

感谢您对《矿业研究与开发》杂志的支持，请您按以下投稿格式及要求进一步修改完善您的论文，谢谢合作！

阶段空场嗣后充填采场结构参数优化研究^{*}

郝益民^{1,2}, 宋卫东^{1,2}, 张 凯^{1,2}, 陈 啸³

各位作者名字之间用逗号间隔；单名作者在姓与名之间空1个字。作者署名不超过六位，本文研究工作的主要参与人员必须署名，未参与工作者不宜署名，作者在文末可以“致谢”形式对本文研究工作给予指导以及提供方便、数据者表示感谢

(1.北京科技大学 土木与资源工程学院，北京 100083；2.北京科技大学 金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室，北京 100083；3.武钢资源集团金山店矿业有限公司，湖北 大冶市 435116)

作者单位为学校者写到二级单位（学院）；集团单位写到集团的下一级，如“××集团××矿业公司”，企事业及研究设计单位只写本单位工商注册名称；国家、省部重点实验室单独列出。

中文摘要撰写要求（具有自明性，字数 300 字左右为宜，不得少于 200 字）：

目的：言简意赅指出本文研究的目的是为了解决/探讨/分析什么问题。

方法/手段：阐明本文所用的研究方法/手段、技术路线，并实事求是明确研究方法是已有还是创新改进或综合集成。

摘 要：合理的采场结构参数对于保障矿山安全高效开采至关重要。以金山店铁矿为工程背景，采用简支梁理论、荷载传递线理论和厚跨比理论计算采场临界跨度，并运用 FLAC^{3D} 软件对 8, 10, 12, 15 m 4 种采场跨度方案进行数值模拟研究，从位移变化规律、围岩应力分布以及塑性区分布情况进行计算分析，确定了有利于采场结构稳定的参数。研究表明：当采场跨度为 10 m 时，既能保证采场稳定，又可高效生产，研究结果能够为国内外空场嗣后充填法推广应用提供理论参考依据。

结果/结论：清楚表明本文研究所取得的结果，有数据，有关键词，逻辑关系正确，并从中归纳提炼出几条结论，其中本文研究得出的核心数据/定量结果摘要中必须给出。

意义：可适当阐述研究结果对于哪些方面的研究探讨有参考借鉴意义（事实求是，不宜夸大）。

关键词：根据文章内容和创新点，规范写出 3~5 个包含本文所有主题概念，实际代表论文所讨

论的主要内容、手段、方法等且专指度高的关键词，尽量
关键词：空场嗣后充填法；采场跨度；数值模拟
中图分类号：TD853.34 文献标识码：A 选用规范词，各词间用分号间隔。

Optimization Study on Stope Structure Parameters of Sublevel Open Stopping Method with Backfill

英文题目应与中文题目对应。除冠词和介词外，各词首字母应大写。

HAO Yimin^{1,2}, SONG Weidong^{1,2}, ZHANG Kai^{1,2}, CHEN Xiao³

(1.Civil and Resource Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2.State Key Laboratory of High-Efficient Mining and Safety of Metal Mines, Ministry of Education,
University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

3.WISCO Resources Group JinShandian Mining Co., Ltd, Daye, Hubei 435116, China)

作者姓名的英文译名应与作者中文姓名对应，姓和名首字母大写，双名中间不用“-”连接。

作者单位的英文译名应与作者单位的中文名称对应，有公告的官方译名时应采用官方译名。

Abstract: Reasonable stope structure parameters are essential to ensure safe and efficient mining of mines. Taking Jinshandian iron mine as an engineering background, critical stope span was calculated by the simply supported beam theory, load transfer intersection line theory and thickness-span ratio method. Four kinds of stope span schemes (8, 10, 12, 15 m) were simulated and analyzed by FLAC^{3D}. The displacement rules and stress distribution of surrounding rock were calculated and analyzed, as well as the distribution of plastic zones. Then the parameters conducive to the structural stability of stope were determined. The results showed that when the stope span was 10 m, the stope stability and efficient production could be guaranteed. The study results could provide a theoretical reference for the popularization and application of the open stoping method with backfill in the world.

