

ICS 13.080

CCS Z 05

团 体 标 准

T/ACEF □□□-20□□

土壤重金属 便携式 XRF 检测仪技术要求和现场应用方法

Technical guidelines and method for portable XRF
detection of heavy metals in soil

(征求意见稿)

20□□-□□-□□发布

20□□-□□-□□实施

中华环保联合会 发布

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 仪器原理与组成.....	2
5 仪器技术要求.....	3
6 仪器性能指标.....	4
7 检测方法.....	6
8 现场应用方法.....	7
附录 A 方法检出限和测定下限.....	9
附录 B 元素谱线重叠干扰与校正示例.....	10
附录 C 分析仪器参考条件.....	11
附录 A 方法的精密度和正确度.....	12

前 言

为贯彻《土壤污染防治行动计划》，保护生态环境，保障人体健康，规范环境土壤重金属便携式 XRF 检测仪的性能和参数，制定本标准。本标准规定了土壤重金属便携式 XRF 分析仪的主要技术要求、检测项目和现场应用方法。

本文件按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中华环保联合会组织制定。

本文件起草单位：中科院南京土壤研究所、生态环境部环境规划院、生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心、北京市农林科学院信息技术研究中心、江苏萤火虫环境科技有限公司、杭州谱育科技发展有限公司、苏州佳谱科技有限公司

本文件主要起草人：吴龙华、毕德、李柱、刘孝阳、郜允兵、师华定、郭观林、赵亚楠、宋础、高志帆、王晶晶、刘瑞平、魏楠、王宏、刘小彦、焦银河、何宇宁

土壤重金属 便携式 XRF 检测仪技术要求和现场应用方法

1 范围

本标准规定了土壤重金属便携式 XRF 检测仪的组成结构、技术要求、性能指标、检测和现场应用方法。

本标准适用土壤中镍、铜、锌、铅、砷、汞、铬、镉等重金属便携式 XRF 检测仪的设计、生产和现场检测应用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB15618-2018	土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准
GB36600-2018	土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准
HJ/T 166-2014	土壤环境监测技术规范
HJ/T 168-2010	环境监测 分析方法标准制修订技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 仪器检出限 instrument detection limit

仪器在给定的置信度内可从样品中定性检出待测物质的最小浓度。

3.2 定量测量重复性 quantitative measurement repeatability

在一组重复性测量条件下，基于待测组分仪器示值的测量精密度，用仪器连续多次测量同一标准物质时基于某一或多个待测组分仪器示值的相对标准偏差表示。

3.3 便携式 XRF 检测仪 portable X-ray spectrometer

便携式或手持式的能量色散 X 射线荧光光谱检测仪，可用于现场土壤重金属检测。

3.4 基本参数法 fundamental parameter approach

将入射 X 射线光谱能量分布、元素荧光射线产生、探测过程中的物理现象建立基本参数库和数学模型，通过对质量吸收系数、谱线分数、荧光产额、背景扣除、探测器效应等计算，得到土壤样品中各元素理论强度与含量值的方法。

3.5 经验系数法 empirical coefficient method

由一系列标准样品所测得强度和含量值，通过回归校正计算而确定样品基体对待测元素影响系数的方法。

4 仪器原理与组成

4.1 仪器原理

X 射线管启动后产生入射 X 射线用来激发被测样品中的目标元素，使其受激发从而释放出荧光 X 射线。不同的元素受到激发后所释放出的荧光 X 射线具有该元素特定的波长和能量特性，即特征 X 射线荧光光谱。荧光光谱探测系统主要收集、测量这些特征 X 射线荧光的谱峰位置和能量强度。最终通过与仪器配套的数据处理软件将探测系统所收集到的荧光信息转换成样品中待测元素的种类及含量信息。

X 射线荧光光谱法是一种相对分析方法，光谱仪只提供 X 射线荧光的强度，要找到荧光强度与样品浓度的关系，需要一套标准样品，根据元素的浓度和已测的该元素的特征谱线的强度按一定关系进行拟合绘制工作曲线，以该工作曲线为基础测试同类型样品元素的组成和含量。

