



METHANE
GUIDING
PRINCIPLES
甲烷减排指导原则

甲烷减排：最佳实践指南

气动设备

二零一九年十一月

翻译：北京市燃气集团有限责任公司
Beijing Gas Group Company Limited

校译：美国环保协会
Environmental Defense Fund

免责声明

本文件由甲烷减排指导原则伙伴关系 (MGP) 编写。本指南总结了截至发布之日已知的减排措施、成本和现有技术，上述内容随时间推移可能改变或改进。文中包含信息为作者已知最准确的信息，但不代表MGP 签字方或支持机构的观点或立场，读者需自行对所提供的信息进行评估。SLR国际公司及其承包商、MGP或其签字方或支持机构对本指南中包含信息的完整性或准确性不提供任何保障。

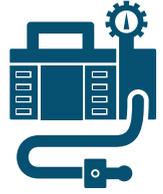
本指南描述了甲烷排放管理的相关措施。指南不包含任何强制性的行动或措施建议，只提供甲烷排放管理的有效办法。在特定的条件或情况下，其他方法可能同样，甚至更加有效。读者的选择通常取决于具体情况、需要管控的特定风险，以及适用法律。

译校团队尽量忠实原文并提供准确信息，如有不清楚之处，请参考英文原文。译校团队对本指南中文版中包含信息的完整性或准确性不提供任何保障。

目录

摘要.....	2
简介.....	3
量化排放.....	4
减排策略.....	8
检查清单.....	13
附录 1.....	14
附录 2.....	15
参考文献.....	16

摘要



气动设备是油气行业最大的甲烷排放源之一。本文介绍了气动设备甲烷减排的方法和最佳实践。

气动设备的甲烷减排方法如下：

- 使用电泵或电动控制器替代气动设备；
- 使用机械控制器替代气动设备；
- 使用压缩空气替代天然气驱动气动设备；
- 使用间歇性排放或低排放设备替换高排放设备；
- 对排放率超预期的设备进行检查、维修。

气动设备甲烷减排的最佳实践总结如下：

通过操作维修进行甲烷减排的最佳实践

- ✓ 准确记录天然气驱动的气动控制器和气动泵清单。
- ✓ 可行情况下，使用电动或机械设备替代气动设备。
- ✓ 若使用气动设备，采用压缩空气替代天然气进行驱动，以实现减排。
- ✓ 若必须使用天然气驱动的设备，则用低排放控制器取代高排放控制器。
- ✓ 将气动设备纳入常规检修项目并将其甲烷排放纳入年度清单报告。

简介

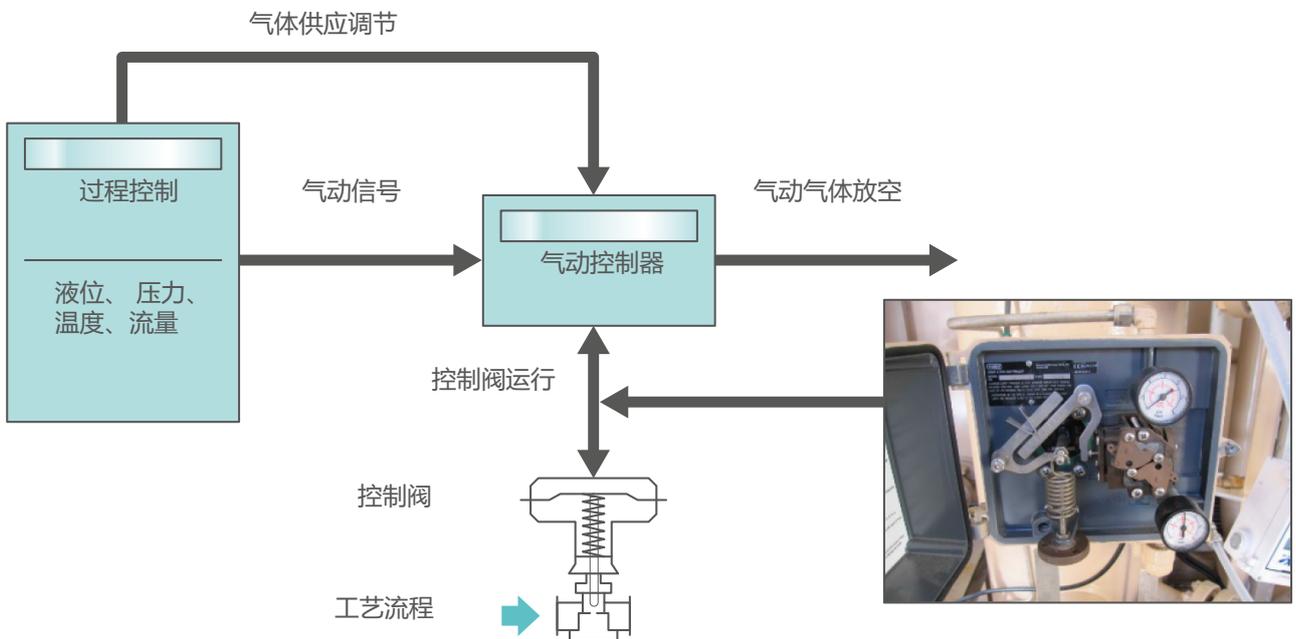
气动设备由气压驱动，主要在没有电源的情况下使用。油气行业有两种主要的气动设备，气动控制器和气动泵。

