

REPLACING GAS-ASSISTED GLYCOL PUMPS WITH ELECTRIC PUMPS

用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

1 内容提要

在天然气生产部门，用于气体脱水的乙二醇脱水器大约有38 000 台。大多数乙二醇脱水系统使用三甘醇（TEG）作为吸收液，并依靠泵使TEG在脱水器中循环。作业者常使用两种类型的循环泵：气体辅助的乙二醇泵（也称作“能量交换泵”）和电动泵。

在没有电力供应的偏远地区，气体辅助泵是最普遍的循环泵。其本质上是一种气动泵，它利用夹带在离开气体接触器的富（湿）TEG 中的高压天然气的能量进行工作。补充高压湿气对于维持设备处于有利的受力状态是有必要的，因而有更多的富含甲烷的气体被带入TEG 再生器中。在再生器中，气体和从富TEG 中蒸发出来的水一起被排放出去。这些泵的机械结构将高压的湿TEG 与低压的干TEG 相向布置，中间仅用橡胶密封隔开。密封磨损会导致贫（干）TEG被污染，使其在气体脱水时效率降低、需要更高的乙二醇循环速度。通常每处1 百万立方英尺气体，大约要排放1 千立方英尺的甲烷气体。

使用电动泵替换气体辅助泵可增加系统效率并显著地减少甲烷排放量。例如，一个处理能力为1 千万立方英尺/天的脱水器，每年可节省气体3 000 千立方英尺，价值9 000 美元。

措施	节省的气体体积 (千立方英尺/年)	节省气体的价值 (美元/年)	实施费用 (美元)	投资回收期
使用电动泵替换乙二醇脱水器中的气体辅助泵	每个脱水器系统为360 ~ 36 000 ¹	1 080 ~ 108 000 ²	2 100 ~ 11 700	小于1 个月 到几年

¹ 取决于TEG 循环速度以及入口气体的温度和压力，如天然气STAR 合作伙伴所报道。

² 气体价格按3 美元/千立方英尺计算。



用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

2 技术背景

大多数天然气生产商使用三甘醇 (TEG) 从天然气流中除去水分以达到管线外输的质量标准。利用一台由电动机或由气体膨胀式活塞或涡轮机提供动力的泵，将TEG 循环通过脱水系统。后者称作“气体辅助”泵或“能量交换”泵。在某些操作中，气体辅助泵和电动泵系统也可结合使用。

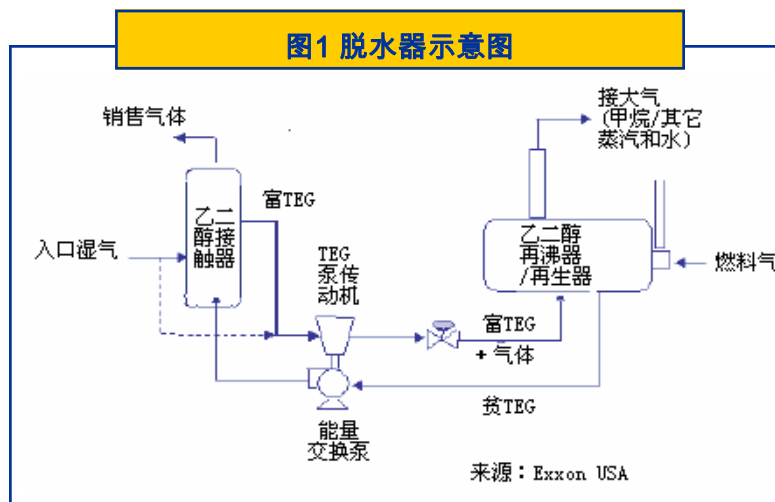
气体脱水过程包括以下步骤：

- ★ 湿天然气被送入乙二醇接触器，在接触器中形成气泡，逆流通过位于接触器盘托上的“贫TEG”（未吸附水的三甘醇）。
- ★ 贫TEG 吸收水分和部分天然气流中的甲烷气——变成“富TEG”。
- ★ 干气进入销售管线。
- ★ 在大气压下工作的再沸器通过加热乙二醇以除掉水分、吸收的甲烷和其它杂质等再生富TEG，这些除掉的物质将被排放到大气中。
- ★ 再生的（贫）TEG被泵增压到接触塔压力并从接触塔顶部注入接触塔内。

