船载海洋调查装备数据质控系统构建与实践应用

龚旭东[1]，栾振东[1,2]，姜金光[1]，孙宇峰[1]

（1. 中国科学院海洋研究所工程技术部　青岛　266000；2. 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室　青岛　266000）

摘要：船载海洋调查装备获取的观测数据是海洋资源勘探、生态环境监测及海洋科学研究的重要基础，其数据质量直接决定调查成果的可靠性与应用价值。然而，传统数据质控模式存在标准碎片化、人工依赖度高、时效性不足等突出问题，难以满足现代海洋调查对数据高精度、高效率、高可靠性的核心需求。为此，文章以船载调查装备原始观测数据的全流程异常判别和质量闭环管控为目标，在构建“要素—标准—流程”三维质控技术框架的基础上，突破全链条可视化质控和无干预自动化关键技术，研发“实时＋定时”双模式智能质控系统，推动质控模式由“事后纠错”向“实时智能管控”的根本性转型。该系统已在“科学”号科考船近20个科考航次中成功示范应用，现场设备的异常检出率超89%，人工质控耗时降低90%以上，质控时效从航后数天压缩至实时/定时小时级。研究成果为船载海洋调查装备数据的高质量采集和可靠应用提供技术支撑，也为船载海洋调查装备智能化升级奠定基础。

关键词：船载海洋调查装备；数据质控；智能质控系统；全链条可视化；闭环管控

中图分类号：P716；TP274　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1005-9857（2026）06-0023-12

Construction and Practical Application of a Data Quality Control System for Shipborne Marine Survey Equipment

GONG Xudong[1]，LUAN Zhendong[1,2]，JIANG Jinguang[1]，SUN Yufeng[1]

（1. Department of Engineering and Technology，Institute of Oceanology，Chinese Academy of Sciences，Qingdao 266000，China；2. Key Laboratory of Marine Geology and Environment，Institute of Oceanology，Chinese Academy of Sciences，Qingdao 266000，China）

Abstract：Observation data acquired by shipborne marine survey equipment serve as a critical foundation for marine resource exploration，ecological environment monitoring，and marine scientific research．The quality of these data directly determines the reliability and application value of survey outcomes．However，the traditional data quality control（QC）model has long been plagued by prominent issues，including fragmented standards，heavy reliance on manual operations，and poor timeliness，which renders it incapable of meeting the core requirements of modern marine surveys for high precision，high efficiency，and high reliability of data．To address these issues and achieve

收稿日期：2025-11-28；**修订日期：**2026-06-10

基金项目：国家发展改革委“海洋科学综合考察船仪器设备更新改造”项目（E5LZZ10801）.

作者简介：龚旭东，高级工程师，硕士，研究方向为海洋调查数据智能化处理与质控

通信作者：栾振东，正高级工程师，研究方向为深海探测技术及装备研发

full-process anomaly identification and closed-loop quality management and control of raw observation data from shipborne survey equipment, this study establishes a three-dimensional QC technical framework based on "element-standard-process". It breaks through the key technologies of full-chain visual quality control and non-intervention automation, and develops an intelligent QC system featuring "real-time + scheduled" dual modes. This achieves a fundamental transformation of the QC model from post-hoc error correction to real-time intelligent management and control. The system has been successfully demonstrated and applied in nearly 20 scientific research cruises aboard the Research Vessel Kexue. Field tests show that the error detection rate for on-site equipment reaches over 89%, the time required for manual QC is reduced by more than 90%, and the QC timeliness is shortened from several days post-voyage to real-time or hourly scheduled intervals. The research findings provide technical support for the high-quality acquisition and reliable application of data from shipborne marine survey equipment, and lay a solid foundation for the intelligent upgrading of such equipment.

Keywords: Shipborne marine survey equipment; Data quality control; Intelligent quality control system; Full-chain visualization; Closed-loop management and control

0 引言

随着海洋强国建设的深入推进，船载海洋调查装备作为海洋综合科考的核心载体，已实现导航定位、水文气象、地质地球物理等多领域的全覆盖应用。其直接获取的数据是海洋科学研究、资源评估与海洋管理决策的基础，而数据质量直接决定了科研结论的科学性与应用决策的合理性[1-2]。当前，核心船载海洋调查装备类型达 10 余种，涵盖温盐深仪（Conductivity, Temperature, Depth, CTD）、声学多普勒流速剖面仪（Acoustic Doppler Current Profiler，ADCP）、多波束、海洋重力 / 磁力仪等。不同装备数据采集原理差异大、输出格式异构、质控指标各有侧重[3]，且船载装备作业处于动态海洋环境中，数据易受设备状态、海洋环境、操作规范等因素影响产生异常，给质控工作带来极大挑战[4-6]。

传统船载海洋调查装备数据质控以航后集中核验为核心，依赖人工抽检完成数据校验，存在三大突出问题：一是标准碎片化。不同类型数据、不同航次的质控指标与流程缺乏统一规范，数据可比性差[3,7-8]。二是人工依赖度高。不仅效率低下，还易因主观判断与随机抽检产生误差[9]。三是时效性不足。数据偏差无法在作业现场及时发现，易导致偏差传导扩散，甚至造成后续作业无效[10-11]。这些问题严重影响了调查数据的可靠性与应用效率，亟须构建标准化、智能化的新型质控体系。

