某铁矿崩落转充填采矿方法优选及采场结构参数优化研究*

朱晨迪[1,2,3],杜键[4],万孝衡[1,2,3],欧任泽[1,2,3],刘奇[1,2,3],符洲云[1,2,3],张忠传[1,2,3]

(1.长沙矿山研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012;
2.国家金属采矿工程技术研究中心, 湖南 长沙 410012;
3.湖南省矿山地质灾害防治与环境再造工程技术研究中心, 湖南 长沙 410012;
4.武钢资源集团金山店矿业有限公司, 湖北 黄石市 435116)

摘要:某铁矿自开采以来一直采用无底柱分段崩落法开采,由于地表塌陷严重、矿石贫化损失大等问题,矿山计划对深部矿体采用充填采矿法回采。结合矿岩稳固程度,对围岩稳定性较差区域提出三种充填采矿方案,分别为预控顶护帮的分段充填采矿法、预控顶上向台阶进路充填采矿法、下向进路与上向中深孔联合开采法,综合对比不同方案的技术经济指标及优缺点,最终确定采用下向进路与上向中深孔联合开采法回采深部不稳固区域矿体。在中段高度及采场跨度一定的条件下,采用数值模拟的方式优化分段高度,依据矿山对产能需求,优化分析得到最佳分段高度为20 m。在该矿应用优选的采矿方法累计采出32.4万t难采铁矿石,为矿山创收6 930万元,并带来770万元利润。

关键词:崩落法转充填采矿法;采矿方法优选;分段高度;数值模拟

中图分类号:TD853.3 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2763(2026)02-0038-10

Research on Optimized Selection of Mining Method and Optimization on Stope Structural Parameters in an Iron Mine Transition from Caving to Filling Mining

ZHU Chendi[1,2,3], *DU Jian*[4], *WAN Xiaoheng*[1,2,3], *OU Renze*[1,2,3], *LIU Qi*[1,2,3], *FU Zhouyun*[1,2,3], *ZHANG Zhongchuan*[1,2,3]

(1.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China;
2.National Engineering Research Center for Metal Mining, Changsha, Hunan 410012, China;
3.Hunan Provincial Engineering Research Center for Mine Geological Disaster Prevention and Control and Environmental Reconstruction, Changsha, Hunan 410012, China;
4.Jinshandian Mining Co., Ltd. of WISCO Resources Group, Huangshi, Hubei 435116, China)

Abstract: A certain iron mine has been using the non-pillar sublevel caving mining method since the start of its operation. Due to severe surface subsidence and high dilution and loss rates of ore, the mine plans to use the filling mining method for the extraction of deep ore bodies. Considering the stability of the ore rock, three filling mining schemes were proposed for areas with poor surrounding rock stability, namely the sublevel filling mining method with pre-controlled roof and rib protection, the upward bench approach filling mining method with pre-controlled roof, as well as the combined mining method of downward approach and upward medium-length hole. After comprehensive comparison of the technical and economic indicators of different schemes and the advantages and disadvantages of each scheme, the combined mining method of downward approach and upward medium-length hole was finally adopted for extracting ore bodies in the unstable deep areas of the mine. Under the condition of fixed mining level height and stope span, numerical simulation was used to optimize the sublevel height. Based on the mine's production capacity requirements, the optimal sublevel height was determined to be 20 meters through optimization analysis. In the mine, the optimized mining method was applied to extract a total of 324 000 tons of hard-to-mine iron ore, generating 69.3 million yuan in revenue and 7.7 million yuan in profit for the mine.

Key words: Caving method to filling mining method, Optimization of mining method, Sublevel height, Numerical simulation

0 引言

崩落法在地下铁矿山开采中占85%以上。但随着该方法应用,缺点也逐渐凸显出来,不仅会造成地表塌陷,破坏土地资源,而且该采矿方法的贫化损失较大,造成资源浪费严重。近年来基于国家对绿

* **收稿日期**:2025-02-17
基金项目:"十四五"国家重点研发计划项目(2023YFC2907404)
作者简介:朱晨迪(1992—),男,河南南阳人,硕士,工程师,主要从事采矿技术及工艺研究工作。E-mail:954138035@qq.com

色矿山建设的要求,充填采矿法被越来越多的矿山熟悉并应用[1-2]。赵增山等[3]研究了崩落法转充填采矿法隔离矿柱的厚度及矿房参数对采场稳定性的影响,采用理论分析及数值模拟相结合方法确定隔离矿柱的厚度及采矿工艺和结构参数;邓艳娥等[4]研究了某矿山崩落转充填采矿方案,并对各采矿方案的综合经济效益进行分析,最终优选出合理的充填采矿方案;徐海[5]针对某矿山采用崩落法回采带来的问题,对采场采矿方法与相应技术经济指标进行分析,通过构建采矿方法评价体系、计算各指标的重要度矩阵,依据粗糙模糊集理论,最终实现充填采矿方法优选;张群等[6]针对程潮铁矿崩落法转充填采矿法回采顺利实施的要求,采用灰色关联分析法,依据各备选方案的优劣构建灰色关联相对贴近度模型,通过贴近度表征不同方案的优劣差异,从而实现采矿方法的优选。崩落法转充填采矿法的研究较多,但矿山工程具有显著的特殊性,具体方案需结合矿山实际情况针对性制定。相关研究表明,采矿方案及采场结构参数[7-9]对矿山回采有重要影响,结合矿山矿岩特性及产能的需求不同,本文开展了相关研究[10-12]。

矿山目前面临地表垮塌、矿石贫化损失严重、尾矿库库容压力大等问题,给矿山深部矿体回采带来了严重影响。本文结合技术经济对比分析及数值模拟研究[13-14],对矿山的采矿方法及主要参数进行优化[15]研究,以确定合理的采矿方法及结构参数。

1 采矿方法优选

1.1 开采技术条件

该铁矿有约 100 个矿体,Ⅰ、Ⅱ号矿体规模最大,为主矿体,占区内探明储量的 90%以上,其中规模较大的为Ⅰ号矿体,走向长 2 690 m,矿体倾向 172°～203°,倾角为 85°～50°。矿体赋存于+110～−1 000 m,真厚度 0.18～83.96 m,平均 25 m。Ⅱ号矿体距Ⅰ号矿体 15～120 m,在Ⅰ号矿体下盘。矿体走向长 1 020 m,厚 0.7～131.31 m,平均 26.4 m,呈上薄下厚,东厚西薄趋势。

