中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

移动阅读

吴群英,陈国梁,冯涛. 煤炭资源开发与利用的立体式生态模式——以陕北矿区“1+4”绿色可持续生态建设为例[J]. 煤炭学报,2020,45(12):4163-4169.

WU Qunying,CHEN Guoliang,FENG Tao. Three-dimensional ecological model of coal exploitation and utilization:Constructing “1+4” green and sustainable development ecology in Northern Shaanxi mining area[J]. Journal of China Coal Society,2020,45(12):4163-4169.

煤炭资源开发与利用的立体式生态模式
——以陕北矿区“1+4”绿色可持续生态建设为例

吴群英[1],陈国梁[2],冯 涛[2]

(1. 陕西陕煤陕北矿业有限公司,陕西 榆林 719000; 2. 湖南科技大学 煤炭资源清洁利用与矿山环境保护湖南省重点实验室,湖南 湘潭 411201)

摘 要:煤炭资源开采、加工、转化,最终需转化成社会需求,这一全链条活动过程是否是生态型的,决定了煤炭开采绿色水平、全要素生产率的水平及煤炭资源开采的前途。运用系统工程方法论,研究了煤炭资源的开采、价值发挥和生态文明建设的相互关系,对涉煤的一、二、三产业门类进行多维度分层的基础上,提出了煤炭开采过程中的立体式生态模式,确立了煤炭开采立体式生态体系中自然环境生态、产业生态、社会网生态等方面的关键要素、逻辑关系、构建方式以及煤炭开采立体式生态系统的“内涵、途径、目标、措施”。立体式生态系统中的开采业务技术生态解决煤炭“安全高效清洁”的产出问题,解决“有煤”的问题;自然环境生态解决开采与环境的“共生协调”问题;产业链生态解决煤炭“高效清洁利用”问题,是煤炭价值最大化的问题;社会网生态解决“煤竭矿兴和低碳”的问题;煤炭资源开发与利用的立体式生态模式改变了以往业务主体的单体生态、行业或部门的单线生态的定位和功能,形成由单个主体、行业单线向立体网络化生态体系的迈进;立体式生态模式打破了现有模式局限,不再是环保、个体最优,而是相关方的综合生态,是协调共享、可持续的机制、效率变革、以全要素生产率提升而完善和发展的生态系统。在此基础上分析了陕北矿区“1+4”绿色可持续立体式生态建设,明确了立体式生态模式在煤炭资源开采和利用过程中的作用。

关键词:立体式生态模式;煤炭资源开发与利用;全要素生产率;多维度;绿色开采

中图分类号:TD8;X24 **文献标志码**:A **文章编号**:0253-9993(2020)12-4163-07

Three-dimensional ecological model of coal exploitation and utilization: Constructing “1+4” green and sustainable development ecology in Northern Shaanxi mining area

WU Qunying[1],CHEN Guoliang[2],FENG Tao[2]

(1. *Northern Shaanxi Mining Co.,Ltd. of Shaanxi Coal Group,Yulin* 719000,*China*; 2. *Hunan Province Key laboratory of Coal Resources Clean-utilization and Mine Environment Protection,Hunan University of Science and Technology,Xiangtan* 411201,*China*)

Abstract:The mining,processing and transformation of coal resource based on the development of social ecology will eventually are transformed into social demands. The entire chain of activities is ecological which will determine the level of green and total factor productivity in coal mining and the future of coal resource utilization. Using a system engi-

收稿日期:2020-09-24 **修回日期**:2020-12-08 **责任编辑**:钱小静 **DOI**:10.13225/j.cnki.jccs.2020.1552
基金项目:国家自然科学基金资助项目(31671635);湖南省自然科学基金资助项目(2018JJ3153)
作者简介:吴群英(1968—),男,陕西韩城人,正高级工程师。E-mail:wuqunying68@163.com

