

ICS  
CCS

# 团 体 标 准

T/CMES XXXX—20XX

代替 T/CMES XXXX—20XX

## 无损检测 激光诱导击穿光谱远距离检测 方法

Guideline for Remote Laser Induced Breakdown  
Spectroscopy Detection Technology

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

中国机械工程学会标准征求意见稿

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

## 目 次

前 言.....	iii
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 激光诱导击穿光谱法.....	1
3.2 远距离检测装置.....	1
3.3 转向装置.....	1
3.4 标准样品.....	1
3.5 定标曲线.....	1
3.6 定性分析.....	1
3.7 半定量分析.....	2
3.8 定量分析.....	2
3.9 内标元素.....	2
4 基本原理.....	2
5 仪器设备.....	2
6 环境条件.....	3
7 现场检测步骤.....	3
7.1 检测前准备.....	3
7.2 操作步骤.....	3
7.3 光谱预处理.....	4
8 数据处理.....	4
8.1 定性分析.....	4
8.2 半定量分析.....	4
8.3 定量分析.....	4
9 检测报告.....	5
10 安全要求.....	5
附 录 A （规范性附录） 检测报告格式.....	6

## 前 言

本标准依据 T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

本标准起草单位：苏州热工研究院有限公司，西安交通大学，中国一重集团有限公司，阳江核电有限公司，福建宁德核电有限公司，中国机械工程学会无损检测分会。

本标准起草人：

考虑到本标准中的某些条款可能涉及专利，中国机械工程学会不负责对该类专利的鉴别。

本标准首次制定。

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会标准征求意见稿

## 无损检测 激光诱导击穿光谱远距离检测方法

### 1 范围

本标准规定了激光诱导击穿光谱远距离检测方法的技术要求。本标准适用于核电厂、冶金、化工、深空探测等领域固体、液体和气体物质化学元素的远距离（0.2-20m）检测和分析。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 38257-2019 激光诱导击穿光谱法

### 3 术语和定义

#### 3.1 激光诱导击穿光谱法 (Laser-induced breakdown spectroscopy; LIBS)

通过激光烧蚀带分析物质形成等离子体，其中处于激发态的原子、离子或分子向低能级或基态跃迁时，向外发射特定能量的光子，形成特征光谱，进而获得待分析物质的化学成分和其他特性。

[GB/T 34357-2017，定义 2.1]

#### 3.2 远距离检测装置 (Remote Testing Device)

实现远距离检测所需的软、硬件设施的集合。

#### 3.3 转向装置 (Steering Device)

控制激光诱导击穿光谱仪执行机构转向，从而改变激光发射及光谱收集角度的装置。

#### 3.4 标准样品 (Standard Sample)

具有满足分析需求的准确度，给待分析物质赋值、评定测量方法、校准或检定设备装置的物质。

[GB/T 20737-2006，定义 2.26]

#### 3.5 定标曲线 (Calibration Curve)

在规定条件下，表示待分析元素含量与实测光谱强度值之间的关系曲线。

#### 3.6 定性分析 (Qualitative Analysis)

根据激光诱导等离子光谱中是否包含某元素的特征谱线，来判断待分析物质中是否有该元素的分析方法。

### 3.7 半定量分析 (Semi-quantitative Analysis)

利用谱线强度与元素含量的函数关系，粗略地确定被检材料中某种成分大致含量的分析方法。

### 3.8 定量分析 (Quantitative Analysis)

根据激光诱导等离子体谱线信息与待测元素的含量或物质的对应关系，确定该元素的含量或物质特性的分析方法。

### 3.9 内标元素 (Internal Standard Element)

用内标法作定量分析时，标准样品和待分析物质中用作待分析元素进行比较的元素。

## 4 基本原理

激光诱导击穿光谱远距离检测方法通常采用望远镜式。通过脉冲激光器远距离发射一束高能量密度的激光脉冲(通常是纳秒量级)聚焦到样品表面,激光聚焦系统会聚激光烧蚀待分析物质产生等离子体。等离子体中的原子、分子或离子中的电子激发到激发态,由上能级跃迁到下能级时辐射特征光子。通过望远镜光谱收集系统采集特征光子信号后经光谱仪色散,由数据处理系统依据元素的特征谱线进行定性分析,依据元素的特征谱线强度或整体光谱信息进行定量分析。

