

煤层气利用及增压输送的安全性分析

张 平, 季长华

(中国石油天然气管道工程有限公司, 河北 廊坊 065000)

摘 要:煤层气是一种清洁高效能源,但是在输送和利用中又存在安全隐患。针对煤层气开发利用现状以及增压输送中遇到的问题进行了论述,采用理论计算及工程研究相结合的分析方法,对煤层气增压输送的安全性进行了较深入的研究,提出了建议性的措施。

关键词:煤层气;利用;增压输送;安全性分析

文章编号: 1006-5539(2008)01-0016-05

文献标识码: A

0 引言

近年来,随着煤炭产量和开采深度的不断加大,煤层气问题越来越突出,煤层气爆炸事故在煤矿重大恶性事故中一直占有很大比重,煤层气事故已构成煤矿安全的最大威胁。每年因煤层气爆炸和煤层气突出事故死亡约 2 000 人,直接经济损失超过 500 亿元。抽放煤层气是减少矿井煤层气涌出量,防止煤层气爆炸和突出事故的根本性措施。

煤层气作为煤层的一种伴生资源,是一种清洁的能源。它不仅环境性能好,而且热效率高。与燃煤相比,煤层气燃烧的灰份排放量为燃煤的 1/148, SO_2 排放量为燃煤的 1/700, CO_2 排放量为燃煤的 3/5。所以,它是常规天然气最现实可靠的补充或替代能源,可以为工业和民用等提供重要的能源。然而在利用过程中还存在一些问题,针对这些问题进行分析研究有利于煤层气的广泛利用。

在采用压力管道输送煤层气时,由于有大量的氧气存在以及煤层气增压的同时伴有温度的升高,因此有可能存在煤层气在爆炸极限范围内输送的情况。为保证煤层气增压过程的安全,有必要对煤层气增压过程的爆炸极限进行深入的研究,这对于煤层气输送工程的安全性和经济性有着十分重要的意义。

1 煤层气抽采工艺简介

我国煤层气抽采包括井下排放和地面抽采两种方式。

井下抽放煤层气通常是利用水环式真空泵将煤层间及空隙内的煤层气抽放出来,排入低压湿式罐进行收集。煤层气抽放站的核心设备是水环式真空泵,真空泵的设置数量能够满足其最大抽放能力的要求。当需要时,通过开动指定数目的真空泵,其抽放能力就可以满足不同的抽放要求,随着运转真空泵的增加,抽放能力也将不断增加。

地面抽采煤层气是采用钻井—压裂造缝—抽水压降释放的方法抽采煤层中的煤层气。由于煤层气主要以吸附态为主,因此煤层气生产过程通常是先排水—降压,使得吸附在煤基质孔隙内表面的煤层气解吸,经扩散和渗流而产出,为此将煤层气的生产形象地称之为抽采—抽水产气。抽采上来的煤层气通过管道汇集输送到压气站。

井下抽放系统回收的煤层气与地面钻井抽采煤层气的甲烷含量不同。井下抽放系统回收的煤层气含甲烷约 30%~50%,而地面钻井抽采的煤层气甲烷含量超过 90%。因此,两种系统抽放的煤层气对输送的安全要求也不同。

收稿日期: 2007-03-20

作者简介: 张 平 (1978-), 男, 内蒙古巴彦淖尔市人, 助理工程师, 毕业于哈尔滨工业大学, 现从事管道工程设计工作。电话: (0316) 2075644

2 煤层气利用及增压输送存在的问题分析

2.1 煤层气的应用方向

2.1.1 矿区煤层气作为民用和工业燃气供应

在我国矿区,煤层气主要用作居民和工业炉的燃料。煤层气的民用供应主要包括矿区居民的炊事和供热以及矿区食堂、幼儿园和学校等的公用事业用气。煤层气也可以作为工业炉的燃料。与人工煤气相比,煤层气的供应具有投资少、效益高的特点,它不需要另建气源厂。煤层气作为燃气供应已在我国各矿区内迅速推广。

