

朱佳桂, 陈青, 黄潇, 等. 基于知识重用的闸阀快速设计系统研究[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(5): 130-135. DOI: 10.20169/j. issn. 2095-2163. 250518

## 基于知识重用的闸阀快速设计系统研究

朱佳桂<sup>1</sup>, 陈青<sup>1</sup>, 黄潇<sup>2</sup>, 顾金彤<sup>1</sup>

(1 盐城工学院 机械工程学院, 江苏 盐城 224051; 2 东南大学 成贤学院, 南京 210088)

**摘要:** 针对闸阀产品在设计过程中设计重用率低、周期长的问题, 本文构建了一种基于知识重用的闸阀快速设计系统。将产品设计知识根据知识特点划分为面向设计过程的流程性知识和面向产品建模的实例知识。将流程性知识以二维表的形式结构化表示, 建立集成流程知识的信息模型, 并使用 SQL 数据库进行存储。对实例知识基于闸阀产品结构进行实例信息组织, 建立实例信息库; 利用参数化技术建立可重用模板, 综合实例信息库的架构建立参数化实例库。利用 Visual Studio 对 NX 进行二次开发集成 SQL 数据库, 完成闸阀设计系统开发。以弹性闸板闸阀的设计为例进行系统应用, 验证了该系统的有效性。

**关键词:** 知识重用; 闸阀设计; 参数化建模; 设计系统开发

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2025)05-0130-06

### Research on a rapid design system for gate valves based on knowledge reuse

ZHU Jiagui<sup>1</sup>, CHEN Qing<sup>1</sup>, HUANG Xiao<sup>2</sup>, GU Jintong<sup>1</sup>

(1 School of Mechanical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, Jiangsu, China;

2 Chengxian College, Southeast University, Nanjing 210088, China)

**Abstract:** In response to the problems of low efficiency and long design cycle in the design process of gate valve products, this paper constructs a rapid design system for gate valves based on knowledge reuse. During the process, divide product design knowledge into process oriented knowledge for design process and instance oriented knowledge for product modeling based on knowledge characteristics; structurally represent process knowledge in the form of a two-dimensional table, establish an information model that integrates process knowledge, and store it using a SQL Server database; organize instance information based on the structure of gate valve products and establish an instance information database for instance knowledge; utilize parameterization technology to establish reusable templates, and integrate the architecture of the instance information library to establish a parameterized instance library; utilize Visual Studio for secondary development of NX and integrate SQL database to complete the development of gate valve design system. Taking the design of an elastic gate valve as an example for system application, the effectiveness of the system is verified.

**Key words:** knowledge reuse; gate valve design; parametric modeling; design system development

## 0 引言

闸阀作为工农业及日常生活中经常用到的管道介质控制装备, 其使用范围具有广泛性。其产品型号及尺寸因其多样的使用场景而表现出少数量、多批次的需求特点<sup>[1-4]</sup>, 设计人员也因此需要频繁地进行闸阀产品设计。在目前闸阀产品的设计中, 接

近 80% 的闸阀设计是根据客户需求, 选择已有的闸阀型号进行再设计。这一类闸阀设计在设计过程中, 对于闸阀产品的基本结构和工作原理不会进行过多的改动。但由于闸阀设计知识的离散化、设计人员变更导致产品实例管理混乱等问题, 企业对已有设计知识的利用率很低<sup>[5]</sup>。因此, 将闸阀设计知识进行结构化的组织, 使已有的设计实例应用于闸

**作者简介:** 朱佳桂(1998—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 智能化设计理论与技术; 黄潇(1993—), 男, 讲师, 主要研究方向: 产品数字化设计与制造; 顾金彤(1989—), 男, 讲师, 主要研究方向: 产品数字化设计, 流体机械数值仿真。

