

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2022.03.012

白龙浮标数据全球通信系统共享的解决方案

宁春林^{1,2,3}, 薛 蕾⁴, 姜 龙⁵, 李 超¹, 高 峰⁴, 于卫东⁶

(1. 自然资源部第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 山东 青岛 266237;
3. 自然资源部海洋环境科学与数值模拟重点实验室, 山东 青岛 266061; 4. 国家气象信息中心, 北京 100081;
5. 世界气象组织, 瑞士 日内瓦 1202; 6. 中山大学大气科学学院, 广东 珠海 519082)

摘要:为实现白龙浮标数据按照标准格式全要素参与国际交换,设计了从浮标数据测量、卫星传输、岸站接收、实时数据质量控制、云服务器存储到 FTP 数据上传中国气象局的数据传输链路;采用 WMO 推荐的标准 BUFR 格式对原始数据进行格式转换和重新编报,并按照全球通信系统(GTS)的规则进行封装和编发,实现了白龙浮标气象和海洋观测数据实时向 GTS 的分发共享,全球用户可以通过 GTS 收集数据并进行分拣后,按照报头识别并解码得到白龙浮标实时数据。白龙浮标成为我国第一个实时数据共享到 GTS 的锚系浮标,表明我国锚系浮标数据提供能力达到世界先进水平。
关键词:白龙浮标;全球通信系统(GTS);BUFR 格式;报头识别;世界气象组织;中国气象局
中图分类号:P715.2;TP23 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2022)03-0091-05

Solution of Bailong buoy data sharing through GTS

NING Chunlin^{1,2,3}, XUE Lei⁴, JIANG Long⁵, LI Chao¹, GAO Feng⁴, YU Weidong⁶

(1. First Institute of Oceanography, MNR, Qingdao 266061, China;
2. Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China;
3. Key Laboratory of Marine Science and Numerical Modeling, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China;
4. National Meteorological Information Center, Beijing 100081, China;
5. World Meteorological Organization, Geneva 1202, Switzerland;
6. School of Atmospheric Sciences, Sun Yat-Sen University, Zhuhai 519082, China)

Abstract:In order to participate in the international exchange of Bailong buoy data with the standard format, the data transmission process is designed, including the data measurement, satellite transmission, station receiving, real-time data quality control, storage in cloud, and data link for uploading to China Meteorological Administration (CMA) via FTP. According to the standard binary universal form of the representation of meteorological data (BUFR) recommended by World Meteorological Organization (WMO), CMA converts the original format into BUFR and packs them according to the rules of Global Telecommunication System (GTS). At present, the meteorological and ocean observation data of Bailong buoy is distributed and shared to GTS in real time. Global users can get the Bailong buoy data from GTS, and identify and decode the data by the header identification. The Bailong buoy becomes the first Chinese mooring buoy shared with other countries by GTS, which indicates that the data providing capacity of China's climate mooring buoy has achieved the world's advanced level.
Key words: Bailong buoy; Global Telecommunication System; BUFR format; header identification; World Meteorological Organization (WMO); China Meteorological Administration

白龙浮标^[1-2]是自然资源部第一海洋研究所自主研发的国内首个深海气候观测浮标^[3-4],是深海气候观测支撑平台^[5-9],能够搭载多要素传感器,实现对海表气象、海洋要素以及海洋内部要素的高频采样,同时使用铱星通信,实时将观测数据传输到位于青岛的岸站数据中心^[10-13]。目前,白龙浮标的 5 个站位分别与印度尼西亚、澳大利亚、马来西亚、泰国、肯尼亚等合作布放在印度洋,其中布放在非洲-亚洲-澳大利亚季风分析和预测研究锚系浮标阵列(research moored array for African-Asian-Australian monsoon analysis and prediction,RAMA)中的(8°S,100°E)站位被世界气象组织(World Meteorological Organization,WMO)分配编号 5300041。

基金项目: 山东省重大科技创新工程专项(2018SDKJ0209)
作者简介: 宁春林(1977—),男,高级工程师,博士,主要从事海洋观测技术研究。E-mail: cning@ fio. org. cn
通信作者: 薛蕾(1981—),女,正高级工程师,硕士,主要从事气象数据交换处理系统设计研究。E-mail: xuelei@ cma. gov. cn
引用本文: 宁春林,薛蕾,姜龙,等. 白龙浮标数据全球通信系统共享的解决方案[J]. 河海大学学报(自然科学版),2022,50(3):91-95.
NING Chunlin,XUE Lei,JIANG Long,et al. Solution of Bailong buoy data sharing through GTS[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2022,50(3):91-95.

