

## 大佛寺煤矿瓦斯治理主要做法

### 一、矿井概况

大佛寺矿位于陕西彬长矿区南部，行政区划隶属彬州市、长武县，矿井设计生产能力 800 万吨/年，核定生产能力 750 万吨/年，服务年限 53.3 年。矿井主采煤层为 4 煤，4<sup>±</sup>煤局部可采，4 煤平均厚度 10.31m，4<sup>±</sup>煤平均厚度 2.49m，煤层赋存稳定，4 煤采用综采放顶煤开采工艺，4<sup>±</sup>煤采用综采一次采全高开采工艺。煤层埋深 270.66m~804.60m，平均 482m，自井田东部向西部逐渐增大。

矿井自然灾害严重，瓦斯、水、火、冲击地压、顶板、煤尘等灾害耦合叠加，治理难度大。矿井为高瓦斯矿井，绝对瓦斯涌出量历年最高达 210m<sup>3</sup>/min，瓦斯是威胁和制约矿井安全发展的突出难题。开采的 4 煤、4<sup>±</sup>煤属易自燃、自燃煤层，自然发火期最短 30 天；矿井水文地质类型为“复杂型”，且为冲击地压矿井。各类灾害因素相互交织影响，多元灾害制约瓦斯治理，使得危害程度进一步放大。

矿井开采的 4 煤、4<sup>±</sup>煤层主要为原生~碎裂结构煤层，坚固性系数较高，瓦斯含量较高，瓦斯压力较低，煤层透气性系数较小，吸附态瓦斯量占比大。煤层瓦斯含量一般 2-4m<sup>3</sup>/t，井田中东部最大 6.8m<sup>3</sup>/t，煤层瓦斯压力 0.16~0.6MPa，坚固性系数 1.0~

1.1, 煤层透气性系数  $0.051 \sim 6.148 \text{m}^2/\text{MPa}^2 \cdot \text{d}$ , 瓦斯放散初速度为  $9.0 \sim 21$ 。

## 二、瓦斯综合治理体系建设

矿井牢固树立瓦斯“零超限”目标, 坚持瓦斯可防可控理念, 创新瓦斯治理技术, 强化瓦斯治理基础保障, 构建了独具特色的“11258”瓦斯综合治理体系。

### (一) 锚定一个目标

实行瓦斯“零超限”目标管理, 坚持日报告、月检查、季考核的瓦斯“零超限”目标管理体系。

### (二) 明确一条技术路线

矿井采用“井上下抽采相协同、三区递进相协调、预抽与采动卸压相耦合”的“三区联动”瓦斯抽采技术路线, 采取8年以上规划区地面抽采、3~8年准备区区域预抽、1~2年生产区边掘边抽、采前预抽和卸压抽采的三区联动立体瓦斯抽采, 在空间上体现为井上下相结合, 在时间上体现为中长远规划与短期生产准备相结合, 在方式上体现为预抽与卸压抽采相结合。

