

支撑CIPAS2.0系统的数据环境建设

■ 王琦 郭晓军 倪学磊

针对不同数据源在格式和时效上的差异，建立了支撑CIPAS2.0系统（气候与气候变化监测预测系统）的数据支撑环境，该环境能够提供灵活、智能的数据处理和生成任务调度策略，并对可能出现的数据缺测、异常延迟等情况建立合理的容错和重算机制，辅以实时的数据产品监控系统，形成完整统一的气候资源数据环境，保证了相关业务正常开展运行。

CIPAS2.0（气候与气候变化近侧预测系统）是在CIPAS1.0系统基础上进行了多项升级改进，全面、客观地揭示地球气候系统主要圈层中的正在发生或曾经发生基本事实，实现我国气候监测的业务对象和范畴，从传统的海气系统监测，向整个气候系统各大圈层监测的跨越。CIPAS2.0系统平台面向监测预测基本业务，多模式气候预测分系统的建立实现了我国主要气候预测业务的客观化预报。在预报对象上，实现从常规温度、降水要素拓展至月内强降水、强降温过程、气候现象、气候灾害和极端事件、面向行业的预测；时间尺度上实现延伸期-季节的无缝隙链接，涵盖资料检索、交互显示、统计与诊断分析、产品制作等业务功能。

为充分发挥CIPAS2.0的业务作用，底层的基础数据支撑至关重要；为此，国家气象信息中心和国家气候中心共同成立工作组，建设支撑CIPAS2.0系统的气候资源数据环境。硬件方面，在云桦服务器集群上搭建虚拟环境，建立了可以根据软件负载任务需求弹性调度的硬件计算和存储资源；软件方面，数据获取采用Java语言，通过气象数据统一服务接口MUSIC（Meteorological Unified Service Interface Community）获取在线的气象数据，并建立了基于Java语言的数据统计加工处理流程，考虑到气象业务的特点和惯性，部分数值预报、卫星等数据的处理，仍保留原有的NCL、C++等语言处理方式，为保证监控和调度，采用Java对该部分计算流程进行调度，同时基于Apache Tomcat建立数据展示环境，基于Web形式对产品进行可视化展示以及用户交互操作；网络方面，打通与数据环境和用户组的网络沟通，数据环境与服务器间采用双备份的万兆交换网络，与用户组间以千兆网络相连。通过对数据环境软硬件的建设，确保了气候业务的高效稳定运行，同时保证了业务人员得到最优的

用户体验。

1 环境特点

1.1 数据特点

气候业务由于其本身的学科特征，对数据的有较为特殊的需求，归纳起来，主要可以分为以下四点。

1) 时间序列长

气候科学的研究，常常需要几十年、上百年甚至是年代纪的完整的长时间序列资料，以总结归纳其变化发展规律。CIPAS2.0系统中所用到的要素常年值统计，需要对过去所有发生年份的情况进行统计分析，这就要求基础数据环境必须保证各类数据在时间序列上的完整性，尽量避免中断、缺失等现象。

2) 空间范围广

CIPAS2.0系统对数据不仅有时间序列的完整性需求，对数据的空间分布也很高。目前，CIPAS2.0所使用的数据中，全球使用的站点数约为8000多个，国内部分使用的站点数为2000多个，由于各台站的观测设备，以及中间的通信网络、存储系统异常等多种原因，很难保证实时气象数据在空间上的完整性。

3) 时间尺度多

CIPAS2.0系统，对不同气象要素的统计分析，按照时间尺度，可以分为日值、候值、旬值、月值、季值、年值和常年值等。其中，日统计值资料以小时值资料或日值资料为基础进行统计分析得到，之后，随着时间尺度的增长，依次根据低一级时间尺度的结果进行统计分析或对实际观测值进行对应处理，形成相应的产品。

