

适用于中国水泥行业**CCS**的 有效系统设计方法

天津水泥工业设计研究院

刘瑞芝

2012. 10

主要内容



时代背景



不同CO₂分离提纯方法、经济性比较



水泥厂分离提纯CO₂的主要技术路线

一、时代背景

我国能源消耗和CO₂ 排放量在逐年增长，预计2020年这个比例将增至23.9%，严重的气候和生态负面效应。

全球每年因燃烧化石燃料而排放的CO₂ 达到200亿吨左右，由化石能源燃烧产生的CO₂ 总量约占温室气体总量的82%。

对一个5000t/d的水泥厂，其CO₂绝对排放量为每年150万吨，其中煅烧质排放CO₂为每年95万吨，燃料燃烧排放CO₂为每年54万吨，折合每吨熟料排放CO₂ 832公斤，每吨水泥排放CO₂ 785公斤。

大致预测出2008-2012年中国水泥的总产量将达71亿多吨，其排放的55亿吨左右的CO₂等温室气体也会对环境造成很大影响。

因此



- 如何对水泥厂废气中排放的**CO₂**进行有效地分离捕捉并回收利用成为亟待解决的重中止重。

中国其他行业CCS发展情况

华能集团北京热电厂

该厂建成了国内首个燃煤电厂二氧化碳捕集处理系统，项目于**2007年12月26日**开工，**2008年7月15日**投入使用，占地面积近**500m²**，总投资**2800万**，设备利用率为**6000小时/年**，设计生产能力为**3000吨/年**。



华能集团北京热电厂





单 位：辽宁锦州六陆石化公司

气 源：制氢尾气

生产规模：3万吨

产品用途：食品级

华能集团上海石洞口电厂



该项目由西安热工研究院设计，于09年7月份开工，年底建成。预计年捕获二氧化碳量为10万吨，为全球最大的燃煤电厂碳捕获项目。

水泥行业**CCS**典范——蒙西集团

该公司与中科院长春应用化学研究所合作建成我国第一条规模化的二氧化碳聚合物生产线。

从水泥窑废气中提取 CO_2 制成食品级纯度，作为原料用于全降解塑料的生产，年产量**3000**吨，为世界上投入运行最大的二氧化碳聚合物生产线。



第二部分 不同CO2分离提纯方法、原理、经济性比较

类别	原理	优点（特点）	缺点	成本
吸附精馏法	研制特殊配方的 固体复合吸附剂 ，有针对性地 把二氧化碳中的 硫化物、氮氧化物、含氧有机物、各类轻烃、碳化物和水 等 重组分杂质分步吸附除尽 ，解吸出来放入火炬烧掉杂质，不会污染空气；再利用 热泵精馏技术 ，把氢气、甲烷、 氮气、氧气 等 轻组分杂质分离除尽 ，使二氧化碳纯度达到 99.996% 上，作为产品使用。	工艺流程简单 ，操作方便，条件缓和； 能耗 比其他方法低 60% ，生产成本降低 62% 左右，二氧化碳回收率大于 90% ， 产品纯度超过国家食品级标准 。产品 利润高	1、常温下吸附，中压低温下精馏 2、适用于石油、化工、酿酒等产业等CO2浓度为80-90%的行业。	生产成本： 80-230元/吨
化学吸收法	又叫化学溶剂吸收法，溶剂为醇胺及氨气（或氨水），一级醇胺（如MEA）、二级醇胺（如DEA、DIPA）及三级醇胺（如MDEA），吸收CO2后生成稳定的胺基甲酸盐，然后再通过加热方法解析出CO2。	MDEA热稳定性好，不易降解，溶剂挥发性小，溶液对碳钢设备腐蚀性弱 。该工艺成熟，操作简便，对工人的素质要求相对较低。 优选	如溶剂选取不当，吸收CO2后生成稳定的胺基甲酸盐， 反应热大 ，加热再生较困难， 蒸汽消耗较高	生产成本： 300-400元/吨
膜分离法	膜分离法是利用某些聚合材料制成的薄膜对不同气体的 渗透率 的不同来分离气体的。膜分离的驱动力是压差，当膜两边存在压差时，渗透率高的气体组分以很高的速率透过薄膜形成渗透气流，渗透率低的气体则绝大部分在薄膜进气侧形成残留气流，两股气流分别引出从而达到分离的目的	膜分离 装置简单，投资费用比溶剂吸收法低	适用于从天然气和石油开采中去除CO2； 耐热性低，150℃是上限 ；难以得到高纯度的CO2	

