

弱透水层多类型水文地质参数自动优选方法

王冬

(山东省鲁南地质工程勘察院, 济宁 272100)

摘要: 目前提出的水文地质模拟方法, 参数未经过优化, 反演结果与实际结果数值偏差较大。为了解决上述问题, 研究了一种新的弱透水层多类型水文地质参数自动优选方法, 以Z城新区阳光房地产开发工程为研究对象, 观测水位变化, 通过有限差分对参数数值进行模拟, 利用参数识别和参数验证实现参数反演, 根据位置追踪得到优化目标函数, 计算越流承压含水层抽水水文降深, 实现自动参数优化。实验结果表明, 基于弱透水层多类型水文地质参数自动优选方法能够很好地根据水位变化情况和浓度变化情况对数据进行模拟, 优化后得到的水位埋深 50.5 m/d 与实际结果 50.2 m/d 数值相近, 证明所提方法能够有效改善模拟效果, 为获取水文地质参数提供了有效方法。

关键词: 弱透水层; 多类型参数; 水文地质参数; 参数优选; 自动优选; 优选方法

中图分类号: P641.1 **文献标识码:** A

AUTOMATIC OPTIMIZATION METHOD OF MULTI-TYPE HYDROGEOLOGICAL PARAMETERS IN WEAK PERMEABLE LAYER

WANG Dong

(Shandong Lunan Geological Engineering Survey Institute, Jining City, Jining 272100, China)

Abstract: At present, the parameters of the proposed hydrogeological simulation method are not optimized, and the numerical deviation between the inversion results and the actual results is large. In order to solve the above problems, this paper studies a new automatic optimization method of multi-type hydrogeological parameters of weak permeable layer. Taking the Sunshine Real estate development project of Z-City New Area as the research object, the paper observes the water level change, simulates the parameter values through finite difference, realizes parameter inversion by parameter identification and parameter verification, and obtains the optimization objective function according to location tracking. To calculate the pumping hydrology depth of confining aquifer, automatic parameter optimization is realized. The experimental results show that the automatic optimization method of multi-type hydrogeological parameters based on weak permeable layer can simulate the data well according to the changes of water level and concentration. The optimized water level buried depth of 50.5 m/d is similar to the actual value of 50.2 m/d, which proves that the proposed method can effectively improve the simulation effect. It provides an effective method for obtaining hydrogeological parameters.

Key words: weak permeable layer; multi-type parameter; hydrogeological parameters; parameter optimization; automatic optimization; optimization method

水文地质参数对地下水资源开发与利用,工程建设施工分布等多项工作都具有重要的影响价值。当获取实际地下水文地质参数具有较高难度时,可以通过容易获取的水文地质参数进行推算反演。随着当前信息技术快速发展,水文地质参数模拟技术也逐渐成熟,能够有效解决地下水文地质参数获取问题。

文献[1]主要从渗透系数出发,选用向导点法对水文地质参数进行反演,运用二维理想模型对观测区域进行模拟。但该方法参照范围较小,计算结果精准度不高。文献[2]引入两种方法对数据进行分析,呈现哈尔滨漫滩区地下含水层实际动态变化,通过变化情况判断地层富水状态,该研究存在的不足是计算灵活性不高,结果误差较大。文献[3]通过分析地下水位恢复曲线特征,构建单井抽水参数实验模型,根据计算结果获取水文地质参数,取得良好的研究成果,然而该方法计算程序较为复杂,在实证研究中较少应用。

本文针对传统方法存在的不足,提出了一种基于多线全程加权目标函数算法的弱透水层多类型水文地质参数自动优选方法,通过构建水文地质参数模型,选用多线全程加权目标函数进行反演计算,再通过杂交粒子群算法进行优化选择,得到水文地质参数的最优解,此外还引入了收敛算法,有效提高了运算结果的精准度。

