

CAREL

...case study

...Innovative Control Solutions!



 **humiFog**



尼桑汽车制造厂—美国，田纳西州，士麦那

自动喷涂车间加湿系统—CAREL humiFog案例分析

CAREL

Technology & Evolution



## 概述

工业生产应减少对环境的影响，这种需求促使汽车业在车身上采用水性瓷漆，而这种漆的工艺需要严格控制周围的温度和湿度。实际上，过低的相对湿度会导致喷漆颗粒中所含的水分较早蒸发，降低漆的流动性，减少覆盖面积。反过来，相对湿度过高也会造成缺陷，过稀的油漆层覆盖在车体表面会形成极小的水泡，水泡中的水在烤漆房蒸发后就会在油漆表面形成小凹坑。

## 面临的问题

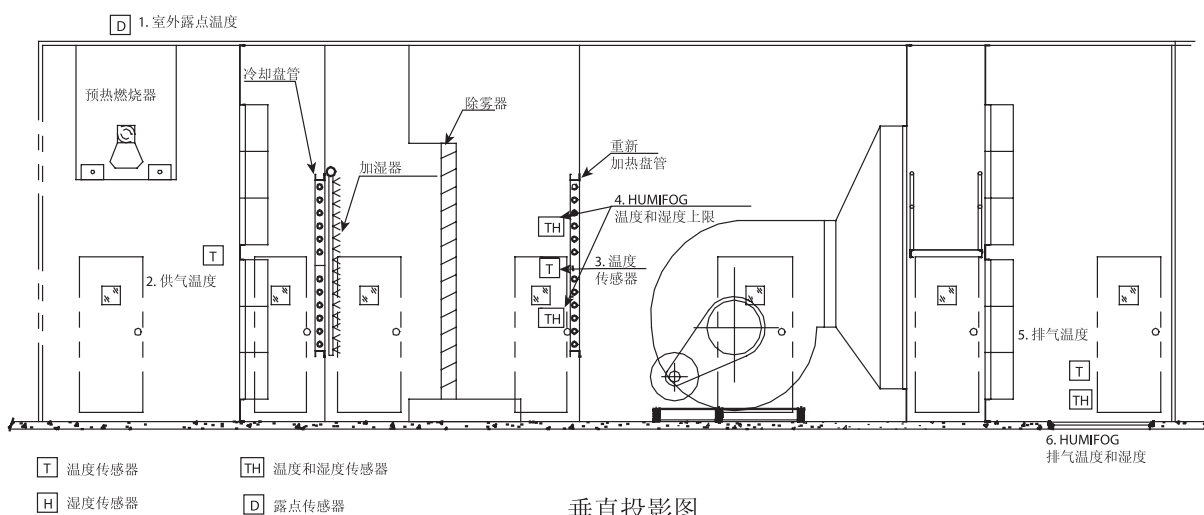
传统上，大部分汽车喷涂车间的加湿手法是用喷淋盘管或在向烤漆房空气室放置湿膜。而尼桑公司作为汽车业的龙头，一直在不断改善所用油漆的质量和喷漆工艺，为了满足了应用需要，近来在控制温度和湿度方面有了更高的精度要求。

尼桑要求其喷涂车间温度稳定在70至75 °F (21.1至23.9 °C) 之间，相对湿度在65至75%之间。该公司已与美国密歇根州底特律的Gallagher-Kaiser公司签定合约，改造其老化的喷涂车间，使进入喷涂车间的空气质量达到更高的水平。

整个改造只保留送风机，空气室的其它部分都会用不锈钢材料重建，安装新的预热燃烧器、盘管、过滤器、墙壁和地板。除此之外，还需要性能比湿膜更优越的加湿器一必需的。

## 空气室规格

|        |                                        |
|--------|----------------------------------------|
| 制造商:   | Gallagher-Kaiser (客户定制)                |
| 充气量:   | 90,000 CFM (153,000 m³/h)              |
| 新风:    | 100%                                   |
| 供水:    | 65 - 75 °F (18,3-23,9 °C); 65 - 75% rH |
| 供电:    | 低级去离子水，2兆欧姆                            |
| 设定值控制: | 来自General Electric Fanuc控制器            |
| 预热:    | 2级，调节天然气燃烧器                            |
| 冷却:    | 2排冷水盘管—连续调节                            |
| 重新加热:  | 2排热水盘管—连续调节                            |
| 过滤:    | 90%初级袋式滤器，95%后袋式滤器                     |
| 控制:    | General Electric Fanuc/变频控制            |