矿山自基建完成以后,一直采用无底柱分段崩落法开采,近年来基于国家对绿色矿山建设要求、矿山尾矿库库容压力大、尾矿无处排放及地表塌陷等问题,矿山亟需寻求一种新的采矿方法。结合目前充填采矿法技术的发展,深部采用充填采矿法是解决目前问题的最好途径,因此矿山决定采用充填采矿法回采深部矿体。

1.2 采矿方法初选

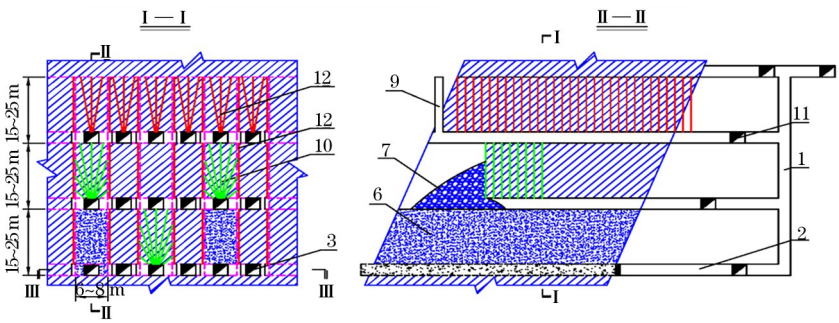
该矿山矿岩复杂多变,稳定性较差。依据采矿方法的选择原则,结合矿山需求,充填采矿法方案有:预控顶护帮的分段充填采矿法、预控顶上向台阶进路充填采矿法、下向进路与上向中深孔联合开采法。

1.2.1 预控顶护帮的分段充填采矿法

预控顶护帮的分段充填采矿法采用长锚索预控顶,并加固采场的两帮。在分段内采用上向扇形孔爆破,爆破后底部采用遥控铲运机出矿。

该方案将矿体划分为一、二步骤采场,采用隔一采一的回采方式,先回采一步骤采场,后回采二步骤采场。该方案特征在于,最上分段采用长锚索预控顶,在一步骤采场侧边、二步骤采场内留设 2～3 m 的护壁,并采用长锚索进行加固。在上分段预控顶及采场两侧护壁加固的条件下安全回采矿体,预控顶护帮的分段充填采矿法标准方案图如图 1 所示。

在最上分段脉外巷向矿体上盘施工护顶巷道,并在护顶巷道内向上分段施工扇形注浆锚索,以达到护顶的效果。在一步骤采场的底部结构分段凿岩巷道内,间隔 10～15 m 向二步骤采场施工耳硐,耳硐延伸至二步骤采场两帮,在耳硐内施工扇形注浆长锚索,对两帮进行预加固。预护顶工艺是在护顶巷内向上施工长锚索钻孔,采用中深孔钻机施工上向扇形中深孔,孔径 60～90 mm,孔深 20 m 左右,钻孔角度分别为 60°、90°、60°对称布置,锚索的间距和排距为 1～2 m,如图 2 所示。



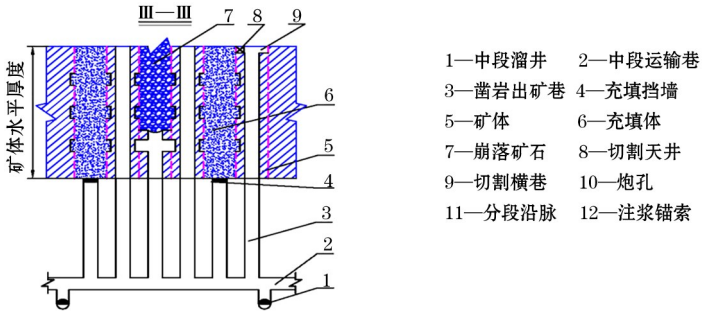


图 1 预控顶护帮的分段充填采矿法标准方案

Fig.1 Standard scheme of sublevel filling mining method with pre-controlled roof protection

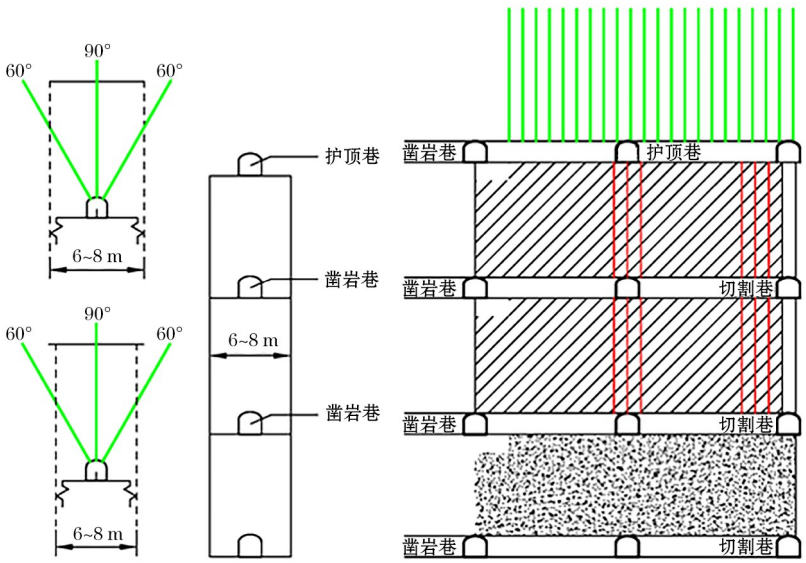


图 2 护顶巷施工方案示意

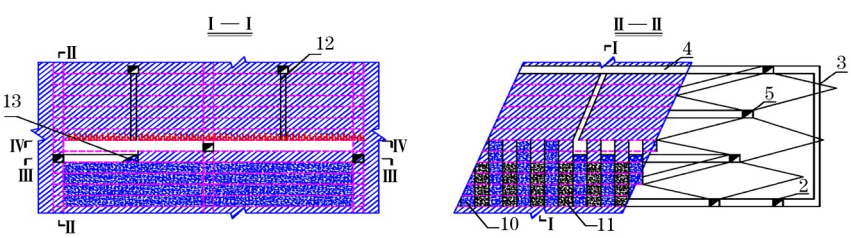
Fig.2 Schematic diagram of roof protection roadway construction plan

