

往复式压缩机工艺管道的布置及防振措施

刘秀林

(中国石油天然气第一建设公司设计研究院, 河南洛阳 471023)

摘 要: 做好往复式压缩机进出口管道布置工作以及防振设计是装置安全有效运行的保障。文章针对往复式压缩机布管的工艺要求及管道的振动原因, 提出了在配管设计中满足布管工艺要求的工艺措施以及对管道进行防振、减振的措施。在配管的防振、减振设计中, 加固管系或增设管系支撑点虽然能显著提高系统的刚度, 改变振动特征, 但必须考虑到管道热应力, 满足管系柔性需要。

关键词: 往复式压缩机; 管道布置; 振动原因; 减振措施

中图分类号: TE969 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2206 (2009) 02-0019-04

0 引言

往复式压缩机是炼油化工装置中的重要设备, 在其管道设计中, 工艺管道布置是十分重要的, 除满足管道布置的工艺要求外, 还应满足管道布置的抗振要求。在抗振设计中, 除了应满足管系柔性需要外, 还要尽量将管道振动控制在合理范围内。往复式压缩机进出口管道振动, 增加了其配管设计的复杂性, 而且管道的振动对安全生产是一个很大的威胁。它会引起以下问题:

(1) 管道的疲劳损伤, 尤其可能使小口径管道损坏, 导致易燃易爆的氢气发生泄漏、着火或爆炸。

(2) 管道保温材料的破损。

(3) 测量仪表及导管的损坏和控制系统误动作。

(4) 管道摆动或振动并产生噪声等。

因此, 做好往复式压缩机工艺配管的设计, 并在设计过程中采取有效的减振措施, 尽最大可能确保设备、装置的安全有效运行是十分重要的。

1 往复式压缩机进出口管道布置

1.1 入口分液罐的设置

往复式压缩机入口一般都设有入口分液罐, 主要是为压缩机提供稳定气流, 使入口管道中的气体凝液在入口分液罐中分离出来, 避免液体带进压缩机汽缸内。为了减少压缩机入口管道的压力降, 要求分液罐布置在压缩机附近易操作维护的场地。另外, 两台以上的压缩机共用一个入口

分液罐时, 压缩机的位置宜对称布置。管道布置要求入口分液罐到入口嘴子这段管道为最短, 使其压力损失最小, 而且管内不存液。

1.2 往复式压缩机进出口管道的布置

管道走向有两种布置方式: 一种为管道架空布置, 此种布置方法可避免管道出现袋形, 防止积液, 但是必须设较高的支架, 费用高而且阀门和仪表的操作不方便。一般只要管内不积存大量的气体和凝液, 就不必采用这种布置方式。

另一种方式是地面布置, 目前炼油装置中采用较多, 为防止振动, 多采用地面设置矮管墩, 管道沿地面敷设, 如图 1 和图 2 所示。

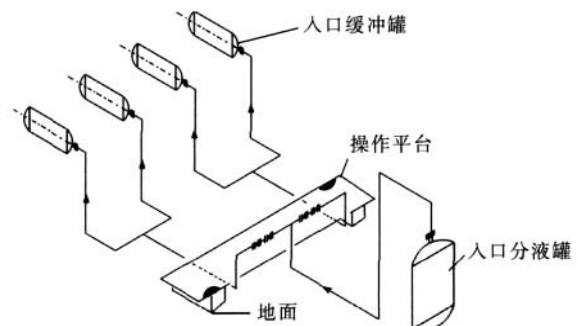


图 1 往复式压缩机进出口管道布置方式

管道敷设在管墩上, 支架容易设置, 有利于防振; 而且阀门和仪表的安装高度不高, 易于进行操作和检查。但这种布置的缺点是弯头较多, 入口压力损失较大, 且管道上会出现液袋。当输送易凝介质的入口管道不可避免地出现液袋时, 除管道采取

