

DIRECTED INSPECTION AND MAINTENANCE AT GATE STATIONS AND SURFACE FACILITIES

在门站和地面设施中进行针对性检修

1 内容提要

2001 年，美国天然气门站和地面设施中的计量设备和调节设备向大气中排放的甲烷气量总计大约为 27 百万立方英尺 (MMcf)。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。接下来对那些可以取得经济效益的设备进行维修。后期调查以前期调查获得的数据为，这样可使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。本交流材料集中讨论在门站和地面设施中如何通过实施DI&M 计划来最大程度地节省资金。

天然气STAR 计划合作伙伴报道，通过实施DI&M 计划节约了大量资金并大大减少了甲烷气排放量。根据合作伙伴提供的数据，在门站和地面设施中实施DI&M 计划每年所节省气体的价值高达1 800美元，而费用在20~1200 美元之间。

泄漏源	年气体损失体积 (千立方英尺/场地)	减少气体损失的方法	每个场地节省气体的价值 ¹	发现和修理泄漏源的总费用	合作伙伴年节省费用
门站和地面设备	0~600 (泄漏设备一般估计为30~200)	定位和修理泄漏源	高达1 800 美元	20~1 200 多美元 (因设备大小和修理类型而不同)	50~1 000 多美元 (因调查费用、泄漏量和场地数量而不同)

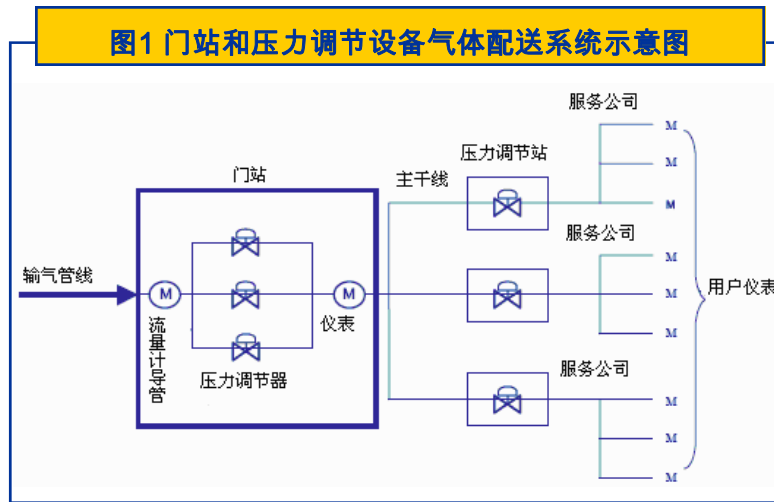
¹天然气价格按3 美元/千立方英尺计算



在门站和地面设施中进行针对性检修

2 简介

门站是位于输气移交点的气体计量和压力调节设施，天然气在该处由运输管网分配到当地配气公司的高压管线中。门站一般包括计量装置以及压力调节器，可以将输气管线的压力从几百个psig降低到满足配气系统要求的合适的压力（通常小于300 psig）。配气系统中的其它地面设施包括加热器（弥补气体膨胀而造成的热损失）和下游压力调节器（可以进一步降低气体压力使气体安全地输送到用户）。图1 是一个门站和压力调节设备的气体配送系统的示意图。



门站和地面设施包括许多设备部件，如管道、阀门、法兰、配件、开口管线、仪表以及用于监测和控制气体流量的气动控制器。经过一段时间以后，由于温度波动、压力、腐蚀、磨损等因素造成这些部件出现泄漏现象。总体来讲，设备规模和设备泄漏速度与入口或上游气体压力相对应，入口压力越高、门站越大，可能发生泄漏的设备部件的数量就越多。

3 技术背景

DI&M 是减少天然气泄漏的一种经济有效的方法。DI&M 计划从配气系统中所有门站和地面设施的基准线调查开始。操作人员识别、测量并评价所有的泄漏部件，使用获得的调查结果来指导随后的检修工作。

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准线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泄漏的设备上。常用的几种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。

在门站和地面设施中进行针对性检修

★ 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。

将探针放在发生泄漏的地方即可完成泄漏源筛查工作。当探针沿接触面或开口缓慢移动时，从仪器上就可观测到气体浓度值，一直移动探针直到获得一个最大浓度值为止。这个最大浓度值将被记录下来作为泄漏源筛查值。用TVAs筛查泄漏源时的速度有点慢，大约每小时可探测40个设备部件，并且仪器需要频繁校正。