图1 是一个典型的乙二醇脱水器系统图。在乙二醇再沸器/再生器上的大气通风管是主要的甲烷排放源。通过减少绕流补充到富TEG 中（在再沸器中被再生）的湿气数量，可以减少甲烷排放量。减少富TEG气流中甲烷含量的方法有三种：

- ★ 减少TEG 循环速度。
- ★ 在脱水回路中安装闪蒸储罐分离器。
- ★ 用电动泵替换气体辅助泵。

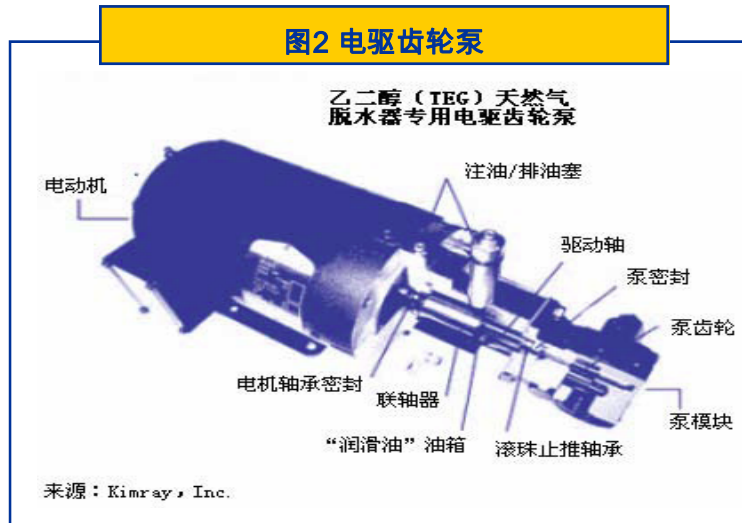
用电动泵替换气体辅助泵是本文的主题。另一个甲烷减排方案将见EPA 技术交流材料“在乙二醇脱水器中优化乙二醇循环速度和安装闪蒸储罐分离器”。



用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

2.1 气体辅助泵

脱水器系统中最普遍的循环泵是气体辅助的乙二醇泵。图2所示是一种常用的活塞型的循环泵。这些机械泵是专门设计的，它利用高压下的富TEG和天然气来提供动力。就泵的结构而言，在将夹带富TEG的气动气体传递到再沸器的过程中，辅助乙二醇泵将增加脱水器系统中的甲烷排放量。泵的工作过程描述如下：



- ★ 来自接触塔的夹带富TEG的高压天然气（加上补充的湿的高压气体）从接触塔压力（200~800psi）膨胀到再沸器压力（0psi），推动主气缸活塞的驱动一侧运动。
- ★ 活塞的另一侧推动气缸向外移动，将充满气缸的低压贫TEG推入高压接触塔中。
- ★ 驱动活塞连接到一个镜象活塞上，活塞在将低压富TEG排挤到再生器的同时又从再生器中吸入低压贫TEG。
- ★ 在冲程结束时，滑阀切换导向活塞的位置，改变高压富TEG的流动方向进入相反的驱动气缸中。在贫TEG气缸吸入口和排出口上的单流阀可防止流体发生回流。
- ★ 活塞接着从另一个方向被推动返回起始位置。在一个活塞缸中，夹带在富TEG中的气体发生膨胀，同时将贫TEG加压挤入接触塔中；在另一个活塞缸中，将当前处于低压状态下的富TEG排到再生器中，同时将来自再生器的低压贫TEG充填在活塞的另一端。
- ★ 驱动一侧中含低压天然气的富TEG混合物经过再沸器，在再沸器中分离出夹带的气体并蒸发出含TEG的溶液中的水分。
- ★ 水蒸气、分离出的甲烷气体混合物和其它气态烃杂质（VOCs和HAPs）被排入大气中。
- ★ 在每个冲程末，切换流动路径，高压的富TEG驱动活塞回到起始位置。

