



Global Alliance to
Eliminate Lead Paint



全球环境基金（GEF）项目9771：《国际化学品管理战略方针（SAICM）》关注的新兴政策问题的全球最佳实践

含铅涂料重配方技术指南

联合国环境规划署

© 2022 年联合国环境规划署

ISBN: 978-92-807-3940-4

工作编号: DTI/2438/GE

复制

本出版物的全部或部分内容以及任何形式的教育或非营利性服务均可复制，无需获得版权所有者的特别许可，但须注明来源。联合国环境规划署希望收到以本出版物为资料来源的任何出版物的副本。

未经联合国环境规划署事先书面许可，不得将本出版物用于转售或任何其他商业目的。申请这种许可，并说明复制的目的和范围，应寄给联合国环境规划署通信司司长，P. O. Box 30552, Nairobi 00100, Kenya。

免责声明:

本出版物所使用的名称和材料的编排方式并不意味着联合国秘书处对任何国家、领土、城市或地区或其当局的法律地位，或对其边界或界线的划分表示任何意见。关于出版物中使用地图的相关问题的一般指导，见 <http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>。

本文件中提到的公司或商业产品并不意味着得到联合国环境规划署或作者的认可。不允许将本文件中的信息用于广告或宣传。商标名称和符号是以编辑方式使用的，无意侵犯商标或版权法。

本出版物中的观点是作者的观点，不一定反映联合国环境规划署的观点。我们对可能无意中出现的任何错误或遗漏表示遗憾。

© 地图、照片和插图均有注明。

排版和平面设计: Mile Losic

建议引用格式: 联合国环境规划署 (2022) 含铅涂料重配方技术指南, 瑞士, 日内瓦。

本文件的编写根据的是全球环境基金 (GEF) 全面规模项目 9771: 国际化学品管理战略方针 (SAICM) 关注的新兴政策问题的全球最佳实践。该项目由全球环境基金资助，由环境规划署执行，由战略方针秘书处制作。塞尔维亚国家清洁生产中心感谢全球环境基金为该文件的开发、编辑和设计所作的财政贡献。



全球环境基金（GEF）项目 9771：《国际化学品管理战略方针（SAICM）》关注的新兴政策问题的全球最佳实践

第 1 部分：推动政府和行业采取监管和自愿行动，逐步淘汰涂料中的铅

含铅涂料重配方技术指南

鸣谢

在联合国环境规划署 (UNEP) Nicoline Lavanchy、Kenneth Davis 和 Mihaela Paun 以及美国环境保护署 (US EPA) Angela Bandemehr 的指导和支持下，塞尔维亚国家清洁生产中心的 Vojislavka Satric 和 Branko Dunjic 牵头制定了本技术指南。

如果没有诸多合作伙伴和相关方的支持，包括哥伦比亚、秘鲁、厄瓜多尔、中国和约旦国家清洁生产中心、尼日利亚 SRADEV、印度尼西亚 Nexus3 和国际消除污染物网络 (IPEN)，就不可能完成本技术指南的制定。感谢世界卫生组织 (WHO)、美国律师协会法治计划 (ABA ROLI)、世界涂料理事会 (WCC) 和联合国训练研究所 (UNITAR) 提供的支持。排版和图形设计由 Mile Losic 完成。环境署和塞尔维亚国家清洁生产中心感谢所有对本文件提出意见建议的个人和组织。

感谢以下颜料供应商：巴斯夫 Colors & Effects (BASF Colors & Effects)、福禄 (Ferro)、Pyosa、Mathisen、科莱恩 (Clariant)、映泽新材料 (深圳) 有限公司和江苏双乐化工颜料有限公司，本项目的成功实施离不开他们对中小型企业的支持。

此外，还要感谢以下参与含铅涂料重配方试验的涂料生产商，包括：来自中国的浙江

鱼童新材料股份有限公司、浙江天女集团制漆有限公司、湖南湘江涂料集团有限公司、江苏兰陵高分子材料有限公司、江苏长江涂料有限公司，哥伦比亚的 Icelltex、Pintuland、Pinturas Multitonos, Pinturas Supratech, 厄瓜多尔的四家公司，印度尼西亚的 PT Mataram Paint、PT Bital Asia、PT Rajawali Hiyot、PT.Sigma Utama, 约旦的 Golden Chemicals Company、Jordan Sipes Paints、Tameer Paints industry, 尼日利亚的 Blentech Ltd、Precious Paints Nigeria Limited、Integrated Paints and Allied Products、Lean-on Chemical and Allied Products Nig.Ltd、Olabi Paint、President Paint、Havela Coatings and Paint Ltd, 以及秘鲁的 Envasadora San Gabriel、Soprin、J&S Ferretería Industrial (Universal Colors) and Larpaint。

如欲了解更多信息，请联系

lead-cadmiumchemicals@un.org

支持单位：



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY

缩略语列表

ABA-ROLI	▶ 美国律师协会法治倡议
CAS	▶ 化学文摘社（美国化学会分支机构）
CI	▶ 颜色索引
CPVC	▶ 临界颜料体积浓度
EPI	▶ 新兴政策问题
GEF	▶ 全球环境基金
GHS	▶ 全球化学品统一分类和标签制度
HEAL	▶ 健康与环境联盟
IARC	▶ 国际癌症研究机构
ICCM	▶ 国际化学品管理大会
IPEN	▶ 国际消除污染物网络
ISO	▶ 国际标准化组织
NCPC	▶ 国家清洁生产中心
NGO	▶ 非政府组织
PBr	▶ 颜料棕
PO	▶ 颜料橙
PR	▶ 颜料红
PY	▶ 颜料黄
PVC	▶ 颜料体积浓度
PW	▶ 颜料白
P20ASys	▶ 污染防治方案分析系统
REACH	▶ 化学品注册、评估、许可和限制
SAICM	▶ 国际化学品管理战略方针
SDS	▶ 安全数据表
SME	▶ 中小型企业
TURI	▶ 减少有毒物质使用研究所
UNEP	▶ 联合国环境规划署
UNIDO	▶ 联合国工业发展组织
US EPA	▶ 美国环境保护署
WCC	▶ 世界涂料理事会
WHO	▶ 世界卫生组织
XRF	▶ X 射线荧光光谱仪

目录

	鸣谢	IV
	缩略语列表	V
	引言	8
1	摘要	10
2	背景	13
3	术语和定义	15
4	含铅涂料	17
5	替代工艺	22
	5.1 确认潜在替代品	23
	5.2 评估潜在替代品	24
6	含铅颜料的替代	26
	6.1 色彩理论	27
	6.2 染料索引	28
	6.3 分散工艺	29
	6.4 红丹防腐颜料 (PR 105) 的替代	32
	6.4.1 替代品评估	34
	6.5 铅白 (PW1) 的替代	36
	6.6 铅铬酸盐 (PY 34) 和铅铬酸盐钼酸盐 (PR 104) 的替代	36
	6.6.1 评估潜在的无机颜料替代品	37
	6.6.2 评估潜在的有机颜料替代品	39
	6.6.3 干颜料制剂、混合颜料和颜料浆	43
	6.6.4 用颜料对涂料进行重配方	44
7	含铅催干剂的替代	47
	7.1 催干剂的功能和组成	47
	7.2 选定催干剂的性能	48
	7.3 干燥能力损失	50
	7.4 对含铅催干剂的替代品的评估	51
	7.5 催干剂的涂料重配方	53
	结论	56
	参考文献	59
	附录 1 查找危险性较小替代品的相关信息提示	61
	附录 2 配方—实例	62
	附录 3 涂料重配方的案例研究	64
	附录 4 关于色漆和清漆通用试验方法的 ISO 标准精选清单	75
	附录 5 供应商非详尽名单	78



图片来源: www.pixabay.com

引言

国际化学品管理大会 (ICCM) 在 2009 年第二届会议上将含铅涂料确定为《国际化学品管理战略方针 (SAICM) 》下一项新兴政策问题。在第三届和第四届会议 (2012 年和 2015 年) 上, ICCM 继续确立了消除含铅涂料的目标, 并于 2011 年成立了全球消除含铅涂料联盟* (消除含铅涂料联盟)。2017 年, 联合国环境大会通过了 [第 3/9 号决议, 以消除对含铅涂料的暴露, 并促进对废弃铅酸电池的环境无害化管理](#)。该决议重申了消除含铅涂料的目标, 邀请感兴趣的利益攸关方加入含铅涂料联盟, 并要求 UNEP 通过提供国家立法的工具和能力建设, 协助各国消除含铅涂料的使用。

消除含铅涂料联盟是由联合国环境规划署 (UNEP) 和世界卫生组织 (WHO) 共同领导的自愿性合作伙伴关系, 旨在防止涂料中的铅暴露。联盟由美国环境保护署 (US EPA) 担任主席的咨询委员会提供指导 (UNEP 2021), 总体目标是预防儿童接触涂料中的铅, 并尽可能减少含铅涂料的职业暴露, 致力通过在所有国家推动出台相关法律法规以实现逐步淘汰含铅涂料的制造、进口和销售这一目标。联盟与各国政府、涂料行业、非政府组织等各方共同合作, 以提高人们对消除含铅涂料的认识, 并推广技术上可行且能保护人类特别是儿童健康的行动。

* 如欲了解更多有关含铅涂料联盟的信息, 请访问 UNEP 网站: <https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/emerging-issues/global-alliance-eliminate-lead-paint>。

本出版物基于全球环境基金 9771- “《国际化学品管理战略方针》关注的新兴政策问题全球最佳实践”项目，该项目旨在加快采用国家和价值链举措来控制新兴政策问题（EPI），为 2020 年 SAICM 目标和 2030 年可持续发展议程作出贡献。该项目由全球环境基金（GEF）* 资助。

该项目包括三个主要部分：

- 推动政府和行业采取监管和自愿行动，以逐步淘汰涂料中的铅（含铅涂料部分）；
- 产品中的化学品的生命周期管理；以及
- 知识管理和利益攸关方参与。

为了支持联盟推动实施含铅涂料法律的目标，含铅涂料项目预期成果是在 40 个国家制定并实施限制使用含铅涂料的法律，并使 7 个国家的至少 30 家中小型企业涂料制造商从其生产工艺中逐步淘汰铅 **。含铅涂料项目涉及与政府合作制定含铅涂料法律法规，并与中小型企业合作以推动逐步淘汰含铅原料的使用。本技术指南旨在通过为含铅涂料重配方提供指导，展示一些选定的中小企业的含铅涂料重配方实例，以此为中小企业的涂料重配方提供支持。该项目已于 2019 年 1 月在开题研讨会上启动，并计划于 2022 年完成。

在“中小型涂料生产企业试点示范”的产出框架下，该项目的工作重点是帮助中小企业逐步过渡到生产无铅涂料。塞尔维亚国家清洁生产中心（NCPC）与约旦、厄瓜多尔、秘鲁、哥伦比亚和中国等五个国家合作开展

了中小型企业涂料重配方的试点示范。国际消除污染物网络（IPEN）与其在印度尼西亚和尼日利亚的合作伙伴也在共同努力实现这同一目标。该项目还制定了《含铅涂料重配方技术指南》供中小型企业参考使用，其中包括中小型企业试点示范项目的最佳实践的案例研究。

项目合作伙伴（中国 NCPC、哥伦比亚 NCPC、厄瓜多尔 NCPC、约旦 NCPC、秘鲁 NCPC、印度尼西亚 Nexus 3 和尼日利亚 SRADev）与选定的中小型企业合作开展以无铅替代品代替含铅化合物的试点示范工作，中小型企业以自愿形式参与该项目。此外，为使涂料的重配方工艺中不再有意添加含铅化合物，一些全球原料供应商为中小型企业提供无铅颜料和技术支持。新冠疫情导致的封锁严重影响了各个公司的合作，因为须亲临实验室才能完成含铅涂料的重配方，这也使合作伙伴无法与更多的中小型企业合作。尽管如此，一些中小型企业在重配方方面的经验还是被作为案例研究列入本文件中。

本指南的草案由 NCPC 和 IPEN 协助，在中小型企业涂料生产重配方的试点工作基础上完成的，与涂料行业协会、标准和计量相关机构以及参与国政府机构举行了研讨会议，并根据意见建议对《指南》进行了微调完善。最后，在 2021 年 4 月举行的验证研讨会上对本指南进行了认证 ***。

希望本指南能够成为一项有用的工具，帮助世界各地的中小型企业成功地重配方他们原本的含铅涂料产品，本指南中的案例研究是有说服力的实例，可以说明如何获得不含铅成分但性能类似或更佳（如耐光或耐热、机械、防腐和装饰性能）的涂料。

* 如欲了解更多有关 SAICM 全球环境基金项目的信息，请访问：<https://www.saicm.org/Implementation/GEFProject/tabid/7893/language/en-US/Default.aspx>

** 如欲了解更多信息，请访问：<https://www.saicm.org/Implementation/GEFProject/tabid/7893/language/en-US/Default.aspx>

*** 可在此链接中获取参与组织机构的资料：<https://saicmknowledge.org/event/validation-workshop-paint-reformulation-guidelines>



摘要

制定《含铅涂料重配方技术指南》旨在帮助解决涂料中铅化合物替代方面的能力限制和技术障碍，重点关注中小型企业对于涂料重配方有效性和高效性的需求。

涂料被定义为一种着色的涂层材料，当涂覆于底材时，会形成具有保护性、装饰性或特定技术性能的不透明干膜。涂料可满足非常不同的技术特性，如特定的耐化学性或耐候性、信号或伪装效果、装饰效果、绝缘性或导电性、抗菌性等。涂料也配制成适应各种基材和涂覆方法。为了满足颜色等涂料性能，有许多不同的初始含铅配方，本技术指南仅提供了关于涂料重配方工艺的一般信息。深入分析和具体数据已通过 GEF 含铅涂料项目的试点示范向企业提供，并在案例研究中进行了描述（见附录 3）。

本技术指南中与涂料有关的术语依据国际标准 ISO 4618:2014 色漆和清漆—术语和定义。

涂料配方由粘合剂、溶剂、添加剂、增塑剂、填料和颜料等大量成分组成。涂料的性能主要由成膜的原料决定。然而，颜料、填充剂、添加剂、适当的生产工艺和涂覆方法也是需要考虑的重要因素。对这些成分的一个关键要求是其不应对人类健康和环境造成严重危害。

尽管涂料中的铅化合物（主要是颜料和催干剂）符合严苛的技术要求，但仍会对环境和人类健康造成极大危害。中小企业不应使用任何含铅原料，并应尽力确保原料成分中含铅量低。然而，所用的铅化合物替代品应尽可能具有最低危害。

该技术指南通过参考全球化学品统一分类和标签制度*(GHS)的公约，指出了铅化合物及其替代品的危害。GHS 促进了化工产品危害的定义和分类，并在标签和安全数据表上显示健康和​​安全信息。它是在联合国的支持下制定的，其目标为建立一个统一的危害分类系统，并在全球范围内制定标签和安全数据表 (SDS)。

GHS 标签公约用于说明危害并使中小企业能在可用的替代品中自行选择。

本指南首先简要介绍了油漆配方中所用铅和铅化合物的危害特性 (第 4 章)。

涂料中使用的铅化合物会对人类健康和环境造成极大危害，应优先取代。选用的替代方案应能降低给人类健康和环境带来的整体风险。第 5 章提供了有关替代工艺的一般方法和步骤的指导，以帮助中小企业选择不比其希望取代的铅化合物危害性更大的替代品。

此外，为了提供颜色、成型效果和提供遮盖力，颜料还应满足其他技术要求，包括在周围介质中完全不溶、良好的耐光性，耐候性和耐热性、对化学品的作用缺乏敏感性以及环境和健康安全属性。第 6 章中对替代颜料的特性进行了介绍，还比较了替代防腐颜料与氧化铅的防腐性能 (颜料红 105)。

面漆的重配方工艺通常需要配色。本指南介绍了色彩理论的简要信息。为了介绍面漆的性能 (耐久性、分散性、热稳定性、渗色和保光性)，以及 PY 34 和 PR 104 的可用替代品的环境、健康和​​安全性能、经济可行性以及可用性。

由于涂料的颜色和性能在很大程度上取决于分散工艺和分散用的添加剂，本章中也简要介绍了这方面的信息。

最后，第 7 章提供了有关催干剂的作用和类型以及铅催干剂替代品的信息。

此外，附录 1 提供了查找危害较小的替代品信息的提示，附录 2 和附录 3 分别提供了中小型涂料重配方试点项目的实例和案例研究。附录 4 提供了一份关于色漆和清漆一般试验方法的选定 ISO 标准清单，包括测试涂料性能性质的方法。最后，附录 5 提供了一份截至 2021 年 5 月的非详尽供应商名单。

► 图 1 - 顶空采样器



据涂料行业反映，涂料重配方以消除含铅化合物是可行的，其技术和成本影响也是可控的。

消除含铅化合物也可能具有潜在的经济优势。涂料制造商和用户 (如玩具制造商) 可通过生产或使用不含铅化合物的涂料，使其产品可进军涂料中铅含量受到限制的市场中。

* 如欲了解更多信息，请访问：<https://www.osha.gov/dsg/hazcom/ghsguideoct05.pdf>

► 文本框 1 - 主要发现

在 SAICM GEF 项目下与中小型企业试点开展涂料重配方的试验中,发现以下结果:

- 大多数参与该项目的中小型企业不使用含铅催干剂,所有案例研究均围绕含铅颜料替代展开。
- 在项目中了解到,溶剂型和水性涂料都有含铅颜料。
- 一些小型企业不具备开展涂料性能测试和扩大规模必需的所有设备。缺少研磨设备可以通过使用颜料浆来解决。
- 供应商对小市场(用户)的商业兴趣较少,且无铅颜料的供应有限(约旦、厄瓜多尔)。除了新冠疫情之外,这也是导致项目在这些国家进展缓慢的一个因素。
- 所有参与方均认为供应商的技术支持很重要。部分项目合作伙伴组织了技术人员的会议,从而更好地了解涂料重配方工艺并促进颜料的正确选择。
- 中小型企业成功并显著降低了涂料重配方后的涂料的铅浓度—见案例研究 3 (附录 3) 所示。铅含量从原始配方中的 34689 ppm 降低到重配方设计后醇酸涂料中的 56 ppm 以下。
- 重配方的经济成本各不相同。在一些情况下,铅替代品原料的价格较低,降低了成本,如案例研究 1 (附录 3) 所示。在其他情况下,涂料的价格明显上升。
- 各个公司成功的重配方了他们的含铅涂料,但是在色相微调和成本优化方面有待开展进一步的工作。

如欲了解更多有关中小型企业案例研究的信息,参见附录 3。

欲了解更多信息,请查看参考文献。



图片来源: www.istockphoto.com

背景

全球消除含铅涂料联盟（含铅涂料联盟或联盟）是由联合国环境署和世界卫生组织共同领导的一个自愿性合作伙伴关系，旨在通过促进逐步淘汰含铅涂料以防止铅暴露。联盟由美国环境保护署（US EPA）担任主席的咨询委员会提供指导，该委员会由来自哥伦比亚，摩尔多瓦共和国，肯尼亚，泰国的政府代表以及消除国际持久性有机污染物网络（IPEN）、健康与环境联盟（HEAL）、世界涂料理事会（WCC）、美国律师协会法治倡议（ABA-ROLI）、阿克苏诺贝尔（一家跨国涂料制造商）、Boysen（亚洲涂料制造商）和联合国工业发展组织（UNIDO）的代表组成。

联盟的宗旨是防止儿童接触含铅涂料，并尽量减少铅涂料的职业接触。主要目标是逐步

淘汰含铅涂料的生产和销售，并消除铅中毒风险。为了实现这一目标，联盟正致力于促进建立适当的国家监管框架体系，淘汰含铅涂料以及涂覆含铅涂料的产品的生产，进口，出口和销售。联盟的目标是让至少 100 个国家制定立法，到 2023 年禁止使用含铅涂料*。

据联盟称，截至 2021 年 5 月，已有 82 个国家制定了具有法律约束力的控制措施，限制含铅涂料的生产，进口和销售，约占全球所有国家的 43%，预计这一数字将继续增加。然而，多达 100 个低收入和中等收入国家尚未对含铅涂料设定法定限制，一些制定了含铅涂料法律的国家的含铅涂料限量非常高，无法有效保护公共健康和环境，并且在执行方面还存在漏洞。

* 《含铅涂料联盟行动计划》（2021 年 6 月）附录将在此发布：<https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/emerging-issues/global-alliance-eliminate-lead-paint>

为了推行含铅涂料法*，全球环境基金（GEF）正在支持《国际化学品管理战略方针》** 新兴政策问题采取的全球最佳实践项目。该项目的第 1 部分涉及逐步淘汰含铅涂料（以下简称 GEF 含铅涂料项目）。该项目与各国政府合作促进推行含铅涂料法律，并与中小企业（SMEs）合作促进含铅涂料的重配方。

