



阳极网涂布上量天平称重测量系统分析与改进

张虎军¹, 王锐², 王登学^{3*}

^{1,2,3} 蓝星(北京)化工机械设备有限公司,

电邮: duncan_wang@sina.com

摘要: 测量系统是企业质量分析与改进的前提和基础。本文主要介绍了氯碱行业阳极网涂布上量所用天平称重测量系统的分析与改进。涂布上量是影响阳极网性能的关键指标,用天平称量涂布前后阳极网的质量,计算的差值即为涂布上量。该天平称重测量系统最大的挑战是阳极网基材既大且重,长宽为2m×2m,重达10kg,而涂布上量仅为10g,公差为±0.5g。对天平称重做测量系统分析,%Gage R&R为1.9%,满足小于10%的标准,但是,%P/T高达160%,远远不能满足要求。经过对天平测量系统的人、机、料、法、环各个波动源的分析,找到影响波动的关键因子,并实施改进,最后%P/T降为23%,可以满足生产过程控制需要。

关键词: 天平; 测量系统; 电极涂液

1 前言

合格的测量系统是企业运营的前提和基础,只有测量系统合格了,企业才能开始生产和质量改进。**测量系统**是指由人、量具、测量方法、测量对象和环境构成的过程的整体。测量系统分析(MSA, Measurement System Analysis)是指用统计学的方法来了解测量系统中的各个波动源,以及它们对测量结果的影响,最后给出测量系统是否合乎使用要求的明确判断^[1]。衡量测量系统的指标主要有六个:分辨力、偏倚、线性、稳定性、重复性和再现性。分辨力是实施测量的前提,只有分辨力满足要求,才能开始测量;偏倚、线性和稳定性研究的是测量系统的准确性问题;而重复性和再现性研究的是测量系统的精度,即波动性的问题。

衡量重复性和再现性的指标主要有两个:

(1) %GageR&R: 测量系统波动占过程整体波动的百分比,公式如下:

$$\% \text{ GageR} \quad \& \quad R = \frac{R \ \& \ R}{TV} = \frac{6 \sigma_{MS}}{6 \sigma_{Total}} = \frac{\sigma_{MS}}{\sigma_{Total}}$$

(2) %P/T: 測量系統精度占公差的百分比, 公式如下^[2]:

$$\% P / T = \frac{R \& R}{Tolerance} = \frac{6 \sigma_{MS}}{USL - LSL}$$

這兩個指標的判定標準見表 1 所示。

表 1 測量系統判定標準

Tab.1 Measurement system criteria

%GageR&R 或 %P/T	說明
<10%	良好
10%-30%	勉強可接受
>30%	不合格

%GageR&R 用於評估測量系統針對整體過程變異的測量效果, 即過程是否已有改進, 如圖 1 所示; %P/T 用於評估測量系統針對相關產品規格的測量效果, 即判斷產品是否合格, 如圖 2 所示。一個好的測量系統, 這兩個指標需同時滿足要求, 而且越小越好。很多企業在做測量系統分析時, 往往只關注%GageR&R, 而忽略了%P/T 這個指標。

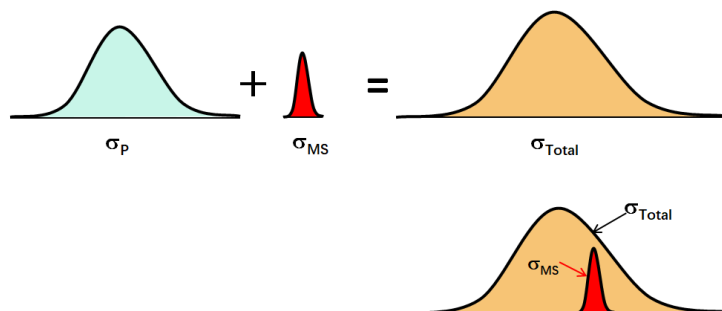


圖 1 %Gage R&R 的解釋

Fig.1 %Gage R&R interpretation

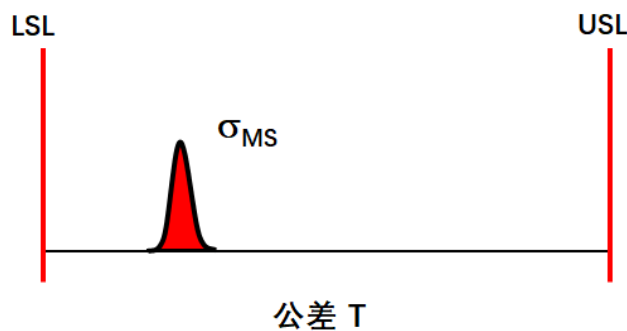


圖 2 %P/T 的解釋

Fig.2 %P/T interpretation



本文主要介绍对“阳极涂布上量天平称重测量系统”的分析与改进，当%GageR&R 合格，而%P/T 不合格的情况下，如何对测量系统进行分析，如何找到波动源，以及如何改进。

