

利用 CAESAR II 对复式拉杆型波纹管膨胀节和铰链型膨胀节对比模拟

于伦嘉

宁波华中工程设计有限公司, 浙江 宁波 315000

[摘要] 随着我国工业进程的快速发展, 对管道的设计和标准要求越来越高, 工业管道和设备的监察力度越加严格。为了保障管道的运行安全, 减少管道和设备的破坏保障安全, 延长管道使用寿命, 管道应力分析是在管道设计中不可缺少的一部分。文章通过利用 CAESAR II 模拟自然补偿、复式拉杆型波纹管膨胀节和铰链型膨胀节的分析结果。提出了不同情况下管道补偿器的选用原则。

[关键词] CAESAR II; 复式拉杆型波纹管膨胀节; 铰链型膨胀节; 自然补偿

DOI: 10.33142/ect.v2i8.12995

中图分类号: TE8

文献标识码: A

Comparative Simulation of Double Pull Rod Corrugated Pipe Expansion Joint and Hinge Expansion Joint Using CAESAR II

YU Lunjia

Ningbo Huazhong Engineering Design Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: With the rapid development of China's industrial process, the requirements for pipeline design and standards are becoming increasingly high, and the supervision of industrial pipelines and equipment is becoming stricter. In order to ensure the safe operation of pipelines, reduce damage to pipelines and equipment, ensure safety, and extend the service life of pipelines, pipeline stress analysis is an indispensable part of pipeline design. The article proposes the selection principles of pipeline compensators under different conditions by using CAESAR II to simulate the analysis results of natural compensation, double pull rod corrugated pipe expansion joints, and hinge expansion joints.

Keywords: CAESAR II; Double pull rod corrugated pipe expansion joint; Hinged expansion joint; Natural compensation

目前国内外计算机辅助管道应力分析计算软件种类较多, 如 Stress、AutopSA、CAESAR II、AutoPipe、ROHR2 等。CAESAR II 自发布以来就成为了世界上应用最广泛的管道应力和柔性分析软件。能够考虑各种作用于管系的外部载荷、管道自身重量、压力、膨胀、地震及基于用户自定义或者遵循工业标准规范的静态、动态条件。

在复杂的管线中, 金属管道的重力、压力的管道一次应力的塑性破坏。管道热胀引起的二次应力的疲劳破坏。对设备和支架的作用力。法兰泄漏。位移大管道脱空碰撞的情况。管道走向布置, 以及增设补偿器对管道的运行安全以及安装难易程度和建设投资至关重要。

1 复式拉杆型波纹管膨胀节

复式拉杆型波纹管膨胀节由中间接管连接的两个波纹管及拉杆、短板等组成的挠性装置, 用来补偿横向和立体弯管的热位移, 拉杆装置应能承受压力、推力和附加外力的作用。复式拉杆型波纹管膨胀节特别吸收横向位移。也可吸收轴向位移、角位移和任意三种组合位移。通常用法是将应用在垂直向用来补偿管道的横向位移。调整拉杆的螺丝来阻止外部的轴向位移和中间管中拉杆以内的轴向位移。

管道的压力推力由拉杆承受。所以两端均使用中间固定支架。管线热胀的轴向力为膨胀节的变形反力。补偿器拉杆以外管道位移由水平管道的弯曲变形来吸收。拉杆内立式管

位移由补偿器本身吸收, 垂直方向上补偿器热膨胀力由拉杆承受, 垂直方向上无需计算补偿器的垂直内压盲板力。

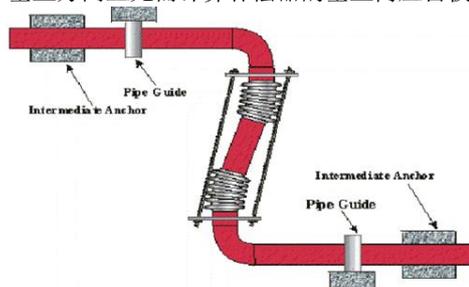


图 1 复式拉杆型波纹管膨胀节系统图

2 铰链型膨胀节

(1) 铰链型膨胀节由一个波纹管、两组与端管相连的铰链板及一对销轴等组成的挠性装置, 铰链式膨胀节一般以两、三个作为一组使用, 用于吸收单平面管系中一个或多个方向的横向位移。在这种系统中每一个膨胀节被它的铰链板所制约, 产生纯角位移, 然而, 被管段分开的每对铰链型膨胀节互相配合可吸收横向位移。膨胀节的铰链板用于承受作用于膨胀节上的全部压力推力, 也可承受管道和设备的重量、风载。推力是由膨胀节上的铰链板来承受的, 只需在管系的两端设置中间固定支架, 由于受铰链制约只能产生纯角位移, 不能伸缩, 包含有膨胀节的中间

