

石油化工装置汽轮机管道设计及管道应力分析

张 博

洛阳智达石化工程有限公司 河南 洛阳 471003

摘 要: 石油化工装置中汽轮机作为设备的核心部分,其安全、平稳运行至关重要。本文以某加氢裂化装置中汽轮机驱动的离心式压缩机设计为例,对汽轮机组设备平面布置,管道设计、管道应力分析及合规性判定进行分析论述。

关键词: 汽轮机;管道设计;管道应力分析

引言

石油化工装置中,汽轮机是石油炼制及化工行业中装置运行的关键设备,其主要用途是将余热蒸汽的热能转化为机械能,驱动压缩机、泵和鼓风机等转动设备。与汽轮机相接的进汽、排汽和汽封管道对汽轮机正常运行影响重大,如果设计不当,管道对汽轮机管口的作用力超过了汽轮机实际所能承受的范围,则机壳会发生位移、变形进而影响定子与转子的同心度与装配间隙,导致机组振动造成连锁停车。因此合理的机组设备布置,管道设计至关重要。

本文结合某加氢裂化装置中压背压式汽轮机的设计过程,从设备布置、管道设计、应力分析及判定三个方面进行探讨论述。

1 设备平面布置

汽轮机作为可燃气压缩机驱动设备与压缩机、变速箱成撬装共用底座,布置于敞开式压缩机厂房内,按压缩机及附属设备尽量靠近的原则进行设备布置,设备平面见下图。

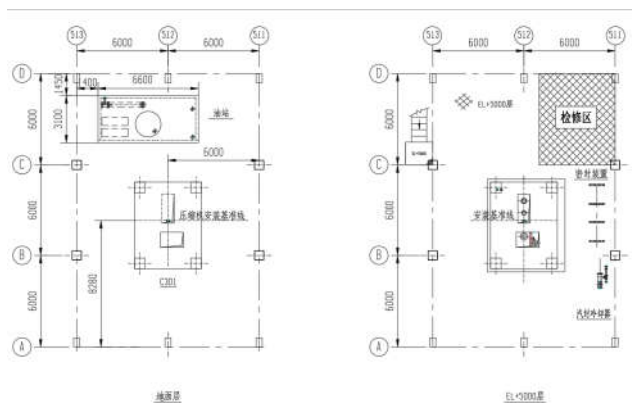


图1 设备平面图

该项目厂房采用双层布置,机组润滑油站及管道布置在地面层、汽封加热器及干气密封装置布置在EL+5000层,压缩机及汽轮机的检修区设置在二层检修区、平台荷重按单位面积承重件的最大值确定,此项目检修区位 20KN/m^2 ,并在二层平台上设吊装孔,吊装孔大小应使压

缩机组最大检修件自由出入,此项目吊装孔与往复机组共用,布置图中不再体现;^[1]

2 管道设计

2.1 汽轮机管道设计

汽轮机入口蒸汽管道应从蒸汽总管顶部接出,避免出现低点。入口管道应设疏水排凝,防止凝结水进入汽轮机损坏叶片。

入口管道靠近汽轮机进口处应设置可拆卸短节,便于开车前做蒸汽打靶试验。

汽轮机在较高温度下运行,管道应有足够的柔性以吸收管系的热膨胀及管口的附加位移开机前应对机壳、转子进行预热、进气管道上的切断阀应设预热旁路阀,保证既能实现预热,又不使汽轮机转动,另外可平衡主切断阀两侧的压力,便于主阀开启。

2.2 支架设置注意事项

汽轮机是高速运转的机械,受力敏感,无论在冷态还是热态,管系热胀对机器进出口产生的力和力矩都必须符合压缩机厂家的要求,管道支架至关重要。

汽轮机进出口管口一般向下,机体热膨胀及管道热胀均向下,管道支架应采用弹簧支架,而且其与汽轮机管口的水平距离不能太长,否则立管会存在下坠或偏斜倾向,会在管道安装检查时出现机器法兰与管道法兰不平行与不对中的情况。

