

**U.S. Environmental Protection Agency**

# 中华人民共和国贵州省磨盘山煤矿 煤层气回收利用预可行性研究报告

---

拉文雷治资源公司

2014 年 12 月



## 免责声明

本报告为美国环境保护署（USEPA）编制。采用数据来源公开可获得，或是通过直接与煤矿工作人员接触可获得。美国环境保护局（USEPA）：

- (a) 对本报告所载的资料内容的准确性、完整性或有用性，不论明示或者暗示，不作出任何保证或陈述，或对本报告中披露的所使用的任何设备、方法或过程没有侵害私人拥有权利，不作出任何保证或陈述；
- (b) 不承担任何因使用、损害本报告中资料，仪器，方法而产生的责任，或者
- (c) 不意味着支持本报告中提及的任何技术供应商，产品，或是过程。



## 执行摘要

基于全球甲烷行动（GMI），在美国环境保护署（USEPA）的资助下完成的预可行性研究，评估了在中国贵州省境内的磨盘山煤矿，利用从拟议的地面钻井预抽及采空区抽采系统中抽采出的煤矿瓦斯，用作燃料发电的可行性。

目前，磨盘山煤矿处于筹备及开采计划的制定中，还未实施煤炭开采活动。2005年10月，贵州黔西能源开发利用有限公司（GQEDC）获得了磨盘山井田的探矿权，开始进行这一区块煤炭资源储量的评估。山东煤炭地质工程勘察研究院（SCGEEI）完成的《煤炭勘查及地质报告》为本报告的地质综述及煤炭勘探、资源量数据提供了基础。另外一份报告，2013年11月由中煤国际工程集团南京设计院（NDICSIG）完成的《磨盘山煤矿可行性研究报告》，评估了选址在磨盘山井田建设煤矿的可行性，并且设计了初步的采矿计划。随着NDICSIG实施的可行性研究报告的完成，最初的矿建工作预计在不远的将来开始实施，不过，由于过去的两年，中国的煤炭市场持续性萧条，这也要取决于中国的煤炭市场好转情况。

磨盘山煤矿为一井工煤矿，设计生产能力为90万吨/a，为国有企业贵州黔西能源开发利用有限公司（GQEDC）所拥有并负责经营。煤矿的主要目标煤层为C5和C9煤层，矿区内经济可采资源储量为6075万吨，煤矿的预期服务年限超过66年。

煤矿管理人员提供的含气量测试数据，以及甲烷等温吸附测试，提供了预测每个煤层可能含气量的参照标准。用指定矿区内，每个煤层煤炭资源量乘以其对应的代表含气量范围值的概率分布，来计算每个煤层的含气量。P50情景下，对于磨盘山煤矿的可采煤层，瓦斯资源量预计可达29.21亿 $m^3$ 。

本研究报告使用的产量预测模型包括通过如下途径可能的产气量：拟议的垂直穿过整个采区的22口预抽井及采空区每年实施3口钻井，10年期可能的产气量。P50情景下，项目10年生命期内，预计可生产1.659亿 $m^3$ 折纯瓦斯，供煤矿使用。

厚实的三叠纪和二叠纪的石灰岩床直接上覆于含可采煤层的二叠纪地层层序。在磨盘山区域，地下水无情的冲刷着石灰岩床，溶解其中的碳酸钙，导致一种特定的地质地形的形成，即以沉洞、洞穴及地下排水系统为特征的喀斯特地形。这些含水层中的水，不仅为矿工带来安全隐患，在设计预抽钻井及采空区瓦斯抽采钻井时，还需要考虑钻井设计能满足需要容纳这些含水，以及当钻孔途径岩溶洞穴时，保证钻孔的完整性。

本报告评估了贵州区域的能源市场，以确定磨盘山煤矿瓦斯的终端利用方式。2005至2011年间，中国的电力消耗以年均11.1%的增速保持了强劲的增长，贵州省的电力消耗同样保持着增长势头，据报道，2013年贵州电力消耗增长7.3%，因此，在中期范围内，假设贵州省的经济和电力消耗与全国一道保持预期的8~10%的年增长，比较合理。虽然如此，几乎贵州所有煤矿瓦斯电站都是通过煤矿公司内部电网进行输配自行消耗，部分存在富余发电能力的电站，由于很难接入电网以及与电网达成售电协议，也不得不闲置其部分瓦斯发电能力。

由于区域范围内没有现成的基础设施，能够将产品气运往市场，磨盘山煤矿抽采出的瓦斯，其终端利用方式很有限。本研究报告建议煤矿考虑利用以瓦斯作为燃料的内燃机现场发电。以年运行8000个小时计，当产量达到峰值，拟议瓦斯电站发电装机容量可达13.5MW。项目总投资预计为2747万美元，项目的内部收益率（IRR）为45.0%，投资回收期为3.84年。瓦斯发电项目10年寿命期内，减少甲烷，折合成减少二氧化碳排放39.74万吨 $CO_2e$ 。



## 目录

免责声明 .....	ii
执行摘要 .....	iii
图示 .....	vi
图版 .....	vi
表格 .....	vii
缩略语 .....	viii
鸣谢 .....	ix
1. 背景 .....	1
2. 介绍 .....	1
2.1. 历史 .....	1
3. 地质背景 .....	2
3.1. 位置 .....	2
3.2. 区域地质情况 .....	2
3.3. 矿井地质 .....	3
3.3.1. 地层和水文地质 .....	3
3.3.2. 地质结构 .....	5
3.3.3. 含煤层 .....	6
3.3.4. 厚度和物性 .....	6
4. 煤炭资源 .....	7
5. 煤矿开采 .....	8
5.1. 煤炭生产预测和煤炭开采计划 .....	8
6. 瓦斯资源 .....	10
7. 可能的产气量 .....	14
7.1. 钻井设计和产量预测基础 .....	14
7.2. 产气和产水量预测 .....	19
7.2.1. 预抽瓦斯产量及产水量预测方法 .....	19
7.2.2. 预抽产气和水的产量预测结果 .....	22
7.2.3. 采空区抽采产气量的预测方法 .....	23
7.2.4. 采空区抽采产气量预测结果 .....	23
7.3. 煤层气产量预测结果 .....	24
8. 能源市场 .....	24

8.1.	煤炭市场 .....	24
8.1.1.	中国煤炭市场 .....	24
8.1.2.	贵州煤炭市场 .....	25
8.2.	电力和/或燃气市场 .....	26
8.2.1.	中国电力市场 .....	26
8.2.2.	区域电力市场 .....	26
9.	拟议的终端利用方案和经济性分析 .....	27
9.1.	发电 .....	27
9.1.1.	技术和部署 .....	27
9.1.2.	风险因素及缓减 .....	28
9.2.	经济分析 .....	29
9.2.1.	参数输入和假设 .....	29
9.2.2.	概率性经济预测结果 .....	30
9.2.3.	发电方案敏感性分析 .....	32
10.	结论、建议和下一步工作 .....	33
11.	参考文献 .....	34

## 图示

图示 1: 区域地图 .....	2
图示 2: 磨盘山区域地质图 .....	3
图示 3: 含煤及含水层地层剖面图 .....	5
图示 4: 采矿区内示例剖视图 .....	6
图示 5: C5 和 C9 煤层煤炭资源量 .....	8
图示 6: 磨盘山煤矿采面布置图 .....	9
图示 7: 等温吸附曲线及含气量值 .....	10
图示 8: C5 煤层预测的瓦斯资源量 .....	12
图示 9: C9 煤层预测的瓦斯资源量 .....	12
图示 10: 预测的瓦斯资源量 – 典型的煤炭开采工作面抽采和区域预抽钻井抽采 .....	13
图示 11: 拟议的预抽钻井布置 .....	16
图示 12: 拟议的预抽钻井示例 .....	16
图示 13: 预抽钻井图解 .....	17
图示 14: 拟议的采空区钻井布置 .....	18
图示 15: 拟议的采空区钻井示例 .....	18
图示 16: 产气量预测类比位置地图 .....	19
图示 17: 煤层气及水的产量预测-磨盘山及在产的 CBM 煤田比较 .....	21
图示 18: 寿阳区块的水/气比(m <sup>3</sup> 水/m <sup>3</sup> 瓦斯).....	22
图示 19: 煤层气及水的产量预测 .....	22
图示 20: 2011 年中国能源结构图. 来源: EIA (2014a) .....	25
图示 21: 中国原煤供应 来源: EIA (2014b).....	25
图示 22: 拟议甲烷消减方案的产气量、支出和收益 .....	31

## 图版

图版 1: 磨盘山煤矿拟议钻井图

图版 2: 磨盘山煤矿地层柱状图



## 表格

表格 1: C5 和 C9 煤层煤炭物性 .....	7
表格 2: 矿权范围内煤炭资源量 .....	8
表格 3: 煤炭产量预测 .....	9
表格 4: 用典型的预抽钻井抽采, C5 和 C9 煤层概率性的瓦斯资源预测 .....	13
表格 5: 用典型的煤炭开采工作面抽采, C5 和 C9 煤层概率性的瓦斯资源预测 .....	14
表格 6: 磨盘山和寿阳区块地质特征比较 .....	20
表格 7: 预抽产气和水的产量预测结果 .....	23
表格 8: P50 情景下, 采空区抽采产气量预测结果 .....	24
表格 9: P50 情景下, 煤层气产量预测结果 .....	24
表格 10: 年项目成本 .....	27
表格 11: 风险因素及缓减: 发电自用方案 .....	29
表格 12: 经济模型中使用的参数输入和假设 .....	30
表格 13: 发电方案基准情况预测结果 .....	32
表格 14: 不同产气量情景下经济指标比较 .....	32

## 缩略语

CBM	煤层气
CMM	煤矿瓦斯
CAPEX	资本支出
CNY	元（人民币货币单位）
CO <sub>2</sub> e	二氧化碳当量
CSPGC	中国南方电网公司
GMI	全球甲烷行动
GQEDC	贵州黔西能源开发利用有限公司
GZICCEP	贵州环境保护国际合作中心
IRR	内部收益率
km	千米
kV	千伏
kWh	千瓦时
m	米
m <sup>3</sup>	立方米
mD	毫达西
mm	毫米
MW	兆瓦
MWh	兆瓦时
NDICSIG	中煤国际工程集团南京设计院
NPV	净现值
OGIP	原始煤层气地质储量
OPEX	运营成本
p10	表明有 10%的可能性预测会大于或等于 p10 的数量
p50	表明有 50%的可能性预测会大于或等于 p50 的数量
p90	表明有 90%的可能性预测会大于或等于 p90 的数量
PSC	产品分成合同
RRR	拉文雷治资源公司
SCGEII	山东煤炭地质工程勘察研究院
US	美国
USD	美元
USEPA	美国环境保护署

## 鸣谢

这份出版物是在美国环境保护署（USEPA）的要求下，支持全球甲烷行动计划（GMI）进行的。在煤层气拓展计划（CMOP）的合作下，基于煤矿所有方贵州黔西能源开发利用有限责任公司提供的资料，拉文雷治资源公司项目团队成员：Candice L. M. Tellio、Raymond C. Pilcher、James S. Marshall 和 Charlee A. Boger 撰写了这份报告。



## 1. 背景

本预可行性研究是在全球甲烷行动计划（GMI）下，由美国环境保护署（USEPA）资助。美国和中国同为全球甲烷行动计划成员国。本预可行性研究由拉文雷治资源公司（RRR），在贵州环境保护国际合作中心（GZICCEP）和贵州和济能源有限责任公司的协助下实施。

磨盘山煤矿为一拟建矿井，由贵州黔西能源开发利用有限公司（GQEDC）开发，煤矿位于贵州省黔西县境内，设计生产能力为 90 万吨/a，煤质为无烟煤。磨盘山煤矿生产出来的煤炭将提供给附近的黔西电厂，也包括区域内的其它电厂，如大方电厂。煤矿距离青龙煤矿不远，与青龙煤矿同由 GQEDC 运营管理。磨盘山煤矿经济可采储量为 6075 万吨，分布在二叠纪龙潭组 C5、C9、C12、C14 和 C15 层，预计开采年限为 66 年。从磨盘山煤矿已选取 33 份煤样，做了气样测试，测量其含气量。测试结果为含气量 5.24~23.74m<sup>3</sup>/吨煤，表明煤矿为高瓦斯矿井。初步的地质调查显示，可采煤层被数个石灰岩含水层上覆，在煤矿的建设阶段，以及如本报告中拟议的设计采前钻井及采后钻井活动时，均需要将这些含水层考虑进去。作为 USEPA 早前资助项目（青龙煤矿预可行性研究项目）的积极合作伙伴，GQEDC 意识到实施瓦斯抽采项目的重要性，以控制管理瓦斯排放。磨盘山煤矿与其所有者，意识到对瓦斯资源量进行评估，选择合适的方式来进行回收并加以利用的好处，被选定作为本预可行性研究的案例煤矿。

当前，贵州省天然气的需求量是供应量的三倍，因此，抽采出瓦斯用于发电自用对于煤矿具有吸引力。对于磨盘山煤矿来说，区域内缺乏现成的能将产品气运输至市场的基础设施，抽采出的瓦斯其它的利用方式是有限的。至少在证明瓦斯资源经济可采之前，经济和技术风险最低的方案为利用抽采出的煤矿瓦斯就近发电供煤矿自用。

目前，磨盘山煤矿为 GQEDC 百分之百拥有。煤矿设计为井工矿井，用单一长壁工作面开采煤炭。煤矿管理层相信，磨盘山煤矿的建设和运行，能够帮助促进当地经济发展和促进社会稳定。正如 GQEDC 委任的 NDIC SIG 在煤矿的可行性研究报告所说“煤矿的建设和生产，不仅能够为当地创税，还能增加当地工作机会，促进相关产业的发展，带领当地民众走出贫困”（NDI, 2013）。

## 2. 介绍

本预可行性研究的目的是为了确定在磨盘山煤矿，为减少全球甲烷排放及增加煤矿的安全性，进行瓦斯预抽及采空区抽采钻井，捕获瓦斯气用于瓦斯发电的可能性。

本研究报告是一系列调查的结果，这就要求：

- 对煤矿进行实地考察；
- 技术文件的翻译和审查；
- 基于对煤层所含瓦斯及通过地面钻井预抽瓦斯可能性的统计分析，评估蕴含瓦斯的资源量及煤层气产量。
- 基于当前能源市场情况及供应商提供的数据，对实施拟议的地面钻井抽采煤层气用于发电示范项目进行经济分析。

本预可行性研究的结果是为更全面的可行性研究提供基础。研究旨在开发一个能吸引投资者或是其它利益相关方的项目，这些投资者或利益相关方能够为更全面的可行性研究提供资金，最终投资和实施此抽采和利用项目。