2.1.2 矿区煤层气作为化工生产原料

煤层气作为化工生产原料,还可以生产炭黑、甲醛、甲醇和化肥等化工产品。1952年抚顺矿务局在煤炭系统率先建成了用煤层气生产炭黑的工厂;1970年抚顺矿务局和阳泉矿务局分别建成了甲醛厂。

2.1.3 燃气发电厂燃料

煤层气代替煤发电和供热不仅能减轻环境污染,而且还能提高热效率。我国矿区目前使用的煤层气发电技术有三种,即燃气轮机、汽轮机、燃气发动机发电。1990年抚顺矿务局建成了我国第一座煤层气示范电厂;1996年晋城矿务局建成煤层气电站,利用潘庄井田地面垂直井回收的煤层气发电。

2.1.4 矿区汽车燃料

煤层气代替汽油作为运输燃料具有明显的环境效益和经济效益。与燃油汽车相比,煤层气汽车可使汽车尾气中的 CO 减少 89%,碳氢化合物降低 72%,NO_x减少 39%,SO₂、苯铅和粉尘等减少 100%。

1987年,焦作矿务局在用 A101 B型汽车改装成的煤层气汽车上进行了试验;四川芙蓉矿务局直接用中等浓度煤层气作为汽车燃料,实现了以煤层气代替汽油的改造。

煤层气汽车在矿区具有较大的市场,矿区内有大量的运煤汽车和公共汽车,运行距离不长,在矿区内建少量的煤层气加气站,就能保证矿区内车辆的正常运行。

2.1.5 管道输送燃气供应

井下排放系统回收的煤层气,虽然甲烷含量低,但一般离用户较近,因此,这部分中、低浓度煤层气

通常采用较低的压力,通过当地的煤层气管网直接供给用户使用。从井下排放系统回收的煤层气经提纯处理和增压后也可进入长输管道系统,供给远方城镇用户。地面抽采的煤层气甲烷含量很高,可增压后进行长距离输送。

另一方面,随着煤矿的进一步开采,煤层气产量将迅速增加,这种甲烷含量较低的煤层气在当地需求过剩的情况下要考虑长距离输送给缺少气源的城镇使用。

目前我国煤层气远距离输送工程中,一般压力较低,距离也较短。也正是因为煤层气的爆炸极限范围限制了它的输气压力,不能满足远距离高压输送的要求。

2.2 煤层气增压输送的难点和应解决的技术问题

煤层气是一种清洁高效能源,并且用途广泛,但是在其输送过程中存在安全隐患,如何消除这些安全隐患或者说如何避免这些隐患发生,要解决这样一个问题就必须对引起的原因加以分析。

可燃气体在一定条件下可能发生爆炸,爆炸极限是重要的危险性参数,是该气体的储存、运输、生产、销售、使用方法确定的依据之一,也是评价可燃气体火灾爆炸危险的主要指标之一。目前我国煤层气远距离输送工程应用实例中,一般压力不是很高,距离也较短,如:抚顺矿务局至沈阳市的煤层气输气管道,设计压力 0.8 MPa;运行压力 0.35 MPa;煤层气中甲烷含量大于 50%;调兵山市至铁岭市的煤层气输气管道都已建成并安全运行;正在筹建中的沁水煤田至晋城市区的煤层气输气管道压缩机排气压力最大为 0.4 MPa。煤层气的爆炸极限范围所限制了它的输气压力^[1~4]。

在采用压力管道输送煤层气时,由于有大量的 Q₂ 存在以及煤层气增压的同时伴有温度的升高,因此有可能存在煤层气在爆炸极限范围内运行的情况。为保证煤层气增压过程的安全运行,有必要对煤层气增压过程的爆炸极限进行深入的研究,这对于煤层气输送工程的安全性和经济性有着十分重要的意义。

