文章编号：1001-1986(2010)06-0033-04

煤矿区煤层气开发部署方法

张培河[1]，白建平[2]

(1. 煤炭科学研究总院西安研究院，陕西 西安 710054;
2. 沁水蓝焰煤层气有限责任公司，山西 晋城 048024)

摘要：煤矿区煤层气的开发部署，受煤炭采掘规划和采掘布置的影响。基于我国目前的煤层气勘探开发现状，以晋城矿区为例，提出了煤层气开发部署原则，设计了井网优化部署方案，并进行了开发潜力及瓦斯治理效果分析。随着煤炭采掘的不断推进，煤矿区煤层气开发的地面垂直井形式会发生变化，即由起初单纯的地面垂直井转化为地面采动区井，而后可转化为地面采空区井。在地面垂直井阶段，气井连续排采 10 a，累计产气量为 576.44×10^4 m^3，目标煤层瓦斯含量降幅约为 27.17%~51.99%。通过地面采动区井和地面采空区井阶段的瓦斯抽采，可使瓦斯抽采率进一步提高，达到有效治理瓦斯的目的。

关 键 词：煤矿区；煤层气开发；井网部署

中图分类号：P618.11 文献标识码：A DOI：10.3969/j.issn.1001-1986.2010.06.007

Method on well pattern arrangement of coalbed methane(CBM) development in coalmine area

ZHANG Peihe[1], BAI Jianping[2]

(1. *Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an* 710054, *China*;
2. *Qinshui Lanyan Coalbed Methane Corporation Ltd., Jincheng* 048024, *China*)

Abstract：According to the analysis of status on CBM development in China, method on well pattern arrangement of CBM development in coalmine area is studied. The arrangement of well pattern is controlled by plan and design of coal mining. Based on the plan and design of coal mining and the geological conditions of Jincheng coal mine area, the principles of CBM development in coalmine area are analyzed, and the well pattern arrangement is designed, and potential of CBM development and effect of gas control are studied. The format of CBM well is changed by influence of coal excavation, the recovery of CBM resource is about 27.17%~51.99% when the wells as surface vertical wells produce for 10 years. Afterward, gob well and gas extraction on ground are more effective for gas control.

Key words：coalmine area; CBM development; well pattern arrangement

煤层气开发是一项庞大的系统工程。它涉及到地质评价、开发区选择、开发方式确定、井网布置、钻探施工、完井方式、压裂技术和采气工艺等一整套工业化工艺技术。煤层气开发本身又具有投资巨大、回报周期长、风险大、技术性强等特点。因此，编制合理的开发规划和利用方案，是确保煤层气开发成功的前提[1]。开发部署是煤层气开发方案设计的重要环节。

我国早期的煤层气勘探开发主要在远离煤矿区的地区进行，煤层气研究及开发方案设计等也主要针对煤矿区之外的地区。近年来，随着有关煤层气开发利用政策的出台，以瓦斯治理为目的的煤矿区煤层气勘探开发逐渐活跃，已成为我国煤层气开发的一个新领域。但针对煤矿区的煤层气开发研究相对较少，开发方案的设计趋于空白，限制了煤矿区煤层气产业的发展。

煤矿区煤层气开发的主要目的是为煤矿生产提供安全的瓦斯环境，煤层气开发处于从属地位，与单纯获取经济效益为目的常规煤层气开发存在较大差别。主要表现在：煤矿区煤田勘探程度高，对区

收稿日期：2009-12-26
基金项目：国家科技重大专项项目(2008ZX05040)；国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB2196)
作者简介：张培河(1969—)，男，山东胶南人，研究员，从事煤层气资源评价及开发技术研究.

地信网论坛 BBS.3S001.COM
中国专业地质,矿业,岩土,土地,测绘,水利水电,3S系统综合性网站
地信网MAPGIS视频教程2011终极版火热登场 十天学会MAPGIS，两月成为制图高手!
书籍，论文，规范，软件，教程，有求必应

内煤层的展布状况、构造分布和水文地质条件等控制程度高，煤层气井部署成功率高；煤矿区煤层气勘探开发受煤炭生产的制约，煤层气井网部署受煤炭采掘规划、煤炭采掘巷道及工作面的布置，以及煤炭采掘速度等方面的限制；受煤炭生产的制约，地面煤层气井的服务年限通常比较短，煤层气勘探开发要求在较短的时间内尽可能地降低煤层中的瓦斯含量以满足煤矿安全生产的需要，煤矿区煤层气开发项目的产能规模建设不仅要考虑开发规模、项目投资，而且还要考虑煤炭生产规划；受煤炭生产的影响，煤层气地面开发井的形式会发生变化，气井产能接续设计相对困难；高瓦斯矿井或煤与瓦斯突出矿井的相关瓦斯测试资料和抽放资料，可为地面煤层气开发方案的设计提供参考。

