

金属矿山

露天转地下 开采理论与实践

JINSHU KUANGSHAN
LUTIAN ZHUAN DIXIA
KAICAI LILUN YU SHIJIAN

王运敏 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

金属矿山露天转地下 开采理论与实践

王运敏 著

北京
冶金工业出版社
2015

内 容 提 要

本书是根据作者多年的研究成果,参考国内外相关文献,系统地介绍了金属矿山露天转地下开采的理论研究成果与工程实践。内容包括露天转地下开采合理时机,露天转地下开采隔离层地质力学采矿特征和开采工艺以及覆盖层控制参数,露天转入地下开采过渡阶段采场稳定性安全评价,矿山防灾变微震监测与预报技术,露天转地下开采适用条件和技术经济指标等理论和工程实践应用技术。

本书可供从事矿山工程技术研究、设计、教学与生产技术管理的人员阅读,也可作为高等学校相关专业教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

金属矿山露天转地下开采理论与实践/王运敏著. —北京:
冶金工业出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-5024-7013-5

I. ①金… II. ①王… III. ①金属矿开采—研究 IV. ①TD85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 226364 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨秋奎 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7013-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京博海升彩色印刷有限公司印刷

2015 年 9 月第 1 版, 2015 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 19.75 印张; 478 千字; 302 页

100.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

序 言

王运敏教授等多位学者所著的《金属矿山露天转地下开采理论与实践》一书，全面总结了我国近十年来有关金属矿山露天转地下开采技术研究成果和工程实践。

作者依据国内外相关研究技术成果和工程实践，凝练成露天转地下开采技术，在内容取舍、理论论述、技术评述等方面，具有独特观点，书中系统归纳和阐明了露天转地下开采合理时机，露天转地下开采隔离层地质力学采矿特征和开采工艺以及覆盖层控制参数，露天转入地下开采过渡阶段采场稳定性安全评价，矿山防灾变微震监测与预报技术，露天转地下开采适用条件和技术经济指标等理论和实践工程应用技术。

作者结合海南铁矿、杏山铁矿、石人沟铁矿、峨口铁矿、眼前山铁矿等露天转地下开采工程实例，从突出理论分析、公式计算和优缺点评价等方面，重点叙述了露天转地下开采生产能力衔接、露天转地下开采安全风险评估、露天转地下开采工艺顺序等技术参数。

本书可作为非煤矿山行业工程技术人员工程应用参考，也可作为矿业类高校教学辅导教材。

中国工程院院士 **古德生**
中南大学教授

2015年1月

前 言

埋藏浅且延伸较大的矿床可分为三个阶段开采，即沿垂直方向将矿体分为上、中、下三层，上层用露天方式开采，中层（又称过渡层）用露天转地下方式开采，下层用地下方式开采。



为了使矿床露天开采阶段向地下开采阶段的平稳过渡，设计时应将矿床开采周期的三个阶段进行整体规划、统一全面规划。在露天向地下开采过渡时，不仅要考虑利用露天开采的开拓运输系统，而且还应尽可能利用露天开采的相关工程和设施。

露天转地下开采是指在一段时间内露天开采与地下开采同时在同一矿床中进行，即过渡层开采。由于大型露天采场已形成 300~400m（甚至 500~600m）高的陡峭边坡，在其下部进行大规模采矿，尤其是当地下开采采用的大产能的崩落采矿法时，地采崩落区和深凹露天采场贯通连成一体，给地下采矿带来了严重的安全问题：一是露天采场与地下采场之间的安全境界矿柱的失稳，将会对地下采场造成灾难性事故；二是地下开采形成的采空区围岩失稳，引发露天边坡的连贯失稳滑坡，严重威胁地下采矿的安全；三是露天采场大面积汇水或地下采场突水，将会造成严重的淹井矿难事故。这些问题严重制约露天矿下部资源的开发。同时，由于这些矿山在设计时没有对矿床进行统筹规划，何时转为地下开采，如何实现平稳转换，怎样保证露天、地下开采的产量均衡，露天地下工程如何相互利用，这些关键技术难题都没有得到解决。因此，何时过渡，怎么过渡，安全性如何，是过渡层主要的技术内涵。对于露天开采役龄 10~20 年的中小型矿山，露天开采设计和地下开采设计应同时进行；对于露天开采役龄 20~30 年的大型矿山，在露天开采设计时要进行矿床整体规划；在露