Key words: Open stoping method with backfill, Stope span, Numerical simulation

英文摘要译文应与中文摘要对应，首次出现缩写时应注明全称，务求语法规则、用词严谨（作者翻译英文摘要时，在认真翻译全部中文摘要的基础上，可以适当发挥，丰富英文摘要内容）。

英文关键词译名应与中文关键词对应，各词组间用逗号隔开。除专有名词和各词组第1个词的首字母大写外，其余词的首字母均小写。

基金项目：国家重点研发计划项目(2017YFC0602900)。

作者简介：郝益民(1994—)，男，山西晋中人，硕士，主要从事金属矿地下开采工艺及岩石力学等方面的研究工作，E-mail: 934060679@qq.com。

通信作者：张 凯(1992—)，男，河南商丘人，硕士研究生，从事矿床开采理论与工艺方面的研究，E-mail: 3838703690@qq.com。

基金项目：基金项目官方全名+项目（批准文号）。(同一基金的不同批准文号间用逗号分隔，不同基金间用分号间隔)

作者简介/通信作者：姓名（出生年-），性别、籍贯/出生地、职称、学位、主要研究方向或主要从事的工作，E-mail。

0 引 言

采场结构参数选取与矿山日常生产息息相关，合理的采场结构参数，不仅可以保证矿山安全开采，还能提高矿山的生产效率^[1]。目前，国内学者针对采场合理跨度的选择做了大量研究，叶树学等人^[2]以矿山实际地质条件为基础，借助 FLAC^{3D} 数值计算软件，分别对 4 种不同采场跨度进行数值模拟分析，最终确定采场回采最优跨度。宋卫东等人^[3]通过 FLAC^{3D} 软件模拟了矿山回采过程，分析了开采过程中的地压问题，确定了合理的采场布置及开采顺序；羊羽翔等人^[4]用理论计算与数值模拟相结合的方法，对不同地质条件下的采场跨度进行选择与优化。唐礼忠等人^[5]应用 FLAC^{3D} 值模拟方法，研究金口岭铜矿分段空场嗣后充填开采的采场结构参数对围岩稳定性及地表变形的影响，提出了既能保证采场围岩稳定又能控制地表变形的结构参数。刘培正等人^[6]针对吴庄铁矿岩体条件，采用 FLAC^{3D} 软件对 24 种不同方案进行模拟研究，得出采场顶板

引言要求：

(1) 研究工作的范围与目的，即确定研究对象和内容的边界，阐明研究工作主要为了解决什么问题；

(2) 研究工作的起点和基础：前人在本项研究相关领域已有的研究工作（简要历史回顾和国内外现状评述，尽量采用评价性语言介绍前人研究成果并建立一一对应的引证关系）和尚存的知识空白；

(3) 研究的理论基础、技术路线、实验方法与手段，以及选择特定研究方法时的理由；

(4) 预期研究结果及其意义。

注意：引言中应当不出现公式、插图、表格，所有必须的插图、表格、公式等全部后移到正文相应位置。

1 采场顶板失稳临界跨度分析

1.1 矿山概况

本刊占行标题层级最多编到 4 级，用阿拉伯数字按“1”、“1.1”、“1.1.1”、“1.1.1.1”的

形式编排，占行标题的内部，除书名号和引号外不用标点符号。

2.3 施加初始条件及边界约束

(1) 初始地应力场^[13]。金山店矿区构造应力较小,竖直应力取自重应力。

的分界线^[9]。其力学参数见表 2。

表 2 金山店铁矿主要矿岩力学参数

岩 性	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	弹性模量 /10 ⁴ MPa	泊松比 μ	凝聚力 C /MPa	内摩擦角 φ /($^{\circ}$)
石英闪长岩	70.0	4.0	1.33	0.26		
变余砂岩	74.0	5.0	2.88	0.32	0.30	54
闪长玢岩	74.0	3.7	2.42	0.29	0.67	54
泥质角岩	65.0	3.5	3.35	0.26	0.33	59
英长角岩	85.0	5.0	7.50	0.29	0.41	56
泥质黑云母角岩	57.0	1.8	2.94	0.24	0.86	51
砂卡岩	47.0	3.0	1.64	0.24	0.83	51
块状磁铁矿矿石	42.0	4.0	2.70	0.26	1.06	38
大理岩	86.0	2.6	2.40	0.27	1.04	40

