术具有显著的效益和广阔的应用前景。

关键词: 地下对接技术; 富水性土层; 顶管工程; 骑马井; BIM

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)10-0238-06

Key Technologies for Underground Pipe Connection Construction in Water Rich Soil Layers

Huang Jie¹, Liu Zhenkai², Zhao Ning¹

(1. Shanghai Urban Environment Group Co., Ltd., Shanghai, 200082; 2. Shanghai Urban Construction Water Engineering Co., Ltd., Shanghai, 200082)

Abstract: In order to study the key technology of underground pipe jacking construction in water rich soil layers, accurate measurement and control were used to achieve the transition from underground excavation to open excavation in soil layers that do not have the conditions for pipe jacking well construction. The prefabricated steel cylinder saddle well was used for sinking construction, and the closed head shell was welded to complete the pipe jacking process. By studying the combination of underground docking technology and the construction technology of horse riding well sinking well, using BIM technology to simulate the construction process and strictly control ground settlement, the safety of underground docking of top pipes in water rich soil layers has been improved to a certain extent. The characteristics and related technical measures of this underground docking technology have been analyzed and obtained, which has significant benefits and broad application prospects.

Keywords: underground docking technology; water rich soil layer; top pipe engineering; horse riding well; BIM

0 引言

在城市地下管网建设中, 顶管工程发挥着关键作用。然而, 部分区域因场地限制无法修建顶管井, 给施工带来挑战^[1]。顶管工程地下对接施工技术作为一种创新技术, 为不具备顶管井施工条件的顶管工程提供了新的方向。该技术基本适用于所有类型的顶管工程^[1], 但是在富水性土层中施工的安全风险较高, 操作较为困难。常规顶管工程地下对接技术是在不设接收井的情况下进行顶管作业, 顶进到

位后在机头内实施对接操作, 施工风险较大。此外, 该技术对接准确性要求高, 易发生涌水事故, 而一旦发生事故, 人员难以撤离。本文所研究的地下对接技术, 是通过一定的技术手段, 避免因在富水性土层中进行暗挖施工而导致的安全风险。

董泽龙等^[2]阐述了顶管工程地下施工技术的特点和施工工艺流程, 总结归纳了施工关键技术及其质量要求, 介绍了相关的施工劳动组织和机具设备概况。

对接区的加固及防水要求: 对接区预先加固。加固范围为顶管外周之外2~3 m厚度的土体。由于顶管需穿越加固区, 加固区的土体强度要认真控制, 不宜太高, 以利于顶管机头顶进。加固施工可提前1周左右完成, 水泥掺入比控制为8%~10%。机头内部注浆。对接顶管准确定位后, 提前检查土体加固情况, 根据加固情况的需要, 通过机头面板注浆

收稿日期: 2025-01-25

作者简介: 黄捷(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事市政工程施工与管理工作。

通信作者: 刘振恺(1997—), 男, 本科, 工程师, 从事市政工程施工与管理工作。电子信箱: 497151059@qq.com

孔补充注浆,以确保不发生水土渗漏^[2]。

徐震^[3]对掘进机改造提出以下要求。(1)尽可能选择采用多刀盘形式,或尽可能让掘进机内主要设备在管内拆卸,以减少对接成本。(2)在机壳内预先配置便于拆卸、运输,以及2个掘进机便于连接和制作内衬的装置。(3)掘进机壳前沿应设置连接钢帽檐,同直径直线对接时,应设置不同直径的环形帽檐,直径差便于对插连接;侧向对接时,应在主动连接的较小掘进机前设置与承接管配套的马鞍形帽檐,承接管应设置便于连接的外钢套。

朱亚丽等^[4]从顶管机的选型、对接区的加固方式、对接机头的切割等方面,对大刀盘泥水平衡顶管机对接施工关键技术进行研究。

张涛^[5]以白龙港南线输送干线 SST1.2 标过江管工程中的 W3 号井顶管对接为例进行研究。该顶管对接采用2台顶管机夹角为 120° 的斜交对接方式。

综上所述,国内顶管地下对接技术应用已有成功实例,但未形成系统的富水性土层地下对接施工关键技术,尤其是在上海中心城区高含水粉性土层直角或斜角对接施工方面的实例较少。

