

海洋生态浮标监测数据接收率分类与计算

——以浙江嵊泗浮标为例

赵聪蛟, 熊薇, 刘瑞娟, 余骏, 刘希真, 张晓辉, 陈思杨

(浙江省海洋监测预报中心 杭州 310007)

摘要: 作为一种重要而有效的监测手段, 近年来海洋生态浮标在线监测系统建设及数据应用受到全国沿海各地区的广泛重视, 浮标海上运行状态评估显得至关重要。按照海洋生态浮标所在位置、数据产生过程和数据质量, 将岸站接收数据分为理论接收数据、实收数据、缺测数据、原位数据、非原位数据等5类11种数据量。在传统数据接收率的基础上, 结合海洋生态浮标监测数据实际, 提出实际接收率、原位运行接收率、正常运行接收率、合格数据接收率四个概念, 并给出计算公式, 具有一定创新性。以嵊泗生态浮标为例对4类接收率进行计算, 结果表明2020—2021年, 嵊泗生态浮标系统在海上的工作运行天数约为652 d, 在原位海域工作运行的天数约为648 d, 在原位海域正常工作运行的天数约为635 d、获取合格数据的天数约为599.5 d, 水质和营养盐各参数的合格数据接收率均达到80%以上。得出的海洋生态浮标监测数据接收率分类与计算结果可以表征浮标自动监测数据发送、接收情况和数据质量, 为浮标系统海上运行状态评估提供依据。

关键词: 海洋生态浮标; 接收率; 分类; 异常数据; 数据质量; 运行评估

中图分类号: P76; P714

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2026)02-0090-12

Classification and Calculation of Receiving Rate of Monitoring Data From Marine Ecological Buoy: A Case Study in Zhejiang Shengsi Sea Area

ZHAO Congjiao, XIONG Wei, LIU Ruijuan, YU Jun, LIU Xizhen,
ZHANG Xiaohui, CHEN Siyang

(Marine Monitoring and Forecasting Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract: As an important and effective monitoring method, the construction and data application of online marine ecological buoy monitoring systems have received widespread attention nationwide in recent years, and the assessment of buoy operation status at sea has become crucial. This article categorizes the data received by the shore station into 5 types and 11 data categories based on the location of the marine ecological buoy, data

收稿日期: 2025-09-09; 修订日期: 2026-01-23

基金项目: 浙江省自然资源厅2025年度科技项目(2025ZJHY006); 浙江省“尖兵领雁+X”研发攻关计划(2024C02002, 2024C03034); 浙江省自然资源厅2022年度科技项目(2022-86)。

作者简介: 赵聪蛟, 硕士, 高级工程师, 研究方向为海洋浮标监测、生态预警和海洋生态

通信作者: 陈思杨, 博士, 高级工程师, 研究方向为海洋生态预警监测

generation process, and data quality. On the basis of the traditional data receiving rate, combined with the actual monitoring data of marine ecological buoys, four concepts and corresponding calculation formulas are proposed, including actual data receiving rate, on-site operation data receiving rate, normal operation data receiving rate, and qualified data receiving rate. This method was used to calculate the four reception rates of the buoy monitoring data in Shengsi sea area. The results showed that the Shengsi buoy system operated for about 652 days at sea from 2020 to 2021, and about 648 days in the on-site sea area. It operated normally in the on-site sea area for about 635 days and obtained qualified data for about 599.5 days. And the qualified data receiving rate of water quality and nutrient parameters all exceeded 80%. The classification and calculation results of the receiving rate proposed in this article can characterize the automatic monitoring data transmission and reception status and data quality of buoys, providing a basis for the evaluation of the operation status of the buoy system at sea.

Keywords: Marine ecological buoy; Receiving rate; Classification; Anomaly data; Data quality; Operational evaluation

0 引言

作为海洋生态环境“点一线一面一层”全方位立体监测的重要一环,海洋生态浮标在线监测的优势在于能够自动获取目标海域长期、连续的监测数据,弥补了常规船舶走航监测数据间断性、短时性、昼时性的不足,能更好地反映海洋环境状况的长期连续动态变化^[1]。自 2004 年开始,福建厦门、山东、广西、海南、浙江、广东、河北、辽宁、上海、天津、江苏等沿海地区先后开展了近岸海域生态浮标在线监测系统建设^[2-5]。截至 2018 年 8 月,全国沿海各地已建和在建的海洋生态浮标在线监测系统总数为 101 套^[6]。多年来,沿海各地利用浮标积累了大量海洋环境连续监测数据,在赤潮预警监测^[7-10]、浮游生物种群动态分析^[1,11-13]、水环境因子的时序变化及其相互关系研究^[14-20]、水质要素评价^[6,17,21-22]以及入海径流估算^[23]等方面发挥了积极作用。

受浮标所处海况复杂、通信中断、传感器故障等因素影响,浮标监测数据往往会出现缺失、缺测或异常值,因此在使用浮标数据之前需要进行质量控制。已有研究报道多集中于海洋站、船舶走航、温盐剖面以及海洋气象资料浮标等监测数据的质量控制,主要包括制度建设、采样控制、比对监测、结果检验等;针对异常值判定,则需根据数据获取特点选择不同的判定方法,其中较适用于

海洋生态浮标监测数据异常值判定的方法有连续性检验、尖峰检验、三倍标准差检验、比对监测等^[24]。浮标监测数据通过 CDMA、北斗系统、IP 专线或系统专网由海上数据采集端实时传输至岸站接收平台^[25-26],采用运行时数或数据个数来计算数据接收率^[27-28]。数据接收率是衡量数据传输效率的重要指标,可以用于评估浮标监测数据发送与接收的效果,能直接反映浮标系统在海上的工作状态。

然而,已有研究对浮标数据接收率、数据质量以及浮标在海上的工作状态等基本问题尚未见报道。为此,本文在传统数据接收率的基础上,结合海洋生态浮标在线监测数据实际,提出实际接收率、原位运行接收率、正常运行接收率、合格数据接收率四个概念,给出相应的计算公式,并以浙江舟山海域嵎泗浮标为例开展实证计算,获取量化数据质量结果,旨在回应上述 3 个基本问题,为浮标系统海上运行状态的评估提供科学依据。

