

水文地质数值模拟中节点地面标高的获取方法

王 玮

(长安大学 水资源与环境工程系, 陕西 西安 710054)

[摘要] 在水文地质数值模拟中,地面标高对潜水蒸发量、边坡出溢点标高及其渗漏量等计算、地下水开采或人工补给所带来的环境效应分析等有着重要的作用。数字高程模型可为水文地质数值模型提供所需的节点地面标高,提出了用人工查点法、半自动查点法、数字化地形图提取法等获取数字高程模型的方法,并给出了通过数字高程模型计算节点地面标高的方法。

[关键词] 水文地质;数值模拟;数字高程模型;地面标高;获取方法;人工查点法;半自动查点法;数字化地形图提取法

[中图分类号] P641.2 [文献标识码] A [文章编号] 1007-9955(2003)02-0041-05

[作者简介] 王玮(1970-),男,江西乐平人,工程师,博士研究生,现从事水资源与环境工程的教学与研究工作。

1 问题的提出

在水文地质数值模拟计算过程中,常常遇到诸如潜水蒸发量、边坡出溢点标高及其渗漏量、地下水开采或人工补给所带来的环境效应分析等与地面标高有关的计算问题,这就要求提供各计算节点上的地面标高。数字高程模型是提供节点地面标高的最有效途径之一。但同时数字高程模型对实际地形仿真程度的高低也直接影响到计算的精度,甚至关系到整个数值模型的正确性。为此,如何快速高精度地获取地面标高,成为这类数值模拟工作中迫切需要解决的问题之一。

2 数字高程模型的生成方法

2.1 原始高程数据的获取

根据国家测绘局出版的相应比例尺的地形图,可通过以下3种途径获取原始高程数据。

2.1.1 人工查点法

根据数值模拟所采用的图面比例尺选择适当的

正规地形图作为地面标高原,人工读取地形图中标注的高程点的坐标及其高程值。考虑到精度要求,这些点的数据可能是不够的,此时需在地形等高线上按一定的间隔人工读取等高线所经过点的坐标及其高程值,尤其要注意在等高线曲率较大处加密处理。

该方法简单易行,其缺点是人工数据读取工作量较大,在高程点坐标读取及输入计算机时,因手工操作容易出错,因而数据的校对工作量也较大。当图面面积较大时这些缺点尤为突出。同时因工作量大,往往采样点数不是足够多,导致地面标高模拟精度下降。由于坐标读取是在图纸上进行的,所得结果的可检验性差。

2.1.2 半自动查点法

该方法与人工查点法工作原理类似,也是在地形图上读取采样点的坐标及其高程值,但此时坐标点的读取是通过计算机辅助完成的。

首先选区适当的正规地形图,用扫描仪或数码相机将其采集成计算机位图(最好选用高分辨率数码相机或彩色扫描仪,这样可获得彩色位图,可更方便地读取坐标高程值),然后通过一定的软件读取高程点。笔者介绍采用美国 Golden Software 公司的 Surfer v7 (或更高版) 读取高程点的具体方法。

Surfer 软件自 7.0 版之后,添加了一项数字化(Digitize)功能,利用该功能可以很方便地获取底图(Base Map)上任一点的精确坐标值。启动 Surfer 7 后进入 Plot Document 窗口,单击菜单中的 "Map" | "Bas Map" 将地形底图的位图调入 Surfer,此时地形图显示在 Plot Document 窗口内,其周边的刻度为该地形图的位图坐标。单击鼠标选中地形图,然后单击菜单中的 "Map" | "Digitize",鼠标变为十字形,当鼠标在绘图区移动时,鼠标所经过点的坐标便显示在状态栏上。把鼠标移动到要读取坐标点的位置并单击鼠标,该点的坐标便写入到数字化编辑器窗口,并在该点处标记上一个临时性的小红十字符号,这样就可以把该点的坐标读取出来。

当把此功能用于读取地面标高的坐标点时,可沿某一条等高线重复上述步骤,走完一条等高线后,便可获得该等高线所经过点的坐标,此时将数字化编辑器窗口里的内容(即该等高线所经过点的坐标)存盘后导入 Excel,并在每个坐标后加上该点的地面标高值。当把研究区内所有等高线、高程点都按上述步骤读取完成后,即可获得研究区的原始高程数据。当采样点足够多时,所形成的数字高程模型的仿真性是非常高的。由于坐标点的读取是机器完成的,各等高线的地面标高赋值是逐条等高线批量赋值的,这些工作都不易出错,只是地形图上已知高程点地面标高赋值较易出错。用该方法获取的数字高程模型还可通过计算机绘制地形等高线图(地形图位图坐标系下的等高线图)并与地形图位图叠加来检验数字高程模型的仿真程度。

