

某车型门槛 CBS 区域电泳漆未烤干问题分析研究

兰亚强，李翠，孙积强，宋兴光，王乾坤
比亚迪汽车有限公司

【摘要】 随着汽车轻量化及安全性能的提升，越来越多的新车开始采用复合型结构加强件（CBS）替换钣金的方案，不仅可以减重，还能提升扭转刚度，但由于 CBS 结构的复杂性，导致涂装烘烤热传递差，造成车身电泳漆烘烤不良问题。本文针对某车型门槛前部安装 CBS 区域电泳漆未烤干的问题，通过炉温测量及对比、车身结构分析识别出电泳漆未烤干的潜在影响因素，并制定针对性验证方案。通过实车腔内炉温测量，烘烤仿真模拟及电泳拆解验证，确定门槛区域电泳漆未烤干的影响因素及影响权重，为后续新车型开发提供设计依据。

【关键词】 汽车轻量化，复合型结构加强件（CBS），电泳，防腐

Analysis and Research of the Problem of the Electrocoated Paint in the CBS Zone at the Front Threshold of a Certain Vehicle Model that Was Not Dried Properly

Lan Yaqiang, Li Cui, Sun Jiqiang, Song Xingguang, Wang Qiankun

BYD AUTO Co., Ltd.

Abstract: As lightweighting and safety performance of automobiles continue to improve, more and more new vehicles are starting to adopt the composite structure reinforcement (CBS) to replace sheet metal. This scheme not only reduces weight but also improves torsional stiffness. However, due to the complexity of the CBS structure, the heat transfer ability during painting and baking is poor, resulting in poor electrodeposition coating baking issue of the vehicle body. In this article, focusing on the problem of insufficiently baked electrodeposition coating in the CBS area installed in the threshold front part of a certain model, potential factors affecting the insufficient baking were identified through furnace temperature measurement, comparative analysis, and vehicle structure analysis. Based on this, a specific verification scheme was formulated. By measuring the furnace temperature inside the actual vehicle, conducting baking simulation and electrodeposition disassembly verification, the factors affecting the incomplete baking of the electrodeposition coating in the threshold area were determined along with their influence weight, which could serve as a basis for the design of new car models in the future.

Key words: automobile lightweighting, composite body structural (CBS), electrophoresis, anti-corrosion

引言

随着汽车行业快速发展、人们生活水平的提高，对汽车防腐性能的要求也越来越高，整车的防腐性能是汽车重要性能指标，整车防腐是新车型研发阶段重点关注的问题。为此，本文以某车型门槛处电泳漆未烤干这一防腐失效问题进行验证分析，提出建议方案并对后续车型研发提供一些参考经验。

1 问题描述

某车型（简称 X 车型）在电泳后，门槛前部、A 柱、B 柱区域电泳颜色发青，使用丙酮试剂擦拭门槛前段区域发现电泳漆被溶解，无纺布上也粘有电泳漆，故障现象见图 1。在量产车 Y 车型上同一位置用无纺布擦拭未出现该现象，通过对漆面异常区域进行炉温测量，异常区域炉温均不满足电泳漆烘烤时间和温度要求，判断这些区域电泳漆存在烘烤不干问题。

正确地评估电泳漆膜的干燥程度，对确保涂装质量十分重要。检验电泳漆膜干燥程度的最可靠方法是用溶剂擦拭

法。方法的要点是在无纺布或纱布上浸上专用溶剂（丙酮、甲乙酮、异丙酮或 mibk 甲基异丁基酮），在电泳漆膜上用力（约 10N 的力量）往复摩擦 10 次，然后观察漆膜表面状态及纱布上是否粘有漆膜。漆膜表面不变色、不失光，无纺布或纱布上不粘色为合格。



