

缓倾斜薄铁矿体 高效开采方法及 安全控制技术

HIGH EFFICIENT MINING METHOD AND
SAFETY CONTROL TECHNOLOGY IN
GENTLE DIP THIN IRON OREBODY

赵树果 宋卫东 徐国强 宋焕虎 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

缓倾斜薄铁矿体高效开采方法及 安全控制技术

High Efficient Mining Method and Safety Control Technology
in Gentle Dip Thin Iron Orebody

赵树果 宋卫东 著
徐国强 宋焕虎



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

缓倾斜薄铁矿体高效开采方法及安全控制技术/赵树果等著. —武汉:武汉大学出版社, 2015. 7

ISBN 978-7-307-16369-0

I. 缓… II. 赵… III. 铁矿床—金属矿开采 IV. TD861.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 163416 号

责任编辑:王 睿

责任校对:邓 瑶

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:虎彩印艺股份有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:11 字数:258 千字

版次:2015 年 7 月第 1 版 2015 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-16369-0 定价:60.00 元



版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前言

矿产资源是自然资源的重要组成部分,是人类生存和社会发展的重要物质基础。随着国民经济的不断发展,社会各行各业对矿产资源的需求量不断上升。近年来,我国钢铁产量在飞速发展,作为钢铁生产最主要原料之一的铁矿石的需求量迅猛增加,国内铁矿石的供需矛盾越来越突出。但我国铁矿资源的突出特点是多而不富,多为中低品位矿,贫矿储量占 47.6%,富矿资源储量仅占 1.8%,具体表现为中小矿多,大矿少,特大矿更少。矿石类型复杂,难选矿和多组分共(伴)生矿所占比重大。

21 世纪是现代科学高速发展和现代工业高速增长的时期。人们对矿产资源的开发利用规模达到历史新高。随着金属矿产资源开采深度的加大,开采难度的增加,开采对象将逐步转向高应力环境下的深部矿体,复杂条件下的“三下”难采矿体,采矿作业面临深部岩爆、冲击地压等地质灾害问题,地表下沉、塌陷等生态环境问题,生产能力、生产成本等技术问题。随着世界矿业开发的加剧,大量工业废水、废料、废气的排放造成了自然生态环境的恶化,人们越来越认识到加强矿山环保和矿产资源的综合利用的重要性,迫切需要通过实现绿色采矿。

缓倾斜薄铁矿体高效安全开采方法的选择是国内外一直难以解决的问题。目前,研究存在的主要问题集中在资源损失大和地压的管理难等方面。在矿山的开采设计中,采矿方法的选择具有决定性的作用。它决定了回采工艺、设备型号、掘进工程量、劳动生产率、资源的回收利用率。采矿方法的选择直接影响矿山企业的投资和经济效益。同时,地压安全管理方法的优劣直接关系到采场及作业人员的安全,这也是评价采矿方法最重要的依据之一。因此,在科学理论的指导下,选择灵活、多样、安全、高效的采矿方法进行合理开采,对采后顶板和围岩的系列安全问题进行研究,具有十分重要的理论意义和实用价值。

为科学合理优化缓倾斜薄铁矿体的采矿方法,以保证开采时的最低矿石损失和开采后的采场安全稳定,本书在分析国内外学者研究成果的基础上,针对缓倾斜薄铁矿体的矿体空间赋存状况,运用粗糙模糊集理论对缓倾斜薄铁矿体安全高效开采方法进行优化研究,结合理论分析,采用相似模拟与数值模拟相结合的研究方法,对采后采场地压变化规律与地表塌陷规律等进行了研究;同时,对开采时采空区顶板及爆破作业进行了危险源辨识与事故树分析研究。

本书共分 7 章,第 1 章为绪论,介绍国内外矿产资源的总体特征、开采现状及开采中面临的关键问题;第 2 章为金属矿床的工业特征,介绍基本概念,矿石与围岩的主要性质及金属矿床的分类与工业特征;第 3 章研究缓倾斜薄铁矿体开采方法的发展及优化,对国内外缓倾斜薄铁矿体开采方法进行了比较研究,应用粗糙模糊集理论对缓倾斜薄铁矿体采矿方法进行了优化选择;第 4 章研究缓倾斜薄铁矿体开采采场地压与地表塌陷的影响因素及形成机理;第 5、6 章采用相似模拟与数据模拟相结合的研究方法对缓倾斜薄铁矿

