

煤矿雷管点火剂设计中的模糊数学方法

谢兴华

(淮南矿业学院 安徽省淮南市 232001)

摘要 以煤矿雷管电点火剂为例,对组成材料的综合性能进行了评价。在工程应用中,引入模糊概念对点火剂进行了设计尝试。研究表明:模糊数学方法应用在煤矿工业雷管点火剂设计中是可行的。

关键词 煤矿工业雷管 点火剂 模糊数学 设计方法

中图法分类号 TD 235 222

1 引言

煤矿点火剂是煤矿许用电雷管的“心脏”,它影响着电雷管电学性能、延时精度、贮存有效期、点火能力和安全等性能。我国煤炭系统的雷管生产厂家,多采用 $KC D_2-C-DDNP$ 电点火剂^[1]。由于木炭吸湿、 $DDNP$ 的酸性和 $KC D_3$ 的水解,导致了电雷管贮存有效期变短,造成了大量的退货,特别是厂家与用户相距较远时,问题暴露得更加严重,我们针对存在的问题进行了新型点火剂的研究。

在设计新型点火剂过程中,我们发现由于产品性能指标多,配方选择确定缺乏综合标准,对配方的评价缺乏全面性对比。模糊数学是研究和处理模糊性现象的数学。这里的所谓模糊性,主要是指客观事物的差异在中介过渡时所呈现的“亦此亦彼”性。模糊数学方法就是要让数学进入模糊现象这个领域^[2,3]。作者结合点火剂配方选择对模糊数学方法进行应用尝试。

2 正交设计与试验结果

根据煤矿雷管厂的实际条件,按科学性、可行性和经济性原则,选择铅丹、硅、硼为点火剂主要成分,正交因素水平见表1,正交试验结果见表2,其中用 $\Pi-2$ 型电雷管参数测试

表1 因素水平设计 $L_9(3^4)$

Table 1 Design of factors and levels

水平	A	B	C	D
	Pb_3O_4 ; Si	外加 B $l(\%)$	外加粘合剂 $l(\%)$	防潮层
1	9: 1	2	6	硝基漆
2	8: 2	4	7	虫胶漆
3	7: 3	6	5	过氯乙烯

* 1996-04-14收到原稿, 1996-11-13收到修改稿。

仪, 采用布鲁斯顿升降法统计, 测试最大安全电流 I_{max} 和最小发火电流 I_{min} 用 DT-1A 时间间隔测试仪配 PT-102 测频插件测电点火剂延期秒量 T 。用 $\phi 6mm \sim \phi 6.5mm$ 玻璃管装三段秒延期导火索, 采用升降法测点火距离 d 通 1.2A 恒定直流电流。秒量极差用 R 表示。通过表 2 正交试验结果的统计整理可得直观正交结果分析图 (如图 1)。

表 2 正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal test

试验号	水平 ABCD	$I_{max} / (A)$	$I_{min} / (A)$	$T / (ms)$	$R / (ms)$	$d / (mm)$
1	1111	0.207	0.359	11.50	4.3	85
2	1222	0.174	0.291	10.24	3.5	90
3	1333	0.299	0.470	13.62	7.8	50
4	2123	0.181	0.488	16.14	6.2	65
5	2231	0.284	0.401	16.27	12.6	50
6	2312	0.079	0.607	15.89	10.3	60
7	3132	0.048	0.682	27.30	48.9	65
8	3213	0.328	0.461	18.00	15.7	20
9	3321	0.329	0.551	22.20	47.5	25

