INTERNATIONAL
CCS KNOWLEDGE
CENTRE

决策者摘要：第二代碳捕集与封存

根据尚德电站碳捕集与封存项目可行性研究报告整理

碳捕集利用与封存知识国际中心

目录

引言 1

碳捕集利用与封存知识国际中心简介 4

边界坝碳捕集与封存设施：在实践真知基础上升华 5

煤炭减排：超越要求规范 6

针对尚德电站的研究 7

第二代碳捕集与封存：面向全球范围与工业，推广应用**尚德电站碳捕集与封存可行性研究**成果 8

碳捕集与封存项目实施时间表 14

主动把握未来机遇：更多感悟 15

纵观世界，火力发电厂的物理属性和经济属性都极其相似。

萨斯喀彻温省边界坝电站CCS设施吸收塔

引言

加拿大萨斯喀彻温省是全世界碳捕集与封存（以下简称CCS）的先驱。萨斯喀彻温省及其公用事业公司---萨斯喀电力集团，以建设运行边界坝电站3号燃煤电厂CCS一体化项目（BD3），为全世界开创了全烟气量碳捕集设施的先河。 边界坝3号项目自投运以来运行效率稳步提升。该设施已解决安全问题，近期业已开始展现出，即便在二氧化碳产量低于设计能力水平的情况下运行，其可靠性水平已达到与热电设施协调一致的程度。设施实现稳定运行，工厂操作和技术支持员工就能够专注于提高操作的效率和成本效益。

引言 （续）

全世界都认为萨斯喀电力的 燃烧后CCS一体化设施是空前的开路先锋。这一大型设施的设计，施工建设和运营，都对如何切实地理解掌握商业化CCS的运作做出了贡献。该可行性研究以工业化应用项目实施的经验收获为基础，因而，所探讨的CCS经济性具有可信度。即使对在运行设施的不断改进在预料之中，本报告还是要强调第二代CCS无疑会实现很多超越第一代的改进。预期的基建成本和运营成本降低，则可能扩大CCS的可接受程度并推动其工业化应用。

决策者摘要：第二代碳捕集与封存，明确地肯定并充分利用来自第一代项目实践获得的感悟，有助于进一步加速CCS工业化应用。纵观世界，制约火力发电厂设计与运营的物理学和经济学原理都极其相似。因此，本报告中探讨的方法和概念可以广泛应用。事实上，许多类似的奠定基础的研究成果都可进一步应用于水泥和钢铁等其它工业过程的燃烧后碳捕集系统。

萨斯喀彻温省和萨斯喀电力集团正在接近做出另一项有关未来电力供应和CCS考量的重要决策。该电力公司既要执行加拿大联邦限制传统燃煤电厂排放的规定，又需要利用当地仅有的煤炭或天然气能源，提供可靠且便宜的基荷电力。按照美洲成本核算工程师协会（AACE）4级估算指南，“碳捕集利用与封存知识国际中心”（“知识中心”）准备了这项可行性研究，针对该省第二个燃煤机组 --- 即尚德电站，分析对其实施燃烧后碳捕集升级改造是否经济可行。

> 萨斯喀彻温省及其公用事业公司萨斯喀电力，为全世界开创了全烟气量碳捕集设施的先河。

尚德电站 CCS可行性研究---一份详细的公开文件，具体而且实质上着重研究尚德 电站改造的技术层面。倘若萨斯喀电力决定这个项目上马，那么，尚德CCS项目将成为萨斯喀彻温省第二个全烟气量的碳捕集设施，设计捕集容量达二百万吨CO_2（二氧化碳）/年， 为边界坝3号项目设计捕集能力的两倍。报告中所载的信息内容代表了对本研究的非保密部分的解释，突出了对边界坝3号项目系统设计进行重大修改，及其对二氧化碳捕集成本的总体影响，并对比了主要设计修改方案产生的系统作用。

贯穿于**尚德电站 CCS可行性研究**的这些信息，通过本纲要文件得以归纳阐述，可在全球范围内广泛应用于其它设施项目。边界坝3号项目为了解掌握国际上亟需的下一代气候技术铺平了道路。虽然这项研究着重针对邻近边界坝3号项目的尚德电站燃煤排放而探索潜在解决方案，这项研究对其它排放源的重要性，还在于其切和实际并与其息息相关。