1 工程概况

本文选取Z城新区阳光房地产开发工程为研究对象,对新区房地产二期项目地质岩土工作进行勘察。阳光地产二期项目位于Z城西南山脚下,周边交通线路密布,通行便利,位置优越。本次工程建筑类型主要包括住宅楼、地下车库、商务门店等。楼体建筑采用剪力墙结构,层数最高可达23层,高度最高为65.7 m,地基预计基础深度为6 m,基重为300 kPa。

建筑区域地下水层结构主要为双层结构含水系统。根据地表含水量、海拔高度、植被覆盖率等对含水结构选择关键点作为水文地质监测试验点。上一部分为微承压含水层,该含水层分布较广且深度较浅,土壤颗粒较粗,含水量丰富。下部分为深层承压含水层,平均厚度大于50 m,该含水层分布范围较小,深度较深,含水量也相对较少。在两部分承压含水层之间存在弱透水层,其地质结构主要由多层淤泥层和砂土层相互叠加组成,厚度可达40 m。弱透水层的性能会对承压水层之间水流流动产生一定影

响。

2 水文地质检测

在施工区域监测点相距2 m的位置进行水文地质钻孔,抽水钻孔深度达到82 m,在最末端75~82 m处安装滤水管,对下部含水层进行抽水实验,并观测记录其水位变化。同时在监测点布置两个观测孔,观测孔深度一般为74 m,并在72~74 m处安装水管观察该层的地下水位变化^[4]。两个钻孔观测点之间存在几米厚的淤泥层,即为本次研究对象弱透水层(图1)。

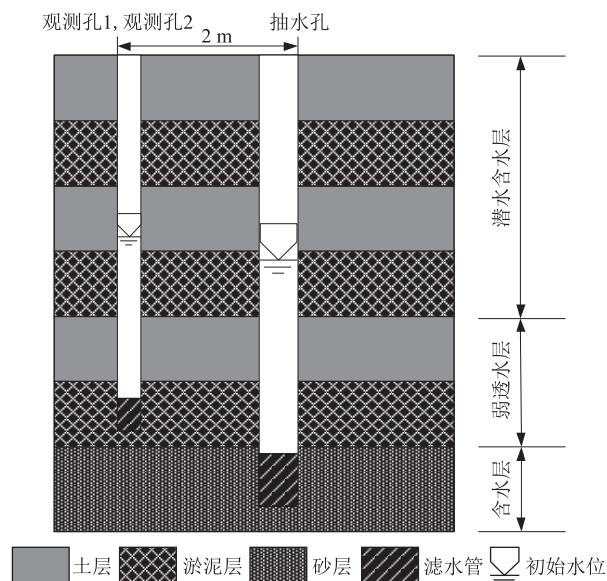


图1 地质剖面情况

在进行抽水试验前,先在两个观测孔内放置水位记录仪^[5]。根据设定的时刻对地下水位及温度的变化进行观测记录。安装好水位仪后,开始进行抽水实验,等到两个含水层水位趋于稳定后,记录上下两个含水层水位差。然后进行溶质运移实验研究,向观测孔内投入大量萘磺酸钠粉末,等到溶解后每天从抽水井中采集一次样本,用荧光剂对水样浓度进行分析测试,以全面检测试验区域的水文地质情况。

3 水文地质参数模拟

3.1 概念模型

为了保障抽水实验不会对施工区域整体地下水边界水位造成影响,进而对工程施工造成负面影响,本次实验以施工区域中心抽水监测点为实验主场,划分面积为4 km²的矩形区域为实验模拟区,对埋深74~82 m之间的含水层作为主要观测对象,

记录两个含水层中厚度为 1.5 m 的淤泥层水文地质参数数据。模拟区域由下至上垂直划分为 3 层地质剖面,下部为细砂层,透水性好,含水性高,属于下部深层承压含水层;中间为淤泥层,透水性差,也就是本文重点研究的弱透水层;上层也为中细砂层,具有良好的透水性和含水性。为上部承压含水层^[6](图 2)。

