

Reduced Emissions Completions for Hydraulically Fractured Natural Gas Wells

液压破碎天然气井减排建造 (RECs)



执行摘要

近几年来，天然气行业探明了更多具有技术挑战性的非常规天然气储量，例如，致密砂层、页岩和煤层甲烷。这些致密地层中的新天然气井的探明以及对现有天然气井的翻修（气井维修）通常需要将水力压裂法引入到天然气储层中，从而增加天然气井的产量。行业报道称，水力压裂法已经开始应用到一些常规天然气储层中。在天然气井的施工和清理过程中去除水和多余的压裂支撑剂（一般为砂子），可能会导致大量天然气的释放，从而导致甲烷向大气中的排放。据美国温室气体排放与下沉目录1990-2009估计，由于非常规施工和气井维修，每年会有680亿立方英尺（Bcf）的甲烷释放出来或燃烧。

减排施工（RECs）---或者称作减少燃烧施工或者绿色施工---这一术语用于描述利用水力压裂法，采集在天然气井施工和气井维修过程中产生的气体的替代性方法。可将便携式设备带到施工现场，从高速回流过程中产生的固体和液体中分离出气体，产生的气体可以输送到销售管道中。RECs可以帮助降低

在天然气井清理过程中甲烷、VOC和HAP的排放量，并可以消除或显著降低燃烧的必要性。

RECs已经成为天然气STAR项目生产合作伙伴中非常流行的做法。13个不同的合作伙伴已经报道过，其正在应用减排施工。从2000年以来，RECs已经成为降低甲烷排放的主要方式。从2000年到2009年，通过RECs实现的减排量已经从200MMcf（百万立方英尺）增加到超过218000MMcf。减排量增加218000MMcf意味着从2000年到2009年，天然气的销售收入会增加超过15亿美元（假设天然气价格是7美元/千立方英尺）。

技术背景

在美国，对于天然气需求的高涨以及更高的天然气价格使得人们只能增加新的天然气井数量，开采新天然气井的成本更高，而且要在非常规天然气储层进行施工，技术难度更高，包括那些低渗透率（致密）地层。同样高涨的需求和更高的价格也意味着，需要付出更多的努力刺激分布在致密储层中现有的天然

经济效益与环境效益

降低天然气损失的方法	节约天然气 体积（千立方英尺）	节约天然气价值（美元）			额外节约 （美元）	运行成本 （美元）	其他成本 （美元）	还本期（月）		
		每千立方英尺3美元	每千立方英尺5美元	每千立方英尺7美元				每千立方英尺3美元	每千立方英尺5美元	每千立方英尺7美元
采购REC设备年度项目	270,000/年	810000美元/年	1,350,000美元/年	1,890,000美元/年	175,000美元/年	500,000美元	121,250美元	6	4	3
增加的REC合同规定服务	10,800/建造	32400美元/建造	54,000美元/建造	75,600美元/建造	6,930美元/建造	32,400	600美元/建造	立即	立即	立即

一般假设：

a 假定完工时间为9天，每天每个天然气井节约1200千立方英尺气体，每天每个天然气井回收11桶冷凝物，每个天然气井每天合同规定服务的成本是3600美元。

b 假定每桶冷凝物的价格是70美元。

c 基于REC计划每年完成25个天然气井。

减排成果（接上页）

气井的产量，因为，这一储层中的井下压力和天然气生产率都已经下降，这一过程也被称作天然气井维修或天然气井返工。在这两种情况中，在致密地层中的新井的施工和现有井的维修，一种可以提高天然气产量的技术就是利用含有压裂支撑剂（通常使用砂子）的超高压水裂解储层中的岩石，压裂支撑剂的作用是使破裂处在水压降低后保持“畅通状态”。根据天然气井的深度不同，这一程序需要分几个阶段完成，通常情况下，每个阶段完成200-250英尺的区域。

