

核电机组常规岛主蒸汽管道汽锤计算工况 讨论及应用

李航, 席琛

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 对核电机组的常规岛主蒸汽管道瞬态计算不同工况进行分析, 通过定性分析与模拟计算结果, 得出了不同工况下主蒸汽管道所受汽锤力的力和力矩。通过对不同工况下的主汽门所受最大荷载分析, 得到主蒸汽管道造成主汽门最大荷载出现的工况, 从而对核电机组主蒸汽管道的瞬态计算工况进行判断和选择。

关键词: 瞬态计算; 汽锤力; 工况分析; 动态荷载

中图分类号: TL353.11

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0051-04

Different Conditions Analysis on Steam Hammer Calculation of Main Steam System in Nuclear Power Plants Conventional Island

LI Hang, XI Chen

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: In this paper nuclear power plants conventional island main steam system transient calculation under different conditions were analyzed. Through qualitative analysis and simulation results, obtains the steam hammer force of main steam system under different conditions. By comparing steam hammer loads of main steam valve in different conditions, get the maximum load condition. This paper mainly provides the way to choose main steam system transient calculation conditions.

Key words: transient calculation; steam hammer pressure; working condition analysis; dynamic load

电厂设计中考虑作用于管道上的荷载通常包括管道及管内介质自重、介质运行压力、风、雪、地震、流动瞬变引起的冲击或振动等机械荷载, 还包括管道热胀冷缩和管道端点附加位移等引起的热荷载。管道荷载可分为动态荷载和静态荷载; 静态荷载是缓慢的、无振动的作用于管道上的荷载。动态荷载是随时间有迅速变化的荷载。本文讨论的核电厂中的主蒸汽管道动态荷载情况为: 阀门突然关闭引起的汽锤现象; 此类荷载的特点是荷载值由零跃升到某一极值, 然后随时间逐步波动直至趋向

于零。

由于核电机主蒸汽管道的布置情况较为复杂, 对于产生汽锤的主汽阀关闭这一情况, 不再是单一的状态, 本文就主汽阀关闭可能的三种工况进行了分析, 从而更加准确的得出主汽门在瞬态作用下的受力情况。

1 汽锤的产生原理及计算方法

当主汽门突然关闭, 由于在主汽门的蒸汽突然滞止, 而此时核岛内仍有大量蒸汽源源不断涌向汽轮机, 因此主汽门将形成一个压力激增过程, 产生一波压力波, 此压力随阀门关闭的过程而增大^[1]。

电力行业早就应用手算汽锤力计算模型:

$$F_i = 1.05 \frac{Q_i L}{T_c \times 3600 \times 1000} \quad (1)$$

收稿日期: 2016-10-21

基金项目: 中国能建广东院科技项目“核电关键核心技术研究”(EX03901W)

作者简介: 李航(1985), 男, 陕西西安人, 工程师, 硕士, 主要从事发电设计工作(e-mail)lihang@gedi.com.cn。

式中： F_i 为计算管段的不平衡力，N； Q_i 为管道介质流量，kg/h； L 为计算管道长度，mm； T_c 为阀门关闭时间，s。

采用公式计算瞬态荷载需要反复进行迭代计算，当管网复杂时，手算法将无法处理在动态情况下各分支的流量分配和来自各分支的压力波叠加。此叠加的压力波并非在所有情况下均为相互抵消，有可能加剧汽锤现象。

随着计算机技术的发展，利用计算机模拟汽锤作用的产生及产生的影响，在工程实践中得到越来越多的应用。本文重点介绍利用 pipenet 模拟瞬态汽锤力^[2-3]，对核电机组主蒸汽管道动态力进行响应谱分析时的几种工况的考虑。

2 工况讨论

本文对 1 000 MW CPR1000 核电机组主蒸汽管道进行动态分析，主要考虑主汽阀突然关闭引起管道内部产生的汽锤力。该机组主汽阀共有 4 个，分为上下两组对称分布。

传统意义上的主蒸汽管道瞬态分析一般是针对四个主汽阀，考虑四阀全关的工况，认为此时所受的瞬态汽锤力最大。本文则在此基本工况外，对另外两种工况也进行了讨论和计算。通过比较三种工况下的瞬态力，对核电机组主蒸汽管道瞬态分析的工况进行选择。以下三种工况分别为：工况一，在机组满负荷允许时四个主汽阀同时关闭；工况二，在一个主汽阀故障关闭情况下，汽轮机通过剩余三个主汽阀带满负荷运行，三个主汽阀同时关闭；工况三，5% 负荷下，一个主汽阀误动作引起的汽锤力。

