变天然气气动控制为仪表风气动控制

CONVERT GAS PNEUMATIC CONTROLS TO INSTRUMENT AIR

1 内容提要

高压天然气驱动的气动仪表系统经常被用于石油天然气行业中进行过程控制。典型的过程控制应用包括压力、温度、液面和流量调整。从这些控制器中固定排放的天然气成为天然气工业中最大的甲烷排放源之一。据估计，生产部分大约每年排放 240 亿立方英尺天然气，加工处理部门大约每年排放 160 亿立方英尺天然气，输送部门大约每年排放 140 亿立方英尺天然气。

通过将天然气驱动的气动控制系统转变为压缩仪表风驱动的气动控制系统，公司可以显著地节省费用并极大地降低甲烷排放量。仪表风系统使用压缩空气代替增压天然气，消除了甲烷排放，并且提供了更多的安全效益。然而，该技术经济有效的应用仅局限在有电源的油田现场上，或利用公用电网电源，或自己发电。

天然气 STAR 合作伙伴报道，用仪表风系统代替天然气驱动气动系统，每台设备每年可节省高达 70 000 千立方英尺的天然气，即每台设备每年可节省高达 210 000 美元的费用。合作伙伴发现，在 1 年多的时间内就能收回转换气动系统的大部分投资。个别节省情况将有所变化，这取决于控制器的结构、工作环境和具体的操作条件。

减少天然气损失的方法[1]	节省天然气的平均体积（千立方英尺/年）	节省天然气的平均价值（美元/年）[1]	平均实施费用（美元/年）[2]	平均投资回收期（年）
在气动系统中用空气替代天然气（每台设备）	20 000	60 000	50 000	小于 1

[1]假设天然气价格按 3 美元/千立方英尺计算。
[2]安装压缩机、干燥机和其他辅助设备的费用以及每年需要的电费。

2 技术背景

天然气行业使用各种各样的过程控制设备来操作调节压力、流量、温度和液面的阀门。大部分测试仪器和控制设备可划分成三类：（1）气动的；（2）电动的；（3）机械的。在大部分的应用中，天然气行业使用气动控制设备，利用已有高压天然气来提供所需的能量和控制信号。高压天然气驱动的气动仪表系统被广泛应用于整个天然气行业中。在生产部门，估计有 250 000 套气动设备被用于控制和监测脱水器和分离器中的气液流速和液面、脱水器再生器中的温度以及闪蒸罐中的压力。大多数油气处理厂已经使用了仪表风气动装置，但有一些处理厂仍使用天然气气动装置，包括为这些油气处理厂提供原料的集输站/增压站，在这个部门大约有 13 000 套天然气气动设备。在输送部门，大约有 90 000～130 000 套气动设备在压缩站、管道和储存设施上驱动隔离阀以及调节天然气流量和压力。在配气公司控制站和配气网络的孔板流量计上也有气动设备，用来调节流量和压力。

图 1 给出了一个天然气驱动的气动控制系统示意图。气动控制系统由过程控制设备和在大约 20～30 psi 调节压力下由天然气操作的阀门以及为所有控制仪表提供气源的配气管网组成。天然气

同样也用于一些“公用服务”，如用于小型气动泵、压缩机马达启动器和隔离关闭阀等。图 2 给出了一个简化的气动闭环控制示意图。工艺操作条件（如分离器容器中的液位）通过一个浮标来进行监测，该浮标机械地连接到容器外部的液位控制器上。液位上升或下降会使浮标上移或下移，这个信息会传递给控制器中的一个小型针形阀。气动气源或者通过针形阀紧压孔板直接作用于阀门执行器，或者释放天然气压力来打开阀门执行器。阀门执行器上递增的天然气压力会向下推动薄膜，薄膜通过一根杆连接到阀塞上，使得阀塞打开，增加从分离器容器中流出流体的流动。从阀门执行器释放的天然气压力迫使弹簧推动阀塞关闭。