新的humiFog加湿系统将安装在冷却盘管之后，再加热盘管之前。



## CAREL加湿方案

Gallagher-Kaiser公司考察了几种加湿系统之后，决定使用CAREL humiFog高压微雾系统，因为CAREL humiFog具有以下特点：

- 全不锈钢结构（泵、喷嘴、分支水管、控制室等）；
- 多级连续泻流系统Cascading Sequential Staging (CSS)营造出极佳的负荷调节和重叠效果
- 全方位诊断功能，保护泵、电机、变频器（VFD），监控泄漏和阻塞情况；
- 广泛的连通性：适用于BacNET、ModBus、Lonworks、TCP/IP通信协议；
- CAREL公司在雾化装置方面取得成功的深厚技术背景；
- 100%无硅树脂结构，可处理18兆欧姆去离子水。

这样看起来humiFog系统可能是满足高标准的加湿要求（相对湿度精度为 $\pm 5\%$  rH）的最佳选择。

CAREL SPA位于美国的子公司CAREL USA接手此项目并立即根据士麦那（Smyrna）地区气象资料全面分析加湿系统所需的条件。因为所处理的空气100%来自室外，所以室外条件将成为湿量和为达到必要精度而采取的加湿工艺的决定性因素。

在士麦那，一天之内温度的变化范围为25 °F至60 °F（-3.9至15.6 °C）。加湿系统必须适应这些波动，使车间温度始终保持在75 °F（23.9 °C），相对湿度保持在65%。

气象资料显示士麦那地区一年内温度变化范围为10 °F至94 °F（-12.2至34.4 °C），相对湿度为50%。

|                           |    |    |                                    |              |                      |        |                        |       |                                                                                 |              |          |  |
|---------------------------|----|----|------------------------------------|--------------|----------------------|--------|------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|--|
| 1997 ASHRAE Design Data   |    |    |                                    |              |                      |        |                        |       |                                                                                 |              |          |  |
| USA                       |    |    | Save Location                      |              | 591 Elevation, Feet  |        | Close                  |       |                                                                                 |              |          |  |
| Tennessee                 |    |    |                                    |              | 36.13 North Latitude |        | Help                   |       |                                                                                 |              |          |  |
| Nashville                 |    |    |                                    |              | 86.68 West Longitude |        |                        |       |                                                                                 |              |          |  |
| Cooling                   |    |    | Wind                               |              | Heating              |        | Default                |       | <input checked="" type="radio"/> English (IP) <input type="radio"/> Metric (SI) |              |          |  |
| Cooling                   |    |    | DB °F                              | MCWB °F      | gr/lb                | WB °F  | MCDB °F                | gr/lb | DP °F                                                                           | MCDB °F      | gr/lb    |  |
| 0.4%                      | 94 | 76 | 109.81                             | 78           | 89                   | 131.09 | 75                     | 83    | 134.71                                                                          |              |          |  |
| 1%                        | 92 | 75 | 106.78                             | 77           | 88                   | 126.11 | 74                     | 82    | 130.14                                                                          |              |          |  |
| 2%                        | 90 | 74 | 103.89                             | 76           | 86                   | 122.92 | 73                     | 81    | 125.71                                                                          |              |          |  |
| Average Annual Max. DB °F |    |    | 97                                 | Std. Dev. °F |                      | 3      | Mean Daily Range DB °F |       | 19                                                                              |              |          |  |
| Wind                      |    |    | Coincident with 0.4% DB (cooling)  |              |                      |        | MCWS                   | 9     | mph                                                                             | PWD          | 230 deg. |  |
|                           |    |    | Coincident with 99.6% DB (heating) |              |                      |        | MCWS                   | 8     | mph                                                                             | PWD          | 340 deg. |  |
| Annual Design Values:     |    |    | 1%                                 | 21           | mph                  | 2%     | 19                     | mph   | 5%                                                                              | 17           | mph      |  |
| Heating                   |    |    | Coldest Month                      |              |                      |        | Average Annual Min.    |       |                                                                                 |              |          |  |
| DB °F                     |    |    | RH %                               | gr/lb        | WS °F                |        | MCDB °F                | DB °F |                                                                                 | Std. Dev. °F |          |  |
| 99.6%                     | 10 | 50 | 4.70                               | 0.4%         |                      | 22     | 46                     | 1     |                                                                                 | 8            |          |  |
| 99%                       | 16 | 50 | 6.33                               | 1%           |                      | 20     | 42                     |       |                                                                                 |              |          |  |

