

湖矿区分布式生态系统运行机理研究^①

鞠萍¹, 李宜伟¹, 于晓燕², 任一鑫²

(1.青岛黄海学院, 山东 青岛 266427; 2.山东科技大学, 山东 青岛 266590)

摘要:为实现湖矿区煤炭资源开采的同时保护生态环境,构建了湖矿区分布式生态系统的开采模式,并对该系统的运行机理进行了研究。湖矿区生态系统由生物运行系统、生态水处理及利用系统、土地资源生态开发及利用系统、有机肥料加工系统、能源集成利用系统、固废资源生态利用系统等6个子系统构成,这些子系统既有各自功能又相互作用,形成生命周期机理、代谢机理、平衡机理、组合机理、共享机理和协同机理,这些机理作为湖矿区分布式生态系统的理论依据,通过分布式6大子系统之间资源的循环利用,从而实现湖矿区资源的有效开发、生态可持续发展和经济效应提升,可为其他水下煤炭的开采利用和生态建设提供借鉴。

关键词:湖矿区; 煤炭开采; 分布式生态系统; 运行机理

中图分类号: F407

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.01.034

文章编号: 0253-6099(2023)01-0154-06

Function Mechanism of Distributed Ecosystems in Lake Mining Area

JU Ping¹, LI Yiwei¹, YU Xiaoyan², REN Yixin²

(1. Qingdao Huanghai University, Qingdao 266427, Shandong, China; 2. Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong, China)

Abstract: In order to protect ecological environment during exploitation of coal resources in lake, a mining mode with distributed ecosystem was developed for lake mining area, and the function mechanism of such system was explored. In such mode of lake mining, an ecosystem is composed of six subsystems, including biological function system, ecological water treatment and utilization system, ecosystem development and utilization system for land resources, organic fertilizer processing system, integrated energy utilization system, and ecosystem utilization system for solid waste resources. These subsystems can not only function alone but also interact with each other, thus forming mechanisms for life cycle, metabolism, balance, combination, sharing and cooperation. With these mechanisms as the theoretical basis for the distributed ecosystems in lake mining area, effective exploitation of lake resources, sustainable development of ecological environment, as well as promotion of economic benefit from lake resources mining can be actualized by recycling the resources among those six distributed subsystems. This study can provide reference for underwater coal resources mining while ensuring ecological conservation.

Key words: lake mining area; coal mining; distributed ecosystem; function mechanism

湖矿区资源种类丰富,闲置资源多,利用方式多样;同时资源之间关系复杂,替代、互补度高,梯级利用、综合利用潜力大^[1-2]。与此同时,当前湖矿区一方面能源供给紧张,另一方面地热等新能源、余热等闲置能源没有得到合理开发利用,能源浪费严重。本文以微山湖矿区煤炭开采为背景进行研究,总结微山湖矿区煤炭开采经验和存在的问题,在湖矿区资源集成协

同的基础上构建分布式生态系统,并对系统运行机理进行研究。

1 湖矿区建设分布式生态系统的意义

1.1 湖矿区概念的界定

湖矿区是指煤矿(或其他矿)和湖区相伴相生,在湖下蕴藏着丰富的矿产资源,矿产资源的开采需要在

① 收稿日期: 2022-08-08

基金项目: 山东省社会科学规划项目(21CPYJ22)

作者简介: 鞠萍(1983—),女,山东青岛人,硕士,副教授,主要从事循环经济方面的研究。

通信作者: 李宜伟(1983—),男,山东日照人,讲师,主要从事创新创业方面的研究。

湖底进行。湖矿区相对于普通矿区,在开采过程中对地表建筑物损害小,不需要进行塌陷区的治理,但湖矿区开采环境更加复杂,采矿技术要求更高。

1.2 湖矿区建设分布式生态系统的意义

1) 实现了闲置资源的有效利用,解决了当地资源供用紧张的问题。在煤矿开采过程中煤矸石、粉煤灰、生活垃圾、建筑垃圾等可以集中起来用于湖区周围坝面建设和道路建设;湖底淤泥可以用作有机肥料;煤泥可以加工成型供锅炉房使用,产生的余热资源、煤层气、沼气可以用来发电。

