



涂料中铅测定分析方法 简要指南

第二版



世界卫生组织



全球环境基金
为地球的生存而投资

涂料中铅测定分析方法 简要指南

第二版



世界卫生组织



全球环境基金
为地球的生存而投资

涂料中铅测定分析方法简要指南, 第二版[Brief guide to analytical methods for measuring lead in paint, second edition]

ISBN 978-92-4-000838-0 (网络版)

ISBN 978-92-4-000839-7 (印刷版)

© 世界卫生组织2020年

保留部分版权。本作品可在知识共享署名——非商业性使用——相同方式共享3.0 政府间组织 (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo>) 许可协议下使用。

根据该许可协议条款, 可为非商业目的复制、重新分发和改写本作品, 但须按以下说明妥善引用。在对本作品进行任何使用时, 均不得暗示世卫组织认可任何特定组织、产品或服务。不允许使用世卫组织的标识。如果改写本作品, 则必须根据相同或同等的知识共享许可协议对改写后的作品发放许可。如果对本作品进行翻译, 则应与建议的引用格式一道添加下述免责声明: “本译文不由世界卫生组织 (世卫组织) 翻译, 世卫组织不对此译文的内容或准确性负责。原始英文版本为应遵守的正本。”

与许可协议下出现的争端有关的任何调解应根据世界知识产权组织调解规则进行。

建议的引用格式。涂料中铅测定分析方法简要指南, 第二版[Brief guide to analytical methods for measuring lead in paint, second edition]。日内瓦: 世界卫生组织; 2020年。许可协议: [CC BY-NC-SA 3.0 IGO](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo)。

在版编目 (CIP) 数据。在版编目数据可查阅 <http://apps.who.int/iris>。

销售、版权和许可。购买世卫组织出版物, 参见 <http://apps.who.int/bookorders>。提交商业使用请求和查询版权及许可情况, 参见 <http://www.who.int/about/licensing>。

第三方材料。如果希望重新使用本作品中属于第三方的材料, 如表格、图形或图像等, 应自行决定这种重新使用是否需要获得许可, 并相应从版权所有方获取这一许可。因侵犯本作品中任何属于第三方所有的内容而导致的索赔风险完全由使用者承担。

一般免责声明。本出版物采用的名称和陈述的材料并不代表世卫组织对任何国家、领地、城市或地区或其当局的合法地位, 或关于边界或分界线的规定有任何意见。地图上的虚线表示可能尚未完全达成一致的大致边界线。

凡提及某些公司或某些制造商的产品时, 并不意味着它们已为世卫组织所认可或推荐, 或比其它未提及的同类公司或产品更好。除差错和疏忽外, 凡专利产品名称均冠以大写字母, 以示区别。

世卫组织已采取一切合理的预防措施来核实本出版物中包含的信息。但是, 已出版材料的分发无任何明确或含蓄的保证。解释和使用材料的责任取决于读者。世卫组织对于因使用这些材料造成的损失不承担责任。

使用 TRADAS 翻译。英文版和中文版如有任何不一致之处, 应以英文原版为装订正版。

由 Lushomo 设计

目录

致谢	iv
缩略语	v
1.目的和范围.....	1
2.背景	1
3.测定涂料中铅含量	2
3.1 测定总铅含量与可溶性铅含量.....	3
3.2 测量单位	3
3.3 采样方法	4
3.3.1 新涂料.....	4
3.3.2 现有涂料.....	4
4.用于测定涂料中铅含量的分析方法	5
4.1 实验室方法	5
4.1.1 火焰原子吸收光谱法 (FAAS)	5
4.1.2 电热原子吸收光谱法 (ETAAS) 或石墨炉原子吸收光谱法 (GF AAS)	6
4.1.3 电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES)	6
4.2 X 射线荧光 (XRF) 光谱法	6
4.2.1 基于实验室的 HDXRF	7
4.2.2 手持式 X 射线荧光 (XRF) 光谱仪.....	7
常规 X 射线荧光 (XRF) 光谱仪	7
高清 X 射线荧光 (HDXRF) 光谱仪.....	8
4.3 化学检测试剂盒	8
5.选择最合适的方法.....	11
5.1 选择实验室	12
5.2 查找实验室	12
5.3 设立测定涂料中铅的实验室服务	13
6.实验室操作的重要事项	14
6.1 防止外部污染	14
6.2 质量保证和质量控制.....	14
6.2.1 现场检测.....	15
6.3 标准、认证和认可	15
7.结论	16
8.参考文献.....	17
附录	21

致谢

本文件的第一版由公共卫生和环境司 Pascal Haefliger 博士执笔起草。世界卫生组织环境、气候变化与健康司 Elena Jordan 和 Joanna Tempowski 对其进行了更新。

以下人员审阅了文件草案, 并提供了宝贵意见, 在此对他们做出的贡献深表感谢:

Angela Bandemehr, 环保局国际和部落事务处全球事务和政策办公室高级国际环境保护专家 (美国华盛顿特区)。

Sara Brosché, 国际污染物消除网络 (IPEN) 全球消除含铅涂料运动管理者 (瑞典哥德堡)

Kalavati Channa, 柳叶刀实验室医学科学家 (南非约翰内斯堡)

Perry Gottesfeld, 职业知识国际 (OK International) 执行主任 (美国旧金山)

Khalidia Khamidulina, 潜在危险化学品和生物物质登记处处长 (俄罗斯莫斯科)

Angela Mathee, 南非医学研究理事会环境与健康研究室主任 (南非泰格堡)

Olga Speranskaya, 国际消除持久性有机污染物网络高级顾问兼生态协调委员会副主席 (俄罗斯联邦莫斯科)

Howard Varner, 环境危害治理服务有限责任公司实验室主任 (美国里士满)

所有审稿人都填写了一份世界卫生组织《利益申报表》并由世界卫生组织技术官进行了审核。没有发现利益冲突。

本文件由 John Dawson 编辑。

世界卫生组织编写本文件的依据为全球环境基金 (GEF) 的全面项目 9771:《国际化学品管理战略方针》(SAICM) 关注的新兴化学品政策问题的全球最佳实践。该项目由联合国环境署执行, 由国际化学品管理战略方针秘书处执行。世界卫生组织衷心感谢全球环境基金为文件的制定、编辑和设计提供的财政支持。

本文件旨在促进“无忧化学品——有利于我们的环境和健康的更安全的产品”。

如需了解更多与本文件相关的信息, 请联系 ipcsmail@who.int。

缩略语

AAS	原子吸收光谱法
AIHA	美国工业卫生协会
ASTM	美国检测与材料学会
cm	厘米
DALY	残疾调整生命年
EDXRF	能量色散 X 射线荧光
ELLAP	环境铅实验室认可项目
ELPAT	环境铅精确分析测试项目
EQA	外部质量保证
ETAAS	电热原子吸收光谱法
FAAS	火焰原子吸收光谱法
GFAAS	石墨炉原子吸收光谱法
HDXRF	高清晰度 X 射线荧光
ICP-AES	电感耦合等离子体原子发射光谱法
ICP-MS	电感耦合等离子体质谱法
ILAC	国际实验室认可合作组织
ISO	国际标准组织
kg	千克
mg	毫克
mL	毫升
μL	微升
ppm	百万分率
XRF	X 射线荧光

