

CAESAR II 在大口径、厚壁管中的可靠性研究

□ 西南石油大学石油工程学院 (610500) 吴晓南 柳军 王怡佳 黄坤
□ 中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司 (610000) 曾林峰

摘 要: 为了验证 CAESAR II 软件在大口径、厚壁管应力分析中的可靠性,有必要了解管道应力分析的基本原理,熟悉软件的工作环境。在大口径、厚壁管的简单实例中,对管道应力进行了理论分析,计算出管道上各约束的受力、管道各点应力及管道上各点位移;同时,采用 CAESAR II 软件建立管道应力分析模型,加载管道约束,得到管道应力分布情况,直接显示出计算结果。将两种应力分析结果作比较,发现理论计算值与软件计算值相差不大。因此,CAESAR II 软件用于大口径、厚壁管方面的应力分析是可靠的。

关键词: CAESAR II 软件 管道应力分析 理论计算 软件计算

The Reliability of CAESAR II Software in Large-Diameter and Thick-Walled Pipe Stress Analysis

Wu Xiaonan, Liu Jun, Wang Yijia, Huang Shen, Zan Linfeng

Abstract: In order to verify the reliability of CAESAR II software in pipe stress analysis of large-diameter, thick-walled, it is necessary to understand the basic principles of piping stress analysis and familiar the working environment of CAESAR II software. In the simple instance of large-diameter, thick-walled pipe, it makes use of the theoretical analysis of pipe stress to calculate the force of the constraints in the pipeline, points of pipe stress and pipe displacement; at the same time, uses CAESAR II software to build the pipe model, load the pipe constraints, get the distribution of pipe stress, and directly show the calculation results. By comparing the two results, showing that the theoretical value and the software calculated value of the stress analysis is very close. Therefore, putting CAESAR II software into the stress analysis of large-diameter, thick-walled pipeline is reliable.

Keywords: CAESAR II software pipe stress analysis theoretical calculation software calculation

前言

上世纪80年代,由美国COADE公司开发编制的CAESAR II 应力分析软件具有强大的分析计算能力:

静力分析和动力分析。其中,静力分析主要包括计算各类荷载在节点所产生的应力、位移、力、力矩等;管道与设备连接的管嘴柔性和设备管嘴处的局部应力分析;埋地管道应力模拟等等。动力分析主要包括管

道系统固有频率分析、地震频率分析、谐波分析、力谱频分析等^[1]。CAESAR II 应力分析软件的编制是以几大重要力学原理(弹性力学、材料力学和结构力学)、有限元和管道应力分析与计算为理论基础的,经过多年的开发应用,CAESAR II 软件在管道应力分析方面的可靠性已得到多方面验证,成为了工程管线设计中优先考虑的管道应力分析软件。随着国内外实际工程项目对大口径、厚壁管需求量的日益增加,为使这类管道能安全稳定地运行,对其进行较准确的应力分析就显得格外重要。

1 大口径、厚壁管应力分析

大口径、厚壁管道,是指钢管外径和壁厚之比小于20的钢管,广泛应用于自来水、天然气、石油、化工、医药、通讯、电力、海洋工程等领域。其应力分析主要是为了满足管道设计强度和柔性要求,确保管道在各种工况下安全运行,而载荷是导致管道内产生应力的基本原因。大口径、厚壁管所受的载荷按照载荷性质可分为静载荷、动载荷和温度载荷。为了便于分析,本文只研究管道所受的静载荷,即对大口径、厚壁管进行静力分析。该类管道的静力分析主要有3类:一是压力载荷和持续载荷作用下的管道一次应力计算,为防止塑性变形破坏;二是管道热胀冷缩以及端点附加位移载荷作用的管道二次应力计算,为防止疲劳破坏;三是管系位移计算,为防止管道碰撞和支吊点位移过大。由于管路沿线的地貌复杂,引

起管道应力的因素较多,针对大口径、厚壁管的应力分析,我们主要考虑管系自重、内压和温度3大要素。下面将以大口径、厚壁管中的悬臂管道为例,对CAESAR II 软件应用于这类管道的应力分析作可行性研究。

2 悬臂管道应力求解

2.1 计算实例基本参数

算例选用的管道基本参数:材料X80,直径1 219mm,壁厚26.4mm;密度 $\rho_1=7.85 \times 10^3 \text{kg/m}^3$;地区等级三级;安装温度 15°C ,操作温度 55°C (温差 40°C);设计压力为10MPa;屈服强度555MPa;线膨胀系数($10 \sim 12 \times 10^{-6}/\text{K}$);弹性模量。管道内输送天然气密度 $\rho_2=0.095 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 。

2.2 理论计算

2.2.1 安装工况(15°C)

