

导管架海洋平台的模态分析

刘 洋¹, 张 钊², 薛景宏¹

(1. 东北石油大学土木建筑工程学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 黑龙江省煤田地质测试研究中心, 哈尔滨 150036)

【摘 要】 文中以导管架海洋平台为例, 利用 ADINA 有限元软件建立导管架海洋平台有限元模型并对其进行模态分析, 提取海洋平台在复杂海洋环境下的振型和频率, 与非耦合工况下的振型和频率进行对比。分析结果表明在考虑流-固耦合时, 平台的自振频率有所减小, 且对其动力响应有一定的影响。

【关键词】 导管架海洋平台; ADINA; 流-固耦合; 模态分析

【中图分类号】 TU391

【文献标识码】 A

【文章编号】 1001-6864(2013)04-0079-03

MODAL ANALYSIS OF OFFSHORE JACKET PLATFORM

LIU Yang¹, ZHANG Zhao², XUE Jing-hong¹

(1. College of Civil Engi. of Northeast Petroleum Univ., Heilongjiang Daqing 163318, China;

2. Coal and Geological Testing Research Center of Heilongjiang Province, Harbin 150036, China)

Abstract: In various performance analysis of the platform, modal analysis is the foundation of other dynamic analysis. As example to offshore jacket platform, this paper using the finite element software ADINA to establish finite element model of offshore jacket platform and to analyse modal, extracting vibration modes and frequency of platform in the complex ocean environment, and comparing with the vibration mode and frequency in uncoupled condition. The analysis results show that the natural vibration frequency of platform is reduced and the other dynamic response has been effected in the fluid-solid interaction cases.

Key words: offshore jacket platform; ADINA; fluid-solid interaction; modal analysis

能源紧缺已经成为当今社会最亟待解决的问题, 然而大陆能源已濒临枯竭, 海上能源开发逐步得到了人们的重视。我国海域辽阔, 近年来在周边海域建立

和配筋量的大小对其所在的场地类别十分敏感。选取的设计实例在 II 类、III 类、IV 类场地下, 框架纵筋配筋量较 I 类高出分别 25%、80%、107% 左右; III 类、IV 类场地下, 柱截面需要从 800mm × 800mm 分别扩大至 1000mm × 1000mm 和 1100mm × 1100mm。这是由于, 一方面, 特征周期的取值不同导致计算得到的设计地震作用值的差异比较大; 另一方面, 对于设计基本地震加速度为 0.15g 的地区, 场地类别不同时, 抗震设防措施要求的差异较大, III、IV 类场地相对于 II 类场地提高一级, II 类场地又相对于 I 类场地提高一级。随着场地类别的提高, 配箍率、最小配筋率、钢筋最小直径等构造措施要求会严格得多。这些因素都直接影响了结构材料的用量和建筑成本。当剪切波速和覆盖层厚度值处于场地类别分界线附近时, 出于安全性和经济性的考虑, 应采用插值方法确定特征周期。

了一大批海洋平台对海底石油进行开采、加工、存储及运输。海洋平台的结构十分复杂, 由于体积庞大且所处海洋环境极其复杂, 与陆地相比会经常承受多种

参考文献

- [1] GB50011-2010, 建筑抗震设计规范[S].
- [2] JGJ3-2010, 高层建筑混凝土结构技术规程[S].
- [3] 周锡元, 王国权, 杨润林, 等. 1999 年 9 月 21 日台湾集集地震中不同场地上峰值加速度的衰减规律[C]//编委会编. 大型复杂结构的关键科学问题及设计理论研究论文集. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002: 406-413.
- [4] 刘文锋, 付兴潘, 于振兴, 等. 反应谱特征周期的统计分析[J]. 青岛理工大学学报, 2009, 30(5): 1-7.
- [5] 吴健, 高孟潭. 场地相关设计反应谱特征周期的统计分析[J]. 中国地震, 2004, 20(3): 263-268.