天矿闭坑前 8 年左右（特大型矿山 15 年左右）时间，矿山应编制过渡规划和地下开采设计。

因基建施工与生产相互干扰，增加了露天转地下阶段开采的复杂性，主要表现在：

(1) 过渡期开采的建设周期和生产衔接。露天转地下过渡阶段，地下矿建设，采矿工艺更替，矿山安全类型变化，各种开采因素的不确定性增强，如不提前对矿山编制统筹兼顾的过渡规划，确定过渡开采的建设周期，选择过渡方案，矿山露天和地下生产无法有效衔接，矿山将面临停产过渡。

(2) 过渡期的回采顺序。除应遵循地下开采的回采顺序外，露天转地下开采矿山过渡期开采，还应注意解决如下问题：

1) 为满足矿山产量要求，维持矿山持续生产，应超前进行边坡下矿体开采。

2) 避免形成地压集中，影响露天与地下的生产安全，一般应采用两端矿体向边坡（或中央）方向后退式回采顺序。

3) 多品种的矿山，应使各品种的矿石产量和品位能保持均衡出矿。

4) 采用崩落法回采的露天转地下矿山，初期生产应与露天开采的回采顺序一致，保持一定的安全距离（80~100m），尾随露天矿进行回采。

(3) 过渡期的安全。

1) 为防止露天爆破对地下井巷和采场的破坏作用，在地下工程与露天坑底之间应保持足够的距离；临近露天底的穿爆作业不要超深；控制露天爆破的装药量；采用分段微差爆破、挤压爆破等减震措施；避免使用硐室爆破，防止露天与地下爆破的相互影响。

2) 为防止过渡期的地下作业影响露天作业的安全生产和正常进行，应注意与露天采场作业的密切配合，研究合理的开采顺序。露天矿边坡下的回采，采用由两端向边坡推进的开采顺序，露天坑底与地下采场之间留有必要的境界顶柱和矿柱。

3) 建立必要的岩石移动观测队伍，掌握一定的岩移观测手段，掌握地下采空区上覆岩层的移动规律，确保作业安全。

4) 在地表应采取措施如布设防洪堤、截水沟等拦截地表水，防止其经露

天坑涌入井下；连通露天与地下的井巷或采空区要采取封堵等措施；必要时，设置防水闸门；确保水泵正常运转和防止泥沙水突然溃入井下。

过渡期是指矿山从露天开采全面过渡到井下开采之间的这段时间，过渡期生产既要充分利用露天现有开拓系统，又要尽量减少对露天生产的影响。露天开拓运输系统、过渡期开拓运输系统及转入井下开拓系统的合理衔接，露天转地下开采的安全等问题，都是过渡期必须解决的重要技术问题。其核心观点是在开发一个矿床过程中将不同的工艺与技术最有效地结合起来，解决用地下或露天单独开采都不合理的矿床开采技术，构建露天和地下两种开采工艺为一体的综合性技术。

我国大中型铁矿多数为倾斜和急倾斜矿体，过去一般将矿床分成露天开采或地下开采单元，而对露天向地下开采过渡开采的合理时机和技术经济指标缺乏矿床开采独立的整体考虑，造成矿山投资增加，开采效能低。

