

面向生命周期管理的船体结构信息集成模型研究

李 楷^{*1,2}, 陈 明^{1,2}, 林 焰^{1,2}, 纪卓尚^{1,2}

(1. 大连理工大学 工业装备结构分析国家重点实验室, 辽宁 大连 116024;
2. 大连理工大学 船舶 CAD 工程中心, 辽宁 大连 116024)

摘要: 针对船体结构全生命周期管理的特点, 设计了船体结构信息集成模型的数据结构. 借鉴其他行业中产品生命周期管理的模型应用情况, 利用 XML、OpenGL 和文件压缩等支撑技术, 建立了 3D 轻量化模型浏览环境. 以一艘 68000DWT 油船为例进行了应用研究, 结果表明, 此模型能将设计模型、维护保养模型与评估模型衔接起来, 使船体结构的生命周期管理成为一个闭环操作, 同时轻量化图形的应用既加快了图形的浏览速度, 又减少了用户的图形交互操作, 保证了系统的可靠性.

关键词: 船体结构; 生命周期管理; 信息集成; 轻量化图形

中图分类号: U662.9 **文献标志码:** A

0 引言

船体结构的 CAD 表达手段正由二维向三维过渡, 但无论是二维还是三维, 传统的 CAD 模型仅适用于设计制造阶段, 而不适用于全生命周期的其他阶段. 传统 CAD 模型的局限性在于: (1) 只能提供基本图形信息, 而不能直接提供各种计算需要的有效信息. 比如, 要根据典型横剖面图计算剖面模数, 或根据外板展开图计算涂装面积, 都需要经过一定的步骤将基本的图形信息(文字标注、长度、面积…)转化为计算数据, 这往往限制了其在营运阶段维护保养的反应速度. (2) 存在冗余信息. 现有 CAD 模型通常包含大量的几何细节甚至建模过程信息, 而这些信息对于全生命周期内其他阶段是不需要的. (3) 易被修改. 在查看现有 CAD 模型时, 基本上只能利用其建模环境浏览, 对于非设计者的浏览者来说, 很容易在浏览过程中因操作不当修改原始模型, 造成不良后果. 并且在维护保养阶段, 对于操作人员来说修改模型也是不必要的功能. (4) 不利于知识产权保护. 现有 CAD 建模工具一般都是针对设计阶段, 其 CAD 模型包含大量的设计过程信息, 这是设计者关于设计对象最重要的智力资产. 而使用现有

CAD 模型进行交流, 很容易泄露设计过程信息, 引起不必要的损失. (5) 不利于异地协同应用. 以一个舱段为例, 采用目前的三维 CAD 软件建立较细致的船体结构模型, 文件大小一般会达到 500 MB, 整船的结构模型文件则至少要达到 2 GB 左右的量级. 显然, 在目前的网络条件下, 要与异地协同人员共享这些数据有一定的难度.

显然, 采取一种新的船体结构 CAD 表达方式对解决全行业的这一问题具有现实意义^[1]. 事实上, 在航空航天、机械、汽车等领域, 也有类似的问题, 在这些行业中的一个解决方案是采用轻量化模型, 并取得了很好的效果^[2~4]. 本文基于轻量化模型的思想, 结合船体结构的特点和船舶行业的实际情况, 以 XML 为模型表达工具, 以 OpenGL 为图形显示平台, 结合文件压缩技术在船体结构 CAD 模型轻量化这一方面进行探索, 并研究在全生命周期管理中数据集成问题.

1 轻量化模型研究

1.1 轻量化模型特点

为实现在全生命周期内对产品的三维模型快速浏览和信息查询, 一个理想的轻量化模型应该

具有以下主要特点:(1)模型文件小,相对于原始模型压缩比高.模型浏览速度快,并且有利于模型异地传输.(2)平台无关性.浏览轻量化模型不依赖于原始模型的建模环境,有利于非专业人士查看设计模型.(3)信息适用性.既不包括冗余信息,又能完全清楚表达产品结构信息.

1.2 轻量化模型研究现状

轻量化模型由于其优点显著,吸引了很多世界上有影响力的大公司参与研究.研究的重点主要集中于:具有更高压缩比的压缩手段;对 PLM 需求最大程度的支持.

