

# 汽车涂装前处理药剂自动管控系统应用与分析

王海军, 崔德源, 张德义

(中国汽车工业工程有限公司, 天津 300000)

**摘要:** 前处理作为汽车涂装的关键清洁工序, 槽液参数控制至关重要, 高效、全自动控制槽液参数具有重大意义。本文将全自动药剂管控系统应用在汽车涂装生产线, 与传统人工测试进行对比研究, 分析优缺点, 实现高效准确地控制槽液参数, 降低了生产运行成本。

**关键词:** 涂装前处理; 药剂参数; 自动检测

中图分类号: TQ639

文献标志码: B

文章编号: 1007-9548(2024)11-0049-04

## Application and Analysis of Automatic Control System for Agentia of Automobile Coating Pretreatment

WANG Hai-jun, CUI De-yuan, ZHANG De-yi

(Automotive Engineering Corporation, Tianjin 300000, China)

**Abstract:** Pretreatment as the key cleaning process of automobile coating, the parameter control of tank liquid is very important. It is of great significance to control tank parameters efficiently and fully automatic. In this paper, the automatic pharmaceutical control system is applied in the automobile coating production line, and compared with the traditional manual test, the advantages and disadvantages are analyzed, and the efficient and accurate control of tank parameters is realized, and the production operation cost is reduced.

**Key words:** pretreatment of coating; pharmaceutical parameter; automatic testing

### 0 引言

随着汽车涂装行业的飞速发展, 涂装工艺越来越高效环保, 但是无论何种工艺, 离不开第一步白车身的清洁处理。前处理作为涂装工艺第一道工序起到非常重要的作用, 主要是去除车身防锈油、泥沙、铁屑等异物, 为后续的电泳工序提供清洁、合格的磷化(薄膜)车身。前处理过程首先通过脱脂工位, 借助碱成分和界面活性剂, 起到乳化、分散油的作用。然后经过表面调整, 表调剂的主要成分为胶体磷酸盐, 均匀附着在车体表面, 从而改变金属表面的微观状态, 增加晶核数量, 减少磷酸盐晶体的大小, 进而促使磷化过程中更容易形成均匀、致密的磷化膜。最后进行磷化或薄膜反应, 主要是磷酸盐与金属离子发生反应, 在反应过程中不断

产生沉淀, 这些沉淀与水分子结合, 形成无机化合物, 进而在车身表面形成均匀、致密磷化膜或钝化膜。通过上述一系列物理和化学反应, 最终达到提高电泳附着能力和涂层耐腐蚀性能的目的。

脱脂和磷化工序相辅相成, 缺一不可, 无论是相对成熟的磷化工艺, 还是最近广泛流行的薄膜前处理工艺, 都需要化学药剂。其中脱脂的总碱、游离碱<sup>[1]</sup>、磷化(或薄膜)的酸度 pH、游离氟离子含量、锆离子含量<sup>[2]</sup>, 对前处理成膜起到至关重要的作用。随着工件的不断产出, 药剂在不断地消耗, 如何精准控制槽液的药剂参数, 是每个主机厂需要面对的问题。现阶段绝大多数主机厂依靠人工取样, 实验室化验, 来测量槽液药剂的参数, 计算出每次的加药量。这种方法不仅耗时耗力, 需要专门的化验员, 而且由于人的参与, 容易产生测量误差; 实际操作中为了减少化验次数, 经常一次性添加较多的药剂, 槽液浓度波动较大, 造成药剂浪费。

为了解决以上问题, 本文设计出一套全自动在线

收稿日期: 2023-10-25

作者简介: 王海军(1975—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事涂装设备的设计研发工作。E-mail: wanghaijun@chinaaie.com.cn。

药剂参数检测系统,并与加药系统进行连锁控制,最终实现槽液参数的稳定控制<sup>[2]</sup>。

## 1 全自动管控系统流程

针对涂装前处理线的生产需求,我们采用自动取样、自动分析及自动加药相结合的管控系统,实现对槽液的全天候自动管控,同时保留手动加药、定时定量自动加药、按产能自动加药的功能,系统根据实际在线检测值进行自动加药控制及调整,达到工艺参数的稳定控制。分析及加药数据可上传到车间的中控室并存储。具体步骤如下:

1)利用蠕动泵定量取出新鲜槽液,由于槽液是浑浊含有杂质的,所以在取液管设置过滤器,进行过滤杂质和消泡等预处理。采用循环流水取样管,取样管内的水保持一直在流动,到分析仪前再分支路,进行取样,从而保证取出的液体是跟原槽内液体一致。

