

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.02.004

城市老旧排水箱涵渗漏治理技术开发与应用

王 辉^{1,2}, 胡茂锋^{1,2}, 吴志炎^{1,2}, 刘 军^{1,2}, 张廷军^{1,2},
邹 静^{1,2}, 冯泽建^{1,2}, 蒋新华³, 石稳民^{1,2}

(1. 中建三局绿色产业投资有限公司, 湖北 武汉 430056; 2. 中建三局水务环保有限公司, 湖北 武汉 430014; 3. 武汉碧水投资运营有限公司, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 排水箱涵承担着城市防汛排洪和雨污水收集输送的责任,是城市重要的市政基础设施。部分老旧箱涵因运行时间长、施工质量差、养护不到位等而出现较多渗漏缺陷,造成周边土体流失形成空洞,容易引发道路坍塌,从而威胁到城市安全运行。结合工程实际,基于箱涵渗漏特征归纳总结出三种渗漏类型,采用常规单一工艺无法长时间有效堵漏,不满足设计要求,因此开发了针对性的止水止渗组合技术,并将其成功应用于黄孝河箱涵修复项目。工程应用结果表明,采用组合式技术、合适的注浆材料以及注浆压力,箱涵堵漏成功率高达97.2%,有效解决了老旧排水箱涵渗漏问题,消除了道路坍塌的隐患。

关键词: 排水箱涵; 渗漏缺陷; 止水止渗

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2025)02-0022-06

Development and Application of Leakage Treatment Technology for Aging Drainage Culverts in Urban Cities

WANG Hui^{1,2}, HU Mao-feng^{1,2}, WU Zhi-yan^{1,2}, LIU Jun^{1,2}, ZHNAG Yan-jun^{1,2},
ZOU Jing^{1,2}, FENG Ze-jian^{1,2}, JIANG Xin-hua³, SHI Wen-min^{1,2}

(1. China Construction Third Bureau Green Industry Investment Co. Ltd., Wuhan 430056, China;
2. China Construction Third Bureau Water & Environment Design and Research Institute, Wuhan 430014, China; 3. Wuhan Bishui Investment Operation Co. Ltd., Wuhan 430070, China)

Abstract: Drainage culverts are essential municipal infrastructures in urban areas, serving critical functions such as flood control, rainwater and sewage collection, and transportation. However, aging drainage culverts have many leakage defects due to extended service life, substandard construction quality, and inadequate maintenance. These defects lead to soil erosion around the structures, creating voids that can cause road collapse and pose significant risks to urban safety. Combined with engineering practice, this study classifies leakage issues in drainage culverts into three main types according to their characteristics. Conventional single-method approaches often fail to provide long-term leakage prevention or meet the design requirements. To address these challenges, a targeted combined water-stop and leakage prevention technology was proposed, which has been successfully applied to the Huangxiaoh drainage culvert repairing project. The engineering application demonstrated that by utilizing the combined technology with suitable grouting materials and appropriate grouting pressure, a plugging

success rate of 97.2% was achieved. This effectively resolved the leakage problem of aging drainage culverts and eliminated potential road collapse hazards.

Key words: drainage culverts; leakage defects; water-stop and seepage-stop

排水系统是城市重要的市政基础设施,沿城市道路呈网状分布,承担着城市防汛排洪和雨污水收集输送的责任,按其输送介质不同,可分为城市污水管网、工业废水管网及雨水管网;按排水体制主要分为合流制和分流制两种类型。随着城市建设的快速发展,市政排水管网规模越来越大,截至2020年,国内已建排水管道总长超过 8.0×10^5 km,全国城市建成区平均管网密度达 11.1 km/km^2 ,排水设施资产达2 114.78亿元^[1]。然而,由于建设时财政资金受限、工程质量标准及移动荷载设计标准低,加之污水长期浸泡腐蚀以及养护不到位等,城市早期建设的箱涵出现不同程度的损坏,根据《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012),目前城镇排水管道缺陷主要包含7种功能性缺陷和10种结构性缺陷,其中,渗漏缺陷在南方降雨多及地下水丰富城市箱涵中最为常见。渗漏带来的危害较为严重,当箱涵内水位高于地下水位时,箱涵污水通过渗漏通道外溢直接污染土壤及地下水;当箱涵内水位低于地下水位时,地下水内渗将箱体周围泥沙挟带进入箱涵,使箱涵周围形成较大空洞,导致箱涵出现错位和脱节的现象,长此以往还会引起道路坍塌。因此,对城市老旧箱涵渗漏治理技术的研究迫在眉睫。