2) 实现了生态环境的绿色发展,解决了因煤炭开采而造成的生态破坏问题。与陆地煤矿开采会造成植被大面积破坏相比,湖矿区通过建立分布式生态系统,实现资源的相互依存、相互利用,不仅没有给环境造成负担,还增加了当地的湿地面积、扩大了湖区容积,促进了生态环境的可持续发展。

3) 实现了湖矿区经济效益的增长。在湖区进行煤炭开采不需要对塌陷区进行治理,不存在搬迁安置问题;煤炭开采加深了湖水的深度,节约了湖底的清淤费用;同时煤炭开采过程中产生的尾矿资源含氮磷钾,丰富了湖区的微生物资源,有利于湖区开展水生生物种植养殖,增加了湖区的经济效益^[3]。

2 湖矿区分布式生态系统的构成

在湖矿区进行采矿活动,只要方法合理,不仅不会造成水污染等生态系统的破坏,还有利于生态的可持续发展,分布式生态系统就是合理的方法之一。湖矿区丰富的水资源可以通过层级处理的方式实现循环利用;煤矿开采过程产生的大量固体废弃物既可以加工后作为建筑材料再次使用,也可以用于道路及湖堤建设;湖底存在的大量淤泥可以用于改善农田;多种能源通过集成体系运行能够为矿区生产、生活提供能源保障。通过对湖矿区资源之间关系的研究建立湖矿区分布式生态系统,如图1所示。

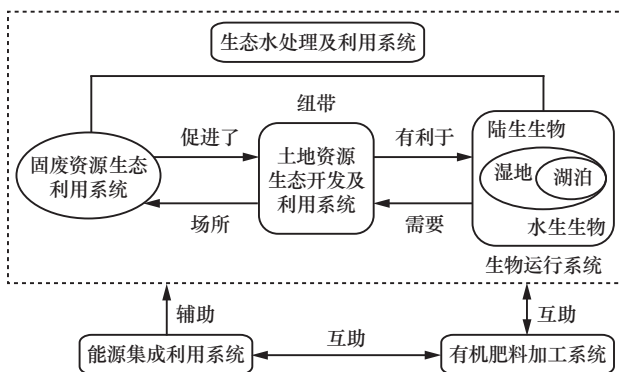


图1 湖矿区分布式生态系统

湖矿区分布式生态系统是以湖区资源的种类及特征、资源流动规律、产业发展机理、生态建设理论等为依据,建立以生物运行系统为核心(水生、陆生养殖种植),水资源生态处理及利用为纽带,土地资源生态处理与开发为基础(包括湿地与水域),有机肥料、能源集成利用、固废循环利用等为辅助,关联产业协同的分布式湖区生态集成体系,具体分为以下几个部分:

1) 生物运行系统。以生态种植养殖为主的生物运行子系统是整个生态系统的核心,也是整个系统运行的产物,系统内的每一项活动都直接或间接地为生态种植养殖系统服务。种养殖系统包括水生种养殖系统与陆生种养殖系统,前者在系统中能够起到净化水资源、吸收水中过多养分的作用,后者能够利用矿区生产产生的静脉资源,两大系统运行能够起到利用静脉资源、净化水、空气、土壤等作用。系统内的水陆生物需要土地资源生态开发与利用系统提供肥沃的土地供其生长,有机肥加工系统为其提供必要的有机肥料。此外生态种养系统还可收获农产品,提供就业岗位,缓解就业压力,进一步提高农民收入,有利于社会和谐稳定。

2) 生态水处理及利用系统。生态水处理及利用系统是生态系统的纽带。湖矿区水资源包括湖水、天然降水、径流水、地下水、生产活动及生活活动产生的废水与污水,水资源的流动将其他5大子系统联系在一起。生态水处理及利用系统通过收集、处理、储备、利用等手段解决了湖矿区水下采煤所产生的废水难以处理的难题^[4],水资源通过生态净化处理(就是利用生物、微生物等对水资源进行处理)不仅为陆生种养殖、绿化、防尘等提供水源,而且深度处理后也可满足生活、工业及服务业之需。