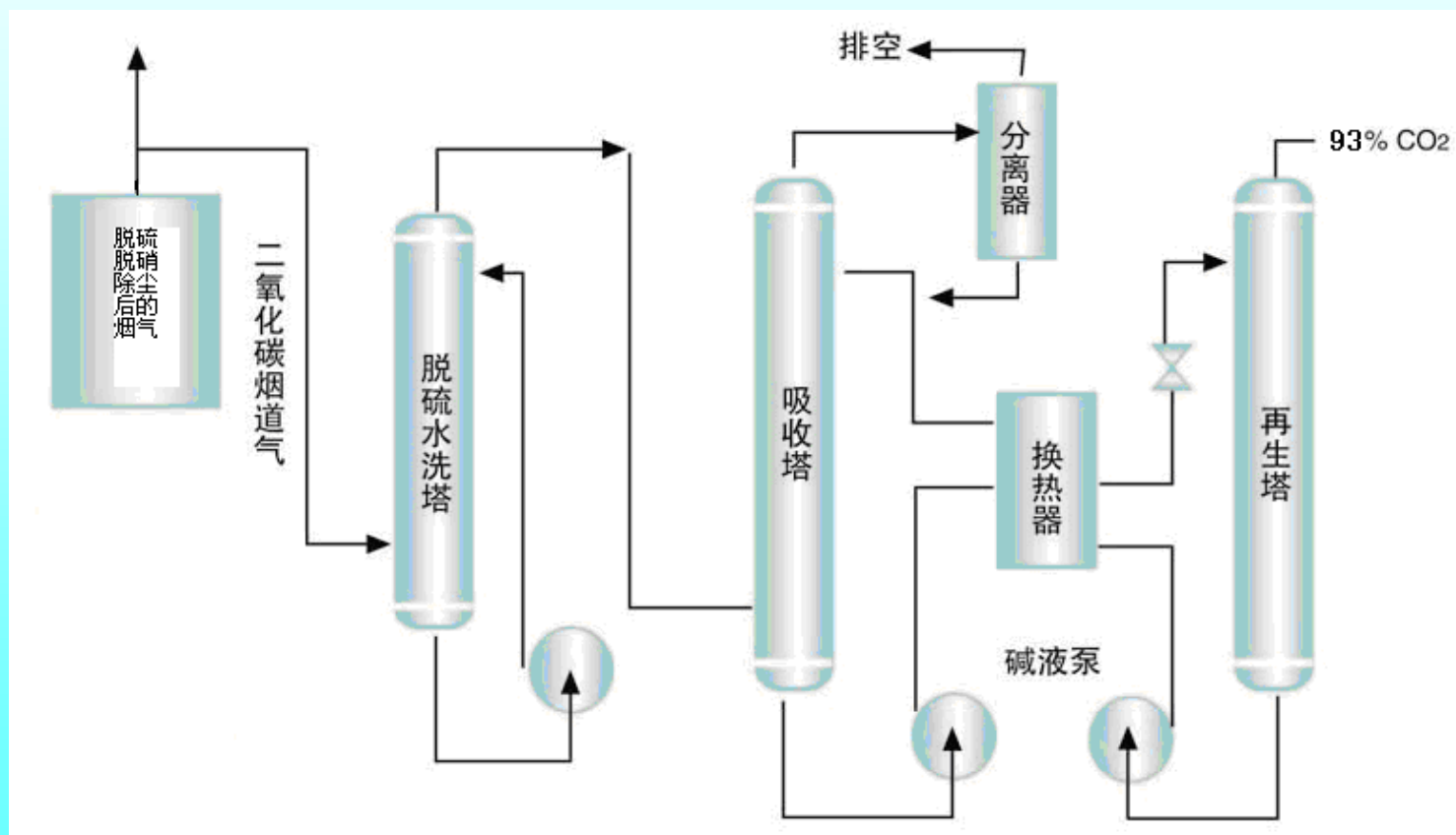
水泥行业与其它行业CO₂浓度比较

二氧化碳工业气源	CO ₂ 含量 (%)	回收方法
电厂锅炉、水泥厂、炼钢厂烟道气	10~18	化学吸收法
石灰窑、镁砂窑、变换气、硼砂碳解尾气	20~40	溶剂吸收法
油田气、粮食发酵气	70~95	吸附精馏法
制氢、合成氨脱碳、环氧乙烷副产气	85~95	吸附精馏法