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

neering methodology, this paper studied the relationship among coal mining, coal resource utilization and the construction of ecological civilization. The development of primary, secondary and tertiary industries related to coal industry should be hierarchical, multi-dimensional and ecological. The three-dimensional ecological model in the coal mining process was proposed. The key elements, logical relations and construction methods of natural environment ecology, industrial ecology and social network ecology in the three-dimensional ecological system of coal mining were established respectively, and the "connotation, approach, goal and measures" in three-dimensional ecological system of coal mining was identified. The coal mining in the three-dimensional system solves the problem of "safe, efficient and clean" coal extraction. The natural environment ecology solves the problem of "symbiosis and coordination" between mining and environment. The ecological solution to the problem of "efficient and clean utilization" of coal in the industrial chain is the problem of maximizing the value of coal resource. The social network ecology is to solve the problem of "coal depletion and low carbon". The three-dimensional ecological model of coal resource development and utilization has changed the positioning and function of the single ecology of the business subject and the single-line ecology of the industry or department, forming a step forward from the single subject and the single-line ecology of the industry to the three-dimensional networked ecological system. The three-dimensional ecological model breaks the limitations of existing models. It is no longer environmental protection and individual optimization, but a comprehensive ecology of all parties concerned. It is a coordinated and shared mechanism, a sustainable mechanism, an efficiency reform, and an ecosystem that is improved and developed by improving total factor productivity. On this basis of "1+4" green sustainable three-dimensional ecological construction in the northern Shaanxi mining area, this paper analyzed the role of three-dimensional ecological system construction in the coal mining process, and provided some new theories and methods for the green sustainable development of mines.

Key words: three-dimensional ecological model; coal exploitation and utilization; total factor productivity; multiple dimensions; green mining

煤炭开采的大面积、地下、移动式生产,对区域地表植被、农林业生产,覆盖层、原地层结构等有着显著的影响,但目前煤炭开采过程与生态环境治理结构不协调、状态不到位的情况依然存在[1-2]。

针对煤炭开采引发的生态问题,各种生态开采模式相继提出。张建民等[3]提出了深部仿生绿色开采模式,以期实现深地煤炭资源开采的颠覆性变革,达到"地上无煤、井下无人"的绿色环保目标。谢和平等[4]提出深地煤炭资源流态化开采的颠覆性科学构想,认为提高煤炭开采的全要素生产率和实现煤炭开采治理体系及治理能力现代化既是生态文明建设的必然要求,同时也有利于解决煤炭开采规模化的生态环境问题。胡振琪等[5]针对煤炭资源开发过程中产生的矿区生态环境与社会问题,提出煤矿生态环境"边开采边修复",其特点是在采矿过程中,同步(时)治理,及时恢复或治理损伤的生态环境,确保矿业活动朝着可持续、循环与绿色的方向发展。目前对煤炭开采生态文明建设的研究主要集中在绿色开采模式上[6-10],对煤炭开采过程中与生态协调的资源加工利用直至终端产品的物质再生的全产业链、社会网的系统研究还鲜有报道。

笔者以生态文明建设为导向,以煤炭开采及煤炭资源的价值发挥为整体研究对象,结合陕北矿区开发的实际情况,阐述了自然环境生态、煤矿企业业务生态、产业链生态、社会网生态的生态关系,提出"煤炭开发立体式生态工程"建设的理念,构建立体式生态结构模式,以期为矿山的绿色可持续发展提供适宜的理论与方法。

1 煤炭开发立体式生态工程

煤炭开发立体式生态工程是指基于系统工程学基本原理,以煤炭开发所涉及到的自然环境生态、自身开采业务生态、加工转化的产业链生态、煤基发展的社会环境生态为系统工程,以环境、产业和社会三维度协调融合为立体框架,以可持续发展的生态文明建设为目标,着力环境友好、产业业务共生与物质循环再生,防止污损,发挥资源的生产潜力,提升全要素生产率,采用分层多级的系统可持续发展工程技术,完善系统的发展生态,并在系统范围内同步获取高的经济、生态和社会效益。

煤炭资源赋存特征、产品一次能源特征、生产业务方式特征决定了煤炭开采生态系统(图 1)。煤炭资源开采中的水、植被、地层、大气等组成了煤炭开采生态系统中的自然环境生态;产品、技术、队伍、模式

