

几种油气田工程应力场景配管设计优化

王 喆 (中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257000)

摘 要: 油气田工程项目的配管设计是建设期非常重要的一环。随着当下设计手段的丰富发展, 采用三维配管已经能够实现精细化设计。鉴于管道系统是一个要求兼顾工艺可行与安全可靠的系统工程, 因此管道安装的合理性和可靠性必须通过应力校验来证明。本文将从几种工程中常见的应力场景出发, 探讨应力分析与配管设计之间的关联, 并形成若干项配管设计优化措施, 以供未来工程项目借鉴。

关键词: 应力分析; 配管设计; 离心泵; 井口; 管廊; 罐区

管道应力分析作为压力管道设计的三个组成部分之一, 与管道材料和管道布置相辅相成, 密不可分。对于配管设计工作流程来说, 应力分析顺利通过是确保管道布置最后设计成果满足工程质量要求的重要环节。

换言之, 应力分析不仅可以保证管道和与之相连接设备的稳定性, 而且可以有效辅助配管工程师进行管道布置的设计优化和方案比选。本文将针对油气田工程场景进行分析, 并归纳总结出在这些场景中的常用配管设计优化方案, 以提高配管设计时应力分析通过率。

1 配管应力分析重点

1.1 管道一次应力校核

一次应力校核, 一般可以解决管道布置初期由于配管设计不全面造成的安全隐患。这类问题解决的重点是配管工程师对于管道受力概念不清, 管道材质本身性能考虑不足。一般情况下该类问题发现后, 结合应力分析报告, 配管工程师可以较快速的采取调整方案。例如: 管廊架空管线跨距不足问题。只要进行过应力分析确认管道支撑不满足受力要求, 配管人员就可以采取补充支吊架或结构支架等方式调整配管。

1.2 管道二次应力校核

在管道运行过程中, 因为管道内介质运行温度与施工安装温度的温差、运行期间产生的振动等都会引起管道的形变。在配管设计初期, 不进行应力校核情况下, 配管工程师除了经验判断外很难确保管系设计一次性满足受力要求。只有借助二次应力校核, 对管道运行工况进行完整性模拟, 得到确实数据后才能确保管道运行的长期稳定性。例如: 油气两相流管道振动问题。只有根据配管走向建立应力计算模型, 模拟出两相流对于管道的冲击, 才能有效寻找到最佳管道固定点设置位置以及其所造成的最大推力。

1.3 支吊架受力计算

管道支吊架对于整个管系来说是一个重要的调整点。在管道走向基本确定的情况下, 通过支吊架形式和位置的改变, 可以优化管道系统的整体力学分布并保持管道的稳定运行。通常在应力分析建模时, 支吊架的受力可以借助软件还原到应力模型中, 应力分析工程师通过调整受力位置, 就可以帮助配管工程师解决局部应力超标问题。例如: 管廊上的减摩管托, 机泵进出口管道的弹簧支架, 井口管道的恒力弹簧吊架等。有的是为了优化管道与支撑构件的摩擦力, 有的是为了抵消管道振动, 有的是为了满足管道位移量要求。

1.4 管道位移量计算

实际设计运行的管道需要具有通过自身变形吸收热胀冷缩和其他位移变形的能力, 也就是进行管道柔性设计。而进行管道柔性设计的前提, 就是要根据应力计算选取合适的位置对管道进行自然补偿或人工补偿, 保证最大位移量不影响管道运行期间的稳定性。配管工程师需要寻找到一种可行且可控的补偿措施, 在合适的位置对管道应力进行释放。例如: 管廊管道的 π 型自然补偿, 与大罐管口相连管线采用补偿器, 管道支托加长或偏置安装等。配管工程师一般会按照设计经验, 在设计中初步考虑这些补偿措施进行选用。

1.5 设备管口应力校核

参考国际通用技术要求, 一般离心泵类执行 API 610, 离心压缩机则执行 API 617。其中均以表格的形式, 对应管口规格列出了约束受力范围。要确保管道与设备连接可靠, 就要保证管口受力在规范要求内。反之, 如果偏离受力范围则需要单独提出技术规格条件给供货商, 以确定供货设备质量可以满足设计要求。

通过作者参与的多个项目实践证明, 目前市面上大部分供货商可以根据反馈结果进行管口加强。而如

果应力分析工作此时尚未介入,则会存在后期因配管形式已经确定较难调整,而产生设备管口应力超标的风险。

2 配管常见应力场景

管道上可能承受的荷载主要为:重力荷载(包括管道自身及外部压载)、压力荷载、位移荷载(包括热胀冷缩、端点附加位移及不均匀沉降等)、风荷载、地震荷载、瞬时冲击荷载、两相流脉动荷载、压力脉动荷载及机械设备振动荷载等。由于不同装置规格、不同工艺流程所涵盖的管道荷载类别各不相同,安装方式也有所区别。因此为了方便归纳分析,现将几种油气田工程典型配管场景总结如下。