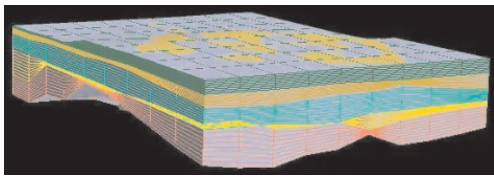


图 2 水文地质参数概念模型

观测自然状态下地下水水位稳定状态,天然水力坡度大约为 0.3%,并根据实验区域范围边界来界定模型水头边界。针对实验期间工程区域气象状况,降水及蒸发水平等情况,完善水文地质模型参数,具体到渗透系数、储水率、蒸发率、弥散系数等指标。由于实验面积相对较小,本文并未在水平方向划分区域,有利于统一参数数值^[7]。

3.2 数学模型

根据上文对水文地质模型概念的界定划分,需要对实验区域真实的水文地质情况进行数学模拟,构建实验区域的数学模型^[8]。控制方程为:

$$K \frac{h}{z} + K_c \frac{h}{z} + \beta = C \quad (1)$$

其中, β 表示区域水文地质的源汇项; C 表示地质层的储水率。得到地下水位流动的控制模型,构成数学模型抽水试验板块的基本计算流程^[9]。

其次,要对溶移实验板块的基本公式进行模拟,溶质数值弥散方程为:

$$D_{ij} \frac{M_i}{v_i} - M_j \frac{\Omega}{v_j} = \frac{M}{v} \quad (2)$$

$$i, j \in \Omega, i, j \geq 0 \quad (3)$$

式中, D_{ij} 为检测区域的地下水动力弥散系数; M 为溶质浓度; f 为各层次地下水的实际流速; i, j 表示实验渗透区域 Ω 的两个观测点。基于上述公式构建地下水文地质监测数学模型^[10]。

3.3 数值模型

本文选用了 USG 非结构网格程序包建立地下水数值模型,基于控制体积的有限差分,利用非结构化网格对地下水各层次、各节点进行精细灵活的特征刻画,可以实现对水文地质监测点周边情况的全面模拟,具有较强的灵活性,且不受结构化网格限制,极大地降低了系统运算负荷^[11]。

网络划分情况如下图 3 所示:

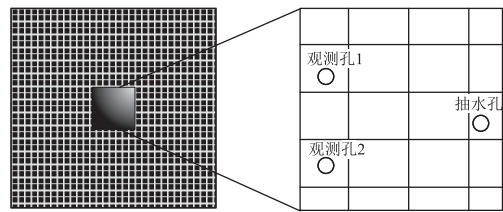


图 3 网络划分情况

本文选用了 64 m×64 m 的矩形网格,并在纵向划分 3 个层次分别反应上部含水层、弱透水层和下部含水层的地下水文地质状况。共划分了 96 个应力期。每个小时为一个应力期,持续反映抽水前后共 4 d 的水位变化。依据水文地质自然条件下的参数给定经验值,通过上述数学模型的推算,结合进行模拟反演。

4 水文地质参数自动优选

4.1 地质参数反演

地质参数反演包括两个步骤,参数识别和参数验证。以地下水流模型过程作为参数识别过程,溶质运移模拟过程作为参数验证过程。通过水文地质数据在模型中进行模拟,采集水流透过弱透水层的水文地质参数,识别提取水文地质参数^[12]。然后将所得参数代入到溶质运移模型中进行反向推演,验证水文地质参数的准确性。如果验证曲线与实验曲线无法模拟,则为验证失败,需要调整水流模型中的参数重新模拟,重复迭代直至曲线模拟,则反演结束。地质参数反演结果如下图 4 所示:

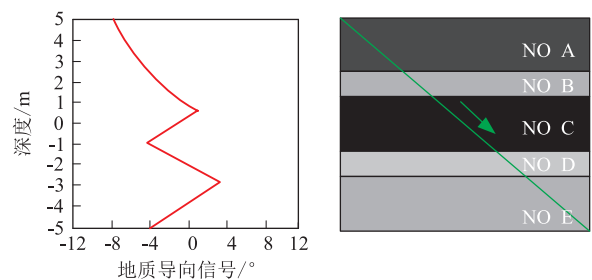


图 4 地质参数反演结果

4.2 水文地质参数自动优化

对弱透水层多类型水文地质参数进行自动优选,需要构建优选目标函数。本文选用了多线全程加权目标函数算法,以杂交粒子群算法为基础进行优化,把每个算子视为一个粒子,根据粒子变化动态寻找整个粒子群的最优解。优化流程如下图 5 所示。

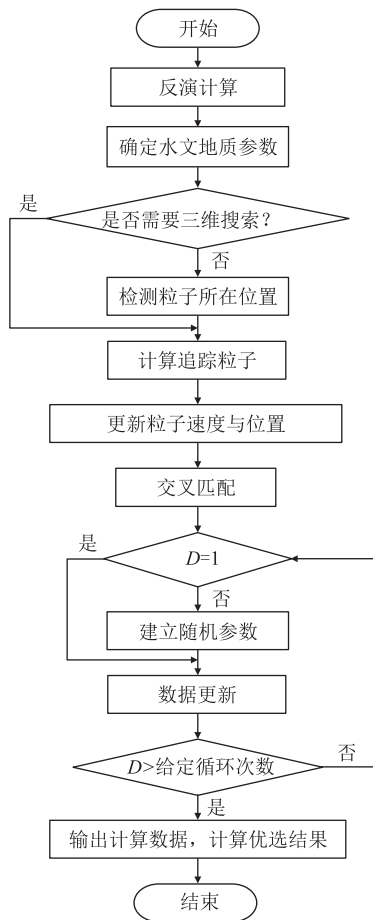


图 5 水文地质参数自动优化流程

根据图 5 可知,首先要通过反馈计算确定水文地质参数,通过三维搜索检测粒子所在位置,通过交叉匹配实现数据更新,完成迭代循环,输出计算结果。在对水文地质参数进行反演计算过程中,每一个水文地质参数设为一个粒子,结合含水层中储水系数 S 、渗透系数 T 、流动系数 B 等水文地质参数,构建三维搜索空间^[13],确定粒子所在位置:

$$X_n = \{S_n, T_n, B_n\} \quad (4)$$

由此进行优化的追踪粒子则表示为:

$$X_p = \{S_p, T_p, B_p\} \quad (5)$$

追踪粒子主要用来表示粒子的更新速度与位置变化,在确定参数设定后进行 t 次迭代运算,粒子的更新速度与位置计算方程如下:

$$V_n^t = \varphi V_n^{t-1} + \alpha k_1 (X_p^t - X_n^t) + \beta k_2 (X_p^t - X_n^t) \quad (6)$$

$$X_n^{t+1} = X_n^t + V_n^t \quad (7)$$

式中, α, β 为两个学习因子; k_1, k_2 为两个在 $[0, 1]$ 区间内变化的随机参数。计算过程中容易出现局部极值影响粒子群整体运算的情况,进而导致水文地质参数反演结果出现误差,本文引入了遗传

算法交叉策略来提高粒子的多样性。在算子进行迭代运算过程中,按交叉大小比例,随机选取一定粒子进行交叉匹配。选做遗传样本的子代粒子位置 X_i 和速度 V_i 计算方法如下^[14]:

$$X_i = \gamma X_{i1} + (1 - \gamma) X_{i2} \quad (8)$$

$$V_i = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{|V_{i1} + V_{i2}|} \cdot |V_{i1}| \quad (9)$$

其中, γ 为在 $[0, 1]$ 区间内变化的随机数; X_{i1}, X_{i2} 为与子代粒子 i 相关的亲代粒子的位置; V_{i1}, V_{i2} 为亲代粒子的更新速度^[15]。这种算法计算精准度高且速度快,有效避免了局部极值带来的不利影响。

