

中国安徽省淮南煤田

刘庄煤矿：

**煤矿瓦斯抽采和利用
的可行性研究**



主持单位：

美国环境保护署 (美国华盛顿特区)

编制单位：

Advanced Resources International, Inc. (美国弗吉尼亚州阿林顿县)

REI Drilling Inc. (美国犹他州盐湖城)

Valley Longwall International (澳大利亚悉尼市)

Organic Waste Technologies (中国香港特别行政区)

2010 年 2 月

摘要

本可行性研究是在甲烷市场化伙伴计划 (Methane to Markets Partnership) 的支持下由美国环境保护署主持下完成的，中国和美国均为甲烷市场化伙伴计划的发起国。另外，它也支持中美战略经济对话的各项目标。此项研究评估位于中国中东部安徽省的刘庄煤矿的技术、经济和室温气体减排潜力，以改进煤矿瓦斯 (CMM) 抽采和利用的效率。

刘庄煤矿的现状。

刘庄煤矿位于战略重地淮南煤田 (Huainan Coal Field) 的西部，由国有国投新集能源股份有限公司 (SDIC Xinji Energy Co. Ltd.) 经营。刘庄是一座现代化的长壁开采煤矿，于 2006 年投产，计划服务年限为 60 年。该矿目前每年约生产 300 万吨 (吨/年) 烟煤，主要用途为发电。规划中的第二台长壁开采机安装投产 (暂定于 2010 年) 后，煤炭产量预计将提高至 785 万吨/年。

为增强安全和提高生产率，刘庄煤矿当前每分钟抽采约 24.7 立方米 (米³/分) 的煤矿瓦斯 (按中国习惯，在本报告整文中调整为 100% CH₄)。煤矿瓦斯的抽采主要采用在煤层上沿水平方向打短 (100 米长)、无控制、穿板钻孔的方法实现。其他钻孔向上倾斜，穿入岩体裂隙 (采空) 区，以抽采随着采矿面的前移而从覆盖煤层和砂岩中释放出来的煤矿瓦斯。从淮南的取岩心所得的含气量数据表明，原储于煤层矿藏中的煤矿瓦斯为高浓度甲烷 (按容积约 95% 的 CH₄)。然而，在刘庄煤矿瓦斯抽采过程中的空气污染将抽采气流中的实际甲烷浓度降低到仅为 7% 到 10%，此为一个难于利用的低水平。

除通过钻孔和气体收集系统抽采煤矿瓦斯外，刘庄煤矿采用直径为 2.8 米的英国造通风机对非常稀薄的甲烷进行吹洗。通风中的实际甲烷浓度相当低 (平均约 0.02%)，这有利于煤矿的安全目的，但大大低于乏风瓦斯减排的经济极限。综合以上因素，刘庄煤矿当前的煤矿瓦斯排放总量约为 30.9 米³/分 (160 万立方英尺/天或 41 万吨 CO₂ 当量/年)，这包括来自钻孔抽采系统 7-10% 纯甲烷的 24.7 米³/分和超低浓度通风瓦斯 (0.02%) 的另外 6.2 米³/分。

目前在刘庄煤矿，所抽采的低浓度煤矿瓦斯均未得到利用。国投公司初步评估过安装八台胜利制造的低浓度内燃 (IC) 机来利用抽采的 CMM 进行发电的可能性 (8×0.5 兆瓦，总发电量为 4.0 兆瓦)。然而，国投公司还对此项研究中所提概念表示感兴趣，即改进煤矿的钻孔，将甲烷浓度提高到高达 40%，并采用更大型、更高效的内燃机以利用煤矿瓦斯。如果项目可以实施，该项目所发的电很可能会由煤矿内部使用。

淮南油田。

占地面积为 3,000 平方公里的淮南煤田是中国最大的煤炭和瓦斯生产区之一，刘庄为其约二十四个主要煤矿之一。该地区 2007 年的煤产量总计约 1 亿吨，相当于中国总产量的 5% 左右。淮南煤田 2007 年的煤矿瓦斯抽采总量为 1.9 亿米³ (1,840 万立方英尺/天)。尽管在过去的十年间淮南地区的煤矿瓦斯抽采总量已有所增加，但抽采气体的平均甲烷浓度却

逐步下降。在此期间的总利用率（利用率定义为瓦斯利用量除以瓦斯抽采量）降至目前的约 40%，也就不足为奇了，它反映了低浓度瓦斯的利用难度。

因此，当前淮南地区约 60%的抽采甲烷被排入大气。其余部分的甲烷在采矿过程中释放出来但没有被煤矿抽采系统捕获，主要从煤矿通风系统泄漏（通风瓦斯）。综合以上因素，淮南地区煤炭生产相关的瓦斯排放总量已升至约 19 亿米³/年。总之，在淮南当前得到利用的瓦斯量仅占煤炭生产过程中瓦斯总释放量（包括未抽采出来的瓦斯）的 5%（9,500 万立方米/年）。据中国有关研究机构作出的煤层气/煤矿瓦斯资源评估，该煤田在 1,500 米深度上约含 4,250 亿立方米或 Bm³（15 万亿立方英尺或 Tcf）。随着煤炭开采在未来数十年中的扩大，大部分瓦斯资源可能被排入大气。显然，淮南煤田提供了改进瓦斯抽采和利用效率的重大机遇。

