维普资讯 http://www.cqvip.com

中国高山地区矿床开采的若干方面

长沙黑色冶金矿山设计研究院　李鼎权　刘立仲
长沙矿冶研究院　马　光　冶金工业部　刘国林

【提要】我国高山高寒地区蕴藏有丰富的矿产资源。本文通过部分已建设和生产的高山矿的实际资料总结，提出了高山矿在设计建设时应注重研究解决的若干问题。文章曾在美国阿拉斯加大学主办的"第一届国际北极地区采矿会议"上发表，编入会议论文集P217～224。

中国有六分之一的国土属于高山高寒地带，主要为青藏高原、云贵高原、四川、宁夏、甘肃、新疆等地区。那里蕴藏着丰富的矿产资源，有些已在建设、开发和设计，有些正在进行地质普查与勘探工作。

高山矿床，特别是高山永冻矿床，由于它本身具有气候、地理、矿床经济等方面的自然特征，给矿床开采带来了许多值得研究的问题。针对这些特点，在开采时必须采取若干适宜对策。

我国已经设计、建设和开发的部分高山矿床，见表1。

表1　　在建设开采的部分高山矿床

矿山名称	所在地区	海拔标高(m)	开采方式	建设情况	矿山名称	所在地区	海拔标高(m)	开采方式	建设情况
东风铬铁矿	西藏	4770～4854	露天	生产	罗布莎铬铁矿	西藏	3926～4200	露天	正在建设
色兴粘土矿	西藏	4200～4321	露天	刚投产	图门煤矿	青海	4980～5000	地下	生产
布冷口铜矿	昆仑山	4200～4400	地下	生产	镜铁山铁矿	祁连山	3200～4200	地下	生产
可可托海稀有金属矿	阿尔泰山	3000	露天	生产					

一、高山矿床开采的特征

1、矿床地质

我国高山矿床较多的是热液矿床及接触交代矿床，产状多为脉状和似层状。矿石种类多、有铁、煤、铜、铬铁矿、非金属矿及其它稀有金属。地质构造较复杂，特别是永冻层中的矿岩存在着融化、再冻结现象，使矿岩整体性差、节理发育，沉积岩的抗拉、抗压强度随温度的升高而明显降低。水文地质条件一般较简单。对于矿坑水、永冻层上部的水是季节性水，也就是雨水或融雪水；永冻层下部的水才是真正的涌水，即地下水，压力水，常达 200×10^4Pa；在永冻层中无自然水，只有冰或少量融冰及作业积水。

2、经济地理

矿床所在地区一般是山高、谷深、坡陡、偏辟、边远、居民少、工业不发达，常出现地震，某矿区西部附近，1950年后，发生5级地震5次，4级地震72次，据历史资料

[编者注]因原文篇幅较长，本刊要求作者对原文作了删减。

维普资讯 http://www.cqvip.com

记载，曾发生过7级以上地震。由于地震活动频繁，坍塌、滑坡现象较为常见。以罗布莎铬铁矿为例，在约6km²的矿区范围内，因地质活动引起的山头错裂就有一处，错动范围沿山脉轴线方向约1.2km，下塌高度约12m。另有滑坡2处，滑动体积120～200万m³。据矿山生产实际资料，地震对地下井巷影响不大，对露天边坡稳定性影响极大。

由于受长期气候影响，日夜温差大，自然形成热胀冷缩，再加地震作用，岩石自然破碎成碎石堆，每当暴雨之后，山洪常夹带大量岩石碎屑顺山坡沟谷而下，形成泥石流。1982年7月，在新疆莫托沙拉铁矿与钢铁厂之间发生一次泥石流（其中单个石块体积达2.5m³），淹没了10家住房，死亡8人，公路阻塞。1985年6月西藏波密地区发生了一次特大泥石流，淹没了位于沟口的两个村庄，摧毁川藏公路干线约3km。

