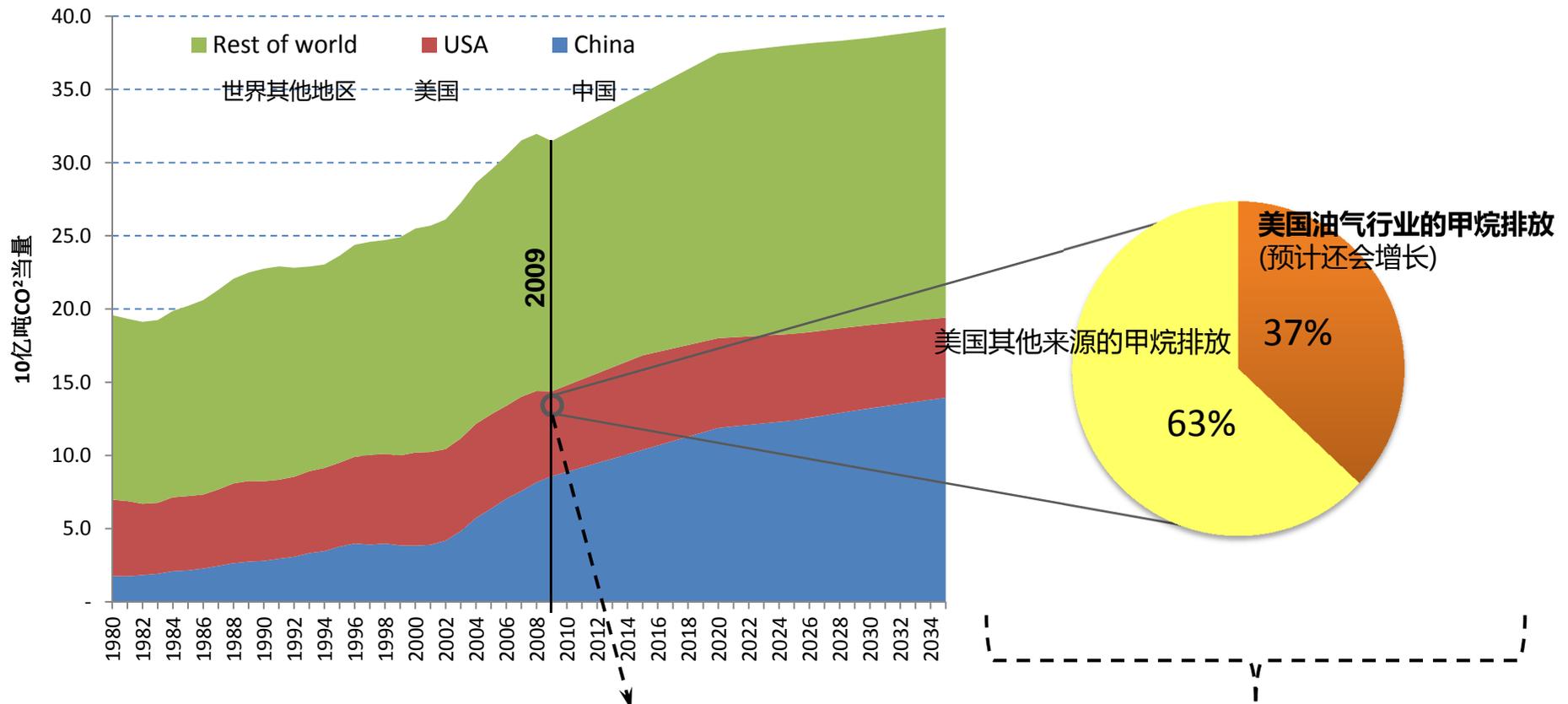


控制天然气作业中的甲烷排放

页岩气发展的最佳实践 研讨会
2012年7月25日 - 中国北京

Vignesh Gowrishankar
美国自然资源保护委员会可持续能源研究员

美国油气行业的甲烷排放引发了重要的关注 – 中国不应重蹈覆辙



天然气在燃料中的地位 – 很难改变
 依赖于市场驱动，燃料价格和能源需求等

天然气生产中的甲烷排放 – 能够被控制
 通过树立足够的防范意识，早期的规划，企业承诺实施有效措施，强有力的监管

- 甲烷是一种高强度的全球气候变暖污染物
- 在美国引发了重要的和日益增长的关注, 但是中国不应重蹈覆辙
- 被节省下来的甲烷 (作为天然气的主要成分) 可以被出售而获得额外的收入
- 流逝的利润: 现在有10项捕获甲烷的技术以捕获80%以上将要被浪费掉的甲烷

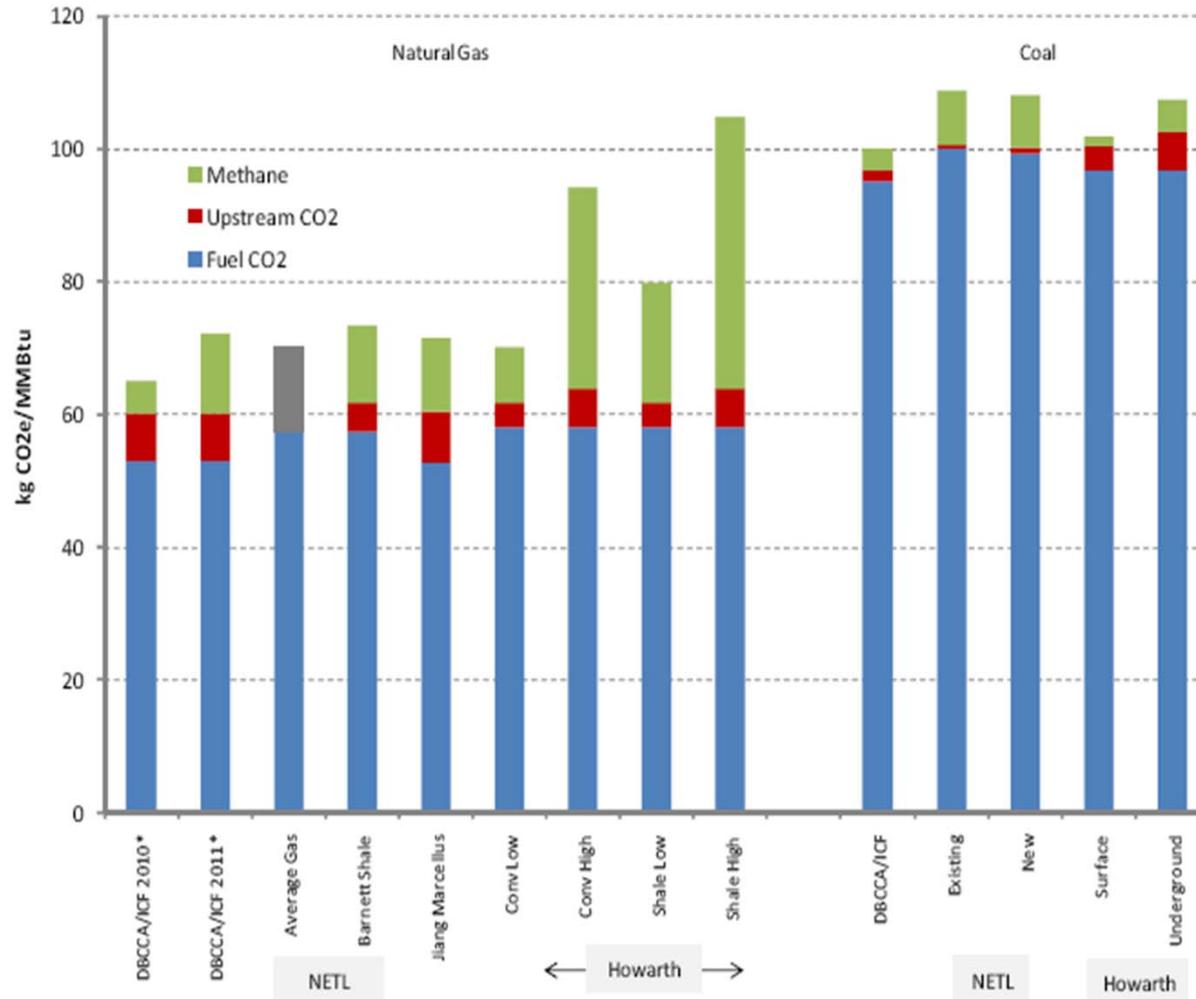
数据来源: CO2 Emissions from Fuel Combustion, 2011, IEA; Energy Technology Perspectives, 2012 (4 degree scenario), IEA; Greenhouse Gas Inventory, 2011 and 2012, U.S. EPA

如果天然气生产所引起的甲烷排放量过高，在防止温室气体排放的前景中，也许应用天然气不再被认为比煤炭更有优势



最近由下而上的生命周期评价对比

Exhibit 2. Comparison of Recent Bottom-Up Life-Cycle Assessments.