由于此工况下不需考虑压力作用,而温度对管线影响也很小,所以只需考虑管线自重对管道受力情况的影响。计算过程大致如下:

(1) 由变形协调条件

滑动支座的支反力 F_{Y20} :

$$-\frac{17q_1 l^4}{16 \times 24 \times EI} = \frac{F l^3}{24EI} \quad (1)$$

固定端的支反力:

$$F_{Y20} = F_{Y20} - q_1 \times L \quad (2)$$

(2) 固定端的支反力偶:

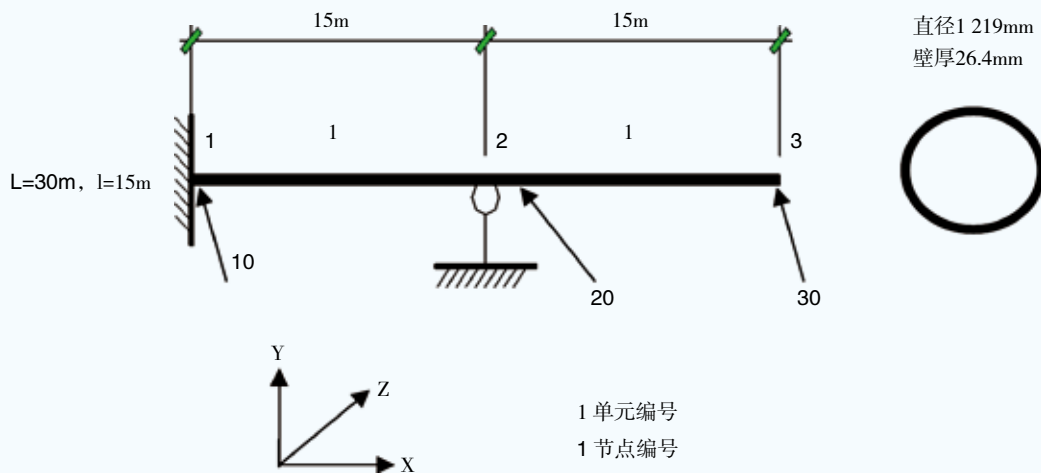


图1 悬臂管道简图

$$M_z = F_{Y20} \times l - q_1 \times L \times l \quad (3)$$

(3) 自由端由重力引起的弯矩为零，因而没有弯曲载荷。

截面1处的最大弯曲应力：

$$\sigma_{w10} = \frac{F_{Y20} \times l - q \times L \times l}{W_z} \quad (4)$$

截面2处的最大弯曲应力：

$$\sigma_{w20} = \frac{q \times l \times \frac{l}{2}}{W_z} \quad (5)$$

截面惯性矩：

$$W_z = \frac{\pi D^3 (1 - \alpha^4)}{32} \quad (6)$$

(4) 弯矩引起挠度（位移）：

$$W_{30y} = -\frac{ql^4}{8EI} + \frac{Fl^3}{24EI} + \frac{Fl^3}{16EI} \quad (7)$$

2.2.2 运行工况（55℃，10MPa）

此工况下需考虑压力、温度及管线自重对管道受力情况的影响，计算过程与安装工况略有不同，不同的过程如下：

(1) 求滑动支座的支反力 F_{Y20} 时， q_1 变为 q_0 。

(2) 由压力引起的环向应力，在3个截面处均相等：

$$\sigma_{zx} = \frac{p_{is} r_n^2 (1 + r_w^2 / r_n^2)}{r_w^2 - r_n^2} \quad (8)$$

(3) 在截面20、30处，由温度引起的位移：

$$u = \alpha l \Delta T \quad (9)$$

式中 q_1 —管道自重均布荷载，N， $q_1 = \rho_1 s_1 g$ ；

q_2 —管内天然气自重均布荷载，N， $q_2 = \rho_2 s_2 g$ ；

q —管与介质自重荷载大小总和，N， $q = q_1 + q_2$ ；

s_1 —管内天然气自重截面面积， m^2 ， $s_2 = \frac{\pi d^2}{4}$ ；

EI —抗弯刚度，取 $360.67 \times 10^7 kN/m^2$ ；

F_Y —支座反力，N；

M_z —支座反力偶，N.m；

σ_w —最大弯曲应力，kPa；

σ_{zx} —环向应力，kPa；

W_z —截面惯性矩， m^4 ；

W_{30y} —弯矩引起挠度，cm；

u —位移，cm。

2.3 CAESAR II 软件计算

CAESAR II 软件的使用主要分为数据输入、计算

工况选择以及计算结果分析和判定3个步骤进行。

2.3.1 数据输入

在应用CAESAR II 软件计算时，首先需要对管道进行节点的选择和编号；接着输入数据，输入的数据按其特性不同分为管道元件结构特征参数、基本参数和边界条件3种类型。管道元件结构特征参数主要是指管道元件的形状、结构特征等，这类参数决定了管道的空间走向和相应的管道元件的规格尺寸、特性。基本参数主要是指管道元件的计算温度、安装温度，管道材料特性（弹性模量、线膨胀系数、许用应力、管材密度）以及管道尺寸（外径、壁厚、长度）等。边界条件主要是指管道元件的约束条件、附加位移及管道端点类型等。

