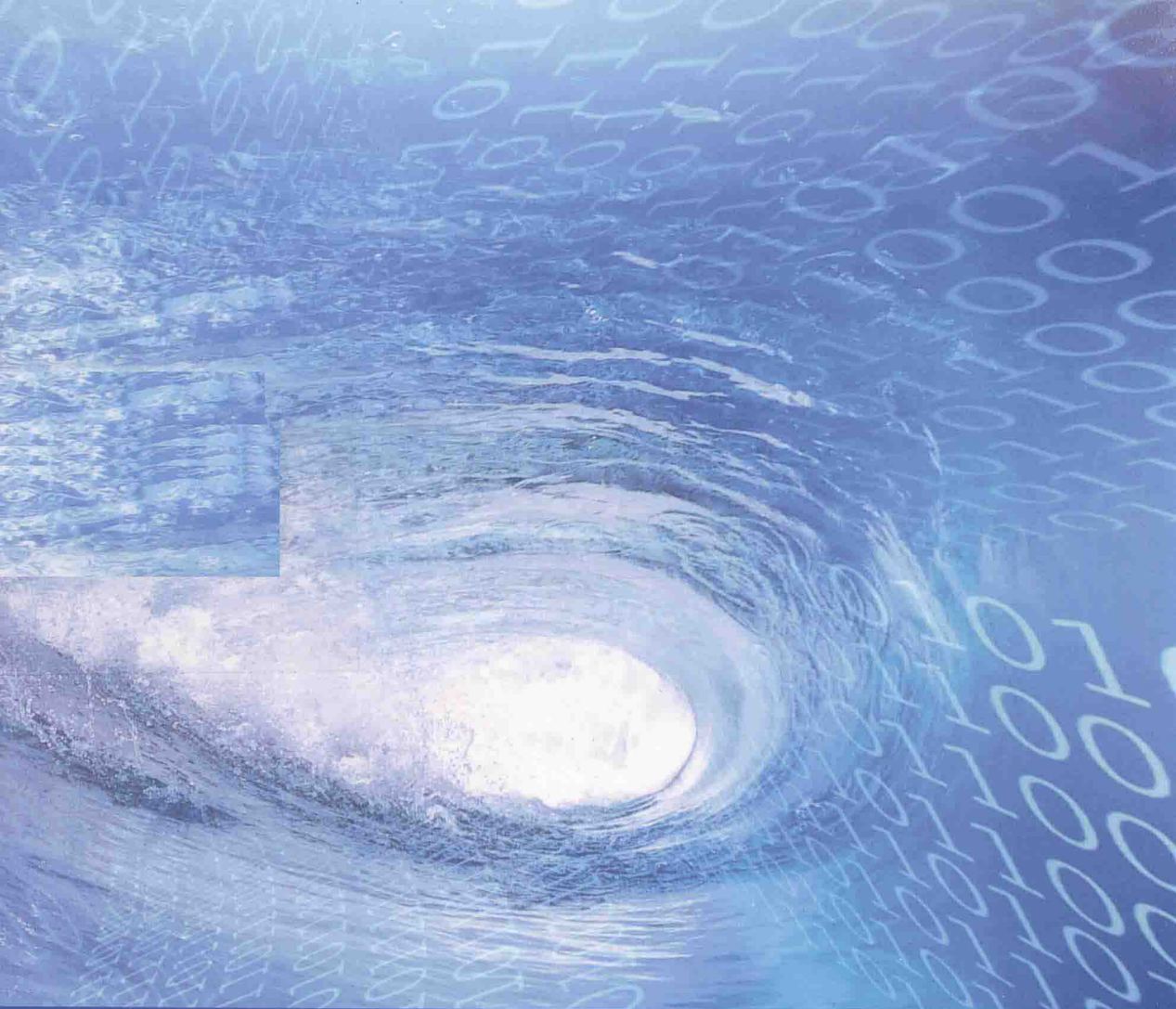




水文地质 参数智能优化计算

Intelligent optimization and Computation
of Hydrogeological Parameters

张 勇 党承华 东 栋 张广宇 著



科学出版社

国家自然科学基金项目(11371117)赞助

水文地质参数智能优化计算

张 勇 党承华 东 栋 张广宇 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

对于非稳定流抽水试验水文地质参数计算,作者在本书中提出了基于智能优化理论的配线计算方法,并论述了承压水完整井、非完整井、边界附近完整井、越流补给含水层、非完整井流、潜水 Boulton 模型、Neuman 模型等水文地质参数智能优化配线计算方法及例题。特点是采用智能优化配线替代传统的人工配线法计算水文地质参数,弥补了人工配线存在配线及读数误差的不足,解决了各种类型井函数的自动计算问题,提出了基于定点喂食的改进粒子群算法,用于曲线族类井函数的多维度目标函数优化配线计算,加快了收敛速度,提高了计算精度,免去了所有配线法制作标准曲线及人工绘制同比例试验曲线的麻烦和配线计算过程,使得水文地质参数计算更加高效、快速、准确。书中重点介绍了运用粒子群算法、蚁群算法、模拟退火算法、遗传算法、差分进化算法等进行优化配线求解水文地质参数的方法及步骤,以及智能优化配线与人工手动配线计算实例对比分析。书中附有作者基于 MATLAB 开发的部分相关程序,便于在本行业推广使用。