2 测量系统分析

阳极网的重量一般为 10kg 左右，在涂布前，先称量阳极网基材的重量，涂布之后，再次称重，二者之差为阳极网涂布上量。上量的公差为 $10 \pm 0.5g$ 。

对阳极网涂布上量天平称重测量系统做分析，评估是否合格。

2.1 测量

从生产现场随机选取 12 张阳极网，编号为 1、2...11、12；并从现场随机选两个测量员做测量；按照正常生产时的测量条件，安排两个测量员对 12 个产品随机测量两遍，记录测量结果如表 2 所示。

表 2 测量结果

Tab. 2 Measurement result

部件	重量			
	测量员A	测量员A	测量员B	测量员B
1	9879.3	9879.7	9879.4	9879.8
2	9905.7	9905.3	9904.9	9905.4
3	9903.7	9904.1	9904.4	9903.6
4	9888.9	9888.8	9888.8	9889.0
5	9905.6	9905.6	9905.3	9905.7
6	9909.2	9908.8	9908.3	9908.2
7	9912.3	9912.3	9912.2	9912.1
8	9919.0	9919.2	9919.2	9919.2
9	9913.8	9913.7	9913.9	9913.8
10	9917.3	9917.9	9917.3	9917.2
11	9898.1	9898.7	9898.1	9898.2
12	9932.9	9932.5	9932.8	9933.2

2.2 结果分析

借助 Minitab 软件，对该测量系统分析，结果如表 3、图 3、图 4 所示。

表 3 是测量系统的方差分析结果，给出%GageR&R、%P/T 和 NDC 的值，用于判断测量系统是否合格。

图 3 是六合一图，直观展示测量系统的状态，重复性和再现性结果，测量系统存在的问题与哪个测量员、哪个产品有关。该图主要用于对测量系统不合格原因的分析。

图 4 是运行图，清楚展示每一个测量员对每一个产品多次测量的结果。是测量系统不合格分析的非常有用的工具。

表 3 測量系統分析結果

Tab.3 Measurement system analysis result

量具 R&R

来源	方差分量	方差分量 贡献率
合计量具 R&R	0.072	0.04
重复性	0.070	0.04
再现性	0.002	0.00
操作员	0.002	0.00
部件间	197.514	99.96
合计变异	197.586	100.00

过程公差 = 1

来源	标准差 (SD)	研究变异 (6 × SD)	%研究变 异 (%SV)	%公差 (SV/Toler)
合计量具 R&R	0.2677	1.6063	1.90	160.63
重复性	0.2638	1.5826	1.88	158.26
再现性	0.0458	0.2750	0.33	27.50
操作员	0.0458	0.2750	0.33	27.50
部件间	14.0540	84.3239	99.98	8432.39
合计变异	14.0565	84.3392	100.00	8433.92

