

## USING PIPELINE PUMP-DOWN TECHNIQUES TO LOWER GAS LINE PRESSURE BEFORE MAINTENANCE

### 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

#### 1 内容提要

为确保在维修过程中有一个安全的工作环境，天然气管道系统的操作者通常要降低管线压力并从管道截面处放出气体。一般情况下，操作者会封堵住管线中尺寸尽可能最小的截面，并通过将气体排放到大气的方式来使管线降压。1998年，估计有90 亿立方英尺的甲烷气体在日常维护和管道检修过程中被排入大气。

维修前使用抽空技术来降低气体管线压力是减少甲烷排放量并产生巨大经济效益的一种有效途径。管线抽空技术包括单独使用在线压缩机或者依次使用在线压缩机和便携式压缩机两种方式。因为没有投资成本，并且可迅速回收成本，所以使用在线压缩机进行管线降压总是合理的。使用便携式压缩机增加气体回收量的经济有效性在很大程度上取决于现场具体因素和操作费用。

不管选定何种抽空技术，甲烷减排量总是与气体排放前后管线压力降低程度成正比。一般情况下，管线中90%的气体能被回收回来进行销售，而不是直接排放到大气中。对于体积较大、压力较高的气体管线，管道抽空技术是最经济的；对于已计划好的维护工作以及在有足够多管汇来连接便携式压缩机的情况下，管道抽空技术是最高效的。

许多天然气STAR 合作伙伴通过利用抽空技术获得了巨大的经济效益。1998 年，天然气STAR 计划气体输送合作伙伴使用抽空技术节省了11 亿立方英尺的天然气。节省的气体价格按3 美元/千立方英尺计算，则节省了300 多万美元。

措施	平均节省气体体积 (千立方英尺/年)	平均节省气体价值 (美元/年)	平均装置费用 (美元)	平均投资回收期(年)
维修前抽空气体管线	200 000 <sup>1</sup>	600 000	75 000	<1 <sup>2</sup>

<sup>1</sup>数据以天然气STAR 合作伙伴报道的经验为基础，该值变化很大。影响节省气体体积和装置费用的因素包括管线长度和压力、压缩机类型以及场所或抽空数量。数据包括所有在线和便携式压缩机报道结果。

<sup>2</sup>因为没有投资成本，在线压缩机的投资回收期很短。



# 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

## 2 技术背景

天然气运输、分配、生产公司通过增压管线来输送甲烷气体和其他轻烃。由于管道内部和外部腐蚀、垫片和焊接漏失、缺陷材料损伤以及外部因素造成损害等，使管线在其使用寿命期内需要不断进行修复或维护。管线维修大体上分为四类：

- ★ 第1类：不涉及完全中断设备运行的非紧急维修。
- ★ 第2类：需要完全中断设备运行的非紧急维修。
- ★ 第3类：需要完全中断设备运行的紧急维修。
- ★ 第4类：与现有管线并排铺设新管线并需要中断设备运行的大规模工程。

为确保有一个安全的工作环境，管线修理与维护活动通常需要降低管线压力来排出管线受影响部分的气体。一种减压方法是封堵受影响的管段并将该段内的气体排放到大气中。或者，操作者可以在气体排放之前使用抽空技术来降低气体管线的压力。抽空技术是一种可取的变通方法，因为该技术可以获得更多的气体用于销售并减少甲烷排放量。

在实施管线抽空技术时，操作者可以使用两种类型的压缩机来降低管线压力：在线压缩机和便携式压缩机。根据场地情况，操作者可以单独使用在线压缩机或者将在线压缩机和便携式压缩机一起使用。

