

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.14.018

泵站清水池上浮事故的原因分析与加固处理

石清林, 蒋红光

(浙江省城乡规划设计研究院, 浙江 杭州 310030)

摘要: 以某泵站清水池上浮事故为例,从勘察、设计、施工及使用等多方因素考虑,尤其是结合施工过程中各道工序与细节,对事故原因进行深入分析与研究。提出了采用增大构件截面、外粘碳纤维布、增设保护层、向裂缝化学注浆及提升完善基坑排水系统等解决方法,并总结了清水池上浮后的结构加固方法与修复处理措施。同时,对清水池结构的抗浮设计与施工注意事项给出建议。多年实践表明,加固处理后的池体一直正常运行,经受了多种极端天气的考验,可为类似事故的预防与处理提供一定参考。

关键词: 清水池; 上浮; 抗浮验算; 结构修复

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)14-0106-06

Cause Analysis and Reinforcement of the Floating Accident in a Clear Water Tank in Pumping Station

SHI Qing-lin, JIANG Hong-guang

(Zhejiang Urban and Rural Planning Design Institute, Hangzhou 310030, China)

Abstract: Taking the floating accident in a clear water tank of a pump station as an example, the causes of the accident are deeply analyzed and studied from the aspects of survey, design, construction and use, especially in combination with the various processes and details in the construction process. The methods of increasing the cross-section of components, sticking carbon fiber cloth, adding protective layer, grouting chemical of cracks and improving the drainage system of foundation pit are proposed. The structural reinforcement methods and repair measures after the floating of clear water tank are summarized. At the same time, the anti-floating design and construction precautions of clear water tank structure are put forward. Years of practice shows that reinforced tank has been operating normally and withstood the test of various extreme weather, which can provide some reference for the prevention and treatment of similar accidents.

Key words: clear water tank; floating; anti-floating checking computation; structural repairing

清水池是城镇给水系统中调节均匀供水和满足用户不均匀用水的一种调蓄构筑物。考虑到高程设置、空间布局及场地利用等因素,其结构型式常采用全埋式或半地下式钢筋混凝土结构。由于埋深相对较大,实际工程中清水池上浮现象时有发生,影响水厂或泵站的正常运行,需引起工程各方高度重视。

结合对某清水池上浮事故的分析处理及加固修复实例,总结相关经验,为类似工程提供参考。

1 工程概况

某供水加压泵站位于台州市所辖的一个经济发达镇区内,总设计规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一期建设规模 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。清水池为全地埋式钢筋混凝土结构,设计

容积12 000 m³。东西向长80.3 m,设3道后浇带;南北向长40.3 m,设1道后浇带;竖向净高4.25 m。底部采用无梁楼盖结构,顶部采用普通梁板结构。底、顶板厚度均为350 mm,壁板厚300 mm,池顶覆

土厚度为0.80 m。底板面设计标高为黄海高程0.400 m,顶板面设计标高为黄海高程5.000 m,场地设计标高为黄海高程5.800 m。清水池南北向结构剖面见图1。

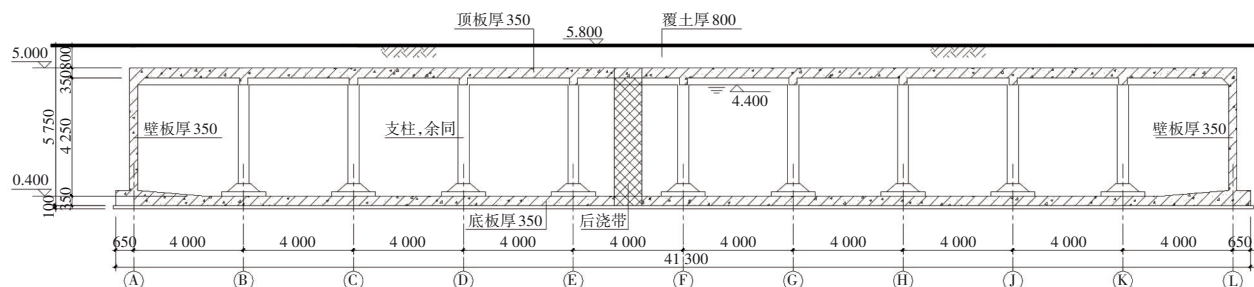


图1 清水池南北向结构剖面

Fig.1 Cross-section view of the north-south structure of a clear water tank

2 地质水文状况

2.1 地质土层

地勘报告显示,场地土工程地质特性自上而下依次为:

①素填土,松散,以人工堆填石渣、碎块石为主,局部为混凝土地面,中风化状细粒花岗岩,均匀性较差。

②含碎石粉质黏土,灰黄色,碎石成分为细粒花岗岩,风化强烈,棱角形,黏性土为风化产物,可塑状。

③-1全风化细粒花岗岩,褐黄色,全风化,原岩结构可辨,岩体已风化成粉质黏土状。

③-2强风化细粒花岗岩,灰黄色,块状结构,强风化,岩体风化蚀变较强烈,节理裂隙发育,含少量石英、长石晶屑,岩芯呈碎块状。

③-3中风化细粒花岗岩,浅肉红色,块状结构,中风化,节理裂隙发育,裂隙面渲染少量氧化质,含石英、长石晶屑,岩质坚硬。

③-4微风化细粒花岗岩,浅肉红色,块状结构,岩体含石英、长石晶屑,岩质新鲜、坚硬,微风化。

2.2 地下水

场地地下水主要为赋存于坡洪积层中的孔隙潜水及基岩裂隙水。潜水含水层接受大气降水和地表水侧向补给,地下水动态随季节变化,含水介质为黏性土、含黏性土碎石,透水性较好。基岩裂隙水赋存于基岩风化及构造裂隙中,节理裂隙受地形及构造影响,场地中风化基岩节理不甚发育,水量较少。

3 池体施工及上浮

3.1 结构施工

清水池主体结构深度范围基本位于③-3中风化细粒花岗岩与③-4微风化细粒花岗岩层内,基坑施工需对基岩进行爆破。

2008年12月22日进行第一次基坑爆破施工,2009年10月10日开始浇筑基础垫层,11月23日底板混凝土施工完成,2010年1月1日完成立柱、壁板、顶板混凝土浇筑施工,接下来进行底板、壁板及顶板后浇带施工,2010年4月27日池内导流墙砌筑并完成粉刷,5月5日池内地面细石混凝土施工完成。至此,清水池主体结构施工完成,但顶板覆土并未完成。

3.2 池体上浮

2010年3月,施工单位曾经通过向池体四周灌水的方法私自进行注水试验,灌水水位约为黄海高程2.700 m,后经质监站发现并制止。

7月26日,当地遭遇50年一遇特大暴雨,导致池体周边基坑积水较深,施工单位未及时将基坑内积水排出,也未及时向池内灌水以平衡池外地下水浮力。7月30日发现池体多个部位出现大量裂缝。

2010年9月29日,当地再次遭受暴雨,池体发生二次上浮,进一步加剧裂缝的发展。

经专业单位现场勘察,池体各部位裂缝描述如下:①支柱裂缝基本位于水池中间区域,柱根、柱顶存在水平裂缝;②部分壁板根部、顶部出现水平裂缝,局部为斜裂缝;③池体角部区域部分顶板、底板出现斜裂缝;④梁柱节点附近构件斜裂缝;⑤内部