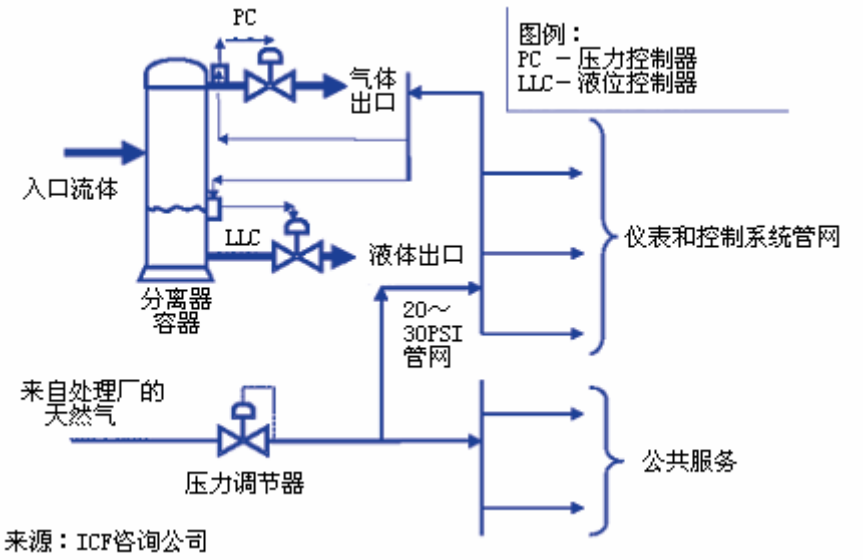

图 1 天然气气动控制系统

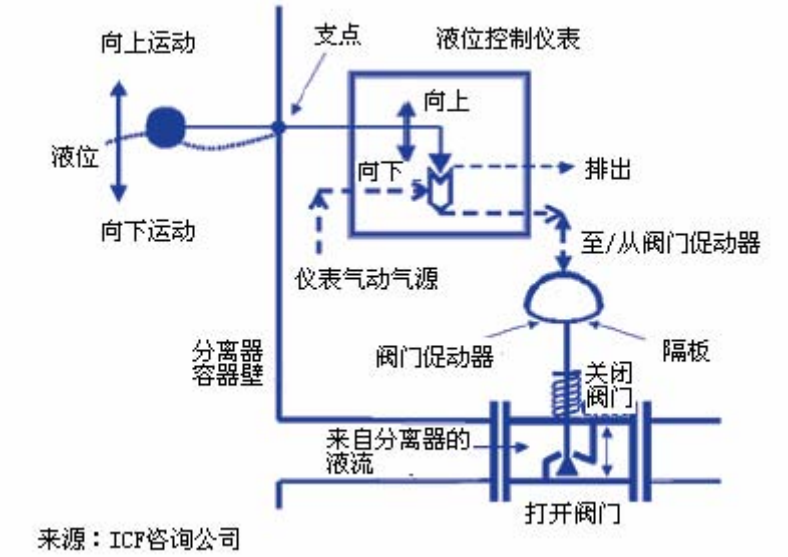

图 2 信号和促动示意图

作为正常操作的一部分，天然气驱动的气动设备向大气中释放或排出天然气，因此它是天然气工业的主要排放源之一。气动控制系统从管道接头、控制器和配送管网内任意地点逸出天然气。实际排出速度或排放水平很大程度上取决于设备的结构。一般来说，不管是什么样的品牌，相同结构的控制器都具有相同的稳定排出速度。甲烷排放速度同样随供气压力、驱动频率以及设备使用年限

或条件的变化而变化。

许多合作伙伴发现，在气动系统中用压缩空气代替天然气是很经济的。使用仪表风系统消除了甲烷排放并增加了天然气销售量。此外，由于消除了可燃物质的使用，大大提高了其操作安全性。与转换成仪表风系统相关的主要费用是安装压缩机和相关设备的初始投资成本以及驱动压缩机马达的电力运营成本。现有的气动供气管道、控制仪表和天然气气动系统的阀门执行器等都可以在仪表风系统中得到重新利用。

压缩仪表风系统如图 3 所示。在这些系统中，空气被压缩，储存于洗气罐中，经过滤和干燥后供仪表使用。用于公用服务（如用于小型气动泵、天然气压缩马达启动器、气动工具、喷砂处理等）的空气不需要干燥。气动系统的其他部分使用空气的工作方式和使用天然气的工作方式一样。

