

团体标准

T/CHES XXXX—XXXX

量子点光谱法悬移质含沙量测验导则

Regulations for determination of suspended sediment content via QD
spectroscopy

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利联通支持性文件一并附上

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国水利学会 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 总体原则和要求 1

 4.1 系统组成 1

 4.2 技术要求 1

 4.3 测验调查 2

 4.4 测验要求 2

5 仪器安装 3

 5.1 原理 3

 5.2 安装方法 3

 5.3 环境要求和适用性 3

 5.4 精度指标 3

6 悬移质泥沙测验 3

 6.1 特征 3

 6.2 快速测验 3

 6.3 在线测验 4

 6.4 比测率定 5

 6.5 数据分析与处理 5

7 检查和维护 5

 7.1 设备检查 5

 7.2 设备维护 5

8 软件平台及数据报送 5

 8.1 软件平台 5

附 录 A （资料性） 安装方式 7

附 录 B （资料性） 方法原理 9

附 录 C （资料性） 误差分析 10

附 录 D （资料性） 测验结果记录表样例 11

附 录 E （资料性） 系统检查登记表样例 13

附 录 F （资料性） 对比测验登记表样例 14

附 录 G （资料性） 标准样品检定 15

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。

本文件共分为8章和7个附录，主要内容包括量子点光谱悬移质含沙量测验监测方式分类、安装与参数设置、测验技术要求、软件平台和信息管理、设备检验与维护以及记录与数据整理等。

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这些专利的责任。

本文件由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条16号，邮编100053），以便今后修订时参考。

本文件主编单位：长江水利委员会水文局，芯视界（北京）科技有限公司。

本文件参编单位：水利部南京水利水文自动化研究所，芯发现（上海）科技发展有限公司，湖北一方科技发展有限责任公司。

本文件主要起草人：梅军亚，鲍捷，方卫华等。

本文件为首次发布。

量子点光谱法悬移质含沙量测验导则

1 范 围

本文件规范了量子点光谱法用于悬移质含沙量测验所涉及的基本要求、仪器安装与参数设置、含沙量测验、比测率定、仪器检查维护、信息化等技术要求。

本文件适用于江、河、湖、库、渠等各类自然水体的悬移质含沙量测验。其他场景下的悬移质含沙量测验可参照执行。

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 50095 水文基本术语和符号标准
- GB/T 50159 河流悬移质泥沙测验规范
- GB/T 2900.105 (IEC 60050-511:2018) 电工术语 纳米技术电子产品和系统
- SL/T 247 水文资料整编规范

3 术语和定义

GB/T 50095界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

量子点 quantum dot (QD)
在三个维度上都显示量子限域效应的纳米颗粒或区域。
[来源：GB/T 2900.105—2022，511-03-01]

3.2

量子点光谱法 QD spectroscopy
通过量子点阵列芯片及配套的光强传感器，利用量子点光响应特性，完成光谱测定，并通过特定算法获取物质成分、含量、体积、浓度等信息的方法。
注1：量子点光谱法具备体积小、环境稳定性强、光通量高、测试速度快、成本低等特点。
注2：与常规光学含沙量测定方法相比，量子点光谱法可进一步排除气泡、木屑等其他颗粒物对测量的影响。

4 总体原则和要求

4.1 系统组成

- 4.1.1 量子点光谱悬移质泥沙监测应根据监测方式进行设备配置。
- 4.1.2 量子点光谱悬移质泥沙监测各设备应单独检验合格，包含光源、开放式样品池、量子点光谱传感器、控制器和电源等部件。
- 4.1.3 量子点光谱悬移质泥沙监测各设备检验、安装、测试等考证资料应完整清晰。

4.2 技术要求

- 4.2.1 监测设备出厂前应校准，以保证测量精度和稳定性。
- 4.2.2 系统包含适应多种场景下光谱信息—含沙量信息映射的典型模型库。
- 4.2.3 仪器的测量精度、稳定性与适应性满足应用要求。
- 4.2.4 设备应满足 IP68 以上防水等级，以适应长期水下监测。

