

浅谈加氢进料泵的管道设计

王 刚

中石化洛阳工程有限公司 河南 洛阳 471000

摘 要：加氢进料泵是加氢装置的关键性设备，它的作用是将原料油升压后送至加热炉。其属于转动设备，管嘴受力敏感，配管方案合理才能确保进料泵长期安全运行。本文以某润滑油异构装置为例，介绍了加氢进料泵的平面布置方式，阐述了对进料泵进出口管道设计应关注的重点。运用CAESARII软件对进料泵出口管道进行了详细的应力计算，结合应力计算结果对管道走向进行合理的规划以及对管道支架进行合适的选型设计，最终使泵管嘴受力完全符合要求。

关键词：加氢进料泵；管道设计；应力分析

随着炼油技术的不断发展，炼油装置逐渐趋向大型化，加氢进料泵作为加氢装置中的关键性设备起着十分重要的作用。进料泵是转动设备，其管口受力要求十分苛刻，因此在加氢进料泵的配管设计过程中不仅需要考虑设备的布置，管道的走向及阀门布置，还需要做好管道应力分析工作，这样才能确保加氢进料泵在满足工艺生产需求的情况下长周期安全运转。

1 加氢进料泵的平面布置

炼油装置的布置趋向于露天化，从近几年新设计的装置可以看出，通常只有压缩机布置在敞开或者半敞开的厂房内，其他设备大多数露天布置。因此加氢进料泵采用露天式布置，其优点是节约占地，通风良好，有利于消防。装置中设备的布置应按工艺流程顺序和同类设备适当集中的原则进行布置，普通泵通常布置在管廊的下方，泵的驱动机中心线与管廊的走向垂直。但是由于加氢进料泵附带润滑油站，体积较大，若布置在管廊下需采用驱动机与管廊走向平行的形式，不仅大大占用管廊的通行空间，还由于进料泵的检修需求较大空间可能会导致产生管廊过高等问题，因此近年来加氢装置进料泵都布置在管廊外侧。

某润滑油加氢装置进料泵布置如图1所示，进料泵布置在管廊外侧，紧临流程上游设备原料油缓冲罐，符合按工艺流程的顺序布置的原则。进料泵采用一开一备的设计，确保100%的备用率。进料泵的油站布置在泵的外侧，油站基础端面与泵基础端面平齐。两台进料泵采用镜像布置，共用一个操作平台，缩小了占地面积。

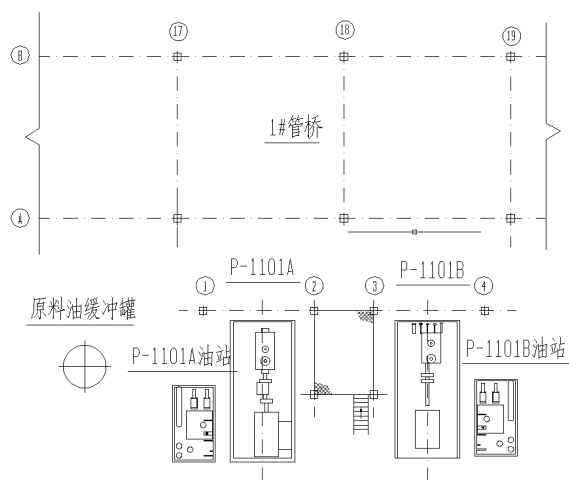


图1 加氢进料泵平面布置

2 加氢进料泵的管道布置

2.1 泵管道布置的一般要求

(1) 泵是回转机械，属于精密机械，一旦收到外力作用会发生变形、振动和噪声，是轴承烧毁和损坏的主要原因。因此要充分减少管道作用在泵管嘴处的应力和力矩，通常泵进出口管道对泵管嘴允许受力值应符合API610的要求^[1]。(2) 在充分满足管道柔性的前提下，应使泵的入口管道尽可能的短，减少入口管道的压降损失，防止产生汽蚀。(3) 管道布置要考虑检修操作所需要的空间，泵的进出口管道及阀门不仅应便于操作，还不得妨碍泵的检修。除此之外，还应结合泵的驱动机接线盒方向及泵上辅助系统的布置综合考虑来设计管道的走向。