尼桑要求其喷涂车间温度稳定在70至75 °F（21.1至23.9 °C）之间，相对湿度在65%至75%之间。在恶劣的条件下，即当室外空气温度为10 °F（-12.2 °C），相对湿度为50%时，喷涂室温度为75 °F（23.9 °C），相对湿度为75%，此时，加湿系统要提高向喷涂车间排放的空气的水分含量，由每立方英尺0.24grains/cf（gv/kgdryair）增加至7.17grains/cf（gv/kgdryair）。

如果每个空气充气室充气量为90,000 CFM（153,000 m<sup>3</sup>/h（lbs/hr）），计算所得的加湿量为5,348磅/小时（lbs/hr）（2426kg/h）：

$$5,348 \text{ 磅/小时} = \frac{90,000 \text{ CFM} \times 60 \text{ 分钟/小时} \times 6.93 \text{ 格令/CF}}{7000 \text{ 格令/磅}}$$

根据士麦那的气象资料得出的加湿系统运转时间为每年2597小时。

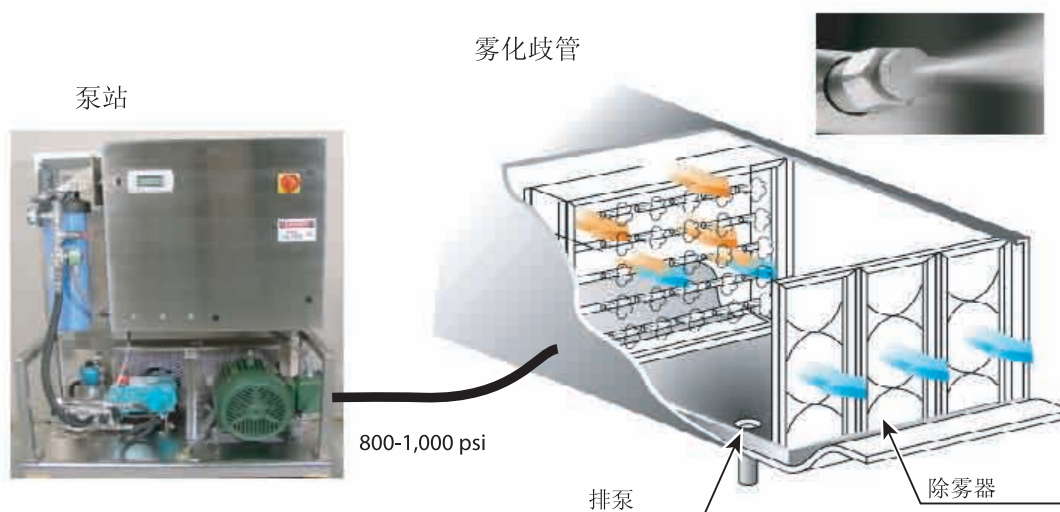
可以采用的加湿工艺有直接利用蒸汽、电动蒸汽、空气/水雾化或者蒸发媒介。用蒸汽加湿，在负荷高峰时需要超过六百万BTU（英国热量单位）的能量。用电时这个数字为1,760 kW。雾化空气/水则需要一台200马力的压缩机。而采用蒸发媒介达不到所需的精度要求而且用于开始和结束操作的时间较长。因此，使用humiFo看来是最佳选择。

CAREL专门设计了一套humiFog压力雾化系统，使用23根相互连接的雾化喷杆，分18个加湿段，加湿量为5,500 磅/小时（lbs/hr）（2500 kg/h），湿度调节范围为2-100%。