用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

这种类型的泵都有固有的设计要求，需要添加额外的高压气体以补充来自接触器的吸收在富TEG中的气体（大约是一体积TEG 补充两体积的高压气体），这样可为驱动一侧的设备提供有利的受力状态。这意味着通过气体辅助泵流入再生器的气体体积大约是电机驱动泵的3 倍。此外，气体辅助泵将高压湿TEG 和低压干TEG 相向布置在四个位置上，通过两个活塞上的密封圈和中心活塞连接杆上的“O 型密封圈”将各部分分隔开来。当活塞密封圈出现磨损、划槽或O 型密封圈出现磨损时，富TEG 发生渗漏，从而污染贫TEG。这种污染将降低脱水器的吸水能力以及系统效率。最终，当污染足够大时，气体便不能达到管线外输标准（一般为4~7 磅水/百万立方英尺气体）。

当有0.5%体积的贫TEG 被污染时，为了维持相同的除水效率，就需要将循环速度提高一倍。在某些情况下，当脱水器效率降低时，操作人员能够通过加快循环TEG 来提高脱水效果，但其结果会导致更大的气体排放量。

2.2 电动泵

与气体辅助泵相反，电机驱动的泵很少有导致气体排放的固有设计，也没有富TEG 污染贫TEG的通道。电动泵仅能转移贫TEG，富TEG 通过压降作用直接流入再生器，并且仅含溶解的甲烷气和烃类。图2给出了一个电动乙二醇泵系统的例子。

3 经济和环境效益

使用电动泵替换气体辅助泵可带来巨大的经济和环境效益，包括：

- ★ **通过减少气体损失获得金融投资回报。**使用电动乙二醇泵能减少三分之一甚至更多的甲烷排放量。所有湿气留在系统中，待脱水后作为产品销售。在大多数情况下，项目实施费用在一年之内就能收回。
- ★ **提高运行效率。**气体辅助乙二醇泵中磨损的O 型密封圈会导致脱水器中的贫TEG 被污染，降低系统效率，需要提高乙二醇循环速度，从而加剧甲烷排放。电动泵消除了发生这类污染的潜在性，从而提高系统运行效率。
- ★ **降低维护费用。**替换气体辅助乙二醇泵通常会带来较低的年维护费用。当气体辅助泵的浮动活塞O 型密封圈开始泄漏时，必须进行更换，一般是3~6 个月更换一次。使用电动泵可消除这种更换需要。
- ★ **减少法规遵守成本。**使用电动泵可以降低为遵守联邦政府的有关危险性空气污染物（HAPs）的规定所需的费用。在电动泵提供动力的设备中，脱水器的HAP 排放量（包括挥发性有机化合物，如苯、甲苯、乙苯和二甲苯（BTEX））是非常低的。

4 决策步骤

可采用五个步骤来评价电动泵替换气体辅助乙二醇泵的可行性。各个步骤均需要利用现场数据来准确地反应现场的情况。

评价使用电动泵五个步骤：

- 第1步：确定是否有可用的电力资源。
- 第2步：确定电动泵的合理尺寸。
- 第3步：估计投资、运行和维护费用。
- 第4步：估计节省气体的数量和价值。
- 第5步：计算替换设备的净经济效益。

用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

第1步：确定是否有可用的电力资源。为电动泵提供动力的电力可以从当地电网购买，或者利用那些可能被火炬燃烧掉的矿场气或套管气就地发电来提供。如果已有可利用的电力资源或者可以比较经济地获得这些电力资源，则操作者可直接进入第2步。当没有可用的电力资源时，气体辅助乙二醇泵是唯一的选择方案。在仅有单相电源且购买电力成本高或者没有足够电力供给大功率电机使用的现场，可以考虑水力/电力组合泵。组合泵使用高压、湿乙二醇来驱动水力旋转齿轮电动机/泵；为了保持系统处于一个有利的受力状态，在气体辅助泵中绕过湿气的地方增加了一个小型单相电动机。在任何一种情况下，使用尺寸合理、维护良好、将循环速度维持在正常水平的效率高的循环泵能减少气体损失。

第2步：确定电动泵的合理尺寸。有一系列不同类型的电动泵可满足现场具体的操作要求。电动TEG泵可由交流电或直流电、单相或3相、60Hz或50Hz的电源驱动。它们提供变速或恒速选择。泵排量在10~10 000加仑/小时之间。

