

离心式压缩机管道应力分析及管口校核设计研究

张红柳 沈立君 王 燕 冯延勇 郎冰兵

(中国石油工程建设有限公司华北分公司, 河北 任丘 062552)

摘 要: 离心式压缩机是油气管道领域应用最广的设备之一, 其基础设计和支撑结构的合理性将直接影响油气输送效率, 研究中发现由于压缩机管道约束点及约束形式设计不合理, 管道中存在气流脉动会导致管道振动影响了生产效率, 作为输送能源、化工原料等重要物资的重要手段, 管道设计的可靠性与方案优化显得尤为重要, 关系到能源安全、环境保护。本文将从离心式压缩机基础设计的优化, 气流脉动的产生原因及设计, 压缩机配管优化设计等几方面进行阐述, 探讨如何保障管道安全、稳定、高效地运行。

关键词: 离心式压缩机; 管道; 气流脉动; 配管设计

0 引言

离心式压缩机是广泛应用于石油化工领域的重要设备, 其安装中的基础设计与支撑结构优化对于保证设备的稳定运行和使用寿命具有重要意义。随着科学技术和工程实践不断发展, 研究人员对于离心式压缩机安装中的基础设计与优化进行了大量的研究工作, 从而提高设备的性能和安全性。

1 离心式压缩机的原理

当离心式压缩机运转时, 气体通过进气口进入压缩机的中心。在中心, 气体进入旋转机械叶轮的吸气面, 并被叶轮的旋转动力导致向外部扩张。这样, 通过离心力的作用, 气体被推到浓密部分。在浓密部分, 气体被旋转机械叶轮的外缘不断地加速旋转。因为旋转机械叶轮的体积减小, 气体也会随之压缩。当气体达到最大压缩状态时, 它会通过压缩比较高的口径被排出。排气过程是离心式压缩机的最后阶段。在此阶段, 气体通过排气管或管道从离心式压缩机中排出。这个排气过程的压力和温度取决于压缩机的设计和所需使用的应用。

2 基础设计的目标和要求

2.1 设计目标

基础设计的主要目标之一是提供足够的支撑和稳固性, 以确保离心式压缩机在运行时能够承受产生的振动和负载, 并防止压缩机的任何意外移动。基础设计应考虑地震等外部力量对离心式压缩机的影响, 并采取相应的措施来提高其抗震性能。这可以通过合理的结构和材料选择以及适当的加固约束来实现。基础设计应保证方便的设备维护。对于需要经常进行检修和保养的部件, 如轴承、电机等, 基础设计应提供足

够的空间和便利的访问路径, 以使维修人员能够轻松地进行操作。基础设计应根据实际环境条件进行优化, 以适应不同气候、温度和湿度等因素的变化。例如, 在潮湿环境中, 应采用防腐蚀措施, 使基础材料具有较强的抗腐蚀性能。

2.2 设计要求

基础设计应遵循结构力学原理和规范, 确保基础结构的合理布置和设计。这包括选择适当的基础类型(如浅基础、深基础), 并根据实际荷载条件进行尺寸和形状的确定。基础设计应选择耐用、强度高、抗腐蚀性和抗疲劳性好的材料, 以确保基础结构的长期稳定性和可靠性。例如, 常用的材料有混凝土、钢材等。还应充分考虑地基的承载力、不均匀沉降和地震活动等地基条件。通过地质勘察和土壤力学分析, 确定基础的安全设计参数, 以确保基础的稳定性。基于离心式压缩机的工作原理, 基础设计应合理规划液压系统, 并采取控制噪声和冲击的措施, 以降低振动噪声和冲击对基础结构的影响。满足相关的安全规范和标准, 确保离心式压缩机的操作、维护和检修过程中的安全。例如, 应设备安全警示标识和紧急停止装置等。

3 离心式压缩机安装及基础设计的优化

3.1 安装优化

离心式压缩机上方及四周的配管, 不应妨碍其吊装及维修, 不应在转子抽出范围内布置管道。离心式压缩机的周围要留有足够的检修空间。吸入管弯头与压缩机法兰之间, 必须配置一段直管段(不连支管), 此直管道长度至少为 3~5 倍管径, 对这一直管段的要求, 通常由压缩机制造厂提出。吸入口处的弯管,

其弯曲半径应等于或大于3倍于管道直径。排出口处的弯管应采用 $R > 1.5DN$ 的弯头。当吸入管道直径与压缩机上的吸入管接口不相符时,应采取过渡变径管连接,严禁采用异径法兰连接。一般变径管角度为 $8\sim 12^\circ$,而有的压缩机制造厂要求过渡变径管的角度不大于 6° 。排出口附近的变径应采用定型产品的异径管连接。不得采用异径法兰连接。压缩机排出管道应尽量靠近吸入管道布置,应使吸入及排出管道上的阀门、仪表集中便于吸入及排出管道合用一个管架。排出管道上的止回阀应尽可能靠近压缩机安装。

