

# 液体火箭发动机高速采集数据 工程数据库设计及应用

赵瑞国, 马 杰, 何志勇, 李 君  
(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 叙述了基于 SQLSever 数据库平台的液体火箭发动机高速采集数据工程数据库的架构设计及海量存储技术在试验数据分析过程中的应用。该数据库对提高数据管理水平、提高数据利用率及发动机的研制具有极大的帮助。数据库的架构设计较好的满足了试车高速采集数据及分析结果的分类存储、检索及查询。海量存储技术的应用解决了非结构化数据的快速存储问题。

**关键词:** 液体火箭发动机; 数据库; 架构设计; 海量存储

**中图分类号:** V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2011) 03-0060-06

## Design and application of high-speed acquisition database for liquid rocket engine

ZHAO Rui-guo, MA Jie, HE Zhi-yong, LI Jun  
(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** The architecture design of high-speed acquisition database based on the SQL Sever technique, and application of the mass storage technique used in data analysis for liquid rocket engine are described. The database is helpful for the improvement of data management, data utilization and development of liquid rocket engine (LRE). The construction of the database meets the challenge of high-speed data acquisition, sorting storage and query for hot-firing test data. The mass storage technique can solve the high-speed memory problem of non-structural data.

**Keywords:** liquid rocket engine; database; architecture design; mass storage

## 0 引言

随着计算机软硬件技术的迅猛发展, 数据库

技术在各行各业得到了越来越广泛的应用。应用数据库技术针对液体火箭发动机热试车中获取的高速采集数据进行存储和管理对于数据的高效存储、快速提取及多样化的后处理具有重要意义。

收稿日期: 2011-01-14; 修回日期: 2011-02-28

基金项目: 中国航天科技集团公司支撑项目

作者简介: 赵瑞国 (1977—), 男, 工程师, 研究领域为速变数据测试分析

为了解发动机及其零部件的动态响应特性, 需在试验中以高采样速率 (通常为 25600 kHz) 采集大量的振动、压力脉动、位移及转速等数据, 这些数据具有数据量大、格式复杂、后处理分析算法多样等特性。这些数据及其分析结果, 以往存贮在磁带和不同的计算机里, 由于数据格式多样、分析方法不同等原因, 造成对数据的检索、调用与后处理都十分困难。鉴于上述原因, 需要一个统一的、规范的、安全的、便捷的液体火箭发动机数据管理平台来解决以上问题。

为此研制开发了基于 SQLSever 数据库平台的发动机试车高速采集数据工程数据库。该数据库较好的解决了上述问题。在数据库研制过程中针对数据库架构及数据存储方式等关键技术进行了深入的研究。

1 发动机高速采集数据库设计

1.1 发动机高速采集数据工程数据库的特点

发动机高速采集数据具有数据量大、格式复杂、后处理分析算法多样等特性。因而液体火箭发动机高速采集数据工程数据库与常用的商用、管理、文献检索数据库及主要针对 CAD/CAM 设计的工程数据库均有一定的差异, 主要表现在:

- 1) 液体火箭发动机的技术术语定义复杂;
- 2) 发动机本身作为实体对象具有多型号、同一型号具有多批次的特点;
- 3) 试验种类多, 试验次数多;
- 4) 数据来源于多种采集设备, 数据类型多;
- 5) 数据之间的关系复杂;
- 6) 数据量极大;
- 7) 需采用的分析手段多样。

使用和管理上存在较多的差异如表 1 所示。

1.2 发动机高速采集数据工程数据库的建设目标

数据库主要致力于建立试验数据的核心存储模型和系统, 具体目标包括:

- 1) 提供所有数据资源的存储模型, 统一的存储资源;
- 2) 满足用户对数据的高速存取需求;
- 3) 提供对数据的完整的安全备份能力;

- 4) 提供对数据的生命周期管理能力;
- 5) 提供对数据处理的扩展开发能力。

表 1 商业数据库与高速采集数据工程数据库的比较

Tab. 1 Comparison of comercial database and high-speed acquisition database

	商业数据库	高速采集数据工程数据库
总数据量	小	大
批次数据	小	大
数据更改	频繁	不能更改
时标	无连续时标	连续时标
事务性要求	高	低
数据删除	频繁	不频繁
查询速度	快	中等
数据抽提程度	中等	快

