

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2020.10.008

# 干冰前处理方式在农业机械现场涂装维修技术中的应用研究

李红艳\*, 李增权

(河南质量工程职业学院, 河南 平顶山 467001)

**摘要:** 采用带锈钢材、带胶钢板以及带窄缝结构等类型的试样替代农机涂装破坏后表面状况, 研究了干冰前处理方式对三类试样的处理效果, 分析了试样经前处理和涂装施工后的涂层厚度、涂层附着力及耐蚀性等性能, 并与喷砂处理方式进行了对比。结果表明, 干冰前处理方式处理效果优异, 可有效去除基材表面的胶类、锈蚀等污物以及带窄缝结构的污物。试样经干冰前处理和涂装施工后的涂层厚度与喷砂相当, 涂层附着力及耐蚀性优于喷砂。该处理方式适合作为环境恶劣的农机漆膜修补前处理, 具有推广前景。

**关键词:** 农业机械; 干冰前处理; 涂装维修

**中图分类号:** TG174.461      **文献标识码:** A

## Study on the Application of Dry Ice Pretreatment in Painting and Maintenance Technology of Agricultural Machinery

LI Hongyan\*, LI Zengquan

(Henan Quality Polytechnic, Pingdingshan 467001, China)

**Abstract:** The rusty steel, glued steel and narrow seam structure were used to substitute the surface condition of damaged agricultural machinery coating. The treatment effect of dry ice pretreatment on three kinds of samples was studied. The coating thickness, coating adhesion and corrosion resistance of the samples after pretreatment and coating construction were analyzed, and compared with sandblasting treatment. The results showed that the dry ice pretreatment method had excellent treatment effect, and can effectively remove the dirt such as glue and rust on the substrate surface and the dirt in narrow seam structure. The coating thickness of the sample after dry ice pretreatment and coating construction was equivalent to that of sandblasting, while the adhesion and corrosion resistance of the coating were better than that of sand blasting. The dry ice treatment method was suitable for the pretreatment of repairing agricultural machinery paint film with bad working environment, and had the prospect of popularization.

**Keywords:** agricultural machinery; dry ice pretreatment; painting maintenance

农业机械工作环境恶劣, 经常是户外作业, 一年四季反复经受阴雨与暴晒, 一旦其保护涂层受到

破坏, 维修不及时或不良, 农机就会腐蚀加速, 且影响外表美观。但目前受限于维修技术不灵活, 操作

收稿日期: 2020-02-20

修回日期: 2020-03-26

通信作者: 李红艳, email: sbxaau@163.com

不便,受损破坏后,多采用如下方式处理:(1)任其破坏下去;(2)简单打磨后补漆,维修效果较差。实际上之所以采取上述处理方式,是因为目前较为成熟的补漆前处理工艺(如:磷化、喷砂等)均不方便,且属于非环保工艺<sup>[1-2]</sup>。为了提高农业机械损坏漆膜的维修质量,继而保证设备的服役寿命,需重新考察各类现行的工艺技术,包括前处理与涂装技术,并进行性能测试,为农机漆膜破坏维修提供借鉴。

## 1 前处理方案

涂装传统的前处理方式为人工打磨、化成、磷化与喷砂等。人工打磨是采用不同型号的砂纸对需要涂装的位置进行处理,去除油污与氧化皮等,劳动强度较大,对零星维修来讲是比较合适的,但不利之处在于有些零部件结构比较复杂,尤其是存在非平面或者人工不易达到的区域,除锈效果较差,可能会影响到涂装性能。化成与磷化属于正常的车间生产技术,处理方法是采用溶液浸泡的方式在零部件表面生成一层致密的化合物层作为涂装基底,对于农机设备补漆来讲是不可取的,零部件是无法拆卸下来进行处理的。喷砂则是对砂粒进行加速,击打在零部件表面,用于去除其表面的污物,同样属于非环保工艺。

近年来,干冰清洗服务这一新的技术在世界各地迅速扩大,干冰即固体二氧化碳 $\text{CO}_2$ ,其熔点为 $-78.5\text{ }^\circ\text{C}$ 。干冰清洗技术是利用极低温的干冰颗粒,在压缩空气作用下,干冰颗粒被加速到接近音速后撞击被清洗的表面污垢,表面污垢突然降温导致表面脆化并爆裂,干冰粒钻进污垢的裂缝后,随即汽化,其体积膨胀近800倍,把污垢带离物体表面<sup>[3-4]</sup>。干冰清洗方法比喷砂更具优越性,且无二次污染。此外,干冰制备成固体颗粒之后,非常便于运输与发送,可供现场,适合农机类零部件的零星补漆操作。基于以上分析,本论文研究采用的前处理方式为干冰清洗。

