

《炼油设备》补充资料

炼油设备文集

石油工业部科学技术情报研究所
中国石油化工总公司石油化工规划院
机械工业部兰州石油机械研究所

合 编

机械工业部兰州石油机械研究所

1984

PDG

22746

炼油设备文集

石油工业部科学技术情报研究所
中国石油化工总公司石油化工研究院
机械工业部兰州石油机械研究所

合 编



200457870

机械工业部兰州石油机械研究所

1984 兰州

《炼油设备文集》

编辑组组成

编辑组成员：贾映澄 刘积文

程子棠 任书恒

曹 纬 孙晓明

责任编辑：曹 纬 孙晓明

出 版：苏同心

炼油设备文集

兰州石油机械研究所

(兰州市七里河区敦煌路167号)

兰州石油机械研究所印刷所印刷

787×1092毫米16开本 15印张 374,000字

定价：2.80元

前 言

本文集是石油工业国外技术水平调查资料《炼油设备》的补充和延伸，其目的在于给有关工程技术人员提供更直接、更具体的文献资料，以便在炼油设备的技术发展中借鉴或参考。

文集结合《炼油设备》各章节的内容，主要选择了近期国外期刊或资料中有关炼油设备的新技术（包括节能、深度加工和环保）、新产品、新工艺、新材料以及具有新观点和创见的文献，采取全译、摘译、节译和编译多种形式编辑出版。

文集亦针对国内科研与生产的实际，有针对性地选择了个别篇国外早年的专利文献，以期促进国内有关专业的发展。

文集可供炼油、化工、石油化工及其邻近专业的研究、设计、试验和使用方面的工程技术人员、工人和高等院校的师生参考。

由于编辑人员的业务水平有限，加之时间仓促，文集必定存在不少缺点，错误亦在所难免，恳望读者批评指正。

编 者

一九八四年七月

目 录

前 言

炼 油 装 置

- 国外催化裂化烟气能量回收机组技术进展……………杜道基 编译(1)
- 流化催化裂化中的烟气轮机动力回收系统……………杜道基 译 任书恒 校(37)
- 国外催化裂化装置特殊阀门使用情况……………杜道基 编译(46)
- 催化裂化滑阀维修问题的解决办法……………刘积文 译(50)
- 焦化工艺发展趋势和改革……………毕云龙 译(53)
- 太平洋机泵公司的水力除焦系统……………毕云龙 译(64)
- 美国石油学会对焦炭塔破裂实例的考察……………刘宗良 译 陈烈 校(72)
- 空气流化床内螺旋管的传热……………于 华 译(89)

单 元 设 备

- 八十年代加热炉新设计预测……………贾映萱 译(95)
- 关于减少加热炉中 NO_x 的研究……………刘积文 译(100)
- 新型加热炉抽力控制装置可降低燃料消耗和 NO_x 排放……………贾映萱 译(104)
- 加热炉节能……………刘积文 译(109)
- 节省费用的蒸馏……………孙晓明 编译(114)
- 垂直筛板塔板……………叶泳恒 编译(119)
- 新型并流浮阀塔盘……………曹 纬 译(125)
- 大型精馏与吸收塔的新型接触设备……………曹 纬 译(127)
- 流动诱导振动……………郭予伟 译 胡稚梅 校(129)
- 碳钢-水热管的研制及其应用……………胡华燃 编译(142)
- 关于提高空冷器传热性能的基础研究……………于 华 熊志立 译(152)

用自然通风空冷器节约能量	刘积文译 (163)
换热器的在线机械清扫	刘积文译 (176)
管子-管板的连接结构和制造限度对接头焊接的影响	胡华燃译 (180)
翅片管的开槽方法和设备	陈继龙译 任书恒校 (199)
液-液抽提设备的选择准则	关文超译 张明石校 (205)

材 料 与 制 造

2¼-1Mo极厚壁压力容器的制造	陈登丰译 (216)
制造中的新概念——造形焊接法	陈登丰译 (225)
堆焊层的质量保证和检查	陈登丰译 (228)

