

# 航空材料数据管理与应用平台的开发与应用

## Development and Application of Data Management and Application Platform of Aeronautical Material

中航工业北京航空材料研究院 王越 孙瑞侠 马学刚 关永军 连建民 益小苏



王越

硕士,北京航空材料研究院材料数据库专业组组长,长期从事材料数据库及相关信息系统的设计与开发,负责或作为主要参加人完成了多个企业级软件项目的建设。

随着信息技术的飞速发展及其在各领域的广泛应用,人类获取信息和处理信息的能力也日益提高,数据已和能源、材料一样成为当今社会的战略性资源。美国奥巴马政府更直接将其称为“未来的新石油”,2012年3月29日发布了《大数据研发倡议》

航空材料数据管理与应用平台是企业级的材料数据库系统。平台实现了对不同工程项目材料数据的统一管理,集成了常规力学性能曲线的处理与评估方法,提供了丰富的材料数据查询、分析和对比等功能。本文讨论了平台的设计与开发,介绍了系统的功能及应用情况。

(Big Data Research and Development Initiative),将大数据研发提升为国家政策<sup>[1]</sup>。

在航空工业中,材料是飞机设计和制造的基础。材料数据既是结构设计、强度计算、寿命预测和结构安全评定的前提条件,也是材料研制、材料加工工艺制定、飞机零件与结构选材及失效分析的重要依据。而材料数据库及相关信息技术则是更有效利用这些数据的关键<sup>[2-4]</sup>。

我国航空材料数据库的起步较早,80年代时,航空工业部下属的航空材料数据中心就已建立了航空材

料数据库和国家863复合材料数据库<sup>[5]</sup>。进入21世纪后,中国航空工业迎来了发展的春天。飞机及发动机设计、改型、更新换代对材料性能提出了更多更高的要求,迫切需要适合行业特点的工程用材料数据库系统。为此,航空材料数据中心开发了多个专用项目的材料数据库系统,并在当时阶段发挥了作用。但随着时代的发展,这些数据库的问题逐渐显露出来:一方面,用户面对不同项目的数据库界面,难以对其中的材料数据进行方便的比较和分析,展开有效的应用;另一方面,多个数据库系统

也增加了维护和管理的工作量。这就需要有一个可管理多项目数据的材料数据管理与应用平台。

在大数据时代<sup>[6]</sup>,数据共享已在科学界取得共识,如科技部组织的科学数据共享工程<sup>[7]</sup>、中国科学院启动的科学数据库<sup>[8]</sup>、国家自然科学基金委在中国西部环境与生态科学研究计划中设立的数据中心<sup>[9]</sup>等一批重大工程和项目,明确体现了政府和科学界在数据共享方面的重视,形成了许多数据共享的平台和数据中心。科学数据的有效管理<sup>[10]</sup>和利用已深入人心。在航空工业中,材料的科学数据同样需要一个大的数据平台,为实现数据在行业内及全社会的应用和共享提供信息基础设施。

鉴于此,航空材料数据中心提出了建设可统一管理多来源数据的航空材料数据管理与应用平台的构想,并付诸实施。

## 系统设计与开发

### 1 设计目标

航空材料数据管理与应用平台建设的主要目标为:

(1)平台可同时管理多个材料工程项目和材料研究课题的材料数据。

(2)数据库设计覆盖全面的、多层次的、可追溯的材料数据。

- 全面性体现在数据覆盖材料的基本概述、理化性能、力学性能、工艺性能等各类数据;

- 多层次体现在数据包括材料标准值、试验级的试样原始数据、试验处理数据及性能评估曲线、材料设计用数据等不同层次的数据;

- 可追溯体现在数据的来源、材料厂商、材料批次、试验单位、试验人员等材料数据背景信息的详细记录。

(3)系统实现丰富的软件功能,发展成为各类材料数据应用的平台。

- 集成常规的性能数据评估方法和力学性能曲线处理算法;

- 丰富的不同角度的材料查询、统计、对比、选材等功能。

(4)对已开发的多个材料工程数据库进行整合。

### 2 系统总体结构

平台采用微软成熟的“Windows2003 Server + Microsoft SQL Server2008 + Internet Information Server+ .Net FrameWork3.5”技术架构实现。系统的应用基于企业内网络环境,在网络中部署后,用户只需要通过IE浏览器即可访问。