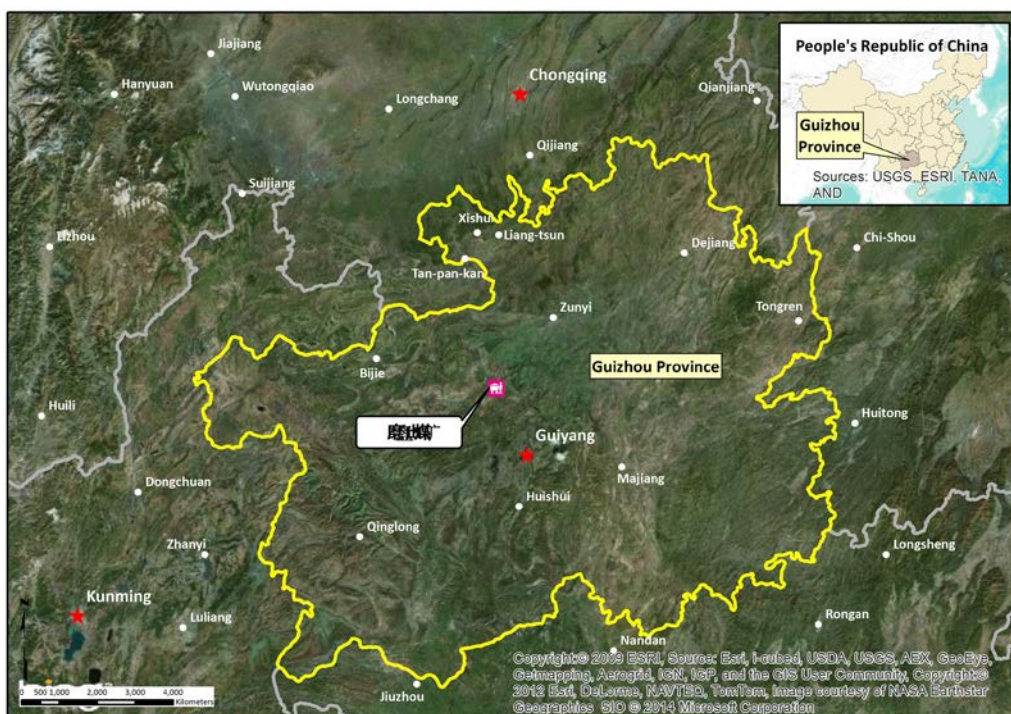
### 2.1. 历史

目前，磨盘山煤矿处于筹备及开采计划的制定中，还未实施煤炭开采活动。2005 年 10 月，贵州黔西能源开发利用有限公司（GQEDC）获得了磨盘山井田的探矿权，开始进行这一区块煤炭资源储量的评估。山东煤炭地质工程勘察研究院（SCGEII）完成的《煤炭勘查及地质报告》为本报告的地质综述及煤炭勘探、资源量数据提供了基础。另外一份报告，2013 年 11 月由中煤国际工程集团南京设计院（NDICSIG）完成的《磨盘山煤矿可行性研究报告》，评估了选址在磨盘山井田建设煤矿的可行性，并且设计了初步的采矿计划。随着 NDICSIG 实施的可行性研究报告的完成，最初的矿建工作预计在不远的将来开始实施，不过，由于过去的两年，中国的煤炭市场持续性萧条，这也要取决于中国的煤炭市场情况。这些报告作为本研究中地质评估的基础。

### 3. 地质背景

#### 3.1. 位置

磨盘山井田位于贵州省黔西县东北部，面积 30 多平方公里。矿权区域中心位置坐标为东经 106° 21' 34"，北纬 27° 06' 34"，在贵阳的西北方向，距离贵阳约 68.5Km。图示 1 为磨盘山井田在贵州省的位置图。



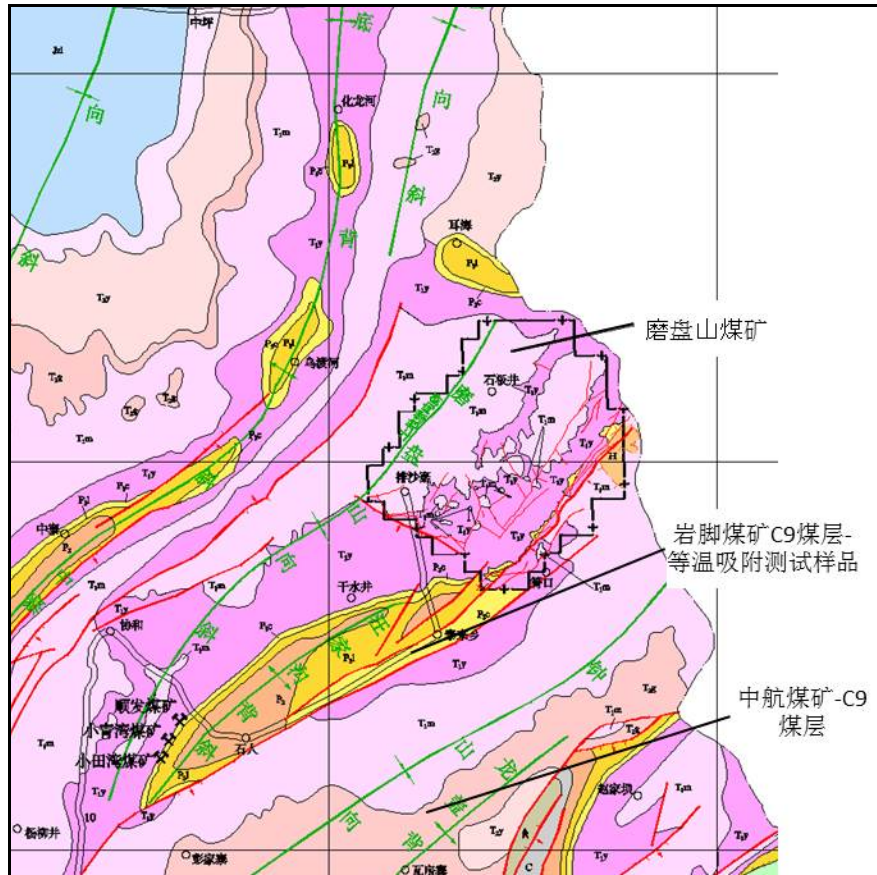
图示 1：区域地图

磨盘山井田坐落在扬子准地台的上部，起伏的喀斯特地形位于云贵高原，东部与乌江被称作鸭池河的筑坝部分相邻，北部与乌江一支流相邻。井田海拔从低点（临近乌江）703m，至区域海拔最高点鹰巢山，海拔为 1409m。计划开采的井田范围内，海拔为 1100m 至 1200m。

#### 3.2. 区域地质情况

作为扬子准地台的一部分，磨盘山井田地质构造由一系列北东-南西缓倾不对称背斜和向斜组成，被一系列正、逆断层一分为二，井田东部边界处为一系列褶曲和产生断层的地垒和地堑区块。图

示 2 中，背斜和向斜轴用绿线表示，断层迹用红线表示。通常情况下，先有褶曲后有断层表示，在北西-南东压应力或挤压时期发生了最初的弹性形变，随后，演变为张应力。在张应力的主宰下，正断层错动，以及沿着这些断层快速下滑移动，使得东部和南部的地垒及地堑得以形成。



图示 2: 磨盘山区域地质图

### 3.3. 矿井地质

#### 3.3.1. 地层和水文地质

以下关于磨盘山井田地层的讨论，主要集中在那些对煤炭开采、实施报告 7.1 节所述的地面煤层气预抽钻井及采空区钻井有直接影响的特性。在浅海洋环境沉积的厚实的三叠纪和二叠纪的石灰岩床直接上覆于含可采煤层的二叠纪地层层序。继沉积之后，主要由于地下水经过地层，溶解石灰岩的主要成分碳酸钙，使得这些石灰岩层发生了重大的化学和结构改变。在磨盘山区域，地下水无情的冲刷着石灰岩床，溶解其中的碳酸钙，导致一种特定的地质地形的形成，即以沉洞、洞穴及地下排水系统为特征的喀斯特地形。伴随着机械和化学作用，地层中的孔隙空间扩大，地层的透气性增强，形成储存空间及能流经大量水的导管。含水层中的水，不仅为矿工带来安全隐患，在设计预抽钻井及采空区瓦斯抽采钻井时，还需要考虑当钻孔途径岩溶洞穴时，能够有措施保护这些钻井。

图版 2 用图示法显示磨盘山井田范围内被钻井穿透的地层层序。除了最上层的第四纪地层，其它每个地层都存在含水层，在煤矿最终的设计以及钻井脱气项目的实施过程中，都需要考虑到这些含水层的影响。



### 茅草铺组石灰岩

煤炭勘查时实施了 5 口钻井，在茅草铺组发现了一个岩溶裂隙含水层。遇到的最大的岩溶地形是一个直径为 11m 的洞穴。由于构造高度破碎，用于决定水流及透气性的注水测试都不成功。因此，可以在随后实施的钻井项目中，通过从构造中简单产水并监测其流速及流量，来获得水流及透气性这些重要的参数。由于含水层区域远在可采煤层之上，且中间隔有不透水的泥石层，不太可能影响到煤炭的开采，倒是可能会给地面钻井预抽及采空区钻井带来一些问题。

### 夜郎组石灰岩

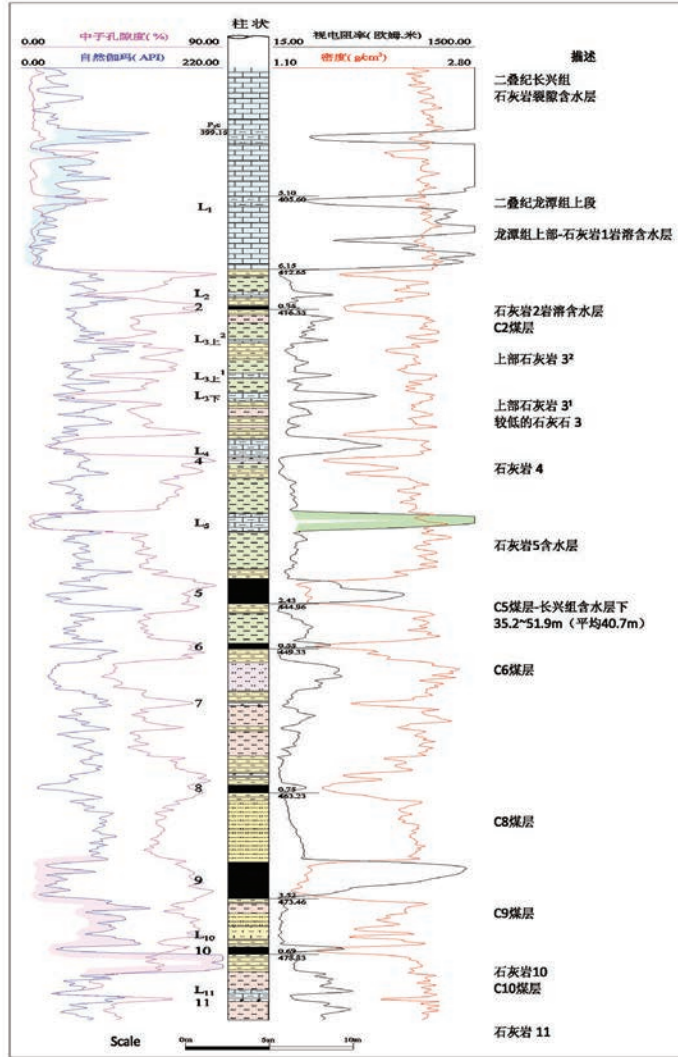
通过 8 个煤炭勘探钻井确定，在夜郎组石灰岩层含有岩溶裂隙含水层。钻井遇到的最大的洞穴结构直径为 5.4m。不过，经常碰到充满水的孔隙空间。由于有不透水的泥岩层及沙泥岩隔断，含水层不会给下伏层煤炭开采活动造成最紧迫的危害。但是，同样地，如果钻井项目没能对这个含水层引起足够的重视，含水层将给拟议的钻井活动带来重大的困难。

### 长兴组和大隆组

这两个地层包含一致的层序，石灰岩和硅质灰石直接上覆含煤层龙潭组。图示 3 显示更为详细的视图，地层的岩石直接上覆长兴组。磨盘山井田勘探钻井，34 个钻孔中的 25 个发生漏水，证明这些岩层包含岩溶裂隙含水层。部分钻孔的孔隙率超过 73%。含水层仅位于 C5 煤层上 40m，给龙潭组的煤炭开采活动带来最直接的威胁。不过这个距离，对于随着长壁开采 C5 煤层以及下伏的 C9 煤层，而导致发生的地层松动和破裂区域却是可以接受的。预抽钻井的设计，必须要考虑适应可能出现的有害的水流。

### 龙潭组

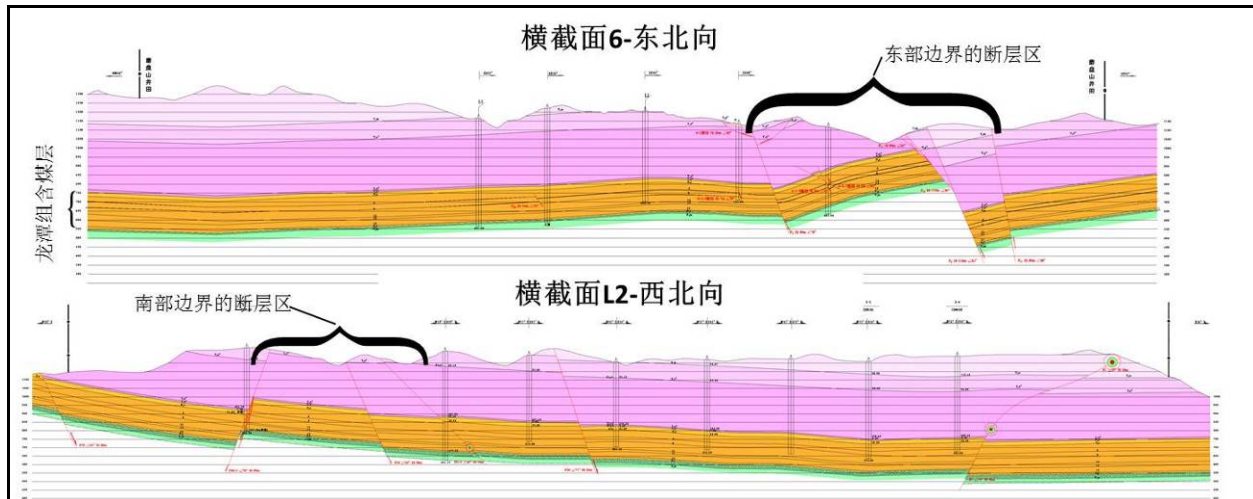
龙潭组上部的 4 个石灰岩层为含水层，从上到下依次为：L1-平均厚度 10.3m，L2-平均厚度 0.8m，L4-平均厚度 1.4m，以及 L5-平均厚度 1.8m。不过，由于 L1 和 L2 之间，没有可辨识的不透水层分隔，L1 和 L2 可以视为一个含水层。测得 L1 和 L2 的孔隙率分别为 58.8%和 32.4%。L1 层与 C5 煤层的平均距离为 28.88m，对于开采 C5 及 C9 煤层而导致发生的坍塌和地层松动区域却是可以接受的，有可能造成采矿危险。



图示 3: 含煤及含水层地层剖面图

### 3.3.2. 地质结构

利用煤炭勘查时开发的数字图像文件，构建了一个采矿区简单的三维模型，作为了解采矿区内地质和结构历史的基础。在即将开始开采的区域，即如图示 2 磨盘山概要图所示，矿区地质结构复杂程度为中等。中度起伏的结构包含一系列小型局部褶皱，最初煤炭开采区域有很小的煤层倾角，为  $6\sim 10^\circ$ ，且倾向西北。然而，整个煤炭开采区域，煤层倾角范围在  $4\sim 22^\circ$ 。井田范围东部和南部发现了陡斜的正、逆断层，垂直距离最大达到 24m。图示 4 为两个示例剖视图，一个为东北方向视图，另一个为西北方向视图。横截面 6 示意的是东部边界处的断层区，而横截面 L2 示意的是南部边界处的断层区。



图示 4：采矿区内示例剖视图

### 3.3.3. 含煤层

二叠纪龙潭组含有 18 个煤层，CQEDC 将其中的 C5 和 C9 煤层视为磨盘山矿权范围内的主要可采煤层。龙潭组的厚度范围是 142.3m~177.7m，平均厚度为 160.6m。C1 至 C11 煤层在龙潭组上段，C12 至 C15，以及其它一些未命名煤层则在龙潭组下段。

