

王军,余丹,黄经国,等. 2024. 基于大数据架构的地球物理观测数据管理系统. 中国地震, 40(1):144~159.

基于大数据架构的地球物理观测 数据管理系统

王军 余丹 黄经国 纪寿文 刘洋洋 邹锐

中国地震台网中心,北京 100045

摘要 中国地震地球物理观测网络的核心业务软件“十五”地震前兆数据管理系统已运行十多年,随着观测数据量的增长,数据库的读取和统计查询的性能逐渐降低。此外,管理系统存在 SQL 注入和跨站脚本攻击等漏洞的安全问题,系统架构难以满足业务发展的需求。中国地震台网中心基于分布式组件的大数据架构,使用消息中间件和时序数据库等技术对管理系统进行重构,将原来存储于 Oracle 数据库中的地球物理观测数据、基础信息、产品数据等按照各自特点在时序数据库中建表,并将历史数据和增量数据都迁移到新的时序数据库,显著提升了系统读写和统计性能、数据的安全性和可用性(多副本技术)。分布式和容器化等技术的引入,增强了系统的高可用性,并可通过横向扩展进一步增加系统的处理能力。

关键词: 地球物理观测数据 大数据架构 数据管理与服务系统

[文章编号] 1001-4683(2024)01-0144-16 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

2007年我国建成“十五”数字地震观测网络,中国地震台网中心作为该网络的数据汇集与存储中心,共汇集地下流体、地电、形变、重力、地磁5个学科的全国地球物理观测数据。“十五”地震前兆数据管理系统(以下简称“管理系统”)是全国地震地球物理观测网络的核心软件系统,其作用是将仪器采集的观测数据入库,通过各级节点逐级交换到国家中心,并提供给预报人员使用(周克昌等,2013)。运行十多年来,管理系统较为稳定,但也存在不少问题,如 Oracle10g 漏洞较多(绕过登录访问控制漏洞、远程 Core RDBMS 漏洞、Data Pump Metadata API SQL 注入漏洞等)、数据库读写和统计性能较差、系统架构僵化、数据服务能力弱(不能灵活地按需求向外系统提供服务)等。随着信息技术的发展,分布式组件和时序数据库等软件技术已较为成熟。借助公共安全信息化工程(中国地震局)建设项目,中国地震台网中心开发了基于大数据架构和消息中间件技术的地球物理观测数据管理系统,并使用开源的 ClickHouse 时序数据库作为系统的数据存储底座,极大地提升了系统的读写性能,通过多副本技术保证了数据的安全性并提升数据库的可用性。

[收稿日期] 2023-05-30 [修定日期] 2024-02-18

[项目类别] 公共安全信息化工程(中国地震局)建设项目资助

[作者简介] 王军,男,1979年生,高级工程师,主要从事地球物理台网数据管理和软件开发。E-mail: wangjun825@seis.ac.cn

1 平台的技术构成

1.1 技术路线

(1) 平台采用 IT 业界成熟的前后端分离技术架构(叶小艳等,2018),支持后端的微服务化弹性扩展。前端引入专用大数据绘图技术,交互层采用 HTML、Less、Bootstrap 实现视觉交互,采用 Vue、JavaScript、Node.js 实现业务逻辑和页面呈现,并调用平台服务接口进行业务处理。

(2) 采用高性能的大数据处理技术作为系统公共组件,满足地球物理观测数据管理系统海量数据接入和处理需求,包括支持高性能、并发实时数据处理的 Pulsar 和支持大规模时序数据存取的 ClickHouse。使用 MySQL 作为基础数据和元数据管理数据库,使用 SpringCloud 作为微服务管理组件。实现按业务处理需求微服务化拆分,结合分布式调度的微服务处理框架,使数据处理能按使用场景弹性部署和扩容、缩容。基于容器云平台实现大数据处理流程快速、敏捷部署,增强可管控性。

(3) 基于 API 网关的数据交换技术。后端业务模块实现微服务拆分,基于微服务和 API 网关技术构建系统的统一 API 网关,用标准化的 RESTFul 服务实现数据的授权、交换、订阅,避免暴露后端微服务接口,增强服务安全性(Belqasmi et al,2011)。结合 Pulsar 消息中间件进行异步消息集成(梁国斌,2022),将消息发布能力封装成 RESTFul API,针对各个订阅端提供 RESTFul API 的导入数据接口服务,由代理组件来完成消息的订阅和分发。

(4) 数据服务开发。按照 DevOps 思想对数据服务进行开发和管理,实现数据服务按不同阶段需求和场景快速开发和迭代。基于 Pulsar IO 和 Client,结合 RESTFul API 技术封装实时订阅数据服务。基于 ClickHouse Client,结合 SpringCloud 技术封装离线数据查询服务。基于 EChart 等前后端技术定制数据展现交互服务。通过 DevOps CICD 套件实现数据服务的持续改进、新增和更替。

1.2 平台的技术架构

整体技术架构设计分为 6 层:数据汇集层、数据传输层、数据处理层、资源池层、数据服务层、前端交互层,如图 1 所示。数据汇集层主要使用 HTTP 和 JDBC 从仪器和 Oracle 数据库采集数据。数据传输层通过分布式消息中间件 Pulsar 实现消息传输。数据处理层主要使用 Pulsar Function 对进入到 Pulsar 的数据进行解析与封装(林琳,2021)。资源池层将实时数据存储于 Pulsar 中,非实时数据存储于 ClickHouse 中。数据服务层以 Pulsar 客户端、ClickHouse 客户端、RESTFul API 向外提供服务接口,以 ECharts 进行数据展现。前端交互层使用 Vue 和 RESTFul 等进行用户界面交互。

1.3 部署架构

系统的部署架构见图 2,系统主要由 MySQL 集群、ClickHouse 集群、消息中间件集群和应用集群组成。MySQL 数据库有两个节点,互为备份。ClickHouse 设计为两分片、两副本的存储方式,共有 4 个节点。消息中间件使用中国地震台网中心公用的 Pulsar 集群。应用节点使用 Kubernetes 创建 3 个实例以实现应用负载均衡。

