成庄区块煤层气井产气特征及控制因素研究

郭 盛 强
(山西蓝焰煤层气集团有限责任公司,山西 晋城 048204)

摘 要: 查明煤层气井生成特征的控制因素是进行开发工艺选择、参数优化的前提和基础,以成庄区块为例,从煤层气勘探开发资料出发,对该区已投产2年以上的煤层气井的生产特征及其控制因素进行了分析研究。结果表明:成庄区块总体上煤层气井产气量较低,气水产出关系复杂,煤层气井可分成高产气低产水、高产气高产水、低产气高产水、低产气低产水以及既不产水也不产气等多种形式,煤层气的产出特征受含气饱和度、临储压力比、煤层气井所处构造部位、断层和陷落柱、地下水动力条件、压裂效果、地应力及煤层气排采方式多种因素的共同影响。

关键词: 煤层气井; 产气量; 产水量; 控制因素; 成庄区块
中图分类号: TE132.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2013)12-0100-05

Study on Coalbed Methane Well Production Characteristics and Control Factors in Chengzhuang Block

GUO Sheng-qiang
(*Shanxi Lanyan Coalbed Methane Co.,Ltd.,Jincheng* 048204,*China*)

Abstract: It was precondition and groundwork of the technological selection and parameters optimization of coalbed methane development to find out the control factors of coalbed methane production characteristics. Based on the data of coalbed methane wells that had been put into production for more than two years,the coalbed methane well production characteristics and its control factors were analyzed in Chengzhuang Block. Generally,the gas production rate was relatively low in Chengzhuang Block. The relationship between gas and water production was complicated. The types of coalbed methane well production included high gas yield-low water yield,high gas yield-high water yield,low gas yield-low water yield,low gas yield-high water yield and no gas yield-no water yield. The production characteristics were influenced by gas saturation,the ratio of critical desorption pressure to reservoir pressure,the tectonic position of wells,fault and collapse column,groundwater dynamics,the fracturing effect,geostress and the drainage ways,and so on.

Key words: coalbed methane well; gas production; water production; control factor; Chengzhuang Block

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

0 引 言

沁水盆地东南部地区已投产煤层气井4 000余口,形成了潘庄、樊庄、郑庄、潘河、柿庄、成庄、赵庄等多个煤层气开发区块,并以垂直井开发为主,其次为羽状水平井和从式井[1-3]。由于受煤层气开发地质条件、开发方式等多种因素的影响,沁水盆地东南部地区不同区块之间煤层气井产能差异明显,即便是采用相同开发方式,产能也存在着较大差异。从整个地区分布来看,目前以潘庄区块产气效果最好,垂直井平均日产量大于2 000 m^3,最高可达15 000 m^3,其次为樊庄、柿庄和成庄,郑庄和赵庄产气效果较差。同一区块不同井之间,煤层气井产气量、产气时间和产气稳定程度也存在较大差异,以樊庄区块为例,日产气量大于1 000 m^3的井占60.2%,日产气量小于500 m^3的井占22.4%,其中前者一般来说稳产时间较长,可达300 d以上,产气量递减速度慢且稳定,后者一般来说稳产时间短,产气量低且

收稿日期: 2013-06-10; **责任编辑:** 曾康生
基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05063)
作者简介: 郭盛强(1979—),男,山西晋城人,工程师,硕士。Tel:13453619438,E-mail:gsq_79@163.com
引用格式: 郭盛强. 成庄区块煤层气井产气特征及控制因素研究[J]. 煤炭科学技术,2013,41(12):100-104.

不连续。煤层气井产能的这种差异受多种因素的影响,如地质因素、工程因素和管理因素等,其中工程因素、管理因素是基于地质因素基础上的人为因素,属于可控因素,而地质因素是影响煤层气井产能的内在因素,属于不可控因素[1-8],但地质因素中的部分因素如储层渗透率等可通过工程因素进行改造。多年来国内外煤层气研究工作者已从多方面对影响煤层气井产能的因素进行了研究,包括煤厚、含气量、解吸条件、渗透率、水文地质、构造条件、压裂效果、排采参数等[9-13]。为了查明并掌握煤层气的生产动态,有效提高煤层气井的产能,有必要对生产过程中的产能变化及其影响因素进行分析。

