

基于 EPANET 和 MATLAB 的给水管网优化设计

李俊德,马宝民,范功端

(福州大学 土木工程学院,福建 福州 350116)

摘要:针对给水管网设计过程中常出现的管径设计不合理、数据录入量大且容易出错等问题,提出利用 EPANET 进行管网水力计算,然后采用 MATLAB 对水力计算结果进行绘图分析,在此基础上对管段进行调整与逐步优化;结合使用 Excel 对设计数据进行处理,生成.scr 脚本在 AutoCAD 中运行以输入设计数据,快速实现相关设计数据的图纸录入。该方法使用简便、易于理解,能够有效提高给水管网规划设计的质量与设计效率。

关键词:给水管网;EPANET;MATLAB;优化设计

中图分类号: TU 991.33 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7767(2020)01-0178-04

Optimum Design of Water Supply Network Based on EPANET and MATLAB

Li Junde, Ma Baomin, Fan Gongduan

给水管网作为城市的生命线工程,其重要性不言而喻。但由于规划设计中存在不合理因素,常导致爆管等事故发生,给人民群众的生活与生产活动造成较大的不良影响。目前,基于 AutoCAD 的给水管网设计为行业主流,将设计计算成果手工录入 AutoCAD 图纸工作量大、效率低且容易出错,在节点与管段数量多、信息量大的大型给水管网设计中该问题尤为突出。

笔者结合福建省平潭综合试验区金井湾组团给水管网规划实例,通过使用 EPANET 进行水力计算,并使用 MATLAB 绘制水压面函数参考图进行分析,设计人员能够基于相关图像直观地对管网设计的安全性进行评估,对管网设计中的不合理之处进行优化修改;通过数值计算得到管网的压力分布特征值,根据该特征值定量判断管网设计的优化程度。结合使用 Excel 进行数据处理,输出.scr 脚本,快速地将 EPANET 计算所得的设计数据录入 AutoCAD 图纸中,简化了管网设计中的重复性工作,提高了设计人员的设计效率与质量。

1 EPANET 与 MATLAB 介绍

EPANET 是由美国环保局下属供水与水资源部开发的给水系统模型软件,该软件可对管网中的节点、管段、阀门、水泵(泵站)、蓄水池等设施进行模拟分析,利用改进的 Newton-Raphson 算法进行管网平差计算。通过可视化的界面,用户可直观地对管网设施的属性进行设置,对管网的拓扑属性进行检查和调整。

EPANET 作为开源的公共领域软件,在国外的给水管网设计维护中得到了广泛的应用。

MATLAB 是由 MathWorks 公司推出的数值计算软件,包含了各个专业设计与科学研究领域的工具箱。MATLAB 中包含有各种绘图函数,用户可根据自身需要选择相关函数进行图像绘制。利用 MATLAB 与 Excel 的接口还可快速实现平台间的数据传输,便于用户使用。

2 规划区域给水管网 EPANET 模型的建立

规划区域金井湾组团位于福建省平潭综合试验区,地处福建中部沿海区域。给水水源设置在规划区域西北角的给水厂。规划定线时,利用多段线(Pline)在 AutoCAD 下.dwg 格式的规划图上进行给水管网的绘制。多段线可实现规划中折线管段的绘制,并将整个折线管段视为一个管段。完成定线工作后(见图 1),在 AutoCAD 中将定线图层导出为.dxf 格式的 ASCII 码图形交换文件,并使用相关开源工具将定线结果输出为 EPANET 可识别的.inp 文件。通过对.dxf 文件进行分析,将一条多段线识别为模型的一个管段,将多段线的起点和终点识别为管网中的节点;提取图层内管网的拓扑数据,包括管段方向、起端节点(Node1)、终端节点(Node2)等,以及部分构造数据,包括管段长度(Length)、节点位置(X-Coord、Y-Coord)。

输出的.inp 文件利用 Excel 打开,在节点(JUNCTIONS)项下的高程(Elev)列批量输入节点高程数据,

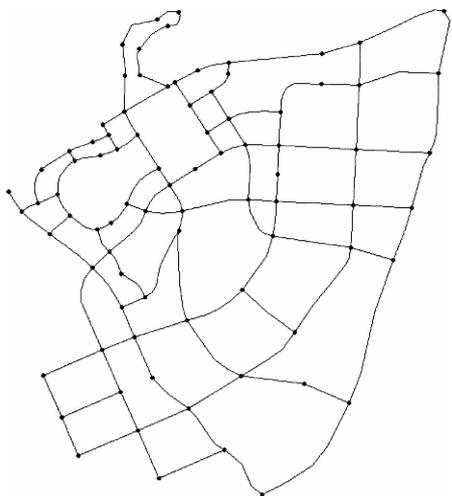


图1 规划区域管网定线图

由 Excel 计算得到的需水量数据直接粘贴到需水量 (Demand) 列中。在管段 (PIPES) 项下, 流量初分配后计算得到的管段直径输入直径 (Diameter) 列; 使用 Hazen-William 公式进行计算时, 对应管段的 Hazen-Williams 系数填入粗糙系数 (Roughness) 列。至此完成了管网水力计算所需数据的录入。