1 工程概况

本文所涉及的顶管工程区间为 6#~5#、4#~5# 顶管段,5#井位于东汉阳路与南浔路交叉口上,场地极为狭小且邻近河道。这一位置条件导致施工空间受限,且交通导行困难,给工程开展带来诸多阻碍。

对接点距离最近的燃气管仅有 9.15 m,距离右下方 2 层危房 8.51 m,距离雨水管 1.22 m。此外,对接点正上方 2 根电车架空线下净空仅有 5.05 m,虽然架空线已搬迁至南侧,但这些设施的存在依然加大了施工风险与难度。

在原 5#井位,2 台 DN2700 顶管机以 37.16° 斜角对接,选用 DN2700 泥水平衡大刀盘顶管机,机头(Y4、Y5)总长 4 500 mm,机头(Y6~Y5)总长 5 552 mm,外径 3 240 mm;顶管管节采用 F 形钢承口钢筋混凝土管,双道橡胶圈止水,混凝土管道内径 2 700 mm,壁厚 250 标准管节长 2.5 m(Y6~Y5,标准管节长 2 m);地下微承压水对本工程的顶管井施工无影响。Y5 井的内部对接点采用 MJS 满堂加固,外围护采用 MJS 加固 1 圈,桩长 16.1 m,打入不透水层,标准桩径 2.4 m。井位平面布置如图 1 所示。

1.1 水文地质情况

地下对接点处于②₃₋₁层黏质粉土和②₃₋₂层砂质

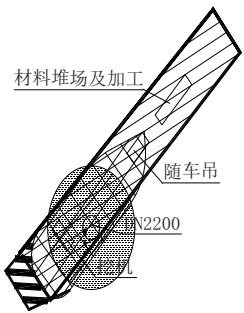


图 1 井位平面布置图

粉土中。

②₃粉性土层渗透系数大,为 $2.0 \times 10^{-4} \sim 5.0 \times 10^{-4}$,透水性较强,是地表水与地下水良好的水力联系通道。较厚的②₃₋₁、②₃₋₂层需注意浅部松散的粉性土在地下水的渗流作用下,可能产生流砂现象。地下对接施工时,需做好隔水、降水工作,同时做好围护结构止水工作。

②₃₋₁层灰黄(灰色)黏质粉土(Q43):土层饱和、松散、夹薄层黏性土、土质不均匀,沿线均有分布,厚度略有变化。

②₃₋₂层灰色砂质粉土(Q43):饱和、松散(稍密)、夹薄层黏性土,沿线分布变化较大,整体由南向北逐渐变薄至缺失、由西向东逐渐变薄至缺失。

1.2 工程重、难点

1.2.1 富水性土层施工风险高

本工程地下对接点处于②₃₋₁层黏质粉土和②₃₋₂层砂质粉土中,渗透系数大,为 $2.0 \times 10^{-4} \sim 5.0 \times 10^{-4}$,透水性较强。在地下对接施工过程中,机头需进行割除连接作业,极易引发涌水、涌砂事故,严重威胁施工安全。

1.2.2 周边环境保护难度大

地下对接点与周边建筑物的距离较近,距离周边 2 层危房水平距离仅 8.5 m,对接施工过程中若发生渗漏,造成地下水土流失,会对道路行车安全和周边建筑物保护造成一定风险。

1.2.3 有限空间作业风险高

在地下对接点处下插 DN2200 钢筒进行作业,需在狭小的空间内进行电焊割接作业,使得有限空间存在较高的安全风险,工人操作难度大,需做好通风及安全措施。

2 地下对接施工关键技术

本文所研究的地下对接技术将骑马井设置在对接处,快速将预制钢筒骑马井沉到指定标高,并人工

明挖下井对接,借助骑马井井筒提供一个安全的对接作业环境,避免因在富水性土层中进行暗挖施工而导致的施工风险及安全风险。同时,在地下对接前,使用BIM技术对施工过程进行模拟,在一定程度上指导施工及下料控制,降低了施工风险^[6]。

