

DIRECTED INSPECTION AND MAINTENANCE AT COMPRESSOR STATIONS

在压缩站进行针对性检修

1 内容提要

美国天然气运输网络的管线长度超过279 000 英里。沿着这个运输网络，压缩站是最大的甲烷排放源之一，估计每年从泄漏的压缩机和其他设备部件（如阀门、法兰、接头和开口管线）中排放的甲烷气量大约有507 亿立方英尺。天然气STAR 计划合作伙伴提供的数据显示，95%的甲烷排放量来自压缩站中20%的泄漏部件。

实施针对性检修（DI&M）计划是一种探测、测量、优先处理和维修泄漏设备以减少甲烷排放量的业已证明的、经济有效的方法。DI&M计划首先进行基准线调查以识别和定量描述设备泄漏情况。然后对那些维修起来在经济上比较合算的泄漏部件进行维修。后续调查工作以前期调查获得的数据为基础，这样可使得作业者将精力主要集中在那些最有可能发生泄漏并且维修起来有利可图的设备上。天然气STAR 计划合作伙伴的运输压缩站的基准线调查结果发现，甲烷排放量的绝大部分来自数量相对较少的泄漏设备。

天然气STAR 计划合作伙伴报道，通过实施DI&M 计划，可节省大量资金和大幅度减少甲烷气排放量。一份1999 年在13个压缩站进行的调查结果显示，在一个压缩站上实施DI&M计划，每年所节省的气体的平均价值为88 239 美元，而每个压缩站的平均成本仅为26 248 美元。

泄漏源	潜在节约的平均减排量 (千立方英尺/年)	减少甲烷泄漏的方法	节省气体的价值 (美元/年) ¹	平均初始施工 费用 ²	第一年潜在节约的平均费用
压缩站部件	每个压缩站29 413	确定并测量泄漏量。 进行经济有效的维修	每个压缩站 88 239 美元	每个压缩站 26 248 美元	每个压缩站 61 991 美元

¹ 气体价格按3 美元/千立方英尺计算。

² 初始基本情况调查和维修的总费用。



在压缩站进行针对性检修

2 简介

为了解决长距离输送管线沿途压力损失的问题，输气压缩站要在沿天然气输送管线的不同地方给气体增压。大约有1 790 个压缩站维持着超过27 900 英里的天然气输送管线的压力。大多数压缩站都装备有燃气往复式压缩机或离心式压缩机（涡轮机）。这些压缩机及相关部件（如管线和阀门）都承受着很大的机械应力和热应力，结果很容易发生泄漏。

在压缩站实施的DI&M 计划，通过定位泄漏部件并将主要维护工作集中在那些维修起来在经济上可以获利的最大的泄漏源上，能大大减少甲烷排放量并节约大量成本和费用。后续泄漏调查将直接针对那些最可能发生泄漏以及发现和维修起来都经济合算的现场设备部件上。

3 技术背景

DI&M 计划首先对输气系统压缩站的所有设备部件进行综合性的基准线调查。操作人员首先要确定出泄漏部件，然后再测定各个泄漏部件的泄漏速度。每个泄漏部件的维修成本采用预期的气体节约量和其他经济标准（如投资回收期）来进行评估。最初的泄漏调查结果和设备维修资料可用来指导后续的检修工作。

