

光谱水质智能监测应用

白皮书 (2023)



目录

1

水质在线监测的 新时代背景

- 1.1 水质是国家水网安全的关键 1
- 1.2 水质监测行业面临诸多挑战 2
- 1.3 光谱在水质监测领域的应用 3
- 1.4 光谱智能监测确保国家水网
长制久安 4

2

光谱水质在线监测 的应用现状

- 2.1 建立光谱水质检测标准，指明行业
发展方向 6
- 2.2 建立光谱设备检验机制，保障行业
高质发展 7
- 2.3 建立光谱水质基础平台，夯实行业
发展土壤 7

3

光谱水质智能监测 解决方案

- 3.1 光谱水质智能监测方案架构 9
- 3.2 光谱水质智能监测关键技术 11

4

光谱水质智能监测 应用实践

- 4.1 深圳龙岗河光谱水质智能监测 14
- 4.2 洞庭湖光谱水质智能监测 15

5

未来展望

- 未来展望 16

6

编制说明

- 编制说明 18



第一章

水质在线监测的 新时代背景

1.1 水质是国家水网安全的关键

习近平总书记指出，水是生存之本、文明之源；必须牢固树立和践行绿水青山就是金山银山的理念，站在人与自然和谐共生的高度谋划发展。

2023年5月25日，中共中央、国务院印发《国家水网建设规划纲要》，是中国水利发展史、生态文明建设史上具有重要里程碑意义的大事。国家水网是以自然河湖为基

础、引调、排水工程为通道、调蓄工程为结点、智慧调控为手段，集水资源优化配置、流域防洪减灾、水生态系统保护等功能于一体的综合体系。加快构建国家水网，建设现代化高质量的水利、水务基础设施网络，统筹解决水资源、水生态、水环境、水灾害问题，是以习近平同志为核心的党中央作出的重大战略部署。

习近平总书记多次强调信息化对经济发展、社会治理的驱动引领作用，强化信息资源深度整合，打通经济、社会发展的信息“大动脉”。水网工程作为国家重大基础设施建设，投入多，影响大，在建设过程中以信息流带动技术流、资金流、人才流、物资流，促进资源配置优化，促进全要素生产率提升，对水网经济发展、社会精细治理起到引领性的作用。

水网智慧化是国家水资源配置、水生态保护、水环境治理、防洪减灾的强烈需求，是把握数字化、网络化、智能化融合发展的契机，是提升水资源、水生态、水环境、水灾害应对能力的重要手段。要推进互联网、大数据、人工智能等新一代信息技术同实体工程深度融合，才能推动水利水务、生态环

境的技术变革和优化升级，从而实现供水保障、生态维持、环境保护、防洪抗旱、发电航运和工程运行等水功能的全方位统筹。

水资源是国家水网的主体，是人类社会生存和发展的基础，水污染问题直接威胁到人民群众的健康和生活。水质在线监测是全面掌握水资源质量状况，构建水资源保护和水环境治理体系的重要手段。通过建立多参数水质在线监测系统，提升水质在线监测装备的技术水平和水体保障能力，及时、准确、全面、高效的反映水资源质量和水环境污染状况，满足数字化时代大规模水质监测和预警网络构建的核心装备需求，对国家水网建设产生重要的现实意义和巨大的社会经济效能。

1.2 水质监测行业面临诸多挑战

据生态环境部 2022 年生态环境状况公报，全国地表水监测有 3629 个国控断面，I-III类水质断面占比 87.9%。其中，长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河七大流域和浙闽片河流、西北诸河、西南诸河主要江河有 3115 个国控断面，I-III类水质断面占比 90.2%；开展水质监测的重要湖泊（水库）有 210 个，I-III类水质湖泊（水库）占比 73.8%。水质国控体系建设已相对完善。

随着国家水网等重大关键基础设施及数字中国、数字孪生等数字化转型项目的推

进，水资源、水环境治理能力提升，水利水务、生态环境监测在线监测能力不断增强，监测手段由传统的人工观测逐步转向在线的自动监测与人工巡测、驻测相结合的模式。在此期间，我国水利水务、生态环境监测行业取得了较大发展，但仍然存在如下不足。

（一）水质智慧化监测能力尚不完善

目前水质监测仍然以化学法、电极法为主，监测方法相对粗放，智慧化能力不够完善。由于监测设备感知速度慢、稳定性不高、集成化及智能化程度不足，投资及后期运维

成本高等问题，极大的限制了水质在线监测系统的广泛部署，导致水质监测在时间、空间、变速等维度存在较多“盲区”，无法及时捕捉到国家水网各节点的水环境变化趋势，水环境污染事件时有发生，对建设牢固的水网安全防线带来了极大挑战。