[收稿日期] 2012-12-24

[作者简介] 张鑫淼(1985-), 男, 江苏启东人, 工程师, 从事结构设计工作。

荷载,因此对海洋平台进行研究是十分必要的^[1]。

海洋平台的逐年增多,使它的安全性成为人们关注的一个热点问题,国内外许多专家学者也对其进行研究,也有了一些比较成型的设计规范。由于以往的一些研究中,对于平台的模态分析考虑到水动力影响的很少,所以本文利用 ADINA 有限元软件,建立导管架海洋平台有限元模型,并在流-固耦合工况下对平台进行模态分析,与非耦合工况下的模态进行比较,为海洋平台的动力分析与设计提供一些参考意见。

1 水与海洋平台耦合的理论分析

由于导管架平台的主体是浸没在海水中的,所以在模态分析的时候考虑水与结构的耦合作用是必要的,也是符合实际的。由于本文中的导管架海洋平台是部分浸没在水中基础固定在以下的,所以工程上常把这种形式的平台受到的阻尼归结为四种:①土壤阻尼;②辐射阻尼;③结构阻尼;④动水阻尼。其中土壤阻尼的分析和表达是一项比较繁琐的工作,也不容易找出,所以本文将平台的基础与海床固结,这样可不必考虑该项阻尼的影响;辐射阻尼一个比较新的概念,研究人员通过实验得出平台在海水中自振时会不断向外辐射能量,从而把部分能量传递出去,则会引起这种阻尼;结构阻尼是指建筑结构内部能量消耗所产生的阻尼;水动力阻尼是一种与莫里森方程中拖拽力项有关的阻尼,产生水动力阻尼的原因有两种:一是由于流体与结构物间的粘性摩擦而引起的能量消耗;另一个原因是结构物的振动通过水向四周传播而导致振动能量消耗,它也是海洋结构物所受到的主要阻尼力^[2]。本文虽然不考虑土壤阻尼的影响,但在动力分析时附加土质量也是一个比较重要的因素,附加土质量选用 Penzien 理论来计算,其中含水土密度为 $20\text{kg}/\text{m}^3$ 根据公式 $m = \rho A^2 h$ (式中 ρ 为含水土密度; A 为截面面积; h 为桩柱进土深度) 计算出各个桩柱的附加质量。海洋平台与水的耦合作用主要有两方面:①附加水质量;②水动力阻尼。以往的研究表明,在动力分析时附加水质量和水动力阻尼对平台的响应有很大影响,附加水质量会使平台的位移增加,而水动力阻尼会使平台的位移减小,并且水动力阻尼又与莫里森方程中的拖拽力有关。

$$(e\ddot{u}) + C_1\dot{u} + \frac{\rho}{2}C_D \cdot D|\dot{u}| \cdot \dot{u} + [\bar{m}_1 + \frac{\rho}{4}\pi D^2(C_M - 1)]\ddot{u} = f_1(t) \quad (1)$$

式中 $\frac{\rho}{2}C_D \cdot D|\dot{u}| \cdot \dot{u}$ 项表示动水阻尼力,很显然这是个非线性项,求解起来很困难。所以令式 $C_1\dot{u} + \frac{\rho}{2}C_D \cdot D|\dot{u}| \cdot \dot{u} = C\dot{u}$ 将一个非线性的阻尼系统简化为线性的,这样上式就变为:

$$(e\ddot{u}) + C\dot{u} + [\bar{m}_1 + \frac{\rho}{4}\pi D^2(C_M - 1)]\ddot{u} = f_1(t) \quad (2)$$

式中 \dot{u} 为水质点速度; $C_1\dot{u}$ 为结构阻尼; ρ 为海水密度(取 1.03); C_D 为拖拽力系数; D 为管直径; \ddot{u} 为水质点加速度; $\bar{m}_1\ddot{u}$ 为结构惯性力; C_M 为惯性力系数; $\frac{\rho}{4}\pi D^2(C_M - 1)\ddot{u}$ 为附加水质量惯性力。

(2) 式表示将结构的总阻尼简化为一个比例阻尼,这个阻尼可取 0.05。根据规范,对钢管结构式中的 C_M 取 2,则单位管长上的附加水质量为 $1/4\rho\pi D^2$ 。同时由于平台主体处于海水之中,所以还应该考虑海水的浮力作用。浮力是由于结构部分或整个下沉引起的力,其表示式为 $F_b = \rho_s g V$ 。将以上所得的水质量和浮力经计算附加到导管架平台上,获得最终的质量体系^[3-5]。

2 导管架海洋平台有限元模型

本文选用的模型参数是根据国内多个海域实体平台的尺寸总结而来,并且充分考虑导管架平台一般适用于浅水作业,选择 20m 水深进行设计建造。平台为两层甲板,长 22m、宽 16m,面积 352m^2 ,采用 20mm 厚的钢板固结;桩柱与支撑管架采用直径 1.5m、厚 40mm 的钢管,每部分共 6 根,支撑与桩柱通过套管连接,桩柱进入泥面以下 8.4m;钢板梁选用宽 0.8m、高 1.5m 的 H 型钢,横纵梁交错布置;甲板以下的导管采用直径 1m、厚 30mm 的钢管,甲板层间的支撑采用直径 0.8m、厚 20mm 的钢管,各节点间均为焊接^[6,7]。

