

文章编号: 0253-3782(2002)06-0653-09

伊朗Sarcheshmeh铜矿爆破振动研究^{*}

K. Najm¹⁾ A. Javaherian²⁾ H. B. Amniah¹⁾

1) 伊朗德黑兰 Amirkabir 大学矿业、冶金与石油工程系

2) 伊朗德黑兰大学地球物理研究所

摘要 地面振动是爆破产生的副效应之一, 爆破中, 相当一部分能量通过其产生的地面振动而被消耗, 从而导致矿山产量大降, 甚至影响矿山的发展. 本文处理并分析了在伊朗Kerman 省 Sarcheshmeh铜矿 11 次爆破记录到的 57 个三分向地震图. 这些数据通过数字化地震仪PDAS-100 记录得到, 并使用DADISP软件加以分析. 最后, 重新考察了影响地面振动的爆破参数, 比如炸药的重量和种类、结构物与爆破点的距离、爆破延时等, 并研究了它们对峰值质点速度 (v_{pp}) 的影响. 在此基础上, 确定了合适的爆破延时及炸药种类. 通过研究这些数据, 为Sarcheshmeh 铜矿作出了 v_{pp} 与换算距离之间的关系图. 有了这样的关系图, 就能够确定结构物的安全距离及相应的炸药数量.

关键词 地面振动 峰值质点速度 爆破

中图分类号: P315.6

文献标识码: A

引言

尽管地面开挖的机械化方法得到了发展, 但是由于投资较少且操作简便, 矿山生产中钻孔和爆破仍然被广泛地使用着, 甚至与居住区和重要设施邻近的矿的扩建也不会限制其广泛使用. 但如果爆破操作不加以控制, 就会产生不安全因素, 引起斜矿井的崩塌、矿井内有毒气体的泄露和附近结构物的破坏. 本研究的主要目的是, 在确保岩石破碎的同时, 降低周围结构物的振动, 确保斜矿井井壁的稳定性, 减少支撑的破损.

峰值质点速度 (v_{pp}) 是评估和预测由于爆破导致的地面振动所产生的任何可能损失的最重要的参数. 这个领域中重要的研究工作从 1930 年开始, 那时, 峰值质点加速度被认为是预测地面结构物可能遭受的损失的基本参数 (Konya, Walter, 1985). Hagen 和 Kennedy (1980) 及 Mather (1984) 研究了爆破产生的质点速度与所用炸药类型之间的关系. 为了降低并消除爆破波之间的破坏性相互作用, 进而降低所得的 v_{pp} , 其它一些研究也集中在爆破延时上面. Singh 和 Lamond (1993) 提出了基于联锁系数的、预测 v_{pp} 的公式. Blair 和 Jiang (1995) 集中研究了炸药充填长度在 0.45~5.00 m 的情况, 并且发现, 远距离峰值质点水平速度与用量长度直接相关. Roy (1998) 考虑到开矿的方式, 提出了一些预测 v_{pp} 及其对地表结构影响的模型.

影响爆破操作结果 (比如地面振动) 的参数, 可以分为以下两类: ①不能控制的因素, 比如当地的地质条件和结构物的位置; ②可控制的因素, 比如钻孔的间距和分布、负载量、

* 伊朗德黑兰大学科学技术研究副主任办公室和地球物理研究所资助项目(No.651/1/365).

2001-06-27 收到初稿, 2002-04-14 收到修改稿并决定采用.

超钻、炮眼封泥、爆破延时、每延时炸药用量和爆破方向等 (Vogt, Abbrock, 1993). 通过调整可以控制的参数，并考虑不能控制的参数，可以得到很好的爆破效果。当地的地质情况和岩体的地质力学性质，对由爆破行为产生的地面振动有相当大的影响。在地质条件复杂的地区，爆破所产生的波不能协调地传播，这就增加了研究和分析记录到的数据和观察到的结果的难度 (Jimeno *et al.*, 1995). 而在露天开矿并进行爆破操作所产生的振动则更易受到各种各样的因素的影响。

