

文章编号: 1674-8190(XXXX)XX-001-11

# 面向多专业融合的民用飞机试验数据库的设计与实现

李鑫洋<sup>1</sup>, 冯蕴雯<sup>1</sup>, 李健<sup>2</sup>, 路成<sup>1</sup>, 解亚军<sup>1</sup>, 杨荔<sup>3</sup>

(1. 西北工业大学 航空学院, 西安 710072)

(2. 中航西飞民用飞机有限责任公司, 西安 710089)

(3. 同方知网数字出版技术股份有限公司, 北京 250014)

**摘要:** 民用飞机全生命周期试验数据作为反映试验信息的重要组成部分, 对保障型号研制的质量、提高研制效率具有重要作用, 但由于其庞大的数据量且涉及多个专业领域, 缺乏综合性管理, 导致数据资源浪费。为解决上述问题, 提出一套基于适航条款的试验数据管理业务流程, 以有效管理多专业民用飞机试验数据, 并进一步研究数据库的设计和实现。首先对技术中心研究人员的需求进行调研, 综合调研结果进行数据库功能分析; 其次结合多专业试验数据存储的具体业务需求及市场上相关数据库开发技术进行架构设计, 明确各个试验模块存储内容之间的逻辑关系; 然后以飞行模块为例, 详细进行数据库模块设计; 最后搭建数据库操作界面, 验证设计的可行性。本文构建的民用飞机试验数据库可为面向多专业试验数据库的设计提供有益参考。

**关键词:** 专业融合; 民用飞机; 数据库; 系统架构; 适航条款

**中图分类号:** V217

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16615/j.cnki.1674-8190.XXXX.XX.01

## Design and implementation of civil aircraft test database for multi-discipline integration

LI Xinyang<sup>1</sup>, FENG Yunwen<sup>1</sup>, LI Jiang<sup>2</sup>, LU Cheng<sup>1</sup>, XIE Yajun<sup>1</sup>, YANG Li<sup>3</sup>

(1. School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

(2. AVIC West Flight Civil Aircraft Co., Ltd., Xi'an 710089, China)

(3. Tongfang CNKI Digital Publishing Technology Co., Ltd., Beijing 250014, China)

**Abstract:** Civil aircraft full-lifecycle test data, as a crucial component reflecting test information, establishes a solid foundation for supporting the quality and efficiency of model development. However, due to its substantial data volume and its coverage of multiple professional domains, the lack of comprehensive management leads to a waste of data resources. To address this issue, a set of test data management business processes based on airworthiness regulations has been proposed to effectively manage multi-disciplinary civil aircraft test data. Additionally, the study proceeded with the design and implementation of a database. Firstly, a survey of the research needs of the technical center personnel was conducted, followed by a comprehensive analysis of the database's functionality based on the survey results. Subsequently, architecture design was carried out, considering specific business requirements for storing multi-disciplinary test data, as well as market-relevant database development technologies. This design clarified the logical relationships between the storage content of various test modules, with the flight module serving as an example for detailed database module design. Finally, a database operating interface was constructed to validate the feasibility of the design, offering valuable insights for the design of a multi-disciplinary test database.

**Key words:** multi-discipline; civil aircraft; database; system architecture; airworthiness terms

收稿日期: 2023-07-24; 修回日期: 2024-01-18

基金项目: 工信部渠道项目 MJZ3-4N21 支持

通信作者: 冯蕴雯(1968-), 女, 博士, 教授。E-mail: fengyunwen@nwpu.edu.cn

引用格式: 李鑫洋, 冯蕴雯, 路成, 等. 面向多专业融合的民用飞机试验数据库的设计与实现[J]. 航空工程进展, XXXX, XX(XX): 1-11.

LI Xinyang, FENG Yunwen, LU Cheng, et al. Design and implementation of civil aircraft test database for multi-discipline integration[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, XXXX, XX(XX): 1-11. (in Chinese)

## 0 引言

随着现代科学技术的突飞猛进,以数据驱动的管理决策机制开始成为越来越多的企业运行态势。近些年我国民用飞机制造企业体量在不断增大,验证试验需求也越来越多,试验产生的数据量也越来越大并且专业融合现象使得试验数据种类更加繁杂。但民用飞机企业在试验的过程中,存在着不重视试验数据信息的保护、管理的现象,导致试验数据无法被充分利用。对民用飞机试验数据的有效管理和合理利用已成为当前民用飞机制造企业打破技术壁垒、提升技术研发实力的必要途径。

