

矿床开采中 矿石的损失与贫化



冶金工业出版社

内 容 提 要

本书从矿体圈定、采矿方法的选择、完善矿块的底部结构、控制放矿、改善矿山质量管理、及时回采矿柱和处理空区、进行矿石损失与贫化的计算以及降低采矿损失贫化和保护矿产资源的其他措施等方面论述了降低采矿损失贫化的问题,列举了一些矿山实例,介绍了它们在降低采矿损失贫化方面的经验和所取得的效果。

本书可供矿山生产、设计、科研等部门的工程技术人员、管理干部和高等院校有关专业师生参考。

矿床开采中矿石的损失与贫化

陈 尚 文 编 著

责任编辑 赵树莉

冶金工业出版社出版
(北京北河沿大街嵩祝院北巷69号)

新华书店北京发行所发行

山西新华印刷厂排版

冶金工业出版社印刷厂印刷



850×1168 1/32 印张12 $\frac{1}{8}$ 插页2 字数319千字

1988年7月第一版 1988年7月第一次印刷

印数00,001~2,600册

ISBN 7-5024-0242-X

TD·39 定价: 3.65元

前 言

建国以来，在党的领导下我国的矿产资源和开发工业得到了迅速的发展。已经找到或探明了130余种矿产，铁矿石产量从1949年的60万吨增加到1980年的1.1亿吨，年平均增长率达18.3%；有色金属矿石产量从解放初至1978年的29年间，年平均增长率达15.5%。矿山建设和矿产加工业如冶金、化工、建材、煤炭、石油等工业也都有了很大发展，为我国的现代化建设提供了原材料和燃料的坚实基础。但是，也应该看到，在当前矿产资源开采中，由于生产管理工作跟不上，矿山技术落后，生产地质工作薄弱，采矿方法选择不当，施工质量不高，放矿控制与检查不严，遗留的大量矿柱采不出来，致使采矿损失和贫化十分严重，选矿回收率低，综合开发与综合利用差。这些问题如不及时解决，必将严重地影响矿山生产发展，浪费国家的宝贵矿产资源。降低矿床开采中矿石的损失与贫化，已成为当前矿山生产中的一个突出问题。

作者有鉴于此，比较系统地整理了国内外金属矿产资源开采中有关合理开发矿产资源、降低采矿损失、贫化方面的资料和室内模拟试验研究成果，并针对我国矿产资源开采中存在的问题，探讨了降低采矿损失贫化的措施，希望能对矿产资源开发工作起一些积极的作用。

在编写过程中，承蒙有关单位提供了大量的资料，并给予热情的支持与帮助。北京钢铁学院苏宏志副教授，对此书提出了宝贵意见；长沙矿山研究院技术情报研究室有关同志，曾为本书的编写工作给予了帮助，在此一并致以深切的谢意。

作者水平有限，加以编写时间仓促，书中错误之处，请批评指正。

作 者

1984年于长沙

目 录

第一章 概论.....	(1)
第一节 金属矿产资源开发利用现状.....	(1)
第二节 降低采矿损失贫化的技术经济意义.....	(11)
第二章 矿体圈定.....	(17)
第一节 矿体圈定和储量计算的一般概念.....	(17)
第二节 矿体边界圈定的基本原则和方法.....	(21)
第三节 矿体的二次圈定.....	(29)
第四节 圈定矿体应注意的问题.....	(49)
第三章 采矿方法的选择	(51)
第一节 影响采矿方法选择的主要因素.....	(52)
第二节 采矿方法的选择.....	(53)
第四章 矿块的底部结构	(71)
第一节 矿块底部结构的选择.....	(71)
第二节 矿块的底部结构及其使用效果.....	(76)
第三节 矿块底部结构参数的计算方法.....	(100)
第五章 控制放矿.....	(111)
第一节 有底柱崩落采矿法的放矿	(114)
第二节 无底柱分段崩落采矿法的放矿	(152)
第三节 留矿采矿法的放矿.....	(178)
第六章 改善矿山质量管理.....	(184)
第一节 加强矿石质量管理.....	(185)
第二节 矿山工作质量管理.....	(222)
第三节 矿山质量管理实例.....	(234)
第七章 回采矿柱和处理空区.....	(238)
第一节 概述.....	(238)
第二节 矿柱回采.....	(240)