WMO 的全球通信系统(Global Telecommunication System,GTS)是其通信和数据管理的组成部分,由成员国的国家气象和水文局以及欧洲中期天气预报中心(ECMWF)和欧洲气象卫星组织(EUMETSAT)等国际组织实施和运营.GTS 是一个由点对点电路和多点电路组成、集地面和卫星通信链路为一体的综合网络,连接各国的气象通信中心,全天候可靠并近乎实时地收集、分发所有气象及相关数据。目前,WMO 正在建立一个更加全面的信息系统(WIS 2.0),使所有数据和信息能够系统地无缝获取、检索、传播和交换,支持减灾、气候服务、可持续发展等全球战略^[14]。

GTS 包括 3 个层次结构:①骨干通信网络(MTN)。MTN 连接墨尔本、莫斯科和华盛顿的 3 个世界气象中心(WMC)和阿尔及尔、北京、布拉克内尔、巴西利亚、布宜诺斯艾利斯、开罗、达喀尔、吉达、内罗毕、新德里、奥芬巴赫、图卢兹、布拉格、索非亚、东京的 15 个区域通信枢纽(RTH)。这一核心网络为 RTH 之间提供了高效、快速和可靠的通信服务。②区域气象通信网络(RMTNs)。RMTNs 覆盖 WMO 的非洲、亚洲、南美洲、北美洲、中美洲和加勒比、西南太平洋、欧洲、南极 8 个区域的综合通信网络。该网络通过连接本区域内的气象通信中心,进行观测数据的收集,并有选择地向成员国分发气象及其他相关信息。③国家气象通信网络(NMTNs)。使各国能够在国家一级收集观测数据,接收和分发气象信息^[14]。

北京是 GTS 亚洲区域通信枢纽,国家气象信息中心作为该枢纽的业务运行单位,依托我国自建的国际通信系统承担了国际气象数据交换业务,具体负责全球资料收集、国内全球交换资料的对外分发,越南、朝鲜等责任区国家的气象数据传输,以及与德国、日本、法国、俄罗斯、韩国、印度、泰国、越南、朝鲜、蒙古及欧洲气象卫星组织等国家和国际组织进行气象数据交换。国际通信系统是中国气象局收集国外气象资料和产品,以及对外提供国内气象资料、全球交换资料和双边交换资料的核心业务平台;同时,通过 Internet 线路与澳大利亚、巴基斯坦、美国等国家进行资料交换共享,作为 GTS 系统的补充^[14]。

本文针对(8°S,100°E)站位的白龙浮标设计了一套解决方案,实现了数据从浮标端到岸站端进而共享数据到 GTS,从而实现白龙浮标数据的全球共享,特别是利用拉依达准则,实现了实时数据质量控制。

1 方案概述

白龙浮标作为深海布放的海气相互作用锚系平台,实时采集气象、海气界面和剖面水下数据,并通过通信卫星把采集的数据实时发送到岸站接收系统,在岸站接收系统对数据进行质量控制。中国气象局国际通信系统作为我国唯一的 GTS 入口,从岸站接收系统接收浮标数据后,根据 WMO 规定的数据编码和交换规则,对原始数据进行格式转换、重新编报和封装后向 GTS 分发,实现数据与国外的交换共享。

2 数据采集及质量控制

白龙浮标主要由数据采集、气象观测、耦合传输水文观测、控制、卫星通信、锚系、浮标体、能源、独立定位通信和岸站等分系统组成。

数据采集分系统和控制分系统每 10 min 采集气象观测分系统的气温、气压、雨量、相对湿度、风速风向、长波辐射和短波辐射数据,同时耦合传输水文观测分系统使用感应耦合技术每 10 min 获取水下 13 个温度、电导率、深度和溶解氧传感器采集的温度、电导率、深度和溶解氧数据,每 1 h 获取水下 4 个海流传感器采集的海水流速、流向数据,每 8 h 获取 GPS 的定位数据。卫星通信分系统每 3 h 把采集的数据打包发送到岸站分系统,岸站分系统中的数据服务程序接收、解析、实时数据质量控制后自动保存数据到云服务器的数据库中,同时把(8°S,100°E)站位的数据以文件的形式通过 FTP 协议自动发送到国家气象信息中心,整个流程如图 1 所示。

