

固体矿床开采方式影响因素和 选择方法探讨

杨彪*

(长沙有色冶金设计研究院有限公司,湖南长沙 410011)

摘要:矿床的开采方式是制约矿山企业生产效率和经济效益的关键因素之一,开采方式的选择是一个复杂的、系统性的优化过程,而目前尚无针对矿床开采方式选择的系统性研究.故此,本文从固体矿产主要开采方式入手,分析了露天开采、地下开采、特殊开采及联合开采等工艺的优缺点及适用环境,从矿床地质条件、外部开采环境、工艺技术可行性和经济可行性等角度分析了制约开采工艺的主要因素,并在此基础上梳理出了固体矿床开采方式的比选流程,为固体矿床开采方式选择提供了一种系统性、流程性思路,为将来开展矿山开采方式的智能、快速选择和优化奠定一定基础.

关键词:固体矿床;开采方式;影响因素;比选流程

中图分类号:TD212

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2017)01-0001-06

Investigation on the Influence and Selection of Solid Deposit Mining Methods

YANG Biao

(CINF Engineering Co. Ltd., Changsha 410011, China)

Abstract: The deposit mining method is one of the key constrains on the mine production efficiency and economic efficiency. The selection of mining method is a complicated and systematic optimization procedure. Up to now, no systematic trade-off study has been made on the deposit mining methods. The paper analyzes the advantages, disadvantages and the applicable environment of the solid deposit's main mining processes of open-pit mining, underground mining, special mining and combined mining. It analyzes the main constrains on the mining technology in terms of deposit geologic conditions, external mining environment, technological and economic feasibility, based on which the optional processes for the solid deposit mining are sorted out to provide a systematic and streamline concept for the selection of solid deposit mining methods and provide some basis for the future intelligent and quick selection and optimization of the mine mining methods.

Key words: solid deposit; mining method; influence factors; selection methodologies

矿产资源以其在地壳中富集的物质形态不同,分为气态矿产、液态矿产和固态矿产 3 大类,其中固态矿产的开采方式主要分为露天开采、地下开采、特殊开采和联合开采等 4 大类^[1].露天开采是一种传统的、开采总量最大的采矿方式,该工艺需先将矿体上覆岩土层剥离,然后开采矿体,一般硬岩矿物多采用台阶式机械化露天开采,砂矿多采用台阶式机械化开采、水力机械化开采等露天开采方法.地下开采是仅次于露天开采量的采矿工艺,多用于剥采比过大或地表需要保护而不宜采用露天开采的矿床,地下开采需从地表掘进井巷系统到达矿体后再进行回采.特殊采矿方式主要包括溶浸、水溶、热熔、盐湖采矿和海洋采矿等

收稿日期:2016-11-17

*通信作者,E-mail: ybcusu@163.com

多种类型.联合开采是指采用一种以上开采工艺联合开采矿体的方式,如矿体上部采用露天开采,深部采用地下开采的露天、地下联合开采方式.

矿床开采方式制约着矿山经济效益、资源综合回收,以及环境保护和社会稳定等多个方面,是资源开发过程中最为关键且不可逆的重大方案.国内曾有文章对具体某矿山的开采方式或优化方法进行过论述,如长沙有色院曾凌芳等对借助三维软件进行矿山露天和地下开采方式的比较方法做过论述^[2],中南大学袁晓等借助未确知测度、博弈论等方法对矿床开采方式进行过评价^[3],也有专家统计分析过石灰石矿等某一类矿种的开采方式影响因素及使用情况^[4].总体而言,以往研究多局限于某一种方法、某具体项目,而没有系统性的分析各类开采方式的特点、适用情况、影响因素以及比选方式和流程.本文从具体的开采方式及特点入手,分析影响开采方式选择的重要因素,在此基础上就具体比选方法和比选流程展开探讨.

1 矿山主要开采方式

1.1 露天开采

露天开采在固体矿产资源开发中所占比重最大.世界范围内,铝土矿、铜矿、磷矿、褐铁矿和锰矿等矿产的露天开采量比例超过85%,建材类矿石几乎达到100%.在20世纪初,美国的金属矿山露采比例已达到70%以上.据2005年统计,全球 10×10^4 t/d以上的露天铜矿山约10座,而地下开采达 10×10^4 t/d规模的仅1~2座.建国以来,我国露天开采在规模及产量方面增长迅速,近10年来新建、扩建及在建的大型露天矿山数十座^[1].