3) 土地资源生态开发及利用系统。湖矿区土地资源生态开发及利用系统作为整个生态系统的基础,为其他系统功能的展开提供场所。土地及耕地的恢复为固废处理厂、废水处理厂、有机肥加工厂、能源利用厂的建设提供了廉价的土地,缩减了初期运营成本,而矿区土地资源的综合利用有利于生态种养系统在更大范围内展开^[5-6]。同时,湖矿区煤炭开采形成的塌陷增加了湖区面积、增深了湖水深度,利用湖区水域及湿地开展湖区生态水生养殖、种植,开展风能、太阳能发电,开展湖区旅游,建立湖区港口,进行水上运输,这些系统的构建为生态系统运行提供了坚实的基础。

4) 有机肥料加工系统。有机肥料加工系统作为整个系统循环中上循环与下循环的连接者,将系统中“不可利用资源”再次转变为可用资源,返回到系统

中。例如副产品、下脚料的再利用,为整个体系提供肥料,为养殖提供饲料;产生沼气等能源供其他系统使用;湖区有机肥系统能把淤泥加工成有机肥料。同时,有机肥加工系统与能源利用系统具有互助关系,两者产生的能源和有机肥可以为生物运行系统提供养料。

5) 能源集成利用系统。湖矿区能源集成利用系统则对整个系统起辅助与推动作用,为固废处理、工业加工、土地治理、水处理、种养殖、有机肥生产甚至人类的生产生活提供动力和能源。能源系统除了矿区地热、余热等资源利用外,也包括风力发电、太阳能发电系统,为矿区提供能源保障。

6) 固废资源生态利用系统。固废资源生态利用系统不仅是系统运行不可缺少的一环,也解决了矿区固体废弃物难以处理的难题,实现了资源的变废为宝。其中煤泥、粉煤灰和煤矸石经过二次加工之后可用作燃料或建材,煤矸石可用作土地改良剂,促进土地的保护与修复,为矿区土地资源的综合利用奠定基础,此外固废资源也可以用来筑坝、修路等。

此外,整个系统可以实现关联产业协同发展:湖矿区生态运行体系中的产业应该以已有产业为基础,重点以煤基产业、农基产业及其他产业为核心构建,通过园区循环化改造达到目的。湖区通常连接运河、江河等水域,有条件的湖区能够建立港口,为水路运输提供便利条件。另外,湖区具有美丽的自然风光,可以与煤炭工业、生态农业等合成建立湖矿区生态旅游基地。

3 湖矿区分布式生态系统构成机理

煤矿生命周期受煤炭储量的约束,当煤炭资源枯竭后煤矿的生命周期也就结束了。当一个矿区所有煤矿生命周期结束,整个矿区的生命周期也随之耗竭,要么转型,要么废弃,湖矿区也不例外。为保障湖矿区生态体系的持久运行,需要根据湖矿区生态发展状况,尤其是以煤炭为主体的相关产业发展运行的机理及特点,对生态体系发展战略进行调整,为此,需要分析研究湖矿区生态体系运行发展的基本机理。

3.1 周期机理

受矿业开采特点和煤炭资源储量的限制,通常矿区煤炭的开采经历勘探-设计-建井-达产-稳产-衰退-闭坑的生命周期,矿区静脉资源的数量呈现量少-量大-稳定-减少-归零的特点,废弃物资源的种类呈现由少到多的特点。湖矿区分布式生态系统的建立主要是利用煤炭所产生的附属资源,因此体系建设与运行,需要与煤炭生命周期及所产生资源种类与数量耦合,具体如下:

1) 煤矿的勘探-规划-设计阶段。在这个时期煤矿建设与生产都没有具体进行,因此也没有具体资源产出。生态系统的建设应在规划阶段,结合地质勘探情况,掌握煤矸石、瓦斯、矿井水、地热、地下水、煤炭质量、地貌及当地农业发展情况、文化、气候等情况,做好前期准备,为湖矿区生态体系合理有序发展奠定基础。

2) 煤矿建设阶段。这一时期主要是矿井和煤矿办公区域的建设阶段,没有固废、污水、气体等的排放,对湖区湿地及水域影响不大。该阶段应该根据煤矿特点和当时的地理环境,做好分布式生态系统建设规划,为以后系统建设奠定基本思路。该阶段也应根据湖区湿地及水域情况,发展太阳能、风能等清洁能源,根据湖区情况适当发展湖区旅游、水路运输及湖区养殖种植产业。