典型的轻量化模型格式主要包括:

(1)3D XML^[5]. 3D XML 是由达索公司开发的一种通用的、轻量的、基于 XML 的数据格式. 3D XML 将原模型中的复杂数据高度压缩,提供快速的文件传输和缩短加载时间,同时保持交换文件的精确几何图形.由于 3D XML 完全基于标准的 XML,一般软件程序都能使用标准工具读取、编辑和增加 3D XML 的内容.在 CATIA 软件环境下,可以将三维模型直接存为 3D XML 格式.

(2)eDrawing^[6]. eDrawing 被称为全球第一种支持电子邮件交流三维产品数据的工具,由达索公司开发.它的特点在于采用 exe 文件格式,也就是将浏览器和轻量化模型文件合二为一.在 SolidWorks 软件环境下,可以将三维模型直接存为 eDrawing 格式.

(3)JT^[7]. JT 是由西门子公司开发的一种用于产品可视化、协同设计和 CAD 数据交换的 3D 数据格式.它可以存储由一般几何数据、精确的复杂曲面数据、产品制造信息和各种元数据这些信息组成的任意集合.据称 JT 是目前世界上应用最为广泛的 3D 文件格式,它的数据格式是公开的,并提供了相应的编程接口.在 UG NX 软件环境下,可以将三维模型直接存为 JT 格式.

(4)PLM XML^[8]. PLM XML 是由西门子公司开发的一种基于 XML 的数据格式,主要用于管理产品生命周期数据,因此它不仅关注于表达几何数据,而且涵盖了产品结构、加工工艺等管理信息. PLM XML 的数据格式也是开放的,并具有良好的扩展性.它通过指针机制引用外部文件使自身文件轻量化.

(5)U3D^[9]. U3D 是由“3D 工业论坛”提出的一种开放的 3D 文件格式.目前大多数 CAD 文件都可以转换为 U3D 格式. U3D 格式自发布以来,就得到了 Adobe 的支持.从 Adobe Acrobat 7.0 开始,Adobe 的 PDF 格式支持在文档中嵌入 U3D 模型.

(6)X3D^[10]. X3D 是由 Web3D 提出的一个用来发布三维内容的开放标准. X3D 不仅仅是一种程序 API,或仅仅是一种用来交换几何数据的文件格式, X3D 能把几何数据和运行时行为的描述结合到单一的文件中,并且这个文件可以使用包括 XML 语言在内的不同的文件格式. X3D 是对 VRML97 ISO 规格进行的新的修订.

(7)XVL^[11]. XVL 是由 Lattice 公司开发的一种基于 XML 的轻量 3D 数据格式.与 3D XML 类似, XVL 文件也可以嵌在网页、文档或程序中.但 XVL 的特点在于采用 Gregory 曲面描述实体曲面,可以保证较高的压缩比和精度. Lattice 公司为一些常用的 CAD 软件设计了 XVL 转换器,以生成 XVL 格式文件.

尽管目前的轻量化模型格式有如此多种类,但它们的共同点是主要用于设计审阅、标注、网络浏览,没有考虑存储模型部件的自定义信息,以及模型几何信息的提取.

1.3 船体结构生命周期管理需求

在船体全生命周期内使用轻量化模型表达船体结构并支持维护保养活动,至少需要解决以下问题:(1)用图形表达船体构件的属性(厚度、材料、应力…),以直观地向管理人员反映船体结构状态,并生成管理信息;(2)提取船体构件的工程计算信息,以进行性能计算、安全评估;(3)建立起舱室与构件之间的联系,可根据舱室名称查看相关的结构.

可见,由于船体结构生命周期管理的特点,现有的轻量化模型格式难以满足要求,需要建立一种专用于船体结构生命周期管理的信息集成模型.该模型不仅要采用轻量化图形表达构件的几何信息,而且要存储船体构件的管理信息,并能用图形描述部分管理信息.

2 船体结构信息集成模型研究

船体结构信息集成模型(ship structure

information integration model, SSIIM) 应包括:

(1)图形信息. 其中记录了构件的名称和几何信息. 对于每一个构件,都由程序生成一个与之对应的显示列表名称. 在模型初次被打开时,默认显示所有的构件,随后可以根据不同的选择条件查找对应构件的显示列表名称,显示其图形信息.