体开采采场地压与地表塌陷进行了对比研究,揭示了不同方案下不同开采阶段围岩应力、塑性变形区域与位移的变化规律;第7章分别对采空区和爆破作业的重要危险源进行辨识,建立了采空区顶板力学模型,提出安全控制技术,并对实际工程应用进行了分析。本书运用了大量的试验资料,并附有大量的图表来说明试验结果和提出的观点,以便读者了解和掌握。

本书是由华北理工大学赵树果、徐国强老师和开滦(集团)有限责任公司唐山矿业分公司宋焕虎总工程师结合科研成果与工程实际撰写完成的。在本书编写过程中,作者参考了相关的国内外有关研究理论,在此谨向参考文献的作者表示感谢。特别感谢作者的博士生导师北京科技大学宋卫东教授的指导和帮助;感谢武汉钢铁集团矿业有限责任公司在收集资料过程中给予的帮助和支持;感谢北京科技大学蔡嗣经教授、明世祥教授、胡乃联教授、璩世杰教授、高永涛教授、王洪江教授和杜建华老师;感谢华北理工大学张锦瑞教授、王志国教授、闫红灿教授、李占金教授、刘建庄副教授、孙光华副教授等。本书的出版得到了国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAB15B03)的支持。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请各位读者批评指正。

著 者

2015年4月于华北理工大学

目 录

1 绪论	(1)
2 金属矿床的工业特征	(4)
2.1 基本概念	(4)
2.2 矿石与围岩的主要性质	(6)
2.3 金属矿床的分类及工业特征	(8)
3 缓倾斜薄铁矿体开采方法的发展及优化	(11)
3.1 传统采矿理念及其存在问题	(11)
3.2 缓倾斜矿体开采方法的发展	(15)
3.3 采矿方法优化选择法的发展	(24)
3.4 基于粗糙模糊集理论的采矿方法优化	(30)
3.5 本章小结	(54)
4 缓倾斜薄铁矿体开采采场地压与地表塌陷	(55)
4.1 矿山地压	(55)
4.2 采场地压理论	(60)
4.3 地表塌陷的形成机理及影响因素	(62)
4.4 地表塌陷理论	(63)
4.5 数值方法在采场地压和地表塌陷中的应用	(64)
5 缓倾斜薄铁矿体开采采场地压控制与采动损害数值模拟	(67)
5.1 矿区工程地质	(67)
5.2 计算剖面选取及数值模型建立	(74)
5.3 方案Ⅰ的数值模拟结果分析	(79)
5.4 方案Ⅱ的数值模拟结果分析	(81)
5.5 方案Ⅲ的数值模拟结果分析	(90)
5.6 本章小结	(94)
6 缓倾斜薄铁矿体开采诱发围岩变形破坏相似模拟	(95)
6.1 相似材料模拟理论	(95)
6.2 相似模拟模型设计	(97)
6.3 围岩变形破坏规律分析	(103)
6.4 本章小结	(115)

7 重要危险源辨识及安全控制技术	(117)
7.1 采场结构参数及设备选择	(117)
7.2 危险源识别及预先危险分析体系建立	(121)
7.3 安全稳定性控制理论分析	(127)
7.4 高效开采及安全控制技术应用	(133)
7.5 本章小结	(136)
附录 A 不同开采阶段围岩的变化图	(138)
附录 B 开采不同矿房时围岩变化情况图	(146)
参考文献	(160)

1 绪 论

目前,全世界除建材矿产外,元素周期表中可提取和利用的元素已达 85 种以上,工业上利用的矿物占已知 3000 多种矿物的 15% 以上,其中非金属矿产品的品种、数量的增长和用途的扩大尤其引人注目,已从 21 世纪初的 60 种增加到目前的 300 多种,包括 200 多种非金属矿物和 50 多种岩石。