龙潭组包含互嵌的海洋和大陆沉积物。随着时间的推移，海平面的改变，出现了 9 个沉积周期，大陆碎屑沉积物在此期间沉积，在这些产生的沉积中发现了煤层。碎屑沉积物包括灰质泥岩、沙泥岩、细粒度砂岩、石灰岩以及炭质页岩，这些岩层与煤炭互为夹层。沿着大陆边缘形成的海洋环境中，18 个石灰岩层主要沉积在龙潭组上段。其中的一些岩层在整个区域内可以识别，作为标记层，为煤炭的勘查活动提供参照。龙潭组同样富含动植物化石。图示 3 描述了龙潭组上段的某一地层剖面，显示了集中电阻率、密度、自然伽马及中子地球物理测井曲线，和指定煤和石灰岩层。图版 2：磨盘山煤矿地层柱状图对局部层序中的地层进行了细致描述。

C5 煤层位于二叠纪长兴组石灰岩层下部 35.2~51.9m，两者之间主要为石灰岩和沙泥岩层。C5 煤层的直接上覆以及下伏层为泥石层。C9 煤层在 C5 煤层下 18.5~27.4m，主要的层间层为沙泥岩、煤炭、细粒度砂岩以及砂质泥岩。C9 煤层的直接上覆层为砂质泥岩，而其直接下伏层主要为泥岩。

### 3.3.4. 厚度和物性

C5 煤层厚度为 0.65~3.28m，平均为 1.82m，可采层厚度范围为 0.8~3.28m。局部位置，煤层含有钙质泥岩部分，根据初步的煤矿设计，煤炭开采能回收 82%的煤层厚度。C9 煤层厚度为 1.42~3.8m，平均为 3.01m。此煤层为连续煤层，煤炭开采能回收其 100%的厚度（NDI，2013）。

C5 和 C9 煤层的煤炭均为无烟煤，半暗-半亮光泽。表格 1 显示的是，2005 年 SCGEII 进行煤炭勘查时采集的煤炭核心物性参数。

表格 1: C5 和 C9 煤层煤炭物性

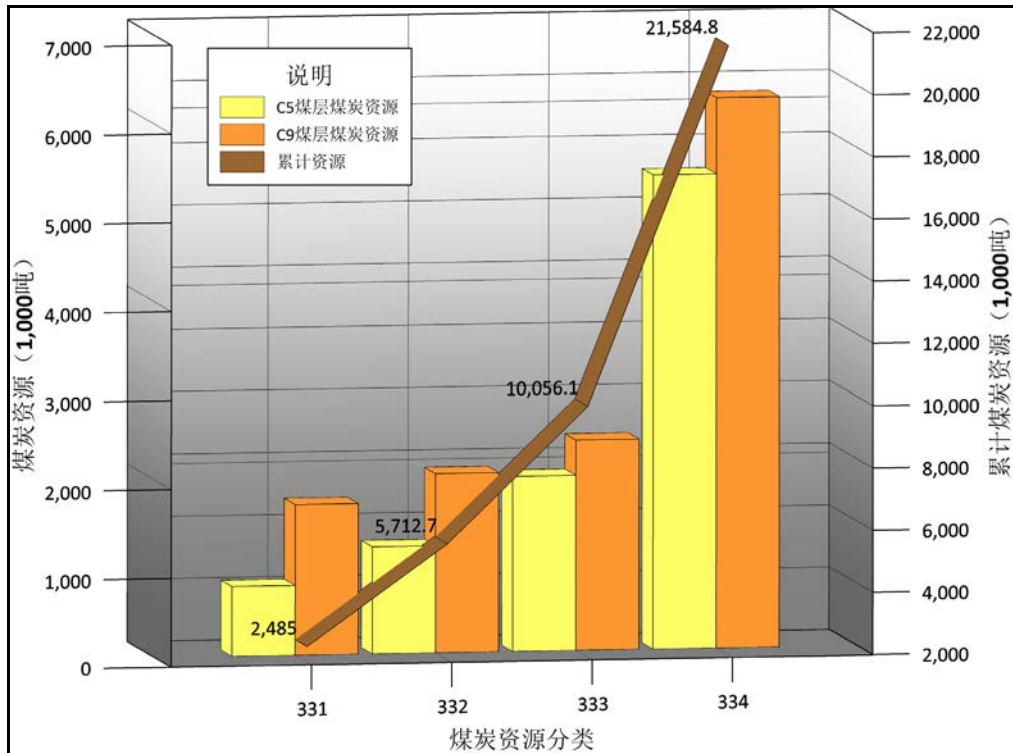
物性 (浮煤)	水分 $M_{ad}$ (%)	灰分 $A_d$ (%)	挥发分 $V_{daf}$ (%)	全硫 $St,d$ (%)	磷 $P_d$ (%)	发热量 $Q_{gr,d}$ (MJ/kg)
<b>C5 煤层</b>						
范围	0.56 – 2.54	6.87 – 12.75	6.60 – 8.06	0.39 – 1.63	0.002 – 0.010	30.97 – 33.88
平均 (样品数)	1.53 (31)	9.17 (30)	7.25 (31)	1.06 (31)	0.006 (12)	32.46 (21)
<b>C9 煤层</b>						
范围	0.34 – 2.85	5.24 – 11.25	6.38 – 7.75	0.38 – 1.06	0.002 – 0.012	31.63 – 33.90
平均 (样品数)	1.65 (29)	9.11 (29)	7.00 (29)	0.58 (29)	0.007 (13)	32.64 (20)

#### 4. 煤炭资源

根据 2013 年 11 月，NDIC SIG 最新完成的磨盘山煤矿可行性研究报告，对磨盘山煤矿煤炭资源量最准确的估计是基于 SCGEII 实施的勘查项目得出的。勘查活动于 2005 年实施，包括：

- 识别地层层序及其年代；
- 煤炭及含煤地层详细分析；
- 确定矿区范围内主要的地质结构特征；
- 可采煤层基础结构等高线图；
- 详细识别可采煤层的厚度变化及煤层的连续性；
- 基础的水文地质情况和井田范围内可能的水流；
- 煤和煤尘自燃及爆炸危害；
- 能够影响地面温度及其它开采条件的顶底板特征；
- 基于合理可靠的参数，预测煤炭资源储量。

根据 SCGEII 提供的信息，采矿区范围内目标 C5 和 C9 煤层的煤炭资源储量为 2.15 亿吨（表格 2）。如果煤矿按照其设计生产能力，即 90 万吨/a 生产，其服务年限接近 66 年。以下图示 5 为按煤层及煤炭资源分类展示的煤炭资源储量。基于《中国固体矿产资源/储量分类（2009）》，GQEDC 在矿权范围内的勘查钻井活动，描绘了 4 类储量：331、332、333 和 334。



图示 5: C5 和 C9 煤层煤炭资源量

根据此分类系统：资源储量 331 为探明的内蕴经济资源量，332 为控制的内蕴经济资源量，333 为推断的内蕴经济资源量，334 为预测资源量。表格 2 为 SCGEII 评估的资源量。

表格 2: 矿权范围内煤炭资源量

煤炭储量分类	C5 煤层 (10,000 吨)	C9 煤层 (10,000 吨)	合计 (10,000 吨)
<b>331</b>	787.2	1,697.8	2,485.0
<b>332</b>	1,208.7	2,019.0	3,227.7
<b>333</b>	1,973.4	2,370.0	4,343.4
<b>334</b>	5,335.6	6,193.1	11,528.7
<b>合计</b>	<b>9,304.9</b>	<b>12,279.9</b>	<b>21,584.8</b>

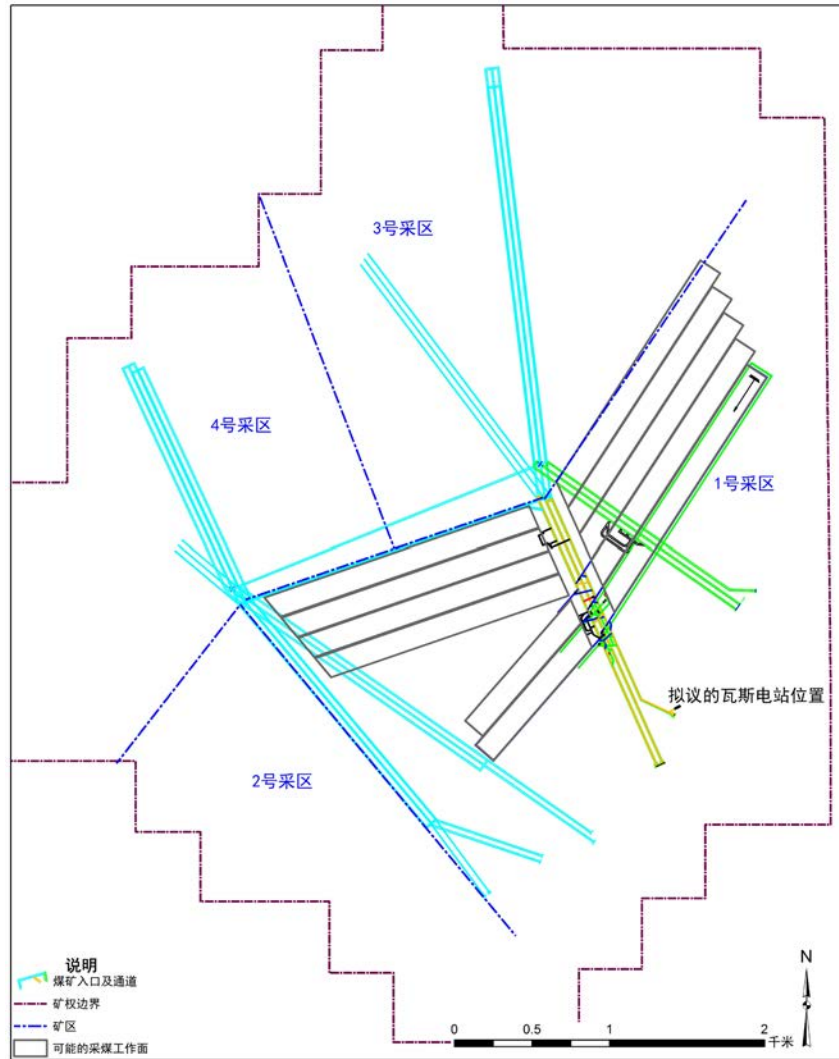
## 5. 煤矿开采

### 5.1. 煤炭生产预测 和煤炭开采计划

利用 GQEDC 提供的煤矿图示，评价煤矿可能的设计布置，作为瓦斯资源预测和抽采方案设计的基础。在进行预可行性研究的过程中，详细的煤炭开采计划还并未完成。不过，GQEDC 提供了一张显示第一采面位置及开采计划的粗略图示。利用初步的煤矿开采布置图，为了预可行性研究的需



要，**图示 6** 描述了用于评估瓦斯资源储量及设计如**章节 7.1** 所述预抽钻井和采空区钻井布置方案的平面图。**表格 3** 显示了假设的最初煤炭产量及随着时间推移，煤炭产量逐步提升至煤矿设计生产能力的过程。



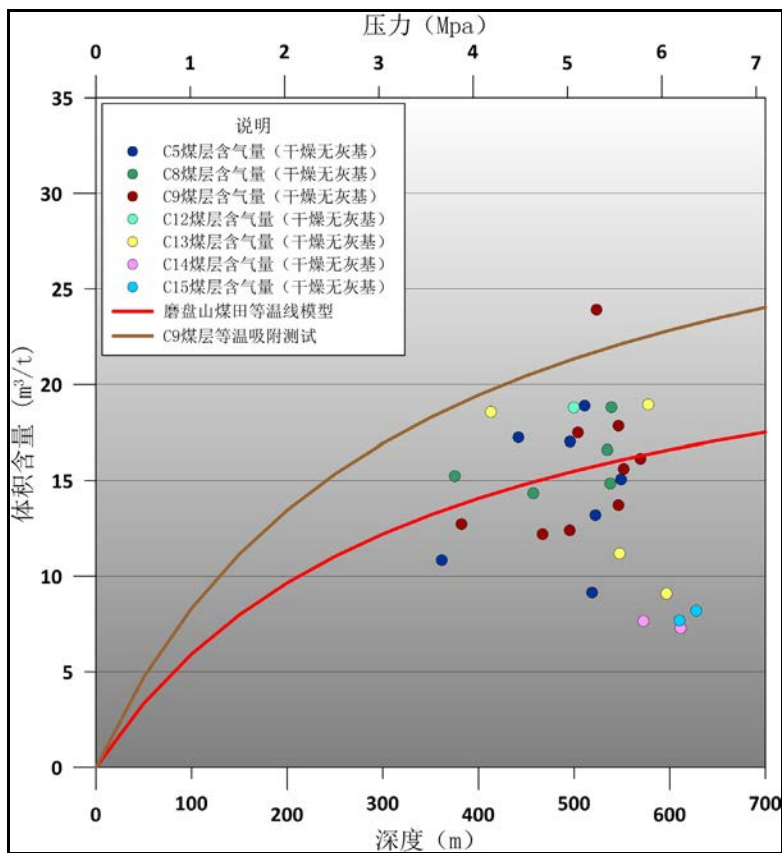
图示 6: 磨盘山煤矿采面布置图

表格 3: 煤炭产量预测

产量假设	年									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
年产煤 (万吨)	30	60	90	90	90	90	90	90	90	90

## 6. 瓦斯资源

以从煤炭资源及开采报告中获得的煤炭资源量作为计算磨盘山煤矿整个原始瓦斯资源储量（OGIP）的基础。一个广泛认可的粗略计算与煤炭资源相关的瓦斯资源储量的方法是，用煤炭质量乘以含气量。煤矿提供了 C5、C8、C9、C12、C13、C14 和 C15 煤层在勘探阶段采集的煤层含气量数据。为了避免基于单一点值计算，利用这些含气量值，生成了磨盘山矿区的等温模型，数字化形象的描述了含气量值随着煤层变化而发生的变化。同时，利用从 5 公里以南的岩脚煤矿获得的 C9 煤层的煤样，进行等温吸附测试。检测结果为 C9 煤层瓦斯资源含量提供参考。图示 7 显示了为计算磨盘山煤矿的等温模型曲线而做的干燥无灰基检测结果、磨盘山含气量值以及 C9 煤层的等温吸附线测试。



图示 7：等温吸附曲线及含气量值

实施甲烷等温吸附测试，为其估算煤炭的总瓦斯饱和度和可能的原始煤层气地质储量（OGIP）提供一个更广泛的参考。吸附等温式数字描述在稳定温度的平衡状态下，压力和气体含量的关系，通常选择能够反映煤样采集深度煤层储层条件的温度作为稳定温度。等温吸附线显示的是从煤矿附近点采集的煤样的瓦斯含量，可能并不能描述所有煤层的瓦斯含量情况，不过，从解吸测试中获得的煤矿的瓦斯含气量数据提供了对可采煤层可能的含气量一个近乎原位的展示。估算的磨盘山煤层气资源量指的是煤炭开采过程中会被释放的，或是如果不实施地面预抽瓦斯会释放的瓦斯总量。

计算出的等温线常量（朗缪尔压力常数和朗缪尔体积常数）来源于磨盘山井田等温吸附曲线，这些常量被用于进行统计分析以获得可能的煤层气资源量。以下的朗缪尔方程，用于计算指定深度煤层煤炭的含气量。



$$V = V_L * P / (P_L + P);$$

其中:

V = 含气量 (m<sup>3</sup>/吨)

V<sub>L</sub> = 朗缪尔体积常数 (m<sup>3</sup>/吨)

P = 储层压力 (MPa)

P<sub>L</sub> = 朗缪尔压力常数(MPa)

