

某抽水蓄能电站甩负荷试验与仿真计算成果分析

李 高 会, 余 雪 松

(中国电建集团 华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310014)

摘要:考虑到抽水蓄能电站压力脉动较大,为了确保压力脉动修正的合理性,首次提出了实施延时段和关闭段分段修正的修正方法。根据某抽水蓄能电站实际运行调度情况,确定了极端控制性工况,并采用数值仿真手段对该极端控制性工况展开预测计算,以验证其结果是否满足调节保证设计要求。验证结果表明,现场实测数据和数值仿真计算结果具有较好的吻合性。可为该电站长期、安全运行提供参考依据。

关键词:分段修正; 机组甩负荷; 极值预测; 抽水蓄能机组

中图法分类号: TK731

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.05.024

某抽水蓄能电站设计安装有 4 台单机容量 300 MW 的可逆式抽水蓄能机组,总装机容量 1 200 MW。发电最大净水头为 447.0 m,输水系统全长约 2 061.8 m,输水系统主要由上水库进/出水口、引水隧洞、引水岔管、高压钢支管、尾水支管、尾水岔管、尾水调压室、尾水隧洞、下库进/出水口等建筑物组成。电站采用“两洞四机”布置,共分成 2 个水力单元,每个水力单元的机组上游侧为“一洞两机”形式输水,机组下游侧为“两机一洞”形式输水。

1 关闭规律分析

某电站采用的导叶启闭规律是:对于水轮机工况,先延时 10 s,然后以斜率为 1/25 的直线关闭,机组导叶全开到全关的时间为 35 s,水泵工况机组导叶全开到全关的时间为 20 s;机组导叶水轮机工况和水泵工况采用 25 s 一段直线开启。

对于抽水蓄能电站而言,由于流道狭长,水泵水轮机的转轮直径一般比常规水轮机直径大 30%~50%,相应地离心力就大,即使在水轮机方向旋转,也存在部分水泵作用,产生阻止水流进入转轮的作用力;当转速达到飞逸转速时,离心力就会急剧加大,尽管此时转速和接力器行程变化很小,其流量也将产生很大变化,从而产生较大水锤压力。根据可逆机组这一特点,当机

组发生甩负荷工况时,导叶在一段时间内会保持缓慢关闭,此时机组的转速快速上升。随着过渡过程中的转速加大,当机组的工况点接近飞逸线、到达 S 型区域附近时,转速对流量变化的影响加大。此时由于机组导叶开度变化较小,流量的变化仅由机组转速上升引起,使流量的变化相对较缓,因此水锤压力也相对减小。当延时段结束,机组过流量由于转速上升的影响已经变得很小,因而若此时采用一段直线来关闭导叶,理论上不会产生较大的水锤压力。

由于该电站“S”区较为陡峻,“截流效应”明显(见图 1)^[1-2],因此,考虑对机组采用导叶延时,然后再实施一段直线关闭的方式来处理。因为这样可以在一定程度上改善机组蜗壳的最大压力。

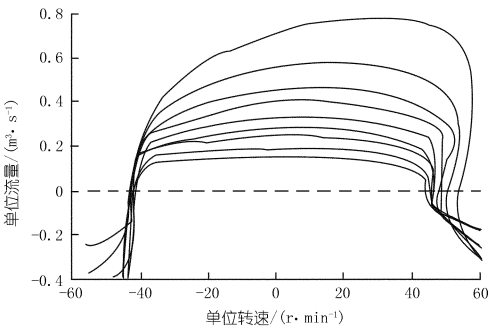


图 1 机组转速与流量特性曲线

2 实测数据与数值仿真计算结果比较

2.1 甩负荷试验工况

目前国内抽水蓄能机组进行甩负荷试验的电站较多^[3-4],试验结果表明,相比单机甩负荷情况,同一水力单元双机同时甩负荷的情况更为恶劣。因此,本文主要针对该电站双机甩负荷试验,尤其是同一水力单元的所有机组(双机)同时甩全负荷试验,开展详细的对比和分析。双机甩负荷试验工况如下。

(1)工况 1。上库水位为 728.90 m,下库水位为 287.17 m,2 台机组均带 75% (225 MW) 负荷,且 2 台机组同时甩负荷,机组导叶正常关闭。

(2)工况 2。上库水位为 730.25 m,下库水位为 286.23 m,2 台机组均带 100% (300 MW) 负荷,且 2 台机组同时甩负荷,机组导叶正常关闭。

在数值仿真计算过程中,首先对稳态运行工况进行比对,即由上、下库水位及机组出力推算导叶开度、流量和压力,并与实测数据比对,在此基础上,采用与甩负荷试验相同的调速器运动规律完成甩负荷过渡过程的数值模拟。数值计算的边界条件与试验实际情况完全一致,保证比对结果的真实和可靠^[5]。