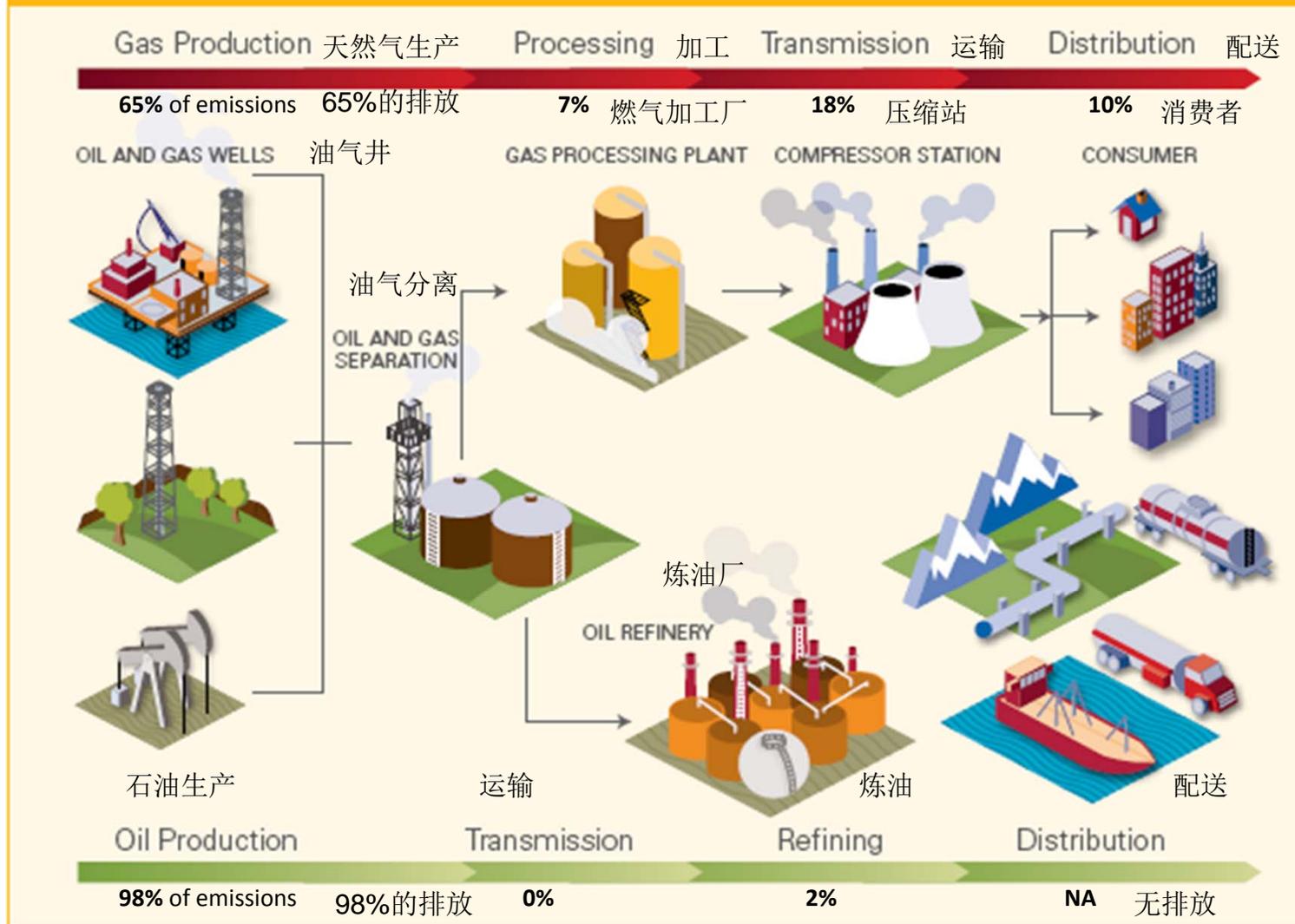


必须减少天然气生产中的甲烷排放

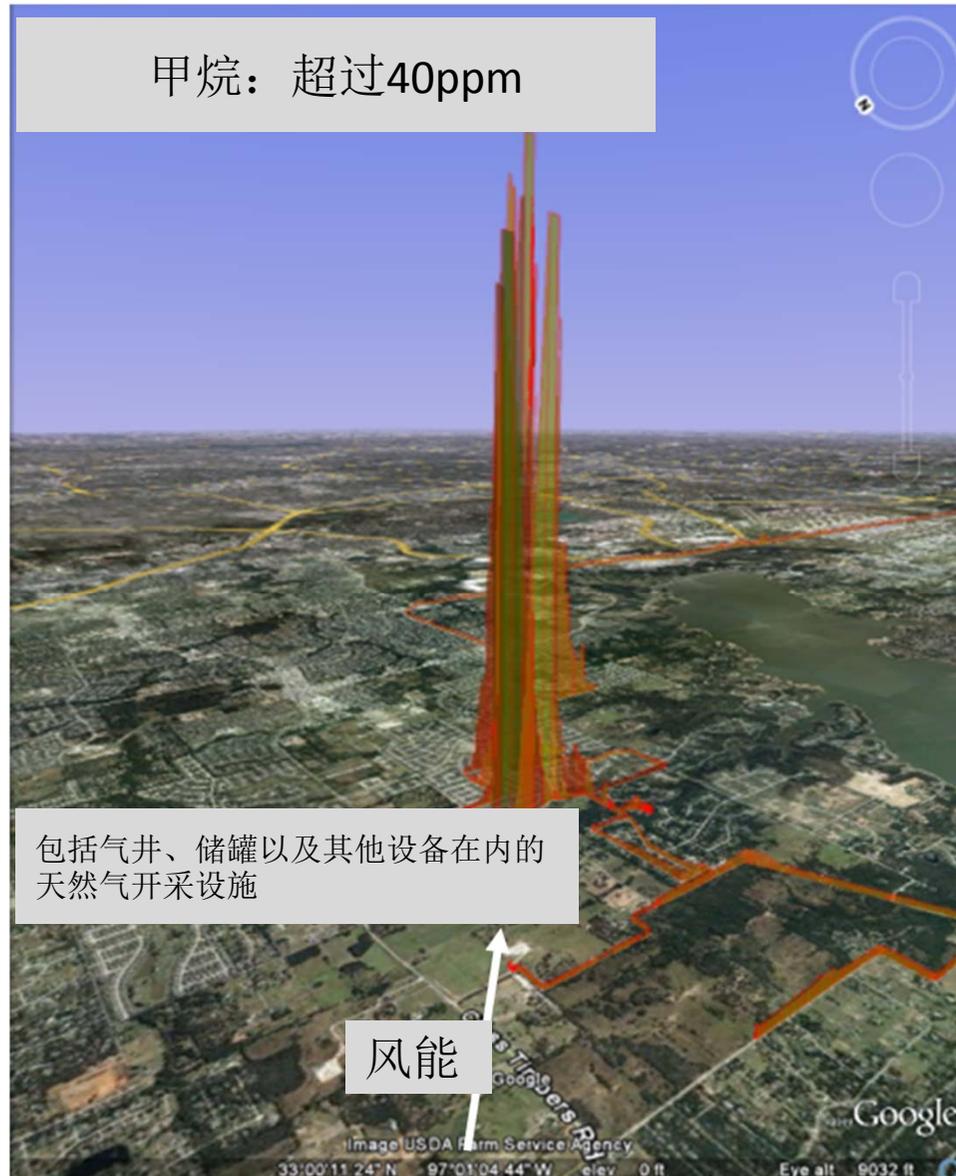
甲烷排放的最大源头来自生产环节，但其他环节亦不容忽视



油气生产、加工、运输、精炼和配送体系示意图

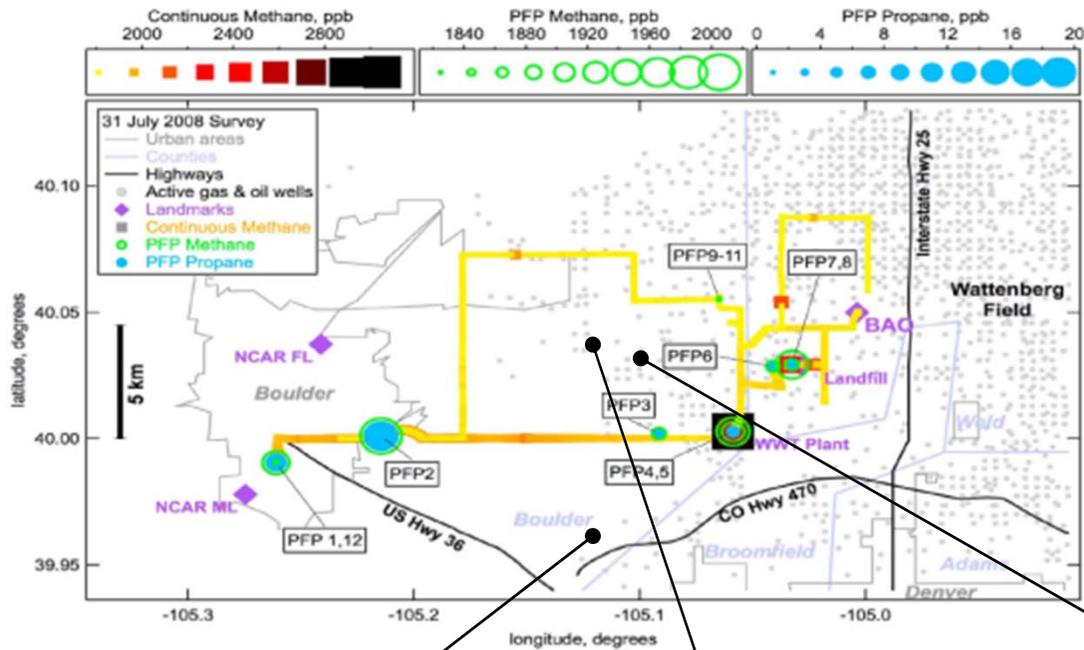


Source: Leaking Profits, NRDC, available at <http://www.nrdc.org/energy/leaking-profits.asp>. If not specified, other graphics in presentation are also from Leaking Profits.



鸣谢: Picarro公司

天然气作业中的甲烷排放 – 博尔德附近, 科罗拉多州



甲烷泄露量相当于气井中天然气生产总量的4%

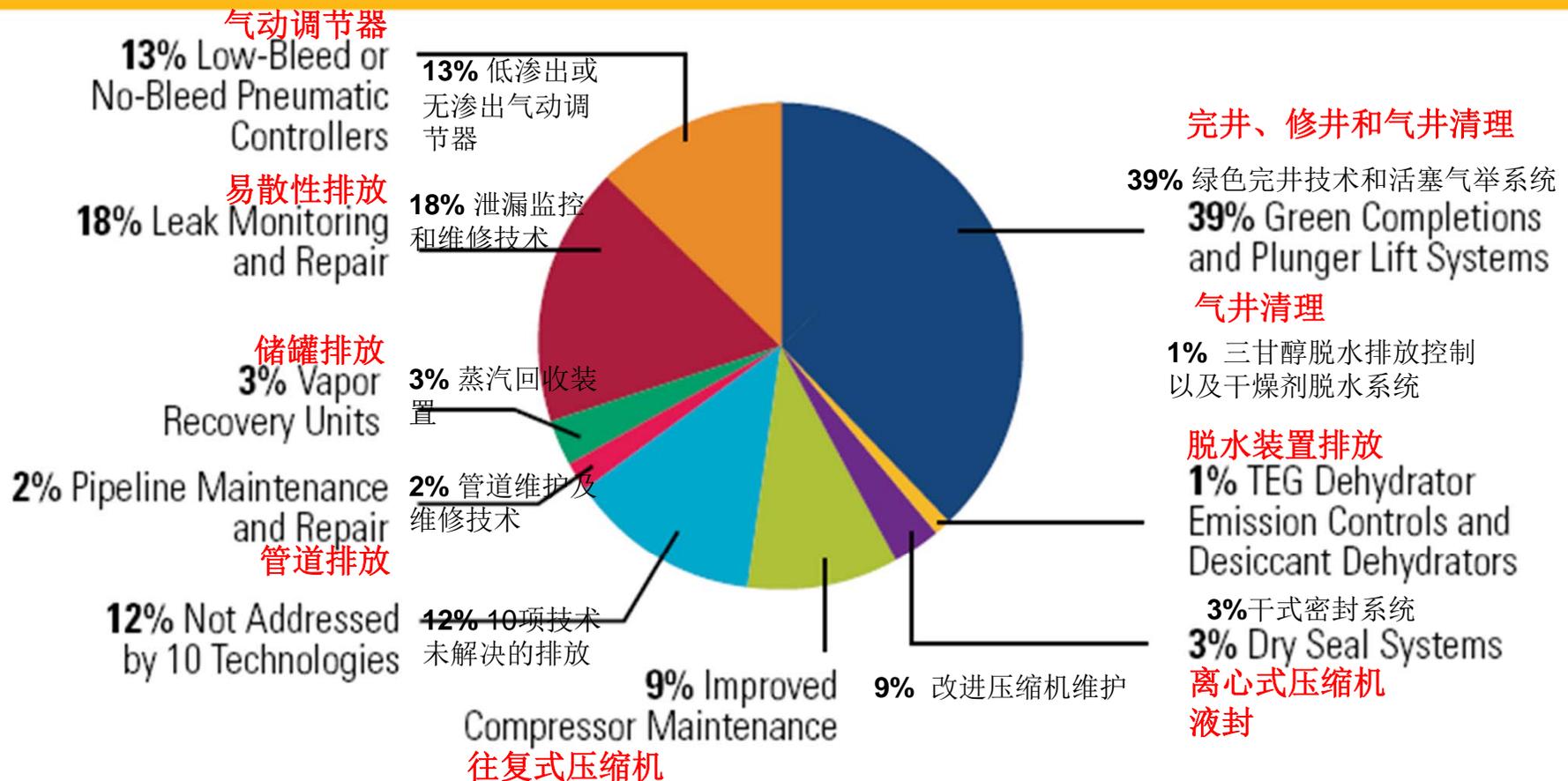


Petron等人著, “科罗拉多弗兰特山脉油气排放特性描述: 试点研究”; 谷歌地图
该文参见: http://blogs.edf.org/energyexchange/files/2012/02/Petron_et_al_Colorado_2011JD016360.pdf

有10项技术可以解决美国超过80%的甲烷排放



各项技术在油气行业甲烷减排潜力中所占的比例



Note: 2009 gross O&G industry methane emission was 791 Bcf. The 10 technologies can address all but 12 percent of these emissions. Based on data from U.S. EPA 2011 *Greenhouse Gas Inventory*.

注：2009年油气行业甲烷排放总量为7910亿立方英尺。有10项技术可以减少88%的甲烷排放量。

红色文字指出了排放来源

数据来自美国环保署《2011年温室气体排放数据库》

这十项技术是具有商业可行性和很短的投资回收期



甲烷捕获技术的成本和效益

技术	投资成本	甲烷捕获量	利润	回收期
① 绿色完井技术	\$8,700 to \$33,000 per well	7,000 to 23,000 Mcf/well	\$28,000 to \$90,000 per well	< 0.5 – 1 year