3.1 泄漏筛查技术

在DI&M 计划中，泄漏源筛查可能包括综合基本情况调查中涉及的所有组成设备，也可能仅集中在可能会造成巨大甲烷气泄漏的设备上。几个常用的泄漏源筛查技术如下：

- ★ **肥皂泡筛查法。**肥皂泡筛查法是一种快速、简单、成本非常低的泄漏源筛查方法。这种方法需将肥皂溶液喷洒在尺寸较小且可以触及的设备上，如带丝扣的接头等。肥皂泡法确定松动接头和连接的位置时非常有效，这些松动的地方可以当场通过拧紧方法来进行修复，并且肥皂泡法还可以快速检查泄漏设备修复的松紧程度。利用肥皂泡筛查法，操作人员每小时能探测大约100 个设备部件。
- ★ **电子仪器筛查法。**电子仪器筛查法使用小型手持式气体探测器或“嗅测”仪器为探测可触及的泄漏源提供了另一种快速、便捷的方法。电子气体探测器配备有催化氧化和热传导传感器，用来检测某种特定气体的存在。电子气体探测器可用于那些不能被肥皂泡法筛查出来的较大的泄漏口上。电子气体筛查方法不如肥皂泡筛查方法快（每小时平均50 个设备部件），并且在周围烃类气体浓度已升高的地方要将泄漏源探测出来会比较困难。
- ★ **有机蒸汽分析仪（OVAs）和有毒蒸汽分析仪（TVAs）。**这两种仪器均是便携式烃类气体探测器，也可以用于识别泄漏源。OVA 是一种火焰电离筛查器（FID），可测量有机蒸汽浓度，测量范围在9~10 000ppm 之间。TVA 是一种组合装置，包括一个FID 和一个光电离筛查器（PID），可测量浓度超过10 000ppm的有机蒸汽。TVAs和OVAs都能测量泄漏点周围的甲烷浓度。
- ★ **声波泄漏探测。**声波泄漏探测使用便携式声波筛查装置，可探测高压气体从孔中逸出时产生的声波信号。当气体从一个高压环境通过泄漏口进入一个低压环境时，气体湍流会产生一个声波信号，这个信号可被手持式传感器或探针探测到，并可在计量表上读出此声波强度增量。尽管声波探测仪并不测量泄漏速度，但提供了一种泄漏大小的相对表示方法——高强度或“大声”的声波信号对应着较大的泄漏速度。声波探测仪既可以探测高频信号，也可以探测低频信号。

在压缩站进行针对性检修

高频声波探测仪最适合用于泄漏部件用手持式传感器就可以触及的噪声环境中。如图1所示，声波传感器直接放在设备孔处探测信号。超声波泄漏探测是另一种泄漏探测方法，可探测在空气中传播频率在20~100kHz之间的超声波信号。超声波探测器装备有一个手持式声波探针或扫描器，可以在100英尺的距离外感应远处潜在的泄漏源。通过耳机监听声强增加情况就能精确定位泄漏位置。尽管超声波探测对环境（背景）噪音比较敏感，但绝大多数探测器一般都具有频率调整功能，这样探针能够被调整到合适的频率上以将噪声环境中特定的泄漏源探测出来。

图1 声波泄漏探测器

(来源: Physical Acoustics Corp.)



3.2 泄漏测量技术

DI&M 计划的一个重要组成部分是测量气体泄漏速度或已识别泄漏源的气体泄漏体积，这样就可将人力和资源分配到那些维修起来在经济上比较合算的大型泄漏源上。常用的测量技术有四种：

- ★ **有毒蒸汽分析仪 (TVAs)。** 有毒蒸汽分析仪可以用来估计气体泄漏速度。以ppm 为单位的TVA浓度测定值通过相关方程可以转化为气体泄漏速度。用TVAs 测定甲烷泄漏量的一个主要缺点是相关方程一般是一个通用方程，并不是针对具体地点的特定方程。用TVA 相关方程预测的气体泄漏速度会偏离实际泄漏速度3~4 个数量级。同样，由天然气STAR 计划合作伙伴、EPA、天然气调查研究所 (GRI——现为GTI，天然气技术研究所) 和美国天然气协会 (AGA) 共同参与完成的研究发现，用TVA 浓度阈值或“门限”值 (如10 000ppm 或100 000ppm) 来确定究竟修复哪一个甲烷气泄漏源在经济上才是合算的时候显得毫无指导价值。因为使用通用的TVA 相关式会增加测量值的不准确性，所以建立和使用针对具体泄漏地点的特定的相关式在确定实际泄漏速度时会更有效。