1.目的和范围

本文件对涂料中铅测定的分析方法进行了简要概述。主要是为公共卫生人员、科研机构及政策制定者提供信息,他们虽然不是实验室专业工作人员,但可能需要针对测定新涂料中的铅浓度以及市场中可供消费者选购的含铅涂料的研究制订相关计划。

本文件列出了业已成熟的用于测定涂料中铅含量的分析方法,并对这些方法的特点,包括优点和缺点进行了简要描述。此外,本文件针对各种类型的应用和方案,强调了在决定是使用基于实验室的方法还是便携式技术时,以及要设立铅测定实验室服务还是选购其他实验室的服务时要考虑的因素。

本文件的目的是为了对分析方法和操作规程进行详尽的说明,也不是就方法或特定仪器提供具体的建议。关于此主题的详细技术信息可在其他地方找到,参考部分和附录中提供更多参考信息的链接。

2.背景

铅是一种有毒金属,其广泛使用已经在世界很多地方造成了严重的环境污染和健康问题。据估计,2017年由于铅暴露带来的长期健康影响而使全球106万人死亡,并失去2440万健康生命年(残疾调整生命年),低收入和中等收入国家面临的负担最重(1)。

铅是一种蓄积性有毒物质,对人体多个系统(包括神经系统、血液系统、胃肠系统、心血管和肾脏系统)均有影响。长期影响包括增加罹患高血压、缺血性心脏病和肾脏疾病的风险。儿童尤其容易受到铅的神经毒性影响,即使低水平暴露量也会影响认知发展并导致行为障碍。这些影响可能会持续终身(2)。

近年来,尽管铅在汽油、管道设备和焊料中的使用量有所减少,但仍然存在大量的铅暴露源,其中包括含铅涂料。含铅涂料可用于住宅、学校和其他

建筑物内部及外部涂层,涂饰玩具、家具、运动场设备及其他儿童可能接触到的物品,还用于路标、桥梁和其他外部结构涂层。全球许多地方仍然可以提供和使用含铅量高的涂料(3, 4)。即使对铅的一些特殊用途已经加以禁止的国家也是如此,老式房屋和物品中仍可发现含铅涂料(5)。

人们可能会通过职业和环境来源接触到铅,主要是通过摄入和吸入。在涂料制造过程中、涂覆或清除涂料以及用含铅涂料装修建筑物和结构或拆除有含铅涂料的建筑物和结构时,都可能发生职业

1 “消除含铅涂料全球联盟《规范含铅涂料的示范法及指南》将“含铅涂料”定义为任何含量高于最大限值(例如90 ppm)的涂料。

性接触。通过燃烧的方式去除含铅涂料会产生含铅烟雾和颗粒。研磨式涂料去除法(例如打磨)会产生大量可吸入和摄入的铅尘。完好的含铅涂料不会对健康造成危害,但随着时间的流逝,这种涂料会分解成碎片和粉尘,从而可能会污染家庭环境(6)。

受到铅污染的室内粉尘是导致儿童体内总铅含量的主要来源(7)。年幼儿童特别容易因接触铅而受到影响,因为他们的吸收率约为摄入量的40%至

50%(8)。此外,儿童的天生好奇心以及与其年龄相符的手口行为会将含铅或者镀铅物品放入口中或者吞下,例如受到污染的土壤或者灰尘以及腐烂的含铅涂料薄片(8)。另外,异食癖患儿也可能持续性摄入含铅涂料的碎片或被铅污染的土壤。

3.测定涂料中铅含量

测定涂料中铅含量的两个主要原因:

- a) 评估新涂料,以检查是否符合法规或法律限制,或作为市场调查的一部分,以查明是否正在出售含铅涂料;
- b) 以确定住宅或其他环境、家具、运动场设备或玩具表面上现有的涂料是否含有铅,以确定是否需要采取风险管理措施。

为了对新涂料中的铅实施法律限制而进行的合规性检测有两种形式。制造商(或进口商或分销商)可以将涂料样品送到第三方实验室,实验室将会分析涂料,如果涂料中的铅含量符合要求的限值,则会发布符合性声明。监管机构或执法机构还可以进行检查和分析涂料,以查看涂料是否符合要求的铅含量限值,并有可能在不合格的情况下受到制裁(9)。

新涂料市场调查的结果可用于提供证据,说明需要改进政府法规和执法工作。这些研究还可以为消费者提供信息,以便他们可以做出明智的购买

决定,并说服政府对含铅涂料进行控制。此类研究还可以鼓励制造商自愿重新配制其产品。

如果分析涂覆在墙面或其他表面上的现有涂料并发现含铅量高,则可能会将稳定化或清除纳入含铅涂料的风险管理措施中。请注意,清除含铅涂料时,必须遵循特殊的规程以最大程度地减少铅排放量以及工人和其他人员的接触量。就玩具或其他产品而言,典型的风险管理措施将包括在海关扣留货物、从市场中撤回产品并发出消费者警告。

3.1 测定总铅含量与可溶性铅含量

可以使用量化总铅含量或可溶性铅含量的方法测定涂料中的铅浓度。大多数适用于新涂料的法规标准都是基于总铅含量,这是《示范法》与《含铅涂料规范指南》中推荐的测定方法(9)。

总铅含量是通过提取涂料样品中存在的全部铅来测定的。其代表可通过摄入或吸入腐烂或磨损的涂料碎片和粉尘或燃烧涂料产生的烟气所吸收的总铅量。

可溶性铅含量是指可以采用一种通过稀酸对漆膜样品进行化学处理的标准实验室检测来提取的铅含量。测定可溶性铅含量有时会根据以下假设:其代表含铅涂料碎片或涂层物体进入口腔或吞下时生物可利用并有可能吸收的铅含量(10, 11)。然而,在评估含铅涂料时,该测定值不能准确地代表可以吸收的全部铅量(12)。此外,可溶性铅含量低的涂料可能具有很高的总铅含量(10)。例如:最近在中国进行的一项研究发现,超过一半的可溶性铅含量低于 90 ppm 的涂料总铅含量超过 90 ppm,最高为 17400 ppm(11)。