(2)构件属性信息. 其中记录了构件的各种管理属性,比如材料、板厚、面积、重量、涂层参数、维护保养要求等. 构件的截面型式、材料等信息以库的形式存放. 为每种属性设置不同的取值配色方案,就可以直观地显示结构的各种状态.

(3)结构-舱室关联信息. 在实际的维护保养活动中,通常是根据舱室名称查看其关联结构的情况,这时需要对构件-舱室的关系做出定义. 船体结构信息集成模型的数据结构如图 1 所示.

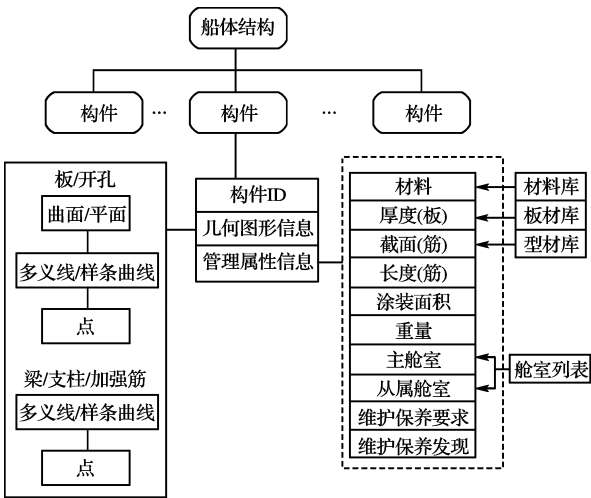


图 1 船体结构信息集成模型的数据结构

Fig. 1 Data structure of SSIIM

在生成船体结构信息集成模型时,需要特别注意构件划分原则、构件与舱室的关系等问题. 现就这两点展开论述:(1)构件划分. 根据实际情况制定构件划分原则,不同的管理需求会产生不同的构件划分方式. 比如散货船顶边舱内的环形强肋骨腹板,是由若干块板组成的. 如果腹板厚度一致,并且在每次测厚结束后对于强肋骨腹板也只取一个厚度进行强度评估,就可以认为强肋骨腹板即是一个构件. 但对于散货船货舱舷侧肋骨,由于 IACS 的要求,需要分成 4 个区域进行测厚,这就需要将一个构件拆成 4 个零件.(2)构件与舱室

的关系. 船体构件与舱室的关系比较复杂,首先是空间上交错,其次是逻辑上共用. 这要求在建模时就应确定这些关系,或在建模之初制定一个原则,以免错误显示. 比如散货船顶边舱与货舱共用的构件为顶边舱斜板,无论在查看货舱关联结构还是在查看顶边舱结构时都必须显示,但此时需要界定顶边舱强肋骨与顶边舱斜板的关系. 一般情况下,骨材是板材的附属结构,应随同板材显示,而此时如果在显示货舱结构的同时也显示出了顶边舱强肋骨,则容易造成混淆. 因此,对于这种情况应事先制定好规则.

3 船体结构信息集成模型支撑技术

船体结构信息集成模型的内容决定了它的实现将涉及到图形显示技术、属性描述技术和文件压缩技术.

3.1 图形显示技术

当前三维 CAD 模型的实现方式主要有线框模型、表面模型和实体模型 3 种手段. 组成船体结构的两种基本元素板和加筋的厚度特征尺寸远小于其他两个维度的特征尺寸,在用计算机三维图形表达船体结构时,运用表面模型就可以满足要求. 采用表面模型而不是实体模型可以看做轻量化的第一步.

在对船体构件的图形表达上,也可以采用一些与传统 CAD 模型不同的方法,来降低模型的复杂度. 在传统的 CAD 模型里,图形显示需要大量的数据支持,比如一块板被人孔、减轻孔、型材穿越孔等孔类图形元素贯穿后,这块板的边界就发生了变化,需要记录多边形和孔边界的交线;对于船体曲面,则由 NURBS 曲线曲面表达等. 对于这种情况,在轻量化模型里可以建立一种特殊的描述机制:在图形显示上,分别表达原来的板和孔,不进行布尔运算,用不同的颜色区分. 对于曲线曲面也进行简化,以多义线代替曲线,以平面组合代替曲面;在属性描述上,使孔类元素的板厚恒为负值,其他属性与板类构件完全相同. 这样既减轻了图形显示需要的数据量,又保证了计算属性. 尤其是在处理边舱和首尾尖舱等开孔、曲面较多的复杂结构时,采用这种方法使得数据准备工作量为降低. 图 2 示例了在轻量化模型里对一个开孔板的简化表达方法.