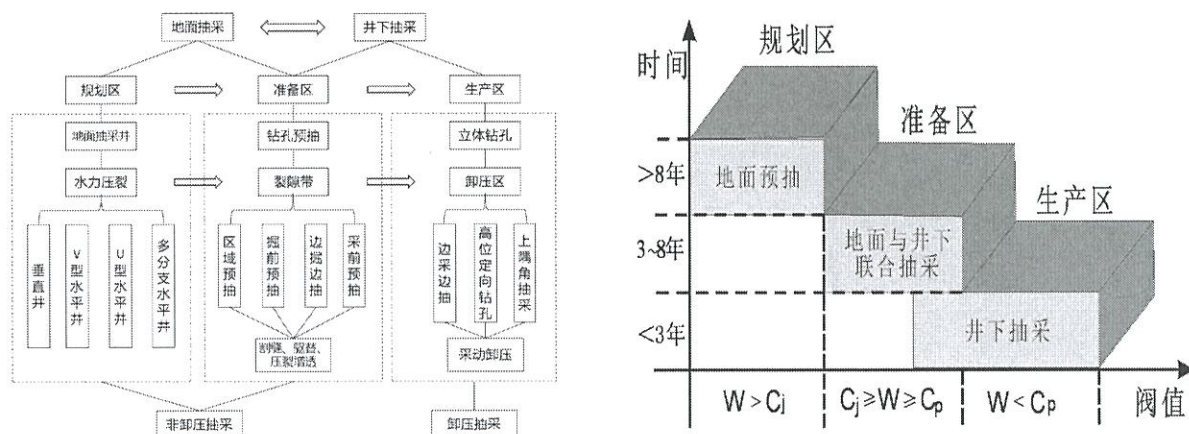


图1 瓦斯抽采技术路线图

### (三) 推行两种治理模式

根据矿井瓦斯在高压阶段易解析、易抽采，在中低压阶段解析难、抽采难，在受采动影响后，瓦斯又极易快速解析释放的特点，推行“预抽达标+精准卸压”两种治理模式，瓦斯预抽技术采取地面抽采、井下区域预抽、边掘边抽、采前预抽，联合水力压裂、水力割缝和液态二氧化碳驱替等增透技术提高预抽效率；卸压瓦斯抽采采取高位定向钻孔、邻近层抽采、高位裂隙钻孔、上隅角埋管抽采等，实现卸压瓦斯精准抽采。

### (四) 创新五项关键技术

#### 1. 地面抽采技术

坚持8年以上规划区地面抽采，在井田范围内实施了62组煤层气地面抽采井，包括生产直井、多分支水平井、远端对接“U”型井、“V”型井、丛式定向井井型，采用“环空注气欠平衡钻井+储层压裂改造+分阶段定压排采”工艺，破解了钻进中储层易污染、产能低的难题，水平井单井日产气量最高达3万 $m^3$ ，垂直井单井日产气量最高达4000 $m^3$ ，地面累计抽采瓦斯量1.4亿 $m^3$ ，地面抽采技术预抽率达到20%。

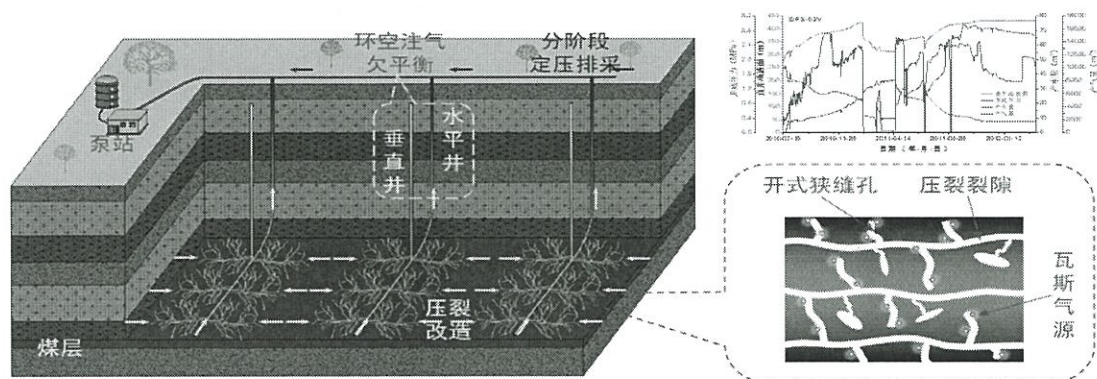


图2 地面抽采技术示意图

## 2. 近距离煤层解放层开采一体化瓦斯治理技术

根据矿井煤层赋存情况，4煤、4<sup>±</sup>煤层间距2-40m，选取4<sup>±</sup>煤作为关键层优先进行解放层开采，同时在下部4煤区域布置大直径长距离预抽钻孔，拦截抽采下分层瓦斯。4<sup>±</sup>煤开采后形成全新裂隙场大量抽采4煤卸压瓦斯，4<sup>±</sup>煤作为解放层开采后4煤层瓦斯含量降低40%以上，实现两层煤瓦斯同时治理的效果。