本书可供从事水文地质计算、地下水环境评价及相关科研工作的教师、技术人员、研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文地质参数智能优化计算/张勇等著. —北京:科学出版社, 2019. 6

ISBN 978-7-03-061718-7

I. ①水… II. ①张… III. ①水文地质参数-计算方法-研究 IV. ①P641

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 121121 号

责任编辑:焦 健 柴良木 / 责任校对:张小霞

责任印制:吴兆东 / 封面设计:北京图阅盛世

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 6 月第一次印刷 印张: 21 3/4

字数: 510 000

定价: 198.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

抽水试验是获取含水层水文地质参数的主要方法,分为稳定流抽水试验和非稳定流抽水试验。稳定流抽水试验方法简单、快速,缺点是获得的水文地质参数较少,对一些重要的水文地质计算尚不能满足要求。要获得更多水文地质参数就需要进行非稳定流抽水试验,但其水文地质参数的计算方法较为烦琐,一般是采用标准曲线配线法、直线图解法等来求解。根据抽水试验含水层类型、抽水井类型、边界条件的不同,需要绘制不同类型的标准曲线及相同模板的抽水试验观测数据曲线,将两条曲线进行配线拟合来计算水文地质参数。该计算方法烦琐,实际配线计算过程中极易出现人为配线误差,尤其对于一些井函数是曲线族的情况,更是无从下手,理论上曲线族的标准曲线有无限多条,人为配线误差会更大,有些情况下并不能求出其真实的水文地质参数。对于井函数为标准曲线族的情况,因条件所限,标准曲线模板上也不能绘制出所有的标准曲线供配线使用。因此,传统的配线方法使用起来比较麻烦、人工配线计算的误差很大,这些因素也限制了该方法的实际应用。

随着计算数学及计算机的快速发展,出现了很多智能优化理论,如蚁群算法、粒子群算法、模拟退火算法、人工神经网络、遗传算法、差分进化算法等。智能优化理论为抽水试验水文地质参数的人工智能计算提供了有力支撑,本书探讨了智能优化理论在非稳定流抽水试验中的相关应用,利用人工智能算法,完成水文地质参数的智能优化配线计算。具体思路是根据最小二乘法原理构造目标函数,用人工智能算法完成试验数据与标准曲线的智能优化配线,只要输入抽水试验数据,选择不同的试验方法、边界条件、试验井条件及智能优化方法,即可完成水文地质参数的智能优化配线计算,免除了人工绘图、配线计算的烦琐工作,避免了人工配线存在视觉误差的不足,提高了计算精度。

本书的重点一是构造各种标准井函数用于优化配线计算,由于非稳定流抽水试验涉及的井函数没有解析解,仅部分井函数有经验解,作者在书中给出了各种井函数的数值解及其 MATLAB 计算方法,方便大家学习运用;二是基于最小二乘法,构造出用于不同类型抽水试验配线计算的目标函数,给出了各种配线方法的目标函数计算公式;三是针对某些曲线族类井函数,如 $G\left(\lambda, \frac{r_w}{B}\right)$ 、 $W\left(u, \frac{r}{B}\right)$ 、 $H(u, \beta)$ 、 $W\left(u_a, \frac{r}{D}\right)$ 、 $W\left(u_y, \frac{r}{D}\right)$ 等,其构成的目标函数属于多维度函数,有较多的局部最优解,用传统的智能优化配线计算效果不太理想,收敛速度慢,计算精度不高,作者基于鸟群觅食的思路,提出了定点喂食粒子群算法,用于解决此类曲线族井函数的优化配线,加快了多维度目标函数的迭代计算速度及精度,该方法具有广泛的推广价值及进一步深入研究的价值。

作者利用 MATLAB 编制完成了智能优化配线水文地质参数计算软件,涵盖了 Theis 降深-时间配线法、Theis 降深-距离配线法、Theis 降深-时间距离配线法、Jacob 自动直线图解法、Hantush 越流补给配线法、潜水含水层的 Boulton 和 Neuman 配线法、微水试验

(slug test)、弥散试验配线法等水文地质参数的求解内容,形成了一套系统的非稳定流抽水试验智能优化配线计算理论,属于原创成果。书中用实例进行了智能优化配线与人工手动配线计算结果的对比分析,给出了部分相关优化配线计算程序源代码,方便相关专业技术人员推广使用。所有程序均在 MATLAB 2018 版上完成运行 [台式计算机配置: Intel (R) Core (TM) i3-8100 CPU@3.6GHz, 书中所有例题计算耗时均以此配置计算机运行时间为准]。

