

汽轮机凝汽器圆弧形水室参数化设计关键技术

于红英, 李 硕, 王 强

(哈尔滨工业大学 机电工程学院, 150001 哈尔滨)

摘 要: 为提高机械产品的设计效率、缩短研发周期, 以汽轮机凝汽器圆弧形水室为例, 研究采用尺寸驱动的设计方法自动生成相互关联的实体模型和工程图的关键技术. 采用数据库作为 UG 和 AutoCAD 跨平台联动的接口, 数据库内设置临时记录来实现结构参数临时存储的功能, 引入链表数据结构解决了零件信息动态存储和调用问题, 提出基于已命名基准定位的自动装配方法, 给出工程图中参数化图块的开发过程及插入算法, 开发出了根据输入数据即时出图的计算机辅助设计软件, 提高了产品的设计效率 and 设计质量.

关键词: 参数化设计; 二、三维跨平台联动; 动态零件列表; 已命名基准定位; 图块

中图分类号: TP391.72; TK264.1

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2013)11-0032-06

Key technologies of arc water chamber's parametric design of steam turbine condenser

YU Hongying, LI Shuo, WANG Qiang

(School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, 150001 Harbin, China)

Abstract: To guarantee the design quality and improve the design efficiency of mechanical products, taking arc water chamber of steam turbine condenser as example, the paper researches the key technologies in the development process of parametric design system, which can generate both 3D models and associated 2D drawings automatically. Adopting database as the interface of UG and AutoCAD, 2D/3D bidirectional associated relationship is established across platforms. A nonpermanent record is set within the database to save parameters temporarily. Dynamic storage and invocation of parts information is realized by introducing linked-list data structure. Automatic assembly method based on named datum is proposed. Development process and insertion algorithm of modularized geometric figure are also presented. The experimental result shows that this parameter-driven software is a successful application of computer-aided design.

Key words: parametric design; cross-platform 2D/3D bidirectional associated relationship; dynamic parts list; named datum orientation; modularized geometric figure

水室是汽轮机凝汽器的重要组成部件, 水室结构和形状的合理设计对整个发电系统的安全、经济运行起着至关重要的作用^[1]. 水室的设计特点是结构庞大, 零部件数目繁多, 而且每个工程尺寸的调整都会给图纸带来较大变动. 设计人员需要不断重复进行建模和绘图工作, 大大增加了重复设计时间和冗余劳动量. 而采用知识驱动的设计方案、建立先进的参数化设计平台, 正是解决这

一问题的有效方法^[2-3].

参数化设计是指将模型中的结构尺寸作为能够进行调整的可变参数, 将模型结构的拓扑关系和几何约束体现在程序内部语句中, 当可变参数被赋予具体值时, 系统自动生成大小不同、形状类似的零件模型.

现代设计方法的一个重要要求在于已有设计的可再使用性^[4-5], 参数化设计方法极大地改善了制图、修图手段, 提高了设计柔性, 在实体造型、自动出图、概念设计、机构仿真、公差分析等领域^[6-7]都体现出了很高的实用价值, 得到广泛应用.

现今国内外产品的参数化设计普遍经历着一

收稿日期: 2012-12-28.

作者简介: 于红英(1968—), 女, 教授, 博士生导师.

通信作者: 于红英, mcadyhy@hit.edu.cn.

个从二维向三维转变的过程, 三维 CAD 是数字化设计的发展趋势并必将成为主要手段. 然而受国内现阶段机械加工业发展水平限制, 二维工程图仍起着不可代替的作用^[8]. 因此, 一个面向实际工程应用的 CAD 系统必须同时具备三维建模和二维出图的能力. 而现在大型三维设计软件的工程图均是基于三维模型自动投影生成的, 存在很大局限性, 比如企业内部的某些简化画法, 被遮挡轮廓线条的隐现表达和线型设置, 局部视图的生成, 特殊标注符号的绘制等根本无法实现. 软件自动生成的投影图需要经过大范围修改, 才能满足国标或者特定行业的制图标准及加工需求.

本文利用参数化设计的思想和跨平台二次开发技术, 在 UG 平台上进行三维模型设计, 在专业的二维绘图软件 AutoCAD 平台上进行工程图的绘制, 开发了汽轮机凝汽器圆弧形水室专用参数化设计系统, 实现了三维模型和二维工程图的交互操作和协同工作.