管臂的热膨胀必须由与它相垂直的管臂发生弯曲来吸收。

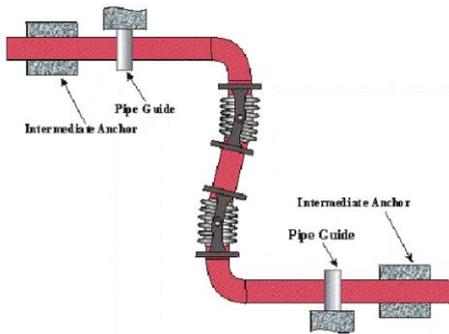


图2 平面中的双铰链膨胀节系统

如果“Z”形管系的中间立管管臂较长过，热膨胀而产生位移大。可采用三个铰链型膨胀节的系统。竖直管段的热膨胀将由水平设置的铰链型膨胀节吸收。

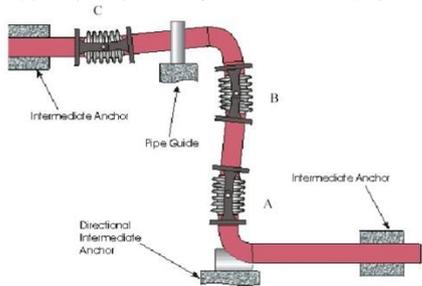


图3 平面中的三铰链型膨胀节系统

(2) 空间“Z”形管系的热补偿采用万向铰链型膨胀节

万向铰链型膨胀节是由一个波纹管，万向铰链环及两对与万向铰链环和端管相连的铰链板等组成的挠性装置。通常以两个万向铰链型或以两个万向铰链型与一个单式铰链型膨胀节一起配套使用，如图4，两个万向铰链型膨胀节协同动作吸收上、下两个水平管臂的组合位移，铰链型膨胀节则与上部的万向铰链型膨胀节互相配合吸收竖直管臂的位移。

万向铰链型膨胀节垂直安装时，可以补偿水平管道任意方向的横向位移。不限于单平面系统。如立管热膨胀位移量大，也可在上面的水平管系上增设单铰链式膨胀节，并通过导向支架限制单铰链式膨胀节的横向位移。使其在竖直方向上弯曲。从而形成复合式膨胀节。

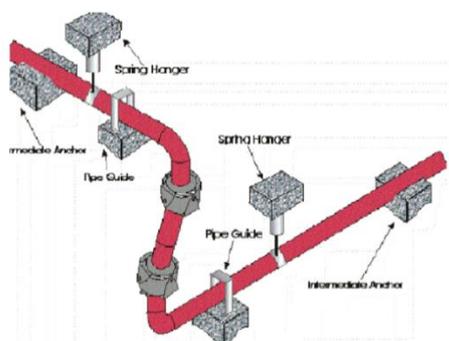


图4 万向铰链型膨胀节系统

3 CAESAR II 对工程实例的模拟

以下利用 CAESAR II 2019 模拟某工厂设备之间烟气管道的设计。计算出自然补偿、单铰链与万向铰链式膨胀节组合型和复式拉杆型波纹管膨胀节，在工况相同和管道支架相同的情况下。三种不同补偿方式对设备管口的受力情况进行分析。

管道参数条件：介质：烟气。压力：100kPa。温度：120℃。管道材质：低碳钢。管径壁厚：1220mm×10mm。SC：113Mpa。SH1：113Mpa。摩擦系数 $\mu=0.3$ 。查资料，单铰链和万向铰链式膨胀节弯曲刚度为：2794N·m/Deg。复式拉杆型波纹管膨胀节轴向、横向刚度均为：2794N·m/Deg。管道自然补偿敷设如下图5所示

