

· 专家论坛 ·

## 岩金薄与极薄矿脉开采工艺技术综述(二)

姚 香  
(长春黄金研究院)

**摘 要:**综合介绍了我国岩金矿山半个多世纪以来,在开采各种倾角和薄与极薄石英脉中,为了适应矿脉变化而发明的许多变形采矿方案。为了降低损失贫化,主要采用各种干式或削壁充填采矿法,并对这些开采方案的工艺特点和所取得的主要成果进行了介绍,以飨读者。

**关键词:**薄与极薄矿脉开采;干式或削壁充填采矿法;自行设备;变形方案;岩金矿山

**中图分类号:**TD853.25<sup>+</sup>1 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-6082(2010)06-0001-05

### Review on Exploitation Technology of Thin and Extra-thin Vein of Rock Gold

Yao Xiang

(Changchun Gold Research Institute)

**Abstract:**Comprehensively introduce more than a half century of China rocky gold mine, many deformation mining plans are invented in order to suit to the change of vein during the exploitation of various kinds obliquity, thin and extra-thin quartz vein. Adopt various kinds of dry-type or waste lifting stoping mainly in order to reduce loss and dilution, process feature of these exploitation plans and main achievements obtained are introduced.

**Keywords:**Exploitation of thin and extra-thin vein; Dry-type or waste lifting stoping; Mobile equipment; Deformation plan; Rocky gold mine

#### 4 削壁留矿法试验应用

内蒙古撰山子金矿与上述两个矿山同为开采急倾斜极薄矿脉,平均脉厚0.3~0.5m,倾角大于60°。1987年在开拓井田范围之外发现27#脉,1992年全泥氰化-锌粉置换新选矿厂(150t/d)年初投产。矿山开采矿脉极薄、走向长度短及采场生产能力低,与选矿厂生产要求很不适应。为此,需解决:①增大采场生产能力;②在当时半计划半市场经济条件下,降低材料消耗和作业成本,增加企业效益。

##### 4.1 削壁留矿法的构思

若按矿体赋存条件,可用的采矿方法有人工出矿削壁充填法(原方案,否定)、电耙出矿与铲运机出矿削壁充填法。后两种工艺虽能提高采场生产能力,但仍用削壁充填法,其原材料消耗与采矿成本并没有降低,而且铲运机方案还受该矿矿体连续性及设备投资限制。为此,仍达不到要求的目标。如果

采用岩金中小型矿山常用的浅眼留矿法,则矿体倾角、矿岩稳固性、矿石不结块、采矿成本低、采场生产能力大等赋存条件与工艺特点和创造目标相吻合,唯有矿脉太薄不符合浅眼留矿法要求。为此,取削壁充填法与浅眼留矿法二者之优点,组合成一种新的回采工艺,即削壁留矿法。

削壁留矿法把矿脉掏槽崩落矿石(包括设计贫化在内占采场宽度2/3)先充填于采场中,在采矿过程中原则上不放矿,作为充填料与继续上采的工作台,为使采下矿石在采场内自由放出,有足够的作业宽度空间,把削下之围岩(占采场宽度1/3)从采场内集中放出。

##### 4.2 试验矿块地质条件

根据上述要求,选择27#脉四中段矿脉中部405矿块进行试验研究。该矿块走向长43.5m,矿体倾角62°~75°。矿块一端已有探矿天井通三中段。中段高度37m,脉厚0.43m,矿石密度2.8t/m<sup>3</sup>,平均品位15.33×10<sup>-6</sup>,松散系数1.5。矿石含硫少,不

姚 香(1939-),男,汉族,广东高要人,教授级高级工程师,享受国务院政府特殊津贴,130012 吉林省长春市。

结块。水文地质条件简单。

### 4.3 采矿方法试验与应用

#### 4.3.1 矿块布置

沿走向布置矿房,一侧为先进通风行人井,另一侧为顺路井,整个矿块长度 43.5m。

#### 4.3.2 采准结构

(1)人工矿柱。为了降低采矿损失率,在四中段沿脉巷道顶板施工人工底柱。其施工方法是按节约木材的施工技术,在底柱内共布置 14 个铁漏斗,其中采场岩石漏斗布置于采场中央。

(2)顶柱施工。由于三中段矿脉连续性较差,其中一段连续性太差而留 3m 高顶柱,并在其中部掘透一个天井作空区处理出碴用。在两端各打一段人工顶柱,并各布置一个充填井。

