

矿井通风瓦斯利用潜力及经济性分析

仇慧明 (山西阳煤寺家庄煤业有限责任公司, 山西 晋中 045300)

摘要: 瓦斯是煤化过程的副产品, 其在采矿作业期间在地下矿井工作中的排放对矿井中部署的矿工和机械构成安全隐患。为了确保地下矿井的安全, 将排放的瓦斯与低于规定百分比的通风空气混合并排入大气。如今, 瓦斯气体被认为是一种清洁的能源和有效的温室气体, 利用通风瓦斯是减少大气中瓦斯含量的一种选择。本文结合煤矿产业和通风瓦斯的现状及其发展趋势, 分析了矿井通风瓦斯的利用潜力, 并对其经济性进行探讨。

关键词: 矿井; 通风瓦斯; 利用潜力; 经济性分析

0 引言

瓦斯的全球变暖潜能值是二氧化碳的 25 倍, 产煤国对瓦斯的回收和利用已引起全世界的关注。地下煤矿因瓦斯爆炸而发生的灾害占 40% 以上, 煤矿井下瓦斯排放的安全问题是通过通风系统来解决的, 在这个系统中, 排放的瓦斯与通风空气混合, 并排放到大气中, 它增加了瓦斯负荷, 并导致全球变暖的气候变化。由此可见, 对矿井通风瓦斯利用潜力及经济性的分析在目前显得至关重要。

1 通风瓦斯利用潜力

我国的经济发展速度较快, 为了满足经济发展的需要, 煤炭相应的煤炭开采量每年也呈现出递增的趋势, 由此必然带来的结果是矿井通风瓦斯排放量的增长。近几年来, 我国原煤产量不断提高, 至 2020 年, 受国内外多种因素的影响, 我国原煤产量有一定降低, 但仍高达 38.4 亿 t。我国目前仍是全球甲烷排放量最高的国家, 而其中最为重要的排放源便是煤矿开采, 这种状况出现的最主要的原因便是煤炭开采过程中产生的瓦斯未能及时加以回收并利用。对于瓦斯浓度较高的煤矿而言, 瓦斯抽采设备可以对其进行一定回收, 但对瓦斯浓度较低的煤矿而言, 企业往往由于成本的原因不对其进行回收。一方面, 浓度较低的情况下使用瓦斯抽采设备本身会增加开采的成本, 另一方面, 不同的成矿条件也会使回收的瓦斯中可能包含不同的杂质, 为了保障瓦斯资源的纯净, 对于杂质的剔除也需要付出一定成本。

瓦斯作为一种清洁能源, 在世界能源界收到较高的重视, 在煤矿开采中对瓦斯资源回收和利用的不足会导致大量能源浪费, 同时也会加剧全球变暖, 对于经济和生态都有一定的不利影响。我国煤矿开采中的瓦斯能源排放量较高, 显示出了较强的通风瓦斯利用潜力, 如果能得到合理的回收和利用, 必将对经济和生态形成良性影响, 同时也将增加我国的能源优势。

2 煤矿通风瓦斯利用技术

甲烷是天然气的主要成分, 经常存在于地下煤层中, 对矿工来说是一种安全隐患, 因为它在空气中的浓度为 5%~15%, 具有爆炸性。充满气体的地下煤矿采用大规模的通风系统, 将新鲜空气送入矿井。这些系统可以稀释采煤时释放到矿井中的甲烷, 并将瓦斯从矿井中排除, 从而保持安全的工作条件。矿井内的甲烷浓度必须保持在远低于爆炸下限的水平, 因此通风排风中的甲烷浓度非常稀薄。然而, 由于矿井排气流速非常高, 通风瓦斯构成了大多数矿井的最大甲烷排放源。向大气中释放通风瓦斯其实是浪费了一

种清洁能源, 并产生大量的全球温室气体排放。结合目前的技术手段, 可以利用基于热氧化或催化氧化原理的通风瓦斯技术来产生热量以产生有用的能量。甲烷的燃烧过程和产生的热量通过以下化学反应表示:



根据瓦斯浓度和燃烧系统的不同, 将通风瓦斯利用技术分为三类, 即辅助使用、主要使用和其他技术。

在辅助使用技术中, 通风瓦斯被用作燃气轮机、内燃机和燃煤电站的补充燃料。在燃烧系统中, 环境空气中的氧气与主燃料结合产生能量。在燃烧室中, 通风瓦斯代替环境中的氧气使用。所提供的通风瓦斯的热值可减少一次燃料的消耗。辅助使用技术的主要缺点是没有利用全部的通风瓦斯, 只利用了一部分通风瓦斯, 剩余部分被排放到大气中。