含铅涂料重配方技术指南作为 SAICM GEF 铅涂料项目中小企业工作的一部分，旨在提供有关涂料重配方的信息。它包含由消除含铅涂料联盟开发关于促进含铅涂料法的其他材料信息（见“资源”章节），例如《示范法和规范含铅涂料指导》（简称《示范法》）***。制定《示范法》的目的是为各国提供有关如何制定新法律或修改现行法律提供指导。各国可根据现有法律框架，参考其他国家实际情况，利用《示范法》协助制定各自国家的法律法规。

已制定限制涂料中铅含量的法律的国家通常采用以下两种方法之一：（1）根据用作涂料中颜料或添加剂的单个铅化合物的风险建立一套化学品特定的法规限值（目前用于欧盟 REACH 法规；或（2）对涂料中铅的总浓度建立了单一的监管限制。这两种方法都有效限制涂料中的铅含量。

《示范法》建议对涂料中总铅浓度建立单一的监管限制，并列举了有效的含铅涂料法应包括的以下主要目标：

- 禁止生产，销售和进口超过既定的法定限值的含铅涂料。
- 制定守法和执法方式方法。
- 明确管理和执行含铅涂料法的机构职责和配置。

《示范法》提出了禁止销售、订购、制造、分销和进口超过既定法定限值的涂料的法条建议。基于涂料的总非挥发物含量的重量，《示范法》提出的法定限值为 90 毫克 / 千克。这一限值的制定是由于它可提供最佳健康保护，并且在技术上是可行的。《示范法》建议行业（制造商，分销商和进口商）证明其涂料低于既定限值。中小企业不应使用任何含铅的添加剂，并应努力确保其原料成分中只具有较低的含铅量。

随着越来越多的国家制定和实施含铅涂料法律，本技术指南旨在通过提供不有意添加任何含铅化合物且考虑到原料成分中潜在残留铅含量的配方，协助中小企业实现涂料中总铅含量处于较低的法定限值。

* 广义上，含铅涂料法包括任何强制性的法律，以及违反法律的惩罚。可以是法令、法规或标准，只要包含强制执行机制。

** 全球环境基金（2017），《国际化学品管理战略方针》下新兴化学品政策问题采取的全球最佳实践项目文件，2019 年 1 月可获取。

*** 联合国环境规划署（2018），《示范法和规范含铅涂料指导》<https://www.unep.org/resources/publication/model-law-and-guidance-regulating-lead-paint>



术语和定义

添加剂 (ISO 4618:2014) 任何以少量添加于涂料中，以改善或改变一种或多种性质的物质

渗色 (ISO 4618:2014) - 有色物质从一种材料迁移到与其接触的另一材料中，可能导致不合需要的染色或变色

涂层材料 (ISO 4618:2014) - 液态、糊状或粉末状产品，当涂覆于基材时，会形成具有保护性、装饰性和 / 或其他特定性质的涂层

色度 - 颜色的纯度或强度，可以描述或视为颜色：外观“暗”或“褪色”

颜色 (ISO 4618:2014) - 肉眼对给定光谱成分的光感知（注意：颜色的特征通过色调、色度和亮度展现）

腐蚀 (ISO 8044:2015) 金属与其环境之间的物理化学相互作用，导致金属性能发生变化，并且可能导致金属、环境或技术系统的功能严重受损，并形成一部分

缓蚀剂 (ISO 8044:2015) - 以合适浓度出现在腐蚀体系中的化学物质，可降低腐蚀速率，而不会显著改变任何缓蚀剂的浓度

临界颜料体积浓度 (CPVC) (ISO 4618:2014) - 颜料体积浓度值，当颜料体积浓度处于该值时，名义上接触的固体颗粒之间的间隙刚好用粘合剂填充，而超过该值时，涂膜的某些性能将发生急剧变化

灰暗或暗色 - 色度降低的颜色

持久度 (ISO 4618:2014) - 涂层抵抗其环境破坏性影响的能力

染料 (ISO 4618:2014) - 着色材料，可溶于涂覆介质

浮色 (ISO 4618:2014) - 从着色涂料中分离出一种或多种颜料，在涂层表面上产生条纹或颜色不均匀的区域

絮凝 (ISO 4618:2014) - 在涂料中形成松散粘合的颜料或填料附聚物

泛色 (ISO 4618:2014) - 颜料颗粒在液体涂料中的运动产生的颜色，虽然在整个表面上均匀，但与新涂覆的湿膜明显不同

填充剂 - 颗粒状或粉末状物质，不溶于介质，用于改变或影响某些物理性质

注 1: 在德语中，应避免使用“Extender”，“Extender pigment”，“Pigment extender”或“Verschnittmittel”等术语。

腻子 - 具有高比例填充剂的涂料，主要用于清除被涂物表面上高低不平的缺陷，改善表面外观

注 1: 术语“腻子”在填充剂的意义上也被广泛使用

遮盖力 (ISO 4618: 2014) - 涂层消除基材颜色或色差的能力

同色异谱 (ISO 4618: 2014) - 在光源照明下，当两个样本具有相同颜色，但是光谱反射和透射曲线不同时感知到的现象

涂料 (ISO 4618: 2014) 着色涂料，当涂在基材上时，形成具有保护性、装饰性或特定技术性能的不透明干燥薄膜

颜料 (ISO 4618: 2014) 由颗粒组成的着色剂，不溶于涂覆介质（例如涂料或塑料）

颜料体积浓度 (PVC) (ISO 4618: 2014) - 涂料中着色颜料和 / 或填充剂和 / 或其他非成膜固体颗粒的总体积与所有不挥发物总体积的比率，以百分比表示

原料 - 用于生产制造中任何未经加工的材料

注：对上述一些术语在本指南中的使用进行了以下解释。

- **添加剂** - 与 ISO 4618:2014 一致，用于指少量添加的任何涂料成分（催干剂、分散剂等）的术语。
- **铅化合物** - 用于指合成颜料（PY 34、PO 104）和催干剂的术语，由一种特定化学品组成的“纯”化合物，与天然颜料和腻子（即多种化合物的未知混合物）形成对比。
- **原料** - 与 ISO 4618:2014 一致，用于指生产制造中使用任何未经加工的材料术语（天然或合成颜料、所有种类的添加剂、树脂、溶剂、合成或天然填料）。

4

含铅涂料



铅是一种天然的有毒金属，存在于地壳中。它的广泛使用已经在世界许多地区造成了广泛的环境污染、人类接触和重大的公共卫生问题。世界卫生组织已将铅确定为引起重大公共卫生问题的十种化学品之一。

目前尚不知安全的铅暴露水平。铅会对大脑和神经系统造成永久性损害，导致智商下降和行为问题增加。铅暴露还可能导致贫血症，增加肾脏损伤和高血压的风险，并损害生殖功能。幼儿和孕妇（其发育中的胎儿可能接触）特别容易受到铅的不良影响。即使接触量相对较低，也会造成严重和不可逆的神经损伤。此外，人体内的铅分布在大脑、肝脏和肾脏中。铅储存在牙齿和骨骼中，随着时间的推移不断积累。人体的铅暴露量通常通

过血铅检测来评估。骨骼中的铅会在怀孕期间释放到血液中，成为发育胎儿的接触源。

健康指标和评估研究所估计，根据 2019 年的数据，铅暴露已造成 90.17 万人死亡，以及由于长期健康问题而带来的残疾和死亡所造成的 2160 万年的寿命损失（[健康指标和评估研究所 GBD](#)）。

从任何来源释放到环境中的铅，包括含铅涂料，对植物、动物和微生物均有毒性。在所有被研究过的动物中，都显示出铅会对多个器官和器官系统造成不良影响，包括血液、中枢神经系统、肾脏、生殖和免疫系统。通过多种来源和途径的环境暴露，铅在大多数生物体内可进行生物累积。

► 图 2 – 铅暴露对儿童健康的影响 *

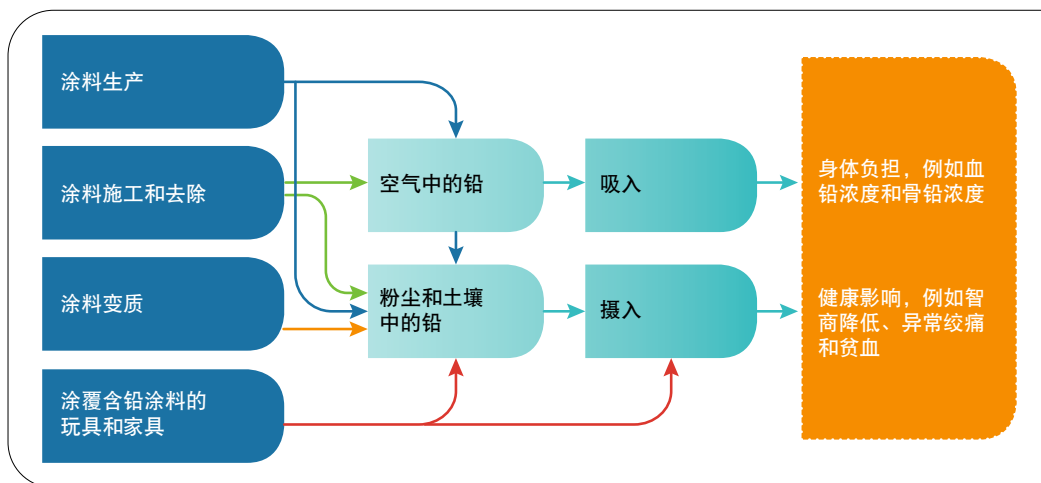


来源：联合国环境规划署（2020），全球涂料铅含量法律限制状态。<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35105/GS-2020.pdf?sequence=3>。2021 年 9 月可获取。

铅是一种有据可查的生态毒物，对水生和陆生生态系统都构成威胁（UNEP 2010）。研究表明，森林是大气颗粒物的汇。大气中的铅沉积在树叶上，通过雨水或落叶转移到土壤中。因此，森林生态系统中的生物会接触到特别高浓度的铅（Zhou et al. 2019）。众所周知，铅污染也会影响各种鸟类物种，并对生物多样性构成威胁（Haig et al. 2014）。研究还表明，水生生态系统，包括水生植物、无脊椎动物和鱼类在内，都会从受污染的水里吸收铅。例如，铅有血液疾病和神经毒性作用，在鱼类体内会破坏酶的功能，从而降低长期存活率和繁殖成功率（Demayo et al. 1982）。

从历史上看，铅化合物被添加到装饰和工业涂料和其他涂层中，以增强颜色，减少金属表面的腐蚀或缩短干燥时间。如今，无铅颜料和催干剂广泛用于涂料。此外，涂料中使用的一些原料可能含有自然产生的高含量的铅。使用含铅涂料后，涂料的风化、剥落或碎裂会将铅颗粒释放到家庭、学校、游乐场和其他地方的灰尘和土壤中。家用装饰涂料已被确定为儿童接触涂料中铅的主要来源。铅暴露是可以预防的。保护人类和环境免受铅危害的最有效行动，就是通过制定法律推动涂料生产配制工艺中使用无铅原料，从而从源头上消除铅暴露。

► 图 3 – 人类接触涂料中铅的途径和路径（来源：WHO 2020）



* 来源：联合国环境规划署（2020），全球涂料铅含量法律限制状态。<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35105/GS-2020.pdf?sequence=3>。2021 年 9 月可获取。

被铅污染的土壤和灰尘很容易被食入和吸入，尤其是当幼儿在地板上或户外玩耍时以及当他们把手或其他物体放进嘴里时。儿童也可以通过涂覆铅涂料的玩具摄入铅。当去除旧的含铅涂料时，儿童和成人都可能接触到油漆碎片和灰尘中的铅。铅对幼儿尤其有害，因为他们对特定来源的铅的摄入量是成年人的 4-5 倍。

铅对儿童大脑发育的负作用使受影响的儿童、他们的家庭和整个社会承担了巨大的经济成本，包括医疗保健费用、生产力损失和智力残疾。铅暴露带来的最大经济负担由低收入和中等收入国家来承担。从智商损失来看，全球各区域铅暴露的年度费用（以美元计）估计包括：非洲 - 1347 亿美元；拉丁美洲和加勒比地区 - 1423 亿美元；亚洲 - 6999 亿美元*。

如果无适当的工程控制措施和职业卫生措施，并且工人没有穿戴足够的个人防护设备，在涂料制造、涂覆和清除工艺中就会出现铅的职业性接触(Were et al. 2014)、(Rodrigues et al. 2010)。在生产制造阶段，工人可能会接触到通常为粉末状的含铅成分。当用喷涂方式使用涂料或通过刮擦、喷砂、干打磨

或燃烧来清除涂料时，会释放出铅颗粒和烟雾，这正是吸入性暴露的来源 (Rodrigues et al. 2010)。颗粒还会落在工人的皮肤和衣服上，如果工作场所没有更衣和清洗设施，这些颗粒就会成为摄入源以及家庭接触来源。(WHO 2020)

从家庭，学校和其他建筑物的表面去除现有装饰性铅涂料的成本可能很高。相比之下，在生产新型装饰性涂料时不使用铅化合物的经济成本较低。事实上，许多制造商已经成功地重配方了他们的涂料产品，以避免有意添加铅。据涂料行业反映，通过重配方住宅和装饰涂料以消除铅化合物是可行的，并且技术和成本影响是可控的。越来越多的涂料生产商公开表示可以消除所有类型涂料中的铅化合物。

世界各国政府日益寻求制定法律来消除涂料中的铅。涂料制造商应该多了解其本国或其产品出口国家的此类活动，以便为其涂料的重配方决定提供信息。

下表中列出了涂料中使用的可能含铅的原料。

► 表 1 – 可能含铅的原料

油漆类型	颜料	填料	催干剂
油性底漆、醇酸树脂底漆底漆、二道底漆和面漆 (醇酸树脂可能是铅的来源，因为在其合成工艺中使用铅催化剂。)	●	●	●
底漆、其他基材	●	●	
二道底漆、其他基材		●	
面漆、其他基材	●	●	

* 如欲了解更多信息，请访问 <https://med.nyu.edu/departments-institutes/pediatrics/divisions/environmental-pediatrics/research/policy-initiatives/economic-costs-childhood-lead-exposure-low-middle-income-countries>

► 图 4 - 用 X 射线荧光分析仪检查含铅涂料



应该注意的是，合成填料不含有铅化合物，但由于填料通常是天然原料，可能含有铅。使用这些填料可能会无意地添加铅。当天然色素（如氧化铁）含铅时，涂料也可能无意中被铅污染。

在生产工艺中也有可能存在铅污染。如果在生产含铅涂料后使用相同的设备生产无铅涂料，而不清洗设备，就会发生铅污染。

有不同的分析方法可以用来测量涂料中的铅。世卫组织《关于测量涂料中铅的分析方法的简要指南》概述了主要的方法，包括实验室方法、台式或便携式 X 射线荧光（XRF）光谱法和检测试剂（WHO 2020）。

下表列出了涂料最常用的含铅原料的危险特性。

▶ 表 2 – 涂料中使用的铅化合物的危险特性

化学 / CAS 号	颜色索引 *	根据 GHS 的危害声明
颜料 (OECD 2021a)		
铬酸铅钼酸盐红 (PbCrO ₄ (CrH ₂ O ₄ . Pb) / 12656-85-8	颜料红 104	H350 : 可能致癌 H360 Df : 可能损害生育能力或伤害胎儿 H373 : 长期或反复接触可能对器官造成伤害
铬酸铅 (PbCrO ₄) / 7758-97-6	颜料黄 34	H400 : 对水生生物毒性极大 H410 : 对水生生物毒性极大并具有长期持续影响
铬绿 (铬酸铅和铁蓝的混合物)	颜料绿 15	
四氧化三铅 (Pb ₃ O ₄) / 1314-41-6	颜料红 105	H302 : 吞食有害 H332 : 吸入有害 H351 : 怀疑致癌 H360 : 可能损害生育能力或伤害胎儿 H360Df : 可能伤害胎儿。怀疑损害生育能力 H362 : 可能对母乳喂养的孩子造成伤害 H372 : 会对器官造成损害 H372 : 通过吸入或摄取长期或反复接触, 会对中枢神经系统、血液和肾脏造成损害 H410 : 对水生生物毒性极大并具有长期持续影响
氧化铅 (PbO) / 1317-36-8	颜料黄 46	H316 : 引起轻微的皮肤刺激 H341 : 怀疑造成遗传缺陷 H351 : 怀疑致癌 H360 : 可能损害生育能力或伤害胎儿 H373 : 长期或反复接触可能对器官造成损伤 (血液系统、神经系统、肾脏) H413 : 可能对水生生物造成长期持久的有害影响
白铅 (2PbCO ₃ ·Pb(OH) ₂) 37361-76-5	颜料白 1	H350 : 可能致癌 H360 : 可能损害生育能力或伤害胎儿 H370 : 对器官 (中枢神经系统、血液、肾脏) 造成损害 H372 : 通过长期或反复接触对器官造成损害 (中枢神经系统、血液、肾脏) H413 : 可能对水生生物造成长期有害影响
催干剂 (ECHA 2021a)、(ECHA 2021.b)		
辛酸铅 (C ₁₆ H ₃₀ O ₄ Pb) / 7319-86-0	/	H302 : 吞食有害 H332 : 吸入有害 H360 : 可能损害生育能力或伤害胎儿
环烷酸铅 (C ₂₂ H ₁₄ O ₄ Pb) / 61790-14-5	/	H373 : 长期或反复接触可能对器官造成损害 H400 : 对水生生物毒性极大 H410 : 对水生生物毒性极大并具有长期持续影响

* 染料索引 (CI) 通过为每种颜料提供唯一的染料索引名称和染料索引号来识别每种颜料 (参见第 6.2 节)。

目前市场上有许多产品可以替代这些含铅原料来生产涂料。



图片来源: www.pixabay.com

5

替代工艺

法律的实施执行已被企业认为是推动替代危险化学品的主要驱动力。因此，许多企业和其他组织已按照相关法律执行，并考虑了其他方面要求，例如：供应商认知、组织政策、供应链要求、医疗成本、对工人的保护和环境保护、公众压力或工人压力等。

替代是化学品风险管理的基本原则。化学品替代原则规定，危险化学品应系统地用危害较小的替代品进行替代，或者最好使用暂无已知危害的替代品 (Olofsson 2011)。替代通常不仅仅是将一种化学品替换为另一种化学品，两种化学物质的性质差异可能需要其他转变（技术上但也可能是组织结构上）。

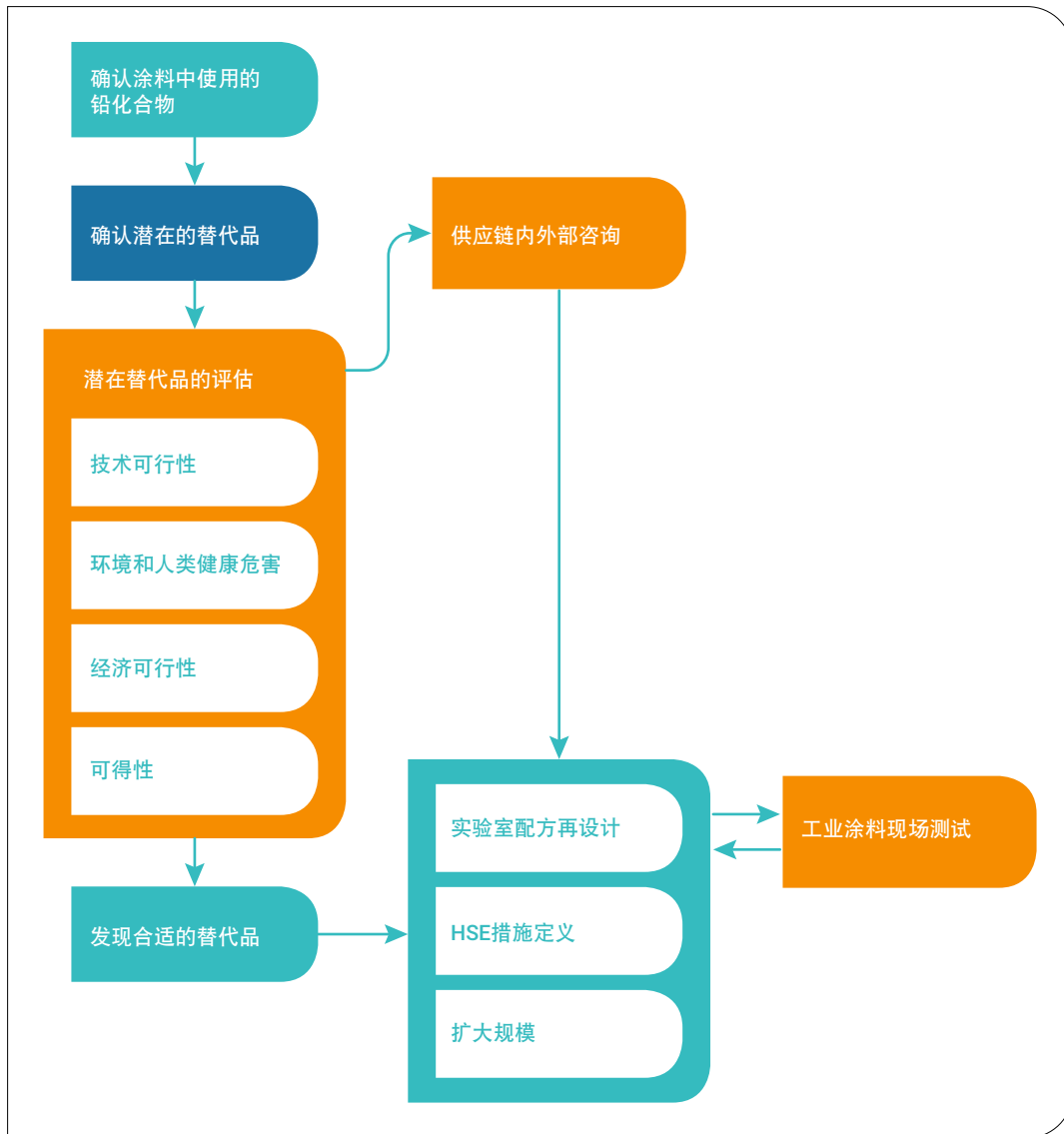
替代可能包括有害物质的替代，使用技术替代品替代原物质，使用组织措施替代某一危险物质或重新设计整个产品。

