



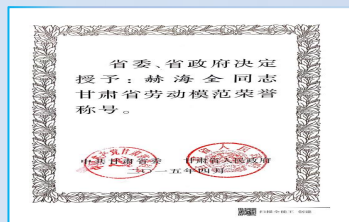
获奖情况

- ★ 2014-2016年度被窑街煤电集团有限公司聘任为技术专家，先后主持完成科研创新成果**10**余项，获得窑街煤电集团有限公司科技成果二等奖**3**项、三等奖**2**项、优秀奖**4**项，被窑街煤电集团有限公司授予“最美科技人”称号
- ★ 在中国核心期刊《煤炭工程》《科技创新》《能源技术与管理》发表论文**3**篇
- ★ 《窑街矿区特厚煤层开采冲击地压机理及综合防治技术》荣获中国职业安全健康协会科学技术二等奖
- ★ 《“E”型通风对综放面采空区“三带”及上隅角瓦斯涌出的影响》成果荣获甘肃省安全生产科学技术进步二等奖
- ★ 荣获中关村绿色矿山产业联盟“绿色矿山突出贡献奖”
- ★ 先后被评为甘肃省劳动模范、中国煤炭工业协会“优秀矿长”

个人简介

赫海全，正高级工程师，甘肃能化股份窑街煤电集团有限公司三矿矿长，中国岩石力学与工程学会矿山冲击地压专业委员会委员、煤炭地质专委会委员、甘肃陇东学院产业导师、甘肃省陇原人才。

自参加工作至今，长期从事煤矿安全生产管理、瓦斯治理、冲击地压防治及研究等工作。





煤矿“煤、岩、油、气”共采技术探索

赫海全

目录 CONTENTS



一、窑街矿区概况

二、建立井上下“三区联动”抽采体系，实现煤、岩、油、气共采

三、煤、岩、油、气产业协同发展

The background image shows a deep coal mine tunnel. On the right side, there is a large, blue and yellow piece of mining machinery, possibly a cutterhead or a conveyor system. On the left side, there are several rows of red and white hydraulic cylinders or actuators, likely part of a conveyor system or a support structure. The tunnel walls are dark and rocky, and the floor is covered with debris and equipment. The overall scene is dimly lit, with some light sources visible in the distance.

PART 01

窑街矿区概况

- 煤层赋存情况
- 油页岩及油气赋存情况
- 煤层瓦斯赋存情况

矿区概况

窑街煤电集团有限公司是
甘肃能化股份公司的全资子公
司。



01

四对生产矿井；

02

一个基建矿区；

03

下设24个子分公司（单位）；

04

在册职工11246人；

05

资产总额121亿元；

矿区概况

六十多年发展

01

以“煤炭、循环经济、非煤”三大产业为基础

02

以“煤炭、电力、化工、冶炼、建材、物流”六大支柱板块为支撑

03

以“煤-电-冶、煤-油-气-电、煤矸石综合利用、油页岩和半焦高值利用、煤层气抽采利用”五条产业链为发展特色

大型综合能源产业集团

矿区概况

近年来在煤炭板块以重大灾害治理为切入点，在瓦斯防治、油气防治等技术方面取得了突破性进展，形成了以煤为主、油页岩半焦高值利用和地面瓦斯抽采利用为辅的矿井灾害治理与变废为宝的产业体系，着力打造了“安全、绿色、高效、智能”的现代化标杆矿井。

安全、绿色、高效、智能



- ✓ 从窑街煤电集团所属矿井从灾害情况看，海石湾煤矿最具典型，其致灾因素多元复杂，含煤地层中煤、二氧化碳、甲烷、油气重烃 $C_2 \sim C_5$ 等气体与石油共生，存在着高地应力、煤与二氧化碳突出、冲击地压、煤自燃、油气、高温热害等多种自然灾害交织叠加，治理难度大、安全风险高。

(一) 煤层瓦斯赋存情况

海石湾矿井为“煤与二氧化碳（含甲烷等复杂气体）突出矿井”，矿井煤系地层煤、油页岩、油、气共生，开采深度大，地质构造复杂，地应力、瓦斯压力高，灾害种类呈多样性。

矿井主采煤二层位于窑街群第二岩组的中下部，煤层厚度0~60.98m，平均厚19.77m，属特厚煤层。

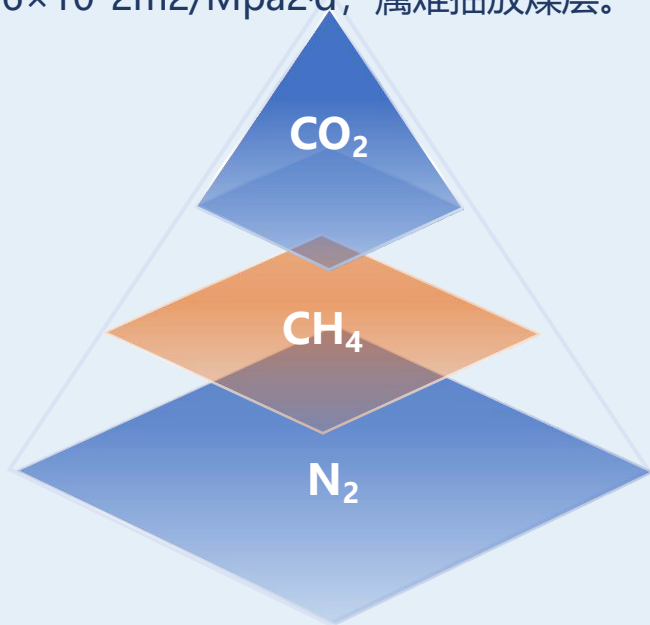
组	段	层	岩性柱状	地层厚度 (m)		岩 性 描 述
				层	段组	
第四岩组 J ₂ y ₄	油页岩	1		26.75		油页岩，黑色、灰褐色，薄层状，页理发育条痕为褐色，含油较低，层位稳定，产动、植物化石。
		2		2.00		油砂层，灰白色砂岩，含石油石。
		3		15.00		灰黑色粉砂岩、砂岩，偶夹粗砂岩，砂岩含石油，产植物化石。
		4		2.00		泥岩及油页岩（油二层）黑灰色砂岩，砂岩含石油，产植物化石。
		5		2.00		灰白色细砂岩。
		6		5.00		灰黑色、灰色粉砂岩，产植物化石，夹含油砂岩。
		7		1.50		灰白色细砂岩，含石油。
		8		1.50		油页岩（油三层）黑色、褐棕色，层位不稳定，部分相变为泥岩。
		9		1.50		灰黑色细砂岩。
		10		18.77	59.29~92.40 76.02(47)	灰黑色、灰色粉砂岩，含大量植物化石。
第三岩组 J ₂ y ₃	泥岩夹油页岩	11		1~8.65 4.70(43)		泥灰岩，含铝泥岩，黑色、黑绿色，致密坚硬，层位、厚度稳定，为标志层。
		12		0~1.72 0.74(26)		油A层，褐黑色，致密块状，比重较大，含油较高，为腐泥煤。
第二岩组 J ₂ y ₂	含煤段	13		3.95		油页岩（油4层）黑色、黑棕色，条痕棕色，呈页片状。
		14		0~1.32 0.54(34)		煤B1层，黑色，以亮、镜煤为主，块状。
		15		2.50		灰色粉砂岩。
		16		0~1.18 0.44(27)		煤B2层，黑色，以亮、镜煤为主、块状，煤质好。
		17		4.90		灰色粉砂岩，含丰富的植物化石。
		18		1.00		灰黑色粉砂岩。
		19		0~60.6 26.8(45)		煤二层，黑色，以亮、镜煤为主，是主要煤层。夹矸一般2~3层，最长达13层。
		20		1.00		黑色炭质泥岩。
		21		0~3.01 0.73(9)		煤三层，只分布在井田东部边界一带。
		22		2.00	9.02~82.50 44.89(46)	灰黑色粉砂岩，具鲕粒，含石英砾。

