

## 试验数据管理平台设计研究

董 冬, 朱成亮, 胡 璞, 刘 晓, 李 恒  
(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 为了解决试验数据管理中面临的 4 方面问题, 需建立基于关系数据库的试验数据管理平台。设计该平台需首先对试验数据管理平台设计需求进行全面分析梳理, 基于软件 4 个方面的需求和软件设计思想, 设计试验数据管理平台框架, 平台框架的 3 个层面内容包括: 数据访问层、业务逻辑层及界面展现层, 搭建、配置及实现完成试验数据管理平台软件部分同时根据该平台软件性能需求配置与之匹配的硬件设备。针对试验数据管理平台开发设计中涉及的 4 项关键技术进行简要介绍, 包括数据库架构设计、数据解析存储技术、数据查询、统计技术及数据协同类分析技术。基于试验数据管理平台进行应用, 实现海量试验数据存储, 关键参数统计比对、包络线分析, 数据分类解析导入与规范输出, 试验资源管理。

**关键词:** 试验数据; 管理平台; 关键技术

**中图分类号:** V433.9-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2014) 04-0067-06

## Design of test data management platform

DONG Dong, Zhu Cheng-liang, Hu Ying, Liu Xiao, Li Heng  
(Xi'an Aerospace Propulsion Test Technology Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** To solve four problems of test data management, a test data management platform based on relational database should be established. The design demands of the test data management platform need to be analyzed comprehensively for the platform design. Based on software design philosophy and software requirements in four areas, three constituent parts of the software framework were designed, including data access layer, business logic layer and interface presentation layer. While the software part of test data management platform was built, configured and achieved, the hardware devices matching with the software part were configured according to the software performance requirements of the platform. The four key technologies involved in the development and design of the data management platform are described briefly. They are database architecture design, data analysis storage, data query/statistics and data collaboration analogy analysis, which will be used on the basis of test data management platform to achieve massive test data storage, key parameter statistical comparison, envelope analysis, data classification analysis import and

收稿日期: 2013-11-28; 修回日期: 2014-02-10

基金项目: 中国航天科技集团公司支撑项目(2012JY16)

作者简介: 董冬 (1981—), 男, 工程师, 研究领域为发动机试验技术

specification output, and test resource management.

**Keywords:** test data; management platform; key technology

## 0 引言

试验数据作为评判试验件工作性能依据,它的有效管理、深入分析对试验件研制进度起到非常重要的作用<sup>[1]</sup>。随着试验任务急剧增加,多年试验积累的数据急剧增加。面临的主要问题包括:各数据采集系统产生的原始数据文件格式标准缺乏一致性,对数据的标准化处理是试验数据管理平台需首要解决的问题;多年积累的原始数据和近几年急剧增加的海量数据缺乏有效管理,导致数据检索、分析不便;数据的分散存放导致数据资源难以共享,导致统计能力欠缺,数据利用率低;通过 Origin 等第三方软件导入数据进行同型号试验数据趋势性浏览比较分析时,因导入数据量大导致分析操作难度大,分析效率低。

为了解决以上存在的问题,我们急需设计开发基于关系数据库的试验数据管理平台,以提升现有试验信息管理水平 and 数据管理效率,为试验数字化管理打下坚实的基础。需求分析是试验数据管理平台设计过程中需首先解决的问题,需求分析梳理越全面,平台设计的功能越完善,设计开发效率越高。

## 1 需求分析

建立试验数据管理平台即是对试验积累的大量数据文件进行有效的组织管理,以便于试验信息的高效率维护,在此基础上进行数据查询和数据信息统计分析,同时利用数据纵向协同分析能力得到试验数据的一些特征值,为试验件的研制提供可靠准确的信息,提高试验数据的综合利用效率<sup>[2]</sup>。结合试验数据特性和数据管理的特点,以及目前试验数据管理所面临的主要突出问题,给出了如下需求分析。

### 1.1 多种文件格式标准需统一

通过数据类型需求梳理后,试验数据文件格式包括:测量缓变数据、测量速变数据、附件数

据、资源数据及试验过程数据。多种数据文件格式在经过数据文件格式标准化统一平台转换后形成统一标准,按照文件格式,建立不同的解析模板,选择解析模板上传以上格式文件解析入库,实现入库后表单数据格式的统一。

### 1.2 能适应持续增加的海量数据

试验获得的试验件推力、温度、压力、流量及振动等参数,合计测量通道少则几十路,多则上百多路,每路的采样频率从每秒几个点到每秒几万个点不等。每年这样的试验不少于 10 次,目前,通过几十年数据的积累,总的原始数据量已经超过 1 T (1 024 G),并且这样的数据量还将持续不断地产生。试验数据管理不仅针对现有海量数据具备有效管理,同时对后续产生的数据也具备续存扩展管理功能。