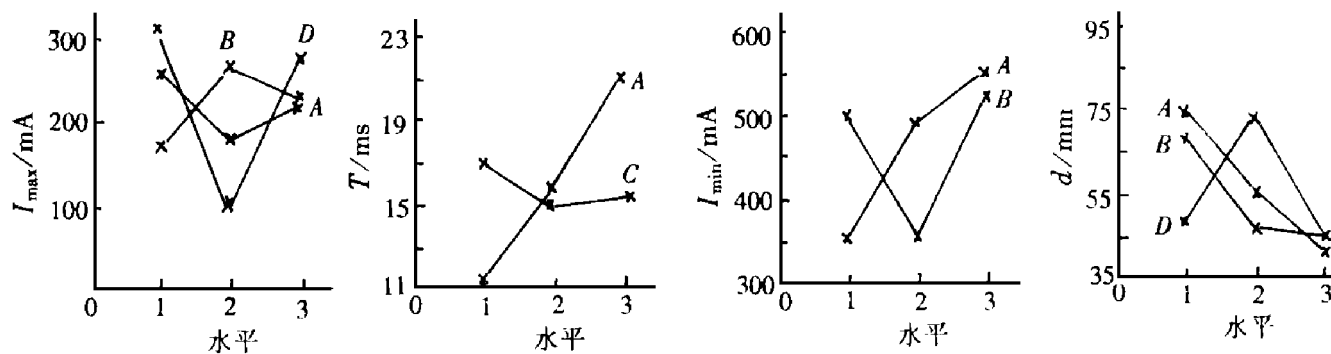


图 1 正交结果直观分析

Fig. 1 Audio-visual analysis of orthogonal results

3 点火剂配方的模糊设计

设评判因素集为 $U = \{U_j\} (j = 1, 2, 3, 4, 5)$; U_1 : 最大安全电流 I_{max} ; U_2 : 最小发火电流 I_{min} ; U_3 : 延期秒量 T ; U_4 : 秒量极差 R ; U_5 : 点火距离 d 。

参照 GB8031-87 国家工业电雷管标准^[4]和专业经验, 分别以 $I_{max} = 180mA$, $I_{min} = 450mA$, $T = 9ms$, $R = 3ms$, $d = 80mm$ 为基准, 建立评判因素的隶属函数关系^[3, 5, 6]

$$U_1 = \begin{cases} 0 & x \leq 180 \\ \frac{x - 180}{180} & 180 < x \leq 360 \\ 1 & x > 360 \end{cases} \quad U_2 = \begin{cases} 1 & x \leq 225 \\ \frac{2(450 - x)}{450} & 225 < x \leq 450 \\ 0 & x > 450 \end{cases}$$

$$U_3 = \begin{cases} \frac{1}{x - 9} & x > 10 \\ 1 & x \leq 10 \end{cases}, \quad U_4 = \begin{cases} 1 & x \leq 3 \\ \frac{3}{x} & x > 3 \end{cases} \quad U_5 = \begin{cases} \frac{4}{80 - x} & x \leq 76 \\ 1 & x > 76 \end{cases}$$

经过正交分析,代入隶属函数进行计算,得到因素水平的模糊评价表 3

表 3 因素水平模糊评价 R

Table 3 Fuzzy evaluation R of factors and levels

因素水平	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	
A	1	0.43	0.34	0.36	0.58	0.80
	2	0.02	0	0.14	0.31	0.18
	3	0.31	0	0.07	0.08	0.09
B	1	0	0	0	0.15	0.48
	2	0.46	0.29	0	0.28	0.15
	3	0.31	0	0	0.14	0.11
C	1	0	0	0.16	0.30	0
	2	0	0	0.14	0.16	0
	3	0	0	0.10	0.13	0
D	1	0.69	0	0	0.14	0.15
	2	0	0	0	0.14	0.48
	3	0.50	0	0	0.30	0.11

注:正交方差分析中因素不显著的隶属函数值以零计,评价项 U_4 除外。

给定评价因素集 $M = (0.2, 0.2, 0.25, 0.1, 0.25)$, 则模糊综合评价值可按下式计算^[7]

$$W_i = M \circ R_i \quad (i = 1, 2, 3)$$

$$_{M \circ R_i} = \bigvee^* [_{M}(\xi) \wedge^* _{R_i}(u_i, \xi)]$$

其中, $_{M \circ R_i}$ 为某因素 i 水平的模糊评价, 也即某因素 i 水平的模糊综合评价; $_{M}(\xi)$ 为某因素 i 水平指标 ξ 所对应的权数值; $_{R_i}(u_i, \xi)$ 为模糊评价矩阵 R 中某因素 i 水平 ξ 指标的隶属函数值。这里, 算子 \bigvee^* 和 \wedge^* 可根据具体问题的要求来选择或创造。

