

铁矿石选矿 理论与实践

(苏)E. 奥斯塔平科 著 洪飞 张保华 译 ● 冶金工业出版社

TIEKUANGSHI XUANKUANG
LILUN YU SHIJIAN

铁矿石选矿理论与实践

[苏]П.Е.奥斯塔平科 著

洪 飞 张保华 译

童国光 幸伟中 校



冶金工业出版社

B

568026

内 容 提 要

本书据苏联矿藏出版社 (Издательство «Недра») 1985 年出版的 П.Е.Остапенко 著 «Теория и практика обогащения железных руд» 一书译出。

书中介绍了铁矿石的工业与远景类型及其采用的加工过程, 确定了矿石的工业特性和冶金价值, 阐述了矿石解离和分选的基本理论, 指出了铁矿石选矿的主要发展方向, 并结合矿石的综合利用、地下资源的合理开发以及环境保护等探讨了选矿工艺, 阐述了苏联和其他国家的铁矿石选矿实践。

本书可供采选企业、矿山和选矿专业的科研和设计院所的工程技术人员参考。

本书1~4、9~12章由洪飞翻译, 5~8章由张保华翻译。全书先后由童国光、章伟中校对。

铁矿石选矿理论与实践

[苏] П.Е.奥斯塔пен科 著

洪 飞 张保华 译

童国光 章伟中 校

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街原地质出版社)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 9 1/8 字数 239 千字

1989年12月第一版 1989年12月第一次印刷

印数00,001~1,500册

ISBN 7-5024-0488-0

TD·85 定价5.70元

前 言

铁矿石选矿,就精矿生产规模而言,在矿物原料利用和加工中位居前列。目前开采出的铁矿石有86%要经过选矿。铁矿石选矿发展特点是,一方面,由于矿石品位逐渐贫化,需要不断强化主要和辅助作业;另一方面,对铁精矿的要求日益提高,因为无焦炼钢法得到推广应用,该法要求采用脉石含量低,乃至由纯铁矿物组成的高品位精矿。在采矿和冶金工业中的这些变化,要求对选矿企业进行技术改造和研究新的铁矿石选矿方法。

1981~1985年和到1990年期间苏联经济和社会发展的主要方针是,优先提高精矿铁品位,工业上掌握氧化含铁石英岩的选矿工艺及电炉冶炼用铁精矿的生产工艺。通过扩建现有的和建设新的大型采选公司,改进铁矿石选矿工艺流程,以保证取得高品位的铁精矿和更高的回收率,以及矿石的综合利用,从而使提出的任务逐步得到解决。1985年,某些采选公司的精矿铁品位达到66~68.5%,而全国的平均品位为62%。每年分选氧化含铁石英岩1000多万吨。苏联已掌握了大规模生产供粉末冶金和蓄电池用的高纯度精矿与低硅精矿的技术,并用低硅铁精矿生产了约200万吨供直接电炉冶炼用的金属化球团。

由于易选的磁铁矿石储量枯竭和国内铁精矿需要量持续而急剧地增长,必须开采难选的磁铁矿石和更大规模地处理氧化铁矿石。因为从这些矿石中选出的精矿多半用于制造球团,所以对精矿粒度、湿度和成分稳定性的要求比其他选块方法的要求要高得多。因此,入选原料性质的变坏决定了对选矿企业进行改造,而只有在现代科学技术基础上,利用世界上铁矿石选矿新的研究和实践成果,技术改造才能顺利实现。

鉴于以大力改善学生专业素质为目的的苏联国民教育体系的完善,还要求更加深入地研究铁矿石选矿的主要发展趋势。科学

技术界必须广泛了解最新的科学技术成就以及现代选矿企业的生产实践，以便将其用于研究、设计、现有生产工艺的改进及提高工程技术和科研人员的素质水平，所有这些决定了本书的内容。

作者谨向本书的评论者、技术科学副博士Н.Ф.米亚斯尼科夫（Мясников）为改进本书所提供的宝贵建议和Л.Н.波波娃（Попова）为本书的装帧所给予的帮助表示深切谢意。