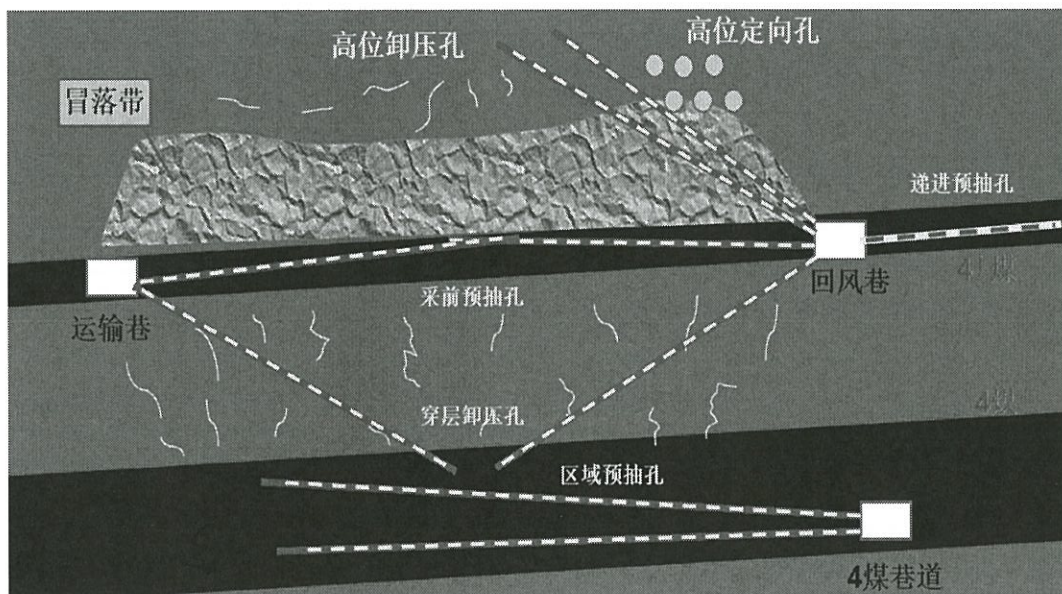


图3 近距离煤层解放层开采一体化瓦斯治理技术示意图

## 3. 定向长钻孔水力压裂区域预抽技术

采取3~8年准备区区域预抽，利用开拓大巷或布置专用区域预抽巷，开展瓦斯区域大超前治理工作。使用大功率定向钻机施工长距离定向钻孔，钻孔深度超过1000m，孔径 $\Phi 120\text{mm}$ ，钻孔成孔后开展“分段+整体”水力压裂，分段压裂扩张裂隙、整体压裂沟通网络，解决了瓦斯储层中压解吸阶段受控难题，压裂影响半径46~58m，瓦斯抽采效率提高3~5倍。

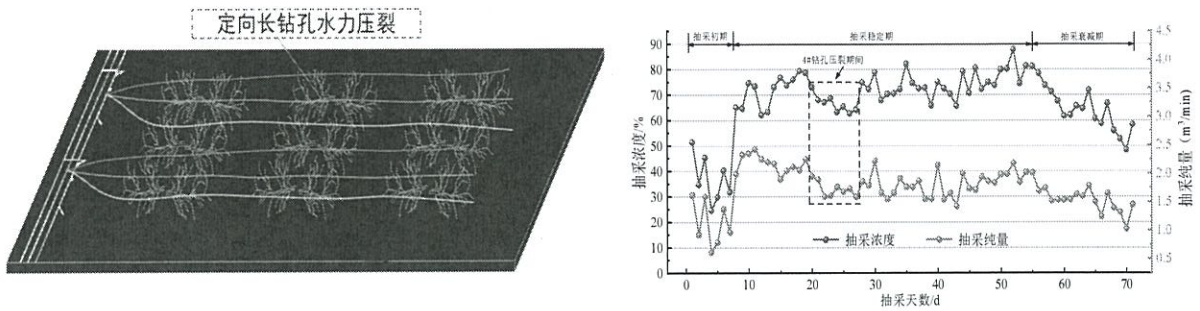


图4 定向长钻孔水力压裂区域预抽技术示意图

#### 4. 本煤层网格化采前预抽“2-111”瓦斯高效抽采技术

坚持“一面一策”“一段一策”“一单元一设计”，根据工作面各单元煤层瓦斯含量、预抽时间等条件，分单元差异化设计本煤层采前预抽钻孔，实现工作面内网格化覆盖。在钻孔内同步应用“2-111”瓦斯高效抽采技术，将高压水射流割缝和二氧化碳致裂增透两种技术结合，在瓦斯钻孔单孔内，进行一次割缝增透卸压、一次二氧化碳气相脱附驱替、一次导向扩孔驱气，增大导流裂隙，提高二氧化碳气相脱附驱替瓦斯效果，实现瓦斯高效抽采，“2-111”瓦斯高效抽采技术钻孔抽采效率提高2.6倍，工作面回采前残余瓦斯含量预抽至 $2\text{m}^3/\text{t}$ 以下。

