



河南省首届地热产业高质量发展学术交流专题报告会

以科技创新驱动我省地热产业高质量发展

报告题目：典型煤矿区煤系气“三区联动”地面开发技术与应用

白领国，正高级工程师，现任河南省资源环境调查四院有限公司党委书记、董事长，河南省大口径钻井工程技术研究中心主任，全国煤炭工业劳动模范、河南省优秀地质科技工作者、首届河南省自然资源科技领军人才、河南省企业“创新达人”榜样人物、河南省地质系统清洁能源专家。先后主持实施河南省科技攻关、安徽省重大科技专项、山西省重点研发等省部级、厅局级科研课题及行业标准20余个，授权发明专利6项，荣获安徽省科技进步一等奖、河南省科技进步二等奖等各类省部级、厅局级科技奖励60余项



河南省资源环境调查四院有限公司

THE FOURTH INSTITUTE OF RESOURCES AND ENVIRONMENT INVESTIGATION OF HENAN PROVINCE CO., LTD.

典型煤矿区“三区联动”地面开发技术与应用

汇 报 人：白领国

河南省资源环境调查四院有限公司

2024年11月24日

目 录

- 1 前言

- 2 平顶山煤田地质背景

- 3 煤层气三区联动抽采模式

- 4 实际工程应用与效果

- 5 存在问题与建议

1. 前言

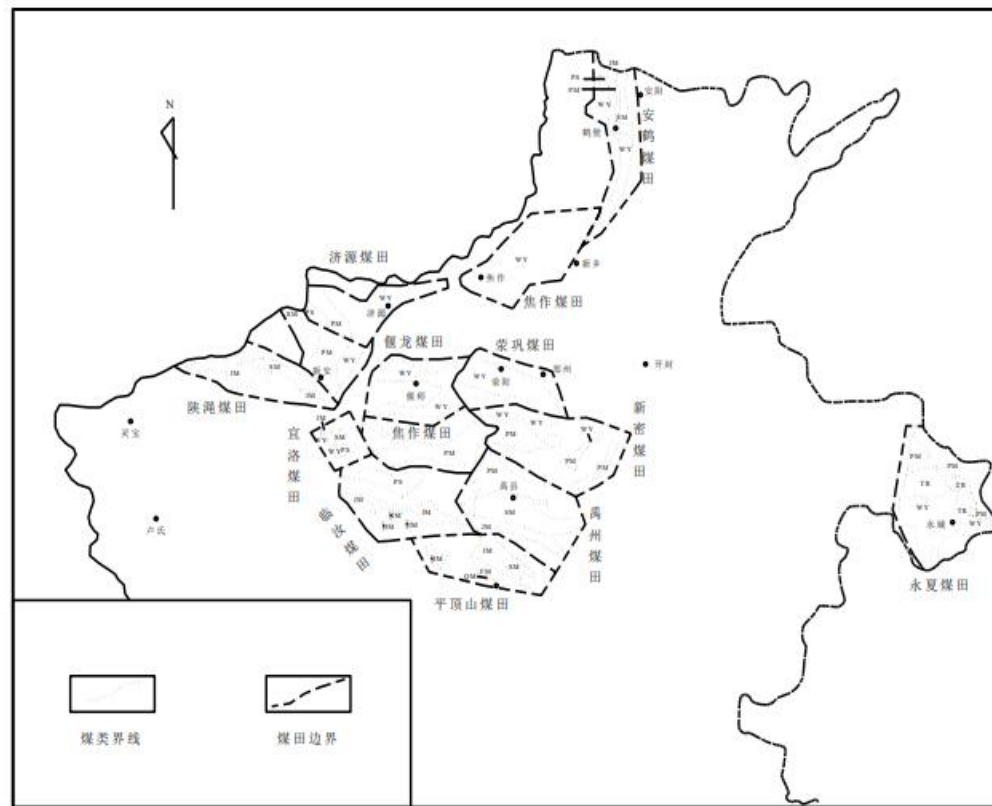
我省主要煤层特征

二₁煤层为我省最主要的可采煤层，层位稳定，厚度0~33.2m，平均为5.35m；

二₂煤层为豫东永城煤田主要可采煤层，厚度为0~7.67m，一般为1.30m；

下侏罗统义马组煤为义马煤田主要可采煤层。

分为四大含煤区，即石炭-二叠系的豫北含煤区、豫中含煤区、侏罗系的河淮含煤区、石炭系的秦淮含煤区。

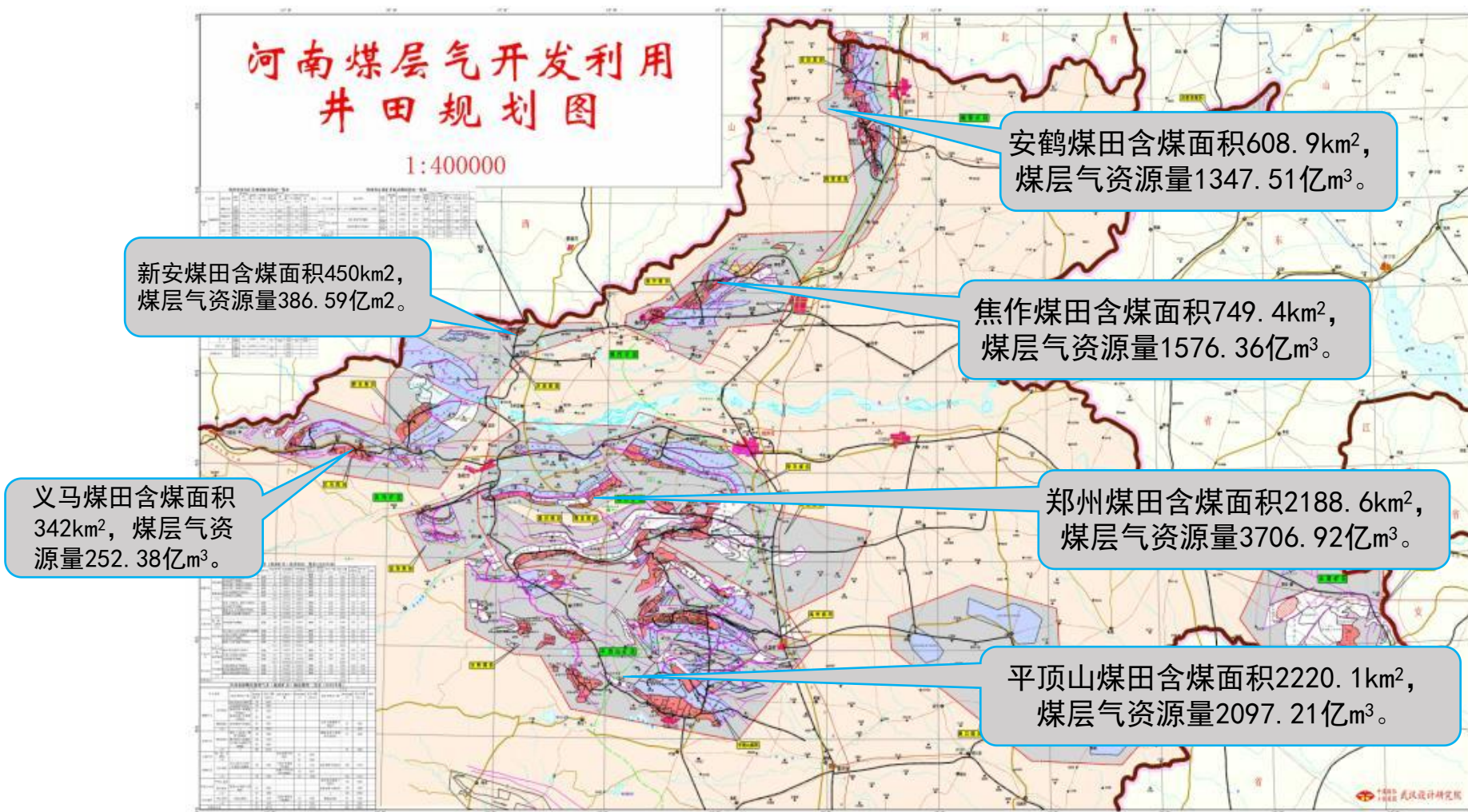


河南省二₁煤层煤类分布图

1. 前言

我省煤层气资源概况

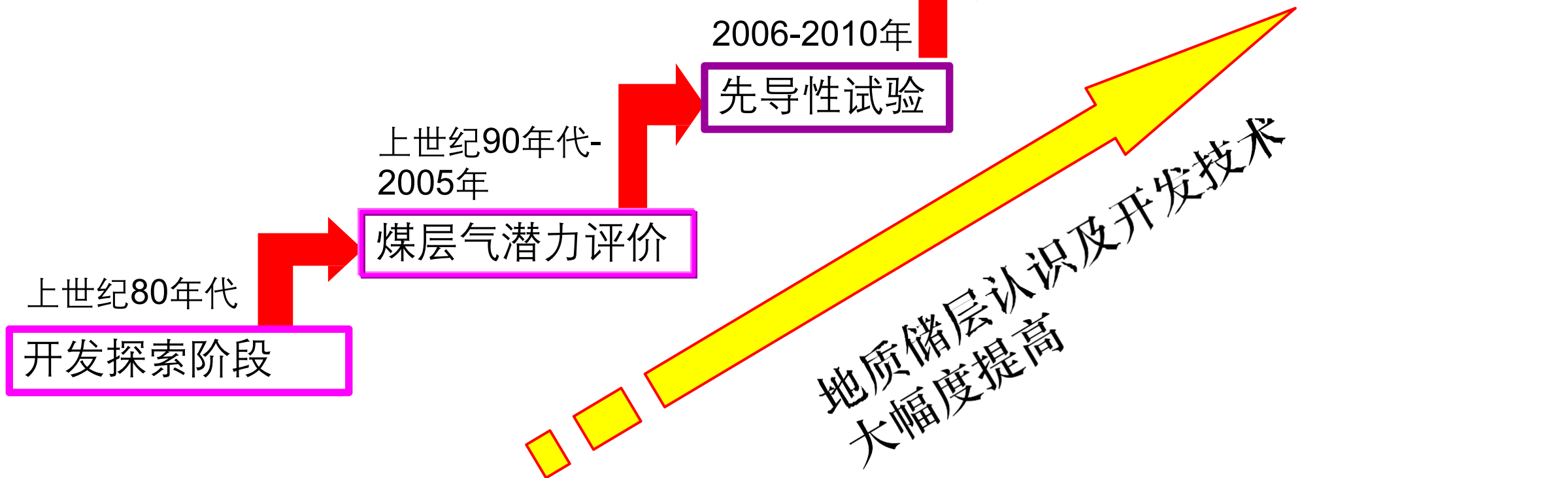
全省2000m以浅煤层气资源量为1万亿 m^3 。



1. 前言

河南省煤层气开发历程

河南省煤层气开发经历了五个阶段：开发探索阶段-潜力评价阶段-小范围先导性试验-瓦斯/煤层气协同-初露曙光



1. 前 言

河南省煤层气开发历程

➤ **第一阶段：上世纪80年代初期，煤层气开发探索阶段**

煤科院在焦作矿区施工了10口地面抽采井，受限于当时的技术条件，没有获得稳定的工业产能。

➤ **第二阶段：上世纪90年代～2005年，河南省煤层气资源潜力评价阶段**

1996年1月在焦作东古汉山井田施钻古1～4四口煤层气勘查井，四口井均进行了排采试气，除古1井无气外其它3口井均产少量气。

郑州天然气公司与美国GEOMET OPERATLNG公司合资进行煤层气勘查，施钻4口煤层气井，新1、2井先期套管裸眼洞穴完井，长期试采，少量间隙出气，3、4井加砂压裂，产水20m³，少量间隙出气。

1. 前 言

河南省煤层气开发历程

➤ 第三阶段：2006-2010年，小范围内开发工程全面开展阶段

2006年，由河南理工大学提供技术支撑，安阳贞元集团与鹤煤集团、鑫龙集团合作施工的4口煤层气试验井，其中采用常规压裂工艺强化的一口井日产气最高达到1200m³；采用“虚拟储层强化工艺”的另一口井产气量维持在300m³/d左右。

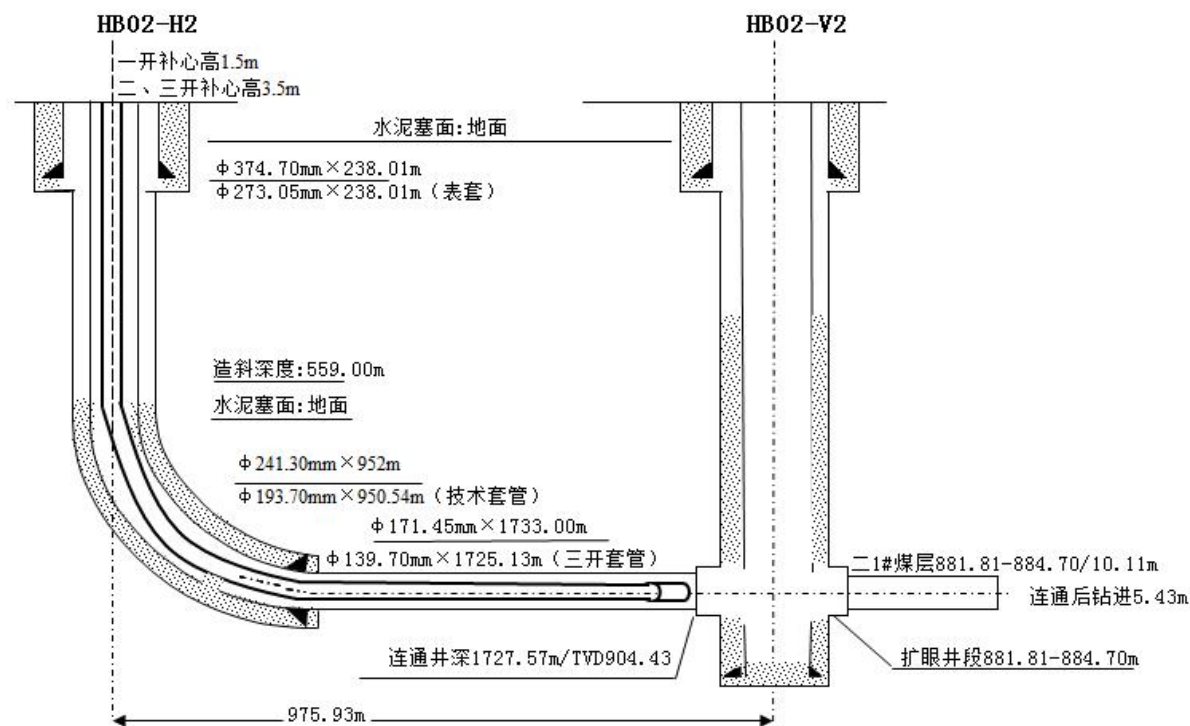
2007年1月，成立了河南省煤层气开发利用有限公司，与其他公司合作采用常规煤层气开发技术（垂直井压裂改造）焦作矿区试验36口井，拉开了河南省煤层气全面开发的序幕。其中焦作位村9口、九里山8口，恩村19口。位村区块的GW-002井最高产气量突破1000m³/d，总产气量超过30万m³，预示着该区块有产气潜力。

1. 前言

河南省煤层气开发历程

➤ 2011年~2019年，瓦斯/煤层气协调开发探索阶段

鹤壁六矿采用“低摩阻、低伤害、低稠化剂浓度的氮气泡沫压裂液”和“低排量、低砂比、中液量”的水平井五段水力喷射压裂技术，完成了HB01井施工和长期排采生产。最高日产量实现 1380m^3 ，连续产气超过24个月，累计产气超过60万 m^3 。



1. 前言

河南省煤层气开发历程

碎裂煤采取地面水平井分段压裂技术

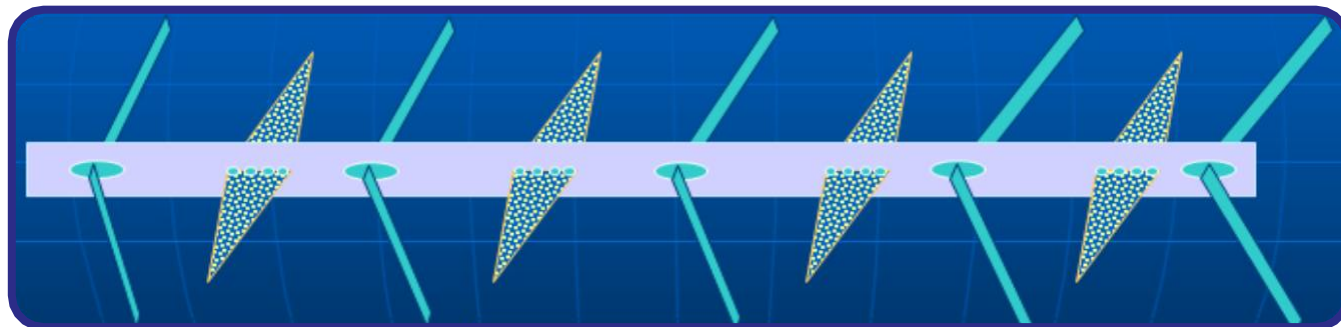


连续油管架

装备
技术



火把



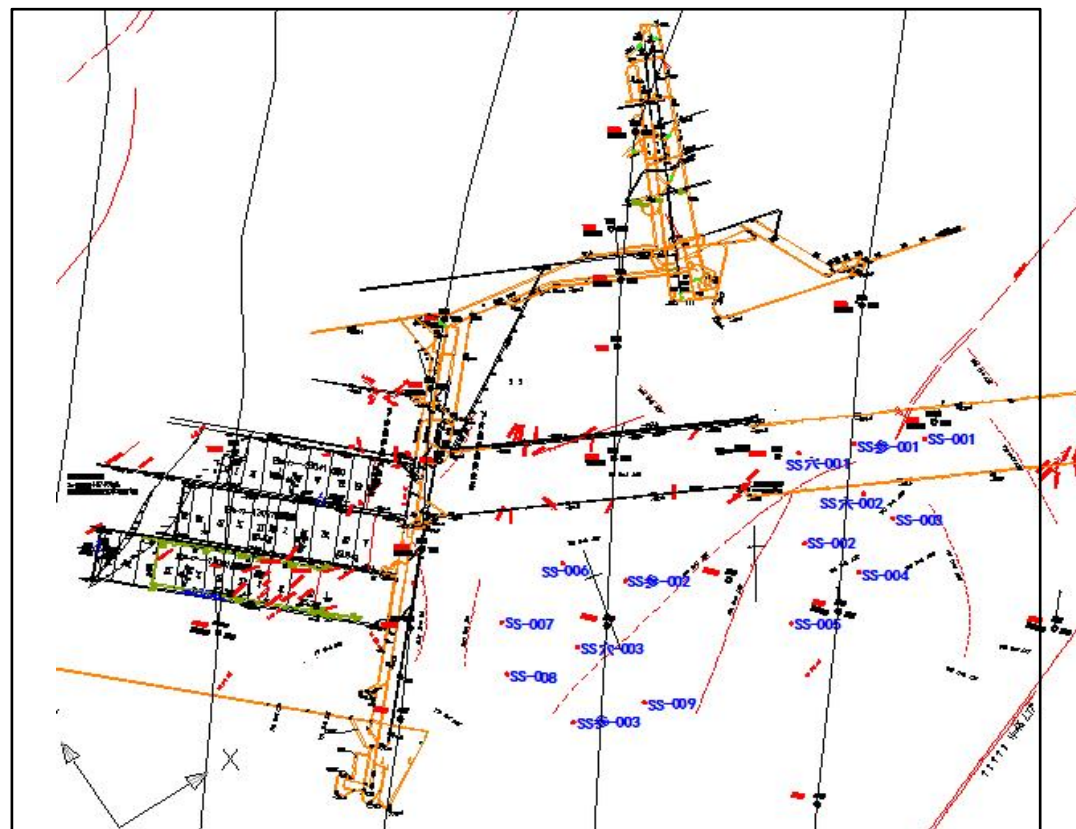
分段压裂示意图

1. 前言

河南省煤层气开发历程

➤ 2011年~2019年，瓦斯/煤层气协调开发探索阶段 在平顶山十三矿进行了直井试验，其中SS-009井获得了单井日产 1708m^3 的高产，刷新了河南省煤层气开发历史高产纪录。

在首山一矿布置4口煤层气直井，产气效果不甚理想。



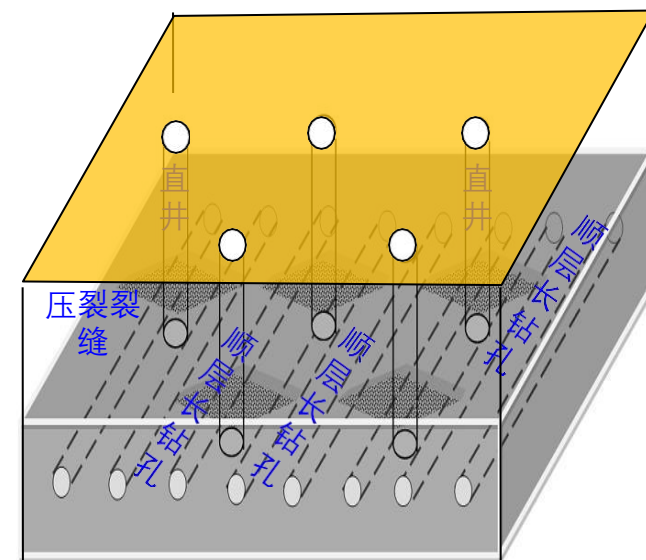
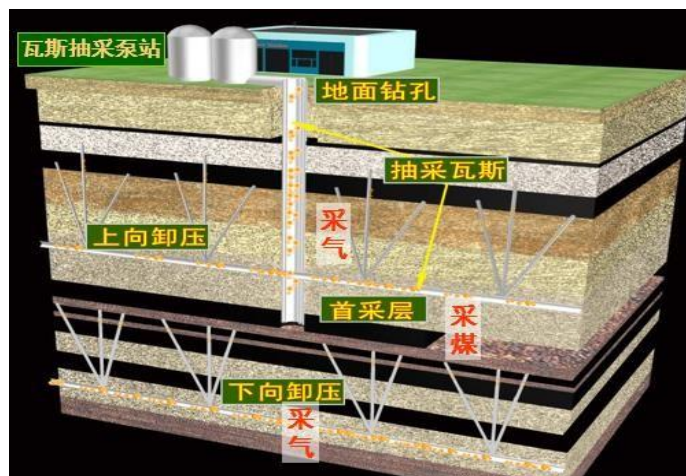
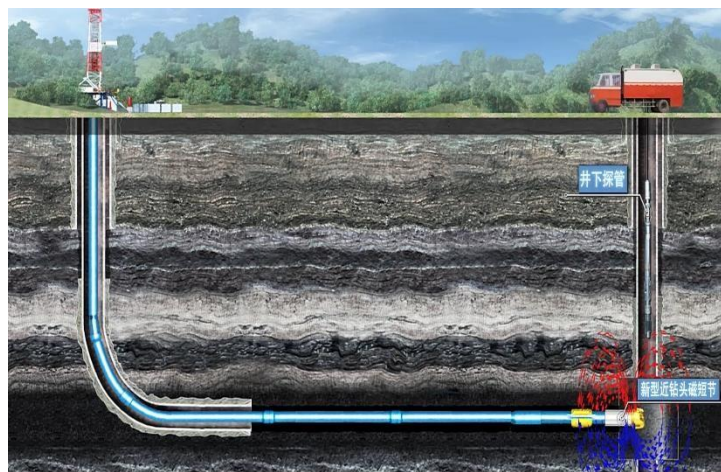
首山矿井位布置图