在考虑到Sarcheshmeh铜矿的重要的设备，尤其是已列为该矿扩建规划中的调度设备和2号浸析设备的重要性，在矿的扩建阶段，首先应考虑爆破所产生的后果。本文重点研究了那些最重要的爆破参数对Kerman省的Sarcheshmeh铜矿的 v_{pp} 的影响，比如炸药的型号和数量、到爆破场点的距离、爆破延时和爆破波的频率等因素。

1 Sarcheshmeh 铜矿

在伊朗Kerman省的西部、南部和东南部，铜矿区范围大约有 50 000 km²，其中包括了很多的高原和山谷地区。Sarcheshmeh铜矿位于Kerman城西南 160 km、Rafsanjan以南 50 km (31.2°N, 56.1°E)。图 1 给出了Sarcheshmeh铜矿的地理位置，也给出了通向它的公路。

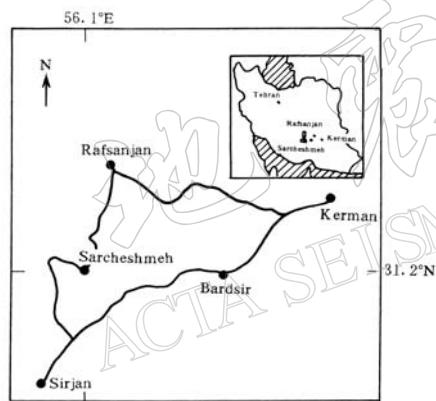


图 1 Sarcheshmeh 铜矿的地理位置及通向它的公路 (Osanloo *et al.*, 2000)

Sarcheshmeh 斑岩铜矿位于一座沿 NNW-SSE 走向延伸的山脉的中心地区。这个山脉主要由褶皱的、断裂的第三代火山沉积物构成，它断续地从土耳其延伸到伊朗的 Baluchestan 省东南部。矿体呈椭圆形，长宽分别为 2 000 和 900 m。在 Sarcheshmeh 地区，火山和与之相关的能确定的沉积物形成了一系列逐渐西向的褶皱。晚第三纪侵入岩出现在背斜褶皱轴线附近；矿物铜的形成与这些侵入岩就有某些联系。Sarcheshmeh 地区的火山岩主要是细粒的安山斑岩，这个地区的最老的侵入岩在岩盘大小的花岗闪长岩岩体附近。

这个矿最老的岩体是 Eocene 安山岩，其它的矿石还有 Sarcheshmeh 花岗闪长岩。无用的岩石

主要是花岗闪长岩脉，包括斑状的角闪石、斑状的长石和斑状的黑云母。矿区呈椭圆形，其长和宽分别为 2 300 和 1 200 m。根据现有设计，这个矿每天需要输送给碎石机大约 40 000 吨 1.1% 的原矿。为了实现这一目标，需使用具有三角锥形钻头的 BE-45R、R-DMH 和 IR-T4 型机器来钻深 15 m，孔径为 20, 23 和 25 cm 的爆破孔。根据岩石的类型，钻孔可以分为 8.5 m × 6.5 m、9.0 m × 7.0 m 和 9.5 m × 7.5 m。超钻 2.5 m，使用 7~7.5 m 长钻孔的被钻岩石碎块来完成封顶。每周进行 3 次爆破，每次爆破约打 30~80 个钻孔。炸药的型号是 ANFO、Emolyte、Emolane 和 Dynamite。Dynamite 被用作引子，而且一槽的引爆药被用来引爆。通常使用的爆破延时为 9, 17, 25, 35 和 65 ms，根据爆破种类和爆破方法来确定它们不同的组合。使用这样的方法开矿，就导致了在每次爆破后，都会有许多废料要被送往废料堆、

氧化物堆或者碎石机.