3) 煤矿达产阶段。煤炭开采生产已经开始,但煤矿仍然以矿井建设为主,产量不高,增长迅速,主要资源是煤炭、煤矸石、矿井水、生活污水、地热及建筑垃圾,地表塌陷开始形成,部分区域开始积水。这一时期根据资源的丰裕度开始建设湖矿区的6大生态系统并实现部分资源的回收利用。在该阶段主要发展以煤炭开采加工为基础的煤基产业体系,提高煤炭开采、加工、利用过程中产生的静脉资源利用效率和利用率,重点发展煤炭深加工产业。注意观测煤炭开采活动对湖区水深、湿地、堤坝等影响,有计划地利用煤矸石、粉煤灰等资源进行筑坝、修路等活动。

4) 煤矿稳产阶段。这一阶段是煤矿生产性建设及煤炭开采、加工、利用并行阶段,生产周期最长。该阶段煤炭产量稳定,煤矸石、矿井水、生活污水、工业废水、余热等伴生资源不断增加,塌陷区也迅速扩大,六大生态系统建设成熟并协同运行,该阶段煤炭生产、加工、利用与生态系统发展并重。通过归纳湖区煤炭开采活动规律,研究探索绿色矿区发展新途径、新思路,构建以煤炭为核心、农业为纽带、其他产业为辅助的分布式湖矿区生态体系。体系的核心是充分利用矿业、农业产生的静脉资源,在保障湖区生态环境基础上,开发利用湖区湿地、塌陷区、水面及水资源。

5) 煤矿衰退阶段。煤炭开采条件恶化,煤炭产量下降,煤矸石等静脉资源开始减少,塌陷区增长速度放缓,生态系统运行稳定。这时应开始考虑利用矿区外部资源,以生态系统发展为主,以煤炭开采、加工、利用为辅。这个阶段更关注湖矿区相关产业的发展状况,构建以湖区养殖种植为核心、其他产业为辅助的生态体系,为湖矿区煤炭产业关闭后生态体系转型奠定基础。

6) 煤矿关闭阶段。煤炭开采活动结束,煤炭加工规模开始萎缩,有的甚至关闭,煤矸石、矿井水等静脉资源所剩无几,塌陷区不再增加,在这一阶段生态系统已经完善,应该考虑矿区外部资源及生态系统内部资源的综合利用。这一阶段以生态系统大建设为主,主要规划并实施与区域外的合作。逐步淘汰原来煤基生态体系,形成以生态农业为主体,旅游、运输及相关产业为辅助的湖矿区生态体系。

煤炭资源枯竭、煤炭产业结束是湖矿区煤炭产业发展的基本规律,当煤炭产业结束时,围绕煤炭所建立的生态体系终结,加上其他内外环境因素的变化,需要根据变化对湖矿区生态体系进行调整,并且要根据不同变化阶段所表现的特征进行调整,尤其要根据量变质变的原理进行,更要依据渐变及突变的变化规律不同及时进行调整。湖矿区生态体系发展的生命周期规律是湖区生态体系发展必须遵循的规律。

3.2 代谢机理

矿区生产会对资源和环境造成影响。从生态系统的整体角度分析,寻找一种“元素”,研究其在系统中的源头、汇进和路径,以物质减量化和物质循环化为目的,最终实现资源发展与环境保护之间的协调。

湖矿区 6 大生态系统的协同发展符合要素代谢流程,湖矿区资源条件能够支撑生态系统发展,系统之间资源代谢流程表明输出产品可互为输入资源,另外大部分废弃物可以在构建的生态系统中消耗掉。因此,湖矿区资源代谢和产业代谢的共同发展是矿区资源绿色可持续利用的重要途径。为实现 6 大生态子系统间的资源代谢优化,需要研究生态系统中资源流与废物流的具体流向,细化资源输入、使用、废物排放与循环再生的具体过程,方能建成湖矿区分布式生态体系,科学解决生态环境与产业发展之间的矛盾。

资源尤其是静脉资源的合理开发利用是以资源代谢规律及路径为基础进行的,产业体系设计、产业之间接续关系都要以资源所流经的环节、流经的路径,尤其流经的每个环节、层面所投入、产出的资源为依据进行设计。因此,资源代谢规律是湖矿区生态设计及运行必须遵循的基本规律。

3.3 平衡机理

由于湖矿区远离城市且区内生态系统具有分布式的特征,除了煤炭生产及相关工业利用湖矿区生产的部分废弃物资源外,区内产生的废弃物资源主要通过建立的生态系统来消纳。如果系统出现无法利用或者消纳系统内资源和废弃物资源的情况,可通过引入平衡机理对体系做出调整。