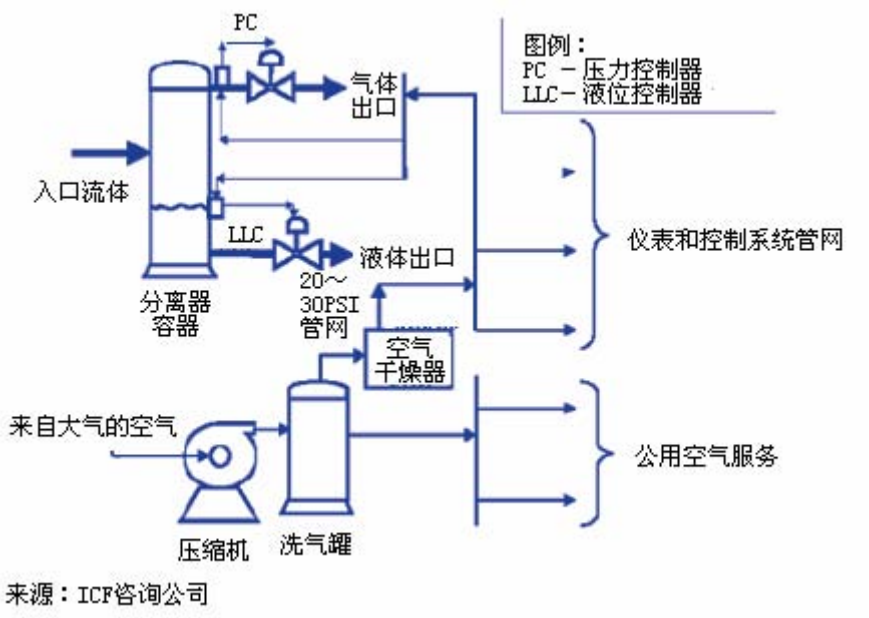

图 3 压缩仪表风系统

仪表风系统转换项目的主要部件包括压缩机、电源、脱水器和洗气罐。下面将详细描述各个部件及其重要的安装注意事项。

★ **压缩机**。用于仪表风输送的压缩机有各种不同的类型和尺寸，类型从旋转螺杆式（离心式）压缩机到容积式（往复活塞式）压缩机，压缩机的尺寸取决于工厂规模、系统操作的控制设备数量以及这些设备的排放速度。压缩机通常由一台电动机驱动，这取决于洗气罐中的压力。为了提高可靠性，通常安装一台备用压缩机。

★ **电源**。仪表风控制系统的一个关键部件是操作压缩机所需的电源。因为高压天然气很充足且随时可用，所以天然气气动系统可以一天 24 小时、一周 7 天不间断地运行。然而，这种工作方式取决于仪表风系统的可靠性和电力供应。大多数大型的天然气处理厂或者有现存的电力供应，或者有自己独立的发电系统。然而，对于小型工厂以及偏远地区，要确保有一个可靠的电源是很困难的。在某些情况下，太阳能电池驱动的压缩机对于一些边远地区来讲是一种经济有效的方法，它可以减少甲烷排放和能量消耗。小型天然气燃料电池也正在开发之中。

★ **脱水器**。脱水器，或空气干燥器，是仪表风压缩机系统的一个组成部分。当空气加压冷却时，存在于空气中的水蒸气冷凝，会给这些系统带来许多问题，包括仪器部件的腐蚀、仪

表风管道系统和控制器孔板的堵塞。对于小型系统，使用薄膜干燥器更经济。这种薄膜干燥器是分子过滤器，允许氧气分子和氮气分子通过薄膜，而水分子则被阻止在外。这种脱水器没有运动部件，非常可靠，并且过滤器元件更换起来很容易。对于大型系统，干燥剂（矾土）干燥器更经济有效。

★ **洗气罐**。洗气罐能容纳足够多的空气，使得气动控制系统能不间断地供应高压空气，从而不再需要空气压缩机连续工作。洗气罐允许在短时间内向马达启动器、气动泵或气动工具等排出大量压缩空气，不影响过程控制功能。

3 经济和环境效益

将天然气气动控制系统转变成仪表风控制系统后，从气动装置中减少的甲烷排放量可以为天然气公司带来巨大的经济和环境效益：

★ **从减少天然气排放损失中获得经济回报。**假设天然气价格按 3 美元/千立方英尺计算，则每台设备每年因减少甲烷排放所节省的费用估计为 360 美元，或者每个处理厂每年节省 210 000 美元或更多。在很多情况下，转换成仪表风系统的成本在 1 年之内就能收回。

★ **延长控制设备的使用寿命，提高工作效率。**在气动控制设备和仪表中使用的天然气通常含有腐蚀性气体（如二氧化碳和硫化氢气体），它们会降低这些设备的有效工作寿命。此外，天然气通常会产出一些氧化铁之类的副产品，这些物质会堵塞设备中的小孔眼，造成工作效率降低或发生事故。使用仪表风时，空气经过妥善过滤和干燥，会减缓系统老化并延长工作寿命。

★ **避免使用可燃性天然气。**使用压缩空气替代天然气消除了可燃物质的使用，极大地增加了天然气处理厂以及运输和分配系统的安全性。在海上装置中，因为这些场所中与有害物质和可燃物质相关的风险更大，所以这种做法非常重要。

★ **降低甲烷排放量。**据报道，有的工厂每年的甲烷减排量高达 70 000 千立方英尺，这取决于控制应用的装置和类型。

4 决策步骤

天然气气动装置系统转换成仪表风气动装置系统适用于所有天然气设施和工厂。然而，为了确定出最经济有效的应用方法，还需要进行技术和经济可行性研究。下面给出的 6 个步骤，以及附带费用表格、费用计算方程和费用考虑因素的实例可以帮助公司评价应用该方法的机会。