**通信作者:** 陈青(1975—), 女, 副教授, 主要研究方向: 产品数字化设计技术, 清扫车风机结构设计及优化研究, 阀体特征数字化工艺设计研究。Email: lxj5354jxl@163.com。

收稿日期: 2023-10-31

闸阀新产品的设计中,实现闸阀设计知识的重用,是闸阀快速设计的重要前提。

目前,国内外对于设计知识重用进行了多方面的研究。王相兵等学者<sup>[6]</sup>针对起重机系列化程度高、重复设计量大的特点,研究了集成 CAD/CAE 功能的设计系统。羊柳等学者<sup>[7]</sup>以模块化技术将参数化设计等进行知识组件封装,实现原型系统的开发。温静媛等学者<sup>[8]</sup>以混合推理技术,基于 VB 对 SolidWorks 进行二次开发,实现了数控深孔加工机床的快速设计。王姝婷等学者<sup>[9]</sup>针对复杂产品维修知识困难的问题,构建了复杂产品维修工程案例本体模型,通过相似度对比匹配达到维修知识的重用目的。Holland 等学者<sup>[10-12]</sup>研究了知识重用在设计中的应用,并制作了基于知识的工艺模型。金博宇等学者<sup>[13]</sup>针对膜片弹簧离合器的设计特点,提出了一种知识驱动的参数化设计技术与建模技术,并基于 CATIA 实现该产品的快速设计。以上的研究虽然考虑了产品三维模型的重用,但没有将设计知识与设计流程相结合,在实际进行设计时,对已有的设计知识仍存在难以重用的问题。

基于上述问题,本文构建了基于知识重用的闸阀快速设计系统。将闸阀设计知识进行整理与分类定义,面向闸阀设计流程进行流程性知识的组织与表示,面向闸阀产品结构创建了闸阀的参数化实例库。使用 Visual Studio 对 NX 进行二次开发并集成 SQL 数据库,完成闸阀设计系统开发,最终实现基于知识的闸阀产品快速设计。

### 1 面向闸阀设计流程的知识模型

闸阀设计知识的分类因其应用场景的不同而有所差异,在用于产品结构及相关快速设计系统开发时,通常可以划分为面向设计的产品流程性知识和面向实体建模的可重用实例模型知识。流程性知识不但包括产品的功能结构判断,也包括了设计人员在长期产品设计积累中的经验参数、设计公式等知识。这些知识通常散乱不易获取,获取后在需要重新查询使用时仍旧需要花费大量的时间。

考虑到闸阀设计的主要任务是在符合设计需求的情况下,以二维工程图或三维模型为载体,最终输出产品尺寸参数等信息。本文将闸阀的设计流程知识分为设计公式、参数表和约束规则三类。将闸阀设计过程分为功能层结构设计-装配层参数设计-零件层尺寸设计,以各层级设计对象为核心,将流程性知识按设计顺序进行归纳定义,基于闸阀产品正

向设计流程集成设计流程知识,并构建面向产品设计流程的知识模型。

#### 1.1 闸阀设计知识分类定义

要实现设计知识模型在后续开发的设计系统能够付诸实际应用,应当将产品知识模型的各元素进行定义,使其能够被计算机识别,完成产品的变形设计和全新设计。

本文定义闸阀的流程知识模型 PKM (Process Knowledge Mode) 是产品本体标识、知识属性、设计任务的集合<sup>[14]</sup>,数学定义公式如下:

$$PKM = \{B, P, T\} \tag{1}$$

$$T = (O, K) \tag{2}$$

$$K = (F_s, R_s, C_s) \tag{3}$$

其中,  $B$  表示闸阀本体标识,用于表明闸阀的种类型号等;  $P$  表示流程知识模型的知识属性,是对知识模型中所有设计知识的解释和定义;  $T$  表示流程各环节的设计任务,包括设计对象  $O$  和对应各类流程设计知识集合  $K$ 。各类流程知识集合  $K$  主要包括参数表知识  $F_s$ 、规则知识  $R_s$  和公式知识  $C_s$  组成。