1 二、三维联动的接口技术

本系统是在三维建模部分进行结构设计的, 整套尺寸参数全部在实体建模系统完成输入和修改, 二维工程图部分只负责出工程图, 制图所需的所有参数都由三维系统提供. 当零部件三维模型参数发生改动时, 二维工程图随之自动调整. 因此软件开发过程中要研究的第一个关键点就是二、三维系统联动的接口技术. 图 1 为软件整体功能结构图, 箭头代表信息传递方向.

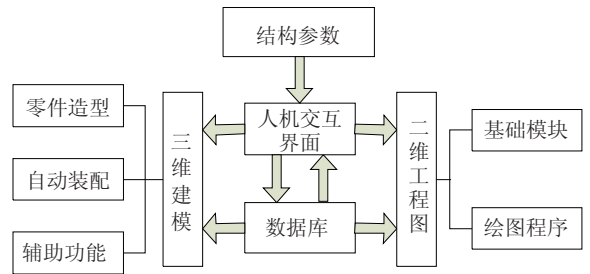


图 1 软件功能结构图

由图 1 可见, 本文将数据库作为两个平台的接口, 通过共用数据库的方法实现了信息共享. 数据库不仅要对所有参数进行有效地储存和管理, 而且作为三维建模系统和二维工程图系统关联协作的桥梁, 它还起到在 UG 和 AutoCAD 两个软件间传递几何尺寸、视图信息的作用.

本文选择 Access2003 数据源, 利用 MFC 中的 DAO 方式建立数据库应用程序. 在程序中开发了一个新的数据库操作类 CDbOperation 来封装数据库操作函数, 方便地实现了数据的读取、编辑、

保存及删除功能. 数据库中包含多个数据表, 数据表中的每个字段代表一种设计变量, 每行存储了一个型号水室的全部参数.

2 人机交互界面设计

水室的设计参数由对话框输入并保存在数据库的记录中. 进行水室设计时, 设计人员通常选择已有的某型号水室作为新设计的参考数据, 但在设计过程中可能会遇到计算机突然断电、设计人员临时外出等情况, 希望再次登录时能继续上一次的设计操作. 为解决该问题, 在数据库中建立了一条特殊的记录——临时记录, 它只用来存储正在修改的数据. 设计人员选择某型号水室的参数作为参考数据后, 软件自动将该型号水室的数据存入到临时记录中. 待三维及二维设计完成, 设计人员认为参数合理后, 再选择“数据保存”按钮, 软件会自动在数据库中命名一条新记录并将临时记录中数据复制到新记录中, 实现数据的保存.

按软件的开发流程, 本文开发了圆弧形水室参数化设计软件的人机交互界面, 其包括 UG MenuScript 菜单和 MFC 对话框两部分. 整体调用流程如图 2 所示.

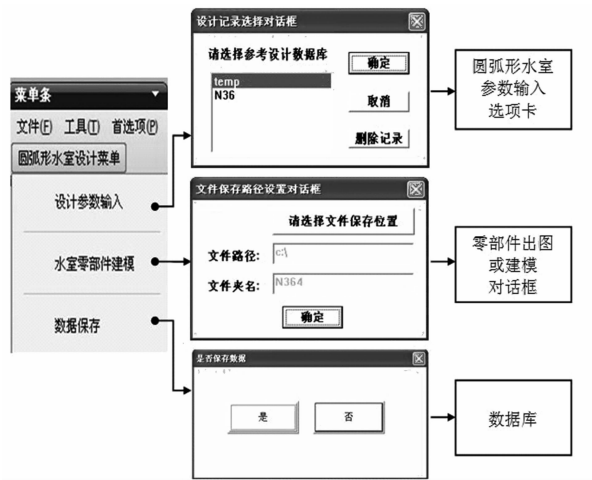


图 2 人机交互界面调用流程

菜单中包括“设计参数输入”、“水室零部件模型输出”和“数据保存”3 个项目. 点击“设计参数输入”项, 首先调出设计记录选择对话框, 对话框当中列出了数据库中所有已存储的水室型号, 在此对话框中可对已完成的设计记录进行删除操作, 也可从中选取一种已有型号作为新设计的参考数据.

