ICS13.030
CCS Z 33

团　体　标　准

T/ACEF□□□—20□□

有色金属矿区伴生放射性水平测定 热释光法

Determination of associated radioactivity level in nonferrous metal mining areas—Thermoluminescence method

（征求意见稿）

20□□-□□-□□发布　　20□□-□□-□□实施

中华环保联合会　发 布

ACEF

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　总体要求 2
5　仪器要求 3
6　测量技术要求 3
7　测量记录与保存 5
附　录　A （资料性）　环境热释光剂量计示意图 7
附　录　B （规范性）　环境热释光测量系统主要性能要求 8
附　录　C （规范性）　记录和保存的内容 9
参　考　文　献 10

前　言

本文件按照 GB/T 1.1—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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国医学科学院放射医学研究所提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件起草单位：中国医学科学院放射医学研究所、北京市职业病防治研究院、中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所、内蒙古自治区综合疾病预防控制中心、中国计量科学研究院、湖北省疾病预防控制中心、内蒙古伟泽职业卫生技术服务有限公司、上海怡星机电设备有限公司、江西省职业病防治研究院、北京瑞辐特辐射测量仪器有限公司、河南黄淮检测科技有限公司、中华环保联合会固危废及土壤污染治理专业委员会。

本文件主要起草人：翟贺争、曹磊、武权、邓君、许潇、李德红、丁艳秋、孙刚涛、王芳、李伟、苏青春、贾子健、邓磊、陈坚剑、张建、张文艺、吴香君、王曼瑶、张琪、梁巧英。

有色金属矿区伴生放射性水平测定 热释光法

1 范围

本文件规定了有色金属矿区环境伴生放射性水平的热释光测量方法。

本文件适用于利用热释光法对有色金属矿区开采、选矿、冶炼等过程产生的环境伴生放射性水平的测量，其他矿产资源开发中的伴生放射性水平测量可参照本文件执行。

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。

GB/T 10264 个人和环境监测用热释光剂量测量系统

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB 50771 有色金属采矿设计规范

GBZ 128 职业性外照射个人监测规范

GBZ 207 外照射个人剂量系统性能检验规范

HJ 61 辐射环境监测技术规范

JJG 593 个人和环境监测用X、γ辐射热释光剂量测量系统检定规程

IEC 62387 辐射防护仪器 个人、工作场所和环境监测用光子和β辐射被动式累积剂量系统 (Radiation protection instrumentation—Dosimetry systems with integrating passive detectors for individual, workplace and environmental monitoring of photon and beta radiation)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热释光 thermoluminescence

某类固体材料受到辐射作用后，将能量储存在晶格陷阱中，待该物质被加热时，储存的辐射能量以光子形式释放出来的现象。具有该现象的材料称为热释光材料。

3.2

热释光探测元件 thermoluminescence detection element

热释光材料与其他材料按一定重量比例混合、成型，具有确定重量、形状或尺寸的试剂。

3.3

环境热释光剂量计 environmental thermoluminescence dosimeter

由两个或多个热释光探测元件和外壳组成的、可置于环境中评价它所处位置或附近的剂量水平的无源器件。本文件中的环境热释光剂量计主要适用于测量天然辐射环境中的γ射线辐射水平。

3.4

热释光剂量计读出器 thermoluminescence dosimeter reader

用于测量热释光探测元件的发光量，并将其转换成电信号得到可视化结果的仪器。

3.5

环境热释光测量系统 environmental thermoluminescence measurement system

由环境热释光剂量计、热释光剂量计读出器及其他附属设备、程序等组成的完整测量系统。

3.6

退火 annealing

在一定温度、时间下通过热处理消除环境本底和热释光探测元件残留的储存射线量的过程。

4 总体要求

4.1 有色金属矿区伴生放射性水平应制定检测计划和方案，并妥善记录和保存；质量控制应始终贯穿于从检测计划制定到结果存档的全过程。

4.2 放射性水平测定周期应考虑包括但不限于下列因素：有色金属矿区的类型、性质、环境放射性水平及环境剂量水平的变化程度等因素。

4.3 从事放射性水平测定的人员应接受专业培训，且作业中应至少包括 2 名工作人员。

4.4 人工测读时，引入的相对偏差应小于 5 %。

4.5 选择环境热释光剂量计应考虑包括但不限于下列因素：拆卸方便、密封性、标识信息清晰、耐恶劣环境等。

4.6 环境热释光剂量计布设点位选取应保证代表性、合理性、科学性和可行性，不易受自然破坏和人为干扰。

4.7 刻度环境热释光测量系统的辐射类型应为γ射线，并注明光子能量和入射角；刻度的剂量范围应覆盖调查水平的最小范围；刻度时应注意环境温度、湿度、光照、电磁干扰及机械性能的影响。一般刻度周期为 1 年，刻度应有对数量的要求及对结果的解释。

