

# 船体结构钢及焊接材料数据库应用系统设计开发

何 磊,何 亮,马晓阳

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所,河南 洛阳 471023)

**摘要:**为了解决结构钢及焊接材料数据的有效存储及高效利用问题,使用 SQL Server 作为后台数据仓库,VB 作系统开发,ODBC 数据源作为连接技术,设计开发了船体结构钢及焊接材料数据库应用系统。系统具有结构钢及焊接材料信息查询、标准及报告查询等四大功能模块,并以结构钢配套焊条为例,通过性能预测智慧框架和神经网络模型构建、神经网络矩阵模型转换为 VB 代码等工作,实现了其力学性能预测,对结构钢及焊接材料设计有一定的参考和实用价值。

**关键词:**结构钢及焊接材料;数据库;神经网络;性能预测

中图分类号:TP311.138;U671.83 文献标识码:A

## Design of Database Application System for Hull Structural Steel and Welding Materials

HE Lei, HE Liang, MA Xiaoyang

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, China)

**Abstract:** In order to promote the storage validity and utilization efficiency, the database application system of hull structural steel and welding materials is designed and developed by using SQL Server as background database, VB as system development and ODBC data source as connection technology. The system has four functional modules: structural steel information query, welding material information query, standard query and report query. Structural steel welding rod has been taken as an example to test the practicability of the system. The mechanical performance prediction is realized by the construction of the intelligent framework for performance prediction and the neural network model, and the transformation of neural network matrix model into VB code. It has a certain reference and practical value for the design of structural steel and welding materials.

**Keywords:** structural steel and welding materials; database; neural network; performance prediction

船体结构钢<sup>[1]</sup>是船体建造中最主要的金属材料,与焊接材料一起用于建造船舶主船体、上层建筑及其附属结构,直接影响船体的稳定性和安全性。数据是 21 世纪最重要的资源,多年来,在船体结构钢及焊接材料的研制开发和应用研究中积累的大量数据具有重要的技术价值,其中可能隐含的关键信息尚未被发现,但这些数据的记录存储方式较为零散,不利于对数据进行系统

地分析,也无法进一步挖掘数据间隐藏的关系。随着数据库和材料基因组技术的发展<sup>[2-5]</sup>,目前,已有焊接、复合材料、钛合金等数据库方面的研究<sup>[6-9]</sup>,焊接材料数据库主要集中在航空航天领域,船舶领域的焊接数据库主要是针对不同焊接工艺建立的工艺数据库,对于针对船舶领域的结构钢及焊接材料数据库的研究还鲜有报道。因此,通过对近年来船体结构钢及焊接材料数据

收稿日期:2021-07-13

作者简介:何磊,男,1991 年生,工程师,主要从事数据库技术研究。E-mail:1534960220@qq.com

的收集整理,采用SQL Server数据库编程技术<sup>[10]</sup>,作者设计和开发了船体结构钢及焊接材料数据库应用系统,以期实现更有效地利用数据和更深入地挖掘数据间的关系,进一步缩短材料研制周期,降低成本。

## 1 需求分析

根据船体结构钢及焊接材料的研究及应用需求调研,系统需要具备以下两大类功能。

### (1) 材料数据存储、管理和查询功能

将零散、形式不一的数据整合起来,进行统一存储和管理,构建数据库,便于用户查询。存储的数据主要包括船体结构钢基本信息和力学性能、焊接材料基本信息和力学性能、焊接工艺参数、接头力学性能、试验报告、总结报告、焊工经验、相关标准等。

### (2) 材料性能预测功能

在数据库的基础上进行应用开发,搭建智慧预测系统框架,利用神经网络等智能算法,构建材料性能预测模型,实现结构钢及焊接材料的性能预测,指导材料设计。

## 2 数据库系统总体设计

在充分分析需求的基础上,开展数据库系统设计工作,主要包括系统总体结构设计、数据库架构设计、模型设计、性能预测智慧框架设计等。

### 2.1 数据库系统总体结构设计

根据船体结构钢及焊接材料数据库应用系统的功能特点,进行总体结构设计,系统由用户界面(用户层)、数据库功能模块(应用层)、基础数据库(数据层)三层结构组成,如图1所示。用户只需在界面上点击相应功能模块的操作选项,并输入特定条件参数,功能模块即通过ODBC数据源与数据库进行连接,完成相应数据的检索、查询、处理和进一步应用等功能,并将结果以数据或文件的形式反馈给用户。