1. 前言

河南省煤层气开发历程

➤ 2020年至今，三区联动开发阶段

构建了“井下抽放巷”- “地面采动L型井”- “地面采动定向井”联作的卸压立体抽采模式



1. 前言

煤层气地面开发的地质难点

1. 煤层气储层复杂

- 矿区复杂地质含煤层数多、层间差异大、煤层厚度变化大，储层物性差异大。碎粒煤、糜棱煤煤体机构差，渗透率和孔隙率低。

2. 地质构造复杂

- 多煤层矿区地质构造复杂，断层、褶皱等地质构造发育，对煤层气的富集和运移产生影响。

3. 井筒稳定性差

- 多煤层矿区复杂地质条件的地层倾角变化大、煤层软、岩石强度低，钻井过程中易发生井壁坍塌、漏失等事故。

1. 前言

煤层气地面开发钻完井技术难点

1. 井控安全风险大

- 在多煤层矿区复杂地层中，由于两层压力系数差异大，井控安全成为一大难点。选择完井液时需要权衡压稳较高压力系数层和避免压漏较低压力系数层的矛盾，在储层压力异常的地区，稍有不慎就可能出现上漏下溢的现象。

2. 储层保护困难

- 煤层气的勘探开发过程中需要特别注意储层的保护。然而，由于不同煤层之间的储层差异的特殊性和钻完井技术的局限性，储层保护往往面临较大困难。

3. 钻井液选择困难

- 为最大限度保护煤层气资源，以往采用清水作为钻井液。但清水钻井存在携岩效果差、井壁稳定性差等问题。而使用其他钻井液又可能引发煤层污染和固相侵入损害等问题，同时伴随着环保问题。

1. 前言

钻完井技术难点

4. 地震破碎带井壁失稳

- 部分煤层气开发区域位于地震破碎带，地层条件不稳定，导致井漏、井壁失稳、埋卡，固井质量不合格的问题。

5. 煤矿井下安全及煤矿采掘活动与钻完井之间的相互影响

- 在一些开采时间较长的煤炭资源区，上部煤层采空区、井下废弃巷道及一些隐蔽工程，给钻井安全带来不小的风险，同时钻井轨迹和煤层气开发活动与煤矿井下安全之间的相互影响也是生产中需要考虑的重要因素。

6. 煤层气井价格与施工技术难度不匹配

- 进来一些煤层气企业为了降低成本，压低钻井费用，导致在一些复杂地层施工时，无法做到使用充足的资金投入新的钻完井技术。

1. 前言

三区联动抽采模式的意义

- 1、三区联动抽采模式解决了煤层气开发与煤炭开采的时空矛盾。
- 2、三区联动抽采模式提高了煤层透气性，增加了抽采浓度和抽采量。
- 3、三区联动抽采模式在保障安全生产的同时，促进了清洁能源的发展。
- 4、三区联动抽采模式在技术上不断创新和发展。

目 录

- 1 前言

- 2 平顶山煤田煤层气地质背景

- 3 煤层气三区联动抽采模式

- 4 实际工程应用与效果

- 5 存在问题与建议

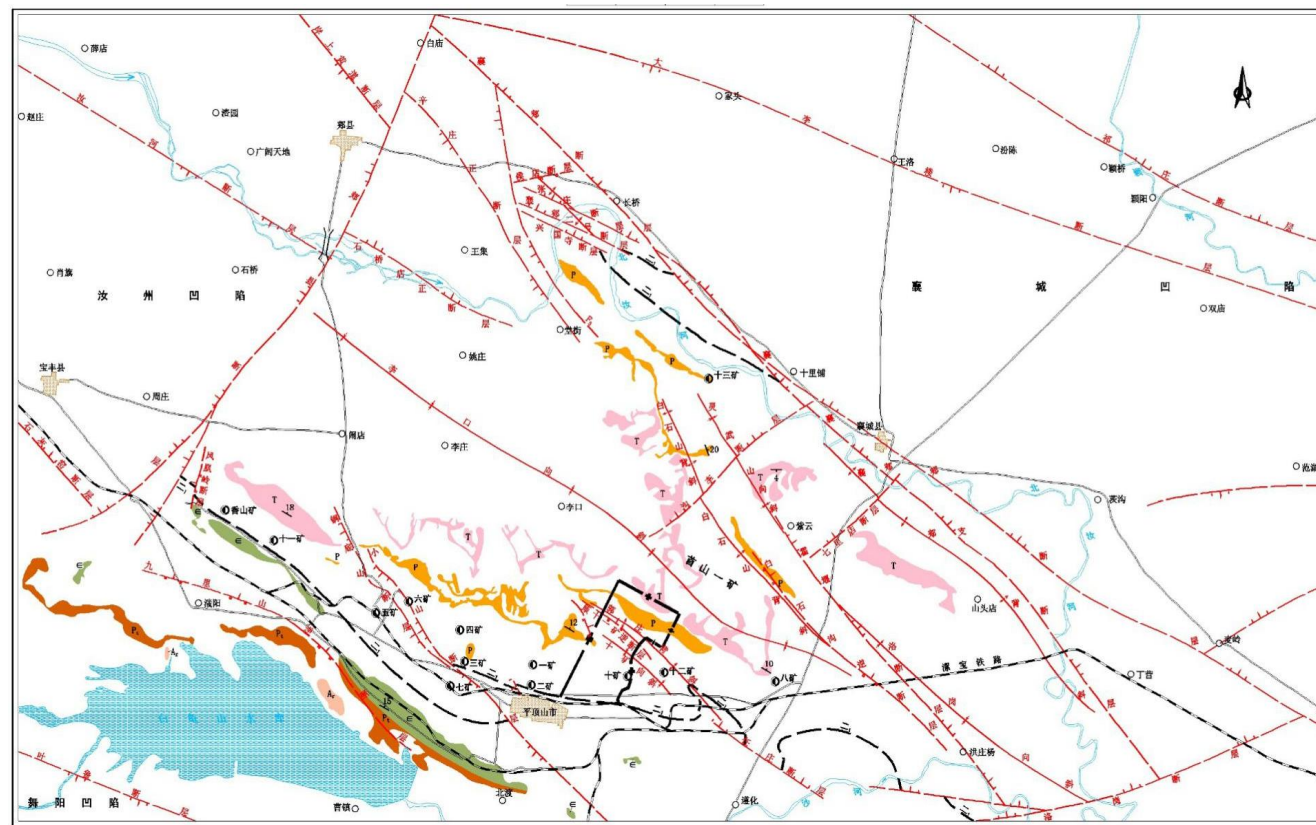
2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

平顶山矿区是国家大型煤炭基地，位于河南省的中部，与韩梁矿区一并构成平顶山煤田。矿区主要分布于平顶山市区的北部。北距郑州140km，东距许昌50km。东西长约40km，南北宽约20km，面积650km²。



2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

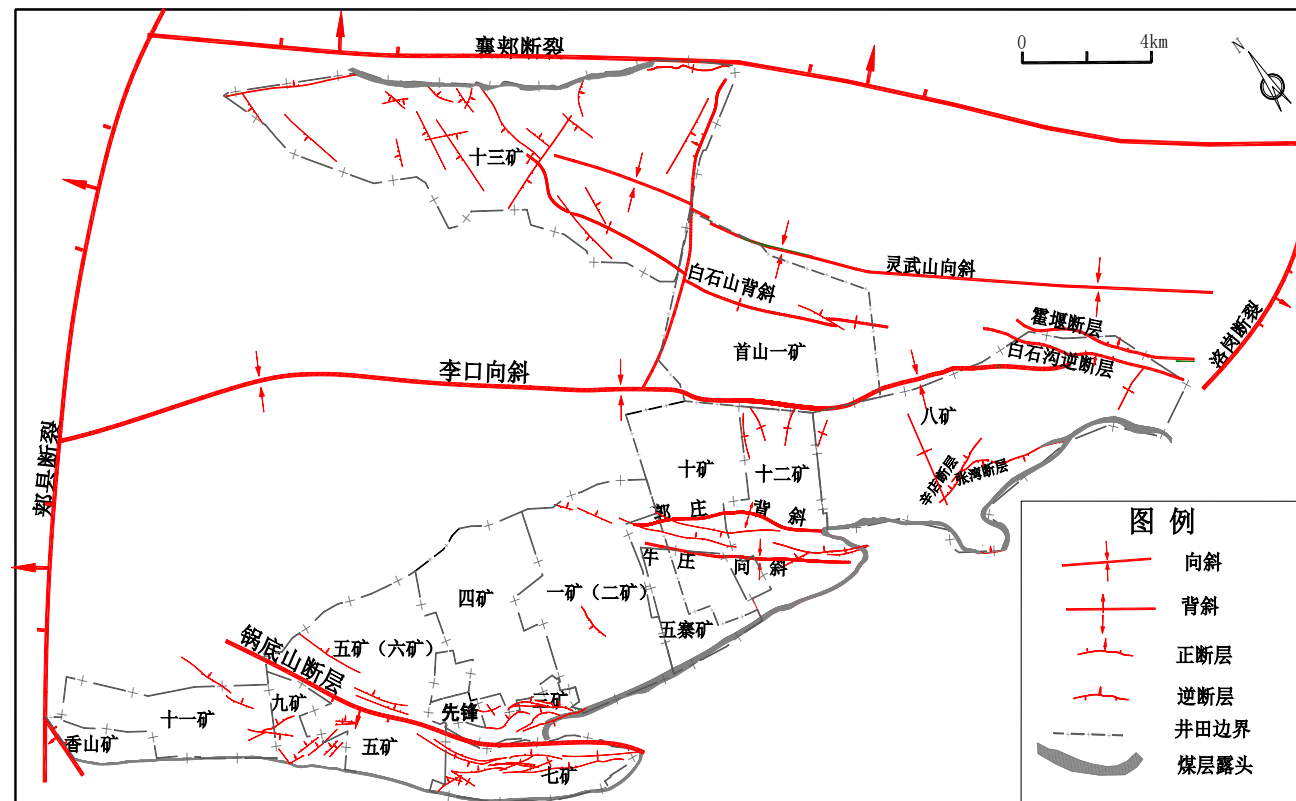
- 区内整体隆起，四周凹陷
- 主体构造线方向：以北西向为主
- 主要构造：李口向斜、白石山背斜、灵武山向斜、襄郑背斜等
- 部分断层构造容易沟通水层或造成煤层气逸散，通常不利于煤层气储存和开发，部分断层也可起到封堵作用阻止煤层气逸散



平顶山矿区构造纲要图

2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

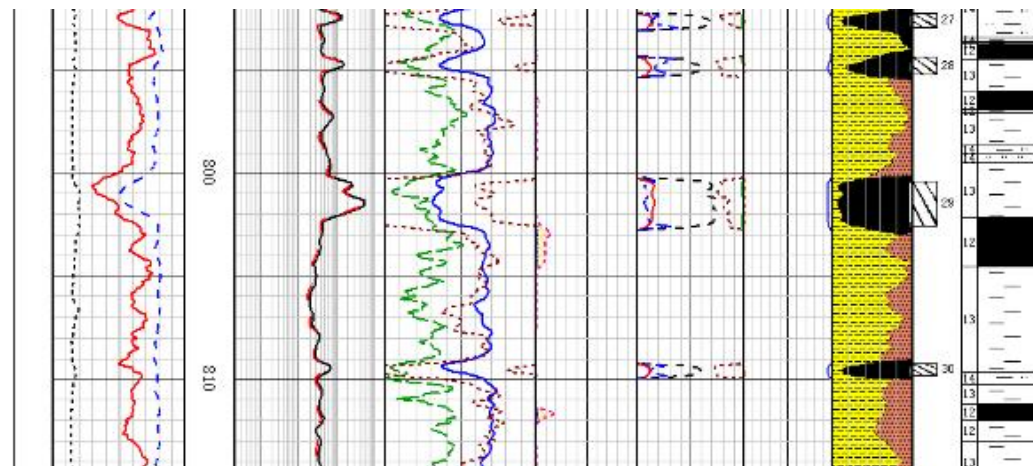
平顶山煤田含煤地层为晚古生代二叠纪含煤岩系。含煤地层自下而上划分九个含煤段，其中太原组为一煤段，山西组为二煤段，下石盒子组划分为四个煤段，依次为三、四、五、六煤段，上石盒子组划分为三个煤段，依次称七、八、九煤段。各含煤段之间均为连续沉积，含煤地层总厚度平均756.64m，含煤及层位74层，煤层厚度18.26m，含煤系数2.39%，可采煤层为一₂、一₄、二₁、二₂、四₂、四₃、五₂、五₃、六₂、七₂煤，计10层，其中二₁、四₂、五₂煤层为全区或全区大部可采煤层。



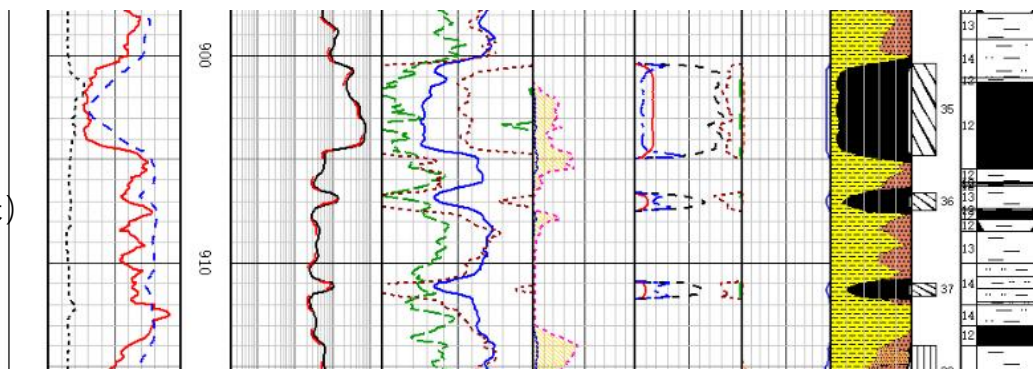
2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

平顶山矿区含煤地层为石炭、二叠系含煤岩系；共划分为九个煤段，自下而上为上石炭统-下二叠统太原组一煤段；二叠系下-中统山西组二煤段；二叠系中统下石盒子组，划分为三、四、五、六共4个煤段；二叠系上统上石盒子组，划分为七、八、九共三个煤段。其中，主要可采煤层赋存于山西组及下石盒子组，有**二₁（己₁₆₋₁₇）煤及四₂（戊₉₋₁₀煤），五₂（丁₅₋₆）煤**，其中**二煤（己）、四煤段**瓦斯含量较高。

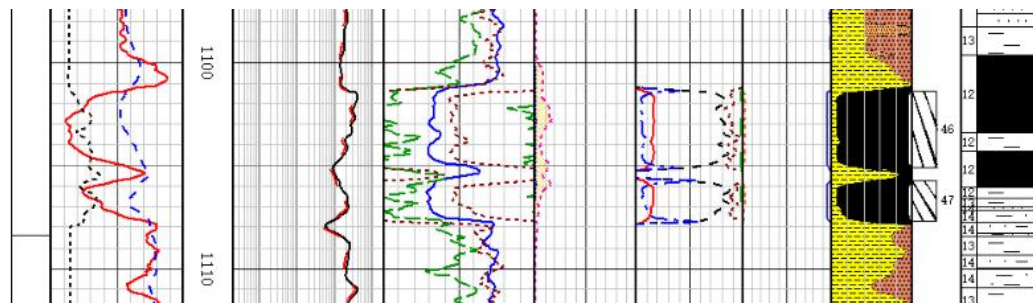
五煤段（丁）
(四煤段以上70-80米)



四煤段（戊）
(二煤段以上170-180米)



二煤段（己）

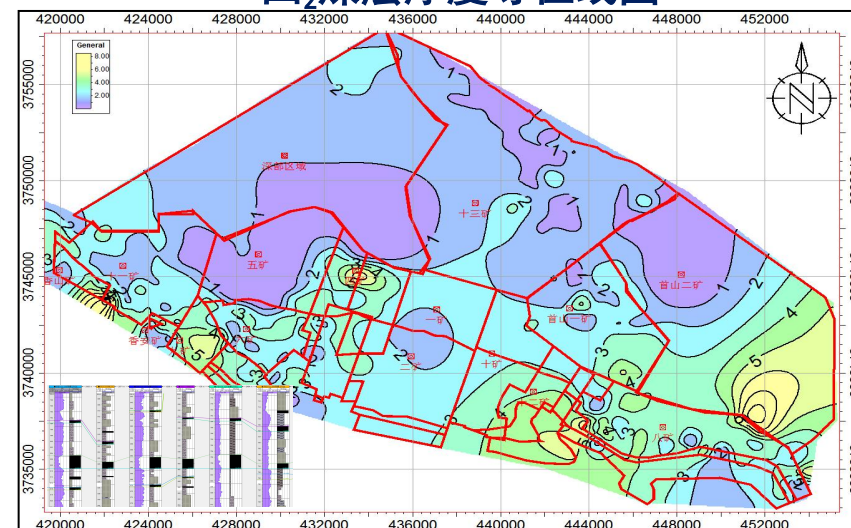


2. 平顶山煤田煤层气地质背景

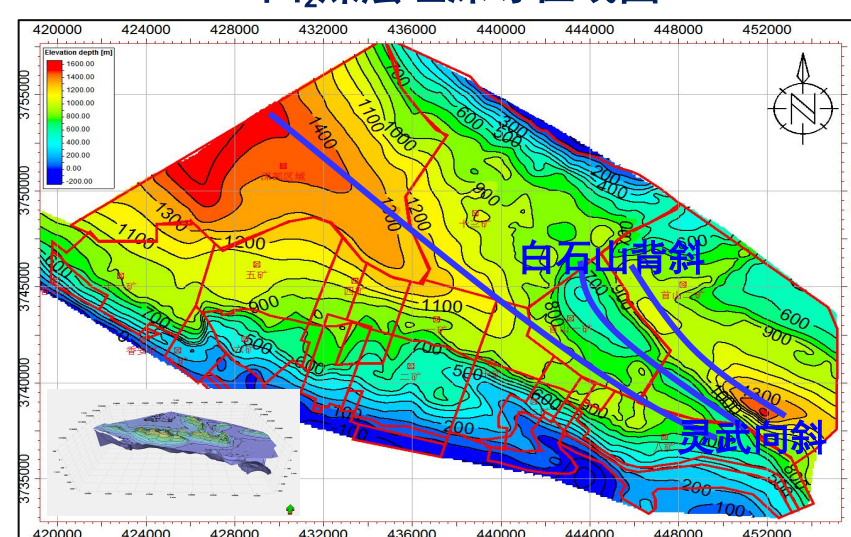
主力开发层位特性—下石盒子组四₂煤层

- 整体发育稳定
- 厚度：煤厚0.2-8.2m，平均厚度2.29m
- 埋深：四₂煤层埋深受地质构造影响较大，埋深变化范围大。受李口向斜影响，东北与西南部有煤层露头，中部和中西部埋深可达1200m。

四₂煤层厚度等值线图



四₂煤层埋深等值线图



2. 平顶山煤田煤层气地质背景

主力开发层位特性—下石盒子组四₂煤层

- 含气量:

一般在 $6\text{m}^3 \sim 18\text{m}^3$, 平均 12m^3

深部区域含气量 $13\text{m}^3 \sim 19\text{m}^3$, 平均 16m^3

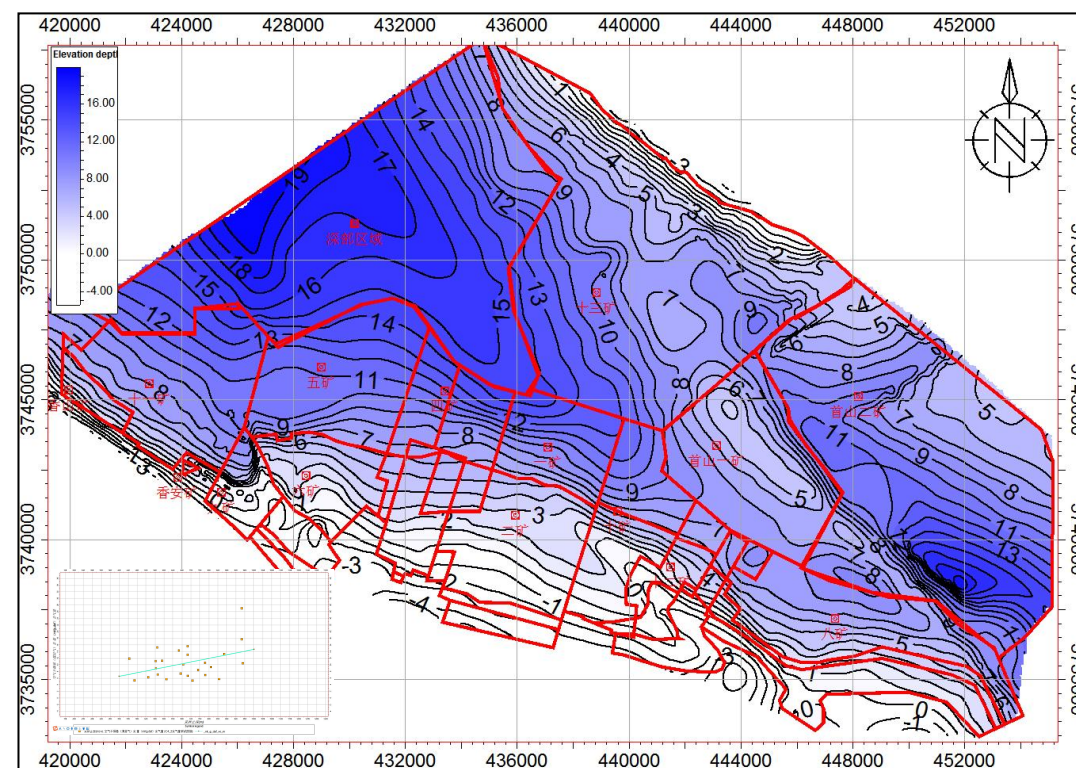
- 煤岩特征:

宏观煤岩类型以半暗煤和暗淡煤为主, 少量为半亮煤

为肥煤和焦煤

煤体结构为碎裂结构和碎粒结构

四₂煤层含气量等值线图

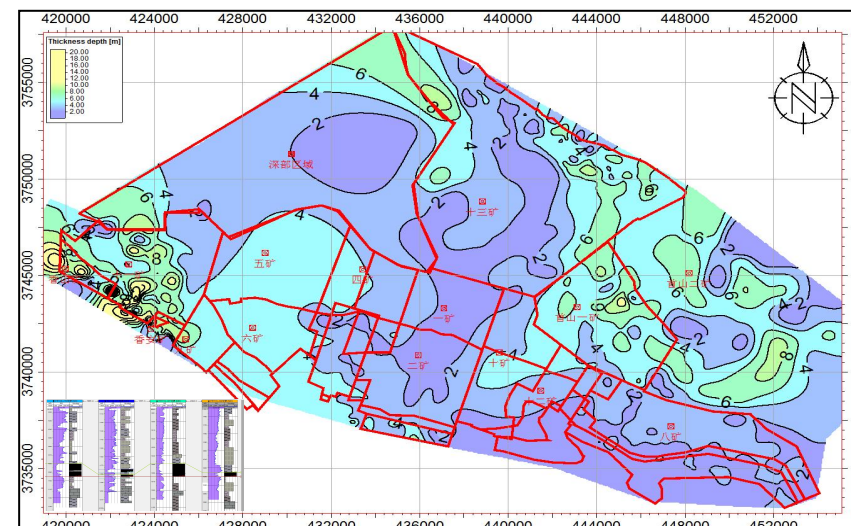


2. 平顶山煤田煤层气地质背景

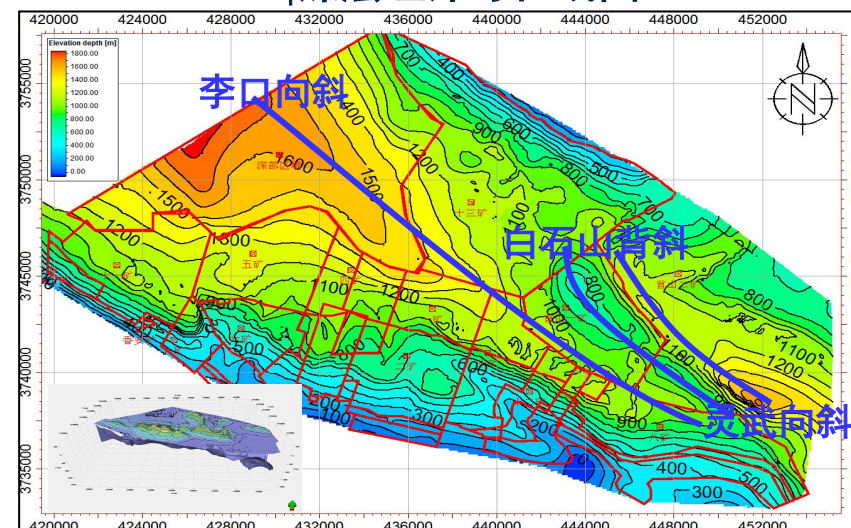
主力开发层位特性—山西组二₁煤层

- 整体发育稳定
- 厚度：煤厚0.5-8.4m，平均厚度3.81m
- 埋深：二₁煤层埋深受地质构造影响较大，埋深变化范围大。受李口向斜影响，东北与西南部有煤层露头，中西部和中西部埋深可达1500m。