除铅化合物外，还有许多其它非常危险的原料在涂料行业中使用，如溶剂（溶剂石脑油，甲苯），添加剂（增塑剂邻苯二甲酸二丁酯，甲醛，水基涂料中的防腐剂），六价铬颜料（铬酸锌），阻燃涂料中的溴化合物等。

本节中提供的信息可协助企业进一步开展与危险化学品替代相关的活动。

以下流程图介绍了替代涂料中含铅成分的必要步骤。以下活动适用于市场上已有替代品并且其危险特性已知的任何危险化学品，因此，无需对其特性进行额外研究。该过程将协助企业努力自愿替代含铅原料，要么满足现有或预期的铅浓度限值（例如，根据《示范法》建议，或根据乌拉圭、肯尼亚、菲律宾等国家要求），要么满足逐步淘汰特定含铅化合物的要求（如欧盟 REACH 法规）。

► 流程图 1 替代铅化合物的程序



5.1 确认潜在替代品

替代品是使用能够代替危险物质并对其本身功能性质进行替代的替换物。

供应链之间良好沟通对于替代物质的确认和实际实施至关重要，供应链外部也可提供有关潜在替代品的信息。

确认替代品的过程从考虑物质的功能性质开始。对物质特定用途的确切功能应有详尽具体的了解，将使公司可以寻找到行使这些相同功能的其他方法。如何使用替代品对于影响终端产品的最终功能至关重要，需要在更

长的时间范围内考虑终端产品的质量。例如，某些涂料需在特定的产品寿命期间具备耐候性。

确定物质的每种用途（特定行业、特定客户或特殊情况）的所有功能十分重要，这样就可以识别出具有替代相同功能的潜在替代品。一旦明确了特定功能和使用条件，供应链内外的沟通协商就会更有成效。

供应链的沟通是一个互动过程，可能涉及供应链的所有相关部分，这对于确定潜在替代品的用途非常重要。供应链中潜在替代品的信息来源包括企业知识资源（产品和用户规

范，员工学识）、供应商、用户、行业或专业协会。供应链内的沟通将有助于组织机构识别潜在替代品，了解技术和经济可行性，并获得有关替代品安全性和可用性的相关信息。

从供应链之外收集潜在替代品的信息也非常有用，例如专业期刊、研究组织、环境组织、非政府组织、学术机构、数据库*（即 SUBSPORT、REACH-IT 系统，非机密 REACH 附件 XV 档案信息；专利数据库）或该领域专家。

5.2 评估潜在替代品

确认出潜在替代品后，替代方案流程的第一步是开展分析（ECHA 2011）。

合适的替代品应当满足以下条件：

- 具有与铅化合物相同的功能（当面漆颜料存在问题时，通常不合适使用单一的替代品，需要一种以上的适用替代品替代原颜料）；
- 降低对人类健康和环境的总体风险，综合考虑了设施风险管理措施的适当性和有效性；
- 在技术和经济上都是可行的；
- 在市场上可流通。

分析的第一阶段是评估技术可行性。当找到满足功能要求的潜在替代品后，有必要确定是否需要对其过程应用进行调整或变更。为了实现相同的功能，有时必须在不同条件下对替代品进行加工（参见第 6.6.2 节）。

如果替代品在技术方面可行，那么下一阶段是评估替代品对环境 and 人体健康的风险**。该评估包括设定容许危险和风险的标准，并比较危险物质（或混合物，如催干剂）及其潜在替代品之间的危险特性。物质或混合物之间类似性质和效果的比较并不总是简单或直接的。当需要对比危险物质，或者缺乏数据，可能需要进行更详细的评估。

应确定替代品危险方面的重大健康和环境影响，以避免替代造成的某些无法控制的风险。安全数据表（SDS）是化学危险特性的良好信息来源，可提供有关用作替代品的物质或混合物的综合信息。企业和员工都可将其用作环境危险、安全预防措施等方面的信息来源。

替代品综合评估方法可分为两类（Edwards, Rossi and Civie 2016）

- a. 编制危险数据的方法：须将检查化学品危险特性的方法放置于矩阵中。组织机构应为不同替代品的分析和比较建立规则方法，包括 P2OASYS***、GHS 柱方法 2017、TURI 5 化学品替代品评估研究高度优先****
- b. 测试方法，该法用于根据以前优先考虑的危险进行化学品分析，其中包括终止使用某些特别有害的危险化学品的建议，还包括用于替代品决策过程的工具。此类方法包括安全化学品绿屏****

这些工具的主要局限性在于缺乏关于大多数使用中的化学品危险特性数据。

替代品可能更加安全（即不致癌、不致突变），但也可能具有其他危险，例如腐蚀性或易燃性。这些危险较容易控制，有必要在使用过程中对其进行管控。

* 附录 1 - 互联网搜索提示

** 风险由两个因素组成，一是化学品的固有性质：危险性，二是化学品的使用或处理方式：暴露途径。

*** 欲了解更多信息，请访问网站 https://www.turi.org/Our_Work/Alternatives_Assessment/Alternatives_Assessment/Tools_and_Methods/P2OASys_Tool_to_Compare_Materials

**** 欲了解更多信息，请访问网站 <https://www.yumpu.com/en/document/view/7083577/turi-5-chemicals-alternatives-assessment-study-high-priority>

***** 欲了解更多信息，请访问网站 <https://www.greenscreenchemicals.org/>

应该对替代品进行重复评估，因为目前获得的评估结果可能会随着有关危险特性和化学品风险的知识更新而发生改变。

经济可行性分析可以从一系列备选替代品中确定出成本最低且可实现目标的替代品。评估将包括一系列直接和有形间接生产成本，而不仅仅只是比较替代品和被替代化学品的产品价格。

第一步，根据成本比较的现有信息，测算已选择替代品的可用性和成本。为核实替代品的可行性，有必要对替代工艺的某种替代品是否会产生其他成本进行评估，如化学品消耗增加，制造成本的增加或购买新设备。还应注意，价格不是一成不变的，可能会降低。禁止或限制使用某些化学品将导致替代品需求增加，替代品供应量增加，价格下降。



6 含铅颜料的替代

选择合适的原料以达到最佳涂料性能是十分必要的，例如如何涂覆（即通过喷涂和浸渍等方式）、与特定表面粘合、固化工艺、机械和 / 或化学保护以及装饰性要求。涂层技术非常复杂，包括化学、物理、工艺工程、环境、健康和安全以及经济因素。

涂料的成分是粘合剂、溶剂、颜料、填料和不同的添加剂。下表提供了有关颜料和填料的功能和性能要求的信息（Goldschmidt and Streitberger 2007）。

► 表 3 – 颜料和填充剂的功能和性能要求

颜料功能	颜料和填充剂的要求	填充剂的特殊功能
<ul style="list-style-type: none"> • 选择性吸收 • 光散射 • 通过定向反射或干涉的光学效应 • 防紫外线 • 防腐 	<ul style="list-style-type: none"> • 分散性 • 不溶性 • 耐光性、耐候性 • 耐热性 • 耐化学性 • 生理相容性 	<ul style="list-style-type: none"> • '填充' • 打磨性能 • 提高机械工艺涂层性能 • 改善防腐性能

颜料的粒径及其分布在很大程度上会影响涂料的色度、着色力和遮盖力。涂料性能取决于与颜料相关的其他因素，如颜料体积浓度、分散添加剂的选择、颜料和聚合物之间的相互作用力以及分散工艺。分散（研磨）工艺会影响色调、遮盖力、光泽和涂膜外观（雾度、泛色、浮色等）、粘度、稳定性和耐候性。

涂料重配方不仅需要使用危害较小的替代品替代含铅颜料，还可能需改变研磨料、润湿剂、分散添加剂和分散工艺。此外，面漆中含铅颜料的替代还需要通过调色来调整颜

色。为解决这些问题，本章提供了有关色彩理论的基本要素、分散工艺和分散添加剂的相关内容。

6.1 色彩理论

明度、色相和色度是涂料行业中用于描述颜色三个维度的标准术语，精确的调色必需掌握好这些专业术语。颜色可以在一个、两个或所有三个维度上有所不同。

► 文本框 2 – 明度、色相和色度

明度（亮度或暗度） - 指的是颜色明暗差别。明度垂直穿过颜色球体（图 1）。最白的位于顶部，逐渐变暗的灰色阴影位于中间，黑色位于底部。明度的差异被描述为较深或较浅的颜色。

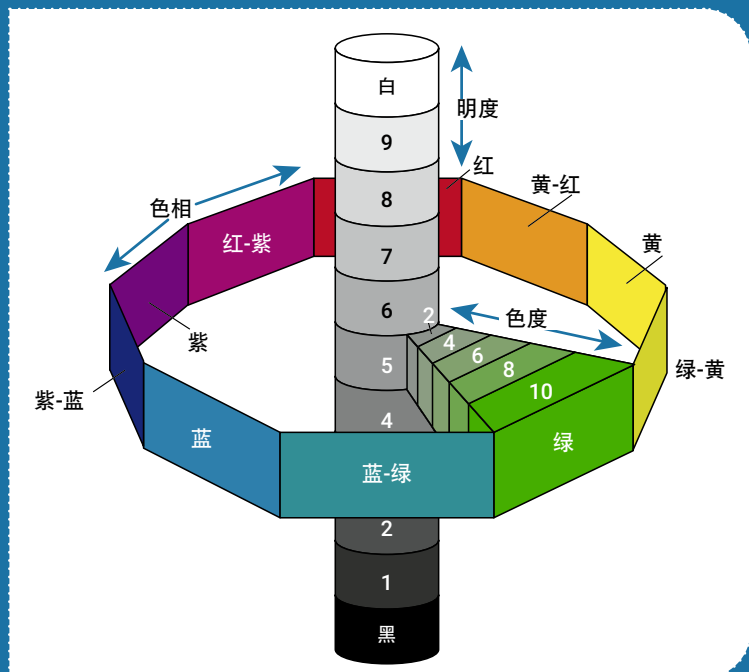
色相（颜色） - 围绕颜色球体的外边缘移动。它从黄色、红色和蓝色（三原色）移动到绿色。

颜色在色调比例上移动 - 蓝色可以朝着更红的色调移动并变成紫色，或朝着绿色色调移动，变成绿蓝色；红色可以变得更蓝（紫色或栗色）或更黄（橙色）；黄色可以变得更红或更绿（二次色）。它描述了色调的差异，即比另一种颜色更红或更绿。

色度（强度、丰富度、饱和度） - 此维度指颜色强度和丰富度的水平。它沿着轴条从中心轴向外周向辐射移动。色度最低的弱、褪色靠近色球的中心，而色度最高和最强烈的色彩位于外边缘。色度差异被描述为更饱和或欠饱和的颜色。

黑色、白色和灰色是无彩色，实际上是没有色调的颜色。

► 图 5 - 色球



如果希望产生一种鲜亮浓烈的颜色，则必须使用不含其他颜色的原色，以便不会影响到要产生的颜色。例如，要产生浓烈的绿色、黄色和蓝色，不应含有红色，因此只能使用青黄色和绿蓝色；纯紫罗兰色用蓝红和品蓝制成，其中蓝色和红色不应含有黄色；浓烈的橙色由红色和黄色制成，不含任何蓝色，黄色略带红色，而红色则呈淡黄色。

白色会使任何颜色变淡并且不会使其变亮，当添加用于着色时，色调不会发生改变。

即使少量的补色（红色和绿色；黄色和紫色；蓝色和橙色）也会降低颜色饱和度，添加补色后，颜色强度（色度）将立即开始降低。

添加少量黑色将使颜色变得更暗，添加大量黑色会使颜色几乎全变黑。另一种使颜色变

暗的方法是添加一些补色，这样会产生比仅添加黑色更丰富的深色。

6.2 染料索引

染料索引 (CI) * 是普遍接受的颜料标准编码体系，于 1925 年首次出版发行，目前由染色家协会以及美国纺织化学家和染色家协会提供支持。染料索引给化合物一个唯一的染料索引名称和染料索引编号来标识每种着色剂。下表给出了染料索引缩写（表 4）和颜料的化学结构编号（表 5）。对于染料，第一个字母 A 代表酸性染料，B 代表碱性染料。

前两个字母表示通用颜料颜色（表 4），数字表示单个颜料标识符（表 5）。

► 表 4 – 缩写染料索引 (CI) 颜料名称

缩写	颜料	缩写	颜料
PB	颜料蓝	PBk	颜料黑
PBr	颜料棕	PG	PG 颜料绿
PM	颜料金属	PO	颜料橙
PV	颜料紫	PR	颜料红
PW	颜料白	PY	颜料黄

► 表 5 – 与颜料化学结构相关的数字（选择）

化学类	CI 号码	化学类	CI 号码
Nitroso	100000–102999	Stilbene	400000–407999
Nitro	103000–109999	Diphenylmethane	410000–419999
Monoazo	110000–199999	Triarylmethane	420000–449999
Diazo	200000–299999	Xanthene	450000–459999

* 欲了解更多信息，请访问网站 <https://colour-index.com/>

6.3 分散工艺

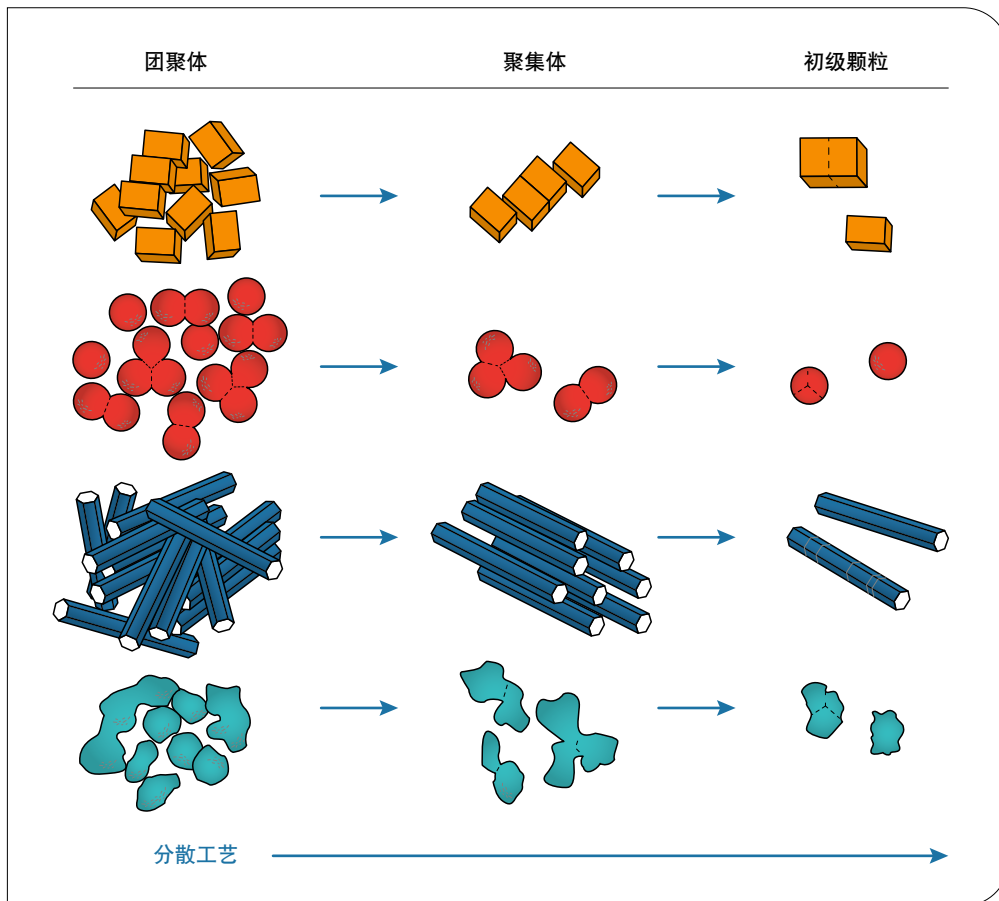
根据 EN ISO 18451-1 颜料模型，颜料粉末中存在三种颜料颗粒：初级颗粒、聚集体和团聚体。

分散工艺的目的是使载体内产生稳定且均匀的细分颜料颗粒(初级颗粒和聚集体)(图6)。

分散（研磨）工艺包括以下三个阶段：

- 通过研磨产生的机械力对聚集体和初级颗粒中的团聚体进行分散；
- 润湿分离颗粒（颜料 / 空气或颜料 / 水分界面被颜料 / 介质界面取代）；
- 稳定化 - 通过吸附聚合物链的空间位阻或相同电荷的颗粒之间的静电斥力来阻止颗粒重新聚集，现代分散剂结合了静电和空间稳定机制，通常被称为“电空间稳定”。

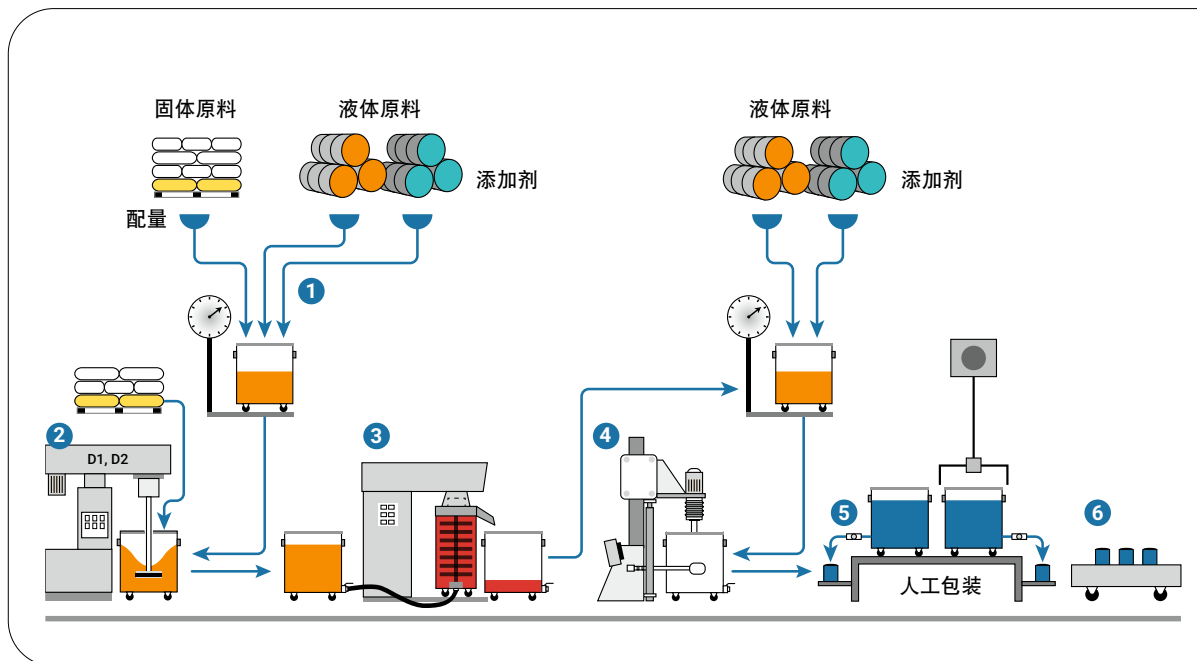
► 图 6 – EN ISO 18451-1 颜料模型



以下图示（图 7）演示了涂料生产工艺。

除了颜料良好的分散性，实现颜料颗粒的长期有效稳定也很重要，因为稳定不充分可

► 图 7 - 涂料生产工艺方案



- 1 原料（树脂、溶剂、颜料、填料和添加剂）称重和配量
- 2 通过溶解器进行混合（预研磨）- 团聚体湿润和机械分解
- 3 研磨（分散）- 颜料分散体的进一步分解和稳定
- 4 调漆 - 将颜料分散体与预先制备的其他液体材料混合物（粘合剂、溶剂、添加剂）混合均匀
- 5 过滤
- 6 包装