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

等构成了煤炭开采生态系统中业务生态,而供给水平和衍生品(一、二、三产业)等构成了煤炭开采生态系统中产业链生态;相关的法规、政策、责任、共享等则构成了煤炭开采生态系统中社会文明生态。

生态类型		生态关键要素	生态生成方式	生态绿色目标
自然环境	自然环境生态	水、植被、地层、大气	修复、重构	更美丽、更有价值
业务环境	开采业务生态	产品、技术、队伍、模式	升级、重构	安全、高效、清洁、可采率
	产业链生态	供给水平、衍生品	再生、消纳	循环共生、全要素生产率提升
社会环境	社会环境生态	法规、政策、责任、共享	执行、调整	协调、共生、可持续、低碳

图 1　煤炭开采生态系统

Fig. 1　Coal Mining Ecosystem

煤炭开采立体式生态工程是以生态文明建设为目标,煤炭开采主体所关联的自然环境、自身业务、产业链、社会环境等为整体,运用整体—自生—共生—循环—协调的调控建设的方法,构建健康发展的生态系统,共建社会文明生态(图 2)。

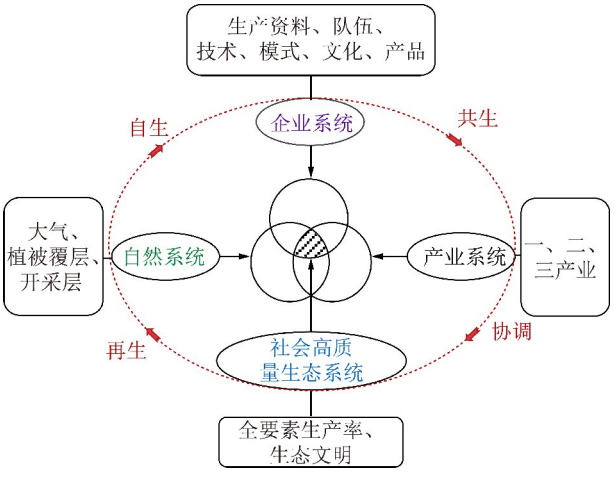


图 2　煤炭开采生态特征关系

Fig. 2　Ecological characteristics of coal mining

由此可见,煤炭开采立体式生态工程是从时间、空间、生产要素、产业门类、政策主体、社会效益紧密涉及的一个煤基生态系统,是一个复合型的立体式系统。

1.1　煤炭开采立体式生态工程结构

煤炭开采立体式生态工程结构可用四维结构阐述(图 3)。① 自然环境维。开采系统工程每个阶段紧密关联的自然环境要素,是需要实现减损、修复、重构的过程,构成与环境的共生生态;② 开采经营维。由生产系统工程生命周期的主要业务组成,是需要不断更新迭代的过程,构成开采业务自身的生态;③ 产业融合维。煤炭资源开采及煤炭资源价值转化与一产、二产、三产的共生、再生、循环、协调的关系特征,是价值不断升级创造的过程,构成煤基价值再生生态;④ 社会系统维。由前 3 个维度交叉叠加构成,是煤炭开采开发及价值流动升级过程,应遵从安全、协调、清洁、低碳的生态文明总准则,构成协调、绿色、共享的生态内涵。

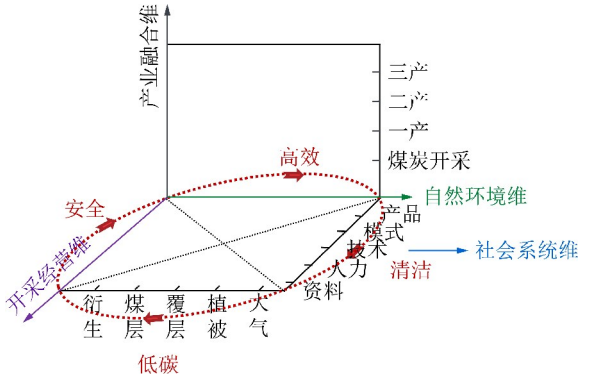


图 3　煤炭开采立体式生态工程结构

Fig. 3　Three-dimensional ecological engineering structure diagram of coal mining

煤炭开发立体式生态系统工程核心内容是共生的业务优化与再生的业务协调,体现研究方法上的整体性(四维)、技术应用上的综合性(产业维)、生态系统工程的问题导向性(共生、再生)、组织管理的科学性(社会维),是从系统工程论出发,揭示生态关联特征。该结构以生态文明建设为总标准,揭示煤基生态供给侧结构性的零散、低端的问题。补强条块式产业管理的上下游循环再生不足的弱项、短板,健全与一、二、三产绿色协调发展的经济社会总生态,解决生态系统的不平衡不充分,提升生态基础能力和现代化水平,顺应不断演进的新发展。