便携式 XRF 仪器分为基于光学晶体的单色激发便携式 XRF 仪器和基于金属滤光片的多色便携式或手持式 XRF 仪器，前者拥有更高的检测灵敏度。

4.2 仪器组成

可用于现场土壤重金属检测的 X 射线荧光光谱检测仪可分为便携式和手持式两种，建议包括以下硬件系统：

4.2.1 X射线管，用于产生激发X射线，便携式XRF检测仪功率通常小于等于50瓦，手持式XRF检测仪功率通常小于10瓦，端窗和侧窗均可，阳极靶材可选用钨、铑和银等。

4.2.2 探测器，硅漂移（SDD）半导体探测器或Si-PIN半导体探测器。

4.2.3 高压电源，给X射线管提供电源供给，最大电压范围通常在50-65KV，手持式的通常与X射线管集成在一体。

4.2.4 光学系统，可选用单色化光学晶体或金属滤光片。

4.2.5 数字脉冲处理器，且MCA拥有不少于2048个通道。

4.2.6 算法与软件，包括谱图解析、基体效应校正和测试功能软件模块。

5 仪器技术要求

可用于现场检测的 X 射线荧光光谱检测仪可参考以下要求。

5.1 一般要求

5.1.1 铭牌，铭牌上应标有名称、型号、生产单位、出厂编号、制造日期等信息。

5.1.2 仪器表面，应完好无损，无明显缺陷，各零、部件连接可靠，各操作键、按钮使用灵活，定位准确。

5.1.3 仪器主机面板显示清晰，涂色牢固，字符、标识易于识别，无影响读数的缺陷。

5.1.4 仪器外壳或外罩应耐腐蚀、密封性能良好、防尘、防雨。

5.1.5 包装，完整且内容物（产品组成）齐全，应包含产品合格证和中文使用说明书；

5.1.6 使用说明书，内容清晰、完整，包括简介、适用范围、检测时间、检测原理、产品组成、试剂设备、注意事项、样品处理、操作环境、检测步骤、检出限或定量限、安全性说明等；

5.1.7 生产资质，生产者名称和地址应当是依法登记注册、能够承担产品安全质量责任的生产者的名称、地址、联系方式（电话、传真或邮箱地址）。进口产品应标示原产国国名或地区名称，以及在中国依法登记注册的代理商、进口商或经销者的名称、地址和联系方式，并提供合法进口证明文件；

5.1.8 便携性，便携式仪器质量通常小于 10kg，手持式仪器质量通常小于 3kg。

5.1.9 电池，通常内置电池，手持式可由用户更换，可供设备工作不少于 4 小时。

5.1.10 散热性能，仪器光路系统设计需要独立的散热系统或光路散热器可直接外置，光管产生的热量可直接导出仪器外部。

5.2 工作条件

5.2.1 环境温度：（-15~50）℃；

5.2.2 相对湿度：≤85%；

5.2.3 大气压：（80~106）kPa；

5.2.4 供电电压：AC（220±22）V，（50±1）Hz。可使用 DC 24 V 电源。

5.3 安全要求

5.3.1 辐射当量

在测定过程中，X 射线辐射计量当量率小于 0.2uSv/h。

5.3.2 辐射屏蔽

仪器具有 X 射线辐射安全保护功能，在无样品空测、测试盖被打开时或手持检测未对准样品时自动关闭 X 射线管。

5.3.3 辐射提示

仪器在进行样品测试时，应有辐射警告指示灯闪烁。

5.4 功能要求

5.4.1 自动进行能量刻度校准。

5.4.2 可以显示、存储、输出监测数据和报表。

5.4.3 通常集成 WiFi 或蓝牙的数据传输功能。

5.4.4 仪器集成彩页显示屏，且在日光下可正常观看。

5.4.5 可设置系统时间和检测时间。

5.5 校准曲线

使用土壤和沉积物标准物质建立校准曲线，通常采用基本参法或经验系数校正法，校正样品的基体效应影响；建立校准曲线的标准物质中元素的浓度范围应覆盖土壤环境质量标准中重金属风险筛选值和管制值要求，通常基本参数法校准曲线需要5个不同含量的标准物质，经验系数法校准曲线，需要15个不同含量的标准物质。