- ★ 使用在线压缩机在其压缩比界限内降低管线压力。一般情况下，在线压缩机压缩比可达到2：1。通过封堵目标管线的上游阀门，同时继续运行下游压缩机，管线压力大约可以降低至工作管线压力的50%。然后再关闭压缩机并完全封堵管线段。管线压力降至一半通常可以足够安全地在损坏管线上安装套筒。这种类型的管线抽空技术仅在与安全管理政策保持一致的情况下才能使用。
- ★ 使用便携式压缩机来进一步降低管线压力。操作者也可以考虑使用便携式压缩机来获得超过在线压缩机所能提供的更大的管线压降。便携式压缩机可达到5：1的压缩比。当与在线压缩机联合使用时，便携式压缩机可以在不向大气中排放气体的情况下将原始管线压力减小90%。只有当下游截流阀被用管线完全地汇集起来时才可以安全地使用便携式压缩机。此外，使用便携式压缩机时必须严格遵守安全政策。

尽管便携式压缩机可以额外回收40%的原始管线气体用于销售，但它最适合在规划的维护工作过程中使用，比如第1类和第2类修理。这是因为在紧急事件中，及时并经济有效地租用或租借设备、移动设备就位并对管线进行加压是比较困难的。当多个地方的管线作为单个工程或者作为一项系列维修工程被停工进行修复时，便携式压缩机被证明是更简单易行的方法。

# 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

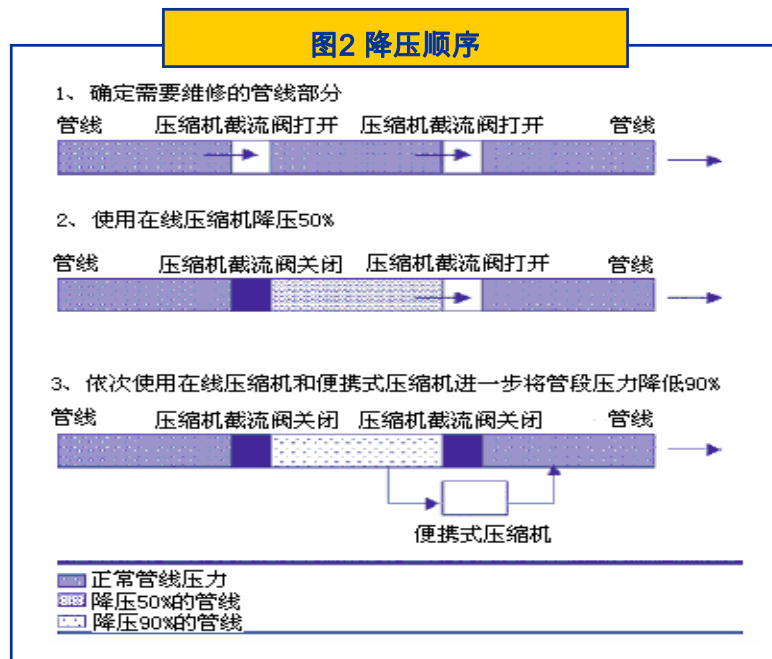
表1 总结了不同管线修理类型所适合采用何种抽空技术的情况。图2 说明了降低管线压力的基本顺序。

维修类别	抽空技术	应用描述
第1类 第2类	在线和便携式	这些技术可被广泛地应用于第1类和第2类维修，因为这类维修主要用于非紧急情况 and 规划好的维护。
第3类	仅适用在线	第3类维修主要用于要将管线重新投入运行而又没有时间移动便携式压缩机就位的非常紧急情况下的紧急维修
第4类	仅适用在线	第4类维修项目可能非常庞大，要并排现有管线铺设新管线。在新管线启动期间存在从旧管线中回收气体的机会，但是因为工程规模的原因必须非常仔细地进行协调。

## 3 经济和环境效益

在进行管线维护和修理活动前，通过在管线下游使用在线压缩机和便携式压缩机来降低气体管线压力，油气生产公司能实现巨大的环境和经济效益。潜在的节省包括：

- ★ 回收并销售本应被排放到大气中的天然气。在修复生产管线这种情况下，气流中可能还包括一些有价值的重烃。
- ★ 减少甲烷排放量。
- ★ 减少有害气味和噪声。
- ★ 消除或减少危险性空气污染物（HAP）排放量，主要包括苯、甲苯、乙苯和二甲苯（BTEX）。