## humiFog系统配制:

|         |                                                                        |
|---------|------------------------------------------------------------------------|
| 系统容量:   | 5,500 lbs/hr (2500 kg/h)                                               |
| 雾化支管数量: | 23根, 不锈钢材料                                                             |
| 级数量:    | 18个, 相互连接的                                                             |
| 雾化喷嘴数量: | 667个, 每个8至10磅/小时 (lbs/hr) (4kg/h)                                      |
| 水滴分离器:  | CAREL生产, 不吸湿, 开放网丝, 低压滴落, 抗菌处理介质, 每500英尺/分钟压降0.1" w.c.                 |
| 泵电机:    | 东芝高效电机, 7.5马力, TEFC, 基座213T                                            |
| 泵:      | CAT 1051 带预滤器                                                          |
| 电力特点:   | 电压: 交流460/3/60 Vac, 电流: 全负荷11A                                         |
| 变频器:    | 通用富士AF-300P11型                                                         |
| 系统调节:   | 多级连续复叠系统(CSS), 调节范围为2-100%                                             |
| 控制器:    | CAREL pCO <sup>2</sup> + pCO <sup>e</sup> 扩展模块 + pCO <sup>UMID</sup>   |
| 控制输入:   | 设定值来自General Electric Fanuc系统, 控制供气, CAREL的ASDC1传感器。全部使用CAREL温度、压力传感器。 |



CAREL humiFog系统的操作原理是将水压增至1,000 磅/平方英尺 (70 bar, 7 MPa) 并将其输送至特制的雾化喷嘴, 喷嘴将水分解成10微米的水滴, 释放至周围的空气中进行蒸发。同其它同类用途的雾化系统相比, humiFog的优势在于它能以极少的能量消耗产生极小的水滴 (1磅水每小时能耗为1 W, 2,2 W/kg/h)。这样, 此系统输出5500 lbs/hr雾化水仅需7.5马力, 而空气/水雾化系统则至少需要一台200马力的空气压缩机。假设每年2597小时运行时间内均半负荷运行, 每千瓦·时电价0.08美元, 那么使用CAREL humiFog系统比空气/水雾化系统每年可节约14,900美元。