- 气动控制器主要用于控制液位、温度和压力等条件。当气动控制器探测到液位，压力、温度或流量需要调整时，则会打开或关闭控制阀。如下图所示，气动控制器通过将高压气体导入控制阀来开关阀门。根据设备设计不同，用于驱动控制器的天然气可能存在连续或间歇性排放。

- 气动泵用于向井内和管道中注射化学物质，也用于天然气脱水时乙二醇循环。气动泵运行时可能会排放天然气。

油气行业使用了数百万的气动设备，其中大部分是气动控制器。天然气驱动的气动设备是油气系统中最大的甲烷排放源。以美国为例，美国油气行业中主要的甲烷排放源就是气动设备，约97%的甲烷排放来自气动控制器¹。

图1: 气动控制器



量化排放

- 气动设备的排放量可以通过设备总数乘以设备的平均排放率来计算。设备排放率因设计而异。因此，气动设备通常分为不同类型：常规气动控制器包括高排放型、低排放型和间歇排放型。
- 即使装备设计完全一样，由于操作方法或设备工作状态的不同，排放率也会改变。

气动泵的总排放量计算方法如上所述，即气动泵总数乘以单位泵排放的估算值或测量值。气动控制器的排放量亦可通过相同方法计算，但是由于气动控制器数量较多、不同设计的控制器排放率有差异，遂采用不同方法进行量化，具体方法如下所示。

下列表格中，设备数量为活动因子，设备排放水平为排放因子。总排放量为二者的相应乘积。

气动泵	活动因子	排放因子
气动控制器	泵数量	单位泵排放率
	控制器数量	单位控制器排放率
	特定类别控制器数量 (高排放型、低排放型、间歇排放型)	单位特定类别控制器排放率
	排放量超出预期的控制器数量	排放量超出预期的单位控制器排放率

