



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108549776 B

(45) 授权公告日 2022.05.17

(21) 申请号 201810344351.2

(22) 申请日 2018.04.17

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108549776 A

(43) 申请公布日 2018.09.18

(73) 专利权人 山东科技大学
地址 271019 山东省泰安市岱宗大街223号

(72) 发明人 王辉 战玉宝 郑朋强 李楠

(74) 专利代理机构 西安铭泽知识产权代理事务
所(普通合伙) 61223
专利代理师 俞晓明

(51) Int. Cl.
G06F 30/23 (2020.01)

(56) 对比文件

Wenfeng Li等.Numerical Modeling for Yield Pillar Design: A Case Study.《Rock Mech Rock Eng》.2014,
Peng Kang等.Galerkin solution of Winkler foundation-based irregular Kirchhoff plate model and its application in crown pillar optimization.《J. Cent. South Univ》.2016,

审查员 刘晨曦

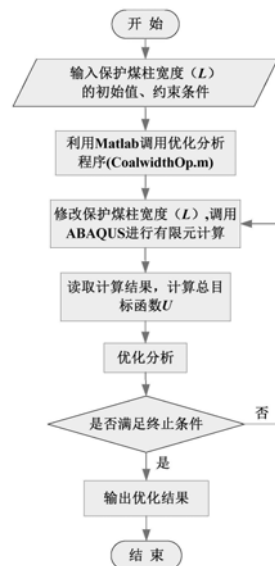
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种底板巷道保护煤柱宽度的有限元优化方法

(57) 摘要

本发明公开了一种底板巷道保护煤柱宽度的有限元优化方法,包括:调用动态参数化模型程序,修改保护煤柱宽度L进行有限元计算;利用程序Disp.py,获取关键点变形,计算总目标函数U;利用程序CoalwidthOp.m,对总目标函数进行自动优化;当优化迭代计算满足保护煤柱宽度约束条件时,输出优化结果,不满足则返回重新计算。本发明基于ABAQUS平台,利用Python语言建立模拟不同保护煤柱宽度的动态参数化模型,编制基于Matlab语言的有限元优化分析计算程序,以巷道和保护煤柱变形最小形作为优化目标,对建立的动态参数化模型进行计算,得到合理的保护煤柱尺寸,提高了利用有限元方法确定底板巷道保护煤柱宽度的分析效率,同时可为类似开采条件下保护煤柱的留设提供理论支持。



1. 一种底板巷道保护煤柱宽度的有限元优化方法,其特征在于,包括:

利用大型有限元软件ABAQUS的标准设计语言Python编制模拟不同预留煤柱宽度的动态参数化模型;

调用动态参数化模型程序,修改保护煤柱宽度L进行有限元计算,并输出计算结果文件;

利用编制的自动读取巷道和煤柱关键点变形的程序Disp.py,获取计算结果中关键点变形,计算总目标函数U;

利用基于遗传算法的最优化分析程序CoalwidthOp.m,结合动态参数化模型程序,对总目标函数进行自动优化;

当优化迭代计算满足保护煤柱宽度L的约束条件时,输出优化结果,当不满足保护煤柱宽度L的约束条件时,则返回修改保护煤柱宽度L参数重新计算,直至满足保护煤柱宽度L的约束条件;

不同保护煤柱宽度L下,当动态参数化模型计算时,获得底板巷道的变形及煤柱两侧的变形 U_i ,即

$$U_i = f(L), i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

式中, i 为第 i 个考虑的变形量, U_1 为巷道两帮收敛、 U_2 为巷道顶底板收敛, U_3 为保护煤柱最大变形;

