



代码: D8064 – 16:

标准测试方法采用多个单色激发光束, 通过单色能量色散X射线荧光光谱法, 分析土壤和固体废物的元素¹

该标准以固定代号 D8064 颁布; 紧随代号后面的数字表示起始生效年份, 或者, 在修订情况下, 该数字表示最后一次的修订年份。括号内的数字表示上次重新核准的年份。上标 e (') 表示自上次修订或重新核准起, 对标准进行的编辑修改。

1. 使用范围

1.1 该测试方法基于能量色散 X 射线荧光(EDXRF)光谱测定法, 使用多个单色激发光束来检测土壤和相关固体废物中指定的重金属元素, 并对其进行定量分析。

1.2 此测试方法亦称为高精度 X 射线荧光法(HDXRF)或多个单色光束的射线荧光光谱法(MMB-EDXRF)。

1.3 此测试方法适用于各种土壤基质, 用于测定含量在 1-5000 mg/kg 范围内的铬(Cr)、镍(Ni)、砷(As)、Cd(镉)、汞(Hg)和铅(Pb)元素, 如表 1 所示, 并使用代表性样品进行耐用性研究来确定。各种元素的检出限(LOD)如表 1 所示。通过测量 SiO₂ 空白样品来估计 LOD 的数值(参见附录 X1 表 X1.1)。

1.4 该测试方法同样适用于其他元素: 铟(Sb)、铜(Cu)、硒(Se)、银(Ag)、铊(Tl)、锌(Zn)、钡(Ba)、金(Au)、钴(Co)、钒(V)、铁(Fe)、锰(Mn)、钼(Mo)、钾(K)、铷(Rb)、锡(Sn)、锶(Sr)和钛(Ti)。

1.5 X 射线命名法—该标准使用西格巴恩惯例(Siegbahn convention)来命名 X 射线。

1.6 单位—这些采用国际标准(SI)单位的数值可视为标准值。该标准不含其它测量单位。

1.7 此标准并不旨在解决与该标准使用相关的所有安全问题。采用本标准的用户有责任建立适当的安全和健康法规, 并在使用前确定限制性法规的适用范围。

¹此测试方法受美国试验材料学会委员会废弃物管理条例 ASTM D34 的限制, 其中小组委员会所制定的分析方法 D34.01.06 与其具有直接的关联。

当前版本在 2016 年 11 月 1 日通过审核, DOI:10.1520/D8064-16。

²Jenkins, R., Manne, R., Robin, R., 以及 Senemaud, C., “X 射线光谱法命名系统,” 期刊名称 Pure & Appl Chem., 第 63 卷第 5 期, 页码 735 - 746, 1991 年。

2. 参考文献

2.1 ASTM 标准:³

D653 专业术语包括: 土壤、岩石和流体介质

D4994 通过碳化钙气体压力试验机测定土壤水分(湿度)含量的测试方法

D5283 与废弃物管理行为相关的环境数据生成法规: 质量保证和质量控制指南以及实施细则

D5681 废弃物和废弃物管理术语

D5847 水质分析标准测试方法的质量控制规范书面指南

E1169 耐久性试验的实施指南

E1727 用于后续铅元素含量测定的土壤样品的现场收集指南

E2554 用于测试结果不确定性的控制图技术估算和监控测试方法的使用指南

2.2 其他文件

ASTM DS46 X 射线发射波长和 Kev 表非衍射性分析⁴

ASTM MNL 7 数据和控制图分析说明手册, 第 4 版第八章⁴

US EPA 方法美国环境保护署测试方法, 现场便携式 X 射线荧光光谱法 6200, 测定土壤和沉积物的元素浓度⁵

³ 如需了解 ASTM 参照标准, 请访问 ASTM 网站, www.astm.org 或联系 ASTM 客户服务中心(service@astm.org)。关于 ASTM 标准卷的年鉴信息, 请参阅 ASTM 网站上标准文档摘要页面。

⁴ 欢迎咨询美国材料和试验协会(ASTM International), 地址如下: 美国宾夕法尼亚州 19428-2959 西康舍霍肯(West Conshohocken) 港口大道(Barr Harbor Drive)100 号, www.astm.org。

⁵ 欢迎咨询美国环境保护署(EPA), 地址如下: 美国纽约州华盛顿特区 20460 宾夕法尼亚大道 1200 号威廉·杰斐逊·克林顿大厦(William Jefferson Clinton Bldg.) , 网址: <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-6200-field-portable-x-ray-fluorescence-spectrometry-determination>。



表 1, 检出限(LOD)和检测范围

元素	检出限(mg/kg)	检测范围(mg/kg)
铬 Cr	2.3	11 至 500
镍 Ni	1.1	5 至 500
砷 As	0.2	1 t 至 2000
镉 Cd	0.4	2 至 100
汞 Hg	0.4	2 至 100
铅 Pb	0.6	3 至 5000

3. 专业术语

3.1 定义—适用于 X 射线荧光、土壤和废弃物管理的解释, 定义详见术语 **D653** 和 **D5681**。

3.2 此标准的特定术语定义:

3.2.1 基本参数(FP)模型, n—用于 X 射线荧光响应校准的模型, 包括基于描述 X 射线与物质相互作用物理过程理论的基体效应校正。

3.2.2 高能量单色光束, n—聚焦的单色光束, 所选光子能量范围介于 32 和 40keV 之间。

3.2.3 中等能量单色光束, n—聚焦的单色光束, 所选光子能量范围介于 15 和 23keV 之间。

3.2.4 单色光束, n—入射到样品上的单色光束, 与所选能量相比, 该光束所选的光子能量带宽较窄; 这种精密测量方法的能量带宽小于所选能量的 15% (半峰全宽), 并且入射到样品上的激发光束光谱通量超过 95%。

3.2.5 多个单色激发光束, n—两个或以上的单色光束。

3.2.6 瑞利散射, n—X 射线光子与原子束缚电子相互作用产生的弹性散射; 此过程也称为相干散射。

3.3 缩写:

3.3.1 ARV: 可接受的参照数值

3.3.2 EDXRF: 能量色散 X 射线荧光

3.3.3 FP: 基本参数

3.3.4 HDXRF: 高精度 X 射线荧光

3.3.5 LOD: 检出限

3.3.6 MMB: 多个单色光束

3.3.7 ND: 无法探测、未探测

3.3.8 RSD: 相对标准偏差

4. 测试方法概述

4.1 此测试方法所提出的操作条件已成功用于测定土

壤和相关固体废弃物的镉(Cd)、砷(As)、铬(Cr)、铅(Pb)、汞(Hg)、锑(Sb)、铜(Cu)、镍(Ni)、硒(Se)、银(Ag)、铊(Tl)、锌(Zn)、钡(Ba)、锡(Sn)和金(Au)元素。

4.2 此项技术使用一个或多个单色激发光束对土壤和固体废弃物样品的元素浓度进行量化分析。将待测样品均质化到合理水平, 并将其放置在射线孔正前方, 这样光学晶体可将来自 X 射线源的一个或多个单色 X 射线束聚焦并照射该样品射线该样品。装置在附近的探测器可以收集荧光和反向散射的 X 射线。由探测器收集的 X 射线可以通过数字脉冲处理器转换成电脉冲。多通道分析仪根据 X 射线的能量将单个脉冲分离形成测量光谱。通过基本参数(FP)法处理光谱得到最终的分析结果。

4.3 针对每个单色光束和探测器对设备进行校准。校准可以由制造商或由用户执行。

5. 重要性及用途

5.1 元素物质, 如铬(Cr)、镍(Ni)、砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)和铅(Pb), 广泛用于各种工业过程。这些元素在先前的许多工业现场得到了广泛的应用, 但是目前需要一种快速、简便的方法, 可以直接在现场对土壤和固体废弃物基质的元素含量进行跟踪测试。

5.2 该方法可以用于土壤基质和固体废弃物的铬(Cr)、镍(Ni)、砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)和铅(Pb)的定量测定。典型的测试时间为 90 秒至 15 分钟。

6. 干扰

6.1 光谱干扰 — 由于探测器的能量分辨率有限, X 射线之间的光谱重叠问题仍未解决而导致的光谱干扰现象。例如, 砷(As)元素的 $K\alpha$ 峰直接与铅(Pb)元素的 $L\alpha$ 峰交叉重叠。铅(Pb)元素的 $L\beta$ 谱线可以说明这种重叠现象, 进而通过铅(Pb)元素的 $L\alpha$ 峰重叠对砷(As)元素的 K 谱线进行解析。用于特定元素的任何实际谱线应当使得这种重叠达到最小化。详情请参照美国材料和试验协会的数据文档 DS46, 了解可能谱线重叠的详细信息。光子和电子在探测器内相互作用导致光谱出现额外的尖峰, 这些尖峰称之为逃逸峰(escape peak)以及叠加峰(sum peak)。这些尖峰可以与待测 X 射线相互重叠, 例如, 铁(Fe)元素的 $K\alpha$ 叠加峰可以与铅(Pb)元素的 $L\beta$ 峰相互重叠。

6.2 基体效应 — 基体效应, 亦称为共存元素效应, 该效应在所有元素中普遍存在, 这是因为在样品中原子会吸收荧光 X 射线 (二次 X 射线)。这种吸收效应降低了元素的视在灵敏度。与此相反, 吸收 X 射线的原子可以发射荧光 X 射线, 增加其它元素的视在灵敏度。通过数学方法可以提对基体效应进行补偿。这通常会用到许多数学校正程序, 包括基于影响系数算法的全基本参数(FP)处理和数



学模型。

6.3 物理基体效应 — 要针对样品的物理特性，如粒径和均匀性。通过在分析前将样品进行充分混合、研磨并将其筛分成均匀的粒度或在分析期间旋转样品以增加样品暴露在 X 射线光束路径下的受照射面积，可以显著减小这种效应。

6.4 湿度效应 — 含水量超过 15% 的土壤样品可能会对分析结果造成误差。含水量高的样品可以在分析之前，在温度低于 150°C 的烘箱内充分干燥。如果汞是目标分析物，则应单独取出样品并在不加热的情况下进行干燥分析。另外一种方案是采用制造商的自动湿度校正方法，利用基本参数(FP)建模排除水分的影响。

7. 设备

7.1 EDXRF 光谱仪⁶，使用带能量色散探测器及多个单色激发光束，专为 X 射线荧光分析而设计，并且其设计至少包含以下几个特点（除非另有说明）：

7.1.1 X 射线激发源 — 以使用带钨、钼、铯、钷、银元素靶或其它合适靶的 X 射线管。

7.1.2 X 射线光学元件 — X 射线光学元件能够接收来自射线管的 X 射线，并将单色光束引导到样品上。一般需要两个以上的 X 射线光学元件来提供多个单色光束。其中至少一个光学元件能够提供中等能量的单色光束，并且至少一个光学元件能够提供高能量的单色光束。

7.1.3 光束快门，用于选择单色光束或选择单色光束组合。

7.1.4 X 射线探测器，能量分辨率 ≤ 140eV，相当于锰(Mn)元素 K α 谱线半峰全宽。

7.1.5 数字脉冲处理器和多通道分析仪 — 用于脉冲整形和调节的数字脉冲处理器，以及根据 X 射线能量对脉冲进行分箱的多通道分析器。

7.1.6 探测器孔径 — 位于样品和探测器之间的光束路径孔径，以限制探测器的视域范围。

7.2 分析仪测试台，可能包括以下部件：

7.2.1 样品池旋转器（可选），用于容纳可拆卸的样品池。

7.2.2 可拆卸的样品池 — 兼容 MMB-EDXRF 光谱仪几何形状的开放式样品架，使用可更换的 X 射线透明膜以保证土壤样品的最小深度为 1cm。

8. 试剂和材料

8.1 试剂纯度 — 试剂纯度—在所有试验中应使用试剂级别的化学物品。除非另有说明，否则所有试剂均符合美国化学学会分析试剂委员会 (the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society) 的规定，详情请参见对应的这些规范。⁷其它级别的化学物品也是可用的，前提是确定试剂的纯度足够高，以保证该试剂的使用不会降低测试的精度。

8.2 校准标准 — 校准过程需要提供至少三种均匀参照材料（见备注 1）。校准标准应提供(a)处于或接近土壤本底值的铬(Cr)、镍(Ni)、砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)和铅(Pb)的浓度，(b)部分处于或全部处于低浓度范围的铬(Cr)、镍(Ni)、砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)和铅(Pb)，以及(c)部分处于或全部处于高浓度范围的铬(Cr)、镍(Ni)、砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)和铅(Pb)。当存在此类材料时，建议使用可追溯到标准参照材料的标准校准样品。