美国环保署按设计规格将气动控制器进行了如下分类：

- 间歇排放设备；
- 持续排放、低排放型设备；
- 持续排放、高排放型设备；
- 零排放设备。

间歇排放控制器是一种微动开关设备，只有满足特殊条件后才会排放。间歇排放控制器是油气行业最常见的一种控制器。

持续排放控制器通过气压来感应识别运行状态。气体不断流至阀门控制器，然后排放到大气中。

- 低排放型设备的设计排放率小于0.17标准立方米/小时 (scm/h)，即6标准立方英尺/小时 (scf/h)。

- 高排放型设备的设计排放率大于或等于0.17 标准立方米/小时。
零排放型控制器将排放的气体导入油气井的产品气中，而非直接排空。

下表展示了美国油气行业常用的设备类型以及美国环保署计算气动设备排放量时使用的“单位设备平均排放率”数据。

	美国石油和天然气行业气动设备类型占比 (摘自2017年美国环保署温室气体清单) ¹	单位设备平均排放率 ²
油气生产		
气动泵	8%	0.526scm/h (气动隔膜泵) 0.0575scm/h (气动活塞泵)
间歇放空控制器	69%	0.382scm/h
持续低排放型控制器	21%	0.0394scm/h
持续高排放型控制器	2%	1.06scm/h
天然气长输和储存		
间歇排放控制器	86%	0.0666scm/h
持续低排放型控制器	7.5%	0.0388scm/h
持续高排放型控制器	6.5%	0.516scm/h

**甲烷排放的计算方式是“气体排放率×气体中甲烷体积占比”。

量化排放

由于气动控制器是油气行业甲烷排放的重要源头，相关排放研究众多。研究的具体内容详见附录1^{3,4,5,6,7,8,9}。

研究的主要结论如下：

- 相对较少的控制器贡献了大部分排放。美国生产现场调研表明，气动控制器95%的排放来自于不到20%的设备⁶。
- 有些排放率超出预期的控制器可能运行不正常，需要更换或修理以降低排放率。
- 间歇性排放控制器的排放率取决于排气开关被触动的频率。
- 控制器排放率可能会时高时低，但具体原因尚未明确⁹。

排放量化的相关研究有利于减排战略的制定，意义深远。有研究⁶发现，约16%的低排放控制器实际排放率大于0.567scm/h(20scf/h)，超出了美国环保署对于低排放控制器的排放限制。若能发现、修理、更换此类实际排放率较高的低排放设备，低排放控制器的总排放量将削减一半。研究⁶还发现，对于间歇排放控制器而言，83%的设备实际排放率低于0.0567scm/h(2scf/h)，7%的实际排放率高于0.0567scm/h，剩下的10%的排放率介于两者之间。发现、修理、更换实际排放率较高的间歇排放设备可实现减排。

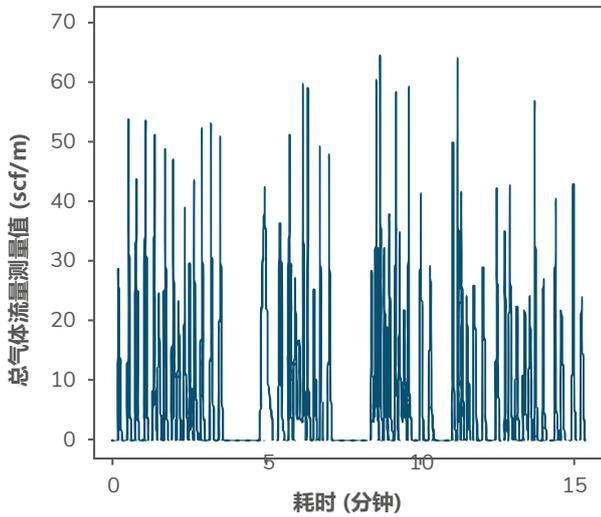
即使是设计规格相同的气动控制器，实际排放率也可能或高(大于0.17scm/h)或低(小于0.17scm/h)。量化排放率时，应该单独确定控制器在高排放和低排放时的平均排放率(由于所有高排放控制器的排放率都较高，此方法只适用于间歇排放和低排放控制器)，然后再通过实测，确定高排放率控制器和低排放率控制器的实际占比。