1 浮标系统概况及数据类型定义

1.1 浮标系统概况

浮标整体由海上自动监测发送系统和岸站接收平台两部分组成。海上系统通过水质、营养盐等各类传感器开展海洋环境要素自动监测(表 1)。监测数据经加密处理后,经互联网实时传输至岸站接收平台^[26]。通过应用软件进行数据展示(图 1)。

表 1 海洋生态浮标搭载传感器及监测参数基本信息

Table 1 Basic information of sensors and monitoring factors installed on the marine ecological buoy

名称	监测参数	采样监测周期/h
水质传感器	水温、盐度、溶解氧、pH、叶绿素 a、浊度	1
营养盐传感器	氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮	4
磷酸盐传感器	活性磷酸盐	4

水质数据	气象数据	营养盐数据	高度计数据	磷酸盐数据	光照数据	电压数据	罗盘数据	日巡视报表				
<input type="checkbox"/>	采样时间	温度(°C)	盐度	溶解氧(mg/L)	溶解氧饱和度(%)	pH	叶绿素(µg/L)	浊度(NTU)	电导率(mS/cm)	现场情况	接收时间	操作
<input type="checkbox"/>	2021-10-11 23:00	25.49	28.93	7.32	83.7	7.96	0.67	30.0	45.216	正常	2021/10/11 23:00	编辑
<input type="checkbox"/>	2021-10-11 22:00	25.49	29.02	7.32	83.7	7.97	0.61	31.0	45.338	正常	2021/10/11 22:00	编辑
<input type="checkbox"/>	2021-10-11 21:00	25.54	29.0	7.31	83.7	7.97	0.67	37.0	45.357	正常	2021/10/11 21:01	编辑
<input type="checkbox"/>	2021-10-11 20:00	25.61	28.92	7.3	83.6	7.99	0.67	47.0	45.313	正常	2021/10/11 20:09	编辑
<input type="checkbox"/>	2021-10-11 19:00	25.67	28.81	7.3	83.6	7.99	0.67	41.0	45.209	正常	2021/10/11 19:00	编辑
<input type="checkbox"/>	2021-10-11 18:00	25.67	28.89	7.3	83.6	7.99	0.61	36.0	45.318	正常	2021/10/11 18:00	编辑
<input type="checkbox"/>	2021-10-11 17:00	25.56	28.78	7.32	83.7	7.98	0.55	23.0	45.068	正常	2021/10/11 17:00	编辑
<input type="checkbox"/>	2021-10-11 16:00	25.64	28.8	7.3	83.6	7.99	0.61	24.0	45.167	正常	2021/10/11 16:00	编辑
<input type="checkbox"/>	2021-10-11 15:00	25.7	28.64	7.3	83.6	7.98	0.61	23.0	44.988	正常	2021/10/11 15:00	编辑
<input type="checkbox"/>	2021-10-11 14:00	25.77	28.18	7.31	83.6	7.98	0.79	38.0	44.41	正常	2021/10/11 14:00	编辑

图 1 浮标监测数据展示界面

Fig.1 Display interface for buoy monitoring data

1.2 数据类型定义

将浮标监测数据自岸站监控平台导出进行统计分析(表 2)。按照数据产生过程,岸站监控平台接收的数据可分为监测实有数据和缺测空白数据(缺测数据),如图 2 所示。根据浮标系统所处海域位置,将监测实有数据分为原位监测接收数据和非原位监测接收数据。根据数据质量不同,原位监测接收数据分为正常数据(合格数据)和异常数据,其中异常数据包括测试数据、故障数据、无效数据、离群数据和可疑数据。各类型数据量特征及含义如下。

(1) 缺测数据 D_{NM} : 缺测空白数据,因浮标维护、避风拖回、移位、传感器故障或拆回维修等原因造成的漏采数据,以及因通信故障等造成的传输过程中的丢失数据,在数据报表中表现为无监测时间点、无数据记录。

(2) 非原位数据 D_{NO} : 非原位监测接收数据,

是指浮标系统位于非目标海域(非原位)期间获取或理应获取的全部数据,具体包括浮标整体年度维护、移位、拖回或传感器拆回维修等不在原位工作期间获取或理应获取的数据。其中,实际接收到的数据为非原位实际接收数据(用 D_{NA} 表示),而按照监测周期计算出的非原位期间理应获取的数据为非原位理论接收数据(用 D_{NT} 表示)。

(3) 原位数据 D_O : 原位监测数据,是指浮标系统位于目标海域(原位)期间获取的全部数据。原位数据又分为正常数据和异常数据。正常数据即合格数据,异常数据包括测试数据、故障数据、无效数据、离群数据和可疑数据。

(4) 测试值 D_M : 测试数据,是指浮标系统在例行维护、应急维护期间以及年度维护重新投放于原位之后,为检验浮标监测数据正常性及评估维护效果,通过加密监测频率获取的监测数据。

(5) 故障值 D_F : 故障数据,指浮标系统运行故

障或非正常运行、传感器故障期间的监测数据。

(6) 无效值 D_N : 无效数据, 超出传感器量程范围的数据, 包括负值数据, 以及传感器采样过程中产生气泡返回的“88888”等异常极值数据。

(7) 离群值 D_L : 离群数据, 显著高于或低于邻近监测数据的一个或少数几个数据值, 在可视化绘图曲线上显著远离曲线正常走势的个别数据, 如图3盐度变化曲线。

(8) 可疑值 D_S : 可疑数据, 未超出传感器量程范围, 也未超出参数合理认知范围的数据, 且至少具备以下某一特征——急剧升高、急剧下降或连

续不变(等值)的数据, 存在逻辑关系的参数值之间出现背离逻辑关系的数据, 小数点明显错位的数据等。应通过值域检查、连续性检验、等值检验、尖峰检验、均方差检验、三倍标准差检验和可视化绘图曲线检验等数据相关分析和质量控制手段进行识别。

(9) 理论接收数据 D_T : 各参数按照监测周期计算得出的理论接收数据量。

(10) 实收数据 D_A : 实际接收数据量, 各参数在监测周期内实际接收到的数据量, 为理论接收数据量与缺测数据量之差。

表2 海洋生态浮标监测数据报表(部分)

Table 2 Marine ecological buoy monitoring data (partial)