可行性研究的主要成果在于评价萨斯喀彻温省境内300MW 燃煤电厂实施CCS改造的经济可行性。

- 设计捕集能力200万吨/年
- 基建投资成本降低67% (捕集每吨二氧化碳的基建成本)
- 捕集成本为45美元/吨二氧化碳
- 低负荷运行，捕集率达97% (即与可再生能源电力整合)
- 粉煤灰销售可进一步减排二氧化碳(潜在减排二氧化碳125,000吨/年)。据信这意味着该设施可实现碳中和。

成本如何下降？

- 建设和运行边界坝3号项目的经验教训
- 扩大项目建设规模，广泛采用撬装化
- 有效整合（必须根据具体情况）

萨斯喀彻温省边界坝电站CCS设施

碳捕集利用与封存知识国际中心简介

碳捕集利用与封存知识国际中心系由必和必拓和萨斯喀电力联合创建和资助的非营利组织。

知识中心的使命是加速对CCS的掌握并用以管控温室气体（GHG）排放。**知识中心**团队从萨斯喀电力借调了在边界坝CCS设施开发和运营方面发挥了重要作用的人员。我们的团队积极与金融家和决策者沟通联络，以确保向他们传达有关CCS的高层次信息以及政治，经济等层面宽泛的考量。我们还为CCS项目的规划，工程设计，建设施工和CCS的操作，额外提供切合实际且实用可靠的开发经验以及技术咨询。

知识中心的工作人员可为CCS项目提供基于实践经验的指导，包括提供针对个案的类似尚德电站CCS可行性研究的可行性分析。

INTERNATIONAL
CCS KNOWLEDGE
CENTRE

欲了解更多信息，
请登陆我们的网站
www.ccsknowledge.com
或发送电子邮件至
info@ccsknowledge.com

萨斯喀彻温省边界坝电站CCS设施

边界坝CCS设施：在实践真知基础上升华

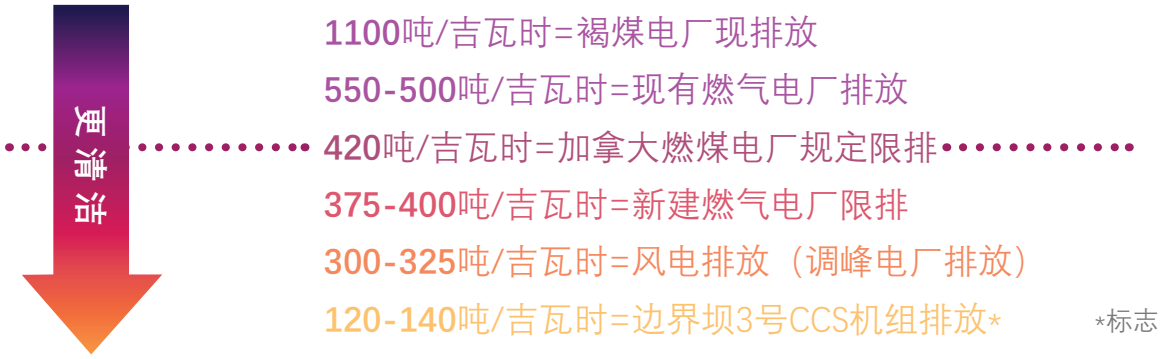
针对边界坝3号项目，萨斯喀电力研究分析了几种碳捕集技术之后，最终采用实施了燃烧后捕集技术方案。边界坝3号项目得到加拿大政府提供的2.4亿加元一次性赠款补助。这笔赠款，加之预想的二氧化碳出售并资源化利用于提高石油采收率（EOR，简称驱油或强化采油），以及临近退役燃煤电厂资产广泛重复使用，诸上述综合因素促成了立项；再经过按平准化电力成本（LCOE）评价，确定了项目基建成本当时与新建燃气联合循环电厂(NGCC）相当。

项目建成后，该一体化碳捕集厂设计能力为捕集1百万吨/年，捕集率90%，发电机组延寿30年。边界坝3号项目设施于2011年初获得批准建设，并于当年春季动工兴建。电力机组更新改造和碳捕集厂建设的总投资接近15亿加元。

2014年10月，边界坝3号项目捕集厂成为世界上首例公用企业规模，完全集成一体化的燃煤电厂燃烧后碳捕集设施。捕集的二氧化碳用于附近油田的驱油，并通过名为Aquistore的研究项目，试验注入地下深处含咸水岩层。总的来说，边界坝电站3号工业化示范项目将该机组改造成为长期生产110兆瓦（MW）清洁基荷电力的机组，同时展示了CO_2用于油田驱油在完全一体化的链条中具有的潜力。