# 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

## 4 决策步骤

### 评价使用在线式压缩机和便携式压缩机的七个步骤：

- (1) 估计在线压缩机可以回收的气体量及其价值。
- (2) 验证使用便携式压缩机的技术可行性。
- (3) 决定用于项目的尺寸合适的便携式压缩机。
- (4) 研究购买或租赁便携式压缩机的可行性和费用。
- (5) 估计与使用便携式压缩机相关的运行费用。
- (6) 计算便携式压缩机回收的气体体积和价值。
- (7) 评估依次使用在线压缩机和便携式压缩机的经济价值。

当气体管线需要维护和修理时，油气生产公司可以：

- ★ 将管线损坏段的气体直接排放到大气中。
- ★ 尽可能多的回收管线气体。

**第1步：估计在线压缩机可以回收的气体量及其价值。**回收的气体量及其价值取决于下游在线压缩机的压缩比，操作者在花费很少或者不花费的情况下可回收管段中50%的气体。表3 提供了一个计算方法，操作者利用这个方法可以确定出管段内总的气体量以及使用在线压缩机能回收的气体量及其价值。

表3 使用在线压缩机的气体节省量

已知：

L=两个截流阀之间的管线长度（英里）

I=管线内径（英尺）

P=管线操作压力（表压磅/平方英寸，psig）

Ri=在线压缩机压缩比

(1) 计算：

M= 管线中的气体量  $M=L \times (5280 \text{ 英尺/英里}) \times (\pi \times I^2/4) \times (P/14.65 \text{ 表压磅/平方英寸}) \times (1 \text{ 千立方英尺}/1000 \text{ 立方英尺})$

