

海洋平台中高温管道系统的应力分析

徐红梅, 李磊, 韩华伟, 张工, 张谭龙

(中集海洋工程研究院有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要 海洋平台中的排烟管温度很高。管路系统在热胀和冷缩时,会导致管系的热应力,并对连接设备和船体结构产生很大的作用力,因此膨胀节的选型、管路系统的布置、支撑类型和结构等将直接影响船体和连接机器的安全。结合工程实例,采用 CAESAR II 管道应力分析软件对高温管道进行静力学及动力学模态分析。按照大口径管道的弯头和三通的柔性系数对模型进行特殊考虑。经过模拟分析计算,证实该高温管道系统的一次应力和二次应力均满足标准要求。

关键词 管道应力;高温;排烟管;海洋平台;大口径管;

中图分类号 TE973.9 **文献标志码** A **文章编号**: 2095-7297(2015)01-0036-04

Stress Analysis of High Temperature Piping in Offshore Platform

XU Hong-mei, LI Lei, HAN Hua-wei, ZHANG Gong, ZHANG Tan-long

(CIMC Offshore Engineering Institute Ltd., Yantai, Shandong 264000, China)

Abstract The temperature of exhaust pipe in offshore platform is very high. This high temperature will cause thermal stress in piping system and large force to connecting machine and hull structure during piping thermal expansion and contraction. Selection of expansion joint, pipeline arrangement, as well as type and structure of the supports have direct effects on the safety of connecting machine and hull structure. Static analysis and modal analysis are carried out with CAESAR II piping stress analysis software. The flexible factors of bend and tee of large diameter pipe are included as references. According to the calculation results, the primary stress and secondary stress of high temperature piping system can meet the standards.

Key words piping stress; exhaust pipe; high temperature; offshore platform; large diameter pipe

0 引言

海洋平台中排烟管系统的温度高达 400 °C。当管道受热膨胀和遇冷收缩时,将对与其相连的机器、设备和船体结构产生作用力,而机器、设备和船体结构也将对管道产生反作用力,并在管道中引起应力。当管道系统比较刚硬时,这种应力比较大,可能导致管道和船体结构的破坏,并可能影响到机器、设备的正常运行。目前基本上没有对海洋钻井平台中的高温管道系统进行详细的管道应力分析。如果只凭经验设计,则会在膨胀节选型和支撑结构设计等方面造成一定的资源浪费,而且对于系统的安全性造成一定的隐患。考虑实际需求,本文采用 CAESAR II 软件对高温管道进行了应力分析。

1 管道应力分析

管道应力分析是对管道系统进行柔性设计,并对所设计的管道系统做出强度和刚度的评价,为管系的经济分析和安全保障提供依据^[1]。

1.1 分析内容

高温管道系统的柔性是指管道通过自身变形吸收热胀、冷缩和其他位移变形的能力。在进行高温管道设计时,在保证管道具有足够的柔性来吸收位移应变的前提下,应使管道的长度尽可能短或投资尽可能少。在管道柔性设计中,除考虑管道自身的热胀冷缩外,还要考虑管道端点的附加位移。管道应力分析即柔性分析的目的在于保证高温管道应力在规范的许用范围内;使设备管口载荷符合制造商的

收稿日期:2014-12-12

作者简介:徐红梅(1982—),女,硕士,工程师,主要从事海洋结构物的管道应力分析研究。

要求或公认的标准;计算出作用在管道支吊架上的载荷,用于设计合理的支吊架形式和结构;解决高温管道动力学问题;帮助配管优化。

1.2 分析步骤

管道系统应力分析主要包括三个步骤:

首先是确定输入参数,正确建立模型,将所分析的管道系统的力学模型简化为程序所要求的数学模型。

其次是真实地模拟管道系统的边界条件,具体包括约束、位移、支吊架和设备管嘴等问题的模拟。

最后是正确地分析计算结果,用计算结果来指导管道系统的设计与调整。

2 研究对象和工具

为了进一步详细描述高温管道系统的应力分析,以烟台中集来福士建造的某型海洋平台的高温排烟管道系统为例,进行详细的应力分析和补偿器的计算。分析采用管道应力分析软件 CAESAR II。该软件通过使用梁单元建立管路系统模型,并定义作用在管系上的载荷,生成用位移、载荷和应力表示的计算结果^[2]。分析采用 ASME B31.3 标准,软件中安装温度取 4℃。