注释 1——可使用其它校准标准来提高测试的精度。

8.3 校准验证样品 — 校准过程需要至少一种含有铬(Cr)、镍(Ni)、砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)和铅(Pb)元素的均质参照材料。

8.4 漂移校正监视器（可选） — 由于测量系统的不稳定性，光谱仪的灵敏度和背景参数可能会随时间的延长而发生漂移。漂移校正监视器可以补偿这种漂移。最佳的漂移校正监测样品是能够反复暴露在 X 射线下并保持永久性稳定的材料。

8.5 手套 — 建议使用一次性手套来处理参照材料和其他样品。

8.6 质量控制样品 — 为了确保结果的质量，使用质量控制(QC)样品来建立和监测分析测量系统的稳定性和精度（见 17.4）。如有可能，QC 样品应当是代表典型分析样品的参照材料。该材料在预期储存条件下应是稳定的。校准验证样品可以作为 QC 样品。

8.7 参照材料 — 由已知元素组成的均质材料。参照材料可以通过商业渠道购买，或者通过重量分析法制备。除非另有说明，否则为达到测试目的，该测试方法通常采用土壤或污泥作为均匀参照材料。

8.8 独立参照材料(IRM) — 从国家标准技术研究所(NIST)或其它具有良好声誉的供应商处，获得纯度和浓度已知的材料。

⁶ 委员会目前所知的唯一设备供应商是 XOS 公司，美国纽约州 12061 科技谷大道东格林布什 15 号(15 Tech Valley Drive, East Greenbush, NY 12061)。如果您认识其它供应商，请将此信息提供给美国材料和试验协会总部。责任技术委员会将在会议上认真考虑您的意见，您会受邀与会。¹



8.9 二氧化硅粉末(SiO₂) — 用于制备经验重量校准的标准样品（如果使用校准方法 B，请参见 12.5），并将其作为空白样品，以监测仪器和样品制备的污染情况（见 17.3）。

8.10 单一/多元素水溶液标准 — 水溶液参照材料采用由已知元素组成的，用于制备经验重量校准的标准样品（如果使用校准方法 B 或基质加标）。

8.11 X 射线透明薄膜 — 用于样品与分析器之间的保护层。（参考注释 2）

注释 2——建议使用最高透过率的薄膜。本测试方法后续使用 12 μ m 高纯度聚丙烯薄膜。

9. 警告

9.1 必需严格遵守 X 射线和电离辐射的相关职业健康与安全标准。 初始设备制造商提供的现有手册和出版物中包括安全操作程序指南。更多信息，请参阅类似的辐射安全手册。

9.2 在处理污染的土壤和固体废物时 使用适当的个人防护装备 (PPE)。 相关推荐 PPE，请参阅化学品安全数据表。

10. 样品和检测试样准备

10.1 样品 — 样品的采集，请参阅 E1727 或相似步骤。

10.2 测量准备：

10.2.1 为了确保样品具有代表性，在采集容器内完全搅拌、混合和研磨样品。打碎大块土壤或固体废物。如果无法混合，则至少采集 5 份样品。

10.2.2 如果样品中的含水量超过 15%，则应干燥。如果样品成泥泞状或可见水分渗出，说明样品需要干燥。如果无法确定，请使用测试方法 D4944 或其他方法测定水分含量。如果需要干燥，将样品放在干燥容器中。将干燥容器放在烘箱中烘烤，直到质量恒定。样品也可以在现场自然干燥或太阳晒干。

10.2.3 去除不具有代表性的材料，如树枝，树叶，根茎，昆虫，沥青和岩石。彻底研磨样品，至其能通过 50 目或更小 (<275 μ m 粒径) 孔径。将足够量样品装入样品

池，并盖上 X 射线薄膜。

11. 仪器准备

11.1 按照制造商的说明进行光谱仪的设置，调节，准备和维护。

11.2 确保仪器按照生产商的要求下稳定运行。

11.3 确保光谱处理运行过程完全参照设备制造商提供的指南，正确处理干扰部分列出的光谱和基质干扰。

11.4 如果需要，光谱可参考单个元素的标准光谱值。

12. 校准

12.1 当 QC 样品超出范围或制造商推荐值时，必须进行校准。用于法律合规性应用时，应进行更频繁的校准。

12.2 X 射线探测仪和数字脉冲处理器的校准——使用校准标准，从每个单色激发光束的光谱中识别一个或多个元素发射线峰值，以校准 X 射线检测器和数字脉冲处理器（见 7.1.4 和 7.1.5）的能量与通道关系。发射线的选择应避免主要干扰，并具有统计意义上的显著波峰计数面积。

12.3 以下是 2 种校准方法：

12.4 校准方法 A — 基本参数法：

12.4.1 基本参数校准应使用包括背景土壤水平，低污染水平和高污染水平的多种土壤校准标准，用以通过所选元素为确定每个单色光束的初始灵敏度因子。如果某些涉及元素难以获得恰当的土壤标准物质，则可以在 FP 校准中使用具有周期表中相邻或附近元素的标准物质参考。土壤参考材料可以是 NIST 土壤标准参考材料或类似物。土壤参考材料也可以是掺有已知金属含量的 SiO₂ 粉末做为土壤替代品；见 12.5.2 的加标过程。通过测量每个元件的 X 射线净强度 (cps)，并使用针对每个射束的确定的灵敏度因子与一组方程相加，用以表征 X 射线的产生，X 射线的吸收和增感效应，并确定所有存在的元素。由于使用单色光束进行激发，与多色光激发相比，FP 计算更准确。

12.4.2 固体废物样品可能具有与土壤基质完全不同的基质。应使用至少两种具有轻质基质和重质基质的参考材料来改进 FP 模型，以表征除土壤基质以外的显著基质变化。含有有机类型基质的固体废物样品被视为轻质基质。金属（如 Fe）含量超过 10% 的固体废物样品则视为重质基质。如果在应用中只测试土壤样品，则不需考虑此步骤。

12.4.3 大多数制造商提供 FP 校准软件进行 FP 校准和 FP 精确化。严格按照生产商的 FP 介绍进行相关的设置。制造商可能按照某一标准提供可选设置值，用来做为近似基质来测试样品。该值可用来精确化 FP 参数，提供最佳精