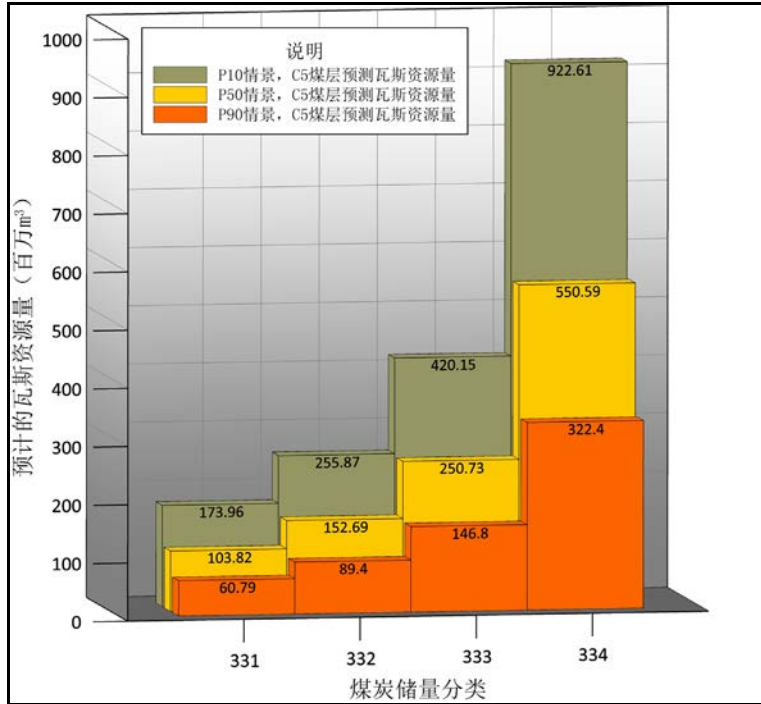
假设为正常静压梯度，将压力转变为埋藏深度<sup>1</sup>。图 7 显示的曲线将煤样的含气量与指定采煤深度煤层预期含气量关联起来。棕色和红色曲线是经调整过后，反映干燥无灰基煤炭的含气量，允许将此测试的结果与全世界任何其它地方的煤样进行等温吸附测试的结果对比。即使红色曲线预测的含气量值偏低，它仍被认为是最能反映磨盘山煤层的瓦斯资源量的，因为它是基于矿区内实际获得的煤样，数学模拟含气量值。

红色曲线，显示的是经计算出的磨盘山的等温吸附线，同样，这条线也是经过调整，反映干燥无灰基煤炭的含气量。为了进行这个研究，红色曲线被认为是最能反映磨盘山煤层的瓦斯资源量的，因为其预测是基于矿区内主要煤层实际煤样获得的值。

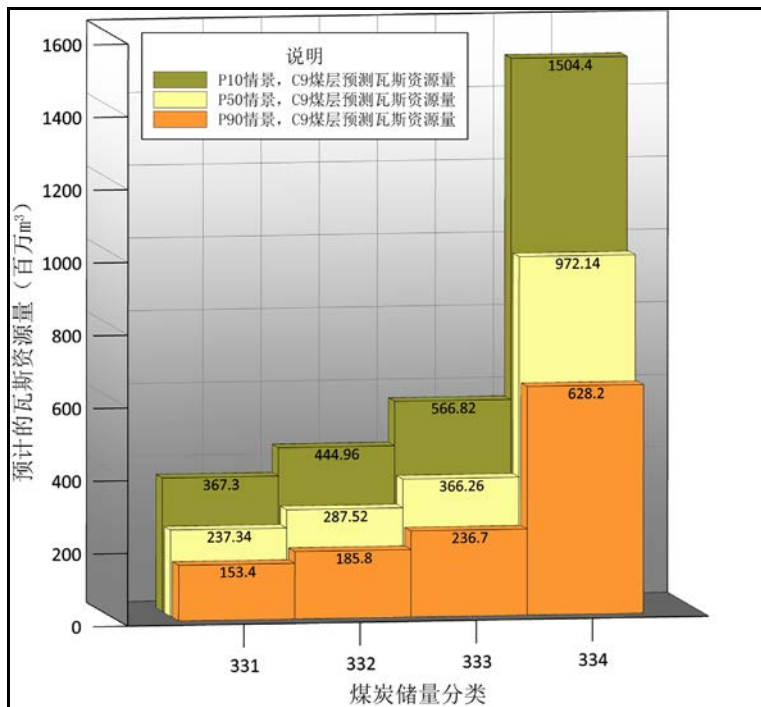
为了估算原始煤层气地质资源量（OGIP），用早前计算出的煤炭资源量乘以代表含气量范围值的概率分布。用概率性方法估算 OGIP，将煤炭密度、厚度和可采煤层含气量值的不确定性考虑进来了。研究计算了三种概率阈值 P10、P50 和 P90 下的煤层气资源量。每一种阈值状态下煤层气资源量的计算值有一定概率为实际值，表述为等于或是大于所述阈值概率。整个矿权范围内，C5 煤层 OGIP 预测值（图 8）为 6.194 至 17.726 亿 m<sup>3</sup>（对应为 P90 至 P10）。P50 情景下，矿权范围内 C5 煤层 OGIP 预测值为 10.578 亿 m<sup>3</sup>。整个矿权范围内，C9 煤层 OGIP 预测值（图 9）为 12.041 至 28.835 亿 m<sup>3</sup>（对应为 P90 至 P10）。P50 情景下，矿权范围内 C9 煤层 GIP 预测值为 18.638 亿 m<sup>3</sup>。因此，有 50% 的概率，C5 和 C9 煤层可回收煤层气资源量等于或是超过 29.216 亿 m<sup>3</sup>。

---

<sup>1</sup> 静压梯度是指单位深度静止压力的变化值。假设该区域内为标准静压梯度，即为 9.8kPa/m 水柱。



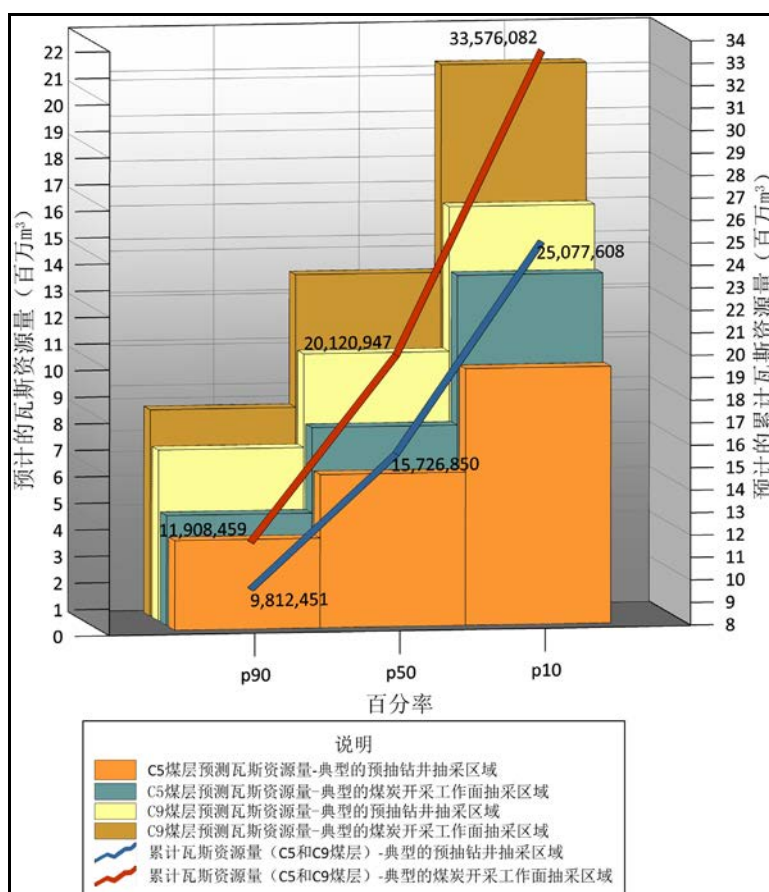
图示 8: C5 煤层预测的瓦斯资源量



图示 9: C9 煤层预测的瓦斯资源量

本研究拟实施 22 口垂直钻井，在煤炭开采之前预抽瓦斯（在 7.1 节有详细描述）。计算出的、井田范围内煤炭资源所含的 OGIP，同时通过拟议的预抽钻井和典型的煤炭开采工作面抽放。用 C5 和 C9 煤层底部深度（即勘探钻井截断点）的平均值，选择对应合适的含气量值。深度值转化为静水压，用图示 7 红色曲线计算含气量。如图示 10，P50 情景下，单个拟议预抽钻井抽采，原始

瓦斯资源量为 1570 万 m<sup>3</sup>，其中 C5 煤层为 577 万 m<sup>3</sup>，C9 煤层为 996 万 m<sup>3</sup>（表格 4）。同样如图示 10，P50 情景下，典型的煤炭开采工作面抽采，原始瓦斯资源量为 2010 万 m<sup>3</sup>，其中 C5 煤层为 736 万 m<sup>3</sup>，C9 煤层为 1276 万 m<sup>3</sup>（表格 5）。



图示 10: 预测的瓦斯资源量 – 典型的煤炭开采工作面抽采和区域预抽钻井抽采

表格 4 和 表格 5 显示的是，P10、P50 和 P90 情景下，用典型的预抽钻井抽采和典型的煤炭开采工作面抽采，其瓦斯资源量的预测。

表格 4: 用典型的预抽钻井抽采，C5 和 C9 煤层概率性的瓦斯资源预测

百分率	C5 煤层预测的瓦斯资源量 (m <sup>3</sup> )	C9 煤层预测的瓦斯资源量 (m <sup>3</sup> )	预测的瓦斯资源量合计 (m <sup>3</sup> )
p10	9,668,302	15,409,306	25,077,608
p50	5,769,752	9,957,098	15,726,850
p90	3,378,312	6,434,139	9,812,451

表格 5: 用典型的煤炭开采工作面抽采, C5 和 C9 煤层概率性的瓦斯资源预测

百分率	C5 煤层预测的瓦斯资源量 (m3)	C9 煤层预测的瓦斯资源量 (m3)	预测的瓦斯资源量合计 (m3)
p10	13,000,972	20,575,111	33,576,082
p50	7,363,399	12,757,549	20,120,947
p90	4,142,216	7,766,243	11,908,459

## 7. 可能的产气量

经估算, 磨盘山煤矿的潜在瓦斯资源量为 6.194 至 28.835 亿 m<sup>3</sup>, 包括磨盘山开采矿区内的 C5 和 C9 煤层所含的瓦斯资源 (图示 8 和图示 9)。用煤炭开采前瓦斯预抽和开采后瓦斯抽采技术, 都可以实现瓦斯捕获。以下拟议的钻井方案, 采用上述两种技术, 为选择最安全和有效的解决方案提供参考建议。

### 7.1. 钻井设计和产量预测基础

从可采煤层预抽瓦斯是一种捕获并利用瓦斯的最佳实践方案, 因为如果不预抽, 煤层中的瓦斯将在煤炭开采过程中直接释放, 并且这是唯一一种直接从指定煤层降低甲烷流量的方法 (UNECE, 2010)。此外, 通过预抽钻井抽出来的瓦斯, 如果处理得当, 瓦斯体积含量可超过 90%, 在选择瓦斯的利用方式上, 煤矿业主能得到最大范围的选择。预抽钻井方案可包含一种或是几种在煤炭开采前抽采瓦斯技术的综合, 可从地面或是井下工作面实施钻井抽采。为了减少涌入工作面进而到大气中的瓦斯量而实施的最有效的预抽方法, 需要考虑到实际运行条件, 如钻场的可获得性, 包括地形地势、地面水排水设施、地表所有权以及其他社会和环境问题。本研究中假设地表情况以及土地所有权问题能够得到满意的处理和解决。如果地面钻井抽采能够被证明技术和经济可行, 则其同时可获得许多优势, 如更少的煤矿井下空间利用。

地质条件, 如含气量、透气性、含水区域上覆煤层都能够影响磨盘山煤矿预抽煤层瓦斯效率, 这些问题都需要在煤炭开采前, 得到煤矿的理解并得到合适的处理。对于目标煤层的瓦斯含量, 煤矿认识得足够充分, 可以得出下面结论: 一是足够多的瓦斯, 会对煤矿的安全生产带来忧患, 二是同时这也是个机会, 可以在开采煤炭资源的同时开发另一种资源即瓦斯。

透气性, 简言之, 就是对开放通道关联性的一种测量, 通过这些开放通道, 瓦斯能够从煤层中释放到钻井孔或是工作面。透气性, 作为确定最佳预抽方案的基础参数, 我们假设磨盘山煤矿可采煤层的透气性值范围为 3~20 毫达西。最有效的预抽钻井应该是垂直钻井, 并用水力压裂技术打开和维持煤层中的裂隙 (Palmer, 2010)。含水层上覆目标煤层问题, 我们将在这一章节的后面部分提及。

下面介绍提出的方案设计, 实施 22 口垂直钻井抽采 C5 和 C9 煤层中的瓦斯。这些拟议钻井布置以 640m 作为间距, 单井服务范围为半径 320m 的圆, 抽采面积为约 32.4 公顷 (324,000m<sup>2</sup>)。为了预抽在将来的煤炭开采活动会释放出的这些瓦斯, 钻井布置在采矿区 1、2 和 4 的逆倾斜侧。拟议的钻井位置如图示 11 所示。图示 12 为截面图示例, 显示拟议钻井 BH4 的位置图, 截面 A-A' 在图示 11 中有显示。

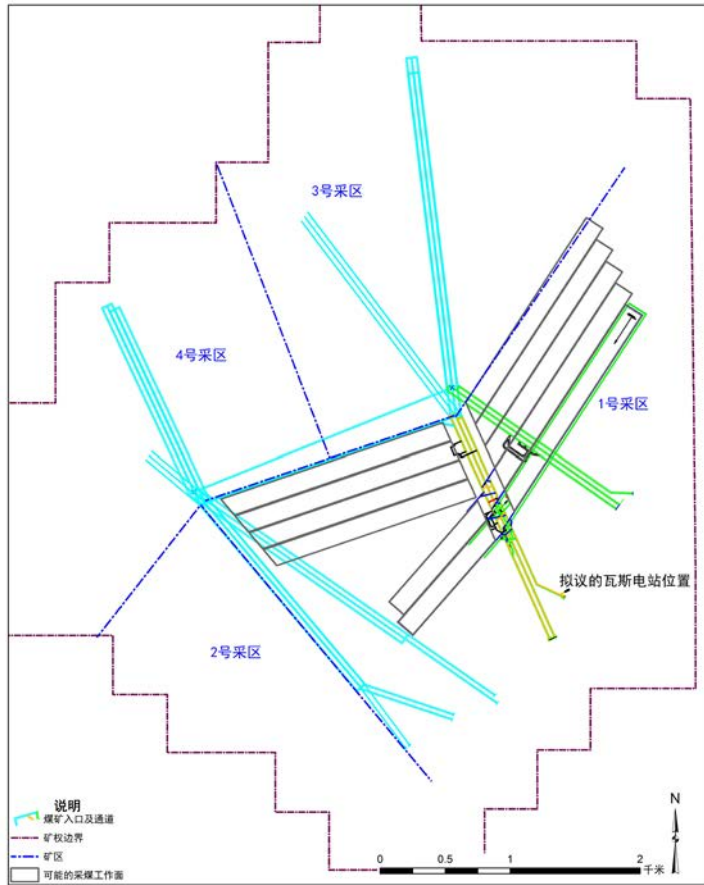
采用简化了的钻井设计来检验采煤之前预抽煤层中的瓦斯的可行性和经济可行性。本报告中所用设计是基于在北美常用的钻井设计得出, 但要注意到, 这些钻井, 必须要由有在类似地质条件下实施钻探和完井经验的、有资格的钻井工程师来实施。作为检验可行性和经济可行性的基础, 本报告