在压缩站进行针对性检修

- ★ **装袋技术。**装袋技术通常用于测量泄漏设备的泄漏量。泄漏部件或泄漏开口被封入“袋子”或帆布口袋中。惰性载体气（如氮气）以一个已知的速度流过袋子。当载体气流动达到平衡时，从袋中采集气体样本，测量出样本的甲烷浓度。根据测出的样本甲烷浓度和载体气流动速度，即可计算出气体质量泄漏速度。利用装袋法测量泄漏速度是一种相当准确（误差范围 $\pm 10\% \sim \pm 15\%$ ）但速度缓慢的方法（每小时只能采集2~3个样本）。尽管装袋法在直接测量较大的泄漏时很有用，但是对一些体积非常大、难于接近、形状不规则的设备部件来讲，装袋法就不可行了。
- ★ **大容量采样器技术。**大容量采样器可收集泄漏部件泄漏的所有气体以精确地量化泄漏速度。图2所示是用大容量采样器测量泄漏的情况。泄漏气体和泄漏部件周围大量的空气样本通过一个真空取样胶管引入采样器。大容量采样器装备有两个烃类探测器，分别测量采集样本中烃类气体的浓度和周围环境中烃类气体的浓度。样品测量值要用周围环境烃类气体的浓度进行校正，将测量样本的流速乘以环境气体浓度与样品气体浓度的差值即可计算出气体质量泄漏速度。将烃类气体探测器校正到甲烷在空气中的浓度范围就可以得到甲烷泄漏量。

大容量采样器装有特殊的附属设备，用以保证能捕集到所有泄漏气体，同时还能防止接口不受附近泄漏源干扰。大容量采样器测量的泄漏速度可达到8立方英尺/分钟，等于每天11 500立方英尺的流量。泄漏速度大于8立方英尺/分钟的设备必须用装袋技术或流量计进行测量。相比于装袋技术每小时测量2~3个部件而言，利用大容量采样器技术，2个操作人员每小时可以测量30个部件。

图2 使用大容量采样器测量泄漏

（来源：Oil&Gas Journal, May 21, 2001）



- ★ **转子流量计法。**转子流量计和其它流量计用来测量其它设备无法测量的超大泄漏源。流量计一般是将泄漏源气体导入一个标定管道中。导入的气流吹起管道中的“浮子”，通过这种方式来表示泄漏速度。因为转子流量计体积庞大，所以这种设备最适合用于开口管线和同类部件处的测量，在这些设备处所有气流都可被引导通过流量计。转子流量计和其它流量计设备可以补充利用装袋技术或大容积采样器技术所获得的测量结果。

在压缩站进行针对性检修

表3 总结了上述泄漏筛查和测量技术的用途及使用方法、效果和估计费用。

表3 筛查和测量技术			
设备或技术	用途和使用方法	效果	估计资金费用
肥皂溶液	小的点泄漏源，如接头	只用于筛查	100 ~ 500 美元 (取决于设备成本)
电子气体 探测仪	法兰、通气孔、大的裂纹和开口管线	只用于筛查	低于1 000 美元
声波探测仪/超声波探测仪	所有部件。较大的泄漏源、高压气体和不可触及的部件	只用于筛查	1 000 ~ 20 000 美元 (取决于设备灵敏性、设备尺寸以及附属设备)
TVA (火焰电离探测器)	所有部件	最好只用于筛查。用于测量时需要具体位置处特定的泄漏量相关式。	低于10 000 美元 (取决于设备灵敏性/设备尺寸)
装袋法	大多数可触及的部件	只用于测量，但费时间	低于10 000 美元 (取决于样本分析费用)
大容量采样器	大多数可触及的部件 (泄漏速度小于11.5 千立方英尺/天)	筛查和测量	大于10 000 美元
转子流量计	非常大的泄漏量	只用于测量	低于1 000 美元

4. 决策步骤

DI&M 计划分四步进行：(1) 进行基准线调查；(2) 记录结果并确定经济上合算的维修候选对象；

(3) 分析数据，进行维修，估计甲烷气节约量；(4) 制定一个未来检查的调查计划，跟踪监测有泄漏倾向的设备。

第1步：进行基准线调查。DI&M 计划一般是先进行基准线筛查以确定出泄漏部件。泄漏部件确定下来后，利用装袋技术、大容量采样器法或TVA 测量法(有描述特定位置的浓度相关式)精确地测量泄漏速度。合作伙伴们发现，大容量采样器法测量泄漏量是一种经济有效的、快速的、精确度高的方法。