边界坝3号项目捕集岛的CCS一体化系统启动，是萨斯喀电力十年来所付出不懈努力的结晶。在此期间，萨斯喀电力致力于探索在减缓大气排放对气候变化的影响的同时，燃煤电站依然可持续运行的可能性。自投运以来，该项目运行效率稳步提升。该设施已经解决安全问题，近期亦开始展现出，即使在二氧化碳生产水平低于设计能力的情况下，其可靠性也达到与火力发电机组协调一致的程度。该设施实现了稳定运行，设施运营和技术支持员工能专注于提高运行效率和经济效益。

图解 1: 萨斯喀彻温省温室气体排放情况与达标指标



*标志容量

减少煤炭排放：超越规范要求

在围绕CCS工业化应用的任何具体情况下，国家政策都会发挥作用。在萨斯喀彻温省，针对尚德电站CCS项目的考量亦不例外。(加拿大）**燃煤发电二氧化碳减排的规定**于2015年7月1日生效，明确了针对新建燃煤电力机组和临近服役寿命期限(50年)的电力机组的严格排放标准。经过更新，该标准规定的排放强度为420吨二氧化碳/吉瓦时（t / GWh），到2030年淘汰所有未减排的传统燃煤火电机组。这些法规的目的是为了向低排放或零排放发电实现一劳永逸地转型，转向高效天然气，可再生能源或配备CCS的化石燃料火力发电。CCS是燃煤热电厂（不论新旧）可用以达到这些排放指标的唯一途径。因此，在加拿大，到2030年为止，超期服役的燃煤热电厂要麽改装碳捕集技术工艺，否则必须关闭。

常规褐煤发电（加拿大萨斯喀彻温省利用）排放量大约为1,100吨CO_2 / 吉瓦时（t / GWh）。传统的燃气火力发电设施排放强度超过500吨CO_2/吉瓦时。新型的持续运行的燃气联合循环电力设施排放强度低至375吨CO_2 / 吉瓦时，在作为间歇性无排放的可再生能源的备用电源使用时，其有效排放强度不超过300吨CO_2/ 吉瓦时。相比之下，边界坝3号项目按照设计，具有捕集烟道气中90%二氧化碳的能力，其运行排放强度低至120-140吨/吉瓦时。在没有能力增加水电或核电设施的电力系统中，采用CCS可实现最大限度的二氧化碳减排。

如果省政府和加拿大联邦政府达成协议，认定双方制定的煤电法规具有同等的效力，省政府制定的煤电法规就可以独立适用。等效协议考虑到，如果省级法规与联邦法规有同样的目的，并具有相同的效力，就避免了重复监管的负担。这样的等效协议并不常见，需要时间协商。萨斯喀彻温省和加拿大政府之间已存在原则性等效协议，有待最终签订。通过平衡行政与司法辖区范围内所有燃煤电厂的总排放量，可以满足等效协议以及规定的减排要求。电厂排放的影响不仅限于单个机组，而且超越辖区的各自界限。因此，在辖区整个系统内平衡排放量来满足监管要求，较仅针对具体机组为单位的监管更为有利。

尚德电站与碳捕集设施示意图

尚德电站项目研究

1992年服役的尚德电站，是萨斯喀电力最新的燃煤发电厂，并被认为是再建CCS项目的最佳选择。

在萨斯喀彻温省，最大的煤电机组发电功率约为300兆瓦（MW）。萨斯喀电力的四个300MW级机组分别为边界坝6号机组，白杨河1号和2号机组以及尚德电站。要有效地达到将边界坝3号项目的碳总捕集能力翻一番的水平，一个捕集率为90%并依托300MW机组的设施将具有2百万吨/年的碳捕集能力。

尚德电站是一个单机组发电厂，距边界坝电站12公里。尚德电站最初的设计为后来未能建设的第二个机组预留了空间，因此，有现成空地和基础设施来支持碳捕集设施。在1992年调试服役后，尚德电站成为萨斯喀电力的最新型燃煤电厂，被认为是再建CCS项目的最佳选择。

在尚德电站成功实施CCS改造，将为其它煤电机组提供一个如何实现CCS改造的范例。因此，**尚德电站CCS可行性研究**已经为CCS改造标准化设计奠定了基础。而这一CCS改造标准化设计稍加修改，就可以为其它煤电机组采用，更重要的是，还可以为全球范围内其它燃煤电厂以及其它工业领域直接采用。

