

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.24.011

深潜池给水排水设计思路与建议

陈文杰¹, 许为民¹, 肖奕鸣¹, 吴昌永², 黄广辉¹, 孙识昊¹,
李玲¹, 王盼新²

(1. 中国建筑东北设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110000; 2. 中国环境科学研究院
环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100012)

摘要: 随着社会经济的发展,深潜池的建设不断增多,其具有深度大、体积大、水质及温度控制要求高、能耗大、个性化强等特点,但国内尚未制定相应的规范、标准、技术措施,亦未发现可借鉴的国内外文献资料。现阶段已建成的深潜池运行时间均较短,其可靠性、安全性、经济性尚需全生命周期的实践考证。以市场调研、理论分析、水力流场模拟、专项研究为基础,结合深潜池池水特征,介绍了深潜池池水的补充、泄空、循环、净化和加热,管线的敷设及补水口布置等的推荐方式,探索了安全、可靠、可行的解决方案,提出了深潜池给水排水系统的设计思路和建议。

关键词: 深潜池; CFD模拟技术; 暗埋管线; 特殊循环系统; 分区分组净化

中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)24-0069-06

Design Ideas and Suggestions for the Water Supply and Drainage of Deep Diving Pools

CHEN Wen-jie¹, XU Wei-min¹, XIAO Yi-ming¹, WU Chang-yong²,
HUANG Guang-hui¹, SUN Shi-hao¹, LI Ling¹, WANG Pan-xin²

(1. China Northeast Architectural Design & Research Institute Co. Ltd., Shenyang 110000, China; 2. Research Center of Environmental Pollution Control Engineering Technology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: With the development of the social economy, new deep diving pools are continuously being planned and constructed. These pools are characterized by their large depth, substantial volume, high water quality and temperature control requirements, high energy consumption, and strong personalization. Corresponding norms, standards, and measures have not yet been established for this type of project, and there is a lack of domestic or foreign literature to serve as a reference. Currently operating deep diving pools have been in service for a relatively short time. Therefore, their reliability, safety, and economic efficiency need to be validated through practical experience throughout their entire life cycles. Drawing on market research, theoretical analysis, hydraulic flow field simulations, and specialized studies, and considering the unique water characteristics of deep diving pools, this article presents recommended approaches for the replenishment, drainage, circulation, purification, and heating of pool water. It also discusses the layout of pipelines and the design of water replenishment ports. The article

基金项目: 中建东北院科技研发课题(DBY-2022-17); 长江生态环境保护修复二期研究项目(2022-LHYJ-02-0202-005)
通信作者: 王盼新 E-mail: wangpanxin_hit@126.com

explores safe, reliable, and feasible solutions and offers design ideas and suggestions for the water supply and drainage systems of deep diving pools.

Key words: deep diving pools; CFD simulation technology; buried pipeline; special circulation system; partition and group purification

潜水作为一种新兴健康的休闲娱乐活动方式,其体验项目由深海区逐渐向内陆发展。深潜池通常和传统的游泳池、戏水池、泡池、按摩池、水上娱乐区、冲浪区等共同建设,组成新型的水上娱乐运动中心。

深潜池一般设置独立使用的区域,内设深度梯变的潜水体验区、不同的主题区、洞潜区等,配置专用的强制淋浴消毒区、热身区、减压舱、更衣区等。其深度及容积大、形状不规则、系统能耗大、运维难度高、易形成短流区和滞水区,且每座水池均有各自的特点,均需要独立设计。

现阶段已建成的深潜池多为近年投入使用,其运行技术参数未见公开的文献资料,国内也尚未完成技术融合及产业供应的上下游产业体系。此外,此类项目目前尚未制定规范、标准、技术措施,亦无可借鉴的国内外文献资料。

由于缺乏可借鉴的资料,深潜池系统对应的技术参数如循环周期、水温、水质、初次加热时间、补水时间、水质、安全系数等均难以选定,管线的敷设方式、循环方式、给水口的布置、泄水方式、池壁清理、设备选用等均无成熟经验。该类项目多为专业公司结合产品特点进行设计和产品供应,设计单位难以进行校核和技术把控。为此,通过理论分析、水力流场模拟,从保证循环效果、运维简便、适当冗余等角度,提出此类工程的设计思路与建议。