★ 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。

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2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2 声波泄漏探测器

（来源：Physical Acoustics Corp.）



在门站和地面设施中进行针对性检修

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：使用通用关系式的TVA 和OVA 探测浓度转换技术、装袋技术、大容积取样技术和转子流量计。

从门站和地面设施中获得的泄漏速度数据表明，许多设备部件的泄漏速度相对较小。对于大多数门站来讲，实施DI&M 计划过程中采用低成本的测量技术才可能是合算的，这种技术就是使用EPA关系式的TVA/OVA 测量值换算技术及TVA 或OVA 探测技术。

★ **OVA 和TVAs。** OVA 和TVAs 可以用来估计气体质量泄漏速度。在泄漏口处测得的气体浓度并不是泄漏点质量泄漏速度的直接测量结果。然而，利用EPA 关系式可以将测得的气体浓度换算成质量泄漏速度。EPA 关系式可用于估计整个测量浓度范围内的泄漏速度，这个浓度范围从仪器测量下限到测量上限。如果TVA 的测量上限值为10 000ppm，那么稀释探针则可探测到高达100 000ppm的浓度。

OVA 和TVAs 必须用在一定浓度下组分已知的参考气体来进行标定。空气中的甲烷气时常被用作参考组分。校正过程可确定出仪器的响应因子，该响应因子用来将探测的浓度校正到泄漏组分的真实浓度。例如，响应因子为“1”，这表示TVA 读出的探测浓度等于泄漏点处的真实浓度。

利用响应因子（如果必要的话）对单个部件处测得的浓度进行校正，并将该测得的浓度代入EPA关系式中外推该组分的泄漏速度值。表3 列出了石油天然气工业设备中各部件的EPA 相关式。

表3 石油天然气工业中设备部件的EPA 泄漏速度/筛选值相关式

设备部件	EPA 泄漏速度/筛选值 相关式（千克/小时）	泄漏量相关式，浓度> 10 000ppm（千克/小时）	泄漏量相关式，浓度> 100 000ppm（千克/小时）
阀门	$2.29 \times 10^{-6} SV^{0.746}$	0.064	0.140
泵密封件	$2.29 \times 10^{-5} SV^{0.610}$	0.074	0.160
接头	$2.29 \times 10^{-6} SV^{0.735}$	0.028	0.030
法兰	$2.29 \times 10^{-6} SV^{0.703}$	0.085	0.084
开口管线	$2.29 \times 10^{-6} SV^{0.704}$	0.030	0.079
其他部件 (仪表，卸压阀，排气孔以及其它)	$2.29 \times 10^{-6} SV^{0.589}$	0.073	0.110

上述相关式是修正后的适用于石油行业的相关式。相关式可预测总的有机化合物排放量。

甲烷气体的相关系数：1千克甲烷=51.92立方英尺；1千克/小时=1.246千立方英尺/天

来源：美国EPA，1995，设备泄漏排放量评估协议

在门站和地面设施中进行针对性检修

表4 提供了一个以上述用于TVAs 和OVAs 的EPA 相关式为基础的数据表。根据门站和地面设施中泄漏部件处测得的浓度，利用这张表可以估计出其泄漏速度。

表4 测量浓度/泄漏速度相关式

测量浓度 (ppmv)	估计的质量泄漏速度 (千立方英尺/年)					
	阀门	泵密封件	接头	法兰	开口管线	其它 ¹
1	0.001	0.023	0.001	0.002	0.001	0.006
10	0.006	0.093	0.004	0.011	0.005	0.024
100	0.032	0.380	0.021	0.053	0.026	0.093
1 000	0.180	1.547	0.112	0.269	0.130	0.362
10 000	1.004	6.301	0.606	1.360	0.655	1.404
100 000	5.593	25.669	3.293	6.864	3.313	5.450
测量值>10 000	29.109	33.657	12.735	38.660	13.645	33.203
测量值>100 000	63.676	72.773	13.645	38.206	35.931	50.031