20 世纪 80 年代中期以来,尽管世界矿产勘查费用和规模增长缓慢,20 世纪 90 年代初还有所下降和收缩,但在所统计的 40 余种主要矿产中,有一半以上的矿产储量仍有不同程度的增长。1992 年与 1985 年相比,储量增长幅度较大的主要是能源矿产和贵金属矿产,如石油储量增长了 42.7%,天然气储量增长了 40.2%,煤炭可采储量增长了 111% 等。同期,黑色金属中储量有所增长的有钒(130%)、铬(32.46%)和钴(10.2%);有色金属中储量有所增长的有锡(16%)、铋(21.3%)、钛铁矿(16%)、铝土矿(9.5%)和锑(6.4%);稀散元素中储量增长的有稀土(122%)、锆石(135%)和锂(15.5%);农肥矿产中储量增长的有硫(8.5%)和钾盐(3.3%)等。其他矿产储量有不同程度的下降,但基本持平,许多矿产还有较大的资源量。某些矿产(如铜)的储量虽然下降了,但资源量却有所增长。除能源矿产和贵金属矿产外,多数矿产储量增长速度下降,富矿石储量所占比例有所减少,大型和特大型矿床在矿石储量中所占比例有所下降。

世界矿产的储量分布仍然很不平衡,许多矿产的大部分勘探储量仍集中在少数国家,但与 20 世纪 80 年代相比,集中程度有所减弱。例如,根据对 40 种矿产 1992 年世界储量分布所作的统计,有 15 种矿产 3/4 以上的储量集中在 3 个国家,有 26 种矿产 3/4 以上的储量集中在 5 个国家,有 12 种矿产 1/2 以上的储量集中在工业国家。但在西方工业国家中 80% 以上的主要金属和非金属矿产的储量仍主要分布在美国、加拿大、澳大利亚和南非 4 个国家中。有 13 种矿产(石油、天然气、铝土矿、镍、钴、菱镁矿、锡、锑、锂、铌、钽、磷酸盐岩和石墨)的 1/2 以上的储量分布在发展中国家,而且有 15 种矿产(铌、石墨、石油、天然气、铬、镍、钴、钼、钒、钨、铅、锌、锡、铋和银)发展中国家拥有的储量在总储量中所占比例有所增长。

世界铁矿石资源非常丰富。据美国地调局资料,1999 年世界铁矿石储量为 1400 亿吨,储量基础为 3000 亿吨。俄罗斯、乌克兰、澳大利亚、中国、巴西及美国等是世界铁矿资源大国。其中,俄罗斯铁矿石储量 200 亿吨,储量基础 450 亿吨;乌克兰铁矿石储量 220 亿吨,储量基础 500 亿吨;澳大利亚铁矿石储量 180 亿吨,储量基础 400 亿吨;中国铁矿石储量 250 亿吨,储量基础 500 亿吨;巴西铁矿石储量 110 亿吨,储量基础 170 亿;美国铁矿石储量 100 亿吨,储量基础 230 亿吨。

在世界铁矿石资源中,以沉积变质型矿床最为重要,经济意义最大,其资源量占

90%，而与其有关的富铁矿储量占世界富铁矿总储量的70%以上。该种成因类型的铁矿石主要分布在俄罗斯、澳大利亚、巴西、乌克兰、加拿大、印度和美国等。这类矿床的特点是规模大、分布集中，常构成几十亿到上百亿吨铁矿储量的巨型矿床。火山岩型铁矿床也较为重要，约占世界铁矿储量的10%。

我国是世界上矿产资源总量丰富、矿种较齐全的少数几个资源大国之一。我国已发现矿产资源168种，探明储量的矿产157种，其中能源矿产9种，金属矿产54种，非金属矿产91种，水气矿产3种，已发现矿床、矿点20多万处。已探明的矿产资源总量占世界总量的12%，仅次于美国和俄罗斯，居世界第3位。但人均占有量仅为世界人均占有量的58%，居世界第53位。我国矿产资源开发利用历史悠久，是世界上最早开发利用矿产资源的国家之一。新中国成产产，矿业获得前所未有的大发展，我国逐步成为世界上第二矿业大国。