然而，想要区分以下两种情况比较困难：

- 高排放率的故障控制器；
- 排放率高于预期的无故障控制器。

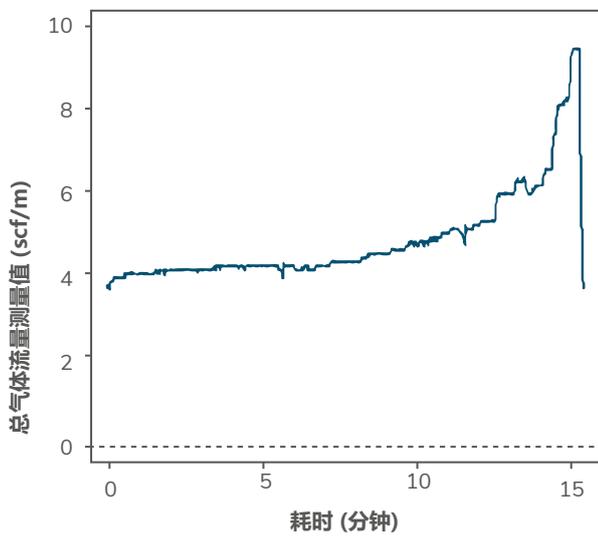
下图为两个排放率相似的间歇性放空控制器，图2a为设备1，表现正常、排放频率高，排放率很快归零。图2b为设备2，其反应不及时(需要几分钟时间)，排放率不归零。此类非正常排放模式表明设备发生故障。

图 2a: 正常运转的间歇排放控制器：气体流量 vs 时间



来源: 参考文献⁶

图 2b: 发生故障的间歇排放控制器：气体流量 vs 时间



来源: 参考文献⁶

最新研究表明，如果满足下列条件，应认定间歇排放控制器发生故障⁹：

- 放空并非间歇性，而是缓慢持续排放；
- 连续放空、缺乏明显的放空时间段；
- 不同放空时间段之间，放空量未归零；
- 其他异常表现。

研究提出⁹：

- 若低排设备的排放率超过0.17scm/h，应认定为设备故障。
- 若高排设备的排放率大于出厂规格，也应认定为设备故障。

减排策略

- 使用电动或机械设备替代气动设备进行减排。
- 若只能使用气动设备，则应采纳下列减排策略。
 - 使用压缩空气替代天然气驱动设备
 - 使用低排放或零排放设备替代高排放设备
 - 检修或更换故障设备
- 由于减排策略减少了天然气的流失，少则一至两个月、多则几年可实现成本回收。

本减排策略从预防排放到减少排放，再到识别和修复故障设备，层层递进。减排策略在下表中得到总结，并在后面几页有更详细的说明。(更多信息请参阅附录2)

减排策略	描述
1. 用低排放或零排放设备替换高排放设备。	1a. 用电动或太阳能设备替代气动设备。
	1b. 用机械式控制器替换气动控制器。
	1c. 用间歇性或低排放设备替换高排放设备。
2. 使用压缩空气替代天然气驱动气动设备。	使用现场生产的压缩空气驱动设备。
3. 进行常规检测，及时修理或替换配件。	小部分控制器故障可能造成大量甲烷排放。若能识别因控制器故障产生的高排放，便可及时进行更换或修理。

由于采用减排策略可防止、减少天然气的损失，少则一至两个月，多则几年，便可收回成本。

减排策略1a：电动或太阳能设备 替换气动设备¹⁰

在电力供应不足的偏远地区，常见的做法是用压缩天然气驱动乙二醇脱水循环泵。此外，压缩天然气也用于驱动化学注入泵，向井内、管道中注入化学品。化学注入泵的甲烷排放量相对较低（井场的甲醇注入泵日均排放量为10立方米）。相较之下，乙二醇脱水设备中循环泵的日均排放达到数百立方米。

