

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2024.04.002

基于海绵城市理念的市政给排水设计

孟凡喜

(中铁十八局集团 第一工程有限公司, 河北 保定 072750)

摘要: 若市政给水引入点的管道位置分布混乱, 会导致市政给排水流量受限, 增加由于暴雨等极端天气事件或其他突发情况造成的城市损失。因此, 基于海绵城市理念, 优化市政给排水工程。根据给水引入点排布市政管道位置, 计算市政给水余压供水区间, 在区间范围内确定了市政排水管出户标高, 根据市政排水管出户标高, 确定了喷头流量总和与管道作用面积之间的关系, 设计了平均配水量配水支管, 折算每段配水支管的流量, 计算了配水支管间的流量系数, 以此完成市政排水设计。分割项目工程系统管道内的机械样板空间, 参照管线完成水平管道施工。结果分析表明: 同等效段内, 基于海绵城市理念的市政给排水加压设备耐久度更高, 管道排水流量较大, 海绵城市理念与市政给排水设计过程的融合效果得到保证。

关键词: 海绵城市理念; 市政道路; 给排水设计; 流量系数; 基础设施

中图分类号: TU991; TU992 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9833(2024)04-0007-06

引文格式: 孟凡喜. 基于海绵城市理念的市政给排水设计 [J]. 湖南工业大学学报, 2024, 38(4): 7-12.

Research on Municipal Water Supply and Drainage Design Based on Sponge City Concept

MENG Fanxi

(First Engineering Co., Ltd., China Railway 18th Bureau Group, Baoding Hebei 072750, China)

Abstract: Due to the fact that a disorderly pipeline location at the municipal water supply inlets leads to the restriction of municipal water supply and drainage flow, as well as an increase of the urban losses brought about by such extreme weather events as rainstorm or other emergencies, it is therefore advisable to optimize municipal water supply and drainage engineering based on sponge city concept. According to the layout of municipal pipelines at the water supply inlet points, the residual pressure water supply interval of municipal water supply can be calculated, with the outlet elevation of municipal drainage pipes determined within the interval range. The relationship between the total flow rate of nozzles and the area of pipeline action can be determined on the basis of the outlet elevation of municipal drainage pipes. With the average water distribution branch pipe designed, the flow rate of each section of the water distribution branch pipe can be converted, followed by a calculation of the flow coefficient between the distribution branch pipes so as to complete the municipal drainage design. Meanwhile, the mechanical template space is to be divided inside the project engineering system pipeline, with the horizontal pipeline construction completed according to the pipeline. The result analysis shows that within the same efficiency range, the municipal water supply and drainage pressurization equipment based on the sponge city concept are characterized with a higher durability and a larger pipeline drainage flow, thus guaranteeing the integration effect of the sponge city concept with the municipal water supply and drainage design process.

收稿日期: 2023-03-10

作者简介: 孟凡喜, 男, 中铁十八局集团工程师, 主要研究方向为现场施工技术, E-mail: ye7iabxcxpcf@yeah.net

Keywords: sponge city concept; municipal road; water supply and drainage design; discharge coefficient; infrastructure

在气候异常、地质灾害、城市建设施工等突发情况下,城市排水系统可以发挥至关重要的作用。在排水系统完善的城市中,排水系统可以排除暴雨过后的浸润水和降雨径流,使城市正常运转;而在排水系统不完善的城市中,暴雨可能会造成街道积水,导致城市公共设施损坏、交通中断和财产损失。因此,有必要对城市给排水进行设计和研究。文献[1]基于现阶段城市给排水设计,并根据施工问题,针对性地设计排水设施,与绿色建筑结合,设计城市排水施工方案,实现了绿色给排水设计,但该给排水设计方案供水区间较大。文献[2]通过布置高质量给排水管道,并设计供水分区分压的设施方案,提高建筑的排水能力,但缺少对高层建筑水泵转速的调节。文献[3]根据给排水方案规划施工进度,计算积水量在排水系统中的分布情况,从而提高给排水分配协调性,但是缺少对排水最终处理设施的配置。