### 2.2 数据库架构设计

由于本数据库涉及船体结构钢及焊接材料

的基本信息和性能信息,同时还包含焊接接头的基本信息和性能信息,内容较多且关系复杂,为确保数据之间的对应关系,需首先理清数据库各部分信息表之间的联系,进行数据库架构设计,即通过上下级表的相关ID在数据库各表之间建立联系,减少数据冗余,本数据库通过钢板基本信息表中的各种信息唯一确定一块钢板,用钢板ID表示,在钢板的各种性能表中可用钢板ID来表示这块钢板,即通过钢板ID建立钢板基本信息表和各种性能表之间的联系,同理,焊材和焊接接头也这样表示,具体如图2所示。

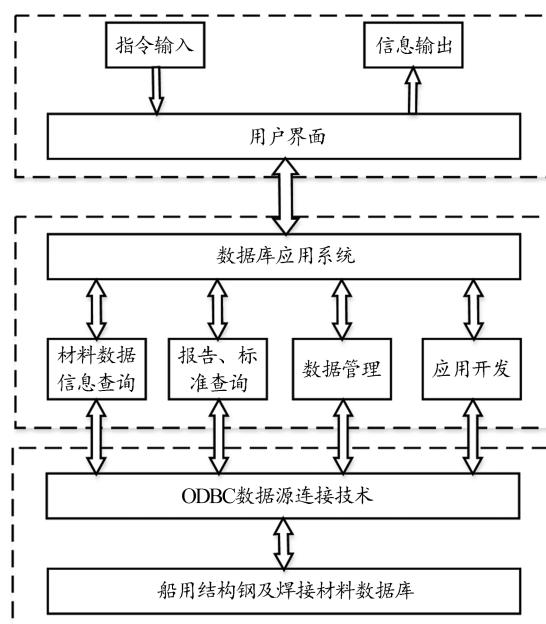


图1 数据库系统总体结构

Fig. 1 General structure of database system

### 2.3 数据库模型设计

根据对收集数据的分析和数据库架构设计结果,分别进行数据库的总体E-R模型、局部E-R模型、逻辑模型和物理模型设计(模型较多,仅列出总体E-R模型,如图3所示)。通过分析本数据库构建中涉及的概念及概念之间的关系,将其划分为结构钢、焊接材料、焊接接头等主要实体,并通过每个实体属性的提取,构建实体与实体、实体和属性之间的联系模型,即完成了总体E-R模型的设计。

模型设计完成后,选用微软公司的SQL Server软件作为数据库构建的载体,将完成预处理的数据统一导入到数据库中,在导入中注意源数据与目标数据的一一对应,检查二者数据类型