### 1.3 具备综合查询和统计能力

试验设备众多,测量参数纷繁复杂,数据格式多种多样等因素决定了试验数据管理平台需具备查询和统计能力,便于查询相关信息,实现各类数据关联查询、统计和试验信息的及时发布,并进行数据挖掘,发现数据潜在变化规律。

### 1.4 具备数据纵向协同分析能力

对同型号试验数据进行纵向分析,包括同型号参数数值比对,曲线趋势分析,参数纵向类比分析,达到对产品不同部位的趋势性特性或潜在风险进行规律性判定,更大限度利用试验数据,更快地促进产品研制工作。

## 2 平台实现

### 2.1 设计思想及架构设计

#### 2.1.1 设计思想

平台采用面向服务的架构 (Service-Oriented Architecture, SOA) 技术模式,SOA 是基于系统间信息集成的最佳解决方案。它采用可扩展标记语言 (Extensible Markup Language, XML) 文本标准,在异构系统之间、不同的组件之间、各类服

务之间实现信息集成<sup>[3]</sup>,是标准的和基于文本格式的。任意一个系统、组件、模块均可解析此XML<sup>[4]</sup>。因此,SOA在数据交换、数据集成、数据采集与转换方面广泛应用,是平台扩展能力、稳定性、先进性、集成性、健壮性及重用性的有力保证。

### 2.1.2 架构设计

根据业务流程、软件设计思想及分布式试验数据管理平台特性,试验数据管理平台框架结构由数据访问层(Data Access Layer, DAL),业务逻辑层(Business logic layer, BLL)及界面展现层(User Interface, UI)组成<sup>[5]</sup>。数据访问层主要用于处理数据库的操作,通过建立ORM模型,使数据库的改变不会影响业务逻辑层对数据的访问,实现了业务逻辑层与最底层基础数据之间的访问隔离。业务逻辑层用于提供试验数据管理业务功能、日常管理功能及各种工具模块。界面展现层用于向外界用户展示试验业务平台的界面,提

供试验平台与用户之间的访问入口,如任务信息、参数信息及试验数据等多访问入口<sup>[6]</sup>。UI层由超文本标记语言(Hyper Text Mark-up Language, HTML),XML及动态服务器页面(Active Server Pages, ASP)技术根据不同需要达到界面层不同界面实现;BLL层由WebService(基于可编程、可交互的web应用程序平台),超文本传输协议(Hypertext Transfer Protocol, HTTP)及互联网信息服务(Internet Information Services, IIS)实现试验管理业务逻辑连接;DAL层由关系数据库和文件系统共同构成。平台通过统一的接口访问试验数据管理平台,进而访问数据库和文件系统<sup>[7]</sup>。

### 2.2 软件功能模块设计

根据需求分析、软件设计思想及软件框架设计软件各功能模块。其功能模块包括:业务支持工具集、数据中心、项目管理、数据管理、试验规划、报告生成及第三方软件集成。平台软件功能如图1所示。

