

三峡工程左岸电站机组调试动力响应分析

张志诚, 陈广洲

(河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:介绍三峡左岸电站 1 号机组在调试、试运行过程中, 几种典型运行工况下厂房和引水钢管等关键部位的动力响应测试, 并将测试结果与钢管充水过程的测试结果进行比较。结果表明, 引水钢管测试部位的应变变化规律和钢管充水过程测试的应变变化规律相一致, 说明引水钢管应变变化较大主要是钢管内水压力发生变化所致; 机组甩负荷瞬间厂房和引水钢管测试部位的振动响应最大, 但振动能量量值不大, 说明机组在正常运行过程中不会危及结构物安全。

关键词:机组调试; 动力响应分析; 加速度响应; 动应变响应; 三峡工程

中图分类号:TK730.7

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2005)03-0055-03

Dynamic response analysis of start-up operation for unit regulation of left bank power station of Three-Gorges Project//
ZHANG Zhi-cheng, CHEN Guang-zhou (College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: An introduction was given to the dynamic response test on some key sections in the powerhouse and diversion steel pipes in several typical operation cases during the regulation and start-up operation of No.1 unit of the power station on the left bank of the Three-Gorges. The agreement of test results with those obtained during the process of water filling process of pipes shows that the large variation of strain of steel pipes is mainly caused by the variation of water pressure in the pipes. It is also found that the dynamic response of the test sections reaches the maximum value at the moment of load rejection of the unit, while the power of vibration is low. Therefore, the normal operation of the unit will not endanger the structure of the power station.

Key words: unit regulation; dynamic response analysis; acceleration response; dynamic strain response; Three-Gorges Project

随着我国西部水力资源开发力度的加大和大型水利枢纽的兴建, 电站机组装机容量越来越大, 大机组在启动、空载、不同出力、关机、甩负荷等不同工况下对机组厂房和引水钢管等结构物关键部位产生不利影响, 引起工程界的广泛关注。因此在机组调试、试运行过程中对关键部位进行动力响应测试, 并对测试资料进行分析, 以了解电站运行对厂房及引水钢管的影响是非常必要的, 有着重要的工程意义。

三峡左岸电站厂房单机装机容量 700 MW, 是目前世界上最大的单机机组。首次对 1 号机组调试、试运行全过程进行现场动态测试, 获得电站厂房及引水钢管在几种主要工况下的有关动力特征的数据, 以了解厂房及引水钢管的动力响应情况。

1 测试工况

对 1 号机组厂房进行了以下几种重要工况的动态现场测试: ①机组运行调试前; ②机组甩负荷过程, 分别进行了机组甩 175 MW 负荷, 甩 350 MW 负

荷和甩 600 MW 负荷; ③机组正常运行过程, 机组负荷约为 592 ~ 595 MW。

对 1 号机组引水钢管进行了以下几种重要工况的动态现场测试: ①机组甩负荷过程, 分别进行了机组甩 175 MW 负荷, 甩 350 MW 负荷和甩 600 MW 负荷; ②动水关进水口门过程; ③机组正常运行过程, 机组负荷约为 592 ~ 595 MW。

2 测试部位

为了了解机组运行过程对厂房和引水钢管结构动力响应的影响, 在机组厂房及引水钢管的关键部位设置监测断面。

左厂 1 号机组厂房共布置 5 组振动计, 分别布置在机组中心线的 44.00 m, 49.00 m (锥管进出口), 67.00 m, 75.30 m 和 82.00 m (尾水平台) 5 个高程处。每组布置 3 只传感器, 分别测试垂直坝轴线方向、平行坝轴线方向和垂直方向的加速度响应。具体位置见图 1。

作者简介: 张志诚 (1942—), 男, 山西大同人, 副教授, 从事水工结构安全研究。

1号机组引水钢管的动态测试在其拐弯段和斜坡段各选1个测试断面,每个测试断面布置应变测点5个,加速度测点2个.具体情况如下:每个应变测点布置3只应变计,分别测试钢管轴向、切向和45°方向的应变;每个加速度测点布置1只振动计,测试钢管外包混凝土的振动响应.2只振动计分别布置在与钢管顶、腰部应变测点相对应的外包混凝土中(距钢管表面30 cm),其中,布置在钢管顶部的测振方向为垂直向,而布置在钢管腰部的测振方向为水平(左右岸)向,见图2.