脱水器系统中正确的泵尺寸应基于系统的循环速度和工作压力来进行计算。表3说明了如何利用系统信息来计算电动泵所需的功率（制动马力或BHP）。

在表3所示的例子中，操作者需要功率至少为2.75马力的泵，进而可得到一个与此接近的、可用的尺寸（如，一个3.0马力泵）。

表3 确定泵尺寸

已知：

$Q = \text{循环速度 (加仑/分钟)} = 5 \text{加仑/分钟}$

$P = \text{压力 (磅/平方英寸 (表压))} = 800 \text{磅/平方英寸 (表压)}$

$E = \text{效率} = 0.85$ 计算：

$$\text{BHP} = (Q \times P / 1714) \times (1/E) = (5 \times 800 / 1714) \times (1/0.85)$$

$\text{BHP} = 2.75$

操作者可能希望获得一个比利用上述公式计算所得到的大一个尺寸的泵。较大的泵可提供较大的容量来提高乙二醇循环速度（如果需要的话）、适应含水较高的入口气，或者满足更严格的气体外输质量标准。同样也可采用变速电动泵。虽然较大的泵或变速泵运行起来需要较高的费用，但较大尺寸的泵为处理意外事件能提供更安全和灵活的措施保障。

第3步：估计投资、运行和维护费用。与电动泵有关的费用包括购买设备费用、安装费用、运行和维护费用。

(a) 投资和安装费用

电动泵的投资费用在1 100美元~10 000美元之间，这取决于设备的功率。表4给出了一系列常用于乙二醇脱水器的不同尺寸电动泵的投资费用。当评价电动泵的总体经济效益时，操作者同样还需考虑安装费用。安装费用约占设备投资费用的10%。将设备替换工作与计划的停工维护工作结合起来能减少安装费用。

用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

表4 电动泵的投资费用

泵电机大小 (马力)	0.25	0.50	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0	7.5	10
泵和电机费用 (美元)	1 100	1 150	1 200	1 260	1 300	1 370	1 425	2 930	3 085	3 205

来源：Kimray公司

(b) 运行和维护费用

电动泵的主要运行费用是给机组提供动力的电力费用。通常，运行电动泵所需要的总功率 (kW) 接近于电机马力。例如，运行一个3 马力的泵大约需要3kW 的功率。

2003 年，商业部门和工业部门购买电力的平均费用在0.046~0.075 美元/千瓦小时之间；现场发电的费用大约为0.02 美元/千瓦小时。假设电费约为0.06 美元/千瓦小时，则对于上述3 马力的电动泵来讲，购买电力的费用为每年1 600 美元 (3 千瓦 x 8 760 小时/年 x 0.06 美元/千瓦小时)，现场发电的费用大约为每年525 美元 (3 千瓦 x 8 760 小时/年 x 0.02 美元/千瓦小时)。

气体辅助乙二醇泵的年维护费用在200~400 美元之间。维护费用主要与更换内部密封圈和相关人工费用有关。通常情况下，这些设备3~6 个月更换一次。

电动泵通常是齿轮驱动的。它们没有往复式的泵部件，并不依靠弹性部件、滑块、活塞、单向阀或内部O 型密封圈进行工作。这些部件都很容易发生磨损、老化并需要不断更换。因此，电动泵的维护费用通常少于气体辅助乙二醇泵的维护费用。电动泵每年的人工费用、消耗品费用 (润滑和密封) 和检查费用大约为200 美元。

第4 步：估计节省气体的数量和价值。因为电动泵不排放甲烷，所以安装电动泵节省的气体排放量就等于被替换的气体辅助泵的排放量。避免排放的气体量乘以气体的市场价格就可确定出节省气体的总价值。注意：如果乙二醇脱水器设备有闪蒸储罐分离器，并且所有回收的气体都能得到充分利用，那么这时所节省的气体量未必能证明安装电动泵是合理的。

(a) 估计来自气体辅助泵的甲烷排放量

估算排放量包括两个步骤，首先计算设备运行条件下 (压力、温度、湿度规定) 的排放系数，然后用排放系数乘以产量系数 (每年处理的气体量) 即可估算出排放量。表5 给出了估计气体辅助泵的潜在甲烷排放量的计算公式以及用电动泵替换气体辅助泵的潜在甲烷节省量。