在涂料生产工艺中，需要进行监测以调整研磨机中研磨浆的粘度、温度和流量以及研磨工艺要求的涂料粒径。

在研磨操作工艺中，机械分解、润湿和稳定化的子工艺不一定按时间顺序发生，而是部分连续或同时发生。

ISO 1524:2013（色漆、清漆和印刷油墨—研磨细度的测定）规定了使用刻度单位为微米的测量仪器来测定涂料研磨细度的方法。本标准适用于所有类型的液体涂料及有关产品，但不适用于含片状颜料（如玻璃鳞片、云母氧化铁和片状锌粉）的产品。

能引起色移、沉淀或分散体粘度变化等负面影响。

需要高度专业的添加剂来润湿、分散和稳定液体配方中的干颜料粉末。润湿添加剂可加速树脂对颜料附聚物的润湿，分散添加剂可改善颜料分散的稳定性，同一种产品通常可同时作为润湿剂和分散添加剂。溶剂型和水基体系之间的润湿工艺存在显著差异，由于有机溶剂的表面张力较低，溶剂基体系中的润湿工艺通常非常容易。由于水的表面张力很高，水性体系中的表面张力明显更高，因此需要特殊的添加剂以使颜料充分润湿。

可以通过抗絮凝或受控絮凝来稳定颜料分散。在大多数情况下，抗絮凝稳定状态是合意的，但在某些情况下，受控絮凝更为可取。

通常，抗絮凝可提高颜料利用率，改善流动性并提高颜料负载量。由于抗絮凝颜料的粒径较小，可提高光泽度并增加颜色强度。这些性能对于需要外观良好和表面性能优异的面漆（如汽车涂料）特别重要。

在没有添加剂的情况下，颜料颗粒作为不受控的絮凝物会彼此直接接触。相反，在受控絮凝物中，添加剂分子通常在颜料颗粒之间，没有任何直接接触。

应该考虑光泽度和透明度，作为色漆达到稳定性的指标。应通过“擦拭”试验和沉降试验对混合物的指标（浮色/泛色表现）进行评估。擦拭后不均匀的漆膜表明颜料颗粒稳定性较差。擦拭和未擦拭区域之间的色差表明了絮凝程度以及浮色程度。

为进行沉降试验，将颜料分散体稀释后，倒入量筒内，贮存一段时间。随着絮凝体系的形成，无色素层逐渐形成，该层一般呈现出清晰的边界。相比之下，稳定的胶体体系在透明的上清粘合剂溶液和着色相之间有一个过渡区。

► 图8 - 分散机



图片来源：© Kansai Helios

受控絮凝状态可形成三维网状结构，导致涂层内的触变（假塑性或迅速恢复凝胶状态）流动行为。这些结构使静止状态粘度相当高。然而，施加剪切力会使颜料絮凝物破裂并使粘度降低。在剪切力移除后，絮凝物可以重建，因此可以实现流变行为，如下垂和沉降，以及实现膜厚度较大的垂直表面上的优异稳定性。由于不同的颜料在絮凝物中结合在一起无法与混合物分离，因此通过控制絮凝也可以控制泛色和浮色。共絮凝可导致光泽度降低，必须评估涂料是否存在不良影响。受控絮凝添加剂主要应用于底漆、内涂层和防护涂层体系中。

当分散一种颜料时，可以通过优化添加剂添加量和研磨条件以获得最佳的研磨质量。当将几种不同的颜料放在一起研磨时，需要在研磨参数方面做出妥协。由于不同颜料在研磨工艺中的性质不同，因此不建议对颜料进行共同研磨。难以研磨的颜料如有可能可以通过替代、单独研磨或作为颜料浓缩物进行添加。

添加剂过多或过少都会对颜料分散体的稳定性产生不利影响。由于添加剂附着于颜料的表面，润湿剂和分散剂的合适剂量取决于该颜料的类型。如果分散剂量太少，则无法实

现全部功效；如果太多，则由于颜料表面上的过密，保护层厚度减小，也会影响稳定性。漆膜的附着力或硬度也可能因为漆膜中的游离分子而降低。

生产商提供有关适用于特定类型颜料和涂料类型（水性或溶剂型）的添加剂类型和数量信息，但也应开展一系列实验室测试以优化剂量。

下表列出了添加剂使用建议（BNK, ND）。

► 表 6 – 添加剂使用量建议

润湿和分散添加剂类型	无机颜料	有机颜料	总配方
传统低分子量聚合物	0.5-2% 颜料 添加剂	1-5% 颜料 添加剂	0.1-1% 添加剂
高分子量聚合物	1-10% 颜料 添加剂	10-80% 颜料 添加剂	0.2-3% 添加剂

当实验室测试扩大到规模生产时，只有保持相同的研磨条件的情况下才能获得相当的研磨结果。

► 图 9 – 篮式砂磨机



图片来源：NOPC Jordan

6.4 红丹防腐颜料（PR 105）的替代

红铅颜料红丹（颜料红 105）是最古老且最受欢迎的防腐颜料之一，具有优异的防腐性能，主要用于金属底漆。它是一种间接抑制剂，需与选定的树脂体系进行反应。用于亚麻油或其他油性树脂粘合剂中时，会与树脂中的酸性基团反应生成具有缓蚀作用的铅皂。

如果通过适当的配方调整来显著降低氧气、水和盐等腐蚀剂的扩散性和渗透性，则可以

实现无化学干预的防腐保护。层状颜料如硅酸铝、层状氧化铁或云母最适合实现这种防腐性能。

底漆的防腐性能受诸多因素的影响，如树脂类型、颜料体积浓度（PVC）与临界体积颜料浓度（CPVC）的关系、防腐颜料类型和其他颜料和填料的类型、分散条件以及整个涂料配方等，在涂料重配方工艺中应该考虑以上因素。

表 7 提供了有关红丹颜料替代品的信息。

磷酸锌是防腐含铅颜料替代品的首选，不含铅和六价铬，但防腐性能不如含铅颜料。磷酸锌和氧化锌组合是降低成本和提供良好防腐性能的良好选择。氧化锌可与粘合剂中的脂肪酸发生反应，从而形成锌皂，作为腐蚀剂的屏障。

实例 3 给出了含有磷酸锌的醇酸树脂底漆的配方，实例 4 给出了与磷酸锌和氧化锌

▶ 表 7 - 含铅防腐颜料的潜在替代品

颜料类型	颜料	作用机制
化学活性防腐颜料	氧化锌 (ZnO) 磷酸锌 (ZnPO ₄) 改性磷酸锌 磷酸钙 改性磷酸钙	通过在涂层与腐蚀介质接触形成不溶性化合物和 / 或稳定 pH 值, 来结合氯化物或硫酸盐等腐蚀催化剂。因此, 需要在腐蚀介质中轻微溶解。
电化学活性防腐颜料	铬酸锌 (ZnCrO ₃) *, 磷酸锌 (ZnPO ₄) 改性磷酸锌 磷酸钙 改性磷酸钙	通过形成薄层 (如铬酸盐层或磷酸盐层) 钝化金属表面。溶解度和反应性是活性颜料的关键参数。
活性阴极保护防腐颜料	锌粉	一种特殊型活性颜料, 当应用于含铁基底时, 通过阴极起保护作用。充当牺牲阳极并保护金属基底。涂料的配制需在金属基底和牺牲颜料颗粒之间产生良好的电接触。使富锌底漆能够提供防腐保护的要点是 PVC 接近或高于 CPVC。
被动防腐颜料	云母氧化铁 硅酸铝	阻隔颜料 - 通过增强漆膜并降低其对腐蚀剂的渗透性发挥作用, 具有片状或片颗粒状的化学惰性颜料, 通过形成扁平颗粒壁, 保护基底免与水 and 电解质接触。

* 铬酸锌含有六价铬, 非替代品选项。

结合的环氧酯底漆的配方 (见附录 3 重配方实例)。

基于改性正磷酸盐和多磷酸锌颜料形成的防腐颜料可显著提高传统磷酸锌的性能 (Heubach 2019)。由于颜料的有效性取决于载体, 颜料生产商建议对不同种类的载体使用不同的磷酸锌。

锌是一种重金属, 近年来对无锌防腐涂料的需求增加。磷酸钙是标准磷酸锌的替代品, 表 8 给出了作为红丹替代品的适用性信息。使用正磷酸钙镁也可以达到防腐性能, 而改性磷酸钙是一种具有长期防腐性能颜料替代品。

填充剂的选择也很重要, 因为底漆中存在的主要成分正是填充剂 (实例 3 中约 32%, 见附录 3)。填充剂的物理性质, 例如粒

径和形状分布、折射率、密度、硬度和颜色, 以及其晶体结构和表面化学性质赋予矿物质其功能性 (Paint and Coating Industry Magazine 2001)。填充剂可以增强机械性能和耐腐蚀性, 使用具有片状颗粒的填充剂可防止水、氧和其他化学物质通过薄膜中重叠的颗粒到达基底。

P 片状滑石粉 (水合硅酸镁) 被证实为一种具有抗腐蚀、疏水性的填充剂, 可阻止水和腐蚀剂渗入漆膜, 减少漆膜的腐蚀、剥落和起泡。由于其颗粒形状和化学惰性, 还可以提高附着力, 从而提高涂料的耐久性。

云母和瓷土也是功能性填充剂, 因其形状可改善底漆的防腐性能。

应尽可能使用无毒、有机添加剂来提高涂层的防腐性能。该组合在防腐协同作用方

面提供了优异的性能特征组合（Heubach 2021）。

实例 4（附录 3）给出了含有缓蚀剂的环氧树脂底漆配方。

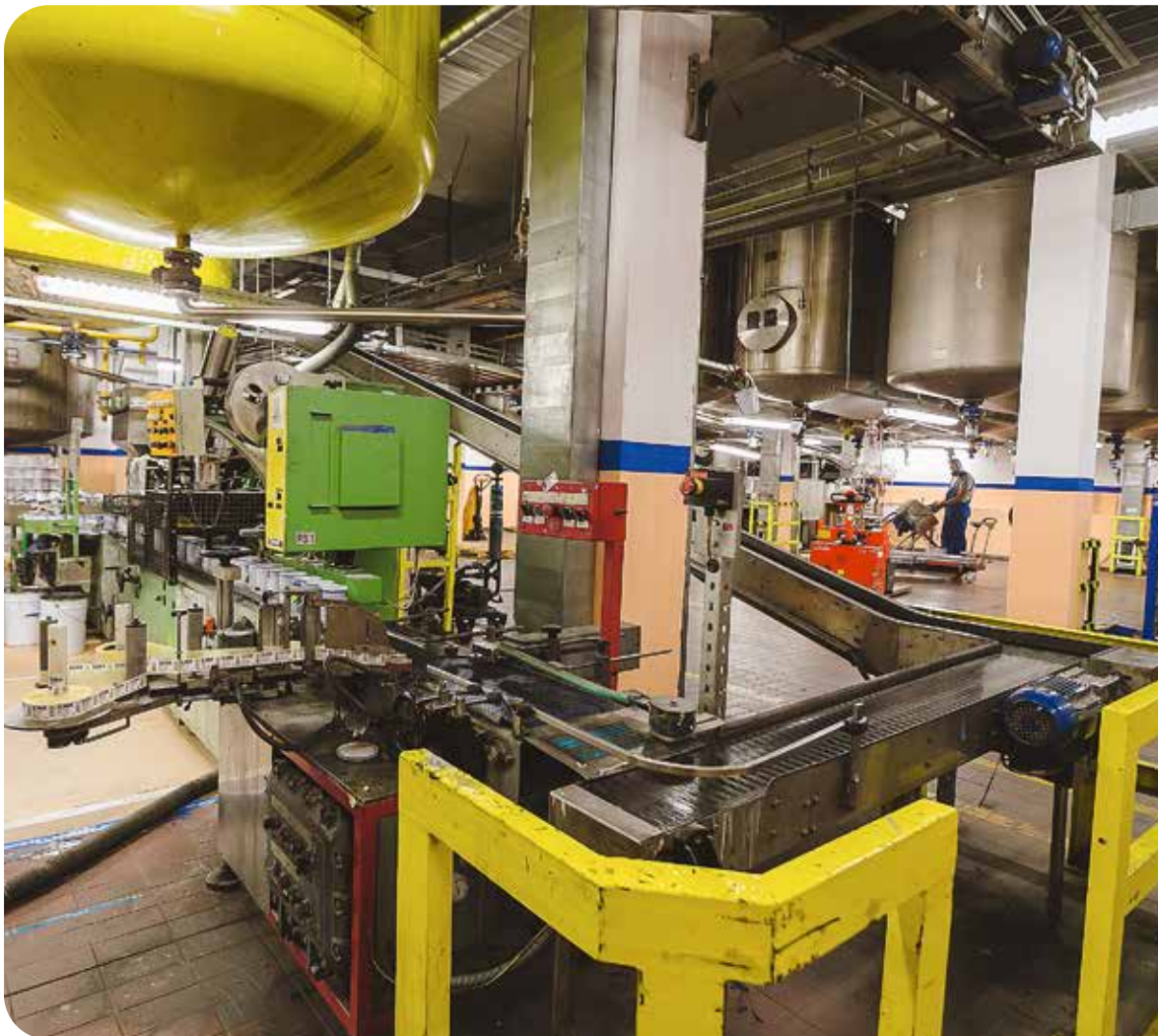
6.4.1 替代品评估

红色铅基防腐涂料配方的颜色为橙色。没有替代品可以呈现这种颜色，但是由于在使用

防腐涂料时必须使用面漆对其进行覆盖，因此这一要求并不是非常重要。企业应联系其行业客户，解释相比成本增加，无铅新配方具有健康、环境和合规优势。此外，通过重配方也可以降低成本（见附录 3，案例研究 1）。

下表列出了红丹替代品的评估。

► 图 10 - 包装流水线



图片来源：© Kansai Helios

▶ 表 8 – PO105 的替代品评估

要求	红丹 (PR 105)	替代	
		正磷酸锌 (PW 32)	正磷酸钙
功能	优异的防腐性能	磷酸锌及其改性物具有良好的抗腐蚀性。底漆颜色不尽相同，但装饰性并不是一项重要底漆功能。	正磷酸钙及其改性物具有优异的防腐性能。底漆颜色不尽相同，但装饰性并不是一项重要底漆功能。
生产工艺		无需变更生产工艺。	无需变更生产工艺。
环境和人类健康危害 (OECD 2021a, ECHA 2021c and Pcimag 2001)	<p>H302: 吞食有害</p> <p>H332: 吸入有害</p> <p>H351: 怀疑致癌 (若确凿地证明无其他接触途径造成这种危害，则说明接触途径)。</p> <p>H360: 可能损害生育能力或伤害胎儿。</p> <p>H360Df: 可能伤害胎儿。怀疑损害生育能力。</p> <p>H362: 可能对母乳喂养的孩子造成伤害。</p> <p>H372: 会对器官造成损害。</p> <p>H372: 通过吸入或摄取长期或反复接触，会对中枢神经系统、血液和肾脏造成损害。</p> <p>H410: 对水生生物具有长期毒性影响。</p>	<p>H400- 对水生生物极其有害。</p> <p>H 410 对水生生物具有长期毒性影响。</p> <p>正确使用 (使用个人防护设备)，对人体无害。</p>	<p>危害性低，不会对人类健康构成危害。</p> <p>因危害性 (在水溶性极限下无水生物毒性) 较低，该化学品不具有对环境有危害的特性。</p>
经济可行性		性价比高的替代品。根据产品的不同，成本可能略有增加。	成本更高。
可用性		市场上有较多磷酸锌供应商。	可在市场上购买到正磷酸钙。

针对含铅防腐涂料和重配方的无铅涂料开展平行测试是判断替代效果的必要条件。对干燥时间、机械性能和抗腐蚀性能进行了测试。抗腐蚀性能的室外暴露测试耗时较长，但可与颜料生产商合作开展加速防腐测试，如盐雾测试（ASTM B117-11 和 DIN EN ISO 9227）和湿度测试（ISO 6270-1: 2017）。

6.5 铅白（PW1）的替代

尽管碱性碳酸铅颜料的折射率（1.94）较低，但其多年来一直应用于涂料配方中。这种颜料已被更有效的二氧化钛（PW 6）颜料成功取代，其遮盖力几乎是十倍（Müller and Poth 2017）。该二氧化钛颜料的配方可减少干膜中的白色颜料。这种差异可通过使用成本较低的填料来弥补，从而达到相同效果。

白铅具有干燥作用，如果在醇酸树脂的配方进行替代，须谨慎使用催干剂，并增加新配方中的催干剂的量，建议使用锆和锑催干剂（见第 7 章）。

6.6 铅铬酸盐（PY 34）和铅铬酸盐钼酸盐（PR 104）的替代

涂料配方非常复杂并要满足相关要求。除载体外，颜料的选择也起着重要作用，因为装饰效果和技术性能与其直接相关。

为便于企业进行替代，本节提供了替代颜料特性方面的内容。

经济可行性包括许多企业自身特定因素，这些因素不包括在评估中，这里仅列出颜料成本。

PY 34 和 PR 104 用于提供装饰性能，如鲜艳的颜色、干净的色调和高能见度（涂料的标识功能），还可满足严格的技术标准要求，如优异的遮盖力、耐光性和耐候性、热稳定性，以及不渗色。

下表列出了 PY 34 和 PR 104 的技术特性。

► 表 9 – PY 34 和 PR 104 的特性

特性	说明
着色功能和色度	PY 34 - 绿色到中度，红色到黄色，PR 104 从黄色到蓝色到橙色。
分散性	优异的分散性。对于某些特定用途，只能用分散机来分散。
遮盖力（不透明度）	优异的流动性，可能有较高的颜料负载，从而产生良好的遮盖力。
热稳定性	优异的热稳定性。可在高于 200° C 的温度下使用。
渗色性	颜料不会浸出或渗入底层或其他有色部分。
耐光性、耐候性和耐化学性能	铬酸铅的耐光性和耐候性取决于所使用的类型及其表面稳定性。市场上使用的大多数铬酸铅都是标准产品，具有优异的耐光性和耐候性。 耐碱性和耐酸性差。

► 图 11 – 在汽车喷漆室给汽车喷漆



图片来源: www.pixabay.com

替代或取消某种颜料类别会对下游用户产生直接影响。配方设计师需要改变配方以符合颜色和技术要求。到目前为止，没有单独一种颜料替代品可以精确地 1:1 替代铬黄 PY 34 或钼酸盐红 PR 104 颜料。最成功的方法是使用有机和无机颜料组合，可在最终的薄膜中提供预期的性能组合。

目前市场上有许多替代颜料，根据其预期用途，替代颜料都有各自的优缺点。因此，对替代品的评估较为复杂，根据以下几项标准开展评估：功能（技术性能：分散性、耐热性、耐候性）、健康、安全和环境因素、颜料成本和可用性（参见流程图 1）。

有必要了解无铅颜料与含铅颜料的性质、性能和成本方面的差异。

6.6.1 评估潜在的无机颜料替代品

可替代 PY 34 或 PR 104 的无机颜料包括：钒酸铋（PY184）、混合金属氧化物（PY53 和 PBr24）、氧化铁黄（PY42）和氧化铁红（PR101）。市场上还有其他颜料可与别的颜料结合使用，实现不同的性能水平，如 PO 82（氧化锡钛锌）、PW 6（二氧化钛）和 PY 216（金红石锡锌）。

所有无机颜料替代品都具有不同的色度和色相。PY 34 的最佳替代品是钒酸铋，它具有相似的色度和非常好的技术性能。

无机颜料可作为替代品，在不透明度和渗色性方面具有与 PY 34 和 PR 104 相似的特性，并且因其具有良好的耐光性和耐候性，可用于室外涂料配方。无机颜料热稳定性可达 200°C，与 PY 34 和 PR 104 相当，但 PR 101（氧化铁红）的耐热性不及 PR 104。

▶ 表 10 – 潜在无机颜料替代品的评估

颜料	与含铅颜料的对比
PY 34 的潜在替代品	
钒酸铋 PY 184	<p>功能：非常好的技术性能 - 涂料耐用，渗色性与 PY 34 相当，耐热性优异。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺。</p> <p>对环境和人类健康的危害：未被归为对人类健康或环境有害。</p> <p>经济可行性：价格明显较高，但性能与含铅颜料相似。</p> <p>可得性：原料来源有限 (Bi、V) *。</p>
金属氧化物混相颜料 PY 53	<p>功能：涂料耐用，但保光性较差。不可能具有相同的颜色范围。渗色性和热稳定性与 PY 34 相当。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺。</p> <p>对环境和人类健康的危害：未被归为对人类健康或环境有害。</p> <p>经济可行性：价格与含铅颜料价格相近。</p> <p>可得性：市场上可获得。</p>
氧化铁 PY 42	<p>功能：涂料耐用。如看重颜色，则不能选择这种颜料，因为该颜料颜色较深且较暗淡。渗色性和热稳定性均很优异。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺。</p> <p>对环境和人类健康的危害：未被归为对人类健康或环境有害。</p> <p>经济可行性：价格与含铅颜料的价格一样。</p> <p>可得性：市场上可获得。</p>
PR 104 的潜在替代品	
氧化铁 PR 101	<p>功能：涂料耐用。如看重颜色，则不能选择这种颜料，因为该颜料颜色较深且较暗淡。渗色性优异，但热稳定性较 PR 104 差。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺。</p> <p>对环境和人类健康的危害：未被归为对人类健康或环境有害。</p> <p>经济可行性：价格与含铅颜料的价格一样。</p> <p>可得性：市场上可获得。</p>
PR 104 和 PY 34 的潜在替代品	
金属氧化物混相颜料 PBr 24	<p>功能：涂料很用，但保光性较含铅颜料差。无法获得相同的颜色范围。渗色性和热稳定性优异。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺。</p> <p>对环境和人类健康的危害：未被归为对人类健康或环境有害。</p> <p>经济可行性：价格与含铅颜料价格相近。</p> <p>可得性：市场上可获得。</p>