3 煤层气增压输送的安全性分析

煤层气用于城市燃气供应的爆炸极限范围研究还较少,一方面是因为煤层气的城市燃气供应工程

实例较少,另一方面是这些工程项目中煤层气的供应压力较低,此时煤层气爆炸极限范围较常压下的爆炸极限范围尽管有所增加,但仍能满足安全输送的要求。还有城镇燃气设计规范中对燃气的热值有一定的限制不能过低,所以煤层气中甲烷含量满足热值要求时的体积分数要高于一般压力下爆炸上限时的甲烷体积分数,因此煤层气爆炸极限研究的重要性没有显现出来。当煤层气经压缩后压力提高,温度随之升高后,煤层气的爆炸极限要有很大的变化,特别是煤层气的甲烷含量较低时,甲烷体积百分含量可能不满足其爆炸上限的要求,特别是目前城镇燃气设计规范中没有煤层气爆炸极限范围的规定,所以确定煤层气爆炸极限范围、评估煤层气输气系统的安全性是特别值得研究和探讨的问题。

3.1 温度、压力对煤层气爆炸极限的影响

温度:一般来说,随着温度的升高,系统内介质的分子内能增加,使更多的分子出于激发状态,原来不燃的混合气体称为可燃、可爆炸的系统,所以爆炸性气体混合物的温度越高,则爆炸极限范围越大,即:爆炸的下限降低,上限增高。

常压下温度为 100 ~ 120℃ 时,甲烷的爆炸极限范围相应为 4.68% ~ 16.06% 到 4.60% ~ 16.30%。

温度对煤层气爆炸极限的影响可以采用如下公式进行修正^[3]:

$$L_u^t = L_u [1 + 8 \times 10^{-4} (t - 25)]$$

$$L_l^t = L_l [1 - 8 \times 10^{-4} (t - 25)]$$

式中 L_u^t ——在温度 t 下的爆炸上限, %;

L_l^t ——在温度 t 下的爆炸下限, %;

L_u ——在温度为 $t = 25^\circ\text{C}$ 下的爆炸上限, %;

L_l ——在温度为 $t = 25^\circ\text{C}$ 下的爆炸下限, %;

t ——燃气温度, $^\circ\text{C}$ 。

压力:压力对爆炸上限的影响采用如下公式进行修正:

$$L_u^p = L_u + 20.6 (\lg p + 1)$$

式中 L_u^p ——在压力 p 下,爆炸浓度上限, %;

L_u ——在常压 ($p = 0.1 \text{ MPa}$) 下的爆炸浓度上限, %;

p ——燃气绝对压力, MPa 。

根据相关文献了解到压力对爆炸下限影响不明

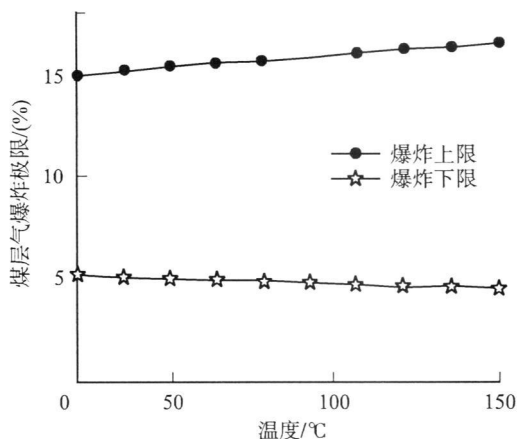


图 1 温度对爆炸极限的影响

显,故对爆炸下限不采取修正措施是可行的。

甲烷的爆炸上限随压力变化较大,常温下,压力为 1.3 ~ 1.7 MPa 时,甲烷的爆炸上限为: 38.52% ~ 40.76%;但下限变化不明显,见图 2

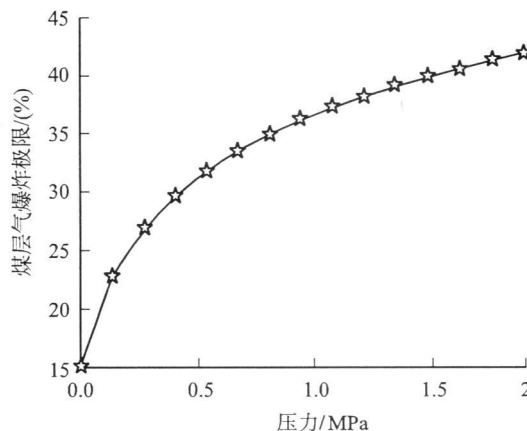


图 2 压力对爆炸极限的影响

温度压力对煤层气爆炸极限的综合影响:对于爆炸上限,采用如下综合公式进行修正:

$$L_u^{pt} = [L_u + 20.6 (\lg p + 1)] [1 + 8 \times 10^{-4} (t - 25)]$$

式中 L_u^{pt} ——在压力 p 温度 t 下,爆炸浓度上限, %;