在1999年EPA/GRI/PRCI 共同进行的现场研究中，在13个压缩站中发现和测量泄漏源所花的基准线调查费用大约是每个压缩站6900美元，也即每个设备部件大约为2.5美元。仅用于泄漏筛查的基准线费用实际上很少。然而，只进行泄漏筛查并不能为作出经济有效的维修决策提供足够的信息。合作伙伴发现，在一个正在执行的DI&M 计划中，实施跟踪调查的费用比初始调查的费用要低25%~40%，因为后续调查的重点仅集中在有可能发生泄漏并且维修成本合算的设备部件上。对一些设备部件来讲，可以在定期规划的DI&M 调查计划中高效地完成泄漏筛查和泄漏量测量工作。对其它一些设备来讲，简单、快速的泄漏筛查工作可以纳入到正常进行的日常操作和维护过程中来完成。一些合作伙伴培训维护人员进行泄漏探测调查，而另外一些合作伙伴则雇请外部顾问进行基准线调查。

在压缩站进行针对性检修

第2步：记录结果并确定维修候选设备。在第1步中获得的泄漏测量数据，必须经过评价以准确确定那些维修起来比较合算的泄漏部件。将损失天然气的价值与预计的设备部件费用、人工费用以及修复泄漏设备造成设备停工所折算的费用等进行对比，就能排列出泄漏部件维修的优先次序。某些泄漏部件在现场通过简单地拧紧连接部位就能完成维修作业。而另一些维修则比较复杂，需要设备停工或者安装新部件才能完成维修作业。对于这类维修，工作人员可以先选择在该部件上贴上识别标记，在维修费用有保证的情况下再进行修复。诸如阀门、法兰、接头和开口管线等部件的维修费用由部件的尺寸来决定，大部件的维修成本比小部件的维修成本高。在例行的日常维护过程中也可能发现一些较大的泄漏源，在这种情况下，可以提前进行维护计划，在不用任何额外费用的情况下修复泄漏部件。

一旦识别出泄漏源并测量出其泄漏量，操作人员应该记录下基准线泄漏数据，这样将来的调查工作就可以集中在泄漏量最大的泄漏部件上。DI&M 调查结果可以采用任何简便的方法或形式进行跟踪。操作人员应该记录的信息包括：

- ★ 各个泄漏部件的检验人。
- ★ 部件类型（例如：放空开口管线OEL）。
- ★ 测得的泄漏速度。
- ★ 调查数据。
- ★ 预计的年气体损失量。
- ★ 预计的维修费用。

这些信息将指导后续的泄漏调查工作、排出设备维修的优先次序、跟踪DI&M 计划的甲烷气节省量和经济效益。

自20世纪90年代以来，由于EPA、GRI和AGA国际管道研究委员会资助进行了一系列的现场研究，逐渐加深了人们对压缩站泄漏部件甲烷排放的认识和理解。1996发表的一个研究报告报道了1994年在6个压缩站进行排放量测量后得出的排放量系数。1995年，Indaco Air Quality Services公司对这份调查报告进行了补充，报告了17个压缩站中27 212个部件的甲烷气排放调查结果。1999年由EPA、GRI和PRCI共同发表的第3份调查报告是迄今为止最全面的，共报道了13个压缩站中34 400个部件的甲烷气排放情况。

在1999年EPA/GRI/PRCI的研究报告中，所调查压缩站的规模从拥有15台往复式压缩机的压缩站到仅拥有2台往复式压缩机的压缩站不等。其中有3个压缩站均拥有2台离心式压缩机（涡轮机）而没有往复式压缩机。有2个压缩站同时拥有离心式压缩机和往复式压缩机。配备有往复式压缩机的压缩站，每个站平均有7台往复式压缩机。配备涡轮式压缩机的压缩站，每个站平均有2台涡轮式压缩机。压缩机一般是并联安装，这样每台压缩机可以根据需要选择运行或停运，并且也可以根据维修的要求将每台压缩机隔离开来以降低压力。压缩站的入口压力一般在500~700psig之间，出口压力一般在700~1 000psig之间。

平均每个压缩站调查的设备部件数量为2707个，其中5%的部件存在泄漏现象。13个压缩站中，总泄漏量从385~200 000立方英尺/年不等，平均为41 000立方英尺/年。调查发现，占泄漏源总数的10%的最大的泄漏源所排放的甲烷气量在总排放量中所占的比例超过90%。表4总结了压缩站设备部件的平均泄漏系数。