二₁煤层厚度等值线图



二₁煤层埋深等值线图



2. 平顶山煤田煤层气地质背景

主力开发层位特性—山西组二₁煤层

- 含气量:

一般在 $12\text{m}^3 \sim 18\text{m}^3$, 平均 15m^3

深部区域含气量 $14\text{m}^3 \sim 20\text{m}^3$, 平均 17m^3

- 煤岩特征:

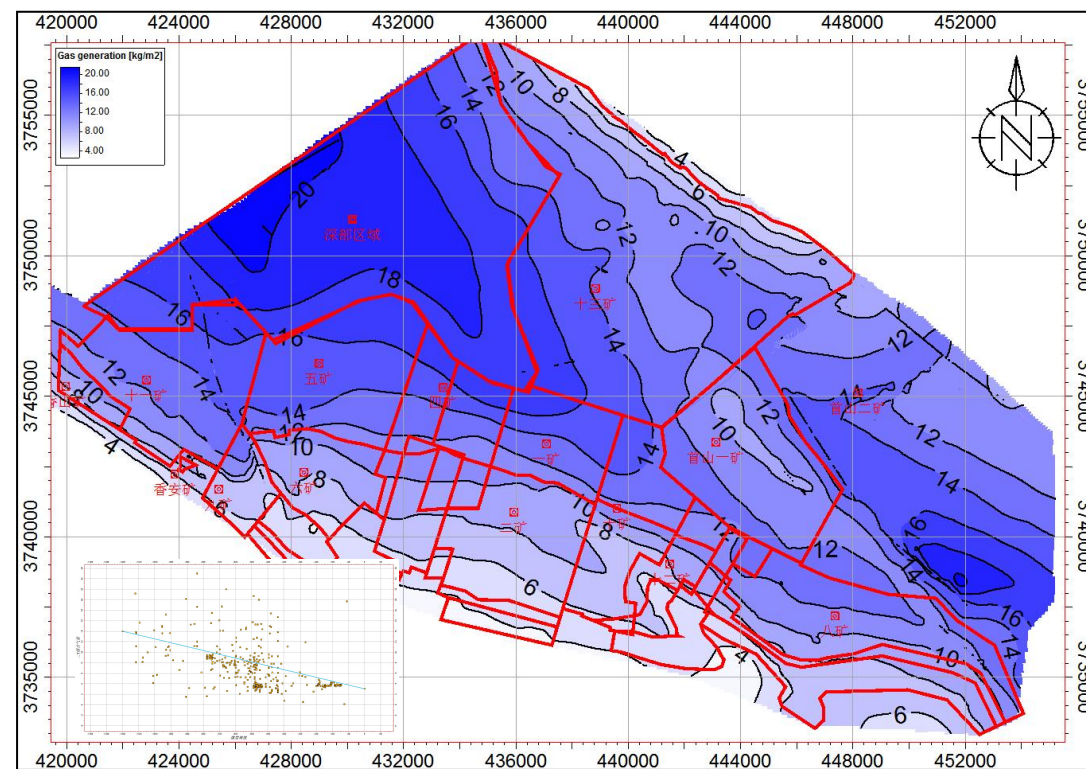
宏观煤岩类型为半亮型煤, 煤岩组分以亮煤为主,

夹少量丝炭

为焦煤、瘦煤和贫瘦煤

煤体结构为碎裂~碎粒结构

二₁煤层含气量等值线图



2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

二₁煤层顶底板岩性特征

- 二₁（己16-17）煤层顶板：大部分为中厚～厚层状泥岩、砂质泥岩，厚0.62～9.60m，一般为3～6m。
- 二₁（己16-17）煤层直接底板：大部分为泥岩、砂质泥岩，厚0～5.80m，一般为0.50～4.6m；局部为细粒砂岩，厚0～7.00m，平均厚4.63m。
- 顶底板泥岩和砂质泥岩能够防止煤层气的逸散，有利于煤层气的积累与保存。

	129	1105.80	1.10	1.00	91	7	砂质泥岩
	130	1106.00	0.20	0.10	50	7	煤
	131	1108.20	2.20	2.10	95	7	砂质泥岩
	132	1114.80	6.60	6.30	95	8	砂质泥岩
	133	1117.00	2.20	2.10	95	8	砂质泥岩
	134	1124.35	7.35	7.05	96	8	二1煤
	135	1130.20	5.85	5.65	97	7	砂质泥岩
	136	1135.40	5.20	4.90	94	7	砂质泥岩
	137	1135.60	0.20	0.10	50	7	煤
	138	1138.00	2.40	2.20	92	7	细粒砂岩
	139	1139.00	1.00	0.85	85	7	石灰岩
	140	1139.80	0.80	0.65	81	7	砂质泥岩
	141	1148.20	8.40	6.90	82	7	石灰岩

二₁煤层顶底板岩性图

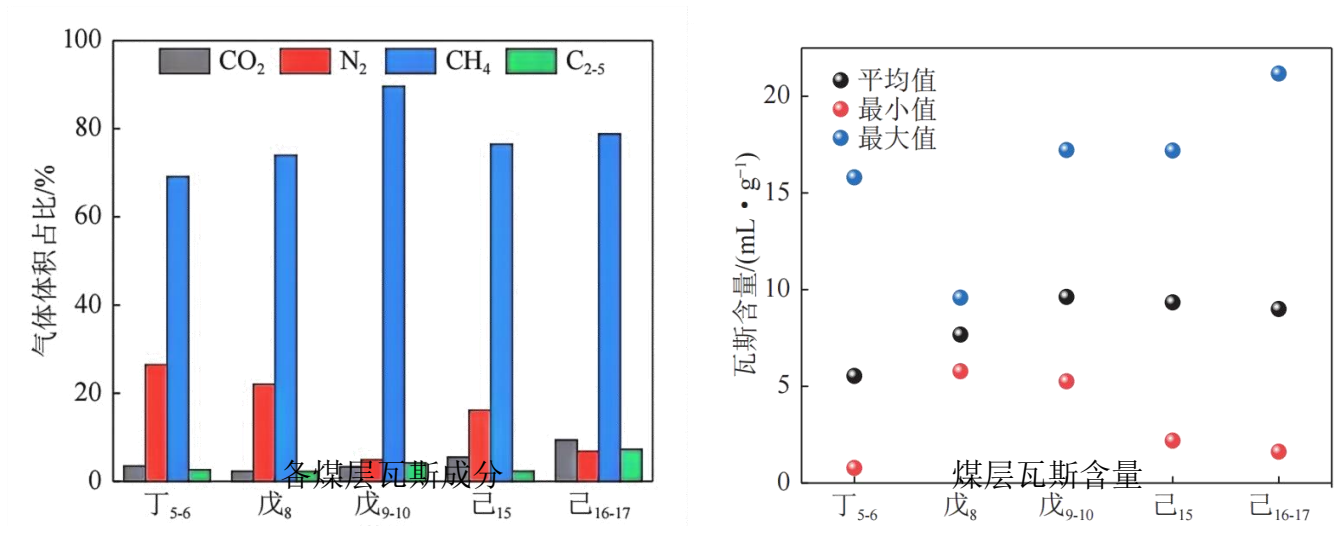
2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

煤层气资源量估算

根据瓦斯地质资料、瓦斯抽采资料、气测录井和含气量测试资料，分别构建了未采区、采空区、采动区含气量预测模型。采用块段法估算了东部五矿（平宝公司、八矿、十矿、十二矿和十三矿五对矿井）的煤系气资源量，资源量为**314.58亿m³**。

东部五矿未采区、采空区和采动区煤系气资源量分别为 **$276.98\times10^8\text{m}^3$** 、 **$20.00\times10^8\text{m}^3$** 和 **$17.60\times10^8\text{m}^3$** 。

以平宝公司公司为例，其煤层瓦斯成分、瓦斯含量及瓦斯资源量估算如下图所示：



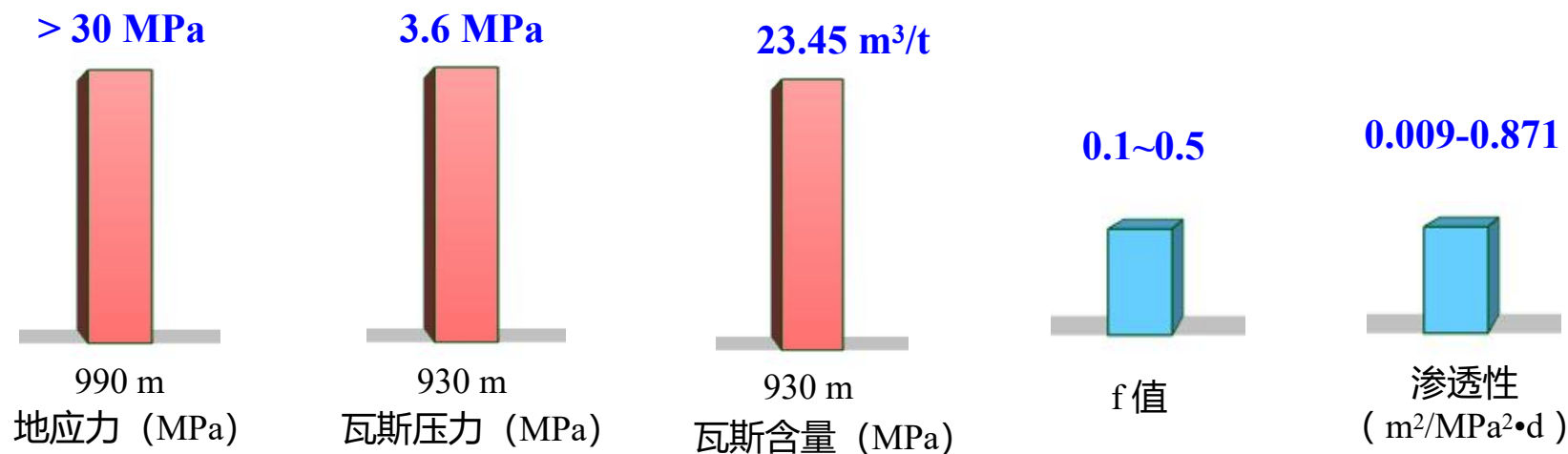
平宝公司瓦斯资源量估算表

区域	瓦斯资源量/10 ⁸ m ³			
	己 ₁₆₋₁₇	戊 ₉₋₁₀	戊 ₈	丁组煤
未采区	31.08	10.89	8.16	7.42
采动区	5.09	未采	未采	未采
采空区	2.50	未采	未采	未采
总计	38.67	10.89	8.16	7.42

3 . 平顶山煤田东部地面煤层气钻井工程实践与应用

□ “三高两低” 特性

- 高地应力——垂向应力在埋深990m处达30.45MPa，目前最大已采至埋深930m
- 高瓦斯含量/压力——压力3.6-6.61MPa，含量最高达 23.45 m³/t
- 低强度/低透气性——煤质松软，透气性系数低至0.009 (m²/MPa²•d)
- 主采己组煤层为单一煤层，经综合论证不具备保护层开采条件。



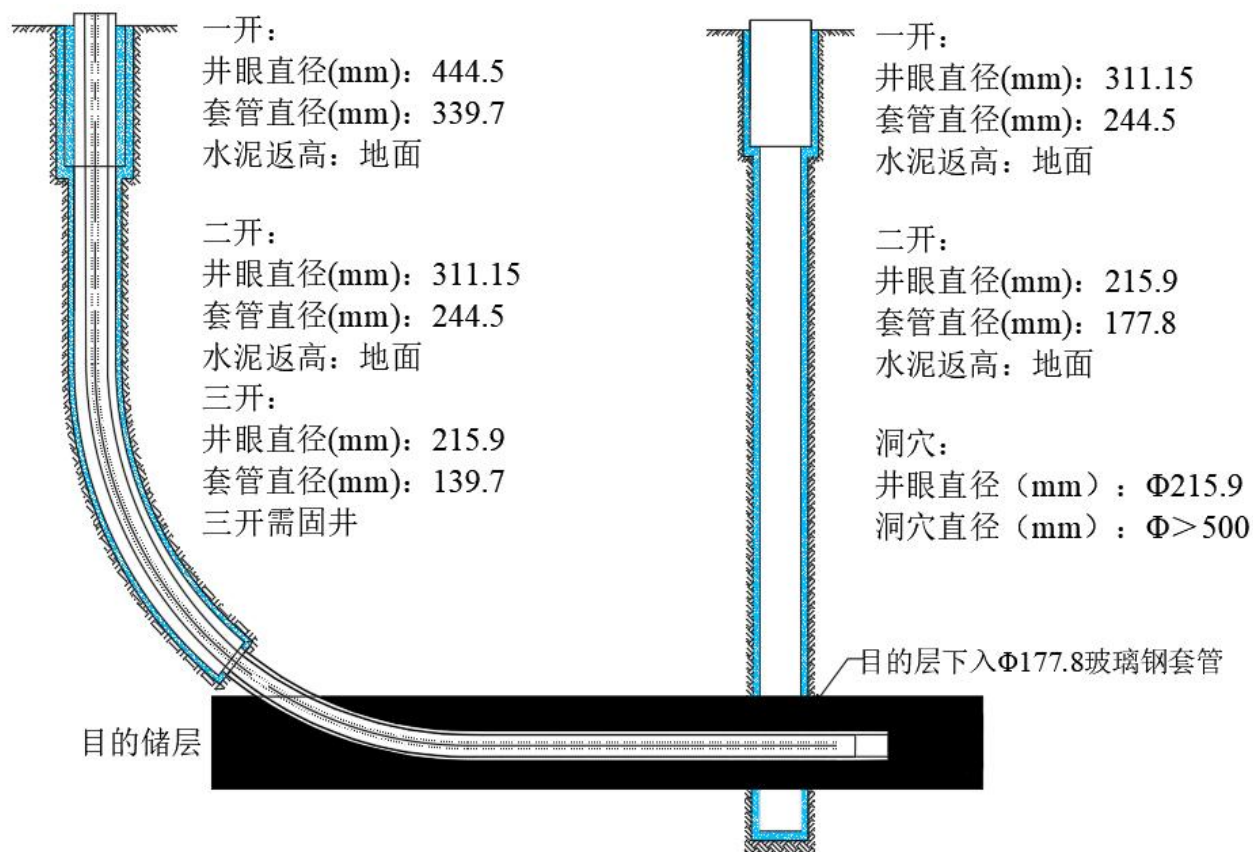
主采己组煤层具有“三高两低”特性，瓦斯治理难度大，制约矿井安全高效发展

2. 平顶山煤田煤层气地质背景

河南省煤层气资源先导性开发试验

2020年为改善能源供给结构，缓解河南省天然气供需矛盾，打赢蓝天保卫战，减轻煤矿瓦斯灾害。省政府同意开展“河南煤层气资源先导性开发试验”，由河南省资源环境调查四院负责实施，项目资金来源河南省财政厅大气污染防治专项，经费7029万元。

在平煤东部矿区的平宝公司（首山一矿）实施了一组U型对接井。**省内首口针对松软中煤阶煤储层、埋深与位移超千米的U型水平对接井。**



SY-01U井组

2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

施工难度：

目的煤层埋深1000m左右，煤体结构为碎粒-糜棱煤，煤体结构在垂向上整体表现为上部块状，中下部为粉煤。

水平段钻遇煤层水平方向上存在块煤-粉煤-块煤的相变规律。水平段中前部为块状，但硬度差，手捻易碎呈粉状；中段块煤为主粉煤次之，后段为粉煤为主，尾端则较硬的块状为主。

以上导致水平段井壁极易坍塌掉块和缩径现象，给施工带来很大的难度。

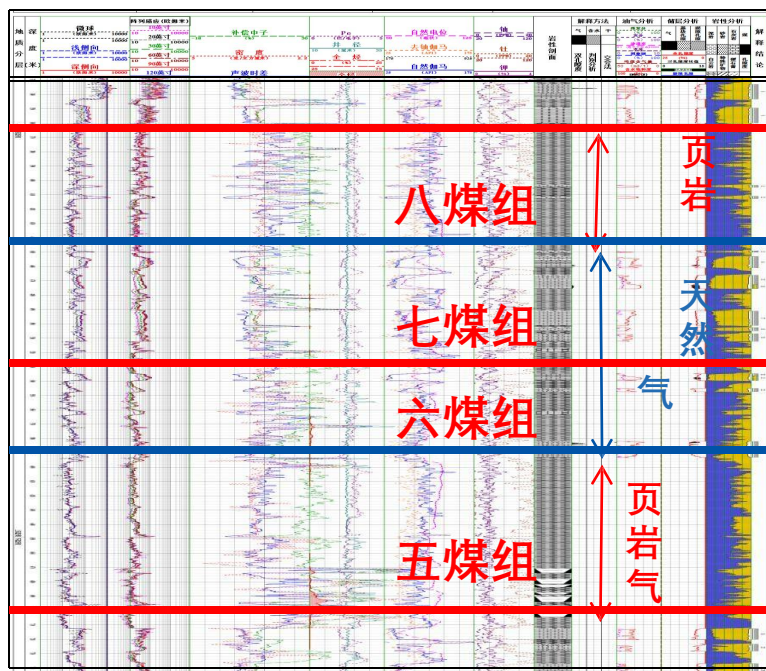


2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

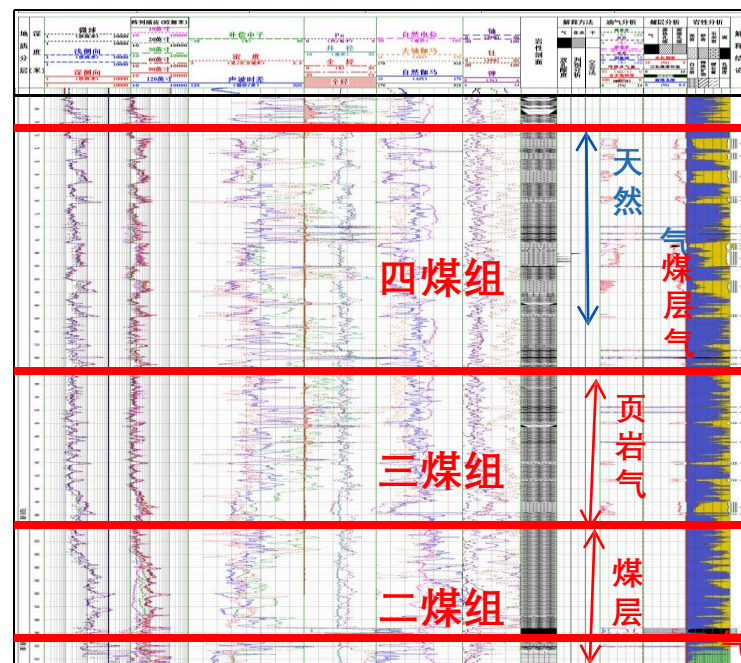
□ 煤系气地面抽采实践成果

➤ 成果一：摸清了平顶山矿区瓦斯赋存规律，改变了传统认识

纵向上，平顶山矿区含煤地层由下向上，划分为二、三、四、五、六、七、八等七个煤段，其内发育煤层气、天然气、页岩气三套煤系气气层。二、四段煤层气成藏条件好；四、六、七段天然气富集因素有利；三、五、八段页岩气勘探有望获得突破。



平顶山矿区SY-01V井含煤层段（上段）综合测井图



平顶山矿区SY-01V井含煤层段（下段）综合测井图

2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

□ 煤系气地面抽采实践成果

- 成果一：摸清了平顶山矿区瓦斯赋存规律，改变了传统认识
采空区煤层气资源量等于采空区空间游离气量、垮落带中游
离气量、裂隙带中游离气量之和，即：

$$Q_c = Q_y + Q_m$$

其中， Q_y 为采空区空间游离气量采空区煤层气资源量,采煤过程中遗留在采空区的甲烷气体释放率按10%计算,可表示为：

$$Q_y = (1 - \eta_1 + \eta_2) \times S_c \times H_c \times D_c \times C_c / \cos \alpha / 10000$$

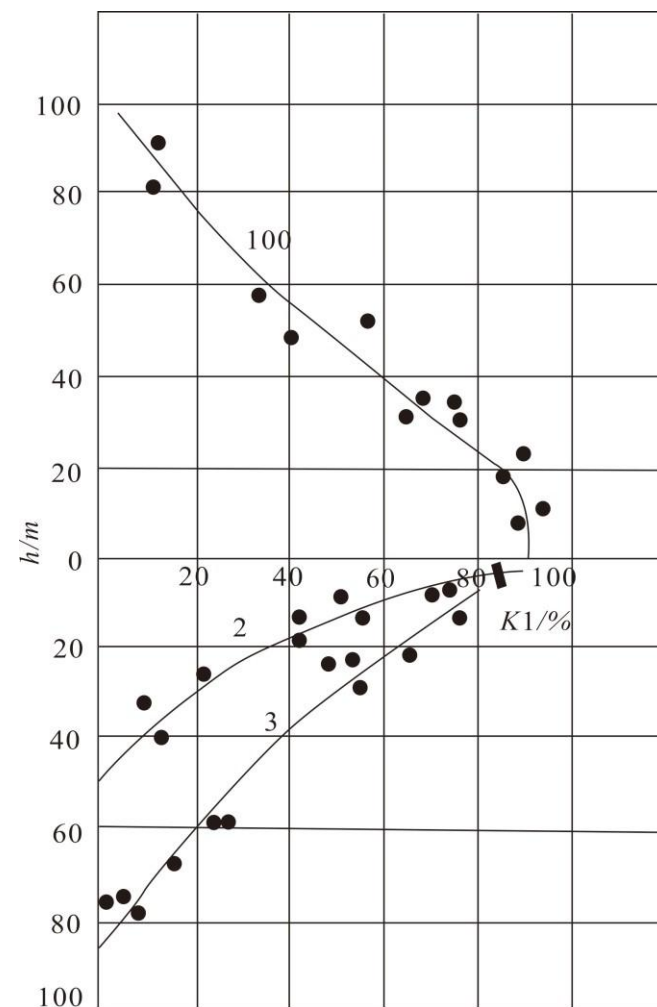
Q_m 为垮落带中游离气量。

垮落带和裂隙带的瓦斯量可表示为：

$$Q_m + Q =$$

其中， η_3 为煤邻近层瓦斯排放率，本次取平均值 40%；

Q_w 为围岩砂岩气资源量， 10^8 m^3 。



层间距和甲烷气体排放率关系

2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

□ 煤系气地面抽采实践成果

➤ 成果一：摸清了平顶山矿区瓦斯赋存规律，改变了传统认识

采动区资源量计算按照未采区体积法计算，即：

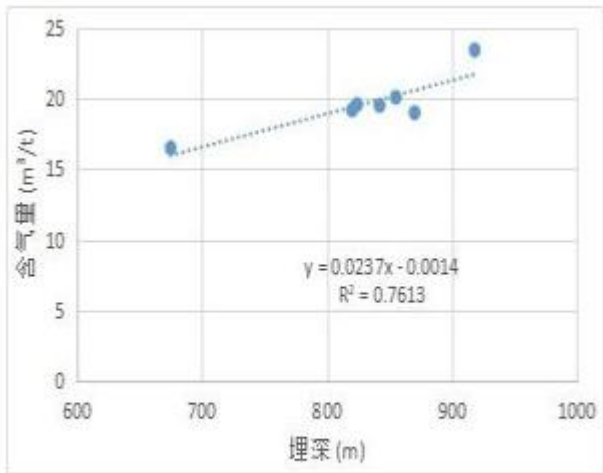
$$Q_x = S_x \times H \times D \times C$$