1　工程概况

成庄区块位于沁水盆地南翼,构造形态总体表现为倾向北西的单斜构造,主体构造上发育变幅不大、宽缓的次级背向斜,地层平缓,倾角 3°~15°,一般小于 10°。区内发育落差较小、延展长度较短的高角度正断层,断层落差不超过 20 m,一般小于 5 m; 陷落柱较发育,但陷落柱面积较大的很少,以中小型圆柱形为主。

山西组 3 号煤层、太原组 9 号煤层和 15 号煤层是煤层气勘探开发的主要目的煤层,3 号煤层厚度 3.75~7.30 m,煤层顶板为泥岩和砂质泥岩,底板主要为泥岩、粉砂岩和砂质泥岩; 9 号煤层厚度为 0.9~1.5 m,顶底板为泥岩和砂质泥岩; 15 号煤层厚度为 1.4~7.7 m,一般为 3.0~5.0 m,顶板为灰岩,底板为铝土质泥岩,9 号煤层和 15 号煤层间距为 40 m 左右。煤层含气量较高,为 8.3~25.7 m^3/t,平均 14.0 m^3/t[14],煤储层渗透率为(0.06~1.02)×10^{-3} μm^2。目前研究区内已完成煤层气井 400 余口,投产 296 口,单井最高产气量达 8 200 m^3/d,总产气量达到 28.7 万 m^3/d,平均供气量 15 万 m^3/d。

2　煤层气井产出特征

煤层气的排采过程大致经历单相水流、气水两相流和单相气体流动 3 个阶段,其中第 1 阶段主要以产水为主,不产气或产气量较小(一般小于 100 m^3/d),随着排采时间的增长、产水量的增加,井筒水柱压力降低,如果低于临界解吸压力,煤层气开始解吸,气体的相对渗透率增加,产气量增高,逐渐进入气水两相流和单相气体流动阶段[10,15]。根据成庄区排采 2 年以上的 271 口煤层气井的产气时间、产气量、产水量及气水产出规律,分析了该区的煤层气井的生产特征。

2.1　产水量特征

成庄区块煤层气井开始产气时的产水量为 0.90~34.90 m^3/d,产水量大于 10.00 m^3/d 以上的井,占总数的 27%,平均产水量为 8.63 m^3/d; 气水两相流和稳定生产阶段日产水量为 0.10~29.70 m^3/d,平均为 4.77 m^3/d; 至 2012 年 12 月未见只产气不产水的煤层气井,只产水不产气的煤层气井 26 口,其中部分煤层气井仍保持较高的产水量,达 17.20 m^3/d。

2.2　产气量特征

截至 2012 年 12 月,成庄区块单井日产气量为 0~11 568 m^3/d,其中日产气量大于 2 000 m^3 的井占 12%,1 000~2 000 m^3 占 19.5%,500~1 000 m^3 占 22.2%,小于 500 m^3 的占 17.8%,不产气井占 28.5%。一般来说日产气量一般大于 2 000 m^3 的煤层气井产水量小,一般小于 3 m^3/d,井口套管压力一般大于 0.15 MPa,且较稳定; 而日产气量小于 1 000 m^3 的煤层气井产水量高,一般大于 10 m^3/d,套管压力小于 0.12 MPa。从 2012 年累积的产气、产水量分布来看,煤层气井气水产出关系复杂,一般来说高产气量井产水量较低,低产气量井具有相对高的产水量,同时也出现低产水量低产气量、高产水量高产气量、既不产水也不产气等情况。

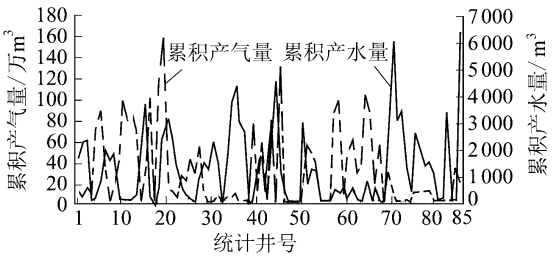


图 1　2012 年部分煤层气井累积产气量与产水量关系

成庄区块煤层气井从排采到见气时间为 10~723 d,见气时间大于 30 d 以上的煤层气井占 73%,见气时间大于 100 d 以上的井占 37%。数据结果表明,成庄区块煤层气井产气量较低,达到气水两相流阶段的时间较长,开始产气的时间长,需 30 d 以上,甚至部分井需 2 年以上,达到单相饱和气体阶段的时间即开始进入产气高峰的时间一般需 1~3 年,最长近4 年。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