在高山高寒条件下，雪量大，使雪重结晶。在＞15°的单面倾斜的山坡风化岩层（表面光滑）上，复盖0.5m以上的雪层，升温时（0℃～6℃），下部的雪融化，巨大的雪块沿坡滑下，雪量常达0.5～2万m³，具有巨大的破坏力。

3、气候条件

高山地区，气温一般比平原低10～20℃，温差大，年差达40°～50°，有的受高山探谷阴阳坡的影响，同一矿山阴阳坡的温差达20°～30°。低温冻结，恶化开采运输条件，同时使矿山设备使用寿命缩短。

随着地势增高，气压和氧分压则要降低，一般每升高100m，大气压降低1266Pa，氧分压下降160Pa，沸点下降0.3℃。

由于高山地区空气层薄，尘埃、水蒸气少，晴天多，故紫外线照射强。据测定紫外线随海拔每升高100m，强度增加3～4%。在5000m左右标高的矿山，比平原地区，紫外线高3～4倍，日照时间长3～4倍。

海平面空气中含氧量为20.9%。随着海拔升高空气中含氧量递减，海拔在3000m时，含氧量约减少30%，海拔在5000m时，含氧量约减少50%。

据我国高山矿床开采的实践，由于气候原因，不同程度的普遍存在高山病。

二、高山矿床开拓运输

高山矿床是位于海拔标高3000～4000m以上的山区地带，一般比高均达数百米，甚至千米以上。基于这个特点，寻求了一种投资省、设备少、节约能源、经营费低、生产能力大的有效的开拓运输方式——平峒溜井开拓运输。针对高山矿床平硐溜井中的一些问题，探索了一些适宜对策。

1、平　硐

基于高山矿床地形复杂，地震、泥石流、雪崩多，矿体分散，多数埋藏在谷底以上等特点，平硐位置的选择至关重要。

在选择平硐位置时，除根据矿体埋藏特点，以采场（井下）运输功最小、平硐长度和平硐口至选矿厂运距最短为原则外，还应特别注意以下几点：(1)平硐口应避免在高山的阴坡，避开终年冰雪复盖和风口处；(2)注意地面积雪的数量和雪崩的地点，如雪盆地、雪崩道、雪流体和陡峭的台阶等。分析雪崩的形状、大小和可能危害的范围，硐口应尽量避开或减少雪崩通过次数；(3)要考虑高山碎石、浮石、山顶采空区塌陷岩石被埋的危害，预计其危险大小和范围，然后再决定平硐口的标高和位置；(4)应考虑地震作用半径，将硐口布置在土堆、碎石危害范围之外，见图1。