(2) 计算： $N_i$  =使用在线压缩机可以回收的气体

$N_i=M-(M/R_i)$

(3) 计算：

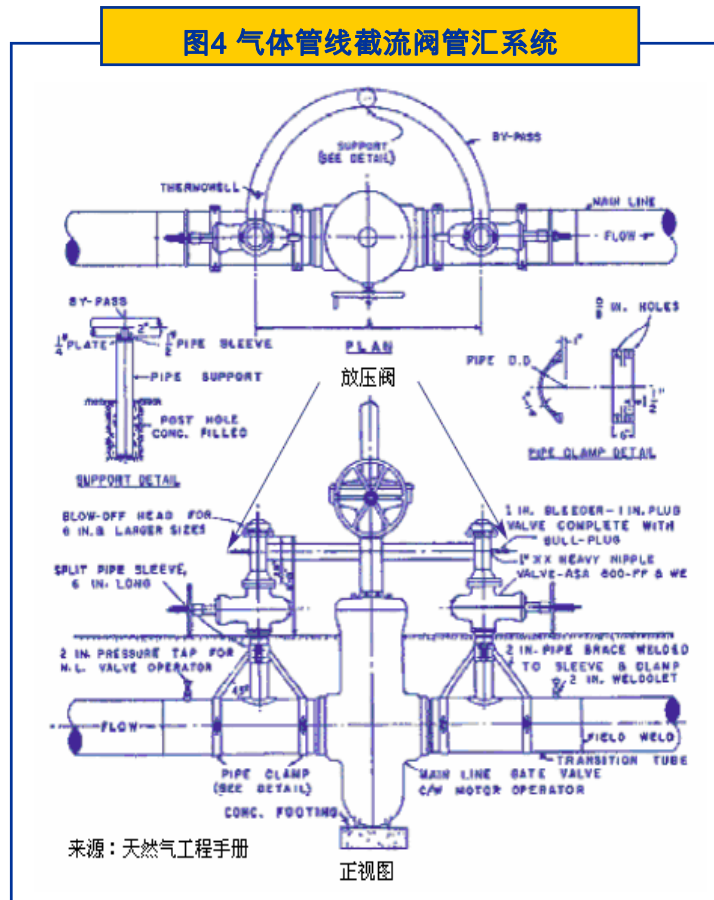
$V_i$  =使用在线压缩机回收的气体价值

$V_i=N_i \times 3 \text{ 美元/千立方英尺}$

## 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

**第2步：验证使用便携式压缩机的技术可行性。**计算出在线压缩机可回收的管线气体体积后，操作者应该确定是否存在使用便携式压缩机的能力。

便携式压缩机通过将高达40%的剩余原始气体移到截流阀加压端，能进一步降低管线压力。然而，只有当压缩机能真正地连接到管线上时才有可能使用便携式压缩机。图4给出了一个典型的气体管线管汇。在最低限度上，正确的便携式压缩机连接方法应在干线截流阀上游和下游各安装一个放压阀。放压阀的最小尺寸取决于便携式压缩机的尺寸。来自便携式压缩机租赁或生产公司的技术代表能够明确说明具体设备所需的管汇要求。



**第3步：决定用于项目的尺寸合适的便携式压缩机。**选择尺寸合适的便携式压缩机最好是在租赁公司或制造商的技术代表的帮助下进行，这些技术代表能给业主推荐满足工程要求（例如，气体量、排放压力要求、进度）的便携式压缩机。

**第4步：研究购买或租赁便携式压缩机的可行性和费用。**考虑采用便携式压缩机的公司通常面临着是租借设备还是购买设备的问题。用于租借的便携式气体压缩机的数量是有限的，租赁公司一般更喜欢长期租借。如果规划连续使用便携式压缩机来抽空管线，则公司也许想考虑购买便携式气体压缩机。即使这样，可行性和内部费用仍然是重点考虑的问题。表5给出了几种操作方案的费用范围。

# 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

**表5 购买和租借便携式压缩机的费用范围<sup>1</sup>**

1000psig 一大流量		600psig 一大流量		300psig 一大流量	
购买	租借	购买	租借	购买	租借
200 ~ 500 万美元	6 ~ 15 万美元/月	80 ~ 120 万美元	2.4 ~ 3.6 万美元/月	40 ~ 60 万美元	1.2 ~ 1.8 万美元/月

<sup>1</sup>购买费用不包括运输费用或安装费用，租借费用为购买费用的3%。

- ★ **与购买相关的其他费用。**除购买价格外，其他开支包括税金和管理费用、安装费用以及运输费用。安装费用通常由安装场地决定。供货商指出，小型压缩机（如低于100马力），的费用低则3 000 美元、高则15000 美元；大型压缩机（如大于2 000 马力）的费用在15 000 ~ 60 000 美元之间。运输费用同样由安装场地决定，费用范围小型设备在6 000 ~ 10 000 美元之间，大型设备在20 000 ~ 30 000 美元之间。在计算压缩机的总的购买费用和计算压缩机的年均费用时，所有这些费用因素都应包括在压缩机的总的购买费用中。供货商表示，在正常维护保养条件下，压缩机的使用寿命为15 ~ 20 年。
- ★ **与租赁相关的其他费用。**租借的压缩机同样有类似的安装费用和运输费用。租借价格通常是按月计算。供货商指出，压缩机月租费用大约为购买价格的3%。另外一个供货商提供了基于压缩机马力的租赁价格。该价格从大型压缩机每马力每月10 美元到小型压缩机每马力每月15 美元不等。

为了使投资效益达到最大化，要求仔细协调规划的维修活动以降低压缩机的搬迁费用。这种协调对于在尺寸较小、压力较低的管线上进行的维修工作来讲尤其重要，因为项目利润随着潜在回收气体体积的减少而逐渐缩减。

**第5步：估计与使用便携式压缩机相关的运行费用。**运行费用包括燃料/能源费用、维修费用和人工费用。天然气是运行压缩机最常使用的燃料。供货商指出，燃料利用率在7 000 ~ 8 400Btu/小时/马力之间。维护费用在4 ~ 9 美元/月/马力之间，这取决于压缩机大小。在大多数情况下，维护费用包括在租赁价格中。