- 4.2.5 系统具备数据传输、存储、显示、远程查看等功能。
- 4.2.6 系统具备自检功能，并能实时监控运行过程中主要部件的工作状态，状态异常时能发出警示信息。
- 4.2.7 仪器能自行校正水温、泥沙颗粒级配及化学特性等对监测的影响。
- 4.2.8 仪器便于安装、携带、操作和维护。
- 4.2.9 仪器对水流扰动小。
- 4.2.10 系统在无外接交流电源情况下，应能使用独立电源或太阳能供电系统持续运行至少一年。
- 4.2.11 传感器安装时，保持传感器竖直向下，与安装支架刚性连接，确保无抖动、偏移、旋转。
- 4.2.12 安装支架宜采用防锈、防腐蚀能力强，质量轻、强度大的非铁磁材料。
- 4.2.13 安装在浮体上进行监测时应保证安装固定浮体不得发生碰撞与大范围运动，避免仪器损坏和测点位置不稳定。
- 4.2.14 监测设备安装主要包括以下两种方式（安装方式见附录 A）：
 - a) 岸边或固定建筑物安装；
 - b) 船载或浮体安装。
 注：可根据需要在不同位置布设多套监测设备。
- 4.2.15 在线监测安装应符合以下要求：
 - a) 设备安装点选择水面开阔、通讯信号覆盖良好，水流均匀，水草及杂物较少，并且设备有良好安装固定条件的区域；
 - b) 设备安装地点需考虑电磁环境及干扰防护，与高压线、强电磁设备、工业干扰源保持合适距离；
 - c) 设备安装位置选择应综合考虑断面形态、水流流态及所测点含沙量与垂线平均含沙量及断面平均含沙量的代表性等因素；
 - d) 设备安装位置应保证最低水位时监测设备传感器不露出水面；
 - e) 对于通航河道应在系统两侧安装防撞安全设施，并具备及时赴现场清除漂浮物的条件。

4.3 测验调查

- 4.3.1 测站特征水位、水位变幅、水体流速流态、含沙量量级及分布特性、断面地形等；
- 4.3.2 测验区域的水面开阔程度、沉水或挺水水生植物、漂浮物、区域通信网络、非自然光照射及其他光污染情况；
- 4.3.3 测验区域电磁环境及干扰防护程度，周围高压线、强电磁设备、工业干扰源的距离；
- 4.3.4 测验河段水体情况，判别是否属于重度污染。
- 4.3.5 测点要求：

- 避开气泡多、水流紊乱区域，且无大的回流、串流发生；
- 供电、通讯和交通维护条件满足系统运行要求。

4.4 测验要求

- 4.4.1 系统使用前应准确率定、建立业务工作模型，并符合有关技术要求；应用于应急监测但无应急监测断面比测率定资料时，可参考上游来沙相关测站的率定参数；
- 4.4.2 仪器测量时，传感器至水面、河底的距离不得小于仪器的感应范围；
- 4.4.3 若仪器校测的系统误差不大于 3%，原业务工作模型可继续使用，否则，应停止使用，并重新率定和使用新的业务工作模型。

5 仪器安装

5.1 原理

前期需要通过大量实验，建立紫外-可见-近红外光谱与悬移质含沙量的关联，紫外-可见-近红外全光谱能有效排除木屑、气泡等干扰物对测试结果的影响。实际测验过程中，先进行光谱采集，再将得到的光谱与数据库中相应曲线特征进行比对，从而获得含沙量。具体原理见附录B。

5.2 安装方法

- a) 设备检查：
 - 1) 检查设备外观、设备配件数量、型号及场景适应性；
 - 2) 开机初始化，检查设备功能，校准坐标经纬度等。
- b) 安装支架。按照实际场景的安装方式固定好设备支架。
- c) 固定主机，固定光伏板或连接电源。
- d) 设备下水，固定或锚定。
- e) 开机，状态确认，试运行。