综合地层柱状图

(一) 煤层瓦斯赋存情况

海石湾矿井主采煤二层，该煤层瓦斯含量最大 $26.74\text{m}^3/\text{t}$ ，煤层原始瓦斯最大压力 7.3Mpa ，瓦斯吸附常数 $a=18.147\text{m}^3/\text{t}$ 、 $b=0.7913\text{MPa}^{-1}$ ，煤层真密度 $\text{TRD}=1.49$ ，视密度 $\text{RAD}=1.33$ ，透气性系数为 $9.76\times 10^{-2}\text{m}^2/\text{Mpa}^2\cdot\text{d}$ ，属难抽放煤层。

主要瓦斯成分



井田瓦斯 赋存规律

- CO_2 含量分布总趋势是东高西低、北高南低，吨煤 CO_2 含量最大 $20.49\text{m}^3/\text{t}$ ； CH_4 含量分布总趋势是南高北低、西高东低，吨煤 CH_4 含量最大 $8.25\text{m}^3/\text{t}$ 。

(二) 油页岩及油气赋存情况

海石湾矿井井田地层中6个岩组有含油砂岩，主要的含油砂岩组是侏罗系中统窑街群第四岩组（J2yj4），主采煤二层上覆22~73m区间含有油砂层。油砂岩中赋存有油气，油气主要成分是甲烷、乙烷、丙烷、异丁烷、正丁烷、异戊烷、正戊烷、乙烯、氮气、二氧化碳等气体。

矿井油A层作为保护层开采，其结构简单均匀，呈块状或板状，光泽暗淡，质坚硬、比重1.71，容重1.63t/m³，孔隙率5.4%，厚度为4.2~4.95m，平均为4.57m，西薄东厚；岩层倾角6~14°，断口平整略带棱角，块状或板状构造横断面可见隐细线理结构；燃烧时焰长、烟浓、有沥青味，为高灰、高油、低热值腐泥质油页岩。

(二) 油页岩及油气赋存情况

含煤地层中的油气虽然不具备开采价值，但对煤炭开采的危害很大：



- 首先是在含油砂岩层中掘进巷道时，会发生油气涌出、喷出、燃烧和突出等危害矿井安全的瓦斯地质异常动力现象。
- 其次是煤层顶板的油砂层，尤其是油浸区含油砂岩层，在采掘活动中，随顶板冒落，油砂层破裂，渗漏的原油和涌出的天然气会严重污染环境，使工作面环境恶化，天然气和原油挥发成分使风流中的燃爆性气体浓度增加，容易引起火灾、爆炸事故，还会使生产人员吸入含有油气的空气，对人体产生各种危害。

PART 02

建立井上下“三区联动”抽采体系 实现煤、岩、油、气共采

- 开拓区瓦斯治理措施
- 准备区瓦斯治理措施
- 生产区瓦斯、油气治理措施
- 瓦斯、油气治理效果

建立井上下“三区联动”抽采体系实现煤、岩、油、气共采

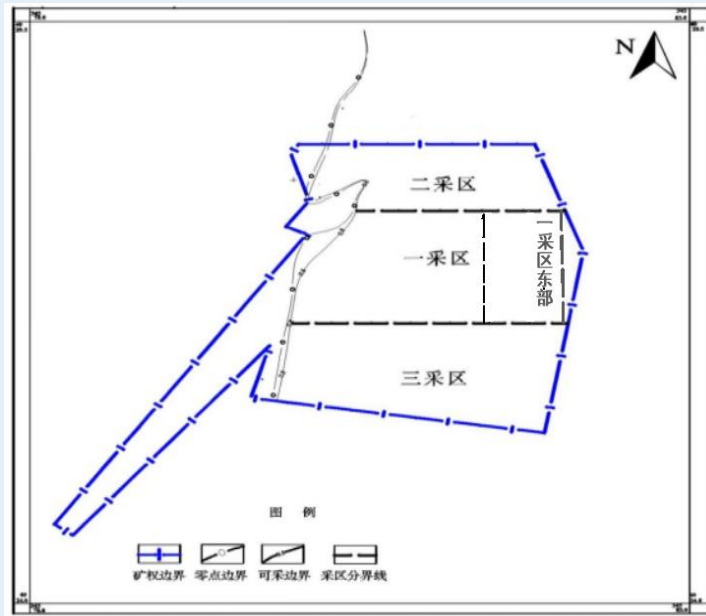
自然灾害

煤与二氧化碳
(含甲烷等复杂气体) 突出

油气防治

冲击地压

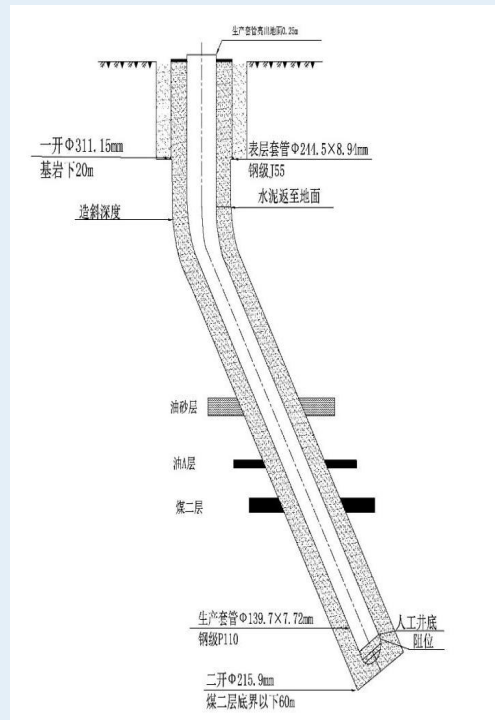
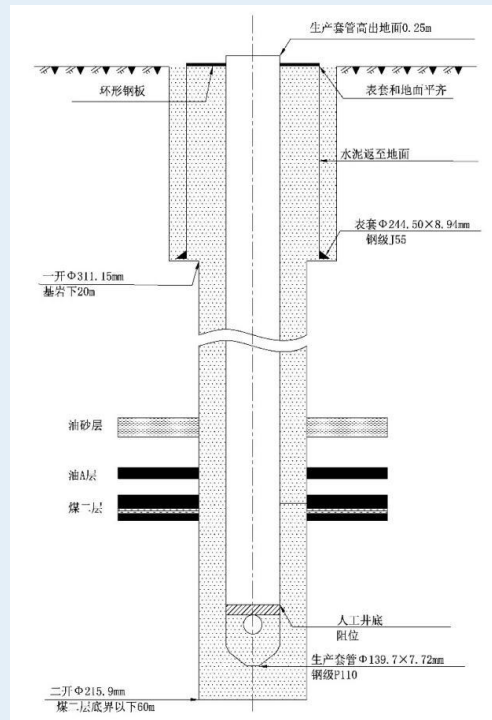
- 树立了“超前治理，先采气后采煤”的发展理念。
- 努力构建“地面压裂抽采钻井 + 井下长距离定向钻孔 + 穿(顺)层钻孔”的井上下立体抽采模式。
- 形成以一、二采区为生产区，一采区东部为准备区，三采区为开拓区的三区联动“双防治理体系”。
- 实现了抽掘采平衡，同时使瓦斯治理超前于冲击地压，降低复合灾害的风险。

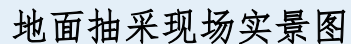
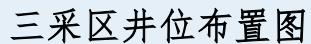


矿井井田三区布置图

（一）开拓区瓦斯治理措施

矿井规划10年以上采掘活动区域为开拓区，在开拓区主要采取地面钻井抽采方式，目前已在三采区施工了27口地面抽采井，钻井直径 $\phi 215.9\text{mm}$ ，钻井深度煤二层底板以下50m，钻井间距200m，压裂目的层位：煤二层，压裂半径100m，压裂完成后进行地面抽采。