#### 4.3.3 回采工艺

(1)凿岩爆破。在采场内从中央岩石溜井为界分两段,分别进行掏槽落矿与削壁出碴。由于脉幅较窄,所以在每段长度上需两次掏槽之后才进行一次削岩爆破作业。除个别矿脉有宽有窄之外,绝大多数掏槽宽 0.6m,削壁宽 0.3m,采场总宽度约 0.9m,采场内允许矿石最大块度 0.25m。

(2)采场运搬。试验采场运搬是把所削下盘之围岩,集中到中央岩石溜井并由四中段放出。此次试验采场运搬有如下特点:采用 7.5kW 小型电耙代替人工运搬;为了便于耙运,采场内逐渐采成“V”型,其角度  $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ;削壁爆破之前,矿石面上需搭接好废旧运输胶板与辅以草垫;绞车耙运之前,在采场内需人工调向并把其固定;中央岩石溜井每节高 0.5m,用 2~3mm 钢板焊成  $\phi 0.7$ m;为了防止大块卡住溜井,在其上设置了一个  $0.25\text{m} \times 0.25\text{m}$  自制格栅。

(3)通风供电。采场按矿山实际情况采用自然通风。电缆由采场贯通,人行井引入,并在防水电耙动力配电箱内安设一台 36V 变压器,供采场照明。此电缆随采场分段作业随时移设。

(4)放矿与空区处理。试验矿块两边采透三中段之后,按设计要求浇注人工混凝土顶柱。打完顶柱后采场均衡大放矿,仅用 38d 就把采场内矿石放净,并用高压水冲洗采场,共计放出矿石 3 020t。按放出矿量计,采场平均生产能力 27.2t/d。

### 4.4 技术经济指标

削壁留矿法与削壁充填法比较,减少了削岩作业量和材料消耗,因此,降低了作业成本。按 1992 年价格,同一采场两者作业成本分别为 16.658、28.

106 元/t。其它各项技术指标也有明显提高。这项研究成果于 1992 年获得成功,并获原冶金工业部“八五”期间科技进步三等奖,但由于矿脉条件要求苛刻而未能进一步推广应用<sup>[7]</sup>。

## 5 壁式爆力削壁充填法试验研究

### 5.1 概述

河北峪耳崖金矿开采高品位缓倾斜薄与极薄矿脉,主要采用全面法,采场生产能力低(25~40t/d),采矿损失率(22%)与矿石贫化率(92%)高,同时采场暴露面积大而不安全。为解决上述问题于 21 世纪初期开展试验研究工作,并由长春黄金研究院科技人员完成论证、设计、试验及总结工作,为该矿增加一种新型开采工艺。该矿矿床为含金黄铁石英脉型和含金黄铁石英细脉浸染型矿床。矿石中有益组分主要是金元素,银也随之回收。

该试验矿块位于 194m 中段,矿体为石英单脉型,倾角  $18^{\circ}$ 。矿脉走向长 150m,厚度 0.25m,品位  $91.14 \times 10^{-6}$ 。矿体围岩为花岗岩, $f=10 \sim 12$ 。矿岩界限清楚,爆破易于分离,无夹石现象。矿岩自然安息角  $40^{\circ}$ 。水文地质条件简单。

### 5.2 试验研究

(1)矿块构成要素。根据矿床开采技术条件,矿块沿矿脉走向布置。矿块长 40m,阶段高 18m,斜长 40m,不留间柱,只留 2.5m 高的顶底柱,也可采用人工假底。试验方案为壁式爆力削壁充填,即在采场中,岩石使用壁式爆力削去下盘后(抛掷进入空区中),爆落顶板矿石。

(2)采切工程。利用 194m 水平掘进沿脉巷道作为矿块的出矿巷道。采准上山沿矿体倾向方向上掘 40m 到 205m 水平,其规格  $2\text{m} \times 2.5\text{m}$ 。在沿脉巷道内,间隔 5m 掘进规格  $2\text{m} \times 1.5\text{m}$  的出矿漏斗和  $2\text{m} \times 1.5\text{m}$  电耙硐室。