说明: CAREL公司也生产空气/水雾化系统 (MC), 所以决定使用humiFog系统完全是出于经济原因和所需要的结果。

humiFog 主泵系统



安装于车间内带喷嘴的喷雾架



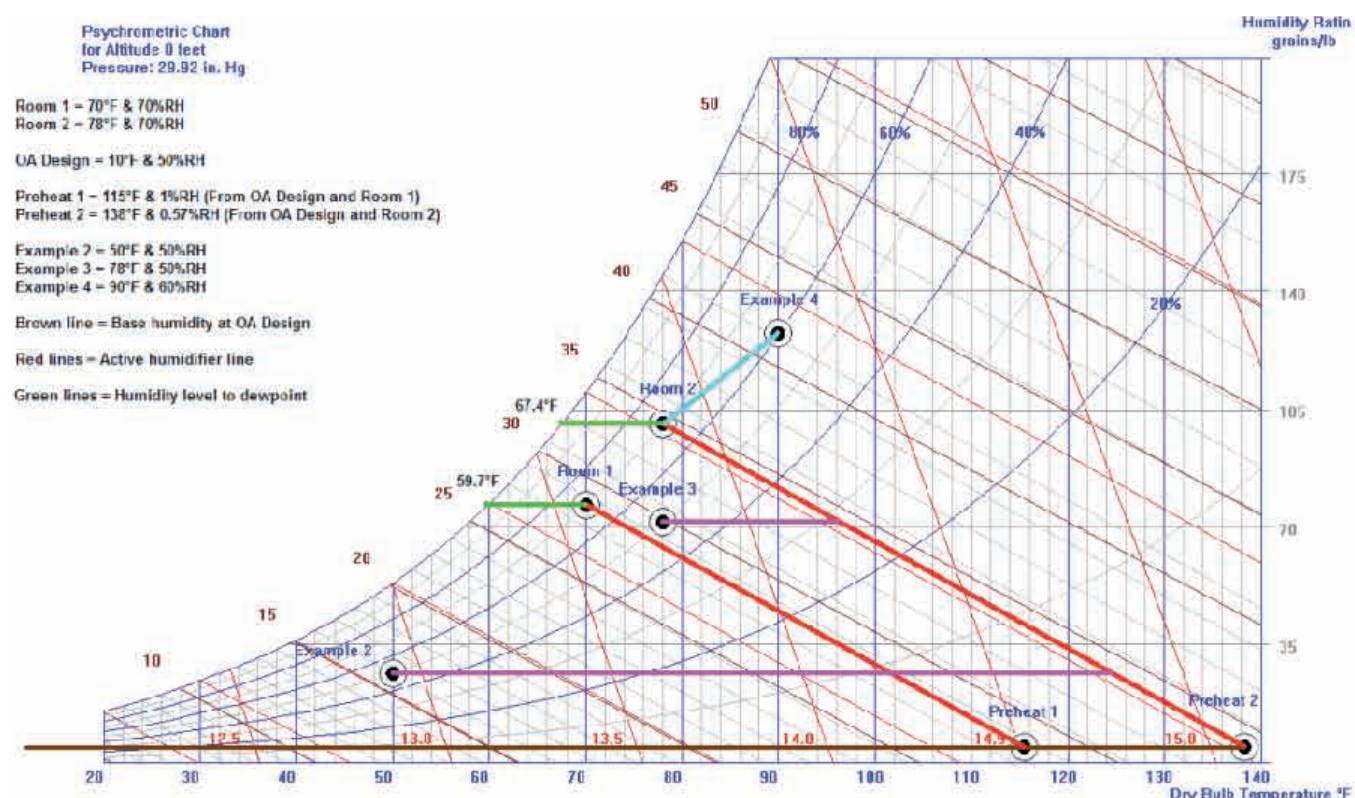


水雾增加了空气的相对湿度



在为尼桑公司的这个项目设计humiFog系统时，CAREL考虑到所有系统必须联合工作，因为humiFog是绝热型加湿系统，它在加湿空气的同时也冷却空气。因此实际上，不管采用何种工艺，每小时内要蒸发1千克水都需要700 W的能量。

绝热型加湿器（微雾系统）运行时其“焓值恒定”，因此与干湿表上的等焓线一致。所以干球温度下降而焓值（湿球）保持不变。在下面的表中，humiFog雾化系统沿由“Room 1”至“Preheat 1”的红线达到设定的70 °F (21,1 °C)和70%的相对湿度；沿由“Room 2”至“Preheat 2”的红线达到设定的78 °F (25,6 °C)和70%的相对湿度。



底部的棕色线由外部空气的最低限度（温度：10 °F，即-12.2 °C，相对湿度：50%）延伸至各种预热条件。相应地，在最冷日期要达到70 °F (21,1 °C)和70%的相对湿度需要预热至115°F (46.1 °C)，要达到78°F (25.6 °C)和70%的相对湿度需要预热至138°F (59.9 °C)。

例2表示外部空气条件温度为50 °F (10 °C)、相对湿度为50%。这种条件下，温度要达到70 °F (21.1 °C)湿度达到70 °F，所需预热温度约为101 °F (38.3 °C)；要达到78 °F (25.6 °C)、相对湿度70%，所需预热温度为125 °F (51.7 °C)。只要沿着水平穿过页面的紫色线就行。



例3表示外部空气条件温度为78°F (25.6°C)、相对湿度为70%。这种情况下，需要同时加湿和冷却空气才能使温度达到70°F (21.1°C)、相对湿度达到70%；  
要达到78°F (25.6°C)、相对湿度70%，需要先将空气预热至约96°F (35.6°C) 然后再加湿。

例4表示外部空气条件温度为90°F (32.2°C)、相对湿度为60%。这种情况需要先冷却再加湿。图中的绿线分别表示两设定点的露点温度，即59.7°F代表温度为70°F、相对湿度为70%时，67.4°F代表温度为78°F、相对湿度为70%时（15.4°C代表温度为21.1°C、相对湿度为70%，19.7°C代表温度为25.6°C、相对湿度为70%）的露点温度。  
在使用雾化加湿时，对周围采暖、通风与空调系统（预热、冷却、重新加热）的控制对整个系统的成功和精确性至关重要，因为蒸发的能量必须由空气流提供。

