

中国贵州省六盘水市六枝特区 六龙煤矿瓦斯抽采与利用预可行性研究报告



咨助方:美国环保局,美国华盛顿

编制:美国先进资源公司

编写日期:2016年9月

EPA 430-R-21-037

执行摘要	1
1 中国煤炭与煤层气产业	6
1.1 中国煤炭工业	6
1.2 中国煤层气产业现状	7
1.3 贵州煤矿瓦斯资源	9
1.4 六龙煤矿	10
1.5 六龙煤矿的控股及经营公司——百矿集团基本情况	16
2 六龙矿基本情况	17
2.1 煤炭储备	17
2.2 煤炭生产	17
2.3 煤矿瓦斯排放情况	18
2.4 井田地质	20
2.5 瓦斯资源	22
2.6 采煤方式	22
2.7 矿井通风和瓦斯抽采情况	23
3 瓦斯抽采方案优选及抽采量预测	28
3.1 瓦斯抽采方案优选	28
3.2 本煤层预抽钻孔抽采量预测	31
3.3 采空区水平钻孔（HGB）瓦斯抽采量预测	44
4 市场信息	48

4.1	贵州省经济情况	49
4.2	六盘水经济情况	50
4.3	六盘水能源消费市场	50
4.4	贵州省排放权交易情况	53
4.5	法律和政策环境	54
4.6	六龙可供选择的煤矿瓦斯利用方式	56
4.7	煤矿瓦斯利用建议	60
5	经济性分析	61
5.1	项目开发方案	61
5.2	瓦斯产量预测	63
5.3	项目经济评价	64
6	结论和建议	70

执行摘要

美国环保局（USEPA）煤层气办公室（CMOP）致力于同美国本土以及全球各地煤矿企业展开合作，以鼓励合理经济利用煤矿瓦斯，减少煤矿瓦斯的排放。煤矿瓦斯的主要成分为甲烷，也是潜在的温室气体，对其进行合理抽采利用可以保障煤矿安全，促进矿区可持续发展和增加经济收入。全球甲烷行动倡议（GMI）是由 42 个国家和欧盟委员会共同组建的致力于推广甲烷高效清洁利用的国际组织。美国环保局和煤层气办公室为全球甲烷行动倡议相关项目提供支持。进行煤矿瓦斯抽采利用项目的可行性研究是美国环保局煤层气办公室进行支持的主要方式，包括对项目建设经济性的初步评价以及后续对可抽采量、利用方式以及减排量进行研究。近年来，CMOP 先后在中国、印度、哈萨克斯坦、蒙古、波兰、俄罗斯、土耳其以及乌克兰开展了多个类似可行性以及预可行性研究的报告工作。

六龙煤矿位于贵州省西部六盘水市六枝煤田，是百矿集团下辖的煤与瓦斯突出矿井。六龙煤矿井田范围内煤层瓦斯含量较高，在贵州省具有较强的代表性，被确立为本项的研究主体。

六龙煤矿现阶段采用在工作面施工交叉钻孔的方式进行瓦斯抽采，但这种瓦斯抽采方法并没有取得显著效果。百矿集团正在考虑贵州省其他一些煤矿应用的在煤层地板岩巷内向开采煤层施工穿层钻孔方式进行瓦斯抽采，但这种方式造价通常较高。同时，百矿集团也在寻求其他更加经济有效的瓦斯抽采方案。对于抽采出的煤矿瓦斯，

百矿集团虽然有对其进行利用的意愿，但现阶段六龙煤矿并没有建成任何瓦斯利用项目。

除了现有矿区外，百矿集团计划进行扩界改造，将地质条件相似的大用煤田划入六龙煤矿。正式划入后，大用扩大区开采煤层与现阶段六龙煤矿开采煤层相同。

根据百矿集团的既定目标和当前及未来的矿山工程条件，本预可行性研究的目标是：

- 提出可以提高瓦斯抽采浓度和抽采量的瓦斯抽采方法，并论述其合理性；
- 根据六龙矿提供的地质条件和储层信息，构建煤矿瓦斯抽采量数学模型；
- 应用矿山布局、未来开采计划和储量模拟结果，预测在整个项目周期内六龙矿和大用扩大区的瓦斯抽采量；
- 对各种瓦斯抽采利用方式在六龙煤矿的适用性进行评价，包括现阶段百矿集团首选的的瓦斯发电模式；
- 针对瓦斯发电，根据预测的瓦斯抽采量确定瓦斯电厂装机容量，并进行瓦斯发电的初步经济性评价；
- 设计瓦斯抽采与利用初步建设方案，以支持百矿集团六龙煤矿进行瓦斯抽采和利用项目建设。

六龙煤矿共有 3、7、9 三个可采煤层，3 号煤层埋深最浅，9 号煤层尚未动用。通过对煤层含气性等数据进行的详细分析，美国环保

局提出了两个同时适用于现有矿区和大用矿区的煤层条件的瓦斯抽采方式。

第一种方式从底板岩石巷道（或其它底层巷道）3 向上煤层施工本煤层分支穿层钻孔（间距为 30m）。这一方法的目的是扩大抽采影响范围、降低瓦斯抽采压力，如果能够进行较长时间的抽采，则可以增加钻孔间距。第二种方式是采用采空区水平钻孔（HGB）。虽然现阶段掌握的资料无法确定采空区瓦斯可采量，但已有信息表明开采煤层及周围围岩中普遍赋含瓦斯。

在数值模拟过程中，最初以 30 米的钻孔间距进行模拟，模拟结果显示瓦斯产量很低。经过 10 年抽采，7 号和 3 号煤层的瓦斯含量仍然为原始瓦斯含量的 70%和 80%。因此，改为以 10 米为间距进行第二次模拟，模拟结果显示，瓦斯抽采量显著提高。尽管如此，模拟显示采空区瓦斯抽采是对六龙矿进行瓦斯抽采的最有效方式，如图 ES-1 所示。

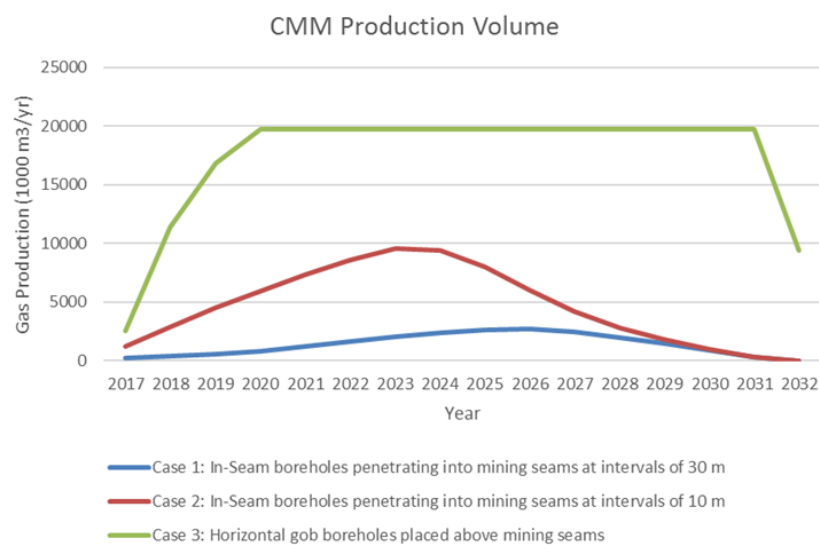


图 ES-1：瓦斯抽采量预测

根据百矿集团和 CCII 提供的初步市场数据，虽然六龙煤矿瓦斯利用方式有多种，但发电是最优的选择方案。包括贵州在内，瓦斯发电在中国有许多的应用实例。大量的技术和经验积累能够有效的保障六龙煤矿的瓦斯发电项目可以高效的实施、运营和维护。六盘水市当地的工业用电每千瓦时 0.098 美元的价格，以及额外补贴对瓦斯发电项目也是极具吸引力的。因为矿区是可接入高压电网、拥有矿区变电站的大型电力用户，将过剩电能接入电网的技术问题很容易克服。其它可能的利用方式还包括销售给当地的瓦斯分销公司、CNG/LNG 生产和用作锅炉燃料。但是，所有这些应用方式也都存在必须解决的自身问题。当地的燃气管网和六盘水天然气公司都没有矿区瓦斯的输送能力，必须横向从矿区越过复杂的地形进行接入，并且当地天然气销售价格相对较低。CNG/LNG 需要昂贵的基础设施，特别是 LNG 生产的运营和维护成本非常高。虽然矿区属于温带地区，全省范围内采暖需求有限，但是在矿区作为锅炉燃料使用也是一种可能的瓦斯利用方式。

由于这是一项预可行性研究，针对瓦斯发电来预测项目的经济可行性。财务中综合分析了项目的全部投资和运营费用，包括钻井费用、集气系统和发电厂的费用。发电项目的经济性分析结果在表 ES-1 中进行了总结。方案 2 和 3 均具有正的 10 年期净现值。方案 3 - HGB 具有超过 3000 万美元的 10 年净现值和 43% 的内部收益率，优于方案 2 - 10 米间距的煤层钻孔，该方案只有不到 130 万美元的 10 年净现值和 12% 的内部收益率。在整个项目周期内，方案 3 提供了最大

的瓦斯产量，以实现电厂发电容量的最大化，并提供了 290 万公吨二氧化碳减排量。方案 1 使用的本煤层钻孔是不经济的。

表 ES-1：经济性结果摘要

方案	说明	最大发电厂容量	10 年净产值 1000 美元	内部收益率 (IRR)	回报年	CO2 削减净 当量 (百万公 吨)
1	间距 30 米穿透煤层钻孔	2 MW	-5,722	-3%	-	0.32 Mt
2	间距 10 米穿透煤层钻孔	6 MW	+1,278	+12%	8	1.1 Mt
3	在煤层上方的水平采空区钻孔	9 MW	+30,054	+43%	3	2.9 Mt

作为一项预可行性研究，本报告旨在提供项目可行性的初步评价，但只是可行性研究工作的准备阶段。更加细致的经济可行性分析必须进行进一步的具体研究。第 6 章为百矿集团提出了有助于他们对瓦斯抽采和利用项目进行评估的进一步建议。其中最主要的建议是需要明确定义大用矿区的地质条件、瓦斯含量数据、未来矿井布局和开采规划。现有矿区成为大型煤矿瓦斯抽采利用项目的潜力有限，但对于大用煤田矿区来说潜力是巨大的。

1 中国煤炭与煤层气产业

1.1 中国煤炭工业

2016 年,中国煤炭产量达到 34.11 亿吨,占全球煤炭产量的 46%,是世界最大的产煤国。1981 至 2016 年间,中国煤炭年产量增长了 27.89 亿吨(见图 1-1)。受市场需求的影响,中国煤炭产量从 2014 年开始下降。

截止 2016 年底,中国累计探明煤炭储量 2440.10 亿吨(全球排名第二,仅次于美国),其中 94%为无烟煤和烟煤,6%为次烟煤和褐煤(BP, 2017)。煤炭资源分布范围遍及全国,主要以山西、内蒙古、新疆、陕西和贵州的煤炭资源最为丰富,贵州位列全国煤炭资源储量第五位(GZICCEP, 2011)。

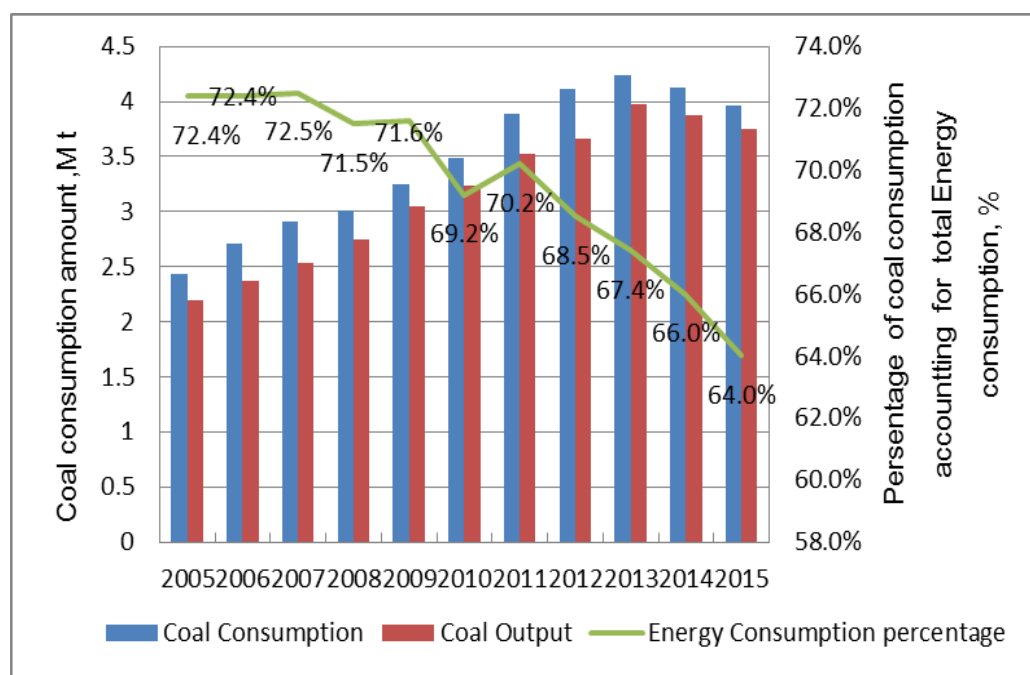


图 1-1 2005-2015 年中国的煤炭生产消费情况

如图 1-1 所示，近十年来煤炭行业发展迅速，原煤产量由 2005 年的 22 亿吨快速发展到 2015 年的 37.5 亿吨，2013 年的产量最高达到 39.7 亿吨，随后开始呈现下降趋势。2015 年，全国煤炭消费总量 39.7 亿吨。截至 2015 年底，全国年煤炭消费量占能源消费总量的 64%，在国务院公布的最新能源发展战略计划中这一比例将在 2020 年被控制在 62% 以内。

为了促进产业发展、提高效率、减少污染、保障安全，中国政府一直在尝试推动煤炭企业兼并重组。目前，全国共有 12000 余处煤矿，年产量 9 万吨以下的煤矿将按相关规定逐步退出。按国家煤矿安监总局给出的官方鉴定标准，瓦斯涌出量 450000 吨/年的煤矿为煤与瓦斯突出矿井。

尽管中国正在不断关闭小煤矿，但大型煤矿的建设仍在继续，而且许多小型煤矿正在进行与六龙煤矿相似的产能扩建工作。2015 年，全国年产 120 万吨以上的大型煤矿比 2010 年增加 400 处，煤与瓦斯突出矿井的最小产量规模为 90 万吨/年。因此，大型煤矿生产仍然会在中国持续很长一段时间。中国北方地区和东部一些省份煤炭工业已经相当成熟，为了鼓励资本进入，国家政策重心正在向西南的贵州以及其他周边省份转移。

1.2 中国煤层气产业现状

据美国环保局预测，到 2015 年末，中国的煤矿瓦斯排放总量将达到 224.9 亿 m^3 。中国的煤矿企业面临着严峻的煤矿瓦斯利用与安全生产问题。2015 年，全国瓦斯抽采总量 136 亿 m^3 ，其中进行有效利

用的仅有 47.7 亿 m^3 。全国瓦斯发电机组总装机容量约 3000MW，其中包括山西省的 120MW 瓦斯发电项目以及 30MW 乏风瓦斯发电项目。

“全国油气资源评价”结果显示，全国的煤层气资源总量约为 $36.81 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，绝大多数埋深小于 2000 米，其中埋深在 1000-1500 米的资源量占总量的 39%（图 1-2）。

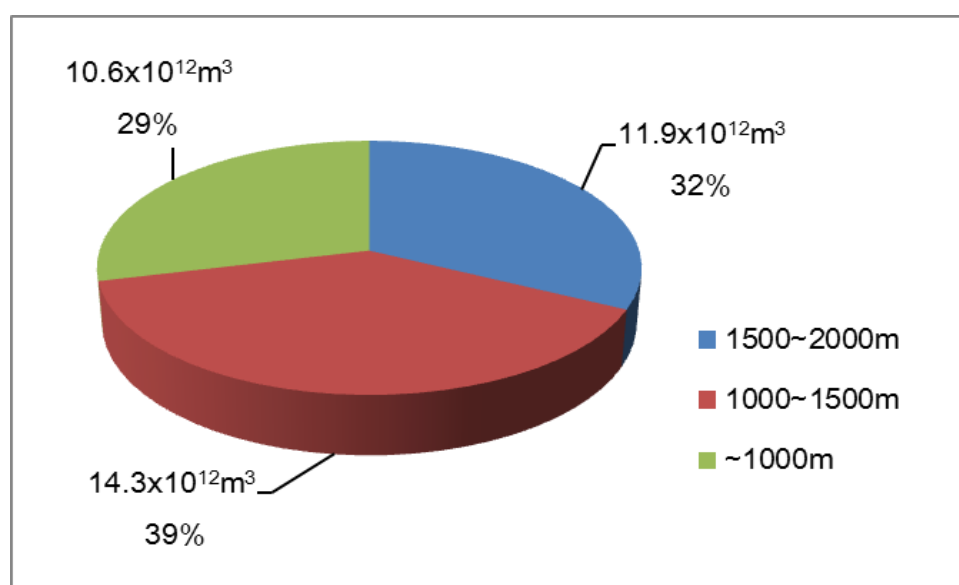


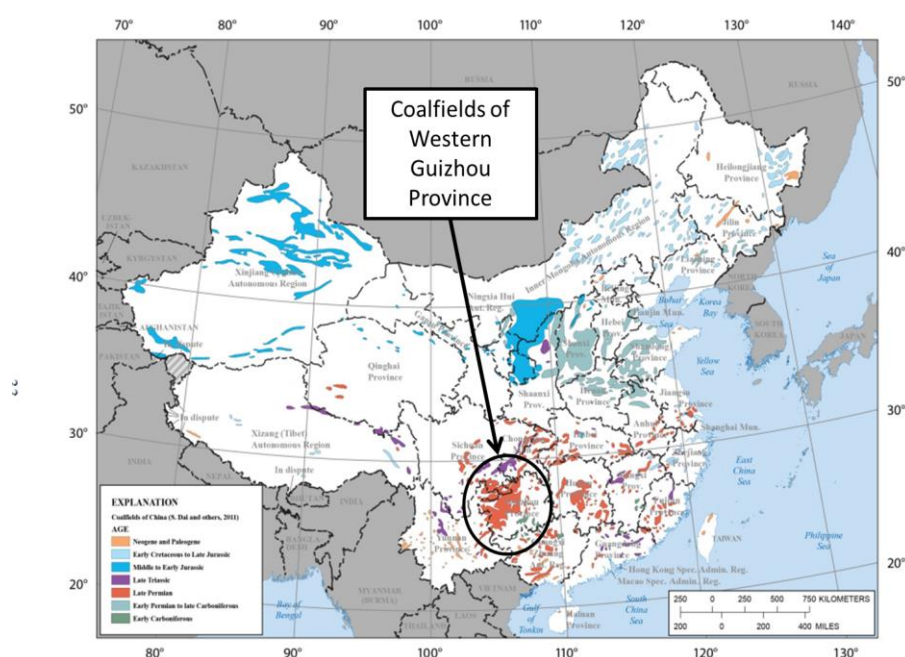
图 1-2 中国不同埋深的煤层气资源分布情况

虽然煤炭产量相比历史峰值有所下降，但随着前部矿井资源开始枯竭，为了满足需求，煤矿开采逐渐向深部煤层及高瓦斯煤层发展，煤矿瓦斯的抽采利用量预计将进一步增加。另外，煤矿在瓦斯抽采利用方面积累了一定的经验，提高了瓦斯抽采技术，而且煤炭生产更集中在大型高瓦斯矿井，这也促进瓦斯的抽采利用。煤矿瓦斯抽采利用一直是包括贵州在内的各产煤省份的工作重点。

