

Excel 在求解系统理论权函数中的应用

王 玮¹, 钱 会¹, 马思锦²

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省地质调查院, 陕西 西安 710600)

[摘要] 在分析采用系统理论方法建立降水量与泉流量关系的原理基础上, 结合实例建立起一套采用 Excel 2002 求解系统理论权函数的方法, 该方法根据预先给定的权序列长度与权函数初值, 采用电子表格计算各观测泉流量实测值与计算值之间的误差平方和, 并以此构造目标函数, 再通过规划求解软件包计算出使目标函数最小化的权函数值。经反复调整权序列长度等指标可最终确定合理权函数序列。结果表明, 该方法通过其强大的可视化功能, 在确定权函数的合理性、提高计算效率等方面, 具有明显的优势。

[关键词] 系统理论; 权函数序列; Excel 2002; 规划求解; 泉流量

[中图分类号] P641.8 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)02-0078-04

[作者简介] 王玮(1970-), 男, 江西乐平人, 讲师, 博士, 从事水资源与环境的教学与研究。

在以泉流量(泉、泉集河)作为开采量的地区地下水资源评价中, 在适当的水文地质条件下, 常根据泉流量长期观测资料, 结合当地同期的降水量观测资料, 采用系统理论方法建立起泉流量与降水量之间的系统理论关系^[1,2]。通常的做法是根据最小二乘原理, 通过编制计算程序, 建立一个线性方程组并求解得到一组权函数以建立起系统理论预测模型, 再预测不同降水量条件下的泉流量。其关键在于确定合理的权函数序列, 笔者将采用 Excel 2002 软件完成这项工作^[3,4]。

1 计算原理

根据系统理论方法^[2,3,5], 当地下水系统可概化为线性时不变的单输入、单输出的集中参数系统时, 地下水逐月溢出量与逐月降水量间的关系可由下式表示

$$Q_t = \sum_{\tau=k}^n U_{t-\tau} W_{\tau}$$

式中: Q_t 为第 t 月泉流量; $U_{t-\tau}$ 为第 $t-\tau$ 月有效降水量; W_{τ} 为系统权函数; k 为滞后近限; n 为滞后远限。在确定有效降水量时, 应根据实际问题的具体条

件, 扣除总降水量中不能对地下水形成有效补给的部分。系统理论方法的关键是如何根据泉流量与降水量的对应关系, 建立一组关于权函数的线性方程组(一般情况下, 方程个数远比待求权函数个数多), 然后选择有效的解法求解该超定方程组得到一组合适的权函数。当建立起方程组后, 可根据最小二乘估计准则, 要求计算值与实测值间的误差平方和最小, 即

$$\min \Phi(W_k, W_{k+1}, \dots, W_n) = \sum_{t=1}^N (Q_{tc} - Q_{tm})^2 = \sum_{t=1}^N [U_{t-k} W_k + U_{t-k+1} W_{k+1} + \dots + U_{t-n} W_n - Q_{tm}]^2$$

式中: N 为观测数据个数。根据系统理论的物理意义, 权函数均应大于零。通常做法是编制计算程序, 求解该线性问题的法方程组, 得到一组权函数。笔者将据有约束最优化问题的求解原理^[6], 结合陕西省神木县柠条塔水源地中水头沙渠泉的实测资料, 利用 Excel 2002 中的规划求解工具求解该问题^[7,8]。

2 所需数据的输入

前述的地下水逐月溢出量与逐月降水量间的关系式说明, 第 t 月的泉流量 Q_t 是由第 $t-n$ 月降水 U_{t-n} 所形成的部分径流量 $U_{t-n} W_n$, 一直到第 $t-k$ 月降水 U_{t-k} 所形成的部分径流量 $U_{t-k} W_k$ 逐一迭加组成的。

在 Excel 中, 可把降水量与泉流量分别放在 2

[收稿日期] 2004 06 26

[基金项目] 中国地质调查局地质调查项目(1212010331302)