## 5 仪器设备

望远镜式激光诱导击穿光谱检测设备典型结构如图 1,由激光光源系统、激光聚焦系统、望远镜光谱收集系统、光谱仪、瞄准测距仪、转向装置和控制电路及数据处理系统等组成。

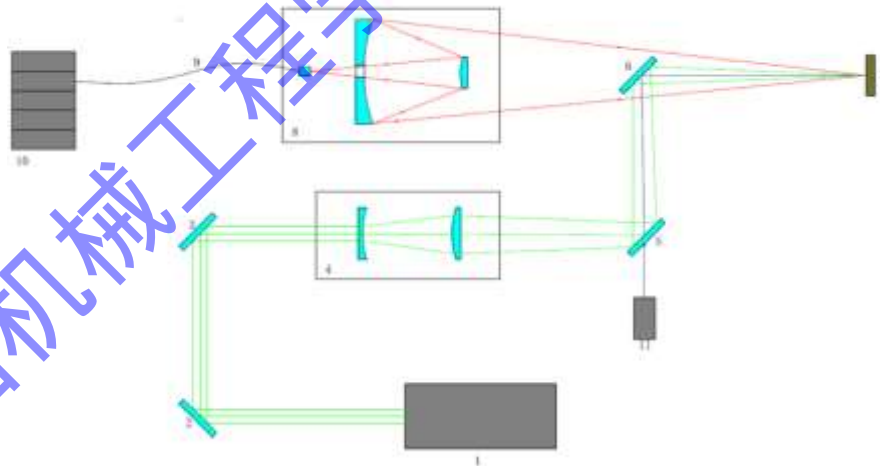


图 1 望远镜式激光诱导击穿光谱检测设备典型结构

激光光源系统（1）：由激光器和激光器电源组成。

激光聚焦系统：由反射镜（2,3,5,6）和扩束镜组（4）组成。

望远镜光谱收集系统（8）：通常为卡塞格林望远镜结构，用于将样品（7）上的等离子体辐射光收集，耦合入光纤（9）后进入光谱仪分析。

光谱仪（10）：由分光系统和探测器组成。分光系统用于将等离子体辐射光色散，探测器用于将分光系统透射到探测面上的光信号转化为电信号。

瞄准测距模块（11）：通常为激光测距仪，其发射可见激光用于指示仪器是否瞄准样品，同时测量仪器到样品之间的距离。

## 6 环境条件

环境温度需在 35℃ 以下，湿度 90%RH 以下，空气洁净度良好，无大量粉尘。仪器设备应避免放置在放射性、振动、强气流、酸碱腐蚀及强电磁等环境中。保持电源的电压、频率稳定。

## 7 现场检测步骤

### 7.1 检测前准备

#### 7.1.1 样品准备

检测开始前，待测样品需摆放到位，其与仪器射出激光夹角应保持在合理范围内，一般水平±10°，竖直±10°以内。

如待测样品具有高放射性，需保持仪器与样品间具有一定安全距离，使得仪器本体所处位置辐照剂量率低于 30 μSv/h。

#### 7.1.2 仪器准备

检测开始前，需保证激光光源系统冷却介质，激光发射及等离子体辐射光接收光路正常。需保证瞄准测距模块、光谱仪经过校准合格。

### 7.2 操作步骤

#### 7.2.1 开机预热

望远镜式激光诱导击穿光谱仪通电，开机运行软件，确认软件与仪器通讯正常，仪器运转正常。装置预热，使激光输出能量、光谱仪的分析性能以及电路控制系统达到稳定。

#### 7.2.2 参数设置

打开瞄准测距模块，并调节转向装置，使望远镜式激光诱导击穿光谱仪瞄准待测样品。瞄准测距模块自动测量仪器至样品之间的距离，测量参数反馈给控制电路，实现激光聚焦系统与等离子体收集辐射收集系统的自动对焦调节。

按照检测不同样品对光谱信号准确度、强度和稳定性的要求，设置激光脉冲能量、延迟时间、重复频率、积分时间、预剥蚀次数、检测次数、扫描模式等系统参数。

#### 7.2.3 谱线强度校准

在已测得距离位置，采用标准样品的辐射光谱进行描述，根据元素特征谱线的强度变化对仪器进行强度校准。

#### 7.2.4 光谱采集

操作望远镜式激光诱导击穿光谱仪发射激光脉冲，激发样品元素产生辐射光谱，并采集光谱数据。每一个样品或每一个点位采集一组或多组光谱数据进行处理。同一个样品或点位宜采集 10 次以