1.3 贵州煤矿瓦斯资源

据预测，贵州省的煤层气资源总量 $3.15 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，其中约 45% 的资源赋存在六盘水煤田（GZICCEP, 2014）。在全省煤层气资源中，年产 30 万吨以上煤矿的煤层气资源为 $4.34 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，其中可采资源量 $2.64 \times 10^{11} \text{ m}^3$ （GZICCEP, 2011）。贵州近年的煤矿瓦斯平均利用率为 16%（GZICCEP, 2011），利用方式以发电和民用为主。

图 1-3 标出了贵州省的主要煤田。贵州主要的煤炭及煤层气资源复存在二叠纪晚期地层。全省可以划分为东南和西北两个瓦斯赋存区域。东南区域为低瓦斯带，西北区域为高瓦斯带。在盘江矿区盘关向斜、水城矿区的格目底向斜、六枝矿区的比德-三塘向斜、以及黔北的金龙向斜处瓦斯资源均非常富集，总体上以六盘水煤田含气量最大。



来源：美国地质调查局，2014

图 1-3 贵州省在中国主要煤田中的位置示意图

1.4 六龙煤矿

六龙煤矿位于贵州省六盘水市，是一座年产量 60 万吨的煤与瓦斯突出矿井。煤矿目前正在进行大用煤田整合工作，整合后预计年产量 150 万吨。相关整合工作计划在 2018 年初开始实施。

1.4.1 选题依据

选择六龙煤矿开展预可行性研究项目，立项依据主要有以下几点：

- ◆ 由于贵州省的煤层普遍瓦斯含量较高且突出危险性较高，中国各级政府均十分重视贵州省的瓦斯抽采工作；
- ◆ 煤矿瓦斯抽采利用技术在中国的发展要落后于煤矿其他主要技术体系，地方监管部门及企业对该领域技术支持较为欢迎；
- ◆ 中央及贵州政府对瓦斯利用给予了较大优惠。贵州未来的经济发展对煤炭的依赖程度仍然较高，煤炭产业将保持增长态势。瓦斯抽采利用项目相应地也将拥有良好的前景，美国环保局所提供的技术支持将起到良好的技术杠杆作用；
- ◆ 六龙煤矿现阶段已经在进行瓦斯抽采，但在提高抽采量及瓦斯发电项目建设方面仍需要技术支持；
- ◆ 六龙煤矿扩建后，需要对原有的瓦斯抽采利用系统运行进行升级扩建，以满足更大的生产需求，这也将进一步促进减排。

1.4.2 地理位置

六龙煤矿位于中国西南地区的贵州省的西部，地属六盘水市六枝特区平寨镇。六盘水市地处贵州省三大煤田之一的六枝煤田，矿井边

界东部以煤层露头线为界，南部以 146 断层为界，最新确定的 3 号和 4 号拐点限定了矿井的西至，141 断层为矿井的北部边界。煤田东西向长度 1.4 公里，南北向长度 1.6 公里，井田面积 7 平方公里，平均海拔高度+1500 米。矿区距离平寨镇政府 8 公里，距离六枝火车站 8 公里，距离高速公路 8 公里，由村道连接至各地。大用井田合并完成后井田面积将增加 15 平方公里。图 1-4,图 1-5 和图 1-6 分别指示了贵州省、六盘水市以及六龙煤矿的所在位置。



图 1-2 贵州省地理位置示意图

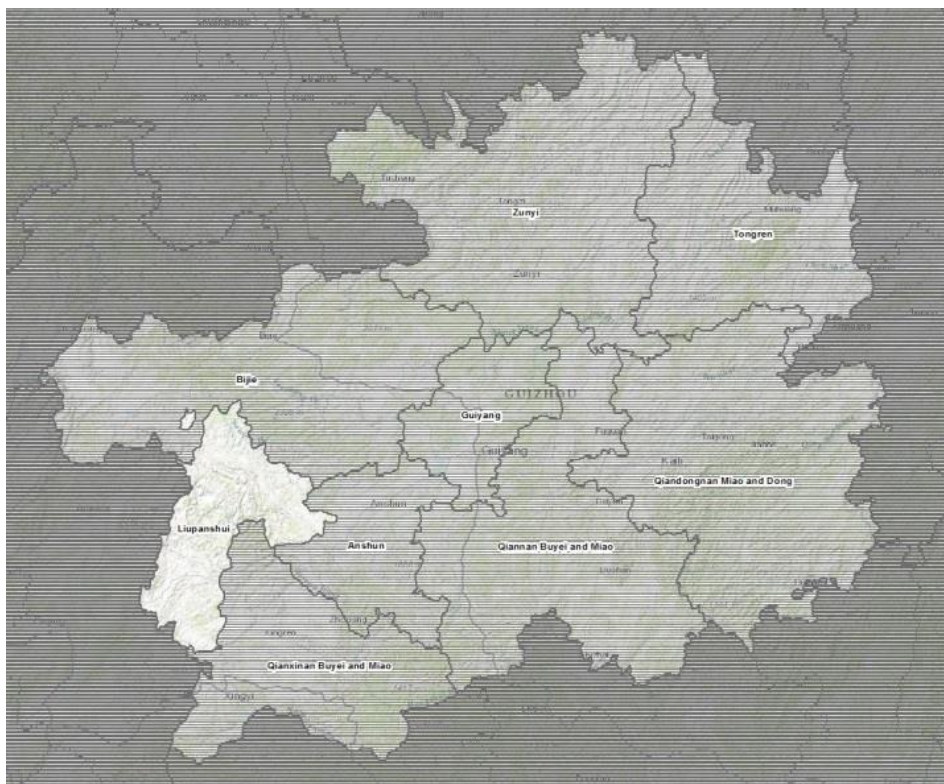


图 1-3. 六盘水市地理位置示意图

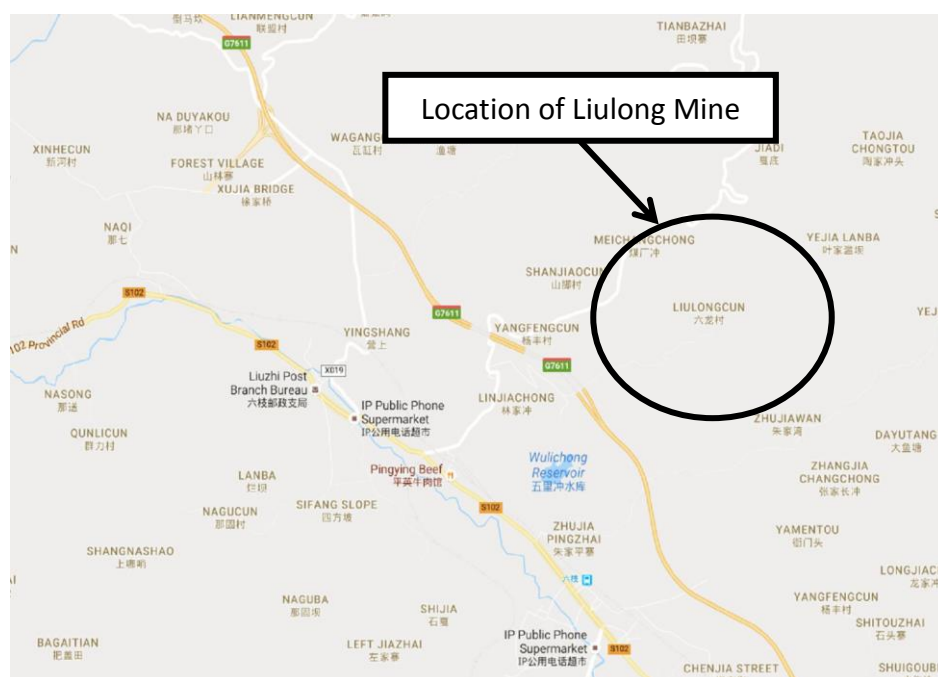


图 1-4. 六龙煤矿地理位置示意图

贵阳作为贵州省省会，是贵州对外交流的重要口岸，也是前往六龙煤矿的中转站。通过一条新建的省内高速公路，驱车从贵阳前往六

龙煤矿所在的六盘水市六枝特区平寨镇仅需大约 2 小时，六龙煤矿距离镇中心约 20 分钟路程。前往煤矿工业广场需要沿着一段又陡又窄但平整的小道爬到半山腰，翻过山坡的小村庄后，下坡走一小段山路到达矿井办公楼。

矿井办公区等建于山谷中，周围高山环绕。开采的煤矿由运输设备传送到选煤厂，选煤厂就建在矿井通向六枝特区的道路旁。尽管虽然大型运输车辆可能存在通行困难的问题，六龙煤矿仍然完成了大型生产设备的运输工作。同时，移动式钻井设备也完成了安装。在运输方面的另一大难题是连接城市与六龙煤矿的隧道等设施。从村里到六龙矿需要经过隧道，由于这条隧道顶板高度较低且宽度较小，运输发电设备、通风设备以及其他设施时需要特别注意。图 1-7 为当地工作人员的一组照片。



图 1-5 六龙煤矿工作人员及当地典型的喀斯特地貌环境

1.4.3 历史沿革

六龙煤矿建于上世纪九十年代初，最初的经营者彭延辉组织完成了矿井与道路的修建工作。采矿许可证最初的核定生产能力为 10 万吨/年。2008 年 6 月，贵州省国土资源厅将核定产能提高至 15 万吨/年，2012 年再次提高到 30 万吨/年。2014 年 2 月，百矿集团收购了六龙煤矿的大部分股权。目前，百矿集团现持有六龙煤矿 73% 的股份，彭延辉持有 27%。2014 年 2 月，经批准，百矿集团将六龙煤矿产能扩建至 60 万吨/年。合并大用煤田后，2020 年预期建成产能 90 万吨/年，届时六龙煤矿的产能将达到 150 万吨/年。

1.4.4 地形与气候

矿区所在的贵州省属于喀斯特地区，地形起伏大，为构造侵蚀、溶蚀、剥蚀中低山地貌，这对煤炭开采及瓦斯防治都有一定的影响。垂向上地形的突然变化会造成压力场的扰动，从而影响煤层的开采并给防突工作带来影响。喀斯特地貌本身还会对矿井带来水害的威胁，但六龙煤矿至今未出现过这类危险。对于地面施工来说，地表地形对交通运输会造成一定的影响。垂直应力对六龙煤矿有明显的影响，但水平方向没有受到干扰。

贵州省属于温带季风性气候，位于亚热带气候区，冬夏季极端天气较少。全省全年平均气温 14°C~16°C (15°F~61°F)。一月是一年中寒冷的季节，平均气温 4°C~9°C (39°F~48°F)，七月是温度最高的月份，平均气温 22°C~26°C (72°F~79°F)。全年平均降雨量 900~1500

毫米。项目建设过程中受到极寒、霜冻或暴雪影响的可能性较小，但可能会受到雨季的影响。

1.4.5 区域地质

六枝矿区是贵州省西部六盘水煤田的一部分。六盘水煤田总面积 24869 平方公里，其中含煤面积 14587 平方公里，含煤地层由西向东由陆相过渡到海陆交互相，其中上二叠统是最主要的含煤地层，所含长兴组和龙潭组含主要可采煤层，也是煤层气开发主要目的层位。

区域构造上，这一地区位于扬子陆块南部被动边缘褶冲带下的四级构造单元，织金宽缓褶皱区及六盘水复杂变形区。区域内断裂主要有纳雍-瓮安断裂，师宗-贵阳断裂，水城-紫云断裂，望谟-独山断裂，盘县-水城断裂和遵义-惠水断裂六个断裂带。先后历经了印支、燕山和喜马拉雅三次褶皱运动，其中以燕山运动影响最为强烈，使区内不同地区产生了不同方向和形态的构造形迹组合，控制了含煤地层的保存程度和赋存状态。

六盘水煤田构造以隔档式褶皱为主，按其展布方向及形态特征，可分为三组：NW 向褶皱，分布于煤田北东部；NE 向褶皱，分布于盘县—晴隆一线以南地区；短轴式褶皱，位于煤田中部地区。煤田走向正断层较发育，常沿背斜轴或翼部分布。

受到来自西侧的陆源河流和来自东南侧海洋方向的海岸潮汐作用双重因素的影响，六盘水煤田晚二叠世含煤地层主要为三角洲—潮坪—泻湖沉积体系，沉积类型主要有潮汐影响的分流河道、分流潮汐水道、分流间湾等。沉积环境主要为靠陆一侧发育河流作用为主的上

三角洲平原，中间发育河流和潮汐双重作用控制的过渡带三角洲平原，靠海一侧发育潮汐作用为主的下三角洲平原以及潮坪—泻湖。龙潭早期基本为海侵期，区域上以潮坪—泻湖沉积体系为主，三角洲体系在水城、盘县一线发育；龙潭晚期基本处于海退期，三角洲沉积体系在研究区广大地区发育，泻湖—潮坪体系相应的向东迁移；长兴期又处于新的海侵期，三角洲亦向陆收缩，但仍有较大规模发育。

1.5 六龙煤矿的控股及经营公司—百矿集团基本情况

目前，六龙煤矿由百色百矿集团有限公司控股并管理煤矿日常运营，但煤矿隶属贵州省管辖。百色百矿集团有限公司是广西壮族自治区百色市属国有企业，集团全资和控股企业 22 家，资产总额 80 亿元。企业核心产业为煤炭，涵盖锰矿、发电、铝业、煤炭物流、煤机制造、建材地产以及煤矿专业工程技术服务等行业，是广西主要的褐煤生产基地、全国重要的碳酸锰基地、国家级绿色矿山试点单位。现有职工 5000 多人。

百矿集团的煤炭业务遍布中国东南、西南诸省及东盟国家。百矿集团的一家子公司拥有六龙煤矿的大多数股权及经营权。百色集团也是广西百强企业，六龙煤矿是集团在贵州煤炭领域投资的第一个项目。六龙煤矿主要生产动力煤，用于化工领域和民用。由于百矿集团在广西的八对矿井都是低瓦斯矿井，其在高瓦斯矿井生产方面的经验有限，因此希望能在加强六龙煤矿瓦斯抽采及瓦斯发电站的建设方面寻求技术支持。

2 六龙矿基本情况

2.1 煤炭储备

目前，六龙矿拥有 680 万吨煤炭储量，其中 510 万吨为可采储量。但百矿集团目前正在开展大用煤田资源整合工作，相关工作完成之后预计六龙煤矿的煤炭储量可达到约 8000 万吨。参见图 2-1。

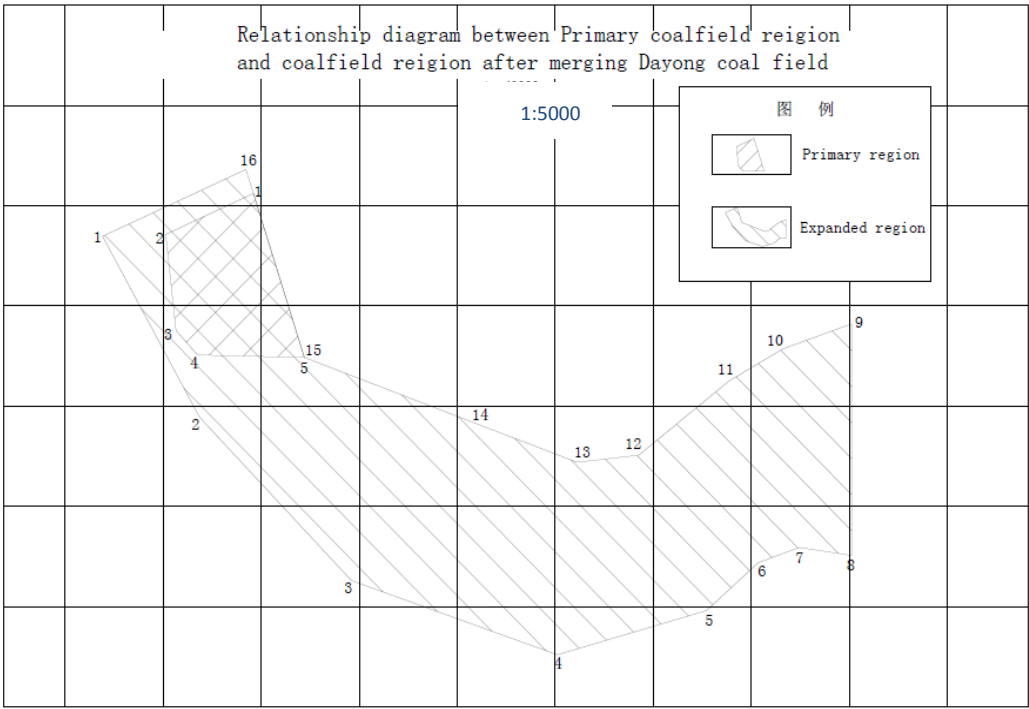


图 2-1 现有工作面与大用煤田资源整合的关系

2.2 煤炭生产

由于生产能力的大幅度提升导致原有历史生产数据对研究无法起到良好的支撑作用，本研究没有采用六龙煤矿的历史生产数据。龙煤矿核定生产能力由 2007 年的不足 15 万吨，迅速增加到现在的 60 万吨，大用煤田整合完成后将达到 150 万吨。

现阶段的开采煤层为 7 号和 3 号，18 号煤层也是可采煤层但尚未开采。3 号煤层海平面标高 1350-1600 米，7 号煤层标高 1200-1350 米，18 号煤层标高 1020-1200 米。

六龙煤矿整个矿井由多个水平面的平硐划分为东西两翼。采用平硐式掘进，长壁后退式采煤方法延煤层走向开采。



图 2-1 六龙煤矿主井入口

2.3 煤矿瓦斯排放情况

现有百矿集团提供的煤矿瓦斯资料显示，六龙煤矿瓦斯抽采系统纯瓦斯流量为 $160-763\text{m}^3/\text{小时}$ ，足以支持 500KW 到 3MW 的发电机组。历史平均瓦斯浓度仅有 21%，目前可以达到 30%。

尽管六龙煤矿历史上的瓦斯绝对涌出量较低，但现阶段吨煤涌出量高达 40.3 m^3 （相当于 $1422\text{ft}^3/\text{t}$ ），说明该矿的瓦斯抽采量通过完善抽采方式及提高煤炭产量后将大大提高。例如，60 万吨的煤炭产量

