

深井厚大矿体大段高回采方案探讨

Discussion on Large Lift Stopping Scheme of Deep Thick Deposits

张爱民¹, 刘育明¹, 李真², 冯喜龙²

(1. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038; 2. 本溪龙新矿业有限公司, 辽宁 本溪 117000)

摘要:针对深井厚大矿体,往往优先选用大直径深孔空场嗣后充填法进行开采,但如何进一步减少采切比、提高盘区生产能力一直是面临的主要技术难题。本文以思山岭铁矿大规模开采为例,探究采场大段高回采的技术经济可行性,对120 m大段高和60 m段高进行详细技术经济对比,推荐思山岭铁矿首采-1 020 m中段依然采用60 m段高进行开采。

关键词:深井矿山; 大段高; 大直径深孔采矿; 充填开采

中图分类号: TD853 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)05-0032-05

Abstract: Large-diameter deep-hole open stoping with subsequent backfilling method is often preferred for mining deep and thick deposits, but how to further reduce cutting-mining ratio and improve panel production capacity remains the main technical challenge we face. Taking as an example the large-scale mining in Sishanling Iron Ore Mine, this paper explored the techno-economic feasibility of large lift stoping. Detailed techno-economic comparison was made between 120 m lift and 60 m lift. As a conclusion, 60 m lift was still proposed for the -1 020 m starter level of Sishanling.

Key words: deep mine; large lift; major-diameter deep-hole mining; cut-and-fill mining

1 前言

随着我国浅部矿产资源日益减少以及采掘设备的大型化,矿产资源的开采逐渐向深部和大规模两个方向发展^[1-3]。针对厚大矿体,往往优先采用能发挥凿岩、出矿等设备高效率的大直径深孔空场嗣后充填法进行开采,盘区生产能力达到1 500~2 500 t/d,且不少矿山为了进一步降低采准工程,减少底部矿柱的损失,采用高段高的大尺寸采场结构,如草楼铁矿采场回采高度由60 m提高到了105 m,盘区能力为2 000 t/d^[4];罗河铁矿采用垂直深孔高分段空场嗣后充填法,采场高度达85 m,采用LH514E型电动铲运机,平均采场生产能力为745 t/d^[5]。紫金山金铜矿一步骤矿房高度达到100 m^[6];安庆铜矿深部矿体回采阶段高度120 m,实行分段凿岩,分段高度60 m,嗣后一次性充填^[7]。

本文以思山岭铁矿为研究对象,在选定大直径深孔空场嗣后充填法的基础上,进一步探索采场大段高回采的技术经济可行性,通过对120 m大段高和

60 m段高进行详细技术经济对比分析,探寻深井厚大矿体高效安全开采的技术难题。

2 开采技术条件

思山岭铁矿位于辽宁本溪东南郊16 km,矿体属隐伏盲矿床,盖层厚度404 m~1 445 m,矿体埋藏深度404~1 934 m,赋矿标高-134~-1 713 m。矿体总资源量24亿t,矿体东西沿长1 500 m,南北平均宽度960 m,首采中段内矿体水平厚度达到850 m。结合矿体的赋存特点和开采技术条件,设计生产规模为1 500万t/a,采用主、副井开拓系统,采用盘区式大直径深孔空场嗣后充填法开采,矿山一期工程服务年限为40年。

区内岩性较简单,岩石较完整,矿区揭露的主要地层为泥灰岩、石英岩、绿泥石英片岩、闪长玢岩、绿泥石英片岩、磁铁石英岩、赤铁石英岩,近地表风化作用强烈,局部到120~200 m为微风化,下部的岩石完整而坚硬,岩石质量为好的至极好的,岩体较完整到完整。

矿床充水来源是弱富水性的基岩裂隙水;矿床顶板基岩风化带裂隙水是矿床间接充水含水层,对矿床充水影响较小;地表水三道河、后塔沟与矿床不发生直接水力联系,对矿床充水影响较小;矿床内的构造破碎带富水性、透水性均较差,对矿床充水影响

[作者简介] 张爱民(1984-),高级工程师,从事矿山开采咨询与设计工作。

[引用格式] 张爱民,刘育明,李真,等.深井厚大矿体大段高回采方案探讨[J].中国矿山工程,2022,51(5):32-36.