平台的结构图如图1所示,针对材料数据在工程应用中的不同角色,平台的前端应用分为3个部分:材料

负责数据的审校和完整性检查。项目数据未正式发布前,项目数据负责人控制本项目数据的读写权限。有写权限的项目参加人只能修改自己维护的数据内容。

材料数据应用系统面向的用户为材料数据的使用者,如结构设计师、材料工程师、模拟仿真工程师等,在系统中抽象为查询用户。查询用户按项目权限查询数据,对材料数据进行多角度的查询、比较、分析、统计、选材等应用。

管理员工具面向的用户为系统管理员,对平台进行管理与维护。

### 3 数据库设计

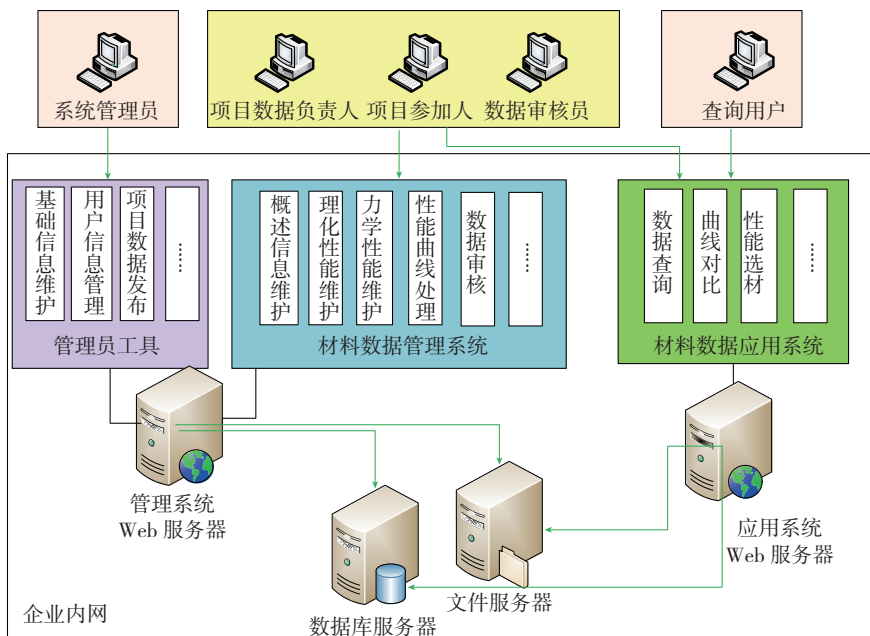


图1 航空材料数据管理与应用平台结构图

数据管理系统、材料数据应用系统和管理员工具。

平台中的材料数据是按项目组织和管理的。材料数据管理系统面向的用户为材料工程师、材料力学专家或其他材料数据的提供者,在系统中按项目抽象为“项目数据负责人”、“项目参加人”和“数据审核员”几个角色。“项目数据负责人”和“项目参加人”负责相关项目数据的维护、数据处理与性能评估,“数据审核员”

常用的数据库建模软件工具有 Rational Rose、Power Designer、Erwin、Visio 等<sup>[11]</sup>。本平台的开发中,具体应用 Sybase 公司的 Power Designer15.1 进行数据库设计建模。Power Designer 不仅可以对数据库建立概念数据模型(Conceptual Data Model)和物理数据模型(Physical Data Model),也可以进行面向对象的 UML 建模。与 Rational Rose 等建模工具相比,Power Designer 在逆向工

程,特别是文档输出和代码生成这些功能上提供了更为精细的控制,可与 SQL Server 等数据管理系统进行很好的集成,模型设计完成后可直接生成创建数据库的 SQL 代码。本平台开发中 Power Designer 的应用有效缩短了数据库设计时间。

经过数据库建模,材料数据库实

据源的访问(如数据的增添、删除、修改、查找等),为业务逻辑层或用户界面层提供数据服务。在数据访问层的开发中应用了 ADO.net 技术。ADO.net 是一组基于 Microsoft.net 架构的用于和数据源进行交互的面向对象类库,提供了丰富的数据库访问接口,实现了可伸缩的数据访问,有

意义的工作,既方便用户对数据的更有效的利用,也简化了系统的维护工作。在 20 世纪初,日本国立材料科学研究所(NIMS)曾经对 11 个材料数据库进行整合,大大降低了维护成本,提高了应用效果<sup>[4]</sup>。