2)预处理后的样品进行滴定分析,滴定分析以前,先用纯水将滴定容器自清洗一遍,保证滴定容器的清洁。通过滴定分析,换算出槽液各项参数,内容包括槽液药剂浓度、酸碱度、pH等。同时将这些药剂参数、报警信息上传至涂装车间中控系统。

3)每一次测试完成后,通过电磁阀排空滴定容器的残留的样品,再用纯水清洗,完全排空后,加入电极保护液保护电极。

4)最后在线监测系统与加药系统连锁,控制加药系统根据槽液参数变化自动调整加药量,每一次检测后,将分析结果进行换算,自动修改计量泵在下个周期的加药时间,最终将槽液参数稳定控制在合理的范围以内。

## 2 药剂测量方法

### 2.1 脱脂剂中总碱,游离碱检测方法

常规的碱度测定属于滴定分析<sup>[3]</sup>,通常采用指示剂法和电位滴定法这两种方法来判断是否到达滴定终点。

指示剂法是指利用某种指示剂在化学反应过程中,突然产生颜色的变化来确定滴定终点。指示剂法的优点明显,操作简单,不需要特殊的设备,适用范围广,实验室普遍采用这种方法。但是缺点也很突出,个别情况下(如槽液浑浊)变色不很明显,精确度比较差,而且不能用于一些带有颜色的样品测定。

电位滴定法是靠电极电位的突跃来指示滴定终点。前期电位变化不明显,当滴定到达终点前后,滴液中的待测离子浓度产生  $n$  个数量级的变化,从而引起电位的突变,被测成分的含量仍然通过消耗滴定剂的量来计算。并且,自动电位滴定仪的使用,在滴定过程中可以自动记录数据,模拟曲线,分析标记出滴定终

点,计算出体积,滴定过程迅速便捷,提高了滴定过程的整体自动化,且无需添加显色剂,减少了人为因素和环境因素造成的误差。

### 2.2 磷化(或薄膜)的酸度 pH、氟离子、锆离子检测方法

pH 采用 pH 电极直接测量;氟离子采用 F 电极直接测量;锆离子采用络合滴定法,具体步骤如下:1)取 10 mL 陶化液加入到反应杯中;2)加 5 mL 掩蔽剂;3)加 20 mL pH 为 1.4 的缓冲剂;4)加 3~5 滴二甲酚橙,加热至 80~90 °C;5)EDTA 滴定,红色变黄色,自动滴定曲线根据算法找到滴定终点;6)计算活化点:通过光度探头监控溶液颜色变化,根据光度探头信号的突变点判定滴定终点,突跃点就是滴定曲线的微分曲线最大值。

## 3 数据及性能评估

为了证明全自动管控系统的准确性,以国内某主机厂的实测数据进行全方位的说明和评估。

### 3.1 测试数据的重复性

从槽液中一次取样,分多次测量,重复测试,检测该系统稳定性,通过滴定体积公式计算游离碱、总碱,结果见表 1 所列。

表 1 重复性测试对比

项目	游离碱/pt	滴定体积/mL	总碱/pt	滴定体积/mL
1	5.377	2.981	10.97	6.13
2	5.398	2.992	11.01	6.15
3	5.391	2.989	11.01	6.15
4	5.357	2.970	11.01	6.15
5	5.387	2.987	11.00	6.15
6	5.364	2.974	10.99	6.14
7	5.391	2.989	11.01	6.15
8	5.379	2.982	11.03	6.16
9	5.347	2.964	10.97	6.13
10	5.312	2.945	11.00	6.15
最大值	5.398	2.992	11.03	6.16
最小值	5.312	2.945	10.97	6.13
范围	0.086	0.047	0.06	0.03
中间取值	5.370	2.977	11.00	6.15
标准差	0.026	0.015	0.02	0.01
RSD/%	0.488	0.489	0.17	0.16

通过数据可以看出,重复测试同一浓度样品,碱度在线分析仪(标液模式下测量)测试后,游离碱和总碱值分别在 5.370 pt 和 11.000 pt 上下波动,计算后 RSD < 5%,所以稳定性符合要求。

