DOI:10.3969/j.issn.1671-4172.2011.01.003

竹峪金矿 F5 矿床浅部低品位矿石开采技术

张孝民，杨志强，习玉良，何海江，冯江伟，张金歌
（金源矿业有限责任公司，河南 灵宝 472500）

摘 要：竹峪金矿 F5 金属矿床 650 米标高以上矿段经过多年地下开采后，已消耗殆尽。近几年黄金价格持续上涨，矿床浅部遗留低品位矿石已具有了工业开采价值。采用露天采矿技术对该类低品位矿石回收利用，不仅提高了资源利用率，取得了显著的经济效益，也为我国同类矿山提供了一种可供借鉴的方法和经验。

关键词：露天开采；浅部遗留；低品位矿石；回收；资源利用率

中图分类号：TD854　　文献标识码：A　　文章编号：1671- 4172(2011)01-000-00

Mining Technology about Remaining Low-Grade Ore in Zhuyu Gold Mine F5 Deposit

ZHANG Xiaomin，YANG Zhiqiang，XI Yuliang，HE Haijiang, FENG Jiangwei, ZHANG Jinge
(Jinyuan Gold Mine Co., LTD, Lingbao 472500, Henan, China)

Abstract: The ores above 650 meters in Zhuyu Gold Mine F5 metal mineral deposit has almost been exhausted after years of underground mining. In the recent years, with the rising price of gold, the remaining low-grade ore in the shallow position is worthy of industrial mining. The technology recovers and utilizes the low-grade ore by surface mining method. This technology improves the resource utilization rate, has achieved obvious economic benefits to the company and provided a useful reference experience and method for the mining industry in China.

Key words: open pit mining; remaining in the shallow position; low-grade ore; recovery; resource utilization rate

0 引言

竹峪金矿是金源矿业有限责任公司第二分公司下属的一个主采区。前身隶属于灵宝市灵湖金矿，始建于 1976 年，一直在 F5 金属矿床进行地下开采。通过近三十年的开采，探明的资源量已消耗殆尽，寻找接替资源已成为当前企业健康发展的首要任务。

本文结合当前黄金价格持续上涨的有利形势，提出采用露天采矿技术回收地下开采结束后的矿床浅部遗留低品位矿石。在分析该类矿床遗留采空区和采切巷道对回采工作影响的基础上，通过技术改进，正确处理采空区和边坡治理。该方法不仅提高了资源利用率，而且降低了生产成本的投入，提高了经济效益，仅供同行参考。

1 技术背景

1.1 矿床地质概况及储量保有情况

F5 断裂破碎带为含金糜棱岩构造带，F5 含金石英脉为东段一部分，东起夫夫峪???，经过本矿区、大湖罗山、西延至周家峪与 F6 复合交汇，全长约 7～8 km。近东西走向，倾向 NNE，倾角 30°，走向及倾向均具波状起伏特点，构造带厚 20～50 m，构造带内糜棱岩、千糜岩、碎裂岩发育。构造带上盘为辉绿岩、条带状混合花岗岩，下盘为角闪斜长片麻岩，中等稳固。矿石为糜棱岩，稳定性差，矿石比重 2.48 t/m^3，松散系数 1.75，自然安息角 40°，湿度 6.31%。F5 断裂破碎带为本矿最主要的一条控矿断裂，含金石英脉成脉状和团块状产出，形成了金矿石的富集区。断裂为成矿提供通道和成矿空间的同时，断裂破碎带自身也不同程度矿化，形成了一个具有工业价值的低品位金矿床（见图 1）。根据实地取样、边界圈定、矿量核查，结合 1985 年河南省地调一队提交的地质储量报告，在 675 m 标高以上 7 个矿段共圈定低品位矿石 407.6128 万 t（见表 1），减去历年来我矿采出矿石量 86.175 万 t 和民采矿石量 30 万 t，现实际保有矿石量 291.4378 万 t，平均品位 0.7 g/t，金属量 2 049 kg（见表 2）。