5.6 谱线重合校正

部分元素的 X 射线荧光谱线会发生重合，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。仪器需具备谱线解析与重复干扰校正功能。参照附录表 1 土壤基体中八大重金属元素常见 XRF 光谱干扰情况汇总。

5.7 质控与校准

仪器需配备土壤或沉积物的标准物质用于质控，通常每天需要对仪器进行质控样确认，数据结果与标准结果偏差不超过20%即为合理范围，如结果不在合理范围内，用户可重新校准。

6 仪器性能指标

6.1 检出限

在检测建设用地土壤重金属污染物时，便携式 XRF 检测仪的检出限应低于 GB36600

中规定的目标污染物风险筛选值最小值的三分之一。在检测农用地土壤重金属污染物时，检测仪的检出限应低于 GB15618 中规定的目标污染物风险筛选值最小值的三分之一。

6.2 精密度

用包含镍、铜、锌、铅、砷、汞、镉、铬等重金属的土壤标准物质元素进行方法精密度检测，计算 6 次平行测定值的相对标准偏差（RSD），RSD 应满足表 1 要求。

表 1 元素检测方法精密度和正确度允许范围

元素	含量范围 (mg/kg)	RSD (%)	正确度	
			加标回收率 (%)	RE (%)
镉	<0.1	35	75~110	±40
	0.1~0.4	30	85~110	±35
	>0.4	25	90~105	±30
汞	<0.1	35	75~100	±40
	0.1~0.4	30	85~110	±35
	>0.4	25	90~105	±30
砷	<10	20	85~105	±30
	10~20	15	90~105	±20
	>20	10	90~105	±15
铜	<20	20	85~105	±25
	20~30	15	90~105	±20
	>30	10	90~105	±15
铅	<20	25	80~110	±30
	20~40	20	85~110	±25
	>40	15	90~105	±20
铬	<50	20	85~110	±25
	50~90	15	85~110	±20
	>90	10	90~105	±15
锌	<50	20	85~110	±25
	50~90	15	85~110	±20
	>90	10	90~105	±15

镍	<20	20	80~110	±25
	20~40	15	85~110	±20
	>40	10	90~105	±15

6.3 正确度

与土壤标准物质的标准值含量相比，6次测定平均值与定值的相对误差（RE）应符合表1要求。

6.4 测试时间

取单个样品按照检测仪说明书要求，从样品装样开始计时，记录整个过程的操作时间，重复操作3次计算平均时间（min），测试时间应小于15分钟。

7 检测方法

7.1 检出限

检出限测试方法检测仪处于正常工作状态下，连续10次测量空白样品或合适重金属元素含量的样品，以10次检测信号标准差3倍对应的重金属元素含量为检出限（LOD）。其中，标准偏差以质量分数计，单位为毫克每千克（mg/kg），按式（1）计算。LOD均以质量分数计，单位为毫克每千克（mg/kg），按式（2）计算。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (1)$$

式中： s ——标准偏差，单位为毫克每千克（mg/kg）；

x_i ——单次测定值，单位为毫克每千克（mg/kg）；

\bar{x} ——测定平均值，单位为毫克每千克（mg/kg）；

n ——测定次数， $n=10$ 。

$$LOD = 3s / b \dots\dots\dots (2)$$

式中： LOD ——元素检出限，单位为毫克每千克（mg/kg）；

s ——标准偏差，单位为毫克每千克（mg/kg）；

b ——工作曲线斜率。

7.2 精密度

检测仪处于正常工作状态下，对背景土壤样品连续测定6次，并用校准曲线计算测定值，计算6次样品测定值的RSD，单位为百分率（%），按式（3）计算。

$$RSD = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：*RSD*——相对标准偏差，单位为百分率（%）；

x_i ——单次测定值，单位为毫克每千克（mg/kg）；

\bar{x} ——测定平均值，单位为毫克每千克（mg/kg）；

n——测量次数，*n*=6。

7.3 正确度

检测仪处于正常工作状态下，对土壤标准样品连续测定 6 次取平均值，并用校准曲线计算测定值，计算相对偏差（*RE*），单位为百分率（%），按式（4）计算。

$$RE = \frac{|\bar{x} - x_0|}{x_0} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：*RE*——相对偏差，单位为百分率（%）；

