

支承间隙对辅助管道地震分析的影响

吴万军, 刘文进

(中国核动力研究设计院 核反应堆系统设计技术国家级重点实验室, 四川 成都 610041)

摘要:在对核电站辅助管道进行地震应力分析时,通常忽略管道与支承间的间隙,但对于非固定约束的支承,管道与支承间的间隙是客观存在的。通过对大亚湾核电站 PTR335-3/4"管道在地震载荷下,考虑支承间隙和不考虑支承间隙时的计算结果进行对比分析,研究了支承间隙对辅助管道地震应力的影响。结果表明,在地震载荷下,支承间隙对管道的应力分布、极大值的位置及大小均有较大影响,因此,在对辅助管道进行地震应力分析时,应充分考虑支承间隙存在的影响。

关键词:辅助管道;地震分析;支承间隙

中图分类号:TB122

文献标志码:A

文章编号:1000-6931(2008)S1-0597-05

Effect Caused by Support Gap to Seismic Analysis for Secondary Piping

WU Wan-jun, LIU Wen-jin

(State Key Laboratory of Reactor System Design Technology, Nuclear Power Institute of China, Chengdu 610041, China)

Abstract: The gaps among piping and its supports are usually neglected when analysing the seismic stress for the secondary piping in nuclear power plant (NPP), but the gaps exist undoubtedly except the anchors. The results comparison was made under the seismic load with and without gaps for the piping PTR335-3/4" in Daya Bay Nuclear Power Station. The influence of the support gaps to the seismic stress of piping was researched. The results indicate that the stress distribution, the location and the value of the maximum piping stress are quite different, so the effect caused by the gaps should be fully considered in the seismic analysis for the secondary piping in NPP.

Key words: secondary piping; seismic analysis; support gap

在当前核电站中,对辅助管道进行地震载荷下的应力分析,通常忽略管道与管道支承^[1]间的间隙,但对于非固定约束的支承,管道与管道支承间的间隙是客观存在的。本工作通过对

大亚湾核电站 PTR335-3/4"管道在地震载荷下,考虑支承间隙和不考虑支承间隙时计算结果对比分析,研究支承间隙对辅助管道地震应力的影响。使用的计算程序为 ANSYS。

1 计算模型

直管采用 PIPE16 单元模拟;弯管及弯头采用 PIPE18 单元模拟;阀门用 PIPE16 单元模拟,其外径和壁厚分别取管道的外径和管道壁厚的 2 倍;管道附件及阀门的重量作为集中质量,施加在对应位置的节点上;由于计算结果是供对比分析使用的,为简化分析,未考虑管道上的焊缝(焊接)所引起的应力集中(应力指数);在不考虑管道与管道支承间间隙的情况下,管道支承在约束方向上是刚性的约束,即管道支承位置上的节点在约束方向上的位移为 0;在考虑管道与管道支承间间隙的情况下,管道支承在约束方向上是弹性的约束,支承刚度采用弹簧单元(COMBIN40)来模拟,对于 3/4" 的管道,支承刚度的最小值为 4×10^5 N/m,考虑到设计的保守性,计算时取支承刚度为 6×10^5 N/m;核电站辅助管道与管道支承间的间隙一般为 1~2.5 mm,本工作中取间隙为 2 mm。弹性支承的模拟方式示于图 1,计算模型示于图 2。

2 计算载荷

计算载荷包括地震加速度响应谱和地震加速度时程,分别用于线性模型计算(不考虑管道与管道支承间的间隙)和非线性模型计算(考虑管道与管道支承间的间隙)。加速度时程是根据加速度响应谱生成的,属于人工时程,考虑到真实的地震过程是一种非平稳的随机过程,因此,加速度时程在空间 3 个方向上必须是相互独立的,即不相关。实际上,人工时程很难做到绝对不相关,通常,加速度时程的相关系数小于