(3)回采落矿。采用壁式连续回采,回采工作面与矿体走向垂直,矿岩分开爆破,先削下盘围岩,后采下顶部矿石,由一侧向另一侧连续推进。每个回采分条由上而下沿矿体倾斜向下作业,直至 194m 水平,分条宽度  $1.0 \sim 1.1\text{m}$ 。采用定向抛掷爆破进行削壁充填后,再用松动爆破技术落矿,采场顶板以削壁充填料作为永久支护,并配合木立柱或水泥卷锚杆辅助支护。

(4)凿岩爆破参数确定。在每条回采单元,削壁炮眼与矿体走向推进工作面成  $35^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。凿岩方式采用 YT-29 型凿岩机,普通合金钎头,2#岩石炸药。在削壁层内钻凿平行炮眼,利用靠近削壁底板

的炮眼和中间眼组成柱状平面药包,同时进行定向爆破。每次爆破不仅要把抛掷药包平面所包围的大部分岩石抛到采空区内,而且还要将靠近矿脉炮眼进行松动爆破的大部分岩石也带走,采用合理的抵抗线控制抛掷速度,获得合理的抛掷距离,以合理的抛角控制抛掷方向,从而获得较理想的抛掷充填效果。根据工艺要求,抛掷水平距离2~4m,抛角 $65^{\circ}$ ~ $75^{\circ}$ 。每排布置3个眼,上部靠近矿体的眼为松动爆破,下部两个眼组成平面药包,称为抛掷爆破眼,炮眼排列形成弧形。炮眼采用连续装药结构,松动眼装药系数0.22~0.24,抛掷眼为0.55~0.6。秒差导爆管与分段起爆,排内先爆松动眼,后爆抛掷眼。回采作业过程中,削壁眼(3个)与落矿眼(1个)一次同时凿完,先起爆削壁眼,清完工作面后再用同段一次起爆落矿眼。炮眼长度1.6~1.8m,最小抵抗线0.6~0.7m,单位炸药消耗量0.38~0.4 kg/t。

(5)矿石运搬。根据矿块长度,落下矿石经由电耙扒至中段巷道装车运出。扒矿完毕,崩落底粉矿需要人工清理回收。电耙功率14~30kW。

(6)通风和支护。采场利用矿井自然风流,由下部巷道进入采场,污风由上中段回风巷道排出地表。采用壁式爆力削壁充填法缩短了回采分条宽度(1.0~1.1m),并采用废石充填了空区。但因其控顶距在3.5~4.0m,为确保作业安全,遇到破碎岩层时,需要对顶板进行临时支护。支护方式是木柱与水泥卷锚杆,支护网度0.9m×0.9m,锚固长度400~600mm,锚杆采用 $\phi 16$ mm螺纹钢。

### 5.3 技术经济指标分析

(1)主要技术经济指标。试验资料认为,此次试验研究结果非常令人满意:根据矿脉厚度0.25~0.5m,矿块生产能力50.5t/d,采矿作业工人劳动生产率3.88t/工班,采矿损失率5%,矿石贫化率35.7%,采矿直接作业成本39.18元/t,其中工资21.03元/t,炸药2.85元/t,动力5.87元/t。

(2)效益分析。与矿山原全面法相比,其突出优点是在保证工人安全回采的同时,将废石充填到空区,减少了废石混入,从而降低贫化,提高矿石品位。按照一个矿块工业矿石量1080t计算,利用充填法比用空场法可多创经济效益138.48万元。该采矿方法的现实意义为:①由于采用分采作业,减少了出矿量,缓解了矿山井下提升、运输压力,逐步扭转采掘失调的被动局面;②由于有高品位矿石对该矿调节出矿品位起到良好作用,如扩大充填法使用

比例,将更能达到理想的配矿效果;③由于对空区进行充填,可有效地控制矿区地压,能更好地保证井下作业安全。

该研究项目获得中国黄金协会2004年度科技进步奖三等奖<sup>[8]</sup>。

## 6 干式充填采矿法若干技术进步

### 6.1 概述

(1)干式充填法优缺点。上向水平分层干式充填采矿法,具有采掘工程量少,适应矿体形态变化能力强,采矿两率指标低,可有效维护围岩与减缓地压发生,对极薄矿体可进行选别回采,对高硫矿体回采可防止内因火灾发生及有利于深热矿井工作面降温等特点。其缺点为回采工艺相对复杂,因空区需要充填而采矿成本较高,作业时间较长及采场生产能力较低,对稀有及黄金等贵金属回采以及矿岩稳固性较差的矿体回采,非常有效<sup>[9]</sup>。

