

再谈满井放矿

Redisussion on the Pass Drawing of Mine Shaft Filled with Ore

詹森昌 (江西铜业集团有限公司德兴铜矿, 江西 德兴 334224)

摘要:溜井放矿有很多优点,但也存在一些大的隐患,影响它的应用。井筒装满矿降低井壁剪应力,消除冲撞和滚撞对井壁的磨损破坏。井筒装满矿产生的摩擦磨损,消除卸矿的矿石对井筒中矿石的冲撞,井筒中矿石的黏结力基本保持稳定,减少井筒结拱堵塞的概率。满井放矿是消除隐患的重要措施。

关键词:满井放矿;井壁应力;磨损破坏;堵塞跑矿;风险可控

中图分类号: TD853 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)04-0021-04

Abstract: There are many advantages in pass drawing, but there are also some hidden dangers which affect its application. When the shaft is filled with ore, the shear stress of the shaft wall can be reduced, and the wear damage caused by collision and rolling on the shaft wall can be eliminated. The friction and wear caused by the shaft filling with ore can eliminate the impact of the unloading ore on the ore in shaft, and the cohesion of the ore in shaft is basically stable, reducing the probability of blockage due to arch forming in the shaft. Pass drawing when the mine shaft is full is an important measure to eliminate hidden danger.

Key words: pass drawing when the mine shaft is full; wall stress; wear damage; block ore dropping; risk controllable

1 前言

矿山开采过程中,溜井放矿有成本低、经济效益好、生产工艺流程简单、管理方便和节能环保等重大优点。由于溜井放矿过程中,存在井壁产生磨损破坏、井筒堵塞跑矿等安全问题;加之矿山技术进步,设备大型化和可靠性提高,矿石汽车运输成本下降等原因,露天开采的矿石运输溜井方案有所减少。西藏巨龙铜业有限公司的露天矿很适合矿石溜井运输方案,但溜井放矿存在较大的生产安全风险,最终决定采用矿石运输汽车方案。

现对溜井放矿存在的问题进行综合分析。

2 井筒贮矿对井壁应力的影响

2.1 空井时井壁应力

在岩体中开凿井筒后,井筒附近原岩应力的平衡状态受到破坏,岩体中的应力将重新分布^[1]。井筒可看作是一个半无限体中的垂直孔,其某个水平断面如图1所示。井筒远处周围作用有均匀压力

P ,而在井筒附近则有应力升高区。对于弹性体由理论分析得知,离井筒中心 r 处的径向应力 σ_r 和切向应力 σ_θ 分布如图2所示。

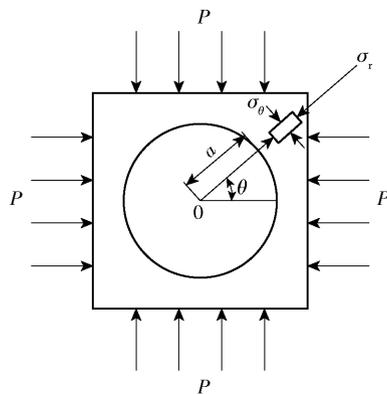


图1 均匀受压的圆形井筒断面

其应力计算公式为

$$\sigma_r = P \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = P \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) \quad (2)$$

式中, σ_r 为离井筒中心 r 处的径向应力; σ_θ 为离井筒中心 r 处的切向应力; P 为井筒远处的压力; a 为井筒半径; r 为离井筒中心的距离。

在井帮的切向应力最大可达 $2P$,即井帮的应力

[作者简介] 詹森昌(1936-),男,江西婺源人,教授级高工,主要从事矿山工程和研究工作。

[引用格式] 詹森昌.再谈满井放矿[J].中国矿山工程,2022,51(4):21-24.

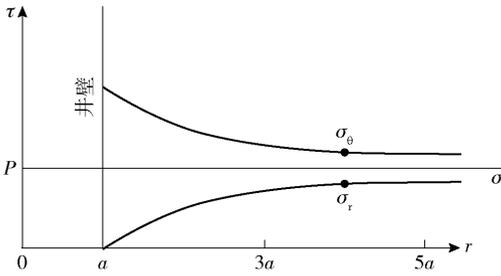


图2 弹性状态应力分布

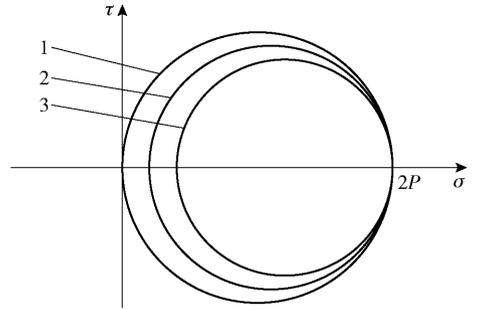


图3 井筒井壁应力图

集中系数为2,而井帮的径向应力为零。这时在井帮由 σ_r 和 σ_θ 衍生的剪应力值,按不同的剪切方向可根据莫尔定律来确定,而空井时其最大值为P。

2.2 井筒中矿石对井壁的压力

1) 杨森计算公式^[2]