化学注入泵和循环泵可用下列泵替代：

- 若电力供应充足建议使用标准电泵；
- 若阳光充足且配备太阳能蓄电池组，能保证无日照时泵连续运转，则建议使用太阳能泵。

同理，电力充足的情况下，气动控制器也可由电动设备替代。

图 3b: 太阳能化学泵



来源: BP

减排及成本回收

天然气之星合作伙伴报告称，使用3BHP（制动马力）的电泵替代气动循环泵，每年可减少10万-20万标准立方米的排放¹⁰。

如果电价在0.075美元/千瓦时左右，天然气价格为0.14-0.25美元/标准立方米之间，可在几个月内收回减排成本。

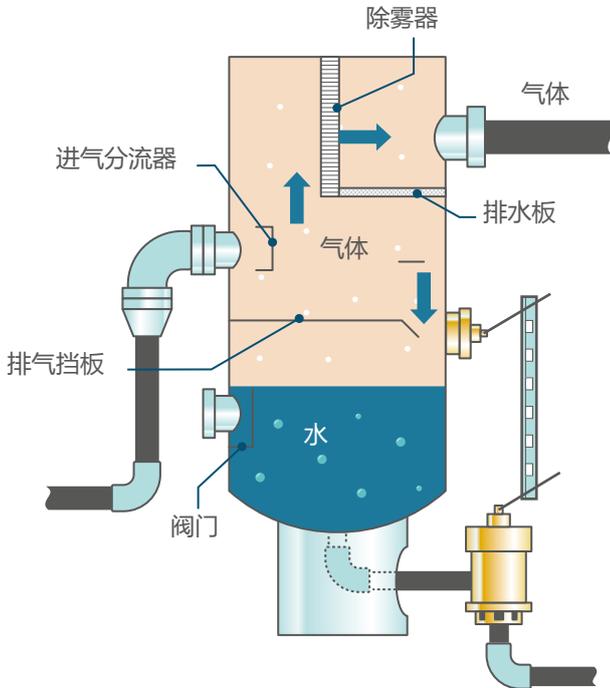
减排策略1b：机械控制器替代气动控制器¹¹

机械控制器可用来替代气动控制器。根据天然气之星合作伙伴报告¹¹，低压、低流量井的垂直分离器上可安装机械式排放阀（替代气动阀）。机械控制器也适用于中游的脱水设备。

高压、高流量的分离器需要喷气阀进行连续节流。随着压力和产量的下降，对气动节流控制的需求也逐渐消失。

安装在分离器上的机械式控制器使用浮漂作为开关阀的机械连接，浮漂位于气-液分离器的液相之上（详见下图）。只需定期清理及润滑机械连杆便可完成维护。

图 4: 使用机械式喷气阀门的分离器原理图



减排及成本回收

减排及减排后的经济价值取决于所替换的气动控制器，类型以及运行过程中产生的液体量。高排放气动控制器的年天然气排放量约10 000标准立方米。

天然气之星合作伙伴¹¹报告称，每台控制器设备及安装成本为3,000美元。天然气价值按每标准立方米0.14至0.26美元计，则该策略将在20至30个月内收回成本。

减排策略 1c: 压缩空气替代天然气驱动气动设备¹²

使用压缩空气替代压缩天然气驱动的气动控制器，能够避免放空时甲烷排放。由于空气压缩系统成本较高，目前，此类系统主要应用于有较大大气量需求的气动设施。

空气压缩系统通常由压缩机、电源、脱水机和储气罐组成。

压缩机间歇开启，以维持储气罐内的气压。压缩机通常为电动，在缺电的地方，也可使用太阳能空气压缩机。

脱水机是空气压缩系统的关键组成部分。空气受到压缩时其中的水蒸汽会凝结。如果不对空气脱水（去除水蒸汽），凝结的水蒸汽会腐蚀管道。

减排及成本回收

将压缩天然气替换成压缩空气之后，气动设备将不再排放甲烷。

天然气之星合作伙伴¹²报告称，每个控制器的空气压缩系统设计负荷应为1.7标准立方米/小时（即每分钟向控制器供应1标准立方英尺的压缩空气），所有控制器的总气量负荷应为压缩机吸入大气量的三分之二。

天然气之星合作伙伴¹² 报告称，若空气压缩机可以每小时提供60至1500标准立方米的压缩空气，则可替代等量的天然气。天然气价格按每标准立方米0.25美元计，每个空气压缩系统可在2至7个月内收回成本。

减排策略2：低排放或间歇排放设备替代高排放气动设备¹²

高排放气动控制器的排放率通常超过1标准立方米/小时，以这个速率，每个设备年均损失1000美元以上的天然气。(天然气价格按每标准立方米0.14美元计)。使用低排放或间歇控制器后，平均排放率分别为0.03和0.4标准立方米/小时，可以显著减少甲烷泄漏和天然气损失。