7 试剂级化学物品，美国化学学会规范，美国化学学会，华盛顿特区。对于美国化学学会没有明确列出的试剂测试建议，请参见英国多塞特郡普尔市 BDH 有限公司的实验室化学品年度标准，以及美国马里兰州罗克维尔市美国制药协定公司(USPC)的美国药典和国家处方合集。

度。

12.5 方法 B — 实验校准法:

12.5.1 土壤基质的实验校准使用下述校准标准: 空白及四个或更多个浓度水平 (限于表 2 所示的低浓度范围与高浓度范围之间)。校准标准应提供元素强度与浓度间的线性响应。如果需要扩展范围, 则应进行覆盖从高浓度范围至扩展区间范围之间的额外校准。额外校准应使用四个或更多浓度水平 (覆盖高浓度范围和扩展范围之间)。

表 2 实验校准标准区间

元素	低浓度范围(ppm)	高浓度范围 (ppm)	拓展区间范围(ppm)
铬 Cr	5	500	5000
镍 Ni	5	500	5000
砷 As	1	1000	5000
镉 Cd	1	500	5000
汞 Hg	1	500	5000
铅 Pb	1	1000	5000

12.5.2 校准标准品可以通过将 SiO₂ 粉末与单一/多元元素水溶液混合来制备。水溶液标准品和 SiO₂ 的混合重量比约为 1:1。例如, 通过混合 5g 的 100mg/kg Pb 标准水溶液和 5g 的 SiO₂ 制备 200mg/kg 的 SiO₂ 标准 Pb。在 60° C 至 100° C 烘箱中干燥标准品或自然干燥。

12.5.3 测量加标的未污染土壤样品确定校正因子, 并用以校正 SiO₂ 校准物和土壤样品之间的基质效应。制备未污染的土壤样品并加标至已知的高浓度范围 (见 12.5.2 并使用未污染的土壤代替 SiO₂ 粉末), 以获得校准物和真实土壤样品之间的基质校正因子。校正因子通常记录在由制造商提供的软件工具中。

12.5.4 使用以下校准标准进行特定固体废物基质的经验系数校准: 空白及四个或更多个浓度水平 (限于表 2 所示的低浓度范围与高浓度范围之间)。校准标准应提供元素强度与浓度间的线性响应。如果需要扩展范围, 则应进行覆盖从高浓度范围至扩展区间范围之间的额外校准。额外校准应使用四个或更多浓度水平 (限于高浓度范围和扩展范围之间)。校准标准应采用与固体废物基质相类似的基质。如果无法找到校准物与固体废物批次样品之间的基质匹配, 则应使用 FP 校准方法。如果在应用中只测试土壤样品, 则不需要此步骤。

12.5.5 对于诸如汞元素等高度挥发性元素, 经验系数校准会导致结果偏差。可以使用做为制造商建议存储且在有效期内的商用参考材料 (参见 12.4), 来验证对挥发性元素的实验校准是否合适。在此情况下, FP 校准方法优于经验系数校准。

12.6 校准后, 使用一个或多个校准验证样品验证分析仪校准 (见 8.4)。结果的百分比偏差应小于 20% 的已知

值。

12.7 应按照 12.6 进行定期校验。初始校验频率应为每周一次。如果有足够的证据证明校准是稳定的, 校准验证频率可以减少到每月或更长的时间。

13. 具体步骤

13.1 测量未知样品:

13.1.1 根据 10 制备样品的制作, 根据 11 调试设备。将样品放置在 X 射线光束路径中, 并按照制造商的指示进行测量。

13.1.2 根据第 11 和 12 部分执行光谱的测试过程。

13.2 测量参照材料:

13.2.1 按照与未知样品相同的方法 (13.1) 测量参照材料, 然后测量未知值。

13.2.2 根据第 17 部分, 分析样品结果。当样品结果超过实验室的控制限时, 可能需要进行漂移校正或仪器校准。

13.3 漂移校正:

13.3.1 漂移纠正是对新的测量计数率进行规范化与标准化, 以使它们与在校准时获得的计数率相当。使用制造商的工具 (如果提供) 或其他适当的程序。

14. 对结果的说明

14.1 使用 12 节的样品的净计数率及校准值, 设备软件自动计算每个元素的结果并给出报告 (单位 mg/kg)。

14.2 对于基于 SiO₂ 实验校准曲线上测量的样品, 将测量结果乘以矩阵校正因子来应用基质校正。通常, 制造商提供的软件工具会自动进行基质校正。

15. 结果报告

15.1 根据第 14 节计算测试样品的每个元素的质量组成, 并生成结果报告 (单位 mg/kg)。质量分数 ≤ 100 mg/kg 时精确到 0.01 mg/kg, 质量分数 > 100 mg/kg 时精确到 0.1 mg/kg。结果报告标明样品类型及测试方法 D8064。

元素测试的结果是根据第 14 部分来取得的, 相关的范围值最接近 0.01 mg/kg, 最大量低于 100mg/kg, 最接近 0.1 mg/kg, 最大值高于 100 mg/kg。包括了样品种类的描述, 并指出测试结果是通过 D8064 法获得的。

16. 精度及误差值 (bias)

16.1 精度——根据 Practice E1169, 测试方法的精度由单个现场研究的数据决定。将五个 NIST SRM 土壤样品和两个 NIST SRM 污泥样品 (参见附录 X1 中的表 X1.2)

各测量十次，以确定相对标准偏差（relative standard deviation，RSD）和误差值（bias）。研究结果见表 3。附录 X1 提供了单个现场空白样品的详细结果，以及对于每个 NIST SRM 的精度和误差值研究。

16.1.1 重复性 (Repeatability)——由同样的操作者使用同一设备，基于恒定操作环境，并使用相同测试材料进行的长时间正常和正确测试中，获得的连续性结果的差值，在二十次测试中仅在一种情况下超过重复性值。该测试方法的最终重复性将在实验室或现场研究完成后确定。单一现场 RSD 表明了该测试方法的初步重复性。见表 3 和附录 X1。

16.1.2 重现性 (Reproducibility)——此测试方法的重现性目前不可知。在实验室间或现场间研究完成后，将提供此测试方法的可重现性。

16.2 误差值——在实验室间或现场间研究完成之前，实验室之间的偏差不可知。表 3 所示为单一实验室偏差。在报告范围内，全部七个 NIST 样品没有显示显著偏差。

