

The Application of Python Programming and Iterative Methods in Coal Mine Hydrogeological Exploration

Jiacheng Wu

China Coal Geology Bureau Second Hydrogeological Team, Xingtai, Hebei, 054000, China

Abstract

Coal resources are an important energy resource in China, with their exploration and development playing a crucial role in national economic progress. As shallow coal reserves diminish and mining operations gradually transition to deeper coal seams, the more complex hydrogeological conditions encountered in deep coal mining present significant challenges to conventional hydrogeological exploration methodologies. Particularly in the determination of hydrogeological parameters, manual calculation of higher-order equations proves cumbersome and hindering to workflow efficiency. Although the employment of Excel functions combined with manual iterative computations has enhanced operational efficiency, this approach remains fraught with limitations including over-reliance on manual control for both processes and precision, vulnerability of embedded formulas to operational errors, and restricted applicability for communication and promotion. To address these deficiencies in traditional approaches, this study proposes integrating Python programming with iterative methods. Taking the steady-state pumping test parameter determination as an example, we introduce and discuss an automated parameter retrieval system for hydrogeological analysis that realizes one-click computation functionality

Keywords

Hydrogeological exploration; Pumping test; Permeability coefficient; Influence radius; Iterative methods

Python 编程和迭代法在矿山水文地质工作中的应用

武嘉诚

中国煤炭地质总局第二水文地质队, 中国·河北 邢台 054000

摘要

煤炭资源是中国重要的能源资源, 其勘探开发对于国家经济发展具有重要意义。随着浅部煤炭资源的日益衰减, 部分矿区开始逐步开采深部煤层, 深部煤炭资源相较更为复杂的水文地质条件, 对传统煤矿水文地质勘探工作形成挑战, 特别是在求取水文地质参数过程中, 手算高阶方程过程繁杂不利于工作推进, 而利用Excel函数辅以人工进行迭代计算虽提高了工作效率但仍然存在着过程和精度依赖人工把控、插入的公式容易被误操作影响使用和交流推广的缺陷, 为解决上述传统手段中存在的不足, 本文拟从Python编程和迭代法出发, 以稳定流抽水试验求参为例, 对一键式求取水文地质参数进行介绍和探讨。

关键词

水文地质勘探; 抽水试验; 渗透系数; 影响半径; 迭代法

1 引言

煤炭资源是中国重要的能源资源, 其勘探开发对于国家经济发展具有重要意义。随着浅部煤炭资源的日益衰减, 部分矿区开始逐步开采深部煤层, 深部煤炭资源相较更为复杂的水文地质条件, 对传统煤矿水文地质勘探工作形成挑战, 特别是在求取水文地质参数过程中, 手算高阶方程过程繁杂不利于工作推进, 而利用 Excel 函数辅以人工进行迭代计算虽提高了工作效率但仍然存在着过程和精度依赖人工把控、插入的公式容易被误操作影响使用和交流推广的缺

陷, 为解决上述传统手段中存在的不足, 本文拟从 Python 编程和迭代法出发, 以稳定流抽水试验求参为例, 对一键式求取水文地质参数进行介绍和探讨。^[1]

2 抽水模型

抽水试验是矿山水文地质勘探工作的重要环节, 科学开展抽水试验, 方能顺利完成数据采集, 为模型构建创造基础条件。^[2]采用反抽法, 按稳定流进行抽水, 做三次降深, 分别采集流量、含水层厚度、水位降深、抽水段裸孔孔径等数据, 依据以下二式各数据之间关系, 计算抽水影响半径与渗透系数。

$$R=10 \times S \times K^{(1/2)} \quad (1)$$

$$K=(0.366 \times Q) \times \lg(R/r)/(M \times S) \quad (2)$$

【作者简介】武嘉诚(1996—), 男, 中国河北阳原人, 本科, 助理工程师, 从事水文地质研究。

其中 R: 影响半径, m;
r: 抽水段裸孔孔径, m;
S: 水位降深, m;

K: 渗透系数, m/d;
M: 含水层厚度, m;
Q: 流量, m³/d。



三次降深抽水试验综合成果图局部示意 图 1-1

为便于后续讨论, 本次仅将其中一组数据摘录。

表 1-1 一组抽水试验成果

Q: 流量, m ³ /d	M: 含水层厚度, m	S: 水位降深, m	r: 抽水段裸孔孔径, m
30.15	70.41	14.58	0.091

3 抽水试验参数的 Excel 公式计算及其优化

3.1 抽水试验参数的 Excel 公式计算

利用套嵌运算的思路, 建立计算表格, 如表 2-1 所示。于 B2、C2, B3、C3, B4、C4, B6、C6 单元格分别输入 30.15、70.41、14.58、0.091 等定值即已采集测得的水文地质参数 Q 流量、M 含水层厚度、S 水位降深、r 抽水段裸孔孔径, 于 B5、C1 单元格分别建立可实现“ $R=10 \times S \times K^{1/2}$ ”、“ $K=(0.366 \times Q) \times \lg(R/r)/(M \times S)$ ”运算的公式, 最终通过不断的手动调整 B1、C5 两处输入值, 使得运算结果逐渐逼近, 进而实现求参。