因为这个坐标值是位图(底图)坐标系的坐标值,而不是通常使用的大地坐标系中的坐标值,需通过旋转、缩放、平移等坐标变换方法将该坐标转换为大地坐标系中的坐标值,关于具体的坐标变换方法这里不再赘述。

2.1.3 数字化地形图提取法

数字化地形图中包含着大量的地理地形信息,其中就有数字高程模型的原始数据。考虑到包含高程信息的高程注记点文件中除高程点具有高程属性外,其他如注记点也具有高程属性,因而在提取原始高程数据时,仅从等高线数据中提取。

打开 Map GIs 数字地面模型子系统,单击“文件”|“打开数据文件”|“线数据文件”,将数字地

形图中的等高线调入系统,然后单击“处理点线”|“线数据高程点提取”,选择等高线适当的线属性高程数据域(如 ELEV),此时高程点信息即已提取,并在所提取高程点为指标注上小红点。为便于进一步处理,需将高程点数据输出为明码格式。单击“文件”|“输出高程数据”,将高程点数据存盘为.DET 的明码文件。考虑到数字地形图在数字化等高线时,可能对某条等高线的高程属性未赋值,在进一步生成数字高程模型之前应将这些高程线生成的高程点剔除。可采用下述方法进行异常点剔除:编制程序,打开存盘的.DET 文件,该文件中第一行为标识行,第二行以后每行均为原始高程数据点的 X 、 Y 、 Z 值,这样可依次读入一个数据点的 X 、 Y 、 Z 值,当其 Z 值不为零时,就在另一个文件中输出该点;当其 Z 值为零时,则不输出该点。要注意的是,当在地面标高较低的地区,可能就有为零的等高线,就要另想处理办法。这样就从数字化地形图中获得了原始高程数据。

运用该方法获取原始高程数据,方便快捷,精度高,对在大区域上提取原始高程数据尤为便捷。但该方法要求有高精度适当比例尺的数字化地形图(不同比例尺的数字化地形图等高距一般不相同,而等高距控制着数字高程模型的精度),成本较高。

2.2 数字高程模型的生成

根据上述方法所获得的原始高程数据,可采用空间插值的方法生成数字高程模型,常用的方法为克里格(Kriging)方法。通常可用 Surfer 或 Map GIs 等软件实现,但考虑到数字高程模型的进一步应用,所生成的数字高程模型应为明码格式。这里以 Surfer 为例,来说明如何利用原始高程数据建立明码格式的数字高程模型。

在 Surfer 7 的 Plot Document 窗口中,单击菜单 "Grid" | "Data",选择原始高程数据文件后进入离散数据插值窗口,其中的网格化间距可根据计算区大小、数值模型剖分单元大小,设置的尽可能小,以满足精度要求。

在这要注意的一点是要修改 Output Grid File 的属性,将输出文件格式改为 GS ASCII (*.GRD)明码格式,这样可通过记事本等文本编辑器查看这些文件及通过编程进行进一步的应用。单击确定后,既可生成所需的数字高程模型。为检验该数字高程模型的仿真程度,可利用数字高程模型绘制等高线(可用 Surfer 完成),通过与地形图位图叠加比

较两图的等高线来检验其仿真程度,当数字高程模型不能很好地刻画实际地形时,可重复前述的原始数据获取方法对原始数据进行加密,再行比较,如此反复进行比较,便可获得具有高仿真性的数字高程模型。值得注意的是只有当数字高程模型的坐标系与地形图位图的坐标系相同时才能叠加,因此,在获取原始高程数据后先生成数字高程模型,以保证数字高程模型的坐标系与地形图位图的相同,当数字高程模型具有较高的仿真性并能满足水文地质数值模拟精度要求时,再将原始高程数据中的坐标变换为大地坐标,并最后生成数字高程模型。对于根据数字化地形图获取的原始高程数据,这些数据点本身就是等高线上的点,故而在数字高程模型绘制的等高线上叠加原始高程数据点来检验其仿真程度。

3 节点地面标高的生成

在通过上述方法获得的数字高程模型中(.GRD 网格文件),由于在生成数字高程模型时,网格间距较小,故可根据距节点最近的4个节点采用面积加权的方法(或双线性插值等其他方法)近似计算节点地面标高。

数字高程模型(.GRD 文件)中的数据结构如下

DSAA

n_{col}, n_{row}

x_{min}, x_{max}

y_{min}, y_{max}

z_{min}, z_{max}

$z(1, j), j = 1, \dots, n_{col}$

空行

$z(2, j), j = 1, \dots, n_{col}$

空行

...

