

论述与研究

# 供水管网独立计量分区漏损控制系统开源架构研究

马金锋<sup>1</sup>, 陈求稳<sup>2</sup>, 徐强<sup>1</sup>, 饶凯锋<sup>3</sup>, 安伟<sup>1</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心 饮用水科学与技术重点实验室, 北京 100085; 2. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029; 3. 中国科学院生态环境研究中心 环境水质学国家重点实验室, 北京 100085)

**摘要:** 独立计量分区(DMA)管理是目前供水管网漏损监测与控制的主要技术手段之一, 越来越多的供水企业开展DMA建设工作。由于缺乏系统的DMA数据管理、分析和应用软件支撑, 导致基于DMA技术的漏损控制难以达到预期效果。为此, 提出一种适用于DMA数据采集、存储、分析和报表输出全流程管理的开源软件系统实现架构, 利用ETL、Guzz、BI等多种开源软件设计了一种高效低成本的DMA漏损控制系统。实例证明该方案具有可用性、可扩展性和可靠性, 最后指明了未来发展方向。

**关键词:** 供水管网; 漏损控制; 独立计量分区; ETL; Guzz; Pentaho

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2018)17-0001-08

## Research on Open Source Architecture of District Metered Area Leakage Control System for Water Supply Pipe Network

MA Jin-feng<sup>1</sup>, CHEN Qiu-wen<sup>2</sup>, XU Qiang<sup>1</sup>, RAO Kai-feng<sup>3</sup>, AN Wei<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Drinking Water Science and Technology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract:** District metered area (DMA) management is one of the main technical means of current leakage monitoring and control of water supply pipe network. More and more water supply enterprises carry out DMA construction work. Due to lack of systematic management and analysis in DMA data and short of utility software support, the leakage control system, which based on DMA technology, is difficult to achieve the desired results. This study presents an open source software system, which is useful for the whole-process management in DMA data collection, storage, analysis and output. By using various open source software such as ETL, Guzz, BI, etc., the open source software system can give a high-efficiency and low-cost DMA leakage control system scheme. The examples demonstrate the availability, extensibility and reliability of the scheme, and finally point out the future development direction.

**Key words:** water supply pipe network; leakage control; district metered area; ETL; Guzz; Pentaho

独立计量分区(DMA)管理是目前供水管网漏损监测与控制的主要技术手段之一, 通过“化整为

零”的方法将一个大而复杂的管网分割为若干小而简单的区域,从而将漏损问题分解到每一个DMA上,再对其“各个击破”,提高漏损控制效率。由于DMA简化了管理模式,不但能检测漏点和漏量,减小管网漏失率,为进行产销差的控制和分析提供基础,还能明确管网的输配功能,提高管网的实际运行状态以改善水质,同时能指导管网规划,减少重复建设,降低建设投资。目前,我国大量供水单位都在积极地进行管网DMA建设,积累了一定的工程实践经验<sup>[1~5]</sup>。与此同时,分区优化、分区精细化管理、漏损控制技术、漏损评价指标等研究工作<sup>[6,7]</sup>,推动了DMA漏损控制技术与方法的发展。

但是,与工程实践和技术方法的发展相比,支撑软件工具研究较少。从软件的功能模块角度分析,现有研究重点围绕某一核心模块开展,比如DMA在线监测<sup>[8]</sup>、数据库系统<sup>[9]</sup>和在线漏损定位系统<sup>[10]</sup>,目前尚无系统的适用于DMA数据采集、存储、分析和报表输出管理的全流程软件架构研究和工具。究其原因这是由于国内的研究基本上还处于探索阶段,其研究和应用有待于进一步加强<sup>[11]</sup>。具体来讲,DMA漏损机制尚不明确和控制机制内在复杂性是根本原因,工具软件的研发重视不够、专业性人才匮乏和投入不足是重要原因。支撑工具的缺乏,直接导致基于DMA技术的漏损控制难以达到预期效果。探索适合DMA漏损控制全流程管理软件技术架构,研发DMA漏损控制系统具有重要价值。

笔者分析了DMA漏损控制系统建设内在需求,提出了全流程管理的软件系统实现架构,设计了系统主要功能,并通过实例验证了系统的实用性、可扩展性和稳定性。

## 1 DMA漏损控制系统需求

### 1.1 数据访问需求

数据源层是整个系统的基础。实际应用中,由于传感器和传输网络的差异,往往造成数据源种类繁杂,工业数据库和关系型数据库如Oracle、Mysql、SqlServer、Postgresql等是主流数据源;此外,FTP、纯文本文件(如txt和csv)、XML文件、Excel文件等也是数据源类型,甚至还有使用MongoDB、Redis等NoSQL类型数据源。对于上述常规数据源以及特殊格式的数据源,系统需要提供动态扩展能力,可自定义多种数据访问接口,或者集成第三方ETL工具,满足异构数据源访问需求。

