

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.08.015

基于ArcGIS和Excel的市政雨水管网设计流程优化

侯煜堃, 王冉, 张萌, 冯玉冠

(华北水利水电大学 环境与市政工程学院, 河南 郑州 450045)

摘要: 为优化市政雨水管网设计流程,提出了将CAD、ArcGIS和Excel软件联用的全流程系统性设计方法。主要包括:运用CAD的制图功能和ArcGIS强大的空间分析功能建立雨水管网模型,通过ArcGIS合并关键节点、线段和子汇水面并生成属性表,然后通过Excel对该表进行相关数学计算,利用Excel中的透视表功能与VBA(Visual Basic for Application)编程结合,实现雨水管段各属性信息的自动计算。通过以上各软件的联合应用实现了城市雨水管网系统的设计,可为雨水设计软件的开发提供参考。

关键词: 市政雨水管网; 设计流程优化; ArcGIS; Excel; VBA; 流量叠加法

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)08-0087-06

Design Process Optimization of Municipal Rainwater Pipe Network Based on ArcGIS and Excel

HOU Yu-kun, WANG Ran, ZHANG Meng, FENG Yu-guan

(School of Environmental and Municipal Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: This paper proposed a systematic whole process design method integrating CAD, ArcGIS and Excel, so as to optimize the design process of municipal rainwater pipe network. The rainwater pipe network model was established through the drawing function of CAD and the powerful spatial analysis function of ArcGIS. The attribute table was generated by merging key nodes, line segments and sub-catchment surfaces through ArcGIS. The table was then calculated by Excel, and the automatic calculation of each attribute information of rainwater pipe section was realized by using the perspective table function in combination with VBA(Visual Basic for Application) programming in Excel software. The design of urban rainwater pipe network system was realized through the combined application of the above software. The results aim to provide reference for the development of rainwater design software.

Key words: municipal rainwater pipe network; design process optimization; ArcGIS; Excel; VBA; flow superposition method

近年来,城市内涝问题日益加剧,严重影响了城市的正常发展和人们日常的生产生活^[1],城市基础设施的建设效率和质量亟待提高。市政雨水管

网作为城市排水系统的关键组成部分,优化其设计流程对确保管网系统的有效运行和城市的正常运转具有重要意义^[2]。

通信作者: 王冉 E-mail: iswangran@163.com

在市政管线设计领域,尽管现代设计软件显著提升了设计效率和准确性,但在某些情况下,手动计算仍然是必要的,它有助于设计人员深入理解管道系统的运行机制和设计原则,同时也可用作验证设计合理性的手段,但手动计算往往费力费时且错误率较高。鉴于此,提出了一种适用于手动计算的更为高效的管线计算方式,此方法结合了CAD、ArcGIS、Excel三种常用软件,包括采用CAD设计管线平面布局,采用ArcGIS求取空间数据并建立节点、管线、子汇水区的相互关系,利用Excel数据处理与自动化计算的特长,实现管段参数的快速、准确求取。通过这一整套管网设计流程,能够充分发挥各软件的优势,提高设计效率和质量,减少手算时间并降低错误率,以期为市政雨水设计软件的开发提供借鉴,为市政管线设计领域发展贡献新的力量。

1 设计方案

1.1 研究对象

研究区域位于河南省北部,地势西高东低,自西南向东北方向倾斜,地形为单一平原类型,地势较低。此区域属暖温带大陆性气候,四季分明,年平均降雨量为640.9 mm^[3]。

1.2 设计路线

雨水管网设计的任务大致可以分为两部分:一是根据划分的排水分区,在CAD中完成雨水管网的平面布局;二是在ArcGIS和Excel中完成雨水管段的参数设计,其中包括管径、坡度、流速、埋深和管底标高。首先根据收集的资料,利用ArcGIS划分研究区域的设计排水分区,以便后续在每个分区内单独设计管网模型;然后在CAD中构建管线,建立管网系统模型;最后利用Excel透视表以及VBA编程对数据进行计算,实现雨水管网系统设计的流程化管理。