$$\sigma_v = \frac{\gamma F - cs}{K_c \tan \varphi_n} \left(1 - e^{-\frac{K_c s \tan \varphi_n}{F}}\right) \quad (3)$$

$$\sigma_h = K_c \sigma_v \quad (4)$$

式中, σ_v 为井筒中矿石高度z处的矿石压力; γ 为矿石松散体重; F 为井筒断面积; c 为矿石黏结力; s 为井筒周长; K_c 为矿石侧压系数; φ_n 为矿石与井壁摩擦角; z 为矿石高度; σ_n 为矿石高度z处侧压力。

式(3)、(4)表示 σ_v 、 σ_h 与矿石高度和井筒半径存在函数关系。当矿石黏结力很小和矿石高度一定时, σ_h 与井筒半径成正相关线性关系。

2) 散体拱形计算公式^[3]

$$P = 4.9rcos \alpha \times 10^3 \quad (5)$$

式中,P为矿石对井壁的压力;r为井筒半径; α 为矿石与井壁摩擦角,其他同上。

式(5)表示P与井筒半径成正相关线性关系。

3) 井筒贮矿时井壁应力

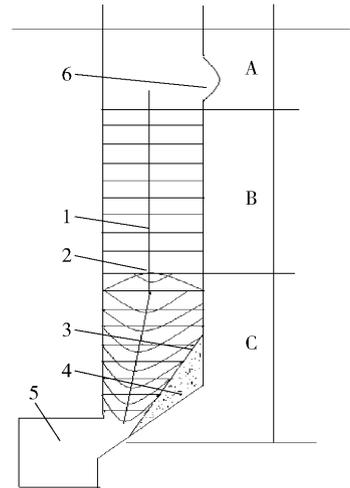
井筒中的矿石对井壁产生的径向压力,是随着溜井放矿过程中,井壁磨损,井筒直径扩大,贮矿量增加,矿石对井壁的径向压力也随之增大,从而改变了空井时井壁径向应力为零的状态。但切向最大应力2P是不变的。由于井壁有了贮矿产生的不断增大的径向压力,井壁的应力也发生相应变化,这时井壁的剪应力是逐渐变小的,具体如图3所示。

图中,1代表井筒半径 R_1 空井时应力圆;2、3代表溜井放矿井壁磨损扩大后,贮矿条件下井筒半径为 R_2 、 R_3 时的应力圆。井壁的径向压力是随着井壁磨损扩大,贮矿量增加而增大。井壁的切向应力最大为2P,P的大小与其距地表距离有关。按各种不同切面方向要求,可根据莫尔定律或莫尔应力圆计

算出 σ_r 、 σ_θ 和 τ 应力。

3 矿石在井筒中的移动规律

溜井放矿时,矿石在井筒中的移动过程,可分为三个部分^[4-5],具体如图4所示。



1—流动轴线;2—类椭球体顶点;3—流动线;4—死矿堆;5—放矿洞室;6—冲击沟

图4 溜井中矿石移动示意图

A部分:未贮矿的井筒上部,卸矿的矿石直接冲撞对面井壁后回落到下部矿石表面。

B部分:井筒贮矿段上部。在溜井放矿过程中,矿石是等速、平稳、缓慢、垂直向下全断面移动。

C部分:放矿闸门上部。受放类椭球影响,矿石除垂直向下移动外,还有横向移动,最终留下斜面死矿堆。

4 井筒贮矿对井壁磨损与破坏的影响

4.1 井壁磨损类型

1) 冲撞磨损

卸矿的矿石直接冲撞对面井壁和反弹回冲撞原边井壁所发生的磨损。它发生在井口附近,形成“之”字形磨损。

2) 滚撞磨损

卸矿的矿石冲撞井壁后,回落到下部矿石表面时,部分块度较大的矿石,以剩下的能量滚动,再次冲撞井壁发生的磨损。其地点是随下部矿石表面高度而变化。井空越高,冲撞力越大,磨损越严重。