1.2　煤炭开采立体式生态工程实现路径

煤炭开发立体式生态工程实施途径基于煤炭(企业)可持续发展所涉及的多维度的业务生态,以问题破解为导向,以整体性生态系统健康为标准,分层级多维度同步推进,构建持续发展的立体式生态系统工程。煤炭做为一次主力能源,做为社会业务关联最多的行业,在立体式生态工程的首端率先引导“四类九式”合力建设、合力平台、率先主导。“四类九式”的具体描述如图 4 所示。

(1)第 1 类,煤炭开采生态系统工程。其中包含 4 式:① 全空间要素的立体式。综合协调大气(空气)、地表(植被)、土壤(大地)、覆盖层(沉陷层)、煤层(煤炭)、井工(巷道)的整体,做到要素全面性;② 全治理措施融合式。针对空间要素的立体化,对应的治理措施相互交融,互相兼顾及支撑、消纳、循环,做

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

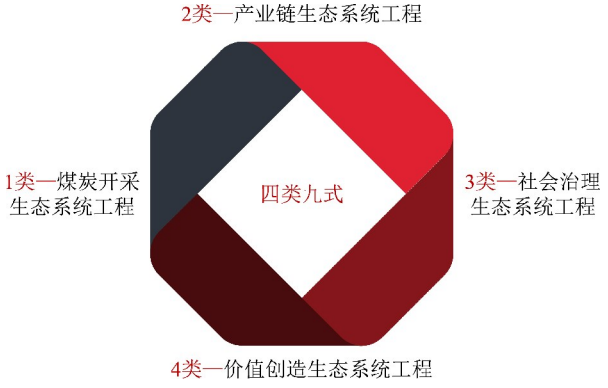


图 4 立体式生态工程路径

Fig. 4 Three-dimensional ecological engineering path diagram of coal mining

到措施的融合性;③ 全排放要素利用式。废气、废水、废液、废固等衍生品的治理及综合利用,做到衍生品的价值开发;④ 全地形地貌的治理式。针对不同地形地貌,及区域、流域、气候特征研究采用不同的技术治理,形成新的治理技术及模式。煤炭开采业务生态着力地质透明化、智能化、开采技术变革途径,实现安全、高效的业务生态;研究开采对自然环境的扰动、保护、修复、重构的规律,形成开采与自然环境的共生生态。

(2)第 2 类,产业链生态系统工程。其中包含 3 式:① 全区块活动覆盖式。所在煤炭赋存国土空间区块的工业、农业、消费活动,所有生产、经营、消费过程环节,均以生态价值美好为准则和目标,形成清洁活动体系,实现业务清洁的全面性;② 全产业链循环共生式。以需求端为动力,形成终端产品线、二级能源产品线、衍生产品消纳循环线、一次煤炭产品生产线、区域环境重构线的“原始端—中间品—消费终端”产业链,实现煤炭价值转化再生的清洁生产生态;③ 全要素生产率提升式。企业生产经营的要素供给体系,中间品体系、效率体系、输出体系以新技术新方式改革创新,使企业产品、队伍、技术、方式、文化升级,并产生企业新的业态,以产业链提升全要素生产率,以社会环境约束推动全要素生产率提升。以生态优先的原则,系统研究布局产业链,各产业之间着力解决协调共生、循环再生、增值新生的关系及技术突破,实现煤基产业价值生态与经济的最优。形成以产业之间协调共生、循环再生、互补增强为产业链的产业生态。