其中， Q_x 为煤系气资源量， 10^8m^3 ； S_x 为煤系气计算范围面积， 10^4m^2 ； H_x 为含煤岩系平均厚度， m ； D_x 为含煤岩系平均容重， t/m^3 ； C_x 为含煤岩系平均瓦斯含量， m^3/t ； α 为含煤岩系倾角， $^\circ$ 。

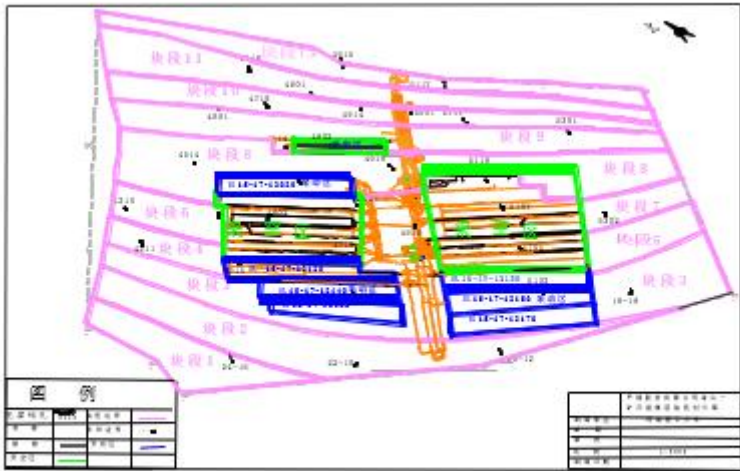
计算面积由采掘工程平面图直接求出；煤层及含煤岩系的容重为钻孔取心测试结果的平均值；煤层及含煤岩系厚度为钻孔厚度平均值；煤层含气量由实测含气量与埋深拟合关系得出；煤系气含气量确定由气测录井全烃值与实测含气量拟合关系得出。

2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

➤ 成果一：摸清了平顶山矿区瓦斯赋存规律，改变了传统认识



实测含气量和煤层埋深关系



首山一矿块段划分

采空区煤系气资源量评价结果

采空区							
名称	平面面积km²	煤层倾角	倾斜面积km²	视密度t/m³	煤层厚度/m	含气量m³/t	资源量10⁸m³
采空空间游离瓦斯	5.26	15	5.45	1.35	5.73	20	2.11
围岩运移到采空区瓦斯量	5.26	15	5.45	2.55	10.89	0.65	0.39
总计			5.45				2.50
资源丰度/10⁸m³/km²							0.46

2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

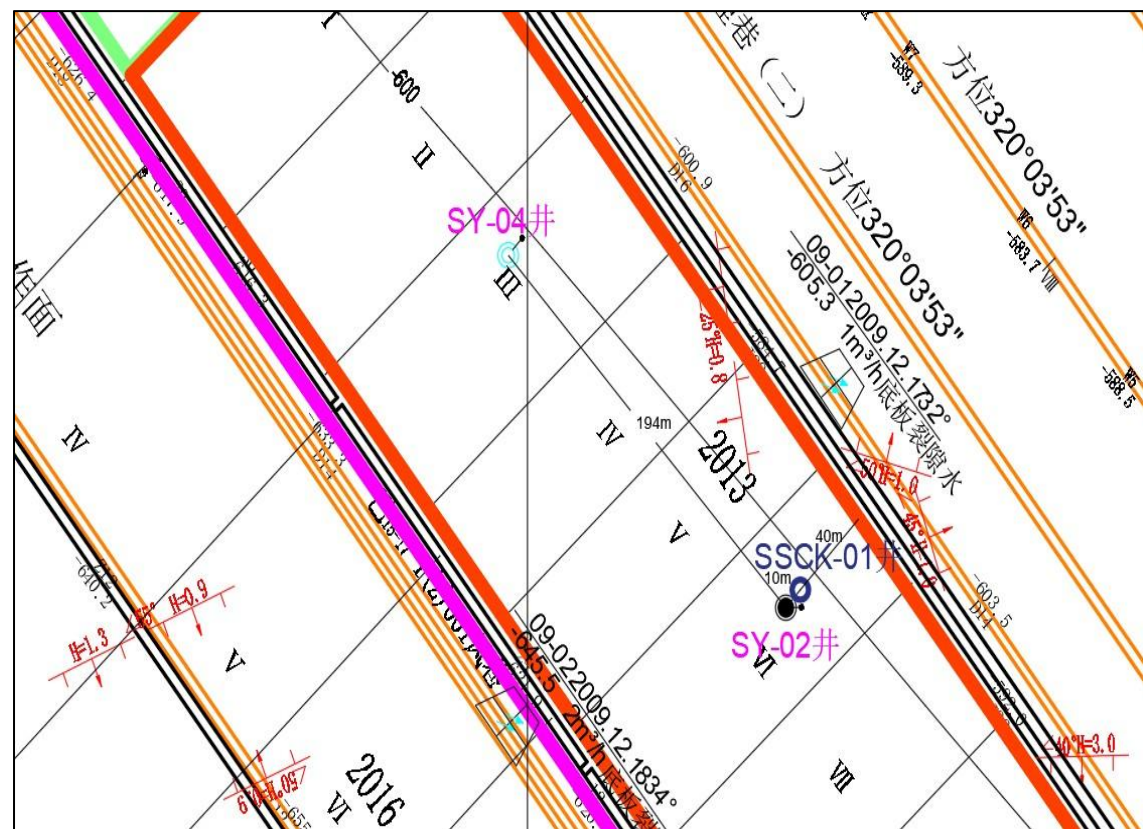
➤ 成果二：创立了平顶山矿区煤系气地面抽采的技术体系

采空区井位部署

地面情况：选择地形缓、交通便利的位置施工，便于施工，投运，集输及利用

地质方面：避开断层及陷落柱构造；布置在瓦斯富集区

采空区瓦斯运移：上部形成气体富集区域，下部形成地下水的富集区域



井位部署图

2 . 平顶山煤田煤层气地质背景

研究先导性试验成果规模化路径

先导性试验引领并建立了平顶山煤矿原位区、采动区、采空区立体化抽采模式，河南煤层气勘查开发的“三区联动”模式取得了突破，先导性试验成果转化和规模化路径探索初具成效。

平顶山矿区东部五对矿井采动区、采空区和未采区的煤系气总资源量 $314.58 \times 10^8 \text{m}^3$ 。



2. 平顶山煤田煤层气地质背景

平煤煤层气勘探开发历史阶段

第一阶段

平煤自2007年开始，便确定“井上下联合抽采治理瓦斯”的思路，2007-2012河南煤层气公司煤层气预抽井勘探试验，在平顶山矿区低压、低渗、低饱和以及构造煤比较发育的地质条件下，储层改造效果不佳。

第二阶段

2021年河南资环四院一组U型预抽井勘探试验，主采煤层为二1煤，水平井采用定向射孔+泵送桥塞方式分9段在煤层中进行了压裂改造，2021年7月开始排采，累计产气量**55400方**，抽采效果不佳。

第三阶段

2020-2022河南理工大学煤系气高效勘探利用研究，平宝公司及十矿共施工完成7口煤层气地面井（采动垂直井4口、采动水平井2口、采空井1口），目前已累计抽采瓦斯纯量达到**1782万方**，平均单井抽采瓦斯纯量达到**254.6万方**。

第四阶段

2023年至今，采动井通过优选工作面，优化井位井型设计实现了日产气量**25万方**，单井日产气量突破**4万方**；预抽水平井进行了水平段贴顶板、底板及煤层中钻进，大规模、大排量、大砂量体积压裂，超低密度陶粒支撑剂、示踪剂、广域电磁裂缝监测技术引入，正在进行效果验证。

目 录

- 1 前言

- 2 平顶山煤田地质背景

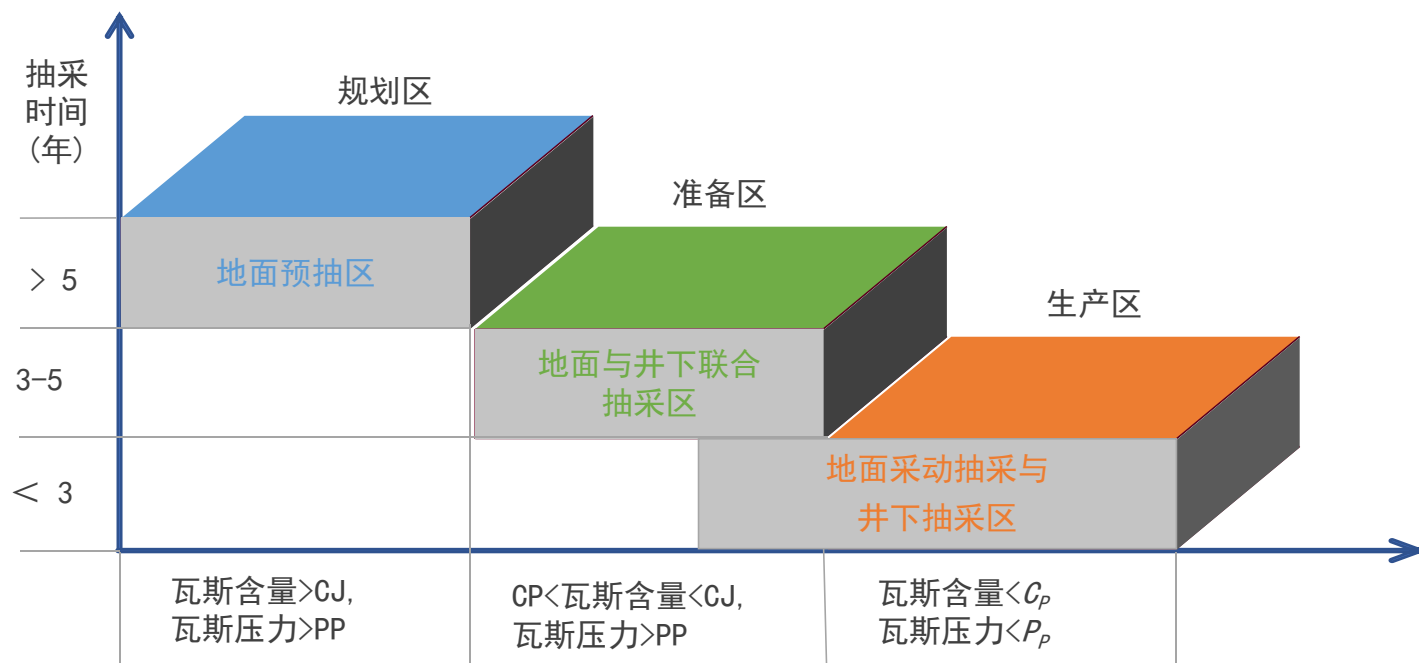
- 3 煤层气三区联动抽采技术体系

- 4 实际工程应用与效果

- 5 存在问题与建议

3. 煤层气三区联动抽采技术体系

- 根据瓦斯矿井生产规划衔接安排，对煤矿规划区、准备区、生产区分别采用不同的瓦斯治理模式。



3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

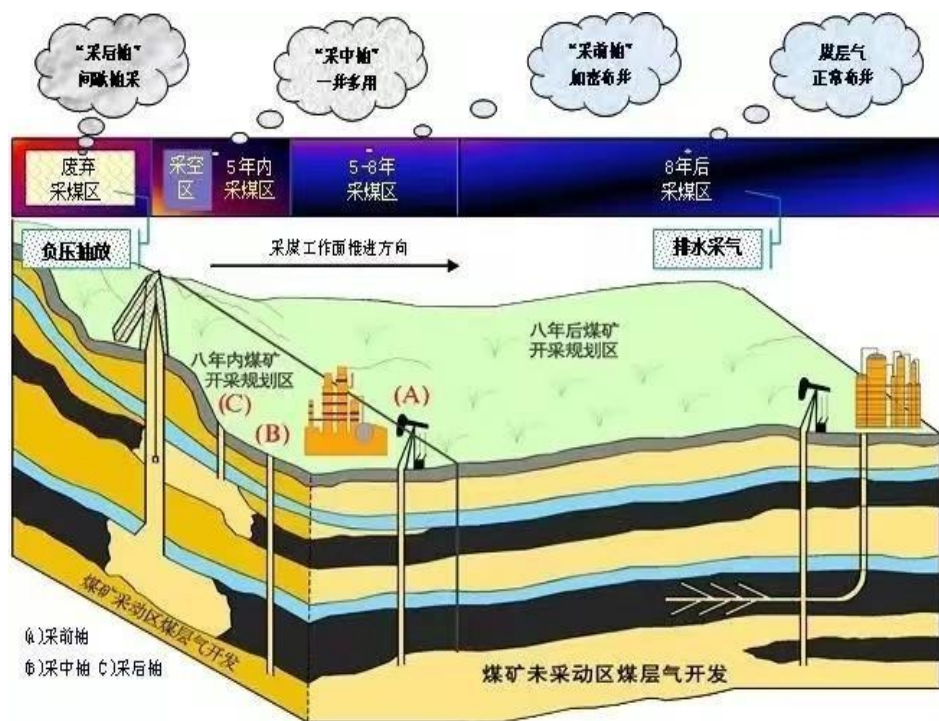
地面井分区式抽采体系化

三区在**时间**和**空间**上具有明显的分布特征，巷道开拓和煤层回采形成**采动区**，煤层回采后形成**采空区**，而未采区在整个过程中则是逐渐转化为采动区和采空区。基于三区的时空分布特征，在**未采区**布置**L型井**，以大范围预抽煤层瓦斯，降低煤层瓦斯涌出量为目的；**采动区**中设计**L型井和直井**，确保采动卸压区卸压瓦斯的高效抽采；**采空区**范围布置**直井**，主要抽采裂隙带和垮落带中瓦斯，降低采空区瓦斯涌出量。地面井的分区式设计，可以实现以空间换取时间，优化瓦斯抽采的时空协调关系。

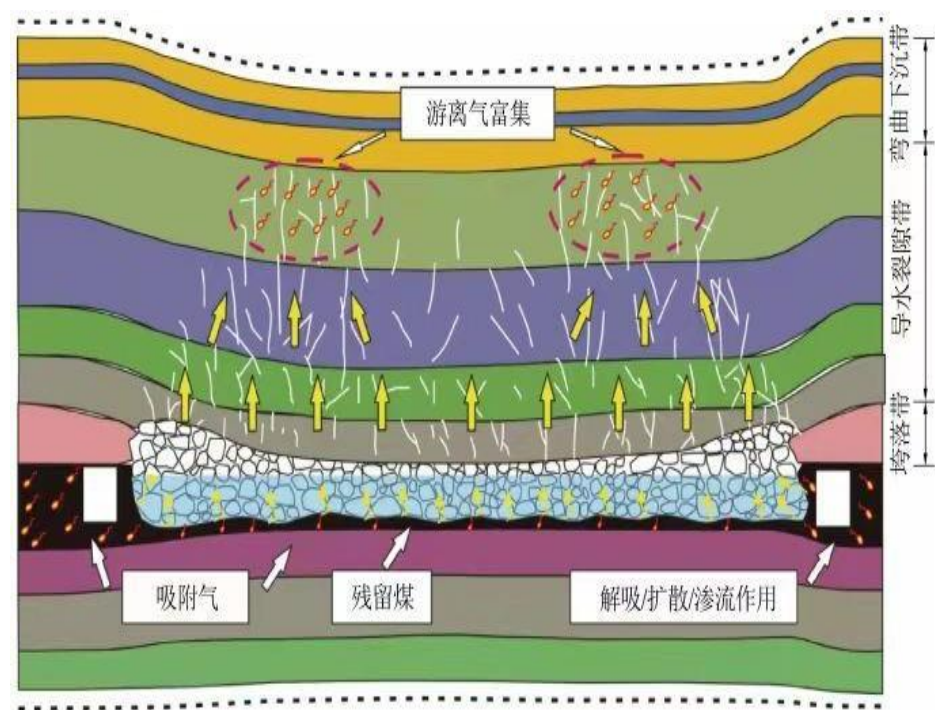


3. 煤层气三区联动抽采技术体系

采空井层位优化：采空区的瓦斯主要集中在靠回风巷一侧；倾向上：**35-50m**；走向上：**40-60m**；垂向上：完钻于二₁煤层底板。



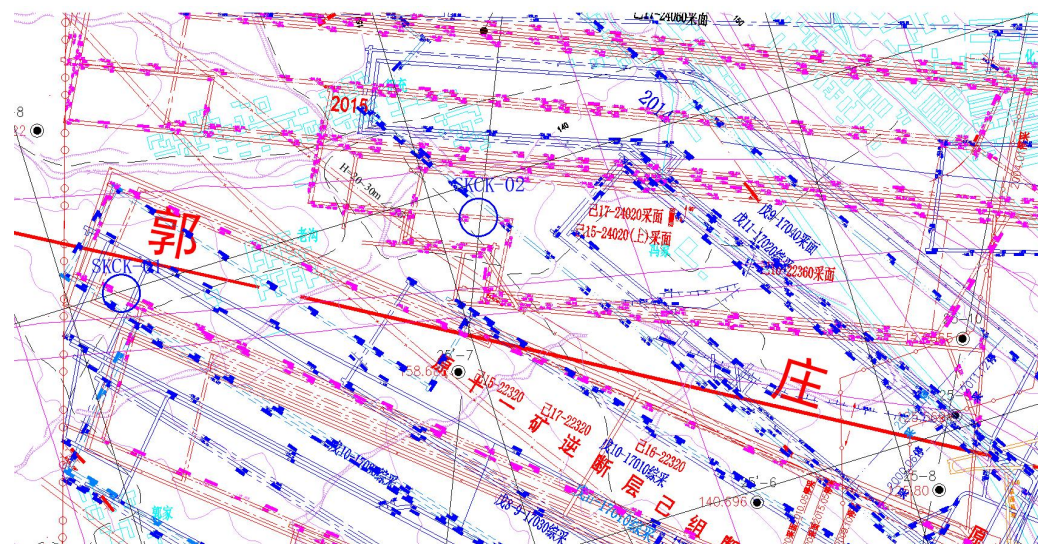
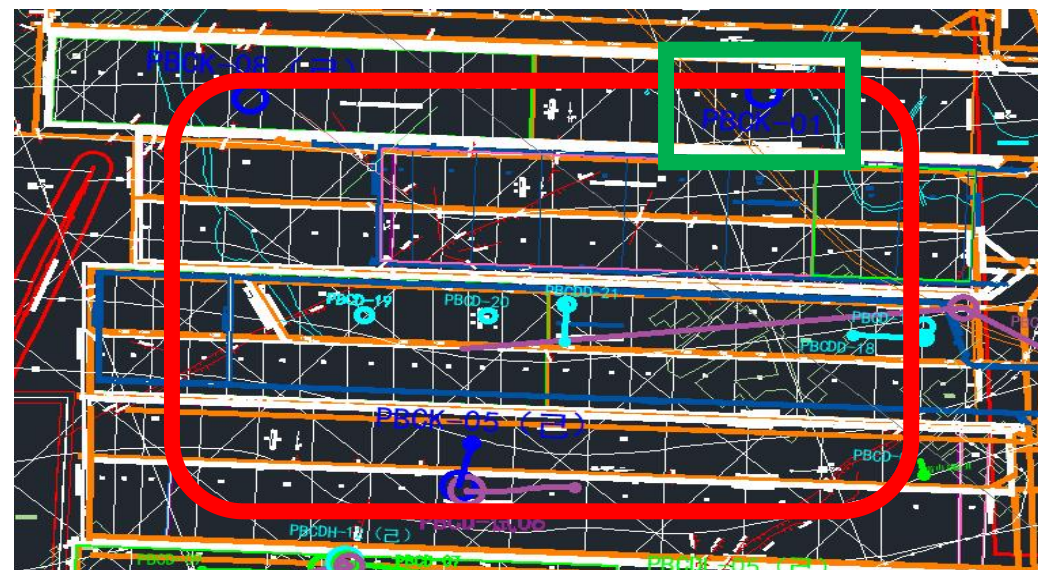
四区联动采气模式图



采空区煤层气富集模式图

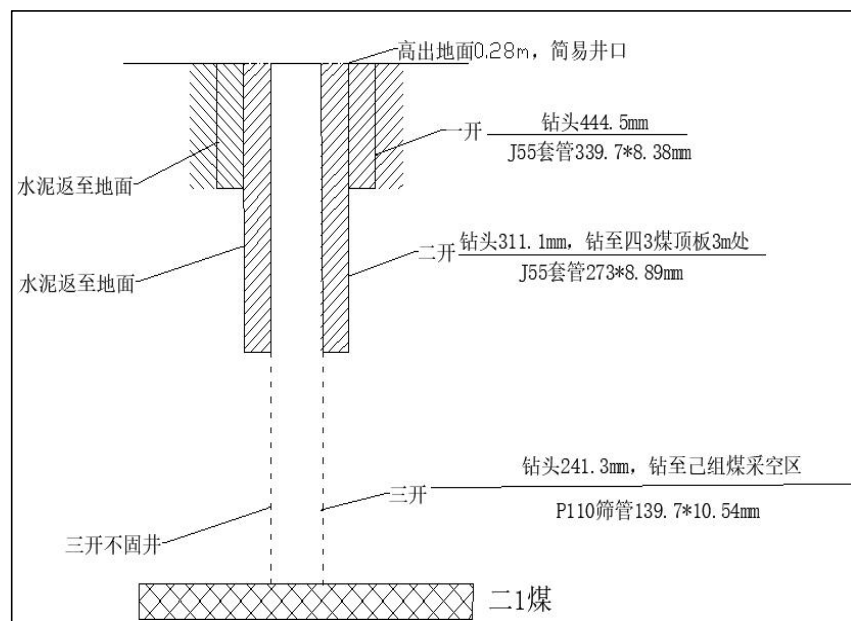
3. 煤层气三区联动抽采技术体系

- ◆ 采空井，应按照大“O”型圈理论布置，有利于抽采整个采空区瓦斯；
- ◆ 采空井不能裸眼完井，产气层段须下入筛管，存在塌孔堵塞通道现象；
- ◆ 采空井布置于构造高点有利于高产，避免采空区积水影响产气量；
- ◆ 同一采空区采空井不宜布置过多，存在争夺气源现象。

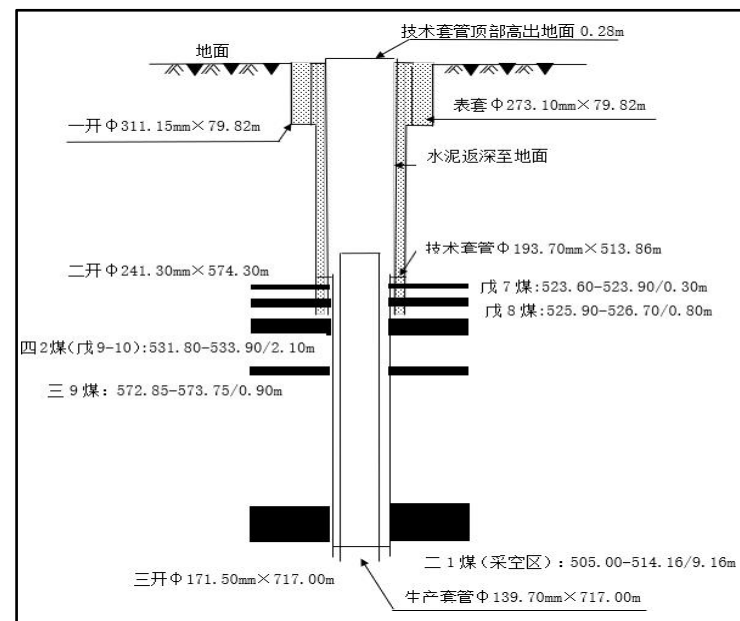


3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

采空井井身结构优化：**一开**（采用 $\Phi 311.15\text{mm}$ 钻头钻进，坐入硬基岩20m左右完钻，后固井）；**二开**（采用 $\Phi 241.3\text{mm}$ 钻头钻至四2煤顶10米左右完钻，后下入技术套管）；**三开**（采用 $\Phi 171.5\text{mm}$ 钻头，钻穿二1（己16-17）采空区，下入筛管）。