护帮工艺就是在凿岩巷道内每隔 10～12 m 施工凿岩硐室,在二步骤采场边界采用 KQG-100 钻机向下施工钻孔,钻孔深度 15～20 m。

1.2.2 预控顶上向台阶进路充填采矿法

预控顶上向台阶进路充填采矿法,将每个回采单元划分为两步骤的预控顶和拉底进路进行回采,双层进路高 8～10 m,上部 4～5 m 为控顶层,下部 4～5 m 为拉底层,其标准方案如图 3 所示。

该方案在每个分段联络平巷每隔 40～70 m 掘进 1 条垂直矿体走向、坡度不大于 15%的分层联络道进入各回采水平,落平后以穿脉平巷的方式穿过矿体;分层联络道按进入回采单元分层标高的不同,分为控顶层联络道和拉底层联络道,相应的穿脉分为控顶层穿脉(控顶分层道)和拉底层穿脉(拉底分层道),两者在平面上呈一隔一间隔布置;控顶层联络道和拉底层联络道用于连接分段联络平巷与控顶分层道或回采分层道的通路,两者在平面上亦呈一隔一间隔布置。每个盘区控顶分层道位于盘区中央,拉底分层道位于盘区两侧。为减少分层联络道工程量,相邻盘区矿柱两侧的拉底层穿脉共用一条拉底层联络道;同一分段负责的上单元控顶层联络道由下单元控顶层联络道挑顶而成,拉底层联络道亦同。



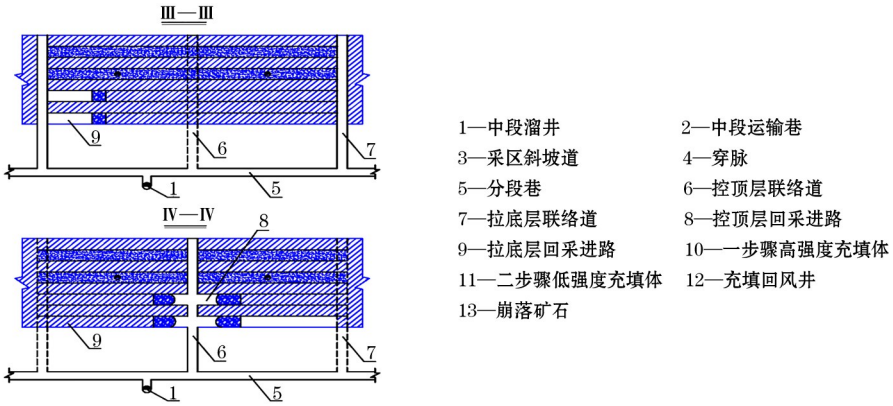


图 3 预控顶上向台阶进路充填采矿法标准方案

Fig.3 Standard scheme of upward step approach filling mining method with pre-controlled roof

1.2.3 下向进路与上向中深孔联合开采法

该方案特征在于采矿作业在人工假顶下进行,因此可在人工假顶下进行大参数中深孔高效采矿。

该方案将下向进路充填采矿法、分段充填采矿法巧妙结合,将矿体划分为一步骤和二步骤采场,采用隔一采一的回采方式,先回采一步骤采场,后回采二步骤采场。一、二步骤采场回采之前,在一步骤采场一分段上部采用下向进路充填采矿法构筑人工假顶,进路回采完成后在进路采场底部敷设钢筋网,网格尺寸(1～2) m×(1～2) m,在巷道边壁施工锚杆,用吊筋将钢筋网吊起离地 30～50 cm,而后再进行充填,充填体作为该分段下部矿体回采的假顶。一步骤剩余矿体回采均在人工假顶下进行,采用分段充填法进行回采,并充以高强度充填体,通过高强度的充填体来支撑顶板,改善二步骤采场的回采环境。二步骤采场在高强度充填体及上部人工假顶条件下采用分段充填法进行回采。下向进路与上向中深孔联合开采法标准方案如图 4 所示。

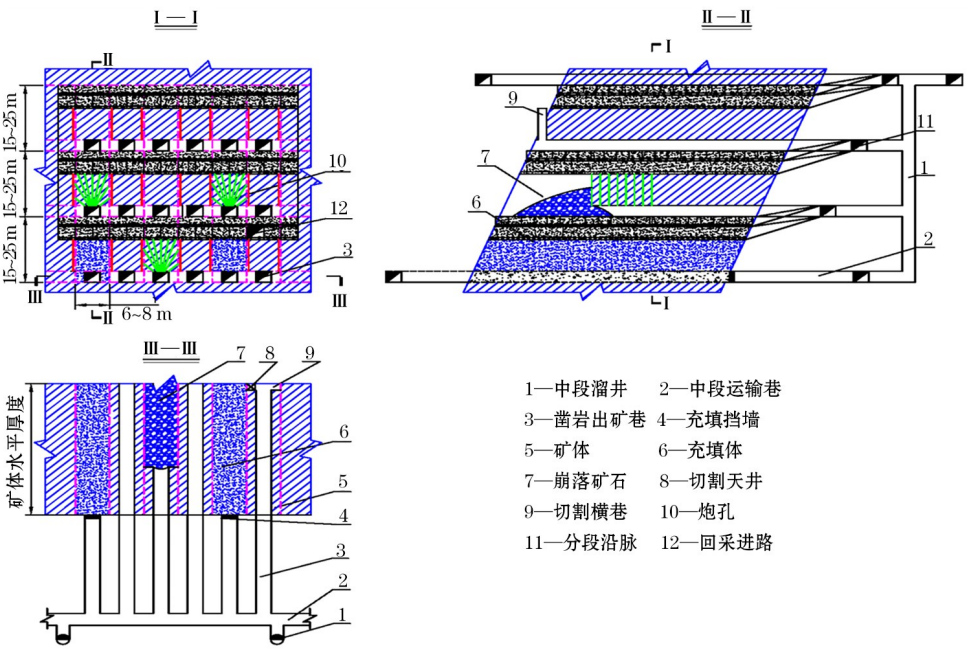


图 4 下向进路与上向中深孔联合开采法标准方案

Fig.4 Standard scheme of the combined mining method of downward approach and upward medium-length holes

1.3 采矿方法对比分析

针对某铁矿开采技术条件,对不稳固矿体提出了预控顶护帮的分段充填采矿法、预控顶上向台阶进路充填采矿法和下向进路与上向中深孔联合开采法,3 种采矿方法的技术经济指标对比见表 1,主要优缺点对比分析见表 2。