尚德电站CCS可行性研究及其相关文件体现了**知识中心**的分析结果和观点。萨斯喀电力要考量诸多因素来决定是否或何时将在边界坝3号项目以外的机组安装CCS系统。

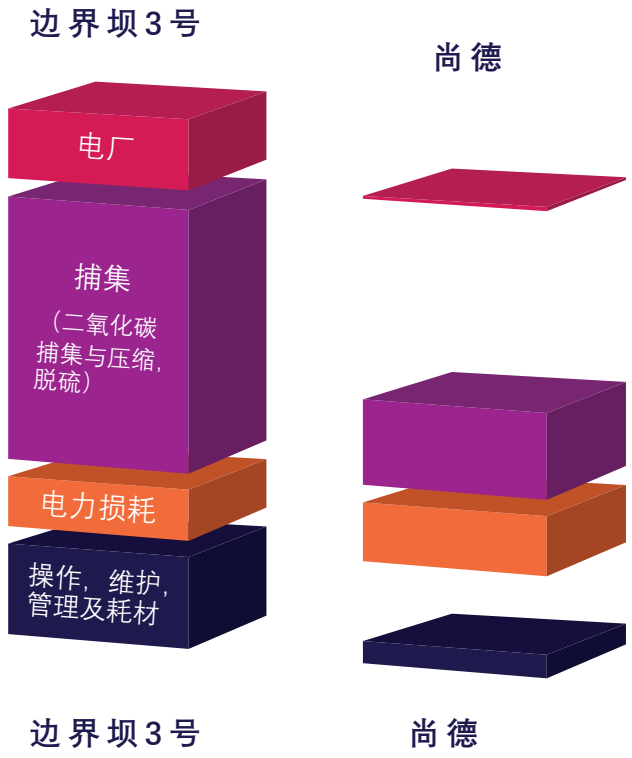
第二代CCS设计：面向全球范围与工业行业，推广应用尚德 CCS可行性研究成果

可靠便宜，且低排放的能源，是能源安全的必要条件。实施CCS改造可以允许现有的发电资产清洁运营，有助于工业碳减排。燃烧后CCS系统收集烟气（排放）并利用溶剂（称为胺）使之清洁化。因为燃烧后捕集处在排放源下游(即燃烧后)，燃煤电厂的排放又在很多方面与其它工业源的排放类似（尽管二氧化碳平均浓度和所含杂质可能不同），煤基燃烧后捕集为其它工业领域应用铺平了道路。

该对比示意图显示，通过从边界坝3号项目到实现第二代CCS 项目的改进，可以节省成本。该示意图显示这些可以实现重大改进的各个方面。**尚德电站CCS可行性研究**显示，机组改造基建投资成本降低92%（如下所示，个案差异性具体体现在发电厂锅炉的使用年限等其它考虑因素）；捕集设施基建投资成本降低67%；运营，保养和管理以及消耗品成本减少73%。尽管这些成本降低都很显著，通过优化---特别是胺效率优化，还可以进一步降低成本风险。

尚德电站 CCS 可行性研究显示捕集设施基建投资成本降低67%。

图解2：
边界坝3号项目与尚德电站CCS设施的基建成本对比



选择适宜的设施进行CCS改造

了解掌握先前经过CCS改造的设施的共性，可有助于确定开发考量的导向。例如，尚德电站CCS可行性研究的主要考虑因素包括选址定位，空间要求和服役年限。基建投资成本按捕集每吨二氧化碳容量单位计算比边界坝3号项目预计降低67%。规模，撬装化，简约化等多方面的因素，以及边界坝3号项目设施建设和运营等经验教训，都直接影响了得出这些成本降低的预期。

值得注意的是，虽然尚德电站CCS 设施设计有可能在萨斯喀彻温省其它煤电机组上复制，但简单地复制CCS设施设计不是技术应用的恰当方式。为开发CCS项目选址定位时，首先要因地制宜审视各种选择方案。

萨斯喀彻温省尚德电站

服役年限：

任何大型工业设施在其寿命周期内都需要维护和修整，对将进行CCS改造的任何设施也不例外。说到发电以及通常的工业流程，旧设施的效率往往较低下，规模较小，余寿短，翻新费用高。这些对CCS推广应用来说都是很重要的经济考量因素，因为CCS设施本身建造不仅要计入基建投资成本，而且也要算上改造所连接的机组的成本。