每年将有 2420 m³ 的瓦斯涌出，如果来源稳定，可以供应 8MW 的瓦斯发电项目。

3 号和 7 号煤层相对瓦斯涌出量见表 2-1。

表 2-1 抽采前瓦斯涌出量

煤层编号	工作面瓦斯涌出量 (m ³ /t)		管道内瓦斯涌出量(m ³ /min)		采区瓦斯涌出量(m ³ /t)	煤矿瓦斯涌出量	
	q1	q2	q3	q4		相对 (m ³ /t)	绝对(m ³ /min)
3	10.2	21.9	0.66	1.04	37.65	56.47	36.65
7	7.73	0.00	3.50	1.30	25.75	38.63	24.39

目前六龙煤矿在 3 号和 7 号煤层采用交叉钻孔进行瓦斯抽采，但受到煤层较脆、容易塌孔等问题的影响，抽采效果不理想。百矿集团考虑在开采煤层下方的 18 号煤层中掘进巷道，然后在巷道中向煤层上方 7 号及 3 号煤层施工垂直钻孔，但这种抽采方式成本很高。

施工煤层气地面井预抽煤层瓦斯及施工地面采空区井进行抽采也是百矿集团考虑的抽采方式，但这两种当时目前实施起来有一定的困难。矿区内地形条件较差，不适合开展地面钻井设备运输及施工、井口及集输系统布置等地面工程。当前阶段探讨的适合六龙煤矿的两种瓦斯抽采方式包括，在开采煤层下部巷道中施工定向钻孔（类似百矿集团考虑的方式）以及在矿井内向采空区施工长距离定向钻孔。

另外，进行地面井预抽还存在产气权的障碍。虽然百矿集团可以在煤层气地面井施工后 5 年内对预抽的瓦斯进行开发利用，对超过 5 年的地面气井则需要申请煤层气采气权才能利用或出售气源。目前，矿井乃至大用煤田范围内的煤层气采气权已被其他公司申请，这也增加了而五年时间对于地面煤层气项目来说，很难收回成本。

2.4 井田地质

六龙矿区位于六枝向斜北东翼西北段，地层走向北 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 西，倾角 $16^{\circ}\sim 36^{\circ}$ ，南西方向倾角 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，由北西向南东增大，属缓倾斜至倾斜构造，断层发育，以横向正断层为主，斜交及平推正断层次之，逆断层少见。大用煤田有一处主断层，但煤矿主管人员认为其不会影响开采和瓦斯治理。

六龙煤矿有 3 个可采煤层，分别为 3 号、7 号和 18 号煤层。现阶段正在开采的煤层是 3 号和 7 号煤层。3 号煤层开采水平标高 1386 米，煤层厚度范围约为 0.1~2.86 米，平均厚度 1.05 米。7 号煤层开采水平标高 1463 米，煤层厚度范围约为 1.06~14.24 米，平均厚度 6.39 米。18 号煤层厚度范围约为 0.11~2.534 米，平均厚度 1.40 米。煤层松软，钻井过程容易发生塌孔。

六龙煤矿出露地层有第四系（Q）、三叠系下统永宁镇组（T1yn）和夜郎组（T1y）、二叠系上统大隆组（P3d）、龙潭组（P3l）和峨嵋山玄武岩组（P3 β ）及二叠系中统茅口组（P2m）。各地层特征及岩石组合从新至老详情如下：

（1）第四系（Q）：主要为坡积、残积、洪积物，堆积在沟谷、煤系缓坡处。

（2）三叠系下统永宁镇组（T1yn）：上部为浅灰色中厚层状石灰岩，夹 3~4 层灰黄色白云质灰岩；中部浅灰色中厚层至厚层状石灰岩，夹紫色、灰绿色泥岩；下部灰白色、浅灰色厚层至块状石灰岩，局部鲕状结构发育。

(3) 三叠系下统夜郎组 (T1y)：上部以灰白色，浅灰色中厚层至块状石灰岩，鲕状灰岩及紫色薄层状泥质灰岩为主，夹薄层暗紫色泥岩；下部为灰色、灰绿色薄层状粉砂岩及钙质粉砂岩。

(4) 二叠系上统大隆组 (P3d)：深灰色至灰黑色泥岩、粉砂岩，夹薄层至中厚层状石灰岩（或泥质灰岩）3~5 层，中部有一层全区稳定的硅质灰岩（或石灰岩）为标志层。

(5) 二叠系上统龙潭组 (P3l)：以灰至深灰色砂岩、粉砂岩为主，夹砂质泥岩、泥岩、炭质泥岩、粘土岩。

(6) 二叠系上统峨眉山玄武岩组 (P3β)：暗灰、灰绿色玄武岩，隐晶质至细粒结构，具气孔状构造，柱状节理发育，顶部及底部常为凝灰岩，凝灰质砂岩等。

(7) 二叠系中统茅口组 (P2m)：浅灰色细晶质厚层状至块状石灰岩，喀斯特构造发育。

矿区内断层发育以横向正断层为主，斜交及平推正断层次之，逆断层少见。对煤系破坏较大的主要断层为 18 号断层、20 号断层和 21 号断层，详情如下：

(1) 18 横向正断层：自六枝向斜轴部向北东经龙沼地、郑家寨穿过煤系于沙包附近延伸区外，走向北 65°东，倾向南东，倾角 49°~57°，南东盘下降，北西盘相对上升，其断距以 7 号煤附近最大，向南西穿过三叠系石灰岩，时常开成宽达 20~70 米 破碎带，在龙沼地永宁镇组中垂直断距仅 150 米，地面水平位移 33 米；北东段于叶

家滥坝附近分枝为 140 号、138 号及附生小断层 139、147 号等断层后，断距急剧减小而消失于沙包附近的茅口灰岩中。

(2) 20 号斜交正断层：北东起于小坝地，南西在落水洞交于 21 号断层上，据槽探及钻孔资料，垂直断距 115 米，水平位移 173 米。

(3) 21 号斜交正断层：起于大鱼塘以东煤系中，向南西延伸至关岭组时分枝后消失。南西段走向北 74°东，经大鱼塘后转为北西向，倾向南，倾角 50°~63°，垂直断距约 200 米，水平位移 450 米左右；北东段煤系中断距突然变小，垂直断距 20~60 米，水平位移 100 米，再向东消失。

2.5 瓦斯资源

现阶段六龙煤矿采矿许可证范围内煤层气资源量约 1 亿 m³。表 2-2 为三个煤层的瓦斯含量。在整合大用煤田后，六龙煤矿全新井田边界内的煤层气资源量将达到 20 亿 m³。

表 2-2 现采区各煤层瓦斯含量 (m³/t)

煤层编号	3 号	7 号	18 号
原始瓦斯含量(m ³ /t)	12.63	15.06	15.62

2.6 采煤方式

六龙煤矿属于煤与瓦斯突出煤矿。现阶段中国对煤与瓦斯突出矿井的最低产能要求为 45 万吨/年，较 2014 年的 30 万吨/年有了较大提升。目前，六龙煤矿的日产量为 1500 吨，年产量为 54.75 万吨。

六龙煤矿的工业广场位于六盘水市六枝特区附近山区，地面厂区包括一栋带有宿舍的办公楼、澡堂和室外物料存储场地。矿井采用平

硐-斜井多水平开拓方式，有主平硐、进风行人斜井和回风斜井三个井筒。井口标高+1502 米，其中铺设有铁轨用于运输煤炭、材料和设备以及进风。进风行人斜井井口标高+1565 米，净断面 8.5 平方米，掘进断面 9.5 平方米。回风斜井井口标高 1580 米，净断面 8.5 平方米，掘进断面 9.5 平方米。

矿井开采标高在+1600~+1000 米之间。共有三个可采煤层 3 号、7 号和 18 号。9 号煤层可以用于建设瓦斯抽放巷道，但不具备可采性。3、7、9 号煤层可以从现有区域一直延伸至大用煤田扩大区。现阶段正在开采的工作面为 3 号煤层的 1033 工作面 and 7 号煤层的 1071 工作面以及 1071 和 1074 两个掘进面。1074 回风顺槽正在重修，1076 和 1075 也在为掘进准备排水系统。

根据煤层倾角与煤体结构特征，六龙煤矿采用后退式走向长壁式采煤方法。3 号煤层采用采空区一侧的后退式长壁采煤方法，7 号煤层采用倾斜的分层后退式长壁开采方法。

2.7 矿井通风和瓦斯抽采情况

六龙煤矿使用一套瓦斯抽放系统进行瓦斯抽采。

2.7.1 矿井通风系统

矿井通风系统为平硐、行人斜井进风，回风斜井回风。回风井设在采矿区，独立的回风系统设在采矿区延开拓面布置。回采工作面采用 U 型通风方式。额定风量 $42\sim 93\text{m}^3/\text{s}$ ，风压 625~2360Pa，风机功率 $2\times 110\text{KW}$ ，反风方式为风机反转反风。平均甲烷浓度 0.12%。随着产量的提高和大用扩大区的加入，通风量将显著增加。与乏风甲烷浓度

密切相关的因素将包括采煤速度、通风速率以及采取大范围有效的瓦斯抽采方式。

2.7.2 采区瓦斯抽采系统

六龙煤矿使用短的交叉钻孔进行瓦斯卸压，虽然这种方法在一些生产实践中行之有效，但由于六盘水地区煤矿塌孔现象明显使得这种方法的实际效果大打折扣。百色集团考虑使用底板瓦斯抽放巷穿层钻孔措施进行瓦斯抽采。根据 2015 年 12 月在贵阳举办的贵州省瓦斯勘探开发研讨会介绍，这种方式瓦斯抽采方法在贵州省正得到越来越多的关注(GICCEP, 2015 年)。但这种抽采方式相比传统抽采方法成本更高，有时甚至过高。图 2-3 为六龙及贵州一些其他煤矿现阶段考虑使用的瓦斯抽采方法示意图。同时，百矿集团也在考虑地面使用垂直钻孔进行瓦斯预抽。尽管相关数据没有公开，根据百矿集团的报告，六盘水市目前已经施工了两口或三口地面煤层气井。然而，如 2.3 节中提到，运输和法律的障碍限制了采用地面预抽，因此本预可行性研究不认为地面预抽是短期内可行的卸压抽采技术。

六龙煤矿使用了一套永久性瓦斯抽放系统，只要矿井存在生产活动这套系统就始终运行。该抽采系统包括两台 160KW，BEC-420 大功率负压抽采泵，最大压力可达 16000 帕，每分钟转速 390，最大抽采流量 126m³/min。此外还有两台 75KW，最大压力 3300Pa，转速每分钟 590 转，最大抽采流量 52 m³/min 的 BEA-303 小功率负压抽采泵。这套抽采系统同时包括两组直径 400 毫米的高低压抽采管线，管线由地面延伸至主回风井。大功率负压抽采管线由回风井延伸至垂直

高度+1350 米再连接到抽采面。在回风巷中，+1033 米处布置有一组低负压抽采管路。2014 年矿井瓦斯抽采总量 276 万 m^3 ，甲烷浓度 8-30%，平均 21%。2016 年新开采工作面报告显示瓦斯抽采量达到了每月 50 万 m^3 ，是以往瓦斯抽采量的两倍。

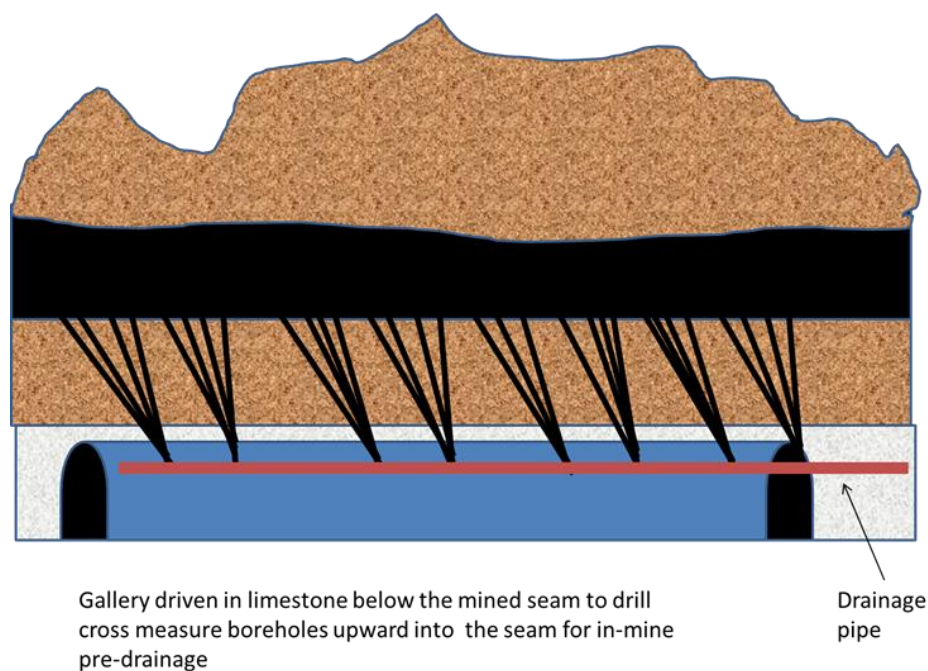


图 2-2 底板瓦斯抽放巷穿层钻孔瓦斯抽采方式示意图

六龙煤矿安装了一套 KJ90NB 瓦斯监控系统，该系统包括两专用监控计算机和一套 KJ90NA 备用系统（如图 2-4）。这套系统包含气体探测器、负压传感器、设备运行情况传感器、风量传感器以及水位传感器，煤矿工作人员可实现实时连续监控。数据连续不断地显示在监控室的大型监控屏幕上（如图 2-5）。任何数值发生异常都会触发警报器。此外，本系统还包含全矿范围内的数台监控摄像机用于将井

下生产情况的实时信息传送到监控室，同时以矿井示意图的形式显示出井下人员的所在位置及移动情况（如图 2-6）。



图 2-3 六龙煤矿监控室

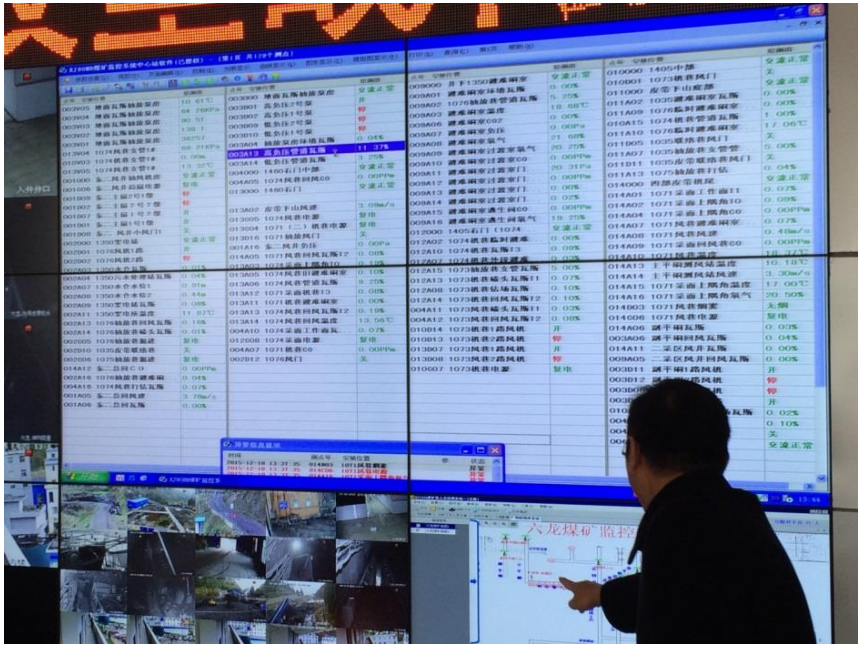


图 2-5 瓦斯浓度、风速等实时监控数据

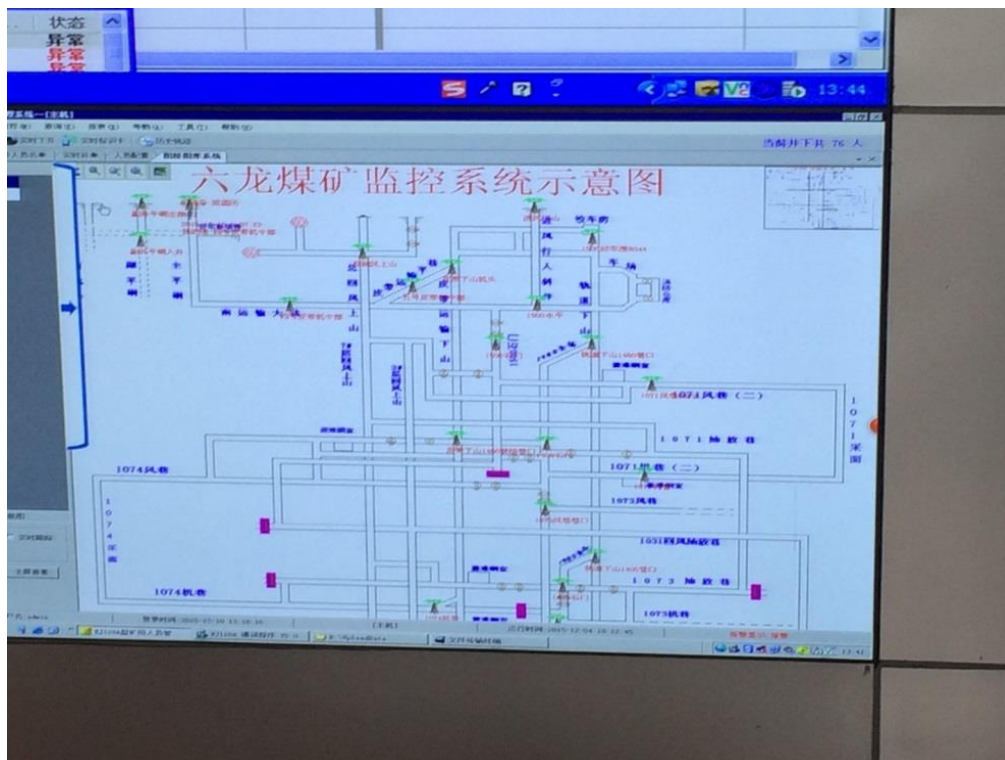


图 2-4 实施井下人员定位系统

3 瓦斯抽采方案优选及抽采量预测

本次预可行性报告研究的目的是为六龙煤矿优选技术可行和经济合理的煤矿瓦斯抽采和利用方案。通过对六龙煤矿地质条件和不同抽放方案对比分析,提出的六龙煤矿瓦斯抽采方案为本煤层超前分支水平钻孔预抽和采空区水平钻孔抽采。抽采的煤矿瓦斯进行低浓度瓦斯发电,供当地使用。本节所对每种瓦斯抽采方式的抽采量情况预测,将作为本报告第 5 章进行经济分析的依据。

