

乙烯装置“乙烯三机”设备设施及工艺分析

侯楠

中石化(天津)石油化工有限公司

摘要: 本文介绍了天津南港120万吨/年乙烯装置(以下简称南港乙烯)“乙烯三机”及驱动汽轮机的设备特点、润滑油站配置及技术特点。并且对裂解气压缩机注油、注水技术及新型丙烯制冷压缩机和新型乙烯制冷压缩机的工艺进行分析,为乙烯装置节能降耗及新型丙烯机、乙烯机开车提供思路。

关键词: 乙烯三机; 汽轮机; 压缩机

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.06.095

乙烯三机一般指裂解气压缩机、丙烯制冷压缩机、乙烯制冷压缩机,三机都由汽轮机驱动。乙烯装置作为下游化工装置的源头,乙烯三机被称为乙烯装置的“心脏”。如果乙烯三机意外停车,将影响乙烯装置及其下游装置的平稳运行,这将造成严重的安全风险和经济损失^[1]。随着科技的发展,乙烯三机的设计及配套设施不断完善创新,掌握其新型工艺技术特点及工作原理,对乙烯三机开车及稳定运行具有重要意义。

一、汽轮机特点

(一) 汽轮机简介

三台汽轮机均由杭州汽轮机股份有限公司设计制造。裂解气压缩机驱动汽轮机采用抽汽冷凝式结构,丙烯制冷压缩机驱动汽轮机采用抽汽冷凝式结构,乙烯制冷压缩机驱动汽轮机采用背压式结构。

(二) 汽轮机结构特点

汽缸是汽轮机通流部分的包容体。汽缸由前汽缸和后汽缸(排汽缸)组成,前汽缸是铸钢体,后汽缸为焊接式。整个汽缸有水平中分面,上下缸用法兰面和螺栓连接。汽轮机盘车装置采用电动盘车(带手动盘车),盘车装置可实现自动啮合和自动脱扣。

汽轮机转子为整锻钢结构,调节级采用冲动式叶片。中间转鼓级为反动式直叶片,低压级为扭叶片,叶片均采用不调频结构。轴封采用可更换的金属迷宫密封,配有轴封冷却器。转子和气缸之间需要密封的地方,安装汽封体。汽轮机径向轴承采用可倾瓦式。推力轴承采用双作用自平衡式,装在前轴承座内。

汽轮机转速调节及控制系统由速关阀、进汽调节阀、错油门、油动机、电液转换器、控制系统组成。调节阀用来调节进汽量,控制压缩机转速,5个阀蝶在设计好的顺序开关。

二、润滑油站配置

三台压缩机油站配置基本相同,以裂解气压缩机油站为代表进行介绍。三台油泵均采用三螺杆式,主泵采用背压式汽轮机直接驱动,不设齿轮箱。配置两个辅助油泵,不设事故油泵,两台辅助油泵采用不同电源的电

动机驱动,电动机功率相同。

为了减小盘车力矩,裂解气压缩机配置顶升油系统,压缩机高、低压缸共用一套顶升油系统,中压缸单独用一套顶升油系统。在进油管线上设置旁路并带逆止阀,用于机组找正时临时供油,顶升油系统可满足自动和手动启停。

油箱采用不锈钢材料,加热器采用电加热器(间接加热),具备在12小时内将油加热到启动条件的能力,多组电加热器汇总为一路供电。油箱排气口加装排油烟风机,带油气分离内件,并带旁路,在风机检修时可以排大气。轴承箱排气配置油雾分离器,油雾分离器采用外部回油方式,带污油储罐。三机均配置具备除水、除杂的功能的固定式油净化器,过滤精度小于 $3\mu\text{m}$,净化后含水量小于100PPM。

三、裂解气压缩机技术

(一) 裂解气压缩机设备特点

裂解气压缩机是乙烯装置的关键设备,决定了乙烯装置的稳定运行。裂解气压缩机型号为DMCL1404+2MCL1404+2MCL1207采用3缸5段15级压缩结构,以满足裂解气压缩机各段压力和温度要求。从汽轮机向压缩机看,压缩机的旋转方向为顺时针。低压缸、中压缸及高压缸均为单轴、双支撑、多级离心压缩机。