2 研究方法

为了研究 Sarcheshmeh 铜矿的爆破参数对地面振动的影响, 使用 PDAS-100 数字地震仪和三分向 L-4C 地震仪记录了 11 次爆破产生的地面振动数据. 地震仪安装在竖向、切向和径向. 图 2 描述了 L-4C 地震仪的频率响应 (Sprengnther 仪器公司给出). 数据处理采用的是 DADISP 软件. 图 3 给出了 1998 年 10 月 20 日 49 号爆破区, 由 264 号 PDAS-100 地震仪记录到的数据的径向分量. 考虑到 PDAS-100 的竖向轴是由读数标定的, 根据其使用手册 (Teledyne Geotech 公司), 这个标度被转换成速度, 单位为 mm/s. 图 4 给出了 49 号爆破区, 由 264 号 PDAS-100 地震仪记录到的振动的径向分量的隔离部分. 49 号区由安山岩、Sarcheshmeh 斑状岩、岩脉和新近细粒的斑状岩构成. 最小和最大的炸药 (CANFO 和 Emolane) 用量分别为 1 290 和 26 000 kg. 最少和最多的钻孔数量分别为 19 和 73, 它们的直径分别为 23 和 25 cm.

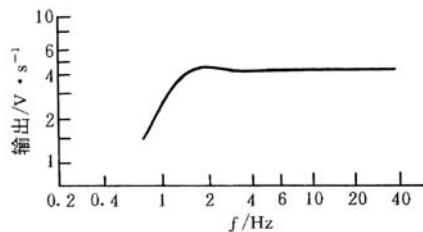


图 2 L-4C 地震仪的频率响应
(Sprengnther 仪器公司给出)

图 3 给出了 1998 年 10 月 20 日 49 号爆破区, 由 264 号 PDAS-100 地震仪记录到的数据的径向分量. 考虑到 PDAS-100 的竖向轴是由读数标定的, 根据其使用手册 (Teledyne Geotech 公司), 这个标度被转换成速度, 单位为 mm/s. 图 4 给出了 49 号爆破区, 由 264 号 PDAS-100 地震仪记录到的振动的径向分量的隔离部分. 49 号区由安山岩、Sarcheshmeh 斑状岩、岩脉和新近细粒的斑状岩构成. 最小和最大的炸药 (CANFO 和 Emolane)

用量分别为 1 290 和 26 000 kg. 最少和最多的钻孔数量分别为 19 和 73, 它们的直径分别为 23 和 25 cm.

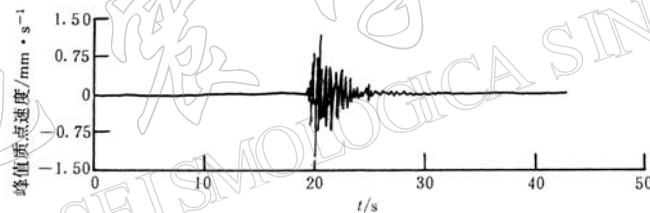


图 3 1998 年 10 月 20 日 49 号爆破区, 由 264 号 PDAS-100 地震仪记录到的数据的径向分量

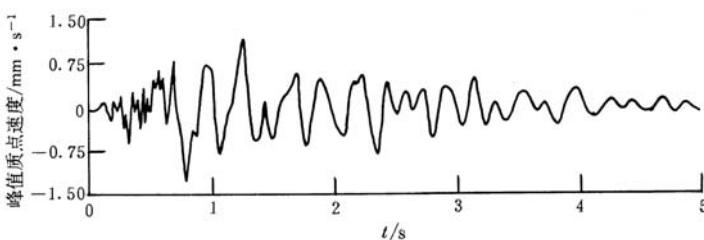


图 4 49 号爆破区, 由 264 号 PDAS-100 地震仪记录到的振动的径向分量的隔离部分

所有记录台站的坐标都绘制 1:5 000 的 Sarcheshmeh 铜矿地图上, 图中详细说明了它们与周围结构物的相对位置及岩体的地质学特性. 根据这种情况, 测定到的炮点最小和最大距离分别为 410 和 3 825 m. 每次延时爆破的炸药量在 696~7 100 kg 之间. 为了研究对地面振动影响最大的爆破参数, 最后的 v_{pp} 由方程

$$v_{pp} = \sqrt{(v_{pp})_V^2 + (v_{pp})_R^2 + (v_{pp})_T^2} \quad (1)$$

给出. 其中, $(v_{pp})_V$, $(v_{pp})_R$ 及 $(v_{pp})_T$ 分别为竖向、径向和切向 v_{pp} 分量 (Rathore *et al.*, 1988). 数据采集的详细情况列于表 1.