1.4 系统功能架构

平台的主要功能有数据采集、数据同步、数据管理、数据查询、数据可视化等,软件功能

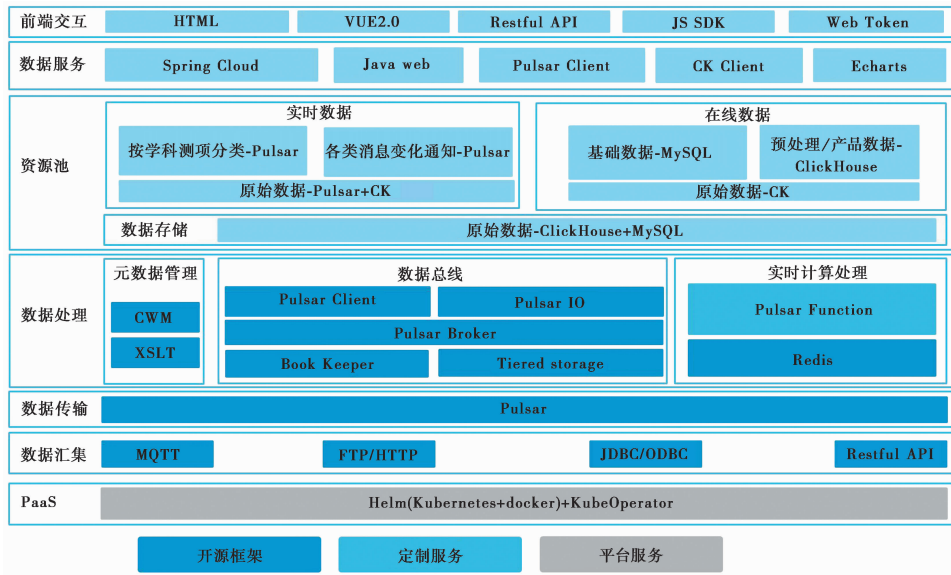


图 1 系统整体技术架构

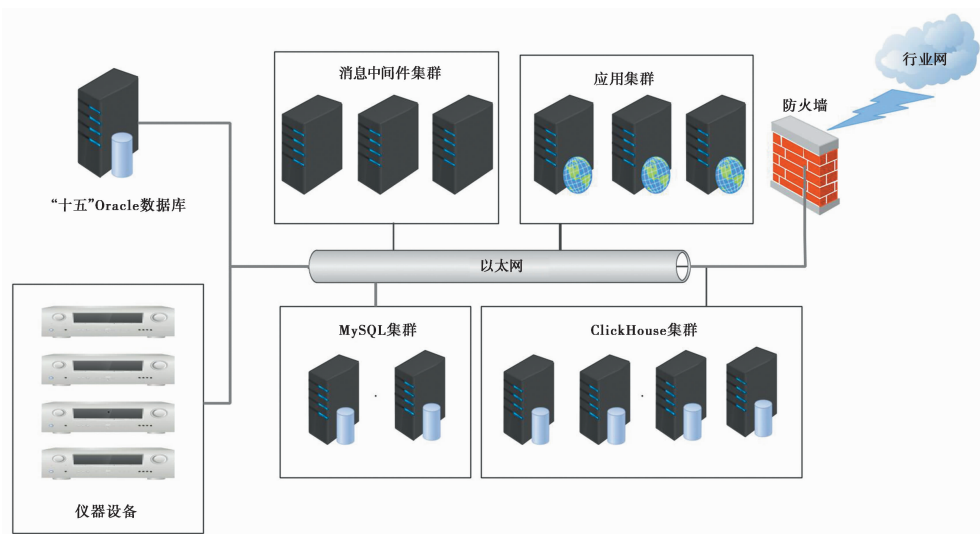


图 2 系统部署架构

结构见图 3。数据采集包括仪器数据采集、仪器日志采集和工作日志、观测日志的填写维护等。数据同步包括 Oracle 历史数据和增量数据的同步及校验。数据管理包括基础信息维护、仪器停测与备案管理及节点管理等。数据查询包括观测数据、产品数据和日志类数据及设备运行指标的查询。数据可视化主要是数据到达情况、仪器故障情况和实时数据的可视化展示。