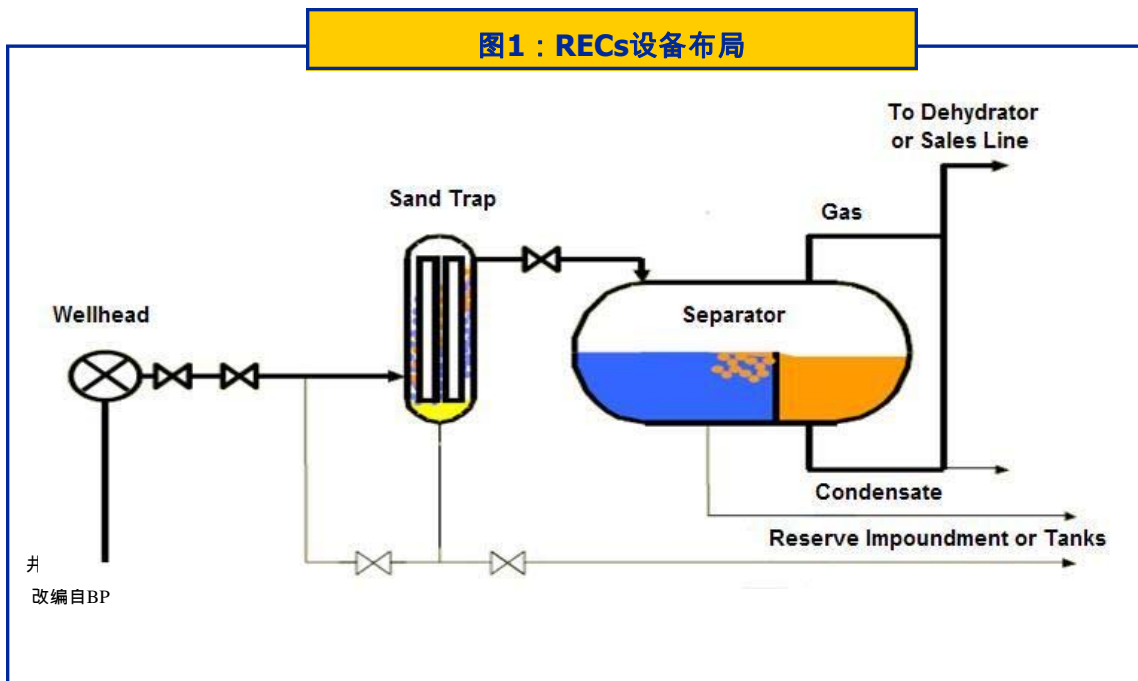
这些天然气井和需要“维修”的天然气井是通过高速水流将多余砂子提升到表面并清理天然气井身和地层，从而增加天然气产量。通常情况下，普通产量天然气井安装的气体/液体分离器不是专为高速液体流和三相（气体、液体和砂子）流而设计的。因此，通行的做法是首先在矿井或者池塘中建造天然气井，在那里收集水、碳氢化合物液体和砂子，废气被排放到大气中或进行燃烧。建造天然气井的时间从一天到几周不等，在这一期间内，将有大量的气体释放到大气中或进行燃烧。在天然气井完工时对其生产能力进行测试，可能需要重复水力致裂过程，从而让特定天然气井的生产水平达到预期值。

在天然气井建造和测试过程中，每个天然气井损失的天然气最多可达2500万立方英尺（MMcf），这取决于天然气井的生产率，完工区域数量以及每个区域完工所需的时间。这种天然气

通常是未经加工过的，可能含有挥发性有机化合物（VOCs）、有害空气污染物（HAPs）和甲烷。将天然气燃烧可以消除大部分甲烷、VOC和HAP的排放，但是，如果天然气井位于居住区附近或周围有高火灾风险的草地或森林，进行开放式燃烧就不再是最佳选择。而且，燃烧过程中可能会向大气中释放出额外的二氧化碳和其他标准污染物（SO_x，NO_x，PM和CO）。