(二) 准备区瓦斯治理措施

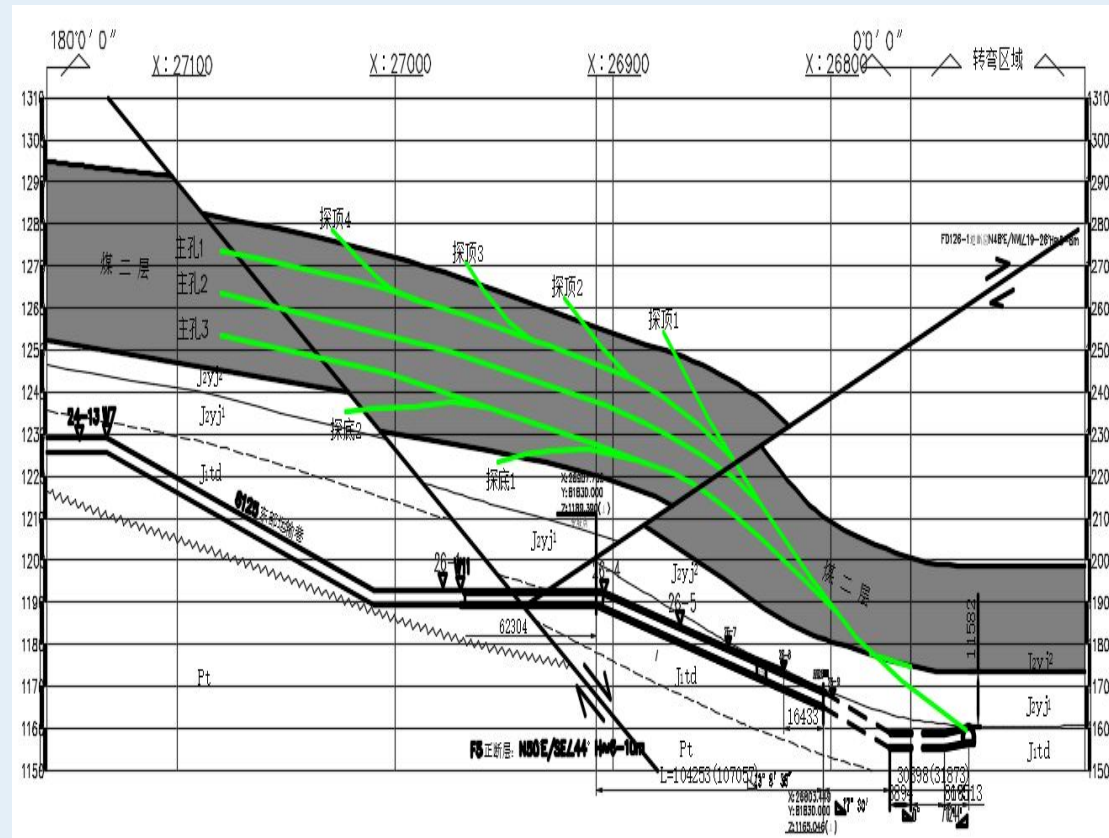
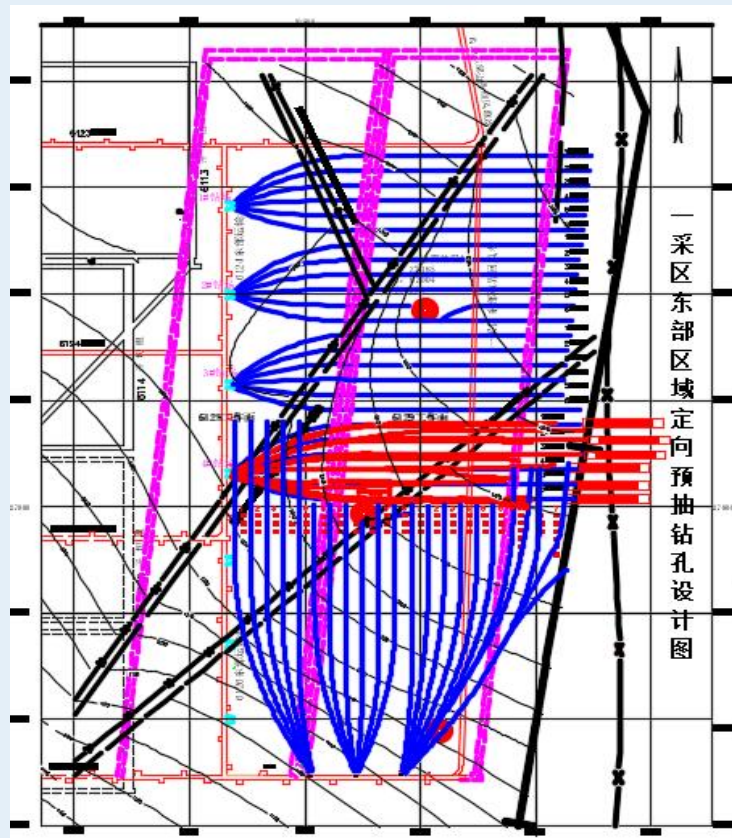
1. 地面抽采井

针对一采区东部区域煤层厚、原始瓦斯含量高、瓦斯储量大、保护层尖灭、煤二层透气性差、底部缺乏可用于施工穿层预抽钻孔的巷道等特性，为保证高效抽采、快速消突，在一采区东部区域施工三口地面抽采钻井，单口井日产气量 1100m^3 ，平均抽采 CH_4 浓度58%，平均抽采 CO_2 浓度30%。

2. 井下长距离定向钻孔

一采区东部区域施工42个长距离定向穿层抽采钻孔，钻孔直径 $\varphi 120\text{mm}$ ，钻孔间距14m，每个钻孔施工分支孔，探测煤层顶、底板位置，单孔流量平均为 $8\text{m}^3/\text{min}$ ，平均抽采 CH_4 浓度1.5%，平均抽采 CO_2 浓度10.2%，有效解决了复杂地质条件下的瓦斯治理难题，提高瓦斯抽采效率，降低治理成本。



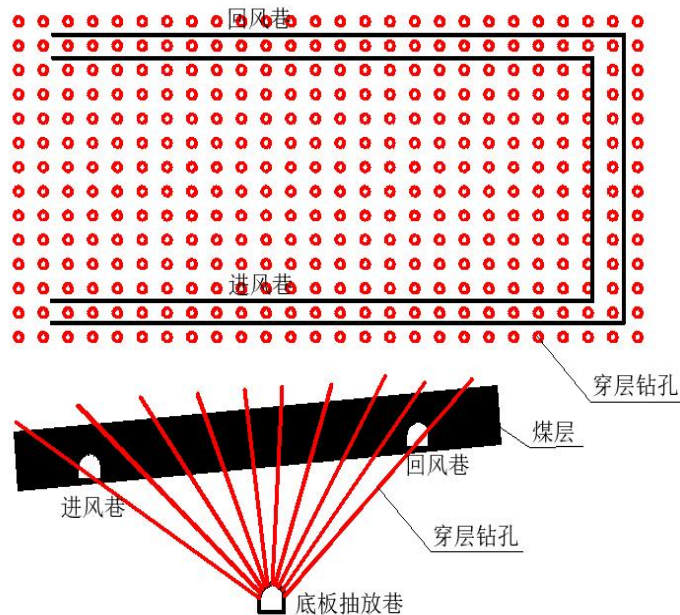


一采区东部运输巷区域穿层预抽钻孔设计图

(二) 准备区瓦斯治理措施

3. 普通穿层钻孔

在煤二层底板以下15~25m沿工作面走向布置贯穿工作面的底抽巷，底抽巷左右迈步20m交错施工一个深4m、宽4.5m、高3m的抽放钻场，钻场内布置穿层抽放钻孔。钻孔孔径 $\Phi 113\text{mm}$ ，终孔见煤二层顶板1m，终孔间距按 $10\times 10\text{m}$ 布置，穿层钻孔全部并入抽放系统，煤层掘前和采前预抽率达到了70%以上，吨煤瓦斯含量降至 $6\text{m}^3/\text{t}$ 以下。