② 活塞气举系统	\$2,600 to \$13,000 per well	600 to 18,250 Mcf/year	\$2,000 to \$103,000 per year	< 1 year
③ 三甘醇脱水排放控制技术	Up to \$13,000 for 4 controls	3,600 to 35,000 Mcf/year	\$14,000 to \$138,000 per year	< 0.5 years
④ 干燥剂脱水系统	\$16,000 per device	1,000 Mcf/year	\$6,000 per year	< 3 years
⑤ 干式密封系统	\$90,000 to \$324,000 per device	18,000 to 100,000 Mcf/year	\$280,000 to \$520,000 per year	0.5 – 1.5 years
⑥ 改进版压缩机维护技术	\$1,200 to \$1,600 per rod packing	850 Mcf/year per rod packing	\$3,500 per year	0.5 years
⑦ 低渗出气动调节器	\$175 to \$350 per device	125 to 300 Mcf/year	\$500 to \$1,900 per year	< 0.5 – 1 year
无渗出气动调节器	\$10,000 to \$60,000 per device	5,400 to 20,000 Mcf/year	\$14,000 to \$62,000 per year	< 2 years
⑧ 管道维护及维修技术	Varies widely	Varies widely but significant	Varies widely by significant	< 1 year
⑨ 蒸汽回收装置	\$36,000 to \$104,000 per device	5,000 to 91,000 Mcf/year	\$4,000 to \$348,000 per year	0.5 – 3 years
⑩ 泄漏监控和维修技术	\$26,000 to \$59,000 per facility	30,000 to 87,000 Mcf/year	\$117,000 to \$314,000 per facility per year	< 0.5 years

投资回收期短

- 这些经济指标是美国的情况，因为这些技术解决方案需要的实现需要整合美国现有的基础设施
- 在中国，如果这些技术解决方案在基础设施建设伊始就进行规划，就可以用更低的成本带来相似的效益
 - 例如，积累了丰富经验的西南能源公司已经将绿色完井技术成本降低为0美元