虽然白龙浮标采集传感器的数据质量随着传

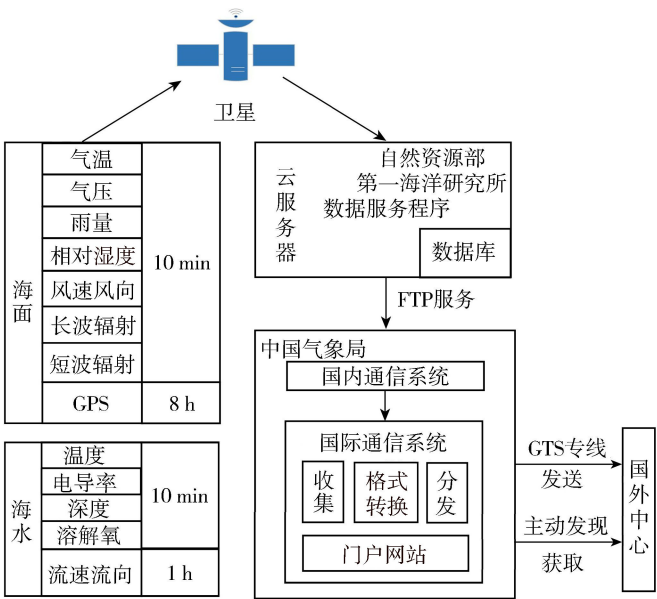


图 1 白龙浮标数据上传中国气象局流程

Fig. 1 Flow chart of uploading Bailong buoy data to CMA

传感器和数据采集机器的质量提高而提高,但是考虑到各种因素,还是存在误差较大的测量值。对于大样本数据集,拉依达准则是剔除含有粗大误差测量值的常用方法。依据拉依达准则,服从正态分布的测量数据,如果某个测量值 Z_d 的残差 $V_d = Z_d - \bar{Z}$ 满足 $|V_d| > 3\sigma$ (σ 为样本标准差, $\bar{Z}$ 为所有测量值的平均值),则将 Z_d 作为异常值剔除。

目前气象和海水温度、电导率、溶解氧、深度数据是每小时 6 组,流速流向类似,以气温为例,按照拉依达准则进行异常值剔除的数据流程如下:在验证气温数据 Z_d 是否准确时,取验证该气温数据的前 30 天 4 320 组数据,计算气温均值 $\bar{Z}$ 、标准差 σ 和残差 V_d ,如果 $|V_d| > 3\sigma$,则记录这条数据为异常值数据,如果 $|V_d| \leq 3\sigma$,则记录这条数据为正常值数据,然后计算下一个 10 min 的气温数据,以此类推。具体流程如图 2 所示。

3 数据编码和交换

随着气象观测数据和产品的种类迅猛增加,时空分辨率、数据质量和精度越来越高,WMO 建议在全球范围内逐步实现由字符码向具有自描述、灵活扩展性和压缩能力的表格驱动码过渡。

在表格驱动码格式中,BUFR(binary universal form of the representation of meteorological data)是用连续的二进制数据流表示气象数据的一种格式,该格式于 1988 年被 WMO 基本系统委员会(CBS)批准试验运行,并于 2005 年发布第 4 版(即现行版本)^[15-16]。目前,全球越来越多的气象、海洋等观测数据开始以 BUFR 格式进行编码和交换。通过 GTS 系统,我国每日可接收来自全球约 170 个不同编报中心的表格驱动码数据,其中采用 BUFR 格式编报的地面观测、探空观测、船舶观测、浮标观测和飞机观测的气象数据每日已多达几十万份,我国的地面观测、探空观测、风云卫星观测等资料也均采用了 BUFR 格式参与国际交换^[17-19]。

WMO 为常规资料制定了通用的标准模板,如地面资料标准模板为 TM307080,探空资料的标准模板为 TM309052,而锚定浮标资料的标准模板为 TM315008。鉴于 BUFR 格式具有自描述性,各个数据中心也可根据自身的观测特点,灵活制定编码模板。白龙浮标气象和海洋观测序列可较好适配于标准模板,因此国家气象信息中心对原始数据进行解码后,按照 TM315008 模板进行 BUFR 格式转换,并按照 GTS 的规则进行封装和编发。