## 2 实验部分

### 2.1 基材选择

因为本研究目的主要是解决农业机械带有锈蚀或者污物的零部件进行涂装补漆维修,所以基底

材料选择带锈钢铁材料和不易去除污物的带胶钢铁材料。试片规格为 $100\text{ mm}\times 70\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ 。另外选择一类带孔的零部件,因为孔内污物也不易处理,孔的规格为 $\Phi 80\text{ mm}$ ,孔深 $10\text{ mm}$ ,孔内夹角接近 $90^\circ$ 。

### 2.2 干冰清洗及检测

基于经验,干冰规格为 $3\text{ mm}\times 3\text{ mm}\times 16\text{ mm}$ 。喷口规格约为 $200\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ ,喷洗过程中喷口与水平面夹角成 $60^\circ\sim 85^\circ$ ,距零部件表面约 $120\sim 150\text{ mm}$ ,压缩空气 $0.6\sim 0.7\text{ MPa}$ ,流量 $5\text{ m}^3/\text{min}$ ,干冰处理过程中试样用工装固定。干冰清洗之后直观检测试样表面异物去除状况,并采用佳能DS126231型号相机拍照。

### 2.3 涂装施工及性能检测

涂装施工工艺:底漆2遍 $\rightarrow 24\text{ h}$ 晾干 $\rightarrow$ 面漆2遍 $\rightarrow 24\text{ h}$ 晾干。喷孔直径为 $3\text{ mm}$ ,空气喷出压力为 $0.4\text{ MPa}$ 。底漆膜厚 $35\sim 45\text{ }\mu\text{m}$ ,总膜厚 $100\sim 130\text{ }\mu\text{m}$ 。

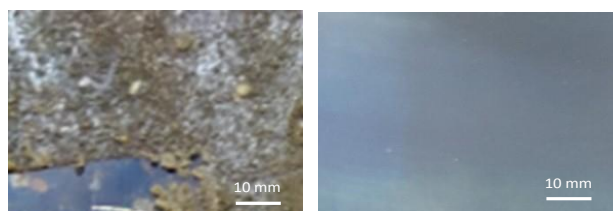
漆膜厚度选用DP-2100测量仪测试,分别测试底漆膜层厚度与膜层总厚度。膜层附着力选用DeFelskoAT-A拉拔仪测试。耐蚀性选用JST-120盐雾腐蚀试验箱测试, $5\%$  NaCl溶液,pH为 $6.5\sim 7.2$ ,温度 $35\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ ,连续喷雾,观察周期 $100\text{ h}$ ,试验总时间为 $1300\text{ h}$ 。所有试验均测试3个样品。

## 3 结果与讨论

### 3.1 前处理

带胶钢板处理之前黏胶的厚度约为 $2\text{ mm}$ ,选择此类基体的原因是农业机械作业环境较差时,有时会黏附上一些不易去除的污物,所以本文采用极限进行替代,使用黏度很大、极其不易去除的黏胶。图1为带胶钢板采用干冰清洗方式处理前后的效果图。可以看到,干冰清洗后试验基材上面的黏胶处理的非常彻底,试样呈现出来光亮的金属光泽。

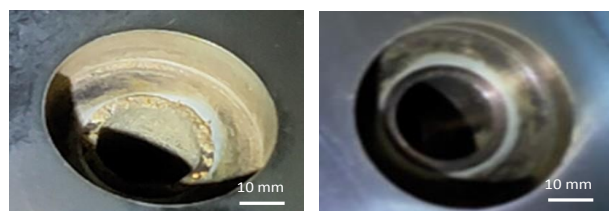
锈蚀钢板处理之前铁锈的厚度约为 $2\text{ mm}$ 。基材经常遭遇各类阴雨天气,一旦保护不良,漆膜破坏钢板非常容易发生腐蚀,一般补漆之前采用的是人工打磨,锈蚀同样不易除净。图2为锈蚀钢板采用干冰清洗方式处理前后的效果图。可以看出,采用干冰清洗之后,试验基材上面的锈蚀处理非常彻底,试样呈现出金属颜色。



