大型丁二烯生成气压缩机组国产化开发与应用

生成气螺杆压缩机是氧化脱氢制丁二烯装置的核心设备——针对国内某 10 万 t/a 大型装置的工艺特点，研究了螺杆压缩机温度控制及大型化系统设计的要点，开发了大型生成气压缩机。机组成功投用，并实现了长周期运行，成功实现了国产化，填补了国内空白。

文 / 张贵军 连小松

PROCESS-Tip

* 更多信息请扫描二维码：

chem.vogel.com.cn

* 反馈编码：A210524

丁二烯作为碳四馏分中最重要的石油化工基础原料，广泛应用于橡胶、树脂、涂料以及尼龙等化工产品的生产。工业上，丁二烯的生产方法包括：碳四馏分分离法、合成法和脱氢法（包括丁烷脱氢、丁烯脱氢及丁烯氧化脱氢等）。

本文作者供职于中国石化工程建设有限公司。

生成气压缩机组是丁烯氧化脱氢制丁二烯工艺中的关键设备之一。在丁烯氧化单元中，生成气压缩机位于冷却塔与洗醛塔之间。其主要作用是压缩混合气体，使升压后的混合气体便于溶剂油吸收，分离出碳四组分。生成气压缩机输送的丁二烯混合气体主要包括丁二烯、丁烯、丁烷、氮气和少量氧气以及含氧化合物等。由于丁二烯含有 2 个不饱和双键，在高温下极易发生自聚甚至爆炸风险，机组选型十分关键。螺杆压缩机作为少数可喷液控温的压缩机，成为生成气压缩机的最佳机型选择。

早期，国内建设的氧化脱氢制丁二烯装置单线规模仅为 2.5 万 t/a，生成气压缩机主要配套国内小型无油螺杆压缩机。随着化工装置大型化的发展，大型生成气压缩机成为装置的技术瓶颈。

威图和易盼
— 驱动机柜系统的智造未来

微信扫一扫
关注官方微信

2012 年末，经过专家充分论证，在国内某 10 万 t/a 氧化脱氢制丁二烯装置上，对该设备进行国产化开发，以解决卡脖子问题。

开发

根据年产 10 万 t 丁烯氧化脱氢项目需求，包括两方面课题：温度控制和大型化。生成气压缩机应满足以下技术指标（如表 1）：

温度控制

压缩机的排气温度与压比、喷液及内部结构相关。

针对压比方面：本项目压缩机操作压比大于 6.67，尽管螺杆压缩机单级压比最高可达到 11。在控制喷液情况下，排气温度仍然可以满足要求。但是螺杆压缩机存在内压缩，机体部温度与排气存在一定的差异。极端情况下（喷液断流），压缩机内部腔体的温度和压力分布如图 1 所示。

表 1　技术指标

额定流量 (kg/h)	⩾ 65 000
额定入口流量（m³/min）	⩾ 800
机组入口压力 (MPaA)	⩾ 0.09
机组入口温度 (℃)	⩽ 22
机组出口压力 (MPaA)	⩾ 0.6
机组出口温度 (℃)	⩽ 72
机组轴功率 (kW)	⩽ 4000

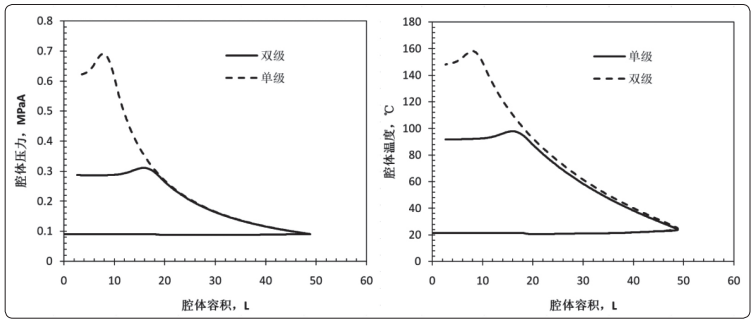

图 1　腔内压力及温度分布

根据图 1 可以发现，采用双级压缩，腔内压缩压力上升平稳，过压缩小。即使在断液的情况下，压缩机内部的温度仍然较低。因此，为实现更高的安全性，项目采用双级压缩，利用级间的冷却器移除压缩热。

针对喷液方面：喷液量的雾化效果对压缩机腔内温度影响明显。雾化效果与喷液量及喷液温度息息相关。在有限的腔体空间呢内喷液入大量的液体难于获得小粒径液滴。通过双级压缩已显著降低喷液量。为进一步减少喷液量，采用低温的工艺水作为冷却液。核算后，一二级喷液量分别为 1.4 t/h 和 3.0 t/h，雾化至 0.1 mm 的液滴。各级出口水蒸汽为过热状态，既起到了润滑、密封、降噪以及冲刷杂质的作用，又没有带来较大的流动损失和振动。

针对内部结构方面：螺杆压缩机的最高温度与内容积比关系密切，理想的压缩过程是内外压比基本相等，此时功耗最小，效率最高，气动损失与振动噪声也最小。螺杆压缩机的内容积比与介质的物性、转子的型线、压缩机