可区分的类别数 = 74

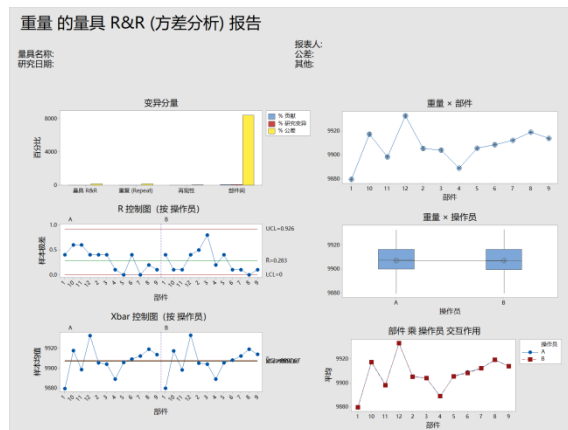


图 3 方差分析六合一图形

Fig.3 ANOVA six up charts

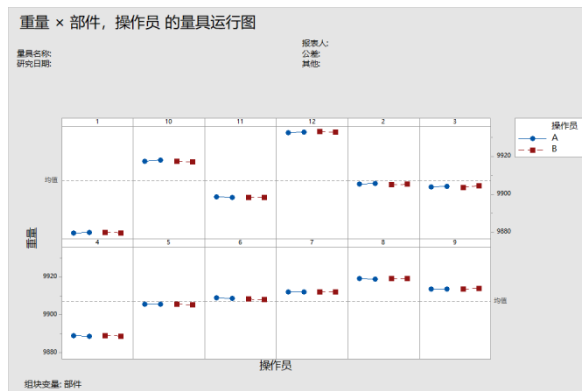


图 4 测量系统运行图

Fig.4 Measurement system Run chart

2.3 结论:

$\%GageR\&R = 1.90\% < 10\%$ ，说明该测量系统相对于产品的变异来说是足够的，合格的。 $\%P/T = 160.63\%$ ，说明该测量系统相对于公差为 1g 的要求来说，已经远远不能满足要求。