3) 降撞磨损

井筒内矿石随着放矿下降过程中,与下部矿石表面接触瞬间,对井壁冲撞产生的磨损。矿石在下降移动情况下,当矿石停止重力流动时,如图5所示砸到井壁上,使井壁产生磨损^[6]。在该区域矿石移动并不随着下部溜口放矿同时移动^[7]。其特点是地点不固定,矿石下落高度小,产生磨损小。

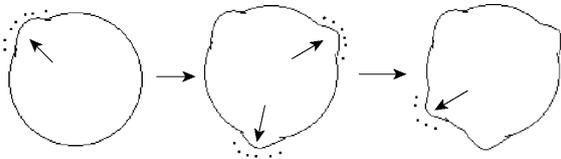


图5 溜井中矿石冲砸井壁造成井壁磨损示意图

4) 摩擦磨损

井筒中矿石随下部放矿而同时下降过程中,周边矿石与井壁发生摩擦而产生的井壁磨损。贮矿段溜井磨损均匀,上下磨损速度非常接近^[8]。

4.2 井筒破坏

井筒破坏的发生,一般是井壁受到磨损后,岩石内部应力平衡受到破坏逐步发展而引起的。

1) 冲撞和滚撞磨损引起的破坏

江铜武山铜矿为井下开采,1号主溜井直径为3 m,设计标高为-237~-80 m,同时服务四个中段(-80~-200 m)的出矿任务。矿石由矿车卸矿经斜溜槽进入溜井,在生产放矿过程中,发生的破坏情况是:井筒垮塌标高为-230~-80 m,垮塌高度150 m。在-120~-80 m呈之字形垮塌;在-120~-168 m垮塌面积较大,形状不规则,在-168~-200 m垮塌最严重,断面不规则,垮塌井筒断面最大达420 m²^[9]。

1号主溜井采用空井放矿,-80 m中段卸矿的矿石冲撞井壁,产生了井筒-80~-120 m间“之”字形破坏,由-80 m和-120 m二个中段的高井空卸矿产生滚撞磨损,加岩石节理特别发育等原因,使得-200~-168 m处发生非常严重的滚撞破坏。

2) 降撞磨损引起的破坏

在放矿过程中,降撞的高度一般不大,发生频率较低,地点也不固定,产生的磨损较小,对井壁破坏

不大。

3) 摩擦磨损引起的破坏

摩擦磨损是在贮矿条件下产生的,贮矿段井筒仅受矿石流动磨损,磨损速度较小且均匀,井壁光滑。井筒贮矿使井壁剪应力减小,井壁一般不会引起破坏。

总之,井筒破坏主要是冲撞和滚撞磨损引起的。井筒贮满矿可以避免上述磨损的发生,同时减小井壁剪应力和增加对井壁的支撑力,是减少井筒产生破坏的有效措施。

5 井筒贮矿对井筒堵塞的影响

5.1 设计对井筒直径要求

溜井放矿过程中,井筒堵塞有2种类型:大块咬合拱和粉矿黏结拱。为防止其发生,设计规范要求井筒直径为^[10]

$$D_1 \geq 5d_{\max} \quad (6)$$

$$D_2 \geq \frac{4c}{\gamma}(1 + \sin \theta) \quad (7)$$

式中, D_1 、 D_2 为溜放非黏性和黏性物料的溜井直径; d_{\max} 为溜放物料最大块度; c 为松散物料的黏结力; γ 为物料的松散体重; θ 为松散物料内摩擦角。

5.2 井筒堵塞

1) 大块咬合拱堵塞

放矿过程中,井筒发生大块咬合拱堵塞的原因:井筒施工质量问题,如酒钢镜铁山铁矿黑沟2号溜井,有五次堵塞发生在井筒直径为最小的5 m凸台处^[11];溜井井壁垮塌大块岩石进入溜井,极易造成溜井堵塞^[12];进入溜井的矿石块度,大大超过规定的大块尺寸,且大块比例很高等。

2) 粉矿黏结拱堵塞

江铜德兴铜矿1号溜井于1988年10月发生一次粉矿黏结拱堵塞。当时井空较高,矿石中粉矿含量大和水分合适,井筒中矿石受到卸矿的矿石冲撞后,粉矿量增加的同时,粉矿被夯实,黏结力增大,形成粉矿黏结拱堵塞井筒。后经井口加水,悬拱自动垮塌。