5.3 环境要求和适用性

5.3.1 含沙量要求

量子点光谱悬移质测沙浸入式设备通常宜选择低含沙量水体，如所测含沙量高于测沙仪定量上限，应事先进行验证试验。

5.3.2 流速、水深要求

设备适用流速不大于6 m/s，水深不大于50 m。

5.3.3 温湿度要求

工作温度：0~55℃，湿度无要求。

5.3.4 软件要求

- a) 配套软件应具有直观人机交互界面，包括数据采集以及信息处理功能；
- b) 能实现数据采集参数设置、误差诊断处理以及测值分布和过程显示；
- c) 量值传递正确，导出结果应符合水文资料整编规范要求；
- d) 数据处理软件应经过测试并由上级部门批准，衔接相关技术标准并符合其有关要求。

5.4 精度指标

仪器精度应满足表1：

表 1 仪器精度指标

序号	项目	要求	计算方法
1	系统误差	≤3%	见附录C
2	随机不确定度	≤20%	见附录C

6 悬移质泥沙测验

6.1 特征

量子点光谱悬移质泥沙含量测验采用量子点光谱测沙仪完成，数据实时采集，测验频次高，测沙仪体积小、功耗低，无市政供电场景可完全依赖太阳能供电开展测验。低含沙量场景可采用浸入式测沙仪，高含沙量场景考虑遥测式测沙仪。

6.2 快速测验

6.2.1 一般规定

将量子点光谱测沙仪安装在铅鱼等可移动部件上，测量特定范围水域不同宽度或深度含沙量变化情况。

6.2.2 测前准备

- a) 量子点光谱测沙仪自检及测沙前，应将仪器时钟与标准时钟同步。
- b) 测量前应进行设备检查，确认设备工作正常；设备检查应包括镜头检查、清洁刷检查、电池电量检查、通讯信号强度检查等；在每次施测前宜开展系统自检，当日有多个测次时可只进行一次自检；自检结果应保存在设备及系统平台上。

6.2.3 悬移质含沙量测验

- a) 应综合分析含沙量在断面上的横向及纵向分布规律，需要建立单断沙关系的，应施测相应单沙；无法建立满足要求的单断沙关系时，应采用实测断沙过程法施测。
- b) 将量子点光谱测沙仪安装在铅鱼等载体上，施测测点含沙量。打开主控箱开启开关后待指示灯亮后放入水中，静置 30 秒后开始数据采集，采集时间在 60 秒以上，采集结束后按停止键。将设备提出水面。
- c) 测沙垂线的布设应根据断面、主流情况进行试验分析，按照 GB/T50159 执行。
- d) 测次应主要布置在洪水时期，测点均匀分布，以整编为原则。

6.2.4 走航式含沙量测验

将量子点光谱测沙仪安装在测船等载体上，放入水下一定深度，测验时沿断面横渡，边运行边记录数据，测得水层平均含沙量，可与走航式ADCP流量测验同时进行，循环进行不同深度水层平均含沙量测验。

6.2.5 成果检查

单次测验结束后，应及时检查成果，分析评价测验成果质量，检查内容包括：

- a) 监测数据的完整性；
- b) 监测数据质量；
- c) 初步评估数据有效性。

6.3 在线测验

6.3.1 一般规定

采用浮体等安装方式将量子点光谱测沙仪固定在测验断面水下某一深度，按设定的时间间隔进行数据采集。量子点光谱测沙仪的安装位置应符合第4.2.15条的规定。可根据需要，在测验断面的不同位置布设多套量子点光谱测沙仪同步自动监测。

6.3.2 基本要求

采用量子点光谱测沙仪在线测沙的，应满足下列条件：

- a) 测验断面上具备可选并易于测验的测沙垂线。
- b) 测点含沙量或垂线平均含沙量代表性较好时，符合测点含沙量或垂线平均含沙量直接推算断面平均含沙量的使用条件。
- c) 测点含沙量或垂线平均含沙量与断面平均含沙量关系可覆盖各水位级或流速流量级或含沙量级，或按不同水位级或流速流量级或含沙量级建立多个关系。
- d) 应根据测验河段大断面特性、历史流量、含沙量资料，分析含沙量分布规律、顺逆流影响程度、主流位置摆动范围、代表性测沙垂线范围，分析确定在线测沙方案的可行性。