是否统一,导入后在数据库中查阅数据,检查是否存在缺失、空值、类型不一致等问题。检查无

误后,到此即完成了数据库的物理实现,数据库进入应用阶段。

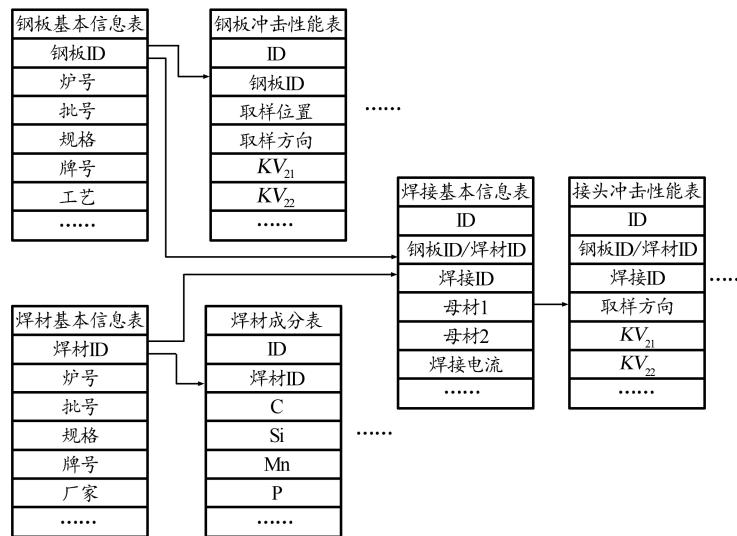


图 2 数据库架构

Fig. 2 Database schema

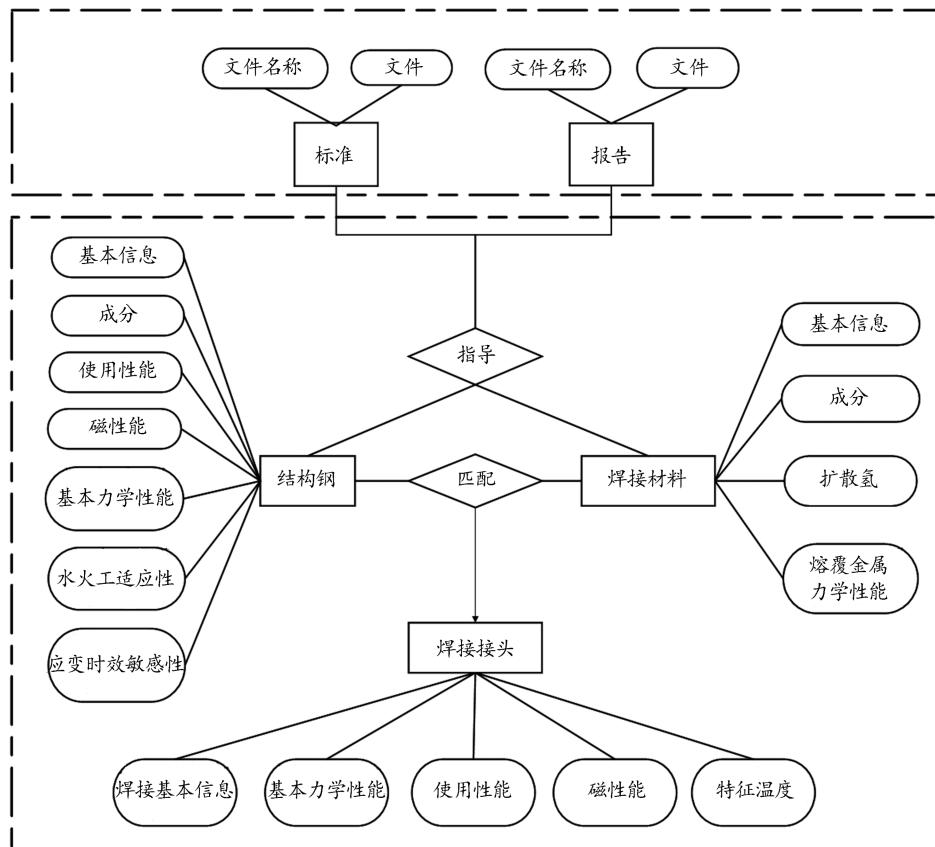


图 3 总体 E-R 模型

Fig. 3 Database total E-R model

#### 2.4 性能预测智慧框架设计

本系统针对船体结构钢及焊接材料的成分

设计、性能预测、关键过程控制等需求,利用数据库、MATLAB 神经网络工具箱和 VB 各自的优

势,搭建一个较为通用的智慧框架,如图 4 所示,当在满足大需求下改变具体需求时,框架结构依然可以保持不变,继续使用,只需改变针对具体需求的模型、边界条件或交互界面即可。

本框架主要通过三步骤实现智慧预测。首先,利用 VB 界面的查询功能从基础数据库获得满足用户需求的数据,进而通过 MATLAB 对查询得到的数据进行分析建模,最后将建好的模型转化为 VB 能够识别的格式并嵌入即可。

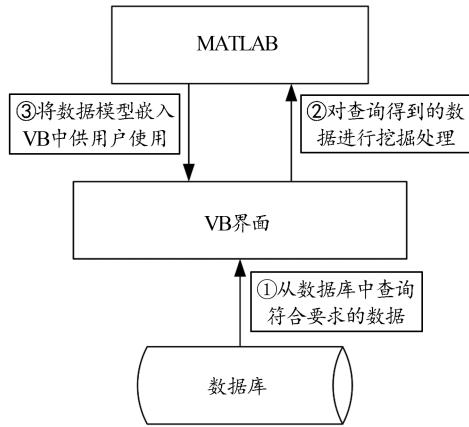


Fig. 4 Framework of intelligent prediction system  
2.5 焊条力学性能预测系统设计

本部分将在基础数据库和智慧预测系统框架的基础上,以结构钢配套焊条为例进行其力学性能预测系统设计,主要包括焊条力学性能神经网络预测模型构建、复杂矩阵模型的 VB 代码转换和界面设计等内容。

由于焊缝金属力学性能预测是一个多因素交互作用的复杂问题,而传统的回归拟合方法难以描述这种多维复杂问题,本系统采用擅长处理此类问题的人工神经网络技术。借助 MATLAB 神经网络工具箱,以收集的焊缝金属力学性能数据为基础,采用人工神经网络技术分别建立焊缝金属的屈服强度、抗拉强度、伸长率、断面收缩率及冲击功预测模型。建模过程主要包括数据归一化处理、确定输入层和输出层、选择合适的算法、确定隐含层单元数以及模型验证优化。

