

# VCR 采矿法采场结构参数优化研究

汪文明, 毛市龙

(北京科技大学金属矿床高效开采与安全教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** VCR 采矿法采用深孔爆破技术, 比普通的分层爆破采矿法的生产能力高许多。

对凿岩硐室的参数优化、采场底部结构的优化、采场采准工作、切割工作和爆破进行研究, 为 VCR 法应用于崩落法矿山提供技术理论基础。

**关键词:** VCR 法; 采场结构; 凿岩硐室; 深孔爆破

VCR 法是以大直径垂直深孔球状药包落矿为基本特征的阶段采矿方法, 它综合应用了大直径垂直深孔凿岩设备、球状药包爆破理论和大型无轨出矿设备等新技术、新工艺的成就, 形成一种高效率的地下采矿方法。

## 1 凿岩硐室的参数优化

凿岩硐室的稳定性是 VCR 采矿法成功的关键因素之一。凿岩硐室位于采场的顶部, 可布置在矿体中也可布置在围岩中。当围岩不稳固时, 凿岩硐室应该布置在矿体中, 当围岩稳固时, 凿岩硐室一般布置在围岩中<sup>[1,2]</sup>。无论凿岩硐室是布置在矿体或围岩中, 都存在凿岩硐室处于采场的垂直上方, 因此, 凿岩硐室存在变形或破坏的可能, 从而直接威胁到爆破工作的展开及整个采场安全。凿岩硐室的大小、形状以及硐室底板厚度与凿岩硐室的稳定性密切相关。在确定凿岩硐室形状与小时, 要根据采场周围原岩应力的方向和大小、采场尺寸和硐室围岩的力学性质来确定。

由于岩体是不同于一般均质体的特殊地质结构体, 它具有非均质、非连续、非线性以及复杂的加卸载条件和边界条件, 这使得岩石力学问题通常无法用解析方法简单求解。相比之下, 数值法具有广泛的实用性。它不仅可以模拟岩体的复杂力学与结构特性, 也可以很方便地分析各种边值问题和施工过程, 并对工程进行预测和预报<sup>[3]</sup>。

有限元法是目前已广泛应用的岩土工程与结构分析的有力工具, 按其所选未知量的类型, 即以节点位移作为基本未知量, 还是以节点力作为基本未知量, 或二者皆有, 可分为位移型、平衡型和混合型的有限元法。由于位移型有限元法在计算机上更容易

实现复杂问题的系统化, 且便于电算求解, 更容易推广到非线性和动力效应等其他方面, 所以, 位移型有限元法比其他类型的有限元法应用更加广泛。因此, 用平面三节点三角形单元法求解具体的硐室应力和应变, 并判断其稳定性<sup>[4]</sup>。

## 2 采场底部结构的优化

VCR 法采场底部结构与普通的出矿底部结构一样, 可分为漏斗型底部结构、铗沟型底部结构、振动放矿底部结构和平底结构。底部结构的选择与尺寸的优化有利于采场出矿能力及回收率的提高。

### 2.1 漏斗型底部结构

漏斗型底部结构的底部切割工程量大, 劳动强度大, 人工电耙出矿。它属于传统出矿的底部结构。这种底部结构又分为单侧漏斗底部结构和双侧漏斗底部结构。双侧漏斗底部结构又分对称漏斗布置底部结构和交错布置漏斗底部结构。它的斗穿间距为 6 m 左右, 斗穿深度 3 m 左右, 底部高度 8 m 左右。矿房宽度 15 m 左右<sup>[5]</sup>。

### 2.2 铗沟型底部结构

铗沟型底部结构是电耙出矿底部结构的一种。这种类型的底部结构在电耙巷道的上方左右开凿沿耙道的铗沟巷道, 在铗沟巷道内向上凿扇形深孔, 爆破形成铗沟。这种底部结构的劳动强度小一些。

### 2.3 平底结构的底部结构

平底结构的底部结构是在机械化水平不断提高的基础之上而采用的一种较新的出矿底部结构。这种底部结构的出矿设备是装岩机或铲运机。目前, 主要采用铲运机出矿。因此, 平底结构的底部结构是大型矿山出矿系统的优选方案之一。

### 2.4 振动放矿底部结构

采用振动放矿的底部结构是利用矿石自重,在底部结构中直接安装振动放矿机,采场中爆破下的矿石经过振动放矿口通过履带送至矿车或溜井。底部结构的尺寸大小是根据类似矿山经验选取,缺乏科学依据。因此,底部结构的尺寸大小应根据二次爆破的次数,矿岩强度,采场矿量等因素,进行优化定量设计。