砖砌导流墙有少量裂缝出现。

整个池体上浮幅度并不大。池体各部位裂缝分布及走向分别见图2~6。

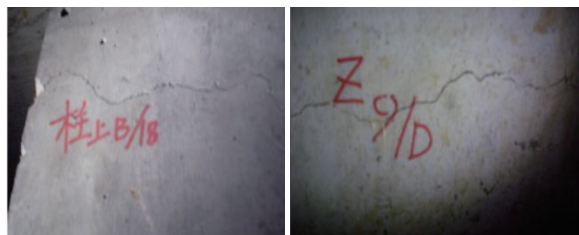


图2 柱顶、根部裂缝

Fig.2 Top and root cracks of the pillar



图3 壁板顶部、底部裂缝

Fig.3 Top and root cracks of siding



图4 顶板、底板裂缝

Fig.4 Cracks on the top and bottom plates



图5 梁柱节点斜裂缝

Fig.5 Crack diagram of beam-column joints

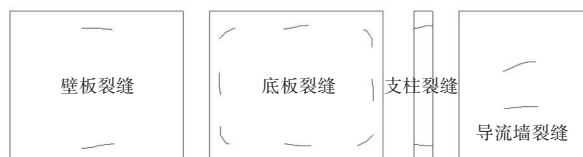


图6 裂缝分布与走向

Fig.6 Diagram of crack distribution in strike

4 事故原因探析

4.1 原因综述

从理论上讲,水池发生上浮有多种因素:①勘察资料未提供抗浮水位或提供的抗浮水位不准确;②设计未进行抗浮验算或所取抗浮水位有误;③施工单位缺乏安全意识,对施工过程中的抗浮安全未考虑任何应急预案及相应措施;④监理公司、业主单位管理不到位等。实际工程中,由于第③条原因导致水池上浮事故出现的实例较为常见。

4.2 设计复核

目前工程中较常见的抗浮设计措施基本分为两大类:第一,自重或配重抗浮,即依靠池体结构自身重力或增加配重来抵抗地下水浮力,这种方式经济实用;第二,自重+其他措施抗浮,如基桩抗拔、锚杆抗浮等,较第一种方式造价更高,施工难度更大。

查阅本工程原施工图及相关计算书可知,原设计采用了除以上两种纯被动抗浮措施以外的第三种方法,即“自重抗浮(被动措施)+盲沟排水(主动措施)”,见图7、8。

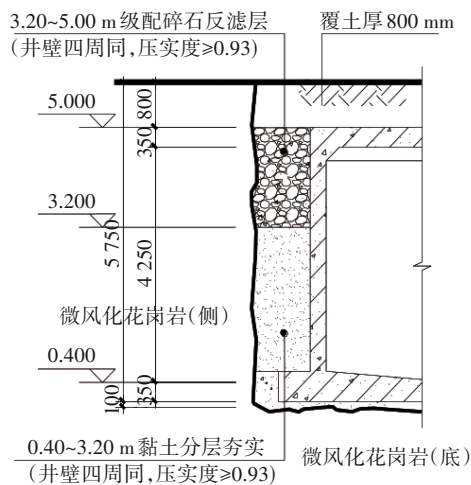


图7 自重抗浮+盲沟排水

Fig.7 Dead weight anti-floating+blind ditch drainage

池顶地坪设计标高为5.800 m,周围地形高程基本为3.000 m。考虑到工程所处场地比周围地形高很多,场地具备良好排水条件,原设计考虑取最高地下水位3.200 m进行抗浮验算。

根据相关标准规范^[1-2],取单根支柱荷载范围4 m×4 m进行局部抗浮复核算。抗浮荷载包括底板、顶板、框架梁柱、底部柱帽及顶板上部覆土自重^[3]。抗浮重力530.3 kN,水浮力496.0 kN,抗浮系

数 $K=1.07>1.05$, 满足抗浮要求。

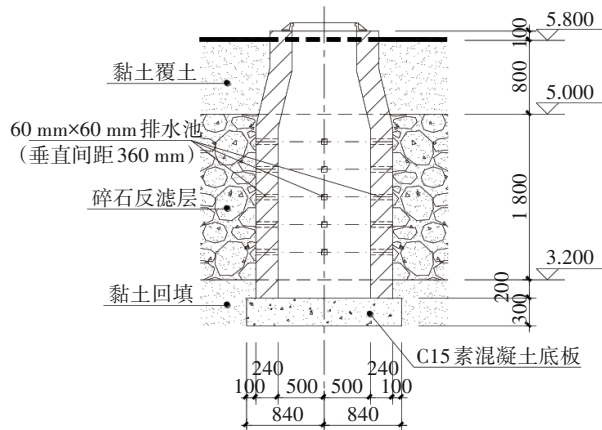


图8 排水集水井

Fig.8 Drainage sump

由计算结果可知,池顶覆土施工完成后,基坑周围最高水位不高于 3.200 m 时,空池状态下的池体结构自重可满足抗浮要求。

同时,设计文件对施工过程的抗浮应急措施也给出了相应说明,强调施工过程应随时注意基坑水位变化,及时排除基坑积水,或向池内灌水,以防水池在施工过程中发生上浮破坏。

4.3 调查分析

事故发生后,相关检测机构对池体上浮状况进行了连续观测,结果表明,在内外水位不同变化的状态下,池体上抬幅度总体不大,最大未超过 30 mm,但池体中部上浮变形量大于两侧。