3 对地面振动影响最大的参数

3.1 炸药的数量

每次爆破所用的炸药数量是影响地面振动的参数之一. 由于 Sarcheshmeh 铜矿的爆破操作不限在一排进行, 因此要根据不同的爆破延时情况, 考虑每个爆破延时所需的炸药用量. 图 5 给出了 Sarcheshmeh 铜矿每爆破延时所用炸药量对 v_{pp} 的影响效果. 其显示出非线性关系, 因此暗示着还有其它应该考虑的因素在影响着这种关系. 比如, 第一次爆破中, 在距离爆破区 2 010 m, 与之成一定角度的位于安山岩脉岩石上的 3 号台站, 当每延时炸药用量为 696 kg 时, 记录到的 v_{pp} 为 1.69 mm/s; 然而在第五次爆破中, 在位于安山岩上距离爆破区 2 010 m, 并与之成直角的 4 号台站, 在每延时炸药用量为 3 600 kg 的条件下, 记录到的 v_{pp} 则为 1.98 mm/s. 因此可以得出结论: 岩体的种类和记录台站与所研究区域的相对位置, 对记录到的 v_{pp} 有相当大的影响.

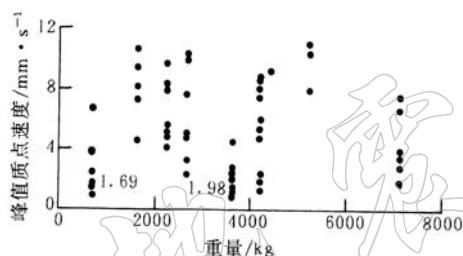


图 5 Sarcheshmeh 铜矿每爆破延时炸药用量与 v_{pp} 的关系

与炸药用量一样, 记录点与爆破场点之间的距离, 对地面振动也有显著的影响. 振动速度与到爆破场点的距离之间有如下关系 (Jimeno *et al.*, 1995):

$$v \propto \frac{1}{d^b} \quad (2)$$

其中, v 为质点速度, d 为到爆破场点的距离, b 为常数. 从图 6 可以看出, 记录到的数据显著地分散开来, 因此, 在这些数据的分析过程中, 到爆破场点的距离和岩体的种类也应该考虑. 很明显, 当每延时使用 696 kg 炸药时, 随着距离的增加, v_{pp} 则下降. 台站 1 的岩性为岩脉, 台站 2 和 4 为安山岩, 台站 3 为安山岩岩脉, 台站 5 为石英闪长岩.

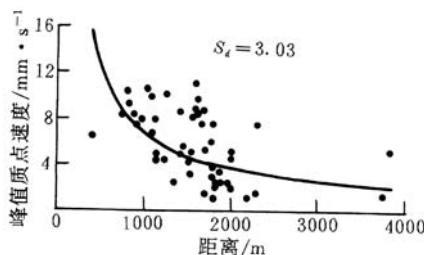


图 6 Sarcheshmeh 铜矿 v_{pp} 与距离之间的关系

因此, 在记录地面振动数据时, 岩体的性质、记录点到爆破场点的距离以及它们之间的相对位置, 都应该进行考虑.

3.3 爆破延时

爆破延时和两排钻孔之间的距离均是影响由爆破引起的地面振动的重要因素. Linehan 和 Wiss (1980) 指出, 使用 17 ms 的爆破延时可以削弱地面振动的累积效应. 英国 Nitronoble 公司进行的研究, 得到了 25 ms 以下的爆破延时可以减弱爆破波之间破坏性相互作用的结论 (Jimeno, 1995).