露天开采是从地表揭露岩石并采出有用矿物的开采方式^[5].露天开采在作业条件、资源回收及投资和成本等方面具有明显优势,如有利于采用大型机械设备,便于实现矿山自动化和大规模生产;资源回收率高,矿石贫化率和损失率非常低;作业条件好,机械化程度高,劳动生产率高;生产成本低,有利于低品位资源回收;矿山建设速度快,且单位矿石投资较低.露天开采也存在诸多劣势,如环保方面表现在占用土地多、地表破坏严重、固废排放量大、粉尘污染较大等;工艺受气候因素影响大,严寒、冰雪、酷热和暴雨等对露天开采有一定影响;露采对矿床的赋存条件要求较严格.

1.2 地下开采

我国地下开采矿山在数量上远大于露天开采,据统计,金属矿山中采用地下开采的占总矿山数的89%左右.如中国黄金工业以开采岩金为主,大部分采用地下开采方式.一般情况下铁矿的成矿规模较大,采用地下开采的总产量相对较少,但目前随着各大露天矿山开采深度增加,正逐步向地下开采转移.金属矿山地下开采占据比重越来越大,在今后的矿山开采中占据的位置也越来越重要.

地下开采是从地表向地下掘进一系列井巷工程通达矿体,建立完整的提升、运输、通风、排水、供电、供气、供水等生产系统及辅助生产系统并进行有用矿物的采矿工作的总称^[5].地下开采在环境保护、条件适应性等方面具有优势,如除崩落法外的其他地下开采方式对地表的环境破坏较小,固废排放量小,且固废可用于井下采空区充填;开采工艺受气候环境影响小,严寒、酷暑等恶劣环境下仍可正常井下作业;对矿体赋存条件的适应性强等.地采矿山因受制于作业空间和环境,在规模、作业条件等方面存在较大劣势,如很难实现特大规模生产;资源回收率稍低,矿石贫化率和损失率较高;机械化程度受限制,劳动生产率不高;作业环境稍差,危险源较多;矿山建设投资大、建设周期长,生产成本高等.

1.3 特殊开采

对于地质条件复杂、埋藏深、品位低、成分复杂和交通不便的矿床,若一律沿用常规方法开采,不仅技术难度大,且安全生产和环境保护也受到威胁,经济上不可行,于是多种特殊采矿方法应运而生,并得到迅速发展和广泛应用.目前主要的特殊采矿方式包括水溶采矿、溶浸采矿、船采、海洋采矿等类.水溶、溶浸采矿及盐湖矿床开采是根据某些矿物的物理化学特性,将溶剂注入矿层(堆),通过化学浸出、质量传递和水动力等作用,将地下矿床或地表矿石中某些矿物,从固态转化为流体而回收资源的采矿方法.船采工艺能够在水上作业,由挖掘机构在水下挖取矿砂,使水上和水下资源同时开采利用,该工艺生产成本较低.深海

海底蕴藏着极为丰富的矿产资源,如锰、铜、钴、镍、金、银等十几种矿物结核,储量是陆地的数十倍,西方各国自20世纪50年代末便开始投资海洋采矿,以美国为代表的工业发达国家已对深海多金属结核采矿技术有深入研究^[6]。

1.4 联合开采

联合开采是指采用一种以上开采方式进行矿床开采的采矿工艺,以露天地下联合开采最为常见。随着对矿产资源需求的增加和开采强度的不断加大,浅部资源日益减少,露天开采矿山不断向深部及地下开采转移,国内外多座矿山相继进入露天与地下联合开采状态。实践证明,在一个矿床内需要采用露天转地下开采时,将露天和地下的工艺特点结合起来互相利用,使其达到最佳的有利条件,是保证合理利用国家矿产资源和提高矿山企业经济效益的极重要途径。矿床埋藏较深而覆盖层较薄时,矿床的上部通常采用露天开采,而矿床的下部则转为地下开采^[7],无论是顺序地或是同时地进行露天和地下开采,如果不将它们的空间和时间上作为一个有机的整体同时考虑,会给矿山的生产运营带来很多问题。

2 矿山开采方式的影响因素分析

2.1 矿床地质条件

矿床地质条件主要包括矿床的规模大小、空间形态和赋存条件、水文地质、工程地质和环境地质等,地质条件是影响矿床开采方式的关键因素之一^[8]。

一般将矿床规模划分为大型矿床、中型矿床和小型矿床,矿床的储量与矿山生产能力及合理的服务年限之间存在一个经济合理的对应关系,而不同开采工艺在一定程度上制约着矿山生产规模,因此不同规模的矿床需考虑合理的生产工艺,以适应其规模要求。一般对于大型、特大型矿床应首先考虑露天开采的可能性,然后再进行地下开采及特殊工艺开采的可行性探索及对比分析。

