

水力机组振动停机保护方法研究

赵 国 建， 先 嘉， 方 伟， 王 谦

(四川中鼎科技有限公司，四川 成都 610046)

摘 要:水力机组振动停机是水电站安全的基础保护之一,到目前为止还没有可靠的解决办法能满足无人值班和智慧电厂的要求。笔者提供了一种可靠且算法科学的振动停机保护解决方法(该方法已获国家发明专利授权)。该方法依据水力机组的结构特点和振动特性,在机组振动事故时,其关键测点(第一测点)的振动值发生跃变,且符合结构特点和稳定性特征时的关联测点(第二测点)也出现相应的跃变时判断机组振动事故发生并停机,进而能够避免机组遭受严重损坏。

关键词:水力机组振动;停机保护;方法;跃变值;安全阈值

中图分类号:P512.2+2;R852.25;G273.3 **文献标识码:** A **文章编号:**1001-2184(2021)02-0006-03

Research on Protection Method for Shutdown by Vibration of Hydraulic Generator Unit

ZHAO Guojian, XIAN Jia, FANG Wei, WANG Qian

(Sichuan Zhongding Science and Technology Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610046)

Abstract: Shutdown by vibration of hydraulic generator units is one of the basics for safety protection of hydropower stations. So far, there is no reliable solution, which can meet the requirements of unattended and intelligent power plants. This paper provides a reliable and scientific algorithm for vibration shutdown protection solution, which has been authorized by the national invention patent. This technology is based on the structural and vibration characteristics of hydraulic generator units. In case of vibration accident of generator unit, the vibration value of the key measuring point (the first measuring point) will jump over and when the relevant measuring point (the second measuring point) which conforms to the structural and stability characteristics jumps over correspondingly, the generator will be shut down to avoid serious damage.

Key words: vibration of hydraulic generator unit; shutdown protection; method; jump value; safety threshold

1 概 述

随着社会对电力需求的增加和人们环保意识的提高,水力发电作为可再生和清洁能源的重要性逐渐被人们所认知。我国河流水能资源蕴藏量达 6.76 亿 kW,年发电量为 5.92 万亿 kWh;可开发水能资源的装机容量 3.78 亿 kW,年发电量为 1.92 万亿 kWh。不论是水能资源蕴藏量还是可开发的水能资源,我国在世界各国中均位居第一位。

水电站机组的过速保护、振动保护和继电保护是安全运行的重要保障,是水力发电机组乃至水电站安全运行的最后一道防线,对于水电站的安全稳定运行关系重大。目前,机组过速和过电压的保护手段已日趋成熟完善,甚至还有多重保护措施,但由于水力机组的结构设计、制造工艺、安装条件和运行管理具有不同特点,做出准确且

可靠的振动保护难度极大,导致其成为水电站安全稳定运行、无人值班和智慧电厂建设的制约条件和安全隐患。国内大中型机组为了监测机组的运行稳定性和保护机组,耗费巨资为每台机组安装了振动摆度在线监测系统,其目的是监测并保护机组不遭受异常振动破坏。但由于对水力机组复杂的结构特点和稳定性特性缺乏深入的研究与分析,通常孤立地从机组振动的幅值、频率、工况上判断并做出报警或停机信号,效果欠佳^[1]。由于水力机组的结构特点和振区特性与其他旋转机械如汽轮机组有很大区别,因此,简单地套用旋转机械的振动测量和分析的理论通常会导致在实际应用中误发信号。为安全起见,这些在线监测装置均退出了停机保护控制功能。由于现有的振动监测装置未能实现对水力机组振动的停机保护,且其仅作为越限报警使用,因此会导致在水力机

收稿日期:2021-01-05
国家授权专利号:ZL201711221121.9

组振动事故发生时机组有效保护的缺失,极有可能造成事故的扩大和机组的永久性损坏^[2]。为此,各发电企业必须采取加强机组运行稳定性的管理来预防事故的发生。虽然水力机组振动保护的重要性和重视程度与日俱增,同时相关业主和厂商也做出了不懈的努力和探索,但由于缺乏对机组结构特点和真机振动形态的分析研究,迄今为止,还没有一种有效的办法对机组的振动停机实施保护。

国内外由于水电站机组异常振动造成的典型事故和案例亦很多^[3]。轻者造成轴承烧瓦,机架螺钉断裂;重者导致发电机转子扫膛^[4];更有严重者,如俄罗斯萨扬电站几乎遭受毁灭性破坏^[5]。但到目前为止,还没有一种可靠的解决办法能满足当前无人值班和智慧电厂建设的要求,因此,研究一种可靠且有效的水力机组振动保护方法尤为重要且极为迫切。在水力发电装机规模迅速扩大的同时,保障水电站发电机组安全稳定运行也成为重大任务。笔者介绍了一种用于水力机组振动停机保护的方法,该方法已获得国家发明专利授权。