有10项可以盈利的技术，但是企业可能不会去实施，因为：

- 可能缺乏控制甲烷排放的意识，和对这些技术的专业知识
- 由于资金有限，这些技术需要和其他盈利性投资选择去竞争（压力颇大的内部预设回报率）
- 根据企业历史，企业可能缺乏持续发展的承诺
- 可能缺乏适当的激励架构

需要强有力的监管条例来控制甲烷排放。
强有力的监控要素包括：

- 确保涵盖所有主要排放源
- 控制现有甲烷排放源和新的甲烷排放源（不同于美国仅对新排放源所制定的条例）
- 直接控制甲烷排放（而非使用挥发性有机物或其他排放物限排进行间接控制）
- 具体说明特定的甲烷控制技术（规定最起码的技术配备）：
绿色完井技术、活塞气举系统、脱水装置控制、干式密封系统、压缩机维护、降低渗出的气动调节器、蒸汽回收装置、管道维修、泄漏检测和修理（这方面可以做到，因为已开发出控制技术）
- 要求报告排放情况
- 考虑建立技术/最佳实践做法分享机制或论坛
- 制定最起码的国家条例，辅以地区性条规来解决各地区的排放问题

美国环保署控制空气污染物排放的新监管措施只能减少20%的甲烷排放



不可控的	<ul style="list-style-type: none"> • 完井、修井 (e.g., 混合井) • 液体卸载 (清理气井) • 脱水 (e.g., 加强标准) • 离心式压缩机 (e.g., 井址, 分配) • 往复式压缩机 (e.g., 井址, 分配) • 气动调节器 (e.g., 分配, 加强标准) • 管道排放 (e.g., 全部) • 储罐 (e.g., 加强标准) • 易散性排放 (e.g., 所有方面) <p style="text-align: center;">~5% 占甲烷总排放量</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 液体卸载 (清理气井) • 脱水 (e.g., 加强标准) • 离心式压缩机 • 往复式压缩机 • 气动调节器 • 管道排放 • 储罐 (e.g., 加强标准, 设定最低标准) • 易散性排放 (e.g., 所有方面) <p style="text-align: center;">75% 占甲烷总排放量</p>
	可控的 (NSPS/NESHA Ps)	<ul style="list-style-type: none"> • 完井(非常大%) • 脱水(NESHAPs, small %) • 离心式压缩机(2%) • 往复式压缩机(<1%) • 气动调节器(5%) • 储罐 (3%: NSPS, NESHAPs) • 易散性排放(<0.1%) <p style="text-align: center;">10-15% 占甲烷总排放量</p>
	新的来源	已经存在的来源

- 随着现有的设备被修复或替代，美国的“新污染源排放标准”将取得更多的效果

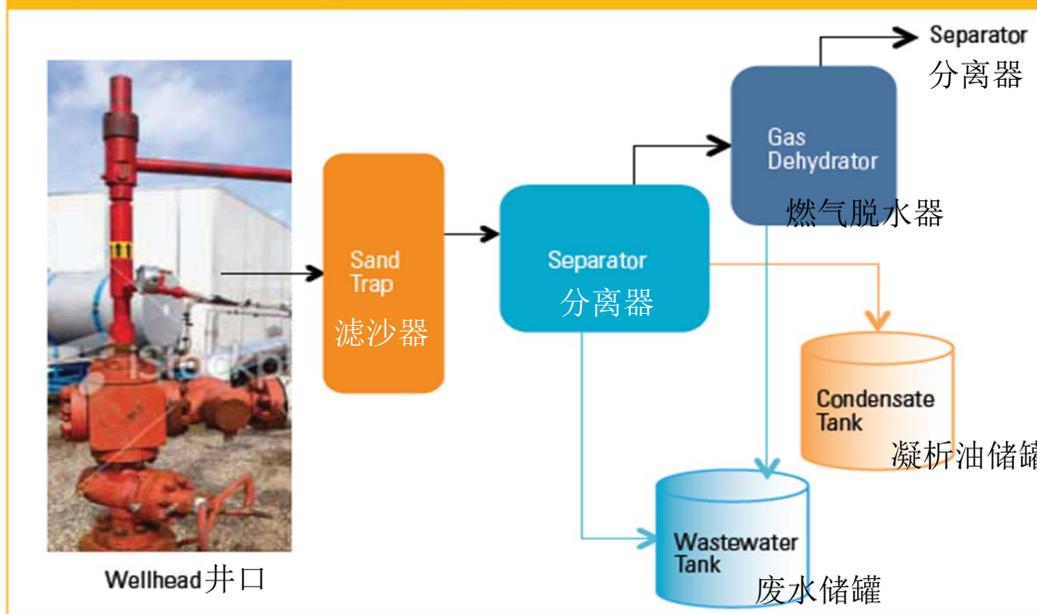
更多技术细节

① 绿色完井技术可以在最初的燃气生产阶段控制非常规气井中（例如页岩气）所产生的几乎全部的甲烷排放



技术	投资成本	甲烷捕获量	利润	回收期
绿色完井技术	\$8,700 to \$33,000 per well	7,000 to 23,000 Mcf/well	\$28,000 to \$90,000 per well	< 0.5 – 1 year

绿色完井设备系统图



Colorado Oil & Gas Conservation Commission, "Proposed Rules for Green Completions" presentation, June 27, 2008

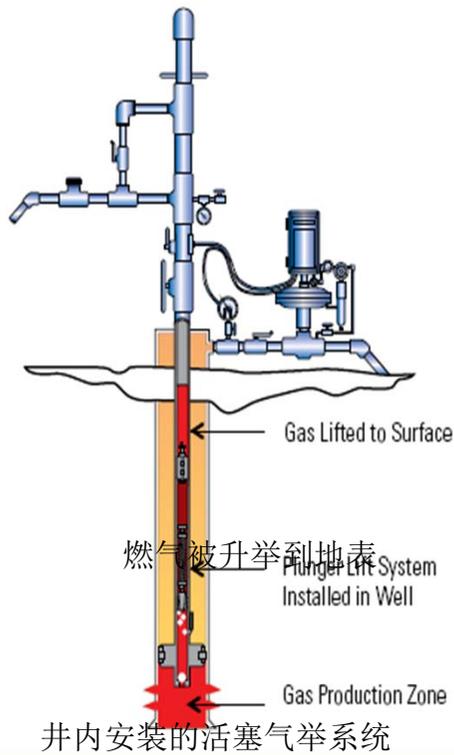
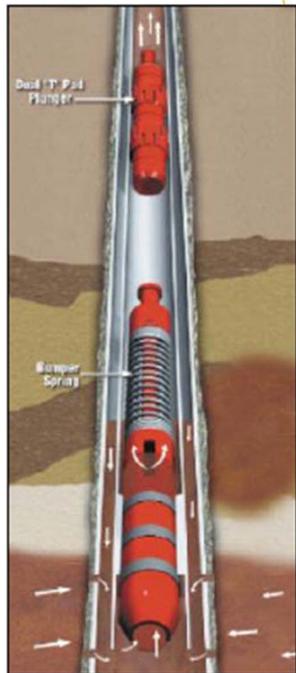
- **特点:**
 - 所有的气井在井眼清理过程中以及将燃气运往加工前都需进行一定程度的完井工作
 - 绿色完井技术需要使用一些额外设备 (例如滤沙器); 而这些通常都是便携式设备
 - 大量的甲烷被节约 (绿色完井技术捕获甲烷, 普通完井技术没有这项成果)
 - 减少挥发性有机化合物和有毒空气污染物的排放; 减少放空燃烧的需求; 改进气井清理和生产率
- **局限性:** 对低压气井或不靠近管道的勘探井不具备成本效益。
- 新推出的美国环保署的监管条例要求和技术可行的情况下推广绿色完井技术。

活塞气举系统是减少老旧气井甲烷排放并提高生产率的低成本技术路径



技术	投资成本	甲烷捕获量	利润	回收期
活塞气举系统	\$2,600 to \$13,000 per well	600 to 18,250 Mcf/year	\$2,000 to \$103,000 per year	< 1 year