普通穿层钻孔示意图

(三) 生产区瓦斯治理措施

1. 开采保护层

开采保护层是迄今为止防突上最有效、最经济的区域防突措施。矿井选择煤二层之上20~40m处的油页岩（油A层）作为煤二层的上保护层开采，通过油页岩（油A层）的开采，使得下赋煤体发生膨胀变形、卸压（地应力减小）、透气性增大，同时对煤二层的卸压瓦斯进行强化抽放，彻底消除了煤二层的煤与二氧化碳（含甲烷等复杂气体）突出危险性，并且利用煤二层煤厚约30m的特厚煤层优势，进行分层开采，错层布置巷道，将下分层巷道布置在上分层工作面采空区范围之下，实现负煤柱开采，有利于冲击地压防治，提高了资源回收率。



开采保护层



油气治理



普通穿层钻孔



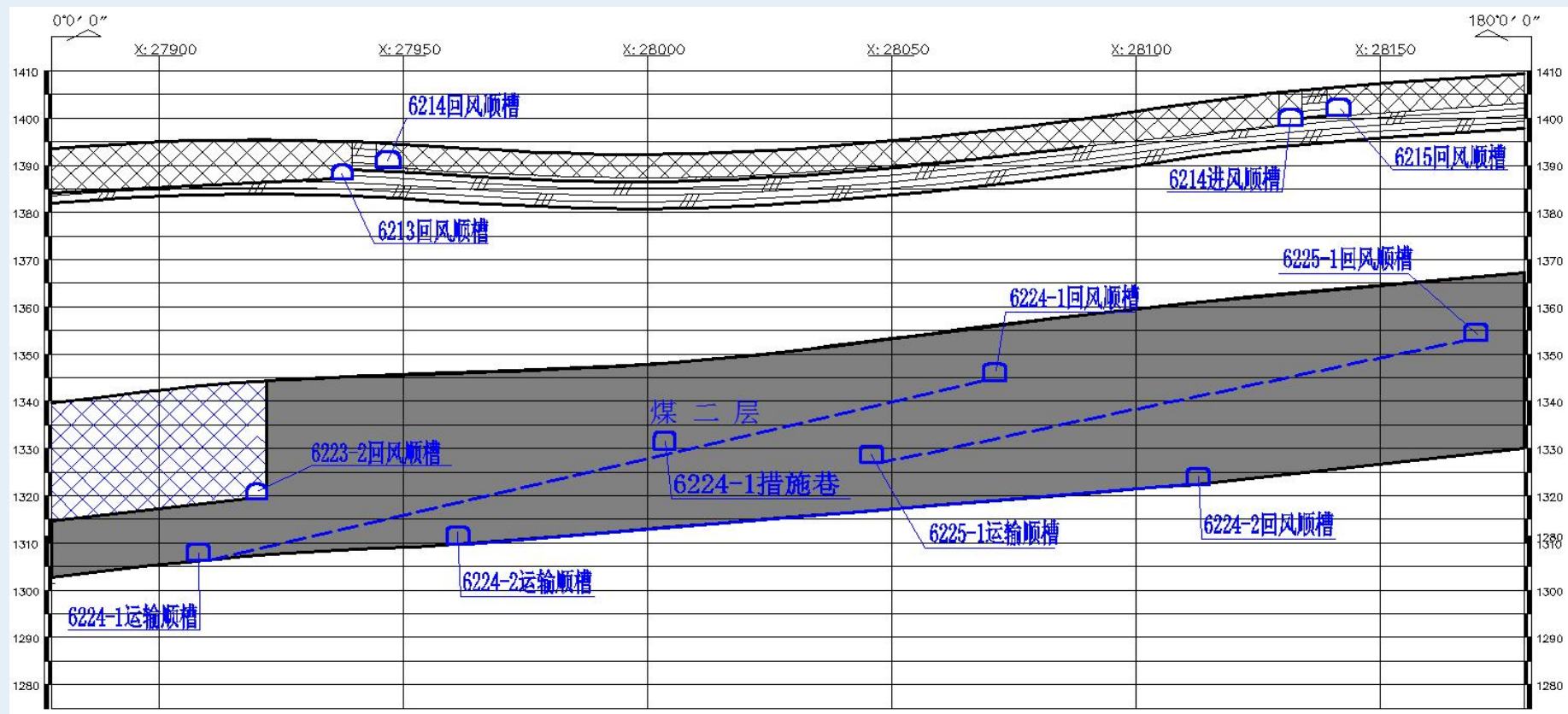
顶板高位定向钻孔



工作面顺槽抽放孔



工作面采空区抽放钻孔

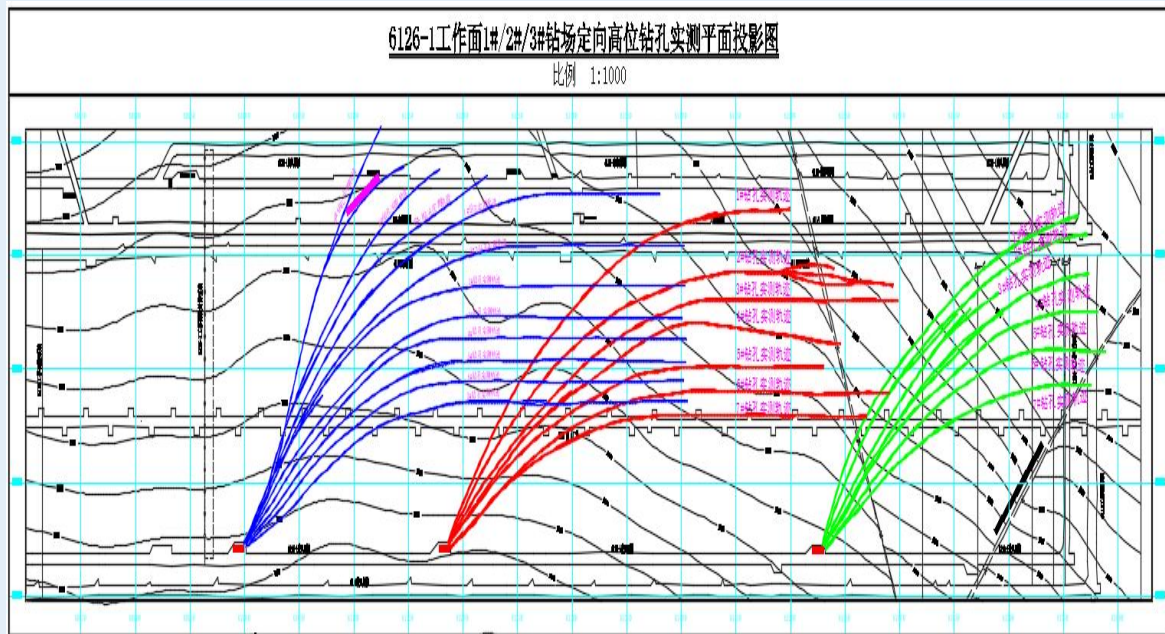


保护层开采示意图

(三) 生产区瓦斯治理措施

2. 油气治理

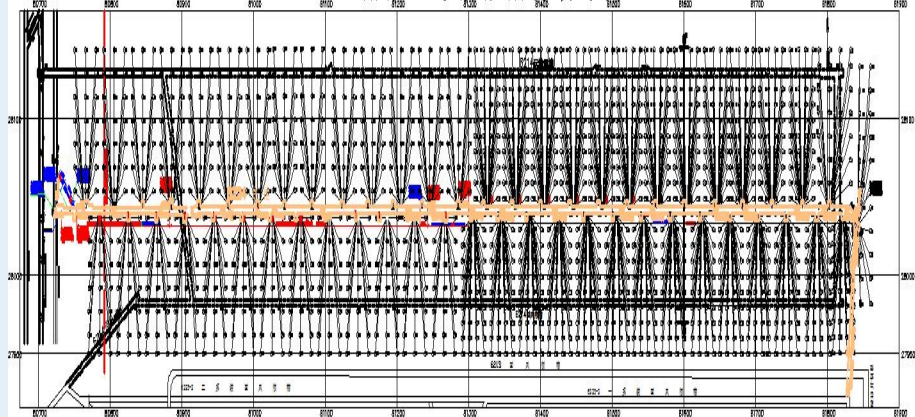
油气灾害治理一直以来是窑街矿井灾害治理中的一个重要组成部分，目前海石湾煤矿油气高危区为油页岩工作面。油气治理现阶段措施是在油页岩工作面钻场向工作面顶部油砂层施工高位定向油气抽采钻孔，对油砂层赋存的油气进行抽采拦截，防止油、油气下泄至油页岩工作面，达到油气治理目的，施工的钻孔采用现有的瓦斯抽采系统进行抽采，利用油气分离器分离油气混合物，对分离后的原油进行收集利用，气体则通过抽采系统进行排放。