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

个不同的工作表中, 假定降水量工作表名为“JY”, 其中包含 3 列数据, 第 1 列为资料的年份, 第 2 列为资料的月份, 第 3 列为泉流量实测值。为将权函数计算与泉流量预报一并进行, 将神木县气象站 1957 年 1 月以来的逐月降水量全部输入该工作表 (图 1)。假定泉流量工作表名为“Quan”, 其中包含 6 列数据, 前 2 列与降水量表相同, 第 3 列为泉流量实测值, 第 4 列为泉流量系统理论计算值(采用 Excel 中的公式计算), 第 5 列为实测值与计算值间的绝对误差, 第 6 列为相对误差 (图 2)。另外在该表中还包括权函数序列值(位于第 10 列), 其序号为倒序排列。权函数序列长度可先根据泉流量与降水量关系确定出最大可能长度, 然后根据不同长度权函数系列计算结果来确定最优的长度。

	A	B	C	D
1	年	月	降水量	
2	1957	1	9.4	
3		2	1.9	
4		3	0	
5		4	63.9	
395		10	11.4	
396		11	7.6	
397		12	2.4	
398	1990	1	0.5	
399		2	16.6	
400		3	59.4	
401		4	58.2	
402		5	6	
403		6	16.5	
404		7	119	

图 1 降水量数据

Fig. 1 Worksheet of precipitation

方程组的形成主要是确定工作表中计算值所在列的公式。在 Excel 2002 中提供了一些函数来帮助确定公式, 包括 SUMPRODUCT (将数组间对应元素相乘后求和)、INDIRECT (返回由文本字符串指定的单元格引用)、ADDRESS (按照给定的行号和列标, 建立文本类型的单元格地址)、ROW (返回引用的行号) 等。

对于所列实例, 权函数序列最大可能长度取 50, 则可根据降水量序列的起始年月, 在 1961 年 1 月以来的月份对应计算值单元格中输入下列公式

=SUMPRODUCT (INDIRECT (ADDRESS (ROW() - 50 + 1, 3, 4, “JY”)); INDIRECT (ADDRESS (ROW(), 3, 4, “JY”)); INDIRECT (ADDRESS (1, 10, 4)); INDIRECT (ADDRESS (50, 10, 4)))

	A	B	C	D	E	F
1	年	月	实测流量	计算流量	绝对误差	相对误差
346		9	76.482	75.458	-1.024	-1.339
347		10	68.482	68.896	0.414	0.604
348		11	66.825	67.013	0.188	0.282
349		12	69.481	69.106	-0.375	-0.540
350	1986	1	67.105	66.664	-0.441	-0.658
351		2	67.845	68.479	0.634	0.935
352		3	72.432	73.578	1.146	1.582
353		4	71.214	73.601	2.387	3.352
354		5	63.821	66.949	3.128	4.902
355		6	69.145	77.658	8.513	12.312
356		7	66.81	74.123	7.313	10.946
357		8	66.052	71.096	5.044	7.637
358		9	61.865	65.787	3.922	6.339
359		10	60.555	65.684	5.129	8.469
360		11	59.456	66.033	6.577	11.061
361		12	59.468	69.365	9.897	16.643
362	1987	1	57.668	65.901	8.233	14.276
363		2	58.569	66.764	8.195	13.991
364		3	56.98	64.236	7.256	12.735
365		4	60.019	59.213	-0.806	-1.344

图 2 泉流量数据表

Fig. 2 Worksheet of spring flow rate

此时单元格中的数值, 即为根据工作表第 10 列中的 50 个权函数与降水量工作表中对应的降水量, 采用系统理论方法计算得到的泉流量计算值。当权函数发生改变时, Excel 将自动计算泉流量值, 当权函数长度发生变化时, 只需将权函数序号大于权函数长度的权函数的值赋零即可。

由于当各月份无实测值时, 实测值所在列对应的单元格为空格, 为计算实测值与计算值间的绝对误差, 可在 1961 年 1 月以来计算值所在列的单元格中输入下列公式

=IF(C?>0.1,D?-C?"/C?")

式中: ? 表示该列中单元格所在行号。此时当某月份有实测值时, 绝对误差列中对应的单元格不为空格。同理在 1961 年 1 月以来相对误差所在列的单元格中输入下列公式

=IF(C?>0.1,(D?-C?)/C?*100,"")

此时可建立最小二乘的目标函数, 在泉流量工作表中某单元格中(本例中为 G3)输入下列公式

=SUMPRODUCT(E331:E543,E331:E543)