### 3 采准切割和爆破

VCR 采矿法的采矿准备工作根据底部结构的不同,主要包括阶段水平开掘下盘运输平巷与平底结构的装矿横巷或开掘漏斗型出矿电耙巷道或钎沟出矿电耙巷道。平底结构的采准工作包括掘进装矿横巷。装矿横巷的间距为 8 m,断面 3 m × 3 m,行车曲率半径为 6 ~ 8 m,长度按铲运机在直道铲装的要求取不小于 8 m。切割由拉底层的拉底巷道向两侧扩帮至矿房边界。凿岩水平设在顶柱的下部,按钻机的工作要求掘进凿岩硐室。硐室长度应比矿房长度大 2 m。宽度比矿房宽度宽 1 m,以适应边孔的凿岩要求,高度一般取 4 ~ 4.5 m。为确保凿岩硐室的稳定,除顶板保持拱形外,还要根据顶板的稳固程度进行适当的锚杆或锚索加固。凿岩硐室通过进路与上阶段运输水平联系,进路应保证钻机出入及爆破器材的运送。

VCR 法能否成功的关键在于回采工艺,尤其是钻孔及爆破工艺的好坏,因此必须严格按设计要求进行施工及管理。

#### 3.1 孔网参数

为了确定合理的孔网参数,钻孔前应在现场进行小型的漏斗爆破试验。试验爆破后按爆破漏斗体积最大(包括可见深度和爆破漏斗半径均为最大),破碎块度最优的药包埋置深度作为最佳埋置深度  $d_0$ ,以爆破后无任何破碎块体爆出,只见孔口端部自由面稍有隆起,出现若干长短不一的裂隙的药包埋置深度为临界埋置深度  $d$ ,以  $d_0/d$  称为最佳埋深比,以  $\Delta_0$  表示。

按 C. W. 利文斯顿的漏斗理论,药包最佳埋深  $d_0$  与药包重量  $Q$  之间存在下列经验关系:

$$d_0 = \Delta_0 \cdot E \cdot Q^{1/3} \quad (1)$$

式中:  $E$ ——与炸药介质的性质有关的应变能系数,当炸药和矿石条件一定时,它是常数。

在生产设计中,一般按下列比例式求实际爆破用的最佳埋深和漏斗半径。即:

$$D_0/d_0 = Q^{1/3}/q^{1/3} \text{ 和 } R_0/r_0 = Q^{1/3}/q^{1/3} \quad (2)$$

式中:  $d_0, r_0, q$ ——分别为漏斗爆破试验所得的最佳埋置深度、漏斗半径和药包重量;

$D_0, R_0, Q$ ——生产爆破时选用的最佳埋置深度、漏斗半径和药包重量。

依据计算得到的漏斗半径  $R_0$ ,并考虑矿石的可爆性(使爆破后形成平整顶板)来确定生产爆破时使用的孔距。此孔距对周边孔应按边孔爆破条件作适当的调整。一般来说,边孔应尽可能布置在采场边界上,但当所采矿柱边界为充填体时,则应离边界 1.2 ~ 1.5 m 布置边孔。

#### 3.2 钻孔

目前,普遍采用的大直径深孔孔径为  $\Phi 160$  mm,孔深为 40 ~ 60 m,垂直平行排列。若回采间柱时,可考虑采用扇形排列,将上部凿岩硐室改窄成为凿岩巷道,从间柱中间往下打扇形孔。孔的偏斜度应严格要求。一般当孔深为 60 m 时,偏斜度应不超过 1%,若钻孔为倾斜空,考虑钻机本身重量的影响,常按炮孔方向向上偏高 2° 开孔。

影响钻孔偏斜的因素很多,除岩层本身的条件外,钻机定位的准确性、安装的平稳性、操作技术的熟练程度以及有无防斜措施等都对偏斜产生影响。

#### 3.3 装药爆破

制作球状药包要求采用高密度(1.35 ~ 1.55 g/cm<sup>3</sup>)、高爆速(4500 ~ 5000 m/s)、高威力(以铵油炸药为 100,该炸药应为 150 ~ 200)以及低感度的乳化油炸药。

单分层爆破时,每孔装药量约为 25 ~ 30 kg。多分层爆破时,一次爆几个分层,其装药结构应作如下安排:最下一分层药包仍按最佳深度埋置,装填第 2 和第 3 个分层的球状药包时,间距要适当小于最佳埋置深度,以保证垂直进尺。此外,药包间的填塞材料最好是用 13 ~ 32 mm 的碎石块,填塞长度至少要保持 2 m<sup>[7]</sup>。

每一分层采用分区中心掏槽、菱形分段微差起爆,中心孔采用一段延时,其余孔以同心圆或菱形顺序向两个自由面爆破,同段雷管的最大药量一般不超过 250 kg。

#### 3.4 出矿

多数矿山采用铲运机出矿,一般是每爆破一次,出一次矿,出矿量为落矿的 40%,留 60% 的矿石暂时放在采场内支撑采场上下盘围岩和两侧充填体,等采场爆破全部结束后,再大量放出矿石。

铲运机平均生产能力为 223 ~ 247 t/台班,最高达 587 t/台班。当矿石含硫较高时,为避免留矿氧化、结块,底部必须经常出矿扰动,只要矿岩稳固性允许,也可采取强采强掘,不限量出矿。