为此，本文基于船载海洋调查装备数据的采集特征与质控需求，以船载装备直接获取数据的异常识别为核心，通过三维质控框架构建、全链条技术突破和双模式系统开发，研发船载海洋调查装备数据智能质控系统，推动船载装备数据质控模式的根本性转变。同时，通过"科学"号科考船实际航次应用验证了系统的有效性与实用性，为船载海洋调查装备数据质控技术的发展提供了新的解决方案。

1 船载海洋调查装备数据质控系统构建

本文以船载调查装备原始数据为质控对象，针对 11 类核心船载装备建立"要素—标准—流程"三维质控技术框架。在此基础上，突破全链条可视化与无干预自动化关键技术，研发"实时 + 定时"双模式智能质控系统，实现对船载装备数据异常的精准高效识别与质量闭环管控。

1.1 "要素—标准—流程"三维质控技术框架的建立

针对传统船载调查装备数据质控存在的标准碎片化问题，本文通过提炼各装备数据的差异化质控要素、构建多维度质控标准、研发统一数据解析技术，最终形成覆盖核心船载装备数据、全流程作业环节的标准化技术框架，为各类装备数据的异常识别提供坚实的基础技术支撑。

1.1.1　质控要素提炼

为精准定位各类船载装备数据的质控重点，本文系统梳理了 11 类核心船载调查装备的采集原理、作业场景与数据特征，结合船载装备动态作业的复杂环境特点，提炼了 90 余项差异化关键质控要素，以精准覆盖不同类型船载装备数据的质控重点（表 1）。同时，针对船载装备联合作业的特性，对存在数据匹配需求的装备［如投放式声学多普勒海流剖面仪（LADCP）与 CTD］，额外增加了跨装备数据协同质控要素，有效解决了多装备联合作业场景下数据异常的交叉判断难题。

表 1　核心调查数据关键质控要素

Table 1　Key quality control elements for core survey data

数据类型	关键质控要素
导航定位数据	卫星颗数、数据精度、差分信号质量、坐标数据质量
CTD 数据	标定信息、设备工作状态、有效站位信息、采集要素及采集数据质量
ADCP 数据	盲区大小、深度单元数量和大小、流速、流向、好数据率、相关系数、回波强度、垂向速度误差、安装偏差
LADCP 数据	除 ADCP 质控要素外，还需关注底跟踪数据质量、设备姿态、对应 CTD 及 ADCP 数据的时间匹配
SBE21 数据	采样间隔、标定信息、设备工作状态、采集要素及采集数据质量
自动气象站数据	风、温、湿、压等采集要素数据质量
多波束数据	船速、偏航距、定位、姿态、航速、航向、表面声速、激发能量、波束角度、有效波束数、覆盖宽度、水深数据质量、交点闭合差
浅剖数据	设定船速、偏航距、定位、姿态、声速、水深、激发能量、增益、子波类型、滤波、记录延迟、记录长度及剖面数据质量
海洋重力数据	船速、偏航距、定位数据、相对重力值质量、交点闭合差
海洋磁力数据	船速、偏航距、定位、信号强度、信号质量、观测磁场强度质量及其抖动度、拖鱼沉放深度、交点闭合差
多道地震数据	船速、偏航距、定位、废炮、坏道、设备同步、最小偏移距、单炮及剖面质量

1.1.2　质控标准定义

针对传统质量控制存在指标界定模糊、缺乏统一量化标准的局限性，本文结合船载调查装备原始采集数据的各类异常特征，构建了“设备状态—参数设置—数据完整性与合理性—作业合规性”多维度质量控制标准体系。其中，设备状态层聚焦标定日期、出厂编号等装备全生命周期信息的核验；参数设置层侧重核查设备工作参数配置的合理性；数据完整性与合理性层在统计数据缺失率、有效数据占比的基础上，依托阈值校验与指标计算实现异常识别及质量评价；作业合规性层通过还原现场作业流程，核查实际操作是否符合作业规程要求。该体系为各维度质控标准制定了可量化阈值指标与规范化判定准则，能够实现船载调查装备数据异常的精准识别，从数据源头消除人工主观判定产生的偏差，有效保障质量控制结果的客观性与准确性。

1.1.3　质控流程规范化

船载海洋调查装备原始数据呈现显著的异构化特征，数据格式繁杂多样、兼容性差（表 2），解析处理存在较大困难。为此，本文依据船载装备原始数据格式说明，开发了专属解析插件，以实现多型号、多格式船载装备数据的标准化解析。基于数据解析结果，建立了“船载装备数据采集—传输—解析—异常核验”全流程闭环管控流程，实现核心类型装备数据统一接入、自动化解析、无断点流转与标准化质控，为后续自动化判异、可视化呈现、双模式质控运行提供底层技术支撑，彻底解决传统质控流程碎片化、人工介入多、数据衔接差等问题。

1.2　全链条可视化质控与无干预自动化技术突破

为直观呈现质控结果，全面提升质控效率，本文突破了全链条可视化质控和无干预自动化运行两

表 2 核心船载海洋调查装备数据格式

Table 2 Data formats for core shipborne ocean survey equipment

序号	数据类型	数据格式
1	导航定位数据	.RAW
2	CTD/ 温盐仪（SBE21）数据	.HEX/.XMLCON
3	ADCP 数据	.ENR/.LTA/.STA
4	LADCP 数据	.000
5	自动气象站数据	.TXT
6	多波束数据	.XSE/.WCIXSE/.S7K
7	浅剖数据	.SEG/.RAW/.JSF
8	多道地震数据	.SEGY/.SEGD
9	海洋重力数据	.TXT
10	海洋磁力数据	.TXT

