

地下矿山新型浮箱式膏体充填接顶技术研究及应用

康国华¹, 白龙剑², 王洪江², 严庆文³, 刘猛², 陈冲², 熊有为¹, 刘家明¹

- 长沙有色冶金设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410000;
- 北京科技大学 土木与资源工程学院, 北京 100083;
- 云南驰宏锌锗股份有限公司, 云南 曲靖 654212

中图分类号: TD853.34 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2024)02-0046-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2024.02.006

摘要 膏体充填后充填体存在一定下沉量和自流坡度角, 导致充填接顶效果不佳的问题。为了提升窄长形下向进路式采场的充填接顶效果, 避免顶板暴露面积过大而失稳, 提出浮箱式点柱接顶技术。分析了浮箱式点柱的承载机理, 量化了浮箱尺寸、强度和排间距计算方法。开展现场实验, 探究浮箱在高黏度料浆中能否浮起问题。结合该技术在云南某铅锌矿的应用实例, 验证了本文提出的设计方法和接顶技术的有效性。结果表明: 浮箱可在高黏度料浆中浮起, 且部分凸出充填体, 对顶板形成有效支撑。采用该技术的实验采场顶板对充填体浮箱的压力约为 0.65 MPa。采用浮箱式点柱接顶技术可以形成充填体-浮箱式点柱共同支护体系, 提升顶板稳定性, 具有显著的安全效益。

关键词 进路式充填采矿法; 充填接顶; 浮箱; 工业实验

引言

充填采矿法具有安全、环保和矿石回收率高等优势^[1], 其在地应力高、围岩稳定性差、矿石品位高的矿山得到了广泛应用^[2]。在软弱围岩条件下, 为了最大限度回收高品位矿石, 常采用下向进路充填采矿法。下向进路采场的长宽比一般高达 10~15^[3], 此类窄长型采空区的接顶率对围岩和充填体的稳定性有着重要影响^[4]。进路式采场在充填接顶上存在三方面问题^[5]: (1) 充填料浆难以充满采场。采场前端部的充填挡墙与顶板存在 10~20 cm 间隙, 导致料浆只能充填至挡墙的高度^[6]; (2) 采场内存在三角形未接顶区域。受充填料浆流动性限制, 料浆无法在采场内流平, 导致尾部存在三角形未接顶区域^[7]; (3) 充填料浆部分沉缩。受充填料浆自身性质影响, 充填体会产生 2% 左右的沉缩量, 导致充填体难以接顶^[8]。因此, 提升进路式采场的充填接顶效果, 避免多个连续充填体大面积暴露而失稳, 成为研究热点^[9]。

为了提升充填接顶效果, 国内外科研人员从新材料、新装备、新工艺角度提出了多种方法。在充填新材料方面, 马志浩^[10]研发了膨胀性全尾砂充填材料,

可以基本克服充填体的沉缩, 但强度下降了 60%。白龙剑等^[11]研发了高水粉煤灰复合充填材料, 其中硫铝酸盐水泥水化产物中含有大量钙矾石, 充填体基本不会沉缩, 但该材料成本过高, 且长期强度不足。在充填新装备方面, 程文文^[12]基于等量分流原理设计了多点下料管道, 一定程度上减小了充填体的自流坡度角, 改善了充填接顶效果, 但每个采场耗费一根 30~50 m 管道。在充填新工艺方面, 王梓安^[13]提出可以考虑进路顶板下坡施工和多次充填的方法。多次充填可以解决料浆自流坡度带来的空顶区域。但窄长型进路式采场依然面临 20~30 cm 高的未接顶区域^[14], 而传统方法难以低成本解决多个连续采场顶板大面积暴露问题。

为此, 本文提出浮箱式点柱接顶技术。首先基于普氏理论, 分析浮箱式点柱的承载机理, 再运用弯曲梁理论, 计算浮箱的规格和排间距, 得到浮箱式点柱的支护安全系数。通过采场实验, 论证了浮箱式点柱可在高黏度料浆中浮起, 并有效支撑顶板。将该技术应用于某铅锌矿的进路式采场, 形成了充填体-浮箱式点柱共同支护体系, 确保了顶板的稳定性。