$z(n_{row}, j), j = 1, \dots, n_{col}$

其中:DSAA 为文件标识符; n_{col} 为网格的列数; n_{row} 为网格的行数; x_{min}, x_{max} 分别为 x 的最小、最大值; y_{min}, y_{max} 分别为 y 的最小、最大值; z_{min}, z_{max} 分别为 z (高程)的最小、最大值; $z(i, j)$ 为第 i 行第 j 列网格节点上的高程值,其中最底部的行为第一行,最左边的列为第一列。

设水文地质数值模拟中某剖分节点的坐标为

(x, y) ,可根据下式确定该节点在数字高程模型网格中的位置(图1):

$$x = (x_{max} - x_{min}) / (n_{col} - 1)$$

$$y = (y_{max} - y_{min}) / (n_{row} - 1)$$

$$i = \text{int}[(y - y_{min}) / y] + 1$$

$$j = \text{int}[(x - x_{min}) / x] + 1$$

式中: x 为数字高程模型 x 方向上的网格间距; y 为数字高程模型 y 方向上的网格间距; i, j 为节点所在网格左下角点的编号。

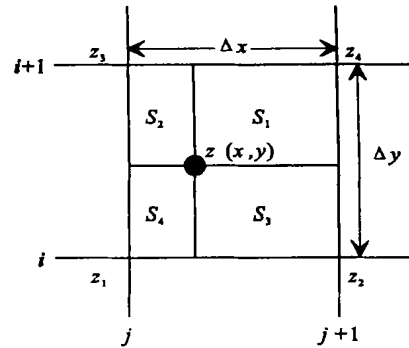


图1 节点标高计算示意图

Fig. 1 The Sketch Map for Calculation of Node Elevation

根据 i, j 的值,可以确定节点所在单元4个顶点的高程值:

$$z_1 = z(i, j)$$

$$z_2 = z(i, j + 1)$$

$$z_3 = z(i + 1, j)$$

$$z_4 = z(i + 1, j + 1)$$

过节点分别作平行于 x, y 方向的辅助线,将节点所在网格分成4个小区域,其面积分别为:

$$S_1 = [j \times x + x_{min} - x][i \times y + y_{min} - y]$$

$$S_2 = [x - (j - 1) \times x - x_{min}][i \times y + y_{min} - y]$$

$$S_3 = [j \times x + x_{min} - x][y - (i - 1) \times y - y_{min}]$$

$$S_4 = [x - (j - 1) \times x - x_{min}][y - (i - 1) \times y - y_{min}]$$

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = x \times y$$

分别以与各顶点相对的面积为权,近似用4个顶点的加权平均值作为节点的高程值,当数字高程模型的网格间距相对于剖分间距是足够小时,这种近似的精度是足够的。计算公式为:

$$z(x, y) = \frac{z_1 S_1 + z_2 S_2 + z_3 S_3 + z_4 S_4}{x \times y}$$

对每个剖分节点均按上述步骤计算其地面标高值,这样就完成了水文地质数值模拟中节点地面标高的赋值。利用该方法计算节点标高,原理简单清晰,计算精度高,便于编制计算程序。上述计算步骤

可通过编程实现,这里给出的计算程序在 Win98/Me/2000/XP+VB6 环境下调试通过:

```

Dim strPath As String '工作路径
Dim x_min As Single, x_max As Single
Dim y_min As Single, y_max As Single
Dim z_min As Single, z_max As Single
Dim n_col As Integer, n_row As Integer
Dim Z() As Single
Dim n_Point As Integer '节点数
Dim x_Point() As Single '节点 X 坐标
Dim y_Point() As Single '节点 Y 坐标
Dim z_Point() As Single '节点标高
Dim x_Span As Single, y_Span As Single '网格间距
Dim S1 As Single, S2 As Single
Dim S3 As Single, S4 As Single
Dim z1 As Single, z2 As Single
Dim z3 As Single, z4 As Single
Private Sub Command1_Click()
Dim Msg As String
Dim iY As Integer, jX As Integer '节点在 DEM 中的位置
strPath = App.Path & "\ " '获取工作路径
Open strPath & "Sample.GRD" For Input As 1
Open strPath & "Sample.XY" For Input As 2
Open strPath & "Sample.EL.EV" For Output As 3
Line Input #1, Msg '读入 DSAA
Input #1, n_col, n_row
Input #1, x_min, x_max
Input #1, y_min, y_max
Input #1, z_min, z_max
x_Span = (x_max - x_min) / (n_col - 1)
y_Span = (y_max - y_min) / (n_row - 1)
ReDim Z(n_row, n_col) As Single
For i = 1 To n_row '读入 DEM 中的高程值
For j = 1 To n_col
Input #1, Z(i, j)
Next j
Line Input #1, Msg '读入空行
Next i
Input #2, n_Point '读入节点数
ReDim x_Point(n_Point) As Single
ReDim y_Point(n_Point) As Single
ReDim z_Point(n_Point) As Single