3.1 瓦斯抽采方案优选

通过对现有六龙煤矿收集的地质条件详细分析,建议在六龙煤矿采用定向钻孔方式进行瓦斯抽采。虽然本研究报告提出的抽采方案以目前采区主采煤层 7 号煤层为例提出,但也同时适用于大用扩大区。

对建模来说,六龙煤矿所有长壁开采工作面均较短,大约为 250 米长、100 米宽,开采方式为走向长壁后退式采煤方法,走向倾角为 29 度。目前的瓦斯抽采方法是在一侧巷道上布置平行交叉钻孔。但由于六龙煤矿煤层硬度易破碎,容易塌孔,此方法的实际效果仍然有待验证。本项目建议六龙煤矿采用的瓦斯抽采方式将在下文中进行介绍。需要注意的是,虽然这些抽采方式以 7 号煤层相关数据进行设计,但同样适用于 3 号煤层。

3.1.1 本煤层预抽钻孔

如图 3-1 和图 3-2 (分别为平面图和剖面图) 所示,第一种方法是从岩石巷道(或其他底板巷道)向煤层打分支水平钻孔,钻孔间距

为 30 米。这种方法的目的是扩大抽采范围，增加钻孔抽采时间，减少底板抽采巷道，加大钻孔间距。钻孔可以钻入高压、松软或易碎煤层，可以从主巷道或相邻煤层巷道处进行施工，并在回采之前对煤层瓦斯进行预抽，达到预期的抽采效果。

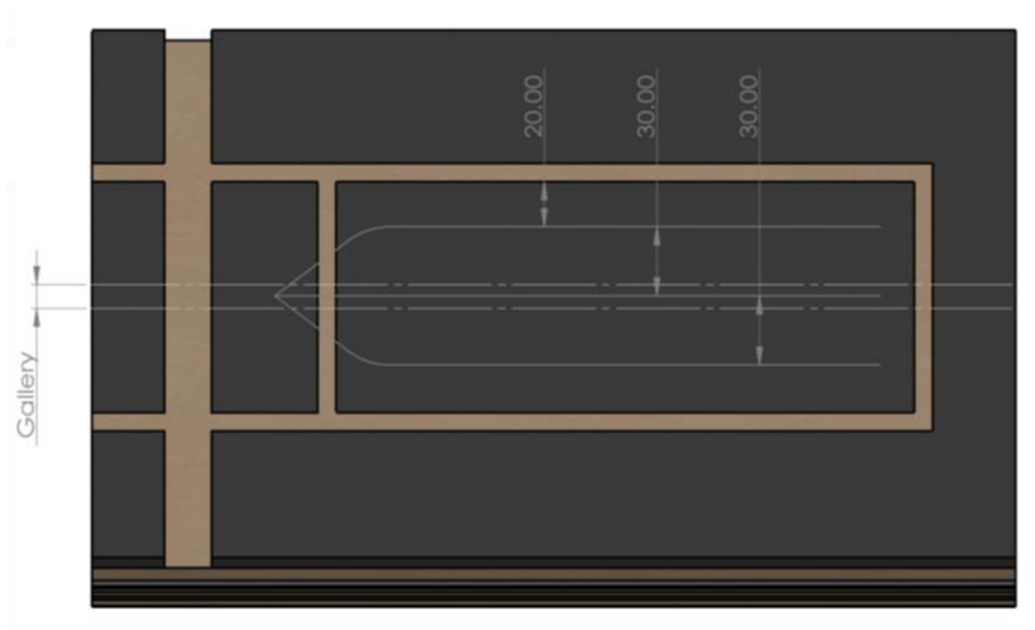


图 3-1 从底板巷道向上部煤层打分支水平穿层钻孔（平面图）

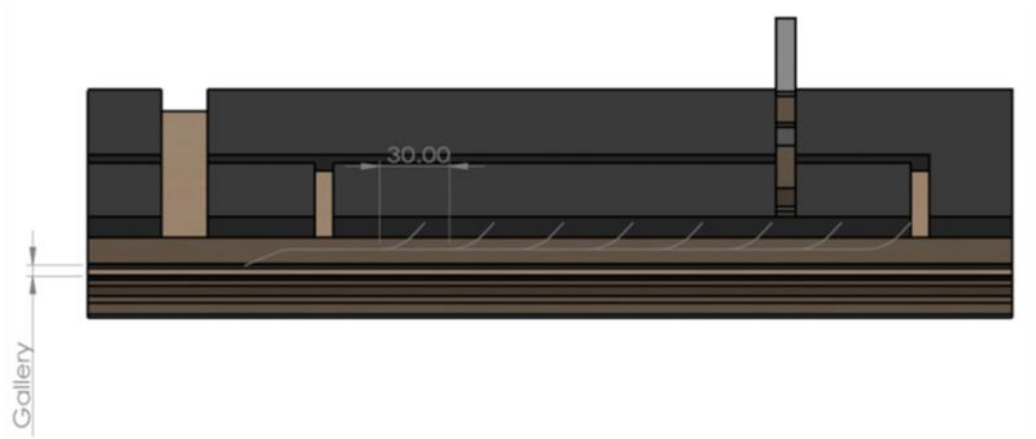
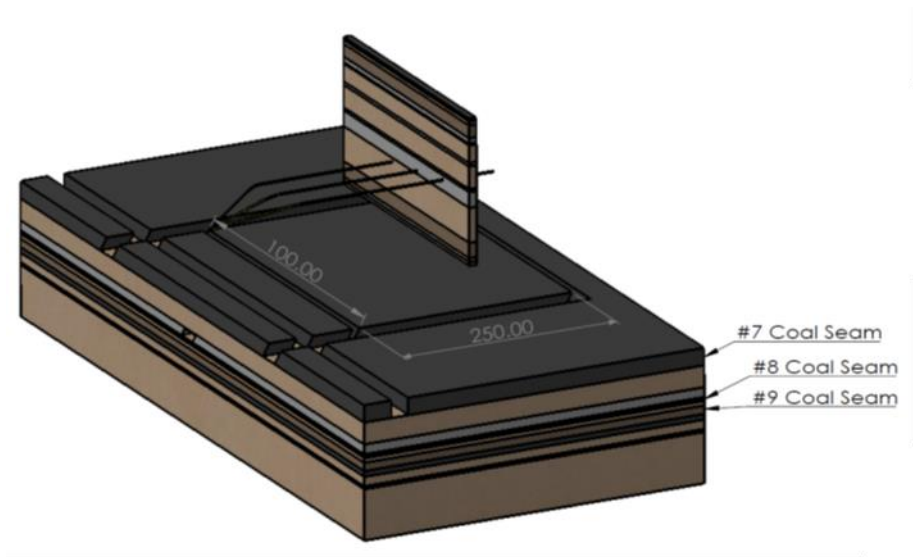


图 3-2 从底板巷道向上部煤层打分支水平穿层钻孔（剖面图）

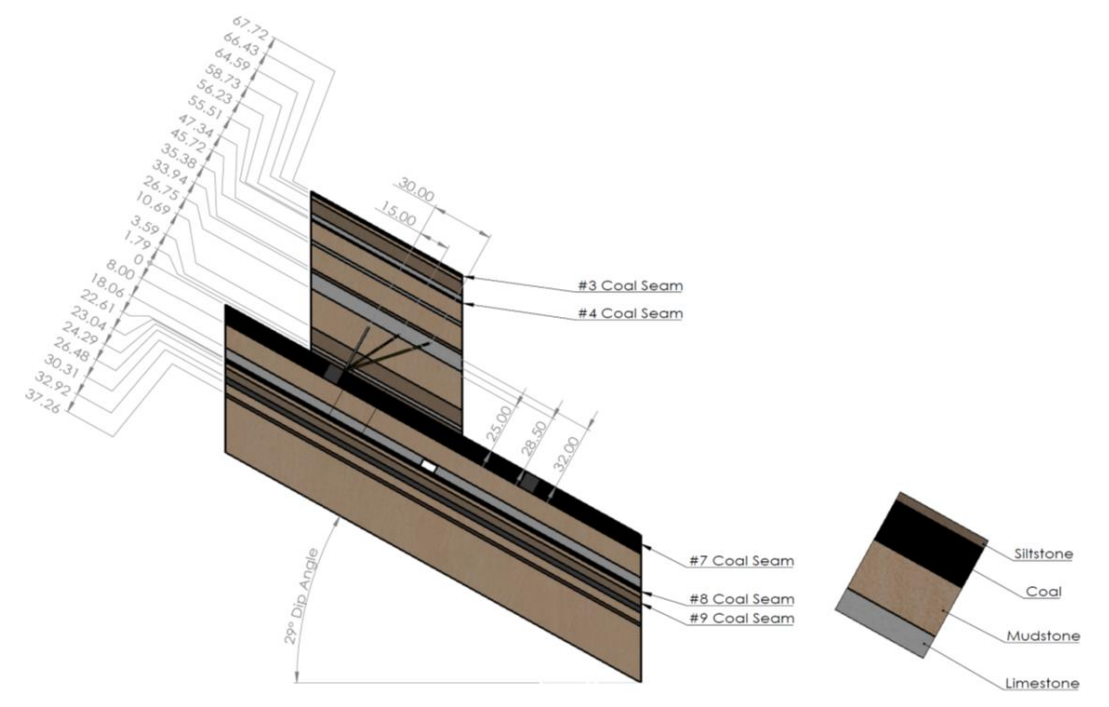
3.1.2 采空区水平钻孔

第二种方法为采空区水平钻孔（HGB）。虽然现阶段掌握的资料无法确定采空区瓦斯来自于开采煤层，但临近煤层都为高瓦斯煤层。

因为当前开采区的开采面较短，可以从主巷道上施工钻孔，或者如下图所示进行施工（图 3-3）。建议沿低压工作面回风巷道在上不同角度打 3 个采空区水平钻孔（图 3-4）。



（三维图）



（剖面图）

图 3-3 工作面采空区水平钻孔

3.2 本煤层预抽钻孔抽采量预测

为了模拟本煤层预抽钻孔抽采量，我们构建了一系列模型，下面将介绍产量模型的构建、参数选取以及模拟结果。

3.2.1 储层模型

为预测目前采区长壁工作面瓦斯抽采量，本项目构建了四组单层模型。其中一组模型用来预测从岩石巷道（或其它底板巷道）向煤层打穿层钻孔，钻孔间距为 30m 时的瓦斯抽采量。其他两组模型（每个煤层一组模型）用于预测钻孔间距为 10m 的抽采量。所有钻孔的钻进角度为 29 度，并设定横向长度为 250m。模型设定抽采时间为 10 年，用以预测目前采区典型长壁工作面抽采量和累计产气量。

在矿井内 3 号和 7 号煤层的典型长壁面大小为 100 米宽、250 米长，占地 2.5 公顷（6 英亩）。根据这些尺寸，创建模型网格来标识每个采面。30 米间距的模型网格由 X 轴方向上的 25 个网格、Y 轴方向上的 50 个网格和 Z 方向上的 1 个网格构成；而 10 米间距的模型网格 X 方向上的 25 个网格、Y 方向上的 34 个网格和 Z 方向上的 1 个网格构成。煤层预抽钻孔数值模型布局如图 3-5、图 3-6 和图 3-7 所示，分别为平面、剖面和 3D 视图的示例仿真模型。

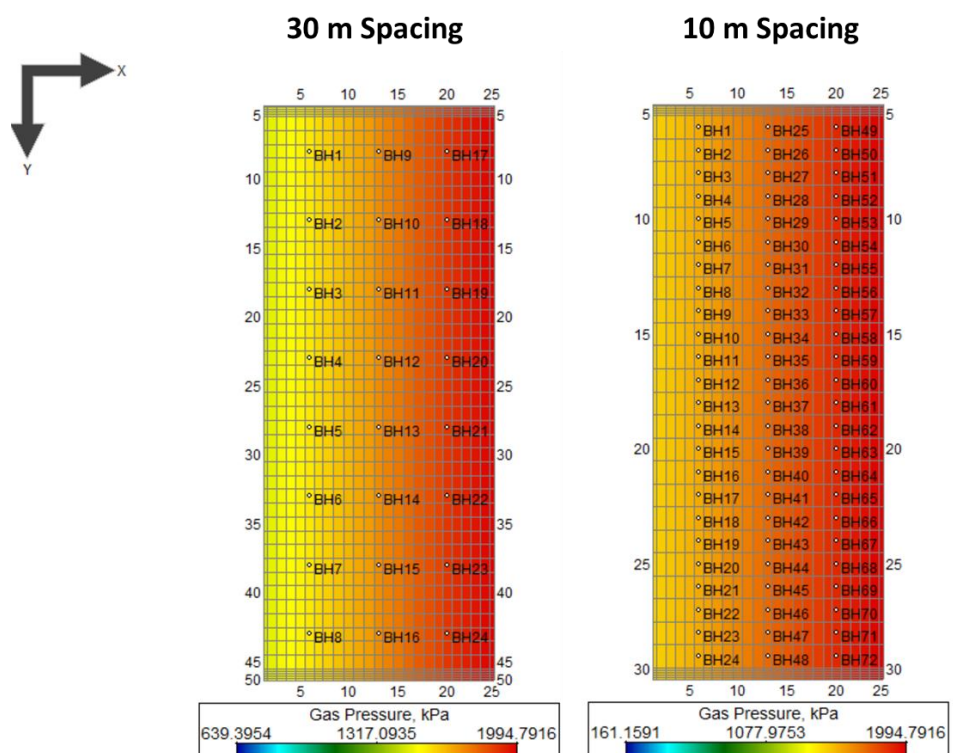


图 3-5 本煤层预抽放钻孔的模型布局示例（平面图）

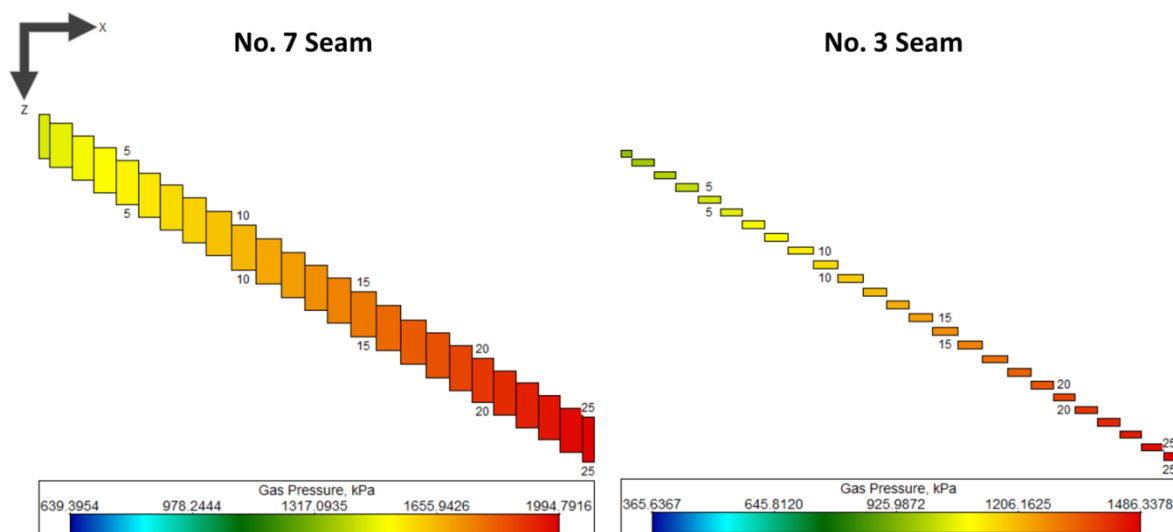


图 3-6 煤层内预抽放钻孔的模型布局示例（剖面图）

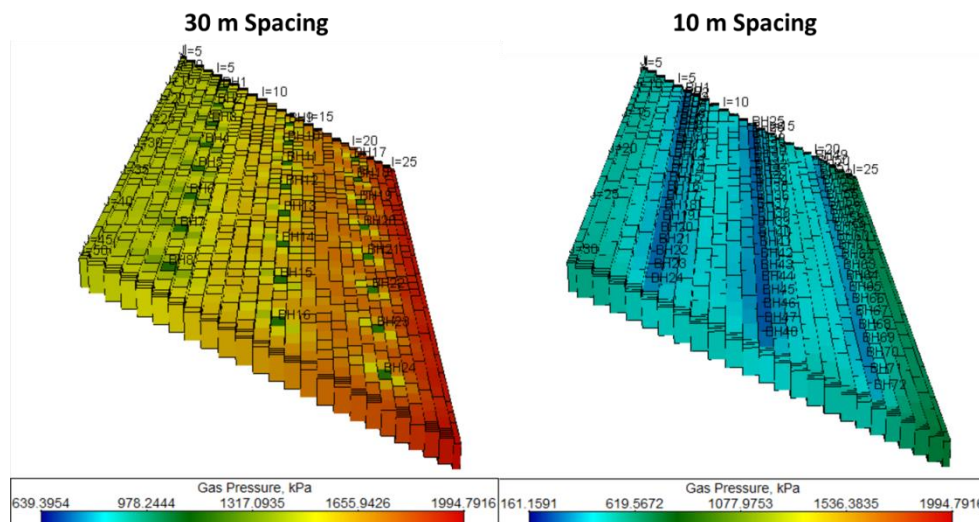


图 3-7 本煤层预抽放钻孔的模型布局示例（3D 视图）

3.2.2 参数选取与运行

3.2.2.1

储层模型采用的参数主要从地质和储层数据中选取。有些参数选取来自类似项目的地质和储层数据作为补充。储层模拟研究中使用的输入参数如表 3-1 所示，表后对重要储层参数进行了简要说明。

（1）渗透率

煤层渗透率由煤层自然裂隙（节理）体系，即面割理和端割理共同作用下形成，瓦斯抽采量与其紧密相关。盆地构造应力形成的自然断裂带有时会增强这种天然的裂隙体系。煤层中割理体系形成的渗透率称为“绝对渗透率”，该参数为储层模拟研究的主要输入参数。煤层的绝对渗透率数据范围为 0.1~1mD。对于目前的研究，假定两个煤层的渗透率值为 0.55mD，取渗透率范围的中间值。