3.1 封装规则

参与 GTS 交换的数据需要遵循 GTS 手册进行封装,以便 WMO 成员国在收到数据后进行初步识别、完整性判定和路由转发等操作,封装过程中需要确定白龙浮标资料的 GTS 报头。报头是一份公报在 GTS 上传输的唯一标识,用于标识资料类型、所属地理区域和编报中心等,白龙浮标的报头是 IOBK01BABJ YYGGgg[BBB],其中,I 为格式标识,表示 BUFR 数据;O 为资料类型,表示海洋资料;B 为资料子类型,表示浮标观测;K 为资料所属地理区域,表示南半球 180°E~90°E;BABJ 表示编报中心为北京;YYGGgg 为资料时次,分别表示资料观测的日期(2 位)和时间(小时和分钟各 2 位);BBB 为可选项,可用于编发更正报(CCx)或延迟报(RRx),x 代表 A~X,如第一份更正报 BBB 编报“CCA”,第二份编“CCB”,依次类推,“CCX”之后仍有更正报编发时,BBB 继续使用“CCX”。

3.2 编码构成

编码数据由指示段、标识段、选编段、数据描述段、数据段和结束段构成^[14],其结构如图 3 所示。

- a. 指示段。指示段由 8 个八比特组组成,包括 BUFR 数据的起始标志、BUFR 数据长度和 BUFR 版本号。
- b. 标识段。标识段由 23 个八比特组组成,包括标识段段长、主表号、数据加工中心、数据加工子中心、更新序列号、选编段指示、数据类型、数据子类型、本地数据子类型、主表版本号、本地表版本号、数据编码时间等信息。
- c. 选编段。白龙浮标资料未编发选编段。
- d. 数据描述段。数据描述段由 9 个八比特组组成,包括数据描述段段长、保留字段、观测记录数、数据

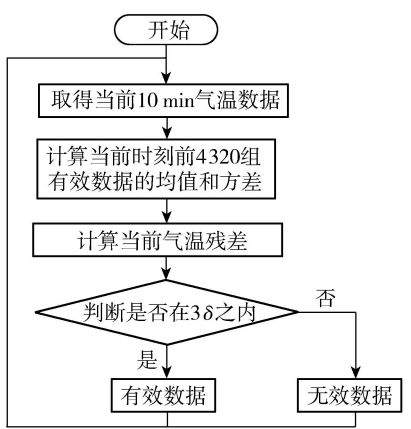


图 2 拉依达准则判断气温数据流程

Fig.2 Flow chart of air temperature judgement with Pauta criterion

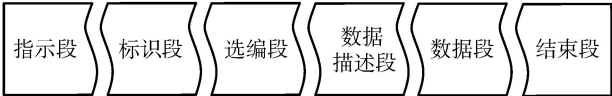


图 3 BUFR 编码数据结构

Fig.3 BUFR coded data structure

性质和压缩方式以及描述符序列。其中,描述符序列采用 WMO 标准模板 TM315008,表示锚定浮标观测数据的要素序列。

e. 数据段。包括数据段段长、保留字段和模板为 TM315008 的描述符信息。其中,数据段段长根据编码时实际包含的要素确定。观测内容包括标准海面气象观测数据、辐射观测数据、温盐廓线观测数据和洋流观测数据。

f. 结束段。由 4 个八比特组组成,分别编码为“7777”。

4 数据下载

BUFR 格式的白龙浮标数据与其他数据共同打包后,通过国际通信系统分发至 GTS,德国、日本、法国等国家通过本国的 GTS 系统收集数据并进行分拣后,按照报头识别出中国发送的浮标数据并进行解码后,得到白龙浮标数据。

国际浮标组织把全球共享 GTS 的浮标数据上传到 www.jcommops.org 网站,用户可以查到白龙浮标站位并下载数据,同时中国气象局作为全球信息系统中心之一,制作并发布了 BUFR 格式白龙浮标数据的元数据,国内外用户可以通过北京全球信息系统门户(WIS Portal)检索并下载白龙浮标元数据,检索报头 IOBK01BABJ,如图 4 所示。