3 给水管网水力计算与优化

1) 传统设计中, 设计工况的水力分析主要包括以下几项内容:

① 将泵站所在的管段删除, 且在水力等效原则的基础上将管道流量合并到相关节点;

② 通过假设控制点进行管网平差计算后, 通过节点的自由水头比较得到真正的控制点, 即给水管网用水压力最难满足的节点。由此, 可根据控制点的服务水头调整所有节点水头, 以使管网服务水头满足要求^[1]。

利用 EPANET 软件进行水力分析, 无需将泵站所在的管段删除, 只要虚设水库即可满足软件水力分析的要求。虚设水库进行试算分析后, 即可迅速找到给水管网用水压力最难满足的节点, 即控制点, 进行二次调整后即可完成相关的分析。

2) 计算出节点压力后, 采用 MATLAB R2017a 绘制水压面函数参考图。具体做法为:

① 导出节点的平面坐标向量, 作为 x, y 两个向量导入 MATLAB 中;

② 导出节点的水压值向量, 作为 z 向量导入 MATLAB 中;

③ 以平面坐标向量的取值范围作为数据加密区间, 对 x, y 变量进行加密, 产生向量 x_1, y_1 , 形成矩形加密坐标平面, 该项目中 x, y 方向向量的加密间距均取

为 10;

④ 使用 griddata 函数对水压值进行插值加密, 为保证图像与实际情况相符合, 算法参数可选用“cubic” (基于三角形的三次插值算法) 选项或者“v4” (MATLAB 4 griddata method) 选项, 此处采用“v4”参数进行插值加密^[2], 生成加密后的水压面函数数值矩阵 $[x, y, z]$;

⑤ 使用 contourf 函数绘制平面等值线图, 同时将绘图结果赋值给 MATLAB Contour 类型变量, 储存相关绘图信息 (也可使用 mesh 函数画出水压面函数三维网格图);

⑥ 利用 MATLAB Contour 类型变量储存的绘图信息进行后续的等高线处理;

⑦ 叠加管网设计图层, 生成参考图;

⑧ 对图像进行校核检查。

初次水力分析得到的水压面函数参考图见图 2。

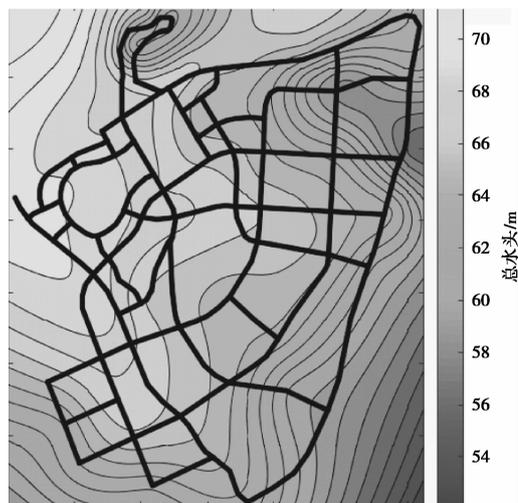


图2 初次水力分析水压面函数参考图

从图 2 可以看出, 水压面函数关于部分管段方向的梯度分布不尽合理, 在图上体现为: 部分地区由于管径过小, 等水压线分布过于密集, 国内给水管网的实际运行经验表明, 这样的管段存在较大的爆管危险^[3]; 部分地区由于管径过大, 等水压线十分稀疏, 对应 EPANET 水力计算所得管内流速较小, 低于经济流速, 在管网运行过程中经济性差。综上所述, 根据初次水力分析水压面函数参考图对管网设计进行调整优化。

优化过程中, 笔者通过数值计算实验寻找到了管网的压力分布特征值, 该特征值可作为管网优化程度的定量分析判断依据。

3) 特征值的计算过程为:

① 对在绘图步骤④中生成的插值加密水压面函

数数值矩阵进行数值计算分析,利用 gradient 函数计算水压面函数数值梯度,生成矩阵 Z 的二维数值梯度的 x 和 y 分量矩阵 $[DX, DY]$ (DX 对应于 $\partial Z/\partial x$, 即 x 方向上的差分; DY 对应于 $\partial Z/\partial y$, 即 y 方向上的差分); 一般情况下,数值梯度计算的间距取值与绘图步骤③中的加密间距取值相同,本实例中采用 10 作为间距。

②计算水压面函数数值梯度向量模矩阵 A , 矩阵 A 中对应每个点的向量模计算公式为:

$$a_{ij} = \sqrt{dx_{ij}^2 \cdot dy_{ij}^2} \quad (1)$$

式中: a_{ij} 为数值梯度向量模矩阵中第 i 行第 j 列所对应的数值元素; dx_{ij} 为 DX 矩阵中第 i 行第 j 列所对应的元素; dy_{ij} 为 DY 矩阵中第 i 行第 j 列所对应的元素。

③利用 std2 函数计算水压面函数数值梯度向量模矩阵 A 的标准差 s , 相关的数学计算公式为^[4]:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ij}^2 - \frac{\left(\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ij}\right)^2}{m \cdot n}}{m \cdot n - 1}} \quad (2)$$

