

文章编号 : 0258-0926(2015)05-0030-03 ; doi: 10.13832/j.jnpe.2015.05.0030

# 核级管道计算程序的应用

宁庆坤, 陈 丽, 唐雨建, 田金梅

中国核电工程有限公司, 北京, 100840

摘要: 开发一种核级管道计算程序, 可采用多种规范对核级管道进行应力分析与评定。介绍程序计算原理, 并以某核电工程管道系统为例, 采用 RCC-M 和 ASME 规范进行计算, 分别和 SYSPIPE、PIPESTRESS 的计算结果进行对比。计算结果表明, 开发的程序计算结果正确, 精度满足要求。

关键词: 程序; 管道; 应力分析与评定

中图分类号: TL353 文献标志码: A

## Application of Nuclear Piping Calculation Program

Ning Qingkun, Chen Li, Tang Yujian, Tian Jinmei

China Nuclear Power Engineering CO., Ltd., Beijing, 100840, China

Abstract: A nuclear piping calculation program is developed, that can use a variety of codes for nuclear piping stress analysis and evaluation. This paper introduces the principle of the program. Taking the piping of a nuclear power station as an example, the stress analysis and evaluation is done using RCC-M and ASME codes, and the results are compared with SYSPIPE and PIPESTRESS respectively. The results show that the program calculation result is correct, and the precision meet the requirements.

Key words: Program, Piping, Stress analysis and evaluation

### 0 引言

管道力学计算分析是关系核电厂安全非常重要的工作, 通常的做法是借助有限元软件进行管道应力分析与评定<sup>[1-2]</sup>。目前, 核级管道应力分析的有限元软件主要有 AUTOPIPE、SYSPIPE、PIEPSTRESS、APA<sup>[3]</sup>等, 这些软件都是从国外引进的, 没有自主的知识产权。为了改变这种被动的局面, 结合各国外软件的优点和多年的管道计算经验, 开发了具有完全自主知识产权的核级管道计算程序, 本文介绍该程序在核级管道计算中的运用。

### 1 程序原理概述

程序中的单元包括直管、弯头、三通、大小头、阀门等; 支撑类型包括刚性支撑、弹簧、阻

尼器等; 计算载荷包括自重、温度、内压、地震, 以及集中质量、位移、集中力等各种可能的载荷条件。

程序采用有限单元法进行计算, 建立总体刚度平衡方程, 施加边界条件解出节点位移, 根据已知的节点位移, 利用力学有关方程求解出单元内力, 然后根据规范要求得到单元应力, 进行不同准则下的应力分析和评定。程序的静力求解可用高斯消去法和三角分解法。程序的动态载荷计算采用反应谱法和时程法, 反应谱法采用行列式搜索法和子空间迭代法计算, 时程法采用模态叠加法和直接积分法计算。

### 2 程序在核级管道计算中的应用

采用开发的程序对某核电厂中的管道进行计

算，将计算结果与 SYSPIPE<sup>[4]</sup>、PIPESTRESS<sup>[5]</sup> 的计算结果进行对比，按 RCC-M 规范的计算结果与 SYSPIPE 进行比较，按 ASME 规范的计算结果与 PIPESTRESS 进行比较。

2.1 管道模型

管道的基本参数：管道等级为 RCC-M 2 级，材料为 TU48C，管道外径为 88.9 mm，壁厚为 7.62 mm，管内介质为水，设计温度为 316，设计压力为 8.5 MPa，阀门的质量为 67 kg，偏心为 165 mm，计算温度分别考虑 292、307、7、316。计算中考虑的载荷为自重、内压、温度、SL1 地震和 SL2 地震，评定准则分别为 0、A、B、D 级。管道模型如图 1。

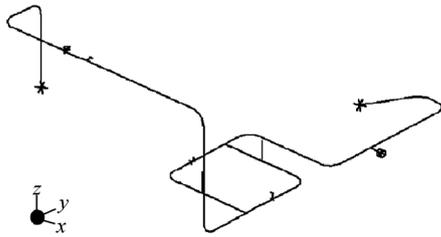


图 1 管道模型

Fig. 1 Model of Piping

该模型包含了核级管道计算中常见的单元类型和约束形式。模型由直管、弯头、三通、阀门等各单元组成，阀门质量以质量点的形式施加在阀门重心位置，支撑类型为弹性约束、刚性约束和阻尼器。

2.2 RCC-M 规范计算结果对比

对该管道模型按 RCC-M 规范进行应力分析和评定，和 SYSPIPE 的计算结果进行比较。固有频率的比较见表 1。

表 1 固有频率

Table 1 Natural Frequency

模态	频率/Hz	
	SYSPIPE	开发的程序
	1	10.166
2	14.441	14.475
3	22.044	22.125
4	30.578	30.609
5	33.498	33.612