目 录

前言

第一篇 铁矿石选矿的理论基础	1
第一章 矿石的工艺特性	1
第一节 矿石的分类	1
第二节 矿石的工艺参数	3
第三节 矿石选矿的最佳界限	9
第四节 矿石的冶金价值	12
第二章 磨矿与矿石的解离	21
第一节 矿石的物理性质	21
第二节 磨矿动力学	24
第三节 矿石解离动力学	31
第四节 磨矿与矿石解离的数学模型	38
第五节 矿石解离度的确定	44
第三章 金属矿物与非金属矿物的分选	47
第一节 分选过程的基本原理与矿石的可选性	47
第二节 分选过程方程式	51
第三节 选矿工艺流程的数学模型	56
第二篇 选矿工艺	59
第四章 矿石破碎与筛分流程	59
第一节 流程组成部分的特点	59
第二节 开路破碎与筛分流程	62
第三节 闭路破碎流程	63
第四节 含干式磁选的破碎流程	65
第五节 对破碎物料的要求	68
第五章 磨矿与分级流程	70
第一节 流程组成部分的特点	70
第二节 开路磨矿流程	75
第三节 闭路磨矿流程	76

第四节	对被磨碎矿石的要求	79
第六章	选矿工艺流程	82
第一节	流程组成部分的特点	82
第二节	选别流程的阶段性的	85
第三节	磁选流程	86
第四节	重选流程	92
第五节	浮选流程	93
第六节	联合选矿流程	95
第七节	复合矿石选矿流程	99
第八节	选矿产品的脱水	100
第九节	对于选矿产品的要求	102
第七章	铁矿石选矿的强化	106
第一节	选矿技术与工艺过程的改进	106
第二节	矿石解离的现代流程	118
第三节	磁铁矿选矿的新工艺流程	122
第四节	弱磁性矿石选矿工艺的制定与改进	130
第三篇	苏联铁矿石选矿实践	139
第八章	磁铁矿石的选矿	139
第一节	选矿厂的基本特点与地理分布	139
第二节	矿石的工艺特性	142
第三节	选矿工艺与指标	142
第四节	矿石破碎	152
第五节	干式磁选	157
第六节	磨矿	160
第七节	选矿	170
第八节	选矿产品脱水	183
第九节	选矿产品特性	188
第十节	磁铁矿石选矿经济	195
第九章	弱磁性矿石的选矿	196
第一节	假象赤铁-赤铁矿石的选矿	196
第二节	褐铁矿石的选矿	199
第四篇	其他国家铁矿石选矿实践	206

第十章	磁铁矿石的选矿	206
第一节	磁铁矿石选矿厂基本特点与地理分布	206
第二节	矿石的工艺特性	211
第三节	选矿厂基本特点	212
第四节	矿石破碎	216
第五节	干式磁选	221
第六节	磨矿	222
第七节	选矿	229
第八节	选矿产品的脱水与过滤	234
第九节	选矿产品特性	237
第十一章	赤铁-磁铁矿石的选矿	239
第一节	处理赤铁-磁铁矿石采选企业基本特点与地理分布	239
第二节	矿石的工艺特性	241
第三节	选矿厂基本特点	242
第四节	矿石破碎	246
第五节	磨矿	249
第六节	选矿	252
第七节	选矿产品特性	257
第十二章	弱磁性铁矿石的选矿	258
第一节	赤铁矿石的选矿	258
第二节	褐铁矿石的选矿	273
第三节	菱铁矿石的选矿	277
参考文献		281

第一篇 铁矿石选矿的理论基础

第一章 矿石的工艺特性

第一节 矿石的分类

作为钢铁生产工业矿物原料的铁矿石，根据金属矿物和非金属矿物的含量进行分类。金属矿物有：磁铁矿，假象赤铁矿、赤铁矿、褐铁矿、铁氢氧化物、菱铁矿和铁硅酸盐。铁矿石的非金属矿物种类较多。按其成分铁矿石分为以石英、高岭土和铝硅酸盐为主要脉石的酸性矿石和以方解石和白云石为主要脉石的碱性矿石。

矿石的矿物学分类标准是矿石中工业铁矿物的含量，它们是磁铁矿、赤铁矿（假象赤铁矿）、菱铁矿、铁氢氧化物，有时也包括硅酸盐铁矿物。

一定类型的铁矿石以铁含量多的铁矿物来命名，其他含铁矿物则加在主要命名之前。采用地质矿物学术语时，所采用的其他矿物名称顺序应当反映矿石中这些矿物含量的递增。为了使术语简短，构成种类名称的矿物数应是有限的。