（2）朗缪尔体积和压力

根据实验室测得的当前采区内 3 号煤层和 7 号煤层的朗缪尔体积

表 3-1: 用于模拟煤层预抽钻孔的储层参数

储层参数	数值		备注
	3 号煤层	7 号煤层	
水平标高, m	1496	1420	矿区数据取自 1 区 24 号芯孔
煤层埋深, m	80	149	矿区数据取自 1 区 24 号芯孔
煤层厚度, m	1.3	8.0	矿区数据取自 1 区 24 号芯孔
煤层密度, g/cc	1.62	1.39	矿区数据
压力梯度, kPa/m ³	11.94	9.51	用储层压力和深度进行计算
初始储层压力, kPa	950	1420	矿区数据取自每个煤层的顶部
初始水饱和度, %	100	100	推测值
朗缪尔体积, m ³ /t	28.97	28.15	矿区数据取自等温分析
朗缪尔压力, kPa	1126	1045	矿区数据取自等温分析
实测瓦斯含量, m ³ /t	12.63	15.06	矿区数据
解吸压力, kPa	870	1202	按照等温线的现场气体含量和最大存储容量进行计算
吸附时间, 天	10	10	假设
裂隙间距, cm	2.54	2.54	假设
工作面煤层倾角, °	29	29	基于矿区的数据
节理绝对渗透率, md	0.55	0.55	矿区数据取自范围中点 (0.1~1md)
节理孔隙度, %	5.55	4.32	矿区数据
相对渗透率	曲线	曲线	假设; 参见图 3-10
孔隙体积压缩率, kPa ⁻¹	2.76E-03	2.76E-03	假设
基质收缩压缩率, kPa ⁻¹	0.00E+00	0.00E+00	无
瓦斯比重	0.6	0.6	假设
水粘度, (mPa·s)	0.8	0.8	假设
水体积系数, (RB/STB)	1.00	1.00	计算
完井和增产	假设地层系数为 0		
钻孔作业	地面瓦斯泵站压力为 16kPa 的真空压力		
钻孔间距	两种情况: 煤层底板 30m 岩石巷道向煤层施工穿层钻孔, 方案 1 间距为 30m, 方案 2 间距为 10m		

和瓦斯压力。基于这些数据, 当前煤层储层仿真数值模型中 3 号朗缪尔体积和瓦斯压力分别为 28.97 、m³/t 和 1126 kPa, 在 7 号煤层为

28.15m³/t 和 1045kPa。图 3-8 和图 3-9 分别为模拟 3 号和 7 号本煤层预抽钻孔所使用的等温吸附曲线。

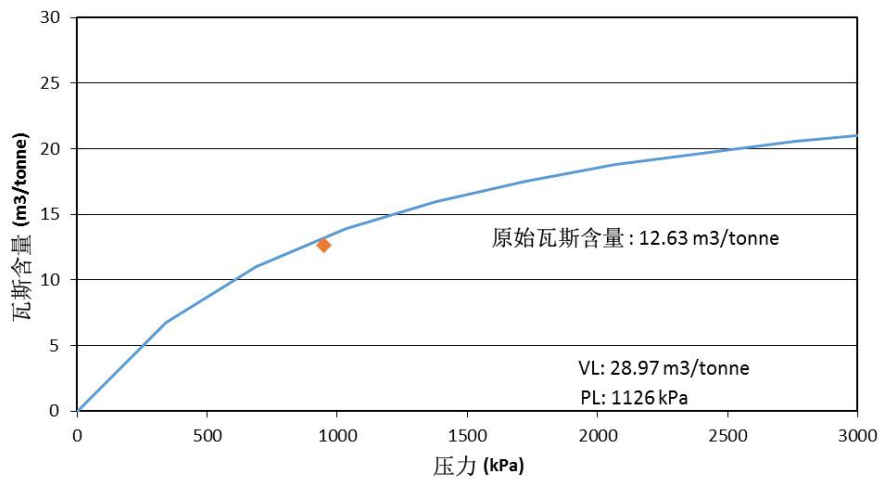


图 3-8 3 号煤层预抽钻孔数值模拟过程中使用的等温吸附曲线

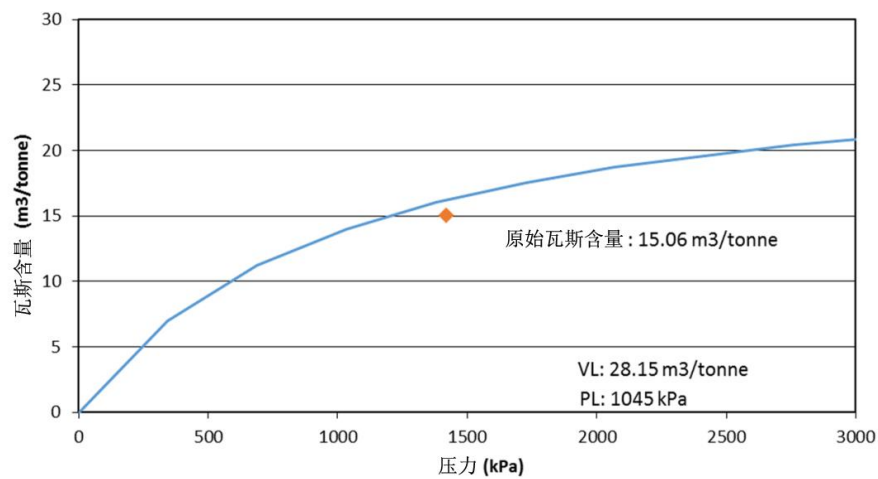


图 3-9 7 号煤层预抽钻孔数值模拟过程中使用的等温吸附曲线

(3) 瓦斯含量

根据 3 号煤层和 7 号煤层瓦斯吸附实验分析结果，数值模拟模型中 3 号煤层和 7 号煤层出事瓦斯含量分别取 12.63m³/t 和 15.06m³/t。如图 3-8 和图 3-9 所示，3 号和 7 号煤层气体饱和度分别为 95%和 93%，这些煤层是轻微欠饱和的。

(4) 相对渗透率

气和水在煤层中的流动由渗透率决定，包括两种类型，取决于裂隙的含水量和孔隙体积。当孔隙空间仅存在一种流体时，所测量的渗透率视为绝对渗透率。绝对渗透率表示煤层内和煤层空隙空间内割理和天然裂缝空间的最大渗透率。但是，一旦开始生产，并且割理系统内的压力因水的渗出开始降低，瓦斯会从煤层渗透到割理和天然裂隙网内。瓦斯进入割理系统会造成在孔隙空间内的多个流体相（气和水），为了进行精准建模，两种流体运动必须予以考虑。要做到这一点，我们将相对渗透率函数与比渗透率一起用于确定各种流体的有效渗透率。

本项目没有矿区内渗透率的实测数据。因此，在模拟研究使用的相对渗透率曲线来自在该区域进行储层模拟研究的结论。图 3-10 为在研究区储层模拟中使用的相对渗透率曲线图。

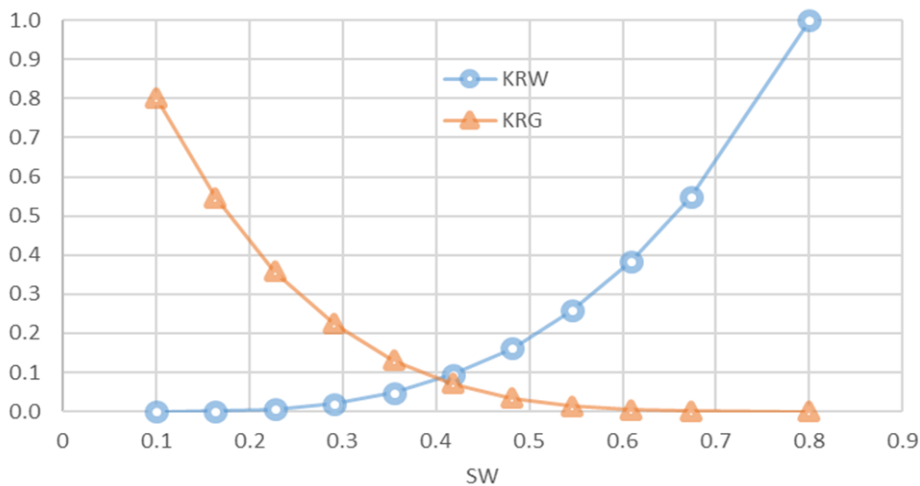


图 3-10 用于数值模拟的相对渗透率曲线

(5) 煤层埋深和厚度

根据 1 区的 24 号钻孔测试数据，3 号煤层底板海拔高度为 1496 米，煤层厚度为 1.3 米；7 号煤层底板海拔高度为 1420 米，煤层厚度为 8 米。为了进行建模，3 号和 7 号煤层埋深分别假设为 80 米和 149 米，并假设所有煤层成 29 度角度进行开采。

（6）储层和解吸压力

根据采矿报告，3 号和 7 号煤层顶部的初始储层压力分别为 1126kPa 和 1420kPa，对应的静水压力梯度分别为 11.94 kPa/m 和 9.5a kPa/m。因为假定瓦斯相对欠饱和，按照 3 号煤层和 7 号煤层等温线的原始瓦斯含量和最大存储容量计算的解吸压力分别为 870 和 1202kPa。

（7）孔隙度和初始水饱和度

孔隙度是材料中孔隙空间的量度。在模拟中使用的孔隙度分别为 5.55%和 4.32%。并且假定储层中的割理与天然裂缝系统为 100%水饱和。

（8）吸附时间

吸附时间定义为一个样品中解吸 63%的瓦斯所需的时间。在本数值模拟中吸附时间为 10 天，与该区域的煤层一致。抽采率和累积抽采量的预测相对于吸附时间通常是不敏感的。

（9）裂缝间距

假定在模拟中采用 2.54cm 的裂缝间距，这与该区域的数据是一致的。在数值模拟中裂缝间距仅用于计算不同形状矩阵元素的扩散系数，并不会对模拟结果造成实质性影响。

（10）钻孔间距

如先前所讨论的，建议在岩石巷道（或其它较低巷道）内进行间距为 30 米的穿层钻孔。另一种情况是，从岩石巷道（或其它较低巷道）穿透岩层施工间距 10 米的钻孔。无论哪种方式，都将以工作面中间位置向下的地方为中心，间隔 30 米施工三条钻孔。

（11）钻孔作业

本煤层钻孔 250 米长并在长壁面内完成钻孔。为方便计算，假设表层值设为零。

（12）抽采作业

本次研究假定地表真空泵的管道可提供 16 kPa 的负压。在抽采过程中，需要较低钻孔抽采负压以实现最大的抽采效果，钻孔的寿命预计为 10 年。

3.2.3 模拟结果

如前所述，本项目分别建立了四个储层模型来模拟六龙矿当前采区的抽采量。这些模型对未来 10 年的产气量进行了计算。3 号煤层长壁工作面钻孔间距 30 米时钻孔气体产气速率和累计产气量如图 3-11 所示。7 号煤层钻孔间距 30 米、3 号煤层钻孔间距 10 米和 7 号煤钻孔间距 10 米模拟结果分别见图 3-12、图 3-13 和图 3-14 所示。

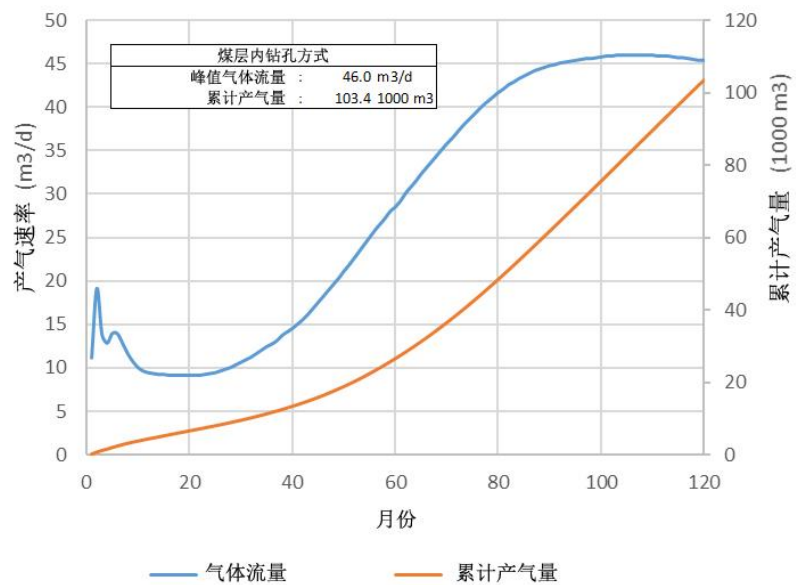


图 3-11 3 号煤层模拟结果—钻孔间距 30 米的产气速率和累计产气量

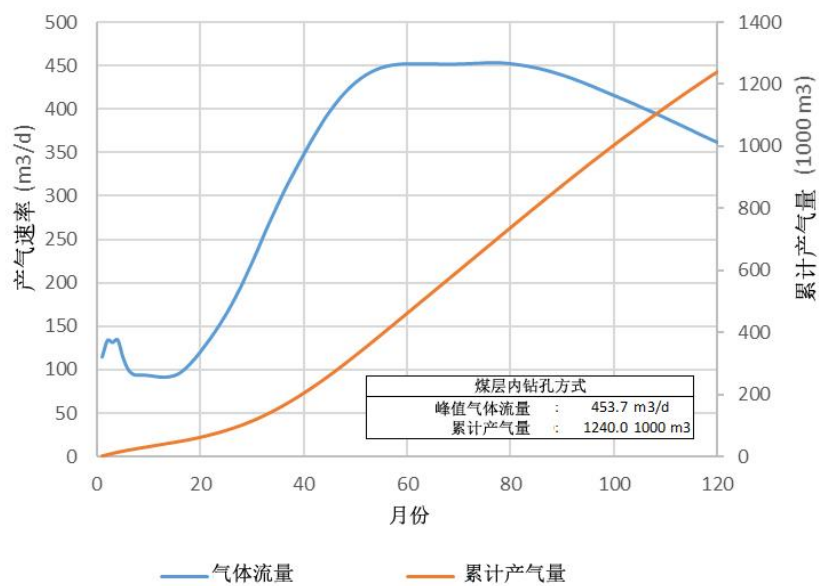


图 3-12 7 号煤层模拟结果—钻孔间距 30 米的产气速率和累计产气量

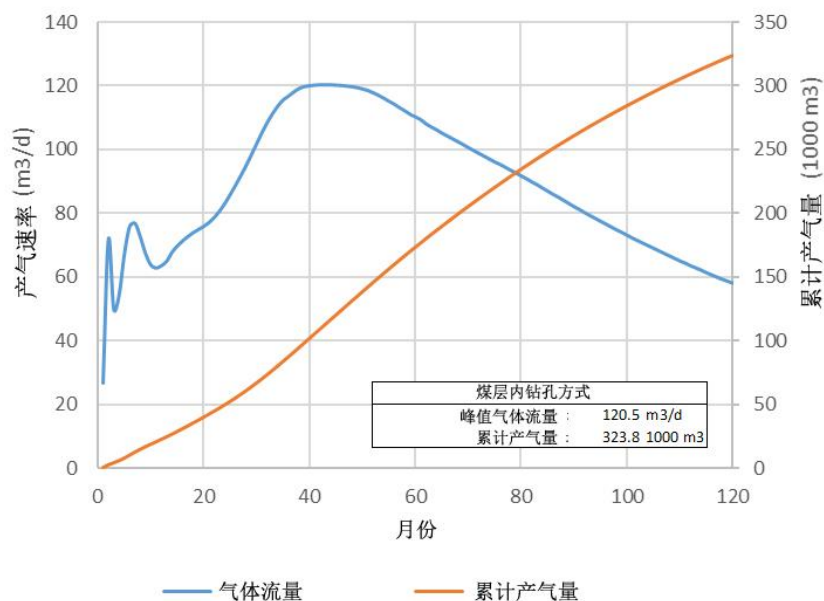


图 3-13 3 号煤层模拟结果—钻孔间距 10 米的产气速率和累计产气量

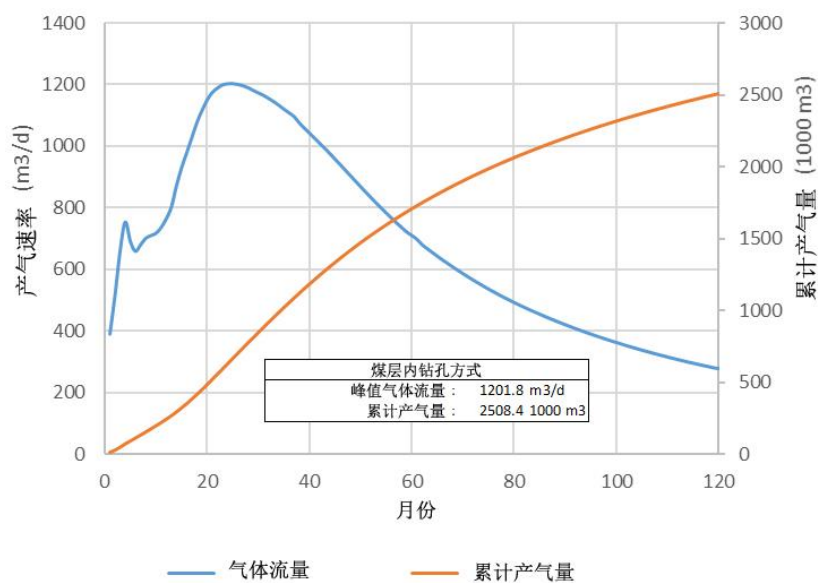


图 3-14 7 号煤层模拟结果—钻孔间距 10 米的产气速率和累计产气量

图 3-15 展示了利用在 3 号煤层钻孔间距 30 米的预抽钻孔降低工作面原始瓦斯含量随时间变化的模拟结果, 同样地, 图 3-16 和图 3-17 展示了另外三个模型中原始瓦斯的模拟降低情况。图 3- 19—图 3-22 以图表形式显示出了四个模型中原始瓦斯瓦斯含量随时间的变化。

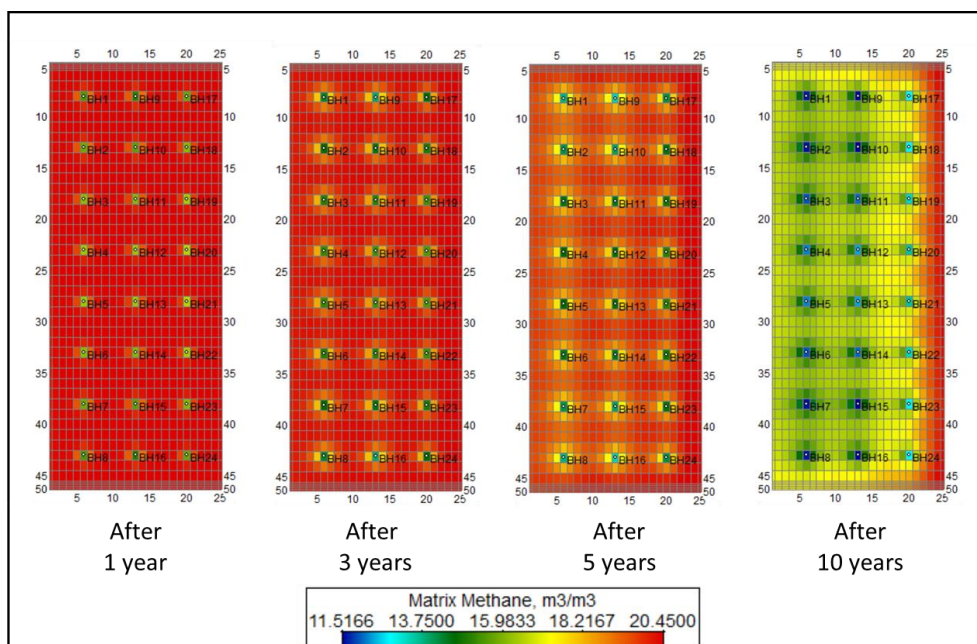


图 3-15 采用预抽钻孔后煤层原始瓦斯含量随时间降低情况
(3 号煤层钻孔间距 30 米)

