

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.02.016

新形势下 I 类地下车库泡沫-水喷淋系统设计分析

苏昶明

(同济大学建筑设计研究院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 伴随着各种消防规范的修订、清洁能源的推广以及新能源汽车的逐渐普及,汽车库内停放汽车的种类越来越多,消防水灭火系统的设计遇到不少新的挑战。以南方某城市的 I 类地下汽车库设计为例,介绍了该项目泡沫-水喷淋系统的几个重要设计参数(泡沫液的选择、喷头类型、动作温度、系统流量)的取值方法;分析新形势下地下车库泡沫-水喷淋系统实际运用中需要注意的现实问题(灭火剂保质期短、系统流量经水力计算后较大),对同一个防火分区,规范规定值与水力计算值差距较大,建议实际项目中加入“电算”环节;比较了不同种类汽车对应的灭火方式,建议谨慎选择泡沫-水喷淋灭火系统。

关键词: I 类地下车库; 泡沫-水喷淋系统; 抗溶性泡沫灭火剂; 灭火剂有效期; 消防工程软件

中图分类号: TU998.1 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2022)02-0087-06

Design and Analysis of Foam-Water Sprinkler System for Level I Underground Garage under New Situation

SU Chang-ming

(Tongji Architectural Design <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: With the revision of various fire codes, promotion of clean energy and gradual popularity of new energy vehicles, more and more kinds of cars parked in the garage, and the design of fire sprinkler system has encountered many new challenges. The selection of several important design parameters (foam concentrate selection, sprinkler type, operating temperature and system flow rate) of a foam-water sprinkler system of a level I underground garage in a southern city was analyzed. The practical problems (such as short shelf life of the fire extinguishing agent and large system flow rate after hydraulic calculation) that should be paid attention to in the practical application of the foam-water sprinkler system of the underground garage under the new situation were analyzed. For the same fire compartment, there is a big gap between the specified value in the code and the hydraulic calculation value, so it is suggested to add “electronic calculation” link in the actual project. After comparing the fire extinguishing methods of different types of vehicles, it is suggested to choose the foam-water sprinkler fire extinguishing system carefully.

Key words: level I underground garage; foam-water sprinkler system; AFFF/AR; expiry date of extinguishing agent; fire engineering software

1 研究背景

随着我国经济建设的中高速发展、城市常住人

口数的持续上升、施工技术能力的不断提高,合理利用地下空间的呼声也越来越高,目前开发建设的

体量越来越大,其中地下空间建设的主要特点是:大、深,相应地,地下室停车的数量及种类也越来越多,根据《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》(GB 50067—2014)中第7.2.3条规定:I类地下、半地下汽车库,I类修车库,停车数大于100辆的室内无车道且无人员停留的机械式汽车库,宜采用泡沫-水喷淋系统。

图1为南方某城市I类地下汽车库的防火分区示意,建筑面积:16 226 m²,停车数量:443辆,笔者以该项目为例,结合新形势下的各种情况,就泡沫-水喷淋系统的设计取值进行分析。

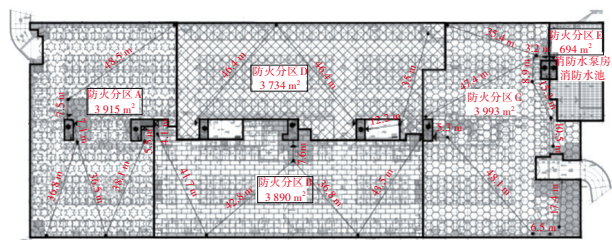


图1 地下汽车库防火分区示意

Fig.1 Schematic diagram of fire compartment in underground garage

2 消防水池储水量的确定

根据《泡沫灭火系统设计规范》(GB 50151—2010,以下简称《泡规》),泡沫混合液连续供给时间不应小于10 min,泡沫混合液与水的连续供给时间之和不应小于60 min,根据初设阶段的消防设计评审专家组意见:地下车库可能配建充电设施区域,车库自动泡沫喷淋系统泡沫混合液与水连续供给时间之和应参照广东省标准《电动汽车充电基础设施建设技术规程》(DBJ/T 15—150—2018,以下简称《广东省标》)第4.9.16条规定:按不小于90 min设计。