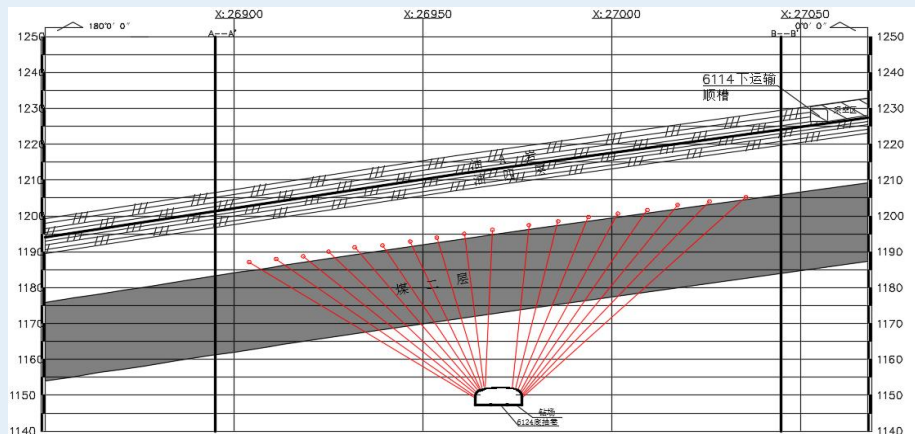
（三）生产区瓦斯治理措施

3.普通穿层钻孔

为起到更好的防突效果，实施穿层钻孔抽采瓦斯，开采保护层前在煤二层底板以下15~25m沿工作面走向布置贯穿被保护层工作面底抽巷，在底板岩巷两侧布置、施工抽采钻场，钻场间距为20m，钻孔布置均匀，钻孔直径 $\phi 113\text{mm}$ ，增加封孔长度，封孔方式为“两堵一注”囊袋封孔，连抽工艺采用液压胶管快速连接，杜绝漏气，孔口抽采负压不低于13KPa，钻孔施工完毕后及时并入抽采系统进行抽采，单孔流量平均为 $0.1\text{m}^3/\text{min}$ ，平均抽采瓦斯浓度为30%。通过向煤层内施工大量密集钻孔，经过12个月以上的预抽瓦斯进一步降低煤层瓦斯压力，瓦斯含量。



底抽巷穿层钻孔设计平面图



底抽巷穿层钻孔设计剖面图

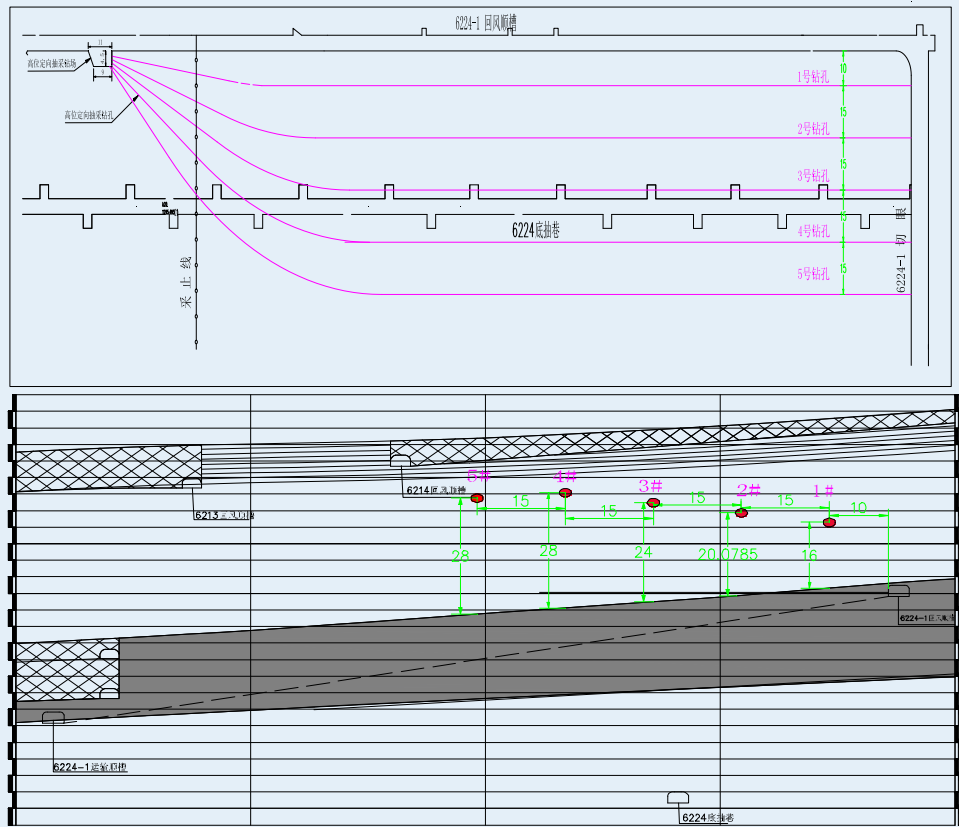


井下抽采钻场图

(三) 生产区瓦斯治理措施

4.顶板高位定向钻孔

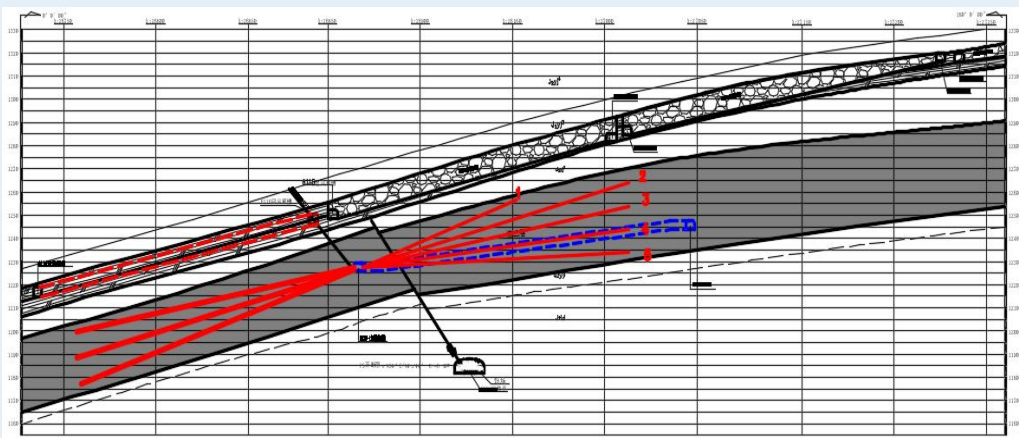
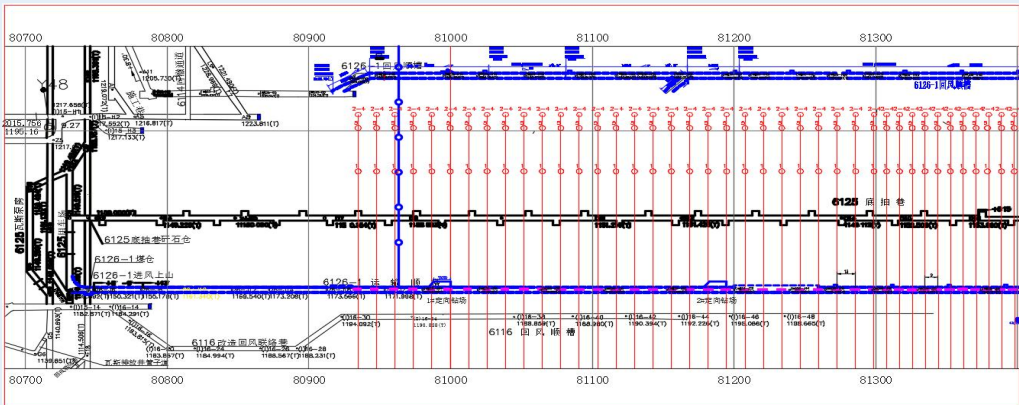
为解决综采放顶煤工作面上隅角瓦斯问题，根据“O型圈”“竖三带”理论和瓦斯扩散-渗流理论的研究成果以及煤矿瓦斯防治的实践经验，在工作面顶板实施高位大孔径定向钻孔抽采采动裂隙带内的瓦斯，单孔流量平均为 $12\text{m}^3/\text{min}$ ，平均抽采 CH_4 浓度2.9%，平均抽采 CO_2 浓度12.5%，实现以孔代巷，是解决采空区瓦斯涌出问题的有效途径之一，具有钻进效率高、一孔多用、集中抽采等优点。