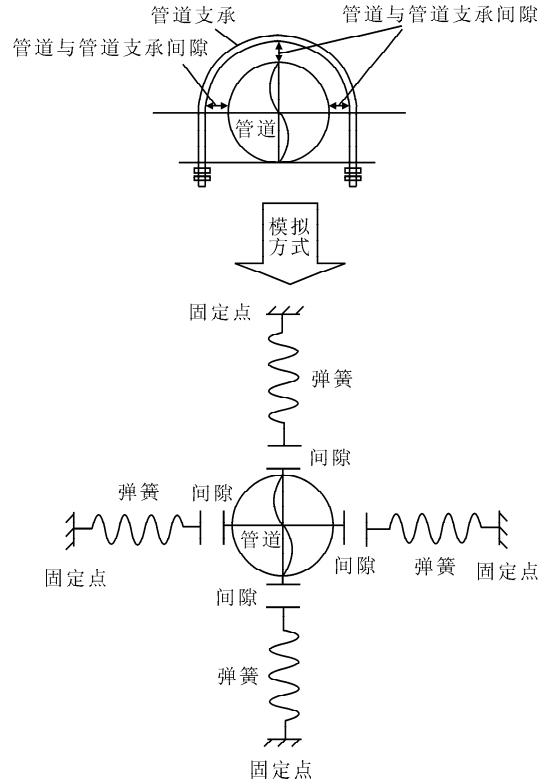


图 1 弹性支承的模拟方式

Fig. 1 Model for flexible support

0.1、速度时程的相关系数小于 0.2、位移时程的相关系数小于 0.3 便可认为是不相关,本工作中采用的加速度时程满足上述条件。加速度时程的持续时间为 15 s^[1],加速度的平稳起始时刻分别是 2 s 和 13 s,加速度时程的采样点为 2 048。另外,加速度时程与加速度响应谱是多对一的关系,为考虑加速度时程的随机性,通常需计算多组加速度时程,本工作生成了 3 组加速度时程用于非线性分析。

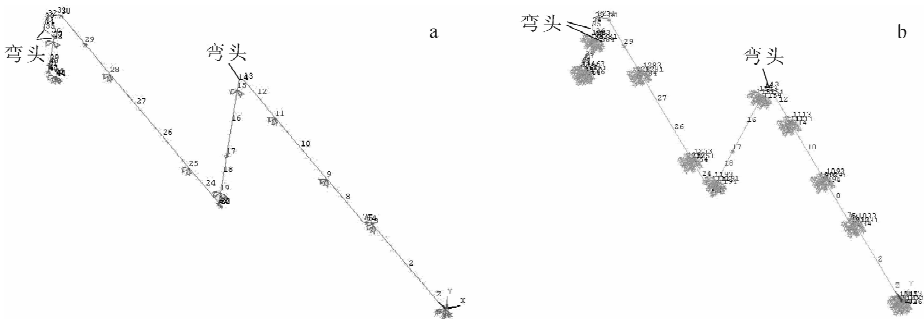


图 2 计算模型

Fig. 2 Calculation model

a——刚性支承;b——弹性支承

3 计算方法

不考虑管道和管道支承间的间隙时, 采用单点响应谱法进行计算, 模态组合方法为 CQC (完全平方组合), 3 个方向上的组合方法为 SRSS (平方和平方根)。考虑管道和管道支承间的间隙时, 计算模型是非线性系统, 采用的是完全瞬态分析法进行时程计算, 阻尼采用瑞利 (RAYLEIGH) 结构阻尼。此外, 还进行了不考虑支承间隙的时程计算, 包括刚性支承和弹性支承两种情况, 用以验证阻尼及弹性支承刚度等参数选取的合理性, 同时, 也可验证在没有间隙的情况下, 谱分析法较时程分析法是保守的, 至少二者的差别是不显著的。