变天然气气动装置为仪表风气动装置的决策过程：

（1）确定安装系统的可能的位置。
（2）确定最优的系统容量。
（3）估计工程费用。
（4）估计天然气节省量。
（5）评价经济效果。
（6）制定实施计划。

第 1 步：确定安装仪表风系统的可能的位置。大多数天然气操作的气动控制系统都可以转换成仪表风气动控制系统。仪表风系统需要一些新的投资，包括空气压缩机、脱水器和其他相关设备以及电源。因此，在一个成功的仪表风系统转换项目中，其第一步就是对现有工厂进行筛查以确定出

经济有效地实施该项目的最合适的位置。一般情况下，在此过程需要考虑三个主要因素：

★ **工厂布局。**天然气工厂布局会在很大程度上影响仪表风系统的设备费用和安装费用。例如，在比较偏远的油罐区或者比较分散的偏远工厂中，转换成仪表风系统可能不是经济有效的做法。仪表风系统最适合在气动装置系统集中在一个相对较小区域的海上平台和陆上工厂中使用。

★ **气动装置的数量。**转换成仪表风系统的气动控制器越多，减少排放量和增加公司节省费用的潜力就越大。当公司规划整个工厂范围内的设备更换计划时，将现有系统转换成仪表风系统是最有利可图的。

★ **可利用的电力供应。**因为大部分仪表风系统依靠电能来运行压缩机，所以一个经济有效的、不间断的电源是必需的。许多大型工厂拥有现有电源或者自己的发电系统，然而许多小型的和偏远的工厂却没有。对于这些工厂，发电费用通常使得仪表风的应用变得无利可图。另外，拥有专用发电机的工厂还需要评价发电机是否有足够的容量维持空气压缩系统，因为发电机的升级费用非常高。偏远工厂应研究发电的替代方案，这些替代方案涉及的范围包括微型汽轮发电机以及太阳能等。

第 2 步：确定最优的系统容量。一旦项目地点确定下来后，确定新仪表风系统的容量就非常重要了。所需容量是操作气动仪表和满足任何公用事业空气要求所需的压缩空气量的函数。

★ **仪表风需求量。**气动系统的压缩空气需求量等于运行现有仪表系统所用的天然气的体积——要对干燥过程中的空气损失进行校正。通过一个直读仪表可以直接确定出当前的天然气使用体积（如果安装了仪表的话）。对于没有安装仪表的系统，度量空气系统的一个保守的经验法则是每个控制回路（包括一个气动控制器和一个控制阀门）每分钟需要 1 立方英尺的仪表风。

经验法则：每个控制回路每分钟需要 1 立方英尺空气

考虑到干燥过程中的空气损失，应对最初估计的仪表风需求量进行调整。一般而言，空气干燥器中的薄膜过滤器消耗了大约 17%的空气输入量。因此，估计的仪表风使用量为总压缩空气供给量的 83%：即估计空气用量除以 83%。干燥剂干燥器不消耗空气，所以不需要校正。

经验法则：17%的空气输入量被薄膜干燥器消耗

★ **公用事业空气需求量。**压缩空气用于公用服务是很常见的做法，如用于马达启动器、气动泵、气动工具（如气动扳手）和喷砂处理等。与仪表风不同，公用服务空气并不需要干燥。这些公用服务空气的使用次数和使用体积是额外的。公司需要根据具体现场情况来评估其他的压缩空气服务项目，同时要考虑场地扩展的可能性。一个通用的经验法则是假设用于公用服务所需的压缩空气的最大速度是用于仪表风系统的稳定速度的 2 倍。

经验法则：气动空气使用：1/3 用于仪表风，2/3 用于公用服务

表 4 说明如何来估计仪表风压缩机的尺寸。使用每个控制回路每分钟需要 1 立方英尺空气这个经验法则，当前天然气使用量转换成仪表风的使用量则大约为 35 立方英尺/分钟。校核干燥器中的空气消耗量（空气输入量的 17%），则总的仪表风需求量为 42 立方英尺/分钟。考虑公用服务气体需求量大约为 70 立方英尺/分钟这一因素，则项目对压缩空气的总需求量为 112 立方英尺/分钟。

第 3 步：估计工程费用。与安装和操作仪表风系统相关的主要费用是压缩机、干燥器和洗气罐的安装费用以及能量消耗费用。实际安装费用是系统尺寸、位置和其他具体位置因素的函数。典型的从天然气气动控制系统转换成压缩仪表风系统的费用大约为 35 000～60 000 美元。

为了估计某个项目的费用，与压缩机、干燥器、洗气罐和电源相关的所有开支都必须计算在内。大多数供货商都愿意提供设备估计费用和安装要求（包括压缩机尺寸、电机功率、电力需求和存储