（二）水质监测数据价值未充分释放

基于水资源、水环境精细化治理能力提升的需要，除国控站外，水利水务、生态环境等行业主管部门各自独立建设了大量水质监测站点，这些水质监测站点采用的技术路线不一，监测指标、监测频次、监测质量有限，未能有效形成水质监测一张网。另外，水质监测数据共建共享的协作机制不够成

熟，未能实现水利水务、生态环境等行业主管部门监测数据的高质量共享，难以准确核算国家水网各节点的污染负荷，难以全面准确掌握国家水网的水质状况。

（三）水质监测技术手段较为单一

目前水质监测仍然以地面观测站为主，水质监测技术手段相对单一。由于受到监测设施装备智慧化水平及投资成本的限制，地面观测站网无法对国家水网实现全面有效覆盖，迫切需要发展多种监测方法，充分利用视频监控、无人机、遥感卫星等手段，集成紫外、可见光、红外、雷达、激光等多种传感器，形成空天地一体化的立体监测网络。

1.3 光谱在水质监测领域的应用

光是一种电磁波，通常的光波包括紫外光、可见光和红外光，波长范围在 $200\text{nm} \sim 50\ \mu\text{m}$ ，它是由原子和分子的电子跃迁、分子的震动或转动跃迁而产生的。根据量子理论，原子的外层电子跃迁、分子的外层电子跃迁、分子振动/转动会吸收或发射特定频率的光，通过测量其光谱、强度等信息可定性、定量分析物质的成分、结构等信息。这种研究物质的光谱辐射，或辐射与物质的相互作用，并以此为基础而建立的分析方法就成为光谱分析法。

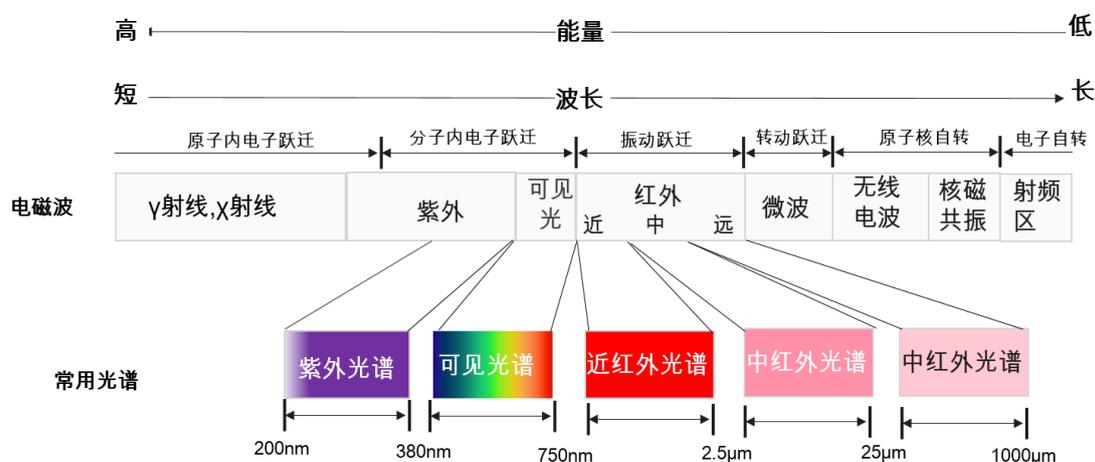


图 1-3 光波谱区及能量跃迁相关图

在 1665 年，牛顿利用一块三棱镜把白光分成了红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫七种颜色，开启了“光谱学”研究的先河。1814 年，德国物理学家夫琅禾费设计了包含狭缝、色散棱镜和观察镜的分光光学系统，用它来观察太阳光，并发现了太阳光谱中的吸收暗线夫琅禾费线。1859 年，克希霍夫和本森为研究金属的光谱，设计了世界上第一台结构完善的光谱仪器，同时也标志着光谱学的诞生。

光谱分析法被广泛应用于各种物质分析检测，例如元素成分，铁，钙，镁，磷，氮等和分子成分，甲烷，二氧化氮等。光谱分析已成为现代分析化学手段最多、应用最广泛、功能最强大的分析方法之一。由于光谱分析方法在定性、定量、结构分析方面有着优越的表现，已广泛应用于矿业、冶炼、能源化工、环境、生命科学、医学、食品、医药、环境、商检、空间探索等领域。在水质监测领域，光谱分析法被用于监测水中的