式中的数字随具体问题的不同而不同, 其取值为与实测值相对应的起止行号。

3 规划问题的形成与求解

以下的计算要求安装 Excel 加载宏中的规划求解工具包。

单击“工具”菜单, 若其中没有“规划求解”菜单, 则单击其中的“加载宏”菜单, 加载规划求解工

具包,然后单击“规划求解”菜单,将弹出规划求解参数对话框,采用点击拖拉式操作设定各参数,其中目标单元格为 G3,性质为最小值,可变单元格为序号小于等于试算权函数序列长度的权函数(如:\$J\$34:\$J\$50)。然后单击选项按钮弹出规划求解选项对话框,首先将假定非负复选框选中,这表示在求解过程中要求权函数全部非负;其他参数可根据实际情况并结合系统帮助予以确定。单击确定后返回规划求解参数对话框,再单击求解按钮开始求解,计算正常结束后权函数所在列即为当前权函数长度下的最优权函数序列。为有利于进一步选取合理权函数序列,还可借助于 Excel 2002 强大的图形功能绘制泉流量与降水量关系曲线、权函数序列曲线及泉流量拟合曲线。

4 合理权函数序列的确定

由系统理论权函数的物理意义可知,权函数表示各期次降水量对当前泉流量贡献的大小,因此权函数应为大于零的数,且权函数序列理论上应为一个单调递减序列或单峰序列。单调递减序列表示泉流量对降水量的变化相应比较快,当月降水对溢出量有显著影响,这种权函数序列长度一般较短;单峰序列表示泉流量对降水量的变化有一定的滞后,当月降水量对当月的溢出量影响较小甚至没有影响,而对若干月之后的流量有显著影响,这种权函数序列长度一般较长。实际上,受观测精度、月平均流量、非当地降水量等因素影响,权函数序列往往是波动的,只具有单调递减或单峰的趋势。在确定权函数序列时,首先应根据溢出量与降水量的关系,确定出溢出量的滞后性,并由此判断权函数序列大致的特征;然后以不同的滞后近限与滞后远限确定相应的权函数序列的长度,采用 Excel 2002 计算出相应的权函数序列,并计算出实测值与计算值间的误差平方和,以这 2 个指标作为确定合理权函数序列的依据。在诸多方案中选择权函数形状较为合理且实测值与计算值间的误差平方和最小所对应的权函数序列为合理权函数序列^[2,9]。

5 实例研究

陕西省神木县柠条塔水源地水头沙渠泉域地处毛乌素沙漠南缘,区内大气降水是唯一的补给

源,地下水位埋深相对较大,潜水蒸发可忽略不计。地下水水位变幅相对含水层厚度较小,地下水主要通过水头沙渠泉排泄,因而泉域内地下水系统可看作一个线性时不变的单输入、单输出的集中参数系统,采用系统理论方法来建立降水量与泉流量间的关系。选用 1983 年 10 月至 1994 年 5 月共 128 个月的泉流量观测资料,经与降水量对比分析表明(图 3),泉流量与降水量关系密切。采用文中的计算方法计算结果为:滞后近限为 0(当月降水对当月流量有影响),滞后远限为 24,权函数序列长度为 25,实测值与计算之间的误差平方和为 5412.769,权函数序列见图 4。

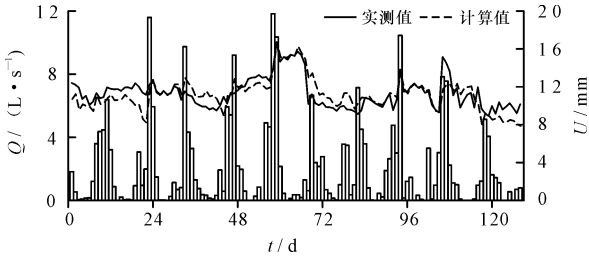


图 3 泉流量与降水量关系曲线
Fig. 3 Relationship map between spring flow rate and precipitation

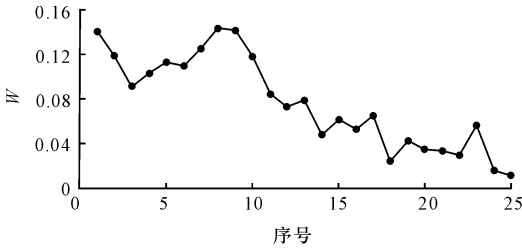


图 4 权函数序列
Fig. 4 Sequence map of weight function

6 结论

通过论述及实例计算,可得出以下结论:

- (1)采用 Excel 2002 求解系统理论权函数是一种简单有效的方法。
- (2)利用 Excel 2002 强大的绘图功能可使权函数分析计算的过程实现可视化,大大提高效率。

[参 考 文 献]

[1] 陈志新,李云峰.大同市万泉河流域玄武岩地下水开发研究[J].西安工程学院学报,2002,24(3):23~27.
[2] 房佩贤,卫中鼎,廖资生.专门水文地质学[M].北京:地质出版社,1987.
[3] 陈杰,朱国荣,王彩会.Excel软件优化基岩降水的井群设计

[J] . 水文地质工程地质, 2003, 30(1): 88 ~ 90.