第三节 空区处理	(276)
第八章 矿石损失与贫化的计算及经济评价	(296)
第一节 概述	(296)
第二节 矿石损失与贫化的计算	(300)
第三节 关于矿石损失和贫化的经济评价	(315)
第四节 矿石损失与贫化的统计上报和管理工作	(322)
第九章 降低采矿损失贫化保护矿产资源的其它途径	(331)
第一节 实行综合开发扩大矿山矿产资源	(331)
第二节 发展溶浸采矿变废为宝	(335)
第十章 典型矿山实例	(349)
一、白松铜矿(美国)深部矿体开采	(349)
二、洛林矿区铁矿(法国)的开采	(351)
三、凡口铅锌矿应用VCR法回采矿柱	(354)
四、良山铁矿的开采	(355)
五、沃诺斯多金属矿(芬兰)的开采	(358)
六、克利马克斯钼矿(美国)的开采	(360)
七、基律纳铁矿(瑞典)的开采	(362)
八、五一铁矿(苏联)的开采	(364)
九、列瓦克铜镍矿(加拿大)的矿柱开采	(367)
十、盖依斯克黄铜矿(苏联)的开采	(369)
主要参考文献	(370)

第一章 概 论

第一节 金属矿产资源开发利用现状

一、矿产资源开发利用概况

矿产资源是自然资源中的一个重要组成部分，是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础。目前，钢铁、有色和稀有金属在工农业生产和人们日常生活中的应用范围日益扩大，人类对矿物原料的需求量不断地增长。

据资料统计，从1950年至1979年的30年中，世界铁矿石产量由2.5亿吨增长到8.97亿吨，增长了2.5倍，年平均增长率大于4.3%。从1950年以来的四分之一世纪中，世界人口增长了53%，而主要矿物原料及主要产品的消耗量却增长了两倍多。1976年，世界矿物资源的年开采量为120亿吨，若包括废石在内，开采总量达1000亿吨。从1951年以来的20年中，发展中国家矿物资源利用的增长速度大大超过美国，见表1—1。除苏联和少数一些国家之外，多数工业发达国家的矿产资源主要依赖进口，而发展中的国家则是矿产资源的供应基地。图1—1表明美国有近二

表 1—1 1951~1970年金属矿产资源利用的年平均增长率(%)

名 称	美 国	整个资本主义国家	发展中国家
铅	7.4	9.2	17.8
硫	3.5	5.6	15.1
铁矿石	1.6	6.2	14.4
锌	2.3	4.9	12.1
能 源	4.6	4.8	8.4
钢	2.7	6.2	8.2
铜	2.5	4.7	7.6

十种矿物总消耗量的一半以上依赖进口，其中钶、钴、锰、钛（金红石）、钽、铝土矿、铬、铂族金属和石棉等，总消耗量的80~100%依靠进口。从图中同时可以看出，进口主要来自发展中国家。图1—2表示1979年美国主要的金属矿物原料纯进口的百分数，同时也给出了1975~1978年日本、欧洲经济共同体、苏联和东欧等主要国家的材料。从图中可以看出日本和欧洲经济共同体有许多战略矿物原料比美国更依赖于进口，东欧和苏联则比较能够自给〔8〕。

地下矿产资源总是有限的，世界各国为了确保本国具有足够的矿产资源，都在致力于研究和建立更为合理的矿物采掘、加工处理及消耗使用制度，以降低矿产资源的消耗速度，提高其经济效益。

矿产资源具有不同于其它自然资源的特点。对于这些特点有了正确的认识，才能更有效而合理地开发利用矿产资源〔162,163〕。

第一个特点是矿产资源的采后不可再生性。也就是说，矿产资源是有限的，一旦被开采之后，在人类历史的相对短暂时期内绝大多数不可能再自然生长出来。正因如此，我们必须采取保护的方针，有计划地合理地开采利用，以发挥其最大经济效益。如果乱采滥用，任其浪费，会使国家的宝贵资源受到损失。

第二个特点是矿产资源的综合性，就是说矿产资源大都不是单一的组分，而通常是多种组分共生或伴生的复合体。在许多复合矿石中，共生或伴生组分常具有重要的经济价值，这可从苏联学者勒·阿·巴爾斯基等分别根据不同有色金属矿石类型，运用经济数学方法的分析结果说明（见表1—2）〔1〕。矿产资源赋存的这一特点，决定了在开发矿产资源中要综合开发，使伴生的有用组分得到充分利用。