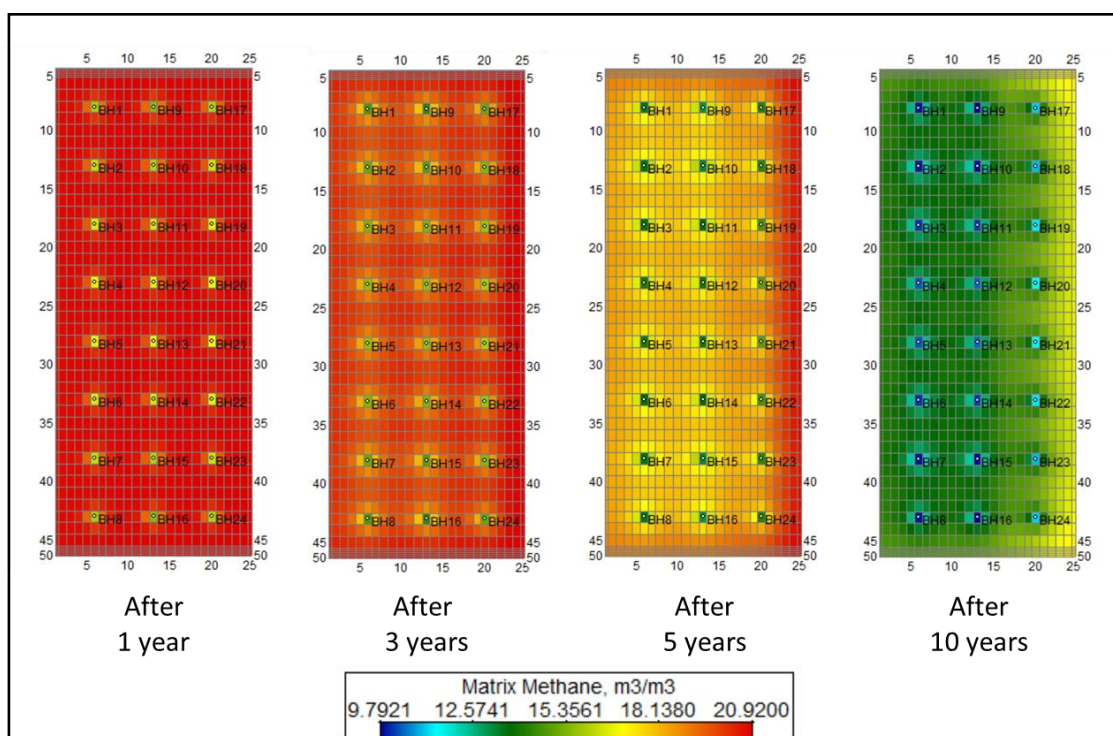


图 3-16: 采用煤层预抽钻孔后原始瓦斯含量随时间降低情况
(7 号煤层钻孔间距 30 米)

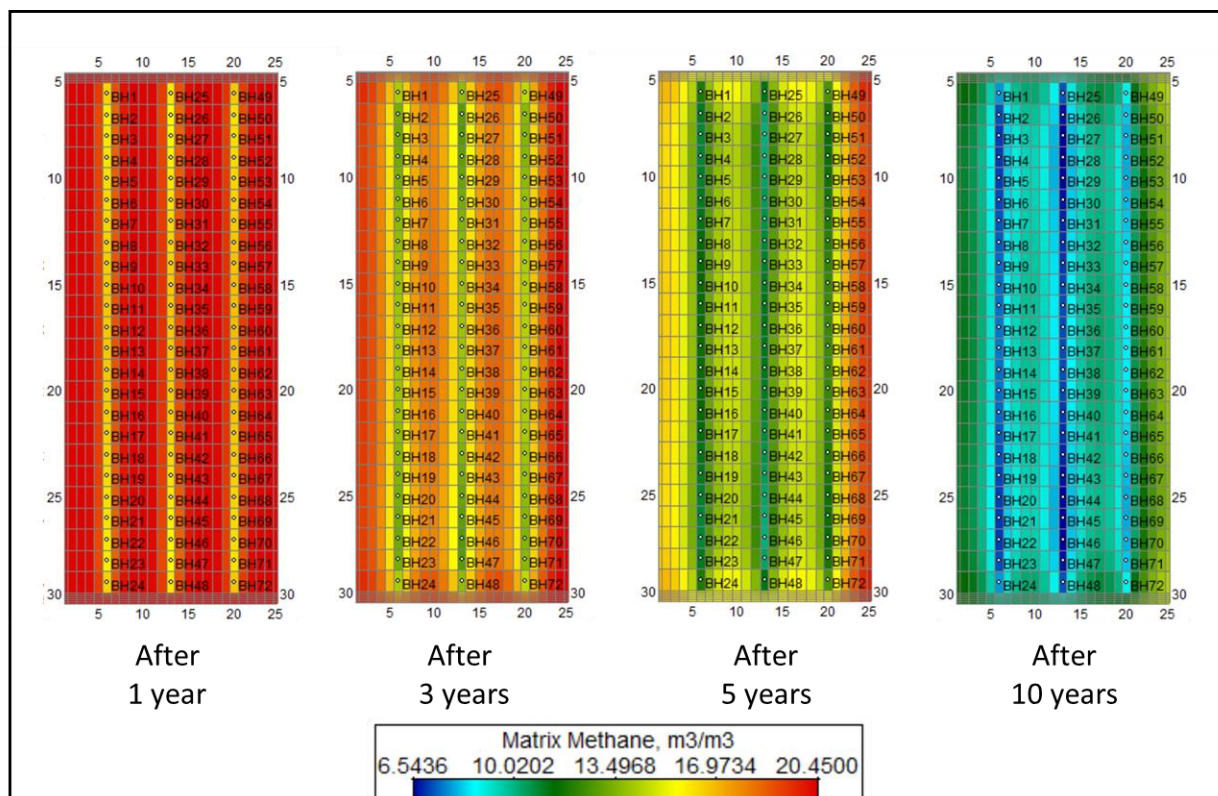


图 3-17 采用煤层预抽钻孔后原始瓦斯含量随时间降低情况（3 号煤层钻孔间距 10 米）

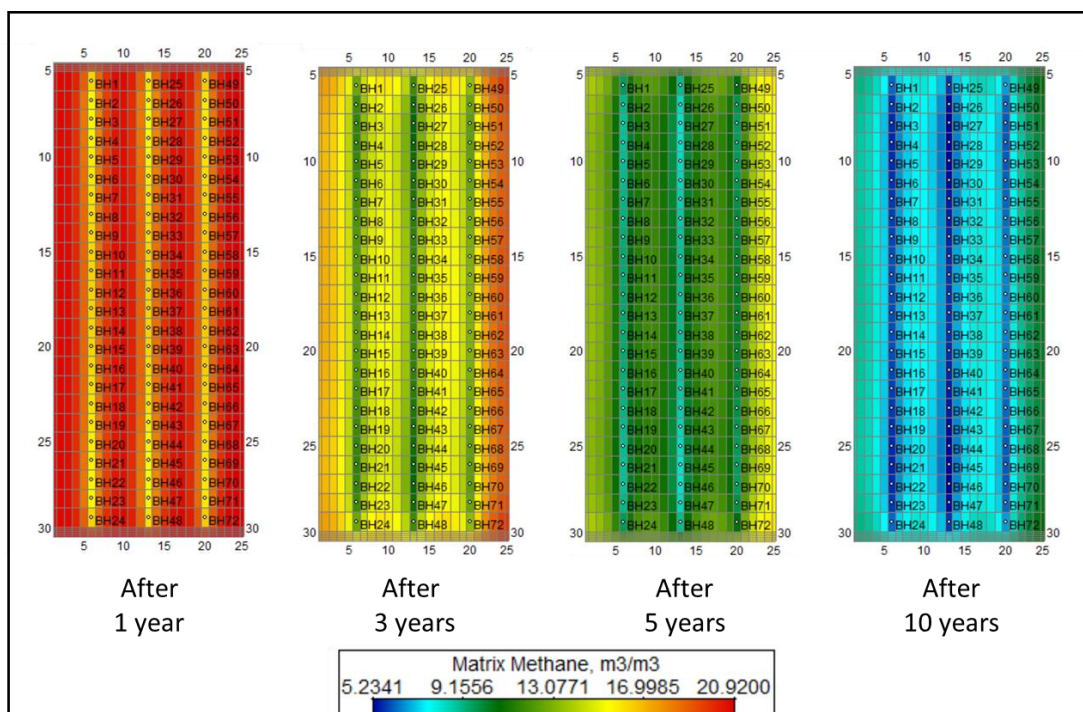


图 3-18 采用煤层预抽钻孔后原始瓦斯含量随时间降低情况

(7 号煤层钻孔间距 10 米)

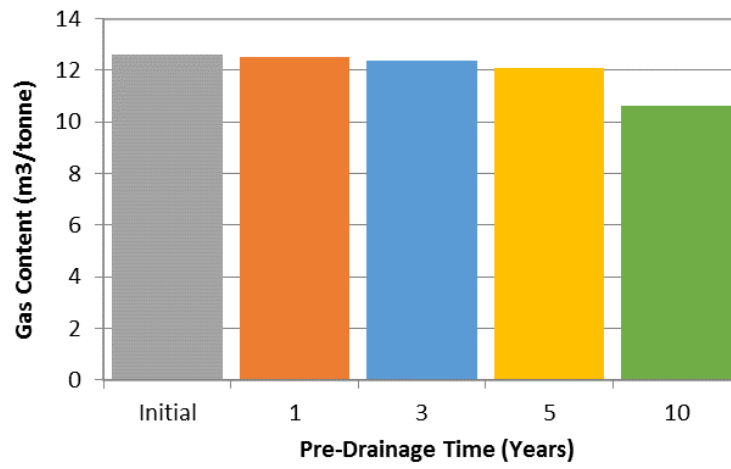


图 3-19 采用煤层预抽钻孔后原始瓦斯含量随时间降低情况

(3 号煤层钻孔间距 30 米)

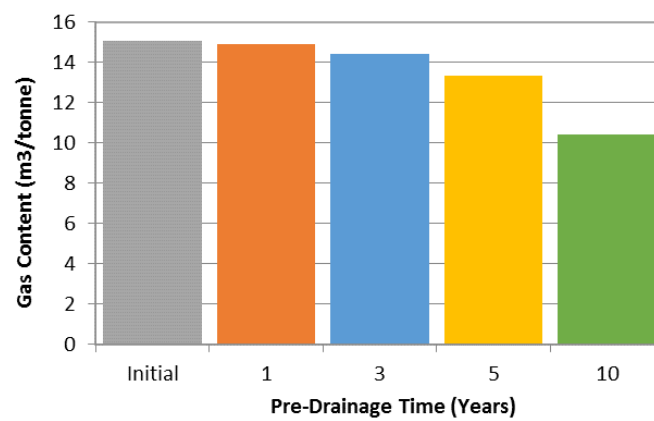


图 3-20 采用煤层预抽钻孔后原始瓦斯含量随时间降低情况

(7 号煤层钻孔间距 30 米)

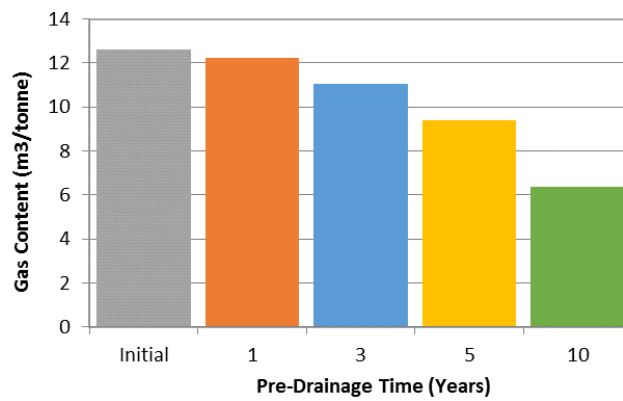


图 3-21 采用煤层预抽放钻孔原始瓦斯含量随时间降低情况
(3 号煤层钻孔间距 10 米)

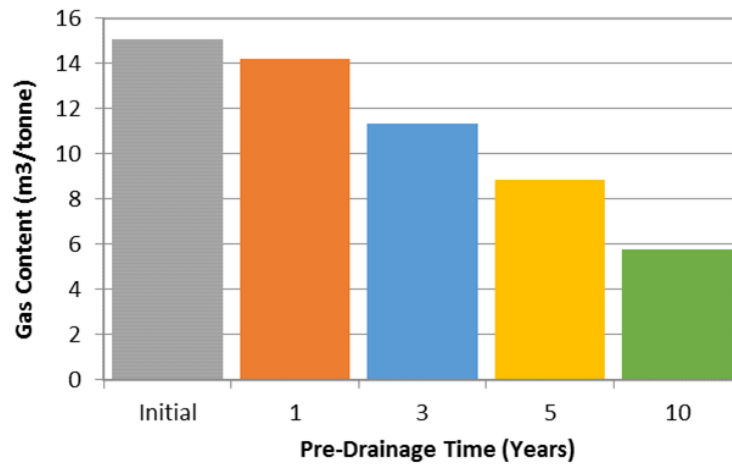


图 3-22 采用煤层预抽钻孔后原始瓦斯含量随时间降低情况
(7 号煤层钻孔间距 10 米)

3.3 采空区水平钻孔 (HGB) 瓦斯抽采量预测

由于采空区气体流速通常随时间波动,并随钻孔长度和布局而发生变化,采空区产气量的预测十分困难(即采空区的气体流速)。采空区煤矿瓦斯抽采量是钻孔直径、长度、套管、孔口真空度、煤层上方以及横向岩层移动情况等参数的有关。采空区瓦斯抽采量受钻孔直径、长度、井口真空度和储层压力的影响最大,而采空区垂直钻孔的有效性归因于长壁面上方的和沿采空区走向方向岩层的移动情况以及井口/立管的完整性(Brunner 与 Schumacher, 2012 年)等参数。

正如 Brunner 与 Schumacher (2012) 所讨论,采空区气体流速可以使用气体管道中稳态等温流速的总流量方程进行近似计算,其中沿管道的压力降与流速有关。此方法通过调整摩擦系数与所收集的数据进行匹配,并假定采空区水平钻孔测得的采空区气流来自所述钻孔

底部。用于燃气管道中稳态等温流速的基本公式，由 Menon（2005 年）提出，如下所示。

$$Q = 1.3303 (10)^{-5} \left(\frac{T_b}{P_b} \right) \left[\frac{(P_1^2 - P_2^2)}{GT_f LZf} \right]^{0.5} D^{2.5} \quad (1)$$

式中：

Q = 在标准条件下测得的气体流速，l/s

f = 摩擦系数，无单位

P_b = 基层（标准）压力，kPa

T_b = 基层（标准）温度，K

P_1 = 上游压力，kPa

P_2 = 下游压力，kPa

G = 气体比重（空气=1.0）

T_f = 平均气流温度，K

L = 管道长度，km

Z = 气体可压缩系数，无单位

D = 管道内径，mm

六龙煤矿 3 号煤层和 7 号煤层上方设置采空区水平钻孔气体流速采用上式，并根据表 3-2 中的输入参数值进行估算。平均摩擦系数选取 Brunner 与 Schumacher（2012 年）分析中所得出的 0.02，在目前各种井口真空压力可实现的直径和长度配置下假定采空区瓦斯浓度为 70%的气流速率进行估算。煤矿通常使用直径为 75~150 毫米、长度为 1200 米的采空区水平钻孔，远远超过六龙矿 250 米的共走面推

进长度。目前的研究主要针对三种钻孔装置，即： 96 毫米、121 毫米和 146 毫米的采空区气体流速来进行。基于目前位于六龙矿使用的的低负压（3.3kPa）和高负压（16kPa）抽放系统，对另外两种井口真空压力的情况进行了研究。

表 3-2 采空区水平钻孔模型输入参数

参数	值
摩擦系数，无单位	0.0200
基准（标准）压力，kPa	3 号煤层： 1179 7 号煤层： 1729
基准（标准）温度，K	19.85
上游压力，kPa	3 号煤层： 1179 7 号煤层： 1729
下游压力，kPa	按照钻孔负压进行计算； 经研究，为 3.3 和 16kPa
气体比重（空气= 1.0）	0.6
平均气流温度，K	19.85
管线长度，km	0.25
气体可压缩系数，无单位	3 号煤层： 0.99 7 号煤层： 0.98
管道内径，mm	经研究，为 96、121 和 146 mm

图 3-23 和图 3-24 分别展示了在 3 号煤层和 7 号煤层工作面 250 米长、内径分别为 96 毫米、121 毫米和 146 毫米无套管采空区瓦斯体流量情况，其数值是钻孔负压和直径的函数。如图所示，采空区气体流速通常随着井孔直径和井口真空压力增加而增加。假设在 16kPa 真空压力下设置一个井孔直径 121 毫米的采空区水平钻孔，估算出的采空区气体流速为 92~111l/s 或 5.5~6.6m³/min（纯甲烷为 3.9~4.6m³/min）。根据 250m 的工作面长度和 2.5m/d 的平均面推进速度，长壁面回采完毕需要 100 天，在 3 号煤层上设置的单个采空区水平钻孔累计抽采量为 956000m³，累计抽采纯甲烷（669000m³）。如

果设置在 7 号煤层上，单个采空区水平钻孔估计能够抽采 793000m^3 的采空区瓦斯（ 555000m^3 纯甲烷）。采空区水平钻孔的设置应保证在长壁面回采结束后能够保证钻孔完整和井孔的可用性，这样会进一步增加总的采空区产气量。