表 1 3种采矿方法的技术经济指标对比

Table 1 Comparison of technical and economic indicators of three mining methods

采矿方法	采场生产能力/(t·d^{-1})	采切比/(m·kt^{-1})	损失率/%	贫化率/%	凿岩机效率/(m/(台·班))	铲运机效率/(m/(台·班))	采矿直接成本/(元·t^{-1})
方案一:预控顶护帮的分段充填采矿法	400～500	8.3	10.5	10	80～100	300～400	90～100
方案二:预控顶上向台阶进路充填采矿法	250～350	12.5	6.8	6～8	100～200	150～200	160～180
方案三:下向进路与上向中深孔联合开采法	300～350	8.4	7.2	9～10	80～100	150～200	110～130

表 2 3种采矿方法的优缺点对比分析

Table 2 Comparative analysis of advantages and disadvantages of three mining methods

采矿方法	优点	缺点
方案一:预控顶护帮的分段充填采矿法	①中深孔凿岩,采场生产能力相对较大;②施工组织管理相对简单。	①分段高度大,暴露面积大;②中深孔装药爆破,振动影响较大;③预控顶护帮采矿成本较高。
方案二:预控顶上向台阶进路充填采矿法	①在预护顶下作业,相对较为安全;②相较于普通进路法通风较好。	①回采循环周期较长;②采准工程量大,采切比较大。
方案三:下向进路与上向中深孔联合回采法	①采用进路法回采,增大了矿石回采率;②下部分层矿体在假顶下回采,采场的稳定性得到保障;③生产能力相对较大。	①进路法回采,回采工艺繁琐;②两种方法结合,工艺复杂,熟练掌握应用难度较大。

(1) 从矿石损失率来看,预控顶上向台阶进路充填采矿法、下向进路与上向中深孔联合开采法都采用了进路回采,由于使用浅孔钻凿岩,对采场边界控制较好,采矿损失率相对较小,两种方案的矿石损失率分别约为6.8%、7.2%;而预控顶护帮的分段充填采矿法采用中深孔爆破,振动影响大,采矿损失率相对较大,约为10.5%。综上,在矿石损失率方面,方案二优于方案三,优于方案一。

(2) 从采场生产能力来看,预控顶护帮的分段充填采矿法及下向进路与上向中深孔联合开采法,采用中深孔凿岩爆破落下的矿石在底部统一出矿,因此采场生产能力相对较大,分别约为400～500 t/d和300～350 t/d;预控顶上向台阶进路充填采矿法采用气腿钻或凿岩台车在进路内凿岩爆破,爆破落矿都是在进路内出矿,回采工艺复杂且生产组织管理困难,生产能力为250～350 t/d。综上,在生产能力方面,方案一优于方案三,优于方案二。

(3) 从采切工程量来说,预控顶上向台阶进路充填采矿法分为控顶层与拉底层,须分别进行采准工程,采切比约为12.5 m/kt;下向进路与上向中深孔联合开采法,需要先采用进路的方式回采两层矿体,而后在下部采用中深孔一次放矿,采切比约为8.4 m/kt;预控顶护帮的采切比约为8.3 m/kt。因此就采切量来说,方案一优于方案三,优于方案二。

(4) 从安全上看,预控顶护帮的分段充填采矿法,在预加固处理的情况下采用中深孔回采,爆破振动影响大,暴露面积较大,且依然存在垮落可能;预控顶上向台阶进路充填采矿法,在首采时存在在顶板下作业的情况,因此回采时安全风险较大;采用下向进路与上向中深孔联合开采法时,下部中深孔回采均是在上部高强度充填体下进行,因此较为安全。综上,就安全性来说,方案三较优。

(5) 从采场生产能力来看方案一较优,但是由于该区域矿岩稳定性较差,为了确保回采安全,不建议选择;方案二贫化损失率指标较好,但是产能相对较低,且成本较高,不建议选择;方案三能在确保安全的情况下尽量多回采矿石,且成本控制较好。综上所述,对于不稳固区域优选下向进路与上向中深孔联合开采法。

2 采场结构参数优化研究

2.1 分段高度优化方案及数值模型构建

依据矿山目前的开拓工程,中段高度已确定为60 m,国内大部分矿山采场跨度为6～10 m,这里采场跨度选取8 m。参考相关矿山分段回采的案例以及东区矿岩条件,结合矿山生产能力的需求,可在安全的前提下增大分段高度、减小采场跨度,采场分段高度优化数值模拟方案见表3。

表 3 采场分段高度优化数值模拟方案

Table 3 Numerical simulation schemes for optimizing the sublevel height of the stope

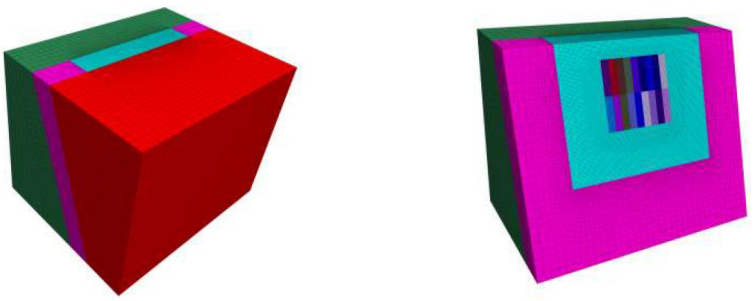
方案分组	中段高度/m	采场跨度/m	分段高度/m	开采厚度/m
1	60	8	15	40～50
2	60	8	20	40～50
3	60	8	25	40～50

依据矿山优化区域,采用犀牛软件构建三维模型,矿岩物理力学参数见表 4。尺寸(长×宽×高)为 257 m×283 m×363 m,开挖区域为−590 m 及−650 m 中段,如图 5 所示。结合优选的方案,对采场进行分中段及分步开挖,先分一、二步骤开挖−650 m 中段,待该中段开挖完成后按同样方式开挖−590 m 中段。采场开挖后岩体内应力重新分布,分别取各中段最后一步开挖的云图,分析采场内应力分布、位移大小及塑性区分布。