6224-1工作面顶板定向钻孔布置图

5.工作面顺槽抽放孔

在工作面进、回风顺槽钻场内施工沿煤层倾向方向的顺层钻孔，抽放钻孔布置呈放射状，终孔的预抽卸压半径按10m设计，平均单孔流量为 $0.1\text{m}^3/\text{min}$ ，平均抽采混合瓦斯浓度为25%，有效降低了工作面回采时工作面瓦斯涌出量。



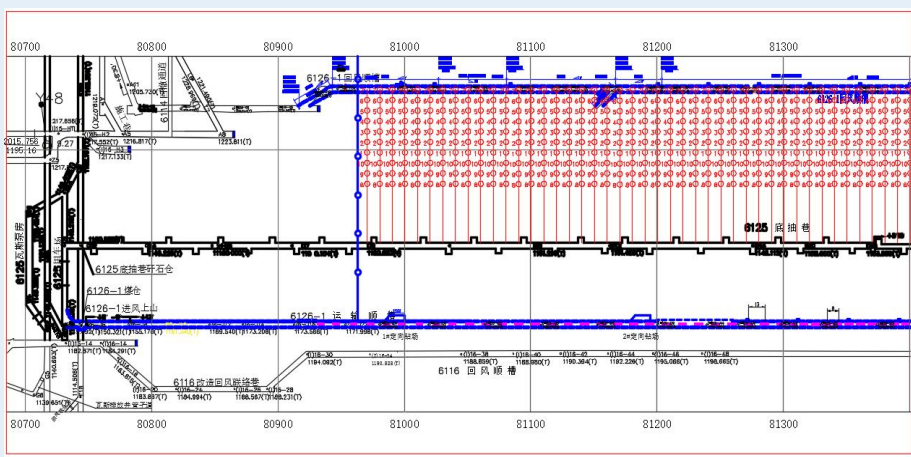
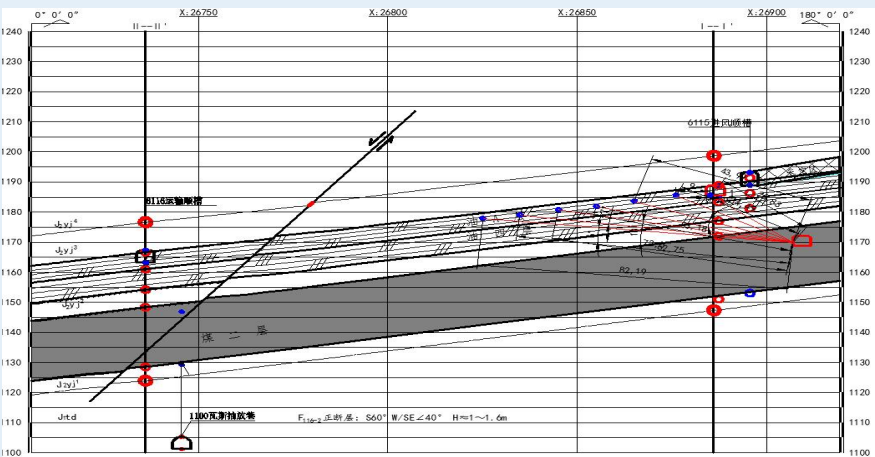
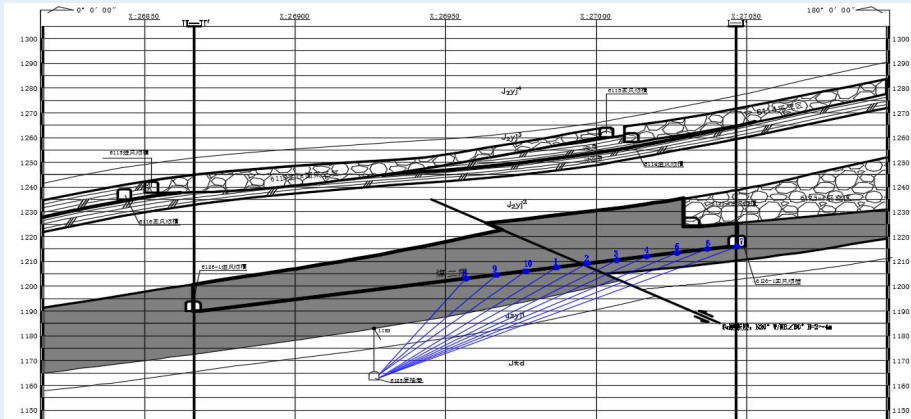
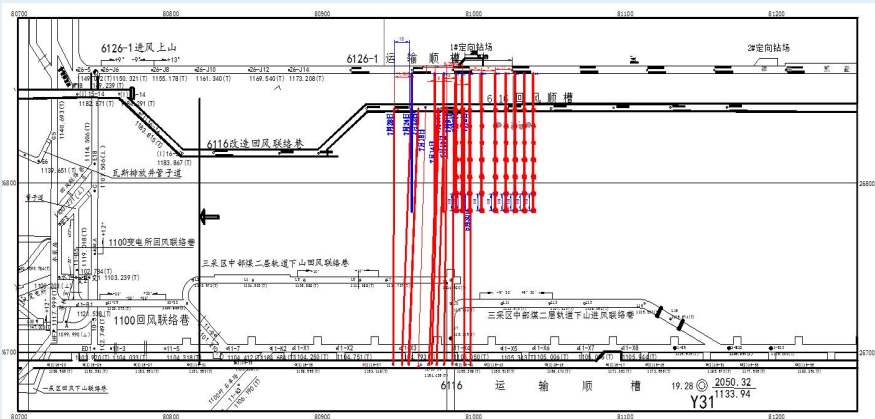
工作面顺槽抽放钻孔设计图

(二) 准备区瓦斯治理措施

6.工作面采空区抽放钻孔

采煤工作面回采期间当瓦斯涌出量大时，利用煤二层底抽巷向后部散热带内施工采空区抽放钻孔，截断采空区瓦斯向工作面的涌出通道，终孔位置按风流方向和瓦斯流动规律布置工作面上段1/4处（0-50m范围内），终孔间距5-8m，孔径 $\phi 133\text{mm}$ ，平均单孔流量为 $1.5\text{m}^3/\text{min}$ ，平均混合瓦斯浓度为10%。随着工作面推进，在当钻孔进入氧化带时，改为灌浆钻孔，达到了一孔两用的目的。

由于油页岩工作面回采期间，煤二层大量卸压瓦斯涌入油页岩工作面采空区，为解决工作面配风量大、上隅角瓦斯浓度高的问题，利用煤二层工作面巷道向上部油页岩工作面施工采空区抽放钻孔，配备专用瓦斯抽放泵进行抽放。同时调整油页岩下部煤二层抽放系统，集中抽放煤二层卸压区瓦斯，从源头上有效减少了油页岩工作面采空区瓦斯涌入量。