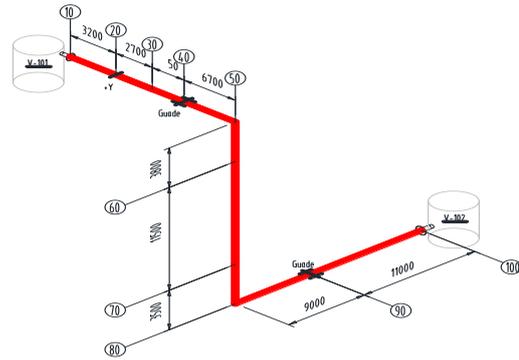


图5 管道自然补偿敷设系统图

3.1 自然补偿在 CAESAR II 2019 中的模拟

计算自然补偿，两个设备管口模拟成固定支架，最终计算两个固定点的受力来等同于两个管嘴最终的受力，打开输入页面，输入长度，填写管径信息。输入参数，选择管道材料低碳钢。设置支架点，填入摩擦系数等数据。在 CAESAR II 2019 中 10 和 100 分别设置成固定点。输入 ANC。

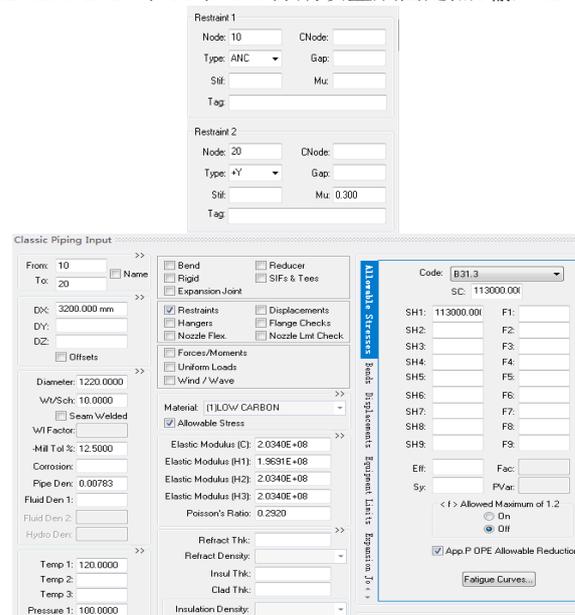


图6 CAESAR II 2019 数据输入图

模型搭建完毕后，确认模型是否与设计图纸一致。检查模型错误。见下图7管道自然补偿模型图。运行模型，查看结果。模型管道的一次应力和二次应力均没有超过规范 ASME B31.3 要求。进而查看管道支架的实际情况，计算结果见表 1。

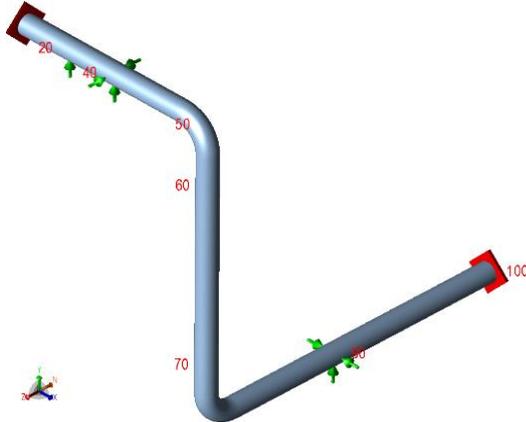


图7 管道自然补偿敷设模型图

表1 固定推力和扭矩表（自然补偿）

Node	Load Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (N.m)	MY (N.m)	MZ (N.m)
10	OPE	-4876	-13189	-8026	-50732	14752	-6541
	SUS	2133	51588	-2004	-1003	3682	102004
100	OPE	-732	62934	-66515	-246608	-2560	-28650
	SUS	2682	4915	-871	-43859	9373	3727

表一中可以看出自然补偿推力最大位出现在 100 点，V101 管口在工况下重力为 1.32t。V102 管口在工况下重力为 6.3t。Z 的负方向上推力为 6.66t。