全书分为十章:第一章为基本概念、水文地质参数、抽水试验相关内容;第二章为智能算法简介;第三章主要介绍了承压完整井非稳定流抽水试验,包括无界承压含水层完整井流、相应的粒子群智能优化配线法、基于最小二乘法的雅各布智能优化直线图解法和水位恢复法、大直径井抽水试验优化配线、各向异性介质中的完整井流;第四章介绍了定降深承压完整井非稳定流抽水试验,包括无越流定降深单井非稳定流标准曲线配法、直线图解法、第一类越流系统中定降深非稳定流智能优化配线法;第五章介绍了直线隔水边界、补给边界附近的单井非稳定流优化配线方法和计算实例;第六章介绍了第一类越流系统非稳定流抽水试验标准曲线配线法和相关实例分析,提出了定点喂食粒子群优化算法,以及根据稳定状态抽水试验资料确定水文地质参数的智能优化配线法;第七章介绍了第二类越流系统非稳定流抽水试验的基本情况,以及根据短时间、长时间抽水试验资料求解水文地质参数的方法及程序实例;第八章介绍了潜水完整井非稳定流抽水试验的 Boulton 和 Neuman 模型,基于随机权重粒子群、定点喂食粒子群优化配线求解水文地质参数的方法及程序实例;第九章介绍了承压非完整井非稳定流抽水试验的配线方法和程序实例;第十章介绍了基于线性递减权重粒子群优化算法的承压含水层微水试验,以及基于标准曲线配线法、蚁群算法、基本粒子群算法、差分进化算法的弥散系数优化配线计算方法及程序实例分析。

本书由河北工程大学张勇、党承华、东栋、张广宇合作完成。由张勇提出优化思路,完成目标函数的求解证明、井函数数值解的计算,提出了求解特殊多维目标函数的定点喂食思路;党承华完成了第一章、第二章、第三章直线图解法的部分、第十章及附录的内容;东栋完成了软件的编程工作;张广宇完成了程序的优化及复杂井函数的设计编程;最后由张勇完成本书其他章节的编写、计算及定稿。

书中涉及学科交叉的相关理论,若有不妥之处,可联系作者 (zhang_yong001@163.com) 交流相关内容,敬请读者批评指正,如需引用,请注明出处。

本书编写过程中,引用了一些单位及个人的部分研究成果,在此表示衷心感谢!

作者
2019年1月

目 录

前言

第一章 基本概念与定义	1
第一节 基本概念	1
第二节 水文地质参数	2
第三节 抽水试验	4
一、抽水试验的目的、分类	4
二、抽水试验资料的整理及水文地质参数计算	5
第二章 智能算法简介	6
第一节 粒子群优化算法	6
一、标准粒子群算法	6
二、标准粒子群算法流程	7
三、参数设置	7
第二节 蚁群算法	9
一、蚁群算法概述	9
二、基本蚁群算法	9
三、蚁群算法函数极值寻优实现步骤及流程	10
四、计算参数的选择	11
第三节 模拟退火算法	11
一、模拟退火算法概述	11
二、模拟退火算法原理	12
三、模拟退火算法的基本思想	12
四、模拟退火算法流程	13
五、计算参数的选择	13
第四节 遗传算法	14
一、遗传算法概述	14
二、遗传算法基本原理	14
三、遗传算法计算流程	15
四、计算参数的选择	16
第五节 差分进化算法	16
一、差分进化算法概述	16
二、差分进化算法原理	17
三、差分进化算法流程	17
四、计算参数的选择	17

第三章 承压完整井非稳定流抽水试验	19
第一节 无界承压含水层完整井流	19
一、泰斯 (Theis) 非稳定流	19
二、井函数 $W(u)$ 的近似解	21
三、井函数 $W(u)$ 的数值解	22
第二节 Theis 降深-时间配线法	24
一、Theis 降深-时间配线法求解水文地质参数	24
二、计算例题 3.1	26
三、标准粒子群优化配线求解水文地质参数	27
四、基于标准 PSO 算法的降深-时间优化配线法计算实例	29
五、PSO 算法参数取值影响分析	33
第三节 Theis 降深-距离配线法	35
一、Theis 降深-距离配线法求解水文地质参数	35
二、计算例题 3.2	36
三、带压缩因子粒子群 (YSPSO) 优化配线求解水文地质参数	38
四、基于 YSPSO 算法的降深-距离优化配线法计算实例	38
五、YSPSO 算法参数取值影响分析	42
第四节 Theis 降深-时间距离配线法	43
一、Theis 降深-时间距离配线法求解水文地质参数	43
二、计算例题 3.3	44
三、线性递减权重粒子群 (LinWPSO) 优化配线求解水文地质参数	47
四、LinWPSO 算法降深-时间距离优化配线法计算实例	48
五、LinWPSO 算法参数取值影响分析	55
第五节 Theis 降深-距离时间配线法	57
一、Theis 降深-距离时间配线法求解水文地质参数	57
二、计算例题 3.4	58
三、带压缩因子的粒子群 (YSPSO) 算法实现降深-距离时间优化配线	60
第六节 雅各布 (Jacob) 降深-时间直线图解法	62
一、降深-时间直线图解法求解水文地质参数	62
二、计算例题 3.5	63
三、基于最小二乘法的自动优化 Jacob 降深-时间直线图解法	64
四、基于最小二乘法的自动优化 Jacob 降深-时间直线图解法计算实例	64
第七节 雅各布 (Jacob) 降深-距离直线图解法	66
一、降深-距离直线图解法求解水文地质参数	66
二、计算例题 3.6	67
三、基于最小二乘法曲线拟合的降深-距离直线图解法	68
四、基于最小二乘法曲线拟合的降深-距离直线图解法计算实例	68
第八节 雅各布 (Jacob) 降深-时间距离直线图解法	69