2.1 泵及压缩机进出口管系

机泵类管系在长输管道增压站、大型石化场站泵房等区域常见。对于机泵和压缩机这类动设备,与其相连接的管道在配管时除了考虑基本管道柔性外,对于设备管口受力、设备拆装等也要一并进行考虑。动设备管系的应力校核需要根据设备特点,结合实际运行工况进行单独分析。

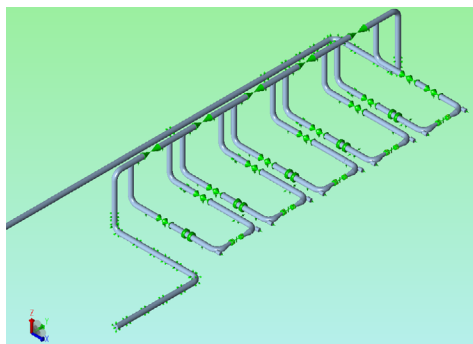


图1 离心泵管系管道布置

图1为某站场输送原油的外输泵管系安装。该流程最大设计流量 $2520\text{m}^3/\text{h}$,设计压力 10MPa ,安装方式属于单级高压离心泵串联。管系特点是输送介质压力高,设备布置紧凑。这类泵管系除了考虑正常流程连通所用的管件外,在设计时需要考虑增加管道柔性,以免机泵运行过程中因管材刚度过大引起管线破坏和设备管口荷载超标。

2.2 采油/气井口管系

采油/气井口(下文简称井口)主要出现在陆上井场以及海洋生产平台。管系起始端为单个采油/气树出口,末端为井口附近的汇管。这类管系的特点是井口采出液压力高,供管线安装空间狭小。而且通常情况下,同一个应力计算模型内存在多路单井管线受

力相互影响的情况,在分析时需要协同考虑。

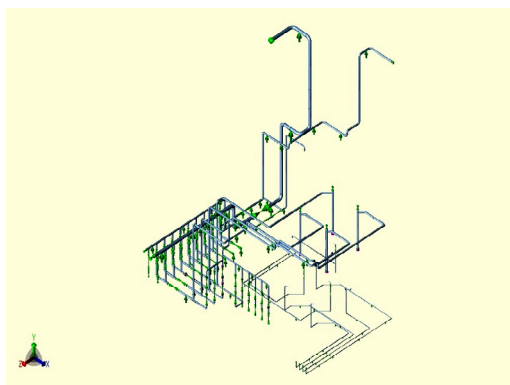


图2 井口管系管道布置

图2为某海洋平台井口部分的管系安装。井口流程采用全压设计,设计压力达到 42MPa 属于高压范畴。井口管系从采油/气树出口接出后沿顶部甲板下悬吊安装,直到井口阀组。尽管整体管道行程较短,但是配管设计时需要考虑后期修井作业空间,管线柔性补偿量,采油树附加位移等许多附加因素。否则,容易在运行阶段引发泄漏事故,影响整个平台的安全生产。

2.3 管廊管系

管廊管系主要包括站场内架空敷设的管道,常见于油气处理站、炼化厂等大型工业场站。这类项目的管道在布置时,考虑到后期检修、操作、美观等因素,一般都会根据总平面布局设置管廊架。管系特点是管道路由一般较长且存在高低温管道并行敷设的情况,故在应力分析时需要结合管廊架结构设置情况,整体考虑最优的补偿方案。以某天然气处理厂管廊管系安装为例。该管廊管系存在高温、高压、两相流、低温等多种运行工况,而且最长单根管线架空路由超过 1km ,有多处跨路和自然补偿布置形式。管廊管系在设计时,如果没有充分保持管道稳定性,设置合理的自然补偿抵消形变应力。不但会使管道产生滑落、振动、泄漏等隐患,也会影响到相邻管道引发连锁反应,甚至出现管廊结构的晃动等不良后果。

2.4 罐区管系

罐区管系主要指油库区、联合站等罐组密集区域内管道。管系特点是管道口径大、走向调整空间小,表现为在罐组内受到罐体进出口和进出液流程的制约,管道只能水平敷设,成排布置。特别是罐体自身存在沉降隐患,连接罐体端的管道补偿需要考虑不均匀沉降量的影响。另外,大口径管道的推力也是此处管道布置时需要重点考虑的问题。以某大型储备油库

的罐组内管系安装为例。该工程进出液主流程管道公称尺寸均为 DN900, 而且由于空间受限, 管道补偿方式只能采取加设轴向补偿器替代自然补偿。在进行管道应力校核时, 计算得到轴向补偿器的盲板推力达到 20000kN, 这对于管道支墩基础的设计影响巨大, 直接导致后续土建设计工作无法开展。