2.2 泵的进口管道设计

(1) 汽蚀会严重影响泵的安全运行和使用寿命，因此一定要保证泵吸入管道的有效汽蚀余量至少是泵必需汽蚀余量的1.2倍。在泵的基础高度和原料罐裙座高度确

通讯作者：王刚，男，汉，1988年09月，河北，中石化洛阳工程有限公司，工程师，华东理工大学，硕士，研究方向：管道应力，wgecust@163.com。

定后,如何减小泵的入口阻力损失是增大泵有效汽蚀余量的关键。为达到上述目的,首先本装置进料泵与原料罐靠近布置,从源头上减少了泵的入口管长度,其次使用了大半径弯头并尽量降低弯头的使用量。(2)泵的入口管道应避免“气袋”的产生。本装置进料泵入口管线步步走低,并采用了偏心异径管顶平安装的形式。(3)由于进料泵的嘴子较高,为方便泵进口管道阀门的布置与操作,本装置设置了操作平台,泵进口管道切断阀与过滤器布置在操作平台上(如图2所示)。主泵和备泵进口管线镜像布置,共用一个操作平台,不仅节省空间而且方便集中操作。

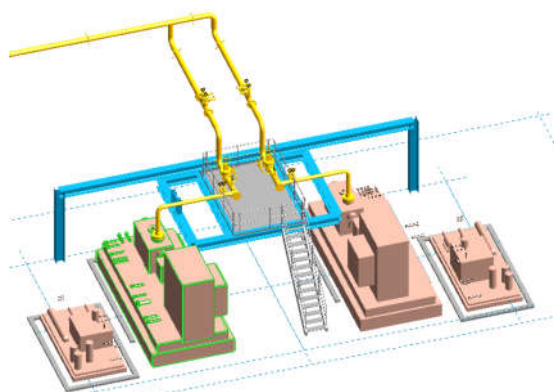


图2 加氢进料泵进口管道示意图

2.3 泵的出口管道设计

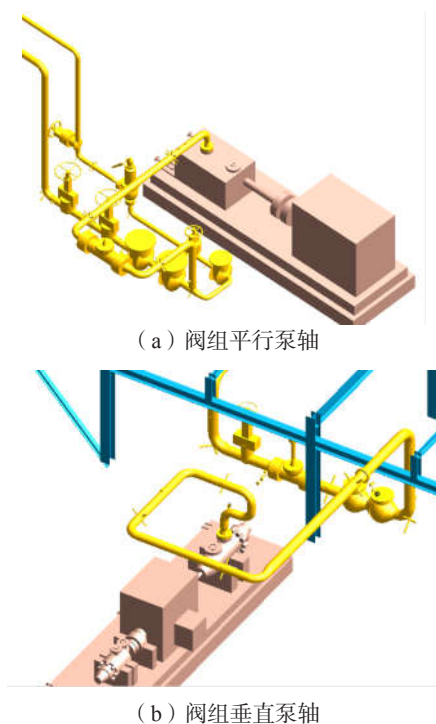


图3 典型进料泵出口管道布置

(1)泵的出口管路压力损失要求没有泵的入口那样严格,因此操作方便是出口管道设计的重点之一。进料泵出口管路的阀组的布置通常有两种方式,如图3所示,其一是出口阀组与泵轴方向平行,布置泵的旁边;另一种是出口阀组与泵轴方向垂直,布置在泵前构架或者管桥下方。两种布置方式各有优劣,第一种布置方式阀组紧邻泵布置,操作时便于观测泵的运行状况,但此方式要求泵周围预留有较大空间,实际常常因为场地的限制,阀组的操作空间十分紧张;第二种方式阀组布置在空间相对较充足的管桥或者构架下,相比第一种布置方式虽然阀组与泵距离稍远,但操作检修空间十分容易得到保证。综合考虑本文装置的进料泵出口管道阀组采用了第二种布置方式。

