

基于 SolidWorks 和 ANSYS Workbench 的平面钢闸门三维有限元分析

马洪山¹ 徐志林² 艾存峰³

- (1. 辽宁江河水利水电新技术设计研究院, 辽宁 沈阳 110003;
2. 辽宁省水利水电科学研究院, 辽宁 沈阳 110003;
3. 本溪泓源供水有限责任公司, 辽宁 本溪 117000)

【摘要】 大型水工平面钢闸门结构复杂,在以往刚度、强度校核时,按照常规平面体系得到的计算结果不能有效反映闸门的空腔效应。本文基于 SolidWorks 和 ANSYS Workbench 软件对浑河闸水利工程的平面钢闸门进行三维有限元分析,对面板、主横梁等主要构件进行强度和刚度校核。从分析结果可以看出,面板和主梁的强度、主要受弯构件的刚度计算结果均小于材料容许值,证明该方法切实可行,可为平面钢闸门的设计、安全检测和评价提供参考依据。

【关键词】 三维有限元;平面钢闸门;SolidWorks;ANSYS Workbench

中图分类号: TV66

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2017)07-0018-05

Three-dimensional finite element analysis of plane steel gate based on SolidWorks and ANSYS Workbench

MA Hongshan¹, XU Zhilin², AI Cunfeng³

- (1. Liaoning Jianghe Water Resources and Hydropower New Technology Design and Research Institute, Shenyang 110003, China;
2. Liaoning Research Institute of Water Resources and Hydropower, Shenyang 110003, China;
3. Benxi Hongyuan Water Supply Co., Ltd., Benxi 117000, China)

Abstract: Large hydraulic plane steel gate structure has complex structures. The calculation results obtained according to conventional planar systems cannot reflect the space effect of the gate effectively in previous verification of stiffness and strength. In the paper, 3D finite element analysis is implemented on the plane steel gate of one water conservancy project based on SolidWorks and ANSYS Workbench, and the strength and the stiffness are verified for main components, such as panels, main crossbeam, etc. Analysis results show that the calculation results of the strength of the panel and main girders as well as the strength of the main bending components are smaller than the allowable value of materials. It is proved that the method is feasible, thereby providing reference for the design of plane steel gate, safety inspection and evaluation.

Key words: 3D finite element; plane steel gate; SolidWorks; ANSYS Workbench

1 引言

钢闸门是用来关闭、开启或局部开启水工建筑物

中过水孔口的活动结构^[1],是一种典型的水工金属结构,其安全性和适用性直接影响水利工程的整体安全和经济效益。闸门门叶结构包括面板、主横梁、次梁、

边梁和加劲肋等构件,通常采用同一层的布置方式,即将主横梁、次梁等直接与面板相连接,以提高闸门的整体刚度。中国现行的设计规范^[2]在平面钢闸门设计过程中,按平面结构体系的设计方法,将钢闸门拆分成单独的构件,不能准确描述各构件间的联系^[3]。近年来,有限元方法迅速发展,其方便性、实用性和有效性在结构工程强度分析中优势明显,不少学者^[4-6]将有限元方法引入到平面钢闸门的设计和优化中,用以计算钢闸门各构件的应力、应变大小及分布情况,取得了良好效果。

SolidWorks 是一款应用广泛的 CAD 三维软件,其 CAD 功能非常强大,可以方便地完成三维建模,并能通过其数据传输接口与其他 CAE 软件进行数据传输。ANSYS Workbench 是 ANSYS 公司提出的新一代协同仿真环境,与 ANSYS 经典界面相比,ANSYS Workbench 对于底层进行了大量的封装,在模型的处理、网格划

分、后处理功能等方面优势明显^[7],适合对于工程实际的仿真模拟。本文选取某水利工程中平面钢闸门作为分析对象,应用 SolidWorks 构建三维钢闸门模型,通过其数据接口将模型转至 ANSYS Workbench 中进行静力学分析,为钢闸门的安全检测和评价提供参考依据。