不同材料数据库的数据整合是项复杂的工作。数据库资源的整合有 2 种<sup>[14]</sup>,一种是数据整合,即对库结构的整合,将不同库结构的数据进行迁移;另一种是源整合,是用户界面端的整合,即不整合后台库,而是提供统一的检索入口。

平台对已有数据库的数据资源的整合主要采用了数据整合的方式,整合时需要进行数据库结构对比分析、数据整理和数据转换程序的开发。在分析了已有库结构与平台库结构的差异后,我们对已有的 3 个材料工程数据库分别开发定制的数据转换程序,完成了旧库向平台的数据整合。由于材料数据库的用途和性质不同,有些数据库与平台库之间的结构存在较大的差异,导致数据库的元数据不同,数据无法进行恰当的整合,即使勉强整合也会出现数据的含义发生变化或遗失有意义的信息等情况。工作中没有将这类材料数据库向平台整合。

另外,平台对个别数据库的数据资源的整合也采用了源整合的方式,如航空材料数据中心已开发的《航空材料手册查询系统》是基于 PDF 文档的 Web 数据检索系统,包括 1200 多个材料牌号的详细信息,具有很高的使用价值。平台通过在合适的内容页面搜索该库内容,并动态给出相应牌号的超链接导航的方式,实现了与该系统的集成。

### 系统实现的功能

平台经过系统设计、软件开发及测试,完成了设计目标,实现了丰富的软件功能。限于篇幅,仅选择部分特色功能进行介绍。

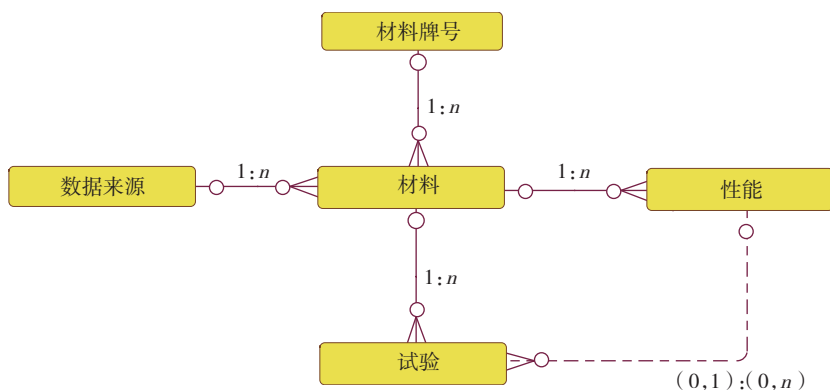


图2 数据库顶层E-R图

际设计了约 180 个数据库表。如此大量的实体关系很难在几张图表上表达清楚,本文仅给出数据库主体内容顶层的 E-R 图,如图 2 所示。

E-R 图中的“试验”和“性能”等实体都是粗粒度的实体,设计中要进行进一步细化,如仅对“试验”实体就展开设计 50 余个表。性能实体和试验实体可分别独立存在,两者之间的关系在图中以虚线表示。

### 4 软件开发与实现

系统应用面向对象的 C# 语言进行代码的具体实现。与面向过程的软件开发方法比较,面向对象技术通过类将程序代码和数据进行封装,通过接口和继承等抽象,大大提高了软件的重用性、灵活性和扩展性,是当前软件开发的主流方法。

系统应用“高内聚、低耦合”的软件设计原则进行软件模块设计。软件模块设计采用主流的 3 层架构:数据访问层(DAL)、业务逻辑层(BLL)及用户界面层(UI)<sup>[12]</sup>。

数据访问层封装了数据访问的相关类,该层负责对数据库及其他数

很好的数据访问性能。

业务逻辑层封装了业务逻辑代码,主要负责对数据层的操作,封装与业务相关的内容,如业务规则的制定、业务流程的实现等与业务有关的系统设计,如一些性能评估算法等。

用户界面层提供用户访问的界面,接受用户的请求,数据的返回及界面的展示。界面层的开发中,应用 Visual Studio.net 2008 开发工具设计基于 ASP.net 2.0 技术的 Web 程序。ASP.net 2.0 是一种主流的动态 Web 开发技术,与 JSP、PHP 等其他 Web 技术相比提供了独有的丰富的服务器端控件,可有效提高开发效率。另外,我们在界面层也应用了 Ajax 开发技术<sup>[13]</sup>,该技术通过在后台与服务器进行少量数据交换,可以实现网页的异步更新和局部刷新,从而提高用户体验及软件界面的易用性。

### 5 已有数据库系统的整合

航空材料数据中心曾经开发过多个材料工程数据库,这些数据库中的数据是很有价值的,将已有数据库的数据资源移植到平台中是非常有

1 材料数据管理系统

在材料数据管理系统中,实现了

以下功能:

(1)按项目对材料数据进行管

理。

在材料数据管理系统中,用户只能按授予权限访问所属项目的数据,项目的数据访问权限由项目数据负责人管理。用户通过在数据来源列表中选择不同的项目即可方便切换到不同的项目下管理相应的数据。

(2)试验数据导入功能。

为最大化数据录入效率,数据管理界面针对不同试验数据及性能数据提供近 30 种数据导入格式模板,这些模板为 CSV 格式(一种可用 Excel 编辑的文本格式)或 Excel 格式,用户可使用这些模板在 Excel 中编辑数据后将数据导入到平台中。

(3)维护多层次的材料数据。

数据维护的内容包括材料概述、理化性能数据(密度、热导率、电阻率、线膨胀系数、弹性模量与泊松比等)、材料信息、力学性能数据(静力、疲劳、持久与蠕变等 10 多种力学试验及相关性能数据)。数据的层次包括原始试样数据、性能均值、性能曲线、材料标准值及材料设计用性能(如 A 基值、B 基值、S 基值)等。

另外,数据管理界面除对材料数据进行结构化存储管理外,也实现了非结构化数据的管理,可以方便地管理文档,如 pdf、doc、xls 格式的文档,origin 文件,静态位图(jpg 等格式)等。

图 3 所示为材料数据管理系统的一个典型应用界面,用户在左侧选择某个项目后会刷新左侧下方的动态材料树,通过展开材料树中不同的内容节点进入该内容的维护界面,进行相关数据的维护。

(4)自动化的曲线处理与性能评估。

系统可对试验原始数据进行计算处理与性能评估,自动化拟合材料性能曲线。

对于材料的力学性能表征,材料力学专家常通过各种经验公式对试验原始数据进行计算,得到描述某类



图3 在材料数据管理系统中维护疲劳试验数据

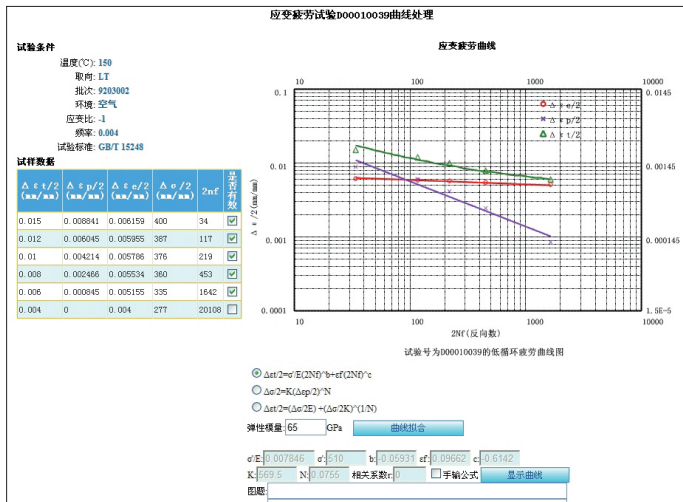


图4 材料数据管理系统从原始试验数据处理得到应变疲劳曲线



图5 材料应用系统界面中材料树的查询

材料性能的曲线,进行某方面性能的评估。这些计算处理的算法多以 Fortran 程序的形式被开发和使用,而不同材料力学专家的算法处理可能存在差异。平台集成了如疲劳的 S-N 曲线,应变疲劳(低周疲劳)曲线、裂纹的 Paris 公式、Walker 公式等常用力学性能曲线的处理算法,对导入的试验数据进行自动化计算处理,给出经验公式参数,并动态绘制出各类复

杂的性能曲线图。这些功能一方面帮助材料、力学专家进行材料性能数据的处理和评估,大大减少性能数据评估需要的时间;另一方面,平台中集成的算法参考相关标准实现<sup>[15]</sup>,系统中的处理方法是一致的,更利于不同材料性能评估结果的比较。