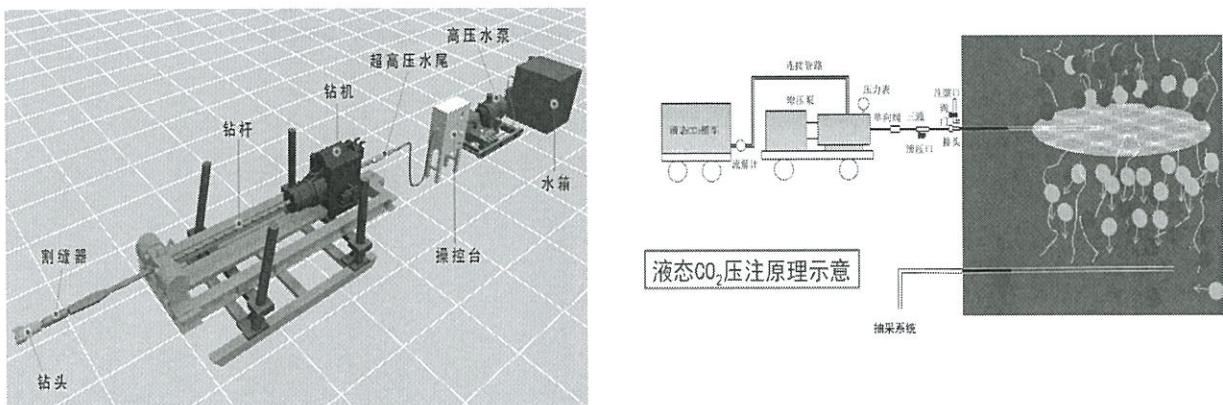


图5 “2-111”瓦斯高效抽采技术工艺示意图

## 5. 高位定向钻孔“以孔代巷”技术

以“大孔径、多层位、高负压、大流量、密集抽”为思路，在工作面回风巷侧“○”型裂隙圈内选定稳定关键层，沿工作面走向施工大直径高位定向钻孔，钻孔施工采用 $\Phi 120\text{mm}$ 一次定向钻进成孔、 $\Phi 200\text{mm}$ 一次导向扩孔工艺，针对顶板砂质泥岩复杂地质条件，采用“套铣钻杆+筛管护孔”工艺，保障了钻孔服务期限及抽采效果。高位定向钻孔抽采瓦斯量 $6\text{--}15\text{m}^3/\text{min}$ ，占工作面绝对瓦斯涌出量的50%以上，成功实现了取消高抽巷目标。

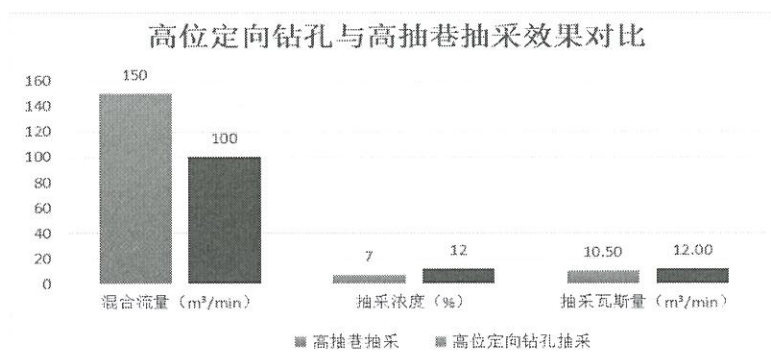
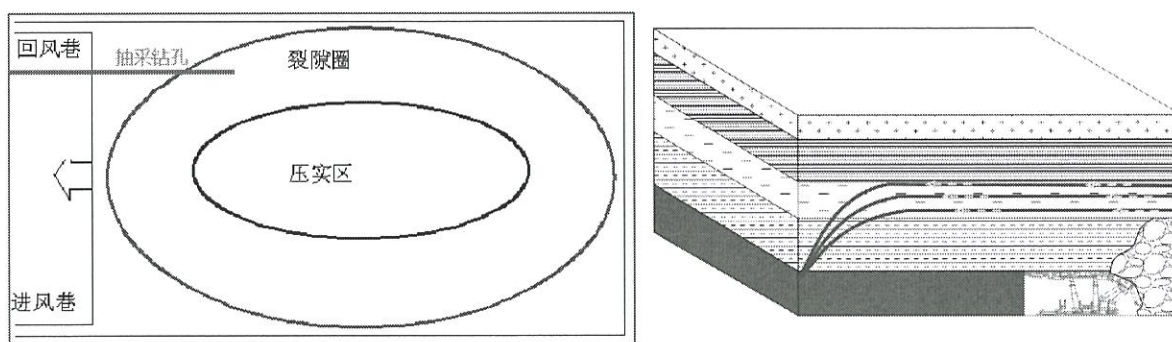