能力)。或者，操作者也可以利用下面有关主要系统部件的信息来估计仪表风系统总的安装费用。

表 4 计算变天然气气动装置为仪表风气动装置所需的压缩机尺寸

已知：一个平均规模的生产场所，配置有气动装置、乙二醇脱水器、压缩机、35 个闭环控制回路，用于气动泵和压缩机引擎启动的公用气体使用量平均为 10 立方英尺/分钟。
A = 总的压缩空气量 IAu = 仪表风使用量 IAs = 仪表风供给量 UAs = 公用服务空气供给量 L= 控制回路
经验法则：每个控制回路每分钟需要 1 立方英尺空气 经验法则：17%的空气输入量被薄膜干燥器消耗 经验法则：气动空气使用：1/3 用于仪表风，2/3 用于公用服务
计算：A=所需的空气压缩机容量
A = IAs + UAs IAu = L×（1 立方英尺/分/回路） IAs = IAu/（100% - 干燥器中空气损耗%） UAs = IAu×（公用服务使用空气的百分数）/（仪表风使用的百分数） L= （35×1）/（100%-17%）+（35×1）×（2/3）/（1/3）=112 立方英尺/分钟

★ **压缩机费用。**通常，在一套设备上安装两台压缩机（一台运行，一台备用），以确保系统的可靠性并允许在不中断服务的情况下进行设备维护和检修。各台压缩机必须能足以处理整个工程所需的预计压缩空气量(如用于仪表和公用服务的空气)。表 5 给出了购买和维护小、中和大型压缩机的成本预算。对于螺杆式压缩机，操作者可能希望每 5～6 年大修一次。这通常包括更换压缩机内核以重新修复压缩机，其费用大约为 3 000 美元，还有 500 美元的劳务费用和 500 美元的压缩机内核更换费用。

★ **洗气罐费用。**压缩空气供给系统包括一个洗气罐，通过空气压缩机的打开/关闭操作来维持一个稳定的压力。确定洗气罐尺寸的一个经验法则是，1 立方英尺/分钟的压缩空气需要 1 加仑的洗气罐容量。表 6 列出了小、中和大型洗气罐的设备费用。洗气罐基本上没有操作和维护费用。

经验法则：1 立方英尺/分钟的压缩空气需要 1 加仑的洗气罐容量

表 5 空气压缩机费用

工作尺寸	空气体积（立方英尺/分）	压缩机类型	功率	设备费用（美元）	年度服务费用（美元/年）	工作寿命（年）
小型	30	往复式	10	2 500[1]	300	1
中型	125	螺杆式	30	12 500	600	5～6[2]
大型	350	螺杆式	75	22 000	600	5～6[2]

[1] 费用包括包装压缩机以及一个洗气罐的费用。
[2] 修复压缩机费用 3 000 美元＋劳务费用 500 美元－压缩机内核更换费用 500 美元。

表 6 洗气罐费用

工作尺寸	空气体积（加仑）	设备费用（美元）
小型[1]	80	500
中型	400	1 500

大型	1 000	3 000
[1]10 马力和更小马力的小型往复式空气压缩机一般提供一个缓冲罐。		

★ **空气干燥器费用。**因为仪表风必须非常干燥以避免设备出现堵塞和腐蚀，所以压缩空气一般要通过一个干燥器进行处理。在小型和中型干燥系统中使用最普遍的干燥器是渗透薄膜干燥器。大型空气系统可使用多个薄膜干燥器，或者更经济有效的方法是使用矾土床干燥器。薄膜干燥器可以过滤出油雾和粉碎的固体颗粒，没有运动部件。因此，每年的操作费用可保持在一个较低水平。表 7 列出了不同尺寸干燥器的设备和服务费用数据。尺寸合适的干燥器需要与仪表风系统所需的预计气量相适应。

表 7 空气干燥器费用

工作尺寸	空气体积（立方英尺/分）	干燥器类型	设备费（美元）	每年服务费用（美元/年）
小型	30	渗透薄膜	1 500	500
中型	60[1]	渗透薄膜	4 500	2 000
大型	350	矾土层	10 000	3 000
[1]最大的薄膜尺寸；使用多套大容量的设备。				

表 8 计算总的安装费用

已知：
压缩机（2）=25 000 美元（表 5） 洗气罐（2-小）=1 000 美元（表 6） 薄膜干燥器=4 500 美元（表 7） 安装费用系数=1.5
计算总的安装费用：
设备费用=压缩机费+洗气罐费+干燥器费= 25 000 美元+1 000 美元+4 500 美元=30 500 美元 总费用=设备费用×安装费用系数=30 500 美元×1.5=45 750 美元