1 深潜池工程设计主要问题的探索

1.1 池水特征

1.1.1 水质、水温

深潜池的原水水质、池水水质建议不低于泳池对应的水质指标要求,为避免腐蚀性离子对系统设备、管线和建筑物的潜在损害,增加系统可靠性、延长使用寿命,减少故障率,在无特殊需求时,不宜加药模拟海洋水质;在传统泳池模拟海水工况时,对初投资、运维的成本影响多在30%以上,工程中选用较少,而深潜池采用此种方式时其整体投入更高,运维难度更大,因此国外已建深潜池水质也基

本按游泳池水质设计运营。

浮潜爱好者多偏好在热带的水中浮潜,其水温一般为22~30℃。由于深潜运动体力消耗较大,可能会导致肌肉疲劳、抽筋或心脏负担过重等情况,同时考虑使用者的舒适度,室内建设的深潜池具备水温控制的客观条件,故建议深潜池的水温宜为(30±1)℃,该温度与国外在用的深潜池水温设定基本吻合。

1.1.2 充水、补水、泄空

深潜池池容一般较大,其对应的初次充水及池水更新的补水时间应依据运营需求、市政水源的现状、共用设施的用水特点等因素综合确定,充水时间不宜小于96 h。

为避免或减少因补水负荷过大导致市政配套容量增加的情况,深潜池补水宜采用错峰补水的方式,并通过均衡水池间接向池体补水。当有多种功能的水上娱乐设施时,应采用分批、分次、平衡水量组合补水的方式,不宜首次集中补水。

池体日常损失水量的主要影响因素为池水的表面蒸发、过滤设备反冲洗、使用者出池、池体及系统渗漏所消耗的水量。因深潜池的使用人数少、循环系统的水处理负荷小、池体的维护结构厚度大,故池水损失小。当资料不完备时,日常补水可按水池容积的3%~5%估算,水池容量大时宜取下限值。

深潜池的泄空包括更新泄空和事故紧急泄空,可利用重力流排水的部分可采用重力流方式将池水间接排至雨水管道进行泄空,并设置防止雨水倒灌的措施;不能采用重力流排放的部分,为避免利用率低的固定设备对水池水质造成影响和引入潜在的污染源,宜采用移动式排水设备进行泄空。因池水的水量大、泄空困难、周期长、费用高等,建议重视池水检测、保证设施的有效运行,尽量减少泄空的频率。

1.2 管线敷设方式的选择

1.2.1 管廊或管沟方式

泳池、戏水池、跳水池等按惯例采用管廊或管

沟的方式设置系统管网,以便于检修、安装、更新等施工和维护工作^[1]。对于深潜池而言,由于其深度大,在外部设置检修管廊和管沟时,建造成本会成倍增加;另外,在池壁上设置防水套管时,套管的抗压、抗渗性能也会成为制约性因素,故深度>12 m 时不宜采用设置管廊或管沟的方案。由于深潜池系统中各给水口布置的合理性、循环系统出水口参数的基本一致性对整体的流场分布、流线组织影响较大,因此建议深潜池采用环状管网且主配水管网水头损失小的大阻力配水系统,以保证配水点的压力均衡。

1.2.2 池内管线明设方式

通常情况下,对于深度较大的池体可考虑在其池体内以明设的方式进行管线敷设,并同时关注管网的使用寿命、连接方式、给水口的设置以及对美观的影响等因素。但是明设管线会对流场流态造成一定的影响,易形成滞水区,因此应结合其形式采取必要的补偿措施;同时应精确预留管网的固定点位,控制构造节点,避免对防水体系造成破坏。

现阶段,考虑到尚没有完善的产品供应链和可靠的技术措施,即使明设管线有利于维护和安装,在深潜池的管线敷设中仍建议谨慎选用。

1.2.3 池内管线暗埋方式

当水池深度较大时,可采用在池体底部、池壁设置用于管网、给水口布置的结构层。此种方式可充分利用结构层布置管线、设置给水口,利于水流组织,避免对池体防水体系造成影响。