* 对于颜料的可用性，有一种相反的意见。一些公司认为，任何替代颜料均不存在可用性问题的。

6.6.2 评估潜在的有机颜料替代品

可以替代 PY 34 和 PR 104 的有机颜料列表很长，包括以下颜料系列：

- a. 偶氮二芳基化合物（例如 PO 13、PO 34、PY 14、PY 83）
- b. 偶氮二苯胺（例如 PO 16）
- c. 偶氮苯并咪唑酮（例如 PO 36、PY 151、PY 154、PY 194）
- d. 单偶氮（例如 PY 65、PY 74、PY 97）
- e. 特种偶氮（例如 PO 67）
- f. 另一种有机替代物（例如 PO 73、PY 110、PY 138、PY 189）和颜料
- g. 吡咯并吡咯二酮红 - PR 254

市场上还有其他颜料可与他类颜料结合使用，以实现不同的性能水平，如 PO3、PO5（偶氮基）、PR 112（萘酚 AS-D）、PR 170（萘酚）、PY 82（双偶氮缩合）和 PR 122（喹吡啶酮）。

a. 偶氮二芳基颜料系列

下表列出了本系列潜在替代颜料与 PY 34 和 PR 104 颜料的评估。

偶氮二芳基化合物不具有遮盖和遮光功能。此类颜料耐久性和光泽保持性较差，仅适用于室内使用。热稳定性较差（超过 200° C 将分解产生有害物质）。

► 表 11 - 潜在偶氮二芳基颜料替代品的评估

颜料	与含铅颜料的比较
PY 34 的潜在替代品	
PY 83	<p>功能：与 PY 34 相比，耐久性较差，以此类颜料配制的涂料不适合在户外使用。遮盖力较差，热稳定性较差。渗色性良好。此类颜料只可调配出暗淡色调的黄色。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺，但由于有机颜料的分散性较差，研磨阶段耗时长，能源消耗大。</p> <p>对环境和人类健康的危害：未被归为对人类健康或环境有害。</p>
PY 14	<p>经济可行性：较 PY 34 昂贵。</p> <p>可得性：市场上流通。</p>
PR 104 的潜在替代品	
PO 13	<p>功能：与 PR 104 相比，耐久性较差，以此类颜料配制的涂料不适合在户外使用。遮盖力较差，热稳定性较差。渗色性良好。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺，但由于有机颜料的分散性较差，研磨阶段耗时长，能源消耗大。</p> <p>对环境和人类健康的危害：未被归为对人类健康或环境有害。</p>
PO 34	<p>经济可行性：较 PR 104 昂贵。</p> <p>可得性：生产原料的来源有限，全球仅有数家制造商。</p>

b. 偶氮二苯胺颜料系列

该颜料系列具有与偶氮二芳基颜料系列相似的特性。

二苯胺颜料具有许多与二芳基颜料相同的性质，但具有更好的热稳定性。此类颜料耐久性和光泽保持性较差，不适用于室外使用。

下表对 PR 104 替代品的 PO 16 进行了评估。

► 表 12 – 潜在偶氮二苯胺颜料替代品的评估

颜料	与含铅颜料的比较
PO 16	<p>功能: 由于耐久性和保光性较差,因此涂料配方只适合在户内使用。遮盖力较差,热稳定性较差。渗色性良好。</p> <p>技术可行性: 无需变更生产工艺,但由于有机颜料的分散性较差,研磨阶段耗时长,能源消耗大。</p> <p>对环境和人类健康的危害: 在有限剂量的亚急性口服研究中,未观察到不良结果。PO16 不会引起遗传毒性。</p> <p>经济可行性: 较 PR 104 昂贵。</p> <p>可得性: 生产原料的来源有限。全球仅有数家制造商。</p>

c. 替代品偶氮苯并咪唑酮颜料系列

尽管存在某些限制,但此类颜料是 PY 34 和 PR 104 的最佳替代品之一。

下表列出了 PO 36、PY 151、PY 154 和 PY 194 相对于 PY 34、PR 104 的评估。

这些黄色颜料仅为绿色色调的黄色,无法获得黄色的高色度色调。

► 表 13 – 偶氮苯并咪唑酮颜料潜在替代品的评估

颜料	与含铅颜料的比较
PY 34 的潜在替代品	
PY 151	<p>功能: 与 PY 34 相比,耐久性和保光性较差,但可用于室外涂料配方。热稳定性与 PY 34 相当。无渗色。PY 194 是透明的,在这几种颜料中耐久性最差。</p>
PY 154	<p>技术可行性: 无需变更生产工艺,但由于有机颜料的分散性较差,研磨阶段耗时长,能源消耗大。</p> <p>对环境和人类健康的危害: 对人类健康和环境均无不良影响。</p>
PY 194	<p>经济可行性: 颜料相关直接成本较高。</p> <p>可得性: 市场上流通。</p>
PR 104 的潜在替代品	
PO 36	<p>功能: 与 PR 104 相比,耐久性和保光性稍差,但可以用于户外涂料配方。热稳定性与含铅颜料相当。渗色性良好。颜色与 PR 104 的颜色非常接近,略显灰暗。</p> <p>技术可行性: 无需变更生产工艺,但由于有机颜料的分散性较差,研磨阶段耗时长,能源消耗大。</p> <p>对环境和人类健康的危害: 对人类健康和环境均无不良影响。</p> <p>经济可行性: 颜料相关直接成本较高。</p> <p>可得性: 市场上流通。</p>

d. 单偶氮颜料系列

下表列出了此类颜料相对于 PY 34 的评估。

单偶氮颜料的耐溶剂性较差，会造成渗色。
此类颜料大部分可用于水性涂料中。

▶ 表 14 - 单偶氮系列的评估

颜料	与含铅颜料的比较
PY 65	功能： 由于耐久性差，这些颜料仅适合于户内使用。与 PY 34 相比，热稳定性和保光性也较差。在溶剂型涂料中，会出现渗色。就颜色而言，这些颜料是 PY 34 较好的替代品，可获得明亮的绿色和红色色调的黄色。
PY 74	技术可行性： 无需变更生产工艺，但由于有机颜料的分散性较差，研磨阶段耗时长，能源消耗大。 对环境和人类健康的危害： 这些颜料对人类健康和环境均无不良影响。
PY 97	经济可行性： 颜料相关直接成本较高。 可得性： 市场上流通。

e. 特殊偶氮

下表列出了 PO 67 与 PO 104 比较的评估。

▶ 表 15 - PR 104 的替代品 PO 67 的评估

颜料	与含铅颜料的比较
PO 67	功能： 与 PR 104 相比，此类颜料的耐久性和保光性稍差，但可以用于户外涂料配方。 技术可行性： 无需变更生产工艺，但由于有机颜料的分散性较差，研磨阶段耗时长，能源消耗大。 对环境和人类健康的危害： 对人类健康和环境均无不良影响。 经济可行性： 较 PR 104 昂贵得多。 可得性： 十分有限。

f. 其他有机替代品

这些颜料之间差异较大，但都缺乏透明度、色度有限。

Y 34 和 PR 104 的其他替代品便是有机颜料，例如 PO 73、PY 110、PY 138 和 PY 139。

下表列出了此类颜料的评估。

► 表 16 - 对作为 PY 34 和 PR 104 替代品的其他有机颜料的评估

颜料	与含铅颜料的比较
PO 73	<p>功能：与 PR 104 相比，此类颜料的耐久性和保光性稍差，但可以用于户外涂料配方。热稳定性和渗色性均良好。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺，但由于有机颜料的分散性较差，研磨阶段耗时长，能源消耗大。</p> <p>对环境和人类健康的危害：对人类健康和环境均无不良影响。</p> <p>经济可行性：比 PR 104 昂贵得多。</p> <p>可得性：十分有限。</p>
PY 110	<p>功能：具有良好的耐久性和保光性，此类颜料适合室外使用。热稳定性和渗色性也很好。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺，但由于有机颜料的分散性较差，研磨阶段耗时长，能源消耗大。</p> <p>对环境和人类健康的危害：对人类健康和环境均无不良影响。由于存在中间产品或有毒溶剂，其生产工艺极为危险。</p> <p>经济可行性：比 PY 34 昂贵得多。</p> <p>可得性：十分有限。</p>
PY 138	<p>功能：与 PY 34 相比，耐久性和保光性较差，此类颜料仅适合于户内使用。热稳定性和渗色性均良好。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺，但由于有机颜料的分散性较差，研磨阶段耗时长，能源消耗大。</p> <p>对环境和人类健康的危害：对人类健康和环境均无不良影响。由于存在中间产品或有毒溶剂，其生产工艺极为危险。</p> <p>经济可行性：较含铅颜料昂贵得多。</p> <p>可得性：十分有限。</p>
PY 139	<p>功能：与 PY 34 相比，此类颜料的耐久性和保光性较差，但仍可用于室外涂料配方中。热稳定性和渗色性均良好。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺，但由于有机颜料的分散性较差，研磨阶段耗时长，能源消耗大。</p> <p>对环境和人类健康的危害：对人类健康和环境均无不良影响。</p> <p>经济可行性：比含铅颜料昂贵得多。</p> <p>可得性：十分有限。</p>

g. 吡咯并吡咯二酮红 (DPP)

此类颜料常应用于汽车涂料中，具有诸多良好特性，如热稳定性和保光性较好。

下表列出了对作为 PR 104 替代品的 PR 254 的评估。

► 表 17 - 对作为 PR 104 替代品的 PR 254 的评估

颜料	与含铅颜料的比较
PR 254	<p>功能：热稳定性和保光性优异，适合于室外颜料配方。渗色性良好。</p> <p>技术可行性：无需变更生产工艺，但由于有机颜料的分散性较差，研磨阶段耗时长，能源消耗大。</p> <p>对环境和人类健康的危害：对人类健康和环境均无不良影响。</p> <p>经济可行性：比 PR 104 昂贵得多。</p> <p>可得性：市场上的制造商数量有限。</p>

使用 PY 34 和 PR 104 颜料可使涂料获得极高的耐久性、保光性和颜色的标识或对比性能。对替代品的评估综合考虑了定性（功能、技术可行性、EHS 性能）和定量（经济可行性、可得性）指标。

- 耐热性 > 200° C。
- 无渗色问题。
- 满足涂层制造设备的技术要求。

所有备选的替代品都未能达到 PY 34 和 PR 104 的一些技术要求。

铬酸铅颜料通常用于无需实现所有较高性能指标的应用中（如室内应用）。因此，没有必要使用具备所有性能的单一颜料进行代替，而是设计满足特定性能指标的替代配方即可。

替代颜料及其组合能够：

- 覆盖整个色彩空间（黄色、橙色到红色）。
- 提供干净的色调。
- 通过有机和无机颜料的结合，实现较高不透明度的性能指标要求。
- 涵盖内外使用的不同性能水平，具有较高的耐光性和耐候性。

6.6.3 干颜料制剂、混合颜料和颜料浆

颜料工业已经实现了以特定干颜料制剂直接以 1: 1 替代 PY 34 和 PR 104。颜料制剂的制备可以在近全色调颜色范围内实现色度与遮盖力之间的良好平衡。颜料制剂覆盖从黄绿色调到红黄色调，以及从橙黄色调到蓝橙色调范围。

混合颜料是一种特殊微粉化的复合无机颜料核颗粒和附着在核心颗粒表面上的预分散有机着色剂的组合。混合颜料实现了对有机和无机颜料性能的最佳优化，可在颜色、不透明度和颜色强度方面进行调整，可相当于含铅颜料，有黄色、橙色和红色的颜料制剂。混合颜料色度增强技术在涂料颜色鲜亮表现方面具有巨大的潜力，在耐久性、不透明度和高光泽度方面具有优异性能。

实例 5 (附录 3) 提供了混合颜料的指导配方。

颜料浆是一种单一颜料浓缩物，颜料含量高、研磨树脂含量低，可与多种载体相容，用于调色或涂料制造。

如使用颜料浆对颜色进行调色，只需添加少量不同颜料浆，研磨树脂不会影响着色涂料的性能。如果某家公司没有研磨设备，颜料浆也可作为含铅涂料重配方中的色漆调色。

颜料浓缩物（浆）混合也可制成涂料，并用清漆或白色涂料进行稀释。在这种情况下需要大量颜料浆，对涂料的性能有较大的影响，对颜料膏浆相应规格要求也会比较高。

6.6.4 用颜料对涂料进行重配方

没有一种无铅颜料可完全具有 PY 34 或 PR 104 的所有技术性能。但无铅颜料可同时结合有机颜料的鲜亮颜色，以及无机颜料的最佳性能，如良好的遮盖力、耐候性和耐光性、热稳定性和抗渗色性。为了实现这些性能，可在涂料重配方中对无机和有机颜料进行组合使用。无机颜料提供遮盖力，而有机颜料提供颜色、色度和着色强度。耐候性取决于使用何种有机颜料并可根据具体要求进行调整（见表 18）。通过组合无机和有机两种类型颜料，可以实现所需的涂料性能。

重配方工艺的第一阶段，除了准确定义颜色之外，还应精确定义涂料应具有的性质（性能）：

- 室外还是室内使用（耐候性和耐光性）。
- 可接受的色调差异。
- 是否有耐热性要求？
- 在规定的膜厚度下具有很好的遮盖力。
- 颜色的明暗度。
- 是否可接受渗色（是否用于涂料色系不同层次）。

如果涂料仅用于室内，则无需使用昂贵的高性能耐光有机颜料，这将有助于降低重配方的成本。

在下面的中高性能 RAL 1021 颜料制剂实例中，铅基配方颜料的成本为每平方米 0.35 欧元，而无铅配方颜料的成本为每平方米 0.71 欧元（ECHA 2014）。

▶ 实例 1 RAL 1021 含铅和无铅配方 *

颜料	含铅配方 (%W/W)	无铅配方 (%W / W)
PY 151 (有机)		81.5
PY 34 (无机)	85.8	
PBr 24 (无机)	11.0	17.7
PY 139 (有机)	0.8	0.8

在以下中高性能 RAL 3000 的实例中，铅基配方颜料的成本为每平方米 0.31 欧元，由于无铅配方中使用了 70% 的无机颜料，致使成本降低约 30%，其成本为每平方米 0.20 欧元（ECHA 2014）。

▶ 实例 2 RAL 3000 含铅和无铅配方

颜料	含铅配方 (%W/W)	无铅配方 (%W/W)
PY 53 (无机)	21.5	61.1
PR 104 (无机)	63.3	
PR 254 (有机)		27.3
PR 122 (有机)	8.0	
PR 101 (无机)	7.2	11.6

在涂料性能指标要求最高的情况下，无铬酸铅配方的颜料成本要高出 2-3 倍，在中等性能水平要求下，无铅颜料成本具有可比性，而在一般水平下，无铅颜料价格更易承受（ECHA 2014）。

* 颜色和遮盖力取决于油漆的类型，因为着色剂在不同的载体中的表现是不同的。

下表总结了与 PY 34 和 PR 104 相比的替代颜料性质的特性。

根据原始配方中含铅颜料和新配方中的颜料组合类型，应考虑更换分散剂或变更研磨工艺（参见第 6.3 节）。

► 表 18 – 替代颜料与 PY 34 和 PR 104 性质对比

颜料	室外使用	热稳定性 更差 *	渗色性
PY 184, PY 42, PR 101, PY 110, PR 254, PR 122, PW 1, PY 216, PR 122, PY53, PBr.24, PY 151, PY 154, PY 194, PO 73, PY 139	是	否	否
PO 36	是	是	否
PO 13, PO 34, PY 14, PY 83, PO 16, PO 155	否	是	否
PY 65, PY 74, PY 97	否	是	是
PO 67	是	否	是
PY 138	否	否	否

* 与 PY 34, PR 104 相比

去除达不到要求的颜料后，综合考虑到有机和无机颜料的性能，就可以开始对使用所选颜料进行颜色调整。

基本方法：测量含铅颜料的涂料的颜色，然后使用颜色匹配工具（软件和设备）来进行颜色匹配。颜料生产商可协助提供特定颜色的起始配方，着色经验丰富的人员可通过反复调色确定所需的颜料并明确最终的配方。

包括 PY 34 和 PR 104 在内的颜料几乎从未单独用于终端产品。因此，为获得某特定颜色和性能，选择某一种或其他种类颜料的影响因素会有很大不同。每一种涂料都是不同的，因此无法提供精确的替代解决方案，但基于原始涂料配方和性能要求，可提供如何开展替代方面的方法和信息。

对于含铅颜料替代的涂料重配方工艺不仅仅需要进行颜色调整，这只是受其影响的性质之一。

含铅颜料具有非常好的分散性，因此生产工艺中只需要用分散机进行分散。而含铅涂料的重配方意味着将使用有机颜料，因此须变更生产工艺并加入研磨工艺。

如果含铅配方中仅含有无机颜料，而无铅配方主要含有有机颜料（实例 1、2），则重配方工艺需要考虑新的分散剂，研磨工艺也将发生改变（延长研磨时间）。

如果含铅配方含有有机颜料，则根据新配方中的具体颜料，须考虑改变分散剂的类型和剂量。

在有机 / 无机颜料组合的情况下，由于这两类颜料的性质不同，不应共同研磨。可以通过以下方式：

- 生产着色色浆将其混合，以达到理想的色度；
- 在配制工艺中单独研磨颜料（先研磨无机颜料，再使用同一研磨设备在不

同条件下研磨有机颜料，反之亦然)。实例 2 提供了该颜料组合的具体方法案例。首先，颜料 PY 53 和 PR 101 应先进行预分散，之后再一起分散，之后是 PR 254，反之亦然。应针对每个研磨阶段情况具体调整研磨条件；

- 使用与多种载体兼容的成品颜料分散体（通用分散体）。

实际上，产量和设备水平决定了替代方法的选择，当然成本也起着重要作用。

为成功实现规模扩大，实验室中的研磨条件应与工厂中的研磨条件相当。

分散体的稳定性非常重要（参见第 6.3 节）。如果分散不稳定，可能会影响颜色再现性，导致涂层起雾或其他薄膜缺陷，并对耐候性产生不利影响。

可通过户外老化来测试耐候性，但获取准确结果需要长时间的暴露。因此，可通过加速老化测试仪器进行人工老化，如使用 QU-V 耐候性测试仪、耐风蚀测试仪（氙气或碳弧灯）或日照测试（UV 光）加速老化。加速老化试验可能持续数千小时，具体取决于应用情况。应对含铅涂料和新配方进行平行测试。在老化试验期间和完成之后，检测保色性（或与未暴露的涂料比较差异）、保光性（或与未暴露的涂料比较光泽差异）和粉化情况。

日光包含整个可见光谱，白炽灯具有黄色、橙色等，而荧光则有紫罗兰、红色等多种颜色。因为日光下更容易看到被涂覆的物品，所以应该用自然日光进行色彩评估。如使用比色箱，则应用不同类型的光源进行颜色比较。

某些替代颜料可能发生同色异谱现象。当两个物体在一个光源下颜色匹配，但在另一个光源下不匹配，就会出现同色异谱现象，最常见的原因是某个样品含有另一样品中不存在的一种或多种颜料。例如，某样品在日光下匹配，但在白炽灯照明下不匹配。

▶ 文本框 3 - 比色箱



图片来源：Courtesy of BYK Gardner

为准确判断颜色匹配情况，应做到：

- 将待测样品涂覆于底涂层。
- 使底涂层（若是风干的）充分干燥。
- 用同样的技术方法涂覆涂料样品。
- 标准色和测试色涂覆厚度基本相同。
- 用比色箱或自然日光比较颜色。



图片来源: www.pixabay.com

含铅催干剂的替代

本章介绍了最常用的催干剂（辛酸铅和环烷酸铅）的相关内容，读者如需了解其他催干剂或详细信息，可参考文献引用。

替代含铅催干剂的重配方工艺并不复杂。因此，指南介绍了有关催干剂的功能的一般原则，以及剂量和涂料测试的个别特征和原则的信息作为替代和未来无铅添加剂风干涂料配方指南。

7.1 催干剂的功能和组成

某些粘合剂（如干性油树脂）和改性树脂（如醇酸树脂和环氧酯），接触大气氧会引发交联反应而固化。其干燥工艺可分为几个不同的阶段：第一是涂料的物理干燥，在此工艺中溶剂蒸发，粘合剂颗粒聚结形成封闭膜。然后是化学干燥（也称为氧化干燥），这是

一种脂质自氧化工艺，涂料粘合剂化合物与空气中分子氧发生氧化而干燥，可通过催干剂来加速干燥，在该工艺中发挥催化剂作用。

催干剂属于一类皂类，当进入空气干燥涂层中，涂覆后在适当时间内可加速或促进从液膜到固体阶段的转化。这种转化通过氧化交联发生，氧化交联是由催干剂的金属阳离子催化的工艺。

催干剂在溶液中也称为催干液，是可溶于有机溶剂和粘合剂的有机金属化合物。金属皂中的阴离子很大程度上决定了催干剂是否满足基本的预期性能，即：

- 在各种粘合剂中具有良好的溶解性和高稳定性。
- 催干剂贮存时稳定性好。

- 能够以高金属浓度存在。
- 度低，使催干剂更容易处理。
- 催干剂应具有最佳催化效果。
- 性价比最高 (Bieleman 2000).

