

# 杭氧大型煤化工型空分设备应用实践

周智勇, 卢杰, 何晖, 翟晖

(杭州杭氧股份有限公司设计院, 浙江省杭州市东新路 388 号 310004)

**摘要:** 自 2006 年陕西渭化 28000 m<sup>3</sup>/h 空分设备成功应用于煤化工项目以来, 杭氧设计、制造的空分设备逐步形成了压力等级 4.5~9.7 MPa、满足煤化工工艺要求的 20000~60000 m<sup>3</sup>/h 不同等级氧气产量系列; 为满足煤化工对产品氮纯度和不含氩或少含氩的特殊要求, 杭氧形成了为大型煤化工项目配套空分设备的技术系列和设计准则。通过对典型煤化工型空分设备的论述, 总结和阐述杭氧煤化工型空分设备的技术水平和发展方向。

**关键词:** 大型空分设备; 煤化工; 应用; 技术现状; 发展方向

**中图分类号:** TB657.7 **文献标识码:** B

## Application practice of Hangyang large-sized coal-chemical air separation plant

Zhou Zhiyong, Lu Jie, He Hui, Zhai Hui

(Designing Institute, Hangzhou Hangyang Co., Ltd., 388 Dongxin Road, Hangzhou 310004, Zhejiang, P. R. China)

**Abstract:** After successful use of 28000 m<sup>3</sup>/h air separation plant of Weihe Coal Chemical Group in coal chemical project in 2006, Hangyang gradually designed and manufactured coal chemical-purpose air separation plants which have pressure range of 4.5 MPa to 9.7 MPa and oxygen output range 20000~60000 m<sup>3</sup>/h. In order to meet the special requirement of coal chemical on product nitrogen purity with less or no argon, Hangyang establishes technical series and design guidelines of air separation plant necessary for large-sized coal chemical projects. Here, typical coal-chemical air separation plant is described, and the technical level and development direction of Hangyang coal-chemical air separation plant are summarized.

**Keywords:** Large-sized air separation plant; Coal chemical; Application; Technical state; Development direction

目前, 国内不少以石脑油和重油为原料的企业均在采用以粉煤为原料或以水煤浆为原料的装置改造, 以降低化肥生产成本。新兴煤化工企业的煤气化装置均采用纯氧或富氧气化工艺, 因此获得稳定、可靠、廉价的氧气或富氧空气是重要的环节。在大规模制取氧、氮产品, 尤其是高纯度产品方面, 深冷法具有其他空气分离方法无法取代的竞争优势。因此, 大型空分设备近年来依托煤化工行业

的蓬勃发展也获得了发展机会。

杭氧自 2003 年与陕西渭化签订 28000 m<sup>3</sup>/h 内压缩流程空分设备合同以来, 先后承担了兖州鲁化 30000 m<sup>3</sup>/h、镇海炼化 35000 m<sup>3</sup>/h、咸阳化工 43000 m<sup>3</sup>/h (2 套)、齐鲁石化 45000 m<sup>3</sup>/h、中石化湖北化肥和安庆分公司 48000 m<sup>3</sup>/h、灵谷化工 50000 m<sup>3</sup>/h、中原大化 52000 m<sup>3</sup>/h、大唐国际多伦 58000 m<sup>3</sup>/h (3 套)、神华包头 60000 m<sup>3</sup>/h (4 套)

收稿日期: 2010-08-13

作者简介: 周智勇, 男, 1962 年生, 教授级高级工程师, 1982 年毕业于浙江工业大学, 现为杭氧国家级企业技术中心副主任兼设计院院长。

等 45 套大型煤化工型空分设备的设计与制造, 为杭氧设计、制造特大型空分设备积累了宝贵经验, 进一步提升了我国空分设备的设计、制造水平, 使大型空分设备的国产化之路越走越宽。

## 1 典型大型煤化工型空分设备

### 1.1 陕西渭化 28000 m<sup>3</sup>/h 空分设备

陕西渭化 28000 m<sup>3</sup>/h 空分设备是 20 万 t/a 甲醇项目的配套设备, 由杭氧设计成套。空分设备于 2004 年开工建设, 2006 年 5 月顺利生产出合格氧、氮产品, 2006 年 11 月生产出合格氩气产品。空分设备采用分子筛吸附净化、增压透平膨胀机制冷、高效填料精馏及液氧泵内压缩工艺流程。