1.3 用户业务流程分析

1.3.1 组织结构

与本数据库相关的用户包括发动机设计室和相关研究室专业组, 组织结构如图 1 所示。

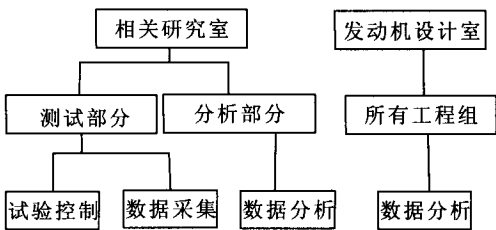
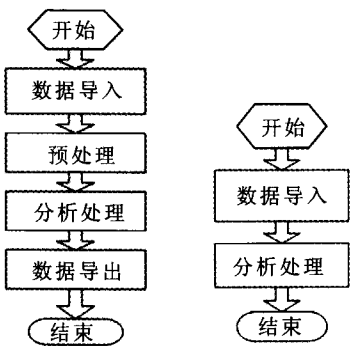


图 1 数据库用户结构组织图

Fig. 1 Structural diagram of database users

1.3.2 业务流程分析

两个研究室的业务流程如图 2 所示。



相关研究室业务流程 发动机设计室业务流程

图 2 数据库用户业务流程图

Fig. 2 Business flow chart of database user

### 1.4 数据库的架构

根据用户的工作特点、需求和业务流程分析,设计了满足需求的数据库架构,高速采集数据工程数据库由若干试验数据子库组成,基本原理如图 3 所示,其结构组成如图 4 所示。

从数据库系统结构图可以看出,高速采集数据工程数据库系统分为三个部分。

- 1) 基础数据库:用于存储和管理原始试验数据。
- 2) 通用数据库:用于管理通用算法处理后的试验数据及存储通用数据处理程序。
- 3) 专用数据库:负责存储经过专用的数据处理方法处理过的结果数据。