当时入井矿石块度0~400 mm,矿石松散体重为1.8 t/m³,若内摩擦角和矿石黏结力取38°和0.6 t/m²,按式(7)计算, $D_2 = 2.2$ m。而1号溜井当时已累计放矿量超过4500万t,估计其井筒直径大于8 m,黏结力 c 增大了3.6倍以上,造成了1号溜井堵塞,同时也是许多矿山发生的井筒黏结拱堵塞的主要原因。

5.3 井筒贮矿与井筒堵塞

井筒贮矿使溜井放矿过程,井筒中矿石与井壁发生摩擦磨损。因为贮矿段四周井壁磨损均匀,上、下磨损速度非常接近^[8]。井筒贮矿段上部,在放矿过程中,矿石是整体、平稳、缓性、垂直向下移动^[5]。因此,井壁光滑、完整;矿石黏结力 c 基本稳定,大大减少井筒发生堵塞的概率。

6 现场应用

江铜德兴铜矿1号溜井,井筒直径为6 m,高180 m,采用双侧两个溜口的链式闸门放矿。两台20 t电机车双机牵引,10 m³矿车,轨距750 mm窄轨铁路运输系统。后来在井口安装一台直径1.2 m的旋回破碎机,使入井矿石最大块度由1 m经破碎后为0.4 m。采用满井放矿,基本消除了卸矿对井壁产生的冲撞和滚撞磨损和破坏,只产生放矿时矿石移动与井壁发生摩擦磨损,因而井壁光滑完整1号溜井生产,从1975年至1993年,累计放出6 515.5万t,井筒完好。最高年产860.1万t,最高日产超过3万t,生产正常。其中,只发生过上述1988年粉矿黏结拱堵塞井筒事故。

1981年12月27日~30日,溜井放出矿量1 018.4万t时,对溜井井筒进行了一次全面实地考察。结论:全溜井井壁光滑、完整,磨损轻微,井壁无浮石,未发现片帮现象,锰钢板(闸门口上部井筒周边)加固结构完好^[13]。

7 结论

(1)满井放矿降低井壁剪应力和增加矿石的径向压力,对井壁起到支撑保护作用,消除冲撞和滚撞磨损,有效地减少井筒破坏。

(2)满井放矿使井壁光滑完整,矿石黏结力基本稳定,是有效消除大块咬合拱和粉矿黏结拱堵塞井筒的有效措施。

(3)当井空较高时,上部卸矿和下部放矿应同

时进行,最好是下部先于上部。

(4)矿石粉矿含量和水分不能有效控制,或矿石的粉矿黏性较大时,不宜采用溜井放矿。

满井放矿是解决溜井放矿过程中存在问题的主要和有效措施,溜井放矿的风险是可控的。

[参考文献]

- [1] 雷化南. 矿山岩体力学[M]. 北京:冶金工业出版社, 1983.
- [2] 古德生. 振动放矿技术[M]. 长沙:中南工业大学出版社, 1988.
- [3] 詹森昌. 溜井中矿石压力分布——兼谈满井放矿[J]. 铜业工程, 2017(4): 39-43.
- [4] 郭宝昆, 张福珍. 矿石在溜井各区内的移动特点及其分析[J]. 黄金, 1985(03): 20-25.
- [5] 詹森昌. 露天矿山溜井磨损与放矿量的计算式[J]. 铜业工程, 2015(3): 39-42.
- [6] 茂田井文. 溜井中矿石移动研究[J]. 国外金属矿山, 1991(9): 158-163.
- [7] 吕向东. 高深溜井井筒堵塞机理分析与治理[J]. 金属矿山, 2015(11): 158-163.
- [8] 周建华, 周根明. 主溜井垮塌分析与研究[J]. 有色矿山, 2001(1): 9-13.
- [9] 邵必林, 吕向东. 酒钢黑沟矿高深溜井正常使用途径的探讨[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2002(4): 383-389.
- [10] 张富民. 采矿设计手册(矿床开采卷,上)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1987.
- [11] 吴波, 张欢, 王槐鸥. 石碌铁矿高深溜井堵塞原因分析及处理实践[J]. 现代矿业, 2019, 35(7): 108-110+114.
- [12] 李世广. 矿山溜井磨损因素分析及加固措施[J]. 矿业工程, 2012(1): 64-66.
- [13] 魏子昌, 詹森昌, 杨树本, 等. 对德兴铜矿1号溜井矿石移动规律及其磨损的考察[J]. 金属矿山, 1984(8): 7-10.