

齿轮箱内腔醇酸耐油漆若干问题的解决

王军方, 董明, 崔春辉, 张亚丽, 吴美璇

(秦川机床工具集团股份有限公司, 陕西 宝鸡 721009)

摘要: 特种车用齿轮箱内腔使用的醇酸耐油漆出现固化不完全问题, 工业齿轮箱内腔使用的醇酸耐油漆清洗时出现皂化反应, 同一漆种出现问题状况和表现不一样, 解决问题的方法也不一样。对固化不完全问题, 采用通过试验确认新油漆和润滑油的兼容性后做更换油漆漆种的方法给予解决; 对上清洗机出现的皂化问题根据铸铁件箱体内腔的粗糙度对漆膜厚度的影响、油漆固化的温度影响、各个温度条件下完全固化周期、油漆施工黏度、喷涂方法等因素进行试验和验证给予解决。

关键词: 齿轮箱涂装; 醇酸耐油漆; 完全固化; 皂化反应

中图分类号: TQ639 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2025)09-0019-04

Solutions to Several Problems of Alkyd Resistant Paint in Gearbox Cavity

WANG Jun-fang, DONG Ming, CUI Chun-hui, ZHANG Ya-li, WU Mei-xuan

(Qinchuan Machine Tool Group Co., Ltd., Baoji 721009, Shaanxi, China)

Abstract: The alkyd oil-resistant paint used in the inner cavity of special vehicles gearboxes has the problem of incomplete curing, and the alky oil-resistant paint used in the inner cavity of industrial gearboxes has the problem of saponification during cleaning. The same paint species has different problems and performances, and the solutions the problems are also different. For the problem of incomplete curing, the method of replacing the paint species after confirming the compatibility of new paint and lubricating oil through experiments is adopted. For the problem of saponification during loading the cleaning machine, according the influence of the roughness of the cast iron gearbox inner cavity on the thickness of the paint film, the temperature influence of the paint curing, the complete curing cycle under various temperature, the viscosity of the paint construction, the spraying method and other factors are tested and verified to solve the problem.

Key words: gearbox painting; alkyd resistant paint; complete curing; saponification reaction

0 引言

醇酸涂料以醇酸树脂为主要成膜物质, 是五大类合成树脂涂料之一, 材料来源广泛, 技术成熟, 工艺简单, 在整个工业涂料的生产和使用中占有较大比例^[1]。醇酸树脂可与其他树脂配成多种不同性能的自干或烘干漆、底漆、面漆和清漆。主要用于一般木器、家具及家

庭装修的涂装, 也可用于一般金属涂装, 对要求不高的金属防腐涂装较为适用。醇酸树脂涂料漆膜附着力强, 耐候性好, 光亮、力学性能好, 但漆膜软, 耐水、耐碱性较差, 干燥慢^[2]。醇酸涂料的另一个特点是做底漆时面漆只能使用酚醛漆、氨基漆、硝基漆、过氯乙烯漆和醇酸面漆, 这些面漆保光性差, 时间长了光亮下降影响涂装效果, 且不能和常用于面漆的装饰性优良、耐候性好、色彩艳丽的丙烯酸面漆、聚氨酯面漆配套; 作面漆时只能用油基、酚醛漆、醇酸漆、环氧漆做底漆^[3]。该漆在复杂的油漆配套系统中使用不广泛。大型石油减速箱、机床上一些关键部位的部件, 技术文件明确规定不

收稿日期: 2025-06-06

作者简介: 王军方(1967—), 男, 工程师, 主要从事机床、机械、通用零部件的涂装设计、涂装工艺研究工作。E-mail: wjfang66@163.com。

得使用醇酸漆做底漆和面漆。

2024年本公司两款齿轮箱产品内腔使用的奶黄色醇酸耐油漆出现问题。一种是特种车用齿轮箱箱体铸铁件,内腔漆膜被污染,沾染黑色杂物;另一种是工业齿轮箱箱体铸铁件,机加工完毕装配前清洗阶段,上清洗机清洗箱体后,内腔的醇酸耐油漆漆膜出现少量褶皱和溶解现象,溶解部位奶黄色变淡,光泽尽失。有研究表明,铸铁件在使用某些树脂油漆时易出现脱漆、清洗后溶解等问题^[4]。为解决漆膜出现褶皱、溶解问题和漆膜沾染黑色杂物开展了分析研究和试验工作。

1 问题表象和分析

两种齿轮箱箱体内腔醇酸耐油漆漆膜问题表现为:上清洗机后工业齿轮箱箱体内腔平整面上的漆膜完好,个别部位出现褶皱,箱体根部少量溶解,稀软粘手;车用齿轮箱箱体不上清洗机清洗,漆膜也无褶皱和溶解现象,但漆膜上粘了黑色杂物似为铁屑和油污等。

