

铂金铸造方面的试验设计的应用

介 绍

铂金铸造曾经是一项难以估量的艰巨任务。由于它的高熔点，而使其成为一种难以处理的金属，这就需要特殊材料和设备来加工，所以它的加工成本是非常昂贵的。由于的昂贵价值，人们往往不乐意用这种材料来进行试验。然而不通过试验来找出合适的参数，我们将会遇到生产许多报废品的风险，并导致成本上升。那么该怎么做呢？实际上有一套非常好围绕质量良性循环的工具已经流行多年了，它叫试验设计，英文简称 DOE。这套十分简单的工具可以用来迅速判断铂金铸造方面的重要参数，同时清除了许多琐碎的环节，以便我们不用在这些环节上浪费时间。这篇文章将介绍如何应用 DOE 或更明确的设计因素，来找出哪些是铂金铸造中的重要影响因素。

背 景

设计试验有时指统计上的设计试验，它已经在质量良性循环领域被应用多年。这种试验的经典观点是在改变一个因素的同时，进行试验，观察结果，接着继续改变下一个因素。这种方式存在以下几个缺点：

- 1、 这种方式将花过多的时间，并且浪费过多的资源。
- 2、 所有有效因素综合后的效果无法揭露。
- 3、 各种影响因素的相互间的效果无法揭露。

通过统计设计试验，我们可以获取以下利益：

- 1、 许多因素可以被模拟检查。
- 2、 一些不能控制的输入因素（也叫噪声因素）可能会影响输出，然而其他输入因素可能会通过控制来减少噪声因素的影响。
- 3、 无须高深的统计知识，就可以进行这些试验，并获取相关好处。
- 4、 可以用相对少的试验看到大量的影响因素，并可以将琐碎因素从重要因素中分离出去。
- 5、 在大多数实验中，无须增加花费就可以提高质量和可靠性。

试验计划多年前就在英国和美国发展，然而这种方式一直没有应用于统计学和工程学，直到一个名叫 **GENICHI TAGUCHI** 的日本工程师通过日本工程学会采用这种方法，并加以应用。到了 20 世纪 80 年代，日本飞快地成为了一个世界性的经济领袖，美国人才注意到日本人在使用这种先进的新工具。这种工具被称为 **TAGUCHI** 方法。日本人 **TAGUCHI** 也于 1987 年出了一本关于此项课题的书。

这项著名的研究成果带来了其强大的力量，其中包括一位陶瓷生产商，他买了一台用于烘焙陶瓷的非常昂贵的炉。然而这个过程是通过在大空间变化来生产陶瓷的。他们测量了炉内的温度，发现炉内温度变化很大。问题是修理这个温度问题的花费非常大，因此他们只好选择忍受。为此他们把这个温度因素作为噪声来对待，进行了一个设计试验以找出其他可能导致温度巨大变化的影响因素的合适数值。他们发现了七条因素，并在进行了一场改变混合物中石灰石含量的试验后发现这时陶瓷的尺寸对炉内温度的变化不敏感了。他们也发现他们

可以在不影响陶瓷质量的同时减少原料中昂贵成分的比例，因此解决了他们的问题，也降低了他们的生产成本。

我们可以应用上述同样的方法来帮助我们解决我们的铸造问题，并在收集到那些数据后，我们就可以变得自信。

试验程序

我想应用这种 DOE 方法不仅可以论证他的威力，而且试着证实我的一个假设，并解决一些赌设。我一直想知道通过离心方式铸造时，铸造圆顶模托上的位置是否会影响充满率？一般的人会认为由于金属需要往反方向回走，位于旋转壁边缘的部分不将充满。然而拖尾的这部分反而充满得更好，因为金属获得了更多的力。这就像在坐在转圈船上，开始下坠时你会感到自己在从自己位置上被拉出，而同时你的身体则想往船的相反方向去。如果这是离心铸造的事实，它将会有很大分歧，因为这将意味着我应该在这个圆顶模托的一边上放置所有部件，接着我需要在把模套放置在支架里的同时，把模套安置好，以便确保所有部件能在旋转壁的轨道边缘。