COD，总磷，总氮，叶绿素等多种物质成分；通过光谱法建立水污染特征指纹库，对污染进行溯源监测等。

光谱分析法分为吸收光谱，发射光谱，荧光光谱，散射光谱等多种方式。一般而言，在地面光谱水质在线监测系统中常用吸收光谱、荧光光谱等分析方法。

吸收光谱方法：基于水中物质对特定波长的光的吸收强度来检测物质成分和浓度。当一束平行单色光垂直通过某一均匀非散射的吸光物质时，其吸光度与吸光物质的浓度以及吸收层厚度成正比，满足 Lambert-Beer 定律。一般采用紫外-可见光吸收谱。

荧光光谱方法：基于水中物质受特定波长的光激发而产生特定波长的荧光来判断物质成分和浓度。一般情况下，采用三维荧光光谱，可以获得激发波长和发射波长同时变化的荧光强度信息。

1.4 光谱智能监测确保国家水网长制久安

光谱智能分析方法作为一种强有力的检测和分析技术，有着灵敏度高、检出限低、操作简便、分析速度快、选择性好、试样用量少、样品损坏少等优点。

（一）光物瞬时反应，分析速度快：检测的原理是光和物质的相互作用，反应速度快，分析时间在几秒到几分钟的时间。

（二）灵敏度高，选择性好：通过特征光谱的选择，测定化学性质相近的元素和化合物，检测精度可以到 ppm(10⁻⁶)、ppb(10⁻⁹)，甚至 ppt(10⁻¹²)级别。

（三）操作简便，无需对样品进行预处理：光谱分析方法检测的是光信号，很少或无需做特殊的制样，可以对待测物品直接原

位检测；同时也无需准备复杂的化学试剂。

（四）非接触、非侵入式监测，微损/无损：通过光谱实现非接触检测，对待测样品无损坏，实现无损检测。

由于光谱智能分析技术具备上述极简、智能的特点，可广泛用于国家水网的水

质在线实时监测系统的构建。基于国家水网的“纲”、“目”、“结”实现光谱智能分析设备的广泛部署，建立国家水网水质光谱指纹，全水体、全天候对水质变化进行监测预警，并可对水质问题进行快速溯源，可极大的提升国家水资源精细化管理水平，确保国家水网长制久安。



第二章

光谱水质在线监测的应用现状

2.1 建立光谱水质检测标准，指明行业发展方向

当前水质检测标准以化学法和电极法为主，但是随着新技术的蓬勃发展，光谱水质标准正在逐步引入。2007年，《水污染源在线监测系统验收技术规范（试行）》（HJ T354-2007）的行业标准发布，代表在线水质监测系统的起步。该标准首次定义在线水质监测，但是仅定义了6项指标，包括pH、化学需氧量COD、总有机碳TOC、紫外UV-

氯、氨氮、磷等；大部分指标采用传统检测方法，且一种传感器仅监测一个指标。2013年，《水环境监测规范》（SL 219-2013）的行业标准发布，水质在线监测指标扩展到19项，且首次引入光谱法。2019年11月，中国水利企业协会发布团体标准《光谱法水质在线监测系统技术导则》（TCWEC 13-2019），代表在线水质监测正式进入光谱时代，无序

发展的光谱水质在线监测行业在一定程度上实现了有据可依。该标准定义了 17 项可用光谱检测的基础指标，其中多个指标用光谱法取代了传统的检测手段。

但是，光谱水质检测标准仍然存在两个主要问题，极大的限制了光谱水质产业的发展。（1）当前光谱水质在线监测标准尚未在布点与采样、检测技术路线、检测规程、监

测设备技术规格、监测数据处理等方面做出详细规定，从而导致光谱水质在线监测系统的验收标准不统一，无法引导光谱水质在线监测产业的健康有序发展。（2）当前光谱水质检测标准尚停留在团体标准，未上升到行业标准、国家标准层面，导致既有标准的约束力有限，无法实现全产业链条的“力出一孔”。

2.2 建立光谱设备检验机制，保障行业高质发展

2017 年 5 月，水利部发布《国家水资源监控能力建设项目地表水饮用水水源地水质在线监测技术指南》，对水质在线监测系统的建站标准、建站流程、查勘与选址要求、建设技术要求、检验和测试、运行和维护都做出了详细规定，在系统功能、信号与接口、监测频次、结构要求、供电要求、防护要求等方面都做出了具体约束。

但是，光谱水质技术路线与化学法、电极法有着本质的不同，光谱水质技术在设备的小型化、集成化、智能化等方面具有电化学方法无可比拟的优势，并能够结合物联网、云计算、大数据和人工智能等技术实现设备准确性、鲁棒性、适应性等质量参数的

