

案例 11

散热片耐蚀性测量过程的测量系统能力分析

来源	国家自然科学基金资助项目（项目编号：70372062）	类别	<input checked="" type="checkbox"/> 案例 <input type="checkbox"/> 方法
作者	何桢 罗彦 施亮星	关键词	质量改进 测量系统分析 交叉嵌套设计 方差分析 测量能力
理论知识	测量系统分析 交叉嵌套设计 方差分析	适用层次	<input type="checkbox"/> 本科生 <input checked="" type="checkbox"/> 研究生 <input type="checkbox"/> MBA

1. 案例背景

在典型的测量系统分析时，首先随机选取 a 名测量者以及 b 个零件，使每位测量者对各零件重复测量 n 次，则一共进行 abn 次测量，并且要确保这 abn 次测量的次序必须是随机进行的。然后利用极差法或者方差分析法来分析得到的测量数据，估计出重复性和再现性大小，从而得出对测量系统能力的评定。但是在某些情况下，测量者必须在一定的测量条件下才能对零件进行测量（比如说零件必须经过溶液浸泡才能测量出它的质量特征值），而测量条件对于所有的测量者来说并不是完全相同的（比如说用来浸泡零件的溶液因为生产批号的不同而不同）。在每种测量者×测量条件的组合下可以重复测量零件，但是被测量过的零件不能在其他的测量者×测量条件的组合下测量。

2. 案例描述

在一家生产钢制散热片的工厂里，工程师需要测量散热片的耐蚀性。通常的做法是将散热片浸泡在某种测量溶液中测量它的电解速度，速度越快证明耐蚀性越弱。某位测量者可以用某种溶液对散热片进行重复测量，但被测量过的散热片不能再被其他的测量者×溶液的组合测量。（测量溶液的不同是由于溶液批号的不同所致）。我们随机挑选了 3 位测量者和 2 种的测量溶液，并且确保每一位测量者都可以使用所有的测量溶液，但是由于测量条件所限，每一位测量者使用每一种测量溶液最多只能测量 10 个散热片，所以我们随机抽取了 3×2×10=60 个散热片，每个散热片重复测量了 2 次。一共 120 次测量的顺序是随机确定的。测量结果的数据如表 1 所示。

表 1 散热片电解速度的数据 （μ/min）

散热片	溶液 1										溶液 2									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量者 1	30	32	25	22	32	25	30	22	30	22	32	23	33	22	32	23	33	22	23	32
	31	33	23	24	33	23	31	24	31	24	30	24	31	21	30	24	31	21	24	30
测量者 2	22	20	33	34	34	33	20	22	20	33	25	23	30	33	25	23	30	33	23	30
	21	23	35	32	32	35	23	21	23	35	21	22	31	32	21	22	31	32	22	31

测量者	33	36	23	21	21	23	36	33	36	23	30	29	24	25	25	24	29	30	29	24
3	32	34	22	23	23	22	34	32	34	22	31	31	25	26	26	25	31	31	31	25

通过分析我们知道测量者和溶液之间是交叉关系，而由于被测量过的散热片不能再被其他的测量者×溶液组合测量，所以测量者×溶液组合与散热片之间是嵌套关系。因此该测量过程的测量模型是一个随机效应的交叉嵌套型实验问题。该测量系统的方差分析结果见表2。

表2 方差分析结果

测量单元	离差平方和 (SS)	自由度 (DF)	均方 (MS)	方差估计值
测量者 O_i	10.117	2	5.058	0.1200
溶液 S_j	7.008	1	7.008	0.1125
测量者和溶液的 交互作用 $(O \times S)_{ij}$	0.517	2	0.258	0
测量者×溶液组 合下的散热片 $P_{k(O_i \times S_j)}$	2672.450	54	49.490	23.9824
重复性变异 $\varepsilon_{(ijk)l}$	91.500	60	1.525	1.5250
总变异	2781.592	119		

由表2可知，该测量系统的重复性变异方差 $\sigma_{EV}^2 = 1.5250$ ；再现性变异方差 $\sigma_{AV}^2 = \sigma_O^2 + \sigma_S^2 + \sigma_{O \times S}^2 = 0.1200 + 0.1125 = 0.2325$ ；测量系统变异的总标准差 $\sigma_{MSE} = \sqrt{\sigma_{EV}^2 + \sigma_{AV}^2} = 1.3257$ ；该测量系统的测量能力 $R\&R\% = \frac{\sigma_{MSE}}{\sqrt{\sigma_{MSE}^2 + \sigma_P^2}} \times 100\% = 26.1\%$ 。由于测量能力介于10%—30%之间，所以我们认为该测量系统的测量能力处于边界水平，是否接受该测量能力不仅取决于散热片的耐蚀性这一质量特性是否重要，而且我们也要考虑测量成本。

3. 结论与展望

带有测量条件的测量过程在许多企业中都可以遇到，所以针对于这类测量过程的测量系统分析在现实应用中有很好的推广前景。如果我们结合统计软件（如 Minitab^[7]）来进行方差分析，则更加方便。但是我们必须指出，只有当测量系统处于稳定的状态时进行测量系统分析才有意义^[8]。对于如何检验测量系统的稳定性，我们可以采用控制图。由于篇幅所限，对于测量数据的独立性，正态性以及方差齐性（即每个测量值的方差相等）的要求，我们没有进行讨论，对于这些问题的详细讨论，参见文献^[9]。

4. 参考文献

[1] Ford, GM, Chrysler, Measurements Systems Analysis Reference Manual[M].

- AIAG, Detroit, Michigan, 1995.2-21.
- [2] 何桢, 李国春, 石金桥. 工序质量分析与控制中的多变异分析方法[J]. 系统工程理论与实践, 2000 (5): 42-46.
- [3] Mandel J. Repeatability and Reproducibility[J]. Journal of Quality, 1972, 4(2): 74-85.
- [4] 刘晓论, 柴邦衡. 检验和测量控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.147-178.
- [5] 吴遵高. 测量系统分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 2003.35-60.
- [6] Montgomery D C. Design and Analysis of Experiments[M]. 4th edition. New York: John Wiley & Sons, 1997.60-96.
- [7] Dorothy B. Wakefield . An introduction to data analysis : using Minitab for Windows[M]. Chichester: Simon & Schuster. 1997.30-55.
- [8] 何桢, 生静, 施亮星. 测量系统的 R&R 分析在企业质量改进中的应用[J]. 工业工程, 2003, 6(1): 62-66.
- [9] 王万中, 茆诗松. 试验的设计和分折[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1995.57-60.