表1 无铅汽油储罐液下喷射泡沫灭火试验数据

Tab.1 Test data of foam injection under liquid of unleaded gasoline storage tank

泡沫液类型	混合比/%	发泡倍数	混合液供给强度/ (L·min ⁻¹ ·m ⁻²)	泡沫供给时间/ min	预燃时间/ min	控火时间/ min	灭火时间/ min
AFFF3%	2	2.3~3.2	4.1	30	2.5	2.2	未灭火
3%氟蛋白	4	2.5	4.1	30	2.5	1.7	未灭火
AFFF/ATC6%	3	3.0	4.1	30	2.5	1.3	24.8
氟蛋白	4	2.4~3.3	4.1	30	2.5	2.0	未灭火

乙醇作为极性液体,易溶解于水,一般的泡沫接触到乙醇后会被瓦解,因此难以在乙醇汽油的表面形成能够隔绝氧气的泡沫层,最终无法达到灭火

《广东省标》如此规定,主要考虑到一方面:电动汽车的锂电池引起的火灾本身需较长时间的连续性喷水冷却;另一方面:充电设施区域的汽车库的楼板的耐火等级按90 min考虑,超过这个时间后,管道有可能因为楼板顶受损而被破坏。所以,消防水池储水量以火灾持续时间90 min设计。

3 泡沫灭火剂的选择

泡沫-水喷淋系统的泡沫灭火剂采用的是低倍数泡沫灭火剂(发泡倍数低于20倍)。常见的低倍数泡沫灭火剂有蛋白泡沫灭火剂、氟蛋白泡沫灭火剂、成膜氟蛋白泡沫灭火剂、水成膜泡沫灭火剂以及抗溶性泡沫灭火剂。

对于汽油、柴油等液体火灾(非水溶性),可选用水成膜泡沫灭火剂,包括:氟化物泡沫灭火剂AFFF(Aqueous Film Forming Foam),研究显示,AFFF灭火的机理主要是:泡沫灭火剂与水混合后形成均匀、稳定的泡沫层可以隔绝空气,泡沫中的水分可以降低油类的温度,同时在泡沫层以下形成一层密封、快速扩散的水成层薄膜^[1],此水成层薄膜迅速在燃烧油面扩散并密封空气,从而隔绝、防止受热油类产生易燃气化产物。

目前,我国汽车燃油主要使用的是无铅汽油,根据1980年美国3M公司高级车用无铅汽油储罐液下喷射泡沫灭火试验的数据(见表1),泡沫对无铅汽油的灭火难度比加铅汽油大得多^[2],选择的泡沫液类型是否有针对性将直接影响到灭火的成功率,此外,还需要注意的是:我国目前正着力推进清洁型能源的使用,在汽车燃料方面,山西已进行试点,积极稳妥地推广使用车用乙醇汽油(油醇混合燃料),上海也已于2019年第四季度开始推广,12月31日实现上海市全覆盖。

乙醇“瓦解泡沫”的能力导致使用常规蛋白泡沫灭火剂扑救乙醇汽油火灾的效果不理想^[3]。因此,在汽油中添加醚、醇等含氧添加剂的车用燃

料,如果其含氧添加剂体积分数大于10%,则应该选择抗溶水成膜泡沫灭火剂(AFFF/AR),抗溶水成膜泡沫灭火剂由碳、氢表面活性剂,氟、碳表面活性剂等多种物质组成。在扑灭火灾(水溶性液体)时,该类灭火剂能够在燃液表面上形成一层高分子胶膜,保护上方泡沫免受水溶性液体的脱水而破坏,从而实现灭火。同时,该灭火剂具有稳定性良好、无毒、无腐蚀性的特点,如溅入眼睛或皮肤上,可用清水清洗,安全可靠。高。

不过,汽车库火灾在选用6%抗溶性泡沫灭火剂(AFFF/AR)的同时需要注意的是:该类灭火剂存在“保质期”较短的现实问题,相关灭火剂说明书显示,6%抗溶性泡沫灭火剂(AFFF/AR)原液应在低于45℃,高于其最低使用温度(-5℃)环境中存放。产品在上述环境中密封储存有效期为二年,二年后至八年这段时间可作为非抗溶性水成膜泡沫灭火剂使用。