该测量系统不合格，需要改进。

3 原因分析

3.1 流程图分析

画出天平称重的详细流程图，如图 5 所示。从流程图可以看出，测量的波动源可能来自于四个步骤：天平清零、阳极网放在天平上、走到电脑前和电脑程序整理信号等。

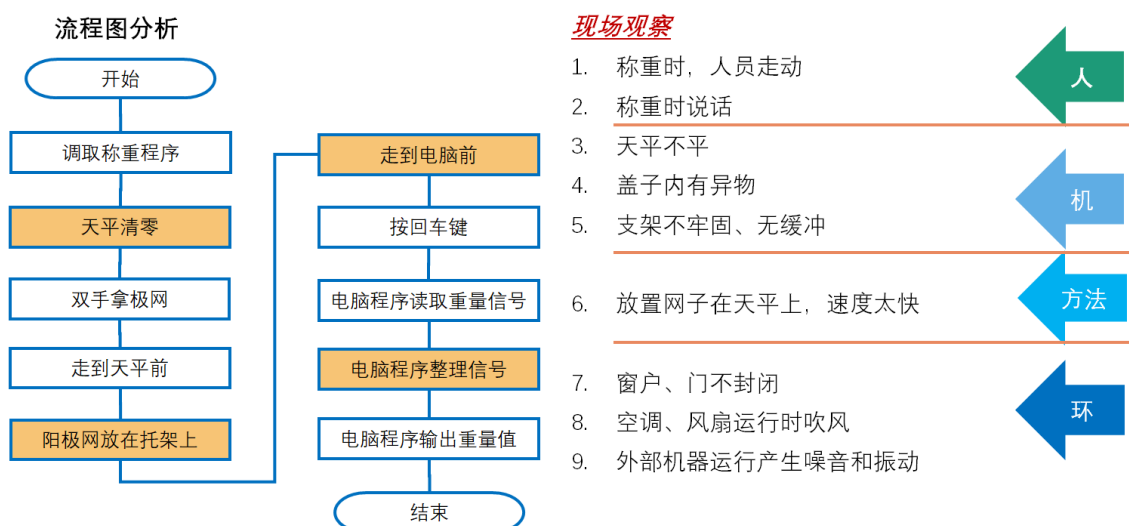


图 5 测量流程图

Fig. 5 Measuring flow chart

3.2 树图分析

邀请天平供应商技术人员以及使用者等各方面专家，一起分析测量波动的可能来源，如图 6 所示。

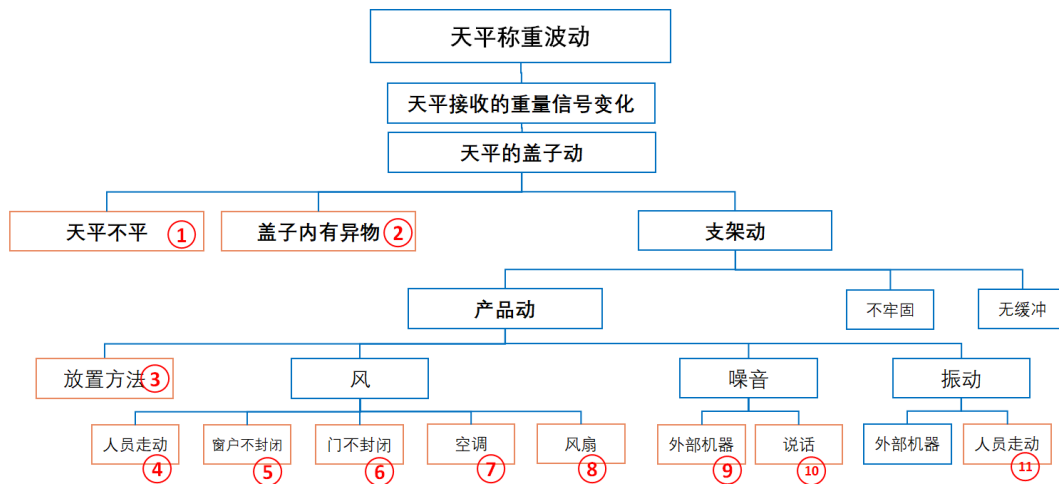


图 6 测量波动树图

Fig. 6 Measurement variation tree chart

3.3 原因汇总

通过分析可以得到如下最可能的原因：

- 1) 称重时，人员走动、说话
- 2) 天平不水平
- 3) 天平盖子内有异物
- 4) 支架不牢固、无缓冲
- 5) 放置阳极网在天平上时速度太快
- 6) 窗户、门不封闭
- 7) 空调、风扇运行时吹风
- 8) 外部机器运行产生噪音和振动

4 改进措施

和团队一起制定如下改进措施，并实施。

1. 测量室：加装密封门，密封所有窗户
2. 天平：在天平外面加装 2.5mX2.5m 的防护隔离罩
3. 隔离板：在天平和电脑操作台之间加装隔离板，防止测量员操作电脑时干扰天平
4. 天平支撑架：加装缓冲泡棉
5. 更改天平读数程序：原来的程序为天平出现稳定信号后，电脑读取一个数据。改进后的程序为延迟 10 秒后电脑开始抓取数据，抓取 5 秒的数据并取平均值，把 5 秒的均值作为最后的读数。



6. 标准化作业：编制天平称重 SOP，规范测量员标准操作流程

5 验证

对改进后的测量系统，再次做测量系统分析。结果如表 4 所示。

$\%GageR\&R = 0.44\% < 10\%$ ， $\%P/T = 23.65\% < 30\%$

说明该测量系统合格。

改进前后，结果对比如表 5 所示。

表 4 测量系统分析结果

Tab.4 Measurement system analysis result

量具 R&R

来源	方差分量	方差分量 贡献率
合计量具 R&R	0.0016	0.00
重复性	0.0015	0.00
再现性	0.0001	0.00
测量员	0.0001	0.00
部件间	81.4210	100.00
合计变异	81.4226	100.00

过程公差 = 1

来源	标准差(SD)	研究变异 (6 × SD)	%研究变 异 (%SV)	%公差 (SV/Toler)
合计量具 R&R	0.03942	0.2365	0.44	23.65
重复性	0.03842	0.2305	0.43	23.05
再现性	0.00880	0.0528	0.10	5.28
测量员	0.00880	0.0528	0.10	5.28
部件间	9.02336	54.1402	100.00	5414.02
合计变异	9.02345	54.1407	100.00	5414.07

可区分的类别数 = 322

表 5 改进前后对比

Tab.5 Comparison before and after improvement

类别	%Gage R&R	%P/T
改进前	1.90%	160.63%
改进后	0.44%	23.65%

6 结论

衡量测量系统波动的指标不但有%Gage R&R，还包括%P/T，只有这两个指标都满足要求，该测量系统才合格。

对于测量系统的改进，一定要从人、机、料、法、环、时间等各个方面分析，不能只关注测量设备一个方面。

本文介绍的案例，由于给出的公差比较小，所以，即使%Gage R&R 完全合格，但是，%P/T 依然不合格，这样的测量系统是不能应用于生产的。



本案例采用了很多比较有效的原因分析和改进工具，如流程图、树图、5Why法、6合一图形、运行图等等，这些方法简单、实用，对于解决质量问题，非常有效。

天平称重测量系统改进后，该系统合格并满足于生产过程的质量改进的要求，因此，涂布过程得到有效控制，经过三个月的数据跟踪，涂布上量的过程能力指数(Cpk)从改进前的0.4，提高到改进后的1.2，改进效果非常明显。

参考文献：

[1]马逢时,周晔,刘传冰.六西格玛管理统计指南(第二版)[M].北京:中国人民大学出版社,2013:177

[2]何桢.六西格玛管理(第三版)[M].北京:中国人民大学出版社,2014:404-406