



# 沃力雅环保 碳中和技术手册

“环境就是民生，青山就是美丽，蓝天也是幸  
富。发展经济是为了民生，保护生态环境同样  
也是为了民生。”





## 二氧化碳大量排放对环境的影响

二氧化碳是导致温室效应的主要气体，温室效应使得全球气温逐年升高，两极冰川融化程度逐年加剧，海平面不断升高，部分沿海城市面临淹没风险，生态环境遭到破坏，人类生存遇到挑战。



## 碳中和的定义



❖ 碳中和中的碳是指二氧化碳。二氧化碳 $\text{CO}_2$ ，密度比空气密度大，热稳定性很高（2000度时仅有1.8%分解），不能燃烧，属于酸性氧化物，可与水反应成碳酸，是一种常见的温室气体。



❖ 碳中和是指企业、团体或个人测算在一定时间内，直接或间接产生的温室气体排放总量，通过植树造林、节能减排等形式，抵消自身产生的二氧化碳排放，最终实现二氧化碳的“零排放”目标。

❖ 简言之，人为的排放量（碳源：化石燃料利用86%和土地利用14%）被人为的努力（木材蓄积量、土壤有机碳、工程封存等）和自然过程（海洋吸收、侵蚀沉积过程的碳埋藏、碱性土壤的固碳等）所吸收，即净零排放。

# 国家政策与目标



## 双碳 | 双控，响应国家政策

“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。各国要树立创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，抓住新一轮科技革命和产业变革的历史性机遇，推动疫情后世界经济‘绿色复苏’，汇聚起可持续发展的强大合力。”国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话。

## 实现碳达峰和碳中和远景目标

习近平总书记在十三届全国人大五次会议，政府工作报告重点工作任务的建议中提出要“推动发展方式绿色转型”，“稳步推进节能降碳”。自中国 2020 年 9 月明确提出 2030 年“碳达峰”与 2060 年“碳中和”目标后，“双碳”连续第三年被写入政府工作报告。

当前我国双碳工作的三个目标分别是：2025 年为实现碳达峰、碳中和奠定坚实基础，2030 年碳排放达峰后稳中有降，2060 年碳中和目标顺利实现。

“绿色转型是一个过程，不是一蹴而就的事情。要先立后破，而不能够未立先破”“实现‘双碳’目标，必须立足国情，坚持稳中求进、逐步实现，不能脱离实际、急于求成、搞运动式‘降碳’、‘踩急刹车’。”

# 保护环境就是保护生产力，改善环境就是发展生产力



## 绿色转型在即 | 节能环保提标

节能环保产业在世界各国快速发展，从全球范围看，极端气候频发、能源危机加剧，人们对于可持续发展的呼声也日益强烈，推动全球经济绿色转型已经成为国际社会的普遍共识。为应对环境变化并寻找新的经济增长点，世界主要经济体均加大了对绿色低碳领域的投资，绿色经济、循环经济已成为全球产业竞争的重点。

其中“碳达峰”、“碳中和”目标的提出，引领了中国经济社会全面绿色转型，这也将成为中国未来数十年内社会经济发展的主基调之一。“双碳”战略目标的提出，新能源产业的崛起，无不表明中国应对气候环境问题的决心以及引领全球可持续发展的担当。

## 碳中和途径 | 碳捕集

- ① 加大清洁能源的使用。用非化石能源替代化石能源。以能源电力行业为例，即清洁能源发电代替化石能源发电，用电代替化石能源消耗。
- ② 植树造林。对二氧化碳的吸收能力非常有限。
- ③ 进行工业减排。工业减排是碳中和的重中之重。2021年7月15日，上海环境能源交易所发布公告，根据国家总体安排，全国碳排放权交易于7月16日开市。

**碳捕集就是落实工业减排实现碳中和的重要方式，碳捕集就是把燃煤发电厂等企业排出的二氧化碳捕捉回来，使用各种方法对CO<sub>2</sub>进行吸收或转换成有价值商品。**

## 公司简介



诚信 | 务实 | 高效

沃力雅环保科技（上海）有限公司注册于上海市闵行区，闵行区作为上海南部科创中心核心区，具有人才富集、科技水平高、制造业发达、产业供应链完备等丰富的科创资源。公司技术研发人员来自于美国俄亥俄州立大学、伊利诺伊州州立大学、中国科学院研究生院、清华大学、北京航空航天大学等国内外知名学府。