因此,泡沫-水喷淋系统的灭火剂维护、保养及更新的问题是无法回避的,这将增加后期运营成本

(每两年更新一次抗溶性泡沫灭火剂),该问题在住宅项目中尤其突出,因为更新灭火剂势必动用物业维修基金,容易引起小业主们的反感情绪;另外,根据笔者与多家物业管理企业(均拥有一级资质)的主管人员交流、沟通,了解到水喷淋系统在后期维护保养中,若要达到相关消防要求,需要很大的人力、物力,目前能够按要求进行维护保养的项目在存量项目中比例并不高,而一级资质的物业管理企业往往选择的标的都是大型高端项目,普通项目的物业维护情况是不容乐观的,若水喷淋再叠加泡沫系统后,对物业维护的要求更高,管理不力会造成泡沫罐处于“闲置”状态,整套系统仍是普通水喷淋系统,无法达到设计预期。

4 泡沫液贮罐的位置及比例混合器的参数

根据《泡规》第7.3.9条第4款:泡沫-水湿式系统管道充水时,在8 L/s的流量下,系统从启动到喷泡沫的时间不应大于2 min。可得出,泡沫比例混合器后的管道总容积为 $8 \times 2 \times 60 = 960$ L。表2为焊接钢管每米容积。

表2 焊接钢管的每米容积

Tab.2 Volume per meter of welded steel pipe

公称直径/mm	25	32	40	50	70	80	100	150	200
计算内径/mm	26.00	34.75	40.00	52.00	67.00	79.50	105.00	155.00	198.00
容积/(L·m ⁻¹)	0.53	0.95	1.26	2.12	3.53	4.96	8.66	18.87	31.42

由表2可知,当管径为DN150时,每米水容积为18.87 L,是管径为DN100时水容积(8.66 L)的两倍有余,因此,控制住DN150主管长度,对于将系统控制在不大于2 min是至关重要的。一般情况下,车库防火分区的面积控制在4 000 m²以下,设计可将其按2~4个小区进行切割,在小区交界居中处,设置泡沫液贮罐及比例混合器,具体位置如图2所示。

图2的布置方式是最佳选择,同时也是理想化选择,实际工程中,客观建筑功能很难满足在防火分区的中心位置设置放有泡沫液贮罐的报警阀室,以本项目为例:地下汽车库分为5个防火分区,面积分别为3 915、3 890、3 993、3 734、694 m²,考虑到停车位数量的最大化,建筑师不同意在防火分区正中心设置报警阀室,经过详细交流,建筑师了解到报警阀室位置对于建筑本身功能的有利影响后,同意在每个防火分区设置一处报警阀室,具体位置

见图3。

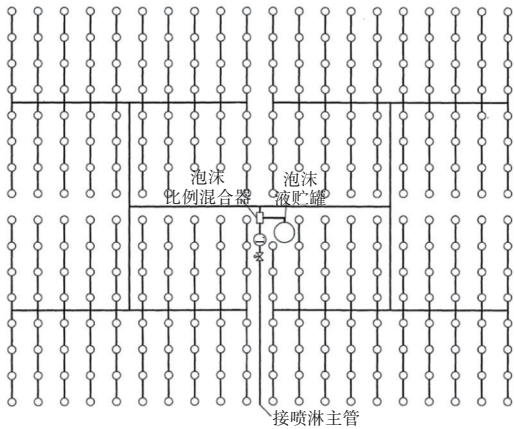


图2 泡沫液贮罐位置

Fig.2 Location of foam concentrate storage tank

结合火灾实际进程及消防设施的启动过程,笔者认为泡沫比例混合器的参数选择需要兼顾系统小流量时的情况,因为火灾初期喷头爆破数量少、系统流量小,泡沫的需求量不大,为了提高泡沫喷

射的精准度,笔者认为可以选择流量范围为5~40 L/s、直径为100 mm、混合比为6%的泡沫比例混合器2个,并联布置为双台组合式装置来代替流量范围为24~80 L/s的泡沫比例混合器,设置于防火分区泡沫-水喷淋入口处。