3.2 结构优化

基础设计的优化需要考虑合适的材料选择,以提高基础的稳定性和耐久性。通常情况下,混凝土是常用的基础材料,但在特殊环境条件下,可能需要采用其他材料如钢材、玻璃纤维等。优化的结构材料应具备抗压强度高、耐久性好、抗震性能优异等特点。基础设计应根据实际情况优化其结构形式,既要考虑承载能力,又要考虑施工的安全性和经济效益。例如,可以采用浅基础(如承台、浇筑地板等)或深基础(如桩基础、连续墙基础等),根据地基软硬程度、承载力要求等因素确定最佳的结构形式。

3.3 振动控制及噪声降低优化

在离心式压缩机的安装过程中,振动控制和噪声降低是基础设计的重要考虑因素之一。通过合理的结构设计和材料选择,可以减小离心式压缩机及其基础在运行时产生的振动,并降低噪声对周围环境的影响。为了控制振动,可以在基础设计中考虑减震装置和缓冲器的合理布置。这些装置可以有效地减少振动对基础和压缩机的影响,提高系统的平衡和稳定性。此外,可以选择合适的材料来减小振动的传导和放大。例如,使用橡胶垫或弹簧等材料来减缓振动的传递,降低振动对周围环境的影响。对于离心式压缩机的工作噪声,可以采取一系列措施进行降噪。可以在基础设计中考虑添加吸音材料,如隔音板、吸音棉等,来减少噪声的反射和传播。还可以调整排气方向,使其远离噪声敏感区域,减少噪声的扩散。

4 离心式压缩机稳定性和安全性优化

在离心式压缩机的安装中,确保支撑结构的稳定性和安全性是非常重要的。管道需要根据压力、流量和介质等因素进行设计。确保管道能够承受预计的压力和温度变化,并满足相关的安全标准和规范。为了保证管道的稳定性和安全性,需要使用支架或吊架来

支撑管道。为管道安装支架或吊架,以支撑管道的重量,并减少管道振动和热膨胀引起的应力。使用合适的固定装置,如螺栓、焊接或扣冲等,将管道固定在支撑结构上,确保连接牢固可靠。安装检测系统和安全装置,如泄漏探测器、阀门和压力传感器等,及时监测管道的工作状态并采取相应措施。此外,建议进行定期的检查和维护,确保管道系统的安全运行。

5 气流脉动的产生原因及设计

石油化工压缩机的转速与气量随着生产需求在大大提高,但是实际操作中经常出现停车情况,这就严重影响了生产效率,所以必须找出造成停车的主要因素,并进行解决。经过大量研究发现造成停车的主要因素是管道中存在气流脉动而导致的管道振动,为有效解决气流脉动的影响,对石油化工压缩机展开了配管优化设计,以有效解决气流脉动问题。

5.1 产生原因

通常气流脉动会受很多因素影响,主要包括:管道元件、尺寸、结构、支撑状况等等,所以在优化配管设计的时候,必须全面考虑。在此以某企业的石油化工压缩机为例,经过研究能够发现其具有两大问题,一个是管线脉动超标严重,另一个是排气口的压力脉动超标严重。这些问题产生的原因主要是排气口和缓冲器的管直径设计不当,所以必须优化管径,并着重对配管设计展开优化,以保证石油化工压缩机更好更快的运行和发展。通常气流脉动会造成严重的管道振动,一旦管道发生振动,就会导致拖动机组发生振动,最终导致压缩机停运。当管道配管结束以后,气流脉动的情况也就基本定型,这时再想调整气流脉动的属性十分困难,所以治理根本无法实现。

通过研究发现此压缩机出现气流脉动情况的主要原因有四个:①管道压力不均匀。经过对管道压力的深入研究发现,管道压力分布非常不均匀,当管道越来越长,管道压力就越低;②缓冲器位置不合适。为有效探究缓冲器位置的影响,就在不同位置分别安装了球型缓冲器,其容积是气缸冲程的22.8倍。在此主要对两处位置进行比较,首先将缓冲器安装在气缸1.19m处,然后将缓冲器安装在气缸11.3m处,经过比较能够发现距离压缩机较近的缓冲器能够有效解决压力不均匀情况,将压力不均匀率从20%降到3%,其效果非常显著;③缓冲器的容积不均匀。虽然缓冲器位置距离气缸较近具有良好效果,但是也要有充足的容积。在此主要对缓冲器的容积进行研究,不改变