按照 RCC-M 规范的要求，对工况进行组合，分别按 0、A、B、D 级准则评定，取前 10 个最大应力点进行比较。本文仅列出 0 级准则下的应力，见表 2。

2.3 ASME 规范计算结果对比

对该管道模型按 ASME 规范进行应力分析和评定，和 PIPESTRESS 的计算结果进行比较。固有频率的比较见表 3。

按照 ASME 规范的要求，对工况进行组合，分别按 0、A、B、D 级准则评定，取前 10 个最大应力点进行比较。本文仅列出 0 级准则下的应力，见表 4。

表 2 0 级准则下的应力

Table 2 Stress in Level 0

序号	SYSPIPE				开发的程序			
	单元		节点	应力 /MPa	单元		节点	应力 /MPa
	号	类型			号	类型		
1	41	RUN	42	30.94	41	RUN	42	30.941
2	36	TRN	37	29.63	36	TRN	37	29.632
3	14	RUN	14	29.61	14	RUN	14	29.607
4	1	RUN	1	28.91	1	RUN	1	28.910
5	20	TRN	19	28.56	20	TRN	19	28.567
6	39	TRN	39	28.55	39	TRN	39	28.549
7	12	TEE	36	27.98	12	TEE	36	27.982
8	17	TRN	17	27.94	17	TRN	17	27.944
9	2	ELB	2	27.45	2	ELB	2	27.451
10	12	TEE	12	27.45	12	TEE	12	27.445

表 3 固有频率

Table 3 Natural Frequency

模态	频率/Hz	
	PIPESTRESS	开发的程序
1	10.236	10.216
2	14.527	14.503
3	22.213	22.160
4	30.964	30.772
5	33.853	33.736

表 4 0 级准则下的应力

Table 4 Stress in Level 0

序号	PIPESTRESS				开发的程序			
	节点		单元类型	应力 /MPa	单元		节点	应力 /MPa
	FROM	AT			号	类型		
1	140	141	TANGENT	31.43	41	RUN	42	31.474
2	112	113	TANGENT	30.05	14	RUN	14	30.038
3	135	136	TANGENT	29.35	36	TRN	37	29.309
4	101	100	TANGENT	29.20	1	RUN	1	29.237
5	111	135	TANGENT	28.35	36	TRN	36	28.320
6	139	138	TANGENT	28.34	39	TRN	39	28.284
7	119	118	TANGENT	28.27	20	TRN	19	28.262
8	TEE	111	TEE	28.24	—	TEE	12	28.226
9	TEE	120	TEE	28.07	—	TEE	21	28.054
10	115	116	TANGENT	27.70	17	TRN	17	27.673

2.4 计算结果分析

将 2.2 节的计算结果，与 SYSPIPE 的计算结

果比较,固有频率的最大偏差为 0.37%,应力的最大偏差为 0.51%,同时对支架载荷和阀门加速度等进行了比较,最大偏差均小于 3%。将 2.3 节的计算结果,与 PIPESTRESS 的计算结果比较,固有频率的最大偏差为 0.62%,应力的最大偏差为 1.2%,同时对支架载荷和阀门加速度等进行了比较,最大偏差均小于 3%。可见,开发的程序的计算结果(固有频率、管道应力、支架载荷、阀门加速度等)与 SYSPIPE、PIPESTRESS 的计算结果一致。

由表 1 和表 3 可以看出,对于同一个管道模型,为与不同的管道计算软件进行对比所计算得到的固有频率是不相同的,这是因为不同的管道计算软件对一些特殊单元的处理方法是不同的,开发的程序可以选择不同的处理方法以得到相应的计算结果。

另外,开发的程序具有强大的图形显示功能,可以直观地看到各载荷下的变形和应力分布,可以为管线的布置和优化提供有力的支持。

### 3 结 论

本文介绍了一种自主开发的核级管道计算程序的原理,并以某核电厂中的管道为例,介绍了程序的应用,分别采用 RCC-M、ASME 规范进行计算,与广泛应用的核级管道计算软件进行对比分析,计算结果合理,精度满足要求。可以看出,开发的程序可按多种规范对管道进行应力分析与评定,有强大的后处理功能,可在核电工程中应用。

参考文献:

- [1] 毛庆, 王伟, 张毅雄. 稳压器排放系统应力分析评定和管道支撑布置[J]. 核动力工程, 2000, 21(2): 117-120.
- [2] 李笑天, 厉日竹, 傅激扬. 核级管道的布置和应力分析[J]. 核动力工程, 2001, 25(5): 438-442.
- [3] 陈敏, 张周红, 吴高峰, 等. APA 软件在核级管系力学分析中的应用[J]. 华电技术, 2010, 32(6): 38-41.
- [4] Framatome. SYSPIPE 234D User Manual[Z]. 2005.
- [5] DST. PIPESTRESS User Manual [Z]. 2012.

(责任编辑: 张祚豪)