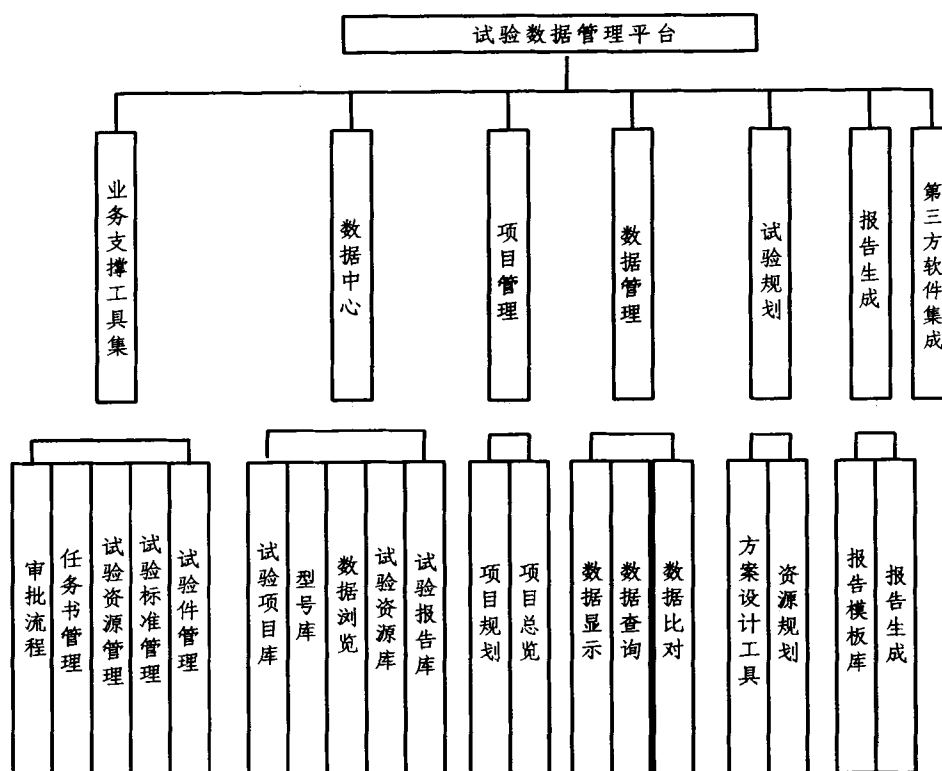


图1 平台功能模块框图

Fig. 1 Block diagram of function module in platform

业务支撑工具集模块用以满足于试验相关的信息的整合及综合管理,以提高试验过程中各种

资源信息的利用效率。数据中心模块用以满足试验数据的贮存、分类、浏览和查询,实现数据的规范化管理和有效利用。项目管理模块用以满足试验准备和项目管理过程中各个流程环节的可视化管理和科学调度配置管理。数据管理模块用于管理试验过程中产生的所有数据包括:数据导入、数据显示、数据查询、数据分析及数据导出,该模块用以满足试验数据的合理化配置和接口格式的统一化管理。试验规划模块用以满足试验项目的科学规划管理,提高试验过程信息管理的完整性。报告生成模块用于帮助用户自动化生成标准格式的试验报告,用以满足试验数据报告有效管理,提高试验报告的规范性和效率。第三方软件

集成接口模块用以提高试验数据分析扩展能力,满足数据深入挖掘的需要。

### 2.3 硬件配置

根据上述软件功能模块功能,提出与之匹配的硬件配置要求,其中包括:服务器运行速率指标、数据吞吐速率、磁盘存储容量、防火墙设置、网络安全、数据容灾备份及数据访问权限设置等<sup>[9]</sup>。根据配置要求,试验数据管理平台将设计为以服务器、客户端、海量存储系统、交换机、防火墙及网络构成的试验数据管理平台硬件系统,其中海量存储系统采用磁盘阵列备份的磁盘阵列柜群。最终配置的硬件整体布局后形成的网络拓扑结构,其构成如图2所示。

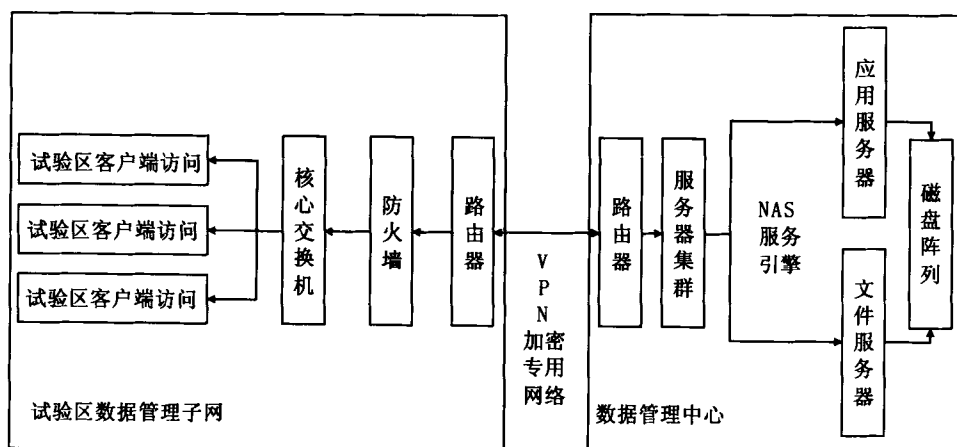


图2 硬件网络构成框图

Fig. 2 Block diagram of hardware network

## 3 关键技术

### 3.1 数据库架构设计

关系型数据库提供了创建规范数据存储结构的方法,以及方便查询数据的途径,并可实现基于良好并发控制能力的数据共享<sup>[9]</sup>。数据库用于存放大量试验数据,根据试验数据的分散特点建立分布式数据库比较适合,同时数据存储方式决定了数据库的构成形式,即分布式数据库由关系数据库和文件数据库共同构成。它在逻辑上属于同一个系统,但物理结构上分布式的,分散在不同服务器硬盘上的存储位置。系统通过统一接口(WebService+Http)对数据中心的数据进行访问