### 1.2 数据存储需求

为了数据统一管理,DMA采集的数据类型和频率往往保持一致(主要监测指标包括时流量、压力,数据类型为浮点型,频率为10或15min一次),相应地,原始数据库中存储表结构也默认保持一致。随着业务的增长,尤其是DMA个数增加时,数据库负载过高导致查询缓慢,必然成为系统的性能瓶颈。因此,需要设计合理的存储模式来优化数据库负载,提高数据检索效率。

### 1.3 数据ETL需求

系统需要提供数据ETL(抽取、转换、加载)能力,从原始数据源抽取数据,转换为统一标准格式后加载到目标数据源。抽取方式支持增量抽取和定量抽取,增量抽取一般应用于数据同步,定量抽取获取一个数据源里的全部数据或可限定的一个数据集。数据从不同数据源抽取后,首先被转换为内部数据格式,然后按照事先设计的转换规则进行转换,系统需支持多种转换方式如列拆分、列选择、列运算、编码转换、合并、分组等。系统支持使用内置脚本、开发相关插件或者集成第三方工具来定制转换过程,经转换后通过加载工具持久化写入存储模式中。

### 1.4 计算分析需求

国内DMA的研究基本上处于探索阶段,目前尚未出现具有普适性的漏失控制和压力管理模式,决定计算方法也在不断发展中。系统需兼顾模式和分析方法的变化,预留扩展的余地。计算分析方法可分为一般性的统计分析和专业性的指标计算,后者如背景漏损评估、新增漏损评估等算法处于不断发展中。因此,系统需提供一种灵活的模块化管理机制,对各种计算分析需求进行模块化定制管理,支持模块的创建、删除、更新,模块之间相互独立。

### 1.5 可视化展示需求

在可视化展示方面,随着移动设备的逐渐普及和web技术的发展,移动设备正在超过桌面设备,成为访问互联网的常见终端,跨端的web开发需求越来越大。系统要满足各种不同分辨率和设备的页面布局展现方式,充分考虑页面性能和移动端宽带问题,权衡页面展示效果和视觉色彩的运用,满足视觉需求和交互功能,更要考虑页面加载性能和消耗带宽等问题。

### 1.6 报表输出需求

报表输出是系统最重要的出口。目前,普适性

的漏失控制和压力管理模式尚未出现,计算方法也在不断发展中,职能单位对报表内容、版式要求不一,三者共同决定报表模式具有灵活的扩展性,支持报表模板自由定制、报表自动创建和自动发布。

## 2 DMA 漏损控制系统架构

DMA 漏损控制系统从逻辑结构上分为数据源、数据访问、数据 ETL、数据存储、计算分析和应用六层,其中应用层又细分为可视化展示和报表输出两层,如图 1 所示。

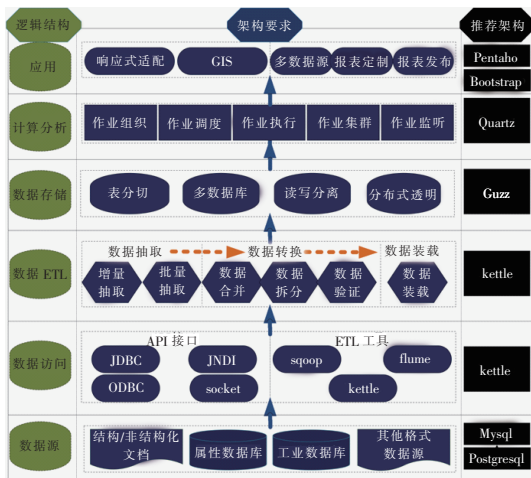


图 1 DMA 漏损控制系统架构设计

Fig. 1 Design of DMA leakage control system architecture

### 2.1 数据源层

作为系统入口,通过传输网络接收和存储传感器监测数据,比如流量、压力等原始数据。数据源种类繁多,包括工业数据库、属性数据库(如 Oracle、Mysql 等)、结构化/非结构化文档(如 txt、csv、XML 等)和其他格式数据源,数据源多样性决定了数据访问层必须具有适配性和动态扩展性。SCADA 系统一般多以工业数据库或属性数据库为基础,为了与现有系统或历史遗留系统兼容,从稳定性、经济性和广泛应用性角度综合比较,Mysql 和 Postgresql 数据库是数据源的合适选择,其中 Postgresql 还可通过 PostGIS 扩展为 GIS 空间数据库,尤其适合空间分析应用。