参数表知识在闸阀设计中通常为行业标准规定参数、标准件参数及部分零件的经验参数,其二维矩阵的数学定义公式如下:

$$F_s = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \tag{4}$$

其中,  $a_{mn}$  表示  $m$  条件下关于  $n$  处的参数取值。

规则知识  $R_s$  与公式知识  $C_s$  也是流程知识模型中的重要设计知识。其中,公式知识使用场景在设计流程中通常固定,服务于特定的设计任务。公式知识由公式名、参数和计算方程组成,在用于设计系统提供参数计算时,组织形式为包含了公式参数的二维表。

规则知识包括规则名、约束条件与结果取值,通常一个规则对应的约束条件因选取参数不同,存在对应的不同结果取值。其表示方法一般用产生式表示法,形式如下:

IF(约束条件  $b_1 =$  参数 1) Then(结果取值  $b_2 =$  值 1);

Else if(约束条件  $b_1 =$  参数 2) Then(结果取值  $b_2 =$  值 2);

.....

Else if(约束条件  $b_1 =$  参数  $n$ ) Then(结果取值  $b_2 =$  值  $m$ )。

### 1.2 闸阀流程知识的建模与表示

流程知识模型的建立应当符合要求:

- (1)能够表示相应的所有设计知识及其之间的关联性与逻辑性<sup>[15]</sup>。
- (2)各类知识应当是统一的、结构化的组织形式,便于存储与再利用。
- (3)流程知识模型具备兼容性,能够不断更

新<sup>[16]</sup>。

闸阀的设计流程知识模型依据产品正向设计的流程,结合产品结构树进行流程性知识的集成与表示,即面向产品设计的“功能结构-装配部件-零件”各个环节的设计对象,进行该设计对象的主参数所需要的设计公式、参数表和约束规则的表示,并集成到设计流程的知识模型。图1为闸阀设计的流程知识模型。

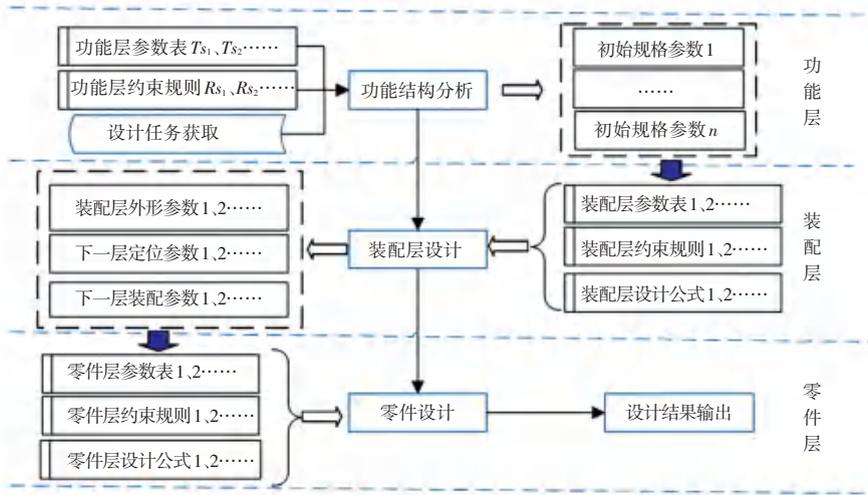


图1 闸阀设计的流程知识模型

Fig. 1 Process knowledge model for gate valve design

为了便于系统识别读取各类设计知识,将分类后的流程知识按各自的特点,统一用二维逻辑表的形式进行表示,并存储于数据库中。目前主流数据库管理软件有 Access、SQL-Server、Oracle 等,由于 SQL-Serve 具有应用灵活、建库简单、结构清晰的特

点,本系统采用 SQL-Server 作为闸阀快速设计系统数据库。基于二维逻辑表结构的流程设计知识表示形式进行设计知识存储,图2为闸板尺寸参数 SQL 数据库的存储表示。

闸板	密封唇距S	连接圈直径S1	高度S2	顶部圆半径h	顶部外宽度A	闸板直径D	密封圈内径D1	密封面宽度B
NPS10	50	180	50	80	60	295	253	16
NPS12	52	210	175	80	80	346	304	17
NPS14	76	215	200	100	100	385	332	22
NPS16	80	250	225	100	100	438	382	23
NPS18	80	25	248	110	110	492	433	24
NPS20	86	300	275	120	130	547	481	28
NPS24	120	360	335	150	160	655	583	30
NPS55	48	85	82	60	55	155	128	10.5
NPS6	48	100	94	60	55	185	154	12
NPS8	50	140	122	60	60	240	202	15