2 数据库设计

2.1 数据库选型

原地震前兆数据管理系统使用的 Oracle10g 数据库版本安全漏洞较多。且 Oracle 数据

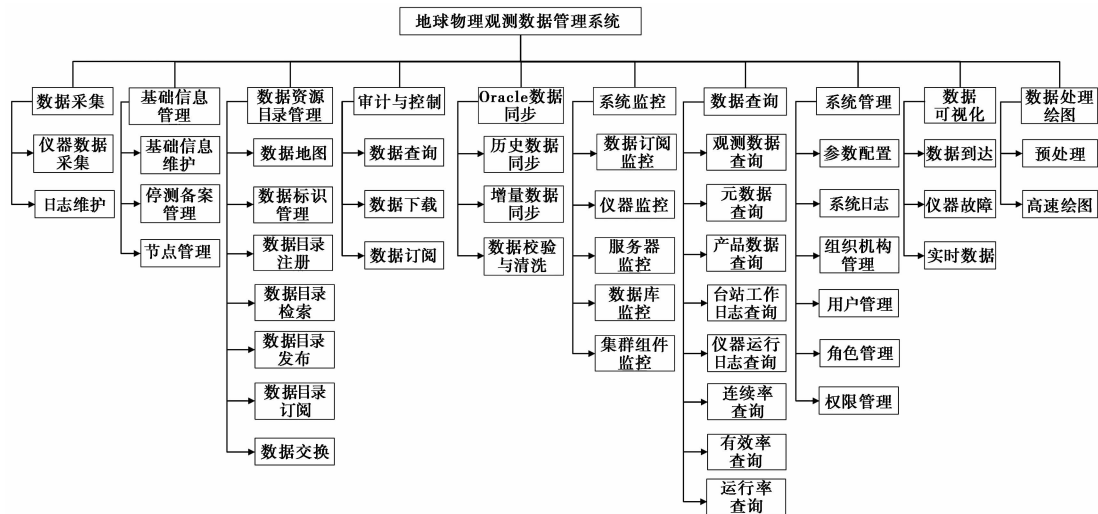


图 3 软件功能结构

库没有针对时序数据进行优化,和时序数据库相比,读写性能相对较差。尽管前人提出各种优化方式来提升读写性能,总的来说仍是治标不治本(李井冈等,2008;刘坚等,2009;王建军等,2019)。在去除 IOE 和国产化的信息技术发展趋势下,使用采购方式升级 Oracle 数据库已不可行。随着时序数据库等新兴技术的出现,Oracle 作为 OLTP 数据库的佼佼者还是需要读取大量历史数据的地震分析预报服务的应用场景中还是显得较为吃力。项目实施与开发团队重点调研了 ClickHouse、TDengine、DolphinDB、IOTDB 等时序数据库,从性能、易用性、SQL 支持程度等方面综合考虑,决定选用 ClickHouse 来存储地球物理观测数据及日志等。ClickHouse 是一个开源、免费的联机分析处理(OLAP)数据库,相对于传统的联机事务处理(OLTP)数据库,如 Oracle 和 MySQL,具有读写性能高、按列存储、使用预计算加速聚合函数查询、自带数据压缩、具有向量化引擎、可以在多个服务器上分布式处理等优点(朱凯,2020;李亚臣,2021)。

对于数据完整性和事务完整性要求较高的数据(如台站、仪器、场地等基础信息)仍然存储在关系数据库,由于这部分数据量不大,使用开源 MySQL 数据库即可满足需求。通过实际部署与测试,4 款时序数据库的比较见表 1。

表 1 4 款时序数据库比较

数据库	是否开源	性能	SQL 支持程度	联合主键	数据更新	接口易用性
ClickHouse	是	最高	较完备	支持	可变相支持	一般
TDengine	是	中	较完备	不支持	支持	好
DolphinDB	否	较高	一般	不支持	支持	差
IOTDB	是	较高	差	不支持	支持	差

2.2 数据库结构

2.2.1 基本设计思路

2.2.1.1 设计原则

为有效支撑地球物理观测数据管理系统的数据库管理、数据汇集、数据交换、数据服务、系统监控等业务的稳定性和高效性,并保证系统的健壮性、可靠性和可扩展性,数据库设计采用以下原则。

(1) 表命名一致性原则

对流数据处理中间件 Pulsar 中主题的命名、地球物理观测数据管理系统中基础数据中表的命名及用于 OLAP 的 ClickHouse 数据库参考原管理系统的命名规则,按统一规则命名来保证管理系统部署、运行以及扩展的可靠及稳定性。

(2) 表结构一致性原则

为更好地支持对原地震前兆台网数据管理系统的数据库迁移,原系统中的字典表、日志类型等业务表采用同样的表结构设计。

(3) 多库分工配合使用原则

利用流行、高效的数据管理、分析、处理、存储方式,结合业务要求采用不同的数据库工具配合使用,充分利用各数据库的特色及优势。流数据的发布与订阅采用 Pulsar 中间件,基础数据的管理采用 MySQL 关系型数据库,大量地球物理观测数据的统计分析、绘图使用 ClickHouse 数据库。

2.2.1.2 建表原则

数据库表包括观测数据表、日志表和基础信息表三大类。观测数据表存储在 ClickHouse 数据库。ClickHouse 的表分为两种:本地表和分布式表。本地表存储在本地磁盘上,对其操作只影响本节点上的数据。分布式表可以理解为集群所有分片上的本地表的合并视图,对分布式表的操作会根据分片规则映射到相应的分片节点上,一般来说读写数据操作的都是分布式表。

原始和预处理数据表以测点(可以看作与仪器对等)为基本单位,按照数据类型和采样率再进行分表。为保证数据迁移后的精度,时序数据用 Decimal 类型保存。以中国地震局地质研究所白浮台(代码 03002)测点 3 气象三要素观测仪原始分钟采样数据为例,本地表名为 dys_03002_3_01_local,分布式表名为 dys_03002_3_01,其中“dys”代表原始数据,“01”代表分钟采样率。

考虑到 Oracle 中有少数的学科产品数据表未采用标准的产品表数据结构,ClickHouse 中的产品数据表继续保持原 Oracle 的表结构,以利于数据迁移和校对。日志表包括观测日志表和仪器运行日志表。日志表在 Oracle 中按测项建表,ClickHouse 也沿用 Oracle 的表结构,将不同台站相同测项的日志条目放在一个表中。

2.2.1.3 逻辑设计

参考现有中国地震前兆台网数据管理系统的数据库总体设计结构(周克昌等,2012),本系统内的表分为观测数据表、日志表和数据字典表等。观测数据表用于存放各类与时间相关的观测数据,日志表用于存放观测日志和仪器运行日志等,数据字典表用于存放描述观测数据属性的相关信息,表数量较多,相互关联、依赖关系复杂,数据库结构及各类表的实体-关系图见图 4。