我想通过离心方式考察一下铂金铸造中的四个主要因素：模套的温度、金属温度、加速度和速度。

我必须做的第一件事是建立起乘阶矩阵。我将进行一个 2 维的 4 阶矩阵，这意味着我将在 2 个水平考察 4 个因素的每一个因素。这些水平通过一个加法和一个减法来表示，并且你想以你的想法或者在受过程限制的一些实例中，把那些水平括在一起考察将是可行的。一旦

建立起这种矩阵，它的形式将如图表 1 所示：

模套号	速度	加速度	铸造温度 (C)	炉温 (F)
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+

图表 1

就像上图所示，一个 2×4 的乘阶需要 16 个试验来覆盖每个因素

每种水平情况。这听起来需要进行许多次的试验，但是我们将会立刻考察到四种因素的影响和他们的相互作用，大量的信息储存在这里。一旦我们建立了矩阵，就可以把参数插入到各个水平中去，就像图表 2 所示：

模套号	速度	加速度	铸造温度 (C)	炉温 (F)
1	200	4	1825	1450
2	500	4	1825	1450
3	200	1	1825	1450
4	500	1	1825	1450
5	200	4	1975	1450
6	500	4	1975	1450
7	200	1	1975	1450
8	500	1	1975	1450
9	200	4	1825	1550
10	500	4	1825	1550
11	200	1	1825	1550
12	500	1	1825	1550
13	200	4	1975	1550
14	500	4	1975	1550
15	200	1	1975	1550

16	500	1	1975	1550
-----------	------------	----------	-------------	-------------

图表 2

这两个速度的水平代表了这台机器的最大值和最小值。加速度也代表了代表了这台机器的上限和下限值。如果加速度要取得更高的数值，则表示速度将取得更低值。铸造温度是任意选择的，但是应确保挑的温度能够得到浇足和不浇足两种情况，因为如果每个工件都 100% 充满的，那么将收集不到任何好的数据。炉温代表了我在生产中要用到的温度范围。

我们将进行的这次铸造的机器是一台工业用双断臂式的铸造机。一台简单的断臂式机器或者一台直臂板的机器将可能产生不同的结果，并且假如这些机器是可以用的，那么它们可能作为因素而有用处。铸件将在部分真空中完成，铸造温度通过一个可视化的高温计来测量和显示。

我们浇注的形式是一个许多人试验铸造质量的经典格子。（如图 1）这个格子被划分成 100 个正方形，这样使得计算非常方便，因为我们可以精确地计算出多少个正方形，并且包括了全部。标准是一个正方形必须填满，以便于计算。这个表格有沿着表格中间主流边缘的一个入口。



图 1 格子

这个格子被放在绕着圆顶模托 90 度的位置，或者说放在 12 点、3 点、6 点和 9 点的位置。这是决定于将所有格子相互间放置平行。

(如图 2)

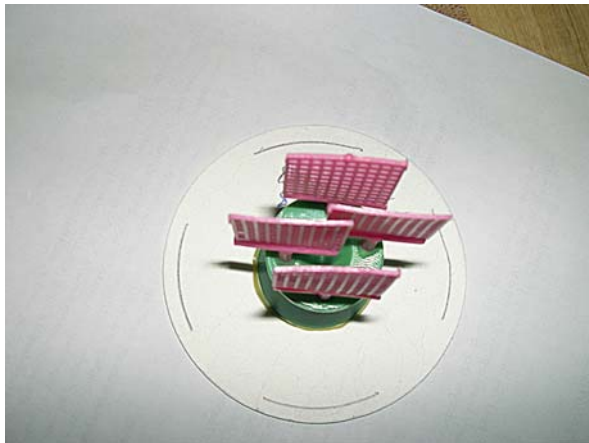


图 2 各个格子所显示的位置和差别。注意看一下格子顶部的小珠

为了能判断哪个格子放在 12 点的位置，哪个放在 6 点的位置，一个非常小的蜡珠点在了位于 12 点的格子的顶端。(如图 3) 这个小蜡株被认为不会对整个模型产生什么影响。

现在一旦我们把蜡放在圆顶模托和导向条上，就必须想办法确保导向条早铸造过程中得到控制。一旦模套投入进去，就会看不到这个模型，也就无法确保坩埚在机器内定位在同一条路径上。为了解决这个问题，我在模套外面焊了一个小的金属珠。(如图 3)