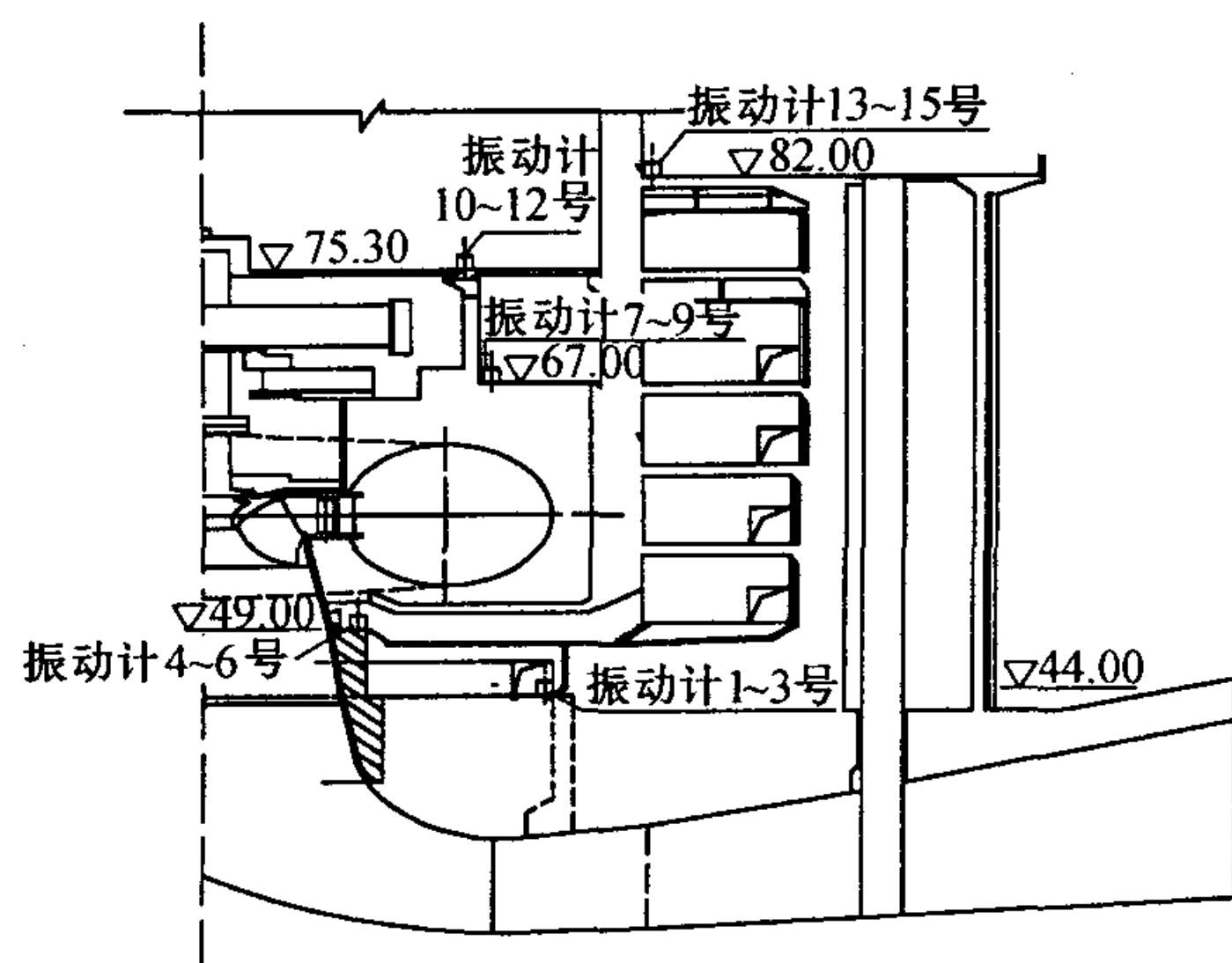


图1 厂房监测仪器布置示意图

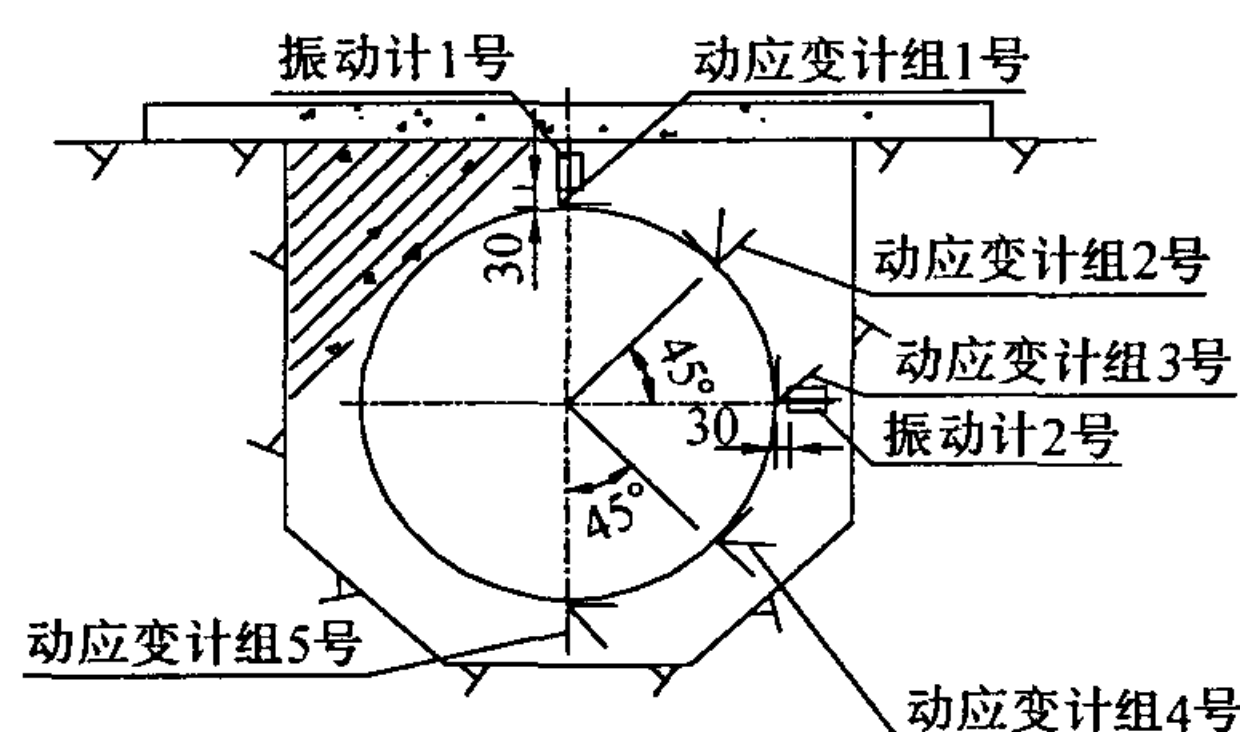


图2 引水钢管断面监测仪器布置示意图(单位:cm)

3 测试成果及分析

3.1 厂房

1号机组运行调试前的动态测试结果表明在相邻机组正常运行的振动信号激励下,厂房各部位的振动能量非常小,其最大的振动加速度峰值均不超过 2.5 cm/s^2 ,最大振动响应出现在49.00 m高程(锥管入口)的垂直向,而且加速度有效值(或标准差)也均不超过 0.65 cm/s^2 .

厂房在1号机组甩不同负荷工况下最大的振动加速度响应均出现在75.30 m高程的垂直向,最小的振动加速度响应均出现在82.00 m高程的尾水平台处.测振方向为垂直向,埋设高程为75.30 m,分别甩175 MW,350 MW,600 MW负荷厂房最大的振动加速度峰值为 16.087 cm/s^2 , 18.532 cm/s^2 , 14.382 cm/s^2 .

