

SolidWorks Simulation 在水轮机转轮模态分析中的应用

撰文 / 河北工程大学 水电学院 范江峰 孙中伟 李丙尧

SolidWorks Simulation 作为一款强大的有限元分析软件,其便捷性与易用性已得到公认。本文利用 SolidWorks Simulation 对某模型水轮机的转轮分别进行了零件状态下的干模态分析,并试算转轮与水体装配体状态下的湿模态分析。分析证明 SolidWorks Simulation 可以方便、快速的进行零件相关的设置和分析,计算结果可以为转轮的优化设计提供理论依据,但在湿模态分析中还存在不足。

一、引言

在水轮发电机运行时,由水力因素,机械因素和电磁因素引起的各种振动中,对机组运行影响最大的是振动频率与水轮机固有频率接近的振动。在该振动频率下,往往引起机组的共振,从而导致机组部件金属和焊缝疲劳破坏区的形成和扩大,从而产生裂纹甚至断裂而导致部件的报废。因此,确定水轮机的固有频率,并使机组运行避开这个振动区域对机组的安全运行有重大的意义。

SolidWorks Simulation 是由 COSMOSWorks 软件发展而来的基于有限元分析技术的设计分析模块。COSMOSWorks 软件是由 SRAC 公司与 SolidWorks 公司合作开发的插入式分析软件,可以与 SolidWorks 的 CAD 系统直接对接。软件提供了丰富的机械有限元分析功能,包括静应力分析、热力、频率、屈服和跌落测试等。软件界面十分友好,使分析人员可以方便快捷的对各种机械进行有限元分析。

本文通过对利用 SolidWorks Simulation 对某模型水轮机

转轮进行模态分析,得出使用 SolidWorks Simulation 进行转轮干模态分析的方法以及在进行湿模态分析时上辈子在的不足。

二、模态分析前处理

在 SolidWorks 中建立转轮模型(图1),转轮直径6.9m,叶片数17片,由于在实验中存在频率分析后出现叶片、转轮上冠以及下环分离的情况,在分析前将这三部分进行组合运算,使其成为整体。设置转轮材料为 0Cr13Ni5Mo,材料基本属性为:弹性模量 2.1×10^{11} N/m²,中泊松比0.3,中抗剪模量 3.189×10^8 N/m²,质量密度 7850kg/m³。在 SolidWorks Simulation 中新建算例,选择新算例,选择频率。

由于水轮机转轮上冠与主轴是通过法兰相连接,所以将此处设置为夹具,选择固定几何体。SolidWorks Simulation 中提供了方便的四面体网格划分方式。四面体单元由于纵横比小,相比于六面体单元,往往需要划分更多的

网格才能描述同一个模型。但由于 SolidWorks Simulation 的内置算法为 FFE (Fast finite Element) 快速有限元算法，因此在网格数比较多的情况下，SolidWorks Simulation 依然保持了较快的运算速度。本例中利用网格工具自动生成网格，并对叶片、上冠、下环部分应用网格控制实现局部网格加密（图 2）。在网格划分过程中偶尔会出现网格划分失败的情况，通过调整网格尺寸，修改网格控制选项以及雅可比点数等，一般可以解决划分网格失败的问题。

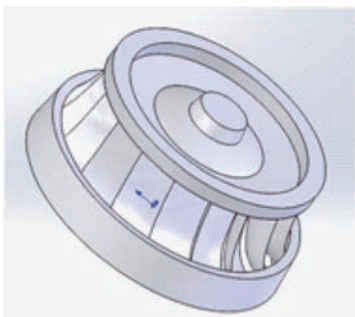


图 1 在 SolidWorks 中建立的转轮模型



图 2 加密后生成的网格

应用网格细节可以清楚的看到生成网格的详细信息，共生成 118734 个节点，70379 个网格。在有限元分析中网格的质量与分析结果的精度有着直接的联系，因此划分网格时一定要确定网格控制的策略，保证生成网格的质量。

三、转轮的干模态分析

干模态分析是指在空气环境下，对分析对象进行模态分析。运行计算例后，得出转轮在空气中振动的前五阶模态。

由转轮在空气中的前五阶模态图可以看出，位移最大的部分总出现在转轮下环处，这里在运行状态下还要承受水对转轮冲击所带来的载荷，分析结果与实际一致，频率值在可接受的范围内。

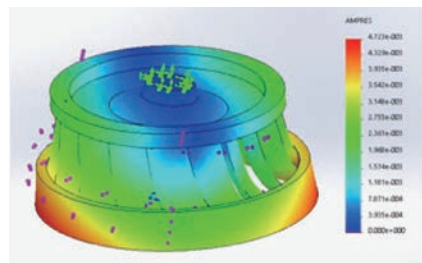


图 3 第一阶模态(干)

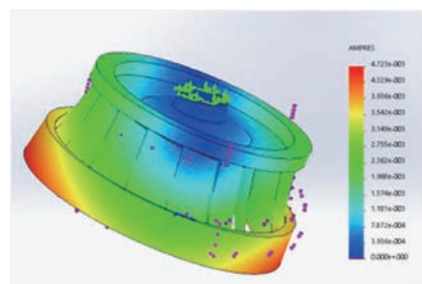


图 4 第二阶模态(干)