近年来,国内外对试验数据库的设计开展了大量研究。国内,冯士德等<sup>[1]</sup>对民用飞机试飞规划与管理工作中所涉及各类数据及其之间的关联进行了深入地分析,以E-R图的形式描述了民用飞机试飞规划与管理数据库设计的概念数据模型;韩涛等<sup>[2]</sup>研究了不同试验连接件仿真模型存在的问题,针对连接件仿真模型与试验问题建立了基于设计参数匹配连接件调用的数据库;唐杰<sup>[3]</sup>为了提高数据统一管理能力和数据的准确性,设计了一种航空发动机试验测试工程数据库系统;刘祖铭等<sup>[4]</sup>设计了飞机结构腐蚀控制设计数据库,该数据库存储了飞机结构腐蚀控制试验等设计所需的各类知识和数据;詹绍正等<sup>[5]</sup>构建了一个统一的数据管理平台对实现民用飞机结构无损检测数据的检索、存储和再利用具有积极意义;文维阳等<sup>[6]</sup>为了满足航空发动机试验的需求,实现内场、外场、露天台试验数据的统一管理,建立了一个基于以太网的航空发动机试验数据管理系统,实现了对试验数据的集中管理、有效共享、合理使用和安全存储。国外对航空试验数据库的研究相对比国内更加系统,Arora等<sup>[7]</sup>利用开展设计的多轴试验数据库对多种材料的临界平面模型进行疲劳寿命预测能力对比;Gan Y等<sup>[8]</sup>描述了飞机轮胎冲击试验信息,并搭建模型预测飞机着陆轮胎撞击特征,开发可靠的试验数据库来验证数值模型;Nguyen等<sup>[9]</sup>提出一种利用飞行试验数据实现模型调谐和空气动力学数据库校正来提高轻型飞机6自由度仿真模型精度的方法,构建了基线仿真模型数据库;Nguyen<sup>[10]</sup>还提出了一种全尺寸多保真空气动力学数据库构建方法,构建了用于全尺寸模型完

整处理的多保真空气动力学数据库;Vetoshkin等<sup>[11]</sup>提出了飞机设备测试自动化管理系统的方法学问题和创建方法,自动化控制系统本质上是一个自动化数据库。以上数据库的设计研究多基于某一类试验数据的存储,对多专业试验数据库的管理流程及设计体系的研究尚处于薄弱状态。

以数据作为源动力推动设计创新,搭建多专业融合数据库可以将不同试验领域的数据作为创新驱动,形成综合性的解决方案。以民用飞机试验工作内容为基础,开发适用于民用飞机研制的企业级飞行试验数据管理系统,用于对民用飞机全寿命周期中飞行试验产生的相关数据进行全面管理,建立飞机型号全面的、有效的、完整的、可追溯的飞行试验数据仓库,接收从试飞单位移交的试飞过程数据和试飞结果数据,经该系统重新整理和结构化处理后,形成民用飞机试飞数据源,实现试飞数据的规范接收、标准管理、快捷应用,最大限度地提高试飞数据的利用率,充分发挥试飞数据的作用,为民用飞机型号的设计验证工作奠定基础。本文基于以上目的对技术中心研究人员进行调研,开展多专业试验数据库功能分析与非功能分析,进行以适航条款为顶层的数据库业务流程设计;综合考虑市场相关数据库与试验数据的特点,进行技术选型并开展架构设计;以飞行试验为例对该数据库进行模块设计与实现。

## 1 功能分析与非功能分析

试验数据库的搭建用于对民用飞机各种试验数据进行收集、记录、和分析。存储的试验数据可以检测飞机各部件在不同试验环境下的性能和行为,帮助飞机制造商和运营商评估飞机的性能,并进行改进优化设计。数据管理系统的实现必须满足研究人员的需求。

### 1.1 功能需求分析

首先对工程技术中心研究人员按照强度试验、气动试验、结构试验、飞行试验、环境试验、机上地面试验等6大类试验开展需求调研。基于试验数据的需求和采集研究,捕获设计业务应用场景,为数据库的业务架构提供理论支撑。确定了以适航条款为业务顶层,关联典型试验规划,为六类试验数据的存储管理提供规划。同时确定了各

类试验的业务管理流程和业务信息、试验数据的管理维度和管理方式、试验数据的应用方式、数据对比需求等内容,并根据实际的使用情况,确定以上需求优先级。最终确定了各个模块的功能需求如表 1 所示。

在各个试验模块中数据查询可以根据不同试

验不同部件的特定的字符段以飞机维度进行试验数据的查询。试验规划管理和试验规划需要对存储的对应的试验规划和项目进行新增、编辑、删除、完成情况等管理,并且可以对已有的试验规划和项目进行查询、查看、下载和数据可视化等操作。

表 1 各试验管理模块功能需求  
Table 1 Functional requirement of each test management module

功能模块	业务内容
适航条款管理	对适航条款进行新增、删除、批量导入等管理,并且可以对已有的适航条款进行查询、查看、批量导出等操作
典型试验规划管理	对典型试验规划进行新增、删除、编辑、批量导入等管理,并对已有典型试验规划进行查询、查看、按照既定模板批量导出等操作
强度试验	静强度、疲劳、动强度载荷各类试验的试验数据查询、试验规划管理和试验项目管理
飞行试验管理	飞行试验数据查询;飞行试验规划管理;飞行试验项目管理
结构试验管理	涉及舱门、机身、机翼、短舱、尾翼、复材、整机、环境等各类试验的试验数据查询、试验规划管理和试验项目管理
机上地面试验管理	动力、燃油、环控、电气、航电、液压、起落架、飞控、防火、结构、强度、总体等各类试验的试验数据查询、试验规划管理和试验项目管理
气动试验管理	气动试验数据查询、气动试验规划管理、气动试验项目管理
环境试验管理	涉及动力专业、燃油专业、环控专业、电气专业、航电专业、起落架专业、液压专业、飞控专业、防火专业等各类试验的试验数据查询、试验规划管理和试验项目管理
系统管理	对用户的新增、编辑和删除管理