### 2.2 数据访问层

提供多种数据源连接方式,比如 JDBC、ODBC、JNDI 等,除了调用底层的 API 数据访问接口外,充分利用第三方成熟数据访问工具,将极大提高数据访问效率。API 方式的优点是底层接口访问数据,功能强大且极其灵活,缺点是对用户要求较高,

学习周期较长,工作量较大。第三方工具如 kettle、sqoop、flume 等是在底层 API 的基础上开发的,优点是支持主流数据源,使用灵活方便,功能完善强大,对用户要求不高,缺点是扩展能力较弱,一般不支持特殊数据源。综合来看,集成第三方工具是较合适的数据访问方式。在第三方工具的选择上,不仅考察数据访问能力,还要综合评估其 ETL 性能。

### 2.3 数据 ETL 层

通过数据抽取、清洗、转换,将原始数据转换为统一标准格式,持久化装载到数据存储层。抽取是数据输入过程,解决数据源的异构问题。转换和清洗主要解决数据质量问题,通过将数据中存在的冗余、错误、缺失检测出来并加以改正,使用默认的或者用户定义的装换规则对数据的某些字段进行合并、转换等操作,最终确保数据具有良好的正确性、一致性、完整性和可用性;装载是数据的输出过程,将转换和清洗后的数据按照物理数据模型定义的结构持久化写入到数据存储层。ETL 工具的使用简化了对原始 DMA 监测数据的抽取、清洗、转换和装载过程,极大地提高了开发效率。典型 ETL 工具包括商业、开源和学术三种类型:商业 ETL 主要有 Oracle 公司的 Oracle Warehouse Builder (OWB)、微软公司的 Data Transformation Services (DTS)、Informatica 公司的 Informatica、IBM 公司的 Data Stage 等;开源 ETL 工具有 kettle、Talend、CloverETL、Octopus 等;学术 ETL 工具中比较著名的有法国 INRIA 开发的 AJAX 系统、Berkeley 开发的 Potter's wheel 以及 Vassiliadis 等人开发的 Arktos 原型系统。kettle 是当前最热门的开源 ETL 工具,性能稳定高效,从成本、易用性、技术支持、部署、数据质量、连接性、日志监控角度综合考虑,kettle 是首选工具,适用于 DMA 数据抽取、清洗、转换和装载过程。

### 2.4 数据存储层

设计合适的存储模式,实现数据持久化存储。随着业务的增长,数据规模越来越大。按单 DMA 数据采集频率为每 15 min 一次计,每年增加 35 040 条记录,30 年记录数达百万。单表存储百万级别记录时,Mysql、Postgresql 等数据库负载处于可承受范围内,但是将多个 DMA 采集的数据写入单表中,记录数超千万必然成为系统的性能瓶颈。表分切是目前最有效的技术方法,根据 DMA 名称分隔成多个相互无关联的小表,可以降低数据量,从而提高查询



效率。当应用程序需要同时使用多个数据库,或者存在大表需要分切成小表时,Guzz 是目前通用持久层框架中最好的选择,适合于大型系统使用,包括访问量较大的系统和数据量较大的系统。Guzz 对于大型系统的支持主要体现在其分库和分表的性能上,大型系统对于数据库的要求很高,表的存储过多时,查询速度会很慢,影响到整个系统的速度,Guzz 分表有效地解决了这一问题。此外,Guzz 系统还能分数据库,当一个数据库存放表过多时,Guzz 系统提供分库功能。Guzz 提供了面向未来的配置化分表、多库、表分切、读写分离,以及多个数据库之间透明的分布式事务支持等特性(见图2),使得多数据库编程和普通编程一样简单,对开发者透明。开发人员可按照 DMA 命名制定一个表分切规则,Guzz 在对 DMA 数据集进行存储和读取时,自动根据规则计算出对应的数据库表,再进行持久化操作。

