

# \* 用正交试验法研究汽缸套 磨损试验的最优方案

李克天<sup>1)</sup> 纪卫东<sup>1)</sup> 王晓临<sup>2)</sup>

(1) 广东工业大学机械电子工程系, 广州, 510090 (2) 武汉纺织工学院, 武汉, 430079)

**摘要** 讨论了正交试验法的原理, 以及在汽缸套磨损试验中的应用。结果表明: 载荷和温度是试验诸因素中最主要的因素。

**关键词** 正交试验; 汽缸套; 磨损

中图资料法分类号 TB302.3

汽车发动机汽缸套失效的主要形式是磨损, 为了揭示缸套的摩擦磨损规律, 除了要在汽车实际运行中进行观察研究, 更重要的是在实验室做模拟试验, 模拟实际使用工况, 对影响磨损的主要因素分别监测控制, 研究它们的影响作用。首先, 要尽可能使试验机模拟运行的结果接近或等同于实际运行后的结果。然后才能在前面试验结果的基础上, 开展摩擦磨损规律的研究。本文讨论设计和寻找模拟试验的最优试验方案。

磨损量的多少是衡量磨损失效的重要尺度, 例如: 当汽缸套的磨损量达到 0.35~0.50mm, 汽车就必须进行大修。另外, “拉缸”也是缸套失效的一种形式, 它特别容易出现在跑合期。影响磨损的因素很多, KTL 试验机模拟出的工况有: 载荷: 1.42~16.42MPa; 运行速度: 低速为 730r/min, 高速为 1400r/min; 温度: 摩擦自然升温和外界加温; 润滑条件: 可更换不同的润滑油和供油量可调; 试验时间等。这是多因素试验, 每种因素还有多种不同的状态。

正交试验法是一种科学地安排与分析多因素试验的方法。虽然只做多因素多水平试验中的一部分, 但能相当好地反映全部试验可能出现的各种情况, 以便于从中选出较好的方案。通过正交试验法所特有的科学分析方法, 用这少数试验所获得试验数据, 可推导出有说服力的正确结论。如: 因素的主次关系、指标与因素的关系以及进一步试验的方向等。做缸套的磨损试验, 就是要在上述不同状态的各种组合中找出一种最优组合, 在这一组合条件下试验, 以期缸套的疲劳磨损既有典型性, 能揭示实际状态下的疲劳磨损规律, 又省时省力。

## 1 正交试验中的“指标”、“因素”和“水平”

**指标:** 表征试验研究对象的指标。本试验中为缸套的磨损量。

**因素:** 对试验指标可能会产生影响的原因, 简称“因素”。本试验中的有关参数: 载荷、润

滑、温度、转速、时间等都是试验“因素”。

水平: 因素在试验中所选取的具体状态称为“水平”。本试验中, 试验机未接变频调速器, 所以只有两个速度:  $A_1: 1400\text{r} / \text{min}$ ;  $A_2: 730\text{r} / \text{min}$ , 即速度只有两个水平。其它因素都可以人为地选择多个水平, 考虑到本试验只是研究磨损量受其它因素影响的一般变化趋势, 只是初步试验, 同时也是对试验机本身性能的一个测试, 为了照顾速度因素的两水平和方便分析, 其它因素也都在常规量值范围内取两个水平。润滑条件:  $B_1: 40$  号机油, 供给量  $10\text{mL} / \text{h}$ ;  $B_2$ : 同样机油, 供给量  $2\text{mL} / \text{h}$ ; 温度:  $C_1$ : 摩擦自然升温, 一般  $70\sim 80^\circ\text{C}$ ;  $C_2$ : 外界控温  $120^\circ\text{C}$ ; 时间:  $D_1: > 24\text{h}$ ;  $D_2: > 48\text{h}$ ; 载荷:  $E_1: 5\text{MPa}$ ;  $E_2: 10\text{MPa}$ 。

## 2 拟定因素水平表及设计试验方案

试验方案的设计包括: (1) 选定正交表; (2) 设计表头; (3) 列出试验方案。

按上面的叙述, 本试验为一个两水平五因素的试验, 指标为磨损量。在确定了指标, 分析了可能影响指标的因素, 选取了各因素的水平后, 可列出因素水平表。见表 1:

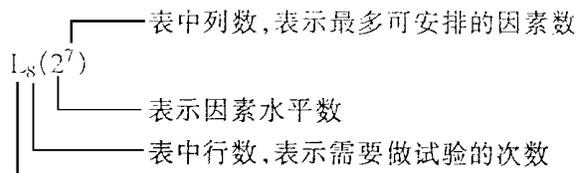
因素水平表是一张分别以确定的试验因素和

表 1 因素水平表

水平为纵横轴列出的表格。各因素和水平的排列顺序是任意的。

因素	水平 1	水平 2
A: 速度	$A_1: 1400\text{ r} / \text{min}$	$A_2: 730\text{ r} / \text{min}$
B: 润滑	$B_1: 10\text{ mL} / \text{h}$	$B_2: 2\text{ mL} / \text{h}$
C: 温度	$C_1$ : 自然升温	$C_2: 120^\circ\text{C}$
D: 时间	$D_1: < 24\text{h}$	$D_2: > 48\text{h}$
E: 载荷	$E_1: 5\text{MPa}$	$E_2: 10\text{MPa}$