保温和伴热措施,以保持气体温度高于露点外,还应设置完全排液设施。

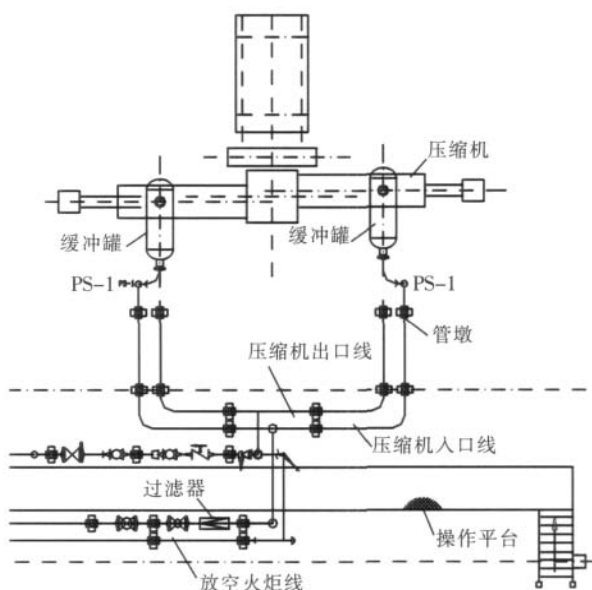


图2 多台往复式压缩机工艺管道布置示意

2 往复式压缩机管道的振动原因及控制原理

2.1 管道振动原因分析

做好管道设计,减少管道振动,首先必须了解管道振动的原因。造成往复式压缩机进出口管道振动的原因比较复杂,其中包括:压缩机间歇吸、排气引起气柱振动;气柱压力脉动及其动能变化而激起的管道振动;压缩机动力不平衡引起机器本身和其相连管道产生振动;管道上节流装置及启闭元件引起介质涡流而激起管道自振动;其他如风荷载、地震荷载等自然因素引起的振动。

后三种因素产生的振动是由机器本身、工艺要求和自然现象决定的,在工艺配管中无法避免。前两种因素产生的振动,通过管路优化设计可以缓解。

2.2 振动控制原理

工程实践经验告诉我们,在解决振动带来的不利影响时,可以从压力不均匀度的控制和共振控制入手。

2.2.1 压力不均匀度及其许用值

压力不均匀度是反映介质压力上下波动程度的一个概念,气流脉动的大小用压力不均匀度表示:

$$\delta = (P_{\max} - P_{\min}) / P_m \times 100\% \quad (1)$$

式中 δ ——压力不均匀度/%;

P_{\max} ——在一个循环中不均匀压力的最大值/MPa;

P_{\min} ——在一个循环中不均匀压力的最小值/

MPa;

P_m ——在一个循环中的平均压力/MPa,

$$P_m = (P_{\max} + P_{\min}) / 2。$$

显然,管道的气流压力不均匀度 δ 值越大,压力变化就越大;压力越大,其振幅就越大,而振动能量越大,对管道破坏的可能性也就越大。

关于压力不均匀度的许用值,根据美国石油学会制定的API 618标准,当设计压力 P 为0.35~20.7 MPa时,其压力不均匀度许用值可按下式计算:

$$\delta = 126.77 / (PDf)^{1/2}$$

式中 P ——管内平均绝对压力/MPa;

D ——管道内径/mm;

f ——脉动频率/Hz,按公式(2)计算。

从上式看出,影响压力不均匀度的因素主要有平均压力 P 、管道内径 D 等。而管道内的平均压力 P 的大小主要取决于工艺操作要求,故一般是不宜改变的。因此改变压力不均匀度应从改变管道内径 D 着手。

2.2.2 共振控制

压缩机产生的脉动流体沿管道输送时,遇到弯头、异径管、控制阀、盲板等元件后将产生随时间变化的激振力,受此激振力的作用,管道结构及附件便产生一定的机械振动响应。当作用在系统上的激振力频率等于或接近系统的固有频率时,振动系统的振幅会急剧增大,这种现象称为共振。

往复式压缩机管路内输送的气体可视为静止的,称为气柱。气柱可以压缩和膨胀,是一个弹性体。气柱又有一定的质量,故其本身是一个振动系统。气柱本身具有的频率称为气柱固有频率。压缩机管道及其组件构成一个系统,该系统结构本身具有的频率称为管系机械固有频率。机组活塞的往复运动频率称为激发频率。

当激发频率与气柱固有频率相同时,气柱会发生共振,当气柱发生共振时,压力脉动将达到很大值,产生很大的激振力,这自然加剧了管道振动。即使激振力不变,当激振频率与管系机械固有频率相重合时,管道也将发生机械共振,使管道发生剧烈振动。故压缩机管道设计既要避开气流共振,又要避免结构共振。