矿石的工业价值取决于矿石的铁品位，而对于复合成分的矿石来说，还取决于伴生组分的含量，因为将有色和稀有金属综合回收得到精矿中乃是这些金属的生产来源之一。除了铁之外，复合矿石还含有钛、钒、铜、钴、钼、金和其他元素，非金属矿物有磷灰石、硼砂、重晶石、萤石等。矿石的综合利用，既改善了选矿的技术经济指标，又解决了合理利用自然资源这一重要的国民经济课题。铁矿石的处理量大，虽其伴生元素含量少，但经过回收也可以生产大量的有色、稀有金属或非金属精矿。因此，在对铁矿石进行工业评价时，伴生元素的存在具有重要意义，并且常常可以使贫铁矿石划归为工业原料。

根据含铁品位，矿石可分为天然富矿、贫矿(需经过选矿)和目前不能作为铁矿石原料利用的表外矿(作为废石)。矿石的划分标准是其铁品位和可选性在当前采矿和冶金生产条件下，能够保证矿石加工获得利润。天然富矿石和需经选别矿石的划分标准是将矿石直接冶炼或经过选别后再利用时生产1吨金属的生产费用相等作为条件。1吨生铁的生产费用(在黑色冶金中为总成本，占基建费用15%)与矿石铁品位之间成双曲线关系，如图1-1所示^[12]。根据这种关系将矿石分为三类，它们之间的界限相当于用经过选别和未经过选别的矿石冶炼生铁的计算费用相等时的双曲线交叉点^[16]。

不需要选别的天然富矿石属于第一类，因为高炉生产的节约额不能补偿选矿费用。

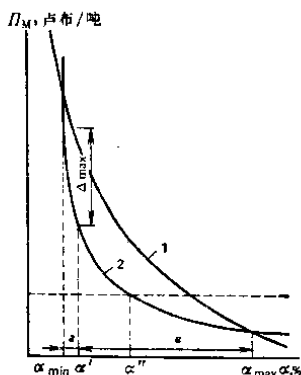


图 1-1 原矿铁品位 α 对未经选别矿石(曲线1)和经选别矿石(曲线2)冶炼一吨生铁计算费用(Π_M)的影响

虚线—冶炼生铁的平均计算费用;

$\Delta_{\max}$ —由于选矿而得到的高炉生产最大经济效益

需要选别的矿石属于第二类。该类矿石可以分为两组。它们之间的界限相当于这样的铁品位 α' ，在此品位下精矿选到最佳品

位 β_0 可以保证高炉生产获得最大经济效益。冶金处理效果差的铁矿石属于第一组a。尽管与冶炼未经选别的矿石相比,计算费用有所降低,但是用这些矿石选别的精矿冶炼出的生铁是很昂贵的。第二组b乃是其选矿和冶金处理的效果都无可怀疑的矿石。

在当代采矿-冶金生产技术水平条件下不宜进行冶金处理的矿石属于第三类。选别这种矿石在经济上不合算,因为选矿费用超过在高炉生产中取得的效益。

矿石铁品位下限取决于选矿时的金属回收率。在选矿工艺的现代发展阶段,不同矿石的铁品位下限值变化范围为5~46%,并接近尾矿的铁品位。

天然富矿石的铁品位下限如下, %:

酸性脉石的磁铁矿石	62
碱性脉石的磁铁矿石	50
酸性脉石的赤铁矿石	60
碱性脉石的赤铁矿石	48
褐铁矿石	46
菱铁矿石	35

在采矿企业的实际生产中,由于缺少某些类型矿石的选矿工艺,矿石储量小或建选矿厂所需要的基建投资大,不经选别就用于冶金处理的商品矿石铁品位要比根据技术经济效益条件计算的铁品位低。

第二节 矿石的工艺参数

矿石的主要工艺参数是:铁品位和嵌布粒度。

铁品位是矿石的质量与数量特性。它决定着矿石适于直接或间接经过预先选别后进行冶金处理。在需要选别的矿石中,铁以哪种矿物形式存在具有重要意义。因为矿物组成决定矿石的分选性能。能够回收到精矿中并能在冶金生产中回收的铁称为矿石铁。

由于对矿产保护和对矿物资源合理利用的要求提高,确定“矿石铁”的概念对于评价开采的和勘探的矿床铁矿石储量具有决

定意义。目前，根据矿石中全铁和磁性铁含量来评价铁矿床。同时弱磁性矿物中铁的回收与利用的程度没有考虑。正确评价矿床全部金属储量的潜在价值是困难的，因为根据全铁和磁性铁含量不能确定经济上可以合理地回收到精矿中而应划归为矿石金属的那部分铁。因此，“矿石铁”不仅是工艺上的概念，而且是经济上的概念。它包括矿石性质、选矿和冶金过程的工艺参数以及从矿石中生产金属的经济判据。