本文仅以处理应变疲劳曲线为例进行典型说明,如图 4 所示,在用户导入试样数据后,左侧出现试验信

不同的节点会给出相应的查询信息。图 5 为选择某个材料的材料概述后显示的查询结果界面。

(2) 按项目查询。

用户选择一个或多个有访问权限的项目组合来查询材料数据。实现了不同项目的材料数据在一个界面下的查询和比较。

(3) 力学性能全面查询。

如图 6 所示,在综合查询中选择力学试验全面查询,在右下方内容区通过左侧的材料牌号、品种、规格、热处理状态四个级联下拉列表的选择来确定材料,会刷新右侧的性能类别;选择某种性能,会给出相应试验的列表,该列表给出试验背景信息和试验性能均值。点击该列表左侧的“查询”链接列,给出相应试验的详细信息页面,该页面包括试验每根试样的实测值,处理数据和性能曲线。

(4) 温度视图统计查询。

力学试验温度视图软件界面如图 7 所示。用户选择材料牌号后,界面通过给出该材料的性能温度数据统计视图,使该材料的数据分布一目了然。温度按室温、高温、低温区分,性能按力学性能的静力、疲劳等进行分类。表格在给出相应力学性能的同时还给出导航到相关试验的链接,通过点击表格中统计数据链接可查询更详细的力学试验列表,并可进一步查询详细的试验数据。

(5) 试验数据界面。

通过材料树查询、力学试验全面查询、温度视图统计查询等方式,用户最后可查询到详细的试验数据,在试验数据查询结果界面中将会给出材料信息、数据来源信息、试验信息、试样数据等,如果有相关的性能曲线也会一并显示出来。图 8 给出一个疲劳试验数据的查询结果示例,其余十几种试验数据界面与之相似。

(6) 其他功能。

系统还提供了标准值查询、性能



图6 材料数据应用界面中的力学试验全面性能查询



图7 材料数据应用系统中的力学试验温度视图

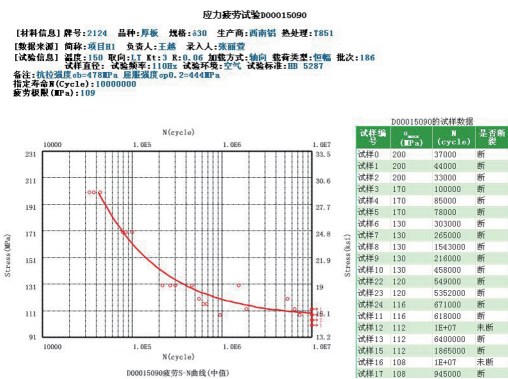


图8 材料数据应用系统中的疲劳试验查询结果

息和试样数据,通过勾选“是否有效”去除试验数据的异常点,异常点将不参与曲线拟合计算,在界面右侧选择曲线的公式种类并输入条件参数,点击“曲线拟合”,系统将根据有效的原始试样数据拟合计算得到相应的性能曲线公式参数并动态绘制性能曲线图。

## 2 材料数据应用系统

### 2.1 丰富的、多维度的查询

(1) 材料树查询。

在材料数据应用系统界面中点击不同的菜单项,左侧会显示不同的功能树,通过点击“牌号查询”,左侧会显示材料类别及相应的动态的材料查询树,材料查询树中的每个材料牌号下面的查询节点内容会根据库中实际存在的数据动态给出,选择

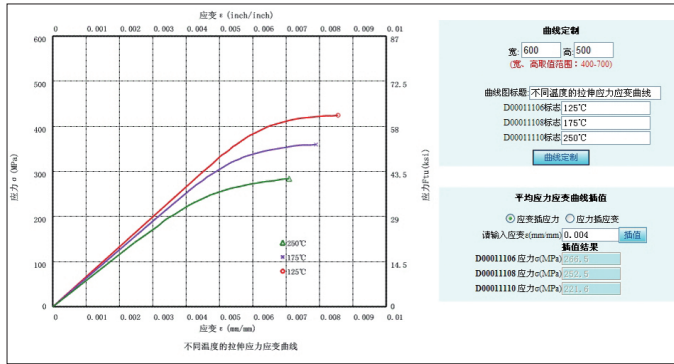


图9 性能曲线的比较与定制

统计值查询、公英制转换、性能曲线查询等功能。

## 2.2 曲线的比较与定制

用户可方便地对拉伸应力应变曲线、疲劳 S-N 曲线、裂纹 Paris 曲线等多种常规性能曲线进行同图对比,一张图中最多可对比 9 条性能曲线。

本文仅以拉伸应力应变曲线的比较为例进行说明。如图 9 所示为系统给出的拉伸应力应变曲线比较界面,用户可对曲线图进行“定制”,即设置曲线图大小、图题、曲线标志等信息并输出 gif 等格式的曲线图。用户还可对曲线进行插值计算。