不大。

矿体赋存于磁铁石英岩与赤铁石英岩中,由于埋藏较深,其顶板较完整,稳定性较好。矿区应力场以水平应力为主导,最大主应力方向为近 NEE 向,平均方向为 67.83°,主应力差值为 7.54 MPa,矿区岩体不稳定程度较大,容易产生岩石变形和破坏。岩石力学参数见表 1。

表 1 岩石参数表

岩石名称	弹性模量/ GPa	完整岩石抗压强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	内聚力/ MPa	内摩擦角/ (°)	泊松比
磁铁矿石	43.7	145.45	7.25	9.5	43	0.20
赤铁矿石	42	137.55	8.35	8.3	42.5	0.20
顶板赤铁矿	40	131	6.65	11.5	38	0.20
顶板磁铁矿	42	126.94	7.22	8.2	54.5	0.20

根据中国地质科学院提供的《水压致裂地应力测量分析报告》回归公式可以推导出井下不同中段回采的地应力大小,具体见表 2。

表 2 地应力参数表

中段	深度/ m	最大水平主应力 σ_1 / MPa	最小水平主应力 σ_3 / MPa	抗压 σ_c / MPa
-780 m	1 005	39.6	29.0	112.5
-840 m	1 065	41.9	30.7	112.5
-870 m	1 095	43.1	31.5	112.5
-960 m	1 185	46.6	34.1	112.5
-1 020 m	1 245	48.9	35.8	112.5
-1 060 m	1 285	50.4	36.9	112.5

根据国内外业内常用的深井岩爆判据,推测出思山岭铁矿在开采过程中,尤其是开采至 -870 ~ -1 020 m 水平时,存在岩爆发生的倾向;同时,根据现场井下开拓工程施工显示,在深部 -960 m、-1 020 m 中段均有不同程度的岩爆现象发生。

3 深井大段高回采技术方案

3.1 盘区式回采布置

将矿体划分为盘区,以盘区为回采单元组织生产。盘区宽 200 m,长为矿体厚度。盘区内按矿块形式布置,矿块尺寸为 40 m × 40 m,矿块高度 120 m,设两凿岩中段,中段段高 60 m,具体如图 1 所示。当矿块高度 60 m 时,其盘区布置如图 2 所示。