4) 要素种类多

气候科学，尤其是对气候状态进行诊断分析和监测预测，对气象要素的需求几乎是没有限制的，目前气象业务中所有观测的项目，从常规的温度、湿度、风

速等到辐射、海温、海水盐度等，几乎所有的观测要素均可作为气候业务的适用对象。CIPAS2.0系统目前使用的气象要素不区分观测或模式产品输出，共计约为20大类。

气象数据按照观测的方式不同，可分为站点数据、卫星数据、雷达数据、数值模式数据等，每种数据因各自的观测和存储特点，均有各自的存储格式，加之观测设备的升级更新，数据存储的格式也随之变化。这样的变化，对于长时间序列气象数据的统一管理和应用，势必会造成诸多困难，因此，为便于统一的管理和服务，在CIPAS2.0系统建设中，对所有类型的气象数据，统一使用了UCAR开发的NetCDF格式作为存储系统的统一标准格式。其自带的自描述性，保证了在不同平台和环境中数据的一致性，CIPAS2.0数据描述标准（经纬度顺序，高度描述等），由国家气象信息中心和气候中心联合工作组共同制定。

1.2 业务流程特点

CIPAS2.0系统是一个以日尺度为基本时间单位的实时系统，同时要兼顾大量长时间历史数据。其业务流程基本为：每天定时启动数据获取进程，获取最新观测时间的气象数据并写入到NetCDF文件中，数据获取成功后随即启动统计任务，将新增数据纳入各时间尺度的统计产品中，落地形成文件后提供服务。由于每天数据均会有更新和变化，且因通信、观测等系统的影响，完整获取所需数据的时间并不确定，需要不断调取，直到数据完整性要求得到满足。当某一要素产品有更新成功后启动重算策略，对受到影响的数据进行大量的算工作，进而对计算资源和存储效率提出了较高要求。为此，国家气象信息中心进行了大量基础环境的准备工作，利用虚拟环境下集群资源可动态弹性扩展的特点，搭建了相应的软硬件环境，保证了CIPAS2.0系统的稳定运行。

2 系统框架与功能实现

2.1 总体框架

气候资源数据环境主要由调度系统、数据加工分系统、监控分系统以及产品存储分系统四个部分组成（图1）。其中，调度系统负责对加工处理流程的启动、终止、重新执行等进行控制，以保证数据加工分系统生产得到的产品完整；统计加工分系统负责对采集自基础数据环境（CIMISS）以及从国外机构获取的气象数据进行统计分析和加工处理，并最终生成CIPAS2.0系统所需的气候数据产品；监控分系统对数据处理和生成流程进行全流程的监控，以保证处

理流程的稳定和数据产品在时间和空间上的连续、完整；产品存储分系统承

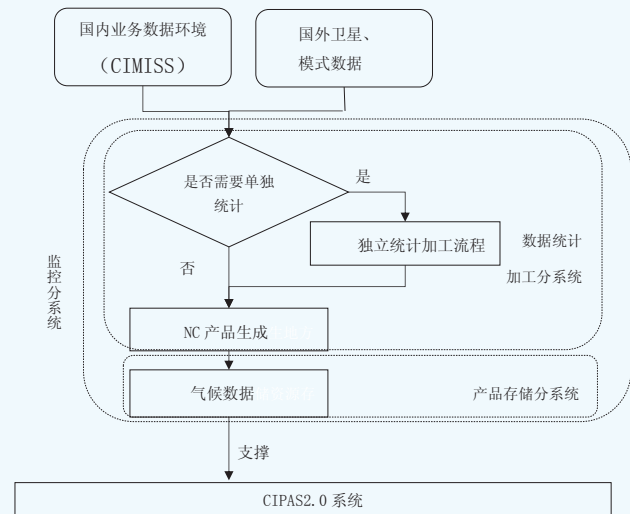


图1 总体框架

2.2 系统功能

气候资源数据环境按照功能，可以分成四个分系统。

2.2.1 调度系统

气象数据的观测是实时进行的，收集来自全国、全球的从秒级资料到小时资料，通过通信系统，到加工处理系统，最终形成标准格式的数据或数据集，提供业务人员使用，或作为其他业务系统的原始资料。