在现代矿石处理条件下，回收到精矿中的是比较富的金属矿物，如磁铁矿、假象赤铁矿、赤铁矿等。属于脉石成分的铁矿物（铁硅酸盐与菱铁矿、菱铁矿形式的铁碳酸盐等）则作为非金属矿物进入尾矿。同时，现代选矿工艺水平，一方面，可以获得实际上完全清除了非金属矿物的精矿，而另一方面，回收到精矿中的铁矿物中又有属于脉石的。因为在高炉冶炼过程中，为了从矿石中冶炼出金属，必须有炉渣存在，而为了造渣，可以部分地利用在一定条件下归属于脉石的某些含铁矿物的酸性和碱性脉石。据此，矿石铁品位可以定义为矿石中的金属含量，它的回收可以获得满足现代冶金处理要求的精矿。

在矿石中作为脉石成分的含铁矿物的允许含量 ρ_{Π} 和矿石铁含量 α_p 可按式求得：

$$\rho_{\Pi} = \frac{\rho_{p \cdot p}(\beta_{p \cdot m} - \beta_{m \cdot \Pi})}{\beta_{m \cdot \Pi} - \beta_{\Pi \cdot m}} \quad (1-1)$$

$$\alpha_p = \frac{\rho_{p \cdot p} \beta_{m \cdot \Pi} (\beta_{p \cdot m} - \beta_{\Pi \cdot m})}{\beta_{m \cdot \Pi} - \beta_{\Pi \cdot m}} \quad (1-2)$$

式中 $\rho_{p \cdot p}$ ——矿石中铁矿物含量，小数；

$\beta_{p \cdot m}$ ——金属矿物中平均铁含量，小数；

$\beta_{m \cdot \Pi}$ ——最适用于冶金过程的精矿铁品位，小数；

$\beta_{\Pi \cdot m}$ ——作为脉石成分的含铁矿物的平均铁含量，小数。

当 $\rho_{\Pi \cdot m} \leq \rho_{\Pi}$ 时，

$$\alpha_p = \alpha_0$$

式中 $\rho_{\Pi \cdot m}$ ——作为脉石成分的含铁矿物含量，小数；

α_0 ——矿石全铁含量。

如果矿石中存在几种作为脉石成分的铁矿物，那么就根据这些公式按其铁含量减少的次序确定每种矿物或矿物组的矿石铁含量。

鉴于冶金过程方式不同，要求的精矿品位值 $\beta_{\text{м.п}}$ 对于计算矿石铁品位有很大影响。在高炉生产中，它决定于从冶炼中脱除硫所必需的最低炉渣量。当用无焦炭方法生产钢和进行粉末冶金时，对于精矿铁品位的要求最高，但要决定于选矿过程的可能性。为此目的利用的矿石中，矿石铁品位只是以精矿中存在的铁氧化物（磁铁矿、假象赤铁矿和赤铁矿）来进行计算。

目前工业上已掌握的方法能回收的矿石铁品位代表铁矿原料的实际价值，而对于表内矿石来说，可以称之为矿石工业铁品位 $\alpha_{\text{п}}$ 。

$$\alpha_{\text{п}} = K_c \alpha_p$$

式中 K_c ——与现代选矿工艺水平有关的完善系数。

精矿铁品位取冶金生产的最佳铁品位。工业铁品位系根据最先进选矿流程的工艺试验（磁选、重选、浮选等）来确定的。通过试验确定或计算具有上述铁品位 β_k 的精矿产率 γ_k 。此时矿石工业铁品位按下公式求出：

$$\alpha_{\text{п}} = \gamma_k \beta_k$$

目前，由于工业上还没有掌握从磁铁矿为主的复合矿石中回收某些弱磁性铁矿物（赤铁矿、菱铁矿、氢氧化铁等）的有效工艺，在大多数现有的和设计的选矿厂中，这些矿物只能以连生体形式随主要金属矿物——磁铁矿一起回收。选矿时附带回收弱磁性矿物的指标通过携带系数 K_3 计算：