3.2 铰链补偿器在 CAESAR II 中的模拟

计算增设组合型铰链补偿器，对比管口受力的情况。在自然补偿模型的 30 节点号增设单式铰链型膨胀节。在 60 和 70 节点号分别增加万向铰链补偿器。操作方如下。

在自然补偿模型基础上复制一个模型。通过模型的 Duplicate 按钮复制所有节点号。节点号加 1000。并且在坐标系中修改节点号 1010 点的坐标，+X 方向上增加 50000mm。使两个模型分离开来。通过新复制出来的模型的 1030 点增设单铰链补偿器，1060 和 1070 节点号设置万向铰链补偿器。引入 Cnode 功能。在 1030 处插入 X 正方向长度 1mm 段。通过 Restraints 中的 Node1030 和 CNode1031。限制管线绕 Y 轴旋转。利用 1040 点的导向功能，让其只能向上扭转。补偿器填入轴向刚度、横向刚度、和扭转刚度数值均为无穷大。弯曲刚度为厂家说明书上提供的 2794N.m/Deg。因为铰链补偿器结构形式无须计算内压盲板力，有效内径不填。从而实现 1030 点的单式铰链补偿器的功能。下一段的 1030 修改为 1031。使得管线连续。同理 1060 和 1070 点节点号同样操作。并填入补偿器刚度参数。1070 节点号重复操作。

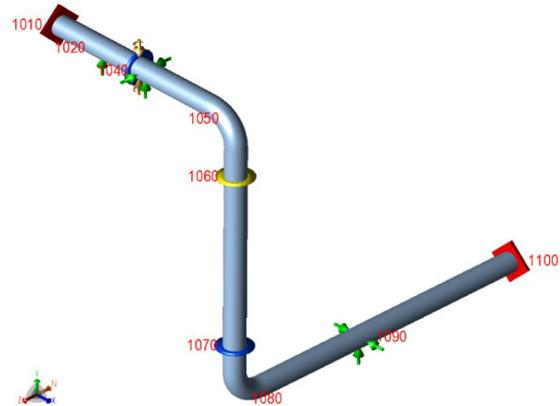


图8 铰链补偿器敷设模型图

计算结果如表 2。铰链补偿器管口推力最大为出现在 1100 点，V101 管口在工况下重力为 1.43t。V102 管口在工况下重力为 6.6t。Z 的负方向上推力为 8.22t。管口受力反而比自然补偿敷设方式要大。

表2 固定推力和扭矩表（铰链补偿器）

Node	Load Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (N.m)	MY (N.m)	MZ (N.m)
1010	OPE	-4773	-4124	-14347	25416	26365	121038
	SUS	2124	47877	-576	6425	1058	95185
1100	OPE	-4920	66095	-82228	-257653	-17194	-11877
	SUS	3550	46	-881	-26844	12404	-34885

3.3 复式横向拉杆型波纹管膨胀节 CAESAR II 中的模拟

全选自然补偿的模型，通过模型复制。节点号增量为 2000。设置节点号 2010 的坐标 (X,Y,Z) 为 (100000mm, 0mm, 0mm)。把重新复制的模型中节点号 2060 至 2070 设置横向复式拉杆型波纹管膨胀节，补偿管道的横向位移。在 2060 和 2070 节点号之间。上下各打断出长度为 1500 长度的管段，作为复式大拉杆内部的波纹管。打断出来的节点号分别为 2064 和 2066。2060 至 2064 段设置波纹管参数：轴向和横向刚度填入资料中的 2794N.m/Deg。波纹管不应产生扭转，扭转刚度无穷大。有效内径查询手册填入 1300mm。用来计算拉杆承受的内压盲板力。弯曲刚度软件自动计算。同理 2066 至 2070 节点号同样方式填入。

接下来设置端板和大拉杆。新建从节点号 2060 至 2061 沿-Z 方向长度为 1800mm 的刚性件。同理 2070 至 2071 一样长度的刚性件。新建 2062 至 2072 长度为沿-Y 方向长度为 11150mm 的刚性件。通过关节点号 2061 与 2071 关联，2062 与 2072 关联。分别限制各自关联节点的 XYZ。在经过 Duplicate 沿着 XY 面镜像。节点号增加 100。修改镜像后的三个支撑件前后节点号。通过元素列表分别修改成 2060 和 2070。再把刚刚建好的两组支撑选择复制。节点号加 200。生成后修改前后节点号，让其前后节点号变成 2060 和 2070。组成完成的四组拉杆。形成完整的复式大拉杆波纹管。根据安装需求。再将所有的拉杆通过