提供了地面预抽钻井的设计。预计每口井能产气 10 年，单井产气量的峰值在第二年，也就是在采排水阶段出现。预抽钻井的建设按照：

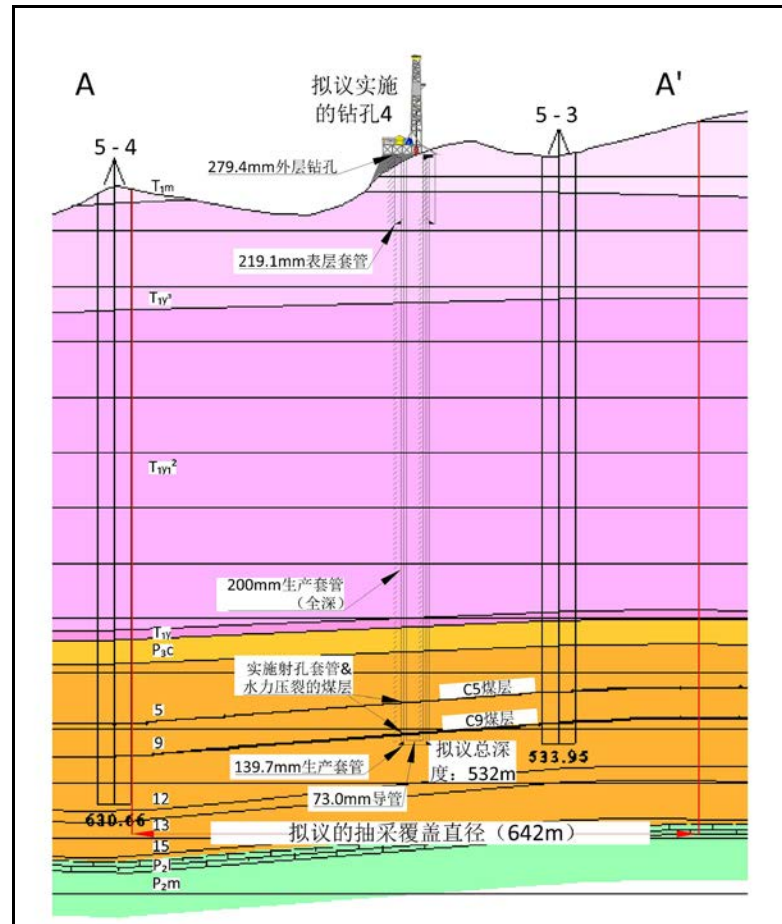
- 直径 200mm 的钻孔，钻进深度为直至目标层基部下 2m，C9 煤层（大约 530m 深）
- 直径 140mm 的生产套管全程置入钻孔，地表部分加固，穿过 C5 和 C9 煤层，随后在 C5 和 C9 煤层深度位置进行水力压裂。
- 为了产水，直径为 73mm 的管子全长插入套管井，从地表至钻孔底部，地表采用抽采泵将煤层中的水抽出，降低钻孔的水位。

产气将流经套管至钻井，上升至套管和管道之间的环形空间。地层水则被抽采，经管道至局地处理点，供现场使用或是现场排放。图示 13 为拟议示例钻井设计图解。

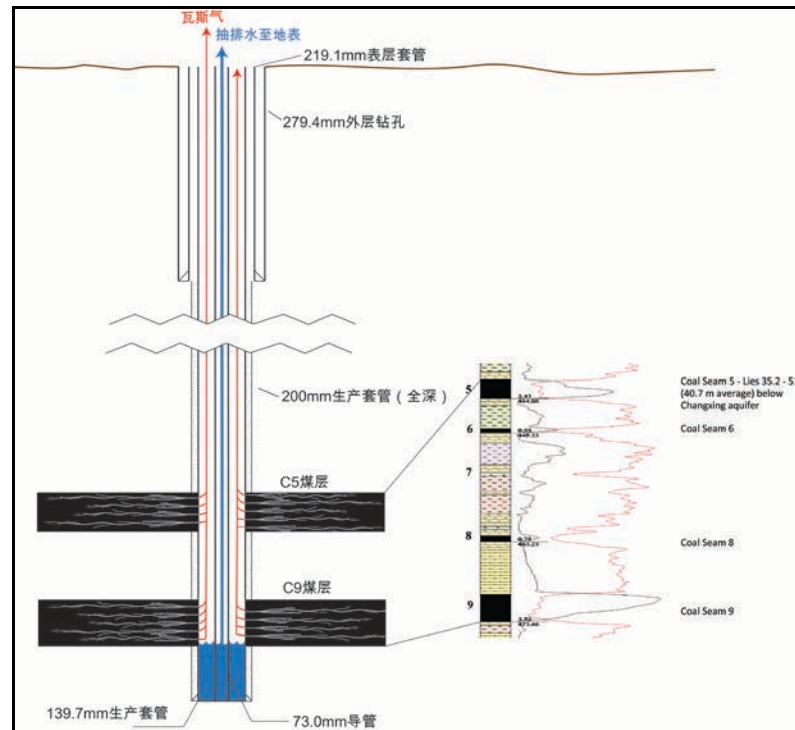




图示 11: 拟议的预抽钻井布置



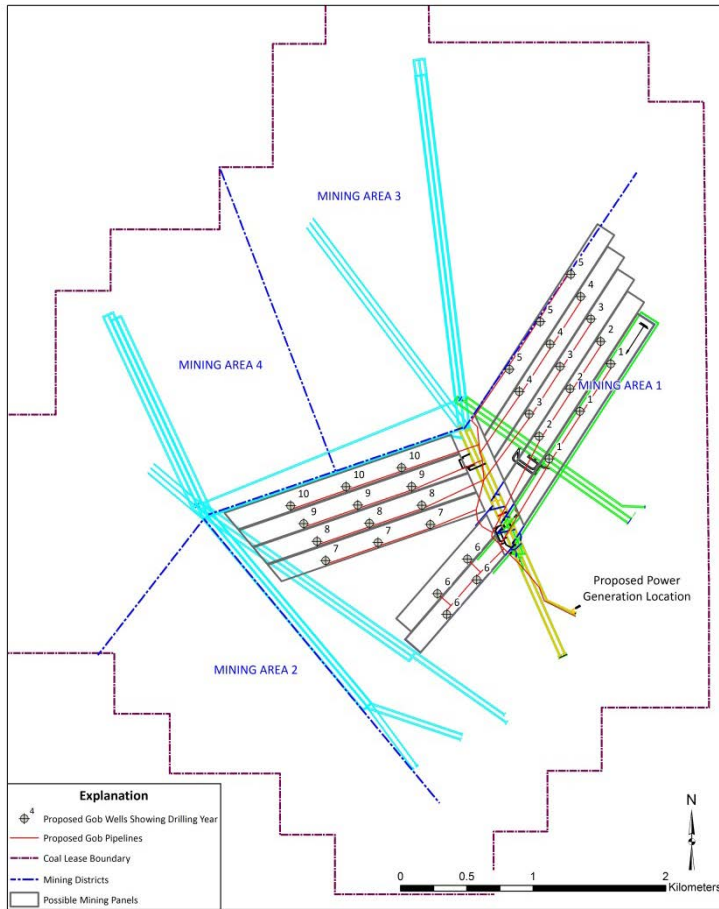
图示 12: 拟议的预抽钻井示例



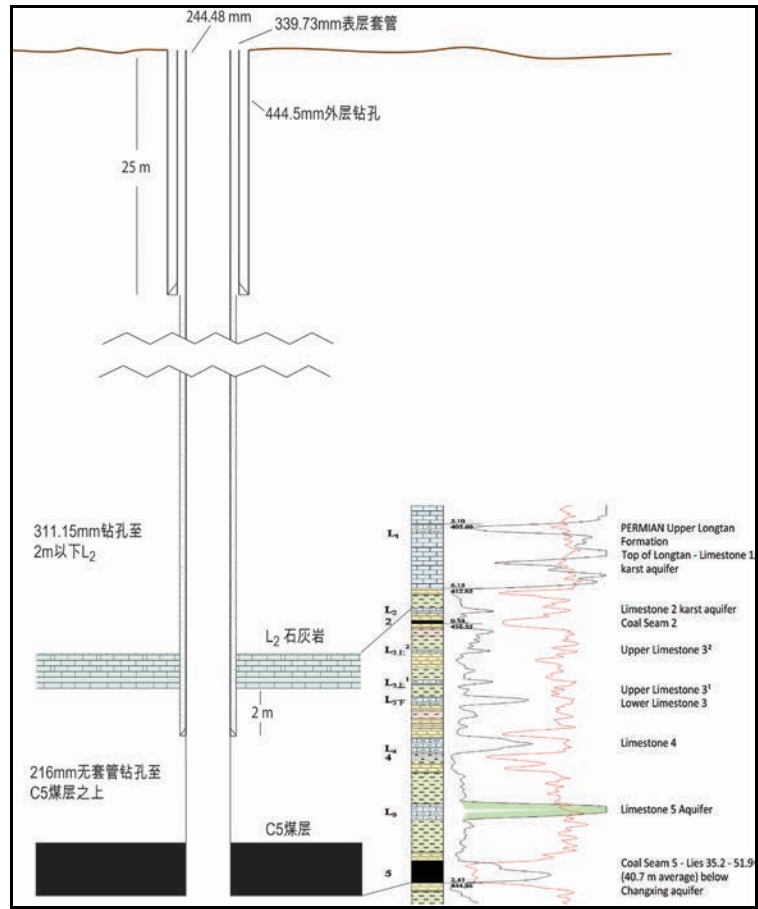
图示 13: 预抽钻井图解

图示 14 为按年度实施的采空区抽采钻井布置图。分析假设，在煤炭开采前顺着每个长壁工作面的长轴稍微偏离中心线，靠向回风巷布置 3 口采空区钻井，相互距离 500m。采空区钻井将按照：

- 444.5mm 孔径钻进 25 米深，插入 339.73mm 表层套管，地面部分加固。
- 311.2mm 直径的钻孔从表层套管内钻入至 L2 含水层下 2m，进入 C5 煤层采动区域。
- 为了防止钻孔被水侵害，244.5mm 的生产套管插入全程钻孔，地表部分加固（图示 15）。



图示 14: 拟议的采空区钻井布置



图示 15: 拟议的采空区钻井示例

## 7.2.产气和产水量预测

### 7.2.1. 预抽瓦斯产量及产水量预测方法

预测未来的瓦斯产量有好几种方法，最常用的包括：基于对实际实地生产井过去产气量的研究来进行预测；用早前的生产井数据和/或通过实地测试获得的地质和工程数据来进行储量模拟；采用和生产区域具有相似地质和储量条件的钻井产量曲线进行模拟。本报告确定了和磨盘山井田具有相似条件且同样生产煤层气的矿区，用来进行磨盘山产量曲线模拟。距离最近的且仍活跃的产气矿区为山西省沁水盆地寿阳区块的煤层气田。图示 16 表明，寿阳区块的煤层气田位于磨盘山煤矿东北方向 1300 公里。沿着沁水盆地东部边缘的上石炭纪太原组太原煤田，与磨盘山煤矿具有相似的煤阶及含气量，以及可以比较的埋藏深度和总煤厚度。



图示 16：产气量预测类比位置地图

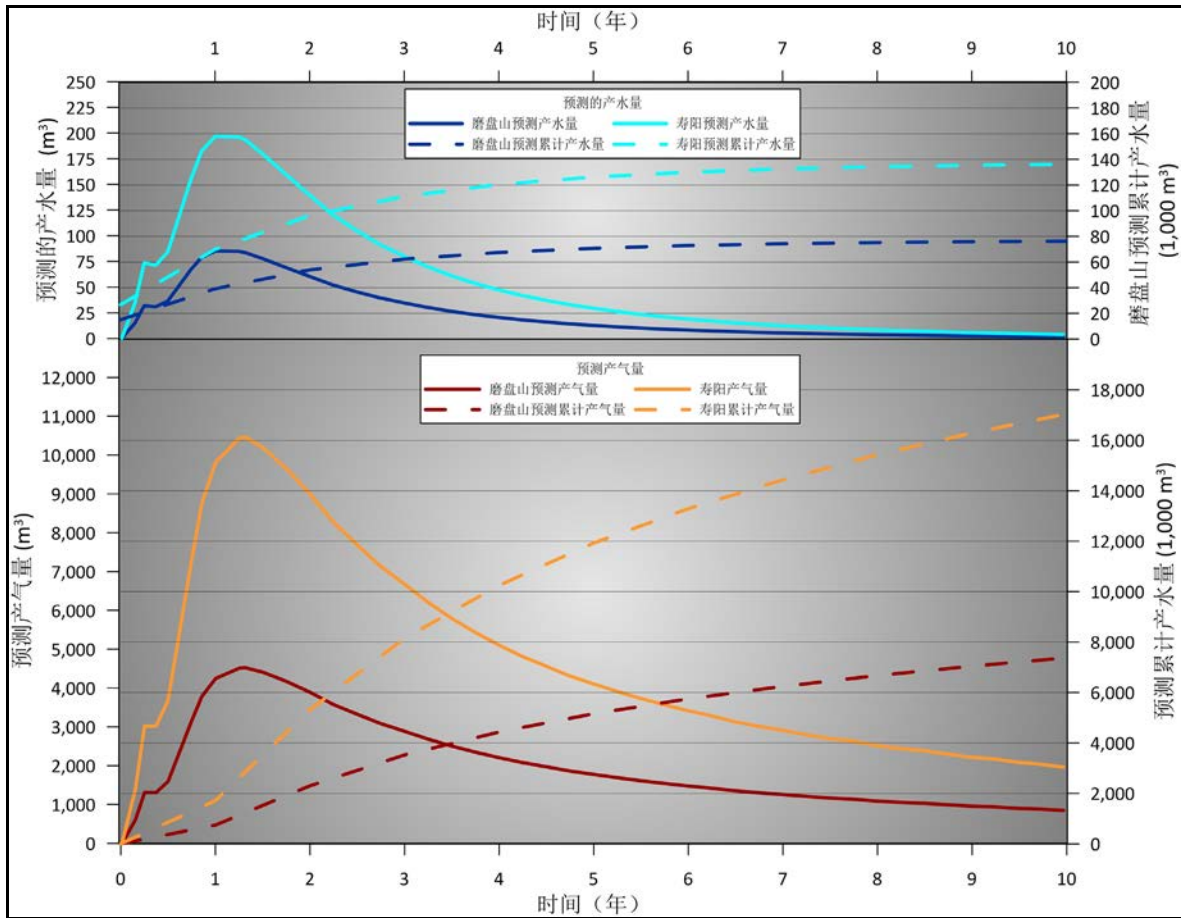
表格 6 对两个煤田部分地质特征进行了比较（寿阳区块运营，n.d.）。两个煤田均沉积于上古生界时期，磨盘山沉积于二叠纪时期，寿阳沉积于石炭纪时期。两个煤田埋煤深度的不同，在预测含气量随着埋深变化的磨盘山等温吸附线中有所考虑，上述第 6 章对此作了讨论。磨盘山井田的透气性数据难以获得，因此，需要进行进一步的实地测试，来改善并更精准预测可能的产气和产水量。不过，寿阳区块的产气和产水量数据为预测磨盘山的数据提供了基础。