初步分析,一个可能是气温低,溶剂挥发慢,另一个可能是漆膜过厚,抑或两个原因兼有造成固化不全,或者是其他原因造成。从奶黄色醇酸耐油漆的成分上分析,主要成膜物质将颜料、填料等包裹、湿润、分散,在溶剂和助剂作用下,均匀覆盖基材。其主要性能取决于主要成膜物质油料和醇酸树脂,颜料不提供漆膜性能,仅提供涂膜外观质量^[5]。对漆膜的固化和厚度没有影响,奶黄色醇酸耐油漆膜出现问题应排除颜料因素。

工业齿轮箱箱体内腔平整面上的完好漆膜表明醇酸耐油漆对清洗剂的耐受性好。分析少量漆膜褶皱产生原因,一是漆膜没有完全固化,遇到刺激物出现了变化;二是温度较高的弱碱清洗液,与醇酸涂料中的酯类物质发生皂化反应,生成脂肪酸盐,是碱性物质(通常是NaOH或KOH)中的OH⁻进攻酯分子中的羰基碳,使酯键断裂,生成羧酸盐和醇,破坏漆膜的表面张力或结构,导致漆膜出现褶皱。特别是带有温度的清洗液,极大提高皂化反应速度;三是溶剂挥发不均匀,遇到外部刺激,溶剂挥发速度进一步失衡,导致漆膜出现褶皱^[6]。车用齿轮箱内腔醇酸漆沾了许多黑色杂质,确认是机加工时的铁屑和其他杂物。为不影响使用,要打磨掉附着的铁屑和杂物,发现漆膜软打磨困难,认定是漆膜固化出现问题。

查看油漆供应商提供的《产品质量检验报告》,报告单显示的有关数据是按照国家标准测试的,有表干时间和实干时间,但没有漆膜厚度。查找有关国标得知,实验室制备的试板漆膜厚度按照GB/T 1727《漆膜一般制备法》要求,漆膜干膜厚20~30 μm,这个数据对了解油漆施工参数有参考作用,却和工程实践要求有

较大差距。两型号齿轮箱图纸要求漆膜厚度50~80 μm情况下漆膜完全固化周期没有数据,而完全固化周期对于保证产品质量有重要意义。

使用磁性测厚仪检测齿轮箱内腔醇酸耐油漆漆膜厚度,表显漆膜厚度均值130 μm左右。和图纸要求的50~80 μm厚度的关系有待深究。因为磁性测量仪在标准样板上校正后在没有做漆的粗糙度Rz63~100 μm表面测量显示一定数值,喷涂了醇酸耐油漆的铸铁表面表显漆膜厚度的数值和实际漆膜厚度的关系需要进一步研究。

实际施工中醇酸耐油漆漆膜固化时间随漆膜厚度和温度的不同而不同。很明显,在温度较高的夏天和温度较低的冬天,醇酸耐油漆的氧化干燥成膜时间必然不同。醇酸漆的氧化干燥分为诱导期、引发期、交联期3个阶段。在诱导期,氧气迁移并溶解于湿漆膜中,然后扩散到树脂或干性油的不饱和双键处,此时的干燥速率由氧气的扩散控制;在引发期,与顺式双键相邻的α碳原子上快速形成氢氧化物,同时引起顺式双键异构化生成反式双键或共轭双键;在交联期,过氧化物分解,形成交联结构。3个阶段可以同时进行^[7]。无论哪个阶段,如前文所说,温度是反应的优良条件,温度越高,空气活性越大,氧气迁移溶解和快速形成氢氧化物的速度越快,越有利于缩短漆膜固化周期。冬天和夏天醇酸漆完全固化周期缺乏数据,需要通过一定的试验和推理才能得出。