图 5 所示是一具有一个隐含层的 BP 神经网络示意图,其清晰展现了构建模型时信息的正向传递过程,同样,我们可以利用其信息传递过程进行划分,分步骤得到输出结果,本部分将每个步骤用简单数学化的形式表示出来。

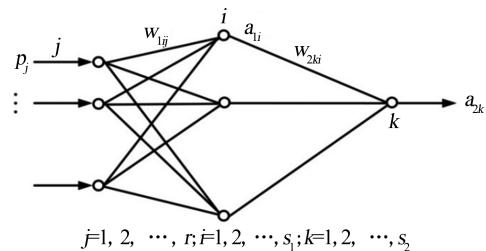


图 5 具有一个隐含层的 BP 神经网络示意图

Fig. 5 Schematic diagram of BP neural network with one hidden layer

(1) 隐含层中第  $i$  个神经元的输出为

$$a_{1i} = f_1 \left( \sum_{j=1}^r w_{1ij} p_j + b_{1i} \right), \quad (i = 1, 2, \dots, s_1) \quad (1)$$

(2) 输出层第  $k$  个神经元的输出为

$$a_{2k} = f_2 \left( \sum_{i=1}^{s_1} w_{2ki} a_{1i} + b_{2k} \right), \quad (k = 1, 2, \dots, s_2) \quad (2)$$

(3) 本课题研究内容属非线性问题,故输入层与隐含层之间的转移函数选择双曲正切函数  $\text{tansig}$ ,其表达式见式(3)。

$$f_1(x) = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}} \quad (3)$$

(4) 隐含层与输出层之间的转移函数为

$$f_2(x) = x \quad (4)$$

其中,权值  $w_{1ij}$  和  $w_{2ki}$ 、阈值  $b_{1i}$  和  $b_{2k}$  在模型构建过程中均由软件计算给出,  $p_j$  为输入变量归一化后构成的矩阵,在模型使用过程中根据用户在界面上输入的变量可计算得到。故根据以上公式及已知条件,在 VB 中将神经网络模型进行代码转化。模型在 VB 中转化完成后,再根据用户需求完成相应的界面设计,即完成了焊条力学性能预测系统构建。

### 3 数据库系统功能实现

本系统选用 VB6.0 软件作为系统功能构建的平台,主要为用户提供钢板及焊材信息查询、标准及报告查询、数据管理、应用开发四大功能模块,通过这些模块将实现对近年来结构钢及焊接材料信息的查询、管理和应用等功能,如图 6 所示。

### 3.1 钢板及焊材信息查询模块

该模块为本系统的主要功能模块,将为用户提供多年来的钢板及焊材基本信息及所有性能数据的查询功能,如图7所示。用户可以根据自己掌握的部分信息进行关键字查询,可选择从钢板/焊材基本信息、钢板/焊材编号、化学成分及性能范围四个不同方式进行查询,用户同时可以对查询得到的数据进行相关操作,如清空、数据导出、数据处理等。



图6 系统功能主界面

Fig. 6 Main interface of system function



图7 信息查询界面

Fig. 7 Information query interface

### 3.2 标准及报告信息查询模块

标准及报告信息查询模块提供标准、原则工艺、研究经验、性能报告、总结报告、技术文件等相关非结构化数据的查询功能,如图8(a)所示。由系统功能主界面进入标准/报告查询界面后,标准/报告库中的文件会显示在界面显示框中,用户可以直接在显示框中查找,或在查询条件中

输入需要查询文件名称的关键字进行检索。

随着研究及应用工作的持续进行,产生的工艺文件、研究经验、新的标准规范及报告等需要进入数据库,以便为研究人员提供更新更丰富的指导信息,标准及报告信息查询模块提供上述文件的导入和修改功能,如图8(b)所示。



(a)查询界面

(b)导入界面

图8 标准和报告查询及导入界面

Fig. 8 Standard and report query interface and import interface

### 3.3 数据管理功能模块

数据是系统的基础,过多普通用户直接管理,会导致数据编号混乱,甚至会引入错误数据,极大影响数据库系统的安全性和稳定性,故设立数据管理模块,该模块需进行管理员登录,登录成功将打开底层数据库软件,供管理员进行增删改等操作。