露天转地下开采技术在国外研究较早，取得了一些可借鉴的经验，如瑞典的基鲁纳铁矿、南非的科菲丰坦金刚石矿、加拿大的基德格里克铜矿、芬兰的皮哈萨尔米铁矿、俄罗斯的阿巴岗斯基铁矿、澳大利亚的蒙特莱尔铜矿等，主要是根据矿床地质条件、生产能力衔接、经济和环境要求等因素，选择最优的开拓系统和转入地下采矿时机，以及露天与地下开采作业的顺序方法及安全措施等。表现在两个方面：一是采矿技术，包括开拓方案及系统、开采顺序、采矿方法、工艺参数、装备水平等；二是转入地下开采过渡期间的安全技术，包括地质力学研究、采空区应力应变关系及发展变化、露天边坡稳定分析、隔离层厚度计算、露天边坡加载技术和充填技术参数等。

我国从 20 世纪开始露天转入地下开采的矿山不断增加，如海南铁矿、杏山铁矿、石人沟铁矿、峨口铁矿、眼前山铁矿等，积累了丰富的经验，特别是在露天转地下开采过渡合理时机和产能平稳衔接、露天转地下开采应力场分布及边坡沉陷机理、微震监测技术与方法、露天转地下开采安全风险评估、露天转地下开采地质灾害治理、露天转地下开采工艺参数等关键技术方面成果斐然。国内外露天转地下开采矿山的经验表明，当矿山充分利用露天与地下开采的有利工艺特点时，统筹规划露天与地下开采的工程布置，可以使矿山的基建投资

降低 25% ~ 50%，生产成本降低 25% 左右。

本书总结了国内外相关研究技术成果和工程实践，凝练成露天地下三阶段开采技术体系，系统地阐明露天转地下开采技术，露天转地下开采平稳过渡合理时机，采矿地质力学特征和开采工艺技术，覆盖层参数与安全控制，转入地下过渡期工艺参数与采场稳定性安全评价，灾变防控监测与预报技术，使用条件和技术经济指标等内容。

本书在编撰过程中，得到了“十二五”国家科技支撑计划课题“特大型露天铁矿高效开采技术研究”（编号：2011BAB07B01）和“缓倾斜薄矿体铬矿开采关键技术及装备研究”（编号：2011BAB07B02）的理论和技术支持。

著 者

2015 年 1 月

目 录

1 露天开采概要	1
1.1 露天开采境界与优化	1
1.1.1 露天开采境界圈定	1
1.1.2 剥采比的计算方法	3
1.1.3 露天境界优化	8
1.2 开采步骤与采区划分	14
1.3 分期开采	15
1.3.1 应注意的问题	16
1.3.2 统一规划并分期实施	16
1.3.3 境界圈定和开拓运输系统	17
1.3.4 安全生产	17
1.3.5 技术实例	17
1.4 陡帮开采	34
1.4.1 工艺原理	34
1.4.2 陡工作帮的形成	34
1.4.3 陡工作帮的作业方式	35
1.4.4 应用陡帮开采的有关问题	40
2 露天转地下开采平稳过渡衔接	42
2.1 露天转地下开采分界线	42
2.1.1 露天转地下开采分界线确定方法	42
2.1.2 露天转地下开采分界线三维可视化确定	58
2.2 露天转地下开采地下矿建设时间	61
2.2.1 基建准备时间	62
2.2.2 基建时间	62
2.2.3 投产至达产时间	63
2.3 露天转地下开采平稳过渡的时机	64
2.3.1 确定原则	64
2.3.2 时空网络图确定方法	64
2.4 露天转地下开采开拓系统	66
2.4.1 开拓系统选择	66