根据天然气STAR合作伙伴的报道，在天然气井建造过程中，执行RECs计划可以将大部分通常排放到大气或进行燃烧的气体回收。这需要安装专门的便携式设备，该设备是专为应对天然气井建造过程中出现的初始高速回流（水、砂子和气体）而设计的，并且尺寸也是量身定做。目的是采集气体并输送到销售管线中，而不是排放到大气或进行燃烧。

集砂器可以将采出液流中出现的微细固体去除。堵塞器打捞器可以将可能会损坏其他分离设备的大尺寸固体例如钻屑去除。集砂器的管道配置非常关键，因为，高速水流和砂子造成的磨损可以在钢管弯头部分造成腐蚀孔洞，由水流、砂子、碳氢化合物液体以及气体组成的无控制流形成冲刷效应，影响衬垫。取决于集气系统，在进入销售管线之前，可能需要对生产出的气体进行脱水处理（去除水分）。气体可以通过永久性乙二醇装置或者便携式干燥剂/乙二醇脱水器实现脱水过程。



减排成果 (接上页)

利用三相分离器将自由水和冷凝物从气体中去除。在操作过程中收集的冷凝物 (液态碳氢化合物) 可以直接销售, 增加收入。如果永久性管道系统还没有安装到位, 可以通过临时管道系统实现天然气井与REC滑轨及收集系统的连接。图1展示了临时REC便携式设备的典型布局, 图2介绍了一些关于天然气井建造和REC的可替代性、新兴和/或实验性程序。

图2：可替代建造程序

充能压裂

根据天然气START合作伙伴的实际经验, REC的执行还可以与充能压裂结合在一起使用, 其中, 二氧化碳或氮气等惰性气体与压裂水在高压作用下混合在一起, 在压裂地层过程中起辅助作用。除了回流气体的组成, 操作程序基本相同。起初, 惰性气体在回流气体中的百分比还不适合直接输送到销售管线。随着惰性气体的比例逐渐降低, 回收气体后所产生的经济效益就越来越高。在CO₂ 充能压裂之后, 通过使用便携式膜酸性气体分离装置可以进一步增加可用于销售的甲烷量。

压缩

天然气START合作伙伴已经确认并探究了在REC过程中应用两种压缩机的操作过程。

1) 气流提升。在低压储层 (例如, 低能量) 中, 通过REC进行气流提升通常需要借助压缩机。气流提升是通过抽回销售管线中的气体实现的, 增加压力, 通过井管向下输送, 从而将压裂液从管道向上输送。增加压力可以帮助气流进入分离器, 随后进入销售管线, 提升气流成为正常回流的一部分, 可以通过REC过程进行回收。

2) 输送到销售管线。某些时候, REC分离器中回收的气体压力比销售管线中的压力低, 一些公司尝试利用压缩机来增加回流的压力, 使其进入销售管线。这一技术还处于试验阶段, 因为在回流速度大幅波动的条件下操作压缩机难度很大。在煤层甲烷井建造过程中需要压缩机的介入, 这是一个典型案例。

在REC过程中使用的设备只在建造天然气井的过程中是必要的; 因此, 重要的是将所有设备容易地运输到相应地点, 应用在每个天然气井的建造过程中。如图3所示, 安装在卡车上的滑轨, 对于在不同地点之间运输设备是理想的选择。在经常进行钻孔操作的大型盆地中, 建造自己的REC滑轨对于天然气生产者是非常经济的。大多数生产者倾向于通过与第三方服务商签订合同的方式建造天然气井。

如果通过第三方服务商执行REC, 将建造安排与年度钻孔计划结合在一起可以使成本效益达到最高。天然气井建造时间是另一个约束承包商的因素。一些天然气井的建造时间, 例如煤层甲烷, 可能只需要不到一天。另一方面, 一些需要在不同区域破裂作业的天然气井, 例如, 页岩天然气可能需要几周的时间才能建造完成。根据合作伙伴的实际经验, 对于大多数天然气井来说, 如果采取水力致裂方式作业, 通常需要3到10天的建造时间。