(二) 裂解气压缩机注油、注水技术

由于裂解气中含有丁二烯、苯乙烯等不饱和烃和金属氧化物,在压缩过程中温度升高,不饱和烃在压缩机流道进行复杂的附着在流道内壁。此外,附着在流道上的焦垢可在离心力的作用下部分脱落,转子的动平衡遭到破坏,致使轴振动和轴位移升高,严重时可能造成机组损坏^[2]。

在压缩机壳体及1~5段吸入管线上设置注油系统,通过喷嘴把雾化的油分散在裂解气中,使压缩机流道和叶轮表面形成一层油膜,附着在流道内壁的聚合物溶解在洗油中,随着段间罐凝液排出,从而抑制结焦。为保证洗油在压缩机流道形成油膜,洗油注入量为裂解气质量流量的2%左右。在注油的同时在洗油中注入阻聚剂,

阻聚剂可抑制聚合反应发生。

在压缩机1~5段壳体上设置注水喷嘴，采用连续注水方式向裂解气中喷入冷却后的锅炉给水，注水的液滴平均直径小于100 μm，喷入的水滴与高温裂解气直接混合进行热量交换。

四、丙烯制冷压缩机技术

(一) 丙烯制冷压缩机工艺

南港乙烯装置采用LNG冷能利用的新型节能乙烯工艺。甲醇冷媒依次替换原丙烯机-40℃、-27℃、-6℃、

13℃级位部分用户的丙烯制冷剂^[3]。因此，丙烯机由四段压缩减少为三段压缩。压缩机组型号为3MCL1406采用单缸3段6级压缩结构，其中：第一段3个叶轮，第二段1个叶轮，第三段2个叶轮。为提高效率，压缩机全部采用高效三元叶轮。