矿体在三维空间上所具有的形态、产状、宽度、厚度、埋藏深浅等特征,很大程度上决定着矿床开采方式。从三维空间延伸方面可把矿体形态划分成等轴型矿体、柱状型矿体、板状型矿体、过渡型矿体、复杂型矿体等类。矿体产状包括矿体空间位置、埋藏深度、矿体与围岩层理、片理关系、矿体与火成岩的空间关系、矿体与地质构造空间关系等内容。一般的柱状型矿体、板状矿层多呈大规模产出,是露天开采的理想矿床,而矿脉、复杂性矿体多属于地采类型。矿体埋藏深度是决定采用何种开采方式的关键因素,上部覆盖层的薄厚,直接影响剥离成本,若矿石承担的剥离成本过高,则露天开采不再具有优势。

矿山水文地质条件是影响矿山开采方式的另一重要因素。露天开采的坑内积水主要来源于大气降水和地下涌水,其坑内总水量往往比地采矿山大,但露天矿山的排水系统布置简单,方式多样,排水能力大,且若出现特殊情况时人员设备方便撤离,一般对涌水量没有严格要求。地采矿山则必须考虑矿山涌水问题,井下涌水会给井巷施工造成很大影响,大量涌水也会影响井下正常生产。溶浸采矿对矿山水文地质条件要求则更高。

矿山工程地质研究的是矿区的矿岩工程地质分组及特征、分析矿体的围岩及其稳定性,其成果是露天设计时境界边坡角取值的重要依据,是地采井巷支护及采场安全措施制定的依据,在开采方式比选时应考虑到矿山工程地质因素对开采成本的影响。矿山环境地质研究的内容一般包括区域稳定性分析、矿区社会环境及自然地理环境评价、矿区水环境评价及矿区不良地质条件分析等,露天矿山存在大规模的矿岩运搬,采矿及废石场区域地表改变,势必会对当地的环境地质产生较大影响,开采方式的选择需考虑环境地质的承受能力。

2.2 外部开采环境

矿山外部环境制约着开采工艺的选择,如矿山所在区域的各种发展规划、附近区域的功能区划及对环境保护的要求等,另外还要考虑交通、供电、供水、通讯等外部条件的制约,以及废石场、尾矿库等设施的布置空间要求等。

矿产资源开发及开采方式选择必须兼顾当地总体规划发展需要,如对于一些原始景观较好的地区,一

般会对矿产资源开发进行限制,在此情况下很难允许在其范围内进行大规模的露天采矿作业,而采用地采则可在一定程度上缓解对地表景观的影响.此外,在开采方式选择上还要考虑当地居民的要求和支持,综合考虑地方关系处理、地表附着物赔偿成本等因素,进行开采方式选择,实现企业与当地民生的共存共赢.

矿山开采方式的选择还要充分考虑到当地的外部建设条件,尤其是矿区所在区域的自然地理条件,如采用露天开采工艺时废石排放规模远大于地采,需根据当地地形寻找合适的位置,若附近无合适的排土场位置,则会造成露天开采的废石运输成本过高,进而制约开采方式选择.此外,矿山开采还应考虑矿山区域有无保护性区域或遗址等因素.

2.3 技术可行性

技术可行性是指采用的技术方案不能突破当前所拥有的或掌握的技术边界.近年来矿山开采技术发展突飞猛进,随着装备制造业的发展,矿山开采规模逐步增大,复杂条件下的矿山开采技术也越来越成熟,但具体采用何种开采工艺,仍需进行详细的技术可行性分析.如在节理裂隙发育、岩层风化严重、岩体稳定性极差的矿床采用地下开采的技术可行性一般需要论证;在采用露天开采时,若经济上可接受的边坡维护技术不能保证采场生产安全,则露天开采在技术上也不可行.再如埋藏较深的大型低品位矿床,采用自然崩落法开采在经济上较为合理,但若矿体的节理裂隙不发育,矿体可崩性较差,则在技术上不可行.