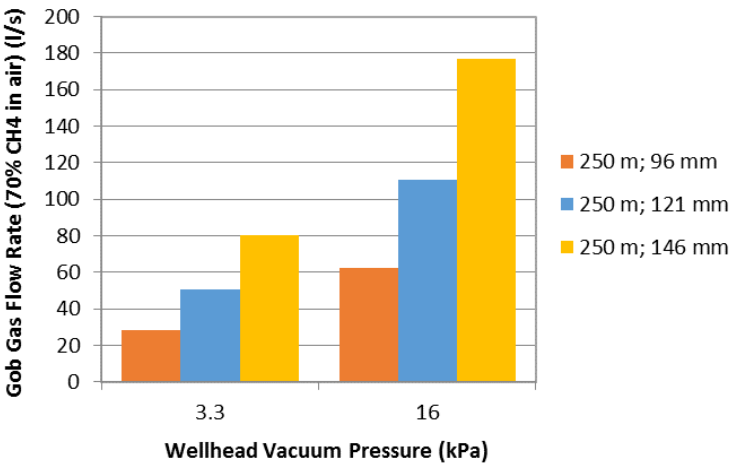


图 3-23 3 号煤层 250m 长工作面采空区水平钻孔在不同井口负压下的采空区气体流量预测（甲烷含量 70%）

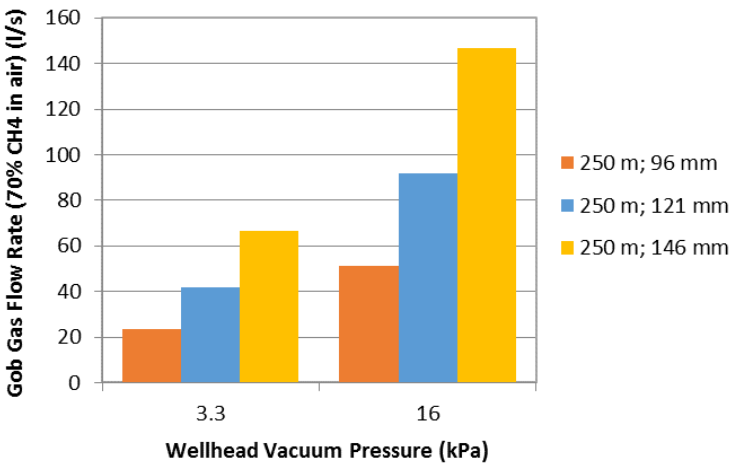


图 3-24 7 号煤层 250 米长壁工作采空区水平钻孔在不同负压条件下的采空区气体流速预测（甲烷含量 70%）

4 市场信息

中国煤矿瓦斯开发开始仅是出于安全考虑，后来逐渐把煤矿瓦斯视为有商业价值的资源（美国环保局 2015 年）。《煤层气（煤矿瓦斯）开发利用“十二五”规划》提出了规划目标，计划 2015 年煤层气（煤矿瓦斯）产量达到 300 亿立方米，其中 160 亿立方米来自地面煤层气，140 亿立方米来自井下煤矿瓦斯。同时还计划煤矿瓦斯利用量达到 84 亿立方米，建设 13 条输气管线，总长度 2000 公里，年输送能力 120 亿立方米（美国环保局 2015 年）。《煤层气（煤矿瓦斯）开发利用“十二五”规划》进一步确定煤矿瓦斯主要用于本地发电，供气用户增加到 330 万，煤矿瓦斯发电装机容量从 2010 年到 2015 年翻四倍，增加到 2850 兆瓦。

尽管中国政府大力支持煤矿瓦斯抽采与利用，但是项目开发依然困难重重。由于中国的天然气消费量占一次能源消费量的比例只有 5.6%，中国的天然气市场和基础设施开发欠缺（英国石油，2017）。大部分的中国城镇大多数的居民还没有实现燃气供应。抽采煤层气的煤矿大多地处偏远山区，因为地形原因，建设输气管道并不可行，抽采的煤层气无法接入天然气管网。

在贵州省，可选的煤矿瓦斯利用方式为燃气发电和燃气民用。贵州省经济欠发达，基本没有天然气基础设施，大部分情况下由于省内山地众多，落差大，导致从建设输气管道系统不可行。多数煤矿利用

抽采的煤矿瓦斯进行发电自用，减少自身的购电费用，并向电网销售多余的发电量。

但就发电利用而言，向电网销售多余的发电量仍然存在障碍。发电上网的手续复杂，需要省级发改委、供电公司、规划厅、价格厅、环保厅、国土厅、供电局和其他一些权利部门的批准（2011 年 GZICCEP）。由于复杂的煤层地质结构和煤层的低渗透性，煤矿瓦斯抽采量和发电量波动很大。

4.1 贵州省经济情况

贵州省 2010 年起经济增速连续五年居全国前 3 位,主要经济指标翻了一番以上。2015 年，地区生产总值突破 1 万亿元、达到 1.05 万亿元，年均增长 12.5%。固定资产投资达到 1.07 万亿元,年均增长 29.5%。金融机构存款、贷款余额分别达到 1.9 万亿元和 1.5 万亿元，年均增长 21.4%和 21.2%。市场主体注册资本达到 2.59 万亿元，年均增长 41.2%。社会消费品零售总额达到 3283 亿元，年均增长 17.2%。一般公共预算收入达到 1503.4 亿元,年均增长 23%。城镇、农村居民人均可支配收入分别达到 24580 元和 7387 元，年均增长 11.8%和 14.4%。

“十三五”时期（2016 年-2020 年），贵州省经济社会发展主要预期目标是:增加城镇就业机会，城镇化率提高到至少 50%，节能减排降碳指标控制在国家下达计划范围内（煤炭信息研究院，2016）。诸

如六龙煤矿进行可研的类似煤矿瓦斯抽采与利用项目将有助于增加就业、改善能源基础设施、减少采煤活动的温室气体排放。

4.2 六盘水经济情况

“十二五”期间(2011 年-2015 年),六盘水全市生产总值达到 1200 亿元,年均增长 14.9%;固定资产投资累计完成 5280 亿元,年均增长 42.6%;城镇居民人均可支配收入年均增长 11.5%;贵州省政府将六枝特区列为全省经济强县。

“十三五”期间(2016 年-2020 年)六盘水市经济社会发展主要目标是:地区生产总值年均增长 12%以上;固定资产投资年均增长 20%左右,社会消费品零售总额年均增长 12%;公共财政预算收入年均增长 6%,城镇、农村居民人均可支配收入年均分别增长 11%和 12%左右,城镇新增就业 35 万人以上、城镇登记失业率控制在 4.2%以内;城镇化率提高到 55%以上;新兴产业占生产总值的比重提高到 20%、服务业比重提高到 45%左右;森林覆盖率达到 60%以上,完成贵州省下达的节能减排指标任务。

4.3 六盘水能源消费市场

4.3.1 电力

2015 年六盘水市全社会口径全年发电量 355 亿千瓦时,总装机容量近 15 兆瓦。电力消费主要用于居民和商业供电,2015 年用电量为 114 亿度。2016 年一季度,全社会发总量 77 亿度,较 2015 年同比下降 14.2%,商业用电量为 21 亿度,占电力消费总量的 27.5%。

“十二五”期间（2011 年-2015 年），六盘水市共计投入资金 67 亿元，新建 110 千伏及以上变电站 29 座；截至 2015 年底，新建输电线路 7631 公里，建成

覆盖全市的 220 千伏双回路主干网架。2015 年，城市电网供电可靠率增加到 99.87%。500 千伏六盘水变电站一期工程的建成投运加强了区域电网与贵州主网的联系。“十三五”期间（2016 年-2020 年）六盘水市还将增加电力投资 6.7 亿元，主要用于可再生能源和非常规能源供应。

六龙煤矿所在的六枝特区，“十二五”期间（2011 年-2015 年）电网建设累计投资 6.66 亿元。目前，六枝特区电网共建成 220kV 变电站 1 座，主变 2 台，容量 360MVA；110 千伏变电站 6 座，主变 12 台，容量 549MVA；35 千伏变电站 10 座，主变 20 台，容量 105.15MVA。

4.3.2 天然气/煤制气

六盘水市燃气供应主要由六盘水市燃气总公司负责，公司现有煤气用户 8 万余户，公建用户 1600 余户，建成煤气管网 700 余公里，区域调压站（箱）200 余座，城市气化率近 60%。水钢集团是六盘水市的主要气源厂，煤气年产量 5.74 亿 m^3 。尽管建有众多燃气集输管线，但仍无法满足现有需求。例如，六盘水市冬季燃气日需求量约 36 万 m^3 ，而日供气量只有 28 万 m^3 。目前六盘水市天然气年需求量约为 6000 至 7000 万 m^3 ，到 2020 年底，天然气年需求有望超过 5 亿 m^3 （煤炭信息研究院，2016 年）。

六盘水市各区县液化天然气站、储配站等设施均在建设当中。目前红桥新区建成液化天然气站一座，完成天然气置换用户 43000 户；盘县天然气管网建设基本完成，首批管道天然气用户 1200 余户。

目前六盘水市通过输气管线销售煤矿瓦斯的项目面临的主要挑战是高输气成本与低价焦炉煤气。居民用天然气价格为 3.8 元/ m³，而水钢集团的焦炉煤气出厂价格仅为 0.90 元/m³，因此六盘水市燃气总公司将居民生活用气销售价格定为 1.40 元/m³，非盈利性用气为 1.65 元/m³，经营性用气为 1.75 元/m³，享受城市低保政策用户的生活用气为 0.90 元/m³。

这一现象有望于 2016 年底中缅管道天然气到达六盘水后得到缓解，预计民用天然气价将降至 3.2 元/ m³。另外，六盘水市燃气总公司计划投资 4.7 亿元建设从六枝到水城的 103 公里输气管线，年供气量 4.8 亿立方米，届时焦炉煤气将有望全面退出地区市场。

4.3.3 其他能源市场

六盘水市“十三五”期间将大力加快产业转型升级步伐，推进煤炭资源、清洁能源综合利用。加强瓦斯提纯，CNG/LNG 项目建设的同时，综合发展风电、水电、光伏发电项目（六盘水市统计局，2015 年）。

2015 年六盘水市各煤矿抽采煤矿瓦斯 11.8 亿立方米，利用 4.79 亿立方米，主要用于发电和城镇民用。本地区大规模的煤矿瓦斯抽采和利用表明六龙煤矿项目在基础设施和技术能力上没有阻碍。

未来五年内，全市计划对现有瓦斯抽采系统进行升级改造，到 2020 年实现瓦斯抽采量 30 亿 m^3 ，其中井工抽采 20 亿 m^3 ，地面瓦斯抽采 10 亿 m^3 ，利用瓦斯 18 亿 m^3 ，利用率达到 60%，比 2015 年增加 275%。将浓度低于 30% 的瓦斯用于发电，将浓度高于 30% 的瓦斯进行提纯，加工成 CNG/LNG 用于民用燃料、工业燃料等（煤炭信息研究院，2016 年）。

2015 年六盘水市规模以上工业产品统计中，液化天然气产量 2.84 万吨，压缩天然气产量 69900 立方米价值 3495 万元。2016 年将建成的 LNG 工厂可实现日生产 100 万立方米液化天然气生产能力。除该项目外，“十三五”期间六盘水市将建成年利用 10 亿立方米焦炉煤气的制 LNG/CNG 项目。

4.4 贵州省排放权交易情况

从 2005 年开始，中国通过《联合国气候变化框架公约》下的清洁发展机制（CDM）参与全球碳市场。2005 年至 2012 年，国家发展改革委员会批准了 128 个煤矿瓦斯 CDM 项目，尽管其中有些项目在 2008 年至 2012 年的有效期间并不符合核证减排量。自 2012 年起，由于缺乏需求，核证减排量价格下降，清洁发展机制（CDM）不在适用于中国新建的煤矿瓦斯项目（联合国欧洲经济委员会，2016 年）。

至 2013 年，国内先后设立了深圳、北京、广东、天津、湖北、重庆 7 个碳排放交易试点；2016 年全国第八家碳交易机构在四川成立。预计 2017 年下半年将建成全国统一的碳排放交易市场。

中国国家碳排放交易系统将成为全世界最大的碳排放交易系统。最初计划包括八个工业部门，现行系统在启动阶段仅有望涵盖电力、铝业和水泥三个部门（Kahn, 2017 年）。尽管有关全国市场的细节还未公布，但据试点碳交易市场经验，煤矿瓦斯项目产出的中国核证减排量（CCER）将有望在全国交易市场中有有效。然而，中国核证减排量（CCER）将能满足多少的减排配额目前还未可知。

4.5 法律和政策环境

作为中国政府为减少空气污染的战略计划之一，计划在 2020 年之前，煤层气（煤矿瓦斯）产量达到 400 亿立方米，超出 2015 年全国产量（180 亿立方米）的二倍以上。为了激励企业投资煤层气（煤矿瓦斯）产业，政府为燃气生产商提供了优惠政策，包括免除设备进口关税、对燃气销售增值税进行退税、加速资产折旧、技术创新投资税收抵免、自由市场燃气定价及使用技术开发基金等（经客时代，2016 年）。

对六龙煤矿瓦斯项目，有两项国家补贴可为煤矿瓦斯开发提供额外资助，帮助项目获得理想的回报率。

·煤矿瓦斯发电补贴：煤矿瓦斯发电项目可获得 0.25 元/千瓦时（0.038 美元/千瓦时）的补贴。鉴于煤矿瓦斯发电项目的盈亏平衡点通常为 0.04-0.06 美元/千瓦时，该补贴极有吸引力。国家发改委还授权煤矿企业可自行利用其生产的任何电力，并要求电网运营企业在并网时应优先考虑煤层气（煤矿瓦斯）生产的剩余电力。

·对销售到城镇燃气或天然气系统的煤层气（煤矿瓦斯）进行补贴：将煤矿瓦斯作为城市燃气售卖或在天然气网络中销售，每立方米补贴人民币 0.30 元（每千立方英尺 1.27 美元）。该补贴也极具吸引力，特别是现有基础设施能够立即进行燃气销售时，但是，必须仔细评估每种情况，以确定补贴是否足够。例如，如果天然气管道销售项目需要进行气体处理、压缩并建造侧向管道，那么，该补贴可能不足。

尽管为了促进煤层气产业的发展，中国政府出台了许多优惠政策，但是由于煤层气产业的发展面临着许多困难，这些激励政策的效果如何目前尚不清楚。煤层气（煤矿瓦斯）与石油和天然气等传统能源之间存在着价格竞争，自 2014 年底以来，石油和天然气的价格一直呈下降趋势。地方政府的干预也可能削弱煤层气（煤矿瓦斯）相关激励措施的效果。此外，目前煤层气（煤矿瓦斯）的勘探权通常优先赋予那些拥有石油和煤炭开采权的企业，而这些企业多为国有石油公司。在贵州，煤层气开采权大部分由中石油和中石化注册，而

大部分煤矿开采权则属于地方政府，这抑制了私人资本的渗透，限制了全省煤层气资源的开发（经客时代，2016 年）。

4.6 六龙可供选择的煤矿瓦斯利用方式

六龙煤矿目前抽采出的瓦斯甲烷浓度为 12%~30%，属低浓度瓦斯。采用新方案提高瓦斯抽采量会显著增加六龙煤矿抽采出的瓦斯浓度。如第五章所示，采用不同的抽采技术甲烷浓度有望提高到 70~98%。浓度在 5%~15%之间的瓦斯具有爆炸性。如果发生爆炸，火焰会通过气体抽放管道传播，进而增大爆炸的规模和波及范围。提高甲烷浓度可降低爆炸风险。本节简要探讨六龙煤矿瓦斯利用的各种可选方式。

4.6.1 发电

煤矿瓦斯利用坑口电厂发电是本报告研究的利用方式之一。瓦斯电厂所发电力可在矿井中使用，多余的电量可以出售给当地电网。瓦斯发电利用优势明显。包括贵州在内，中国许多煤矿对瓦斯发电项目都拥有丰富经验。业界有着丰富的技术和成功案例可供借鉴从而确保瓦斯发电项目高效的实施、运营和维护。工业用户电价也使得煤矿瓦斯发电项目有利可图。瓦斯发电项目的公认盈亏平衡成本为 0.27~0.40 元/千瓦时（0.04~0.06 美元/千瓦时）。六龙煤矿支付用电价格为 0.65 元/千瓦时（0.098 美元/千瓦时），因此潜在利润为 0.25~0.38 元/千瓦时（0.037~0.056 美元/千瓦时）。此外，0.25 元/千瓦时（0.038 美元/千瓦时）的补贴使瓦斯发电更具吸引力。

在煤矿建设瓦斯发电项目还有几大优势：设备供应商通常可以提供预先组装好的包括燃气机/发电机/控制系统在内的全套解决方案。这些设备是模块化的，如果瓦斯抽采量增加，可以很容易地进行扩展。抵消煤矿用电高电价的能力是中国煤矿瓦斯发电项目极具吸引力的另一原因。因为矿区是可接入高压互联电网或大型变电站的，将过剩电能接入电网的技术问题相对容易解决。

4.6.2 城市燃气/天然气

在签订京都议定书之前瓦斯发电并未得到广泛应用，城市燃气是中国煤矿瓦斯的主要用途。城市燃气通过煤层或采空区地面井进行生产，通常储存在矿区的大型存储罐内。城市燃气甲烷含量通常为 30%~60%，并通过低压管路输送给煤矿附近的本地居民区使用。天然气管道一般需要输送气体的甲烷含量高于 90%。不同于中国大部分的煤矿瓦斯市场，本地的天然气分销网络是由六盘水市煤气公司（LNGC）提供的。LNGC 主要销售焦化炉产生的煤气，目前正在对输送管路等系统进行升级改造以满足高浓度天然气的输送要求。

将天然气销售给 LNGC 管网，百矿集团面临四大限制因素：1) 虽然天然气市场价格高达 3.8 元/m³ (16.15 美元/立方英尺)，但焦炉煤气的价格相对较低，如果使用天然气来进行供应，LNGC 只能以天然气一般市场价格的三分之二进行销售；2) 当前六盘水市对燃气的需求超过了管网的供应能力，现存的管网没有额外的能力输送天

然气。随着管网的扩建，供应问题能够得到解决，但由于 LNGC 需要收回管网扩建所进行的投资，销售天然气的所需的费用可能会增加；3）如果煤矿瓦斯项目产出的气体浓度与目前的甲烷浓度类似，那么向管网销售天然气必须将其浓度进行提升，由于六龙煤矿目前抽采出的瓦斯浓度非常低，可能需要进行多级处理和压缩。但如果本项目的抽采方案取得成功，气体浓度问题有望得到解决，天然气处理装置的投资成本（Capex）将耗资约 100~400 万美元，年运营开支（Opex）预计约为 25 万~100 万美元；4）虽然采用煤层内瓦斯抽采方式能够抽采高浓度瓦斯，但由于距离管网干线较远，向干线管道销售天然气仍然是不可行的。虽然向煤气或天然气管网销售天然气有 0.30 元/m³（1.27 美元/m³）的销售补贴，但补贴收入很可能不足以支付管线铺设费用。

4.6.3 工业用途

六龙煤矿附近没有大型工厂，考虑到地形问题，向工业用户铺设天然气管道成本非常高。但该矿区运营了一座洗煤厂，瓦斯可以替代燃煤作为燃料使用。这种装置的应用案例可以参照美国弗吉尼亚州的 Buchanan 煤矿。

4.6.4 锅炉燃料

许多煤矿利用燃煤锅炉供热、向煤矿建筑物供应热水、加热矿井。在六龙煤矿，瓦斯可作为锅炉燃料向矿区提供暖气和热水。冬季确实有一定的供暖需求，但由于地处中国西南地区气候温和使得

