

南非某金矿深井开采技术探讨

Discussion on deep shaft mining technology of a gold mine in South Africa

宁彦红(鹏欣环球资源股份有限公司, 上海 200336)

摘要:针对南非某金矿深井开采过程中存在的主要问题进行了分析,结合正在实施的二期工程,根据矿脉厚度及产状变化调整采矿方案,从而降低了贫化率,提高了回采率,实现了连续性开采,并对深井回采顺序、结构参数、采场通风降温、排水、地压管理等工艺措施进行了阐述。

关键词:金矿;深井;开采

中图分类号: TD853

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2021)04-0021-04

Abstract: This paper analyzes the main problems existing in the deep shaft mining of a gold mine in South Africa. Combined with Phase II project under implementation, the mining scheme is adjusted according to the change of vein thickness and occurrence, thus reducing dilution rate, improving recovery rate and realizing continuous mining. Meanwhile, the technological measures such as deep shaft mining sequence, structure parameters, stope ventilation and cooling, drainage and ground pressure management are also expounded.

Key words: gold mine; deep shaft; mining

1 前言

1.1 工程概况

南非某金矿位于南非西北省 Klerksdorp 地区,是一个年采选 100 万 t 的大型矿山,自 1931 年建成投产至今已有 90 年历史,2000 年最高生产能力 149.66 万 t,产金 15.448 t,采矿方法主要为全面法,7 个矿井最深已经开拓至 2 325.9 m,一期工程 1 000 m 高度以上的 30 个中段已经回采结束,目前进入二、三期工程。设计高度为 1 000 ~ 2 200 m 的 32 ~ 70 中段,矿山开拓方式为矿体两翼及中间布置 1-7# 竖井。

1.2 矿床开采技术条件

矿区气候为典型的南非高原草原气候,夏季气温 22 °C ~ 34 °C,冬季(5 月 ~ 7 月)平均气温为 15.5 °C,该地区气候不会对该矿生产作业造成任何影响;矿区地形平坦,伴随着一些起伏的丘陵,海拔在 1 300 ~ 1 350 m。西北省是林波波河源头(包括东流至印度洋的格罗特马里科河)及奥兰治-瓦尔河水系多条支流(如西流至大西洋的莫洛波河)的分水岭,拥有大量的地下水储备,该金矿开采深度在地下

800 ~ 2 300 m^[1]。

1.3 水文地质

矿区主要含水层火山熔岩风化裂隙弱含水层,发育于似硬结隔水层的下部,下伏为隔水性能强的火山熔岩隔水层。该含水层具有补给条件差,富水性弱,地下水为潜水,局部承压。虽为矿床主要充水水源,但由于有矿床上覆火山熔岩相隔,且隔水层构造裂隙和断层破碎带既不含水也不导水,不会直接充水矿床;隔水层岩体稳定性强,也不会产生陷落柱,更不会有孔隙和岩溶通道。充水含水层地下水与矿床地下水水力联系弱,间接充水矿床的水量小。矿区所有矿体虽然埋深于当地侵蚀基准面以下的深部,矿坑涌水无法自然排泄,但矿坑涌水量小,长期稳定在 1 000 m³/d,因此矿区水文地质条件简单。

1.4 环境地质

矿区位于卡普瓦尔(Kaapvaal)克拉通西北部,也是兰德凹陷盆地西北部边缘。自然(构造)地震频度低、震级小,矿区附近 2014 年 8 月 5 日发生的 5.5 级地震为诱发浅源地震,属内力地质作用相对较弱的稳定区块。矿区钻孔岩心没有饼化迹象,河流切割较浅,没有陡崖和深谷地貌,井下开拓也没有岩爆反应,说明没有大的残余应力聚集,属非高原应力区。残余应力低的稳定区块有利矿山安全建设和建设。

矿区地形平坦开阔,没有产生山岩开裂、崩塌、

[作者简介] 宁彦红(1969-),男,河南省栾川县人,采矿工程师,矿长,主要从事矿山生产技术管理工作。

[引用格式] 宁彦红. 南非某金矿深井开采技术探讨[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(4): 21-24.