3.2 测量单位

涂料中的铅含量能以涂层表面的质量浓度或每单位面积的浓度(也称为铅负荷)表示。质量浓度适用于新涂料,大多数法规标准是指干漆膜中的总铅含量,以百分比、ppm 或毫克/千克(mg/kg)的形式表示。如果是表面现有的涂料,铅含量可以表示为质量浓度(例如:ppm)或表示为每单位面积的含量,单位为毫克/平方厘米(mg/cm²)。

请务必注意,质量浓度和铅负荷测定值不可互换。由于涂料成分和厚度的变化以及分析过程中可能包含的基底材料,因此以 ppm 和 mg/cm² 表示的表面涂料实验室测定值之间没有精确的关系。

表 1 汇总了用不同方法报告结果的单位。

表 1。用不同方法报告结果的单位

方法	新涂料	现有涂料表面
实验室分析	ppm、% 或 mg/kg	ppm、%、mg/kg 或 mg/cm ²
手持式常规 X 射线荧光 (XRF)	ppm 或 %	mg/cm ² 、ppm (但请参见脚注 c)
手持式高清 X 射线荧光 (HDXRF)	ppm	mg/cm ² 、ppm

注意：

- (a) ppm 和 mg/cm² 之间没有数学等值关系；
- (b) 0.009% = 90 ppm = 90 mg/kg
- (c) 某些 XRF 设备可以选择以 ppm 为计算和显示单位，但是必须输入涂料的密度和厚度才能进行此类计算 (Olaf Haupt, 赛默飞世尔科技现场和安全仪器, 2019 年 11 月个人通讯)。

3.3 采样方法

样品采集的方法取决于是分析新涂料还是现有涂料，以及要使用的分析方法。

3.3.1 新涂料

为了分析新涂料 (例如罐中的涂料)，通常的方法是在均匀的非金属表面 (例如载玻片或平坦、光滑的木片) 上涂覆一层薄薄的涂料并且晾干。然后在实验室中使用下面第 4.1 节中描述的一种仪器处理方法刮下涂料、进行准备和分析 (13)。干漆膜中的铅含量也可以直接使用高清 X 射线荧光 (HDXRF) 进行测定，无需从检测表面刮下涂料。

液体涂料样品可以通过基于实验室的 HDXRF 仪器使用特殊的样品杯进行分析 (参见第 4.2.1 小节)。

3.3.2 现有涂料

为了进行实验室分析，应按照预先确定的标准操作规程采集现有涂料样品。一般建议 (6, 14, 15)：

- 采集所有层面的涂料，因为较下层涂料更可能含有铅；
- 尽可能少采集涂料层下面的物质 (例如木头、灰泥、金属)，因为如果以质量浓度报告，这可能会得出错误的结果；
- 在房屋或建筑物内，应从不同的区域采集几份具有代表性的样品，并记录每份样品的位置；
- 如果涂料中含有铅，应修复涂料样品采集处的表面，以防止含铅涂料进一步暴露。

就最小样品量、样品包装和其他采样要求，建议事先咨询所选的实验室。如果可以测得样品的重量，则结果以质量浓度表示；如果可以测得样品的精确表面积，则结果以每单位表面积质量表示。

还可以使用便携式 XRF 或 HDXRF 仪器直接测定表面 (例如墙面) 涂料中的铅浓度，结果一般以 mg/cm² 表示。该方法通常可用于含铅涂料的家庭检测，因为它可以快速测定多个样品，并且不需要破坏任何涂料表面 (6, 15, 16)。

4.用于测定涂料中铅含量的分析方法

如上所述,可以使用实验室方法、台式或便携式 XRF 设备和检测试剂盒来测定涂料中的铅含量。本节会简要介绍这些方法。

4.1 实验室方法

实验室测定涂料中铅含量的最常用仪器处理方法为火焰原子吸收光谱法 (FAAS)、电热原子吸收光谱法 (ETAAS) 和电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES)。尽管这些方法的准确度和检测限度有所不同,但它们都足以按照通常要求的检测限度和准确度来确定涂料中的铅。使用上述方法和其他方法进行样品采集、制备和分析的指南、建议和标准操作规程均可从制造商、国家机构和国际标准化机构等多种渠道获得 (6, 13, 14, 17–19)。附录中提供了更多信息。

还可以使用独立式或台式 HDXRF 仪器测定铅,如第 4.2 节所述。

此处未对其他较少使用的仪器分析方法进行描述,其中包括电感耦合等离子体质谱分析法 (ICP-MS)、直流等离子体原子发射光谱法、双硫脲分光光度法、阳极溶出伏安法和电位溶出伏安法。

4.1.1 火焰原子吸收光谱法 (FAAS)

原子吸收光谱法 (AAS) 的原理是自由、气态、不带电原子的外壳电子与被测元素产生的紫外线或可见光之间的相互作用。以铅为例,含有铅的阴极灯发出受激铅原子的光,其具有特征波长,并且可以被样品中的铅原子吸收。光穿过原子化样品,铅原子吸收一些能量,从而减少传输到检测器的量。光吸收量(或吸光度)与样品中分析物的浓度呈线性关系 (20)。进行 AAS 测定时,必须先用仪器将含铅样品进行预处理,从而在仪器光路中产生基态原子的蒸气,该过程称为原子化。

FAAS 通常用空气-乙炔火焰在 2100–2400°C 的温度下将铅原子化。

FAAS 分析适用于铅含量下限为 100 ppm 的情况 (21)。尽管一些实验室已经开发出可测量低至 40 ppm 浓度的方法,但 FAAS 并不是确认符合 90 ppm 限值的最佳方法。²由于需要直接进行样品抽吸,因此至少需要大约 5 毫升 (mL) 的浸提液才能进行抽吸并测定稳定的信号。FAAS 的测定会受到某些来源于光散射以及基体组分分子吸收的

干扰,这可以通过各种方法进行适当校正。配备或未配备自动进样器的 FAAS 设备都需要一些实验室技能才能进行操作。仪器本身成本较低,乙炔气体等耗材价格也相对较低。维护的需求相对较低,样品通量为每分钟几个样品 (17)。

4.1.2 电热原子吸收光谱法 (ETAAS) 或石墨炉原子吸收光谱法 (GF AAS)

大多数 ETAAS 系统采用电加热石墨管将分析物进行热解和原子化,因此该方法也称为石墨炉原子吸收分光光度法 (GFAAS) (20)。热解后的样品被加热到大约 1700°C 的温度以使铅原子化 (19)。ETAAS 仪器的检测限非常低并且仅需要非常少的浸提液量——大约 20 微升 (μL) (17)。该方法适用于铅含量下限为 0.1 ppm 的情况 (17)。³

ETAAS 测定可能会受到某些来源于光散射以及基体组分分子吸收的严重干扰,但是这可以通过各种方法来减轻,包括使用化学改性剂和塞曼背景校正技术 (17, 20)。ETAAS 设备必须由经过培训的实验室技术人员进行操作。