2.1 地下对接施工流程

地下对接施工流程如图2所示。

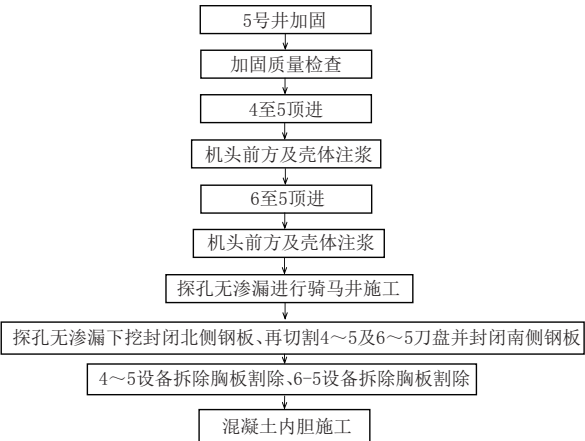


图2 地下对接施工流程

2.2 对接点土体加固

对MJS满堂加固进行二次复喷加固,外围护采用MJS加固1圈,内部对接点采用MJS满堂加固^[7]。桩长16.1 m,打入不透水层,标准桩径2.4 m(加固体平面及剖面图如图3所示)。在临河一侧施打拉森钢板桩,同时设置降水井,经常进行降水检查,出水规律应“先大后小、先浑后清”,若出现异常情况,及时检查。多种技术手段联合使用,最大限度地降低安全风险,保证地下对接施工的安全。

2.3 顶管对接顶进

2.3.1 顶进施工

顶管顶进施工后的准确定位需以精准的施工测量为前提。因此,在顶进过程中,须确保测量的精度控制在厘米级。施工过程中一旦发生轴线偏差过大的情况,须及时采取纠偏措施,以保证轴线的准确^[8]。

对接区轴线控制的好坏是地下对接施工成功与否的关键。技术管理条线的人员需加强措施控制,采取相应的技术措施配合测量工作,使对接时的机头角度控制在设计值 $\pm 1^\circ$ 之内。当两个顶管机头顶进接近地下对接点时,加密测量机头姿态,使机头按设计轴线保持准确对接;测量工作与顶管顶进配合进行,每天测量4次,做好对接点控制,避免出现错位,影响对接时钢板封闭的效果^[9]。

2.3.2 二次注浆

为封闭顶管刀盘外沿与机头之间的间隙,避免

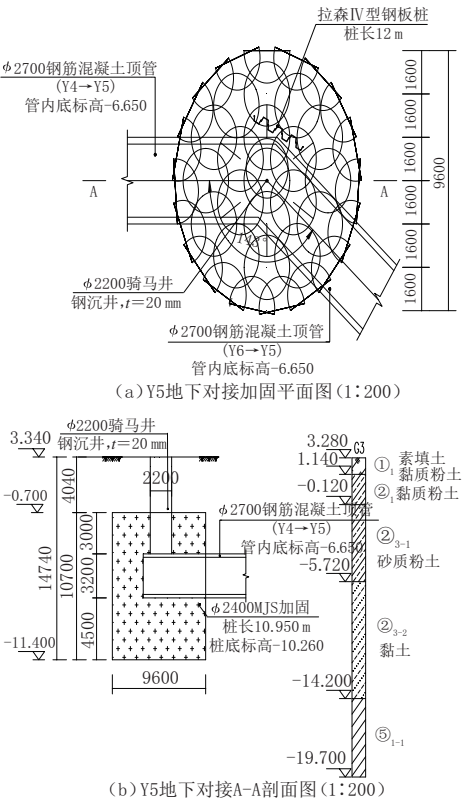


图3 加固体平面及剖面图(单位:mm)

加固区外泥沙流入对接点位置,顶管到达对接点后,及时打开预留在管节上的注浆孔,以双液浆及时置换顶进过程中使用的触变泥浆,防止触变泥浆因泌水后承载力下降,引起地表沉降^[10]。委托第三方监测机构对周边道路、管线、建筑物进行监测,并针对建筑物出具房屋质量检测报告。在对接点相关路口设置警示标志,并在路口安排专人进行安全指挥,保证施工过程中交通行车的安全。对周边间隙进行双液注浆,做好土体的加固措施,降低水土流失风险。一旦路面出现严重沉降,及时进行双液注浆,注浆量视实际情况而定,确保沉降量在可控范围内(机头注浆孔布置如图4所示)。注浆采用以下配比的双液浆(见表1)。