(2)主要科研成果。黄金行业曾引进CT-500HE微型电动铲运机进行干式充填采矿法试验研究之后,又分别于夹皮沟金矿急倾斜矿岩稳固性差的薄矿体,以及湘西金矿缓倾斜薄矿体进行相应的试验研究,但后来因铲运机备件难购而终止应用。上世纪80年代末期针对河北东坪金矿浅眼留矿法采矿贫化大和空区未及时处理而试验成功上向分层块石充填法<sup>[10]</sup>。90年代初针对广东高要河台金矿矿岩较破碎与地质品位较高矿段,试验了上向水平干式充填连续采矿法。90年代中后期广西高龙金矿根据断层节理发育矿体厚度大而试验成功上向进路干式充填法等<sup>[11]</sup>。

取得成果很多,但继续应用却很少,有的虽然应用,但对其工艺作了许多改进,广东高要河台金矿就是一例,以下略作介绍。

### 6.2 采场规格

干式充填法采场一般沿矿体走向布置,采场宽度即矿体水平厚度,采场高度即作业中段高度。采场沿矿体走向长度根据矿体开采技术条件(主要指矿岩稳固性及空区暴露面积)与采场矿石运搬方式决定<sup>[12]</sup>。

该矿开采脉厚2.55~2.59m急倾斜矿岩中等稳固矿体,主要使用浅眼留矿法回采,在连续矿体部分矿段采用干式充填法主要是形成人工间柱。作为类框架结构采空区处理的一部分,其目的是把相邻两个采空区隔开,不因围岩节理发育变空场法出矿为过去在崩落围岩覆盖下出矿<sup>[13]</sup>。这样的采场长度,结合矿岩稳固性、矿石品位高低及相邻矿块结构

而决定:当该矿段地质品位较高,采场长度应与高品位矿段回采相一致,但最长不能超 30kW 电耙有效扒矿长度,即 40~50m;若无富矿体回采,则其长度可减至 10~15m,因为可加快采场回采进度,有利于相邻矿块快速作业。

### 6.3 溜井结构

#### 6.3.1 一般矿山的溜井结构

(1)木材结构。这是最早使用的一种溜井结构方式,材料来源广,强度高,可切割,但运搬困难,安装费工。它随采场分层增高而架设,倾角与矿体倾角一致,也与矿体厚度密切相关,不能大于 2.0m。由圆木及木板构成,受矿石冲击而容易松动,木板相应折断和损坏,且严密性差,常造成粉矿损失。

(2)木板结构。这是内蒙古撰山子金矿发明的一种矿石溜井,由 4 块同样长(0.7~1.0m)、厚(30mm)、高(0.2m)的木板,每端割去一半高度之板宽,合拢而形成一个四方形溜井。其特点是木板携带方便,安装简捷,光滑平整,但要严格控制出矿块度,否则容易造成结拱卡斗等事故。

(3)钢板结构。钢板厚 3~4mm,每节高 0.5~1.0m,溜井直径 0.7~1.2m。一般在地表卷制并焊好,其上下两端按 120°各焊接一个锁鼻,便于在采场用螺栓或铁丝紧固,制作时使其倾角与采场一致。这种溜井强度高,抗冲击,表面光滑,可消除粉矿损失,但钢板磨损较快。

#### 6.3.2 新型出矿溜井

河台金矿前几处干式充填法采场也使用钢溜井出矿,由于放矿太多,但几乎没有一个应用成功。该矿云西矿区干式充填法采场设计时,因采场两端需要用水泥砂浆胶结 1.0~2.0m 块石形成隔离墙,而采用强度标号 C15~C20 钢筋混凝土 0.5m 作隔离墙,墙内充满废石,墙外与矿石壁留出 1.5~2.5m 宽的空间作为干式充填采场的溜矿井,无论使用 30kW 电耙出矿或用手工出矿效果都非常好,可以说是干式充填法出矿方式的革命性变革<sup>[14]</sup>。

### 6.4 出矿方式

随着社会进步与技术提高,机械作业已被越来越多的矿山应用。最简单而有效的方法是使用国产耙矿绞车出矿。根据采场长度及回采矿石量,适合干式采场使用者有 2DPJ-7.5、2DPJ-15 及 2DPJ-30 型等多种双卷筒电耙。其优点:①设备本身结构简单,坚固耐用,易于维修;②设备投资少,寿命长,操作简单,工人容易掌握;③备件少,能力大,成本低;④要求巷道规格小,作业范围广,既可耙矿石又可耙