ETAAS 设备已得到广泛使用,需要配备自动进样器以提高精度和通量。仪器本身成本适中,维护和耗材成本较高。样品通量约为每 2 至 3 分钟 1 个样品 (17)。

4.1.3 电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES)

ICP-AES 采用电感耦合等离子体源(一种极高温度的由电子和带正电荷离子构成的电离气体)将样品离解为其组成的原子或离子。在这些高能量

条件下,铅(如同许多其他元素一样)发射出特征波长的光。光的发射量可以测定,并且与样品中的铅浓度相关。ICP-AES 仪器的优势在于可同时确定多个元素。

ICP-AES 可以测定涂料中的铅浓度低至 2 ppm。⁴对样品体积的要求适中。某些光谱干扰较为常见,但可以校正 (17)。ICP-AES 仪器必须由经过培训的实验室人员进行操作。仪器本身成本较高,但主要耗材仅为氩气。由于 ICP-AES 仪器设计较为复杂,因此维护成本相对较高。样品通量适中,通常约为每分钟 1 个样品 (17, 20)。

4.2 X 射线荧光 (XRF) 光谱法

XRF 光谱法为一种快速、无损涂料检测方法。该方法的原理是,当铅暴露于高能辐射时,铅(如同许多其他元素一样)以特征频率发射出 X 射线(X 射线荧光)。这些 X 射线是由于电子从原子 K 壳层或 L 壳层移出而产生的 (6, 16)。辐射源可以是 X 射线管或伽马辐射源。使用前者的设备可以检测 L 壳层荧光,而使用伽玛射线源的设备则可以检测 K 壳层和 L 壳层荧光 (6, 16, 22)。

射线的强度可以测定,并且与样品中的铅浓度相关。与其他分析方法一样,必须首先使用标准参照物质校准仪器。

XRF 主要有两种类型:能量色散型 XRF (EDXRF) 和波长色散型 XRF (23)。XRF 设备可在实验室中

3 Ibid.

4 Howard Varner, 个人通讯, 2020 年 1 月。

使用,也有可在现场使用的便携式和手持式设备。与便携式和手持式设备相比,实验室 EDXRF 系统具有更高的功率、更好的分辨率和更低的检测限 (23)。

一个 EDXRF 类别为高清 X 射线荧光 (HDXRF)。这采用 EDXRF 与双曲面弯晶 X 射线光学器件相结合,将强烈聚焦的 X 射线束引导至检测物质的表面上 (23, 24)。该光学系统支持高灵敏度、紧凑、低功耗的分析仪。HDXRF 系统可以准确地测定液体涂料和干漆膜中的铅含量,并且能够以 ppm 报告结果。

4.2.1 基于实验室的 HDXRF

有独立式和台式 HDXRF 设备可供选择。某些台式设备是便携式的,可以在非实验室环境中用于合规性检测。

实验室 HDXRF 可直接用于测定漆膜中的铅含量,无需刮下和浸提涂料。这已被证明与上述实验室方法一样准确和精确,并且已经开发了一种标准检测方法 (25, 26)。

为了分析液体涂料,将样品放入特殊的样品杯中,并用薄膜密封,然后将其靠在检测器上。尽管样品制备比上述实验室方法简单得多,但必须使用正确的样品杯和薄膜并正确组装样品杯;因此需要进行培训 (27)。

与原子吸收法和 ICP-AES 相比,实验室 XRF 更便宜并且更容易操作。通常分析范围为 1 ppm 至 100%。

4.2.2 手持式 X 射线荧光 (XRF) 光谱仪

有一系列的手持式 XRF 仪器。通过这些仪器可以在现场对涂料中的铅进行测定,无需损坏涂料或基底。此处介绍两种类型的现场便携式设备:常规 XRF 和高清 XRF。

由于这些设备含有辐射源,因此必须在安全使用方面进行培训 (6, 16)。在某些国家中,操作人员必须获得许可证和认证 (6)。

常规 X 射线荧光 (XRF) 光谱仪

大多数手持式 XRF 设备可检测 K 壳层荧光,有些可检测 L 壳层荧光,而有些可同时检测两者。对手持式 XRF 设备的比较发现,当含铅涂料被另一层覆盖时,那些仅检测到 L 壳层荧光的设备可能产生假阴性结果,因为 L X 射线可能无法穿透那几层到达检测器。对于测定 K 壳层荧光的设备来说,这不是一个问题,因为 K X 射线具有更高的能量 (16)。另一方面,L X 射线不太可能受基底效应的影响,而 K 壳层荧光设备可能需要基底校正技术 (6, 22)。因此,必须选择适当的仪器进行所需的检测,并且应向制造商寻求建议。

常规 XRF 仪器能够以每单位面积的质量 (即 mg/cm^2) 报告结果。有些设备可以选择以 ppm 的形式计算和显示涂料产品的单位,但是必须输入涂料的密度和厚度,并且范围是有限的 (23)。⁵

用于特定目的的 XRF 设备的检测限可以低至 5 ppm,但这取决于检测时间、样品基体和干扰元素的存在。⁶对于外壳表面的涂料,测定范围为

5 Olaf Haupt, 赛默飞世尔科技现场和安全仪器, 个人通讯, 2019 年 11 月。

6 Diego Tschuor, CONTROLTECH AG, 个人通讯, 2019 年 11 月。

0.1 至 10 mg/cm²。⁷范围可能会因涂料下面的基底而有所不同, 例如含铁基底会大大降低铅的检测限。⁸

大多数设备经过校准后都可以测定木材、金属、水泥、石膏板(灰泥板)和石膏等各种基底上涂料中的铅, 使用该设备时必须选择正确的校准设置, 这一点很重要。虽然可以在几秒钟内获得结果, 但随着测定时间的延长, 检测限和精度也会改善。

常规 XRF 设备的准确度很高, 只要由经过培训的操作人员按照校准规程进行操作并确保将检测器正确地靠在检测表面上即可。

一些制造商可提供适用于测定涂料中铅含量的常规 XRF 设备。其价格相对较高, 从大约 10 000 美元至 50 000 美元不等。它们几乎不需要维护, 但是在使用放射性同位素源的设备中, 这需要定期更换。较短的测定时间使操作人员可以快速评估多个涂料表面。

使用常规 XRF 设备确定涂料中铅含量的指南可以从制造商和国家机构等各种渠道获得 (6, 16)。

高清 X 射线荧光 (HDXRF) 光谱仪

与常规 XRF 不同, 手持式 HDXRF 设备可以分别测定表面和基底并且能够以 ppm 报告结果。美国消费品安全委员会认为 HDXRF 分析适用于新涂料以及现有涂料表面的合规性测定 (28)。一种适合涂料和涂覆材料中铅含量的检测方法已经发布, 其中描述的分析范围为 30 至 450 ppm (26)。这种方法的主要局限性是设备的成本, 可能