2 雨水管网设计

由于研究区域地表坡度较大,在进行雨水管道布置时,应充分利用地形,以距离最短的重力流方式将雨水就近排入附近的水体,这样不仅可以节省管线材料,还可以尽可能避免雨水泵站的设置。如若在其他坡度较缓的地表进行同类型管道布置,则可以考虑使用压力排水方案。由于本研究采用重力排水,因此需将出水口设在较低的位置,既为重力流提供更有利的条件,又可以缩短雨水在管道内的滞留时间,加快排水速度,节约工程成本^[4]。

2.1 划分设计排水分区

采用ArcGIS水文工具划分排水流域,以城市规划布局、地形、高程、规划设计图纸为依据,同时结合道路规划、绿地设置及城市雨水容纳水体位置等,将规划区按排水流域划分成多个区域,按区域分别设计雨水管网。对于没有明显分水线的平坦区域,可以按照规划的道路系统划分排水区域。

ArcGIS的水文分析模块对集水区的提取过程主要包括无洼地DEM的生成、水流方向的提取、汇流累积量的计算、河网及交汇点的提取、河流链接和节点的识别、集水区的提取^[5],最终将该研究区域划分为9个设计排水分区。

2.2 雨水管网布设

先利用CAD的制图功能进行管网布设,然后再将其导出至ArcGIS软件进行进一步的数据计算。由于每个设计排水分区都是相互独立存在的,每部分管网均有单独的排出口且管网互不交叉,因此可以在每个排水分区单独设计管网,以下以其中一个分区为例进行介绍。

2.2.1 平均径流系数计算

影响径流系数的主要因素有地表状况、地面坡度、降雨历时和土壤蓄水能力等,由于子汇水面由不同类型的用地组成,因此其径流系数可按各类地面的径流系数加权平均取得。根据研究区的地表情况和下垫面图层类型,并参照《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)中的推荐进行径流系数的取值,即屋顶、铺装路面、公园和绿地、沥青路面、停车场、水域的径流系数分别为0.9、0.4、0.15、0.9、0.6、0.1。

运用Python语句在“字段计算器”工具中将以上径流系数赋值给各类地块,通过ArcGIS空间分析模块中的“Zonal Statistics”工具进行径流系数的加权平均,然后将加权平均径流系数提取至子汇水面形心文件即可。

2.2.2 生成新的基础数据表

为了将点、线、面结合起来,需使用ArcGIS的“连接”功能。“连接”功能是指基于公共字段将一个图层连接到另一图层,从而实现属性表合并的操作。针对本例的具体操作方法如下:右键点击“图层”-“连接与关联”-“连接”-“输入数据”,并以管段的起点ID、子汇水面的出口ID为基础字段进行连接,生成新的基础数据表。

点、线、面的连接示意如图1所示,其中红框处代表节点J45既是子汇水面C31的出水口,也是管段L40的起点。通过“连接”的方式,将点、线、面串联到同一张表的同一行中,使管网系统具有逻辑关系,便于观察、分析及后续的数据处理。



图1 点、线、面的连接

Fig.1 Connection of point, line and surface

3 管网参数计算

3.1 设计重现期

雨水管网的设计重现期应根据GB 50014—2021进行选择,由于研究区域属于超大城市的中心地区,因此设计重现期为3年一遇。

3.2 设计流量

GB 50014—2021规定雨水设计流量采用推理公式法计算,当汇水面积超过 2 km^2 时,雨水设计流量宜采用数学模型确定。由于研究区域每个雨水口的汇水区面积远小于 2 km^2 ,因此采用恒定均匀流推理公式法进行计算^[6]。推理公式法通常又分为流量叠加法和面积叠加法^[7],虽然前者的计算过程较为复杂,但最终计算结果的可靠性较后者强^[8],因此选用前者进行计算。流量叠加法最大的特点是流量逐段叠加,即计算过程中分别将各管段汇水范围内的地块面积与各管段最大汇流时的单位面积径流量相乘,所得值作为各管段本段流量,然后将该流量逐段相加,从而得到各计算管段的雨水设计流量值^[9]。当以最远点地表径流到达设计汇水点为最大设计流量时,其流量计算如下式所示:

$$Q_n = \sum_{i=1}^n q_i \Psi F_i \quad (1)$$

式中: Q_n 为第 n 节管道的雨水设计流量, L/s ; q_i 为第 i 节管道的设计暴雨强度, $\text{L}/(\text{hm}^2 \cdot \text{s})$; Ψ 为综合