表格 6: 磨盘山和寿阳区块地质特征比较

	磨盘山	寿阳
成煤期/地层	二叠纪龙潭组	二叠纪山西组和石炭系太原组
煤阶	无烟煤	无烟煤
平均瓦斯含量 (m <sup>3</sup> /t)	C5 煤层 – 14.5 C9 煤层 – 15.8	15.5
煤层的瓦斯饱和度 (%)	71	75
煤层厚度 (m)	C5 煤层 – 1.8 C9 煤层 – 3.0	3.5 – 5
埋煤深度 (m)	500	900
透气性 (mD)	N/A	80 - 120
回收率 (%)	~ 47	~ 60

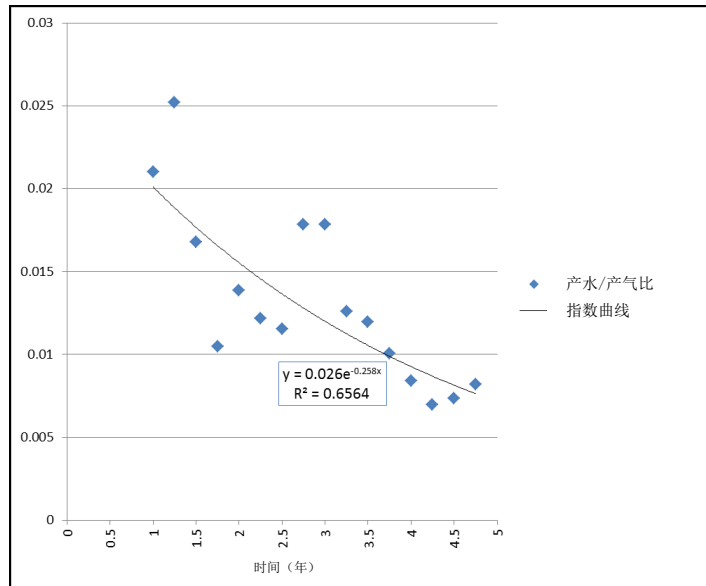
由远东能源公司控制并运营的寿阳区块的煤层气生产，为储量模拟分析提供了足够的产气历史数据（Reeves, 2008）。模拟包括储层条件、太原组 C15 煤层煤层气井的历史生产数据、基于概率预测的 P10、P50 和 P90 情况下单一垂直井的预测结果、垂直井间距 642m，服务范围为半径 321m 的圆（REEVES, 2008）。这些预测结果被用于作为磨盘山产气量预测的基础。为了利用这些预测模拟预抽钻井的可能产气量，有必要根据两个煤田不同的储层条件对预测进行调整。对比两个煤田估算的原始煤层气地质储量（OGIP），磨盘山的储量约为寿阳区块储量的 43.2%。图示 17 中的下半部分为，P50 情景下，寿阳区块的产气量下降曲线以及代表磨盘山可能产气量的下降曲线。





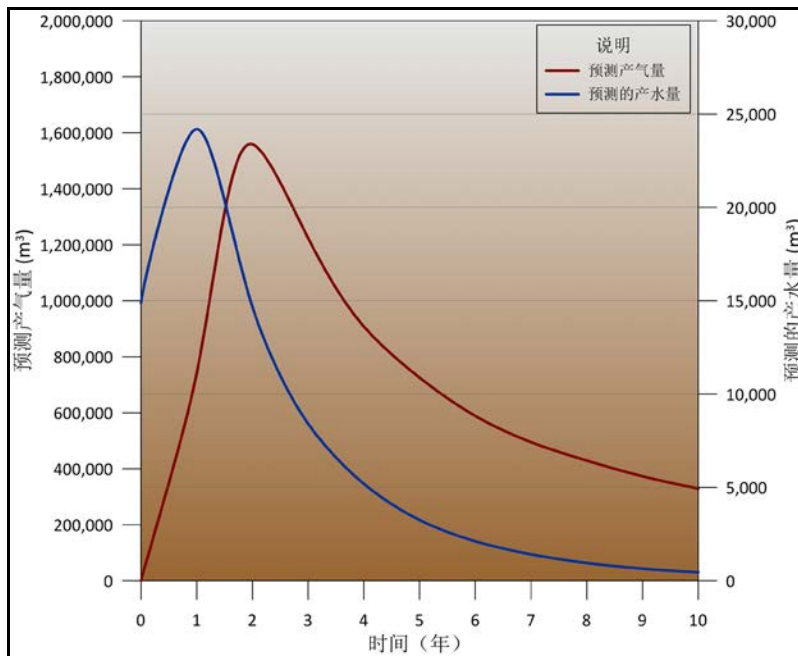
图示 17: 煤层气及水的产量预测-磨盘山及在产的 CBM 煤田比较

根据 P50 产量预测，通过拟议的预抽钻井能抽采出瓦斯 1.18 亿 m<sup>3</sup>。为了确定产水的同时能产多少水，基于寿阳区块的历史产量数据，首次制作了水/气比图（图示 18）。某一指数下降曲线与数据吻合，基于曲线合成的公式计算表示产水量的下降与产气量关联的水/气比值。然后将这一下降的水/气比值应用于磨盘山煤矿，确定预测的年产气量对应的年产水量值。得出的年产水量值有些偏高，不过，由于磨盘山煤矿的透气性很有可能比寿阳区块要低，磨盘山实际的产水量值比预测的值应该要低一些。图示 17 的上半部分为磨盘山和寿阳的预测产水量曲线。



图示 18: 寿阳区块的水/气比(m<sup>3</sup>水/m<sup>3</sup>瓦斯)

图示 19 描述的是预测产气量和产水量的关系。产水量达到峰值时，估计在生产的的第一年，产气量也在逐渐提升，在大约第二年的时候，产气量也达到峰值。这符合典型的预抽从煤层产气的情况。随着煤层中的水被抽出，煤层的相对透气性增加，使得产气量能够得以增加。



图示 19: 煤层气及水的产量预测

### 7.2.2. 预抽产气和水的产量预测结果

通过对磨盘山煤田和寿阳区块煤层气田的比较，得出预测的产气量和产水量。这些产量预测值与原始煤层气地质储量（OGIP）的计算值不同，因为原始煤层气地质储量代表可采煤层的瓦斯资源量，而产气及产水量仅代表通过拟议的预抽钻井可能采出的部分原始煤层气地质储量（OGIP）及

对应产出的水量。基于拟议的钻井数量及钻井实施方案，**表格 7** 给出了预测的年产气量及产水量值。

**表格 7: 预抽产气和水的产量预测结果**

产量预测	年										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合计
年产气量 (百万 m <sup>3</sup> )	3.71	10.76	12.36	12.40	13.50	12.97	13.14	12.92	13.34	12.19	118.28
年产水量 (1000 m <sup>3</sup> )	120.97	170.16	100.77	156.39	95.75	129.83	80.34	121.26	75.12	118.11	1,168.68
运行的预 抽钻井数	5	9	9	13	13	16	16	19	19	22	22

P50 情景下，拟议的 22 口预抽钻井瓦斯采集系统共能生产 1.183 亿 m<sup>3</sup> 瓦斯，预测的产水量共为 116.88 万 m<sup>3</sup>。考虑到 P50 情景下原始煤层气地质储量（OGIP）和 P50 情景下预测的瓦斯产量，预抽钻井在超过 10 年的寿命期内，瓦斯的回收率为 47%，在行业标准可以接受的范围内。

针对拟议的预抽钻井，预计年均可能产水大约 11.69 万 m<sup>3</sup>。在中国，目前所采用的实践主要是表面拦截和蒸发。到目前为止，采出的水排放所带来的环境影响一直被忽视，目前没有相关的法规或是相应的环境影响评估指南（孟等，2014）。针对预抽产水的处理，在评估磨盘山煤矿所采用的技术时，应该采用最佳实践，对当地终端用水负责。

### 7.2.3. 采空区抽采产气量的预测方法

采空区抽采产量的预测，假设只在长壁工作面从下面通过，以及 C5 煤层的上覆层开始松动时，才让采空区抽采井开始服务，假设每年，所有采空区抽采井的抽采效率达到 50%，即抽采出所有释放到采空区的瓦斯的 50%。用 C5 煤层特定排放值的平均值，即 12m<sup>3</sup>/吨煤(NDI, 2013)，乘以年煤炭产量，年煤炭产量逐年提高，至第三年达到煤矿设计生产能力 90 万吨/a，得到所有释放到采空区的瓦斯量。然后，用所有释放到采空区的瓦斯量乘以抽采效率 50%，得到采空区抽采得到的瓦斯量。基于假设，从采空区抽采得到的瓦斯量也被计入总的瓦斯产量预测，加上预抽钻井生产的瓦斯量，共同作为燃料用于发电。与产气和产水相关的所有成本都纳入经济分析，不过水处理的成本不包含在这之中。

### 7.2.4. 采空区抽采产气量预测结果

基于拟议的钻井数量及钻井实施方案，**表格 8** 给出了 P50 情景下，预测的年产气量值。

表格 8: P50 情景下，采空区抽采产气量预测结果

产量预测	年										合计
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
年采空区抽采产气(百万 m3)	1.09	2.91	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	47.63

拟议的采空区瓦斯采集系统，P50 情景下，预测产气量值共为 4763 万 m3 瓦斯。

### 7.3. 煤层气产量预测结果

表格 9 概述了预抽及采空区抽采的预测产气量。这个值即为煤矿可用的瓦斯总量。

表格 9: P50 情景下，煤层气产量预测结果

产量预测	年										合计
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
年预抽钻井产气(百万 m3)	3.71	10.76	12.36	12.40	13.50	12.97	13.14	12.92	13.34	12.19	118.28
年采空区抽采产气(百万 m3)	1.09	2.91	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	47.63
合计	4.80	13.67	17.81	17.86	18.95	18.42	18.59	18.38	18.79	18.65	165.91

在项目的十年生命期内，对于拟议的预抽及采空区抽采瓦斯采集系统，P50 情景下，预测的产气量值共计 1.6591 亿 m3。

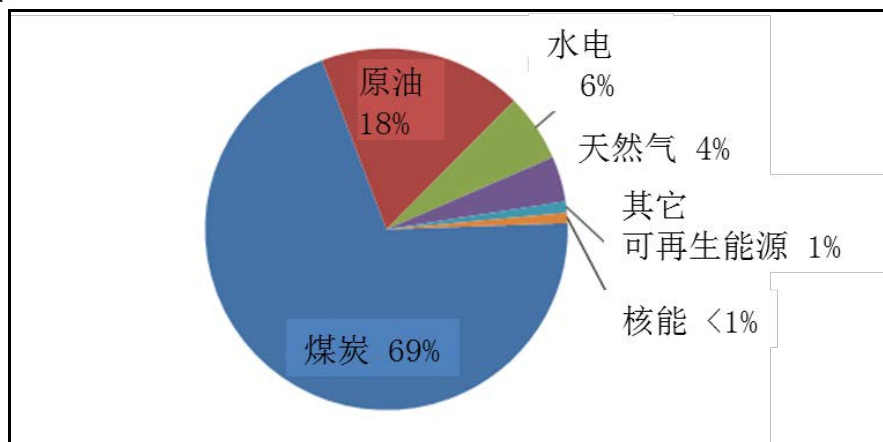
## 8. 能源市场

### 8.1. 煤炭市场

#### 8.1.1. 中国煤炭市场

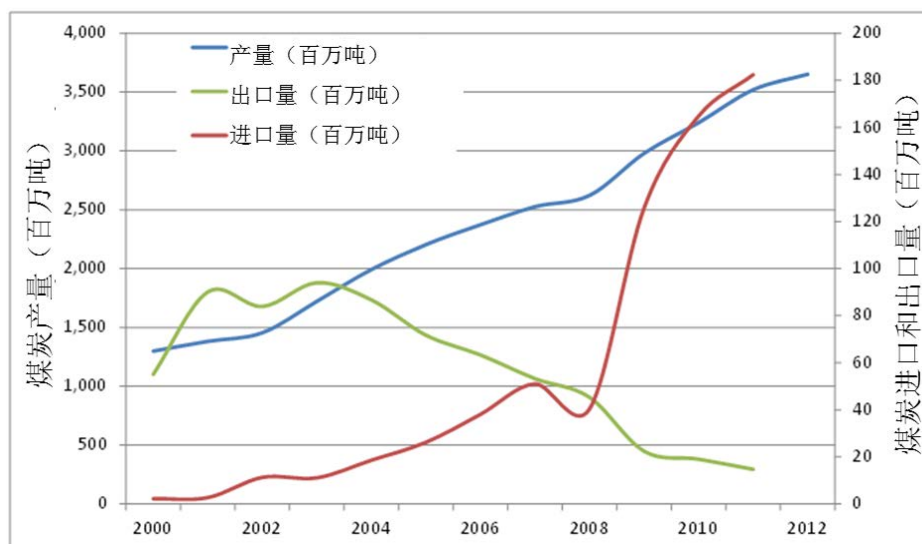
2011 年，煤炭在中国能源市场贡献了 69% 的能源需求。中国政府计划至 2017 年，将煤炭使用量限制在一次能源生产总量的 65%，以减少空气污染。由于预期效率的提高以及中国计划降低碳排放强度，至 2020 年，煤炭在整个能源结构中的占比将下降至 63%。不过，这期间，煤炭的绝对消耗量预计会翻一番，反映整个能源消耗的大幅增长。中国计划降低单位 GDP 的碳排放强度，相比于 2005 年，2020 年至少降低 40%。中国还宣布计划 2010 至 2015 年期间，降低能耗强度（单位

GDP 能源消耗) 16%，并且增加化石能源消耗量，至其占比 15%(EIA, 2014a)。图示 20 显示为中国能源占比构成。



图示 20: 2011 年中国能源结构图. 来源: EIA (2014a)

从历史上看, 过去的二十多年, 中国在 2009 年首次由一个煤炭净出口国变成煤炭净进口国, 随后 2011 年成为全球最大的煤炭进口国, 净进口量达到 1.68 亿吨, 占比全国煤炭消耗量 4.8%, 以热值计算的话, 占比全国煤炭消耗超过 5% (EIA, 2014a)。受限于运输瓶颈, 进口消费主要集中在南部和东部沿海城市, 以及钢铁厂。近些年, 作为煤炭行业扩张最大的驱动因素, 火力发电占比煤炭总消耗的近一半, 紧随其后的是钢铁和水泥行业, 占比约 25%。图示 21 显示的是 2000 至 2012 年间, 中国煤炭产量、出口量和进口量值。



图示 21: 中国原煤供应 来源: EIA (2014b)

### 8.1.2. 贵州煤炭市场

贵州传统上一直是煤炭输出大省, 近些年, 每年外输煤炭 2500~3000 万吨。贵州煤炭管理局预测, 2010 至 2015 年间, 贵州省内煤炭需求将保持在每年 11.5% 的速度增长, 至 2015 年煤炭需求量达到 1.7 亿吨, 主要驱动因素为火电厂的大量建设。贵州的煤炭质量, 对邻近省份相对比较有吸引力, 事实上, 贵州是中国南部及西南地区唯一的焦煤来源。



## 8.2. 电力和/或燃气市场

### 8.2.1. 中国电力市场

2005 至 2011 年间，中国的电力消耗几乎以年均 11.1% 的增速保持了强劲的增长，除了 2008~2009 年，不过，即使在这一年，电力消耗的增长仍然超过总体经济增长的 19%。在以投资为核心经济体系中，工业是电力行业的主要驱动力，占整个电力消耗的近 70%。金属、建筑建材和化学品仅占 37%，住宅和商业消耗只占 19%（USEPA，2012）。

中国，作为一个零进口/出口电力的国家，其电力增长完全依赖国内的生产。2005~2011 年间，中国的电力输出和电力装机容量分别以年 11.1% 和 12.5% 的速度增长，达到 4.7 万亿 KW.h 和 106 万 MW。其中，燃煤火电占据着发电机组的绝大部分比重。

