

三乙胺冷芯盒砂芯存储条件优化

门海涛, 吴景峰, 张 腾, 冯颖欣, 吴玉梅, 武芳玉, 马振国, 韩路涛, 李乐清

(一汽铸造有限公司, 吉林长春 130028)

摘要: 为了解决三乙胺冷芯盒砂芯(以下简称冷芯)存储时间过短和存储强度过低的问题,对恒温恒湿库和中试车间这两种不同环境条件下的冷芯强度进行了研究和分析,运用minitab软件对冷芯的存储效果进行模拟,得到线性回归模型,运用试验优化设计最终得到温度20℃、相对湿度10%的最佳的工艺组合,使冷芯强度从1.05 MPa提高到1.57 MPa,节约了存储空间和不必要的存储成本。目前最优工艺设定已经在公司内部得到了推广应用,效果明显。

关键词: 冷芯盒砂芯; 抗拉强度; 恒温恒湿库; 存储时间。

冷芯盒工艺是在常温下,将树脂与原砂混合,吹入气体催化剂,在数秒或数十秒内迅速固化成形的一种制芯、造型工艺^[1]。它的工艺流程见图1。

其中吹气硬化又称为前期固化,形成冷芯盒砂芯终强度的40%~70%,其余30%~60%的终强度由后硬化形成。

影响冷芯强度的因素包括金属阳离子和阴离子、温度、水分和碱性环境等。型砂表面残留的 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 等金属阳离子会阻碍硅砂与树脂分子形成强化学键;型砂表面的阴离子会促进树脂的化学反应,从而缩短芯砂的可使用时间;温度则会影响树脂流动性、溶剂挥发性以及冷芯砂可使用时间,此外温度会影响树脂的交联反应速率及水解反应速率。水分将消耗大量的Ⅱ组分聚异氰酸酯中的 -N=C=O 基团,使之水解失效^[2-6],此外水分渗入到砂粒与粘结剂之间时可削弱砂粒与粘结剂的粘附力。碱性环境会使冷芯盒树脂提前反应发生硬化,粘土、碱性氧化物等,将缩短芯砂可使用时间及冷芯的强度。

1 冷芯存储现状

为了更好的储存冷芯,我公司在中试车间建立了恒温恒湿库,冬季温度设定为30℃,相对湿度设定为15%。经手工划线,将冷芯的最长存放时间定为15天(此时冷芯终强度为1.05 MPa),超期的砂芯作报废处理。存放时间设置的过短或过长均会产生生产上的浪费。

中试车间冷芯的保质期及恒温库的温度、湿度的设定缺乏试验数据支撑,恒温库的条件需要进一步优化,以提高冷芯强度,减少断芯夹砂等废品,节省存储空间和成本。希望通过试验找到现有条件下的最长存储时间,然后通过对存储条件的优化最终使冷芯终强度由现有的1.05 MPa提高到1.2 MPa以上。为此我们开展了冷芯存储时间试验和存储条件优化试验。

作者简介:

门海涛(1984-),男,工程师,工学硕士,主要从事铸造检测技术和检测设备管理工作。电话:0431-85906634

中图分类号: TG222

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2022)

04-0449-05

收稿日期:

2021-06-29 收到初稿,

2021-08-20 收到修订稿。

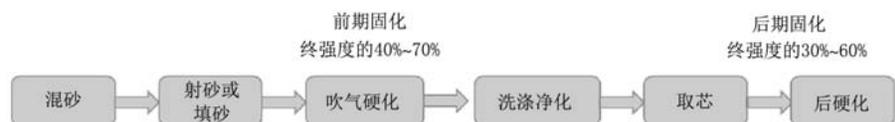


图1 冷芯盒的工艺流程图

Fig. 1 Process flow chart of sand core of phenolic urethane cold box

2 冷芯存储时间试验

为了掌握中试车间现有环境条件（车间平均温度 15 ℃，相对湿度40%；恒温库温度30 ℃，相对湿度15%）下砂芯最长的可存放时间，我们做了冷芯最长存储时间试验。试验所用到的设备、材料、方法如表1所示。

制备了90个冷芯“8”字标准样块，分成两组，分别放置在恒温恒湿库和中试车间中存放，每天上午9点钟对其进行抗拉强度测定。试验一共得到90个抗拉强度数据，其均值-极差控制图如图2所示。