原料空压机与空气增压机采用汽轮机“一拖二”的形式, 布置紧凑, 占地面积小。因为该套空分设备是为生产甲醇产品服务, 后续工艺只用到 0.5 MPa 的低压氮, 所以采用增压空气流程。上塔操作压力低、操作弹性大, 使空分设备的氧提取率进一步提高, 精馏塔的氧提取率达到 99.5%, 整套空分设备的氧提取率可达到 88%。

### 1.2 镇海炼化 35000 m<sup>3</sup>/h 空分设备

镇海炼化 35000 m<sup>3</sup>/h 空分设备是镇海炼化 100 万 t/a 乙烯工程的主要配套公用工程装置, 主要向该工程 65 万 t/a 乙二醇装置提供原料氧气, 并向乙烯工程各装置和炼油装置提供高、低压氮

气。空分设备采用空气循环和液氧、液氮内压缩流程, 即采用空气增压机+中压液氧泵+高压液氮泵, 并通过换热器系统的合理组织取代中压氧压机、高压氮压机, 因而无高温气氧, 火险隐患小。首次采用液氧先进入贮槽, 再通过液氧泵加压返回冷箱复热的流程。此流程具有以下优点: 一是将工艺液氧泵与备用泵合二为一, 节省了一台液氧泵; 二是避免了乙二醇装置因空分设备停车而停车, 加速主冷积液和缩短产品调纯时间; 三是主冷液位不受负荷影响而大幅度波动; 四是产品液氧在高压下蒸发, 使烃类物质积累的可能性大大降低。

镇海炼化 35000 m<sup>3</sup>/h 空分设备已于 2010 年 8 月 13 日通过性能考核, 氧、氮产量、纯度、压力等主要指标均达到了合同规定值。

### 1.3 齐鲁石化 45000 m<sup>3</sup>/h 空分设备

齐鲁石化 45000 m<sup>3</sup>/h 空分设备的建设旨在满足齐鲁石化新建煤气化项目的需求, 提供大约 45000 m<sup>3</sup>/h 的氧气和 30000 m<sup>3</sup>/h 的氮气, 用于生产 33 万 t/a 丁醇和辛醇。2006 年 7 月 24 日桩基工程开始施工, 2008 年 5 月 20 日空分设备冷箱内管道试压完成, 7 月 15 日空分设备主装置中交。7 月 17 日空压机组开始试车, 2008 年 10 月底完成整套空分设备试车, 48 小时产品产量、质量达到设计值。齐鲁石化 45000 m<sup>3</sup>/h 空分设备的设计参数见表 1。

表 1 齐鲁石化 45000 m<sup>3</sup>/h 空分设备设计参数

产品	产量/(m <sup>3</sup> /h)	纯度	压力/MPa	温度/℃	备注
高压氧气	42000	≥99.6% O <sub>2</sub>	8.5	37.5	液氧泵内压缩
中压氧气 (1)	153	≥99.6% O <sub>2</sub>	2.85	37.5	气氧节流
中压氧气 (2)	3000	≥99.6% O <sub>2</sub>	1.3	37.5	高压液氧节流汽化
超高压氮气	386	≤5×10 <sup>-6</sup> O <sub>2</sub>	16.0	15	后备系统汽化
超高压氮气	550	≤5×10 <sup>-6</sup> O <sub>2</sub>	16.0	15	后备系统汽化
中压氮气	25000	≤5×10 <sup>-6</sup> O <sub>2</sub>	1.3	40	中压氮压机
低压氮气	5000	≤5×10 <sup>-6</sup> O <sub>2</sub>	0.405	23	下塔顶部

空分设备空气预冷系统、分子筛纯化系统、精馏塔系统等由杭氧设计制造, 原料空压机和空气增压机为沈鼓和西门子合作生产的产品; 膨胀机和低温液体泵采用进口产品。

齐鲁石化 45000 m<sup>3</sup>/h 空分设备于 2008 年 12 月 19 日进行了 48 小时的装置性能测试, 产品氧、

氮气和液氩产量均达到设计要求, 产品纯度合格, 并且整套装置操控性能良好, 安全可靠, 达到了国内领先水平。特别是增设了 3 只共 120 m<sup>3</sup> 的高压氧气缓冲罐, 工艺液氧泵与备用泵采用惰转互备的方式, 实现了在运行泵发生故障时, 备用泵在 10 秒内达到设定压力; 空分设备因故障停车时, 液体

