正交试验设计在露天矿边坡控制爆破中的应用*

李富田,王忠义,郝利军

(包钢(集团)公司白云鄂博铁矿,内蒙古 包头 014080)

摘　要: 通过采用概率论方差分析和正交试验设计,对包钢白云铁矿采场边坡靠帮控制爆破质量和效果进行分析,进一步优化爆破孔网参数,已达到减少爆破试验频率和取得良好爆破效果之目的,为后续类似工程地质条件下的控制爆破提供安全、可靠地数据。

关键词: 极差分析; 正交试验设计; 控制爆破

中图分类号: TD854　　**文献标识码:** B　　**文章编号:** 1009-5438(2017) SO-0023-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.s1.006

Applications of Orthogonal Experimental Design in Controlled Blasting of Side Slope for Open Pit Mine

LI Fu-tian, WANG Zhong-yi, HAO Li-jun

(*Baiyunebo Iron Mine of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014080, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: The quality and effects of controlled blasting at bank near slope of Baiyunebo Iron Mine are analyzed with the variance analysis of probability theory and orthogonal experimental design as well as the parameters of blasting hole pattern are further optimized. As a result, the frequency of blasting test has been reduced and the blasting effects are good, which provide the safe and reliable data for the subsequent controlled blasting with similar engineering geological conditions.

Key words: range analysis; orthogonal experimental design; controlled blasting

白云铁矿南帮主要岩性为云母化板岩,薄层状-厚层状结构,其间出露有断层和岩脉,部分区域节理裂隙较发育,岩石坚硬程度属较坚硬-坚硬岩,岩体质量为Ⅲ-Ⅴ级。靠帮控制爆破的主要参数,如孔距、排距、炸药单耗、线装药密度、单孔装药量、微差时间、起爆顺序、起爆方法等,对于具体的爆破工程,都有其合理的取值范围,应将诸参数合理搭配,优化组合,已获得较好的爆破质量和效果。在施工中,怎样充分利用前期的爆破参数指导后期的施工,进一步开展爆破参数优化组合是一个很有意义的研究课题。为充分达到爆破质量与生产效益最优组合,本次采用正交试验设计原理对前期现有爆破试验数据进行科学详细的分析,已找到最适宜的爆破参数组合,为后续控制爆破施工提供依据。

1　正交试验设计

正交试验设计是使用正交表来安排多因素、多水平试验,并采用统计学方法分析实验结果的一种实验设计方法。为充分确保实验结果的准确性,此次实验采用极差分析和方差分析相结合进行综合分析[1]。

1.1　制作因素-水平表

*　收稿日期: 2017-06-05

作者简介: 李富田(1962-),男,内蒙古包头市人,采矿正高级工程师,包钢集团公司采矿技术专家,研究方向为露天矿爆破工程。

影响预裂爆破最主要的参数有：孔径、孔距、线装药密度、间隔不耦合系数。鉴于爆破设计时每个参数均有不同的取值范围，为进一步提高试验和分析结果精度，每个因素均取较大、中间、较小三个数据，因此可确定为四因素三水平试验，因素水平表见表 1。

表 1 因素-水平表

因素	A 孔径 /mm	B 孔距 /m	C 线装药密度 /(kg·m^{-1})	D 间隔不耦合 系数
1	110	1.1	0.4	2.7
2	120	1.2	0.63	2.9
3	130	1.3	0.75	3.4

1.2 选择正交表，正确安排试验

根据正交表的选用原则，本次试验可选用 L9(34) 正交表，将 A、B、C、D 四个因素放到该正交表任意 4 列上，则试验方案及试验结果见表 2。

表 2 试验方案及试验结果表

试验序号	因素				半壁孔痕率
	A	B	C	D	/%
1	1(110)	1(1.1)	1(0.4)	1(2.7)	30.5
2	1(110)	2(1.2)	2(0.63)	2(2.9)	76.6
3	1(110)	3(1.3)	3(0.75)	3(3.4)	95.2
4	2(120)	1(1.1)	2(0.63)	3(3.4)	62.5
5	2(120)	2(1.2)	3(0.75)	1(2.7)	86.7
6	2(120)	3(1.3)	1(0.4)	2(2.9)	98.0
7	3(130)	1(1.1)	3(0.75)	2(2.9)	48.9
8	3(130)	2(1.2)	1(0.4)	3(3.4)	75.1
9	3(130)	3(1.3)	2(0.63)	1(2.7)	90.8

1.3 极差分析

极差分析法简称 R 法，它包括计算和判断两个步骤，其原理见图 1：

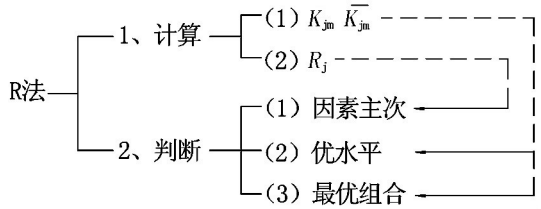


图 1 R 法示意图

图中，K_{jm}为第 j 列因素 m 水平所对应的试验指标和，$\overline{K_{jm}}$为 K_{jm}的平均值。由$\overline{K_{jm}}$的大小可以判断 j 因素的优水平和各因素的优水平组合，即最优组合。

R_j 为第 j 列因素的极差，即 j 列因素各水平下的指标值的最大值与最小值之差。

$$R_j = \max(\overline{K_{j1}}, \overline{K_{j2}}, \cdots\cdots, \overline{K_{jm}}) - \max(\overline{K_{j1}}, \overline{K_{j2}}, \cdots\cdots, \overline{K_{jm}})$$

