

# 80000 m<sup>3</sup>/h 等级以上特大型煤化工空分设备国产化可行性研究

毛绍融, 周智勇, 卢杰, 吕挺锋, 韩一松  
(杭州杭氧股份有限公司, 浙江省杭州市东新路 388 号 310004)

**摘要:** 介绍了杭氧设计、制造 80000 m<sup>3</sup>/h 等级以上特大型煤化工空分设备的技术现状和能力, 研究分析了 80000 m<sup>3</sup>/h 等级以上特大型空分设备实现国产化的可行性, 指出杭氧已具备 80000 m<sup>3</sup>/h 等级特大型空分设备的设计、制造能力。

**关键词:** 特大型空分设备; 技术现状; 制造能力; 国产化; 可行性分析

**中图分类号:** TB657.7      **文献标识码:** A

## Feasibility study on localization of over 80000 m<sup>3</sup>/h grade extra large-sized coal chemical air separation plant

Mao Shaorong, Zhou Zhiyong, Lu Jie, Lv Tingfeng, Han Yisong  
(Hangzhou Hangyang Co., Ltd., 388 Dongxin Road, Hangzhou 310004, Zhejiang, P. R. China)

**Abstract:** The technical state and capacity of over 80000 m<sup>3</sup>/h grade extra large-sized coal chemical air separation plant designed and manufactured by Hangyang is briefed, and the feasibility of localization of over 80000 m<sup>3</sup>/h grade extra large-sized air separation plant is studied and analyzed. It points out that Hangyang has the capacity to design and manufacture over 80000 m<sup>3</sup>/h grade extra large-sized air separation plant.

**Keywords:** Extra large-sized air separation plant; Technical state; Manufacture capacity; Localization; Feasibility analysis

### 1 背景

我国人口众多、资源丰富, 但一直是富煤、少气、贫油的国家。自 20 世纪 90 年代起, 我国石油需求量以每年千万吨的速度递增, 我国石油产量已经不能满足经济建设增长的需求量, 不得不靠进口来弥补, 我国的能源安全受到极大的挑战。而我国拥有丰富的煤炭资源, 在国家考虑能源安全的大背景下, 只有发展煤化工, 如煤制油 (CTL)、煤制

烯烃 (MTO、MTP)、煤制醇醚燃料、煤制天然气以及煤制乙二醇等诸多石油化工产品, 以替代石油和天然气的石油化工产品。因此, 煤化工产业在今后相当长的时期内必将成为我国国民经济持续发展的主要产业。煤化工产业无论生产上述五大类替代产品中的哪一类, 都必须通过煤气化来实现, 煤气化是煤化工产业中的龙头技术。

煤气化的耗氧量为 300~400 m<sup>3</sup>/km<sup>3</sup> (CO+

收稿日期: 2010-08-13

作者简介: 毛绍融, 男, 1963 年生, 教授级高级工程师, 国家特殊津贴享受者 (工程技术), 1985 年毕业于西安交通大学低温工程专业, 获工学硕士学位, 现为杭州杭氧股份有限公司总经理。

H<sub>2</sub>), 即一个年产 60 万 t 的烯烃 (MTO) 项目需要配套 20 万 m<sup>3</sup>/h 制氧能力的空分设备, 年产 50 万 t 的煤制油 (间接合成油) 项目需要配套 16 万 m<sup>3</sup>/h 制氧能力的空分设备。

我国 2015 年初步规划的煤化工项目产品约为 1000 万 t 油品、1000 万 t 煤制烯烃, 则需要配套大型空分设备的制氧能力: 煤制油品约为每小时 (直接/间接) 100 万 m<sup>3</sup>/320 万 m<sup>3</sup>, 煤制烯烃高达 330 万 m<sup>3</sup>/h。单从上述两类产品估计, 到 2015 年, 煤化工所需大型空分设备的制氧能力就高达 600 万 m<sup>3</sup>/h 左右, 约需制氧能力为 60000 m<sup>3</sup>/h 的空分设备 100 套, 或制氧能力为 80000 m<sup>3</sup>/h 的空分设备 75 套。由此可见, 大型煤化工产业的发展给大型国产化空分设备产业带来巨大的市场空间。