2.4.2	开拓系统衔接	72
2.5	露天转地下开采生产能力衔接	75
3	露天转地下开采过渡期采矿方法	79
3.1	空场采矿法过渡工艺	79
3.1.1	阶段矿房采矿法	79
3.1.2	预留境界顶柱分段空场阶段出矿法	80
3.1.3	不留境界顶柱分段空场阶段出矿法	82
3.1.4	浅孔留矿采矿法	82
3.1.5	空场采矿法底部结构优化	83
3.1.6	空场采矿法矿柱的回采及空区的处理	85
3.1.7	空场法过渡期应用评价	87
3.2	崩落采矿法过渡工艺	87
3.2.1	覆盖层合理厚度	87
3.2.2	覆盖层形成途径及方法	92
3.2.3	无底柱分段崩落采矿法	94
3.2.4	有底柱分段崩落采矿法	95
3.2.5	阶段崩落采矿法	96
3.3	充填采矿法过渡工艺	97
3.4	露天矿残留矿柱(体)的回采	99
3.4.1	露天边帮残留矿体的回采	99
3.4.2	露天底残留矿柱的回采	101
3.4.3	露天残留三角矿柱的回采	103
4	露天转地下开采应力场分布及边坡沉陷机理	104
4.1	露天转地下开采沉陷类型及机理	104
4.1.1	露天转地下开采地表沉陷的类型	104
4.1.2	崩落法放矿沉陷机理	104
4.1.3	空场法沉陷机理	104
4.1.4	地表移动带、陷落带的确定	105
4.2	露天转地下开采边坡破坏类型和极限平衡计算模型	106
4.2.1	露天转地下开采对边坡稳定性的影响	106
4.2.2	露天转地下开采边坡破坏模式	106
4.2.3	露天转地下开采边坡破坏主要极限平衡计算模型	106
4.3	露天转地下开采边坡岩体的强度准则	115
4.4	空场法矿柱因应力集中造成的抗剪能力衰减规律	118
4.5	露天转地下开采应力场	119

4.5.1	应力场变化规律	119
4.5.2	应力场演化 FLAC ^{3D} 计算理论及方法	119
5	露天转地下开采过程的微震监测	123
5.1	露天转地下开采诱发的微震活动	123
5.2	微震监测技术原理	126
5.2.1	监测系统简介	126
5.2.2	监测系统的组成及其主要功能	127
5.3	监测系统操作方法	129
5.3.1	模型导入	129
5.3.2	事件时间范围查看	130
5.3.3	事件处理	131
5.3.4	信号实时采集与记录	132
5.3.5	HNAS 中连续数据的人工处理	133
5.3.6	数据过滤及报告生成	134
5.3.7	远程网络传输及 MMS - View 的使用	134
5.3.8	监测系统常见操作问题	140
5.4	石人沟铁矿微震监测实例	141
5.4.1	采场稳定性分区	142
5.4.2	监测系统方案	150
5.4.3	监测信号抗干扰	158
5.4.4	监测数据采集与传输	160
5.4.5	监测数据预处理	165
5.4.6	微震监测结果解析	171
6	露天转地下开采风险控制安全技术	193
6.1	露天转地下开采重大危险有害因素辨识	193
6.1.1	露天边坡极限破坏	193
6.1.2	地下巷道与采场失稳	194
6.1.3	爆破震动致灾	195
6.1.4	地下突水与泥石流	195
6.1.5	覆盖层和境界顶柱安全结构弱化	196
6.1.6	其他危险、有害因素	198
6.2	露天转地下开采安全评价	198
6.2.1	露天边坡防护安全评价方法	198
6.2.2	覆盖层和境界顶柱安全评价	211
6.2.3	地下采场稳定性评价	218