表 2-1 套嵌法求取水文地质参数示意

序列	A	B	C
1	K: 渗透系数, m/d		
2	Q: 流量, m ³ /d	30.15	30.15
3	M: 含水层厚度, m	70.41	70.41
4	S: 水位降深, m	14.58	14.58
5	R: 影响半径, m		
6	r: 抽水段裸孔孔径, m	0.091	0.091

显而易见, 参数的手动调整严重依赖初始输入数值的选择和技术人员个体的观察和工作经验, 取得成果的精度和时效难以保障, 以于 C5 单元格初始输入值为 2 为例, 并经过不断循环 B1 取 C1 值、C5 取 B5 值这一流程, 经 12 次输入, 求得参数如下, 影响半径 R=23.474253m、渗透系数 K=0.025922m/d, 过程极为繁琐, 如表 2-2 所示。

3.2 迭代运算

在计算机科学里, 迭代是程序中对一组指令(或一定步骤)的重复。迭代算法从一个初始解(或初始状态)开

始, 通过一系列的迭代步骤不断改进, 直到满足某种终止条件(比如达到目标精度或者达到最大迭代次数)。[3] 每次迭代都会计算出一个新的近似值, 让解更加接近目标。其本质是通过初始化、重复计算和终止条件控制, 不断改进解的精度。

表 2-2 利用采集到的数据通过套嵌法求取水文地质参数

序列	A	B	C
1	K: 渗透系数, m/d	0.025922	0.025922
2	Q: 流量, m ³ /d	30.15	30.15
3	M: 含水层厚度, m	70.41	70.41
4	S: 水位降深, m	14.58	14.58
5	R: 影响半径, m	23.474253	23.474253
6	r: 抽水段裸孔孔径, m	0.091	0.091

3.3 优化计算

利用迭代运算思维对水文地质参数的 Excel 公式计算进行优化, 建立计算表组, 以每行为一次运算单元, 并将前一行运算结果引用到下一行中参与运算, 并辅以精度显示, 可实现一次输入自动求参的目的, 仍以初始输入值取 2 为例, 经 8 次自动计算即可得出符合精度要求的参数, 使得水文地质参数计算一键式求解成为可能, 但作为 Excel 表格易被误操作的问题, 尚未得到妥善解决, 谋求新的解决方案仍是有着现实需要的。

4 抽水试验参数迭代法计算流程示意

不难发现在上述优化中, 迭代计算思路的引入, 明显提高了通过抽水试验求取影响半径以及渗透系数的效率和精度, 但仍存在着过程繁杂不利于交流推广的不足, 为便于后续进一步优化, 将其流程抽象简化如下。

5 基于迭代法流程图的 Python 算法实现

5.1 核心代码实现

见表 4-1。

表 2-3 利用采集到的数据通过迭代法求取水文地质参数

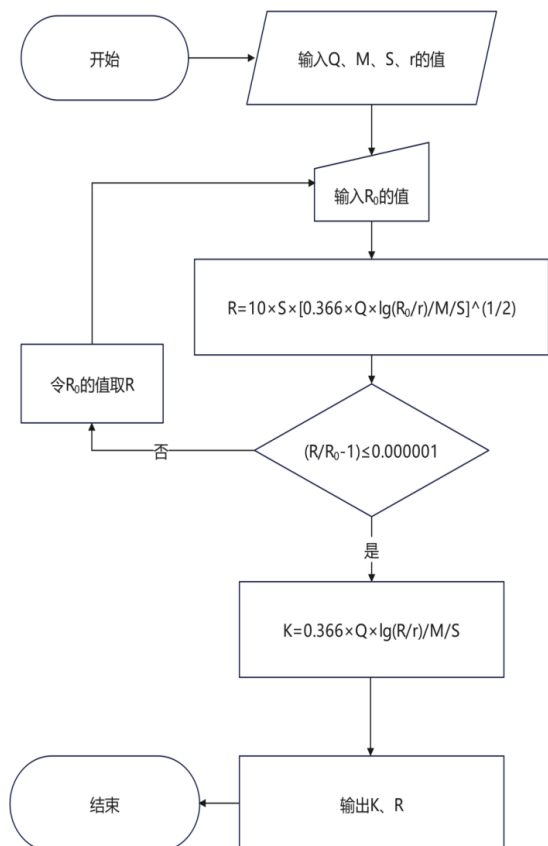
运算键入	Q (m ³ /d)	30.15	M (m)	70.41	S (m)	14.58	r (m)	0.091
初始值	R ₀	2	K ₀	0.014425	R ₀ '	17.511373	判断	0.114211
一次运算	R ₁	17.511373	K ₁	0.024554	R ₁ '	22.846535	判断	0.766478
二次运算	R ₂	22.846535	K ₂	0.025796	R ₂ '	23.417008	判断	0.975639
三次运算	R ₃	23.417008	K ₃	0.025911	R ₃ '	23.469209	判断	0.997776
四次运算	R ₄	23.469209	K ₄	0.025921	R ₄ '	23.473917	判断	0.999799
五次运算	R ₅	23.473917	K ₅	0.025922	R ₅ '	23.474341	判断	0.999982
六次运算	R ₆	23.474341	K ₆	0.025922	R ₆ '	23.474379	判断	0.999998
七次运算	R ₇	23.474379	K ₇	0.025922	R ₇ '	23.474382	判断	1.000000
八次运算	R ₈	23.474382	K ₈	0.025922	R ₈ '	23.474382	判断	1.000000