2.4 经济可行性

经济可行性是决定矿山开采方式的最根本因素.在市场经济中,项目的经济效益首当其冲,判断一种开采方式是否可行的最简单方法是看其经济可行性,对于任何一种在技术上可行、开采条件和环境允许的开采方式均需进行经济效益评价,估算项目关键经济指标,并评估其经济风险和收益情况.

3 矿山开采方式比选方法及步骤

3.1 开采方式比选方法

经验分析和类比法是一种简单、高效的比选方法.通过对矿体地质条件、外部环境的经验分析或通过与其他已建项目关键项进行类比来判断矿床开采方式,也可通过专家多轮集中讨论的头脑风暴方式确定开采方式,在此基础上再进行技术可行性的论证.经验分析和类比法是一种快速的、粗放的开采方式比选方法,尤其适用于开采方式倾向性较为明显的矿山,但对于分界不明显、开采条件复杂的矿山往往难以得出比选结论,此时需借助于技术经济评价方法开展详细的方案比较工作.

技术经济评价是开采方式比较的常规方法,包括静态和动态2类,在技术经济指标计算过程中考虑时间因素的叫动态方法,反之为静态方法,在实际应用中一般考虑动静结合,以动为主的比较原则.参与比较的静态技术经济指标主要包括总投资收益率、资本金净利润率、静态投资回收期等,动态指标包括净现值、内部收益率、动态投资回收期等.多种技术经济指标所体现的结果大多一致,因此在技术经济比较时一般只对其中的几个关键指标进行分析,常用的是动态技术经济评价体系中的净现值、内部收益率2个指标.

尽可能的减少比较参数是降低比较误差和减少方案工作量的一个重要手段,因此在方案比较时,一般仅对可比项进行比较.矿山是一个大型的系统性工程,一个矿山的建设投资和成本项非常繁多,图1所示为一个典型露天矿山采选项目的主要建设投资及成本构成图.若在开采方式比较时,仅对可比方案进行计算,可大大提高方案比较效率,也会避免将不必要的误差带入比对过程.对于同一矿床,在矿山生产规模、选矿流程、总图布置确定后,对于如选矿厂投资、尾矿输送、取水系统投资和成本以及各类期间成本费用均变动很小,可将该类对开采方式结果影响很小的子项在比较过程中去除^[1].

3.2 开采方式的比选流程

影响开采方式的重要因素主要包括矿床地质条件、外部开采环境、技术可行性及项目经济效益等4大类,其中外部环境调查工作最易开展,矿床地质条件分析次之,项目经济效益计算最为复杂,因此较为理想的开采方式比选步骤是由简入繁、以最少的工作获得最准确的比较结果.据以上原则,可将开采方式的比选过程大致分为如下5个步骤:



图 1 一般露天矿山采选工程项目建设投资及主要成本构成项

第一步: 矿山外部开采环境分析

通过与业主、政府机构沟通, 以及实地调查、网络搜索等手段获得项目外部建设条件信息, 主要包括矿山建设区域的地方规划、当地环保要求、当地居民意愿、外部水电交通及通讯情况等内容, 通过对以上信息分析, 初步判断矿山开采方式, 筛选掉明显不可行方案. 若在此步可确定开采方式, 则直接进行第三步的技术可行性分析, 否则进入第二步骤.

第二步: 矿床地质条件分析

收集项目的矿床规模、矿床空间形态、矿山水文地质、环境地质等矿床地质信息, 在第一步判断保留的开采方式基础上进一步分析和筛选. 一般情况下, 对于地质特征明显的矿床, 可在该步确定开采方式, 如对于大型、埋藏浅、厚大矿体尤其适用于露天开采, 对于埋藏深、矿体薄至中厚的急倾斜矿体尤其适用于地采方式. 若在此步可确定开采方式, 则进入第三步的技术可行性分析, 否则, 需进一步的进行技术经济分析.

第三步: 技术可行性分析

对仍保留的开采方式进行技术可行性分析, 过滤掉技术上不可行的方案. 若至此仍不能确定开采方式, 则进入第四步.

第四步: 开采方式的技术经济指标计算和比较

该步骤的工作量较大, 首先要根据矿山实际情况分析开采方式比较的可比性项目范围, 然后根据比选范围布置可能开采方式的矿山开采系统, 在此基础上对可比范围内的项目进行投资和成本费用估算, 最后进行可比项目的技术经济指标计算, 选取技术经济指标较优方案作为最终方案.

第五步: 综合分析确定矿山开采方式

汇总以上各步分析结果, 绘制开采方式比较分析表, 综合陈述各方案的优缺点, 最终确定矿山开采方式.