一、降深-时间距离直线图解法求解水文地质参数	69
二、计算例题 3.7	70
三、基于最小二乘法曲线拟合的降深-时间距离直线图解法	70
四、基于最小二乘法曲线拟合的降深-时间距离直线图解法计算实例	70
第九节 水位恢复法	72
一、水位恢复法求解水文地质参数	72
二、计算例题 3.8	73
三、基于最小二乘法的水位恢复直线图解法	74
四、基于最小二乘法的水位恢复直线图解法计算实例	75
第十节 大直径井抽水试验优化配线	76
一、Papadopulos 和 Cooper (1967) 大直径井非稳定流基本理论	76
二、Papadopulos 和 Cooper (1967) 大直径井配线法求解水文地质参数	78
三、计算例题 3.9	79
四、改进的 SAPSO 算法大口井优化配线求解水文地质参数	79
第十一节 各向异性介质中的完整井流	84
一、Papadopulos 模型解	84
二、Papadopulos 模型配线法求解水文地质参数	85
三、计算例题 3.10	86
四、标准粒子群优化 (PSO) 配线求解各向异性介质含水层水文地质参数	88
五、SA+PSO 混合算法求解各向异性介质含水层水文地质参数	93
六、不同优化方法分析对比	94
第四章 定降深承压完整井非稳定流抽水试验	96
第一节 无越流定降深单井非稳定流 $G(\lambda) - \lambda$ 标准曲线配线法	96
一、 $G(\lambda) - \lambda$ 标准曲线配线法求解水文地质参数	96
二、井函数 $G(\lambda)$ 的近似解	98
三、传统 $G(\lambda) - \lambda$ 标准曲线配线法计算实例	98
四、自适应惯性权重粒子群 (SAPSO) 定降深抽水试验优化配线法	101
五、自适应惯性权重粒子群算法优化配线法计算实例一	102
六、自适应惯性权重粒子群算法优化配线法计算实例二	105
第二节 直线图解法	109
一、直线图解法求解水文地质参数	109
二、基于最小二乘法曲线拟合的直线图解法	110
三、计算实例	111
第三节 第一类越流系统定降深非稳定流标准曲线配线法	112
一、 $G\left(\lambda, \frac{r_w}{B}\right) - \lambda$ 标准曲线配线法基本原理	112
二、RandWPSO 配线法求解水文地质参数	114
三、随机权重粒子群 $G\left(\lambda, \frac{r_w}{B}\right) - \lambda$, $Q-t$ 优化配线法计算实例	115

第五章 直线边界附近的单井非稳定流抽水试验	120
第一节 直线隔水边界附近的单井非稳定流	120
一、标准曲线配线法求解水文地质参数	120
二、遗传算法优化配线求解水文地质参数	123
三、隔水边界遗传算法优化配线法计算实例分析	124
第二节 直线补给边界附近的单井非稳定流	129
一、标准曲线配线法求解水文地质参数	129
二、基于随机权重粒子群 (RandWPSO) 优化配线求解水文地质参数	132
三、基于 RandWPSO 算法的补给边界降深-距离优化配线法计算实例	132
第六章 第一类越流系统非稳定流抽水试验	136
第一节 第一类越流系统非稳定流抽水试验标准曲线配线法	136
一、第一类越流系统标准曲线配线法求解水文地质参数	136
二、Hantush 和 Jacob 井函数 $W\left(u, \frac{r}{B}\right)$ 近似解	139
三、Hantush 和 Jacob 井函数 $W\left(u, \frac{r}{B}\right)$ 数值解的推导	141
四、学习因子同步变化粒子群 (LnCPSO) 优化配线求解水文地质参数	143
五、学习因子同步变化粒子群算法越流系统降深-时间配线法计算分析	144
六、LnCPSO 算法参数取值影响分析	149
第二节 定点喂食粒子群优化算法 (LFPSO)	151
一、问题的提出	151
二、定点喂食的思路	151
三、计算公式及实施步骤	152
四、定点喂食粒子群 LFeHPSO 算法优化配线法计算步骤	153
五、LFeHPSO 算法优化配线计算实例	154
第三节 根据稳定状态抽水试验资料确定水文地质参数	156
一、传统标准曲线配线法求解水文地质参数	156
二、蚁群算法优化 (ACO) 配线求解水文地质参数	159
三、基于蚁群算法的越流系统稳定流优化配线计算实例	159
四、免疫算法 (Immune) 的越流系统稳定流优化配线	162
五、基于随机权重粒子群的越流系统稳定流优化配线计算分析	164
第七章 第二类越流系统非稳定流抽水试验	166
第一节 基本情况	166
第二节 根据短时间抽水试验资料求解水文地质参数	167
一、配线法求解水文地质参数	167
二、弱透水层弹性释水越流井函数 $H(u, \beta)$ 的数值解	169
三、自适应惯性权重粒子群 (SAPSO) 优化配线求解水文地质参数	171
四、自适应惯性权重粒子群算法优化配线计算分析	172
五、基于定点喂食的粒子群算法 (LFPSO) 例题计算分析	178