图2 闸板尺寸参数 SQL 表

Fig. 2 SQL table for ram size parameters

## 2 支持重用的闸阀参数化实例库

参数化实例库包括实例信息库和实例模型库,其中实例信息库用于存储所有已有设计结果的信息,将已有设计实例的功能、结构特征等数据进行采

集并实现规范化表示,利用 SQL 数据库将其储存起来用于设计调用。实例模型库包含产品常用的参数化模板和已有设计结果的三维模型,在进行产品改型和新产品设计时,通过对已有设计实例的信息检索及对应三维实例模型的调用修改,提高闸阀产品

的设计效率。

为实现实例信息库的准确性和高效性,使研发者在设计时能够根据产品功能需求快速获取实例信息,应当在完成实例知识的采集、整理后,将实例的设计信息以结构化的表示形式存储到系统中。结构化的知识表示不仅可以提高实例知识的使用效率,而且更易于系统后续实例信息库的更新维护。

本文选择六元组的形式来定义实例的信息知识,即:

$$IDK = \{IUI, IBP, EDF, PI, RMI, MD\} \quad (5)$$

其中,  $IUI$  表示实例唯一标识;  $IBP$  表示实例基本属性,包括实例所属设计项目、设计日期、设计人员、设计标准来源等;  $EDF$  表示实例设计特征,包括该实例所属阀类、产品结构、应用工况及材质等;  $PI$  表示实例参数信息,包括各层级的主参数、主要求解参数等;  $RMI$  表示设计参考手册,这些参考手册应当

符合对应的国家标准和行业标准;  $MD$  表示实例模型图,使实例模型结构信息可视化。

实例模型库是实例信息库中参数信息、设计特征信息的三维表现形式,通常主要包括整机、部件的装配模板,紧固件等标准件以及常用零件的参数化驱动模板。常见的参数化模型只考虑单个模型的建立,而忽略了设计与建模间的知识链接。本系统的实例模型在进行 PTS 模板创建时,基于实例信息库的实例知识组织形式,为三维模型添加符合实例信息库定义的实例属性,使其能够被系统识别读取,并在实例模型库中按照实例信息库的架构形式进行模型管理,完成闸阀设计系统的实例模型库构建。