用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

表5 估计乙二醇脱水器的甲烷排放量

第1步：计算排放系数

已知：

EF=排放系数（标准立方英尺排放的天然气/百万立方英尺处理的气体）

PGU=泵内气体利用率（标准立方英尺排放的天然气/加仑TEG）¹

G=乙二醇与水比值（加仑TEG/磅除去水）²

WR=除水率（磅除去水/百万立方英尺处理的气体）

OC=过量循环比

计算：

$$EF = PGU \times G \times WR \times OC$$

第2步：计算总排放量

已知：

TE=总排放量

AF=产量系数（百万立方英尺年处理气）

计算：

$$TE = EF \times AF$$

¹ 计算方法和标准值见EPA的经验交流材料：优化乙二醇循环参数并在乙二醇脱水器上安装闪蒸储罐分离器

² 工业经验法则：气体辅助泵为3立方英尺/加仑，电动泵为1立方英尺/加仑；两者差值为2立方英尺/加仑。

³ 工业中接受的经验法则：3加仑TEG/磅水。

现场操作人员通常知道或者能够计算出泵内气体利用率以及乙二醇与水之比。为了确定需要除去的水量（WR），请参考附录A，该附录给出了一组经验推导曲线。利用气体入口温度和系统压力，读出压力曲线与温度线相交点对应的数值就能确定出饱和含水量。从含水量中减去4~7磅/百万立方英尺就能得到WR。4~7磅/百万立方英尺含水量界限是管线外输质量标准中规定的气流含水量。

估计过量循环比时，如果没有过量循环则取比值为1:1（OC=1），如果有过量循环则取比值为2.1:1（OC=2.1）。这些比值是基于GRI报道的10套现场设备的平均测量比值来确定的。以下给出了两个确定除水量（WR）、排放系数（EF）和总排放量（TE）的例子。基于两个不同的入口假设条件，各个例子都显示出一定范围的气体节省量。例1给出的是高压气流的例子，例2给出的是低压气流的例子。

用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

例1：高压气流

在这个例子中，脱水系统入口压力为800 psig、温度为94 °F 乙二醇与水之比为3 加仑TEG/磅除去水。利用附录A，读出800 psig 压力线与94°F温度线相交点的对应数值，估算出气流中饱和水含量。在本例中，含水量大约为60 磅/百万立方英尺。减去管线外输标准要求的7 磅/百万立方英尺，结果是必须从气流中除去并被三甘醇吸收的水量为53 磅/百万立方英尺。泵内气体利用率取为2 标准立方英尺天然气/加仑三甘醇。

将这些数据代入排放系数公式中，可以得到每处理1 百万立方英尺气体要排放318~668 标准立方英尺的气体量。假设脱水器每天处理10 百万立方英尺湿气，则每年可额外回收1160~2440 千立方英尺的气体。表6 总结了本例的计算过程。

