乳山金矿微差控制爆破间隔时间的测试研究

刘京平，葛克水，陈庆寿

(中国地质大学(北京)工程技术学院，北京 100083)

摘　要：在乳山金矿急倾斜窄矿脉天井爬罐采矿试验中，微差控制爆破的准确运用是非常必要的，作者借助 DSVM－1B 型测震仪进行了井下爆破中岩石裂隙发展速度与岩石移动速度测试方法的研究，在成功获得相关数据的基础上，建立了合理爆破微差间隔时间的计算公式，最终给出了合理的爆破微差时间。

关键词：采矿；窄矿脉；微差爆破；微差间隔时间

中图分类号：TD235.3　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000－3746(2001)S1－0263－03

1　微差控制爆破在乳山金矿的应用

乳山金矿青顶矿区 1971 年投产，设计生产能力 100 t/天，主要采用浅孔留矿法开采。该方法存在生产能力小，机械化程度低，工人劳动强度大，生产安全保障差等缺点。为了改进上述不足，矿山开展了在急倾斜窄矿脉中应用天井爬罐设备、中深孔水平分层凿岩爆破采矿方法的试验研究。天井爬罐采场矿房阶段高 50 m，矿房长 40 m，矿体平均厚度约为 2 m，根据矿体走向变化分 2 部分回采，各由一个天井控制。北侧矿块宽度较小先行回采，孔深 6 m，孔径 51 mm，爆破最小抵抗线 0.6 m，天井规格 4 m×3 m，天井与矿块的凿岩与装药作业均通过爬罐完成，这样采矿生产的机械化程度将有较大提高，日产矿石将达到 200 t/天的水平[1]。

乳山金矿在浅孔留矿法开采中，使用秒差或半秒差雷管的非电起爆系统，爆破效果差，还常伴有先爆炮孔破坏后续起爆系统，导致拒爆的现象发生；而天井爬罐法回采矿石，由于每次爆破的崩矿量多、总药量大，对微差控制爆破具有较高技术要求。微差间隔时间是微差爆破的重要参数，而微差间隔时间的确定是与岩石破坏速度密切相关的。笔者在乳山金矿通过对爆破中岩体裂隙发展速度与岩石移动速度的实地测试，提出了乳山金矿微差控制爆破间隔时间的计算公式，给出了实验采场合理的爆破微差间隔。

2　微差控制爆破中微差间隔时间的理论研究

微差爆破是相邻炮孔相隔几毫秒到数百毫秒先后起爆的爆破，合理的微差控制爆破能取得更好的爆破效果。国外早在 20 世纪 20 年代就提出了微差爆破的设想，我国在 50 年代中期开始了相关试验，70 年代以后全面推广了此项技术。微差爆破的作用机理和优点如下：

(1)先爆炮孔将爆破岩体向开挖方向移动，从而为后继起爆药包提供了新的自由面。

(2)若间隔时间合理，先爆药包会在后继药包控制的岩体内产生预应力，后继药包起爆时会在岩体中形成应力波的增强与叠加。

(3)先后起爆崩落的矿岩在空中相互碰撞，有辅助破碎作用。

(4)合理的微差间隔可使地震波相互干扰，具有降低爆破地震危害的作用。同理也可减缓空气冲击波的危害。所有这些均使得微差爆破可以获得更佳的爆破效果。

微差间隔时间是采用微差控制爆破时需要确定的重要参数，从试验研究的情况看目前各国学者提出计算延迟时间的理论和经验公式有十几种之多，所提及的主要影响因素归纳起来有岩石的强度、密度、声速、裂隙发展速度和移动速度，以及炮孔直径、抵抗线、孔距、分段药量、炸药爆速等。而在较为深入的理论推导中几乎都要提及岩石裂隙发展速度和移动速度。下面结合本文研究中引用的资料对此做进一步的阐述。

文献[2]在讨论井下快速光爆的起爆时序问题时，对井下爆破间隔时间的选取做了详细论述，提出了如下的计算公式：

$$t_n \geqslant t_1 + t_2 + t_3 = l/D + Z/V_2 + Y/V_3 \quad (1)$$

收稿日期：2001－05－30

作者简介：刘京平(1963－)，男(汉族)，山西人，中国地质大学(北京)助理研究员，探矿工程专业，硕士，从事岩土工程施工方面的教学和科研工作，北京市海淀区学院路 29 号，(010)82322624，jingpingl@sina.com。