Rotate 绕 Y 轴旋转 45° 方向。形成真实的安装状态。从而接近管道的真实工况。

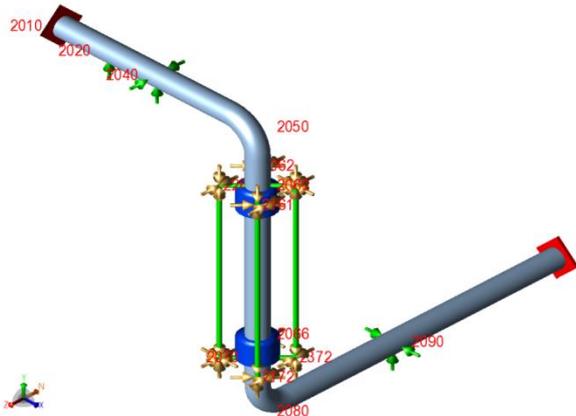


图 9 复式拉杆型波纹管膨胀节敷设模型图

通过 CAESAR II 软件计算结果。管道的一二次应力符合规范的情况下，管口的受力情况如表 3。复式拉杆型波纹管膨胀节管口推力最大为出现在 2100 点即 V-102 管口的位置。V101 管口在工况下重力为 0.4t。V102 管口在工况下重力为 5.44t。Z 的负方向上推力为 5.01t。复式拉杆型波纹管膨胀节的管口受力相对于自然补偿和铰链补偿器对管口的受力相对较小。

表 3 固定推力和扭矩表（铰链和横向大拉杆补偿器复合型）

Node	Load Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (N. m)	MY (N. m)	MZ (N. m)
2010	OPE	-6205	-3967	-2634	46324	4842	-2156
	SUS	18	46005	461	9650	-847	91745
2100	OPE	-1571	54340	-50151	-216575	-5489	7197
	SUS	315	4002	-9	-40668	1102	-19691

4 结语

(1) 热力管道敷设。优先选用自然补偿。管道的使

用年限较长，投资成本低。管道的自身应力补偿相对较好。对设备和管嘴的推力通过优化可以适当降低。

(2) 在选择补偿器时候。复式拉杆型波纹管膨胀节相对于铰链式补偿器，价格相对便宜。铰链式补偿器通常成对或者三个甚至多个同时使用且相对复杂。复式拉杆型波纹管膨胀节可以很好的减少管道系统对管嘴的受力。对管道支墩的数量上和经济上的节约有积极作用。也可更好的降低设计难度。在管道管径较大和空间受限的情况下可选用式拉杆型波纹管膨胀节。然而复式拉杆型波纹管膨胀节的敷设通常利用管道的“L”“Z”和“U”来更好的发挥作用。然而复式拉杆型波纹管膨胀节对安装过程要求较高。

(3) 对于现场空间较小或特殊要求的情况下也可选择铰链式补偿器。

(4) CAESAR II 对应力的计算能够很好的解决各种补偿器在管线敷设中的模拟。从而给管道设计人员提供很好的优化方案。很好解决管道在建设和生产过程中遇到的分析问题。当今大环境形势下，管道和设备的运行安全越来越重要。法律法规越来越完善。管道应力分析已经成为管道设计过程中不可少的部分。

【参考文献】

- [1] 宋岢岢. 管道应力分析与工程应用[M]. 北京: 中国石化出版社, 2020.
 - [2] 唐永进. 压力管道应力分析[M]. 北京: 中国石化出版社, 2003.
 - [3] 《动力管道设计手册》编写组. 动力管道设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
 - [4] 张丽霞, 冯朝晖. 大拉杆波纹补偿器在供热管网中的应用[J]. 设备管理与维修, 2005(5): 2.
- 作者简介: 于伦嘉(1990.3—), 毕业院校: 齐齐哈尔大学, 所学专业: 化学工程与工艺, 当前就职单位: 宁波华中工程设计有限公司, 职称级别: 助理工程师。