根据矿山生产能力的要求和矿块所能达到的生产能力,单中段需要同时回采 3 个盘区,每个盘区同

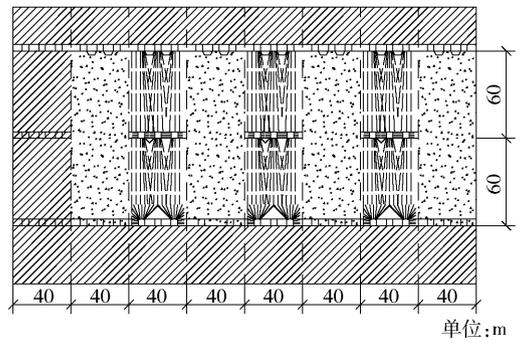


图 1 120 m 段高采场布置图

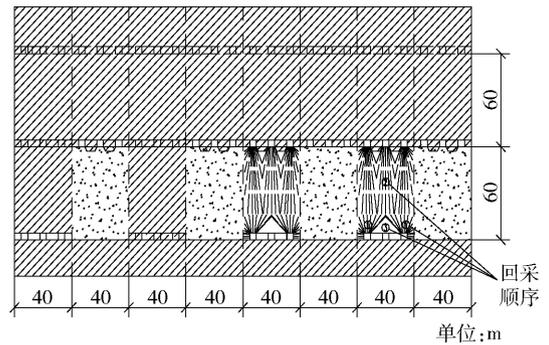


图 2 60 m 段高采场布置图

时回采 4 个矿块,回采顺序为从矿体的中间部位向两侧推进,从中间盘区向两翼盘区推进。

3.2 采场充填配比

根据计算,充填体要保证自立 120 m 高度,充填体内聚力至少为 0.2 MPa,抗压强度 1.5 MPa,结合同类矿山充填体强度现场数据,经换算平均综合灰砂比不低于 1:7.9;考虑采场内采用分层充填,多种配比交叉充填可有效降低综合灰砂比,减少水泥用量。120 m 段高采场和 60 m 段高采场分别可按照图 3 和图 4 所示比例进行分层充填。

其中,考虑 -1 020 m 出矿水平要作为下中段凿岩中段,底部需要提高强度,故采用 1:4 的充填配比,同样,-900 m 凿岩水平将作为上一个中段的出矿水平,故也需要适当提高充填体强度。通过计算,确定 120 m 采场综合灰砂比为 1:9.5。

若采场为 60 m 高度时,采场底部 8 ~ 10 m 采用 1:10 的充填配比,上部采用 1:15 的充填配比,则综合灰砂比为 1:13.2。通过对比可知,当中段高度为 120 m 时,充填所需胶凝材料消耗量将会增加 28%,其对应的单位充填体所需的胶凝材料成本由 6.74 元/t_矿 将增加到 8.63 元/t_矿。

3.3 采场稳定性研究

国内外常用 Mathews 稳定图方法来判断空区的

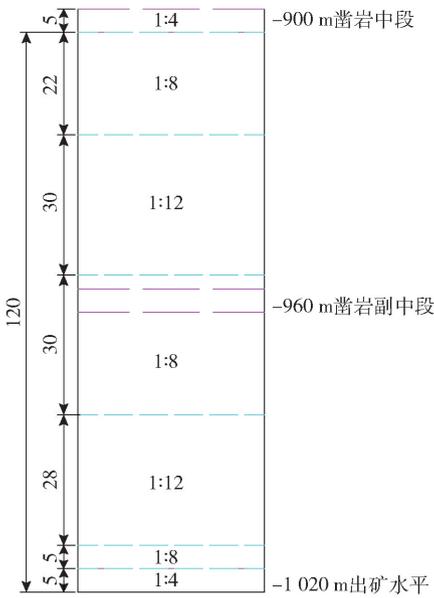


图3 120 m 高采场分层充填配比

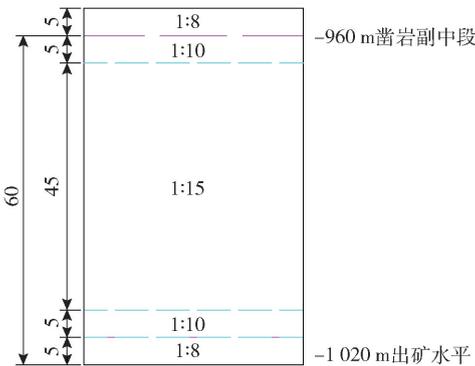


图4 60 m 高采场分层充填配比

稳定性,此方法是一种相对简单且基于实践的岩石分类系统,本文采用 Mathews 稳定性图表法对两方案进行采空区稳定性分析。

稳定性系数代表岩体在给定应力条件下维持稳定的能力,其计算方法为

$$N = Q'ABC$$

式中, N 为 Mathews 稳定性系数; Q' 为修正的 Q 值; Q 为岩体质量。

A 为岩石应力系数,由完整岩石单轴抗压强度 UCS 与采场中线采矿产生的压应力之比加以计算。 A 可采用弹性有限元分析软件获得,也可参考已发表的应力分布图进行估算。

若 $\sigma_c/\sigma_i < 2$, $A = 0.1$;