(3)第 3 类,社会治理生态系统工程。其中的一式为全主体行动参与式:企业、政府、农林水土气业、加工转化业、科研机构等共同参与,以企业为主体,以政策法规为标准支撑,以一、二、三产业循环共生为目标,以科研为治理基础的多维行动,改变各行业的限制业务向平台型共生业务迈进,体现工作主体协调性。建立生态环境与经济社会发展的统筹清单,防止各自为政,形成协调发展的政策生态。

(4)第 4 类,价值创造生态系统工程。其中的一式为全价值目标生态式:以生态文明的绿色可持续为目标,全面升级自然环境生态、业务生态、社会环境生态。超越环保的“三废”达标,超越“水保护”的不敢不能开发,超越“植被绿色”的恢复,超越“一企一策”经营,超越主体多元治理“分散化”,在生态环境总约束下,构建价值流动与再造的生态,实现煤基产业价值最大化,服务经济社会发展。

2 煤炭开采立体式生态工程目标

煤炭开发立体式生态工程目标包含 3 个业态目标、3 个路线准则、6 个新模式。

3 个业态目标指:第一、二、三产融合发展的社会生态体系;煤、油、气、风、光、衍生品等所在区块多种能源融合的产业生态体系;“智能+绿色+精准”的生态型发展状态。3 个路线准则指:理念方面需体现生态文明治理体系和能力现代化的准则;高质量内涵方面需体现创新驱动、质量第一、效益优先、全要素生产率领先的准则;生产力生产关系方面需体现新技术、新产品、新工具、新方式、新模式武装及发展的准则。与当前模式比,6 个新模式指:区域多个矿井一体化的系统规划、设计和建设;是一、二、三产业门类系统研究规划设计的政策;是立体式生态型的统筹方式;绿色高效信息化技术“重新定义”的区块;以价值创造并流动的“数字经济”整体;“政、产、学、研、用”深度合作机制的政策整体,多学科集成的整体;新一代信息化技术支持的联结、协调、再生、共生的整体,可测量、可评估、可引导。

3 立体式生态工程实现措施

3.1 生态标准总揽规划

规划决定方向,以生态文明的系统观点,紧抓系统的关键要素,运用系统工程方法论,对涉及的自然、企业、产业、社会生态的环境及业务分析,按照整体—协调—再生—共生—循环路线,求得最优平衡,实现全要素生产率、全业务价值创造与流动。

3.2 子系统业务结构的调整

业务结构决定生态质量。以各子系统的功能目标协调为基本目的,研究在系统内各自输入输出的提质供给,以工作效率和经济社会效益为追求,不断优化调整供给体系、中间品体系、产品体系的要素质量。通过技术及管理革新,实现质量变革、效率变革、动力

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

变革,求得子系统业务生态健康发展,使社会财富发挥出最大效应。调整涉及业务生态的技术、产品、人力、模式、管理结构。

3.3　生态管理信息化技术平台的建立

随着新一代信息技术的快速发展,系统中无论是结构性或非结构性的很多要素关系问题,都能够用网络建模分析、大数据建模分析、物联网环境下数据驱动等新的系统分析方法解决,以信息化管理平台承载、评价、指导立体式生态工程运行。“生态规划-系统结构-大数据技术”的立体式生态工程实现措施体系,解决系统运行的“前提-目的-手段-控制”可操作性,必须破除各自为战的小系统问题、全要素生产率提升的系统问题、质量升级系统问题,站在立体生态的高端系统推进。技术发展使得系统推进不再是理想而是可行的路径方法。

4　立体式生态模式的构建

(1)自然环境生态构建。开采活动对自然环境具有一系列扰动,矿山开采会破坏地表景观、诱发地质灾害、干扰水文,污染水质、破坏土地资源等[11-12]。地表植被与水土环境之间的相互作用关系,是开采沉陷区生态系统重建与管理的基础,也是恢复生态系统功能结构,实现生态自修复的基础[13]。因此,针对开采活动需要对扰动的要素进行系统修复和重构,突破沉降控制、植被恢复、排放消纳等系列关键技术,形成“开采与自然环境扰动、减损、修复、重构”的生态 4 要素运行结构。