随着我国大石化、大化肥、大型煤化工的不断发展, 我国已成为世界上建设空分设备项目最多、空分技术发展最活跃的国家。市场的需求, 推动了我国空分设备大型化技术的发展, 杭州杭氧股份有限公司 (简称: 杭氧) 作为国内空分行业的龙头企业, 经过“七五”到“十一五”这 20 多年的快速发展, 特别是最近 8 年, 走过了国外公司几十年才走完的历程, 杭氧人已把大型空分设备国产化的梦想变成了现实, 已经掌握了特大型空分设备的设计、制造、成套技术, 并已将其广泛应用于 40000~60000 m<sup>3</sup>/h 等级大型空分设备中, 得到了国内外用户的普遍认可。近年来, 杭氧已承接 30000~60000 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备共 86 套, 其中 46 套已一次投运成功。为适应大型煤化工、大型化肥和大型冶金项目的需要, 杭氧根据用户的需求, 开发了 20 多种空分设备工艺流程。为化工和化肥企业提供了 30000~60000 m<sup>3</sup>/h 空分设备 52 套, 如提供给陕西渭化、鲁南化肥、齐鲁石化、兖矿榆林、中石化湖北分公司、中石化安庆分公司、德州华鲁恒升、江苏灵谷化工、大唐国际多伦、神华包头、咸阳化工等的 26 套大型空分设备都已成功出氧, 多套空分设备正在调试和安装中; 为大型钢铁和冶炼企业提供了 30000~60000 m<sup>3</sup>/h 空分设备 34 套, 如提供给宝钢、日照钢铁、北台钢铁、包钢、承德钢铁、湘钢、天钢、马钢等的 20 套空分设备已成功投运并出氧。

宝钢 60000 m<sup>3</sup>/h、日照钢铁 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

9 套 60000 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备的开车成功, 使杭氧成为目前国际上第五家可以生产 60000 m<sup>3</sup>/h 等级大型空分设备的制造企业。国产化 60000 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备的开车成功, 结束了该等级空分设备完全依赖进口的历史, 说明我国已经完全掌握了 60000 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备的设计、制造技术, 我国空分设备的设计与制造技术已经跻身于世界空分设备技术强国的行列, 也显示了杭氧大型空分设备在深度和广度上参与国际竞争的能力和实力。同时, 多套 60000 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备的成功研制和投运, 也使杭氧积累了宝贵的特大型空分设备的研发实践经验, 为研制 80000 m<sup>3</sup>/h 等级以上空分设备打下了坚实的基础。

## 2 杭氧设计 80000 m<sup>3</sup>/h 等级以上特大型空分设备的技术分析

空分设备的先进性是由流程技术先进及成套设备先进、可靠决定的。

### 2.1 空分流程技术先进

#### 2.1.1 具有先进的设计手段, 空分流程计算准确

在流程设计计算方面, 杭氧不仅拥有美国 Aspen 公司的 HYSYS 热力性能计算软件, 还完成了二次开发; 同时, 自行开发了可用于各种流程热力计算和精馏计算的通用计算平台, 流程计算效率和精度已达到国际先进水平。

(1) 在精馏计算方面, 杭氧拥有国际先进的精馏计算软件, 同时针对目前采用规整填料塔及全精馏无氢制氩流程的特点, 自行开发了适用于该流程的精馏计算模块, 可以实现主塔与氩塔的集成计算。此外, 还自行开发了精馏塔水力学计算程序。

(2) 在空气预冷系统和分子筛纯化系统方面, 拥有专用的性能和结构计算软件。

(3) 在换热器计算方面, 拥有美国 S-W 公司板翅式换热器性能及结构计算程序, 同时自行开发了多个专用程序。

(4) 在透平机械设计方面, 杭氧拥有 NREC 软件, 可用于离心压缩机、透平膨胀机的叶轮设计, 同时该软件可自动生成加工指令。

(5) 在强度计算方面, 杭氧拥有 ANSYS 和 MSC/NASTRAN 应力分析、计算软件。

空分设备流程设计计算技术是成套空分设备成败的关键, 杭氧采用自行开发的空分流程设计计算软件包, 计算效率与精度已达到国际先进水平。近

10年来,用这些软件设计的空分设备具有100%的开车成功率,同时得到了国外公司的认可。

### 2.1.2 流程的优化设计决定空分设备的先进性

杭氧一向重视流程的优化设计工作,针对用户所需产品产量、液体特点和单位产品能耗以及投资情况进行多方案比较,确定最佳的流程形式。在流程确定后,对流程中各点参数进行优化,保证空分设备的先进性。