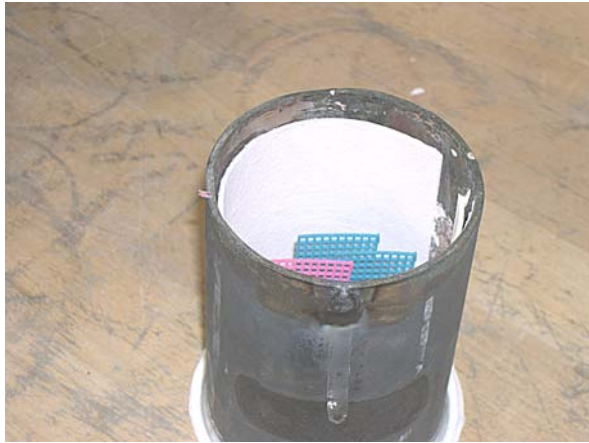


图 3 模套子所示的焊接珠

当模套和基部结合时，这个金属珠就和格子上的蜡珠排列在一起。（如图 4）



图 4. 模套子装配时所示珠的对齐

由于圆顶模托上的空间限制，在 3 点和 9 点位置上的蜡必须轻轻地拌开，以避免接触，拌开应采用折中的办法，对半分开。现在模套子准备投入。投入过程发生在一个真空投入混频器中，这种混频器专用于铂金投入，利用了标准工业可用酸。

模套子需要烘干 4 小时，接着每个模套子用一个从 1 到 16 的连续数字进行标示。在一个热量很高并且均匀的回转炉中完成焙烧。所有模套子放在炉内以便金属珠朝外。这将便于抓取模套子，并按金属珠朝 12 点的位置把模套子放置在支架上，因此那些格子就定位在了合适的位置。

焙烧是一个 14 小时的周期，焙烧后，前 8 模套以 1450℃ 的温度铸造；接着升高炉温至 1550℃，允许过渡 1 个小时，接着另 8 模套进行铸造。在一个真实的有代表性的 DOE 中，人们往往想以随机次序进行操作，然而当处理模套温变化时，这可能是非常麻烦的，因此我选择按标准次序进行试验。金属采用 PT5RU。

模套子在水中淬火一次，模套子的号码就立即刻在了圆顶模托上，以防止顺序弄混乱。接着这些树用腐蚀性的碳酸溶液进行沸腾清洗。不要把格子从圆顶模托上移除，数一下在圆顶模托上的各个位置的每个格子上的这些正方形的号码。一旦所有数据收集完后，就要开始分析了。（如图 5）