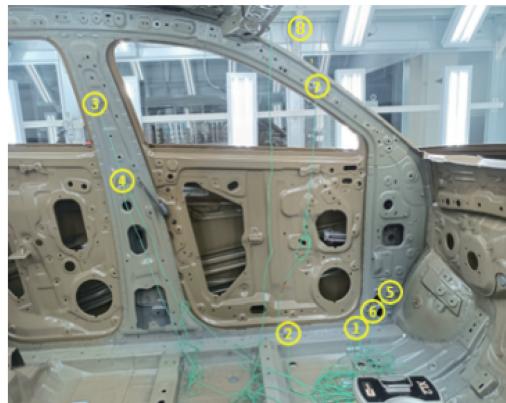
图 1 故障现象

2 原因分析

2.1 炉温数据分析

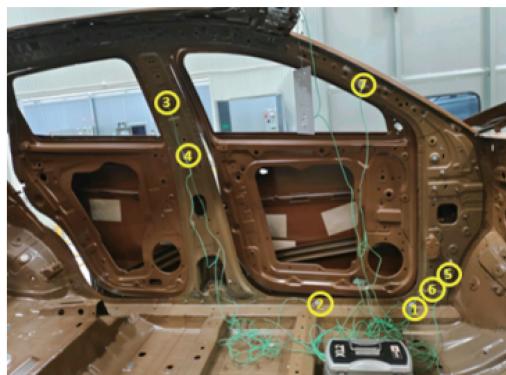
车身钣金经过电泳后烤干的要求为 165°C 时间保持 15min 以上。量产 Y 车型与 X 车型共线，其电泳烘烤后电泳漆膜状态正常，无烤不干问题，可通过 X、Y 车型炉温数据进行对比分析。

将测温探头放置在 X、Y 车型相同位置对车身钣金温度进行测量，8 号为空气探头，用于测定两车身同一位置烤房的温度，确认两车烘烤环境是否一致。炉温曲线及数据见图 2、图 3 所示。



探头	160°C以上时间	165°C以上时间	170°C以上时间	175°C以上时间	180°C以上时间
1	06:51.0	03:05.0	00:00.0	00:00.0	00:00.0
2	11:32.0	08:33.0	04:18.0	00:00.0	00:00.0
3	15:44.0	13:38.0	10:03.0	04:05.0	00:00.0
4	16:26.0	14:06.0	10:03.0	00:56.0	00:00.0
5	12:53.0	09:43.0	05:14.0	00:00.0	00:00.0
6	11:37.0	08:35.0	04:05.0	00:00.0	00:00.0
7	22:40.0	21:11.0	19:42.0	15:38.0	13:00.0
8	28:05.0	27:48.0	27:35.0	27:18.0	27:07.0

图 2 X 车型腔体炉温



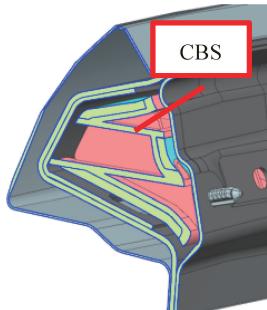
探头	160°C以上时间	165°C以上时间	170°C以上时间	175°C以上时间	180°C以上时间
1	20:03.0	18:42.0	17:04.0	15:11.0	13:01.0
2	21:08.0	20:02.0	18:38.0	16:37.0	14:05.0
3	21:19.0	20:18.0	19:03.0	17:20.0	15:04.0
4	21:36.0	20:39.0	19:36.0	17:56.0	15:21.0
5	20:47.0	19:37.0	19:10.0	16:20.0	14:15.0
6	20:21.0	19:07.0	17:33.0	15:42.0	13:37.0
7	24:29.0	23:45.0	22:54.0	21:45.0	20:20.0
8	27:41.0	27:21.0	26:57.0	26:29.0	26:17.0

图 3 Y 车型腔体炉温

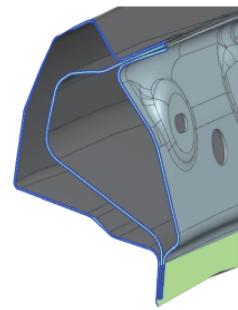
从 X、Y 车型炉温数据对比可以得出以下几个结论：①X 车型七个测点位置均低于 Y 车型，其中 X 车型 A 柱下方和门槛前段区域 6 个测点 165°C 以上时间不满足烘干条件，其中测点 1 时间最短，仅有 3min；②Y 车型测点时间都在 15min 以上，满足烘干要求；③X 车型顶盖空气探头（探头 8）165°C 以上时间与 Y 车型相近，即两车型烘烤条件一致。由此确定 X 车型电泳漆未烤干原因与电泳烤房无关，需从车身结构方面进行分析。