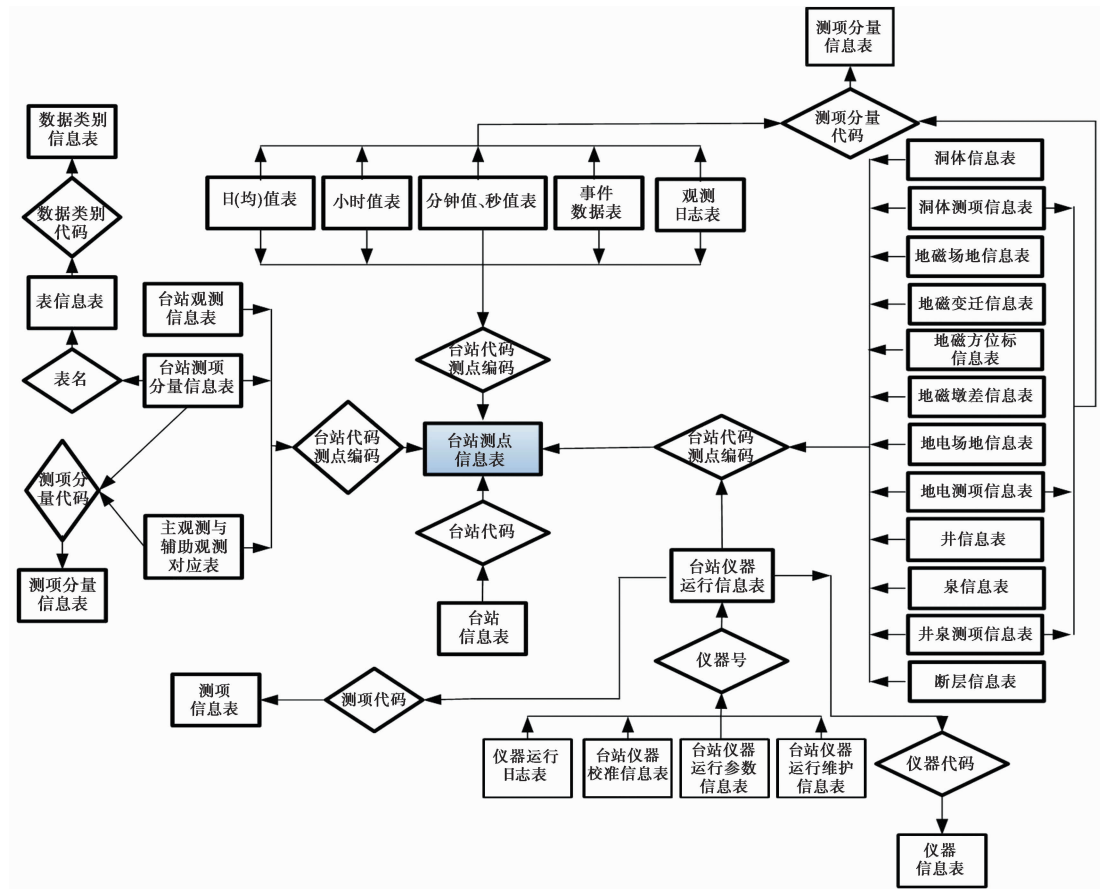


图 4 数据库实体-关系图

2.2.1.4 物理表分库规则

系统中核心的数据库存储组件为 MySQL 和 ClickHouse 数据库。MySQL 作为关系型数据库,主要存储需要管理或修改维护的数据; ClickHouse 主要用于存储和分析数据量较大的仪器采集数据和日志数据,各类型数据的分库情况见表 2。

表 2 数据表分库情况

数据类型	MySQL	ClickHouse
应用系统基础表	√	
原始数据		√
预处理数据		√
日志数据		√
基础信息表	√	
采集功能表	√	

2.2.2 物理结构设计

2.2.2.1 系统基础数据(MySQL)

系统基础数据表指地球物理观测数据管理系统中用户管理、系统菜单、权限和角色等相关基础表。

其中,系统验证码表用于用户登陆时系统生成的验证码信息,表结构设计见表3。

表 3 系统验证码表结构

编号	字段中文名	英文名缩写	字段类型及长度	主键	可为空
1	uuid	uuid	CHAR(36)	√	
2	验证码	code	VARCHAR(6)		
3	过期时间	expire_time	DATETIME		√

系统日志表用于记录用户的登陆、退出及重要系统操作的日志,可按用户要求进行埋点并记录,表结构设计见表4。

表 4 系统日志表结构

编号	字段中文名	英文名缩写	字段类型及长度	主键	可为空
1	ID	log_id	BIGINT(20)	√	
2	用户名	user_name	VARCHAR(50)		
3	用户操作	user_action	VARCHAR(50)		
4	请求方法	req_method	VARCHAR(200)		
5	请求参数	req_param	VARCHAR(5000)		√
6	执行时长(毫秒)	elapsed_time	BIGINT(20)		
7	IP 地址	ip_adrr	VARCHAR(64)		
8	创建时间	create_time	DATETIME		

菜单管理表用于管理系统菜单信息,表结构设计见表5。

表 5 菜单管理表结构

编号	字段中文名	英文名缩写	字段类型及长度	主键	可为空	说明
1	菜单 ID	menu_id	BIGINT(20)	√		
2	父菜单 ID	parent_id	BIGINT(20)		√	一级菜单为 0
3	菜单名称	name	VARCHAR(50)		√	
4	菜单 URL	url	VARCHAR(200)		√	
5	授权	perms	VARCHAR(500)		√	多个用逗号分隔
6	类型	type	INT(11)		√	0:目录; 1:菜单; 2:按钮
7	菜单图标	icon	VARCHAR(50)		√	
8	排序	order_num	INT(11)		√	

角色与菜单对应关系表用于管理系统菜单及对应角色之间关联信息,表结构设计见表6。

表 6 角色与菜单对应关系表结构

编号	字段中文名	英文名缩写	字段类型及长度	主键	可为空
1	主键	id	BIGINT(20)	√	
2	角色 ID	role_id	BIGINT(20)		
3	菜单 ID	menu_id	BIGINT(20)		

系统用户表用于管理系统用户信息,表结构设计见表 7。

表 7 系统用户表结构

编号	字段中文名	英文名缩写	字段类型及长度	主键	可为空	说明
1	用户 ID	user_id	BIGINT(20)	√		
2	用户名	username	VARCHAR(50)			
3	密码	password	VARCHAR(100)			
4	盐	salt	VARCHAR(20)			
5	姓名	full_name	VARCHAR(50)			
6	部门	org_name	VARCHAR(100)		√	
7	邮箱	email	VARCHAR(100)		√	
8	手机号	mobile	VARCHAR(100)		√	
9	状态	status	TINYINT(4)			0: 禁用; 1: 正常
10	创建者 ID	create_user_id	BIGINT(20)			
11	创建时间	create_time	DATETIME			
12	单位名称	company	VARCHAR(100)			
13	单位电话	company_mobile	VARCHAR(100)		√	
14	真实姓名	name	VARCHAR(10)		√	
15	认证状态	certification_status	TINYINT(4)		√	
16	用户头像	avatar	INT(11)		√	