根据金山店铁矿的矿体赋存条件和建设条件,对该矿体采用分段凿岩阶段空场嗣后充填法开采。分段凿岩阶段空场嗣后充填法采用大直径深孔凿岩,采场垂直矿体走向布置,矿块高为 90 m,分段高度为 15 m,矿块长为矿体厚度约 24.79 m,矿体顶部预留 6 m 作为顶板,上水平超前下水平 5 m,采用后退式开采。其开采方式为“隔一采一”,采场矿房与矿柱尺寸相同,先采矿房后采矿柱,矿房开采结束后对其空区进行充填,待充填体稳固后再进行矿柱的回采工作(见图 1)。

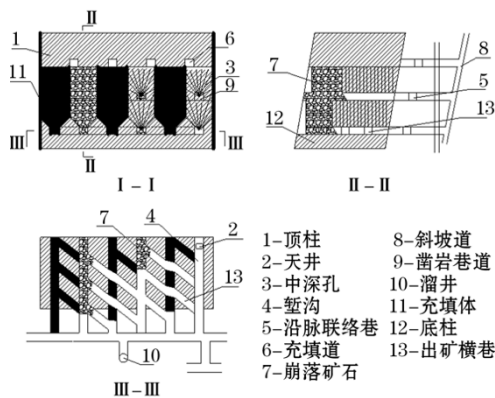


图1 分段凿岩阶段空场嗣后充填采矿法

各占行标题层次下的“要点” 序码：

第 1 层用 (1)，(2)，(3)，…，第 2 层用 ①，②，③，…。

图、表必须由文字引出，并按照其出现的先后用图 1,图 2,图 3…、表 1,表 2,表 3…顺序编排，图序或表序后空 1 个字接图名或表题（暂不需要英文图名或表题）。图表中有英文词汇时必须改成中文。

图和表切忌重复表达相同样内容。

表序和表题置于表格的上面，表格一律采用三线表（数据单位放在表头栏）。

图序和图名置于图的下面，半栏图幅宽不超过 7.5 cm、通栏不超过 15 cm，分辨率应达到 600 点，图中文字为 7p 宋黑，粗线条为 4 像素、细线条为 2 或 3 像素。图注在图内空间足够时，应在图中相关处直接标示图注；图内空间不够时，以 1,2,3…的顺时针顺序在图内标示位置，在三视图的右下部或图名下面按 1-, 2-, 3-…的顺序一一对应标明图注。

图和表应尽可能让编辑人员能对其内容进行编辑，而不要做成不可更改的图片形式，即图可用 Excel、Origin、Visio、PS（带图层）等软件打开并附有原始数据，表用 Word 中的“表格”工具制作。

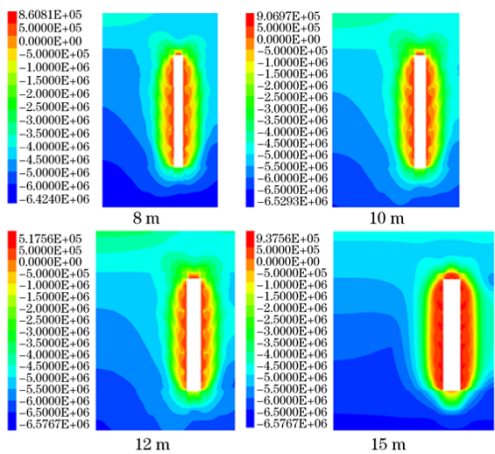


图5 各方案最大主应力云图

本刊内页插图为黑白印刷，但电子版为彩色，因此投稿时可用彩色图。原图是彩色云图时，请按图例所示标明数量。

量和单位及其符号严格执行国家标准，不可使用非法定量名称。量符号均用斜体（矢量、张量、矩阵用黑斜体），一般用单个英语或希腊字母表示（25 个特征数符号如雷诺数 *Re*、氢离子浓度指

$$V=hg \quad (1)$$

式中, V 为竖直应力, N ; h 为顶板到地面的高度, m ;
 g 为重力加速度, $g_{grav}=9.8 \text{ m/s}^2$ 。

数 pH 等例外), 尽量不要用多个字母表示, 以免单个量与多个量相乘时产生混淆。

公式按出现的顺序编号 (文中后面不再提到的公式可以不编号)。

全文中某一个字母代表的量必须明确惟一, 不能在某处代表一个量, 在另一处又代表另一个量。
 量符号在文字、公式中首次出现时, 应对其进行说明, 后文再出现时可直接用符号表示。对量符号做说明时应按量符号出现的顺序逐次进行。