4.8 实验室环境条件应符合表 1 的要求。

表 1 实验室环境条件的要求

环境参量	要　求
环境温度	10 ℃～40 ℃，测量过程中变化不超过 2 ℃
相对湿度	相对湿度 ≤75 %
大气压	86.0 kPa～110.0 kPa
γ辐射本底	周围剂量当量率低于 0.25 μSv/h

5 仪器要求

5.1 热释光法测量原理

环境热释光剂量计放置在有色金属矿区的环境中累积一段时间后，其接受环境中伴生天然放射性核素（238U系、232Th系、40K等）释放的电离辐射照射，将辐射能量俘获且贮存在热释光探测元件的晶格陷阱内。热释光元件处于特定高温下，以光的形式释放储存能量。测量并记录热释光信号，在一定范围光强可与放射性水平成线性关系。在标准辐照场下，对热释光元件进行刻度，便于量值传递与溯源。

5.2 环境热释光剂量计

5.2.1 应可以在－20 ℃～50 ℃和相对湿度 10% ~90%范围内使用，且不冷凝。

5.2.2 外观应完好且无缺损、无污物，并带有编号等必要的识别信息。

5.2.3 外壳应不透光、防潮，其内部应具有夹持装置；在使用中不易被放射性核素沾污，且易清除沾污。

5.2.4 各部件包括内部的热释光探测元件装配应结构紧密，不应随意活动或脱落。

5.2.5 剂量计宜显示下列但不限于下列信息。环境热释光剂量计示意图参见附录 A。

a）测量范围；

b）能量范围；

c）参考点；

d）参考取向（或在用户手册中给出）；

e）可读取的识别码。

5.3 读出器

5.3.1 读出器宜由加热部件、光测量部件和有关电子器件组成。

5.3.2 读出器的测读条件应由实验室室温起始，预热到 120~140℃，恒定 6~20 s；加热 240℃，恒定 6~20 s 或在读出器用户手册中给出测读条件。

5.4 测量系统

5.4.1 应符合 JJG 593 提出的计量检定要求，便于量值溯源和传递。

5.4.2 应标明或明确最低探测水平。

5.4.3 主要性能要求见附录 B。

5.5 辅助仪器或工具

宜配备环境级剂量率仪、现场γ能谱仪、GPS 仪、地图、测距仪及其他相关设备。

6 测量技术要求

6.1 检测计划

6.1.1 检测计划的制定应考虑包括但不限于下列因素：被测量有色金属矿区已开展和正在开展的生产

实践活动及地形、水文、时节、气候、天气等环境信息。

6.1.2 检测方案中应包括但不限于：人员、仪器工作状态、布点位置、布点数量、测量周期及注意事项等内容。

6.1.3 应根据空间分布和有色金属矿区区域变化规律，在地图上划定有色金属矿区的工作区和范围（km级），并结合现场勘查情况在合适的比例地图上绘制布点位置。

6.2 剂量计布设

6.2.1 应综合考虑有色金属矿区区域特征合理划分采样区间。

6.2.2 环境热释光剂量计点位布设宜采用放射状布点法或网格布点法。

6.2.3 布设点位的选取应具有代表性，可根据现场实际情况扩大布设范围，但应考虑剂量计的回收率。

6.2.4 点位布设位置的选取应包括但不局限于：

a）矿区周围环境：地表（田野、土路、水泥路、沥青路、住宅等），河滩、台塬、山露基岩等；

b）原料（原矿石）场、矿介质堆涉及区、精矿（产品）、贫矿；

c）矿井：井口、通风井、风桥、运输道、物料提升井、进风道等；

d）尾矿库：尾矿坝、渗滤液收集池、回水池、环境应急事故池等，废矿、废弃物（废矿渣、废石等）、废水（坑道水、涉水泥土等）；

e）受（易）污染设备、去污处理后材料等。

6.2.5 有色金属矿区点位布设数量应符合表2的要求。

表2 有色金属矿区布点数量要求 单位：个

矿山类别	大型	中型	小型
露天矿	>60	>40	>20
井工矿	>20	>10	>5

6.2.6 环境热释光剂量计与检测位点之间的距离宜为0.8 m~1.2 m。每个布点不少于2个环境热释光剂量计。

6.3 测量准备

6.3.1 元件退火：将热释光元件放置于退火盘内，平铺无叠样，设定退火炉恒温240 ℃、恒定10 min条件下退火（或在用户手册中给出退火条件）处理。

6.3.2 元件筛选：将同一批次且退火后的探测元件放置于照射盘中，在参考辐射场中照射同样的剂量后，对照射盘中的元件进行测量，读出数据；计算出元件读数的平均值；选取读数在平均值×（1 ± A%）范围内的元件备用，则完成探测器一致性为A%的筛选。

