

水轮机故障的三维建模仿真研究

初日东

(国能德宏发电有限公司 云南 昆明 650000)

摘要: 本文以水轮机为研究对象,通过VRP三维建模控制程序对其故障过程进行模拟分析,验证了该模型模拟结果的准确性,研究液压泵压力故障、管路堵塞故障与系统内漏故障的仿真效果,得出以下结论:除有效特征数量为9外,其他有效特征数量的诊断结果的识别率均大于预期结果的识别率,说明采用三维模型对水轮机的故障进行识别的准确性较高。当液压缸发生堵塞现象时,活塞杆位移增长和下降的速率降低,其达到最大和最小位移的时间在1s左右。三维仿真模型对液压泵压力不足故障的识别效果更为明显,通过活塞杆位移-时间曲线的差异性能快速判断水轮机的液压泵压力故障。

关键词: 三维仿真模型; 水轮机; 故障模拟

0 引言

水轮机是水力发电的主要机械设备之一,其构造复杂,常发生故障,影响发电工作的正常进行。且其故障常位于机械内部,不易被察觉和检测,所以需对其进行仿真模拟,识别水轮机发生的故障。近年来,许多专家学者针对以上问题开展相关研究。

常玉红等^[1]以某抽水蓄能电站为研究对象,基于专家经验法,建立水轮机故障评价模型,结果表明,该模型能有效反映水轮机的故障状态。李效革等^[2]以某水电站的水轮机为研究对象,采用有限元软件,分析水轮机叶片的稳定性,并根据模拟结果,对叶片进行改善,结果表明,改善后的叶片强度明显提高,水轮机的稳定性有所提升。张官祥等^[3]以某水轮机调速器为研究对象,分析比例阀跟随故障产生的原因,并根据研究成果,提出对应的改进措施,结果表明,该措施在能降低水轮机经济风险的同时,还能保持水轮机系统的稳定运行。刘传东等^[4]开展接力器泄漏试验,分析水轮机产生故障的信号频谱特性。王佩等^[5]以水轮机联轴螺栓为研究对象,分析其发生断裂及故障的原因,结果表明,可通过监测高频分量预防水轮机联轴螺栓故障。代开锋等^[6]以某水电站的水轮机为研究对象,开展模型试验,分析水轮机各项性能参数,结果表明,该水轮机的各项参数均满足规范及设计要求。

本文以水轮机为研究对象,通过VRP三维建模控制程序对其故障过程进行模拟分析,验证了该模型模拟结果的准确性,研究液压泵压力故障、管路堵塞故障与系统内漏故障的仿真效果。

1 工程概况

本文以某地区大坝为研究背景,其控制流域面积

为2314km²,该地区为半干旱大陆性气候,水文地质条件良好,夏季降水量较大,为396.7mm,以暴雨为主。其河道长3.6km,大坝总蓄水长度为3.3km,蓄水量56万m³。坝轴线垂直于河道,坝长为135m,上坝高2.5m,坝后水深为0.5m。

该大坝采用水轮机进行发电,该水轮机由位移传感器、液压缸、电液转换器、液压泵、溢流阀等装置组成,该水轮机的相关参数如表所示。

表 水轮机的相关参数

参数	接力器行程/mm	接力器活塞面积/cm ²	工作油压/MPa
数值	170	205	5

2 水轮机三维建模

本文以水轮机为研究对象,通过VRP三维建模控制程序对其故障过程进行模拟,该程序主要通过三维建模模块,对水轮机进行在线仿真模拟,根据三维建模仿真得出的数据,对水轮机的故障进行识别。

首先,需根据实际工程中的水轮机数据建立基础三维模型,以基础模型为优化对象,采用3ds Max软件对该模型进行细化处理,使得模型的数据更加准确。对初始模型进行优化后,得出水轮机的三维仿真模型如图1所示。

仿真过程如下:将VRP三维建模的图形进行直接编译,将其编译结构传输到VRP内核发动机进行解译,最后将其解译结果通过编程接口进行处理,处理完成后通过模型输出接口将结果输出。