该方法基于笔者长期对水电站自动化、结构改造、振动试验、稳定性监测以及对机组制造、轴线调整和瓦隙分配进行的技术分析,结合多年来对大中型水力发电机组的检修、运行和试验的经验总结,提出了一种水力机组振动事故停机保护的方法,其关键技术为:当机组发生振动事故时,关键测点(第一测点)的振动值会发生瞬时跃变,且符合其结构特点和稳定性特征时的关联测点(第二测点)亦会出现相应的瞬时跃变(必要时引入第三测点的跃变判别)。据此判断机组振动事故发生并停机,进而能够避免机组遭受严重损坏,该方法适用于大中型水力机组的振动事故停机保护。笔者详细介绍该方法的研究与实施过程。

2 水力机组振动特性和振动保护的关键

2.1 水力机组的结构特点和振动特性

由于大中型水力机组均为立式机组,同时因水电站均建设在高山峡谷之间,主机设备一般采用水轮机和发电机单独制造或分瓣制造、分瓣运输、工地组装。其转动部分主要为水轮机和发电机两部分,主轴亦分为水轮机轴和发电机轴,在制造厂不可能对整个转动部分进行精确的组合加

工,因而不能在制造环节保证水轮机轴和发电机轴的直线度公差在精准范围内,亦不可能进行转动部件的动平衡。且因工地的组装受现场条件制约、制造工艺的限制造成了水力机组在结构和特性方面存在影响稳定运行的固有缺陷和不利因素。因此水力机组的结构和运行稳定性具有以下特征:

(1)水轮机轴和发电机轴为分段制造并在工地组装。工地进行轴线调整后水轮机轴和发电机轴的直线度仍然存在极大的偏差,在空间上不是一条直线,即发电机轴和水轮机轴的连接法兰处有拐点。机组的转动轴在空间上为两段折线组成,其折线的形态和方位比较复杂,且每台机组的拐点和空间轴线亦不相同,必然导致机组运行时每台机组表现出来的振动特性不相同。

(2)由于受水轮机不同负荷区通过水轮机的水流流态影响,客观上存在变化的水压脉动,进而造成机组在不同工况下存在不同的振动特性和振动区,这也是水力机组与其他旋转机械振动不相同的地方。

(3)由于分瓣制造的机组转动部件在工地组装时必然会产生重量失衡,运行时,随着转速升高会产生较大的重力不平衡力,亦为导致水力机组振动摆度比其他旋转机械更大的原因之一。

(4)水力机组导轴承的同心度调整和瓦隙分配亦受到多种因素制约,进而很难保证精确对中,客观上造成机组大轴在运行中呈现自转与公转相结合的旋转姿态,并受到各轴承轴瓦不同油膜压力的影响。

因此,水力发电机组的振动摆度与其他旋转机械如汽轮机所表现出的振动特性是不同的,而每一台机组在每一次大修后运行的振动状况亦不相同。机组的稳定运行工况其实是在各种复杂因素制约下形成的动态平衡,也是脆弱的平衡,一旦某个影响因素发生改变,其稳定的动态平衡将会被打破,意味着除众所周知的机械、电气和水力因素影响水力机组的稳定性外,普遍被忽略的因素还有机组大轴轴线调整状况、各导轴承的轴承中心情况以及瓦隙调整及受力状况等。因此对水力机组的稳定性评估和振动事故的判断必须结合其结构特点和振动特性进行综合分析、运算和判断。

2.2 振动事故保护的关键

笔者结合对水力机组的结构分析、振动测试和稳定性特点以及对机组制造、安装和调整经验总结,研究并提出了一种水力机组振动事故停机保护方法。其关键技术在于根据机组结构特征和振动特性,选择机组中一个具有代表性的振动特征测点作为第一测点。同时,根据机组失衡状态、轴线调整、振动形态的情况选择相关性紧密的另一个测点作为第二测点,并根据每台机组实际运转的空间轴线形态选择与第一测点所处轴承部位在轴向上相邻的轴承部位的测点作为第三测点。在获取第一测点的第一振动跃变值发生后,判断第一振动跃变值是否超过第一预设安全阈值;在第一振动跃变值超过第一预设安全阈值时,获取第二测点的振动跃变值并判断第二振动跃变值是否超过第二预设安全阈值;在判断第二振动跃变值超过第二预设安全阈值时,获取第三测点的振动跃变值并判断第三振动跃变值是否超过第三预设安全阈值,并对水力机组进行振动事故停机保护。该振动保护方法基于第一测点和第二测点以及第三测点的振动跃变值和安全阈值判断对水力机组是否实施停机保护,既有效实施对水力机组的振动保护,又避免了误判停机,进而提高了机组振动事故保护的可靠性和机组运行的安全水平。