支架摩擦力的不利影响不应被忽略,一般情况下摩擦力的存在对减小管道对汽轮机作用力是不利的。为减小摩擦力,可在支架支撑面上放置聚四氟乙烯滑片,这样可将摩擦系数降低到0.1。如果空间条件允许,也可选用吊架,需要注意的是吊杆不能太短,应防止管道水平位移后吊杆过度偏斜而产生较大的水平推力。

对于汽轮机、介质蒸汽温度较高,按设计经验,若不做补偿则很难达到要求;该项目蒸汽温度 425°C ,在靠近管口处水平和竖直两个空间方向做补偿,吸收管口位移及管道热胀对管口造成的影响,在配合弹簧支架、限

位支架来满足设计要求。 [2]

3 管道应力分析及判定

3.1 机组允许管口受力

按美国电气制造商协会标准NEMA SM23对管口的要求或汽轮机制造厂提供的管口受力及力矩要求,该项目汽轮机进出口法兰允许作用力和力矩应满足如下要求:

FX FY FZ MX MY MZ分别为机组各管口在X、Y、Z方向的力和力矩。

FXC FYC FZC为机组各管口力在X、Y、Z方向的合力。

MXC MYC MZC为机组各管口力矩在X、Y、Z方向的合成力矩。

$$FR = \sqrt{FX^2 + FY^2 + FZ^2} \quad , \quad MR = \sqrt{MX^2 + MY^2 + MZ^2} \quad .$$

$$FC = \sqrt{FXC^2 + FYC^2 + FZC^2} \quad , \quad MC = \sqrt{MXC^2 + MYC^2 + MZC^2} \quad .$$

3.2 汽轮机进出口管道受力分析

汽轮机入口管道概况见下表:

表2 设备平面表

操作压力 (MPa)	3.5	管道外径 (mm)	273/219/168	介质密度 (kg/m³)	11.432
操作温度 (°C)	425	管道壁厚 (mm)	13/10/7	保温厚度 (mm)	110
设计压力 (MPa)	3.85	公称直径 (mm)	250/200/150	保温密度 (kg/m³)	200
设计温度 (°C)	435	腐蚀裕度 (mm)	1.6	管道材料	15GrMo

汽轮机排气口管道概况见下表:

表3 设备平面表

操作压力 (MPa)	1.0	管道外径 (mm)	356/219/114/89	介质密度 (kg/m³)	4.869
操作温度 (°C)	230	管道壁厚 (mm)	8/6.5/6/5.5	保温厚度 (mm)	90/90/70/70
设计压力 (MPa)	1.18	公称直径 (mm)	300/200/100/80	保温密度 (kg/m³)	200
设计温度 (°C)	250	腐蚀裕度 (mm)	1.6	管道材料	20#

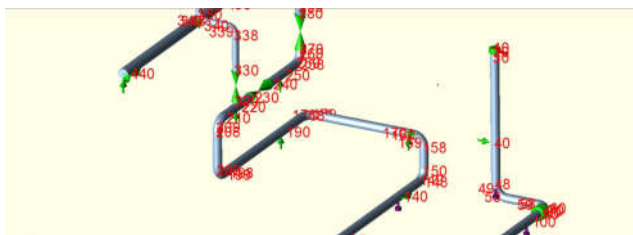


图2 设备平面图

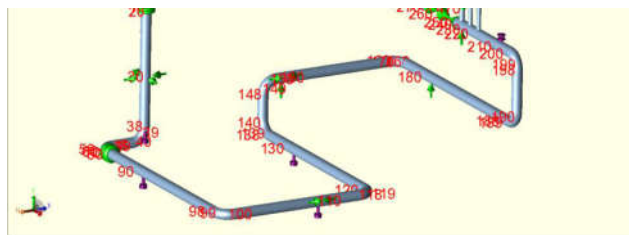


图3 设备平面图

分析汽轮机进口管道，一次应力（SUS）W+P1+H最大占ASME B31.3许用应力46.2%，二次应力（EXP）L6 = L3-L5最大占ASME B31.3许用应力55.4%，二次应力（EXP）L7 = L4-L5最大占ASME B31.3许用应力58.2%，可得管系一、二次应力均能满足规范应力要求。