就主要使用技术而言, 通风瓦斯本身就被用作热流-逆向反应器 (TFRR)、催化流-逆向反应器 (CFRR)、间壁回热式燃气轮机、稀燃催化汽轮机和催化膜反应器 (CMR) 等的主要燃料。对于 TFRR、CFRR 和 CMR 装置, 这些技术运行所需的最低甲烷浓度分别为 0.2、0.1 和 0.4%。在这些反应器中, 甲烷-空气混合物, 即通风瓦斯被燃烧以产生热量, 用于小规模的生产能源。

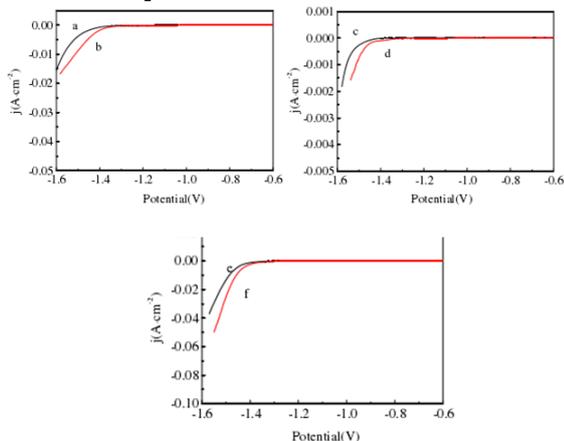
在其他技术方面, 澳大利亚开发了稀薄燃烧燃气轮机/微型燃气轮机, 以 CMM 或富集通风瓦斯为原料进行发电; 开发了能够从 CMM 或浓缩通风瓦斯中发电的换能式燃气轮机; 开发了换能式燃气轮机, 能够燃烧低至 1.6% 的甲烷空气混合物。美国开发了一种具有催化燃烧动力的微型涡轮机, 需要在通风空气加入 1% 的甲烷, 同时还开发了浓缩通风瓦斯, 以便随时使用。

3 通风瓦斯经济性分析

中国是《京都议定书》的签署国, 到 2020 年, 将以 2005 年为基准线, 将温室气体的排放量减少 20~25%。对于非附件一国家 (发展中国家) 来说, 清洁发展机制 (CDM) 项目等规定是通过采用新技术和其他手段减少温室气体排放。清洁发展机制是《京都议定书》的组成部分, 它的出现是出于对温室气体浓度上升和地球温度影响的关注。清洁发展机制使中国等发展中国家的项目每减少 1t 二氧化碳当量 (CO₂e) 的排放量就能获得一个核证的减排单位 (CER)。一旦经《联合国气候变化框架公约》(《气候公约》)(管理清洁发展机制的监管机构) 核实, CERs 可用于抵消上限和交易方案下的排放量, 并成为可交易的金融工具。

就我国目前通风瓦斯的排放量来看, (下转第 249 页)

$a=-1.4V$, $b=-1.38V$, $c=-1.42V$, $d=-1.4V$, $e=-1.4V$, $f=-1.36V$ 。复合 RuO_2 后的纳米多孔 Ni、纳米多孔 Co 及纳米多孔 Ni-Co 起始析氢电位点分别正移了 20mV、20mV 和 40mV, 说明 RuO_2 增强了电极的析氢催化活性。



(a) 纳米多孔 Ni; (b) 纳米多孔 Ni/ RuO_2 ; (c) 纳米多孔 Co; (d) 纳米多孔 Co/ RuO_2 ; (e) 纳米多孔 Ni-Co; (f) 纳米多孔 Ni-Co/ RuO_2
图 1 复合 RuO_2 前后的 LSV 曲线

3 电催化水解析氢阴极材料的影响因素

电催化水解析氢的电极材料对于析氢影响巨大, 尤其是阴极材料。其中影响阴极材料的主要因素有两方面: 能量因素和几何因素。能量因素主要为 M-H 键的键能, 几何因素主要为表面结构形态和比表面积。近些年来, 研究学者们为了提高催化效果, 降低析氢过电位, 主要着手于制备高活性的阴极新材料, 提高电极自身活性, 或者提高电极的比表面积, 增加表面粗糙程度。