3 水电机模拟故障仿真及分析

3.1 故障仿真效果分析

为验证该三维仿真模型的准确性,对比分析该模型

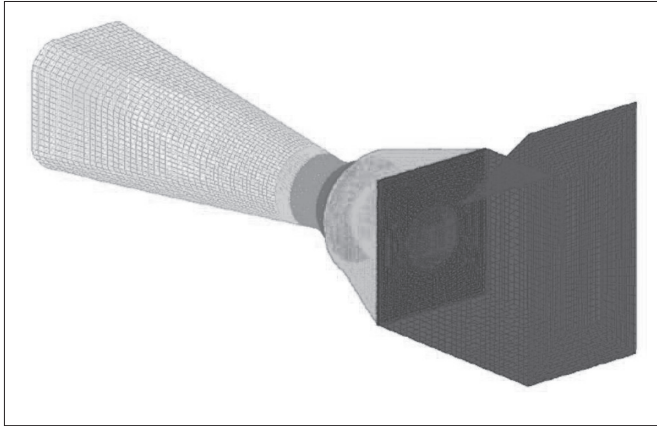


图1 水轮机三维仿真模型

期望结果与诊断结果，如图2所示。由图2可知，随着有效特征数量的变化，模型故障的识别率呈上下波动的趋势，无明显的相关关系。当有效特征数量为7时，该

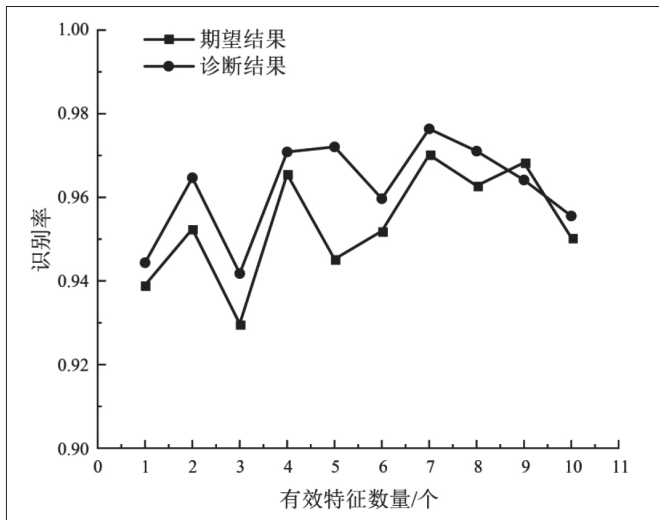


图2 有效特征数量 - 识别率曲线

三维模型的故障识别率最大，诊断结果的识别率为0.98；当有效特征数量为7时，该三维模型的故障识别率最大，其值为0.927。当有效特征数量为5时，期望结果的识别率与诊断结果的识别率差距最大，为0.03，说明此时采用该三维模型对水轮机的故障进行识别的效果较好。当有效特征数量为9时，采用该三维仿真模型的期望结果识别率大于诊断结果的识别率，说明此时三维模型的故障识别效果未达到期望效果，此时采用三维模型对水轮机的故障进行识别的效果较差。除有效特征数量为9外，其他有效特征数量的诊断结果的识别率均大于预期结果的识别率，说明采用该三维模型对水轮机的故障进行识别的准确性较高，可将其应用于实际工程中水轮机的故障识别。

