

基于 Matlab 的 GUI 绘制给水管网等压线和三维水压面

张增荣¹, 信昆仑¹, 李树平¹, 方正², 刘遂庆¹

(1. 同济大学 污染控制与资源化研究重点实验室, 上海 200092; 2 武汉大学 土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘 要: 为了解供水管网的工作状况并控制管网运行,需进行管网等压线和三维水压面的绘制。为此利用 Matlab 软件的矩阵计算和绘图功能,通过管网平差计算结果即管网中各节点的水压值绘制了等压线和三维水压面;并对 GUI(Graphical User Interface,图形用户界面)的界面程序进行了二次开发,实现了给水管网水力计算图的绘制。将该方法用于某多水源管网的水力计算及管网等压线和三维水压面的绘制,结果表明该算法具有简单可靠、易于实现、直观易懂的优点。

关键词: 给水管网; Matlab; 图形用户界面; 等压线; 三维水压面

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2007)04-0051-04

Plotting 2-D and 3-D Contour of Water Pressure in Water Distribution Network Based on Matlab's GUI

ZHANG Zeng-rong¹, XIN Kun-lun¹, LI Shu-ping¹, FANG Zheng², LIU Sui-qing¹

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2 School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to comprehend the working condition of water distribution network and to control the whole working process, there is need to acquire the 2-D and 3-D contour of water pressure in the network. Therefore, according to the nodal pressure data from the hydraulic analysis results of the network, 2-D and 3-D contour of water pressure was plotted based on the Matlab's toolkit of matrix calculation and plotting. Even more, an interfacial programming for water distribution system with Graphical User Interface (GUI) was built. Users can draw hydraulic calculating map of water distribution system in the programming interface. With the presentation of a sample network, it is proved to be a concise and an easy way to illustrate the hydraulic state of the water distribution network.

Key words: water distribution network; Matlab; GUI; 2-D contour; 3-D contour

对于了解整个管网的工作状况及管网的运行控制而言,直观地表达城市给水管网中等水压线和三维水压面的分布是一项基础性的工作,通常利用计算机自动绘制城市给水管网等压线和三维水压面。在给水管网等压线和三维水压面的绘制过程中,首先必须对管网进行静态平差计算,以获得某时刻管网中各节点的压力值。利用绘制地形等高线的方法绘制给水管网等压线,此项技术没有充分挖掘和利用给水管网中等压线自身固有的特殊性,算法复

杂且较难理解和掌握。此外,以往的等压线绘制方法大多仅适于管网规模较小、管线密集的环状管网,在现有环内通过绘制环的对角虚拟管段并内插等压点以提高等压线的绘制精度;绘制出来的等压线以折线段为主,不符合管网中等压线的实际分布情况,且在树状管网中应用效果不佳,精度不高。如果采用有限元法进行等压线和三维水压面的绘制,虽然绘制出的等压线能以曲线的形式表达,并较为接近实际情况,但若想提高等压线的精度,则必须使形成

的每个三角形尽可能为锐角三角形,并保证各个三角形不交叉重复,步骤繁琐,判断条件复杂,通用性较差。随着三维绘图技术的发展,给水管网中三维水压面的绘制技术应运而生。三维图形直观性强,可从不同方位和角度再现水压分布的特征,具有较强的立体感和逼真感。给水管网中三维水压面绘制主要通过管网投影区域的四边形网格插值,利用 OpenGL 图形库进行管网三维水压面的绘制^[1,2]。由于 OpenGL 所采用的曲面插值方法和曲面拟合方法的局限性,所绘制的三维水压面个别区域与实际水压分布趋势有所偏离,同时所绘水压面仍不够平坦光滑。所以,寻找一种简洁有效而又满足高精度要求的等压线和三维水压面绘制方法是一项迫切的任务。

1 Matlab 的 GUI 开发环境及算法介绍

Matlab 的 GUI (Graphical User Interface, 图形用户界面),是由窗口、光标、按键、菜单、文字说明等对象构成的一个用户界面,用户可以基于 GUI 二次开发自己的界面程序;而且 Matlab 具有图形处理功能,包括高级的二维、三维图形可视化的处理工具,也包括低级的命令用于定义图形外观^[3]。