6.3	矿山岩体动力灾害预测预警	219
6.3.1	岩体安全程度评价和预测	219
6.3.2	矿山动力灾害预测预警	221
6.4	基于微震监测系统的人员搜救和应急救援	227
7	露天转地下开采防排水	230
7.1	露天矿防排水	230
7.1.1	露天矿防水	230
7.1.2	露天矿排水	232
7.2	地下矿防排水	234
7.2.1	矿坑涌水量	234
7.2.2	附加涌水量	235
7.3	地面与井下的综合防护措施	238
7.3.1	地面防护措施	239
7.3.2	井下防护措施	239
7.4	露天转地下开采应急水仓	240
7.4.1	应急水仓的概念	240
7.4.2	应急水仓应达到的效果	240
7.4.3	应急水仓基本原理及实施方案	241
7.4.4	应急水仓形式与建设投入	243
8	矿山地质灾害治理与生态恢复	245
8.1	矿山地质环境影响评估	248
8.1.1	露天转地下开采地质灾害种类	248
8.1.2	采矿活动对生态环境的破坏	251
8.2	矿山地质灾害治理技术	252
8.2.1	露天采场边坡治理	252
8.2.2	地面塌陷区的治理	257
8.3	生态环境恢复策略研究	258
8.3.1	基本原则——核心价值观的确立	258
8.3.2	技术保证——多专业技术的支撑	260
8.3.3	运行保障——管理与维护机制的构建	266
9	国内外露天转地下开采实例	268
9.1	国外露天转地下开采实例	268
9.1.1	瑞典 Kiruna 铁矿	268
9.1.2	俄罗斯盖斯克铜矿	272

9.1.3 加拿大 Kidd Creek 矿	273
9.1.4 俄罗斯克里沃罗格矿区	275
9.2 国内露天转地下开采实例	276
9.2.1 海南联合矿业北一采区	277
9.2.2 河北钢铁集团石人沟铁矿	280
9.2.3 太钢集团峨口铁矿	284
9.2.4 首钢矿业杏山铁矿	292
9.2.5 鞍钢眼前山铁矿	296
参考文献	302

1 露天开采概要

1.1 露天开采境界与优化

1.1.1 露天开采境界圈定

露天开采境界由露天采场底平面边界、最终边坡及开采深度三个要素组成，由露天采矿设计根据地质资料及合理的技术经济指标在矿体中圈出。

遵循不同的境界圈定原则，可以圈定各种形态、大小不一的露天开采境界，反映在矿山开采年限、基建投资、建设期限、生产经营费用也各不相同。露天开采境界一旦确定之后，境界内的矿石量、剥离量即确定，露天矿的生产能力、开采年限、矿床开拓及总图运输也会受到影响，对整个矿床开采的经济效果产生深远影响。因此，合理确定露天开采境界，是露天采矿的一项重要工作。

露天开采境界，受许多因素影响，大体上为以下三大类：

- (1) 矿体产状及自然条件等因素。
- (2) 基建投资，基建期限，矿石成本，设备供应情况，以及经济因素。
- (3) 矿山附近的河流、公路和铁路干线、重要建筑和构筑物、自然生态保护对露天开采境界的影响等组织技术因素。

上述诸因素，对露天开采境界大小的影响程度，各不相同，应综合考虑。一般情况下，露天开采境界主要是根据经济因素确定。

露天开采，随着矿石的不断采出，要不断地剥离大量废石。如图 1-1 所示，随着露天开采境界由 $abcd$ 扩展到 $a'b'c'd'$ ，可采矿量从 A_1 增加到 $A_1 + A_2$ ，需要剥离的岩石量也从 V_1 增加到 $V_1 + V_2$ ，可见，露天开采境界与岩石剥离量和可采矿量密切相关。