中国92%的一次能源、70%的农用生产资料、80%的工业原材料、30%的工农业用水和城乡居民用水来自于矿产资源。矿产资源在经济社会发展中具有相当重要的基础地位，是人类生存和社会发展的重要物质基础。伴随经济的不断发展，人们对化石能源等矿产资源的需求还会大幅度增长。特别是21世纪以后，在大规模和超大规模的开发利用及消耗情况下，中国的矿产供需关系异常复杂，形势异常严峻。20世纪90年代以后，中国已经很明显地迈入工业化经济高速增长期，很多矿产的消费增加速度已经接近甚至超过中国国民经济的整体发展速度，矿产供需矛盾已经日益尖锐，主要集中在产量的增长超过储量的增长，消费增长超过了产量的增长，一些比较重要的矿产品进口量急剧增加，矿产资源储量的整体保证度急剧下降。

近年来，我国钢铁产量在飞速增加。2006年钢产量突破4亿吨，2007年达到4.9亿吨，2008年我国粗钢产量达到5亿吨，2009年达到5.68亿吨，2010年为6.27亿吨。作为钢铁生产最主要原料之一的铁矿石的需求量迅猛增加，国内铁矿石的供需矛盾越来越突出，按矿/铁比3.6估算，2010年铁矿石的年消耗量大约为22.57亿吨。据不完全统计，目前我国铁矿石年产量已从2003年的2.6亿吨增加到2009年的8.8亿吨，年均增长超过20%。可查明资源储量中河北、山西、辽宁、四川和云南五省的合计量占总查明资源储量的61.3%。

1959年，我国在湖北省鄂西发现了蕴藏量达10亿吨以上的铁矿床，总面积达33000km²，储量约22亿吨，分布于恩施、巴东、宜昌、长阳、宜都等12个地区，仅在恩施地区查明的两处大型赤铁矿矿床、两处中型铁矿床，探明铁矿石资源储量累计可达13.85亿吨，占湖北省铁矿石资源总储量的42.89%。建始县官店铁矿区位于湖北省恩施土家族苗族自治州境内，是资源大于5000万吨的六个矿区之一。矿区矿床属于泥盆“宁乡式”海相沉积型赤铁矿床。该矿区主要特征为矿体薄、倾角小、埋藏深、范围广。若能选择合适的开采方法进行高效开采利用，会在很大程度上改善我国钢铁生产依赖铁矿石进口的不利局面。

在国内查明的矿山资源储量中，缓倾斜薄矿体开采矿山占已探明铁矿储量的18%，有色金属占5%~9%，其他如铅、锌、锰、钒等矿产资源占相当比例。缓倾斜薄矿体在国内属于难采矿体之一，矿体倾角缓，采下的矿石需借助人工扒运或机械铲运，矿石无法自

溜,采场的出矿能力低;特殊的赋存特征导致缓倾斜薄矿体可采用的开采方法有一定的局限性。同时,由于缓倾斜矿体和顶板的整体性较差,地压管理和采场顶板管理是矿山安全生产较难解决的瓶颈之一,而实际生产要求开采时经济合理。这些矛盾的出现使缓倾斜矿体的开采面临经济和技术等多方面的挑战。据不完全统计,国内对缓倾斜矿体的开采(含贵金属和有色金属矿山开采)大多采用空场法,约占 85%,其余为充填法。充填法用于开采铁矿床时,由于开采成本高而得不到广泛推广利用,一般多用于开采价值较高的稀有或贵金属矿体。

综上所述,矿床赋存条件复杂、矿山规模较小、开采机械化程度低、贫化损失较大、采矿成本较高,成为大规模开采缓倾斜薄矿体需要解决的关键问题。

2 金属矿床的工业特征

2.1 基本概念

2.1.1 矿产

矿产是指在各种地质条件下,形成于地壳内的能被国民经济利用的天然矿物或岩石资源。它们是人类社会存在与发展的重要物质基础,是一种重要的生产资料和劳动对象。矿产资源与一般生产资料的重要区别在于它们是不能再生的。矿产是人类赖以生存和发展的重要物质基础。矿产资源的种类繁多。它们的成因、性质、用途等各不相同。根据其工业用途,目前其一般分为金属矿产、非金属矿产和可燃有机岩矿产三大类。