表6例1：乙二醇脱水器（800psig 高压入口气）的甲烷排放量

其中：

EF=排放系数（标准立方英尺排放的天然气/百万立方英尺处理的气体）

PGU=泵内气体利用率（标准立方英尺排放的天然气/加仑TEG）

G=乙二醇与水比值（加仑TEG/磅除去水）

WR=除水率（磅除去水/百万立方英尺处理的气体）

OC=过量循环比

TE=总排放量

AF=产量系数（百万立方英尺/天处理气）

已知：

PGU=2 标准立方英尺排放的天然气/加仑TEG

G=3.0 加仑TEG/磅除去水

WR=53 磅除去水/百万立方英尺处理的气体

OC=1:1 ~ 2.1:1

AF=10 百万立方英尺/天处理气

计算：

$EF=PGU \times G \times WR \times OC$

$=2 \times 3.0 \times 53 \times (1 \sim 2.1)$

$=318 \sim 668$ 标准立方英尺/百万立方英尺

$TE=EF \times AF$

$=(318 \sim 668) \times 10$

$=(3180 \sim 6680)$ 标准立方英尺/天 $\times 365$ 天/年 $\div 1000$ 标准立方英尺/千立方英尺

$=1160 \sim 2440$ 千立方英尺/年

用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

例2：低压气流

系统入口压力为300psig、温度为94°F、乙二醇与水之比为3 加仑三甘醇/磅除去水。利用Smith工业曲线（附录A），含水量大约为130 磅/百万立方英尺。因此，必须从天然气流中除去并被TEG吸收123 磅/百万立方英尺的水才能满足管线外输标准。在本例中，泵电机功率为3 马力，泵内气体利用率为2.8 标准立方英尺排放的天然气/加仑TEG。利用公式，估计排放系数（EF）为1.03~2.17千立方英尺/百万立方英尺。假设脱水器每天处理10百万立方英尺的气体，则每年可额外回收3 760~7 921 千立方英尺的气体。表7 总结了本例的计算过程。

表7例2：乙二醇脱水器（300psig 低压入口气）的甲烷排放量

其中：

EF=排放系数（标准立方英尺排放的天然气/百万立方英尺处理的气体）

PGU=泵内气体利用率（标准立方英尺排放的天然气/加仑TEG）

G=乙二醇与水比值（加仑TEG/磅除去水）

WR=除水率（磅除去水/百万立方英尺处理的气体）

OC=过量循环比

TE=总排放量

AF=产量系数（百万立方英尺/天处理气）

已知：

PGU=2.8标准立方英尺排放的天然气/加仑TEG

G=3.0加仑TEG/磅除去水

WR=123 磅除去水/百万立方英尺处理的气体

OC=1:1 ~ 2.1:1

AF=10百万立方英尺/天处理气

计算：

$$EF=PGU \times G \times WR \times OC = 2.8 \times 3.0 \times 123 \times (1 \sim 2.1)$$
$$= 1\ 030 \sim 2\ 170 \text{ 标准立方英尺/百万立方英尺}$$
$$TE=EF \times AF = (1030 \sim 2\ 170) \times 10$$
$$= (10\ 300 \sim 21\ 700) \text{ 标准立方英尺/天} \times 365 \text{ 天/年} \div 1\ 000 \text{ 标准立方英尺/千立方英尺}$$
$$= 3\ 760 \sim 7\ 921 \text{ 千立方英尺/年}$$

用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

(b) 计算节省甲烷气的价值

要确定节省甲烷气的总价值，只需简单地用总的减排量乘以气体价格即可。假设气体价格按3美元/千立方英尺计算，上述的高压和低压例子每年都会产生巨大的经济效益。高压系统增加的气体销售额为3 480 ~ 7 320 美元/年，低压系统增加的气体销售额为11 280 ~ 23 760 美元/年。

表8 用电动泵替换气体辅助乙二醇泵的经济效益—低压入口气例子

每年节约的气体体积 (千立方英尺)	每年节约气体的价值 (美元) ¹	3.0 马力的电动泵成本 (美元) ²	每年的电力费用 (美元)	电动泵维修费用 (美元/年)	气体辅助泵维修费用 (美元/年)	投资回收期 (月)
3 760 ~ 7 921	11 280 ~ 23 763	1 853	1 576	200	400	2 ~ 4

¹ 气体价格按3 美元/千立方英尺计算。

² 包括投资成本和安装费用，本例中假设安装费用为投资成本的30%。

第5步：计算更换设备的净经济效益。

为了估计电动泵替换气体辅助乙二醇泵的净经济效益，只需将节省气体的价值与电动泵初始成本、电力费用和操作维护费用三项之和进行对比即可。

一般来讲，如果电力成本超过回收甲烷的价值与节省的运行维护费用之和，则替换气体辅助乙二醇泵就不能仅以成本费用为基础来确定其合理性。即使在这种情况下，诸如较低的交叉污染速度和环境效益（如减少VOC 和HAP 排放量）等之类的其他因素仍可能使更换电动泵在某些场所成为一种有吸引力的选择方案。