6.3.3 仪器检查频次

- a) 系统宜每天在固定时刻自动开展系统自检，自检结果应保存在设备或系统平台上。

- b) 系统宜每月不少于一次进行安装稳定性、镜头、电缆（信号）线、供电系统检查，并应符合下列要求：安装设施应保持稳定牢固；镜头表面有污浊或覆盖物时，用清水清洗，并用干净柔软的软布擦干；镜头出现裂纹时更换或维修并校准；检查电缆（信号）线连接牢固，供电、信号正常；供电系统检查。如采用太阳能板充电，检查太阳能板表面清洁程度。

6.4 比测率定

6.4.1 为确保系统测点含沙量和断面含沙量监测精度，正式投产应用前应开展现场比测率定（或获取比测率定技术支持）和校准，确定精度水平，应用于相应监测场景。

6.4.2 比测率定主要采用传统选点法采集水样，采用烘干法等方法测定含沙量，也可通过其他已定精度的测量方法作为基准，率定、校准、优化含沙量模型和测验方案。

6.4.3 比测有效样本数应不少于 30 点，条件不具备的不宜少于 20 点，除明确可以确定的粗差外，不得舍弃比测点数据。

6.4.4 率定应分别进行单点含沙量模型率定和断面平均含沙量模型率定；可采用线性回归、分段线性回归、多元回归，或人工智能模型等；回归方程的阶数一般不宜超过 2。

6.4.5 单个含沙量计算模型不能满足全量程使用时，可按不同水位级、流速流量级、含沙量级建立多个含沙量计算模型，多个含沙量计算模型衔接时，应衔接 1~3 个测点，测点互差应不大于 10%。

6.4.6 运行中宜定期或不定期进行模型复核采样，持续迭代优化测量模型。

6.4.7 如要拓展泥沙颗粒级配、泥沙物质元素组成分析、水质监测功能，应升级相应功能模块，分别建立算法模型，并进行现场比测率定。

6.5 数据分析与处理

数据收集汇总后，可采用自动、手动方式对数据进行分析 and 处理。

7 检查和维护

7.1 设备检查

7.1.1 每年使用国家标准样品进行检定，检定方法见附录 G。

7.1.2 零部件出现明显损耗时应维护和校准。

7.1.3 监测设备的光学镜片、光谱发生器、电源功率等零部件的损耗均会造成测量不准，应及时检查更换并校准。

7.1.4 应定期检查固件、软件版本，并及时升级。

7.2 设备维护

7.2.1 设备应根据应用环境进行定期和不定期维护，确保系统正常工作。

7.2.2 系统比测率定合格后，需要做好以下运行和维护工作：

7.2.3 依照规定的时间间隔，定时将实时监测的数据上传至服务器，并通过算法进行计算，用户可通过监测系统查看数据结果；

7.2.4 定期进行人工采样校准，在使用期间发生超量程或超过经验值的数据，应进行及时采样比测；

7.2.5 应落实专人按照要求进行维护。包括定期（通常为 2~4 周）检查并清理监测设备传感器镜头，查看设备位置是否发生偏移，安装是否紧固，通信是否正常。

8 软件平台及数据报送

8.1 软件平台

8.1.1 泥沙监测数据应遵循相关规范进行统一通信规约、数据采集和传输格式。泥沙监测的原始数据、整编数据、计算模型、成果数据等应格式和有效数字规范，及时存档并统一管理。

8.1.2 在线监测系统测得含沙量可在现场设备端或传输至软件平台进行计算，现场与平台的断面数据、系数、计算模型参数等变化调整应能实时同步，两端成果数据应保持一致。