所述总目标函数U,包括:

$$U = \sum_{i=1}^n \frac{U_i}{U_{i\max}} + \frac{L}{L_{\max}} \quad (2)$$

式中:U为总目标函数, $U_{i\max}$ 为保护煤柱宽度L在其设定优化范围内计算得到的变形极大值, L_{\max} 为设定优化范围内的最大取值。

2. 如权利要求1所述的底板巷道保护煤柱宽度的有限元优化方法,其特征在于,所述保护煤柱宽度L的约束条件,包括:

$$L_{\min} \leq L \leq L_{\max} \quad (3)$$

式中, L_{\min} 、 L_{\max} 为煤柱宽度的优化范围,根据工程地质条件、地质调查报告确定。

3. 如权利要求1所述的底板巷道保护煤柱宽度的有限元优化方法,其特征在于,所述基于遗传算法的最优化分析程序CoalwidthOp.m的编制是以Matlab语言为平台。

一种底板巷道保护煤柱宽度的有限元优化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及煤矿开采领域,更具体的涉及一种底板巷道保护煤柱宽度的有限元优化方法。

背景技术

[0002] 合理保护煤柱宽度对于维护巷道及工作面稳定,提高煤炭资源开采率至关重要。目前我国部分煤矿仍采用传统的留设方法,即依靠经验来确定煤柱宽度,一般都是在不计成本的基础上留设较大尺寸的保护煤柱,这样虽然对上覆围岩和巷道起到了保护作用,但造成大量煤炭资源的浪费。如何兼顾资源回收率和巷道稳定来合理确定煤柱宽度,一直是众多学者关注的焦点。

[0003] 奚家米提出采用现场实测和数值模拟结合的方法来确定保留煤柱宽度的方法,分别建立3m,6m,8m,12m时4种不同煤柱宽度下的计算模型,对围岩应力、变形进行了模拟研究,为石炭井二矿保留煤柱宽度提出了合理的建议。屠洪盛分析了不同倾角、不同尺寸区段煤柱条件下的煤柱变形破坏特征、煤柱周围应力分布规律和影响煤柱稳定的主要因素,得出了保证区段煤柱和采空区顶板稳定的区段煤柱合理尺寸。闫帅为得到针对某矿S2106工作面区段煤柱宽度,建立6种方案(设计煤柱宽度分布为4、6、8、10、14和20m)的计算模型进行研究,得到煤柱宽度与巷道稳定性的关系。张科学计算了煤柱宽度为3、4、5、6、8、10、12、15、20m时的模型,最终确定7113回风巷护巷煤柱宽度为6m。余学义采用数值模拟的方法分别研究2次采动影响下宽度为4、6、8、10、12m的5种不同尺寸巷间煤柱的应力演化规律、弹塑性区域变化规律和巷道变形规律,同时综合考虑安全生产、资源回收率等因素,最终确定大采高双巷布置工作面巷间煤柱的合理尺寸为10m。张文阳根据汾西矿业集团贺西矿工程地质条件,通过建立FLAC3D数值模型,模拟分析不同宽度的区段煤柱围岩破坏特征和垂直应力分布特征,确定出该矿合理区段煤柱尺寸为26m。韩承强通过数值模拟分析了4种不同宽度煤柱的塑性区变化范围,结果表明:煤柱的破坏情况受煤柱宽度影响较大,并通过分析得出崔庄煤矿条件合理区段煤柱宽度应为6~8m。

[0004] 通过以上分析可知,目前关于预留煤柱合理尺寸优化研究方面,主要考虑两方面因素,一是煤柱自身稳定性影响,二是对周边设施(如回采、运输巷道等)稳定性的影响。然而,当开采煤层与底板巷道距离较近时,单纯考虑一种因素则相对片面。同时,采用有限元模拟研究过程中,应用较多的是方案对比法,即建立不同方案下的分析模型,对比计算结果,找出预留煤柱宽度对巷道稳定性的影响规律,最终确定合理的尺寸。然而,在分析过程中必然存在重复性建模和方案比选判断问题,使得分析效率大大降低,同时,在模型建立过程中不可能建立所有方案,因此最优方案极容易被忽略。为此,综合考虑安全稳定性和经济性,提出一种保护煤柱宽度的合理优化方法至关重要。