上。

### 7.3 光谱预处理

望远镜式激光诱导击穿光谱仪软件具备基线（背景）校正、过虑噪声、归一化等谱线预处理功能，此外，通过元素谱线标定功能，可实现特征元素谱线的自动寻峰。

## 8 数据处理

### 8.1 定性分析

根据谱线信息识别出待测样品中所含元素种类，以及在此基础上对待测样品进行判别分析。对已获得的待测样品光谱，使用软件中元素标定功能，通过其内部原子光谱数据库，自动识别特征元素的特征峰，从而判别特征元素有无，通过判别分析等方法确定待测样品的大概种类或牌号。

### 8.2 半定量分析

半定量分析介于定性分析与定量分析之间，根据光谱信息确定样品中所含元素的大致范围或元素之间的相对含量。一般可通过将归一化的已知样品谱线与待测样品谱线进行叠加对比，从特征元素种类和谱线相对强度进行相似度计算，识别待测样品种类或牌号。

### 8.3 定量分析

#### 8.3.1 内标法

实施远程激光诱导击穿光谱定量分析通常采用内标法。内标法是指选取内标元素的某条特征谱线，把分析元素的特征谱线强度除以内标谱线强度，并建立此比值与待分析元素浓度之间的数学关系。内标元素是样品本身含有的某种元素或认为加入的内标物质所含有的某种元素，应保证内标元素在一系列标准样品和待分析物质中的含量基本一致。计算公式（1）如下：

$$C = \frac{M_s I}{M I_s} k \quad (1)$$

式中：

$C$ ：待分析元素的浓度；

$M_s$ ：内标物质的质量或浓度；

$I$ ：待分析元素的谱线强度；

$M$ ：内标物质的质量或浓度；

$I_s$ ：内标元素的谱线强度；

$k$ ：待分析元素浓度与内标物质浓度相比的校正因子。

采用峰面积进行分析时，将式（1）中  $I$  和  $I_s$  替换成待分析元素的峰面积  $A$  和内标物质的峰面积  $A_s$ 。

#### 8.3.2 定标曲线建立

在对待测样品特定元素进行定量分析前，需通过标准样品建立特征元素定标曲线，标准样品数量应不低于 8 个。标准样品种类应与待测样品类似，包含拟分析元素，其中内标元素浓度应保持相对稳定，特征元素浓度具有合适的梯度分布和覆盖范围。

采用望远镜式激光诱导击穿光谱仪，在特定距离及参数下，对标准样品等离子体辐射光谱进行采集，每个样品采集光谱数量应不低于 20 幅。光谱预处理后，采用内标法建立特征元素浓度与谱线相对强度（即特征谱线强度与内标元素强度的比值）的对应关系，拟合并绘制定标曲线。建立定标曲线的过程可通过仪器软件完成。

### 8.3.3 元素含量预测

通过建立的定标曲线可实现对待测样品中特征元素含量进行预测。

## 9 检测报告

检测报告格式参见附录 A，至少应包含以下信息：

- a) 检测日期和地点；
- b) 环境条件；
- c) 样品信息；
- d) 检测仪器；
- e) 检测距离；
- f) 原始光谱；
- g) 数据处理。

## 10 安全要求

在实施激光诱导击穿光谱远距离检测时，应遵守如下安全规定。

- a) 操作人员通过仪器操作培训并考核合格；
- b) 在操作过程中应避免激光灼烧、辐射照射等风险。

附录 A  
(规范性附录)  
检测报告格式

检测报告格式参见表 A。

表 A 检测报告

检测日期		检测地点	
检测人员			
记录人员		复核人员	
环境条件			
温度		湿度	
辐照			
样品信息			
状态		数量	
种类		来源	
辐射剂量率		是否预处理	
检测仪器			
仪器型号		激光能量	
脉冲宽度		光谱仪波长范围	
光谱仪		预剥蚀次数	
检测次数		检测距离	
原始光谱			
数据处理			
<input type="checkbox"/> 定性分析 <input type="checkbox"/> 半定量分析 <input type="checkbox"/> 定量分析			
1.定性分析			
特征元素种类			

2.半定量分析	
谱线对比：	
特征元素种类	对比样品牌号
分析结果	
3.定量分析	
定量分析方法	
定标曲线	
分析结果	