本文选定建筑给水引入点,根据建筑给水引入点的位置确定给水余压供水区间,并对给排水供水区间进行限制,从而调节高层建筑水泵转速过快的问题;为了缓解水资源短缺和城市内涝问题,融合海绵城市建设理念,利用雨水资源平衡城市水资源的供给关系,提高城市给排水系统的稳定性和供水效率,并按照给水余压供水区间的管道位置分布,配置排水协调处理设施,据此建立市政排水管网。

1 设计方案

1.1 布置海绵城市市政给水引入点

海绵城市理念是指在下雨时吸水、蓄水、渗水、净水,需要时将蓄存的水释放并加以利用,实现雨水在城市中自由迁移,为了匹配海绵城市的给排水方案,需要确定海绵城市市政给水的引入点。根据当地环境的年度降水量,设计给水引入点的位置,并根据给水引入点的位置确定余压供水区间^[4]。

据此设计如下环境雨水强度的计算公式:

$$q = \frac{3618.427(1+0.438 \lg p)}{(t+11.259)^{0.750}}, \quad (1)$$

式中: p 为环境内最高降水量峰值; t 为测量得到的环境内降水实际历时。

降水历时通常取 5, 10, 15, 20 min 进行测量计算,结合海绵城市当地环境的整体降水情况,选取最短降

水历时,将该参数代入式(1)中,即可获得设计环境降水强度预定值,计算结果为 $6.73 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{hm}^2)$ 。

判断降水强度是否小于预定值 $6.73 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{hm}^2)$ 。当出现降水强度小于预定值时,则就近设计市政雨水接口井基础设施^[5];当降水强度不小于预定值时,计算室外绿化带的雨水收集面积,避免市政雨水管网溢流产生弃流。因此,需要设置非传统水源的给水引入点^[6]。

首先,通过室外绿化带区和沉砂池进行雨水收集,通过初期雨水收集池进行过滤消毒,再引入回用池进行补水。

根据式(1)计算结果,判断当地属于小型集雨区。因此,为避免市政雨水管网外溢,根据小型集雨区划分原则,在集雨面积为 100 km^2 的地方设置引水点,排水管网采用上下供水方式,管网供水管件处压力控制在 0.35 MPa 以下,采用 $1.2\sim 1.8 \text{ m}$ 的干管,测量绿化加压供水用水量,不锈钢水池采用涂塑钢管连接地面沟槽,如图 1 所示。

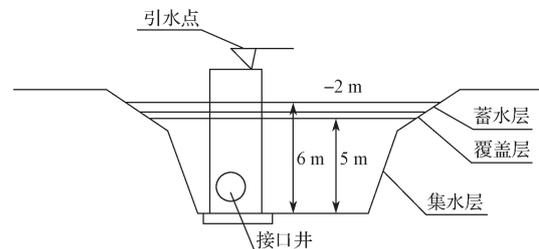


图 1 海绵城市市政给水引入点布置示意图

Fig. 1 Layout diagram of the municipal water supply points of sponge cities

按照图 1 中给水引入点,布置 U-PVC 塑料排水管道,并将引水点连接接口井,预留 1 m 左右的蓄水空间^[7]。保证集水区距离蓄水层最低不低于 5 m,将收集的雨水经天沟立管排至雨水检查井中^[8]。将处理过后的雨水存储在室外地下清水池中^[9]。

利用给水引入点的位置,考虑给水引入点的给水压力,分离给水加压的区间,并分别针对分区计算市政给水余压供水区间。

1.2 计算市政给水余压供水区间

利用市政给水引入点的管道位置分布,对市政给水余压供水区间进行设计,先计算引入点管道流量压力,公式如下:

$$q_g = 0.347\sqrt{S_0 N_g}, \quad (2)$$

式中: N_g 为给水管段当量数; q_g 为引入点管道秒流量; S_0 为引入点管道的平均日用水量。

分析引入点管道流量压力在供水下落的流动方向, 为了使水膜流运行在排水立管管径内, 需要根据排水立管的管径确定最大排水流量范围^[10]。并对排水管内的流量 v_i 进行计算, 公式如下:

$$v_i = 4.4 \left(\frac{1}{K_p} \right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{q_g}{d_j} \right)^{\frac{2}{5}}, \quad (3)$$