其 他

真空过滤机使用的助滤剂	关文超译 (231)
-------------------	------------

国外催化裂化烟气能量回收机组技术进展

提 要

本文叙述国外催化裂化装置(FCCU)上烟气轮机-主风机组的技术发展,并针对这一机组的某些特殊问题,如机组配置型式、主风机和烟气轮机的选型、辅助驱动机的选择、烟气旁路选择、系统温降、压降以及烟气中催化剂的浓度、操作周期、主要事故等进行讨论。概述了国外主要制造厂商的产品概况及技术水平,并对国外在机组系统方面的动态模拟及有关控制方案的特殊问题进行介绍。

一、概况

在催化剂烧焦过程中产生的大量高温烟气,具有一定的压力、在常规的FCCU中烟气通常是由双动滑阀及一氧化碳锅炉或余热锅炉及电除尘器放到大气。

高温烟气在一氧化碳锅炉或余热锅炉中,一部分热量被利用发生蒸汽,其回收的热量只占30%,以机械功计算则只占4%,因而从五十年代开始,国外就着手寻求更有效的途径来回收烟气中的能量。

从五十年代开始在FCCU上采用烟气轮机回收高温烟气的压力能直接作功驱动主风机,在三十年的发展历程中大致经历了以下几个阶段:

1.初期探索阶段 1950年美国Elliott公司利用柴油机上的增压器在伊利诺斯州Robinson城的Marathon炼厂进行试验,由于没有安装三旋(即三级旋风分离器)只运转了750小时,叶片严重磨损而失败。1954年该公司和Shell公司一起研制成功多管式三

旋,1957年在Shell公司Montreal炼厂操作了4,200小时^[3,4],1962年又在Woodriver第三炼厂采用Delaval C-10涡轮增压器及Buell三旋,回收总烟气量的20%,功率约500马力,运转了2,700小时^[5]。

2.工业化初期应用阶段 在初期探索的基础上,美国的Elliott及Ingersoll-Rand(简称I-R)两家公司,根据制造涡轮增压器及硝酸尾气透平的经验,相继设计出单级悬臂轴向进气的烟气轮机,分别于1963年初及9月份在加拿大Oakville厂及美国Norco厂投产。到1970年一共有七套装置投产。

3.工业化应用阶段 1973年油价暴涨引起电费持续上涨。从1976年开始在FCCU上采用烟气轮机的趋势上升,到八十年代则更为明显,从1980年到1983年国外共设计制造了32套机组,这一数量几乎是1963~1979年间的两倍。

据不完全统计,至1983年底,国外设计制造的烟气轮机-主风机组共有52套,总共回收功率为6,571,303马力。目前世界上除苏联、中国及东欧外,共约有315套FCCU,总加

工能力约为41,028万吨/年,已有能量回收的约占总数的16%。据估计全美国的FCCU全部采用烟气轮机约可回收1,000,000马力^[6],目前已回收50%左右。全世界的FCCU略估计共可回收2,000,000千瓦,目前已回收约490,000千瓦,只占可回收量的25%。根据分析,适合于建设能量回收系统的FCCU处理量,在国外为70万吨/年,相应的烟机功率约为3,500千瓦。更小的装置则应根据经济分析确定是否合理^[7]。可以预见在今后的一段时间内采用能量回收的上升趋势还会持续。

二、国外FCCU能量回收 机组的主要制造厂商

1. 美国 Ingersoll-Rand 公司

美国I-R公司创立于1871年,是世界著名的大型多种机械产品的制造商,目前有职工45,000人,104座工厂(其中60%在美国,40%在其他国家)在71个国家和地区设有83处销售机构。该公司的涡轮机械总部设在美国新泽西州Phillipsburg,该公司从1912年开始生产离心式压缩机,从1940年起向FCCU提供主风机,从1940至1978年一共提供了135台离心式主风机,总功率为373,000千瓦。1969年安装了一台14,179千瓦电机驱动的离心式主风机,从1962至1980年共生产66台轴流式压缩机,其中35台用于FCCU,总功率超过了205,000千瓦^[8]。

从五十年代后期起,该公司致力于开发用于FCCU的烟气轮机,经过分析和比较,对该公司长期生产的高温(达720℃)硝酸尾气回收多级透平的操作情况和FCCU进行对比,认为两端支承的多级结构对FCCU的烟气轮机是不适合的,主要原因是:

(1) 硝酸尾气透平的操作温度近似为常数,而FCCU烟机会有较大幅度的变化。

(2) 硝酸尾气透平无固体颗粒,而FCCU有一定量的催化剂并有剧烈的磨损作用。

(3) 硝酸尾气透平的操作条件稳定,而FCCU不稳定。

(4) 硝酸尾气透平的开工周期短,而FCCU一般要求在1~4年。

基于以上分析,该公司虽然从1956年起就生产两端支承的高温硝酸尾气透平,但仍重新按FCCU的特点开发了悬臂式轴向进气的新结构。

从1963至1983年I-R公司共生产了35套机组,其数量及总功率数大大超过其他厂商。

该公司的试验中心有两台功率分别为25,000马力和30,000马力的凝汽式透平,可对机组进行全面试验,通过先进的数据采集系统同时监测200个点,并在2分钟内把测量值修正到保证点的流量、压力、功率等。

2. 美国Elliott公司^[9]

该公司创立于1895年,1926年开始制造离心式压缩机、蒸汽轮机、发电机。1940年开始生产柴油机用涡轮增压器。目前主要生产离心式、轴流式压缩机、蒸汽轮机、燃气轮机、烟气轮机及涡轮增压器等。

1981年该公司成为美国United Technologies Power Group公司的一员。

该公司从事能量回收系统的研究和开发已有四十年历史,其生产的涡轮增压器总功率已达到7,500万千瓦。它在高温硝酸尾气透平的生产上也有丰富的经验。该公司最早从事FCCU能量回收的研究,并在1963年首次在炼厂FCCU上采用,1969年以后曾一度停止了对烟机的研究而致力于研究高压蒸汽轮机及离心式筒型压缩机,从1976年开始又重新致力于发展第二代TH型烟机。

该公司目前已有三台大型二级烟机TH-

100-2 投产。该公司生产烟机的总功率已达到175,418马力。

由于该公司具有制造烟机、主风机、蒸汽轮机等透平机械的能力，所以主张成套供应。认为具有以下优点：

(1) 完整的系统——烟机、主风机、蒸汽轮机、润滑及密封系统由同一公司设计制造；

(2) 完整的扭振分析——由同一公司设计的整个机组由同一工程部门负责；

(3) 完整的服务——在现场发生问题时减少了和用户发生争吵的可能性；

(4) 单一的设计条件会议——减少了旅途费用，节约了时间；

(5) 现场联系简单；

(6) 对制造厂的现场检查及催货简单；

(7) 制造厂对现场的管理也简单。

3. 联帮德国G.H.H.公司

联帮德国G.H.H.公司是西欧最大的机械制造厂商之一，是一家综合性多种机械产品的综合制造厂，从1904年开始制造蒸汽轮机，1910年起生产往复式压缩机。目前已生产了蒸汽轮机5,000台，离心压缩机3,500台，轴流压缩机200台，往复式压缩机30,000台，用于硝酸尾气、高压煤气的膨胀机共约300台，最大功率达20,000千瓦^[10]。

G.H.H.公司生产FCCU烟气轮机的历史较短，约在1970年从奥地利Elin公司获得了多级烟机的技术专利后，从1978年到1982年共制造了四台，分别安装于法国、荷兰、美国。采用两端支承，径向进气，多级（一般3~4级）结构。

G.H.H.公司也具有成套供应机组的能力，烟机、主风机（离心式带入口导叶、轴流加离心式）、蒸汽轮机均能制造，1980年该公

司为荷兰鹿特丹炼厂设计制造的机组，除电机外全部由该公司配套。

G.H.H.公司目前拥有欧洲最大的透平机械试验台，具有18,000千瓦的功率，可以对50,000千瓦的机组在吸入压力降低的条件下用相似原理进行机械及热力试验。试验台为50×24×20米，吊车50吨，还有一台12,000千瓦的蒸汽轮机对不带驱动机的压缩机进行试验。对FCCU烟气轮机可进行闭路循环试验，利用750℃的烟气进行高温试验。