大关键技术，以此构建更加完备的质量控制体系。

1.2.1 全链条可视化质控

围绕多维度质量控制标准，构建装备全生命周期追溯、作业过程监控、数据质量图件三大可视化单元，依托结构化表格、时序变化曲线、平面图谱等直观载体，实现质控内容可看、可查、可溯，并支持异常点位精准定位。同时，结合原始观测数据与衍生计算结果开展多要素联动可视化呈现，为数据异常诱因的快速研判分析提供支撑。

（1）装备全生命周期信息追溯可视化

系统将船载装备传感器出厂、标定、运维等全生命周期原始记录数据转化为结构化表格，并以状态标签进行可视化呈现。同时，系统自动核验标定有效性，对临期 / 超期传感器进行即时预警，从硬件源头保障数据可靠性（表 3）。

表 3 装备全生命周期信息追溯可视化内容与功能详情

Table 3 Details of visual contents and functions for information traceability in the whole life cycle of equipment

可视化内容	呈现形式	质控标准维度	核心功能
传感器出厂编号、标定日期	结构化表格	设备状态层	快速核验传感器身份与基础信息
标定有效期、剩余有效时长	状态标签（绿 / 黄 / 红）	设备状态层	临期 / 超期标定自动预警

（2）作业过程动态监控可视化

基于作业参数、时空定位、运行姿态等原始采集数据，经阈值校验、时空匹配、指标计算后，转化为可视化表格或图谱。参数超标、不合格作业自动高亮显示，直观监控作业全环节（表 4）。

（3）数据质量专属图件可视化

针对 11 类船载海洋观测装备，基于原始采集数据，经指标计算、曲线拟合、联动渲染等处理，生成适配各装备的专属时序曲线、联动渲染图、多指标对比面板等质控图件。通过多要素联合可视化，直观呈现数据缺失、波动、超差、漂移、失真、失效等异常现象，实现异常点位实时标记与历史回溯，快速判别异常诱因，保障各装备观测数据的可靠性、完整性与有效性（表 5）。

表 4 作业过程动态监控可视化内容与功能详情

Table 4 Details of visual contents and functions for dynamic monitoring of the operation process

可视化内容	呈现形式	质控标准维度	核心监控指标
作业参数配置	结构化表格 / 时序变化曲线	参数设置层	声速、采样率、激发能量等阈值合规性
船速、偏航距	时序变化曲线	作业合规性层	船速、偏航距达标率
航迹	平面图谱	数据完整性与合理性	数据缺失率
姿态信息	时序变化曲线	作业合规性层	设备姿态是否满足作业要求
跨装备时间匹配度	结构化表格	作业合规性层	时间匹配误差

表 5　数据质量专属图件可视化内容与功能详情

Table 5　Details of visual contents and functions for exclusive data quality maps

装备类型	核心质控图件	可视化形式	典型异常类型	核心质控作用
导航定位	卫星颗数、差分信号状态、坐标精度曲线	单指标时序变化曲线	差分信号丢失、定位精度超标、卫星失锁	快速判定定位数据可靠性
CTD	温 / 盐 / 深等要素曲线、双探头温盐差值曲线、TS 对比图	多曲线联动渲染	传感器漂移、数据超差、采集中断、温盐失配	精准识别水文数据异常，保证剖面数据质量
SBE21	温度、盐度、压力等采集要素曲线	单指标时序变化曲线	数据中断、数值突变、传感器零点偏移	核验采集要素完整性，识别单点 / 连续数据异常
ADCP	流速 / 流向、好数据率、相关系数、回波强度曲线	分布曲线 + 二维剖面伪彩图	流速超差、底跟踪失效、数据缺失、回波异常	核验海流数据有效性，筛选有效流场信息
LADCP	流速 / 流向、垂直速度、好数据率、相关系数、底跟踪质量曲线	分布曲线 + 二维剖面伪彩图	流速超差、数据缺失、底跟踪失效、层位异常	核验下放式海流数据有效性，确保剖面流场精度
自动气象站	风速 / 风向、气温、湿度、气压连续性及波动范围曲线	连续时序曲线	数据中断、数值突变、采集失效、极值异常	保障气象观测数据完整连续，识别无效气象值
多波束	有效波束数、覆盖带宽、水深值、交点闭合差曲线	分布曲线 + 二维剖面伪彩图	有效波束不足、水深异常、覆盖缺失、闭合差超限	把控水深测量精度，确保地形测绘数据可靠
海洋重力仪	相对重力值波动曲线、交点闭合差	连续时序曲线	数据中断、数值突变、采集失效、重力值漂移	识别环境 / 设备干扰导致的异常，保障重力数据准确
海洋磁力仪	总磁场强度、信号质量、信号强度、抖动度、交点闭合差	连续时序曲线	数据中断、数值突变、采集失效、磁场信号干扰	识别环境 / 设备干扰导致的异常，保障磁力数据准确
浅地层剖面仪	地层剖面、记录延迟曲线	时序变化曲线 + 波形图	地层失真、记录延迟异常、噪声干扰	直观判断剖面数据质量，识别地层剖面异常
多道地震系统	废炮 / 坏道统计、同步性、震源压力、最小偏移距	统计表格 + 波形图	废炮 / 坏道超标、干扰噪声、震源压力不足、设备不同步	快速筛查无效地震数据，保障地震资料可用性