## 1.2 非功能需求分析

非功能性需求指对系统提供服务或功能的约束,系统服务约束包括时间约束、开发过程的约束、标准等。非功能性需求涉及很多种,针对该数据库的调研结果确定非功能性需求如下。

界面设计需求。界面设计是对软件的人机交互、操作逻辑、界面美观的整体设计<sup>[12]</sup>。具体包括软件登录注册注册你设计、软件框架布局设计、图标标签设计等。界面设计需要遵循一致性原则即软件系统内部具有相似的面板布局和人机交互方式以及相似的操作流程等;用户为中心原则即界面直观、简洁,操作方便快捷,布局合理,可读性强等;

性能需求。数据库应当确保设计的准确性,以避免由于程序设计错误而导致故障。在涉及用户执行登录、注销、增加、修改、删除、查询、上传、下载等操作时,数据库应在运行环境规定的条件下合理响应,确保满足时间要求。此外,数据库还

应支持并发需求,能够容纳高达 300 人同时访问。

## 2 系统框架设计

### 2.1 业务设计

根据调研结果和功能需求开展数据库的业务流程设计,如图 1 所示。从业务流程上共包含四个步骤。首先开展适航条款存储管控工作,适航条款作为试验业务的来源,扮演着所有业务的顶层指导角色。其次开展试验规划管理,明确多专业试验涉各自试验类别、试验专业、试验名称,关联相关适航条款,供各专业试验所需。随后开展具体的试验信息管理,用于存储并管理各专业具体试验数据。最后开展试验数据的应用,涉及数据分析、模型建立、结果展示等,旨在充分利用试验数据来支持业务决策和改进。从角色划分角度来看整个试验数据库的业务流程涉及到管理员和业务人员两个角色。管理员负责适航条款,负责

适航条款的存储和管理。依托适航条款开展试验布局 and 试验方案规划,之后将试验规划发送给相应业务人员。业务人员收到试验规划之后,管理相应试验信息,根据管理员的试验规划进行原始试验数据的记录并提交给管理员审核,若通过数

据库数据采集标准便保存变更,若未通过便返回至业务人员手中加以修改再次提交。同时,业务人员可以开展试验数据的应用。利用数据库查询系统检索所需数据,通过观测或下载支持相关业务的进展和设计。

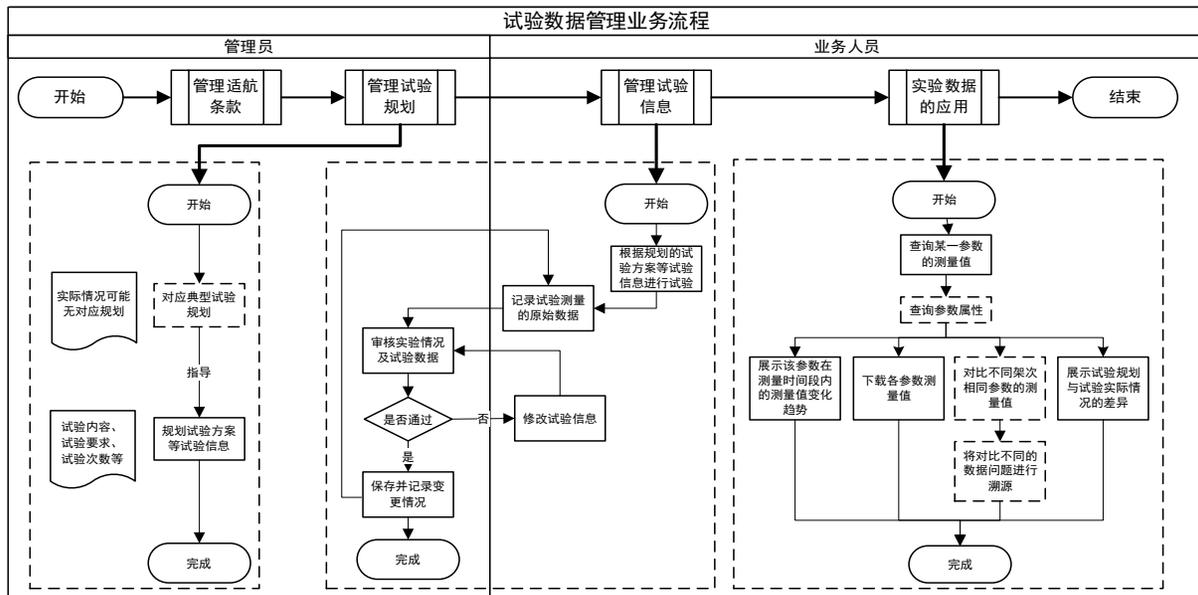


图1 数据库试验数据管理业务流程设计

Fig. 1 Design of database experimental data management business process

## 2.2 技术选型

数据库架构是数据资源布置方式的统称,表示一个数据库系统的高层结构,可以将系统看成由组件构成的一个整体,不同的组件完成系统的不同的功能<sup>[13]</sup>。一个合理的架构可以提高数据的安全性和数据访问速度。民用飞机试验数据库根据调研得到的具体的功能需求和业务流程来进行技术选型,以稳定性和易操作性为原则,开展数据库平台的系统架构设计,进而搭建出一款高效、可拓展、操作简易的新型大数据的集成分析平台。

民用飞机试验数据库是以上层业务驱动底层数据实现业务对数据的管理、分析。试验数据的整体架构选用B/S架构即Browser(浏览器)/Server(服务器)架构同时选用前后端分离模式进行整体架构的开发,传统的Web前后端未分离项目的开发会导致前端与后端的高度耦合,通过解耦合可以提高系统的灵活性、可维护性、可扩展性和可测试性<sup>[14]</sup>。B/S更符合试验数据库的用户需求。