收稿日期: 2024-02-22

基金项目: 国家自然科学基金 (51834001)

作者简介: 康国华 (1970—), 男, 湖南长沙人, 硕士, 采矿高级工程师, 从事金属矿山深井开采技术研究和管理工作, E-mail: kangguohua8@sohu.com.cn。

通信作者: 白龙剑 (1996—), 男, 山西吕梁人, 博士研究生, 主要从事充填采矿和尾矿动力学等方面的研究工作, E-mail: bailongjian321@163.com。

1 浮箱式点柱接顶技术理论分析

浮箱式点柱接顶技术是在采场假底铺设后、挡墙构筑前,将一定数量轻质浮箱按一定排间距牵引绳和假底连接。浮箱随着充填料浆液面的升高接触到顶板。由于浮箱总高于液面一定距离,最终形成一系列点柱支护顶板,避免多个连续采场大面积暴露失稳。

1.1 浮箱式点柱承载机理

面积承载理论^[15]提出,采场支架所受的载荷为其支撑范围内上覆充填体和岩层重力。然而,工程实践表明,岩体开挖后顶板充填体中存在普氏拱,即顶板充填体中会形成一个自然平衡拱,作用在支架上的载荷仅为拱内充填体的自重,而与拱外部分无关。

基于普氏平衡拱理论^[16]的点柱承载机理如图1所示。由于进路式充填采矿法每一分层均有钢筋网假底,隔绝了部分原岩应力,点柱所承受的荷载仅为顶部塑性区域的充填体重力。通常,进路式采场开挖后,周边围岩应力重新分布,在地应力作用下,上层充填体中形成半径约为 R_p 的塑性区。塑性区半径 R_p 由采场宽度、围岩力学性质和埋深 H 决定。

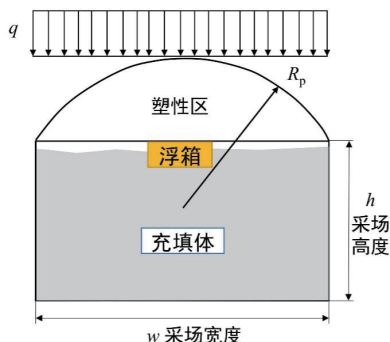


图 1 浮箱承载机理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of pillar bearing mechanism

因此,采场充填后,只要点柱能承受顶板围岩塑性区范围内充填体的重力,就可保证顶板和点柱系统的长期稳定。

1.2 浮箱式点柱尺寸

采场回采后,忽略点柱对顶板中塑性区的影响,解卡斯特纳方程^[17](1),即可得到顶板充填体中塑性区半径 $R_p(2)$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_r = c \cot \varphi - (p_i + c \cot \varphi) \left(\frac{r}{R_0} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}} \\ \sigma_\theta = c \cot \varphi - (p_i + c \cot \varphi) \left(\frac{r}{R_0} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}} \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \end{array} \right. \quad (1)$$

$$R_p = R_0 \left[\frac{(P_0 + c \cot \varphi)(1 - \sin \varphi)}{c \cot \varphi} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \quad (2)$$

式中: 应力以拉为正, 压为负, p_i 为采场内压, MPa; R_p 为塑性区半径, m; c 为岩石内聚力, MPa; φ 为内摩擦角, °; R_0 为开挖半径, m; P_0 为开挖处的垂直自重应力, MPa。

相关研究表明^[18], 采场断面形状对塑性区半径 R_p 影响较弱。为此, 可近似采用等效开挖半径, 即采场断面的外接圆半径代替。采场结构参数和塑性区荷载见图 2。开挖半径 R_0 为:

$$R_0 = \sqrt{(w/2)^2 + (h/2)^2} \quad (3)$$

式中: w 为采场断面宽度, m ; h 为采场高度, m 。

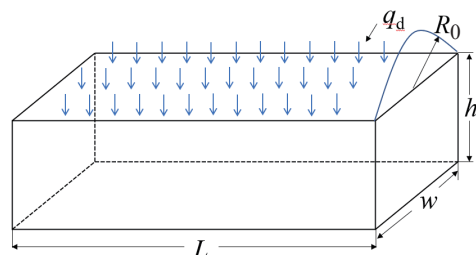


图2 采场结构参数和载荷示意图

Fig. 2 Mine stope structure parameters and load diagram

考虑到点柱承受的载荷为顶板充填体塑性区的自重。将塑性区充填体顶压, 设为高 H_p 的矩形均布顶压。此时, 顶压集度 q_d 为:

$$q_d = \gamma(R_p - h/2) \quad (4)$$

式中: q_d 为顶压集度, N/m。

整个采场的顶压 Q_d 为:

$$Q_d = q_d \times L \quad (5)$$

式中: Q_d 为顶部压力系数, N/m。

进路式采场一般近似水平,点柱按矩形均匀布置。塑性区内充填体重力荷载由点柱均匀承担。则对于方形点柱存在式(6)关系:

$$MNW_p^2 \sigma = Q_d L \quad (6)$$

式中: M 为浮箱布置排数; N 为单排点柱个数; W_p 为浮箱长度和宽度, 其中长和宽相等, m ; σ 为浮箱受到的压应力, MPa ; L 为采场长度, m 。

当点柱未发生破坏时,点柱承受荷载 σ 需小于点柱的许用应力 $[\sigma]$ 除以安全系数 f ,如式(7):

$$\sigma < \frac{[\sigma]}{f} \quad (7)$$

式中: $[\sigma]$ 为点柱的许用应力; f 为安全系数, 本文中取 1.5^[19]。

联立式(1)~(7)可得点柱承受载荷计算公式(8)和点柱宽度计算公式(9):

$$\sigma = \frac{Q_d L}{M N W_n^2} \quad (8)$$

$$W_p = \sqrt{\frac{Q_a f}{MN[\sigma]}} \quad (9)$$

1.3 浮箱式点柱承载强度

浮箱式点柱承载强度由其与顶板和下方充填体接触状态、内部结构、材料性质、尺寸与形状等因素共同决定。浮箱式点柱的作用类似于支撑采场的矿柱,但其高径比为 0.2~1.0,远小于矿柱的高径比(2.0~2.5)。

对于浮箱式点柱强度的计算可参考 Prasetyo 等^[20]提出的矿柱强度公式。该公式考虑了点柱的“尺寸效应”和“形状效应”。点柱强度一般表达式为式(10):

$$S_p = K[A + B(W_c^a/H_c^b)] \quad (10)$$

式中: K 表示与矿柱材料相关的强度常数,MPa; W_c 为矿柱宽度,m; H_c 为矿柱高度,m; a 、 b 是经验密指数,在“形状效应公式”中 $a=b$; A 、 B 是经验指数, $A+B=1$,在“尺寸效应公式”中 $A=0$ 、 $B=1$ 。

1.4 浮箱式点柱排间距

将采场顶板视为处于一定约束状态,且没有水平构造应力影响。根据板或梁的弯曲理论,得到排间距计算公式为:

$$l_s = \left\{ 8\sigma_t HK / [3r(1+K_p)f] \right\}^{0.5} \quad (11)$$

式中: σ_t 为顶板抗拉强度,MPa; r 为顶板充填体容重, 10^4N/m^3 ; H 为埋深,m; K 为结构面减弱系数; K_p 为荷载系数; f 为安全系数。

在工程实际中,根据采场的尺寸和顶板力学参数,利用式(11)计算点柱的合理排间距范围,初步确定点柱的 M 和 N 组合。然后利用式(9)计算点柱的合理尺寸和承载荷载。然后基于式(10)计算点柱的许用应力。最后利用式(8)验算点柱的强度,以确定点柱的最终尺寸。

2 实验

浮箱式点柱能否在高浓度充填料浆中上浮到顶板位置,是实现该接顶技术的核心。为此,制作了实验浮箱,并将其安装在某铅锌矿的进路式采场内。通过充填时观察和相邻采场揭露,表明浮箱式点柱可以有效支撑未接顶区域。

2.1 实验材料

木制浮箱式点柱,该点柱的材料为松木,规格为长 600 mm、宽 600 mm、高 450 mm,板材厚度 30 mm。为了保证浮箱的防水性能,在外侧包裹防水材料,浮箱实物见图 3。