5 检测结果与分析

为了验证本文提出的弱透水层多类型水文地质参数自动优选方法的实际应用效果,设定实例分析。选用阳光新城二期的弱透水层作为研究对象,分析参数优化效果。水文地质模型如下图 6 所示:

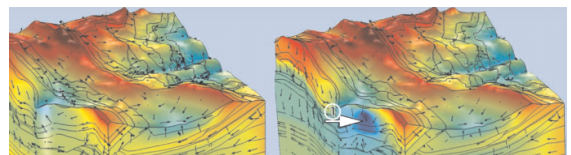


图 6 水文地质模型

根据图 6 箭头方向可以直观地判断出地下水层流动变化,建模的同时考虑了地下气压对水流变化的影响,左图呈现了没有地下建筑的模型,右图呈现了含有地下建筑的模型。

通过多线加权目标函数对区域内多个观测点水文地质参数进行求解,并通过迭代法保证运算过程中参数的一致性。求解过程中需要引入收敛公式(10)对计算误差进行控制。

$$\varphi_n = \frac{1}{M/\Delta_n} \quad (10)$$

其中, φ_n 为该观测点的惯性权重; M 为观测点的数量; Δ_n 为观测点的全程模拟方差。经过收敛后得到精准优化结果,实现对水文地质参数的自动优化选择。实验选用的水文地质结构如下图 7 所示。

基于实验过程的实际情况得到以下参数优化结果,越流承压含水层抽水水文降深计算公式如下:

$$s(n, t) = \frac{O}{4\pi T} \theta \left(u, \frac{n}{\mu} \right) \quad (11)$$

$$u = \frac{n^2 s}{4\pi T} \quad (12)$$

$$\mu = \sqrt{T \frac{H}{\lambda}} \quad (13)$$

其中, $s(n, t)$ 为 t 时刻监测点 n 的水位深度; O 为抽

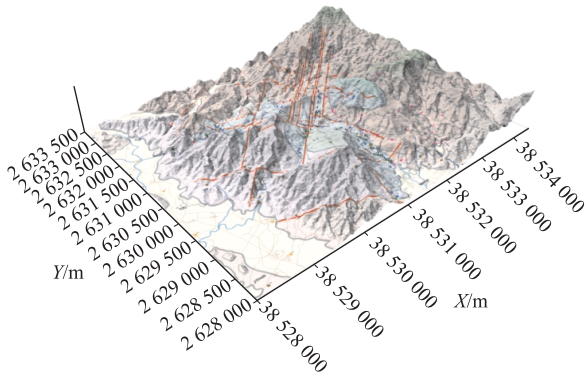


图7 水文地质结构

水量 m^3/d , u 为越流变量; μ 为含水层的越流因数。抽水结束后水位恢复降深计算公式如下:

$$s'(n', t') = s - \frac{O_n}{4\pi T} \theta\left(u', \frac{n}{\mu}\right) \quad (14)$$

$$u' = \frac{n^2 s}{4\pi T t'} \quad (15)$$

其中, $s'(n', t')$ 为恢复水位降深; t' 为水位恢复时期的总时长; O_n 为最后阶段的稳定水流总量; u' 为水位恢复稳定后的越流变量。

设定参数优化时间为 48 h, 分析在优化过程的水文地质变化, 得到不同阶段的变化情况:

(1) 当优化时间为 12 h, 水文地质情况已经基本达到稳定, 出现一定的降深, 深度在 3.52 m 左右。

(2) 当优化时间达到 20 h, 水文开始出现沉降。

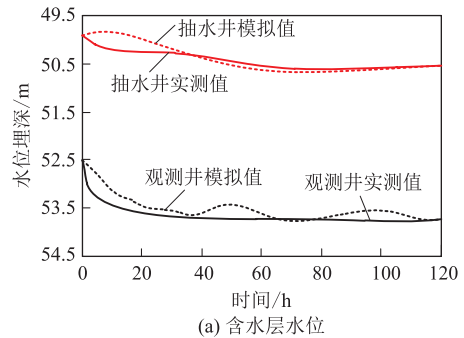
(3) 当优化时间达到 36 h, 沉降状态基本稳定, 沉降深度为 0.59 m。

