

煤矿瓦斯的输配和综合利用探讨

□ 山西省阳泉市城市燃气热力设计所 (045000) 吕志斌 许天升 俞铮 李海舰

摘 要: 本文旨在全方位论述不同浓度的煤矿瓦斯输配利用技术,为煤矿瓦斯的输配利用提供一定的参考资料,以期达到综合利用煤层气资源的目的。文中主要探讨:煤矿瓦斯抽采及其分类,城矿燃气利用的瓦斯浓度范围,大中小煤矿瓦斯输配利用的两种方案;高低浓度瓦斯发电输配利用技术;两种较成熟的煤矿瓦斯提纯利用技术。

关 键 词: 高低浓度瓦斯 利用技术 输配利用方案 安全技术 提纯技术

Distribution and Utilization of Coal Mine Gas

Urban Gas and Heating Design Institute, Yangquan

Lu Zhibin, Xu Tiansheng, Yu Zheng, Li Hai jian

Abstract: This essay comprehensively discusses the utilization techniques of transport and distribution of coal mine gas of different concentrations, providing reference materials for the utilization of coal mine gas transport and distribution, with the aim to comprehensively utilize coal-bed gas. The parts it mainly covers are: extraction of coal mine gas and its classifications, range of gas concentration in utilization of Chengkuang gas, and two schemes of gas transport and distribution for coal mines of big, medium and small sizes; utilization techniques of transport and distribution of power generated by gas of high/low concentrations; two relatively mature utilization techniques of coal mine gas purification.

Keywords: gas of high/low concentrations; utilization techniques; utilization scheme of transport and distribution; security techniques; purification techniques

1 前言

煤矿瓦斯(CH_4)又叫煤层气,属非常规天然气,是一种资源,也是一种十分洁净的新能源,它的利用前景相当广阔。大力开发利用煤矿瓦斯,可以节能减排,变害为利,改善煤矿安全生产条件,减少温室气体的排放,保护地球环境,具有很大的企业、社会和环保效益,符合国家能源节约和资源综合利用的有关产业政策及可持续发展战略。

阳泉市位于山西省中东部,太行山中段西侧,为山西省的东大门。阳泉市是全国最大的无烟煤生产基地

之一,含煤面积达2 668 km^2 ,煤的保有储量为100.7亿t,煤层气资源十分丰富,煤层气资源储量为6 448亿 m^3 。

在山西省实施煤矿企业兼并重组整合以前,阳泉境内大小煤矿星罗棋布,在煤矿瓦斯的抽放、输配、利用方面,进行了积极的探索,积累了大量的经验,走在了全国同行业的前列。

早在上世纪50年代,阳泉市就开始了煤矿瓦斯的简单利用,80年代开始了煤矿瓦斯的大规模输配利用工程“阳泉市煤气化工程”,之后随着国家资源综合利用和环保政策的要求,大中小煤矿相继进行了瓦斯的输配利用工程,本人结合多年来的工作经验,就煤

矿瓦斯输配利用的技术综合探讨如下。

2 瓦斯抽采及其分类

煤矿瓦斯抽采是指在煤炭开采前,将煤层或煤系地层中的煤层气提前抽采出来,从而保障煤矿安全生产。阳泉煤矿瓦斯抽采包括井下抽采和地面抽采两种。井下抽采有工作面本煤层抽采、工作面邻近层抽采和采空区抽采等方法;地面抽采处于试验阶段,抽采效果不太理想,还没有寻求到适合阳泉地区的有效的地面开发技术。

井下抽放系统抽采的瓦斯中甲烷含量通常约为10%~50%,而地面井回收的瓦斯中甲烷浓度通常超过90%。煤矿瓦斯按照甲烷的含量分为高浓度和低浓度两类,甲烷含量在6%~25%的为低浓度气,甲烷含量在25%以上的为高浓度气。低浓度气因接近5%~16%的爆炸界限,在输配利用方面不安全,被抽放排空;根据煤矿安全规程的规定,常规可以输送的煤层气浓度不低于25%,并且煤层气浓度在30%以上方可利用,因此,高浓度瓦斯气浓度在30%以上可被输配利用。