从均值极差控制图可以看到，试验没有受到特殊因素的影响，所产生的变异是由一般原因造成的。

同样，分别对恒温恒湿库和中试车间中的45个强度数据作均值极差控制图，恒温恒湿库标准试样的抗拉强度均值为1.163 1 MPa，极差为0.103 3 MPa；中试车间标准试样的抗拉强度均值为1.053 8 MPa，极差为0.218 0 MPa。恒温恒湿库的冷芯强度比车间高0.11 MPa，

极差低0.11 MPa。

经过方差分析，恒温恒湿库的冷芯强度均值估计的95%置信区间为（1.125 5，1.200 7），中试车间的冷芯强度均值估计的95%置信区间为（1.016 2，1.091 4），两个置信区间无交集，说明恒温库的冷芯和中试车间的冷芯不可能来自于一个整体。进一步的，用B代表中试车间的冷芯强度，用A代表恒温恒湿库的冷芯强度，于是就得到一个新的变量 $T=B-A$ ，T的95%的置信区间为（-0.16，-0.06），置信区间不含零，也就是说B不可能等于A，恒温库与中试车间两种环境下的冷芯强度具有统计学意义上的差异，恒温恒湿库冷芯强度较车间冷芯强度平均高出10.37%。

得到如下结论：①车间冷芯强度波动性较大，原因是不断变化的温度和湿度；②恒温恒湿库对冷芯保存效果显著，冷芯强度比车间平均高10.37%；③前15天恒温恒湿库与车间砂芯强度均能满足工艺要求。

表1 试验要素表
Table 1 Table of test elements

试验要素	组成	备注
材料	中试车间混好的冷芯砂	确保砂样瞬时强度一致性以保证混砂工艺一致性
设备	混砂机、制芯机、强度试验机、温湿度计、干燥皿、恒温恒湿箱	强度机经计量检定合格；试验前用标准砂试块自校准
方法	混合料试验方法（抗拉强度）	每个测试点做3次重复试验，取平均值作为最终测定值
环境	恒温库房（30 ℃，15%）、车间（15 ℃，40%）	温湿度计监控温湿度

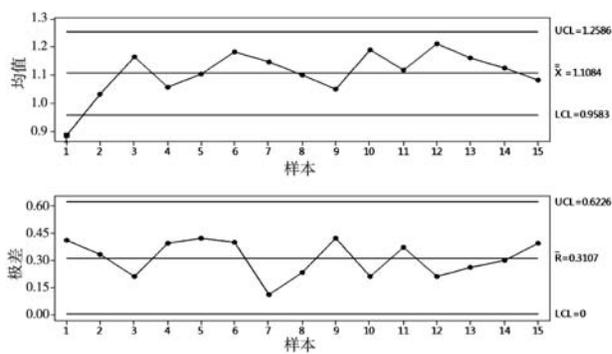


图2 均值极差控制图
Fig. 2 Xbar-R chart

给每个因素选定符合生产实际的水平，得到的因素水平表如表2所示。

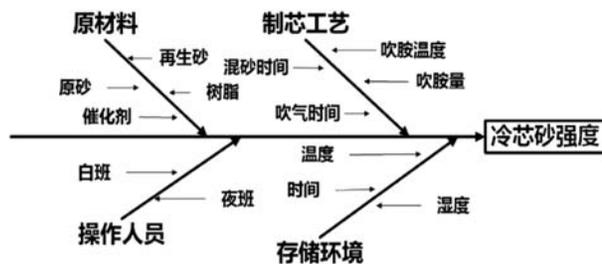


图3 要因分析鱼骨图
Fig. 3 Fish bone diagram

表2 正交试验因素水平表
Table 2 Orthogonal factors table

因素/ 水平	A 温度/℃	B 湿度/%	C 恒温恒湿处理时间/h
1	10	20	1
2	20	50	4
3	30	80	7

注：恒温恒湿处理时间是指冷芯在干燥皿中放置24 h后在恒温恒湿箱中的处理时间。

3 存储条件优化试验

为了将恒温恒湿库的作用发挥到最大，进行了存储条件优化试验。试验目的是找到冷芯最佳的存储条件，获得最高的冷芯强度和最长的存储时间。

首先，利用头脑风暴和鱼骨图（图3），筛选出了影响冷芯强度的三个可控因素作为试验变量，之后以现行值为基准，结合中试车间一年中温湿度的变化，

试验前，用提前制备好的标准砂试样对强度试验机进行自校准。标准试样的制备方法是：称2 kg标准砂，称16 g“树脂I”，16 g“树脂II”。将标准砂在150℃左右烘干1 h，先将大约三分之一砂子倒入混砂器中，将16 g“树脂I”缓慢倒入混砂器中，再倒入其余三分之二砂子，把混砂器转速控制在60 r/min，计时器总时间定为180 s，启动混砂器搅拌，同时按动计时器，大约30 s停机，移出混砂盆，翻动盆内混合物使其均匀混合，把转速调到120 r/min，继续混砂至90 s时停机。把16 g“树脂II”倒入混砂盆内，并用砂子盖好。启动混砂器继续混砂，直至混砂周期（180 s）结束，这时把混制好的树脂砂倒入带盖塑料桶内存放密封放置30 min后，利用冷芯制芯机制样。