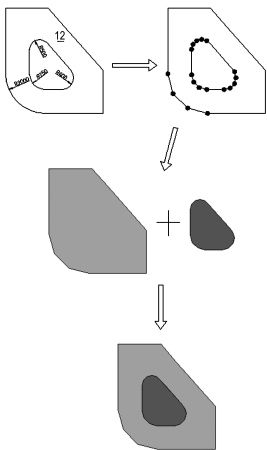


图 2 复杂图形轻量化表达方法

Fig. 2 Simplifying method of complicated graph

OpenGL 是一个与硬件图形发生器的软件接口,它包括了 100 多个图形操作函数,开发者可以利用这些函数来构造景物模型、进行三维图形交互软件的开发.本文选用 OpenGL 作为三维图形造型平台进行研究.

3.2 属性描述技术

在船体全生命周期内表达结构几何形状的图形信息相对变化较少,而属性信息一直在变化,在

轻量化模型里将图形信息和属性信息分别表示.当船体结构在 CAD 建模环境里被最终确定后,各构件的面积、容积、体积、惯性矩等属性也可求出,在轻量化模型里构件就可只用于显示而不必再进行计算.除此之外,在模型的其他使用阶段,还应考虑到用户可能会有添加任意属性的需求.因此在属性描述方面,应有良好的开放性,并需要一个能全面描述各种属性的载体.

作为一种标记语言,XML 已经发展成为当前处理结构化文档信息的有力工具^[12].XML 最大的特点是将数据结构化,实现数据共享.由于其简单易用,目前大多数应用程序都支持对 XML 格式的操作.在前面介绍的各种轻量化模型格式中,3D XML、PLM XML、X3D 和 XVL 都是基于 XML 开发的.XML 不仅能存储字符信息,还可以存储图片,这将使查看船体结构任意部位的现场照片更易于管理.

根据以上思路,可以确定在轻量化模型里用表面模型表达船体结构的数据类型.并可按此建立相应的 XML Schema,生成 XML 文档.表示一根纵骨的 XML 片段如图 3 所示.

```
<?xml version="1.0" encoding="gb2312" ?>
- <Beam id="9308" name="Stf1308" group="HepLongStf" type="L" side="left" flangeheight="90" flangethickness="9" webheight="140" webthickness="9">
- <PolyLine>
  <Point x="82400" y="14827" z="10387" />
  <Point x="92400" y="14827" z="10387" />
</PolyLine>
<Orientation i="-0.866" j="0.5" />
</Beam>
```

图 3 基于 XML 的船体构件属性表达

Fig. 3 Attribute expression of structural member using XML

3.3 文件压缩技术

为使模型文件更进一步轻量化,减小文件的体积是一个很有效的方法.一般有两种实现手段:(1)设计一种高效的数据格式,以简洁的代码描述复杂的信息,这需要再设计一种对应的解码机制,以读取描述高含量信息的代码.显然这种方式比较复杂,典型的应用以 JT 格式、PLM XML 为代表.(2)采用基于 ZIP 或 RAR 的压缩技术.修改文件时需要先利用 WINZIP 或 WINRAR 将文件解压缩.这样做的好处是降低了文件容量的同时又保证了压缩后的文件不易受损.典型的应用以 3D XML、XVL 为代表.本文基于 Xceed Zip Compression Library 5.0 控件研究以文件压缩的方式使模型文件轻量化.

基于这 3 种核心技术生成船体结构信息集成

模型的流程如图 4 所示.

4 船体结构信息集成模型应用研究

4.1 模型维护

如前所述,在船舶的营运维护保养阶段,如无发生破损事故,船体结构的拓扑不会发生变化,但船体构件的状态却时刻发生着变化,在进行维护保养之前首先需要勘验并记录船体构件的状态,才能更经济地制订维护保养计划和更准确地进行船体状态评估(CAS/CAP).船体构件的状态中,如厚度、涂层厚度等参数可以数值描述,但构件的屈曲、开孔、裂纹、锈蚀等失效形式无法用数值描述,用文字也不尽能描述清楚,在实际操作中一般以图片附件的形式记录.