L_u ——在常压 ($p = 0.1 \text{ MPa}$)、温度为 $t = 25^\circ\text{C}$ 时的爆炸浓度上限, %;

p ——燃气绝对压力, MPa ;

t ——燃气温度, $^\circ\text{C}$ 。

对于爆炸下限,由于压力对爆炸下限影响不大,故只考虑温度修正。

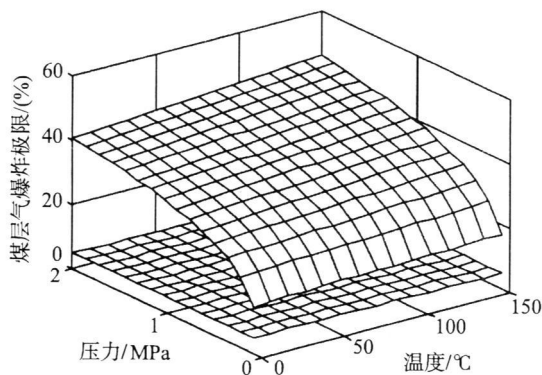


图 3 综合温度压力对爆炸极限的影响

综合考虑压力和温度对爆炸极限的影响, 随着压力和温度的升高, 爆炸极限范围扩大, 见图 3。当压力为 2.0 MPa、温度 150°C 时, 煤层气爆炸上限最大为 48.2%。故最危险工况为压缩机出口, 即压力最高, 温度最高的状态。

3.2 实例分析

本文以晋城某煤业集团煤层气输送工程为例, 从矿井排放的煤层气组分为 55% 甲烷, 45% 空气的混合气, 拟考虑煤层气输送压力 2.0 MPa, 煤层气经压缩机压缩后压力升至 2.0 MPa, 温度为 120°C (压缩机出口), 然后经空冷器冷却至 55°C 后进入长输管道。

本文对该工程煤层气瓦斯爆炸极限 (上限和下限) 的范围以及压力、温度等对煤层气爆炸极限的影响进行探讨。根据以上计算方法, 经计算得到常温常压下煤层气的爆炸上限为 15%, 爆炸下限为 5%。由计算结果可知, 常温常压下该煤层气远离爆炸极限。

压力 $P=2.0$ MPa, 温度 $t=120$ °C 时, 爆炸上限 $U_{\text{H}}=45.51\%$, 爆炸下限 $L_{\text{H}}=4.60\%$, 取 1.5 倍的安全系数后爆炸上限变为 68.27%, 大于该工程所给煤层气中可燃气体成分的百分数 (即甲烷的体积分数 55%)。可见, 煤层气在其爆炸极限范围以内, 所以如果采用 2.0 MPa 输送该成分的煤层气, 则该输送工艺系统是不安全的。

4 保证安全输送应采取的措施

通过对影响输送安全性的因素进行分析研究, 压力、温度及煤层气中可燃气体含量对煤层气安全

输送影响较大, 因此, 要使煤层气输送过程达到安全要求, 可以从以下几点考虑。

4.1 降低煤层气的压力、温度

通过压力对煤层气爆炸极限范围的影响情况可知: 压力降低, 爆炸极限范围减小; 温度降低, 爆炸极限范围亦减小。所以降低该工程输送压力, 即降低压缩机出口压力可以使煤层气处于爆炸极限安全范围之内。但是, 降低煤层气的输送压力, 煤层气的输送量也将降低, 所以为了保证输送工艺要求, 在有其它可行措施的情况下, 一般不建议采取降低压力的方法来降低爆炸上限。

4.2 煤层气提纯

煤层气中甲烷含量过低, 而且不稳定是煤层气热值低、存在安全隐患的原因。采用煤层气提纯技术可以有效的解决上述问题, 并提高煤层气的利用率。煤层气提纯技术是指将 N_2 或空气与甲烷分离, 使煤层气中甲烷含量相对提高, 从而可以提高煤层气的热值及远距离输送的价值。煤层气提纯技术主要包括低温分离、变压吸附分离和膜分离三种。