径流系数; F_i 为第 i 节管道的汇水面积, hm^2 。

此区域水利部门推荐的暴雨强度公式如下:

$$q = \frac{2\,001.829(1 + 3.264 \lg P)}{(t + 24.8)^{0.856}} \quad (2)$$

$$t = t_1 + t_2 \quad (3)$$

式中: q 为设计暴雨强度, $\text{L}/(\text{hm}^2 \cdot \text{s})$; P 为设计重现期; t 为降雨历时,min; t_1 为地面集水时间,应根据汇水距离、地形坡度和地面种类通过计算确定,宜采用 $5 \sim 15\text{ min}$,取 8 min ; t_2 为管渠内雨水停留时间,min。

4 Excel处理数据

4.1 创建Excel数据透视表

采用传统方式进行管段水力计算时,通常需要将有用的数据信息分别复制进Excel中,由于数据众多,往往费时费力,且易出错,而数据透视表是Excel软件自带的数据库整理工具,它可以按照不同的方式进行数据分析,并对其进行动态调整。如果原始数据发生更改,数据透视表也可以按照更改后的数据进行一键更新。借助数据透视表,可以轻松整合大量信息,快速调用相关数据,并进行相应的运算,从而简化后续计算过程,故选择通过创建Excel数据透视表的方式进行数据处理。

采用数据透视表对点、线、面数据进行处理,其优势在于能够按用户所需的属性进行表格定制。由于管网系统的组成包含多条管线,而每条长管线又由多节分管段构成,通过数据透视表可以将同一长管线下所有分管段进行合并,从而灵活地获取整条管线的参数信息,例如每节分管段所对应的雨水井节点位置、地面标高、子汇水区的面积和径流系数等。这种方式可以将所有分管段有机地结合成为一个整体,方便按照其在长管线中的前后顺序进行数据表中的排序和参数计算。

通过数据透视表进行数据的处理之前,首先要将2.2.2节所述的连接表导出,并用Excel打开。运用Excel的透视表功能将同一管线内各分管段进行汇总,具体操作如下:将“线ID”拖拽到“行”字段中,并在透视表的下拉选项中手动选择各节分管段的ID,并将其他相关属性都拖拽到“值”字段中。在“线ID”的筛选栏中可以手动选择主管上的各节分管段序号,透视表将按照序号的大小排列。若实际管段的排序与数字大小排序不同,可利用透视表的“手动排序”功能将管段ID拖动到正确的位置。若

需要再创建一个透视表放置其他管线的信息,将上一个透视表复制粘贴后,再手动调整所需管段的编号即可。

整理后的数据透视表如图2所示。

图2 整理后的数据透视表

Fig.2 Sorted perspective table

4.2 利用VBA计算管段参数

VBA能使Office等应用程序执行通用的自动化任务,VBA编程是基于Microsoft office的一种内置式编程语言,通过编写程序使Excel实现个性化、自动化、批量化的操作,从而大大提高工作效率。VBA编程思路如图3所示。该程序操作简单、易于普及,能够减少手算雨水管网参数的时间,提高雨水管网设计的工作效率,减少人为误差。