序号	采样时间	温度/℃	温度状态	盐度	盐度状态	溶解氧质量浓度/(mg·L ⁻¹)	溶解氧状态	pH	pH状态	叶绿素质量浓度/(mg·m ⁻³)	叶绿素状态	浊度/NTU	浊度状态
8171	2020-12-06 09: 00	15.26	有效	27.57	有效	-3.82	无效	8.04	有效	0.17	有效	17	有效
8172	2020-12-06 10: 00	14.96	有效	26.82	有效	-3.86	无效	8.03	有效	0.14	有效	14	有效
8173	2020-12-06 11: 00	14.87	有效	26.48	有效	-3.88	无效	8.04	有效	0.19	有效	19	有效
8174	2020-12-06 12: 00	15.24	有效	27.81	有效	-3.82	无效	8.06	有效	—	故障	—	故障
8175	2020-12-06 13: 00	15.87	有效	28.83	有效	-3.75	无效	8.05	有效	0.23	有效	22	有效
8176	2020-12-06 14: 00	16.63	有效	29.96	有效	-3.67	无效	8.06	有效	0.25	有效	14	有效
8177	2020-12-06 15: 00	16.68	有效	30.07	有效	-3.66	无效	8.06	有效	0.23	有效	14	有效
8178	2020-12-06 16: 00	16.48	有效	29.84	有效	-3.68	无效	8.06	有效	0.19	有效	14	有效
8179	2020-12-06 17: 00	16.72	有效	30.34	有效	10.95	可疑	8.05	有效	0.19	有效	13	有效
8180	2020-12-06 18: 00	16.72	有效	30.38	有效	-3.65	无效	8.05	有效	0.14	有效	16	有效
8181	2020-12-06 19: 00	16.39	有效	29.11	有效	-3.7	无效	8.06	有效	0.28	有效	26	有效
8182	2020-12-06 20: 00	15.79	有效	27.4	有效	-3.79	无效	8.05	有效	0.3	有效	24	有效
8183	2020-12-06 21: 00	15.53	有效	26.79	有效	-3.82	无效	8.05	有效	0.25	有效	24	有效
8184	2020-12-06 22: 00	15.25	有效	26.24	有效	-3.85	无效	8.05	有效	0.19	有效	19	有效
8185	2020-12-06 23: 00	14.91	有效	25.49	有效	-3.9	无效	8.05	有效	0.17	有效	18	有效
8186	2020-12-07 00: 00	14.97	有效	25.76	有效	-3.89	无效	8.05	有效	0.19	有效	19	有效
8187	2020-12-07 01: 00	14.86	有效	26.22	有效	-3.88	无效	8.05	有效	0.17	有效	14	有效
8188	2020-12-07 02: 00	15.01	有效	27.22	有效	-3.85	无效	8.06	有效	0.14	有效	13	有效

续表 2

序号	采样时间	温度 /℃	温度 状态	盐度	盐度 状态	溶解氧质量浓 度 / (mg · L ⁻¹)	溶解氧 状态	pH	pH 状态	叶绿素质量浓 度 / (mg · m ⁻³)	叶绿素 状态	浊度 / NTU	浊度 状态
8189	2020-12-07 03:00	15.6	有效	28.03	有效	-3.79	无效	8.06	有效	0.12	有效	11	有效
8190	2020-12-07 04:00	15.67	有效	28.06	有效	-3.78	无效	8.04	有效	0.14	有效	11	有效
8191	2020-12-07 05:00	15.73	有效	28.25	有效	-3.77	无效	8.05	有效	0.1	有效	10	有效
8192	2020-12-07 06:00	15.82	有效	28.57	有效	-3.76	无效	8.05	有效	0.14	有效	11	有效
8193	2020-12-07 07:00	15.94	有效	28.48	有效	-3.75	无效	8.06	有效	0.08	有效	10	有效
8194	2020-12-07 08:00	15.9	有效	28.27	有效	-3.76	无效	8.06	有效	0.08	有效	11	有效
8195	2020-12-07 09:00	15.37	有效	26.76	有效	-3.83	无效	8.05	有效	0.12	有效	11	有效
8196	2020-12-07 10:00	15.38	有效	27.01	有效	-3.83	无效	8.05	有效	0.1	有效	13	有效
8197	2020-12-07 11:00	15.54	有效	27.01	有效	-3.81	无效	8.05	有效	0.08	有效	11	有效
8198	2020-12-07 12:00	15.45	有效	26.86	有效	-3.82	无效	8.05	有效	0.1	有效	12	有效
8199	2020-12-07 13:00	16.29	有效	29.17	有效	-3.71	无效	8.06	有效	0.08	有效	14	有效
8200	2020-12-07 14:00	16.49	维护	29.46	维护	-3.69	维护	8.06	维护	0.08	维护	13	维护
8201	2020-12-07 15:00	16.61	维护	29.5	维护	7.79	维护	8.08	维护	0.43	维护	18	维护
8202	2020-12-07 16:00	16.59	维护	29.6	维护	7.79	维护	8.09	维护	0.43	维护	16	维护
8203	2020-12-07 17:00	16.59	有效	29.65	有效	7.79	有效	8.09	有效	0.43	有效	16	有效
8204	2020-12-07 18:00	16.74	有效	30.03	有效	7.74	有效	8.09	有效	0.43	有效	17	有效
8205	2020-12-07 19:00	16.9	有效	30.4	有效	7.69	有效	8.09	有效	0.36	有效	20	有效
8206	2020-12-07 20:00	17.12	有效	30.85	有效	7.63	有效	8.08	有效	0.43	有效	22	有效