1.2.2　无干预自动化运行技术

基于自主研发的船载装备原始数据智能解析算法与专属异常判断模型，系统支持对 11 类船载调查装备数据格式的兼容适配，构建了“船载装备数据接入—解析—异常判断—预警—报告”全流程无人工干预运行机制。该机制具备以下特征：①自动对接。系统可直接与船载调查装备的采集终端对接，实现原始数据的自动接入；②自动解析。通过各装备专属解析插件，实现异构数据的自动化结构化解析，解析结果自动进入异常判断环节；③自动判异。嵌入各设备四层质控标准与异常判断模型，实现数据异常的自动化识别、分级与预警；④自动归档。质控完成后，系统自动完成数据、异常记录、质控报告的分类归档，形成船载装备数据质控全流程档案，支持后续溯源查询。该技术一方面规避了人工抽检的随机性误差，实现了船载装备数据的全量质控；另一方面解决了跨航次、跨设备质控标准不统一的问题，确保了船载装备数据异常判断结果的一致性与可靠性。

1.3　“实时 + 定时”双模式智能质控系统研发

依托三维质控技术框架、全链条可视化质控和无干预自动化技术，笔者开发了“科考船航次数据质控系统”（图 1、图 2），创新构建了双模式协同质控方案。该系统面向船载装备数据的作业场景设计了实时质控模式，面向批量质控需求设计了定时质控模式，实现了船载装备数据异常的灵活即时判断与批量核验，有效克服了传统质控模式的滞后性。

图 1 “科考船航次数据质控系统”软件界面

Fig.1 Software interface of the “scientific research vessel voyage data quality control system”

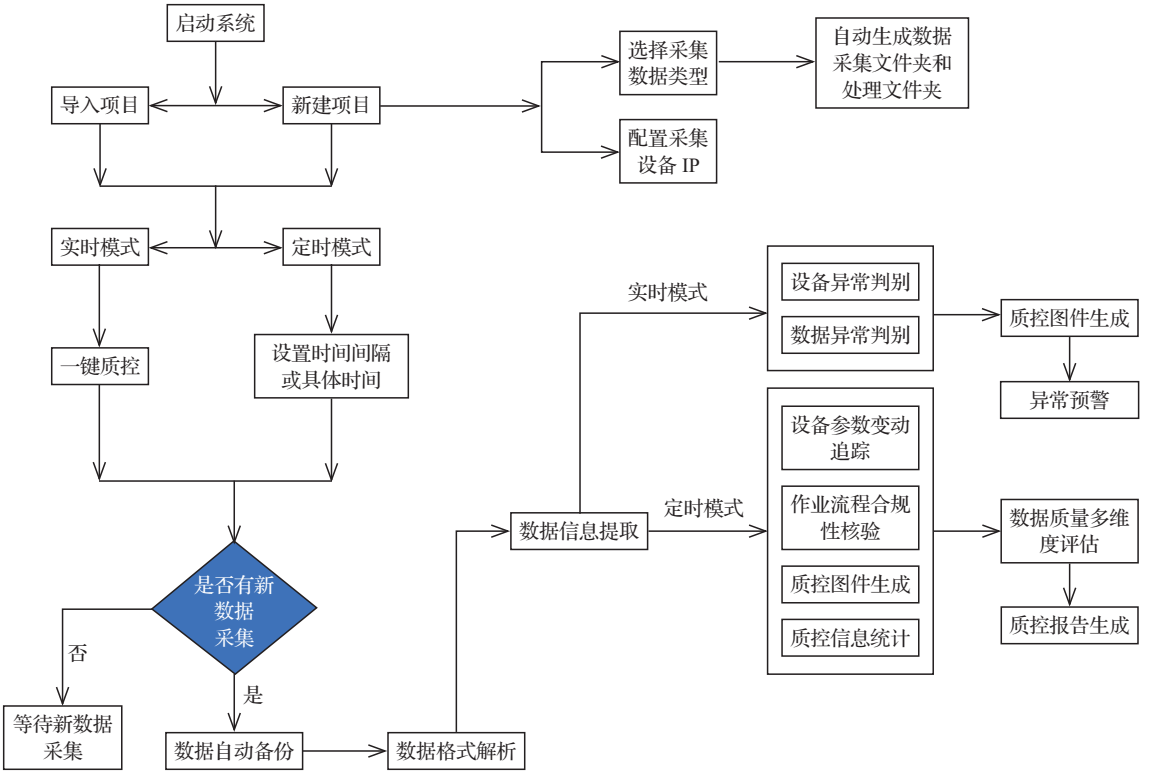


图 2 “科考船航次数据质控系统”软件流程框架

Fig.2 Software workflow framework of the “scientific research vessel voyage data quality control system”

1.3.1　实时质控模式

需要说明的是，此处的“实时”并非指与数据采集行为同步，而是指在船载装备作业过程中，可根据现场作业需求，随时对指定时段、指定装备的采集数据进行质控分析。该模式通过船载终端可灵活抓取 11 类船载装备的运行参数、数据传输链路状态、原始采集数据等关键信息，复现船载装备现场作业场景，快速响应现场质控需求。

系统为每类船载装备开发实时异常判断模块，嵌入多维度质控标准的量化阈值，可精准捕捉船载装备的两类异常：一是设备异常，如多波束表面声速仪异常、海洋磁力仪拖鱼姿态异常、多道地震激发接收不同步等；二是数据异常，如多波束有效波束数不足、CTD 传感器数据超差、导航差分信号丢失等。异常发生时，系统通过船载终端即时发出异常预警，同步显示异常装备名称、异常类型、异常位置等信息，支持现场作业人员即时调整作业方案，从根本上消除了传统模式“事后发现、无法挽回”的痛点。