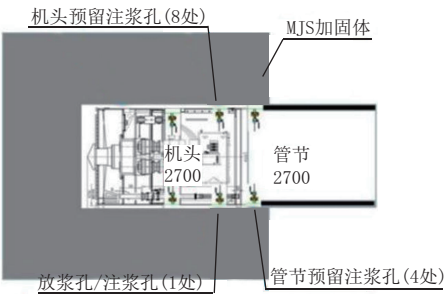


图4 机头注浆孔布置

在实际操作过程中,通过技术措施,将地面沉降控制在 $\pm 2\text{ cm}$ 以内,保证了周边建筑物的安全,避免了水土流失。

表 1 双液注浆配比表			单位:kg
水泥	膨润土	水	水玻璃
235	60	619	103

2.3.3 对接前的检查

顶管到达对接点前,对 MJS 加固体进行钻芯取样(3 处),检验加固体的整体强度和渗透系数,在确保加固体的质量可靠后,再进行对接施工。

骑马井施工前、后,对胸板进行上、下、左、右探孔,观察是否有渗流情况,在确定无渗漏的前提下再进行后续施工。

2.3.4 机头内设备拆除

顶管到位后,需拆除顶管机头内的机电设备(见图 5)。拆除顺序为电机动力站等电器零部件,减速箱、减速器等液压系统零部件,以及纠偏油缸等纠偏装置^[11](见图 6)。骑马井下沉完成并形成封闭空间后,切割驱动装置,拆除其他掘进机附件,最后拆除刀盘。

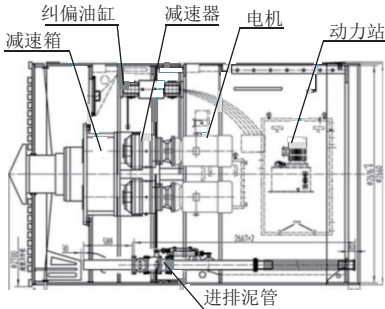


图 5 机头内设备布置



图 6 管道内设备拆除

拆除配件及钢结构:使用吊耳(2 cm 厚 Q235a 钢板)和 2 只手拉葫芦(10 t)进行拆卸^[10]。

2.4 骑马井摇管沉井

本工程通过骑马井施工技术与地下对接施工技术相结合,将原本需施工的骑马井位置移动至对接点处,借助骑马井井筒形成的封闭空间,避免涌水、涌砂。一方面,机头到达对接点后对周边建筑间隙及前方开挖面进行双液注浆,开挖前确保探孔无渗漏;另一方面,从骑马井内向下挖掘,并在 5#井北侧打钢板桩,以减小开挖裸露面。

预制钢筒骑马井采用摇管法下沉(见图 7),使用 360°全回转圆形竖井摇管机进行下沉操作,外径为 2 200 mm,每节长度为 2.0 m。钢筒之间采用焊接方式连接。人工配合挖机挖土,下沉至设计标高,从而快速、高效地完成施工,降低交通阻碍,减少作业占地空间。本工程管中心标高-7.4 m,在工作坑位置确定后,开挖至一定深度,放入第一节钢筒,摇管机安放完成后,放入第二节钢筒,与第一节钢筒接口对齐,焊接完成后,与挖机油路连接,摇管下沉,直至达到设计标高^[12]。



图 7 井筒下沉

土方车停靠于基坑边,机械挖土。坑底预留 300 mm 厚的土方采用人工铲除。土方通过人工运至土方车,全部土方均以弃土外运。垂直度要求为 1/200,钢套管做好标记,及时测量下沉深度。为保证钢套管安装深度,施工前要在钢套管上做好标记,控制钢套管安装深度与顶管管节埋深一致^[13]。施工前,借助 BIM 技术进行施工模拟,将地下对接技术和骑马井摇管施工技术相结合。骑马井下沉至对接点上方,借助井筒内的封闭区域向下挖土,在一定程度上减少涌水、涌砂的危害,焊接所产生的有毒、有害气体也可向上排出,极大地提升了施工的安全性,保证了施工作业人员的安全。