6.3.3 剂量计刻度：将热释光元件放置于其使用的剂量计外壳内，按JJG 593的要求在计量部门进行检定或校准工作，得到测量系统的刻度因子。

6.3.4 剂量计制备：将热释光探测元件装入其使用的外壳中，对剂量计进行编号，并结合6.1和6.2的要求准备足够数量的剂量计，并放置于双层包装袋中。

6.3.5 剂量计发送：发送过程中应避开人工放射源、避光保存，并提供跟随剂量计，并记录退火时间。

6.3.6 剂量计使用：在使用前开封外包装袋，结合 6.2 布设要求，将剂量计放置于具有代表性的点位，同时注意防尘和防水，并记录使用数量、场所、位置、编号和布放时间等信息。

6.3.7 剂量计回收：记录回收时间，送回测量实验室。回收过程中剂量计宜避免强光照射，尽量保存在黑暗条件下；应避免处在超过 100 ℃的温度环境中。同时注意剂量计污染的检查和去污处理。

6.4 放射性水平计算

有色金属矿区伴生放射性水平（γ辐射）可按下式（1）进行估算，数据有效数字的位数恰当反映该测量值的准确度。应使用适宜的统计学方法剔除异常数据，同时还应检查和分析其产生原因。

$$D = Xi \times C_f \quad (1)$$

式中：

D—γ辐射水平（mGy）；

Xi—环境热释光剂量计中探测元件测量读数的平均值；

C_f—刻度因子。

6.5 测量周期和时间

采用连续、累积监测的方式，常规检测周期一般为 1 次/季，特殊检测周期应根据放射检测实践活动（矿区类型、地域或环境辐射水平等）的需要进行，但一般不超过 2 季。累计监测时间至少 1 年。

6.6 质量控制

6.6.1 应制定和严格遵守剂量计发放、布点安放、运输、回收和保存等环节的操作规程。

6.6.2 应使用能够提供参考本底信息的跟随剂量计。

6.6.3 应选用符合性能要求、工作正常的环境热释光剂量计、设备和仪器。

6.6.4 环境热释光测量系统应定期刻度和维护。

6.6.5 环境热释光测量系统应满足 5.4 的基本要求。

6.6.6 环境热释光剂量测量系统的质量控制和不确定度评定方法按 GBZ 207 的要求进行。

6.6.7 应通过实验室间的测量方法、程序、测量结果的比对完善质量控制，并妥善保留技术培训和比对文件，作为参考资料。

7 测量记录与保存

7.1 记录

7.1.1 对有色金属矿区的类型进行分类和记录，必要时可用摄像、数码拍照等方式记录现场。电子介质存储的记录应采取适当的措施备份。

7.1.2 记录完整预处理、刻度、测量过程、结果处理、质量控制等内容。

7.1.3 宜采用多种方式备份（复印或扫描）检测记录，妥善记录数据和结果。

7.1.4 测量过程中出现的各种影响因素。

7.2 保存

7.2.1 宜留存影像材料。

7.2.2 保存原始记录、报告数据和结果，便于对数据进行复核。

7.2.3 保存质量控制内容、发现的问题、采取的措施等资料，必要时包括有色金属矿区布点位置的环境剂量率。

7.2.4 保证安全性、完整性和可追溯的前提下，可使用电子介质存储的报告和记录代替纸质文档归档保存。

7.2.5 有色金属矿区伴生放射性水平数据记录至少保存 10 年。

7.2.6 记录保存的内容参见附录 C。

ACEF

附 录 A
（资料性）
环境热释光剂量计示意图

环境热释光剂量计特指由热释光探测元件（形状可以是圆形、方形，类型可以是玻璃管状、粉末胶囊等）和无源密封性能良好的外壳组成（如图 A.1 所示方形剂量计和图 A.2 所示圆柱形剂量计）。外壳可以拆卸，便于放入或取出热释光探测元件，其形状通常为方形或圆柱形；热释光探测元件通常设置在外壳内部的中央位置。