4 计算结果对比分析

图 3~8 示出不考虑支承间隙时, 时程计算结果和响应谱法计算结果, 时程计算结果为最大值。图中的“系列 1”为响应谱法计算结果; “系列 2”~“系列 4”分别为刚性支承时 3 组时程的计算结果; “系列 5”~“系列 7”分别为弹性支承时 3 组时程的计算结果。

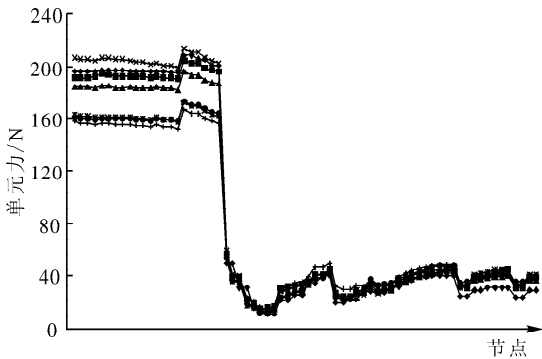


图 3 直管单元的合力对比(不考虑间隙)

Fig. 3 Element force of run element (no gap)

◆—系列 1; ■—系列 2; ▲—系列 3;
×—系列 4; *—系列 5; ●—系列 6; +—系列 7

从计算结果可看出: 响应谱法和时程法计算结果在节点的力(力矩)的变化趋势、最大值出现的位置等方面均符合很好, 这说明在计算中的瑞利阻尼系数、弹性支承的刚度及加速度时程的选取合适, 为后续考虑管道支承间隙时在计算模型、计算假定等方面提供了有力的支持。同时, 也验证了响应谱法相

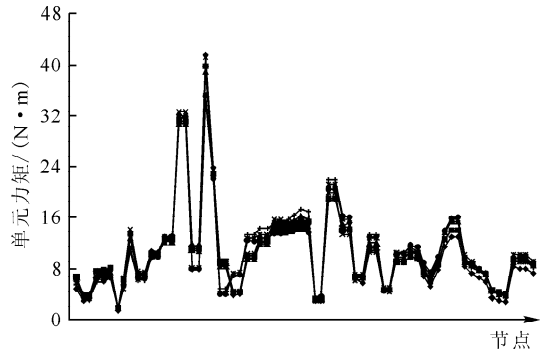


图 4 直管单元的合力矩对比(不考虑间隙)

Fig. 4 Element moment of run element (no gap)

◆—系列 1; ■—系列 2; ▲—系列 3;
×—系列 4; *—系列 5; ●—系列 6; +—系列 7

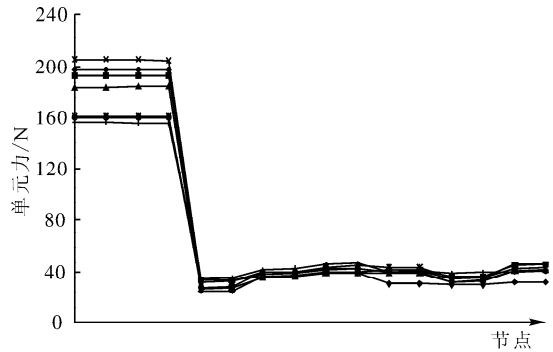


图 5 弯头单元的合力对比(不考虑间隙)

Fig. 5 Element force of elbow element (no gap)

◆—系列 1; ■—系列 2; ▲—系列 3;
×—系列 4; *—系列 5; ●—系列 6; +—系列 7

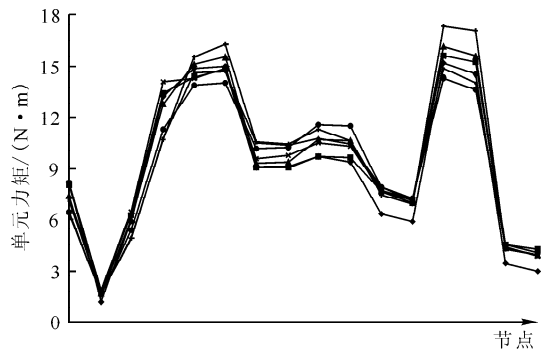


图 6 弯头单元的合力矩对比(不考虑间隙)