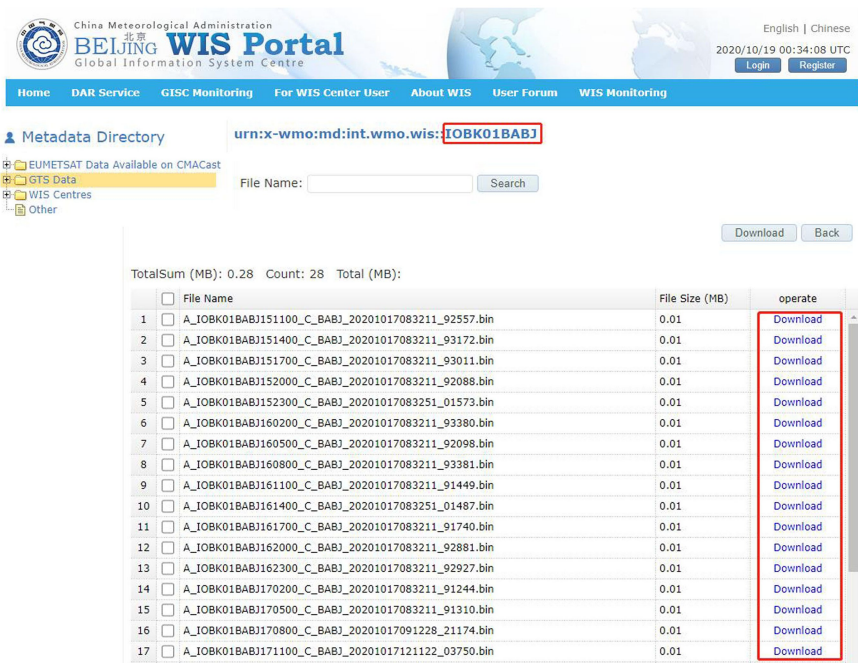


图 4 北京全球信息系统门户白龙浮标元数据下载

Fig. 4 Builong buoy data downloading from Beijing WIS Portal

5 结 语

白龙浮标是在印度洋投放的、国内目前唯一业务化运行在 RAMA 的深海锚系浮标,也是国内目前唯一与美国 TAO 浮标开展比对的深海锚系浮标。白龙浮标数据按照标准格式全要素参与国际交换是国内外气象和海洋部门的迫切需求,通过将白龙浮标数据共享到 GTS,贯通我国锚系浮标数据从浮标端到 GTS 的整个数据链路,表明我国深海气候浮标数据提供能力达到世界先进水平,将极大提高白龙浮标在全球深海海洋气候观测领域的国际影响力,有助于我国全球深海海洋气候观测系统的国际化进程。期待越来越多的中国浮标,结合自身能力和需要,参考本文的解决方案,将数据共享到 GTS,为全球海洋、气象、水文、气候等公共服务贡献力量,推动减灾和气候服务目标的实现。

参考文献:

[1] 李超. 基于白龙浮标不同应用的多种通信方式设计与实现[D]. 青岛:国家海洋局第一海洋研究所,2017.

[2] 王肖闯. 深海浮标数据采集系统的设计[D]. 长春:东北师范大学,2019.