目前，我国的煤矿区煤层气开发处于探索和起步阶段，如何协调煤层气开发与煤炭生产的关系？如何合理确定气井的抽采时间？一系列问题都需要通过研究和探索加以解决。结合多年来的煤炭生产实践以及煤层气研究，笔者以晋城矿区 A 井田为例，就这些问题进行了研究，以期对我国煤矿区煤层气开发和瓦斯治理有所启示。

1 矿区概况

晋城矿区位于山西省沁水煤田南端，区内构造简单，以褶皱为主，断层稀少。含煤地层为石炭系太原组和二叠系山西组，含煤 10 余层，主采煤层为山西组 3 号煤层和太原组 9 号、15 号煤层。

区内大多数矿井为高瓦斯矿井或煤与瓦斯突出矿井，在生产过程中需要进行瓦斯抽采，但单纯地依靠井下瓦斯抽放并不能解决矿井安全生产问题。自 1994 年开始进行地面煤层气勘探试验，到目前为止已完成煤层气垂直井 1800 余口。

2 开发部署设计

2.1 部署原则

矿区煤层气开发的主要目的是降低煤层瓦斯含量，为煤矿生产创造安全的瓦斯环境，并兼顾进行煤层气资源的利用。根据煤层气开发的目的，确定煤层气的开发原则是：

a. 立足本矿区煤层气资源，坚持以服务煤矿安全生产、降低矿井瓦斯含量为中心，并兼顾煤层气开发的经济效益；

b. 与煤矿生产采掘部署相统一，且与煤矿生产紧密衔接，最大限度地保证在采煤时达到煤矿安全生产的最低瓦斯含量要求；

c. 煤层气井的部署区域应考虑煤层气井的服务年限和煤炭采掘规划；

d. 煤层气井应首先布置在煤炭首采区和瓦斯含量相对较高的区域；

e. 井网部署紧密、合理、简单，并尽力依托煤矿现有设施，减少投资，降低成本；

f. 有利于矿区可持续发展，充分考虑煤炭及煤层气资源的有效合理利用，并有利于环境保护及能源结构优化等。

2.2 煤层气开发方案

2.2.1 总体部署

根据晋城矿区煤炭生产矿井的分布、瓦斯灾害程度，以及目前煤层气勘探现状的分析，确定煤层气开发首先在矿区东部 A 井田进行。

A 井田面积为 74.33 km^2，构造简单，陷落柱发育，3 号、9 号、15 号煤层稳定可采。3 号煤层稳定，厚度 4.45~8.75 m，一般为 5~7 m；9 号煤层较稳定，厚度变化不大，多为 1~2 m；15 号煤层稳定，厚度 1.80~5.45 m，一般为 3~4 m。煤层气含量较高，煤层气勘探测试气含量为 7.18~21.28 m^3/t。井田内有一大型煤炭生产矿井，目前主采 3 号煤层，采用走向长壁综采放顶煤采煤法，工作面长 1 500~3 000 m，工作面之间距离 250~260 m，生产能力 10×10^6 t/a。自 2006 年开始，晋城煤业集团在该区进行煤层气开发，目前已完成煤层气井 300 余口，目标煤层为 3 号、9 号、15 号煤层，全部进行了压裂排采，单井产气量多在 1 000 m^3/d 左右，套压 0.2~0.4 MPa。

考虑井田内生产矿井的煤炭采掘规划、目前区内煤层气开发状况、煤层气产业特点以及国内外煤层气开发的经验，采取“总体部署，远近统一，分期实施”的策略进行煤层气开发部署，做到煤层气开发与煤炭采掘有效协调。遵循先近后远的开发原则，首先在规划的煤矿采掘区进行，然后逐步向远离目前煤炭采掘区推进。鉴于目前区内的煤炭采掘现状及煤层气勘探现状，将该区划分为近期煤层气开发区和远期煤层气开发区两部分，煤层气开发也相应地划分为近期开发和远期开发两个阶段。近期煤层气开发部署区主要位于规划的未来 10 a 内将进行煤炭采掘的区域。在近期开发区与目前煤炭生产区之间预留一定范围的过渡区，以保证煤层气井的服务年限。总体规划部署见图 1。