业主召集施工、监理、设计、质监站及有关专家对清水池裂缝产生的原因进行了分析与论证。通过现场调查与分析,各方意见基本认为,水池主要因上浮而产生裂缝,具体有以下几方面:

① 施工单位严重缺乏抗浮安全意识,认为基坑底部及周围均为微风化基岩,透水性差,通过池外灌水错误方法进行所谓的注水试验,导致池体在特大暴雨前就可能出现了上浮而产生部分裂缝。

② 施工过程中缺少抗浮应急措施。在顶板未覆土、池体未贮水的情况下,突遭暴雨时,排水措施不到位,场地大面积水流汇聚至基坑内,致使基坑水位急剧上升,浮力剧增,清水池局部抗浮承载力不满足相关要求^[1],是造成池体各处产生裂缝的主要原因。

③ 原设计要求的池体基坑周边不透水黏土层压实度与排水反滤层施工不到位,导致大量地表

水渗入基底,造成坑内水位上升、浮力增大。

④ 池体两个方向长度较大,中间部位缺少壁板重力和底板外挑土体压重,从而形成中间上浮变形量大于两头的现象。

5 加固修复处理

经专业检测单位鉴定,清水池结构混凝土强度等级满足设计要求,整体上浮幅度不大,结构整体性基本完好,相关缺陷经加固修复后可继续使用。工程各方同意保留原池体,并要求对结构缺陷与裂缝进行局部加固和功能修复。

5.1 池壁内侧增大截面

清除池壁内表面已剥落、疏松、腐蚀的混凝土,除去表面浮浆等杂质,凿毛直至完全露出混凝土新结构面^[4],采用压力水冲洗干净;按图9要求绑扎及植入钢筋,立模后浇筑掺入 12%UEA 的 200 mm 厚 C30 钢筋混凝土墙,在浇筑混凝土前需在原池壁表面刷水泥净浆一道。

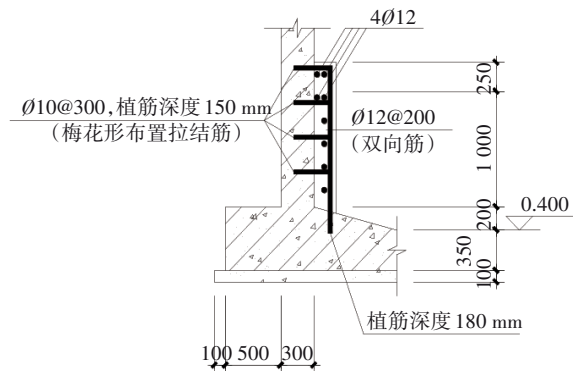


图9 池壁加固

Fig.9 Schematic diagram of pool wall reinforcement

5.2 柱四周增大截面

支柱加固如图10所示。

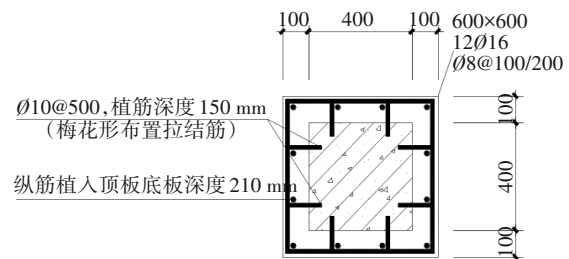


图10 支柱加固

Fig.10 Schematic diagram of pillar reinforcement

将需加固柱表面疏松混凝土凿除,并将表面洗净凿毛^[4];按图10要求将新增主筋及拉结筋植入相

应混凝土构件,并绑扎钢筋立模后浇筑掺12%UEA的100 mm厚C30钢筋混凝土,在浇筑混凝土前需在原柱表面刷水泥净浆一道;新浇混凝土上部与梁底面间确保密实,不得有缝隙。