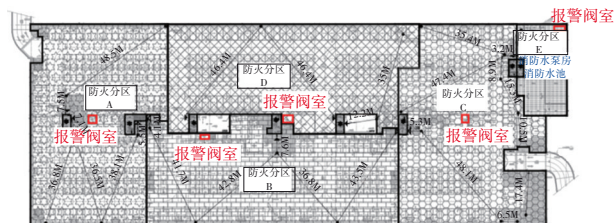


图3 泡沫液贮罐所在报警阀室的位置

Fig.3 Location of the foam concentrate storage tank in the alarm valve chamber

5 喷头类型、动作温度

泡沫-水喷淋系统根据《泡规》要求使用闭式洒水喷头。

根据《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2017)中的6.1.2条:闭式系统的洒水喷头,其公称动作温度宜高于环境最高温度30℃。而根据《泡规》7.3.7条:当喷头设置在屋顶时,其公称动作温度应为121~149℃;当喷头设置在保护场所的中间层面时,其公称动作温度应为57~79℃。根据条文说明:“中间层面”指的是距离顶棚比较远的位置,若喷头安装在距离顶棚较远的某一层货架内,由于存在货物的阻挡情况,顶棚的喷头很有可能无法完全覆盖该位置。喷头安装于中间层面时,一般需设置集热挡水板,以利于喷头周围集热及免受顶棚喷头喷洒的影响,因为油品火灾的热释放速率比较高,其烟气温度也会比一般火灾高,安装于顶棚的喷头周围容易聚集热量。

笔者认为在实际项目中,考虑到车库中油品、电动车火灾的热释放速率相对较高,烟气的温度也比普通火灾高,地下车库顶板喷头的公称动作温度可采用141℃,这样可以使作用面积以外的喷头不会被动爆破,若设有机械车位,停车架内的中间部位可采用侧喷68℃喷头,根据客观环境所需判断是否配置边墙型集热罩。

6 系统流量、管道布置及水力损失

按《泡规》相关条文计算,作用面积:465 m²,泡沫供给强度:6.5 L/(min·m²),鉴于地下车库存在网格栅吊顶的情况不典型,按无吊顶考虑,计算可得:

系统设计流量为50 L/s,此为根据规范最低要求的理论计算值,若汽车库内设有机械车位并采用普通水喷淋时,水喷淋流量一般按照顶板喷淋流量叠加车架内置喷头流量的方式。两层机械车位时,车架内置喷头数量按4~8个喷头计算,喷淋流量为43.03 L/s(以8个计),三层机械车位时车架内置喷头数量按8~14个喷头计算^[4],喷淋流量为54.53 L/s(以14个计)。若采用泡沫-水喷淋系统,根据单层车位计算原则进行推导:两层机械车位时车架内置喷头数量按8个计,喷淋流量为81.3 L/s,三层机械车位时车架内置喷头数量按14个计,喷淋流量为92.8 L/s。

以本项目为例,根据理论计算系统流量:66 L/s(本项目有局部网格栅吊顶,位于庭院通往车库的入口处),地下车库长边约215 m,短边约85 m,根据图4消防给水管道的布置方式以及室内外输配水管道水力计算公式:

$$i = 2.9660 \times 10^{-7} \left(\frac{q^{1.852}}{C^{1.852} \times d_i^{4.87}} \right) \quad (1)$$

消防水泵房喷淋泵后至地下车库最不利防火分区报警阀室处管道为DN200环状管网,以最不利点计算,管道某处损坏检修时,管道最长时约256 m,以 $d_i=198$ mm计,流速为2.14 m/s,该段管道水力损失为6.68 m。

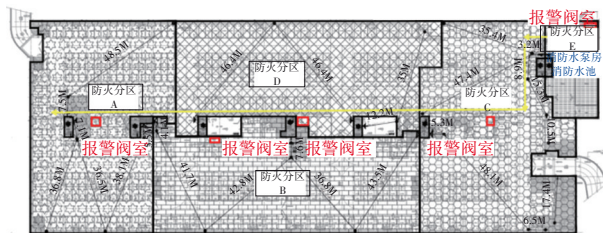


图4 报警阀前消防供水管道布置

Fig.4 Fire water supply pipeline layout before alarm valve

需要特别强调的是:理论计算值仅为理想条件下的简化计算值,实际项目中,喷头按理想条件布置的可能性几乎没有,必然会出现实际水损值大于甚至远大于理想水损值的情况,为保证《泡规》要求的供给强度,势必需要配置比理论计算值更大的流量、更高的扬程。然而,设计项目难以通过实体火灾试验平台来得到准确的泡沫系统设计参数,通常以规范条文作为依据进行相关计算,以本项目为例,根据《泡规》计算所得的系统设计流量:66 L/s,泡沫混合液量:39 600 L,泡沫液量:2 376 L。