活塞气举系统图



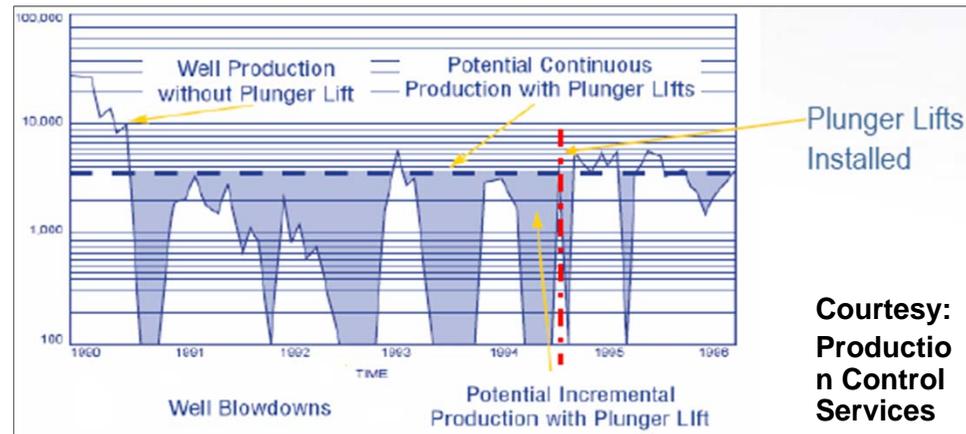
燃气产区

• 特点:

- 替代气井排污或液体清理工作
- 在老旧气井使用，提高生产率 (10 – 20%)
- 是一种无需动力的排液方法（其他排液方法均需动力）
- 液体和气体在加工前就进行分离
- 减少挥发性有机化合物和有毒空气污染物排放
- 减少气井停工和井眼清理的需求

• 局限性:

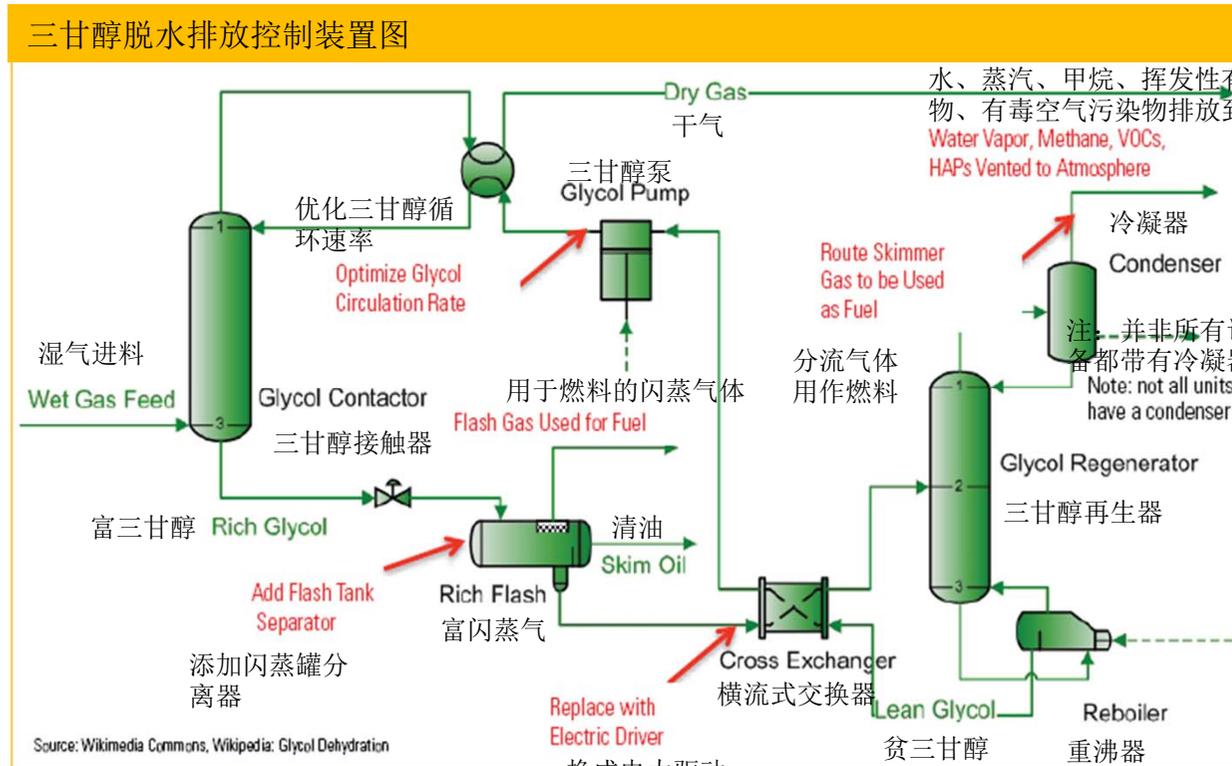
- 需要充足的气量和井压来驱动系统工作
- 不能用于井眼直径不固定的气井



3 脱水器的排放控制技术可以盈利，并且解决小部分的排放



技术	投资成本	甲烷捕获量	利润	回收期
三甘醇脱水排放控制技术	Up to \$13,000 for 4 controls	3,600 to 35,000 Mcf/year	\$14,000 to \$138,000 per year	< 0.5 years



三甘醇脱水排放控制装置的甲烷捕获潜力

技术	甲烷捕获量 百万立方英尺/年
闪蒸罐分离器	3,650
优化三甘醇循环速率	18,250
分流气体重新定向	7,665
安装电力泵	5,000
潜在甲烷捕获量范围	3,650 to 34,565

• 特点:

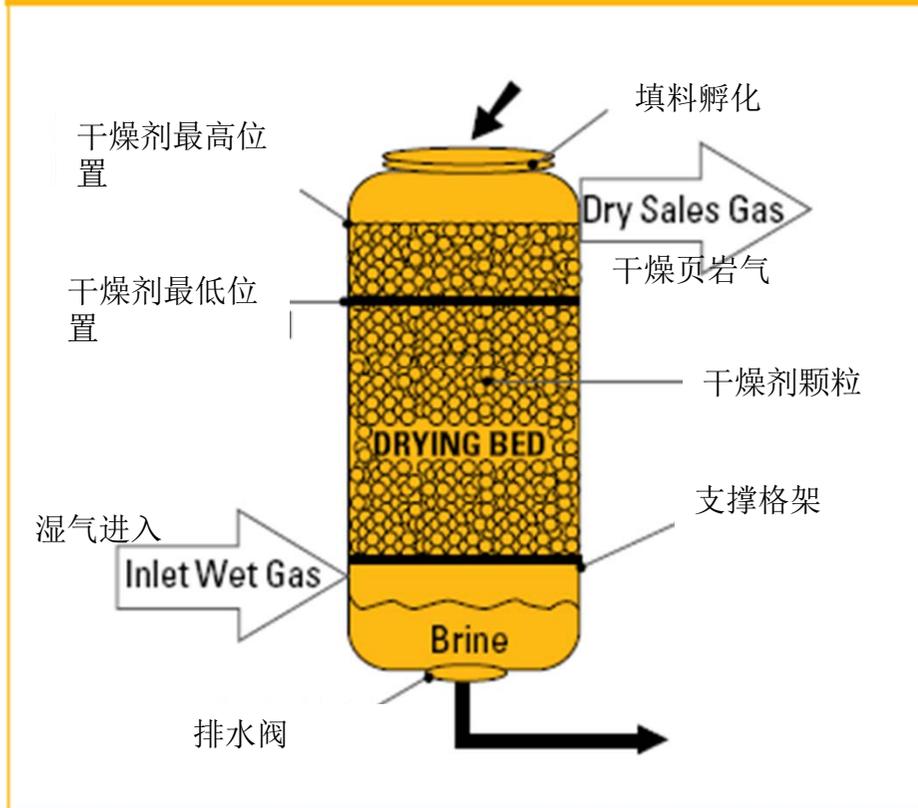
- 最适用于大流量脱水装置
- 三甘醇脱水排放控制技术有很多方案可以控制甲烷排放—其中有些方案是零成本
- 减少有毒空气污染物，特别是苯的排放

• 局限性: 某些部件需要电力

④ ...而干燥剂脱水系统提供了另一种盈利性可选方案

技术	投资成本	甲烷捕获量	利润	回收期
干燥剂脱水系统	\$16,000 per device	1,000 Mcf/year	\$6,000 per year	< 3 years