管线暗埋方式遵循无检修的设计理念,对系统材料、连接方式的选择要求较高,因此宜选用与整体设计同寿命的产品、可靠的连接方式、环状布置形式、大阻力配水系统设计,并尽量避免选用直径过大的管线。

1.2.4 不同敷设方式的对比

深潜池内管线不同敷设方式的适用范围和特点对比如表 1 所示。可知,在明设管线无可靠产品集成、成熟技术的背景下,深潜池的管线敷设可选择暗埋方式。管线暗埋构造示意图 1。

表 1 深潜池内不同管线敷设方式的适用范围和特点比较

Tab.1 Comparison of the scope of application and characteristics of different pipeline laying methods in deep diving pools

| 项目 | 适用范围 | 特点 |
|------|---|--|
| 管廊方式 | 传统水池的常用方式,水深一般为 12.0 m 以内,防水套管的抗压防水性能是其使用范围的制约性因素 | 检修方便,便于维护;设置管廊工程投资相对较大;对于深度较大的项目,其工程投资会成倍增加,尚无深度>12.0 m 以上管廊项目的案例 |
| 明设方式 | 深度较大且不适于采用传统管廊的水池,水池水深>12.0 m | 便于检修,对管线的美观要求较高;水池有效使用面积损失较大;管线需要采取相应的美化措施,工程投资较大;易形成死水区、滞留区,对水流组织不利,需要设置相应的补偿措施;现阶段尚无相应的产业链供应;专业协调较多,对预埋的要求较高,易影响池体防水体系 |
| 暗埋方式 | 深度较大且不适于采用传统管廊的水池,水池水深>12.0 m | 暗埋管线对产品质量要求高,遵循设计寿命内无检修的设计理念;有利于池水循环效果,与传统管廊形式的循环补水效果基本相同;设置管线垫层的方式可实现难度小;相对明设方式对水池的使用面积影响小 |

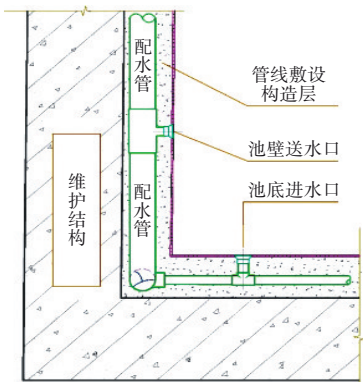


图 1 管线暗埋构造示意

Fig.1 Schematic diagram of buried structure of pipeline

1.3 池水循环

1.3.1 循环方式的选择

深潜池的形状不规则、水池横向截面沿纵向深度逐渐变小、纵向深度梯级变化形成不同标高的池底,以及不同水深形成的主题空间、观光甬道等均对水体的循环造成不利影响,给水口的产品特性、调节能力成为制约循环系统竖向分区的重要影响因素。采用 Eulerian(欧拉)、VOF(Volume of Fluid)等模型的 CFD 技术,从经济性、安全性、流场补水的均匀性、总体的循环效果等方面进行对比分析,建议采用池底配水为主,竖向设置导流给水口的特殊

逆流式循环系统,以有效避免滞水区,保证整体循环效果。

深潜池模型剖面见图2。由于深潜池深度过大,底部的空间较小,仅在底部设置给水口时,不能满足循环水量的需求,故在接近池底的池壁上设置给水口,保证循环的有效性。水流考虑竖向和水平的循环方式,即竖向溢流循环和水平补水、回水的方式,根据水流的实际流线采用竖向循环系统,通过分析回水动能、液体分层、扰动原因等,定性判断其竖向组织的合理性。竖向循环分区选择10~15 m,同时考虑池体形状、循环流量、给水口性能参数。