2 解决醇酸耐油漆缺陷的第一种办法

第一种办法是像汽车发动机内腔一样,齿轮箱内腔不做任何油漆,铸出零件后喷砂完毕清理干净就使用。但箱体铸件的材料成分决定了在机加工过程中各种冷却油、冷却液会滴落、积攒在铸件上,污染箱体零件或使铸件发生电池效应产生生锈现象影响使用;箱体加工完毕,装配成完整的齿轮箱后加入润滑油,齿轮箱内腔不平整的毛糙面将齿轮滚动摩擦产生的铁屑甩在铸件粗糙面上的凹坑内并持续积攒,以后即使更换润滑油也不能完全清理掉杂质而保证润滑效果。况且虽然刚加入的润滑油中水分子极少,但是齿轮箱工作时温度变化致使箱内外空气互相交换,箱外空气中的水分进入箱体内被润滑油吸收,箱体中的金属非金属在水分作用下发生电化学反应^[7],最终生成FeO(OH)·nH₂O水合氧化铁组成的疏松多孔结晶混合的,这种混合物结构不稳定,也不能阻止水分子和氧气的继续渗透,电化学反应将持续进行,以致锈蚀箱体并使润滑油效能下降影响润滑效果。加之齿轮转动甩动油液冲刷疏松结晶体,结晶很快脱落掉入油中形成残渣,影响润滑效果,增加齿轮磨损,增大噪声,传动效果下降。而内

腔做漆后,油漆的流动性和流平性使一定粗糙度的内腔变得相对平整光滑,极大减少铁屑残渣在箱体壁的堆积,被箱体底部磁性堵头吸引,便于更换润滑油时清理,保证润滑效果。因此,内腔不做油漆的方案被否决。

3 解决醇酸耐油漆缺陷的第二种办法

解决车用齿轮箱箱体腔内醇酸耐油漆没有完全固化的另一办法是更换内腔油漆。更换的油漆要和箱体内使用的润滑油兼容性好。润滑油成分组成有基础油(矿物油、合成油、植物油)、添加剂(抗凝剂、抗氧化剂、洁净分散剂、防锈剂、黏度指数改进剂)、增稠剂、其他辅助材料等,其中硅酮、某些添加剂如洁净分散剂和防锈剂、基础油中的杂质对油漆会造成不良影响,通常为确保护漆和润滑油的兼容性,需进行多阶段兼容性测试等匹配性试验。企业条件有限,无法进行复杂试验,采取制作油漆试板模拟零件工况在润滑油中浸泡试验为最简洁有效的办法。了解到该箱体的合成润滑油工作极限温度为 80~90 ℃,为此,做了 3 件试板,分别涂上 A 品牌双组分环氧酚醛漆、B 品牌双组分环氧漆和 C 品牌环氧树脂漆。模拟车用齿轮箱工作环境,将合成油加热至 80~90 ℃,将试板小孔朝上,1/3 浸泡在油中 8 h,冷却 16 h,如此反复 3 d 后观察,发现 C 品牌出现少量溶解,A、B 两种试板没有变化,浸泡 5 d 观察,A、B 试板仍无变化。浸泡至 21 d^⑧,A、B 油漆试板表现良好,C 试板下部边角处出现溶解和起泡现象。按优中选优原则,选用最适合的 A 品牌双组分环氧酚醛漆。选中油漆品种后在车用齿轮箱上实际喷涂,采集了环氧酚醛漆的施工黏度、喷涂手法和固化时间、达到设计要求漆膜厚度喷涂方法等工艺参数,编制了该产品的作业指导文件。车用齿轮箱的内腔油漆沾染铁屑和油污问题得以完美解决。

4 解决醇酸耐油漆缺陷的第三种办法

车用齿轮箱内腔和工业齿轮箱内腔用同种油漆,则可以将上述换漆解决方案套用。但方案没有通过,原因在用户。用户认为以前一直使用的油漆效果不错现在改变理由不充分。为此,必须更换思路,从醇酸耐油漆材料上解决问题。

4.1 制作醇酸耐油漆试板进行试验

工业齿轮箱使用矿物油润滑,多年来使用醇酸耐油漆没有出现问题(抑或没有发现问题)。近来用户要求交货周期紧,加之清洁装配,用清洗机清洗零件后油漆出现皂化反应,尚未进入加矿物油工序,故与矿物油无关,无需进行矿物润滑油和油漆的兼容性试验。

工业齿轮箱在上清洗机经过 42 ℃清洗液超声清洗后局部出现褶皱和溶解。有些零件缺陷严重,有些零件缺陷不严重。查找原因排除了厂家油漆质量问题。在

厂家不能提供更多醇酸耐油漆参数情况下,认为不排除气温低、漆膜过厚、作业过程和其他诸如稀释剂使用不当等因素。为逐一排查原因并从工艺上解决问题,设计了试验试板。在酸洗后的 1 mm×200 mm×100 mm 的 Q235-A 钢板上,用 QXIN4500 进口磁性漆膜厚度仪(以下简称膜厚仪)测量没有做漆的试板。先将膜厚仪校零后对试板平面测量,以任意点为圆心的 $\Phi 38$ mm 范围内测量至少 3 次,取均值记录为 1 个测量点,共测量 10 个点,计算得到均值为 1 μm 。这是酸洗钢板粗糙度修正值。后喷涂了两种施工黏度和漆膜厚度的醇酸耐油漆试板。请经验丰富的工人喷涂,尽量按照下表要求作业。调整施工黏度使用的是车间自用的 200# 溶剂汽油。具体情况见表 1 所列。