剥离岩石量和可采矿石量之比叫剥采比，表示露天采矿场采出单位矿石需要剥离的岩石量，以 m^3/m^3 、 m^3/t 或 t/t 为单位。

剥采比是反映露天采矿的重要经济指标，用于确定露天开采境界。下面介绍的几种剥采比，从不同角度反映了露天开采的剥离关系。

(1) 平均剥采比 n_p (图 1-2a)：露天开采境界内岩石剥离总量与矿石总量之比。

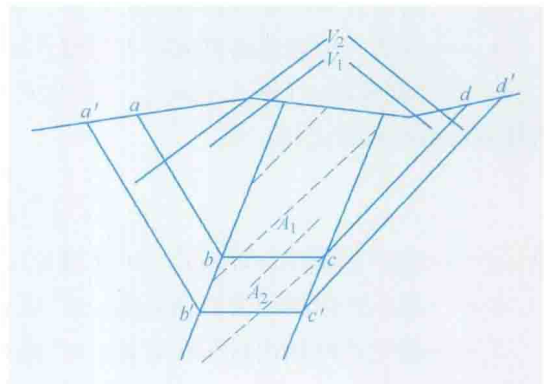


图 1-1 露天开采境界影响岩石剥离量和采矿量示意图

$$n_p = \frac{V_p}{A_p} \quad (1-1)$$

式中 n_p ——平均剥采比, m^3/m^3 、 m^3/t 或 t/t ;
 V_p ——露天开采境界内岩石剥离总量, m^3 或 t ;
 A_p ——露天开采境界内矿石总量, m^3 或 t 。

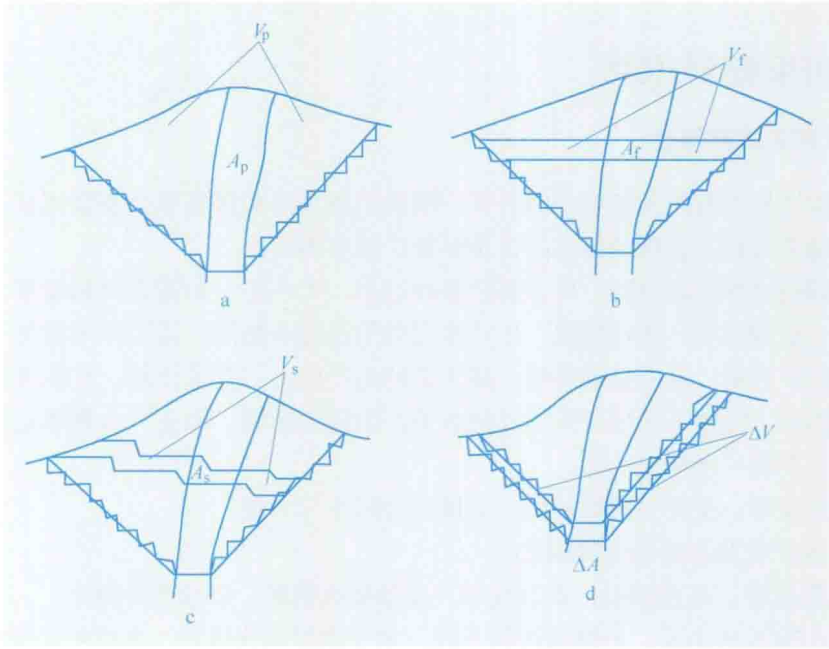


图 1-2 各种剥采比示意图

a—平均剥采比; b—分层剥采比; c—生产剥采比; d—境界剥采比

(2) 分层剥采比 n_r (图 1-2b): 露天开采境界内分层岩石剥离量与分层矿石总量之比。

$$n_r = \frac{V_r}{A_r} \quad (1-2)$$

式中 n_r ——分层剥采比, m^3/m^3 、 m^3/t 或 t/t ;
 V_r ——露天开采境界内岩石剥离总量, m^3 或 t ;
 A_r ——露天开采境界内可采矿石总量, m^3 或 t 。

(3) 生产剥采比 n_s (图 1-2c): 一定生产时期内 (如一年内) 露天开采境界内岩石剥离量与可采矿石量之比, 即

$$n_s = \frac{V_s}{A_s} \quad (1-3)$$

式中 n_s ——生产剥采比, m^3/m^3 、 m^3/t 或 t/t ;
 V_s ——某生产时期内岩石剥离量, m^3 或 t ;
 A_s ——某生产时期内可采矿石量, m^3 或 t 。