2.1 工况一：四个主汽阀同时关闭

四个主汽阀同时关闭工况出现在事故工况下，主汽阀要在短时间内关闭，但此时核岛蒸汽仍然源源不断涌向汽轮机，在主汽门将形成一个压力激增的过程，产生一波压力波，此压力随阀门关闭的过程而增大。

通过 pipenet 软件模拟主汽阀的工作状态，在 2 s 中的时候突然关闭，通过主汽阀的蒸汽流量骤减。主汽阀关闭后管路所受到的瞬态力如图 1 所示。

由图 1 可知，关闭主汽阀瞬间产生的瞬态力最大，随后，瞬态力在震荡中逐步减小。此种工况下 4 个阀门关闭曲线类似，上方两个接口及下方两个接口的汽锤力比较接近。

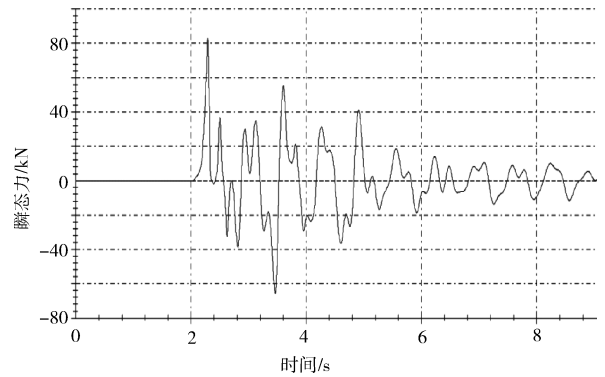


图 1 管路产生的瞬态力

Fig. 1 Transient force of main steam system

2.2 工况二：在一个主汽阀失效的状况下，其他三个主汽阀同时关闭的工况

若主机厂允许在一个主汽阀故障关闭情况下汽轮机通过剩余三个主汽阀带满负荷运行，汽锤计算需考虑该工况。所以，本文将此工况也列入考量范围：在一个主汽阀已经失效的情况下，其他三个主汽阀接的指令短时间内关闭。

通过 pipenet 软件模拟，在 2 s 中的时候正常工作的三个主汽阀突然关闭，通过主汽阀的蒸汽流量骤减。之前就失效解列主汽阀关闭后管路所受到的瞬态力如图 2 所示。三个正常运行的主汽阀关闭后管路所受到的瞬态力如图 3 所示。通过比较可以看出，失效的主汽阀由于一直处于关闭状态，所受到的瞬态力要小于其他三个正常运行阀门在突然关闭时受到的瞬态力。且主汽阀受到的瞬态力也是呈现震荡减小的趋势。