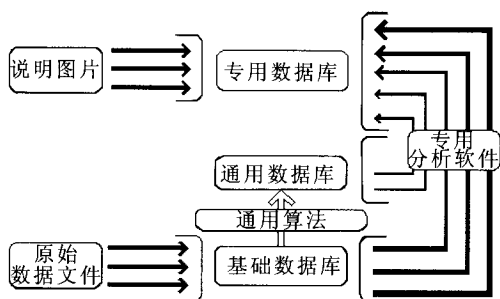


图 3 试验数据库运行原理图

Fig. 3 Working principle of testing database

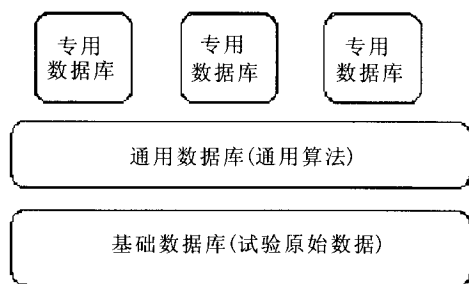


图 4 高速采集数据工程数据库系统结构图

Fig. 4 Structure of high-speed data acquisition database

#### 1.4.1 基础数据库

基础数据库负责管理各类试验信息和试验数据,其主要功能包括:原始数据导入、原始数据管理、原始数据查询、原始数据导出、原始数据备份及原始数据的访问控制。

基础数据库最主要的功能就是管理原始数据,遵循数据完整性管理的原则,按照型号树的

方式存储在系统中,存储结构如图 5 所示。

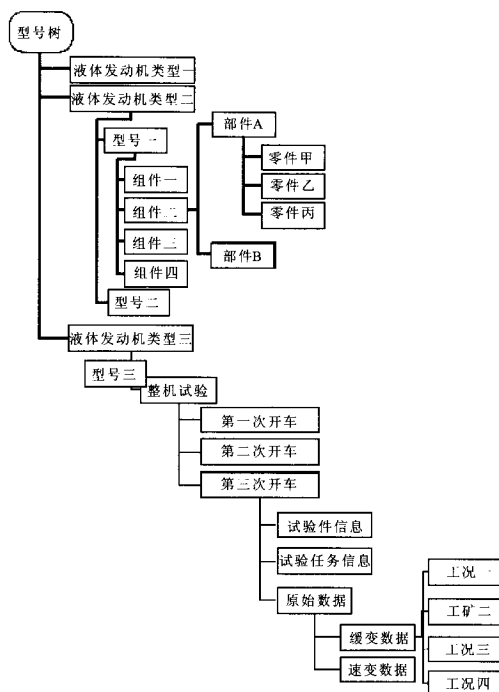


图 5 基础数据库存储结构图

Fig. 5 Storage structure of basic database

#### 1.4.2 通用数据库

系统最主要的功能是管理经过通用算法处理后的结果数据。从图 6 可以看出“通用试验数据库”分为三个部分:通用试验数据仓库、通用算法及算法配置。

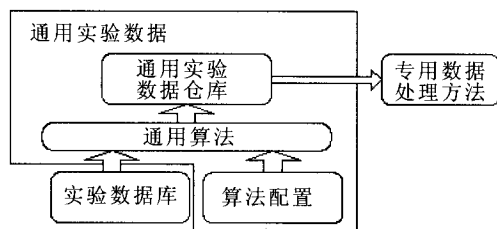


图 6 通用数据库的结构图

Fig. 6 Structure of universal database

通用数据库的数据存储结构如图 7 所示。可以看出,通用数据库的数据存储方式也是以型号树为基础,对于试验的原始数据可以进行全程的数据处理,也可以根据工况分段进行数据处理。这样做可提高试验数据查询及数据导出的速度。

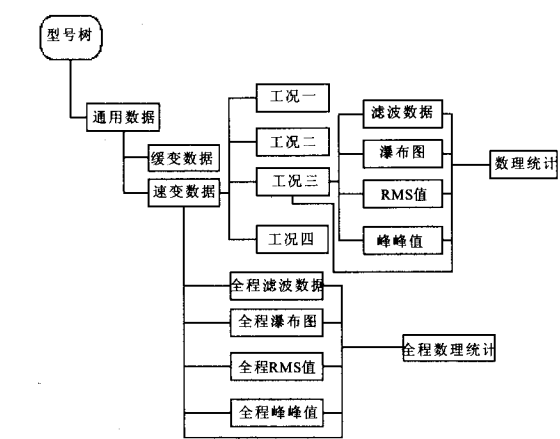


图 7 通用数据库存储结构

Fig. 7 Storage structure of universal database

1.4.3 专用数据库

专用试验数据库结构分为两个部分：专用试验数据仓库和临时数据存储区域。

专用数据库数据存储结构如图 8 所示。专用数据库功能包括专用数据管理、专用数据查询、数据显示及临时数据存储区域管理。

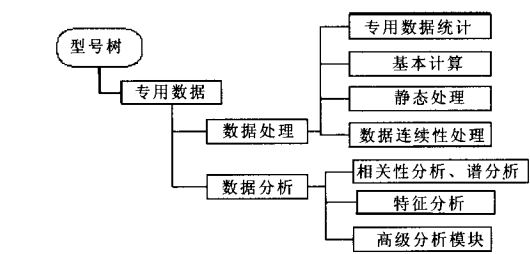


图 8 专用数据库存储结构图

Fig. 8 Storage structure of private database

2 数据库海量存储技术的应用

由于传统的商业数据库的存储模式很难存储数据量极大的试验数据，发动机高速采集试验数据工程数据库采用了海量数据存储的新方式。这是一种基于关系数据管理和文件管理的模式，参考了 PDM 等相关领域的海量数据存储概念，由于试验数据的复杂性，它又与传统 PDM 存储方式还有许多的不同。它是基于关系数据库和海量试验数据混合存储的系统，它需要具有一个统一的数据管理平台，对数据使用者屏蔽底层数据存

储，负责提供对试验数据的各种访问、管理能力。试验数据库和常见的商业数据库的特点比较如表 2 所示。

表 2 商用数据库与试验数据库的比较

Tab. 2 Comparison of comercial database and testing database

比较条目	商业数据库	海量试验数据库
数据模型	结构化	以非结构化为主
批次数据	小	大
数据更改	频繁	不能更改
时标	无连续时标	连续时标
事务性要求	高	低
数据删除	频繁	不频繁
数据抽取数	中等	快