激发频率的计算公式为:

$$f = nm/60 \quad (2)$$

式中 f ——脉动频率/Hz;

n ——压缩机转速/(r/min);

m ——激发频率的阶次。

单作用气缸 $m = 1$, 双作用气缸 $m = 2$ 。

在配管设计阶段, 根据工艺流程的需要做好配管的初步设计方案之后, 应计算管系的气柱固有频率、管道固有频率, 并通过调整, 使管道的气柱固有频率、管道固有频率与压缩机的振动频率不同, 从而不发生共振。

3 压缩机管道的防振措施

3.1 改变管路结构防振

3.1.1 控制管道的固有频率

压缩机进出口管道要避免使用长的直管道, 调整管道长度, 使管道固有频率远离压缩机的固有频率。对于压缩机进出口管道, 根据经验, 如果气流脉动限制在允许范围内, 管道的固有频率不小于 8 Hz, 管道一般不会出现强烈振动。

3.1.2 减少激振源消减振动

由于管道设计时管系中不可避免地存在拐弯、变径、分支或节流元件等结构, 从而导致了激振力的产生, 减少这些结构可以减少激振源, 也就减少了激振力。所以, 管道布置时, 在满足静力分析要求的情况下, 在管道中气流压力不均匀度比较高的地方应尽量少拐弯, 并且拐弯时尽可能用长半径弯头或 45°弯头, 同时还要进行固定, 尽量避免空间转弯。切断阀选用不易产生涡流的阀门, 并加强设计过程中各专业的沟通, 避免因专业之间衔接问题而在管系中使用变径管件。必要时在异径接头处, 尽量减小收缩口的角度, 避免管径收缩的突然性。

3.2 消减气流振动的方法

3.2.1 调整气柱固有频率, 避开气柱共振

在工程上常把 $0.8f_n \sim 1.2f_n$ 频率 (其中 f_n 为系统固有频率) 作为共振区, 只要激发频率落在该频率区域内, 系统就发生较大的振动。影响气柱固有频率的因素除介质 (气体) 的组成外, 还有缓冲器的尺寸和设置位置、接管直径的大小、管系的分支、直管段长度、管段端点状态等, 改变这些条件即可改变气柱的固有频率。

3.2.2 增设孔板降低压力不均匀度

在容器的入口处加装适当尺寸的孔板, 将该管段内的压力驻波变成行波, 使管道尾端不再具有反射条件, 降低压力不均匀度, 从而减轻管道

振动。

设置孔板时还应注意, 孔径比 (d/D) 宜根据脉动的计算结果来确定, 孔板厚度宜取 3~5 mm。但设置孔板也有不利的一面, 它会造成压力损失, 管路中的任何压力降对工艺的操作都是不利的, 一般情况下, 该压力降不应超过管路平均压力的 0.25%。因此, 孔板的应用应慎重。

3.2.3 设置缓冲罐, 降低压力不均匀度

设置缓冲罐被认为是最简单且有效的减缓气流脉动的措施, 压缩机排出的气体经过缓冲罐后压力脉动明显下降。理论分析和实践证明, 为了充分发挥缓冲罐减缓气流脉动的效果, 应尽量将缓冲罐放置在紧靠压缩机的进、排气口处, 缓冲罐容积要通过必要的计算来确定。一般缓冲罐的缓冲容积应大于压缩机活塞行程容积的 10 倍以上, 且不应小于 0.028 m³。

3.3 管系局部加强增加抗振能力

压缩机主要工艺管道的分支、拐弯和变径应尽可能利用标准管件实现, 因为标准管件本身强度较高。对于不宜采用标准管件的地方, 如不能使用成品的三通分支处及仪表管嘴处, 应适当采取补强措施, 这是因为该处存在应力集中, 产生的峰值应力值一般较大, 在振动情况下, 该峰值应力也是交变的, 它将会很快导致结构的疲劳破坏。同样, 此类管系不宜采用螺纹联结。分支管道也应有适当的支撑, 因分支管较小, 较容易发生振动。放空、排凝阀门、仪表管道安装应尽量靠近主管。

3.4 采用合理的管道支架减弱振动

3.4.1 支架的基础与其他基础分开

压缩机的管道支架应尽量避免固定在厂房的梁柱上。如不可避免时, 应对管道振动进行详细计算, 使管道的振动不与厂房产生共振。振动管道 ($D_N \leq 40$ mm 除外) 的管墩、支架的基础必须与压缩机、构筑物基础分开, 振动管道的支撑也不得固定于厂房、构架、平台和设备上。