后备系统液氧泵在 60 秒内加载到工作转速, 对整个高压氧气管网的压力和流量稳定起到了积极的作用, 减少了气化炉的跳车几率, 确保了空分设备及其下游装置的安全稳定运行, 对其他同类装置有很好的借鉴作用。

#### 1.4 中石化安庆分公司 48000 m<sup>3</sup>/h 空分设备

中石化安庆分公司 48000 m<sup>3</sup>/h 空分设备是配套化肥油改煤工程气化装置的首套国产化氮气循环内压缩流程空分设备, 氮气循环压缩机既是循环压缩机也是氮气产品压缩机, 可有效节省投资费用。

空分设备主要部机全部国产化。空气预冷系统、分子筛纯化系统、精馏塔系统等由杭氧设计制造, 空气/氮气增压机组采用汽轮机“一拖二”形式, 由沈阳透平机械股份有限公司总承包, 汽轮机由杭州汽轮机股份有限公司配套。

中石化安庆分公司 48000 m<sup>3</sup>/h 空分设备自 2006 年 6 月底投运以来, 经过几次试车及试车后的整改完善, 空分设备整体运行平稳, 但开始时存在氧气产量偏低、氮气纯度达不到指标要求等问题。针对存在的主要问题, 杭氧全力以赴进行了整改, 最终查出了问题的根源, 使空分设备各项产品指标基本达到设计要求, 尤其是整改后氮气中氧含量低于  $1 \times 10^{-6}$  (远优于设计指标)。杭氧通过对中石化安庆分公司 48000 m<sup>3</sup>/h 空分设备的整改, 从不同角度查出了原设计中存在的问题, 并采取有效措施加以解决, 为以后煤化工项目配套的大型空分设备安全、稳定运行打下了基础。

#### 1.5 灵谷化工 50000 m<sup>3</sup>/h 空分设备

灵谷化工 50000 m<sup>3</sup>/h 空分设备是大化肥工程——年产 45 万 t 合成氨、80 万 t 尿素项目的配套装置, 于 2007 年底动工, 2008 年底施工结束, 2009 年 3 月 7—15 日空压机组试车, 空分设备吹扫裸冷。2009 年 4 月 28 日—5 月 7 日, 空分设备开车调试, 并生产出合格的氧、氮产品。2009 年 6 月 5 日, 为配合整套大化肥装置开车再次启动空分设备, 产品氧、氮纯度经调试均达到设计指标, 产品液氩也顺利调试成功。

空分设备采用分子筛吸附净化、空气增压、中压增压透平膨胀机制冷、膨胀空气进下塔、规整填料上塔、全精馏无氢制氩、氧内压缩流程。灵谷化工 50000 m<sup>3</sup>/h 空分设备设计参数见表 2。

表 2 灵谷化工 50000 m<sup>3</sup>/h 空分设备设计参数

产品	产量 / (m <sup>3</sup> /h)	纯度	压力 / MPa	温度 / °C	备注
氧气	50000	99.6% O <sub>2</sub>	6.4	~ 36	内压缩
液氧	400	99.6% O <sub>2</sub>	进贮罐	—	—
液氮	400	≤5 × 10 <sup>-6</sup> O <sub>2</sub>	进贮罐	—	—
氮气(1)	42000	≤5 × 10 <sup>-6</sup> O <sub>2</sub>	0.006	~ 21	外压缩
氮气(2)	10000	≤5 × 10 <sup>-6</sup> O <sub>2</sub>	0.4	~ 21	—
液氩	1750	≤2 × 10 <sup>-6</sup> O <sub>2</sub> ≤3 × 10 <sup>-6</sup> N <sub>2</sub>	进贮罐	—	—

灵谷化工 50000 m<sup>3</sup>/h 空分设备投产后运行稳定, 各主要指标均满足设计要求。空气预冷系统空冷塔出口空气温度达到 15 °C, 空冷塔出口空气温度与冷冻水温度的温差小于 1 °C, 空冷塔内水和空气的换热效果良好; 分子筛吸附器出口空气中二氧化碳含量小于  $1 \times 10^{-6}$ ; 低压板式换热器的热端温差小于 2 °C, 高压板式换热器的温差在 7 °C 左右; 上塔阻力 5.3 kPa 左右, 下塔阻力 24.3 kPa 左右; 氧气纯度达到 99.9%, 氮气中氧含量小于  $5 \times 10^{-6}$ , 制氩系统运行稳定。