利用上述的设备信息，就可计算出一个项目总的安装费用。表 8 使用前面的例子说明了这个计算方法，该工厂是一个中等规模的生产厂，仪表风需求量是 42 立方英尺/分钟，最大的公用服务空气需求量是 70 立方英尺/分钟（总的压缩空气需要量是 112 立方英尺/分钟）。为了估计设备安装费用，行业惯例是假设安装劳务费用等于设备采购费用（即将设备购买费用翻倍来计算安装费用）。这种计算方法适合于大型干燥剂干燥的仪表风系统，但对于小型橇装的仪表风系统，则使用 1.5 的系数来估计总的安装费用（安装劳务费用是设备费用的一半）。

除设备费用以外，同样还要估计与运行该系统有关的能源消耗费用。空气压缩机最主要的运行费用是电费（除非工厂具有过剩的自我发电能力）。继续使用上面的例子，假设购买电力的费用为 7.5 美分/千瓦小时，一台压缩机备用，另一台压缩机在满负荷下运转一半的时间（工作系数取为 50%），那么每年的电费等于 13 140 美元。计算过程见表 9。

表 9 计算电费

已知：
发动机功率=30 马力 工作系数（OF）=50% 电费=0.075 美元/千瓦小时
计算所需的电能：

电能=发动机功率×OF×电费 =[30 马力×8 760 小时/年×0.5×0.075 美元/千瓦小时]/0.75 马力/千瓦=13 140 美元/年

第 4 步：估计天然气节省量。为了估计由于安装仪表风系统而带来的天然气节省量，确定正常排放速度（从管道系统、控制设备等地方连续泄漏）以及最大排放速度（与控制设备中的运动相关）是很重要的。一种方法是列出所有的控制设备，评价其正常排放速度和最大排放速度、启动频率以及从管网中的估计泄漏量。控制设备的制造商通常发布各类设备和各类操作的排放速度。对于那些 5～10 年没有检修的在用设备，排放速度增加 25%；对于那些 10 年以上没有检修的在用设备，排放速度增加 50%，以此来考虑因设备磨损和破损而增加的泄漏量。或者，如果为顾及所有公共服务用气（如泵、电动机起动器、促动隔离阀）而能够监测足够长的时间，那么安装一套计量仪表会更加精确。

EPA 经验交流材料（*天然气工业中减少气动装置排放甲烷的方案*）提供了各种各样的目前在用气动装置的名称、型号和耗气量信息。同样还提供了制造商信息和已有的实际现场测量数据（见该报告的附录部分）。为了简化本文分析中天然气节省量的计算过程，我们可以借鉴前面的经验法则来估计天然气节省量。表 4 中，中等规模生产厂的天然气节省量，包括在 35 个气动控制器中使用的天然气量加上偶尔在压缩机马达启动器和小型气动化学泵和输送泵中使用的天然气量，保守估计为每分钟 35 立方英尺。（注意：取代这些天然气的使用会直接节省天然气排放。）气动工具或喷砂处理不使用天然气，所以为这些工作项目提供的额外的压缩空气并不会降低甲烷排放量。假设年均 10 立方英尺/分钟的天然气用于天然气驱动的非仪表设备，那么天然气的节省量将为 45 立方英尺/分钟。如表 10 所示，这等于每年节省 23 652 千立方英尺的天然气，每年节省 71 000 美元的费用。

表 10 计算天然气节省量

已知：
气动仪表的天然气使用量=35 立方英尺/分 其他非仪表的天然气使用量=10 立方英尺/分
计算节省天然气的价值：
节省的天然气体积=仪器使用+其他使用=35 立方英尺/分+10 立方英尺/分=45 立方英尺/分 每年节省的天然气体积=45 立方英尺/分×525 600 分/年/1 000=23 652 千立方英尺/年 每年节省的天然气的价值=体积×3 美元/千立方英尺=23 652 千立方英尺/年×3 美元/千立方英尺=71 000 美元/年

第 5 步：评价经济效果。利用简单的成本－效益分析方法可评价仪表风系统取代天然气气动控制系统的经济效果。

表 11 给出了一个中等规模生产厂的成本－效益分析结果。通过列出表 8 和表 9 中的费用大小和时限（圆括弧表示）以及表 10 中的收益，分析了 5 年期内的现金流情况。账目中考虑了与压缩机和空气干燥器相关的年度维护费用（见表 5 和表 7）以及压缩机每 5 年一次的大修费用（见表 5）。净现值（NPV）等于收益减去 5 年期内应计费用和每年 10%的折扣。内部收益率（IRR）反映的是净现值等于零时的折现率。