5.3 梁外粘贴碳纤维布

用磨光机、砂纸或铁刷子清除混凝土表面浮浆及模板油,并用清洗剂擦洗干净,确保表面平整、干燥。用特定工具裁剪300 g/m²的U型碳纤维布,并准备好相应胶粘剂,在混凝土粘贴面上均匀涂刷一层环氧树脂,将裁剪好的碳纤维布铺在干净地方并均匀涂刷一层环氧树脂,用硬滚动碾子从中心向四周多次碾压碳纤维布,清除粘贴面里的空气,刮平被挤出的胶粘剂^[4]。环氧树脂干燥后,再在碳纤维布表面涂刷一层环氧树脂并撒上一道中粗砂,便于抹面粉刷工作。具体做法见图11。

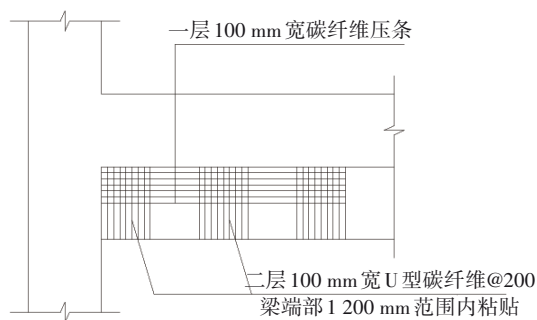


图11 梁端碳纤维加固

Fig.11 Schematic diagram of carbon fiber reinforcement at beam end

5.4 底板面增设保护层

将板面混凝土凿毛,沿板面纵横向每隔1 m间距用电锤钻孔,植入提高上下层混凝土咬合作用的钢筋,伸出板面高度20 mm,见图12。

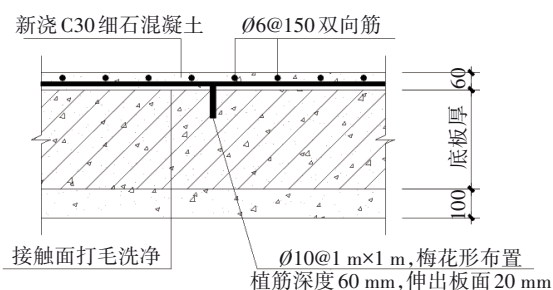


图12 底板面加固

Fig.12 Schematic diagram of floor reinforcement

新增板面钢筋与周边构件采用植筋方法连接,电锤钻好孔后,用压缩空气吹净孔内粉层,进行新

增钢筋植筋锚固。将底板面彻底清理干净,做界面处理,浇筑60 mm厚C30细石混凝土保护层随捣随抹。

5.5 裂缝修复

① 对于梁、板、柱、壁板及底板裂缝采用聚氨酯类灌浆材料(应符合饮用水卫生标准)进行化学灌浆处理,以恢复其整体性与耐久性,具体如下:

a. 将裂缝两侧表面整平,擦洗干净,清除油污,用环氧胶泥沿裂缝走向粘贴灌浆嘴,间距200~300 mm,用无机封缝胶封闭裂缝表面。

b. 经压气试验无渗漏现象后进行灌浆,压力控制在0.1~0.2 MPa,结束后稳压10 min,使被处理的裂缝吃浆饱满。灌浆完毕后立即封闭灌浆嘴,保持裂缝内浆液压力,使浆液充满裂缝并硬化。

c. 灌浆完毕待浆液聚合物固化后拆除灌浆嘴,并用环氧胶泥抹平,并对每道裂缝表面刷一层环氧树脂水泥浆,确保封闭严实。

② 对砖砌导流墙的裂缝修复如下:铲去墙面粉刷,砖缝剔深15 mm,用钢刷将墙面刷净,并洒水湿润;1:2.5水泥砂浆嵌缝;每隔500 mm左右用Ø4 mm U形钢筋钉入墙内固定钢丝网(Ø1 mm×10 mm×10 mm);洒水湿润砌体后,分层抹压25 mm厚M10水泥砂浆。

5.6 完善排水系统

原设计采用自重抗浮(被动措施)+盲沟排水(主动措施)的方式,虽能满足绝大多数工况下的抗浮稳定要求,但仍存在一定风险。反滤层下部黏土层作为隔水层,施工质量若不能得到很好保证,水流可能通过土层空隙渗入池底,长时间积少成多后导致基坑水位上升,浮力增大,一旦池体处于空池状态,仍可能出现上浮现象。