将 N_2 或空气与甲烷分离的低温工艺, 设备投资大, 而且只有分离的流量较大时 (每天几百万立方米) 才具有商业价值, 而矿区煤层气产量有限时, 低温分离工艺就不适合。膜分离技术简单, 非常适用于小型气体分离站, 但迄今为止, 尚处于研究开发阶段。变压吸附工艺技术已经成熟, 它可将 N_2 、 O_2 与甲烷分离, 处理能力可达 $5.7 \times 10^4 \sim 28.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 另外, 变压吸附具有工艺简单、设备紧凑、操作费用低和适用性强的特点, 根据中国科学院山西煤炭化学研究所提供的资料, 采用成熟的变压吸附技术可以使煤层气中甲烷含量达到 90% ~ 95%^[6-8]。

4.3 煤层气掺混

根据对本工程的调研, 晋煤集团西区各矿同时具有井下排放和地面抽采两种系统, 井下抽放系统回收的煤层气含甲烷约 55%, 而地面井回收的煤层气甲烷体积分数均高于 98%。这样我们就可以从地面抽采的高甲烷含量煤层气中拿出一部分和该工程所输送的煤层气进行掺混, 使之处于安全输送范围。

当掺混比例 (高甲烷含量煤层气与本工程中低甲烷煤层气的体积之比) 大于 0.6 时, 在安全系数

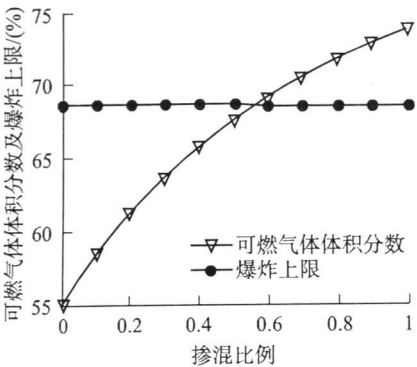


图 4 煤层气掺混比例

取 1.5 的情况下该工程输送工艺是安全的, 见图 4。对于本工程采用此种方案是降低煤层气爆炸极限范围的首选措施。

5 结语

目前我国对煤层气作为城市燃气气源的应用在许多方面还缺少认识, 特别是煤层气的高压、长距离输送有可能成为一种趋势或者必要, 那么煤层气爆炸极限范围、爆炸极限安全系数以及相关的技术规范等问题都是值得进一步研究的课题。在我国煤层气作为城市燃气气源的应用还刚刚起步, 没有

相关的设计规范以资利用, 特别是煤层气中空气含量较大, 高压输送时爆炸危险性增大, 在选择确定煤层气管道输送的设计技术参数时, 都应首先确认该煤层气是否是安全的。相信随着能源与环保意识的增强, 煤层气利用工程会越来越多, 煤层气安全输送技术的研究会越来越深入。

参考文献:

[1] 孙 欣, 王国文. 抚顺、铁法和晋城矿区煤层气开发利用[J]. 中国煤炭, 2003 29(9): 50-52

[2] 周景林, 周龙义, 卢君实. 阜新市煤层气开发利用的现状与前景[J]. 煤炭工程, 2003 10: 56-58

[3] 金学玉. 淮南矿区煤层气综合利用现状及展望[J]. 中国煤层气, 2004 1(2): 23-27.

[4] 白文献, 何苏里. 阳泉矿区煤层气开发利用现状及发展前景[J]. 中国煤层气, 2004 1(1): 45-46

[5] 严铭卿, 廉乐明. 天然气输配工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005

[6] 石 口. 变压吸附法控分制氮技术与应用[J]. 低温与特气, 1994 (4): 12-18

[7] 辜 敏, 陈昌国, 鲜学福. 抽放煤层气变压吸附过程的数学模拟[J]. 煤炭学报, 2001 26(3): 323-326

[8] 王伸和, 罗子季, 张洪奇. 新型制氮方法[J]. 粉末冶金工业, 1998 8(2): 35-39