第三节 根据长时间抽水试验资料求解水文地质参数	181
第八章 潜水完整井非稳定流抽水试验	183
第一节 考虑迟后疏干的博尔顿 (Boulton) 模型	183
一、传统博尔顿配线法	183
二、Boulton 井函数的数值计算及近似处理	186
三、传统博尔顿配线法计算例题 8.1	187
四、基于随机权重粒子群 (RandWPSO) 的 Boulton 模型优化配线法	193
五、潜水非稳定流 Boulton 模型 RandWPSO 算法优化配线计算实例	194
六、基于定点喂食的随机权重粒子群算法优化 (LFRandWPSO) 配线计算流程	206
七、LFRandWPSO 算法优化配线计算分析	207
第二节 其他 Boulton 模型实例优化配线计算分析	210
一、5 套潜水非稳定流抽水试验资料 LFRandWPSO 算法优化配线分析	210
二、Boulton 模型粒子群优化配线算法的改进	221
第三节 考虑含水层各向异性及迟后疏干的纽曼 (Neuman) 模型	232
一、Neuman 配线法	232
二、Neuman 井函数的求解	233
三、先配 B 曲线后配 A 曲线配线法计算步骤及计算例题	245
四、先配 A 曲线后配 B 曲线配线法计算步骤及计算例题	257
第四节 不同 Neuman 配线法求解的差异性分析	260
一、Neuman 配线法的配线类型	261
二、不同 Neuman 配线方法计算结果分析	261
第九章 承压非完整井非稳定流抽水试验	263
第一节 承压非完整井标准曲线配线法基本原理	263
一、承压非完整井非稳定流基本方程	263
二、非完整井井函数的求解	264
第二节 根据抽水试验资料确定水文地质参数	269
一、承压非完整井配线计算步骤	270
二、承压非完整井计算例题 9.1	271
第三节 随机权重粒子群非完整井优化配线求解水文地质参数	272
一、基于随机权重粒子群非完整井优化配线求解水文地质参数	272
二、基于 RandWPSO 算法的非完整井优化配线计算实例	272
第十章 其他水文地质参数智能优化求解	278
第一节 承压含水层微水试验	278
一、承压含水层微水试验配线法求解水文地质参数	278
二、基于线性递减权重粒子群优化 (LinWPSO) 配线求解水文地质参数	282
三、线性递减权重粒子群算法优化配线计算实例	282
第二节 弥散系数智能优化配线法	285
一、标准曲线配线法	285

二、蚁群算法优化配线求解弥散系数	289
三、基于蚁群算法的弥散系数优化配线计算分析	289
四、基于标准粒子群 (PSO) 的弥散系数优化配线计算分析	293
五、基于差分进化的弥散系数优化配线计算分析	296
参考文献	299
附录	302
附录 1 降深-时间配线法	302
附录 2 降深-距离配线法	306
附录 3 降深-时间距离配线法	310
附录 4 降深-距离时间配线法	315
附录 5 Jacob 降深-时间直线图解法	320
附录 6 Jacob 降深-距离直线图解法	325
附录 7 Jacob 降深-时间距离直线图解法	326
附录 8 水位恢复直线图解法	327
附录 9 无越流定降深非稳定流 SAPSO 算法优化配线	329
附录 10 定降深、变流量直线图解法	334

第一章 基本概念与定义

第一节 基本概念

地下水的运动和聚集,必须具有一定的岩性和构造条件,空隙多而且能使水流通过的岩土层,称为透水层(permeable layer),贮存有地下水的透水岩土层,称为含水层(aquifer)。空隙少而小的致密岩土层是相对的不透水层(渗透系数 $K < 0.001\text{m/d}$),称为隔水层(aquiclude),还有一种渗透性介于含水层与隔水层之间,称为弱透水层(aquitard)。含水层、隔水层和弱透水层的不同组合,构成不同类型的地下水。

(1) 潜水含水层(unconfined aquifer)

潜水含水层指埋藏在地表以下第一个连续、稳定的隔水层以上具有自由水面的重力水,一般存在于第四系松散堆积物的孔隙中,形成孔隙潜水,也可以充填于基岩的裂隙和溶洞中,形成裂隙潜水和岩溶潜水,潜水的分布区与补给区是一致的,易受气象水文要素变化的影响,潜水的的水质易受到污染,如图 1.1 的 b 处所示(刘朝安和张勇,2011)。