选择参考记录后, 软件自动将选中型号的结构参数全部复制到临时记录中, 然后调出水室参数输入对话框. 对话框内最初显示的是从临时记录中读取的参考数据, 设计人员可在其选项卡中输入新图号并对尺寸进行修改. 输入完毕进行干

涉校验,如果某个数据输入不合理,系统会提示错误原因并要求设计人员修正;校验结束后,软件会将对话框内新输入的数据保存到临时记录中。

完成参数输入后回到菜单条,点击进入建模或出图模块,首先选择图形文件保存路径,然后调出水室零部件建模对话框。建模对话框从数据库内临时记录中读取图号和尺寸参数,计算并生成零部件列表,动态显示在模型输出界面以供用户调用。

综上所述,无论是设计参数输入还是零部件输出,都只和数据库中的临时记录进行直接数据交换,即临时记录中存储的永远是正在修改和使用的参数,因此,只要在设计记录选择对话框中选中临时记录,就可以恢复最近一次的设计状态。这就顺利地解决了断电、设计未完成等突发状况问题。

待三维设计和二维出图全部完成后,则可点击菜单栏中的“数据保存”项,软件将在数据库内新建一条以新水室型号命名的记录,并把临时记录中的数据全部复制到新记录下,正式完成数据的永久保存。

显然,上述过程中涉及到用 UG MenuScript 菜单调用 MFC 对话框,再用 MFC 对话框的控件调用 UG 造型程序的动态链接库文件,因此实现此功能的关键在于妥善处理 UG 应用程序与 MFC 界面程序之间的接口关系。

3 零件信息动态存储和调用技术

无论是出图菜单还是二维工程图中的明细栏,都需要用到零件列表。随着设计参数的变化,零部件的参数信息也是动态改变的。例如水室零件列表内包含多种类型的肋板,肋板的数量会随着两肋板间间距的变化而变化。当肋板数量变化时,肋板的尺寸、形状、质量等都会发生变化。显然,零件列表中其他零件的序号和建模参数也要随之牵连改动。若采用普通的数据库存储方式,根本无法完成零件信息表的即时更新,不能满足程序的快速性、实时性要求。因此如何实现零件信息的动态存储和调用,是软件开发过程中的关键技术之一。

本文引入链表数据结构来实现这一功能。链表内包含一系列节点,这些节点都是在创建链表对象过程中动态生成的。节点由存储数据的数据域和存储下一个节点地址的指针域构成。通过改变链表中指针的排列顺序,可以方便地完成数据元素逻辑顺序的改变。链表的这种特殊结构使其能够快速实现在任意指定地址编辑节点,而且不会存在类似数组的越界问题。

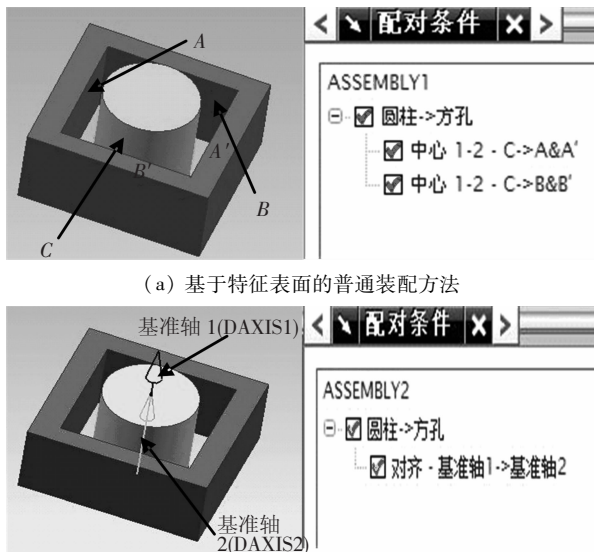
利用 MFC 中提供的 CPtrList 链表类变量建

立一个零件列表。链表内的添加对象通常为结构体,因此可以定义一个水室零件专属的结构类型,结构类型中的数据成员就是零部件的制图参数,比如零件序号、图号、数量、材料、单重、部件总重、备注信息等。将圆弧形水室的每个零件都定义成这种结构类型的一个对象,就可以作为链表的节点,在零件列表的任意地址进行编辑、插入和删除,实现了零件信息的实时动态存储。当需要输出零件信息时可遍历链表,从相应节点位置直接读取调用存储内容,即可获得对应零件的全部信息。