发明内容

[0005] 本发明实施例提供一种底板巷道保护煤柱宽度的有限元优化方法,用以解决现有

技术中存在的问题。

[0006] 本发明实施例提供一种底板巷道保护煤柱宽度的有限元优化方法,包括:

[0007] 利用大型有限元软件ABAQUS的标准设计语言Python编制模拟不同预留煤柱宽度的动态参数化模型;

[0008] 调用动态参数化模型程序,修改保护煤柱宽度L进行有限元计算,并输出计算结果文件;

[0009] 利用编制的自动读取巷道和煤柱关键点变形的程序Disp.py,获取计算结果中关键点变形,计算总目标函数U;

[0010] 利用基于遗传算法的最优化分析程序CoalwidthOp.m,结合动态参数化模型程序,对总目标函数进行自动优化;

[0011] 当优化迭代计算满足保护煤柱宽度L的约束条件时,输出优化结果,当不满足保护煤柱宽度L的约束条件时,则返回修改保护煤柱宽度L参数重新计算,直至满足保护煤柱宽度L的约束条件。

[0012] 进一步地,所述动态参数化模型,包括:

[0013] 不同保护煤柱宽度L下,当动态参数化模型计算时,获得底板巷道的变形及煤柱两侧的变形 U_i ,即

[0014] $U_i = f(L), i = 1, 2, 3$ (1)

[0015] 式中, i 为第 i 个考虑的变形量, U_1 为巷道两帮收敛、 U_2 为巷道顶底板收敛, U_3 为保护煤柱最大变形。

[0016] 进一步地,所述总目标函数U,包括:

[0017]
$$U = \sum_1^n \frac{U_i}{U_{i\max}} + \frac{L}{L_{\max}} \quad (2)$$

[0018] 式中:U为总目标函数, $U_{i\max}$ 为保护煤柱宽度L在其设定优化范围内计算得到的变形极大值, L_{\max} 为设定优化范围内的最大取值。

[0019] 进一步地,所述保护煤柱宽度L的约束条件,包括:

[0020] $L_{\min} \leq L \leq L_{\max}$ (3)

[0021] 式中, L_{\min} 、 L_{\max} 为煤柱宽度的优化范围,根据工程地质条件、地质调查报告确定。

[0022] 进一步地,所述基于遗传算法的最优化分析程序CoalwidthOp.m的编制是以Matlab语言为平台。

[0023] 本发明实施例中,提供一种底板巷道保护煤柱宽度的有限元优化方法,与现有技术相比,其有益效果如下:

[0024] 本发明合理预留煤柱宽度的确定对于保护煤层工作面及周围结构和设施的安全稳定具有重要意义。基于ABAQUS平台,利用Python语言编程建立能够模拟不同保护煤柱宽度的参数化可变模型,编制基于Matlab语言的有限元优化分析计算程序,以巷道和保护煤柱变形最小形作为优化目标,对建立的动态参数化模型进行计算,得到合理的保护煤柱尺寸。本发明极大地提高了利用有限元方法确定底板巷道保护煤柱宽度的分析效率,同时可为类似开采条件下保护煤柱的留设提供理论支持。

附图说明

- [0025] 图1为本发明实施例提供的参数化可变模型；
- [0026] 图2为本发明实施例提供的交互式保护煤柱宽度输入窗口；
- [0027] 图3为本发明实施例提供的保护煤柱宽度(L)优化流程；
- [0028] 图4为本发明实施例提供的岩层柱状分布示意图；
- [0029] 图5为本发明实施例提供的巷道支护断面示意图；
- [0030] 图6为本发明实施例提供的优化过程总目标函数值U的变化规律。

具体实施方式

[0031] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0032] 参见图3,本发明实施例提供一种底板巷道保护煤柱宽度的有限元优化方法。该方法具体包括:

[0033] 步骤1:利用大型有限元软件ABAQUS的标准设计语言Python编制模拟不同预留煤柱宽度的动态参数化模型。

[0034] 在利用数值模拟技术确定合理煤柱宽度的过程中,过去的研究往往对不同煤柱情况分别建立模型进行计算,然后通过不同方案下的结果作对比分析,确定最终的方案。然而,重复的建模过程必将耗费大量的人力物力,为解决该问题,利用大型有限元软件ABAQUS的标准设计语言Python自行编制能够模拟不同预留煤柱宽度的参数化可变模型如图1所示。图中,煤柱宽度L作为可变参数,其变化可由交互式窗口(如图2)确定,当输入不同Coalwidth时,模型中L随之发生变化,从而得到相应预留煤柱宽度的计算模型。

[0035] 步骤2:调用动态参数化模型程序,修改保护煤柱宽度L进行有限元计算,并输出计算结果文件,。

[0036] 步骤3:利用编制的自动读取巷道和煤柱关键点变形的程序Disp.py,获取计算结果中关键点变形,计算总目标函数U。

[0037] 步骤4:利用基于遗传算法的最优化分析程序CoalwidthOp.m,结合动态参数化模型程序,对总目标函数进行自动优化。

[0038] 步骤5:当优化迭代计算满足保护煤柱宽度L的约束条件时,输出优化结果,当不满足保护煤柱宽度L的约束条件时,则返回修改保护煤柱宽度L参数重新计算,直至满足保护煤柱宽度L的约束条件。

[0039] 对于步骤2~5,具体说明如下:

[0040] 煤层开采过程中,对底板巷道围岩产生扰动,导致巷道稳定性受到影响,同时,保护煤柱在留设时,其自身稳定性是确保工作面正常运转的基础,因此,对保护煤柱宽度(L)进行优化时需要同时考虑煤柱自身和巷道的安全稳定。基于该原则,本文开发基于有限元参数化设计的动态多目标优化程序,其基本原理为:当保护煤柱宽度在其取值范围内计算时,根据计算结果自动分析目标函数,当目标函数极小时,得到的保护煤柱宽度为最优方案。

[0041] 不同保护煤柱宽度(L)下,当有限元参数化模型计算时,可得到底板巷道的变形及煤柱两侧的变形 U_i ,即

$$[0042] \quad U_i = f(L), i=1,2,3 \quad (1)$$

[0043] 式中, i 为第*i*个考虑的变形量, U_1 为巷道两帮收敛、 U_2 为巷道顶底板收敛, U_3 为保护煤柱最大变形。

[0044] 通过上式可以看出, U_i 是保护煤柱宽度(L)的函数,当L变化时,底板巷道的变形及煤柱两侧的变形也将发生改变。考虑煤柱留设时的经济原则,煤柱宽度不宜过大,因此在优化过程中,总目标函数可表示为:

$$[0045] \quad U = \sum_1^n \frac{U_i}{U_{i\max}} + \frac{L}{L_{\max}} \quad (2)$$

[0046] 式中: U 为总目标函数, $U_{i\max}$ 为保护煤柱宽度(L)在其设定优化范围内计算得到的变形极大值, L_{\max} 为设定优化范围内的最大取值。

[0047] 保护煤柱宽度(L)的约束条件可表示为:

$$[0048] \quad L_{\min} \leq L \leq L_{\max} \quad (3)$$

[0049] 式中, L_{\min} 、 L_{\max} 为煤柱宽度的优化范围,根据工程地质条件、地质调查报告等确定。保护煤柱宽度优化的过程就是在其取值范围内,寻找合理的取值使总目标函数 U 趋于最小。

[0050] 为实现以上优化方法,以Python语言为基础,编写自动读取巷道和煤柱关键点变形的程序(Disp.py),并以Matlab语言为平台,编制基于遗传算法的最优化分析程序(CoalwidthOp.m),结合能够模拟不同保护煤柱宽度的动态参数化模型程序,实现对保护煤柱宽度的自动优化。

