

大型乙二醇装置酯化循环气压缩机研制

杜崇洋

(沈阳鼓风机集团股份有限公司 辽宁 沈阳 110869)

摘要: 乙二醇是一种重要的石油化工基础有机原料,在国民经济中有着重要的地位,广泛用于聚酯纤维、薄膜、容器瓶类等聚酯系列产品和汽车防冻剂的生产。本文以50万吨/年合成气制乙二醇装置的研制为例,分析了单线50万吨/年合成气制乙二醇装置用压缩机组的设计、制造技术,以期合成气制乙二醇装置的研制提供参考。

关键词: 乙二醇;合成气;草酸酯

0 引言

我国乙二醇的生产有石油路线和非石油路线。石油路线以传统的乙烯为原料,非石油路线以煤制天然气为原料。由于我国是一个多煤、少气、缺油的国家,因此国内乙烯法制乙二醇增速放缓,煤制乙二醇逐渐成为制取乙二醇的主流方法。50万吨/年合成气制乙二醇装置是目前国内最大的单套乙二醇装置。该装置以合成气相反应合成草酸酯,由草酸酯加氢生产乙二醇,即煤制乙二醇。

1 工艺流程

合成气制乙二醇流程(图1)首先进入酯化反应单元,由甲醇+酯化循环气压缩机压缩的氮氧化物+氧气形成亚硝酸酯,亚硝酸酯在DMO反应器中与CO反应,反应物经过气液分离器分离出氮氧化物,氮氧化物再次循环进入酯化循环气压缩机压缩。剩余反应物经过分馏塔形成可外售的副产品碳酸二甲酯和草酸二甲酯,草酸二甲酯进入后续流程加氢形成乙二醇。

酯化循环气压缩机是实现酯化反应自封闭循环工艺的关键设备。一旦该压缩机发生故障,造成循环气流量减少或断流,不仅会使整个反应循环中断,而且还可能引起催化剂床层飞温、催化剂失活等严重后果。

2 酯化循环气压缩机研制

推动乙二醇装置的大型化会使项目的前期投资到后期的能耗、备件损耗、维护人员等运行成本大幅度降低。针对大型乙二醇装置中酯化循环气压缩机组大型化、稳定、高效、长周期运行的要求,依据装置工艺参数,

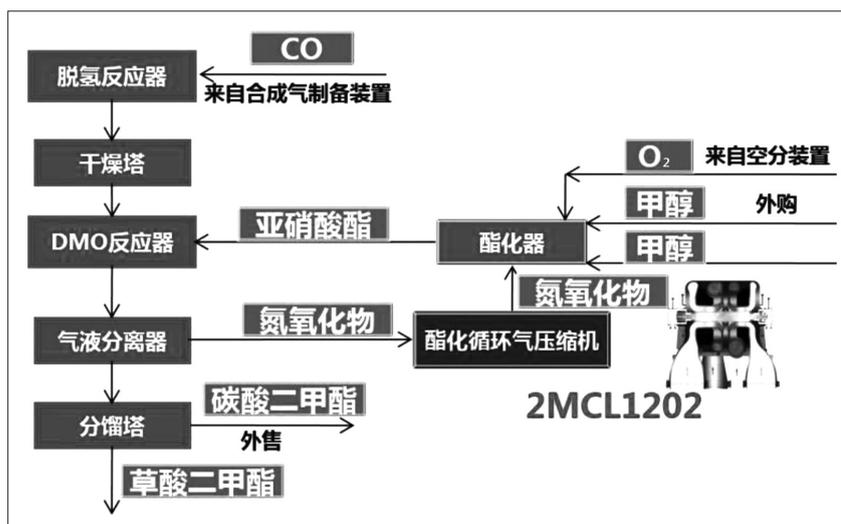


图1 合成气制乙二醇流程图

研制了大型酯化循环气压缩机组,其技术水平已达国际先进。

酯化循环气压缩机为离心式。离心压缩机是一种将机械能转变为气体压力的机械。这种能量的转变是通过高速旋转的叶轮来实现的,通过联轴器联接,由汽轮机拖动,从而实现机械能向压力能的转变。