鉴于相对较高的气体含量（5-15 米³/吨）、机械脆性和煤藏的低渗透性，淮南的瓦斯抽采特别具有挑战性。由于不稳定的煤藏条件，过去十年间曾在山西省沁水盆地成功运用的长水平煤层钻孔在这里却不实际。地面煤层气和采动区井，无论是垂直还是水平，也都不奏效。矿内钻孔已被限制为煤层内短钻孔和采空区穿层钻孔。由于与通风的大量混合，瓦斯浓度通常非常低（<10%的 CH₄），频繁处于甲烷在空气中的爆炸范围内。这使得煤矿瓦斯在淮南的许多煤矿难于进行运输和利用，甚至存在潜在危险性。

瓦斯利用和市场分析。

当前，刘庄煤矿所抽采的瓦斯中甲烷浓度极低（7-10%），极大限制了瓦斯利用经济可行方案的范围。另外，瓦斯浓度处于爆炸范围之内，在利用或运输方面是不安全的。

再者，刘庄煤矿在农村地区（主要为农业区，距重要的市区和工业气体市场约 70 公里）所处的相对偏远的位置使得通过管道进行输送显得不现实。当地的能源消费主要依赖于低质的“废”煤，相当便宜，因此不可能被成本更高的煤矿瓦斯所替代。此外，鉴于相对较小的煤矿瓦斯产量以及较低的瓦斯浓度，铺设通往淮南市或其他需求中心的长达 70 公里的瓦斯输送管道也是不实际的。淮南的城镇供气系统正在向高浓度天然气转化，因此煤矿瓦斯与之不相符合。

曾对采用低温或催化法加工煤矿瓦斯以提高甲烷浓度的可能性进行过评估，但是这个可能性已经被否决，主要由于浓度如此低的瓦斯进行提纯需耗费大量能源，既不经济又不切实际。类似地，将瓦斯转化为液化天然气（LNG）或压缩天然气（CNG）会过于能源密集，而且工厂规模也过小。

发电供煤矿自用应是刘庄煤矿瓦斯利用的最可行方案。燃气轮机具有高的效率和可靠性，但对于利用浓度低且具有随时间变化特征的煤矿瓦斯却是不实际的。然而，近年来在中国，往复式发动机在利用中低浓度煤矿瓦斯发电方面享有广泛的成功。假设建议的钻孔和抽采

改进得以实现浓度高达 40% 的合格甲烷，机组容量为 1 到 2 兆瓦的往复式发动机应该是在刘庄煤矿高效利用煤矿瓦斯的最佳方案。

鉴于通风系统中极低的甲烷浓度，平均只有 0.02% 的 CH₄，通风瓦斯 (VAM) 氧化技术在技术上对于刘庄煤矿来说不可行。最经济可行的通风瓦斯热力氧化装置一般要求甲烷的浓度约在 0.2% 或者更高。

煤矿瓦斯抽采和利用系统的初步设计

根据对刘庄煤矿和淮南煤田总体地质情况、矿藏情况、开采设计和市场机会的审查，兹建议对该煤矿的煤矿瓦斯抽采和利用系统采取以下各项改进：

组成	技术	单位个数	预期效果
钻孔	定向钻机	2	更长、精确地钻空位置，更高的甲烷浓度
钻孔井口	改善灌浆	-	减少漏风、更高的甲烷浓度
瓦斯管道	HDPE 融合管道	2	减少漏风、更高的甲烷浓度
发电	内燃机发电机	10 x 1.255 兆瓦	煤矿瓦斯利用、高效率 and 可靠性

表 A: 建议的刘庄煤矿瓦斯抽采和利用改进摘要

- 可控钻孔技术。**采用先进的可控钻孔技术在未来采空区的顶部——目标煤层上方 15-20 米的精确位置——钻长 (1000 米) 水平孔，可大大地提高刘庄煤矿所抽采煤矿瓦斯的质量和 CH₄ 浓度。储层建模分析建议，煤矿瓦斯产量和甲烷浓度可同时提高数倍，分别达约 100 米³/分和 40% 的 CH₄，进而提高甲烷利用的潜在规模和效率 (估计成本为 350 万美元)。
- 升级的收集系统。**改进井立管固井可减少煤矿通风对所抽采煤矿瓦斯的污染。用无缝 HDPE (塑料) 管道代替现用的法兰钢管系统可减少腐蚀和潜在空气污染。改进气流监控和安装自动关闭阀可提高管道损坏情况发生时的安全性以及气体质量 (估计成本为 70 万美元)
- 更大型的往复式发动机。**依赖于对所抽采煤矿瓦斯质量和数量预期改进的成功，采用机组容量为 1 到 2 兆瓦的可靠且高效燃气发动机 (当前由 Caterpillar、GE Jenbacher 和 Deutz 三家制造) 或是可行的，其可利用预期的浓度为 40% 的煤矿瓦斯。该项目的所发电量可供煤矿自用，以抵偿从电网购入的电量。出于规划的目的，此项研究假设采用容量为 1.255 兆瓦的机组，但实际采用的机组应根据竞标选购。约 12.55 兆瓦的总发电量是可以实现的。经估算，该电站的资本成本为 1,733 万美元。