### 3.4 应用开发功能模块

本系统的一个重要需求是实现材料性能预测功能,故在数据库基本功能的基础上,搭建可

以实现材料性能预测的智慧框架,并以结构钢配套焊条为例进行该焊条力学性能预测系统的应用开发,如图 9 所示。

通过焊条试制来验证焊条力学性能预测系统的准确性,验证结果见表 1,由表 1 可知,建立的焊条焊缝金属力学性能预测系统具有较好的预测精度,屈服强度和抗拉强度预测精度相对较高,误差小于 10%,伸长率、断面收缩率和冲击功预测精度相对较低,但预测误差均小于 20%。



图 9 焊条熔敷金属力学性能预测

Fig. 9 Prediction of mechanical properties of electrode deposited metal

表 1 试制焊条熔敷金属力学性能验证结果

Table 1 Test results of the mechanical properties of deposited metal

编号	$R_{p0.2}$			$R_m$			A			Z			$KV_2(-20^{\circ}\text{C})$		
	实测 值/ MPa	预测 值/ MPa	误差 比/ %	实测 值/ MPa	预测 值/ MPa	误差 比/ %	实测 值/ %	预测 值/ %	误差 比/ %	实测 值/ %	预测 值/ %	误差 比/ %	实测 值/ J	预测 值/ J	误差 比/ %
1#	705	665	-5.7	777	740	-4.7	19.0	22.3	17.4	68	70	3.7	72	85	18.1
2#	850	783	-7.8	915	861	-5.8	16.3	17.5	7.7	61	63	3.3	81	88	8.6
3#	868	891	2.6	983	979	-0.3	14.3	14.0	-1.7	51	57	12.9	47	55	17
4#	845	806	-4.6	922	910	-1.3	17.0	18.0	5.9	63	69	9.5	80	73	-8.7
5#	869	826	-4.9	960	913	-4.9	14.3	11.5	-19.3	50	58	16%	61	65	6.5
6#	839	805	-4	939	956	1.8	18.0	21.0	16.7	63	66	5.6	65	66	0.7
7#	883	860	-2.5	948	957	0.9	13.0	12.0	-7.7	46	50	9.9	63	74	17.5
8#	859	820	-4.5	944	962	1.9	16.5	19.0	15.1	65	65	0.8	69	72	4.3
9#	855	820	-4	937	921	-1.6	16.0	15.7	-1.9	55	61	10.9	71	58	-18.3
10#	797	777	-2.5	864	885	2.4	17.5	17.2	-1.7	68	69	2.2	69	62	-10.1

## 4 结论

(1) 建立针对船舶制造领域的结构钢及焊接材料数据库,实现了结构钢基本信息和性能数据、焊接材料基本信息和性能数据、焊接接头性能数据的存储、管理和共享。

(2) 建立了结构钢及焊接材料性能智慧预测系统框架,并以结构钢配套焊条为例构建了其力学性能预测系统,成功实现了焊条力学性能的准确预测。

### 参考文献:

- [1] 张豪,雷运涛,魏金山.高强度船体结构钢的现状与发展[J].钢结构,2004,19(2):38-40.
- [2] 王卓,王礞,雍歧龙,等.材料信息学及其在材料研究中的应用[J].中国材料进展,2017,36(2):132-140.
- [3] 杨丽,苏航,柴锋,等.材料数据库和数据挖掘技术的应用现状[J].中国材料进展,2019,38(7):672-681.
- [4] 何冰,米鹏辉,张力文,等.The Most Comprehensive Database of Ionic Transport Characteristics to Date[J].材料导报,2020,34(20):20001-20002.
- [5] 向勇,闫宗楷,朱焱麟,等.材料基因组技术前沿进展[J].电子科技大学学报,2016,45(4):634-649.
- [6] GU Q, ZHONG R, JU D Y. Development of materials database system for cae system of heat treatment based on data mining technology[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2006, 16: s572-s576.
- [7] LEI T Y, PENG W P, LEI J, et al. A product module mining method for PLM database[J]. Journal of Central South University, 2016, 23(7): 1754-1766.
- [8] XU R, ZHAO Y H, HAN Q Z, et al. On the database-based strategy of candidate extractant generation for de-phenol process in coking wastewater treatment [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2018, 26(7): 1570-1580.
- [9] JIE J S, WENG M Y, LI S N, et al. A new Material-Go database and its comparison with other high-throughput electronic structure databases for their predicted energy band gaps[J]. Science China Technological Sciences, 2019, 62(8): 1423-1430.
- [10] 唐辉,齐乐华,李贺军.基于SQL Server的C/C复合材料实验数据库系统平台的设计开发[J].新型炭材料,2007,22(2):148-152.