2 SolidWorks 实体建模

浑河闸水利工程的平面钢闸门尺寸(宽×高)为 6.210m×5.200m,闸门上游设计水位 36.0m,闸门下游无水,堰顶高程为 33.00m,闸门作用水头 3m。钢闸门的梁系结构采用同一层布置,门叶结构布置如图 1 所示,主横梁从下至上依次编号为 1~4 号,横向次梁从下至上依次编号为 1~6 号,竖向次梁从左至右依次编号为 1~7 号。为方便计算,对模型进行适当简化,不考虑钢闸门结构中孔洞对结构整体的影响。

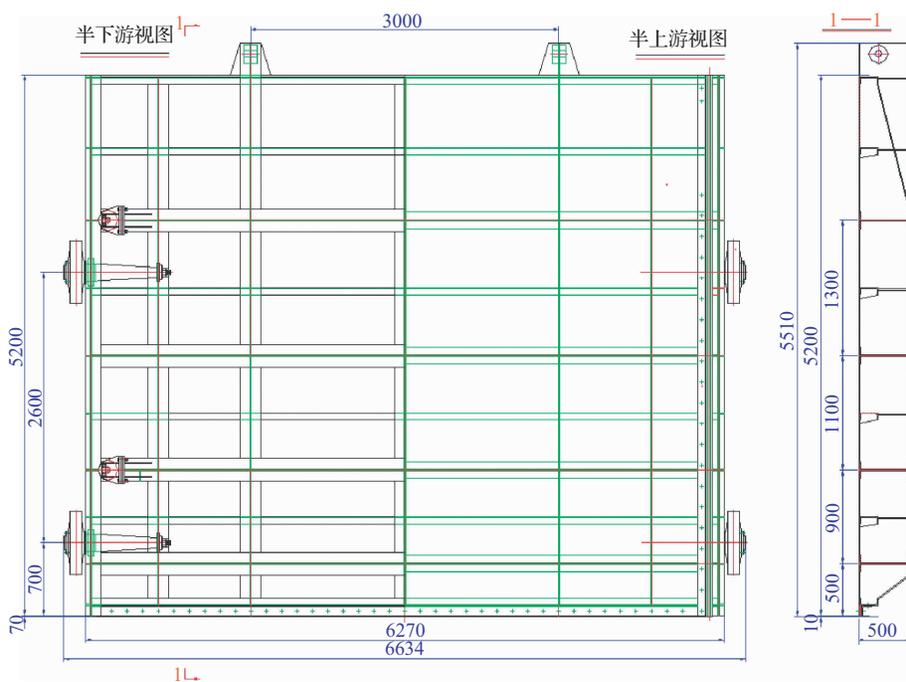


图 1 门叶布置(单位: mm)

闸门面板尺寸为 6.210m×5.200m×0.010m。主横梁采用工字梁形式,前翼板与面板焊接,尺寸为 6.094m×0.160m×0.012m;腹板尺寸为 6.094m×0.462m×0.012m;后翼板尺寸为 5.910m×0.220m×0.016m。横向次梁采用槽钢 18 号 a, L=6.094m。边

梁采用 T 字梁形式,腹板与面板焊接,尺寸为 5.200m×0.474m×0.016m;翼板尺寸为 5.200m×0.150m×0.016m。其他构件尺寸按设计资料取用。通过 SolidWorks 建立的三维模型如图 2 所示。