金属矿产是指可能从中提取金属元素的矿物资源。按照金属矿产的工业用途,其可分黑色金属矿产(如铁、锰、铬、钒、钛等)、有色金属矿产(如铜、铅、锌、锡、锑、铝、镁等)、贵重金属矿产(如金、银、铂等)、放射性金属矿产(如铀、钍、镭等)、稀有金属和分散元素金属矿产(如钽、铌、铍、锂、锆等)。

非金属矿产是指可从中提取非金属元素或直接利用的矿物或矿物集合体。按照非金属矿产的工业用途。其可分为冶金辅助原料(如萤石、菱镁矿、耐火黏土等)、化学工业原料(如磷灰石、黄铁矿和钾盐等)、制造工业原料(如石墨、金刚石、云母、刚玉、石棉等)、陶瓷及玻璃工业原料(如长石、石英砂、高岭土和黏土等)、工艺美术原料(如硬玉、软玉、玛瑙、水晶、琥珀、蛇纹石等)、铸石和研磨材料(如辉绿石、石榴石和金刚玉等)。

可燃有机岩矿产是指能提供有机能源的地下资源,如煤、石油、天然气、油页岩、地沥青等。

上述矿产资源中,在我国除少数几种外,都已探明一定的储量,特别是稀土、钨、锡、锑、铋、硫铁矿、菱镁矿、硼等 20 多种资源的储量都居世界前列。

2.1.2 矿石

(1) 概念及种类

矿石是指在目前的经济技术条件下,在质和量两方面都能为国民经济所利用的矿物集合体。根据矿石中有用成分的用途和性质,其可分为金属矿石和非金属矿石两类;根据矿石的品位高低,分为富矿和贫矿;根据化学成分,其可分为氧化矿和硫化矿等。

(2) 品位

矿石品位是指矿石中有用金属(元素、化合物或矿物)的质量百分数,如铁矿石的品位为50%是指其中的铁含量为50%。对于贵重金属,如金、铂等,由于单位矿石中的含量很少,通常用g/t来表示。

一般情况下,矿体中矿石有用成分的分布是不均匀的,有些部分的含量高,有些部分的含量低,只有平均含量达到或超过工业品位(最低工业品位)的矿段才具有开采价值。所谓工业品位,是指在当前技术经济条件下可以开采利用的矿石中有用成分的最低平均含量。

2.1.3 矿体、围岩与废石

矿体是具有一定形状与产状的矿石集合体,是构成矿床的基本单位。矿体周围无开采价值或尚无开采价值的岩石是围岩。与煤矿不完全相同,通常将矿体上部的岩石统称上盘围岩。同样,位于矿体下部的岩石称为下盘围岩。矿体中矿石品位达不到工业要求而无开采价值或尚无开采价值的部分称为夹石。围岩与夹石统称废石。矿体与围岩的界线有的是明显的,有的是渐变的。矿石品位的分布是不均匀的,这种矿体不一定全部可供开采。在确定这种矿体时,必须要确定满足最低工业品位要求的块段边界,其重要依据是边界品位。边界品位是对圈定矿体单个样品的有用组分含量的最低要求,是划分矿石与废石有用成分的最低含量标准,是可供工业利用的矿段或矿体的最低平均品位。国家主管部门对边界品位和最低工业品位的指标有一定的规定。

2.1.4 矿床

矿体及围岩的集合体称为矿床。矿床可由一个矿体或多个矿体组成。自然界的矿床种类繁多。按不同的条件,矿床表现不同的形式。

(1) 按矿床的成因划分

按矿床的成因,其可分为内生矿床、外生矿床和变质矿床。

内生成矿作用的热源主要来源于地球内部物质产生的热能,包括岩浆热能,放射性元素的蜕变能,地球重力场内物质调整过程中释放出来的位能,地表生物物质转入地球内部后在高压下发生脱水、矿物变化和物质变相过程中释放出来的能量等。这种作用称为内生成矿作用,形成的矿床称为内生矿床。