(a) 处理前 (b) 处理后

图1 带胶钢板干冰清洗效果

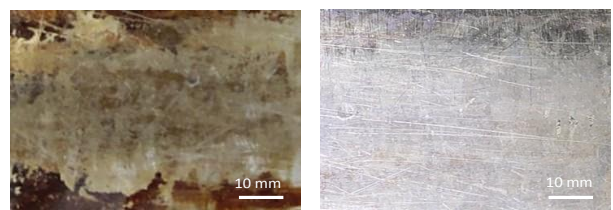
Fig.1 Dry ice cleaning effect of steel plate with glue



(a) 处理前 (b) 处理后

图3 带孔钢板干冰清洗效果

Fig.3 Dry ice cleaning effect of perforated steel plate



(a) 处理前 (b) 处理后

图2 锈蚀钢板干冰清洗效果

Fig.2 Dry ice cleaning effect of rusted steel plate

带孔零部件孔深约为 10 mm, 孔内夹角接近 90°, 人工无法打磨。选择此类基体则是因为多数零部件并非是一个平面, 如果存在多个平面, 在补漆前进行人工前处理是不易处理彻底的, 尤其是带孔结构且孔比较深的状况下更难处理。图 3 为带孔钢板采用干冰清洗方式处理前后的效果图。可以看到, 干冰清洗之前, 带孔钢板孔内附着有油污、黏胶与灰尘, 经过干冰清洗之后, 试验基材上面的污物处理的非常彻底, 孔内部呈现出来光亮的金属光泽。

通过以上试验, 可以看出干冰清洗对于带锈钢材、带胶钢板与窄缝结构具有良好的清洗效果, 清洗效果汇总如表 1 所示。试验过程同期采用喷砂方式对试样进行前处理, 以同干冰清洗效果进行对比, 处理效果同样列于表 1 中。从表 1 可以看出, 采用喷砂处理方式对带锈钢材与带胶钢板的污物可以彻底处理, 但处理后的基材无金属光泽, 而带孔结构孔内部不易处理, 处理后仍旧留有黏胶, 清理效果明显低于干冰清洗方式。分析喷砂与干冰清洗的过程, 干冰清洗方式确实更具优势, 喷砂采用硬质砂粒进行加速后击打零部件的表面从而将表面的污物除去。而干冰清洗方式除去冰粒被加速击打零部件表面清除污物的效果外, 从压缩空气喷嘴喷出的“寒冷”干冰颗粒还可对去除的材料“爆炸”, 导致材料收缩并失去其下表面的附着力<sup>[5]</sup>。此外, 一些干冰穿透要去除的材料, 与下面的表面接触, 较暖的表面可使干冰升华为二氧化碳, 体积增加 800 倍, 在材料下面膨胀, 可加速去除效果, 更有利于清除零部件表面的污物。

表1 干冰清洗及喷砂前处理效果汇总表

Tab.1 Effect summary of dry ice cleaning and sand blasting pretreatment

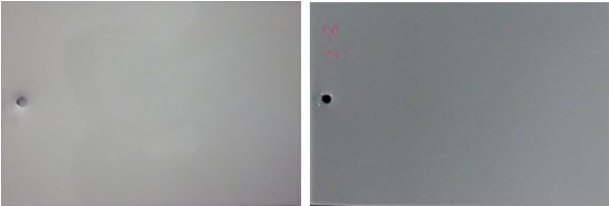
基体	基材描述	前处理效果	
		干冰	喷砂
带锈钢材	锈蚀厚度约 2 mm	锈蚀被彻底处理, 露出金属颜色	锈蚀被彻底处理, 无金属光泽
带胶钢板	黏胶厚度约 2 mm	黏胶被彻底处理, 露出金属颜色	黏胶被彻底处理, 无金属光泽
带孔结构	孔内夹角接近 90°, 人工无法打磨	孔内彻底处理, 露出金属颜色	孔内部不易处理, 仍旧留有黏胶

### 3.2 涂层厚度

几种基材经过干冰清洗前处理并涂装施工后, 漆膜状况良好, 没有漆豆、流挂、气泡、起皮与针孔现象, 如图 4 所示。试验中测试了涂层的厚度, 分别测试了底漆膜层厚度与膜层总厚度, 每一种基材测试 6 件样品, 测试结果列于表 2 中。为比较干冰前处理的技术优势, 同一种基材分别采用喷砂前处

理与干冰前处理, 各 3 件, 所有测试结果取平均值作为标准。试验中采用喷砂作为比较的主要原因是喷砂与干冰的作用方式比较接近, 且均适合现场维修, 至于砂纸打磨则由于劳动强度较大和不易彻底去除污物, 不做比较。而化成则因为要进行浸泡且作为农用机械的零部件补漆不适合拆卸, 所以也不适合现场维修。由表 2 可以看出, 底漆膜厚介于