在甩荷过程中,各部位振动加速度响应最大峰值均出现在甩荷瞬间.甩荷瞬间各部位振动响应增大的主要原因是壳体内和引水钢管中水流流态发生剧变,导致水流产生脉动压力,从而激发厂房各部位的振动加速度响应在较短时间(3~6 s)内均呈增大的趋势,而后,随着水流脉动的减弱,各部位的加速度响应逐渐减小,直至与甩荷前的相近.

1号机组正常运行工况下厂房最大、最小振动加速度响应均出现在锥管入口处(49.00 m高程),该部位上下游方向的振动加速度响应最大峰值达 33 cm/s^2 ,加速度有效值为 6.51 cm/s^2 ,而垂直向的振动加速度响应最大峰值仅为 0.6 cm/s^2 .此外,在75.30 m高程处(电机座环附近)振动加速度响应也相对较大,3个方向的加速度最大峰值均超过 10 cm/s^2 ,加速度有效值也在 $3 \sim 5 \text{ cm/s}^2$ 之间.若从3个方向的加速度响应分布看,除尾水平台外,其他各部位均以上下游方向的振动响应为大.

上述各工况的测试结果表明,受水轮机运转的影响,水轮机组运行后,厂房各部位的振动响应均比机组运行前有不同程度的增大,越靠近机组的部位受其影响越明显,而远离机组的则受其影响较小(如尾水平台).该现象是由于振源(水轮机)激励信号在向外传输过程中,受传输介质、路径等因素的影响,激励能量损失造成的.另外,各部位的振动响应大小还与振源的激励方向有关,当振动响应的方向与振源的激励方向相一致,则振动响应大,反之,振动响应小.

测试成果也表明,虽然机组运行后厂房各部位的加速度响应较机组运行前的大,但各部位的加速度有效值均在 6.5 cm/s^2 之内,从各测点采集的振动响应信号频谱分析后得知,机组在甩不同负荷及正常运行工况下,在0~50 Hz频段内,厂房各部位的振动加速度谐波分量没有相对明显的峰值,说明厂房在该频段内没有发生共振现象,水轮机组运转诱发厂房发生振动的能量不大,或者说厂房在机组运行后的振动能量较小,机组运行不会危及厂房的安全.

3.2 引水钢管及外包混凝土

在1号机组甩不同负荷及动水关进水口门工况下,对引水钢管的动应变进行了测试.测试结果表明,在甩荷过程中,由于管内的水流流态瞬间发生变化,引起钢管的动应变产生不同程度的增大,但不会引发钢管产生较大的应力.

在动水关进水口门过程中,引水钢管各部位拉应变均减小,其中均以位于引水钢管底部的测点应变变化最大,该结果与钢管充水过程测试的结果相比,各部位应变变化规律相一致,变化量普遍比充水

表 1 引水钢管动应变响应最大值

工 况	测振方向	正向最大值/ 10^{-6}	埋设高程/m	工 况	测振方向	负向最大值/ 10^{-6}	埋设高程/m
甩 600 MW 负荷	切 向	26.023	83.70	甩 600 MW 负荷	切 向	- 14.358	83.70
动水关进水口门	轴 向	22.454	104.20	动水关进水口门	轴 向	- 266.827	99.40

表 2 引水钢管动应变响应最小值

工 况	测振方向	正向最小值/ 10^{-6}	埋设高程/m	工 况	测振方向	负向最小值/ 10^{-6}	埋设高程 /m
甩 600 MW 负荷	轴 向	1.487	85.80	甩 600 MW 负荷	45°	- 1.074	108.00
动水关进水口门	轴 向	0.065	81.73	动水关进水口门	轴 向	- 6.186	89.80

过程的小.动水关进水口门过程中,引水钢管应变变化较大主要是钢管内水压力发生变化所致.两种重要工况下引水钢管动应变响应见表 1 和表 2,引水钢管动水关进水口门过程与充水过程动应变响应变化量比较见表 3.