会比常规 XRF 设备的成本更高。对培训操作人员的要求与常规 XRF 分析仪的要求相同。

4.3 化学检测试剂盒

有许多化学检测试剂盒可供选择。试剂盒无法以等同于实验室和 XRF 测定的准确度和精确度来测定涂料中的铅含量, 但为了全面起见而在此处提供信息。

化学检测试剂盒的用途可以分为简单的定性检测或更先进的半定量检测。此类检测较多依赖于颜色的变化以指示是否存在超过特定浓度的铅。对于最简单的试剂盒, 根据颜色是否发生变化来确定结果为阳性(即铅含量超过特定浓度水平)或阴性(即铅含量未超过特定浓度水平)。颜色发生变化的阈值浓度取决于所使用的检测试剂盒, 并且销售试剂盒的国家可能会对其进行监管。例如在美国, 检测试剂盒应检测出 1 mg/cm² 以上的浓度 (6)。根据应用情况, 某些化学检测试剂盒的检测限可能较低。

较简单的试剂盒检测涂料时所采用的方法是通过浸有化学试剂的棉签擦拭涂层表面, 或是通过将特定面积的涂料碎片与试管中的试剂混合。更先进的现场检测试剂盒采用荧光或光度法对涂料碎片进行测定 (29, 30)。美国环保局对这些试剂盒进行了大量评估, 更多信息参见其网站 (31)。

这些试剂盒有很多限制 (6, 30, 32)。试剂盒仅可以检测暴露层; 因此, 若要测定更可能含有铅的内层, 则必须破坏涂料表面或取下涂料碎片(取决于

7 Olaf Haupt, 赛默飞世尔科技现场和安全仪器, 个人通讯, 2019 年 11 月。

8 Olaf Haupt, 赛默飞世尔科技现场和安全仪器, 个人通讯, 2019 年 11 月

方法)。对于某些试剂盒,可能难以观察到颜色变化,尤其是在检测深色涂料时。一般来说,这些试剂盒无法定量测定涂料中的铅含量;即便是半定量测定方法也只能提供浓度范围。总而言之,化学检测试剂盒的准确度可能有限;换句话说,当检测结果表明铅含量超过特定浓度时,实际上并未超过

(假阳性);而当检测结果表明铅含量未超过特定浓度时,实际上却已经超过(假阴性)(32)。由于这些原因,为了准确确定涂料中的铅含量,通常倾向于采用除化学检测试剂盒以外的其他方法。

表 2 汇总了不同分析方法的各種特性。

表 2。涂料中铅测定的分析方法概述

方法	优势	局限性
火焰原子吸收光谱法 (FAAS)	<ul style="list-style-type: none"> • 相对易于使用并且成本适中 • 可配备自动进样器, 以便处理多个样品 	<ul style="list-style-type: none"> • 需要特殊气体 • 检测限取决于样品制备和使用的方法 • 需要训练有素的实验室技术员
电热原子吸收光谱法 (ETAAS)	<ul style="list-style-type: none"> • 可以分析非常小的样品 • 可配备自动进样器, 以便处理大量样品 	<ul style="list-style-type: none"> • 需要特殊气体 • 需要训练有素的实验室技术员
电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES)	<ul style="list-style-type: none"> • 如果用于处理大量样品, 可能非常经济实惠 • 可以分析非常小的样品 • 可以测定同位素比, 从而可能有助于鉴定铅的来源 • 检测限极低 	<ul style="list-style-type: none"> • 费用昂贵, 处理成本高 • 需要高度训练有素的实验室技术员
基于实验室的高清 X 射线荧光 (HDXRF) 光谱法	<ul style="list-style-type: none"> • 处理和操作成本低 • 可以测定液体涂料样品中的铅含量 • 样品制备很简单 • 检测限低 	<ul style="list-style-type: none"> • 采购成本高 • 要求经过培训以确保获得准确的结果并遵循健康和安全要求
手持式常规 X 射线荧光 (XRF) 光谱仪	<ul style="list-style-type: none"> • 可在现场用于分析涂料 • 不需要损坏涂料表面 • 准确度高 • 结果即时可得 • 可以在短时间内测定多个表面 • 比实验室方法更便宜, 适用于检测多个表面 	<ul style="list-style-type: none"> • 要求经过培训以确保获得准确的结果并遵循健康和安全要求 • 操作人员可能需要获得许可证和/或认证 • 采购成本相对较高
手持式高清 X 射线荧光 (HDXRF) 光谱仪	<p>与常规 XRF 相同, 另外:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 能够以 ppm 报告结果 • 检测限低 (低于 90 ppm) • 可用于干漆膜, 为测定新涂料中的铅含量进行合规性检测 	与常规 XRF 相同
化学检测试剂盒 (现场)	<ul style="list-style-type: none"> • 墙面或其他表面上的含铅涂料定性检测 • 结果即时可得 • 采购和处理成本低 • 相对简单易用 	<ul style="list-style-type: none"> • 无法提供准确测定 • 可能出现假阳性和假阴性结果 • 主要可以检测最上 (表面) 层 • 可能需要损坏涂料表面 • 可能难以观察到深色涂料的颜色变化 • 某些表面 (例如石膏) 可能需要特殊规程

5.选择最合适的方法

方法的选择取决于多种因素,包括分析的原因(合规性、风险评估或筛选)、待测样品数量、待测基底(新涂料、现有涂漆表面、表面尺寸和形状)、成本限制、对精确测定的需求、必要的定量限制以及是否有经过培训的人员和分析设备。

关于定量限值,建议值等于或小于法规限值的20% (33)。因此,如果限值为 90 ppm,将需要一种

可以报告至少 18 ppm 的方法。表 3 汇总了可用于不同目的的分析。

表 3.选择最合适目的的分析

检测目的	实验室方法	X 射线荧光光谱法			化学检测试剂盒
		实验室	手持式常规 XRF	手持式 HDXRF	
新涂料的合规性检测	是	是——可以读取干漆膜或液体涂料的读数	否——仅提供以 mg/cm ² 表示的结果	是——提供以 ppm 表示的结果;可以读取干漆膜的读数	否
新涂料的市场调查	是	是——可以读取干漆膜或液体涂料的读数	否——仅提供以 mg/cm ² 表示的结果	是——提供以 ppm 表示的结果;可以读取干漆膜的读数	否
检测住宅、学校和其他场所中的现有涂料	是——需要破坏涂料表面	是——需要破坏涂料表面	是	是	不建议
检测玩具或其他不规则形状物体上的涂料	是	是	是	是	否

只要采集适当的样品并遵循适当的质量保证原则, 实验室分析就可以提供涂料 (现有涂料或新涂料) 中铅含量的准确测定值 (参见第 6.2 节)。样品的采集、运输以及 FAAS、ETAAS 和 ICP-AES、实验室分析需要大量的技能和时间 (实验室 HDXRF 是一种更快速、更简单的方法)。分派和实验室分析的成本可能很高, 这取决于实验室的位置、待测样品数量和使用的分析方法。如果要检测现有涂料, 则必须破坏涂料表面才能采集样品。