3.2 管路堵塞故障仿真分析

通过上述分析可得，采用三维仿真模型对水轮机的故障进行识别的准确性较高，可应用于实际工程中水轮

机的故障检测，本节主要研究由于水轮机系统液压缸管路堵塞导致的故障识别。管路堵塞故障主要由活塞杆位移来体现，水轮机三维仿真模型的活塞杆位移-时间曲线如图3所示。

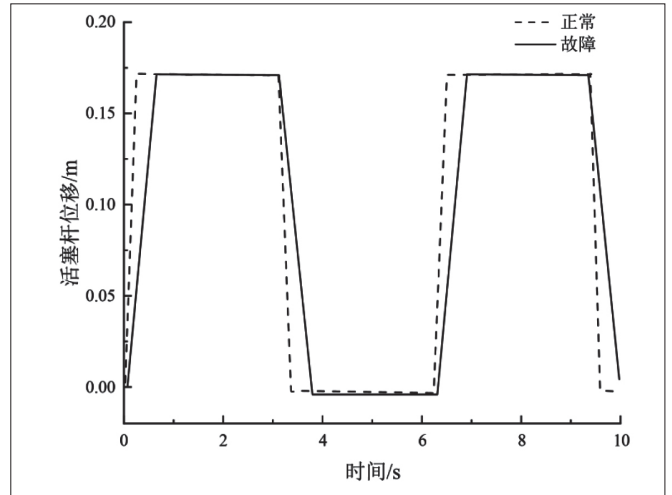


图3 活塞杆位移 - 时间曲线

由图3可知，正常状态下的活塞杆位移-时间曲线与堵塞状态下曲线的变化趋势一致，两种曲线的区别主要是其活塞杆位移-时间曲线的斜率不同。当液压缸未发生堵塞现象时，活塞杆位移达到最大值和最小值的时间均小于0.5s，此时液压缸管道运行正常；当液压缸发生堵塞现象时，活塞杆位移增长和下降的速率降低，其达到最大和最小位移的时间在1s左右。正常状态下的塞杆位移-时间曲线与堵塞状态下的曲线具有一定的差异性，在实际过程中，可通过判断该曲线的斜率，对水轮机的管道堵塞故障进行识别与分析。

3.3 液压泵压力不足故障仿真分析

液压泵压力不足会导致水轮机系统中的油液无法被泵送至各设备与元件之间，导致水轮机无法正常工作。液压泵压力不足故障主要通过活塞杆位移来体现，水轮机三维仿真模型的活塞杆位移-时间曲线如图4所示。由图4可知，在未发生故障时，水轮机的活塞杆位移增长和下降趋势显著，活塞杆位移达到最大值和最小值的时间均小于0.5s；当液压泵的压力不足时，其活塞杆位移-时间曲线与正常状态下的曲线有显著差异，其活塞杆位移的增长趋势较为缓慢，达到最大值和最小值的时间均大于2s。对比管路堵塞故障仿真结果可知，该三维仿真模型对液压泵压力不足故障的识别效果更为明显，通过活塞杆位移-时间曲线的差异性能快速判断水轮机的液压泵压力不足故障。

3.4 系统内漏故障

系统内漏主要是指水轮机系统内部油液的泄漏故障，会导致设备内部元件损坏，无法正常运行。由于该故障位于水轮机的内部，不易被察觉，所以利用三维仿真模型对

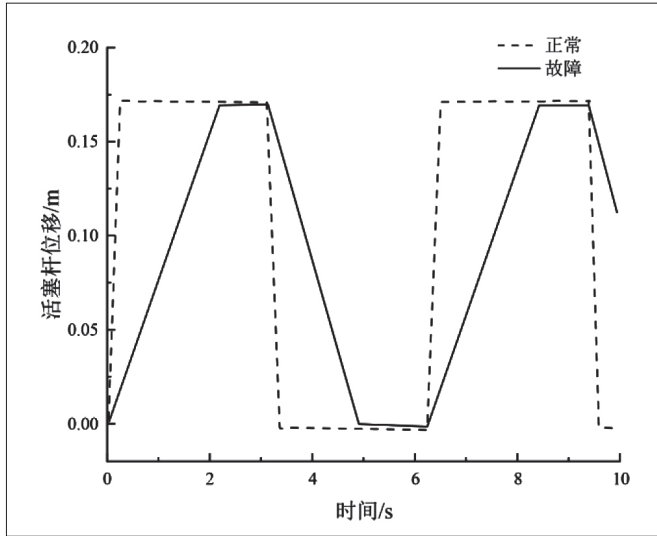


图4 活塞杆位移-时间曲线

该故障进行模拟分析是有必要的。系统内漏故障主要通过活塞杆位移来体现的，水轮机三维仿真模型的活塞杆位移-时间曲线如图5所示。由图5可知，在未发生故障时，水轮机的活塞杆位移增长和下降趋势显著，活塞杆位移达到最大值和最小值的时间均小于0.5s；当发生系统内漏故障时，其活塞杆位移-时间曲线与正常状态下的曲线有显著的差异，其活塞杆位移的增长趋势较为缓慢，达到最大值和最小值的时间均大于1.5s。对比液压泵压力不足故障与管路堵塞故障可得，该三维仿真模型对系统内漏故障的识别结果优于管路堵塞故障的识别结果，但不如液压泵压力不足故障的识别结果。