G.H.H.公司对荷兰鹿特丹炼厂的机组制订了完整的试车程序，主要包括：

(1) 蒸汽轮机、主风机及齿轮箱的一般机械运转试验（包括备用转子）；

(2) 主风机在满负荷下的性能试验；

(3) 蒸汽轮机、主风机及齿轮箱及电动机/发电机的机械运转试验；

(4) 电动机/发电机的电气试验及负荷分配控制器试验；

(5) 蒸汽轮机的空转试验；

(6) 蒸汽轮机、主风机及齿轮箱、电动机/发电机及烟机整个机组的机械运转试验；

(7) “十天，10小时/天”试验，对烟机在不同启动及负荷条件下进行相似性能试验、包括烟机进口阀及热态下的关闭时间试验^[11]。

这一机组在制造厂内进行了整整一年的试验，主风机在设计条件下操作了近1,000小时，烟机操作了近500小时，对试验中的问题进行了调查和修改^[12]。

事实证明这样的试验程序过于繁琐而且耗资巨大，连G.H.H.公司也认为是不必要的，特别是“十天，10小时/天”试验可以减少到4小时的满负荷试验。因为缩短时间就意味着节省费用。

三、国外FCCU能量回收机组的发展情况分析

从1963年起,国外三大主要制造厂商一共设计和制造了52套(台)FCCU能量回收机组,其主要情况分析如下:

1. 机组配置

FCCU能量回收机组中采用同轴式还是分轴式,以及同轴式中的烟机、主风机和辅助驱动机的相互位置是设计阶段非常重要的问题。它取决于功率平衡、转速匹配、启动条件、机组及系统管线配置、工厂动力条件、控制、场地限制、经济分析等因素,具有复杂的性质,某些专家认为机组的配置问题通常由下列三项因素决定^[13]:

(1) 经验——是否有用户或供应商使用过这样的布置;

(2) 工艺要求——特殊的启动及停工要求。如装卸催化剂及最小用气量;

(3) 用户的意见。

实际上总是由用户、制造厂、合同承包商三方多次协商确定,虽有一定规律可循,但无严格地限制,因而实际形式多种多样。主要有以下几种配置类型:

(1) 配置类型

同轴式——烟机、主风机及辅助驱动机在同一根轴线上(或同一机组内)。

分轴式——主风机和常规FCCU相同,而烟机则直接或通过齿轮箱驱动发电机,因而是两根轴线或两个机组。

目前国外设计和制造的52套(台)机组的分类见表1。

表1 机组配置分类

制造厂商	美国I-R公司	美国Elliott公司	联邦德国G.H.H.公司
同轴机组, 总数	33	11(10/1)	4
其中安装于:			
美国	20	6	1
西欧	9	2	3
日本	—	2(日立一套)	—
其他	4	1	—
分轴机组, 总数	2	1	1
	意大利, 美国, 1983年	日本千叶, 1980年	奥地利, 1969年

①同轴式机组的配置形式 同轴式机组是最广泛采用的机组形式,其配置方式种类较多,对于同轴式机组可以按机组的功率回收率大小作为一项基准,但根据各厂的具体情况可以有各种变化。

机组功率回收率的定义为:

$$R = \frac{N_T}{N_B}$$

式中: N_T ——设计工况下烟机回收的功率,千瓦;

N_B ——设计工况下主风机需要的功率,千瓦。

根据R的大小可以将烟机分为三类: I类($R < 1$); II类(设计工况下 $R \approx 1$); III类($R > 1$)^[14]。

按此分类可将配置型式的基型及目前已

有的派生型式列表分析,表2列出了各种配置方式,都是现已设计和投产的机组,今后在配置同轴式机组时还可能新的形式,但

基型应是相对不变的,因为Ⅱ类、Ⅲ类烟机必须有一台合适的电动机/发电机以吸收多余的功率,而Ⅰ类机组则必须补充功率。

表2 同轴式机组配置形式

烟机类别	基型	派生型式
Ⅰ类		1
		2
	3	
Ⅱ类		4
		5
		6
		7
		8
Ⅲ类		9

注:①派生型式8、9制干老装置改造的一种措施

②表中, E——烟机; B——主风机; G——齿轮箱; S/T——蒸汽轮机; M——电动机; M/G——电动机/发电机

由表2可以看出:

a. 所有机组中的烟气轮机都位于机组的一端, 轴向进气的单级(双级)悬臂机型, 除因要求轴向入口前应有5D(D为入口管直径)以上的直线段以外, 轴向入口还使烟机进口法兰受力最小。多级两端支撑的烟机