瓦斯中甲烷浓度随煤炭的种类、所采煤层的深度及抽放方法的不同而不同。煤层气中甲烷浓度的变化,引起煤层气热值的变化,还涉及输配系统的安全性、燃具的适应性问题。

阳泉市矿井瓦斯含量高,大部分为超级瓦斯矿井,采取一定的抽采措施抽采的瓦斯浓度可以达到30%~50%,这样给瓦斯的输配利用提供了有利的条件。

3 小煤矿瓦斯输配利用

3.1 城矿燃气利用

根据GB50028-2006《城镇燃气设计规范》规定,城镇燃气的波动范围应符合GB/T13611-2006《城市燃气分类》的有关规定,矿井瓦斯气属于天然气4T、3T,浓度波动范围为30%~35%、38%~44%。

根据阳泉市城市煤气的供应及利用经验,当煤矿瓦斯处于35%~45%的范围时可以保证各种燃烧设备的燃烧工况。可供矿区的公共福利炊事、洗浴炉、燃气锅炉、热风炉等的自用气,离城镇储配、输配系统

较近的煤矿,可将瓦斯接入其中。本地的许多小煤矿便采用以下简单的输配方式进行了自用气,见图1。

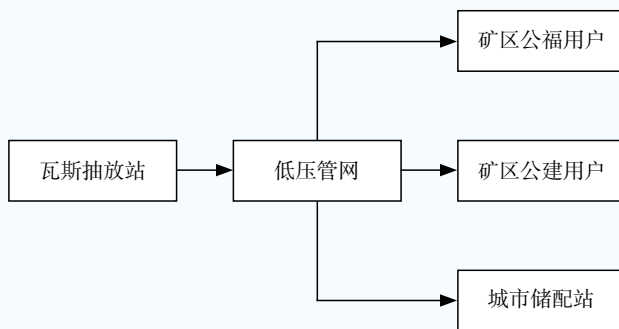


图1 输配利用方案（一）

3.2 输配系统

本着经济适用的原则,不建设缓冲罐,瓦斯输送压力为低压一级,压缩设备不再单独加设,利用煤矿现有的抽放设备。煤矿抽放设备一般为安全性能较好的水环式真空泵,利用其余压(出口正压)完成输送,输送压力不超过10kPa(表压),考虑各种用气设备正常安全的运行,输配压力一般为6kPa~8kPa(表压),可满足各类公福用户的安全正常的使用要求。

3.3 安全技术措施

(1)在瓦斯泵站对瓦斯气的浓度做好人工定时检测,发现浓度超出范围,立刻将瓦斯气排空,保证供气质量;对出口瓦斯的浓度实施自动监测控制,采用瓦斯浓度鉴定仪,对利用范围上下限的浓度进行监控,否则启动连锁的紧急切断阀,对瓦斯进行放散。

(2)对抽放泵出口超压控制,在放空管上加设安全放散阀,安全放散阀可采用压力式和重力式两种安全放散阀。

(3)在抽放站出口采用三防装置,实现防爆、防回火、防回气的要求。三防装置是本地设计的一种装置,装置上部为防爆盖胶板,爆破后可以释放压力,根据防回气的要求内设逆止阀防止爆炸情况下气体倒流,根据防回火的要求加设6层铜网(13×13目/cm²),利用铜网散热,隔绝火焰传播。

(4)瓦斯气的加臭,根据GB50028-2006《城镇燃气设计规范》规定:无毒燃气泄露在空气中,达到爆炸下限的20%时,应能觉察,为此在瓦斯气中加入四氢噻吩,加入量为20mg/m³以上。

3.4 管道附属设施

抽放站出口加设煤气专用阀,同时加设水雾分离器,脱出井下及水环式真空泵中带来的水分,在输配管道上加设低压凝水缸,以便抽出管道中的凝结水。

4 大中型煤矿瓦斯输配利用

4.1 城矿燃气利用

大中型煤矿瓦斯抽采一般分高低浓度两套抽放系统,这样为高低浓度瓦斯的利用提供了有利条件。其中35%~45%高浓度瓦斯可以供应矿区的民用、营业福利炊事、洗浴炉、燃气锅炉、热风炉、工业炉窑等的自用气,同时将大量的剩余瓦斯接入城镇储配、输配系统,供应城市各类燃气用户用气。输配利用方案见图2。