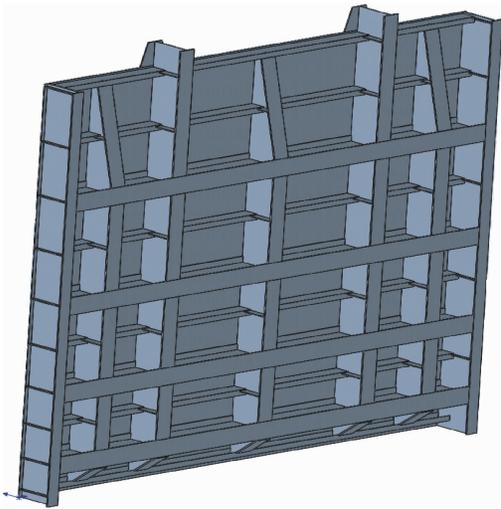


图2 SolidWorks 三维实体建模

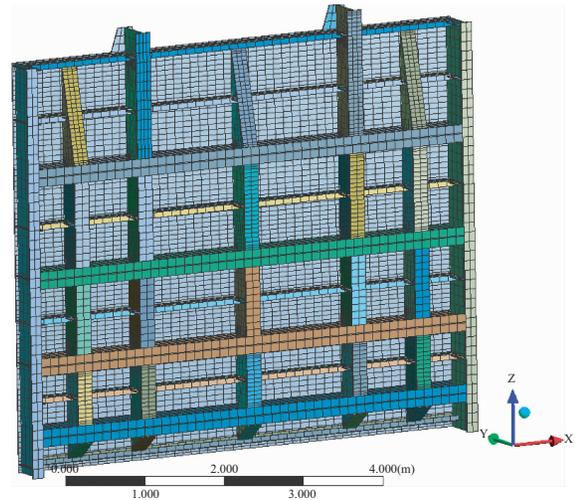


图3 钢闸门有限元模型

3 ANSYS Workbench 有限元分析

3.1 计算模型

在 SolidWorks 中使用 ANSYS Workbench 插件,即可实现三维实体模型在 CAD/CAE 软件之间的双向刷新、协同建模,可以提高有限元建模和分析的效率。在 ANSYS Workbench 中不需要定义单元类型,系统会根据导入的结构和模型的形状自动为其选择最合适的单元类型,考虑运算量和单元的复杂程度,在满足一般求解和分析的基础上,系统会给出较高级的单元。在网格划分过程中,考虑有限元分析的精度和效率,对形体简单的构件使用扫掠网格划分,对由多个形体简单部分组成的构件采用多域扫掠型网格划分,对形体复杂的构件采用自动网格划分。有限元网格划分单元数 16113,节点数 127417(图 3)。

3.2 材料属性及荷载约束

钢闸门主要构件的材料为 Q235A(普通低碳钢,A 级),材料弹性模量取 $E = 2.06E11\text{Pa}$,泊松比取 $\mu = 0.30$,容重取 $\gamma = 78.5\text{kN/m}^3$ 。

根据实际工程布置,闸门面板侧为上游,梁系结构侧为下游。闸门底部受垂向(z 方向)约束,因门槽的作用闸门在边梁处受水流方向(y 方向)的约束。计算荷载主要考虑作用于钢闸门的静水压力和闸门自重。

4 计算结果分析

4.1 强度校核

根据钢闸门设计规范^[2],钢材的容许应力由钢材的厚度决定,由于闸门主要构件厚度均不大于 16mm,属于 Q235 碳素结构钢中第一组,抗拉、抗压和抗弯强度 $[\sigma] = 160\text{MPa}$,抗剪强度 $[\tau] = 95\text{MPa}$ 。对于大中型工程的钢闸门,应在原容许应力基础上乘以调整系数 0.90~0.95,对于该工程取用 0.95,所以调整后的容许应力为 $[\sigma]' = 0.95 \times 160\text{MPa} = 152.0\text{MPa}$, $[\tau]' = 0.95 \times 95\text{MPa} = 90.3\text{MPa}$ 。

a. 面板。可在设计水位工况下,面板最大主应力(拉应力)为 25.2MPa,出现在面板背水侧 1 号横向次梁与 1 号、7 号竖向次梁连接处,面板背水侧第一主应力云图如图 4 所示;面板的最小主应力(压应力)为