采空井井身结构图



采空井井身结构图

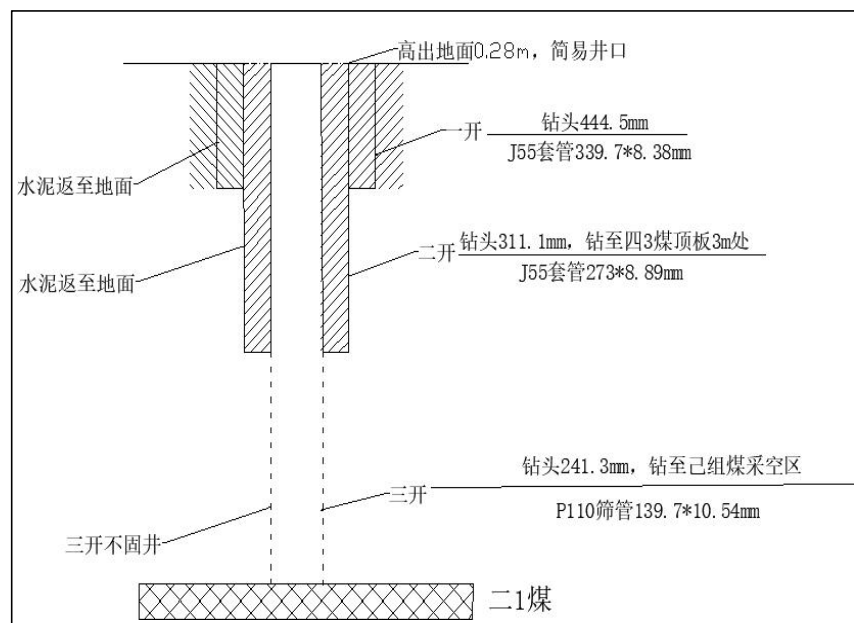
3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

采空井井身结构优化：

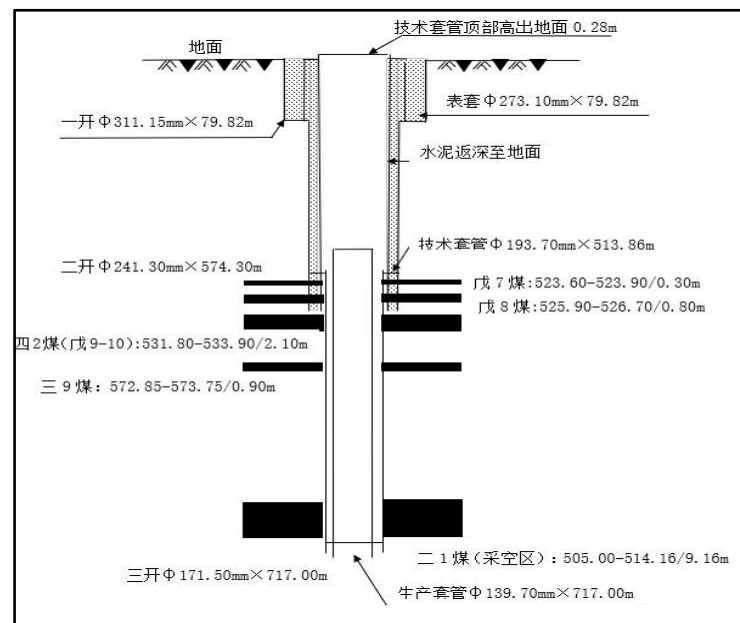
一开（采用 $\Phi 311.15\text{mm}$ 钻头钻进，坐入硬基岩20m左右完钻，后固井）；

二开（采用 $\Phi 241.3\text{mm}$ 钻头钻至四2煤顶10米左右完钻，后下入技术套管）；

三开（采用 $\Phi 171.5\text{mm}$ 钻头，钻穿二1（己16-17）采空区，下入筛管）。



采空井井身结构图

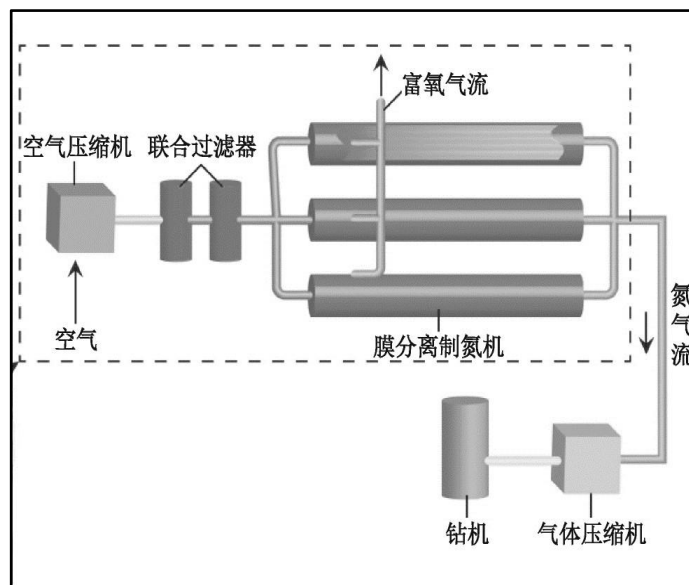


采空井井身结构图

3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

采空区钻进难点：难度在于采空区钻井液漏失，不能建立正常循环，且钻井液极易堵塞产气裂隙，损害产气通达。

氮气钻进的优点：克服了漏液和自燃的缺点。还具有减少漏风、降温、防止煤氧化和自燃、抑制甲烷爆炸等作用，极大地提高了钻井安全性。

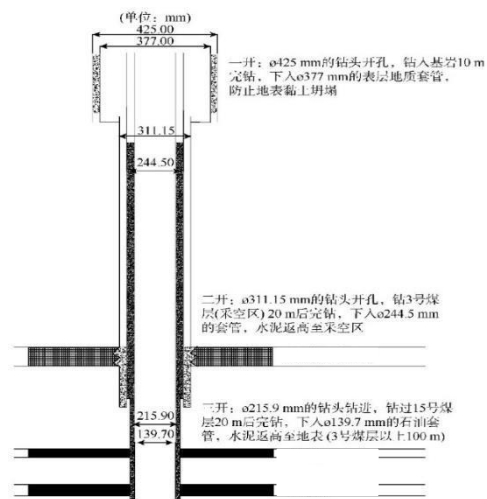


三开氮气钻井工艺流程

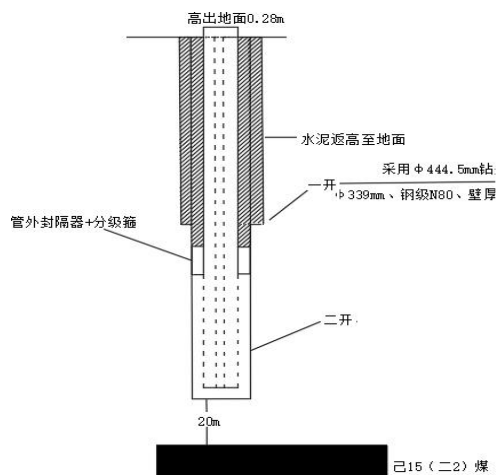


3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

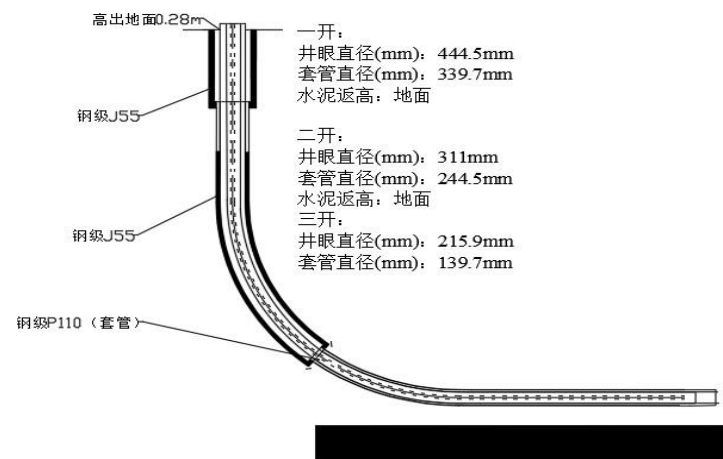
- 过采空区压缩空气钻井→氮气安全钻进
- 厚冲积层下稳孔护孔及分级固井技术
- 构造煤发育区碎软煤层钻进→顶板L型水平井高效钻进



过采空区氮气钻进



厚冲积层双套管固井



构造煤发育区顶板L型水平

3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

◆采动区井位部署

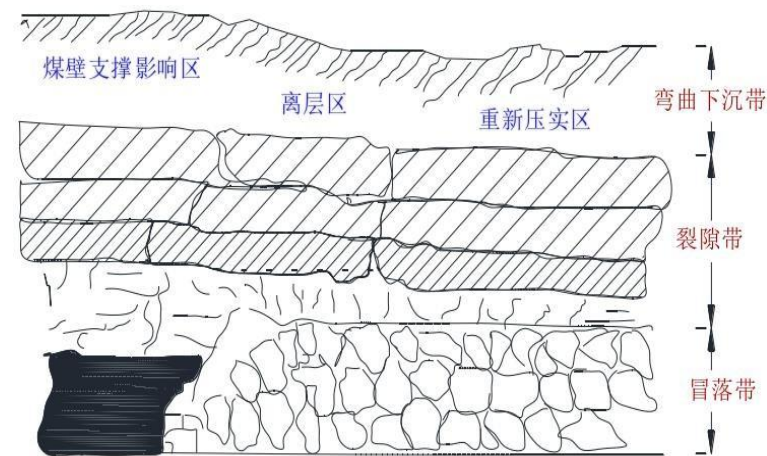
地面情况：选择地形缓、交通便利的位置施工，便于施工，投运，集输及利用。

地质方面：避开断层及陷落柱构造；布置在瓦斯富集区。

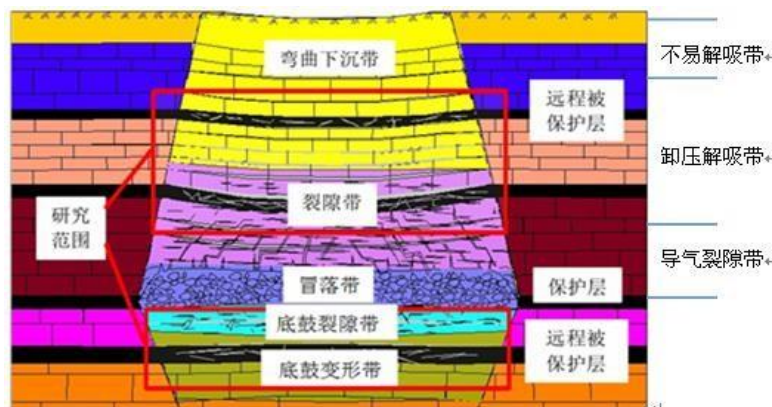
最佳井位：采动井最佳井位水平投影应在 $0.17 \sim 0.28$ 倍采长，且靠近回风巷条带区域。

瓦斯富集高效抽采区：布置在裂隙带的中下部既可保证瓦斯抽采浓度，又可保证抽采量。

井间距离：避开周期来压 整数步距以保证抽采效果。因此，走向上采动井的 井间距一般为 $80 \sim 100$ m。



横三区与竖三带



煤层顶底板采动卸压垂向分带示意图

3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

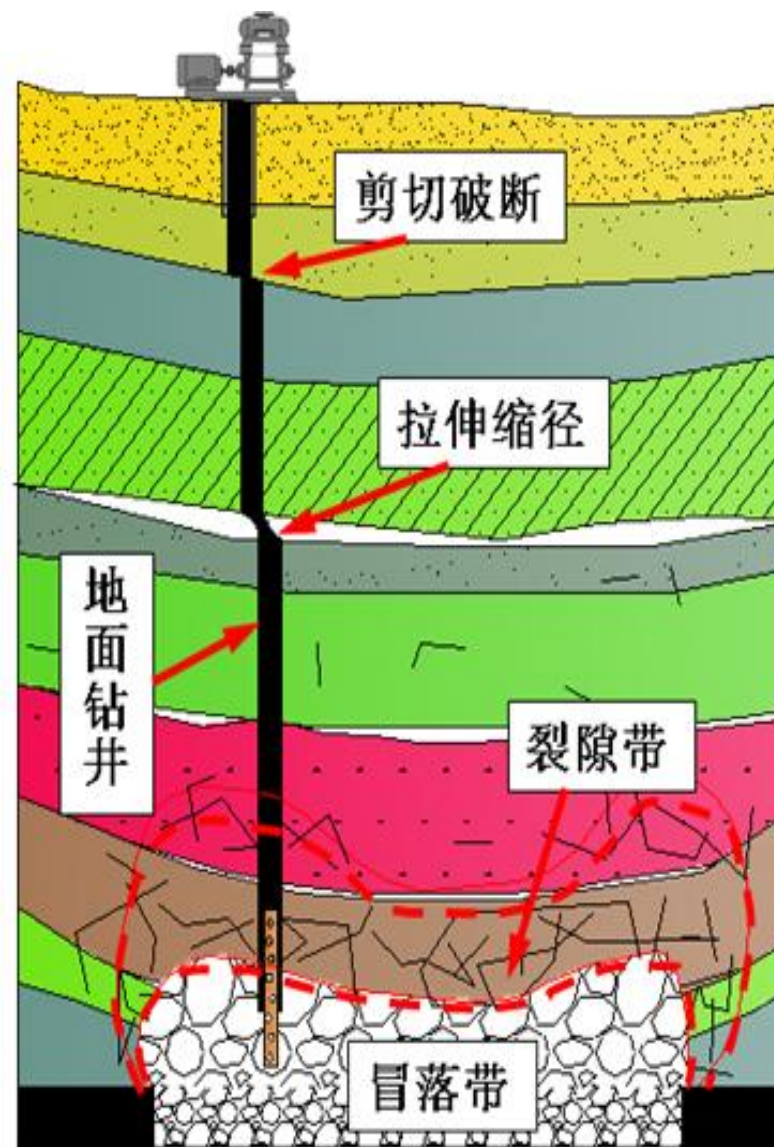
三区联动地面煤层气钻井

技术难点

在采动区施工煤层气井，主要面临问题：

◆采动塌陷会引起岩层移动，岩层移动引起井壁错断。

应对措施：针对高危易错断套管区段，安设局部防护装置，增强套管局部段抗破坏能力。



3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

三区联动地面煤层气钻井

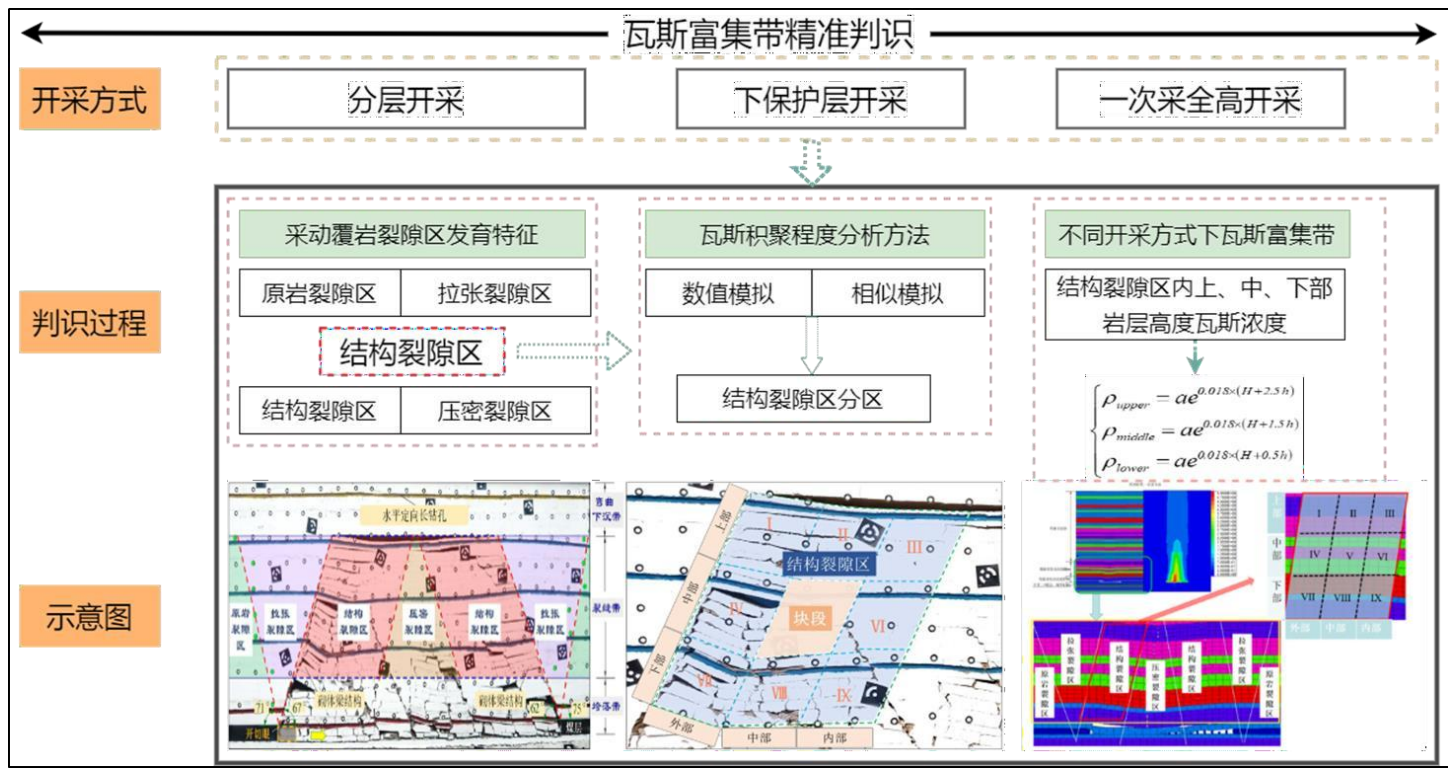
技术思路

- (1) 用“**避**”的理念：分析获得了地面井结构稳定性高、抽采效果好的最佳布井区域。
- (2) 用“**让**”的理念：完善局部固井技术，“**让**”开岩层移动量。
- (3) 用“**防**”的理念：局部防护装置，偏转结构、伸缩结构、厚壁刚性结构等。
- (4) 用“**疏**”的理念：悬挂完井技术，攻克了三开筛管段泥沙堵孔难题。

3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

◆ 采动井设计与稳孔技术

提出了不同开采方式下冒裂带内游离瓦斯富集区带精准判识法，实现了采动区瓦斯富集区带精准定位，为采动井高效抽采提供了依据



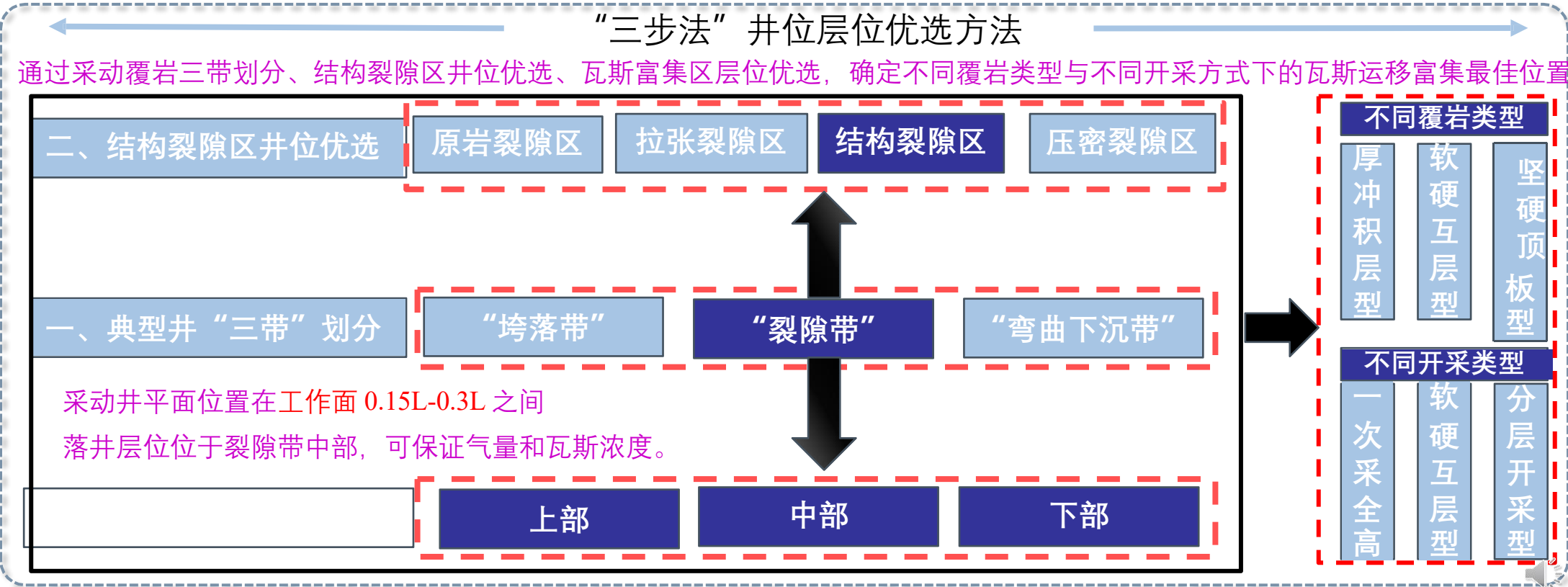
不同开采方式下采动区上覆三带可划分：为原岩裂隙区、拉张裂隙区、压密裂隙区、结构裂隙区。

通过数值模拟和相似模拟对结构裂隙区进行划分，共划分9个区带，其中II、III、V、VI为瓦斯富集区。

3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

◆ 采动井设计与稳孔技术

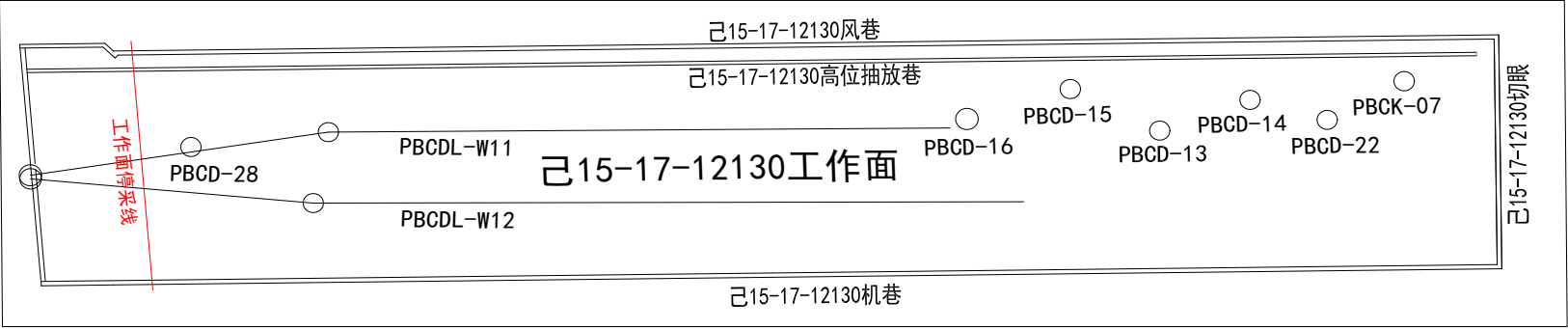
建立了采动井“三步法”井位、层位优选方法，实现了采动井井 位层位精准布署。



3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

布井方式:

□ 己₁₅₋₁₇-12130工作面共布置地面抽采井9口，其中采动直井7口，戊组采动水平井2口。其中采动直井布置在风巷向下53.6~111.4m位置，采用三花眼布置，孔间距85~117m，主要对受工作面采动影响的卸压瓦斯以及上部戊组煤层的卸压瓦斯进行抽采。

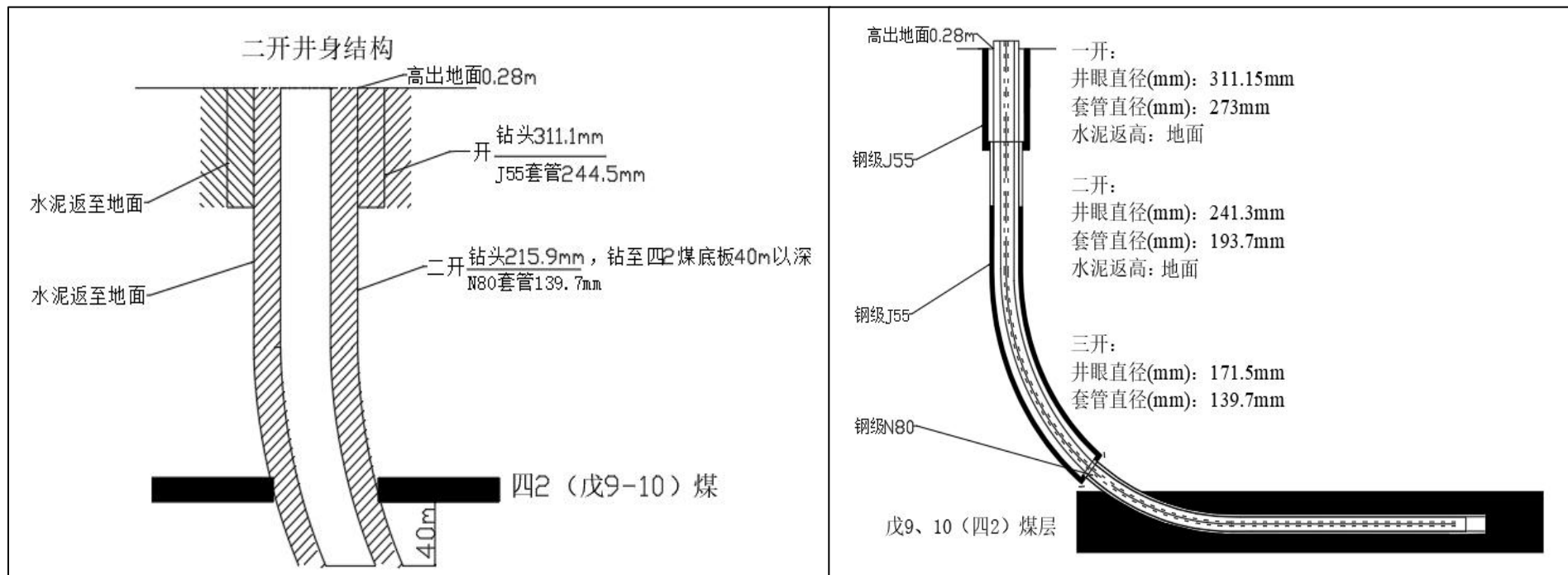


井号	设计孔深 (m)	完井深度 (m)	终孔位置距离切眼 (m)	距离风巷 (m)
PBCK-07	920	921	99	57.6
PBCD-22	910	922	184.6	96
PBCD-14	908	908	275.7	68.7
PBCD-13	910	902	378	104.5
PBCD-15	901	905	478.5	53.6
PBCD-16	891	904	595.6	89
PBCD-28	878	895	1476.1	111.4
PBCDL-W11	1573	1609 (水平段703m)	615.4	95.8
PBCDL-W12	1718	1718 (水平段800m)	535	80.8

3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

不同类型——地面采动井（压裂）

采动直井钻目标煤层以下留40m 口袋完钻；采动L型井水平段穿过煤层完钻。



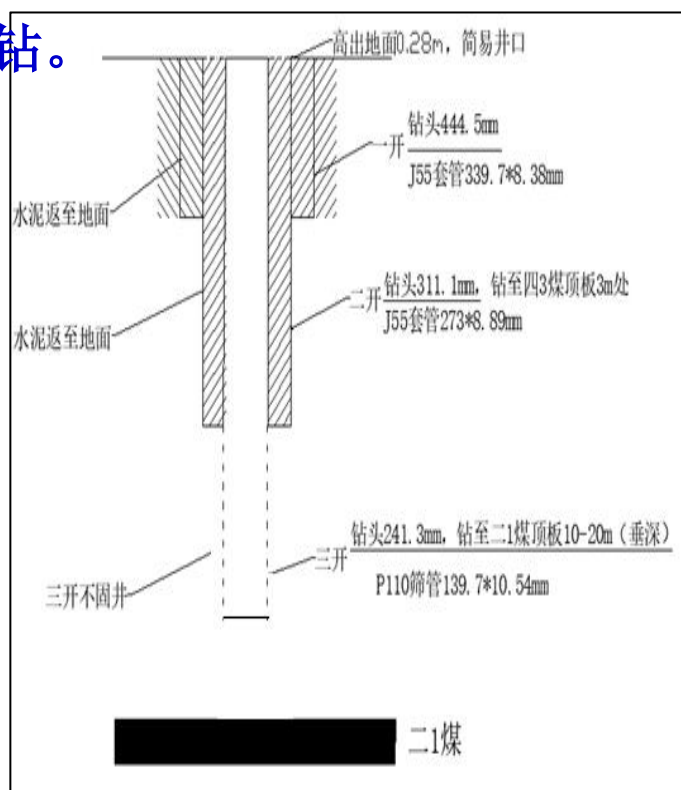
采动直井井身结构图（压裂）

采动L型井井身结构图（压裂）

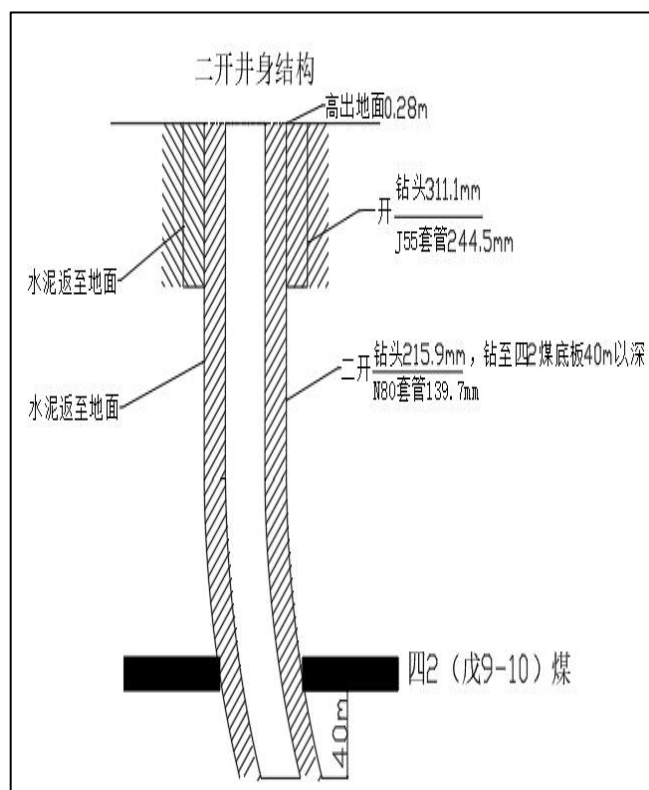
3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

不同类型——地面采动井（压裂）

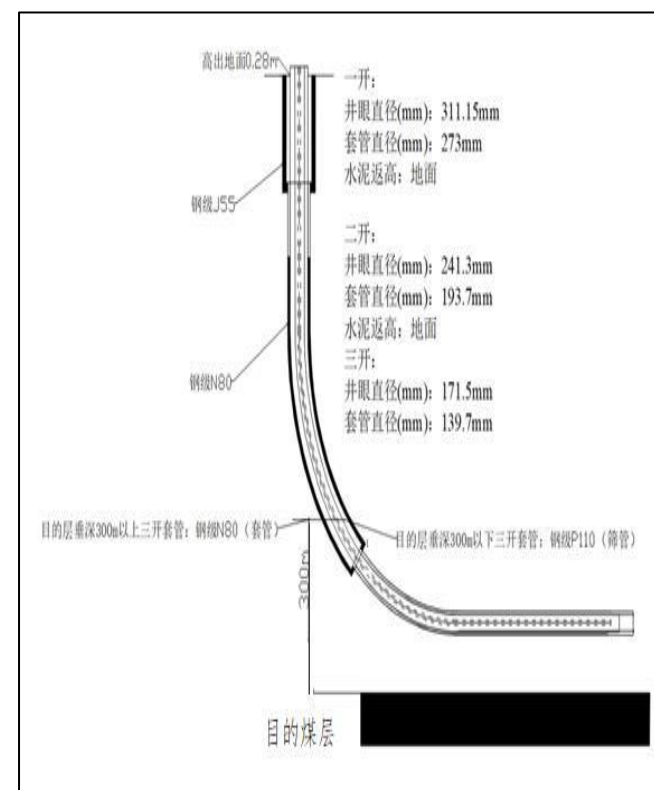
采动直井钻至二₁煤顶板或钻穿目 标煤层40m完钻；采动L型井水平段穿过煤层顶板择层完钻。



采动直井井身结构图（不压裂）



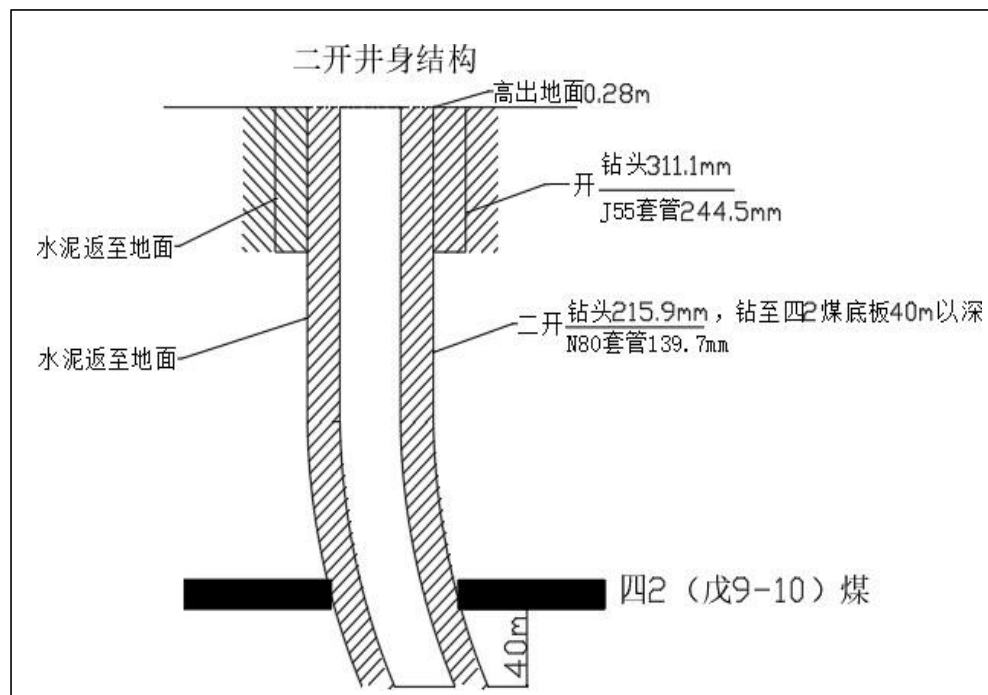
采动直井井身结构图（不压裂）



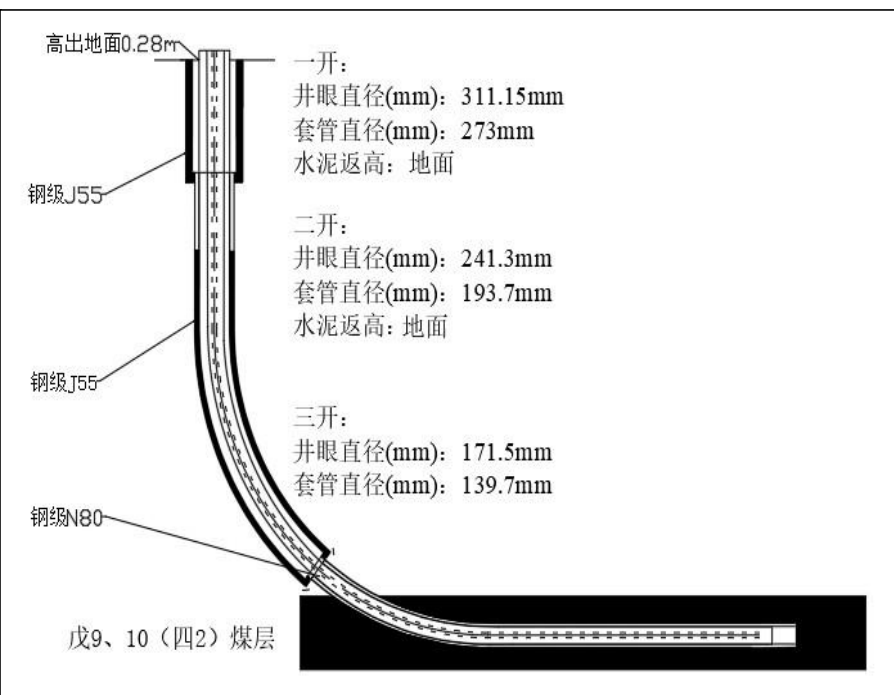
采动L型井井身结构图（不压裂）

3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

钻井工程技术——不同类型采动井（压裂井）：采动直井钻目标煤层以下留40m口袋完钻；采动L型井水平段穿过煤层完钻。



采动直井井身结构图（压裂）

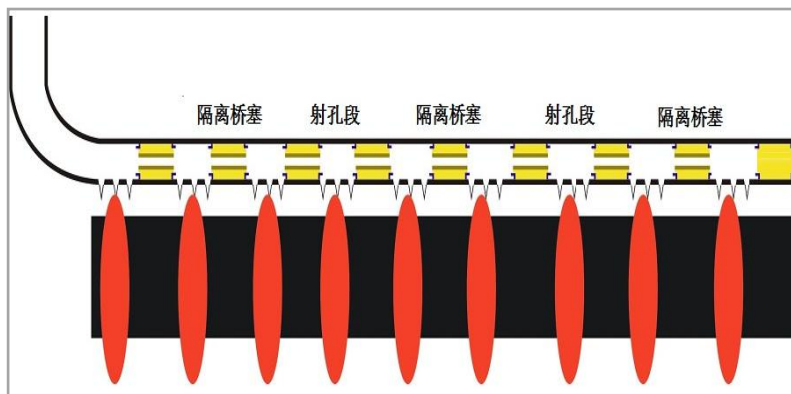


采动L型井井身结构图（压裂）

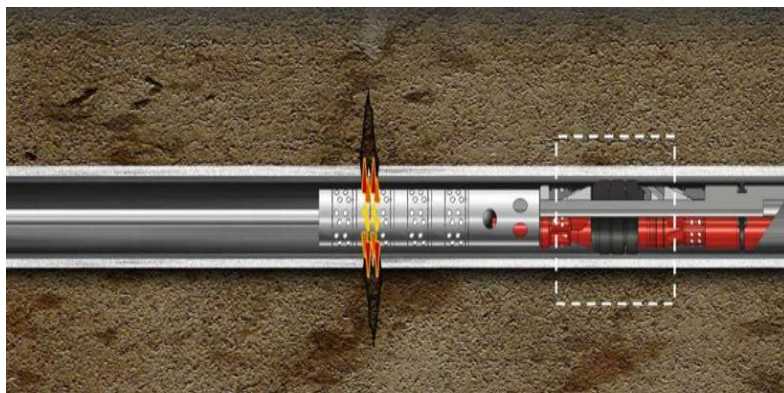
3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

预抽井钻井技术方案

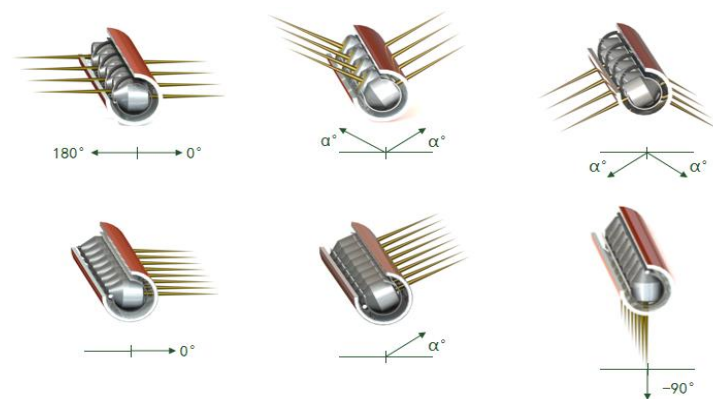
- ◆ 针对平顶山矿区煤质软、煤层渗透率低的地质特点，超蓝公司结合国内外松软低渗煤层煤层气开采经验，在预抽垂直井及水平井上都进行了技术探索：预抽垂直井采用煤系地层**多层射孔**、**合层压裂**技术，预抽水
平井采用**顶板钻进**，**定向射孔分段压裂**技术。



分段压裂技术



射孔-坐封复合压裂示意图



定向射孔技术

3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

预抽井压裂：大规模压裂技术试验

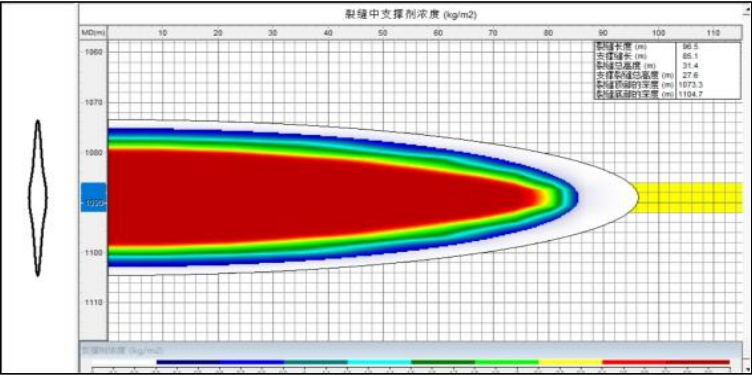
◆ 针对平煤矿区煤质特征，引进泵送桥塞-光套管压裂技术，实现“大排量、高砂比”体积压裂。

压裂规模	模拟缝长 / m		模拟缝高 / m	
	水力缝长	支撑缝长	水力缝高	支撑缝高
800m³	96.5	85.1	31.4	27.6
1000m³	105.3	96.0	36.0	32.7
平均	119.05	112.15	23.65	22.25

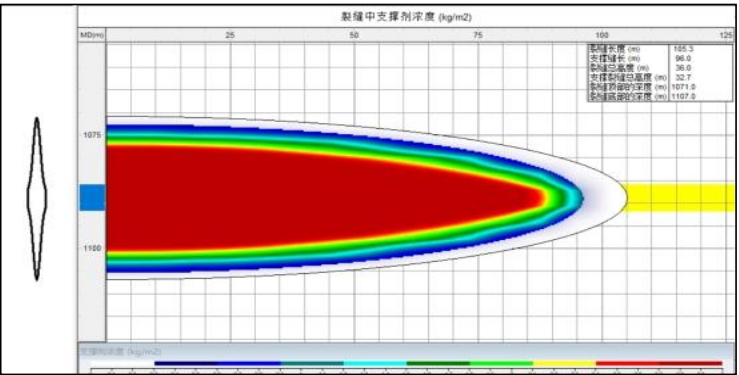
不同规模模拟压裂效果

裂缝数据		800m³ (80m³砂)	1000m³ (100m³砂)
裂缝长度 (m)	西翼缝长	100	154
	东翼缝长	116	114
	总 长	216	268
裂 缝 高 度 (m)		14	16
裂 缝 方 位 (°)		NE70°	西翼SW50°、东翼NE71°

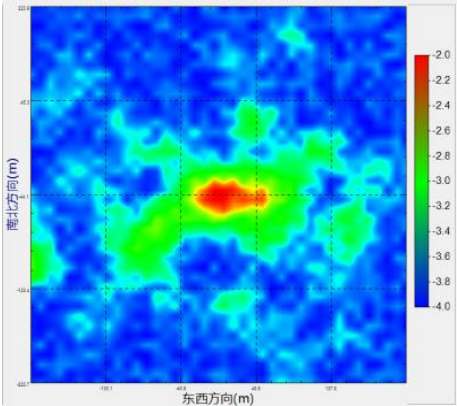
压裂监测效果



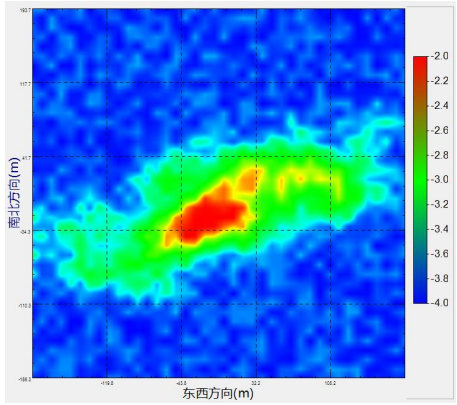
800m³规模模拟效果



1000m³规模模拟效果



压裂监测成像



压裂监测成像

3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

多种不同的排采方式

为使排采保持连续性，应根据井型及煤储层特性，选择不同的排采设备，常用的煤层气排采设备有抽油机、螺杆泵、射流泵、液压水力无杆泵等。



抽油机排采



液压无杆泵排采



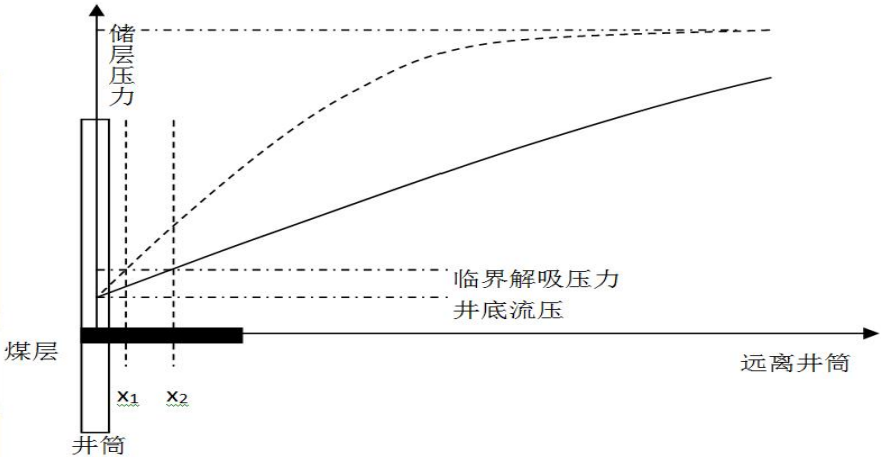
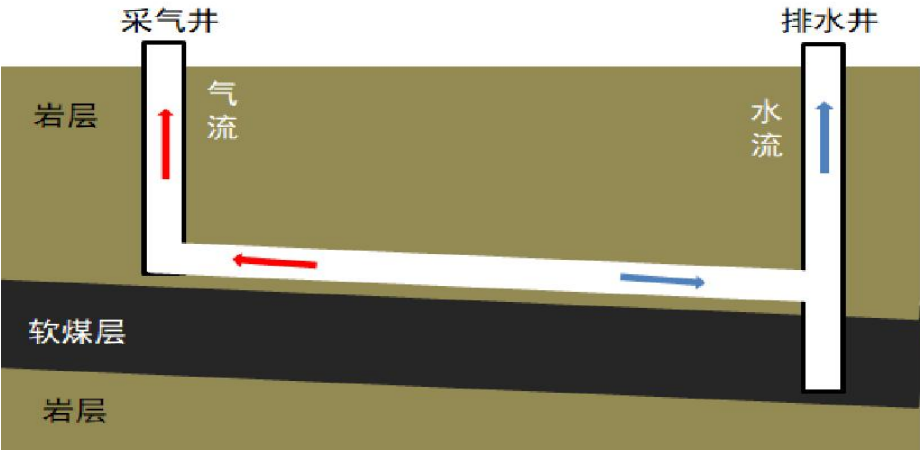
气举排采