酯化循环气压缩机气动方案的特点是介质分子量大、易压缩、压比低、流量大,达到近500000Nm³/h。这种条件下采用的机型为2MCL1202,两级叶轮背靠背布置。2MCL1202是一级1段,共分2段压缩,中间有冷却器对介质降温达到减少轴功率的目的,结构上采用水平剖分的离心结构,叶轮直径为1200mm。

压缩机采用马氏体铸造不锈钢机壳,不锈钢铸造隔板,叶轮采用整体铣制工艺、不锈钢材料。轴端密封采用迷宫密封+双端面干气密封。(双端面干气密封适用于入口压力低、介质条件恶劣的一般危险性场合)。轴承为可倾瓦水平剖分的径向轴承。推力轴承采用金斯

博雷式的双作用自平衡型轴承。联轴器型式为膜片联轴器。

介质通过入口阀、分离器、过滤器，进入压缩机内部，经过第一段压缩后，通过段间冷却器进入第二段。第二段出口分为两路，一路进入末级冷却器，温度降为40℃和另一路未冷却气体混合，混合后气体温度达到70℃进入后续流程。发生喘振时，经过冷却器的40℃气体可直接回流进第一段入口进行防喘。

机组设置了先进的计算机自动监控装置，设置了振动、位移、相位、温度、液位、流量等多点监测。控制系统对压缩机组的所有测点进行监控，具有机组气动性能调节、机组机械安全控制与保护、润滑及密封系统调节与控制、防喘振控制等功能。

2.1 基于涡动力学的高性能模型级气动优化设计

酯化循环气压缩机机组介质分子量是35.88，工艺包要求在压缩的任何过程中、任何条件下，温度都不能超过85℃，否则会发生严重事故，因此模型级效率极为重要。基于介质及设计参数特性，同样基于涡动力学理论开发了高效大流量系数(0.160)离心压缩机模型级，相关设计参数见表。

在离心压缩机的开发、设计过程中，模型级的开发十分重要，新产品的开发依赖于与之对应的新模型级的开发。因此，实际离心压缩机的性能指标决定于模型级的性能。酯化循环气压缩机通过采用流量系数0.160的模型级，由原本选用机型为单缸两

段2MCL1402(1400mm叶轮直径的2段压缩)变为2MCL1202(1200mm叶轮直径的2段压缩)。机型降档，在满足高效(设计点多变效率87.6%)的同时加大了工况调节范围，达到60%~120%(等压调节)。目前机组在用户现场已安全、稳定、高效运行(图2)。

2.2 转子结构的可靠性分析

转子是压缩机核心动力元件，需保证其运行可靠性，从以下几方面进行分析并根据分析结果进行结构设计。

叶轮强度分析是为避免叶轮内部应力值高于屈服强度。当叶轮受到的外部载荷达到一定值时将发生承载能力丧失，即载荷不增加而叶轮变形持续增大的现象，此时就表明叶轮材料发生屈服，对应的应力值称为其

表 酯化循环气压缩机2MCL1202设计参数

设计参数	正常工况		额定工况	
	一段	二段	一段	二段
入口流量 / (Nm ³ /h)	380000	380000	460000	460000
入口温度 / °C	35	40	35	40
入口压力 / MPa (A)	0.256	0.385	0.256	0.382
出口压力 / MPa (A)	0.415	0.58	0.412	0.58
出口温度 / °C	76	80	79	83
转速 / (r/min)	4130		4407	
轴功率 / kW	12500		15600	