表 4 对比试验

Table 4 contrast experiment

配 方 及 组 成	氧平衡	$T / (m s)$	$R / (m s)$	$d / (mm)$
Pb ₃ O ₄ : S = 9:24:0.76	0	13.6	6.4	65
Pb ₃ O ₄ : S = 9:1	-0.26	10.8	8.8	55
Pb ₃ O ₄ : B = 9:6:0.4	0	8.2	3.1	85
Pb ₃ O ₄ : B: S = 9:24:0.20:0.37	0	9.7	6.2	70
Pb ₃ O ₄ : B: S = 9:0.20:0.61	-0.26	10.3	4.4	90

根据本文论述问题的特点, 为达到既突出重点又兼顾全面的选优要求, 算子 \wedge^* 取普通乘“ \cdot ”运算, 算子 \bigvee^* 取普通加“+”运算。

通过计算可得各因素水平的综合评价: 对于因素 A: $W_1 = 0.5, W_2 = 0.12, W_3 = 0.11$, 即 $W_1 > W_2 > W_3$, 因而可选因素 A 的 1 水平配方。对因素 B: $W_1 = 0.14, W_2 = 0.22, W_3 = 0.1$, 则 $W_2 > W_1 > W_3$, 取因素 B 的 2 水平配方。对因素 C: $W_1 = 0.07, W_2 = 0.05, W_3 = 0.04$, 则 $W_1 > W_2 > W_3$, 取因素 C 水平数为 1。对因素 D: $W_1 = 0.19, W_2 = 0.13, W_3 = 0.06$, 则 $W_1 > W_2 > W_3$, 确定因素 D 的水平数为 1。点火剂优化设计配方为: A₁B₂C₁D₁。由上述分析可知, 综合评价只是相对比较值, 并且已经过归一化处理, 其值已无量纲, 通

过相对值比较可以判断综合指标优劣。

根据模糊配方优化设计结果, 安排对比二级优化试验, 判别复合可燃剂的综合性能。

考虑材料的经济性, 由表 4 对比试验可以看出, 选择复合可燃剂的效果是令人满意的, 即最佳配方为: $Pb_3O_4: B: S \approx 9: 0.2: 0.6$ 此时氧平衡为 -0.26 较零氧平衡时的点火距离大, 这说明硅颗粒并不是完全参加反应的, 只是颗粒燃烧一部分, 因而当配方设计偏负氧平衡时, 实际参加反应的硅颗粒才能实现零氧平衡燃烧。

4 结论与讨论

将优选的红药头 ($Pb_3O_4: B: S \approx 9: 0.2: 0.6$) 与工厂现用黑药头 ($KClO_3: C: DDNP: 缩丁醛 = 58: 12: 25: 5$) 进行了电性能测试 (见表 5), 干燥器中造潮强化吸潮贮存对比试验 (见表 6) 和点火距离升降法统计测试 (见表 7)。

表 5 Table 5

测试性能	红药头	黑药头	通电时间 t/s 或 设定电流 I/A
最大安全电流 $I/(mA)$	297	174	30
最小发火电流 $I/(mA)$	359	337	30
百毫秒发火电流 $I/(mA)$	375	418	0.1
标称冲能 $I/(mJ)$	上限	3.9	3.6
	下限	2.3	2.2
药头延期秒量 $I/(ms)$	10.3	7.9	1.2

表 6 Table 6

测试内容	红药头 (无防潮层)	黑药头 (过氯乙烯防潮层)
点火距离与药头秒量	点火距离 80mm, 20 发药头均点火。20 发药头秒量平均值 10.4ms	20 发药头导通时, 17 发断路, 无法测点火距离及药头秒量。
药头外观	药头坚固、表层光滑、无胀大现象。	表层发酵, 呈胶液状, 有黄色液珠, 药头体积明显胀大。
药头解剖腐蚀情况	桥丝有光泽, 焊结点完好, 脚线亦无腐蚀锈斑。	桥丝光泽, 焊结点处桥丝脱落。脚线处有褐色锈斑。