17. 质量控制

17.1 执行以下质量控制要求，确保分析仪的可靠性：

17.1.1 使用一个或多个参考材料验证分析仪校准（见 8.4）。 校准验证应在校准分析仪后进行，至少每周一次。如果校准在较长时间段内是稳定的，则校准验证频率可以降低到每月或更长的时间段。校准验证验收标准见 12.4。

17.1.2 为了防止由于不熟悉测试方法而导致的错误， 必须进行现场性能的初始示范。见 17.2。

17.1.3 执行空白样品分析以确保测量结果不受污染影响。 应至少每天或每批次进行一次空白样品分析。见 17.3。

17.1.4 对质量控制 (QC) 样品进行分析，以确保在分析样品时测量系统的可靠性。 至少每周或每批次进行一次分析。见 17.4。

17.1.5 定期进行样品或质控样品的重复分析，以确保样品分析精度满足在该方法的重复性要求。 见 17.5。

17.1.6 进行基质加标 (MS) 样品的分析，以确保每批次分析不受显著的基质干扰。或者测量 IRM 样品。 见 17.6。

17.2 现场性能的初步示范 - 如果现场还未应用过该测试方法，或者如果测量系统发生变化，如，新的分析人员，新仪器等，则应进行实验室性能的验证。 分析 IRM 样品或参考材料样品七次。计算每个测量元素的平均值，标准偏差和相对标准偏差，并与表 4 中初始性能表现的 QC 验收标准的可接受范围进行比较。

17.2.1 本研究应重复进行，直到单个操作者的精确度和平均值在表 4 的限度内。 如果使用超出推荐范围的浓度，请参考测试方法 D5847，应用 F 测试和 t 测试评估平均值和标准偏差的可用性。

表 3 单一现场研究结果的可重复性 (Repeatability) 与误差值 (bias)

NIST SRM		Cr 铬	Ni 镍	As 砷	Cd 镉	Hg 汞	Pb 铅
1646a	平均值	41.66	22.07	6.66	---	---	11.83
	ARV	40.9	23	6.23	0.148	0.04	11.7
	RSD	4.39 %	8.33 %	2.05 %	---	---	1.58 %
	误差值	1.86 %	-4.04 %	6.90 %	---	---	1.11 %
2586	平均值	313.2	72.91	8.16	2.89	0.63	422.80
	ARV	301	75	8.7	2.71	0.367	432
	RSD	2.56 %	0.78 %	9.49 %	12.31 %	37.7 %	0.65 %
	误差值	4.06 %	-2.79 %	-6.21 %	6.64 %	71.66 %	-2.13 %
2709a	平均值	133.70	87.01	11.63	---	0.96	18.07
	ARV	130	85	10.5	0.37	0.9	17.3
	RSD	2.18 %	0.78 %	5.10 %	---	27.47 %	1.02 %
	误差值	2.82 %	2.36 %	10.76 %	---	6.67 %	4.45 %
2710a	平均值	23.25	8.85	1506.5	11.68	9.44	5422.5
	ARV	23	8	1540	12.3	9.88	5520
	RSD	11.44 %	6.12 %	0.79 %	3.27 %	11.49 %	0.15 %
	误差值	1.09 %	10.63 %	-2.17 %	-5.04 %	-4.45 %	-1.77 %
2711a	平均值	54.30	18.76	104.54	55.04	7.49	1404.6
	ARV	52.3	21.7	107	54.1	7.42	1400
	RSD	5.06 %	2.32 %	2.27 %	1.50 %	4.37 %	0.11 %
	误差值	3.82 %	13.55 %	-2.30 %	1.74 %	0.94 %	0.33 %
2782	平均值	109.0	153.4	159.8	4.31	---	594.7
	ARV	109	154.1	166	4.17	1.1	574
	RSD	10.58 %	2.43 %	1.23 %	14.58 %	---	0.59 %
	误差值	0.00 %	-0.47 %	-3.76 %	3.43 %	---	3.61 %
2781	平均值	202.3	80.29	8.14	12.69	3.78	201.6
	ARV	202	80.2	7.82	12.78	3.64	202.1
	RSD	1.95 %	1.27 %	3.78 %	14.36 %	13.78 %	0.36 %
	误差值	0.15 %	0.11 %	4.10 %	-0.72 %	3.83 %	-0.25 %



表 4 质量控制相关标准

注释 1——在多重实验室研究完成之后，可以得出初步数据

元素 t	ARV 范围 (mg/kg)	性能表现侧初始示范			实验室/现场控制样品	
		误差值 (%)		最大精度	误差值 (%)	
		下限	上限	RSD (%)	LCL (%)	UCL (%)
Pb 铅	300 至 4000	-20	20	20	80	120
As 砷	100 至 1500	-20	20	20	80	120
Cr 铬	100 至 400	-20	20	20	80	120
Ni 镍	100 至 400	-20	20	20	80	120
Cd 镉	10 至 80	-20	20	20	80	120
Hg 汞	5 至 40	-20	20	20	80	120

17.2.2 表 4 中的实验室能力初始证明的 QC 可接受标准来自第 16 节所示的单一实验室数据。建议每个实验室或现场确定符合或超过本测试方法中的标准。

17.3 空白分析:

17.3.1 仪器空白分析 - 空白样品每天至少测量一次，以确认仪器是否受污染。目标元素的浓度应小于报告限值的一半。如果结果超出限值，更换样品池薄膜及所有辅助窗膜（如果适用），并按照制造商清洁指南去除污染。重复清洁过程，直到空白测量值在可接受的限度内。应重新分析受影响的样品。已证实试剂级 SiO₂ 是可接受的空白样品，也可以使用测量结果在可接受的限度内的其它参考材料。

17.3.2 样品制备空白分析 - 当制备样品用于分析时，应每天至少一次制备空白样品。空白样品应经过与批次中的样品相同的样品制备过程，并与批次中的样品一起分析。已经证实试剂级 SiO₂ 是可接受的空白样品，也可以使用测量结果在可接受的限度内的其它参考材料。如果样品制备空白结果超出特定分析物的报告限，则样品批次中的特定分析物的样品结果必须在分析报告中正确记录。如果样品制备空白超过任何特定分析物的报告限制的三倍，则所有潜在受影响的样品必须用新的样品制备空白再次制备，并重新分析，以验证样品制备过程中的交叉污染来源。必须正确清洁或更换样品制备过程中使用的装置或材料，以清除污染源。