图 3 木制浮箱式点柱实物

Fig. 3 Wooden buoyant box-type point column

2.2 实验方案

将木制浮箱式点柱安装在实验采场充填挡墙内。该浮箱应当距离挡墙 2~3 m,距离相邻待揭露采场 0.5~1 m。为了使木制浮箱式点柱位置免受料浆流动影响,利用牵引绳将其固定在采场锚网上。

在充填该实验采场时,观察并记录木制浮箱位置随充填料浆液面的变化和浮箱的浮起高度。

2.3 实验结果与分析

现场工业实验结果表明,木制浮箱随料浆液面的升高而同步升高,且木制浮箱总高出料浆液面约 40 cm,见图 4。

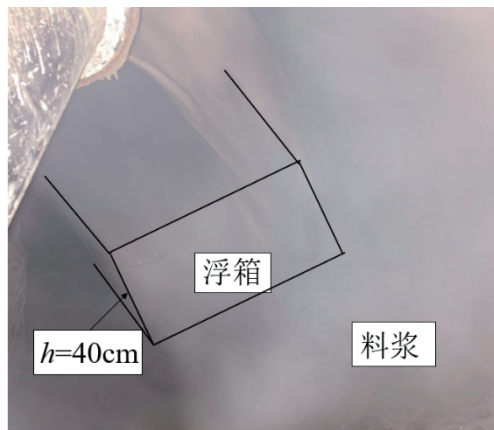


图 4 浮箱在采场内浮起

Fig. 4 Buoyant box floating in the stope

在充填结束后,可以观察到有约 24 cm 未接顶高度。浮箱凸出充填体 24 cm,并与顶板紧密接触,起到了良好的支撑效果。

3 工程应用

3.1 工程背景

云南某铅锌矿采用进路式充填采矿法开采矿石。

在经历了 70 多年的开采后, 现主要开采水平深度已达 1 400 m。深部开采面临高地应力问题, 顶板的最大允许暴露面积约为 400 m²。进路式充填采矿法能较好控制地应力, 保持围岩稳定, 但充填体与顶板之间总存在 10~30 cm 空顶区域。当 2 个及以上采场顶板相连接时, 总暴露面积将超过 400 m², 部分顶板变形量较大, 且出现大块充填体垮塌现象, 对安全生产造成隐患。

为此, 本文以云南某铅锌矿 1 142 分段 4 个连续采场为研究对象, 采用浮箱式点柱接顶技术, 减小顶板的总暴露面积, 提升顶板的稳定性。

3.2 工业实验方案

3.2.1 采场概况

实验采场为该铅锌矿 1 142 分段 1~4 号采场, 埋深 H 为 1 396 m, 采场规格长 50 m、宽 4 m、高 4 m。采场顶板为充填体, 抗压强度 5.0~7.5 MPa。充填体力学参数见表 1。

表 1 实验采场顶板充填体力学参数
Table 1 Mechanical parameters of roof filling body in test stope

项目	平均 密度 /(g·cm ⁻³)	原位抗 压强度 /MPa	抗压 强度 /MPa	抗拉 强度 /MPa	弹性 模量 /GPa	泊松比
数值	1.66	7.70	5.5	0.43	1.51	0.14

3.2.2 浮箱式点柱接顶方案

根据式 (1)~(11) 计算可得, 顶板充填体的塑性区半径 $R_p=2.62$ m, 浮箱式点柱的排间距为 10 m×10 m, 浮箱长宽均为 0.6 m, 高 0.45 m, 承受荷载为 1.4 MPa。浮箱式点柱的强度为 2.6 MPa, 安全系数 f 为 1.86, 符合设计要求。浮箱在实验采场的排布见图 5。

浮箱在采场内的安装方法为: 在构筑挡墙前, 将浮箱按照间隔 10 m 一个摆放至预定位置; 使用长度为 4.5 m 的牵引绳连接浮箱和钢筋网; 浮箱将随充填料浆液面的升高而升高至顶板; 最终, 浮箱将凸出充填体 20~30 cm, 支撑顶板。现场安装效果见图 6。