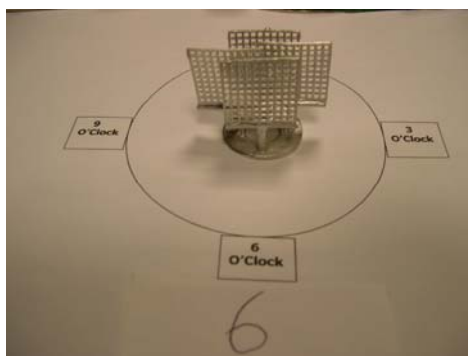


图 5. 完全浇足的实例

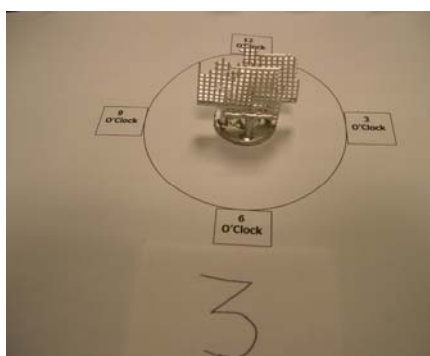


图 6. 不完全浇足的实例

结 果

有几种方式来考察这些数据。考察这些未加工的半成品，可以看到，不考虑位置，温度越高，浇得越足。（如图表 3）

					树上的位置			
模套	速度	加速	铸造	炉温	12	3	6	9

号		度	温度 (C)	(法 氏)				
1	200	4	1825	1450	76	27	58	60
2	500	4	1825	1450	86	86	39	86
3	200	1	1825	1450	28	74	75	56
4	500	1	1825	1450	97	82	97	100
5	200	4	1975	1450	100	100	100	100
6	500	4	1975	1450	100	100	100	100
7	200	1	1975	1450	100	100	100	100
8	500	1	1975	1450	100	100	100	100
9	200	4	1825	1550	71	63	72	82
10	500	4	1825	1550	64	76	57	98
11	200	1	1825	1550	59	48	100	91
12	500	1	1825	1550	88	83	68	100
13	200	4	1975	1550	100	100	100	100
14	500	4	1975	1550	100	98	100	100
15	200	1	1975	1550	100	100	100	100
16	500	1	1975	1550	100	100	100	100

图表 3

粗看起来温度是唯一的影响因素。然而，我们的计算将会证实其他因素的影响。

由于有了这些数据，我们可以看到在每个位置哪些因素影响了浇

足，并且那个位置在浇足的数目中是否发挥了作用。找出影响因素的方法是在那个因素的所有低水平运行中，把那些结果分离出来，然后把他们加起来，减去在那个因素的所有高水平运行中分离出来的结果的总数。接着以此为结果，将其从高水平运行的号码中分离出来，这里以 8 号为例。以 12 点位置的速度因素的影响为例，计算将如下所示：

$$\underline{(86+97+100+100+64+88+100+100)-(76+28+100+100+71+59+100+100)}$$

8

$$= 12.625$$

进行的这个试验表明，提高速度（500 转/分）将提高浇足率达 12% 。这看起来像是个明显的影响。我们可以在所有位置对所有因素运用这个这个公式。这样就可以得出如图表 4 所示的结果：

因素	12 点	6 点	3 点处	9 点处
	处	处		
	12.62			11.87
速度的影响	5	-5.5	14.13	5
		14.2		
加速度的影响	-3.125	5	4.625	2.625

	28.87	29.2	32.37	15.87
金属温度的影响	5	5	5	5
模套子温度的影响	-0.625	3.5	-0.12	8.625
速度和加速度的相互作用	11.875	3	-3.37	1.375
模套和金属的相互作用	0.625	-3.5	-0.37	-8.62

图表 4.

通过考察这些数据，我们可以更容易的发现，最大的影响因素看起来是金属的温度，保证金属温度在 1825 到 1975 范围内将可以使圆顶模托位置上工件的浇足率提高 15%到 32% 。影响最小的因素是模套温和模套与金属的相互作用。这意味着在给定的金属温度下，改变模套温实际上并不会影响结果。在模套温的这个范围里，这个结论是对的。如果我们挑选一个范围，假定室温为 1800 法氏度，那么结果或许会有很大差别。为了给两个因素的相互影响建立一个公式，需要对每个因素在每次运算时加减一次，并乘积。记住两次减再加一次，

并向前推进，因而提出加减的列，以便对公式进行计算。

这些影响也可以通过图表来表示，有时这样看更容易理解。当公式以这种形式存在时，现在也推出了好的软件，它不仅可以做这些计算工作，而且也可以进行试验，图表化结果，并反映所有相互作用，还可以计算可能错误的极限。你所要做的工作只是把因素和水平打入电脑。图 7 和 8 反映了图表中 12 点处的这些影响：