图3为闸阀 6Z40H150LB. SNY 的整机实例,系统以交互界面的形式,提供设计者参数化实例库中的实例信息及相应的三维实例模型。

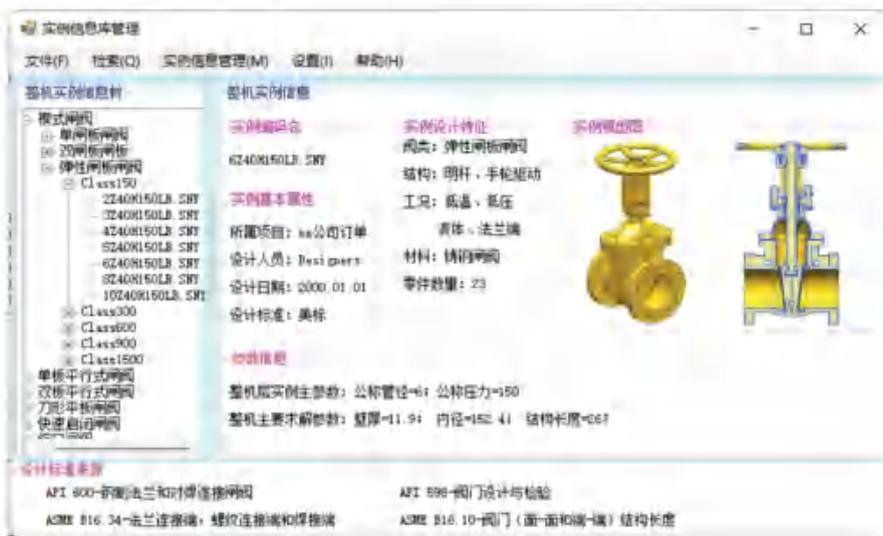


图3 闸阀 6Z40H150LB. SNY 整机实例

Fig. 3 Example of gate valve 6Z40H150LB. SNY complete machine

## 3 系统设计与验证

### 3.1 系统功能设计

本文在三维建模软件 NX 的基础上,利用 Visual Studio 进行对 NX 的二次开发,集成 SQL Server 数据库用于闸阀实例信息知识的存储。开发基于知识闸阀设计系统在用于产品设计时,系统工作逻辑应当符合产品正向设计的逻辑系统界面,既可用于设计人员输入指令,也具有引导闸阀设计的功能,设计出的尺寸参数驱动模型更新,最终完成设计并将结果用于更新知识库。图4为闸阀设计系统的总体应

用方案。

### 3.2 系统实例应用

本文以弹性闸板闸阀为例,论证基于知识重用的闸阀快速设计系统的有效性。通常的闸阀正向设计是将其自顶向下划分成整机-部件-零件并逐层设计,最终完成零件模板的参数驱动变型和零件整机装配。

(1)整体功能结构设计。在本阶段的闸阀设计任务中,主要是对已获取的工况条件如介质类型、介质温度等进行分析,系统对输入的工况信息进行提取对比,最终确定闸阀的型号和初始规格参数,并

从知识库中匹配出相似度最高的实例。闸阀整体结构设计界面如图 5 所示。

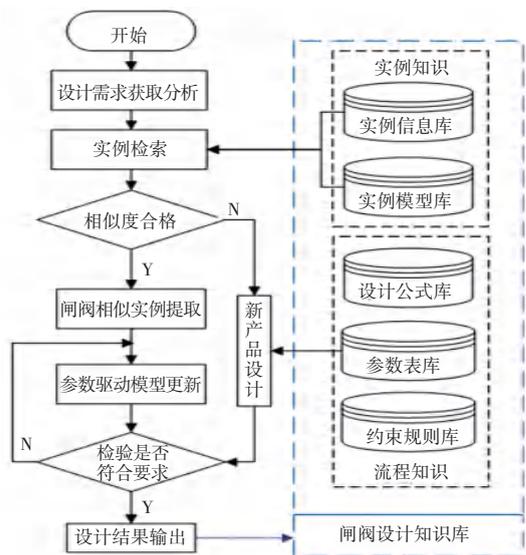


图 4 系统总体应用方案

Fig. 4 Overall application plan of the system

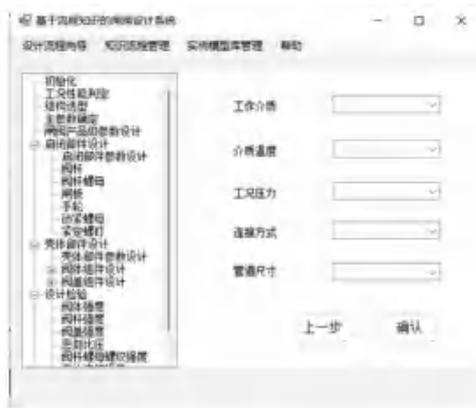


图 5 闸阀整体结构设计界面

Fig. 5 System interface for overall structural design of gate valves

(2) 装配层的主参数设计。在性能及初始规格参数确定后,如无客户特殊要求,则根据系统推荐的结构型号继续设计。后续每一层装配体设计时,按照闸阀流程知识模型存储的闸阀设计知识会为相应设计对象提供设计知识。以闸阀整机装配层的主参数壁厚设计为例,当输入闸阀的压力磅级和内径时,系统会提供相对应的应力系数和附加裕量,并提供了壁厚的自动计算功能,如图 6 所示。

(3) 自顶向下的建模与装配。在完成各层级的主参数设计后,进入到闸阀零件级的模型设计。进行零件的结构参数设计后,结果参数从界面控件传递到 PTS 参数化模板中,实现模型的驱动变形。将变型后的零件装配在装配模板的定位坐标系上,并通过修改装配骨架模型中的定位参数来进行模型装