图3：卡车安装式减排设备



资料来源：Weatherford

经济与环境效益

- ★ 回收天然气用于销售
- ★ 回收冷凝物用于销售
- ★ 降低甲烷排放量
- ★ 降低有价值的碳氢化合物资源的损失
- ★ 降低标准和有害空气污染物的排放量

天然气井建设过程中释放出的气体可以导致很多环境问题。VOCs的直接排放可以导致局部空气污染, HAPs被认为是对人体有害的物质, 甲烷是一种作用很强的温室气体, 可以导致气候变化。因为甲烷、VOCs以及HAPs是可燃物质, 因此, 在安全条件下, 相对于直接排放来说, 燃烧可能是更好地选择, 这样可以降低污染水平并降低由于排放造成的全球变暖潜力 (GWP), 因为二氧化碳的GWP比甲烷要低。REC回收气体, 而不是排放或燃烧气体, 因此, 可以降低天然气井建造和维修活动对环境的影响。

RECs不仅可以带来环境效益, 而且可以带来经济效益。通过销售气体和冷凝物带来的收入可以弥补与租借第三方服务商设备相关的新增成本。随着这项技术越来越完善, 设备的应用越来越普遍, 销售气体和冷凝物带来的收入通常要高于新增成本。

减排成果 (接上页)

决策步骤

第一步：评估备选天然气井减排潜力

在制定年度RECs计划时，对于来年要投入使用的天然气井的特定机型评估十分重要。在常规储层区域建造的天然气井不需要储层压裂（压裂作业），不需要刺激就可以投入生产，不存在钻井液的问题，可以在相对短的时间内连接到生产线上，并且气体排放或燃烧的水平可以降到最低，因此，通常从经济角度考虑不需要REC设备。使用惰性气体进行充能压裂操作建造的天然气井需要特殊考虑，因为在惰性气体的存在下，由REC设备采集的最初生产出来的气体不能达到管线的质量要求。但是，随着惰性气体的减少，气体的质量就可以达到管线的质量要求。在二氧化碳充能压裂的例子中，应用便携式除酸性气体膜分离器可以改善气体的质量，让气体进入管道成为可能（更多信息，请参见合作伙伴经验部分）。

决策步骤

- 第一步：评价备选天然气井
- 第二步：确定成本
- 第三步：评估节约成本
- 第四步：评估经济效益

州政府和当地法规

怀俄明州和科罗拉多州的法规要求执行“无燃烧作业”。要求这一区域的新天然气井操作者在建造天然气井过程中，不可燃烧或排放气体。这些地区的施工过程已经将燃烧比例降低70%到90%。

更多相关信息，请参见以下网址：

<http://deq.state.wy.us>

<http://www.cdphe.state.co.us>

临近区域不配有销售管线的勘探井和探边井不能作为RECs的备选天然气井，因为没有相应的基础设施用于接收回收的气体。在废弃或低能量储层的低压区域，执行RECs计划很可能要用到压缩机，用于克服销售管线的压力—这种方法仍然处于开发阶段，可能会给操作过程增加较大的成本。

需要水力压裂来刺激或增加天然气产量的天然气井可能需要较长的建造时间，因此，可以作为RECs很好的备选天然气井。

较长的建造期意味着有大量的气体被排放出来或燃烧，而这些气体都可以作为潜在的资源加以回收并进行销售，从而增加收入，并证明REC确实可以带来额外的收入。如果临近区域有新建天然气井，也可以共享REC设备，从而将运输、安装和设备租赁成本降到最低。

第二步：确定执行REC计划的成本

大多数天然气STAR合作伙伴都报道过，在其生产区域内，通过第三方承包商对天然气井执行RECs操作。应该注意的是，第三方承包商也经常承担传统天然气井的建造。因此，这里介绍的经济指标指的是采取RECs相对于传统天然气井建造的新增成本。