### 2.1.3 拥有一支经验丰富、技术优秀的设计队伍

通过与众多国外公司的长期技术合作、技术培训和自主开发设计等,杭氧已拥有一支经验丰富、技术水平很高的开发设计队伍,他们高质量的工作是空分设备成功运行的保证。

### 2.1.4 具有广泛的成功运行业绩和经验

杭氧每年生产40~45套大中型空分设备,具有优秀的成功运行业绩和丰富的经验。近年来,杭氧开发的采用规整填料塔和全精馏无氢制氮技术的新一代大中型空分设备,均一次投入正常运行并通过性能考核。

到目前为止,杭氧已签订了55套40000 m<sup>3</sup>/h等级以上大型空分设备,其中60000 m<sup>3</sup>/h等级以上特大型空分设备14套,这些都说明了杭氧对特大型空分设备的研制开发已获得成功。

## 2.2 大型空分设备成套部机先进、可靠

关注国外成套部机技术发展,把国外先进技术应用到国内大中型空分设备中,在流程组织时选用国外先进的转动机械,提高空分设备整体可靠性及先进性。

### 2.2.1 关键静态核心设备的设计制造

通过大型空分设备单元设备研制攻关,杭氧在关键静态核心设备大型化方面已取得了世人瞩目的成绩,已制造出的最大单体设备:

- (1) 国内最大的低温精馏铝制塔器,直径为4800 mm,壁厚为35 mm;
- (2) 配套特大型空分设备的卧式主冷凝器已研制成功,并应用在产品中;
- (3) 低压主换热器最大钎接尺寸达到1200 mm × 1100 mm × 7500 mm;
- (4) 能处理41万 m<sup>3</sup>/h空气量的分子筛吸附器,尺寸为Φ4200 mm × 22000 mm;
- (5) 为80000 m<sup>3</sup>/h等级空分设备配套的节能型分子筛纯化系统蒸汽加热器;

(6) 能处理41万 m<sup>3</sup>/h空气量的空冷塔,尺寸为Φ4900 mm × 28000 mm。

杭氧大型化关键单元设备的开发成功,使国产化80000 m<sup>3</sup>/h等级以上空分设备得以实现。

### 2.2.2 关键转动机械选用性能可靠的进口或国产产品

杭氧的流程技术及在单元部机大型化上取得的业绩,是杭氧大型空分成套设备成功的关键。为提高空分设备的可靠性,选用国内外成熟、可靠的转动机械。

## 3 杭氧制造80000 m<sup>3</sup>/h等级以上特大型空分设备的装备水平和制造技术

为了使杭氧的制造能力得到进一步发展,满足8万~10万 m<sup>3</sup>/h甚至更高等级空分设备的加工制造需要,杭氧已在2009年6月整体搬迁至临安新厂区。新厂区具有年产大、中型空分设备100万~130万 m<sup>3</sup>/h制氧容量的能力,其中单套空分设备的制氧容量达8万~10万 m<sup>3</sup>/h。新厂区的下料能力、成形能力、装配能力以及检测能力等都得到了提升,是世界一流的空分设备制造基地。

### 3.1 组装能力

拥有跨度36 m、总长204 m的重型组装车间,2台最大起重能力为100t的行车,行车轨高16 m,满足了10万 m<sup>3</sup>/h等级空分设备大型容器和乙烯冷箱的组装要求。

### 3.2 下料能力

拥有最大切割厚度为120 mm的大型等离子切割机、大型数控等离子火焰切割机(60 mm)、大型剪板机(最大剪切范围8000 mm × 25 mm)、大型刨边机(最大工作范围16 m),满足10万 m<sup>3</sup>/h等级以上空分设备的下料要求。

### 3.3 成形设备

拥有旋压最大直径为8000 mm、壁厚为50 mm的特大型封头旋压机,大型卷板机(60 mm),1200t水压机和各种板翅式换热器翅片专用冲床等。

### 3.4 熔焊和钎接设备

拥有3台大型真空钎接炉,全年可钎接板翅式换热器3000t左右。新增国内最大的真空钎接炉,该钎接炉的真空系统配备了国际先进的扩散泵、罗茨泵等,控制系统配备了国际先进的Honeywell最新控制系统,最大钎接尺寸为1300 mm × 1800 mm

× 8000 mm (宽 × 高 × 长), 最大耐压等级为 10MPa (G, 下同)。新增一批自动化程度高的自动、半自动氩弧焊机, 同时配备大型横臂式焊接架 (HC- 8×5) 和相应的重型焊接滚轮架, 并对钎接工艺进行调整, 使杭氧在装备水平上完全满足正常生产 8 万~ 10 万 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备以及百万吨级乙烯冷箱等石化设备的需要。

