

# 柴油机水性涂料喷涂工艺研究及应用

饶树普, 曾高科, 马燕凤

(中车资阳机车有限公司, 四川 资阳 641300)

**摘要:** 本文介绍了柴油机水性涂料的技术指标、样件工艺试验方案和流程, 并在柴油机上应用。通过涂料性能检测以及涂层质量检测, 表明水性涂料的性能满足柴油机的应用环境和防腐要求。柴油机涂装工艺方法简单且成熟, 可以被广泛借鉴和推广应用。

**关键词:** 水性涂料; 柴油机; 技术指标

中图分类号: TQ639

文献标志码: A

文章编号: 1007-9548(2025)12-0037-05

## Research and Application of Diesel Engine Waterborne Coating Spraying Process

RAO Shu-pu, ZENG Gao-ke, MA Yan-feng

(CRRC Ziyang Locomotive Co., Ltd., Ziyang 641300, Sichuan, China)

**Abstract:** This article introduces the technical specifications, sample process testing plan and process of water-based coatings for diesel engines, and applies them to diesel engines. Through coating performance testing and coating quality testing, it has been shown that the performance of water-based coatings meets the application environment and anti-corrosion requirements of diesel engines. The coating process for diesel engines is simple and mature, and can be widely referenced and promoted for application.

**Key words:** water based coatings; diesel engine; technical indicators

### 0 引言

随着环保要求的提高, 各地方政府对涂料 VOC 的最低排放限值越来越低。采用活性炭吸附法处理 VOC 的工艺逐步被不推荐或淘汰, 催化燃烧等高效处理工艺被强制使用。单套设备动辄上百万元的投资以及昂贵的运行成本, 对使用油性漆的生产企业来说是沉重的经济负担。水性漆涂料的 VOC 含量较低, 使用活性炭吸附工艺可满足涂装过程达标排放, 并且水性漆涂装工艺已相对成熟, 油性涂料改水性涂料得到普遍认可。按照中车“双碳”要求, 从源头降低涂装 VOC 含量, 开展柴油机“油改水”工作。通过了解柴油机行业水性漆应用情况, 对涂料技术标准差异进行分析, 确定柴油机水性漆涂

料技术规范。制定工艺试验方案, 开展样件、样机工艺试验, 完成柴油机水性漆涂装工艺开发及应用。

### 1 涂料技术标准

柴油机机体及零部件涂料采用“环氧底漆+聚氨酯面漆”涂层体系, 既考虑了涂层的耐候性能, 又兼顾了油漆的外观装饰性。将内燃机车车体、构架使用的涂料技术规范与 YC 公司船用柴油机使用的《发动机涂料技术条件》进行对比, 充分考虑柴油机涂料的特殊运用环境, 制定柴油机水性涂料技术规范。

#### 1.1 水性底漆技术指标

油机水性环氧防锈底漆技术指标见表 1。相对普通油性涂料, 考虑到水性涂料的特性, 增加了抗流挂性、闪锈抑制性技术指标。考虑到柴油机的运用环境和涂料涂层的质量稳定性, 增加了耐热性、耐碱性、耐水性、耐机油性、耐柴油性、耐盐雾指标。在环保性能要求方面, 对涂料中的 VOC 含量、苯系物的含量进行了规定。

收稿日期: 2025-01-13

作者简介: 饶树普(1985—), 男, 本科, 工程师, 主要从事机车涂装工艺管理、表面处理技术和环保技术研究工作。E-mail: 542303586@qq.com。