[0051] 实施例:

[0052] 某煤矿工程42010工作面底板岩层以粉砂岩为主,底板巷道位于煤层以下26m处,埋深为610m。该巷道采用直墙半圆拱形断面,净宽5000mm,净高6800mm,巷道采用锚喷支护,混凝土厚度200mm。巷道掘进中,锚索支护参数为 $\phi 22\text{mm} \times 7500\text{mm}$,间排距为 $1200\text{mm} \times 1200\text{mm}$,底板采用 $\phi 22\text{mm} \times 8300\text{mm}$ 高强钢绞线锚索,间排距分别为 $1300\text{mm} \times 1300\text{mm}$ 。

[0053] 岩层柱状分布如图4所示,支护断面如图5所示。

[0054] 利用大型有限元软件ABAQUS的标准设计语言Python自行编制能够模拟不同预留煤柱宽度的参数化可变模型如图1所示,为减少模型计算的边界效应、提高计算的可靠性,设计模型高为150m,宽为250m。模型两侧边界施加水平约束,上下边界为垂直约束。整个模型施加自重应力,同时,根据地应力现场测试结果,在模型顶部施加10.50MPa的竖向压应力。根据现场施工规划、工程地质条件、地质调查报告等,设计计算方案为保护煤柱宽度在20m至60m范围内。

[0055] 数值计算过程中,岩层和喷浆层力学性质采用Drucker-Prager准则模拟,锚索采用beam单元模拟。根据现场工程勘察资料和岩体力学试验报告,确定模拟计算中围岩和支护结构力学参数取值见表1。

[0056] 表1围岩和支护结构力学参数

名称	密度 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性模量 /GPa	泊松比	粘聚力 /MPa	内摩擦角 / $^{\circ}$
灰岩	2850	5.57	0.18	7.40	40
灰质泥岩	2535	8.26	0.25	6.85	33
[0057] 2#煤	1400	1.24	0.26	1.35	24
粉砂岩	2650	9.35	0.22	6.75	38
细粒砂岩	2800	10.14	0.20	4.47	41
喷浆层	2600	30	0.15	16.35	54
锚索	7800	210	0.21	—	—

[0058] 根据本发明提出的优化方法,综合考虑巷道两帮收敛、顶底板收敛,保护煤柱变形等因素,对保护煤柱宽度进行优化分析。优化过程调用ABAQUS进行有限元程序计算126次,计算过程结束。最终,确定保护煤柱尺寸为37.65m。

[0059] 优化过程中,根据公式(2)计算迭代步的总目标函数U的计算值,得出总目标函数值U随计算次数的变化规律如图6所示。可以看出,通过前92步的迭代计算,已基本接近问题的最优解,之后随着优化计算的继续,收敛于最优解。最终,优化值得到总目标函数U为2.36,较设计值时降低约11%。表2为保护煤柱宽度设计值与优化值的计算结果对比。通过对比可知,优化后尽管巷道两帮收敛和煤柱最大变形略有增大,但保护煤柱宽度减小约18%。因此,在考虑巷道及煤柱整体稳定性的前提下,通过优化分析得出了适合工程施工的合理保护煤柱尺寸。

[0060] 表2保护煤柱宽度设计值与优化值时计算结果对比(单位:m)

保护煤柱宽度	计算结果		
	两帮收敛	顶底板收敛	煤柱最大变形
[0061] 设计值(L=46m)	0.0305	0.0066	0.3142
优化值(L=37.65m)	0.0319	0.0051	0.3668

[0062] 综上所述,本发明基于ABAQUS平台,利用Python语言编程建立模拟不同保护煤柱宽度的参数化可变模型,编制基于Matlab语言的有限元优化分析计算程序,以巷道和保护煤柱变形最小形作为优化目标,对建立的动态参数化模型进行计算,得到合理的保护煤柱尺寸,极大地提高了利用有限元方法确定底板巷道保护煤柱宽度的分析效率,同时可为类似开采条件下保护煤柱的留设提供理论支持。