### 3.5 金属切割机床

拥有从德国引进的大型数控龙门镗铣床和多规格卧式加工中心, 从瑞典、瑞士引进的五轴联动加工中心各 1 台等。

### 3.6 检测设备

建有国家级计量理化中心, 具有完备的检测手段和仪器。临安新厂区新增了美国热电 ARL3460 直读光谱仪、100 t 万能材料试验机、冲击试验机等材料分析试验设备和温度自动检验系统, 结合原有的日本岛津 AA-6650 原子吸收仪、蔡司三米/一米测长仪、万能工具显微镜、MARG 公司 PH100 齿轮测量仪等仪器设备, 使杭氧从材料的化学分析、力学性能测试、热工仪表的检定到量、器具精度的测量都达到了国内领先水平。此外, 新建 17.5 m × 34 m (宽 × 长) 和 14 m × 25.5 m (宽 × 长) 两间大型容器探伤室, 从德国进口的 ISOVOLT.TITAN450KVAX 射线探伤仪, 可对 110 mm 厚的钢板进行 X 射线探伤; 从德国进口的爱克发 NDT/U 自动洗片机, 每小时的出片量可达 200 张。先进检测设备的配置, 使杭氧生产的特大型空分设备的质量从原料到工艺再到成品每个环节得到了保证。

### 3.7 大型铝制容器制造技术

在拥有特大型加工制造设备的同时, 杭氧积极研发相应的生产工艺, 真正实现装备的生产力。在特大型铝制容器的制造方面, 目前已攻克了大厚度、高强度铝合金的焊接, 大直径、厚壁、高强度铝合金封头的成形, 大直径、厚壁、高强度铝合金扳边锥体成形, 大直径筛板精馏塔制造等四大制造技术难关, 并形成批量生产规模。特别是大直径、厚壁 5083 封头, 杭氧在满足自身空分设备配套需要的同时, 还向林德工程大连有限公司成批提供。在大型铝制精馏塔的制造中, 杭氧已积累了实践经验, 为成功制造 8 万~ 10 万 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备提供可靠的保证。

## 4 杭氧已完成设计、制造 80000 m<sup>3</sup>/h 等级以上特大型空分设备的技术储备

杭氧产品的推出一直以来秉承成熟一代、储备一代、开发一代的理念, 循序渐进, 稳步发展。在 60000 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备技术成熟后, 杭氧也完成了对 80000 m<sup>3</sup>/h 等级以上空分设备的技术储备。现在按系统分述杭氧 80000 m<sup>3</sup>/h 等级以上特大型空分设备的技术储备情况。

### 4.1 空气过滤器国内技术成熟

国外公司已配套由国内生产的为 80000 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备配套的空气过滤器, 设计、制造没有任何问题。

### 4.2 空压机系统已有完整的方案

空压机、增压机及其驱动汽轮机均采用进口产品, 根据不同的使用特点可以有 3 种配置方式: ①曼透平公司 160 机型, 160 机型的空气处理能力 43 万~ 66 万 m<sup>3</sup>/h (空压机吸入口状态), 折算成标准状态下为 36.3 万~ 53 万 m<sup>3</sup>/h; ②曼透平公司 140 机型+ 1 台小型压缩机; ③西门子公司/曼透平公司的轴流+ 离心方式的压缩机。

### 4.3 空气预冷系统中的空冷塔和水冷塔已完成单体论证

空气预冷系统中, 空冷塔和水冷塔均为全填料型。80000 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备空气预冷系统的处理空气量正常为 41.3 万 m<sup>3</sup>/h, 空冷塔直径 5.4 m、高 29 m, 水冷塔直径 5 m、高 30 m。此前杭氧已设计、制造出最大尺寸的同类设备, 并已配套应用于大唐国际多伦空分设备项目, 其最大处理空气量为 41 万 m<sup>3</sup>/h, 与 80000 m<sup>3</sup>/h 空分设备项目配套设备为同一型号。目前杭氧已拥有现场管理空冷塔和水冷塔加工的经验, 因而考虑现场加工。

### 4.4 分子筛吸附器已完成单体论证

分子筛吸附器采用卧式, 筒体材质为 Q345R, 正常处理空气量为 41.3 万 m<sup>3</sup>/h, 直径 4.8 m, 长 28.5 mm。此前, 杭氧已设计制造出最大尺寸的同类设备, 并已配套于大唐国际多伦空分设备项目, 最大处理空气量为 41 万 m<sup>3</sup>/h, 与 80000 m<sup>3</sup>/h 等级空分设备项目配套设备为同一型号。