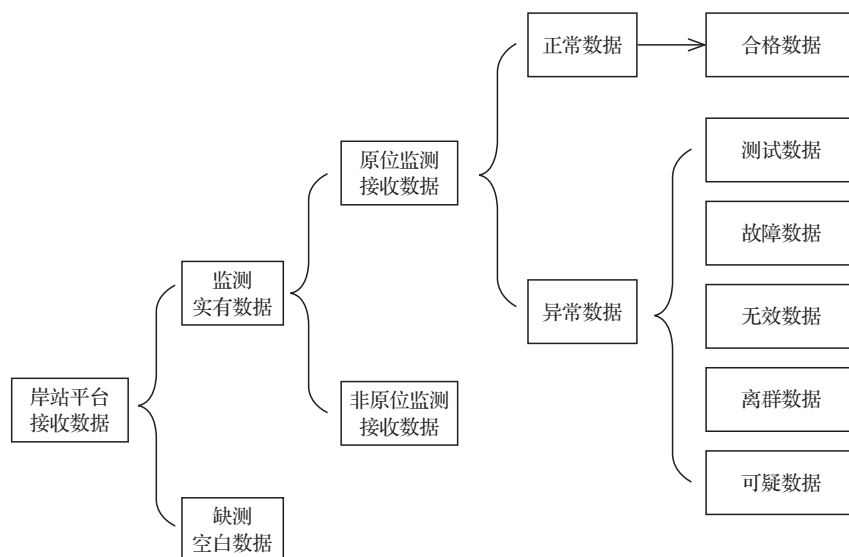


图2 岸站监控平台接收到的浮标监测数据分类

Fig.2 Classification of buoy monitoring data received by shore station

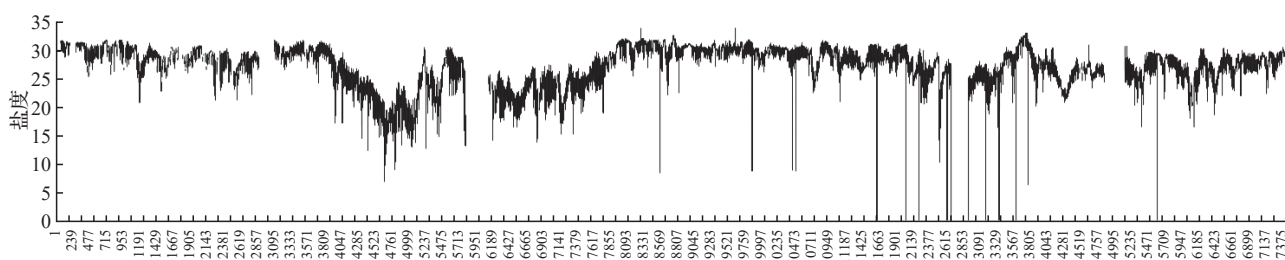


图3 2020年1月—2021年12月嵊泗生态浮标盐度变化曲线

Fig.3 Salinity change of Shengsi ecological buoy from Jan.2020 to Dec.2021

2 数据接收率及计算公式

通常,数据接收率定义为一年内实际接收到的有效数据量占一年内应发送的数据总量的百分比^[29]。对于浮标监测数据而言,理论上接收的数据量和应发送的数据量应该相等,并且都等于按照监测周期获取的监测数据量。因此,浮标监测数据接收率 R 为:

$$R = (D_A / D_M) \times 100\% \quad (1)$$

式中: D_A 为接收的数据量,可以通过岸站监控平台查询获得; D_{TM} 为理论监测获取的数据量,可以按照各参数的监测周期计算得出。

理论上,浮标获取的监测数据能够 100% 发送至岸站监控平台,同时岸站监控平台设置自动补数和人工补数功能,用以对数据传输过程中发生的数据丢包现象进行补数。因此,理论接收率为:

$$R_T = (D_T / D_{TM}) \times 100\% = 100\% \quad (2)$$

式中: D_T 为理论接收的数据量。

浮标数据接收率还受到数据产生过程、浮标所在位置、传感器运行状态和数据质量等因素的影响。根据海上浮标系统运行中是否处于原位、是否处于正常工作状态的实际场景进行区分,从而提出实际接收率 (R_A)、原位运行接收率 (R_O)、正常运行接收率 (R_P)、合格数据接收率 (R_Q) 四种类型的接收率。

以式(1)和式(2)为基础,根据浮标监测数

据发送和接收的实际情况,推导出上述四类接收率的计算公式:

$$R_A = D_A / D_T \times 100\% \quad (3)$$

式中: R_A 主要受监测周期内实际接收到的数据量 D_A 的影响,浮标数据缺测、丢失或监测中断等因素均会造成 R_A 下降。

$$R_O = (D_A - D_{NA}) / (D_T - D_{NT}) \times 100\% \quad (4)$$

默认浮标系统只要在原位海域就处于正常工作状态。浮标年度整体维护、移位、拖回或传感器拆回等不在原位工作期间获取或理应获取的数据不参与 R_O 计算。

在 R_O 的基础上,去除浮标原位状态下已知故障时段的 D_F 和维护期间的 D_M ,可得原位正常运行接收率:

$$R_P = (D_A - D_{NA} - D_M - D_F) / (D_T - D_{NT}) \times 100\% \quad (5)$$

浮标系统原位正常工作状态下受到海况、生物附着、传感器状态等的影响,也可能产生无效值、离群值、可疑值,去除超出传感器量程范围的无效值 D_N ,经对比可视化绘图曲线走势和多种质控方法检验识别,去除离群值 D_L 、可疑值 D_S 后得到合格数据接收率:

$$R_Q = (D_A - D_{NA} - D_M - D_F - D_N - D_L - D_S) / (D_T - D_{NT}) \times 100\% \quad (6)$$

式(2) — (6)中: D_A 、 D_T 、 D_{NA} 、 D_{NT} 、 D_M 、 D_F 、 D_N 、 D_L 、 D_S 等数据量含义同前文,计算中均取数据个数。

各接收率之间的逻辑关系见表3。

表 3 不同接收率逻辑关系对比
Table 3 Comparison of logical relationships between different receiving rates

公式项	$R_T/\%$	$R_A/\%$	$R_O/\%$	$R_p/\%$	$R_Q/\%$
分子	理论接收的数据个数	按照监测周期的 D_A	按照监测周期的 D_A-D_{NA}	按照监测周期的 $D_A-D_{NA}-D_M-D_F$	按照监测周期的 $D_A-D_{NA}-D_M-D_F-D_N-D_L-D_S$
分母	理论监测获取的数据个数	按照监测周期计算得出的 D_T	按照监测周期计算得出的 D_T-D_{NT}	按照监测周期计算得出的 D_T-D_{NT}	按照监测周期计算得出的 D_T-D_{NT}
意义	反映理论上浮标监测数据发送接收的效率 (应为 100%)	反映按照监测周期浮标监测数据的实际发送接收效率	反映按照监测周期浮标系统原位工作理想状态下的数据发送接收状况	反映按照监测周期浮标系统原位正常工作状态下的数据发送接收状况	反映按照监测周期, 浮标系统在原位正常工作状态下经质控方法检验识别之后符合要求的合格数据发送接收状况
区别	—	与 R_T 的区别是分子选用实际接收的数据个数, 同时分子、分母考虑了参数的监测周期	与 R_A 的区别是浮标不在原位工作的时间段不计入 R_T 统计	在 R_A 的基础上, 分子去除了浮标运行维护时的测试数据、已知故障时段的故障数据	在 R_p 的基础上, 分子去除了无效数据、离群数据、可疑数据