1.3.2　定时质控模式

定时质控模式内置船载装备数据自动化处理引擎，无需依赖外部软件支持，可根据航次需求设置质控时间间隔（12 h/24 h），自主完成船载装备数据备份、多维度异常核验、标准化质控报告生成等核心任务，全程无人工干预。

质控分析模块针对 11 类船载装备数据开发专属分析功能，涵盖设备参数变动追踪（如船载传感器标定日期临期提醒、参数设置修改记录），作业流程合规性核验（如船速合规性、设备下放深度合规性），数据质量多维度评估（如单测线 / 全航次数据缺失率、有效数据占比统计），跨装备数据协同核验（如 LADCP 与 CTD 数据时间匹配性）等，可批量识别船载装备数据的潜在异常，并自动生成标准化质控报告，报告包含异常装备、异常类型、异常占比等信息，为航次作业的连续开展提供数据质量支撑。

2　应用效果与验证

2.1　应用场景

面向海洋科考构建的智能质控系统已在“科学”号科考船执行的近 20 个航次中得到规模化应用，应用场景涵盖海洋水文调查、地质地球物理勘探、海洋环境监测等多个科考领域，涉及 CTD、ADCP、多波束、海洋磁力仪等各类主流调查设备（图 3），验证了系统在不同科考场景、不同设备配置下的适配性与稳定性。

2.2　应用成效

2.2.1　质控时效大幅提升

传统海洋调查数据质控需在航次结束后耗费数天时间完成，导致数据问题难以及时反馈至现场作业环节。而本体系通过自动化质控流程与实时数据交互机制，将质控周期压缩至“定时小时级”，为现场作业动态调整提供了关键支撑。以 KX202506 航次为例（表 6），该航次涵盖导航、CTD、多波束等10类核心数据，总数据量达384.934 9 GB，作业范围涉及多类设备的长距离巡航（如海洋重力作业量 17 817.9 km）与多站位观测（如 CTD 165 站），系统累计质控耗时仅 1 082 min，且各类数据的质控可随采集进程同步推进，导航数分钟内完成质控，SBE21 数据 2 min 内完成质控，即便是数据量最大（207.874 8 GB）、处理最复杂的多波束数据，也仅需 725 min 就能完成整个航次数据的系统质控（后续将对系统进行优化，使用并行计算技术后，质控时间将显著压缩），完全满足“定时小时级”的时效要求，彻底改变了传统质控的滞后性，使数据即时应用与作业方案快速调整成为可能。

2.2.2　数据质量显著提升

依托全流程闭环管控与智能预警功能，本体系将数据质量保障前置至现场作业环节，可实现异常的即时处置，从源头避免问题遗留。从“科学”号 2021—2025 年 11 个航次的异常统计（表 7）可见，体系对各类数据 / 操作异常的识别覆盖率较高。在现场环节，可精准检出设备参数异常（如 KX202101 航次浅剖声速设置过大）、传感器状态异常（如 KX202506 航次 CTD 电导率传感器漂移）、操作规范性问题（如 KX202305 航次 CTD 感温后未提升至水面）等 17 类异常，占总异常数的 89.5%；仅少数未开展现场质控的环节（如 KX202506 航次 SBE21 数据）会在室内精细处理中发现问题（2 类，占 10.5%）。