3.1 能量因素

根据 Brewer-Engel 价键理论^[3], 由于氢原子的最外层电子容易与金属形成 M-H 键, 因此吸附氢效果更明显。如“火山图”所示, 贵金属元素铂元素、铱元素、铑元素、钌元素具有较高的析氢电流密度。由于贵金属价格昂贵, 很难大规模工业化使用, 金属镍、钴具有较高的析氢电流密度, M-H 键的强度适中, 因此成为了研究的热点。

3.2 几何因素

从几何因素角度考虑, 主要包括主要致力于探讨材料的表面结构及比表面积的提升, 进而降低析氢反应过程中的真实电流密度。围绕提高表面积这一方向, 研究工作者着眼多孔复合析氢电极这一主流课题进行了深入探索。

Zhen Zheng 等^[4]制备了 Ni-S/ GeO_2 电极, 并研究电极

的析氢催化性能, 结果表明通过复合电沉积方法制备的 Ni-S/ GeO_2 电极具有高的析氢催化活性。这是由于电极的表面积增大, 其中 Ni 与 GeO_2 的协同作用导致 GeO_2 粒子的加入, 从而使电极的表面积进一步增加。

4 结语

综上所述, 对于制备高活性的析氢阴极材料, 提高电极本身的电化学活性, 仍处于探索阶段, 而纳米多孔复合电极电解水析氢这项研究有着深远的前景。硼氢化钠 ($NaBH_4$) 作为储氢材料的重要组成部分, 由于其理论放氢量高达 (10.8% wt%), 价格低廉, 在碱性溶液中的稳定性好, 引起了广泛的研究兴趣。在室温条件下, 利用 $NaBH_4$ 水解制氢已被证明是一种具有很大潜能的方法。此方法制备的镍基催化剂具有较高的催化活性, 其代替贵金属投入使用具有越来越重要的意义。接下来的对于此项目的主要重点集中于寻找新材料, 或者提高电极的真实比表面积, 及增加孔隙率, 提高表面粗糙程度。

参考文献:

- [1] BOCKRIS J O' M, POTTER E C. The mechanism of the cathodic hydrogen evolution reaction[J]. Journal of the Electrochemical Society, 1952, 99: 169-186.
- [2] SHENG W C, GASTEIGER H A, SHAO-HOM Y. Hydrogen oxidation and evolution reaction kinetics on platinum: acid vs alkaline electrolytes[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2010, 157: 1529-1536.
- [3] Correia A N, Machado S A S, Avaca L A. Studies of the hydrogen evolution reaction on smooth Co and electrodeposited Ni-Co ultramicroelectrodes[J]. Electrochem Commun, 1999, 1(12): 600-604.
- [4] Han Q, Cui S, Pu N W, et al. A study on pulse plating amorphous Ni-Mo alloy coating used as HER cathode in alkaline medium[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2010, 35(11): 5194-5201.

作者简介:

翟菁菁 (2000-), 女, 籍贯: 辽宁省辽阳县, 民族: 汉族, 学历: 本科在读, 专业: 化学, 研究方向: 化学。

基金项目:

沈阳师范大学“大学生创新创业训练计划”项目 (项目编号: x0202010166067)

(上接第 247 页) 我国的通风瓦斯能源具有极大的开发潜力, 在此基础上, 结合清洁发展机制 (CDM) 项目, 可为我国带来较大的经济效益, 同时也可做到节能减排, 提高生态效益, 以促进多方面的健康发展, 进而反哺经济的发展。

4 总结

我国煤炭开采大国的地位奠定了通风瓦斯巨大的排放量, 如不能合理利用, 其既有害于生态发展, 也浪费了较好的清洁能源。我国对于通风瓦斯能源的开发利用尚不充分, 其目前的开发潜力巨大, 结合国内外先进的技术手段, 对其加以合理回收和利用, 一方面可提高煤炭企业的收益, 促进我国经济的发展, 另一方面也为抑制全球变暖做出了

贡献, 显示了我国积极承担世界责任的风范。

参考文献:

- [1] 刘文革, 张斌川, 刘馨等. 中国煤矿区甲烷零排放 [J]. 中国煤层气, 2005, 2(2): 6-9.
- [2] 陈宜亮, 马晓钟, 魏化兴. 煤矿通风瓦斯氧化技术及氧化热利用方式 [J]. 中国煤层气, 2007, 4(4): 27-30.
- [3] 李宏军, 胡予红. 中国煤矿甲烷对温室气体贡献量的初步评估 [J]. 中国煤层气, 2008, 5(2): 10+15-17.

作者简介:

仇慧明 (1982-), 男, 河北井陘人, 毕业于山西大同大学, 通风助理工程师。