管网中等压线绘制实际上是等值线绘制的一种。等值线绘制是对大量离散的且具有一定规律的几何量值或物理量值进行图形处理的一项极其常用的技术^[4]。在 Matlab 环境下实现绘制等压线和三维水压面算法的基本思想是将节点的水压看作节点纵、横坐标的函数值即 $H = f(X, Y)$,然后根据管网中各个节点的纵、横坐标范围,线性内插若干个点,并对这些点进行处理生成格点矩阵,格点可看作管网中的虚拟节点。根据其纵、横坐标值和函数 $H = f(X, Y)$ 得到虚拟节点对应的“水压”,再利用相关的绘图函数得到管网中的等压线和三维水压面。

1.1 所涉及的 Matlab 绘图函数

linspace 函数

该函数为线性化插值向量函数,调用格式为: $X = \text{linspace}(X1, X2, N)$ 。功能:在给定的输入参数 $X1$ 和 $X2$ 之间线性插入 N 个点,该函数返回一个元素个数为 N 的列向量 X 。

meshgrid 函数

该函数为三维绘图中的网格点生成函数,调用格式: $[XI, YI] = \text{meshgrid}(X, Y)$ 。功能:将纵、横坐标由给定的输入列向量 Y 和 X 确定的区域转化成

两个矩阵 YI 和 XI ,便于量化以坐标向量 Y 和 X 为自变量的函数 $H = f(X, Y)$ 和相应三维图形的绘制。

griddata 函数

该函数为网格点对应函数值生成函数,调用格式: $HI = \text{griddata}(X, Y, H, XI, YI, \text{method})$ 。功能:在由函数 meshgrid 产生网格点矩阵 XI 和 YI 的基础上,根据函数 $H = f(X, Y)$,插值得到各个网格点上的对应函数值 HI 。差值方法有基于三角形的线性插值、三次插值和最小距离插值等方法。文中采用三次插值方法。

contour 函数和 contourf 函数

两个函数分别指二维等值线和等值区域绘制函数,调用格式: $[C, \text{handle}] = \text{contour}(XI, YI, HI, \text{value})$ 或 $[C, \text{handle}] = \text{contourf}(XI, YI, HI, \text{value})$ 。功能:根据输入列向量 value 中指定的值绘制等值线或等值区域,函数返回等值线或等值区域矩阵 C 和对应的句柄 handle 。

contour3 函数

该函数为三维等高线绘制函数,调用格式: $[C, \text{handle}] = \text{contour3}(XI, YI, HI)$ 。功能:绘制由输入参数 XI, YI 和 HI 决定的三维点,用光滑网格图连接并根据 HI 数值填充颜色;返回值同 contour 函数。

plob3 函数

该函数为三维线图绘制函数,调用格式: $\text{plob3}(X, Y, H)$ 。功能:绘制三维线图,以 X, Y, H 3 个向量中的对应元素为坐标,画出对应的数据点并连接成光滑曲线。

surf 函数

该函数为三维着色图形生成函数,调用格式: $\text{surf}(XI, YI, HI)$ 。功能:把每个点和周围的点用平面连接起来,并根据 HI 值以不同的元素填充小平面。

clabel 函数

该函数为等值线或曲面标注函数,调用格式: $\text{clabel}(\text{handle})$ 。功能:根据输入的等值线、等值区域句柄 handle 进行标注。

1.2 管网等水压线的绘制步骤

经给水管网水力计算后各节点的压力为已知值,设定各节点的纵坐标、横坐标和节点压力值分别为列向量 Y, X, H ,向量的行号代表节点的编号,如 $X[2]$ 代表 2 号节点的横坐标。

查找管网图的坐标范围即找出向量 Y, X 中的最小值和最大值,分别令其为 $\text{Min}_y, \text{Min}_x$,

Max_y,Max_x,确定绘制等压线的区域——以 (Min_y, Min_x)和 (Max_y,Max_x)点为左下边界点和右上边界点的矩形区域。

在矩形区域中线性内插点。根据纵、横坐标的极小值和极大值进行内插,用命令 linspace函数实现。

利用前一步生成的两个内插点的纵、横坐标向量,构成 XY平面上的自变量 (节点或虚拟节点的纵、横坐标值)及采样格点矩阵 [YI, XI],并计算采样格点上对应的函数值 HI (虚拟节点水压值)。该步骤分别利用了 meshgrid和 griddata函数。