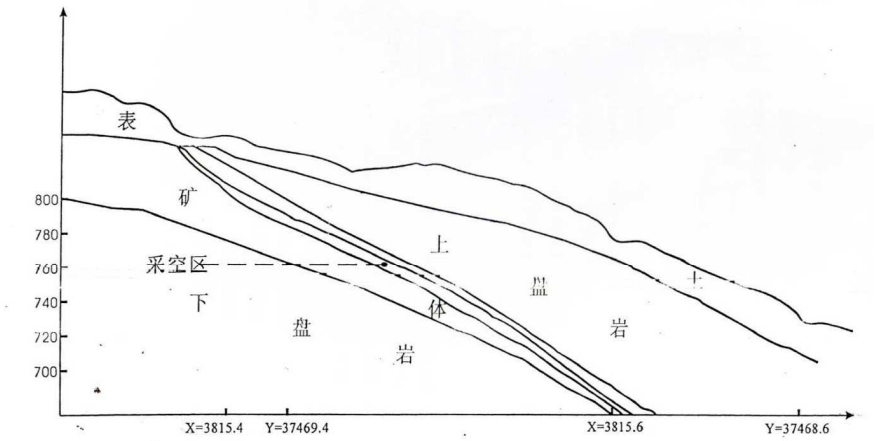

图1　矿床剖面图（0勘探线）

Fig 1: Cross section of the Ore deposit(0 Exploration line)

Fig.1 The profile of ore deposit(0 exploration line)

表 1　低品位矿石量计算表

Table 1 Calculation table of low-grade ore quantity

中段标高	矿体走向长度/m	厚度/m	倾角/°	斜长/m	体积/m^3	体 重/（t/m^3）	矿石量/万 t	备注
794	150	50	27	37	277500	2.48	68.82	
784	190	50	27	22	209000	2.48	51.832	
770	210	15	27	30	94500	2.48	23.436	
750	260	15	27	44	171600	2.48	42.5568	
725	320	15	27	55	264000	2.48	65.472	
700	400	15	27	55	330000	2.48	81.84	
675	360	15	27	55	297000	2.48	73.656	
合计					1643600	2.48	407.6128	

表 2　低品位矿石保有量计算表

Table 2 Calculation table of low-grade ore retaining quantity

中段标高	矿石量/万 t	采出矿量/万 t	民采/万 t	保有矿量/万 t	品位/（g/t）	金属量/kg	备注
794	68.82	5.5056	0.43	62.8844	0.61	383.595	
784	51.832	4.1465	6.90	40.7855	0.62	252.870	
770	23.436	6.2496	1.60	15.5864	0.67	104.429	
750	42.5568	9.1652	4.30	29.0916	0.74	215.278	
725	65.472	19.6425	8.07	37.7595	0.77	290.748	
700	81.84	17.3233	5.60	58.9167	0.70	412.417	
675	73.656	24.1423	3.10	46.4137	0.84	389.875	
合计	407.6128	86.175	30.00	291.4378	0.70	2049.212	

1.2 矿床开采现状

1976 年建矿至今一直采用地下开采方法，平硐-盲斜井联合开拓，采矿方法为空场法，主要开采 3.5 g/t 以上金矿石资源。通过 30 余年的开采，2005 年至今已在 650 m 标高以下进行探采作业。

由于受历史开采的经济、技术等因素影响，650 m 标高以上矿段矿体富集区开采结束后，大量的采空区未做处理，地压失衡导致采空区、部分开拓及采准工程已垮塌。

1.3 技术思路

从经济及安全因素考虑，已无法利用地下开采方法回收 650 m 标高以上矿段低品位矿石。为充分利用矿产资源，提高矿山企业经济效益，根据露天开采的实践经验，对该矿床 650 m 标高以上矿段的低品位矿石实施露天开采的方法进行资源回收利用。

2 技术方案

2.1 采矿方案的选择

如图 1 所示，本矿区山势北倾、矿脉北倾、侵蚀基准面在 650 m 水平，沿矿脉倾向形成自然山坡，地表道路畅通，上盘岩石厚度不大，不少地方（特别是上部）表土覆盖层厚度不大于 5 m，而含矿层厚度较大，最厚达 50 m（见表 1）。露天开采虽然基建投资大，但该矿段初期剥离量很小，矿山也有部分设备可以投入使用，基建投资比较小，故选用露天开采。该矿段采用露天开采还有以下优点:

1）矿段地面无建筑物、农田、森林等，基建条件好;

2）供电、供水、运输等系统容易形成，排土排碴场、工业场地便于布置;

3）露天开采使用大型设备，劳动生产率高，采矿成本低;