图6 高位定向钻孔“以孔代巷”技术示意图

### (五) 强化八个基础保障

#### 1. 树牢先进理念

矿井以瓦斯“零超限”目标为引领，牢固树立“灾害治理能

力必须大于生产能力”“瓦斯超限就是事故”“煤与瓦斯共采，治理与利用并重”等符合自身实际的瓦斯治理理念，瓦斯治理工作从过去的“被动治”发展到现在的“主动防”。

## 2. 健全责任机制

矿井建立了瓦斯治理各项制度，制定有《矿井瓦斯“零超限”目标管理实施办法》等，做到瓦斯治理各项工作“有法可依”。健全了以董事长、总经理为安全生产主要责任人的瓦斯防治责任体系和以总工程师为核心的技术管理体系，实行瓦斯“零超限”目标管理，把瓦斯治理各项工程纳入日常经营考核指标，与矿领导班子年薪挂钩考核，确保各项制度、措施落实到位。

## 3. 细管理重问责

推行瓦斯治理工作精细化管理，实现全过程管控。一是建立“瓦斯钻孔全生命周期管理”制度，实现钻孔施工全过程质量监督，钻孔施工、验收人员终身负责。二是推行打钻过程可视化，坚持“一钻孔一工程”，采用视频监控系统、智能矿灯，实现打钻全过程在线视频监控、线上验收、远程纠违。三是打造钻孔轨迹透明化，利用随钻轨迹仪、钻孔测井分析仪，掌握钻孔的轨迹和深度，杜绝抽采盲区。四是保障抽采效果精准化，使用瓦斯管道在线监测装置、瓦斯抽采效果智能分元评价系统，实现对采掘工作面各单元瓦斯含量、压力、瓦斯抽采累积量等参数的计量分析和动态评价，采用现场取样实验室测定分析相结合，实现瓦斯防治“预评价—过程动态评价—达标评价”全过程精准化。

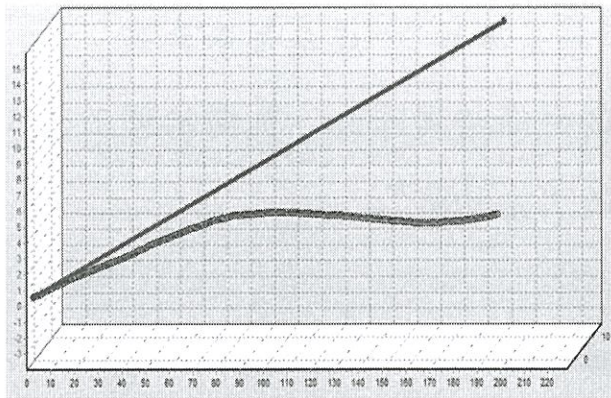


图7 钻孔轨迹示意图

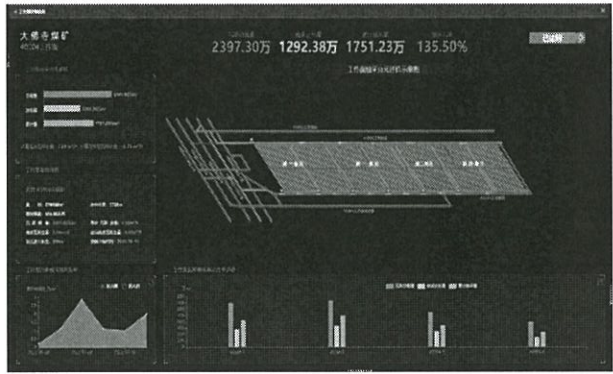


图8 瓦斯抽采分元评价系统图

严格制定并执行刚性的管理制度，提高工作落实力。一是出台以瓦斯管理为重点的《安全生产“二十一条红线”》，对“瓦斯超限作业的决策者、隐瞒瓦斯超限的责任者”等21类相关责任人，给予免职或解除劳动合同处分。二是严格执行“瓦斯浓度增量超过0.2%重点关注、0.5%预警、0.8%报警断电”管理制度，对瓦斯浓度超过0.8%的责任事故严肃进行责任追究。三是制定《瓦斯“零超限”目标管理实施办法》，实行重奖重罚。