- [3] YU W D, MCPHADEN M J, NING C L, et al. Bailong buoy: a new Chinese contribution to RAMA[J]. CLIVAR Exchanges, 2012, 17(1): 25-28.
- [4] 孙辰, 陈志平, 宁春林, 等. 海洋资料浮标结构关键问题研究[J]. 杭州电子科技大学学报, 2013, 33(6): 146-149. (SUN Chen, CHEN Zhiping, NING Chunlin, et al. Research on key problems of ocean data buoy[J]. Journal of Hangzhou Dianzi University, 2013, 33(6): 146-149. (in Chinese))
- [5] 王军成. 海洋资料浮标原理与工程[M]. 北京: 海洋出版社, 2013: 130-177.
- [6] 宁春林, 施浒立, 于卫东, 等. 海洋资料浮标观测系统通讯和导航的一种新方法[J]. 宇航学报, 2010, 31(1): 148-154. (NING Chunlin, SHI Huli, YU Weidong, et al. A novel communication and navigation method for ocean data buoy's observation system[J]. Journal of Astronautics, 2010, 31(1): 148-154. (in Chinese))
- [7] 王军成, 厉运周. 我国海洋资料浮标技术的发展与应用[J]. 山东科学, 2019, 32(5): 1-20. (WANG Juncheng, LI Yunzhou. Development and application of ocean data buoy technology in China[J]. Shandong Science, 2019, 32(5): 1-20. (in Chinese))
- [8] 王波, 李民, 刘世萱, 等. 海洋资料浮标观测技术应用现状及发展趋势[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(11): 2401-2414. (WANG Bo, LI Min, LIU Shixuan, et al. Current status and trend of ocean data buoy observation technology applications[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(11): 2401-2414. (in Chinese))
- [9] 赵聪蛟, 周燕. 国内海洋浮标监测系统研究概况[J]. 海洋开发与管理, 2013(11): 14-18. (ZHAO Congjiao, ZHOU Yan. Research overview of domestic ocean buoy monitoring system[J]. Ocean Development and Management, 2013(11): 14-18. (in Chinese))
- [10] 马凤强, 吕婷婷, 张浩. 应用于智能浮标的北斗铱星双模通信系统设计[J]. 传感器与微系统, 2021, 40(5): 107-110. (MA Fengqiang, LYU Tingting, ZHANG Hao. Design of Beidou and Iridium dual-mode communication system for smart float[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2021, 40(5): 107-110. (in Chinese))
- [11] 吴杰, 周悦, 殷洁, 等. 基于 STM32 的定点剖面浮标监控系统设计[J]. 制造业自动化, 2021, 43(3): 129-131. (WU Jie, ZHOU Yue, YIN Jie, et al. Design of fixed-point profile buoy monitoring system based on STM32[J]. Manufacturing Automation, 2021, 43(3): 129-131. (in Chinese))
- [12] 孟宪法, 原明亭, 丁军航, 等. 基于单片机 MSP430 的海洋浮标低功耗设计[J]. 制造业自动化, 2020, 42(6): 133-136. (MENG Xianfa, YUAN Mingting, DING Junhang, et al. Low power design of ocean buoy based on MSP430[J]. Manufacturing Automation, 2020, 42(6): 133-136. (in Chinese))
- [13] 陈永华, 于非, 张林林, 等. 深海综合观测浮标研制及其在热带西太平洋的应用[J]. 海洋科学, 2020, 44(8): 215-222. (CHEN Yonghua, YU Fei, ZHANG Linlin, et al. Design and development of deep-sea buoys and their applications in the tropical western Pacific[J]. Marine Sciences, 2020, 44(8): 215-222. (in Chinese))
- [14] 王甫棣, 王鹏. 国际气象通信系统传输模型研究[J]. 计算技术与自动化, 2019, 38(4): 156-161. (WANG Fudi, WANG Peng. Research on transfer model of International Meteorological Telecommunication System[J]. Computing Technology and Automation, 2019, 38(4): 156-161. (in Chinese))
- [15] 赵芳. 气象代码的应用现状及向表格驱动代码过渡的影响分析[J]. 应用气象学报, 2007, 18(5): 709-715. (ZHAO Fang. The current application of meteorological code forms and impacts of migration on table driven code forms[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2007, 18(5): 709-715. (in Chinese))
- [16] 赵芳, 薛蕾, 刘媛媛. 表格驱动码业务试验系统设计与实现[J]. 气象科技, 2018, 46(4): 678-684. (ZHAO Fang, XUE Lei, LIU Yuanyuan. Design and implementation of pilot operating system of table-driven code forms[J]. Meteorological Science and Technology, 2018, 46(4): 678-684. (in Chinese))
- [17] 王颖, 薛蕾, 赵芳, 等. 气象数据格式标准化设计和实施进展[J]. 气象科技进展, 2018, 8(1): 252-255. (WANG Ying, XUE Lei, ZHAO Fang, et al. Progress in standardization design and implementation of meteorological data format[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2018, 8(1): 252-255. (in Chinese))
- [18] 赵芳, 熊安元, 张小纓, 等. 全国综合气象信息共享平台架构设计技术特征[J]. 应用气象学报, 2017, 28(6): 750-758. (ZHAO Fang, XIONG Anyuan, ZHANG Xiaoying, et al. Technical characteristics of the architecture design of China Integrated Meteorological Information Sharing System[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2017, 28(6): 750-758. (in Chinese))
- [19] 熊安元, 赵芳, 王颖, 等. 全国综合气象信息共享系统的设计与实现[J]. 应用气象学报, 2015, 26(4): 500-512. (XIONG Anyuan, ZHAO Fang, WANG Ying, et al. Design and implementation of China Integrated Meteorological Information Sharing System(CIMISS)[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2015, 26(4): 500-512. (in Chinese))

(收稿日期: 2021-06-07 编辑: 熊水斌)