表1 伊朗Sarchesmeh铜矿数据的详细资料

爆破 编号	炮点坐标/m		炮区岩体		地震仪		台站局部坐标/m		台站岩体	爆破延时/ms	炮点至台 站距离/m	$V_{Pp}/$ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
	N	E	序号	N	E	Z						
1	1 579~1 689	892~916	安山岩, 斑岩, 岩脉	195	1 062	1 436	2 601	安山岩	17, 25, 35	800	10.47	
2	1 633~1 719	405~487	安山岩	193	2 427	2 107	2 461	安山岩	9, 17, 25	1 820	2.41	
				195	2 216	1 384	2 489	岩脉		1 090	10.01	
				196	2 440	1 630	2 463	岩脉	35, 65	1 410	4.92	
				197	2 333	1 498	2 473	安山岩		1 245	10.18	
				198	2 038	1 269	2 488	斑岩, 岩脉		905	7.69	
				199	2 449	1 761	2 463	安山岩		1 530	3.29	
				264	2 529	2 263	2 461	安山岩		2 005	5.19	
3	2 103~2 200	1 848~1 909	新近细粒斑岩, 岩脉	198	2 600	1 214	2 474	岩脉冲积土	9, 17, 25, 35	825	9.19	
4	1 486~1 580	1 024~1 115	斑岩, 岩脉	195	2 177	2 544	2 462	安山岩		1 595	10.99	
5	1 700~1 805	393~445	安山岩	193	2 608	2 598	2 497	安山岩	34, 44	2 350	0.83	
				195	1 827	2 233	2 464	安山岩, 岩脉		1 830	2.33	
				196	2 427	2 107	2 461	安山岩		1 825	2.15	
				197	2 177	2 544	2 462	安山岩		2 180	1.22	
				198	2 895	1 061	2 476	石英闪长岩		1 325	2.53	
				199	2 481	-378	2 655	岩脉		1 220	4.45	
				203	1 196	2 040	2 612	岩脉		1 735	1.50	
				264	2 529	2 263	2 461	安山岩		2 010	1.98	
6	2 127~2 250	1 778~1 865	新近细粒斑状岩, 岩脉	193	2 265	201	2 624	石英闪长岩	65	1 620	9.55	
				195	2 895	1 061	2 476	石英闪长岩		1 030	10.65	
				196	2 608	2 598	2 497	安山岩		885	8.33	
				203	1 674	-101	2 769	岩脉		1 995	4.64	
				264	1 196	2 040	2 612	岩脉		915	7.39	
7	2 100~2 245	440~500	安山岩, 斑岩, 岩脉	193	1 196	2 040	2 612	岩脉	9, 17, 25	1 855	3.30	
				195	3 427	1 725	2 529	岩脉		1 770	3.84	
				197	2 529	2 263	2 461	安山岩		1 810	1.95	
				199	1 827	2 233	2 464	安山岩, 岩脉		1 800	2.90	
				203	1 683	2 749	2 601	安山岩		2 310	7.56	
				264	3 175	985	2 472	岩脉		1 095	6.67	