17.4 质量控制 (QC) 样品 - 每周分析至少一个包含中等水平元素的 QC 样品，并使用控制图表技术监测和控制测量系统的稳定性。QC 样品获得的结果应在表 4 的限值范围内。建议每个现场确定室内 QC 验收标准符合或超过本测试方法中规定的标准值。校准验证样品可以用作 QC 样品。

17.4.1 在对 QC 样品进行 15 至 20 次分析后，每个实验室或现场都应生成自己的内部 QC 验收标准。关于 QC

和图表管理技术的详细指南，请参见典型范例 E2554 或 MNL-7A。

17.4.2 建议在每个批次分析之前进行 QC 分析。在大批量分析中间，可能需要若干次 QC 分析。

17.5 重复分析 - 如需检查样品分析的精度，请对样品进行定期重复性分析。重复分析频率可参照第 17.1 节的校准检查频率。重复分析样本应包含该分析方法所涉及到的全部元素，重复精度需保证该方法具有可重现性。如果结果无法满足这些限制条件，样品分析过程将暂行中止，直到已找到解决该问题的纠正措施并顺利执行。此批次所有受影响的样品应当重新进行分析。

17.6 基质加标(MS):

17.6.1 为了检查待测的特定基质干扰，通过加标溶液在待测样品中添加同位素溶剂，对同批次样品中至少其中一个样品进行基质加标。加标溶液可以是具有适当元素浓度的、质量为 2-5g 的标准单一/多元素水溶液。将标准溶液按照 1:1 的质量比掺入到现场样品中并充分混合，然后在室温下或在 60-100°C 的烘箱中对混合样品进行干燥。加标样品的浓度应为未加标样品的 2-5 倍。

17.6.2 按照此种方式从该批次中选择现场样品，使待测元素的浓度处于该测试方法的下半部分取值范围内。加标样品的最终浓度不得超过该测试方法的上限取值范围。

17.6.3 使用公式 1 计算加标溶液(P)回收率:

$$P = 100 \frac{|AW - BW|}{Cw} \quad (1)$$

其中:

- A = 加标样品测定的质量浓度,
- B = 未加标样品测定的质量浓度,
- C = 标准单一/多元素水溶液分析测定的质量浓度,
- W = 所用样品的质量,
- w = 加标水溶液的质量,



P =回收率。

17.6.4 加标回收率应在表 5 限值范围内。表 5 限值通过表 6 所列单一现场数据得到。详细的分析和结果请参见附录 X1 的表 X1.9。表 5 限值是初步结果，需经多现场验证分析予以完善。

17.6.5 此外，基质干扰也可通过类似批次样本基质的 IRM 样品进行检测。IRM 样品的偏差和精度应在表 4 的限值范围内。

17.6.6 介于 IRM 样品和批次样品之间的基质相似性规定，两种基质之间的主要元素成分差异应在 30% 的范围内。主要元素成分是指基质中大于 5% 的任何元素成分。

18.关键字

18.1 砷(As); 镉(Cd); 铬(Cr); 射线荧光光谱仪(EDXRF); 基本参数(FP); 射线荧光光谱仪(EDXRF); 重金属; 汞(Hg); 铅(lead); 汞(mercury); 多个单色光束的 EDXRF (MMB-EDXRF); 镍(Ni); 铅(Pb); 土壤; 固体废物

表 6: 纽约州日内瓦市土壤样品的单一现场回收率数据

	铅	砷	镍	铬	镉
平均值 (未加标)	323.3	11.97	36.70	82.44	ND ± 0.8
平均值 (未加标)	682.2	74.54	81.64	185.3	39.28
回收率	103%	107%	96 %	106%	101 %

表 5 基质加标 QC 验收标准

元素	加标浓度 (mg/kg)	基质加标		
		回收率		最大精度
		下限值	上限值	相对标准偏差 (%)
铅	未加标浓度的 2-5 倍	70	130	20
砷	未加标浓度的 2-5 倍	70	130	20
铬	未加标浓度的 2-5 倍	70	130	20
镍	未加标浓度的 2-5 倍	70	130	20
镉	未加标浓度的 2-5 倍	70	130	20
汞	未加标浓度的 2-5 倍	70	130	20



附录

(非强制性说明)

X1.空白加标、现场精度、偏差以及基质加标的结果

X1.1 表 X1.1 提供了使用 SiO₂ 粉末样品进行单一现场空白加标的测量结果。未检测元素的规定误差为标称值 ± 2σ。所列的全部元素均少于报告下限值的一半或根本未检测到。预计 LOD (检出限) 为空白测量标准偏差的三倍。

X1.2 关于单一数据收集所使用的五种 NIST 土壤标准和两种固体废物标准的详细信息, 请参见表 X1.2。1646a 样品是金属含量处于或接近本底值的标准土壤样品。

X1.3 在单一现场研究中, 根据该测试方法, 对表 X1.2 所列的每个样品均进行十次测试。对于每个样品类型, 表 X1.3-X1.9 给出了在 10 次重复测量中, 每次测试的结果、平均值、标准偏差和相对标准偏差(RSD)。通过计算得到的偏差可以用来衡量实际值相比可接受的参考参数的百分比差异。

X1.4 加标溶液回收率

X1.4.1 使用该方法对纽约州日内瓦市单一现场收集的土壤样品进行测试。作为未加标样品, 五项测试结果全部列于表 X1.10 中。

X1.4.2 根据第 17.6 节, 对通过质量分析法制备的标准多元素水溶液进行基质加标, 该水溶液包含以下元素: 铅(Pb)、砷(As)、镍(Ni)、铬(Cr)和镉(Cd)。未加标土壤样品的质量、多元素水溶液的质量以及水溶液的元素浓度如表 X1.11 所示。加标样品在室温下充分干燥。

X1.4.3 对已干燥的加标土壤进行 5 次测量, 并使用公式 1 计算加标回收率。结果如表 X1.10 所示。

表 X1.1 针对单一现场重复性研究的空白样品(SiO₂)测量结果(mg/kg)

注 1 - 对于未检测到的元素, 1σ 误差用于标准偏差。

二氧化硅	铬	镍	砷	镉	汞	铅
1	2.50	1.38	ND ± 0.15	0.33	0.31	0.86
2	0.94	1.33	ND ± 0.15	0.24	0.41	0.97
3	2.84	2.12	ND ± 0.15	0.53	0.33	0.85
4	2.57	1.96	ND ± 0.15	0.39	0.13	0.55
5	2.49	1.91	ND ± 0.15	0.25	0.37	0.58
标准偏差	0.76	0.36	0.08	0.12	0.11	0.18
检出限	2.27	1.08	0.23	0.36	0.32	0.55