#### 1.6 大唐国际多伦 58000 m<sup>3</sup>/h 空分设备

大唐国际多伦 58000 m<sup>3</sup>/h 空分设备是首套国产化 60000 m<sup>3</sup>/h 等级内压缩流程空分设备, 2009 年 7 月 27 日开启空压机, 28 日凌晨开启膨胀机, 31 日 58000 m<sup>3</sup>/h 空分设备顺利生产出合格的产品氧气、氮气, 各项指标均满足要求 (氧气纯度 99.9%, 氮气纯度达到 99.9986%), 并于 8 月 1 日成功达到产量要求, 各项技术性能指标均达到或超过设计值 (见表 3)。

表 3 大唐国际多伦 58000 m<sup>3</sup>/h 空分设备设计参数

产品	产量 / (m <sup>3</sup> /h)	纯度	压力 / MPa	备注
氧气	58000	99.6% O <sub>2</sub>	4.7	内压缩
氮气(1)	71000	≤10 × 10 <sup>-6</sup> O <sub>2</sub>	0.5	下塔抽取压力氮, 再由氮压机增压得到
氮气(2)	6500	≤10 × 10 <sup>-6</sup> O <sub>2</sub>	8.2	内压缩
液氮	160	≤10 × 10 <sup>-6</sup> O <sub>2</sub>	进贮罐	—
工厂空气	30000	常压露点-40 °C	~ 0.5	分子筛纯化系统后抽取

大唐国际多伦 58000 m<sup>3</sup>/h 内压缩流程空分设备由杭氧自行研发、自主设计制造, 采用了多项国际先进的内压缩空分流程技术。该空分设备的研发

成功, 填补了国内空分行业的一项空白, 在我国空分行业发展史上具有里程碑意义。58000 m<sup>3</sup>/h 空分设备一次开车成功, 标志着杭氧已全面掌握了 60000 m<sup>3</sup>/h 等级大型空分设备的设计、制造和成套技术, 我国大型空分设备的国产化技术又迈上了一个新的台阶, 并取得了重大突破性进展。

大唐国际多伦 58000 m<sup>3</sup>/h 空分设备已于 2009 年通过了用户考核和中国机械工业气体分离与液化设备测试中心的性能测试, 各项指标达到了合同规定值。

## 2 成套技术和发展水平

大型煤化工装置所需的氧气纯度高、压力大且使用量大, 这也决定了为其配套的空分设备规模及产品规格。例如规模为 60 万 t/a 的甲醇装置, 要求使用的氧气纯度为 99.6%, 压力为 8.5 MPa, 氧气的需要量为 86000 m<sup>3</sup>/h。另外, 煤化工项目也具有化工项目的特点, 即高温、高压, 这决定了煤化工装置要具有高可靠性和安全性, 同样要求与之配套的空分设备也必须具有高可靠性和安全性。

大型、特大型空分设备作为重大技术装备, 其设计制造水平能综合反映一个国家的工业实力。进口一套大型或特大型成套空分设备需要几亿元, 如果国产化, 就可以节省约 30% 的费用。为实现特大型空分设备的国产化, 打破国外企业在特大型空分设备制造领域的垄断, 杭氧通过对引进技术的消化、吸收, 适时跟踪世界空分行业前沿技术, 自主研发顶尖空分流程, 不断更新改造配套部机, 已系统地掌握了大型和特大型空分设备的流程设计计算技术、单元设备设计、计算及制造技术和大型空分设备的成套集成技术。

### 2.1 流程形式多样化, 进行针对性优化设计

以前, 杭氧设计制造的空分设备流程形式比较单一, 即主要以外压缩流程为主导, 而现在已趋多样化, 根据用户的要求进行流程的优化设计。针对用户所需气体产品和液体产品特点以及投资情况进行方案比较, 确定最佳的流程形式, 然后对流程中各点参数进行优化和部机初步设计, 保证空分设备设计性能指标的先进性。