规模与设计：

规模经济是工业界一个熟悉的概念，一般来说，设施规模越大越经济。通过提高生产规模水平可以节省相应的比例成本。以降低基建成本为重点，仅仅根据监管规定允许的二氧化碳排放限度或市场需求，来规划拟建造的CCS设施所需规模似乎合情合理。因此，为了确定不同的捕集率水平可以多大程度降低基建成本，进行了必要的分析研究。研究结果确认，建造一个小规模CCS设施或该捕集设施设计捕集率低于排放气体中二氧化碳含量的90%，最终会增加每吨二氧化碳捕集能力的基建成本。

鉴于此，选择建设一个大规模设施通常优于建设两个小规模设施。研究的初步分析显示，两个150MW单机组合装配一套单独的碳捕集设施似乎有道理。然而，以边界坝4号和5号机组（150MW）组合为例，由于维护工作相互影响，实际上导致该组合的碳捕集设施利用时效低于与单独300MW机组匹配的CCS设施。

CCS捕集厂占据的可利用空地也是恰当定位选址的因素。边界坝3号项目电力岛和捕集岛之间的距离是两者间互连工程基建开支不小的原因。另外，CCS设施与其伺服的机组之间实际距离大，令操作运行一体化更复杂，影响操作运行效率。与边界坝项目选址形成鲜明对照，尚德电站为单机组电厂，备选地点紧邻发电机组且有足够的空间容纳CCS设施，因而降低基建成本。

选择适宜的设施进行CCS改造（续）

邻近：

在靠近二氧化碳配送基础设施枢纽的地方建设CCS设施，也可以节省基建成本。阿尔伯塔省碳运输干线（ACTL）就是一个将碳捕集，油田利用以及永久封存的机会最大化的最佳项目构思的范例。该项目将包括一条240公里管线，满负荷每年可以输送1460万吨CO_2，打算将不同工业设施捕集的二氧化碳输往枯竭的油田然后注入地下，其管线设计走向连接着油田，能够增产超过10亿桶石油。

在考虑尚德电站项目时，由于其接近边界坝3号项目，将二氧化碳的两个供应来源通过管道连接起来，可以形成更稳定的供应，并减少运输环节的问题带来的运营成本，在理论上是成立的。萨斯喀彻温省政府能源和资源部的一项调查显示，当地有充分的潜力，从枯竭油田释放出日增产40,000桶原油的采收率，同时将该项目所产生的所有二氧化碳封存于地下。如果还有另外的捕集项目以及二氧化碳来源的话，那么封存与用于驱油的二氧化碳总容量将高达2.3亿吨，同时释放出6.6亿桶原油的产量。

并非每个地方都有利用CO_2驱油的机会---鹿特丹港的转运枢纽新概念，就是非CO_2驱油用途而只用于CO_2封存的转运枢纽项目如何生存的一个典型例子。但是只有当碳价格上涨或开发补贴相当可观时方经济可行。该港口的规划是建立为荷兰工业设施服务的二氧化碳转运枢纽。一条管道网络将二氧化碳运输到北海枯竭的油气田注入地下。该管道网络有可能延伸到比利时，德国或英国等其它国家，为那里希望把排放的二氧化碳处理掉的工厂服务。

尚德电站 CCS 可行性研究，意味着CCS发电是风能和太阳能等可再生能源的可靠备用能源。

激励措施

将政策制定调整到能激励项目的适当水平，可以推动技术工业化应用。美国大幅度增加并扩展45Q条款税收抵免的额度，是可望增加CCS工业化推广利用的重大激励措施。在其最近修订之前，所有项目可以申请的抵免额度上限为7500万吨，该奖励措施为每吨用于EOR的二氧化碳抵免10美元的税款，每吨二氧化碳的永久性封存抵免20美元税款（额度不同的理由是市场将支付用于驱油的CO_2差价）。新的45Q条款修订版税收抵免，将上述抵免额分别设定为每吨35美元和50美元，额度上不封顶。税收抵免额度增加，结合利用对运营知识的超前把握可以实现成本降低，预计会以切合实际的方式增加美国CCS工业化推广应用。

在加拿大萨斯喀彻温省的油田，现有的资源使用税的框架内就包括对CO_2 驱油的激励措施。该框架允许在基建投资成本收回之前，只征收税率为1%的资源使用税，在此基础上再征正常的收入所得税。随着CCS的基建成本降低，面向油田销售二氧化碳用于驱油，甚至有可能提供足够的驱动力由私营企业为CCS改造项目融资。尽管这样的好处仅限于个别地方，但这样的激励措施恰恰可能是实现CCS工业化所必须的条件。