式中: K_p 为排水管壁粗糙高度; d_j 为选定的排水管道管径大小。

根据排水管内的流量计算排水管的给水速率 Q , 公式如下:

$$Q = \frac{1.46[e_i(d_j - e_i)]^{3/5}}{d_j^{2/3}}, \quad (4)$$

式中 e_i 为排水管内终限流速的水膜厚度。

则流量在排水立管中的给水速率, 应小于立管的最大排水量^[11]。并将通气立管的每层连接到横支管之间, 将横支管的配件延伸到顶通气管径中^[12]。利用环形通气管连接单立管内部的内螺旋管和旋流器, 设定排水立管的管径 L 的取值范围为 $[0.8, 5.7]$ 。据此, 对排水管道采用的圆管内的横向均匀流速进行计算, 公式如下:

$$v = \frac{1}{n} Q^{2/3} I^{1/2} v_i, \quad (5)$$

式中: n 为圆管内壁在排水管道中的粗糙系数, 其取值范围为 $[0, 0.009]$; I 为排水管道的水力坡度。

根据排水管道的均匀流速, 将得到的管段承接的秒流量对排水管道水力承接部分计算^[13], 公式如下:

$$H_q = \frac{a_f H_m v^2}{1 - H_f}, \quad (6)$$

式中: H_m 为排水管道内充实水柱长度; H_f 为排水管道的垂直射流高度; a_f 为管道内的流量系数。

由于排水管道内的垂直射流高度受水力承接影响, 因此根据水力承接计算排水泵口的实际流量^[14]。稳定泵压需要计算蓄水箱高度 h_d 的区间范围, 计算公式如下:

$$h_d = A_x L_d q_{xh}^2, \quad (7)$$

式中: A_x 为给水管内的水龙带比阻; L_d 为给水管的水龙带长度; q_{xh} 为给水管内的水枪实际喷射流量。

利用蓄水箱的高度区间范围, 确定稳定泵压所需要预留的市政给水余压供水区间^[15], 计算公式如下:

$$F = k \sqrt{10 h_d}, h_d > 1, \quad (8)$$

式中: k 为市政给水压力系数, 根据预留市政给水余压供水区间对市政给排水管的出户标高进行确定。

确定排水管道向四周辐射状延伸的配置规律, 并根据作用面积构建配水支管^[16]。根据管道的布置位置建立市政排水管网。

1.3 确定市政排水管出户标高

根据市政给水余压供水区间, 确定市政给排水管的出户量均水压^[17]。计算引入点处作用面积的喷头流量总和, 公式如下:

$$Q_s = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^n q_i, \quad (9)$$

式中: q_i 为引入点作用面积内喷节点的流速单位; n 为引入点处作用面积内的喷头最大数。

根据喷头流量总和, 设计其与作用面积乘积的关系表达式, 公式如下:

$$Q_L = \frac{q_p F}{60}, \quad (10)$$

式中: F 为最大引入点作用面积; q_p 为引入点喷头处的出水压力; Q_L 为引入点系统计算流量。

由此对市政排水管内的水头损失进行计算, 公式如下:

$$h_L = 0.000\ 010\ 7 \frac{v^2}{d_i Q_L} l, \quad (11)$$

式中: d_i 为市政排水管内的管道内径; l 为市政排水管道管长; h_L 为单位 MPa 的排水管内损失水头。

在管道延程内计算给排水水泵扬程累计值, 并在局部水头损失内, 计算引入点的喷头工作压力^[18], 公式如下:

$$H = \sum h_L + Z, \quad (12)$$

式中: $\sum h_L$ 为市政给排水管内的水头损失累计值; Z 为所设引入点与蓄水池最低水位的中心线的高程差 (MPa)。

根据市政排水管引入点的喷头工作压力对市政排水管出户标高进行计算, 得到如下公式:

$$h = \frac{10 A_x L_d Q_L^2}{H^3 - 1}. \quad (13)$$

利用市政排水管出户标高, 设计配水支管的平均配水量, 将构筑物内的管道水力简化为流量修正指数, 并通过简化系数建立市政排水管网。

1.4 建立市政排水管网

根据市政排水管出户标高, 计算市政给排水管中配水支管的平均配水量 S , 公式如下:

$$S = \frac{q \sqrt{10(P + h_L + Z)}}{h}, \quad (14)$$

式中 P 为引入点第一支喷头的工作压力。

由此对平均配水量的配水支管进行设计,如图2所示。

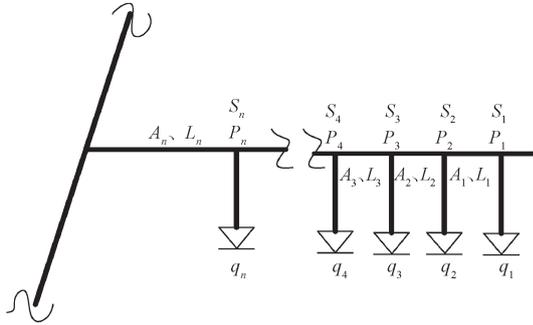


图2 平均配水量的配水支管设计示意图

Fig. 2 Design diagram of distribution branch pipes for average water distribution

分析图2中每段喷头支管的折算流量,公式如下:

$$q_2 = S_2 \sqrt{10P_2} = S_2 \sqrt{10(P_1 + A_1 L_1)} = S_2 \sqrt{\frac{1}{S_1} + 10A_1 L_1} \quad (15)$$

式中: S_i 、 P_i 、 A_i 、 L_i 分别为对应配水支管 i 上管段面积、接头、压力管径和管段长度。

按照顺序计算配水支管上的折算流量,得到喷头支管的折算流量之和^[19]。利用折算流量的大小计算配水支管与配水主管之间的节点值,公式如下:

$$w = \sum_{i=1}^n q_i = q_1 + A_1 L_1 q_1^2 + A_2 L_2 (q_1 + q_2)^2 + \dots + A_n L_n (q_1 + q_2 + \dots + q_n)^2 \quad (16)$$

利用配水支管与配水主管之间的节点值,计算市政排水管网的分布管段,公式如下:

$$W = \beta w^2, \quad (17)$$

式中 β 为对应配水主管与配水支管间的流量系数。

根据市政排水管网的分布管段,统计施工区域内各市政排水管网区域管段的管径要求,在计算图纸上标注选定的管径管段^[20]。按照配水支管的计量要求对各管段流量设置连接节点,根据引入点的配水支管作用面积设置排水管。

2 工程分析

通过实际施工,验证基于海绵城市理念市政给排水设计方案的实用性,并针对给排水效果进行说明。

2.1 工程概况

施工地点位于某城市市政中心办公楼,该施工地点建设用地面积为 41 624 m²,规划容积率在 2.2 以上,该施工地点的建筑密度在 28% 以下,按照相关规范测算该建设绿化带,占该建设用地面积的 30%。且