(2)泵的出口设有小流量线返回至原料油缓冲罐。因为进料泵出口与原料油罐压差大,故小流量线上设有减压角阀。减压阀布置在水平管路上,为避免阀后介质冲击造成振动以及减少对弯头的磨损,减压阀与切断阀、切断阀后均留有至少10倍管子公称直径的直管段,该直管段材质与阀前高压材质相同。同时在减压阀前,减压阀与切断阀间,切断阀后的直管段上设有防振管卡,如图4所示。

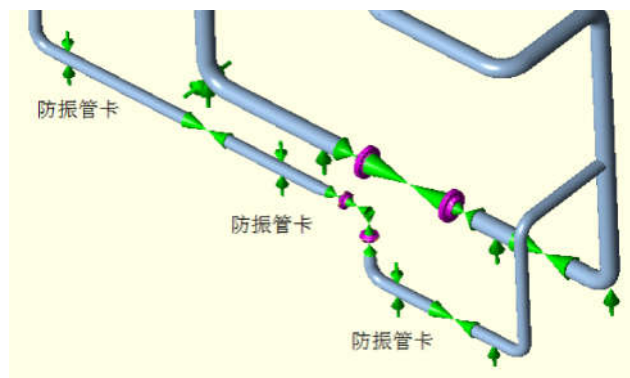


图4 进料泵出口管道阀组

(3)加氢进料泵的出口压力较高,本装置进料泵出口管设计压力21.95MPa,采用的DN150管子壁厚达到18.26mm,管嘴的受力极易超标。因此在满足工艺条件的前提下,出口变径管与法兰间可设置一段直管段,适当增加管子柔性。

3 加氢进料泵管道的应力分析

加氢进料泵属于精密设备,进料泵进出口管道进行应力分析设计很重要。一次应力核算的计算载荷为管道所受持续载荷,主要包括管道自重、保温重、管内操作介质重及管内压力等。二次应力核算的计算载荷应为温度载荷和附加位移载荷^[2]。

除管道一次应力、二次应力校核通过外，还必须保证管道对设备的作用力不应超过设备制造厂所推荐的数值。本文进料泵厂家允许的管嘴受力为API610的2.5倍。

下文以进料泵的出口管线为例对进料泵的管线应力分析进行阐述，本文装置进料泵出口管线设计压力为21.95MPa，设计温度为232℃，操作压力为18.38MPa，操作温度为184℃，管径为DN150,材质为A106碳钢。

3.1 进料泵出口管路布置初版

本文之前已经叙述泵装置进料泵出口阀组与泵轴垂直，布置在泵前管桥下。考虑到泵出口管径较小，管子自身柔性较好，因此泵出口至阀组间管道设置一个“Z”型弯用于吸收管道的热胀位移，“Z”型弯后平管上设有刚性支撑。因为两台进料泵为镜像布置，所以泵与主泵的出口管道也随之镜像布置。初步规划方案如图5所示。

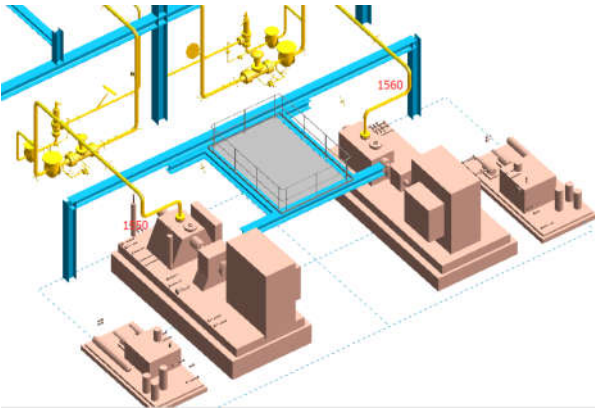


图5 进料泵出口管道初版规划示意图

通过应力校核，获得节点1550、1560处虽然一次应力达标，但是管子的向下的挠度较大，说明此布置方式管道跨距过大，需要在泵出口与第一个支架间增加支撑。进料泵在在工作时泵出口管嘴受力计算结果见表1，可以看出泵管嘴所受力与力矩均远超泵厂家所允许的最大值。

表1 管道布置初版进料泵管嘴受力状况

泵管嘴		出口	
载荷			
力(N)	F_x	1257	
	F_y	7640	
	F_z	8483	
力矩(N.M)	M_x	9990	
	M_y	8516	
	M_z		4881