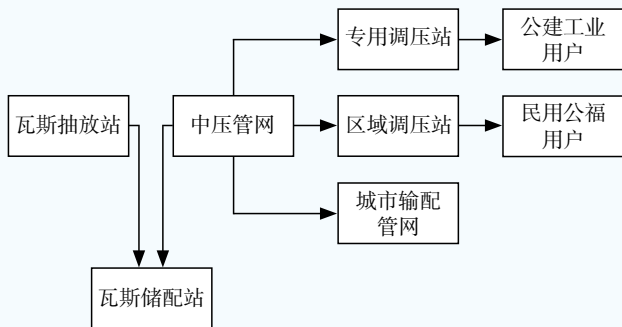


图2 输配利用方案（二）

4.2 储配站

因瓦斯气输配应用的要求,需要建设缓冲罐、加压机房,满足瓦斯均质、储存、日用气不均匀性、余气外送等功能。由抽放泵站输出的瓦斯经站区过滤器计量表后进入储气罐储存。鉴于抽放泵的出口压力低,储气罐宜采用低压储气罐,储气罐的容积应根据工业用气与民用气量之比,气源供应可调度大小,日用气量不均匀情况等因数加以综合考虑。加压设备一般选用罗茨风机,出口压力为0.02MPa~0.05MPa(表压),加压设备的数量根据其排气量及输气量确定,并设置备用设备。当输送气量较大,输送距离较长时,应选择0.1MPa~0.4MPa(表压)的压缩机。管道瓦斯的输送压力提高,则爆炸上限提高,须相应的提高瓦斯的浓度,根据有关的研究,常规煤层气的输送

压力不宜超过0.4MPa,具体的输送压力和浓度的对应数据参照有关的专业文献。

4.3 输配系统

输送压力选择中低压两级运行的压力级制,中压运行压力根据矿区供气范围及用气量大小确定,一般管道始端压力0.05MPa(表压),末端压力0.02MPa(表压),区域调压器的出口压力根据GB50028-2006《城镇燃气设计规范》的规定和本地实际使用的经验,一般选择为3kPa(表压)。专用调压器的出口压力根据燃烧设备的额定工作压力配置,一般设定范围5kPa~15kPa(表压)。

4.4 安全技术措施

在储配站进口设置切断阀及绝缘法兰、阻火器、防爆器、放空管等,在加压设备进口设切断阀、阻火器,在出口设切断阀、止回阀、安全放散阀等,在站区设置监控系统,进行二级监控管理,监测瓦斯的浓度、热值、流量、湿度等工艺参数指标;对加压设备的有关工艺参数及技术指标进行二次检测控制;对煤气罐的高低位报警,并使高高位和进口阀门及放散阀门连锁,低低位和出口阀门连锁等。

4.5 管道附属设施

在储配站出口加设水雾分离器,脱除井下、水环真空泵及湿式罐等处带来的水分,在输配管道上加设中低压凝水缸,以便抽出管道中的凝结水。

5 高浓度瓦斯发电利用

大中型煤矿瓦斯抽放量大,除城矿燃气利用外,尚有大量的瓦斯不能得到利用排入天空。瓦斯气作为一种温室效应气体,其温室效应约为CO₂的24.5倍,对地球环境造成了严重不良影响。瓦斯发电项目是资源综合利用的有效途径之一,属于清洁发展机制(CDM)项目,可以利用国外资金。瓦斯发电技术主要有:往复式发动机、燃气轮机、汽轮机、联合循环系统四种。

往复式发动机,可利用的最低瓦斯浓度为25%,进口机组效率为42%~43%,瓦斯气入口压力为6kPa~35kPa,常用规格为500kW、1500kW、2000kW,具有发电效率高,瓦斯气入口压力低,浓度适用范围广,单机发电容量小,运行灵活等优点,是使用较多

的一种发电设备。

燃气轮机需要的瓦斯入口压力较大,为1.8MPa以上,浓度要求较高,为35%~40%,单机发电容量较大,有4MW~220MW多种规格,发电效率为30%~36%,该种发电设备不适合常规瓦斯的输配利用。

汽轮机发电效率较低,辅助设备较多,厂区占地较大,瓦斯浓度要求在25%以上。

联合循环系统是瓦斯能源动力转换效率最高的一种方式,是将燃气轮机的高温排烟送到余热锅炉生产蒸汽,来驱动蒸汽轮发电机组,适用于大型发电项目。

由储配站输出的瓦斯气进入发电站区,首先进行预处理,对瓦斯气进行除尘、过滤、脱水、调压处理,随后进入发动机组。瓦斯在发动机气缸内燃烧,将所产生的动力传递给交流发电机,由发电机将机械能转换为电能输出。往复式内燃发动机入口压力一般为20kPa~35kPa。瓦斯气体燃烧后产生的高温烟气可送入余热锅炉,回收利用热量。见图3。