因考虑到维护及与主风机脱开以及温度的差别等因素也布置在一端。

b. 烟机-主风机-电机(或蒸汽轮机), 国内通称为三机机组, 在同轴机组中约占53%, 烟机-主风机-电机-蒸汽轮机, 国内通称为四机机组约占47%, 四机机组不仅在

表3

国外设计制造的部分同轴式机组的参数

项 目 类别及厂名	功 率 回收率	主风机 功率 (马力)	烟 机 功 率 (马力)	烟 机 型 号	主 风 机 型 式	烟机入口参数		烟风比 (重量比)	系统压降 (公斤力/ 厘米 ²)	烟机焓降 (千卡/ 公斤)	备 注
						热 力 (公斤力/ 厘米 ²)	温 度 (°C)				
I 类											
1. 美国 Norco	—	—	9,110	E-148	离心式	2.19	594	—	—	39.44	老装置改造 1963年
2. 美国 Deer Park	0.816	8,265	6,990	E-148	离心式	1.77	621	1.12	0.99	27.38	新建 1963年
3. 加拿大 Edmonton	0.923	8,920	8,230	E-148	离心式	2.46	688	0.95	1.06	50.34	高寒地区冬天主风机放空 1971年
4. 美国 Eludovado	0.802	8,645	6,940	E-148		1.86	677	1	1.21	33.59	新建 1974年
5. 美国 Houston	0.886	17,500	15,500	E-148	轴流式	3.14	677	0.92	1.06	63.19	新建 1976年
6. 美国 Christi	0.963	16,000	15,100	E-148	轴流式	3.14	677	0.98	0.93	63.19	新建 1976年
7. 美国 Sunray	0.912	11,946	10,900	E-138	轴流式	2.59	704	0.785	1.13	51.19	新建 1979年
8. 中国 九江市	0.886	7,114	6,300	E-138	轴流式	2.36	645	1.02	1.09	44.88	新建 1981年
9. 委内瑞拉 Llanoven	0.935	16,880	15,785	E-148	轴流式	2.72	704	0.90	1.12	57.48	新建 1980年
10. 中国 台湾省	0.945	6,215	5,892	E-138	轴流式	2.66	732	0.985	1.08	57.52	新建 1981年
11. 美国 Whiting	0.845	20,695	17,497	E-148	轴流式	2.36	704	0.886	1.24	47.42	轴流式主风机向两套 FCCU装置供风
12. 西班牙 Petraliber	0.944	6,076	5,013	E-138	轴流式	2.34	700	1.04	1.06	59.19	新建 1981年
13. 美国 Corpus	0.936	37,475	35,100	E-156	轴流式	3.24	704	0.83	1.1	66.60	计划 1983年
14. 日本 德山	0.99	5,185	5,024	TH85-1	轴流式	2.52	575	0.875	—	44.27	老装置改造 1980年
15. 日本 水岛	0.834	5,372	4,480	—	离心式	2.60	635	—	—	—	老装置改造 1979年
16. 法国 Grandpuit	0.924	7,831	7,240	GTRH 6/100	离心式	2.82	677	1.017	1.30	46.88	新建 1979年