2.5 地下对接施工

2.5.1 施工准备

对接点 MJS 加固前,先在 2 台机头预定位置开口外侧打入 7 根拉森钢板桩(4#桩),钢板桩长 15 m,桩顶标高 2.15 m,为后期对接时侧向临空面起到支撑作用。拉森桩与后续顶管之间的间隙,采用 MJS 进行补桩封闭。同时,为降低地下水位和保证施工安全,在钢板桩外侧设置 1 口降水井兼具观测井,进行降水施工(见图 8)。

2.5.2 机头壳体连接

骑马井下沉到位后,探孔无渗漏由骑马井下挖切割 4#~5#及 6#~5#刀盘并用钢板封闭,4#~5#及

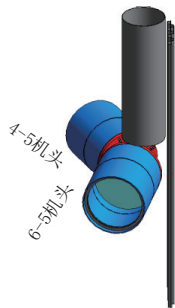


图8 井筒到位北侧钢板桩围护图

6#~5#胸板割除贯通。主要施工步骤如下。

在井筒内挖土并插竖向钢板(见图9),钢板厚度为10 mm,初步封闭机头壳体与骑马井壳体空隙(下插高度最大至骑马井与壳体相交处,以保证管道过水断面),钢板高度为0~740 mm。综合考虑人工操作的便捷性、焊接等作业的安全性,以及减少工作面暴露时间等因素,钢板设置为每块宽400 mm,并在加工时制作成弧形钢板,井筒与机壳连接处使用梯形钢板进行封闭,钢板经汽车吊装下井后使用手拉葫芦(10 t)进行安装。经BIM建模计算,钢板重量如表2所示。

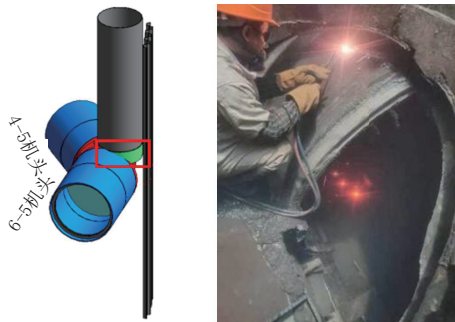


图9 竖向下插钢板连接机头

表2 钢板参数表

形状	尺寸/mm	重量/kg	钢板数/块
矩形	740×400×10	23.2	5
梯形边块	1 200×130×740×10	39.0	2

考虑到施工的安全性,施工时每下挖30 cm,就及时将2刀盘北侧封闭,由上至下依次采用类似“倒挂井”施工方法,将钢板横向连接机壳^[14],钢板缝隙及时焊接(见图10和图11)。横向钢板与骑马井筒下插钢板连接处空隙采用水平弧形钢板封闭,北侧横向钢板最大长度为2 372 mm;为快速封闭南侧缝隙,南侧横向钢板宽度为40 cm,最大长度为800 mm。为方便操作,每道横向弧形钢板由预制完成的钢筒在现场完成切割后再吊装至井底进行焊接。经BIM建模计算,北侧横向钢板重量最大为55.9 kg,北侧需使用约14块钢板;南侧横向钢板重量最大为25.2 kg,