(2)产业环境生态构建。开采自身业务形成“采矿技术(基础)+信息化技术(赋能)+质量控制(需求)+绿色技术(清洁)”的业务生态系统是煤炭资源社会动力的需求,但煤炭资源与转化利用存在价值问题。我国煤炭利用率低,能源利用不充分,产出与利用价值不成正比,在煤炭资源开发的同时,有大量的洗煤废水、烟气和固体废弃物排出[14],不仅浪费了资源,而且造成了严重的环境污染[15]。开发清洁高效转化利用技术是解决此问题的关键,构建“煤炭生产—衍生物消纳循环——次转化—二次深加工”循环共生再生煤基产业生态运行结构有利于清洁转化利用技术的突破。

(3)社会网生态构建。碳排放是目前煤炭资源利用最大的社会问题,减煤去煤化对我国“不得不依赖煤炭”的能源结构提出了严峻挑战。在这个关键矛盾下,煤炭作为主力能源必须主动率先引导生态重构和非煤新产业。以碳排放消纳转化为关键技术,建立煤基“碳排放转化技术研发基金”解决技术及运行突破的政策生态和构建“煤基扰动与循环再生共生产业技术运行标准”的煤基社会生态网运行法规体系,形成“政策理念+规划设计+业务提质”的高质量发展生态图。

5　陕北矿区“1+4”立体式生态模式的应用实践

陕北榆林神府矿区位于陕北黄土高原与毛乌素沙漠接壤地带,其原有生态环境脆弱[16]。为了解决煤炭开采过程中的巨大环境压力,陕北榆林神府矿区进行了立体式生态工程的构建。

陕北矿区的立体式生态系统工程,首先,基于信息化技术,构建顶层的生态文明技术标准,制定适合陕北矿区煤基生态文明技术体系标准,突破“不得不依赖又不得不治理”的困境;其二,构建以价值流动为整体的数字经济,以生态价值和全要素生产率提升的煤基价值链为准则,以“生态价值”为整体,进行各方主体准入评价;最后在原始端能源构成现代化生态模式,基于互联网技术、物联技术、区块链技术设计管理运行平台,实现对煤基生态系统的精准引导、评价和运行。

(1)自然环境生态方面。着力开展开采扰动过程中的自然环境保护、修复的实践。① 实施陕北矿区水资源保护与利用及生态重建关键技术研究与示范,包括开采对地下水环境影响、沉陷减缓与塌陷地治理技术、生态环境重建技术等技术突破与工程示范;② 矿区对开采沉陷区渗流分析,建立矿井水质量综合评定系统,并设计了一套先进的矿井水净化工艺及多元利用方案,矿井水综合利用率提高 30%;③ 根据不同地形地貌的特征,综合应用生态修复与重构技术,实施生态治理。2019 年治理沉陷区 866.7 公顷,其中生态重构 92.8 公顷;④ 采用多种捕尘技术等综合手段,实施陕北矿区井下“空气革命”示范工程和矿区锅炉改造工程,实现绿色清洁排放。截止 2019 年底,矿区采掘工作面总尘降尘率达 90% 以上,呼尘降尘率达到 85% 以上。矿区大气污染防治基本面持续向好,真正实现“产煤不用煤”。

(2)开采业务生态方面。着力安全、高效、智能、绿色、人才队伍等业务结构的升级。① 实施“原专业+信息化技术+绿色技术”的全员系统培训,建立了 2 161 人的技能人才、1 359 人的专业技术人才、246 个创客小组的队伍团队;② 推行智能化、无人化开采,掘锚一体快速掘进,实现安全高效少人快速掘进,掘进速度可达 1 500 m/月。2019 年建成 6 个智能化工作面,2020 年在建 7 个智能化工作面;③ 同时

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

采取智能化洗选技术、特殊用户的定制化生产等,生产出高发热量、富油、低灰、低硫、低磷的优质煤,推出了柠条塔牌混煤、张家峁牌混煤、红柳林牌洗块、红柳林牌混煤等陕西省名牌产品。