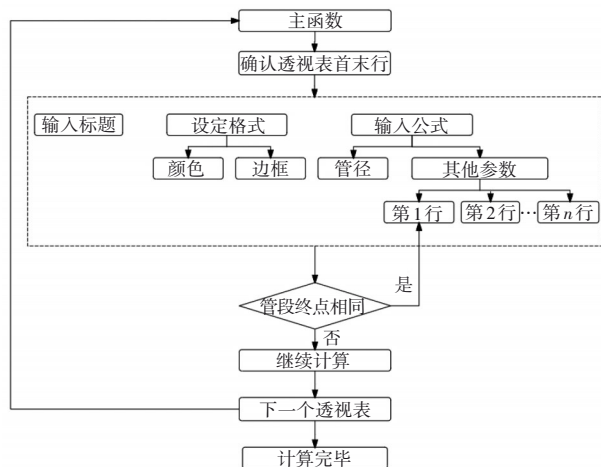


图3 VBA编程思路

Fig.3 VBA programming ideas

4.2.1 利用VBA计算管径

管径可以按照传统方法通过查找《给水排水设计手册 第1册 常用资料》中的水力计算表获得,也可以在假定坡度和流速后通过试算求得^[4]。但这两种方法均存在不足,前者需在不同的管径中反复比较以选择合适的坡度、流速和流量组合,效率低,而

后者耗时耗力且易出现失误。

本研究以Excel内置的VBA进行程序开发,实现管径的快速查找。选用VBA函数公式法,在查表法的基础上进行改进,以设计流量为基准,选取设计手册中的数据,将其按权重排序,并添加逻辑值判断,确保所选组合的有效性和可靠性。此程序可以自动选取权重较大数据,即最合适的管径及其对应的坡度和流速组合。VBA编程技术路线见图4。

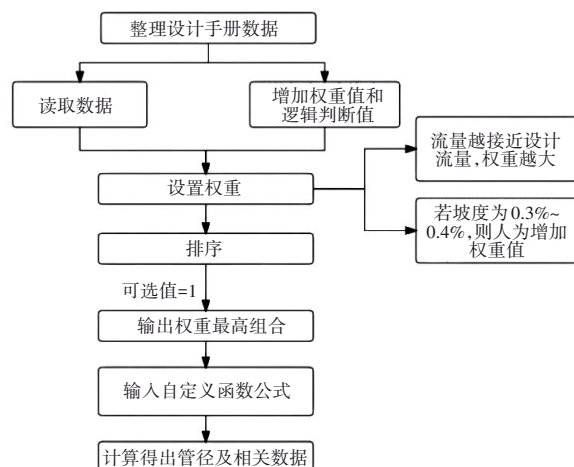


图4 VBA编程技术路线

Fig.4 VBA programming technical route

主函数包括3部分,即读取数据、设置权重和输出权重最高组合。

① 读取数据并设置最小管径和最小坡度

为保证管道养护便利以及管内不发生沉积,雨水管道的管径和坡度不能太小。《给水排水设计手册 第5册 城镇排水》规定,不论在街坊、厂区内或街

道下,雨水管与合流管的最小管径宜为 300 mm,最小坡度为 0.003。由于以往手算时管径往往小于 3 000 mm,因此选取管径为 300~3 000 mm、坡度为 0.3%~0.7% 的相关数据。在 VBA 窗口内运用 for each...in...循环、while 语句和 for 循环将此数据作为数组读取到 VBA 程序中。

② 设置权重

为提高程序的运行效果,在上述操作的基础上,从权重和逻辑判断两个方面进行了完善。具体而言,权重的引入使得程序可以根据组合的合适程度调整其对应权重,并采用排序算法将其筛选出来;而逻辑值的设定则决定了组合的可选或不可选情况,其中可选为1,不可选为0。