8.1.3 功能要求

8.1.4 平台功能应与监测站点总体要求相匹配，资料整编应满足 SL/T 247 要求。

8.1.5 在线监测设备运行状态与成果精度检查宜通过信息化系统进行。系统应具备以下功能：

- a) 能进行在线监测数据及设备状态的实时接入与展示；
- b) 能点绘在线含沙量过程线及水位、流量过程线等；
- c) 能进行数据合理性设置与提醒；
- d) 能进行异常数据剔除与订正；
- e) 能进行含沙量计算模型的设定与计算；
- f) 能进行检查日志记录等。

8.1.6 信息系统宜具备绘制和生成含沙量分布图、比测关系线图、过程线图和原始数据表、实测含沙量成果表等图表功能，宜能显示设备电压、俯仰角、通信信号强度等参数，可实现设备参数的远程设置、测验数据招测和滤除奇异值数据等功能。

附录 A
(资料性)
安装方式

A.1 岸边或建筑物安装

监测设备可安装在水位自记井、桥墩等建筑物上。根据站点实际情况，设备主控可同传感器一起安装在固定建筑上（如A.1）。

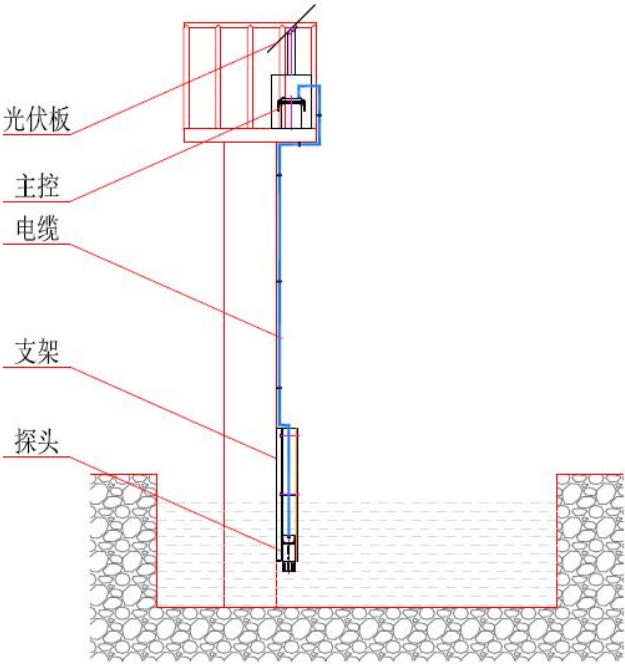


图 A.1 建筑物上安装示意图

A.2 船载或浮体安装

监测设备可安装在船舶、浮漂或其他固定漂浮物上，浮漂、固定漂浮物位置宜固定。安装方式如图 A.2所示。

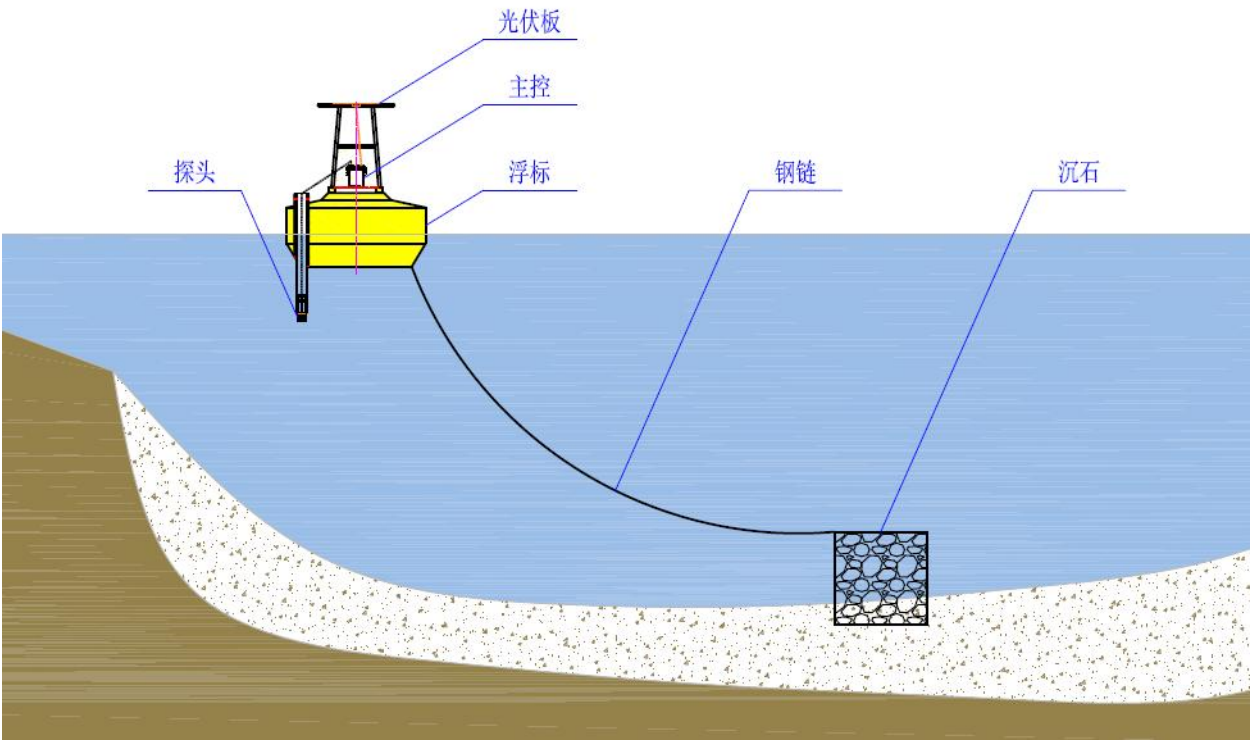


图 A. 2 船舶或浮体安装示意图

附 录 B (资料性) 方法原理

B.1 基本原理

采用量子点光谱传感技术，利用水体本身及其所含物质在量子点材料上的反射、吸收、散射或在受激发的荧光上产生的独特光谱特性，利用非化学的手段获得水体中悬移质泥沙的波长、强度、频移等谱线特征，通过建立光谱数据与泥沙物质之间的映射关系，从而实现水体悬移质含沙量的在线实时测量。