表 1 水性环氧防锈底漆技术指标

项目	技术要求	执行标准
涂料颜色及外观	无杂质、无硬块,搅拌后呈均匀状态	RAL-K7, GB/T 9761
不挥发物含量/%	主剂与固化剂混合后 $\geq 50$	GB/T 1725—2007
VOC 含量/( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\leq 120$	GB/T 23985 或 GB/T 23986
细度/ $\mu\text{m}$	$\leq 30$	GB/T 6753.1
流出时间/s	主剂 $\geq 60$ ,主剂与固化剂混合后 $\geq 40$	GB/T 6753.4
抗流挂性/ $\mu\text{m}$	$\geq 125$	GB/T 9264
双组分涂料适用期/h	$\geq 4$	Q/CRRC J44—2019
表干时间/h	$\leq 2$	GB/T 1728—1989
实干时间/h	$\leq 12$	GB/T 1728—1989
强制干燥时间( $60\pm 2$ ) $^{\circ}\text{C}$ /h	$\leq 2$	GB/T 1728—1989
涂膜颜色及外观	褐红色(RAL3011),表面色调均匀一致,无颗粒、针孔、气泡、皱纹	GB/T 11186.2
闪锈抑制性(钢铁底材)	无闪锈	HG/T 4759—2014
划格试验/级	$\leq 1$	GB/T 9286
弯曲性能/mm	$\leq 2$	GB/T 6742
杯突试验/mm	$\geq 4.0$	GB/T 9753
耐热性( $(150\pm 2)$ $^{\circ}\text{C}$ ,1 h)	涂膜基本无变化	GB/T 1735
耐热性( $(200\pm 5)$ $^{\circ}\text{C}$ ,6 h)	外观:板面无粉化、开裂、起泡、脱落等缺陷划格	GB/T 1735
耐冲击性/cm	$\geq 50$	GB/T 1732
耐溶剂擦拭试验(丁酮,往复擦拭 25 次)	擦拭完成后,立即与邻近区域的涂膜外观和硬度进行比较,应无明显变化;涂膜无露底、无溶解	ASTM D 5402
耐盐雾性	底材为钢板时 600 h;铝板和不锈钢 1 000 h;板面无起泡、不生锈;划痕处涂膜损坏或锈蚀宽度 $\leq 2$ mm(单向),刀片撬动附着力无明显降低	GB/T 1771
苯含量/%	不含	GB 24409
光泽度( $60^{\circ}$ )/%	$\geq 10$	GB/T 9754
耐碱性(3 g/L NaOH,2 h)	涂膜基本无变化	Q/CRRC J44—2019
铅笔硬度	$\geq \text{B}$	GB/T 6379
耐水性( $(40\pm 1)$ $^{\circ}\text{C}$ )	120 h 漆膜不起皱、不起泡	GB/T 5209
耐机油性( $(80\pm 1)$ $^{\circ}\text{C}$ )	48 h 漆膜不起皱、不起泡(油品选用国产-四代 NY-120 机油)	GB/T 5209
耐柴油性(室温 20~30 $^{\circ}\text{C}$ )	48 h 漆膜不起皱、不起泡(油品选用 0 号柴油)	HG/T 3343

## 1.2 水性面漆技术指标

柴油机水性聚氨酯面漆技术指标见表 2。

相对水性环氧防锈底漆,水性聚氨酯面漆对划格、弯曲、耐冲击、耐水性、耐机油性、耐柴油性、耐盐雾等指标要求一致,对硬度、细度、VOC 含量、耐溶剂擦拭等指标有微小差异。最大的差异之处是水性聚氨酯面