如果分布式生态系统能够有效利用和消纳系统内的资源,则系统内资源的利用达到了平衡。对体系运行中主要涉及的资源及废弃物资源进行平衡分析,可建立平衡分析表来对各个资源进行操作,如表 1、表 2 所示(以土地资源为例)。

表 1 土地资源平衡分析表

资源种类	资源产量 (P_{mi})	资源利用量 (Q_{mi})	资源平衡
一、土地资源:	P_{1i}	Q_{1i}	
1. 建设用地	P_{11i}	Q_{11i}	
1) 道路用地	P_{111}	Q_{111}	
2) 水坝用地	P_{112}	Q_{112}	
3) 水体渠道用地	P_{113}	Q_{113}	
4) 相关厂房用地	P_{114}	Q_{114}	$P_{1i} < Q_{1i}$: 资源不足
2. 生态农业用地	P_{12i}	Q_{12i}	$P_{1i} > Q_{1i}$: 资源过剩
1) 水生养殖种植用地	P_{121}	Q_{121}	
2) 陆生养殖种植用地	P_{122}	Q_{122}	
3. 农产品加工用地	P_{13i}	Q_{13i}	$P_{1i} = Q_{1i}$: 资源平衡
4. 能源开发利用用地	P_{14i}	Q_{14i}	
5. 有机肥加工利用用地	P_{15i}	Q_{15i}	
1) 堆肥加工用地	P_{151}	Q_{151}	
2) 沼气生产用地	P_{152}	Q_{152}	
3) 有机肥生产工厂用地	P_{153}	Q_{153}	
.....			

表 2 土地资源利用率分析表

类别	土地资源			.....			合计
	征地	复垦土地	闲置土地	...	...	...
建设用地	T_{11}	T_{12}	T_{13}				Q^T_1
生态农业用地	T_{21}	T_{22}	T_{23}				Q^T_2
农产品开发用地	T_{31}	T_{32}	T_{33}				Q^T_3
能源开发用地	T_{41}	T_{42}	T_{43}				Q^T_4
		∴					
合计	R^T_1	R^T_2	R^T_3				X^T
		∴					
中间消耗	M^T_1	M^T_2	M^T_3	...	...	...
总消耗	Y^T_1	Y^T_2	Y^T_3	...	...	...
均衡	D^T_1	D^T_2	D^T_3	...	...	...

不同来源的土地资源消耗总量如下:

$$Y^T_i = M^T_i + R^T_i \tag{1}$$

$$Y^W_i = M^W_i + R^W_i \tag{2}$$

$$Y^E_i = M^E_i + R^E_i \tag{3}$$

$$Y^S_i = M^S_i + R^S_i \tag{4}$$

消耗的不同来源的土地资源总量为:

$$X^T = R^T_1 + R^T_2 + R^T_3 \tag{5}$$

均衡情况的判断可以通过 $\sum_{i=1}^3 Y^T_i$ 与 X^T 进行比较,得到土地资源的利用与消耗情况,即 D^T_i 为土地资源供给量与消耗量之间的差额,若 $D^T_i > 0$,则供给大于消

耗,资源有闲置、部分资源没有充分利用而对环境产生负面影响,需要向外输出资源;相反,则供给小于消耗量,存在资源匮乏、不足的现象,需要从外部输入资源;若 $D^T_i = 0$,则资源供给与消耗达到平衡,其他资源的利用与消耗情况同理。因此,湖矿区生态体系建设必须依据平衡原理设计产业种类、规模及相关顺序关系。此外平衡机理需要注意水资源,尤其是干旱时期水资源的平衡利用,更要注意水域、湿地、工业用地、太阳能、风能等用地的平衡问题。