#### 4. 优化系统建设

一是超前布局，提升通风能力。对1#主要通风机进行改造，提高风量；补充建设木盘川风井，实现分区通风。二是统一规划，强化抽采能力建设。先后建成地面瓦斯抽采泵站3个，建有地面永久瓦斯抽采系统12套，总装机能力4800m<sup>3</sup>/min。三是优化完善，提高供电系统可靠性。在双回路基础上引入瓦斯发电厂一回路作为保安电源，实现矿井三回路供电，保障主要通风机、抽采泵正常运转。

#### 5. 超前地质预报



坚持“瓦斯治理，地质先行”的原则，根据煤层瓦斯赋存情况，对井田范围瓦斯等级进行划分，采用“12345”瓦斯地质工作方法，将不同等级的瓦斯赋存区域，综合采用地面钻孔补勘、瞬变电磁法、三维地震勘探、直流电法等手段，详查、普查、精查。推行“一孔多用”超前地质探查技术，利用迎头防冲卸压钻孔、边掘边抽钻孔精准探明前方地质条件，为瓦斯治理工作奠定地质保障基础。

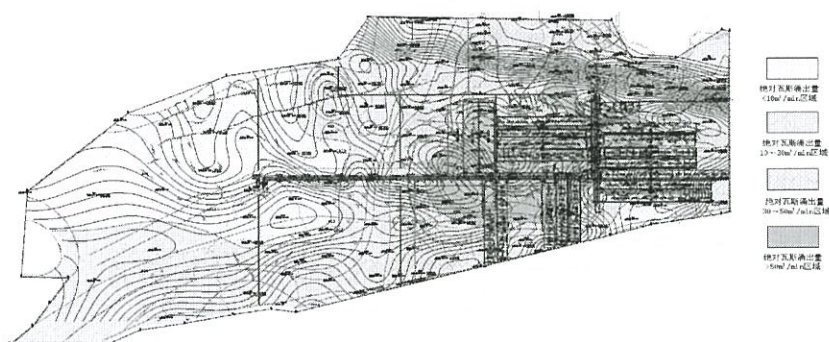


图9 瓦斯地质图

## 6. 优化采掘布局

积极从设计源头入手，推行“一井三区、一区一面、分区开采”的生产布局，积极探索复杂地质多元灾害条件下快速掘进难题，引进快速掘进成套装备，狠抓单进水平提升，打破采掘接续紧张局面，从时空上隔绝采动影响和灾害因素交织，达到分区而治、源头治理、区域治理、超前治理的目的。

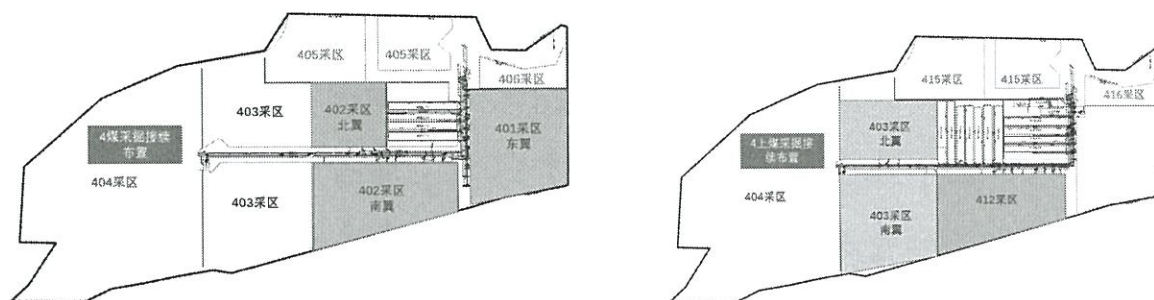


图10 4煤、4<sup>上</sup>煤采掘接续布置图

## 7. 依靠“装备+科技”驱动

近三年购置抽采钻机 19 台,其中 ZDY15000LD 定向钻机 3 台、ZDY6000LD 定向钻机 1 台,配备水力压裂设备 1 套、超高压水力割缝设备 1 套、移动式液态二氧化碳装置 5 套,建设瓦斯实验室 1 个,引进智能瓦斯抽采效果动态分元评价系统 1 套,建成智能瓦检员巡检系统 1 套,有序推进“一通三防”智能化管控平台建设,构建智能通风、智能抽采、智能防灭火、智能防尘、智能瓦检五个子系统,依托“云端”大数据汇集与分析能力,实现对“一通三防”信息的实时分析、动态诊断、科学预警、态势研判及智能决策,为瓦斯治理提供坚实保障。