漆增加了耐沾污性、耐磨性、耐人工气候加速试验要求。

## 1.3 水性耐高温金属漆技术指标

水性高温漆采用基料和粉料按照特定比例混合而成,在常规的水性漆技术要求外,增加耐高温性能指标,见表 3。

表 2 水性聚氨酯面漆技术指标

项目	技术要求	执行标准
涂料颜色及外观	贮存 1 年搅拌后呈均匀状态	RAL-K7, GB/T 9761
不挥发物含量/%	≥45	GB/T 6751
VOC 含量/(g·L <sup>-1</sup> )	≤240	GB/T 23985 或 GB/T 23986
细度 /μm	≤20	GB/T 6753.1
流出时间/s	主剂≥40, 主剂与固化剂混合后≥20	GB/T 6753.4
抗流挂性/μm	≥125	GB/T 9264
双组分涂料适用期/h	≥4	Q/CRRC J44—2019
表干时间/h	≤2	GB/T 1728
实干时间/h	≤24	GB/T 1728
强制干燥时间((60±2) °C)/h	≤2	GB/T 1728
涂膜颜色及外观	颜色符合设计或合同要求, 表面色调均匀一致, 无颗粒、针孔、气泡、皱纹	GB/T 11186.2
遮盖力/(g·m <sup>-2</sup> )	黑色≤50, 灰色≤70, 绿色≤70, 蓝色≤90, 白色≤120, 红色≤150, 黄色≤150	GB/T 1726
划格试验/级	≤1	GB/T 9286
弯曲性能/mm	≤2	GB/T 6742
杯突试验/mm	≥4.0	GB/T 9753
耐热性((150±2) °C, 1 h)	漆膜无明显变化	GB/T 1735
耐冲击性/cm	≥50	GB/T 1732
耐溶剂擦拭试验(丁酮, 往复擦拭 50 次)	擦拭完成后立即与邻近区域的涂膜外观和硬度进行比较, 涂膜应无明显变化	ASTM D 5402
耐沾污性/级	≤1	GB/T 9780—2013
中性盐雾试验	耐盐雾≥600 h 或 ≥1 000 h, 划痕处涂膜损坏或锈蚀宽度≤2 mm (单向), 刀片撬动附着力无明显降低	GB/T 1771
苯含量/%	不含	GB 24409
光泽度(60°)/%	满足设计要求	GB/T 9754
耐 3% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (2 h)	涂膜基本无变化	Q/CRRC J44—2019
耐碱 3 g/L NaOH(2 h)	涂膜基本无变化	Q/CRRC J44—2019
耐 5% HAc(2 h)	涂膜基本无变化	Q/CRRC J44—2019
耐磨性(CS-10 砂轮, 500 r/750 g)/mg	≤30	GB/T 1768
耐人工气候加速试验(1 000 h)/级	≤2	GB/T 14522, GB/T 1766
铅笔硬度	≥HB, 无擦伤	GB/T 1730
耐水性((40±1) °C)	120 h 漆膜不起皱、不起泡	GB/T 5209
耐机油性((80±1) °C)	48 h 漆膜不起皱、不起泡(油品选用国产-四代 NY-120 机油)	GB/T 5209
耐柴油性(室温 20~30 °C)	48 h 漆膜不起皱、不起泡(油品选用 0 号柴油)	HG/T 3343

表3 水性耐高温金属漆技术指标

项目	技术要求	执行标准
容器中状态	粉料:呈均匀粉末;基料:搅拌后无硬块,呈均匀状态	
不挥发物含量/%	≥70	GB/T 6751
VOC含量/(g·L <sup>-1</sup> )	≤240	GB/T 23985 或 GB/T 23986
表干时间/h	≤2	GB/T 1728
实干时间/h	≤24	GB/T 1728
强制干燥时间((60±2)℃)/h	≤2	GB/T 1728
划格试验/级	≤1	GB/T 9286
弯曲性能/mm	≤2	GB/T 6742
耐冲击性/cm	≥50	GB/T 1732
耐高温性(700℃)	保温1h不变色、不脱落	
中性盐雾试验	耐盐雾≥600h或≥1000h,划痕处涂膜损坏或锈蚀宽度≤2mm(单向),刀片撬动附着力无明显降低	GB/T 1771

## 2 柴油机水性涂料工艺试验

### 2.1 工艺试验方案设计思路

在样机试验产品选择上,材质包含柴油机常用产品和排气结构高温件特殊产品。选取具有代表性的铸铁、铝件、碳素钢管等常温件、排气管等高温件作为样件进行水性漆工艺试验。按照样件试验准备(油漆物料、样件)、工艺安全培训、样件试验(底漆、面漆)、柴油机样车喷涂、工艺总结及优化、批量装车应用的路线进行工艺试验。