续表

项 目 类别及厂名	功 率 回收率	主风机 功 率 (马力)	烟 机 功 率 (马力)	烟 机 型 号	主风机 型 式	烟机入口参数		烟风比 (重量比)	系统压降 (公斤力/ 厘米 ²)	烟机焓降 (千卡/ 公斤)	注 备
						压力 (公斤力/ 厘米 ²)	温 度 (°C)				
I 类											
1. 英国 Killingholne	1.007	8,085	8,142	E-148	轴流式	2.92	704	0.86	1.15	57.1	新 建 1980年
2. 美国 Marcus	1.008	21,020	21,200	E-148	轴流式	3.002	713	0.86	0.71	62.93	新 建 1979年
3. 法国 DunKergue	1.01	7,423	7,505	E-138	轴流式	2.91	704	0.95	0.97	60.90	新 建 1982年
4. 匈牙利Chemokomplex	1.017	6,508	6,620	E-138	轴流式	2.71	704	0.895	0.92	56.80	新 建 1983年
5. 美国 Convent	1.004	9,321	9,359	E-148	轴流式	2.06	694	1.04	0.97	40.36	新 建 1982年
6. 美国 Sweeney	1.04	33,820	35,230	TH140-1	轴流式	2.94	704	1.015	0.99	59.06	新 建 1979年
II 类											
1. 美国 Martinez	1.147	13,485	15,480	E-148	轴流式	2.53	649	1.01	0.88	50.00	新 建 1986年
2. 美国 Toledo	1.207	17,500	21,125	E-148	轴流式	2.67	663	1	0.85	53.57	新 建 1973年
3. 英国 Wales	1.147	16,150	18,540	E-148	轴流式	2.77	696	1.09	1.1	57.49	新 建 1980年
4. 美国 Philadelphia	1.33	9,832	13,050	E-238	轴流式	3.09	704	1.09	0.99	67.71	新 建 1981年
5. 美国 Wilmington	1.20	9,615	11,515	E-148	轴流式	2.93	704	1	0.825	61.19	新 建 1982年
6. 西班牙 Puertollano	1.204	8,070	9,729	E-138	轴流式	2.9	704	1.04	1.06	60.9	新 建 1983年
7. 荷兰 Rotterdam	1.294	11,358	14,697	GTRH 9/160	轴流式+ 离心式	2.72	727	1.026	0.968	56.32	新 建 1980年
8. 法国 Pauillac	1.164	5,895	6,840	E-138	离心式	2.56	735	1.042	0.69	55.4	新 建 1980年

注：焓降值为估算值，仅供参考

开工、停工及自控方面具有特点，而且布置的类型繁多，便于用户选择。

c. 不带齿轮箱的四机机组是一根轴线的同轴机组，所有机器均在同一转速（对60赫兹，为3,600转/分）下运转，这类机组一般应用于较大机组，如处理量在170万吨/年以上的FCCU上，利用蒸汽轮机启动整个机组，正常操作中蒸汽轮机可能只是空转。

d. 带齿轮箱的四机机组中，若采用轴向进气的烟机则主风机和烟机同在高速端，采用多级烟机时则烟机可为低速，主风机为高速。

国外设计和制造的40套同轴机组按不同

功率回收率的分类及各种数据整理如表3所示。

由表2、3，I类机组中采用蒸汽轮机单独驱动的机组，机组转速由蒸汽轮机控制，烟机回收的功率必须小于主风机需用的功率，否则会引起机组失去控制而超速，同时还要注意在最小负荷下蒸汽轮机的控制问题。加拿大的Edmonton厂机组为了实现蒸汽轮机的可靠控制在冬季操作时放空一部分主风。美国Norco厂在原装置上改造，由于场地的限制把原有蒸汽轮机改成双出轴以联结烟机^[15]。采用蒸汽轮机单独驱动的I类机组的较详细参数见表4。

表4 I类机组的蒸汽轮机参数^[59]

项 目 厂 名	功率回收率	蒸 汽 轮 机					在额定工况下补充功率 (马力)	补充功率与额定功率的比值
		型式	进 汽 参 数		转 速 (转/分)	额 定 功 率 (马力)		
			温 度 (°C)	压 力 (公斤力/厘米 ²)				
Shell oil, Norco	—	—	—	—	3,500	11,000	—	—
Shell oil, Deer park	0.848	凝汽	260	13.4	3,500	3,000	1,275	42.5
Gulf, Edmonfon	0.923	背压	343	41.5	4,350	6,446	690	10.7
中国, 台湾省	0.945	凝汽	260	14.9	5,415	7,412	800	10.7
Amoco, Whiting	0.845	背压	316	31.6	3,949	8,000	3,198	39.9
Petroliber, SPain	0.914	凝汽	282	39.4	5,013	9,125	1,422	15.6

表5 I类烟机中采用四机方案的基本参数

项 目 厂 名	功率回收率	烟机回收功率 (马力)	机组 转速 (转/分)	电机 功率 (马力)	蒸 汽 轮 机			
					型式	功 率 (马力)	蒸 汽 温 度 (°C)	蒸 汽 压 力 (公斤力/厘米 ²)
Skelly, Eldorado	0.802	6,940	3,600	4,000	背压	3,000	398	40/0.5
Charter, Houston	0.886	15,500	3,600	4,000	凝汽	6,000	376	30.9/4.0*
Champlin, Christi	0.963	15,400	3,600	6,000	背压	7,000	315	41.5/0.14
Venezuela, Llanoven	0.935	15,785	3,600	6,000	背压	7,000	376	41.5/0.14
Saber, Christi	0.925	35,100	3,600	10,000	背压	24,200	398	42.2/3.86