用户与角色对应关系表用于管理系统用户及角色配置信息,表结构设计见表 8。

表 8 用户与角色对应关系表结构

编号	字段中文名	英文名缩写	字段类型及长度	主键	可为空
1	主键	id	BIGINT(20)	√	
2	用户 ID	user_id	BIGINT(20)		
3	角色 ID	role_id	BIGINT(20)		

系统用户 Token 表用于管理系统用户登陆系统的 token 信息,表结构设计见表 9。

表 9 系统用户 Token 表结构

编号	字段中文名	英文名缩写	字段类型及长度	主键	可为空
1	主键	token_id	BIGINT(20)	√	
2	token	token	VARCHAR(100)		
3	过期时间	expire_time	DATETIME		
4	更新时间	update_time	DATETIME		

2.2.2.2 数据到达表 (ClickHouse)

为记录每天的观测数据是否到达,便于进行统计,设计的数据到达表结构见表 10。

表 10 数据到达表结构

编号	字段中文名	字段英文名	字段类型及长度	主键	可为空	说明
1	数据产生日期	startdate	DateTime(64)	√		
2	数据类型	type	String	√		原始数据、预处理数据、产品数据
3	台站代码	stationid	String	√		
4	测点编码	pointid	String	√		
5	测项分量代码	itemid	String	√		
6	采集频率	samplerate	String	√		修改字段及修改值描述
7	数据处理标记值	processing_flag	Int(8)			0: 未处理; 1: 已预处理
8	日期索引	data_index	Int(32)			

2.2.2.3 原始数据 (ClickHouse)

原始数据表的命名规则为:“dys_台站代码_测点编码_采样率代码”,其中“dys”代表原始数据。为节约表空间,在表名中包含了台站代码、测点编码、采样率代码等业务特征,表中只存储业务采集的时序观测数据。原始数据表结构设计见表 11。

表 11 原始数据表结构

编号	字段描述	字段英文名	字段类型及长度	排序列	说明
1	数据产生时间	data_time	DateTime(64)	√	排序、分区字段
2	测项分量 1 值	item_id1	Decimal(16,2)		
3	测项分量 2 值	item_id2	Decimal(16,2)		
4	测项分量 3 值	item_id3	Decimal(16,2)		
5	测项分量 4 值	item_id4	Decimal(16,2)		
6	测项分量 5 值	item_id5	Decimal(16,2)		
7	数据插入时间序列	create_time	DateTime(64)		

2.2.2.4 预处理数据 (ClickHouse)

预处理数据包括人工预处理后的仪器数据以及预处理日志信息。人工预处理数据表结构与原始数据表结构相同,表结构设计见表 11,表名设计为“dyu_台站代码_测点编码_采样率代码”。

2.2.2.5 产品数据与日志类数据 (ClickHouse)

产品数据表与日志类数据表从 Oracle 复制过来后表结构保持不变,详细设计可参考相关文献(周克昌等,2012)。

2.2.2.6 业务基础信息 (MySQL)

基础信息表的结构参考原中国地震前兆台网数据管理系统的表结构设计,通过采集工具将数据同步到 MySQL 数据库中,主要包括的表有仪器信息表、台站表、台站测点表、台站测项分量表、断层表、山洞表、地电场地表、地磁场地表、井信息表、泉信息表等。

2.3 数据情况

目前,原中国地震前兆台网数据管理系统中的 Oracle 数据已全部迁移到本系统中,包括基础信息、观测数据、工作日志、观测日志、数据跟踪分析记录等。其中基础信息和工作日志存储在 MySQL 数据库,观测数据、产品数据、观测日志等存储在 ClickHouse 数据库。共迁移 9516 个台站、14089 套仪器、71 个测项的历史数据到 ClickHouse,数据的起止时间为 1982—2023 年。

ClickHouse 数据库里的观测数据共有 2.4 亿条,按时序数据格式存储后,总数据条数 1421202409017 条,其中秒钟值记录 1307164176000 条,分钟值 113334482880 条,小时值 662422296 条,日值数据 41327841 条,总数据量为 18.2TB,其中观测数据 18TB,产品数据 187GB,日志数据 37GB,日增观测数据 2.8GB。

3 业务功能

地球物理观测数据管理系统的主要业务功能包括地球物理台网的数据汇集、存储、管理、处理与服务等,并对历史数据进行清查、清洗、迁移等。系统整体业务流程见图 5。

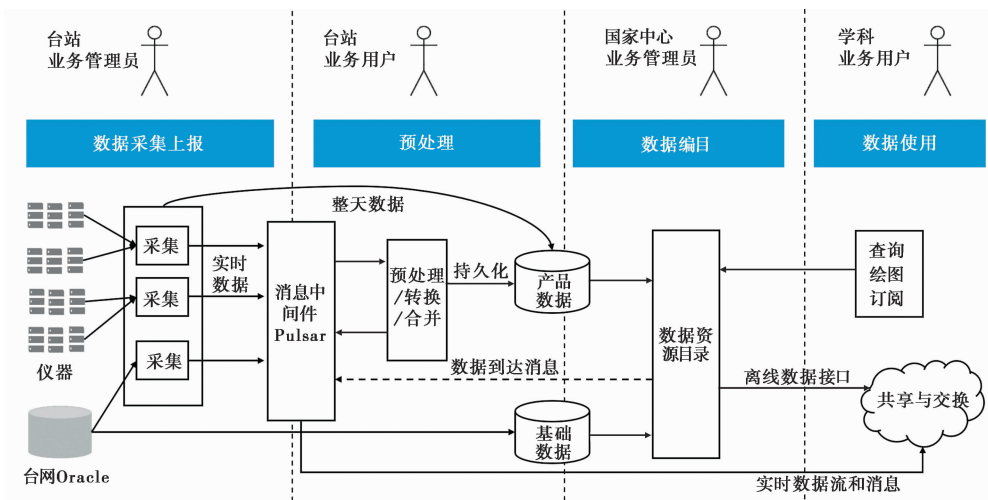


图 5 系统整体业务流程

(1)数据采集上报。台站业务管理员负责台站的仪器、测点等基础信息维护,以及仪器数据的采集和上报配置。

(2)预处理。台站业务用户负责对采集获得的原始数据进行预处理,产生产品数据。

(3)数据编目。国家中心业务管理员负责对采集、汇集、加工后的原始数据、产品数据、基础数据进行数据资源目录的编制和发布。

(4)数据使用。各学科业务用户依据数据目录对数据进行查询、绘图、订阅,以及与外部系统进行共享与交换。

3.1 基础数据管理

基础数据管理主要是对台站、仪器、测点、观测场地(地磁场地信息、地磁观测磁标变迁信息、地电观测场地、地电观测测项、洞体信息、洞体测项信息、观测井信息、观测泉信息、井