地下工程渗漏治理技术广泛应用于管道、管廊的防水堵漏、裂缝补强等方面,其中最核心的是注浆技术,该技术利用注浆针头将具有一定凝胶时间的灌注浆由灌注机通过高压压入缝隙处,浆液在压力的作用下有效灌注到裂缝深处,通过发生膨胀、凝结等作用达到对各类建筑物的缝隙进行充填、止水、加固的目的^[2]。

结合工程实际,对城市老旧排水箱涵渗漏治理技术进行研究与应用,以期为后续此类城市老旧箱涵修复工程提供一定借鉴。

1 工程概况

1.1 项目情况

武汉市黄孝河箱涵起于青年路,经黄孝河西路、建设大道、黄孝河路,终止于石桥一路,全长约

5.0 km,为雨污合流箱涵,承载着江岸区的生活污水及70余平方千米黄孝河流域的雨水转输功能。黄孝河箱涵为“砖砌侧墙+预制盖板+混凝土底板”结构形式,其横、纵向剖面如图1所示。

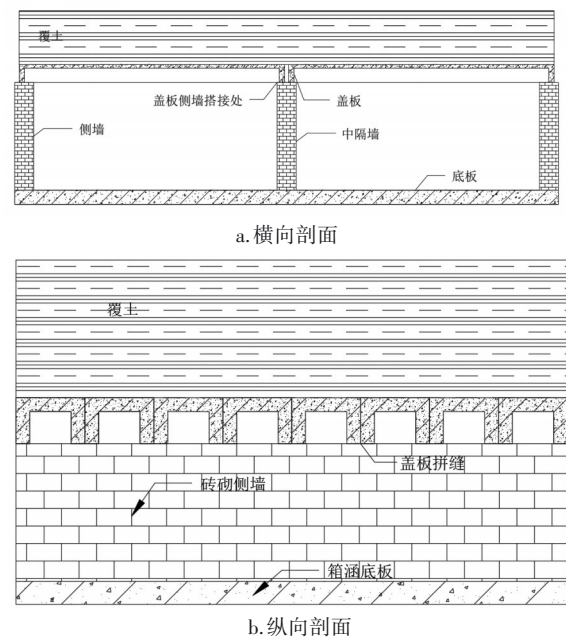


图1 黄孝河箱涵剖面

Fig.1 Schematic diagram of profiles of Huangxiaohu drainage culvert

1.2 渗漏现状

通过CCTV检测及结构检测评估分析,黄孝河箱涵缺陷共计3 736处,其中渗漏缺陷占比最大,达到42.30%,其次为腐蚀缺陷,占比达到37.50%,破裂、支管暗接等缺陷占比较小。箱涵缺陷统计结果如图2所示。

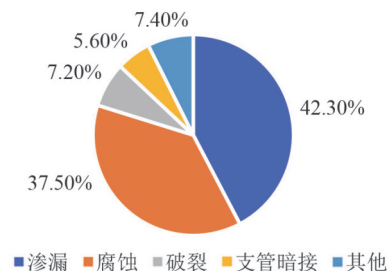


图2 箱涵缺陷统计结果

Fig.2 Statistics result of drainage culvert defects

根据黄孝河箱涵渗漏状态及渗水量情况,可将渗漏分为3种类型:①盖板拼缝有明水渗出,水压渗漏量较大,共计813处,占比为59.56%;②盖板和侧墙搭接处缝隙有明水渗出,水压渗漏量较小,共计425处,占比为31.14%;③侧墙无明水渗出,但存在缝隙潮湿,共计127处,占比为9.30%。

1.3 施工难点

结合黄孝河项目现场实际情况,当前止水止渗工作难点主要集中在以下3点:

① 缝隙清理难度大,耗时长。需要人工清理盖板拼缝中的杂质,为后续注浆提供清洁空腔,但因缝隙狭小,清理难度大,耗时耗力。

② 渗漏带压状态下注浆难度大。箱涵堵漏是在带水情况下作业,在施工过程中,大多空隙出现渗水带压情况,常规注浆方式极易造成浆液流失,严重影响堵漏效果。

③ 无法形成密闭空间,常规注浆形式耗材多。盖板拼缝为通缝,直接骑缝注浆,浆液将沿缝隙外泄至土体中。此外,拼缝为临空缝,浆液注浆过程中将沿池壁滴落,导致注浆填缝不饱满,耗材较多。