可利用的两水平五因素正交表有  $L_8(2^7)$  和  $L_{16}(2^{15})$ , 其意义如下:



正交表代号

选择  $L_8(2^7)$  表或  $L_{16}(2^{15})$  表要分别做 8 次和 16 次试验, 我们希望尽可能少做试验, 所以应该选  $L_8(2^7)$  这张表。

$L_8(2^7)$  正交表见表 2:

表 2  $L_8(2^7)$  正交表

列号因素 试验号	1	速度 A r / min	2	润滑 B mL / h	3	温度 C ℃	4	时间 D h	5	载荷 E MPa
1	1	1400	1	10	1	自然	1	24	1	5
2	1	1400	1	10	1	自然	2	48	2	10
3	1	1400	2	2	2	120	1	24	1	5
4	1	1400	2	2	2	120	2	48	2	10
5	2	730	1	10	2	120	1	24	2	10
6	2	730	1	10	2	120	2	48	1	5
7	2	730	2	2	1	自然	1	24	2	10
8	2	730	2	2	1	自然	2	48	1	5

正交表安排试验的特点: 1) 每个不同水平在试验中出现了相同的次数。2) 任何两个因素

的各种不同水平的搭配,在试验中都出现了,而且出现了相同的次数。因此,正交试验法安排的试验是有代表性的,能够较全面地反映各因素水平对指标影响的大致情况。这就是用正交试验法安排试验能够减少试验次数的原因。

### 3 对试验结果的分析

#### 3.1 试验数据的计算

按正交表做试验,记录下实验结果如表 3 所示:其中磨损量数值是缸套上止点以下 7mm 处圆周磨损量的平均值。

表 3 实验结果

列号	1	2	3	4	5	磨损量
	A	B	C	D	E	
试验号	速度	润滑	温度	时间	载荷	mm
1	1	1	1	1	1	0.010
2	1	1	1	2	2	0.025
3	1	2	2	1	1	0.022
4	1	2	2	2	2	0.067
5	2	1	2	1	2	0.040
6	2	1	2	2	1	0.015
7	2	2	1	1	2	0.020
8	2	2	1	2	1	0.025
I	0.124	0.090	0.080	0.092	0.072	T=
II	0.100	0.134	0.144	0.132	0.152	0.024
R	0.024	0.044	0.064	0.040	0.080	

分析速度因素 A:

将包含因素 A “1”的四次试验(第 1、2、3、4 号)算作第一组,将包含因素 A “2”水平的四次试验(5、6、7、8 号)算作第二组,八次试验分成两组,各因素出现的情况如表 4 所示:

表 4 因素出现表

试验组	因素	A	B	C	D	E
I	1、2、3、4	全是 A 1	B1 两次 B2 两次	C1 两次 C2 两次	D1 两次 D2 两次	E1 两次 E2 两次
II	5、6、7、8	全是 A 2	B1 两次 B2 两次	C1 两次 C2 两次	D1 两次 D2 两次	E1 两次 E2 两次

可见在 A 1、A 2 各自所在的那组试验中,其它因素(B、C、D、E)的“1”、“2”水平都分别出现了两次。

把第一组试验得到的试验结果相加,得:

$$I = 0.010 + 0.025 + 0.022 + 0.067$$

= 0.124

把第二组试验得到的试验结果相加, 得:

II = 0.040 + 0.015 + 0.020 + 0.025 = 0.100

I 表示这样四次试验数据之和, 即: 四次试验中只有 A1 出现四次, 而 B、C、D、E 四个因素的 1、2 水平各出现过两次, 所以, I 反映四次 A1 水平和 B、C、D、E 每个因素的 1、2 水平各两次的共同影响。同理 II 反映了四次 A2 水平和 B、C、D、E 每个因素的两个水平各两次的影

响。当比较 I、II 大小时, 可认为 B、C、D、E 对 I、II 的影响是大体相同的, 因此把 I、II 之间的差别看作是由于 A 取了两个不同的水平而引起的。

将 I、II 之差算出来称作极差 R。如果是多于两水平的试验, 如: 三水平, 将不但有 I、II, 还有 III 组, 此时, 极差 R 为三组中的最大值与最小之差。本试验中的极差:

R = 0.124 - 0.100 = 0.024

极差的大小反映了该列所排因素选取的水平变动对指标的影响。极差 R 值大, 表明该因素的水平变化对指标影响就大。

同理处理因素 B、C、D 和 E, 分别算出它们的 I、II 以及 R, 将结果填入相应的位置(见表 3), 便完成了试验数据的计算。

计算结果是否正确可通过将每一列的 I、II 相加, 得数应该相同来验证。在本例中的各 I + II 均为 2.24, 表明计算正确。

### 3.2 试验结果的分析

#### 3.2.1 各因素对指标的影响

根据表 3 中极差 R 的数据, 第 5 列和第 3 列较大, 第 1 列最小, 可知因素 E(载荷)和因素 C(温度)的水平变动时, 指标(即: 磨损量)波动量大, 因素 D(速度)的水平变动时, 指标波动很小。由此可根据极差的大小顺序排列出因素的主次顺序:

主—————次

E、C; B、D; A

各因素水平影响的趋势还可用“指标—水平变化规律图”来表示, 见图 1:

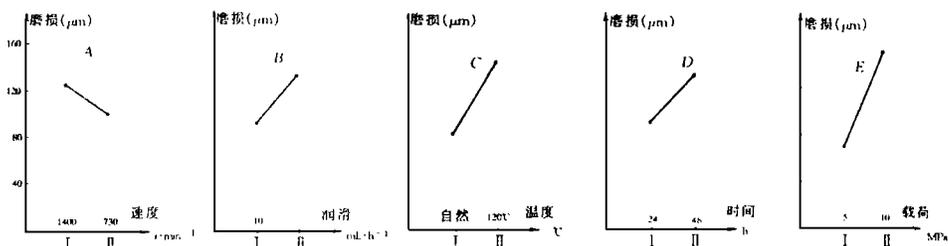


图 1 指标—水平变化规律图

#### 3.2.2 各因素水平的选取

选取因素的水平与要求的指标有关。要求的指标越大越好时, 应该取使指标增大的水平, 即各因素 I、II 中最大的那个水平。反之, 若要求的指标越小越好, 则取 I、II 小的那个水平。本试验的目的是研究摩擦磨损, 要求磨损效果明显, 因此, 应该选择每个因素 I、II 中最大的那

个水平。即:  $A_1$ 、 $B_2$ 、 $C_2$ 、 $D_2$ 、 $E_2$ 。

### 3.2.3 确定较好的组合方案

由正交表的均匀可比性所获得的结论知, I、II 数值的大小只取决于本列因素水平的变动, 而不受其他因素水平变动影响的, 所以把各因素的好水平简单地组合起来就是所要求的较好组合方案。但是实际上选取较好组合方案时, 还要考虑因素的主次, 以便在同样满足指标要求的情况下, 对一些比较次要的因素按优质、高产、低消耗的原则选取水平, 得到更为切合实际要求的较好组合方案。

对于主要因素, 一定要按有利于指标的要求选取水平, 本例中主要因素选  $E_2$ 、 $C_2$ ; 次要因素选  $A_2$ , 可减少振动, 对试验机更加安全。因此较优组合方案为:  $A_2$ 、 $B_2$ 、 $C_2$ 、 $D_2$  和  $E_2$ , 即: 速度: 730r/min; 润滑条件: 2m l/h; 温度: 120℃; 时间: 48h; 载荷: 10MPa。

### 3.2.4 指标随各因素、水平改变的变化规律

从图 1 可看出指标(磨损)随各因素水平改变的变化规律。例如: 随着试验机转速从 1400r/min 降低到 730r/min, 磨损量有所降低, 等等。由于本例是两水平的试验, 图上只有两点, 连线是直线。如果是多于两水平的试验, 图上的多点连线会呈现复杂的形状, 如: 折线、波谷等, 因此可以较好地利用来预测将来试验中因素水平值的选择趋势。

分析与试验结果表明, 按较优化方案试验, 所得结果比较理想。该方法有助于对汽缸套磨损的研究和该摩擦副的摩擦学设计。多水平试验方案的优化, 仍需继续研究。

## 参 考 文 献

- 1 廖永平等. 正交试验法在机械工业的应用. 北京: 中国农业机械出版社, 1984. 54
- 2 何志平. 粉末冶金锭底材料耐磨性的正交试验研究. 摩擦学学报, 1992, 12(1): 55~ 63

## The Best Experiment Program of Cylinder Wears by Means of the Orthogonal Test

Li Ketian<sup>1)</sup> Ji Weidong<sup>1)</sup> Wang Xiaolin<sup>2)</sup>

(1) Dept. of Mechanical and Eletronical Engineering, GDUT, Guangzhou, 510090

2) Wuhan Institute of Textile Technology)

**Abstract** This paper discusses the theory of the orthogonal test, and its application to the experiment of wears in automobile cylinder. Test shows that loading and temperature are the most important test factor than the others.

**Keywords** orthogonal test; cylinder; wears