沃力雅环保科技（上海）有限公司在上海、杭州、天津、山东聊城分别设立了燃气轮机、MVR蒸发器、纳米催化剂、及碳中和等4个技术研发基地，并建立有完全技术知识产权的纳米级催化剂工厂、纳米级新材料工厂、及配套产品生产制造工厂，且持有环保领域100多项国内外专利技术。

公司多年来始终致力于能源环境产业的新材料、新产品、新工艺的技术研发、生产制造及售后服务，并在微小型燃气轮机（可燃废气发电设备）、MVR蒸发设备、节煤纳米催化剂、二氧化碳捕集及转化成甲醇等多个领域取得了重大技术突破。

公司以创新为理念，秉承“互惠共赢”为目标，实现自然资源的循环利用和经济可持续发展，为国为民作出应有贡献。

## 碳捕集的技术难点



❖首先，捕获难度高是由于CO<sub>2</sub>分子具有热力学稳定性、动力学惰性和 C=O 双键之高键能（750 kJ/ mol）等特性，而难以被活化，其热催化转化的实现需要高温高压的条件。

❖其次，CO<sub>2</sub>是一种线性非极性分子（O=C=O），具有两个反应位点：氧和碳。羰基碳的电子缺失意味着CO<sub>2</sub>对亲核试剂和给电子组分具有很强的亲和力，而氧原子则具有相反的特性。从而导致了CO<sub>2</sub>的捕获难度较高。就美国现有的碳捕捉技术而言，捕获一吨CO<sub>2</sub>所需费用约642.4美元，成本非常高。



## 我司取得碳捕集技术的重大突破

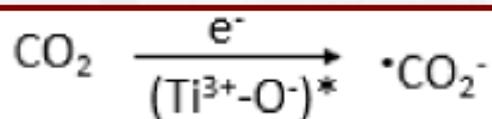


❖研究发现 CO<sub>2</sub> 能够以弯曲形态 (bent弯曲构型) 与光催化剂相结合。在弯曲构型中, CO<sub>2</sub>表现出较低的光能级, 促进了电子转移,使其更容易获得电子, 产生反应。

❖在弯曲构型中, CO<sub>2</sub>的光能级比较低, 可以很容易促进反应过程中所需的电子转移。

❖热催化 CO<sub>2</sub> 还原需要高温 (至少 550 K) 和高压 (10 - 15 Bar) , 但光催化可以在常温常压下进行, 只需要少量光源提供所需的激发能量即可。

❖因此高效催化剂的应用明显具有普遍可行性。



## 公司研发新型的光催化剂



还原CO<sub>2</sub>所需的还原电位（相对于氢标电极电位）：

Product	Reaction	E° (V vs. NHE)	Equation
Hydrogen	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$	-0.41	(1)
Methane	$\text{CO}_2 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^- \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.24	(2)
Carbon monoxide	$\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	-0.51	(3)
Methanol	$\text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	-0.39	(4)
Formic acid	$\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{HCOOH}$	-0.58	(5)
Ethane	$2\text{CO}_2 + 14\text{H}^+ + 14\text{e}^- \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 + 4\text{H}_2\text{O}$	-0.27	(6)
Ethanol	$2\text{CO}_2 + 12\text{H}^+ + 12\text{e}^- \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0.33	(7)
Oxalate	$2\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	-0.87	(8)

设定氢为0伏，越负越不容易被还原。

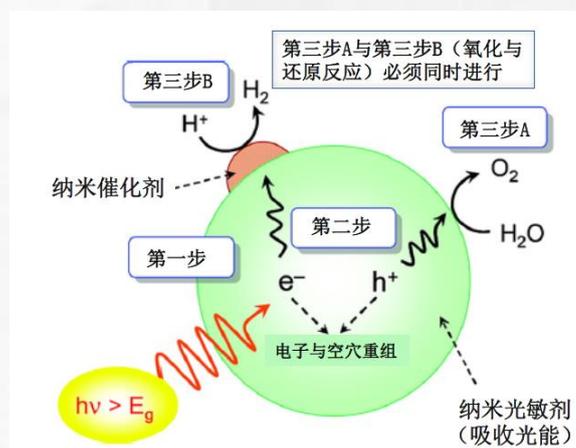
我们选择将CO<sub>2</sub>还原成甲醇（Methanol），还原电位为  $-0.39\text{E}^0$