表 X1.2 这种精密方法所使用到的 NIST SRM 物质的可接受参考数值 (平均值) (mg/kg)

部分#	说明	铬	镍	砷	镉	汞	铅
1646a	河口沉积物	40.9	23	6.23	0.148	0.04	11.7
2586	含铅土壤 (诱因: 涂料) 的微量元素	301	75	8.7	2.71	0.367	432
2709a	圣华金河土壤	130	85	10.5	0.371	0.9	17.3
2710a	蒙大纳 I 号土壤	23	8	1540	12.3	9.88	5520
2711a	蒙大纳 II 号土壤	52.3	21.7	107	54.1	7.42	1400
2782	工业污泥, 固体废物	109	154.1	166	4.17	1.1	574
2781	生活污水, 固体废物	202	80.2	7.82	12.78	3.64	202

表 X1.3 NIST SRM 1646a 样品的单一现场重复性研究的测量结果(mg/kg)

SRM 1646a	铬	镍	砷	镉	汞	铅
1	41.57	24.34	6.70	<1.12	<0.36	11.98
2	39.91	23.91	6.86	<1.16	<0.37	11.68
3	38.20	21.99	6.67	<1.15	<0.37	11.49
4	42.73	22.27	6.53	<1.16	<0.39	11.89
5	41.66	23.30	6.63	<1.14	<0.37	11.81
6	41.95	18.90	6.42	<1.16	<0.39	12.01
7	41.93	21.70	6.63	<1.01	<0.39	11.99
8	40.71	21.72	6.81	<1.16	<0.37	11.58
9	42.93	23.38	6.58	<1.18	<0.36	11.87
10	45.01	19.19	6.79	<1.17	<0.39	12.01
平均值	41.66	22.07	6.66	...	...	11.83
标准偏差	1.83	1.84	0.14	...	...	0.19
相对标准偏差	4.39 %	8.33 %	2.05 %	...	...	1.58 %
平均值	40.9	23	6.23	0.148	0.04	11.7
偏差	1.86 %	-4.04 %	6.90 %	...	...	1.11 %

表 X1.4 NIST SRM 2586 单一现场重复性研究的测量结果(mg/kg)

SRM 2586	铬	镍	砷	镉	汞	铅
1	311.7	72.09	7.38	2.89	<0.35	422.6
2	319.8	72.52	6.92	2.95	0.62	416.3
3	318.2	73.51	8.52	2.97	0.36	426.8
4	310.2	72.51	8.33	2.37	0.39	424.5
5	311.0	73.01	8.70	2.87	1.00	423.1
6	331.4	72.89	7.79	2.75	<0.75	421.8
7	310.4	72.39	9.44	2.29	0.68	424.0
8	310.2	73.73	8.73	3.34	0.71	421.3
9	303.3	72.81	8.42	3.34	0.42	424.2
10	306.1	73.66	7.36	3.18	0.92	423.2
平均值	313.2	72.91	8.16	2.89	0.63	422.8
标准偏差	8.02	0.57	0.77	0.36	0.24	2.75
相对标准偏差	2.56 %	0.78 %	9.49 %	12.31 %	37.70 %	0.65 %
平均值	301	75	8.7	2.71	0.367	432
偏差	4.06 %	-2.79 %	-6.21 %	6.64 %	71.66 %	-2.13 %

表 X1.5 NIST SRM 2709a 单一现场重复性研究的测量结果(mg/kg)

SRM 2709a	铬	镍	砷	镉	汞	铅
1	137.3	88.50	12.23	<1.36	1	18.09
2	135.3	87.03	12.24	<1.34	0.72	18.35
3	130.1	86.37	10.73	<1.33	0.90	18.08
4	134.2	86.30	10.90	<1.32	1.05	18.03
5	133.7	86.57	11.93	<1.34	1.20	18.02
6	132.3	87.37	11.44	<1.32	1.11	18.36
7	130.3	87.66	11.27	<1.35	0.86	17.99
8	130.5	86.67	11.90	<1.35	1.27	18.17
9	134.5	86.95	11.21	<1.37	1.09	17.91
10	138.5	86.66	12.40	<1.36	0.37	17.77
平均值	133.7	87.01	11.63	...	0.96	18.07
标准偏差	2.91	0.68	0.59	...	0.26	0.18
相对标准偏差	2.18 %	0.78 %	5.10 %	...	27.47 %	1.02 %
平均值	130	85	10.5	0.37	0.9	17.3
偏差	2.82 %	2.36 %	10.76 %	...	6.67 %	4.45 %



表 X1.6 NIST SRM 2710a 单一现场重复性研究的测量结果(mg/kg)

SRM 2710a	铬	镍	砷	镉	汞	铅
1	27.12	8.51	1495.2	11.53	8.43	5429.3
2	20.93	8.64	1498.3	11.83	8.75	5438.0
3	21.55	9.3	1507.9	11.17	10.33	5422.0
4	27.88	9.57	1513.3	11.95	8.24	5414.4
5	20.66	8.28	1503.0	12.05	10.10	5411.5
6	25.26	8.58	1517.2	11.48	9.91	5425.1
7	22.69	7.98	1510.1	11.74	10.87	5424.5
8	21.19	8.89	1482.8	11.29	10.83	5413.4
9	23.81	9.43	1522.4	12.38	8.75	5420.0
10	21.43	9.34	1515.2	11.35	8.11	5427.3
平均值	23.25	8.85	1506.5	11.68	9.44	5422.5
标准偏差	2.6	0.54	11.9	0.38	1.08	8.14
相对标准偏差	11.44 %	6.12 %	0.79 %	3.27 %	11.49 %	0.15 %
平均值	23	8	1540	12.3	9.88	5520
偏差	1.09 %	10.63 %	-2.17 %	-5.04 %	-4.45 %	-1.77 %

表 X1.7 NIST SRM 2711a 单一现场重复性研究的测量结果(mg/kg)