2.2 对比分析原则

由于该电站采用的是先延时 10 s、后 25 s 一段直线关闭规律,通过实测发现,导叶在延时 10 s 时段内压力脉动较大,而在后 25 s 关闭过程中压力脉动相对较小(图 2 和图 3 分别为双机同甩额定负荷时,1 号机组蜗壳和尾水管进口压力变化过程线),因此,在分析压力脉动和计算误差时,应将甩负荷过程分为导叶延时段和导叶快关段极值情况分别开展对比分析。应针对机组蜗壳最大压力和尾水管进口最小压力,对导叶延时段及其快关段 2 个阶段的实测值和计算值进行分析对比,以得出这 2 个阶段的压力脉动和计算误差修正值。

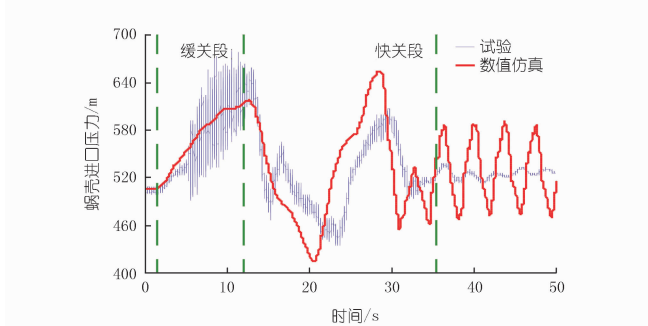


图 2 1 号机组蜗壳变化过程线

对于机组蜗壳最大压力和尾水管进口最小压力的压力脉动和计算误差的相对偏差,宜采用“相对差值

= (数值计算值 - 试验实测值)/甩前净水头”来确定;而对于机组最大转速上升率计算误差的偏差,则宜采用“差值 = 数值计算值 - 试验实测值”来确定。

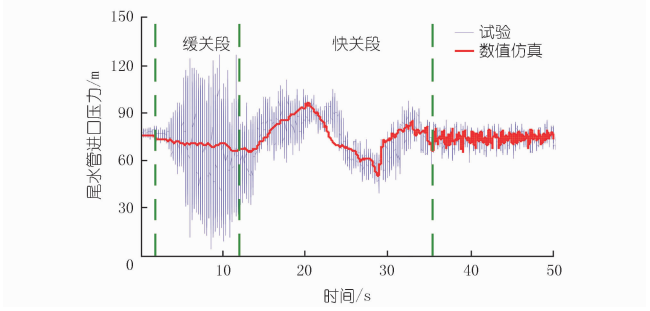


图 3 尾水管进口压力变化过程线

2.3 试验结果与计算结果对比分析

在同等边界条件下,数值计算与仿真计算结果的对比情况列于表 1。

表 1 实测数据与数值仿真计算结果对比

工况	机组 编号	机组蜗壳最大压力/m				尾水管进口最小压力/m				机组最大转速	
		延时段		快关段		延时段		快关段		上升率/%	
		实测	仿真	实测	仿真	实测	仿真	实测	仿真	实测	仿真
1	1	642.88	600.50	578.01	616.46	40.78	70.95	56.79	65.46	28.10	29.19
	2	649.11	611.84	579.01	621.68	42.68	66.24	58.17	64.90	28.50	29.20
2	1	680.54	619.80	608.45	650.55	37.54	63.70	46.13	51.45	38.30	38.61
	2	677.79	618.90	614.44	653.77	38.98	64.92	46.93	50.22	39.10	38.75

由表 1 及图 4~7 可以看出,在不考虑压力脉动的前提下,数值仿真结果与试验结果具有较好的吻合度。其中机组蜗壳和尾水管进口压力在延时段的脉动值较大,在快关段的压力脉动值相对较小。

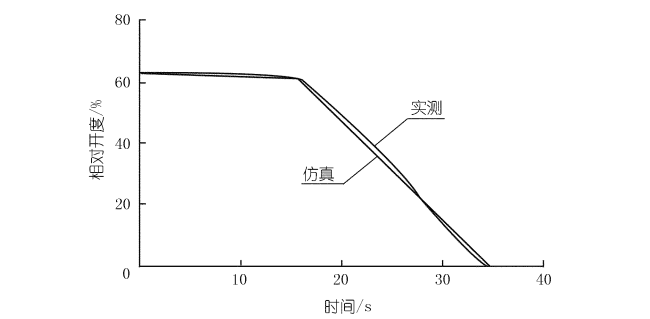


图 4 1 号机组导叶开度变化过程线(工况 1)