下表使用第4 步中的低压例子来说明购买电力的作业者可能获得的经济效益情况。

值得注意的是，大尺寸泵需要较大的前期投资，较高的电力费用可能会导致投资回收期较长。因此，正确地计算所需泵的大小并在最优速度下循环TEG是非常重要的。

合作伙伴报道的节约量

一个天然气STAR 计划合作伙伴报道，用电动泵替换4 台气体辅助乙二醇泵，平均每年回收甲烷15 000 千立方英尺。气体价格按3 美元/千立方英尺计算，则每年从销售这部分额外的产品中可获得45 000 美元的收入。

另外，作为察看更换设备的综合经济效益的一部分，作业者还应考虑更换设备的时机。使用年限较长的气体辅助乙二醇泵（在使用寿命末期）一般适宜作为更换成电动泵的候选对象。那些可能还未到达使用年限末期但由于污染程度增加而需要更频繁维护的气体辅助泵同样也适宜作为更换的候选对象。

用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

5 经验总结

安装电动泵来替换气体辅助乙二醇泵可带来巨大的环境和经济利益。天然气STAR 合作伙伴提供的经验如下：

- ★ 如果有可利用的电力资源，则电动泵通常能经济有效地替换气体辅助乙二醇泵。
- ★ 现有电动泵具备不同的容量和效率。鼓励操作者和不同的泵制造商一起配合工作以确定最合适的泵型号。
- ★ 在确定电动泵尺寸时，操作者可能希望获得比正常尺寸大一号的泵。这将允许提供更大的循环能力，如果含水量随油田进入开发后期或“油田出水”而增加时，这种选择证明是正确的。
- ★ 对于乙二醇泵，不管是气体辅助的还是电动的，仅代表了脱水器系统的一个部件。操作者应该将脱水过程作为一个整体来考虑，包括乙二醇组分、循环速度、接触器温度和压力、入口气组分、露点要求以及再沸器温度等。
- ★ 考虑用电动泵更换气体辅助泵的合作伙伴应该对其它减少脱水系统甲烷排放的机会进行综合评价。参见EPA 技术经验交流材料：在乙二醇脱水器中优化乙二醇循环速度和安装闪蒸储罐分离器。
- ★ 带有闪蒸储罐分离器的乙二醇脱水器未必就是更换气体辅助泵的最佳候选对象，因为大多数的多余气体已被回收并得到有效利用或再循环。
- ★ 将用电动泵更换气体辅助泵所带来的甲烷减排量包括在所提交的年度报告中（作为天然气STAR 计划的一部分）。

6 参考文献

American Petroleum Institute. Specifications for Glycol-Type Dehydration Units (Spec 12GDU). July 1993.

American Petroleum Institute. Glycol Dehydration. PROFIT Training Series, 1979.

Ballard, Don. How to Improve Glycol Dehydration. Coastal Chemical Company.

Collie, J., M. Hlavinka, and A. Ashworth. An Analysis of BTEX Emissions from Amine Sweetening and Glycol Dehydration Facilities. 1998 Laurance Reid Gas Conditioning Conference Proceedings, Norman, OK.

Garrett, Richard. Making Choices—A Look at Traditional and Alternative Glycol Pump Technology.

Gas Research Institute. Technical Reference Manual for GRI-GLYCalc TM Version 3.0 (GRI-96/0091).

Gas Research Institute and U.S. Environmental Protection Agency. Methane Emissions from Gas-Assisted Glycol Pumps. January 1996.

The Hanover Compressor Company. Personal Contact.

Kimray, Inc. Personal Contact.

Radian International LLC, “Methane Emissions from the Natural Gas Industry. Volume 15: Gas-Assisted Glycol Pumps” Draft Final report, Gas Research Institute and U.S. Environmental Protection Agency, April 1996

Rotor-Tech, Inc. Personal Contact

Tannehill, C.C., L. Echterhoff, and D. Leppin. “Production Variables Dictate Glycol Dehydration Costs.” American Oil and Gas Reporter, March 1994.

用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

Tingley, Kevin. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Personal Contact.

U.S. Environmental Protection Agency. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories: Oil and Natural Gas Production and Natural Gas Transmission and Storage- Background Information for Proposed Standards (EPA-453/R-94-079a, April 1997).

U.S. Environmental Protection Agency. Lessons Learned: Reducing the Glycol Circulation Rates in Dehydrators (EPA430-B-97-014, May 1997).