表 4 矿岩物理力学参数

Table 4 Physical and mechanical parameters of mineral rocks

材料名称	体积模量/Pa	剪切模量/Pa	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)	抗拉强度/MPa	密度/(kg·m^{-3})
东区矿体	7.08e9	3.27e9	1.2	38	0.40	3 580
东区围岩	9.08e9	4.19e9	0.8	52	0.38	2 820



(a) 整体模型　　(b) 内部采场

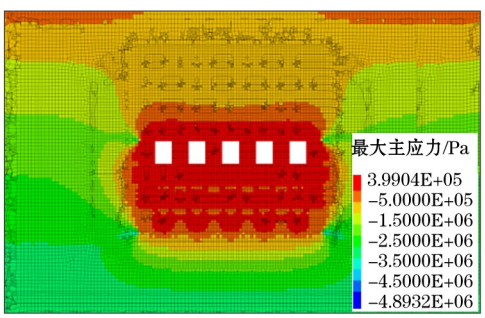
图 5 数值模拟模型

Fig.5 Numerical simulation models

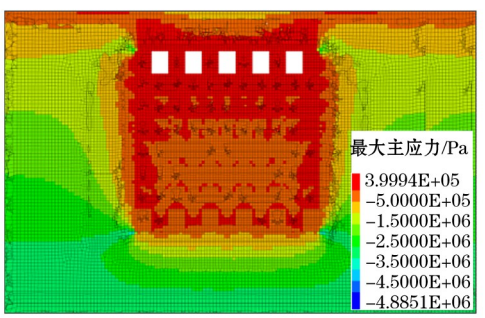
2.2 数值模拟结果分析

2.2.1 应力结果分析

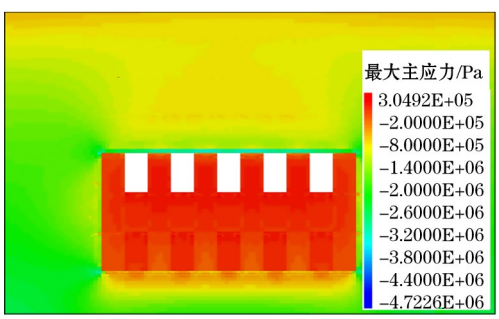
图 6 为各分段高度下采场最大主应力分布云图。由图 6 可知,采场充填前拉应力主要分布在空区周围,充填完成后,由于充填体强度相对较低,拉应力主要分布在充填体内,其中最大拉应力主要分布在采场两帮及底板位置。对于分段高度 15 m 的方案,两中段开采时二步骤采场最大拉应力接近矿体的极限抗拉强度0.4 MPa,说明二步骤采场台阶位置或顶板位置可能发生拉伸破坏。对于分段高度 20 m 的方案,随着开采过程的进行,采场周边拉应力逐渐增大,上中段回采时顶底板或两帮存在一定区域破坏。对于分段高度 25 m 的方案,−650 m 中段最后一步骤采场采完后其周边拉应力已达到矿体极限抗拉强度 0.4 MPa,且其范围远大于分段高度 15 m 及 20 m 的方案,说明该处采场顶底板或两帮存在一定区域的破坏。



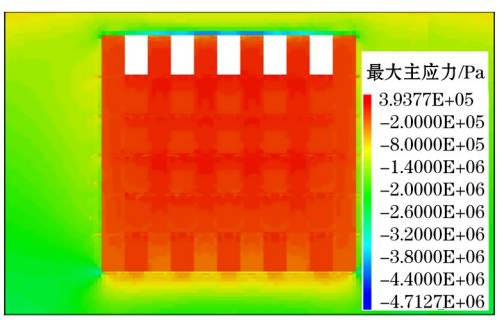
(a) 15 m 分段高度−650 m 中段回采结束



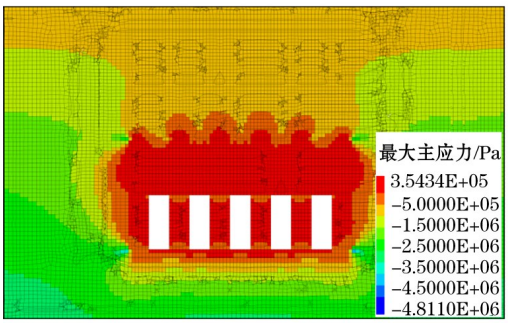
(b) 15 m 分段高度−590 m 中段回采结束



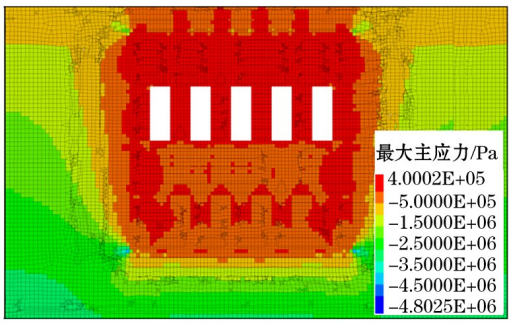
(c) 20 m 分段高度−650 m 中段回采结束



(d) 20 m 分段高度−590 m 中段回采结束



(e) 25 m 分段高度-650 m 中段回采结束



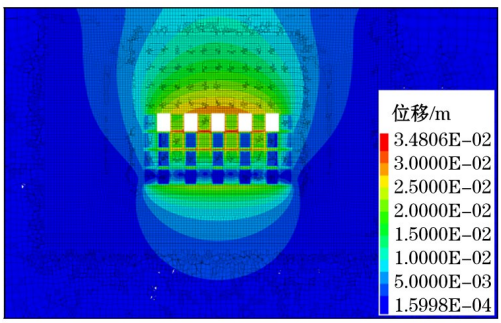
(f) 25 m 分段高度-590 m 中段回采结束

图 6 最大主应力分布特征

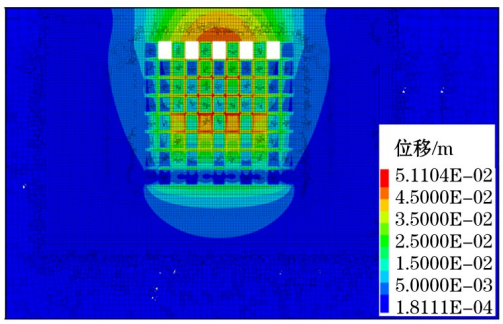
Fig.6 Distribution characteristics of the maximum principal stress