干燥剂脱水系统图



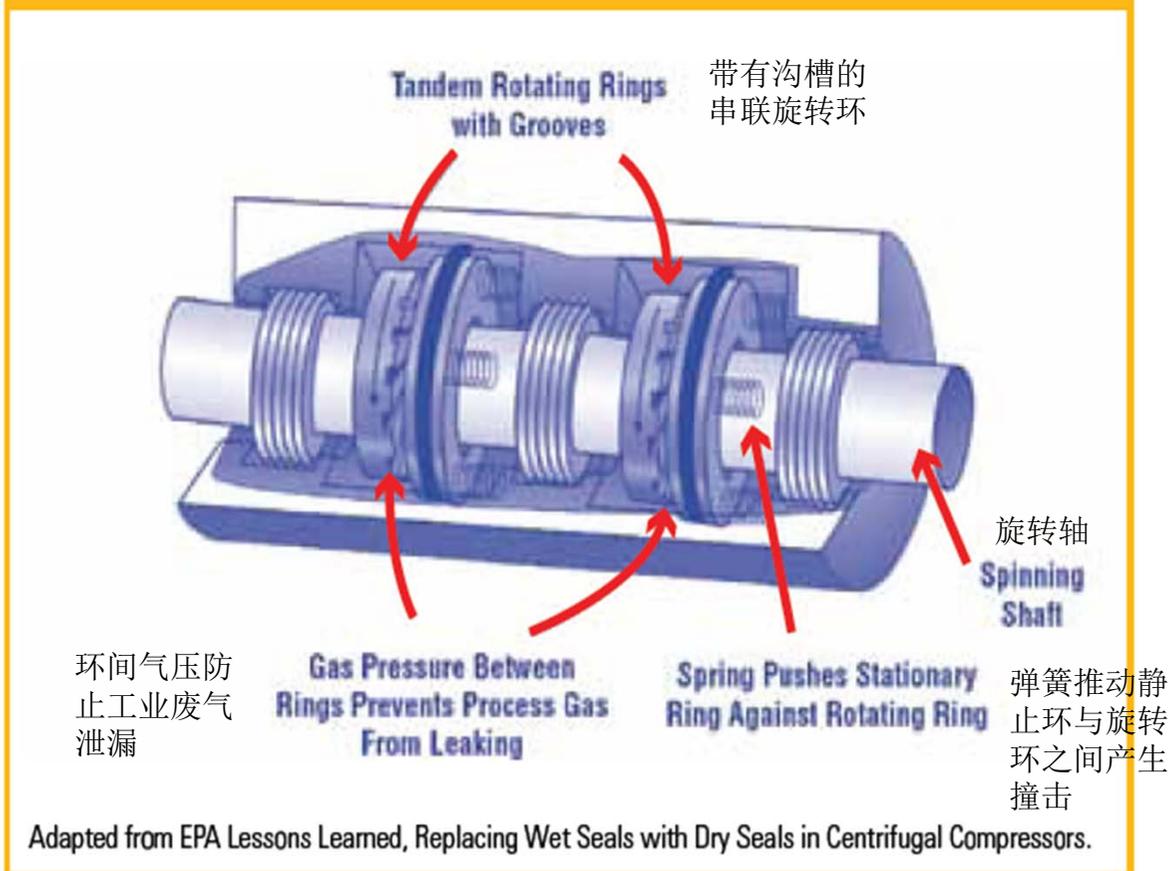
- 特点:
 - 排放量极低 (99%被去除)
 - 更简单的系统
 - 减少挥发性有机化合物及有毒空气污染物的排放
- 局限性:
 - 不适用于高流量、高压或高温 (超过70华氏度) 系统

5 用于离心压缩机的干式密封系统可以解决另外小部分排放，而且极具盈利性



技术	投资成本	甲烷捕获量	利润	回收期
干式密封系统	\$90,000 to \$324,000 per device	18,000 to 100,000 Mcf/year	\$280,000 to \$520,000 per year	0.5 – 1.5 years

离心式压缩机干式密封系统



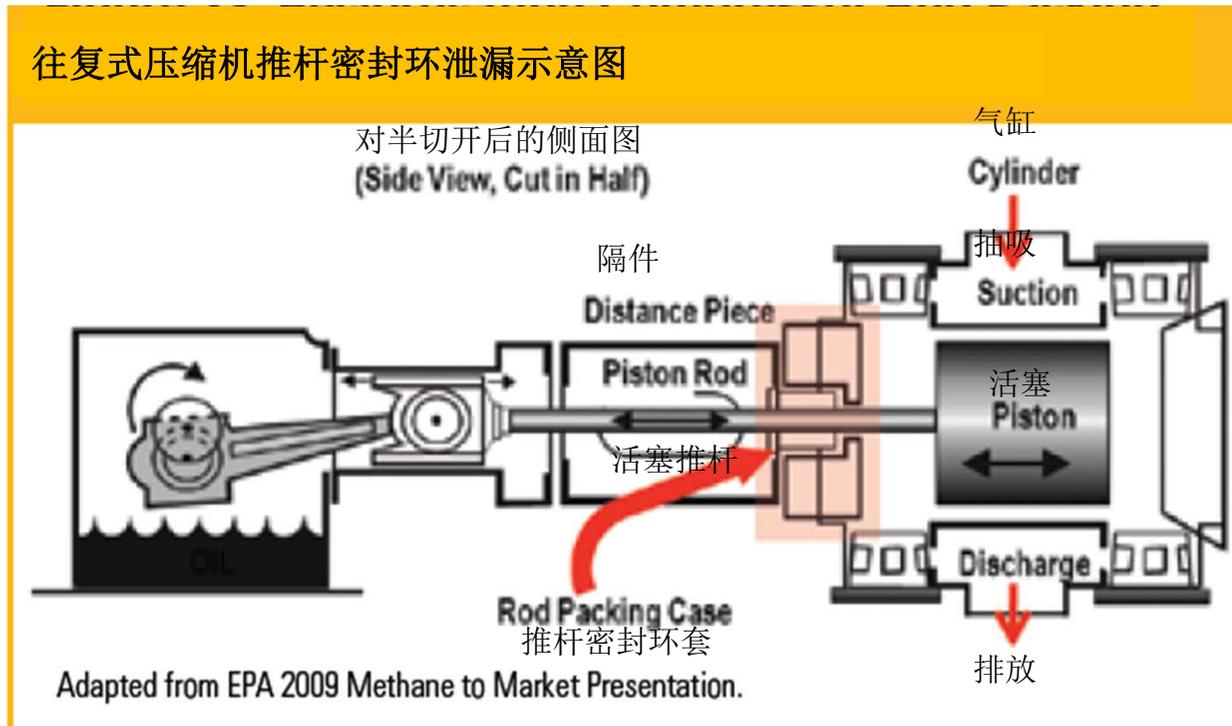
- 特点
 - 使用高压燃气在旋转环以及转轴之间实现密封 (通常使用串联式密封)
 - 湿式密封装置已经在市场上被逐步淘汰
 - 颇具经济性 (节省甲烷，降低维护成本和停工时间)
- 局限性
 - 某些外部结构设计无法使用干式密封装置

摘自美国环保署《经验教训：将离心式压缩机的湿式密封装置替换成干式密封装置》

6 更换往复式压缩机中破损的推杆密封环可以减少约1/10的甲烷排放总量



技术	投资成本	甲烷捕获量	利润	回收期
改进压缩机维护	\$1,200 to \$1,600 per rod packing	850 Mcf/year per rod packing	\$3,500 per year	0.5 years