### 3.2 测试数据的准确性

以现有槽液为基准, 稀释槽液配制不同浓度的样品进行连续分析, 查看分析仪器的稳定性和准确性, 结果见表 2 所列。

表 2 准确性测试对比

项目		槽液 1 L	槽液 800 mL+纯水 200 mL	槽液 600 mL+纯水 400 mL
配置稀释比/%		100.00	80.00	60.00
在线分 析仪器	游离碱/pt	5.40	4.34	3.24
	总碱/pt	10.97	8.77	6.60
准确性 分析	游离碱稀释比/%	100.00	80.32	60.06
	总碱稀释比/%	100.00	79.95	60.18
化验滴 定准确 性分析	游离碱/pt	5.35	4.25	3.30
	总碱/pt	11.20	9.00	6.70
	游离碱稀释比/%	100.00	79.44	61.68
	总碱稀释比/%	100.00	80.36	59.82
偏差	游离碱/pt	0.05	0.09	-0.06
	总碱/pt	-0.23	-0.23	-0.10

由表 2 可知: 1) 仪器分析数据会根据实际样品浓度的变化而变化; 2) 通过对比测试不同浓度的样品, 我们发现, 碱度分析仪与实验室滴定分析的结果偏差很

小, 其中游离碱偏差 $<0.1$ , 总碱偏差 $<0.3$ ; 3) 仪器可以分析不同浓度的样品, 分析仪测试的结果非常接近于理论值, 所以准确性符合要求。

### 3.3 测试数据与实验室数据平行对比

为了确保数据更接近于实验室化验员的测试结果, 每天随机抽取不低于 2 份样品, 分别由仪器和实验室化验员测量, 连续不间断测试 11 d, 将数据进行整理分析, 结果见表 3 所列, 可以得出以下结论。

1) 游离碱: 预脱脂部分数据偏差较大, 脱脂偏差明显较小。误差原因分析: 预脱脂是前道工序, 槽液相比脱脂槽更脏, 人工滴定过程中不利于滴定终点的判定, 造成人为误差。

2) 预脱脂的游离碱部分数据偏差较大, 而总碱偏差较小。误差原因分析: 游离碱采用酚酞作为指示剂, 由红色变为无色的过程中槽液的混浊度影响较大, 而总碱是由氯酚蓝作为指示剂, 由蓝色变为黄色, 混浊度影响相对较小。

3) 薄膜 pH 和 F 离子偏差非常小, 采用相同的测试方法, 都是电极法。

4) 结论: 仪器测量准确度可以满足技术要求。

## 4 仪器的维护和保养

1) 定期检查仪表及取样装置内管路是否清洁, 是否有气泡; 检验各个管路接头是否牢固; 检查试剂是否够用。

表 3 槽液参数实测对比

项目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
预脱脂游离碱	仪器/pt	4.37	4.57	4.58	4.66	4.58	4.67	4.65	4.71	4.55	4.97
	人工/pt	4.7	4.6	4.8	4.8	4.6	4.9	4.8	5.0	4.9	5.2
	偏差/%	-7.02	-0.65	-4.58	-2.92	-0.43	-4.69	-3.12	-5.80	-7.14	-4.42
预脱脂总碱	仪器/pt	11.19	11.65	11.39	11.72	11.62	11.75	11.86	12.00	11.60	11.80
	人工/pt	11.3	11.4	11.3	11.7	11.9	11.4	12.2	11.9	12.1	12.2
	偏差/%	-0.97	2.19	0.80	0.17	-2.35	3.07	-2.79	0.84	-4.13	-3.28
脱脂游离碱	仪器/pt	5.67	5.60	5.56	5.59	5.58	5.91	5.87	5.92	5.89	6.12
	人工/pt	5.9	5.7	5.8	5.6	5.7	6.0	6.1	6.0	6.0	6.1
	偏差/%	-3.90	-1.75	-4.14	-0.18	-2.11	-1.50	-3.77	-1.33	-1.83	0.33
脱脂总碱	仪器/pt	12.52	12.35	12.36	12.19	12.14	12.68	12.83	12.87	12.95	12.96
	人工/pt	12.4	12.6	12.2	12.1	12.1	13.1	13.1	12.9	13.0	12.7
	偏差/%	0.97	-1.98	1.31	0.74	0.33	-3.21	-2.06	-0.23	-0.38	2.05
薄膜 pH	仪器	4.31	4.27	4.33	4.28	4.28	4.30	4.31	4.28	4.35	4.32
	人工	4.32	4.30	4.37	4.32	4.32	4.34	4.32	4.25	4.34	4.28
	偏差/%	-0.23	-0.70	-0.92	-0.93	-0.93	-0.92	-0.23	0.71	0.23	0.93
薄膜 F 离子	仪器/ $\times 10^{-6}$	63.60	60.61	60.24	59.47	60.4	59.97	59.45	60.67	60.73	59.76
	人工/ $\times 10^{-6}$	62.6	60.8	60.1	60.1	60.6	60.8	60.3	60.5	60.8	60.6
	偏差/%	1.60	-0.31	0.23	-1.05	-0.33	-1.37	-1.41	0.28	-0.12	-1.39