维普资讯 http://www.cqvip.com

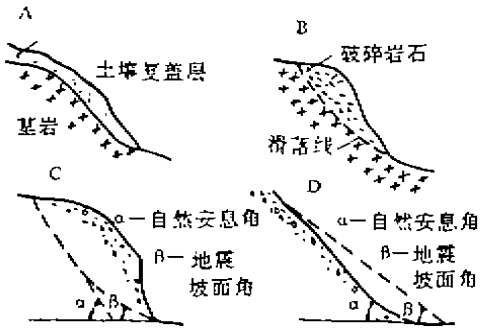


图1　影响平硐位置的因素

由于地震作用，岩石的自然安息角变小。地震坡面角(β)按下式计算：

$$tg\beta=\frac{f-k}{fk-1}$$

式中　f——岩石摩擦系数，$f=tg\alpha$；

α——岩石自然安息角，度；

k——地震系数，$k=\frac{\tau}{g}$；

τ——地震加速度，mm/s^2；

g——重力加速度，mm/s^2。

若平硐硐口确无法完全避免上述各种危害时，应设置防护设施如加长平硐硐口长度，硐顶设置截碴(雪)平台和挡墙。

2、溜井

溜井的特点是借助物料自重溜放。高山矿床的特点是比高大，最有条件适宜于溜井放矿。高山地区的不利条件是积雪。当雪融化时，和矿石中的粉矿混合形成强有力的矿流，冲开溜井下口闸门而跑矿，造成人身伤亡事故和堵塞巷道，危害极大。针对这种情况，在溜井放矿理论问题方面，我国进行了大量的松散矿石的物理力学参数测定、溜井结构模型放矿实验。通过试验和生产，认为矿石湿度是影响矿石溜放的重要指标。湿度很小(即较干条件下)，矿石不易压实，强度低，松散恢复系数大，容易溜放；湿度适中，矿石易压实，强度高，难以溜放，常产生结拱堵塞事故；湿度超过饱和以后，可能形成泥石流，易出现跑矿事故。矿石湿度(W)与粘聚力(C)、内摩擦角(Φ)和矿石松散恢复系数(f)的关系见图2、图3、图4。

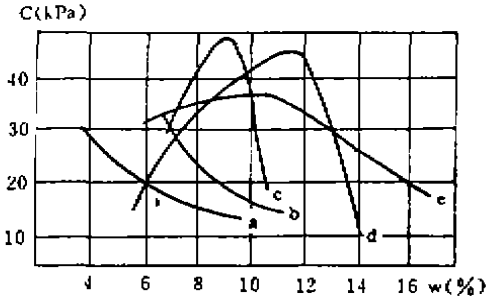


图2　W-C图

图4中松散恢复系数($f=\frac{P_s}{P_z}=\frac{松散重量}{试模重量}$)的大小受含水量的影响尤为重要，随W值增加，f值普遍降低，矿石靠自重难以放出。

根据我国有关溜井试验资料和矿山的生产实践，当矿石中含水(雪)量<5%时，容易溜放；当含水(雪)量在5～10%时，矿石潮湿，容易结拱，溜放困难；当含水(雪)量>10%时，增加了矿石的流动性，容易跑矿。

因此，溜井的直径除满足溜放物料最大块度的4～6倍(即$D_1\geqslant 4\sim 6D_{max}$)外，还应按下列公式计算：

$$D_2\geqslant\frac{4C}{\gamma}(1+\sin\Phi)$$

式中　D_2——溜井直径 m；

C——松散物料粘聚力，t/m^2；

γ——松散物料容重，t/m^3；

Φ——松散物料内摩擦角，度。

维普资讯 http://www.cqvip.com

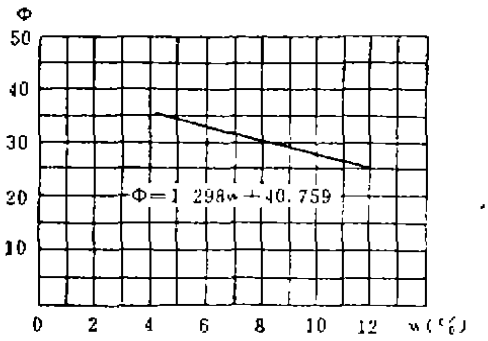


图3 W—Φ图

在高山矿床使用溜井时，溜井设计和管理至关重要。为防止大量水(雪)涌入溜井，防止溜井跑矿，在溜井系统结构设计和管理上应考虑高山地区的特点：(1)尽可能不要在溜井的上部再接以长度较大的斜溜槽，以免汇水过多；(2)对含雪量>5%的矿石，禁止卸入溜井。为减少爆下矿石的含雪量，在大量爆破之前，需把爆破平台上面和上平台底脚的积雪清除干净；(3)生产管理中应合理调配矿石的生产，使粉矿在旱季多采，在雨季不采或尽量少采，对含泥量大的矿石，应预先剥离或经洗矿处理后再卸入溜井；(4)溜井中若有 2～3m³/h 的地下涌水量时，溜井易于堵塞和跑矿，届时对溜井应采取防排水措施，必要时打疏干放水孔；(5)使溜井经常放矿，保持矿石在溜井中处于流动状态。当矿石中掺入的雪超过5～6%，且在溜井中停滞时间达 10 小时以上时，矿石最易冻结、堵塞；(6)放矿溜口宜采用振动放矿机出矿。由于振动机的激振力活化了附近的矿石，可基本上消除溜口附近的粉矿结拱堵塞；(7)处理溜井堵塞事故时，严禁用水大量灌入溜井。为了处理粉矿"悬拱"堵塞，我国最近研制了一种 MC—1 型压气促流器(应用风动脉冲装置)，使用效果较好；(8)尽管如此，但总难免万一发生跑矿事故，为了确保溜井生产操作人员能在一旦发生跑矿事故时，能迅速安全撤离，应设置安全通道，该通道与通往外部的主平硐口相连通。