可再生能源与CCS携手并肩

清洁电力最大化非常重要，因此增加可再生能源入网对于全球范围内推动减排是不可或缺的。虽然储能（以各种形式）将逐渐为此作出显著贡献，但起伏不定的可再生能源电力目前仍离不开备用的可靠电力供应。而可靠的基荷电力供应，目前是由煤炭和天然气等化石能发电，以及核电或水电来承担的。

尚德电站CCS可行性研究中最有趣的发现，涉及到燃烧后捕碳的燃煤电厂替代燃气电厂，具有充当风能和太阳能等间歇性可再生能源的备用电源的有利条件。备用能源设施通常能够满足必要电力需求并同时降低其输出功率，以允许可调度的可再生能源入网。在大多数情况下，备用电力设施具有保持最小输出功率而不停机的能力。

如果备用能源来自燃气电厂，该电厂在降低功率输出的同时会降低效率。因此当燃气电厂减少负荷以允许间歇性可再生能源电力入网时，其排放强度增加，默许了间歇性可再生能源的无排放效益。相比之下，燃烧后捕碳的热电厂在降低功率输出以支持间歇性可再生能源发电时，也进一步减少其排放量，可以有效地放大可再生能源发电的无排放效益。配备 CCS的火力发电厂，可以设计成在低负荷运行时超量捕集的模式，而无需明显增加基建成本，为这类电厂与可再生能源整合铺平了道路，从而降低综合排放强度。尚德电站可行性研究显示，满负荷时达90％的CO_2捕集率，在支持间歇性可再生能源而出力处于最低档时，有可能提高到97％。

[1] http://enhanceenergy.com/

[2] https://www.euractiv.com/section/energy/news/meet-europes-two-most-exciting-co2-storage-projects/

优化

优化工作是在效率收益相对于基建成本以及运营成本之间获得平衡。**尚德电站 CCS可行性研究**， 通过深入建模分析和工艺过程配置审核，同时考虑厂址具体空间规模，来综合平衡对优化的判断。这些影响设备及其运行参数，设备安装及其过程的优化判断，都有助于实现成本降低。

热能整合：

通过一个叫做热能集成的过程可以发现大量降低成本的机会，这些可能性也广泛适用于其它工业领域。燃烧后碳捕集的一个难题是溶剂在经过所谓“再生”的过程时需要一定的热量。这种热量来源是蒸汽，恰恰是电厂如何高效灵活运作的基础。蒸汽可以来自发电厂内（集成）或来自外部专用蒸汽供应源。美国的佩特拉诺瓦（Petra Nova） CCS设施，增加了外接专用蒸汽供应源---一套新建的天然气涡轮机，额外增加了大笔成本。这是所谓“新来源审查”的联邦法律条文造成的后果，该法律限制煤电厂新增项目，即使会减少排放，也不例外。

研究结果显示，从现有的电厂设施提取蒸汽是最灵活又经济的选择。热循环利用 --- 就像塑料回收的道理一样 --- 可以减少热量浪费，降低能量消耗并在捕集过程中最大限度地回收热量。值得注意的是，这一概念也适用于水泥等其它可利用余热的设施。

胺溶剂的风险：

尚德电站CCS可行性研究结果显示，项目运营成本上升的潜在风险和项目审批障碍得以化解。胺溶剂维护成本对于有效管控持续的运营成本而言最令人关注，通过在萨斯喀电力的碳捕集验证设施（CCTF）进行实验性测试，采用主动的测量手段可以评估胺维护成本。CCTF的烟气供应直接源自尚德电站，在最终投资决策前，可用以严格评估排放和维护成本。虽然这种有利条件仅限于该设施，知识中心正在与CCS圈内开展合作，降低必要的测试系统的规模，成本以及复杂性，便于验证特定胺溶剂及其相应的烟气组合的维护和运营成本。

水：

水源是许多大规模商用设施的关注焦点。水的可用量通常是新建设施定位选址时一个关键的驱动因素，也往往是扩张规模的限制性的因素。同样，尚德电站水的供应量也是有限的，捕集设施增加额外的用水量将是项目落实的障碍。结果，设计了无需额外增加用水量的CCS系统。拟议的散热设计能够免除这个负担，只需要利用来自烟气的冷凝水。冷却用水有限将是全球的火力发电厂CCS改造面对的共同课题，因而这一解决方案可以广泛推广应用。