已用于催干剂化合物中的金属可分为三类：主催干剂（也称为活性催干剂或氧化催干剂）、次催干剂（也称为完全催干剂）和辅助催干剂。下表列出了各类催干剂使用的金属：

► 表 19 – 催干剂可用的金属

主催干剂	次催干剂	辅助催干剂
<ul style="list-style-type: none"> • 钴 • 锰 • 铁 • 铈 • 钒 	<ul style="list-style-type: none"> • 铅 • 锆 • 铋 • 钡 • 铈 • 锶 	<ul style="list-style-type: none"> • 钙 • 锌 • 锂 • 钾

选择有机酸制备此列金属盐是因其具有与粘合剂的最佳相容性和最佳溶解性。

催干剂最早来自脂肪酸或松香，随后被从原油中提取的环烷酸取代。由于环烷酸较为稀缺，现代催干剂已被支链合成酸取代，如辛酸（2-乙基己酸）、异壬酸（3,5,5-三甲基己酸）或新癸酸（主要是2,2,3,5-四甲基己酸）。合成酸气味小、金属含量高、质量稳定。

- 中性
- 酸性（更常见归为中性）
- 一般
- 高碱性 - 指使用二氧化碳取代催干剂部分酸

7.2 选定催干剂的性能

铅已被广泛用作次催干剂。次催干剂在干燥的交联步骤中保持活性，负责整个涂料层的整体干燥。铅催干剂作为唯一的催干剂其活性较低。铅还可提高薄膜的柔韧性和耐久性。除毒性问题外，铅催干剂还有其他缺点，如在薄膜中产生沉淀，可能导致浑浊、失去光泽。与钙催干剂组合使用时可使这种影响最小化，钙催化可起到乳化剂作用并改善颜料分散性和润湿性。铅催干剂还会与硫反应形成黑色硫化铅，造成硫污染。在涂料储存

期间，铅催干剂会与醇酸树脂水解形成的长链脂肪酸发生反应，可使铅盐不溶。

铅催干剂与钴或锰组合使用，通常还会加入钙，以避免铅的沉淀和雾化。以涂料中金属占树脂固体总量的比例计算，铅基催干剂的典型成分包括：

- 0.05% 钴
- 0.5% 铅
- 0.1% 钙

钴是主催干剂，主要起表面催干剂作用。作为一种简单的金属皂，它在室温下具有最佳效果，广泛用于各种涂料和清漆。如单独使用，钴可能会导致表面起皱和干燥不良。因此，它常与其他金属如锰、锆、锶、铅、钙，

以及这些金属催干剂组合使用。如果将钴作为催干剂添加到未稀释的树脂中，粘度可能会大幅增加。钴催干剂可单独应用于水性体系，但通常与干燥催化剂结合使用。

只需添加非常少量的钴，因此与其他金属催干剂相比，钴的变色趋于最小化。此外，由于钴的深蓝色与油和醇酸粘合剂的黄色相互抵消，从而提高了涂料的白度，因此钴不会使白色涂层变色到与其他催干剂相同的程度。

TIARC（国际癌症研究机构）将钴和钴化合物归为“可能对人体致癌”（2B组）。此外，该物质可能引起变应性接触性皮炎，属于过敏反应类型。如有可能，应对钴催干剂进行替代。

钴催干剂替代品包括钒、铁和锰催干剂。

锰也是一种活性催干剂，但效果不如钴。作为烘烤面漆中的聚合催化剂，锰通常比钴更有效。钴和锰从本质上提高了漆膜的表面干燥程度；锰的低温干燥性能优于钴。含锰的涂层在高湿度条件下不会像只含钴的薄膜那般起皱。通常，最好是配制不含锰或锰含量极低的白色涂料，一旦锰含量较高，就会形成粉红色或粉黄色。锰还具有以下优点：不会导致烘烤的漆膜变脆，如果仅使用钴就会发生这种情况。另外，在易于结皮的体系中，例如聚氨酯油基涂层，锰的使用会取得良好效果。然而，锰很少单独使用，钴通常是主催干剂，而锰作为有效的改性剂。有机催干剂可改进锰催干剂的效果。

钒催干剂可使涂膜的表面和整体完全干燥。但一大缺点是会使薄膜染色，这极大地限制了钒在涂料中的应用。钒似乎也特别容易出现干燥能力丧失的问题。钒催干剂可用于溶剂型风干涂料和高固体涂料，也可以乳化形式应用于水性体系。

钙作为催干剂的效果十分有限，但与活性催干剂结合使用的效果良好。钙可使薄膜基质保持开放状态，使更多氧气进入薄膜，并使更多的溶剂在干燥工艺中尽早逸出。当钙与

钴和钶一起使用时非常有效，可在低温和高湿度等恶劣天气条件下促进干燥。钙作为辅助催干剂时，涂料长期储存时的干燥能力损失程度可以降低。钙催干剂有助于提高硬度和光泽度，还可减少结皮和走丝现象。除了锌和钙等辅助催干剂外，大多数催干剂都是在涂料生产的稀释阶段添加的，因其具有湿润和分散作用，通常可添加到漆浆中。

铅基催干剂的替代品包括钶或锶催干剂。

钶，和铅和稀土金属一样是一种催干剂。钶只有与主催干剂结合使用才有效，可促进表面和整体完全干燥。与铅不同，钶是一种效果较差的润湿剂和分散剂，因此，与钙的结合使用十分必要。钴 / 钶 / 钙组合的干燥性能在环境温度和湿度条件下，与铅基组合催干剂的性能相近。但在临界条件下，即低于10°C时，其性能存在一些问题。

锶具有与钶相同的干燥性能，但也具有辅助干燥特性的优点，从而可提高储存稳定性并减少“干燥损失”，尤其是在着色度高或含有大量添加剂的体系中。锶似乎克服了钶的不足性能，即将成为铅替代的最优选择。此外，锶还是一种良好润湿剂和分散剂，可防止起雾和起皱。但是，使用锶时，室外性能可能会受到负面影响。

高碱性锶催干剂是一种性价比高的替代品，具有优异的干燥性能，并且比中性等级的催干剂更具成本效益。

涂料工业中使用金属组合已成为惯例。这些组合涉及一种或多种主催干剂组合一种或多种辅助催干剂，包括即用型或预复合型催干剂。

与传统的单金属催干剂相比，混合催干剂具有许多优势：

- 提高效率。
- 减少原料的使用量。
- 降低称重误差的风险。
- 最佳金属配比。

- 简化生产工艺。
- 质量一致。

干燥催化剂 - 或络合剂，是非金属化合物（有机配体），可提升主催干剂金属活性，使涂层快速干燥。其功能是通过形成螯合物与金属原子络合而发挥作用。广泛应用于商业领域的两种不同类型的干燥催化剂，2,2'-联吡啶和1,10-菲咯啉，可用于溶剂型和水性空气干燥系统。在水性涂料中，主催干剂的水解可导致涂料储存时干燥能力损失。将主催干剂与干燥催化剂组合，可形成一定程度的防水解的保护能力。干燥催化剂的使用在一定程度上还可减少由于金属催干剂吸附在颜料表面上而导致的干燥能力损失。

储存过程中，粘合剂在大气界面（表面）可能会在氧气的影响下提前发生非预期的交联反应，抗结皮剂可以抑制或延迟这些不良的氧化过程。

7.3 干燥能力损失

氧化干燥型涂料经长期储存后通常会具有更长的干燥时间。催干剂活性的失效主要是由以下因素造成：

- **催干剂在颜料表面的化学吸附：**与物理吸附的可逆过程相反，化学吸附将导致催干剂永久固定。化学吸附发生在表面上带有酸性基团的颜料上，并主要发生在具有大表面积颜料上，如炭黑和各种有机颜料。溶剂成分也影响化学吸附过程；最强烈的吸附发生在较差的干燥溶剂中，例如强极性或非极性溶剂。无芳烃矿物溶剂体系比高芳烃石油溶剂稀释的体系更容易发生化学吸附。

- **盐的形成：**催干剂离子和长链脂肪酸的反应产物 - 它们的形成是由粘合剂或其他成分的水解引起的，通常不溶于涂料，结晶后会沉积，导致催干剂失效。

- **不溶性络合物的形成：**这种现象通常出现在用纯脂肪族溶剂稀释的低气味涂料中。由短链脂族酸（如碘苯腈辛酸酯）组成的不同类型催干剂的配合物在这些溶剂中仅具有有限的溶解度，并且容易结晶。高碱性催干剂比中性催干剂对这种效应更敏感。长链酸如C9-C11组成的催干剂更易溶，且不易结晶。

- **催干剂的水解：**该过程是水性涂料体系中干燥能力损失的主要原因。催干剂在有水的情况下会迅速发生水合。此外，水是钴的良好配体，易与钴络合。所形成的水合物十分不稳定，导致金属皂水解，随后造成碱性金属不溶。

可通过以下方式避免干燥能力损失：

- **选择与涂层体系完全兼容的干燥体系。**催干剂应可溶于粘合剂，在储存或干燥阶段不会形成任何雾状物。对于着色体系，建议在不添加颜料或填充剂的介质中进行相容性测试。
- **在研磨阶段引入牺牲型催干剂。**可以使用辅助催干剂，例如钙，尤其是当干燥能力损失是由于主催干剂在颜料上的化学吸附造成的。这种方法有其局限性，不能一直使用，因为如果辅助催干剂过量，则粘度和硬度（软化效果）以及耐久性耐色性可能会受到负面影响。

▶ 图 12 - 树脂生产



图片来源：© Kansai Helios

- 使用“送料型催干剂”，如羟基环烷酸钴。此类进料催干剂是糊状物，不溶于矿物溶剂油。这些催干剂可以：
 - 补充吸附在颜料上的活性金属(深色)。
 - 以受控方式释放其他金属。
 - 与残余树脂酸缓慢反应。

目前被定义为危险品，疑会对胎儿造成伤害（ECHA 2021d）。建议使用无害的替代品，如基于异壬酸（3,5,5- 三甲基己酸）或新癸酸（主要是 2,2,3,5- 四甲基己酸）作催干剂。

下表给出了对辛酸铅替代品的评估。

7.4 对含铅催干剂的替代品的评估

催干剂可能含有对健康和 / 或环境产生不良影响的成分（有机溶剂或干燥催化剂）。因此，在替代品中，必须考虑整个产品而不仅是活性金属化合物。本节重点介绍辛酸铅（一种常见的催干剂）的替代品。辛酸铅及其无铅替代品辛酸中使用的合成酸，2- 乙基己酸，

► 表 20 - 对辛酸铅替代品的评估

要求	辛酸铅 *	替代品			
		辛酸锆 *	辛酸锶 **	新癸酸锆	新癸酸锶
功能	完全催干剂 (ECHA 2021)	完全催干剂	完全催干剂	完全催干剂	完全催干剂
技术可行性	调漆时添加催干剂。	无需变更生产工艺。	无需变更生产工艺。	无需变更生产工艺。	无需变更生产工艺。
环境和人体健康危害	<p>H226 - 易燃液体和蒸气</p> <p>H302 - 吞食有害</p> <p>H332 - 吸入有害</p> <p>H410 - 对水生生物有极高毒性且具有长期持续影响。</p> <p>H360(f,d) - 可能损害生育能力。可能伤害胎儿。</p> <p>H371 - 长期或反复接触会对器官造成损害。</p> <p>H336 - 可能导致困倦或头晕。</p>	<p>H302 - 吞食有害</p> <p>H304 - 吞咽并进入呼吸道可能致命</p> <p>H318 - 造成严重眼损伤</p> <p>H361d - 怀疑对胎儿造成伤害。</p> <p>H315 - 引起皮肤刺激</p>	<p>H302 - 吞食有害</p> <p>H304 - 吞咽并进入呼吸道可能致命</p> <p>H318 - 造成严重眼损伤</p> <p>H361d - 怀疑对胎儿造成伤害。</p> <p>H315 - 引起皮肤刺激</p>	<p>H304 - 吞咽并进入呼吸道可能致命</p>	<p>H304 - 吞咽并进入呼吸道可能致命</p>
经济可行性		价格不稳定	与锆相比，锶原料通常价格更低更稳定。	这比其他酸基的催干剂更昂贵。	
可得性	含铅催干剂在市场上有售，但在许多国家都被禁止使用	锆石砂—所有锆化学品的原料，主要产于澳大利亚、西非和中国，由于采矿限制，供不应求，导致供应减少，其后推动价格上涨。	锶无供应问题，目前价格稳定。	只由几家公司生产，但尚未广泛使用。	

* 根据 DURA 公司的 SDS 的对环境与人类健康的危害

** Ibid

7.5 催干剂的涂料重配方

由于氧化 - 固化过程是一个同时发生交联和键断裂的复杂反应，因此催干剂的用量至关重要。有效干燥应使用最少量的催干剂，添加过多会影响成膜及其性能，因为金属会促进持续的氧化，导致粘合剂和涂料脆化。

一些催干剂的用量，如钴、锰、钒和铁的有机盐，会因漆膜着色而受到限制。

某些颜料也会加速氧化干燥，例如氧化铁（主要是由于表面积大形成的透明等级）、金属锌颜料、氧化锌、碳酸钙和铅颜料。其他颜料可作为氧化固化的抑制剂，例如炭黑、群

青颜料和一部分酞菁颜料。这些颜料会在其表面吸附催干剂，须略微增加催干剂的添加量 (Bieleman 2000)。

商用催干剂的特征在于其金属含量。技术数据表显示了催干剂的定向数量，包括组合产品。针对标准长油度醇酸树脂的涂料建议将不同于短油度醇酸树脂或高固体涂料；同样，油 / 脂肪酸和任何混合的性质将改变最佳的干燥系统。为了实现涂料的最优性能，配方设计师需要找到主催干剂和辅助催干剂的正确平衡。某些金属可以提升特定性能，如硬度增加、光泽度更高、干燥效果更好等。

下表给出了使用范围建议（某生产商）：

► 表 21 – 所选催干剂的推荐使用范围 (Durachem ND)

金属	计算范围为树脂固体上的金属百分比				
	长油度醇酸	短油度醇酸	烘干 / 烘烤	水性	超低挥发性有机化合物
铅	0.50-0.80	0.35-0.70			
锆	0.20-0.40	0.15-0.30		0.10-0.30	0.08-0.15
锶	0.20-0.40	0.15-0.30			
钴	0.04-0.07	0.03-0.06	0.02-0.05	0.04-0.12	0.08-0.15
钙	0.15-0.30	0.10-0.20		0.05-0.10	0.15-0.45
锰	0.06-0.09	0.04-0.09	0.02-0.05	0.06-0.14	0.08-0.15
钒	0.08-0.12	0.06-0.09			

文本框 4 – 如何计算催干剂用量？

催干剂用量使用以下公式计算：

$$\text{催干剂 kg} = (\text{树脂 kg}) \times (\text{树脂固体 \%}) \times (\text{剂量 \%}) / 100 \times (\text{催干剂中的金属含量 \%})$$

实例：假设我们的涂料配方（1000 kg）含有 500 kg 的醇酸树脂（50% 固体），而我们想要得到 0.3% 剂量的锆（18%）催干剂

$$500 \times 50 \times 0.3 / 100 \times 18 = 4.2 \quad \rightarrow \quad \text{每 1000 千克涂料应加入 4.2 千克锆催干剂（18%）}$$

不能简单地用锆取代铅，还必须调整钴和钙的比例。根据不同文献，以金属含量进行计算，配方中的铅催干剂由 60-75% 的锆催干剂代替，最好是从生产商提供的催干剂量开始。

以金属含量计算，锆催干剂可由铈催干剂等替代。如果用铈催干剂替代铅催干剂，无需调整钴和钙催干剂的用量。

有必要测试涂料并调整催干剂用量以获得最佳结果，但一般规则是将催干剂设置在最小值以免产生负面影响。

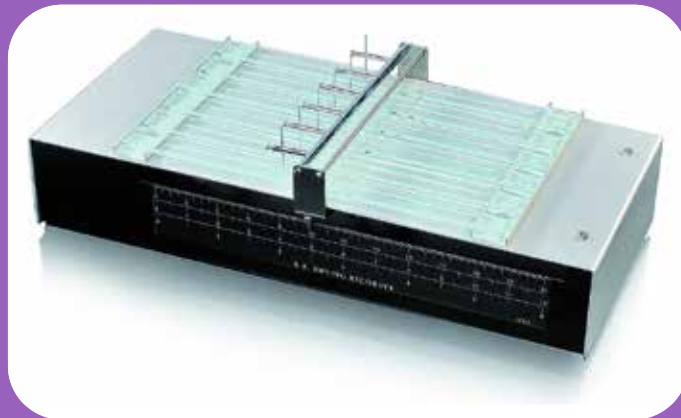
如新配方产品的干燥时间和薄膜性能与参照产品（含铅催干剂）相当，就应研究新配方如何受储存影响。在高温条件（40° C，两周）下储存会在一定程度上刺激、延长储存时间。储存后干燥时间的增加表明干燥系统丧失了干燥能力。如果在替代系统中发现严重的相分离或沉降，而参照产品并非如此，则该替代不可行，尤其是搅拌后不易使样品再混合。应在储存之前和之后都测量干膜的粘度、光泽度和硬度。

表 22 提供了消除催干剂相关问题的措施。

► 文本框 5 – 干燥测试

在初始干燥时间测试之后，应对首选替代干燥系统的稳定性、粘度、薄膜硬度、光泽度和黄变（在黑暗的橱柜中一个月）等方面开展测试。替代品技术评估中的所有试验应作为对照测试进行，即以原含铅催干剂系统的产品为参照。

► 图 13 – 干燥时间记录仪



图片来源：Courtesy of BYK-Gardner

▶ 表 22 – 与催干剂相关的故障排除措施 *

催干剂相关问题	增加	或	降低	或	添加	或	替代
漆膜发粘	钴或锰				钴或钾		
起霜	钙						
回粘	锆				铁		
保色性差					锌		
光泽度较低					锌		
高湿度条件下干燥效果不佳					铈或镧		
涂层太软					锌、铈或铋		
颜料吸收造成干性损失	中性钙				锌、铁或干燥催化 剂		
沉淀造成干性损失	高碱性钙				干燥加速剂		
干燥时间长	所有催干剂						
涂料的防水性差							钙与钡或锶
起皱	钙		钴		锌		钴与锰
罐内结皮	抗皮肤剂		钴				
完全干燥较差	锆或钙		钴				
发黄	钙或镧		铈或锰				
表面干燥缓慢	钴						钙或钾
积尘	钴						
低温下干燥缓慢							钙与钡、锶或锂或 钴与锰
漆膜过脆	锆		钴				
硫化物污染							含锆或锶的铅
颜料分散性差	在漆浆中加入辛酸锌或辛酸钙						

目前，与锆催干剂相比，锶催干剂被认为具有更好的综合性能，可成为锆催干剂的经济

高效的替代品，可在低温和高湿度条件下具有优异的干燥性能。

* 来源：Troy Corporation



图片来源: www.pxabay.com

结论

铅通常是一种慢性累积性毒物。铅暴露是一个重大的公共卫生和环境问题。婴幼儿（特别是 5 岁以下的儿童）和孕妇最容易受到铅的不利影响，即使铅暴露水平相对较低，也会对人类健康造成严重损害。

改用无铅涂料配方而不有意添加含铅原料是行业面临的一项挑战，目前原料供应商正在一起努力帮助涂料制造商积极应对。自从大约十年前铅替代行动发展以来，市场上已有许多原料可以替代涂料中的铅化合物。

铅防腐颜料（PR 105）具有优异的防腐性能，但可以用磷酸锌替代，或者用改性正磷酸盐和多磷酸锌颜料来实现更优的防腐性能。进一步提升性能和环境保护的要求可使用磷酸钙及其改进版。

PY 34 和 PR 104 满足严格的技术要求，并可产生清晰的深色调，但非常危险。虽然没有单一的颜料可以替代这些含铅颜料，但可根据涂料应该满足的规定标准，使用组合颜料作为替代选项。