该片建设物周围有高层住宅和配套公建,有地下车库,在市政自来水厂周围设计供给给水点,利用排水管网调内设计引水区间。

2.2 施工过程

选择某城市中心市政中心办公楼工程,将项目工程系统管道内的机械样板空间分割设置,并按照给排水管道类型进行编号,如图3所示。

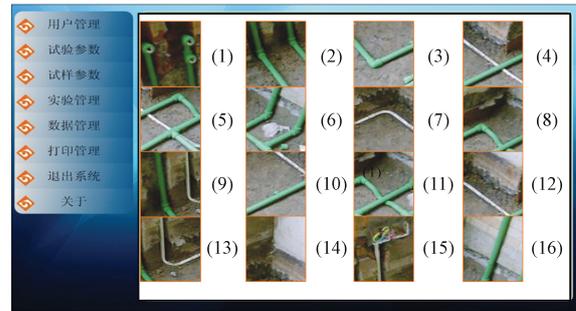


图3 给排水管道类型

Fig. 3 Drainage pipe types

根据排水管道类型对市政排水管网中的管线分布顺序进行标注,并对应标注部分管线,如图4所示。

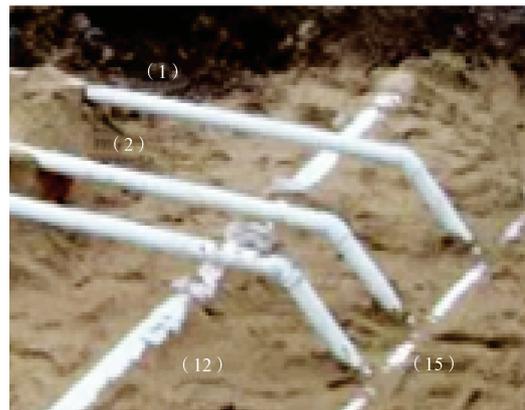


图4 绘制并标注部分管网

Fig. 4 Drawing section of the annotated pipe network

判断图4中标注部分管网中的管线,并结合建筑预期的布置形式要求,局部调整管线布置结构。并在保证空间内管线避让压力相同的情况下,对管线避让的优先原则进行设定。针对管径较小且造价便宜的管线避让标注部分管网,标注管线(1)为通风管道,其需要一定的安装坡度,因此(2)号排水管线应当避让。(12)号管线为电桥管线,因此(15)号给水管道应当避让。根据标注管径中的管道类型选择排水管道结构梁柱,并对排水专业风管间的碰撞局部剖面结构进行调整,将紧贴风管外部的水平管道位置调整向下。区域排水由图中(2)号排水管线汇集后排出市政排水管网,因此要考虑到排水坡度,通过立管加压排除洼地废水。并将需要平移的水平管道在绘图区域内选择需要参照的管线结构,根据参照

管线完成水平管道平移,至此完成施工。

2.3 结果分析

根据市政给排水管网施工,得到给排水部分管道如图5所示。



图5 给排水部分施工管道

Fig. 5 Construction pipelines for the water supply and drainage

图5中排水管道环状管间距为1.5 m,通风立管长0.7 m,符合循环通风充足水柱到达规定,布置的环状管网可满足市政直接供水,且管道设计空间较大,能够承受紧急储水构件的压力。同等段内加压设备耐久度更高,管道排水流量较大,水泵满足低能耗需求,在同等加压设备的作用下,其转速更低。

排水管道的局部排放处理环管选择了U-PVC双壁波纹管,管道材料具有较好的耐腐蚀性,且排水外管外镀有锌层,在易清通的同时也便于与主体构筑物分离,管道蓄水能力优秀。

管道排布施工间距如图6所示。



图6 管道排布施工间距

Fig. 6 Pipeline layout with its construction spacing

管道排布施工间距为0.5 m,管道周围覆盖砂土,保证管道排水的畅通性,避免管道排水水质受吸收效果影响,在保证吸收效果的同时提升排水量,固定的管道排布施工间距形成线性排水沟,统计8组管道排布施工的排水量,如图7所示。图7中,前4组为未进行施工排布的管道排水量,后4组为施工排布后的管道排水量,由图7可知,基于海绵城市理念的市政

给排水设计管道排布施工排水量最高可达 $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$,未进行施工排布的管道排水量最高为 $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。在固定的排水管道间距控制下,使得排水地表径流的排出不受坡度影响,有效提升了排水管道的排水效率。