\bar{x} ——测定平均值，单位为毫克每千克（mg/kg）；

x_0 ——标准物质的标定值，单位为毫克每千克（mg/kg）。

8 现场应用方法

通过对污染场地事先的了解，大体确定污染场地的土壤类型、元素组成、水分以及土壤中可能存在的重金属潜在污染物等信息。根据污染调查的预算、时间、人力和目标等实际情况，确认检测的数据数量与精度需求，选择合适 XRF 测量模式。风险筛查可直接进行现场原位多点快速测量，污染范围与程度的初步判断可进行现场简易处理的半定量分析，污染范围与程度的精度判断则需样品标准化处理的定量分析模式。根据工作目标土壤类型的种类多少和差异情况，确认 XRF 仪器的校准模式以及校准曲线的有效性。

8.1 现场原位定性分析

从土壤表面清除任何较大或不具代表性的碎片，上述碎片包括岩石、鹅卵石、树叶、植被、树根和混凝土等。用样品匙压平土壤表面，尽可能确保土壤表面保持平整、顺滑，从而使仪器能够很好地接触土壤表面。为确保分析结果具有更好的准确性和重现性，可选择将土壤夯实，提高土壤的密度和紧实度。

注：当测试点位土壤或底泥经水饱和后，受仪器性能限制则不适用于原位分析，可选择取样分析。

按照制造商说明启动 XRF 光谱仪，将 X 射线荧光光谱仪对准准备好的测试点进行测量，读取目标元素组成和数值。由于现场 XRF 设备实际有效的检测样品体积很小，所以应尽可能在可能的污染区域取多点进行检测，判断有没有明显的重金属污染超标点位。

8.2 土壤现场半定量分析

选择有代表性的 10-50 克土壤样品，自然风干或加热 105 度（Hg 除外）使水分小于 10%，清除样品中的异物，手动研磨和混匀，之后过 2mm 筛，过筛后的样品再进行混匀，例如搅拌的方式。将预处理过的土壤样品装入一个样品杯/透明聚乙烯袋中，如果放入样品杯中并压实，如样品杯无法压实则可重复敲定直到土样均匀地填满样品杯测试薄膜的整个表面。如果使用塑料袋代替样品杯，则需要摇动或定型，以形成平整、光滑的表面。摇动袋子，将粉末转移到袋子底部。确保袋子中没有空隙，并将袋子折叠起来，紧紧地包裹住样品。土样厚度应不小于 5 mm。

将 X 射线荧光光谱仪固定在平整的地面上，并按照制造商的说明启动 XRF 光谱仪进行测量，读取目标元素组成和数值。每一个样品应测试不少于两个点，取平均值。

8.3 土壤现场定量分析

土壤按照 HJ/T 166 对样品进行自然风干或加热 105 度（Hg 除外）至恒重。手动研磨土壤直至 90% 样品通过 100 目筛，过筛后样品需进行混匀。之后将样品装入样品杯中，确保待测样品厚度不少于 10mm，重量不少于 2 克，压实并确认样品杯表面光滑平整，如样品杯无法压实则可重复敲定直到土样均匀地填满样品杯测试薄膜的整个表面。

将 X 射线荧光光谱仪固定在平整的地面上，并按照制造商的说明启动 XRF 光谱仪进行测量，读取目标元素组成和数值。每一个样品应测试不少于两个点，取平均值。

如 X 射线荧光光谱仪采用经验系数法进行校准，且校准用土壤样品元素组成与现场土壤样品类型差异较大，则需用有梯度的不少于 5 个有化学分析结果的样品进行曲线校准来确保其定量分析的准确性。

注：配备 SDD 探测器且分辨率小于 130eV 的 XRF 检测仪可按本方法进行定量分析，配备 Si-PIN 探测器的 XRF 设备只能按本方法进行定性和半定量分析。