油页岩工作面采空区抽放钻孔设计图

煤二层工作面采空区抽放钻孔设计图

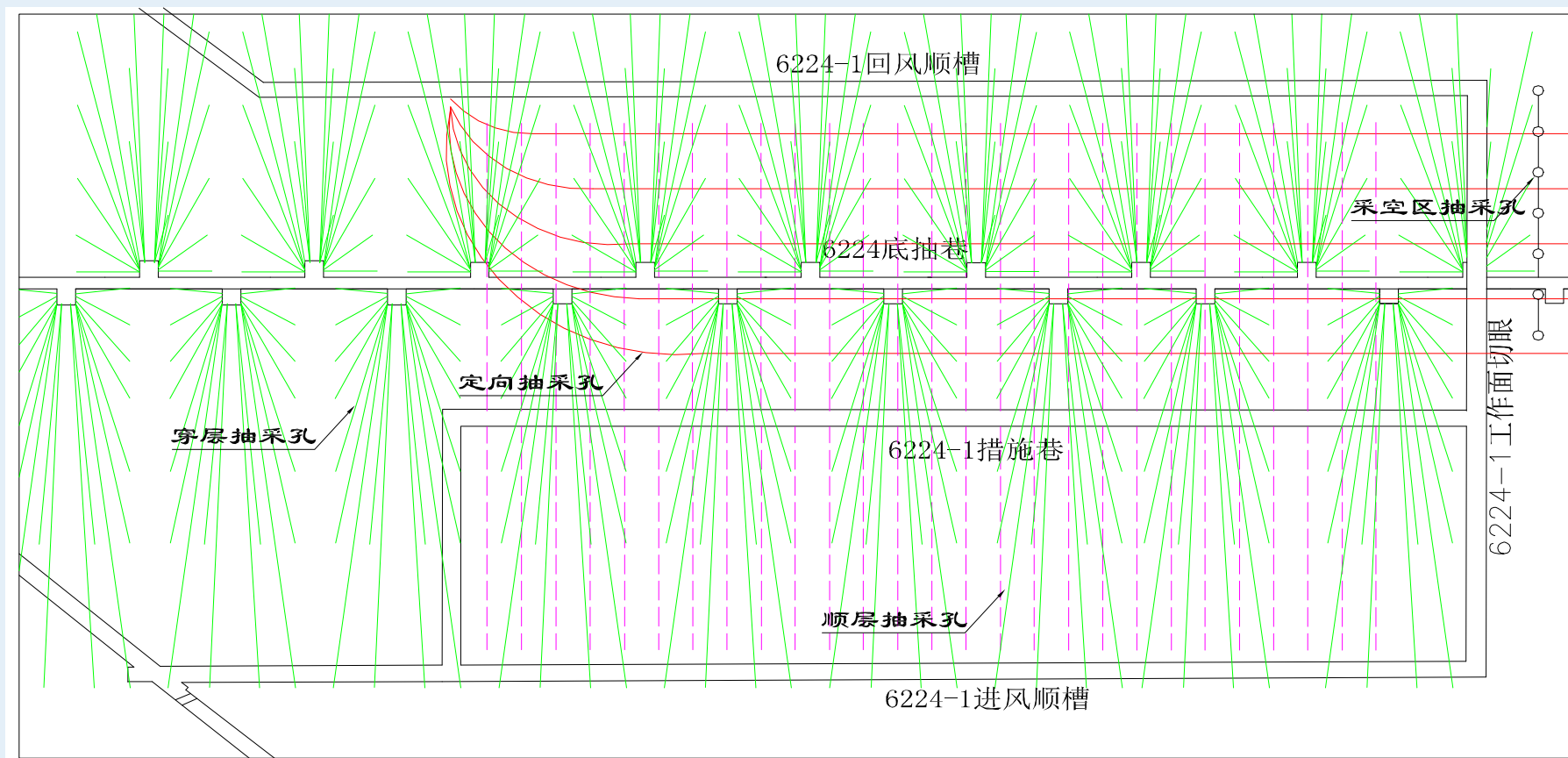
(四) 油气、瓦斯治理效果

通过采取油气治理措施，油页岩工作面在掘进、回采期间均未发生油气涌出、喷出、燃烧和突出等危害，未发生油气泄露事故。

6224-1采煤工作面，通过实施上述立体抽采措施，工作面倾斜长度由120m增加至180m，工作面圈定煤量增加50%，工作面推进度由80m/月降至50m/月，使矿井生产更加从容，同时有利于冲击地压防治，工作面在回采期间上隅角甲烷浓度始终保持在0.5%以内，二氧化碳浓度保持在0.8%以内，回风顺槽甲烷浓度0.2%，二氧化碳浓度0.5%，抽采率达到70%以上，有效减少了采空区瓦斯涌入工作面，治理效果显著。

6224-1工作面抽排比例统计表

工作面	定向钻孔 (m ³ /min)	穿层钻孔 (m ³ /min)	顺层钻孔 (m ³ /min)	采空区钻孔 (m ³ /min)	上隅角 (m ³ /min)	合计抽采量 (m ³ /min)	风排量 (m ³ /min)	抽排率
6224-1 工作面	9.19	12.48	10.05	1.2	2.4	35.32	18.06	2:1