针对系统后端框架技术的选取,结合数据库具体业务,选择了支持跨平台的高性能开源Web开发框架ASP.NET CORE。该框架具有更高的性能和更低的内存占用,能够更快地响应请求和处理更多的并发连接,提高了业务人员对试验数据的管控能力。

前端主流的框架技术有Vue、Angula和React等,这三种技术可以应用于数据库前端界面的搭建。Vue相对于其余两种框架特有的优势在于它是一种轻量级框架使用了组件化的开发思想<sup>[15]</sup>,使代码更易于开发和维护方便,很适合像民用飞机试验数据库系统这种中小型项目的开发。

试验数据库的选取需要根据具体的数据特点来进行。此次存储的数据有特点有:数据量大、数据以时间为维度、不频繁更新、不删除等。符合时序数据特点,时序数据即时间序列数据,指按照时间先后顺序变化、带时间标签的数据<sup>[16]</sup>。因此宜采用时序数据库,经调研发现如今市场主流的时序数据库有InfluxDB、DophinDB、TDengine、Prometheus、ES等,对各种数据库的性能和优缺点结

合试验数据库的具体业务进行对比得到如表 2 所示。

表 2 市场时序数据库对比  
Table 2 Market timing database comparison

数据库	优点	缺点
Influxdb	应用最广泛,认可度最高。具有高效的时间序列数据写入性能,适合飞行数据的存储	集群版收费,单机版适用于小数据集
TDengine	性能强,自主研发,集群版免费,也有附加功能的收费版	缺少实践案例,还在持续迭代,普及性差。
DolphinDB	高性能、分布式,支持快速存储、检索、分析及计算提供一站式解决方案	完全收费,适用于金融领域
Prometheus	独立地开源监控系统和告警工具,广泛应用于 Kubernetes 生态	目前监控体系基于 zabbix,不便再部署一套同类型的监控系统
ES	集群化、易于使用,适合多种分析查询应用场景	功能性能上与专业时序数据库有很大差距

考虑到业界认可度、用户的体验感、数据库的性能、运维成本和存储,此外飞行数据具有测点多、采集频率快、读取性能要求高等特点,决定选用 InfluxDB 作为时序数据库的选型方案。

在业务调研中还需要选择合适的数据库对业务数据进行管理。此部分数据的特点是各个对象模型之间存在较强的关联,适合采用关系型数据库来实现。当下最流行的关系数据库有 Oracle、MySQL,考虑到 Oracle 数据库收费,并且试验数据库中存储的业务数据体量不是很大,MySQL 数据库作为一款高安全性、高效率且可跨平台的关系型数据库<sup>[17]</sup>在满足功能的同时可以大大的降低运维成本。

此外还存在一个模块是以文档性数据作为主

要的试验数据源,在此模块中我们选取了 Kbase 数据库,Kbase 数据库具有海量的非结构化数据管理能力,并且具有大规模的并发处理能力和高效的全文检索能力,非常适合存储飞机在试验或者运行过程中产生的大量的文档类型数据。

### 2.3 架构设计

基于大数据平台的民用飞机验证试验数据库主要作用是帮助业务人员借助可视化界面对试验数据的分析与管理,因此更加注重功能分解与抽象的面向数据流的结构化开发方法。民用飞机试验管理平台架构采用分层设计,按照系统运行过程从下到上分为:数据库、数据层、应用服务层、数据服务层、访问层,如图 2 所示。

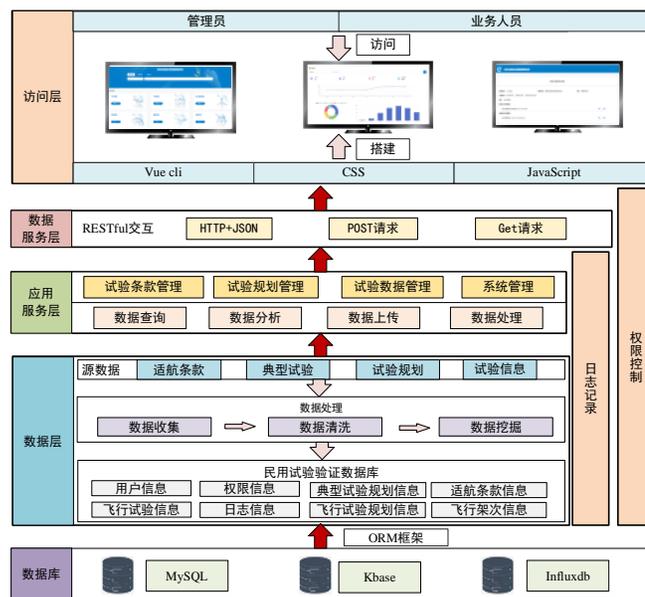


图 2 系统总体架构设计图

Fig. 2 Overall system architecture design diagram

数据库选用根据具体业务选用 MySQL、Influxdb、Kbase 三种数据库,其中 MySQL 主要负责系统业务层面的数据处理,Influxdb 主要处理基于时间维度的大数据,Kbase 主要处理文档型数据。