2.2 车身结构分析

从图 4、图 5 可以看出，两车型 A、B 柱区域钣金结构基本相同，但 X 车型 A、B 柱腔体相比 Y 车型各增加了一个 CBS，见图 4，此结果与炉温数据相对应，X 车型 A、B 柱炉温整体比 Y 车型低，即腔体内增加 CBS，会降低钣金烘烤温度，分析其原因为：①CBS 阻碍腔体内空气对流加热，相当于减少了热源；②CBS 发泡胶发泡过程吸热，增加了热量流失。

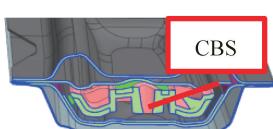


X 车型 A 柱

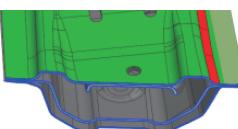


Y 车型 A 柱

图 4 X、Y 车型 A 柱断面结构对比



X 车型 B 柱



Y 车型 B 柱

图 5 X、Y 车型 B 柱断面结构对比

对比 X 车型与 Y 车型门槛位置钣金断面，可以看出 X 车型门槛处不仅比 Y 车型多一个 CBS，而且钣金层数比 Y 车型多 4 层，见图 6、图 7，此结构与炉温数据相对应，X 车型炉温比 Y 车型低，且存在烤不干问题。

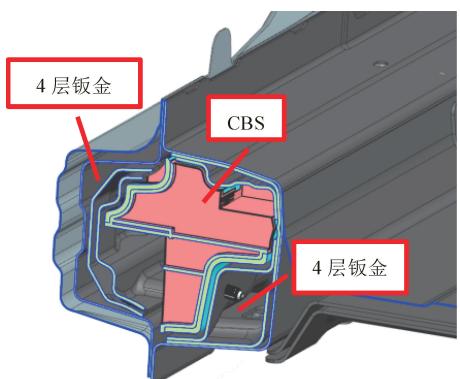


图 6 X 车型门槛断面

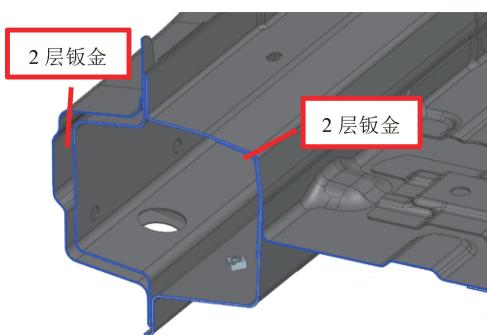


图 7 Y 车型门槛断面

Z 车型在门槛处也装配 CBS，门槛断面见图 8。其门槛处钣金层数为 5 层，比 X 车型少 3 层，电泳烘烤后，在门槛前部存在烤不干问题，但烤不干面积远小于 X 车型。因此可以得出，钣金层数也是影响电泳漆膜烤不干的一个重要因素。

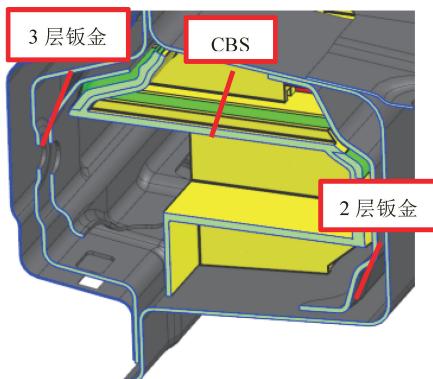


图 8 Z 车型门槛断面

3 验证过程

3.1 验证方案

通过对 X 车型 A 柱、B 柱及门槛部位的结构分析，空腔内 CBS 及钣金层数均会影响车身电泳烘烤效果，因此需对 CBS 及钣金层数进行逐步验证分析。门槛位置存在烤不干问题且结构复杂，因此以下内容主要对门槛部位进行方案策划及验证，见表 1。

表 1 门槛验证方案

名称	方案
方案一	门槛 CBS 开孔及门槛钣金开孔
方案二	门槛 CBS 开槽及门槛钣金开孔
方案三	取消门槛 CBS
方案四	取消门槛三个加强板
方案五	取消门槛 CBS 及增加门槛钣金对穿孔
方案六	取消门槛 CBS 及取消门槛三个加强板