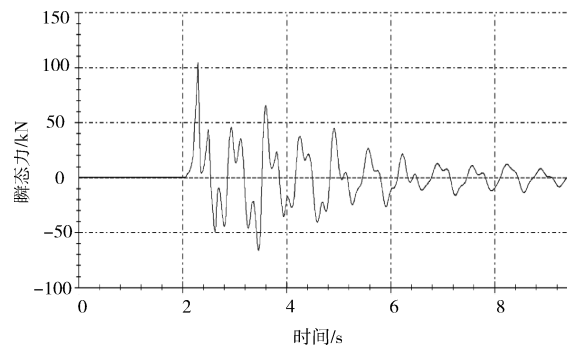


图 2 失效的主汽阀所受瞬态力

Fig. 2 Transient force of invalid main steam valve

2.3 工况三：在 5% 负荷下，一个主汽阀误动作跳开，随后又进行关闭引起的汽锤力分析

阀门在某一时刻误动作跳开，然后又关闭的情况如图 4 所示。此阀门开闭引起的动态力作用情况

如图 5 所示。可以看出, 在阀门开闭瞬间, 动态力数值达到顶峰, 随后震荡减小。

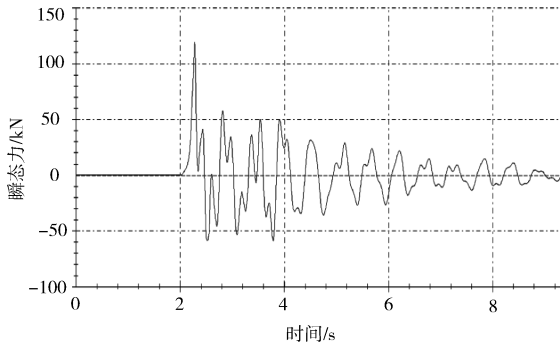


图 3 正常运行的阀门关闭后所受瞬态力的情况

Fig. 3 Transient force of normal operation main steam valve

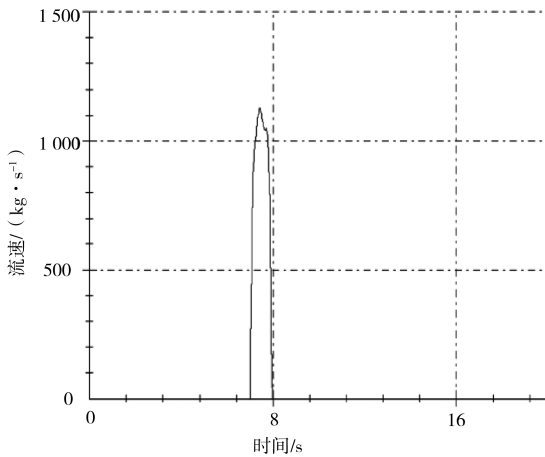


图 4 误动作阀门的开闭情况

Fig. 4 Error action main steam valve

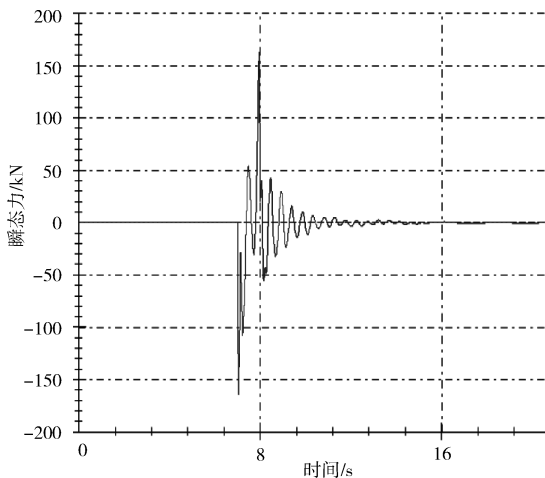


图 5 误动作阀门所在管线所受瞬态力的情况

Fig. 5 Transient force of error action main steam valve

3 汽锤力结果分析

通过 pipenet 模拟了瞬态力的响应谱, 代入 CII

中进行具体的受力分析计算^[4], 可以得出汽锤对主汽门产生的瞬态作用力如表 1 所示。

根据表 1 的结果, 对上述三种工况进行定性分析与定量分析相结合:

1) 工况一: 上方两个接口及下方两个接口的汽锤力比较接近。

表 1 汽缸接口汽锤工况下的推力

Tab. 1 Force in steam hammer analysis

工况	接口	F_x/N	F_y/N	F_z/N
工况一	汽缸接口 1	17 303	62 985	33 143
	汽缸接口 2	63 443	44 310	52 200
	汽缸接口 3	62 012	43 670	51 601
	汽缸接口 4	17 133	64 338	38 761
工况二	汽缸接口 1	19 703	61 571	32 512
	汽缸接口 2	77 265	49 520	60 877
	汽缸接口 3	62 635	43 786	57 045
	汽缸接口 4	14 884	59 548	36 693
工况三	汽缸接口 1	9 421	43 713	24 011
	汽缸接口 2	11 302	25 285	24 788
	汽缸接口 3	57 718	42 170	68 913
	汽缸接口 4	10 873	48 327	31 902

由于第一种工况是四个阀门同时以同样的形式动作, 受力均匀, 同时 100% 工况下的动作, 导致每个主汽门受力都比较大, 接近设备接口可承受力的上限。

2) 工况二: 中间两个主汽阀受力较大, 事故阀门受力最小。

由于事故阀门一直处于关闭状态, 而其他三个阀门经历了短时间内由正常工作状态关闭的过程, 所以其他三个阀门的受力大于事故阀门。

3) 工况三: 事故阀门受力较大。

此种工况较为特殊, 三个阀门都处于关闭状态, 整个机组在 5% 的负荷下运行, 故障阀门跳开后迅速关闭, 因此故障阀门处受的汽锤力较大, 由上表数据可以看出。同时由于机组符合较低, 此种工况下主汽门所受合力 and 合力矩小于前面两种工况。