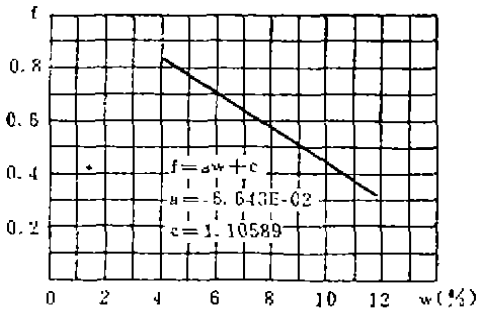


图4 W—f图

三、高山矿井通风

高山矿井由于海拔高，空气的压力、温度、湿度、重率、密度等基本参数随海拔高度(绝对高程)的变化而变化。因此，高山矿井的通风与一般矿山相比有它的特殊性，是值得高山矿井设计中重视的。

1、通风设计中的主要参数

1)气压：气压随海拔高度的增加而递减，从我国 470 多个高山气象站 10 年以上的气象资料统计分析，得出如下公式：

$$B=0.75(C_2-C_2H)$$

式中 B ——海拔高度为 H m 的大气压力，用绝对压力表示；

C_1、C_2 ——海拔高度系数；

H ——海拔高度，m。

2)气温：气温随海拔高度的增加而递减。海拔高度为 H m 处的当地气温，可利用温度梯度公式计算：$t_H=t_h+g_i\frac{H-h}{100}$

式中 t_H ——海拔高度为 H m 处的当地

维普资讯 http://www.cqvip.com

历年平均气温，℃；

t_h ——相邻气象台的历年平均气温，℃；

g_t ——该地区的气温梯度，℃/100m。查阅气象资料，当 H＞h 时，g_t 取负号；当 H＜h 时，g_t 取正号。

气温梯度有明显的地区性，与纬度有关。

至于最低开采阶段回风井巷的平均气温，根据地热理论，采用岩石温度近似计算，即：

$$t_{井}=t_{岩}=t_{恒}+\frac{(H_2-H_1)-H_{恒}}{gr}$$

式中 $t_{井}$——地下最低开采阶段回风井巷的平均气温，℃；

$t_{岩}$——地下最低开采阶段的岩石温度，℃；

$t_{恒}$——当地恒温层的温度，一般等于当地历年平均气温。℃；

$H_{恒}$——恒温层的深度，一般为25～30m；

g_r ——地温梯度，m/℃，对金属矿井一般为 45～50；

H_2-H_1 ——矿井开采深度，m；H_1 为进风水平标高，m；H_2 为最低开采水平标高，m。

3)湿度：空气的绝对湿度随海拔高度的增加而递减，利用湿度梯度公式计算：

$$e_H=e_h\pm g_e\frac{H-h}{100}$$

式中 e_H ——海拔高度为 H m 时当地空气绝对湿度，p_a*；

e_h ——相邻气象台站的历年平均空气绝对湿度，pa；

g_e ——绝对湿度梯度，查阅气象资料，当 H＞h 时，g_e 取负值；H＜h 时，g_e 取正值。p_a/100m。

我国平均绝对湿度梯度 10.67～53.33p_a/100m。

4)空气重率：计算式为：$\gamma=\frac{0.462B}{T}$

式中 γ ——空气重率，kg/m³；

T ——绝对温度，℃；

B ——大气压力，p_a。

海拔高度对空气重率的影响是海拔高度对气压、气温、湿度影响的综合表现，用海拔高度系数 K 表示：

$$K=\frac{\gamma_H}{\gamma_0}=\frac{0.385B_H}{T_H}$$

式中 K ——海拔高度系数；

γ_H ——海拔高度为 H m 处的空气重率，kg/m³；

γ_0 ——标准条件下的空气重率，kg/m³，r_0＝1.2；

B_H ——海拔高度为 H m 的气压，p_a；

T_H ——海拔高度为 H m 的气温，℃。

2、高山矿井风量、风阻，风机和电机性能的影响