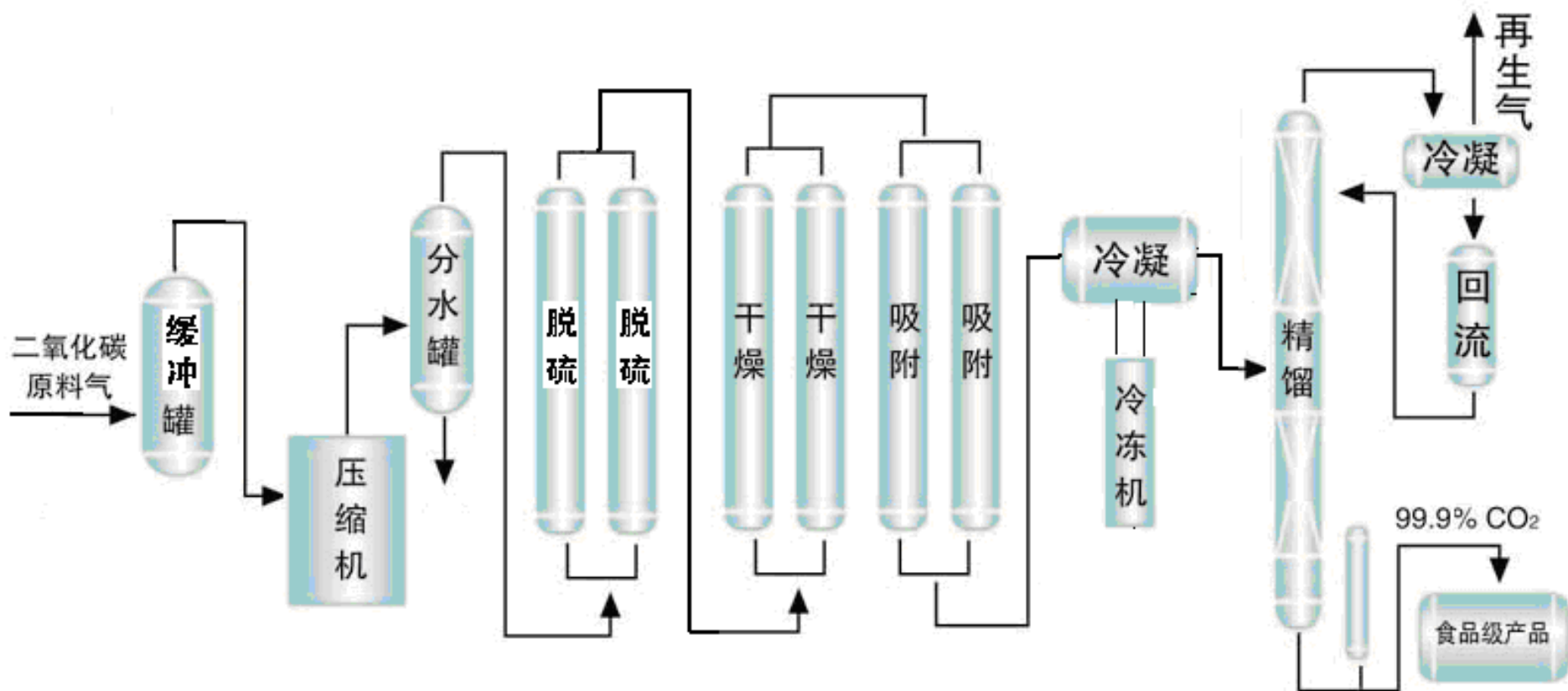
第三部分 水泥厂分离提纯CO₂的技术路线

3.1、化学吸收法+吸附精馏法

- 1) 化学吸收法粗分离工艺流程图

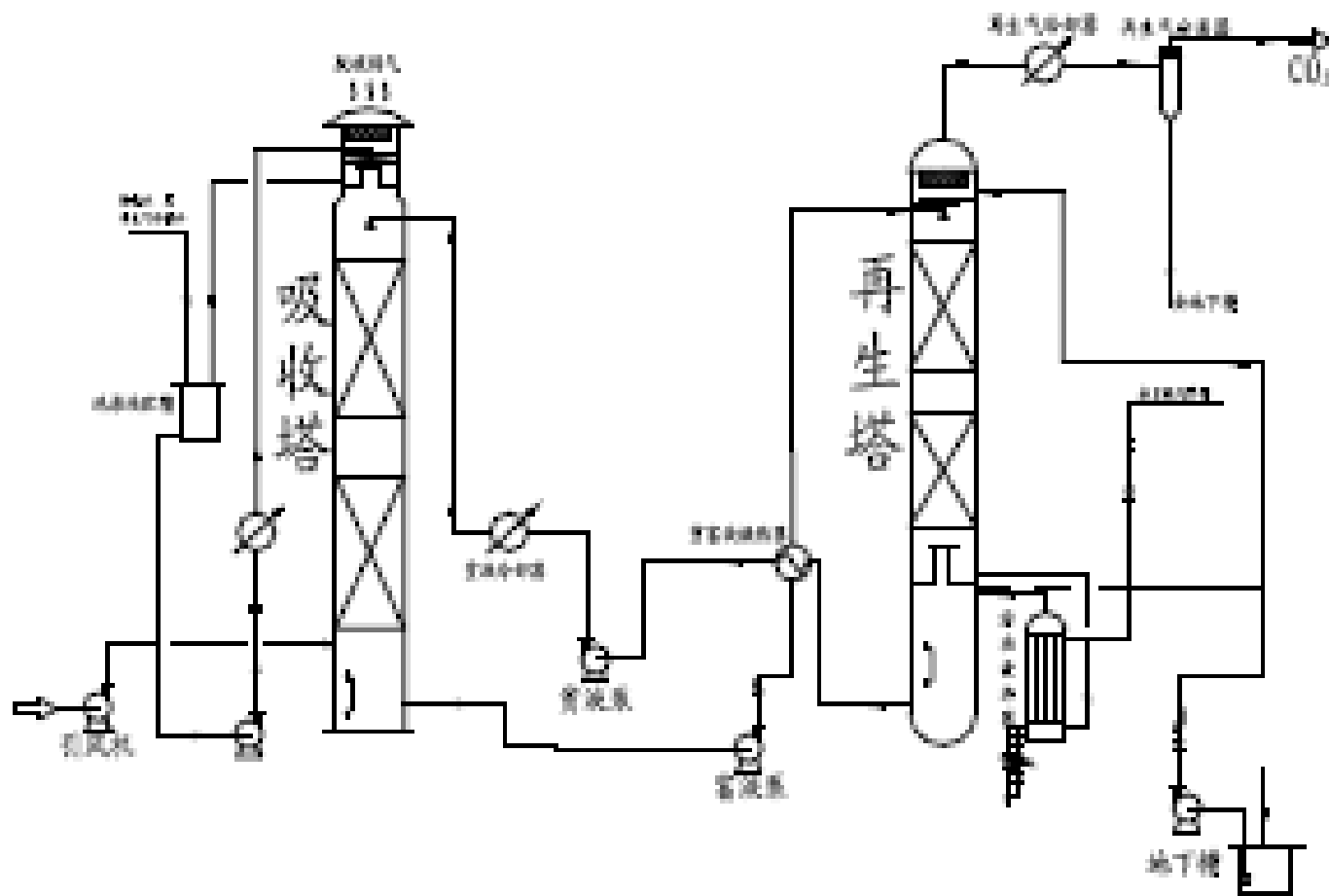


2) 吸附精馏法精提纯工艺流程图