铅催干剂的替代品可为锆或锑催干剂。

在 SAICM GEF 项目下与中小型企业试点开展涂料重配方的试验中，发现以下结果：

指南介绍了涂料重配方的一般原则。由于初始含铅配方在颜色和其他技术指标方面的性能表现有所不同，每次重配方都需要一种具体的方法。项目根据参与公司的具体需求而向其提供了深入分析和更具体的数据资料。

▶ 文本框 6 – 重配方试验的主要发现

大多数参与该项目的中小型企业不使用含铅催干剂，所有案例研究均围绕含铅颜料替代展开。

在项目中了解到，溶剂型和水性涂料都有含铅颜料。

- 一些小型企业不具备开展涂料性能测试和扩大规模必需的所有设备。缺少研磨设备可以通过使用颜料浆来解决。
- 供应商对小市场（用户）缺乏商业兴趣，且无铅颜料的供应有限（约旦、厄瓜多尔）。除了新冠疫情之外，这也是导致项目在这些国家进展缓慢的一个因素
- 所有参与方均认为供应商的技术支持很重要。部分项目合作伙伴组织了技术人员的会议，从而更好地了

解重配方工艺并促进颜料的正确选择。

- 中小型企业成功并显著降低了重配方涂料的铅浓度—如案例研究 3（附录 3）所示。铅含量从原始配方中的 34689 ppm 降低到重配方后醇酸涂料中的 56 ppm 以下。
- 重配方的经济成本各不相同。在一些情况下，铅替代品原料的价格较低，降低了成本，如案例研究 1（附录 3）所示。在其他情况下，涂料的价格明显上升。
- 各个公司成功的重配方了他们的含铅涂料，但是在色相微调和成本优化方面有待开展进一步的工作。

如欲了解更多有关中小型企业案例研究的信息，参见附录 3。

据涂料行业表示，涂料重配方以消除含铅化合物是可行的，其技术和成本影响也是可控的。

消除含铅化合物也可能具有潜在的经济优势。涂料制造商和用户（如玩具制造商）可通过生产或使用不含铅化合物的涂料，使其产品进军涂料中铅含量受到限制的市场。

► 图 14 - 位于哥伦比亚的一家涂料制造厂



图片来源：NCP Colombia

参考文献

- Bieleman J. (ed) (2000). Additives for Coatings. Weinheim: Verlag GmbH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527613304>.
- BYK (ND). Wetting and Dispersing Additives. <https://ebooks.byk.com/en/wetting-and-dispersing/why-do-we-use-wetting-and-dispersing-additives/>. Accessed April 2020.
- Danish Environmental Protection Agency (2003). Substitution of Cobalt Driers and Methyl Ethyl Ketoxime. <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2004/87-7614-097-0/pdf/87-7614-098-9.pdf>.
- Demayo A., Taylor M.C., Taylor K.M. and Hodson P.V. (1982). Toxic effects of lead and lead compounds on human Health, Aquatic Life, Wildlife Plants, and Livestock. Critical Reviews in Environmental Control, 12, 257-305. <http://dx.doi.org/10.1080/1064338820938168>.
- Durachem (ND). Technical Brief: Typical Drier Dosage and Addition Calculation. http://www.durachem.com/docs/Tech_Brief-Drier_Dosage_and_Addition_Calculation.pdf. Accessed January 2021.
- Edwards S., Rossi M., and Civie P. (2005). Alternatives Assessment for Toxic Use Reduction: A survey of methods and Tools. Lowells: The Massachusetts Toxic Use Reduction Institute, University of Lowell. <https://www.turi.org/content/download/3369/30384/file/2005+M%26P+Report+23+Edwards+Rossi+Civie+-+Alternatives+Assessment+Survey+of+Methods+and+Tools.pdf>.
- European Chemical Agency (2011a). Guidance on the Preparation of an Application for Authorisation, Version 1. https://echa.europa.eu/documents/10162/13643/authorisation_application_en.pdf/8f8fdb30-707b-4b2f-946f-f4405c64cdc7. Accessed January 2021.
- European Chemical Agency (2011b). Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment. <https://echa.europa.eu/guidancedocuments/guidance-on-information-requirements-and-chemical-safety-assessment>. Accessed March 2020.
- European Chemical Agency (2021a). Substance Infocard: Lead naphthenate. <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.051.610>. Accessed March 2020.
- European Chemical Agency (2021b). Substance infocard: Lead bis. <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.005.553>. Accessed January 2021.
- European Chemical Agency (2021c). Substance Infocard: Thallium trifluoride. <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.029.040>. Accessed January 2021.
- European Chemical Agency (2021d). Substance Infocard: 2-ethylehexanoic acid. <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.005.222>. Accessed January 2021.
- European Chemical Agency (2014). Third-Party Submission of Information on Alternatives for Applications for Authorisation (NonConfidential): BASF SA https://echa.europa.eu/documents/10162/17086/instructions_third-party_afa_en.pdf/7bcfcfc7-e189-4e65-8e95-3c93520344c3?t=1447069994330. Accessed May 2019.
- Goldschmidt A., and Streitberger H.-J. (2007), BASF Handbook Basics of Coating Technology, Second Revised Edition. Hannover: Vincentz Network.
- Haig S.M., D'Elia J., Eagles-Smith C., Fair J.M., Gervais J. et al. (2014). The persistent problem of lead poisoning in birds from ammunition and fishing tackle. The Condor. 116(3):408–28. <https://academic.oup.com/condor/article/116/3/408/5153126>.

- Heubach, (2019). Lead free for our Environment, https://www.heubachcolor.com/fileadmin/downloads/brochures/Bleifrei_web_1.pdf. Accessed March 2020.
- Heubach (2021). Anticorrosives From the Experts, https://www.heubachcolor.com/fileadmin/downloads/brochures/ACO_Broschuere_web.pdf. Access in April 2021
- ICL (2021). HALOX Z-PLEX 111, <https://www.halox.com/halox-z-plex-111/>. Accessed March 2021.
- International Pollutants Elimination Network (2015a). Replacement of Lead Pigments in Solvent Based Decorative Paints. England: Safinah <https://ipen.org/sites/default/files/documents/Replacement%20of%20lead%20pigments%20in%20solvent%20based%20decorative%20paints.pdf>.
- International Pollutants Elimination Network (2015 b). Lead Drier Replacement in Solvent-Based Alkyd Decorative Paints) England: Safinah <https://ipen.org/sites/default/files/documents/Lead%20drier%20replacement%20in%20solvent%20based%20alkyd%20decorative%20paints.pdf>.
- Mannari, V. and Patel C.J., (2015). Understanding Raw Materials, Hanover: Vincentz Network
- Müller B. and Poth U. (2017). Coatings Formulation, An International Textbook, 3rd Completely Revised Edition. Hanover: Vincentz Network
- Paint and Coatings Industry Magazine, (2001). Extenders, 26 February <https://www.pcimag.com/articles/84133-extendere>. Accessed March 2020
- Prospector (2021). Coating and Formulation Search <https://www.ulprospector.com/en/la/Coatings/Formulation/search?start=500&sl=123859653>. Accessed January 2021
- Olofsson, A.(2011). The Substitution Principle in Chemical Regulation: a Constructive Critique. Journal of Risk Research 17:5, 573-575, DOI: [10.1080/13669877.2013.841739](https://doi.org/10.1080/13669877.2013.841739).
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2021a).The Global Portal to Information on Chemical Substance. <https://www.chemportal.org/chemportal/substance-search>. Accessed January 2021
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2021b). Existing Chemicals Database. <https://hpvchemicals.oecd.org/ui/search.aspx>. Accessed January 2021.
- United Nations Environment Programme (2010). Final Review of Scientific Information on Lead – Version of December 2010. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/27635>.
- United Nations Environment Programme (2021). Addendum to the Global Alliance To Eliminate Lead Paint Business Plan.
- Rodrigues E.G., Virji M. A., McClean M. D.M, Weinberg J. et al. (2010). Personal Exposure, Behavior, and Work Site Conditions as Determinants of Blood Lead among Bridge Painters. Journal of Occupational Environmental Hygiene 7(2):80–7. <https://dx.doi.org/10.1080/2F15459620903418316>.
- Were F.H., Moturi M.C., Gottesfeld P, Wafula G. et al. (2014). Lead exposure and blood pressure among workers in diverse industrial plants in Kenya. Journal of Occupational Environmental Hygiene 11(11):706–15. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15459624.2014.908258>.
- World Health Organization (2020a). Global Elimination of Lead Paint: Why and How Countries Should Take Action. Technical brief. <https://www.who.int/publications/item/9789240005143>.
- World Health Organization, (2020b). Brief Guide to Analytical Methods for Measuring Lead in Paint, Second Edition. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332932>.
- Zhou S., Williams A.P, Berg A.M., Cook B.I., Zhang Y, and Hagemann S. (2019). Land-Atmosphere Feedbacks Exacerbate Concurrent Soil Drought and Atmospheric Aridity. Proceedings of the National Academy of Sciences 116(38):18848–53. <https://doi.org/10.1073/pnas.1904955116>.

附录

附录 1 查找危险性较小替代品的相关信息提示

在互联网搜索时注意：

搜索：

- 代替（应替换的化学品名称）
- 替代（应替换的化学品名称）
- 应替换的化学品名称（产品名称，例如涂料）
- 安全 / 更安全、绿色、健康、生态（产品名称）

搜索包括：

- 化学名称 + 使用方式（例如涂料中的颜料）
- 尽可能精确：行业、工艺、产品、功能
- 同义词和识别号（CAS, EC 等）

图 15 - 从搜索开始



图片来源: www.pixabay.com

附录 2 配方一实例

注 1: 实例 1 和实例 2- 见 “6.6.4 涂料重配方”

注 2: 色调和遮盖力取决于涂料类型, 因为染色剂在不同载体下作用不同。

▶ 实例 3 无铅低成本长油度醇酸底漆配方 (ICL 2021)

研磨		
原料 / 供应商	%WT/WT	类型
70% 长油度醇酸树脂	21.05	载体
矿物溶剂油 (无味) / 朗盛	18.71	溶剂
Bentone 34/Omya	0.94	增稠剂
甲醇 / 朗盛	0.23	溶剂
Bayferrox 180 M/ 拜耳	4.68	合成氧化铁红颜料
HALOX®Z-PLEX 111 / ICL 高级添加剂	9.35	磷酸锌复合物 (沉淀和阳极钝化)
Mica Talc AT.1.	32.74	填料
调漆		
70% 长油度醇酸树脂	2.34	载体
矿物溶剂油 / 朗盛	8.84	溶剂
钴 12% (OMG 欧洲)	0.28	催干剂
钴 12% (OMG 欧洲)	0.09	催干剂
锌 8% (OMG 欧洲)	0.37	催干剂
钙 4% (OMG 欧洲)	0.19	催干剂
Skino 1 (OMG Europe)	0.19	Anti-skinning agent
总计	100	

▶ 实例 4 无铅工业环氧酯底漆配方

研磨		
原料 / 供应商	%WT/WT	类型
Uranox EE4 X-50 / DSM 专用树脂	20.00	载体
Bentone 34 (10% 溶剂油 / 乙醇, 85/5) / Omya	4.7	增稠剂
特殊黑色 100 /Orion	0.30	颜料
氧化锌	4.4	颜料
硫酸锌 ZP 10/ Heubach	11.20	颜料
Fintalc M15/Mondo Minerals B.V.	9.00	填料
Barytes EWO/ Sachtleben Minerals	4.40	填料 (硫酸钡)
Bayferrox 222 FM	1.70	颜料
Heucorin RZ/Heubach	1.20	有机缓蚀剂
调漆		
Uranox EE4 X-50 / DSM 特种树脂	14.70	载体
Octa Soligen Co 6/ Borchers	0.10	催干剂
Exkin II	0.20	防结皮剂
Shellsol A (壳牌)	12.10	溶剂
总计	100	

这种涂料可快速干燥, 45 分钟内不沾尘土, 2 小时内进行干燥后处理, 一天完全固化。

▶ 实例 5 无铅指导配方 (Propsector 2021)

色相			
RAL 1018	%WT/WT	RAL 1021	%WT/WT
Brufasol 黄 AL 10	59.708	Brufasol 黄 AL 10	63.290
二氧化钛	38.800	PY 42	18,987
PY 83	1.194	PY 83	2.532
PY 101	0.298	PY 101	10.126
		PB 15.3	3.165
		PG 7	1.909
RAL 1023	%WT/WT	RAL 2000	%WT/WT
Brufasol 黄 AL 30	95.487	Brufasol 黄 AL 30	62.651
PY 83	1.909	PR 177	12.048
PY 101	2.604	PY 83	12.048
		PY 101	13.253
RAL 2004	%WT/WT	RAL 3000	%WT/WT
Brufasol 黄 AL 30	52.175	Brufasol 黄 AL 30	24.795
PO 34	27.536	PR 254	24.793
PY 101	5.797	PY 101	25.619
二氧化钛	14.492	二氧化钛	14.049
		氧化红	10.744

▶ 实例 6 具有混合颜料的无铅指导配方 *

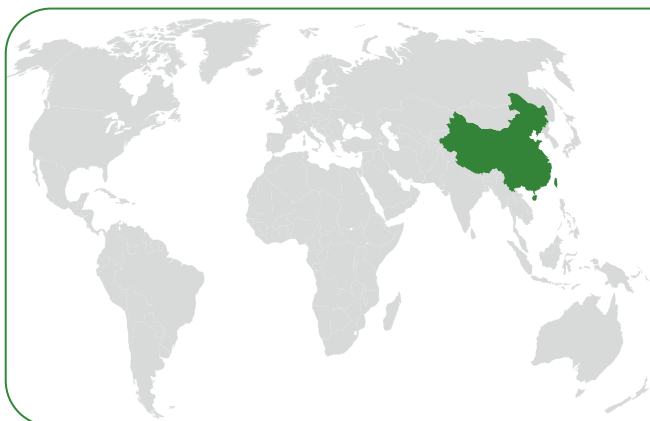
颜料	替代方案 A	替代方案 B
(以固体粘合剂计算的颜料含量 - 23.7%)		
RAL 1003 信号黄	%WT/WT	%WT/WT
TICO® 黄 594	39.80	52.82
TICO® 黄 622 N	24.90	25.35
HEUCODUR® 黄 152	13.00	
HEUCODUR® 黄 151	20.12	19.49
氧化铁黄	2.8	2.34
RAL 1004 金黄	%WT/WT	%WT/WT
TICO® 黄 594	65.15	
HEUCODUR® 黄 152	19.60	
氧化铁黄	15.25	
RAL 1007 淡镉黄	%WT/WT	%WT/WT
TICO® 黄 594	13.50	
TICO® 黄 622 N	46.79	
HEUCODUR® 黄 251	39.70	
碳黑	0.01	
RAL 1023 交通黄	%WT/WT	%WT/WT
HEUCODUR® 黄 251	68.40	96.70
TICO® 黄 622 N.	3.10	3.30
HEUCODUR® 黄 251	28.50	

* 更多实例, 请查看以下网站: https://www.heubachcolor.com/fileadmin/downloads/guide_formulations/Richtformulierungen_Tico.pdf

附录 3 涂料重配方的案例研究

本节介绍了成功重配方含铅涂料的案例。2019 年至 2021 年期间，在七个国家的选定中小型企业开展了试点示范项目。

案例研究 1 – 含铅涂料的重配方（防腐醇酸涂料）



公司地址和网址：浙江鱼童新材料股份有限公司

浙江省温岭市经济开发区上马工业园区盛阳路 11 号

联系人及职务：伍小军，研发经理

员工人数：110

出于竞争力、环保意识和社会责任的原因，公司决定参与该项目。

生产现状

生产能力（吨 / 年）	25000 吨 / 年
2019 年产量（吨）	11000 吨 / 年
在产涂料类型	溶剂型涂料、水性工业涂料
含铅涂料类型	防锈醇酸涂料、醇酸面涂层
2019 年含铅涂料产量（吨）	900 吨 / 年
2018 年含铅原料消耗量（吨）	73 吨 / 年

选择拟进行重配方的涂料产品

产品商品名	防腐涂料
产品类型（基材，用途）	醇酸面漆、醇酸底漆，用于水线以上及陆上钢结构表面
2018 年该涂料产量（吨）	2012 吨
2018 年该产品产量中与含铅涂料产量相关的比例（重量）	44.7%
选择该产品的原因	目前仅醇酸产品中含有含铅颜料，若生产方案通过，可以实现完全替代。

产品重配方

原料

被替代的铅化合物	红丹颜料 (PR 105)
所选产品的生产配方中该铅化合物的含量 (以占总配方百分比计算 %)	底漆中15%。面漆中在0-20% 之间, 根据颜色而定
2019 年该铅化合物总消耗量 (吨)	73 t

替代品评估

评估的潜在替代品	氧化铁红、铁钛粉末
选定的替代品	两种替代品均被选中进行测试
选择这种替代品的主要原因	其生产工艺与红铅的生产工艺相同。替代品不含重金属, 且价格较低
在其他产品中使用这些替代品的可能性 (产品数量和 / 或吨, 若可能)	仅在选定的产品中使用

平行实验测试结果

要求 (根据技术规格)	含铅涂料 (红丹)	无铅涂料 (氧化铁红)	无铅涂料 (铁钛粉末)
颜色			
粒径 (μm)	$\leq 60\mu\text{m}$	$\leq 60\mu\text{m}$	$\leq 60\mu\text{m}$
干燥时间	表干 10min 实干 6h	表干 10min 实干 6h	表干 10min 实干 6h
盐雾 (300h)	300 小时	300 小时	300 小时
附着力	2	2	2
硬度	HB	HB	HB

► 文本框 7 - 结论及下一步工作

- 与含铅涂料相比，无铅重配方产品的机械性能、干燥性能和防锈性能方面具有相似的性质。使用氧化铁红的产品的颜色有很大不同，但使用铁钛粉的替代品则类似。
- 重配方的产品比初始配方的价格要低 10% 左右。
- 但是，仍存在使用习惯的问题（客户偏好红丹），需要进一步加强宣传，提高当地常客和公众对消除含铅涂料重要性的认识。

► 图 16 - 中国浙江鱼童新材料股份有限公司造漆厂



图片来源：NPCC China

案例研究 2 - 含铅涂料的重配方（环氧地坪涂料）



公司地址和网址：浙江天女集团制漆有限公司
浙江省嘉兴市桐乡经济开发区高新西二路 150 号；
www.tiannucoating.com

联系人及职务：Zhang Yarong，技术经理

员工人数：298
出于竞争力、环保意识、标准执行和社会责任的原因，公司决定参与该项目。

生产现状

生产能力（吨 / 年）	120000 吨 / 年
2019 年产量（吨）	52211 吨 / 年
在产涂料类型	1) 溶剂型涂料：工业防腐涂料、预涂卷材涂料、电子绝缘涂料、醇酸涂料、特种涂料等。 2) 水性工业涂料 3) 水性建筑涂料
Type of paints that 含铅涂料的类型	用于着色的涂料，如黄色和橙色
2019 年含铅涂料产量（吨）	15000 吨 / 年
2019 年含铅原料消耗量（吨）	696.5 吨 / 年

选择拟进行重配方的涂料产品

产品商品名	环氧地坪涂料
产品类型（基材，用途）	环氧树脂、胺类固化剂为主要成膜粘合剂，主要涂装在水泥、混凝土、石材或钢材等基面上，对地面起装饰和保护的作用。
2019 年该涂料产量（吨）	860 吨
2018 年该产品产量中与含铅涂料产量相关的比例（重量）	25%
选择该产品的原因	已经发布了用于控制包括铅在内的危险物质的强制性标准。

产品重配方

原料

被替代的铅化合物	铬酸铅 - PY 34
所选产品的生产配方中该铅化合物的含量（以占总配方百分比计算 %）	0%-25% 取决于色调
2019 年该铅化合物总消耗量（吨）	517 吨
该产品产量中与含铅涂料产量相关的比例（重量）	11.2

替代品评估



评估的潜在替代品	有机颜料黄，氧化铁黄
选定的替代品	有机颜料黄（PY 83、PY 74），氧化铁黄（PY 42）
选择这种替代品的主要原因	替代颜料不含铅、铬等重金属
在其他产品中实施这种（些）替代品的可能性（产品数量和 / 或吨，若可能）	需要进一步的实验室测试

平行实验测试结果

要求（根据技术规格）	被替代的原料 -PY 34	替代品 - 氧化铁黄和有机颜料黄
干燥时间	表干 2h, 实干 10h	表干 2h, 实干 10h
铅笔硬度（擦伤）	2H	2H
耐冲击性 /cm	50	50
柔韧性 /mm	2	2
划格试验 / 级	1	1
耐磨性（750g/500r）/g	0.042	0.050
耐水性（168h）	不起泡、不脱落，变色 1 级	不起泡、不脱落，变色 1 级
耐油性（120# 汽油，168h）	不起泡、不脱落，变色 1 级	不起泡、不脱落，变色 1 级
耐酸性（10%H ₂ SO ₄ ，168h）	不起泡、不脱落，变色 1 级	不起泡、不脱落，变色 1 级
耐碱性（10%NaOH，168h）	不起泡、不脱落，变色 1 级	不起泡、不脱落，变色 1 级