外生矿床一般是在温度和压力都较低条件下形成的。地壳表层裸露的原岩或原矿床,在太阳能的影响下发生大规模的风化,风化产物通过地表水、冰川、风力等的运搬,在一定的地质条件下沉积,使其中的有用成分富集成为矿床的地质作用,称为外生成矿作用,所形成的矿床称为外生矿床。外生成矿作用的能量除太阳能外,还有部分生物能和化学能。

内生成矿作用和外生成矿作用形成的岩石或矿床,由于地质环境的变化,特别是地区

域变质过程中温度和压力的增高,会使原来的矿物组成、化学成分、物理性质、结构和构造等发生不同程度的变化,甚至可使原来的矿床消失(如盐类矿床),或者重新组合富集成一种新矿床,这类矿床称为变质矿床。变质矿床一般是在温度和压力都较高的条件下进行的。

(2) 按矿体与围岩形成的先后划分

按矿体与围岩形成的先后,其可划分为同生矿床与后生矿床。同生矿床是指矿体与其围岩在同一地质作用下,于同一地质时期或近于同一地质时期形成的矿床,如沉积矿床;后生矿床是指矿体与其围岩在不同地质作用下,矿体的形成时期明显晚于围岩的形成时期的矿床,如侵入沉积岩中或充填于岩石裂缝中的脉状矿床。

(3) 按矿床的工业利用价值划分

按矿床的工业利用价值,其可分为工业矿床与非工业矿床。工业矿床是在目前技术经济条件下可以开采利用的矿床,非工业矿床是目前不能开采利用或尚不能开采利用的矿床。对于某些非金属矿床,工业上利用的就是岩石本身,所以工业矿床与非工业矿床的概念是相对的,且随着科学技术的不断发展可以改变。

(4) 按矿床中有用成分性质和用途划分

按矿床中有用成分性质和用途,其分为金属矿床、非金属矿床和可燃有机岩矿床。

2.2 矿石与围岩的主要性质

矿石与围岩的主要力学性质与物理化学性质有以下几个方面。

(1) 硬度

硬度是指矿岩抵抗工具侵入和爆破破碎的能力,与组成矿岩的颗粒硬度、形状、大小,晶体结构及颗粒间胶结物的状况有关,用普氏系数 f 表示。一般情况下,按照矿石和围岩的 f 值大小及其对回采工作的不同影响,矿石和围岩按硬度可分为以下几种。

①软矿岩: $f < 3 \sim 4$,如滑石、石膏、岩盐等矿层,开采时既可用电钻打眼爆破落矿,也可采用机械落矿。

②中硬矿岩: $f = 4 \sim 9$,开采时一般采用凿岩爆破法落矿。

③硬矿岩: $f > 10$,开采时只能采用凿岩爆破法落矿,而且凿岩和崩矿作业的工程量和费用占回采作业的比例较大。

(2) 坚固性

坚固性是指矿岩在机械破碎、炸药爆破等综合外力作用下抵抗破碎的性能。其大小常用坚固性系数 f 表示,即普氏硬度系数,反映岩石的极限抗压强度。目前国内常用矿岩的极限抗压强度表示。

$$f = \frac{R}{100} \quad (2-1)$$

式中 R ——矿岩单轴极限抗压强度, MPa。

(3) 稳固性

稳固性是指矿岩允许暴露的面积大小和时间长短的性能。稳固性与坚固性既相互联系, 又相互区别, 但不能混淆。一般节理发育、构造破碎地带, 矿岩的坚固性好, 但稳固性下降。稳固性对确定管理方法和选择采矿方法有重大的影响。矿岩按稳固性不同分为五种类型:

- ①极不稳固的矿岩, 矿岩不允许有不支护的暴露面积, 否则会出现片帮或冒落现象;
- ②不稳固的矿岩, 其允许的暴露面积在 10m^2 以内, 长时间暴露仍需支护;
- ③中等稳固的矿岩, 矿岩允许的暴露面积在 200m^2 以内;
- ④稳固的矿岩, 矿岩允许的暴露面积在 500m^2 以内;
- ⑤极稳固的矿岩, 矿岩允许的暴露面积为 $500 \sim 1000\text{m}^2$ 。