笔者认为按规范条文计算所得设计参数可以理解为最低标准,而实体火灾试验平台结果可被视为最高标准时,在这个区间内,设计人员应当使用水力计算确定系统流量,从而配置消防水池储水量、消防水泵流量参数、消防供水管道管径等设计内容。

以本项目为例,为避免繁琐的手工计算出现错误,采用“电算”方式,以图 5 为计算平面用图。



图 5 地下车库泡沫-水喷淋布置

Fig.5 Foam-water sprinkler system layout in underground garage

笔者选择符合国标 GB、美国 NFPA、欧洲 EN、国际 ISO 等标准要求的《兆龙消防工程 CAD》,管材选用热浸镀锌钢管,报警阀前管道采用环状供水,作用面积内喷头总数:65 个,进行计算。相关喷头、管段节点示意图 6。

因全部计算结果形成的表格较长,仅罗列部分计算结果,详见表 3~5。

根据“电算”可知入水口工况:流量 80.32 L/s,压力 39.62 m,最不利点压力 50.68 kPa。作用面积内喷头的平均喷水强度 10.36 L/(min·m²),泡沫输送时间 8.7 s,泡沫混合液总量 48 189.87 L,总用水量 46 744.17 L。

可见理想计算值与“电算”值有较大的差距,其实不同的作用面积形状、不同的喷头布置间距、不同的泡沫液贮罐位置,均会对“电算”结果产生影响,即使是采取繁琐的手工计算方式,也会得到不同的计算结果,究其原因在于:实际水力计算对象与理想计算模型是有差异的,所以,泡沫-水喷淋系统的设计参数应当通过水力计算确定。

本项目最终系统流量取值 80.32 L/s,消防水泵房喷淋给水泵后至地下车库最不利防火分区报警阀室所在处的管道为 DN250 环状管网,以最不利点计算,管道某处损坏检修时,管道最长时约 256 m,以 $d_i=252$ mm 计,流速为 1.60 m/s,该段管道水力损失为 2.95 m。

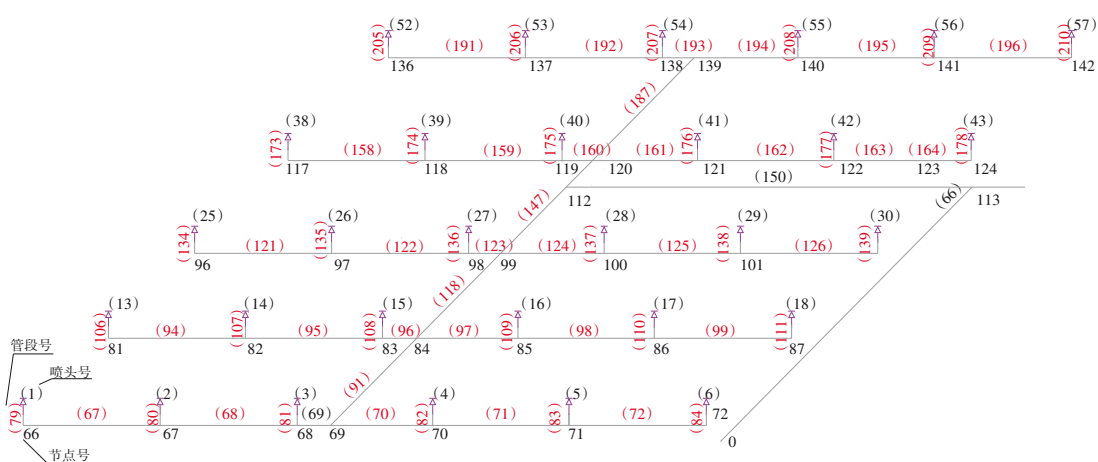


图 6 计算区域内喷头、管段节点示意

Fig.6 Schematic diagram of sprinkler and pipe node in calculation area

考虑到本项目除地下车库外,其余场所喷淋系统最大设计流量为 30 L/s,兼顾设备参数合理、采购便利、水泵减振降噪等多方面因素,选用喷淋泵 3 台

(2 用 1 备)。

喷淋泵参数:单台流量 40 L/s、扬程 740 kPa、功率 55 kW。

表3 计算区域465 m²内最大、最小流速Tab.3 The maximum and minimum flow velocities in the 465 m² area