**第6步：计算便携式压缩机回收的气体体积和价值。**利用便携式压缩机可回收的气体体积是残留在被维修管段中的气体体积的函数。因为在线压缩机已经减少了气体体积，所以便携式压缩机的工作对象为体积已减少的气体。

气体回收率由压缩比控制。便携式压缩机回收的气体体积等于管路段就地气体体积减去其除以压缩比后的气体体积。使用便携式压缩机回收的气体的总价值等于气体体积（千立方英尺）乘以气体价格（美元/千立方英尺）。计算过程见表6。

## 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

表6 计算使用便携式压缩机的气体节省量

已知：

M=可回收的原始气体量（千立方英尺）

N<sub>i</sub>=使用在线压缩机回收的气体量（千立方英尺）

R<sub>p</sub>=便携式压缩机的压缩比

V<sub>i</sub>=在线压缩机回收的气体价值（美元）

**(1) 计算：** N<sub>p</sub>=使用便携式压缩机回收的气体体积

$$N_p = N_i - (N_i / R_p)$$

**(2) 计算：**

V<sub>g</sub>=使用便携式压缩机回收的气体价值

$$V_g = N_p \times 3 \text{ 美元/千立方英尺}$$

**第7步：**评估依次使用在线压缩机和便携式压缩机的经济价值。从使用设备回收的气体价值中减去各种费用（例如操作费用、租赁费用或年均费用）就能确定出从维修管段中回收的气体的价值。操作者通过规划和实施多个连续项目能有效地减少使用便携式压缩机的费用。在线压缩机和便携式压缩机回收气体的总价值是两项之和。总的经济评价包括减去这个评价过程的费用。表7给出了这个评价过程。

## 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

表7 计算依次使用在线压缩机和便携式压缩机的总的经济效益

已知：

$V_i$ =使用在线压缩机回收的气体价值 (美元)

$V_g$ =使用便携式压缩机回收的气体价值 (美元)

$V_{cf}$ =燃料费用, 见第5步

$V_{cl}$ =人工费用  $V_{cm}$ =维护费用, 见第5步

$V_{ci}$ =安装成本, 见第4步

$V_{cs}$ =运输成本, 见第4步

$V_{cp}$ =压缩机购买费用, 见第4步

$V_{ct}$ =税收和管理费用

$CR$ =成本回收因子 ( $CR=[I(1+I)^n]/[(1+I)^n-1]$ )

$I$ =利率  $N$ =合同期 (租借) 或使用寿命期 (购买) 内年数

(1) 计算： $V_{cr}$ =压缩机合同期内回收的投资成本

$$V_{cr} = (V_{ci} + V_{cs} + V_{cp} + V_{ct}) CR$$

(2) 计算： $V_c$ =与便携式压缩机相关的总费用

$$V_c = V_{cf} + V_{cl} + V_{cm} + V_{cr}$$

(3) 计算： $V_p$ =便携式压缩机回收气体的净价值

$V_p$ =便携式压缩机回收气体的净价值

$V_p$ =便携式压缩机回收气体的价值-操作费用 (美元)

$$V_p = V_g - V_c$$

(4) 计算： $V_t$ =回收气体的总价值

$V_t$ =在线和便携式压缩机回收气体的总价值

$V_t$ =在线压缩机回收气体的总价值+便携式压缩机回收气体的净价值

$$V_t = V_i + V_p$$

### 5 气体回收方案案例

#### 使用便携式压缩机的案

例某公司外径为30英寸(内径为28.5英寸)的管线,运行压力为60 psig,维修前需要在10英里长度范围内放空。下游在线往复式压缩机的压缩比为2:1,能安全地用来降低管线压力。有一个在1000马力条件下工作的有效压缩比为8:1的租赁的便携式压缩机,每月费用为24 000美元(包括维护费用),该压缩机能通过管汇连接到其中的截流阀系统上。便携式压缩机每小时大约可移走416千立方英尺的气体,消耗热量7 000Btu/小时/马力。维护人员可以在不额外花费公司费用的情况下安装和操作压缩机。将便携式压缩机从租赁公司运到用户手中的运输费用总共为15 000美元。平均每个月要进行4次放空和维护作业。便携式压缩机将租赁12个月。