若 $2 < \sigma_c/\sigma_i < 10$, $A = 0.1125 \times (\sigma_c/\sigma_i) - 0.125$,若 $\sigma_c/\sigma_i > 10$, $A = 1$;

B 为节理方位系数,采场面倾角与主要节理组

的倾角之差的度量;

C 为重力调整系数,反映了采场面产状对采场矿岩稳定性的影响因子, $C = 8 - 7\cos\alpha$, α 为内摩擦角。

根据分析:

(1) 当采场段高 $H = 60$ m 时,顶板水力半径 $R = 10$ m,若采场保证稳定,则稳定性指数 $N > 40$;侧壁水力半径 $R = 12$ m,则 $N > 50$ 。

(2) 当采场段高 $H = 120$ m 时,顶板水力半径 $R = 10$ m,若采场保证稳定,则稳定性指数 $N > 40$;侧壁水力半径 $R = 15$ m,则 $N > 100$ 。

由此可见采场越高,采场侧壁的水力半径 R 越大,对岩体稳定性要求越高,120 m 高采场比 60 m 高采场的岩体稳定性指数要求高 1 倍。

在采场不利节理少,且节理内粗糙、岩面接触、无水影响情况下,通过计算得出:

若应力折减系数取 $SRF = 2.5$ 时,则 $Q = 105.6$,则计算出不同中段的采场侧壁 $N = 134 \sim 195.2 > 100$,初步判定 120 m 段高采场稳定。

若应力折减系数取 $SRF = 5$ 时,则 $Q = 50.8$,则 -1020 m 中段采场岩体稳定性指数 $N = 70.9 < 100$,说明此时 $H = 120$ m 不稳定。

故判定是否适合大段高开采取决于岩体揭露实际情况和应力变化环境,即受应力折减系数 SRF 值变化较大。图 5 所示为 Mathews 稳定性图表法。

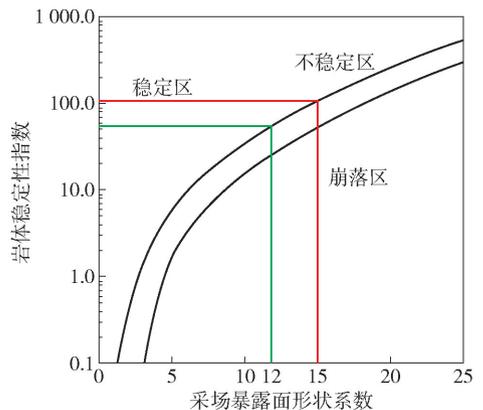


图5 Mathews 稳定性图表法

-1020 m 首采中段距地表 1200 m,最大主应力 48.9 MPa, $\sigma_c/\sigma_i = 2.3$, $\sigma_t/\sigma_i = 0.15$,查表可知, $SRF = 5 \sim 10$ 。通过对比表明,此工况下采场不具备 120 m 段高的开采条件。故建议设计依然按 60 m 段高考虑,后期生产过程中,可根据岩体揭露情况及应力环境分析,尤其是在浅部应力值较小环境下,再考

考虑采用高阶进行回采的可能。

通过进一步计算,若要采用120 m大段高,应力折减系数SRF必须小于等于2.5,则反推可知 $\sigma_c/\sigma_1 > 5$,即 $\sigma_1 < 0.25\sigma_c = 0.25 \times 145.45 \text{ MPa} = 29.1 \text{ MPa}$,即-780 m中段以上具有120 m大段高回采的可能。

3.4 中段生产能力验证

从各中段可采矿量来验算120 m中段生产能力,结果见表3,各中段下降速度约为12.11~22.87 m,其中-780 m以上中段下降速度过快,不能满足单中段开采1500万t/年的要求。其余单中段要达到1500万t/年生产规模,至少需要14~15个矿块同时作业,即3个盘区,单个盘区4~6个矿块同时作业。