煤化工行业对氧、氮产品的压力要求一般在 4.0~10.0 MPa 之间, 其所需空分设备规模也多数

在 30000 m<sup>3</sup>/h 等级以上, 对空分设备各种产品的要求繁多, 往往会同时要求生产不同流量、多种压力等级的氧气和氮气。因此, 对于煤化工行业的用户来讲, 采用内压缩流程空分设备是较好的选择。

针对不同的氧产品压力等级和不同氮产品及压力, 杭氧共开发出了 8 种不同内压缩流程:

(1) 氧气压力为 4.5~5.2 MPa 的中压氧空分设备有 3 种流程: ①中原大化 52000 m<sup>3</sup>/h 空气增压内压缩膨胀空气进下塔流程; ②中石化 48000 m<sup>3</sup>/h 氮气循环内压缩流程; ③大唐国际多伦 58000 m<sup>3</sup>/h 空气增压双泵内压缩流程。

(2) 氧气压力为 8.5~9.8 MPa 的高压氧空分设备有 5 种流程: ①浩良河化肥 18000 m<sup>3</sup>/h 内压缩膨胀空气进上塔流程; ②陕西渭化 28000 m<sup>3</sup>/h 空气增压内压缩膨胀空气进下塔流程; ③乌鲁木齐石化 20000 m<sup>3</sup>/h 氮气循环内压缩流程; ④德州华鲁恒升 48000 m<sup>3</sup>/h 空气增压内压缩膨胀空气进下塔流程; ⑤齐鲁石化 45000 m<sup>3</sup>/h 内压缩膨胀空气进下塔流程。

杭氧设计制造的氧内压缩流程空分设备, 最高氧气压力为 9.8 MPa, 即乌鲁木齐石化 20000 m<sup>3</sup>/h 氮气循环内压缩流程空分设备; 最大规模是出口伊朗的 60000 m<sup>3</sup>/h、大唐国际多伦 58000 m<sup>3</sup>/h、神华包头 60000 m<sup>3</sup>/h 等内压缩流程空分设备和上海宝钢 60000 m<sup>3</sup>/h 氧气自增压流程空分设备。

### 2.2 关键静态设备的设计制造技术

自 20 世纪 90 年代杭氧成功开发采用规整填料塔和全精馏无氢制氩技术的新一代空分设备以来, 精馏塔技术在不断完善和提高之中。针对单机容量越来越大的空分设备, 即使采用规整填料塔以后, 上塔的直径也会超过运输条件规定的尺寸, 因此, 苏尔寿公司开发出了 Mellapak Plus 填料。这种新型填料的应用, 可以比采用常规规整填料更有效地缩小塔径, 将 60000 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备的规整填料上塔尺寸控制在允许的运输条件范围内。但在实际应用中却发现了一些问题, 由于塔径缩小, 上塔阻力有所提高。空分设备的下塔, 由于减小下塔阻力不像减小上塔阻力对降低能耗那样有效, 且在精馏压力较高的情况下, 规整填料塔的优势不明显, 因此一般采用筛板塔; 随着塔径的增大, 有双溢流筛板塔和四溢流筛板塔可供选择。目前, 有些用户要求空分设备进行半负荷运行, 如果筛板塔要满足这

个要求,那么在正常工况下(即100%设计工况下),下塔的阻力会偏大,对降低能耗不利,所以有些空分设备项目也会采用规整填料下塔。相对于筛板塔而言,规整填料下塔投资成本会提高不少,同时下塔的高度也会增加,会给主塔的总体布置增加一定的难度。

杭氧与西安交通大学合作,成功开发出双沸腾主冷凝器,解决了30000~40000 m<sup>3</sup>/h等级空分设备主冷凝器的运输问题,同时也提高了主冷凝器的换热效果,降低了空分设备的能耗。但随着空分设备规模的不断扩大和用户对能耗要求的提高,即使采用了双沸腾主冷凝器也解决不了运输条件限制的问题,直径扩大受限,而增加主冷凝器高度又给总体布置带来困难,所以杭氧最近开发出了卧式主冷凝器和卧式双沸腾主冷凝器,有效地解决了主冷凝器由于直径过大而不能运输的问题。但同时也出现了新的情况,主冷凝器在冷箱内的安装难度加大,主冷凝器与上塔连接的管道比较复杂。卧式主冷凝器已在包钢40000 m<sup>3</sup>/h、湘钢梅塞尔40000 m<sup>3</sup>/h等外压缩流程空分设备上成功应用,同时也在大唐国际多伦58000 m<sup>3</sup>/h、齐鲁石化42000 m<sup>3</sup>/h、宝钢60000 m<sup>3</sup>/h、神华包头60000 m<sup>3</sup>/h等空分设备的设计和制造中得到了应用。