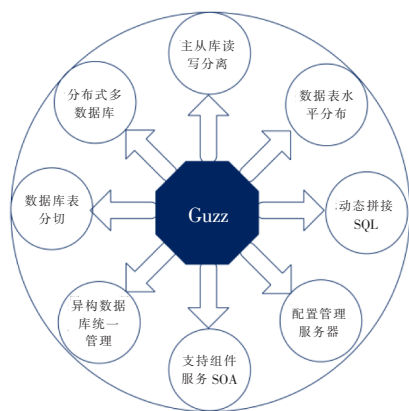


图2 Guzz 数据持久层框架

Fig. 2 Framework of Guzz data persistence layer

## 2.5 计算分析层

作为系统的引擎,计算引擎采用作业调度机制,实现业务分析算法,包括日常统计分析、预测算法、评估报表、分析指标等各种计算需求。在作业调度框架内,各个计算需求被组织成独立作业并设定调度时间表,作业可根据计算需求进行创建、修改、删除等定制。框架密切注意调度时间,当调度程序确定调用作业时,框架调用作业的计算过程,实现算法计算。Quartz 是目前应用广泛的一个开源作业调度框架,从成本、执行粒度、跨平台、调度操作集、作业监控和高可用方面综合考虑,Quartz 是最为合适的调度框架,适合 DMA 计算分析作业的组织 and 调度。

Quartz 原理如图3所示,其中 Scheduler 是一个

作业调度器容器,容器里面装载多个 JobDetail 和 Trigger,JobDetail 是一个可执行的作业,Trigger 是调度控制策略。当容器启动时,可以注册多个 JobDetail 和 Trigger,上述两者结合就可以被 Scheduler 容器调用。容器中的多线程作业执行池用来并行调度执行每个作业,提高容器执行效率。

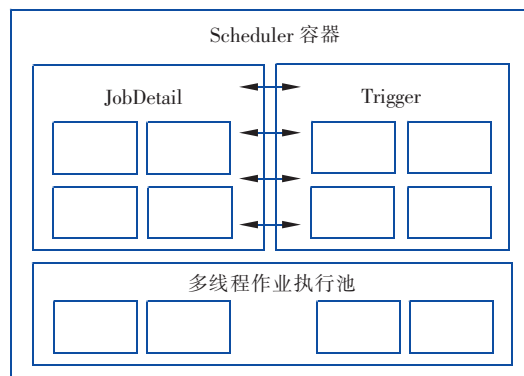


图3 Quartz 作业调度器原理

Fig. 3 Principle of Quartz job scheduler

## 2.6 可视化展示层

旨在将 DMA 计算分析结果以跨端的界面适配方法在多种设备上进行“响应式”适配,解决不同分辨率和设备下的用户体验一致性问题。响应式设计的理念是根据用户行为以及设备环境(系统平台、屏幕尺寸、屏幕定向等)状况相应地响应和调整页面的设计与开发,具体的实践方式包括 media query(媒体查询)、fluid grid(流体网格)、flex box(流体箱)、fluid image(流体图片)、css image(样式表图片)等,其最终效果是页面有能力自动响应用户的设备环境,用户开发一个网站可兼容多个终端,实现原理见图4。



图4 响应式 web 设计原理

Fig. 4 Principle of response web design

Bootstrap 是当前流行的前端 UI 框架,也是最受喜欢的 html、css 和 js 框架,提供了一套响应式、移动设备优先的流式栅格系统,随着屏幕或视口尺

寸的增加,系统会自动分为最多12列,栅格系统通过一系列行和列的组合来创建页面布局,以兼容不同分辨率终端。此外,GIS赋予数据全新面貌,GIS空间数据展现与地图制图功能极大地增强了数据的可视化效果。

## 2.7 报表输出层

作为系统最重要出口,负责提取、汇总业务分析核心内容,自由定制报表模板,并根据模块自动创建和发布报表内容。商用的报表工具有FineReport、CrystalReport、Cognos、BIEE等,开源报表工具有Pentaho、BIRT、iReport、JasperReports、openI等。从成本、易用性、数据访问、平台支持及web发布评测,Pentaho、JasperReports和BIRT的服务性都非常好,甚至达到企业级标准,其中Pentaho比JasperReports和BIRT略胜一筹,更易于访问一系列广泛的数据源和易于发布报表,适用于DMA漏损控制系统报表定制和web发布。