3.4.2 管道支架采取不等间距布置

为减少管道的振动, 管道宜布置在不等跨的管墩上, 即相邻两个支架间距不得相等, 其差值一般取 100~200 mm, 通常间距约为 3 m 左右。设置支架应使管道固有频率避开激振频率的 0.8~1.2 倍区域。

3.4.3 管道在支架上的固定应尽量采用防振管卡

压缩机的管道支架一般都选用带防振管卡的支

架。从防振角度来说,采用固定支架是最有效的办法。为防止机组的转动不平衡力引起管系振动,进出口缓冲罐要有牢固的支承,但这些振系一般都有较高温度,采用固定支架不利于热胀的补偿。为了满足管系的热膨胀补偿要求,应给出其轴向的自由度,所以通常的做法是采用带防振管卡的支架。

在设计中常常在管道和防振管卡之间加一层非金属板,如聚四氟乙烯板或石棉橡胶板,如图3所示,这样可以保证管道与管卡充分接触,而不会出现间隙,同时又考虑了管道可能产生的热胀位移。固定管卡的螺栓孔应为椭圆形。由经验可知,如果非金属板为聚四氟乙烯板,则取厚度为4 mm;如果为石棉橡胶板,则取厚度为2~3 mm,并采用较大的夹紧力。

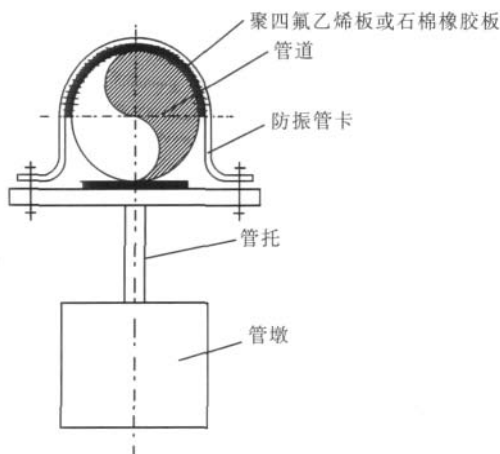


图3 带防振管卡的管道支架示意

(上接第18页)

(2) 减小上部组块重量,排掉打桩时产生的桩内积水,减小桩内充水量。

4 结束语

埕岛油田地处黄河口滩海交界地带,海洋环境、浅层工程地质、海底动力地貌条件十分复杂,在强烈的水动力因素与不稳定的海底条件作用下,独立桩出现振动、倾斜等现象,严重影响了独立桩的安全生产运行。本文结合实际工程探讨了几种减小桩顶位移的方法,采用变径桩、抛石护底、减小桩自由长度等措施能够有效降低平台水平位移,工程实施后通过监测表明:与同水深同高度的传统独立桩相比,在同种海况下此类独立桩水平位移减小30%以上。

3.4.4 管道荷载集中点宜设置防振支架

管道的拐弯和阀等荷载集中的地方特别容易引起振动,因此在弯头、三通、阀门以及其他附加荷载集中点处应设置防振支架。阀门的手轮、阀门上带的电动头或气动头均有一定的重量,若设置方位不合适,由于振动会影响连接部位的强度,因此应采取适当的支撑措施。与放凝阀、安全阀、泄压阀相连的放凝及泄压管道,其支架及管卡的设置类似于主管的做法。

4 结束语

往复式压缩机管道的设计是一项十分重要的工作,涉及选型、计算、材料、施工等多个方面的问题。在配管设计中应总结多套装置的设计和实践经验,综合考虑各种因素,对管道和支架进行合理规划。加固或增设管系支撑点虽然能显著提高系统的刚度,改变振动特征,但是加固或增设管系支撑点,必须考虑到管道热应力,满足管系柔性需要。因此,设计时既要充分考虑到管道的减振要求,又要兼顾管系的稳定牢固,从中找出最佳设计方案,以确保装置安全可靠地运转。

参考文献:

- [1] 唐永进.压力管道应力分析[M].北京:中国石化出版社,2003.