3 应用实例

本文以嵊泗生态浮标为例进行监测数据分类统计。该浮标于 2015 年 8 月投放于舟山嵊泗绿华岛附近海域, 监测参数包括常规水质、气象和营养盐等指标。各参数监测数据经加密处理后通过互联网实时传输至岸站监控平台, 该平台对接收到的数据进行识

别, 并标识“维护”“故障”“台风”“赤潮”“移位”等数据状态。自岸站监控平台提取该浮标 2020—2021 年连续两年的常规水质 (水温、盐度、pH、溶解氧、叶绿素 a、浊度) 和营养盐 (氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、活性磷酸盐) 十项监测参数, 开展四类数据接收率计算, 所用数据已通过质量控制。各类型数据量统计方法及结果见表 4、表 5。

表 4 各类型数据及统计方法
Table 4 Various types of data and statistical methods

序号	数据类型	统计方法
1	D_T	监测周期 × 理论监测时间
2	D_{NM}	缺失值, 在数据报表中通过数据排序后统计空白得出
3	D_A	D_T-D_{NM}
4	D_{NT}	根据维护记录和岸站平台标识确定浮标移位“起始—终止”时间点, 计算该时间段理论接收数据量
5	D_{NA}	同 4, 统计浮标移位“起始—终止”时间段实际接收数据量
6	D_M	对数据状态进行排序, 统计“维护”标识个数, 再结合维护记录, 确定测试数据量
7	D_F	同 6, 排序后统计“故障”标识个数, 再结合维护过程的故障记录, 确定故障数据量
8	D_N	同 6, 排序后统计负值、极值的个数, 其中需注意水温的实际情况
9	D_L	对各参数数据分别作二维折线图得到可视化绘图曲线, 统计显著偏离曲线正常走势的数据个数, 同时结合三倍标准差检验进行判别
10	D_S	通过值域检查、连续性检验、等值检验、尖峰检验、均方差检验、三倍标准差检验和可视化绘图曲线检验等数据质控手段进行判别

注: 因浮标系统整体维护和拖回躲避台风, 2020 年 8 月 30 日 9 时—9 月 12 日 15 时、2021 年 9 月 10 日 18 时—9 月 22 日 16 时两个时间段移位。

表 5 2020—2021 年嵊泗生态浮标监测参数各类型数据接收率
Table 5 Receiving rates of various types of data for buoy monitoring parameters in Shengsi sea area

数据类型	水温	盐度	溶解氧质量浓度	pH	叶绿素 a 质量浓度	浊度	氨氮质量浓度	硝酸盐氮质量浓度	亚硝酸盐氮质量浓度	活性磷酸盐质量浓度	均值
D_N / 个	15 897	15 897	15 897	15 897	15 897	15 897	3 828	3 828	3 828	3 831	—
D_P / 个	17 544	17 544	17 544	17 544	17 544	17 544	4 386	4 386	4 386	4 386	—
D_{NT} / 个	606	606	606	606	606	606	167	167	167	168	—
D_{NA} / 个	114	114	114	114	114	114	29	29	29	29	—
D_{NM} / 个	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	558	558	558	555	—
D_M / 个	105	105	105	105	105	105	24	24	24	24	—
D_F / 个	268	271	275	292	560	562	0	0	1	0	—
D_N / 个	0	0	351	32	54	6	0	1	1	0	—
D_L / 个	7	40	341	308	30	31	97	28	197	194	—
D_S / 个	376	694	250	73	514	189	193	182	162	223	—
R_N / %	90.61	90.61	90.61	90.61	90.61	90.61	87.28	87.28	87.28	87.35	89.29
R_O / %	93.18	93.18	93.18	93.18	93.18	93.18	90.05	90.05	90.05	90.14	91.94
R_P / %	90.98	90.96	90.94	90.84	89.25	89.24	89.48	89.48	89.45	89.57	90.02
R_Q / %	88.72	86.63	85.38	88.40	85.72	87.91	82.60	84.47	80.92	79.68	85.04
R_g / % ^[27]	90.72	88.59	89.23	90.70	89.52	91.55	83.08	84.98	81.42	80.14	86.99
R_g / % ^[28]	90.72	88.59	89.23	90.70	89.52	91.55	83.08	84.98	81.42	80.14	86.99

根据式 (2) — (6) 计算嵊泗生态浮标监测数据各类型接收率 (表 6)。根据《近岸海域水质自动监测技术规范》(HJ 731—2014)、《近岸海域生态

浮标实时监测技术规范》(HY/T 0409—2024) 中的方法 (表 7), 计算各参数有效数据获取率或接收率 (表 6)。

表 6 接收率不同统计方法的比较
Table 6 Comparison of different statistical methods for receiving rates

方法	基本原理	基本公式	变量含义	统计说明	与本例的区别
方法一 ^[27]	采用运行时数计算	$R_g = (T_g/T_i) \times 100\%$ $T_g = T_i - T_f$	R_g : 有效数据获取率 T_g : 有效运行时数 T_i : 运行考核总时数 T_f : 无效运行时间	为设备运行正常、监测数据有效的时数总和。不计仪器设备预热、校准和维护等引起的无效数据时数	相当于本例的 R_Q , 分子同类同, 分母相当于再减去 D_M 、 D_F 和 D_N , 结果偏大
方法二 ^[28]	采用数据个数计算	$R_g = (N_g/N_i) \times 100\%$	R_g : 数据有效接收率 N_g : 接收到的数据个数 N_i : 应该接收到的全部数据个数	为设备在正常运行情况下获取的或应该获取的监测数据个数总和。不计调试、校准 (核查) 和维修维护等引起的无效数据个数	相当于本例的 R_Q , 分子相同, 分母再减去 D_M 、 D_F 和 D_N , 结果偏大

续表 6

方法	基本原理	基本公式	变量含义	统计说明	与本例的区别
本例	考虑不同实际场景, 采用接收到的数据个数计算	$R_A, R_O, R_P,$ $R_Q = (D_A - D_{NA} - D_M - D_F - D_N - D_L - D_S) / (D_T - D_{NT}) \times 100\%$	见 1.2 数据类型定义	分场景统计接收到的数据个数。不计年度维护、移位、拖回或传感器拆回维修等不在原位工作期间获取或理应获取的数据	—