¹ “其它”设备部件包括：仪表、装油臂、卸压阀、盘根盒、排气孔。适用于除接头、法兰、开口管线、泵或阀门以外的任何设备。

来源：美国EPA，1995，设备泄漏排放量评估协议

- ★ **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。装袋法测量泄漏速度相当准确（误差范围±10% ~ ±15%），但测量速度缓慢、劳动强度大（每小时只能采集2~3个样本）。由于进行测量时需要动用大量人力，同时还要为样本分析支付一部分费用，因此装袋技术在费用方面比较昂贵。
- ★ **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。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。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。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。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，两个操作人员每小时可以测量30个部件。购买大容量采样器大约需要花费10 000美元。或者也可选择承包商来提供泄漏筛查服务，每个部件的测量费用从1~2.5美元不等。
- ★ **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。

在门站和地面设施中进行针对性检修

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，估计甲烷节省量；（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。对于各个泄漏部件，利用上述的其中一种技术来估计质量泄漏速度。在配气部分，从门站和地面设施的泄漏部件中泄漏的气体量一般比从压缩站泄漏的气体量少1个或几个数量级。为了使DI&M 计划在门站和地面设施中实施起来比较合算，则必须使基准线调查费用降到最低程度。

一些配气部门的合作伙伴决定仅仅进行泄漏筛查，在筛查过程中他们采用成本非常低且快速的泄漏探测技术，这项工作已经纳入正在进行的维护工作中。在这些情况下，所有被识别出来的泄漏源都要进行维修。仅限于泄漏筛查的基准线调查所需的费用并不高。然而，单独的泄漏筛查并不能定量描述泄漏速度或潜在的气体节省量，在合作伙伴没有足够资源来修复所有泄漏源的情况下，这两个参数中的任何一个参数都是作出经济有效的维修决策时所需的关键资料。

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，必须记录下来以准确确定那些维修起来比较合算的泄漏部件。

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：（1）各个泄漏部件的检验人；（2）部件类型（例如：闸阀）；（3）测得的泄漏速度；（4）调查数据；（5）预计年气体损失量；（6）预计维修费用。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 计划的甲烷节省量和经济效益。

天然气STAR 计划合作伙伴报道，在门站和地面设施中最常见的泄漏是针孔泄漏和部件缺陷、连接松动、阀杆密封不紧或者磨损。合作伙伴识别出来的泄漏频发的位置包括：孔板/附件、在测试点上安装的堵头、阀门上的黄油嘴、多级或者大直径的仪表游针、联结处、阀杆密封和法兰。最大的泄漏源通常位于卸压阀、开口管线、法兰、闸阀和闸板阀杆密封处。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。

门站和地面设备在规模和压力容量方面存在巨大差别，这取决于配气系统的规模和复杂性。因此，从这些设施中排放的甲烷量也存在巨大差异。1994年，由EPA 和天然气调查研究所（GRI——现为GTI，天然气技术研究所）共同资助进行了一项现场试验，他们采用气体示踪剂技术对40个门站和55个街区压力调节器的甲烷气泄漏量进行了测量。研究结果发现，年平均甲烷气排放量范围从1 575千立方英尺/年（在入口压力高于300 psig的门站处）变化到小于1千立方英尺/年（在入口压力低于40 psig的街区压力调节器处）。基于所有95个采样设施的结果，年均设施排放量为425千立方英尺。研究认为，在总的现场排放量中，大部分是由将天然气排放到大气中的气动控制器造成的。

1998年，EPA、GRI和美国天然气协会国际管道研究委员会（PRCI）对天然气运输和分配系统中的16个天然气计量和压力调节设施的设备进行了第二次甲烷气泄漏研究。其中4个研究设施是配送系统的门站。该研究包括统计各个现场的设备部件数量、进行泄漏源筛查以及用大容量采样器对个别泄漏部件进行泄漏量测量。正如早期研究结果一样，发现气动控制器排放的甲烷气量占了总排放量很大一部分（超过总量的95%）。因为气动设备设计来在正常工作过程中放空气体，所以并不将这些排放考虑成泄漏。气动控制器为从门站和地面设施中减少甲烷排放提供了一个巨大的商机，请参考变天然气气动控制为仪表风气动控制和天然气工业中减少气动装置排放甲烷的方案。