管段号	最大流速/ (m·s ⁻¹)	管段号	最小流速/ (m·s ⁻¹)
150	6.19	72	1.62
151	5.46	67	1.66
152	5.09	79	1.66
66	4.26	83	1.69
155	4.05	196	1.69

表4 计算区域465 m²入水口工况Tab.4 Working conditions of water inlet in 465 m² area

压力/m	流量/(L·s ⁻¹)
39.26	80.32

表5 计算区域465 m²内重点项目检查结果Tab.5 Inspection results of key items in 465 m² area

最不利点喷头号	6
最不利点压力/kPa	50.68
作用面积内喷头的平均喷水强度/(L·min ⁻¹ ·m ⁻²)	10.36
泡沫输送时间/s	8.7
流量裕度系数	1
泡沫混合液总量/L	48 189.87
总用水量/L	46 744.17

7 结论与讨论

在Ⅰ类地下车库设计过程中,设计人员应当积极沟通、谨慎选择泡沫-水喷淋系统,若项目所在地有明确的设置要求,应当在设计过程中进行水力计算,并通过报警阀室的位置变化、喷头间距的调整、控制大管径的长度等方式,进行多轮比较,优化系统布置并获得合适的设计参数,同时在设计文件中明确灭火剂的具体信息,在交底时强调后期维护保养时注意更新灭火剂。

笔者认为,作为灭火剂之一,水用于Ⅰ类地下车库应该是有争议的,那么是否可以只设置水喷淋系统,但将报警阀室分散布置于各个防火分区内,并在报警阀前设置独立、专用的泡沫水泵接合器,供城市消防救援力量(消防泡沫车)使用?这样做的优势是优化了水喷淋管网布置,预留了水喷淋系统在外部救援力量的介入下转换为泡沫-水喷淋的余地,但需要注意的是,预留水泵接合器管道的

管径应满足火灾扑救时的系统流量的需求,需要思考的是:布置于室外的水泵接合器与地下车库防火分区的对应关系如何在水泵接合器铭牌上表达?或者说如何让消防战士得知应往哪个水泵接合器内泵入灭火剂?

车库消防设施的一些疑问仍待有识之士及技术革新来解答,也期待出现新的系统形式,在满足安全可靠性的前提下,兼顾适用合理性与技术经济性。

参考文献:

- [1] 郑和,杨利剑,齐文明. 复式车库闭式水成膜泡沫喷淋灭火系统设计[J]. 中国给水排水, 2000, 16(4): 37-38.
ZHENG He, YANG Lijian, QI Wenming. Design of fire control sprinkler system with aqueous film forming foam in multilevel garages [J]. China Water & Wastewater, 2000, 16(4): 37-38(in Chinese).
- [2] 秘义行. 论非水溶性液体固定顶储罐泡沫混合液供给强度与供给时间[J]. 消防科学与技术, 2002, 21(3): 41-43.
BI Yixing. Discussion on the foam solution supply intensity and duration of non-water soluble fixed roof tank [J]. Fire Science and Technology, 2002, 21(3): 41-43(in Chinese).
- [3] 王克辉. 具有深远意义的革命——多功能环保泡沫灭火剂诞生记[J]. 消防技术与产品信息, 2007(9): 81-83.
WANG Kehui. A revolution of far-reaching significance—the birth of multifunctional environmental protection foam extinguishing agent [J]. Fire Technique and Products Information, 2007(9): 81-83(in Chinese).
- [4] 姜文源,黄晓家. 自动喷水灭火系统设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
JIANG Wenyuan, HUANG Xiaojia. Automatic Sprinkler System Design Manual [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002(in Chinese).

作者简介: 苏昶明(1984—),男,上海人,硕士,高级工程师,主要研究方向为建筑给排水。

E-mail: 23scm@tjadri.com

收稿日期: 2021-02-04

修回日期: 2021-04-09

(编辑: 孔红春)