## 3 DMA漏损控制系统功能

根据系统需求分析,设计DMA漏损控制系统的功能模块,包括数据采集、设备管理、在线监测、辅助决策、统计报表、系统管理,如图5所示。

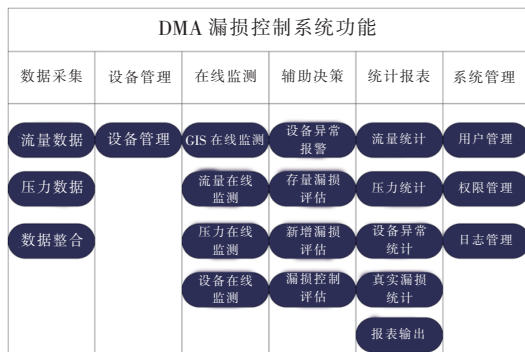


图5 DMA漏损控制系统功能图

Fig.5 Function diagram of DMA leakage control system

**数据采集:**通过ETL工具接口,从原始数据库中抽取、清洗、转化DMA所需的流量、压力等数据,装载到目标存储数据库。

**设备管理:**利用数据集成接口,提取DMA监测、监控设备的属性数据、空间数据和实时运行数据,对DMA设备进行属性查询、空间查询、空间定位、统计分析、状态分析等。

**在线监测:**在GIS地图中接入实时监测数据,以图形方式展示DMA的实时流量、压力、日均流量、

最小夜间流量、日均压力、设备状态等数据的变化过程。

**辅助决策:**目前设计了设备异常诊断、存量漏损评估、新增漏损预警、漏损控制评估四个功能。在实际监测中,经常会由于设备、信号等原因导致数据的中断、飘移等问题。设备异常诊断功能可通过对数据本身的诊断,及时发现数据异常,并给出告警信息,通知用户排查仪器故障。存量漏损评估研究管网背景漏失量与材质、年代等管网特征的相关性,建立计量损失水量计算方法,确定每个DMA合理的分类漏损指数。通过利用DMA的基础信息,可判断出DMA可控制到的最低漏损水平,并结合当前的漏损现状,给出多个DMA之间漏损控制的优先等级,大大提高用户漏损控制的效率。新增漏损评估结合流量长期和近期的变化趋势,建立新增漏损计算方法,通过分析流量变化过程判断DMA是否发生了新的漏损,通过设置合理的阈值,给用户以不同级别的告警信息,并明确给出新增漏损导致的直接水量损失。漏损控制评估分析漏损控制的投入成本(流量和压力监测设备成本、施工成本、维护成本)和产出效益(节水、减排),评价DMA漏损控制的经济性,给出漏损控制的建议。

**统计报表:**对实时监测流量、压力以及设备异常和真实漏损情况进行统计分析,生成统计报表。

**系统管理:**提供用户管理、权限管理和日志管理等功能,保障系统安全稳定运行。

## 4 应用实例

系统实现流程如图6所示。DMA漏损控制系统以作业调度器为核心运转,调度器充当中央处理器角色。在底层数据层,调度器负责组织、调度、执行和监听ETL作业,实现原始数据集到目标存储数据库的数据迁移;在核心计算层,调度器负责将各种业务分析算法,比如日常统计分析、预测算法、评估报表、分析指标等各种计算需求组织成相互独立的作业,作业依据业务需求不同,可从目标存储数据库中抽取不同数据。调度器可根据业务需求进行作业的定制,比如创建、修改和删除作业。然后根据实际需要,设定合适的作业执行时间,定时执行作业,监听作业状态,确保计算任务顺利完成,最后将计算结果写入目标存储数据库。之后,web服务器和报表生成器负责从目标存储数据库中读取上述作业的计算结果,以响应式页面和定制报表形式返回给终端

用户。

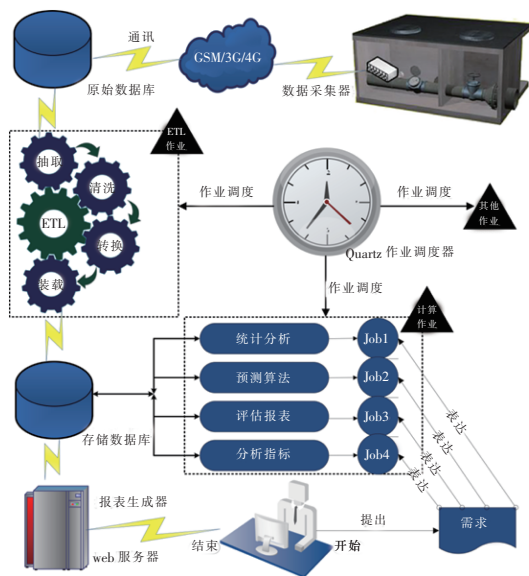


图6 DMA漏损控制系统实现流程

Fig. 6 Implementation process of DMA leakage control system

#### 4.1 数据源

根据DMA漏损控制系统架构推荐(见图1),从易用性角度考虑数据存储选用Mysql数据库管理系统。以北京市已建DMA小区为例,选取其中21个作为应用对象。收集各个小区基本属性信息,整理成Excel文档,作为DMA基本信息表。导出21个小区2013年—2015年流量、压力等历史监测数据,存为Excel格式,作为系统原始数据集。