[0063] 以上公开的仅为本发明的几个具体实施例,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

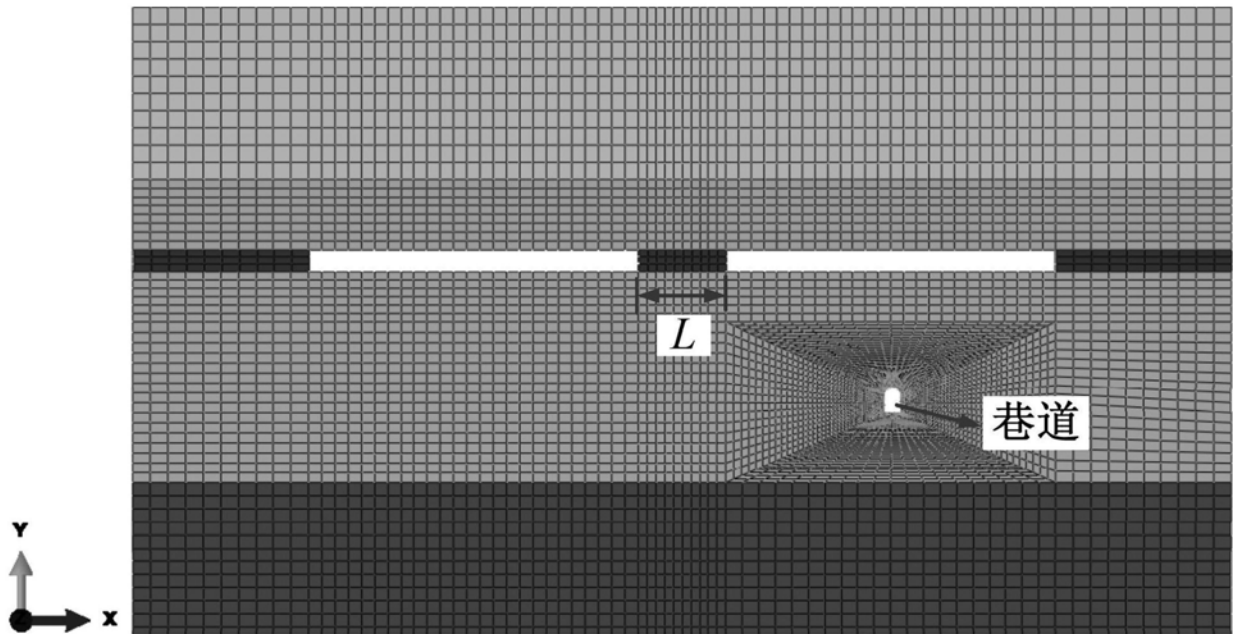


图1

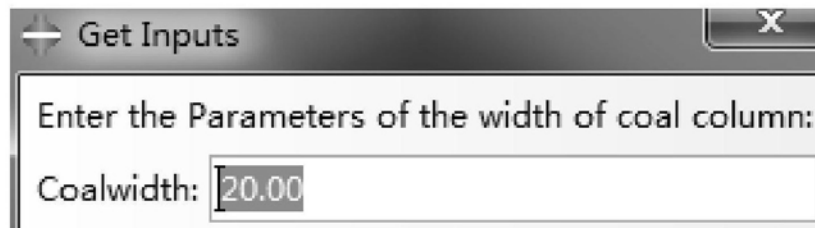


图2

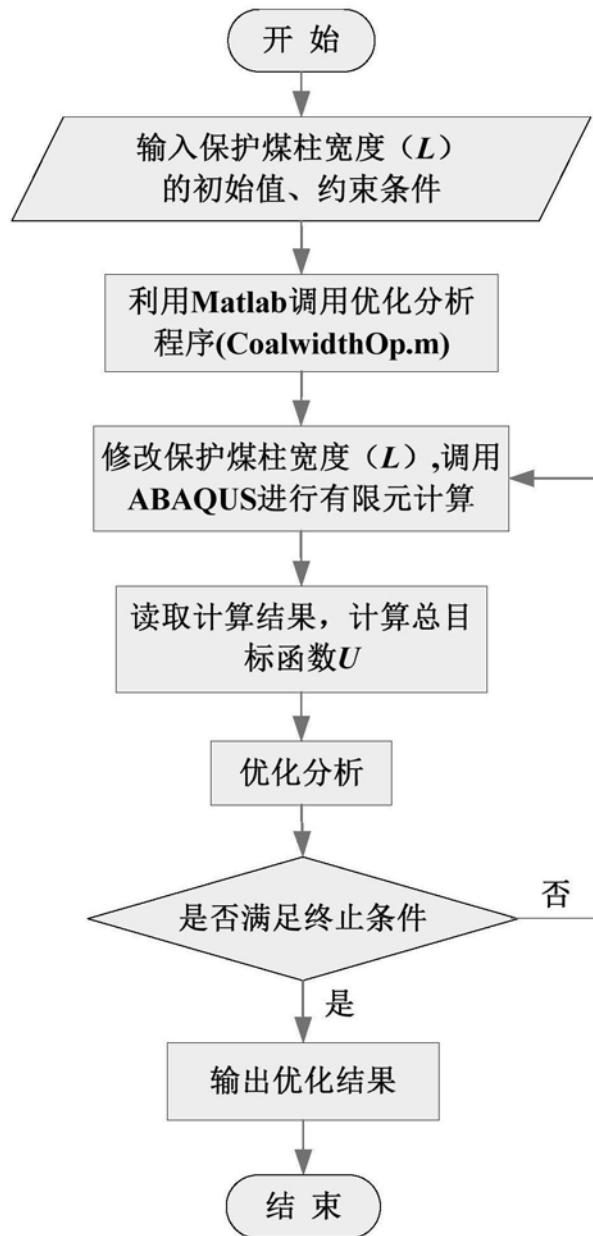