1)风量：高山矿井中，炸药爆破产生的炮烟容积增大、使排烟条件恶化，应以海拔高度系数 K 校正排烟风量，即：

$$Q_H=\sqrt{\frac{1}{K}}Q_0$$

式中 Q_H ——高山矿井的排烟风量，m³/s；

Q_0 ——平原条件下计算的排烟风量，m³/s。

上式说明，由于海拔高度的影响，高山矿井的排烟风量应比平原条件下矿井计算的风量大$\sqrt{\frac{1}{K}}$倍。

---

* 实际应用中，水蒸汽分压力容易测定，数值上与空气的绝对湿度(g/m³)近似相等。

维普资讯 http://www.cqvip.com

2)风阻：矿井通风摩擦阻力系数α与空气重率γ成正比，高山矿井的空气重率比平原条件下矿井的空气重率(1.2kg/m³)小，因此，高山矿井的通风摩擦阻力系数和风阻力均随海拔高度的增加而递减，即：

$$\alpha_H = K\alpha_0 \qquad R_H = KR_0$$

式中 α_H ——高山矿井的井巷通风摩擦阻力系数；

α_0 ——平原条件下矿井的井巷通风摩擦阻力系数；

R_H ——高山矿井风阻；

R_0 ——平原条件下矿井的风阻。

也就是说：由于海拔高度的影响，高山井巷的通风摩擦阻力系数和风阻应比平原条件条下的通风摩擦阻力系数和风阻小K倍。

3)风机和电动机：我国风机的特性曲线一般是按吸入空气为标准条件绘制的。由于高山矿井的大气压力、空气温度和湿度与标准条件有较大的不同，要按 γ_H/γ_0 来修正其风压曲线和功率曲线。高山矿井通风机的电动机，由于空气重率相对减小，使电机的绝缘强度降低，故其功率随海拔高差相应增大。海拔每升高100m时，轴功率下降0.6～1%。

3、高山矿井自然通风的特点

自然通风是高山小矿井常用的通风方式。在冬季高山矿井的自然负压比平原增加1.5～3.0倍，在夏季比平原要小。

四、高山露天矿边坡稳定性研究

要使露天矿采矿作业获得较好的经济效益，应在保证矿山生产年限内不发生重大滑坡事故的前提下，尽量采用陡边坡。边坡设计得是否合理，即影响矿石的回采率，又影响岩土的剥离量，从而在很大程度上影响矿山的经济效益。近十几年来，长沙矿冶研究院和长沙黑色冶金矿山设计研究院，对一些露天矿进行了边坡研究与边坡设计，较大地改善和提高了矿山的经济效益。例如西藏罗布莎铬铁矿露天边坡(海拔标高4000m)稳定性分析研究结果表明，总体边坡角由原来设计的40°提高到47°～48°，可减少剥岩总量约15%。

据近30年来国内60个露天矿山的不完全统计，共发生滑坡339次，遍及冶金矿山、非金属矿山和煤矿。据我国重点露天矿的边坡调查，其稳定边坡的长度占边坡总长的17～33%，这说明边坡是露天矿设计面临的一个十分重要的课题。

高山露天矿边坡稳定性问题尤为突出，是高山矿床的地质特点和气候条件所致。(1)冰冻：如可可托海稀有金属矿，年平均温度为－2.17℃，最低温度为－50.8℃，地表冻结深度达2.2m以上，最大雪积深度为1000mm。由于高山地区冰冻，在岩体裂隙中产生楔胀作用，冰冻后融雪，溶蚀了原裂隙间的充填物，使原裂隙进一步扩大和岩体质量进一步恶化，不利于边坡稳定；(2)暴雨：某些高山地区暴雨多，如东风铬矿，一次最大降水量为27.5mm，当地表水疏排不及时，便将弱化露天矿台阶坡脚岩体，降低其总体抗滑能力；(3)地震：地震烈度高的地区，如西藏罗布莎铬铁矿边坡稳定性分析报告中的敏感性分析表明，地震效应对于边坡稳定性的影响较爆破振动所产生的不利影响要大。