经计算, 2020—2021 年嵊泗生态浮标各监测参数 R_A 为 87.28% ~ 90.61%、 R_O 为 90.05% ~ 93.18%、 R_P 为 89.24% ~ 90.98%、 R_Q 为 79.68% ~ 88.72%。水质和营养盐各参数的 R_Q 均达到 80% 以上, 且四类水质参数的数据接收率均略高于氮磷营养盐的数据接收率, 表明水质传感器的稳定性更好。

文献 [27] 采用运行时间来计算有效数据获取率, 采样频率为 1 h 或 4 h, 其获取的数据量结果与文献 [28] 及本例的 R_Q 类似。但文献 [27] 和 [28] 在有效数据获取率或接收率的统计过程中不计仪器设备预热 (调试)、校准和维护等引起的无效数据个数, 相当于本例中 R_Q 的分母中不含 D_M 、 D_F 和 D_N , 而分子类似或相同, 导致统计结果偏大 (表 6), 这可能与统计目的不同有关。文献 [27] 和 [28] 中的有效数据获取率或接收率主要应用于浮标监测系统建设验收, 要求试运行期间获取率或接收率不小于 90%, 而本例主要针对浮标系统业务化应用之后获取的监测数据进行统计分析, 以评估数据质量及浮标在海上的实际运行状态。

4 讨论

生态浮标^①在线监测是水环境实时监测的重要手段, 其数据质量直接影响环境管理决策、生态预警和治理效果评估。已有研究将数据有效性属性分为“有效”“无效”“可疑”三类^[27-28]。本文根据数据质量不同, 将浮标监测数据分为正常数据和异常数据。在此基础上, 本文还提出缺测数据和非原位数据, 并将异常数据细分为测试数据、故障数据、无效数据、离群数据和可疑数据, 具有一定的

创新性。岸站监控平台对数据的识别和标识形成数据质控的前端防线。岸站监控平台通过设备管理功能模块对浮标传感器各项参数的初筛量程进行设置 (如水温有效范围设置为 $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$), 超出初筛范围的数据标识为无效数据或离群数据; 根据运行维护记录标识测试数据, 根据浮标、传感器故障情况标识故障数据。对于初筛范围内的可疑数据、离群数据, 则需要通过观察数据特点, 并借助三倍标准差检验和可视化绘图曲线检验等手段进行判别。

浮标系统在海上的稳定运行是获取合格监测数据的基础, 数据接收率是评估浮标系统海上运行状态的重要依据之一^[29-30]。浮标所在位置、网络信号是否通畅、数据传输是否正常、系统运行维护、传感器运行状态、船舶碰撞或台风影响引发的意外海况, 以及数据质量等因素均会影响浮标监测数据接收率。本研究所涉及的浮标投放于近岸海域, 采用移动通信通过互联网实时传输数据, 浮标位置离岸边移动基站的距离较近, 信号通畅, 保障了浮标监测数据的传输效率。岸站监控平台设置自动补数和人工补数功能, 日常监控中一旦发现数据传输缺失, 即启动补数功能, 对数据丢包现象进行补数。通过例行维护、应急维护和年度整体维护, 保证浮标系统在海上的正常稳定运行。通常情况下每月开展 1 次例行维护; 受台风和恶劣海况影响, 或发生渔船碰撞、断电或通信故障等突发事件时, 立即开展应急维护; 每年开展 1 次整体维护。本实例嵊泗生态浮标 2020—2021 年共开展运行维护 38 次, 其中例行维护 24 次、应急维护 12 次、年度整体维护

① 浮标的监测参数包括水质 (水温、盐度、溶解氧、pH、叶绿素 a、浊度等)、气象 (气温、气压、风速、风向、相对湿度、光照等) 和营养盐 (氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和活性磷酸盐) 等, 由于非单一水质监测浮标或气象观测浮标, 本文称之为生态浮标。

2次。网络通畅和维护及时有效保证了浮标监测数据的获取和传输。因此, 本文主要通过对接收到的数据进行分析研究, 计算数据接收率, 用以评估浮标海上运行状态。

已有研究采用有效/无效运行时数来计算有效数据获取率^[27], 或采用接收到的数据个数来计算数据有效接收率^[28], 但均未区分浮标是否处于原位运行, 也未考虑浮标是否处于正常工作状态。本文以嵊泗生态浮标为例, 采用监测数据个数来计算四类接收率, R_A 均值为 89.29%, 表明 2020—2021 年嵊泗生态浮标系统(以下简称“浮标”)在海上的工作运行天数约为 652 d(年均 326 d), 两年间浮标约有 79 d 不在海上或在海上而没有运行。根据非原位理论接收数据测算, 约有 26 d 浮标处于原位海域之外状态, R_O 均值为 91.94%, 表明两年间浮标在海上原位海域工作运行的天数约为 648 d, 约有 4 d 浮标运行在非原位海域, 处于台风影响下的移位状态或是年度整体维护过程中。 R_P 均值为 90.02%, 表明两年间浮标在海上原位海域正常工作运行的天数约为 635 d, 约有 13 d 浮标处于原位海域运维或故障状态。 R_Q 均值为 85.04%, 表明两年间浮标在海上原位海域正常工作运行状态下获取合格数据的天数约为 599.5 d。四类接收率对海上浮标是否处于原位海域、是否处于正常工作状态进行了区分: R_A 侧重于监测数据的传输效率, R_O 侧重于浮标的海上原位工作状态, R_P 侧重于浮标的正常运行时长, R_Q 侧重于监测数据质量。其统计结果可用于浮标系统业务化应用过程中数据质量及浮标在海上的运行状

态评估, 同时, 也可为海洋行政主管部门制定浮标运行管理对策提供技术支持。

5 结论

(1) 本文按照海洋生态浮标数据产生过程、所在海域位置和数据质量, 将浮标数据分为理论接收数据、实收数据、缺测数据、原位数据(合格数据、异常数据)、非原位数据(非原位理论接收数据、非原位实际接收数据)。其中, 原位数据中的异常数据进一步细分为测试数据、故障数据、无效数据、离群数据和可疑数据, 共 5 类 11 种数据类型。