表 3 引水钢管两过程动应变响应变化量比较

测振方向	埋设高程/ m	动应变响应变化量/ 10^{-6}	
		动水关进水口门	充水过程
轴 向	99.40	268.45	195.40
轴 向	81.73	172.71	175.02
45°	81.73	161.40	189.35

机组正常运行工况下,除少数测点外,引水钢管各测点的动应变最大值均在 2 个微应变以内.测试结果表明,机组正常运行过程中,管内的水流脉动没有导致引水钢管产生大的应力,而只诱发结构物产生微小的振动响应.

将从各测点采集的振动响应信号进行频谱分析后得知,机组调试、试运行过程几种重要工况下,在 0~50Hz 频段内引水钢管的动应变响应谐波分量主要分布在低频段,在 2~11 Hz,18~25 Hz 和 34~41 Hz 几个频段之间,即在 1.9 Hz,3.7 Hz,6.3 Hz,16 Hz 和 32.5 Hz 几个频率附近钢管的动应变响应相对明显,但量值不大.钢管振动谐波分量主要分布在低频段可能与受水流脉动压力直接激励有关.

甩负荷工况下,甩荷瞬间钢管外包混凝土各部位的振动加速度响应均呈增大趋势,其最大加速度峰值均不超过 4 cm/s².测试结果表明,甩负荷对引水管外包混凝土的振动影响仍然较小.

动水关进水口门工况下,由于受管内水流流态和水压变化的影响,钢管外包混凝土各部位的振动加速度响应也随之发生变化,其最大加速度峰值不超过 7 cm/s².这说明动水关进水口门过程没有导致钢管外包混凝土产生大的振动响应.两种重要工况下钢管外包混凝土的振动加速度响应见表 4.

表 4 钢管外包混凝土振动加速度响应

工 况	测振方向	加速度峰值/ (cm·s ⁻²)	埋设高程/ m	加速度有效 值/(cm·s ⁻²)
甩 600 MW 负荷	垂直	3.952	109.83	0.576
动水关进水口门	水平	6.457	85.80	0.719

在 1 号机组正常运行工况下,钢管外包混凝土各测点的振动加速度最大峰值均在 4 cm/s² 之内.

将从各测点采集的振动响应信号进行频谱分析后得知:机组调试、试运行过程几种重要工况下,在 0~50 Hz 频段内,引水钢管外包混凝土发生振动加速度的谐波分量主要分布在高频段,在 18.8 Hz,32.5 Hz 和 37.5 Hz 3 个频率附近的振动响应相对明显,但其量值不大,在引水钢管正常引水发电运行过程中,诱发引水钢管外包混凝土产生振动的量值非常小,该结果表明,钢管内水流的脉动压力诱发其外包混凝土发生振动的能量相当小.

上述测试结果表明,引水钢管内的水流在各种工况下发生流态变化,均没有诱发钢管及其外包混凝土发生大的振动响应.

4 结 论

通过对左岸电站 1 号机组试运行振动测试结果的分析,得出:①在机组甩负荷瞬间,厂房各部位的振动加速度响应均增大,最大的加速度响应出现在 75.30 m 高程的垂直向.②机组正常运行过程中,厂房最大的加速度响应出现在锥管入口部位.③在动水关进水门口过程中,引水钢管各部位的应变变化较大,各部位应变变化规律和钢管充水过程所测试的应变变化规律相一致,说明引水钢管应变变化较大主要是钢管内水压力发生变化所致.④在机组正常运行过程中,钢管内水流脉动不会诱发引水钢管产生大的应变,同时也没有引起外包混凝土产生大的振动.⑤在机组甩负荷等不利工况下,均没有诱发厂房和引水钢管及钢管外包混凝土产生大的振动响应,说明厂房、引水钢管工作状态是安全的.

通过对机组甩负荷、正常运行及动水关进水口门过程的动态测试,在这几种典型工况下振动响应较大的部位是建筑物最薄弱的部位,必须加强监测,以避免造成对结构物的危害.特别是甩荷瞬间,测试部位均产生较大的振动响应,要避免在钢管及外包混凝土振动响应相对明显的频率下工作,以免产生共振,危及结构物安全.

(收稿日期:2004-04-20 编辑:骆超)