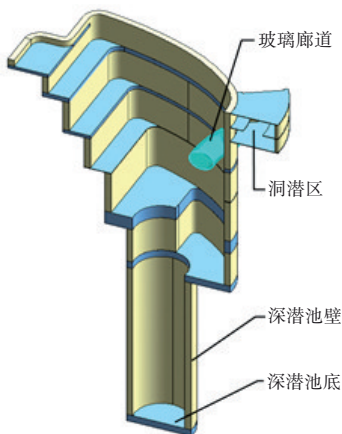


图2 深潜池模型剖面示意图

Fig.2 Schematic diagram of cross section of the deep diving pool model

1.3.2 给水口的设置

池体中给水口选型、流量分配、流速、间距、数量等对循环系统的流线、循环效果具有重要影响,是系统合理性的保障。水池循环系统以给水口的动能为整体涌流的动力,给水口流量、流速设定对涌流效果、流线控制起到主要作用。

对于给水口流量、流速设置参数,建议采用以下步骤确定:①依据池体形状,划定池底给水口对应的竖向服务区;②根据对应竖向服务区的体积、循环周期,计算对应的循环流量;③依据计算的循环流量,确定给水口的数量和布置方式;④不同深度的给水口会明显扩大影响区域,可适当设置附加系数;⑤依据初步给水口的分配效果,进行CFD的静态模拟校核,分析模拟结论,调整给水口位置;⑥依据上部结论重复上述步骤,以达到可满足循环效果的布置方案。其中CFD的模拟过程一般包括:初步方案设定、模型建立、定义模型参数、求解、查看

分析结果、结果判断和分析,依据分析结果对原方案进行调整。

对于给水口布置的建议:同一循环系统宜选用相同规格的给水口;给水口宜选用通用规格,避免定制产品;在水池的竖向底部、池体形状变化所形成的底部均应设置给水口,沿池壁竖向适当设置小规格给水口;在水池最底部、形状变化的区域,给水口间距不宜大于3.0 m,距离池壁不宜大于1.5 m。其中流量初次分配时底部配水的总量占比宜大于80%,应结合流场模拟数据逐步修正。

1.3.3 循环水泵的配置

在初步设置竖向分区后,依据模拟结论分析循环效果,通过多次调整后确定适合的循环系统。

参考游泳池的设计规程,深潜池每组循环处理系统宜设置独立的循环水泵,不宜采用减压阀、流量控制阀,以保证系统的相对可靠性;各循环泵组应靠近均衡水池(箱)布置,采用自灌式吸水方式,并设置在同一专用机房;此外,每台水泵宜设置独立的吸水管。

循环水泵的泵组应多用一备,工作泵不应少于2台,应采用备用泵与工作泵交替运行的方式;泵组并联运行时,应考虑水泵并联后的折减,产品供货时应结合产品特点确定并联后的工况曲线,设计时宜取1.05~1.10的安全系数;循环泵应满足系统过滤器单个反冲洗时所需要的流量和扬程。

1.3.4 循环系统校核

因深潜池体量大,难以通过实验手段获得可靠的数据,故CFD技术成为校核深潜池循环效果的重要手段。通过CFD模拟的线值图、矢量图、等值线图、流线图、云图等方式对计算结果进行表示,表示形式和参数方法可参考《计算流体动力学分析》^[2]。

1.4 池水净化方式

深潜池净水系统的主要特点为循环流量大、使用人数少、污染负荷小、水质要求高、存在滞水区的可能性大等,需根据循环系统的分区、分组设置独立的池水净化处理系统。

深潜池常用净水过滤器的适用范围和特点如表2所示。深潜池的容积是泳池的数倍,具有循环流量大、单位体积服务人数少的特点,建议选择高效、滤速大的过滤器,如石英砂、无烟煤等过滤器。净化系统不应选用重力式过滤器,也不宜选用硅藻土、负压颗粒过滤器。

表2 深潜池常用过滤器的适用范围和特点

Tab.2 Application scope and characteristics of common filters in deep diving pools

| 项目 | 可选滤速/($\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$) | 适用范围和特点 |
|---------|---------------------------------------|--|
| 重力式过滤器 | 10~12 | 第一代过滤技术,设备占地面积大,效率低 |
| 压力式过滤器 | 14~30 | 设备品类多、通用性强,填料材料可选用石英砂、无烟煤、活性炭等;纳污能力强,再生简单,可选范围广,设备占地面积小 |
| 硅藻土过滤器 | 5~10 | 广泛用于食品工业(啤酒、饮料、医药、油脂等)和净水工业(工业用水、游泳池水、造纸和油井废水等),硅藻土助滤剂为食品级粉状产品 |
| 负压颗粒过滤器 | ≤ 20 | 地理型集成产品,特别适合要求低的游泳池和室外水上游乐池等不设机房的场合应用 |