射流泵排采

3 . 煤层气三区联动抽采技术体系

◆ 制定 “智能化、精细化” 排采管理制度



排采阶段	排采特征	伤害机理	控制措施
试抽	不稳定产液、不产气	粉尘运移堵塞	压降 < 0.01MPa/d
稳定降压	稳定产液、不产气	出砂、出粉堵塞	压降 < 0.02MPa/d
临界产气	稳定产液、不稳定产气	压差过大	控制压力稳定
气量增加	稳定产液、气量增加	出砂、出粉堵塞	压降 < 0.005MPa/d
稳定产气	液量减少、气量稳定	出砂、出粉堵塞	控制压力稳定
气量衰减	基本不产液、气量减少	/	液面降至煤层以下

目 录

- 1 前言

- 2 平顶山煤田地质背景

- 3 煤层气三区联动抽采模式

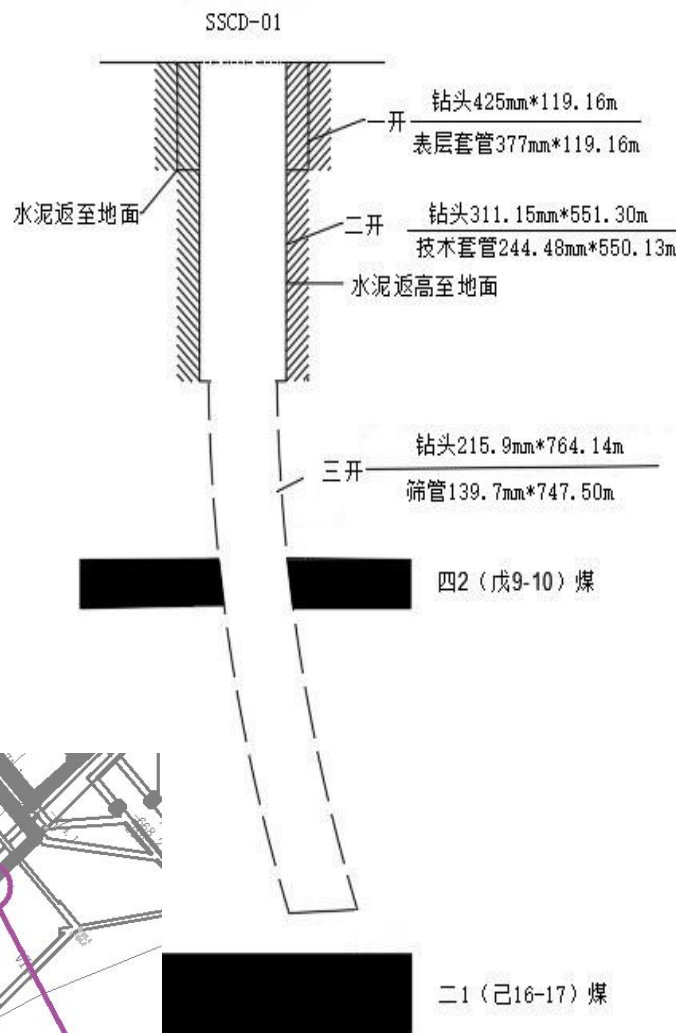
- 4 工程实践应用与效果

- 5 存在问题与建议

4 . 工程实践应用与效果

SSCD-01井

12月11日开始试排采，至12月31日试排采期间即有**1.1~1.7万m³/天**的产量，2021年年初的**最高日产量2.1万m³**，抽采浓度**92~100%**。截止目前累计抽采**585天**，累计产气**319.40万m³**，累计**商用**配给100%浓度煤层气**121万m³**。



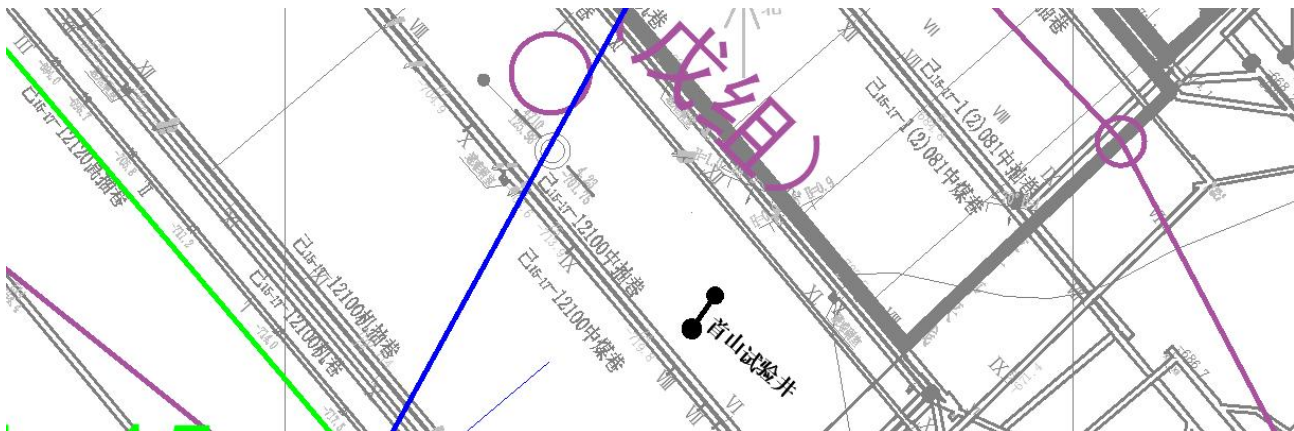
优化抽采方案、提高抽采效益，河南积极探索煤层气资源开发利用

河南新闻广播 2022-06-16 21:49:21

大象新闻·河南广播电视台记者成书丽，通讯员郭纬航 王浩源

在全国煤层气等清洁能源的勘探勘查市场，河南的这支队伍——河南省资源环境调查四院必须占据一席之地。

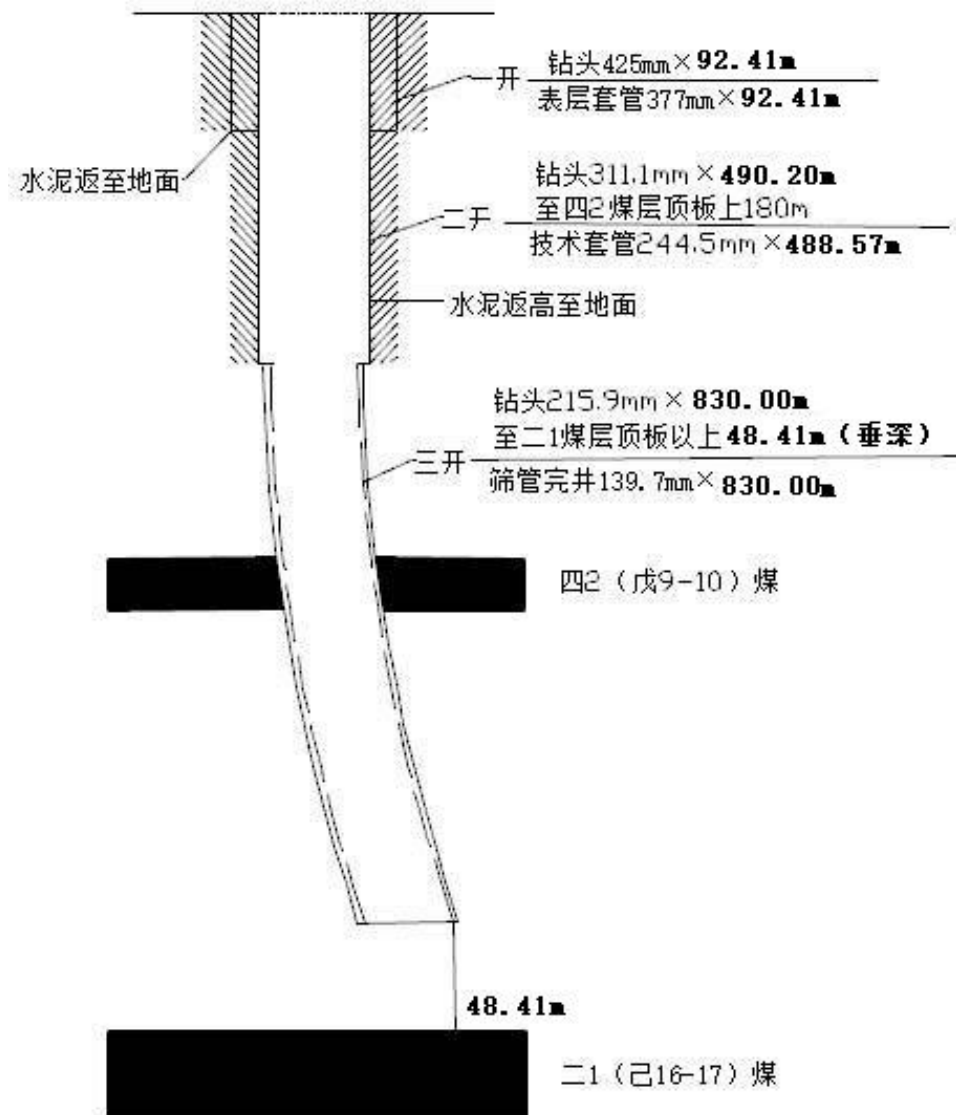
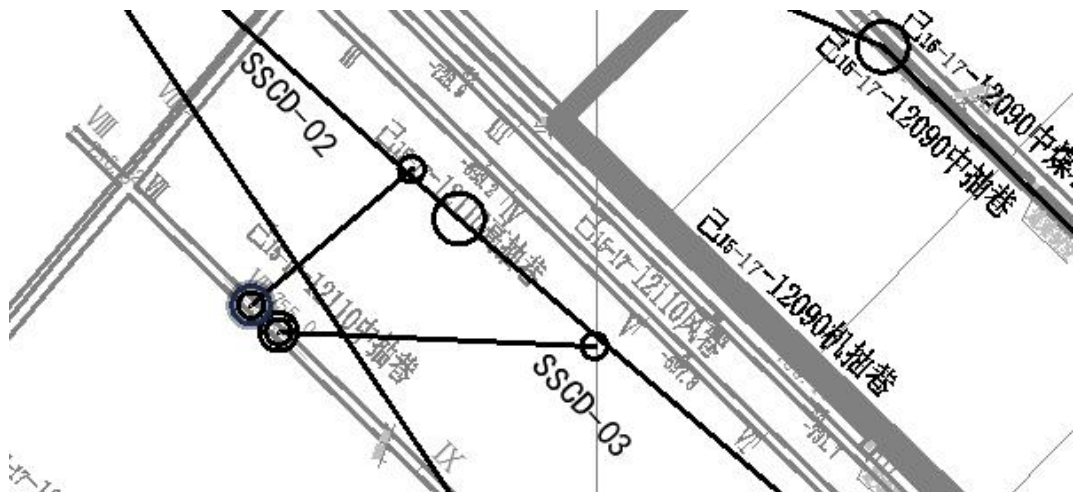
河南省资源环境调查四院作为国内煤层气开发的主要施工单位，经过多年深入探索，在煤层气开发领域形成了基于岩层移动和瓦斯运移的地面采动井和采空井抽采的井位、层位优选技术。优化了抽采方案，形成了卸压多层瓦斯治理抽采新模式，提高了抽采效益，经济社会效益显著。



4 . 工程实践应用与效果

SSCD-02井

2021年11月底，已₁₅₋₁₇-12110工作面回采至钻井施工位置，2022年1月底该工作面回采完毕，2022年2月5日井口发现大量气体，**呈正压喷出，气量巨大**，地面测量**瓦斯浓度100%**，4月达到**最高日产量4.1万m³**，3个月衰减严重，经井下窥视发现采动后地层扰动破坏套管，导致地下水涌入堵塞产气通道，为保证矿井安全，已经封井，截止目前累计抽采**282.4万m³**，**累计商用173.5万m³**。

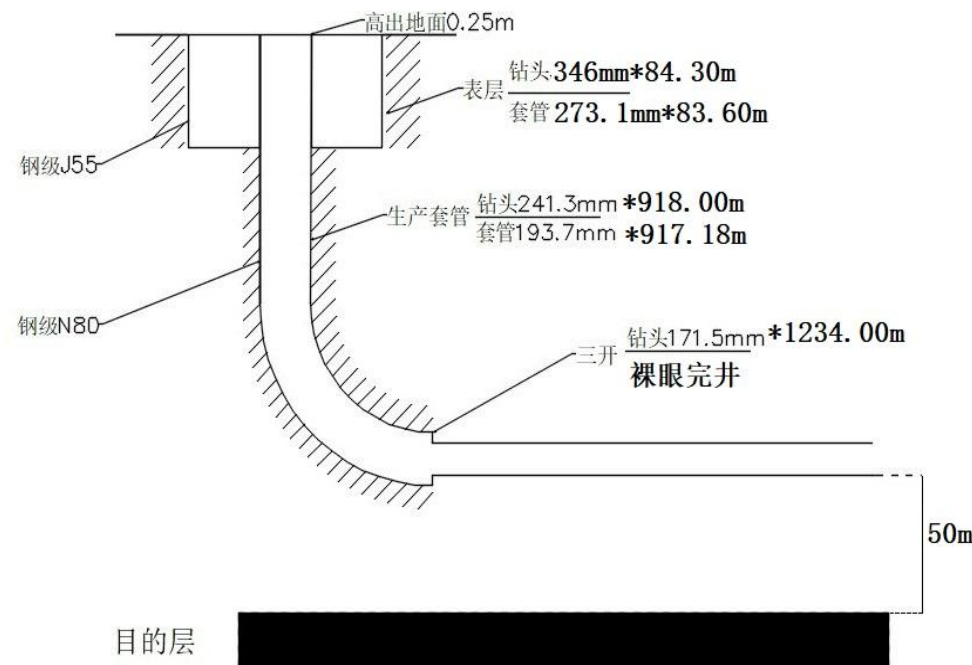


4 . 工程实践应用与效果

SSCDL-01井

全井三开井身结构，设计水平段距离煤层顶板上方50m，水平段裸眼完井。该井原设计1585m，施工时与井下采面推进进度结合，最终在距离12110工作面采面85m处完钻，完井深度1234.00m，受12110工作面回采线控制该井水平段为316m。

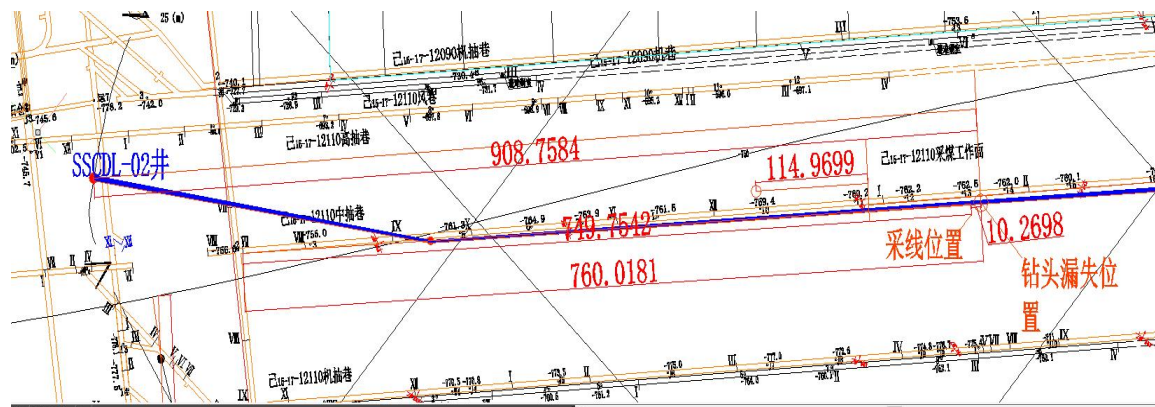
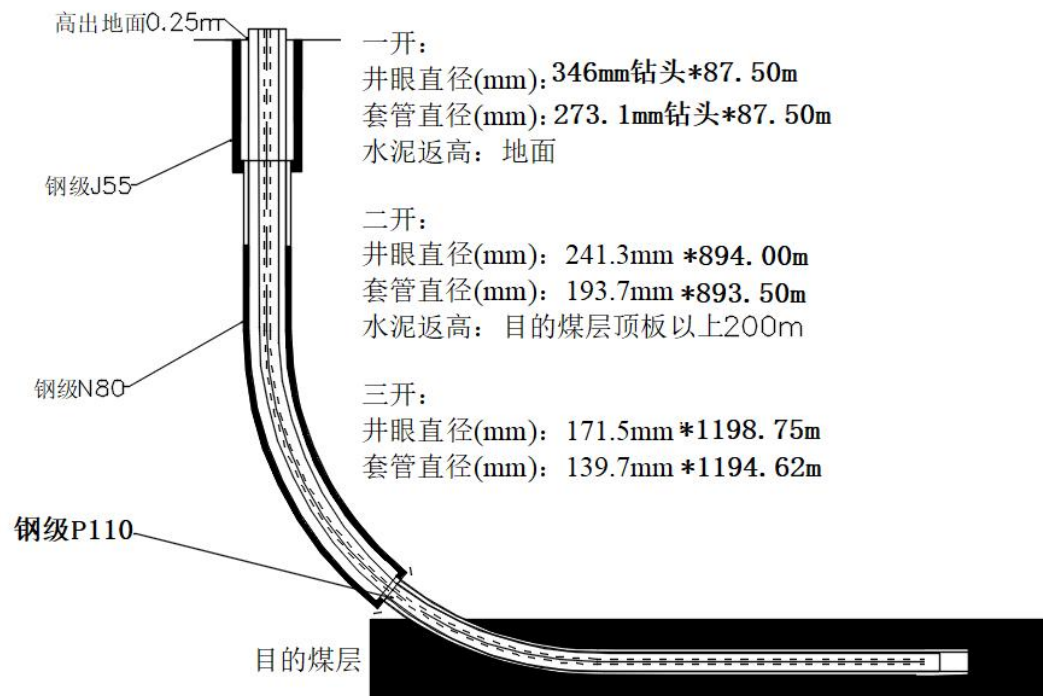
2022年1月份，已₁₅₋₁₇-12110工作面完成回采，顶板彻底垮落，该井变为采空井，于2月5日发现，井口甲烷浓度100%，**瓦斯自然喷出**，2月16日开始抽采，截止目前**累计产气351.6万m³**，**累计抽采纯量332.8万m³**，**商业利用累计278.8万立m³**，**瓦斯当前浓度78-100%**。



4. 工程实践应用与效果

SSCDL-02井

2021年11月14日井口见正压0.02MPa，气流瓦斯浓度100%，12月15日试抽，由于煤层顶板上50m处有水，2月16日~2月27日进行修井吹水作业，井口瓦斯呈正压，瓦斯浓度70 ~ 92%，**最高日产量14000立m³，累计产气153.2万m³，商业利用累计121.1万m³。**



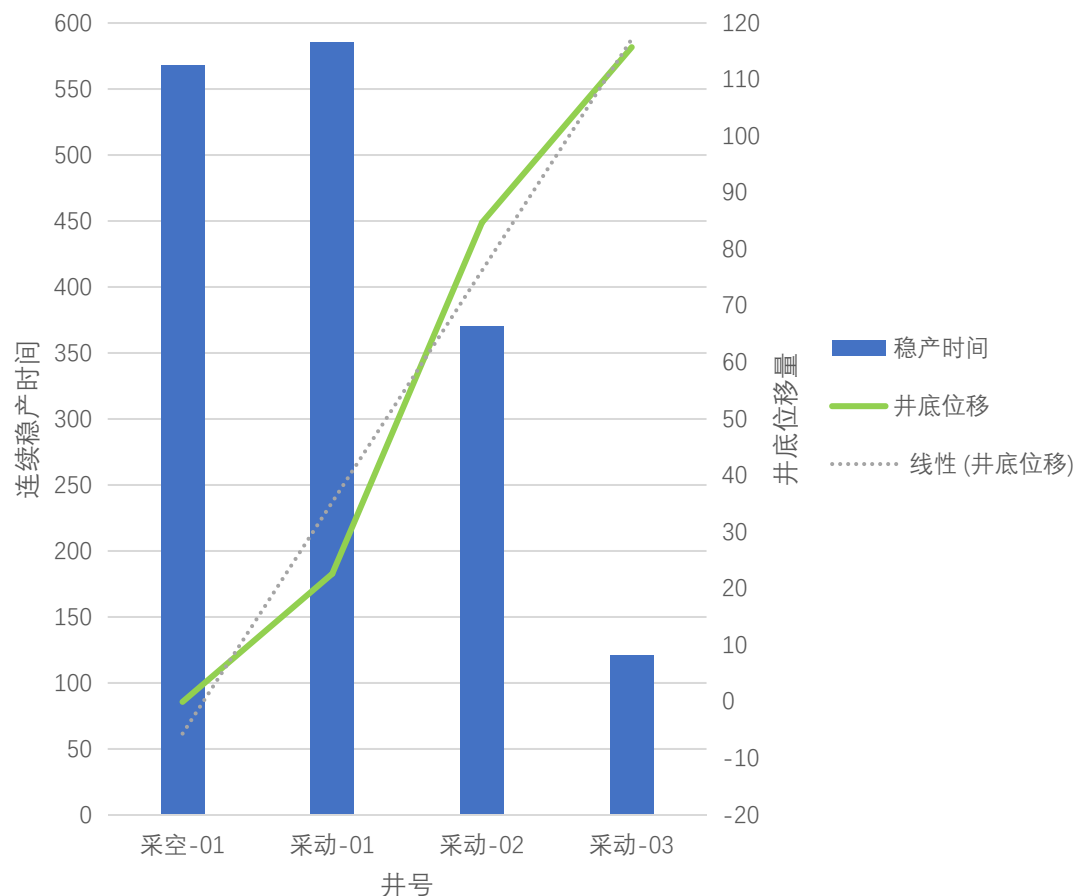
4 . 工程实践应用与效果

采空、采动定向井井底位移与排采周期的分析

通过对三区联动项目典型的四口采空采动井进行跟踪，初步发现**定向井的有效工作时间、产能效果与完井井底位采动移大小有着密切联系，地面抽采井有效工作时间与井底位移量成反比的关系。**