Fig. 6 Element moment of elbow element (no gap)

◆—系列 1; ■—系列 2; ▲—系列 3;
×—系列 4; *—系列 5; ●—系列 6; +—系列 7

对于时程法是保守的, 至少, 二者的差别不显著 (<10%)。

图9~14示出考虑支承间隙时,时程计算结果和响应谱法计算结果,时程计算结果为最大值。图中的“系列1”为响应谱法计算结果;“系列2”~“系列4”分别为3组时程的计算结果。

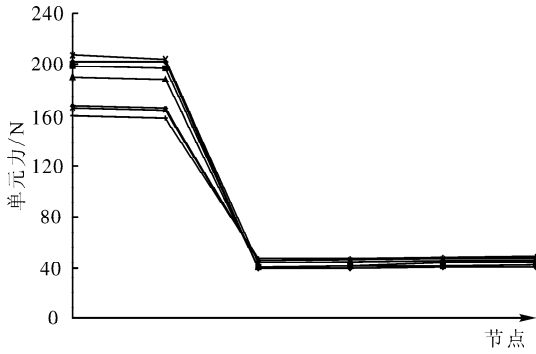


图7 弯管单元的合力对比(不考虑间隙)

Fig. 7 Element force of syphon element (no gap)

◆—系列1;■—系列2;▲—系列3;
×—系列4; * —系列5; ●—系列6; + —系列7

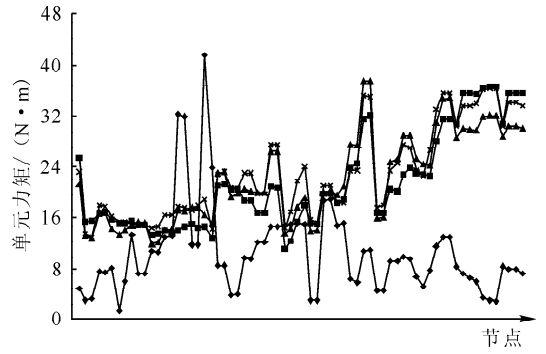


图10 直管单元的合力矩对比

Fig. 10 Element moment of run element

◆—系列1;■—系列2;▲—系列3;×—系列4

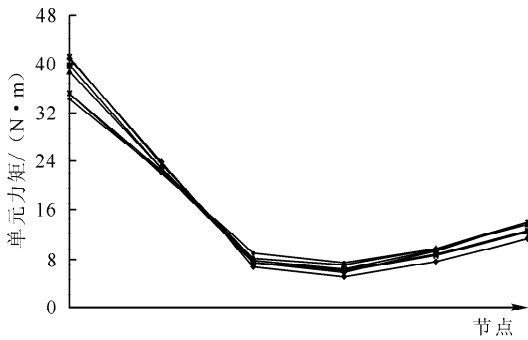


图8 弯管单元的合力矩对比(不考虑间隙)

Fig. 8 Element moment of syphon element (no gap)