在池水过滤设备的出入口、池体的不同深度、循环效果差的特殊位置,设置水质在线监测智能控制装置,联动控制药剂的投加量,并充分考虑余氯的半衰期、运营时段、停留时间等因素的影响。净化系统应与加热系统协调工作,结合水质污染物的变化,依据监测数据,优选间歇运行方式。

1.5 池水加热参数的选择

水池加热主要包括初次运行时加热和连续运行时加热两种工况,初次加热负荷较大,连续运行时热负荷相对较小。深潜池加热的显著特点为初次加热量热负荷巨大,池体结构设置适当的保温措施后,其对应的热负荷与水池的体积比呈显著的非线性增长趋势,因此应采用间接加热的方式。加热系统应结合热源情况、运营方式、池体结构、材料特点等综合确定。加热设备应配置智能化在线水温监测装置,实现温度控制的功能^[3]。

1.5.1 热源的选择

因初次加热量负荷过大,初次加热的热源可采用多种热源组合形式,各系统协调用热时段,如可协调业主、供热区域服务站利用避峰或低谷时段加热。另外,连续加热的热源应设置独立的加热系统。

热源选择应重视其连续性和不间断供热的需求,应选择可靠的市政热力网、区域锅炉房的高温水、蒸汽或建筑内锅炉房的高温水、蒸汽、空调余热等作热源;有条件时应优先选用太阳能、热泵、工业余热、废热作为主热源或预热热源,当无可靠的配套热源时,可单独设置燃气、电热水机组等来提供热源。

1.5.2 初次加热的热负荷

初次加热时需要的热量包括:初次补水在设定时段升至设定温度需要的热量,加热过程中池壁、管道、蒸发等损失的热量。深潜池的补水热负荷、热损失均较大,其热量需求一般很大,因此加热负

荷的参数不应小于热损失值,应采用大循环小温差的方式,避免温升过快、出口温度过高对池体维护结构造成影响,建议钢筋混凝土池体每小时池水升温不大于0.5℃。

池体初次加热时的持续时间宜采用72~96 h,当水池容积过大时,可根据需求、热源配套等综合情况与运维方确定加热时间。由于初次加热热负荷巨大,应考虑初次加热和补水联合工作的模式,同时应充分利用建筑内的其他加热设备,采用联合工作的方式,设置可靠的转换措施,采取错时开放不同功能区域的策略,提高热源的利用率,缓解初次热负荷和运行负荷不均衡的矛盾,减小非标工况对配套总负荷的影响。

1.5.3 连续运行的加热负荷

为保证深潜池的连续运行,需对池水不断加热,所需的热量包括:池水表面蒸发的热损失,池壁和池底导热热损失,管网热损失,设备的热损失,补充新水加热所需的热量等。其中深潜池地上维护结构和地下维护结构的传热系数计算参数分别见表3和表4。

经计算,地上维护结构的传热系数为0.31 W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$),地下维护结构的传热系数为0.41 W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)。可知,深潜池地上部分连接室内,温差较小,总体对应的单位面积热损失不大。而地下部分传热系数大,且其对应的温差大,为保温的不利位置。通常水深较大时混凝土水池的维护结构厚度常大于500 mm,并设置保温防结露措施,因此在实际工程中其传热系数会更小。

综合池壁和池底的散热,在前期阶段可选用地下部分的不利参数,按25℃温差估算池底、池壁散热量,约为10 W/($\text{m}^2\cdot\text{℃}$)。

连续运行的热损失瞬时动态变化,其参数应对选用的设备设置1.1~1.2倍的安全冗余。每组循环

系统应设置独立的加热系统,每个系统考虑多台设备并联运行,以提高系统的整体安全性。潜水池的容积大,温降缓慢,单位体积热损失较小,宜优选间歇运营方式,结合热源的供给情况错峰加热。