图3

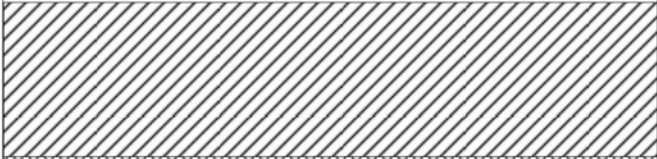


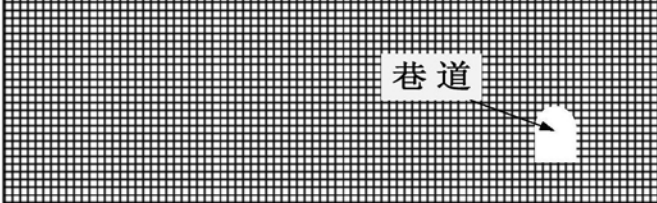
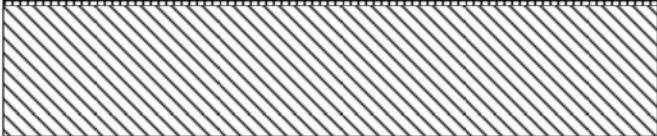
岩层柱状	序号	厚度/m	岩性
	1	30.50	灰岩
	2	16.20	灰质泥岩
	3	5.23	2#煤
 巷道	4	36.60	粉砂岩
	5	21.80	细粒砂岩