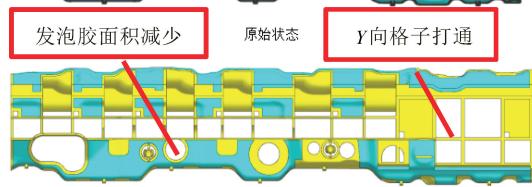
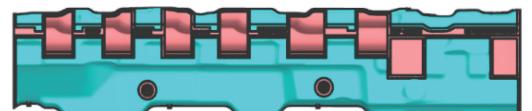


图 9 门槛 CBS 开孔状态

钣金方面，在门槛 Y 向面开 3 个直径 20mm 孔，Z 向面开 1 个直径 20mm 孔，在门槛加强板上对应位置开直径 30mm 过孔，同时在非焊接面上开 4 个直径 12mm 孔，最大程度上增加空气对流（图 10）。



门槛内板



门槛加强板



样车开孔状态

图 10 门槛钣金开孔状态

钣金及 CBS 开孔后存在碰撞性能不达标的风险。此方案开孔位置主要集中在门槛及门槛加强板，主要对 C-NCAP 的侧柱碰有影响，经仿真分析，开孔方案对侧柱碰几乎无影响，满足指标要求，变形图及仿真结果见图 11 及表 2。

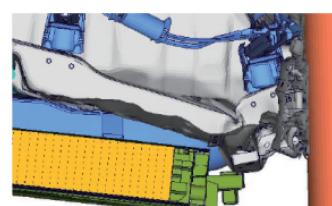
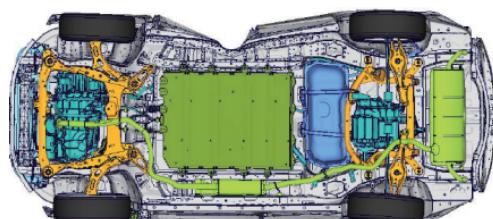


图 11 侧柱碰变形

方案一：门槛 CBS 开孔及门槛钣金开孔

CBS 方面，将骨架 Y 向格子打通，增大空气对流，同时减小发泡胶覆盖面积，减小发泡胶吸热量（图 9）。

表 2 侧柱碰仿真结果

考察指标	开孔方案与基础方案差值	是否满足指标
A 柱外板 Y (Final) [mm]	-1	满足
窗框下缘 Y (Final) [mm]	0	满足
车门中线 Y (Final) [mm]	-1	满足
假人骨盆 Y (Final) [mm]	-1	满足
门槛位置 Y (Final) [mm]	-1	满足
电池模组 Y 向侵入量	0	满足
电池模组 Z 向侵入量	-0.18	满足

对门槛 4 处位置进行炉温测量, 见图 12, 炉温测量结果见表 3, 根据测量结果, 门槛前 165℃以上时间为 7.7min, 不满足烘干要求。

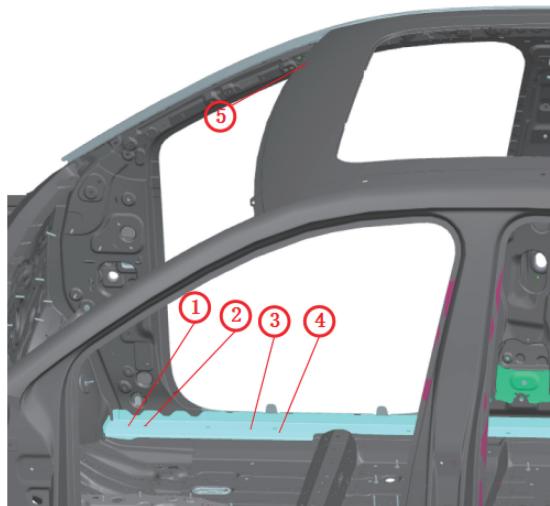


图 12 侧柱碰变形

表 3 方案一炉温测量结果

探头	探头位置	165℃以上时间/min
1	门槛前	12.1
2	门槛后	13.6
3	门槛前内腔	7.7
4	门槛后内腔	11.5
5	空气探头	27.3

样车拆解后, 目视门槛前段电泳漆发青, 用丙酮擦拭, 电泳漆被擦掉, 无纺布也粘有电泳漆, 见图 13。

方案二: 门槛 CBS 开槽及门槛钣金开孔

在方案一基础上, 将门槛 CBS 的 X 向横截面减小, Z 向开槽, 最大限度减少 CBS 对空气对流的影响, 门槛钣金开孔数量及位置与方案一一致 (图 14)。