4 自动装配技术

虚拟自动装配的难点并不在于施加配对条件、求解装配约束本身,而是在于如何从大量的几何元素中快速分离出所需的装配要素。在虚拟自动装配中必须明确的装配要素主要包括:① 装配部件,即主动件和从动件的确定;② 装配部件上要施加约束的实体特征,如轴孔配合中相接触的圆柱表面或需要对齐的中心轴等。由于装配体组成部件繁多、结构复杂,准确选取匹配表面并获得其标识这项工作,原本通过手动点击的交互式操作很容易完成,然而一旦离开了人工辅助并完全交由程序自动实现时就变得十分不易。

针对上述问题,文中采用了基于已命名基准定位的自动装配方法。其原理是各个零部件之间的约束定位关系和具体的零部件结构无关,是可以独立存在并反作用于零部件上的^[9],因此完全可以采用已命名的基准轴或者基准面,来代替在装配中实际被约束的点、边缘、表面施加装配约束,从而完成基准所在零件的配合。现以将圆柱装入方形孔的实例来对比两种自动装配方法的优劣,见图3。



(b) 基于已命名基准定位的自动装配方法

图3 两种装配方法的对比

基于零件特征表面的普通装配方法如图 3(a) 所示. 装配时, 程序首先遍历装配件的所有特征表面, 根据表面类型、法矢量方向等形位属性来确定装配要素, 即从两个零件的 13 个外表面里筛选出方孔的孔壁 A 和与之正对的 A' 、 B 和与之正对的 B' 及圆柱面 C 这 5 个装配面的标识, 共要进行 43 次筛选才能完成. 采用已命名基准定位的自动装配方法如图 3(b) 所示. 按此装配方法, 在建模时为两个零件均添加了辅助装配的中心基准轴, 并且分别命名为 “ $DAXIS1$ ” 和 “ $DAXIS2$ ”, 装配时只需要按名称属性查找两次, 就能获得两个基准轴的标识. 从配对条件上看, 普通装配方法要施加两次 “中心 1-2” 约束, 使得 C 同时位于 A 和 A' 的中央、 B 和 B' 的中央; 而基于命名基准的装配法只要施加一次 “对齐” 约束, 使两零件中心轴共线就可以成功求解配合关系.

上文所述仅仅是两个简单零件完成一种配合关系时两种装配方法的差别. 在实际工程项目中, 装配树层次复杂, 零件特征表面繁多, 需要施加大量的定位约束. 采用已命名基准定位的自动装配方法会显出更大优势, 它不仅省略了利用大量递归循环程序反复遍历装配操作树、搜索所需装配要素的步骤, 而且在很大程度上简化了配对条件, 显著节约了程序运行时间和内存.

5 自动出图关键技术研究

制图程序从数据库中获取三维设计所确定的结构参数及零件信息, 完成工程图绘制和明细栏填写. 二维参数化设计系统是以 Object ARX 作为二次开发工具^[10], 在 AutoCAD 平台下完成的, 由基础模块和绘图程序构成.

5.1 参数化图块的开发

凝汽器圆弧形水室专用参数化设计软件的基础模块分为通用绘图工具子模块和特殊图形显示子模块^[11] (简称图块) 两部分. 通用绘图工具子模块的作用是开发出一系列绘图工具函数, 用相应的参数化程序代替 AutoCAD 窗口中的交互式操作完成绘图动作, 其主要功能有 6 种: 画线, 如绘制直线、椭圆、样条曲线等; 标注, 如水平尺寸标注、半径/直径标注等; 变换, 如镜像、旋转、放缩、平移等; 格式, 如设置图层、线型、颜色等; 幅面, 如图纸样式、标题栏等; 计算, 如角度转换、极坐标计算等.

然而工程图中除上述具有通用性的基本绘图操作外, 还存在一些特殊图形, 它们的特点是尺寸和结构固定、放置位置不固定, 并在工程图中多次

出现. 对于这种情况, 可以将这些图形创建成独立的参数化图块, 只在需要的地方插入显示即可, 避免了每次使用都要重复绘图的麻烦. 针对凝汽器圆弧形水室开发的图块包括: 专用件视图, 如系绳柱投影图、水室梯子投影图等; 标注符号, 如粗糙度符号、焊接符号和剖切符等.

现以系绳柱为例来说明参数化图块的开发过程. 系绳柱是一种企业内部的专用配件, 围绕着水室的外壁圆周布置. 系绳柱的俯视剖面图如图 4(a), 其主视图上的投影随系绳柱位置的变化而变化, 因此系绳柱图块开发的关键在于投影曲线方程的推导. 根据系绳柱在主视图内投影的构图要素 (投影曲线的类型和条数), 可以将投影角度 α ($0^\circ \sim 90^\circ$) 划分成几个区间. 图 4(b) ~ (f) 给出了处于 5 个临界位置时系绳柱的投影图. 位置一处只显示系绳柱端面的一个圆, 位置五处显示的是侧面投影出的矩形线框, 显然其投影角度分别为 $\alpha = 0^\circ$ 、 $\alpha = 90^\circ$, 其他临界角度的计算过程如下.