或对数据中心进行数据存储、数据解析导入及数据分析等操作,数据中心数据存储的关系数据库或文件数据库中<sup>[10]</sup>,实现试验数据的规范化存储、集中管理、快速查询及有效共享。数据库框架结构如图3所示。

### 3.2 数据解析存储

数据解析存储由数据结构标准化模块、附件存储模块、索引存储模块、非时域、频域数据解析模块、时域及频域数据解析模块组成,实现各种类型数据解析存储入库或直接存储文件系统中。结构标准化模块实现试验数据结构标准化统一格式。附件存储模块实现原始数据存储功能,以附件形式上传数据。非时域、频域数据解析模

块, 针对非时域、频域解析数据, 进行数据内容提取后写入数据库的表空间的对应表单中, 创建相应关联表单进行数据存储。时域、频域数据解析模块, 针对时域、频域解析数据, 根据文件参数个数生成多个文件名称 (原文件名+参数代号+日期), 在文件系统中建立一定存储空间, 在文件系统相应路径建立多个单参数数据文件名 (\*.tdmdf), 分别生成以时间列和每个参数列构成的总参数数量的 \*.tdmdf 格式文件。

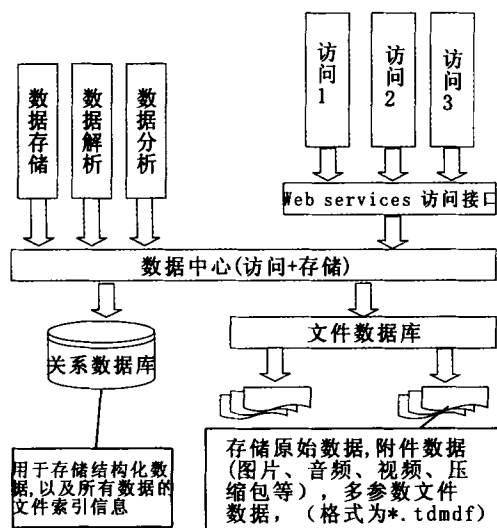


图 3 数据库框架结构

Fig. 3 Frame structure of database

### 3.3 数据查询、统计

数据查询、统计难点在于对于百万条数据记录的高效、快速查询。通过优化 SQL 语句和数据的存储结构, 实现了对单一表 (超百万记录) 甚至多个大表进行快速查询, 甚至可能是很多个大表一起查询, 实现跨表查询<sup>[11]</sup>。试验数据管理平台不但实现各种数据的有序存储, 而且可以对多批次、多型号的数据进行综合查询, 统计。对大量无关联表之间的数据进行数据分析、统计和计算, 这个过程原本非常缓慢, 尤其是随着试验增多, 统计效率会越来越慢, 通过自动统计、定时统计和手动统计策略, 实现了试验结束后统计结果及时显示, 二次统计快速计算及导出能力。实现了试验数据信息、资源信息统计, 为深入分析试验数据、试验资源使用情况提供量化依据。

### 3.4 数据协同类分析

用数据协同类分析实现对同型号试验间同部位测点参数进行趋势性比较分析, 为总结试验件各部位潜在规律性提供数据支持<sup>[12]</sup>。实现该功能需要完成两次参数选择算法: 第一次提取型号试验下类比参数时, 参数可任选, 并加入到同一数据集合中; 第二次选择是针对集合中已选的参数再次进行最终曲线显示的数据源, 选择完成后进行曲线显示。应用多次试验间大数据量协同类比分析时, 试验数据管理平台相比 ORIGIN 或 EXCEL 第三方软件优势更突出。

## 4 管理平台应用

### 4.1 基于快速增量的数据存储

满足了试验任务要求, 通过动态建模、自动分表等方式实现快速增量的数据存储。在试验过程中产生的数据量巨大, 如果把所有的试验数据存放到同一个表中, 那么随着试验数据的增多, 试验数据量增大, 数据表的压力就会无法负载。采用动态生成试验表, 可以把庞大的数据分成若干个小表进行管理, 可以极大的提高性能<sup>[13]</sup>。分表的原则是以特定通道数为一个单位创建一个表, 把不同通道的数据放到不同的表中, 这样就解决了快速增量的数据存储问题。