泉测项信息和断层信息)的增、删、改、查。基础数据如台站或仪器等,对其添加、修改操作需要经过上级业务部门的审核才可以生效。基础数据审核的流程图见图 6,审核过程中记录日志信息,相关人员可查看审核过程状态信息。

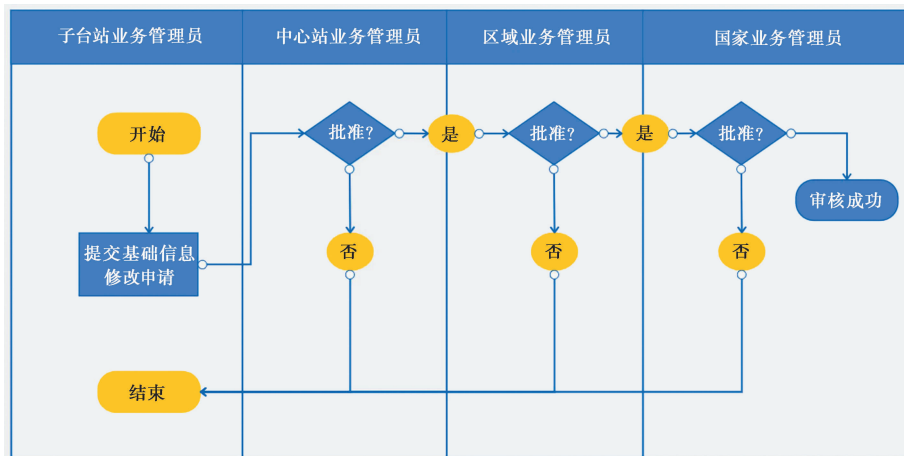


图 6 基础数据审核流程

3.2 观测数据采集

台站业务管理员通过系统的数据接入功能,配置地球物理台网各类观测设备的采集作业。系统根据配置好的采集作业,按照定时方式、命令请求方式、接收 Socket 推送方式,对原始观测数据、仪器日志和事件数据进行采集,检验数据合法性并且入库。仪器数据采集的流程见图 7。

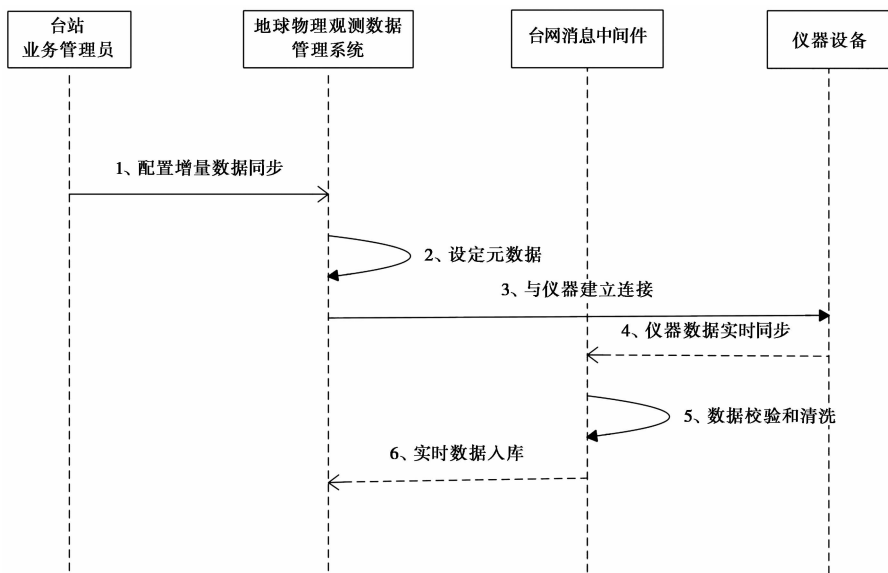


图 7 仪器数据采集的流程

3.3 Oracle 数据同步

从原地震前兆数据管理系统中的 Oracle 数据库同步历史数据到本系统(需要转换格式并校验数据正确性),历史数据一次性同步后,定时同步 Oracle 增量数据。针对 Oracle 数据库的历史和增量数据进行评估、校验和清洗。

3.3.1 Oracle 历史数据同步流程

Oracle 历史数据同步流程见图 8。国家中心业务管理人员通过采集调度应用配置 Oracle 数据同步作业。系统提供脚本模板,可以针对测点(仪器)方便地选择模板、初始化采集作业。

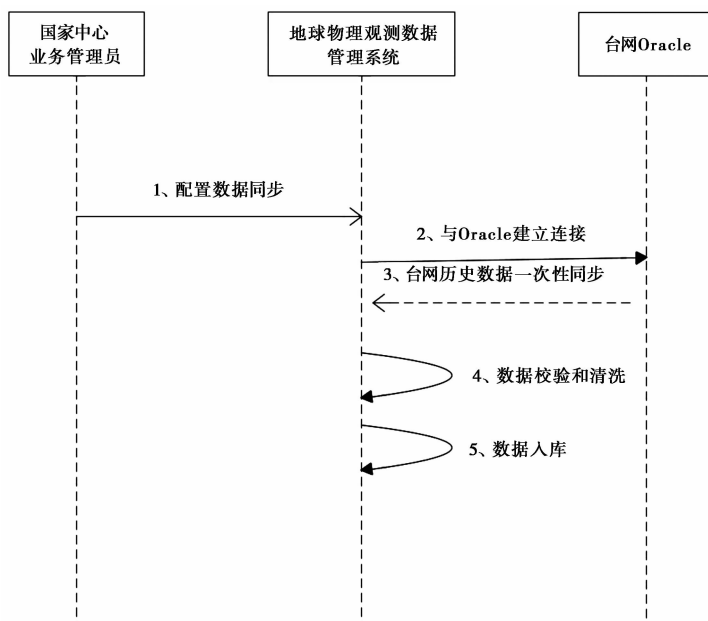


图 8 Oracle 历史数据同步流程

业务管理人员按日期指定时间段(也可一次性),从 Oracle 数据库同步历史数据(整体约 18TB)到本系统(需要转换格式并校验数据正确性)。采集调度应用针对 Oracle 数据库的历史数据进行评估、校验和清洗。