在每年排放20 000立方英尺甲烷气的压缩站，仅一个泄漏源每年的排放量就达到14 200立方英尺——气体系统中用来控制压缩机卸载的排气孔。在其他压缩站，这并不是一个主要的气体排放源。对于这个仅含7台往复式压缩机的压缩站，剩余排放量的分布相当平均。该站的经验着重强调了DI&M在探测不同规模压缩站中的巨大且昂贵的气体泄漏中所体现出来的价值。

在压缩站进行针对性检修

表4 压缩站泄漏部件的平均排放系数

干线压力下的部件 ¹				
件说明	在线压缩机		离线压缩机	
	天然气排放系数 ² (千立方英尺/年/部件)	检测部件 总数	天然气排放系数 ² (千立方英尺/年/部件)	检测部件 总数
球/塞阀	0.64 (±1.04)	189	5.33 (±3.71)	2 406
放空阀			207.5 (±171.4)	57
压缩机气缸接头	9.9 (±11.1)	148	-	-
密封垫片—运行	865 (±247)	178		
密封垫片—空闲	1 266 (±552)	42		-
压缩机阀门	4.1 (±3.8)	2 324	-	
控制阀		-		33
法兰	0.81 (±0.89)	864	4.26 (±7.13)	2 727
闸阀		-	0.32 (±0.21)	1 476
加载阀	17.2 (±5.6)	940		
开口管线 (OEL)		-	81.8 (±79.6)	168
卸压阀 (PRV)			57.5 (±63.2)	117
调节器	-	-	0.2 (±0.2)	171
启动机气体排气孔			40.8 (±43.3)	5
螺纹接头	0.74 (±0.46)	1 625	0.6 (±0.3)	10 338
离心密封—干式			62.7 (±66.3)	14
离心密封—湿式	-	-	278	2
设备阀 ³			3 566	12

在压缩站进行针对性检修

表4 压缩站泄漏部件的平均排放系数

燃气压力下的部件 ¹				
	在线压缩机		离线压缩机	
球/塞阀	0.1 (±0.1)	414	0.51 (±0.37)	654
控制阀			2.46 (±3.89)	69
法兰	-	-	0.2 (±0.2)	1 650
燃料阀	27.6 (±13.5)	479		
闸阀	-	-	0.43 (±0.36)	640
开口管线	2.53 (±2.19)	42		
气动控制排气孔	-	-	76.6 (±118.1)	14
调节器	4.03 (±3.98)	103		
螺纹接头	1.21 (±1.66)	2511	0.32 (±0.16)	3 654

¹干线压力在500psig到1 000psig范围内。

²泄漏系数的置信区间为95%。

³设备阀泄漏量是在减压的压缩机上测得的。所调查的大多数压缩机在离线时仍保持一定压力。

⁴燃气压力一般在70~100psig范围内。压缩机上的部件位于往复式压缩机活塞的顶部，受剧烈机械振动和热的影响。这些部件仅在压缩机运行时才发生泄漏。来源：Indaco Air Quality Services, Inc., 1999, 天然气输送压缩站中经济有效的减缓气体泄漏的方法，报告编号PRC-246-9526。

在压缩站进行针对性检修

表5给出了1999年EPA/GRI/PRCI研究的13个压缩站的平均泄漏部件维修成本。维修费用包括人工以及部件和材料所承载的全部费用。

表5 压缩站泄漏设备的平均维修成本和投资回收期

部件说明	维修类型	平均成本 (美元)
球阀—1"	更换	120
阀门死堵	加聚四氟乙烯带拧紧	15
压缩机放空阀	更换	600
压缩机放空阀	修复	200
压缩机阀盖	换垫片	60
法兰—30英寸	换垫片	1 250
法兰—6英寸	换垫片	300
燃料阀	更换	200
闸阀	填充聚四氟乙烯	40
润滑油注入端口	更换	80
压缩机出首端	用力拉并改变垫片	450
加载阀法兰	换垫片	80
加载阀阀杆	修复	300
针形阀	更换	100
阀门上的OEL	润滑油润滑	45
清管器接收器通道	拧紧	120
管端螺纹接头	加聚四氟乙烯带拧紧	30
塞阀	润滑油润滑	40
卸压阀—1英寸	更换	1 000
卸压阀法兰	拧紧	40
活塞杆盘根	在移动活塞杆的情况下更换垫圈	750
活塞杆盘根	拉开密封箱和活塞杆以更换垫片、返工修理密封箱	2 600
活塞杆盘根	拉开密封箱和活塞杆以更换垫片、返工修理密封箱并替换活塞杆	5 600
压缩站放空阀	反转丝堵	720
管道	拧紧	10
接头	拧紧	10
设备阀	清洁并注入密封剂	70
设备阀—10英寸插头	更换	2 960