表 1 钢板试板

油漆黏度 (涂-4杯)/s	要求漆膜厚度/ μm		备注
	40	100	
25	试板 A	试板 B	-2~16 ℃
80	试板 C	试板 D	单面喷涂

固化 5 d 漆膜基本表干用膜厚仪检测漆膜厚度,测量 A 板表显膜厚 49.15 μm ,B 板表显膜厚 86.36 μm ,C 板表显膜厚 66.92 μm ,D 板表显膜厚 155.83 μm 。减去粗糙度修正值 1 μm ,计算得到 A 板实际漆膜厚度 48.15 μm ,B 板 85.36 μm ,C 板 65.92 μm ,D 板 154.83 μm 。

以上 4 块试板在 -2~16 ℃室内气温下(试板自制作完成到清洗液浸泡试验结束期间的室内温度)固化第 5 d,将漆膜厚度较薄的 A、C 试板的一角浸入(42±2) ℃清洗液中浸泡 40 min,和零件在清洗机上清洗时长一样,观察试板均有皱纹出现,表明试板没有完全固化。试板继续固化,第 7 d、第 9 d、第 11 d 用同样办法试验试板其他部位仍然出现褶皱但越来越少,程度越来越轻。第 13 d 试板 A、C 没有出现褶皱和溶解现象,得出 100 μm 以下的醇酸耐油漆漆膜在 -2~16 ℃气温下经过 13 d 的固化可以达到完全固化程度。而最厚 190 μm 、最薄 138 μm 、均厚 154.83 μm 的 D 试板,13 d 仍未固化。

得出结论,在 -2~16 ℃温度下,100 μm 以下的漆膜干燥固化时间是 13 d。固化的认定形式是和清洗液不发生反应。

试验中还发现油漆施工黏度太小要求喷厚或者黏度太大要求喷薄时,要达到规定膜厚 50~80 μm 的要求比较困难,总体上醇酸漆膜厚要做薄难度更大,极易出现流挂和堆积问题,所以醇酸漆的施工黏度要合适。

4.2 制作铸铁件试板检验粗糙度对漆膜厚度的影响

考虑到铸铁件和钢板试件存在粗糙度差异,需要在铸铁件上验证醇酸耐油漆漆膜厚度和固化时间。4块铸铁试件外形尺寸为100 mm×50 mm×150 mm,喷砂处理。喷砂要求表面粗糙度达到 $Rz63\sim 100\ \mu\text{m}$,和粗糙度样板对比达标后用膜厚仪测量试件,以任意点为圆心的 $\Phi 38\ \text{mm}$ 范围内测量至少3次,取均值记录为1个测量点,每个试件测量10个点,共40个数据,取均值 $58.64\ \mu\text{m}$ 作为粗糙度修正值。喷涂分3 d进行。第1 d将4块试件全部喷涂至遮盖到基材50%~80%程度,再将1块试件喷涂到位;第2 d对没有喷涂到位的2块试件继续喷涂至要求;第3 d对最后1块试件喷涂到位。各试件要求干膜厚度为 $50\sim 80\ \mu\text{m}$ 。固化至第11 d测量漆膜厚度表显数据均值为 $122.2\ \mu\text{m}$,计算得出实际漆膜厚度为 $63.56\ \mu\text{m}$ ($122.2-58.64=63.56$)后开始模拟齿轮箱箱体清洗试验,1 d喷涂到位的试块略有褶皱,其余3块完好,说明分2 d喷涂每天喷涂一次有利于漆膜固化。第13 d上清洗机清洗时4块试件全无缺陷。验证了铸铁试块在 $-2\sim 16\ ^\circ\text{C}$ 实际膜厚 $50\sim 80\ \mu\text{m}$ 情况下经过13 d固化能达到完全固化。