由于在参数优化的过程中, 受到了抽水机的影响, 会出现小幅度的波动, 但是不会对水文地质的稳定性造成影响, 通过分析溶质运移程度确定萘磺酸钠浓度峰值, 对数据进行融合, 对参数进行识别和验证, 分析优化前后的模拟效果, 并与文献[1]的提取效果进行实验对比, 优化后的参数实验结果如图 8 所示。

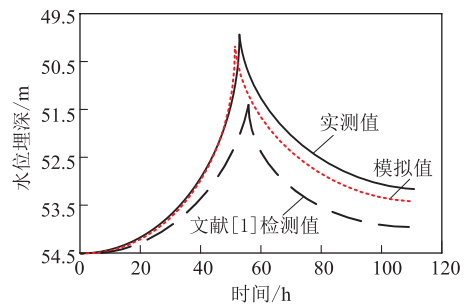
根据图 8 可知, 本文提出的参数优化方法能够很好地模拟数据值, 优化后得到的水位埋深 50.5 m/d 与实际结果 50.2 m/d 数值相近, 模拟数据结果与实际结果基本能够保持一致, 而文献[1]的提取方法优化效果较差, 优化结果与实际结果相差较大, 无法取得很好的反演效果。

根据优化后的水文参数对水文地质进行模拟, 得到的模拟结果如图 9 所示。

图 9 显示了以 Pa 为单位的水力压力分布状况, 通过箭头分析水文参数的流动方式。局部模拟效果



(a) 含水层水位



(b) 抽水井溶度数值

图8 优化后的水文参数

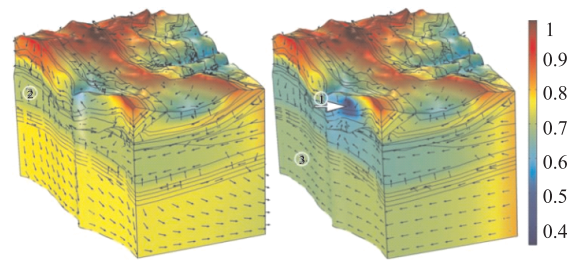


图9 水文地质参数模拟效果

如图 10 所示。

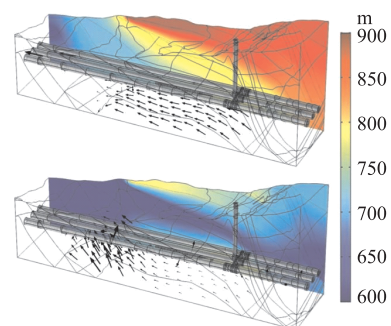


图10 局部模拟效果

观察图 10, 明确了压力水头的分布情况, 在局部和全局本文提出的参数优化方法都有很好的优选效果, 能够达到全局优化, 满足实际要求。

6 结论

本文研究了一种弱透水层多类型水文地质参数

自动优选方法,得出如下结论:

(1) 针对工程区域实际地址情况安置观测点,构建水文地质参数概念模型。通过采集到的具体数据构建水文地质参数模拟的数学模型和数值模型。可以对抽水实验和溶质运移过程实现有效模拟。

(2) 基于观测点位置和水位实际数据,选用了多线全程加权目标函数构建水文地质参数反演运算程序,并引入了收敛运算,提高了计算结果的精准性。

(3) 本文选用了遗传算法交叉策略中的杂交粒子群算法,提高了求解的准确率。未来研究方向应注重提高杂交粒子群算法的计算效率。

参考文献

- [1] 何金沙,李春光,吕岁菊,等.基于向导点法反演水文地质参数[J].节水灌溉,2021,(10):13-17.
- [2] 李磊,陈干,唐沛,等.基于解析法和数值法反演哈尔滨漫滩区水文地质参数[J].城市轨道交通研究,2021,24(10):54-59.
- [3] 张桂芳,姚多喜,张曼曼.利用单井水位恢复曲线求解含水层水文地质参数[J].安徽理工大学学报:自然科学版,2020,40(2):55-60.
- [4] 贺昌坤,刘文连,赫勇,等.马关某渣库场区水文地质特征分析[J].地质灾害与环境保护,2020,31(1):51-56.
- [5] 石鸿蕾,郝奇琛,邵景力,等.基于多源数据的弱透水层水文地