东风铬铁矿17#采场在开采期间出现过滑坡，滑坡位于采场南帮，滑体的垂直标高为4859～4790m，高差69m，沿边坡走向长20～40m，在坡顶处发现有一较大的断层F_1，该断层与边坡倾向基本一致，相对于边坡总体高度，滑坡体规模较大，为典型的平面滑坡，滑坡量为14000m³，见图5。

维普资讯 http://www.cqvip.com

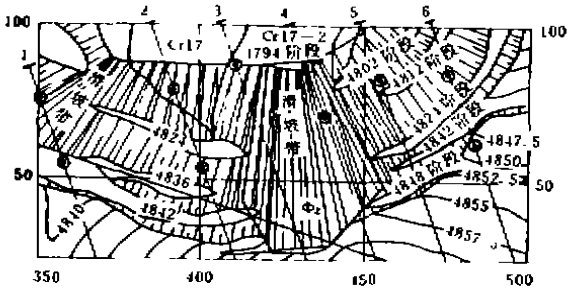


图5　东风矿铬铁矿 Cr17 采场南坡滑坡地形图

高山露天矿边坡稳定性研究工作具有如下特点：(1)采用现场岩体断裂调查、自然坡调查、矿区地震和水文资料的分析与收集，现场小型剪切试验、室内岩石力学研究(常规岩石力学试验，冰冻试块的抗压抗拉试验)及数值分析(包括考虑自重、地震、爆破和水的影响及有限元法与边界元法)的综合研究方法进行研究，分区评价其合理的边坡角，并对边坡的维护提出有效措施和建议；(2)对于高寒地区年气温差很大时(可可托海矿年温差达 85～88℃)，室内试验时试验处理温度要求在－100℃以下，因此，试用了液态氮作处理剂(温度为－196℃)。经过专门处理后的冰冻试块进行常规单向抗拉、抗压试验。试验结果表明，经冰冻处理后的试块，其试件抗拉抗压强度(绿帘石化斜长角闪石)均比未经过处理的同种试块稍高，绝缘电阻值稍有降低约 5%，能见的细微裂纹全部为冰霜充填，这可能就是抗压抗拉强度的增高原因；(3)在通过勘查、试验(包括地下水动态测试)，在基本上弄清地下水活动规律的基础上，可可托海稀有金属矿曾成功地设计了深孔排水工程，经过 10 年来的证实，这种方法是成功和有效的。为了确保继续下采所必须的排水疏干工程，设计的主导思想是在主要强下渗地段的附近砂砾含水层底板较深地段，布置疏干钻孔以求形成巨大的截流性疏干漏斗，疏干矿床地下水，增加边坡稳定性；(4)用以衡量露天边坡稳定性的安全系数，受以下各影响因子的综合影响：①边坡工程地质与水文地质工作情况；②岩石力学强度试验及数据处理方法；③破坏模式的采用；④大气降雨及地下水情况；⑤地震影响；⑥边坡高度及服务年限；⑦稳定性计算方法；⑧其它附加影响因素。鉴于高山露天矿边坡的特点，罗布莎铬铁矿允许安全系数确定为 1.2～1.25。