一般来讲，在操作者的生产区域内，第三方承包商会针对每个天然气井建造过程中所需的设备运输和安装收取一定的调试费。一些RECs供应商会将其设备安装在—辆拖车上，而其他一些供应商会铺设独立滑轨，而滑轨必须连接到每个作业点的临时管线上。在操作者生产区域内，不同作业点之间的运输以及普通回流管线范围内从井口到蓄水池或储罐的REC设备的连接相关的新增成本是600美元/井。

除了调试费之外，每天要支付设备租赁费和执行REC所需的人工费用。如上文所述，在评价天然气井建造成本时，更重要的是考虑REC相对于传统天然气井建造所增加的成本，而不是仅仅将焦点集中在总成本上。REC供应商和天然气STAR合作伙伴曾经报道，对于传统型天然气井建造来说，在建造中回收天然气所需的设备租赁以及人力的新增成本介于700美元到6500美元/天之间。每个天然气井与RECs相关的设备成本都有所不同。生产率较高的，需要更大的设备来执行REC，并且会增加成本。如果永久性设备，例如乙二醇脱水器已经安装在天然气

选择成本和节约的基础

- ★ 估计来年即将建造的产气井数量
- ★ 估计天然气井深度和储层特点
- ★ 确定将回收气体提升到管线质量要求是否需要额外设备
- ★ 估计每个天然气井所需的建造时间

减排成果（接上页）

井场，假设回流速度没有超过设备的处理能力，那么，这个天然气井的REC成本就可以降低，因为这台设备可以投入使用，不需要在现场携带便携式脱水器。一些操作者报道，安装可以用于RECs的永久性设备，作为常规天然气井作业的部分，例如，超大型三相分离器，可以进一步降低REC的新增成本。在天然气井的建造过程中，通常需要1到30天的时间来完成井身的清理，试井以及与永久性销售管线的连接。需要对致密地层进行多次压裂，从而刺激天然气产量的天然气井可能需要更长的建造时间。表4显示了通常情况下，单井执行REC过程所需的成本。

表4：RECs典型成本

单次运输以及安装过程增加的成本	REC设备租赁和劳动力增加成本	天然气井清理时间
每井600美元	每天700到6500美元	3到10天

对于低能储层来说，可以将销售管线中的气体通过井管向下输送，从而实现人工气流提升，如表2所述。取决于天然气井的深度，提升液体和清理井身所需的气体量有所不同。基于美国主要盆地深度和工程计算方法，表5显示了不同深度天然气井提升液体所需的气体量估计值。

表5：增压压缩机尺寸与燃料消耗

井深（英尺）	提升液体所需压力（psig）	提升液体所需气体量（千立方英尺）	压缩机尺寸（马力）	压缩机燃料消耗量（千立方英尺/小时）
3000	1319+销售管线压力	195到310	195到780	2到7
5000	2323+销售管线压力	315到430	400到1500	3到13
8000	3716+销售管线压力	495到610	765到2800	7到24
10000	4645+销售管线压力	615到730	1040到3900	9到33

^a基于销售管线压力介于100到1000psig。

在生产者作业区域内，年度REC计划可能会包括25个天然气井/年。基于合作伙伴公司所提供信息，表6给出了REC计划的成本的假定案例。

第三步：估计RECs节约的成本

由于回收的气体量取决于许多变量，例如，储层压力、生产率、提升液体量和总建造时间等，因此，通过RECs回收的气体存在很大差异。表7显示了天然气STAR合作伙伴报道的回收气体和冷凝物的范围。合作伙伴还报道，天然气井建造过程中，不是所有气体都可以回收用于销售。高压天然气井中的液体通常会在施工最初阶段被直接导入压裂液罐，因为液体的产生速度通常要高于REC设备的处理能力。惰性气体用于给压裂过程充能，起始阶段产生的气体应该进行燃烧，直到气体质量达到管线质量要求再回收。或者，可以使用便携式酸性气体膜分离器，从二氧化碳中回收富含甲烷的气体。随着液体流速下降，并遇到气体，倒流随后转换到REC设备上，从而可以采集气体。除了从储层中生产的气体之外，来自销售管线通过压缩提升液体的气体（通过人工气流提升）也可以回收。提升液体所需的气体量可以通过井深和销售管线压力进行估计。根据生产出气体中的甲烷含量，通过RECs节约的气体量可以直接换算成甲烷减排量。