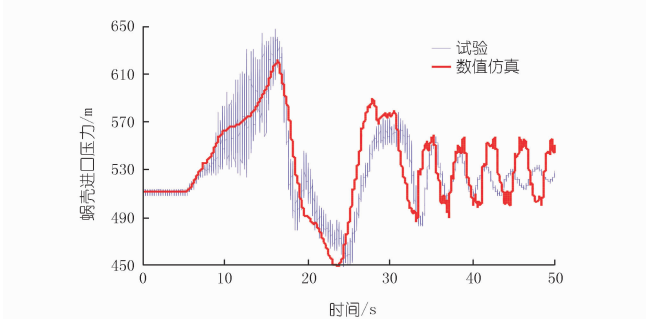


图 5 1 号机组蜗壳压力变化过程线(工况 1)

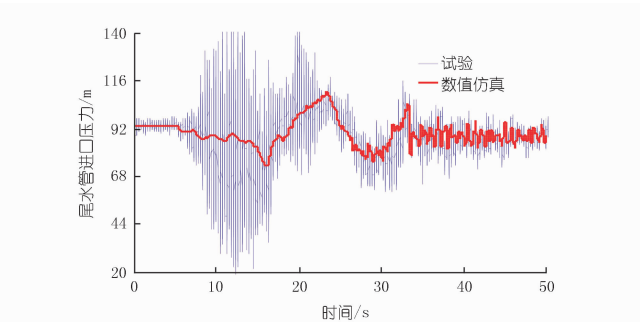


图 6 1 号机组尾水管进口压力变化过程线(工况 1)

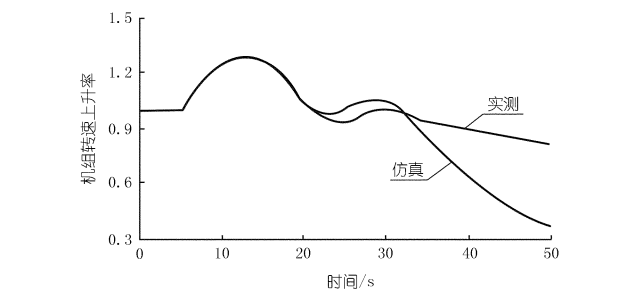


图 7 1 号机组转速上升率变化过程线(工况 1)

为确保工程的安全性,需要对该电站可能发生的极端控制性工况实施复核计算,并对计算结果予以修正,主要是按照已有的试验工况以及最不利的情况进行修正。具体修正取值如表 2 所示。

表 2 各个特征参数修正原则			%
特征参数	机组蜗壳最大压力	尾水管进口最小压力	机组最大转速上升率
延时段	-13.52	7.38	-1.18
快关段	4.65	2.24	-1.18

注:对于机组蜗壳最大压力、尾水管进口最大及最小压力的计算误差和压力脉动的修正值,根据“相对偏差=(数值计算值-试验实测值)/见前净水头”来确定;对于机组最大转速上升率、受扰机组最大输出功率的修正值,则根据“数值计算值-试验实测值”来确定。

3 极端控制性工况复核

针对该电站在运行过程中可能会遇到的极端控制性工况开展了复核计算,并根据甩负荷试验实测与计算情况,对压力脉动值给予了修正。极值控制性工况计算结果如表 3 所示。

表 3 大波动过渡过程计算极值参数					
特征参数	机组蜗壳最大		尾水管进口最小		机组最大转速 上升率/%
	压力/m		压力/m		
	延时段	快关段	延时段	快关段	
计算值	643.67	679.9	25.11	4.22	41.09
修正后值	708.92	658.11	-7.23	-6.28	42.27
结构设计值	748		-10		/

机组蜗壳最大压力及尾水管进口最小压力发生在最高水头条件下,一台机组事故甩负荷,机组导叶正常关闭;另一台机组导叶在最不利时刻出现事故甩负荷,机组导叶也正常关闭。其原因主要是由于另一支管上的机组导叶关闭从而导致了该支管上的机组过流量出现短时间的增加,致使事故甩负荷时深入“反水泵”区更深,因此各项计算值也将更大;机组最大转速上升率往往是发生在额定水头、额定输出功率的 2 台机组事故甩负荷,且一台机组导叶为正常关闭,而另一台机组导叶拒动的工况条件下。其原因是在前 10 s 内,导叶关闭规律一样,机组第一波最大转速上升率相同;在接下来 25 s 内,同一水力单元的一台机组导叶正常关闭,在此过程中会导致另外一台导叶拒动机组的过流量增加,这样将可能使该导叶拒动机组的转速上升率会上升的更高。

根据甩负荷试验情况对压力值给予修正,机组蜗壳最大压力和尾水管进口最小压力值被修正以后,仍然没有超过设计值。因此,说明其输水系统及机组均处于安全状况。

4 结语

根据现场甩负荷试验实测资料,对该抽水蓄能电站开展了与其同等边界条件下的水力过渡过程仿真计算,计算结果与实测结果具有很好的吻合度。同时,还对极端控制性工况开展了仿真预测,结果表明,在极端工况下,机组蜗壳最大压力、尾水管进口最小压力以及机组最大转速上升率均能满足设计要求,为该电站今后的安全运行提供了参考依据,并可为其他电站开展水力过渡过程计算及设计提供参考。

参考文献:

[1] 侯才水,程永光.高水头可逆式机组导叶与球阀的协联关闭[J].武汉大学学报:工学版,2005,38(3):59-62.