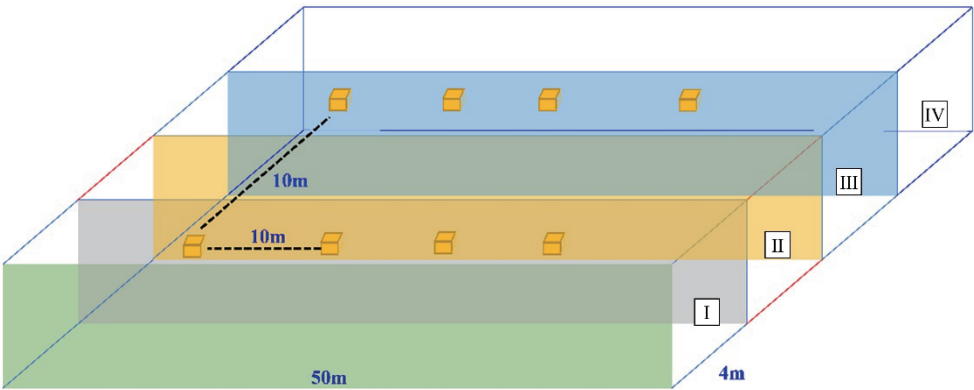


图 5 浮箱式点柱在实验采场排布示意图
Fig. 5 Layout diagram of buoyant box point column in test stope



图 6 浮箱式点柱在实验采场安装实景
Fig. 6 Realistic picture of buoyant box point column in test stope

3.2.3 顶板对浮箱压力监测

在浮箱的正上方安装压力传感器, 型号为 JKTY-150, 主要记录顶板对浮箱或充填体的压力。压力数据采集方法为: 间隔 7 d 记录压力数据 1 次, 数据记录周期为 91 d。

3.3 工业实验结果及分析

由相邻采场开挖期间观察可知, 浮箱式点柱凸出充填体约 15~32 cm, 有效支撑了顶板充填体。浮箱式点柱与顶板紧密接触, 且未发生变形, 证明浮箱的强度设计合理。

顶板对浮箱压力监测结果见图 7。由顶板对浮箱压力监测可知, 浮箱受到的压力约为 0.50~0.75 MPa, 平均值为 0.65 MPa。由图 7 可见, 浮箱受到的压力在 0~40 d 时较为稳定。然而, 在 40~80 d 时压力下降

了约 35%, 其原因在于围岩发生了一定的变形, 顶板与充填体的接触面积增加, 部分压力由充填体承担, 进而浮箱的压力值下降。

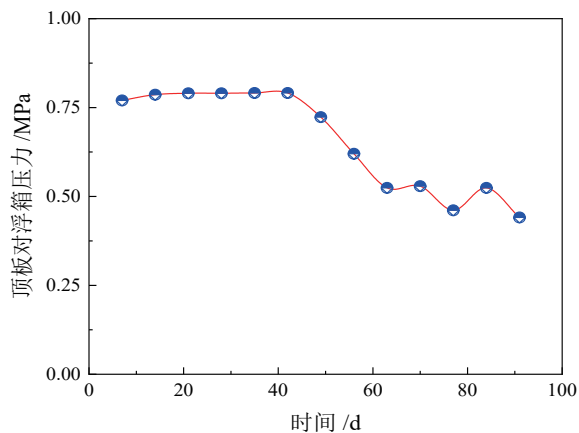


图 7 顶板对充填体压力与时间关系

Fig. 7 Relationship between pressure and time of roof to buoyant box

当未安装浮箱时, 由于顶板和充填体之间存在间隙, 顶板对充填体的压力约等于 0, 因此, 浮箱对顶板起到了支撑作用, 形成了充填体-浮箱式点柱共同支护体系, 增强了采场稳定性。

4 结论

(1) 运用普氏理论, 分析了浮箱式点柱的承载机理, 提出了点柱尺寸、强度和排间距计算公式。量化了浮箱式点柱接顶技术设计方法, 为充填接顶提供新的技术路径。

(2) 通过采场内浮箱接顶实验, 证明了浮箱可在高黏度膏体料浆中浮起。浮箱的浮出液面高度与其截面积正相关。

(3) 针对云南某铅锌矿进路式充填采场, 开展浮箱式点柱接顶技术工业实验。实验结果表明, 顶板对浮箱压力约为 0.65 MPa。浮箱能部分凸出充填体, 对顶板起到较好的支护效果。该技术可为顶板超过允许暴露面积时提供安全保障。