配调整。在实现闸阀产品的快速设计与建模的同时,还减少了装配干涉等原因造成的设计速度延缓的问题。图 7 为基于装配骨架模板自顶向下设计建模的 10 寸 150 磅弹性闸板闸阀的整机装配模型图。



图 6 整机层主参数设计界面

Fig. 6 Main parameter design interface of the entire machine layer



图 7 整机装配模型图

Fig. 7 Complete machine assembly model diagram

## 4 结束语

本文对闸阀基于知识重用的快速设计方法进行了研究,将闸阀设计知识进行了整理分类,并进行了定义,使各类设计知识实现了结构化的表达,以产品正向设计理念构建了闸阀的流程知识模型,完整且规范地集成了产品设计知识。基于 NX 和 SQL-Server 建立了闸阀流程性设计知识库和参数化实例模型库,并集成开发了闸阀的快速设计系统,以弹性闸板闸阀为例,使用此设计系统完成了从获取设计要求到产品设计结果输出的正向设计任务,验证了此闸阀设计系统的有效性。这一基于知识的闸阀快速设计系统,在保证设计质量的前提下,提高了闸阀产品的设计效率。

## 参考文献

- [1] 李人望. 压裂开采用大口径远程控制液动闸阀的设计[D]. 武汉:长江大学,2020.
- [2] 张绍华,陶国庆,刘建锋,等. 浅谈高压平板闸阀阀座组件结构的改进设计[J]. 中国设备工程,2019(13):76-77.
- [3] 李晓星. 分体式可快速维修型闸阀的设计[J]. 机械设计与研究,2023,39(1):135-137.
- [4] 秦豪. 矿用机电联动液控闸阀的设计研究[D]. 太原:太原理工大学,2017.
- [5] 刘洪斌,田雨鑫,胡强,等. 70 MPa 下高压管汇防沉砂平板闸阀设计[J]. 现代制造工程,2018(8):139-144.
- [6] 王相兵,马士良,杜全斌,等. 面向起重机起升机构 CAD/CAE 设计的知识重用方法研究[J]. 机械设计与制造,2021(12):54-58.
- [7] 羊柳,徐亚栋,顾晓艳,等. 基于知识重用的火炮快速设计原型系统开发[J]. 弹道学报,2020,32(4):91-96.
- [8] 温静媛,苗鸿宾,刘晓峰. 基于知识重用的数控深孔加工机床的快速设计[J]. 制造技术与机床,2020(3):46-49.
- [9] 王姝婷,刘晓冰,周军华,等. 基于本体的复杂产品维修工程案例知识表示及重用方法[J]. 系统工程与电子技术,2022,44(2):557-568.
- [10] HOLLAND P D, WALSH J C, BENNETT J G. A qualitative investigation of design knowledge reuse in project - based mechanical design courses[J]. European Journal of Engineering Education,2019,44(1-2):137-152.
- [11] HE Yan, HAO Chuanpeng, WANG Yulin, et al. An ontology-based method of knowledge modelling for remanufacturing process planning[J]. Journal of Cleaner Production,2020,258:120952.
- [12] NIE Zifeng, ZHANG Peng, WANG Fang, et al. Sustainable innovation pathway for mechanical products by inducing characteristic parameters[J]. Advanced Engineering Informatics, 2021,49:101349.
- [13] 金博宇,周建波,周秋忠. 知识驱动膜片弹簧离合器参数化设计[J]. 机械设计,2021,38(S2):132-137.
- [14] 刘君泉,高博. 基于知识模型的自适应变型设计方法研究[J]. 现代制造工程,2019(9):7-13.
- [15] 乔文文. 基于知识工程的产品设计技术研究[D]. 唐山:华北理工大学,2021.
- [16] 王凤花,刘志迎,赖庆辉,等. 基于知识元描述的模型参数化设计交互式创建系统研究[J]. 农业机械学报,2021,52(11):431-442.