[2] 齐央央,张健,李高会,等.抽水蓄能电站球阀联动——导叶滞后关闭规律研究[J].水电能源科学,2009,27(5):176-178.

[3] 张健,刘德有,刘辉,等.江苏沙河抽水蓄能电站关闭规律与实测分析[J].水电能源科学,2004,22(2):39-41.

[4] 游光华,刘德有,王丰,等.天荒坪抽水蓄能电站甩负荷过渡过程实测成果仿真分[J].水电能源科学,2005,23(1):24-28.

[5] 林恺.惠州抽水蓄能机组过渡过程实测结果与仿真分析[J].广东电力,2004,24(6):14-17.

(编辑:赵秋云)

业标准。

3.2.3 加强核心能力建设

总包单位需要从制度和管理模式上创造条件加强现场管理人员的核心能力建设,培养一批既有现场施工技术经验,又会应用现代化管理技术的复合型管理人才。

(1)重视工程实践,积累管理经验。总包单位应要求和鼓励年轻管理人员(专业工程师)将大部分工作时间放在工地现场,与工人一道工作,参与工程实践,向设计、制造、土建、安装等施工企业学习技术和管理实践经验,学好了再参加管理。

(2)注重现代化管理技术的有效应用。总包单位应根据现场管理人员的工作特点,通过绩效考核、晋升等手段,促进现场管理人员熟练掌握与自己工作密切相关的现代化管理技术,做到有的放矢,学以致用。

4 结 语

我国核电规模化建设以及中国核电“走出去”战

略的逐步实施,赋予了我国核电工程总包企业更多的责任和使命。为此,本文分析了我国核电工程 EPC 现场管理中存在的问题,从管理理念、管理体系、管理能力三方面进行对策研究,并提出了 EPC 接口深度搭接模型以及动态管理经验反馈控制模型,为构建总承包单位精细化的管理体系和企业标准,加强核电工程 EPC 总承包现场管理的核心能力建设提出了一种可供参考的改进对策。

参考文献:

- [1] 程平东,孙汉虹.核电工程项目管理[M].北京,中国电力出版社,2006.
- [2] 邹德麟.中核集团核电工程项目进度管理新模式探索及研究[D].上海:上海交通大学,2009.
- [3] 秦宏伟.浅谈核电工程总承包管理存在的问题[J].建筑经济,2009,(11):52-54.
- [4] 雷斌.EPC 模式下总承包商精细化管理体系构建研究[D].重庆:重庆大学,2013.
- [5] 周海.EPC 模式下核电工程项目管理研究-以方家山核电工程为例[D].杭州:浙江工业大学,2009.

(编辑:赵凤超)

Study on typical problems of in - site EPC management in nuclear power project and countermeasures

YU Fei, LIU Haibo, ZHANG Tao, LI De, LIU Jing

(New Energy Design & Consulting Company, Changjiang Institute of Survey, Planning, Design, and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: Due to the short time of EPC general contracting management mode operation of nuclear power projects in China, there are still many problems in the in - site EPC management, including the inaccuracy positioning of general contractor in management, unsmooth information transmission among different departments, un - elaborate quality control, insufficient control of construction schedule etc. The main causes are unconformity of management idea and EPC contracting mode, extensive management and insufficient core capability construction. For these reasons, the countermeasures are put forward from 3 aspects of management idea, management system and management ability, and the in - depth interface connection model and feedback control model of dynamic management experience are suggested, which lays a foundation for establishing the elaborate management system and standard and core capability construction of EPC in - site management.

Key words: nuclear power project; EPC general contracting; elaborate management; countermeasure research

(上接第 104 页)

Load shutdown test and simulation analysis of a pumped - storage power station

LI Gaohui, YU Xuesong

(Power China Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Due to the large pressure pulsation of pumped - storage power station, it is the first time to put forward the sectional correction method by time - delaying and closure time separately to make sure the rationality of the pressure pulsation correction. An extreme control condition is determined according to the actual operation of a pumped - storage power station. The prediction calculation is conducted in view of the control condition by using numerical simulation, so as to verify whether the calculation results can satisfy the design requirements or not. The result shows that the measured data on site coincides with the simulated results.

Key words: sectional correction; load shutdown of units; prediction of extremes; pumped - storage unit