产品重配方

扩大规模结果

技术要求	含铅涂料	无铅涂料
颜色		
干燥时间	表干 2h, 实干 10h	表干 2h, 实干 10h
铅笔硬度 (擦伤)	2H	2H
耐冲击 /cm	50	50
柔韧性 /mm	2	2
划格试验 / 级	1	1
耐磨性 (750g/500r) /g	0.045	0.048
耐水性 (168h)	不起泡、不脱落, 变色 1 级	不起泡、不脱落, 变色 1 级
耐油性 (120# 汽油, 168h)	不起泡、不脱落, 变色 1 级	不起泡、不脱落, 变色 1 级
耐酸性 (10% H_2SO_4 , 168h)	不起泡、不脱落, 变色 1 级	不起泡、不脱落, 变色 1 级
耐碱性 (10% $NaOH$, 168h)	不起泡、不脱落, 变色 1 级	不起泡、不脱落, 变色 1 级

► 文本框 8 - 结论及下一步工作

- 实验室测试结果与放大规模测试结果基本相同。采用有机黄色颜料、氧化铁黄、二氧化钛可以替代环氧地坪涂料中的原有含铅颜料。
- 产品中基本可以取代, 但也存在一些问题:
 - 1) 部分颜色色相上存在区别, 无法调成原来颜色;
 - 2) 遮盖力差。
- 下一步工作主要是解决两个问题: 一是纯黄色产品的遮盖力问题; 二是如何在保证产品质量的前提下降低成本。

► 图 17 - 中国浙江天女集团制漆有限公司制漆厂



图片来源: NCPCC China

案例研究 3- 含铅涂料的重配方（黄色醇酸涂料）



公司： LIP-04*, 厄瓜多尔

联系人： Gustavo Argoti, 总经理

员工人数： 14

出于环保意识和社会责任的原因，公司决定参与该项目。

生产现状

生产能力（吨 / 年）	75 吨 / 年（1200 加仑 / 月）
2018 年产量（吨）	38 吨 / 年，按需生产
在产涂料类型	醇酸瓷漆和建筑涂料
含铅涂料类型	黄色和红色醇酸瓷漆 黄色乳胶建筑涂料
2018 年含铅涂料产量（吨）	1.4 吨 / 年（250 加仑 / 年）
2018 年含铅原料消耗量（吨）	0.7 吨 / 年

选择拟进行重配方的涂料产品

产品商品名	鲜黄色瓷漆
产品类型（基材，用途）	醇酸磁漆用作金属或木材表面的面漆
2018 年该涂料产量（吨）	0.55 吨 / 年
2018 年该产品产量中与含铅涂料产量相关的比例（重量）	8.0%
选择该产品的原因	公司有意在其工艺和原料方面使用无铅配方

* 厄瓜多尔公司不想对外公布名称。

产品重配方

原料



被替代的铅化合物	中铬黄 (PY 34)
所选产品的生产配方中该铅化合物的含量 (以占总配方百分比计算 %)	5.73%
2018 年该铅化合物总消耗量 (吨)	0.29 吨 / 年

替代品评估

评估的潜在替代品	涂料颜色样品被送到 Mathiesen 公司进行分析并寻求建议。给出的建议替代品是来自 LF 系列的混合颜料。
选定的替代品	金丝雀黄 LF-761
选择这种 (些) 替代品的主要原因	与原产品的质量特性相似
在其他产品中实施这种 (些) 替代品的可能性 (产品数量和 / 或吨, 若可能)	家用产品

产品重配方

平行实验测试结果

要求 (根据技术规格)	含铅涂料	无铅涂料	NTE INEN 2094*
测试方法和值			
干基材上的铅含量 (NTE-INEN 2093)	34689 ppm	<56 ppm	< 600 ppm 全球联盟建议的涂料中铅含量: < 90 ppm
镜面光泽度 60° (NTE-INEN 1003)	5.4 UB	43.8 UB	光泽度类型 1 和 2: 最小 70 哑光类型: 最大 15
	得到的值不符合 INEN 2094 标准中对亮瓷漆规定的值, 但符合对哑光或半哑光瓷漆规定的值。 INEN 2094 标准是自愿性和参考性标准。		

* 厄瓜多尔技术标准 INEN 2094 涂料: 合成醇酸风干瓷漆。要求: 现行和参考性和自愿性。

产品重配方

平行实验测试结果

要求 (根据技术规格)	含铅涂料	无铅涂料	NTE INEN 2094
固体质量 (NTE-INEN 1024)	40.21 %	37.68%	最小 35%
分散细度 (NTE-INEN 1007)	50 μm	10 μm	最大 20 μm
防水性 (NTE-INEN 1539)	无起泡、软化、附着力损失、颜色变化	无起泡、软化、附着力损失、颜色变化	不得出现皱纹、起泡、颜色变化或任何其他肉眼可见的缺陷。
附着力 (NTE-INEN 1006)	<35% 这些数值不符合 INEN 2094 标准中对光亮或哑光瓷漆规定的值。 INEN 2094 标准是自愿性和参考性标准。	65-85%	光泽度类型: 最小 90% 哑光类型: 最小 90%
可自由触摸干燥时间 (NTE-INEN 1011)	1.75 小时	1.9 小时	最长 2 小时
处理时的干燥时间 (NTE-INEN 1011)	10 小时	11 小时	最长 8 小时
泛色 (NTE-INEN 2088)	无颜色差异	无颜色差异	不得出现明显的颜色差异。
耐加速气候老化性 (NTE-INEN-ISO 16474-3) 暴露时间: 100 小时。	<ul style="list-style-type: none"> 保光性 56% 具有明显的颜色变化 不出现开裂、起泡或失去附着力的情况 	<ul style="list-style-type: none"> 保光性 36% 具有明显的颜色变化 不出现开裂、起泡或失去附着力的情况 	<ul style="list-style-type: none"> 对于 1 类涂料: 最低亮度保持率为初始值的 80%, 对于半成品涂料和 2 类涂料: 亮度保持率必须至少为初始值的 70%。 不应出现开裂、起泡、失去附着力或颜色的明显变化。
	获得的结果部分符合标准的要求, 因为它们在亮度保持参数方面不符合要求, 并且有突出的颜色变化。		

扩大规模结果

要求	含铅涂料	无铅涂料
----	------	------

注: 目前, 该项目范围不包括扩大规模试验, 但该公司仍有兴趣选用其他供应商的颜料进行其他重配方试验, 如科莱恩和巴斯夫, 这些供应商更经济实惠。

► 文本框 9 - 结论及下一步工作

- 使用金丝雀黄 LF-761 颜料进行的重配方测试，在色调和遮盖力方面符合该公司的要求。
- 金丝雀黄 LF-761 颜料由 Mathiesen 公司提供进行醇酸瓷漆类型涂料测试，对于符合要求的技术特性的重配方涂料，需要实施研磨工艺。
- 金丝雀黄 LF-761 颜料符合项目中要求的铅含量方面的期望，在干燥的基础上铅浓度 $<0.0056\%$ (<56 ppm)。
- 重配方的涂料符合 NTE INEN 2094 涂料标准中规定的大部分参数。合成醇酸风干瓷漆。要求。
- 与公司现有涂料的价格相比，重配方的涂料的价格上升了 42.20%。

► 图 18 - 厄瓜多尔黄色醇酸调和漆生产



图片来源：NCFPC Ecuador

附录 4 - 关于色漆和清漆通用试验方法的 ISO 标准精选清单

以下方法可用于测试涂料的性能，但不包括测试涂料中的铅的方法。欲了解有关含铅涂料取样和测试方法，参见世卫组织《关于测量涂料中铅的分析方法的简要指南（第二版）》<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332932/9789240006058-eng.pdf>

ISO 1513:2010—试验样品的检验和制备

ISO 1513:2010 规定了对所接收的单个检测样品进行初步检查的程序，以及通过混合和大批色漆、清漆或相关产品的代表性样品来制备检测样品的程序。

ISO 1514:2016—测试用标准面板

ISO 1514:2016 规定了标准面板的不同类型，并列出了涂装前的准备程序。这些标准面板可用于色漆、清漆和相关产品的一般试验方法。

ISO 1519:2011 — 弯曲试验（圆柱轴）

ISO 1519:2011 规定了一种评估色漆、清漆或相关产品涂层在标准条件下绕圆柱轴弯曲时的抗开裂性和 / 或与金属或塑料底材分离的性能的经验性的试验方法程序。

对于多涂层体系，可以单独测试每一涂层，也可以测试整个体系。

可以用“通过 / 不通过”试验进行，即通过用某一规定直径的轴进行试验，以评估涂层是否符合特定要求；或者，使用连续较小的轴重复进行试验，以确定涂层开裂和 / 或从底材上分离的第一个轴的直径。

本标准规定了两种类型的仪器，1 型和 2 型。1 型适用于厚度不超过 0.3mm 的试板，2 型适用于厚度不超过 1.0mm 的试板。两种类型的仪器在相同涂层的条件下得出的结果相似，但通常只使用一种类型仪器对给定产品进行测试。

ISO 1520:2006—杯突试验

ISO 1520:2006 规定了一种评定色漆、清漆或相关产品的涂层在标准条件下经压陷逐渐变形时的抗开裂性和 / 或从金属或塑料底材上剥落的性能的经验性的试验方法。

对于多涂层体系，可以单独测试每一涂层，也可以测试整个体系。该方法可按如下方式进行：作为“通过 / 不通过”试验，通过测试到指定的压痕深度，以评估是否符合特定要求；或者通过逐渐增加压痕深度以测定涂层开裂和 / 或与底材分离的最小深度。

ISO 1522:2006—摆杆阻尼试验

ISO 1522:2006 规定了对色漆、清漆或其他相关产品的涂层进行摆杆阻尼试验的两种方法。本标准适用于单一涂层和多涂层体系。

ISO 1524:2020—研磨细度的测定

ISO 1524:2020 规定了使用合适测量仪器（以微米为单位）测定色漆、油墨和相关产品的研磨细度的方法。

本标准适用于所有类型的液体涂料及相关产品，但含片状颜料（如玻璃鳞片、云母氧化铁和片状锌粉）的产品除外。

ISO 2409:2013—划格试验

本国际标准规定了一种试验方法，用于评估以直角网格图形切割涂层穿透至底材时，涂层与底材分离性能的试验方法。除其他因素外，该经验性试验程序确定的性能取决于涂层与上道涂层或底材的附着力。然而，该试验程序不应被视作附着力的测定方法。

如需测量附着力，可使用 ISO 4624 中给出的方法。该方法不适用于总厚度超过 250 μ m 的涂层，也不适用于有纹理的涂层。

ISO 2431:2019—用流出杯测定流出时间

本标准规定了一种测定色漆、清漆和相关产品流动时间的方法，该方法可用于控制粘度。

本标准规定了尺寸相似而流出孔径分别为3mm、4mm、5mm和6mm的四种流出杯，给出了两种检查流出杯磨损的方法。

本文件不包括带有可更换喷嘴的流出杯，因为向喷嘴试验材料供应不符合紧密公差要求。

ISO 2808:2019—漆膜厚度的测定

本标准规定了用于测量涂覆在底材上的涂层的厚度的方法，包括测定湿膜厚度、干膜厚度、未固化粉末层膜厚度的方法。

ISO 2810:2004—色漆和清漆—涂层的自然老化—暴露和评估

ISO 2810:2004 规定了选择自然老化类型时需要考虑的条件，以及用于确定涂层或涂层体系（直接老化或窗玻璃后老化）的耐候性的自然老化程序。

自然老化用于测定涂层或涂层体系（在下文中仅用涂层表示）对太阳辐射和大气的耐受性。不考虑特殊的大气影响，如工业污染。

ISO 2813:2014—在 20°、60°和 85°光泽的测定

ISO 2813:2014 规定了使用 20°、60°或 85°三种几何条件来测定涂层光泽度的方法。该试验方法适用于平面不透明底材上无纹理涂层的光泽度测量。

ISO 2815:2003—巴克霍尔兹压痕试验

ISO 2815:2003 规定了用巴克霍尔兹压痕仪对色漆、清漆或相关产品的单层涂膜或多层涂膜进行压痕试验的方法。产生的压痕长度表示涂膜残留变形的程度。

本压痕试验不适用于含有强增塑剂的产品。

ISO 3248:2016—热效应的测定

ISO 3248:2016 规定了一种测定色漆、清漆或相关产品的单层涂膜或多层涂膜在特定温

度条件下耐光泽和 / 或颜色变化、耐起泡、耐开裂和 / 或抵抗与底材分离的性能的方法。

本试验程序适用于家用散热器或其他可能经受类似温度物品上的产品。

ISO 3668:2017—色漆的目视比色

ISO 3668:2017 规定了一种色漆及相关产品涂膜颜色的目视比色方法，将试样与标准样品比较，标准样品可采用参照标准板或新制备的标准板，该试验可以在自然日光下或比色箱中的人造光源下进行。

如果没有事先商定照明条件和观察条件，本标准不适用于含有特殊效果颜料如金属颜料的色漆涂膜的颜色比较。

ISO 4628-1:2016—涂层老化的评定—缺陷量值、大小以及外观均匀变化程度的标识

- 第 1 部分：总则和标识体系
- 第 2 部分：涂层老化的评定—缺陷量值、大小以及外观均匀变化程度的标识—第 2 部分：起泡等级的评定
- 第 3 部分：涂层老化的评定—缺陷量值、大小以及外观均匀变化程度的标识—第 3 部分：生锈等级的评定
- 第 4 部分：涂层老化的评定—缺陷量值、大小以及外观均匀变化程度的标识—第 4 部分：开裂等级的评定
- 第 5 部分：涂层老化的评定—缺陷量值、大小以及外观均匀变化程度的标识—第 5 部分：剥落等级的评定
- 第 6 部分：涂层老化的评定—缺陷量值、大小以及外观均匀变化程度的标识—第 6 部分：胶带法评定粉化等级
- 第 7 部分：涂层老化的评定—缺陷量值、大小以及外观均匀变化程度的标识—第 7 部分：天鹅绒布法评定粉化等级
- 第 8 部分：涂层老化的评定—缺陷量值、大小以及外观均匀变化程度的标识—第 8 部分：划线或其它人造缺陷周边剥离和腐蚀等级的评定

- **第 10 部分: 涂层老化的评定—缺陷量值、大小以及外观均匀变化程度的标识—第 10 部分: 丝状腐蚀等级的评定**

ISO 6270-1:2017 耐湿性的测定—第 1 部分: 冷凝 (单面曝露)

ISO 6270-1:2017 规定了按照涂层或产品规范的要求测定涂膜、涂料体系和相关产品耐冷凝条件的性能的方法。

ISO 6270-2:2017 耐湿性的测定—第 2 部分: 冷凝 (在带有加热水槽的试验箱内曝露)

ISO 6270-3:2018 耐湿性的测定—第 3 部分: 冷凝 (在带有加热冒泡水槽的试验箱内曝露)

ISO 6504-1:2019 遮盖力的测定—第 1 部分: 适于白色和浅色漆的 Kubelka-Munk 法

本标准规定了测定白色漆和浅色漆的遮盖力的方法, 而该遮盖力系指对比率必须是 98% 时的涂布率。本标准适用于三刺激值 $Y \geq 70$ 且遮盖力 $>80\%$ 的色漆漆膜, 不适用于荧光和金属漆。

ISO 6504-3:2019 遮盖力的测定—第 3 部分: 砖石、混凝土和室内用涂料遮盖力的测定

本标准规定了测定涂覆在黑白图或无色透明箔上的三刺激值 Y 和 Y_{10} 大于 25 的白色或浅色涂料涂层的遮盖力的方法。在后一种情况下, 在黑白试板上测量三刺激值 Y 和

Y_{10} 。然后, 根据这些三刺激值计算出遮盖力。

ISO 6860:2006 弯曲试验 (锥形轴)

ISO 6860:2006 规定了一种评定色漆、清漆或相关产品的涂层在标准条件下绕锥形轴弯曲时的抗开裂性和 / 或与金属或塑料底材分离的经验的试验方法。

对于多涂层体系, 可以单独测试每一涂层, 也可以测试整个体系。

ISO 9117-1:2009 干燥试验—第 1 部分: 完全干燥状态和完全干燥时间的测定

ISO 9117-2:2010 干燥试验—第 2 部分: 耐码垛性压力试验

ISO 9117-3:2010 干燥试验—第 3 部分: 小玻璃球法表面干燥试验

ISO 9117-4:2012 干燥试验—第 4 部分: 机械记录仪法试验

ISO 9514:2019 多成分涂料体系适用期的测定—样品制备和状态调节及试验指南

ISO 15528:2020 色漆、清漆和色漆与清漆用原料 取样

附录 5 – 供应商非详尽名单 *

表 23 – 截至 2021 年 5 月的供应商非详尽名单

公司	网站
颜料	
巴斯夫色彩与效果有限公司	www.colors-effects.com
Mathiesen	https://www.grupomathiesen.com/en/
美国福禄公司	https://www.ferro.com
墨西哥 Pyosa 工业公司	https://www.pyosa.com
科莱恩	https://www.clariant.com/en/Business-Units/Pigments
江苏双乐化工颜料有限公司	http://www.jsshuangle.com/en
映泽新材料（深圳）有限公司	
Heubach, Ltd	https://heubachcolor.com/
太阳化学公司	https://www.sunchemical.com/pigment-products/
美国福禄公司	https://www.ferro.com/Contact
	https://www.clariant.com/en/Business-Units/Pigments
牧羊人颜色公司	https://www.shepherdcolor.com/
纽碧莱	https://www.ferro.com/nubiola
卫纳	https://www.venatorcorp.com/
Dominion Colour Corporation	https://www.dominioncolour.com/
Bruchsaler Farben	https://www.bruchsaler-farben.de/en/home.html
维杰化学工业	http://vijaychemical.com/
Vibfast 颜料 PVT.LTD.	http://www.vibfast.com/
Trust Chem	https://www.trustchem.eu/organic-pigments/
树脂和化学品 PVT.LTD.	http://www.asresin.com/pro_org_yellow.php
特殊化学	https://coatings.specialchem.com/product/p-aarbor-colorants-corporation-naphthol-red-pigment-pr-112
Sudarshan	http://www.sudarshan.com/perch/resources/decorative-brochure-feb-2018.pdf
Milano Colori	http://www.milano-colori.com/en/plastics-rubber/pigments/organic-pigments/
杭州博瑞颜料有限公司	http://bofinepigment.com/
杭州多彩化工有限公司	http://www.multicolor-pigment.com/pid10206407/Pigment+Yellow+183.htm

* 本文件中提到的公司或商业产品并不意味着得到联合国环境规划署或作者的认可。

公司	网站
催干剂	
卫纳	https://www.venatorcorp.com/products-and-applications/products/driers
DURA	http://www.durachem.com/home.html
美国元素	https://www.americanelements.com/
DOW	http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_090c/0901b8038090c235.pdf?filepath=productsafety/pdfs/noreg/233-01137.pdf&fromPage=GetDoc
Comar Chemicals PVT.LTD	https://www.comarchemicals.com/index.php/en/products-en/other-organometallics-en/paint-driers-en
Blackfriar	http://www.blackfriar.co.uk/product/liquid-driers/
Matrix Universal	http://www.matrixuniversal.com/paint_driers.html
Silver Fern Chem-ical Inc.	http://www.silverfernchemical.com/product-lines/paint-driers/
磷酸锌 / 改性磷酸锌	
石家庄市鑫盛化工有限公司	http://zincphosphatepigment.sell.everychina.com/p-108713315-anti-corrosion-zinc-phosphate-pigment-325-mesh-cas-7779-90-0-white-powder.html
BassTech International	http://basstechintl.com/
Numinor Chemical Industries Ltd	http://www.numinor.com/
Pigment Sanayi A.S	http://www.pigment.com.tr/
SNCZ Société Nouvelle des Couleurs Zinciques	https://www.societe.com/societe/societe-nouvelle-des-couleurs-zinciques-330575887.html
杭州达迈成化工有限公司	http://www.dimacolorgroup.com/news_en.html
Heubach, Ltd	https://heubachcolor.com/
Noelson chem	http://www.noelson.com/en/index.html
上海欧诚锌业有限公司	https://guide31651.guidechem.com/productlist-c72-p1.html
分散剂	
毕克化学助剂和仪器	https://www.byk.com/en
赢创工业集团	https://corporate.evonik.com/en
科莱恩	https://www.clariant.com/en/Business-Units/Industrial-and-Consumer-Specialties/Paints-and-Coatings
Borchers	http://www.borchers.com/index.php?id=2
Ester	https://www.esterchem.co.in/paints-inks.html
巴斯夫	https://www.basf.com/za/en/who-we-are/sites-and-companies.html
Shah Patil & Com-pany	http://www.shahpatilexports.in/paint_&_ink_additives.htm
Harmony Additive PVT. LTD	https://www.harmonyadditive.com/paint-dispersing-agent.html

<https://www.ulprospector.com/en/eu/Coatings/search> 网站可用于查找和联系颜料和催干剂供应商。