铝制设备由于铝合金材料的特殊性,按照《压力容器安全技术监察规程》规定,其设计压力应≤8.0 MPa。目前为煤化工配套的内压缩流程空分设备的氧气和氮气压力最高已达9.7 MPa,过去一般只能采用铜制绕管式换热器。但这种换热器体积大,换热效果差,热端温差大,使空分设备的能耗增加。目前,在氧气和氮气压力为8~10 MPa的内压缩流程空分设备中,已成功地用铝制板翅式换热器代替铜制绕管式换热器,使冷箱体积缩小,热端温差缩小,降低了能耗。

### 2.3 关键转动机械的解决方案

特大型空分设备配套的转动机械主要有原料空压机、增压空气(氮气)循环压缩机、透平膨胀机组和低温液体泵,这些关键转动机械的性能好坏直接影响成套空分设备的能耗和运行的可靠性。

原料空压机的作用是为装置提供带压气源,增压空气(氮气)循环压缩机的作用是为装置提供膨胀及高压氧(氮)汽化气源。目前有3种选择方案:一是进口,这样性能得到保证,效率高,技术

成熟,但投资成本高;二是国产,在保证性能的同时,可以大大降低投资成本;三是合作生产,即由国外供货商进行性能计算和性能保证,并提供转子等关键零部件,其他的辅机如机壳、冷却器在国内制造,这样在保证性能的同时又可降低投资成本。

中压透平膨胀机一般采用以下3种模式:一是进口一台主机,离线备用机芯总成,辅机如冷却器、过滤器等由杭氧配套;二是一台主机进口,一台由杭氧制造,杭钢20000 m<sup>3</sup>/h空分设备和德州华鲁恒升48000 m<sup>3</sup>/h空分设备就采用了这种模式;三是都采用杭氧制造的中压透平膨胀机,如陕西渭化28000 m<sup>3</sup>/h空分设备。

低温液体泵,目前一般都采用进口,性能先进可靠,且这部分增加的成本所占比例很小。

### 2.4 工程项目服务方式一体化

我国空分行业由于受传统的习惯方式影响,空分设备制造商仅对空分设备的主体设备进行设计、制造、供货,把工厂布置、主要设备的连接交给了工程设计院。事实上,对整个空分设备的工艺流程,对工艺管线的设计要求最熟悉的还是空分设备供货商的技术人员。所以,空分设备供货商的技术人员不仅要设计空分设备主体,还要参与从项目的规划和整体构思开始,直到项目具体实施和投产的整个过程。

目前,空分设备供货商可以做的主要工作有:一是前期准备工作,根据用户用气的情况,确定气体产品的产量、压力,共同探讨设备的配置方案;二是空分设备单元包的设计,就是将空分设备分成机器、空气预冷系统、分子筛纯化系统、精馏塔系统和产品贮存系统等多个单元包,在相对独立的单元包内完成工艺管道和设备的设计和布置;三是提出成套空分设备平面布置图场地和厂房大小的建议,以合理布置空分设备以及辅助设备,特别是管道的走向将影响到空分设备气体的阻力损失,同时对装置的能耗产生影响。空分设备供货商已在工厂设计和单元包设计方面做了一些工作,这对整个空分设备项目的建设是非常有益的尝试。

### 3 大型煤化工型空分设备的发展方向

现代煤化工装置规模越来越大,国家对煤化工装置的规模也设立了准入门槛。装置的大型化必然带来氧气需要量的增大,一套现代煤化工装置动辄每小时需要氧气数十万立方米。为了降低投资成

本、节约占地面积,提高装置运行的可靠性,减少维护(修)工作量,空分设备必须尽量大型化,以减少设备的套(台)数。由于煤化工装置大都建在西北等内陆地区,设备的大型化还要考虑运输条件的限制,希望空分设备及相关设备制造企业能通过优化方案、采用新技术,尽量减小设备的外形尺寸,当然也可以考虑现场组装来解决部分设备的运输难题。