- 质参数反演研究——以呼和浩特盆地某淤泥层为例[J].水文地质工程地质,2021,48(2):1-7.
- [6] 应宏伟,王迪,许鼎业,等.波动承压水作用下基坑底部弱透水层静超孔压试验研究[J].中南大学学报:自然科学版,2020,51(3):732-738.
- [7] 白杰,徐世光,黄建国,等.基于GMS软件对某矿区松散层孔隙水污染的数值模拟研究[J].地质灾害与环境保护,2020,31(1):97-103.
- [8] 袁建飞,刘慧中,李明辉,等.广安铜锣山地热勘探试验井地热地质成果及意义[J].科学技术与工程,2022,22(1):83-92.
- [9] 刘彦,龚绪龙,李进,等.苏北海岸带浅部弱透水层孔隙水咸化过程[J].水资源与水工程学报,2021,32(1):57-62,71.
- [10] 王正成,毛海涛,强跃,等.土工膜-防渗墙-弱透水层联合防渗的有效性分析[J].地质与勘探,2020,56(3):580-589.
- [11] 尹舒祥,喻思羽,李少华,等.基于平均熵值的多点地质统计建模参数优选方法[J].科学技术与工程,2021,21(29):12447-12453.
- [12] 许模,李晓,李德良,宋词,赵亚茜.隧道施工扰动下排水水质及环境影响初探[J].地质灾害与环境保护,2021,32(3):106-112.
- [13] 王旭东,吕乐,时俊,等.抽水试验反演水文地质参数的多线全程加权法[J].水利学报,2020,51(3):276-285.
- [14] 徐智敏,刘栓栓,李剑锋,等.煤层底板水文地质结构划分及阻隔水能力定量评价方法研究[J].煤炭科学技术,2022,50(2):187-194.
- [15] 郝连成,远继东,郑立龙,等.湛江湾海域表层沉积物粒度特征及沉积环境[J].海洋地质前沿,2022,38(8):1-10.

作者简介: 王冬(1987—),男,汉族,山东省济宁市兖州区人,学历本科,工程师,主要从事地质工程方面的研究工作。

E-mail: fdsqwfe@163.com

《地质灾害与环境保护》征稿启事

本刊主管单位:四川省教育厅;主办单位:成都理工大学、地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室。学术性期刊,季刊。1990年9月创刊,国内外公开发行人。本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”,“万方数据网络系统(ChinaInfo)数字化期刊群”,“中文科技期刊数据库”。欢迎投稿,欢迎订阅。

征稿内容: 自然灾害(特别是地质灾害)与人为灾害防治,生态环境、资源环境和地质环境保护,水文地质与工程地质,岩土工程与工程勘察,与本学科有关的边缘和交叉学科等方面的优秀论文,最新科技成果,新理论、新方法、新技术研讨,及工程技术经验总结,新成就、新动向方面的综述、述评,新书刊、新设备评介等。

来稿注意事项: (1) 每篇稿件一般以中文6000字为宜,最多不超过8000字(包括图表等所占版面字数)。(2) 每篇稿件必须有:中英文篇名、摘要(摘要以第三人称书写,200字左右)、图表名,所在单位中英文名称;第一作者简介,主要包括:姓名、性别、出生年、职务、职称,最高学历、专业、研究方向,主要科技成果及其获奖情况,以及出版专著、发表论文等简况。(3) 来稿请交电子文档,另可附打印件1份,可电子邮件投稿,地址:dzzh@cdut.edu.cn。

《地质灾害与环境保护》编辑部

2023年6月25日