第三个特点是矿产资源分布的不均匀性。地质条件及其构造的变化决定了世界各地矿产资源盈缺不齐，贫富不均。世界上任何国家和地区，从矿产资源来说，都有它的短线和不足之处；即使是同一矿产，其矿石的品位高低、成分和结构也不尽一样。在

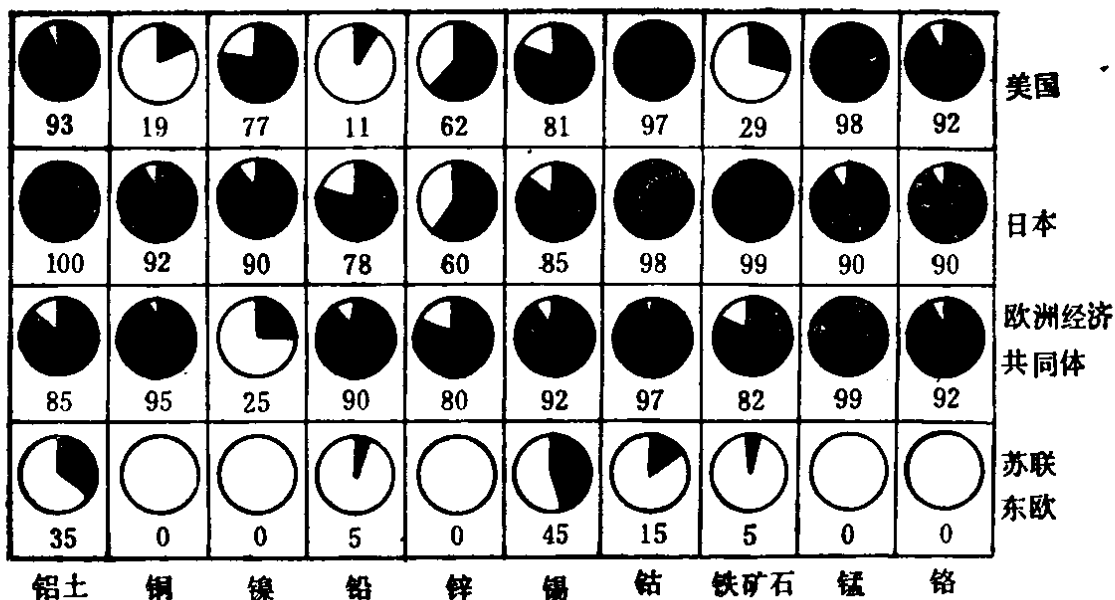


图1—2 1979年美国纯进口矿物占矿物总消耗的百分比〔3〕

缺少资源的情况下，固然要采取保护的措施，有计划地开采利用；而在某种矿产资源比较充裕的情况下，也有出口、调剂和交换、支援等任务，不能乱采滥用而浪费矿产资源。

表 1—2 伴生组分经济价值表〔1〕

矿石类型	主要成分	伴 生 组 分	伴生组分价值占原料总价值的（%）
多金属矿	Pb Zn Cu	S Cd Au Ag In Te Ga Bi Sb Hg Co Ba Se Ge	38
铜 矿	Cu	S Au Ag Cd Re Se Te	44
铜-锌矿	Cu Zn	S Au Ag Cd Se Te In Ge Ti	50
铜-钼矿	Cu	Mo S Au Ag Re Se Te Cd	45
硫化镍矿	Ni Cu	Co S Pt Pd Ru Os Tr Au Ag Se Te	34
霓 石	Al	Na K Ga Si	28
明 矾 石	Al	Na K S Ga Si V	44

第四个特点是矿产资源赋存隐蔽、成分复杂多变，因而在对其勘探、评价、开发利用过程中，必然伴随着不断地探索、研究并有不同程度的风险。现代采矿工业发展的特点就是开采品位日益低贫，开采条件日趋困难，地质勘探费用、矿山建设投资和生产费用均较其它工业要庞大得多。为使投资取得最佳经济效益，应针对矿床开发探索性强、风险大的特点，特别加强矿山建设前的准备工作，使可行性研究真正起到保证拟建矿山技术经济效益可行，使风险降到最低的限度。