以冷芯抗拉强度作为响应值，采用L9（34）正交表对试验进行优化设计。经过随机试验，试验结果见表3所示。试验运行图如图4所示，试验数据没有连续上升或下降的趋势，从而排除了人为倾向性对试验结果的影响。

为确保测量系统的稳定性，对测量系统进行了分析，结果如图5所示。从测量分析报告可以看到，零件间的变差远远大于量具的变差，极差图可控，均值图分散，说明测量系统是稳定的。

表3 结果记录表
Table 3 Results of the test

序号	A温度/℃	B湿度/%	C时间/h	抗拉强度均值/MPa
1	10	20	1	1.17
2	10	50	4	1.04
3	10	80	7	1.04
4	20	20	4	1.73
5	20	50	7	1.43
6	20	80	1	1.03
7	30	20	7	1.28
8	30	50	1	0.87
9	30	80	4	0.98

为了了解过程能力是否能满足质量目标的要求，对抗拉强度数据进行了过程能力分析，结果如图6所示。通过计算最终得到的CPK值为1.08，CPK>1并且规格限在控制限以外，说明过程能力稳定且能满足质量目标的要求。

用minitab软件对回归模型进行分析，得到回归模型分析表如表4所示。

同时，通过计算，该线性回归模型的标准差S=0.088 38，回归拟合系数R-Sq=97.3%，回归拟合系数调整值R-Sq（调整）=89.1%。回归拟合系数最大值为1，越接近1，则说明回归模型对观测值的拟合程度越好。评价回归模型是否有效，既要看回归拟合系数是否接近于1，还要看回归模型残差分布情况。残差是真实值与模型预测值之间的差别，残差分析正常，才能判断模型有效。

模型的残差分析如图7所示。从残差的正态概率图可以看到，残差具有正态性，残差值没有明显的上升或者下降趋势，残差分析正常，选定的模型有效。

为了对主次因子进行排序，对各因子的效应进行分析。所谓效应是指某因子由于其水平的变化而给响应Y带来的影响，以其平均值的极差表示。效应分析的计算步骤为：①计算各因子每一个水平对Y的贡献（均值）；②计算各因子最大贡献与最小贡献的差值；③对差值进行排序。通过效应分析最终得到显著因子排序为：①湿度，②温度，③时间。见表5的分析结果。