### 4.5 精馏塔系统

精馏塔系统 (冷箱) 中主要单元设备为高、低压主换热器, 精馏塔, 主冷凝器和增效塔等。

(1) 低压主换热器有 10 台换热单元, 由杭氧

设计制造, 技术成熟, 质量可靠; 高压主换热器有 4 台换热单元, 采用杭氧或进口产品, 技术成熟, 质量可靠。

(2) 上、下塔均采用规整填料塔, 精馏效率高且调节性能好, 由瑞士苏尔寿公司设计, 采用 MellpakPlus 新型规整填料, 性能先进可靠。

(3) 主冷凝器采用卧式双层结构, 相同规模的设备已在多套特大型空分设备上配套使用。

(4) 增压透平膨胀机采用进口产品, 为欧洲或美国著名公司设计制造, 性能先进可靠。

(5) 低温液体泵, 为欧洲著名公司设计制造, 性能先进可靠。

由于  $80000 \text{ m}^3/\text{h}$  等级以上空分设备单元设备的规格都很大, 设计、制造时必须考虑运输问题。目前  $80000 \text{ m}^3/\text{h}$  空分设备项目的超大型单元设备尺寸见表 1。

表 1  $80000 \text{ m}^3/\text{h}$  空分设备的超大型单元设备尺寸

单元设备名称	数量/台	直径/m	高度(长度)/m	材质
空冷塔	1	5.4	29	Q345R
水冷塔	1	5	30	Q345R
分子筛吸附器	2	4.8	28.5	Q345R
下塔	1	4.7	26	LF4
上塔	1	4.8	41	LF4
主冷凝器	1	4.8	10	LF4

由于直径超大, 其中空冷塔、水冷塔需要现场加工, 杭氧已有一套现场加工质量控制体系, 以保证制造质量; 设计时将分子筛吸附器的直径控制在运输极限范围内, 按厂内制造考虑; 而冷箱内的下塔、上塔和主冷凝器的尺寸, 采用新技术后可以控制在运输上限尺寸以内。

在  $80000 \text{ m}^3/\text{h}$  等级空分设备配套的单元设备中, 杭氧已基本完成了大部分同型号产品的设计、

制造, 而且其中最核心的精馏塔由杭氧与瑞士苏尔寿公司共同设计, 因此, 杭氧已经完全具备设计、制造  $80000 \text{ m}^3/\text{h}$  等级以上空分设备的能力。

## 5 结束语

(1) 在研制特大型空分设备上, 杭氧已成功解决了关键设备的设计和制造技术问题, 为发展和推广  $80000 \text{ m}^3/\text{h}$  等级以上特大型空分设备提供了有效保障。杭氧非常希望能有机会将中国设计、制造特大型空分设备的能力和水平再推上一个新的台阶, 并继续为特大型空分设备的国产化不遗余力地奋斗, 为振兴我国民族工业贡献自己的力量。

(2) 实现  $80000 \text{ m}^3/\text{h}$  等级以上特大型空分设备国产化的关键, 是成套流程设计计算技术、各系统性能设计计算技术、单元设备的结构设计计算技术和关键部机的制造工艺和制造能力, 杭氧已成功掌握了  $40000\sim 60000 \text{ m}^3/\text{h}$  大型空分设备的设计技术和关键设备制造技术及工艺, 为设计、制造  $80000 \text{ m}^3/\text{h}$  等级以上特大型空分设备提供了有效保障。

(3) 从  $80000 \text{ m}^3/\text{h}$  等级以上特大型空分设备配套情况看, 杭氧已具备静态设备国产化的条件, 都可以自主设计、生产; 而转动机械, 如大流量空气压缩机、低温液体泵、透平膨胀机、关键阀门及仪表等采用进口产品, 这样的组合从性价比来看是最优方案, 既保证了装置的先进性, 又保证了装置的运行可靠性, 同时又具有较低的投资成本和运行成本。

(4)  $80000 \text{ m}^3/\text{h}$  等级以上特大型空分设备的国产化希望得到用户的继续支持, 杭氧将以实事求是的态度认真去解决所遇到的每个问题; 以严谨的设计、精良的制造、优质的服务, 提供让用户满意的特大型空分设备, 不辜负用户对杭氧的信任和支持。□