[4] 王玮. 黑河水库单 薄山梁排水洞方案优选研究[J] . 西安工程
学院学报, 2002, 24(4): 30 ~ 34.

[5] 徐恒力. 地下水系统外部描述方法与结构辨识[A] . 见: 中国
地质大学(武汉) 水文系. 水文地质及工程地质 论文集[C] . 武
汉: 中国地质出版社, 1992.

[6] 袁亚湘, 孙文瑜. 最优化理 论与方法[M] . 北京: 科学出版社,
1999.

[7] 汪兴旺, 党荣. 复杂工程系统优化设计——以某泥 石流防治工
程系统的优化设计为例[J] . 西安工程学院学报, 2000, 22(2):
44 ~ 49.

[8] 成伟, 赵超英. 特殊条件下滑坡监测网的优化设计[J] . 长安大
学学报(地球科学版), 2003, 25(3): 84 ~ 87.

To solve weight function of system theory with Excel

WANG Wei¹, QIAN Hui¹, MA Si jin²
(1. School of Environmental Sciences and Engineering, Chang' an University,
Xi' an 710054, China; 2. Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi' an 710600, China)

Abstract: Based on the analysis of system theory to build the relationship between precipitation and spring flow rate, this pa
per built up a set of method for solving weight function using Excel 2002. In this method, according the pre assigning length
and initial value of weight function, the error quadratic sum between the observed value and calculated value of spring flow
rate can be calculated using spreadsheet, and the object function can be built. Then, the weight that can minimize the object
function can be solved by programming package. Through the error and trail method to adjust the length of weight function
etc, the reasonable weight function can be ascertained finally. The results indicate that this method has distinct advantage in
ascertaining the reasonable weight function and increasing efficiency via its visualization.

Key words: system theory; sequence of weight function; Excel 2002; mathematic programming; spring flow rate

[英文审定: 苏生瑞]

(上接第 72 页)

[参 考 文 献]

[1] 李青岳. 工程测量学[M] . 北京: 测绘出版社, 1995

[2] 侯国富. 建筑工程测量学[M] . 北京: 测绘出版社, 1987.

[3] 谢远光. 虎门大桥悬索桥主缆施工测量[J] . 公路, 1999, 7
(7): 24 ~ 28.

[4] 许曦. 悬索桥主缆差分定位及监测[J] . 测绘通报, 2001, (7):
45 ~ 47.

[5] 国家技术监督局与建设部. 工程测量规范[S] . 北京: 测绘出
版社, 1987.

[6] 聂让. 全站仪与高等级公路测量[M] . 北京: 人民交通出版
社, 1999.

[7] 成伟, 赵超英. 特殊条件下滑坡监测网的优化设计[J] . 长安大
学(地球科学版), 2003, 25(3): 84 ~ 87.

Construct control and monitoring for main cable of suspended cable

TIAN Yang jun, WANG Hong long
(School of Earth Sciences and Resources Management, Chang' an University, Xi' an 710054, China)

Abstract: Through analyzing the impact factor and error recourse of surveying data during the construct control of main cable
of the suspended cable, this paper introduces a surveying method and a corresponding adjust scheme. The basic rope lineari
ty survey of main cable can not use leveling. Because a high precision omnipotence instrument can survey in one direction, it
is difficult to collate if it exists error. At the same time, the basic surveying rope is very sensitive to the change of tempera
ture, magnitude wind and the offset of the tower. So the adjusting to the surveying scheme is necessary to satisfy the preci
sion requirement. Such as selecting the non wind or little wind weather, selecting the night surveying due to the steady tem
perature, using two high precision omnipotence instruments at the same time etc.

Key words: construct control; monitoring; main cable; atmosphere refraction; suspended cable

[英文审定: 马智民]