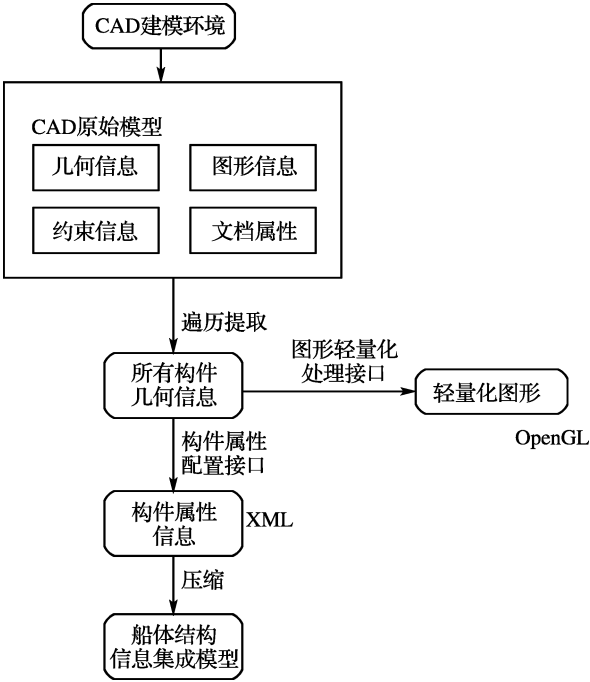


图 4 船体结构信息集成模型的建模流程
Fig. 4 Modeling process of SSIIM

但若发生破损事故,进行维修后船体增加或去除了部分结构,原模型就不能再反映真实情况,根据修后的实际勘验结果,返回到建模环境修改模型,对于结构去除的情况,将原模型中相关构件的有效性设为否;对于结构增加的情况,则增加相关构件. 然后重新执行轻量化过程以生成新模型.

整个模型维护流程如图 5 所示.

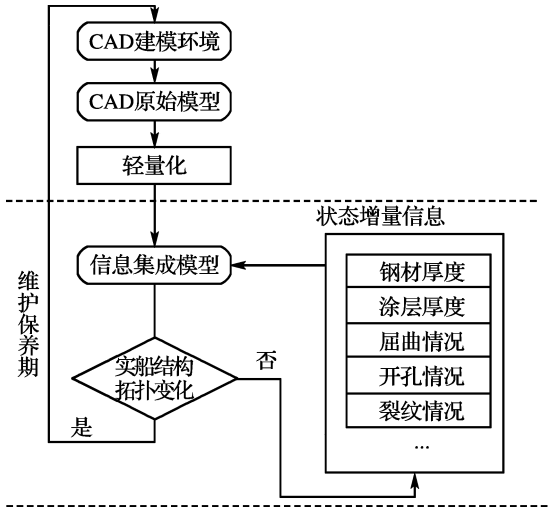


图 5 船体结构信息集成模型的维护流程
Fig. 5 Maintenance process of SSIIM

4.2 模型数据共享

在船舶营运维护保养阶段,管理人员需要了解船体结构的状态以制订维护保养计划,评估人员需要了解船体结构的状态以进行安全评估,如要修理,还应向船厂描述修理结构区域的信息.

如图 6 所示,基于船体结构信息集成模型的数据共享,使得各方人员在业务活动中使用统一的数据,这将大大减少异地协同事务处理中的相互误解,有利于提高效率.