图2为矿山开采方式比较的流程图.

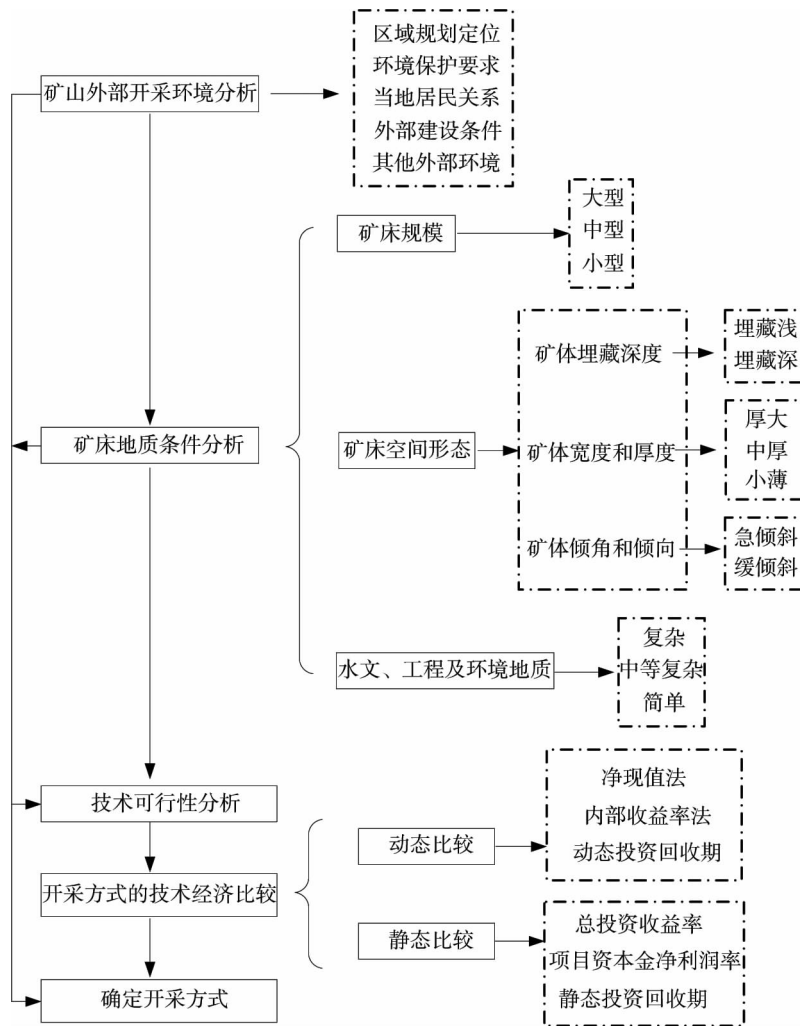


图2 开采方式比较流程图

4 结论

1) 矿床的开采方式受制于矿山内外众多因素的制约和影响,方案多样,比选工作量大,是矿产资源开发面临的一个复杂课题.

2) 尽量减少参与开采方式比选的投资和成本构成项,是简化比选工作量和降低比选结果误差的好方法.

3) 所提出的开采方式比选五步流程法能引导技术人员由简入难的开展具体比选工作,对矿山开采方式的选择具有实际指导意义,同时也为开展矿山开采方式的智能化、快速选择和优化工作奠定了基础.

参考文献:

[1] 杨彪.露天矿开采境界动态优化研究及应用[D].长沙:中南大学,2011:1-2.

[2] 曾凌芳,陈美华,石得风.基于三维模型的矿山开采方式优选[J].矿业研究与开发,2011,31(6):5-8.

[3] 袁晓,王李管,刘晓明,等.基于改进未确知测度理论的矿床开采方式优选[J].黄金科学技术,2015,23(5):72-76.

[4] 郝汝铤,尚凤川,祝廷然,等.石灰石矿山的地下开采方式-国内外石灰石矿地下开采方式初探[J].中国水泥,2008(7):85-90.

[5] 采矿手册编辑委员会.采矿手册(3,4)[M].北京:冶金工业出版社,2006.

[6] 于润仓.采矿工程师手册(下)[M].北京:冶金工业出版社,2009.

[7] 刘健.四川甘孜错阿金矿开采方式的探讨[J].黄金科学技术,2009,17(2):54-57.

[8] 庄辉.缅甸萨比塘矿区水文地质及工程地质条件对矿床开采的影响研究[D].长春:吉林大学,2013:1.