丙烯制冷系统是一个密闭的循环回路，以乙烯装置生产的聚合级丙烯为制冷剂。用液态丙烯在不同压力下节流汽化来为工艺用户提供-40℃、4℃温度等级的冷剂。

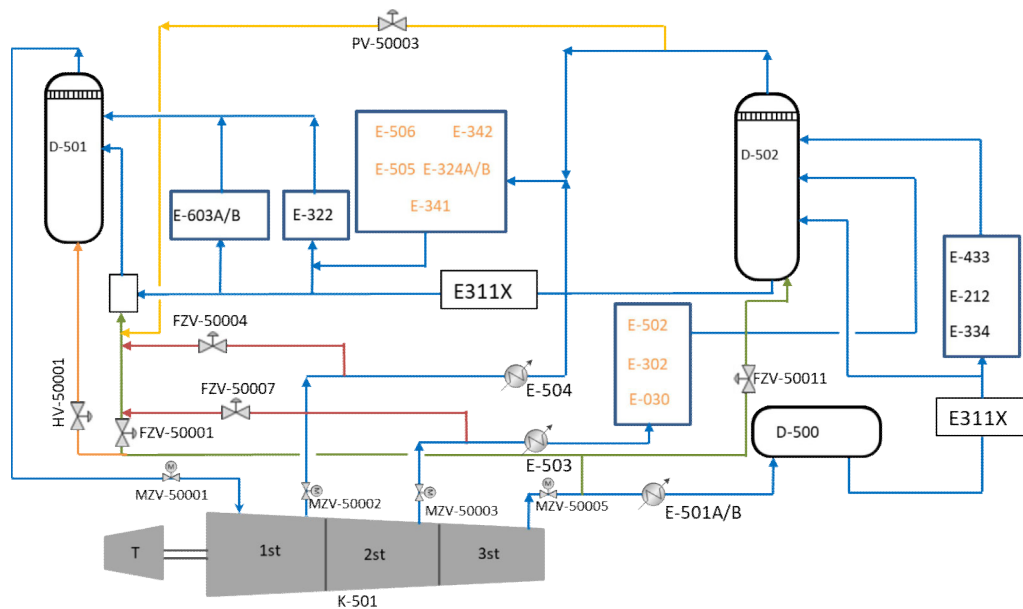


图4.1 新丙烯机(K-501)流程简图：E-501丙烯机出口冷凝器，E-311X冷箱，E-334甲烷化反应器流出物冷却器；E-212干燥器进料激冷器，E-433低压脱丙烷塔冷凝器，E-503丙烯机二段抽出预冷器，E-030乙丙烷汽化器，E-302甲烷汽提塔再沸器，E-502丙烯机二段抽出冷凝器，E-504丙烯机一段抽出预冷器，E-341低压乙烯产品汽化器，E-342高压乙烯产品汽化器，E-324乙烯塔再沸器，E-505 1#丙烯过冷器，E-506 2#丙烯过冷器，E-322乙烯塔冷凝器，E-603乙烯机出口冷凝器，D-500丙烯制冷剂收集罐，D-501丙烯机一段吸入罐，D-502丙烯机二段罐。

新丙烯机工艺流程如图4.1所示，丙烯气相在压缩机中被压缩，三段出口的气相丙烯(91℃，1670kpa)经过出口冷却器(E-501A/B)被冷却水冷凝。液态丙烯制冷剂先流过丙烯制冷剂收集罐(D-500)，然后在冷箱1#换热器一段(E-311X)里将流出的工艺物流加热而自身被过冷。接着，丙烯制冷剂分成两路。一路是供三段用户低压脱丙烷塔冷凝器(E-433)、甲烷化反应器流出物冷却器(E-334)、干燥器进料激冷器(E-212)，

三段用户返回的汽相去丙烯制冷压缩机二段吸入罐(D-502)。第二路在收集罐液位控制下液相冷剂进入D-502。

二段出口气相丙烯(63.3℃，960kpa)在二段抽出预冷器E-503(甲醇，7.7℃)里预冷至40℃，分为三路分别进入丙烯机二段抽出冷凝器E-502、甲烷汽提塔再沸器E-302、乙丙烷汽化器E-030，提供热量自身被冷凝为液体(4.5℃，570kpa)返回D-502。

一段出口气相丙烯(39℃，570kpa)在一段抽出预冷器E-504预冷至10℃，与D-502顶气相混合。分为三路分别进入乙烯塔再沸器E-324A/B和1#丙烯过冷器E-505、低压乙烯产品汽化器E-341、高压乙烯产品汽化器E-342和1#丙烯过冷器E-505，过冷为丙烯液体(-38.3℃，50kpa)。丙烯液体进入乙烯塔冷凝器E-322。D-502罐底液体经E-311X过冷，液相丙烯(-19℃，545kpa)分为两路，一路为乙烯塔冷凝器E-322和乙烯机出口冷凝器提供冷量，气相返回丙烯机一段吸入罐D-501。另一路进入混合器后返回D-501。D-501罐顶气相返回丙烯机一段吸入。

五、乙烯制冷压缩机技术

(一) 乙烯制冷压缩机工艺

南港乙烯装置采用新型节能乙烯工艺。甲醇冷媒替换原乙烯机-63℃级用户的乙烯冷剂^[3]。因此，乙烯机由三段压缩减少为二段压缩。压缩机组型号为3MCL707采用单缸2段7级压缩结构，以满足乙烯制冷压缩机各段压力和温度要求。其中：第一段3个叶轮，第二段4个叶

轮。为提高效率，压缩机全部采用高效三元叶轮，整体铣制叶轮1个。

新乙烯机(K-601)工艺流程如图5.1所示，乙烯制冷系统是一个密闭的循环回路，以乙烯装置中生产的聚合级乙烯为制冷剂。用液态乙烯在不同压力下节流汽化来为工艺用户提供2个温度等级的冷剂：-101℃、-73℃。