滑坡的地貌条件;矿床埋深大,上部岩体稳定性强,也没有产生地面塌陷和开裂的工程地质条件;矿坑涌水量小,隔水层隔水性能好,矿坑排水和生产用水不会大幅度改变水循环条件和水化学环境。深部开采也不会引发水土流失、土地肥力减弱及土壤侵蚀等损坏土地问题。矿区环境地质条件良好^[2]。

2 目前采矿方法弊端及采矿方法选择

2.1 采矿方法弊端

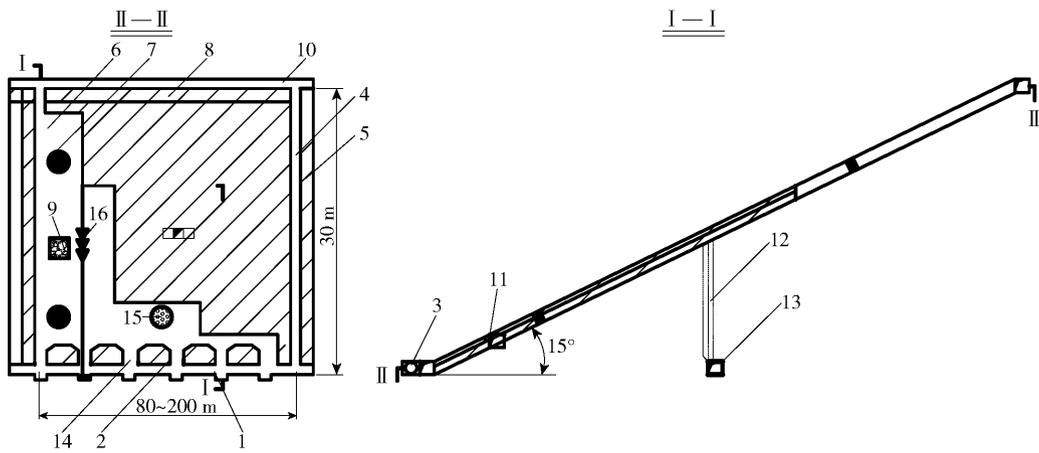
随着开采深度的增加,该金矿多年来形成的全面法回采已经很成熟,但是出现贫化率损失率偏高、回采矿量不足、采场出矿困难、工人劳动强度大、生产效率低下、机械化程度低、生产成本上升、原提升系统自动化程度低,不能够满足大规模采出矿生产等问题。

2.2 采矿方法选择

矿山二期工程设计服务年限30年,二期工程控制的矿体主要是地下1 000~2 200 m,仍然是缓倾

斜、薄矿体、矿岩稳固类型,生产能力120万t/年,经2020年补充深部勘探至地下3 000 m,深部仍然具有较大资源量。

针对本矿生产现状,除了提升运输工艺系统需要改造以外,采矿方法优化改进仍然是重中之重。根据现场调查,中深孔全面法开采,可以实现规模化生产,但是采切比增大、贫化率升高,不便于出矿和地压管理,所以暂不考虑,全面法开采工艺如图1所示。原有使用的长臂式全面法继续保留,条件是在矿体厚度 ≥ 0.9 m以上时,实行混采混出,贫化率符合设计要求;当矿体厚度 < 0.9 m时,改为削壁充填全面法,矿脉出现急倾斜时(极少数)选择浅孔留矿法回采,根据矿脉厚度、工程进度、经济合理性及充填空间大小进行调整施工,类比国内外同类矿山,经过充分论证,其他采矿方法尚不适宜本矿山。本文以削壁充填全面法为例进行试验和论述。削壁充填全面法开采技术条件见表1。削壁充填全面法开采工艺如图2所示。



1—沿脉巷; 2—底柱; 3—电耙硐室; 4—切割天井; 5—间柱; 6—采空区; 7—待回收矿柱; 8—顶柱; 9—浆砌石矿柱; 10—上阶段运输巷; 11—切割道; 12—溜矿井; 13—运输巷; 14—漏斗; 15—临时支柱; 16—电耙

图1 全面法

表1 削壁充填全面法开采技术条件

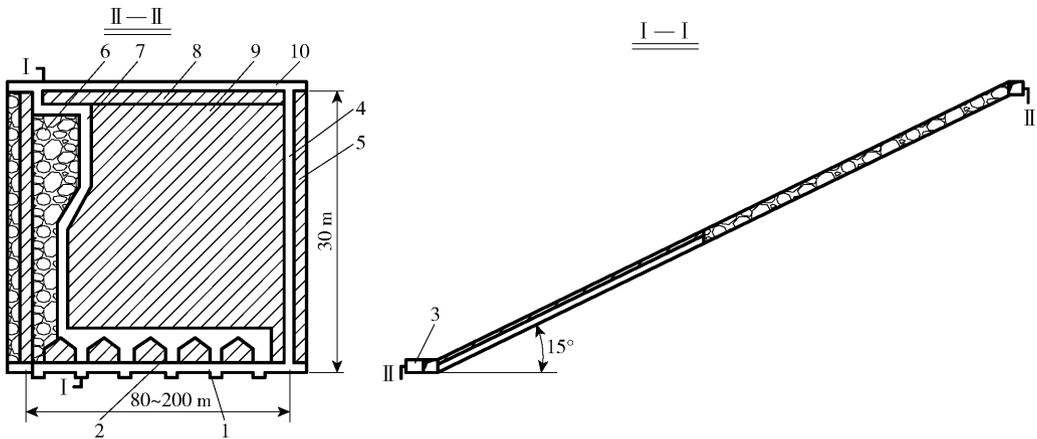
矿山名称	矿体赋存条件				围岩条件				
	矿脉厚度/ m	倾角/(°)	走向长/m	矿石品位/ $g \cdot t^{-1}$	矿石稳定性	上盘名称	稳定性	下盘名称	稳定性
6-7#矿井	0.4~0.9	15	7 000~12 200	Au5~20	稳固	安山质熔岩	稳固	石英岩	稳固