2 渗漏原因分析

混凝土箱涵是一种常见的工程结构形式,虽然其施工工序并不复杂,但是施工难度大、要求高,稍有不慎就会出现一系列的质量缺陷,影响箱涵的正常使用。引起排水箱涵渗漏的原因较多,主要有静态因素(如管材、尺寸、年龄、土体类型)和动态因素(如气候、阴极保护、压力区变化),造成黄孝河箱涵渗漏的原因^[3]主要有以下几个方面:

① 原有施工质量差,导致结构性破坏。早期的施工技术还未成熟,加上材质较差,箱涵在长时间运行中地基沉降或地面移动荷载过大而产生结构性破坏,出现部分缝隙形成线漏。

② 外部水压大,砂浆嵌缝失效。南方城市地下水资源丰富,箱涵长时间处于外部高水压状态,盖板拼缝间水泥砂浆由于地基沉降以及长时间外部高水压冲击而出现脱落流失现象,造成箱涵局部出现渗漏通道。

③ 混凝土自身特性,出现不规则裂缝。由于当时财政资金受限,混凝土本身级配未考虑防渗要求,再加上浇筑后会发​​生干缩效应,长此以往混凝土

土出现不规则裂缝。

3 新型止水止渗技术开发与应用

3.1 常规止水止渗工艺

目前,地下工程渗漏治理常用技术措施有缝隙直接注浆止水、壁后注浆、快速封堵、嵌填密封等。

① 缝隙直接注浆止水是指在压力作用下注入注浆材料,切断渗漏水流通道的方​​法。

② 壁后注浆是向盖板与土体间的空隙注入注浆材料,达到防止地层形变、渗漏等目的的施工过程。

③ 快速封堵是采用快速瞬凝水泥将裂缝面封堵密实,以修复渗漏病害的方法。

④ 嵌填密封是采用密封材料对渗漏病害进行密封,以修复渗漏病害的方法。

实际应用结果表明,常规单一的止渗漏工艺无法长时间有效封堵渗漏通道,堵漏成功率较低,并不满足施工要求。因此,需开发一种新型的止水止渗技术。

3.2 新型止水止渗工艺

在应用常规工艺时,施工面临的主要问题是浆液沿盖板拼缝以及临空缝流失,且注浆过程由下往上进行,未快速黏结的浆液由于重力作用出现掉落,导致渗漏通道无法有效封堵。针对这一难点,根据渗漏特点创新采用多种止水止渗工艺相结合的方式治理。

组合式治理工艺的核心步骤是注浆,而注浆材料和注浆压力的选择是注浆工程的关键因素。注浆材料关系注浆工艺、工期、成本及注浆效果,选择注浆材料时应考虑凝胶时间、黏结性、耐久性、适用性、无污染等因素。目前,常用的注浆液有水泥、水泥-水玻璃、改性环氧注浆液、油溶性聚氨酯注浆液、丙烯酸盐注浆液,其优缺点及适用性如表1所示。

注浆压力是注浆成功的重要因素,不同渗漏点浆液的扩散半径、渗透系数以及孔隙率都存在差异,故所需注浆压力有所不同。具体注浆压力的设计存在一定难度,注浆压力主要涉及两方面的矛盾:一方面,注浆压力过小,在裂缝处可能存在未黏接地方,达不到修补裂缝的目的;另一方面,由于裂缝尖端存在应力集中区域,压力过大会导致裂缝扩展延伸^[4]。