除了节约气体，有价值的冷凝物也可以通过REC三相分离器进行回收。通过REC回收的冷凝物量取决于储层条件和液体组

减排成果 (接上页)

表6：25井年度REC计划的成本计算举例

已知

W=每年新建天然气井数

D=井深 (英尺)

Ps=销售管线压力磅/平方英寸 (psig)

Ts=运输和安装所需时间 (天/井)

Tc=天然气井清理所需时间 (天/井)

O=利用压缩机提升液体所需运行时间 (小时/井)

F=压缩机燃料消耗速度 (千立方英尺/小时)

G=来自管线输送到井管用于提升液体的气体 (千立方英尺/井) ，通常在低能储层使用

Cs=运输和安装成本 (美元/井)

Ce=设备和人工成本 (美元/天)

Pg=销售管线气体价格 (美元/千立方英尺)

W=25井/年

D=8000英尺

Ps=100磅/平方英寸psig

Ts=1天/井

Tc=9天/井

O=24小时/井

F=1万立方英尺/小时

G=50万立方英尺/井 (见表5)

Cs=600美元/井

Ce=2000美元/天

Pg=7美元/千立方英尺

计算总的运输和安装成本， C_{TS}

$$C_{TS}=W*Cs$$

$$C_{TS}=25\text{井/年}*600\text{美元/井}$$

$$C_{TS}=15000\text{美元/年}$$

计算总的设备租赁和劳动力成本， C_{EL}

$$C_{EL}=W*(Ts+Tc)*Ce$$

$$C_{EL}=25\text{井/年}*(1\text{天/井}+9\text{天/井})*2000\text{美元/天}$$

$$C_{EL}=500000\text{美元/年}$$

计算其他成本， C_o

$$C_o=W*[(O*F)+G]*Pg$$

$$C_o=25\text{井/年}[(24\text{小时/井}*1\text{万立方英尺/小时})+50\text{万立方英尺/井}]*7\text{美元/千立方英尺}$$

$$C_o=129500\text{美元/年}$$

年度REC计划总成本， C_T

$$C_T=C_{TS}+C_{EL}+C_o$$

$$C_T=15000\text{美元/年}+500000\text{美元/年}+129500\text{美元/年}$$

$$C_T=644500\text{美元/年}$$

减排成果 (接上页)

成。如果在转入REC设备之前直接将液体导入压裂液罐，也可能造成冷凝物的损失。

表8介绍了通过REC程序，可以节约的气体 and 冷凝物量。

表7：气体和冷凝物节约量范围

生产气体节约量 (千立方英尺/天/ 井)	气流提升节约量(千 立方英尺/井)	冷凝物节约量 (bbl/天/井)
500到2000	见表5	0到数百

Nelson价格指数

为了解释设备和运行&维护成本方面的通货膨胀，使用 Nelson-Farrar 季度成本指数 (在《石油与天然气杂志》每季度第一期中可以得到) 更新经验总结部分的成本。

“精炼厂经营指数”被用于修订运行成本，“机械装置：油田编位号提炼成本指数”被用于更新设备成本。

为了在将来使用这些指数，我们只需查看最新的 Nelson-Farrar 指数，然后除以2006年2月的 Nelson-Farrar 指数，然后乘以经验总结部分提出的适当成本。

第四步：评估REC经济效益

如果按照上述关于天然气和冷凝物的销售进行假设，在有25个天然气井的生产区域内应用REC，理论上可以产生2152500美元的收益。据估计，实施这一计划所需的设备租赁、人力和其他成本为644500美元 (见表6)，理论上讲，由此每年产生的利润为1508000美元。为了让REC计划有利可图，要在生产区域内的不同天然气井之间高效的移动，以便在支付设备租赁和人力成本情况下，将停工时间降到最低。其他影响REC计划的