#### 4.2 数据ETL

选取kettle作为ETL工具。首先制定数据抽取规则(从原始数据集中选择流量、压力、时间字段)、数据转换规则(异常值去除、缺失值补全)和加载规则(全量加载或增量加载),其次创建kettle的transformation(变换)实现上述规则,之后创建kettle的job(作业),最后经由作业调度器执行作业,实现原始数据集到目标存储数据库的迁移。

值得说明的是,kettle支持多种数据源,虽然本例中采用Excel文本文件格式数据源,但kettle提供多种数据源访问接口,更适合处理数据库类型的数据源。另外,kettle支持全量同步和增量同步数据库迁移方式。全量同步适合数据库初始化,增量同步适合长期持续运维和更新。本例中采用全量同步。

#### 4.3 数据存储

利用Guzz的表分切机制来实现对多个DMA小

区监测数据的统一管理。首先,按照DMA命名制定一个表分切规则。基本信息表以ID为主键,ID随小区个数自增长,每个DMA小区对应一个ID。数据表命名推荐以“表名-ID”形式组织,比如针对北京地区,表名可统一取“BJ”,基本信息表中“安宁里北区”对应的ID为1,那么DMA的表名可取“BJ-1”,以此类推。参照数据表,计算结果表的命名也遵循上述规则,推荐表名结构为“BJ-RESULT-ID”,其中,“RESULT”标示用于存储计算结果。Guzz在对DMA数据集进行存储和读取时,自动根据规则计算出对应的数据库表,然后进行持久化操作。

为了保障系统可用性和稳定性,在极端情况下,当数据库中DMA表个数过多时,比如大于500时,可能超出数据库负载能力,此时可采用Guzz分布式分切表机制,将表分发到多个数据库中,实现数据的分散存储和分散查询,降低每个数据库中的数据量,提高查询和写入效率。

#### 4.4 计算分析

与数据ETL作业的调度过程一致,计算分析也是由Quartz作业调度框架统一管理。计算分析算法,比如日常统计分析、预测算法、评估报表、分析指标等,在框架内被组织成相互独立的作业,同时设定各个作业的调度时间表,框架密切注意调度时间,当调度程序确定调用作业时,框架调用作业的计算过程。因此,在Quartz框架的支撑下,计算分析任务可灵活创建、删除、修改,赋予DMA漏损控制系统具备可扩展性。图7为DMA漏损控制系统主界面。



图7 DMA漏损控制计算分析结果

Fig. 7 Analysis results of DMA leakage control

主界面左侧分别对所有小区的基本信息、漏损情况、背景流量进行汇总和统计分析。右侧“新增漏损预警”中柱状图统计分析所有漏损情况(无漏、大漏、中漏、小漏),列表部分显示每个小区最近一



次漏损状态(时间、漏损大小),列表的末尾按钮用于向检修队下发派单任务;右侧“漏损控制决策”中以柱状图统计分析了针对漏损所采取的应对措施(保持、控压、检漏、检漏+控压),列表部分列出每个小区最近一次采取的具体措施,列表末尾按钮用于查看措施实施过程详细信息;右侧“漏损控制措施效果评价”以饼状图统计分析所有派工完成情况,列表部分显示派工措施完成前后最小夜间流量、压力、节水量变化。

#### 4.5 可视化展示

在网页设计和开发工作中,采用 Bootstrap 提供的响应式、移动设备优先的流式栅格系统,通过一系列的行(row)与列(column)组合创建页面布局,达到“一份代码,多种设备适配”的效果。此外,利用开源 WebGIS 地图引擎 OpenLayers 的空间数据展现与地图制图功能,极大提高数据可视化效果,赋予数据全新的面貌。

总体上,可视化展示界面按照“总-分”结构进行设计和实现,图7总界面是系统主页,负责对所有小区进行综合汇总分析,分界面是二级页面,负责对单个小区进行详细描述。总界面进入分界面有三种方式:在主页面上部 GIS 地图中点击某小区或主页面导航栏右侧查询或者切换。图8左侧部分为二级页面左侧,自上而下依次显示单个具体小区实时监测、新增漏损评估和设备异常;二级页面右侧部分和图7右侧部分一样,依次展示具体小区的“新增漏损预警”“漏失控制决策”和“漏损控制措施效果评价”统计分析结果。