来源：Indaco Air Quality Services, Inc., 1999, 天然气输送压缩站中经济有效的减缓气体泄漏的方法, 报告编号PRC-246-9526。

在压缩站进行针对性检修

第3步：分析数据，估计气体节省量。经济有效的设备维修是DI&M计划获得成功的一个关键，因为只有维修那些可以获得经济效益的泄漏源才能最大程度地节省成本。在各种情况下，节省气体的价值必须超过发现和修复泄漏源所需的费用。合作伙伴发现，分析基准线调查结果的一个有效的方法是制作一个表格，列出所有的泄漏点和它们所需的维修费用、预期气体节省量以及维修的预期寿命。应用这个信息，各个泄漏点维修的经济指标（例如净现值或投资回收期）就能很容易计算出来。合作伙伴就可以进一步确定哪个泄漏部件维修起来在经济上是合算的。

表6为1999年EPA/GRI/PRCI研究的13个压缩站中总的潜在节约的费用，数据以仅维修预计投资回收期少于一年的泄漏源为基础。维修寿命期假定为两年。对大多数地方来讲，基准线调查的最初费用和维修费用都能很快从节省气体所创造的价值中回收回来。在2个场所中（站11和站12），基准线调查费用和维修费用在两年的维修寿命期内并没有收回来，因为这2个压缩站的泄漏量很小。

这个例子说明，综合、全面的DI&M基准线调查（包括合作伙伴所有的输气压缩站）可能会发现在一些个别的压缩站点进行基准线调查是没有经济效益的。如果将所有运输系统作为整体来考虑时实施DI&M计划可以获利的话，则从少数不能获利的压缩站所获得的信息仍然是有用的。至少，可以确定出实施DI&M计划不能获得经济效益的压缩站并在未来的调查中对其进行分开管理。在未来的DI&M调查中可以将这样的压缩站点排除在外，或者减少调查次数，或者筛选高度集中且更经济有效的技术来降低成本。

表6 在运输压缩站实施DI&M计划的潜在费用和气体节省量

站点	总的泄漏速度（千立方英尺/年）	基本情况调查费用 ¹ （美元/站）	预计总维修成本（美元）	泄漏维修后气体节省量（千立方英尺/年）	年均节约气体的价值 ⁴ （美元）	发现和维修的总费用（美元）	第1年净现值（美元）	第2年净现值 ² （美元）	调查和维修投资回收期（年）
1	23 000	7 344	18 800	17 850	53 550	26 144	27 406	80 956	0.5
2	24 500	9 287	16 000	16 450	49 350	25 287	24 063	73 413	0.5
3	3 650	3 019	315	1 250	3 750	3 334	416	4 166	0.9
4	200 000	10 894	41 300	106 000	318 000	52 194	265 806	583 806	0.2
5	22 700	9 318	20 700	20 350	61 050	30 018	31 032	92 082	0.5
6	48 400	8 856	34 200	35 400	106 200	43 056	63 144	169 344	0.4
7	56 500	9 734	31 000	49 600	148 800	40 734	108 066	256 866	0.3
8	75 000	6 538	50 100	66 000	198 000	56 638	141 362	339 362	0.3
9	16 350	6 304	4 650	11 900	35 700	10 954	24 746	60 446	0.3
10	55 650	5 309	32 400	51 300	153 900	37 709	116 191	270 091	0.25
11	2 965	681	320	620	1 860	6 501	(4 641)	(2 781)	3.53
12	385	3 473	100	245	735	3 573	(2 838)	(2 103)	4.9 ³
13	7 000	3 473	1 600	5 400	16 200	5 073	11 127	27 327	0.3
总数	536 100	89 730	251 500	382 365	1 147 095	341 215	805 820	1 952 870	0.30
平均值	41 238	6 902	19 346	29 413	88 239	26 248	61 991	150 230	0.30