缓冲器的位置,当缓冲器容积是气缸冲程 6.2 倍时,无法降低管线振动情况;当缓冲器容积是气缸冲程容积 48 倍时,能够有效降低管线振动情况;④管径大小不合理。在同样的压缩机上采用不同管径的管道,其压力均不相同,在此就主要对管径的大小进行研究,实验的介质均为氮氢混合气体,分别对 65mm、85mm 以及 120mm 的管径展开研究,结果发现压力不均匀度最大值分别为:0.205、0.095、0.045,管道通流面积分别为:3320mm²、5610mm²和 11300mm²,振幅分别为:21.4kN、16.95kN、12.93kN。由此可见,随着管径增大,压力不均匀度会逐渐减小,不过其原因是管道通流面积变大导致的,同时振幅和通流面积具有很大关系。

5.2 配管动力设计的相关方式以及措施

根据实际发展状况来看,管道系统脉动在实际运行中会受到多方面因素的影响,而这些影响因素之间又存在着较为密切的联系和关联,这些因素在实际发展中相互影响,从而对整个配管动力产生一定的连锁反应,所以相关工作人员在对配管动力进行设计的过程中,应该根据实际需求等选择科学、合理的设计方案进行使用。伴随着科学技术的不断发展,设计人员可以使用计算机分析软件对整个配管动力设计进行深入的分析,并对已有的设计方案进行不断的完善以及优化,需要注意的是,设计人员在选择配管动力设计方案的过程中,应该充分的考虑到压缩机等装置的功率以及运行压力。就现阶段实际发展状况来看,工作人员所使用的设计方案主要是,对管道系统进行简易的设计以及安装,然后在此基础上使用相关的公式以及经验,对整个配管动力的排缓冲器最小容积等进行一定的估算,从而为整个配管动力的设计工作提供一定的数据支持。

6 压缩机配管优化设计

因为影响气流脉动的因素非常多,并且各个因素还会互相作用,所以在配管的过程中,必须考虑全部因素,以选取最佳的设计方法。且石油化工压缩机的配管和设备压力以及功率大小具有很大关系,所以就对石油化工压缩机的压力大小以及功率大小进行了研究,在此共提出了三种设计方案,从中选取一种最佳的方案对气流脉动和管道振动进行控制。

6.1 管系的简单设计

此方案主要利用经验性公式对各级进气缓冲器和排气缓冲器的最小容积进行计算。此方案主要利用压

力脉动抑制设备进行处理,其压力不均匀度必须小于以下公式所计算的值,即 $[\delta] = 1.916PL(1/3)$,其中 PL 表示管道流的平均压力。另外,在管系设计过程中还应特别注意主要阶次的气柱共振情况,防止出现此情况。

6.2 压力脉动控制设计

此方案主要利用专门的分析技术解决脉动情况,以保证配管满足规定。此方案不仅需要满足方案一的标准,同时还要运用气流脉动来计算脉动响应各阶谐量振幅的允许值,即 $[\delta] = 126.77/(PLdf)^{1/2}$ 。其中,PL 代表管道流的平均压力;d 代表管道的内径;f 代表谐量频率。

6.3 压力脉动与力学设计

此方案不仅需要采用压力脉动控制,而且还要考虑系统的结构动力,所以需要结合声学系统以及力学系统,并将它们良好结合。在此方案中需要注意振动循环应力,由脉动引起的振动循环应力不能大于材料疲劳极限许可值。

7 结束语

通过上述内容可知,石油化工企业压缩机在运行过程当中,非常容易发生动力问题,本文对离心式压缩机基础设计、稳定性和安全性的优化提出建议,压缩机配管方面展开优化,以有效解决气流脉动问题。虽然能够有效计算出石油化工压缩机的配管动力,但是配管设计仍处于设计过程,所以压缩机在运转过程中,还具有动力方面的问题,会严重影响生产。通过大量的实验和计算,能够发现影响气流脉动的因素主要有:配管长度、管径大小、缓冲器容积、安装位置以及工质成分等等,这些因素会严重影响气流脉动,因此在配管设计过程中,必须综合考虑,以有效解决气流脉动问题,使管道能够稳定运行。

参考文献:

- [1] 黄正,赵宏燕,张军,等.离心式压缩机地基优化设计方法分析[J].太原科技,2019,44(05):95-97.
- [2] 吴峰,王秋旺.脉动流条件下带突起内翅片管强化传热数值研究[J].中国电机工程学报,2007,27(35):108-112.
- [3] 张士永,马静.往复压缩机气流脉动及管道振动分析[J].压缩机技术,2011,10(1):22-25.
- [4] 钟音,凌长明,谢公南.脉动气流对竖直平板降膜蒸发影响的数值模拟研究[J].应用数学和力学,2020,41(5):491-498.