• 特点

- 定期监控并更换破损的推杆密封环将产生节余
- 甲烷节余，减少活塞损耗
- 还能提升空气质量和工作场所安全性

• 局限性

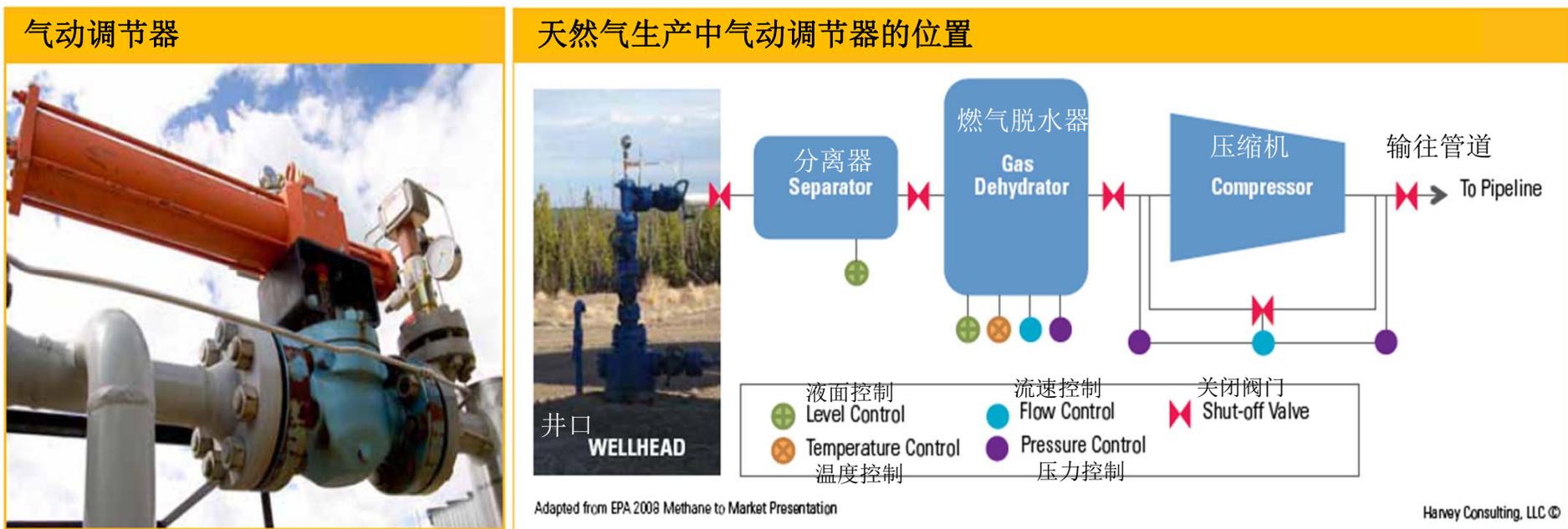
- 小型设施可能需要完全停工来进行维护

摘自美国环保署2009年名为“推向市场的甲烷”发言稿

7 将广泛使用的气动调节器改为低渗出或不渗出版本可以将甲烷排放总量减少1/10以上



技术	投资成本	甲烷捕获量	利润	回收期
低渗出气动调节器 <i>Pneumatic Controllers</i>	\$175 to \$350 per device	125 to 300 Mcf/year	\$500 to \$1,900 per year	< 0.5 – 1 year
无渗出气动调节器 No-Bleed	\$10,000 to \$60,000 per device	5,400 to 20,000 Mcf/year	\$14,000 to \$62,000 per year	< 2 years

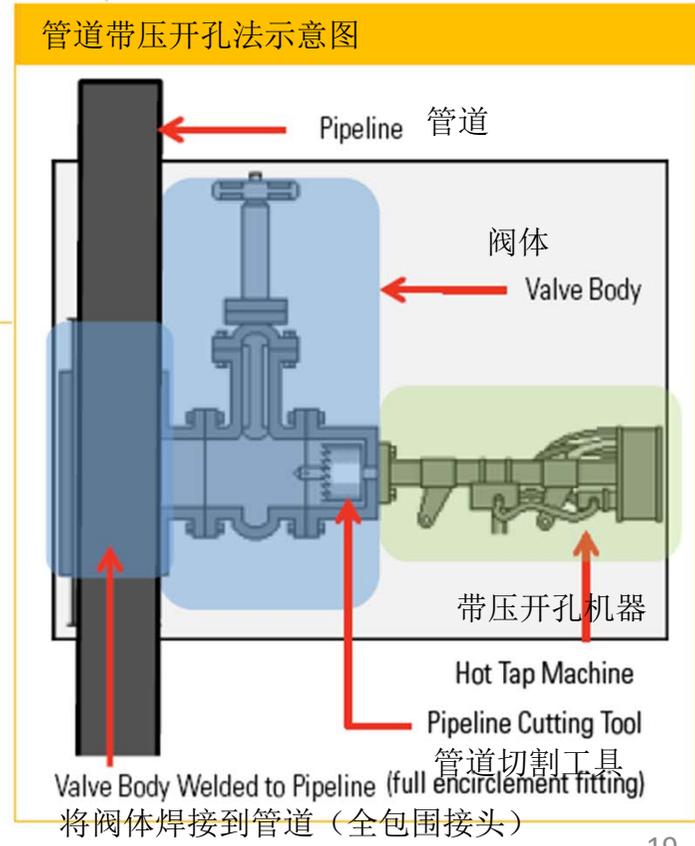
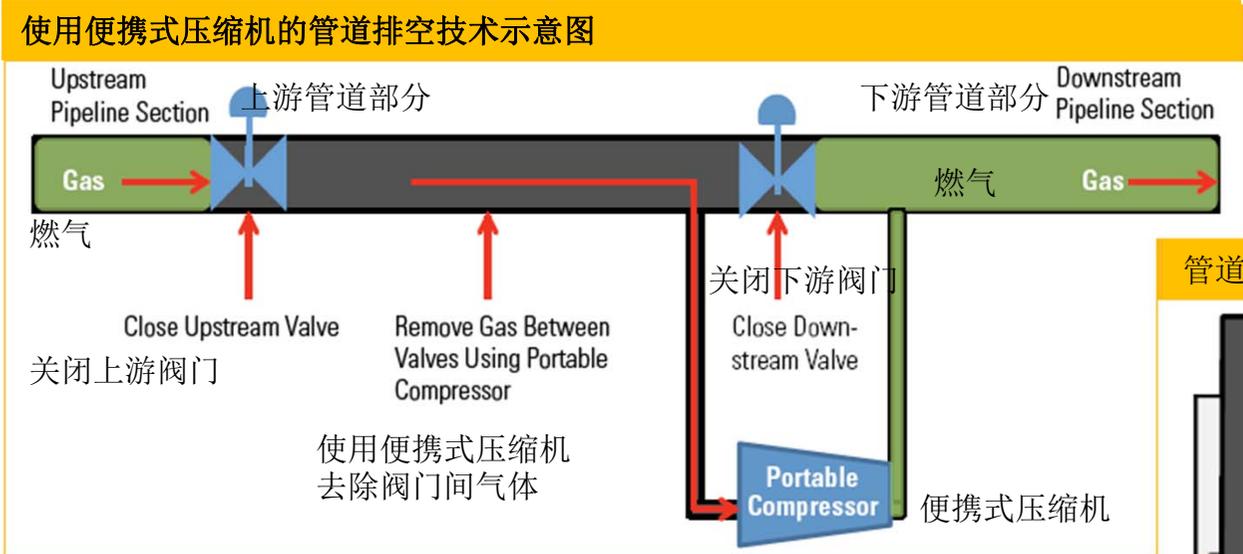


- 特点
 - 压缩机会自然泄漏气体来控制压力、流速及温度：转用低渗出或不渗出版本 (仪表气源)
- 局限性
 - 约20%的调节器(在美国)可能不适于改装或更换。(中国也许不存在这种情况)

8 管道维护和修理的高级解决方案可以在盈利的前提下防止甲烷泄漏



技术	投资成本	甲烷捕获量	利润	回收期
管道维护和修理	千差万别	千差万别，但捕获量都很高	千差万别，但利润都很高	< 1 year



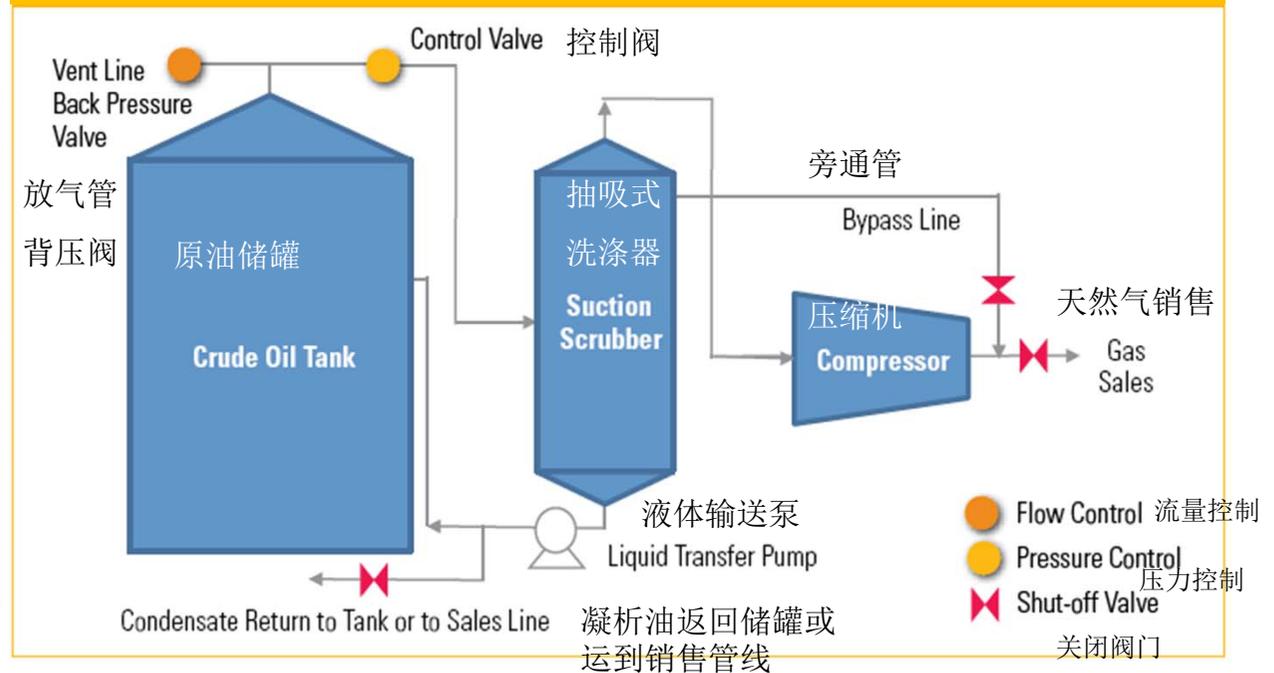
- 特点
 - 三种主要的解决方案
 - 管道带压开孔 - 建立连接
 - 管道排空 - 进行修理
 - 将燃气引入燃料系统 - 进行维护
 - 节省甲烷并最大程度地减少对服务提供的影响
- 局限性
 - 某些方案需要安全审查和训练有素的技术人员