利润的因素包括，冷凝物回收量和销售价格、是否需要其他压缩机、回收气体量以及气体销售价格。

表9显示了在25个天然气井开展REC年度计划所带来的五年现金流预测。在这个例子中，操作者独立采购执行RECs所必须的设备，而不是通过第三方承包商。根据英国石油公司 (BP) 报道，在不需便携式压缩机的情况下，一般REC安装所需的建设成本为500000美元。

需要进行大量局部钻孔和维修作业的生产者可以从建造和操作自己的REC设备得到效益。如上所示，尽管REC滑轨需要很大的基建支出，但是，如果连续使用该设备，可以实现较高的收益率。如果操作者在其天然气井上不能充分利用该设备，可以承包给其他操作者，从而让设备的利用率达到最高。

在评估REC的经济效益时，天然气价格会对决策步骤产生重大影响，因此，在决定是否开展REC计划之前，考虑其经济效益十分重要。表10显示的是，在不同天然气价格条件下，对表8中25井年度REC计划的经济效益分析。

合作伙伴的经验

本部分强调了由天然气STAR合作伙伴报道的具体经验。

经验总结

- ★ 如果按照水力压裂方法操作，使用额外的专门为高速回流设计的设备例如，集砂器、分离器、便携式压缩机、膜酸性气体去除装置和干燥剂脱水器，会增加天然气井建造过程中回收天然气和冷凝物的成本。
- ★ 在水力压裂过程中，天然气井中产生的砂子、液体和气体将被单独分离并收集。在建造天然气井过程中采集的天然气和气液可以进行销售，得到额外收益。
- ★ 实施REC计划可以减少气体的燃烧，在不适合在户外燃烧的情况下 (人口密集区) 或不安全情况下 (火灾风险) 可以体现出其优势。

减排成果 (接上页)

表8：25井年度REC计划的节约

已知

W=每年新建天然气井数

D=井深 (英尺)

Ps=销售管线压力磅/平方英寸 (psig)

Sp=生产气体节约量 (千立方英尺/天)

Tc=回收气流进入销售管线所需天数 (天/井)

Sc=冷凝物节约量 (bbl/井)

G=用于提升液体的气体 (千立方英尺/井) , 通常在低能储层使用

Pg=销售管线气体价格 (美元/千立方英尺)

P1=天然气液价格 (美元/bbl)

W=25井/年

D=8000英尺

Ps=100磅/平方英寸psig

Sp=1200千立方英尺/天

Tc=9天/井

Sc=100bbl/井

G=50万立方英尺/井 (见表5)

Pg=7美元/千立方英尺

P1=70美元/bbl

计算气体节约量

$$S_{PG}=W * (Sp * Tc) * Pg$$

$$S_{PG}=25 \text{井/年} * (120 \text{万立方英尺/天} * 9 \text{天/井}) * 7 \text{美元/千立方英尺}$$

$$S_{PG}=1890000 \text{美元/年}$$

计算其他节约量

$$S_O=W * [(G * Pg) + (Sc * P1)]$$

$$S_O=25 \text{井/年} * [(50 \text{万千立方英尺/井} * 7 \text{美元/千立方英尺}) + (100 \text{bbl/井} * 70 \text{美元/bbl})]$$

$$S_O=262500 \text{美元}$$

总节约量, S_T

$$S_T=S_{PG}+S_O$$

$$S_T=1890000 \text{美元/年} + 262500 \text{美元/年}$$

$$S_T=2152500 \text{美元/年}$$

减排成果 (接上页)

- ★ 不需要水力压裂的天然气井不适合RECs。通过实施RECs实现的甲烷减排可以报告给天然气STAR项目，除非法律要求实施RECs (例如，怀俄明州的Jonah-Pinedale地区)。

美国环境保护署

美国
环境保护署
大气与辐射 (6202J)