爆破 编号	炮点坐标/m		炮区岩体	地震仪 序号	台站局部坐标/m			台站岩体	爆破延时/ms	炮点至台 站距离/m	$v_{ph}/$ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
	N	E			N	E	Z				
8 1 995~2 076	760~800	安山岩		193	2 529	2 263	2 461	安山岩	9, 17, 35	1 550	4.94
				195	3 472	1 725	2 529	岩脉		1 710	5.21
				196	1 674	-101	2 769	岩脉		970	7.93
				197	1 827	2 233	2 464	安山岩, 岩脉		1 455	5.52
9 1 380~1 507	210~290	安山岩		198	1 196	2 040	2 612	岩脉		1 500	4.34
				199	3 175	985	2 472	岩脉		1 150	4.29
				203	130	635	2 603	石英閃長岩		740	8.27
				204	168	2 749	2 601	安山岩		1 950	9.69
10 1 470~1 541	995~1 118	安山岩 斑岩 岩脉		193	2 529	2 263	2 461	安山岩	9, 17	2 275	1.49
				197	1 827	2 233	2 464	安山岩, 岩脉		2 010	1.69
				198	1 196	2 040	2 612	岩脉		1 795	1.09
				199	3 175	985	2 472	岩脉		1 870	2.42
11 1 507~1 601	899~1 000	安山岩 岩脉		203	1 305	635	2 603	闪长岩		410	6.78
				264	1 683	2 749	2 601	安山岩		2 505	3.69
				195	1 525	2 452	2 605	安山岩	9, 17, 25	1 390	5.39
				196	5 340	580	2 356	安山岩	35	3 825	1.89
				197	2 529	2 263	2 461	安山岩		1 575	8.13
				199	3 175	985	2 472	岩脉		1 655	7.55
				264	2 449	1 761	2 463	安山岩		1 170	8.49
				193	1 683	2 749	2 601	安山岩	65	1 800	7.62
				195	2 529	2 263	2 461	安山岩		1 630	8.49
				196	3 175	985	2 472	岩脉		1 600	8.7
				197	2 177	2 544	2 462	安山岩		1 700	8.67
				198	2 600	1 214	2 474	岩脉, 安山岩		1 950	2.33
				199	5 340	580	2 356	岩脉		3 750	1.46
				203	2 481	-378	2 655	岩脉		1 780	6.01
				264	1 196	2 040	2 612	岩脉		1 150	4.85

如图 7 所示, 通过考察 Sarcheshmeh 铜矿记录到的数据, 得出了如下结论: 爆破延时 9, 17, 25, 35 ms 和 9, 17, 25, 35, 65 ms 引起的邻近结构物 v_{pp} 的增长要高于延时 9, 17 ms 和 9, 17, 25 ms。而且, 与其它爆破延时相比, 延时 9, 17 ms 和 9, 17, 25, 35, 65 ms 的爆破对邻近结构物的破坏作用是比较小的, 且衰减得也比较快。因此, 建议 Sarcheshmeh 铜矿: 针对邻近结构物, 采用爆破延时 9, 17 ms 和 9, 17, 25 ms; 针对远距离的结构物, 采用的爆破延时为 9, 17 ms 以及 9, 17, 25, 35 和 65 ms。同时, 针对远距离结构物的地震效应情况, 该矿还专门研究了延时 65 ms 所产生的效果(图 8)。对于重要的结构物, 无论是近距离还是远距离, 最好不要采用这个延时。不同延时所得到的 v_{pp} 数据的标准差表明, 随着延时的增加, 数据的离散下降, 数据更加与均值相符。可以判断, 在较高的延时条件下, 是传播的波之间的较小的干涉导致了这种现象。

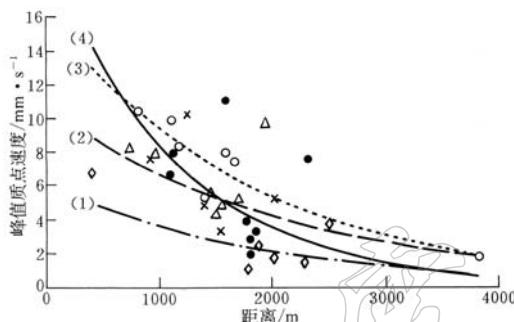


图 7 在 Sarcheshmeh 铜矿, 针对不同的延时、距离与 v_{pp} 之间的关系(第一种组合)

- (1) $S_d = 2.12$, 爆破延时为 9 和 17 ms; (2) $S_d = 3.13$, 爆破延时为 9, 17 和 25 ms; (3) $S_d = 2.98$, 爆破延时为 9, 17, 25 和 35 ms; (4) $S_d = 2.99$, 爆破延时为 9, 17, 25, 35 和 65 ms