平底结构出矿时,约有 15% ~ 20% 的矿石残留在底部结构内放不出,为解决这部分矿石的安全装运,尽可能采用遥控铲运机,它不仅可提高矿石的回收率和生产率,还有助于改善作业条件。长沙矿山研究院和凡口铅锌矿共同研制的遥控铲运机,成功解决了残矿的装运问题。工业试验表明,该铲运机的平均生产能力达到 54 t/h,最高可达 120 t/h。

## 4 采场地压控制

采用大直径球状药包同段爆破,一次爆破的药量通常较大。为防止采场矿岩、充填体和周围地下工程设施的破坏,有必要对采场地压进行控制。

### 4.1 凿岩硐室

采场凿岩硐室支护要根据硐室周围应力分布情况进行必要的长短锚杆和锚索的支护,并进行适当的喷浆支护。考虑硐室的稳定性,必须以硐室最后离采空区距离来计算凿岩硐室的稳定性。根据矿岩稳定情况,可考虑缩小凿岩硐室宽度钻凿扇形炮孔,或采用双凿岩硐室钻凿平行深孔,在硐室顶板进行喷锚网等加固。

### 4.2 出矿巷道

出矿巷道的稳定性是整个矿房采下矿石能否安全全部运出的关键一环。曾经有矿山在采场大爆破后由于出矿巷道垮塌而损失矿石。因此,对出矿巷道的稳定性同样要高度重视。主要的措施是增大底柱尺寸,采用光面爆破,提高采场爆破效率,减少大块率,做好二次爆破的工作,按要求打孔进行大块的二次爆破,增大留矿口的尺寸等<sup>[8]</sup>。

## 4.3 安全技术

### 4.3.1 爆破效应的观测

在矿房附近的主要巷道、出矿口或充填体内布置测点,以测定其爆破振动速度,研究其传播规律,并为确定一段延时的最大允许药量及合理的起爆方案提供技术数据。

### 4.3.2 硐室底板安全厚度的检测

随着逐个分层向上爆破、凿岩硐室下面的矿层厚度逐渐减少,最后留下的顶层呈板梁状态。在经过多次爆破后,顶层受爆破冲击、两侧挤压及自重等作用,很容易冒落。为了防止冒落事故发生,据国内外经验,顶板的最小厚度不宜小于 10 m。此外,应注意防止爆破后残余气体被明火爆燃,以及硫化粉尘被爆破引爆。

## 5 小 结

总之,通过对 VCR 采矿法中的凿岩硐室、采场底部结构、采场采准工作、切割工作和爆破工作以及采场地压控制等几个方面的参数进行优化,可以使 VCR 成为应用范围广,开采效率高的一种地下采矿方法。

### 参考文献:

- [1] 解世俊. 金属矿床地下开采[M]. 北京:冶金工业出版社, 1995.
- [2] 王 青. 采矿学[M]. 北京:冶金工业出版社, 2002.
- [3] Pariseau. Numerical Assessment of the Influence of Anisotropy on Steeply Dipping VCR Stopes[A]. Geomechanics Applications in Underground Hardrock Mining[C]. SME of AIME Press, 1984.
- [4] 蔡美峰. 岩石力学与工程[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [5] 于亚伦. 工程爆破理论与技术[M]. 北京:冶金工业出版社, 2004.
- [6] 于学敏. 地下工程围岩稳定性分析[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1983.
- [7] 童光照. 高等硬岩采矿学[M]. 北京:冶金工业出版社, 1995.
- [8] 胡际平. 国外缓倾斜、倾斜中厚矿体地下采矿方法的新进展[J]. 国外金属矿采矿, 1984, (12): 63 ~ 73.

(收稿日期:2006-08-22)

作者简介:汪文明(1981-),男,硕士生,方向为采矿工程。

### 矿产资源调查评价工程“十五”成果显著

根据国土资源部 2006 年 12 月 5 日公布的矿产资源调查评价工程成果,我国“十五”期间重要矿产资源调查评价取得了重要进展。铜、钾盐等紧缺矿产资源调查评价出现了良好局面,锡、钨等优势矿产地位得到显著增强。在我国西部地区研究确定了 10 大矿产资源集中区,发现一批找矿远景区,评价出一批战略性矿产的大型、超大型矿产地,为形成一批新的后备资源基地奠定了基础。在中部和东部老矿山外围和一些重要成矿区带发现了一批接替资源。豫西南和闽中地区铅锌银矿调查评价、辽宁青城子外围金银矿和湖南柿竹园与香花岭外围的锡矿调查评价等获得新突破。“十五”期间,新增矿产地 443 处。

“十五”期间主要矿产资源提交和已控制新增资源量(333+3341):铜 2758 万 t,铅锌 6814 万 t,铁 76277 万 t,锰 10402 万 t,锡 161 万 t,钨 68 万 t,煤 14.3 亿 t,银 63291 t,金 1340 t。其中东天山、西南“三江”、雅鲁藏布江等重要成矿区带有望形成一批大型、超大型铜矿勘查后备基地。银、铅锌、铁、锡、钨等矿种提交新增资源量超额完成规划目标。