140 ~ 145 μm 之间,总厚度介于 215 ~ 226 μm 之间,无论是底漆还是总厚度均相差不大,对测试其涂层的相关性能更具说服力。



(a)带胶钢板 (b)带锈钢板

图 4 涂装效果

Fig.4 The coating effect of steel plate

3.3 涂层附着力

本文测试了修复涂层的附着力,除带孔结构的涂装层之外,表 2 中所有样品均进行了测试,每个试样测试 3 个位置,结果如表 3 所示。

基材为带胶钢板的样品,采用喷砂前处理方式后进行涂装,其涂层附着力介于 7.1 ~ 7.6 MPa 之间,均值 7.34 MPa,而采用干冰清洗方式后进行涂装,其涂层附着力介于 7.3 ~ 7.8 MPa 之间,均值 7.54 MPa。通过以上数据可以看出,采用干冰清洗方式进行前处理后涂装,其涂层附着力优于采用喷砂前处理后进行涂装的附着力,且干冰作业过程比较清洁,不会造成环境污染,所以干冰前处理方式进行农用机械的涂层维修是比较理想的。同样对于锈蚀钢材,采用喷砂前处理方式后进行涂装,其涂层附着力介于 6.7 ~ 7.5 MPa 之间,均值 7.18 MPa,而采用干冰清洗方式后进行涂装,其涂层附着力介于 6.9 ~ 7.7 MPa 之间,均值 7.28 MPa。同样可以看出,采用干冰清洗方式进行前处理后涂装,其涂层附着力优于采用喷砂前处理后进行涂装的附着力。以上涂层附着力的分析结果也进一步说明干冰清洗方式具有更加优异的处理效果。

表 2 涂层底漆厚度和总厚度

Tab. 2 Primer coating thickness and total thickness

基材类型	前处理类型	试样 1		试样 2		试样 3		平均值	
		底漆厚度/μm	总厚度/μm	底漆厚度/μm	总厚度/μm	底漆厚度/μm	总厚度/μm	底漆厚度/μm	总厚度/μm
带胶钢板	喷砂	142	217	140	218	145	225	142.0	220.0
	干冰清洗	142	215	142	220	140	216	141.3	217.0
锈蚀钢材	喷砂	144	223	142	222	141	216	142.3	220.3
	干冰清洗	140	216	143	220	141	219	141.7	218.3
带窄缝结构	喷砂	144	226	141	219	143	219	143.0	221.0
	干冰清洗	140	224	141	220	141	219	140.7	221.0

表 3 涂层附着力统计结果

Tab. 3 Statistical results of coating adhesion

基材	涂层附着力/MPa									
	喷砂					干冰清洗				
	试样	位置 1	位置 2	位置 3	平均	试样	位置 1	位置 2	位置 3	平均
带胶钢板	1#	7.1	7.4	7.2	7.34	1#	7.6	7.4	7.3	7.54
	2#	7.4	7.5	7.6		2#	7.7	7.6	7.8	
	3#	7.2	7.3	7.4		3#	7.4	7.6	7.5	
锈蚀钢材	4#	7.3	6.7	6.9	7.18	4#	6.9	7.5	7.1	7.28
	5#	7.4	7.1	7.2		5#	7.3	7.6	7.4	
	6#	7.3	7.5	7.2		6#	7.7	7.5	7.4	

3.4 中性盐雾腐蚀试验

中性盐雾试验结果如表 4。由于在附着力的测试过程中,不同基材采用喷砂与干冰前处理漆膜表现出同样的规律,所以中性盐雾选择带胶钢材作为

代表,分别测试底漆、底漆+面漆的耐腐蚀性能。由表 4 可以看出,干冰清洗前处理的材料的底漆漆膜进行到 400 h,涂层无起泡、剥落、生锈与开裂现象,涂层保持良好状况,进行到 500 h,底漆漆膜出现红



锈。底漆+面漆漆膜进行到 1200 h, 涂层无起泡、剥落、生锈与开裂现象, 涂层保持着良好状况, 进行到 1300 h, 底漆漆膜出现红锈。而采用喷砂前处理的材料的底漆漆膜进行到 300 h, 涂层无起泡、剥落、生锈与开裂现象, 涂层保持良好状况, 进行到 400 h, 底漆漆膜出现红锈。底漆+面漆漆膜进行到 1200 h, 涂层无起泡、剥落、生锈与开裂现象, 涂层保持良好状况, 进行到 1300 h, 底漆漆膜出现红锈。