在门站和地面设施中进行针对性检修

表5总结了1998现场试验研究中所获得的平均设备部件排放系数。在筛查的2261个设备部件中，大约有5%的设备部件发生泄漏。

表5数据说明，卸压阀是最大的泄漏源，其次是闸阀和控制阀。最小的泄漏源在接头、法兰、球阀和塞阀处。从表5数据可以看出，在门站和地面设施中预计出现的泄漏源相对较小，并且各个设施处需要进行调查的设备部件数量超过了100个。

表5 16个计量和压力调节设施中泄漏设备的平均排放系数

部件	排放系数 (千立方英尺/年/部件)	筛查的部件总数	每个现场平均部件数
球/塞阀	0.21	248	18
控制阀	0.46	17	1
法兰	0.13	525	38
闸阀	0.79	146	10
气动排气孔	134.3	40	1
卸压阀	4.84	5	1
接头	0.11	1 280	91
总计		2 261	162

来源：Indaco Air Quality Services, 1998.

根据单个设备部件的泄漏测量数据，1998年的现场研究将从计量和压力调节设施中每年向大气排放的平均总气量确定为409千立方英尺。将由气动控制器引起的总的设备排放量排除在外，则每个场地由设备泄漏所引起的平均总排放量在20~40千立方英尺/年之间（某些现场报道的泄漏量在60~100千立方英尺/年之间）。

1998年的现场研究结果强化了第1步中的观点，即在门站和地面设施中实施经济有效的DI&M计划必须依靠成本非常低且快速的泄漏筛查技术。否则，发现泄漏所花的费用也许还不会平衡从修理泄漏中所节省的费用。

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。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，例如拧紧阀杆密封。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，这样可以在以后进行修复。

一旦发现泄漏源后，就应在现场进行简单的维修。在各种情况下，节省气体的价值必须超过发现和维修泄漏源所花的费用。天然气STAR计划合作伙伴发现，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。

在门站和地面设施中进行针对性检修

表6 提供了这类修理费用的分析情况。表中总结了预计设备修理所需的修理费用、总的天然气节省量以及预计节省资金量。表6 列出的泄漏和修理数据来自1998 年EPA/GRI/PRCI 的现场试验结果。在该研究中，对16 种设施中的其中2 种进行了泄漏修复评价。

表6 所选设备部件的修理费用和净节省资金量

部件	修理类型	修理费用 ¹ (包括人工和材料) (美元)	两个井场修 理的部件总 数(个)	总的气体节省量 (Mcf/年)	估计的净节 省资金量 ² (美元/年)	投资回收期 (年)
球阀	重新润滑	13	5	60	115	0.4
闸阀	更换阀杆密封	3	5	67	36	0.8
闸阀	更换阀杆密封	3	1	92	243	0.1
接头	紧固密封螺纹接头	3	4	11	21	0.4
Sr. 丹尼尔孔 板流量计	紧固接头	33	1	68	171	0.2
法兰 ³	紧固(估计的方法)	40	5	99	97	0.7

¹平均修理费用为2 002 美元。
²假定天然气价格按3 美元/千立方英尺计算。
³在最初的研究中没有报道修理费用。法兰修理费用是基于1997 年压气站“对开式压缩机”法兰的泄漏修理费用数据而估计的。
 来源：Indaco Air Quality Services, Inc., 1998, 计量和压力调节设施泄漏速度趋势和泄漏筛查与维修(LDAR) 计划的有效性, 报告草稿。

出于安全考虑，一些合作伙伴对在门站和计量站发现的所有泄漏源都进行了修理。在这种情况下，实施DI&M 计划是非常有用的，它可以通过对维修设备进行优先排序——确定最主要的泄漏源并首先进行维修——来提高正在进行的检修工作的经济效益，或者在泄漏频率最高的设施上进行频繁的检修工作。

当识别出泄漏源、测量出其泄漏量并进行修复后，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。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。

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。

在门站和地面设施中进行针对性检修

- ★ 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——如设施的运行年限、规模和结构以及入口压力。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。

5 预计收益

天然气STAR计划合作伙伴在门站和地面设施中实施DI&M计划获得的气体节省量存在很大差别。影响这个结果的因素包括DI&M计划中的场站数量、计划运行阶段（如新计划或成熟计划）、计划运行程度以及维修费用。因为所用筛查和测量设备的类型、调查频率、进行调查的人员数量和人员类型等不同，导致DI&M计划在各个设施之间所花费用也不同。