数据库通过 ORM 框架与数据层进行交互,ORM 即对象关系映射(object relational mapping),用于存储对象与数据库对象之间的转换<sup>[18]</sup>。这里使用 ASP.NET CORE 框架的 entity framework core 框架与数据层进行交互。数据层主要是存储的数据对象,是由源数据经过数据处理得到的数据,涉及业务所需的适航条款、试验规划、典型试验等方面。

应用服务层是民用飞机验证试验数据库的主要功能和业务,在本层进行实现。如各种试验数据的管理和相应的数据操作。同时应用层可以对用户在前端提交的业务请求进行逻辑处理,如前端发送的增添请求,首先对请求进行验证,通过后转换数据为数据库可以识别的对象,然后传入数据层。

数据服务层是建立在访问层和应用服务层之间的数据桥梁,起到数据传输与转化的作用。前后端交互以 http 协议方式进行通讯,以 json,xml 数据格式为传输数据格式,采用 post, get 等请求方式。基于以上方式进行前后端交互。

访问层是进行前端界面展示用于用户操作和

业务请求的层级。前端部分采用 Vue 为基础架构,使用 vue-cli 脚手架进行搭建前端整体业务框架,在此基础上使用 Antdesign ui 框架对整个系统进行页面展示,实现整个用户界面的搭建。管理员和业务人员根据具体需求通过界面进行相应的业务操作,业务请求同样也会根据这五层架构反馈回数据库。

### 3 数据库设计

数据库系统是最有效的资源管理技术,设计合理的数据库是系统构建的关键,需要在特定环境中建立模型,并确保数据表满足用户需求。

#### 3.1 数据库概念设计

概念设计用来反映现实世界中的实体、属性和它们之间的关系等的原始数据形式<sup>[19]</sup>。通过对用户需求进行综合归纳与抽象,形成出独立于具体 DBMS 的概念模型,概念模型表示方法很多,其中常用 E-R 图来描述现实世界的概念模型。以飞行为例,涉及到架次文件、架次信息、飞行试验、飞行试验规划等多种实体。其中每种实体有对应属性例如再飞行试验规划规划中有试验名称、试验类别、专业等信息。构建各个实体之间的联系形成概念数据模型 E-R 图如图 3 所示。

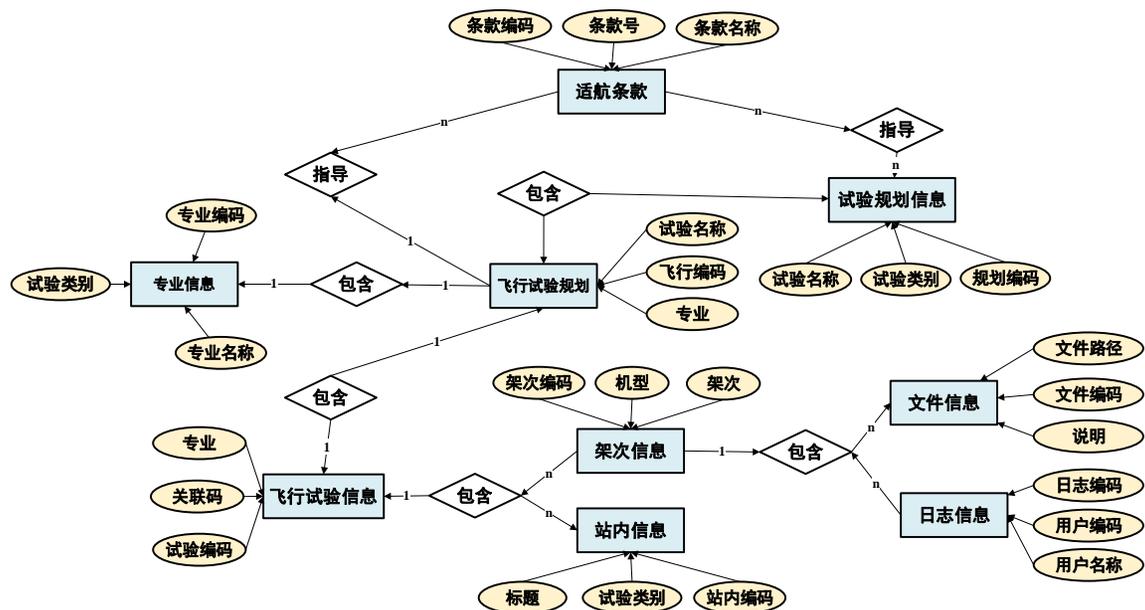


图3 飞行试验模块 E-R 图设计  
Fig. 3 Design of E-R diagram for flight test module

### 3.2 逻辑结构设计

逻辑结构设计就是将 E-R 图向关系模型的转换,将 E-R 中的关系模型经过一定层次的规范化之后,得到系统所需的数据表。确定了数据库的表的名称及对应的主键,即存储内中的对应编码属性。飞行模块的数据库存储涉及到的表及存储内容如表 3 所示,下表中对应表的编码为主键。

### 3.3 物理结构设计

将上述飞行模块的逻辑数据模型转换为最适合应用环境的物理结构类型。选取合适的数据库,设计每个表中具体的字段、数据类型、索引等信息。以飞行试验信息表为例,通过对时间效率、空间效率、维护代价的权衡,得到物理结构如表 4 所示。