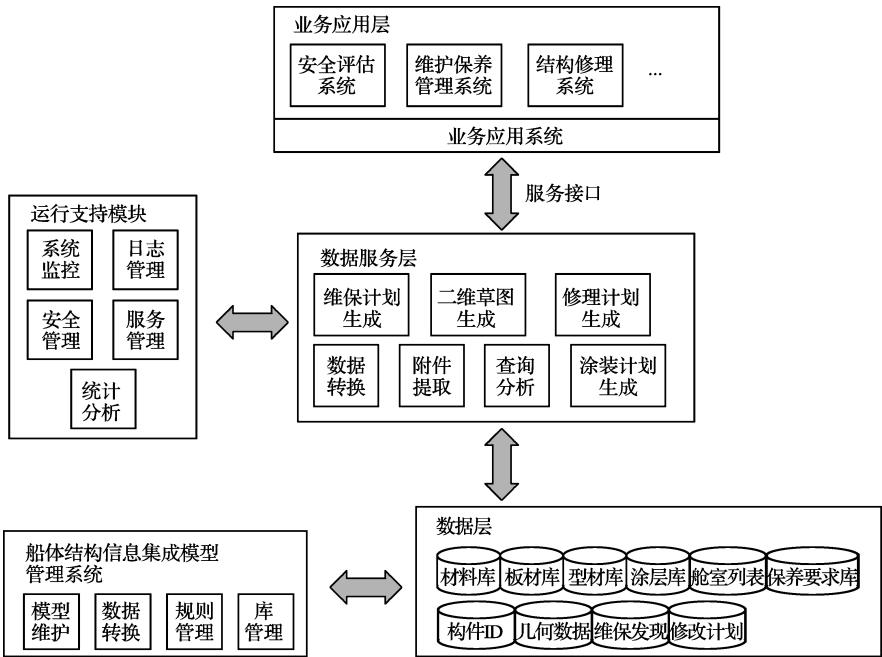


图 6 基于船体结构信息集成模型的协同事务处理框架
Fig. 6 Architecture of collaborative business processing based on SSIIM

4.3 应用实例

本文选择 CATIA 为船体结构 CAD 设计软件进行研究. 以一艘 68000DWT 油船货舱结构为研究对象, 如图 7 所示, 首先建立了其原始 CAD 模型, 模型文件大小为 55 MB. 并利用 VB 进行二次开发为 CATIA 设计了轻量化模型文件生成接口, 导出了该模型中所有构件的几何信息和部分构件属性信息.

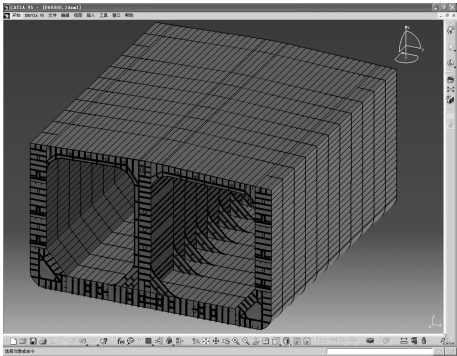


图 7 利用 CATIA 建立的某油船货舱段结构模型
Fig. 7 A cargo hold structure model built in CATIA

基于 XML、OpenGL 和压缩技术开发了船体结构信息集成模型浏览环境 MSMS5. 0, 界面如图 8 所示, 提供了配置属性、任意平面剖切、文字标注、图片标注、隐藏/显示所选构件、涂装计划制订、钢料修理计划制订等功能, 并提供多种结构树以按不同条件查看分组模型. 如图 9 所示, 可用不同颜色表示船体结构板厚分布情况. 图 10 以货舱段所有板类型构件示例了修理构件钢料重量统计报告的生成.