由于台站、网络等系统等多方面原因，经常会出现数据错误、缺失或迟到等现象，无法满足气候业务的需求，为保证实时业务，通常做法是将当前现有的数据进行加工处理，做到“物尽其用”，待故障解除，数据恢复后，再进行订正和补录。此外，针对我国纸质气象数据数字化进程的推进，很多的历史数据会不断补充到业务数据环境，还需要完善各类重算机制，确保数字化后的气象数据能够纳入该系统。

对于CIPAS2.0系统，若在规定时间内生成的数据产品未达到执行标准，就需要重新启动统计加工流程，对未满足时间、空间完整性的数据进行重算，但由于数据补齐的时间无法确定，加之数据种类多而繁，单纯靠人工进行调度作业是不现实的，因此，建立了一套调度和监控系统，以保证数据产品的完整性。

根据不同资料的业务需求和执行标准，为每一种资料制定配置文件，包括产品完整性定义（站点数、文件数等）、启动时间、重算间隔时间、重算次数上限等，以判断在加工处理过程中资料的完整性和正确性是否符合标准，若不符合标准，为保证时效，仍然按照当前情况进行处理，并将具体错误信息的DI发送

给监控系统，并在规定的时间间隔之后，再次对该时段的数据产品进行重算，并覆盖上一次生成的数据产品，继续判断重算过程中的数据产品是否达标，如果达标，则此时刻的任务结束；若仍未达标，规定的间隔时间后，继续执行重算，直到重算次数达到人为设定的上限，如果此时仍未按标准完成数据产品的加工处理，则向监控系统发出信息，需要进行人工干预。具体流程如图2所示。

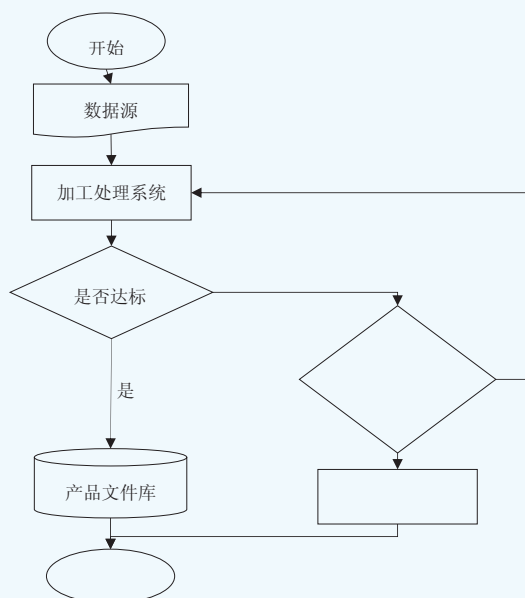


图2 调度系统工作流程

为便于对预警信息的人工干预，利用angularJS技术，建立了一个基于WEB界面的任务管理配置系统，管理员可以通过界面，对每一种产品的执行详细信息进行查看，并修改其重算间隔、重试次数等配置信息，并根据监控系统的提示，进行计划外的任务提交。极大地简化了运行维护的人力成本。

2.2.2 监控系统

监控系统是保证业务流程稳定健康运行的有力工具。为保证系统所需数据产品加工处理和存储流程的稳定，对CIPAS2.0系统所需数据的加工处理过程和产品存储过程进行了全流程的监控，从底层的数据环境获取数据到最终将处理的产品保存到文件库，每一个环节的DI和EI信息，均会发送到统一的监控平台，并以颜色表征各类数据产品的制作情况，包括按标准完成、产品生成但未达标，产品未生成以及告警等。

对于未达标以及未生成的产品，监控系统会详细列出未达标或失败的原因、缺失数据的站号、缺失样本清单等信息，便于技术人员准确定位问题所在，及时处理。

2.2.3 统计加工系统

CIPAS2.0涉及到多种气象资料的多时间尺度的产品，其中一些统计产品和统计方法，是该系统特有的。通过对统计算法进行论证后，开发了相应的统计加工分系统，对这部分统计项进行处理，以服务系统应用。