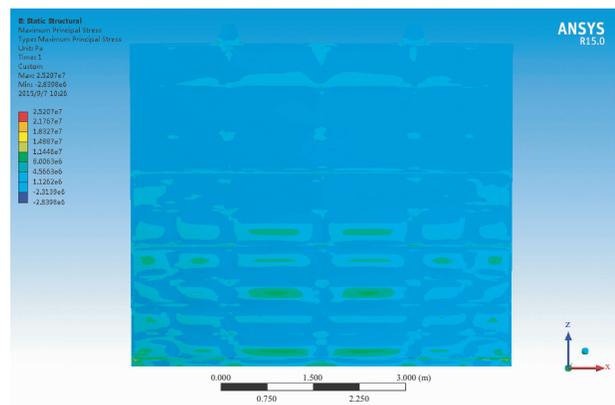


图4 面板背水侧第一主应力云图

25.1MPa,出现在面板背水侧1号主横梁与4号竖向次梁连接处下方,面板背水侧第三主应力云图如图5所示;面板的最大剪应力为 xz 向,大小为9.4MPa,出现在面板背水侧1号主横梁与1号、7号竖向次梁连接处,面板背水侧 xz 向剪应力云图如图6所示。面板的最大主应力、最大剪应力均小于材料的容许正应力和容许剪应力,面板强度满足要求。

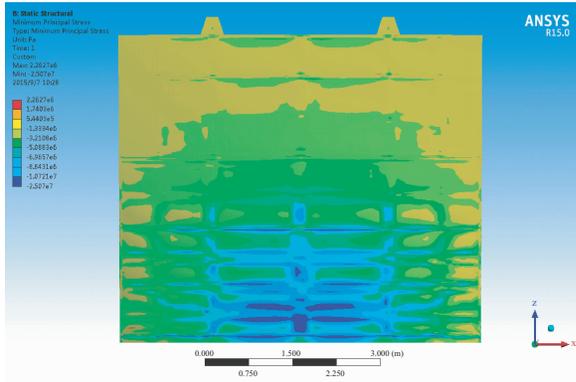


图5 面板背水侧第三主应力云图

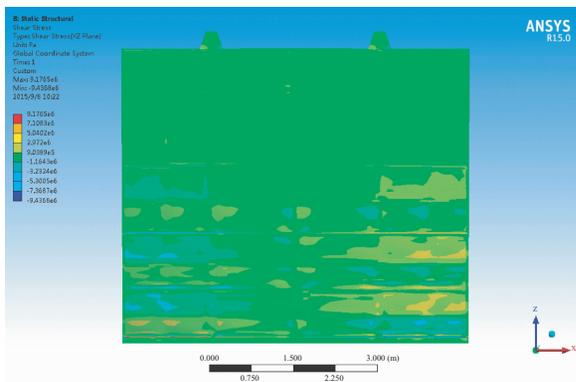


图6 面板背水侧 xz 向剪应力云图

b. 主横梁。在设计水位工况下,主横梁的最大主应力(拉应力)为56.5MPa,出现在1号主横梁后翼缘跨中处,主横梁第一主应力云图如图7所示;主横梁的最小主应力(压应力)为64.9MPa,出现在1号主横梁腹板与边梁后翼缘连接处,主横梁第三主应力云图如图8所示;主横梁的最大剪应力为 xy 向,大小为25.1MPa,出现在1号主横梁与1号、5号纵向次梁连接处,主横梁 xy 向剪应力云图如图9所示。所有主横梁的最大主应力、最大剪应力均小于材料的容许正应力和容许剪应力,主横梁强度满足要求。