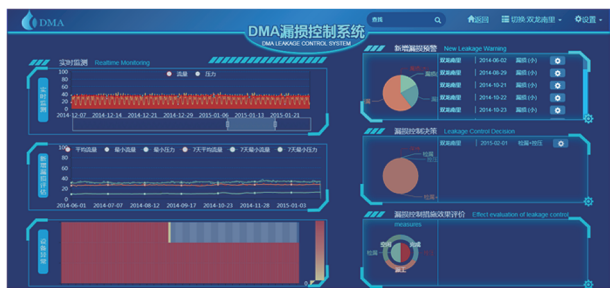


图8 响应式可视化展示

Fig.8 Visual presentation of response pattern

#### 4.6 报表输出

在设计报表阶段,采用所见即所得的开源 Pentaho Report Designer 报表设计工具,通过灵活拖放和设置各种报表控件,可方便定制、预览、生成和

web 发布各种报表。图9为 Pentaho Report Designer 报表生成器定制的存量漏损评估表,除了支持本例的列表显示外,Pentaho 还支持柱状图、饼状图等16种图表类型,以及灵活调整的图表格式,满足系统报表输出要求。

| 名称    | 管径(km) | 用户数(千户) | 管网压力(MPa) | 管龄(年) | 背景流量(L/s) | 单位管长背景流量(L/s) |
|-------|--------|---------|-----------|-------|-----------|---------------|
| 安宇里北区 | 1.45   | 1.557   | 35.335    | 18    | 3.24      | 2.24          |
| 百景华庭  | 4.57   | 1.38    | 32.381    | 10.2  | 2.93      | 0.64          |
| 宝盛里   | 2.12   | 1.661   | 29.793    | 14.9  | 2.95      | 1.39          |
| 翠林小区  | 2.94   | 3.582   | 30.216    | 18.2  | 6.26      | 2.13          |
| 东苑市北里 | 2.38   | 1.644   | 32.532    | 17.8  | 3.46      | 1.45          |
| 东王庄   | 3.71   | 2.728   | 24.766    | 22    | 4.28      | 1.15          |
| 高家河   | 3.84   | 0.683   | 33.691    | 33    | 1.81      | 0.47          |
| 红庙里   | 3.71   | 2.328   | 33.742    | 30    | 4.47      | 1.21          |
| 槐柏树南里 | 1.45   | 1.816   | 23.379    | 20.4  | 2.46      | 1.69          |
| 衡河    | 3.25   | 1.668   | 35.605    | 18.2  | 4.18      | 1.29          |
| 科学园南里 | 1.84   | 1.338   | 28.908    | 19.4  | 2.49      | 1.35          |
| 固河    | 2.52   | 2.594   | 30.285    | 20    | 4.63      | 2             |
| 双槐里   | 1.33   | 1.505   | 26.854    | 18    | 2.36      | 1.78          |
| 双龙南里  | 6.99   | 6.394   | 34.72     | 12.3  | 11.66     | 1.67          |
| 松榆园   | 3.89   | 4.067   | 30.049    | 23    | 7.12      | 1.83          |
| 塔院    | 3.44   | 2.41    | 34.597    | 24    | 5.25      | 1.42          |
| 西罗园   | 9.3    | 7.364   | 28.8      | 23    | 13.13     | 1.35          |
| 阳光上东  | 0.52   | 0.395   | 36.727    | 9.8   | 0.74      | 0.89          |
| 同安里一区 | 0      | 5.602   | 40.669    | 6     | 7.33      | 0.57          |
| 同安里二区 | 0      | 5.332   | 39.644    | 5.2   | 5.91      | 0.53          |
| 永春园   | 0      | 1.506   | 40.7      | 10.8  | 2.99      | 1.02          |

图9 Pentaho Report Designer 报表生成演示

Fig.9 Demo of Pentaho Report Designer report

#### 5 结论

综合利用 ETL、Guzz、BI 等多种开源跨平台软件,充分发挥各种开源框架技术优势,提出一种适用于 DMA 数据采集、存储、分析和报表输出管理的全流程软件架构,并基于架构研发了一种高效、低成本的 DMA 漏损控制系统,实例证明了该架构的可用性、可扩展性和可靠性,可为 DMA 漏损控制数据管理、分析和应用软件工具的研发提供技术支持。

大数据技术在 DMA 管网漏损控制中的应用是未来发展方向。数据冗余备份、高速读写、实时查询、离线计算、实时计算等多种大数据技术综合应用,将会彻底改变现有的存储和计算技术体系。所提出的技术架构具有强扩展性,主要体现在:①底层数据源层可以升级,比如可以被替代成具有冗余备份特点的分布式文件系统 HDFS,或是具有高速读写性能的 NoSQL 数据库 HBase;②计算分析层可以扩展大数据离线计算或实时计算等形式,不论何种形式,计算调用方式未发生变化,都是先组织成作业,再由 Quartz 作业调度器统一管理;③数据访问

