

高压天然气井开采的新方案设想

宋昭明¹, 周德志², 李 唯¹

(1. 中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610017;

2. 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司重庆气矿地面建设工程项目部, 重庆 400021)

摘 要: 通过对节流理论的回顾, 提出只需要制作盘管压力最大为 50 MPa 的水套炉, 就能满足高压天然气井开采加热需要。

关键词: 高压气井开采; 理想气体节流理论; 实际气体节流理论; 微分节流效应; 微分节流转变点; 积分节流效应

中图分类号: TE934.2

文献标识码: A

1 问题的提出

在四川气田集气站场防止水化物生成广泛使用水套炉加热流程。某气井开采要求制作 70 MPa 水套炉, 由于压力较高, 使加热盘管用无缝钢管规格和材质的选用产生了困难。以后有更高压力气井开发, 而要求更高压的水套炉, 怎么满足?

2 节流理论篇

让我们先来复习一下有关节流的一些理论问题。

流体在流经阀门、孔板等由于局部阻力, 使流体的压力降低, 这种现象称为节流现象。如果节流进行得很迅速, 流体与外界没有热交换, 就称为绝热节流, 集气井场上的节流就属这种情况。

2.1 理想气体的节流效应^[1]

热力学第一定律在绝热过程中的微分方程为:

$$c_v dT + A p dv = 0 \quad (1)$$

对于理想气体, 微分方程的状态方程式为:

$$dT = \frac{p dv + v dp}{R} \quad (2)$$

由式(2)可得:

$$p v^k = \text{常数}$$

进一步推导得:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (3)$$

式中 c_v ——气体定容比热;

T ——气体温度;

P ——气体压力;

v ——气体比容;

R ——气体常数;

k ——绝热系数, $k_{\text{CH}_4} = 1.308$, $k_{\text{H}_2} = 1.407$

T_1 ——气体节流前温度;

T_2 ——气体节流后温度;

P_1 ——气体节流前压力;

P_2 ——气体节流后压力。

这就是理想气体的节流温度效应公式。

这个温度效应就是焦耳—汤姆逊效应, 它是由英国科学家焦耳和汤姆逊首先用实验发现的。

从式(3)可以看出, 理想气体在节流时总是温度降低, 称为节流冷效应。但这与我们知道的一些试验事实不符。在常温、常压附近, 实际气体氢气在节流时温度升高, 表现为节流热效应。在其他压力、温度下, 另外的实际气体的温度效应会怎么样呢?

理想气体是一种假想气体, 它的分子是不占有容积的质点, 分子间没有内聚力。当气体压力较高时, 理想气体与实际气体之间的差异会很大。我们

必须考察实际气体的节流效应。

2.2 实际气体的节流效应^[2]

实际气体的节流是不可逆过程, 不与外界进行热量交换, 也无净功输出, 所以, 节流后有熵增, 节流前后流体焓相等。而节流的温度效应方向不确定。

绝热节流的温度效应可以用在焓值不变时温度对压力的偏导数来表示:

$$\mu_J = \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_h \quad (4)$$

式中 μ_J ——绝热节流系数或称焦耳—汤姆逊系数;

T ——气体温度;

P ——气体压力。

可用焦耳—汤姆逊实验测定 μ_J , 制作出 $T-P$ 图曲线, 如图 1。

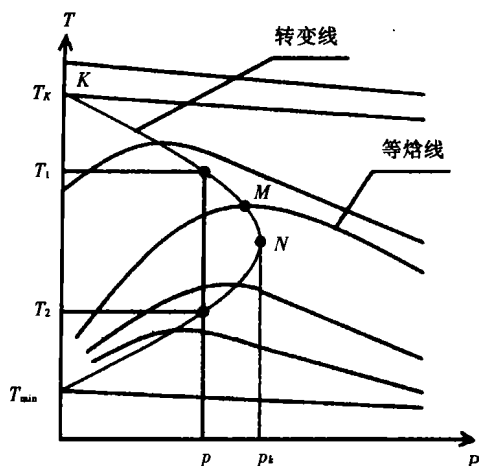


图 1 气体 $T-P$ 状态图

在某一状态点定焓线的斜率就是流体在该状态点的绝热节流系数 μ_J 。

注意, 定焓线不是绝热节流过程线, 只是流体在绝热节流前后的状态落在同一定焓线上。

从图 1 可以看出:

a) 在一定焓值范围内, 每一条定焓线有一个温度最大值点 (M 点), 此点 $\mu_J = 0$, 称为微分节流零效应点, 或称为转变点。定焓线的转变点连起来, 得到一条转变曲线。

b) 在转变曲线左边 $\mu_J > 0$ 为微分节流冷效应, 称冷效应区; 在转变曲线右边 $\mu_J < 0$ 为微分节流热效应, 称热效应区。

c) 转变曲线有一压力最大的极点 (N 点), 这一

点的压力 P_N 称为最大转变压力。数值小于 P_N 的任一定压线 P 与转变曲线有两个交点, 其对应温度值 T_1 和 T_2 , 分别叫做对应压力 P 的上转变温度和下转变温度。流体温度处于两个转变温度之间时, 呈微分节流冷效应; 高于上转变温度或低于下转变温度时, 呈微分节流热效应。

d) 转变曲线与温度轴的上方交点 (K 点) 是最大转变温度 T_k , 下方交点是最小转变温度 $T_{\min}$ 。流体高于最大转变温度或低于最小转变温度时, 不可能发生节流冷效应。

e) 注意: 以上所讲的节流效应均为微分节流效应, 当节流压差较大时, 则要考虑积分节流效应, 即:

$$T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} \mu_J dp_h \quad (5)$$

以上结论普遍适用于实际气体。

3 实用篇

应用热力学理论可以导出绝热节流系数 μ_J 与 P , v , T 和比热之间的一般关系式。按照这个关系式可以由状态方程和比热数据导出绝热节流系数 $\mu_J(P, T)$ 和转变温度曲线的方程式; 或者反过来, 由试验测定的 $\mu_J(P, T)$ 函数和比热数据导出状态方程式。

我们知道天然气中甲烷含量一般在 90% 以上。图 2 为甲烷的状态图^[3]。在没有对应组分的天然气状态图时, 我们认为可以用甲烷状态图代用。

从图 2 可以看出:

a) 微分节流效应转变点与天然气的压力、温度有关。

b) 在井口天然气流动温度 $0 \sim 50^\circ\text{C}$ 时, 微分节流效应转变点的压力约为 $45 \sim 50 \text{ MPa}$ 。

c) 当天然气压力大于微分节流效应转变点的压力时, 天然气微分节流效应为微分节流热效应; 当天然气压力小于微分节流效应转变点的压力时, 天然气微分节流效应为微分节流冷效应。

d) 如果节流压差较大时, 总的节流效应如上所述, 要考虑积分节流效应。

e) 对于井口流动压力大于 50 MPa 的天然气井开采, 如果采用图 3 所示节流—加热—节流方式, 则加热水套炉盘管压力最大为 50 MPa 。

示例: 某井天然气井口流动压力为 80 MPa , 流

动温度为 20℃, 按此状态, 在甲烷状态图(图 2)上找到状态点 a, 沿等焓线向下膨胀(节流), 等焓线与 20℃等温线再次相交于 b 点。b 点的状态参数为压力 24 MPa, 温度为 20℃。也就是说, 当我们将天然气从 a 点节流到 b 点, 天然气的积分节流效应为零, 而从 a 点到 b 点的节流均为积分节流热效应, 不会在节流过程中生成天然气水化物。如我们在 b 点开