针对位置二有

$$h \sin \alpha = \left(\frac{D}{2} - \frac{d}{2} \right) \cos \alpha. \tag{1}$$

由式(1)可得

$$\alpha = \arctan \left(\frac{D-d}{2h} \right).$$

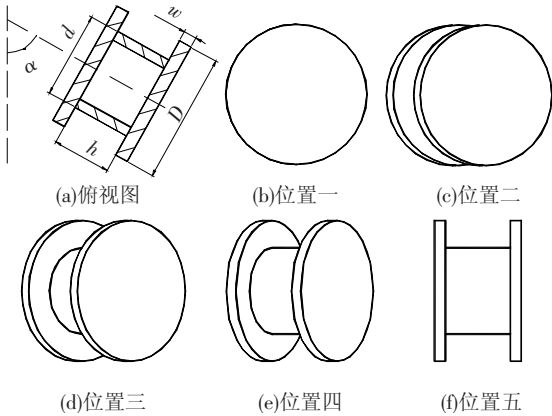


图 4 系绳柱俯视图及临界位置投影图

图 5 为系绳柱在不同投影角度下的投影要素图. 对于临界位置三, 可以根据图 5(a) 列出方程. 该图中椭圆 ① 的方程为式(2), 椭圆 ② 的方程为式(3), 两椭圆的交点坐标为 $(0, \pm d/2)$.

$$\frac{4y^2}{d^2} + \frac{4x^2}{d^2 \cos^2 \alpha} = 1, \tag{2}$$

$$\frac{4y^2}{D^2} + \frac{4(x - h \sin \alpha)^2}{D^2 \cos^2 \alpha} = 1, \tag{3}$$

联立式(2)和式(3)得

$$\alpha = \arctan \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{2h}.$$

针对临界位置四,可根据图 5 (b)列出方程. 图中椭圆① 的方程为式(4),椭圆③ 的方程为式(3).

$$\frac{4y^2}{D^2} + \frac{4x^2}{D^2 \cos^2 \alpha} = 1, \tag{4}$$

椭圆 ① 和 ③ 的交点纵坐标为 $\pm d/2$, 联立式(4)和式(3)得

$$\alpha = \arctan(\sqrt{D^2 - d^2}/h).$$

将 D 、 d 、 h 的值代入不同临界位置时 α 角的表达式中,得到各个临界角度 α ,如表 1 所示.

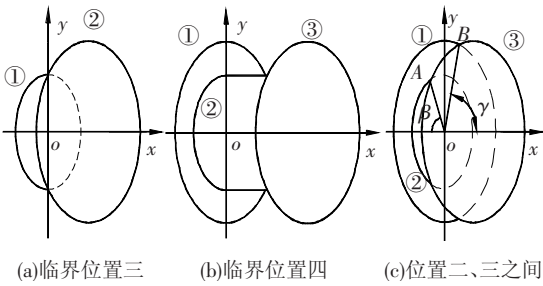


图 5 系绳柱在不同投影角度下的投影要素图

表 1 临界角 α					
角度	位置一	位置二	位置三	位置四	位置五
$\alpha/(^{\circ})$	0	20.42	39.69	58.93	90

在由临界角度划分出的各个区间内,系绳柱投影图的构图要素相似,但各段曲线的相对位置和具体形状随 α 值的不同而发生变化. 现以位置二和位置三之间的区域为例进行分析. 图 5 (c) 显示的是 $39.69^{\circ} > \alpha > 20.42^{\circ}$ 时的投影要素图. 交点 A 、 B 是椭圆 ① 和椭圆 ② 线型改变的临界点: 两椭圆在 A 、 B 点左边的部分未被椭圆 ③ 遮挡,应以粗实线绘制;右边被遮挡部分以虚线绘制. 而确定 A 、 B 点具体位置的角度 β 和 γ 可由投影角 α 确定.

椭圆① 的方程为式(4),椭圆② 的方程为式(2),椭圆③ 的方程为式(3).