认识矿产资源的上述基本特点，并据此正确评价矿产资源，合理地开发利用矿产资源。

二、金属矿产资源的采矿损失贫化概况

能否充分利用矿产资源，主要取决于三个生产环节，即采矿、选矿和冶炼。本书只着重从采矿这个环节，讨论矿产资源的合理开采问题。

在金属矿产资源的开采中，矿体均埋藏于地表以下，是通过露天开采、地下开采或联合开采的方法采掘出来的，因此在采矿过程中矿石的损失、贫化不仅是衡量采矿方法合理程度的重要质量指标，也是衡量矿产资源开采合理性的重要指标。通常用露天开采的矿山，便于分采、分运，矿石的损失、贫化较低；地下开采的矿山，经常由于矿体勘探不清，选择的采矿方法不够合理、管理不善等原因，矿石的损失贫化较高。

苏联、美国和其它许多采矿工业发达的国家，为了提高矿石的回收率和降低矿石的贫化率（降低采矿成本和增加产量也是考虑的主要因素），除了提高露天开采方法比重，地下矿山推广充填采矿法、完善回采工艺、及时回采矿柱、减少矿石损失、降低废石混入实现优质采矿外，还积极发展溶浸采矿，尽量利用目前用普通方法无法开采的或价值不大的低品位矿石，从而在合理利用资源方面获得了良好的效果。表1—3列举了十个国家地下金属矿山矿石的损失、贫化实际指标。从表1—3中可知，空场采矿法的矿石损失率一般为15~25%，贫化率约为10%；急倾斜薄矿

表 1—3 国外地下金属矿山矿石损失与贫化实际指标

采矿方法	矿 山 名 称	矿石损失率 (%)	矿石贫化率 (%)
空场采矿法			
房柱法	美国弗莱彻 (Fletcher) 铅锌矿	20~22	
房柱法	法国洛林梅里 (Mairy) 铁矿	15	
房柱法	苏联米尔加里姆赛 (Мирганимсай) 铅矿	27	7~8
房柱法	葡萄牙帕纳斯凯拉 (Panasqueira) 钨锰铁矿	25	
分段采矿法	加拿大马德伦 (Madeleine) 铜矿	矿石回收率 约100%	
分段法和房柱法	日本釜山铁铜矿		平均9.9
分段采矿法	爱尔兰泰纳格 (Tynagh) 矿	20~25	
VCR采矿法	加拿大列瓦克 (Levack) 铜镍矿		<10
留矿采矿法	苏联阿廖斯基托夫 (Аляскитов) 脉矿		68
充填采矿法			
尾砂充填法	澳大利亚芒特-艾萨 (Mount-Isa) 铜铅锌矿		<10
尾砂充填法	加拿大麦拉-弗尔 (Mara-Falls) 铜铅锌矿	5	5
斜壁式充填法	芬兰沃诺斯 (Vuonos) 铜镍矿		5~10
混凝土充填法	芬兰凯雷蒂 (Kerëtti) 多金属矿	3.5~4	10
胶结充填法	苏联盖依斯克 (Гайскрок) 黄铜矿	3.5	10.5
下向充填法	美国马格玛 (Magma) 铜矿	矿石回采率 近100%	很低

续表1—3

采矿方法	矿 山 名 称	矿石损失率 (%)	矿石贫化率 (%)
崩落采矿法			
无底柱分段崩落法	瑞典基律纳 (Kiruna) 铁矿	10	20
无底柱分段崩落法	加拿大克雷蒙特 (Craigmont) 铜矿	8~12	22~34
阶段强制崩落法	日本枋洞矿	14.7	14.3
阶段强制崩落法	苏联克里沃洛格 (Кривбасс) 矿区	16~18	10~12
矿块崩落法	美国克莱马克斯 (Climax) 钼矿	7.5	15
矿块崩落法	美国圣·曼纽尔 (San. Manual) 铜矿	矿石回采率 101.5%	12.2

脉用留矿法的贫化率为68%；尾砂胶结充填法的矿石损失率为3.5~5%，贫化率为5~10%；崩落采矿法的矿石损失率为10%左右，贫化率一般为10~20%，个别（当矿岩不稳固时）达34%〔4〕。