废渣。其缺点:①工作面一般只能直线耙矿;②灵活性差,调换工作面不方便;③耙矿距离短,出矿效率受其它作业影响。河台金矿大部分干式充填采场长度大于 25m,所以,多采用 30kW 电耙在采场运搬矿石及耙平充填废石,此时,采场联络道兼作电耙座。然而,有的矿段需要快速回采而形成人工间柱,采场长度 10m 左右,此时,采场两端各有溜矿井,采场底部为装岩机出矿结构,5~6m 长的三角形矿堆一般使用人工清理。而这种采场长度也不适宜用机械运搬:既增大采切工程量,出矿量又不多,仅数百吨。所以,采场出矿方式要与干式采场规格及出矿量相适应<sup>[15]</sup>。

### 6.5 分层高度与铺垫材料

干式充填法(包括削壁充填)之采场铺垫隔离材料目前矿山应用较多者,一是废旧运输胶带,二是水泥砂浆<sup>[16]</sup>。对于采场面积大于 150m<sup>2</sup> 或者矿体形态变化大,或其作业宽度超过 4.5m 者,尤其是使用耙矿绞车在采场运搬矿石者,使用一次性水泥砂浆更具适应性。那么,为了减少采场铺垫次数或降低采矿成本,就应该提高分层高度。改过去一个分层(2.0m)一充,发展成二采(4.0m)一充,再后来变成每采完一个分层联络道(5.0~6.0m)一充。实际生产中采用强标号 C7.5 号砂浆,每立方米用河砂 1.2m<sup>3</sup>,强度标号 32#袋装水泥 297kg,水 0.2m<sup>3</sup>,水泥与河砂在地表混合后装车运至井下,从充填料井下到采场,垫上一块铁板,加水人工搅拌后在采场一端向另一端铺垫,厚度 0.15m,其 28d 后抗压强度达 6.0MPa。实践证明,可抵抗矿石爆破冲击,电耙来回运搬矿石均未曾发生破坏,平均每吨矿石铺垫成本 1.87 元。

### 6.6 采场临时支护

干式充填采场临时支护手段多种多样,但最常用的仍是锚杆支护技术。我国应用锚杆支护有四大类 27 种。我国岩金矿山包括干式充填法在内所有采矿法的采场临时支护使用下述锚杆。当然,采场应打成拱形,临时支护即对采场顶板或上下盘岩帮进行加固。

(1)管缝式锚杆属全长摩擦式锚杆。支护后马上起支撑作用,使用 45#钢板卷制,锚杆直径略大于炮眼直径,使用 YT-30 或 YSP-45 凿岩机凿岩与支护,锚杆长度 1.5~2.0m,锚固力达 40~50kN,适用于矿岩裂隙较发育且矿体无淋水地段。

(2)水泥卷加螺纹钢锚杆,属于全长粘结式锚杆,使用 YT-30 或 7655 手持式凿岩机凿岩,炮眼直

径42~45mm,水泥卷支护长度400~600mm,锚杆长度一般1.5~2.0m,支护后可起到锚固作用,锚固力38~55kN。

(3)水泥砂浆加螺纹钢锚杆。支护后经7d凝固后方可有效。支护网度1.5m×1.5m,或1.8m×1.8m,锚杆长度因地而定,短者1.5m,长者3.0m。水泥砂浆自制,强度标号32号硅酸盐水泥加筛分河砂,配比1:1,水灰比0.2~0.25,自制简易注浆器注浆之后再插入锚杆,由于水泥易于充填岩体节理裂隙,粘结后可增强岩体自身稳固性,对于裂隙发育地段支护特别有效,锚固力32~50kN。这是成本最低的一种锚杆支护方法。