R_j 反映了第 j 列因素水平变动时，试验指标的变动幅度。R_j 越大，说明该因素对试验指标的影响越大，因此也就越重要，依据极差 R_j 的大小可判断因素的主次。

根据 R 法计算原理[2]，对表 2 试验方案及试验结果分别进行计算，极差分析结果见表 3。

表 3 正交试验极差分析表

	A	B	C	D	试验结果
K_1	202.3	141.9	203.6	208.0	
K_2	247.2	238.4	229.9	223.5	
K_3	214.8	284.0	230.8	232.8	Σ=664.3
$\overline{K_1}$	67.4	47.3	67.9	69.3	
$\overline{K_2}$	82.4	79.5	76.6	74.5	
$\overline{K_3}$	71.6	94.7	76.9	77.6	
R_j	15.0	47.4	9.0	8.3	
优水平	A2	B3	C2	D2	
主次顺序	B>A>C>D				
优组合	A2B3C3D3				

1.4 方差分析

为简化方差分析过程，可将表 2 中 9 个试验数值总变异分别分解为由(A、B、C)因素、(A、B、D)因素、(A、C、D)因素、(B、C、D)因素及误差变异四部分构成，其平方和与自由度采用的公式为：

$$SS_k = \sum T_k^2/K_k - C$$

矫正数 $C = T^2/n$

$$SS_{总} = \sum_{i=k} SS_i + SS_e$$

$$DF_{总} = \sum_{i=k} DF_i + DF_e$$

式中：K_k——因素值；

T_k——试验结果合计；

n——试验数，n 取 9。

1.4.1 平方和、自由度计算

$C = 664.3^2/9 = 49\ 032.72$

$SS_{总} = (30.5^2 + 76.6^2 + 95.2^2 + \cdots\cdots + 90.8^2) - 49\ 032.72 = 4\ 131.13$

$SS_A = \sum T_A^2/K_a - C = (202.3^2 + 247.2^2 + 214.$

$8^2) /3 - 49\ 032.72 = 358.0$

$SS_B = \sum T_B^2/K_b - C = (141.9^2 + 238.4^2 + 284^2) /3 - 49\ 032.72 = 3\ 509.34$

$SS_C = \sum T_C^2/K_c - C = (203.6^2 + 229.9^2 + 230.8^2) /3 - 49\ 032.72 = 159.15$

$SS_D = \sum T_D^2/K_D - C = (208^2 + 223.5^2 + 232.8^2) /3 - 49\ 032.72 = 104.64$

$DF_{总} = n - 1 = 8$

$DF_A = n - 1 = 2$

$DF_B = n - 1 = 2$

$DF_C = n - 1 = 2$

$DF_D = n - 1 = 2$

$DF_e = 2$

1.4.2　列出方差分析表

进行 F 检验，详见表 4—表 7。

表 4　方差分析表

变异来源	SS	DF	MS	F	F0.1 (2,2)	F0.05 (2,2)	显著性
孔径(A)	358.0	2	179.0	3.42	9	19	
孔距(B)	3509.34	2	1 754.67	33.54	9	19	*
线装药密度(C)	159.15	2	79.6	1.52	9	19	
误差	104.64	2	52.32				
总变异	4 131.13	8					

表 5　方差分析表

变异来源	SS	DF	MS	F	F0.1 (2,2)	F0.05 (2,2)	显著性
孔径(A)	358.0	2	179.0	2.25	9	19	
孔距(B)	3 509.34	2	1 754.67	22.05	9	19	*
间隔不耦合系数(D)	104.64	2	52.32	0.66	9	19	
误差	159.15	2					
总变异	4 131.13	8					

表 6　方差分析表

变异来源	SS	DF	MS	F	F0.1 (2,2)	F0.05 (2,2)	显著性
孔径(A)	358.0	2	179.0	0.1	9	19	
线装药密度(C)	159.15	2	79.6	0.05	9	19	
间隔不耦合系数(D)	104.64	2	52.32	0.03	9	19	
误差	3 509.34	2					
总变异		8					

表 7　方差分析表

变异来源	SS	DF	MS	F	F0.1 (2,2)	F0.05 (2,2)	显著性
孔距(B)	3 509.34	2	1 754.67	9.8	9.0	3.0	O
线装药密度(C)	159.15	2	79.6	0.44	9.0	3.0	
间隔不耦合系数(D)	104.64	2	52.32	0.29	9.0	3.0	
误差	358.0	2					
总变异	4 131.13	8					

2　结论

(1) 根据极差分析结果可知，白云铁矿采场边坡靠帮控制爆破参数对半壁孔痕率影响从大到小依次为：孔距、孔径、线装药密度、间隔不耦合系数；最优参数组合为：孔径 120 mm、孔距 1.3 m、线装药密度 0.75 kg/m、间隔不耦合系数 3.4。

(2) 通过对靠帮控制爆破四个主要参数进行方差分析比较，尽管有些因素在计算时 F 检验结果显著性不特别明显，但总体上印证了极差分析结果。不明显的原因是本次试验误差大且误差自由度较小(均为 2) 使得检验的灵敏度较低。

(3) 总体来讲爆破与正交试验理论相结合，能大大减少试验次数，针对不同区域、不同工程地质条件的矿山边坡能及时有效的取得最佳爆破参数并在实践中加以应用，对今后类似工程具有一定的借鉴作用。

参　考　文　献

[1] 董如何，肖必，华方永水，等.正交试验设计的理论分析方法及应用 [J] .安徽建筑工业学院学报，2004，12(6)：23-25.

[2] 周怀梧，倪永兴.医药应用概率统计 [M] .北京：百家出版社，1990.