当地的采暖需求受到了限制。如果百矿集团考虑在燃煤锅炉上使用瓦斯代替煤炭，需要先提高瓦斯浓度。由于气体处理设备的成本昂贵，这种做法很可能在经济上不可行。

4.6.5 压缩天然气（CNG）/液化天然气（LNG）

美国环保局在重庆市松藻矿区进行的可行性研究表明（美国环保局，2009 年），CNG 和 LNG 在中国逐渐获得重视，百矿集团也表示对这种方式感兴趣。六盘水市基础设施（包括 LNG 和 CNG 设施）的持续发展，为 CNG/LNG 项目提供了潜在机会。但即使未来抽采出的瓦斯达到中等浓度，CNG 或 LNG 在经济上也不可行。CNG 和 LNG 生产需要大量资金购置设备以提升气体浓度、压缩和液化。例如，对于 CNG 厂，管理每个煤矿抽采出的瓦斯所需的资金可能会达到 300 万美元，而对于 LNG 厂，可能需要 600~700 万美元。加之每个煤矿每年的运营开支可能需要 100-200 百万美元。LNG 的销售价格需要达到 2150 元/吨，相当于管输天然气售价需要达到 3.0 元/m³（12.00 美元/立方英尺）才能保证盈亏平衡。

4.6.6 放空燃烧

放空燃烧不能作为煤矿处理瓦斯的唯一手段。在中国为了获得许可，燃烧必须与其它煤矿瓦斯利用方法集成在一起，如发电、工业燃料、锅炉燃料或 LNG/CNG 生产。如果百矿集团推进煤矿瓦斯项目，将燃烧的处理方式纳入该项目中是很好的策略，从而以减少

主要利用设备不能运作情况下（燃气发动机停机维护等情况）的甲烷排放量。

4.7 煤矿瓦斯利用建议

对于六龙煤矿瓦斯利用的各种方式进行研究之后，综合考虑贵州省的市场经济条件和煤矿管理，发电是六龙煤矿的最佳选择。因此，对于本预可行性研究，第五章经济性分析部分主要针对瓦斯发电。根据供气预测，装机容量可为 9 兆瓦。

本预可行性研究旨在为项目可行性做出初步评估。最终的投资决定（FID）还需要完成完整的可行性研究，所需的工作包括更精确数据和成本估算、详尽的现场调研、分析，甚至需要完成初步设计（FEED）。

5 经济性分析

5.1 项目开发方案

为了评估本报告中提出抽采方案的经济可行性，必须对项目范围进行定义。本项目共涉及三种煤矿瓦斯抽采方案，即：

- 方案 1：以 30 米间距在煤层内进行钻孔预抽
- 方案 2：以 10 米间距在煤层内进行钻孔预抽
- 方案 3：在开采煤层上方设置采空区水平钻孔

图 5-1 和图 5-2 分别为现有矿区和大用煤田扩大区的布局 and 开采计划示意图。对于现有矿区，资料显示有五个尚未开采的剩余工作面。3 号煤层的三个工作面计划在 2017 年 1 月、5 月和 9 月开始开采；7 号煤层的其余两个工作面计划在 2018 年 1 月和 5 月开始开采。为了预测现有矿区的煤矿瓦斯抽采量，假设剩余五个工作面的煤层位置已经用钻探进行了确定。对于应用煤层内钻孔抽采方式的方案 1 和 2，预计在 2017 年 1 月项目开工日期之前就开始进行钻孔施工，这意味着在项目开工时，五个工作面中的四个已经可以开始产气。受项目进度安排限制，1034 工作面没有进行本煤层预抽的时间，因此不进行产量预测。对于采用水平采空区钻孔抽采方式的方案 3，假定每个长壁工作面开始采矿作业时开始产气。

对于大用煤田，采矿计划显示各工作面将在 2019 年 1 月~2032 年 1 月期间进行开采。本研究将工作面位置用 250 米×100 米的网格尺寸

进行模拟，在一个煤层内共规划了 40 个工作面。由于 3 号和 7 号煤层都将在该矿区内进行开采，本研究中共假设了 80 个工作面，并假设两个煤层具有相同的布局。为了预测新增储量区的瓦斯抽采量，由于该矿区允许同时开采两个工作面，因此假定 3 号和 7 号煤层内的工作面同时进行开采。采用 2.5 米/天的推进速度，我们假设开采每个工作面需要 100 天，外加平均 30 天的停工和长壁工作面之间的搬迁时间。则每个煤层内每年可以开采三个工作面，并且可以采用交错作业的方法来降低产气量的波动。7 号煤层的工作面在每年的 1 月、5 月和 9 月开工，3 号煤层的工作面在每年的 3 月、7 月和 11 月开工。

对于采用煤层内钻孔抽采方式的方案，假定所有必要的巷道和钻场都可以良好的接续，能够保障自 2019 年 1 月起每两个月开启的新工作面生抽采的瓦斯可以顺利完成输送。对于现有矿区，也假定随每个长壁工作面开始采矿作业时，可以同步开始采用水平采空区水平钻孔方式进行瓦斯抽采。对于现有矿区和大用储备区的全部开发方案，在每个工作面开始采矿作业之前，停止煤层预抽采作业，并且假定在每个工作面采矿完成之后，水平采空区钻孔可以继续抽采 6 个月或者持续到每个工作面的气源完全消失。

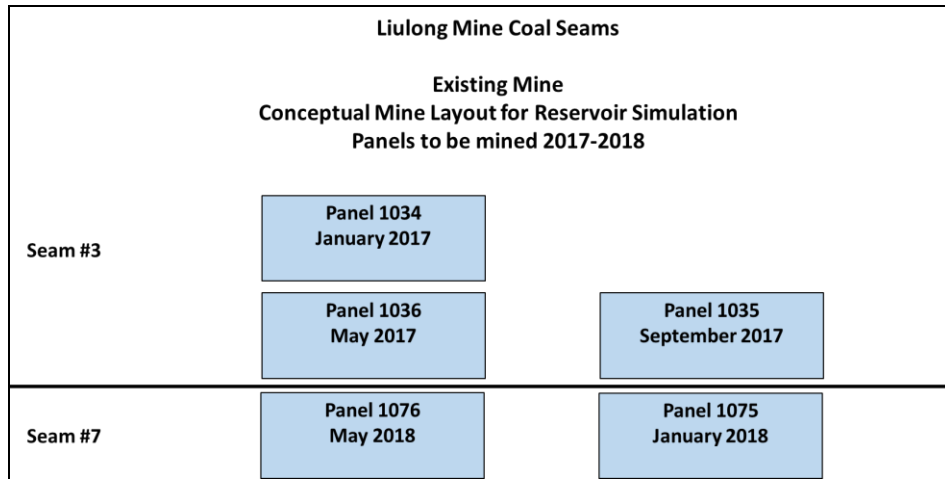


图 5-1：现有矿区工作面布局示意图

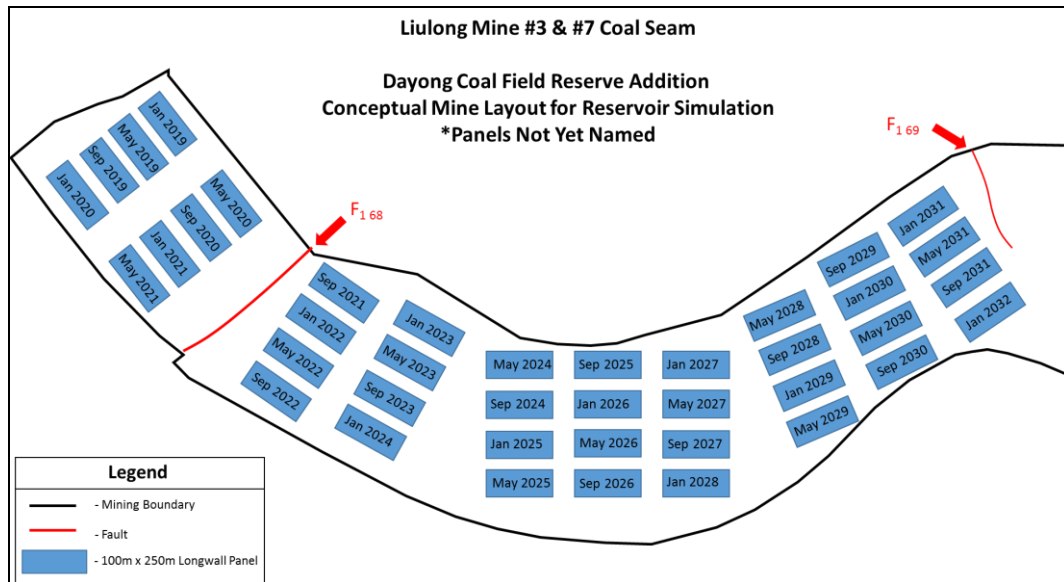


图 5-2：大用矿区工作面布局 and 开发示意图

5.2 瓦斯产量预测

本研究采用数值模拟结果与上文所讨论的开发条件进行瓦斯产量预测。方案 1、2 和 3 的瓦斯产量预测结果如图 5-3 所示。在该项目周期内，预计水平采空区钻孔可以最显著的提高整体瓦斯的抽采量。

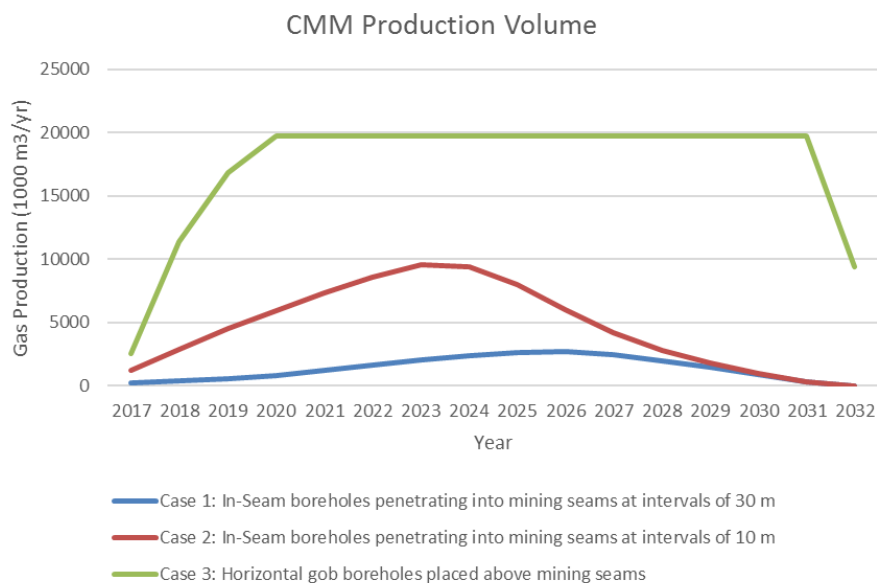


图 5-3：瓦斯产量预测

方案 1：以 30 米间距进行煤层瓦斯预抽

方案 2：以 10 米间距进行煤层瓦斯预抽

方案 3：在煤层上方设置水平采空区钻孔

5.3 项目经济评价

5.3.1 经济评价方法

本报告经济评价中使用的各关键参数将在下面章节中进行讨论。

同时，本报告构建了煤矿瓦斯抽采和电力销售的简单贴现现金流模型来评估项目的经济性。用于项目评估的主要指标包括净现值（NPV）、内部收益率（IRR）和投资回收期（年），分析结果均为税前数据。

5.3.2 参数选择

六龙煤矿瓦斯项目开发所需物资和设施的成本估算，依据煤炭信息研究院提供的各项数据、贵州省和美国类似项目的平均开发成本和其它公开资料（美国环保局，2011 年）进行。如果需要进行更为精确的分析，则需要进行更为深入的调研。本项目的主要成本构成包括

煤层钻孔和水平采空区钻孔施工费用、集气系统、地表真空泵站、压缩机和电厂的建设费用。

5.3.2.1 抽采系统所用参数

在经济性评价中使用的抽采系统成本和运行成本的估计、经济参数见表 5-1，表后将对每个输入参数进行更详细的讨论。

表 5-1：抽采系统输入参数汇总表

财务影响因素	单位	数值
抽采瓦斯浓度	%	98%
采空区瓦斯的甲烷浓度	%	70%
成本上涨率	%	3.0%
价格上涨率	%	3.0%
成本支出	单位	数值
抽采系统		
钻孔成本	\$/m	100（本煤层）； 130（HGB）
地面面真空泵站	\$/W	1.34
真空泵效率	W/1000m 3/d	922
集输系统		
集气管道成本	\$/m	75
集气管道长度	m/工作面	450
运营费用	单位	数值
现场燃料使用（瓦斯）	%	10%
运营维护	\$/1000m3	17.66

5.3.2.1.1 抽采系统技术和财务参数

价格和成本：假设所有价格及成本每年增长 3%。

瓦斯甲烷浓度：假设抽采瓦斯的甲烷浓度为 98%，采空区瓦斯的甲烷浓度为 70%。

5.3.2.1.2 抽采系统资本支出

抽采系统包括煤层内和水平采空区抽采钻孔、集输系统以及真空泵。与抽采系统相关的主要输入参数和假设值如下：

钻孔成本：煤层钻孔成本预计为每米 100 美元。对于 30 米钻孔间距的方案，采用煤层内抽采方法钻孔成本为每个工作面 96600 美元，其中包括底层巷道内的 750 米钻孔和连接目标煤层的 216 米钻孔。对于 10 米钻孔间距的方案，采用煤层内抽采方法钻孔成本为每个工作面 139800 美元，其中包括底层巷道内的 750 米钻孔和连接目标煤层的 648 米钻孔。水平采空区抽采钻孔成本估计为每米 130 美元。每个工作面需要 3 个 250 米钻孔，采用水平采空区抽采钻孔抽采概念的总钻孔成本为每个工作面 97500 美元。

地面真空泵站：真空泵用于将瓦斯从井内抽至集输系统中。真空泵成本是泵的气体流速和泵效率的函数。为了评估真空泵站的成本，假定泵的成本为每瓦 1.34 美元，使用每天每千立方米效率为 922 瓦抽放泵($W/1000m^3/d$)。地面真空泵站的总成本为泵成本、泵的效率 and 气体流速峰值的乘积（即， $\$/W \times W/1000m^3/d \times 1000m^3/d$ ）。

集输系统成本：集输系统包括井下管输系统、阀门和从矿井到地面电站输送气体的管道。集输系统的成本是管道长度和单位造价的函数。对于本项目，我们假设管道成本大约为每米 75 美元，每个工作面需要大约 450 米的管路。

5.3.2.1.3 抽采系统运营费用

现场燃料：对于本项目，假设使用瓦斯来驱动集输系统的真空泵和压缩机。假定总燃料使用比例为 10%，这部分消耗量应当从输送到最终产气量中扣除。

运营成本：与真空泵及压缩机相关的运营成本假设为 17.66 美元/1000m³。

5.3.2.2 电站系统参数

抽采的瓦斯可以通过内燃机驱动发电机发电供矿区使用或出售给当地电网。发电项目的主要成本构成包括内燃机和发电机的成本、瓦斯的除水去杂成本、以及电力上网的设备成本。经济可行性评价所用条件见表 5-2，其中的每个参数均在表后进行了更详细的讨论。

表 5-2：发电经济评价参数汇总表

技术及财务参数	单位	数值
发电机效率	%	40%
运行时间	%	65%
电价	\$/kWh	0.10
瓦斯补贴	\$/kWh	0.04
资本支出	单位	数值
电厂	\$/kW	760
运营费用	单位	数值
电厂运营维护	\$/kWh	0.03

碳减排费用	单位	数值
甲烷的温室气体贡献当量	CO ₂ 当量公吨	25
每吨甲烷燃烧的 CO ₂ 排放量	CO ₂ 公吨	2.75

5.3.2.2.1 电厂技术和财务指标

发电机效率和运行时间：常用发电效率为 30%~44%，运行时间通常为每年 7500~8300 小时（美国环保局，2011 年）。假设本项目发电机效率为 40%，每年运行时间为 65%即 5694 小时。发电效率值依据煤炭信息研究院提供的信息估计，运行时间使用了胜动牌内燃机的现场数据。

电价和瓦斯发电补贴：销售电价使用 0.14 美元/千瓦时进行计算，其中包括 0.10 美元/千瓦时的基础电价和 0.04 美元/千瓦时的瓦斯发电补贴。

5.3.2.2.2 电厂资本支出

电厂成本：电厂的成本包括用于气体预处理、发电和电气互连设备的成本，假定为 760 美元/千瓦。

5.3.2.2.3 电厂运营费用

电厂运营和维护成本：电厂的运行和维护成本假定为 0.03 美元/千瓦时。

5.3.2.2.4 碳减排费用

甲烷的温室气体系数：甲烷的温室气体系数使用 25，该数值来自政府间气候变化专门委员会第四次评估报告（联合国政府间气候变化专门委员会，2013 年）。

甲烷燃烧的 CO₂ 排放量：甲烷燃烧会产生二氧化碳。计算净减少二氧化碳排放时，估算瓦斯项目减排量必须计算燃烧的 CO₂ 排放量。每燃烧一顿甲烷释放 2.75 吨二氧化碳，因此摧毁一顿甲烷的净减排量为 18.25 吨二氧化碳当量。

5.3.3 经济效益

发电项目的经济效益总结于表 5-3 中。方案 1 和 2 均具有正的 NPV-10。但方案 3 具有超过 3000 万美元的 NPV-10 和 43% 的内部收益率，因此优于方案 2，方案 2 仅具有不到 130 万美元的 NPV-10 和 12% 的内部收益率。

表 5-3：经济效益汇总表

方案	说明	最大发电容量	NPV-10 1000 美元	IRR	回报年	CO ₂ 削减净当量
1	以 30 米间距进行本煤层抽采	2 MW	-5,722	-3%	-	0.32 Mt
2	以 10 米间距进行本煤层抽采	6 MW	+1,278	+12%	8	1.1 Mt
3	在煤层上方设置水平采空区钻孔	9 MW	+30,054	+43%	3	2.9 Mt

6 结论和建议

本预可行性研究针对贵州省六龙煤矿提出了两种瓦斯抽采方案，并对抽采方案抽采量进行预测，并对瓦斯发电利用经济可行性进行了分析。考虑市场状况及煤矿管理者的偏好，瓦斯发电利用是各种可能利用方式中的最佳选择。正如本研究分析，水平采空区抽采钻孔是六龙煤矿瓦斯抽采最有效瓦斯抽采方式。另外，项目周期内，可实现二氧化碳温室气体净减排量为 290 万吨当量。

对百矿集团来说合理的做法是使用现有穿层钻孔抽采的瓦斯，并建设一座 1 兆瓦的小型发电站。该电厂可以随着抽采能力的提高、瓦斯供应增加而进行扩容。基于本预可行性研究的结果，建议百矿集团采用以下步骤推进该项目的开发：

- 对大用煤田开发制定详细的规划图（制定工作面采掘接续规划）。
- 在大用煤田采集更多的岩芯，并进行解吸实验，以获得气体含量、煤层孔隙度和渗透率的精确值，得到更准确的瓦斯抽采产量预测结果。
- 确认六龙煤矿向电网销售剩余电力的能力与电价，并确定电力上网所需成本。
- 对本研究提出的两种瓦斯抽采技术进行实验，得到瓦斯抽采浓度和抽采量更准确预测值。

- 详细分析包括发电在内的所有利用方式，以确认瓦斯发电的经济和技术可行性、备选方案的可行性及其与发电利用方式的竞争力。
- 进行融资方案研究以确定项目资金来源，确保百矿集团能够选择适当的融资方式，包括贷款和股权投资等模式。