南侧需使用约3块钢板,现场割除多余部分的钢板(见表3)。

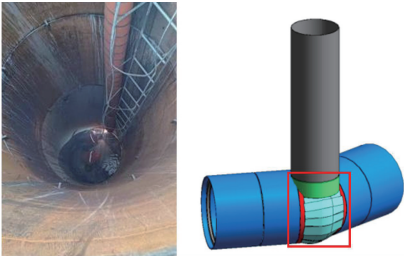


图10 对接点北侧焊接

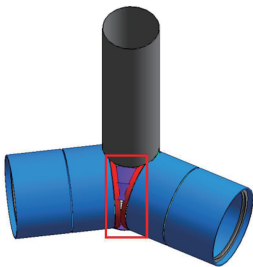


图11 对接点南侧焊接

表3 钢板参数表

位置	最大尺寸/mm	最大重量/kg	钢板数/块
对接点北侧	2 372×300×10	55.9	14
对接点南侧	800×400×10	25.2	3

下挖并焊接钢板逐步形成封闭空间后,对4#~5#及6#~5#刀盘进行井字形分块割除(见图12),扩大工作面,方便后续割除机头胸板。



图12 刀盘切割

壳体封闭及刀盘分块切割完成后,对4#~5#及6#~5#机头胸板进行割除(见图13),整个胸板按井字形分块,先割除顶部,再由顶部依次向两侧、底部进行割除,最后割除底部,实现管道贯通。

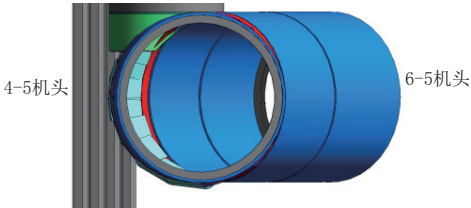


图13 胸板割除管道贯通

2.5.3 混凝土内衬结构施工

管道地下对接完成后,对钢板与土层之前的空隙进行注浆,避免地面产生沉降,同时防止渗漏影响

混凝土内衬结构施工的质量。

在管道内进行支模,借助机头壳体与模板进行混凝土内衬结构施工,结构层厚度与管道厚度保持一致,养护完成后,整体地下对接完成。

3 结 语

本文所研究的顶管地下对接技术,成功实现了在富水性土层中的顶管对接,有效解决了地面空间不足的问题,可以在交通导行困难或地下存在不可避让管线等受限地区进行顶管施工,为顶管工程施工提供了新办法,在一定程度上降低了顶管井施工对交通、周边管线及居民生活的影响,借助骑马井进行地下对接;同时,基于BIM进行施工安全分析,有助于及时发现并解决施工过程和现场的安全隐患,在一定程度上提升施工的安全性^[15],降低了涌水、涌砂的风险,通过灵活更换设备,辅助钢筒下沉施工,施工速度较快;同时缩短了顶管工程的施工工期及造价,具有良好的经济效益、社会效益和环境效益^[3]。随着地下空间的开发和地下工程的不断发展,地下对接技术在城市市区的各类顶管工程施工中具有较大的应用前景,有望为更多类似工程提供可靠的技术参考。

参考文献:

- [1] 苏苟锋.复杂地形地质条件下隧道施工技术研究[J].城市建设理论,2023(27):133-135.
- [2] 董泽龙,徐刚,徐飞.顶管施工地下对接施工工法[J].中国市政工程,2008(5):66-68.
- [3] 徐震.顶管地下对接技术[J].特种结构,2009,26(5):15-17.
- [4] 朱亚丽,王铁.大刀盘泥水平衡顶管机对接施工技术研究[J].工程技术与应用,2017(1):55-57.
- [5] 张涛.顶管隧道地下斜角对接施工技术研究[J].中国市政工程,2017(2):90-92.
- [6] 何关培.BIM总论[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [7] 龚晓南.地基处理手册[M].第四版.北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [8] 张凤祥,朱合华,傅德明.顶管施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [9] 王毅才.隧道工程[M].第三版.北京:人民交通出版社,2010.
- [10] 李继业,刘福胜.顶管施工技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [11] 徐辉,郁进峰,严国仙,等.顶管地下对接工艺及过程控制[J].建筑施工,2008,30(1):47-49.
- [12] 李广峰,白东,臧其超,等.城市污水管道骑马井施工[J].科技资讯,2021,38(增刊1):181-186.
- [13] 闻兵,魏振伟.钢沉井基坑支护施工技术[J].施工技术,2014,43(增刊):47-49.
- [14] 郝鑫,杜建华,杜小萍.地下对接技术在大口径顶管工程中的应用[J].上海建设科技,2012(2):52-54.
- [15] 张建平,李丁,林佳瑞,等.BIM在工程施工中的应用[J].施工技术,2012,41(371):10-17.

《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