¹以预计的基本情况调查费用为每个部件2.55美元为基础（假设使用高精度流体采样器和转子流量计进行泄漏测量）。

²假设维修使用寿命为2年。

³对该站，实施DI&M计划是没有利润的。应该对如上第3步末所述的修改方案做进一步研究。

⁴气体价格按3美元/千立方英尺计算。来源：Indaco Air Quality Services, Inc., 1999, 天然气输送压缩站中经济有效的减缓气体泄漏的方法，报告编号PRC-246-9526。

在压缩站进行针对性检修

第4步：为将来的DI&M 制定一个调查计划。DI&M 计划的最后一步是应用最初的基准线调查结果制定一个调查方案，以指导将来的设备检修工作。DI&M计划应该适应设施的要求和现有维护作业规程。一个有效的DI&M 调查计划应该包括以下几方面内容：

- ★ 一个需要进行筛查和测试的设备部件列表以及排除在调查之外的设备部件列表。
- ★ 泄漏筛查和测量工具，收集、记录和存取DI&M数据的方法。
- ★ 泄漏筛查和测量计划。
- ★ 泄漏维修的经济指南。
- ★ 前期检修工作的结果和分析，可以用来指导后续DI&M 调查。

操作人员应该制定一个DI&M 调查计划，该计划要达到最经济有效地节省气体排放量，同时还要适合自身设备的特点（例如压缩机的使用年限、使用的往复式压缩机和离心式压缩机的数量和尺寸、管线压力和燃气压力）。有些合作伙伴基于前期调查过程中估计的维修寿命来制定DI&M 调查计划。而其它一些合作伙伴则基于公司的维护周期和可用资源来制定跟踪调查的频率。因为DI&M 计划操作起来是比较灵活的，如果后续调查发现许多大的泄漏或者重复泄漏的话，操作人员可以增加DI&M计划的跟踪调查频率。跟踪调查可以集中在前次调查过程中进行维修的部件上，或者集中在被认为最容易发生泄漏的部件上。经过一段时间，当出现泄漏情况时，操作人员可以继续调整调查的范围和频率。

在压缩站进行针对性检修

5 预计收益

在压缩站实施DI&M计划所获得的潜在气体收益的大小取决于压缩站的大小、使用年限、设备和操作特性。天然气STAR计划合作伙伴发现，基准线调查所花的最初费用可以迅速从节省气体的收益中回收回来。

表7给出了3个合作伙伴实施DI&M计划的经历。注意，收益/成本比在各种情况下均大于1，变化范围在1.7:1~95:1之间。

表7 天然气STAR 计划合作伙伴经历

A公司:每年调查15个压缩站。DI&M调查和维修的总费用为每个压缩站350美元。最常见的泄漏源为设备阀。气体节约量为166 010千立方英尺，平均每个压缩站11 067千立方英尺。

总气体收益	498 030美元
调查和维修总成本	5 250美元
净现值	492 780美元
一年收益/成本比	95:1

B公司:每季度调查2个压缩站。调查费用平均每个压缩站200美元。最常见的泄漏源为阀杆垫片、轴密封、法兰。调查的24个泄漏源中，有23个泄漏源的维修费用平均为50美元。气体节约量为17 080千立方英尺，平均每个压缩站8 540千立方英尺。

气体总收益	51 240美元
调查总成本	1 600美元
维修总成本	1 150美元
净现值	48 490美元
一年收益/成本比	19:1

C公司:调查了67个压缩站(根据站点的不同,调查计划包括季度和年度检测)。最常见的泄漏源为垫片、松动的接头以及压缩机阀门和密封。大约对1 150个部件进行了维修。气体节约量为132 585千立方英尺，平均每个压缩站1 978千立方英尺。