表1—4是我国部分地下金属矿山的矿石损失与贫化指标。从表可知，在所统计的13个采用空场（留矿）法的矿山中，矿石损失率超过20%的约过半数，10%的仅有3个矿山。在表内列出的6个采用充填法的矿山，矿石损失率大于15~20%的占一半。表中列出采用空场（留矿）法和充填法的各矿山，均为回采矿房时的指标，若考虑第二步骤的矿柱回采，其损失率将比这个数值要大。列入表1—4内10个崩落法的矿山，除两个矿山的矿石损失率低于10~15%以外，均大于20~30%，有的高达50%以上。同样矿石的贫化率也是很大的，尤以崩落法和开采急倾斜薄矿脉的留矿法（混合回采）最为严重，前者多在25%左右，后者的矿石贫化率则高达80%以上。由此可见，我国地下金属矿山采矿的损失贫化问题急待研究解决〔4〕。

表 1 — 4 我国部分地下金属矿山矿石损失与贫化实际指标

采 矿 方 法	矿山编号	矿石损失率 (%)	矿石贫化率 (%)
空场采矿法			
全面法	空 1	15	15
全面法	空 2	13.8	9.13
房柱法	空 3	34.1	10.8
房柱法	空 4	32~41	14~19
分段采矿法	空 5	19.4	5
分段采矿法	空 6	20.7	14.5
分段采矿法	空 7	10	17
阶段矿房法	空 8	15~20	12~19
留矿采矿法			
留矿法	留 1	25.3	88.6
留矿法	留 2	27.8 (42.1)	37.5 (55.7)
留矿法	留 3	3 ~ 4	26.8~30.2
留矿法	留 4	5 ~ 6	81~85
留矿法	留 5	13	81
充填采矿法			
尾砂充填法	充 1	15.9~20.2	6
尾砂充填法	充 2	19.23	3.74
尾砂充填法 (胶结充填矿 壁)	充 3	19.11	18.13
干式充填法	充 4	3.49	28.3
胶结充填法	充 5	4.9	12.83
胶结充填法	充 6	7.4	8.95

续表1—4

采 矿 方 法	矿 山 编 号	矿 石 损 失 率 (%)	矿 石 贫 化 率 (%)
崩落采矿法			
有底柱分段崩落法	崩 1	15.9~25.4	21.4~38
有底柱分段崩落法	崩 2	22.36	25.18
有底柱分段崩落法	崩 3	12.5	31.8
无底柱分段崩落法	崩 4	10~15	22~25
无底柱分段崩落法	崩 5	38.9	42.9
无底柱分段崩落法	崩 6	29.1	15.6
无底柱分段崩落法	崩 7	56	29
无底柱分段崩落法	崩 8	22.7~48	18~23
阶段强制崩落法	崩 9	20.1~29.6	23.9~31
阶段强制崩落法	崩10	26	6.84

造成矿石损失贫化的原因很多，有管理上的问题，也有技术上的问题，本书将着重从生产技术上分析造成矿石损失贫化的原因。概括起来，有如下几方面的原因：

1. 矿山地质工作薄弱

矿山生产地质工作薄弱是造成损失贫化的重要原因。有的矿山不进行矿体二次圈定，采矿设计没有准确、可靠的地质资料。如有的矿山仅据 C₁ 级矿量就进行采矿设计〔4〕，在采矿施工中常因矿体赋存条件变化而中途停采，既浪费了采准、切割工程，也丢失了大量矿产资源。

2. 采矿方法选择不当

由于采矿方法选择不当所造成的矿产资源损失是严重的。我国地下铁矿绝大部分属倾斜和急倾斜厚和极厚矿体，选用的采矿方法以无底柱分段崩落法为主，1975年前，在设计上使用这种方法的生产能力，占地下采矿设计总生产能力的63%，以后又有增加〔4〕。在使用无底柱分段崩落法的矿山中，矿石损失指标除大庙

铁矿等个别矿山稍低外，其他地下铁矿均较高。如某铁矿在厚度为20~30米的缓倾斜矿体中选用无底柱分段崩落法，由于只能在垂直方向布置2~3分层回采进路，使这种采矿方法的生产能力不能充分发挥，而且上分段损失的矿石在下分段很难回收，最下分段矿石损失又属永久损失。其损失率高达56%贫化率为29%。在地下有色矿山中，也有类似情况，如某铅锌矿，主矿体是具有自燃倾向的多种硫化物的共生矿体，选用了崩落法回采，致使在开采过程中，先后发生了大面积的地压活动和高温发火的问题，这不仅使几百万吨矿石氧化成了火区无法回采，为了封闭火区还被迫留下一个阶段矿石作为隔离层，而且还造成矿山停产。