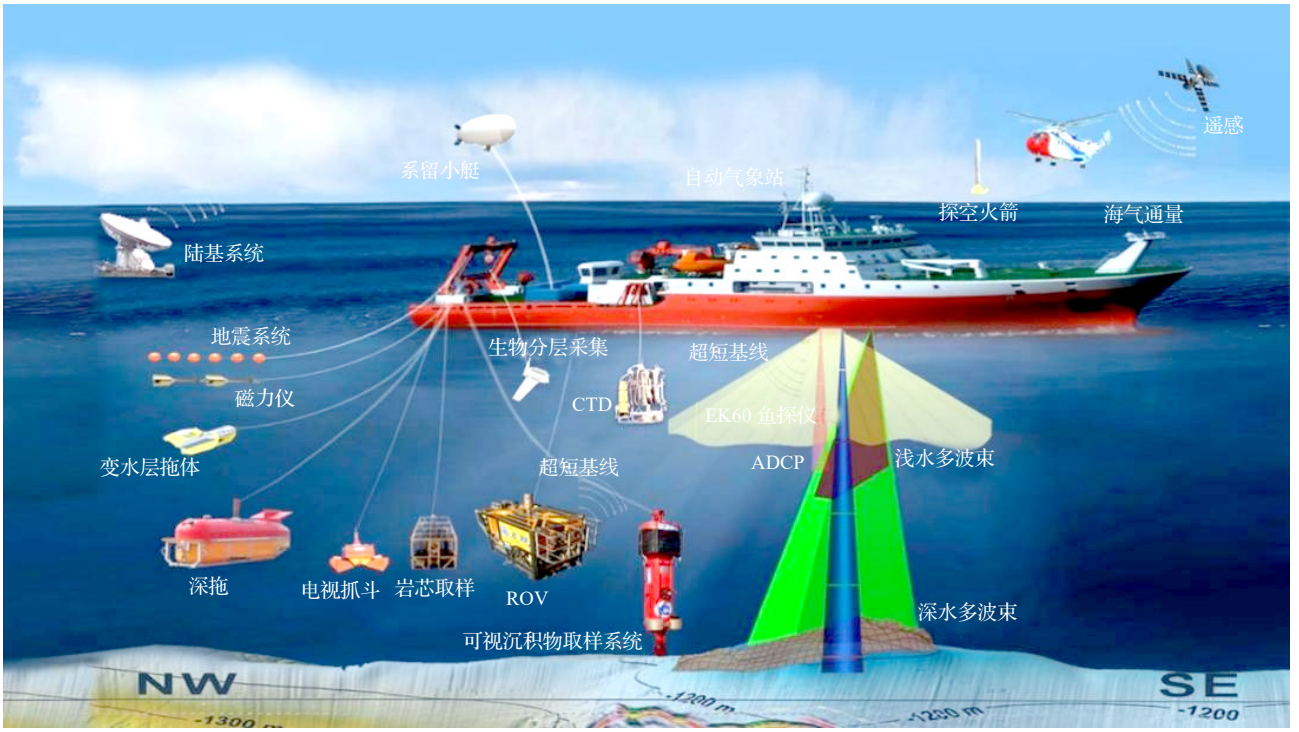


图 3 “科学”号科考船科考设备配置

Fig.3 Scientific equipment configuration on the Research Vessel Kexue

表 6 KX202506 航次数据系统质控耗时统计

Table 6 Statistical summary of systematic quality control time consumption for the KX202506 Cruise

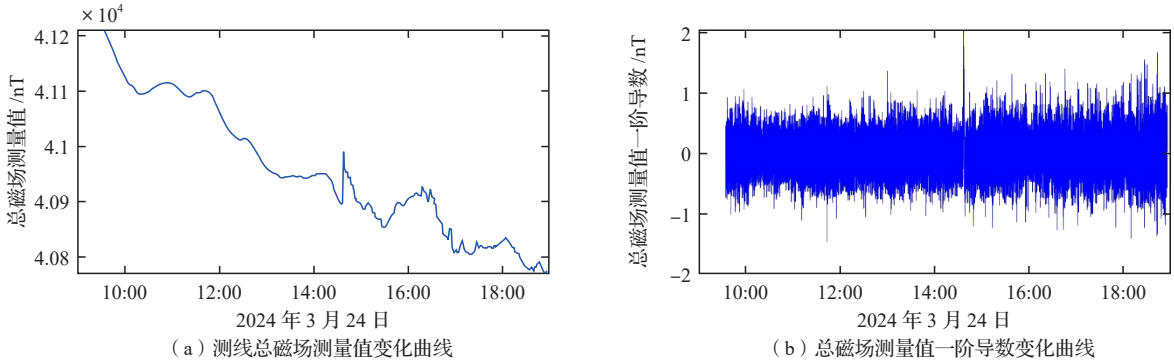
序号	数据类型	数据量 /GB	作业量	系统质控耗时 /min
1	导航数据	3.886 1	17 820.9 km	3
2	CTD 数据	1.693 8	165 站	23
3	300KADCP 数据	11.291 5	17 747.5 km	21
4	38KADCP 数据	3.961 0	13 552.5 km	15
5	SBE21 数据	0.066 4	14 349.4 km	2
6	自动气象站数据 _Vaisala	1.305 9	17 817.8 km	10
7	自动气象站数据 _XZC6	0.019 3	17 819.1 km	8
8	多波束数据	207.874 8	13 321.1 km	725
9	浅地层剖面数据	153.701 2	8 189.3 km	255
10	海洋重力数据	1.134 9	17 817.9 km	20
总耗时				1 082

表 7　“科学”号航次数据 / 操作异常统计

Table 7　Statistics of data and operation anomalies from Research Vessel Kexue cruises

航次编号	现场系统检出数据 / 操作异常	室内精细处理发现数据异常	异常数量 / 个
KX202101	38KADCP 定位数据异常 浅剖声速设置过大		2
KX202105	导航部分测线原始数据缺失		1
KX202203	CTD 传感器标定日期临期		1
KX202301		1 站位 LADCP 上下探头数据文件名标识混淆	1
KX202304	38KADCP 的 STA 数据异常		1
KX202305	部分时段导航无差分信号 3 个站位 CTD 操作不规范，感温后未提升至水面		2
KX202401	多波束重复线测量深度异常 磁暴造成磁力数据异常		2
KX202404	部分时段导航无差分信号		1
KX202405	2 个站位 CTD 数据文件名和配置文件名不匹配 2 套气象站风速风向差异明显 重力数据异常		3
KX202501	CTD 溶解氧传感器异常 多波束表面声速仪异常		2
KX202506	CTD 第二套电导率传感器漂移 Vaisala 气象站数据异常	SBE21 数据日期信息异常（现场未进行 SBE21 质控）	3

最为典型的是 2024 年某航次的磁暴干扰处理。质控系统通过图 4 所示的多参数联动可视化（总磁场测量值、拖鱼沉放深度、经纬度等同步展示），快速定位磁暴造成的磁力数据异常，现场团队及时暂停测线作业转为声速测量，待磁暴结束后，补测受干扰数据，补测数据较受干扰数据的稳定性显著提升（图 5），充分证明了该系统对数据质量的高效保障能力。



（a）测线总磁场测量值变化曲线　　（b）总磁场测量值一阶导数变化曲线

图 4　受磁暴影响磁力测线质控

Fig.4　Quality control of magnetic survey-line data affected by a geomagnetic storm