### 8.2.2. 区域电力市场

贵州电网，是从属于中国南方电网公司（CSPGC）的五个互相联系的省级电网之一。尽管贵州是中国最小的、最穷的并且城市化程度最低的省份之一，近些年，贵州与全国其它省份的联系越来越强，与大多数内陆省份一样，在 21 世纪的第二个十年，即使国家的经济增长放缓，贵州的经济仍然保持以两位数的速度增长。在过去的模式中，贵州电力消耗增长强劲，但仍落后于经济增长，2013 年其增长率降低至 7.2%。工业依旧是贵州经济增长最大的驱动力，每年增长超过 10%，贡献了全省接近 75% 的电力消耗。贵州不成比例的经济依赖能源密集型产业，如开采和生产诸如煤炭、铝等大宗商品，不过，这也给当地的电力需求创造了可能的波动。由于黔电送粤项目的关系，持续的电力投资热潮始于 21 世纪初，2009 年至 2013 年间，贵州省电力装机容量增加了约 17,000 MW，增长 63% 至 45,000 MW。贵州成为附近广东省最重要的电力供应省份，并且可以预见，在可见的将来，广东省将会继续依靠从贵州和其它南方电网省份购买大量的电力。

装机容量的扩大，包括一些主要的水电站以及燃烧贵州丰富煤炭资源的大型火力发电厂的建设。截至 2014 年年初，贵州省火电占比 54%，水电占比 42.6%。

2009 至 2012 年间，贵州省实际发电量年增长仅为 5.4%，低于其电力消耗的增长速度，由于部分装机容量并未投入运行，限制了贵州省的电力使用。如果如预计的那样，贵州省内及广东省的电力需求持续，更大区域范围内的电力供应和需求会比过去更接近平衡。由于水力条件的不可预知性，不同年份火力发电及其它电力需求仍会出现较大波动。在枯水年份，贵州电网更有可能释放每一份火电产能，而丰水年份，则不是所有火电产能都能够得到释放。由于其较低的批发价格，水电站将用于享有优先调度。一种很有可能的情况是，公众电网可能会需要如瓦斯发电厂之类的所有分布式电力生产商在某些年份能完全发电，但不是所有年份。特别是，如果他们的发电成本不能降低至火电厂的 0.38~0.39 元/度或是更低，分布式电源将需要依靠“优先考虑分布式电源”的政策能够得到执行。目前，贵州监管当局尚未采取具体措施来执行国家发改委的要求<sup>2</sup>。因而事实上，几乎所有贵州省的瓦斯电站发电，都只是通过煤矿公司内部电网进行输配自行消耗。由于很难接入电网以及与电网达成售电协议，部分瓦斯发电存在富余电力的煤矿企业不得不闲置其部分发电能力。

---

<sup>2</sup> 国家发改委 2007 年 4 月份文件《关于利用煤层气（煤矿瓦斯）发电工作实施意见的通知》指出：电网公司应当对瓦斯电厂发电超出煤矿自用部分予以收购，及时计算电费，上网电价比照生物质发电项目上网电价，为 2005 年脱硫燃煤机组标杆上网电价加上补贴电价 0.25 元/度。

## 9. 拟议的终端利用方案和经济性分析

由于区域范围内没有现成的基础设施，能够将产品气运往市场，磨盘山煤矿抽采出的瓦斯，其终端利用方式很有限。况且，磨盘山煤矿的煤层气资源储量还未核实，因此，计划和建立必要的基础设施来运输煤矿瓦斯，时机还不成熟。因而，最佳的终端利用方式为现场自用。

### 9.1. 发电

对于采煤前预抽及采煤后抽采出的瓦斯，最可行的利用方式为，作为燃料提供给位于接近矿区地面设施处的燃气内燃机发电。由于磨盘山煤矿目前还在前期准备阶段，何时开始建设矿井取决于中国的煤炭市场，而过去两年，中国的煤炭市场持续萧条，因此，暂时不存在煤矿的电力消耗。不过，煤矿最初的开采计划显示，拟议的瓦斯发电项目，所发电力能够用于煤矿现场自用，用以替代本应从其它渠道购买的电力。

下面几个章节将讨论项目的基本背景信息以及预测分析及经济性分析中需要的参数输入和假设，接着讨论项目的经济性表现。

#### 9.1.1. 技术和部署

基于价格和性能，报告评估了国外两个机组供应方提供的瓦斯发电机组。在分析中，使用两个系统的平均成本（美元/千瓦时安装）及共同的燃料需求。设备的燃料消耗因子为 0.2475m<sup>3</sup>/KWh，年运行时间数为 8000 小时，一旦该项目达到其产能峰值（第 5 年），每年可发电力 1.08 亿度，相当于接近 13.5MW 的热电联产装机容量。

设备成本数据从国外公司在亚洲办事处的代表联系人处获得。下表 10 显示了年度资本投资，以及项目设计的运营成本。资本性支出包括设备采购、安装和测试、瓦斯气采集以及所有的钻井和完井成本。本研究中，运营成本假定为资本支出的 25%，这是估算项目成本时常见的行业惯例。燃气内燃机组的安装计划安排在第 1 年、第 2 年、第 3 年和第 5 年。运行成本随着额外的装机容量增加而提高。不过，产气部分的运行成本，则随着新钻井的实施和投入使用而增加。

表格 10: 年项目成本

年项目成本 (USD x1,000)										
年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
资本性支出 (CAPEX)										
发电	2,199	3,665	1,924	0	458	0	0	0	0	0
钻井	2,568	2,088	768	2,088	768	1,758	1,758	1,758	1,758	1,758
资本性支出合计	4,767	5,753	2,692	2,088	1,226	1,758	1,758	1,758	1,758	1,758
生产成本 (OPEX)										
发电	550	1,466	1,947	1,947	2,062	2,062	2,062	2,062	2,062	2,062

年项目成本 (USD x1,000)										
产气	105	153	153	201	201	237	273	309	345	381
生产成本合计	655	1,619	2,100	2,148	2,263	2,299	2,335	2,371	2,407	2,443

### 9.1.2. 风险因素及缓减

对于任何项目，在将其开发成成功项目的过程中都存在风险。**表格 11** 列出了已经确定的风险、风险水平的评估，以及可能缓减和消除每个确定风险的方案。总的来说，与技术和实施相关的风险，等级是低到中等，如果不是瓦斯发电自用，与市场 and 政策相关的风险等级却非常高。在这个区域范围内接入到电网，对于煤矿来说是一个很大的障碍。为了克服这一障碍，抽采出的瓦斯发电自用不仅可以消除煤矿从电网购买电力的需求，而且能够减少实现煤矿与电网相连以及商议一个购电合同的必要步骤。获得抽采和利用瓦斯的权限，涉及国家和区域层面政策，其风险依然很高，不过，通过采取步骤，与合适的部门仔细计划，连同获得煤炭矿权和碳氢化合物矿权，能够缓减其风险。

表格 11: 风险因素及缓减: 发电自用方案

风险	风险评估	风险缓减
市场:		
电网的可获得性及将所发电力输配至电网的能力	高	瓦斯发电煤矿自用, 避免售电给电网
国家电力市场的可获得性	高	瓦斯发电煤矿自用, 避免售电给电网
为销售给电网的电力获得合理价格的能力	高	瓦斯发电煤矿自用, 避免售电给电网
政策:		
瓦斯抽采和利用权限	高	仔细计划, 同审理机构会谈, 同时获得煤炭矿权和碳氢化合物矿权
技术:		
设备的可靠性和可依赖性:	低	非常可靠的技术, 培训当地技术人员, 以监控、维护和修理机组及相关系统
气体浓度波动	低	煤矿瓦斯的预抽采, 浓度波动不会很大
安装启用:		
设备和服务价格波动	中等	设备价格的目前趋势是下降的;购买时在合同中锁定优惠价格
采购许可和道路使用权	低	制定时间表, 加入必要的时间, 以确保取得所有必要的许可证和道路使用权, 允许延误
设备交付延误	低	详细计划, 在订单中加入必要的交货时间
安装延迟	低	详细计划

## 9.2. 经济分析

该项目为一个模型方案, 以确定瓦斯发电自用的经济表现。下面列出了一些建立模型方案的假设和参数输入, 紧接着的一小节给出了经济评估的结果。

### 9.2.1. 参数输入和假设

**表格 12** 列出了模拟此方案的参数输入和假设。当实际成本和价格可用时, 模型中使用实际值, 否则, 采用基于行业标准的合理估计值。经济模型中使用的钻井成本为寿阳煤层气项目报告 (Barker, 2013) 中的实际值, 基于埋煤深度和通货膨胀作了调整。

项目评估期为 10 年, 预抽钻井的实施贯穿在项目的整个生命周期内, 优化给燃气机组的气源供应。采空区瓦斯抽采作为预抽钻井抽采的补充, 计划每年 3 口采空区井开始服务, 使得瓦斯的抽采效率达到 30%, 即抽采出所有因煤炭开采释放的瓦斯的 30%。瓦斯发电机组计划在第 1 年、第 2 年、第 3 年和第 5 年进行安装。

根据 P50 预测, 1.659 亿 m<sup>3</sup> 瓦斯被抽采出用于发电。所有所发电力均用于煤矿自用, 因此分析中所用的销售电价 0.60 元/kWh (0.096 美元), 指煤矿避免本应支付给电网的用电成本。项目年运营成本假设为投资费用的 25%。

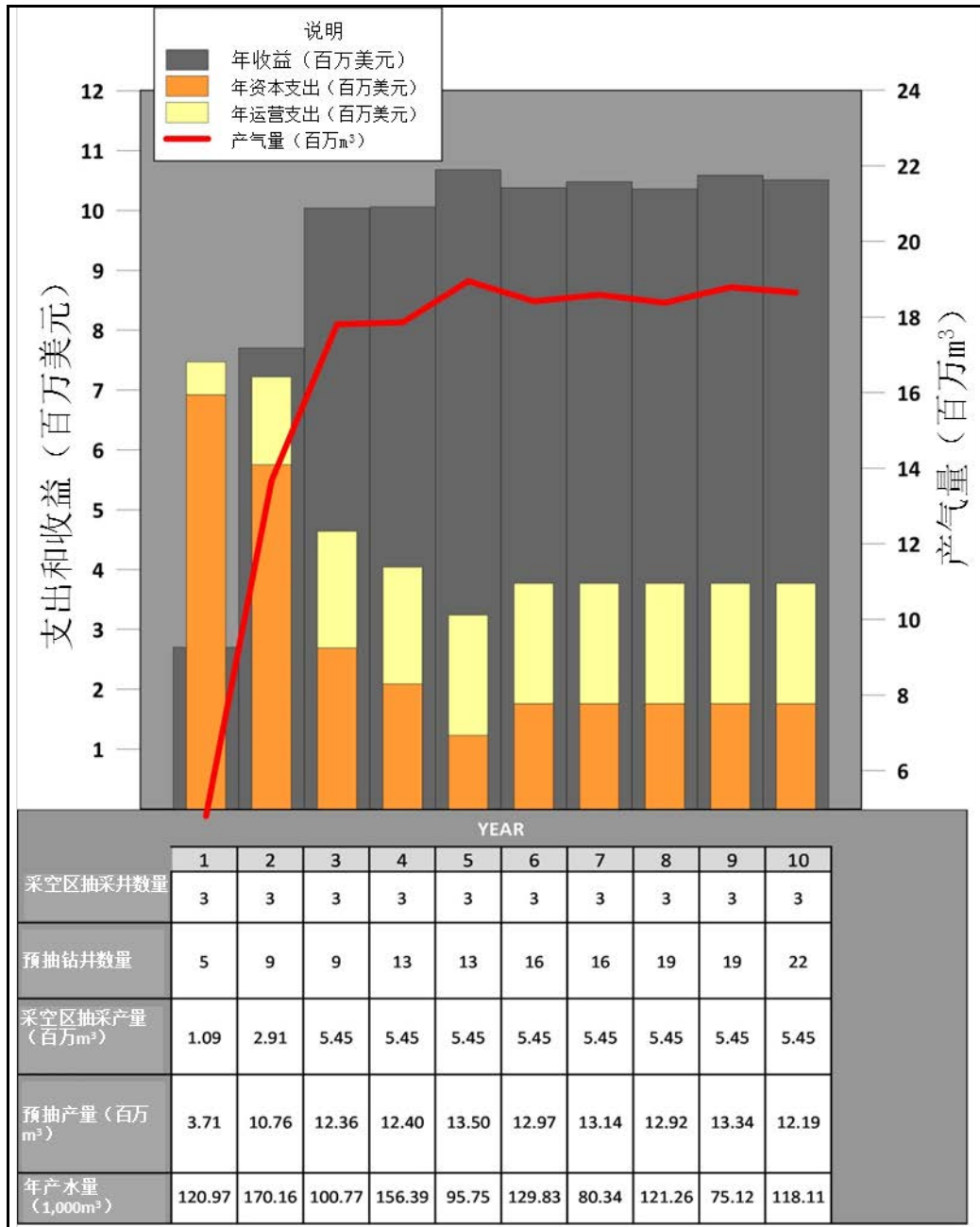
表格 12: 经济模型中使用的参数输入和假设

项目持续时间	10 年	
项目可用的瓦斯产量	基于对山西沁水盆地寿阳区块 P50 的产量预测值进行类比得出，根据不同埋煤深度和不同的原始煤层气地质储量进行了调整	
钻井&完井成本-预抽钻井	300,000 美元 / 口井	基于第三方为寿阳项目编制的报告中的实际值，根据埋深调整
钻井&完井成本-采空区井	226,000 美元 / 口井	
采集 & 连接成本	30,000 美元 / 连接所有井	
生产井运行成本	1,000 美元 / 口井/ 月	
钻机调遣 / 转移	150,000 美元	
主输气管线	200,000 美元/ km	行业标准“经验法则”成本
产水处理成本	0.67 美元/m <sup>3</sup> ，含生产和运输成本	行业平均成本
电站建造	第 1 年进行场地建设和安装，第 2 年、第 3 年和第 5 年安装额外的瓦斯发电机组	
P50 情况下的资本投资	发电站&附属设施包括 22 口预抽井的钻井和完井：541 万美元	发电站投资基于单位装机容量投资数据 916.23 美元/kW
年售电量	煤矿可获得的所发电量：108,000 MWh	
年运行小时数	8,000 小时/年	
燃气使用效率	0.2475 m <sup>3</sup> 瓦斯发电 1 kWh，5%的瓦斯流量用于机组自身能耗	基于制造厂商代表提供的数据
售电价格，避免成本	0.60 元/kWh (0.096 美元)	避免煤矿本应支付给电网的用电成本
年运行和维护成本	机组部分的运行和维护成本：每年 25%的投资费用 1,000 美元/口井/月，要考虑所有产气井，包括预抽钻井和采空区井	基于制造厂商代表提供的资料及钻井承包商提供的资料
税率	25%	

### 9.2.2. 概率性经济预测结果

利用 P50 的瓦斯产量预测，抽采出 1.659 亿瓦斯加以利用。图示 22 为预测年产气量及模拟对应的年支出和收益图表。每一年运行的预抽钻井及采空区井数量、对应时期的产气量和产水量都显示在图表下的表格中。





图示 22: 拟议甲烷消减方案的产气量、支出和收益

由于项目成本超过项目收益，因而项目的最初两年被视为投资年。同一时期，随着煤层的采排水开始，产气量开始上升。如**图示 22**所示，在项目的第 3 和第 4 年，产气量开始平稳，项目的收益也将超过项目投资及运营成本。利用预测的产气量，一系列以瓦斯为燃料的燃气内燃机组开始安装，总装机容量 13.5MW。项目的十年寿命期内，总投资预计为 2750 万美元。以下**表格 13**总结了模型预测瓦斯发电方案的经济性表现结果。在 P50 生产率下，项目的净现值为正的 1330 万美元，内部收益率 IRR 为 45%，投资回收年限为 3.84 年。