在美国，持续高排放的气动设备已不再适合新建和改建设施。大部分地区的法规强制要求替换高排放设备(只允许极少数例外)。也有州政府将该要求贯彻到所有设施，不仅仅限于新建或改建实施。

高排放气动控制器反应速度快，但是当快速反应不是必要条件时，可采用间歇性或低排放设备。某些情况下，气动设备制造商可以在技术、配件等方面提供“改装套件”，将现有控制器改装成间歇排气控制器。其他情况下，则需要替换整个控制器。

减排及成本回收

鉴于高排放设备排放率通常高于1标准立方米/小时，安装低排放或间歇排放控制器可每年减少1000余美元/台的亏损。

此减排策略的成本取决于控制器是否：

- 在使用寿命结束时替换；
- 提前替换；或
- 用“改装套件”改装。

根据天然气之星合作伙伴¹²的报告：

- 在高排放控制器使用寿命终止时，将其替换为低排放或间歇排气控制器，所需成本为210-340美元。
- 在高排放设备使用寿命终止前提前替换，成本为1850美元。
- 将高排放设备改装，成本为675美元。

根据以上数据，可在几个月至两年内收回成本。

减排策略3：定期检查、维修或更换排放率超预期的设备¹³

多项研究发现，与气动控制器相关的大部分甲烷排放往往来自于一小部分设备^{3,4,5,6,7,8,9}。有些控制器的排放率较高，但有些设备由于运转故障，造成排放率高于预期。

设备气体放空状况可以反映其是否正常运转(见第6页)。

对气动设备有针对性地进行检测和维护，识别放空异常的设备进行维修或替换，能够减少排放。

可针对气动设备设立专门的检查和维护计划，或将其纳入现有的泄漏检修项目。

美国有些机构主动建立了正式检修项目。此外，科罗拉多州将气动设备纳入了光学气体成像仪(OGI)的检查范围。之前OGI仪器只是用来检测泄漏，现在也用于检测气动设备的异常排放。此技术于2019年大范围推广。

减排及成本回收

目前，业内针对气动控制器的检修经验有限，不过这一情况有望迅速改善。亟需解决的问题包括确定可维修设备占比，确定维修后的保质期，以及削减检测成本。

检查清单

运营商可根据下列检查清单评估其气动控制器的减排进度：

活动	是否完成	占有所有气动设备的比例
气动控制器		
✓ 准确记录天然气驱动的气动控制器清单。		
✓ 可行情况下，使用电动或机械设备替代气动控制器。		
✓ 若使用气动控制器，使用压缩空气替代天然气作为驱动。		
✓ 若必须使用天然气驱动的气动控制器，则应使用低排放或间歇排放控制器，避免使用高排放设备。		
✓ 将气动设备纳入针对性检修项目，并将排放纳入年度清单报告。		
气动泵		
✓ 准确记录天然气驱动的气动泵清单。		
✓ 条件允许的情况下，使用电动泵（太阳能泵）替代气动泵。		

附录 1

测量气动设备排放的最新研究 (美国国家科学院³的最新数据)。

样本区	研究详情	来源
天然气产地		
美国	测量天然气井现场气动控制器的排放情况。	(4)
英属哥伦比亚和阿尔伯塔	主要研究高排放控制器，报告不同制造商及型号控制器的排放率。	(5)
美国	测量美国油井及气井场的控制器排放率。研究发现，19%的气动控制器贡献了95%的排放。	(6)
俄克拉何马州	测量俄克拉何马州油井及气井现场的控制器排放率。研究发现3.5%的气动控制器贡献了73%的排放。	(7)
犹他州	测量犹他州油井及气井场的控制器排放率。80台控制器的排放大部分来自其中的14台控制器。这14台控制器中，有11台运转异常。	(8)
天然气集输及加工地		
美国	控制器排放的测量时间超过72小时。	(9)