◆—系列1;■—系列2;▲—系列3;
×—系列4; * —系列5; ●—系列6; + —系列7

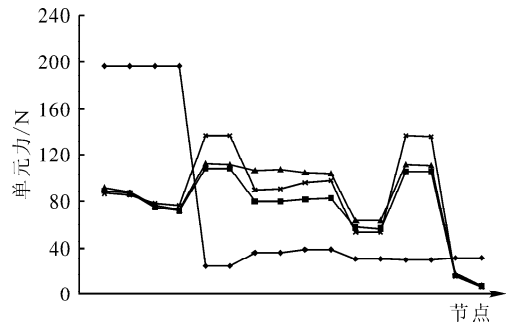


图11 弯头单元的合力对比

Fig. 11 Element force of elbow element

◆—系列1;■—系列2;▲—系列3;×—系列4

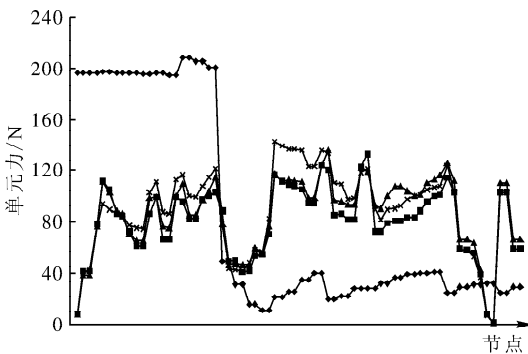


图9 直管单元的合力对比

Fig. 9 Element force of run element

◆—系列1;■—系列2;▲—系列3;×—系列4

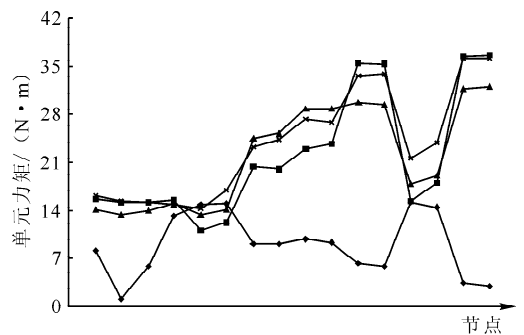


图12 弯头单元的合力矩对比

Fig. 12 Element moment of elbow element

◆—系列1;■—系列2;▲—系列3;×—系列4

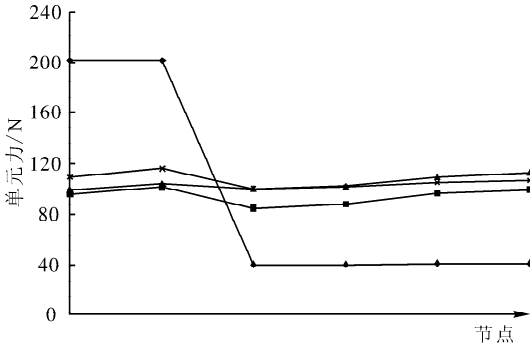


图 13 弯管单元的合力对比

Fig. 13 Element force of syphon element

◆——系列 1; ■——系列 2; ▲——系列 3; ×——系列 4

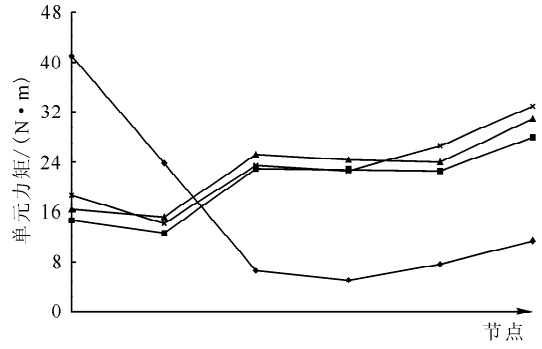


图 14 弯管单元的合力矩对比

Fig. 14 Element moment of syphon element

◆——系列 1; ■——系列 2; ▲——系列 3; ×——系列 4

5 结论

从大亚湾核电站 PTR335-3/4"管道在考虑支承和不考虑支承下的分析结果可看出,在地震载荷下,支承间隙对管道应力分布和极大值位置均有较大影响,甚至部分位置在考虑支承间隙时的极大值显著超过了不考虑支承间隙时的极大值,因此,在对辅助管道进行地震载荷下

的应力分析时,应充分考虑到支承间隙可能存在的影响。

参考文献:

- [1] US Nuclear Regulatory Commission. Standard review plan[S]. Washington, D. C.: Office of Nuclear Reactor Regulation, 1996.