B.2 光谱采集原理

量子点光谱悬移质泥沙监测设备包含光源、开放式样品池、量子点光谱传感器、控制器和电源等部件，其核心是量子点光谱传感器。

量子点光谱传感器的本质是一种纳米使能计算光谱器件（Nano-enabled computational spectroscopic device, NeCSD），利用大量连续可调控的、线性无关的宽谱分光器件（即量子点阵列），入射光通过每一种量子点就相当于经过了一次线性无关的宽谱投影：

$$Q_i = \int_a^b T_i(\lambda) L(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots (A.1)$$

其中 $L(\lambda)$ 为入射光谱， $T_i(\lambda)$ 为第 i 种量子点膜的透射谱， Q_i 为探测器在第 i 种量子点膜下的测量值。知道足够多的线性无关基（量子点对光的吸收曲线）和对应的测量值（CCD或CMOS的读数）即可通过数学运算重构出入射光谱。

量子点传感器的结构非常紧凑，面积低至几毫米，甚至亚毫米，在保证较高的分辨率和较大的测量宽带的同时，还具有优秀的环境适应性。量子点传感器加上稳定的光源后，就形成了量子点光谱悬移质泥沙监测设备。样品（待测水样）从入射光源和量子点传感器之间流过，其特征吸收即可被量子点传感器实时捕获。

B.3 算法原理

不同大小的颗粒对光线有散射作用，根据探测器在不同角度接收到的光散射信号强度，可推断出泥沙颗粒等效为球体后的粒径。假定泥沙颗粒的密度不变，就可以通过其颗粒粒径计算得到待测样品的含沙量。