若要测定现有涂料中的铅含量, 手持式 XRF 是另一种可选的方法, 因为它不需要破坏性采样或取下涂料, 并且每个样品的检测速度快、成本低。由于这些原因, 这是检查住宅中是否存在含铅涂料的首选方法 (6, 15)。

然而, 建议在以下情况下进行实验室分析:

- 当需要高精度或低检测限时;
- 适用于无法使用 XRF 仪器进行检测的难以进入区域或具有不规则表面的建筑构件;
- 确认临界手持式 XRF 结果。

化学检测试剂盒也能立即产生结果, 但它们提供的铅浓度信息有限, 并且是最不准确、可靠的方法。

5.1 选择实验室

选择实验室检测涂料时有许多注意事项, 建议事先联系实验室以验证其是否适合进行所需的分析。提供的服务质量至关重要。使用公认机构认

证的实验室并授权进行所需的特定检测将会令人对所获得的分析结果的准确性和可靠性充满信心。在检测涂料以获得符合含铅涂料法的声明时, 这一点尤其重要。第6节中提供了有关实验室质量 (包括认可) 的更多信息。

其他因素包括:

- 实验室检测涂料的经验
- 使用的分析方法和检测限
- 采样要求
- 处理所需样品数量的能力
- 分析成本, 包括运输成本
- 周转时间。

5.2 查找实验室

如需查找经认可能够测定涂料中铅含量的实验室, 通常可以在国家认可机构的网站上找到相关信息。国家认可机构的联系方式详见国际实验室认可合作组织 (ILAC) 网站,⁹其中列出了那些签署了 ILAC 相互承认协议的机构。该网站还提供有关区域认可合作机构的信息。

另一个信息来源是美国工业卫生协会 (AIHA) 精确测试项目的网站。¹⁰AIHA 开展了环境铅精确分析测试 (ELPAT) 项目 (34), 并列出了美国和其他国家的 250 多个实验室, 这些实验室通过了最新的涂料中铅含量精确测试验证。

美国消费品安全委员会¹¹保留一份经过认证可进行第三方检测的实验室列表, 以确保符合适用于

9 <https://ilac.org/signatory-search>

10 <https://online.aihapat.org/patssa/f?p=AIHASSA:17800; search for ELPAT Laboratories Program>

11 <https://www.cpsc.gov/cgi-bin/labsearch/>

儿童产品的美国联邦安全要求 (35)。此列表包括经过认证的实验室,可以在美国和其他国家检测涂料中的铅含量。

5.3 设立测定涂料中铅的实验室服务

设立实验室服务需要大量的资源投资,下面列出了在决定是否继续时要考虑的一些要点。

- 是否有足够的工作量来证明设置服务的合理性?
- 国内或国外是否有其他实验室能够在可接受的时间范围内以合理的价格提供此项服务?
- 是否有能够在其服务中增添涂料检测的实验室?
- 需要哪种可用于实验室目的的仪器 (HDXRF、GFAAS、ETAAS、ICP-MS)?
- 是否已提供或必须购买必要的分析设备?
- 是否有足够的资金来购买设备、承担其安装、维护和操作成本,包括购买经过认证的参照物质和更换耗材 (例如灯、管和气体)?
- 就实验室而言,是否有合适的场所提供可靠、稳定的电力和供水? 是否可以对现有建筑物进行改造或者是否有必要建立一个新实验室?
- 是否有足够数量的经过适当培训的实验室人员来操作所选的仪器?
- 实验室是否会寻求获得测定涂料中铅含量的认可?是否有资源来支持这方面?

6. 实验室操作的重要事项

在分析化学领域, 如果样品采集和处理不适当, 仪器使用不正确, 或者未按照分析方案操作, 那么即使是最尖端和准确的仪器, 也可能出现不正确的结果。与测定涂料中铅含量有关的两个问题是: 对污染认识不足, 以及质量保证和控制不够。以下章节将对这些问题进行简要的论述。

6.1 防止外部污染

铅是一种无处不在的金属, 可以通过多种途径污染样品, 尤其是在对涂料碎片进行实验室分析时。在样品采集、储存、运输以及样品处理过程中均可发生污染。因此, 样品采集和处理的质量对准确测定涂料中铅含量至关重要。这些活动应遵循标准操作规程进行, 包括防止污染的措施, 例如对每个样品使用新的采样设备 (17)。

实验室内的样品处理过程也存在污染的风险。实验室应尽可能无铅, 并且实验室工作人员应受过适当的培训, 防止样品受到污染。不同的分析方法有各自专门的操作方案 (包括由生产商和标准化机构编制的), 这些操作方案必须得到严格遵守 (13, 17–19)。通过采取适当的质量保证措施可显著降低污染风险 (33)。

6.2 质量保证和质量控制

质量保证和质量控制是质量管理体系的组成部分。质量管理涉及实验室操作各个方面的整合, 包括组织结构、流程、规程和资源, 以确保向用户提供高质量的服务并且实验室结果可靠和具有可重现性 (33, 36)。

质量保证涉及流程和规程。其涵盖利用科学和技术上合理的实践进行实验室研究, 包括样品的选择、采集、储存和运输以及结果的记录、报告和对结果的解释。另外, 还包括为提高研究可靠性而进行的培训和管理。质量保证包括对分析方法的实用性和真实性的初步评估, 其中包括线性关系、特异性、回收率、校准标准、空白、检测限以及定量限和稳健性 (17)。

质量控制是指控制检测性能和检测结果验证中的误差。它包括两个部分: 内部质量控制和外部质量评估。

内部质量控制: 这是实验室工作人员采用的一套规程, 可持续评估产生的结果, 以确定结果是否准确、精确, 并且足以发布可靠的结果 (17, 20)。举例而言, 质量控制措施中对特征明确的含铅涂料对照样品进行分析, 以检查分析方法的性能。如果在浓度和基体匹配方面有合适的 (认证的) 参照物质可用, 则强烈建议将其用于验证步骤和常规质量控制。美国环境保护局已经制定了用于测定涂料中铅含量的质量控制规程 (17, 33)。标准的样品分析操作规程通常应包括对质量控制措施的描述 (33)。

外部质量评估 (EQA): 这是一个使用外部机构客观检查实验室表现的体系。其涉及的实验室接收

铅含量未知的待测“盲”样。然后将分析结果与实际铅浓度进行比较,直到分析完成后才显示出来。还会将结果与参与该方案的其他实验室的结果进行比较。外部质量评估方案通常每年涉及多个检测周期。上述 ELPAT 方案是涂料碎片中铅含量(也包括土壤和粉尘)测定的 EQA 方案示例。每季度进行一次评估。