表 B 对项目的关键参数进行了总结：

主题	项目关键参数	数值	单位
时间安排	项目启动	2010年	年中
	项目全面实施	2012年	一月份
	项目完工	2034年	十二月份
煤炭生产	煤炭生产 (2010年)	3.00	百万吨/年
	煤炭生产 (2011年继续)	7.85	百万吨/年
煤矿瓦斯抽采	煤矿瓦斯抽采速度	37.50	米 ³ /分
	利用的煤矿瓦斯 / 抽采的煤矿瓦斯	100%	百分率
	预期的煤矿瓦斯浓度	30-40	百分率
发电	发电容量	12.55	兆瓦
	发电效率	90%	百分率
	项目累加电力生产	2,448	百万瓦小时
电价	电价 (基础)	0.05	美元/千瓦小时
	电价 (提价)	1%	每年
投资成本	钻孔抽采投资	3.42	百万美元
	煤矿瓦斯管道投资	0.71	百万美元
	发电投资	17.33	百万美元
	总资本投资	21.46	百万美元
运营成本	煤矿瓦斯抽采系统运营成本	相同	按当前
	发电运营成本	1.70	百万美元
财务指标	净现值 (r = 10% ; 基本情况 ; 税前)	11.51	million USD
	内部收益率 (基本情况 ; 税前)	17.6%	percent
温室气体减排	甲烷的全球增温潜值	21	吨 CO ₂ 当量/ 吨 CH ₄
	发电所避免的排放总量	9.18	百万吨 CO ₂ 大量
	项目排放总量	0.92	百万吨 CO ₂ 大量
	可避免的排放总量净额	8.26	百万吨 CO ₂ 大量

表 B: 项目关键参数摘要

温室气体减排。

到 2011 年，在 785 万吨/年的全面产煤局面铺开，建议项目的年减排量估计可达约 337,193 吨 CO₂ 当量，此减排量计算方法是由基准线排放量 374,733 吨 CO₂ 当量减去项目排放约 37,540 吨 CO₂ 当量的项目。在该项目长达 25 年的寿命中，总的净减排量估计可达约 826 万吨 CO₂ 当量（+/-约 10%）。（此项研究未评估该煤矿在当前中国相关煤炭法规之下是否符合排放指标申请的要求。）

如果对刘庄煤矿煤矿瓦斯抽采系统的建议升级证明是有效的，这些经验可向由国投公司、淮南矿业集团或该地区其他矿业公司所运营的具备类似地质和开采条件的淮南多家其他煤矿推广。假设贯穿整个淮南煤田的抽采和利用渗透率为 50%（此为根据该地区地质和开采条件的相似性做出的保守假设），那么这些技术的全面运用可对该矿区的甲烷减排一半，或许可进而避免逐年递增的 10 亿米³/年（2,500 万吨 CO₂ 当量）的甲烷排放。

项目经济分析。

刘庄煤矿的煤矿瓦斯抽采和利用项目具备很好的经济指标，包括极具吸引力的 17.6% 的税前内部收益率（IRR）以及估计可达 7,860 万元人民币的净现值（NPV）和合理的实际回报期（10 年）。资本金和运营成本的变化可严重影响该项目的绩效，而电价的变化和发电厂运营效率则倾向于具备相对较小的影响。

其基本情况假设包括 2 年的建设期、0.05 美元/千瓦小时的初始电价（1%/年的实际递增）和 90% 的电厂运营效率。在这样的情况下，税前 NPR（PV-10）估计可达约 7,860 万元人民币（1,150 万美元）和 17.6% 的 IRR。敏感性分析（+/- 25%）指出，钻孔和发电的资金和运营成本变化可对项目的经济效益产生最大的影响。

变量	-25%		基本情况		25%	
	IRR	NPV	IRR	NPV	IRR	NPV
电价上升	17.1%	71.60	17.6%	78.60	18.1%	85.82
钻孔/发电的资金成本	25.5%	118.47	17.6%	78.60	13.0%	38.74
钻孔/发电的运营成本	21.3%	113.47	17.6%	78.60	14.1%	43.74
运营效率	16.6%	68.78	17.6%	78.60	18.6%	88.43

表 C: 项目关键参数的财务敏感性

项目的其他效益。

除所期待的经济收益和减排外，实施更高效的煤矿抽采系统以及回收和利用煤矿瓦斯进行发电以供煤矿现场使用，有望产生多种额外效益。具体包括刘庄煤矿安全性和采矿生产率

的提高、就业人数的小幅增加、因使用更清洁燃料（煤矿瓦斯）进行发电而实现的当地空气污染减少，以及先进钻孔和发电技术在淮南煤田的更广泛运用等。