表 1 常用注浆液的优、缺点

Tab.1 Advantages and disadvantages of commonly used grout

种类	水泥浆液	水泥-水玻璃	改性环氧注浆液	油溶性聚氨酯注浆液	丙烯酸盐注浆液
组分	硅酸盐水泥以及外掺料	水泥、水玻璃、速凝剂、缓凝剂	改性环氧树脂、添加剂	丙烯酰胺和其他交联剂、引发剂	丙烯酸盐、引发剂、促进剂
优点	结石率高,抗压强度大;材料来源广,成本较低	可通过调节比例控制凝结时间;结实率能达到 100%;材料来源丰富,价格较低	黏度低、流动性好、渗透性强;可操作时间长,固化收缩率小;常温反应固化,固化物抗压强度、抗拉伸强度高	黏度低,遇水迅速胶凝、膨胀;黏结性好,韧性高;膨胀率大;单液注浆,施工设备简单	可灌性好,黏度较低;抗渗性好,固结体具有极高的抗渗性;凝胶体具有一定的弹性,延伸率大于 100%
缺点	稳定性差,遇水易沉析	碱性浆液凝胶体存在脱水收缩和腐蚀现象	易燃、不易降解、耐冲击性和耐湿性差	不适合 0.2 mm 以下的细微裂缝,抗变形能力差	不能很好地适应裂缝或接缝的形变
适用场合	适于 0.2 mm 以上的裂隙及 1 mm 以上粒径的砂层使用	适于地下水流速较大的地层,可用于防渗和加固	可灌注细小裂缝(>0.1 mm)	适用于地铁、箱涵、水坝、车库等地下工程的裂缝止漏加固	适于混凝土结构裂缝、伸缩缝、沉降缝的渗漏止水

针对 3 种渗漏类型,开发出以下针对性工艺技术、注浆材料和注浆压力。

① 针对盖板拼缝有明水渗出,水压高渗漏量较大的情况,可采用临土侧聚氨酯发泡临时封堵+临空侧止水胶条嵌缝+空腔注浆填充+表层快干止水组合技术。根据现场实际情况,嵌填密封材料选用聚硫密封胶和止水胶条,利用其膨胀特性进行嵌缝,快速封堵使用速凝快干无机水泥堵漏剂。对于带水作业工况,需要速凝快干特性的水泥为注浆工程提供稳定的工作面,防止浆液流失。黄孝河箱涵与土体缝隙宽度较大且水压较大,选用油溶性聚氨酯进行壁后注浆,利用其发泡特性填充混凝土盖板与外侧土体间的缝隙,发挥防渗功能并起到一定的加固作用,箱涵盖板拼缝内间隙狭小,注浆止水使用改性环氧树脂注浆液,可灌细小裂缝,能够有效填充混凝土盖板之间的缝隙,注浆液与混凝土胶结强度大,起到防渗作用。盖板拼缝渗漏治理示意如图 3 所示。

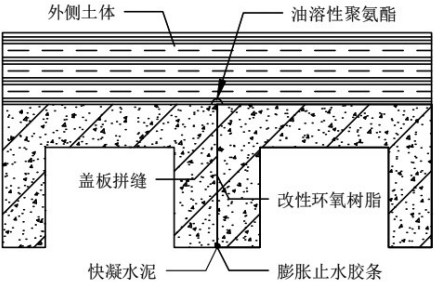


图 3 盖板拼缝渗漏治理示意

Fig.3 Schematic diagram of leakage treatment of cover joints

② 针对盖板和侧墙搭接处缝隙有明水渗出,

水压低渗漏量较小的情况,可采用临土侧聚氨酯发泡临时封堵+空腔注浆填充+表层快干止水措施。由于渗漏处水压较小,采用 3 种措施组合方式能达到很好的止水效果,采用油溶性聚氨酯进行壁后注浆,注浆止水采用改性环氧树脂,快速封堵采用速凝快干无机水泥堵漏剂。盖板侧墙搭接处渗漏治理示意如图 4 所示。

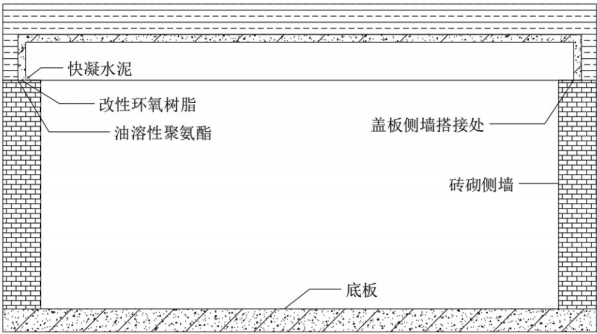


图 4 盖板侧墙搭接处渗漏治理示意

Fig.4 Schematic diagram of leakage treatment at overlap of the side wall of the cover plate

③ 对于潮湿无明显水缝隙(主要是侧墙渗漏),可采用空腔注浆填充+表层快干止水措施。注浆止水采用改性环氧树脂,快速封堵采用速凝快干无机水泥堵漏剂。潮湿缝隙治理示意如图 5 所示。