宾夕法尼亚大街 1200 号，NW
华盛顿，哥伦比亚特区 20460
2011

美国环境保护署提供本文建议的甲烷排放估计方法，只能可以作为估计甲烷排放量的工具。因为，通常报告需要高度精确的甲烷排放量估计方法，本文中包含的术语可能不符合温室气体报告规则，40CFR98部分，W部分或环境保护署的其他规章地要求。

表9：对自购设备开展25井年度REC计划的经济效益分析

	第0年	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年
节约天然气量 (千立方英尺/年) ^a		270000	270000	270000	270000	270000
节约天然气产生的价值 (美元/年) ^a		1890000	1890000	1890000	1890000	1890000
额外节约价值 (美元/年) ^a		175000	175000	175000	175000	175000
安装成本 (美元/年) ^b		(15000)	(15000)	(15000)	(15000)	(15000)
设备成本 (美元) ^b	(500000)					
人工成本 (美元/年) ^c		(106250)	(106250)	(106250)	(106250)	(106250)
年净现金流 (美元)	(500000)	1943750	1943750	1943750	1943750	1943750
						内部收益率=389%
						NPV (净现值) ^d =6243947美元
						还本期=3月

^a见表8。
^b见表6。
^c所购买REC设备对应的人工成本按照表3中设备租赁和人工成本的50%计算。
^d五年的净现值按照10%的贴现率计算。

表10：天然气价格对自购设备开展25井年度REC计划的经济效益分析的影响

	天然气价格				
	3美元/千立方英尺	5美元/千立方英尺	7美元/千立方英尺	8美元/千立方英尺	10美元/千立方英尺
总节约量	985000美元	1525000美元	2065000美元	2335000美元	2875000美元
还本期 (月)	7	5	4	3	3
内部收益率	172%	280%	389%	443%	551%
净现值 (i=10%)	2522084美元	4383015美元	6243947美元	7174413美元	9035345美元

减排成果 (接上页)

BP在格林河盆地的经验

- ★ 在怀俄明州的格林河盆地实施RECs
- ★ 在106个天然气井上实施RECs，包括高压和低压天然气井
- ★ 平均每个天然气井销售（非排放）的天然气量为3300千立方英尺
 - 不同储层的天然气井压力不同
 - 每个区域的减排量各不相同
 - 保守估计天然气节约量的净值是20000美元/井
- ★ 2002年天然气减排量为350000千立方英尺
- ★ 106个天然气井每年回收6700桶冷凝物
- ★ 到2005年底，合作伙伴报道，一共回收了41.7亿立方英尺天然气和超过53000桶冷凝物，并进行销售，而不是燃烧。这在Wamsutter和Jonah/Pinedale地区是一种组合行动。

Noble在俄克拉荷马州埃利斯县的经验

- ★ 利用充能压裂在10个天然气井实施REC
- ★ 采用膜分离技术，其中的渗透物是一种排入大气的富含二氧化碳的流体，残留物主要是碳氢化合物，对残留物加以回收。
- ★ 总成本为325000美元。
- ★ 总天然气节约量大约为175百万立方英尺。
- ★ 据估计，净利润为340000美元。
- ★ 如想了解更多信息，请参见2011春季天然气STAR合作伙伴更新中的合作伙伴介绍文件，网址是：<http://epa.gov/gasstar/newsroom/partnerupdatespring2011.html>

合作伙伴公司A

- ★ 在德克萨斯州的Fort Worth盆地实施RECs
- ★ 在30个天然气井上实施RECs，每个井新增成本8700美元
- ★ 平均每个天然气井销售（非排放）天然气11900千立方英尺
 - 天然气井完工后的2到3周后，9天内产生的天然气流和销售额
 - 低压天然气输送到天然气加工厂
 - 保守估计每个天然气井节约的天然气净值为50000美元
- ★ 预计在2005年30个天然气井总共可以减排15到20亿立方英尺

减排成果 (接上页)



**United States
Environmental Protection Agency
Air and Radiation (6202J)
1200 Pennsylvania Ave. NW
Washington, DC 20460**

2011