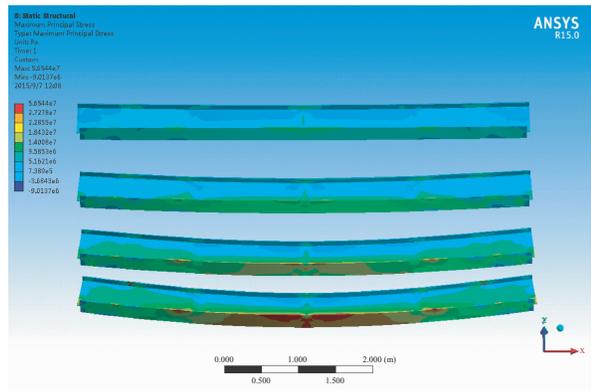


图7 主横梁第一主应力云图

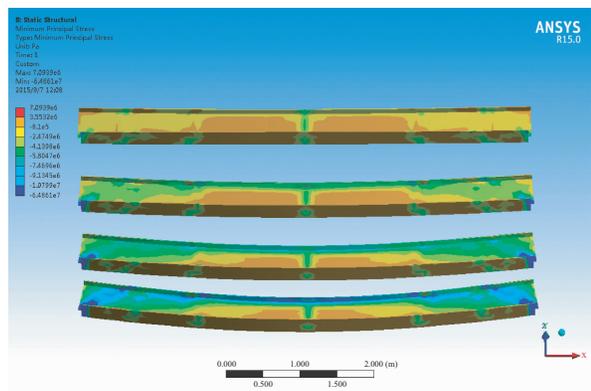


图8 主横梁第三主应力云图

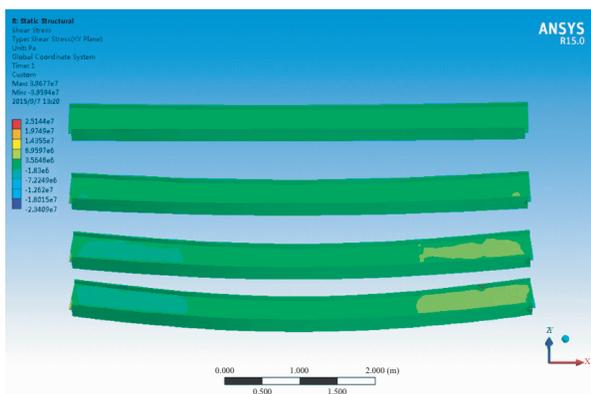


图9 主横梁 xy 向剪应力云图

4.2 刚度校核

对于主横梁、横向次梁等受弯构件,对总体挠度计算结果进行刚度校核。根据《水利水电工程金属结构报废标准》^[8]规定,对于露顶式钢闸门,横梁的最大挠度与计算跨度的比值不应超过1/600。该闸门主横梁、横向次梁计算跨度分别取5.910m和6.094m,可知主横梁、横向次梁的最大挠度容许值为9.85mm和10.16mm。