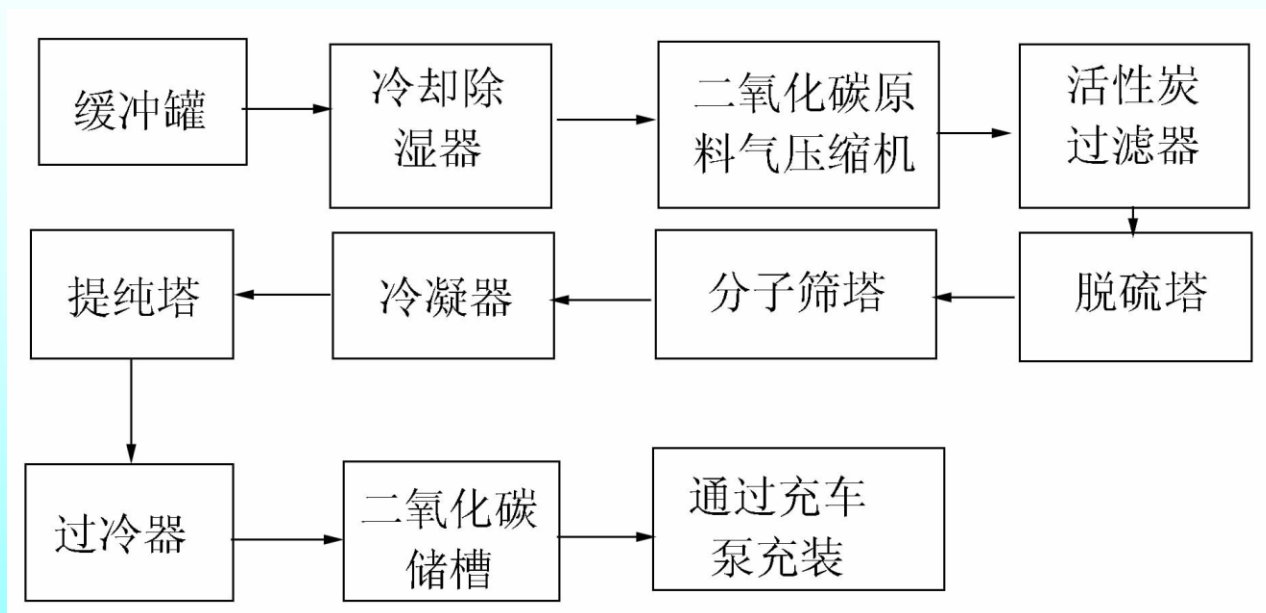


3.2、化学吸收法+精制提纯法

❖ 1) 化学吸收法粗分离工艺流程图



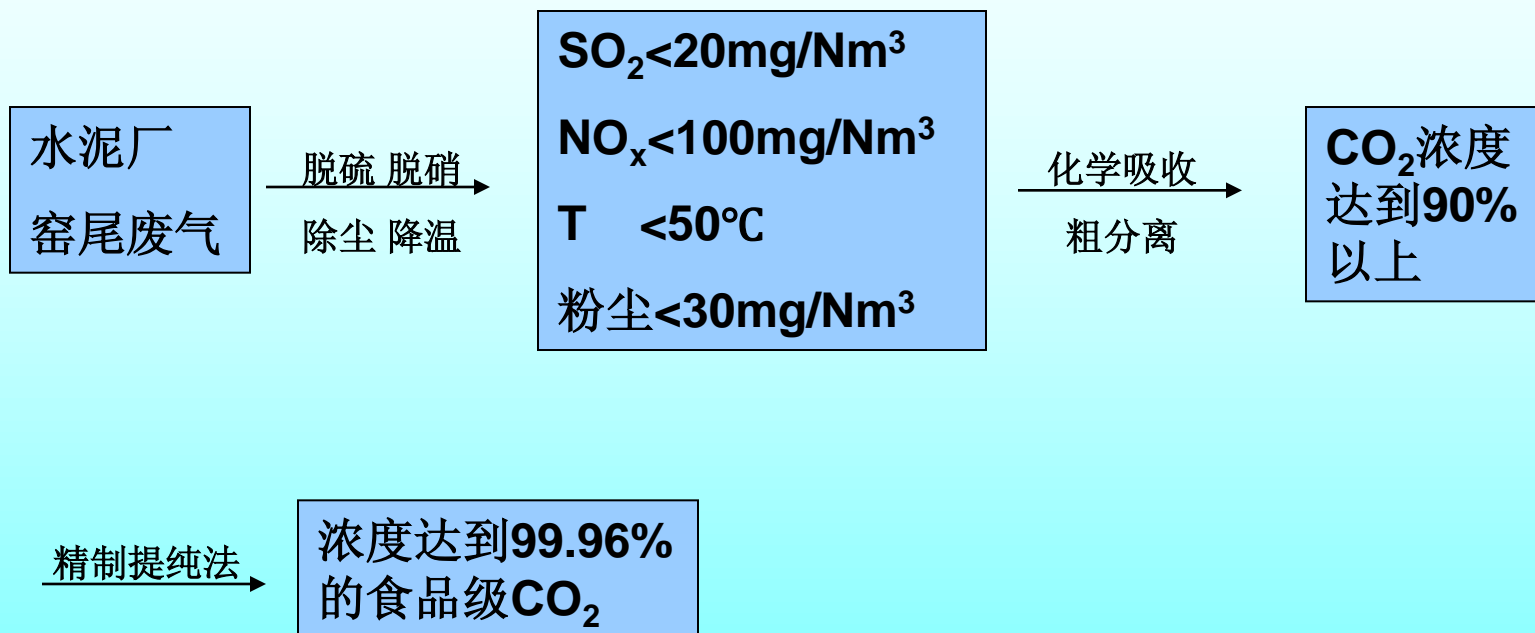
2) 精制提纯法精提纯工艺流程图



举例：5000t/d水泥厂

- 1、位置：窑尾出袋收尘器尾排风机与烟囱之间
- 2、温度：150度；压力：--1400Pa；
- 3、气体组分及含量：O₂：11~12%；CO₂：17%；
CO：150ppm；NO：576mg/Nm³；NO₂:924mg/Nm³；
H₂O：0.063kg/kg干烟气；SO₂:117mg/Nm³；粉尘含量：
117mg/Nm³
- 4、气源的标态流量：65万Nm³/h
- 5、产成品级别与产量：食品级，液态；10万吨/年