3.3.2 Oracle 增量数据同步流程

Oracle 增量数据同步流程见图 9。系统根据配置好的采集作业,按天定时从 Oracle 数据库同步整天增量数据到本系统(需要转换格式并校验数据正确性)。针对 Oracle 数据库的增量数据进行评估、校验和清洗。

3.4 数据目录管理

国家中心业务管理人员通过数据目录管理功能,进行数据目录注册,为用户提供数据的汇集管理,用户可根据数据类型、标签、业务元数据等条件从数据池中检索出数据构成一个数据集,并可为数据目录建立层次关系。

国家中心业务管理人员可以进行数据目录发布,发布后的数据目录正式为用户提供服务。发布后管理员可以根据使用情况,随时停用、启用、刷新数据目录。基础信息与观测数

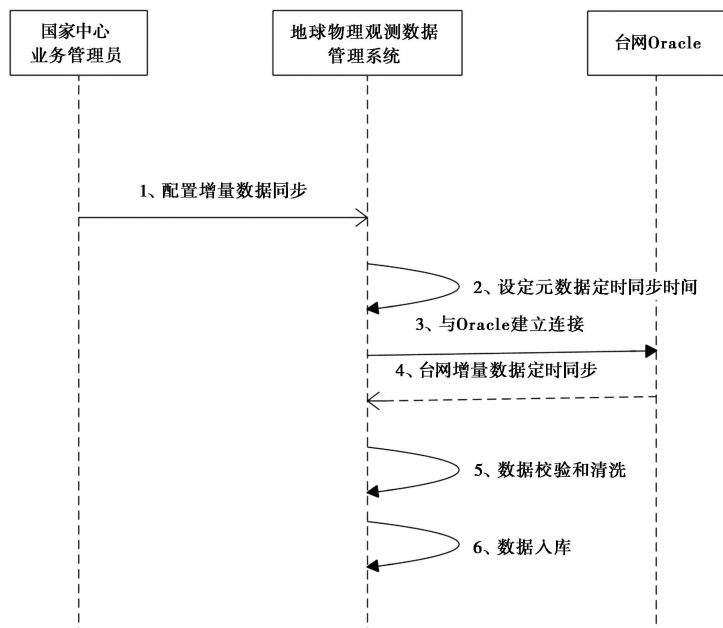


图 9 Oracle 增量数据同步流程

据可以按学科、仪器、是否参与评比等进行灵活配置,实现数据的发布,或抓取数据源变化后,实现快速发布。数据目录管理流程见图 10。

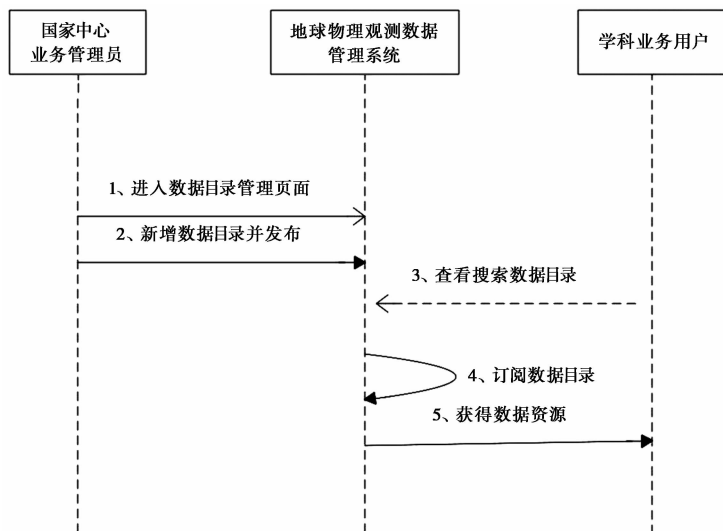


图 10 数据目录管理流程

4 结论与讨论

地球物理观测数据管理系统将数亿条的 Oracle 异构数据(包括原始数据、预处理数据、

产品均值数据、观测日志等)迁移到 ClickHouse 数据库,并实现地震分析预报软件 MapSIS 与地球物理观测数据管理系统的对接。目前已将时序数据库 ClickHouse 向地震预报用户开放了数据访问权限。此外,地球物理观测数据管理系统已经完成与一体化监控平台的对接,向其推送每日的汇集率、有效率、连续率等指标,提升了台网监控的准确性。系统于 2023 年 10 月通过应急管理部信息中心开展的第三方软件测评。本系统的技术特点有:

(1)采用时序数据库存储观测数据,通过数据压缩提升存储效率和传输效率。采用分布式架构提升系统的性能和高可用性,可通过横向扩展来增加系统规模。使用 Pulsar 消息中间件进行数据的传递,提升传输稳定性的同时,减少系统组件之间的耦合。

(2)针对地球物理分钟采样和秒采样数据读取和绘图困难的现状,该系统使用 B/S 架构,充分利用高性能时序数据库和数据传输二次压缩,可以实现千万级数据点的秒级绘图。

(3)将地球物理台网管理功能集成在软件中,实现业务管理与数据管理的联动,提升管理的精确性和效率。初步实现 B/S 架构下的数据预处理功能,包括去突跳、去台阶、线性拟合、多项式拟合、去趋势等。