气体总收益	397 755美元
调查总成本	176 175美元
维修总成本	57 180美元
净现值	164 400美元
一年收益/成本比	1.7:1

假定气体的价格按3美元/千立方英尺计算。

在压缩站进行针对性检修

6 经验总结

DI&M 计划能够减少调查费用并增加泄漏设备修理的利润。瞄准存在问题的场所和设备部件能节省未来调查所需的时间和费用，并在制定泄漏维修规划中帮助确定需要优先修理的设备。从天然气STAR 合作伙伴那里得到的主要经验有：

- ★ 少数的大型泄漏源所泄漏的气量占了压缩站总泄漏量的绝大部分。
- ★ 浓度筛查方法不能精确确定出最大的泄漏源，也不能为决策哪些设备能经济有效地进行修复提供所需的信息。必须采用有效的泄漏测量技术来获得精确的泄漏速度数据。
- ★ 经济有效的DI&M 计划应瞄准那些最可能发生泄漏且维修起来有经济效益的设备部件上。
- ★ 天然气STAR 合作伙伴同样还发现一些压缩站比其它压缩站更易发生泄漏。DI&M结果跟踪表明，某些压缩站比其它压缩站需要更频繁的跟踪调查。
- ★ 合作伙伴发现，查看泄漏趋势、询问诸如“闸阀比球阀泄漏得多吗？”以及“这个压缩站比另外一压缩站泄漏得多吗？”之类的问题是很有用的。
- ★ 合作伙伴应将精力集中在寻找那些维修起来在经济上很合算的设备部件上。最经济有效的维修方法之一是在发现泄漏时立即拧紧阀门密封或松动的连接。
- ★ 进行维修后，进行重新筛查或测量泄漏部件以确认设备维修的有效性。肥皂泡筛查法是一种快速检查维修有效性的方法。
- ★ 在调查过程中，可以实施“快速维修”步骤，对简单问题（例如松动的螺母、没有完全关闭的阀门）进行简单维修。
- ★ 建立一个首先修复泄漏最严重的泄漏源的工作体系，将小型泄漏源的修复工作纳入到日常的维护工作中。
- ★ 将未来的调查工作集中在泄漏最多的压缩站和设备部件上。
- ★ 在天然气STAR 计划报告中记录各个压缩站的甲烷减排量以及年减排量。

7 参考文献

Bascom-Turner Instruments, personal communication. Foxboro Environmental Products, personal communication.

Gas Technology Institute (formerly the Gas Research Institute), personal communication. Henderson, Carolyn, U.S. EPA Natural Gas STAR Program, personal communication.

Howard, Touché, Indaco Air Quality Services, personal communication.

Indaco Air Quality Services, Inc., 1995, A High Flow Rate Sampling System for Measuring Leak Rates at Natural Gas Facilities. Report No. GRI-94/0257.38. Gas Technology Institute, Chicago, Illinois.

Indaco Air Quality Services, Inc., 1995, Leak Rate Measurements at U.S. Natural Gas Transmission Compressor Stations. Report No. GRI-94/0257.37. Gas Technology Institute, Chicago, Illinois.

Indaco Air Quality Services, Inc., 1999, Cost Effective Leak Mitigation at Natural Gas

在压缩站进行针对性检修

Transmission Compressor Stations, Report No. PRC-246-9526. PRC International (report available from the American Gas Association, Arlington, Virginia).

King Instrument Company, personal communication.

Omega Engineering, personal communication.

Physical Acoustics Corporation, personal communication.

Radian International, 1996, Methane Emissions from the Natural Gas Industry, Volume 2, Technical Report, Report No. GRI-94/0257.1. Gas Technology Institute, Chicago, Illinois.

Radian International, 1996, Methane Emissions from the Natural Gas Industry, Volume 8, Equipment Leaks, Report No. GRI-94/0257.1. Gas Gas Technology Institute, Chicago, Illinois.

Thermo Environmental Instruments Inc., personal communication.

Tingley, Kevin, U.S. EPA Natural Gas S TAR Program personal communication.

U.S Systems Inc., personal communication.

U.S Environmental Protection Agency, 1994 - 2001, Natural Gas STAR Program Partner Annual Reports.

Environmental Protection Agency, 1995, Natural Gas STAR Program Summary and Implementation Guide for transmission and Distribution Partners.

1EPA

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

EPAxxx
xxx 2006