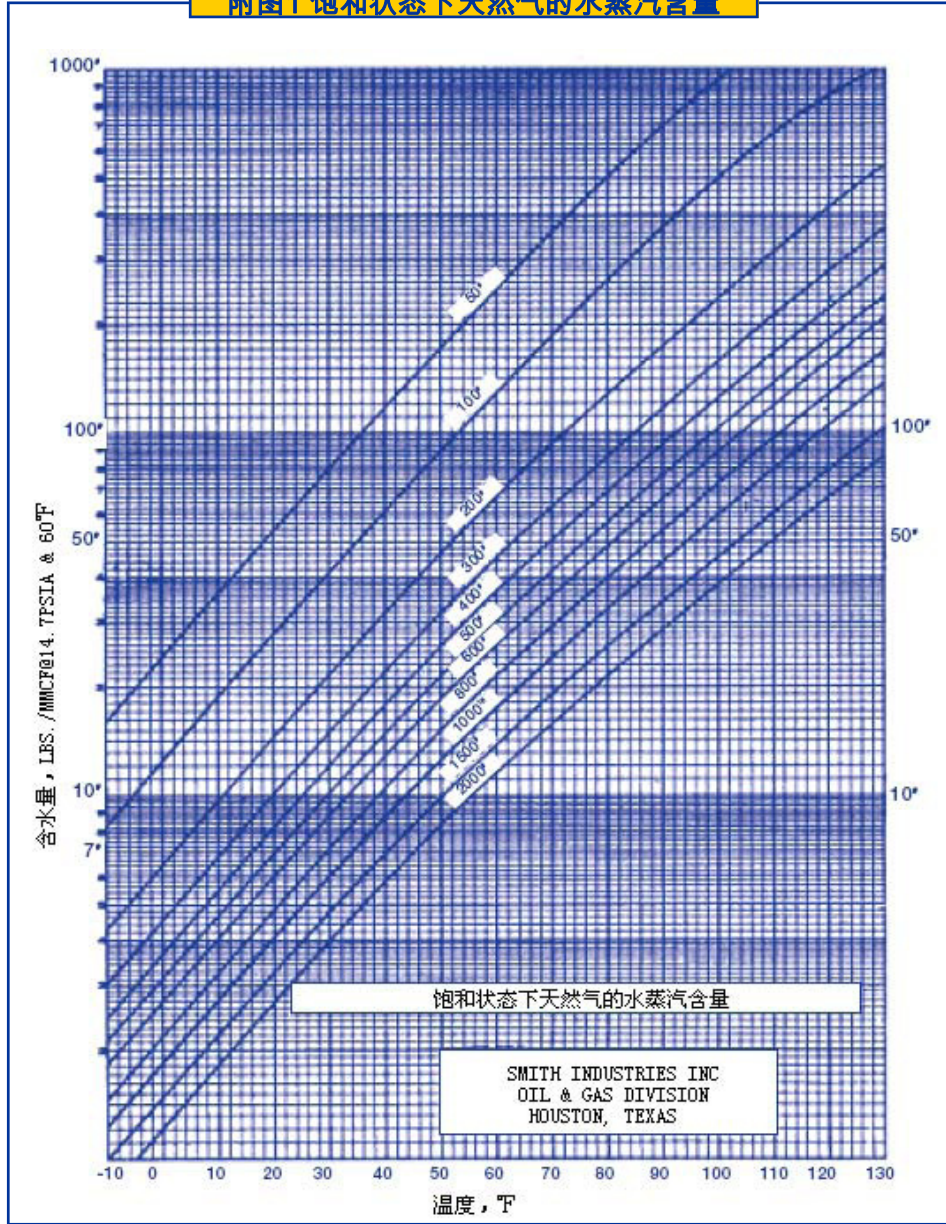
U.S. Environmental Protection Agency. Lessons Learned: Installation of Flash Tank Separators (EPA430-B-97-008, October 1997).

U.S. Environmental Protection Agency. "Methods for Estimating Methane Emissions from National Gas and Oil Systems". Emissions Inventory Improvement Program, Vol. III, Chapter 3, October 1999.

用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵

附录A

附图1 饱和状态下天然气的水蒸汽含量



1EPA

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

EPAxxx
xxx 2006