持续优化提升，同时软件定义设备的方式也带来了设备后期运维模式的变革，传统的设备检验机制已无法满足智能化时代光谱水质在线监测设备的要求。

通过建立光谱设备检验机制，一方面，对光谱设备本身的系统功能、设备性能等方面做出明确规定，引导光谱设备产业链上下游实现器件的标准化、集成对接的标准化以及安装调试的标准化，持续提升器件的竞争力、整机设备的质量水平以及系统工程建设和运维效率；另外一方面，有利于高质量光谱样本数据的积累，利用云化的软件算法定义硬件设备，充分释放数据价值，持续提升水质在线监测系统的智能化水平。

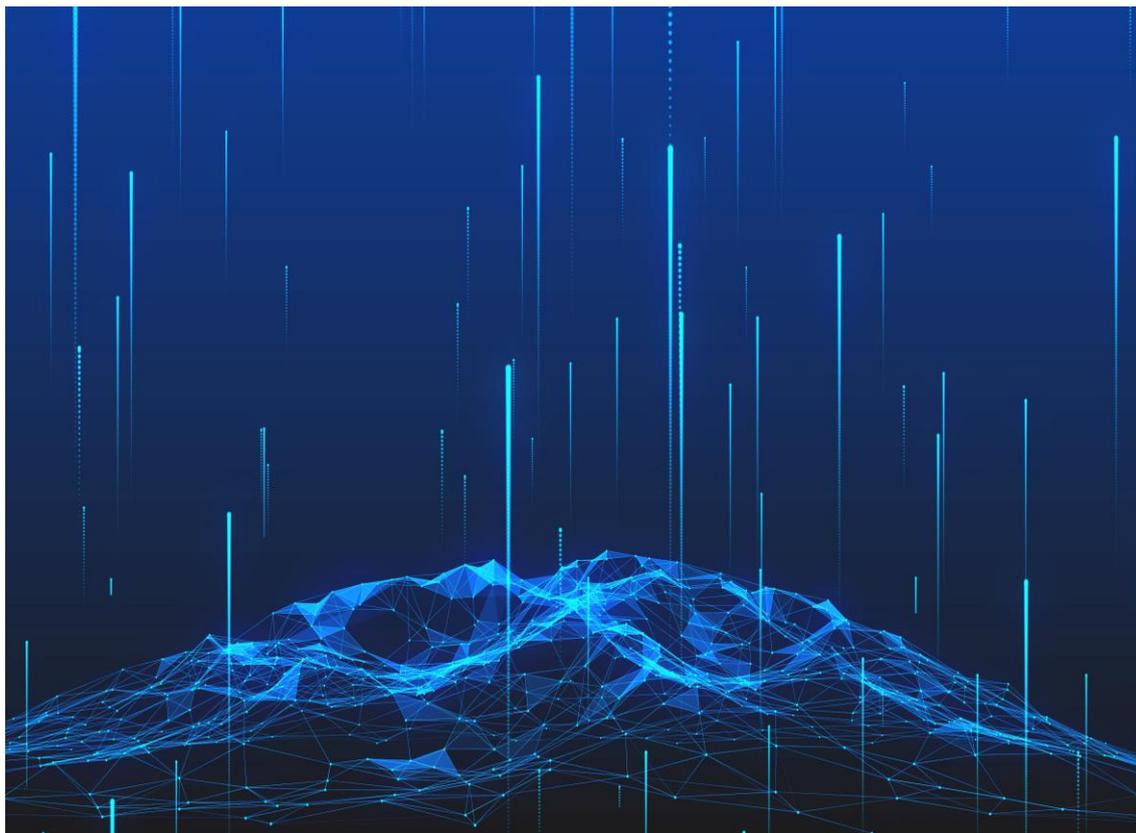
2.3 建立光谱水质基础平台，夯实行业发展土壤

目前光谱水质在线监测发展尚处于初级阶段，光谱水质在线监测系统厂商各自为

战，独立收集水质光谱数据和浓度参考值，基于获取的样本数据建立对应的水质光谱

算法模型。光谱水质采集设备、数据、算法模型对于水利水务行业主管部门、生态环境行业主管部门、权威计量部门、其他系统厂商而言，都以“黑盒”的形式存在，导致出现如下问题：（1）水质光谱数据集的准确性不能保证；（2）算法模型的有效性无法评估；（3）设备、数据、算法模型的问题难以定界；（4）“烟囱式”的水质光谱样本数据集限制了光谱水质行业的可持续发展。正因为上述问题的存在，光谱水质在线监测行业始终处于低水平重复竞争状态，无法突破现有发展瓶颈。