不要用公式编辑器在正文文字中给出外文字符 (公式除外)。

公式虽居中排列, 但仍是语句的一部分, 因此是否加标点符号或加什么标点符号, 应视其与上下文如何转承按正常的文字一样处理。

不要将化学元素符号作为量符号使用。例如 “ $H_2:O_2=2:1$ ”, 正确的表达方式如下: 若指质量比, 应为 $m(H_2):m(O_2)=2:1$; 若指体积比, 应为 $V(H_2):V(O_2)=2:1$; 若指物质的量的比, 应为 $n(H_2):n(O_2)=2:1$ 。

量符号的下标符号有正、斜体之分。一般代表量、变动性数字和坐标轴的下标符号用斜体, 如 Q_v (体积流量, V 为体积符号), U_i ($i=1, 2, 3$) (电压 U_1, U_2, U_3 ; i 代表变动性数字 1~3), V_x (速度 V 在 x 方向的分量, x 为坐标轴符号); 除此之外的下标符号用正体。

单位符号均用正体字母, 数据与单位符号之间应空半个字。

不能把不是单位符号的符号作为单位符号使用, 如 hr (小时) 应为 h , ppm 应为 10^{-6} 等。

绝不能对单位符号进行修饰, 如 “药剂用量为 $20 \text{ g/t}_{原矿}$ ” 应为 “药剂用量对原矿计为 20 g/t ” 或 “药剂用量为 100 g/t (对原矿)”。

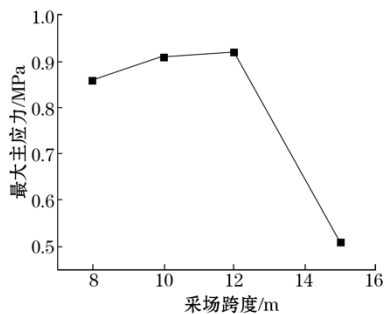


图6 采场跨度与采场最大主应力关系

曲线图纵横坐标轴均须给出量和单位, 坐标轴上的刻度和数据必须等间隔且尽量使数据圆整, 不用背景网格线, 没有负值时坐标轴上不允许出现负刻度。

除特别要说明某种趋势或与公式、模型拟合外, 曲线图一般采用折线图形式。

当图有分图时, 各分图用 (a), (b), (c), ... 顺序编号, 编号后必须有分图名。

图的坐标和表头中的量与单位采用比值的形式标注, 比如 “最大主应力/MPa”, 或 “密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)” 等。

当图的横坐标为某种事物种类而不是具体数量时, 应优先采用柱状图。

4 结 论

根据简支梁理论、荷载传递线理论和厚跨比理论计算得出采场临界跨度, 并借助 $FLAC^{3D}$ 有限差分数值模拟软件对采场跨度分别为 8, 10, 12 和 15 m 4 种方案进行模拟计算, 从分析结果可以看出:

(1) 当采场跨度为 8~10 m 时, 采场顶板最大垂直位移和最大主应力增量较小, 数值变化平缓, 采场塑性区范围较小, 采场处于较为稳定状态。

(2) 当采场跨度为 10~12 m 时, 采场顶板最大垂直位移和最大主应力在数值上有较大幅度增加, 采场塑性区范围也产生较大变化, 采场边角处出现少量剪切破坏, 采场处于变形阶段, 需进行一定的支护。

结论的主要内容:

(1) 本研究结果说明了什么问题, 得出了什么规律性的结果, 解决了什么理论或实际问题;

(2) 对前人有关本问题的看法作了哪些检验, 哪些与本研究结果一致, 哪些不一致, 作者做了哪些修正、补充、发展或否定;

(3) 本研究的不足之处或留待以后解决的问题。

结论一般不再用插图和表格, 也不引用文献。

如果论文不可能给出结论, 也可以只进行必要的讨论而没有结论。

论文如果有建议,“建议”可以单独用一个标题,也可以作为结论的最末一条,切忌勉强杜撰。

“致谢”不是论文的必要部分,若有需要,可将其空1行不列标题置于“结论”之后。

参考文献(References):