## 7 结 语

21世纪初期统计,在岩金矿山开采中,充填采矿法所占比重大概占30%以上,除了破碎带蚀变岩型中厚以上矿体开采绝大部分使用尾砂与尾砂胶结充填法之外,其余为干式充填采矿法,包括削壁充填法。在当前的黄金开采形势下其应用范围有越来越广的趋势,如吉林夹皮沟已有188年开采历史的中国黄金第一矿,在解放以来,一直开采急倾斜上下盘围岩稳固的含金石英脉,由于广泛采用浅眼留矿空场采矿法,采场上下盘大量冒落而导致出矿品位低,增加作业成本,在90年代初期便自觉地由留矿法改为干式或削壁充填法,虽然工艺复杂,劳动生产率低,但采场形状可以随矿脉变化,也可以大大降低围岩混入,提高出矿品位,从总的经济效益看,还是有利的。此外,在我国许多黄金矿山中,也有像内蒙古红花沟金矿曾试验过一个中段两个采场同时回采,而减少采切工程量的采场长度达60~80m,也曾经试验两个中段相对应两个干式充填法采场一直回采等,创造了许许多多宝贵经验,积累不少丰富成果,为我国黄金工业发展作出了有益的探索。

有专家预测,我国黄金地质资源远景储量总资源量在1.5万~2万t,数量可谓不少,但与我国国土面积和总人数相比,显得比较匮乏。按照与国际接轨的新的储量标准,2003年末保有储量4634t(与原储量标准有一定的误差,可比性不强)。其中,独立岩金矿山储量2986t,占总量的64.5%,独立砂金矿山储量493t,占总量的10.69%,伴生金储量1155t,占总量的24.9%。2007年我国黄金产量

已经排名世界第一位,黄金消费量仅次于印度成为世界第二位,而黄金储量仅为世界第八位。这与我国为世界最大发展中国家的地位非常不相称。所以,大量使用干式与削壁充填采矿法,减少采矿损失,降低矿石贫化,提高地质资源利用率,提高企业经济效益,都有很大的现实意义与长远的社会意义。干式与削壁充填采矿法,是一种有非常良好前途的采矿方法,也是许多中小型矿山或乡镇企业可以采用的采矿方法。

## 参 考 文 献:

- [1] 长春黄金研究院编. 长春黄金研究院辉煌五十年[R]. 吉林, 长春: 内部出版与发行, 2008, 9.
- [2] 姚 香, 张京彬, 田凤楼. 中国岩金矿床类型与地质特征探讨[C]. 广西全国采矿论坛峰会论文集, 2008(7): 143~146.
- [3] 《黄金实用手册》编写组. 黄金实用手册[M]. 北京: 中国工人出版社, 1990, 12.
- [4] 姚 香, 黄振卿, 白福林. 金厂沟梁金矿电耙出矿削壁充填法[J]. 采金技术, 1992(3): 23~26.
- [5] 武昭龙. 内蒙古红花沟金矿急倾斜薄矿脉机械化开采试验研究报告[R]. 长春黄金研究院内部档案, 1985, 10.
- [6] 姚 香, 武昭龙. 削壁充填采矿法及干式充填采矿法在急倾斜薄及极薄岩金矿脉中的应用[C]. 北京: 北京国际黄金矿山技术研讨会会议论文集, 1993(10): 152~158.
- [7] 姚 香, 王庆军, 张玉国, 方兴安, 刘凤仪. 削壁留矿法试验研究[J]. 有色金属(矿山部分), 1995(2): 23~26.
- [8] 苑文奎, 李文义. 壁式爆力削壁充填采矿法在峪耳崖金矿的应用[J]. 黄金, 2004(3): 26~30.
- [9] 采矿手册编委会. 采矿手册(第四册)[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.
- [10] 王志伟, 周科平. 东坪金矿上向分层块石充填采矿方法试验研究[J]. 黄金, 1989, 19(7): 21~24.
- [11] 王学敏. 高龙金矿上向进路干式充填采矿试验研究[J]. 黄金, 1999, 20(1): 21~25.
- [12] 中国黄金实用技术编委会. 中国黄金生产实用技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998.
- [13] 李建甘, 姚 香. 高村矿区二次贫化原因分析及降低方法实践[J]. 黄金, 2002, 23(4): 30~32.
- [14] 欧阳化兵. 干式充填采矿法放矿溜井改进方法[J]. 有色矿冶, 2002(1): 28~30.
- [15] 张娃瞳. 干式充填采矿法存在问题与改进实践[J]. 黄金科学技术, 2002, 10(5): 23~26.
- [16] 樊满华. 干式充填采场铺垫隔离材料的选择及应用[J]. 黄金科学技术, 2004, 12(1): 34~38.

(收稿日期 2009-12-19)