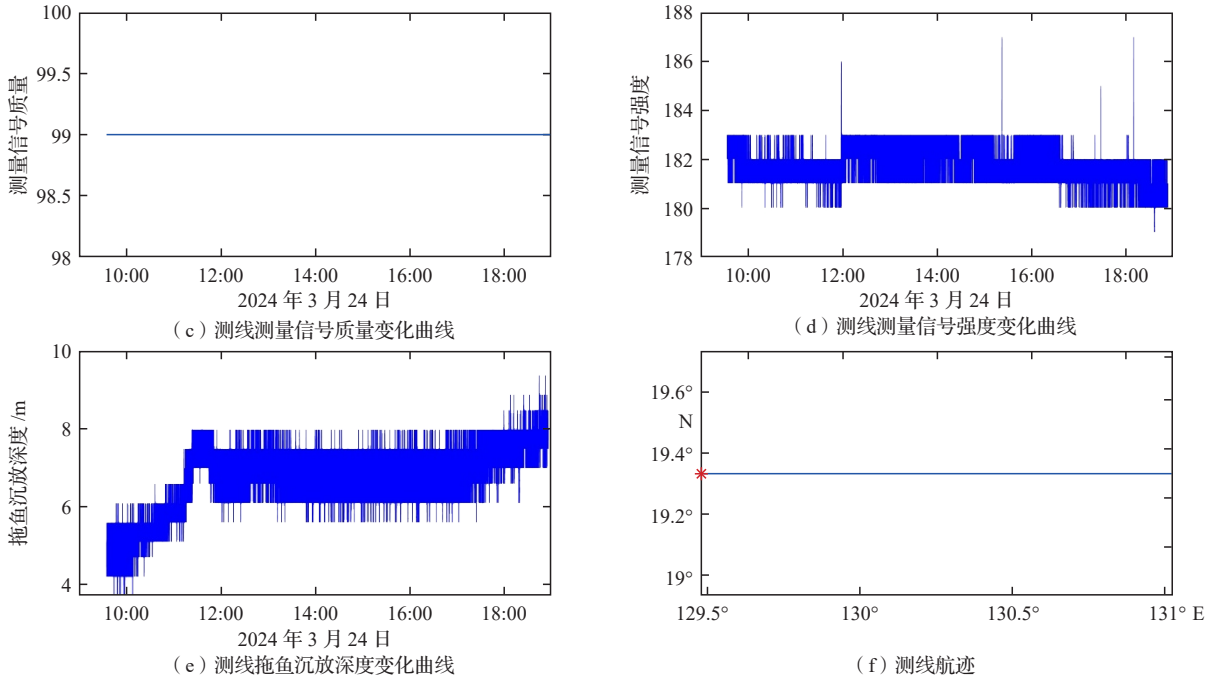


图 4　受磁暴影响磁力测线质控（续图）

Fig.4　Quality control of magnetic survey-line data affected by a geomagnetic storm

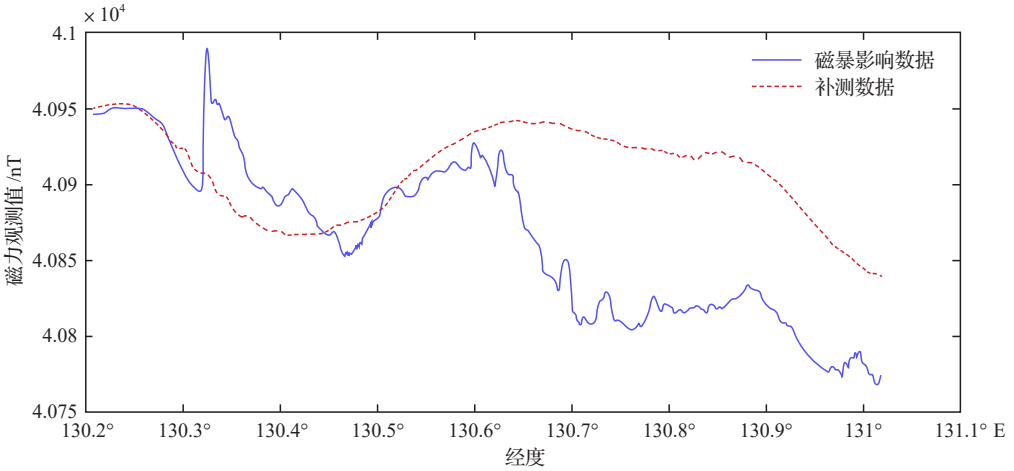


图 5　受磁暴影响测线与补测测线磁力观测值对比

Fig.5　Comparison of magnetic observation values between geomagnetic storm-affected survey lines and supplementary survey lines

2.2.3　作业效率持续优化

在传统海洋调查数据质控模式中，数据核对、异常排查等核心环节高度依赖人工操作。科考人员需逐类校验数据格式、逐段核查参数波动、逐项比对作业记录，不仅需耗费大量时间与精力，还易因人工疲劳导致漏判、误判。而本体系通过内置自动化算法，将数据完整性校验、基础参数合规性判断、异常特征初步识别等重复性劳动转化为系统自动执行流程，使人工质控工作量减少 90%以上，从根本上为科考人员“减负松绑”，有力支撑航次作业高效推进。

以KX202506航次实践为例，该航次涉及导航、CTD、多波束等 10 类数据，系统质控全程无须人工介入。从数据实时接入、格式自动适配，到参数

阈值比对、异常初步标记，均由体系自主完成。科考人员仅需在系统触发异常预警时，针对提示的异常类型与位置进行针对性核查处置，无须再进行全量数据的人工筛查。

2.3　技术价值

该体系的成功应用不仅解决了传统质控模式存在的质控流程碎片化、人工依赖度高、时效性不足等诸多痛点，而且构建了可复制、可推广的标准化海洋调查数据质控体系，为我国海洋科考数据的“高质量采集—高可靠应用”提供了核心技术支撑。同时，系统在设备兼容、流程规范、智能算法等方面的技术积累，为后续海洋调查装备的智能化升级、质控流程的数字化转型奠定了重要基础。