3　煤层气井生产影响因素分析

煤层气的生产过程遵循“排水—降压—解吸—扩散—渗流”规律，即煤层气生产过程中排水降压的难易程度直接影响着煤层气的运移产出时间和煤层气井的生产特征。基于此，笔者主要从构造部位、地下水动力条件、含气饱和度、临储压力比、压裂效果与地应力及排采方式等方面分析影响成庄区块煤层气井生成的主控因素。

3.1　构造部位对煤层气井生产特征的影响

从分析统计井结果显示，煤层气井产水量与煤层气所处的构造有密切相关，一般来说产水量与构造高点呈负相关关系(图 2)，处于相对低构造部位的 5、6、7、13、17、18、19、25 号统计井平均日产水量明显高于邻近井，其中 13 号井平均日产水量达到 10 m^3 以上，这主要是因为构造低部位通常成为地下水汇聚区，供液能力强，对于这类煤层气井来说，通常具有初期产水量高、产水时间长，产气量相对较低的特点，但由于向斜部位煤层气含气量通常高于背斜区，这一部位的煤层气井经过较长时间的排水降压，将会达到较好的产气效果。相反，位于构造相对高部位的煤层井由于低部位的产水加快其降压解吸，一般来说在排采初期常具有产水量较低、见气时间短的特点，但其高产持续时间将会低于构造低部位煤层气井。以 25 号井为例，初期产水量为 10.8 m^3/d，排采 1 年后，日产水量下降为 9.3 m^3，日产气量为 277 m^3，而位于其周围构造高点的 14、15、20 号井初期日产水量分别为 6.3、10.7、8.9 m^3，排采一个月后产水量下降，并且开始产气，平均日产气量分别为 2 260、2 380、3 230 m^3。

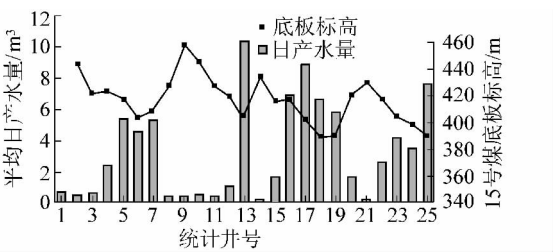


图 2　成庄区块煤层底板标高与日产水量关系

另一方面，对于成庄区块来说，断层和陷落柱的发育使得该区煤层气开发复杂化。在断层与陷落柱附近通常由于裂缝发育，且与断层、陷落柱贯通，造成煤层气的逸散，煤层气含气量低，产气量低；陷落柱和小断层如果贯穿了岩溶发育的奥陶系灰岩和煤系，就会成为奥陶系灰岩含水层与煤系之间联系的通道，造成煤层气开发过程中只产水不产气，且产水量大，排液困难，如 C13 生产井，邻近小断层，排采 2 年产水量一直在 20.7 m^3/d 以上，产气量为 0。

3.2　地下水动力条件对煤层气生成特征的影响

在沁水盆地东南部地区地下水由露头区从东北、东部向西南、西部方向补给，在重力驱动下向深部地区汇流，在成庄地区形成地下水的径流区，在次级向斜的部位容易造成地下水的汇聚，导致个别煤层气井产水量大，液面无法有效降低，短时间内无法形成区域性井间干扰。另一方面，该区煤层主要充水含水层为山西组砂岩以及太原组灰岩，由于部分地区煤层直接顶板为砂岩(如 C30 生产井)及断层陷落柱的作用，导致煤层与含水层沟通，造成排水降压困难。该区径流型的地下水动力条件，也是导致煤层气含气量、产气量较位于滞留区的潘庄、潘河区块低的原因之一。

3.3　含气饱和度对煤层气生产特征的影响

含气饱和度从某种程度上反映了煤孔隙中气体的充满程度[4]，含气饱和度的高低从某种程度上决定了煤层气井排采过程中压力需降低多少才能使煤层气挣脱煤体的束缚，其反映了煤层含气量和吸附能力的双重特性，煤储层含气饱和度高低在煤层气井产出的控制作用中可作为重要的地质标志。