- [1] 张 飞,杨天鸿,胡高建.复杂应力扰动下围岩稳定性评价与采场参数优化[J].东北大学学报(自然科学版),2018,39(5):699-704.
- [2] 叶树学,陶 磊,胡京涛.采场跨度优化数值模拟研究[J].采矿技术,2017,17(3):10-12.
- [3] 宋卫东,付建新,王东旭.露天转地下开采围岩破坏规律的物理与数值模拟研究[J].煤炭学报,2012,37(2):186-191.
- [4] 羊羽翔,付建新,宋卫东.不同地质条件下的采场结构参数优化[J].金属矿山,2015(10):29-32.
- [5] 唐利忠,邓丽凡,蒯英骅.分段空场嗣后充填采矿法采场结构参数优化研究[J].黄金科学技术,2016,24(2):8-13.
- [6] 刘培正,张传信,胡永泉,等.厚大矿体分段空场嗣后充填采场结构参数优化研究[J].金属矿山,2009(11):10-13+123.
- [7] 程爱平,许梦国,王 平.金店铁矿低贫化放矿数值模拟[J].金属矿山,2011(1):31-34.
- [8] 段文权,逢铭璋,夏长念.无底柱分段崩落法在松软破碎难采矿体条件下的应用[J].世界有色金属,2018(2):62-64.
- [9] 杨 乐.分段凿岩阶段出矿嗣后充填采矿法在金店铁矿的应用[J].采矿技术,2015,15(6):1-2+59.

著录参考文献的符号仅仅是借用中文标点符号,此时它们已没有标点符号的本来功能。

参考文献请根据 GB/T 7714—2015《信息与文献参考文献著录规则》的标注格式将其按文中引用的顺序附于文末。

参考文献责任者的姓名一律采用姓前名后的格式。作者名为西文时一般采用缩写字母(其缩写点省略),但也可以采用全名。西文作者的姓仅首字母大写。

常用参考文献的著录格式如下:

连续出版物: [标引序号] 作者.文题[J].刊名,年,卷(期):起始页码-终止页码。

专著: [标引序号] 作者.书名[M].出版地:出版者,出版年:引用起始页码-终止页码(多次引用时注于标引序号的上角)。

译著: [标引序号] 作者.书名[M].译者姓名,译.出版地:出版者,出版年:引用起始页码-终止页码(多次引用时注于标引序号的上角)。

析出文献(文集): [标引序号] 作者.文题[文献类型标志]析出其他责任者//专著主要责任者.专著题名.出版地:出版者,出版年:析出文献的页码(必备)[引用日期].获取和访问路径。

学位论文: [标引序号] 作者.文题[D].所在城市:保存单位,年份:引用起始页码-终止页码(多次引用时注于标引序号的上角)。

专利: [标引序号] 申请者.专利名[P].国名及专利号,发布日期(具体到“日”)。

技术标准: [标引序号] 技术标准代号.技术标准名称[S]。

技术报告: [标引序号] 作者.文题[R].报告代码及编号,地名:责任单位,年份。

报纸文章: [标引序号] 作者.文题[N].报纸名,出版日期(版次)。

在线文献(电子公告): [标引序号] 作者.文题[EB/OL].[引用日期].获取和访问路径。(电子文献的“[引用日期]”是必须的,它指引用者看到文献的日期)

光盘文献(数据库): [标引序号] 作者.[DB/CD].出版地:出版者,出版日期。

出版地录城市名而不是国家名。

西文析出文献题名仅第1个词和专有名词的首字母大写,专著题名则除冠词和介词外所有词的首字母均大写。专著题名缩写时,缩写点省略。

参考文献要求:

(1) 研究性论文参考文献数目宜20条左右,不得少于15条,尽量引用近5年来行业主流期刊发表的与本文研究密切相关的文献,一般书籍、行业标准、会议论文、单位内部资料(未公开出版)等不宜作为参考文献;

(2) 综述性论文参考文献数量不得少于50条且70%为5年内的文献。

(3) 所有文献必须按照引用次序在稿件相应位置用上角标的形式标出,且一一对应。

(4) 中文文献的英文翻译必须尊重文献原文已有表达,切勿自行翻译(本刊暂不需要)。

作者署名要求:

(1) 为杜绝论文写作中的不正之风，论文一经审稿录用，不得更改作者署名及作者排序，请作者慎重对待论文署名及作者排序。

(2) 博硕士研究生投稿，必须添加导师或导师指定的相关教师作为论文通信作者。

(3) 项目组成员作为论文第一作者时，项目负责人宜添加为论文通信作者。