(4) 结块性

结块性是指采下的矿石遇水和受压后又联结在一起的性质。多数矿石采落后由于黏结性小不易结块, 但少数矿床(如黏土类矿床、石膏矿床、含有黏土成分的矿床和硫化物矿床)除外。矿石发生黏结, 部分是由于矿石本身具有黏结性, 如黏土矿和石膏矿, 而硫化物矿床的矿石是由于遇水后表面氧化, 产生硫酸盐薄膜, 受压后使矿石黏结在一起。矿石的结块性限制了某些采矿方法的使用, 给放矿、装载和运输等作业带来一定的困难。

(5) 氧化性

氧化性是指硫化矿石在空气和水的作用下, 转变为氧化矿石的性质。氧化后的矿石质量下降, 给选矿工作造成不利, 导致矿石中有用成分的回收率降低。

(6) 自燃性

自燃性是指硫化矿石中的硫与空气中的氧发生氧化作用并放出热量, 热量积聚到一定的浓度会引起自燃并导致井下发生火灾。一般含硫量达 $18\% \sim 20\%$ 以上的矿石具有自燃性。

(7) 含水性

含水性是指矿岩吸收和保持水分的性能。其与矿岩的孔隙度和节理存在的状况有关。矿岩的含水性影响其落矿、放矿、运输、提升及储存情况。

(8) 碎胀性

碎胀性是矿岩破碎后其体积比原岩状态下增大的性质。矿岩的碎胀性一般用碎胀系数表示(或用松散系数表示), 表示矿岩碎胀后的体积与原矿岩体积的比。一般情况下, 矿岩落矿后的一次碎胀系数范围为: 硬及极硬矿岩为 $1.45 \sim 1.80$, 中硬岩石为 $1.4 \sim 1.6$, 砂质黏土为 $1.2 \sim 1.25$; 当再装入容器中, 由于二次松散其碎胀系数可高达 $1.8 \sim 2.0$ 。

2.3 金属矿床的分类及工业特征

非煤矿床,特别是内生矿床和变质矿床,由于成因和成矿的地质环境复杂,矿石的种类,矿体的形状、厚度、倾角,矿石的围岩力学性质、物理化学性质等方面都与煤矿床存在一定的差别,具有独特的工业特征。

2.3.1 金属矿床的分类

金属矿床的矿体厚度及倾角,对矿床开拓和采矿方法的选择有直接的影响。因此,金属矿床,一般按其矿体形状、厚度和倾角三个因素(即矿体三要素)进行分类。

(1)按矿体形状分类

矿体形状是指矿体在空间的产出形态。其形态与矿床的成因、成矿地质环境关系密切。煤层的形状一般较简单,代表了沉积矿床的基本特点。非煤矿床,特别是内生矿床和变质矿床,其成因和成矿环境都比沉积矿床复杂,矿体的形态各异,按形状一般分为层状矿床、脉状矿床、块状矿床(透镜状与巢状矿床)等。

①层状矿床。

该矿体是一层一层的,多源于沉积或沉积变质矿床,其主要特点是矿床规模较大;矿床的品位、倾角和厚度变化不大,赋存较稳定,有用矿物成分及含量的分布较均匀,有利于矿床的开采。层状矿床多见于沉积和沉积变质矿床中的黑色金属矿床和一些非金属矿床。

②脉状矿床。

该类矿床主要是由于热液和气化作用,使成矿物质充填于岩体裂隙中生成的矿床。其主要特点是矿脉与围岩接触处有蚀变现象;矿体的赋存条件不够稳定,有时呈网状脉;有用矿物成分及含量不均匀,品位变化较大。一般有色金属、稀有金属及贵金属矿床多为脉状矿床。

③块状矿床(透镜状与巢状矿床)。

该矿床是由充填、接触交代、液态分离和氧化作用形成的矿床。其主要特点是矿床大小不一、形状变化不一,呈不规则的透镜状、巢状、矿株状等;矿体与围岩的界线不明显。常见的铜、铝、锌等有色金属矿床大多属于该类矿床。