抹平混凝土

粉煤灰副产品纳入全寿命周期减排，成就电厂CO_2负排放。

撬装方案

尚德电站 CCS可行性研究确定，撬装化施工建设是实现低成本的理想选择方案。在撬装化施工过程中，CCS设施的组件可以在现场外建造，既可符合一致的标准和要求，又通常为低成本（劳动成本）操作，减少对建设现场的干扰。加拿大西部的主要基础设施项目，特别是阿尔伯塔省的油砂项目，业已采用了撬装化作为控制成本的手段。萨斯喀彻温省和阿尔伯塔省现有的交通道路，可以支持陆路运输一定体积规格的模块和容器。钢材结构，设备，管道，电气和仪器仪表经过组装，可以显著提高生产率，降低运输成本，缩短现场施工工期。

副产品驱动减排

边界坝电站捕集设施出售二氧化碳资源化用于石油生产的同时，发现了粉煤灰副产品销售也有利可图。**尚德电站CCS可行性研究**强调，尽管受需求量的制约，尚德电站CCS项目可以每年向混凝土市场出售粉煤灰达14万吨。这在尚德电站CCS设施的商业评价中不仅是个有价值的收入考虑因素，它也意味着二氧化碳排放量得到进一步抵消。粉煤灰用于混凝土的生产，比传统混凝土制造过程排放更低。根据目前的计算，每年出售产自尚德电站CCS设施的粉煤灰，将形成净减排125,000吨。尚德电站CCS项目捕集率为95%，包括粉煤灰副产品增加的全寿命周期减排量，结果将成就一个二氧化碳排放净负值的电厂。

将捕获的某些二氧化碳转化为有用产品是有可能的。二氧化碳的转化不会实现国际气候变化目标所要求的温室气体大规模减排。然而，在没有强化采油或封存出路的地方，寻找二氧化碳的利用途径正成为时兴的选择。二氧化碳转化的能耗需求量，必须纳入转化过程的总体减排潜力的考量当中。早期研究表明，以这种方式利用二氧化碳能耗往往较高。此外，从大型工业排放源捕集的二氧化碳产量，远远超过能够转化成有用产品的需求量，所以封存/利用与驱油的选项仍然必要。

CCS项目时间表

为了确保技术应用项目恰当实施,CCS设施项目需要跨越若干个技术性里程碑。每一步都要经过各个组织内部多层次的风险评估和层层的采纳与核准。尽管如此，遵循这些步骤可以有助于项目有更大成功的把握。到目前为止， 很多经过研究的CCS项目最终没有实施，最常见的原因是缺乏经济可行性。下面重点介绍实施CCS项目的步骤以及一般的考虑要素。

开发商可以选择首先建立测试或示点设施，这样在商业化规模的设施开发之前，就可能获得经验教训并可能降低基建投资成本，而不必从前端工程设计(FEED)研究直接过渡到商业化规模项目实施。试点设施可以达到很重要的目的，但也不排除还有更经济省时的捷径，包括利用其它地方现有的测试设施或利用小型移动设备（如前面关于胺风险的部分所述）。

图解3：
实施CCS建设项目的紧凑时间表

主动把握未来的机遇：更多感悟

加拿大的法规鼓励淘汰没有配备CCS的燃煤发电。在加拿大，尽管通过强化采油的商业化操作，资源化利用并封存二氧化碳有把握获得可观的收入，油价低迷仍然使得对二氧化碳的需求变得疲软。煤电厂进行CCS改造的经济可行性，受到天然气供应充盈的更为严峻的挑战，而天然气价格空前低廉并持续走低，以至于在北美人们可以察觉到商品价值进入了新常态。面对这些不利因素，下面是一份不完全的清单，罗列了在加拿大和全球主动把握未来CCS项目开发机遇的诸多构成因素，并强调了实现CCS工业化，必须要通过合作的方式，要减轻行政性负担，要有恰当的激励措施和融资机制。

开发CCS的合作模式在早期阶段就至关重要，相对于加速知识吸收借鉴，竞争反而不那么重要。**知识中心**的任务是分享从运营中感悟并升华的经验教训。这种切合实际的合作形式应该加以提升，以确保在针对潜在的项目设施开发可行的CCS项目过程中省时省力。在借鉴经验基础上进行决策，既可避免代价高昂的延误，又可使项目得以继续进行。应该在项目早期阶段就开始合作。