3 水力机组振动保护的具体实施方案

(1) 首先获取水力机组各测点的振动跃变值,确定第一测点并判断其振动跃变值是否超过第一预设安全阈值。在超过了第一预设安全阈值时,确定与第一测点相关性紧密的第二测点并获取第二测点的振动跃变值。再判断第二振动跃变值是否超过第二预设安全阈值,在第二振动跃变值超过第二预设安全阈值时,确定与第三测点并获取第三测点的振动跃变值。在第三振动跃变值超过第三预设安全阈值时,对水力机组实施振动事故停机保护(图 1)。

(2) 在判断各测点振动跃变值是否超过预设安全阈值之前,该方案还包括根据水力机组处于正常运转状态时各测点的振动特性设定与之相对应的安全阈值。

(3) 在判断第一振动跃变值是否超过第一预设安全阈值之后,获取与第一测点相关的第二测点的第二振动跃变值之前,还包括判断第一振动跃变值超过第一预设安全阈值是否发生在水力机

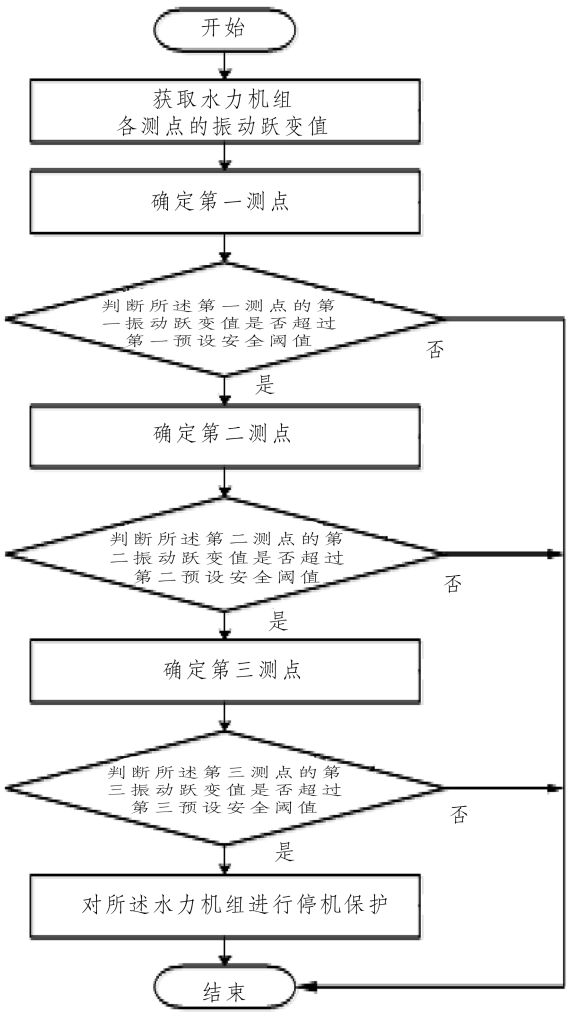


图 1 水力机组振动停机保护流程图

组的一个运转周期内,如果是,则执行获取与第一测点相关的第二测点的第二振动跃变值的步骤。

(4) 在判断第二振动跃变值是否超过第二预设安全阈值之后,对水力机组进行振动事故停机保护之前,还包括获取与第一测点相关的第三测点的第三振动跃变值,判断第三振动跃变值是否超过第三预设安全阈值。

(5) 该实施方案中的预设安全阈值为建立在机组振动特性上与运行工况相关的二维或多维阈值曲线。

(6) 第二测点是和第一测点位于同一轴承部位的相邻测点。第三测点位于与第一测点所处轴承部位在轴向上相邻的轴承部位。

4 结 语

随着水电厂智能化技术逐渐成为研究的前沿

(下转第 13 页)

纤维数量、分布情况对抗拉强度的影响至关重要。前人根据复合材料理论将纤维增强混凝土看作是纤维强化体系,认为纤维混凝土的抗拉强度取决于基体混凝土和纤维的抗拉强度及纤维体积分数,可按式(1)计算^[4]:

$$\sigma_c = \sigma_m (1 - V_f) + \sigma_f V_f$$

(1)