根据 3个向量 YI, XI和 HI绘制给水管网的等压线图,并利用 contour和 clabel函数可分别实现等压线的绘制和等压线所对应压力值的标注。在本步骤中还可以根据精度需要自行设置等压线的间距值,如果为了更加直观地观察管网中水压分布的情况,也可以将等压线图改成二维着色图。

1.3 管网三维水压面的绘制

在完成管网等压线绘制的基础上,将得到的 3个向量 YI, XI和 HI运用函数 contour3绘制三维水压面;运用函数 plot3将实际节点的向量 X、Y、H标注出来,以便于在三维水压图上显示管网中实际节点的位置;最后运用 surf函数对三维图进行平面连接并根据水压值进行着色就可实现三维水压面的绘制;同时运用函数 clabel实现水压值的标注。

2 算例

算例为一个多水源给水管网,原始数据取自参考文献 [5],管段的管长和管径属性以及节点流量如图 1所示。

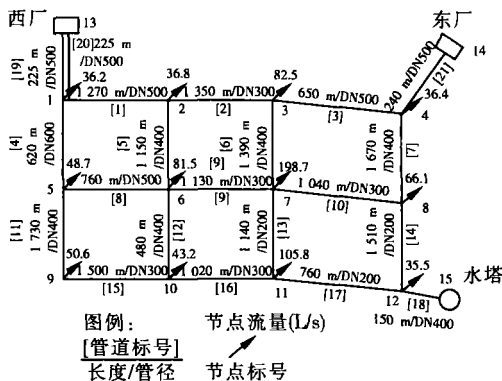


图 1 多水源管网计算图

Fig 1 Calculating map of multi-sources water distribution system

其中西厂出水量为 493 L/s,东厂出水量为 263 L/s,水塔水柜底高度为 27. 4 m,采用海曾—威廉公式计算管道水头损失, C值取 130。

为便于计算,将图 1中西厂的两条 DN500的管道简化为一条 DN650. 8的单管作为等效出水管,管网水力计算后的节点自由水压如表 1所示。

表 1 管网水力平差计算结果

Tab 1 Results of water distribution system after hydraulic calculation

节点或管段编号	流量 / (L · s ⁻¹)	流速 / (m · s ⁻¹)	水头损失 / kPa	自由水压 / kPa
[1]	150. 93	0. 77	14. 5	324. 4
[2]	51. 88	0. 73	25. 7	309. 8
[3]	135. 61	0. 69	6. 1	284. 1
[4]	305. 90	1. 08	10. 8	290. 2
[5]	62. 27	0. 50	7. 6	313. 6
[6]	104. 99	0. 84	24. 1	302. 3
[7]	91. 01	0. 72	22. 2	260. 1
[8]	173. 85	0. 89	11. 3	268. 0
[9]	74. 64	1. 06	42. 2	294. 0
[10]	31. 74	0. 45	8. 0	281. 9
[11]	83. 31	0. 66	19. 5	248. 6
[12]	79. 97	1. 13	20. 4	272. 9
[13]	12. 68	0. 40	11. 5	330. 7
[14]	6. 84	0. 22	4. 9	297. 9
[15]	32. 70	0. 46	12. 2	274. 0
[16]	69. 46	0. 98	33. 3	
[17]	23. 65	0. 75	24. 3	
[18]	66. 04	0. 53	1. 1	
[19]	246. 57	1. 26	6. 4	
[20]	246. 57	1. 26	6. 4	
[21]	263. 07	1. 34	7. 7	

由表 1可知,该多水源管网中最低水压位于节点 11处 (248. 6 kPa),最高水压位于水源节点 13处 (330. 7 kPa)。该计算结果与采用传统方法的电算结果基本相同,这表明该算法简单、可靠。在各节点自由水压的基础上,绘制了以 2 kPa为等值线间隔并从最低水压 (248. 6 kPa)到最高水压 (330. 7 kPa)的等自由水压线图,结果见图 2。其中程序在绘制等压线及等压面时默认水压值取整,即水压为 250 ~ 330 kPa,等值线间隔默认为 10 kPa,上述默认值还可按不同需求进行设置修改。