$$K_3 = \beta_{0.6} / \beta_{\text{м}}$$

式中 $\beta_{0.6}$ ——精矿全铁品位；

$\beta_{\text{м}}$ ——精矿中磁性铁品位。

回收完善系数或磁选工艺水平系数：

$$K_c = \alpha_{\text{м}} \epsilon_{\text{м}} K_3 / \alpha_0$$

式中 α_M ——原矿磁性铁品位；

ε_M ——磁选时矿石磁性铁回收率。

携带系数值取决于伴生矿物的状况。当入选矿石粒度减小时，由于连生体解离度的提高以及伴生矿物与被回收矿物的分离，使得携带系数值显著减小。

在该选矿工艺条件下，回收到精矿中的铁可以称为工艺铁。例如，在磁选时工艺铁品位 α_T （小数）为：

$$\alpha_T = \alpha_M K, \varepsilon_M$$

工艺铁品位值可以根据采用的选矿流程的工艺分析结果来计算。在磁选情况下，适合于冶炼要求铁品位的精矿的产率可以通过相应磨矿粒度的磁性分析来确定。

说明矿石工艺性质的第二个主要参数是金属矿物和非金属矿物的嵌布粒度。该参数决定必要的磨矿粒度，而该磨矿粒度是矿石加工电耗的主要指标。目前，矿石中矿物的嵌布粒度是按其中单体颗粒和矿物集合体面积的最大线性尺寸（粒度）计算。但是，颗粒大小未考虑其形状，因为该大小只是在显微镜下按一个切面确定的，故带有偶然性。最能充分说明嵌布粒度的乃是金属矿粒和非金属矿粒或其集合体的比表面积。在这种情况下，考虑到矿物形状和其他特点，有可能单值地确定矿物嵌布粒度的固定参数。

为了从矿石中分离出金属矿物和非金属矿物，作者同Т.И. 科斯托乌索娃 (Костюсова) 一起提出了依次选择溶解嵌布于矿石中的金属矿物和非金属矿物以及随后测定其粒度组成和比表面积的方法。

根据未被溶解的以残渣形式出现的矿物的嵌布粒度来评价矿石中金属矿物和非金属矿物的平均颗粒粒度。颗粒平均粒度的测定方法导出计算物料粒度特性函数的平均值，物料粒度特性可以用下面的方程式表示：

$$R = e^{-m_0} \quad \text{和} \quad R = e^{-m d}$$

式中 R ——筛孔尺寸为 d （厘米）的筛子的筛上产品总量，小

数；

e——自然对数的底；

m 和 n ——物料粒度组成常数。

在这些方程式中，我们以函数形式表示颗粒粒度：

$$d = \frac{\ln R}{m} \quad \text{和} \quad d = \left(-\frac{\ln R}{m} \right)^{1/n}$$

根据所得的公式，矿物平均嵌布粒度可以表示为这些函数的定积分值与积分上下限差之比：

$$d = -\frac{\int \ln R}{m} \bigg|_0^1 = \frac{1}{m}$$

和

$$d = -\left(\frac{\int \ln R}{m} \right)^{1/n} \bigg|_0^1 = \Gamma \left(1 + \frac{1}{n} \right)^{n-1/n}$$

式中 $\Gamma \left(1 + \frac{1}{n} \right)$ —— $\left(1 + \frac{1}{n} \right)$ 值的伽玛函数。

金属和非金属矿物平均嵌布粒度虽重要，但不能完全代表矿石嵌布粒度参数。它是以矿石中几乎不存在的规则的几何形状矿物颗粒的线性测量为基础的。这种评价嵌布粒度的方法没有考虑共生矿物的性质和颗粒形状，也不考虑在矿石解离过程中起重要作用的颗粒缺陷（多孔性、宏观和显微裂隙）的生成。金属矿物和非金属矿物共生矿物比表面积能够更完全地代表矿石的嵌布粒度，它不仅考虑了嵌布的几何形状，而且考虑了矿物解离必须的能耗水平。

共生矿物比表面积 S_c 的计算方法是根据原矿的比表面积 S_H 等于其中的金属矿物比表面积 S_P 和非金属矿物比表面积 S_H 之和制定的^[12]。

矿石中金属矿物和非金属矿物共生的比表面积按下式计算：

$$S_c = \frac{\rho_P S_P + \rho_H S_H - S_H}{2c} \quad (1-3)$$

式中 ρ_F 和 ρ_{H_2} ——分别为金属矿物和非金属矿的含量，小数；
 c ——连生体含量，小数。

当金属矿物或非金属矿物易溶解时，可以使共生矿物比面积的测定工作简化，因为在这种情况下可以用粗粒原矿进行测定，而且可忽略其比表面积。这种矿石的共生矿物比表面积等于经过溶解或浸析后金属矿物或非金属矿物残渣的比表面积。