图4

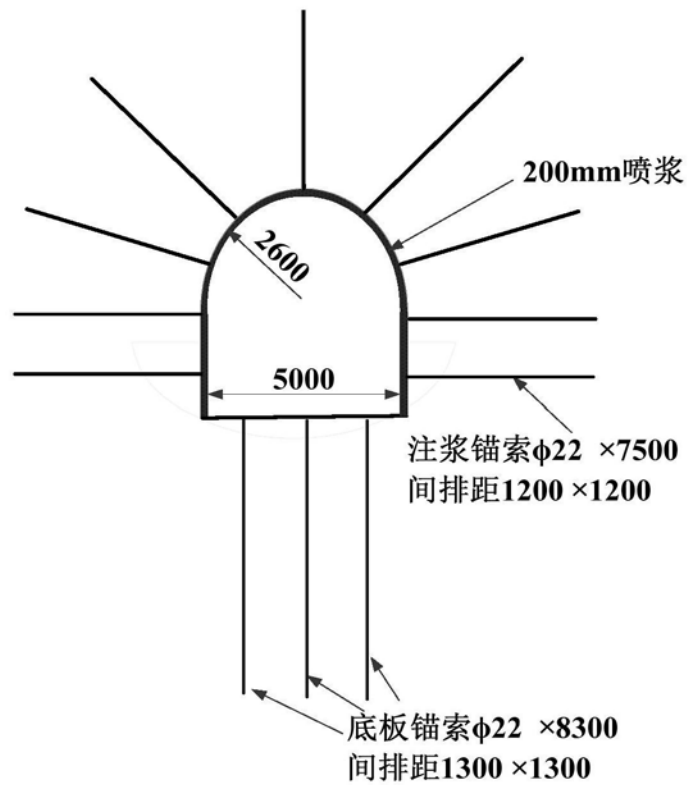


图5

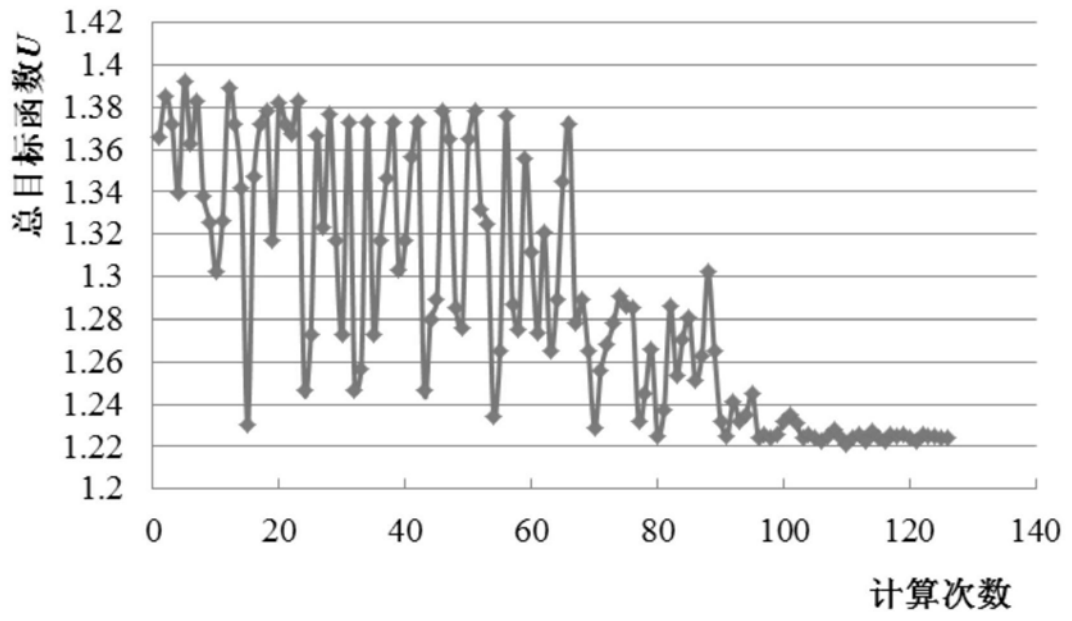


图6