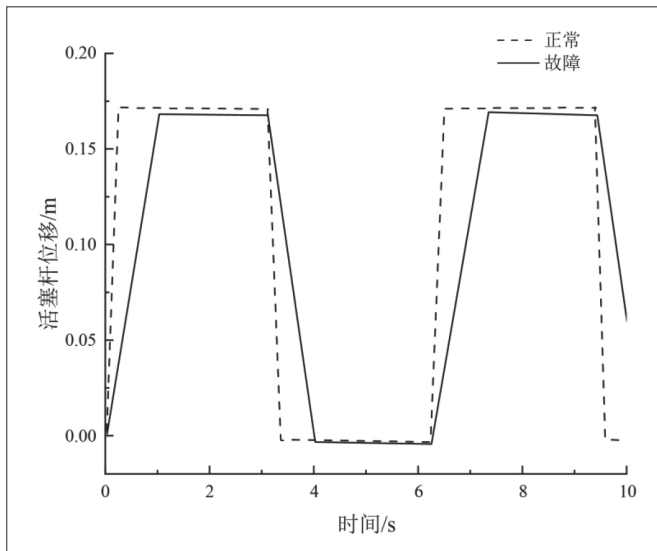


图5 活塞杆位移-时间曲线

4 结语

本文以水轮机为研究对象，通过VRP三维建模控制程序对其故障过程进行模拟分析，验证了该模型模拟结果的准确性，研究液压泵压力故障、管路堵塞故障与系统内漏故障的仿真效果，得出以下结论：

(1) 除有效特征数量为9外，其他有效特征数量的诊断结果的识别率均大于预期结果的识别率，说明采用该三维模型对水轮机的故障进行识别的准确性较高，可将其应用于实际工程中水轮机的故障识别；

(2) 当液压缸发生堵塞现象时，活塞杆位移增长和下降的速率降低，其达到最大和最小位移的时间在1s左右；

(3) 三维仿真模型对液压泵压力不足故障的识别效果更为明显，通过活塞杆位移-时间曲线的差异性能快速判断水轮机的液压泵压力不足故障；

(4) 当发生系统内漏故障时，其活塞杆位移-时间曲线与正常状态下的曲线有显著的差异性，其活塞杆位移的增长趋势较为缓慢，达到最大值和最小值的时间均大于1.5s。

参考文献：

[1] 常玉红, 郝国文, 刘夫果, 等. 基于故障原因分析的水泵水轮机状态评估[J]. 科技资讯, 2020, 18(25): 70-74.

[2] 李效革, 张士昂, 周学均, 等. 基于ANSYS的混流式水轮机故障的处理[J]. 机械设计, 2019, 36(S1): 227-232.

[3] 张官祥, 陈自然, 蒋小辉, 等. 水轮机调速器比例阀跟随故障诊断处理及应用[J]. 水电站机电技术, 2019, 42(06): 49-52.

[4] 刘传东, 谷文涌, 刘纪新, 等. 蓄能电站水轮机接力器泄漏试验及故障分析[J]. 山东工业技术, 2019(04): 176+211.

[5] 王佩, 陈军华. 贯流式机组水轮机联轴螺栓断裂问题分析[J]. 集成电路应用, 2022, 39(04): 35-37.

[6] 代开锋, 金德山, 何志锋, 等. 巴基斯坦卡洛特水电站水轮机模型试验研究[J]. 水利水电快报, 2021, 42(11): 70-75.

作者简介: 初日东(1982.09-), 男, 汉族, 山东烟台人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 水电站生产管理。