

简明可行性报告

# 低温区间二氧化碳发电厂

2022 年 8 月于德国法兰克福市

作者：奚振华博士

## 关键词

低温区间二氧化碳发电厂、环境温度、有用能 (Exergy)、无用能 (anergy)、卡诺定理、朗肯循环系统、离散可储运性循环系统 (KDST)。

## 摘要

2021 年 12 月 30 号德国专利商标局正式公布一项专利: DE102020000131, 名称: 二氧化碳发电厂中的二氧化碳液化和储存方法, 这项专利也于 2022 年 1 月 17 号获得欧盟专利局 (EPO) 在世界知识产权合作组织(WIPO)框架下的专利性认可。低温区间二氧化碳发电厂运用离散可储运性循环系统, 能把自然界的热能经济有效地转换为电能, 由此解决能源短缺和气候变化问题, 并把工程技术热力学及其应用推向一个新的发展阶段。

## 目录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1. 引言 .....                 | 3  |
| 2. 技术发展过程 .....             | 3  |
| 3. 创新思想 .....               | 4  |
| 4. 技术可行性 .....              | 6  |
| 5. 经济效益性 .....              | 7  |
| 6. 低温区间二氧化碳发电厂 .....        | 10 |
| 6.1 优越性 .....               | 10 |
| 6.2 弱点 .....                | 11 |
| 6.3 系统特征 .....              | 11 |
| 7. 行动步骤 .....               | 13 |
| 7.1 便携式二氧化碳发电厂的设计制造 .....   | 13 |
| 7.2 样板二氧化碳发电厂的设计制造 .....    | 13 |
| 7.3 一万千瓦二氧化碳发电厂的设计制造 .....  | 13 |
| 7.4 二氧化碳发电厂的大规模推广建设 .....   | 13 |
| 8. 低温区间二氧化碳发电厂的热力学重要性 ..... | 14 |
| 参考文献 .....                  | 14 |
| 附表: 四年损益预算表 (人民币万元单位) ..... | 15 |

## 1. 引言

利用二氧化碳在低温区间发电是当代科技领域的一个重要方面，它为遏制温室效应，解决气候变化问题，提供了全新的能源技术。它可利用昼夜和季节性温差以及不同地区和不同物体之间的温差，将自然界的热能和冷能经济有效地转化为电能。此外，它还可利用它固有的储能功能，使波动性的风能和太阳能转化为稳态能源。所以通过建设低温区间二氧化碳发电厂，我们不但能提前实现碳中和发展的宏伟目标，而且还能降低地球大气层中的二氧化碳含量。

## 2. 技术发展过程

自 19 世纪后期以来，大多数发电厂都运用朗肯循环系统（Rankine-cycle），并用水作为它的工质，例如，煤电厂。此外，人们也曾尝试用二氧化碳替代水作为工质，早在 1911 年，就有一种名为 Cetonia 的八个气缸活塞式的二氧化碳发动机。进入 21 世纪后，人们继续尝试用二氧化碳作为工质在高温下发电。例如，2012 年的美国专利号：US 2012/0090352 A1，名称：基于氧燃料的发电循环系统的方法和设备；另一个例子就是近年来美国通用电气公司 GE 展示了一种台式二氧化碳透平机，在 715 °C 利用二氧化碳作为工质发电，可供约一万个家庭用电。

除了在高温端，也有科技人员在低温区间研发如何利用二氧化碳发电，例如，约在正负 60 摄氏度之间循环利用二氧化碳进行发电。当前，运用一种新的循环系统即离散可储运性循环系统，就可以在低温区间利用二氧化碳作为工质，把自然界的热能经济有效地转换成电能，这是最新的科技发展，并获得德国专利商标局（DPMA）的两项专利授权。第一项专利号：DE102017003238，名称为：利用二氧化碳进行能量转换的方法和设备系统，它也已在 2022 年 4 月 5 号得到中国知识产权局的专利授权；第二项专利也已于 2021 年 12 月 30 号正式公布，专利号：DE102020000131，名称：二氧化碳发电厂的二氧化碳液化和储存方法，这项专利也于 2022 年 1 月 17 号获得欧盟专利局（EPO）在世界知识产权组织（WIPO）框架下的专利性认可。

### 3. 创新思想

低温区间二氧化碳发电厂的创新技术在于运用了一个新的循环系统，它有四个相互关联的特征：

- 特征 1：用二氧化碳替代水作为工质，
- 特征 2：二氧化碳可任意长距离运输，
- 特征 3：膨胀做功后的二氧化碳可任意长时间储存，
- 特征 4：液化后的二氧化碳可任意长时间储存。

通过二氧化碳的可运输性，这一新循环系统获得了空间上的灵活性，人们可以利用不同地区和不同物体之间的温差；并且，它有了储存功能，在时间轴上也获得了灵活性，人们可以利用冬夏和昼夜之间的温差。大家知道，计算机靠的是储存器，人靠的是记忆力，现在这一新循环系统也同样具有了储存功能。在空间和时间维度上与朗肯循环系统相比，这是一个质的飞跃。朗肯循环系统在绝大多数发电厂中至今已经使用了约 150 年，现在它仅是新循环系统的一个特例。新循环系统以下简称 KDST，KDST 代表德文缩写“Kreislaufsystem mit den Eigenschaften Diskretheit, Speicherbarkeit und Transportierbarkeit”。中文译为离散可储运性循环系统。以下给出它的一张示意图：

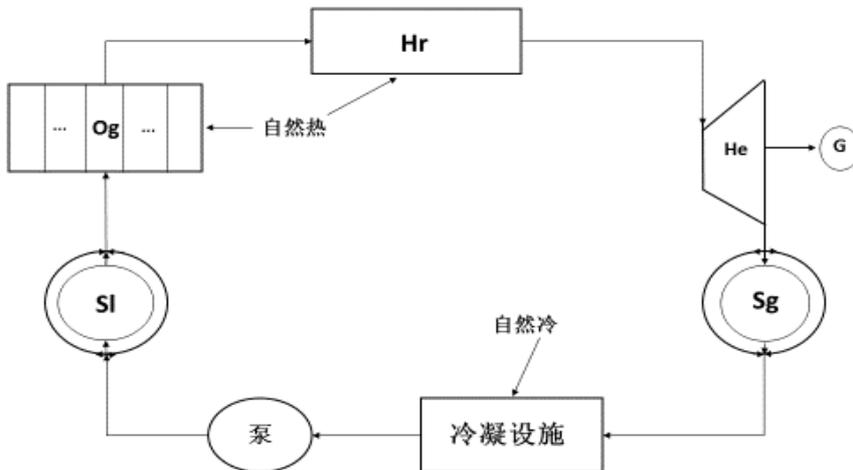


图 1：离散可储运性循环系统。Sg：二氧化碳气体储运设备，S1：二氧化碳液体储运设备，Og：操作容器组，Hr：热交换机和解调器，He：热机组，G：发电机组

首先让我们看一下符号图像 Sg，它代表 CO<sub>2</sub> 气体储运设备。内圈的内部代表 CO<sub>2</sub> 气体的储存库，两个圆圈之间的部分代表 CO<sub>2</sub> 气体的运输管道，箭头表示 CO<sub>2</sub> 的流动方向。类似地，符号图像 S1 表示 CO<sub>2</sub> 液体的储运设备。操作容器组 Og 中各个容器可配备热交换器，由此 KDST 能与其周围环境进行能量交换。

KDST 工艺流程叙述如下：超临界 CO<sub>2</sub> 流体，例如压力 500 巴和温度 95 °C 的 CO<sub>2</sub> 流体，被输入 He 的热机，在那里膨胀做功。由此驱动 G 的发电机发电。之后，CO<sub>2</sub> 流体可以储存在 Sg 的 CO<sub>2</sub> 储气库中，或者通过 Sg 的运输管道直接输送到冷凝设施，并利用自然界的冷能或其他冷源使其液化。Sg 储存库中的 CO<sub>2</sub> 流体可以在合适的时候，例如冬季或夜间，输出到冷凝设施进行液化。在冷凝设施中液化的二氧化碳可以泵入 S1 的 CO<sub>2</sub> 液体储存库中储存，也可以通过 S1 的运输管道直接泵入 Og 的操作容器中加热。储存在 S1 中的 CO<sub>2</sub> 液体可以在适当的时候输出到 Og 的操作容器中加热，例如，冬天储存的二氧化碳液体可以在夏天输送到 Og 的操作容器中。在 Og 的操作容器中，CO<sub>2</sub> 液体被自然界的热能或其他热能加热而进入超临界状态，成为高压流体。经过 Hr 换热机和调控设备的自动调节，波动的高压 CO<sub>2</sub> 流体就成为满足热机要求的稳定性超临界流体。然后就进入下一轮循环。

离散可储运性循环系统的离散性主要体现在二氧化碳的加热和冷却过程中，它有四个方面：

- 在温度方面，加热和冷却过程可以分级进行，
- 在时间方面，加热和冷却过程可以分时进行，
- 在数量方面，加热和冷却过程可以分批进行，
- 并且循环系统中将会产生多个二氧化碳射流，它们可以合并、分流和中止等。

离散可储运性循环系统的储运性比较明了，它的储运载体主要是水和二氧化碳，它也有四个方面：

- 储存 95 °C 热水，例如从夏季储存到冬季，
- 储存冰块，例如从冬季到夏季，

- 储存二氧化碳气体，例如从白天到深夜，或者从夏季到冬季，
- 储存二氧化碳液体，例如从冬季到夏季。

特定条件下可用其它载体如石块用于储存高温热能，结晶盐水用于储存低温冷能。

因此，通过运用 **KDST** 和利用昼夜和季节性温差以及不同地区和不同物体之间的温差，就能经济有效地将自然界的的热能和冷能转化为电能。在此值得一提的是，在一定条件下，在适当调整 **KDST** 后，也可以使用其它物质作为工作介质替代二氧化碳。但是，基于二氧化碳的物理特性，它可能是最合适的 **KDST** 工作介质，用于地球表面层周围的自然温度区间，也即地球深约 5000 米，高约海拔 9000 米之间的自然温差区间。因此，在正负 60 °C 之间的所有自然温差都可用于低温区间二氧化碳发电厂中的能量转换。关键的问题是它的技术可行性和经济效益性，这两个问题将在以下两节中详细叙述。

#### 4. 技术可行性

二氧化碳的三相共存点温度为负 56.56 °C，临界温度为正 30.98 °C。它的这一物理特性就决定了存在一种可能性，利用它作为 **KDST** 的工质可将自然界的的热能经济有效地转换成电能。在气候温差大的地区，例如一年内气候温度可达零上和零下三十摄氏度的地区，电厂的离散可储运性循环系统要求  $\text{CO}_2$  运输管道和  $\text{CO}_2$  液体储存库都能耐压二十巴，而且气候温度越低，耐压要求就越低，反之则反之。依据当前天然气输送管道的耐压程度，以及季节性储热设施和核电站防护壳的建造数据，人们完全可以满足以上  $\text{CO}_2$  运输管道和储存库的耐压要求。并且，由于离散可储运性循环系统工作在低温区间，一般的技术设备在需要时都能投入使用，同时也可以利用现有的物质材料，研发二氧化碳专用的技术设备，用以提高电厂的热功效率。

这里所说的低温区间是指温度小于 150 °C 的温度区间。低温区间二氧化碳发电厂通常设置它的高端温度为 95 °C，低端温度在 0 °C 以下。储存和传递能量的主要载体是水和二氧化碳。如果储存高温能量的载体是石块，则低温区间二氧化碳发电厂的高端温度 95 °C 还可升高。

在以下所说的二氧化碳发电厂，通常是指低温区间二氧化碳发电厂。加热电厂循环系统中的二氧化碳，除了充分利用气候热能外，还可利用各种余热，它们可来自于煤电厂、玻璃厂、水泥厂、钢铁厂和油气田等工业设施，还有地热、太阳能等；冷却电厂循环系统中的二氧化碳，除了充分利用冬季等的自然冷能外，所有其他冷能都可用于二氧化碳气体液化，如液化天然气气化时产生的冷能、二氧化碳液体在膨胀或气化时所产生的冷能，尤其是冬季所储存的水冰和雪，其熔化焓约为 333.5 kJ/kg。相比之下，0 °C 时的二氧化碳气体液化焓为 230.9 kJ/kg，远低于 333.5 kJ/kg。此外，还可以将水冰从地球的南北极和高山顶部等寒冷地区运送到所需的二氧化碳发电厂用于液化二氧化碳气体，或者通过 KDST 运输管道将二氧化碳气体运送到寒冷地区进行液化。

在上面给出的示例性气候条件下，二氧化碳发电厂的卡诺效率处在 20% 到 40% 之间。例如，如果电厂热机的入口和出口温度分别为 95 °C 和 0 °C，则卡诺效率约为 26%。在寒冷的冬季，出口温度可远低于 0 °C，其效率也就高于 26%。因此实际的热效率一般可以达到 10% 以上，但这也依赖于每个国家的工业水平。

然而，人们还可以提出问题，如何以合理的方式达到二氧化碳发电厂的入口或出口温度，例如 95 °C 或 0 °C，用于加热或冷却二氧化碳。除了上述的热源外，还应提及的是，植物秸秆、废木材、能源作物等类似的二氧化碳中性燃料燃烧时所产生的热量。它们的能量密度可能比煤炭低得多。但是，通过燃烧它们而达到 95 °C 却已经足够有余。这意味着，仅从焚烧取热的意义上看，植物碳化过程所需的数百万年的时间缩短到了植物生长期的一年或几年的时间。为了达到有效的 0 °C 或以下温度，除上述冷能外，还可以利用热能制冷，例如，以氨水混合物作为工作介质的吸收式制冷设备或固定式 CO<sub>2</sub> 制冷机。所以，余下的问题仅仅是，使用这类制冷设备和所提到的热源和冷源需要付出多少成本，这是一个经济效益性问题，它将在下一节中加以详细解释。

## 5. 经济效益性

除了技术可行性外，人们也关心，上述 KDST 的四个关联特征能否带来相应的经济效益。根据现在的工业水平和市场价格可以预测，二氧化碳发电厂的赢利率

在百分之十五以上。二氧化碳储存设备和输送管道的建设占据电厂投资成本的主要部分，其设备折旧年限一般在 50 年以上。因此，这种长期的设备折旧年限和利用自然界的气候温差以及各种余热进行发电，就意味着二氧化碳发电厂具有很低的运营成本。

二氧化碳发电厂的投资成本除了技术设备成本外，在很大程度上还取决于二氧化碳发电厂当地的自然条件等，即当地的气候、水文、地理以及工业、农业和林业的发展水平，例如：

- a) 一年内的气候温差要大，如冬季低于负 30 °C，夏季高于正 30 °C；
- b) 有可用的水源，例如，河流、湖泊或海洋；
- c) 有可用的荒地，例如沙漠、盐碱地和地下空间；
- d) 有可用的二氧化碳中性燃料，例如植物秸秆和废木材；
- e) 有可用的地热和余热，例如来自煤电厂和钢铁厂等工业设施的余热；
- f) 有可用的余冷，如液化天然气气化时所产生的气化冷能；
- g) 有可用的共晶盐水，例如，融化温度为 -21 °C，融化焓 为 222 kJ/kg，以及 20 °C 时的密度为：每立方米 1165 kg。

假设满足上述 a) 和 b) 两个条件，一座一万千瓦的二氧化碳发电厂的投资约为 1 亿 4 千万元人民币。如果满足 a) 到 f) 6 个条件，则可以大幅降低电厂的投资成本。如果增加电厂的发电功率，则电功率的单位投资成本也会进一步降低。

通过满足 a) 和 b) 条件，人们就可以在冬季大量储存水冰和液态二氧化碳，它们可储存到如夏季一样的温暖时期。利用水冰的融化焓和液态二氧化碳的气化冷，就可液化二氧化碳气体。如果储存 20 吨左右的水冰，则由此获得的发电量就相当于进口一吨石油。这也意味着，可将水冰从地球两极或高山顶部等类似的寒冷地区运送到所需的二氧化碳发电厂。

如果满足条件 c)，就可以廉价地建设大量二氧化碳气体储存库，包括二氧化碳液体储存库、热能和冷能储存库和类似的储存系统。

如果满足条件 d)，除了加热二氧化碳流体外，还可以利用其燃烧产生的热能驱动制冷机，获取冷能，用于液化二氧化碳气体。

如果满足条件 e)，电厂的二氧化碳用余热加热的成本几乎是免费的。

如果满足条件 f)，则解决了二氧化碳发电厂的主要问题之一，即二氧化碳气体液化时所需的冷能。

条件 g) 难以满足，但它表明了应该寻找一种廉价能用的冷源载体，用于储存冬季的冷能。

除了上述二氧化碳发电厂的各种自然条件外，人们还对当地的市场价格感兴趣。例如，植物秸秆等二氧化碳中性燃料的价格，各种标准设备的价格，包括制冷设备。人们可以在互联网上和通过各种报价信息找到市场价格。在下表中，给出了一些示例。

**表格：二氧化碳发电厂的某些设备和材料价格表**

| 企业名称    | 设备或材料           | 当前估价            |
|---------|-----------------|-----------------|
| 西门子 德国  | 涡轮机 (Turbine)   | 250.000 欧元 / MW |
| 菲斯曼 德国  | 板式换热器           | 15 欧元/ kW       |
| XXX 德国  | 季节性储热设施         | 每立方米 300 欧元     |
| YYY 西班牙 | 太阳能聚热设施         | 每平方米 20 欧元      |
| ZZZ 中国  | 耐压 60 巴的钢筋混凝土储库 | 每立方米 400 元人民币   |
| XX1 德国  | 风电设施            | 1 百万欧元 / MW 电功率 |
| ZZ1 中国  | 植物秸秆            | 每吨 250 元人民币     |

另外，参照德国已投产的十二座大型季节性储热设施的建造成本和运行数据，就可以大致估计二氧化碳储存库的造价和运行费用。而且，把季节性储热设施改装成二氧化碳储存库后，它不但能把热能从夏季储存到冬季，也能把冬季的冷能储存到夏季，用于二氧化碳发电。一般来说，国内建造二氧化碳储存库的成本会比德国低，并且，电厂运营收入现在仅以每度电三角一分人民币计算，其它的收入部分还没计算在内，有关更详细的投资和运营数据请参见后面的附表。

二氧化碳发电厂属于新能源领域，它可与风能和太阳能聚热设施相互促进，使风能和太阳能转化为稳态性能源，从而形成二氧化碳发电、阳光聚热和风力利用三位一体的能源设施，由此进一步降低电厂的单位发电功率的投资成本。此

外，二氧化碳发电厂还可提高世界上最常用的发电厂即煤电厂的经济效率。在这种情况下，二氧化碳发电厂的投资成本将继续下降，因为煤电厂那里有可以利用的大量余热和兼容的技术设备。

目前中国的劳动力成本平均约为每小时 30 元人民币。如果粗略假设设备成本与人工成本的比例为 2 比 1，则可以快速估算出每个国家的投资总成本。

除了二氧化碳发电厂的投资总成本，人们也关心它的运营成本。这主要包括四个部分：人工成本、折旧成本、维护成本和原材料成本。人工和维护成本与同等发电量的煤电厂相当。但由于二氧化碳储运设施的折旧年限长，故每年的折旧成本较低。原材料成本通常很低。在有二氧化碳中性燃料可用的情况下，它们的采购成本约为煤电厂煤炭成本的四分之一。如果有余热可利用，则与其它运营成本项目相比，它的热源成本几乎可以忽略不计。在四年期损益预算表中有更多的运营成本信息，请参阅附表。

## 6. 低温区间二氧化碳发电厂

### 6.1 优越性

- (1) 突出的环保效益，无污染。如果电厂当地有二氧化碳中性燃料如植物秸秆和废木料等可利用，或者通过种植能源作物作为燃料，还可从大气层中抽走二氧化碳。这是因为植物生长吸收空气中的二氧化碳，燃烧植物秸秆所产生的热能可用于加热电厂循环系统中的二氧化碳，而从燃烧烟气中分离出来的二氧化碳，又可投入到电厂的二氧化碳循环系统中发电。因此，植物生长所吸收的二氧化碳就保留在二氧化碳发电厂的 KDST 循环系统中，既可提高电厂的发电功率又可降低空气中的二氧化碳含量。
- (2) 运行费用低，主要是因为利用了自然界的热能发电。
- (3) 适当的投资成本。
- (4) 模块化结构。所需的二氧化碳储存库和二氧化碳容器可以模块化扩展。
- (5) 适应性强。二氧化碳发电厂可以随时启动和停机，并且可随时升高和降低发电输出，由此可调节电网运行。

## 6.2 弱点

一方面，二氧化碳发电厂所在地的气候条件会很大程度上影响电厂的利润高低；另一方面，建设 CO<sub>2</sub> 储存库或 CO<sub>2</sub> 运输设施可能需要大面积的土地。因此，电厂附近有沙漠地或类似的荒凉地区可用，这对于建设二氧化碳发电厂是一个非常有利的因素。

## 6.3 系统特征

- (1) 采用离散可储运性循环系统；
- (2) 利用自然界的热能和冷能和各种余热和余冷发电；
- (3) 通用技术的集成应用；

## 6.4 市场规模与竞争

目前全球每年生产约 30 万亿度的电，中国约占 5 万亿度。二氧化碳发电厂将成为主要发电厂之一，未来发电量将因此增加多倍。由于二氧化碳发电厂产生的电力如此之多，人们就可以用电解水技术廉价且可持续地生产氢气，由此可以建设氢能产业链。

此外，低温区间二氧化碳发电厂在能源行业内仍处于起步阶段。因此，还没有直接的技术竞争对手。在高于 600 °C 的高温区间，美国和中国已经有一些高温区间二氧化碳发电厂的试点项目，最近也已经投产。但这些高温区间二氧化碳发电技术还有很长的路要走，才能进入盈利区域。因为在高温区间，至少需要一个高温热源，以及制造耐高压和耐高温设备所需的材料。美国 GE 公司已经能够生产所需的二氧化碳涡轮机，2021 年德国西门子公司也宣布能够生产这种高温区间的二氧化碳涡轮机。相比于其它新能源技术，如风能和太阳能，低温区间二氧化碳发电技术的优势也十分明显，它生产的是稳态性能源，且可随时调节发电功率，并且它可以结合使用风能和太阳能技术，使它们变成稳态性能源。

二氧化碳发电厂可以首先在气候条件良好的国家实施。例如，美国、加拿大、印度和中国。中国有东北、内蒙、新疆和西藏等地区，它们冬季气候十分寒冷，有利于低温区间二氧化碳发电厂的发电。因此，一家从事二氧化碳发电厂技术的科技公司，可以供给世界各地二氧化碳发电厂所需的技术设备并提供相应的服务，

由此就能发展成为世界上第一批营业额达万亿欧元的公司。

以下给出一张二氧化碳发电厂的示意图：

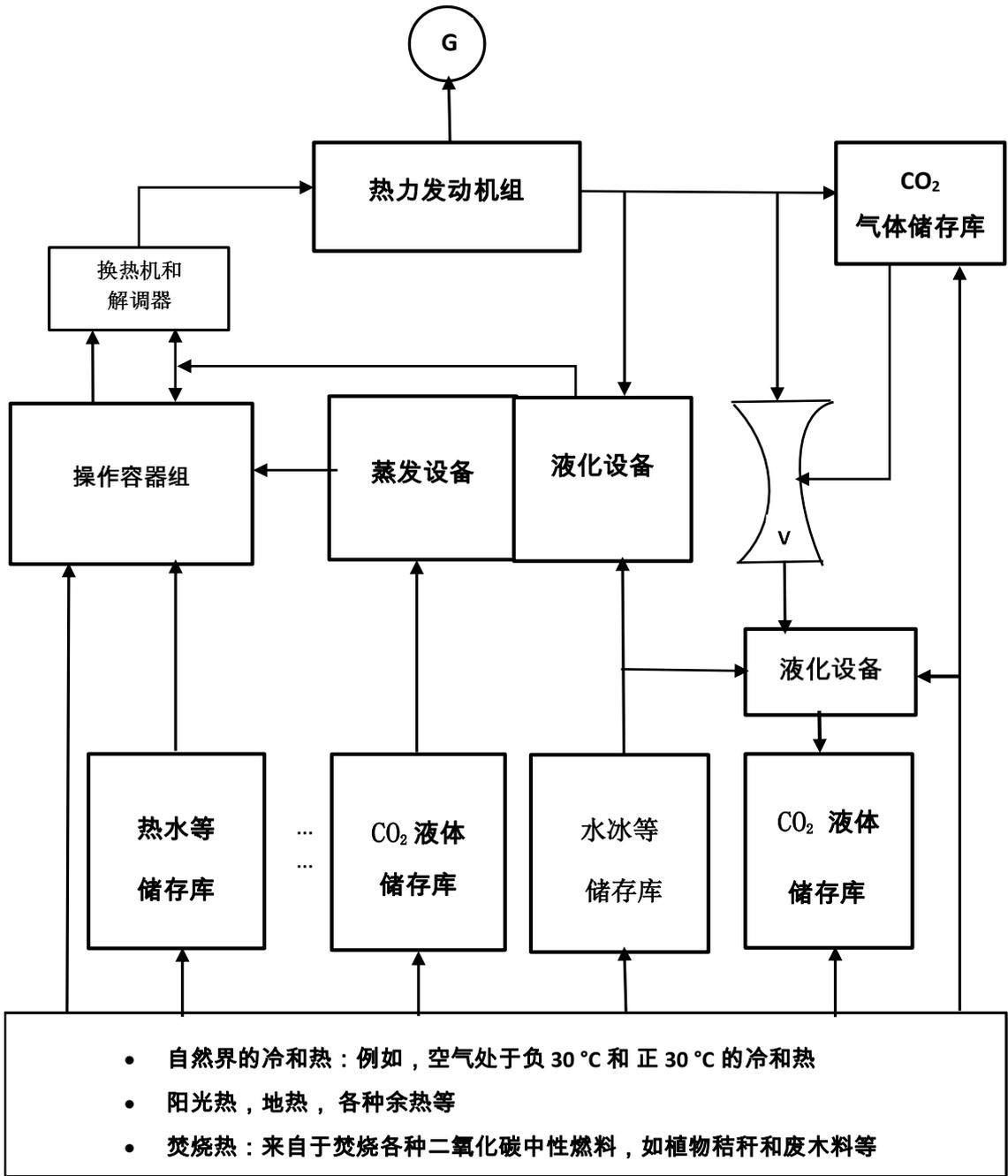


图 2：二氧化碳发电厂， G：发电机组， V：文丘里 (Venturi) 喷嘴

作为概图，我们在图 2 中省略标出：开关、阀门、泵，热交换器和平行管道，控制中心等等，也没有标出其他可能的辅助设备，例如制冷机、阳光聚热和风能

利用设备，以及用于燃烧二氧化碳中性燃料的焚烧炉等等，所有这些辅助设备都有可能帮助提高二氧化碳发电厂的经济效率。

## 7. 行动步骤

在有资金支持的情况下，二氧化碳发电厂需要 24 个月达到量产建设阶段，具体步骤叙述如下。

### 7.1 便携式二氧化碳发电厂的设计制造

费用：50 万元人民币；时间：12 个月；

目标：用于现场演示低温区间二氧化碳发电厂的原理，例如在展览会，推介会等；合作伙伴：待定。

### 7.2 样板二氧化碳发电厂的设计制造

费用：800 万元人民币；时间：12 个月；

目标：5 百千瓦发电功率，用于现场参观，演示低温区间二氧化碳发电厂的赢利模式，发电年收入约为 135 万元人民币；合作伙伴：待定。

这一步骤完成后，下一步骤的筹资就比较容易。通过赢利模式的现场演示，人们可以根据自身地区的各种自然条件和市场价格，清楚地确定规模化生产后的赢利率。

### 7.3 一万千瓦二氧化碳发电厂的设计制造

费用：1 亿 4 千万元人民币；时间：24 个月；

目标：一万千瓦发电功率，用于低温区间二氧化碳发电厂的赢利，发电年收入约为 2700 万元人民币；合作伙伴：待定。

如果一开始本步骤的资金已经到位，也可以跳过前两步，直接从本步骤开始。附表即四年损益预算表就是依本步骤进行四年损益预算。

### 7.4 二氧化碳发电厂的大规模推广建设

在此阶段可考虑同时建造风能利用和阳光聚热设施，利用二氧化碳发电厂的储能功能使这些非稳态能源转换成稳态能源；同时，能源作物的利用也可进入议

事日程，争取早日进入经济碳负发展阶段；此外，氢能产业链的规划也可并行进行。

## 8. 低温区间二氧化碳发电厂的热力学重要性

利用二氧化碳在低温区间把自然界的热能经济有效地转化为电能，它突破了工程技术热力学中的一个边界限制条件，即设计电厂时，它的环境温度不可变。这个突破意味着在低温区间二氧化碳发电厂中，昼夜和季节性温差以及不同地区和不同物体之间的温差都可用于将自然界的热能转化为电能。因此，许多相关的技术热力学概念在时空两个维度上都可以进行扩展。例如，有用能（Exergy）和无用能（Anergy）、吉布斯或海尔姆霍兹潜能（Gibbs or Helmholtz energy potentials）。而且，从冷源方向也可以扩展性地演绎卡诺（Carnot）定理，从而把技术热力学的理论及应用推向一个新的发展阶段。

### 参考文献

1. 美国专利号：US 2012 / 0 090 352 A1, *Methods and Apparatus for an oxy-fuel based power cycle*
2. 欧盟专利号：EP 2 703 610 A1, 储能及短时发电方法及系统
3. FISCHEDICK, 曼弗雷德；高纳（GORNER），克劳斯；玛吉特（出版者）THOMECEK: 二氧化碳：分离，储存，使用---能源管理和工业领域的整体评估。柏林：Springer Vieweg, 2015 年。封面和目录 -ISBN 978-3-642-19527-3。DOI: 10.1007 / 978-3-642-19528-0
4. Schmuck, M.: 季节性蓄热的经济可行性，来自研究和实践，第 17 卷 Expert publisher 17。封面和目录 -ISBN 978-3-8169-3398-4
5. LUCAS, 克劳斯：热力学---能量和物质转换的基本定律。第 6 版，柏林：施普林格，2007 年。-ISBN 978-3-540-73515-1
6. HAMMERSCHMIDT, Klaus-Jörg: 二氧化碳发动机及其应用。Villingen-Schwenningen: Neckar-Verl., 1992 年。-ISBN 3-7883-0632-7,

7. 斯特纳, 迈克尔; Ingo Stadler (出版者): 储能-需求, 技术, 集成。第 2 次更正补充版, 柏林: 施普林格·维尤格, 2017 年
8. P. Stephan, K. Schaber, K. Stephan, F. Mayinger, 热力学, 第 1 卷, 第 19 版, Springer Verlag

附表: 四年损益预算表 (人民币万元单位)

| 款项             | 第一年            | 第二年              | 第三年             | 第四年             | 备注               |
|----------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 销售收入           |                |                  | 2,715.60        | 2,715.60        | 发电功率:<br>10 MW   |
| +专利            |                |                  |                 |                 |                  |
| +服务咨询费         |                |                  |                 |                 |                  |
| +发电            |                |                  | 2,715.60        | 2,715.60        | 电价: 每度<br>0.31 元 |
| +二氧化碳交易收入      |                |                  |                 |                 |                  |
| +夏天冷气          |                |                  |                 |                 |                  |
| +资产折新          |                |                  |                 |                 |                  |
| +其他            |                |                  |                 |                 |                  |
| <b>支出</b>      | <b>-204.17</b> | <b>-2,396.67</b> | <b>2,563.09</b> | <b>2,571.49</b> |                  |
| —材料、能源(电/水/暖气) | 7.8            | 15.60            | 23.4            | 23.4            |                  |
| —货品等 (办公用品等)   | 0.25           | 1                | 2               | 2               |                  |
| —员工工资          | 150            | 300              | 450             | 450             |                  |
| —折旧            | 5.58           | 722.66           | 722.66          | 722.66          |                  |
| —租房            | 7.2            | 14.40            | 21.60           | 30              |                  |
| —银行贷款费用 (5%)   | 15.04          | 782.12           | 782.12          | 782.12          |                  |
| —保险            | 0.56           | 60.32            | 60.32           | 60.32           |                  |
| —公司成立费用        | 1              |                  |                 |                 |                  |
| —设备维修          | 5.58           | 364.12           | 364.12          | 364.12          |                  |
| —不可预计费用        | 5.58           | 76.71            | 76.71           | 76.71           |                  |
| —其它(运输等)       | 5.58           | 59.76            | 59.76           | 59.76           |                  |
| <b>企业收支结算</b>  | <b>-204.17</b> | <b>-2,396.67</b> | <b>152.51</b>   | <b>144.11</b>   |                  |
| 税赋             |                |                  |                 |                 |                  |
| <b>全年赢利或亏损</b> | <b>-204.17</b> | <b>-2,396.67</b> | <b>152.51</b>   | <b>144.11</b>   |                  |