6.2.1 现场检测

质量保证和质量控制措施的需求也适用于在实验室以外进行的分析,例如:当使用 XRF 设备评估建筑物中涂料含铅量时。这些措施包括确保对操作人员进行充分的培训以及采用校准检查和控制检测 (6)。

认可是权威机构正式承认实验室有能力执行特定任务(例如涂料中铅含量的定量分析)的规程。在这种情况下,将由认可机构的代表对实验室进行检查,除了寻找符合标准、政策、规程、要求和法规的证据外,还通过观察实验室工作人员来评估能力。认可机构还可以设定实验室必须遵循的标准 (36)。举例而言,ISO/IEC 17025 是一个认可标准 (37)。在美国,参加环境铅精确分析测试项目 (ELPAT) 是实验室要获得环境铅实验室认可计划 (ELLAP) 资格的前提。

6.3 标准、认证和认可

标准、认证和认可是确保和证明实验室质量的重要措施。

标准文件是为了在一定的范围内获得最佳秩序,经协商一致制定并经公认机构批准,共同使用的和重复使用的一种规范性文件 (36)。可以制定国内标准或国际标准。举例而言,与涂料中铅测定有关的国际标准是由国际标准化组织 (ISO) 和美国检测与材料学会国际组织 (ASTM International) 制定的标准。这些均在附录中列出。

认证是独立机构以书面形式保证流程或服务符合特定要求的规程。这涉及由认证机构的代表对实验室的检查,寻找符合标准、政策、规程、要求和法规的证据。主要评估是为了检查规程和文件是否实际存在 (36)。

7. 结论

含铅涂料是一个重要的铅暴露源, 特别是对于儿童和工人。由于无需使用铅添加剂即可制得具有所需颜色和性能的涂料, 因此这是可以避免的暴露源。然而, 即使某个国家限制在涂料中使用铅, 建筑物和结构中仍可能会有含铅涂料的遗留问题, 并且会成为持续多年的暴露源。

预防铅暴露的主要措施涉及实施具有法律约束力的控制措施, 例如法律、法规或标准, 可阻止在新涂料中添加含铅成分。在建筑物和其他结构已经涂有含铅涂料的国家中, 预防工作还可能涉及采用适当的风险管理措施, 例如消减含铅涂料。出于一级和二级预防目的, 必须有一种方法来测定涂料中铅含量。

本手册概述了在实验室和使用含铅涂料的现场测定涂料中铅含量的常用方法。有一系列不同的方法可供选择, 涉及不同的成本和复杂程度, 公共卫生当局、环境机构和其他机构应选择最适合其需求的方法。

8.参考文献

1. GBD Compare. Global deaths and DALYs attributable to lead exposure. Seattle: Institute for Health Metrics and Evaluation, University of Washington; 2018 (<http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>, accessed 30 March 2020).
2. Reuben A, Caspi A, Belsky DW, Broadbent J, Harrington H, Sugden K et al. Association of childhood blood lead levels with cognitive function and socioeconomic status at age 38 years and with IQ change and socioeconomic mobility between childhood and adulthood. *JAMA*. 2017; 317(12):1244–1251. doi:10.1001/jama.2017.1712.
3. Global Health Observatory (GHO) data. Legislation: regulations and controls on lead paint. Geneva: World Health Organization; 2019 (https://www.who.int/gho/phe/chemical_safety/lead_paint_regulations/en/, accessed 30 March 2020).
4. 2019 update on the global status of legal limits on lead in paint. Nairobi: United Nations Environment Programme; 2019 (<https://www.unenvironment.org/resources/report/2019-update-global-status-legal-limits-lead-paint>, accessed 30 March 2020).
5. American Healthy Homes Survey: lead and arsenic findings. Washington (DC): United States Department of Housing and Urban Development; 2011 (https://www.hud.gov/sites/documents/AHHS_REPORT.PDF, accessed 6 April 2020).
6. Guidelines for the evaluation and control of lead-based paint hazards in housing. Washington (DC): United States Department of Housing and Urban Development; 2012. Chapter 7 and Appendix 13.2 (https://www.hud.gov/program_offices/healthy_homes/lbp/hudguidelines, accessed 6 April 2020).
7. Dixon SL, Gaitens JM, Jacobs DE, Strauss W, Nagaraja J, Pivetz T et al. Exposure of U.S. children to residential dust lead, 1999—2004: II. The contribution of lead-contaminated dust to children's blood lead levels. *Environ Health Perspect*. 2009; 117(3):468–74. doi: 10.1289/ehp.11918.
8. Childhood lead poisoning. Geneva: World Health Organization; 2010 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/136571>, accessed 30 March 2020).
9. Model law and guidance for regulating lead paint. Nairobi: United Nations Environment Programme; 2018 (<https://www.unenvironment.org/resources/publication/model-law-and-guidance-regulating-lead-paint>, accessed 30 March 2020).
10. Le Bot B, Arcelin C, Briand E, Glorennec P. Sequential digestion for measuring leachable and total lead in the same sample of dust or paint chips by ICP-MS, *J Environ Sci Health, Part A*. 2011; 46(1):63–69. doi:10.1080/10934529.2011.526902.
11. Soluble and total lead content of solvent-based paints for home use in China. Stockholm: International Pollutants Elimination Network; 2017 (http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-china-lead-report-v1_3-en.pdf, accessed 30 March 2020).

12. Deshommes E, Tardif R, Edwards M, Sauvé S, Prévost M. Experimental determination of the oral bioavailability and bioaccessibility of lead particles. *Chemistry Central Journal*. 2012; 6: 138. doi.org/10.1186/1752-153X-6-138
13. Test method: CPSC-CH-E1003-09.1: Standard operating procedure for determining lead (Pb) in paint and other similar surface coatings. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2011 (https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/blk_pdf_CPSC-CH-E1003-09_1.pdf, accessed 30 March 2020).
14. Standard practice for field collection of dried paint samples for subsequent lead determination. ASTM E1729-16. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2016.
15. Diagnostique plomb: protocole de réalisation du constat de risque d'exposition au plomb [Lead diagnostic: protocol for carrying out risk assessment of lead exposure]. NF X46-030: 2008-4. La Plaine Saint-Denis: l'Association Française de Normalisation; 2008.
16. Détection du plomb dans les peintures anciennes [Detection of lead in old paint]. Maisons-Alfort: Agence française de sécurité sanitaire environnementale; 2005 (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2004et5091Ra.pdf>, accessed 30 March 2020)
17. Pb-based paint laboratory operations guidelines: analysis of Pb in paint, dust, and soil. Revision 1.0, EPA 747-R-92-006, May 1993. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; 1993 (<https://www.epa.gov/lead/pb-based-paint-laboratory-operations-guidelines-analysis-pb-paint-dust-and-soil-revision-10-epa>, accessed 30 March 2020).
18. Standard practice for preparation of dried paint samples by hotplate or microwave digestion for subsequent lead analysis. ASTM E1645-16. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2016.
19. Standard test method for determination of lead by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES), flame atomic absorption spectrometry (FAAS), or graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) techniques. ASTM E1613-12. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2004.
20. Flanagan RJ, Taylor A, Watson ID, Whelpton R. *Fundamentals of analytical toxicology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd; 2007: 281–301.
21. ISO 6503:1984. Paints and varnishes – determination of total lead – flame atomic absorption spectrometric method. Geneva: International Organization for Standardization; 1984 (<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:12880:en>, accessed 30 March 2020).
22. Schmehl RL, Cox DC, Dewalt FG. Lead-based paint testing technologies: summary of an EPA/ HUD field study. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1999;60:444–451.