设置权重的过程如图5所示。挑选合适管径组合的核心思想是设计手册中的管道输水能力需大于透视表中用公式计算所得的设计(总)流量,若符合此标准,第6列逻辑值即为1。且设计手册中的流量越接近设计(总)流量,第5列权重越大,这样可使计算的管径更经济。由于以往手算管径时发现坡度为0.3%~0.4%的管段埋深较小,因此增加此时的组合权重(如100),若在使用过程中发现选取的管径有不妥之处,可以更改此处坡度所占的权重。设置权重这一步骤的先决条件是确定管道的设计流量,4.2.2节将对该流程进行介绍。

```

Function 设置权重(手册数据数组(), 需求流量 As Double)
    For i = 1 To UBound(手册数据数组())
        If 需求流量 <= 手册数据数组(i, 4) Then
            手册数据数组(i, 6) = 1
            手册数据数组(i, 5) = 0 - (手册数据数组(i, 4) - 需求流量)
        End If
        If 手册数据数组(i, 2) >= 3 And 手册数据数组(i, 2) <= 4 Then
            手册数据数组(i, 5) = 手册数据数组(i, 5) + 100
        End If
    Next
    设置权重 = 手册数据数组
End Function

```

图5 用于设置权重的VBA代码

Fig.5 VBA code for setting weights

③ 将权重进行排序并输出结果

使用双重for循环和冒泡排序,选取最高权重的组合,并运用if语句,如果第6列逻辑值为1,则输出该组合,即输出与设计流量最匹配的管径以及其对应的坡度和流速组合。

4.2.2 利用VBA计算其他参数

除管径外,管段的其余参数也采用VBA代码进行编程计算。由于管段的第1节分管段与其余分管段的计算思路不同,因此需要分别编程。两种类型管段的参数与计算逻辑如图6所示。

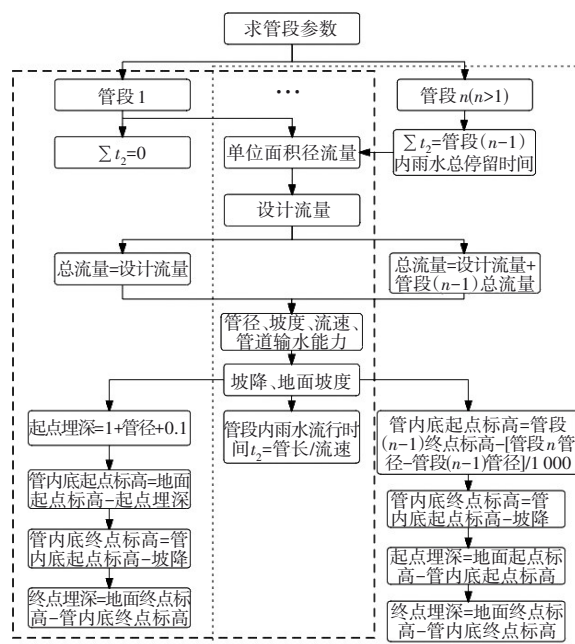


图6 管段其他参数的计算逻辑

Fig.6 Calculation logic of other parameters of pipe section

由于篇幅有限,暂不在此展示详细的代码。该程序的具体使用方法:将4.1节整理的透视表粘贴到此编程所在的Excel工作簿中,随后点击“一键获取参数”按钮,透视表后方将会直接生成对应的各属性数据。至此,管网各参数计算完成。

与传统的 Excel 手算方法相比,此方法利用数据透视表的优势,不需要再将主管段上各节分管段的条件值一一复制粘贴,而是直接筛选出分管段的 ID,按照上游到下游的顺序进行排序,相关的条件值也会随之列出。不需要利用传统的手动敲打和下拉填充公式进行数据计算,只需点击一键,就可以对管段进行参数的统一计算。

由此可见,使用VBA开发的程序,大量的计算工作将由程序自行运行处理,不仅大大减少了人工运算的误差,而且提升了计算的效率和质量,从而有助于实现雨水管网设计数据的快速分析整理和自动计算。

5 结语

通过联合运用CAD的制图功能、ArcGIS对水文参数的自动提取和空间表达功能、ArcGIS的“连接”功能以及Excel的透视表和VBA功能,实现了对管段参数的数据整理、自动计算,从而求得研究区域雨水管网的各参数。

与市面上现行较为主流的市政管线软件相比,

此方法更侧重于对管段各参数的准确计算。因此可以将其与市政管线软件进行结合,把此方法得到的结果作为原始数据输入市政管线软件,从而对市政雨水管网的设计流程进一步优化。