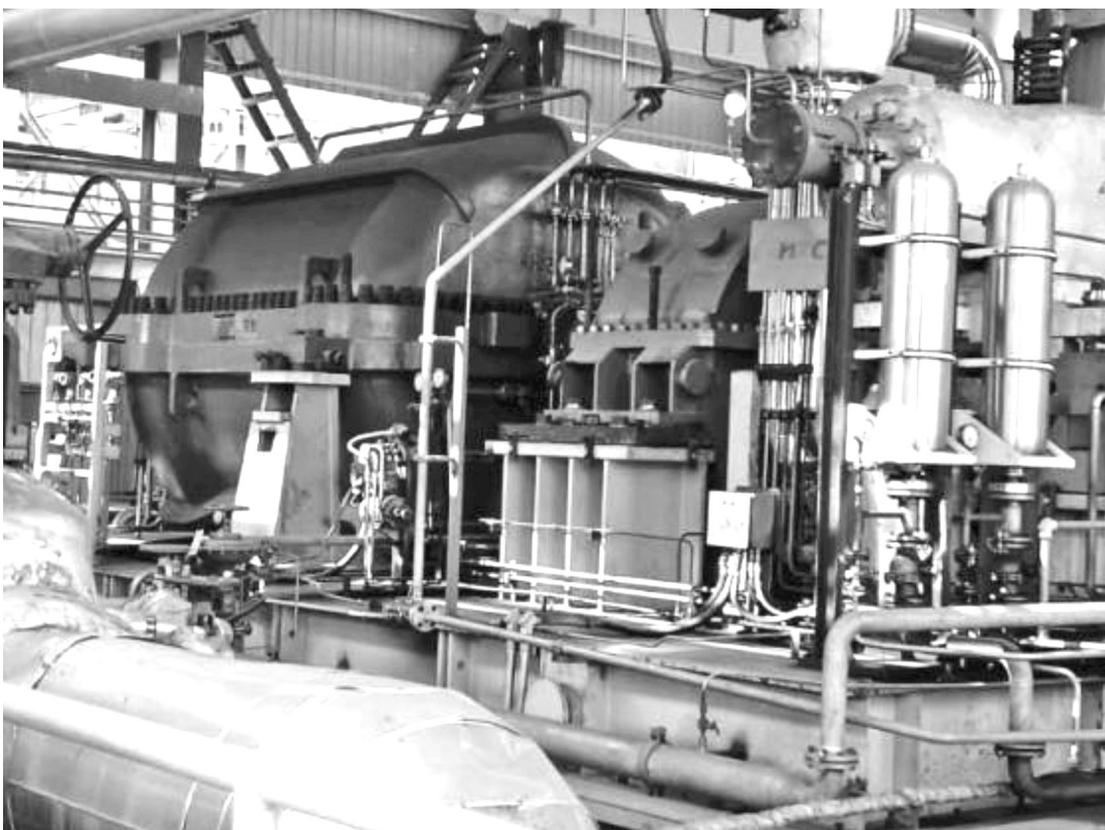


图2 酯化循环气压缩机在用户现场运转

屈服强度。对于一般钢材，通常取发生微量塑性变形(0.2%)时的应力作为屈服强度。为保证安全，在汽轮机跳闸转速下，对叶轮扇区进行线弹性分析，得到叶轮等效应力分布。叶轮扇区是根据叶轮沿轴向的循环对称性，从完整的三维模型中截取的扇形计算模型(通常1个扇区模型由1个叶片和与之相连接的轴盘、盖盘扇形区域组成)。

借助于叶轮强度分析，可同时进行无键叶轮的过盈、松动分析和叶轮口圈变形分析。无键叶轮的过盈及松动分析是为避免过盈量过高或过低。过盈量过高将导致叶轮局部应力过高、转轴易弯曲、装配工艺性差，过盈量过低将导致过盈接触压力不足，从而无法提供足够的摩擦力造成叶轮松动。叶轮口圈变形分析是为提供密封间隙设计数据，减少口圈密封泄漏量，提高机组效率。分析结论需在跳闸转速下，叶轮最高等效应力不大于材料屈服强度；叶轮轴孔一定比例以上的节点径向变形量(单边)不大于最小设计过盈量(半径)。

转子横向振动不平衡响应分析是为保证转子的工作转速与临界转速有足够的隔离裕度。转子横向振动也称转子弯曲振动，是转子沿横截面发生的小幅度运动。转子固有频率与外部激励频率相重合而产生共振时，该共振频率称为系统的临界转速。转子临界转速与转子的载荷点(涉及转子中叶轮、平衡盘等位置)、轴承阻尼(涉及油膜刚度、粘度、轴承间隙等)、支撑跨距(涉及压缩机结构的整体布局)、不平衡量(涉及材质不均匀、加工或装配等原因导致的转子质量中心和几何中心不同心而产生的质量偏心问题)等有着密切关系。临界转速与工作转速的相对隔离裕度小于美国石油学会(API 617)标准中要求的最小隔离裕度时，此转子横向不平衡响应分析即为合格。