统计加工分系统在目前的业务环境基础上搭建，其底层为基础数据存储，中间为包含数据处理过程必要功能组件的功能组件层，上层为最主要的应用层，由气象数据资料统计加工模块、气象数据资料质量控制模块、气象数据质量评估模块组成，其中，统计加工模块主要负责对历史和实时气象数据进行各时间、空间尺度的统计分析处理，形成相应的统计产品；气象数据质量控制模块主要负责对质量控制算法的落地，对实时、历史气象数据的数据质量进行分析，确定每个气象数据的可信度；质量评估模块，负责对质量控制的算法和结果进行分析评估，以便更好的改进质量控制的方法。系统结构如图3所示。

统计加工分系统按照业务需求，增加或调整算法，对相关要素进行不同时间尺度的统计，其统计结果被保存到业务系统（CIMISS）中，作为CIPAS2.0的源数据，由加工处理程序生成成为NetCDF产品文件，提供业务系统使用。

2.2.4 数据存储系统

较之于调度分系统和统计加工分系统，数据存储分系统的逻辑结构较为简单：按照CIPAS2.0数据存储规范，将不同尺度的统计产品存到存储系统的相应路径，并确保CIPAS2.0系统能够正常访问，为保证数据访问的高效可靠，系统采用分布式NAS作为CIPAS2.0的存储文件系统。

此外，为最大限度利用统一格式的气候数据资源，同时开发了支持NetCDF格式的数据访问接口以及基于网页的TDS服务，使得气候资源数据不仅能为CIPAS2.0系统提供服务，同时可以为更多的应用提供数据支持。

3 关键技术分析及实现

根据前序用户对业务系统CIPAS1.0的反馈，使用中最大的问题是用户获取到的数据在时间和空间尺度的不完整、不及时。经分析，该问题主要发生在数据处理环节，具体原因包括：1）数据源不完整，统计加工进程制作的产品不满足业务需求；2）数据处理进程异常，没有相应数据产生；3）针对以上两个主要问题，在调度系统和监控系统中，进行了针对CIPAS2.0的特殊设计优化，以满足业务需求。