在空分设备向大型化发展的同时,在保证最大收益的前提下,努力降低能耗也是空分技术发展的主要方向。空分设备节能降耗要求关键核心部机的效率进一步提高。

### 3.1 规整填料下塔逐步得到应用

目前,筛板下塔的阻力一般为16~20 kPa,如采用规整填料塔,下塔阻力一般为4~5 kPa,这样可以减小阻力11~15 kPa,相当于减小空压机背压11~15 kPa。据初步估算,20000 m<sup>3</sup>/h等级空分设备每小时可节约电功率75~100 kW,按每年8000小时运行时间和0.5元/(kW·h)电价计算,每年可节约电费30万~40万元。可见,将下塔由筛板塔改成规整填料塔而增加的成本4~5年就能收回。还应开发效率更高和更适应在0.4~0.5 MPa压力等级下有效精馏的规整填料,以降低规整填料下塔的高度。

### 3.2 开发三层、四层等多层浴式主冷凝器

膜式主冷由于没有液位,其温差极低,但膜式主冷的安全性目前还无法得到有效的保证。开发三层、四层甚至更多层的主冷,使主冷蒸发侧液氧柱的高度降低,从而缩小主冷温差以达到节能的目的,是杭氧今后一个时期的研究方向。

### 3.3 用液体膨胀机代替传统的高压节流阀

在大型内压缩流程空分设备中,有一股出高压板翅式换热器冷端的高压液空,这股液空需要被送入下塔参与精馏。传统的做法是将这股高压液空通过一个节流阀,液空被节流到下塔压力后再进入塔内,现在用液体膨胀机代替高压液空节流阀。用液体膨胀机代替传统的节流阀具有两大优势:

(1) 利用液体膨胀机制冷和膨胀功发电达到节能目的。根据流程模拟和国外的相关报道,不同的流程形式采用液体膨胀机比采用传统的高压节流阀节能约2%~3%。

(2) 全液体膨胀机在膨胀过程中,膨胀后液体

焓值会降低,采用液体膨胀机膨胀与高压液体节流相比,膨胀后的气体温度更低,汽化率更小,也有利于下塔的精馏,提高装置的氧提取率。

### 3.4 高压低温离心液体泵国产化

煤化工型空分设备最大的特点就是采用高压低温离心液体泵提高产品的压力。必须承认,我国在高压低温离心液体泵的研发、设计和制造能力与国际先进水平相比确实差距很大。目前,煤化工型空分设备上配套的高压液氧泵和高压液氮泵均为进口产品,价格非常高。

### 3.5 自动变负荷技术在空分设备中推广应用

自动变负荷(ALC)系统是建立在DCS控制系统之上的一套上位机系统,是以建立流程数学模型为基础,以先进控制算法为手段来对设备进行自动控制和参数优化的专家控制系统。

由于在一些空分设备用户中,存在着用氧不均衡的状况,而空分设备生产必须连续运行,因此就造成了用户用氧量减小时大量氧气被放空,造成能源的巨大浪费,特别是随着空分设备超大型化,空分设备的设计能力与供氧量之间的矛盾更为突出。同时随着市场竞争日益加剧,企业对成本的控制越来越严,降低氧气放散率成为降低制氧成本的关键。而自动变负荷系统能够满足用户在75%~105%负荷之间的各个用氧量的要求,同时也降低了氧气放散率,从而使企业效益得到显著提高。用户对自动变负荷技术的需求会提高,该项技术将会被推广应用。

## 4 结束语

我国在大型煤化工型空分设备设计、制造和成套上已经取得了一定的成绩,特别是成套能力的进步非常明显。但是必须看到,我国自主开发能力还比较薄弱。从目前应用的各项技术来看,重大技术的应用和突破都是由国外公司完成的,一些关键设备主要还是依赖进口,90000 m<sup>3</sup>/h等级以上的空分设备还没有成套业绩。目前,大型煤化工型空分设备完全国产化存在的主要问题是缺乏关键设备的核心技术,国内用户对国产单元设备缺乏信心。所以,为了中国空分行业的未来,空分设备制造企业应该承担起更大的责任,进一步加大对空分设备的研发投入,开发适应现代煤化工新工艺和新技术的空分设备,与国内用户一起,共同推动大型煤化工型空分设备的国产化。□