(4) 境界剥采比 n_j (图 1-2d): 露天矿不改变最终边坡角条件下, 延深 ΔH 深度 (一般为一个台阶高度) 后增加的岩石剥离量和可采矿石量之比, 叫深度 H 的境界剥采比。

$$n_j = \frac{\Delta V}{\Delta A} \quad (1-4)$$

式中 n_j ——境界剥采比, m^3/m^3 、 m^3/t 或 t/t ;

ΔV ——露天开采境界延深后增加的岩石剥离量, m^3 或 t ;

ΔA ——露天开采境界延深后增加的可采矿石量, m^3 或 t 。

随着露天开采境界的延深与扩大, 可采矿石量虽然可随之增加, 但岩石剥离量也相应增加, 而且增加幅度比前者大, 也就是说, 随着露天开采境界的扩大, 上述各种剥采比也增大。

确定露天开采境界的基本原则是确定一个剥采比不超过经济合理剥采比的开采境界。在露天采矿设计中, 普遍采用境界剥采比不超过经济合理剥采比作为确定露天开采境界的原则。按照这个原则确定的露天开采境界通常也能满足平均剥采比不大于经济合理剥采比的要求。但是对于某些覆盖层很厚或不连续的矿体, 则需要用平均剥采比不大于经济合理剥采比的原则去校核。

1.1.2 剥采比的计算方法

1.1.2.1 用地质横剖面图法确定境界剥采比

对于走向长度大的倾斜、急倾斜矿体, 一般按地质横剖面图计算境界剥采比。其计算方法有面积比法和线段比法。

A 面积比法

如图 1-3 所示, 在地质横剖面图上作通过境界深度 H 和 $H-h$ 的水平线。通常取 h 等于台阶高度。按照确定的露天矿底宽和顶、底盘帮坡角, 绘出开采境界线, 初期境界 $ABCD$, 延深 Δh , 境界变为 $IJKL$, 矿石面积增量 ΔS , 岩石面积增量为 $\Delta S_1 + \Delta S_2$, 且 $\Delta S = m\Delta h$ 、 $\Delta S_1 = L_1 h_1$ 、 $\Delta S_2 = L_2 h_2$ 。