通过以上场景分析可以看出管道应力校核对于配管布置的影响, 在设计阶段需要针对这些配管不利因素进行针对性解决。

3 配管优化方案说明

3.1 动设备管口配管布置优化

以上文提到的高扬程离心泵安装为例。在配管时考虑到管口受力要求, 需要尽量做到减少管线作用到管口的力。这其中由于管道刚性大, 运行时受热形变而引起的管口荷载是最需要考虑和解决的主要问题。优化方案为: ①抬高泵汇管, 增大进出泵管道长度, 确保进出口管道有足够的柔性吸收变形量; ②在满足工艺流速要求下, 尽量减小泵管线的口径, 防止因管线刚度过大引起轴向变形传导到管口处转化为弯矩和推拉力; ③与泵口相连管道大小头与泵管口间留足 3 倍管道直径长度以上直管段, 并增加弹簧支架, 以降低管口竖向荷载; ④进出口管道在靠近进出泵的弯头位置设置止推支架, 降低因为管道推力作用到管口上的荷载。

3.2 井口工艺管道配管布置优化

以上文提到的深海平台井口管道安装为例。在配管时需要充分考虑深海平台井口由于浪涌产生的井口采油/气树位移, 重点消除井口位移对于管道部件的拉扯影响。优化方案为: ①一般海洋平台井口区位于底层甲板, 配管布置时尽量要求采油树出口管口朝上, 这样可以充分利用层间空间进行管道自然补偿; ②管道在井口梁格范围内布置不要直接选择最短配管路由, 需要适当增加弯头进行水平补偿, 否则整体管系柔性不足难以通过应力校核; ③弹簧吊架生根所需空间需要提前预留, 管线不可直接布置在横梁正下方, 避免采油树检修影响, 推荐做法是按照弹簧架选型规范查阅位移量后初步预留空间。

3.3 管廊长距离管道配管布置优化

以上文提到的天然气处理站主管廊为例。在配管时重点需要考虑利用自然补偿方式解决管道热应力引发的推力问题和两相流水击问题。进而能够减小管廊截面尺寸, 提升管廊整体经济性。优化方案为: ①规

划管网走向时, 将跨路、跨装置区的管廊层高予以区别, 方便形成自然补偿; ②充分利用管廊层间距, 尽量将 π 弯采用“套圈”布置方式集中布置, 方便结构设置固定支架; ③特殊工况(高温、低温、两相流等)管道及大口径管道尽量布置在管廊靠外位置, 方便后期根据应力返回补偿量调整 π 弯尺寸; ④全场性走向管道尽量成排布置, 方便后期梳理管网, 调整 π 型补偿; ⑤高点放气和低点排液需要在布置完成后进行检查, 确保两相流管道可以实现泄放。

3.4 罐组内大口径管道配管布置优化

以上文提到的罐区管网为例。在配管时需要按照罐区内预留平面位置, 选择合适的补偿方式解决管道轴向推力大的问题。以便尽可能把基础支墩做小, 为罐区内正常操作巡检留足通道。优化方案为: ①尽量降低管道距离地面距离, 以控制整个管网的重心; ②储罐进出口均朝向罐组主管网, 尽量缩短罐区内管线长度; ③利用罐与罐之间空隙集中进行管道自然补偿, 能用一次较大补偿完成的尽可能不用多次小补偿, 避免管道多次补偿造成占地大, 影响罐内巡检空间; ④在罐组内空间较小时, 建议选择直管压力平衡型膨胀节进行轴向补偿, 通过增加固定点设置将长直管段划分为若干小直管段, 以便进行应力控制。

4 建议措施总结

结合前文归纳整理的若干优化方案, 大体可以将设计优化措施总结为以下几个方面: ①应力分析应提前介入, 从而及早对安装不合理项进行规避和排除; ②配管专业在提交应力分析资料时, 尽可能多的提供项目数据, 以便应力专业可以更高效准确地进行应力分析; ③通过软件间进行设计传递数据的渠道已基本打通, 因此可以利用计算机辅助设计工具来进行更广义的专业融合, 提升应力提资效率。

对于配管设计来说, 本文中提到的优化方案, 也仅仅是配管设计涵盖范围内的一小部分。在配管工作中需要将应力思维融入工作中, 不断提高设计精细程度, 才能更好地提高工程的质量。

参考文献:

- [1] 宋奇奇. 工业管道配管设计与工程应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.

作者简介:

王喆, 男, 高级工程师, 现就职于中石化石油工程设计有限公司智能化研究中心, 主要从事油气集输及储运相关领域设计工作。