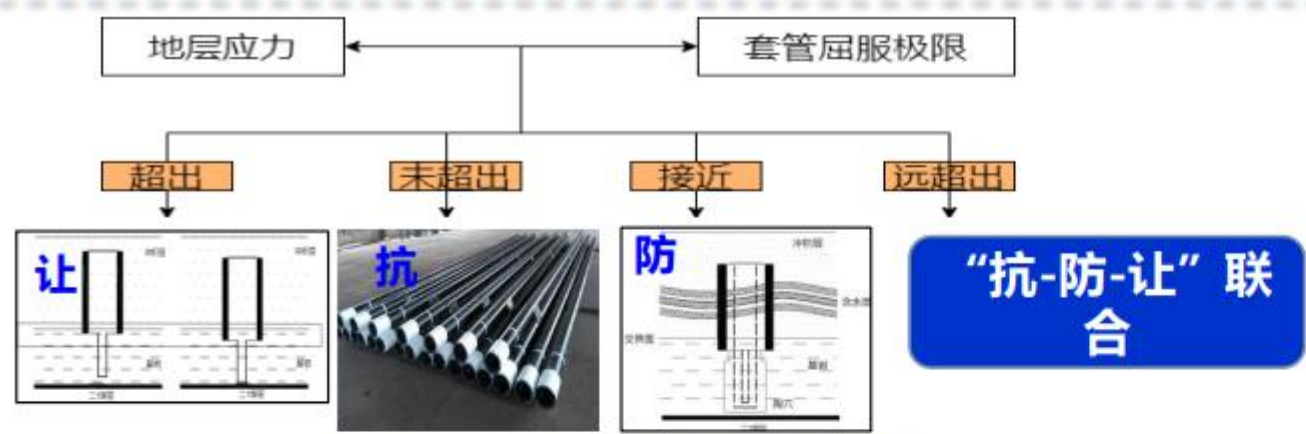
建议：施工条件允许的情况下尽量施工直井

首山钻井稳产时间与井底位移关系



4 . 工程应用与效果

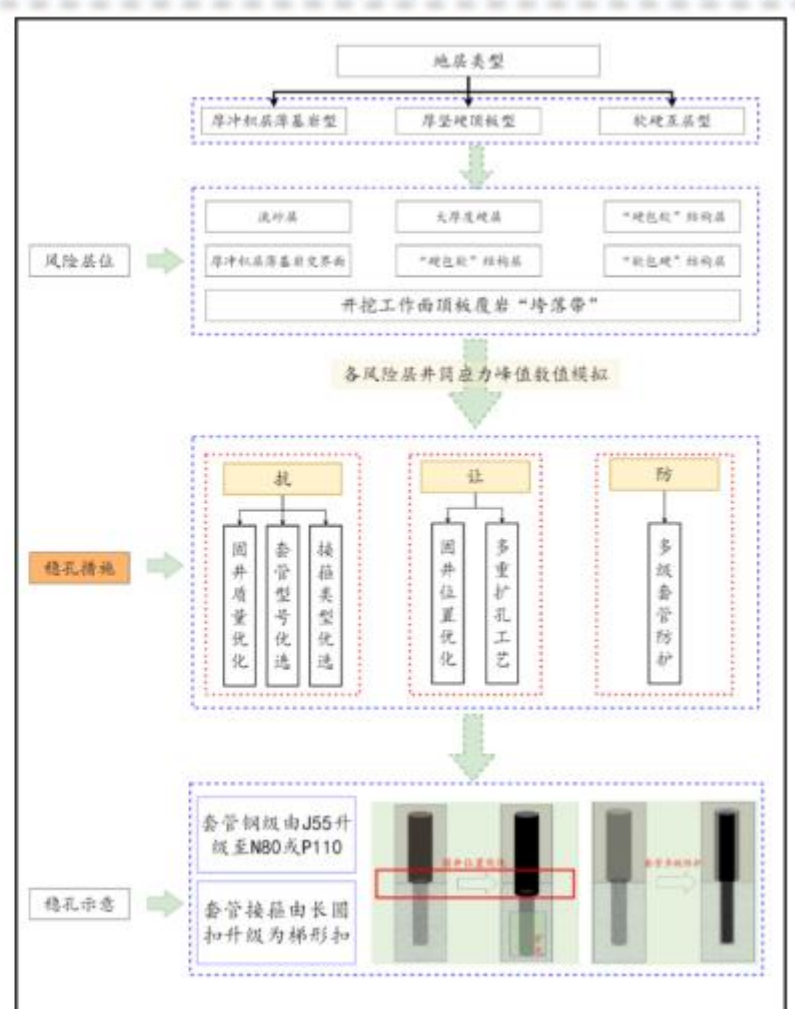
建立了基于“抗-让-防”的稳孔技术体系，实现了井筒产气长周期畅通。



“抗-让-防”稳孔措施适用条件

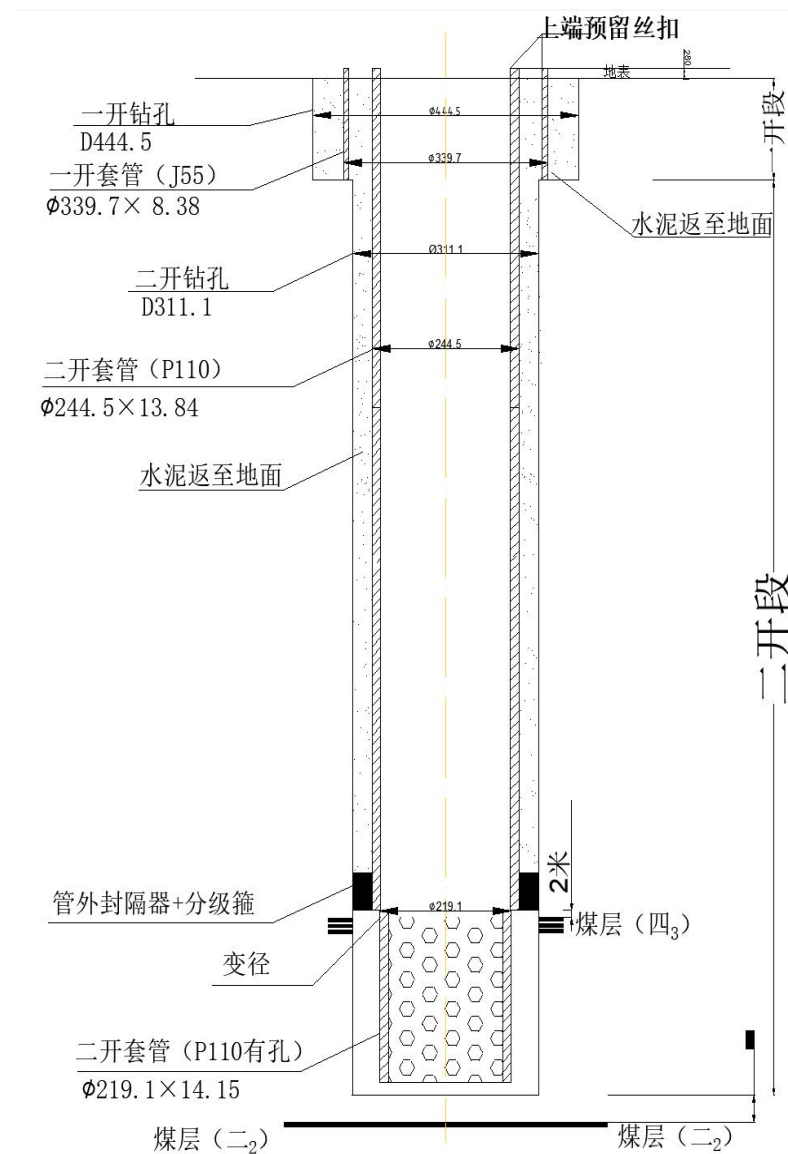
本项目的二开结构和稳孔技术体系与其他方法对比

井身结构及稳孔技术	技术原理	优点	缺点
三开结构	一开封堵黄土层，二开封堵含水层，三开储气层产气	提高钻井效率，减少事故风险，降低成本	钻井周期相对长，成本高，井筒易变形破断，难修复
二开结构 (本项目技术)	一开封堵黄土层，二开基岩层（储层气层），	结构简单，大口径，钻井高效，钻完井周期 7-10 天，成本低，井筒不易变形，变形易修复	必要时封隔器封堵含水层，技术要求高



4 . 工程实践应用与效果

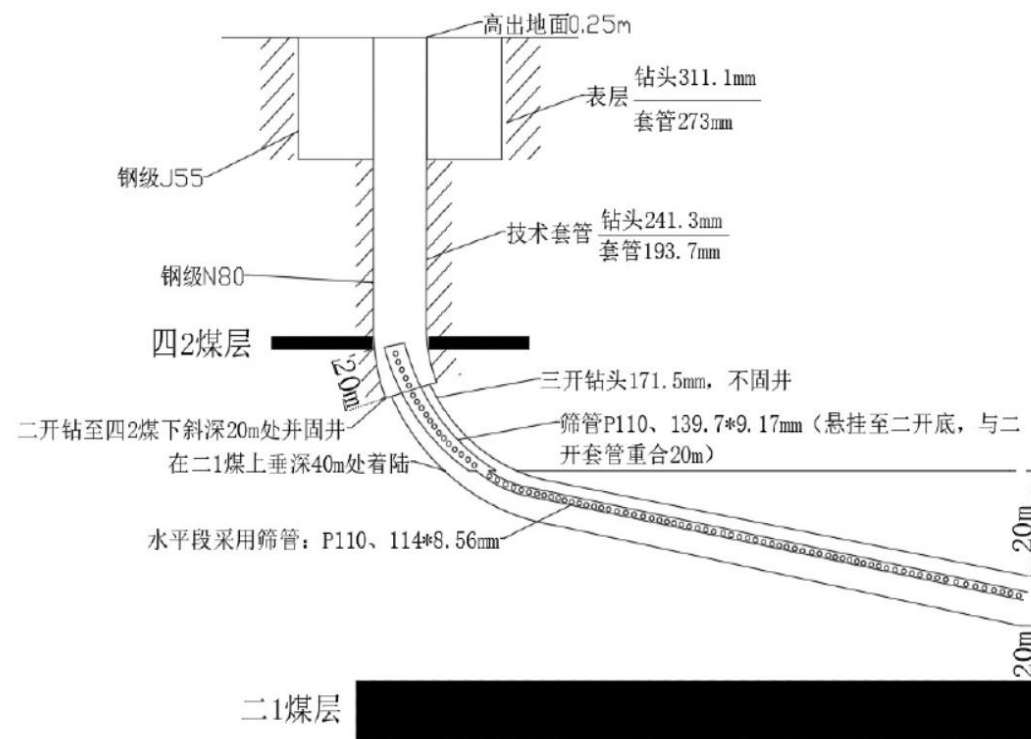
根据对第一批采动井所出现的问题分析，为了减小地层扰动对钻井管柱的破坏，最大限度的**保证钻井的产气量和抽采寿命**，增大完钻套管直径，**采用 $\Phi 244.5\text{mm}$ 套管+ $\Phi 219.1\text{mm}$ 筛管组合**，分级固井方式，**提升套管钢级**，实现有效的减轻采掘后地层扰动对套管影响。



4 . 工程实践应用与效果

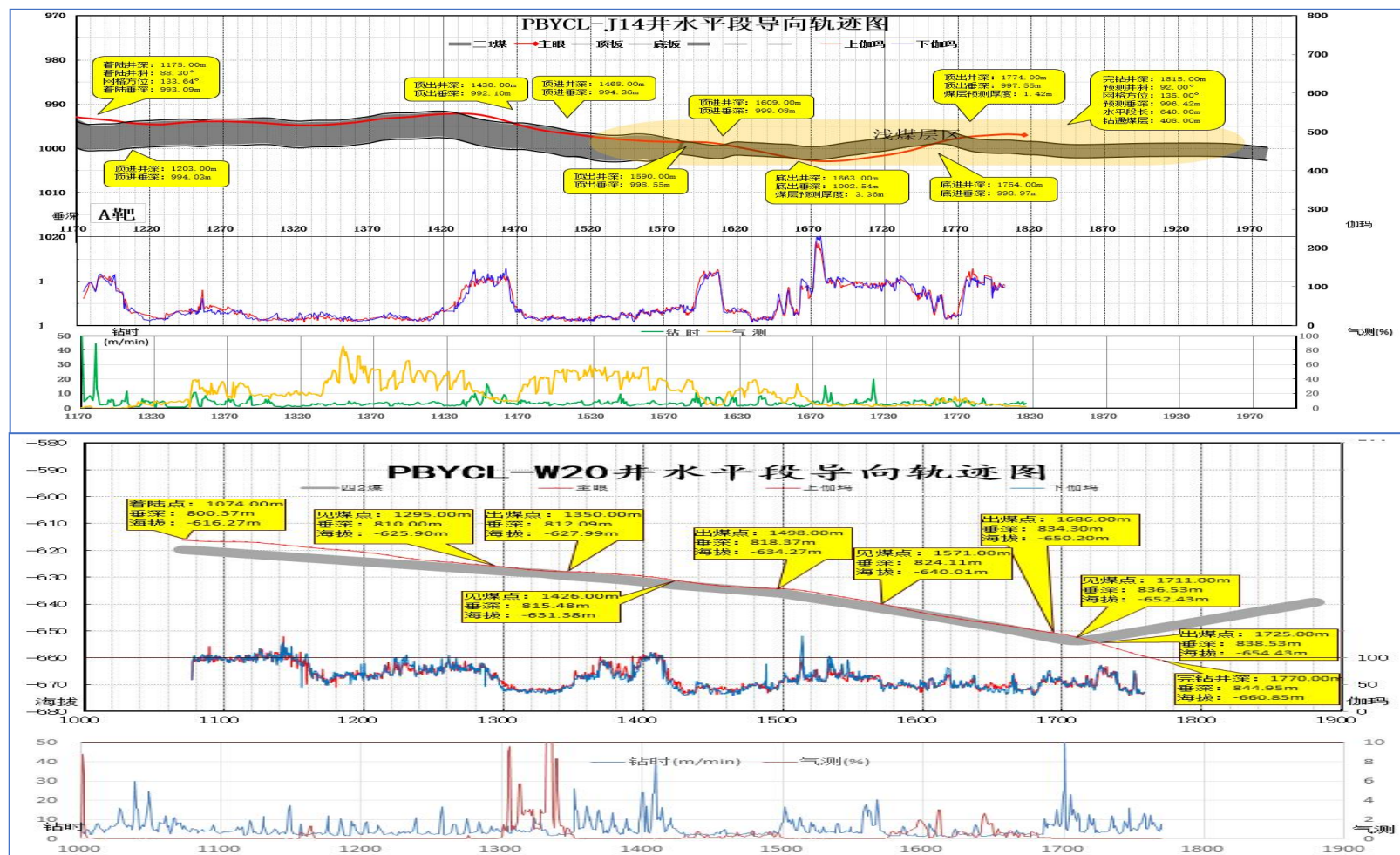
SSCDL-09井

SSCDL-09井采用优化后井型结构，于2023年7月21日开始抽采，**最大单日抽采纯量11510 m³**，瓦斯浓度95%左右，已累计有效抽采**262天**，**累计抽采188.60万m³**，**商业利用1888.50万m³**，**折纯量174.3万m³**。



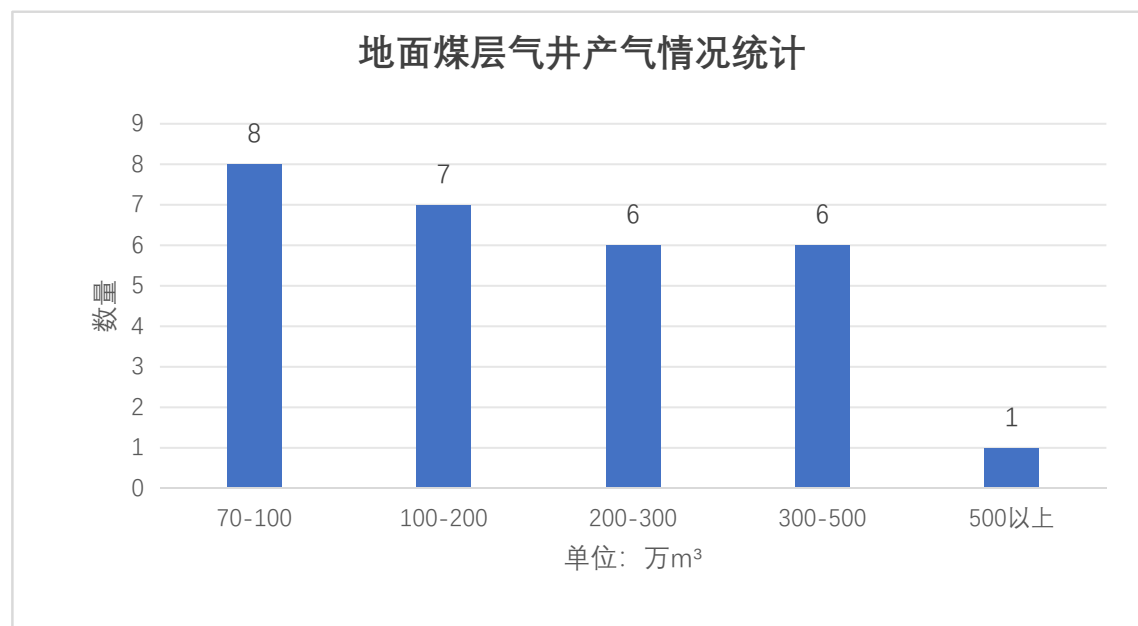
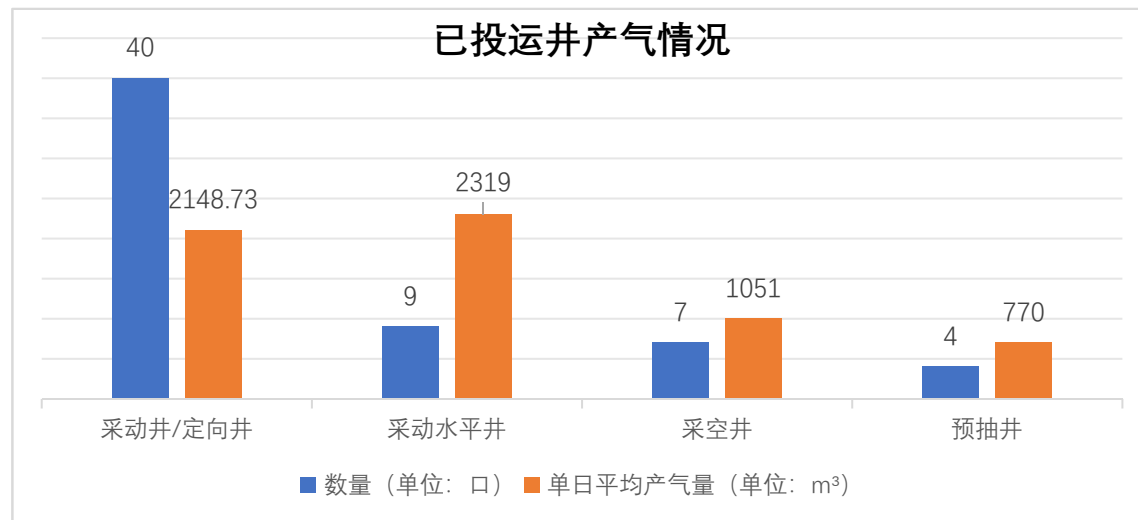
4 . 工程实践应用与效果

因平顶山地区属于构造煤，松软低渗，在煤层中钻进成井困难，且煤粉过多，对后期排采影响较大，因此预抽井采用顶板钻进工艺，但煤层顶板钻进，水平段轨迹距离煤层的垂向距离不好掌控，为解决该问题，我们同超蓝公司在**PBYCL-J14、PBYCL-W20井**2口预抽井进行了煤层钻井，通过工程精细化管理，成功提升了钻遇率。



4 . 工程应用与效果

- ◆ 截至2024年10月，平顶山已完钻**157口井**，其中：采动/采空井**124口**（直井/定向**106口**，水平井**18口**），预抽井**32口**（预抽直井**7口**，预抽水平井**21口**，参数井**2口**，预抽U型对接井**1组2口**），多功能试验井**1口**。
- ◆ 投运及产气情况：目前产气井**60口**，其中：
采动井/定向井**40口**，单日平均产气量**2148.73m³**；
采动水平井**9口**，单日平均产气量**2319m³**；
采空井**7口**，单日平均产气量**1051m³**；
预抽井**4口**，单日平均产气量**770m³**。
高产量井**28口**，其中累计抽采纯量
- ◆ **70万m³-100万m³井8口**；
100万m³-200万m³井7口；
200万m³-300万m³井6口；
300万m³-500万m³井6口；
600万m³以上井1口。



目 录

- 1 前言

- 2 平顶山煤田地质背景

- 3 煤层气三区联动抽采技术体系

- 4 实际工程应用与效果

- 5 存在问题与建议

5 . 存在问题与建议

坚硬耐磨可钻性差岩层

平顶山东部地区普遍发育**平顶山砂岩**，该层砂岩**可钻性较差**，且**裂隙极为发育**，**含水量较大**，施工中要求充分考虑施工工艺，施工目的层，施工进度，对矿井生产安全影响等情况，采用优快好省的的方式钻穿该层。

通过优化改进钻头，成功将钻时由1.9m/s, 提升至4.6m/s。



5 . 存在问题与建议

多个含水层对钻井和矿井带来的风险

平顶山东部矿区的下石盒子组含有多个含水层，对钻井液容易造成影响，特别是大井眼定向施工时造成风险。

受采动区工作面推进影响，煤层顶板上方裂隙发育，极易造成迎头大量漏失，容易导致井内安全事故发生，施工中要紧密的与矿井回采进度相结合，**充分预留好安全距离。**

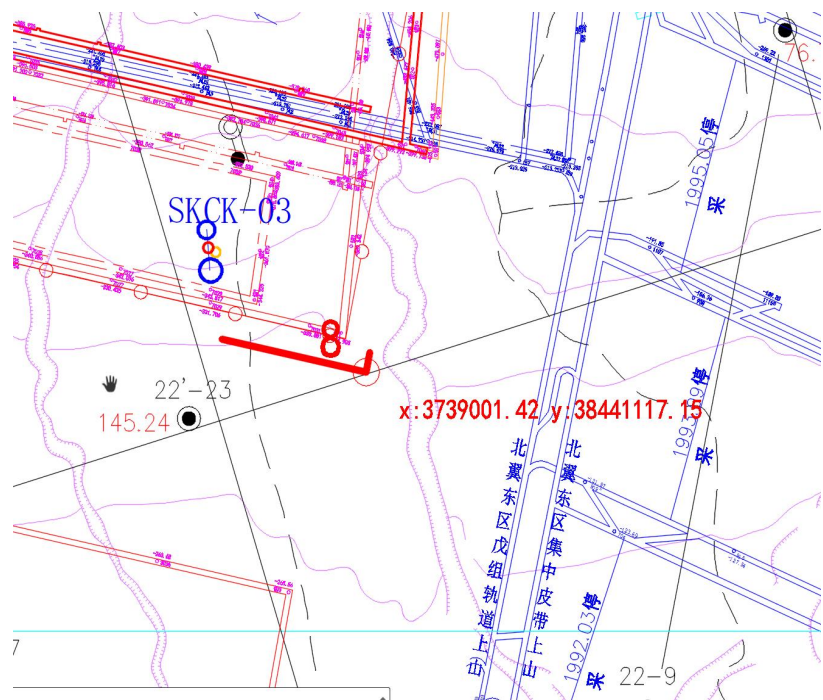


田家沟砂岩至四煤组之间有4层较强的含水层，采动、采空钻井施工必须要将其封固。

5 . 存在问题与建议

及时掌握和了解老空区

在有些老矿区，由于年代久远，长时间的开采及之前小煤窑的私采与盗采，井下变得十分复杂，有些地区缺少资料，地下情况的不确定性给钻井施工带来的风险很大。**所以在老矿区施工钻井前一定要摸清地下采空区情况。**



5 . 存在问题与建议

针对典型多煤层矿区复杂地质条件煤层气钻井工程研究，未来还需要克服许多的困难，例如：**如何更为有效的延长井筒寿命，如何实现一井多用，抗变形的高强度新型套管研究，抗变形弹性水泥浆研究，更具经济价值的快速堵漏技术等**，更好的为煤炭开采企业、煤层气开发企业服务，为煤层气的开发与煤矿安全及资源利用最大化做好铺垫。

平顶山未采区地面井预抽煤层瓦斯现取得了一些突破，但还为达到规模化开发的程度，平煤集团正在科研探索，引进新技术、新工艺，持之以恒，解决松软低渗煤层预抽难题。

近期，深部煤层气在大宁-吉县、神府、大牛地等区块均获重要突破，为深部煤层气开发增添了信心，下一步计划河南省开展**深部煤层气勘探开发先导性实验**，力争取得新突破。

谢谢各位专家， 敬请批评指正！



河南省资源环境调查四院有限公司

THE FOURTH INSTITUTE OF RESOURCES AND ENVIRONMENT INVESTIGATION OF HENAN PROVINCE CO., LTD.