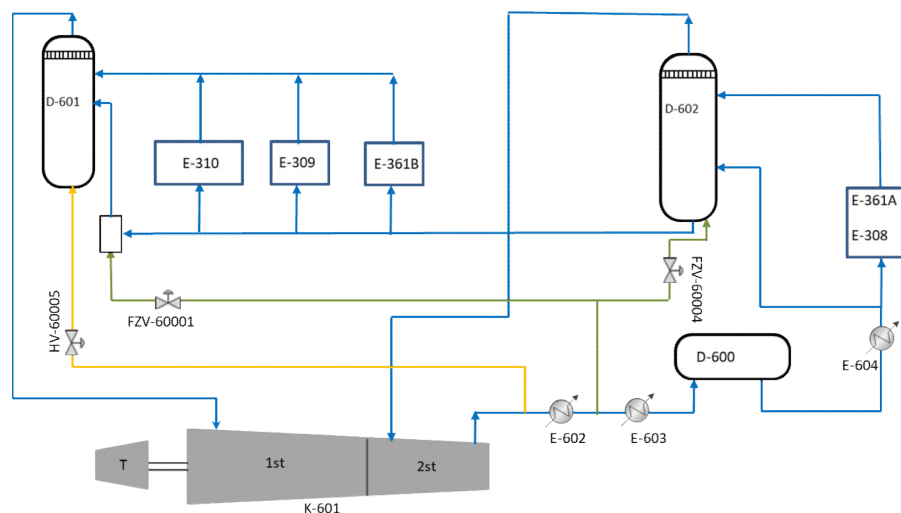


图5.1 新乙烯机流程简图：E-602乙烯冷剂脱过热器，E-603乙烯机出口冷凝器，E-604乙烯机出口过冷器，E-308脱甲烷塔2#进料激冷器，E-361A乙烯产品冷却器1#，E-361B乙烯产品冷却器2#，E-309脱甲烷塔3#进料激冷器，E-310脱甲烷塔冷凝器，D-600乙烯冷剂收集罐，D-601乙烯机一段吸入罐，D-602乙烯机二段吸入罐。

新乙烯机工艺流程如图5.1所示，乙烯经两段压缩后，乙烯机K-601排出的气体在乙烯冷剂脱过热器E-602(-25.2℃甲醇)脱过热，经过乙烯机出口冷凝器E-603(-40℃丙烯)冷凝，冷凝后的液相冷剂收集在乙烯冷剂收集罐D-600。液相冷剂经乙烯机出口过冷器E-604(-75℃甲醇)过冷至-53.4℃，部分过冷冷剂经节流膨胀分别向脱甲烷塔2#进料激冷器E-308和乙烯产品冷却器E-316B提供-73℃级别冷量，换热后的气相乙烯进入二段吸入罐D-602。

另一部分过冷液相乙烯节流膨胀后进入二段吸入罐D-602。D-602罐顶气相进入K-601二段吸入。D-602罐底液相经节流膨胀分别向脱甲烷塔冷凝器E-310、脱甲烷塔3#进料激冷器E-309和乙烯产品冷却器E-316A提供-101℃级别冷量。换热后的乙烯进入一段吸入罐D-601。D-601罐顶气相返回K-601一段吸入。

为了防止喘振，设计“二返二”、“二返一”最小流量返回线。即由压缩机出口返回各段吸入罐，以保证各段气量不低于最小流量。最小流量旁路“二返二”是

二段出口气体在E-602(-25.2℃甲醇)脱过热后，气相进入二段吸入罐D-602底，通过汽化罐内液体，增加二段吸入流量。最小流量旁路“二返一”是二段出口气体在E-602(-25.2℃甲醇)脱过热后，与液相激冷线在混合器混合后，通过汽化液体增加一段吸入流量。一段吸入罐还设置喷淋汽化线，二段出口热乙烯气体(58.5℃)进入D-601底部喷淋，防止D-601罐积存液体。

结语

随着科技的发展，南港乙烯三机的设计及配套设施不断完善创新，新型配置及新技术的应用，提高了乙烯装置的智能化水平。甲醇冷媒的应用使新型丙烯机和乙烯机工艺与传统工艺存在差异，极大的降低了乙烯装置的能耗水平。掌握新型三机设备设施及工艺技术是乙烯装置长周期稳定运行的关键。

参考文献

- [1] 胡杰, 王松汉. 乙烯工艺与原料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017: 200-503.
- [2] 杨思思, 王小鹏, 邢桂坤. 乙烯装置裂解气压缩机级间结焦的诱因、机理及其对策[J]. 化工设备与管道, 2018, 55(1): 6.
- [3] 田野, 赵百仁, 王振维. 考虑LNG冷能利用的乙烯装置制冷系统节能分析[J]. 乙烯工业, 2021, 33(3): 58-61.
- [4] 陈文勇. 防喘振及石墙控制功能在丙烯制冷压缩机中的应用[J]. 石油化工自动化, 2021, 57(3): 5.