# 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

为了确定与同时使用在线压缩机和便携式压缩机相关的经济效益，操作者使用如下步骤来计算回收气体的净价值。首先，操作者计算可回收的气体总体积。

**表8 可回收的气体总体积**

$$\begin{aligned} & 10 \text{ 英里范围内可回收的气体总体积：} \\ & = 10 \text{ 英里} \times 5 \text{ 280英尺/英里} \times (\pi \times (2.375 \text{英尺}) \div 4) \times \\ & \quad ((600 \text{ 磅/平方英寸} + 14.65) \div 14.65 \text{磅/平方英寸}) \times 1 \text{千} \\ & \quad \text{立方英尺} / 1 \text{ 000立方英尺} = 9 \text{ 814千立方英尺} \end{aligned}$$

接着操作者计算使用在线压缩机回收的气体体积和价值

**表9 使用在线压缩机的净节省情况**

$$\begin{aligned} & \text{使用在线压缩机每次操作可回收的气体体积：} \\ & = 9 \text{ 814 千立方英尺} - (9 \text{ 814千立方英尺} \div 2.0 \text{在线压缩机压缩比}) \\ & = 4 \text{ 907 千立方英尺 (使用在线压缩机每次操作可回收的气体体积)} \\ & \text{使用在线压缩机每次操作可回收的气体价值} \\ & = 4 \text{ 907 千立方英尺} \times 3 \text{美元/千立方英尺} = 14 \text{ 721美元/一次操作} \\ & \text{假设每月操作4次所回收气体的年价值} \\ & = 14 \text{ 721 美元} \times 4 \text{次/月} \times 12 \text{月} = 706 \text{ 608 美元} \end{aligned}$$

下一步，操作者计算使用便携式压缩机可回收的气体体积和总价值。

**表10 与使用便携式压缩机相关的总节省情况**

$$\begin{aligned} & \text{使用便携式压缩机可回收的气体体积} \\ & = \text{可回收的总的气体量} - \text{在线压缩机回收的气体量} \\ & = 9 \text{ 814 千立方英尺} - 4 \text{ 907千立方英尺} = 4 \text{ 907千立方英尺 (可供便携式压缩机回收的气体)} \\ & \text{使用便携式压缩机每次抽空可回收气体的总价值} \\ & = \text{使用便携式压缩机可回收的气体体积} \times \text{气体价格} \\ & = [4 \text{ 907 千立方英尺} - (4 \text{ 907千立方英尺} \div 8 \text{便携式压缩机压缩比})] \times 3 \text{美元/千立方英尺} = 12 \\ & \quad 881 \text{美元} \\ & \text{假设每月平均抽空4次，12个月内可回收气体的总价值} \\ & = 12 \text{ 881 美元} \times 4 \times 12 = 618 \text{ 288美元} \end{aligned}$$

操作者还需要考虑与便携式压缩机相关的燃料费用、维护费用和运输费用。

从节省费用中减去使用便携式压缩机的费用，得到与使用便携式压缩机相关的净节省价值。

将在线压缩机和便携式压缩机的净节省价值相加就得到该项目总的净节省价值。

## 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

**表11 与使用便携式压缩机相关的费用**

为了计算燃料费用，操作者首先需要确定压缩机将运行多少小时，基于确定出来的压缩机运行小时数，10英里范围将使用的燃料量为：

**为移走气体便携式压缩机需要运行的时间：**

=使用便携式压缩机可回收的气体量÷压缩速率

= ( 4 907 千立方英尺 - ( 4 907千立方英尺 8 压缩比 ) ) ÷416 千立方英尺/时=10小时

**使用燃料，假设天然气的热容为1,020Btu/ 标准立方英尺**

=7 000Btu/马力/小时×1 000马力×10小时÷1 020Btu/标准立方英尺÷1 000标准立方英尺/千立方英尺

=69 千立方英尺 ( 10英里范围 )

