



# Pre-feasibility Study for Yanjing Coal Mine, Chongqing Municipality

**U.S. Environmental Protection Agency**  
**March 2013**



# □井煤□瓦斯回收利用□可行性研究□告

支持全球甲□行□□划

资助方: 美国环境保护署, 位于美国华盛顿 D.C

报告编写: 拉文雷治资源公司

2013 年 3 月



## 目录

□□	3
免□声明	3
□略□	3
引言	4
地□背景	5
地□	8
煤炭□源	9
煤炭开采	11
煤□气□源	12
区域□力市□	14
□量模□	16
□端利用方案及□□性分析	19
参考文献	22

## 插图

插□ 1: 地□□
插□ 2: □□抽采□
插□ 3: 地□剖面□
插□ 4: K14 煤□开采□划□

## 图目录

□ 1: 区域地□	5
□ 2: 区域地□□	5
□ 3: 采区内□取截面的截面□	6
□ 4: 基于□量分□表的煤炭□源□量	10
□ 5: □井煤□基于煤炭□源□量的各煤□的煤□气□量	12
□ 6: □井煤□基于不同煤炭□源可靠等□的煤□气□源□量	13
□ 7: 中国天然气市□□展, 1995-2011	14
□ 8: □井煤□ (一□) K2 煤□煤□等温吸附□	16
□ 9: □□的□孔□迹□	17
□ 10: 累□□气量□ & 累□□量□率	18

## 表格目录

表 1: 可采煤□厚度一□	8
表 2: 可采煤□的物理特征	9
表 3: 各煤□分□□量□算	10
表 4: 煤□的年□□□能	11
表 5: 重□市天然气消耗 (□位: 百万 m <sup>3</sup> )	14
表 6: 四川气田天然气□□价格, 2012 年 8 月 (元/m <sup>3</sup> )	15
表 7: 重□市政府□定的燃气□配公司的天然气零售价格, 2012 年 8 月	15
表 8: □□因素和消除 (天然气□售方案)	19
表 9: □□模型中所用的参数□入和假□	20
表 10: 天然气□售基准方案的□□□果	21

## 鸣谢

这份出版物是在美国环境保护署的要求下进行的。在煤气拓展计划下，拉文雷治资源公司(Raven Ridge Resources)的目成：Raymond C. Pilcher, James S. Marshall, Candice L. M. Tellio, Charlee A. Boger, Julia Traylor, Martin Weil 和姜伯尼撰写了这份报告。拉文雷治资源公司要感谢井煤公司本报告的制所提供的帮助。

## Acronyms and Abbreviations

CFD	计算流体力学
cm	厘米
CMM	煤瓦斯
CO <sub>2</sub> e	二氧化碳当量
CSPGC	中国南方电网
g	克
GMI	全球甲行划
IRR	内部收益率
kPa	千帕
kWh	千瓦时，度
LNG	液化天然气
m	米
m <sup>3</sup>	立方米
md	毫达西
MJ	兆焦
MWh	兆瓦时，1000 度
NDRC	国家发展与改革委员会
NEA	国家能源局
NPV	
p10	表明有 10%的可能性会低于或等于 P10 的数量
p50	表明有 50%的可能性会低于或等于 P50 的数量
p90	表明有 90%的可能性会低于或等于 P90 的数量
RMB	人民币
s	秒
USD	美元
VAT	增值税

## 免责声明

本报告美国环境保护署 (USEPA) 制。采用数据来源公开可得，或是通直接与井人、供商和目开商接触可得。美国环境保护局 (USEPA)：

(a) 本报告所料的准确性、完整性或有用性，不明示或者暗示，不作出任何保或述，或本报告中披露的所使用的任何、方法或程没有侵害私人有，不作出任何保或述；

(b) 不承担任何因使用、害本报告中料，器，方法而生的任，或者

(c) 不意味着同本报告中提及的任何技供商，品，或是程。

拉文雷治资源公司在中国西南地区重庆市境内的盐井一矿，实施了一个预可行性研究项目，旨在研究在该矿实施采前地面定向钻井至可采煤层以抽采煤层气的可能性。拟议对煤层进行水力压裂，以增加产气，同时减小煤与瓦斯突出可能性，并在这些煤层上实施 7 个示范采气钻井。盐井一矿位于四川盆地川东褶皱和冲断带，地层经历过复杂的地质形变，拥有煤炭地质储量 6150 万吨。煤矿采用综采设备，顺着沥鼻峡东南翼高度断裂及陡峭的倾斜设置采面，开采 7 个二叠纪煤层。煤矿计划开采标高-150m 和-350m 的煤层。由于煤层所含瓦斯含量很高为  $5.61 \text{ cm}^3/\text{g} \sim 22.95 \text{ cm}^3/\text{g}$ ，且由于高度压裂，瓦斯从可采煤层经过高度压裂过的煤层及围岩层逸散至工作面的能力很强，逸散的瓦斯给煤矿的生产带来了安全隐患。

开发拟议的钻井计划考虑到了复杂的地质和采矿条件。通过储量模拟，开发一个典型的生产状况图，预计未来十年期内的生产率和累计产量。利用拟议的瓦斯抽采系统，能够在有效提高煤矿煤炭产量的同时通过降低通风瓦斯的浓度保证安全生产。煤矿抽采回收的瓦斯，可以销售进入快速增长的燃气市场。重庆拥有全国最古老而成熟的天然气输配基础设施，燃气的供应成为了阻碍燃气消费更快增长的最重要因素。利用预测的瓦斯生产状况，拉文雷治资源公司项目团队（以下简称项目团队）预计，拟议的示范钻井能够向当地天然气市场供应 4.333 亿  $\text{m}^3$  的瓦斯。项目总投资为 1145 万美元，项目十年期内减少二氧化碳排放 883,895 吨。

本报告展示了一份可行性研究成果，作为美国环保署（US EPA）资助的一个大型项目的一部分。该项目支持美国环保署在全球甲烷减排（GMI）倡议下的努力。

一些工作在中国西南地区重庆市天府公司的大力配合下展开。

可行性研究基于：

- 实地考察煤矿、通风井、瓦斯抽放泵站和存储设施；
- 技术文本资料的翻译和审阅；
- 基于煤矿瓦斯抽采数据及通风瓦斯数据的统计分析，预测瓦斯产量；
- 基于设备供应商的报价和市场气价，进行经济评价。

天府公司天弘井位于重庆市，包含井一和井二（1），本研究井一（以下称井煤）。井煤区内共有 14 个煤层，其中 7 个可采煤层。主要煤层厚度 11.6m，个别煤层厚度均在 0.9~3.2m 之间。井煤有煤炭地质储量 6100 万吨，设计年限 53 年，受粉尘爆炸和自燃影响。煤炭的吨煤瓦斯含量 30~35 $\text{m}^3$ 。井煤于 2006 年开始建设，商业开采于 2013 年。通美国克拉克能源公司，井煤已安装 3\*1MW 的瓦斯抽采机，并配有 10000 $\text{m}^3$  的瓦斯气罐在建。井煤有规划建设洗煤厂。

盐井煤矿位于四川盆地川西褶皱和冲断带，靠近嘉陵江西侧，距离G212国道旁的合川约17km（插图1）。

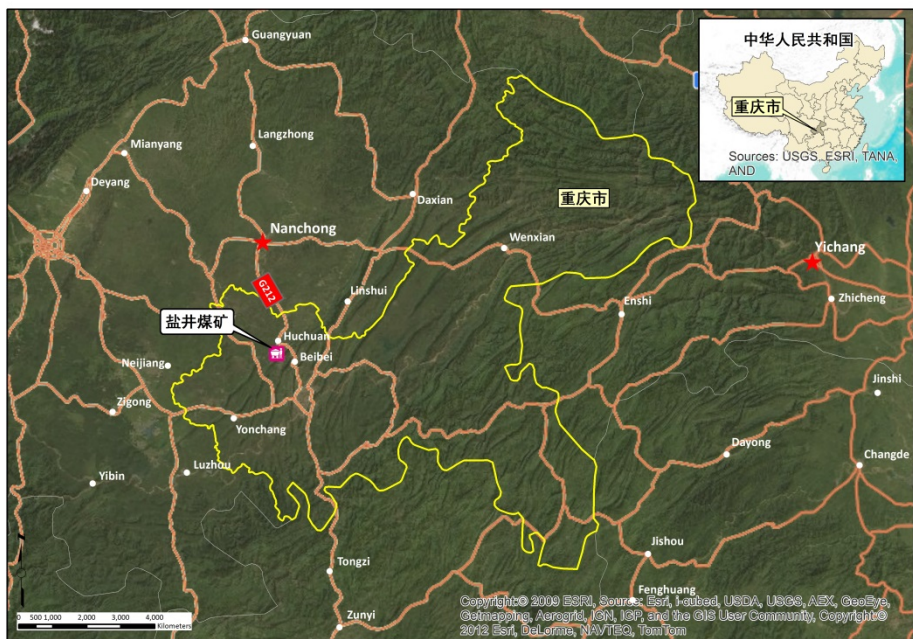


插图 1: 区域地图

坐落于四川盆地川西褶皱和冲断带，盐井矿区经历了复杂的地质构造。四川盆地群山环绕，在三叠纪和白垩纪时代，非洲的碰撞形成了川西北-南走向以及湘-桂褶皱和冲断带(Richardson et al, 2008)(表 2)。此区域内岩石、煤层的分布，形成了该区内高裂陡峭的鼻状背斜（插图1）。

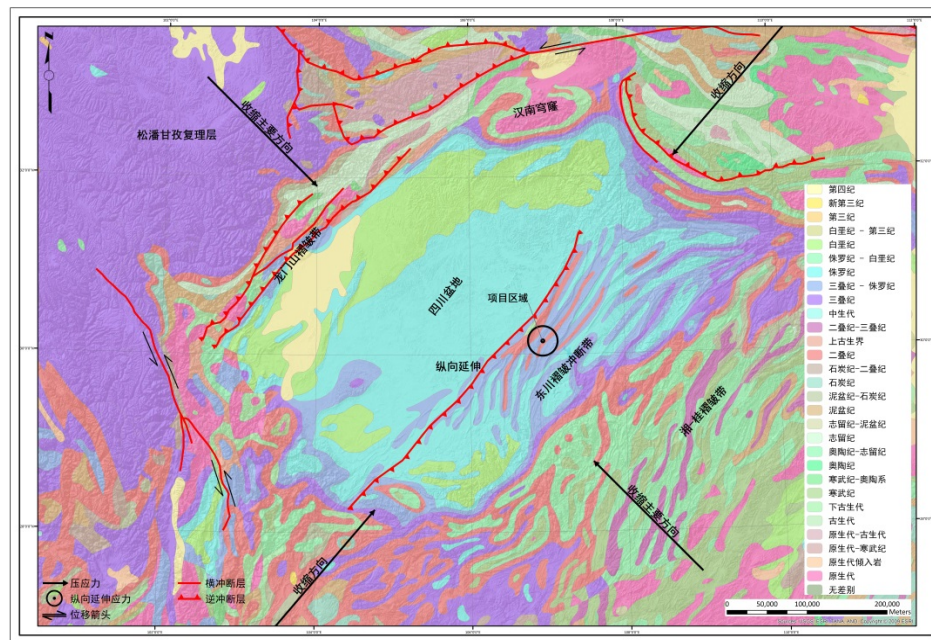


图 2: 区域地质图

### 地质结构

为了确定煤炭资源范围，以及收集足够的用于煤矿的数据，曾进行了一系列地质勘探。重新一三六队，于 2004~2006 年，在此区域内进行地质勘探，并提交了地质报告。盐井煤矿提供了报告的完整文本，包括剖面、煤层厚度和地质构造。

下图 3，展示了部分地质结构剖视图，及煤矿入口和巷道投影到此三维平面上的平面图。选取的横截面由西北至东南穿过大约采区的中部，插图 1 中标注了 A - A' 剖面。此区段唯一可采部分，背斜翼的构造斜平均角 35 度。

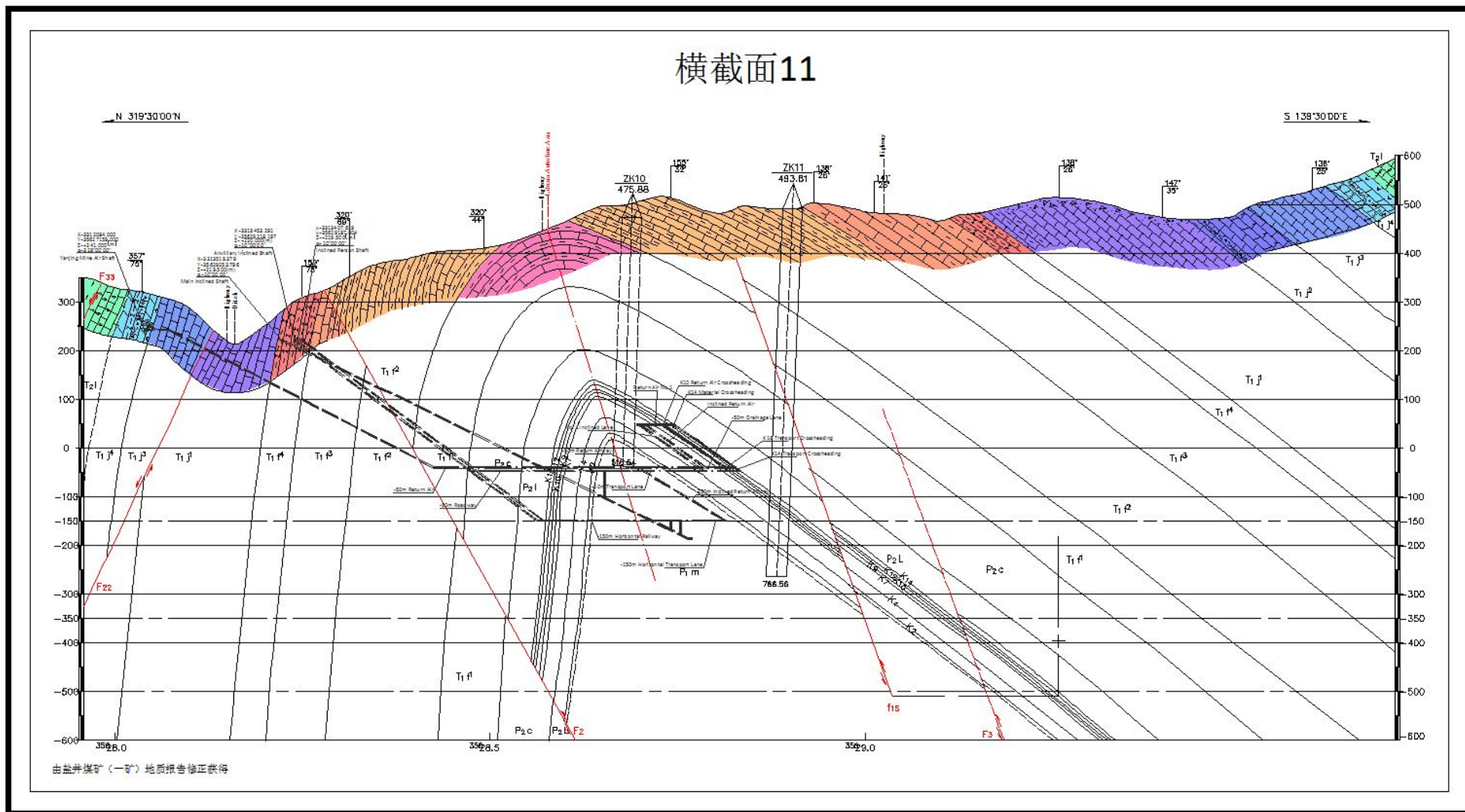


图 3:采区内选取截面的截面图

基于煤提供的告及地行分析，可以得到如下一般性：

- 区内的主要构造一穿岩的北-西南走向的倒背斜。
- 地表和潜伏的北-西南伸向的陡峭逆断，伴随有西北方向沉降，穿整个区。
- 有两大型走向滑距的逆冲断垂直于主背斜理构。
- 相于大型逆冲断，背斜北部出小型点。
- 部分断出右走向转移分量。

## 动态分析

报告及地中提供的信息，足目利用从区内出的断和褶得到的数据，行分析。目利用些数据构造数个立体投影，呈今地构的地力。井煤的个地分析程利用到了 GEOrient 件。

根据分析果，目得到如下合：

- 收主整体以低水平角度出在北西-南方向。收次走向北-北至南-南西方向，尽管略微斜，整体仍保持水平。
- 伸展主垂直方向，允受构向上移，以适褶和裂。
- 在某些断看到的右走向滑移，最可能是由于收次引起的。

北-南西背斜的倒及走向北西的陡峭逆冲断，致了主要的收事件。与四川盆地南部生的区域性收相一致（2）。区内，甚至区域范内，看到了以同源正断形式出，并生右走向滑移断的收次，

## 地质结构走向的影响

井区地构走向生的影响不大。煤主要便于煤炭的开采及运，同，也要工提供安全的工作境。地大角度角、背斜构枢的地址位置，采区内的瓦斯气提供了天然的逸散通道及聚集空。因此，采前煤瓦斯抽采活于工的安全及限制山排放来，非常有必要。基于目地告和的分析，在准的抽划，考到了如下注意事：

- 确保穿逆断的壁和下，非常重要。逆断形成了主要背斜构造北-南西方向的合（从北看，56度），参插1。
- 存在小模的，与主要背斜构主形成30或60度的大角度共断。些断呈北-西南走向的断面上的膨特性。从逆断穿至些断，将会提高流入孔的瓦斯量。些断与中等力方向呈大角度开口，以适与主要构呈30或60度角度的右滑移断地的翻，即是，背斜合和次平行推向北西方向。
- 最有利的孔方案，在主背斜南翼的孔平台上，以265度（北）角度行孔（插2）。



下面要概述井煤区内各地元的特征属性。

### 三叠系中

如插图 1 所示，三叠系中雷口坡出露于区北部和南部，含白云泥岩和微晶灰岩，下部本地的角闪岩和石膏化。此构造一已知的，在南被大演替期沉积形成的气。

### 三叠系下

区主要三叠系下嘉陵江和仙关覆盖，插图 1，两又各含 4 段。嘉陵江主要由灰岩和微晶形成，仙关主要泥岩和石灰岩的混合物。两均已知的，南被大演替期沉积形成的气。

### 二叠系上

二叠系上出露于区范围内。由灰岩和微晶成，是一个已知的天然气集岩。潭位于下方，包含 5 段，由泥岩、粉砂岩、砂岩、灰岩、泥晶和煤炭成。潭煤炭区域内目开采煤炭源，而其岩也区内瓦斯来源之一。区范围内共有 15 个煤，其中 7 个煤具开采的厚度和量，分 K14、K12、K10、K9、K7、K4 和 K2 煤。表 1 了些可采煤的情况。

表 1: 可采煤厚度一

煤	最小厚度(m)	最大厚度 (m)	平均厚度 (m)	所属地
K14	0.28	3.81	1.48	P <sub>2</sub> l <sup>3</sup>
K12	0.27	1.58	0.70	P <sub>2</sub> l <sup>3</sup>
K10	0.16	1.46	0.70	P <sub>2</sub> l <sup>3</sup>
K9	0.06	2.73	0.79	P <sub>2</sub> l <sup>3</sup>
K7	0.82	6.33	1.80	P <sub>2</sub> l <sup>3</sup>
K4	0.00	2.74	1.74	P <sub>2</sub> l <sup>1</sup>
K2	1.31	6.03	3.30	P <sub>2</sub> l <sup>1</sup>

## 厚度和物理特性

采区范围内有 14 个煤层，其煤炭储量、厚度和分布各异，其中 7 个可采煤层 K2、K4、K7、K9、K10、K12 和 K14 煤层。K2、K4 和 K7 煤层平均厚度超 1.70m（表 1）。

利用重工业部地质研究所 2005 年编制的地质报告数据，表 2 描述了可采煤层的物理特性。煤炭密度范围在 1.5 和 1.62 g/cm<sup>3</sup> 之间，呈黑色至半明亮玻璃色至金属光泽的黑色。各煤层分选且除 K7 煤层均含有黄铁矿晶粒。

表 2: 可采煤层的物理特征

煤层	物理特征						构造	其它
	煤型	颜色	光泽	硬度	密度	分选性		
K <sub>2</sub>	暗淡	黑	玻璃	松	1.5	差	均一状	呈粉状，含黄铁矿晶粒
K <sub>4</sub>	暗淡	黑	金属光	硬	1.5	差	条状	呈粉状，含黄铁矿晶粒
K <sub>7</sub>	半明亮至明亮	黑	玻璃	硬	1.5	差	条状	呈块状粉状
K <sub>9</sub>	暗淡	黑	金属光	硬	1.62	差	条状	呈粉状，含黄铁矿晶粒
K <sub>10</sub>	暗淡	黑	金属光	硬	1.6	差	条状	呈粉状，含黄铁矿晶粒
K <sub>12</sub>	暗淡	黑	玻璃	硬	1.6	差	条状	呈粉状，含黄铁矿晶粒
K <sub>14</sub>	暗淡	黑	玻璃	硬	1.5	差	条状	呈粉状，含黄铁矿晶粒

## 煤炭储量

据煤矿管理层提供的信息，盐井煤矿目前开采标高-150m 和-350m 煤层，总煤炭储量 6150 万吨。煤矿的设计生产年限为 53 年，不过，煤矿管理层声称，更深开采-350 至-500m 之间的煤炭是有可能的。如图 3 所示，煤层陡倾，所以每个可开采煤层，将从其间每个区间内最年轻的，即 K14 煤层开始开采。矿区标高-350m 以上的煤炭资源储量共计 7189 万吨，如果继续深入开采，将新增 2108 万吨煤炭资源。

基于《固体矿产资源/储量分类（GB/T17766-1999）》，考虑到对煤炭资源量进行测算而进行钻井活动需要占用部分资源储量。3 个储量分类为 331、332 和 333。331 表示探明的内蕴经济储量，332 表示控制的内蕴经济储量，333 表示推测的内蕴经济储量。

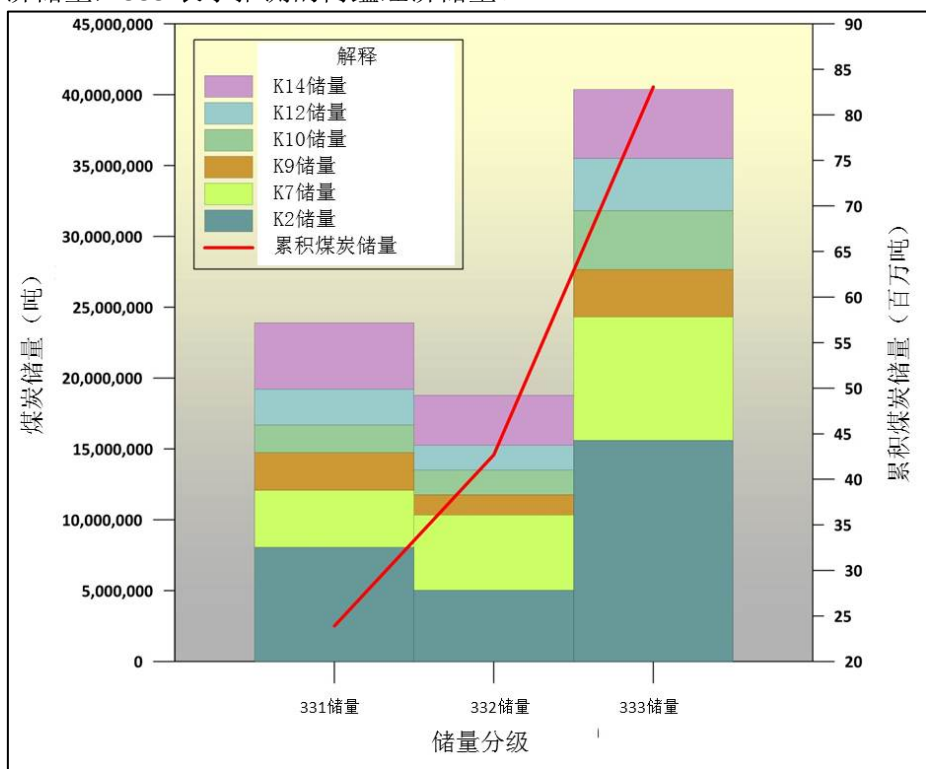


图 4: 基于储量分类的煤炭资源量

图 4 描述了基于储量分类的煤炭资源量。图 4 煤指定的煤炭源区，根据煤提供的煤炭量中提供的量区、煤角、煤厚度及煤炭密度数据，图 4 算了各煤不同可靠量的煤炭量及各煤的煤炭量（表 3）。插图 4，即 K14 煤开采划，以之例示指定的煤量区。由于 K4 煤的子文本有，且无法从煤得可用版本，图 4 没有 K4 煤量行算。

表 3: 各煤分储量

煤层开	331 煤炭储量 (t)	332 煤炭储量 (t)	333 煤炭储量 (t)	总数 (Mt)
K2	8,051,848	5,035,751	15,613,855	28.7
K7	4,026,926	5,308,535	8,714,317	18.0
K9	2,661,881	1,421,383	3,334,052	7.4
K10	1,946,203	1,725,582	4,168,707	7.8
K12	2,534,753	1,774,753	3,677,199	8.0
K14	4,685,323	3,520,187	4,866,805	13.1
总数 (Mt)	23.9	18.8	40.4	83.1

井煤是天弘公司下属的两个煤之一。于 2006 年开始建，据煤管理商开采的 2013 年。煤共有 7 个可采煤，煤均低分烟煤，各煤厚度介于 0.9~3.2m 之，7 个煤累厚度 11.6m。煤生能力 55 万吨/a，使用采煤机壁开采，据煤管理人将于 2017 年达到生能力。采煤机系能力 90~120 万吨/a，使用寿命 44 年。下表 4 列出了目期内，煤的划生能力。

表 4: 煤的年年能

年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
年煤炭能 (吨)	50,000	200,000	350,000	450,000	550,000	550,000	550,000	550,000	550,000

煤炭气源的核算，可以作井煤层气源算的基数据。如何算煤炭气源量，在前的章已有介。算煤层气源量一个普遍接受的方法是煤炭量乘以煤瓦斯含量。不，井煤层瓦斯含量没有按照常方法量。目做了煤瓦斯等温吸附，用于参考确定煤瓦斯含量的可能范。用于的煤炭品取自 K2 煤工作面，出了指定深度煤最大的含气量。等温吸附曲，描了在指定温度（本煤深度的煤炭温度），力与含气量的平衡关系。了便于研究，我假煤保持正常的力梯度，将力与深度起来。图 5 色曲示了煤炭品在指定煤深度的含气量。

了算每个可采煤的煤气量，目人将煤炭源按照指定的深度隔划分开，然后乘以等温吸附得出的含气量。其中所指煤炭源不包煤炭，也包含部分所含煤灰及均匀分布期的非煤物。句，开采用并提供客的煤炭，是洗或是其他方式出来的品。了更接近煤情况，目使用的含气量是基于非干燥基得出的，因而，包含了灰分中所含的少量瓦斯气。目意到，从 K2 煤取的煤行的等温吸附（而得煤气含气量），适用于其他可采煤可能不是那么准确。不，通分及灰分指看，其他可采煤的煤炭等与煤与 C8 相似。因而，K2 煤煤的等温吸附，能被广泛适用于井煤的其他可采煤。

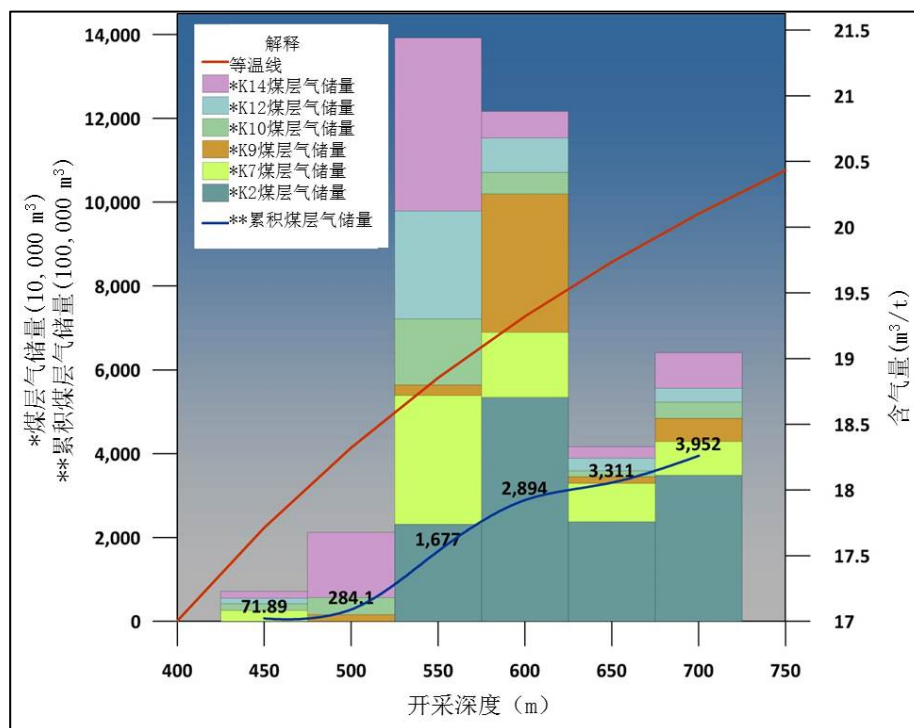


图 5: 井煤层基于煤炭源量的各煤层的煤气量

图 6 描述的各煤层的煤层气资源量，图 6 井煤层基于可采煤层煤炭资源量（包括煤炭资源等图 331、332 和 333 的煤炭量）的煤层气资源量。图中显示，合层煤层气资源量 5.493 亿 m<sup>3</sup>。如果算上不可采煤层，煤层气资源量将增加 35%，至 8.45 亿 m<sup>3</sup>。从图 6 可以看出，区内大约 95% 的煤层气资源在 550m 以下。

图 5 显示煤层气资源量，3.952 亿 m<sup>3</sup> 在由探明内图 331 图成的 6 个可采煤层。其余的煤层气资源在因厚度不均或是煤层不好而不进行开采的煤层，然而，如果不进行抽采，这些煤层气也将会逸散涌入工作面。上文提及，这些不可采煤层将煤层气的资源量增加 35%，至 6.08 亿 m<sup>3</sup>。如果实施图的抽采示范项目，图部分煤层气也能得到回收。

在评估煤层气资源量及确定潜在的煤层气资源量，下列的因素需要被考虑到：

- 煤层气资源量的变化由局部应力、温度和煤炭成分控制，各煤层并不相同，其含气量也不是均匀分布。
- 充分的证据表明，由于褶皱地带及逆冲断层作用，地下的煤炭受压较大。这些应力并未在后面的地壳构造活动中释放掉，因此容易促使煤层气进入裂隙及裂隙岩体中。

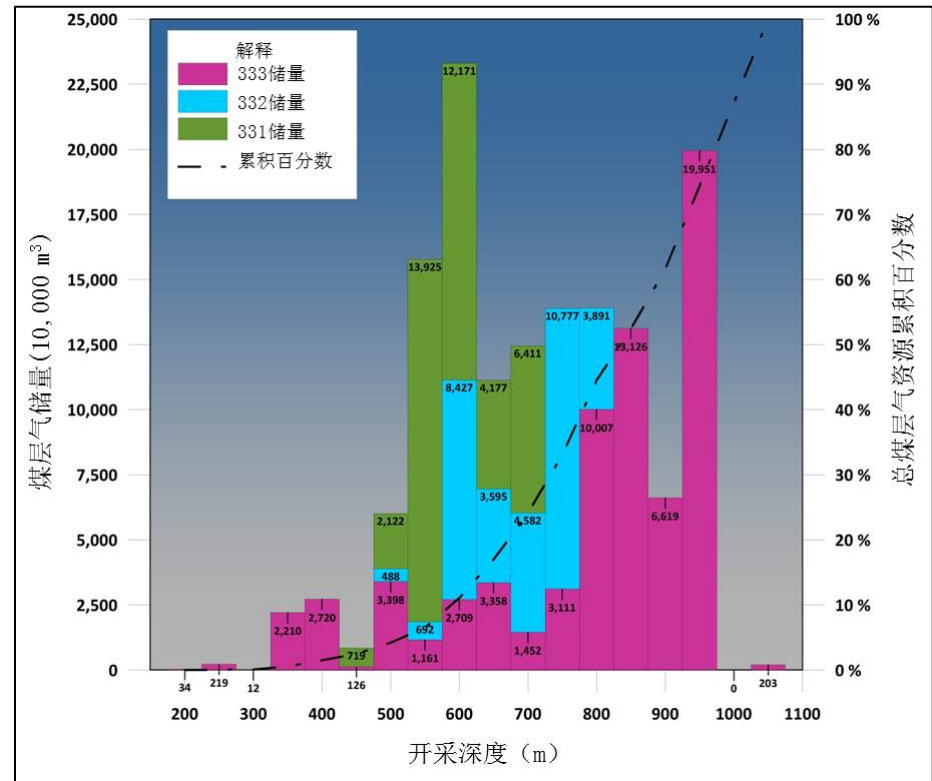


图 6: 井煤层基于不同煤炭资源可靠等层的煤层气资源量

自本世纪初以来，中国的天然气市场经历了历史性的激增。这一直是政府决定投资数十亿美元生产、铺设管道和液化天然气（LNG）接收站，以引入天然气至西部和南部沿海主要人口和工业中心的后果。自 2000 年以来，天然气消费以年均 17% 的速度持续增长，超过政府最初预期的时期，各用户群体一种清洁、方便的燃料到来的好处（图 7）。

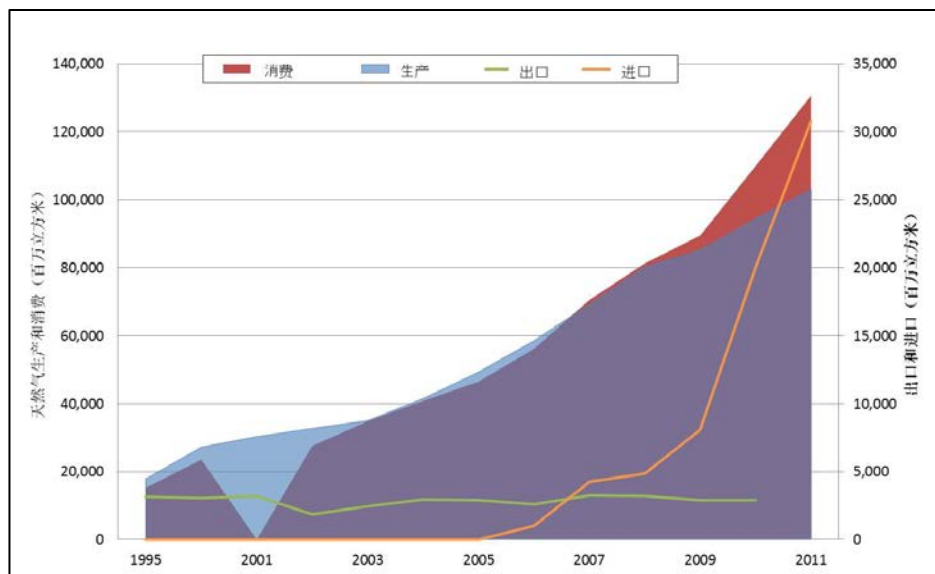


图 7: 中国天然气市场扩展, 1995-2011

由于靠近四川气田，重庆成为中国最有古老和最发达的天然气配气基础设施的省市之一。2005~2011 年间，重庆天然气消费以年 8% 的速度增长，年消费量增至 58 亿 m<sup>3</sup>。其成为人均天然气消费量中国排名前四的省份（市）之一。天然气消费行业分布，与全国其他省份基本一致，工业消耗占据整个天然气消耗的四分之三，民用/商业用占 20~25%（表 5）。

在汽车行业使用压缩天然气（CNG），重庆有近四十年的历史，早于中国其他地区。事实上，核心城区的所有公共汽车和出租车目前都使用 CNG。

表 5: 重庆市天然气消耗 (单位: 百万 m<sup>3</sup>)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
重庆燃气集团	965	1250	1482	1700	1724	1869	1970
--工业	207	296	346	406	543	618	668
--民用	262	341	371	421	564	586	656
--商业	51	78	100	131	170	201	221
--车用 CNG	142	174	240	245	356	360	340
集体(公共)	NA	NA	45	NA	90	98	85
工业直接	2585	NA	3018	3175	3223	3494 (est.)	3600 (est.)
合计	3550	4005	4353	4875	4947	5363 (est.)	5600 (est.)

来源: 中国能源网(2010), p. 90;

重庆能源投资集团重庆燃气公司招股说明书(2012)

重庆能源投资集团下属的重庆燃气集团，拥有重庆市核心区及多个行政区的燃气配气网络，年天然气销售量占整个重庆市的三分之一。而那三分之二中的多数是大型工业企业直接从上游的天然气供应商，余下的更小规模的配气公司（包括中石油下属公司）在郊区地区销售。

供应成为制约天然气消费更快增长的重要因素。据重庆市政府称，随着城市化的推进及工业化的扩大，重庆市 2015 年将吸收 150 亿 m<sup>3</sup> 天然气，是 2011 年的 2.5 倍。

考虑到若干天然气管网敷设完工，以及新增天然气油田的开工，相对保守估算，2015 年重庆燃气集团的天然气供应量相对于 2010 年将增加 70% 以上。从长远看，重庆被勘探是一个非常具有前景的页岩气产地。不过，无论是中央政府还是消费者时期，都面临，至 2015 年，非页岩气不太可能成为天然气供应的主要来源（重庆能源投资集团重庆燃气公司招股说明书，2012）。

定价和煤田瓦斯潜力

2012 年中期，国家确定的，四川气田供川重省的天然气井口价格如下：

表 6: 四川气田天然气井口价格，2012 年 8 月 (元/m<sup>3</sup>)

终端利用种	基准价格	最高价格 (基准价格上升 5%)
化肥厂	0.92	0.966
通管网公司直接售工用 (除化肥厂)	1.505	1.58
通燃气配公司售工用	1.55	1.6275
燃气配公司的其他售	1.15	1.2075

来源：国家发展与改革委员会 (2010)

由于靠近四川气源，重省市只需送至市站的天然气支付 0.12~0.13 元/m<sup>3</sup> 的管道送成本。2011 年供川重省燃气集省的天然气市站价平均略高于 1.3 元/m<sup>3</sup>。

由于低廉的市站价格，加上重省使用天然气历史悠久，重省政府将燃气配公司的天然气零售价格，定在全国最低水平。

表 7: 重省政府规定的燃气配公司的天然气零售价格，2012 年 8 月

终端利用种	价格: (元/m <sup>3</sup> )
工用	2.24
民用	1.72
商用	2.29
售至 CNG 加工厂	1.75
市政照明和其他基础设施	2.29

从供需的角度来看，煤田瓦斯提在重省市会非常受到欢迎。此外，重省市的煤田企业，以重省能源投集团松藻煤田公司为代表，过去多年里，已回收大量的煤田瓦斯提供川省居民使用。重省燃气集省也已多年从重省能源投集团一个靠近市区的煤田-中梁山煤田每年约 5000 万 m<sup>3</sup> 管道天然气量的煤田瓦斯。截至 2012 年年中，松藻煤田在建一个能力 1 亿 m<sup>3</sup> 量的煤田瓦斯提液化的 LNG 工厂。

重省行的低廉的天然气批和零售价格，如松藻煤田的液化项目来省上的挑。重省燃气集省中梁山煤田的瓦斯项目能作特例，因中梁山煤田的瓦斯，作煤炭开采的副产品，且中梁山煤田与重省燃气同属重省能源投集团，其瓦斯售价格约 0.5 元/m<sup>3</sup> (瓦斯度平均 38%)，此案例不具普遍参考价。

如上所述，重省有达的天然气基础设施，而其天然气价格却于中国最低水平。如果没有市政府的行政指令，又或者（以及）没有国内天然气供应商提供重省的天然气成本大幅上升，重省燃气集省将不能被明是一个可以信的未来客。意味着，重省的煤田瓦斯回收，将最有可能需要往省外，如广西，贵州等近省份。



本项目利用由计算机建模集团 (The Computer Modeling Group) 开发的计算流体力学 (CFD) 模拟器 GEM 进行了模拟。通过输入相关信息和数据, 一系列由地面穿过 14 个煤层 (其中 7 个, 包括 K2、K4、K7、K9、K10、K12 和 K14 煤层, 计划开采煤层) 的孔生成量曲线 (插图 1)。

信息通过如下渠道收集和整理:

- 基于矿井提供的矿山开采计划, RRR 公司整理的煤炭开采和煤矿瓦斯抽采计划。
- 由位于中国西安的中国煤炭科工集团西安研究院进行的 K2 煤层的等温吸附实验 (图 8)。
- 矿井提供的其他信息。

### 技术参数输入和假设

下述列出量表中所用或需要考量的关键输入与假设。目测量范围包括编号 K1 至 K14 的 14 个煤层, 也包括由泥岩、砂岩和粉砂岩组成的内承重地。

- 基岩孔隙度: 0.005 体积分数
- 裂岩孔隙度: 0.01 体积分数
- 原生渗透率: 0.0001 毫达西
- 自然断裂水平渗透率情景: 10, 20, 50, 100, or 500 毫达西
- 自然断裂垂直渗透率通常为水平渗透率的 1/10
- 裂隙间距: 0.5 m
- 煤炭密度:  $1.29 \sim 1.39 \text{ g/cm}^3$ , 平均  $1.34 \text{ g/cm}^3$ .
- 储层温度  $34^\circ\text{C}$ .
- 孔隙度平均为总量的 5% 左右.
- 孔隙压力梯度  $9.79 \text{ kPa/m}$
- 吸附参数
  - 朗缪尔存储容量:  $20.98 \text{ cm}^3/\text{g}$
  - 朗缪尔压力:  $2,200 \text{ kPa}$
  - 最初含气量:  $13.09 \text{ cm}^3/\text{g}$  (K1 至 K4 煤层),  $12.96 \text{ cm}^3/\text{g}$  (K5 至 K9 煤层),  $3.15 \text{ cm}^3/\text{g}$  (K10 至 K14 煤层)
  - 吸附时间: 48 小时

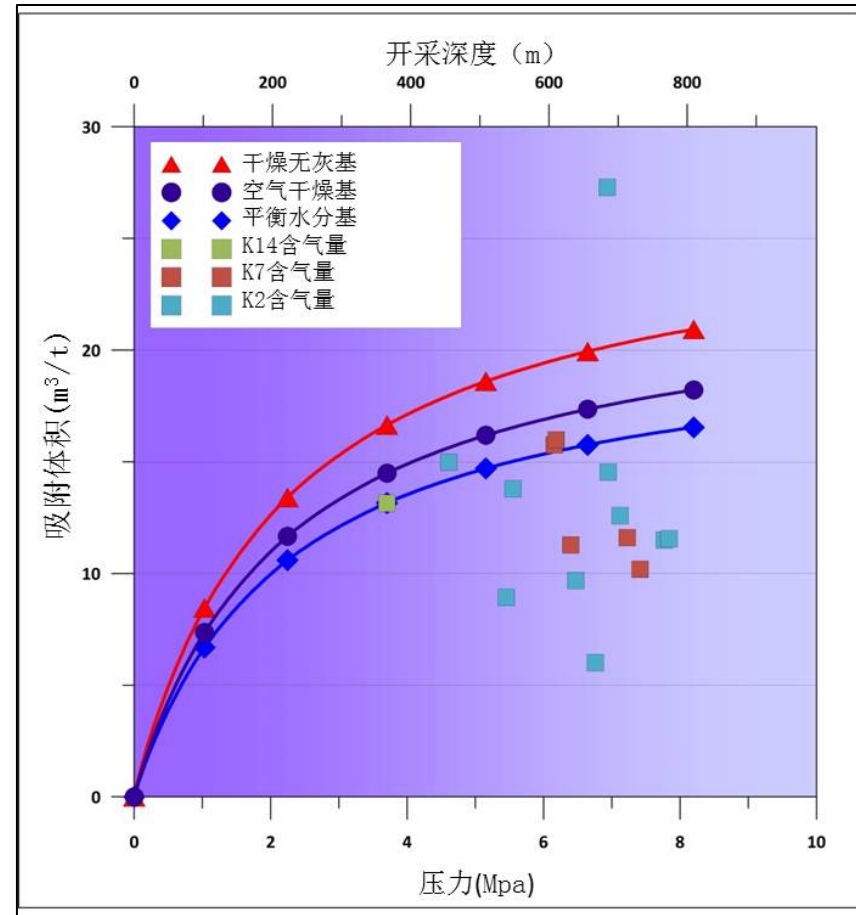


图 8: 矿井煤 (一) K2 煤层煤等温吸附

模型建立同时也基于以下假设：

- 每个井都将穿透所有煤块，包括煤块1-331，本示范井将实施7口井。
- 穿煤块的有效井口度113m，角度45度。
- 生产压力恒定1000 kPa (~10 atm)
- 井孔半径0.076 m
- 非固定地水的量无关紧要。
- 生产开始前，不存在游离气体。
- 非煤煤块不存在吸附气体。
- 无论是岩块还是煤块，模型中的裂隙渗透率都一样。
- 每口井将不间断工作10年。
- 水力裂隙展至所有煤块，包括煤块1-331。
- 所有裂隙的透水性一致。
- 所有裂隙的裂隙距一致。
- 瓦斯回收效率40%，每口井的最回收瓦斯量6300 万 m<sup>3</sup>。

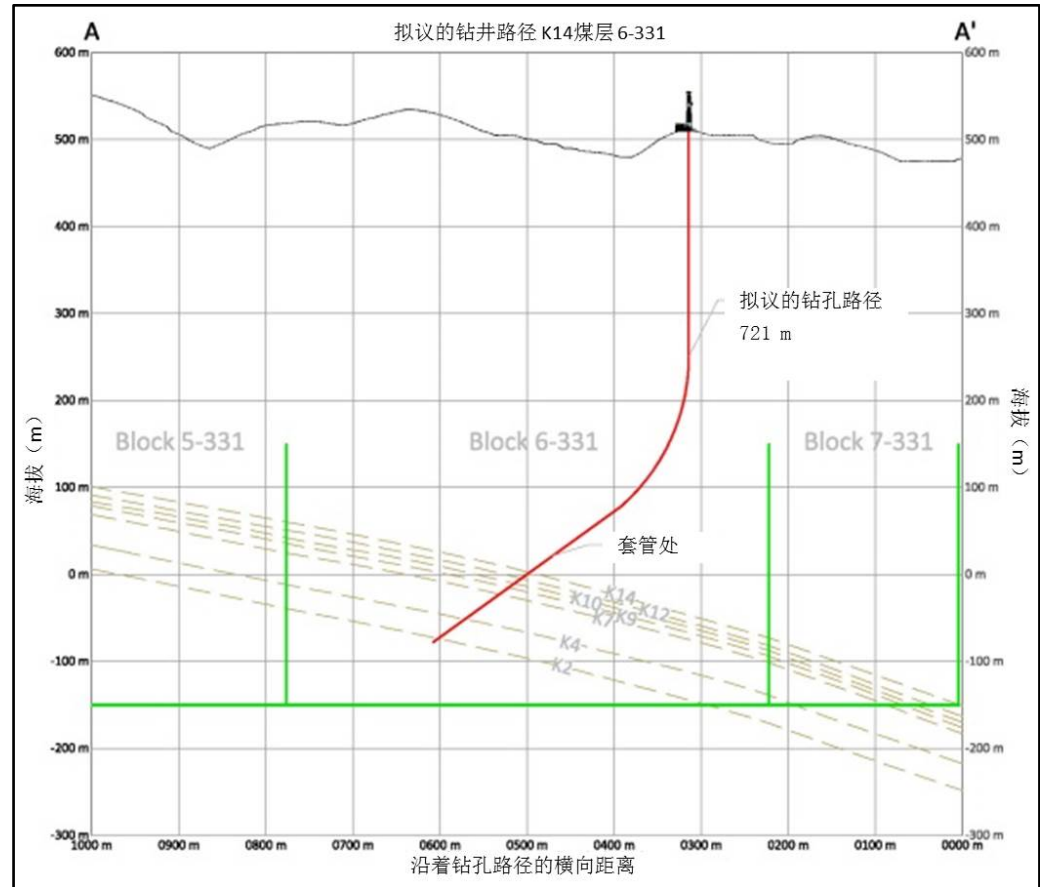


图 9: 井孔的剖面迹

## 储量模拟结果

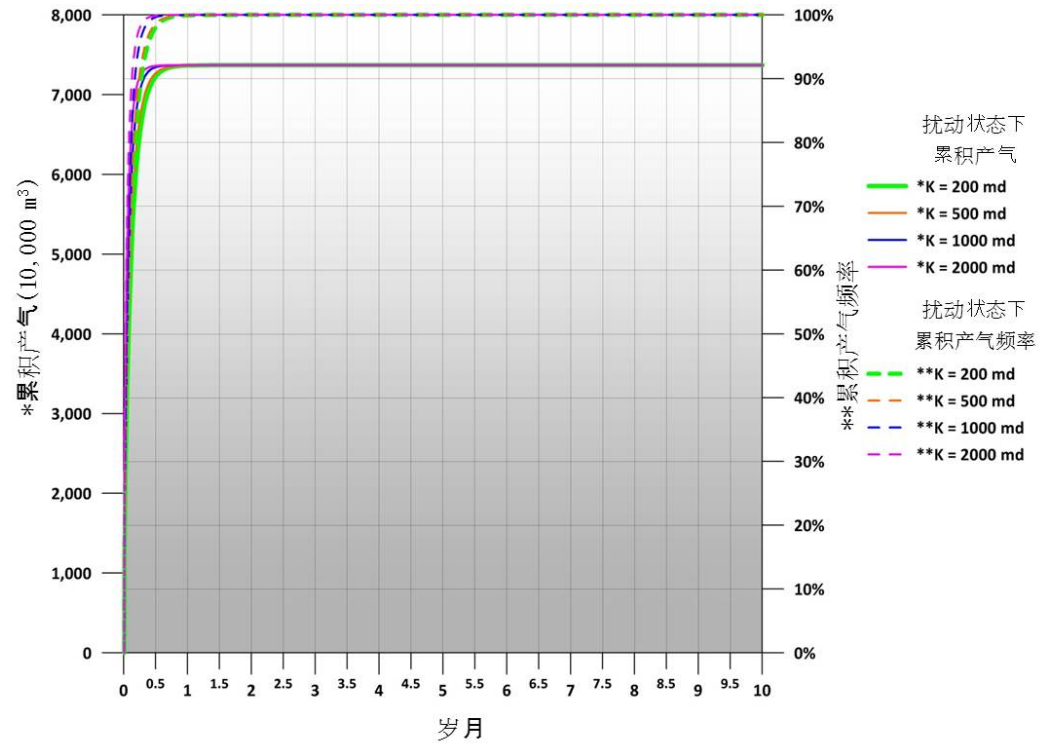
储量模拟研究显示，项目团队选择的钻孔布置能够有效预抽从所有煤层及其夹层中的瓦斯。储量模拟中选择输入的渗透率值 (K) 为 10~500 毫达西 (未扰动状态下)，200~5000 毫达西 (扰动状态下)，参见图 10。

研究结果显示，诱发渗透率越大，通过各组钻孔进行瓦斯抽采将更快。不过，各种情景模式下煤矿瓦斯的回收总量基本一致。储量模拟的主要结论如下：

- 无压裂情境下，储量抽采需要约 2000 天 (6 年)。
- 水力压裂情景下，储量抽采耗时少于 300 天。
- 不同水力压裂渗透率情景下，生产率仅有轻微变化。
- 由于所有水力压裂情景都能很快达到最终抽采状态，因此，更大面积的压裂对提高产能没有明显帮助。

储量模拟研究假设，瓦斯没有其他渠道逸散。少量的瓦斯通过地层裂缝和压裂缝进入到通风系统。如果瓦斯抽采钻井完井能够先于煤炭开采足够早，很容易达到 42% 的瓦斯抽采效率或更高。余下的 58% 的瓦斯，将通过风排系统排放进入大气中。不过，能够通过获得的经验教训来完善所使用的钻井布置和钻井技术，进而提高抽采效率。

□□□价所□用的模□情景□□施水力□裂，渗透率□□ 200 毫达西的情景。因□此种情景□，□□最□回收率 (estimated ultimate recovery, EUR) 与有着相同地□条件的其他煤□的煤□气回收率最□一致。



□ 10:累□□气量□ & 累□□量□率

天然气销售方案

项目瓦斯方案和天然气销售方案均可行的终端利用方案。不，在与井煤的母公司重能源投资组合（CQEIG）后，主要考虑到生成的高量瓦斯用于管道售更理想，天然气销售方案成本目唯一估的方案。是基于以下前提，即通施一系列地面井，抽井下煤瓦斯。抽出的瓦斯主要成分二氧化碳气体及其它少量，如空气。

以下述项目背景信息和概念，然后行性价。

技术工作和施安排

示范井项目，用于抽煤的瓦斯气体（如插图 2），包括施地面定向井。项目包括 1 井施水力裂，其余 6 井用于所有指定煤的抽。安装一套瓦斯收集系，将 7 井集，另一端接一的机，瓦斯通机，入主送管，售至市。

因素与消除

任何项目，开过程中都会存在。表 8 列出了已确定的，以及水平的估，并提出了相的消除和减方案。体来，项目技术施方面，以及市方面的等低到中等。

表 8: 因素和消除 (天然气销售方案)

因素	估	解和消除
市:		
是否有能力将生成的可用瓦斯入天然气配管网	低	区域天然气市已建立，基管网已建成或在建。
是否能得合理的天然气销售价格	低	政府已定最高限价
技:		
的可靠性	低	非常可靠的，培当地技人，以控、和修理机及相关系
瓦斯度的波	低	抽瓦斯度波不会很大
施:		
和服的价格波	中等	价格的目前是下降的，在合同中定最价格
目得政府可及得道路使用	低	制定表，加入必要的，以确保取得所有必要的可和道路使用，允延
运延	低	制定划，包含合理的前期接洽
安装延	低	制定划

项目方案建立了一个模型，用以确定其表现。下面列出了一些建立模型的假设和参数输入，接着给出了其评估的结果。

参数输入与假设

以下表 9 中输入和假设用于此评价模型。如果已确定，就在模型方案中使用成本与定价。否则就使用基于行业标准的合理估值。评价模型中所用的井成本，由在中国具有丰富井和石油天然气管理工程的工程提供。

项目周期为 10 年，井施和瓦斯收集系安装在第一年完成。考虑到 200 毫达西渗透率情景下的量模，项目共能生 4.333 亿 m<sup>3</sup> 的瓦斯供至当地天然气市。井和完井成本，包括瓦斯收集和送系管的安装成本，每口井 150~170 万美元。假设瓦斯的井口价格 1.5 元/m<sup>3</sup>。项目的年运行成本占投资的 25%。

表 9: 模型中所用参数输入与假设

项目周期	2013 – 2022	
项目建	2013 年完成井和安装瓦斯收集系	
项目所有和融结构	瓦斯回收和送系是主要的盈利，独立于井煤运行	基于项目投算 IRR。基方案假设 87.8% 的投来自年利率 5% 的十年期款
项目可用的瓦斯量	基于 200 毫达西渗透率情景的量	
井&完井成本，及瓦斯收集和送管道成本	井和完井成本 150 ~ 170 万美元/口井  100,000 美元/km	数据由在中国有丰富井的工程提供  将瓦斯送至煤外，含
自愿碳减排信用度 (VER) 售价格	\$1.00 USD/吨 CO <sub>2</sub> e	2013-2022 年，售 VER
瓦斯的二氧化碳当量	0.01428 吨 CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>	
项目排放	526,134 吨 CO <sub>2</sub> e	0.00187 t CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> 所有生产的瓦斯，包括售至天然气管网的和机使用的
瓦斯售价格	1.5 RMB/m <sup>3</sup>	井口售价格，瓦斯方将瓦斯送至天然气市，瓦斯达到管道管道天然气量
增税	不适用 (也无增税返)	
所得税	25%	
折旧方式	15 年直折旧-固定的井成本行折旧	
年运行成本	投资的 25%	

下表 10 显示了价格模型运行结果，确定了安装和运行十年期的示范井项目以抽取 7 个主要煤田的瓦斯，而销售至天然气市场的方案的成本表。由于示范项目，并不是模块化的商业运作，与其它多数示范项目不同，项目本身不可行。项目要维持收支平衡，即项目十年期的净现值 (NPV) 和项目的内部收益率 (IRR) 为零，项目的 79.4% 需要行融资 (表 10)。如若低于 79.5%，项目的 NPV 和 IRR 为负。

表 10: 天然气销售基准方案的成本结果

天然气销售方案	
价格方案	基准方案
以年 5% 的利率融资比例	79.4%
气量 - P50 (百万 m <sup>3</sup> )	433.3
项目投入 (百万 USD)	11.45
CO <sub>2</sub> e (百万吨)	0.88
项目投入/吨 CO <sub>2</sub> e	12.95
天然气销售价格 (¥/m <sup>3</sup> )	1.50
NPV/吨 CO <sub>2</sub> e	-0.17
IRR (百万 USD)	-0.15
内部收益率 (%)	0.06%

井一 (井煤) 位于中国西南地区重市境内一个高度断裂及陡峭的背斜。煤田的煤炭储量 6150 万吨，瓦斯含量很高 5.61 cm<sup>3</sup>/g to 22.95 cm<sup>3</sup>/g。自 2006 年起，煤田开始商业化开采做准备，2017 年达到日生产能力 55 万吨/a。涌入煤炭开采工作面的瓦斯，煤田的安全生产带来了严重的隐患，也煤炭的商业化开采提出了挑战。目前，为了控制煤炭开采过程中瓦斯的逸散，煤田采用的是通系为主，井下抽采作补充。迄今为止，效果不算理想。示范项目，是确定地面抽瓦斯技术可行，以改善煤田生产安全，同时减少瓦斯排放。

项目建立煤田当估采用地面抽煤田瓦斯的有效性。本研究结果表明，地面井能有效的在煤炭开采前抽采煤田瓦斯。重市有着中国最古老和发达的天然气管网之一，天然气的供应成了制约天然气消费增量的最大障碍。估，井煤田的瓦斯源量 5,493 m<sup>3</sup>。足高量的瓦斯能被回收并销售至快速增长的当地天然气市场。目前显示，安装抽采系统，项目十年期能抽采并提供 4.333 m<sup>3</sup> 煤田瓦斯至天然气市场。项目投入 1145 万美元，项目产能减少二氧化碳排放 883,895 吨。

煤田管理下一步工作计划的建议如下：

- 委托进行项目可行性研究，确定开发一个有经济效益的、有关建设和实施商业规模化的瓦斯回收与销售项目的计划。
- 与当地发改委联系，获得实施煤矿瓦斯回收和利用项目必要的批准。
- 与设计单位联系，寻求提供最终工程设计方案的支持，并且确定煤矿瓦斯抽采和利用系统的技术提供方。
- 确保项目融资。

CESY (2010): *中国能源* □□年□, 2010

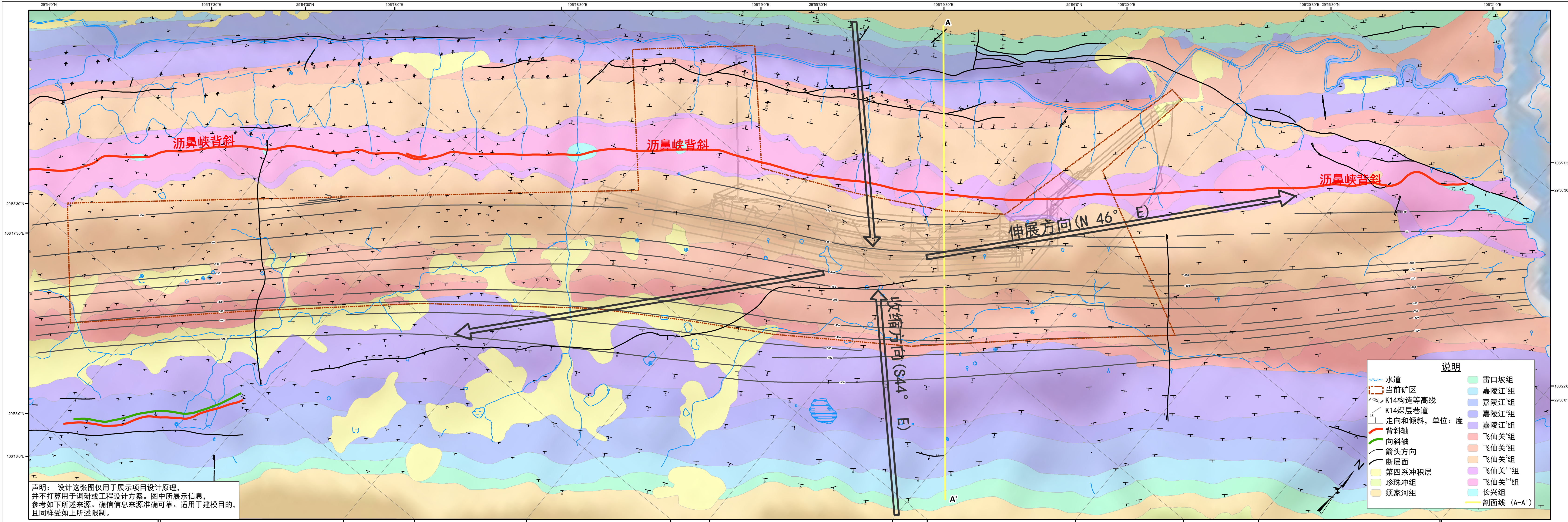
重□能源投□集□燃气部：私人□□

NDRC (2010): 国家□展与改革委□会关于提高国□□上天然气出厂基准价格的通知, 2010年5月31日：

[http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2010tz/t20100531\\_350432.htm](http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2010tz/t20100531_350432.htm)

Richardson 等人 (2008 年)：四川盆地显著的剥蚀：相邻青藏高原东缘的低温热年代启示。N.J. Richardson, A. L. Densmore, D. Seward, A. Fowler, M. Wipf, M. A. Ellis, L. Yong, and Y. Zhang. *地球物理学研究杂志*, vol. 113, B04409, doi:10.1029/2006JB004739





Project Name: Yanjing Pre-Feasibility Study EPA	
Map Document: PFS - Geologic Map.mxd	
Drawn By: Candice L.M. Tello	Date: 12 September 2012
Approved By: Raymond C. Pilcher	Date: TBD
Source: Chongqing Celestica Mining Co. Ltd., Hechuan	Date: April 2012
Current Revision No.: Original	Date: 12 September 2012
Revised By: N/A	

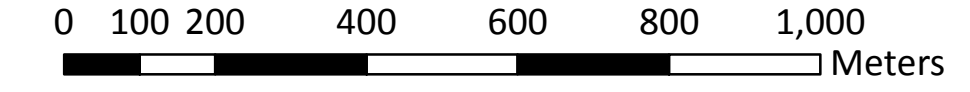


Exploration & Development  
Of Natural Resources



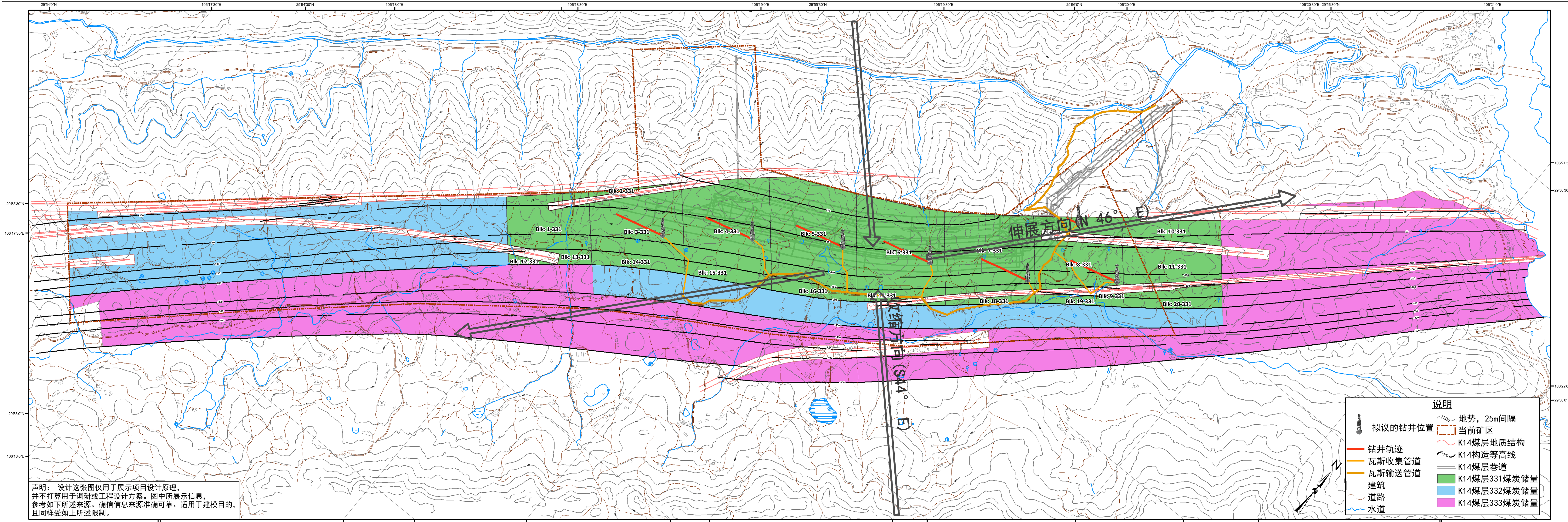
### 插图1: 地质图

比例 1:10,000



WGS 1984, UTM ZONE 48N

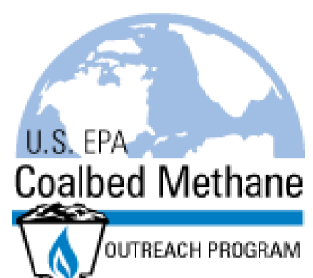




声明：设计这张图仅用于展示项目设计原理，并不打算用于调研或工程设计方案。图中所展示信息，参考如下所述来源。确信信息来源准确可靠、适用于建模目的，且同样受如上所述限制。

- 说明**
- 拟议的钻井位置
  - 当前矿区
  - 地势，25m间隔
  - K14煤层地质结构
  - K14构造等高线
  - K14煤层巷道
  - K14煤层331煤炭储量
  - K14煤层332煤炭储量
  - K14煤层333煤炭储量
  - 钻井轨迹
  - 瓦斯收集管道
  - 瓦斯输送管道
  - 建筑
  - 道路
  - 水道

Project Name: Yanjing Pre-Feasibility Study EPA	Date: 7 September 2012
Map Document: PFS Proposed Drainage Map.mxd	Date: 3 October 2012
Drawn By: Candice L.M. Tello	Date: April 2012
Approved By: Raymond C. Pilcher	Date: 3 October 2012
Source: Chongqing Celestica Mining Co. Ltd., Hechuan	Date: 3 October 2012
Current Revision No.: Original	
Revised By: N/A	



Exploration & Development  
Of Natural Resources

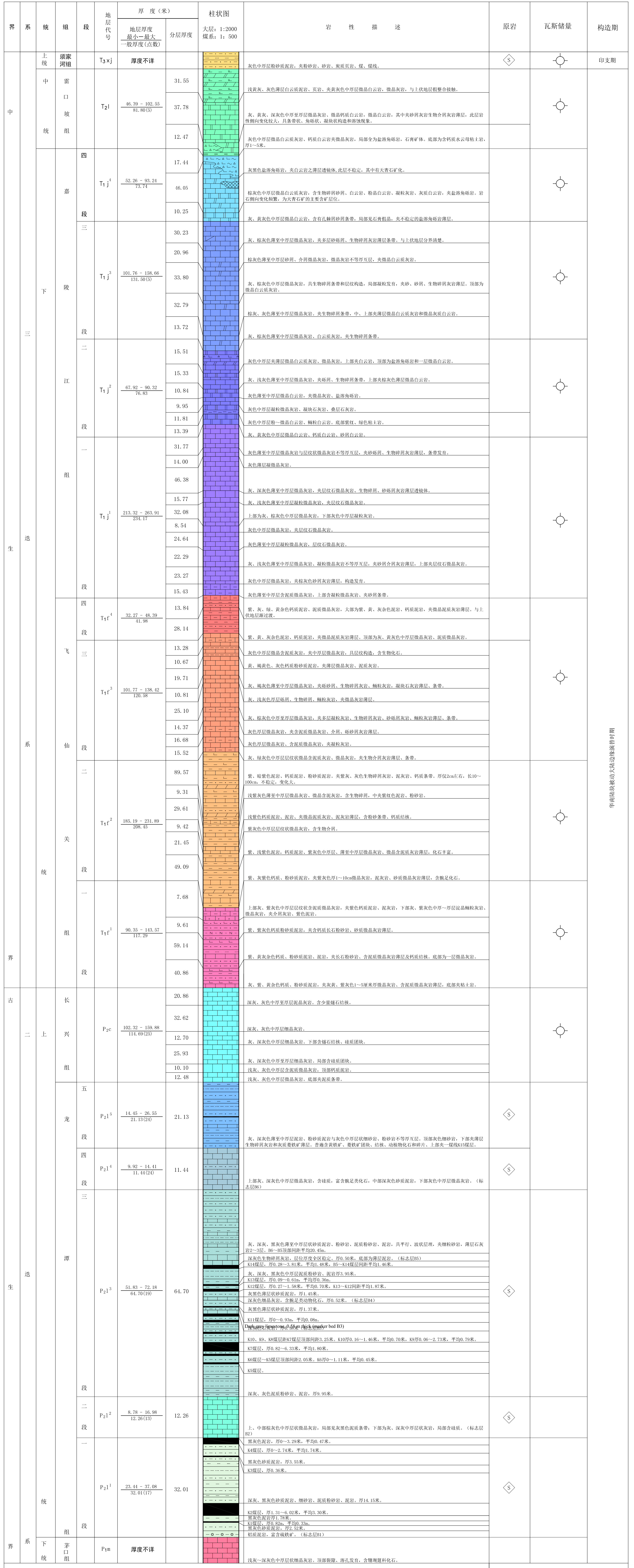


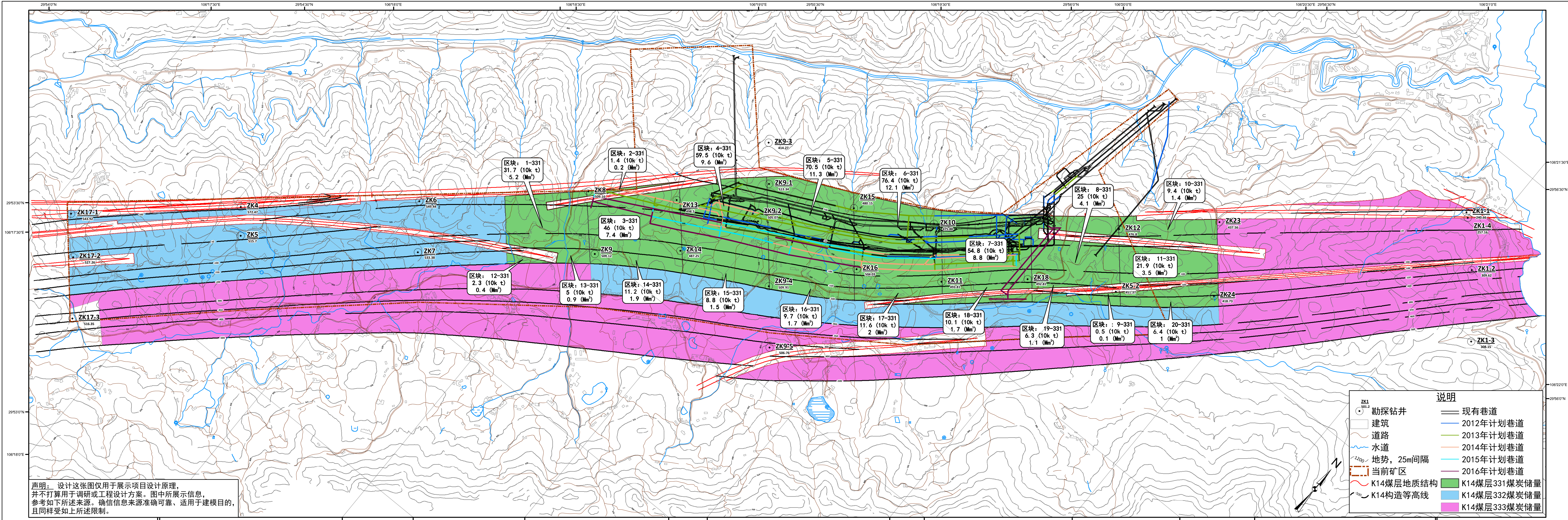
插图2：拟议的抽采设计和开采计划图，  
K14煤层

比例 1:10,000  
0 100 200 400 600 800 1,000 Meters

WGS 1984, UTM ZONE 48N

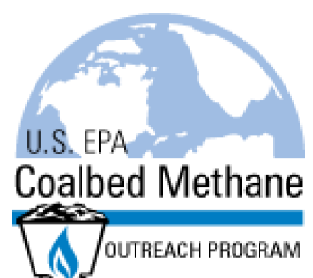
# 地层综合柱状图





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。

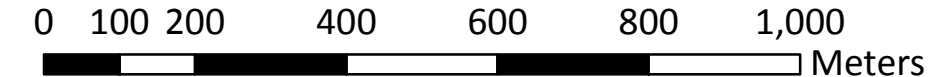
Project Name: Yanjing Pre-Feasibility Study EPA	Date: 6 September 2012
Map Document: PFS K14 Base Map.mxd	Date: TBD
Drawn By: Candice L.M. Tello	Date: April 2012
Approved By: Raymond C. Pilcher	Date: 6 September 2012
Source: Chongqing Celestica Mining Co. Ltd., Hechuan	
Current Revision No.: Original	
Revised By: N/A	



584 25 Road - Grand Junction, Colorado 81505  
(970) 245-4088 - FAX (970) 245-2514

### 插图4: K14煤层开采计划图

比例 1:10,000



WGS 1984, UTM ZONE 48N