3 设计参数的确定

排烟管的布置图如图 1 所示,排烟管的材料采用 ASTM A106GR. B,规格为公称直径(DN) 1100 mm×8 mm,设计压力取 0.1 MPa。膨胀节采用波纹管膨胀节 AS 型,法兰采用 EN1092-1 PN6 标准,设计温度为 30~400℃,采用岩棉绝缘,用镀锌钢丝固定,最后用镀锌薄钢板包裹^[3]。其中绝缘材料的厚度为 50~75 mm,岩棉的密度为 100 kg/m³。

4 CAESAR II 计算实例

4.1 建立应力分析模型

针对图 1 中的排烟管路布置,使用 CAESAR II 管道应力分析软件进行模拟分析,建模如图 2 所示。其中,消音器在建模时可模拟为刚体。该管道的直径与壁厚的比值 $D/t > 100$,属于大口径薄壁管管道。该类型的结构除了具有管道特征以外,还具有很多容器特征。大口径管道的弯头一般是虾米腰形式的,在弯头两端的直管上设有补强圈,如果按照厚壁弯头计算,往往得到错误的结果。因此,在处理这

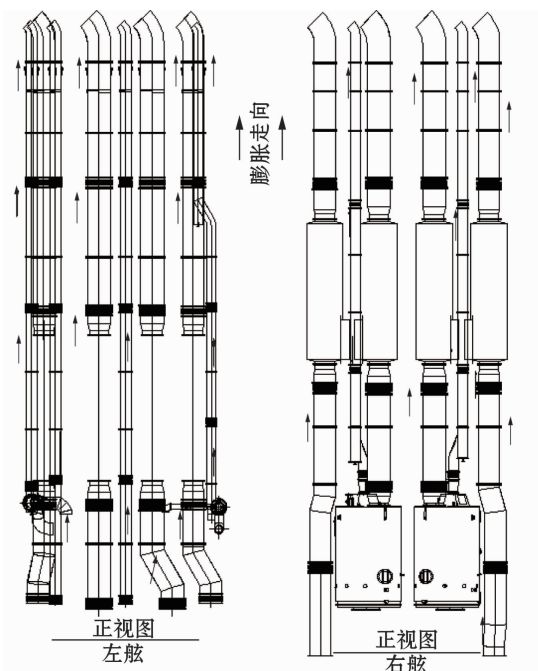


图 1 排烟管布置图

Fig. 1 Exhaust piping system arrangement

种类型的管道时,需要对弯头、三通和设计接口处的柔性进行特殊考虑^[4]。模型中的节点 40 经过修正以后,弯头的柔性系数为 11.426。

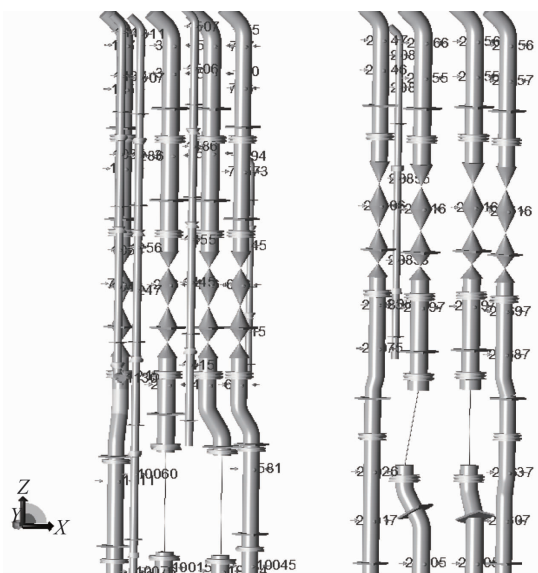


图 2 高温排烟管应力分析模型

Fig. 2 Analysis model for the high temperature exhaust piping system

4.2 确定设计载荷和工况

高温排烟管路系统上承受的载荷有:重力载荷,包括保温材料的重量、管道的自重和介质的重量等;