参考文献:

- [1] 吴爱祥, 杨莹, 程海勇, 等. 中国膏体技术发展现状与趋势[J]. 工程科学学报, 2018, 40(5): 517-525.
WU A X, YANG Y, CHEN H Y, et al. Status and prospects of paste technology in China[J]. Chinese Journal of Engineering, 2018, 40(5): 517-525.
- [2] 尹升华, 吴爱祥. 缓倾斜中厚矿体采矿方法现状及发展趋势[J]. 金属矿山, 2007(12): 10-13.
YIN S H, WU A X. Status quo of mining methods for gently inclined medium-thick orebodies and their development trend[J]. Metal Mine, 2007(12): 10-13.
- [3] 邵亚建. 采场内膏体料浆流动特性及充填接顶技术研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2021.
- SHAO Y J. Study on flow characteristics of paste slurry and filling roof technology in stope[D]. Beijing: Beijing University of Science and Technology, 2021.
- [4] 刘福春, 白龙剑, 严庆文, 等. 充填采场内膏体流动规律及接顶率预测模型[J]. 有色金属(矿山部分), 2023, 75(3): 124-130+136.
LIU F C, BAI L J, YAN Q W, et al. Flow law of paste in filling stope and prediction model of roof rate[J]. Non-ferrous Metals, 2023, 75(3): 124-130+136.
- [5] 吴爱祥, 王勇, 王洪江. 膏体充填技术现状及趋势[J]. 金属矿山, 2016(7): 1-9.
WU A X, WANG Y, WANG H J. Present situation and trend of paste filling technology[J]. Metal Mine, 2016(7): 1-9.
- [6] 张爱卿, 吴爱祥, 王贻明, 等. 分段胶结充填法非胶结充填体顶水高度的力学模型[J]. 中国有色金属学报, 2021, 31(6): 1686-1693.
ZHANG A Q, WU A X, WANG Y M, et al. Mechanical model of top water height of non-cemented filling body in segmented cemented filling method[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2021, 31(6): 1686-1693.
- [7] 朱磊, 宋天奇, 古文哲, 等. 研石浆体输送阻力特性及采空区流动规律试验研究[J]. 煤炭学报, 2022, 47(S1): 39-48.
ZHU L, SONG T Q, GU W Z, et al. Experimental study on transportation resistance characteristics of gangue slurry and flow law of goaf[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(S1): 39-48.
- [8] LIM D K, CHOI M S. Shrinkage and crack characteristics of filling materials under restrain stress in prefabricated structure connection[J]. Construction and Building Materials, 2021, 309(11): 125188.
- [9] 肖军. Mathews 稳定图法在确定矿山采场暴露面积中的应用[J]. 新疆有色金属, 2013, 36(2): 19-20.
XIAO J. The application of mathews stability diagram method in determining the exposed area of mine stope[J]. Xinjiang Non-ferrous Metals, 2013, 36(2): 19-20.
- [10] 马志浩. 膨胀性全尾砂充填材料性能试验研究[J]. 矿业工程, 2022, 20(2): 22-26.
MA Z H. Experimental study on the performance of expansive full tailings filling material[J]. Mineral Engineering, 2022, 20(2): 22-26.
- [11] 白龙剑, 严国超, 杨涛. 氟石膏改性高水粉煤灰复合充填材料性能研究[J]. 矿业安全与环保, 2020, 47(6): 32-36.
BAI L J, YAN G C, YANG T. Study on properties of fluorine gypsum modified high water fly ash composite filling material[J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2020, 47(6): 32-36.
- [12] 程文文. 等量分流技术在上向进路充填接顶中的应用[J]. 黄金, 2018, 39(3): 40-43.
CHENG W W. The application of equivalent diversion technology in the upward drift filling roof[J]. Gold, 2018, 39(3): 40-43.
- [13] 王梓安. 进路式充填采矿法充填接顶技术要点及有效应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(15): 122-123.
WANG Z A. Key points and effective application of filling and roofing technology of drift filling mining method[J]. Coal Economy in Inner Mongolia, 2021(15): 122-123.
- [14] 姜立春, 陈鹏, 吴爱祥. 基于不同充填接顶率的采空区顶板拱架自稳效应[J]. 中国有色金属学报, 2019, 29(1): 187-193.
JIANG L C, CHEN P, WU A X. Self-stabilization effect of goaf roof arch based on different filling rate[J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2019, 29(1): 187-193.
- [15] 赵国彦, 周礼, 李金跃, 等. 房柱法矿柱合理尺寸设计及矿块结构参数优选[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(11): 3943-3948.
ZHAO G Y, ZHOU L, LI J Y, et al. Reasonable size design of