由于平台的开发中需要根据原始数据和曲线公式动态显示复杂的曲线,而采用常见的商业绘图控件难以实现出满意的效果,为此,数据中心的开发团队自主开发了曲线绘制模块,目前可绘制十几种材料性能曲线。

## 3 管理工具

管理工具的用户为航空材料数据管理与应用平台的系统管理员。

管理工具可对系统的基础信息进行维护,包括:

(1) 材料基础信息的维护。如材料类别、材料牌号、性能字段、文件分类等信息。

(2) 数据来源信息的维护。

(3) 测试单位、材料供应商等信息的维护。

(4) 部门、用户信息的维护。

(5) 数据的发布功能。在数据审核后,由管理员实现该项目数据的发布。

(6) 系统日志的查询和分析。

## 应用情况

航空材料数据中心在总结已有材料数据库开发经验的基础上,经过几年的努力,开发了航空材料数据管理与应用平台的第一个可用版本,并整合了多个已有数据库的数据资源,实现了不同材料工程项目材料数据的统一管理和应用。目前平台已经在多个在研的材料工程项目中应用,积累了不同来源和工程项目的大量数据,包括金属、非金属、复合材料等不同牌号及材料 500 多个,不同品种规格的材料 5000 多条,10 万多根试样的实测数据,并包含设计用性能处理数据及性能曲线,仅疲劳力学性能曲线就有 3000 多条。

由于材料的种类繁多,性能项目庞杂,不同类别材料关注的属性差异很大,材料的组分、工艺、规格都会对材料的性能有影响,材料数据的信息描述十分复杂。平台的实现涉及数据库技术、材料、力学、数值模拟与计算等多个学科,涉及专业面广,难度大,平台的建设将是一个复杂的长期的系统工程。针对平台建设的以上特点,为及时满足工程项目中对材料数据应用的需要,我们提出了平台的建设原则为:“边建设,边应用,边完善,急用先行”。在具体实施中优先

开发了对工程应用中更急需的内容,如结构设计用的材料性能数据。在未来还将不断推出新的版本,更新软件功能和数据内容。

目前,平台除了在北京航空材料研究院应用外,一些版本也已经在其他单位试运行,获得了良好的应用反馈。平台可在有材料数据管理与应用需求的单位推广使用,有很好的应用价值。

## 参考文献

- [1] 庄林,沈彬.美国国防部大数据项目研发与应用.国防科技,2013,34(3):58-61.
- [2] 刘海定.材料科学数据库的研究现状及其发展趋势.材料导报,2004,18(9):5-7.
- [3] 郝建伟.先进材料性能数据库发展现状及建议.航空制造技术,2001(6):30-32.
- [4] 李霞,苏航,陈晓玲,等.材料数据库的现状与发展趋势.中国冶金,2007,17(6):4-8.
- [5] 周宏范,张朝纲.试谈材料数据库的现状与发展对策.材料工程,1991(2):16-18.
- [6] 徐子沛.大数据.桂林:广西师范大学出版社,2013:301-308.
- [7] 张先恩.国家科学数据共享工程.科学中国人,2004(9):11-13.
- [8] 桂文庄.迎接科学数据库发展的新阶段——中国科学院科学数据库发展 20 年的回顾与思考.中国科学院院刊,2007(1):87-89,91.
- [9] Li X, Nan Z T, Cheng G D, et al. Toward an improved data stewardship and service for environmental and ecological science data in west china. International Journal of Digital Earth, 2011, 4(4): 347-359.
- [10] 司莉,邢文明.国外科学数据管理与共享政策调查及对我国的启示.情报资料工作,2013(1):61-66.
- [11] 李懋.主流 UML 建模工具及选择方法.辽宁工业大学学报(自然科学版),2008(12):380-383.
- [12] 段升杰.浅谈软件三层架构开发.信息与电脑(理论版),2010(5):44.
- [13] Andrew T. Adding Ajax to a WebSite. MacTech Magazine, 2006(1):48-50.
- [14] 陈利涛.我国数据库整合的现状及其发展.中国科学院第十五次图书情报科学讨论会,2007.
- [15] GJB/Z 18A-2005 金属材料力学性能数据处理与表达. (责编 孟一)