数据输入界面见图2，CAESAR II 应力分析模型图见图3。

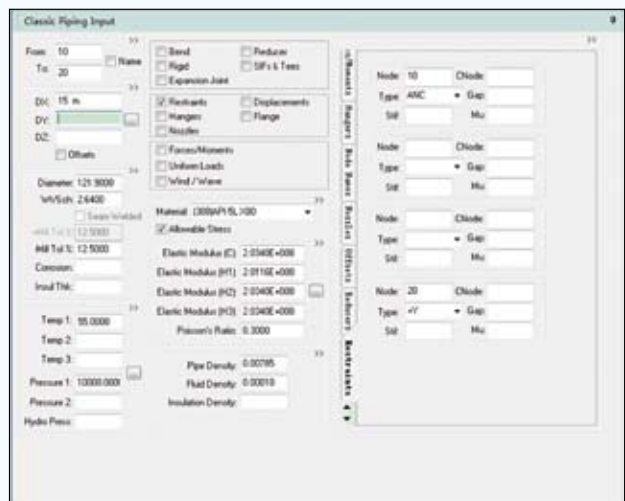


图2 数据输入界面图



图3 大口径、厚壁管模型图

2.3.2 程序运行

程序运行虽然已经编成固定程序由计算机完成,但在程序运行中必须进行计算工况的组合和错误检查修正。

(1) 原始输入数据检查

在计算机进行计算前,会对某些不符合计算逻辑的错误提出警告,此时需要设计人员根据警告提示的内容对原始数据进行检查并进行更正。

(2) 计算工况选择

确认原始输入数据无误后,即可进入计算工况选择阶段。CAESAR II 中的载荷工况有:W—重力载荷工况,D—附加位移载荷工况,T—温度载荷工况,P—压力载荷工况,F—集中载荷工况,Wind—风载工况。上述工况根据分析结果的需要可以任意组合也可单独地进行应力计算,组合工况得到的各项结果是每种单独工况下的计算结果的线性相加^[6]。

在此次应力计算中,所选择的工况均为独立工况,即(OPE)W工况,(SUS)P1工况,以及(EXP)T1工况。

2.3.3 计算结果分析与判断

所有信息输入完成以后,点击“batch run”,程序自动进行计算。计算过程中,程序同时也进行一次应力和二次应力的校核,最后一并输出结果^{[2]-[6]}。

2.4 两种应力分析结果对比

安装工况下的计算结果对比,见表1和表2。

安装工况下的计算结果对比,见表3和表4。

3 结论

通过对两种应力计算结果的比较和误差分析,很容易从上面列表中看出:理论计算值与软件计算值中误差最大者,即由管线自重引起的支座反力偶和最大

表1 固定端(10)理论计算值与软件计算值对比表

| 对比项 | 支座反力(N) | 误差百分比(%) | 支座反力偶(N.m) | 误差百分比(%) | 环向应力(kPa) | 最大弯曲应力(kPa) | 误差百分比(%) |
|-------|-----------|----------|------------|----------|-----------|-------------|----------|
| 理论计算值 | 14 267.0 | 6.03 | 214 011.0 | 6.04 | 0 | 7 414.00 | 6.04 |
| 软件计算值 | 15 158.34 | | 201 094.10 | | 0 | 6 966.46 | |

表2 滑动端(20)和自由端(30)理论计算值与软件计算值对比表

| 对比项 | 支座反力(N) | 误差百分比(%) | 最大弯曲应力(kPa) | 误差百分比(%) | 管道位移(cm) | 弯矩引起绕度30(cm) | 误差百分比(%) |
|-------|-------------|----------|-------------|----------|----------|--------------|----------|
| 理论计算值 | -242 546.0 | 0.29 | 33 531.5 | 2.55 | 0 | -2.4476(30) | 3.30 |
| 软件计算值 | -241 840.10 | | 32 675.93 | | 0 | -2.5312(30) | |

表3 固定端(10)理论计算值与软件计算值对比表

| 对比项 | 支座反力(N) | 误差百分比(%) | 支座反力偶(N.m) | 误差百分比(%) | 环向应力(kPa) | 误差百分比(%) | 最大弯曲应力(kPa) | 误差百分比(%) |
|-------|-----------|----------|------------|----------|-----------|----------|-------------|----------|
| 理论计算值 | 16 132.0 | 6.04 | 241 980.0 | 6.04 | 215 980 | 4.99 | 8 382.88 | 6.04 |
| 软件计算值 | 15 158.34 | | 22 375.10 | | 205 202.8 | | 7 876.90 | |