市场上已出现很多依照此原理而制成的粒径测试仪等产品，能实现非在线的泥沙颗粒级配测试。而量子点光谱悬移质含沙量监测设备具有更小的设备体积、更强的环境稳定性，因此能实现含沙量的在线监测，以替代繁重的人工取样或复杂的现场直接测量设备。

此外，量子点光谱悬移质含沙量监测设备捕获的光谱数据是紫外-可见-近红外全波段光谱数据，在计算得到泥沙颗粒粒径的同时，还能根据其他波段的特征吸收排除木屑、气泡等干扰物，测试结果精度得到进一步提升。

附录 C

(资料性)

误差分析

C.1 误差统计方法

利用数理统计方法和公式，统计或估算各项比测误差。即将传统法测得独立分量结果近似真值。因光谱仪的 n 个独立测量值可看成是在不同的条件下测得的，分别统计点含沙量的相对误差、平均相对误差（或系统误差）、随机不确定度等指标。

C.2 样本统计参数

C.2.1 误差

误差的计算公式见公式（C.2-1）：

$$\Delta\delta = Y_{Ai} - Y_L \dots\dots\dots (C.2-1)$$

式中：

$\Delta\delta$ ——误差，单位为 kg/m^3 或 g/L ；

Y_L ——传统法横式采样器测得点含沙量结果，近似真值，单位为 kg/m^3 或 g/L ；

Y_{Ai} ——同一样本中量子点光谱仪推算点含沙量结果，单位为 kg/m^3 或 g/L 。

C.2.2 相对误差

相对误差的计算公式见公式（C.2-2）：

$$\delta Y_{Ai} = \frac{Y_{Ai} - Y_L}{Y_L} \times 100\% \dots\dots\dots (C.2-2)$$

式中：

δY_{Ai} ——相对误差，单位为 $\%$ 。

C.2.3 系统误差

平均相对误差又称相对偏离值或系统误差，其计算公式见公式（C.2-3）

$$\overline{\delta Y_{Ai}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta Y_i \dots\dots\dots (C.2-3)$$

式中：

$\overline{\delta Y_{Ai}}$ ——平均相对误差，单位为 $\%$ ；

n ——测次总数（或统计样本总数）；

i ——测次号。

C.2.4 随机不确定度

随机不确定度可按式（C.2-4）计算：

$$X'_Y = 2S_e \dots\dots\dots (C.2-4)$$

$$S_e = \left[\frac{1}{n-2} \sum \left(\frac{Y_{Ai} - Y_L}{Y_L} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (C.2-5)$$

式中：

X'_Y ——置信水平为95%的随机不确定度；

S_e ——实测点标准差。

附 录 E
(资料性)
系统检查登记表样例

表 E.1 站 量子点光谱泥沙监测系统检查登记表

序 号	检查日期	安装是否 牢固	传感器			电压 (V)		电缆(信号) 线检查	检查 意见	检查人
			光学 镜片	光谱 发生器	附件 检查	蓄电池	太阳 能板			

站单样含沙量比对测验记载表

取样: _____ 处理: _____ 月 _____ 日 _____ 一校: _____ 月 _____ 日 _____ 二校: _____ 月 _____ 日 _____

附录 G
(资料性)
标准样品检定

G.1 检出限

采用监测设备连续测试纯水样品7次以上，按照公式（G.1-1）计算标准偏差，则检出限可依照公式（G.1-2）计算：

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

式中：
S ——标准偏差；
n ——测试总次数；
x_i ——第*i*次测试的测量结果；
̄x ——*n*次测试的测量结果平均值。

$$LoD = 3S \dots\dots\dots (G.1-2)$$

式中：
LoD ——检出限；

G.2 准确度

采用SL 247—2020中5.3.5的方法确定精度。精度要求应符合本文件5.4的要求。

G.3 重复性

采用量程范围内的实际含沙水体，在（800~1000）r/min磁力搅拌条件下使用监测设备连续测试20次。根据公式（G.3）计算重复性：

$$RSD = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \dots\dots\dots (G.3)$$

式中：
RSD ——相对标准偏差，即重复性。