2.2.2 开发方式

煤矿区煤层气开发受煤炭生产制约。A 井田褶皱较多，陷落柱发育，不适合采用水平井方式进行煤层气开发。该区煤层气开发的目标煤层多，厚度大，埋藏浅，气含量高，适合采用地面垂直井方式进行煤层气开发。而且，在目前的煤层气开发方式

万方数据

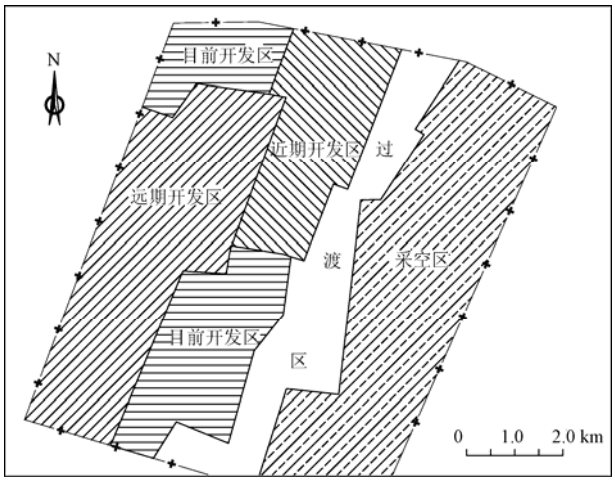

图 1　晋城矿区 A 井田煤层气开发总体部署图

Fig. 1　The layout for CBM development in a block in Jincheng coalmine

中，地面垂直井开发方式技术最成熟，费用低，操作简单，已成为目前国内煤层气开发普遍采用的方式。另外，考虑到该区煤层气开发是在煤矿区进行，开发的主要目的是解决煤矿安全生产的瓦斯问题，在煤层气井排采后期，地面垂直井可转化为采动区井和地面采空区井继续进行瓦斯抽采，煤层气井的利用率高，煤层气抽采率高，抽采彻底。因此，根据该区煤层气开发的目的、区内煤层气地质条件、地形条件，并结合目前煤层气开发技术成熟性的综合分析，确定该区煤层气开发采用地面垂直井方式。

2.2.3　目标煤层

部署区煤层气地质条件优越，3号、9 号和 15 号煤层埋藏浅、厚度大且稳定、气含量高、煤层渗透性好，均可作为煤层气开发的目标煤层。目前，该区煤炭开采煤层为 3 号煤层，未来煤炭开采层为 9 号、15 号煤层。因此，确定煤层气开发的主要目标煤层为 3 号、9 号和 15 号煤层。

2.2.4　井网设计

a. 井网样式

合理的井网布置方式，不仅可以大幅度地提高煤层气井产量，而且会降低开发成本。煤层气井井网布置方式通常有不规则井网、矩形井网和五点式井网等。不规则井网是在受地形限制或地质条件发生强烈变化的情况下，采取的一种布井形式，是一种非常规的煤层气布井形式[2]。矩形井网和五点式井网是相对的，在煤层气开发规模较小或不集中布井的情况下，矩形井网和五点式井网的产能会有一定差别。大规模煤层气开发，当单井控制面积一致时，矩形井网和五点式井网布井方式对气井的产能并无多大影响。该区的煤层气开发是在矿区进行，开发的主要目的是服务于矿井安全生产，气井部署受煤炭采掘规划影响。因此，在考虑煤炭采掘规划的同时，针对该区具体地质条件和煤储层特征，选择目前比较常用的矩形井网作为煤层气开发的井网样式。

b. 布井间距

煤矿区煤层气开发部署应与煤炭采掘规划及煤矿生产工作面布置等协调一致，同时为最大限度地增加瓦斯抽采时间，提高煤层气井的服务年限和煤层气井的利用率，在条件允许的情况下，煤层气井应尽量布置在采煤工作面中间位置，平行于采掘运输巷和回风巷，做到一井多用，最大限度地提高瓦斯抽采效果，并减少与煤炭生产的冲突。

根据目前矿井采掘部署情况，采煤工作面之间距离为 260 m，工作面走向约为 NE20°~33°。为方便未来煤炭采掘，以及最大限度地提高气井的利用率，提高瓦斯抽放率，设计煤层气井布置在工作面中心位置，并平行于工作面走向。因此，布井间距受工作面宽度的限制，在垂直于工作面走向上，布井间距应与工作面和巷道宽度一致。鉴于此，该区在垂直工作面走向上，布井间距为 260 m。

与常规的煤层气开发气井部署设计要求一致，煤矿区煤层气开发井网部署，既要最大限度地提高煤层气采收率，又要考虑煤层气开发的经济性。因此，在井网设计时，通常要求沿煤层主渗透方向上井间距适当加大。主渗透方向通常通过煤层裂隙观测、压裂裂缝监测或地应力监测的方法确定[2]。根据该区地应力研究、井下煤层裂隙观测，以及前期煤层气勘探试验煤层压裂缝延伸情况的综合分析，该区煤层主渗透方向为 NE 向，与工作面走向基本一致。因此，布井设计要求在此方向上井距适当加大。考虑该区煤炭开采工作面布置，以及前期煤层气勘探压裂规模及压裂缝延伸长度等，设计在主渗透方向上井间距为 300 m。

实际上，我国许多煤矿井的采煤工作面走向与煤层主渗透方向并不一致，在此种情况下，煤层气开发设计应重点考虑煤层气开发的目的，以及煤层气开发对未来煤炭采掘的影响，煤层主渗透方向不应做布井设计的重点考虑因素。煤矿区煤层气开发井网设计应考虑经济性，但更应考虑煤层气开发对煤炭采掘的影响。应在考虑煤层气开发目的和地质条件的情况下，结合煤炭采掘布置情况，合理进行井网设计。煤层气开发部署及设计以尽可能降低对煤炭生产的影响、最大限度地提高气井服务年限和提高采收率为原则。

从目前国内外煤层气开发较好的地区的布井间距状况、地质及储层条件的分析看，260 m×300 m 井

地信网论坛 BBS.3S001.COM
中国专业地质，矿业，岩土，土地，测绘，水利水电，3S系统综合性网站
地信网MAPGIS视频教程2011终极版火热登场 十天学会MAPGIS，两月成为制图高手！
书籍，论文，规范，软件，教程，有求必应

间距布井在该区是比较合适的。在美国，黑勇士盆地煤层气开发布井间距多为 400~800 m；圣胡安盆地煤层渗透率较高，布井间距也较大，多为 400~1 100 m。中国的煤体结构状况及煤层渗透率远不及美国，因此，在不同地区进行的煤层气勘探或开发，其布井间距也都比较小。中联煤层气有限责任公司在沁水盆地南部枣园区块实施的煤层气开发，布井间距多为 300~500 m；淮南新集矿区煤层渗透率较沁水盆地南部低，煤层气试验布井间距为 193~220 m。目前，A 井田煤层气开发采用的井间距基本在 250~300 m 左右，煤层气抽采效果较好，单井产气量在 1 000 m^3/d 左右；在相邻的潘庄井田进行了多年的煤层气开发，布井间距多在 300 m 左右，气井产气量一般在 2 000 m^3/d 以上。

c. 开发方案

设计的煤层气近期开发区位于该井田煤炭生产 10 a 开采规划范围内。远期开发区是近期开发区之外的地区，作为未来近期开发区的产能接续区，远期区的煤层气开发部署应根据近期开发区情况进行。在目前煤层气开发的基础上进行近期煤层气开发设计，考虑在井田边界处未来煤炭开采需要预留保安煤柱，以及煤层气井排采影响范围及影响程度等，设计布井井位距井田边界 250~300 m。为避开区内断层和陷落柱的影响，考虑煤层气开发的压裂缝延伸距离以及气井排采的影响范围，确定距离断层以及陷落柱边界 150 m 线作为井位设计边界。煤层气开发布井基本间距为 260 m×300 m，根据该区地质条件、地形条件、交通状况、地物分布以及先前区内开发井的布置等，设计煤层气井 100 口。

3 效果分析

依据煤层气开发部署设计，对近期煤层气开发井进行产能预测，以了解煤层气开发潜力，以及地面煤层气开发治理瓦斯的效果。采用美国 ARI(Advanced Resource International)公司开发的 COMET 煤层气数值模拟软件进行产能预测，结果见图 2。