表 3 飞行试验模块数据库存储表  
Table 3 Flight test module database storage table

序号	数据库表	数据库表存储的内容
1	典型试验规划信息表	规划编码,试验类别,试验名称,专业,关联适航条款,飞行试验规划,技术/设计标准规范,文件信息,创建人,更新人,发布人,创建时间,更新时间,发布时间,是否删除,备注
2	适航条款信息表	条款编码,条款号,条款名称,条款内容,父级编码,层级,全文,关联典型试验规划,,创建人,更新人,发布人,创建时间,更新时间,发布时间,是否删除,备注
3	专业信息表	专业编码,专业名称,试验类别,排序号
4	文件信息表	文件编码,文件相对路径,说明,上传时间,上传人,元数据编码,专业类别,附件类型,是否删除
5	日志信息表	日志编码,用户编码,用户名称,创建时间,详情,标题
6	飞行试验规划信息表	试验规划编码,试验名称,专业,试验类别,机种,架机编号,计划完成架次,是否完成,附件信息,关联适航条款,关联典型试验规划,,创建人,更新人,发布人,创建时间,更新时间,发布时间,是否删除,备注
7	飞行试验信息表	试验编码,专业,关联飞行试规划编码,飞行信息名称,架机编号,审批状态,机种,机型,试验类别,审批人,审批时间,拒绝原因,附件,关联架次信息,关联适航条款,,创建人,更新人,发布人,创建时间,更新时间,发布时间,是否删除,备注
8	飞行架次信息表	架次编码,架次,机型,架机编号,场地名称,试验时间,飞行时长,专业,文件路径,文件名称,是否删除,关联飞行试验编码,文件信息,,创建人,更新人,发布人,创建时间,更新时间,发布时间,是否删除,备注
9	站内信信息表	站内信编码,试验类别,标题,详情,送达人,创建时间,是否已读,资源编码

表 4 飞行试验信息表字段物理结构设计  
Table 4 Design of field physical structure for flight test information table

编号	字段列名	字段描述	数据类型	可空	默认值	约束类型
1	ID	编码	char			主键
2	Major	专业	varchar			
3	FlightTestPl-anID	飞行试验规划 ID	char			
4	FlightTestNa-me	飞行试验名称	varchar			
5	Number	架机编号	varchar			
6	Review—Status	审批状态	int		未审批	
7	AircraftType	机种	varchar			
...	...	...	...	...	...	...
16	CreateTime	创建时间	Datetime			
17	Files	关联附件		√		外键
18	FrameMachi-neInfos	关联架次信息		√		外键
19	SeaworthyClauses	关联适航条款		√		外键
20	IsDeleted	是否删除	int		False	
21	Desc	备注	char	√		