表格 13: 发电方案基准情况预测结果

发电方案情景	
评估情景	基准方案
年运行小时数	8,000
预测产气量(百万 m3)	165.9
总投资 (百万美元)	27.5
CO <sub>2</sub> 减排当量 (1000 吨)	397.4
碳价格(美元)	0.00
装机规模 (MW)	13.5
总投资/ CO <sub>2</sub> 减排当量	0.07
销售电价 (¥/kWhr)	0.600
净现值/ CO <sub>2</sub> 减排当量	33.48
净现值 (百万美元)	13.3
内部收益率 IRR (%)	45.0
投资回报率 (%)	48.4
投资回收年限 (年)	3.84

### 9.2.3. 发电方案敏感性分析

针对瓦斯发电方案，进行敏感性分析，在项目 10 年期，利用 P10 和 P90 情景井产量预测值确定产气量值变化对项目经济性影响（表格 14）。对于 P10 情景，当项目 10 年期产气量比 P50 情景下的 10 年期产气量值大时，项目净现值为 1560 万美元，内部收益率 IRR 为 43.9%，波动不是很大，主要是因为对应的产水量成本随之增加。P90 情景同样显示有利的结果，表明基于报告中描述的当前假设和参数输入，得出的瓦斯回收项目经济性失败的风险很低。

表格 14: 不同产气量情景下经济指标比较

评估情景 - 产气量预测	p90	基准方案 - p50	p10
预测产气量 (百万 m3)	153.6	165.9	181.8
预测产水量 (1000m3)	1,056	1,169	1,369
总投资 (百万美元)	27.4	27.5	28.9
CO <sub>2</sub> 减排当量 (1000 吨)	367.9	397.4	435.6
装机规模 (MW)	13.0	13.5	15.8
总投资/ CO <sub>2</sub> 减排当量	0.07	0.07	0.07
净现值/ CO <sub>2</sub> 减排当量	31.43	33.48	35.77
净现值 (百万美元)	11.6	13.3	15.6
内部收益率 IRR (%)	43.4	45.0	53.9
投资回报率 (%)	42.2	48.4	54.0
投资回收年限 (年)	3.92	3.84	3.37

## 10. 结论、建议和下一步工作

磨盘山煤矿位于贵州省黔西县东北侧，煤矿设计生产能力为 90 万吨/a，C5 和 C9 煤层中煤炭资源储量为 2.158 亿吨，煤质为无烟煤。

评估煤矿技术人员提供的数据及报告，以便更好地了解矿权范围内瓦斯的资源储量及分布控制因素。在建立起了相对简单的三维地质模型后，经估算，在确定的项目生命期内，通过拟议的 22 口预抽钻井及 30 口采空区井，有可能能够抽采出煤层中蕴含的瓦斯资源量 1.536~1.818 亿 m<sup>3</sup>。据估计，拟议的项目能够产生足够 13.5MW 燃气发电机组使用的瓦斯。同时，项目也能产生 116.9 万 m<sup>3</sup>水，供煤矿使用。项目总投资预计为 2750 万美元，内部收益率 IRR 为 45%，回收期为 3.84 年。项目的十年生命期内，能够减少二氧化碳排放当量 39.74 万吨。

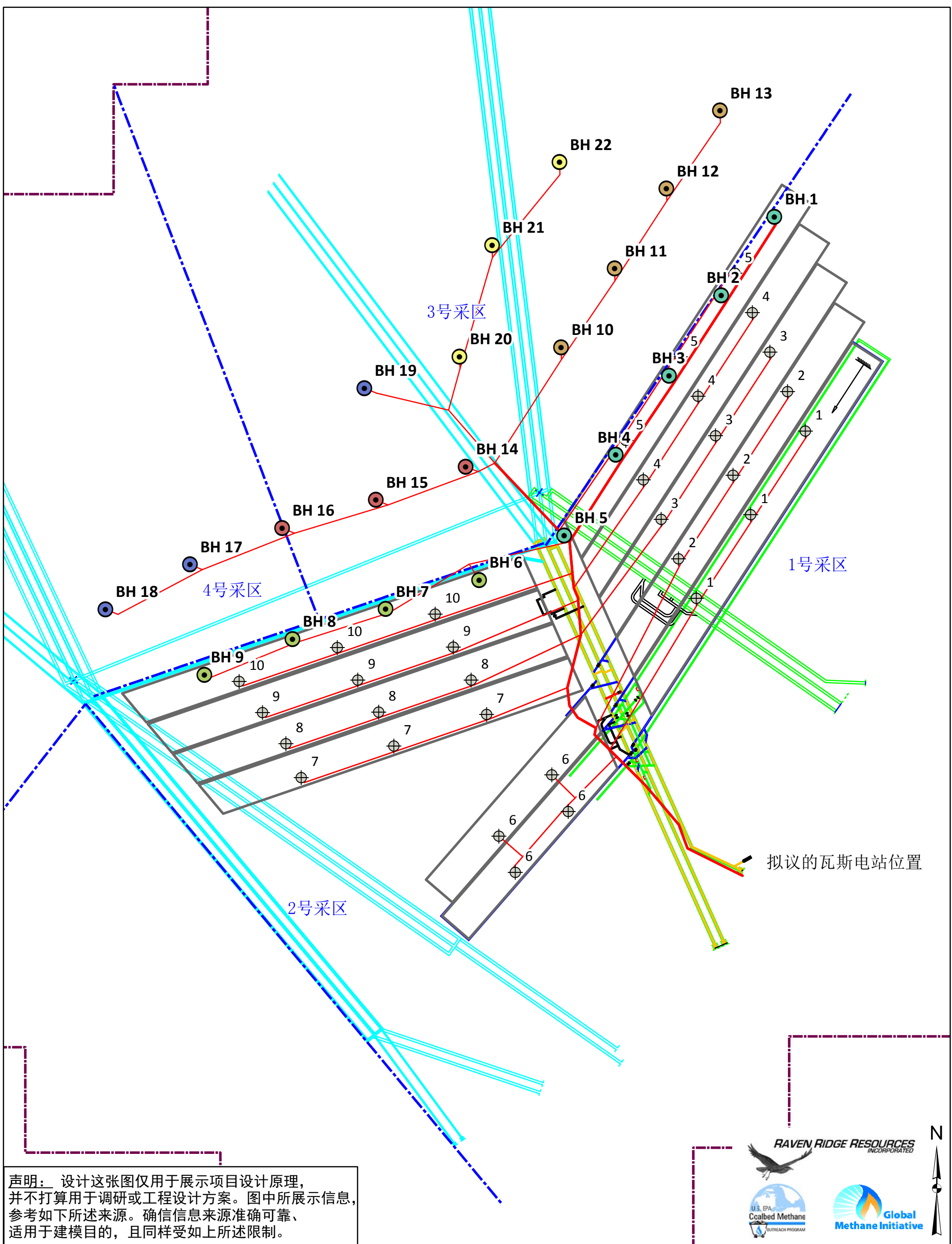
为了降低地质不确定性，此不确定性可能影响钻井及煤矿瓦斯回收活动如拟议钻井项目的成功实施，需要首先执行更加全面的数据搜集方案，方案中不同类型的测试和抽样应包括：

- 瓦斯解吸测试：当前已经有一些含气量数据点可用，不过，缺少整个矿权范围内含气量值的横向分布数据。应当要设计和实施一个广泛的活动，采集整个矿权范围内、所有煤层的含气量值数据。
- 从挑选出来的解吸样品解吸出来的瓦斯气，应当做气体成分分析。
- 应当在一个或多个测试钻孔实施注入压降测试，以便更好的理解煤层的气流量能力（气生产能力）、平均储层压力以及钻井和完井相关压力对储层透气性的影响。
- 所有计划的勘探钻孔都应采用旋转钻井而不是机芯钻井，在每个钻孔的整个空心部分，实施完整的地球物理测井。
- 在整个矿权范围内，设计和实施三维地震采集项目，以确定断层、裂隙及含煤地层上覆含水层的范围及影响。

拟议钻井项目，即要求在项目生命期实施新的钻井，产生的瓦斯气为 13.5MW 的燃气机组提供充足的燃料。一旦采集到初始数据，融入现存的地质模型，并加以解释，预定的钻孔数量及间距均可以作相应优化，以确保在项目生命期内持续的产气，提供给瓦斯电站。从指定煤层预抽瓦斯，不仅可以以瓦斯发电方式获得收益，还能够增加矿井的生产安全，减少温室气体排放。

## 11. 参考文献

- Barker,G. (2013) : 截至 2012 年 12 月 31 日, 寿阳区块煤层气储量数据【写给 Michael McElwrath 的信】, 远东能源公司, 2013 年 3 月,  
<http://www.fareastenergy.com/pdf/FEEC%20SEC%20YE%202012%20Reserves%20Letter%2014%20Mar%202013.pdf>
- 国土资源部 (2009) : 中国固体矿产资源/储量分类 (GB/T17766-1999) (2009), 中国北京, [www.mlr.gov.cn](http://www.mlr.gov.cn)
- 国际能源信息署 (2014a) : 中国分析摘要 (2014 年 2 月 14 更新), 美国华盛顿国际能源信息署, <http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=CH>
- 国际能源信息署 (2014b) : 国际能源统计, 美国华盛顿国际能源署, 2014 年 4 月 <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm>
- 贵州黔西能源开发利用有限公司 (2006) : 贵州省黔西县磨盘山煤矿煤炭勘查和地质报告, 贵州投资关系 (n.d) : 远东能源公司, 2014 年 5 月 6 日, <http://www.fareastenergy.com/presentations>
- 孟等人 (2014) : 中国煤层气排采水: 现状和环境问题, 环境科学和污染研究国际中心, 页码: 6964 – 6974, Meng Y., Tang D., Xu H., Gao L., 2014 年
- Nakhwa (2013): 绕性管在印度煤层气井水力压裂中的应用, Amit D. Nakhwa, Boots & Coots, 2013 全球甲烷博览会报告, 2013 年 3 月 13~15 日, 加拿大温哥华
- 中煤科工南京设计研究院 (2013) : 贵州黔西能源开发利用有限公司磨盘山煤矿可行性研究报告, 中煤科工南京煤炭设计院, 贵州
- 运营-寿阳区块 (n.d.) : 远东能源公司, 2014 年 5 月 6 日 <http://www.fareastenergy.com/shouyang>
- Palmer, I. (2010): 煤层气实现: 全球新观察, 国际期刊煤炭地质 82(3-4), 184-195.
- Reeves, S. (2008) : 中国山西省沁水盆地寿阳区块储量模拟模型研究结果摘要, 远东能源公司, 2008 年 3 月, [http://www.fareastenergy.com/pdf/2008\\_March\\_ARI.pdf](http://www.fareastenergy.com/pdf/2008_March_ARI.pdf)
- 山东煤炭地质工程勘查研究院 (2005) : 贵州黔西能源开发利用有限公司磨盘山煤矿煤炭勘查和地质报告, 山东煤炭地质工程勘查研究院, 贵州
- 联合国欧洲经济委员会 (2010) : 煤矿有效抽采瓦斯及利用最佳实践指南, ECE ENERGY SERIES No.31. 联合国欧洲经济委员会及甲烷市场计划, 纽约和日内瓦, 2010 年 2 月 [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/pub/BestPractGuide\\_MethDrain\\_e\\_s31.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/pub/BestPractGuide_MethDrain_e_s31.pdf)
- 美国环境保护署 (2012) : 中国能源市场: 安徽、重庆、河南、内蒙古和贵州, USEPA, 2012 年 12 月 <http://epa.gov/cmop/docs/2012ChinaEnergyMarket.pdf>



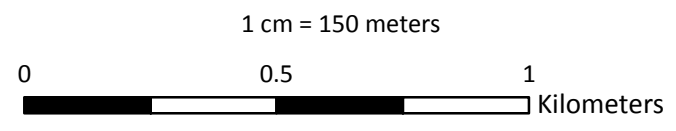
声明：设计这张图仅用于展示项目设计原理，并不打算用于调研或工程设计方案。图中所展示信息，参考如下所述来源。确信信息来源准确可靠、适用于建模目的，且同样受如上所述限制。



- 第1年拟议的预抽钻井
- 第2年拟议的预抽钻井
- 第4年拟议的预抽钻井
- 第6年拟议的预抽钻井
- 第8年拟议的预抽钻井
- 第10年拟议的预抽钻井
- ⊕ 拟议的采空区井，显示开始运营年份

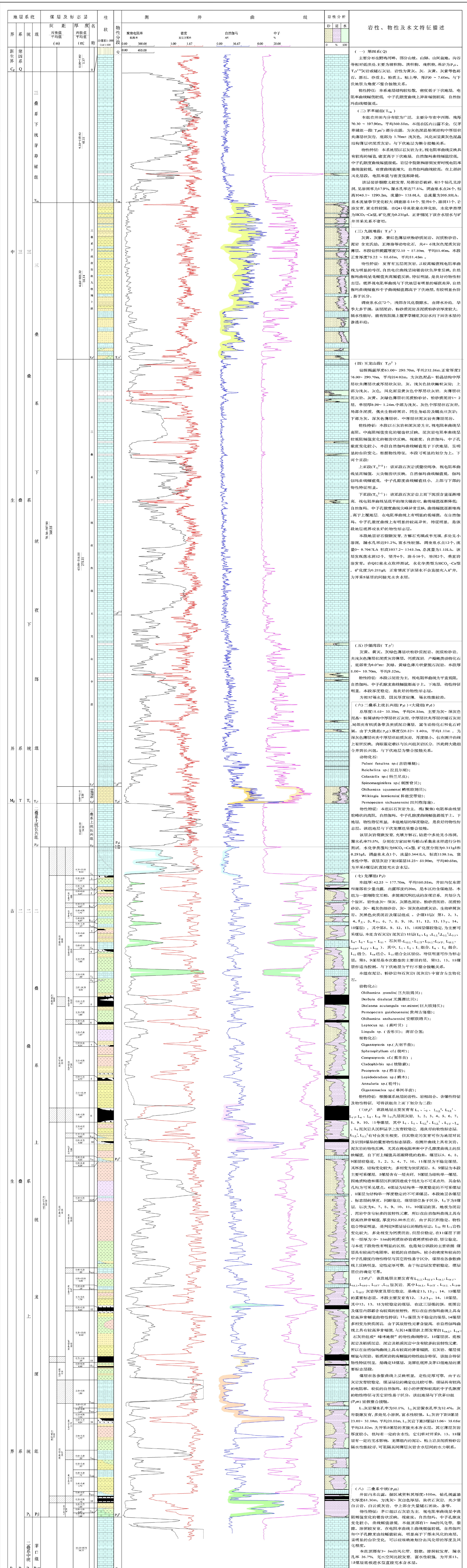
- 煤矿入口及通道
- 拟建的瓦斯集管线
- 拟建的瓦斯运输管线
- 矿权边界
- 矿区
- 可能的煤炭开采长壁工作面

图版1：磨盘山煤矿拟议钻井图



Xian 1980 3 Degree GK Zone 35;  
False Easting 35500000.0, Latitude of Origin 0.0





### 岩性图例

- 黄土
- 砂质泥岩
- 泥岩
- 粉砂岩
- 细砂岩
- 破碎带
- 灰岩
- 钙质细砂岩
- 煤层
- 炭质泥岩
- 溶洞
- 泥灰岩
- 钙质粉砂岩
- 钙质泥岩
- 粘土岩
- 铅质泥岩

基于磨盘山煤田勘探及地质报告修改，  
为贵州黔西能源开发有限公司制作



美国环境保护署

图版2：磨盘山煤矿地层柱状图