转子稳定性分析是为求解系统的固有频率及其对应的对数衰减率，从而评估转子横向振动的运动稳定性。在叶轮出口或气体密封等转/定子间的区域内，气流作用使得转子受到切向的失稳力，破坏了转子的稳定性。交叉耦合刚度是失稳力的刚度体现，交叉耦合刚度越大，转子的稳定性越差。对数衰减率是系统振动阻尼特性的反应，对

数衰减率越大，系统的阻尼越大，转子的稳定性越好。转子横向振动模态分为正进动和反进动，代表了转子轴心轨迹运动方向与转子旋转方向的同向和反向，转子稳定性分析针对的是横向振动的第一阶正进动模态。

2.3 超大尺寸复杂结构特殊材质铸造机壳优化设计

酯化循环气压缩机机壳是目前国内最大的马氏体不锈钢(ZG06Cr13Ni4Mo, 弹性模量200GPa, 泊松比为0.3, 材料密度为7850kg/m³, 屈服极限取550MPa)铸造机壳。该材料专用于酯化压缩机耐腐蚀设计。常规铸造机壳流道结构复杂、铸造难度大，导致后期加工困难、质量难以保证；同时机壳尺寸大(长×宽×高为5039mm×4562mm×4750mm)、重量大，导致运输、安装、维护困难。