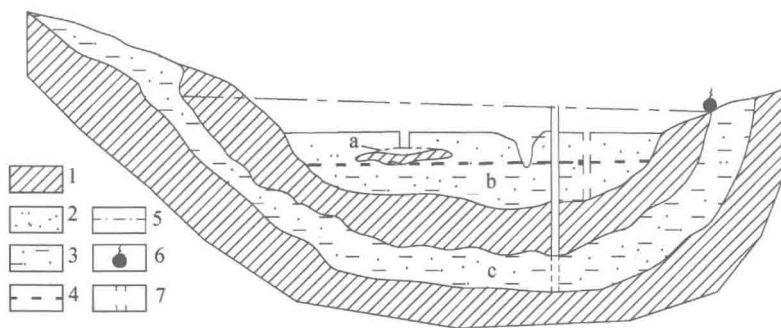


图 1.1 潜水、承压水及上层滞水示意图

1. 隔水层;2. 透水层;3. 含水层;4. 潜水位;5. 承压水测压水位;6. 泉(上升泉);7. 水井;
a. 上层滞水;b. 潜水;c. 承压水(自流水)

(2) 承压含水层(confined aquifer)

承压水是指充满在两个隔水层之间的含水层中,具有承压性质的地下水,如图 1.1 的 c 处所示。

由于隔水顶板的存在,承压水能明显地分出补给区、承压区和排泄区三部分。补给区大多是含水层出露于地表的部分,比承压区和排泄区的位置要高;承压区是隔水顶板以下,被水充满的含水层部分;排泄区为承压水出露地表或流向潜水的地段。

承压水的动态比较稳定,受气候影响较小,水质不易受到地面污染。

(3) 越流含水层(leaky aquifer)

在天然条件下,上、下含水层之间夹有半透水层,在水头差作用下,高水头含水层的水通过半透水层渗透越流进入水头低的含水层中,此时,弱透水层和含水层组成承压含水层系统,其含水层之间可通过越流发生联系,将弱透水层称为越流含水层或半承压含水层(semi-confined aquifer)。

(4) 稳定流(steady flow)

在所研究的渗流场区域内任意一点,地下水的各种运动要素(渗流量、渗流速度、压强、水头等)不随时间发生变化,它们在时间上始终保持为常数,仅是空间坐标的函数,这种渗流称为稳定流。

(5) 非稳定流(unsteady flow)

在所研究的渗流场区域内任意一点,地下水的各种运动要素(渗流量、渗流速度、压强、水头等)随时间而变化。在非稳定渗流情况下,各要素是时间和空间坐标的函数。

(6) 完整井(fully penetrating well)

抽水井贯穿整个含水层,在全部含水层厚度上都安装有过滤器,并能全断面进水的井称为完整井。

(7) 非完整井(partially penetrating well)

抽水井没有揭穿整个含水层,只有井底进水或进水段仅揭穿部分含水层的井称为非完整井。根据含水层的性质,可分为潜水非完整井和承压水非完整井。

对于某一具体抽水井来说,针对不同的含水层及抽水井类型可以有不同的命名,如完整潜水井、不完整潜水井、完整承压水井、不完整承压水井等。

第二节 水文地质参数

(1) 达西定律(Darcy's law)与渗透系数 K (hydraulic conductivity)

1856年,法国水力工程师亨利·达西(Henry Darcy)在装有均质砂土材料的圆柱形筒中做了大量的渗流实验(图1.2),得出渗流量 Q 与圆筒断面面积 A 和水力坡度 I 的乘积成正比,并和土壤的透水性能有关而得到渗流基本定律,后人称为达西定律。

$$Q = KA \left(\frac{H_1 - H_2}{L} \right) = KAI \quad (1.1)$$

式中, Q 为渗透流量; A 为渗流断面面积; K 为渗透系数; H_1 、 H_2 为 1 和 2 断面上的测压水头值; L 为 1 和 2 两断面间过滤器的长度; I 为水力梯度, $I = (H_1 - H_2) / L$ 。

渗透系数 K 是与土层或岩石透水性大小有关的指标,是反映岩土透水性的一個綜合系數,其量綱為 LT^{-1} ,其數值取決於土層的滲透特性和水的特性。

(2) 导水系数 T (transmissivity)

导水系数 $T(\text{m}^2/\text{d})$ 表示岩土层通过地下水的能 力,它是水力梯度等于 1 时,通过 1m 宽 度含水层整个饱和厚度的地下水水量,数值上等于渗透系数 K 与含水层厚度 M 的乘积:

$$T = KM \quad (1.2)$$

式中, T 为导水系数,量纲为 L^2T^{-1} ; K 为渗透系数; M 为含水层厚度。

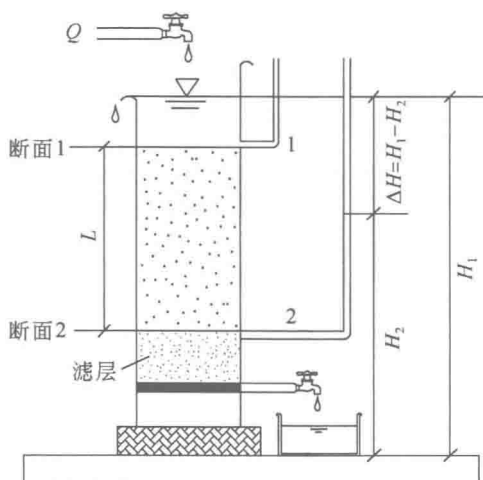


图 1.2 达西渗透试验

(3) 贮水率 μ_s 与贮水系数 S (storage coefficient)