联立式(4)、(2)、(3)可得

$$\beta = \arctan \left(\frac{\sqrt{\frac{d^2}{4} - \left(\frac{h}{2} \cdot \sin \alpha - \frac{(D^2 - d^2) \cos^2 \alpha}{8h \sin \alpha} \right)^2}}{\cos^2 \alpha} \right),$$
$$\gamma = \arctan \left(\frac{\frac{h}{2} \cdot \sin \alpha - \frac{(D^2 - d^2) \cos^2 \alpha}{8h \sin \alpha}}{\cos^2 \alpha} \right).$$

$$\gamma = \arctan \left(\frac{\sqrt{D^2 \cos^2 \alpha - h^2 \sin^2 \alpha}}{h \sin \alpha \cos \alpha} \right).$$

求出 β 和 γ 关于设计参数 α 的表达式后,即可完成这一区间内系绳柱图块的开发. 其绘图函数声明如下: `void XiShengZhu ( AcGePoint3d ptCenter, double D, double d, double w, double h, double a )`; 其中,参数 `ptCenter` 表示系绳柱图形的插入点位置,参数 `a` 代表在俯视图上系绳柱轴线与正前方的夹角 α ,参数 D 、 d 、 w 、 h 含义见俯视图中的标注. 其他区间内参数化图块的开发方法类似.

5.2 图块引用算法

绘图程序中会涉及到参数化图块的引用和插入,利用基础模块内编写好的图块操作函数,不仅能方便地将图块插入图幅中的任意指定位置,还可以对图块对象进行比例放缩、旋转移动等操作,算法流程如图 6 所示. 图块的应用解决了圆弧形水室参数化设计中一系列定型复杂图形的绘制问题,使程序的可重用性和移植性大大提高.

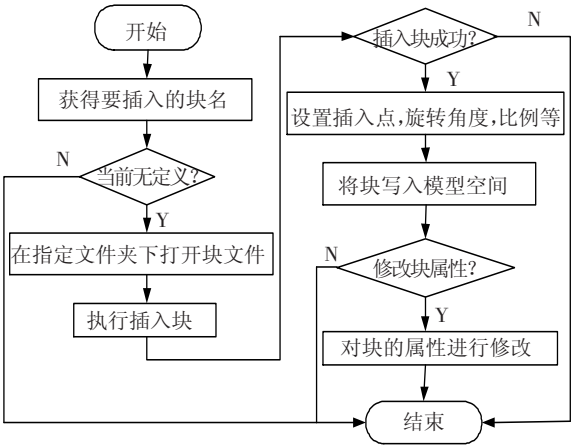


图 6 块图插入算法流程

6 软件应用实例

凝汽器圆弧形水室参数化设计系统开发完成后,用客户提供的多套不同设计参数对其进行了测试. 在人际交互界面输入整套结构参数,点击对话框中建模和出图按钮,UG 系统输出零件实体模型和水室装配模型,CAD 系统生成相应的工程图,原本需要多人多天去建模和绘制的水室图纸瞬间就能够完成;而且三维部分参数调整后工程图随之自动关联更新,有效避免了人工改图极易出现的误改或疏漏等状况,大大提高了水室设计效率和质量. 图 7、8 分别为利用系统生成的某型号水室(左)的工程图及装配模型.