针对这些问题，对机壳结构进行了一系列优化设计：

- (1) 出口蜗室的不等径结构(图3)改进为等外径结构(图4)，使机壳外径尺寸减小，外壁结构简化。
- (2) 机壳铸造通流流道改进为隔板铸造通流流道，

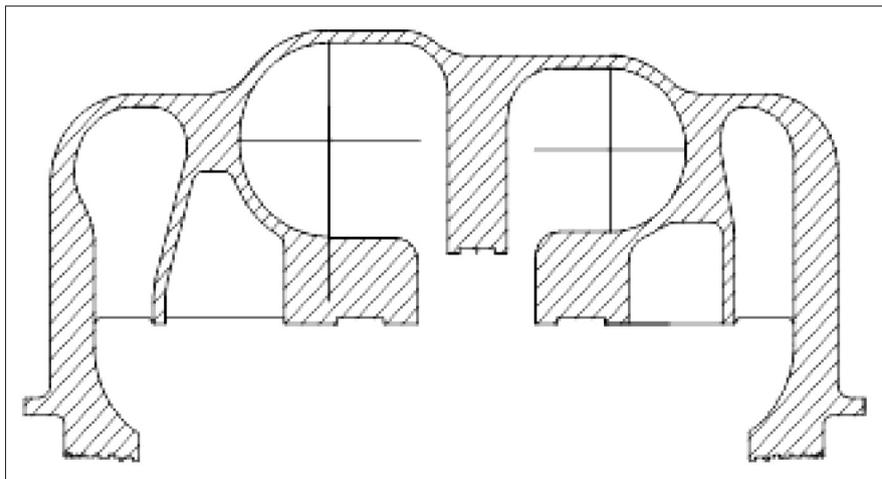


图3 不等径机壳结构

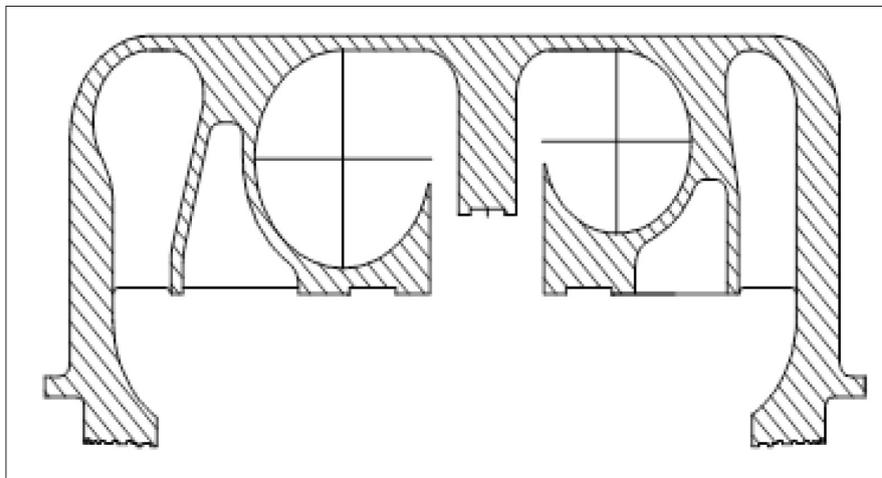


图4 等径机壳方案

将复杂的铸造机壳简单化，便于机壳铸造和后期加工，同时减轻机壳重量，降低制造成本（图5）。

(3) 分析蜗室通流部分的流场，保证其气动性能达标。

(4) 进行针对性的机壳力学分析，机壳内部压力为水压试验压力（1.5倍设计压力），压力施加位置为机壳内壁。考虑重力影响，根据中分面法兰厚度、把合螺栓个数及规格进行中分面密封性分析，保证在水压试验压力下，整个中分面密封区存在连续的黏着区、无穿透性的非接触区域。在水压试验的情况下，机壳两端向外膨胀，计算机壳此处轴向最大变形量用于设计转/定子轴向间隙。

通过分析，在保证力学性能的条件下对机壳进行减重优化，减少了机壳外壁、中分面法兰厚度，在机壳减重25%（减轻20t）、降低成本的同时提高制造精度。

严格控制铸造机壳铸造技术条件，对质量点进行控制，进行材料化学成分分析，保证主要合金元素含量合格；进行力学性能检验，保证机壳能够承受实际工况下的压力；做液体渗透检验和射线探伤检验；进行尺寸检验（尤其是轴承区部位尺寸）；将上、下机壳合拢，观察各错口位置。

3 结语

机组的成功研制，填补了国内单线50万吨/年合成气制乙二醇装置用压缩机组设计、制造及成套技术

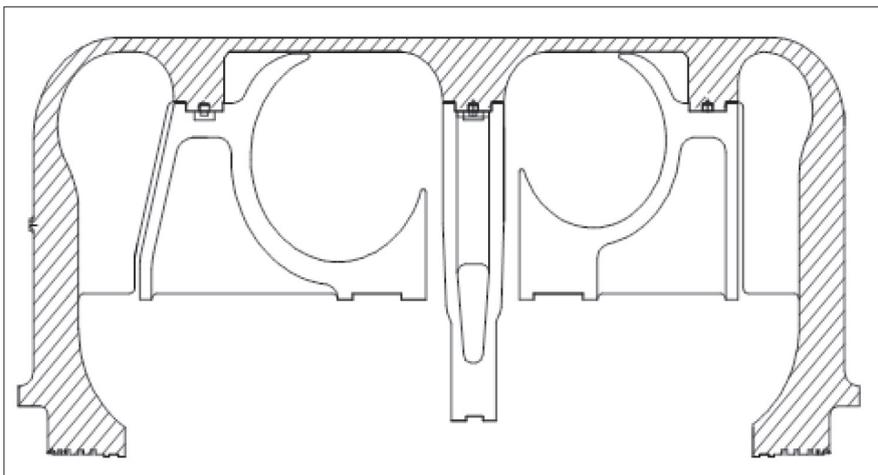


图5 机壳简化方案

的空白，整体技术达到国际同类产品先进水平，关键技术指标达到国际领先水平，摆脱了核心技术和设备依赖进口的局面，并保持着较高的市场占有率，提高了我国乙二醇的生产能力，对于保障国家经济安全、促进能源和装备制造业协同发展具有十分重要的意义。

参考文献：

- [1] 黄钟岳，王晓放，王巍. 透平式压缩机（第二版）[M]. 北京：化学工业出版社，2014.
- [2] 徐忠. 离心式压缩机原理（修订本）（第二版）[M]. 北京：机械工业出版社，1990.

作者简介：杜崇洋（1983-），男，汉族，辽宁丹东人，学士，高级工程师，研究方向：空分及煤化工行业压缩机设计。