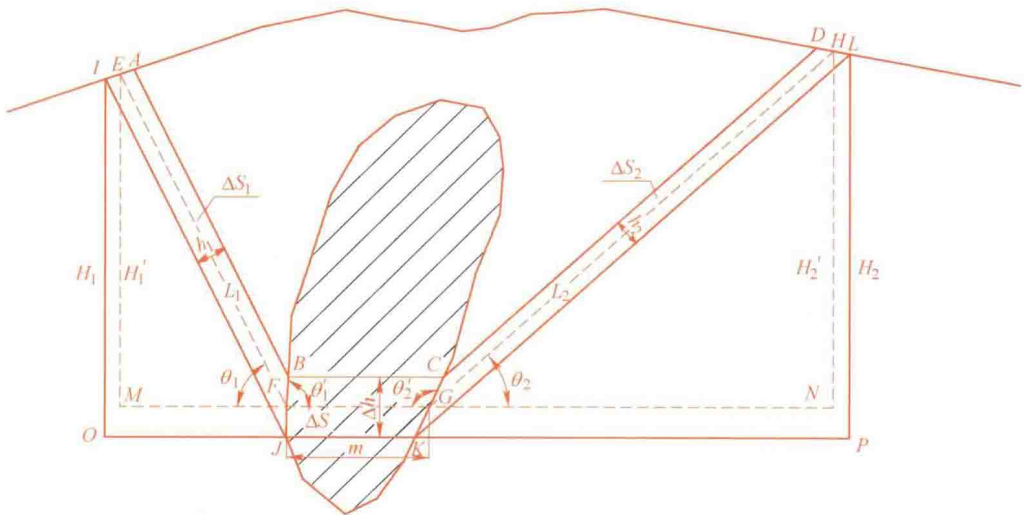


图 1-3 面积比法求境界剥采比

计算境界剥采比 $n_j(\text{m}^3/\text{m}^3)$ 。

$$n_j = \frac{\Delta S_1 + \Delta S_2}{\Delta S} \quad (1-5)$$

在 $\triangle EMF$ 中

$$L_1 = \frac{H'_1}{\sin\theta_1} \quad (1-6)$$

在 $\triangle HNG$ 中

$$L_2 = \frac{H'_2}{\sin\theta_2} \quad (1-7)$$

根据平行线原理, 可推出

$$h_1 = \frac{\Delta h \sin(\theta_1 + \theta'_1)}{\sin\theta'_1} \quad (1-8)$$

$$h_2 = \frac{\Delta h \sin(\theta_2 + \theta'_2)}{\sin\theta'_2} \quad (1-9)$$

将式(1-6)~式(1-9)代入式(1-5)得出境界剥采比计算公式。

$$\begin{aligned} n_j &= \frac{L_1 h_1 + L_2 h_2}{\Delta h \cdot m} = \frac{\frac{H'_1}{\sin\theta_1} \cdot \frac{\Delta h \sin(\theta_1 + \theta'_1)}{\sin\theta'_1} + \frac{H'_2}{\sin\theta_2} \cdot \frac{\Delta h \sin(\theta_2 + \theta'_2)}{\sin\theta'_2}}{\Delta h \cdot m} \\ &= \frac{H'_1(\cot\theta_1 + \cot\theta'_1) + H'_2(\cot\theta_2 + \cot\theta'_2)}{m} \end{aligned} \quad (1-10)$$

面积比法求算面积的工作繁琐, 为简化计算过程, 可用线段比法来计算境界剥采比。

B 线段比法

单一矿体的境界剥采比计算如图1-4所示, 在地质横剖面图上作通过境界深度 H 和 $H-h$ 的水平线, 确定开采深度由 E' 降至 E 。连接开采深度为 H 和 $H-h$ 的坡底线 $E'E$ (或顶、底盘边坡线交点 $O'O$), 作为基线(投射方向线); 按照选取的最终边坡角和露天底宽, 绘出深度 H 和 $H-h$ 的底 EF 和 $E'F'$ 以及顶、底盘边坡线。一般力求底盘边坡线 AO 上的矿岩线段长度比等于顶盘边坡线 DO 上的矿岩线段长度比。通过地表境界点 A 、 D 的边坡线与矿体交点 B 、 C , 分别作 $E'E$ (或 $O'O$)的平行线 AA' 、 DD' 、 BB' 、 CC' 与深度为 H 的水平线相交于 A' 、 D' 、 B' 、 C' , 则

$$n_j = \frac{A'B' + C'D'}{B'C'} \quad (1-11)$$

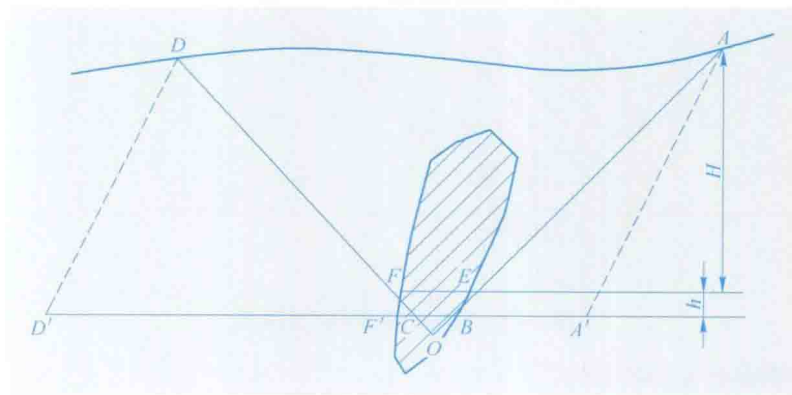


图1-4 线段比法求境界剥采比