根据试验数据自身的特点，为了保证试验数据存储的高效性，采用了大型关系数据库和海量文件系统结合的策略。用大型关系数据库存储结构化试验数据信息以保证数据存储和查询的高效性；同时用海量文件存储系统存储非结构化的试验数据信息，确保对非结构化数据存储和访问的安全、高效性。

2.1 试验数据中心 (TDC)

提供一套完备的、针对试验数据特点的存储模型和服务，其中包含用于存储结构化试验数据的大型关系数据库系统和用于存储非结构化数据的工程文件系统。其中包括：大型关系数据库、工程文件系统 (Engineer File System) 及工程试验存储 EngTDS。

大型关系型数据库负责存储结构化的试验数据信息，包括与试验相关的任务配置、规范、流程、环境、检测、参数等各种信息。工程文件系统针对大量的非结构化的工程试验数据，提供基于文件的存储模型。保证这些非结构化数据存储的完整性、安全性及高效性。工程试验存储 EngTDS 提供统一的工程试验数据存储访问服务，屏蔽掉底层关系型数据库和工程文件系统的差异，系统抽象出 EngTDS 层，向外围的功能模块提供统一的存储访问模型。

## 2.2 海量试验数据存储 (MTDS)

MTDS 主要致力于解决海量试验数据存储的难题。试车过程中采集的高速采集数据数据量与测试通道数量及采样速率有直接的关系, 单次长程试车获得的数据量往往超过 2GB, 数据库总在线试验数据也有可能达到 TB 级。在这种情况下, 采用传统模式 (直接存储在硬盘上) 已经远远不能满足数据管理需求。另外, 由于试验数据的特殊性 (比如: 格式多样等等) 和需求多样性 (数据分析、数据处理等等), 直接采用基于文件的存储系统也不能满足用户的需求。

为此, 需要系统采用针对海量试验数据的存储模型, 并能提供更为有效的数据维护管理工具, 达到数据存储的安全、高效, 满足用户的不同需求。

MTDS 的使用, 将主要致力于解决以下问题: 海量级 (上 10TB) 在线数据存储能力、数据生命周期管理能力及数据处理扩展能力。

MTDS 运行框架主要由三部分组成:

- 1) 发动机海量试验数据存储模型: 实现数据以统一的存储模型进行存储;
- 2) 扩展引擎接口: 提供运行框架功能模块的扩展能力;
- 3) 发动机核心试验数据存储服务: 对其他功能模块提供核心存储服务。

MTDS 采用了最先进的全开放式架构理念, 让海量数据存储的各个功能都可以根据用户需求重新定制开发 (甚至用户自身开发)。在运行框架中提供了海量试验数据存储的核心模型结构, 同时还提供了用于扩展功能开发的重要结构和数据存储服务。

MTDS 采用几乎全开放式的体系结构, 并且采用 Provider 编程模式。用户可以开发出各种不同的 Provider, 然后通过简单的配置, 直接连接到系统中。采用这种编程模式, 用户可以针对不同的需求, 开发出各种不同的功能扩展模块。

## 2.3 海量数据存储和传统商业数据存储的对比

海量数据存储的写入及搜索方式与传统数据库有很大的不同, 决定了海量数据的存储的效率的大幅度的提高。传统意义上的数据库的入库效

率则由数据库的导入效率决定的。

采用虚拟数据和工程实际中存在的某次试车数据为例, 试车时间 400 s, 采样通道 40 个, 单通道的点采样率为 25600/s, 数据约为 700 M, 进行了两种写入方式的速度对比, 对比结果如表 3 所示。

表 3 不同存储方式数据导入时间对比

Tab. 3 Comparison of data import time in different storage modes

	100 G(导入)	1 T(导入)	700 M(导入)
传统存储方式/min	3300	33000	20
海量试验数据存储/s	1200	12000	80

在搜索过程中, 海量数据存储系统可以很快的在数据库中提取相关的时间信息, 找到与之相对应的文件, 提取相应的数据行; 而商业数据库则要化大量的时间提取相应的文件或数据, 然后才能对应相应的数据。