```

读入节点坐标并计算节点标高

```

For i = 1 To n_Point
Input #2, x_Point(i), y_Point(i)
iY = Int((y_Point(i) - y_min) / y_Span) + 1
jX = Int((x_Point(i) - x_min) / x_Span) + 1
z1 = Z(iY, jX): z2 = Z(iY, jX + 1)
z3 = Z(iY + 1, jX): z4 = Z(iY + 1, jX + 1)
S1 = (jX * x_Span + x_min - x_Point(i)) * (iY *
y_Span + y_min - y_Point(i))
S2 = (x_Point(i) - (jX - 1) * x_Span - x_min) *
(iY * y_Span + y_min - y_Point(i))
S3 = (jX * x_Span + x_min - x_Point(i)) * (y_Point(i)
- (iY - 1) * y_Span - y_min)
S4 = (x_Point(i) - (jX - 1) * x_Span - x_min) *
(y_Point(i) - (iY - 1) * y_Span - y_min)
z_Point(i) = (z1 * S1 + z2 * S2 + z3 * S3 + z4 *
S4) / (x_Span * y_Span)
Print #3, x_Point(i), y_Point(i), z_Point(i)
Next i
Close #1, 2, 3
End
End Sub

```

在陕西省靖边县四柏树水源地采用数值法进行地下水资源计算时,由于水源地运行前排泄以蒸发和农灌开采为主,故运用半自动查点法建立了数字高程模型并计算出剖分节点上的地面标高值(图2),据

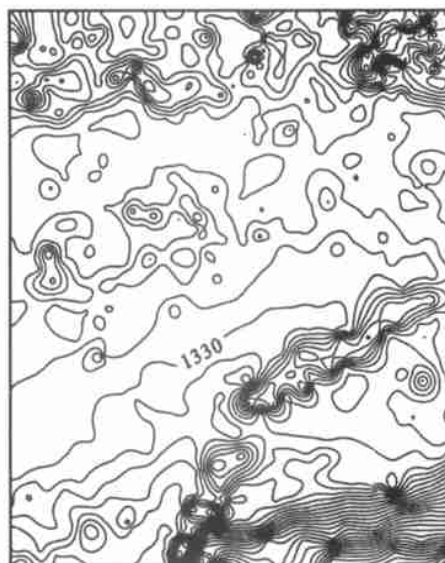


图 2 四柏树水源地地面标高等值线

Fig.2 The Contour Map of Siboshu Water Resource Field

此计算天然条件下,潜水蒸发排泄量为 $9\,155.166\text{ m}^3/\text{d}$,在水源地设计开采量为 $20\,400\text{ m}^3/\text{d}$ 时,蒸发排泄量减少为 $3\,077.414\text{ m}^3/\text{d}$,很好地模拟了水源地开采状态下截取蒸发排泄量的过程。

4 结论

通过上述3种方法获取原始高程数据是可行的,其中人工查点法简单易行,但工作量大,容易出错;数字化地形图提取法方便快捷,但对数字化地形图的要求较高,相应的成本也较高,当条件具备时,

为首选方法;半自动查点法具有其他两种方法的优点,即简单易行、方便快捷,在不具备数字化地形图条件时,为首选方法。

对节点地面标高模拟的精度,一方面受原始高程数据的精度控制,采样点越多且采样精度高,节点地面标高模拟的精度就越高;另一方面受数字高程模型中的网格间距控制,网格间距越小、网格越密,节点地面标高模拟的精度就越高。这就要求在节点标高模拟中要获取大量的原始高程数据,并在此基础上生成高密度的数字高程模型,以满足水文地质数值模拟中对地面标高的精度要求。

THE ACQUISITION METHOD OF THE NODES' ELEVATION IN HYDROGEOLOGICAL NUMERICAL MODELING

WANG Wei

(Dept. of Water Resource and Environmental Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: In Hydrogeological Numerical Modeling, the elevation is very important for calculating of the evapotranspiration and the seepage face elevation and leakage in slope. It is also important for the analysis of environmental effect caused by extracting groundwater or artificial recharge. The Digital Elevation Model (DEM) can provide the needed elevations. In this paper, the author gives several methods to acquire the DEM and a simple but effective method to calculate the elevation of nodes using DEM.

Key Words: hydrogeology; numerical Modeling; DEM; elevation; acquisition method; manual conversion method; semi-auto conversion method; digital map extraction method