式中 σ_c 为纤维混凝土抗拉强度,MPa; σ_m 为基体混凝土抗拉强度,MPa; σ_f 为纤维抗拉强度,MPa; V_f 为纤维体积分数。

由于钢纤维混凝土在实际施工中钢纤维不可能完全均匀的分布在基体每一部分,并且会存在方向效应。从表 4.3 试验数据可以看出,采用破坏面上的钢纤维数量来表述式(2)将更加准确:

$$\sigma_s = \sigma_m + \frac{n}{100} \cdot \frac{F_{fu}}{u_f l_{fe}}$$

(2)

式中 σ_s 为钢纤维混凝土抗拉强度,MPa;
n 为破坏面上钢纤维的数量,根; F_{fu} 为钢纤维埋深 1.5 cm 拉拔力,N; u_f 为钢纤维横截面周长,mm; l_{fe} 为纤维的埋入长度,mm。

4 结 语

本文对钢纤维混凝土界面微观结构进行了研究,采用数显推拉力计,测量单根钢纤维直接拔出

(上接第 8 页)

和热点,越来越多的水电厂业主和厂商相继启动了水电厂智能化建设的研究和试点。其中,对智能水电厂的水力机组振摆保护与状态监测装置的架构和设计进行了有益的探索,符合水电厂智能化技术发展的规律。

笔者提供的振动停机保护解决方法避免了因外在偶然因素引起的测量误差导致的振动事故停机保护误动作,提高了水力机组振动事故判别的准确性,避免了因误判造成的停机损失。同时在机组发生事故导致振动恶化时,能够准确有效地实施对水力机组的安全保护,防止事故扩大并避免机组遭受永久性损坏。

该方法可为智能化水电厂机组振动保护提供可靠且可行的解决方案,从而在整体上提高我国水力发电机组的安全保护水平。

参考文献:

时的拉拔力,研究钢纤维界面黏结强度,得出以下结论:

(1)界面层在钢纤维增强混凝土中扮演着重要角色,它是维系钢纤维混凝土两相材料应力传递的纽带,直接影响钢纤维的作用效果。钢纤维间距为一定值时,界面区越强,叠加强化效应越显著;当钢纤维所起作用效应范围一定时,界面效应叠加的面积随钢纤维间距减小而增大。

(2)由于钢纤维的分散性,在用复合材料理论推导钢纤维混凝土的抗拉强度公式时,采用破坏面上的钢纤维数量代替钢纤维体积率更为准确。

参考文献:

[1] 罗立峰,周建春,黄培彦. 聚合物钢纤维混凝土的增强机理分析[J]. 复合材料学报,2002,6(3):46-50.

[2] 高丹盈,刘建秀. 钢纤维混凝土基本理论[M]. 北京:科学技术文献出版社,1994.

[3] 孙伟, J. A. Mandel. 纤维间距对界面层的影响. 硅酸盐学报,1989,17(3):266.

[4] 黄土元,蒋家奋,杨南如,等. 近代混凝土技术[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2002:321-362.

作者简介:

曲懋轩(1990-),男,黑龙江鹤岗人,硕士,工程师,从事工程项目管理.

(责任编辑:卓政昌)

[1] 刘娟,潘罗平,桂中华,等. 国内水电机组状态监测和故障诊断技术现状[J]. 大电机技术,2010(2):45-49.

[2] 郭颖智. 水力发电机组振动摆度报警设置的问题以及倍频的应用[J]. 科技创业月刊,2016,29(23):122-123.

[3] 潘伟峰,孙尔军,朱传古,等. 智能水电厂振摆保护与状态监测装置典型设计[J]. 水电与抽水蓄能,2018,4(4):48-53.

[4] 段晨霞. 梅花水电站机组事故原因分析及处理[J]. 中国水能及电气化,2007,(8):47-48+51.

[5] 陈杰. 从俄罗斯萨扬电站事故探讨加强水电站运行管理[J]. 四川水力发电,2010,29(6):176-179.

作者简介:

赵国建(1962-),男,重庆彭水人,高级工程师,学士,从事水电站自动化,水力机组性能试验技术和管理工作的;

先 嘉(1982-),男,四川犍为人,工程师,学士,从事水电站自动化,水力机组性能试验技术和管理工作的;

方 伟(1990-),男,四川峨眉人,工程师,学士,从事水电站自动化,水力机组性能试验技术和管理工作的;

王 谦(1985-),男,重庆丰都人,工程师,从事水电站自动化,水力机组性能试验技术和管理工作的.

(责任编辑:吴永红)