注: 贮存温度 $32 \sim 36^\circ C$, 干燥器密封造潮 25 天。

表 7 Table 7

点火距离 $I/(mm)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
90	×	×												×	×					
95		○	×		×						×		○		○		×		○	
100					○	×					○		○						○	
105							×		○											
110									○											

注: 药头重 30mg, 玻璃管直径 0.6mm, 导火索为 3 段秒延期索, 用升降法计算 99.99%

发火的点火距离 $d = 80mm$ 。

用摩擦感度仪测红、黑药头摩擦感度, 试验条件: 温度 $30 \sim 32^\circ C$, 摆角 35° , 表压 $0.1MPa$

($6\text{kg}/\text{m}^2$), 试验一组 25 发, 药剂为片状; 测试结果: 红药头爆炸百分数为 44%, 黑药头爆炸百分数为 36%。

从两种药头火焰照相可以看出: 红、黑药头发火时, 火焰形状相差悬殊。黑药头火焰较小, 且发散较大。红药头燃烧集中, 火焰呈球形, 有集中的火焰区, 并有单向的火焰射流。可作如下分析: 黑药头组成中, 各成份的热感度相差较大, 通电后, 二硝基重氮配首先爆燃, 将药头炸开, 药剂被抛向四周, 氯酸钾和木炭等在药剂飞散过程中逐渐燃烧, 形成无规则、零散的局部火焰区。红药头药剂间热感度相差不大, 反应较集中, 有强聚的集中火焰区, 且形成一定方向的火焰射流。从照相中还可以看出黑药头还因反应生成的气体, 对火焰方向性影响较大, 并且用在毫秒电雷管点火时, 对延期精度影响较大; 而红药头火焰呈直线射流, 产生的气体少, 用于毫秒电雷管可提高其延期精度, 在做阻隔升压片无起爆药电雷管点火头时, 能满足药头秒量和点火能力等方面的要求。

5 结 论

模糊数学方法用在点火剂配方优化选择上是成功的, 结合概率统计方法可以发展和完善数学方法在工程中的应用。模糊数学方法在确定各因素水平时, 避免了以往对指标的任意取舍, 减少了主观盲目性, 可以推算出产品综合指标优劣数。随着模糊集合论在工程上的应用, 还可用语言模糊值加入经济指标、社会效益、安全指标和现场应用效果反馈等指标, 实现人机模糊对话, 通过计算机, 对大批量、更多因素水平指标实行综合优化。模糊数学方法在点火剂配方设计中的运用, 一些具体的表述还需进一步发展完善。可以相信, 模糊数学方法在工程中的应用前景是非常广阔的。

参 考 文 献

- 1 陈正衡. 矿用起爆材料. 北京: 煤炭工业出版社, 1978
- 2 谢兴华, 周慧生. 技术科学中数学方法的沿革与复归. 安徽师大学报, 1993 (增刊): 24~ 27
- 3 汪培庄. 模糊集合论及其应用. 上海: 上海科学技术出版社, 1983 105
- 4 中华人民共和国标准. GB8031-87 工业电雷管
- 5 谢兴华, 胡学先. 矿用雷管发火可靠度研究. 爆炸与冲击, 1995 15(3): 267~ 274
- 6 徐峰东, 等. Fuzzy 数学在化纤工艺综合评价中的应用. 模糊数学, 1983 (1): 94~ 103
- 7 王光远. 论综合评判几种数学模型的实质及应用. 模糊数学, 1984 (4): 81~ 87

METHOD OF FUZZY MATHEMATICS IN DESIGN OF FIRING AGENTS OF MINING BLASTING CAPS

Xie Xinghua

(Huainan Mining Institute, Huainan, Anhui, 232001)

ABSTRACT Multifactorial properties of materials are evaluated by taking the electric firing agents of mining blasting caps as an example. The concept of fuzziness is used to design the firing agents first for engineering applications. It is concluded that methods of fuzzy mathematics is feasible for the design of firing agents of mining blasting caps.

KEY WORDS mining blasting cap, firing agent, fuzzy mathematics, design method