式中: s 为水压面函数数值梯度向量模矩阵 A 的标准差; m 为水压面函数数值梯度向量模矩阵 A 的行数; n 为水压面函数数值梯度向量模矩阵 A 的列数。

④求出计算梯度时取用的平均间距,计算公式为:

$$l_{av} = \frac{l_x + l_y}{2} \quad (3)$$

式中: l_{av} 为计算梯度时取用的平均间距; l_x 为计算梯度时取用的 x 轴方向间距; l_y 为计算梯度时取用的 y 轴方向间距。

⑤计算校核指标,计算公式为:

$$j = s \cdot l_{av} \quad (4)$$

式中: j 为校核指标。

在初次水力分析中,计算得到的特征值为 0.021 4。笔者研究发现,当管网的压力分布特征值小于 0.01 时,管网优化的效果较好,对应管网设计图中等压线的分布较为均匀,此时管网的工作状态较为稳定;在不同的管网设计中,该值具有一定的普适性。故笔者将 0.01 作为优化界限,当该校核指标小于 0.01 时,优化结束。

根据前述分析进行优化设计后,区域内水压面函数关于部分管段方向的梯度分布较为均匀,在图上反映为沿管段方向压力等值线间隔较为均匀(见图 3)。管网的压力分布特征值为 0.008 0,优化效果显著。

4 EPANET 计算所得设计数据呈现

对于大型市政给水管网的规划设计,由于管段及节点数量较多,设计数据量较大。采用一般的命令行

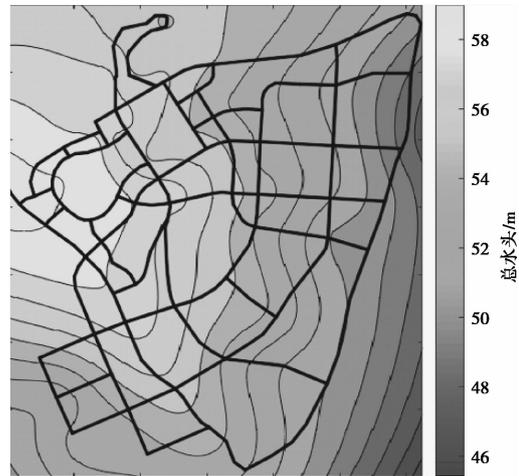


图 3 优化设计后水压面函数参考图

方式录入图纸往往会占用较多的时间,且数据录入质量难以保证。对于大量数据的录入,AutoCAD 提供了利用脚本文件进行批量输入的方法^[5]。录入步骤见图 4。

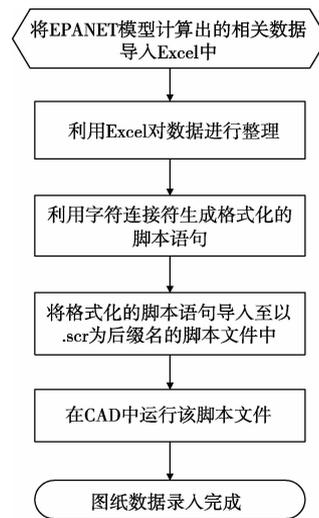


图 4 EPANET 计算所得数据的录入步骤

使用文本语句(TEXT)录入数据,需要文本插入点坐标、文本旋转角度、文本字号大小、文本内容几项数据。节点数据的插入点坐标可通过节点坐标进行偏移计算得到,管段数据的插入点坐标可通过管段首尾节点坐标进行计算得到,相关管段数据的旋转角度也可以通过节点坐标进行三角函数反函数计算得到。

5 结语

EPANET 模型软件具有运算速度快、计算精度高的优点,十分适合给水管网的规划设计计算。通过结合
(下转第 232 页)

(上接第 180 页)

使用 MATLAB 绘制水压面函数参考图进行分析,设计人员能够快速而直观地对管网设计质量进行评估分析,对设计中的不合理之处进行优化修改。同时通过数值计算得到管网的压力分布特征值,对设计人员有一定的指导意义。结合使用 Excel 生成.scr 脚本文件,设计人员可实现 EPANET 模型计算结果的快速录入。该方法步骤简单、使用方便、普适性强,对给水管网设计内容的优化、工作效率的提高有较大帮助。 MET

参考文献:

[1] 严煦世,刘遂庆. 给水排水管网系统[M]. 3 版. 北京:中国建筑

工业出版社,2014:137-140.

- [2] 谢中华,李国栋,刘焕进,等. MATLAB 从零到进阶[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2012:47-62.
- [3] 段玉梅,付治河,顾勇毅,等. 水压线在给水管网管理中的应用[J]. 中国给水排水,2006(2):99.
- [4] JOHNSON R A. Probability and statistics for engineers[M]. Wisconsin:The University of Wisconsin-Madison,2018:44-45.
- [5] 邱章云. 应用 Excel 编制 AutoCAD 脚本文件实现批量展点绘图[J]. 矿山测量,2005(3):52-54.

收稿日期:2019-04-13

基金项目:福州大学本科生科研训练计划(201810386012,24099)

作者简介:李俊德,男,在读本科生,主要研究方向为市政工程规划设计。