由于此方案 CBS 无样件, 借助烘烤仿真软件进行效果验证, 图 15 为仿真结果。

从仿真结果可以看出 CBS 开槽后, 门槛处高于 165℃时间为 10.1min, 烘烤效果优于方案一, 但仍低于电泳漆最低固化时间 15min。



图 13 门槛电泳漆被擦掉

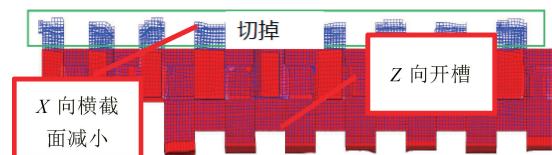


图 14 门槛 CBS 开孔状态

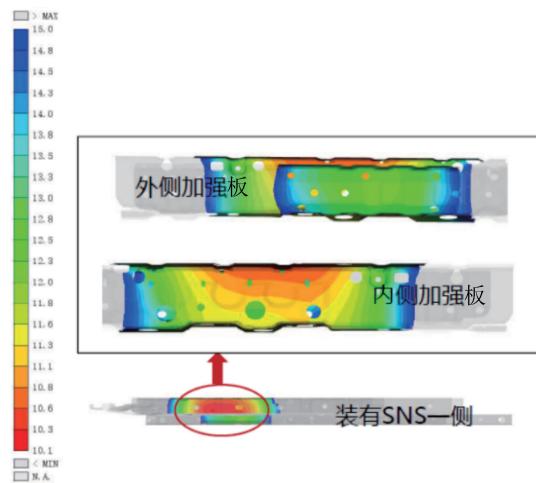


图 15 CBS 开槽仿真结果

方案三: 取消门槛 CBS

将门槛 CBS 取消后进行烘烤仿真验证, 仿真结果见图 16。

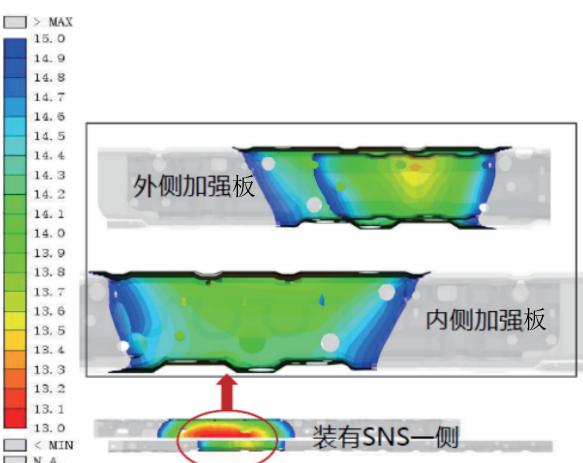


图 16 CBS 优化后仿真结果

从仿真结果可以看出取消 CBS 后，门槛处高于 165℃时间为 13min，烘烤效果优于方案二，但仍低于电泳漆最低固化时间 15min。

方案四：取消门槛三个加强板

取消包裹 CBS 的三个加强板（门槛上加强板、门槛下加强板、门槛加强板撑板），门槛 CBS 做相应调整，见图 17。

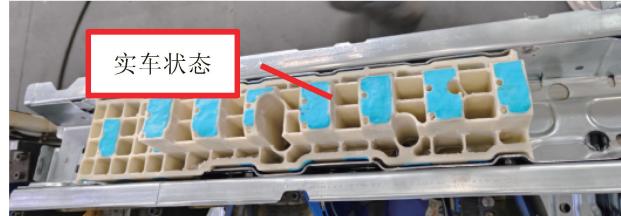
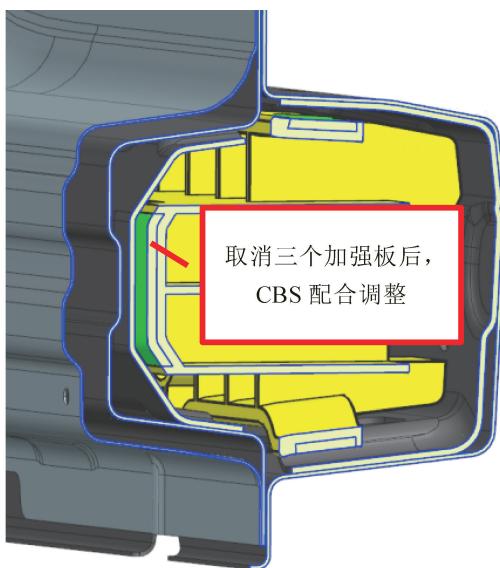