当水头下降或上升一个单位时,从单位体积含水层的储存量中释放或存储的水的体积称为贮水率或单位贮水系数,用 μ_s 来表示。

贮水系数 S 又称释水系数、弹性给水度 (μ^*),表示水头变化 1m 时,从单位面积的整个含水层中释放或储存的水量,表示含水层的贮水性,无因次,贮水率与贮水系数的关系是:

$$S = \mu_s M \quad (1.3)$$

式中, S 为贮水系数,无量纲; μ_s 为贮水率; M 为含水层厚度。

(4) 压力传导系数(导压系数) a (coefficient of pressure conductivity)

压力传导系数(导压系数) a 为导水系数与贮水系数之比。它表征在弹性动态条件下承压含水层中水头传递速度的参数。

$$a = \frac{T}{S} \quad (1.4)$$

式中, a 为压力传导系数(导压系数),量纲为 $L^2 T^{-1}$; T 为导水系数; S 为贮水系数。

(5) 越流系数(leakage coefficient) $\frac{K'}{M'}$ 与越流因素/越流因数(leakage factor) B

越流系数 $\frac{K'}{M'}$ 是当抽水含水层和供给越流的非抽水含水层之间的水头差为一个单位时,通过抽水含水层及弱透水层之间的单位面积界面上的水流量,量纲为 T^{-1} 。

越流因素 B (或阻越系数、越流因数) 为含水层导水系数和弱透水层越流系数倒数乘积的平方根。其表达式如下:

$$B = \sqrt{\frac{TM'}{K'}} \quad (1.5)$$

式中, B 为越流因素,量纲为 L ; T 为抽水含水层导水系数; M' 为弱透水层的厚度; K' 为弱透水层的渗透系数。

第三节 抽水试验

抽水试验是通过在钻孔或水井中抽水,确定含水层水文地质参数,了解水文地质条件的野外现场试验方法。

一、抽水试验的目的、分类

(一) 抽水试验的目的

1) 确定含水层的水文地质参数:渗透系数 K 、导水系数 T 、给水度 μ 、贮水系数 S 、导压系数 a 、影响半径 R 等,为相关计算提供所需的水文地质参数。

2) 通过测定井、孔涌水量及其与水位下降(降深)之间的关系,分析确定含水层的富水程度,评价井、孔的出水能力。

3) 确定水位下降漏斗的形状、规模及其随时间的变化情况,评价地下水可开采量。

4) 查明场地水文地质条件,如地下水、地表水的补排关系,隔水、透水边界的位置,断层带的透水性和阻水性等。

(二) 抽水试验的分类

1. 根据抽水井数量进行分类

抽水试验主要分为单孔抽水试验、多孔抽水试验、群孔干扰抽水试验等。

(1) 单孔抽水试验

该试验仅在一个试验孔中抽水,用以确定涌水量与水位降深之间的关系,概略取得含水层渗透系数 K 。

(2) 多孔抽水试验

该试验需在一个主孔内抽水,在其周围设置若干个观测孔观测地下水位。通过多孔抽水试验可以求得较为确切的水文地质参数和含水层不同方向的渗透性能及边界条件等。

(3) 群孔干扰抽水试验

该试验为在影响半径范围内,两个或两个以上钻孔中同时进行的抽水试验;通过干扰抽水试验确定水位下降与总涌水量的关系,从而预测一定降深下的开采量或一定开采定额条件下的水位降深值,同时为确定合理的布井方案提供依据。

(4) 试验性开采抽水试验

该试验是为模拟未来开采方案而进行的抽水试验。一般在地下水天然补给量不很充沛或补给量不易查清,或者勘察工作量有限而又缺乏地下水长期观测资料的水源地进行此类试验。

2. 根据地下水流运动状态

抽水试验根据地下水流运动状态分为稳定流抽水试验与非稳定流抽水试验。

(1) 稳定流抽水试验

要求必须达到流量和水位降深相对稳定,应用稳定流理论分析抽水试验资料,用稳定流

计算公式可计算如渗透系数 K 、影响半径 R 等水文地质参数。

(2) 非稳定流抽水试验

要求流量或水位其中之一保持常量,一般多采用定流量或阶梯定流量抽水。水文地质参数采用非稳定流公式来分析计算。非稳定流抽水试验可获得更多的水文地质参数,如导水系数 T 、给水度 μ 、贮水系数 S 、压力传导系数 a 等。