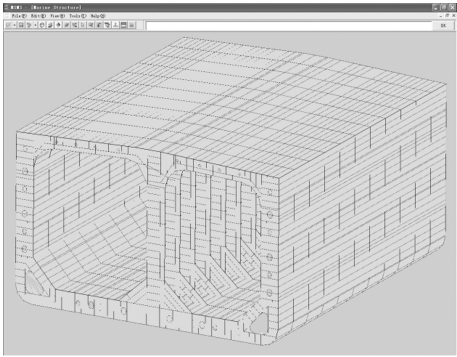


图 8 船体结构信息集成模型浏览环境
Fig. 8 Browsing environment of SSIM

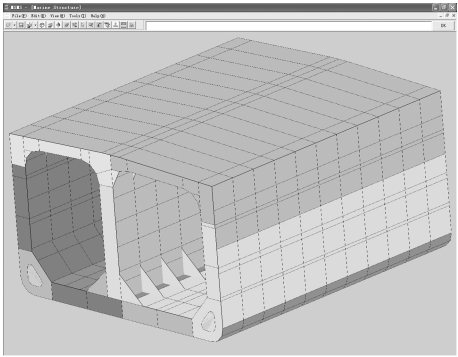


图 9 船体构件板厚云图显示
Fig. 9 Display of structural member thickness using contour

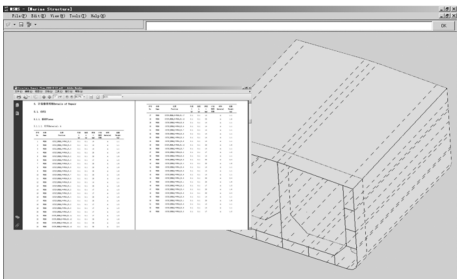


图 10 船体构件修理钢料重量报告
Fig. 10 Structural repairing steel weight calculation report

4.4 与其他轻量化模型比较

表 1 为本文设计的轻量化模型文件与 3D XML、eDrawing 文件的性能对比.

表 1 与其他轻量化模型性能对比			
Tab. 1 Comparison between other lightweight model files			
	文件大小	更改图形颜色	自定义属性
MSMS	88 kB	可直接修改	包含在文件内
3D XML	856 kB	不可直接修改	在文件外配置
eDrawing	2.96 MB	只能修改背景颜色和高亮显示颜色	无法配置

与其他轻量化模型相比发现, 本文提出的轻量化模型文件不仅轻量化程度较高, 而且考虑到了船体结构生命周期的特殊性, 实现了其他轻量化模型难以实现的功能, 更加符合船舶行业的需求.

5 结 语

本文针对船体结构生命周期管理的需求,在研究了目前主要的轻量化模型技术基础之上,提出了专用于船体结构生命周期管理的模型轻量化技术,突破了传统 CAD 模型的应用范围,并扩展至全生命周期范围内的信息集成模型,对于实现船体结构信息一体化具有实际意义.通过实例验证了方法的有效性,为以后这方面的研究提供了实践参考.

参考文献:

[1] 舒友国,许发艳,章伟星.造船数据互用性与 XML 和 STEP[J]. 中国船检, 2004, **53**(11):78-79

[2] 刘云华,刘 俊,陈立平. 产品三维数据模型轻量化表示实现[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, **18**(4):602-607

[3] 陈小安,谭 宏. 三维几何模型的中性文件格式的数据交换方法研究[J]. 机械工程学报, 2001, **37**(10): 93-99

[4] 万 能,莫 蓉,陈泽峰,等. CAD 系统与异构数字化系统互操作技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2008, **14**(6):1085-1090

[5] DING Lian, BALL A, MATTHEWS J, *et al.*. Annotation of lightweight formats for long-term product representations [J]. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 2009, **22**(11): 1037-1053

[6] JANKOWSKI G. 利用 eDrawing 协同设计[J]. 现代制造, 2003, **21**(6):64-65

[7] 张西厂,梅小川,邱明星. 基于 JT 数据编制航空发动机图解图的创新方法[J]. 航空发动机, 2009, **35**(6):10-13

[8] XU Xun, NEE A Y C. **Advanced Design and Manufacturing Based on STEP** [M]. Berlin:Springer, 2009

[9] 苗英华. U3D 文件格式及运行机制剖析 [J]. 计算机应用与软件, 2010, **27**(2):249-282

[10] 张绍东,侯开虎,陈 琳. 基于 X3D 的产品三维模型可视化技术研究[J]. 中国制造业信息化, 2008, **37**(23):38-45

[11] 刘 伟,赵德鹏,王德强. 基于 XVL 技术的海底地形生成方法[J]. 系统仿真学报, 2006, **18**(1):264-266

[12] 吴 洁. XML 应用教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2005

Research on ship structure information integration
model oriented to lifecycle management

LI Kai^{*1,2}, CHEN Ming^{1,2}, LIN Yan^{1,2}, JI Zhuo-shang^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Structural Analysis for Industrial Equipment, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. Ship CAD Engineering Center, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The data structure of ship structure information integration model was developed according to characteristics of ship structure's whole lifecycle management. Based on the thought of lightweight model and product lifecycle management application in other industries, a 3D lightweight model browsing environment was built with XML, OpenGL and file compression technology. A case study of modeling of a 68000DWT oil tanker illustrates that the integration model can make a connection among design model, maintenance model and assessment model, which makes the lifecycle management activity be closed-loop. The application of lightweight graph can accelerate display of graph and reduce interoperation, which ensures the system's reliability.

Key words: ship structure; lifecycle management; information integration; lightweight graph