表7 提供了一个在3个门站实施DI&M计划的费用和经济效益的假设的例子。例子中的泄漏速度和泄漏部件数量是以1998年EPA/GRI/PRCI现场研究中3个场地所报道的真实泄漏速度为基础。表7说明为了评估实施DI&M计划在经济上是否合算时输气部门的合作伙伴应该采用的计算模式。

表7说明，尽管在各个场所发现和修理泄漏设备部件所花的费用不能通过节省气体所创造的价值回收回来，但如果将多个场所包括在DI&M计划内，则整个计划仍然是有利可图的。对于表7中给出的假设例子，尽管在场所2上实施DI&M计划在经济上是不合算的，但将3个场所作为整体考虑时，实施DI&M计划仍然是可以获利的。在这种情况下，操作人员应该利用从场所2进行的基本情况调查中获得的经验来指导后续的调查工作：可将场所2从后续调查中排除出去，或者减少场所2的筛查频率，或者仅筛查所选的那组设备部件。

在门站和地面设施中进行针对性检修

表7 在门站和地面设施中实施DI&M 计划预计的资金节省量

假设					
用肥皂泡法进行泄漏筛查，每小时80 个部件	劳动力成本：2小时×美元/小时				
用TVA 相关式进行泄漏测量	劳动力成本：1小时×美元/小时				
每小时劳动费用	50 美元/小时				
TVA 资本成本	0 美元（假设合作伙伴已经拥有该设备） ¹				
预计修理寿命	12 个月				
场所1					
泄漏源数量	20 个泄漏源（修理6 个阀门：2×30 千立方英尺/年、2×10千立方英尺/年、2×1千立方英尺/年）				
假设的修理费用	假设：3个修理部件×10美元，3个修理部件×3美元				
总的天然气节省量	82 千立方英尺				
场所2					
泄漏源数量（假设需要筛查的泄漏源较少）	8 个泄漏源（2×10 千立方英尺/年、6×2 千立方英尺/年）				
假设的修理费用	假设：2个修理部件×5美元，6个修理部件不花费用				
总的天然气节省量	32 千立方英尺				
场所3					
泄漏源数量	16 个泄漏源（1×60 千立方英尺、2×30 千立方英尺、1×15 千立方英尺、6×10千立方英尺、6×1千立方英尺）				
假设的修理费用	假设1 个修理部件×33美元，2个修理部件×15美元、5个修理部件×3美元，其它修理部件不花费用				
总的天然气节省量	201 千立方英尺				
总筛查费用（美元） 总修理费用（美元） 节省天然气的价值（美元） 净节省费用（美元） 投资回收期					
场所1	150	39	246	57	9.2 个月
场所2	125	10	96	(39)	17 个月
场所3	150	78	603	375	4.5 个月
总计	425	127	945	393	7 个月

¹TVAAs花费高达2 000美元。从避免气体排放中节省的费用不可以用于购买TVA设备。

在门站和地面设施中进行针对性检修

6 合作伙伴经历

从1995~2000年，18个天然气STAR计划合作伙伴报道了在门站和地面设施中实施DI&M计划所节省的气体量情况。表8给出了其中3个例子。

表8 合作伙伴在门站和地面设施中实施DI&M计划的经历

A公司：2000年调查了86个设备，在48个场所发现了泄漏。总共确定出了105处泄漏源，对66处泄漏（占63%）进行了修理。发现和修理泄漏源的总费用是2 453美元，平均每个设备为29美元。每年节省的总的天然气量是1 519千立方英尺，气体价格按3美元/千立方英尺计算，则节省气体的价值为6 557美元。从DI&M计划中节省的总费用为4 104美元。每个设备的净节省费用大约是50美元。

总的天然气节省费用	6 557
美元 总的筛查费用	1 700
美元 总的修理费用	753
美元 净节省费用	4 104 美元

B公司：1997年调查18个设备，总花费是1 080美元。确定出15处小的泄漏源，包括1个法兰、2个两端异径锁紧接头、12个小阀门。每年平均泄漏量为17.5千立方英尺。修理了15处泄漏源，总费用为380美元，其结果是每年节省天然气263千立方英尺。气体价格按3美元/千立方英尺计算，则所节省天然气的价值是789美元。泄漏调查和设备修理所花的1 460美元费用在第一年内不能够回收回来。每个设备的平均筛查和修理费用为60美元。