(2)按矿体厚度分类

矿体厚度是指矿体上盘与下盘之间的垂直距离或水平距离。垂直距离称为矿体的真厚度(垂直厚度),水平距离称为矿体的水平厚度。急倾斜矿体常用水平厚度,倾斜、缓倾斜、水平矿体常用垂直厚度(一般情况下不加说明时,常指真厚度),二者关系为:

$$a = b \sin \alpha \quad (2-2)$$

式中 a ——矿体的垂直厚度,m;
 b ——矿体的水平厚度,m;
 α ——矿体的倾角,(°)。

按照矿体的厚度,其可分为极薄矿体、薄矿体、中厚矿体、厚矿体和极厚矿体五类,具体见表 2-1。

表 2-1

矿体按厚度分类

类型	厚度/m	备注
极薄矿体	<0.8	开采时要采一部分围岩,才能保证正常的工作宽度,用浅孔凿岩开采法
薄矿体	0.8~4	考虑近似水平的矿床,用木支护时支护高度不超过 4m,超过 4m 时支护作业的困难较大。在缓倾斜条件下,采用单分层进行回采;在倾斜和急倾斜条件下,回采时无须回采围岩
中厚矿体	4~15	一般情况下矿块沿走向布置,采用浅孔或中深孔回采
厚矿体	15~50	矿体沿走向布置或垂直布置,一般用深孔回采
极厚矿体	>50	一般采用深孔回采,矿块沿垂直走向布置,当厚度大于 50~60m 时,布置成两排垂直走向矿块,两排间留沿走向的矿柱

(3)按矿体倾角分类

矿体倾角一般分为真倾角和伪倾角。一般说的倾角为真倾角,是指矿体下盘接触面上的真倾斜线与其水平投影间的夹角,真倾角与伪倾角的关系为:

$$\tan \gamma = \sin \beta \tan \alpha$$

(2-3)

式中 γ ——伪倾角;
 β ——伪倾角线的水平投影线与走向线间的夹角;
 α ——真倾角。

按照矿体的倾角,其可分为水平和微倾斜矿体、缓倾斜矿体、倾斜矿体和急倾斜矿体四类,具体见表 2-2。

表 2-2

矿体按倾角分类

类型	角度/(°)	备 注
水平和微倾斜矿体	<5	使用有轨或无轨运搬设备直接进入采场运搬矿石
缓倾斜矿体	5~30	采用人力、电力或运搬机等机械设备运搬矿石
倾斜矿体	30~55	借助溜槽、溜板或外力抛掷等方法进行自重运搬矿石
急倾斜矿体	>55	利用矿石自重的重力运搬方法

从表 2-2 可以看出,矿体的倾角与采场的运搬方式有十分密切的关系,但按倾角的分类方法是相对的,随着无轨设备和其他现代化机械设备的推广应用,这种分类的界限会发生相应的变化,矿体的倾角同时也影响开拓方法和采矿方法的选择。

2.3.2 金属矿床的工业特征

目前,对矿床开采影响较大的工业特征主要有以下几个方面。

①矿床的赋存条件不稳定。矿体的厚度、倾角及形状等构成要素多变,即使是同一矿体内,在走向或倾向上,常出现较大的变化,同一矿区中的矿体常出现尖灭、分枝复合等现象。这就要求根据矿体的产状不同而采用不同的采矿方法,并且要求采矿方法本身具有一定的灵活性,能适应矿体产状变化,以便有效地采出矿石。

②矿石品位变化大。在矿体横断面、走向及倾角向上呈现出较大的变化。在矿体纵断面上,一般随深度的增加品位提高。

③地质构造复杂。矿体中常有断层、裂隙等地质构造穿越,特别是断层破碎给开采作业带来极不利的影响。

④矿石、围岩硬度大。这一特性给巷道掘进和凿岩落矿造成一定的困难。

⑤矿床的含水性。矿床中含水,影响采场工作面的作业环境,更给松散矿石的搬运和溜井放矿带来极不利的影响。