该区煤层气开发每年气井正常生产时间按 330 d 计算，模拟预测结果显示，在第 3 年达到产气高峰，高峰产量为 2 570 m^3/d。不同目标煤层的煤层气采收率不同(表 1)，即煤层气开发对不同目标煤层的瓦斯治理效果不同，3 号煤层的瓦斯治理效果优于 9 号和 15 号煤层。连续排采 10 a，气井累计产气 576.44×10^4 m^3，煤层气采收率为 39.6%。其中，3 号煤层累计产气量为 356.86×10^4 m^3，占气井采出总量的 61.91%，采收率 51.99%；9 号煤层累计产气量为 43.67×10^4 m^3，占气井采出总量的 7.58%，采收率 34.99%；15 号煤层累计产气量为 175.92×10^4 m^3，占气井采出总量的 30.52%，采收率 27.17%。

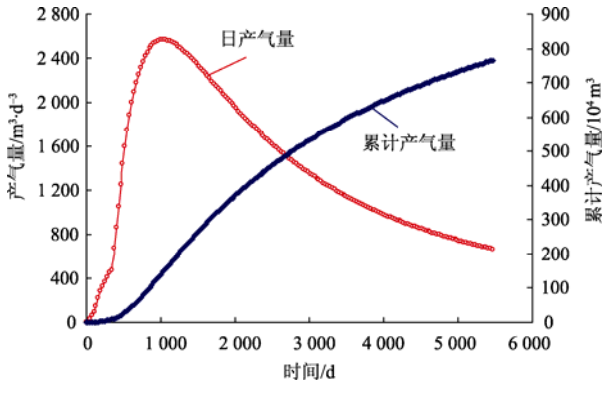

图 2 近期煤层气开发产能预测曲线

Fig. 2 The predicted productivity of CBM well in recent years

表 1 晋城矿区 A 井田气井排采 10 a 目标煤层产气情况

Table 1 The production of CBM well after 10 years drainage in a block in Jincheng coalmine

煤层	累计采出量 /10^4m^3	比例 /%	采收率 /%
3 号	356.86	61.91	51.99
9 号	43.67	7.58	34.99
15 号	175.92	30.52	27.17
总计	576.44	100.00	39.60

纯商业性的地面垂直井煤层气开发，气井服务年限一般在 15~20 a 左右，由于气井的服务年限长，因此煤层气采收率高。该区煤层气开发是服务于煤矿安全生产，因此气井服务年限和采收率受煤炭采掘部署影响，地面垂直井的服务年限较短，一般在 10 a 左右，目标煤层采收率较低，为 27.17%~51.99%。

该区煤层气井部署在采煤工作面的中心位置，其主要目的就是提高气井的利用率和服务年限，最大限度地提高瓦斯抽放率。在采掘前，以地面垂直井方式抽采煤层中的瓦斯，在煤炭采掘接近井筒后，地面垂直井转化为采动区井继续进行煤层气抽采，在采煤工作面推进至井筒前方一定距离后，采动区井又可转化为地面采空区井继续进行采空区煤层气抽采。因此，原先以地面垂直井方式进行的煤层气开发，随着采煤工作面的推进会转化为地面采动区井方式和地面采空区方式继续进行瓦斯抽采，有效地提高了气井的利用率及服务年限，大大提高了煤层气采收率。

另外，该区不仅进行地面煤层气开发，为解决煤矿安全生产问题，还需要在井下辅助进行瓦斯抽采。据矿井瓦斯抽放资料，近三年来，矿井瓦斯抽放率为 40.52%~60.65%。因此，该区地面和井下煤层气的综合开发，会使煤层气采收率大大提高。受地

(下转第 42 页)

万方数据

实际工程中，对于不同风化程度的岩体，其强度参数往往依据经验直接进行折减，这样是缺乏理论依据的。该项研究提供了贵州省二叠系的典型岩体(灰岩和泥岩)综合抗剪强度指标与波速弹性比λ的关系式，为不同风化程度的岩体强度折减系数的选择提供了依据。由于岩体扰动情况的复杂性，公式中扰动和未扰动情况的取值可作为最终折减系数取值的下限和上限，实际应用中可视具体情况结合工程经验综合分析。

5 结 论

弹性波速比是定量进行岩体风化分带的指标，本文基于弹性波速比与 Hoek-Brown 强度准则，探讨了不同风化程度岩体抗剪强度参数折减系数的确定方法；对灰岩与泥岩两种类型的典型岩体，探讨了弹性波速比对抗压强度、抗拉强度、瞬时抗剪强度参数与综合抗剪强度参数的影响；建立了灰岩与泥岩扰动与未扰动情况下不同风化程度强度折减系数的计算公式，从理论上探索了两种主要岩体不同风化程度对强度参数的估算方法。

参考文献

[1] HOEK E, BROWN E T. Underground excavations in rock[M]. Austin and Sons Ltd, Herford, England, 1980.