在图 2的基础上按节点自由水压值用不同的颜色进行区域填充,结果见图 3。中间的空白区域表明该区域水压值较低,包括压力最低的节点 11。

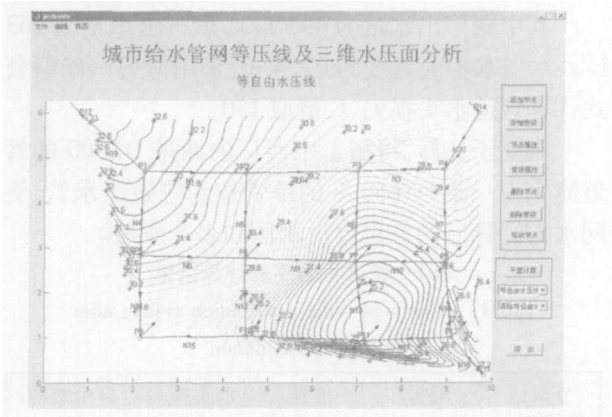


图 2 管网的等水压线

Fig 2 2-D contour of water pressure in network

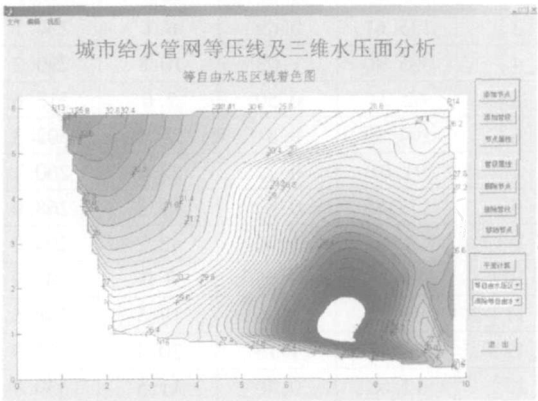


图 3 管网等水压区域着色图

Fig 3 2-D filled contour of water pressure in network

根据管网中节点自由水压值可绘制三维水压面,结果见图 4。

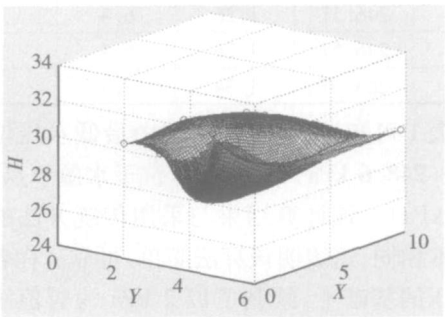


图 4 管网三维水压面

Fig 4 3-D contour of water pressure in network

3 结论

利用 Matlab 的 GUI 对“城市给水管网等压线及三维水压面分析”的界面程序进行了二次开发,在绘制给水管网的等压线和三维水压面时,首先通过交互式的图形绘制和水力属性输入,把给水管网的节点、管段的各个物理属性和水力属性信息用矩阵(或向量)方式进行存储;然后利用节点水压法进行给水管网的平差计算,得到各个节点的水压;最后在已知各个节点水压的基础上绘制等压线和三维水压面。为便于随时读取和分析管网,水力计算结果可以 m 文件的形式保存。

利用 Matlab 进行给水管网等压线和三维水压面的绘制具有以下优点:

算法简单、可靠,程序编制简单,适于任何形式、任何规模的管网。

等压线绘制精确度高,连接光滑平顺。

程序稍加改进便可绘制出多水源管网的供水区域分界线,也可通过扩展该程序来绘制等水位线、等雨量线和地形等高线等,增加其适用范围。

参考文献:

[1] 信昆仑,刘遂庆,耿为民. 城市给水管网三维水压面的绘制[J]. 给水排水, 2002, 28(6): 83 - 86

[2] 张雄,党志良,张贤洪,等. WebGIS 及三维可视化技术在铜川新区供水管网中的应用研究[J]. 给水排水, 2006, 32(1): 105 - 107.

[3] 张志涌. 精通 MATLAB 6.5 版[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2003.

[4] 刘幸. 直接法自动绘制等值线图[J]. 武汉水利电力大学学报, 1995, 28(6): 588 - 591.

[5] 严煦世,范瑾初. 给水工程(第 4 版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1999.

电话: (021) 65985869

E - mail: zengrongzhang@ sina. com

收稿日期: 2006 - 09 - 13

国家对水资源依法实行取水许可制度和有偿使用制度