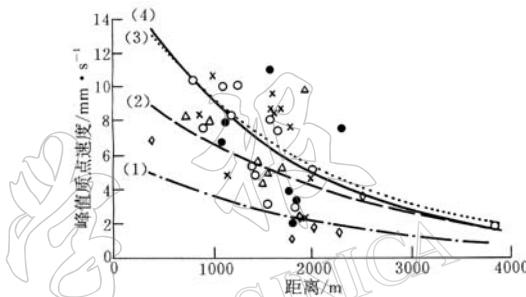


图 8 在 Sarcheshmeh 铜矿, 针对不同的延时、距离与 v_{pp} 之间的关系(第二种组合)

- (1) $S_d = 2.12$, 爆破延时为 9 和 17 ms; (2) $S_d = 3.13$, 爆破延时为 9, 17 和 25 ms; (3) $S_d = 2.98$, 爆破延时为 9, 17, 25 和 35 ms; (4) $S_d = 2.78$, 爆破延时为 65 ms

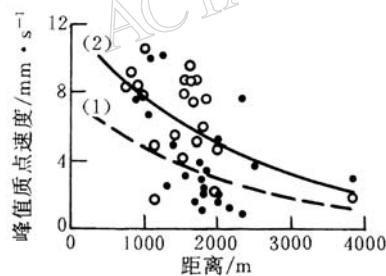


图 9 在 Sarcheshmeh 铜矿, 使用不同的炸药时距离与 v_{pp} 之间的关系

- (1) $S_d = 2.86$, 用 ANFO 爆破; (2) $S_d = 2.58$, 用 Emolane 爆破

要结构物来说, 不应该使用类似 Emolane 的炸药。

3.5 频率

爆破振动的频率是影响质点振动的最重要的参数之一。即使在低的 v_{pp} 情况下, 在自振频率处也会发生共振。因此, 可以在特定的时间段内, 考察振动频率在爆破波到达前后的

3.4 炸药的类型

产生较低钻孔压力的炸药, 比如 ANFO, 爆炸时产生的地面振动较小。这种类型的炸药的密度和爆炸速度是比较低的。Sarcheshmeh 铜矿的地震数据是由 ANFO 和 Emolane 型炸药产生的。ANFO 和 Emolane 炸药的爆炸速度分别为 4 000 和 8 000 m/s。图 9 给出了 Sarcheshmeh 铜矿炸药的类型(ANFO 和 Emolane)对 v_{pp} 的影响效果。从图中可以看到, 对于某种特定的炸药, v_{pp} 随着距离的增长而衰减; 而在相同的距离处, Emolane 所产生的 v_{pp} 比 ANFO 要高。因此, 对于邻近的重

变化，并使其与 v_{pp} 的指标和岩体的性质联系起来。

3.6 换算距离

对于预测爆破振动和设计爆破方案来说，折合距离是一个实用并且有效的方法(Konya, Walter, 1985)。折合距离 S_d 可以表示成如下形式：

$$S_d = \frac{d}{\sqrt{w}} \quad (3)$$

式中， d 为记录台站与爆破场点之间的距离， w 为每次延时爆破的最大炸药用量。这一标准可以表明，安全距离若低于此距离，该项目的爆破就会受到限制。 v_{pp} 与换算距离之间的关系可以绘制在对数坐标图中。图10中绘出了安全距离的上下界线。从图中可以看出，有了换算距离，就能够得到安全的炸药用量。

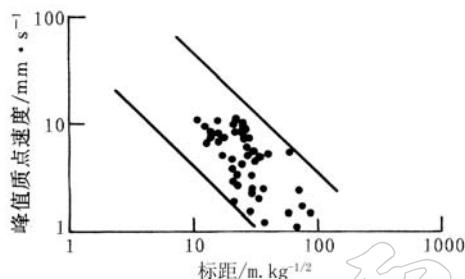


图10 在Sarcheshmeh铜矿折合距离与 v_{pp} 之间的关系

记录台爆破场点振动的大小取决于爆破初始方向。沿爆炸波传播方向的 v_{pp} 是最大的。

- 3) 站相对爆破场点的位置引起的。
- 4) 研究发现，最小的振动发生在具有自由表面的区域，而最大的振动则在爆破区后面的区域内记录得到。
- 5) 对于邻近的重要结构物，建议采用爆破延时9, 17 ms 和 9, 17, 25 ms。
- 6) 对于远距离的重要结构物，建议采用爆破延时9, 17 ms 和 9, 17, 25, 35, 65 ms。
- 7) 在Sarcheshmeh铜矿进行爆破操作时，最好不要使用65 ms的爆破延时。
- 8) 在Sarcheshmeh铜矿，与Emolane炸药相比，应优先选用ANFO炸药。