23. Cobb D. Study on the effectiveness, precision, and reliability of X-ray fluorescence spectrometry and other alternative methods for measuring lead in paint. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2009 (<https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/leadinpaintmeasure.pdf>, accessed 30 March 2020).
24. Gibson WM, Chen ZW, Danhong L. High-definition X-ray fluorescence: applications. X-ray Optics and Instrumentation. 2008; Article ID 709692. doi:10.1155/2008/709692.
25. Cobb D. Update on use of X-ray fluorescence spectrometry for measuring lead in paint. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2010.
26. Standard test method for determination of lead in paint layers and similar coatings or in substrates and homogenous materials by energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry using multiple monochromatic excitation beams. ASTM F2853-10. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2015.
27. Analysing liquids using XRF sample cups and films. FXBA-0032-01. Bedburg-Hau: Fluxana; 2019 (https://fluxana.com/images/Whitepaper/PDF/Whitepaper_Analyzing_Liquids_using_XRF_sample_cups_and_films.pdf, accessed 30 March 2020).
28. The U.S. Consumer Product Safety Commission approves new test method for detection of lead in paint. Business Wire, 31 March 2011 (<https://www.businesswire.com/news/home/20110331006041/en/U.S.-Consumer-Product-Safety-Commission-Approves-New>, accessed 30 March 2020).
29. ETV verification statement. Qualitative spot test kit: lead-based paint detection — lead-in-paint test kit. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency; 2010 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/p100elky.pdf>, accessed 30 March 2020).
30. ETV verification statement. Qualitative spot test kit: lead-based paint detection — LeadPaintCheck. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency; 2010 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/p100elna.pdf>, accessed 30 March 2020).
31. Performance characteristics of qualitative spot test kits for lead in paint (completed 2010). [website] Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Environmental Technology Verification Program; 2019 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/html/este.html#pcqstklp>, accessed 3 April 2020).
32. Rossiter WJ, Vangel MG, McKnight ME, Dewalt G. Spot test kits for detecting lead in household paint: a laboratory evaluation. NISTIR 6398. Gaithersburg (MD): National Institute of Standards and Technology; 2000 (https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=860223, accessed 3 April 2020).
33. National Lead Laboratory Accreditation Program: Laboratory quality system requirements, Revision 3.0. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; 2007 (<https://www.epa.gov/lead/national-lead-laboratory-accreditation-program-laboratory-quality-system-requirements-revision>, accessed 3 April 2020).

34. ELPAT frequently asked questions. Falls Church (VA): American Industrial Hygiene Association; 2019 (<https://www.aihapat.org/programs/environmental-lead-proficiency-analytical-testing-elpat-program/elpat-faqs>, accessed 3 April 2020).
35. List of CPSC-accepted testing laboratories. United States Consumer Product Safety Commission (<https://www.cpsc.gov/cgi-bin/labsearch/>, accessed 3 April 2020).
36. Laboratory quality management system: handbook, version 1.1. Geneva: World Health Organization; 2011 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/44665>, accessed 3 April 2020).
37. ISO/IEC 17025: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: International Organization for Standardization; 2017 (<https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100424.pdf>, accessed 6 April 2020).

附录

样品采集、制备和分析涂料中铅的国际标准和方法

规程	标准名称
样品采集国际标准	ASTM E1729-16。《用于后续铅测定的干漆样品现场采集的标准实施规程》(Standard practice for field collection of dried paint samples for subsequent lead determination)
	ISO 15528:2013。《涂料、清漆以及涂料和清漆用原材料——采样》(Paints, varnishes and raw materials for paints and varnishes – sampling) (提供英语、法语和俄语版本)
样品制备国际标准	ISO 1513:2010。《涂料和清漆——检测样品的检查和制备》(Paints and varnishes – examination and preparation of test samples) (提供英语、法语和俄语版本)
	ASTM E1645-16。《热板法或微波溶解法连续分析铅含量用干漆样品制备的标准实施规程》(Standard practice for preparation of dried paint samples by hotplate or microwave digestion for subsequent lead analysis)
	ASTM E1979-17。《铅的连续测定用涂料、尘埃、土壤和气体样品的超声萃取的标准实施规范》(Standard practice for ultrasonic extraction of paint, dust, soil and air samples for subsequent determination of lead)
检测方法国际标准	ISO 6503:1984。《涂料和清漆——总铅含量的测定——火焰原子吸收光谱法》(Paints and varnishes – determination of total lead – flame atomic absorption spectrometric method) (用于测定 0.01% 至 2.0% 的铅浓度) (提供英语和法语版本)
	ASTM D3335-85a (2014)。《使用原子吸收光谱法测定涂料中低含量铅、镉和钴的标准测试方法》(Standard test method for low concentrations of lead, cadmium, and cobalt in paint by atomic absorption spectroscopy) (用于测定 0.01% 至 5.0% 的铅浓度)
	ASTM E1613-12。《用电感耦合等离子体发射光谱法、火焰原子吸收光谱法或石墨炉原子吸收光谱法测定铅含量的标准检测方法》(Standard test method for determination of lead by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES), flame atomic absorption spectrometry (FAAS), or graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) techniques)
	ASTM F2853-10 (2015)。《通过能量色散 X 射线荧光光谱法利用多重单色刺激光束以测定涂料表层和类似表面涂层或基质及同质材料铅含量的标准检测方法》(Standard test method for determination of lead in paint layers and similar coatings or in substrates and homogenous materials by energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry using multiple monochromatic excitation beams)

ISO 标准可查阅 <https://www.iso.org>

ASTM 标准可查阅 <https://www.astm.org>

如需了解更多信息, 请联系:
Department of Environment, Climate Change and
Health (ECH)
World Health Organization
20 Avenue Appia
CH-1211 Geneva 27
Switzerland
电子邮箱: ipcsmail@who.int



世界卫生组织



全球环境基金
为地球的生存而投资