第 6 步：制定实施计划。确定了转换成仪表风系统的可行性和经济效果之后，为实施所要求的系统转换工作应制定一个系统的计划。该计划包括：在供气管线上安装气体计量仪表，估计控制回路数量，确保一个不间断的电力供应以操作压缩机，更换陈旧的、过时的、高排量的控制器。建议一次性完成所有的系统更换工作，这样可以最大程度地减少劳务费用以及系统运行中断次数。计划可能还包括一个并行策略，连同转换成仪表风系统一起再安装一套低排量装置。使用仪表风系统的

经济节省量与用低排量气动装置减少甲烷排放量的经济节省量是相同的。每当更换特定的气动设备时，比如在替换机械系统和/或电力系统的情况下，正如公司技术经验交流材料（*天然气工业中减少气动装置排放甲烷的方案*）中所讨论的那样，现有气动设备应在相同的经济基础上进行更换。

表 11 仪表风系统转换的经济分析

	第 0 年	第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年
安装费用（美元）	（45 750）					
操作维护费用（美元）	0	（13 140）[1] （3 200）[2]	（13 140） （3 200）	（13 140） （3 200）	（13 140） （3 200）	（1 3140） （3 200）
检修费用（美元）	0	0	0	0	0	（4 800）[3]
总费用（美元）	（45 750）	（16 340）	（16 340）	（16 340）	（16 340）	（21 140）
天然气节省费用（美元）	0	71 000[4]	71 000	71 000	71 000	71 000
年度现金流（美元）	（45 750）	54 660	54 660	54 660	54 660	49 860
累计现金流（美元）	（45 750）	8 910	63 570	118 230	172 890	222 750
投资回收期（月）						10
内部收益率 IRR						177%
净现值 NPV[5]						158 454 美元

[1] 电费为 7.5 美分/千瓦小时
[2] 维护费用包括 1 200 美元的压缩机检修费用和 2 000 美元的空气干燥器薄膜更换费用
[3] 压缩机检修费用为 3 000 美元，每年上涨 10%
[4] 天然气价格按 3 美元/千立方英尺计算
[5] 净现值（NPV）基于 5 年期内 10%的折现率计算

5 合作伙伴的经验

几个 EPA 天然气 STAR 合作伙伴报道，他们把天然气气动控制系统转换成压缩仪表风系统看作是最大的甲烷减排源和巨大的费用节省源。表 12 概括了几个天然气 STAR 合作伙伴报道的业绩。

表 12 合作伙伴报道的经验

天然气 STAR 合作伙伴	项目描述	项目费用（美元）	每年减排量（千立方英尺/年）	每年节省费用（美元/年）[1]	投资回收期（月）[2]
Unocal	在路易斯安娜州 Vermillion Parish 南部的 Fresh WaterBayou 工厂安装一套空气压缩系统。	60 000	69 350	208 050	<4
Texaco[3]	在 South Louisiana 州的 10 个工厂中安装压缩空气系统来驱动气动装置。	40 000	23 000	69 000	7
Chevron[3]	转换成压缩空气的气动控制器，包括安装新设备。	173 000 超过两年	31 700	95 100	11
Exxon/Mobil[4]	在 Postle 二氧化碳驱单元的 3 个生产卫星气田和 1 个中央油罐区上安装仪表风系统。	55 000	19 163	57 489	12
Shell	在海上平台使用仪表风操作 4300 多个阀门上的设备。	不详	532 800	1 598 400	不详
Marathon	在 New Mexico 处理厂安装 15 套仪表风系统。	不详	每个工厂 120～38 000	360～114 000	不详

[1]天然气价格按 3 美元/千立方英尺计算。
[2]计算结果基于合作伙伴所报道的费用和气体节省量。
[3]Chevron－Texaco 公司 2001 年合并之前所收集的数据。
[4]Exxon/Mobil 公司 1999 年合并之前所收集的数据。

6 其他技术

在利用其他类型的控制器取代天然气驱动的气动设备和控制仪表的经验方面，大部分合作伙伴都提到安装压缩仪表风系统。合作伙伴使用的一些其他的天然气气动设备替代技术描述如下：

★ **液氮。**在使用液氮的系统中，洗气罐、空气压缩机和干燥器替换成装低温液氮的高压储气瓶。压力调节器允许膨胀的氮气以预期的压力进入仪表和控制管道系统。液氮瓶需要定期更换。液氮操作的设备需要处理低温液体，不但昂贵而且还有存在潜在的安全隐患。气体需求量大的液氮系统还需要一个蒸发器。

★ **机械控制和仪表系统。**机械仪表和控制设备在石油和天然气行业中有很长的应用历史。通常因无气动部件或电动部件而出名，这种系统结构简单并不需要电源。这些设备使用弹簧、杠杆、挡板、流道和手轮来进行操作。这种系统存在几个缺点，如应用受限、需要不断校正、灵敏性差、不能处理大的波动以及可能粘卡部件等。