表 4 中性盐雾腐蚀试验红锈时间

Tab. 4 Red rust time of neutral salt spray corrosion test

前处理	漆膜	测试时间/h							
		...	400	500	...	1000	1100	1200	1300
干冰	底漆	未起泡、未剥落、未生锈、未开裂			红锈				
	底漆+面漆	未起泡、未剥落、未生锈、未开裂							红锈
喷砂	底漆	未起泡、未剥落、未生锈、未开裂			红锈				
	底漆+面漆	未起泡、未剥落、未生锈、未开裂							红锈

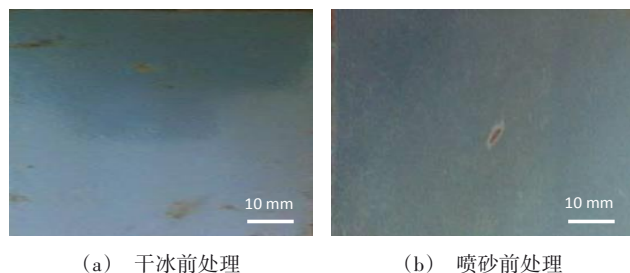


图 5 盐雾试验后涂层腐蚀状况

Fig.5 Corrosion result of coating after salt spray test

## 4 结论

本文采用带锈钢材、带胶钢板与带孔结构等类型的试样替代农业机械涂装破坏形式, 研究了干冰清洗方式对于此类试样的清洁处理效果, 对处理后的样品进行了涂装施工, 并测试了涂层厚度、涂层附着力及耐蚀性等性能。研究表明, 干冰处理技术对三类试样的处理效果优异, 且干冰处理属于清洁生产方式, 具有便利移动操作方便的特点, 与传统的清洗方式, 如人工打磨、化成、磷化、喷砂等相比, 其污染小, 零部件不黏附清洗溶液, 劳动强度不增加。无论基材是简单结构或者复杂结构, 干冰处理方式对于去除锈蚀、胶类污物的效果均十分明显, 因此更加适合作为涂装, 尤其是适合工作环境比较恶劣的农机类零部件的涂装修复, 具有推广前景。

盐雾试验结束时涂层的腐蚀状况如图 5 所示。

中性盐雾试验结果进一步证明了不同方式前处理后进行涂装获得漆膜附着力的优劣。可以看出, 干冰前处理方式的优势更加明显, 可以彻底清洗表面的污物, 所以其附着力更优, 继而其漆膜耐腐蚀性能更优。由此可见, 采用干冰前处理方式, 属于环保工艺, 操作简单, 适合零星的现场维修, 且可以获得性能优良的涂装涂层, 是比较理想的。

## 参考文献

- [1] 李红艳. 喷砂粒径对农业机械涂装膜层性能的影响. 电镀与精饰, 2019, (7): 36-39.  
Li H Y. Effect of sand blasting particle size on property of coating layer of agricultural machinery [J]. Plating & Finishing, 2019, (7): 36-39 (in Chinese).
- [2] 李红艳, 李增权, 徐明磊. 农用机械便利型涂装修复技术[J]. 电镀与精饰, 2018, (12): 33-37.  
Li H Y, Li Z Q, Xu M L. General type painting repair technology of agricultural machinery [J]. Plating & Finishing, 2018, (12): 33-37 (in Chinese).
- [3] 陈俊卫, 牧灏, 胡全, 等. 干冰清洗对复合绝缘子用硅橡胶憎水性的影响研究[J]. 电力大数据, 2019, (6): 86-92.  
Chen J W, Mu H, Hu Q, et al. Effect of dry ice cleaning on hydrophobicity of silicone rubber for composite insulators [J]. Power Systems and Big Data, 2019, (6): 86-92 (in Chinese).
- [4] 王国志, 罗毅, 吴文海, 等. 铁路绝缘子干冰清洗喷枪优化研究[J]. 机床与液压, 2017, 48(13): 84-87+120.  
Wang G Z, Luo Y, Wu W H, et al. Study on optimization of spray gun of dry ice cleaning system for railway insulator [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2017, 48(13): 84-87+120 (in Chinese).
- [5] 吕平. 干冰微粒喷射技术综述[J]. 真空科学与技术学报, 2016, 36(8): 955-961.  
Lv P. Latest progress in cleaning/polishing of delicate surfaces by CO<sub>2</sub> snow jet spraying [J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2016, 36(8): 955-961 (in Chinese).