在此背景下，建立多维度的光谱水质基础平台，夯实光谱水质在线行业高质量发展的“黑土地”成为了当务之急。（1）建立权威的光谱水质数据平台，提供水利水务业、生态环境等行业主管部门、权威计量部门认可的水质光谱数据集，覆盖国家水网“纲”、“目”、“结”的关键节点；（2）建立可共建共享的算法模型平台，供各厂商开发自己的算法模型，支持算法模型的测试评估和交易计费，促进算法模型的高水平发展；（3）光谱水质在线监测平台要求软硬解耦，明确软件、硬件的平台边界，促使光谱水质在线监测向云化、智能化、软件可定义的方向发展。



第三章

光谱水质智能监测

解决方案

3.1 光谱水质智能监测方案架构

光谱水质智能监测系统采用软硬解耦、端云协同的架构，从而更好的支持光谱水质在线监测行业的可持续发展。

软硬解耦：通过软硬解耦的架构，明确软件、硬件的边界，实现光谱水质行业的专业化分工：
(1) 光谱硬件厂商聚焦光源组件、光路、光谱探测器等核心部件的精益制造；(2) 光谱水质硬件集成商聚焦高质量、高可靠、广泛适用的光谱数据采集和终端设备的制造；(3) 算法厂商专注光谱算法模型的研究和创新。

端云协同：通过端云协同的架构，有利于光谱水质在线监测行业向智能化方向发展：（1）实现大批量水质光谱数据集的高效管理、光谱算法模型的快速迭代更新；（2）实现水质光谱数据集、光谱算法模型的共建共享。

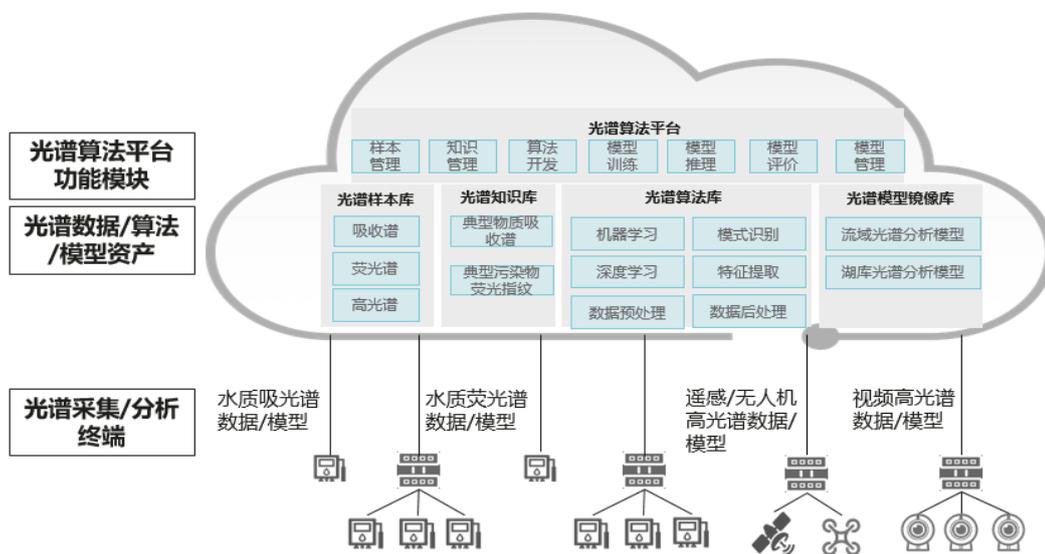


图 3-1 光谱水质智能监测系统架构

光谱水质智能监测系统架构主要包含三层：（1）光谱采集及分析终端层；（2）光谱数据、算法、模型资产层；（3）光谱算法平台功能层。其中，光谱采集及分析终端主要包含紫外-可见光吸收谱终端、荧光谱终端以及遥感、无人机、视频等高光谱数据采集及分析终端。本文重点阐述地面观测站的水质吸收谱、荧光谱方案；水质高光谱会在未来展望中有所提及。

云上以水质光谱数据、算法、模型能力的建设为主。在数据方面，构建广泛的样本库和典型的知识库，例如流域、河流、水库等各级水网管理对象在不同时段、不同场景下的水质光谱样本库；印染废水、造纸废水、电子废水、金属制造废水等典型污染物的荧光指纹库等。在算法方面，充分利用 scikit-learn 等传统机器学习算法库、