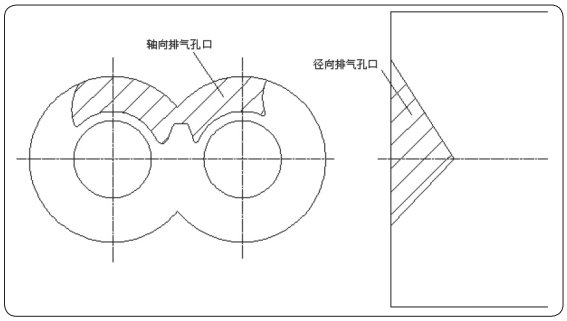

图 2　压缩机排气孔口

RITTAL
EPLAN
广告

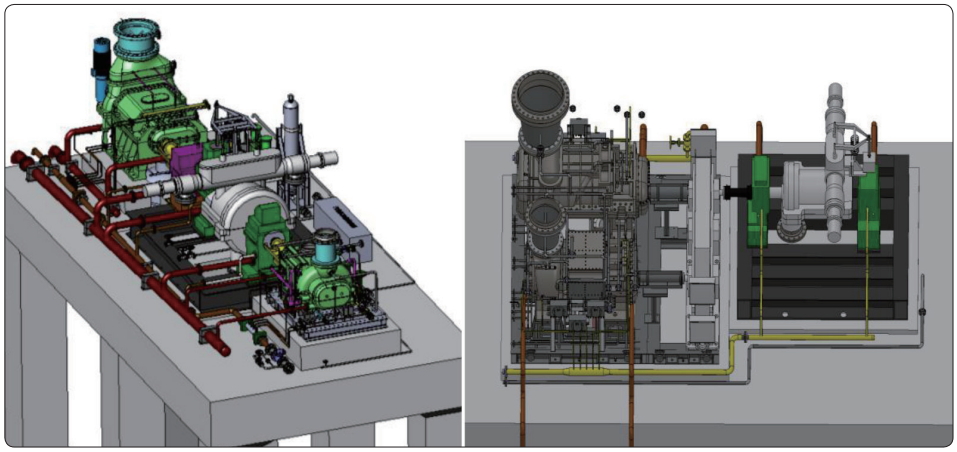

图 3 压缩机串联和并联布置方式

图 4 生成气压缩机现场照片

的转速以及内外压比等息息相关。在确定级间压力后，项目依据完善的热力学模型和压缩机的工作过程动态仿真，进行压缩机内容积比的确定，对排气孔口角度、位置、形状和大小进行设计计算，其轴向和径向排气孔口形状如图 2 所示。

通过上述三方面措施，理论上可有效保证生成气压缩机的排气温度满足工艺生产要求。

大型化系统设计

小型氧化脱氢制丁二烯装置中，生成气压缩机采用电机分别驱动一级和二级压缩机。在本次 10 万 t/a 规模的装置中，联合开发团队经多次论证，决定采用一台蒸汽透平驱动两台压缩机，这不仅可以大大提高蒸汽透平效率，变速节能调节降低了整套机组的操作难度。但是，两台压缩机与蒸汽透平的布置及连接，需比选串联和并联方案，如图 3。

串联布置方案，布置及连接相对简单，但轴系长，对振动可能造成一定的不利影响。同时，对机组的制造、安装等其他因素的要求也大大提高。并联布置方案，需要设置双输出齿轮箱来实现一台透平驱动两台压缩机。齿轮箱跨距过大，国内无法生产，因此选用进口品牌。同时，采用转子动力学软件进行机组扭振分析。

表 2 现场主要数据

运行状态参数	100% 负荷	80% 负荷
一级排气温度 (℃)	57.9	56.6
二级排气温度 (℃)	67.0	65.9
一级喷水量 (t/h)	2.01	1.97
二级喷水量 (t/h)	1.56	2.10
齿箱高速轴振 X/Y(μm)	4.31/10.61	5.27/9.99
一级排气轴振 X/Y(μm)	129.34/45.67	129.84/46.74
二级排气轴振 X/Y(μm)	79.50/96.65	77.86/97.05
汽轮机轴振 X/Y(μm)	15.5/19.5	11.5/13.5

应用

投产情况

本套 10 万 t/a 氧化脱氢制丁二烯装置于 2017 年 9 月开车成功，至今已运行 3 年以上。其中，生成气压缩机组布置紧凑，现场运行平稳，如图 4 所示。

现场实际运行的各项数据如表 2 所示：

上述各项指标均在设计范围内。各级压缩机进气温度控制较低，且一级压缩机提高了喷液量，因此排气较设计低。满足工艺要求。

后续改进

项目在实施过程中，对主要的大管线进行了管道应力及振动分析。但对压缩机组的油路及二级压缩机的平衡管等小管线缺乏重视。导致部分小管线出现振动，甚至裂纹情况。后续存在改进空间。

结论

通过对工艺及设备设计要点的研究，成功开发了国内首套 10 万 t/a 的氧化脱氢制丁二烯生成气压缩机，最后通过现场运行数据验证了开发设计的合理性，并找出需完善的地方。

机组的开发成功，不仅可填补国内空白，为国内丁烯氧化脱氢制丁二烯工艺装置提供国产化的生成气压缩机，为我国石油和化工行业的发展提供技术支撑，对替代进口、缩短工期、节约资金起到重要的作用，在重大装备国产化方面社会效益显著，具有广泛的推广应用前景。