- room-and-pillar pillar and optimization of structural parameters of ore block[J]. Journal of Central South University (Natural Science Edition), 2014, 45(11): 3943–3948.
- [16] 黄敏, KULATILAKE P H, 罗嗣海, 等. 传统矿柱安全系数计算公式优化研究[J]. 矿冶工程, 2020, 40(4): 32–37.
- HUANG M, KULATILAKE P H, LUO S H, et al. Study on optimization of calculation formula of traditional pillar safety factor[J]. Mining and Metallurgy Engineering, 2020, 40(4): 32–37.
- [17] 汪波, 喻勇. 关于圆形隧道卡斯特纳公式的讨论[J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(5): 1408–1413.
- WANG B, YU Y. Discussion on Castner's formula for circular tunnels[J]. Journal of Underground Space and Engineering, 2021, 17(5): 1408–1413.
- [18] 韩森, 王卫军, 董恩远, 等. 基于支护干涉的巷道围岩蝶形塑性区控制方法研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2023, 40(4): 743–753.
- HAN S, WANG W J, DONG E Y, et al. Study on control method of butterfly plastic zone in roadway surrounding rock based on support interference[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2023, 40(4): 743–753.
- [19] ZHAO J S, JIANG Q, LU J F, et al. Rock fracturing observation based on microseismic monitoring and borehole imaging: In situ investigation in a large underground cavern under high geostress[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2022, 126(8): 104549.
- [20] PRASSETYO H S, IRNAWAN A M, SIMANGUNSONG M G, et al. New coal pillar strength formulae considering the effect of interface friction[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2019, 123(C).

Investigation of New Floating Box Paste Backfill Roof contact Technology in Underground Mines

KANG Guohua¹, BAI Longjian², WANG Hongjiang², YAN Qingwen³, LIU Meng², CHEN Chong², XIONG Youwei¹, LIU Jiaming¹

1. CINF Engineering Co, Ltd., Changsha 410000, Hunan, China;

2. University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

3. Yunnan Chihong Zn & Ge Co., Ltd., Qujing 654212, Yunnan, China

Abstract: The issue of the filling body exhibiting a certain degree of subsidence and self-flow slope angle following paste filling, which results in a suboptimal filling effect, must be addressed. In order to enhance the filling and roof-contacting efficacy of narrow and long downward drift stope and circumvent the instability associated with an excessively large exposed area of roof, a floating box-type point pillar roof-contacting technology was proposed. The bearing mechanism of floating box-type point columns was analyzed, and the calculation methods of floating box size, strength, and spacing were quantified. A series of field experiments were conducted to ascertain whether the floating box could float in a high viscosity slurry. The efficacy of the proposed design method and roof connection technology was validated through a case study of their application in a lead-zinc mine in Yunnan. The results demonstrated that the floating box can float in the high viscosity slurry and partially protrudes the filling body, thereby providing an effective support for the roof. The pressure exerted by the roof of the test stope on the floating box of the filling body was approximately 0.6 MPa. The utilization of floating box-type point-column roof-contacting technology enabled the formation of a joint support system comprising the filling body and floating box-type point-column. This configuration enhanced the stability of the roof, offering substantial safety benefits.

Keywords: drift fill stoping method; roof-contacted filling; buoyant box; industrial test

引用格式: 康国华, 白龙剑, 王洪江, 严庆文, 刘猛, 陈冲, 熊有为, 刘天明. 地下矿山新型浮箱式膏体充填接顶技术研究及应用[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(2): 46–51.

KANG Guohua, BAI Longjian, WANG Hongjiang, YAN Qingwen, LIU Meng, CHEN Chong, XIONG Youwei, LIU Jiaming. Investigation of new floating box paste backfill roof contact technology in underground mines[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(2): 46–51.