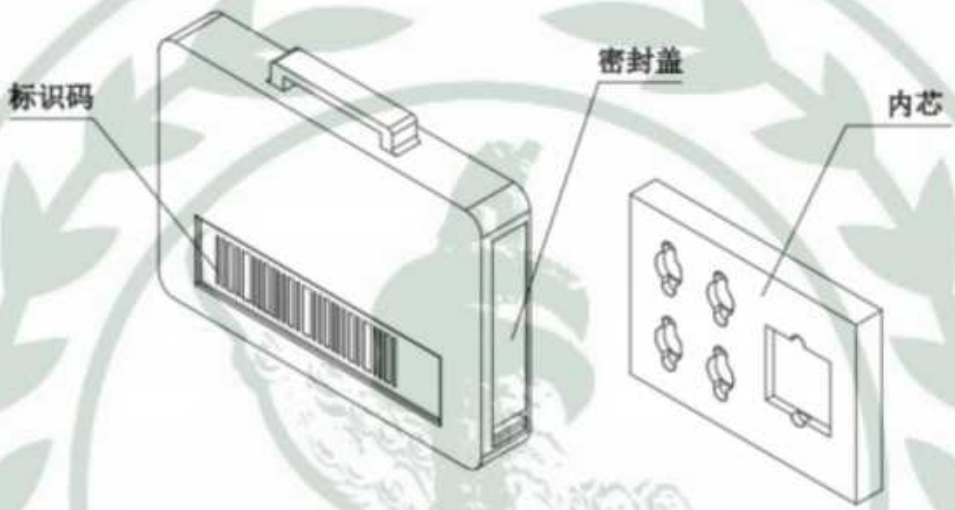

图 A.1 方形环境热释光剂量计示意图

图 A.2 圆柱形环境热释光剂量计示意图

附 录 B
（规范性）
环境热释光测量系统主要性能要求

B.1 环境热释光剂量计的性能要求

环境热释光剂量计应符合表 B.1 给出的性能要求。

表 B.1 环境热释光剂量计的性能要求

主要计量性能	量值或影响量的量值范围	技术要求
非线性相对响应	0.1 mSv ≤ H ≤ 1 Sv	-13 %～+18 %
变异系数	H ＜0.1 mSv 0.1 mSv ≤ H ＜ 1.1 mSv H ≥ 1.1 mSv	15 % $\left(16-H/0.1\text{mSv}\right)$ % 5 %
相对误差	0.1 mSv～1 Sv，S-Cs	-10 %～+10 %
能量和入射角的相对响应	80 keV～1.25 MeV 和 0°～± 60°	0.71～1.67
量值检验的相对误差	——	-10 %～+10 %
注：表中数据来源于 IEC 62387—2020 和 JJG 593—2016。		

B.2 环境热释光剂量计和读出器的环境性能要求

剂量计和读出器的环境性能要求见 IEC 62387－2020 的表 14。

B.3 环境热释光读出器电磁骚扰的性能要求

读出器电磁骚扰的性能要求见 IEC 62387－2020 的表 15。

B.4 环境热释光剂量计的机械性能要求

剂量计和读出器的机械性能要求见 IEC 62387－2020 的表 16。

B.5 环境热释光剂量计（或剂量元件）的一致性选择要求

剂量计（或探测元件）的一致性选择要求见 GBZ 207－2016 的 8.2。

B.6 环境热释光测量系统的最低探测水平

环境热释光测量系统的最低探测水平的检验见 GBZ 207－2016 的 6.1 和 HJ 61 的 8.2。

附 录 C
（规范性）
记录和保存的内容

有色金属矿区伴生放射性水平记录和保存的内容宜包括但不限于以下要素：

a) 矿区的名称、分类、位置，并在地图上标识；

b) 检测仪器名称/型号/编号、剂量计类型/厂家；

c) 原始数据和结果中均应有剂量计编号、数量、布点方式和可能出现的影响因素等；

d) 布设剂量计起始日期、布放天数、回收日期、检测日期；

e) 测量周期内各布点位置的剂量水平、测量系统的最低探测水平和伴生放射性水平；

f) 质量控制和影像材料；

g) 测量方案设计人、检测人、校核人和日期；

h) 检测布点剂量水平分布表和年剂量水平分布表见表 C.1 和 C.2。

表 C.1 有色金属矿伴生放射性水平布点情况分布表

矿种类	年份	在下列剂量（mGy）区间内的监测次数									布点数量/次	年总剂量/布点·Gy
		<0.5	0.5-	1.0-	5.0-	10.0-	15.0-	20.0-	30.0-	≥50.0		

表 C.2 有色金属矿伴生放射性水平各检测布点年总剂量分布表

矿种类	年份	在下列剂量（mGy）区间内的年总剂量/布点·Gy									年总剂量/次·Gy	总剂量分布范围
		<0.5	0.5-	1.0-	5.0-	10.0-	15.0-	20.0-	30.0-	≥50.0		

参 考 文 献

[1] ISO 4037.1-2019 Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 1: Radiation characteristics and production methods.

[2] ISO 4037.2-2019Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV

[3] ISO 4037.3-2019 Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy —Part 3: Calibration of area and personal dosemeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence.