



# 超大规模能源项目融资： 佩特拉诺瓦碳捕获 项目案例研究

供可持续城镇化CEO理事会参阅

作者 Jesse Jenkins

2015年10月

## 关于保尔森基金会

保尔森基金会由亨利·保尔森先生在2011年创立，是一家以“知行合一”为宗旨的非党派智库。基金会的使命是推动全球环境保护及中美两国的可持续发展，促进及拓宽两国间的相互了解。基金会秉承以下原则：只有中美两国互补协作，才能应对当今最紧迫的经济和环境挑战。基金会总部位于芝加哥大学，同时在北京和华盛顿设有工作团队。基金会的工作主要是通过项目、倡导和研究，推动经济增长，创造就业机会，促进智慧城市建设和推行负责任的环境政策。智库与领先的学者和实践工作者携手，针对中国当前面临的公共政策挑战、环境问题，以及中美经济关系的机遇等，研究、编写及发表一流的报告。更多信息请访问我们的网站[www.paulsoninstitute.org.cn](http://www.paulsoninstitute.org.cn)

## 关于中国国际经济交流中心（中方支持单位）

中国国际经济交流中心（简称：国经中心）成立于2009年3月20日，是经民政部批复成立的社团组织，主管部门为国家发展和改革委员会。主要业务是：开展并组织研究重大国际国内经济问题，广泛开展国际交流与合作，为政府部门提供智力支持，为企业和社会各界提供经济交流平台。

国经中心以服务国家发展、增进人民福祉、促进交流合作为宗旨，坚持中国特色社会主义理论体系，秉承“创新、求实、睿智、兼容”的理念，积极开展国际国内重大理论问题、战略问题、热点问题和全局性问题的研究，努力建设高水平和有国际影响力的中国特色新型智库，汇集社会智力资源，为国家和地方、企业决策提供智力支持与咨询服务，为增强国家软实力做贡献。国经中心编辑《研究报告》、《智库言论》、《信息反映》等内参，出版《全球化》杂志。请访问网站 ([www.cciee.org.cn](http://www.cciee.org.cn)) 了解更多信息。

供可持续城镇化CEO理事会参阅

## 概要



国际政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 日前向各成员国提交了一份最新的报告。该报告称，为避免温室效应进一步加剧，以2010年的排放量为基准，全世界必须在2050年之前削减40%-70%的温室气体排放量。同时报告还指出，二氧化碳排放量较少的太阳能和风能等“低碳能源”目前在能源结构中占比不到20%，要实现削减40%-70%温室气体排放量的目标，需要将“低碳能源”的比例提高3-4倍。全球范围内，有多种减排措施可以选用，包括：能效措施、太阳能、风能、核能及其他，但不断创新以及新一代先进能源技术将以经济、快速的方式帮助应对能源脱碳的挑战。

不幸的是，新能源技术的市场化由于诸多金融“死亡谷”而遭受阻碍，即从实验室到市场过程中的关键阶段很难获得风险偏好投资。甚至在先进的能源技术从实验室里诞生并通过概念证明，还是常常会在商业化道路上面临融资挑战。在此阶段，一项新技术或流程无法全面良好运作的风险会让商业银行和其他典型投资者却步。对动辄需要十几亿美元或更多初始投资的大型“超级项目”、复杂低碳基建投资来说，这项挑战尤其严峻。

要成功穿越这个“商业化的死亡谷”，先进的超级能源项目还需要诸多重要条件：有足够耐心和决心关注一个复杂的长期项目得以完成并且愿意承担风险的主开发商；拥有全价值链专业技术以及管理工程、建造和采购流程，并能降低相关风险的项目合伙人；以及一群愿意在某一尚未验证但可能开启新市场并带来丰厚回报的科技的上下赌注的特别投资人。大多数情况下，政府同样扮演了关键角色，如以资助或税收抵免来减少前期开支、提供抗风险贷款，或以其他方式降低创新项目的风险。

本报告详细描述了德克萨斯州本德堡县的佩特拉诺瓦碳捕获项目 (Petra Nova Carbon Capture Project)。这个数十亿美元的项目将采用“后燃碳捕获”技术，规模之大前所未见，同时将证明该技术的商业可行性。

## 佩特拉诺瓦项目成为先进的超级能源项目如何穿越“商业化死亡谷”的典型案例。

美国独立发电企业NRG能源公司和日本的新日本石油和天然气勘探开发公司合资开展佩特拉诺瓦项目，将成为全球现有燃煤电厂后燃碳捕获技术的最大规模应用。为证实碳捕获技术能够转化为收益，佩特拉诺瓦项目产生的二氧化碳将通过管道输送至附近油田，然后泵入地下、用于“采油率提升”流程。除分离二氧化碳以外，这个流程能增加老化油田的压力，显著提升石油产量。NRG和新日本石油均持有油田股权，石油增产创造的收益有望带来不错的风险调整后回报。美国能源部为该项目提供了1.67亿美元的资助、日本出口信用机构也提供了抗风险资金。因此，佩特拉诺瓦项目成为先进的超级能源项目如何穿越“商业化死亡谷”的典型案例。

## 挑战：商业化死亡谷

全球的能源生产和使用方式必须做出改变，才能应对气候变化。为避免气候变化造成最严重的后果，全球二氧化碳和其他温室气体排放必须在2050年前减少40%-70%，并在本世纪末有效降低至零排放。<sup>1</sup> 电力行业有望在全球脱碳领域发挥领先作用，大多数气候稳定的情景假设都将2050年全球电力行业二氧化碳零排放作为愿景。<sup>2</sup>

实现零碳排放要求广泛采用多项先进的低碳能源技术。尽管一些低碳资源，包括节能、风能、太阳能光伏，已十分成熟且规模快速扩大，但能源专家认为，持续创新和新一代先进能源技术是脱碳的重要措施。下一代太阳能、风能和核能设计、新的储能技术、化石能源发电厂和工业设施捕获和储存二氧化碳排放的能力，都将以快速且经济的方式极大提高全球减少温室气体排放的机会。<sup>3</sup>

但是，将新能源技术引入市场是一项极为艰巨的挑战，受到多重金融“死亡谷”的阻碍。新技术从实验室走向市场的几个重要阶段很难获得抗风险股权投资和商业债务融资。<sup>4</sup> 尤其是，“商业化死亡谷”严重阻碍了很多先进能源技术，尽管这些技术已经通过了概念验证阶段，但仍然需要大量资金注入以证明全面综合的工艺流程可以达到商业化规模。这个阶段的常见风险是，一项新发电技术或清洁能源生产流程可能不能大规模良好运作，或者一个大型的复杂项目无法按时或按预算执行。这让商业银行和许多股权投资者对创新项目或首次大规模项目的投资望而却步。这一挑战对大型“超级项目”和需要数十亿美元或更多初始投资的复杂低碳基建项目来说，尤其严峻。



2014年Petra Noav项目破土动工

资料来源：美国能源部

“商业化死亡谷”引发了典型的“鸡和蛋”难题。“人人都想抢占第二的位置，”美国能源部主管化石能源的副部长克里斯托弗·史密斯(Christopher Smith)解释说。<sup>5</sup> 如果一家公司冒着风险证明了一项技术能够达到广告里说的效果，那么商业银行和其他投资者常常愿意跟随，并对后续项目进行更多投资。但是，除非有资金来建设这个先驱项目，否则风险观念将继续阻碍投资者，不愿投资这项应对气候变化所需的先进能源技术。

## 机遇：无碳煤

电力行业若要发挥领先作用，以实现2050年零碳排放的目标，那么煤炭和其他化石燃料发电厂的碳排放必须最终降至零水平。<sup>6</sup> 虽然2050年看似遥远，但发电厂和相关输电设施却有很长的寿命。这意味着很多现在建成的发电厂将在2050年到来之际继续运营，包括中国、印度和其他快速发展的发展中国家近些年新建的一大批燃煤电厂。

本世纪以来，全球能源供应几乎一半要依靠燃煤。<sup>7</sup> 因此，全球五分之一以上的燃煤电厂建成至今还不满五年、一半左右不足20年。<sup>8</sup> 仅中国在过去十年间就修建了约530吉瓦的燃煤电厂，<sup>9</sup> 比美国全部燃煤电厂的产能加起来还多。<sup>10</sup> 尽管中国的城市普遍污染严重，中国也承诺在2030年前将单位GDP二氧化碳排放比2005年减少60%-65%，<sup>11</sup> 但预计中国的燃煤电厂在未来十年还将继续增长。到2025年，中国投产的燃煤电厂产能或将超过1360吉瓦。<sup>12</sup>

虽然美国和欧洲可能在本世纪中叶最终淘汰老旧燃煤电厂，但中国和其他新兴经济体不太可能关停所有或甚大部分近期修建的先进技术燃煤电厂。如果中国和其他国家现有的大量燃煤电厂不能最终捕获并安全储存所排放的二氧化碳，减缓气候变化或将无法实现。

改造现有燃煤电厂有赖于一系列“后燃碳捕获”技术的成熟、普及和升级。后燃碳捕获是指将二氧化碳从燃煤或其他化石燃料发电厂和工业设施的排放物中分离出来，与硫化物、氮氧化物和其他常规空气污染物从发电厂排放物中分离出来的方法相似。这一技术通常采用被称为胺类的特殊化学溶剂，来吸附废气或电厂烟气里的二氧化碳。然后通过加热使二氧化碳从富含碳的胺类溶剂中分离出来。胺可以重复使用，分离出来的高纯度二氧化碳气体被压缩成超临界或液体状态，或用于工业用途，或通过加压管道注入并储存在地下。

尽管后燃碳捕获和分离（CCS）过程的关键部分现在已投入应用，<sup>13</sup> 但还不能证明一个全面综合的后燃碳捕获和分离项目可以在商业发电厂实现规模化运作。因此，这方面的尝试将呈现大型能源技术项目穿越商业化死亡谷的具体案例，也向全世界证明这项技术大规模使用的可行性，即能够创造利润的前景。

后燃碳捕获整合了各种现有的科技和工艺。化工氨溶剂研发于75年前，可以将二氧化碳和硫化氢等酸性气体从天然气中分离出来。<sup>14</sup> 将二氧化碳从发电厂废气中分离出来的想法起初并不是为了应对气候变化问题，而是为了捕获二氧化碳以提高老化油田的生产率。在采油率提升流程中，水或气体（如二氧化碳）被压缩并泵入油田以增加压力，生产更多石油。德克萨斯州斯库瑞县于1972年首次将二氧化碳用于石油提炼，截止2012年，美国有100多个运作中的商业化二氧化碳注入项目，每年二氧化碳注入量超过6500万吨。<sup>15</sup> 现在美国采油率提升所使用的二氧化碳绝大多数来自天然储层或从天然气中分离而来，美国已建成一个约5500公里的管道网，将二氧化碳从生产地（多数在科罗拉多州、怀俄明州和新墨西哥州）运送至西德克萨斯和墨西哥湾的油田。<sup>16</sup> 油气行业在天然气储存上经验丰富，而二氧化碳和天然气性质类似，被封存

于贫瘠的油田、咸水层和盐穴。美国当前的地下天然气储存能力足以储存国内所有发电厂一整年排放的二氧化碳。<sup>17</sup>

尽管捕获发电厂废气中的二氧化碳已是现有技术，美国油气行业也拥有将气体泵入地下并储存的几十年丰富经验，但是燃煤电厂的后燃碳捕获涉及一项新应用，同时需要以前所未有的规模将这些现有技术成功地整合在一起。

---

很多现在建成的发电厂将在2050年到来之际继续运营，包括中国、印度和其他快速发展的发展中国家近些年新建的一大批燃煤电厂。

---

全球仅有13个运行中的碳捕获和分离项目，当中只有一座发电厂采用了后燃碳捕获技术。<sup>18</sup> 萨斯喀彻温省电力公司的边界大坝项目（Boundary Dam project）是全球第一个大型后燃碳捕获项目，2014年10月在加拿大萨斯喀彻温省投产发电。对发电厂三号锅炉进行了110兆瓦的改装后，该项目每年可捕获100万吨二氧化碳，相当于25万辆汽车的尾气排放。<sup>19</sup> 捕获的二氧化碳用管道运至41英里（66公里）外萨斯喀彻温省南部的几处油田以及一个在深层砂岩地层测试二氧化碳分离的研究项目。<sup>20</sup> 尽管这是迈向后燃碳捕获和分离技术所有环节全面综合及扩大的一大步，但边界大坝项目仍然只是现代燃煤电厂的一小部分，这些燃煤电厂基本都有300兆瓦或以上的产能。<sup>21</sup> 项目开支高达14.67亿加元，<sup>22</sup> 若没有政府支持，项目会因太过昂贵而无法盈利。加拿大政府承担了六分之一的费用，<sup>23</sup> 该项目占萨斯喀彻温省全省税收的比例，可能要比其他类型的发电项目更高。<sup>24</sup>

后燃碳捕获技术的商业化道路上主要有三重挑战：

- 必须扩大碳捕获系统的规模
- 必须降低成本
- 率先尝试的公司必须向商业银行证明，碳捕获项目是可靠的投资，而且有利可图

简言之，后燃碳捕获技术必须成功地穿越“商业化死亡谷”。

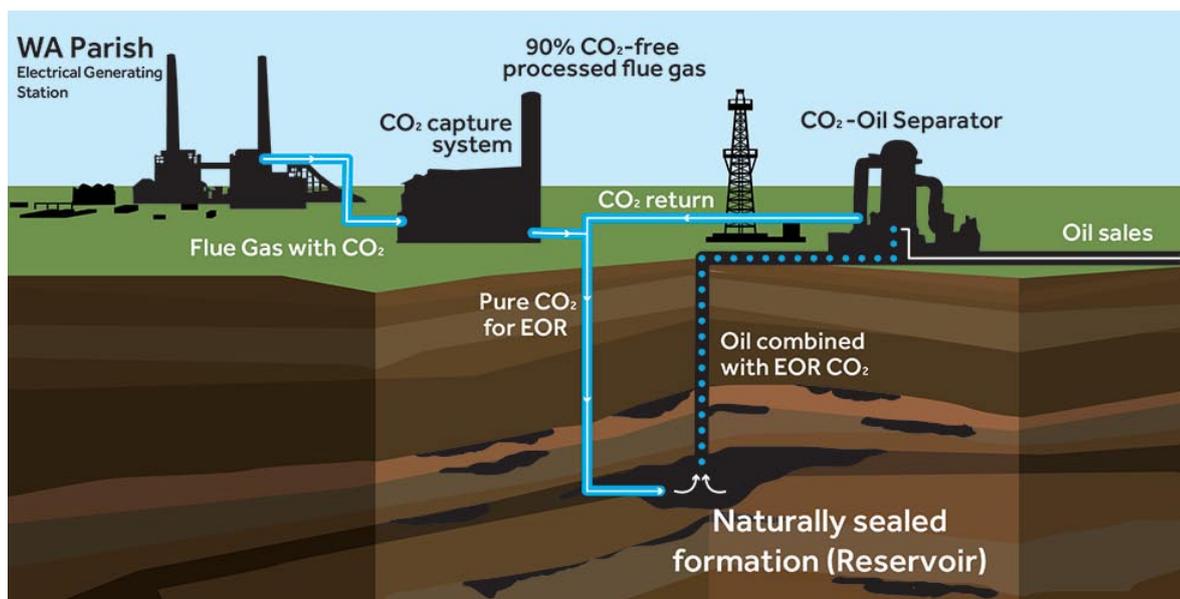
### 佩特拉诺瓦碳捕获项目： 穿越死亡谷的第二步

美国几座最大规模的发电厂都位于德克萨斯州休斯敦市南部附近。本德堡县的西澳教区发电厂拥有四台燃煤机组和六台天然气机组，总产能3700兆瓦，同时也是全国最大的二氧化碳排放源之一。这个大规模发电厂即将成为全球最大的后燃碳捕获项目——佩特拉诺瓦碳捕获项目——的实验场所。项目预计成本10亿美元，美国独立发电企业NRG能源公司的碳360子公司和日本的新日本石油和天然气勘探开发

公司分别持有股权。NRG能源公司管理层表示，项目2014年7月动工，按计划将于2016年底完工。<sup>25</sup>

虽然佩特拉诺瓦项目的不同环节已在他处得到证实，但该项目将是后燃碳捕获技术大规模应用的重大进展。一旦全部投产，西澳教区发电厂650兆瓦八号燃煤机组三分之一以上的废气将被转化，每年可捕获160万吨二氧化碳。<sup>26</sup>佩特拉诺瓦项目发电产能为240兆瓦，超过边界大坝项目的两倍，二氧化碳捕获量高出60%。项目将采用三菱重工美国分公司（MHI）的高性能后燃二氧化碳捕获系统，单日二氧化碳捕获量4776吨。与2011年6月MHI在美国南方电力公司贝里燃煤电厂（Plant Berry）的碳捕获技术示范项目相比，碳捕获量将高出近10倍（见图1）。<sup>27</sup>

“我们知道所有环节都是可行的，”NRG碳360子公司的董事长兼CEO约翰·拉根（John Ragan）说。“但我们正将二氧化碳吸附系统的规模提升到一个新高度，整合所有环节是件新鲜而具有挑战的工作。”因此，佩特拉诺瓦项目真正走入了商业化的死亡谷。



Petra Nova项目流程示意图

资料来源：NRG能源公司

NRG碳360子公司融资和资产管理部的高级副总裁布鲁斯·钟 (Bruce Chung) 表示, 要将佩特拉诺瓦项目的资金聚拢起来, 需要NRG能源公司的韧劲、以及抗风险合伙人的组合, 形成三方合力。

NRG能源公司于2009年开始开发佩特拉诺瓦碳捕获项目, 到2010年已成功争取到第一位关键合伙人, 第一方落实了。美国能源部的“清洁煤计划”通过竞争性投标提供了1.67亿美元资金, 该计划旨在与私营企业合作, 加快碳捕获和储存技术的商业化示范。<sup>28</sup> 这笔资金约占项目总成本的17%, 也相应地降低了佩特拉诺瓦股权投资者的风险。

由于该项目能在科技、环境和金融方面积累重要经验, 这笔联邦资金也有助于推动关键的国家级重大能源项目。<sup>29</sup>

“大型示范性项目是科技发展过程中的一个重要部分,” 美国能源部副部长史密斯说。为此, 能源部“同多家公司合作, 启动第一个示范性项目, 帮助项目落实, 并帮助解决创新过程中的整合难题。”<sup>30</sup>

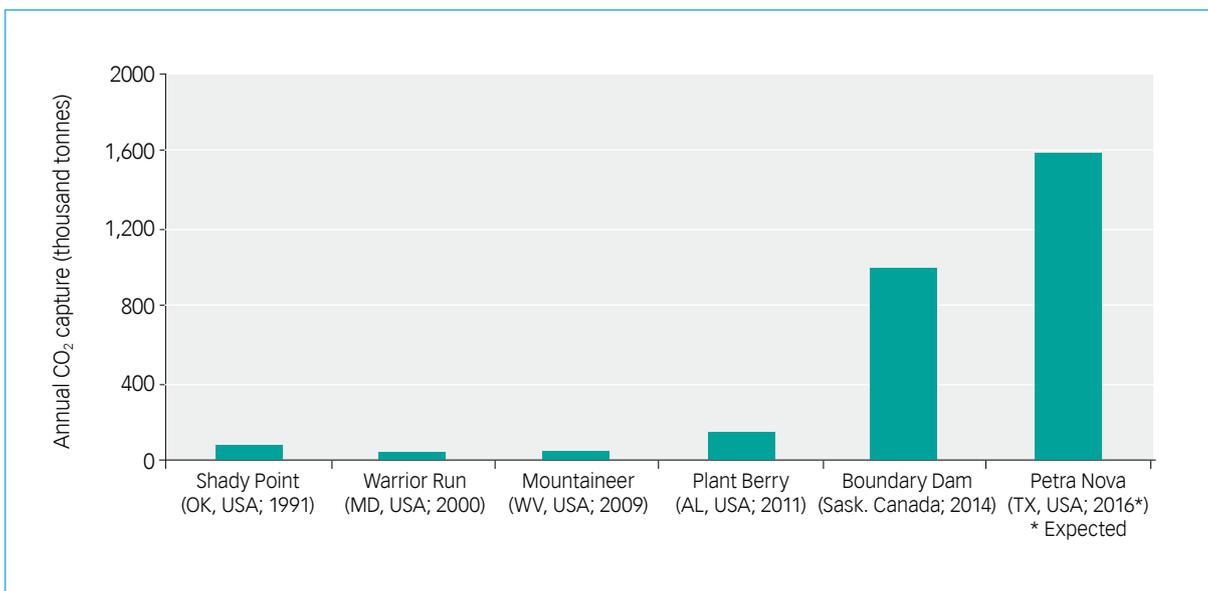
佩特拉诺瓦项目恰逢美国环保署 (EPA) 开始治理发电厂二氧化碳排放之际。<sup>31</sup> 后燃碳捕获技术为发电厂拥有人提供了一条遵守新法规的途径, 但如果没有大型项目经验, 该技术仍会因为高成本和高风险而无法成为可行之选。

“任何人第一次做这样的项目, 最后都会发现很多可以改进的空间,” 史密斯最近参观了西澳教区发电厂的施工现场后说, “在施工现场, 我和一名建造工程师一起, 我让他指出全部已经发现的可以改进的地方, 而这明确了一点, 那就是完成这些首个示范工程极其重要。”他还说, “这些项目不但让跟随者树立了信心, 相信这样的事情可以做到, 而且还为下次施工找到了节省成本和改进的机会。”<sup>32</sup>

“我们正在考虑下次做同类项目时能减少20%-30%成本的方法,” NRG能源公司的拉根说。降低成本让未来的项目不再需要政府支持, 拉根指出了4种方案:

- (1) 精简采购流程, 减少使用钢结构, 不再重复一些佩特拉诺瓦项目“边实践边学习”的做法;

图1: CCS技术规模扩大: 各地燃煤电厂的后燃碳捕获项目



- (2) 模块组件的标准化设计和预制，以便现场安装更加省时轻松；
- (3) 提升胺溶液功效，以减少二氧化碳捕获过程所需的能源；
- (4) 通过降低费用，减少尽职调查，缩短融资时间，提高负债比率等方法，降低融资成本。<sup>33</sup>

“通过工程优化并汲取首批项目的经验，有望最终实现成本降低50%的要求，” 顶峰碳捕获公司（一家自主开展碳捕获项目的能源项目开发公司）副总裁萨沙·麦克勒（Sasha Mackler）说。麦克勒指出，捕获燃煤电厂废气中二氧化硫和氮氧化物的设备，在推广空气污染法规后，其成本就有类似降幅。<sup>34</sup>

---

**“这些项目不但让跟随者树立了信心，相信这样的事情可以做到，而且还为下次施工找到了节省成本和改进的机会。”**

— Christopher Smith, 美国能源部主管化石能源的副部长

---

三方合力中的第二方是西澳教区发电厂将二氧化碳用于采油率提升后获得的收益。捕获来的二氧化碳压缩后，通过一条新建的直径约0.3米的地下管道送至81英里（130公里）外的德克萨斯州杰克逊县的西牧场油田（见图2）。抵达油田后，压缩二氧化碳将被泵入地下约一英里深处（1.6公里），用以提高石油产量，并封存于地层中。<sup>35</sup> 通过和德克萨斯大学以及美国能源部的合作，佩特拉诺瓦项目的合作方将密切监督油田的二氧化碳，以确保永久封存。<sup>36</sup>

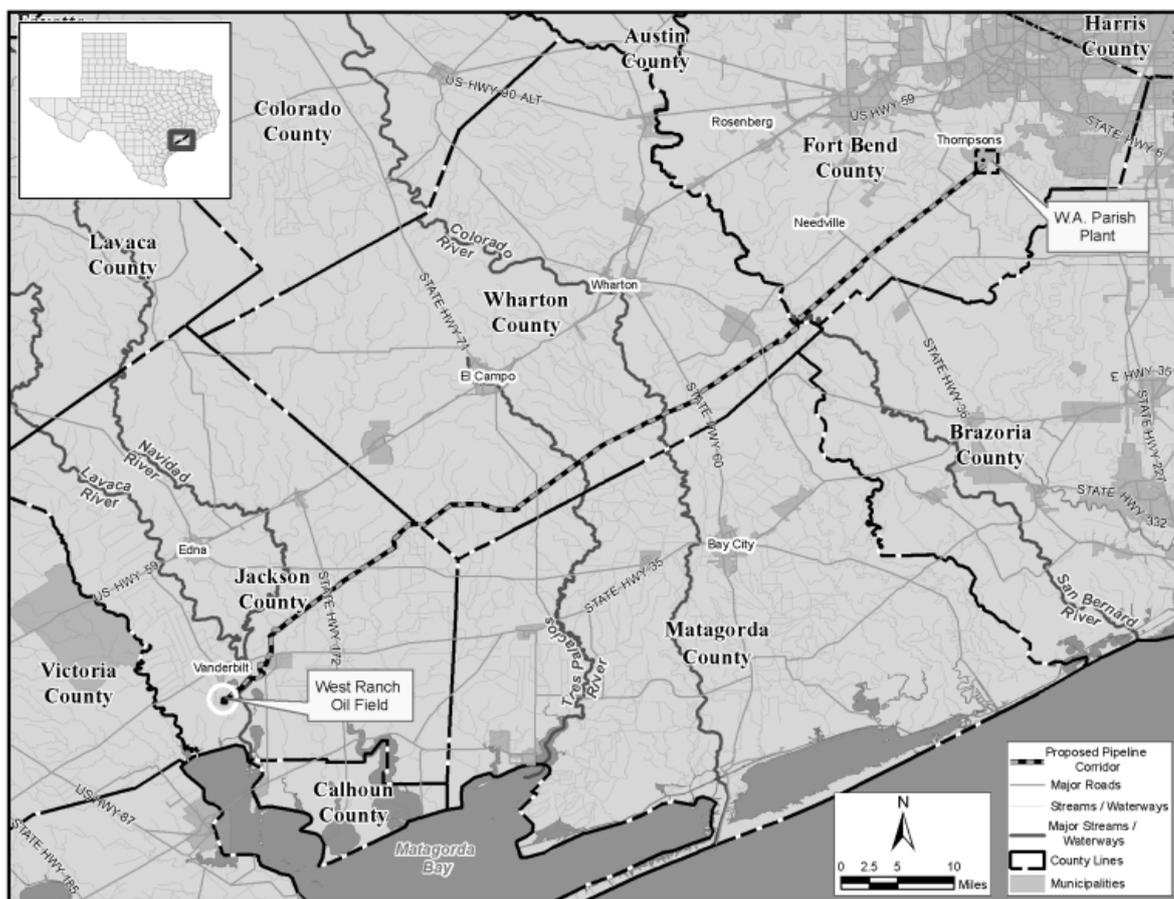
用捕获的二氧化碳来获得更多地下化石燃料有损于项目的整体环境效益，但并非看上去

这么严重。单个的项目并不能产出足够多的石油来影响全球市场油价。因此，西牧场油田的增产“将把价格更高的石油供应商挤出市场”，顶峰碳捕获公司的萨沙·麦克勒说。<sup>37</sup> 长期来看，因为二氧化碳采油率提升法带来的石油产量显著提升或许会压低全球油价，带动更多的总体石油消费（以及相应的废气排放）。然而，计算二氧化碳采油率提升法对宏观经济的影响并不容易，很难说这些变化该如何归咎于某个如佩特拉诺瓦的项目。“在谈到买辆特斯拉或节能车的时候，我们并不做这些计算，” 环保组织“清洁空气行动”的煤炭转型项目负责人约翰·汤普森（John Thompson）说。<sup>38</sup> 就美国环保署而言，它认为一家燃煤电厂将捕获的二氧化碳永久封存于油田，就等于减少了电力部门的废气排放。<sup>39</sup> 美国环保署通过其他机制，直接监管石油生产和消耗的废气排放，与针对汽车制造商的“公司平均燃料效益”标准类似。作为奥巴马政府整体气候行动计划的一部分，最近这一标准被提高至每加仑行驶54.5英里（约88公里）。<sup>40</sup>

美国能源部的克里斯托弗·史密斯说，将二氧化碳储存在地下盐水层或其他地层中，同时并不增加化石燃料产量，是有可能做到的；而且美国的各个示范项目已经将超过100万吨的二氧化碳隔离在地层中。<sup>41</sup> 然而短期看来，采油率提升法或其他有价值的二氧化碳用途所带来的收益对后燃碳捕获技术的商业化而言，是必不可缺的。

“佩特拉诺瓦项目的经济效益完全依赖于油田产量，” NRG能源公司的布鲁斯·钟解释说。捕获二氧化碳成本高昂，而碳排放又没有相同程度的处罚，项目唯一的获利方法便是充分利用捕获的二氧化碳。将西澳教区发电厂捕获的二氧化碳注入贫瘠的西牧场油田，预计可以将石油日产量从500桶提升至近1.5万桶，有助于最终增产6000万桶石油。<sup>42</sup>

图2：佩特拉诺瓦项目周边地图



资料来源：美国能源部（2013）

大多数碳捕获项目将二氧化碳出售给油田经营者，用于采油率提升流程。这样做会让项目变得越来越简单，而且还有显而易见的价值。

“这些是经过谈判签订的双方合同，有许多可以讨价还价的地方，”麻省理工学院（MIT）碳捕获和隔离专家霍华德·赫尔佐格（Howard Herzog）解释说。他认为，油田拥有人通常是受益方。交易结果是，用于采油率提升的二氧化碳，其售价只占相应的石油增产价值的一小部分，运至油田的二氧化碳每吨售价在10-35美元之间。<sup>43</sup> 与之相比，按每桶石油50-100美元计算，西牧场油田将从西澳教区发电厂输送来的每吨二氧化碳中获得150-300美元的额外收益。

为确保增加收益，NRG能源公司决定采用

一套新型项目构架。与其在发电厂捕获二氧化碳并将石油出售给第三方，公司决定修建并拥有二氧化碳运输管道并持有西牧场油田50%的股权。“实质上，NRG的做法是在二氧化碳供应商和石油厂家之间更公平地分配采油率提升法创造的收益，”清洁空气行动的汤普森说。<sup>44</sup>

在这个过程中，NRG能源公司要将下游部门整合到二氧化碳运输、注入和石油生产环节。要获得成功，这家经验丰富的电厂需要寻找新的合伙人，他们拥有这些陌生市场的专业经验。

通过直接买入西牧场油田的股权，NRG能源公司争取到第一家这类合伙人：位于德克萨斯州的石油勘探生产公司、即油田原始所有人

Hilcorp。NRG能源、Hilcorp和MHI联手进行这个项目的前期工程设计，很快便意识到NRG能源最初建设一个60兆瓦碳捕获项目的计划无法向西牧场油田供应足够的二氧化碳，也无法产出足够多的石油为项目带来丰厚收益。项目合伙人判断，即便没有美国能源部的进一步支持，以西牧场油田石油增产带来的经济效益计算，也应该修建一个更大规模的项目。<sup>45</sup>

---

**“NRG能源公司将项目扩大到原来的四倍，并且没有多花纳税人一分钱，”能源部的史密斯解释说。“他们认为这项投资有利可图，可以争取到公司董事会的支持。”**

---

“NRG能源公司将项目扩大到原来的四倍，并且没有多花纳税人一分钱，”能源部的史密斯解释说。“他们认为这项投资有利可图，可以争取到公司董事会的支持。”<sup>46</sup>

尽管买入油田股权给NRG能源公司带来了足够收益，证明这个将成为全球最大规模的后燃碳捕获项目值得投资，但整合下游业务也引发了诸多新挑战。

“石油并非NRG的长项，因此有一个懂石油的股权合伙人是极有益的，”NRG公司的拉根说，他决定和新日本石油合资开发这个项目。

“我们是一家乐于合作的公司，”拉根说，“从项目开发的角度来看，当项目涉及我们核心竞争力以外的一些领域时，我们就要找一个合适的合伙人。”

新日本石油最终持有近3亿美元的项目股权，和NRG所持股份相等。<sup>47</sup>此外，佩特拉诺瓦教区控股公司副总裁兼新日本石油代表的

Takeo Tanei说，新日本石油的专业知识和参与也是确保项目融资的关键。新日本石油带来在北海、中东和越南的采油率提升项目所积累的经验，同时在起草《全面油田开发计划》以获得项目融资时发挥了关键作用。<sup>48</sup>

新日本石油的参与对争取三方合力的第三方、也是最后一方极其重要：非传统借贷人的抗风险债务融资。

由于佩特拉诺瓦项目史无前例的规模和复杂的财务构架，“商业银行视之为首个项目风险，”NRG能源公司的拉根解释说，“因此，我们的融资策略必须排除传统的商业贷款渠道。”

取而代之的是，新日本石油的参与为两家日本出口信用机构的2.5亿美元贷款开辟了渠道。他们是日本国际协力银行（JBIC）和日本贸易保险公司（NEXI）。

这两家机构以完全不同于商业银行的方式考虑项目的风险和回报。“这类组织的关键作用在于承担私人部门无法承受的金融风险，从中开辟未来日本经济发展的新途径，”Takeo Tanei解释说。<sup>49</sup>日本国际协力银行和日本贸易保险公司的目的都是增强日本工业的海外竞争力，支持日本产品和服务在新兴市场的增长。此外，日本国际协力银行的另一个目标是促进有助于保护环境和应对全球气候变暖的海外业务。<sup>50</sup>

“这个项目有望提高现有油田的产量，为同时减缓全球环境压力和增加能源资源做出贡献，”日本国际协力银行的油气融资部负责人Noriyasu Matsudo说，<sup>51</sup>“此外，将这个机制扩大到其他地区能够支持日本公司获得油田股份，同时推进其业务发展。”

该项目还采用了MHI与日本关西电力公司共同研发的碳捕获技术，所以，“这个项目融

资还有一个支持日本公司宣传其环保技术的层面，” Noriyasu Matsudo说。

最后，这两家日本信用机构认为佩特拉诺瓦项目是一笔重要的战略性投资，并愿意在项目需要债务融资而商业银行又不支持的时候伸出援手。日本贸易保险公司最终为瑞穗银行的7500万美元贷款提供了保险，<sup>52</sup> 日本国际协力银行提供了1.75亿美元债务融资，以换取新日本石油所持该项目股权中价值9000万美元的优先股。<sup>53</sup> 两笔贷款都将于2026年4月到期，也都享受了优惠利率：日本贸易公司相关贷款的利率为伦敦同业拆息（LIBOR）加1.75%，日本国际协力银行的贷款在建设期的利率为LIBOR加0.5%，建成后是LIBOR加1.5%。<sup>54</sup>

NRG能源公司和新日本石油的管理层认为，随着三方合力一一落实，佩特拉诺瓦项目这一创造性融资解决方案必将为各方股权合伙人带来可观收益。

“我们不做亏钱项目的领导，” NRG能源的拉根说，“佩特拉诺瓦是个十亿美元级的项目，我们期望能为投资者带来满意的经济效益和风险调整后回报。”<sup>55</sup>

同时，如果佩特拉诺瓦项目按计划取得成功，就可以向商业银行证明投资后燃碳捕获和采油率提升项目是安全的。“商业银行可以参考（佩特拉诺瓦项目），看到别人的风险投资得到了回报，” NRG能源公司的布鲁斯·钟说。这将为今后更多碳捕获项目获得更加直接的融资铺平道路。<sup>56</sup>

该项目2016年底投产时，NRG能源公司开发这个项目的也将届满7年。其间，NRG能源公司团队成功地执行了拉根所说的“我们做过的最有新意且最复杂的项目之一。”项目团队兼具韧性、耐性和决心，才找到恰当的合伙人，弥补了NRG核心竞争力的缺失。

虽然第一个穿越“商业化死亡谷”的人承受着巨大的风险，但也有切切实实的回报。NRG能源公司、新日本石油，以及佩特拉诺瓦项目的其他合伙人将获得成功执行后燃碳捕获项目的亲身经验，通过实践找到进一步降低成本的机会，并有可能获得市场先发优势。

为充分利用这些机会，NRG能源公司已将佩特拉诺瓦项目团队扩大成一个新公司——NRG碳360子公司。“我们试图将一个项目扩大成一家公司，”新公司负责人拉根说。NRG碳360子公司正在积极寻找西澳教区发电厂附近的其他油田或适合采油率提升法的NRG能源公司的其他煤炭资产。拉根表示，公司也在探索二氧化碳的其他商业用途，包括将其转化为液化燃料或固体建筑材料。

简言之，佩特拉诺瓦或许只是一个开端。

---

**“这个项目有望提高现有油田的产量，为同时减缓全球环境压力和增加能源资源做出贡献。此外，将这个机制扩大到其他地区能够支持日本公司获得油田股份，同时推进其业务发展。”**

— Noriyasu Matsudo, 日本国际协力银行的油气融资部负责人

---

## 展望未来： 佩特拉诺瓦项目经验之谈

佩特拉诺瓦项目是“超大型”先进能源技术穿越“商业化死亡谷”跨出的第一步。这个复杂的十亿美元级项目表明，许多重要经验可为类似的低碳能源新技术的融资和商业化提供借鉴：

- “超大型”先进能源项目开发商要有耐心和毅力，坚持到项目竣工的那一天。佩特拉诺瓦项目的开发将持续7年之久，因此想把类似的复杂新技术推向市场的公司必须做好持久战的准备。

---

## “佩特拉诺瓦是个十亿美元级的项目，我们期望能为投资者带来满意的经济效益和风险调整后回报。”

— John Ragan, NRG碳360子公司董事长兼CEO

---

- 为第一个或规模史无前例的先进能源技术项目融资，需要创意和撮合全新且复杂交易的决心。为实现必要的经济收益，NRG能源公司必须愿意将下游业务整合到并不熟悉的行业——油气生产，并引入多方合伙人，才能成功执行项目。
- 成功的先进能源项目汇聚一批合作伙伴，他们合在一起具备了完成先驱项目所需的各项核心竞争力。NRG能源公司擅长开发电力项目，管理工程、建造和采购流程。无论从哪方面来看，NRG能源公司高效地管理了佩特拉诺瓦项目。但NRG能源公司无法独自执行这个项目。MHI在设计和建造碳捕获系统上的专业知识、Hilcopr对西牧场油田地质情况的熟稔，以及新日本石油在采油率提升项目上的经验，都是佩特拉诺瓦项目能够获得成功的重要条件。
- 政府机构应该在规模史无前例的示范项目上和私人部门合作，同时减少那些愿意尝试穿越“商业化死亡谷”的公司所面临的风险。从发动机、微芯片、互联网，到核能、风能、

太阳能等领域，公私合作一直是美国通过创新机制开发和示范先进技术的特色。<sup>57</sup>美国能源部对佩特拉诺瓦项目的支持或许在后燃碳捕获技术的商业化中扮演了类似角色，同时为这项重要低碳技术的更高经济效益和广泛普及铺平了道路。

- 具备战略眼光的投资者提供的抗风险项目融资对穿越“商业化死亡谷”同样重要。愿意为尚未证实的技术进行融资的投资者通常考虑的不单是项目的经济回报，他们更注重潜在的未来市场机遇，对经济发展的影响，或一个成功项目带来的能源安全或环境效益。日本国际协力银行和日本贸易保险公司愿意承担佩特拉诺瓦项目的风险，就是因为日本公司很可能因此获得率先开拓新生市场的机遇，掌握一项重要自然资源的潜力，以及推广日本公司环保技术的前景。
- 最后，新兴能源科技必须有清晰的盈利计划。具备战略性思维的公司或许愿意承担先进技术或新型项目构架的风险，但必须先看到在各方面落实后能够获得足够经济回报的机会。NRG能源公司是一家竞争性电力市场上的独立电力公司。和受到政府监管的公用事业机构不同，如果项目延迟或成本超支，公司并没有纳税人或有保障的投资收益可依靠。面对佩特拉诺瓦这样的项目，NRG能源公司及其合伙人要知道，如果项目按时按预算地执行，它们将获得让投资者满意的丰厚回报。在开发先进能源项目时，利润并无保障，但潜在回报一定是值得冒险一搏的。

## 参考资料

- IPCC, 2014. Summary for Policymakers, Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, N. Available at: <http://mitigation2014.org/report/summary-for-policy-makers>.
- ibid.
- ibid. See also:
  - IEA, 2015a. Energy Technology Perspectives 2015 - Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action. International Energy Agency: Paris, France. Available at: <http://www.iea.org/etp/etp2015/>.
  - PCAST, 2010. Report To The President On Accelerating The Pace Of Change In Energy Technologies Through An Integrated Federal Energy Policy. Executive Office of the President, President's Council of Advisors on Science and Technology: Washington DC. Available at: <https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-energy-tech-report.pdf>
  - Jenkins, J. & Mansur, S. 2011. Bridging the Clean Energy Valleys of Death: Helping American Entrepreneurs Meet the Nation's Energy Innovation Imperative. Breakthrough Institute: Oakland, CA. Available at: [http://thebreakthrough.org/archive/bridging\\_the\\_clean\\_energy\\_valley](http://thebreakthrough.org/archive/bridging_the_clean_energy_valley)
  - Interview with Christopher A. Smith, Assistant Secretary for Fossil Energy, U.S. Department of Energy, August 4, 2015.
- IPCC, 2014.
- IEA, 2015. Coal. International Energy Agency. <http://www.iea.org/topics/coal/>. Accessed June 30, 2015.
- IEA, 2012. CCS Retrofit: Analysis of the Globally Installed Coal-Fired Power Plant Fleet. International Energy Agency: Paris, France. Available at: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CCS\\_Retrofit.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CCS_Retrofit.pdf).
- 2005-2013 data from China Electricity Council, 2014, Data/Statistics, <http://english.cec.org.cn/No.110.index.htm>, accessed June 30, 2015. 2014 data from China National Energy Administration, 2015. National Energy Board released the total electricity consumption in 2014, [http://www.nea.gov.cn/2015-01/16/c\\_133923477.htm](http://www.nea.gov.cn/2015-01/16/c_133923477.htm), January 16, 2015.
- EIA, 2015. Existing Capacity by Energy Source, 2013 (Megawatts). U.S. Energy Information Administration, March 23, 2015. Available at: [http://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa\\_04\\_03.html](http://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa_04_03.html).
- Mooney, C. & Mufson, S. 2015. In a major day for climate policy, China, Brazil, and the U.S. all announce new commitments, Washington Post, June 30, 2015. Available at: <http://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2015/06/30/china-brazil-and-the-u-s-all-announce-new-climate-and-clean-energy-goals/>.
- Ross, K. 2015. China coal capacity forecast to hit 1367 GW, Powering Engineering, February 10, 2015. Available at: <http://www.powerengineeringint.com/articles/2015/02/china-coal-capacity-forecast-to-hit-1367-gw.html>.
- Herzog, H. 2011. Scaling up carbon dioxide capture and storage: From megatons to gigatons, Energy Economics 33: 597-604.
- Herzog, H. 1999. An Introduction to CO2 Separation and Capture Technologies. MIT Energy Laboratory, Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA. Available at: [http://sequestration.mit.edu/pdf/introduction\\_to\\_capture.pdf](http://sequestration.mit.edu/pdf/introduction_to_capture.pdf).
- Melzer, L.S., 2012. Carbon Dioxide Enhanced Oil Recovery (CO2 EOR): Factors Involved in Adding Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) to Enhanced Oil Recovery. Melzer Consulting: Midland, TX. Available at: [http://neori.org/Melzer\\_CO2EOR\\_CCUS\\_Feb2012.pdf](http://neori.org/Melzer_CO2EOR_CCUS_Feb2012.pdf).
- Herzog, 2011.
- ibid.
- Global CCS Institute, 2015. Large Scale CCS Projects. Global Carbon Capture and Storage Institute, <http://www.globalccsinstitute.com/projects/large-scale-ccs-projects>. Accessed July 1, 2015.
- SaskPower, 2014. SaskPower CCS: Boundary Dam Carbon Capture Project. SaskPower. Available at: <http://saskpowerccs.com/ccs-projects/boundary-dam-carbon-capture-project/7913%20CSS%20Factsheet-Boundary%20Dam-newtense.pdf>.
- MIT, 2015a. Boundary Dam Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project. Carbon Capture and Storage Technologies, MIT Energy Initiative, Massachusetts Institute of Technology, May 26, 2015, [https://sequestration.mit.edu/tools/projects/boundary\\_dam.html](https://sequestration.mit.edu/tools/projects/boundary_dam.html). Accessed July 1, 2015.
- IEA, 2012.
- Monea, M., 2015. SaskPower's Boundary Dam CCS project – Proof that coal is part of the future. Extract. World Coal Association, January 15, 2015. <http://www.worldcoal.org/extract/saskpowers-boundary-dam-ccs-project-proof-that-coal-is-part-of-the-future-4690/>. Accessed July 1, 2015.
- Williams, N. 2014. Canada launches world's largest commercial carbon-capture project, Reuters, October 1, 2014. Available at: <http://www.reuters.com/article/2014/10/01/canada-carboncapture-idUSL2N0RW1D620141001>.
- SaskWind, 2015. World-First Financial Analysis of World's First Post-Combustion Carbon Capture Project. Saskatchewan Community Wind, March 26, 2015. <http://www.saskwind.ca/boundary-ccs>. Accessed July 1, 2015.
- Interview with J. Ragan and B. Chung, June 15, 2015.
- DOE, 2013. W.A. Parish Post-Combustion CO2 Capture and Sequestration Project: Final Environmental Impact Statement Summary. U.S. Department of Energy, February 2013. Available at: [http://energy.gov/sites/prod/files/EIS-0473-FEIS-Summary-2013\\_1.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/EIS-0473-FEIS-Summary-2013_1.pdf).
- MHI, 2014. MHI Receives Order for World's Largest Post Combustion CO2 Capture System for a Coal-fired Power Generation Plant, For Japan-U.S. Joint Enhanced Oil Recovery (EOR) Project. Mitsubishi Heavy Industries (MHI) America, Inc. July 15, 2014, <http://www.mitsubishitoday.com/ht/display/ArticleDetails/i/12391/pid/2720>.
- MIT 2015b. W.A. Parish Petra Nova Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project. Carbon Capture and Storage Technologies, MIT Energy Initiative, Massachusetts Institute of Technology, August 7, 2015, [https://sequestration.mit.edu/tools/projects/wa\\_parish.html](https://sequestration.mit.edu/tools/projects/wa_parish.html). Accessed August 18, 2015.
- DOE, 2013.
- Interview with C. Smith, August 4, 2015.
- EPA, 2015a. Clean Power Plan: Regulatory Actions. U.S. Environmental Protection Agency. <http://www2.epa.gov/cleanpowerplan/regulatory-actions>. Accessed August 18, 2015.
- Interview with C. Smith, August 4, 2015.
- Interview with J. Ragan and B. Chung, June 15, 2015.
- Interview with Sasha Mackler, Vice President for Summit Carbon Capture, Summit Power Group, LLC, August 5, 2015.
- DOE, 2013.
- ibid.
- Interview with S. Mackler, August 5, 2015.
- Interview with John Thompson, Director, Coal Transition Project, Clean Air Task Force, August 5, 2015.
- EPA, 2015b. Clean Power Plan Final Rule. U.S. Environmental Protection Agency. <http://www2.epa.gov/cleanpowerplan/clean-power-plan-final-rule>. Accessed August 20, 2015.
- White House, 2015. Climate Change and President Obama's Climate Action Plan. WhiteHouse.gov. <https://www.whitehouse.gov/climate-change>. Accessed August 20, 2015.
- Interview with C. Smith, August 4, 2015.
- NRG, 2015. WA Parish Carbon Capture Project. NRG Energy. <http://www.nrg.com/business/carbon-360/projects/wa-parish-ccs-project/>. Accessed August 18, 2015.
- Interview with Howard Herzog, Senior Research Engineer, MIT Energy Initiative, Massachusetts Institute of Technology, June 2, 2015.
- Interview with J. Thompson, August 5, 2015.
- Interview with C. Smith, August 4, 2015.
- ibid.
- SEC, 2014. NRG Energy Inc. Form 10Q: Quarterly report pursuant to Section 13 or 15(d) of the Securities Exchange Act of 1934 for the Quarterly Period Ended: September 30, 2014. U.S. Securities and Exchange Commission: Washington, D.C. Available at: <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1013871/000101387114000022/nrg2014093010q.htm>.
- Interview with Takeo Tanei, Vice President, Petra Nova Parish Holdings, July 15, 2015.
- ibid.
- JBIC, 2014a. JBIC Profile: Role and Function. Japan Bank for International Cooperation, March 14, 2014. Available at: <http://www.jbic.go.jp/wp-content/uploads/page/2013/08/35019/jbic-brochure-english.pdf>.
- JBIC, 2015. Recovery Project by Using CO2 Emissions from the Power Plant: interview with Director Noriyasu Matsuda, Division 1, Oil and Gas Finance Department, Energy and Natural Resources Finance Group. Japan Bank for International Cooperation, March, 2015. Available at: <http://>

[www.jbic.go.jp/wp-content/uploads/interview\\_en/2015/04/37635/JBIC\\_interview21\\_en1.pdf](http://www.jbic.go.jp/wp-content/uploads/interview_en/2015/04/37635/JBIC_interview21_en1.pdf).

52. Mizuho Bank, 2014. Project Financing for Post-Combustion Carbon Capture-Enhanced Oil Recovery Project in the USA. Mizuho Bank, Ltd. July 15, 2014. Available at: <http://www.mizuhobank.com/company/release/pdf/20140715.pdf>.

53. JBIC, 2014b. Equity Participation in JX Nippon Oil Exploration (EOR) Limited in U.S. Japan Bank for International Cooperation, November 27, 2014. <http://www.jbic.go.jp/en/information/press/press-2014/1127-32872>. Accessed August 18, 2015.

54. SEC, 2014.

55. Interview with J. Ragan and B. Chung, June 15, 2015.

56. *ibid.*

57. Jenkins, J. et al. 2010. Where Good Technologies Come From: Case Studies in American Innovation. Breakthrough Institute: Oakland, CA. December 10, 2010. Available at: [http://thebreakthrough.org/archive/american\\_innovation](http://thebreakthrough.org/archive/american_innovation).