*英寸汞柱

采用电动机驱动的机组，一般由电机启动到额定转速，但在老装置改造时，可以利用原有主风机开工，再将烟气导入能量回收机组启动到一定转速后把电机投入，日本德山（Tokuyama）炼厂在原有FCCU改造时采用了一台相当于主风机功率50%的小电机^[16]。I类烟机中采用四机方案的基本参数见表5^[14]。

II类烟机中机组配置较为分散，较小的机组由电机直接驱动，较大的用四机机组，蒸汽轮机除启动机组外，正常操作中还可以平衡管网蒸汽，通过电动机/发电机输出功率。

France, Dunkergue厂由于烟机回收功率超过了主风机需要的功率，只有采用放空烟气或主风的方法，才能得到有效的控制。

III类烟机中，由于功率回收率一般在120%左右，正常操作中已有较多功率输出，某些机组为了平衡工厂蒸汽管网的需求，机组中汽轮机也用于驱动发电机，这类烟机中电动机/发电机容量大小的选择，应保证任何工况下电动机/发电机不发生超负荷。

②分轴式机组的配置形式 到1983年底为止，国外一共有四套分轴式机组投产，其机组配置及主要情况见表6^[17,18,19]。

表6 分轴式机组配置简况

序号	炼厂名称	制造厂商	机组配置	投产日期
1	奥地利OMU公司	Elin-Union	HG-93 6000RPM E — G — Gen. 3000KW 1500RPM 异步机	1969年
2	日本出光公司的千叶炼油厂	日本荏原公司按照Elliott公司专利制造	TH100-2 5085RPM E — G — Gen. 12500KW 1500RPM 日本富士 同步机 8400KW (最大12000KW)	1980年10月
3	意大利	I-R公司	E148 4000RPM E — S/T — G — Gen. G.E MAAG 同步机 14615KW 2984KW 17253KW	1983年4月
4	美国Union公司 losangeles	I-R公司	E148 4000RPM E — G — G.E — Gen. 同步机 9935KW 12016KW	预计1983年底

从配置形式上看分轴式机组可以分成以下两类：

(a) 带有汽轮机的这种配置可以达到：用汽轮机作为启动机，平衡工厂管网蒸

汽，在机组与外电网断开时作为独立电网的调速用途。利用蒸汽轮机增加了配置和功率平衡上的灵活性。

(b) 不带蒸汽轮机的通过减速机连

接烟机和发电机。

在分轴式机组中发电机大多采用同步感应发电机，以改善电网的功率因素。

这种配置形式的机组主要的技术关键是快速切断大口径阀门以及多功能的电子调速器。快速的切断的大口径蝶阀是机组的重要保护设施，快速切断烟气防止超速，一般采用液压控制带有弹簧快速动作的执行机构并由电信号控制。电子调速器如Woodward-4327是一种多功能调速器，可同时接受多参数输入如多个速度监测，可用以控制输出功率在烟机机组中还可以按照控制要求增加用于启动控制的微处理机，按程序发出控制信号^[20]。日本千叶炼油厂机组采用的就是这种调速器。联帮德国G.H.H公司采用本公司开发的一种Turbolog ETS电子转速控制系统和保护系统，只与本公司的机组配套不单独出售。I-R公司的机组采用的调速器是在市场上选购的，如用G.E.公司或Woodward公司的产品。

(2) 配置型式的选择

在建设FCCU或改建现有FCCU中，当考虑增加能量回收系统时，配置类型的选择取决于下列因素：

①新建装置一般考虑同轴机组和主风机一起考虑可以选择最好的组合，达到最大的经济效益；

②改建装置如原有主风机组适应操作要求除了可采用同轴机组外可考虑分年建设一套分轴式机组。如I-R公司曾在四套FCCU上改造时采用同轴式机组，而日本千叶炼厂则采用分轴式机组；