9 蒸汽回收装置是减少储罐排放的简便且利润丰厚的方法



技术	投资成本	甲烷捕获量	利润	回收期
蒸汽回收装置	\$36,000 to \$104,000 per device	5,000 to 91,000 Mcf/year	\$4,000 to \$348,000 per year	0.5 – 3 years

蒸汽回收装置示意图



- 特点
 - 蒸汽回收装置可以节省95%的本来会排空的甲烷 (工作及静止状态的损耗)
 - 具有臭氧效益。捕获挥发性有机化合物及有毒空气污染物
- 局限性
 - 通常需要附近有管道来利用所捕获的甲烷
 - 应该避免氧气掺混 (截留)，否则会造成腐蚀的风险

10 泄漏监控和修理需要改变天然气设施的工作程序以及安装监控设备，从而实现大量减排



技术	投资成本	甲烷捕获量	利润	回收期
泄漏监控和修理	\$26,000 to \$59,000 per facility	30,000 to 87,000 Mcf/year	\$117,000 to \$314,000 per facility per year	< 0.5 years

甲烷泄露遥感器



鸣谢: FLIR公司



- 特点
 - 两部分的的操作: 监控 & 修理
 - 多种监控方法: 电子气体检测仪、声波/超声波泄漏检测仪、火焰电离检测器、校准袋、大容量采样器、管末气流测量器、有毒蒸汽分析仪以及红外光学气体检测仪。
 - 来自阀门、排水管、泵、接头、减压设备和开放式阀门及取样点的易散性排放
 - 75 – 85%的泄漏维修都具有经济性
 - 排名前十的泄漏方式造成了超过80%的排放 (老旧设施造成了大多数泄漏)



怀俄明州的乔纳气田。鸣谢: 国家地理杂志

“流逝的利润” 这一报告包括了目前可以盈利的最有减排潜力的十项技术



Leaking Profits

The U.S. Oil and Gas Industry Can Reduce Pollution, Conserve Resources, and Make Money by Preventing Methane Waste

March 2012



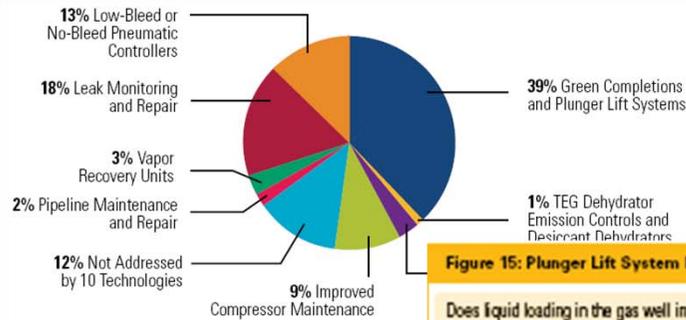
Principal Author
Susan Harvey, Harvey Consulting, LLC
Contributing Authors
Vignesh Gowrishankar, Ph.D., Natural Resources Defense Council
Thomas Singer, Ph.D., Natural Resources Defense Council



NRDC

<http://www.nrdc.org/energy/leaking-profits.asp>

Figure 3: O&G Industry Methane Emission Reduction Potential by Technology



Note: 2009 gross O&G industry methane emission was 791 Bcf. The 10 technologies can add. Based on data from U.S. EPA 2011 Greenhouse Gas Inventory.

Figure 15: Plunger Lift System Evaluation Flowchart

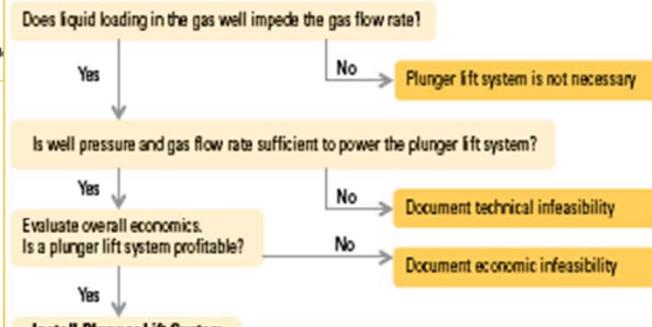


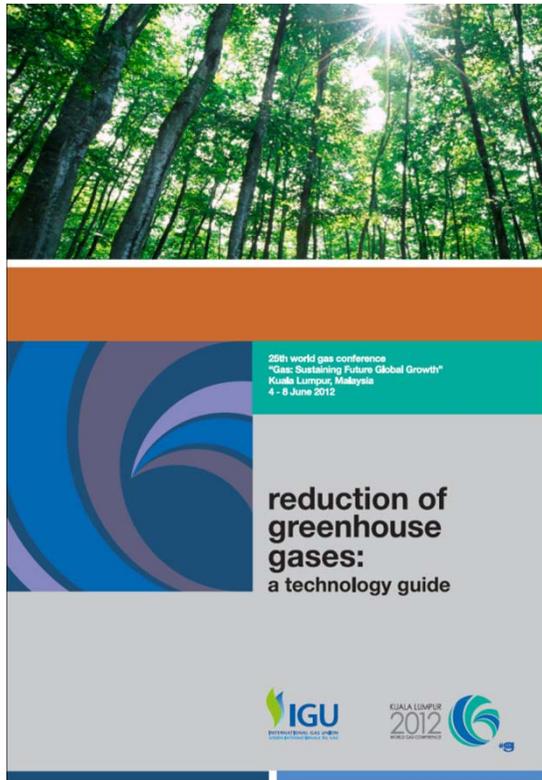
Table A5: Cost-effectiveness of replacing wet seals in centrifugal compressors with dry seals

Source	Year	Type	# devices	Total investment	Annual investment expense	Volume of saved NG	Price of NG	Revenue from NG	O&M savings per year	Total revenues plus savings per year	Years	Operating profit (ex dep't per year)	Operating profit per year
EPA Lessons Learned ¹⁰⁸	2006	Avg.		324,000	46,129*	45,120	4	180,480	100,400	282,880	1.15	282,880	236,751
EPA NG STAR ^{109,106}	2006	Max (savings)		324,000	46,129	100,000	4	400,000*	120,000	520,000	0.62	520,000	473,871
Petroleum Mexicans ¹⁰⁹	2008	Avg.				35,000	4	140,000		140,000+		140,000+	
Targa ¹⁰⁹	2006	Avg.		90,000	12,814					300,000	0.36*	300,000	287,186

(EPA NSPS TSD estimates below not utilized to inform the range of costs and benefits in this report; only provided for completeness)

EPA - NSPS TSD ¹⁰⁹	2008	Processing		75,000*	10,678*	11,527*	4	46,108	88,300	134,408	0.66	134,408	123,730
EPA - NSPS TSD ¹⁰⁹	2008	Trans. / Storage		75,000	10,678	6,372*			88,300	88,300	0.85	88,300	77,622
EPA - NSPS TSD ¹⁰⁹	2008	Simple avg.		75,000	10,678	8,849		23,054	88,300	111,354	0.67	111,354	100,676

其他讨论更多甲烷排放控制技术的资源 [流逝的利益：能够最大减少排放的有益技术]



International Gas Union (IGU)
Oslo, Norway



Natural Gas STAR Program, Natural Gas STAR International
U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
参见美国自然资源保护委员会中国项目网站
<http://china.nrdc.org/>

附件

天然气行业各个环节排放分布情况 – 大多数排放来自生产环节



排放来源	生产	加工	运输	配送	排放总量 (bcf)
10项技术可以控制 (总量)	60%	5%	14%	9%	697
① ② 完井、修井、气井清理	39%				305
⑦ 气动调节器	11%	< 1%	2%		99
⑥ 往复式压缩机	1%	3%	6%		75
⑩ 易散性排放	7%	< 1%	2%	9%	143
⑤ 离心压缩机湿式密封系统		2%	2%		27
⑨ 储罐排放	2%	< 1%	0%		21
⑧ 管道排放	< 1%	< 1%	2%	< 1%	19
③ ④ 脱水装置排放	1%	< 1%	< 1%		8
10大技术无法控制 (总量)	8%	2%	2%	0%	94

- <http://www.youtube.com/watch?v=LmvGsnh9Jv4>