(3)产业链生态方面。着力煤炭资源价值发挥及煤炭开发与一、二、三产融合发展的业务共生再生。① 陕北矿区实行燃料用煤与原料用煤并重的综合开发利用,用于生产兰炭-清洁燃料油、化肥、甲醇-烯烃等产品。其中 70% 用于非电力用煤。矸石作为资源应用于矸石混凝土、沟壑填埋造田、井下充填等,其中 40% 进入循环经济产业链。② 根据实际情况,采用不同的沉陷区治理模式,结合脱贫攻坚,发展特色农业、林业、畜牧业等,实现一、二、三产协同发展。

(4)社会环境生态方面。着力政策规划技术的协调合作,破解各自为战,共建陕北国家高端能源化工基地和黄土高原生态文明示范区。① 与中国煤炭学会、高等院校、榆林市政府建立“黄河流域煤炭产业生态治理技术研究院”。与国土、水利等政府机构、高校研究机构、著名相关企业联合,建设煤炭产业大数据开发生态示范区;② 通过“已有数据+新勘测研究数据+日常开采数据”3 大类数据,掌握原生态扰动数据,厘清煤炭在各生态中的扰动程度、生态建设程度,共建共享绿色生态型发展;③ 借助榆神矿区开发四期项目,实行多矿井一体化、产业门类一体化、绿色发展一体化、价值创造一体化、创新协作一体化、多能开发一体化 6 个融合模式,以立体式生态型的理念打造高端能源化工产业基地。

通过以上建设,陕北榆林神府矿区最终形成“1+4”煤基立体式生态系统工程,即一套技术支撑平台:煤基生态信息化管理指导平台联通、共生各生态内涵和路径;4 套整体协作平台:自然环境生态系统、开采业务生态系统、产业链生态系统、社会网生态系统。开采业务技术生态解决煤炭“安全高效清洁”的精准产出问题,自然环境生态解决开采与环境的“共生协调”问题,产业链生态解决煤炭“高效清洁多用”的价值问题,社会网生态解决“煤竭矿兴和低碳”的问题。4 个子系统均以煤为基,以高质量的业态协调共生、循环再生的生态文明为准,实现环境保护优先,各业态绿色协调发展。

6 结 语

煤炭资源转化成社会需求是目的,煤炭资源的开采、加工、转化是手段。生态文明发展决定了煤炭资源的开发价值,决定了全产业链煤炭开采绿色水平,决定了全要素生产率的水平。煤炭开发是涉及自然环境生态、开采自身业务生态、产业生态、社会网生态的立体式生态工程。陕北矿区的立体式生态系统工程推动了生态基础理念和基础体系创新,改变了以往的单体生态、行业或部门的单线生态,形成由单个主体、行业单线向立体网络化生态系统工程的迈进,使生态系统更新换代,解决不注重在基础体系方面突破而陷入困扰的问题。以立体式生态工程实现生态治理体系与治理能力现代化,为矿山的绿色可持续发展提供了新的理论与方法。

参考文献(References):

[1] 王少波. 浅埋深煤层开采对生态环境的影响[J]. 煤炭科学技术,2017,45(S2):14-16,44.
WANG Shaobo. Influence on ecological environment of shallow buried coal seam[J]. Coal Science and Technology,2017,45(S2):14-16,44.

[2] 卞正富,雷少刚,刘辉,等. 风积沙区超大工作面开采生态环境破坏过程与恢复对策[J]. 采矿与安全工程学报,2016,33(2):305-310.
BIAN Zhengfu,LEI Shaogang,LIU Hui,et al. The process and countermeasures for ecological damage and restoration in coal mining area with super-size mining face at aeolian sandy site[J]. Journal of Mining & Safety Engineering,2016,33(2):305-310.

[3] 张建民,李全生,曹志国,等. 绿色开采定量分析与深部仿生绿色开采模式[J]. 煤炭学报,2019,44(11):3281-3294.
ZHANG Jianmin, LI Quansheng, CAO Zhiguo, et al. Quantitative analysis of green-mining and deep bionic-green-mining model[J]. Journal of China Coal Society,2019,44(11):3281-3294.