本研究对管网参数计算的部分关键步骤和代码进行了详细描述,代码的开发思路在同类型的数据处理上也具有广泛的应用参考价值,能够为市政雨水设计软件的开发提供一定的借鉴。

参考文献:

- [1] 张金萍, 张浩锐, 方宏远. 基于SWMM和SCS法的城市内涝模拟及雨水管网系统评估[J]. 南水北调与水利科技, 2022, 20(1): 110-121.
ZHANG Jinping, ZHANG Haorui, FANG Hongyuan. Urban waterlogging simulation and rainwater pipe network system evaluation based on SWMM and SCS method[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2022, 20(1): 110-121 (in Chinese).
- [2] 吴珊, 赵玉杰, 王昊, 等. 基于运动波模拟的雨水管网设计流量计算方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2023, 63(11): 1887-1896.
WU Shan, ZHAO Yujie, WANG Hao, et al. Calculation method for stormwater network design flow based on kinematic wave simulation [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2023, 63(11): 1887-1896 (in Chinese).
- [3] 胡彩虹, 杜纤, 赵彦增, 等. 平原地区SWMM模型空间尺度确定原则研究——以郑州市为例[J]. 人民珠江, 2019, 40(12): 18-24.
HU Caihong, DU Xian, ZHAO Yanzeng, et al. Research on the principle for determining spatial scale of SWMM model on plain region: case study of Zhengzhou City, China[J]. Pearl River, 2019, 40(12): 18-24 (in Chinese).
- [4] 袁显贵. 基于GIS的SWMM模型在新城区雨水管网设计中的应用研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2015.
YUAN Xiangui. Application Research of Rainwater Pipe Network Planning Based on GIS and SWMM Model[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Technology, 2015 (in Chinese).
- [5] 钟源, 孟庆祥. 基于GIS的城市暴雨洪涝模拟分析——以郑州市石佛镇“7·20”特大暴雨为例[J]. 中国农村水利水电, 2022(10): 125-130.
ZHONG Yuan, MENG Qingxiang. Simulation analysis of urban storm flood based on GIS: taking the “7·20” torrential rain in Shifo Town, Zhengzhou City as an example [J]. China Rural Water and Hydropower, 2022(10): 125-130 (in Chinese).
- [6] 陆敏博, 钱海平. 平原水网区雨水管渠设计研究——以苏州市城市中心区为例[J]. 城市道桥与防洪, 2016(4): 12-13, 111-112, 116.
LU Minbo, QIAN Haiping. Study on design of storm sewer in plain area of water network [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2016(4): 12-13, 111-112, 116 (in Chinese).
- [7] 仇琛程. 基于MIKE+管网模型的城市雨水管渠水力计算方法分析比较[J]. 市政技术, 2023, 41(4): 153-161.
QIU Chencheng. Analysis and comparison of hydraulic calculation methods for urban storm water pipes based on MIKE+pipe network model [J]. Journal of Municipal Technology, 2023, 41(4): 153-161 (in Chinese).
- [8] 马振军, 李永. 市政排水管网设计过程中重点、难点分析[J]. 林业科技情报, 2021, 53(1): 91-92.
MA Zhenjun, LI Yong. Analysis of key points and difficulties in municipal drainage network design [J]. Forestry Science and Technology Information, 2021, 53(1): 91-92 (in Chinese).
- [9] 陈静, 何伟. 关于城市雨水管渠水力计算方法的探讨[J]. 中国给水排水, 2014, 30(9): 155-158.
CHEN Jing, HE Wei. Discussion on hydraulic calculation methods of urban storm sewer [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(9): 155-158 (in Chinese).

作者简介: 侯煜堃(1973—), 男, 河南西华人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为给排水系统设计与运行最优化。

E-mail: hou_yukun@126.com

收稿日期: 2023-06-26

修回日期: 2023-11-21

(编辑: 沈靖怡)