SRM 2711a	铬	镍	砷	镉	汞	铅
1	57.57	18.67	100.9	56.35	7.49	1404.0
2	56.97	18.69	107.2	55.54	7.01	1407.3
3	49.53	19.13	105.8	55.05	7.27	1403.9
4	53.98	17.97	107.5	55.21	8.00	1404.8
5	54.38	18.29	103.7	55.03	7.32	1405.0
6	54.78	19.00	102.6	55.63	7.61	1402.0
7	52.26	19.47	105.0	54.21	7.30	1403.8
8	54.6	18.65	106.6	53.44	7.21	1406.6
9	57.85	18.65	104.9	54.44	7.74	1404.1
10	51.09	19.12	101.2	55.48	7.93	1404.7
平均值	54.3	18.76	104.5	55.04	7.49	1404.6
标准偏差	2.75	0.43	2.37	0.83	0.33	1.49
相对标准偏差	5.06 %	2.32 %	2.27 %	1.50 %	4.37 %	0.11 %
平均值	52.3	21.7	107	54.1	7.42	1400
偏差	3.82 %	-13.55 %	-2.30 %	1.74 %	0.94 %	0.33 %

表 X1.8 NIST SRM 2782 单一现场重复性研究的测量结果(mg/kg)

SRM 2782	铬	镍	砷	镉	汞	铅
1	113.3	159.1	162.6	4.62	<2.13	589.9
2	100.3	154.5	159.9	4.13	<2.15	598.6
3	94.7	149.8	159.1	4.46	<2.14	596.8
4	130.3	158.0	161.3	4.03	<2.13	591.7
5	112.0	155.0	158.8	4.22	<2.12	594.6
6	98.0	149.9	161.9	5.68	<2.14	595.0
7	111.8	152.2	158.2	3.93	<2.14	600.1
8	124.2	147.2	156.8	3.27	<2.16	592.6
9	102.6	153.1	157.6	4.72	<2.13	597.2
10	103.0	155.0	161.3	4.07	<2.14	590.6
平均值	109.0	153.4	159.8	4.31	...	594.7
标准偏差	11.54	3.73	1.96	0.63	...	3.48
相对标准偏差	10.58 %	2.43 %	1.23 %	14.58 %	...	0.59 %
平均值	109	154.1	166	4.17	1.1	574
偏差	0.00 %	-0.47 %	-3.76 %	3.43 %	...	3.61 %



表 X1.9 NIST SRM 2781 单一现场重复性研究的测量结果(mg/kg)

SRM 2781	铬	镍	砷	镉	汞	铅
1	209.0	80.39	8.67	10.17	3.21	202.6
2	204.3	79.96	8.39	10.92	4.65	201.3
3	199.9	78.09	7.71	15.90	3.83	200.1
4	203.1	81.37	7.86	14.20	3.67	201.1
5	202.1	80.22	7.78	12.28	4.29	201.7
6	199.3	80.64	7.94	13.25	3.20	201.8
7	200.0	81.02	8.26	11.32	3.25	202.5
8	207.9	79.29	8.32	14.29	3.98	201.6
9	201.4	80.31	8.13	13.40	3.40	201.2
10	196.1	81.57	8.34	11.15	4.31	202.0
平均值	202.3	80.29	8.14	12.69	3.78	201.6
标准偏差	3.95	1.02	0.31	1.82	0.52	0.73
相对标准偏差	1.95 %	1.27 %	3.78 %	14.36 %	13.78 %	0.36 %
平均值	202	80.2	7.82	12.78	3.64	202.1
偏差	0.15 %	0.11 %	4.10 %	-0.72 %	3.83 %	-0.25 %

表 X1.10 纽约州日内瓦市土壤样品的单一现场回收率数据(mg/kg)

	铅	砷	镍	铬	镉
未加标					
1	324.3	10.87	36.83	80.89	ND ± 0.8
2	326.3	11.48	35.23	83.86	ND ± 0.8
3	323.3	11.82	37.83	88.02	ND ± 0.8
4	321.7	12.52	37.43	80.42	ND ± 0.8
5	321.1	13.16	36.18	79.03	ND ± 0.8
平均值 B	323.3	11.97	36.70	82.44	ND ± 0.8
相对标准偏差	0.65 %	7.46 %	2.81 %	4.34 %	
未加标					
1	685.3	74.59	80.35	178.2	42.03
2	683.8	71.41	82.91	182.9	42.35
3	681.3	72.06	83.68	191	36.41
4	684.2	74.72	77.92	189.7	34.97
5	676.2	79.92	83.32	184.7	40.63
平均值 A	682.2	74.54	81.64	185.3	39.28
相对标准偏差	0.53 %	4.5 %	3.0 %	2.81 %	8.6 %
回收率	103 %	107 %	96 %	106 %	101 %

表 X1.11 未加标日内瓦土壤质量 W、标准多元素水溶液质量 w 以及标准水溶液的元素浓度 C 的数据表

未加标日内瓦土壤 质量 g	标准多元素水溶液 质量 g	铅浓度 mg/kg	砷浓度 mg/kg	镍浓度 mg/kg	铬浓度 mg/kg	镉浓度 mg/kg
2.57	2.57	348.86	58.28	46.69	97.02	39.01

美国材料和试验协会(ASTM International)在本标准所述条款中插入的任何专利权的有效性方面恕不持任何立场。在此明确告知此标准的使用者，对任何此类专利权的有效性以及违反此类权利所带来的风险的判断，完全由使用者自行负责。

本标准在任何时候都接受责任技术委员会的修订，并且必须每五年重新审查一次，如未修订则应审批或撤销。欢迎针对此标准及附加标准的修订，向美国材料和试验协会总部提出意见。责任技术委员会将在会议上认真考虑您的意见，您会受邀与会。如果您认为您的意见没有得到公平的聆听，您可以向 ASTM 标准委员会告知您的意见，地址如下所示。

本标准版权归美国材料和试验协会所有，地址如下：美国宾夕法尼亚州 19428-2959 西康舍霍肯(West Conshohocken) 港口大道(Barr Harbor Drive)100 号，邮箱 C700。如果希望获得此标准的单独再版（单一副本或多重副本），可通过上述地址联系 ASTM，或致电 610-832-9585（电话），发送传真至 610-832-9555（传真）或发送电邮至 service@astm.org（电子邮件）；也可以访问 ASTM 网站（www.astm.org）。该标准的复印许可权也可经由版权结算中心予以保证，地址如下：美国马萨诸塞州 01923 丹佛斯 Rosewood 大道 222 号，电话：(978) 646-2600；http://www.copyright.com/