5.2 程序界面演示

见图 3-1。

5.3 注意事项

基于迭代关系式编写用于迭代计算的程序，需注意控制迭代的次数，适时停止迭代，迭代运算无休止的进行，不仅无法提升计算结果的准确信，还将延长迭代运算时间，影响后续水文地质勘探工作的开展。^[4]以本组水文地质参数求解算法实现为例，通过“max_iterations=20”命令将最大迭代次数限定在 20 次以内，并辅以精度校验判断是否需要提前结束迭代。如图 3-1 所示，第 5-8 次运算结果已趋于稳定，特别是第 8 次运算精度已满足预设要求，于此时停止迭代，并输出最终结果。



抽水试验迭代求参流程图 图 3-1

表 4-1 核心代码实现

流程	K 值、R 值计算	精度校验
代码实现	<pre> max_iterations=20 for i in range(max_iterations): current_r=r_values[-1] next_r=10*s*((0.366*q*math. log10(current_r/r)/ (m*s))**(1/2)) r_values.append(next_r) current_r=r_values[-1] k=(0.366*q*math. log10(current_r/r)/(m*s)) k_values.append(k) </pre>	<pre> if i>0: diff=(r_values[-1]-r_ values[-2])/r_values[-2] if diff<0.000001: judge.append("1.000000") else: judge_value=r_values[-2]/r_ values[-1] judge.append(f" {judge_ value:.6f}") else: judge.append("0.112405") if i>0 and diff<0.0000001: break </pre>
注释	渗透系数 \ 影响半径迭代运算	判断是否需要提前结束迭代

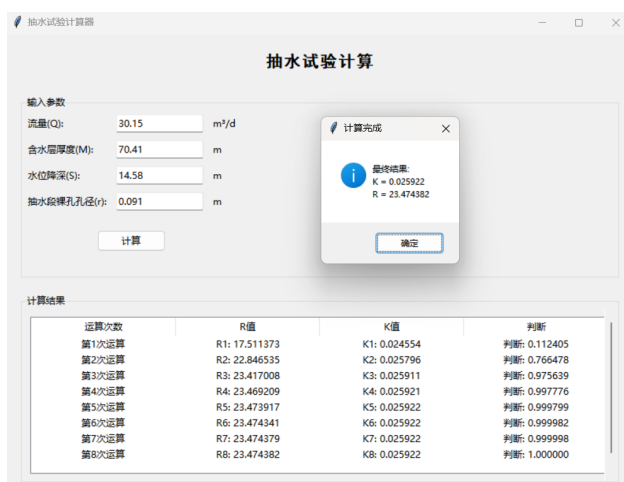


图 3-1 程序界面演示

6 结语

运用 Python 编程和迭代法可实现抽水试验参数的一键式求取，相较手工计算和传统 Excel 表格套嵌式计算等，可极大提高工作效率和精度，新工艺新方法的引入，对矿山水文地质勘探工作的开展有着积极影响。

参考文献

- [1] 韩卫华.迭代法在求解水文地质参数中的应用[J].江西煤炭科技,2008(01):45-46.
- [2] 邵军战.单井稳定流抽水试验中水位恢复曲线的作用分析[J].中国煤炭地质,2013,25(10):31-35.
- [3] 周俊,王跃.迭代法在矿山水文地质工作中的运用——以普定县鸡场坡乡砂岩铅锌矿水文地质参数计算为例[J].世界有色金属,2022(05):142-144.
- [4] 郭晓政.迭代法在矿山水文地质工作中运用分析[J].世界有色金属,2023(23):172-174.