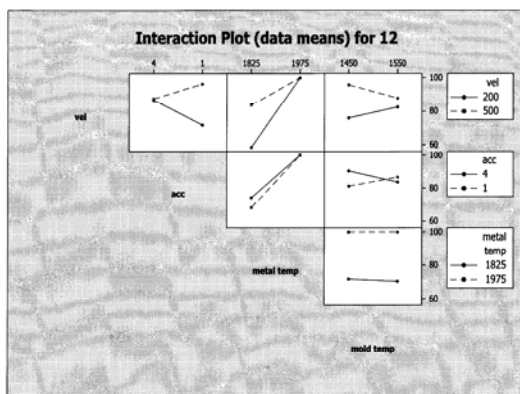


图 7.³

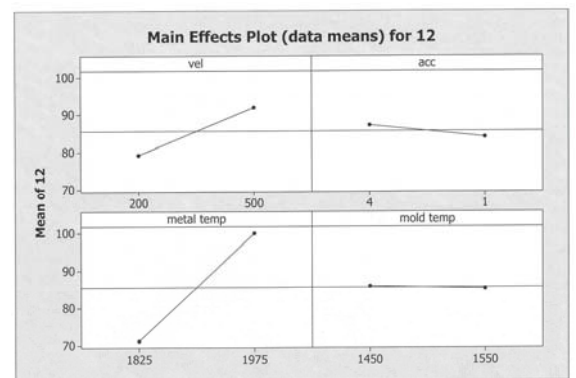


图 8.³

在图 8 中，我们把影响因素设计成百分比的形式。水平线表明了模子温度从 1450 到 1550 变动时，浇足率并没有增加，因而就表示模温对浇足率没有影响。而金属温度从 1825 到 1975 变动时，浇足率则出现了快速增加。非常有意思的是，我们发现加速度从低到高变动时，浇足率出现了轻微的下降。这是否意味着提高加速度引起了更多动荡，从而降低了浇足能力呢？

图 7 反映了相互间的影响。平行线或接近平行的线表明几乎没有相互影响，这就如我们在模套内模子对金属的大多数图表中所看到的那样。这证实了在金属温度给定的情况下，提高模子温度并不会影响浇足率。交叉线表示了相互间强烈的影响，这就如图表中所看到，加

速度对模子温度的影响，加速度提高，浇足率上升，伴随着模子温度降低；但加速度降低，浇足率实际上下降了，伴随着模子温度却上升了。这看起来出乎意外，人们可能想重复这个试验来证实是否属实。实际上 DOE 软件允许复制，以便可以计算出所示数据存留的错误。这可以大大提高对结果的自信。

回到这些结果的图表上来，或许可以看到，如果我们考察一下金属温度的影响，看起来在旋转中前边的工件和后边的工件存在一些差异。在 3 点处的影响要强于 9 点处的影响，而 12 点处的影响与 6 点处的影响看起来没什么差异。这看起来，旋转中前部分和后部分确实存在差别。

这是否意味着我们必须把所有工件都放在圆顶模托的一边，并给模套确定方向呢？不必。我们可以回到那个陶瓷炉的研究上来，沿着相同的路径。我们可以把圆顶模托上工件的位置看作是噪声因素，并对其他因素进行作用，以排除位置的影响。我们看到这其实已经做到了，因为通过考察这些数据，可以看到在所有 1975℃ 铸造的模套子中，不考虑模子温度、加速度和速度，所有格子都是浇足的。

结 论

在进行 DOE 试验时，了解工作中的各个因素和其他变量的影响是非常重要的。上面哪个试验证实了在铸造过程中影响浇足率的因素。基于这些数据，我们要做的是准备好熔化温度，并不必再担心浇足率。然而在这项试验中有一个因素考虑，那就是铸造中的砂眼。提

高铸造温度是否会影响砂眼。我们必须再进行一项 DOE 试验来把砂眼的数量作为一个结果来考察。因此了解其他变量和因素如何影响结果的非常重要的。

DOE 试验通过同时考察多个因素，而不是一次一个，帮助我们减少跟踪和错误试验。

DOE 试验帮助我们重点从从琐碎中分离出来。

DOE 试验可以揭示两个因素间显而易见的未知的相互影响。

为了从 DOE 试验中获得最大收获，策划试验和了解可能发挥作用的所有变量是非常重要的。

现代软件帮助我们建立大的 DOE 试验，并仅进行一小部分试验（部分乘阶），仍然可以揭示各个因素的影响和相互作用。

甚至在大多数基础表格中，DOE 试验是一种从相对少的试验中收集信息的有效工具。

为了进行一次成功的试验设计，量化结果是非常重要的。

参考文献：

- 1. Taguchi, G. (1987) System of Experimental Design, 2 Volumes, Dearborn MI: Unipub/Kraus/American Supplier Institute**
- 2. The Quality Engineer Primer © by Bill Wortman, Quality Council of Indiana 6th edition August 1999**
- 3. ©MINITAB release 14. Minitab Inc. 2003**