将飞行模块所设计的表均按照上述进行物理结构设计得到表之间物理模型如图 4 所示,模型标

注出了表的部分字段名和表与表之间的关联关系。

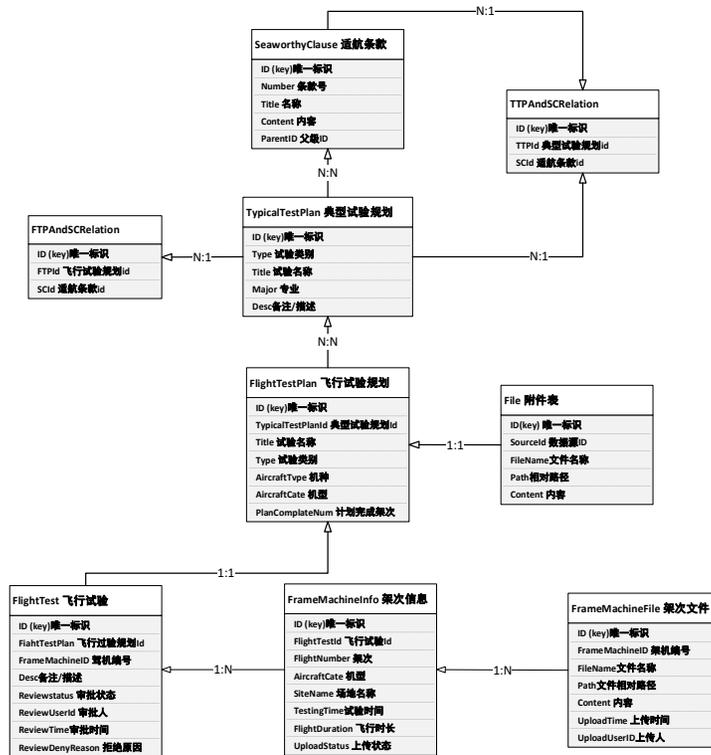


图 4 飞行模块物理模型设计  
Fig. 4 Flight module physics model design

在数据库建模软件 PowerDesigner 按照上述绘制物理模型,绘制完毕之后转出 SQL 语句并在数据库管理软件中运行如图 5 所示。

```

CREATE TABLE `flighttest` (
  `ID` char(36) CHARACTER SET ascii COLLATE ascii_general_ci NOT NULL,
  `FlightTestPlanID` char(36) CHARACTER SET ascii COLLATE ascii_general_ci NOT NULL,
  `Number` varchar(900) CHARACTER SET utf8mb4 COLLATE utf8mb4_0900_ai_ci NULL DEFAULT NULL,
  `ReviewStatus` int NOT NULL DEFAULT 0,
  `ReviewTime` datetime NOT NULL,
  `ReviewDenyReason` varchar(900) CHARACTER SET utf8mb4 COLLATE utf8mb4_0900_ai_ci NULL DEFAULT NULL,
  `CreateTime` datetime NOT NULL,
  `UpdateTime` datetime NOT NULL,
  `CreateUserId` char(36) CHARACTER SET ascii COLLATE ascii_general_ci NULL DEFAULT NULL,
  `UpdateUserId` char(36) CHARACTER SET ascii COLLATE ascii_general_ci NULL DEFAULT NULL,
  `PublishTime` datetime NOT NULL,
  `PublishUserId` char(36) CHARACTER SET ascii COLLATE ascii_general_ci NULL DEFAULT NULL,
  `IsDeleted` tinyint(1) NOT NULL DEFAULT 0,
  `ReviewUserId` char(36) CHARACTER SET ascii COLLATE ascii_general_ci NULL DEFAULT NULL,
  `Desc` longtext CHARACTER SET utf8mb4 COLLATE utf8mb4_0900_ai_ci NULL,
  `Major` varchar(900) CHARACTER SET utf8mb4 COLLATE utf8mb4_0900_ai_ci NULL DEFAULT NULL,
  `FlightTestName` varchar(900) CHARACTER SET utf8mb4 COLLATE utf8mb4_0900_ai_ci NULL DEFAULT NULL,
  `Type` int NOT NULL DEFAULT 0,
  `AircraftCate` varchar(900) CHARACTER SET utf8mb4 COLLATE utf8mb4_0900_ai_ci NULL DEFAULT NULL,
  `AircraftType` int NOT NULL DEFAULT 0,
  PRIMARY KEY (`ID`) USING BTREE,
  INDEX `IX_FlightTest_CreateUserId` (`CreateUserId` ASC) USING BTREE,
  INDEX `IX_FlightTest_PublishUserId` (`PublishUserId` ASC) USING BTREE,
  INDEX `IX_FlightTest_UpdateUserId` (`UpdateUserId` ASC) USING BTREE,
  INDEX `IX_FlightTest_ReviewUserId` (`ReviewUserId` ASC) USING BTREE
) ENGINE = InnoDB CHARACTER SET = utf8mb4 COLLATE = utf8mb4_0900_ai_ci ROW_FORMAT = Dynamic
> OK
> 时间: 0.047s

```

图 5 飞行试验信息表物理结构实现  
Fig. 5 Implementation of physical structure of flight test information table

运行完毕之后即可在数据库中生成对应的飞行试验信息表用来存储字段信息如图 6 所示。

ID	FlightTestPlan Number	ReviewStatus	ReviewTime	ReviewDenyR	CreateTime	UpdateTime	Cr
(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N)

图 6 飞行试验信息表  
Fig. 6 Flight test information sheet

### 3.4 数据库界面设计

以飞行试验模块为例开展具体的模块设计,本模块包含飞行首页、试验规划和试验信息管理三个子模块如图 7 所示。

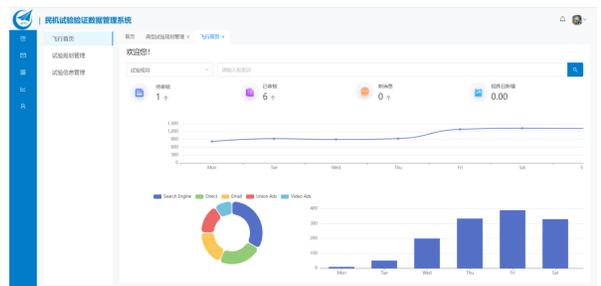


图 7 飞行首页界面  
Fig. 7 Flight homepage interface



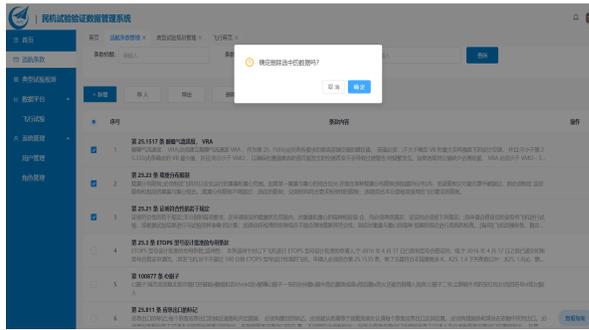


图 13 适航条款批量选择界面

Fig. 13 Airworthiness clause batch selection interface

点击查看功能可具体查看适航条款详情如图 14 所示。



图 14 适航条款查看详情界面

Fig. 14 Airworthiness terms view details screen

### 5 结论

本文从调研到设计开发了一套以存储标准规范和试验数据为核心的民用飞机验证试验数据库系统。该数据库以管理员和业务人员为角色划分,以适航条款、典型试验规划、数据平台为整体数据库模块划分。涵盖权限信息管理、数据采集、过程管控、数据操作、统计报表等功能。此系统业务支持强度试验、气动试验、结构试验、飞行试验、环境试验、机上地面试验 6 种专业试验数据的管控,解决了当前数据库大多只支持一种试验类型数据存储的局限性,为型号研制过程中多专业融合领域的研究提供数据支持。在业务贯通的前提下,实现了全生命周期试验数据的分级管控,提高了企业数据结构化,为多专业试验数据库的设计提供参考。

### 参考文献

[1] 冯士德,张媛. 民航试飞规划与管理数据库设计研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2014(4): 87-90.  
FENG Shide, ZHANG Yuan. Research on the design of civil aircraft test flight planning and management database [J]. Civil Aircraft Design and Research, 2014 (4) : 87-90. (in Chinese)