3 削壁充填全面法

3.1 削壁充填全面法回采顺序

根据开拓工程布置、矿脉及矿块的分布情况,因VCR及EB矿脉间距较近(2~15 m),开采顺序为:首先开采上层VCR号矿脉,然后开采下层EB

号矿脉, Vaal号矿脉距VCR间距500 m垂高,同时布置开拓工程。同一矿脉开采时要由上向下逐阶段进行,每个阶段沿矿脉走向前进式开采,矿房内也可以由下向上开采,同一矿脉的上阶段开采结束后,其上中段作为下阶段开采时的回风巷道,要求对回风巷道加强维护,确保通风畅通安全;当矿体厚度 >



1—运输巷; 2—底柱; 3—电耙硐室; 4—切割天井; 5—间柱; 6—崩落废石; 7—工作面; 8—顶柱; 9—矿体; 10—上阶段运输巷

图2 削壁充填全面法

0.9 m 时,不需要削壁,直接选择全面法回采(图1),地下开采工艺流程如图3所示。

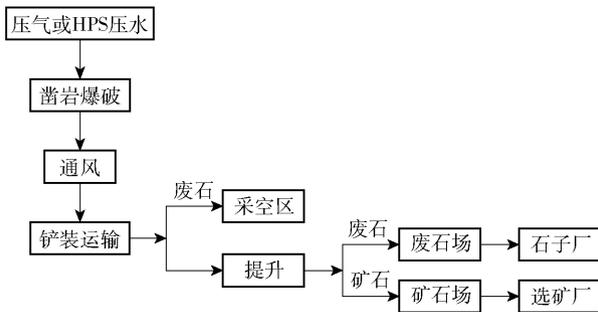


图3 地下开采工艺流程

削壁充填全面法回采作业顺序:削下盘围岩充填采空区—平场—铺垫层—落矿—出矿,因为矿岩属于稳固型,削壁围岩可以灵活调整为上盘或下盘

均可,根据矿脉厚度变化情况,也可以选择第一次剥矿,第二次削壁围岩,控制总采副不超过 1.2 m(局部矿脉厚度 > 1.2 m 例外);当矿脉厚度 < 0.5 m,削壁围岩厚度在 > 0.7 m,采空区充填系数控制在 80% 以内,以保证充分的回采和出矿空间,围岩需要排出一部分,充填围岩过程选用 ST600LP 低矮式铲运机协助。

3.2 矿块结构参数

矿块沿走向布置,因矿脉缓倾斜(15°左右),中段高度不宜过高,选择中段垂高 30 m,矿块长度 80 ~ 200 m,矿块宽度为矿体厚度,局部矿块沿脉巷兼作出矿电耙道,巷道断面为 2.5 m × 2.5 m,矿块间留设 2 m 间柱或点柱,采切比 48.0 m³/kt。削壁充填全面法结构参数见表 2。

表2 削壁充填全面法结构参数

矿山名称	采矿方法	参数					
		阶段高度/m	矿块长度/m	底柱高度/m	顶柱高度/m	步距/m	漏斗间距/m
6-7#矿井	削壁充填全面法	30	80~200	2~3	2~3	1.5~2.2	15~20

3.3 凿岩爆破

矿岩属于稳固型,使用低矮式 Rocket BommerS1L 双臂凿岩台车(或定制 CMJ2-18)凿岩,南非本地水压钻机 HPS 协助施工,孔径 40 mm,排距与孔距均为 0.7 m。为减少大块,排间交叉布孔,眼深 1.5 ~ 2.4 m,改变原来凿岩深度 1 m 及作业面布孔长度 12 m 的参数,装药(条状)0.4 ~ 0.6 kg/m,堵塞 0.2 m 炮泥,用毫秒导爆管(1、3、5、7、9 段或 2、4、6、8、10 段)起爆乳化炸药,实行微差爆破,削壁围岩用抛掷爆破技术,采矿过程用松动爆破落矿,围岩