Pytorch、MindSpore 等深度学习框架以及基于先验知识的模式识别算法等。在模型构建方面，基于水质光谱样本库、先验知识库，结合数据预处理、特征提取、回归等算法，构建符合该水网管理对象水质数据特征的小模型镜像，并支持向统一的水质光谱大模型方向发展。

终端侧以硬件能力建设为主，支持大批量高标准、高质量的水质光谱数据获取。一方面，持续提升硬件的精确度、可靠性，可应对较为恶劣的自然环境；另外一方面，持续提升硬件的布点密度，针对低成本紫外-可见光谱设备、荧光谱设备，可在水网各级管理对象实现大面积部署；针对成本相对较高的高光谱设备，例如摄像头、无人机和卫星，可作为水质光谱数据的有效补充。

3.2 光谱水质智能监测关键技术

光谱水质智能监测系统的核心是基于高标准的光谱采集设备获取高质量的光谱数据,建立各种类型的光谱与水中物质成分浓度的回归模型。

(一) 高标准的光谱采集设备

光谱采集设备需要满足如下要求:(1)光源发光稳定可靠,具备可重复性、一致性;(2)光路实现光线的精准控制和定向;(3)光谱探测器具备较高的分辨率和信噪比,能够捕捉高质量的光谱信息。

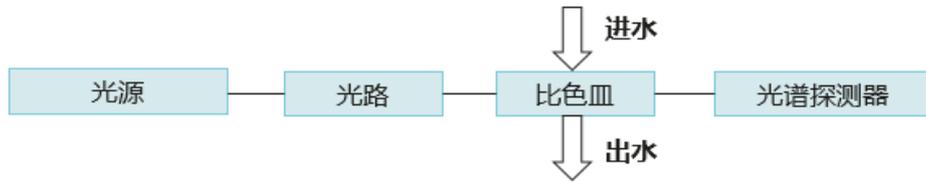


图3-2-1 水质光谱采集设备架构

(二) 高质量的光谱样本数据集

联合水利水务、生态环境等行业主管部门构建广泛代表国家水网水质特征的高质量光谱样本数据集。

水质紫外-可见光谱样本数据通常是一段连续波长的光的吸收度。如果是带标签的样本数据,通常还有对应的COD、TP、TN、叶绿素等水中物质成分的浓度。假定有 m 组样本,每个样本有 n 个发射波长的吸收度,则紫外-可见光吸收谱的样本数据格式如下。

样本批次	紫外可见光谱吸收度				物质浓度参考值			
	λ_1	λ_2	...	λ_n	COD	TN	...	TP
1	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	...	$x_{1,n}$	$y_{1,cod}$	$y_{1,tn}$	...	$y_{1,tp}$
2	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	...	$x_{2,n}$	$y_{2,cod}$	$y_{2,tn}$	...	$y_{2,tp}$
...
m	$x_{m,1}$	$x_{m,2}$	...	$x_{m,n}$	$y_{m,cod}$	$y_{m,tn}$	...	$y_{m,tp}$

图3-2-2 紫外可见光谱数据样本格式

水质荧光光谱样本数据通常是一个 $m \times n$ 的矩阵, m 是连续的激发波长的数量, n 是连续的发射

波长的数量，矩阵中的值为水中物质成分在某个激发波长下对应某个发射波长的发光强度。如果是带标签的样本数据，通常还有对应的 COD、TP、TN、叶绿素等水中物质成分的浓度。假定有 p 个样本，则荧光光谱样本数据格式如下。

		荧光谱发射强度				物质浓度参考值		
激发波长	发射波长	λ_1	λ_2	...	λ_n	COD	TN	... TP
	λ_1^*		$x_{1,1}$	$x_{1,2}$...	$x_{1,n}$	$y_{1,cod}$	$y_{1,tn}$	... $y_{1,tp}$
λ_2^*		$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	...	$x_{2,n}$		
...				
λ_m^*		$x_{m,1}$	$x_{m,2}$	...	$x_{m,n}$		