还可以利用“Эпиквант”等金相结构分析仪测定共生矿物比表面积。但是，需要制备足够数量的矿石光片，以保证所得结果具有代表性。

金属矿物和非金属矿物共生比表面积值用于按嵌布粒度划分矿石，并且是定量确定矿石天然性质的参数。

根据对磁铁矿石研究结果进行的矿物共生比表面积值的统计分析，建立了以下的矿石嵌布粒度分类，米²/公斤：块状矿石0~25；粗粒嵌布矿石25~100；细粒嵌布矿石100~150和极细粒嵌布矿石大于150。

根据共生矿物比表面积评价矿石嵌布粒度，就可以在确定嵌布粒度时，拟定选矿工艺流程和对于所得精矿的预期指标。例如，对于共生比表面积小于100米²/公斤的矿石，可以成功地按一段或两段的流程进行选别，而其精矿可用于金属化和直接炼铁。同时，对于共生矿物比表面积大于150米²/公斤的细粒嵌布和极细粒嵌布的矿石，为了取得可用于金属化和电炉冶金的精矿，则需要采用多段或联合选矿流程。

此外，共生矿物比表面积只能部分地说明磨矿时矿石的解离性能，因为矿石不仅沿共生矿物接触面，而且很大程度直接沿矿物破裂。这种现象用矿石解离系数 φ 加以考虑，该系数为共生矿物比表面积与磨至充分解离时的矿石总比表面积之比，并按下列公式计算（小数）：

$$\varphi = S_c / S_\phi$$

式中 S_ϕ ——被磨碎矿石充分解离时的最小比表面积，米²/公斤。

解离系数取决于磨矿方法。当用球磨时，克里沃罗格矿区和库尔斯克磁力异常区磁铁石英岩的解离系数约为0.4~0.6。

第三节 矿石选矿的最佳界限

铁矿石选矿的主要任务是，在从矿石中获得能够最充分满足冶炼需要铁品位的铁精矿的前提下，最大限度地回收铁金属。从这一点出发，理论的选矿界限可以通过计算矿石铁品位值得出。正如前所述，精矿品位 $\beta_{\text{M.П}}$ 决定于矿石的冶金处理方法。矿石选矿所得矿石铁的回收率 ε_P 、工业铁回收率 $\varepsilon_{\text{П}}$ 、可回收铁或工艺铁的回收率 ε_T 可以用下列公式计算：

$$\varepsilon_P = \alpha_P / \alpha_0; \quad \varepsilon_{\text{П}} = \alpha_{\text{П}} / \alpha_0; \quad \varepsilon_T = \alpha_T / \alpha_0$$

根据所得的铁回收率值，按下列公式计算精矿产率 γ 和尾矿铁品位 θ （%），而下标P、П和T分别表示矿石铁、工业铁和工艺铁：

$$\gamma_P = \frac{\alpha_0 \varepsilon_P}{\beta_{\text{M.П}}}; \quad \gamma_{\text{П}} = \frac{\alpha_0 \varepsilon_{\text{П}}}{\beta_{\text{M.П}}}; \quad \gamma_T = \frac{\alpha_0 \varepsilon_T}{\beta_{\text{M.П}}};$$

$$\theta_P = \frac{\alpha_0 (1 - \varepsilon_P)}{1 - \gamma_P}; \quad \theta_{\text{П}} = \frac{\alpha_0 (1 - \varepsilon_{\text{П}})}{1 - \gamma_{\text{П}}}; \quad \theta_T = \frac{\alpha_0 (1 - \varepsilon_T)}{1 - \gamma_T}$$

实际选矿界限的论证应考虑工业上已掌握的选矿方法和所采用的选矿设备。

在当代选矿技术和工艺条件下，可以获得极高的工艺指标。在苏联制定并在工业上掌握了生产脉石含量低于3%，甚至低于0.5%的铁精矿的生产工艺。研究结果还证明了显著降低尾矿品位的可能性。但是，这样的选矿深度在经济上并不总是合理的，因为在这种情况下选矿费用可能超过深选精矿进一步利用时得到的节约额。包括采矿（开采）、选矿、造块、运输与冶金处理费用在内的金属生产技术经济指标应通过从其中冶炼一吨铁或者从选得的铁矿原料直接还原生产一吨铁的计算费用来进行评价〔19〕：

$$\Pi_{\text{M}} = C_{\text{M}} + e K_{\text{M}} \quad (1-4)$$