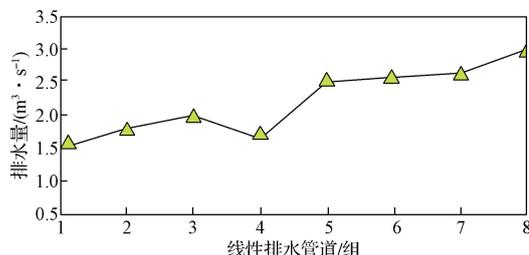


图7 管道排布施工的排水量

Fig. 7 Discharge capacity of pipeline layout construction

3 结论

1) 确定了喷头流量总和与管道作用面积之间的关系,计算给排水水泵扬程累计值,在空间内管线避让压力相同的情况下,对管线避让的优先原则进行设定,保证管道设计空间较大,排水管道环状管间距为1.5 m,能够承受紧急储水构件的压力,使其耐久度更高,管道排水流量较大,水泵满足低能耗需求。因此,所提设计和优化方案可以保证城市排水管网的正常运行和排水功能,并且在应对突发情况时具备更高的响应能力和稳定性。

2) 构建市政排水管网,针对管道排布施工间距进行设计,形成独立的线性排水沟,管道排布施工排水量最高可达 $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$,未进行施工排布的管道排水量最高为 $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。不仅增加城市排水的处理能力,还能够在极端天气等应急情况下,快速排放积水,确保城市的安全和畅通。

3) 今后应研究给排水系统的节水技术。通过控制水泵的变频范围,分析局部断面结构的影响,使排水条件保持在高效区,控制节水标准,保证节水性能。

参考文献:

- [1] 鲁言言. 现代绿色建筑给排水设计施工中节能环保新技术的应用分析[J]. 安徽建筑, 2021, 28(5): 68-69.
LU Yanyan. Application Analysis of New Technologies of Environmental Protection and Energy Saving in Water Supply and Drainage Design and Construction of Modern Green Buildings[J]. Anhui Architecture, 2021, 28(5): 68-69.
- [2] 区树华, 陈琼. 浅谈超高层公共建筑给排水设计[J]. 低碳世界, 2021, 11(5): 190-193.
OU Shuhua, CHEN Qiong. Discussion on Water Supply and Drainage Design of Super High-Rise Public