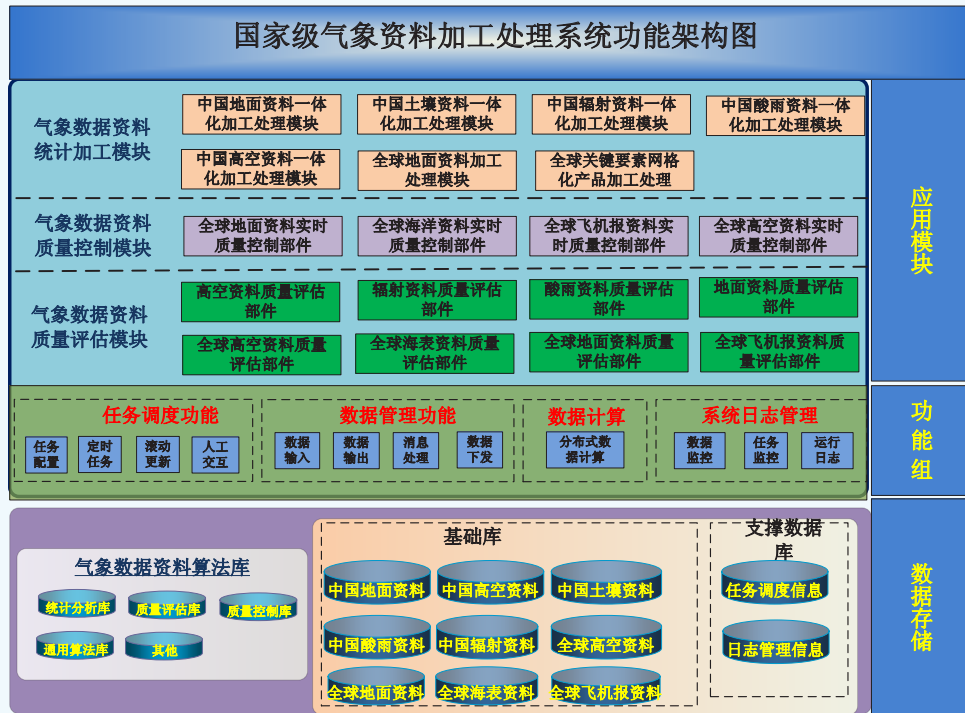


图3 统计加工处理功能架构图

3.1 基于Quartz框架的调度系统

根据前文的概述，数据处理模块主要实现不同数据的统计和处理，因CIPAS2.0系统所用的数据种类繁多频率高，再加上由于数据获取和处理失败导致的作业重做，使得系统的作业处理量大，所以设计合理、高效的作业调度是数据采集处理子系统的核心。经过分析，项目组决定采用OpenSymphony开源组织提供的Quartz作业调度框架来实现数据采集处理作业的调度。

3.1.1 数据统计加工进程触发

Quartz作业调度框架由调度器与作业两部分组成，调度器是Quartz框架的核心，负责管理Quartz应用运行时环境；作业是能够调度的可执行任务，即CIPAS2.0所需的各类统计加工算法，触发器提供了对作业的调度，有效的将业务逻辑与调度分离。Quartz作业调度框架有如下优点：1) 能建立运行十个、百个、甚至是几万个作业的复杂应用；2) 采用了基于多线程的架构，能并发地运行多个作业；3) 基于Cron 表达式灵活的时间触发器；4) 通过作业配置文件实现作业的可配置化。

依据Quartz作业调度框架的特点，结合系统的功能设计，数据加工处理子系统在Quartz框架中配置一个生成数据处理作业的Quartz作业，和多个调度数据采集处理作业的Quartz作业。

1) 数据统计处理作业生成Quartz作业

作业生成Quartz作业每天定时（如，23时40分）由调度器触发执行，依据数据获取、数据处理的作业策略，生成未来一天内所有需要执行的数据采集、处理作业，保存在作业实例表。

2) 作业调度Quartz作业

作业调度Quartz作业数可进行配置，每隔一段时间（如，一分钟）由调度器触发执行，在作业实例表中查询满足执行条件的多条数据统计、处理作业实例记录并进行提取，然后通过Java类反射机制构建作业的处理类，并调用处理类的数据统计、处理方法，从而实现业务数据的生产。

作业生成Quartz作业和作业调度Quartz作业共同在Quartz框架提供的线程池中触发执行，实现作业的多线程并发，进而实现数据处理业务作业的多线程并发执行。

数据处理是CIPAS2.0数据环境的核心业务功能，具体实现各类数据的统计和处理方法。不同的业务需求，统计的资料种类、资料要素不同，数据的组织方式、处理方法也不同，因此各业务数据的采集、处理方法以类的形式存在，共同构成CIPAS2.0数据环境的统计加工处理方法库。作业调度Quartz作业通过Java的类反射机制来调用执行业务数据的统计和处理方法，统计和处理方法类名在作业策略中进行配置。

数据统计和处理方法都包含了数据检索。对于结

构化的基础气象数据，数据检索单元从CIMISS系统中检索数据，采用MUSIC接口来实现。对于非机构化类的模式、卫星资料，通过FTP方式，从相应服务器获取或接收推送

3) 依数据需求调用相应的MUSIC接口检索要素，如按时间检索要素、按时间段检索数据，调用MUSIC接口检索数据步骤如下：①初始化MUSIC接口客户端：设置资料代码、资料时间、资料要素、要素值范围等参数；②通过MUSIC接口，执行数据获取任务，对于结构化数据，数据保存在内存中，对于非结构化数据，数据会被写入制定路径中；③将内存中的数据写入指定文件，释放内存，关闭MUSIC服务；