4）矿岩界限清楚，易于分采分装，贫化损失小。

2.2 露天开采各项参数的选择

2.2.1 开采范围

该开采矿段地表没有建筑物、农田、森林、河流或其它难以迁移的设施，矿岩稳固性较好，水文地质条件简单。根据矿床的地质赋存特点和开采技术条件，保证盈利的情况下，开采范围确定为 3 线以东，4 线以西，725 米标高以上的矿段（走向长 240 ~ 320 m，垂高 100 m）。

2.2.2 经济合理剥采比

经济合理剥采比是露天境界确定的重要指标。本开采矿段由于矿石品位较低，不存在地下开采的可能，无法利用比较法来确定。因此采用收支平衡法来计算经济合理剥采比，计算公式为:

$$N_J=\frac{PAR-a-C-E}{b}$$

，式中:

N_J—经济合理剥采比，t/t; b—每吨废石的剥离和运输费，元/g; a—每吨矿石的开采和加工费用(不包括剥离)，元/g; C—其它未摊入 a、b 的费用，元/t; E—每吨矿石盈利的期望值，元/t; P—每克金价，元/g; A—矿石平均品位， g/t; R—堆浸回收率， %。

取值: b=8.20 元，$a+c$=29.5 元，E=5 元，P=120 元/g，A=0.70 g/t，R=75%，计算得出 N_J=3.48。当收支平衡时（即 E=0），N_J=4.09。我国露天矿的经济合理剥采比一般为 8 ~ 10（如表 3 所示），而本矿段的经济合理剥采比为 3.48，大大低于我国矿山的一般水平，这主要是由于该矿段遗留矿石品位低造成的。

2.2.3 露天采场最终边帮构成要素

1)阶段高度和阶段坡面角

该矿段矿岩 f=6 ~ 12，矿石稳固性中等，上盘岩石稳固性更好。对于需穿爆的硬岩，一般不超过挖掘机最大挖掘高度的 1.2 倍。我矿选用灵活爬坡能力强的 2 m^3 反铲式挖掘机（最大挖掘高度为 7.7 m），因此阶段高度选用 8 m，阶段坡面角 50°，达到了安全规范要求。

2)最终平台宽度

由于本开采矿段为山坡露天和深凹露天的混合型，深凹露天部分可以从山坡露天部分进入，因此不用考虑设置运输平台。加之深凹露天部分开采深度最大仅 100 m 左右，也未考虑清扫平台。安全平台宽度选 4 m。

3)最终帮坡角

根据矿床开采条件、阶段坡面角及开采深度，最终帮坡角选定为 55°。

表 3　部分露天矿设计的剥采比值

Table 3 Stripping Ratio of partial surface mining design

矿山名称	开拓运输方式	主要采剥设备	经济合理剥采比 /(m^3/m^3)	平均剥采比 /(m^3/m^3)	生产剥采比 /（t/t）
朱家包包铁矿	准轨铁路	4m^3 挖掘机	8.0	3.66	2.7 ~ 3.8
兰家火山铁矿	汽车—溜井	4m^3 挖掘机	8.0	1.74	
海南铁矿	上部铁路，下部公路	3 ~ 4m^3 挖掘机	7 ~ 8	2.55	3.8
大宝山矿	公路	4m^3 挖掘机	8.0	3.18	1.98
大冶东露天采场	准轨铁路，下部公路	3 ~ 4m^3 挖掘机	14.2	6.01	
水厂铁矿	公路	16.8m^3 挖掘机	10.0	3.23	3.0
凤凰山铁矿	汽车—溜井	1m^3 挖掘机	8.0	3.28	3.34
大石河铁矿	准轨铁路	3 ~ 4m^3 挖掘机	6.0	2.66	3.2
眼前山铁矿	准轨铁路	4m^3 挖掘机		2.00	2.71
金川镍矿	上部铁路，下部公路	3 ~ 4m^3 挖掘机	6.2 ~ 7	4.6	5.5
德兴铜矿	汽车—溜井	4m^3 挖掘机	7.0	2.2	2.0 ~ 3.0
昆阳磷矿	公路	4m^3 挖掘机	8.0	4.42	6.17

4)境界剥采比及露天境界的确定

该矿段矿体倾角 27°，为缓倾斜矿体。根据该矿段地质横剖面图，采用面积比法，如式 $N_{JJ}=\frac{SV}{SP}$，式中 S_V 为剥离岩石面积，S_P 为剥采矿石面积。求得 725 m 阶段平均 N_{JJ}=3.66，即开采至最终阶段仍略有盈利（2 ~ 3 元/t），因此确定 725m 为最终开采水平（如图 2）。