3.2 修改后进料泵出口管路的布置

根据初步应力计算结果进行管道走向的调整。由于图5中1550、1560节点附近不方便增加支撑，而反方向可依靠操作平台进行支撑，因此进料泵出口管子走向改为反方向。考虑出口阀组位置尽可能不变，同时为保证管子柔性，泵出口附近管子增设了“π”型弯，如图6所示。防止管子作用在泵管嘴的推力与力矩过大，在1550、1560节点处设置了限位支架。

本文之前已经叙述了泵出口小流量线使用了减压阀，为避免减压阀造成管系振动，减压阀的前后直管段上均设置了防振支架。

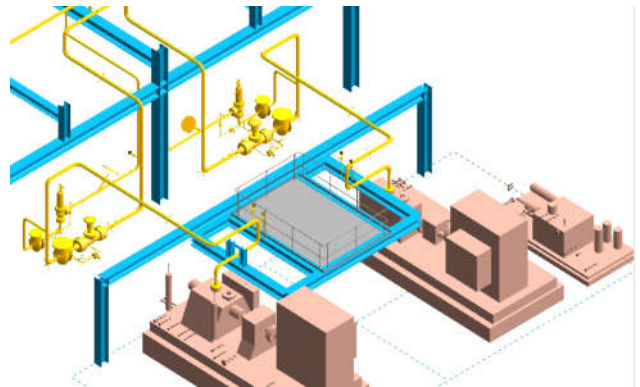


图6 修改后进料泵出口管道规划示意图

再次通过应力校核后发现70、1550、1560、610节点在运行状态脱空，泵管嘴在Y方向受力过大。因此70、1550、1560、610四个节点位置的刚性支架修改为可变碟簧支架，如图7所示。重新计算后，得到的计算结果见表2。可以看出，增加可变碟簧支架后，泵出口管嘴（节点10、550）所受力与力矩均符合泵厂家管口受力要求。

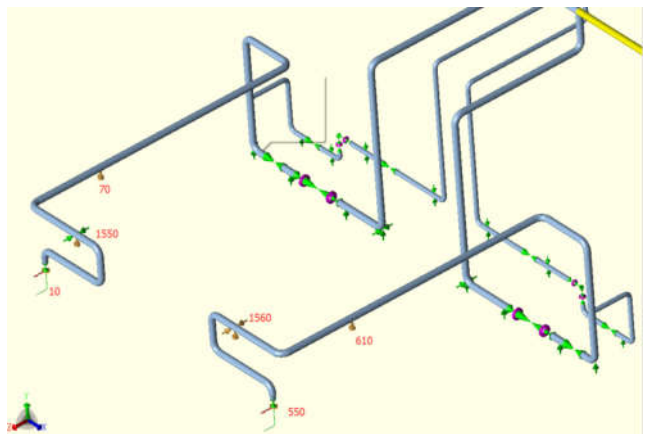


图7 进料泵出口管道终版应力分析模型

表2 进料泵出口管道应力分析最终结果

节点	工况	FX/N	FY/N	FZ/N	MX/N·m	MY/N·m	MZ/N·m	DX/mm	DY/mm	DZ/mm
10	冷态	-806	-1869	213	-28	-251	402	-0.000	-0.000	-0.000
	热态	46	-2908	618	831	1912	-2348	0.000	1.004	-0.628
550	冷态	803	-1181	215	-28	252	-397	0.000	0.000	770.000
	热态	74	-2045	601	829	-1655	1978	0.000	1.004	-0.628

4 结束语

加氢进料泵是加氢装置的重要设备，其管嘴受力十分敏感，要求也十分苛刻。因此进料泵管道需要进行详细的应力分析计算，结合应力计算结果对进料泵管道走向进行合理的规划，对管道支吊架进行合理的设计，使管嘴受力符合厂家要求，最终设计出经济合理，安全可靠的方案。

参考文献

- [1]张德江,王怀义,丘平.石油化工装置工艺管道安装设计手册 第一篇 设计与计算[M].3版.北京:中国石化出版社,2006;
- [2]张文华,张林青.高压加氢进料泵管道设计探讨[J].石油化工设计,2009,26(4)