1978年我国地下有色金属矿山采用有底柱崩落法占的比例为30%〔5〕，采矿的损失贫化亦很严重。现以图1—3是某铅锌矿等三个矿山1976~1979年采用崩落法的矿石贫化概况。据分别按四年的备采矿量平均品位（虚线）和入选的原矿平均品位（实线）计算，某铜矿的贫化率为31%，某铅锌矿为40%，河北某铜矿高达53%。

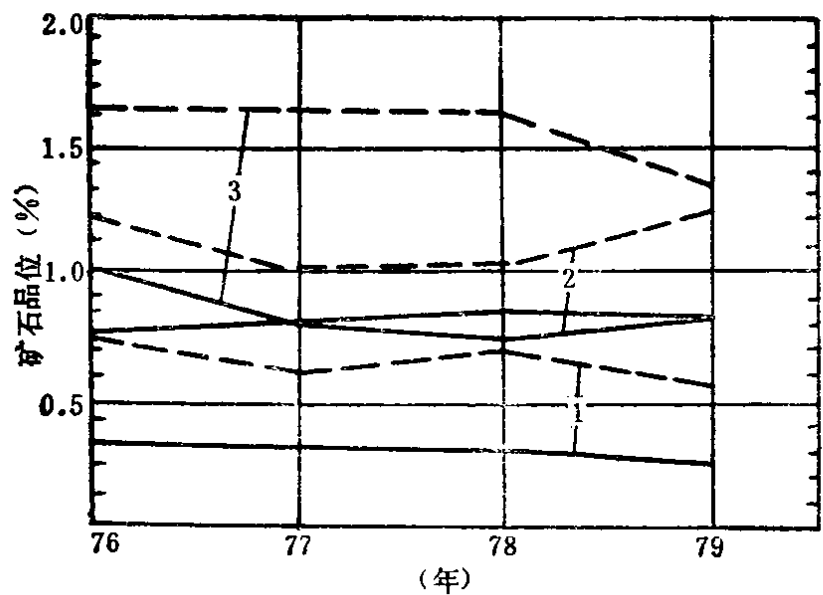


图1—3 崩落法矿山的矿石贫化概况

1—河北某铜矿； 2—某铜矿； 3—某铅锌矿

3.大量遗留空区和矿柱

国内有的矿山，由于没有坚持合理的开采顺序，没有实行合

理的集中作业和及时回采矿柱和处理空区，致使遗留了大量的空区和矿柱。据1983年对46个有色金属矿山的调查统计，空区体积为8219万米³，除已经处理的以外，尚有3605万米³的空区没有处理。据对12个钨矿资料分析，采矿损失主要包括半截矿块（许多矿块只采了一半的原因是地压增大，所留矿石无法放出）矿量（约占57%）、残留矿量（约23%）、三角矿块矿量（约5%）、贫矿矿量（约8%）、难采矿量（约7%）等五个方面，而放矿和运矿过程中的损失尚未计算在内，其中半截矿块和残柱矿量约占损失总量80%。据1983年对31个有色金属地下矿山的统计，矿柱矿量达3100多万吨。

另外，由于没有实行贫富兼采，也损失了大量矿产资源。

4. 施工质量不高，技术管理不严

各项采掘工程不严格按计划和设计施工、监督验收不严，也是造成大量的矿石损失和贫化的原因。在有底部结构的崩落法采场中，电耙道的塌落是造成矿石大量损失的主要原因。某铜矿669阶段105采场，因底柱巷道、落矿工程的施工和巷道的支护质量不高，大块产出率多，同时又不注意二次破碎技术，致使电耙道塌落，造成3万余吨矿石不能回收；714阶段结束出矿的64条电耙道的708个漏斗中，由于没有质量验收制度，有60%尚未达到截止品位就停止出矿，损失了大量金属。有的不按合理的放矿制度放矿，采取所谓“自由放矿”和“自由封斗（利用大块卡斗）”的方式出矿（距溜井近的漏斗多出矿，远离溜井的漏斗少出矿），在64条电耙道中，造成近溜井的一对漏斗贫化率超过30%的有21条，占33%；远离溜井的一对漏斗损失率超过30%的有26条，占40.6%。其中310号电耙道是远离溜井的一对漏斗，担负的崩矿量为7555吨，实际只放出了950吨，损失率达87.51%〔4〕。