(2) 在传统数据接收率的基础上, 结合海洋生态浮标监测数据的实际, 提出实际接收率、原位运行接收率、正常运行接收率和合格数据接收率四类指标的概念, 并给出了相应的计算公式, 具有一定的创新性。

(3) 以浙江舟山海域嵊泗生态浮标为例, 对四类接收率进行了计算, 得出较长时间序列生态浮标在线监测数据的量化质量结果。测算结果表明, 2020—2021 年, 嵊泗生态浮标系统在海上的工作运行天数约为 652 d, 在原位海域工作运行的天数约为 648 d, 在原位海域正常工作运行的天数约为 635 d, 获取合格数据的天数约为 599.5 d, 水质和营养盐各参数的合格数据接收率均达到 80% 以上。

(4) 本文提出的海洋生态浮标监测数据接收率分类与计算结果, 可有效表征浮标自动监测数据发送和接收情况以及数据质量, 为浮标系统海上运行状态的评估提供科学依据。

参考文献 (References):

- [1] 赵聪蛟, 刘希真, 付声景, 等. 基于水质浮标在线监测的米氏凯伦藻赤潮过程及环境因子变化特征分析[J]. 热带海洋学报, 2020, 39(2): 88-97.
ZHAO Congjiao, LIU Xizhen, FU Shengjing, et al. Variation characteristics of the evolution of *Karenia mikimotoi* bloom and environmental factors based on online monitoring buoy data[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2020, 39(2): 88-97.
- [2] 赵聪蛟, 孔梅, 孙笑笑, 等. 浙江省海洋水质浮标在线监测系统构建及应用[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(2): 288-294.
ZHAO Congjiao, KONG Mei, SUN Xiaoxiao, et al. Construction and application of the marine online monitoring buoy system in Zhejiang Province[J]. Marine Environmental Science, 2016, 35(2): 288-294.
- [3] 沈洋洋. 我国海洋水质在线监测系统的发展与展望[J]. 仪器仪表与分析监测, 2022(1): 36-40.
SHEN Yangyang. Development and prospect of marine water quality on-line monitoring system in China[J]. Instrumentation Analysis Monitoring, 2022(1): 36-40.

- [4] 天津市生态环境监测中心. 海洋浮标式水质自动监测站项目(项目编号: TGPC-2020-A-0371)中标公告[EB/OL]. (2020-12-10)[2025-02-13]. <http://www.ccgp-tianjin.gov.cn/portal/documentView.do?method=view&id=231792066&ver=2>.
Tianjin Eco-Environmental Monitoring Center. Announcement of winning the bid for the ocean buoy type water quality automatic monitoring station project(No.TGPC-2020-A-0371)[EB/OL]. (2020-12-10)[2025-02-13]. <http://www.ccgp-tianjin.gov.cn/portal/documentView.do?method=view&id=231792066&ver=2>.
- [5] 江苏省自然资源厅. 海洋生态沿岸在线监测系统中招标公告[EB/OL]. (2024-10-24)[2025-02-13]. http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/202410/t20241024_23451437.htm.
Jiangsu Provincial Department of Natural Resources. Announcement of winning bid for marine ecological coastal online monitoring system[EB/OL]. (2024-10-24)[2025-02-13]. http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/202410/t20241024_23451437.htm.
- [6] 罗金福, 李天深, 蓝文陆. 近岸海域自动监测网络在广西环境管理服务中的应用[J]. 广西科学院学报, 2019, 35(2): 109-112.
LUO Jinfu, LI Tianshen, LAN Wenlu. Application of automatic monitoring system in offshore area in the environmental management service of Guangxi[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2019, 35(2): 109-112.
- [7] 庄宏儒. 水质自动监测系统在厦门同安湾赤潮短期预报中的应用[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(2): 58-61.
ZHUANG Hongru. Application of automatic monitoring system of water quality on short-term prediction of red tide in Tongan bay, Xiamen[J]. Marine Environmental Science, 2006, 25(2): 58-61.
- [8] 赵聪蛟, 周燕, 姚炜民, 等. 一种基于浮标在线监测数据的赤潮短期预警方法及用途: CN105403680A[P]. 2016-03-16.
ZHAO Congjiao, ZHOU Yan, YAO Weimin, et al. A short-term warning method of red tide based on buoy online monitoring data and its application: CN105403680A[P]. 2016-03-16.
- [9] 陈旭阳, 刘保良. 海洋在线监测浮标在赤潮监测中的应用研究[J]. 热带海洋学报, 2018, 37(5): 20-24.
CHEN Xuyang, LIU Baoliang. Application of real-time monitoring buoy in monitoring red tide[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2018, 37(5): 20-24.
- [10] 马方方, 郭翔宇, 徐丽君, 等. 深圳海域红色赤潮藻赤潮在线监测数据变化及其成因分析[J]. 海洋技术学报, 2018, 37(4): 54-61.
MA Fangfang, GUO Xiangyu, XU Lijun, et al. Analysis on the online monitoring data changes and cause of *Akashiwo sanguinea* blooms in Shenzhen coastal waters[J]. Journal of Ocean Technology, 2018, 37(4): 54-61.
- [11] 李天深, 蓝文陆. 基于近岸海域自动监测浮标的水华发生过程分析[J]. 海洋通报, 2016, 35(2): 201-208.
LI Tianshen, LAN Wenlu. Process analysis of algal bloom in offshore area based on the automatic monitoring buoy[J]. Marine Science Bulletin, 2016, 35(2): 201-208.
- [12] 李斌, 刘保良, 陈旭阳, 等. 基于海洋生态在线监测浮标数据的钦州湾藻华过程研究[J]. 广西科学, 2021, 28(1): 30-36
LI Bin, LIU Baoliang, CHEN Xuyang, et al. Analysis of algal bloom in Qinzhou Bay based on marine ecology online monitoring buoy data[J]. Guangxi Sciences, 2021, 28(1): 30-36.
- [13] 刘金贵, 车助镁, 李尚鲁, 等. 2019年温州湾藻华期间海洋生态要素演变特征[J]. 地球科学进展, 2023, 38(2): 183-191.
LIU Jingui, CHE Zhumei, LI Shanglu, et al. Characteristics of marine ecological factors during red tide periods in 2019 in Wenzhou Bay[J]. Advances in Earth Science, 2023, 38(2): 183-191.
- [14] 李天深, 蓝文陆, 卢印思, 等. 基于在线自动监测的钦州湾海域水质参数周年时空变化特征[J]. 环境监测管理与技术, 2014, 26(4): 27-30.
LI Tianshen, LAN Wenlu, LU Yinsi, et al. Temporal and spatial variation of water quality parameters in Qinzhou Gulf by online automatic monitoring system[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2014, 26(4): 27-30.
- [15] 奚琛, 林宗轩, 萨如拉, 等. 基于双浮标连续监测资料分析大亚湾西南部海域水体环境变化特征及其影响因素[J]. 热带海洋学报, 2024, 43(4): 153-164.
XI Chen, LIN Zongxuan, SA Rula, et al. Analysis of water environmental changes and influencing factors in the southwestern waters of the Daya Bay based on continuous monitoring data from dual buoys[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2024, 43(4): 153-164.
- [16] 俞秀霞, 孙琳, 陈长平. 厦门港叶绿素的时空分布及其与水环境因子关系的多元分析[J]. 海洋科学, 2021, 45(6): 49-62.
YU Xiuxia, SUN Lin, CHEN Changping. Chlorophyll content in Xiamen Bay-spatiotemporal distribution and relationship with water environmental factors[J]. Marine Sciences, 2021, 45(6): 49-62.
- [17] 蔡励勋. 厦门海域溶解氧日变化特征的分析[J]. 海洋渔业, 2008(3): 213-218.