### 4.2 数据批量解析入库

为了保证大量的、连续的、长时间的数据准确、快速地入库, 测量采集通道数多达几百个, 且存在通道不断增加情况, 为了使试验过程中采集到的大量数据能够及时入库, 系统采用了批量入库的技术<sup>[14]</sup>。数据经过特定准则处理后形成多种类型数据文件, 把数据文件批量同时传输给服务器端, 服务器端及时解析成多个通道参数数据形式, 以批量的方式一次性插入到数据库中, 极大提高了数据入库效率<sup>[15]</sup>。比如, 通过设定 AA 型数据模板, 可将同为 AA 类型的试验数据文件一并选择、提交至数据库中, 并将其解析为多通道参数数据。这样解决了重复导入 AA 类型模板的问题, 提高了工作效率。

### 4.3 关键参数统计比对、包络线分析

基于历史试验数据统计分析的基础上对相关

参数进行包络分析和数据曲线对比分析,以对试验参数建立合理的阈值方法进行研究。获得测量参数变化规律,参数测量值的散布情况以及特性值统计分析。解决了同类关键参数间简单处理分析,各类参数之间未进行相关、相干的综合分析问题,提高了数据利用率。

#### 4.4 试验资源管理

实现试验资源计量状态可控,针对过期资源用户间交互消息提醒,确保资源始终在有效计量状态下使用。包括:仪器、仪表、计量器具及采集设备等试验资源管理。具备试验资源使用、校验等信息入库、试验资源统计、有效期提醒能力,解决了长期以来传感器、阀门等试验资源计量管理纸质登记及试验资源年检、报修需人工提醒的问题。

## 5 结束语

试验数据管理平台是与试验数据特点、试验管理紧密结合的信息化系统。通过对试验数据管理平台设计开发过程中相关关键技术的研究,解决了试验数据管理工作中面临的问题,实现了试验信息数字化、数据管理综合化和操作自动化。

#### 参考文献:

- [1] 王方星,冷文浩,孟斌. TDM 平台的海量试验数据展现优化[J]. 计算机工程与设计, 2012, 12(1): 412-416.
- [2] 刘斌. 基于元数据的海量试验数据管理系统研究与设计[J]. 微电子学与计算机, 2012, 12(4): 158-161.
- [3] 张建勋,古志民,郑超. 云计算研究进展综述[J]. 计算机应用研究, 2010, 12(2): 66-68.
- [4] 万年红. 数据库原理及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [5] 林庆,朱翠苗,郑广成,等. 基于 ASP.NET 的 MVC 设计模式的研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 12(1): 33-34.
- [6] 周树语. 设计模式在面向对象框架中的应用[J]. 计算机光盘软件与应用, 2013, 12(6): 28-30.
- [7] 钱洁萍. MVC 设计模式与 Struts 架构的研究[J]. 中国科教创新导刊, 2013, 12(7): 66-68.
- [8] 高开林. 试验数据管理系统中的设备管理研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [9] 聂蓉梅,郑东升,罗军. 运载火箭大型试验数据库系统设计方法[J]. 导弹与航天运载技术, 2008, 12(1): 41-43.
- [10] 宋铭利,王素丽. 试验数据管理系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2011, 12(5): 45-46.
- [11] 赵晓莉,李粮,石小江. 基于 PLM 平台的航空发动机试验数据管理技术研究 [J]. 测控技术, 2013, 12(12): 138-142.
- [12] 李沛然,邓兆祥,叶常景. 汽车 NVH 试验数据管理系统关键技术研究[J]. 振动与冲击, 2010, 12(2): 163-166.
- [13] 吴广君,王树鹏,陈明,等. 海量结构化数据存储检索系统[J]. 计算机研究与发展, 2012, 12(1): 15-16.
- [14] 刘国芳,张伟冯,王兵. 基于 ASP.NET 的批量数据导入方法的研究与实现[J]. 电脑知识与技术, 2014, 12(8): 38-40.
- [15] 辛怀声,王鹏. 基于 XML 的数据解析软件设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2014, 12(1): 18-20.

(编辑: 马 杰)

(上接第 10 页)

- [9] BAROR D. Experimental evaluation of gel fuel droplet burning rates at sub and supercritical conditions, AIAA 2008-4874[R]. USA: AIAA, 2008.
- [10] 丰松江,何博,聂万胜. 液体火箭凝胶推进剂燃烧特性研究进展[J]. 火箭推进, 2009, 35(4): 1-7.
- [11] 王中,梁勇. 美、俄、德凝胶推进剂的发展现状[J]. 飞航导弹, 2010 (2): 76-793.
- [12] RAHIMI S. The injection process of gel fuels, AIAA 97-2972[R]. USA: AIAA, 1997.
- [13] 刘国庆,蔡体敏,夏学礼,等. 凝胶推进剂锥形管道流动特性数值分析[J]. 固体火箭技术, 2009, 32(2): 154-158.

(编辑: 马 杰)