图3-2-3 荧光光谱数据样本格式

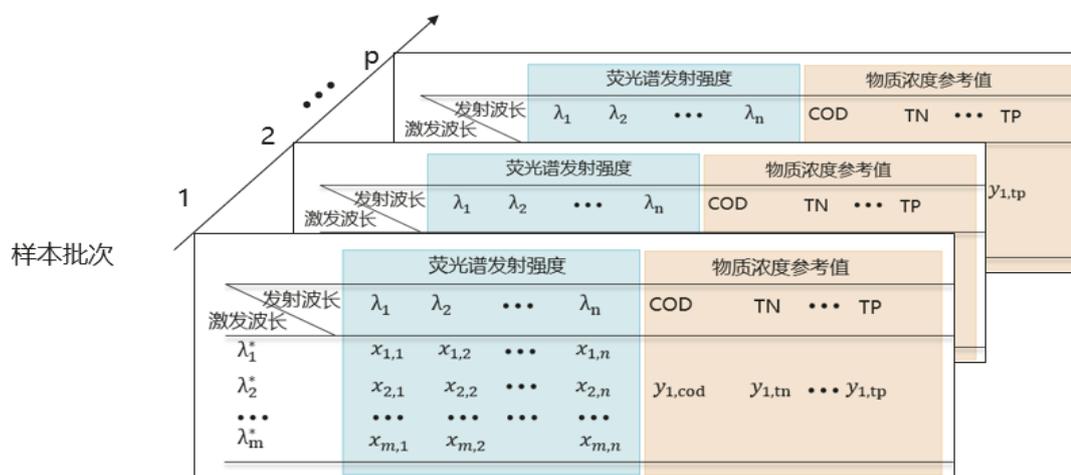


图3-2-4 p 个荧光光谱样本

(三) 智能化的计算模型

传统的光谱与水中物质成分浓度的计算模型主要是机器学习模型、机器学习模型的组合，例如支持向量回归 SVR、偏最小二乘 PLS、最小二乘支持向量机 LSSVM 等，或者基于上述算法的组合衍生出的 AP-LSSVM 等。

深度学习及大模型技术的发展给水质光谱回归模型的构建带来了新的启发，主要有如下方面：**(1) 多模态技术**。每个水质样本的紫外-可见光吸收谱数据是一个 n 维的向量， n 是连续的发射波长的数量；荧光光谱数据是一个 $m \times n$ 维的矩阵， m 是连续的激发波长的数量， n 是发射波长的数量。如何融合两种不同模态的光谱数据得到更优的回归效果是一个重要的研究方向；**(2) 自适应模型寻优技术**。水质光谱回归模型包含传统机器学习回归、BP 神经网络框架、CNN 框架或者其他大模型的相关回归框架。如何基于样本数据选择最优模型，充分利用各个模型框架的优势也是一个重要的研究方向；**(3) 基于小样本的增量学习技术**。在已经构建的统一光谱回归模型

的基础上，基于当前水网管理对象的小样本水质光谱数据实现模型的快速校正；**(4) 自监督学习技术**。在当前无法获取大量带标签的光谱数据样本的情况下，通过自监督学习技术掌握大量水网节点的光谱特征，再结合小样本增量学习技术，利用少量的带标签样本构建光谱特征与水中物质浓度的回归关系。



第四章

光谱智能监测

应用实践

4.1 深圳龙岗河光谱水质智能监测

龙岗河流域位于深圳市东北部，发源于梧桐山北麓，以降雨水源补给为主，河流含沙量较少，流经龙岗区的横岗、龙岗、龙城、坪地，坪山区的坑梓街道，在坑梓街道吓陂村附近进入惠州市。龙岗河沿岸工业发达，人口密集，在历史发展中，经历了工业化初期由绿变黑，再到现如今重现清流的过程。为了持续巩固治水提质的成效，广东省深圳生态环境监测中心站在坪山区吓陂路 37 号东北 60 米处设置了龙岗河水站，对龙岗河的水质进行在线监测。

广东省深圳生态环境监测中心站在传统水质在线监测系统的基础上，持续探索水质在线监测新技术，在龙岗河水站部署了光谱水质在线监测系统，使用吸收谱、荧光特征融合技术对水

质进行多光谱实时在线监测，取得了良好的效果。以传统水质在线监测手段作为参考，多光谱实时在线监测的 COD 通过率为 96%，平均相对误差为 13.52%，平均相对偏差为 3.42%；TN 通过率为 96%，平均相对误差为 7.70%，平均相对偏差为 2.18%；TP 通过率为 92%，平均相对误差为 13.41%，平均相对偏差为 4.96%。

4.2 洞庭湖光谱水质智能监测

洞庭湖水域辽阔，面积超过四千平方公里，是长江中游洪水重要调蓄场所和重要湿地，被誉为“长江之肾”。2018年4月25日，习近平总书记在洞庭湖考察时殷切嘱托“守护好一江碧水”。受自然演变特别是泥沙淤积影响，洞庭湖呈萎缩之势，并产生调蓄能力减弱、湿地生态衰退、水源涵养不足等问题。湖南省委、省政府高度重视洞庭湖生态疏浚工程。2022年3月湖南省政府召开专题会议研究部署洞庭湖生态疏浚系统治理工程建设，组建洞庭湖生态疏浚工程协同推进工作专班，并多次专题研究调度。2023年6月28日，洞庭湖生态修复试点工程在黑泥洲正式启动。