通过对以上结果的分析, 可以得出, 汽缸接口 1 的 F_x 最大值出现在工况二, F_y 和 F_z 最大值出现在工况一; 汽缸接口 2 的 F_x 、 F_y 和 F_z 最大值出现在工况二; 汽缸接口 3 的 F_x 最大值出现在工况一, F_y 最大值出现在工况二, F_z 最大值出现在工况三;

汽缸接口4的 F_x 、 F_y 和 F_z 最大值出现在工况一。也就是说三种工况都有可能是接口的极端工况。

4 结论

综上所述,上表中的计算结果与理论定性分析结果吻合。以前大多数工程,主汽门的汽锤力动态计算都只考虑本文中的第一种工况,通过本文的分析讨论,可以看出,主汽门接口的最大瞬态力并非完全出现在第一种工况的情况下。由此可见,对主汽门做以上三种工况分析是必要的。对于不同工况下可能出现的最大值作出判断,是准确计算瞬态工况下主汽门力和力矩最大值的基础。对于在一个主汽阀故障关闭情况下汽轮机通过剩余三个主汽阀允许带满负荷运行机组,考虑这三种工况是有必要的,同时也能更加准确的得出主汽门所受的汽锤力的大小。

参考文献:

[1] 肖高绘,冀大伟,田野.主蒸汽管道系统汽锤响应分析方法

研究[J].热力透平,2015,44(4):284-289.

XIAO G H, JI D W, TIAN Y. Research on analysis methods of steam hammer response in main steam piping system [J]. Thermal Turbine, 2015, 44(4): 284-289.

[2] 赵嘉明,韩世超,皮耀,等.某核电堆型主蒸汽系统汽锤研究[J].南方能源建设,2015,2(4):62-65.

ZHAO J M, HAN S C, PI Y, et al. Research on steam hammer of main steam system in a nuclear reactor type [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(4): 62-65.

[3] 于沛,李嫦月.压水堆核电站主蒸汽管道汽锤计算分析[J].核动力工程,2014,35(S1):124-127.

YU P, LI C Y. Steam hammer calculation and analysis in main steam system of PWR nuclear power plants [J]. Nuclear Power Engineering, 2014, 35(S1): 124-127.

[4] 郑明秀,刘赞.使用CAESAR II对火电厂主蒸汽管道的动态分析[J].吉林电力,2011,39(3):1-6.

ZHENG M X, LIU Y. Dynamic analysis of main steam pipe in thermal power Plants by CAESAR II [J]. Jilin Electric Power, 2011, 39(3): 1-6.

(责任编辑 高春萌)

中国能建广东院签订格鲁吉亚水电站总承包项目合同

2016年10月25日,中国能建广东院正式签订格鲁吉亚METEKHI 37 MW水力发电站项目EPC总承包合同。这是继DOLRA-3水力发电站后,中国能建广东院2016年在格鲁吉亚承接的第二个水电总承包工程。METEKHI 37 MW水力发电站项目位于格鲁吉亚中西部、首都第比利斯70 km以外的METEKHI镇,项目利用的水源来自库拉河,是该国最主要的河流之一。项目预计年发电量为151.87 GWh,所发电力不仅可供应格鲁吉亚境内,还可出口至土耳其。的国家之一,格鲁吉亚十分重视水电资源开发。中国能建广东院通过精心组织项目运作策划,多次到现场踏勘并与业主展开充分的技术交流,凭借着出色的商务能力、技术能力和融资方案,得到了海外业主的充分肯定,最终签订了项目的EPC总承包合同。

近年来,中国能建广东院以国际业务多元化发展为目标,通过规划引领、投资驱动和培训搭桥等方式,积极布局海外市场,拓传统火电业务市场的同时,积极开发输变电、智能电网、网络信息、新能源等业务,并加大智慧城市、环境工程、水利水电、轨道交通等转型业务的海外市场开拓力度,为全球客户提供一站式综合能源解决方案和全生命周期管理服务。

(中国能建广东院)