3.1.2 数据补做

CIPAS2.0数据环境在进行各类业务数据的采集或加工处理时，不可避免地因各种突发原因导致数据统计加工流程失败，如通信系统异常造成的数据延迟、缺失，数据库连接失败等，为了保证采集和处理数据的完整性，同时也提高系统的容错性，数据采集处理子系统增加数据补做功能，提供数据统计加工自动补做和手动补做两种方式。

1) 自动补做方式

数据统计加工失败作业的自动补做建立在Quartz调度框架的基础上，通过添加数据统计加工作业的失败重试次数与重试时间间隔构成补做机制。当作业执行失败后，在作业实例表中记录数据作业的执行状态（ERROR，错误、可重做状态）及已重做次数。作业调度Quartz作业定时检索补做状态的作业，并根据初次触发时间、已重做次数及重试时间间隔决定是否已达到失败重试次数上限和计算失败作业的下一次重做时间，当下一次重做时间达到时，失败作业将触发进行补做。当失败作业已重做次数达到作业策略设定的失败重试次数上限时，作业的执行状态将标记为失败（FAILURE），停止重做。

2) 手动补做方式

统计加工失败作业的手动补做是对自动补做功能的有效补充。当统计加工作业在自动补做机制下处理仍然失败时，系统管理或值班人员可以在任意时间对失败作业手动的进行启动重做。系统管理或值班人员在监控界面手动地勾选需要补做的一个或多个失败作业，提交补做请求，后台接收到请求后更改作业实例表中对应作业的执行状态为触发状态（TRIGGERING，触发重做）。作业调度Quartz作业定时检索需手动补做（触发状态）的作业实例，进行

调度执行。

3.2 基于Web的监控系统

为了便于业务部署和扩展，同时减少后期维护工作量，监控子系统采用B/S结构，使用Java编程语言，结合当前主流成熟的Tomcat + Java EE的部署环境，开发基于Web的前台界面。

监控子系统包含数据环境的监控和配置管理两部分。数据环境的监控主要是对数据统计加工业务流程和数据产品的监控。配置管理则是系统运行相关配置的管理，如系统用户管理以及数据统计加工作业策略的管理。

3.2.1 监控系统设计

数据统计加工流程监控是对CIPAS2.0数据环境加工作业运行情况的监视，具体包含作业名称、作业执行状态、作业执行详情、作业首次执行时间，作业执行次数，作业执行耗时等监视项。监控界面将提供作业查询功能，可根据作业名称、作业执行状态、作业首次执行时间等条件查询相应的数据统计加工作业。此外，系统管理或值班人员还能选择失败的数据统计加工作业进行重做。

3.2.2 作业管理

作业管理模块是对CIPAS2.0数据环境的数据采集或处理作业进行管理，包含数据统计加工作业的新增、作业的详情查看、作业的修改和作业的删除功能。数据统计加工作业的新增包含作业的名称、作业的执行时间、作业的处理类、作业的失败重做次数、作业的重做时间间隔等信息，还包含作业采集数据的资料代码、要素名称、检索接口ID、存储数据表名等属性信息。

深入阅读

- 冯琳, 付勇, 陈康, 等, 2013. TDDS:基于虚拟集群系统的任务部署与调度. 计算机研究与发展, 50(5): 1118-1124.
- 李清泉, 孙丞虎, 袁媛, 等, 2013. 近20年我国气候监测诊断业务技术的主要进展. 应用气象学报, 24(6): 666-676.
- 裴翀, 宋连春, 吴可军, 等, 2011. 我国综合气象观测运行监控系统的设计与实践. 气象, 37(2): 213-218.
- 王若瞳, 黄向东, 张博, 等, 2015. 海量气象数据实时解析与存储系统的设计与实现. 计算机工程与科学, 37(11): 2045-2054.
- 熊安元, 赵芳, 王颖, 等, 2015. 全国综合气象信息共享系统的设计与实现. 应用气象学报, 26(4): 500-512.
- 曾乐, 陈东辉, 肖卫青, 等, 2014. 基于Hadoop的气象数据存储检索应用研究. 信息系统工程, (8): 138-140.

(作者单位：国家气象信息中心)