2)定期用标准液进行电极校准。

3)定期更新取样软管、过滤器专用滤芯、pH 电极、氟离子电极。

4)定期更新添加盐酸、EDTA、缓冲液、遮蔽剂、二甲酚橙等试剂。

### 5 结语

在线分析智能管控系统属于涂装前处理区域,经过项目实际验证,本套系统可以准确地检测出预脱脂、脱脂、磷化(薄膜)槽药剂的参数,以提高工艺控制精度,实现工艺过程管控的自动化、信息化、全天无人化自动监控,数据信息可自动上传到中控系统。通过对参数的分析与换算,每次检测后自动计算出槽液需要添加药剂的量,自动控制计量泵按需加药,最终将槽液药剂浓度维持在一个稳定的、较小的范围内。这套自动管

控系统配有标液校准、自动清洗管路和反应杯保养功能,使设备始终处于最佳工作状态。不仅大大节省了人工成本,更是解决了槽液参数不稳定的问题,确保了白车身磷化(薄膜)质量的稳定,为电泳涂膜打下良好的基础,同时避免了人工的大剂量添加,长期运行可以节省生产成本。

### 参考文献:

- [1] 代诗环,王鹏,郭常臻,等.汽车涂装前处理电泳的工艺参数分析[J].现代涂料与涂装,2021(1):30-32.
- [2] 杨静,钱铖,周建国.汽车涂装前处理的自动补加系统[J].电镀与涂饰,2019(14):747-751.
- [3] 李娟利.水中总碱及酚酞碱度测定方法的改进[J].中国化工贸易,2018(29):140-141.

(上接第 40 页)

表 10 添加抗氧化剂差异化对比

颜色	老化剂	编号	观察 1 次	观察 2 次	观察 3 次	观察 4 次
红色	无	1	无	无	轻微	明显
		2	无	无	无	明显
		3	无	无	轻微	明显
		4	无	无	无	明显
		5	无	无	轻微	明显
	添加	6	无	无	无	无
		7	无	无	无	无
		8	无	无	无	无
		9	无	无	无	无
		10	无	无	无	无
蓝色	无	1	无	无	无	轻微
		2	无	无	无	轻微
		3	无	无	无	轻微
		4	无	无	轻微	轻微
		5	无	无	无	轻微
	添加	6	无	无	无	无
		7	无	无	无	无
		8	无	无	无	无
		9	无	无	无	无
		10	无	无	无	无

### 2 结语

此次研究表明:1)清漆保护层至关重要,保护能力的强弱会影响漆膜外观质量,清漆层会受光照、雨水的侵蚀,弱化保护能力,进一步引起金属漆涂膜发生氧

化、起泡长斑等质量问题。2)不同区域地理环境不一样,厂家研发涂料时需要充分考虑地理环境,不能以普遍性替代特殊性。3)此次研究也为涂装质量弊病提供了基础依据,更好地引导涂装漆膜质量控制方向。

## 2025 年《现代涂料与涂装》征订启事

《现代涂料与涂装》期刊是由中昊北方涂料工业研究设计院有限公司主办的全国性科技期刊,国内外公开发行,国际连续出版物号:ISSN 1007-9548,国内统一连续出版物号:CN 62-1135/TQ;本刊是中国学术期刊综合评价数据库来源期刊;《中国学术期刊(光盘版)》《中国期刊网》《万方数字化期刊群》《维普资讯》全文收录期刊;美国《化学文摘》(CA)收录期刊。突出实用性与理论性相结合的报道理念,侧重于企事业单位的研究成果传播,为实际生产遇到的问题提供参考和解决方案。本刊为月刊,每月 20 日出版,大 16 开本,彩版印刷,每期定价 15.00 元。

请根据您的方便,选择以下方式订阅:

- 1.通过当地邮局订阅,全年 180 元。国内邮发代号:54-65
- 2.直接向本刊编辑部订阅,纸质版全年 282 元(含邮费),电子版全年 120 元。



编辑部订阅二维码

汇款信息:

单位名称:中昊北方涂料工业研究设计院有限公司  
 开户行:中国建设银行股份有限公司兰州拱星墩支行  
 账号:6200 1360 0190 5150 0638