非常感谢 Sadid Khui A. 先生、Kordbachan B. 先生和 Javadi F. 先生提供了他们记录的地震数据，同时还要感谢 Sarcheshmeh 铜矿总经理 Sharifian 先生。

参 考 文 献

- Blair D P, Jiang J J. 1995. Surface vibration due to a vertical column of explosive[J]. *Int J Rock Mech Min Sci & Geomech*, 32: 149~154
- Jimeno C L, Jimeno E L, Carredo A J F. 1995. *Drilling and Blasting of Rocks*[M]. Rotterdam: A.A. Balkema, 333~364
- Hagan T N, Kennedy B J. 1980. The design of blasting procedures to ensure acceptable noise, air-blast and ground vibrations in surface coal mining. In: *Environmental Controls for Coal Mining: First National Seminar*, Sydney, Australia, November
- Konya C J, Walter E J. 1985. *Rock Blasting*[M]. Springfield, Virginia: National Technical Information Service, 232~235
- Linehan P, Wiss J F. 1980. Vibration and air blast noise from surface coal mine blasting. SME-AIME Fall Meeting,

- Mather W. 1984. Factors affecting magnitude and frequency of blast-induced ground and air vibrations. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, Section A, 93: 173~180
- Osanloo M G, Bakhshandeh H, Javaherian A. 2000. Prediction of Sarcheshmeh Copper Mine blasting operation effects on nearby structure[A]. *Mine Planning and Equipment Selection*. Athens, Greece, 6~9 November[C]. Rotterdam: A A Balkema, 111~115
- Rathore S S, Akhilesh J. 1988. Successful firing of complex 1, 30, 000 tones pillar blast at Mochia Mine[J]. *Journal of Mines, Metals & Fuels*, 7: 381~387
- Roy P P. 1998. Characteristics of ground vibration and structure response to surface and underground blasting[J]. *Geotechnical and Geological Engineering*, 16: 151~166
- Singh S P, Lamond R D. 1993. Prediction & measurement of blast vibration[J]. *Int J of Surface Mining*, 7: 149~154
- Vogt W, Abbrock O. 1993. Digital image processing as an instrument to evaluate rock fragmentation by blasting in open pit mines[A]. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*. Vienna, Austria, 5~8 July[C]. Rotterdam: A A Balkema, 317~324

STUDY OF BLASTING VIBRATIONS IN SARCHESHMEH COPPER MINE

Kazem Najm¹⁾ Abdorahim Javaherian²⁾ Hassan Bakhshandeh Amniah¹⁾

1) Department of Mining, Metallurgy and Petroleum Engineering, Amirkabir University, Tehran, IR Iran

2) Institute of Geophysics, Tehran University, Tehran, IR Iran

Abstract: Ground vibration is one of the side effects of blasting, in which way considerable amount of explosive energy is exhausted, and causes decrease in production and even decline in mine development works. In this study, 57 recorded 3-C seismograms from 11 blasts in Sarcheshmeh copper mine, Kerman, Iran, were processed and analyzed. These data were recorded by digital seismograph PDAS-100 and analyzed by DADISP software. Finally, blasting parameters, such as explosive weight and type, distance between the structures and blasting site, blasting delays, affecting ground vibration are reviewed and their influence on Peak Particle Velocity (v_{pp}) are studied. Based on this study, suitable detonation delays and explosive type is determined. Considering these data, a graph of v_{pp} versus scaled distance for Sarcheshmeh copper mine is prepared, by the help of which, safe distance for structures and accordingly explosive quantity could be determined.

Key words: ground vibration; peak particle velocity; blasting