附录 2

有关减排策略的更多信息及参考文献。

减排策略	描述	参考文献
4. 使用低排放或零排放设备替代高排放设备	1a 使用电动或太阳能设备替代气动设备。	(10)
	1b 使用机械控制器替代气动控制器。	(11)
	1c 使用间歇性或低排放设备替代高排放设备。	(12)
5. 使用压缩空气，替代天然气驱动气动设备	直接使用压缩空气驱动设备。	(12)
6. 定期进行检修，必要时更换设备	小部分控制器故障可能造成大量甲烷排放。若能识别因控制器故障产生的高排放，便可及时进行更换或修理。	(13)

参考文献

- 1 United States Environmental Protection Agency (US EPA) 2019 'Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2017' (April 2019)
- 2 Climate and Clean Air Coalition, Oil & Gas Methane Partnership, Technical Guidance Document Number 1: Natural Gas Driven Pneumatic Controllers and Pumps Available at: www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2017_OGMP-TGD1-Pneumatic-controls-and-pumps_CCAC.pdf Emission factors (accessed September 22, 2019)
- 3 National Academies of Science, Engineering and Medicine (NASEM) 'Improving Characterization of Anthropogenic Methane Emissions in the United States' National Academy Press, Washington, DC (2018)
- 4 DT Allen, VM Torres, J Thomas, DW Sullivan, M Harrison, A Hendler, SC Herndon, CE Kolb, MP Fraser, AD Hill, BK Lamb, J Miskimins, RF Sawyer, JH Seinfeld 'Measurements of methane emissions at natural gas production sites in the United States' Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110(44):17768-17773 DOI: 10.1073/pnas.1304880110 (2013)
- 5 Prasino Group 'Final Report for Determining Bleed Rates for Pneumatic Devices in British Columbia' British Columbia Ministry of Environment. Available at www.bcogris.ca/sites/default/files/prasinopneumaticghgefprojectmethodology.pdf (2013, accessed September 22, 2019)
- 6 DT Allen, A Pacsi, D Sullivan, D Zavala-Araiza, M Harrison, K Keen, M Fraser, AD Hill, RF Sawyer, JH Seinfeld 'Methane Emissions from Process Equipment at Natural Gas Production Sites in the United States: Pneumatic Controllers' Environmental Science & Technology, 49 (1), 633–640, doi:10.1021/es5040156 (2015)
- 7 M Gibbs 'Improving oil and gas emissions tool inputs using industry surveys and permit data' Presented at National Oil and Gas Emissions Committee Monthly Call and Industry Outreach (November 12, 2015)
- 8 ED Thoma, P Deshmukh, R Logan, M Stovern, C Dresser, HL Brantley 'Assessment of Uinta Basin Oil and Natural Gas Well Pad Pneumatic Controller Emissions' Journal of Environmental Protection 8:394-415. DOI: 10.4236/jep.2017.84029. (2017)
- 9 B Luck, D Zimmerle, T Vaughn, T Lauderdale, K Keen, M Harrison, A Marchese, L Williams, D Allen 'Multiday Measurements of Pneumatic Controller Emissions Reveal the Frequency of Abnormal Emissions Behavior at Natural Gas Gathering Stations' Environmental Science & Technology, doi: 10.1021/acs.estlett.9b00158 (2019)
- 10 United States Environmental Protection Agency (US EPA) 2019, Natural Gas Star 'Replacing Gas-Assisted Glycol Pumps with Electric Pumps' Available at www.epa.gov/natural-gas-star-program/replacing-gas-assisted-glycol-pumps-electric-pumps (2019)

- 11 United States Environmental Protection Agency (US EPA) 2019c, Natural Gas Star 'Convert Pneumatics to Mechanical Controls' Available at www.epa.gov/natural-gas-star-program/convert-pneumatics-mechanical-controls (2019)
- 12 United States Environmental Protection Agency (US EPA) 2019e, Natural Gas Star 'Convert Gas Pneumatic Controls to Instrument Air' Available at www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/II_instrument_air.pdf (2019)
- 13 Doug Jordan, Southwestern Energy, Presentation to the EPA Natural Gas STAR / Methane Challenge Annual Implementation Workshop (October 25, 2017)



METHANE
GUIDING
PRINCIPLES