万方数据

式中：t_1 ——由起爆到此段炮孔装药爆完的时间，$t_1 = l/D$；t_2 ——由炸药爆完至被爆岩体形成顶角为 α 的漏斗状裂隙的时间，$t_2 = Z/V_2 = W/[V_2\cos(\alpha/2)]$；$t_3$ ——由漏斗状爆炸裂隙形成至该部分破碎岩石被抛离一定距离 y 的时间，$t_3 = y/V_3$；l ——装药长度；D ——炸药爆速；Z ——爆破漏斗周边贯通裂隙长度；V_2 ——平均爆裂速度；V_3 ——平均抛渣速度；y ——要求抛出的距离，对于周边孔和辅助孔，$y = W$，对于辅助孔和辅助孔，$y = 0.008 \sim 0.01$ m；W ——最小抵抗线。

式(1)用到了平均爆裂速度 V_2 及平均抛渣速度 V_3，并且认为 $V_2 = 700 \sim 1000$ m/s，而 V_3 难于确定，由瑞典人约翰逊和珀森提供的资料概略计算后得到，当 $y = 0.008$ m 时，$V_3 = 20$ m/s。

通过上面的介绍可以看出，微差爆破间隔时间的确定，是与岩石破坏的速度密不可分的，但岩石破坏的速度尚不能较准确地给出。从相关资料看，提到的岩石裂隙发展速度变化范围较大，在 100 ~ 1000 m/s 之间；而岩石移动速度的数据更少能够给出，一般认为其变化范围在 15 ~ 20 m/s。

由此可见，乳山金矿如果能将爆破中岩石破坏速度的测试问题较好解决，应用上述研究成果便可求出微差控制爆破的合理时间间隔。考虑到窄矿脉开采自由空间狭小，先爆炮孔要为后继药包提供充分的自由空间，取 $y = W$，则由式(1)可将所求微差间隔时间表达为：

$$\Delta t \geqslant l/D + (1/V_L + 1/V_y)W$$

式中：V_L ——岩石裂隙发展速度，m/s；V_y ——岩石移动速度，m/s。

3 微差间隔时间的现场测试

微差爆破的实践首先从露天爆破开始，关于微差间隔时间的研究也多是在露天的条件下进行，人们通常是借助高速摄影的手段，对岩石破坏速度进行观测。由于井下空间有限，高速摄影机对环境的要求苛刻，不容易获得合适的拍摄角度，加之爆破时的气浪冲击，使得摄影机几乎不可能在有效距离内对爆破现场进行拍摄。为此笔者借助 DSVM - 1B 型测震仪，针对该仪器设计了相关测试电路，利用仪器的波形存贮功能进行计时，开展了井下岩石破坏速度的测试，现场实验证明，该方法简单易行，能够较清楚地测到岩石裂隙发展速度和岩石移动速度。

测试原理如图1所示。在图示位置钻凿水平炮孔，垂直向下崩落矿岩。在自由面上粘贴锡片，钻凿锚杆眼，锚杆一头与岩体固接，另一头垂直向下插入套管中，套管中有水平放置的铅心，当锚杆向下穿过时，铅心被击断。锡片到炮孔的距离 h 可以事先测出，套管中铅心的距离 c 事先设定。点炮后裂隙传到锡片位置时锡片断开，如果测得断开时间为 t，则可求得裂隙发展速度 $V_L = h/t'$。由于锚杆与崩落岩体固接，所以锚杆以被崩落岩块相同的速度向下移动，如果测得各铅心被击断的时间 t_n，那么就可求得锚杆经过此区段的速度，即岩石移动速度：

$$V_Y = c/t_{n+1} - t_n$$

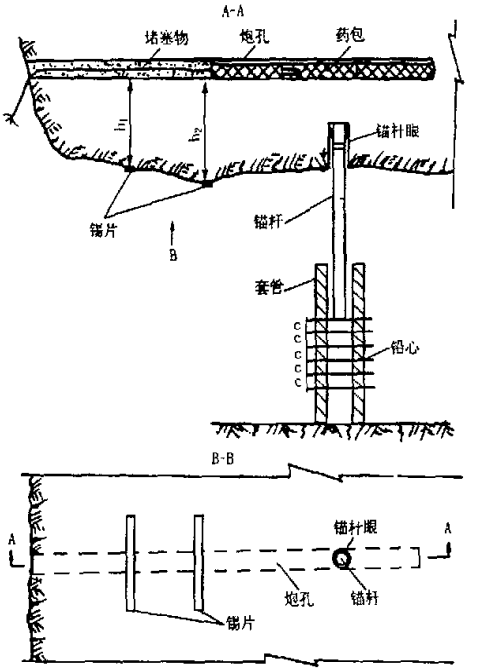

图 1 岩石破坏速度测试原理图

表 1 为实测岩石移动击断各段铅心的时间，表 2 为实测岩石移动速度，表 3 为实测岩石裂隙发展速度。

表 1 实测岩石移动时间

试验代号	c /mm	t_1 /ms	t_2 /ms	t_3 /ms	t_4 /ms	t_5 /ms	t_6 /ms
RS1208	100	2.31	11.63	20.69	30.94	203.43*	
RS1213	50	2.32	4.57	7.12	11.02	14.3	64.40*
RS1216	50	2.95					
RS1221	50						