地球物理观测数据从 Oracle 迁移到 ClickHouse 后,大数据量场景下时序数据读取速度提升约 5 到 10 倍,占用磁盘空间仅为 Oracle 的三分之一; ClickHouse 支持常用的表连接策略,连接性能与 Oracle 相当,且支持与 MySQL 数据库的跨库连接(王军等,2023)。

ClickHouse、Pulsar 等大数据组件使用数据分片、多副本等技术进一步提升了系统稳定性和健壮性,通过服务的容器化和横向扩展节点可以更为便捷地提升服务能力,大数据容灾备份的服务模式基本杜绝了数据丢失的可能。

分布式微服务的仪器数据采集功能使仪器数据采集和交换更加轻量可靠,具备实时数据传输能力的仪器可以借助消息中间件将数据高效、可靠地实时传输至省和国家中心,进一步提升地球物理数据传输的时效性,为应急会商等应用提供更及时的数据支撑。

与原“十五”地震前兆数据管理系统相比,基于大数据架构的地球物理观测数据管理系统使用分布式集群和时序数据库,显著提升了系统性能,并且易于通过扩充节点来进一步增强处理性能。分布式系统提高了软件的可靠性,在单节点故障的情况下系统仍然可以正常运行。然而分布式系统的实现和维护比较复杂,系统的建设和运维成本较高。此外,分布式系统中的数据一致性是一个挑战,需要采用合适的算法和协议来确保数据的一致性。

由于建设时间紧迫,地球物理观测数据管理系统尚有许多功能需要继续开发或完善,这些功能包括:

(1)国家中心和省中心两级数据交换

在前期工作基础上,地球物理观测数据管理系统未来需要完成国家中心与省中心的数据交换。主要包括:交换清单的配置、基础数据和观测数据交换等;实现国家中心、省中心、中心站、一般台站的四级业务流转,主要是台站变更、仪器接入、仪器停测等业务管理需要由下而上逐级审批与管理。

(2)数据采集功能强化

需要在前期的基础上对数据采集功能进行完善,完善的内容包括:全网仪器采集,对目前全部在网进行的地球物理仪器类型实现全面覆盖,确保具备所有仪器的数据接入能力;实时数据采集方面,需要对全网仪器进行验证测试,确认各学科仪器对实时数据的支持程

度,实现部分仪器实时状态数据的应采尽采;新型重力仪器采集,实现超导重力仪数据采集适配和转发;全网仪器日志采集,实现仪器工作日志、访问日志等日志信息采集。

(3)市、县站数据融合功能

目前,各省中心由地方投资建设的地球物理观测仪器数量众多。自2020年起中国地震台网中心逐步开始收集全国市、县站数据,取得显著的效果。市、县站数据的技术系统与“十五”技术系统完全相同,但却完全独立于“十五”系统,从数据的应用和系统的运维角度来说极其不方便,因此,有必要将市、县站数据与“十五”系统进行整合:开发新系统支持市、县仪器接入,具备数据清查结果,与“十五”系统进行核对,解决台站、测点编码的冲突问题。对接入的市、县站仪器的历史数据和增量数据进行采集、处理与入库。

(4)地球物理产品平台对接

地球物理台网现有地下流体、形变、重力、地电4个学科的产品服务平台,已经在全国推广应用。这些平台的数据都来源于原管理系统的Oracle数据库。未来从地下流体产品平台开始,将学科的产品平台连接到地球物理观测数据管理系统,实现学科产品端的升级改造。

参考文献

- 李井冈,姚运生,李胜乐,等. 2008. 基于 Oracle 的地震前兆数据库表结构对比. 计算机工程与设计, **29**(1):243~245.
- 李亚臣. 2021. 基于 ClickHouse 的用户事件分析系统的设计与实现. 信息与电脑, **33**(9):97~90.
- 梁国斌. 2022. 深入理解 Kafka 与 Pulsar 消息流平台的实践与剖析. 北京: 电子工业出版社.
- 林琳. 2021. 深入解析 Apache Pulsar. 北京: 电子工业出版社.
- 刘坚,李胜乐,王子影. 2009. 基于 LZMA 的数据库压缩存储应用研究. 大地测量与地球动力学, **29**(6):144~147.
- 王军,黄经国,余丹,等. 2023. 分析数据库 ClickHouse 在国家地球物理台网中心的应用. 地震研究, **46**(2):308~314.
- 王建军,赵银刚,刘高川. 2019. 地震前兆 Oracle LOB 数据压缩与交换及其访问效率研究. 地震研究, **42**(3):447~453.
- 叶小艳,张芒,李伟民. 2018. 一种改进的 MVC 框架在 ERP 系统开发中的应用. 计算机技术与发展, **28**(9):194~198.
- 周克昌,纪寿文,蒋春花,等. 2012. DB/T 51-2012 地震前兆数据库结构 台站观测. 北京: 地震出版社.
- 周克昌,赵刚,王晨,等. 2013. 中国地震前兆台网观测技术系统整合. 中国地震, **29**(2):270~275.
- 朱凯. 2020. ClickHouse 原理解析与应用实践. 北京: 机械工业出版社.
- Belqasmi F, Glitho R, Fu C Y. 2011. RESTful web services for service provisioning in next-generation networks: a survey. IEEE Commun Magaz, **49**(12):66~73.

Geophysical Observation Data Management System Based on Big Data Architecture

Wang Jun, Yu Dan, Huang Jingguo, Ji Shouwen, Liu Yangyang, Zou Rui

China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

Abstract The “Tenth Five-Year Plan” earthquake precursor data management system, as the core business software of the China Earthquake Geophysical Observation Network, has been in operation for more than ten years. With the increase in the amount of observation data, the performance quality of the database has gradually decreased. In addition, since there exist many security issues in the management system, the system architecture is outdated, which makes it difficult to meet the needs of business development. Based on the big data architecture, the China Earthquake Networks Center uses technologies such as message middleware and time-series database to reconstruct the management system. In this system tables are built in the database, and historical data and incremental data are migrated to the new time-series database, which significantly improves system performance, data security and availability. The introduction of technologies such as distributed and containerization has enhanced the high availability of the system, and can further increase the processing capacity of the system through horizontal expansion.

Keywords: Geophysical observation data; Big data architecture; Data management and service system