表4 滑动端(20)和自由端(30)理论计算值与软件计算值对比表

| 对比项 | 支座反力(N) | 误差百分比(%) | 最大弯曲应力(kPa) | 误差百分比(%) | 由温度引起的管道位移(cm) | 弯矩引起绕度30(cm) | 误差百分比(%) |
|-------|-------------|----------|-------------|----------|----------------|--------------|----------|
| 理论计算值 | -274 244.0 | 0.29 | 33 531.5 | 0.07 | 0.6 | -2.77 | 3.36 |
| 软件计算值 | -273 446.10 | | 33 554.26 | | 0.6 | -2.863 | |

弯曲应力。这是由于软件在计算过程中采用迭代法，而在理论计算中忽略了各投影面力矩之间互相关系的二次项，从而造成两者之间的误差。因管线自重对整个管线应力情况的影响最小，我们在进行管线应力分析时主要考虑的管线影响因素就是温度和内压。

综合考虑管线自重、压力及温度对管线受力情况的影响，将CAESAR II 软件运用于大口径、厚壁管的应力分析是可靠的。在实际工程管线设计中，要对管道进行较准确的应力分析是非常复杂和困难的，一定程度上还会给工程施工带来不便；而CAESAR II 软件正是将这种复杂的过程简单化，便于模拟分析，计算结果准确明了。因此，随着国内油气管道建设的大量增加，CAESAR II 管道应力分析软件体现出的优越性使得它在大口径、厚壁管的工程项目中具有普遍推广意义。

参考文献

- 1 曹广琪. CAESAR II管道应力分析软件主要功能[J]. 油气田地面工程, 2002; 6(3): 113-114
- 2 郭艳林, 李巧, 毛敏. 压缩机组配管应力分析计算[J]. 天然气与石油, 2005; 23(4): 20-24
- 3 吴晓南, 鲜燕, 刘源海等. 清管过程中隧道内输气管道应力分析[J]. 天然气与石油, 2012; 30(2): 1-3
- 4 毛悠仁, 赵晓政, 刘江涛. CAESAR II软件在离压缩机配管受力分析的应用[J]. 化工生产与技术, 2006; 13(3): 39-40
- 5 梅海燕, 吴文明. CAESAR II软件在补汽阀管道设计中的应用[J]. 热力透平, 2010; 39(1): 65-67
- 6 刘亚江. CAESAR管道应力分析理论[J]. 管道技术与设备, 2003; 2: 6-9

安全管理消息

国家质检总局 国家标准委公告《燃气服务导则》GB/T28885 自2013年6月1日起实施

《燃气服务导则》GB/T28885-2012已由国家质检总局 国家标准委2012年第28号文件公告,自2013年6月1日起实施。

2010年11月19日国务院颁布《城镇燃气管理条例》，明确将“安全供气、稳定供气和优质服务”列为燃气经营企业的三大主要任务。2012年6月27日住房和城乡建设部制定的《全国城镇燃气发展“十二五”规划》，把“提高行业整体服务水平”列为全国城镇燃气发展“十二五”时期的主要任务之一。提出要“建立健全覆盖巡检、热线服务、安全宣传等方面的服务体系，实现服务行为规范化、服务管理标准化、服务措施制度化、服务设施便民化、服务内容信息化，创建服务品牌，不断提高用户满意度、行业文明指数和行业形象，满足城镇燃气用户对燃气服务的要求”。2012年11月5日，国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会批准《燃气服务导则》（以下简称《导则》）为国家标准，将于2013年6月1日正式施行。《导则》规定了燃气服务的

术语和定义、总则、基本要求、管道燃气供应服务、瓶装燃气供应服务、车用燃气供应服务和服务质量评价。适用于燃气经营企业向用户提供的供气服务和相关管理部门及机构对供气服务质量的评价。优质服务是市政公用事业的生命线。中国城市燃气协会希望各燃气管理部门、经营单位要以宣传贯彻《导则》为契机，及时发现、总结、推广服务工作开展的成功经验和好做法，促进供气服务水平提升及员工素质全面提高；要用心服务，不断创新服务手段和工作方法，创建服务品牌，满足用户的个性化需求；要以制度建设为基础，健全优质服务工作的长效机制，全面开展服务质量评价工作，确保服务质量工作常抓不懈，持续改进。我们相信《导则》的颁布实施，将推动城镇燃气服务质量和水平实现新发展、新突破、新提升，开创中国城镇燃气用户服务工作新局面，为构建社会主义和谐社会、全面建成小康社会、建设美丽中国做出新的贡献。

（中燃协）