图 17 取消门槛三个加强板

对过线车进行炉温测量，探头位置与方案一一致，炉温数据见表 4，根据炉温结果，门槛区域虽相比未取消 CBS 之前炉温有提升，但实际仍未达到 15min 以上保温时间要求。

表 4 方案四炉温测量结果

探头	探头位置	165℃以上时间/min
1	门槛前	14.3
2	门槛后	15.5
3	门槛前内腔	11.8
4	门槛后内腔	14.4
5	空气探头	27.2

车身拆解后，门槛处仍然存在烘烤不干问题，见图 18。

方案五：取消门槛 CBS 及增加门槛钣金对穿孔
钣金开孔数量、位置与方案一一致。

方案六：取消门槛 CBS 及取消门槛三个加强板
取消的三个加强板与方案四一致。

在验证车上同时验证方案五与方案六，左侧门槛为方案五，右侧门槛为方案六，在经涂装烘烤后，炉温测量点位置与方案一一致，炉温时间见表 5。



图 18 取消门槛三个加强板

表 5 方案五、六炉温测量结果

探头	探头位置	165℃保温时间/min
1	左门槛前	17.2
2	左门槛前内腔	13.3
3	左门槛后内腔	16.6
4	右门槛前	17.5
5	右门槛前内腔	14.6
6	右门槛后内腔	18.8
7	空气探头	27.4

由炉温测量结果可知，左侧钣金开孔方案（方案五）保温时间不如右侧取消钣金方案（方案六）长，右侧虽然取消三个加强板及 CBS，但保温时间仍未满足 15min 要求，使用溶剂对验证车进行擦拭可溶解电泳漆，见图 19。

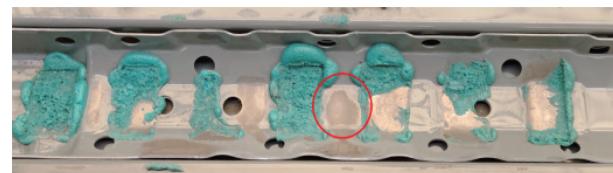


图 19 取消 CBS 及三个加强板

3.2 方案验证结论

从方案一和方案二验证可得出钣金及 CBS 开槽可改善烘烤不干问题，但改善效果有限；从方案三和方案四验证可得出取消 CBS 和减少钣金层数均可显著改善烘烤不干问题，且取消 CBS 方案的改善效果优于减少钣金层数；从方案五与方案六验证可得出减少钣金层数改善烘烤效果优于开孔，从方案三与方案五对比可知，增加开孔可以改善烘干效果，但效果不明显。

4 结论

本文通过对 X 车型门槛处电泳漆未烤干问题分析验证过程，展示了对此问题所进行的一系列验证方案及结果，对后续车型规避此问题提供了设计思路。具体得到以下经验教训：

- 1) 车身腔体内部设计有 CBS 时，在满足碰撞要求下，将 CBS 做到极致通透，比如在 X、Y、Z 三个方向开孔或贯通，以便于烘烤时热气流在腔体内流动畅通。

2) CBS 上的发泡胶进行极简设计, 同时将发泡胶断开, 减少发泡胶发泡过程中吸收的热量。

3) 车身腔体内布置装配 CBS 的情况时, 设计镀层板时优先保证此区域钣金选用镀层板以满足防腐性能。

4) 车身钣金层数尤其是门槛区域不建议设计过多, 建议设计在 4 层板以下, 最多不超过 5 层, 外层板在满足堵盖安装节拍要求内, 将孔数量开到极限, 内部加强板在相应位置开过孔。

参 考 文 献

- [1] 曹晓根, 冯擎峰, 胡峥楠. 汽车涂装烤房工艺设置探讨 [J]. 电镀与涂饰, 2018, 37 (20): 239-242.
- [2] 王锡春. 涂装车间设计手册 [M]. 2 版. 北京: 化学

工业出版社, 2013.

- [3] 林骥, 杨为焕. 涂装车间烘干炉选型应用探讨 [J]. 现代涂料与涂装, 2019, 22 (7) 45-51.