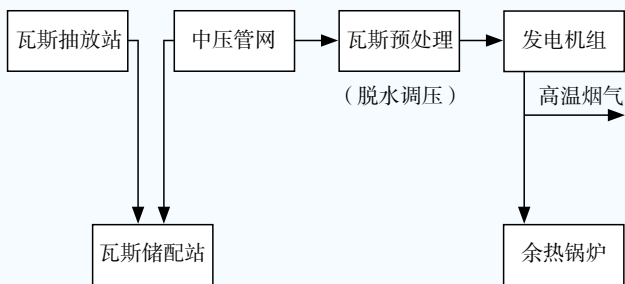


图3 输配利用方案（三）

6 低浓度瓦斯发电利用

全国煤矿抽放的瓦斯60%以上是含CH₄25%以下的低浓度瓦斯气,接近5%~16%的爆炸界限,不能被安全地输送和利用,大量排空。低浓度瓦斯气的利用技术是瓦斯气综合利用的难题,它的解决对我国的资源综合利用和能源保障具有深远的意义。山东胜利油田胜动集团组织实施的煤矿低浓度瓦斯细水雾输送及安全发电技术研究项目,成功地找到了一条低浓度瓦斯的利用途径。

山西潞安五阳煤矿建成了全国首家低浓度瓦斯发电站,电站与瓦斯抽放站毗邻,电厂总装机4台500GF-3RW型低浓度瓦斯发电机组,利用6%~25%

的低浓度瓦斯。该项目在低浓度瓦斯气的输送过程中加入了细水雾,增加了瓦斯气的湿度,我们知道当瓦斯气中含水量达到一定值时在输送过程中就不会发生爆炸。低浓度瓦斯气输送到发电站,经脱水后进入发电机组缸体,电子点火系统点燃处于爆炸范围内的低浓度瓦斯,利用其爆炸的能量推动活塞运动,产生机械能,再由发电机将机械能转换成电能输出。

低浓度抽采系统安全性分析:低浓度瓦斯气的抽采利用水环式真空泵的负压进行,系统随着压力的下降爆炸上限下降,在负压下运行大大提高了抽采系统的安全性。水环式真空泵在输送瓦斯的同时加入了雾状的水分,加大了瓦斯气的湿度,保证了该输送环节的安全性。输配利用方案见图4。

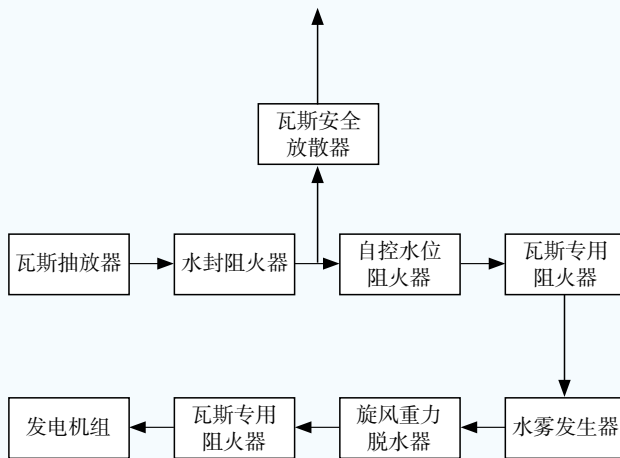


图4 输配利用方案（四）

从安全输配考虑,低浓度瓦斯输送系统不设置储气罐和加压设备,利用瓦斯抽放泵的正压(余压)输送。在抽放泵出口阻火器后设置水雾发生器,由水泵将雾化水池中的水加压送入,产生细水雾,与抽放泵输出的瓦斯混合后送至各发电机组。在每台发电机组前分别配备一套脱水器,脱水器由旋风脱水和重力脱水串联实现,脱出来的水返回雾化水池再循环使用,瓦斯脱水后进入瓦斯发电机组。

另外,在抽放泵站出口管道上设置了两个水封式阻火器,一个水位自控阻火器,一个瓦斯管道专用阻火器,将发电站和瓦斯抽采系统隔离;在输送管道上加设了3个水雾发生器,确保低浓度瓦斯安全输送到发电机组;在发电机组进气管道上增设了瓦斯管道专