## CAREL控制方案

CAREL使用自己的pCO<sup>2</sup>系列可编程控制器（目前已升级为pCO<sup>3</sup>），这样能将泵站和雾化支管完全合为一体，统一监控。

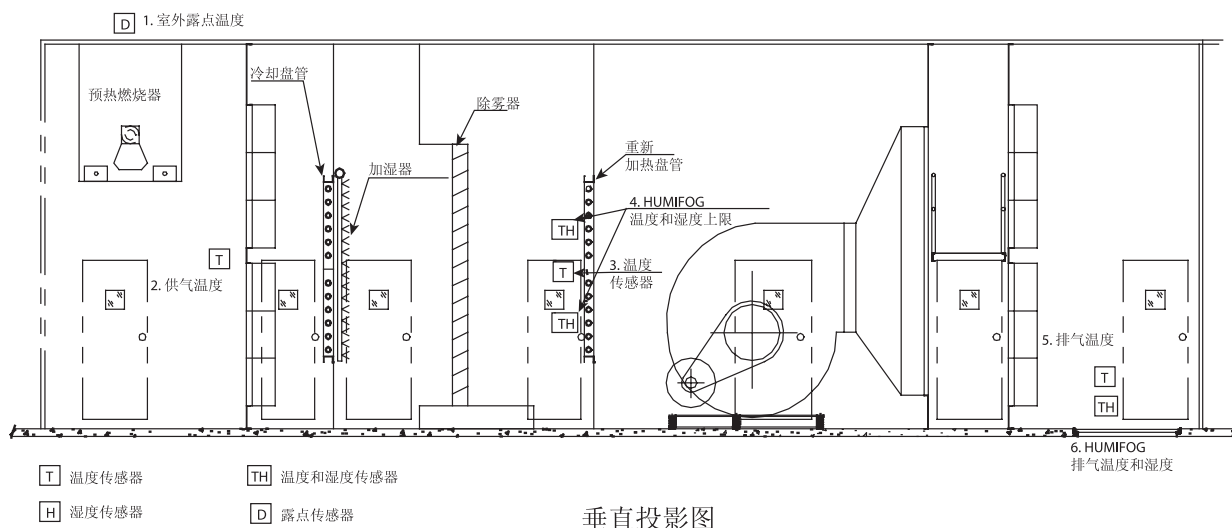
pCO<sup>2</sup>是一种高速度、高精度、适用范围广的控制器（适用于Modbus, BacNET, LonWorks, TCP/IP等通信协议）

软件也由CAREL编写，完全兼容现有的GE Fanuc控制系统。

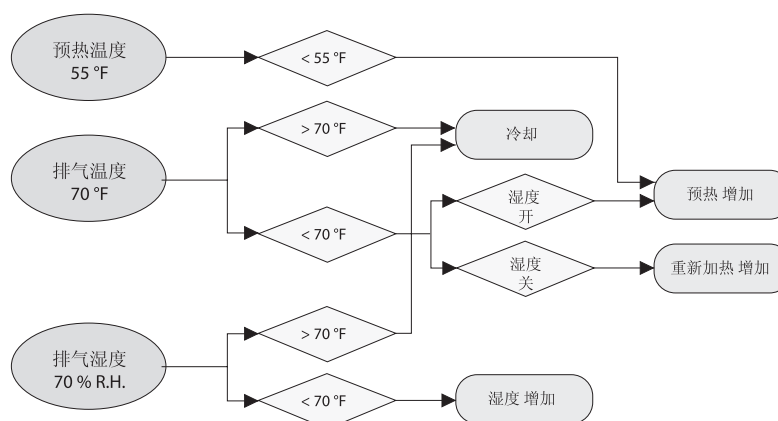


## 控制序列

下面的草图显示的是所有传感器的位置。由CAREL提供的传感器注明为“humiFog”传感器。



操作顺序图如下：





书面操作顺序如下：

1. 预热温度设定值为55 °F（# 2传感器）；
  - a. 如果预热温度降低至低于55 °F（# 2传感器）时，按下预热燃烧炉的UP（增加）键，恢复至设定值（55 °F）；
  - b. 如果预热温度升高，超过55 °F（# 2传感器），按下预热燃烧炉的DOWN（降低）键，恢复至设定值（55 °F）；
2. 空气排放温度设定值为70 °F（# 5传感器）；
  - a. 如果空气排放温度升高，超过70 °F（# 5传感器），按下冷却装置的UP（增加）键，恢复至设定值（70 °F）；
  - b. 如果空气排放温度下降至低于70 °F（# 5传感器）；
    - i. 如果humiFog系统处于加湿状态（GE开关量输入关闭），按下预热燃烧炉的UP（增加）键，恢复至设定值（70 °F）；
    - ii. 如果humiFog系统未处于加湿状态（GE数字输入打开），按下重新加热燃烧炉的DOWN（降低）键，恢复至设定值（70 °F）；
3. 空气排放湿度设定值为相对湿度70%（# 6传感器）；
  - a. 如果排放空气湿度下降至低于相对湿度70%（# 6传感器），humiFog系统开始升高档位并关闭一项数字输出以显示GE系统处于运行状态。humiFog系统会自动根据需求升高档位，达到相对湿度70%的排放条件（# 6传感器）；
  - b. 如果排放空气湿度升高至高于相对湿度70%（# 6传感器），按下冷却装置的UP（增加）键，恢复至设定值（相对湿度70%）。