**假设每月4次放空10英里长度范围的管段，其燃料费用**

=3 美元/千立方英尺×69千立方英尺×4=828美元/月

**租借和维修费用**

=24 000 美元/月

**运输费用**

=15 000 美元

**使用便携式压缩机在12个月内的总费用**

=燃料费用+租借和维修费用+运输费用

=12× ( 828 美元+24 000美元 ) +15 000美元=312 936美元

**表12 与使用便携式压缩机相关的净节省价值**

使用便携式压缩机在12个月租赁时间内回收气体的总的净价值 =618 288美元-312 936美元=305 352美元

**表13 整个回收方案的净节省价值**

整个方案 ( 在线+便携式 ) 回收气体的净价值 =706 608美元+305 352美元=1 011 960美元

### 案例研究：一个合作伙伴的经历

1998年，南方天然气公司通过使用抽空压缩机抽气节省了32 550千立方英尺的气体。该公司在某个站上每年使用3次压缩机，估计总费用为52 600美元。气体价格按2.86美元/千立方英尺计算，公司估计从回收产品中节省了接近93 200美元。从节省的气体价值中减去抽空费用，公司净节省40 600美元。在这个例子中，使用便携式压缩机的预计投资回收期大约为16个月。

# 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

## 6 经验总结

在规划的管线维护活动过程中，使用抽空技术来降低管线压力可以使公司经济地回收50%~90%的被排放的天然气。合作伙伴提供了使用在线和便携式压缩机回收气体所获得的经验：

- ★ 总是将在线压缩机管线抽空作为规划的维护计划的一部分。即使在不使用便携式压缩机时，在线压缩机也能减少排放量。
- ★ 将在线压缩机抽空纳入紧急措施预案中。尽管在紧急维修过程中（如修复泄漏管线）使用在线压缩机比在规划的维护计划中使用在线压缩机要困难，但紧急事件中抽空也会回收大量气体，并节省大量费用支出。
- ★ 合作伙伴可以通过集中使用便携式压缩机、在需要修复的多个管段上轮流进行维修或升级等方式使气体回收和费用节省达到最大。当规划作业时需检查压缩机的可利用性和尺寸。便携式压缩机仅局限在孤立的地方使用。
- ★ 至少要用管汇将两个干线截流阀中的其中之一连接到便携式压缩机上。
- ★ 如果可能，在实施规划的维护作业之前应计算回收天然气的经济价值，这样能够确保维护活动的经济有效性。
- ★ 将通过这种方法实现的甲烷减排量记录在天然气STAR项目年度报告中。

## 7 参考文献

American Gas Association. Gas Engineers Handbook, 1965.

Ariel Gas Compressors, personal contact.

Crane Co. Flow of Fluids. Technical Paper No. 410, 1974.

Daniels, John. JW Operating, personal contact.

Field Gas Compressor Association, personal contact.

Gunning, Paul M. Natural Gas STAR Program, personal contact.

Henderson, Carolyn. Natural Gas STAR Program, personal contact.

Ivey, Bobby. Universal Compression Incorporated, personal contact. Knox Western Gas Compressors, personal contact.

Natural Gas Processors Suppliers Association. Engineering Data Book, 1966.

Perry, Robert H. Chemical Engineers' Handbook, Fifth Edition. McGraw-Hill Book Company, 1973.

Society of Petroleum Engineers. Petroleum Engineering Handbook, 1987.

Tingley, Kevin, Natural Gas STAR Program, personal contact.

# 维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力

1EPA

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

EPAxxx  
xxx 2006