2.2.2 位移结果分析

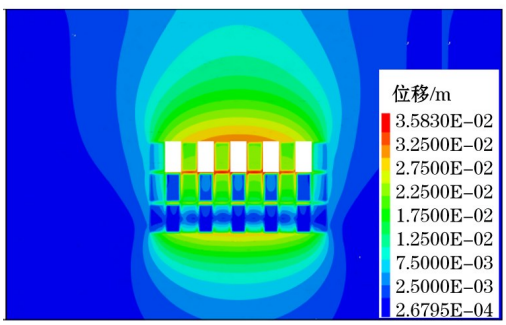
各分段高度下采场位移分布云图如图 7 所示。根据数值模拟分析过程可知,采场自下而上回采开挖和充填循环进行时,同步骤内空区位移逐渐增大,同中段内二步骤相对于一步骤位移更大,其中采场的顶板沉降量最大。



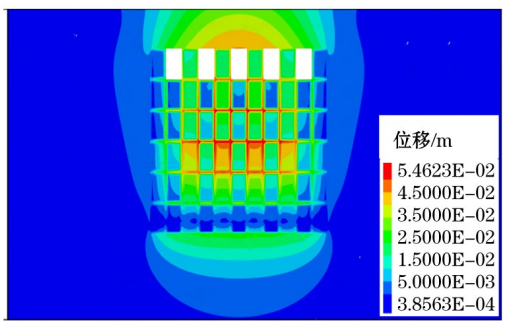
(a) 15 m 分段高度-650 m 中段回采结束



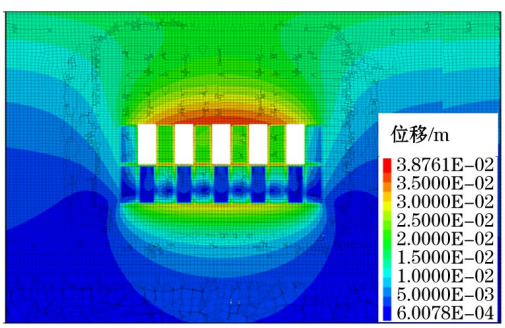
(b) 15 m 分段高度-590 m 中段回采结束



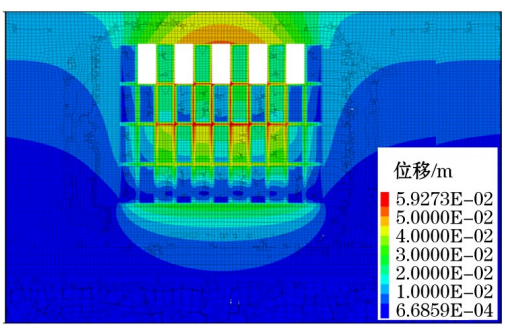
(c) 20 m 分段高度-650 m 中段回采结束



(d) 20 m 分段高度-590 m 中段回采结束



(e) 25 m 分段高度-650 m 中段回采结束



(f) 25 m 分段高度-590 m 中段回采结束

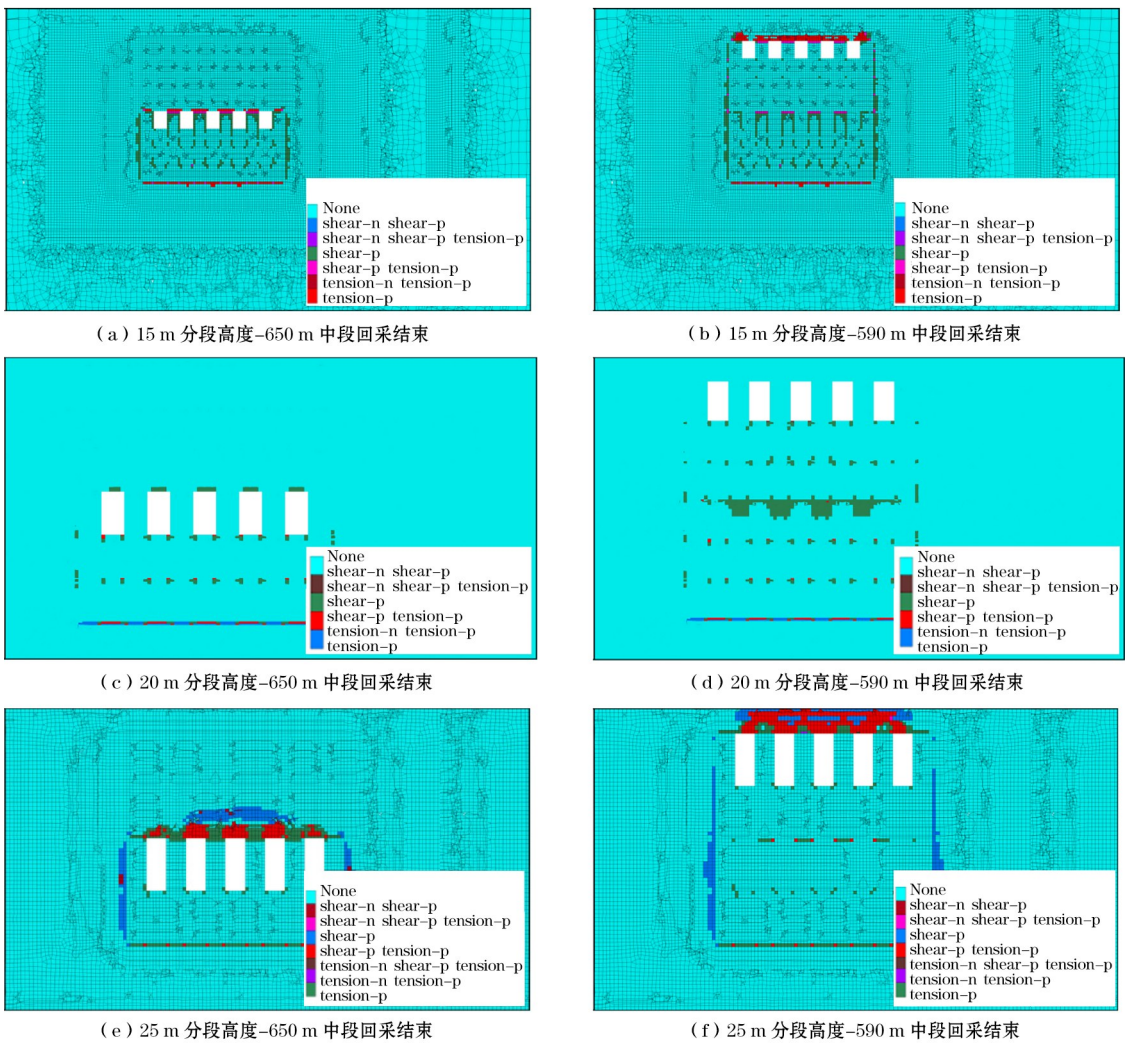
图 7 位移分布特征

Fig.7 Distribution characteristics of displacement

分段高度为 15 m 的条件下，－650 m 中段及－590 m 中段一步骤回采时，分别在回采第 4 层及回采第 3 层时顶板位移达到最大值，分别为 1.27 cm 和 1.8 cm；－650 m 中段及－590 m 中段二步骤回采时，在回采第 2 层及回采第 3 层时顶板位移达到最大值，分别为 2.89 cm 和 4.5 cm，但均未超过 5.00 cm，此时采场稳定性能保证回采安全；分段高度为 20 m 的条件下，－650 m 中段二步骤采场回采第三步时顶板产生最大沉降，为 3.0 cm，－590 m 中段二步骤采场回采时顶板产生最大沉降，为 4.57 cm，但均未超过 5.00 cm；分段高度为 25 m 的条件下，－650 m 中段二步骤采场回采第二步时顶板最大沉降量为 3.87 cm，－590 m 中段二步骤采场回采时顶板最大沉降量为 5.55 cm，超过 5.00 cm。一般来说，盘区或采场顶板位移量超过 5.00 cm 时，其自身稳定性较差，故分段高度为 25 m 时，可能无法维持采场的安全回采。

2.2.3　塑性区结果分析

各分段高度下采场塑性区分布云图如图 8 所示。由数值模拟结果可知，分段高度为 15 m 时，剪切破坏区主要分布在－650 m 中段一步骤采场边墙和－590 m 中段二步骤顶板位置，由于矿体强度较低，造成采场顶部和边墙小范围冒落，但未出现大面积塑性区与空区贯通，说明采场跨度 15 m 能够维持采场基本稳定；分段高度为 20 m 时，剪切破坏区主要分布在－650 m 中段二步骤采场顶板与－590 m 中段一步骤边墙位置及二步骤采场底板位置，未曾出现大面积塑性区与空区贯通，说明分段高度为 20 m 时，也能够维持采场基本稳定；分段高度为 25 m 时，由于分段高度过大，从云图上看，两帮岩体内塑性区出现大面积贯通，造成采场两帮出现较大范围的冒落，说明分段高度为 25 m 时，无法维持采场的安全回采。



(a) 15 m 分段高度-650 m 中段回采结束　(b) 15 m 分段高度-590 m 中段回采结束

(c) 20 m 分段高度-650 m 中段回采结束　(d) 20 m 分段高度-590 m 中段回采结束

(e) 25 m 分段高度-650 m 中段回采结束　(f) 25 m 分段高度-590 m 中段回采结束