经过对比,选用 NS-02 油溶性聚氨酯和 NS-03 改性环氧树脂作注浆材料,NS-03 环氧树脂是改性低黏度双液体混合用高分子化学注浆料,具有低黏度高渗透性、可注入 0.02 mm 的细微裂缝,双液型可适当调整混合比控制固化时间、固体强度大、耐腐蚀等特点;NS-02 油溶性聚氨酯堵漏剂是以多异氰

酸酯和多羟基聚醚等进行聚合MDI化学反应生成的高分子化学注浆堵漏材料,通常用于混凝土裂缝的止漏维修,主要有疏水性好、遇水发泡膨胀、发泡率高、单液型注浆、施工简便等特点。

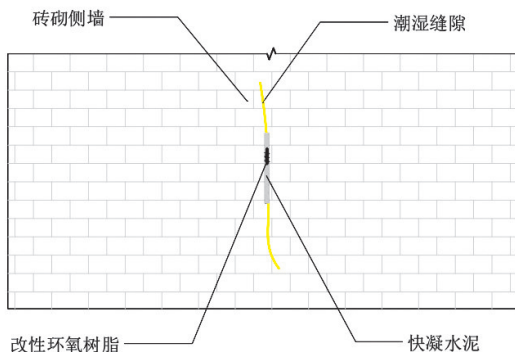


图5 潮湿缝隙治理示意

Fig.5 Schematic diagram of wet gap treatment

混凝土裂缝化学注浆浆液扩散半径计算公式^[5]

如下:

$$R=2.2237\left(\frac{\Delta p t b^2}{n}\right)^{0.3548} \quad (1)$$

式中: R 为浆液扩散半径, cm; Δp 为有效注浆压力, Pa; t 为注浆时间, s; b 为平均裂缝宽度, cm; n 为浆液黏度, mPa·s。

通过对现场各个裂缝的测量以及渗透压力的测试, 结合式(1)得到其注浆压力为 0.2~0.4 MPa, 每隔 1.0 m 设置一个注浆孔, 采用 XTLK 注浆机稳压持续注浆 5 min, 吸浆速率在 0.01 L/min 以内, 可达到良好的止水效果。经检查无渗水现象时, 卸下注浆头, 用水泥砂浆等材料将孔补平抹光。

3.3 工程应用

3.3.1 施工工序

① 针对盖板拼缝有明水渗出且水压渗漏量较大的情况, 现场施工可以遵照以下工序进行: 查找裂缝→钢筋检测仪检测→钻孔→预埋注浆嘴→聚硫密封膏或者止水胶条密封→快凝速干水泥涂抹→聚氨酯发泡剂注浆→改性环氧树脂注浆→拆除注浆嘴→基层处理。

② 针对盖板和侧墙搭接处缝隙有明水渗出但渗漏量较小的情况, 现场施工遵照以下工序进行: 查找裂缝→预埋注浆嘴→快凝速干水泥涂抹→聚氨酯发泡剂注浆→改性环氧树脂注浆→拆除注浆嘴→基层处理。

③ 对于潮湿无明显水缝隙, 现场施工遵照以下

工序进行: 查找裂缝→预埋注浆嘴→快凝速干水泥涂抹→改性环氧树脂注浆→拆除注浆嘴→基层处理。

上述施工工序完成后, 需对止水效果进行检查, 若出现复漏则需进行二次注浆, 直至无明显水渍出现。

3.3.2 施工内容

以盖板拼缝渗漏治理为例, 具体施工内容如下:

① 查找裂缝: 先检查漏水部位, 找准漏水点, 清理裂缝内部及周围的污物, 为后续注浆提供清洁干净的工作面。

② 钢筋检测仪检测: 使用钢筋检测仪并结合配筋图对盖板内部的钢筋进行检测。

③ 钻孔、预埋注浆嘴: 避开盖板钢筋进行钻孔, 注浆孔的布孔有骑缝和斜孔两种形式, 根据实际情况和需要加以选择, 必要时两者并用。注浆孔的位置应使孔和漏水裂缝空隙相交, 并选在漏水量最大处。注浆孔眼的位置和数量需根据不同漏水情况进行合理安排, 以导出漏水为目的, 在集中漏水处布孔, 裂缝大、水流量大则孔距大, 缝隙小则孔距小。