大力开展科技创新,先后与科研院所合作完成了《西部侏罗纪煤田瓦斯资源化开发及阶梯式利用关键技术与工程示范》等 10 余项科研项目,其中 1 项荣获中国煤炭工业协会科学技术奖一等奖,6 项分别荣获了陕西煤炭工业科学技术一等奖等荣誉。积极实施自主创新,先后研发《瓦斯抽采钻孔封闭式防喷孔装置》等 30 余项专利授权,认定推广“五小”创新成果 450 余项,其中 50 余项获得中国煤炭协会、中国能源地质总工会等优秀创新荣誉,提升了瓦斯治理工艺水平。

## 8. 强化人才队伍建设

一是大力实施人才强企战略,积极从全国多所大中专院校引进煤矿专业毕业生,全力做好人才引进、储备和培养等工作,目前矿井共有硕士研究生 17 名,本科生 297 名,提高专业人员综合素质。二是与平安煤矿瓦斯治理国家工程研究中心签订技术服

务合同，深入开展瓦斯治理战略合作。三是着力构建“培训、练兵、比武、晋级、超越”五位一体的技能提升新机制，锻造了一支操作规范、技术精湛、技能高超、善于创新的高技能人才队伍，先后涌现出张明明、赵强、巩少武等技术能手，在全国煤炭行业职业技能大赛中取得了一等奖的优异成绩。

### 三、综合利用，以用促抽

矿井始终以绿色发展、循环发展、低碳发展为企业持续发展基本理念，坚持“以利用促抽采，以抽采保安全，以安全增效益”的煤与瓦斯共采工作思路，通过大力实施低浓度瓦斯发电、通风瓦斯利用、地面煤层气开发利用等项目，实现矿井瓦斯阶梯式利用，建成瓦斯“零排放”示范矿井。

#### （一）低浓度瓦斯发电

矿井与新泰能源公司开展低浓度瓦斯发电项目合作，建成总装机容量2.16万KW低浓度瓦斯发电厂，安装发电机组36台，实现了抽采浓度8%以上的瓦斯全部利用，年发电能力1亿度，累计发电8亿度，利用纯瓦斯量3.5亿Nm<sup>3</sup>，减排二氧化碳当量400万吨，有效减少了环境污染，降低了大气温室效应。



图 11 低浓度瓦斯发电车间

## （二）通风瓦斯(乏风)利用

矿井建成了5台6万Nm<sup>3</sup>/h、1台9万Nm<sup>3</sup>/h的氧化装置，通风瓦斯处理能力达到39万Nm<sup>3</sup>/h，成为全国首个“煤矿通风瓦斯利用示范工程”，年减排二氧化碳约41万吨，取得了良好的环境效益和社会效益。对该项目进行改造，新建1台27万Nm<sup>3</sup>/h低浓度瓦斯氧化装置（RTO）+1台30t/h余热锅炉+1台汽水换热站，形成采暖季供暖、非采暖季发电的模式，实现矿井采暖季自主供暖。

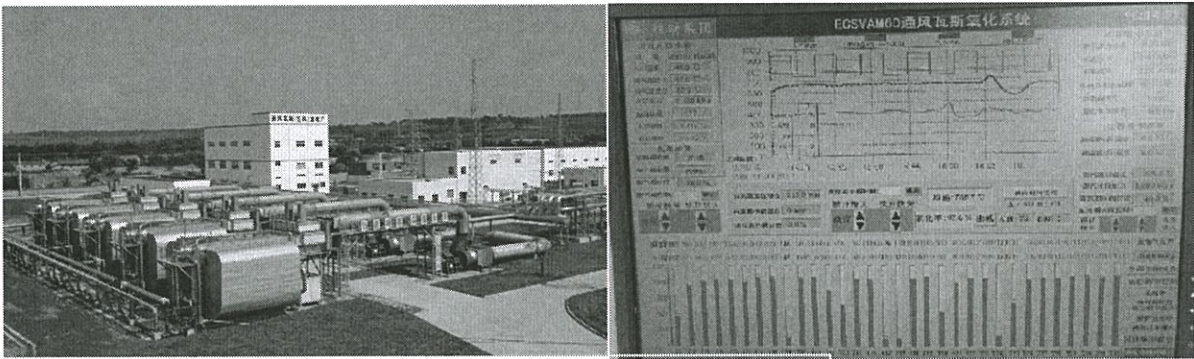


图 12 通风瓦斯利用发电项目

## （三）地面煤层气开发与集输利用

在井田范围内实施了62组煤层气地面抽采井，累计抽采瓦斯量1.4亿m<sup>3</sup>。目前正常产气24组，平均瓦斯浓度70%，日产气量5万m<sup>3</sup>，年产气量1650万m<sup>3</sup>。