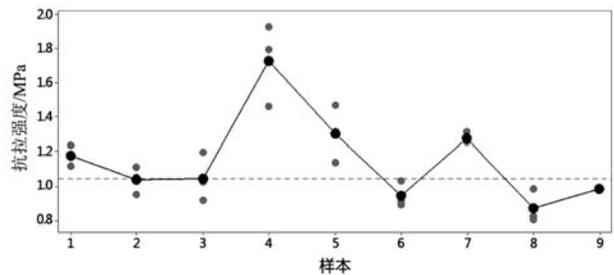


图4 试验运行图

Fig. 4 Test run diagram

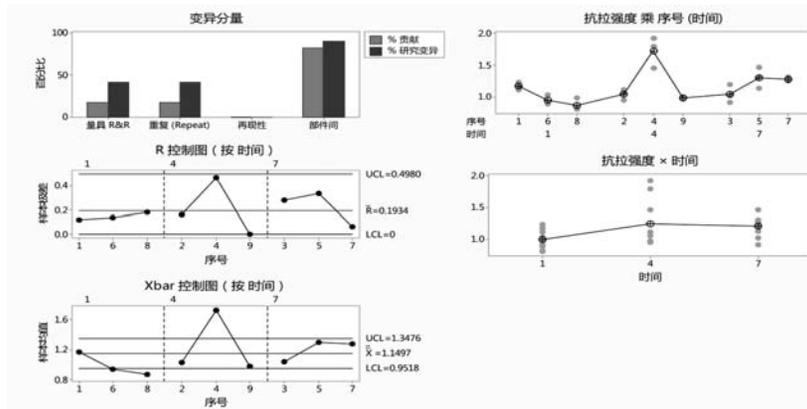


图5 测量系统分析

Fig. 5 Analysis of the measurement system

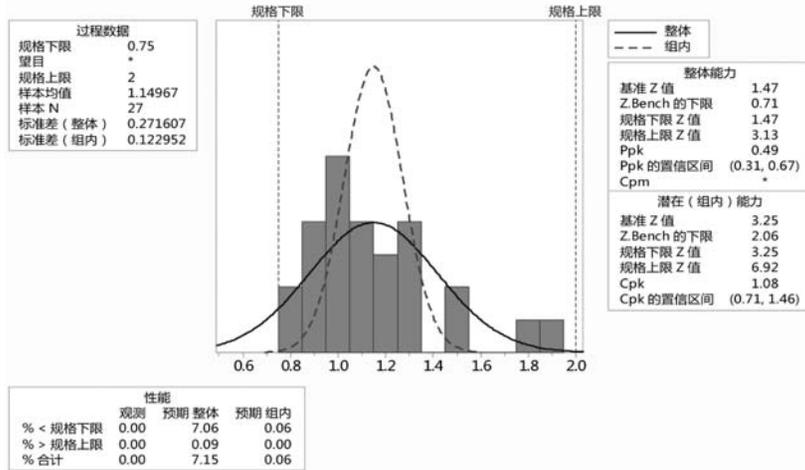


图6 过程能力报告

Fig. 6 Report of the process capability

在对参数进行设计时既要考虑参数的位置偏差又要考虑参数变异的大小，即既要考虑均值，又要考虑标准差。信噪比就是一个能同时评价均值和标准差的衡量指标。在本次试验中，希望冷芯抗拉强度越大越好，属于望大问题。对于望大问题信噪比的公式为：

$$\eta = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

式中： n 为样本数量， y_i 为响应值。

以信噪比作为评价指标重新对各因子的效应进行分析，分析结果如表6所示，最后得到的主次因子排

表4 回归模型分析表
Table 4 Analysis of the regression model

项目	系数	系数标准误差	T	P
常量	1.174 44	0.029 46	39.866	0.001
温度10 °C	-0.091 11	0.041 66	-2.187	0.160
温度20 °C	0.222 22	0.041 66	5.334	0.033
湿度20%	0.218 89	0.041 66	5.254	0.034
湿度50%	-0.061 11	0.041 66	-1.467	0.280
时间1 h	-0.151 11	0.041 66	-3.627	0.068
时间4 h	0.075 56	0.041 66	1.813	0.211

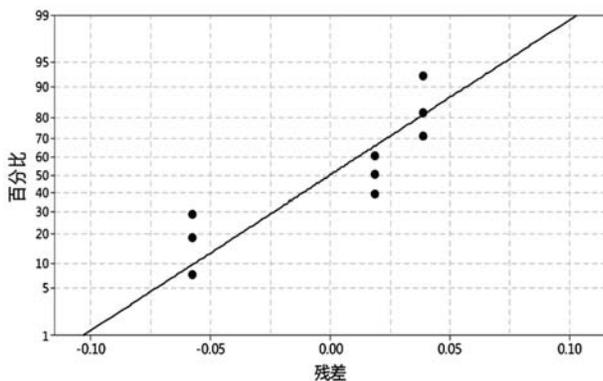


图7 残差分析

Fig. 7 Residual analysis

序与均值分析一致。同时得到了各因子的主效应图，如图8所示。主次因子顺序为：①湿度—②温度—③时间；最佳工艺组合为：温度20 °C、湿度20%、存放7 h。将最佳工艺参数代入到回归模型中，如表7所示，最终得到最高冷芯强度的预测值为1.691 1 MPa。

对最佳工艺和最高强度预测值进行了验证，验证

表5 均值效应分析表
Table 5 Analysis of the Mean effect

水平	温度/°C	湿度/%	时间/h
1	1.083	1.393	1.023
2	1.397	1.113	1.250
3	1.043	1.017	1.250
效应	0.353	0.377	0.227
排序	2	1	3

表6 信噪比效应分析表
Table 6 Analysis of the signal to noise ratio effect

水平	温度/°C	湿度/%	时间/h
1	0.681 7	2.756 3	0.136 9
2	2.708 1	0.745 9	1.642 0
3	0.253 0	0.140 6	1.863 9
效应	2.455 1	2.615 6	1.726 9
排序	2	1	3