分析汽轮机排气管道，一次应力（SUS）W+P1+H

最大占ASME B31.3许用应力36.8%，二次应力（EXP）
L6 = L3-L5最大占ASME B31.3许用应力49%，二次应力
（EXP）L7 = L4-L5最大占ASME B31.3许用应力54%，可
得管系一、二次应力均能满足规范应力要求。

汽轮机管口受力见下表:

表4 设备平面表

管口	工况	FX/N	FY/N	FZ/N	MX/N.M	MX/N.M	MX/N.M
汽轮机-OUT	OPE1	258	104	220	-362	-486	463
	OPE2	285	148	253	-383	-546	535

续表:

管口	工况	FX/N	FY/N	FZ/N	MX/N.M	MY/N.M	MZ/N.M
汽轮机-OUT	SUS	4	-404	39	-576	7	-210
管口	工况	FX/N	FY/N	FZ/N	MX/N.M	MY/N.M	MZ/N.M
汽轮机-IN	OPE1	302	591	-611	1281	-20	443
	OPE2	328	670	-643	1298	16	543
	SUS	10	-1160	152	693	-17	-742

如上分析可知:

对汽轮机管道进行应力计算时,必须考虑机器管口的热态位移,并应考虑最不利的工况;

对汽轮机进行受力验算分析时,应包括进出口,汽封管道可不作详细应力分析,但应保证具有足够的柔性;

对汽轮机进行管道应力建模时应注意考虑机器管口处管道法兰的重量及管系中刚性件的重量;

汽轮机管口附近的几组支吊架一般采用弹簧支吊

架,以减小因竖直管道的热膨胀引起的管口热态作用力,同时减小摩擦力的影响;

管道设计时宜在管道与机器固定点处坐标轴的交点位置附近设置限位支架,使机器管口的热膨胀与管道热膨胀基本相当,减小管道对机器管口的作用力;^[3]

3.4 应力分析合规性判定

汽轮机管道管口受力及合力见下表:

表5 设备平面表

管口	工况	FR/N	FR+1.09MR	许用值		
汽轮机-OUT	OPE1	355	1186	11666		
	OPE2	409	1341	11666		
	SUS	406	1074	11666		
汽轮机-IN	OPE1	902	2380	8750		
	OPE2	985	2519	8750		
	SUS	1170	2277	8750		
	工况	FXC/N	FZC/N	MXC/N.M	MYC/N.M	MZC/N.M
作用在最大管口上合力、合力矩分量	OPE1	560	-391	133	-543	481
	OPE2	613	-390	54	-562	605
	SUS	14	191	1036	60	-477
	工况	FC/N	FC+1.64MC	许用值		
作用在最大管口上合力、合力矩	OPE1	974	2185	10314		
	OPE2	1094	2452	10314		
	SUS	1576	3449	10314		

校核汽轮机管口受力及力矩,均能满足制造厂提出的管口受力要求,管道应力计算是合格的,但同时也可看出,NEMA SM23的允许受力限制非常严格,机器各管口受力的整体综合校核往往最难通过,因此计算时应综合考虑各管口的受力,使不同管口处的作用力能够相互抵消;

汽轮机在热态和冷态时,管系所产生的推力和力矩也必须小于其管口所允许的外力和力矩;

如果调整支撑位置及形式和改变管道走向后,汽轮机受力仍难以满足要求,可考虑在汽轮机出口的竖直管道上设置金属波纹管膨胀节,或在订货阶段要求机器制造厂适当放宽限制,否则管道设计将遇到较大困难。

结语

石油化工装置汽轮机管道布置是个复杂问题,本文

对机组设计过程中设备布置、管道布置、管道应力分析、机组管口校核方面进行介绍,实际设计中应充分考虑现场状况,规划管道走向,合理布置,同时注意管道支架的选取,尽量减少汽轮机的管口受力,保证管道设计安全、可靠。

参考文献

- [1]张德姜,王怀义,邱平.石油化工装置工艺管道安装设计手册[J].中国石化出版社,2014.(21):35-38.
- [2]唐永进.压力管道应力分析[J].中国石化出版社,2009.07.14:69-72
- [3]宋岢岢.管道应力分析与工程应用[J].中国石化出版社,2020.09:193-197