表3 地上维护结构传热系数计算参数

Tab.3 Calculation parameters of the heat transfer coefficient of the above-ground maintenance structure

| 材料名称 | 厚度 δ / mm | 导热系数 λ / ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) | 蓄热系数 S / ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) | 热阻 R / ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) |
|-------|---------------------|--|--|---|
| 水泥砂浆 | 20 | 0.930 | 11.370 | 0.022 |
| 岩棉保温板 | 120 | 0.040 | 0.428 | 3.000 |
| 水泥砂浆 | 20 | 0.930 | 11.370 | 0.022 |
| 钢筋混凝土 | 300 | 1.740 | 17.200 | 0.172 |
| 水泥砂浆 | 20 | 0.930 | 11.370 | 0.022 |

表4 地下维护结构传热系数计算参数

Tab.4 Calculation parameters of the heat transfer coefficient of the underground maintenance structure

| 材料名称 | 厚度/ mm | 导热系数/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) | 蓄热系数 S / ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) | 热阻 R /($\text{m}^2 \cdot$ $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) |
|-------|-----------|---|--|--|
| 钢筋混凝土 | 200 | 1.740 | 17.200 | 0.115 |
| 挤塑聚苯板 | 60 | 0.030 | 0.365 | 2.000 |
| 水泥砂浆 | 20 | 0.930 | 11.370 | 0.022 |
| 钢筋混凝土 | 500 | 1.740 | 17.200 | 0.287 |
| 水泥砂浆 | 20 | 0.930 | 11.370 | 0.022 |

2 结论

依托课题研究、结合调研、CFD模拟的分析,对深潜池的设计提出以下建议:

① 深潜池池水不宜加药模拟海洋水质,原水和池水水质建议不低于泳池对应的水质指标要求。

② 在明设管线无可靠产品集成、无成熟技术的背景下,可选择管线暗埋的方式,遵循同寿命无检修的设计理念。管网总体采用大阻力环状配水形式,管径不宜大于DN200。

③ 采用竖向独立的多循环系统,分区高度不宜大于15 m,整体遵循池底涌流、池壁导流的自然流场,循环系统的底部配水占比不宜小于80%。

④ 每个潜水池均应进行CFD水力流场模拟,以确定可靠的运行参数,避免过多冗余,优先选用间歇式运行方案。采用间歇式运行时,应在波谷电价时运行,循环周期不宜大于波谷电价的持续时间。

⑤ 深潜池宜分区、分组设置独立的池水净化系统,配套选择高效、滤速大的石英砂、无烟煤等过滤器,且净化系统应与加热系统协调工作。

⑥ 对池壁设置必要的保温措施,设置保温材料后的地上部分其单位热损失应略小于埋地池壁的单位传热量,利用温差对水密度的影响,保障循环效果。

⑦ 设计深潜池时,应重视CFD模拟工具的使用,保障效果和适当的冗余,同时系统设计应具备灵活及弹性调节能力,亦应充分考虑维护检修的简便性。在深潜池的实际运维过程中,需结合实际效果,合理选择运行方式和参数设定。

参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部工程质量安全监管司. 全国民用建筑工程设计技术措施-给水排水[M]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
Department of Construction Engineering Quality & Safety Supervision, Ministry of Housing and Urban-Rural Development. National Technical Measures for Design of Civil Construction-Water Supply and Drainage [M]. Beijing: China Planning Press, 2009 (in Chinese).
- [2] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
WANG Fujun. Computational Fluid Dynamics Analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003 (in Chinese).
- [3] 中国建筑建筑设计研究院有限公司. 建筑给水排水设计手册-上册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
China Architectural Design & Research Group Co. Ltd. . Design Manual for Building Water Supply and Drainage (Volume 1)[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018 (in Chinese).

作者简介: 陈文杰(1981-),男,陕西大荔人,本科,正高级工程师,副总工程师,公用注册设备(给水排水)工程师,一级注册消防工程师,主要从事建筑给排水设计与研究工作。

E-mail: 756190936@qq.com

收稿日期: 2024-01-05

修回日期: 2024-05-06

(编辑: 丁彩娟)