4.3 参数在工业齿轮箱箱体上验证

新铸造出的齿轮箱箱体铸件经过时效、喷砂、清理清洗工序后,先用膜厚仪对做漆面测量得到修正值均值为 $61.2\ \mu\text{m}$ 。箱体内腔涂醇酸耐油漆时用溶剂汽油将施工黏度调整到40 s(涂-4杯),对箱体喷涂一次,遮盖到基材的50%~80%,固化1 d后再完全喷涂,要求两次喷涂后的干膜实际厚度为 $50\sim 80\ \mu\text{m}$ 。喷涂完毕固化10 d。箱体喷涂开始到固化结束气温在 $9\sim 29\ ^\circ\text{C}$ 之间。测量漆膜厚度表显数据最大 $154\ \mu\text{m}$,最小 $96.2\ \mu\text{m}$,均值 $138.5\ \mu\text{m}$,计算得出实际漆膜厚度为 $77.3\ \mu\text{m}$ ($138.5-61.2=77.3$)。上清洗机超声清洗后醇酸漆膜没有变化,验证了漆膜厚度在 $50\sim 80\ \mu\text{m}$,温度 $9\sim 29\ ^\circ\text{C}$ 情况下醇酸漆完全固化时间是10 d。考虑到铸件粗糙表面喷涂油漆时厚度数据差异大,用膜厚仪时表显数据在 $120\sim 140\ \mu\text{m}$,可以兼顾漆膜最小厚度和最大厚度而得到要求漆膜干厚。

编制的作业文件会签时有人提出采用醇酸漆专用稀释剂。有些油漆多加点稀释剂反而固化更快。主要是因为稀释剂中的有机溶剂在短时间内挥发,带动油漆中的其他溶剂挥发使得油漆整体的干燥速度加快。作业文件改变了车间操作时加入溶剂汽油的做法,采用醇酸专用稀释剂。

5 结语

至此解决了车用齿轮箱和工业齿轮箱内腔醇酸耐油漆的铁屑污染和皂化问题,通过试验得到了醇酸耐油

漆的完全固化工艺参数和涂装施工改进点和其他数据。

1)醇酸耐油漆没有达到完全固化情况下会和碱性液体发生皂化反应,具体表现为褶皱和溶解缺陷。

2)醇酸漆的表干、实干一般都有实验室数据,但缺乏完全固化数据,影响工程使用。本试验通过实测,漆膜厚度不高于 $100\ \mu\text{m}$ 时,在 $-2\sim 16\ ^\circ\text{C}$ 下完全固化需要13 d,在 $9\sim 29\ ^\circ\text{C}$ 时完全固化需要10 d。从工艺试验得出的这两个数据可以类推出在 $-6\sim 10\ ^\circ\text{C}$ 时漆膜完全固化需要15 d左右, $15\sim 35\ ^\circ\text{C}$ 时需要8 d左右(推理数据,有待验证)。

3)在铸铁件上,相对于醇酸漆漆膜要求做厚,做薄更难。要想做薄,需要调整到合适的施工黏度,针对铸件粗糙度 $Rz63\sim 100\ \mu\text{m}$,要求漆膜干厚 $50\sim 80\ \mu\text{m}$ 一般做至表显数据 $120\sim 140\ \mu\text{m}$ 为宜。

4)必须注重铸铁件的表面粗糙度对漆膜厚度的巨大影响。表测漆膜厚度减去粗糙度修正值才能得到准确的漆膜厚度。本试验用膜厚仪测量铸件得到修正值 $61.2\ \mu\text{m}$,和喷砂有相当关系。国外有观点,粗糙度 $Rz100\ \mu\text{m}$ 以下修正值为 $25\ \mu\text{m}$ 。

5)两次喷涂,每次间隔24 h对漆膜固化影响较大,间隔时间拉长能明显加快漆膜固化周期。

6)使用醇酸漆专用稀释剂有助于漆膜表干,但完全固化的时间似乎变化不大,对完全固化几无影响。

7)醇酸漆的固化方式是氧化,保证和空气的接触有利于漆膜尽快固化。温度可以加快固化周期,通风有利于固化。

参考文献:

- [1] 许文彬,凌晓斐,赵亚丛,等.水性醇酸树脂及涂料的研究和应用进展[J].现代涂料与涂装,2024,27(9):36-38.
- [2] 《就业金钥匙》编委会.图解涂装工技能一本通[M].北京:化学工业出版社,2015:25-26.
- [3] 陈治良,刘渝萍,刘菊英,等.现代涂装手册[M].北京:化学工业出版社,2009:30-37.
- [4] 时晓,韩强,李娜,等.双组分水性底漆在铸铁件上的应用[J].现代涂料与涂装,2024,27(1):23-25.
- [5] 雷敬钦,黄勇,吕光耀,等.浅谈漆膜失光的原因和对策[J].现代涂料与涂装,2025,28(6):69-72.
- [6] 刘国杰.醇酸树脂涂料[M].北京:化学工业出版社,2015:160-173.
- [7] 王军方,陈小庆,杜亮亮,等.水性涂料在使用冷却油液的机床零件上的涂装试验[J].现代涂料与涂装,2025,28(6):16-19.
- [8] GB/T 6746—2008 船用油舱漆[S].