附录 A
(资料性)
方法检出限和测定下限

表A.1给出了本文件采用两种便携式XRF检测仪测定8种无机元素的方法检出限及测定下限。

表 A. 1 便携式单色激发 XRF 测定元素分析方法检出限和测定下限

序号	元素	检出限(mg/kg)	测定下限(mg/kg)
1	镉 (Cd)	0.06	0.18
2	砷 (As)	0.5	1.5
3	铅 (Pb)	0.7	2.1
4	铬 (Cr)	3	9
5	铜 (Cu)	1	3
6	镍 (Ni)	1.5	4.5
7	锌 (Zn)	0.8	2.4

表 A. 2 手持式多色激发 XRF 测定元素分析方法检出限和测定下限

序号	元素	检出限(mg/kg)	测定下限(mg/kg)
1	镉 (Cd)	2	6
2	砷 (As)	2	6
3	铅 (Pb)	1	3
4	铬 (Cr)	4	12
5	铜 (Cu)	5	15
6	镍 (Ni)	5	15
7	锌 (Zn)	4	12

附录 B
(资料性)
元素谱线重叠干扰与校正示例

表 B.1 给出了本文件 8 种目标元素可能存在的谱线重叠干扰情况。构成校准曲线的土壤、沉积物标准样品中不同元素含量不同，分析谱线干扰校正系数会有区别。

表 B.1 土壤基体中八大重金属元素谱线重叠干扰与校正示例

序号	目标元素	分析谱线	干扰元素	干扰类型
1	Cr	K α	Ti、V	散射拖尾、谱线重合
2	Ni	K α	Fe	谱线重合
3	Cu	K α	Ni	谱线重合
4	Zn	K α	Cu	谱线重合
5	As	K α	Pb	谱线重合
6	Cd	K α	Ag、Sn、Sb、Fe	逃逸、散射拖尾与脉冲堆积
7	Hg	L α L β	Zn、Pb、As	谱线重合与散射拖尾
8	Pb	L α L β	Fe、As	脉冲堆积、谱线重合

附 录 C
(资料性附录)
分析仪器参考条件

表C.1给出了本文件使用便携式XRF检测仪测定8种无机元素的仪器分析参考条件示例。

表 C. 1 便携式单色激发 XRF 仪器分析参考条件

元素	管电压及电流		晶体	滤光片	探测器	分析时间 (秒)	介质
	kV	mA					
本文件适用范围定义的 8种无机元素	50	0.8	LiF	无	FastSDD	600	空气

表 C. 2 手持式多色激发 XRF 仪器分析参考条件

元素	管电压及电流		晶体	滤光片	探测器	分析时间 (秒)	介质
	kV	mA					
本文件适用范围定义的 8种无机元素	50	0.2	无	6组切换	FastSDD	60-300	空气

附录 D
(资料性附录)
方法的精密度和正确度

表D.1给出本文件使用便携式XRF检测仪对3种土壤实际样品进行6次重复测定获得的8种无机元素的精密度结果。

表D.2给出本文件使用手持式XRF检测仪对3种土壤实际样品进行6次重复测定获得的8种无机元素的精密度结果。

表D.3给出本文件使用便携式XRF检测仪对3种土壤国家有证标准物质（GSS-17、GSS-20、GSS-28）进行6次重复测定获得的8种无机元素的正确度结果。

表D.4给出本文件使用手持式XRF检测仪对3种土壤国家有证标准物质（GSS-1、GSS-20、GSS-28）进行6次重复测定获得的8种无机元素的正确度结果。

表 D.1 便携式XRF检测仪检测方法的精密度汇总表

元素	样品	平均值 (mg/kg)	相对标准偏差 (%)
As	土壤样品 1#	18.4	1.2
	土壤样品 2#	15.0	1.6
	土壤样品 3#	3.7	4.9
Cr	土壤样品 1#	61.3	2.6
	土壤样品 2#	56.1	4.5
	土壤样品 3#	42.7	2.4
Cu	土壤样品 1#	20.2	4.4
	土壤样品 2#	28.3	2.3
	土壤样品 3#	17.7	2.9
Ni	土壤样品 1#	19.9	6.2
	土壤样品 2#	17.1	5.2
	土壤样品 3#	19.2	4.2
Pb	土壤样品 1#	34.0	1.5
	土壤样品 2#	33.5	2.7
	土壤样品 3#	26.9	3.0
Zn	土壤样品 1#	63.2	3.0
	土壤样品 2#	75.8	2.3
	土壤样品 3#	58.0	3.4
Cd	土壤样品 1#	1.33	19.57
	土壤样品 2#	2.90	10.35
	土壤样品 3#	3.38	9.02