6224-1工作面立体抽采钻孔示意图

PART 03

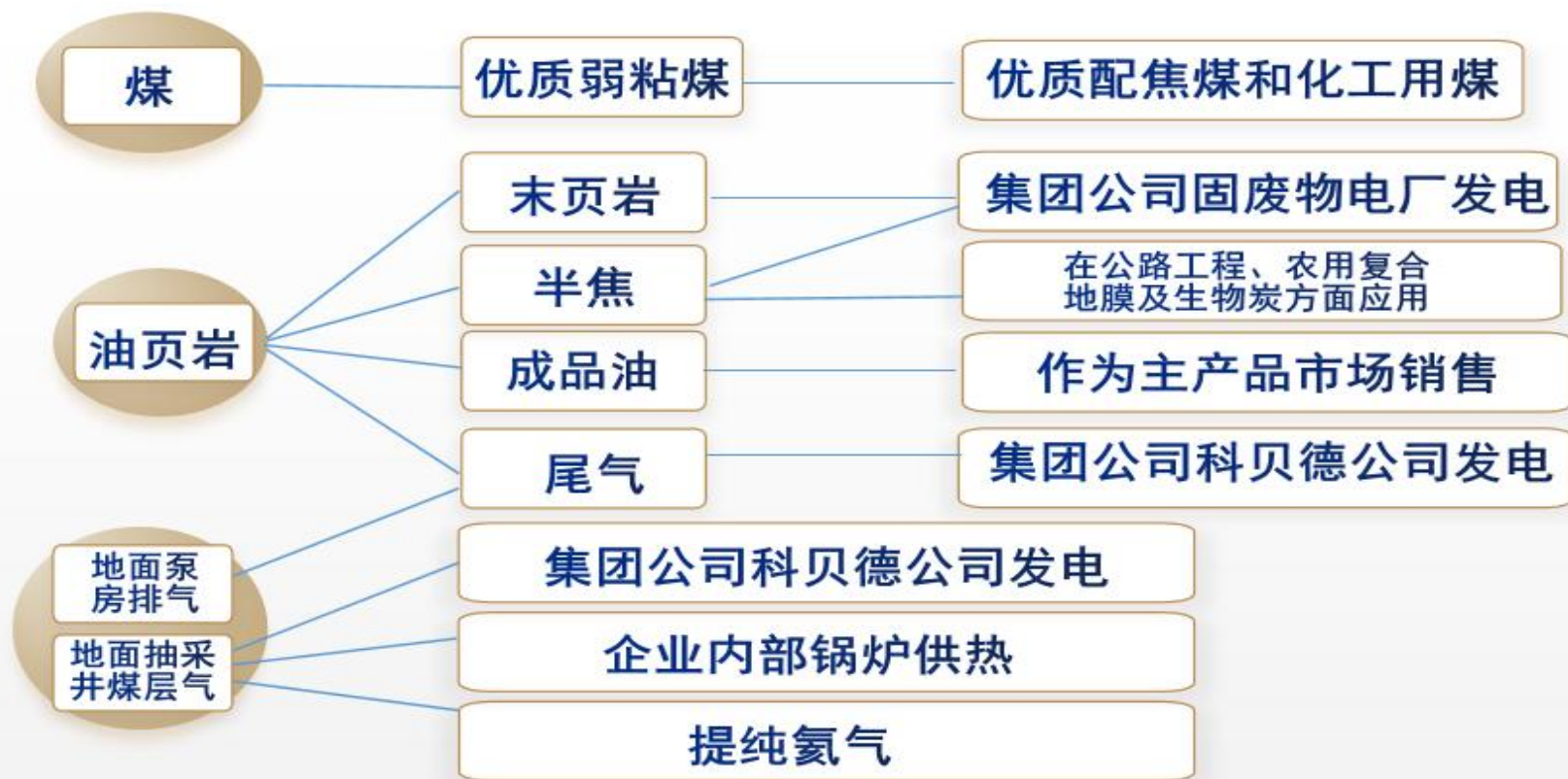
煤、岩、油、气产业协同发展

- 煤
- 岩、油利用
- 气利用

煤、岩、油、气产业协同发展

海石湾矿井东西宽2.4km，南北长2.6km，井田面积6.2396km²，截止目前，矿井剩余储量1.05亿t，其中可采储量6661万t；井田内油页岩储量3135.55万t，焦油产率9.8%-23.7%，平均16.55%；井田内储气量约77.05亿m³ (CH₄20.5亿m³，CO₂56.55亿m³)，深部扩大区储气量约11.54亿m³，2019年年底集团公司制定了煤层气（瓦斯）抽采三年计划和中长期规划，开始实施地面煤层气抽采项目，形成了井上下“三区”联动立体抽采体系，开启了“窑街瓦斯治理模式”。

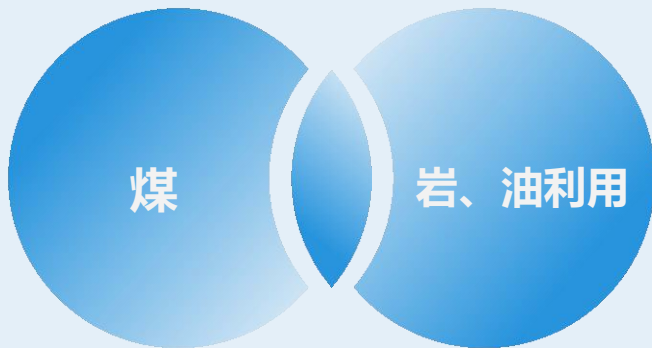
海石湾煤矿地面已建成30口煤层气抽采井，目前30口抽采井全部正常排采，抽采的煤层气甲烷浓度在54%左右，二氧化碳浓度在20%左右，氮气浓度在20%左右。



煤、岩、油、气产业结构图

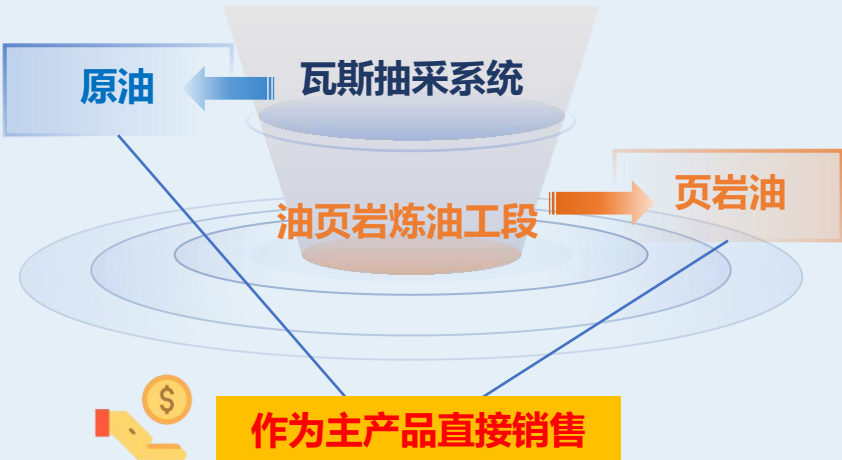
煤、岩、油、气产业协同发展

- 海石湾煤矿年产180万t，2023年实现煤炭营业收入16.72亿元，上缴税费2.37亿元，生产的配焦煤在全国范围资源相对短缺，是宝贵的能源资源，是生产焦炭和其他重要工业产品的关键原料，在钢铁、有色金属冶炼和其他相关行业中有着广泛的应用。



- 海石湾煤矿生产的油页岩运输至油页岩公司进行炼油，炼油过程产生的尾气供科贝德公司用于燃气发电机组燃烧发电，末页岩销售至窑街固体废物利用热电公司作为燃料进行发电，半焦首先作为燃料供窑街固体废物利用热电公司燃烧发电，其次与科研院所研究在公路工程中、农用复合地膜及生物炭方面进行应用。

煤、岩、油、气产业协同发展



2023年

页岩油	2.34万吨
工业总产值	11872.79万元
营业收入	11093.79万元
完成利润	1957.02万元
税费	1723.3万元

2024年1-9月

页岩油	1.86万吨
工业总产值	8948.97万元
营业收入	8401.05万元
利润	554.73万元
税费	546.75万元

煤、岩、油、气产业协同发展

气利用

01

煤层气燃烧供暖

- 海石湾煤矿上工业广场锅炉房原采用LNG燃烧供暖，2022年对其锅炉房进行改造，改造后可直接利用地面抽采的煤层气作为燃料燃烧供暖，比采用LNG燃烧供暖每年可节约100余万元。

02

煤层气发电利用

- 海石湾煤矿地面抽采井日产气量33000m³左右，产气量正稳定增长中，产气效果和潜力均较好。为利用海石湾煤矿煤层气这一清洁能源，减少煤层气对空排放造成的大气环境污染，2022年7月窑街煤电集团有限公司建设海石湾煤矿地面抽采煤层气发电利用项目，建设4台1000kw发电机组，发电容量为4000kW，年发电量1725万度左右。

煤、岩、油、气产业协同发展

03

煤层气氦气分离中试项目

- 中国氦气（He）资源稀缺，勘探程度极低，资源储量仅占全球的2.1%。氦气在国防军工、核设施、半导体制造、生物医疗及低温工业等领域具有无可替代的重要作用，是关乎国家安全和高新技术产业发展的重要战略资源。针对海石湾煤矿煤层气中含有氦气，达到工业氦气提纯要求，与北京煤科院合作研究，2023年5月开始实施了煤层气氦气分离中试项目，10月底建成投产运行。项目以海石湾煤矿地面抽采的煤层气为原料气，通过压缩净化、冷干、变压吸附、膜分离等6个联产工艺分离提纯氦气，制备氦气浓度99.999%的高纯氦产品。项目建成运行后，原料气供应气量日均约3.4万方/天、原料煤层气中氦气浓度平均为0.1%，产品气回收率60%左右，高纯氦气日产气量18-20方左右。2024年计划生产氦气6.2万m³。该项目技术先进，为国内首套煤层气分离制备氦气的中试项目，在不影响现有煤层气发电利用系统的前提下获得氦气产品，提高了煤层气资源的利用效率。

集团公司根据矿井灾害治理需求，结合资源赋存优势，以高质量发展为目标，积极履行国企之社会担当，着力构建“煤、岩、油、气”协同开采生产格局，在高效治理矿井灾害、稳固安全生产基础的同时延伸产业链，提高资源开发利用质效，使企业生产经营形势积极向好，增加了人员就业，在各种资源充分利用的同时减少了固体废物和气废物的排放，形成了一套以矿井灾害治理与变废为宝、变害为宝相结合的产业体系，使矿井灾害治理、生产经营、环保、社会担当高度契合的同时，奋力打造一流现代化综合能源企业。





感谢聆听!