作者简介:刘秀林(1974-),女,河南西华人,工程师,1997年毕业于西南石油学院储运专业,从事石油化工工程设计工作。

收稿日期:2008-08-01

参考文献:

- [1] SY/T 10030-2002,海洋固定平台规划、设计和建造的推荐作法[S].
 [2] 中国船级社.海上固定平台入级与建造规范(1992)[M].北京:人民交通出版社,1992.
 [3] 陆文发,李林普,高明道.近海导管架平台[M].北京:海洋出版社,1992.
 [4] 孙训方,方孝淑,关来泰,等.材料力学(上册)[M].北京:高等教育出版社,1994.

作者简介:张宗峰(1979-),男,山东东营人,工程师,2006年毕业于天津大学,硕士,主要从事海洋平台、海底管道的科研和设计工作。

收稿日期:2008-11-06;修回日期:2009-01-13

Abstract: There are about 168 semi-submersible platforms in service all over the world since it was first developed in America in the early 1960's. The trends of semis' development in design and construction are making preferred plan before project beginning, collocating modern equipment and facilities to enhance working efficiency on the sea, developing for operation in the most challenging oceanic environment, multifunction, as well as fabricated in sections, modular integration, and small lot batch production, etc. This paper introduces two kinds of new conceptual design of semi-submersible platforms: Extendable Draft Platform (EDP) and Multi-Column Floater(MCF) and their structural characteristics as well as their construction methods proposed by Technip Group and Horton Deepwater Development Systems respectively.

Key words: offshore platform; semi-submersible; drilling platform; extendable draft; platform construction

(17) Methods of Reducing Deck Horizontal Displacement of Single-pile Offshore Platform

ZHANG Zong-feng (Shengli Engineering & Consulting Company, Ltd., Dongying 257026, China), LIU Jin-kun, SHAO Huai-hai

Abstract: Considerable sway of a single-pile offshore platform caused by extreme wave or ice load is harmful to normal oil production work, even induces fatigue failure of the structure. Combining with a practical project, this paper presents several methods to reduce the deck horizontal displacement of the single-pile platform, such as adopting variable diameter pile, adding stiffening ribs in it, decreasing free length of the pile and setting riprap bottom protection. After the project finished, the test showed that the deck horizontal displacement of this single-pile platform reduced at least 30% than that of the traditional single-pile platform of an equal height under the same sea conditions.

Key words: single-pile platform; vibration; horizontal displacement; treatment measure

· ENGINEERING DESIGN ·

(19) Piping Arrangement and Anti-vibration Measures of Reciprocating Compressor

LIU Xiu-lin (Design and Research Institute of China Petroleum First Construction Co., Luoyang 471023, China)

Abstract: Proper piping arrangement and anti-vibration design of the inlet and outlet piping of a reciprocating compressor make an assurance for safe and effective operation of the equipment. Based on the analyses about piping process requirements and vibration causes of the reciprocating compressor, the process measures satisfying piping arrangement requirements and the piping anti-vibration measures are brought forward in this paper. In the piping anti-vibration and vibration reducing design, enhancing pipeline or increasing pipeline supports can significantly increase pipeline stiffness and change pipeline vibration characteristics. At the same time, proper pipeline flexibility must be reached in consideration of pipeline thermal stress.

Key words: reciprocating compressor; piping arrangement; process measure; vibration cause; vibration reducing measure

(23) Some Key Matters regarding Mountainous Tunnel Design of Long-distance Pipeline

LIU Jian-wu (Shengli Oilfield Engineering Design Consultation Co., Dongying 257026, China), FU Chao, YAN Yan

Abstract: Considering some problems existing in mountainous tunnel design of the Sichuan to East Gas Pipeline Project, this paper analyzes the concrete construction methods of pipeline passing through mountainous tunnel to ensure the security of the tunnel and pipeline. Key matters regarding the mountainous tunnel design of long-distance pipeline are provided with respect to the effect of the tunnel on underground water environment, the cross-section and tunnel longitudinal slope of the tunnel, the geological examination as well as the pipeline installation in the tunnel.

Key words: long-distance pipeline; mountainous tunnel crossing; design; key matters needing attention

· OIL RECOVERY & TRANSMISSION ·

(25) Problems Existing in Process System at Sebei Initial Station and Countermeasures

YIN Guang-zeng (CPP Lanzhou Gas Transportation Company, Lanzhou 730070, China), ZHAO Guo-hui, HUANG Xian-zhong

Abstract: Because the water content in gas produced from the gas field suddenly increased and produced high differential gas pressure in the dry gas filter of the compressor so as to damage its gas seal, No.1 com-