[2] HOEK E, BROWN E T. Underground excavations in rock(2nd)[M]. Austin and Sons Ltd, Herford, England, 1988.

[3] 朱维申，何满潮. 复杂条件下围岩稳定性与岩体动态施工力学[M]. 北京：科学出版社，1995.

[4] YANG Z Y，CHEN J M，HUANG T H. Effect of joint sets on the strength and deformation of rock mass models[J]. Int.J. Rock Mech. Min. Sci.，1998，35(1)：75–84.

[5] KULATILAKE P H，MALAMA B，WANG J L. Physical and particle flow modeling of jointed rock block behavior under uniaxial loading[J]. Int. J. Rock Mech. Min. Sci.，2001，38：641–657.

[6] 孙广忠. 岩体结构力学[M]. 北京：科学出版社，1988.

[7] BIENIAWSKI Z T. Determining rock mass deformability: experience from case histories[J]. International Journal of Rock Mechanics，Mining Science and Geomechanics Abstracts，1978，15：237–247.

[8] PALMSTROM A. Characterizing rock masses by the RMi for use in practical rock engineering[J]. Tunneling and Underground Space Technology，1996，11(2)：175–188.

[9] 宋建波，张倬元，于远忠，等. 岩体经验强度准则及其在地质工程中的应用[M]. 北京：地质出版社，2002.

[10] 徐光黎，潘别桐，唐辉明，等. 岩体结构模型与应用[M]. 武汉：中国地质大学出版社，1993.

[11] 周维垣. 高等岩石力学[M]. 北京：水利水电出版社，1990.

[12] 何满潮，薛廷河，彭延飞. 工程岩体力学参数确定方法研究[J]. 岩石力学与工程学报，2001，20(2)：225–229.

[13] 周火明. 船闸边坡岩体宏观力学参数的尺寸效应研究[J]. 岩石力学与工程学报，2001，20(5)：661–664.

[14] 冯夏庭. 智能岩石力学导论[M]. 北京：科学出版社，2000.

(上接第 36 页)

面煤层气开采影响，井下瓦斯抽放率会有所降低，但我国地面井下综合煤层气开发研究刚刚起步，目前还没有地面和井下煤层气综合开发的实例，关于地面开发对井下瓦斯抽采的影响还需要进行研究和试验。因此，在目前情况下，还不能做到对地面、井下瓦斯综合抽采率的精确认识。但随着研究和开发工作的不断推进，这些问题也会逐渐得到解决。

4 结 论

a. 煤矿区煤层气开发的主要目的是降低瓦斯含量，为煤炭采掘提供安全的瓦斯环境。煤矿区煤层气开发在部署区选择、开发方式优选和井网设计等方面都要以最大限度地降低煤层瓦斯含量为目的。

b. 煤矿区煤层气的开发，受煤炭采掘规划、采掘布置和煤层气地质条件的影响。设计晋城矿区 A 井田煤层气开发分近期区和远期区两部分。煤层气开发首先在近期开发区进行，远期开发区为产能接续区。

c. 晋城矿区 A 井田适合采用地面垂直井方式进行煤层气开发，设计气井布置在工作面的中心位置，布井间距为 260 m×300 m。随着采煤工作面的推进，地面垂直井会转化为地面采动区井和地面采空区井继续进行煤层气开发。

d. 采用 COMET 专业煤层气数值模拟软件进行地面垂直井开发阶段的产能预测，气井连续排采 10 a，累计产气量为 576.44×10^4 m^3，目标煤层瓦斯含量降幅为 27.17%~51.99%。地面垂直井转化为采动区井和采空区井后，煤层气继续抽采，煤层(或矿井)瓦斯含量还会降低。

参考文献

[1] 张遂安. 选区煤层气开发利用规划编制方法探讨[J]. 中国煤层气，1996(1)：16–20.

[2] 张培河，张群，王晓梅，等. 煤层气开发井网优化设计—以新集矿区为例[J]. 煤田地质与勘探，2006，34(3)：31–35.

地信网论坛 BBS.3S001.COM
中国专业地质,矿业,岩土,土地,测绘,水利水电,3S系统综合性网站
地信网MAPGIS视频教程2011终极版火热登场 十天学会MAPGIS，两月成为制图高手!
书籍，论文，规范，软件，教程，有求必应