始加热天然气, 加热水套炉的盘管操作压力仅为 24 MPa。当然, 实际节流过程不是严格意义上的绝热过程, 我们可以将节流终点压力略微提高, 以保证安全。

考虑到气井压力递减, 将水套炉盘管设计压力定到焦耳—汤姆逊效应转变点压力为宜, 对于一般井口流动温度(0~50℃), 约为 50 MPa。

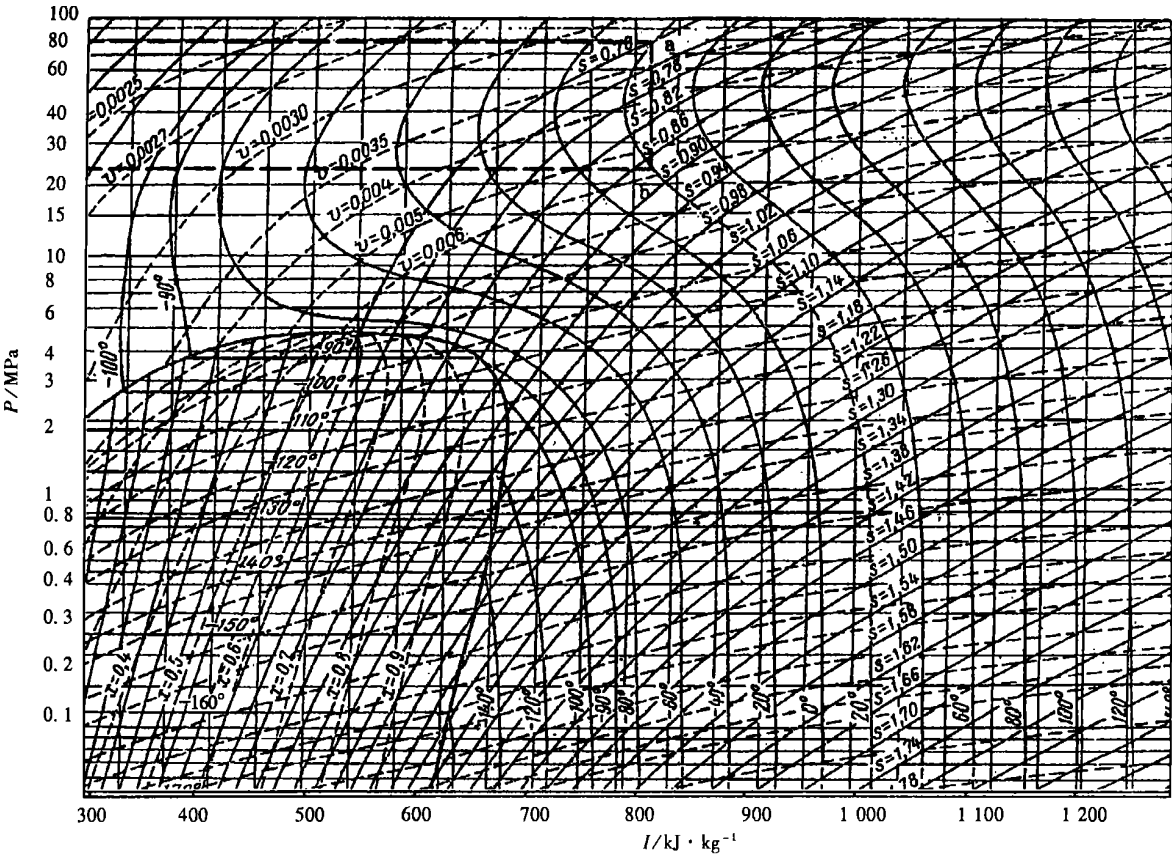


图 2 甲烷状态图(局部)

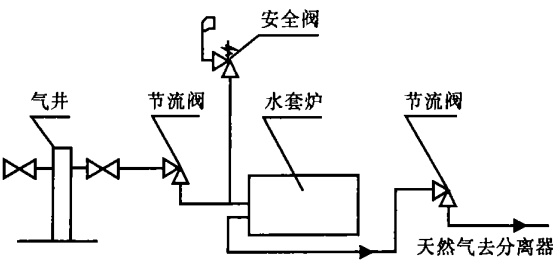


图 3 天然气开采加热流程示意图

天然气井开采用加热套炉的盘管最大压力只需要 50 MPa。这种压力的水套炉无论设计、制作、选材质、选材料规格均无困难, 免除了制作更高压力的设备, 提高了水套炉的安全性; 也缩短了高压气引出管的长度, 提高了采气系统的安全性。

参考文献:

- [1] 同济大学热工教研组. 工程热力学[M]. 北京: 中国工业出版社, 1961. 35-36.
- [2] 曾丹苓, 敖越, 朱克雄, 等. 工程热力学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980. 148-155.
- [3] 姜正侯. 燃气工程技术手册[M]. 上海: 同济大学出版社, 1993. 49.

4 结论

通过以上论述, 我们得到一个满意的结论: 高压