成庄区块煤层气含气饱和度为 32% ~98%，平均为 65%，由图 3a 可以看出，平均日产气量与含气饱和度线性关系密切。当含气饱和度大于 80% 时，平均日产气量均接近或超过 1 500 m^3。而当其小于 60% 时，产气量低于 1 000 m^3。含气饱和度越大越有利于开发，在生产过程中表现为出气早，产气量高的特点，成庄地区含气饱和度总体偏低，是导致该区煤层气井排水降压困难、产气量较低、产水量大的主要原因之一。

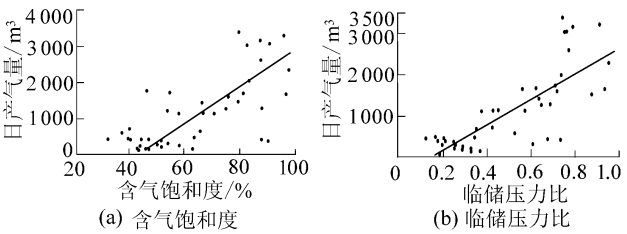


图 3　含气饱和度、临储压力比与日产气量关系

3.4　临储压力比对煤层气生产特征的影响

临储压力比是影响煤层气产出的又一重要因素,理论上临界解吸压力与储层压力越接近,煤层气排采过程中需要降低的压力就越小,煤层气越容易解吸。由图 3b 可以看出,平均日产气量随临储比增大而增大。当临储比大于 0.7 时,平均日产气量超过 1 500 m^3/d; 当临储比小于 0.55 时,平均日产气量小于 1 000 m^3/d,已不能获得好的经济效益; 因此 0.55 可以作为开采的临界值。成庄区块 43 口井煤储层临储压力比统计结果表明,该区临储压力比为 0.12 ~ 0.95,平均为 0.51,其中大于 0.55 的井占 50% 左右,总体上来说该区临储压力比相对较低,也说明煤层气开采过程中煤层气产出较难。

3.5　压裂效果与地应力对煤层气生产特征的影响

压裂过程中由于煤储层相比砂岩、泥岩和灰岩韧性强,脆性低,可能裂缝的扩展不完全受地应力方位控制,压穿上下砂岩或灰岩岩层,从而沟通邻近含水层,从而造成排采过程中产水量大、产气量低或不产气的现象。该地区部分煤层气井存在这种情况。如 C99 生产井压裂后水质监测情况反映 HCO_3^- 浓度(2 356 mg/L) 及矿化度(3 400 mg/L) 较该区同批煤层气井大(主要为咸水),与上部区域性灰岩弱含水层特征值相近,证实煤层压裂裂缝与上部含水灰岩层压通。排采数据显示该井排采 2 年以来,一直以产水为主(日产水量为 39.9 m^3),煤层气产气量较低,最大产气量为 73 m^3/d,一般都为 0。

在煤层气开发过程中渗透率的动态变化影响着煤层气的产出效果,其主要受控于最大主应力、有效应力及主应力差对煤层裂隙壁的影响: ①最大主应力的方向与裂缝延伸方向一致时,对裂缝具有相对拉张作用,主应力差越大越有利于裂缝的扩展,渗透率增加,反之,渗透率降低。采用地面微地震法对成庄区块压裂后裂缝方位和长度监测,结果显示成庄区块大部分煤层气井压裂后,裂缝方位 NE38.2° ~ 54.2°。应力场测试结果表明,沁水盆地东南部地区最大主应力方向为 NE—SW 向,与主裂缝方位一致。②有效应力与煤储层渗透率之间呈指数降低的关系,在其他条件相同的情况下,有效应力越小、渗透率越好,越有利于煤层气的产出,产气量就越高。成庄区块 3 号煤层有效应力为 7.9 ~ 15.0 MPa,平均 10.4 MPa,9 号和 15 号煤层为 9.1 ~ 14.8 MPa,平均 12.1 MPa,相比潘庄地区来说较大,这可能也是造成该区煤层气产量较低的原因之一。

3.6　煤层气排采方式对煤层气生产特征的影响

目前成庄地区煤层气排采主要采用分层压裂合层排采的方式,2012 年 3 月对 4 口煤层气井的 3 号煤层进行了封堵,从 C63 井封堵前后产水量、产气量变化曲线来看(图 4),封堵前产水量一直维持在 5 ~ 10 m^3/d,产气量较低,一般小于 400 m^3/d,封堵后产水量降低,一般小于 5 m^3/d,产气量逐渐增高,最大产气量可达 4 824 m^3/d。表明成庄地区合层排采对煤层气的生产特征具有较大的影响,并不是所有的煤层气井都适合合层排采。

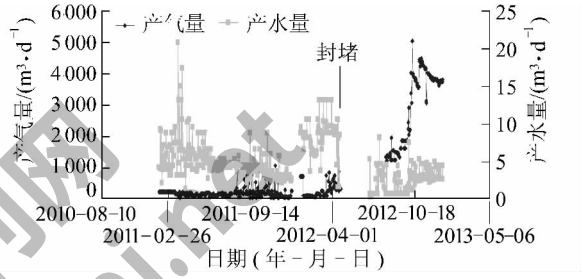


图 4　C63 生产井封堵前后生产特征变化曲线

由于成庄区块 3 号、9 号和 15 号煤层处于不同的流体压力系统,分属于不同的煤层气藏[15-16],煤层气开发的过程中二者不存在水力联系,一旦同一口井内不同煤层之间临储压力比、储层压力梯度、储层渗透率、供液能力之间存在差异,那么在排水降压的过程中,相同排采制度下临储压力比低、储层压力梯度低、供液能力大、低渗透率储层中的见气时间、流体的压力传播时间、排水量及流体流速均高于高渗透性、储层压力梯度高的储层[17-18],一方面引起速敏现象,造成储层伤害,另一方面引起排采半径小、抑制压降漏斗扩展、产气量低。

4　结　　论

1) 在小范围区域内,无断层、陷落柱等的影响条件下,含气饱和度越大,临储比越高,产能越高。成庄区块相比来说含气饱和度较低、临储压力比较低,可能是造成这一区块煤层气产气量总体上相对较低的主要原因。

2) 煤层气井的产气量、产水量与煤层气所处的构造部位密切相关,构造相对低的部位通常成为地下水的汇聚区,煤层气排采初期一般具有产水量大、见气时间长、产气量低的特点,但从长期的煤层气开发前景来看,这些地区的煤层气含气量通常高于构

造高部位，煤层气井经过较长时间的排水降压，将会达到较好的产气效果。

3) 断层和陷落柱的存在导致其周围煤层气井含气量低，且一旦与含水层沟通，将导致煤层气井排水降压困难，产气量低、产水量高。

4) 成庄区块总体上位于地下水的径流区，一方面导致该区煤层气含气量与之相邻的潘庄区块要低，另一方面导致在次级向斜部位有地下水汇聚，导致个别煤层气井产水量大，液面无法有效降低。

5) 部分煤层井在压裂过程中压穿上下砂岩或灰岩岩层，从而沟通邻近含水层，造成排采过程中产水量大、产气量低或不产气的现象。

6) 成庄区块部分煤层气井由于不同煤层之间临储压力比、储层压力梯度、储层渗透率、供液能力之间存在着差异，在排采的过程中一方面容易引起临储压力比小、储层渗透率低、供液能力大的储层产生速敏现象，不利于煤层气的排采，另一方面造成其压降范围小，煤层气解吸面积小，产气量低。

参考文献:

[1] 张培河，刘珏辉，王正喜. 基于生成数据分析的沁水盆地南部煤层气井产能控制地质因素研究 [J]. 天然气地球科学，2011，22(5)：909－914.

[2] 陶　树，汤达祯，许　浩，等. 沁南煤层气井产能影响因素分析及开发建议 [J]. 煤炭学报，2011，36(2)：194－198.

[3] Lyu Y，Tang D. Production Characteristics and the Key Factors in High－rank Coalbed Methane Fields：A Case Study on the Fanzhuang Block，Southern Qinshui Basin，China [J]. International Journal of Coal Geology，2012(96)：93－108.

[4] Pashin J C. Variable Gas Saturation in Coalbed Methane Reservoirs of the Black Warrior Basin：Implications for Exploration and Production [J]. International Journal of Coal Geology，2010(82)：135－146.

[5] Shi J Q，Durucan S. Sinka I C. Key Parameters Controlling Coal－bed Methane Cavity Well Performance [J]. International Journal of Coal Geology，2002(49)：19－31.