表 D.2 手持式XRF检测仪检测方法的精密度汇总表

元素	样品	平均值 (mg/kg)	相对标准偏差 (%)
As	土壤样品 1#	17.92	3.15
	土壤样品 2#	14.76	4.34
	土壤样品 3#	3.56	16.94
Cr	土壤样品 1#	61.2	4.3
	土壤样品 2#	56.3	3.5
	土壤样品 3#	42.7	5.6
Cu	土壤样品 1#	20.6	7.5
	土壤样品 2#	28.9	2.3
	土壤样品 3#	18.2	3.1
Ni	土壤样品 1#	20.1	15.5
	土壤样品 2#	17.2	9.3
	土壤样品 3#	19.3	11.2
Pb	土壤样品 1#	34.1	5.9
	土壤样品 2#	33.7	4.4
	土壤样品 3#	27.0	6.1
Zn	土壤样品 1#	63.1	5.1
	土壤样品 2#	75.8	4.4
	土壤样品 3#	57.8	6.0
Cd	土壤样品 1#	1.5	55.9
	土壤样品 2#	3.0	35.1
	土壤样品 3#	3.6	38.4

表 D.3 便携式XRF检测仪检测方法的正确度汇总表

元素	样品	平均值	标准值及不确定度	相对误差
		(mg/kg)	(mg/kg)	(%)
As	GSS-17	5.8	6.2±0.4	6.2
	GSS-20	8.7	8.7±0.6	-0.1
	GSS-28	29.6	28.5±2	-4.0
Cr	GSS-17	66.63	25±5	2.51
	GSS-20	43.02	43±3	-0.05
	GSS-28	80.87	94±5	13.97
Cu	GSS-17	15.2	12.6±0.6	-20.3
	GSS-20	29.5	28±1	-5.4
	GSS-28	35.7	38±2	6.1
Ni	GSS-17	8.0	9.6±0.6	16.6
	GSS-20	22.9	20±2	-14.5
	GSS-28	37.1	43±2	13.7
Pb	GSS-17	18.9	17.4±1.1	-8.3
	GSS-20	11.9	13.4±1.2	11.3
	GSS-28	65.4	61±2	-0.7
Zn	GSS-17	34.4	29±2	-18.6
	GSS-20	61.0	61±2	-0.1
	GSS-28	129.0	134±2	3.8

Cd	GSS-17	0.055	0.058±0.011	4.9
	GSS-20	0.13	0.108±0.01	-23.1
	GSS-28	0.54	0.52±0.03	-3.3

表 D.4 手持式XRF检测仪检测方法的正确度汇总表

元素	样品	平均值	标准值及不确定度	相对误差
		(mg/kg)	(mg/kg)	(%)
As	GSS-1	33.7	34±4	0.9
	GSS-20	9.6	8.7±0.6	-9.8
	GSS-28	29.3	28.5±2	-2.8
Cr	GSS-1	59.3	62±4	4.4
	GSS-20	41.8	43±3	2.7
	GSS-28	98.8	94±5	-5.2
Cu	GSS-1	22.5	21±2	-6.9
	GSS-20	28.3	28±1	-0.9
	GSS-28	40.3	38±2	-5.9
Ni	GSS-1	22.9	20.4±1.8	-12.1
	GSS-20	19.0	20±2	5.0
	GSS-28	45.9	43±2	-6.7
Pb	GSS-1	102.5	98±6	-4.6
	GSS-20	12.0	13.4±1.2	10.3
	GSS-28	63.1	61±2	-3.4
Zn	GSS-1	711.9	680±25	-4.7
	GSS-20	71.0	61±2	-16.3
	GSS-28	135.4	134±2	-1.1
Cd	GSS-1	4.9	4.3±0.4	-13.2
	GSS-20	ND	0.108±0.01	-
	GSS-28	ND	0.52±0.03	-