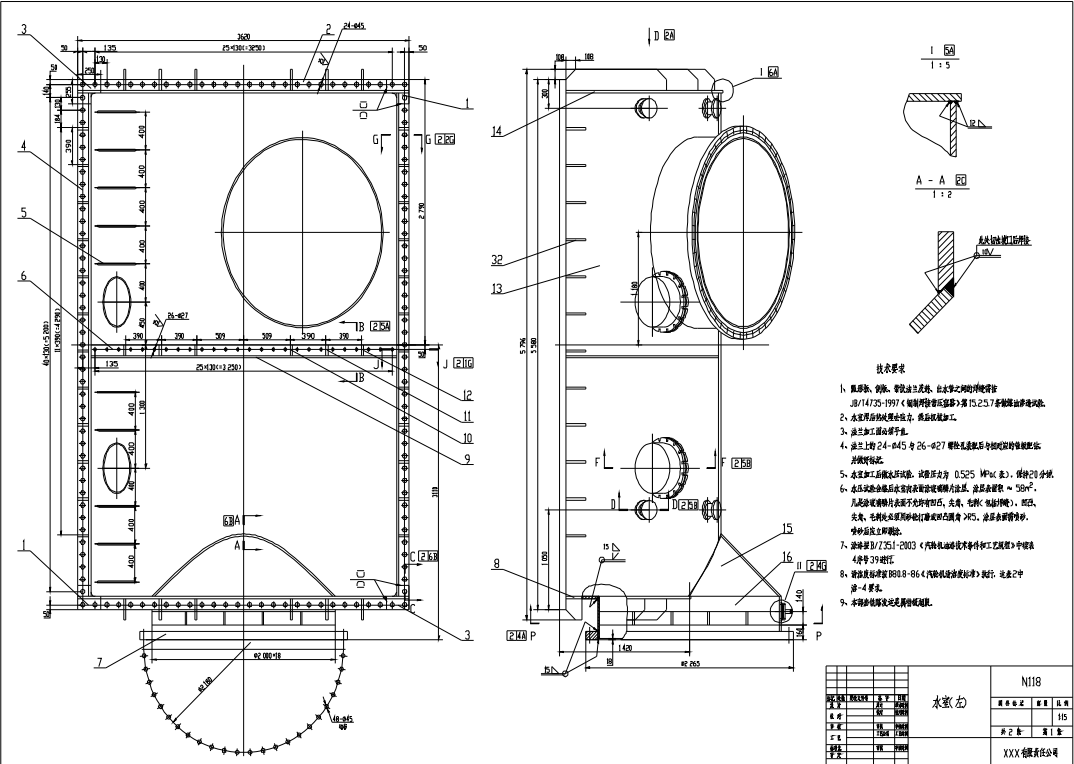


图 7 软件输出的某型号水室(左)工程图

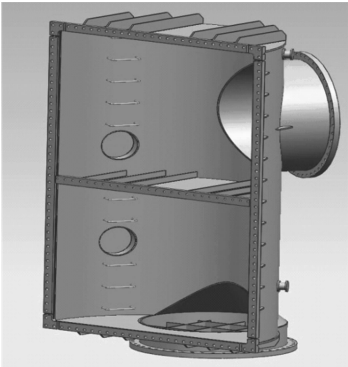


图 8 软件输出的某型号水室(左)模型

7 结 论

1) 本文以汽轮机凝汽器圆弧形水室为例,提出了参数化设计系统开发的总体思路和关键技术,设计了具有动态出图菜单的人机交互界面,建立了用于实现三维造型和二维制图联动的数据库,阐述了三维建模和自动装配的实现步骤,并给出了参数化工程图块的开发方法及引用算法。

2) 本文开发的针对汽轮机凝汽器圆弧形水室设计的专用软件,可提高产品的设计效率和设计质量,为其他机械产品参数化设计系统的开发提供了新的通用技术和研究方向。

参考文献

[1] 马立恒,王运民. 火电厂凝汽式汽轮机冷端运行优化研究[J]. 汽轮机技术,2010,52(2):138-140.

[2] ROLLER D. An approach to computer aided parametric

design[J]. CAD Computer Aided Design, 1991, 23(5): 385-391.

[3] KONDO K. PIGMOD: Parametric and interactive geometric modeling for mechanical design[J]. CAD Computer Aided Design, 1990, 22(10): 633-644.

[4] 王玉,邢渊,阮雪榆. 机械产品设计重用策略研究[J]. 机械工程学报,2002,38(5):145-148.

[5] BUCHANAN S A. Constraint definition system: a computer-algebra based approach to solving geometric-constraint problems[J]. CAD Computer Aided Design, 1993, 25(12): 741-750.

[6] ANG Xueye, GUO Yongkun. Parametric 3D modeling of worm and worm gear based on AutoCAD[J]. Computer Aided Drafting, Design and Manufacturing,2010,20(1):9-14.

[7] HAN Xiaoming, BO Yucheng. Parametric design research of cam drive mechanism[C]//The 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering 2011, Hohhot: IEEE Computer Society, 2011:508-510.

[8] 陈雪颂. 基于三维模型的二、三维一体化技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2004.

[9] 杨玲玲,胡树根,王耘,等. 基准定位的自动装配技术[J]. 轻工机械,2008,26(1):59-62.

[10] KOMOTO H, TOMIYAMA T. Integration of a service CAD and a life cycle simulator[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2008, 57(1): 9-12.

[11] 王强. 基于 AutoCAD 的汽轮机圆弧形水室参数化设计软件开发[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.

(编辑 杨 波)