压力载荷,取设计压力或根据工艺有特殊要求的工况确定;位移载荷,包括管道热胀冷缩位移、支撑沉降、端点附加位移等,计算温度取设计最高/最低温度,有的工况需要计算操作温度下的受力情况^[5];波浪载荷,一般以加速度的形式进行考虑;地震载荷;风载荷;机器振动载荷,如回转设备的振动,主要指主机的振动。确定设计载荷后,根据规范的要求,对各种载荷进行组合,用以对管道的安全性进行判断。具体工况组合如表 1 所示。

表 1 设计载荷工况
Table 1 Load case combinations

编号	工况组合	工况描述	应力类型
L1	W+T1+P1	最大设计工况 1	操作工况
L3	W+P1	自重+设计压力	持续工况
L4	W+T1+P1+U1	最大设计工况 1+U1	操作工况
⋮	⋮	⋮	⋮
L7	L4-L1	加速度矢量 1	偶然工况
⋮	⋮	⋮	⋮
L12	L1-L2	位移应力范围 T1-T2	热膨胀工况
L13	L7+L8+L9	合成加速度矢量	偶然工况

注:W 为管道自重;T1 为设计最高温度;T2 为设计最低温度;P1 为设计压力;U1 为波浪诱导加速度。

4.3 计算结果分析

根据以上所提供的载荷条件和载荷工况,对系统模型进行计算分析,发现最大计算应力都在管系能够承受的范围内,比规范要求的许用应力小。表 2 是管路系统具体的计算应力结果;图 3 和图 4 分别是排烟管系统的一次应力和二次应力分布;表 3 是管路系统部分节点位移结果。

表 2 应力分析结果
Table 2 Detailed stress analysis results

工 况	计算应力 /MPa	许用应力 /MPa	利用率 /%
一次应力 W+P1	36.60	98.22	37.2
二次应力 L1-L2	144.80	293.13	49.4
偶然工况 L7+L8+L9	37.39	130.64	2.1

通过对弯头柔性系数的准确模拟分析,得出该高温排烟管路系统的一次应力和二次应力的利用率

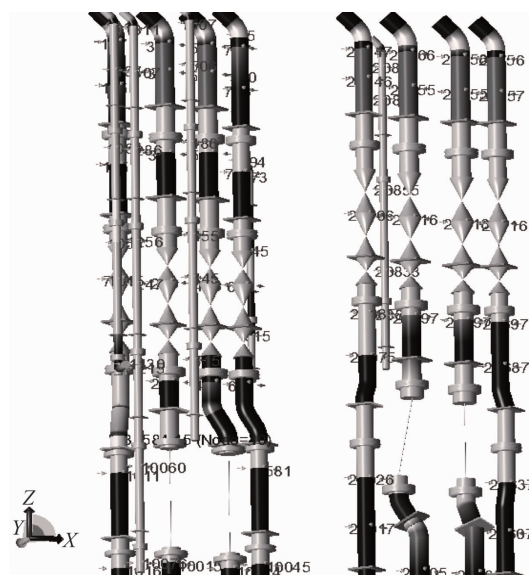


图 3 高温排烟管系统一次应力分析结果
Fig. 3 Primary stress analysis results of high temperature exhaust piping system

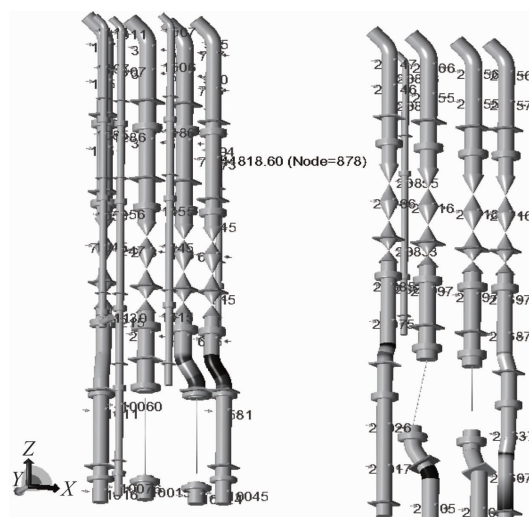


图 4 高温排烟管系统二次应力分析结果
Fig. 4 Secondary stress analysis results of high temperature exhaust piping system