水性漆样件工艺试验流程包括样件表面处理(除锈、清灰、清洗)、水性漆调配、水性底漆喷涂(“湿碰湿”两遍)、干燥、水性底漆漆膜质量检测(厚度、附着力、外观状态)、机油擦洗试验、屏蔽、打磨、水性面漆喷涂(“湿碰湿”一遍)、干燥、水性面漆漆膜质量检测(厚度、附着力、光泽度、外观状态)。在喷涂样件底漆和面漆时需喷涂伴随样板各6件,送检测机构检测耐热性、耐盐雾、耐柴油性、耐碱性、耐水性、耐机油性。

样机(柴油机)试验:完成水性漆涂装工艺文件编制,按照项目推进,确定机型,采购水性漆物料。按照涂装作业指导书要求进行柴油机样机喷涂试验。样机试验结束后,修正工艺参数,编制柴油机水性漆涂装工艺文件,满足批量应用条件。

### 2.2 柴油机水性涂料样件工艺试验

1)样件表面处理。试验样件表面锈蚀部位,用风磨机进行打磨。打磨后用清洗剂进行冲洗,冲洗后用高压风吹干样件,要求样件表面达到Sa2.5级,即表面无可见的油脂、污垢、氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物。

2)水性涂料调配。记录环境温湿度,遇低温采取加

热措施,遇高温采取通风降温措施。底漆主剂搅拌5min,按照漆固比,在配漆桶中倒入固化剂,根据少量多次的原则,兑入适量去离子水,搅拌3min,然后用涂-4杯测量黏度。水性底漆施工黏度控制在80~100s,水性面漆施工黏度控制在70~90s,静置15min后可进行喷涂作业。水性高温漆调配时,按照质量比在调漆桶中依次加入基料(乳液)和粉料(金属粉末),采用气动搅拌机搅拌20min后可进行喷涂。

3)水性涂料喷涂。采用空气喷枪喷涂试验样件,水性底漆“湿碰湿”两遍。喷涂水性面漆时,先对边缘位置预喷一遍,再“湿碰湿”喷涂一遍。水性高温漆“湿碰湿”一遍即可,控制漆膜厚度在20~40μm。

4)水性涂料质量检测。样件水性漆干燥,可采用自然干燥,也可在60℃的温度下烘烤2h。干燥后,对样件喷涂的水性底漆外观、漆膜厚度、耐机油性进行检查,对样件喷涂的水性面漆的外观、漆膜厚度、光泽度进行检查,对试验样件排气支管喷涂的水性高温漆的外观、漆膜厚度、附着力进行检查。

### 2.3 柴油机水性涂料样件工艺试验结果分析

#### 2.3.1 水性底漆涂层厚度检测

采用漆膜测厚仪检测已实干的底漆涂层,检测结果见表4。

采用“湿碰湿”喷漆喷涂管路、弯头和罩盖,底漆漆膜厚度满足技术要求(技术要求底漆漆膜厚度满足60~150μm)。

#### 2.3.2 复合涂层(水性底漆+水性面漆)厚度检测

采用漆膜测厚仪对复合涂层进行漆膜厚度检测,检测结果见表5。

表4 底漆漆膜厚

μm

样件	测量数据										平均值
管路	66.0	78.9	62.9	74.8	66.2	84.1	66.4	80.5	74.1	67.8	72.2
弯头	74.2	54.9	61.2	77.5	91.5	80.3	80.4	106.0	88.0	88.8	80.3
罩盖	98.9	61.5	71.1	122.0	129.0	118.0	92.7	87.2	95.3	70.5	94.6

表5 复合涂层(底漆+面漆)漆膜厚度

μm

样件	测量数据										平均值
管路	112.0	89.6	123.0	175.0	103.0	122.0	127.0	148.0	146.0	108.0	125.4
弯头	139.0	202.0	107.0	114.0	123.0	91.4	116.0	131.0	120.0	132.0	127.5
罩盖	175.0	142.0	130.0	122.0	156.0	101.0	99.0	132.0	125.0	108.0	129.0