④ 聚硫密封膏或者止水胶条密封: 根据现场缝隙大小和止水效果, 选用聚硫密封膏或者止水胶条进行封缝。

⑤ 速凝快干水泥涂抹: 在聚硫密封胶或者止水胶条外部再涂抹一层无机速凝快干水泥, 加强止水效果。

⑥ 注浆: 待密封、嵌填材料达到一定强度后, 通过注浆嘴将发泡聚氨酯注浆液注入盖板和土体之间, 将改性环氧树脂压入盖板拼缝中, 根据旁边相应注浆管流出浆液情况判断注浆效果, 力求浆液充满缝隙并分布均匀。

⑦ 拆除注浆嘴: 注浆完毕, 确认不漏即可去掉或敲掉外露的注浆嘴, 清理干净已固定的溢流注浆液。

⑧ 基层处理: 最后用无机速凝快干水泥将注浆孔密封。

3.4 效果评价

注浆后箱涵整体堵漏效果良好, 但部分缝隙仍然出现渗漏现象, 极少数盖板拼缝之间出现滴漏, 侧墙有明显湿渍, 原因是聚氨酯材料发泡后会在水

沿缝逼向墙体流出,1 d后墙体自然风干,经过再次封缝注浆后,排水箱涵基本无明显渗漏,整体堵漏成功率高达97.2%,达到验收要求。

4 总结与展望

结合工程实际,采用多种地下工程渗漏治理技术措施相结合的方式对箱涵进行堵漏,取得了良好的应用效果,为后续同类项目提供了参考。但是治漏技术仍有不足,还存在有待深入探索的方向。

① 注浆扩散理论的研究仍落后于注浆技术的工程实践。目前的理论未建立针对不同性质注浆材料、不同注浆介质的数学模型,试验研究中对裂隙特征、注浆压力、浆液性质的考虑和分析不够全面,过于理想化。

② 在项目实际修复过程中,需根据箱涵渗漏点的情况进行方案材料的比选和试验,选择最优的注浆方式、注浆材料以及注浆压力,能在降低注浆成本的同时获得更好的注浆效果。

③ 注浆材料在耐久性、黏结性、环保性、凝结时间、提高自身承载力等方面还需要深入研究,以适应更加复杂多变的修复条件。

参考文献:

- [1] 邓玉莲. 城市排水管网状态和运行效能评估方法的研究与应用[D]. 北京:北京建筑大学,2021.
- DENG Yulian. Research and Application of Evaluation Method for Urban Drainage Pipe Network Status and Operational Efficiency [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2021 (in Chinese).
- [2] 周玉良. 注浆堵漏技术在地铁隧道渗漏处理中的应用

[J]. 科技创新与应用,2018(15):183-184.

ZHOU Yuliang. Application of grouting plugging technology in leakage treatment of subway tunnels [J]. Technology Innovation and Application, 2018(15):183-184(in Chinese).

- [3] 江章景. 矩形排水管道结构检测评价与修复技术研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2020.

JIANG Zhangjing. Research on Inspection, Evaluation and Repair Technology of Rectangular Drainage Pipeline Structure [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020 (in Chinese).

- [4] 刘才平,王志录,高兴朋. 非开挖修复排水箱涵中注浆堵漏技术的应用实践[J]. 中国给水排水,2021,37(14):157-161.

LIU Caiping, WANG Zhilu, GAO Xingpeng. Application practice of grouting plugging technology in drainage culvert trenchless repair[J]. China Water & Wastewater, 2021,37(14):157-161 (in Chinese).

- [5] 李焰,吴建华,邓少桢,等. 一种混凝土裂缝化学灌浆浆液扩散半径的计算方法:CN105716998B[P]. 2017-12-22.

LI Yan, WU Jianhua, DENG Shaozhen, et al. A Method for Calculating the Diffusion Radius of Chemical Grouting in Concrete Cracks: CN105716998B [P]. 2017-12-22 (in Chinese).

作者简介:王辉(1997-),男,湖北黄冈人,硕士,工程师,主要从事水环境综合治理、市政污水处理工程设计与施工管理工作。

E-mail:1135602205@qq.com

收稿日期:2022-06-10

修回日期:2022-12-11

(编辑:丁彩娟)

用生命之水

筑美丽中国