充填采空区支撑顶板,矿石耙出,回采步距 2 m 左右,大块率控制在 5% 以内。矿岩也可同时凿岩,但必须分层爆破,具体参数在生产过程以硬度系数变化进行调整。主要采矿设备见表 3。

3.4 出矿

采场内出矿,选择 5.5 ~ 55 kW 型电耙,根据运距选型电耙和调整位置,富矿段采场底板需要扒渣机协助清理(或水洗)粉矿;漏斗放矿,漏斗间距 15 ~ 20 m,采场内耙矿距离逐步加长,局部需要增加第二台电耙辅助耙矿(安装于切割上山相应高度)。

表3 主要采矿设备

序号	设备名称	型号	设备数量/台
1	低矮式浅孔凿岩台车	BommerS1L	50
2	水压浅孔凿岩机	HPS 型	50
3	浅孔凿岩机	7655 型	50
4	电耙	2JPB-15	200
5	扒渣机	ZWY-50	100
6	铲运机	ST600LP	10
7	风镐	G10	100
8	局部通风机	JK58-1No4	100

随着回采高度上升,根据运输巷位置,采场中间增加溜矿井放矿,漏斗或溜矿井放矿至矿车,牵引车将装好的矿车运至井底车场(主运平巷3.5 m×3.5 m双轨道),矿石放入中段溜矿井,进入一期1300#矿仓,最后由箕斗提升出井,正在改造的6-7#矿井提升能力将达到6 000 t/d,采场回采、放矿结束,封闭该采场。

3.5 地压管理

南非矿山地压管理,要求具有专业资质的岩石工程师进行监管,每日监测地震、地压及围岩应力变化数据,研究地压变化规律,超前预报及采取整改措施。该矿区有史以来有多次微震记录,但不影响生产;井巷工程在开拓及回采期间极少发生岩爆现象,矿山建设初期有岩爆规律记录,以调整施工时间段来躲避灾害;在采区内首先施工切割巷、电耙硐室、上山通风天井,实现应力探测、释放、转移及采取管理措施;矿房内沿矿脉走向推进回采,即一侧向另一侧推进,有效控制了地压管理。

3.6 采场通风

1-7#矿井已经开拓90年历史,井底互相贯通,新鲜风流由7#矿井侧面的服务井,进入千米以下的井底中段石门,通过运输平巷进入出矿漏斗,再进入采场,通过人行通风天井,将污风排至上中段通风

井,最后由6#矿井主风机抽出地表,各采场无粉尘和炮烟现象,通风效果良好。目前正常通风条件下观测到的井温正常(20~25℃),说明除一定强度的地温梯度热能外,矿坑其他热能(矿体硫化物含量2%~5%,氧化反应热和贯通性传热)增温很小,属常温矿床,没有热污染,也不会对井下生产工人的身心健康造成太大影响,2 300 m以下新开拓工程,出现高温>29°现象,采用大功率风机传递通风,实现正常作业,目前没有增加井下制冷系统。

3.7 井下排水

矿区各条竖井井底涌水量在1 000~2 000 m³/d,选用730 m-56 L/s水泵(扬程730 m,电机575 kW)实行三级接替型排水,本地有停电现象,大型应急发电机组随时待命,排水设备设施、水仓及排水能力符合矿井排水规范,每日排水量直接进入地表选矿厂,作为工业水源之一。

4 结论

(1)增加削壁充填全面法生产,克服单一采矿方法之弊端,调整机械凿岩方式、凿岩参数、矿块结构参数,减少了废石外出,不留矿柱,达到减少贫化率,提高回采率,延长了矿山服务年限之目的。

(2)削壁充填过程增加了采矿、出矿作业时间和成本,但是品位提高、减少了提升废石成本和支护成本,供矿品位符合选矿回收要求,利大于弊。

(3)该采矿方法的改进,千吨采切比并没有增加,实现了连续性回采,强化了顶板管理及地压管理,在同类深井矿山具有参考价值。

[参考文献]

- [1] 于金吾,李安.现代矿山采矿新工艺、新技术、新设备与强制性标准规范全书[M].北京:当代中国音像出版社,2005.
- [2] 宁彦红.进路式无底部结构浅孔留矿法在清南矿的应用[J].中国矿山工程,2014,43(2):38-40.