建成煤层气集输管网，全线长21.79km，连接井场29座，实现瓦斯发电及销售处理站点输送利用功能。与彬州市玉祥天然气公司合作，建成日处理能力5万m<sup>3</sup>的CNG压缩提纯站一座，实现向周边县城的商业化销售。累计煤层气销售量突破2500万m<sup>3</sup>，减排

二氧化碳约24万吨，有效保障了矿井安全生产，缓解了当地民用天然气供应紧张局面。

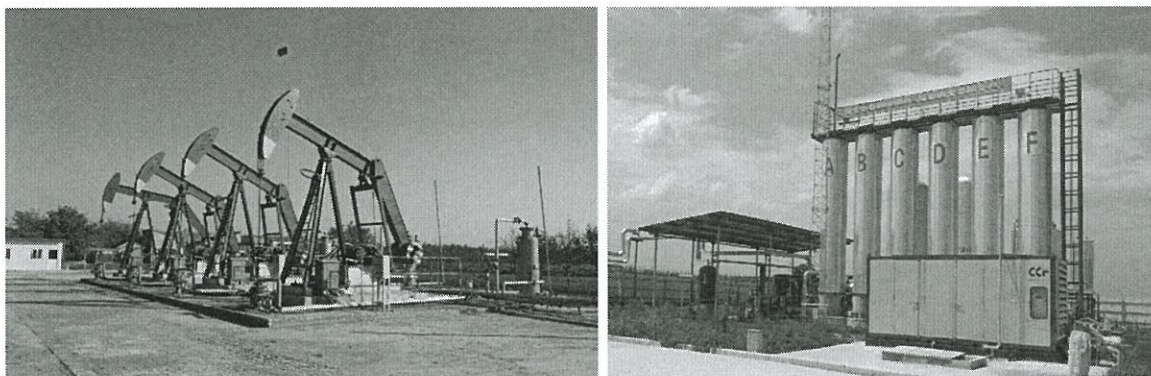


图 13 煤层气开发与集输利用

#### （四）低温余热利用

与航天六院、湖南泰克公司合作开展低浓度瓦斯发电机组烟气余热开发利用示范项目，该项目利用我国航天技术的优势，在国际上首创将有机朗肯循环（ORC）技术引入工业化生产，通过收集低浓度瓦斯发电机组运行排放的尾气余热，实现了为矿井 3<sup>#</sup>副立井井筒供暖及洗浴热水供给。该项目年减排二氧化碳当量约 2.5 万吨。

### 四、瓦斯综合治理效果

矿井通过大力实施瓦斯综合治理，实现了由“局部治理”向“区域治理”、由“生产过程治理”向“超前治理”的彻底转变。规划区经地面抽采后煤层瓦斯含量由 $6.8\text{m}^3/\text{t}$ 降低至 $5.44\text{m}^3/\text{t}$ ，瓦斯预抽率20%；准备区经井下区域预抽后煤层瓦斯含量由 $5.44\text{m}^3/\text{t}$ 降低至 $3.8\text{m}^3/\text{t}$ ，瓦斯预抽率30%；生产区经网格化采前预抽后煤层瓦斯含量由 $3.8\text{m}^3/\text{t}$ 降低至 $2\text{m}^3/\text{t}$ ，瓦斯预抽率45%以上，全部实

现回采前残余瓦斯达标。通过全面构建“11258”瓦斯综合治理体系，矿井瓦斯抽采率提高至75%以上，采煤工作面瓦斯抽采率提高至85%以上，采煤工作面风排瓦斯量控制在 $5\text{m}^3/\text{min}$ 以下，掘进工作面风排瓦斯量控制在 $3\text{m}^3/\text{min}$ 以下，2012年以后连续10年实现了瓦斯“零超限”。