采用充填法的矿山，在施工中因没有确保采准、切割工程的质量，不重视扩帮采尽四壁残矿；采用纯尾砂或干式充填的采场，没有铺设胶结铺面和隔墙，不注意保护充填面和清理采场底板粉矿，也造成矿石的损失和贫化。例如凤凰山和铜录山铜矿的

点柱尾砂上向分层充填法的设计损失即在20%以上，加上施工损失和回采顶底柱的损失，其总损失率将不低于30%〔4〕。

还应当指出，不实行综合开发，采用“单打一”的开采方法也是采矿损失率高的原因。有的矿山对有价值的共生矿物弃而不采。如硫铁矿，对铁帽多作废石处理。有的铅锌矿山对井下含金硫铁矿体不进行开采；有的矿山优质锰矿仅作为合金原料；有的矿山单纯追求利润指标，为完成任务而只采大矿、富矿和厚矿，破坏了矿体的完整性并扰乱了正常的开采顺序，这种现象在中小矿山尤为突出；有的矿山因产品现行价格低，为保证企业不亏损，通过提高放矿截止品位和边界品位的方法来提高出矿品位，使许多低品位矿石资源无法利用，造成浪费。

为了进一步发展金属矿山，把采矿工业搞上去，应采取有效措施，把采矿损失贫化率降下来。这是挖掘现有矿山企业的潜力，保护矿产资源和提高经济效果的有效途径。

第二节 降低采矿损失贫化的技术经济意义

降低采矿中的损失贫化的技术经济意义主要表现在：

一、增加金属产量

避免废石的混入量和或减少富矿的损失，提高出矿品位，则可以增加矿山的金属产量。对已经投产的矿山来说，由于矿产金属含量下降，矿石品位降低，所造成的经济损失，单从增加出矿量和出矿效率是难以弥补的。湖南省有色金属矿山在1956~1980年原矿品位、处理量、回收率和精矿产量变化的统计平均数如表1—5所示。从表中五十年代后五年与七十年代后五年的数据对比可以看出，原矿品位逐年下降，从0.872%，下降到0.326%，下降率为62.61%。由于原矿品位下降，尽管增加了出矿量 and 处理量，提高了选矿回收率，但精矿产量还是减少了。但是，采取措施，减少废石混入，增加出矿平均品位，即使出矿量减少了，金属的回收量却可以增加。例如：杨家杖子钼矿把矿石贫化率降到26%，则出矿品位由0.0864%提高到0.0951%，在出矿量不变的情况

表1—5 品位、处理量、回收率和产量的变化

年 代 项 目	1956~1960	1961~1965	1966~1970	1971~1975	1976~1980
原矿品位 (%)	0.872	0.667	0.368	0.329	0.326
下降率 (%)	0	23.51	57.8	62.27	62.61
处理量 (万吨)	270.08	262.11	374.70	633.37	614.11
增长率 (%)	0	-2.95	38.74	134.51	127.38
选矿回收率 (%)	74.05	80.34	82.84	81.99	81.55
提高率 (%)	0	8.5	11.87	10.72	10.12
精矿产量 (吨)	35096	21761	22056	27356	23914
下降率 (%)	0	38.0	37.16	22.05	31.86

下，精矿产量提高10~14%。兹设岩石混入率为 r_1 ，出矿品位为 C_1 ；当岩石混入率降低到 r_2 时，则出矿品位增加到 C_2 。当混入岩石不含有用成分时，则有

$$C_1(1 - 0.01r_2) = C_2(1 - 0.01r_1) \quad (1-1)$$

由 (1-1) 式得：

$$C_2 = \frac{C_1(1 - 0.01r_2)}{1 - 0.01r_1} \quad (1-2)$$

在出矿量不变的情况下，由于品位提高而增加的金属量 T_M 可用下式计算：

$$T_M = T(C_2 - C_1) \quad (1-3)$$

式中 T ——采出矿石量，吨。

二、降低金属生产成本

金属矿产资源的合理开采方法，可以减少废石混入量和矿石的损失，提高经济效益。

随着金属矿产资源的不断开发，矿石开采品位则日渐下降，金属价格随之增加。图 1—4 表示1932年以来在国际上铜、铅、锌、钨、锡、钼、锑、银等金属的价格，均属这种发展趋势。