对比结果表明, 海量数据存储的应用解决了传统商用数据库在存储发动机高速采集试验数据上的突出问题, 使得发动机高速采集试验数据库的建设成为可能。

## 3 总结与展望

发动机高速采集数据工程数据库的建立满足了工程中的实际需要, 挽救了部分年代已久的宝贵数据, 解决了由于数据存放混乱、格式不统一带来的数据使用效率低下的实际问题, 为数字发动机研制进行了有益的探索, 为提高发动机设计手段和能力开辟了新路。

针对发动机高速采集数据工程数据库的建立, 经过需求分析、概念设计、逻辑设计及物理设计等几个过程, 提出了合适的发动机高速采集数据工程数据库的架构设计, 设计的数据库架构既可满足使用者对数据的快速调用, 又可满足数据安全、完整的存储, 确实解决了工程中的实际问题。

(下转第 72 页)

替标准溶液的配制,也可消除标准溶液配制和标准曲线拟和带来的不确定度。为减少重复操作带来的不确定度,可增加每个样品的进样次数。同时,如配备自动进样器,也可减少拟合标准曲线和测量样品的重复操作带来的不确定度。

#### 参考文献:

- [1] 中国实验室国家认可委员会. 化学分析中的不确定度评估指南[M]. 北京: 中国计量出版社, 2002.
- [2] 国家质量技术监督局计量司. 测量不确定度评定与表示指南[M]. 北京: 中国计量出版社, 2000.
- [3] 中国质量技术监督局. JJF 1059-1999 测量不确定度的评定与表示[S]. 北京: 中国计量出版社, 1999.
- [4] 王彦刚. 化学实验室仪器分析法不确定度的计算[J]. 计

量技术, 2003(11): 54-56.

- [5] 刘智敏. 不确定度及其实践[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [6] 林奎明. B 类不确定度计算方法的探讨 [J]. 计量技术, 2000(3): 52-54.
- [7] 岳香梅, 王纪龙. 测量不确定度的 A 类和 B 类评定[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2007, 23(1): 28-30.
- [8] ISO. 国际通用计量学基本术语[S]. 第 2 版. 鲁绍真译. 北京: 中国计量出版社, 1993.
- [9] 张素娟. 气相色谱法测定白酒中乙酸乙酯含量的不确定度分析[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 151-153.
- [10] 林冬云. 气相色谱法测定蔬菜中甲胺磷农药残留量的测量不确定度评定[J]. 福建轻纺, 2006(9): 50-53.
- [11] 吴柳坚. 标准物质在化学分析不确定度评定中的应用[J]. 中国卫生检验杂志, 2009, 19(1): 210-211.

(编辑: 陈红霞)

#### (上接第 64 页)

针对发动机高速采集数据工程数据库的建立,提出了将海量数据存储技术应用数据库,解决了海量数据快速存储的问题,使得数据库的构建顺利进行。

发动机高速采集数据工程数据库的建立,解决了现有工作中的部分矛盾,由于投入使用时间较短,实际应用中的存在问题还未充分暴露,与数字发动机信息平台的要求也还有差距,在今后的工作中应继续开展相关课题的研究,搜集工程数据库实际应用中出现的问题,不断完善工程数据库,并开展该工程数据库与 AVIDM 系统的集成研究。

#### 参考文献:

- [1] BRAUN S, SETH B. Analysis of repetitive mechanism sig-

nature [J]. Journal of Sound and Vibration, 1980, 70 (4): 513-526.

- [2] 宗孔德. 数字信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [3] 林君. 高速数字信号处理原理、器件及应用[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [4] 曹瑾. 航空发动机共享试验数据管理系统的研究与应用[J]. 数字军工, 2010, (7): 41-42.
- [5] 梁陈剑. JDBC3.0 数据库开发与设计[M]. 北京: 希望电子出版社, 2001.
- [6] O'NEIL Patrick, O'NEIL Elizabeth. 数据库原理、编程与性能[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [7] 张鸿江. 基于 Web 的动力学数据库的研究与开发[J]. 强度与环境, 2003(3): 7-11.
- [8] 徐敏. 设备故障诊断手册[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998.
- [9] 赵新民. 智能仪器原理及设计[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990.

(编辑: 马 杰)