## 光催化反应过程示意图

5 B Boron	6 C Carbon	7 N Nitrogen	8 O Oxygen	9 F Fluorine
13 Al Aluminum	14 Si Silicon	15 P Phosphorus	16 S Sulfur	17 Cl Chlorine
31	32	33	34	35

❖ 第一步光子被吸收，激发一个电子从价带到导带，同时在价带中留下一个空穴（空位）。

❖ 这些电子空穴对可以在主体内部重组或向表面扩散，这导致了第二步的发生，包括电荷分离和扩散到表面。

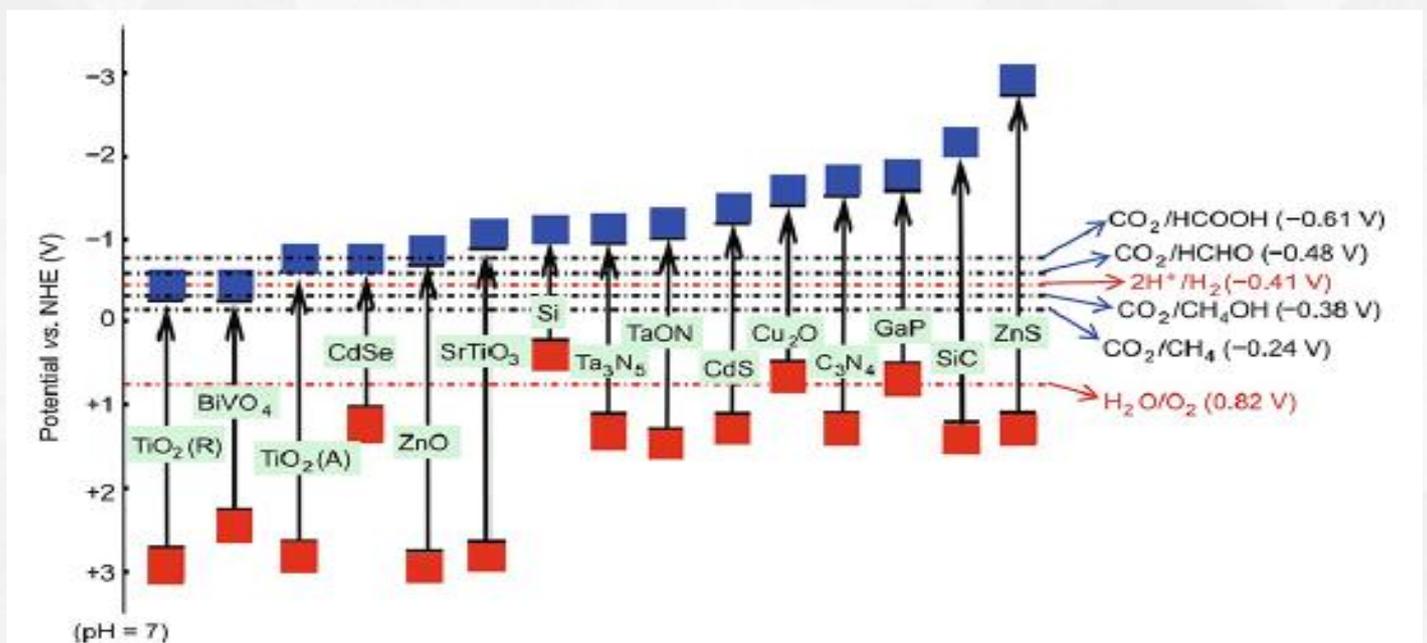


❖ 第三步中，界面处的电子和空穴分别参与了还原和氧化反应。为了促进这一过程的发生，必须使光敏剂在最大程度上吸收尽可能多的光，并防止激发时电荷复合。这可以通过掺杂、共掺杂、助催化剂的沉积、引入氧空穴或结合不同的半导体来实现。

## 行业内使用的金属氧化物



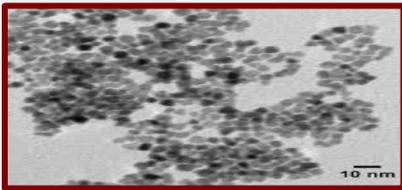
- ❖ 目前世界上研究最多的CO<sub>2</sub>光还原材料是纳米金属氧化物，尤其是TiO<sub>2</sub>、MgO、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Bi<sub>2</sub>MoO<sub>6</sub>、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>。
- ❖ 这些材料通常再进一步（表面）涂覆纳米铂、铜、铬、钒、钼、银、铁、钴和镍等金属颗粒。最常见的有Cu/ZnO、Pt/TiO<sub>2</sub>、Pd/TiO<sub>2</sub>、Mo/CdS、Au/ZrO等。



# 我司研发的贵金属纳米材料



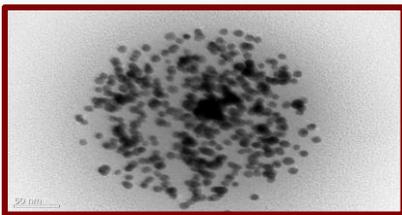
## 纳米铂水溶液



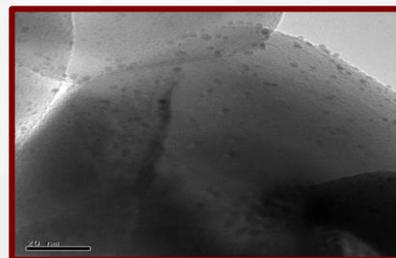
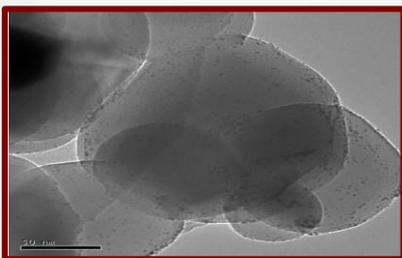
产品名称	Pt	APS	PH	浓度 (ppm)	颜色
纳米铂水溶液	99.99%	3nm	7	1,000	黑色

1毫升纳米铂分散液含  $3.297 \times 10^{15}$  纳米颗粒

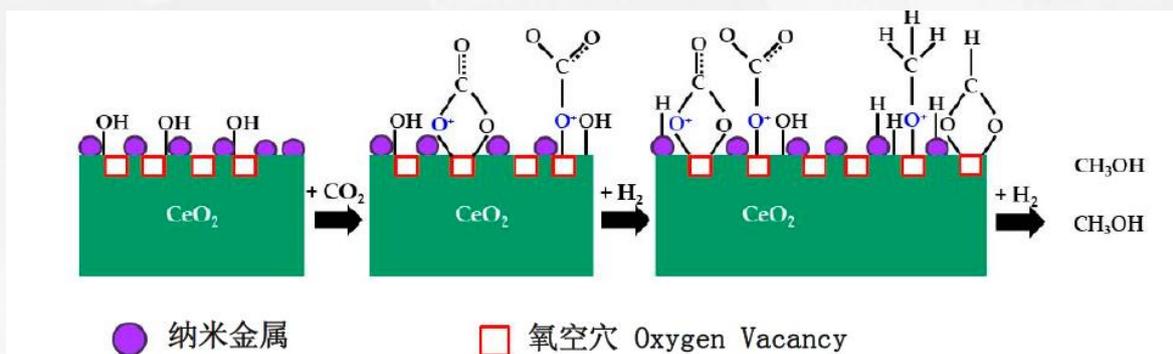
## 纳米金水溶液



纳米贵金属材料（金、银、铂）涂覆在纳米金属氧化物（ $CeO_2$ ）上



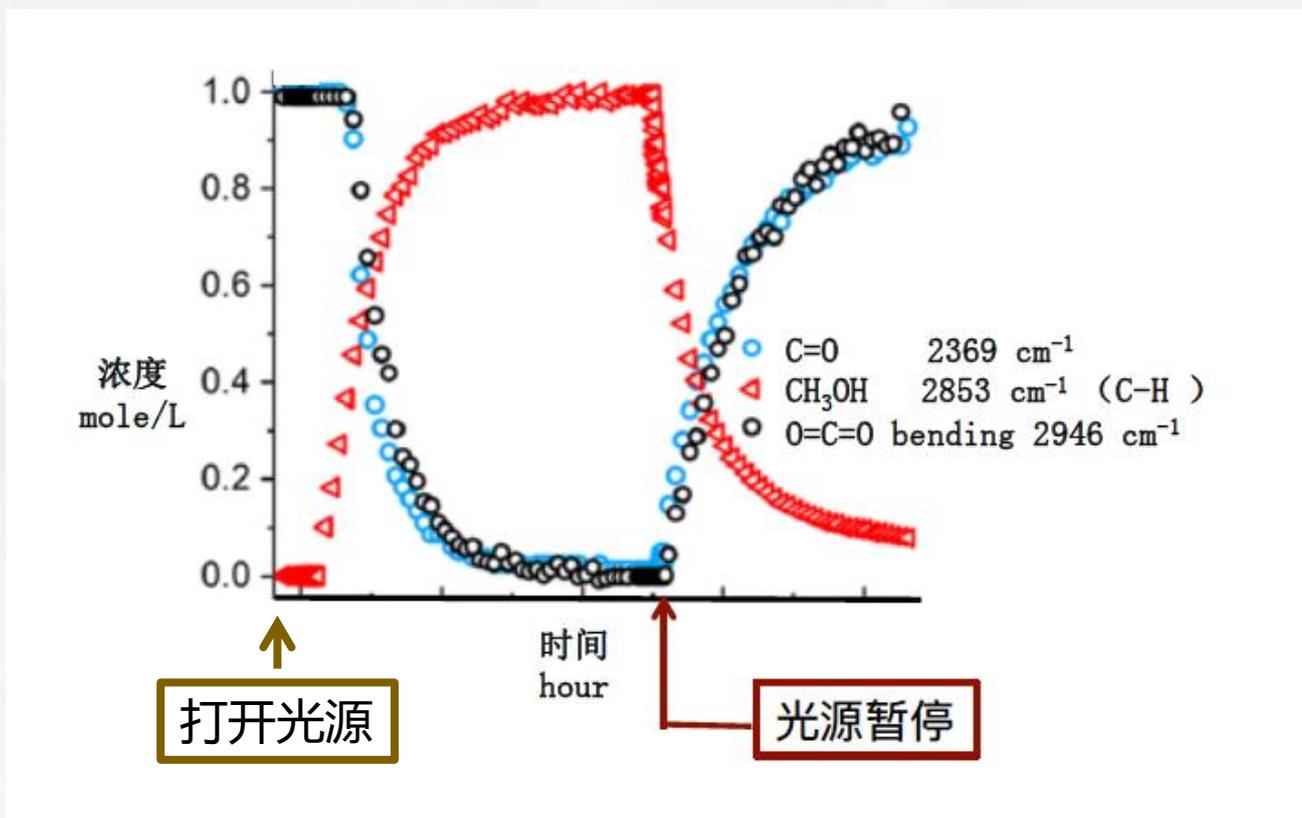
## $CO_2$ 在纳米涂覆层与载体上反应



# 光催化二氧化碳转化甲醇分析



## 分子振动频率 (IR)



红色曲线代表甲醇的形成，切掉光源后，二氧化碳（黑色曲线）与一氧化碳（蓝色曲线）便不在转化成甲醇。

# 行业内甲醇转化率比较



## CH<sub>3</sub>OH 甲醇转换率分析

### 目前市面上报道的转换率

组和成分 (at.%)				CO <sub>x</sub> Conversion (%) 二氧化碳捕获率 (%)	CH <sub>3</sub> OH Yield (mmol g <sub>cat</sub> <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> ) 甲醇浓度 (μmol/L)
Cu	Zn	Ga	Al		
70	30	0.0	0.0	11.48	688
68	29	0.0	3.0	13.70	812
68	29	1.0	2.0	15.14	906
68	29	1.5	1.5	14.95	897
68	29	3.0	0.0	13.38	814

### 我们的转换率

我们的转换率平均在20%左右

组和成分	Au Pt Ce Zr (mole ratio)	CO <sub>2</sub> Conversion (%) 二氧化碳捕获率 (%)	CH <sub>3</sub> OH Yield (μmol mL <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) 甲醇浓度 (μmol/L)
	2 1 1 0	20.2	3433
	2 0.9 0.1 0	21.9	4057
	2 1 0.7 0.3	22.5	4369
	2 1 0.5 0.5	19.5	3745
	2 1 0.3 0.7	15.3	2497

平均进口浓度为 3000 (±10%) 毫克/立方米, 出口浓度为 2340 (±10%) 毫克/立方米

## 经济价值分析

公司简称	熟料年产能 (吨/年)	<sup>a</sup> CO2排放量 (吨/年)	<sup>b</sup> CO2捕获量 (吨/年)	<sup>c</sup> 甲醇产量 (吨/年)	<sup>d,e</sup> 企业利润, 碳交易+副产物收益 (元/年)	<sup>f</sup> 运行成本估计 (元/年)	<sup>g</sup> 企业净利润估计 (元/年)
安徽海螺水泥	2.28亿	1.96亿	3920万	2744万	517亿	27亿	490亿
中国建材水泥	3.61亿	3.1亿	6200万	4340万	818亿	43亿	775亿
金隅冀东水泥	1.06亿	0.91亿	1820万	1274万	240亿	13亿	227亿
红狮集团	7254万	6238万	1247万	873万	165亿	9亿	156亿
华润水泥	6500万	5590万	1118万	783万	148亿	8亿	140亿
山水水泥	5121万	4404万	881万	617万	116亿	6亿	110亿

表1: 国内6家水泥公司使用纳米碳捕捉技术后效益预测

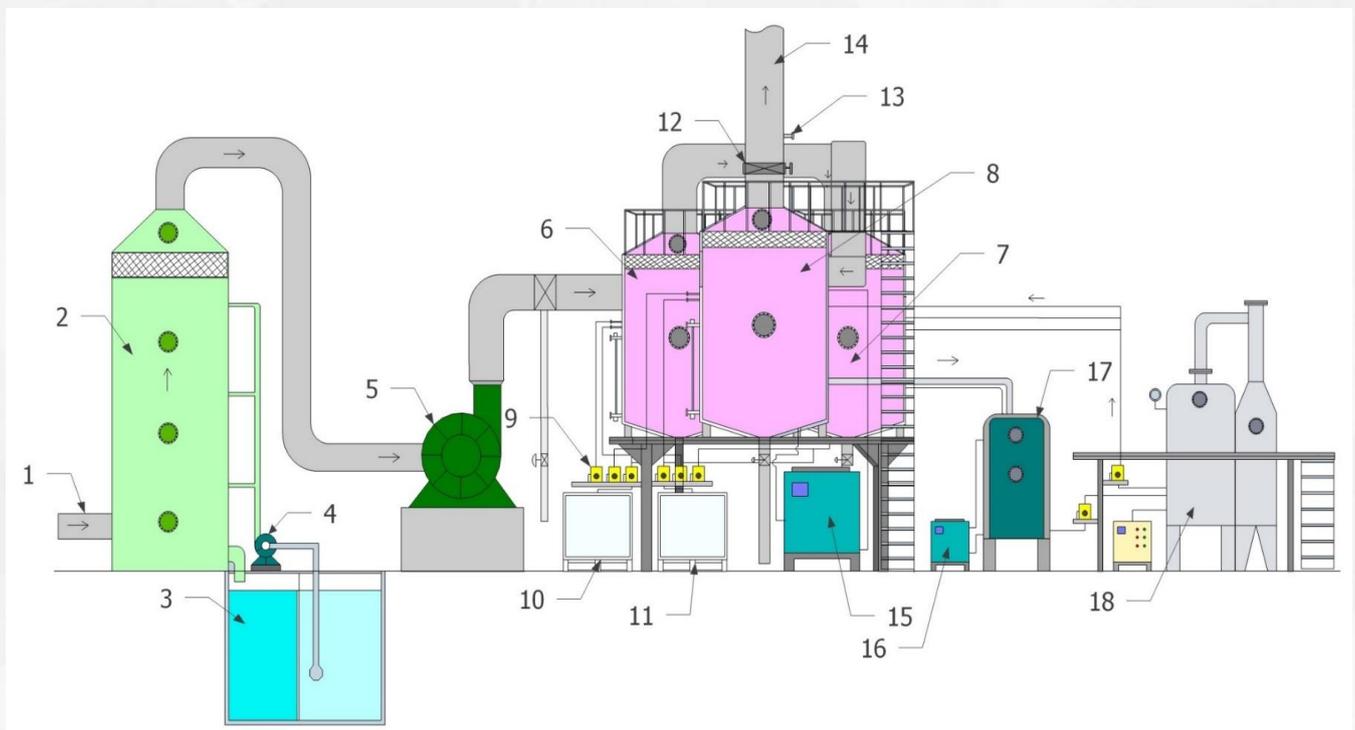
- 1吨熟料对应的CO2排放量 (t) 为0.86吨。
- 二氧化碳补捕量以20%计。
- 1吨二氧化碳以转化成0.7吨甲醇计算。
- 目前1吨CO2的交易价格在60元左右。
- 甲醇卖价以工业甲醇市场价 (2200-2400元/吨) 平均之80% (1800元/吨) 计算。
- 运行成本以捕获每吨二氧化碳70元计算。
- 企业净利润为 (碳交易收益+副产物收益) 减去运行成本。

公司简称	发电量 (千瓦时)	<sup>a</sup> CO2排放量 (t)	<sup>b</sup> CO2捕获量 (吨/年)	<sup>c</sup> 甲醇产量 (吨/年)	<sup>d,e</sup> 企业利润, 碳交易+副产物收益 (元/年)	<sup>f</sup> 运行成本估计 (元/年)	<sup>g</sup> 企业净利润估计 (元/年)
申能集团	380亿	3040万	608万	425万	80亿	4亿	76亿
华润电力	1661亿	1.32亿	2640万	1840万	347亿	18亿	329亿
中国华电集团	2209亿	1.77亿	3540万	2400万	453亿	25亿	428亿
中国石油化工集团	11000亿	8.8亿	1.76亿	1.23亿	2320亿	123亿	2197亿
国家能源集团	11400亿	9.12亿	1.82亿	1.27亿	2395亿	127亿	2268亿
中国华能集团	50770亿	40.62亿	8.12亿	5.68亿	10711亿	568亿	10143亿
中国大唐集团	5884.62亿	4.71亿	9420万	6500万	1227亿	66亿	1161亿
浙江能源集团	1776.3亿	1.42亿	2840万	1980万	373亿	20亿	353亿

表2: 国内8家电力行业公司使用纳米碳捕捉技术后效益预测

- 1度电对应的CO2排放量 (t) 为0.0008吨。
- 二氧化碳补捕量以20%计。
- 1吨二氧化碳以转化成0.7吨甲醇计算。
- 目前1吨CO2的交易价格在60元左右。
- 甲醇卖价以工业甲醇市场价 (2200-2400元/吨) 平均之80% (1800元/吨) 计算。
- 运行成本以捕获每吨二氧化碳70元计算。
- 企业净利润为 (碳交易收益 + 副产物收益) 减去运行成本。

# 工艺流程示意图



1) 进气口, 2) 喷淋塔, 3) 循环水, 4) 水泵, 5) 变频风机, 6) 脱硫塔, 7-8) 二氧化碳吸收塔, 9) 计量泵, 10) 药剂罐, 11) 甲醇收集罐, 12) 控制阀, 13) 气体检查点, 14) 烟囱, 15) 温度控制单元, 16-17) 防爆电机单元, 18) 甲醇精馏系统。



## 沃力雅环保科技（上海）有限公司

WOLIA Environmental Technology(Shang Hai) Co., Ltd

地址：上海市闵行区放鹤路1088号

联系人员：彭先生

联系电话：13588039108

邮箱：[huanbao@wolia-group.com](mailto:huanbao@wolia-group.com)

网址：<http://www.wolia-group.com>