因此,需对原设计基坑周围排水系统进行完善,具体如下:在基坑上部浇筑混凝土排水沟,沟两侧与山体及壁板交接处用密封膏封实,另外在底板外挑与山体之间部分用素混凝土填实,同样用密封膏将两侧封实,中间仍保留黏土隔水层,确保地面大部分水流不渗入基底,工程长期使用安全。具体做法见图13。

另外,保留原设置于基坑与池体之间的各集水井,便于水池检修前进行水位观察,并保持排水通畅,确保基坑水位不高于3.200 m时空池状态下水池的抗浮安全。

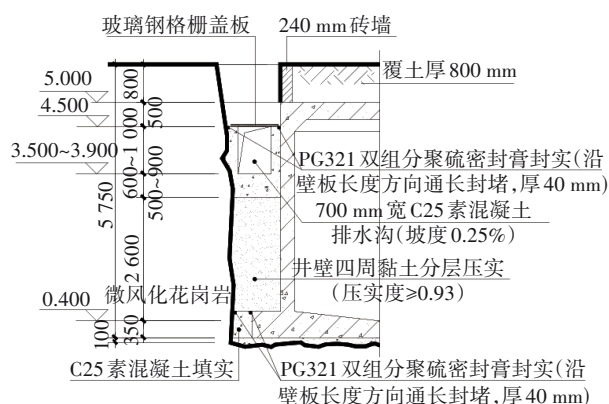


图13 完善排水系统

Fig.13 Schematic diagram of improving drainage system

6 运行效果

该工程自2012年加固修复完成并经各方验收合格^[5]后使用至今,一直保持正常运行,并经受住多次极端天气的巨大考验。

7 结语

① 对于全埋式或半地下室贮水构筑物,不仅要考虑使用期间永久抗浮问题,施工期间短期抗浮安全也必须引起相当重视。

② 地下水池发生上浮的原因涉及勘察、设计、施工和使用等过程,但实际工程施工过程中发生的上浮事故最为多见。因此,施工中必须制定安全可靠的事事故处理应急预案,绷紧抗浮安全这根弦,确保工程顺利安全施工。

③ 水池补漏补强施工期间,须保持排水设施通畅,严格控制基坑水位在基底以下0.50 m,确保池体不会再次出现上浮。

④ 作为工程设计方,需要在考虑结构抗浮安全的基础上兼顾经济性。若采用主动、被动抗浮措施相结合的抗浮方法,则需对其中的主动措施所包含的各种因素考虑更加完善与周全,方可确保工程长期安全运行。

参考文献:

- [1] 建设部. 给水排水工程构筑物结构设计规范:GB 50069—2002[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.

Ministry of Construction. Structural Design Code for Special Structures of Water Supply and Wastewater Engineering: GB 50069—2002 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003(in Chinese).

- [2] 中国工程建设标准化协会. 给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程:CECS 138:2002[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.

China Association for Engineering Construction Standardization. Specification for Structural Design of Reinforced Concrete Water Tank of Water Supply and Sewerage Engineering: CECS 138: 2002 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003(in Chinese).

- [3] 《给水排水工程结构设计手册》编委会. 给水排水工程结构设计手册[M]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社, 2007.

Editorial Committee of *Structural Design Manual for Water Supply and Sewerage Engineering*. Structural Design Manual for Water Supply and Sewerage Engineering[M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2007(in Chinese).

- [4] 建设部. 混凝土结构加固设计规范:GB 50367—2006 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.

Ministry of Construction. Design Code for Strengthening Concrete Structure: GB 50367—2006[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006(in Chinese).

- [5] 住房和城乡建设部. 给水排水工程构筑物工程施工及验收规范:GB 50141—2008[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.

Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Code for Construction and Acceptance of Water and Sewerage Structures: GB 50141—2008 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009 (in Chinese).

作者简介:石清林(1973—),男,湖北武穴人,硕士,高级工程师,主要从事市政给排水结构设计工作。

E-mail:570379542@qq.com

收稿日期:2021-03-31

修回日期:2021-04-10

(编辑:衣春敏)