*：异常点数据，不计。

万方数据

表 2　实测岩石移动平均速度

c /mm	试验代号	$V_y/(m\cdot s^{-1})$ 第 1 段 单计	第 1 段 平均	第 2 段	第 3 段	第 4 段
50	RS1213	22.2		19.9	12.8	15.1
100	RS1208	10.7	15.8	11.0	9.8	
	RS1213	20.8		13.0		
200	RS1208	10.9	13.8			
	RS1213	16.6				
300	RS1208	10.5				

表 3　实测岩石裂隙发展速度

试验代号	锡片	h /mm	t' /ms	V_L /$(m\cdot s^{-1})$
RS1208	1	300	0.93	323
	2	300	1.40	214
RS1213	1	300	0.70	429 *
	2	400	1.71	234
RS1216	1	250	20.36	12 *
	2	350	1.24	282
RS1221	1	400	1.69	237
	2	500	2.23	224

注：$V_{L_{max}}$ = 323 m/s，$V_{L_{min}}$ = 214 m/s，$V_{L平均}$ = 252 m/s；“ * ”为异常数据，不计。

4　微差间隔时间的测定结果与讨论

实验结果，实测岩石移动速度 V_y = 13.8 m/s，这是测试中岩石移动最初 200 mm 有效数据的平均值。实测岩石裂隙发展速度 V_L = 252 m/s，此为测试所获有效数据的平均值，该结果与岩石裂隙发展速度是纵波的 0.05 倍理论接近。通过前面的介绍不难看出，实测结果处于以往研究给出数据范围偏低的水平，由于井下爆破自由面小、夹制性大，因此我们认为井下实测岩石破坏速度较过去露天测试结果偏低是合乎实际情况的。

由于研究条件所限，测试的数据还不够丰富，测试环境与采场的实际情况仍有出入，相信这些问题的解决，会使该方法获得更好的实验效果。

通过上面的工作我们最终得到了乳山金矿微差控制爆破间隔时间的计算公式如下：

$$\Delta t \geqslant l/D + (1/V_L + 1/V_y)W \qquad (2)$$

实测 D = 3200 m/s，V_L = 252 m/s，V_y = 13.8 m/s。

本试验采场，l = 5 m，W = 0.6 m。代入(2)式求得 $\Delta t \geqslant 47$ ms。现场采用 50 ms 及 75 ms 的微差爆破时间间隔，获得了较理想的爆破效果。

参考文献：

[1]　刘京平，等.窄矿脉天井爬罐采矿方法探讨[J].探矿工程，2000，(5).
[2]　胡峰.井巷快速光爆的初步研究成果报告[M].北京：科学技术文献出版社，1971.
[3]　四川水泥研究所.微差爆破技术[M].北京：中国建筑工业出版社，1979.

(上接第 262 页)

(2)充分的技术论证是成功的基础。在这项技术实施过程中，我们对该地段地层条件作过详尽的调查分析，对岩石的弹性变形理论和药包爆破半径进行过研究和试验，用水孔法压力量测和模拟爆破方法确定了该方案的可行性，并取得了孔网距、装药量及超深控制在 -0.4～0.3 m 的科学依据，为这项技术的使用奠定了可靠的基础。

(3)严格的施工措施是成功的保证。保证该技术的成功，需要一套完整的技术措施，我们从地表测量开始，给定每孔超深极限，穿孔中钻具级配确保炮孔不偏斜，装药量严格控制在规定范围内，清渣后及时测量和检测底板情况等，将严格的技术管理贯穿施工全过程。

(4)保持与业主和总承包方的密切联系，得到他们的理解与支持，这也是该技术获得成功的基本条件和保证。

致谢：感谢核电秦山有限责任公司和加拿大原子能公司的爆破专家，感谢解放军南京工程兵学院地爆教研室给予的大力支持。

参考文献：

[1]　龙维祺.爆破工程[M].北京：冶金工业出版社，1992.

万方数据