3　结论与展望

本文针对传统海洋调查数据质控模式的技术瓶颈，通过“要素—标准—流程”三维质控技术框架构建、全链条可视化质控与无干预自动化技术突破、“实时 + 定时”双模式智能系统研发，实现了从“事后纠错”到“实时智能管控”的质控模式革新，构建了标准化、智能化的船载海洋调查装备数据质控系统。该系统通过近 20 个实际航次的应用验证，充分证明了其在质控时效、数据质量、作业效率等方面的显著优势，现场异常检出率超过 89%，人工质控成本减少 90%以上，为海洋综合科考提供了可靠的技术保障。

未来，可进一步拓展以下研究方向，为海洋强国建设提供更加强有力的技术支撑：一是强化人工智能算法的深度应用，提升异常数据识别的精准度与自适应能力[1]；二是构建多船协同质控网络，实现跨平台数据质量的统一管控；三是推动质控体系与海洋调查装备的深度融合，打造“采集—质控—应用”一体化智能科考模式[12]。

致谢

感谢海洋科学综合考察船“科学”号（https://cstr.cn/31114.02.MORV）船队在数据和样品收集方面提供的支持与协助。

参考文献（References）：

[1] 谭哲韬，张斌，吴晓芬，等. 海洋观测数据质量控制技术研究现状及展望[J]. 中国科学：地球科学，2022，52(3)：418-437.
TAN Zhetao，ZHANG Bin，WU Xiaofen，et al. Research status and prospect of marine observation data quality control technology [J]. Scientia Sinica (Terrae)，2022，52(3)：418-437.

[2] 张洪欣，张丽婷，段康弘，等. 海洋调查数据集中控制系统框架研究[J]. 海洋开发与管理，2014，31(12)：14-16.
ZHANG Hongxin，ZHANG Liting，DUAN Kanghong，et al. Research on the framework of centralized control system for marine survey data[J]. Ocean Development and Management，2014，31(12)：14-16.

[3] 许自舟，宋德瑞，赵辉，等. 海洋环境监测数据质量计算机控制方法研究[J]. 海洋环境科学，2009，28(3)：320-323.
XU Zizhou，SONG Derui，ZHAO Hui，et al. Technique study on data quality control in sea environmental monitoring by computer [J]. Marine Environmental Science，2009，28(3)：320-323.

[4] 赵秀玲，田为民，董常武，等. 海洋调查的质量控制研究[J]. 海洋开发与管理，2017，34(12)：113-117.
ZHAO Xiuling，TIAN Weimin，DONG Changwu，et al. Quality control in the oceanographic survey[J]. Ocean Development and Management，2017，34(12)：113-117.

[5] 雷军，杨世民，徐劲松，等. 海洋调查仪器设备在海上试验中的质量控制[J]. 海洋技术，2009，28(4)：130-132.
LEI Jun，YANG Shimin，XU Jinsong，et al. Quality control of oceanographic investigation instrument in marine test[J]. Ocean Technology，2009，28(4)：130-132.

[6] 杨扬，苗庆生，韦广昊，等. 海洋站观测资料的质量控制方法及其应用[J]. 海洋开发与管理，2017，34(10)：109-113.
YANG Yang，MIAO Qingsheng，WEI Guanghao，et al. Quality control methods and application for the oceanic station observed data in the delayed mode[J]. Ocean Development and Management，2017，34(10)：109-113.

[7] 史静涛，周智海. 海洋站数据质量控制技术探讨[J]. 海洋技术，2011，30(1)：114-117.
SHI Jingtao，ZHOU Zhihai. Study on technology of ocean station data quality control[J]. Ocean Technology，2011，30(1)：114-117.

[8] 马有哲，许松，李淑春，等．海洋气候资料数据集及其质量控制[J]．气象，1999(2)：15-18.
MA Youzhe，XU Song，LI Shuchun，et al．Data set of the maritime climate and its quality control[J]．Meteorological Monthly，1999(2)：15-18.

[9] 张铁艳，王化仁，杨鲲，等．海洋调查观测资料的质量控制[J]．水道港口，2006，27(1)：48-50.
ZHANG Tieyan，WANG Huaren，YANG Kun，et al．Quality control of oceanographic surveying data[J]．Journal of Waterway and Harbor，2006，27(1)：48-50.

[10] 李学坤，王化仁，张书文．海洋水文气象实时数据质量控制[J]．海洋预报，1997，14(3)：72-78.
LI Xuekun，WANG Huaren，ZHANG Shuwen．Quality control of real-time marine hydrometeorological data[J]．Marine Forecasts，1997，14(3)：72-78.

[11] 解静，常江，孙家文，等．海洋水文观测实时共享技术与应用研究[J]．海洋环境科学，2020，39(2)：302-308.
XIE Jing，CHANG Jiang，SUN Jiawen，et al．Key technologies and applications of hydro-observation real-time sharing[J]．Marine Environmental Science，2020，39(2)：302-308.

[12] 李慧青，李燕，刘玉，等．海洋科学观测及其技术发展浅析与思考[J]．海洋开发与管理，2015，32(3)：63-67.
LI Huiqing，LI Yan，LIU Yu，et al．Analysis and thinking on marine scientific observation and its technical development[J]．Ocean Development and Management，2015，32(3)：63-67.