★ **电力设备和电气设备。**由于技术进步和精度提高，电子仪表和控制设备的应用日益增加。这些设备的优点是不需要压缩装置为操作设备提供能量；仅使用一个 120 伏电源提供动力。与使用易燃天然气和低温液氮高压储气瓶相比，使用电子仪表和控制设备的另一个优点是危险程度低。这些设备的缺点是必须有不间断的电力供应，并且费用非常高。

尽管这些方案各有优点，但在替换天然气操作的气动控制设备中，使用仪表风而不是天然气的系统应用最广泛。值得注意的是，虽然使用仪表风比使用天然气更经济，但在工厂环境下维持一个稳定、可靠的干燥压缩空气供应是一笔很大的费用。因此，连同转换成仪表风系统（*参考技术经验交流材料：天然气工业中减少气动装置排放甲烷的方案*）一起再安装一套低排量装置，并制定一个维护计划来维持仪表和控制设备之间的协调工作，这样一个并行策略通常更经济。这些措施能显著地减少整个系统的仪表风消耗量，进而可以最大程度地减小压缩系统的规模以及减少工厂寿命期内的电能消耗。

7 经验总结

从天然气 STAR 合作伙伴那里获得的经验有：

★ 安装仪表风系统具有增加收入和显著地减少甲烷排放的潜力。

★ 仪表风系统可以延长系统设备的寿命周期，当使用天然气控制时在系统中会积累少量的硫和各种各样的酸性气体，因此使用仪表风系统可增加潜在的节省量并提高工作效率。

★ 没有可靠电力供应的偏远地区和工厂常常需要评价替代电源。当技术经济可行时，在偏远生产地区，相对于昂贵的电能而言，使用太阳能驱动的空气压缩机提供了一种既经济又环保的替代方案。使用天然气微型汽轮机就地发电是另一种替代方案。

★ 连同转换成仪表风系统一起再安装一套低排量装置，这样一个平行策略常常是经济的。

★ 现有基础设施仍可继续使用，因此不需要更换管线。然而，现有管道系统要清洗干净以除去里面积累的碎屑物质。

★ 旋转空气压缩机通常使用润滑油来进行润滑，必须进行过滤以保证薄膜干燥器的使用寿命和正常的工作性能。

★ 使用仪表风可以消除与在气动设备中使用天然气相关的安全隐患。

★ 在某些特殊情况下，氮气驱动系统可能是仪表风系统的一个替代方案，但是价格趋于昂贵，而且处理低温气体的安全性也是一个需要关注的问题。

★ 将天然气气动控制转换成仪表风控制所减少的甲烷排放量记录在天然气 STAR 计划的年度报告中。

8 参考文献

Adams, Mark. Pneumatic Instrument Bleed Reduction Strategy and Practical Application, Fisher Controls International, Inc.1995.

Beitler, C.M., Reif, D.L., Reuter, C.O. and James M. Evans. Control Devices Monitoring for Glycol Dehydrator Condensers: Testing and Modeling Approaches, Radian International LLC, Gas Research Institute, SPE 37879, 1997.

Cober, Bill. C&B Sales and Services, Inc. Personal contact.

Fisher, Kevin S., Reuter, Curtis, Lyon, Mel and Jorge Gamez. Glycol Dehydrator Emission Control Improved, Radian Corp., Public Service Co. of Colorado Denver, Gas Research Institute.

Frederick, James. Spirit Energy 76. Personal contact.

Games, J.P., Reuter, C.O. and C.M. Beitler, Field Testing Results for the R-BTEX Process for Controlling Glycol Dehydrator Emissions, Gas Research Institute, Radian Corporation, SPE 29742, 1995.

Gunning, Paul M. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Personal contact.

Gupta, Arun, Ansari, R. Rai and A.K. Sah. Reduction of Glycol Loss From Gas Dehydration Unit At Offshore Platform in Bombay Offshore—A Case Study, N.A.K.R. IOGPT, ONGC, India, SPPE 36225, 1996.

Reid, Laurance, S. Predicting the Capabilities of Glycol Dehydrators, SPE-AIME, Laurance Reid Associates.

Scalfana, David B., Case History Reducing Methane Emissions From High 17 Bleed Pneumatic Controllers Offshore, Chevron U.S.A. Production Co. SPE 37927, 1997.

Schievelbein, V.H., Hydrocarbon Recovery from Glycol Reboiler Vapor With Glycol-Cooled Condenser, Texaco, Inc. SPE 25949. 1993.

Schievelbein, Vernon H. Reducing Methane Emissions from Glycol Dehydrators, Texaco EPTD, SPE 37929, 1997.

Soules, J.R. and P.V. Tran. , Solar-Powered Air Compressor: An Economical and Ecological Power Source for Remote Locations，Otis Engineering Corp.SPE 25550, 1993.