当然还有一些专有的东西保证系统的高精确性，全面诊断系统出现的问题：

- 高/低供水压力；
- 高/低支管水压力；
- 变频器故障和自动重设；
- 高/低空气排放湿度；
- 传感器故障；
- 微处理器自我诊断；

CAREL的OEM制造商掌握的专门技术使得humiFog系统不只是一个高压系统这么简单。

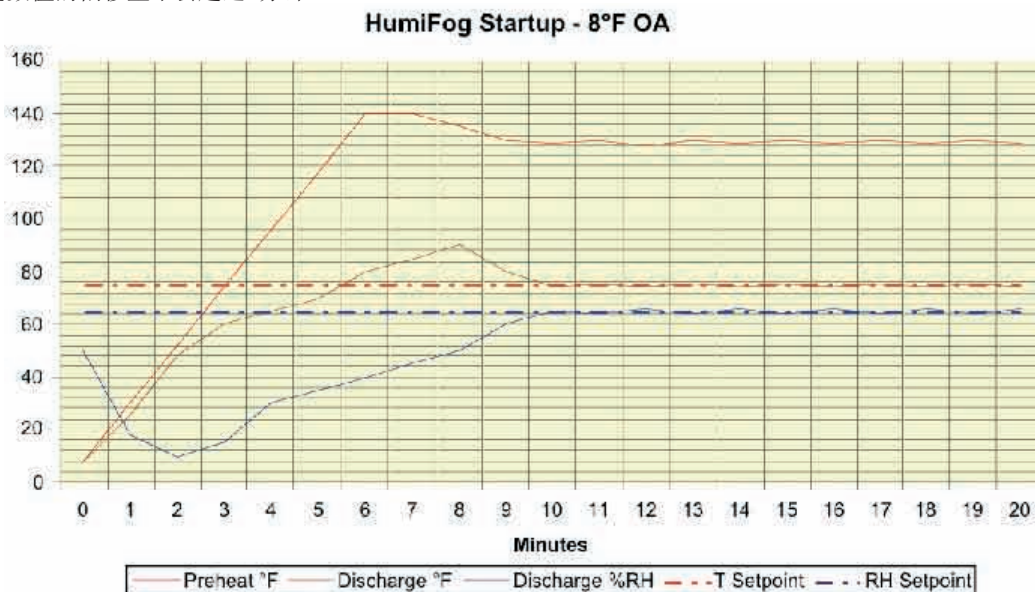
请记住，在喷涂车间加湿方面，真正重要的只是那些小数字：

- $\pm 1\%$ 相对湿度；
- 每小时每磅加湿用水消耗的能量为1瓦，即2.2 W / kg/h。

## 超值结果+

humiFog系统的操作精度在这一领域为首创，10分钟之内就能从冷启动达到设定值，相对湿度保持在 $\pm 1\%$ ，各周期之间相对湿度误差不超过 $\pm 0.6\%$ 。周期期间湿度控制保持在 $\pm 0.5^\circ\text{F}$ 。系统对外部空气条件变化的反应平滑顺畅并且不会偏离特定条件。

从实际表现图表中看出，系统在冷启动后10分钟内达到规定数值，然后温度变化维持在 $\pm 1^\circ\text{F}$ ，相对湿度维持在 $\pm 2\%$ 。如果预热燃烧器熄火，超出规定数值的偏移量不会超过5分钟。



启动时外部空气条件为温度8°F、相对湿度50% rH（-13.3 °C，相对湿度50%）。整个系统为全自动控制，只需定期维修泵即可。



## 结论

尼桑一直在不断改善所用油漆的质量和喷漆工艺，在温度和湿度控制方面达到了较高的精确程度，满足了需要。

CAREL的humiFog系统是您适当时候的正确选择。

humiFog系统的操作精度在这一领域为首创，相对湿度控制精度可达到并保持在 $\pm 1\%$ 。

老式的简易纸板加湿器将不再能提供所需的精确度和可靠性。

[illegible]



# CAREL

---

Technology & Evolution

CAREL S.p.A.  
Viadell'Industria, 11-35020 Brugine-Padova (Italy)  
Tel. (+39) 049.9716611 - Fax (+39) 049.9716600  
e-mail: [carel@carel.com](mailto:carel@carel.com) - [www.carel.com](http://www.carel.com)

代理:

Cod. +40C200070 - rel. 1.0 - 29.07.2005