五、高山病与防治

随着海拔高度的增加，矿山职工常出现高山病态，人体器官机能减退，工作能力降低，出勤率降低。据我国西藏东风铬铁矿等部分矿山的实际资料分析，人的实际工作能力，当工作在标高在 3000～4000m 时，降低 30～40%；在 4000～5000m 时为 40～50%；职工出勤率降低 20%左右。高山致病的主要原因是：(1)空气中缺氧：海平面标高的空气含氧量为 20.9%；当海拔标高在 3000m 时，含氧约减少 1/3；当海拔标高在 5000m 时，含氧量将减少一半。长期在高山工作，将会出现慢性高山病，如血压异常，心室扩大，高山肺水肿等。据西藏东风铬铁矿的普检资料，头痛头昏者为 43%，心悸、胸闷者为 39%，失眠、食欲不振者为 24%，高血压者为 15%，心脏或肺部改变者为 15%；(2)高山水质不纯：由于高山地形和气候条件，使水中某些有用矿物质迁移流失，使某些有害矿物质富集，加上放射元素的危害，导致高山水质不纯。在缺碘、氟、钙等元素的高山地区，多产生地区性的甲状腺肿，克汀病、佝偻病等；(3)高山紫外线病：由于高原地区的空气层薄，尘埃少，晴天多，故红外线及紫外线照射强烈。

维普资讯 http://www.cqvip.com

鄂西铁矿山的开发及利用

长沙黑色冶金矿山设计研究院 陈其璋
宜昌八一钢铁设计研究所 吴文庄 李惠民

【提要】鄂西蕴藏有储量巨大的高磷鲕状赤铁矿资源，因矿石的开采和选冶技术相当困难，迄今尚未开发利用。在建的鄂西高磷铁冶炼中试厂将开展矿石的选冶技术研究。本文就鄂西几个大矿区的开采、选矿、运输等重要建设条件作些探讨研究，旨在促进地区建设规划的实施。

鄂西高磷铁矿产区位于湖北省宜昌市西南部，地处长江三峡之南，清江两岸，跨宜昌、恩施两个专区，包括宜昌、长阳等十县，约18000km²。现已探明储量达16.9亿t。属于宁乡式高磷鲕状赤铁矿石类型。为了开发和利用这类矿石，我国从50年代起就作过大量探索、研究和试验工作。同时对该地区的火烧坪、松木坪、官庄等矿山进行过投资建设，但均未达到预期效果。究其主要原因，是由于我国那时对于处理这种高磷铁矿石还未获得一套在技术上可靠、经济上合理的工艺方法，即采矿、选矿、冶炼在工艺上存在一些难题，以至铁矿资源未得到开发利用。

随着我国国民经济的迅速发展，对钢铁工业无论在质和量上都要求愈来愈高，相应对铁矿石的供求矛盾日益突出，如果依赖大量进口，必将耗用国家巨额外汇。同时，随着科学技术的进步及发展，国内外对处理这种铁矿石，也积累了经验，现已在湖北省宜昌市建立了处理高磷铁矿的工业性试验基地。鉴于这种情况，尽快开发和利用鄂西高磷铁矿资源，是将具有深远意义的。

一、地理位置

鄂西高磷铁矿产区，位于湖北省宜昌及恩施地区，清江流域两岸崇山峻岭之中，海拔标高在800～1400mm之间。

据测定，紫外线随海拔标高每升高100m，强度增加3～4%，西藏拉萨市年平均总幅射量为799.6KJ/cm²，年日照时间长达3005.7h/a，为平原地区的3～4倍。矿山职工常发生光明性皮炎，太阳光眼炎，也患佝偻病等。

须指出，高山矿床开采尚有电气设备防护、压气和柴油设备效率降低，装载与运输设备作业影响等应予研究的问题，但本文因受篇幅所限，未予包括述及。

【鸣谢】谨对长沙黑色冶金矿山设计研究院唐昭武院长和长沙矿冶研究院陈祖训院长允许本文公开发表致以谢意。

主要参考文献

[1]《露天矿平硐溜井系统的设计与实践》，第一届国际矿山规划与开发会议论文，李鼎权等，1980.9
[2]Design of ore pass system for underground mines [美国]D. F. Hamblay CIM bulletin 1987
[3]金属矿井通风防尘设计参考资料，冶金工业出版社，1982.12
[4]РАЗРАБОТКА ВЫСОКОГОРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ，[苏联]Н. З. ЛЬСЕНКО，1966