采用预喷+“湿碰湿”工艺喷漆喷涂管路、弯头和罩盖,漆膜厚度满足技术要求(技术要求符合涂层总漆膜厚度满足 100~250 μm),且涂层均匀性更好,不同样件的漆膜平均值接近。

### 2.3.3 漆膜外观、附着力、耐机油性、光泽度检测

外观方面,采用目视法对底漆涂层、复合涂层进行外观质量检测,漆膜成型良好,无明显流坠、橘纹、气孔。

附着力方面,用划格器对管路、弯头和罩盖进行检查,附着力均为 1 级,满足技术要求“≤1 级”。

耐机油性方面,用国产-四代 NY-120 机油对样件底漆进行擦洗,未出现脱落、咬底和褪色问题,满足涂装工艺要求。

光泽度方面,用光泽度仪器(60)对罩盖样件面漆检测,光泽度数据为 90.8%、90.1%、89.4%、88.6%,满足技术要求“>85%”。

### 2.3.4 水性耐高温金属漆外观、漆膜厚度、附着力检测

采用目视法对复合涂层进行外观质量检测,漆膜成型良好,无明显流坠、橘纹、气孔。为降低涂层过厚在高温运行条件下的脱落风险,试验时厚度控制在 30~60 μm,采用漆膜测厚仪检测排气支管高温漆厚度为 44.1、55.0、45.5、53.0、38.8、43.5、54.6 μm,满足试验要求。用划格器对排气支管进行检查,附着力均为 1 级,满足技术要求“≤1 级”。

### 2.3.5 工艺试验结论

通过对试验样件水性底漆、水性面漆的涂装质量(外观、漆膜厚度、附着力、光泽、耐机油性等)进行检查,达到柴油机涂装技术指标要求,评审合格。表明水性漆在柴油机上应用是可行的,现有的涂装设备、工具基本能满足柴油机水性漆涂装作业。为保证漆膜的均匀性,优化和固化喷涂工艺,采用预喷+“湿碰湿”工艺可让涂层质量更优。

## 3 柴油机水性涂料样机喷涂

在 2 台 16V240、16V280 柴油机上进行水性漆样机试验,检验水性漆膜的性能是否满足柴油机涂装技术条件。

### 3.1 涂料性能检测

将涂料厂家提供的水性底漆、水性面漆制作成样板,按照表 1~2 的项目进行涂料性能指标检测,检测结果合格的情况下再进行样机喷涂。

### 3.2 样机水性漆喷涂

按《柴油机部件油漆作业指导书》要求,对机体、油底壳、气缸盖、罩盖等喷涂水性底漆和水性面漆。按照水性漆厂家的漆固比调配油漆。底漆施工黏度(70±10) s,面漆施工黏度(90±10) s。采用空气喷枪,按照样件工艺试验中的水性底漆、水性面漆喷涂工艺喷涂罩盖、机体等部件。

### 3.3 样机试验结果

水性底漆、水性面漆的性能检测结果合格,符合技术规范要求。

机体、油底壳、气缸盖、罩盖等部件的漆膜厚度 100~250 μm,满足技术要求;附着力均为 1 级,满足技术要求“≤1 级”。采用目视法对复合涂层进行外观质量检测,漆膜成型良好,无明显流坠、橘纹、气孔。采用手工喷涂,“湿碰湿”工艺可满足柴油机油漆厚度要求及外观质量要求。样机试验中水性底漆、水性面漆的涂装质量满足柴油机涂装技术指标要求,评审合格。

## 4 结语

对 2024 年涂装的 2 台柴油机进行跟踪,经过 6 个月的运行考核,柴油机未出现涂层脱落、褪色、起泡等问题,证明柴油机涂层“油改水”可行,涂层质量可靠。