接口层和 ETL 层采用 ETL 主流工具 kettle, 已内置大数据访问接口, 支持 ETL 功能; ④数据库持久层可替换为大数据持久层; ⑤可视化展示层和报表输出层基本上可保持不变。因此, 本架构亦适用于大数据技术支持下的 DMA 漏损控制软件系统研发。

### 参考文献:

- [1] 刘锁祥, 赵顺萍, 曹楠, 等. 供水管网漏损控制研究和实践[J]. 中国给水排水, 2015, 31(10): 22-25.  
Liu Suoxiang, Zhao Shunping, Cao Nan, *et al.* Research and practice of water loss control of water distribution network[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(10): 22-25 (in Chinese).
- [2] 黄雅芳. 管网 DMA 技术在供水集约化中的应用[J]. 上海水务, 2014, 30(3): 30-33.  
Huang Yafang. Application of DMA technology in intensive water supply[J]. Shanghai Water, 2014, 30(3): 30-33 (in Chinese).
- [3] 王敏, 杨志坚, 李扬, 等. 供水管网计量分区管理技术与应用[J]. 城镇供水, 2013, (2): 21-25.  
Wang Min, Yang Zhijian, Li Yang, *et al.* Metering division management technology of water supply network and its application[J]. City and Town Water Supply, 2013, (2): 21-25 (in Chinese).
- [4] 单国平, 丁宏进, 张俊杰. 独立计量分区在南京水司降低产销差中的应用[J]. 中国给水排水, 2012, 28(19): 63-65.  
Shan Guoping, Ding Hongjin, Zhang Junjie. Application of DMA to reduction in NRW of Nanjing Tap Water General Company[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(19): 63-65 (in Chinese).
- [5] 刘俊, 孙佳, 俞国平. 分区供水技术在漏损控制中的研究现状与进展[J]. 中国给水排水, 2010, 26(16): 7-10.  
Liu Jun, Sun Jia, Yu Guoping. Current situation and progress of water distribution system zoning technologies for water loss control[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(16): 7-10 (in Chinese).
- [6] 徐强, 陈求稳, 刘锐平, 等. 基于管网水力模型的独立计量分区优化[J]. 给水排水, 2008, 34(3): 118-120.  
Xu Qiang, Chen Qiwen, Liu Ruiping, *et al.* Optimization of discrete metering area scheme by pipeline network model[J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(3): 118-120 (in Chinese).
- [7] 徐强, 焦静, 赵顺萍, 等. 供水管网漏损评价指标对比与改进[J]. 中国给水排水, 2016, 32(20): 14-18.  
Xu Qiang, Jiao Jing, Zhao Shunping, *et al.* Comparison and improvement of assessment indexes of water loss for water distribution systems[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(20): 14-18 (in Chinese).
- [8] 李纪波, 田秀德, 李静, 等. 供水管网 DMA 在线监测系统研究[J]. 技术与市场, 2017, 24(1): 7-10.  
Li Jibo, Tian Xiude, Li Jing, *et al.* Research on an online monitor system of urban water supply network DMA[J]. Technology & Market, 2017, 24(1): 7-10 (in Chinese).
- [9] 董驹萍, 吴珊, 陈鹏, 等. 供水管网独立计量区域管理数据库系统开发[J]. 给水排水, 2015, 41(7): 103-107.  
Dong Juping, Wu Shan, Chen Peng, *et al.* Development of district metering area(DMA) databank system for water supply network[J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(7): 103-107 (in Chinese).
- [10] Meseguer J, Mirats J M, Cembrano G, *et al.* A decision support system for on-line leakage localization[J]. Environmental Modelling & Software, 2014, 60: 331-345.
- [11] 徐强, 陈求稳, 顾军农, 等. 供水管网漏损控制研究进展[J]. 中国给水排水, 2012, 28(24): 5-9.  
Xu Qiang, Chen Qiwen, Gu Junnong, *et al.* Comprehensive review of leakage control studies for water distribution pipe network[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(24): 5-9 (in Chinese).



作者简介: 马金锋(1978- ), 男, 宁夏吴忠人, 博士, 助理研究员, 研究方向为水环境模拟。

E-mail: jfma@rcees.ac.cn

收稿日期: 2017-12-15