[2] 韩涛,聂小华,段世慧,等. 结构强度试验连接器仿真模型数据库设计研究[J]. 工程与试验, 2023, 63(1): 93-95.  
HAN Tao, NIE Xiaohua, DUAN Shihui, et al. Structural strength test connector simulation model database design research [J]. Engineering & Testing, 2023, 63(1) : 93-95. (in Chinese)

[3] 唐杰. 航空发动机试验测试工程数据库系统的设计与实现 [J]. 今日制造与升级, 2022(8): 139-141.  
TANG Jie. Design and implementation of database system for aero-engine test engineering [J]. Manufacturing & Upgrading Today, 2022(8) : 139-141. (in Chinese)

[4] 刘祖铭,曹定国,吴有金,等. 飞机结构腐蚀控制设计数据库研究[J]. 航空学报, 2002(4): 360-363.  
LIU Zuming, CAO Dingguo, WU Youjin, et al. Research on aircraft structural corrosion control design database [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2002 (4) : 360-363. (in Chinese)

[5] 詹绍正,宁宁,王丹,等. 民用飞机结构无损检测数据管理系统的设计与开发[J]. 无损检测, 2021, 43(12): 71-76.  
ZHAN Shaozheng, NING Ning, WANG Dan, et al. Design and development of nondestructive testing data management system for civil aircraft structure [J]. Nondestructive Testing, 2021, 43(12) : 71-76. (in Chinese)

[6] 文维阳,陈震宇,曹阳,等. 航空发动机试验数据管理系统设计[J]. 航空发动机, 2021, 47(3): 97-102.  
WANG Weiyang, Chen Zhenyu, CAO Yang, et al. Design of aero-engine test data management system [J]. Aeroengine, 2021, 47(3) : 97-102. (in Chinese)

[7] ARORA P, GUPTA S K, SAMAL M K, et al. Comparing fatigue life prediction capability of critical plane models using multiaxial test database on 17 materials[J]. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 2023, 46 (4): 1130-1056.

[8] GAN Y, FANG X, WEI X, et al. Numerical and experimental testing of aircraft tyre impact during landing[J]. The Aeronautical Journal, 2021, 125: 2200-2216.

[9] NGUYEN L V T, TYAN M, LEE J W, et al. Enhancement of light aircraft 6 DOF simulation using flight test data

- in longitudinal motion[J]. The Aeronautical Journal, 2021, 125: 1358-1379.
- [10] NGUYEN N V. Full-scale aerodynamic database development process for very light aircraft from wind tunnel test data [J]. 2015: 1472-1476.
- [11] VETOSHKIN V M, GORSHKOV P S, ZHOLOBOV A B. Methodological problems and ways of creation of the aircraft equipment test automated management system[J]. Civil Aviation High Technologies, 2017, 20(1): 159-166.
- [12] 吕观凤. UI设计对软件开发的影响[J]. 计算机产品与流通, 2020(6): 15.  
GuanfengLYU. The impact of UI design on software development[J]. Computer Products and Distribution, 2020(6): 15. (in Chinese)
- [13] 朱爱红, 余冬梅, 张聚礼. 基于B/S软件体系结构的研究[J]. 计算机工程与设计, 2005(5): 1164-1165.  
ZHU Aihong, YU Dongmei, ZHANG Juli. Research on B/S software architecture [J]. Computer Engineering and Design, 2005(5): 1164-1165. (in Chinese)
- [14] 冯蕴雯, 严浩, 路成. 基于B/S的民用飞机结构修理方案平台的设计与实现[J]. 航空工程进展, 2021, 12(6): 117-126.  
FENG Yunwen, YAN Hao, LU Cheng. Design and implementation of civil aircraft structural solution platform based on B/S[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(6): 117-126. (in Chinese)
- [15] 李凤盼, 赵志敏, 王莹莹. 基于Vue的建筑项目智能管理可视化系统设计与实现[J]. 软件, 2023, 44(2): 77-80.  
LI Fengpan, ZHAO Zhimin, WANG Yingying. Design and implementation of a visual system for intelligent management of building projects based on Vue [J]. Software, 2023, 44(2): 77-80. (in Chinese)
- [16] 徐化岩, 初彦龙. 基于influxDB的工业时序数据库引擎设计[J]. 计算机应用与软件, 2019, 36(9): 33-36.  
XU Huayan, CHU Yanlong. Design of industrial time series database engine based on influxDB [J]. Computer Applications and Software, 2019, 36(9): 33-36. (in Chinese)
- [17] 毛建强, 黄颖. 基于对象映射的数据访问服务[J]. 指挥信息系统与技术, 2012, 3(4): 57-61.  
MAO Jianqiang, HUANG Ying. Data access service based on object mapping [J]. Command Information Systems and Technology, 2012, 3(4): 57-61. (in Chinese)
- [18] 李俊逸, 王卓, 马鹏玮. 图数据库技术发展趋势研究[J]. 信息通信技术与政策, 2021, 47(5): 67-72.  
LI Junyi, WANG Zhuo, MA Pengwei. Research on the development trend of graph database technology [J]. Information and Communication Technology and Policy, 2021, 47(5): 67-72. (in Chinese)
- [19] 张永奎. 数据库原理与设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019: 260.  
ZHANG Yongkui. Database principle and design [M]. Beijing: Post and Telecom Press, 2019: 260. (in Chinese)

(编辑:马文静)