两者组合可以形成多种综合性抽水试验类型,如稳定流单孔抽水试验和稳定流多孔干扰抽水试验,以及非稳定流单孔抽水试验和非稳定流多孔干扰抽水试验等。

二、抽水试验资料的整理及水文地质参数计算

抽水试验进行期间,应对现场原始的抽水试验资料进行整理,对抽水流量(Q)、水位降深(s)及抽水延续时间(t)进行现场检查与整理,绘制有关曲线图表,现场整理资料可以及时了解抽水试验是否正常进行,水位和流量的观测资料是否异常,分析异常产生的原因,采取补救措施,保证抽水试验顺利完成。同时,通过所绘制的各种水位、流量与时间关系曲线,判断实际抽水曲线是否达到水文地质参数计算的要求,并决定抽水试验是否需要缩短、延长或终止,为室内资料整理做好基础工作。

(一) 稳定流抽水试验资料整理、计算

进行稳定流抽水试验时,应在现场绘制 $Q-t$ 和 $s-t$ 关系曲线及 $Q-s$ 和 $q-s$ 关系曲线(q 为单位降深涌水量)、水位恢复与时间关系曲线、抽水成果、水质化验成果、水文地质计算成果、井孔柱状图、钻孔平面位置图等。

1) $Q-t$ 和 $s-t$ 关系曲线可判断了解抽水试验进行得是否正常;

2) $Q-s$ 和 $q-s$ 关系曲线可判断曲线形态是否正确地反映了含水层的类型和边界性质,检验试验是否有人为错误;

3) 根据相关公式、边界条件等计算水文地质参数。

(二) 非稳定流抽水试验资料整理、计算

类似于稳定流抽水试验,对于定流量的非稳定流抽水试验,主要是绘制试验过程中的时间和降深的各类关系曲线,同样可以掌握抽水试验进行得是否正常,确定试验的延续、终止时间。

非稳定流抽水试验,主要是根据 $s-lgt$ 曲线来计算水文地质参数,所以,试验进行阶段及水位恢复阶段都应绘制该曲线,需要现场绘制的曲线主要有:

1) 绘制 $s-lgt$ 或 $lgs-lgt$ 关系曲线。

2) 观测孔较多时,尚需绘制 $s-lgr$ 或 $s-lg(t/r^2)$ 曲线(式中 r 为观测孔至抽水主孔距离)。

3) 对于恢复水位观测资料,需绘出 $s'-lg(1+t_p/t')$ 和 $s^*-lg(t/t')$ 曲线(s' 为剩余水位降深; s^* 为水位回升高度; t_p 为抽水的持续时间; t' 为停抽后算起的水位恢复时间; t 为从抽水试验开始至水位恢复到某一高度的时间)。

4) 利用非稳定流抽水试验资料采用配线法、直线图解法、试算法等求解水文地质参数。

第二章 智能算法简介

智能算法是人们受自然规律、生物群体社会性、人类智能的启迪,根据其原理,模仿求解问题的算法。人们发明了很多智能优化算法,如模仿自然界生物进化机制的遗传算法、通过群体个体间的合作与竞争来优化搜索的差分进化算法、模拟生物免疫系统学习和认知功能的免疫算法、模拟蚂蚁集体觅食的蚁群算法、模拟鸟群和鱼群群体行为的粒子群算法、源于固体物质退火过程的模拟退火算法、模拟人类智力记忆过程的禁忌搜索算法等。

第一节 粒子群优化算法

在计算机科学领域,粒子群优化(particle swarm optimization, PSO)算法也称鸟群觅食算法,是在1995年、1998年由美国学者 Kennedy、Eberhart 和 Shi 基于鸟群或鱼群觅食行为提出的一种新的优化计算方法,在 PSO 算法中,将潜在的解称为粒子。PSO 算法是系统从初始化一组随机解出发,针对大量的候选解决方案,通过迭代寻优,粒子在解的空间追随最优的粒子进行搜索,不断改进候选解,用适应度来评价解的品质,通过追随当前搜索到的最优值来寻找全局最优解。

PSO 算法具有计算简单、设置参数少、全局优化能力强等优点,通过改进算法,可变为压缩因子粒子群、权重改进粒子群、变学习因子粒子群、自适应惯性权重粒子群、混合粒子群等方法。

为了改变基本粒子群算法的收敛性能,Shi 和 Eberhart(1998)在粒子速度更新公式中增加惯性权重 ω 。若 ω 较大,则算法的全局搜索能力较强;若 ω 较小,则算法的局部搜索能力较强(Parsopoulos et al., 2001)。一般 ω 初始值设为 0.9,并随迭代次数的增加将 ω 由 0.9 线性递减至 0.4。Eberhart 和 Shi(2000)提出的带有惯性权重线性递减的改进粒子群算法,由于能够保证较好的收敛效果,所以被认为是标准的粒子群算法。

一、标准粒子群算法

设粒子群群体规模为 N ,在一个 D 维的目标搜索空间中,群体中的第 i 个粒子的位置可表示为一个 D 维向量:

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}), i = 1, 2, \dots, N \quad (2.1)$$

第 i 个粒子的“飞行”速度也可表示为一个 D 维向量:

$$V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD}), i = 1, 2, \dots, N \quad (2.2)$$

第 i 个粒子迄今为止搜索到的最优位置称为个体极值,记为

$$p_{best} = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD}), i = 1, 2, \dots, N \quad (2.3)$$

整个粒子群迄今为止搜索到的最优位置称为全局极值,记为