都小于 1,均在 ASME B31.3 规范要求范围内^[4]。在计算二次应力时,为了考虑局部应力集中的影响,要采用应力增大系数,因为应力集中主要对管件的疲劳破坏产生作用,局部的高应力循环将使材料产生裂纹并不断扩展,最终导致破坏。

根据应力分析结果可以确定合适的排烟管支吊架类型。根据计算输出的支撑节点支反力信息为设计支吊架的结构提供设计载荷^[3]。

高温排烟管道温度变化时的热胀冷缩约束会产

生热载荷,将导致管系的热应力;管道在安装施工时各部分尺寸误差也会产生安装载荷即残余应力^[6];与管道连接的设备变位或管子端部位移而引起的管

系变形也会产生载荷。这些因素决定了高温排烟管道的应力分布和位移变形。根据现场反馈的系统运行状况,和计算得到的应力分布基本一致。

表 3 管路部分节点位移结果

Table 3 Displacement results of part of piping nodes

节点号	位移/mm			转角/(°)		
	X 轴	Y 轴	Z 轴	X 轴	Y 轴	Z 轴
29	1.780	2.670	15.787	0.0129	0.0086	0
43	1.632	2.448	14.744	0.0129	0.0086	0
45	2.059	3.088	23.913	0.0125	0.0083	0
50	2.170	3.255	27.749	0.0124	0.0083	0
60	0.002	0.003	-15.601	0.0001	0.0001	0
70	0.001	0.001	-10.651	0	0	0
76	0	0	15.254	0	0	0
80	0	0	27.201	0	0	0
90	0	0	32.002	0	0	0
115	0.029	0.012	17.935	-0.0002	0.0006	0
120	0.050	0.021	27.340	-0.0003	0.0006	0
137	0.130	0.088	29.428	-0.0012	-0.0015	-0.0001
380	0	0	14.903	0	0	0
420	-0.980	0.071	24.981	-0.0010	0.0713	-0.0003

通过管路的位移分析结果,可以看到管道的最大变形位于波纹补偿器处,在实际操作中可以使管道间距和自然转弯处空间满足管线的工作状态变形需求,为管道预留充足的空间,并优化管道平面布置。同时根据排烟管路的应力和位移分析结果,确定波纹补偿器的选型。

5 结 语

本文以中集来福士建造的某型海洋平台的高温排烟管道系统为例,利用 CAESAR II 软件进行了详细的管道应力分析。分析模型中管路附件和设备作为刚体进行模拟,同时考虑到管道直径与壁厚的比值,按照大口径管道的弯头和三通的柔性系数对模型进行特殊考虑。经过模拟分析计算可知,该高温管道系统的一次应力和二次应力均满足标准要求;位移分析结果为优化管道布置和预留空间提供参考,同时为膨胀节的选型和管道支吊架的结构设计

提供设计载荷。目前该高温排烟管道系统运行良好。需要注意的是,管道材料在高温时还存在着蠕变、应力松弛等现象,而这些是目前无法利用程序来解决的,需要设计人员根据实际情况加以考虑。

参 考 文 献

- [1] 邱令国. 一段烟气管道的配管设计与安装[J]. 炼油设计, 1997, 27(3): 51.
- [2] COADE Engineering Software Inc. Piping stress analysis seminar notes[R]. 1998.
- [3] Det Norske Veritas. DNV-RP-D101. Structural analysis of piping systems[S]. 2008.
- [4] American Society of Mechanical Engineers. ASME B31. 3. Process piping, ASME code for pressure piping[S]. 2008.
- [5] 徐红梅,韩华伟. 自升式钻井平台中高压管道应力分析[J]. 海洋工程, 2013, 31(5): 114.
- [6] 刘纯,陈红冬,胡波涛. 蒸汽管道应力分析和支吊架调整[J]. 锅炉技术, 2006, 37(4): 74.