水泥厂窑尾烟
气热工参数

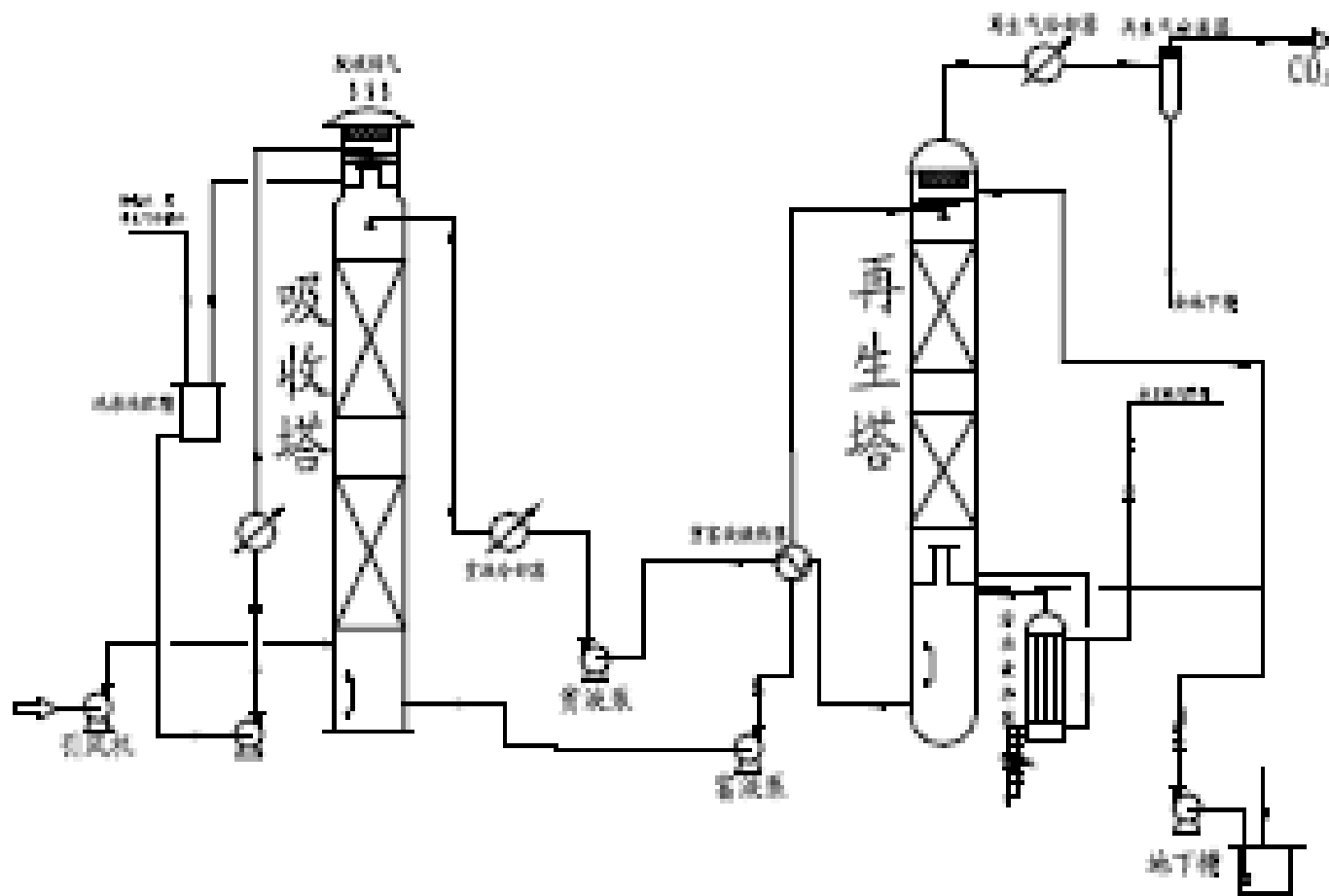


1、烟气脱硫、脱硝、除尘降温处理

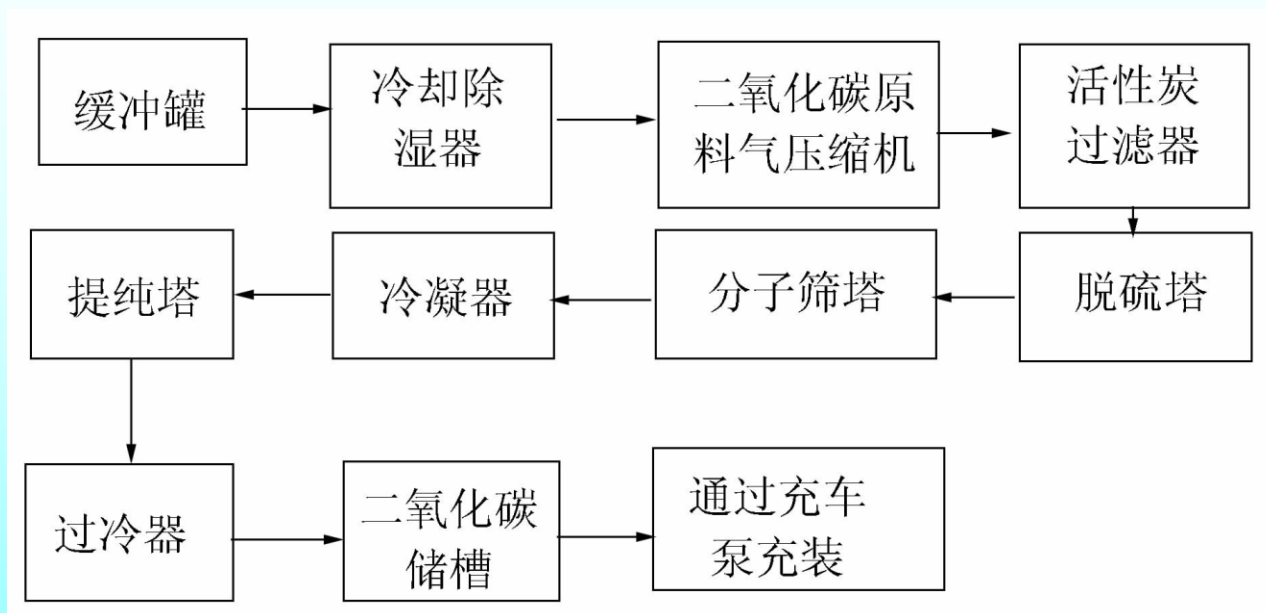
- 1.1、烟气脱硫拟采用石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺，预计前期投资约为5000万元，运行成本为1.20元/吨熟料；
- 1.2、脱硝采用空气分级燃烧技术或SNCR(选择性非催化还原)运行成本：2元/吨熟料；
- 1.3、除尘：（原）窑尾电收尘器改造袋收尘器，入口粉尘浓度： $<1000\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，出口排放浓度： $<30\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ，投资费用：950万