总的天然气节省费用	789 美元
总的筛查费用	1 080 美元
总的修理费用	380 美元
净节省费用	(671) 美元

C公司：共调查了306个设备，确定并修复了824处泄漏源。发现了4处“大的”泄漏源，7处“中等的”泄漏源，其余是“小的”泄漏，这意味着需要采用电子筛查技术或肥皂泡筛查技术来定位泄漏源。总的调查和设备修理费用大约为16 500美元，每个场所平均为54美元。总的天然气节省量为117 800千立方英尺，平均每处泄漏源为143千立方英尺。净节省费用大约是每个设备1 100美元（气体价格以3美元/千立方英尺计算）。

总的天然气节省费用	35 3430 美元
总的筛查和修理费用	16 500
美元 净节省费用	336 930 美元

合作伙伴DI&M计划中的设施数量最少的不到20个，最多的超过2 100个。在50%的设备中都发现了泄漏现象，平均在每个泄漏设施上发现两处泄漏源。平均每个泄漏源处因修理设备而减少的排放量为100千立方英尺。

合作伙伴所报道的调查和修理费用存在巨大差异。成本增量从“可以忽略不计”（对于那些泄漏监测计划已经到位的合作伙伴）到每个设施1 200美元不等。据报道，DI&M调查费用最高的地方发生在市区，在这些地方的人工费用比较高，而且门站比较大、设备部件比较多。所报道的维修费用同样从“可以忽略不计”（对于那些在现场就能完成的简单维修）到每个维修超过500美元不等。

在门站和地面设施中进行针对性检修

7 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：

- ★ 为了在经济上比较合算，在门站和地面设施中实施DI&M 计划时必须使用费用最低且快速的筛查和测量技术。推荐肥皂泡技术、泄漏监听技术、便携式气体“嗅测”技术以及TVAs/OVAs技术作为泄漏筛查技术。TVA探测浓度和EPA 关系式推荐作为一种估计质量泄漏速度的经济有效的方法，特别是在已经拥有TVA或OVA 设备的地方。
- ★ 少数的大型泄漏源所泄漏的气量占了总泄漏量的绝大部分。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。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”之类的问题是很有用的。
- ★ 合作伙伴同样还发现，某些场所比其它场所更容易发生泄漏。DI&M 结果跟踪表明，一些设施需要更频繁的跟踪调查。
- ★ 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。
- ★ 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检查维修有效性的快速方法。
- ★ 在实施DI&M计划的第一年，频繁调查（如1季度1次或1年2次）可以帮助确定泄漏速度最高和重新发生泄漏的设施和部件，并建立信息库以指导后续几年中减少调查次数。
- ★ 在天然气STAR 计划报告中记录各个门站和/或其它地面设施的甲烷减排量以及每年减排量。

8 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.

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 (formerly Gas Research Institute), Chicago, IL.

Indaco Air Quality Services, Inc., 1998, Trends in Leak Rates at Metering and Regulating Facilities and the Effectiveness of Leak Detection and Repair (LDAR) Programs, Draft Report prepared for PRC International, Gas Research Institute, and the U.S. Environmental Protection Agency.

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

在门站和地面设施中进行针对性检修

Radian International, 1996, Methane Emissions from the Natural Gas Industry, Volume10, Metering and Pressure Regulating Stations in Natural Gas Transmission and Distribution, Report No. EPA600-R-96-080. Tingley, Kevin, U.S. EPA Natural Gas STAR Program, personal communication.

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.

Environmental Protection Agency, 1995, Protocol for Equipment Leak Emission Estimates, Office of Air Quality Planning and Standards, EPA453-R-95-017, November 1995.

Environmental Protection Agency, 2001, Lessons Learned: Convert Gas Pneumatic Controls to Instrument Air, EPA430-B-01-002.

Environmental Protection Agency, 2003, Lessons Learned: Options for Reducing Methane Emissions from Pneumatic Devices in the Natural Gas Industry, EPA430-B-03-004.

1EPA

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

EPAxxx
xxx 2006