a. 主横梁。各主横梁最大总体挠度值如图10所

示,总体挠度云图如图 11 所示。总体挠度从下至上逐步减小,主横梁最大挠度值为 1.64mm,小于挠度容许值 9.85mm,闸门主横梁的刚度满足要求。

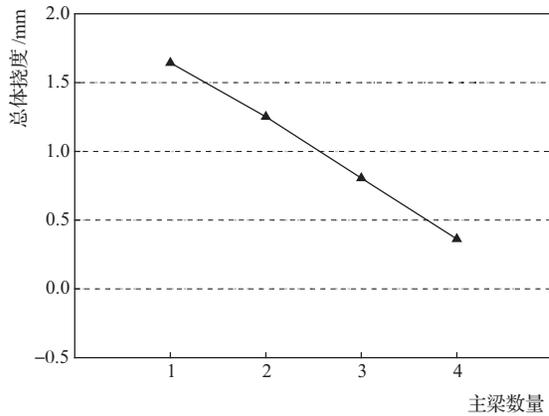


图 10 各主横梁最大总体挠度值

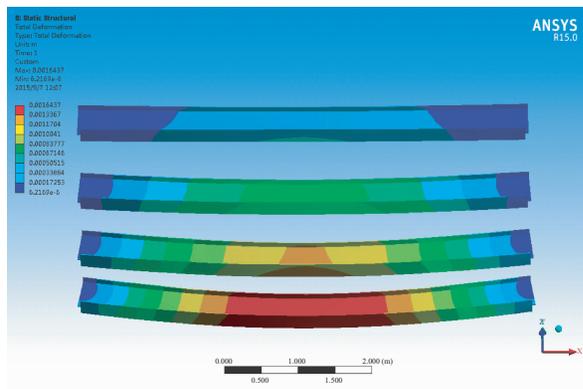


图 11 主横梁总体挠度云图

b. 横向次梁。各横向次梁最大总体挠度值如图 12 所示,总体挠度云图如图 13 所示。总体挠度从 1 号次梁至 5 号次梁依次减小,在 6 号次梁处出现反向弯曲现象。由图 12 可知横向次梁最大挠度值为 1.78mm,小于挠度容许值 10.16mm,闸门横向次梁的刚度满足要求。

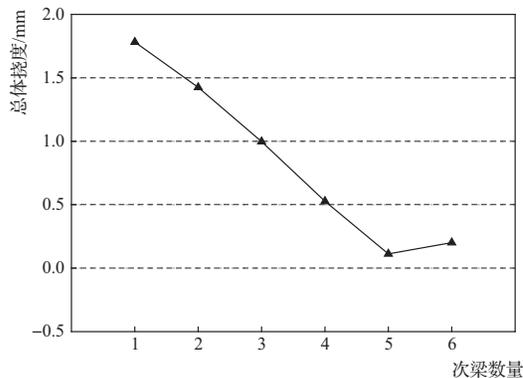


图 12 各横向次梁最大总体挠度值

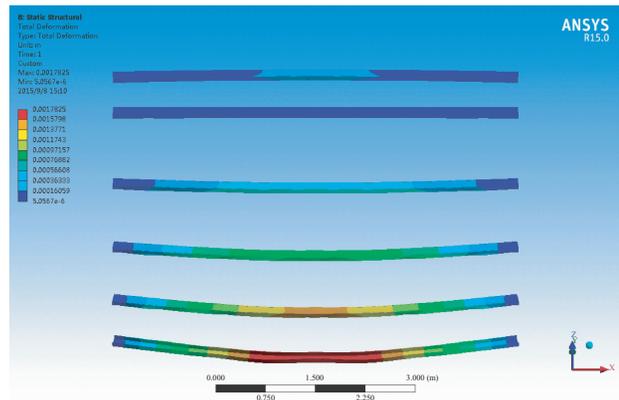


图 13 横向次梁总体挠度云图

5 结论

基于 SolidWorks 和 ANSYS Workbench 的三维有限元分析,所建立的数值模型与实际结构基本一致,计算分析过程简明快捷。从分析结果可以看出,通过对空间体系有限元计算得到的钢闸门面板、主横梁等主要构件满足规范规定的强度和刚度要求,验证了模型的可行性。该方法操作直观便捷,结果清晰明了,适合对大中型水利工程的平面钢闸门进行强度、刚度复核,计算成果对钢闸门的设计、后期安全评价有一定的参考价值。◆

参考文献

- [1] 范崇仁. 水工钢结构[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008.
- [2] 中华人民共和国水利部. SL 74—2013 水利水电工程钢闸门设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2013.
- [3] 叶永丰,杨光明. 后止水平面钢闸门结构加固有限元分析[J]. 人民黄河, 2015, 37(7): 110-116.
- [4] 雒翠. ANSYS 在平面钢闸门三维有限元分析中的应用[J]. 中国水运, 2008, 8(5): 104-105.
- [5] 仇强,仇美,刘福胜,等. 应用于河道中的新型钢闸门静力特性有限元分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2009, 7(3): 14-22.
- [6] 纪伟,任玉珊. 基于有限元法的平面钢闸门结构整体性优化设计[J]. 人民珠江, 2015, 3: 76-81.
- [7] 袁越锦,徐英英,张艳华. ANSYS Workbench 14.0 建模仿真技术与实例详解[M]. 北京:化学工业出版社, 2013: 8-12.
- [8] 中华人民共和国水利部. SL 226—1998 水利水电工程金属结构报废标准[S]. 北京:中国水利水电出版社, 1998.