2、化学吸收法+精制提纯法（CO₂年产量10万吨）

❖1) 化学吸收法粗分离工艺流程图



2) 精制提纯法精提纯工艺流程图



3) 设计参数

处理原料气量: **43290Nm³/h**

气源**CO₂**含量: **17%**;

二氧化碳产量: **12500kg/h**;

二氧化碳年产量: **100000吨/年**; (按**8000h/年**计算)

捕集系统**CO₂**浓度: 大于**93%**。

精制系统**CO₂**浓度: 大于**99.99%**。

复合胺溶液补充量: **1.5Kg/吨CO₂**

电耗: **150KWh/吨CO₂**

4) 运行成本

名称及规格		单位	数量	备注
设计规模: C02		t/h	12.5	
原料气		Nm3/h	43900	
公用工程	循环水	t/h	15000	0.2元/吨
	电	kwh	44500	0.781元/度
	蒸汽	t/h	167	180元/吨
	新鲜水	t/h	330	5.6元/吨
单耗定额	循环水	t/ t熟料	72	14.4
	电	kw/ t熟料	214	167.1
	新鲜水	t/t熟料	1.6	9
	蒸汽	t/ t熟料	0.8	144
	吸收/脱硫液			40
	干燥吸附剂			4.8
	精脱硫剂			4.8
车间直接成本		元/吨C02		480

单位吨熟料运行成本: **28元/吨熟料**; 利润: **30.3元/吨熟料**

5) 投资估算

序号		费用（万元）
一	脱硫、脱硝、除尘、降温	6000
二	定型设备	1900
三	非标设备	4700
四	工程配套	5800
五	土建机房框架、采暖通风、工具购置、备品备件、运费、管理费、流动资金、预备费、等其他费用。	4000
合计		2.24亿

CO₂资源化利用技术

碳酸型饮料	调节口感，杀菌抑菌，降低饮用者体温	食品级，占国内消费量 70% ， 1000元/吨
食品加工	食品的冷冻、冷藏、灭菌、防霉、保鲜等。	食品级，占国内消费量 5%
烟丝膨化	替代氟利昂，改善烟丝透气性、耐燃性和口感	食品级，占国内消费量 5%
机械加工	与手工电弧焊相比，二氧化碳保护焊可提高工作效率 1-2倍 ，节电 50%	工业级，占国内消费量 6% ， 800元/吨
注气采油	利用超临界 CO₂ 的强渗透性驱油，使原油增产 25-38%	普通级，占国内消费量 4% ，发展潜力巨大
其他	制备干冰、超临界萃取、化工生产（全降解塑料）	占国内消费量 10% ， 20000元/吨

Thank you!