4 不同段高采场综合对比分析

当采用120 m单中段1500万t/年开采时,根据

表3 按120 m中段生产能力验算表

中段	服务年限/a	下降速度/m·a ⁻¹
-660 m	1.19	100.68
-780 m	2.88	41.62
-900 m	5.25	22.87
-1020 m	8.18	14.67
-1140 m	9.36	12.82
-1260 m	9.91	12.11
-1380 m	8.58	13.99
-1500 m	7.76	15.46
-1620 m	5.47	21.94

作业面需风量计算,矿山总风量为1120 m³/s,主要生产中段包括-900 m、-1020 m中段,其中-1020 m出矿中段由于风量增大,其断面由5.1 m×4.6 m(宽×高)增大至5.5 m×5.0 m(宽×高),-1060 m有轨中段断面由3.6 m×3.5 m(宽×高)增大至4.4 m×4.0 m(宽×高)。由此计算两方案可比工程量见表4。

表4 可比工程量表

项目	60 m段高/万 m ³	120 m段高/万 m ³	备注
-780 m 凿岩中段	18.5		
-840 m 出矿中段	18.7		
-870 m 运输中段	8.9		
-900 m 凿岩中段		19.5	新增
-960 m 凿岩中段	19.3	20.4	断面增大
-1020 m 凿岩中段	19.0	23.5	断面增大
矿石溜井		0.8	新增
-1060 m 有轨运输中段	单轨断面3.6 m×3.5 m,双轨断面:6.5 m×4.4 m,工程量为13.0万 m ³	单轨断面4.4 m×4 m,双轨断面:7.5 m×5.1 m,工程量为18.1万 m ³	
单轨卸载站	10 m ³ 单轨卸载站(4个),工程量0.536万 m ³	20 m ³ 单轨卸载站(2个),工程量0.73万 m ³	
破碎站	分别在-960 m和-1130 m各设1个破碎站;上采区破碎站:2.89万 m ³ ;下采区破碎站:1.87万 m ³	-1130 m设2个破碎站,2个破碎站:4.13万 m ³	
可比工程量合计	102.7	87.3	

通过对比,120 m大段高开采比60 m段高开采可节省15.4万 m³工程量。同时根据工程量和设备的对比,分别计算60 m段高方案可比投资为75949万元,120 m大段高方案可比投资为65750万元,120 m段高开采基建投资减少10199万元。

考虑到60 m段高单中段达到1500万t/年的可能性,将低中段开采方案(方案1)进行细化。同时考虑方案2,高中段开采可能存在一步矿房120 m、二步矿柱60 m的可能,此可降低一步矿房充填体胶凝材料消耗,矿柱回采时有利于控制贫化率,故将方案2细化为2a方案和2b方案。

方案一:60 m段高开采方案:

(1)1a方案:上采区500万t/年+下采区1000万t/年。

(2)1b方案:前期开采下采区1000万t/年,后期增加至1500万t/年。

(3)1C方案:单采区达到1500万t/年。

方案二:120 m大段高开采方案:

(1)2a方案:单采区达到1500万t/年,矿房和矿柱均为120 m段高开采,贫化12%,适当增加充填成本。

(2)2b方案:单采区达到1500万t/年,一步矿房120 m段高开采,二步矿柱60 m段高回采,贫化7%。

对上述方案进行投资和效益进行测算可知,1b方案(前期仅下采区进行开采,形成1 000万t/年)虽投资最省,约4亿,但是资本金净利润率(净利润/资本金)最高,同时由于考虑固定资产的前期折旧,故后期达产年成本相对较低,但初期生产成本较高,为142.2元/t_{原矿},折算至精矿为404.5元/t_{精矿},综合内部收益率和净现值最低,效益最差。