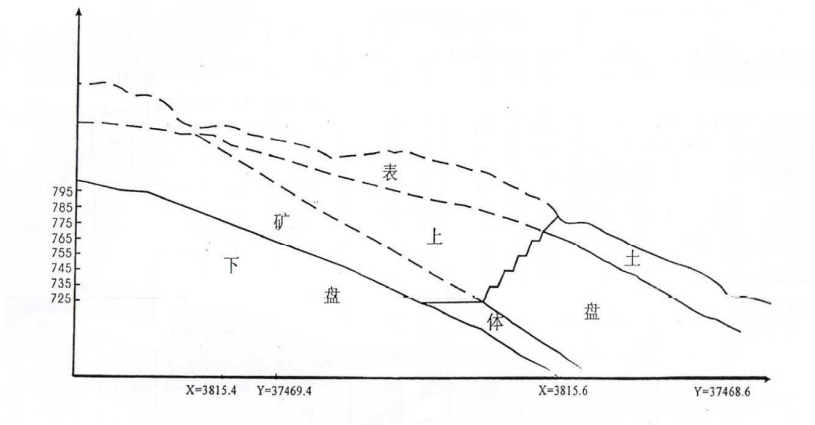

图2 最终境界剖面图（0勘探线）

Fig2. Cross section of the final boundary (0 Exploration line)

Fig.2 The profile of the final boundary (0 exploration line)

5)露天开采底宽及位置

露天采矿场底最小宽度不应小于开段沟宽度，并按采装和运输设备的规格确定。我矿选用 2 m^3 液压铲和 20 t 自卸汽车，确定采矿场底最小宽度为 20 m。

2.3 露天开采生产能力的选择

该剥采区矿体走向长 200 余米，开采深度约 100 m，低品位矿石 186 万 t 左右。结合国内同类露天矿延伸纬度和场地筹建及配套设备选购等情况，选择年产量为 50 万 t/a。

2.4 露天开采的运输方式和设备选择

由于该开采矿段与排碴场和堆浸场的地面公路已经形成，且开采区域内简易公路使用挖掘机修建简单方便，因此选用公路开拓运输方式。结合现有实际设备情况，选择 2 m^3 斗容的挖掘机、20 t 自卸汽车。

2.5 采剥方法

采剥方法是露天开采全部过程中的中心环节。我矿采用 Φ105 mm 风动潜孔钻机凿岩，垂直钻孔，多排（2 ~ 3 排）、三角形布孔方式，孔深 8 ~ 10 m，孔距 4 ~ 4.5 m，排距 3.5 ~ 4 m，炮孔堵塞长度大于 4 m，炸药单耗 0.3 ~ 0.5 kg/m^3。采用电雷管引爆，排间孔外微差爆破的方法进行预先松散，然后用挖掘机进行铲装，矿岩分别装车。对于松散破碎矿岩，一般不需要凿岩爆破，可直接用挖掘机铲装。工作线布置和推进方向：根据我矿露天开采设计能力，以及该矿段地质赋存条件，采用工作线沿矿体走向布置，垂直矿体走向推进，剥离工作线沿上盘推进，采矿工作线沿下盘推进，减小矿石的损失和贫化。

2.6 采空区处理

露天开采前，根据相关地质资料及露天开采设计的最终开挖境界，圈定出剥采区内采空区的赋存状况，并实地测量标定，设置警戒。露天剥采与地下探采隔离带内各中段具有施工条件的采空区采取废渣充填、集中放顶等措施进行采空区治理，达到地压平衡，并封堵该区域内废弃坑道、采场，杜绝人员进入。钻机凿岩遇到采空区时，采用黄土充填固孔方法，提高凿岩质量和爆破效果。装运矿岩作业前，在工作平台对爆破充填处理过的采空区采用机械夯实，并加强该区域的安全监护管理。由于矿床中矿石富集区体积相对较小，相应遗留采空区空间较小，而露天爆破后矿岩自身松散垮落采空区（我矿矿岩松散系数为 1.75），达到了安全处理采空区。

2.7 边坡管理及地质灾害防治

在露天开采过程及后期治理中，采取以下措施进行边坡管理及地质灾害防治:

1)确定露天开采区域相对应的 725 ~ 650 m 标高段为露天开采与地下开采隔离带，禁止在该区域采掘作业。由于该区域主构造倾角为 27°，属倾斜矿体，有效控制了 650 m 标高以下采掘作业的工程扰动力对露天边坡的破坏和影响。

2)在露天开采区域北部（760 ~ 770 m 水平）采用锚杆混凝土挡墙对边坡岩体加固处理。

3)在最终开挖境界外围沿边坡开挖排洪渠，并在露天开采底部（725 m 水平）开挖排水沟，分别达到将地表水截流及泄洪，有效避免了地表降水流入露天采矿区域以及渗入井下。

4)刺丝封堵露天开采区域，悬挂警示标志，禁止人员进入。

5)露采边坡设置变形观测点，定期观测，绘制变形曲线，建立测量台帐，发现异常，及早报告，确保早发现、早治理。

3 综合比较

投	直	项　　目		合　计
		剥离费用	矿量/吨	1 730 724.57
			费用/元	25 963 355.13
	接		吨矿/（元/吨）	15.00
		筑堆费用	费用/元	20 083 988.95

对浅部已开采矿床的低品位矿石回收技术，还未见有过全面报道。结合矿山实践经验，传统方法是在已开采的矿体上、下盘施工辅助工程（脉外运输巷道和采切工程）对原回采时损失的高品位矿石和矿床中储存的低品位矿石再控制或空区内施工浆砌矿柱、坑木支护、废石充填采空区后，对遗留原生矿柱和边角矿体进行局部残采。缺点为生产能力低、成本高、地压难以管理。尤其针对已开采的矿床中低品位矿石因开采成本太高和安全等因素，根本无法回收利用。而采用露天开采技术对该类资源回收，不仅生产能力大、吨矿成本低（我矿露天开采 26.6 元/t，与坑采 94 元/t 相比降低了 67.4 元/t），且剥采“贫、损”两率小于坑采（剥采损失率为 7%，贫化率为 5.97%，而坑采正常矿块的回采“贫、损”两率均在 10%左右，残采将更大）。

4 实施效果

采用露天采矿法对浅部已开采矿床的低品位矿石回收技术，我矿

入	费用		吨矿/（元/吨）	11.60
		喷淋费用	费用/元	16 893 822.86
			吨矿/（元/吨）	9.76
		人员工资	费用/元	5 157 844.91
			吨矿/（元/吨）	2.98
		其它	费用/元	908 555.65
			吨矿/（元/吨）	0.52
		破碎及固定资产/元		5 142 317.83
		场地建设费用/元		2 576 638.39
	合计		费用/元	76 726 523.72
			吨矿/（元/吨）	44.33
收入	产出黄金		黄金产量/两	17 756.704
			含金物料/两	312.027
			销售收入/元	93 408 341.29
投入产出比较/元				**16 681 817.57**
备注：盘存解析炭 38 549.672 kg，含金量 6 560.229 g，以 200 元/g 计价折金额：1 312 045.8 元。				

2005～2008 年共剥采矿石 173.07 万 t，平均品位 0.63 g/t，金属量 1090.35 kg，吨矿剥采成本 26.60 元/t，产值 9472.04 万元，利润 1799.39 万元（见表 4）。

表 4　露天采矿经济效益汇总表

Table 4　Summery of economic benefit by surface mining

5 结语

结合当前国内黄金企业的生产现状，浅部资源大多已开采殆尽。随着近几年黄金价格的持续上涨，浅部低品位矿石已具有工业开采价值。采用露天开采技术回收该类矿石资源，可以减少坑采过程中的不安全因素，减少资源浪费，降低生产成本的投入，提高了经济效益。同时这一采矿方法符合国家提出的建设节约型社会的要求，为灵宝黄金生产的采矿技术填补了空白，并在小秦岭金矿区乃至全国都有良好的推广价值，为我国黄金产业的发展和低品位矿石资源回收利用提供了较好的回收办法。

参 考 文 献

[1]陈国山．露天采矿技术[M]．北京：冶金工业出版社，2008.
[2]采矿手册编辑委员会．采矿手册[M]．北京：冶金工业出版社，1999.
[3]王运敏．中国采矿设备手册[M]．北京：北京科学出版社，2007.
[4]金属非金属矿山安全编委会．金属非金属矿山安全[M]．武汉:湖北科学技术出版社，2003.

作者简介：张孝民（1966-），男，采矿工程师，现从事采矿和技术管理工作。