- CAI Lixun. Analysis on daily variation features of dissolved oxygen showed in Xiamen sea area[J]. *Marine Fisheries*, 2008(3): 213-218.
- [18] 庄晓珊, 桓清柳, 彭莹, 等. 深圳东部近岸海域溶解氧的时空分布特征[J]. *热带海洋学报*, 2018, 37(5): 98-105.
ZHUANG Xiaoshan, HUAN Qingliu, PENG Ying, et al. Spatial and temporal distribution of dissolved oxygen in the coastal waters of eastern Shenzhen[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2018, 37(5): 98-105.
- [19] 庞仁松, 周凯, 庞娜, 等. 大鹏湾近岸海域叶绿素 a 的时空分布特征[J]. *海洋环境科学*, 2017, 36(3): 360-365.
PANG Rensong, ZHOU Kai, PANG Na, et al. The spatial and temporal distribution characteristics of Chlorophyll-a in the coastal waters of Mirs bay[J]. *Chinese Journal of Marine Environmental Science*, 2017, 36(3): 360-365.
- [20] 苏珮瑶, 黄磊, 张晓东, 等. 面向海水淡化的原海水水质监测与悬浮物浓度研究[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2023, 53(S1): 11-18.
SU Peiyao, HUANG Lei, ZHANG Xiaodong, et al. Research on raw seawater quality monitoring and suspended matter concentration for seawater desalination[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2023, 53(S1): 11-18.
- [21] 胡益峰, 蒋红, 缪文. 岙山监测浮标周边海域水质分析与评价[J]. *海洋开发与管理*, 2020, 37(1): 56-61.
HU Yifeng, JIANG Hong, LIAO Wen. Water quality analysis and evaluation of coastal water around Aoshan buoy[J]. *Ocean Development and Management*, 2020, 37(1): 56-61.
- [22] 贝竹园, 冯辉强, 石钢德. 浅谈水质在线自动监测系统在象山港进行海洋环境监测的应用[J]. *海洋开发与管理*, 2007, 24(6): 101-107.
BEI Zhuyuan, FENG Huiqiang, SHI Gangde. A brief discussion on the application of online automatic water quality monitoring system for marine environment monitoring in Xiangshan Bay[J]. *Ocean Development and Management*, 2007, 24(6): 101-107.
- [23] 杨永俊, 胡展铭, 林忠胜, 等. 基于在线监测的江河入海径流量计算方法研究与应用: 以辽河口为例[J]. *海洋环境科学*, 2020, 39(5): 804-808.
YANG Yongjun, HU Zhanming, LIN Zhongsheng, et al. Research and application of river runoff calculation method based on on-line monitoring: a case study in Liaohe river[J]. *Chinese Journal of Marine Environmental Science*, 2020, 39(5): 804-808.
- [24] 赵聪蛟, 宋琍琍, 余骏, 等. 浙江海洋浮标监测数据质量控制体系设计[J]. *海洋开发与管理*, 2022, 39(12): 29-36.
ZHAO Congjiao, SONG Lili, YU Jun, et al. Design of quality control system for marine buoy monitoring data in Zhejiang Province[J]. *Ocean Development and Management*, 2022, 39(12): 29-36.
- [25] 陶卫国, 方今. 上海近岸海域预警监测系统建设探讨[J]. *声学及电子工程*, 2020(2): 19-21.
TAO Weiguo, FANG Jin. Discussion on the construction of early warning and monitoring system in Shanghai coastal waters[J]. *Acoustics and Electronic Engineering*. 2020(2): 19-21.
- [26] 赵聪蛟, 何志强, 周燕. 浙江省海洋水质监测浮标设计与实现[J]. *海洋技术学报*, 2015, 34(5): 37-42.
ZHAO Congjiao, HE Zhiqiang, ZHOU Yan. Design and implementation of the marine water quality monitoring buoy in the Zhejiang Province[J]. *Journal of Ocean Technology*, 2015, 34(5): 37-42.
- [27] 环境保护部. 近岸海域水质自动监测技术规范: HJ 731—2014[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
Ministry of Environmental Protection. Specification for automated water quality monitoring in coastal area, HJ 731—2014[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2014.
- [28] 生态环境部. 近岸海域水质浮标实时监测技术规范: HY/T 0409—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
Ministry of Ecology and Environment. Specification for real-time water quality monitoring of mooring buoy in nearshore area: HY/T 0409—2024[S]. Beijing: China Standards Press, 2024.
- [29] 冯锡超, 郑仕俊. 海洋资料浮标的资料有效接收率问题研究[J]. *海洋技术*, 1988, 7(4): 65-68.
FENG Xichao, ZHENG Shijun. Research on the effective reception rate of marine data buoys[J]. *Ocean Technology*, 1988, 7(4): 65-68.
- [30] 徐文锵. 锚定浮标系统数据接收率计算及有效资料的确定方法[J]. *海洋预报*, 1989, 6(1): 50-56.
XU Wenqiang. Calculation of data reception rate and determination method of effective data for anchor buoy system[J]. *Marine Forecasts*, 1989, 6(1): 50-56.