CCS 知识国际中心总裁兼首席执行官，墨镍

任何在规划CCS项目的组织，都需要往往以肯定投资回报为动机的有力的立项商业论证。

主动把握未来的机遇：更多感悟（续）

利益驱动多方合作的举措，也可能有助于推动项目开发。这样的合作举措，如前所述，不仅能以二氧化碳基础设施枢纽的形式出现，也可能基于共同分担成本或对项目链条的片段---如能源系统，工业设施，附近的油田或其它考虑要素---有重点深入的了解。例如，佩特拉诺瓦项目就体现了JX日本石油能源株式会社和NRG能源公司之间的合作，成功利用了以利益驱动多方合作的模式。

监管法规的考量主要由执法与责任负担因素构成。 CCS管控法规的执法方面在于有必要落实安全和保障措施，封存得当，（注入前后）监控和验证到位。加拿大的有关法规的制定，旨在突破限制二氧化碳封存和长期安全的障碍，促进CCS开发。在2010年之前，有关CO_2地下封存的长期责任，以及了解掌握碳封存孔隙空间（地下储存空间），一直存在不确定因素。对CO_2所有权的认定，明确了公司和政府都要遵循的法律程序，并降低了综合风险及成本。

加拿大有关二氧化碳长期封存责任的法规通常体现在现行法律中，包括**王冠(官方)矿产法**和**石油天然气保护法**等。美国德克萨斯等州，也采取同样的做法。在加拿大萨斯喀彻温省，实施了碳封存的公司，只要业主仍在经营且财务稳定，就要对碳注入区负有责任。而在阿尔伯塔省，过了一定的期限，不管公司的状态如何，该责任将转移到省政府名下。阿尔伯塔省还规定CCS运营商必须缴纳**封闭善后管理基金**，用于持续监控，维护和修复。

来自运营的真知灼见产生推动效应：

成本更低，工程技术复杂性更低，排放更低。

许多有石油和天然气现行法规的地方，可以像加拿大一样，通过修订这些法规，使其涵盖 CCS， 来减轻行政管理负担。

在现有法规基础上构建框架，缩短时间和程序很重要，同样重要的是，应尽量减少获得许可证的障碍。发放许可证是必要的，对项目严格的审查也是应该施行的。但是，简化手续以扶持CCS项目，可能是政府缓解多重许可程序给开发商带来的行政负担的有效途径。此外，应格外注意对二氧化碳的物质分类定义---将其归类为商品或废品---有害还是无害的，以确保容易获得运输许可。

边界坝3 号CCS设施内部

即使CCS的专门法规尚不到位，也不应限制CCS发展。事实上，法律法规往往落后于国家政策性承诺或项目层面的开发，何况仅仅凭法规也不太可能推动CCS发展。创造各种各样的CCS激励措施，如前面提到的45Q或特许资源使用税制度等，都是推动市场向有利于CCS方向倾斜的必要激励措施。这些驱动因素不仅可以塑造更清洁的能源系统，对难以减排的非能源工业排放也很重要。补贴和激励形式可以多种多样。促使项目开发者启动最初的大型商业化CCS项目的一个关键的范例，是面向先行者的双倍碳汇（信用）制度，在阿尔伯塔省业已得到证明，荷兰壳牌旗下**探索**CCS设施的开发方正是利用了这一制度。

在加拿大，来自联邦政府和省政府的资金，给与项目融资以有力的支持。在挪威等其它地区，项目融资亦是构成CCS工业化项目新契机的基础。政府的资金贡献是有利的，倘若利用私有资金的杠杆作用，政府的资金投入可以进一步延伸。多边开发银行的参与至关重要，特别是对亚洲而言尤其关键，与向国际气候基金寻求融资支持同样重要。

知识中心希望根据对燃烧后系统的深入把握，在应用已掌握经验知识的基础上，可以消除未来项目的投资风险。不久前全球曾一度呈现推动CCS发展的良好势头，但是大规模工业化利用最终受阻。CCS成本通常被视为难以获得广泛接受的制约因素，但通过在各个开发阶段进行技术改进，成本将持续快速下降。从运营中感悟的真知灼见，是推动更大幅度降低成本，降低复杂性，减少排放的关键 。

在实践经验基础上决策

尚德电站碳捕集技术验证设施

碳捕集利用与封存知识国际中心

决策者摘要：第二代碳捕集与封存

根据尚德电站碳捕集与封存项目可行性研究报告整理

INTERNATIONAL
CCS KNOWLEDGE
CENTRE