[6] 秦学成，段永刚，谢学恒，等. 煤层气井产气量控制因素分析 [J]. 西南石油大学学报：自然科学版，2012，34(2)：99－104.

[7] 陈振宏，王一兵，杨焦生，等. 影响煤层气井产量的关键因素分析：以沁水盆地南部樊庄区块为例 [J]. 石油学报，2009，30(3)：409－412.

[8] 叶建平，吴建光，房　超，等. 沁南潘河煤层气田区域地质特征与煤储层特征及其对产能的影响 [J]. 天然气工业，2011，31(5)：16－20.

[9] 康园园，邵先杰，王彩凤. 高－中煤阶煤层气井生产特征及影响因素分析 [J]. 石油勘探与开发，2012，39(6)：728－732.

[10] 王国强，席明扬，吴建光，等. 潘河地区煤层气井典型生产特征及分析 [J]. 天然气工业，2007，27(7)：83－85.

[11] 孟庆春，张永平，郭希波，等. 沁水盆地南部高煤阶煤层气评价工作及其成效：以郑庄－樊庄区块为例 [J]. 天然气工业，2011，31(11)：14－17.

[12] 倪小明，苏现波，魏庆喜，等. 煤储层渗透率与煤层气垂直井排采曲线关系 [J]. 煤炭学报，2009，34(9)：1194－1198.

[13] 刘升贵，郝　耐，王建强. 煤层气水平井产能控制因素分析及排采时间 [J]. 煤炭学报，2012，37(6)：957－961.

[14] 李贵红，葛维宁，张培河，等. 晋城成庄煤层气探明储量估算及经济评价 [J]. 煤田地质与勘探，2010，38(4)：21－24.

[15] 苏现波，林晓英. 煤层气地质学 [M]. 北京：煤炭工业出版社，2009.

[16] 林晓英，苏现波. 沁水盆地南部煤层气成藏机理 [J]. 天然气工业，2007，27(7)：8－11.

[17] 倪小明，苏现波，李广生. 樊庄地区 3 号和 15 号煤层合层排采的可行性研究 [J]. 天然气地球科学，2010，21(1)：144－149.

[18] 李国彪，李国富. 煤层气井单层与合层排采异同点及主控因素 [J]. 煤炭学报，2012，37(8)：1354－1358.

(上接第 99 页)

参考文献:

[1] 汤友谊，陈江峰，彭立世. 无线电波坑道透视构造煤的研究 [J]. 煤炭学报，2002，27(3)：254－258.

[2] 陈唱彦，沈小克，素兆锋，等. 电磁波层析成像技术在复杂地质边坡工程勘察中的应用研究 [J]. 地球物理学进展，2012，27(2)：796－803.

[3] 刘焕新，王利宏，刘树才. 坑透高精度 CT 层析成像测量方法试验研究 [J]. 山东煤炭科技，2010(1)：103－105.

[4] 刘加利. 坑透技术在复杂地质条件下的应用 [J]. 河北煤炭，2005(4)：39－40.

[5] 侯恩科，郝珠成，王朝辉，等. 坑透层析成像技术在金矿定位预测中的应用 [J]. 地质与勘探，2001，37(4)：43－45.

[6] 周长友. 许沟煤矿 12080 工作面物探结果的验证与分析 [J]. 山东煤炭科技，2012(4)：118－119.

[7] 王均双，薄夫利，马　冲. 坑透 CT 成像技术在工作面地质构造探测中的应用 [J]. 煤炭科学技术，2008，36(10)：93－96.

[8] 张　磊. 复杂地质条件下回采工作面隐伏构造长距离探测 [J]. 矿业安全与环保，2012，39(4)：71－73.

[9] 王　琦. 实测坑透资料的层析成像特殊处理效果 [J]. 煤田地质与勘探，2001，29(4)：55－57.

[10] 冀学宏. 论影响无线电波坑透的干扰因素及排除方法 [J]. 西山科技，2011(6)：18－22.

[11] 肖玉林. 煤矿综采工作面无线电波透视技术研究 [D]. 淮南：安徽理工大学，2010.

[12] 郭　峰，刘跃丽. 坑透探测在实际中的应用与研究 [J]. 煤炭技术，2003，22(2)：86－87.

[13] 刘天放. 矿井地球物理探测 [M]. 北京：煤炭工业出版社，1993.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net