③改建装置如果原有主风机不适应操作要求，需要更换或改变型式时，应优先考虑同轴式机组，原机组作为备用或拆除。

(3) 分轴式和同轴式机组的比较

①同轴式机组有二十年的运转经验，可靠性极高，仅美国I-R公司一家的统计，同轴

式机组在烟机超温及装置操作不正常的恶劣条件下，仍有极高的可靠性，而分轴式机组运转经验较少，奥地利的机组自1969年至今只运转了60,000小时，日本千叶炼厂自投产到1982年8月31日仅操作5,500小时^[66]，其余两套机组尚未正式运转，其成熟程度相对于同轴式机组要差得多；

②同轴式机组因回收功率直接供给主风机，其经济性优于分轴式机组，据分析可多回收功率18~20%^[21]；

③同轴式机组投资省，占地少，管理简单，控制系统也较分轴式简单，而分轴式机组需要快速开闭的烟气阀门以防止电机甩负荷时机组的升速。

④分轴式机组在现有装置改造而场地受到限制时有较大的优点，操作中烟机事故对装置操作影响较小。

选择机组的类型应针对每套FCCU的具体条件分析，综合各方面的因素进行技术经济比较，以确定选择类型。

2. 主风机类型的选择

国外设计制造的部分同轴式能量回收机组中，主风机的类型及主要参数范围见表7。

轴流式主风机具有效率高、调节范围宽、体型小、重量轻等优点，但轴流式每级压比小，一般需9~15级。为了改善调节性能，一般都采用静叶可调式，根据FCCU的操作要求，在速度、出口压力及重量流量一定时，由于大气温度的改变而引起流量的变化，只要有50%的级采用静叶可调就完全可以满足要求^[13]。

离心式主风机在FCCU上使用已有三十年历史，每级压比大，曲线平坦，操作控制较为方便，造价也低。但和轴流式相比其效率约低8~10%，而且在大流量下机器过于笨大。一般推荐在进口流量大于1,000标米³/分下采用轴流式主风机。

参数 制造厂	机型	
	轴流式(或轴流+离心)	离心式
I-R公司,台数	24	9
流量	900~6,850 标米 ³ /分	1,230~2,130 标米 ³ /分
压力	3.26~4.57 公斤力/厘米 ² (绝)	2.76~3.52 公斤力/厘米 ² (绝)
功率	2,785~27,945 千瓦	<7,000 千瓦
转速	3,500~6,800 转/分	3,500~5,250 转/分
Elliott公司,台数	6	4
流量	1,300~7,100 标米 ³ /分	
压力	3.03~4.29 公斤力/厘米 ² (绝)	无数据
功率	3,870~25,238 千瓦	
转速	3,600~6,290 转/分	
G.H.H.公司,台数	1	3
流量	2,560 标米 ³ /分	
压力	3.62 公斤力/厘米 ² (绝)	无数据
功率	8,470 千瓦	
转速	5,180 转/分	

3. 烟气轮机的选择

能量回收机组中,烟气轮机的选择应和主风机及辅助驱动机的选择结合在一起,一般考虑以下因素:

(1) 结构形式 目前主要有两种结构型式,单级(双级)悬臂轴向进气(I-R及Elliott)及多级两端支承径向进气,一般为3~4级(G.H.H.)。这两种结构代表了两种设计构思。轴向进气的烟气轮机,在入口前要求5~6倍管径的直线段以使催化剂均匀的流入,再通过入口鼻锥均匀加速避免局部集中,同时悬臂支撑的转子和装在薄壁壳体内的定子完全独立支撑,增加了抗高温变形的能力,其缺点是流道内气体流速大而且磨损较重。两端支承的转子采用单或双的

径向入口,以平衡进口壳体的膨胀差,并改善通过定子叶片的催化剂分布。主要优点是流速低,磨损轻而且可提高效率4~6%^[22]。但是随之而来的转子动力学,轮盘冷却的设计、轮盘固定的结构等问题,在没有充分实践前是不能认为合适^[23]。某些公司认为:多级烟机使用经验很少,以为使用多级烟机就不会发生意外停车,这还为时过早^[24]。某些评论指出径向入口通常在蒸汽轮机及硝酸尾气透平上使用,但不适用于烟机,因为径向的不平衡作用,以及离心力的效应在进入轴向时,较重的颗粒趋向于分离、集中在流道内径处,并在转子应力大的区域引起磨损^[25]。

从使用情况统计,目前国外90%以上使