洞庭湖黑泥洲生态修复试点工程依托西高东低地形开展同坡降整体式降洲，结合生态环境提升、洲边河道航道防护措施，形成3处生态湖及整片生态浅洲，修复面积14.29平方公里。由于该工程是一项极为重要的系统工程，涉及范围广，对生态修复工程方案、施工工艺要求高。为了实时监测该工程实施过程对洞庭湖水生态、水环境的影响，湖南省水利水电勘测规划设计研究院有限公司在施工影响区域部署光谱水质在线监测系统，对施工段水质进行实时在线监测，一旦发现水质恶化情况，及时预警，并采取应对措施，改进施工工艺。光谱水质在线监测系统可以免除每周现场维护及补充更换化学试剂的工作，非常适合偏远地区的水质实时在线监测和预警。



第五章

未来展望

水质在线监测事关国家水网长制久安。准确、及时、全面地获取国家水网水质现状及发展趋势，对水资源管理、饮用水安全和河湖生态环境治理等都具有重要意义。

随着水利水务、生态环境业务需求的多样化和应用场景的复杂化，传统的监测分析方法普遍存在手段单一、分析定向的局限性，无法满足国家水网建设和水质监测业务的发展需求。光谱水质智能监测技术作为水质监测的重要支撑，当前尚处于发展的初级阶段，但是光谱水质智能监测技术因其具备高精度、低成本、实时在线、大数据、智能化等特点，在国家水网数字化转型的大背景

下会出现爆发性发展。未来，光谱水质智能监测技术会转向多源多模态光谱大数据的集成和分析。通过融合不同的监测手段生成广泛的样本数据库，结合人工智能和大数据分析技术构建水质光谱智能分析大模型，从而为国家水网建设提供低成本、高质量的水质在线监测分析能力。

（一）建立“五基”协同的立体监测体系

“五基”协同立体监测体系综合运用天基卫星、空基遥感、航空无人机、移动巡护监测车和地面观测设备等五种监测手段，集成紫外、可见光、红外、雷达、激光等多种

传感器，具备多手段、多源多模态数据的协同监测及应用能力，实现对国家水网重点区域、重点目标的高精度、短周期协同监测，可有效弥补传统监测手段在监测时效、精度、周期等方面的短板，充分发挥每一种监测平台和技术特点的优势，构建星地协同、五位一体的立体监测评估技术体系和应用能力，从而为国家水网水质在线监测和溯源提供技术支撑。

（二） 建立实时监测预警和数据共享机制

未来的光谱水质智能监测系统将充分结合物联网和大数据技术，实现对国家水网水质的实时监测预警和智能分析。通过“五基”协同立体监测体系建设，实现多源多模态的水质光谱数据实时收集，并利用智能分析算法进行实时监测分析和预警。系统一旦检测到异常情况或污染事件，可立即发出预警，以便及时采取应对措施。通过制定数据共享标准，建立统一的光谱水质大数据平台，不同机构和研究者可以共享水质光谱数据，加快科学研究和技术创新的进程。通过数据共享机制的建设有助于形成更广泛的合作网络，推动光谱水质智能监测产业的发展和深度应用。

（三） 提升在线监测的自动化和智能化水平

充分利用实时在线、泛在极简的光谱数据采集设备，结合机器学习、深度学习和大模型技术，实现大量水样的实时在线高效处理和分析，显著提高水质监测的精度和效率，并大幅降低人力成本。同时，联合物联网、云计算、大数据、人工智能等相关技术，持续构建具有数据采集、数据处理、数据可视化、智能分析和决策等能力的水质光谱智能化分析体系，利用光谱水质技术对水质中多种化学物质的全谱段监测和评估，对国家水网不同水域、水体开展差异化管理，制定针对性的保护措施和管理策略，提高发现和应对水质问题的能力，支撑国家水网高质量发展。

在国家数字化转型及人工智能技术跨越式发展的大背景下，光谱水质智能监测在未来将发挥越来越重要的作用，为国家水网建设和运营提供可靠的数据支持和决策依据。通过可持续的系统化技术创新和应用推广，光谱水质智能监测有望成为水质监测和评估的关键技术之一，为建设清洁、安全、高效的国家水网做出积极贡献。