- Buildings[J]. *Low Carbon World*, 2021, 11(5): 190-193.
- [3] 张莉. 市政道路给排水设计及其规划中存在的问题探析[J]. *中国建筑金属结构*, 2021(5): 84-85.
ZHANG Li. Analysis on the Problems Existing in the Design and Planning of Municipal Road Water Supply and Drainage[J]. *China Construction Metal Structure*, 2021(5): 84-85.
- [4] 张怡. 建筑给排水设计中存在的问题及解决对策分析[J]. *智能城市*, 2021, 7(9): 100-101.
ZHANG Yi. Analysis of Problems and Solutions in Building Water Supply and Drainage Design[J]. *Intelligent City*, 2021, 7(9): 100-101.
- [5] 赵哲. 建筑给排水设计与施工配合研究[J]. *智能城市*, 2021, 7(9): 156-157.
ZHAO Zhe. Study on Coordination of Water Supply and Drainage Design and Construction of Buildings[J]. *Intelligent City*, 2021, 7(9): 156-157.
- [6] 彭贤玉. 高层建筑给排水消防设计方法分析[J]. *四川建材*, 2021, 47(5): 222-223, 232.
PENG Xianyu. Analysis of Fire Protection Design Method for Water Supply and Drainage of High-Rise Buildings[J]. *Sichuan Building Materials*, 2021, 47(5): 222-223, 232.
- [7] 陈文杰. 会展建筑给排水设计特点和难点[J]. *中华建设*, 2021(5): 76-77.
CHEN Wenjie. Characteristics and Difficulties of Water Supply and Drainage Design for Exhibition Buildings[J]. *China Construction*, 2021(5): 76-77.
- [8] 康俊琛. 探究市政给排水设计的发展及设计思路[J]. *中华建设*, 2021(5): 82-83.
KANG Junchen. Explore the Development and Design Ideas of Municipal Water Supply and Drainage Design[J]. *China Construction*, 2021(5): 82-83.
- [9] 陈放. 市政给排水设计中海绵城市理念的渗透[J]. *智能城市*, 2021, 7(8): 34-35.
CHEN Fang. Infiltration of Sponge City Concept in Municipal Water Supply and Drainage Design[J]. *Intelligent City*, 2021, 7(8): 34-35.
- [10] 范莉. 城市地下工程给排水消防设计方案[J]. *智能城市*, 2021, 7(8): 112-113.
FAN Li. Design Scheme of Water Supply and Drainage Fire Protection for Urban Underground Engineering[J]. *Intelligent City*, 2021, 7(8): 112-113.
- [11] 叶柏万. 市政给排水项目变配电房建筑设计要点分析[J]. *工程建设与设计*, 2021(8): 11-13.
YE Baiwan. Analysis on Architectural Design Points of Power Transformation and Distribution Room in Municipal Water Supply and Drainage Project[J]. *Construction & Design for Engineering*, 2021(8): 11-13.
- [12] 王峰. 某商业改造项目给排水设计要点总结[J]. *房地产世界*, 2021(8): 37-39.
WANG Feng. Summary of Water Supply and Drainage Design Points of a Commercial Reconstruction Project[J]. *Real Estate World*, 2021(8): 37-39.
- [13] 曾朝银. 解析市政工程给排水规划设计原则及问题[J]. *绿色环保建材*, 2021(4): 75-76.
ZENG Zhaoyin. Analysis on the Principles and Problems of Municipal Engineering Water Supply and Drainage Planning and Design[J]. *Green Environmental Protection Building Materials*, 2021(4): 75-76.
- [14] 殷宗宁. 建筑给排水设计中节能减排设计分析[J]. *安徽建筑*, 2021, 28(4): 90-91.
YIN Zongning. Analysis of Energy Saving and Emission Reduction Design in Building Water Supply and Drainage Design[J]. *Anhui Architecture*, 2021, 28(4): 90-91.
- [15] 张晓晖. 公共建筑给排水设计要点分析: 以德化旅游集散服务中心为例[J]. *福建建材*, 2021(4): 36-38.
ZHANG Xiaohui. Analysis of Water Supply and Drainage Design Points of Public Buildings: Taking Dehua Tourism Distribution Service Center as an Example[J]. *Fujian Building Materials*, 2021(4): 36-38.
- [16] 李安达, 孙颖慧, 叶烈伟, 等. 建筑给排水隔震柔性管道设计方法[J]. *中国给水排水*, 2021, 37(8): 59-64.
LI Anda, SUN Yinghui, YE Liewei, et al. Design Method of Flexible Pipeline for Building Water Supply and Drainage Isolation[J]. *China Water & Wastewater*, 2021, 37(8): 59-64.
- [17] 史晓威. 住宅建筑给排水设计常见问题探讨[J]. *建材发展导向*, 2021, 19(8): 52-54.
SHI Xiaowei. Discussion on Common Problems in Water Supply and Drainage Design of Residential Buildings[J]. *Development Guide to Building Materials*, 2021, 19(8): 52-54.
- [18] 尹爱琼, 张逸卓. 杭州绿谷给排水设计探讨[J]. *给水排水*, 2021, 57(4): 117-120.
YIN Aiqiong, ZHANG Yizhuo. Discussion on Water Supply and Drainage System in the Hangzhou Green Valley[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2021, 57(4): 117-120.
- [19] 唐英. 商场给排水设计探讨[J]. *工程建设与设计*, 2021(7): 50-52.
TANG Ying. Discussion on the Design of Shopping Mall Water Supply and Drainage[J]. *Construction & Design for Engineering*, 2021(7): 50-52.
- [20] 刘卿瑞. 市政给排水设计中的节能措施运用分析[J]. *中小企业管理与科技(下旬刊)*, 2021(4): 109-110.
LIU Qingrui. Analysis of the Application of Energy Saving Measures in Municipal Water Supply and Drainage Design[J]. *Management & Technology of SME*, 2021(4): 109-110.

(责任编辑: 申剑)