与60m段高开采(1a方案)相比,120m大段高开采方案(2a或2b方案)虽然基建期投资可省10 199万元,同时由于-900m水平无法保证1 500

万t/年的生产能力,必须让-1 140m深部中段提前投入生产,故必须在第7年增加深部开拓工程,最终导致成本费用的增加,投资回收期增长1年,内部收益率减少。

通过最终比较,1c方案为单采区达到1 500万t/年,效益最好,财务内部收益率和净现值最高,但由于采至上中段,矿量缩减较快,稳产时间短,深部接续中段将投入较早,不利于矿山的稳定生产,管理不便。

各方案优缺点综合对比分析见表5。

表5 各方案优缺点对比表

方案	方案一:60m段高		方案二:120m大段高		
	1a方案	1b方案	1c方案	2a方案	2b方案
优点	1. 充填强度要求低,灰砂比小; 2. 采场形成空区较小,稳定性较好; 3. 深部接续中段投入较晚; 4. 与2a比内部收益率高,投资回收期短; 5. 采场循环快,便于组织生产; 6. 其中1b方案初期投资最低,1c次之			1. 减少了底部切割拉底的工作量; 2. 采场清底工作量少,一个矿房矿量大,服务时间长,减少了遥控铲运机的作业量; 3. 基建投资较省; 4. 同时工作中段数少,管理较集中; 5. 2b充填体强度降低,贫化率较低	
缺点	1. 初期投资较高; 2. 单中段的矿石量小,清底工作量较大; 3. 增加了底部切割拉底的工作量		1. 深部接续中段投入较早; 2. 管理较集中	1. 2a方案充填体强度要求高,灰砂比较大; 2. 采场形成空区较大,不利于地压管理; 3. 单个采场采完及充填的时间长,不便于生产初期的生产组织工作; 4. 深部接续中段投入较早; 5. 综合经济效益较差	

5 结论

综上所述,可以得出以下结论:

(1)从采场稳定性方面分析,120m大段高采场比60m段高采场的岩体稳定性指数要求高1倍,且岩体稳定性指数受应力折减系数SRF值变化较大,考虑首采中段较深,地应力较大,通过稳定性分析,-1 020m首采中段采场不太具备120m大段高的开采技术条件。

(2)通过各方案综合对比分析,60m段高单中段达到1 500万t/年(1c方案)相比于120m大段高开采,虽底部切割清底工作量较大,但具有投资最省(除1b方案外)、内部收益率和净现值高、投资回收期短等优势,且具有充填强度要求低、空区稳定性较好、采场便于生产组织。

此外,结合思山岭铁矿采用40m×40m的方形采场结构,60m段高更加有利于中段间形成“品字形”或“金字塔形”回采顺序,故综合各因素,最终推荐思山岭铁矿首采-1 020m中段采用60m段高进行开采。后期在生产过程中,再结合岩体揭露情况

及应力环境变化,可再考虑在浅部(如-780m中段以上)采用120m大段高回采的可行性。

[参考文献]

- [1] 于润沧. 现代矿山工程设计理念诠释——献给中国有色工程设计研究总院建院65周年[J]. 中国矿山工程, 2018, 47(4): 1-3.
- [2] 蔡美峰, 薛鼎龙, 任奋华. 金属矿深部开采现状与发展战略[J]. 工程科学学报, 2019, 41(4): 417-426.
- [3] 刘育明. 超大规模深井开采若干技术解决方案探讨[J]. 中国矿山工程, 2016, 45(6): 64-69.
- [4] 张洪海, 路文智, 江宁. 大直径深孔(高)阶段空场嗣后充填采矿方法改进实践[J]. 中国矿山工程, 2020, 49(6): 25-28.
- [5] 汪令松. 罗河铁矿富水厚大矿体采矿方法优化选择研究[D]. 长沙: 中南大学, 2014.
- [6] 张志飞. 大直径深孔阶段矿房充填采矿法采场结构参数优化及应用[J]. 黄金, 2020, 41(12): 39-43+52.
- [7] 卫明. 安庆铜矿深部矿体大直径深孔采矿法回采实践[J]. 采矿技术, 2011, 11(3): 31-33+47.