用阻火器；为保证输送系统在设定的压力范围内工作，在输送管道上设置了瓦斯安全放散器，放散器内部靠内外套水封保证瓦斯的安全放散，及与外界环境的安全隔离。整个输配系统采用计算机监控系统进行二级监控管理。

7 瓦斯提纯利用技术

瓦斯提纯是将矿井气中的 CH_4 和 N_2 、 O_2 分离，提高 CH_4 含量，从而提高瓦斯的热值，实现瓦斯的长距离管道输送，或与天然气管道接轨；提纯后通过压缩和液化，可以实现瓦斯的大量储存，远距离商业销售；提纯后的瓦斯还可以拓展使用范围，用作汽车加气，用作化工生产原料，生产炭黑、甲醛、甲醇和化肥等化工产品。

煤矿瓦斯提纯技术主要包括变压吸附分离、低温精馏、膜分离3种。其中膜分离技术比较简单，在国内处于研究开发阶段，其它两种技术比较成熟，介绍如下：

7.1 变压吸附分离技术

变压吸附（PSA）分离是一项用于气体分离与净化的技术，广泛应用于煤炭、石油、化工、冶金、电力工业等领域中，可以提纯所需要的多种气体，是一种成熟的技术。吸附是指密度较低物质的分子，在密度较高的物质表面富集的现象，具有吸附作用的物质被称为吸附剂，一般为密度较大的多孔固体，被吸附的物质称为吸附质，一般为密度较小的气体或液体。吸附剂有两个基本的特性：一是对不同组分的吸附能力不同；二是吸附剂的吸附能力随吸附质的分压上升而增加，随吸附温度的上升而下降。利用性质一可以实现对混合气体中的某些组分优先吸附而使其它组分得以提纯；利用性质二可以实现吸附剂在高压下吸附，而在低压下解吸再生。瓦斯的提纯正是利用了性质二，由解吸气而来。由于煤矿抽放的瓦斯来气压力低，降压过程采用抽真空的办法，即真空变压吸附（VPSA）方法。

采用这种方法理论上对15%以上瓦斯进行提纯，提纯后 CH_4 的纯度90%以上。瓦斯经过提纯后可以生产CNG，CNG的储存比传统的低压储存效率高250倍，经济运距在200km以内。

7.2 低温精馏技术

阳泉煤业集团有限责任公司、北京国际赞成投资公司、中科院理化技术研究所3方通过多年的合作，于阳泉煤业集团五矿建成了小型煤矿瓦斯提纯液化的工业实验场，2007年8月该项实验取得了成功，在低温低压下将 CH_4 的提纯和液化同步完成。

根据有关的专业技术研究，低温精馏技术是利用氮、氧、甲烷的沸点不同，甲烷的沸点高于氮氧，在一定的压力下（约0.3MPa），通过降低温度，把氮氧从甲烷中分离出来，当温度降低到甲烷的沸点（126.75K）左右，就可以生产出液态的甲烷。工艺流程由净化系统、液化系统、精馏装置3部分组成，煤矿瓦斯首先通过净化系统除去其中的有害物质及深冷过程中可能固化的物质，当达到液化标准后进入液化系统冷却液化，然后进入精馏装置，生产高纯度的LNG产品。

该技术适用于浓度在30%~87%的瓦斯液化，LNG产品将 CH_4 的浓度提高到99.8%，体积缩小625倍，可以进行大规模的储存和远程运输，经济运距在1000km以内。

当甲烷浓度在87%以上，如地面回收的煤层气，可以通过净化系统、液化系统、闪蒸装置后生产出LNG产品。

参考文献

- 1 GB50028—2006城镇燃气设计规范
- 2 煤矿安全规程. 2007
- 3 山西省阳泉煤业（集团）有限责任公司煤层气开发利用2006—2015年规划
- 4 山西省阳泉煤业（集团）有限责任公司神堂嘴瓦斯发电站可行性研究报告. 煤炭工业合肥设计研究院, 2005; 8
- 5 煤层气发电的燃气输配系统. 中国煤层气, 2007; 4
- 6 范庆虎, 李红艳, 尹全森 et al. 低浓度煤层气液化技术理论分析
- 7 山西省阳泉市燃气（瓦斯）利用工程可行性研究报告. 中国市政工程华北设计研究院, 1998; 8