[4] 谢和平,高峰,鞠杨,等. 深地煤炭资源流态化开采理论与技术构想[J]. 煤炭学报,2017,42(3):547-556.
XIE Heping,GAO Feng,JU Yang,et al. Theoretical and technological conception of the fluidization mining for deep coal resources[J]. Journal of China Coal Society,2017,42(3):547-556.

[5] 胡振琪,肖武,赵艳玲. 再论煤矿区生态环境“边采边复”[J]. 煤炭学报,2020,45(1):351-359.
HU Zhenqi,XIAO Wu,ZHAO Yanling. Re-discussion on coal mine eco-environment concurrent mining and reclamation[J]. Journal of China Coal Society,2020,45(1):351-359.

[6] SHAD R,KHORRAMI M,GHAEMI M. Developing an Iranian green building assessment tool using decision making methods and geographical information system:Case study in Mashhad city[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews,2017,67:324-340.

[7] 张伟,张金锁,许建. 煤炭资源安全绿色高效开发模式研究-以陕北侏罗纪煤田为例[J]. 地域研究与开发,2016,35(2):139-144.
ZHANG Wei,ZHANG Jinsuo,XU Jian. Coal's safe,green and highly efficient development mode:Take Jurassic Coalfield in Northern Shaanxi as example[J]. Areal Research and Development,2016,35(2):139-144.

[8] 缪协兴,钱鸣高. 中国煤炭资源绿色开采研究现状与展望[J]. 采矿与安全工程学报,2009,26(1):1-14.

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

MIAO Xiexing, QIAN Minggao. Research on green mining of coal resources in China: Current status and future prospects[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(1): 1-14.

[9] 张吉雄,鞠杨,张强,等. 矿山生态环境低损害开采体系与方法[J]. 采矿与岩层控制工程学报,2019,1(2):56-68.
ZHANG Jixiong, JU Yang, ZHANG Qiang, et al. Low ecological environment damage technology and method in coal mines[J]. Journal of Mining and Strata Control Engineering, 2019, 1(2): 56-68.

[10] 万伦来,刘福,郭文慧. 煤炭开采对生态系统功能的胁迫作用:模型·实证[J]. 环境科学研究,2016,29(6):916-924.
WAN Lunlai, LIU Fu, GUO Wenhui. Stress of coal mining on ecosystem functions: model and demonstration[J]. Research of Environmental Sciences, 2016, 29(6): 916-924.

[11] 雷少刚,卞正富. 西部干旱区煤炭开采环境影响研究[J]. 生态学报,2014,34(11):2837-2843.
LEI Shaogang, BIAN Zhengfu. Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 2837-2843.

[12] 彭建,蒋一军,吴健生,等. 我国矿山开采的生态环境效应及土地复垦典型技术[J]. 地理科学进展,2005,24(2):38-48.
PENG Jian, JIANG Yijun, WU Jiansheng, et al. Eco-environmental effects of mining and related land reclamation technologies in China[J]. Progess in Geography, 2005, 24(2): 38-48.

[13] 彭苏萍,毕银丽. 黄河流域煤矿区生态环境修复关键技术与战略思考[J]. 煤炭学报,2020,45(4):1211-1221.
PENG Suping, BI Yinli. Strategic consideration and core technology about environmental ecological restoration in coal mine areas in the Yellow River basin of China[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(4): 1211-1221.

[14] 武强. 我国矿井水防控与资源化利用的研究进展、问题和展望[J]. 煤炭学报,2014,39(5):795-805.
WU Qiang. Progress, problems and prospects of prevention and control technology of mine water and reutilization in China[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(5): 795-805.

[15] 袁亮,姜耀东,王凯,等. 我国关闭/废弃矿井资源精准开发利用的科学思考[J]. 煤炭学报,2018,43(1):14-20.
YUAN Liang, JIANG Yaodong, WANG Kai, et al. Precision exploitation and utilization of closed/abandoned mine resources in China[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(1): 14-20.

[16] 徐友宁. 矿山地质环境调查研究现状及展望[J]. 地质通报,2008,27(8):1235-1244.
XU Youning. Investigation and research on the mine geological environment: Present status and outlook[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(8): 1235-1244.