图 8　塑性区分布特征

Fig.8　Distribution characteristics of plastic zone

综上所述,在分段高度为 15 m 及 20 m 的条件下,回采过程中一、二步骤采场最大拉应力在可控范围内,顶板最大位移量均未超过 5.00 cm 的允许值,同时采场之间以及采场顶板位置未出现大面积剪切破坏及塑性区贯通,能够维持采场的安全回采。分段高度为 25 m 时,因分段高度过大,-650 m 中段回采过程中顶板下沉量最大值超过 5.00 cm,且一步骤采场两帮岩体内塑性区出现贯通,剪切破坏区域分布较广,对矿体的回采安全性造成威胁。此外,从矿山年产量需求和成本上分析,分段高度越大,所需的采准工程越少,采矿成本越低,年产量也越大,因此,宜选取 20 m 作为该矿山的分段高度。

3 现场应用

某铁矿自开采以来一直采用无底柱分段崩落法回采,为解决地表垮塌及尾矿处理难题给矿山带来的严重影响,开展了充填采矿法回采方案研究,结合目前工程开采现状及矿岩条件,对于不稳固区域选择下向进路与上向中深孔联合开采的方案,并在矿山进行现场工业试验。

现场调查结果表明,矿山目前约有 32.4 万 t 铁矿石处于不稳固的围岩区域,其整体地质品位约 32.45%,可以考虑采用下向进路与上向中深孔联合开采的方式安全高效地快速采出。通过局部现场工业试验并推广至全矿矿岩不稳固区域,快速实现了该铁矿崩落法至充填法的转变与难采矿石的采出。

在现场应用期间,共采出矿量 7.7 万 t,精粉平均价格为 900 元/t。因此,采出矿石获得的销售收入为:

$$C_1 \geqslant P_1 \times f \tag{1}$$

式中:C_1 为现场应用期间的销售收入;P_1 为应用期间采出矿石量,为 7.7 万 t;f 为铁精矿价格,按平均价格 900 元/t 计算。

采出矿石获得的利润总额为:

$$M_1 \geqslant P_1 \times (f - c) \tag{2}$$

式中,M_1 为现场应用期间的利润;c 为采矿成本,按平均采出铁精矿成本 800 元/t 计算。

结合现场应用期间的精矿价值,并以当前矿山的采矿、充填、掘进、提升运输等成本为基础,对投入与产出所带来的经济效益进行比对分析,具体指标结果见表 5。采用下向进路与上向中深孔联合开采法,该铁矿山实现销售收入 6 930 万元,累计获得利润约 770 万元。

表 5 下向进路与上向中深孔联合开采法的技术经济指标

Table 5 Technical and economic indicators for combined mining mothod of downward approach and upward medium-length holes

地质矿量/万 t	地质品位/%	损失率/%	贫化率/%	采出矿量/万 t	出矿品位/%	铁精矿成本/(元·t^{-1})	铁精矿价值/(元·t^{-1})	销售收入/万元	利润总额/万元
32.4	32.45	10	10	32.4	29.2	800	900	6 930	770

4 结论

(1) 针对某铁矿山现阶段崩落法带来的回采问题,提出采用充填采矿法代替崩落法回采。基于矿岩稳固程度提出了预控顶护帮的分段充填采矿法、预控顶上向台阶进路充填采矿法和下向进路与上向中深孔联合开采法作为初选方案。经过对各采矿方案的技术经济指标及优缺点进行分析,推荐采用下向进路与上向中深孔联合开采法,采场产能可达到 350 t/d,矿石损失率为 7.2%,能够满足矿山目标产能要求。