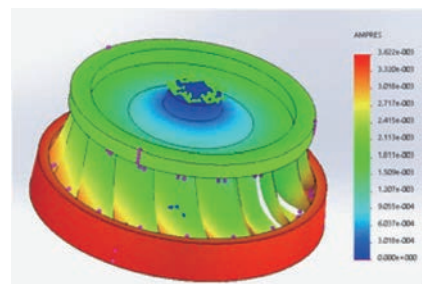


图 5 第三阶模态(干)

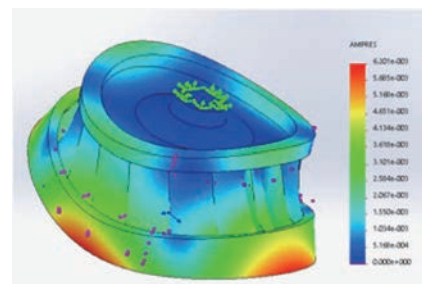


图 6 第四阶模态(干)

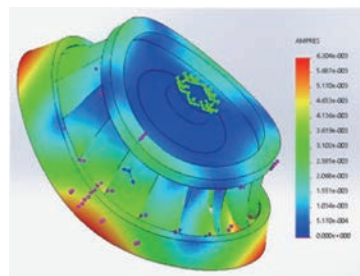


图 7 第五阶模态(干)

模式号	频率(rad/秒)	频率(赫兹)	周期(秒)
1	170.98	27.213	0.036747
2	171.01	27.217	0.036742
3	172	27.375	0.03653
4	275.97	43.923	0.022767
5	275.99	43.926	0.022766

图8 列举频率(干)

四、转轮与水体装配体的湿模态分析

由于水轮机转轮是运行在水体中,周围水体的存在必然影响转轮的振动频率,因此进行水环境下的湿模态分析是十分必要的。SolidWorks Simulation 中并未提供单独的湿模态分析选项。鉴于湿模态分析是水体与转轮之间的振动频率分析,本文利用装配体频率分析进行了如下试算。

在 SolidWorks 中建立一个圆柱型水体,插入转轮零件进行组合删减运算,得到包含转轮型空腔的水体零件,在 SolidWorks 环境下可以方便的更改圆柱水体的半径及高度参数。在装配体模式下将水体与转轮进行装配,得到被水体包围的转轮。模型如图9所示,设置水体材料为水。由于 SolidWorks Simulation 下进行频率分析要求材料弹性模量不为0,参考鲁丽等发表在《西南交通大学学报》中的研究结果《反应堆吊篮在空气和静水中的振动特性分析》,取水体的材料弹性模量为转轮材料的1%,即 $2.1 \times 10^9 \text{ N/m}^2$,泊松比取值相对较小,取为 0.3×10^{-4} ,同样设置转轮上冠与转轴法兰相连处为固定约束,分别对转轮与水体应用网格控制进行网格划分,转轮叶片处网格应适当加密。

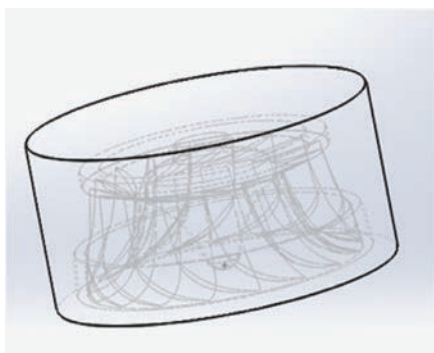


图9 水体与转轮的装配体模型

表 不同尺寸水体装配体对应频率表

	半径	高度	一阶频率	二阶频率	三阶频率	四阶频率	五阶频率
干模态	0m	0m	27.213Hz	27.217Hz	27.375Hz	43.923Hz	43.926Hz
水体 1	4m	4m	20.285Hz	21.791Hz	21.862Hz	70.902Hz	70.945Hz
水体 2	6m	6m	8.957Hz	10.319Hz	10.32Hz	35.521Hz	41.895Hz

设置不同的水体尺寸,得到不同水体尺寸下装配体的固有频率如表所示。结果显示这种方法下进行的湿模态分析频率,由于水体尺寸的不同,装配体的固有频率也不同,参考梁权伟等发表在《水力发电学报》中的研究结果《考虑流固耦合的混流式水轮机转轮模态分析》给出的数据,可知干湿模态下的频率影响系数分辨值介于 $0.671 \sim 0.904$ 间相差较大。原因是所得的固有频率不是在水体阻碍作用下转轮的固有频率,而是水体与转轮所组成装配体的固有频率。且由结果看出不同水体形状会产生不同的固有频率。

五、结论与展望

(1) 通过在 SolidWorks Simulation 中进行水轮机转轮的干模态分析,可以发现 Simulation 插件可以快捷方便的进行不考虑外部环境的频率分析,在进行干模态分析时利用 Simulation 可以提高工作效率。

(2) 由于 Simulation 中没有湿模态分析的相关单元,其中的外部载荷选项中提供的流动效应是针对流水载荷,并不能进行静水下的频率分析。本文提出了一种通过构建水体装配体模型的方法,结果证明同样不能有效模拟静水环境下转轮的振动情况。

(3) Simulation 作为一款方便的有限元分析工具,其简便性深受好评,但由于软件功能相对简单,在今后的发展中依然要不断更新升级自身的功能,才能不断在工业制造中发展壮大