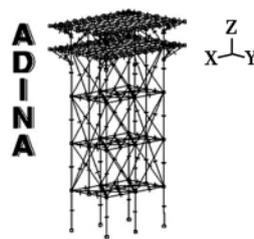


图1 有限元模型

3 模态分析

模态分析是一种确定结构振动特性的方法,它可以给出结构的自振频率、振型等,是进行动力分析的基础。有了结构的自振频率等数据可以使研究人员在设计结构的时候,避免结构共振,使其发生破坏。在振型选取上应用有效模态质量参与系数法,这种方法是在充分考虑结构计算精度的基础上提出的。以往工程上习惯取结构的前 6 阶自振频率作为计算依据,但大量的研究和实验结果表明,长周期结构的计算只考虑比较低阶的振型是不能满足精度要求的。但本文所分析的结构复杂,振型特别多,不能一一列出,所以在满足上述要求的情况下选取前 12 阶自振频

率进行对比分析。图 2、图 3 为两种工况下前三阶振型对比^[7]。



图2 非耦合工况下海洋平台前三阶振型



图3 耦合工况下海洋平台前三阶振型

本文所给出的非耦合工况下平台的前 12 阶自振频率,与耦合工况下的自振频率做对比列于表 1。

从图 2、图 3 和表 1 可知,两种工况下海洋平台的各阶自振频率都较低,说明结构整体偏柔,非耦合工况最大频率为 12.76Hz,最小频率为 1.786Hz,耦合工况下最大频率为 9.207Hz,最小频率为 1.295Hz,都相差 27%;平台在两种工况下的自振频率都比较密集,说明其结构的动力特性较复杂;从振型图中可以看出,平台的模态振型前两阶为 X、Y 方向弯曲,第三阶为 Z 方向扭转。在考虑海水与平台耦合的工况下,平台的自振频率总体降低。

表 1 两种工况下平台的自振频率 Hz

阶数	非耦合			耦合			
	工况	耦合	不加	阶数	非耦合	耦合	不加
	工况	工况	阻尼	工况	工况	工况	阻尼
1	1.786	1.295	1.295	7	11.61	8.417	8.417
2	2.410	1.748	1.748	8	11.66	8.456	8.456
3	3.199	2.320	2.320	9	12.10	8.777	8.777
4	6.761	4.903	4.903	10	12.27	8.898	8.898
5	8.480	6.180	6.180	11	12.60	9.135	9.135
6	10.16	7.368	7.368	12	12.76	9.207	9.207

4 结语

(1) 平台在两种工况下的自振频率都比较密集,说明其结构的动力特性较复杂;从振型图中可以看出,平台的模态振型前两阶为水平方向弯曲,第三阶为竖向扭转,后续振型以交替的规律出现。

(2) 在考虑海水与平台耦合的工况下,平台的自振频率减小了,说明海水对导管架平台有减振作用。

(3) 对比了耦合与非耦合工况的振型和频率,并且验证得到阻尼对平台的频率没有影响,只影响平台的动态分析,通过对比分析可知耦合工况更加符合海洋实际环境,能够为动力计算提供可靠的参数。

参考文献

- [1] 王定亚,王进全. 浅谈我国海洋石油装备技术现状及发展前景[J]. 石油机械,2009,37(9):136-139.
- [2] 张相庭. 结构阻尼耗散假设及在振动计算中的应用[C]//中国航空学会、中国力学学会振动理论及应用学术交流会,1981.
- [3] Y Yang, H Iemura. Seismic response of offshore structure in random seas. EESD,1989,18:965-981.
- [4] 初良成,曲乃涵,邻瑞锋. 附近水质量对结构动力响应影响的摄动分析[J]. 振动与冲击,1994,13(2):67-75.
- [5] 罗传信,刘春山,唐红英. 动水阻尼对桩基平台动力响应的的影响问题[J]. 海洋学报,1989,11(6):794-800.
- [6] 王兴国. 导管架海洋平台结构优化设计研究[D]. 大连:大连理工大学,2003.
- [7] 陆文发,李林普,高明道. 近海导管平台[M]. 北京:海洋出版社,1992.
- [8] 卢文生,吕西林. 模态静力非线性分析中模态选择的研究[J]. 地震工程与工程振动,2004,24(6):32-38.

[收稿日期] 2012-12-11

[作者简介] 刘洋(1985-),男,黑龙江呼兰人,硕士研究生,从事海洋平台的性能分析、结构计算和防灾减灾等的研究。