(2) 基于矿岩稳固程度,同时为了满足矿山产能需求,对于围岩稳固性较差区域,首先采用下向进路回采两分层矿体,然后对分段内剩余矿石采用中深孔一次崩落,保证了底部出矿安全。在中段高度及采场跨度一定的条件下,对中段内分段高度进行数值模拟,从采场应力、位移及塑性区分布的角度分析,分段高度过大将导致采场顶板沉降位移过大,顶板应力集中,采场容易垮塌;分段高度过小会导致矿山采切工程较多而影响进度。因此结合矿山产能需求,最终确定采场的分段高度为 20 m。

(3) 通过对下向进路与上向中深孔联合开采法开展现场应用试验,该铁矿山不仅成功实现崩落法转充填采矿法开采,同时在该方法应用期间,累计采出 32.4 万 t 难采铁矿石,为矿山创收 6 930 万元,并带来 770 万元的利润。

参考文献(References):

[1] 张兴旺.充填采矿法在铜矿的运用实践探索[J].世界有色金属,2024(21):196-198.
ZHANG Xingwang. Exploration of the application practice of fill mining method in copper mines[J]. World Nonferrous Metals, 2024(21):196-198.

[2] 江兵,吴姗.大冶铁矿崩落法转充填法过渡区开采技术研究[J].有色金属(矿山部分),2014,66(3):23-25.
JIANG Bing, WU Shan. Study on mining technology of transition zone from sublevel caving to filling method in Daye Iron Mine[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2014,66(3):23-25.

[3] 赵增山,张舟,金爱兵,等.张家洼铁矿崩落转充填采矿工艺及结构参数研究[J].金属矿山,2021(8):1-9.
ZHAO Zengshan, ZHANG Zhou, JIN Aibing, et al. Study on the mining technology and structure parameters of Zhangjiawa Iron Mine from caving to filling[J]. Metal Mine, 2021(8):1-9.

[4] 邓艳娥.某矿山崩落法转充填采矿法综合经济效益分析[J].采矿技术,2021,21(4):169-171+174.
DENG Yan'e. Comprehensive economic benefit analysis of the conversion of collapse method to fill mining method in a certain mine[J]. Mining Technology, 2021, 21(4):169-171+174.

[5] 徐海.崩落转充填采矿方法粗糙模糊集理论优选[J].中国矿业,2020,29(3):110-114.
XU Hai. Optimization from caving to filling method based on rough fuzzy set theory[J]. China Mining Magazine, 2020, 29(3):110-114.

[6] 张群,刘艳章,柯丽华,等.程潮铁矿崩落法转充填法试验段采矿方法优选[J].矿业研究与开发,2015,35(10):1-5.
ZHANG Qun, LIU Yanzhang, KE Lihua, et al. Optimization of mining method for the test stage from caving method to filling method in Chengchao Iron Mine[J]. Mining Research and Development, 2015, 35(10):1-5.

[7] 郭晓强,唐绍辉,文兴,等.基于 SURPAC-FLAC3D 的采场结构参数研究[J].矿业研究与开发,2016,36(5):1-6.
GUO Xiaoqiang, TANG Shaohui, WEN Xing, et al. Study on stope structure parameters based on SURPAC and FLAC3D[J]. Mining Research and Development, 2016, 36(5):1-6.

[8] 刘昶,许梦国,王平,等.基于经济合理的采场结构参数优化[J].矿业研究与开发,2016,36(5):14-17.
LIU Chang, XU Mengguo, WANG Ping, et al. Optimization on reasonable and economic stope structure parameters[J]. Mining Research and Development, 2016, 36(5):14-17.

[9] 王刘宝,刘艳章,尹东,等.大冶铁矿同阶段崩落法转充填法开采隔离间柱合理宽度确定[J].金属矿山,2020(5):89-94.
WANG Liubao, LIU Yanzhang, YIN Dong, et al. Determination of reasonable width of isolation pillar between caving method and filling method in same level mining areas of Daye Iron Mine[J]. Metal Mine, 2020(5):89-94.

[10] 张宝,蔡泽山,罗佳,等.深部破碎厚矿床盘区机械化小分段充填法开采应用研究[J].矿业研究与开发,2024,44(11):9-16.
ZHANG Bao, CAI Zeshan, LUO Jia, et al. Application on panel mechanized small sublevel filling method in deep broken thick deposit[J]. Mining Research and Development, 2024,44(11):9-16.

[11] 鲁旭,谭宝会,龚臻,等.软破矿岩条件下胶结充填法转分段崩落法研究及应用[J].黄金科学技术,2024,32(5):905-915.
LU Xu, TAN Baohui, GONG Zhen, et al. Research and application of cemented filling method to sublevel caving method under soft broken rock mass condition[J]. Gold Science and Technology, 2024, 32(5):905-915.

[12] 姜维,郝益民,张凯,等.崩落转充填过渡分段安全回采工艺及实践[J].矿业研究与开发,2020,40(3):24-27.
JIANG Wei, HAO Yimin, ZHANG Kai, et al. Sublevel safe mining technology in the transition from caving to filling and its practice[J]. Mining Research and Development, 2020,40(3):24-27.

[13] 郭进平,卢皎旭,张文革,等.四方金矿崩落法转嗣后充填关键隔离层厚度研究[J].金属矿山,2023(6):51-60.
GUO Jinping, LU Jiaoxu, ZHANG Wen'ge, et al. Study on the thickness of the key isolation layer for the mining mode of caving followed by filling of Sifang Gold Mine[J]. Metal Mine, 2023(6):51-60.

[14] 李夕兵,彭定潇,冯帆,等.基于中厚板理论的深部崩落转充填隔离矿柱稳定性分析[J].中国矿业大学学报,2019,48(3):484-494.
LI Xibing, PENG Dingxiao, FENG Fan, et al. Stability analysis of horizontal insulating pillar in deep mining from caving to filling method on the basis of refined plate theory[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2019,48(3):484-494.

[15] 李跃国,赵阳,苏青山,等.银漫矿业采矿方法优化研究[J].采矿技术,2024,24(4):75-80.
LI Yueguo, ZHAO Yang, SU Qingshan, et al. Research on mining method optimization in Yinman Mining[J]. Mining Technology, 2024, 24(4):75-80.