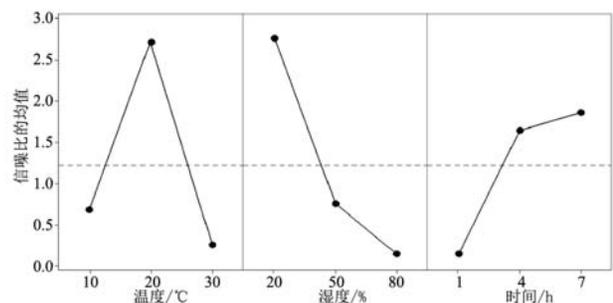


图8 主效应图

Fig. 8 Main effect diagram

表7 最高强度预测
Table 7 Prediction of the maximum strength

因素	温度/℃	相对湿度/%	时间/h	强度均值/MPa
水平	20	20	7	1.691 1

结果如表8所示, 经过试验验证, 最终测定的冷芯强度为1.574 3MPa。虽然没有达到预测值, 但最佳工艺参数下的冷芯强度值仅低于在相同温湿度条件下, 恒温恒湿4 h测得1.73 MPa的峰值。

4 结束语

(1) 冷芯保存的最佳工艺条件为温度20 ℃, 相对湿度20%, 采用最佳工艺条件设定有利于降低由于冷芯强度不足造成的废品。相较于中试车间恒温恒湿库温度30 ℃, 相对湿度15%的现行值, 采用最佳工艺参数设定可以降低温度10 ℃。

(2) 根据以加热方式运行时, 空调设定温度每升高1 ℃, 将多耗费6%~8%电量的经验值, 计算出采用最佳工艺设定能够降低电能消耗量49.16%。中试车间恒温恒湿库中2台空调的额定功率为24 kW, 每天耗电

表8 验证试验数据表
Table 8 Results of demonstration test

因素	温度/℃	相对湿度/%	时间/h	强度均值/MPa
水平	20	20	7	1.574 3

能=额定功率×台数×24 h=12×2×24 kWh=576 kWh, 进而得到理论上每月可节约电能=576×49%×30 kWh=8 467 kWh。需要指出的是, 相对于最佳参数设定带来的质量成本的降低, 电能费用的降低只是其中的冰山一角。

(3) 从节能角度, 恒温恒湿库温湿度设定越接近周边的环境, 能耗越小。工厂的工艺参数的设定在一年当中也不是恒定不变的, 而是要根据不同的季节或月份, 设置不同的工艺参数。本次试验是在冬季(车间温度低、湿度较小)的条件下进行的, 得到的最优参数设定有利于降低废品率和能耗; 在夏季的时候, 环境温湿度发生转变, 最优参数虽然成立但并不利于降低能耗。下一步还需要研究在满足冷芯强度和存储时间要求的前提下, 适合夏季生产的温湿度参数。

参考文献:

- [1] 黄天佑. 铸造手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [2] 刘琦, 万仁芳, 黄天佑. 高湿环境下冷芯盒工艺的优化及其在轿车铸件生产中的应用 [J]. 铸造, 1999 (6): 31-34.
- [3] 吉祖明. 胺法冷芯盒制芯工艺的应用与探讨 [J]. 柴油机设计与操作, 1993 (3): 36-42.
- [4] 喻光远. 三乙胺法冷芯盒制芯工艺影响因素的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [5] 张宝平. 新型三乙胺冷芯盒体系的初探研究 [D]. 济南: 山东科技大学, 2017.
- [6] 周标, 左涛, 吴浚郊. 冷芯盒砂芯对铸件质量的影响 [J]. 铸造, 1998 (12): 33-35.

Optimization of Storage Conditions of Sand Core of Phenolic Urethane Cold Box

MEN Hai-tao, WU Jing-feng, ZHANG Teng, FENG Ying-xin, WU Yu-mei, WU Fang-yu, MA Zhen-guo, HAN Lu-tao, LI Le-qing
(China First Automobile Works Foundry Co., Ltd., Changchun 130062, Jilin, China)

Abstract:

In order to solve the problems of short storage time and low storage strength of sand core of phenolic urethane cold box process, the strength of constant temperature and humidity storehouse and pilot plant was studied and analyzed in detail, and the storage effect was simulated and optimized by using experimental optimization design and Minitab software, and the linear regression model was obtained to find the best combination of temperature and humidity, so as to make the constant temperature and humidity storehouse more effective. The optimal value prediction used the experimental optimization design to finally find the best process combination with temperature of 20 ℃ and relative humidity of 10%, improving the cold core strength from 1.05 MPa to 1.57 MPa. At present, the optimal process setting has been promoted and applied to the company, and the effect is obvious.

Key words:

sand core of phenolic urethane cold box process; tensile strength; constant temperature and humidity storage; storage time