3.4 组合机理

1) 同类资源的组合:例如土地类,包含荒地、塌陷区和农业用地3种资源。如果利用最佳效果或最优效益来测度三者的组合比率,那么农业用地是土地类中效果及效益最佳的资源,则对荒地和塌陷区赋权重为0。为了满足生态、社会效益最大化的原则,保证对湖矿区次生资源的转化利用,资源组合应采用最小最大原则(也可称为最次优先原则),即在满足效果(效益)最小需求底线的前提下、最大化地使用效果(效益)最差的次生资源。即土地资源的组合模型为:

$$Q_{\text{土地}} = f(q_1, q_2, q_3) \quad (6)$$

式中 $Q_{\text{土地}}$ 为土地类资源必须满足的最差效果(效益); q_1, q_2, q_3 分别为荒地、塌陷区和农业用地的资源编号。

2) 不同类资源间的组合:分布式生态系统中每个子系统以及每个子环节的运行都可归纳为5类资源——能源类、人力资源类、水资源类、生物质类和土地资源类之间的有机组合。所以,每个子环节内的这5类资源投入、产出关系是一定的。例如在煤炭开采环节,确定了煤炭的工业储量,其所投入的土地面积、人力资源、设施设备和能源投入量都基本确定,而采出的原煤量及煤层气、矿井水、余热的量一定,同时塌陷区的面积也和工业储量相关。则:

$$Q_{\text{投入}} = f(Q_{\text{能源}}, Q_{\text{人力}}, Q_{\text{生物质}}, Q_{\text{水}}, Q_{\text{土地}}) \quad (7)$$

$$Q_{\text{产出}} = f(Q_{\text{能源}}, Q_{\text{人力}}, Q_{\text{生物质}}, Q_{\text{水}}, Q_{\text{土地}}) \quad (8)$$

$$ME = \frac{Q_{\text{人力}}}{Q_{\text{产出}}} \quad (9)$$

式中 ME 表示各环节的代谢效率。同种资源具有多种用途。多数产品的生产都由多种不同资源共同投入完成。因此以提高效益、充分利用为目标,根据资源的用途、特点与资源领域的需求特点进行优化组合,需要摸清资源之间,尤其在利用领域的组合机理。

3.5 共享机理

资源共享是指将某个特定范围内的资源组合,达到最优匹配,减少不必要的浪费,提升利用率和经济效益。共享原理将显性和隐性资源进行整合,使得更多

被忽视的资源被使用,同时进行最优匹配。资源共享机制的构建与完善不仅可以合理使用资源,更有利于提升资源与需求之间匹配度。湖矿区分布式生态系统的构建充分利用了共享机理,具体分析如下:

1) 水资源处理储备利用共享。建立生态水处理储备利用体系的主要目的是收集、处理、储备、利用水资源,为生态系统运行服务,但是该系统不能脱离周围环境独立运行,尤其是自然环境,因此,需要进行共享。首先,水资源储备共享,治理后的塌陷区要与当地的水系连通,共同承担自然降水、中水、客水等储备问题,做到水资源的统一调节与调配。其次,水资源利用共享,既要满足矿区系统内部的用水问题,更要满足当地居民生活、社会活动、工业活动,尤其是农业活动的用水问题,实现水资源利用设施设备的共享。最后,为了避免重复建设,生活污水、工业废水的处理应该实现共享,即煤矿与地方共建水处理系统,统一处理矿区的生活污水及工业废水。

2) 能源利用共享。湖矿区用能比较多,涉及部门、单位较广,为了节省资源,需要在能源开发利用方面进行共享。具体分析如下:首先,能源生产共享。湖矿区要联合各个单位共同建立发电(尤其是垃圾、秸秆发电等综合利用电厂)、余热利用、太阳能、风能、地热能、沼气生产等能源生产设施,实行能源生产的共享。其次,能源体系共享。建立包括太阳能、风能、地热能、余热等在内的能源集成体系,实施能源统一管理、开发与利用。最后,能源联供共享。单一化的能源供给方式不适应多元化的矿区能源需求。多元联合供给是通过能源共享的方式,将闲置的能源暂时转移到能源供给不足的地方,将低能级的能源共享给低能级需求、高能级能源共享给高能级需求。

3) 生态农业共享。生态种养殖系统提供的产品要与煤矿、其他产业及相关单位进行共享,根据这些单位的需求,提供蔬菜、粮食、肉类等产品;与有关销售单位,尤其是超市合作,按照要求生产相关产品;与周围农户在种苗培育等方面进行共享;与周围单位或农户合作,共享农产品加工能力。

4) 有机肥生产共享。建立有机肥生产工厂,与周围农户或单位进行共享。从资源能否得到充分利用的角度分析,有的资源能够长期无间断利用,有的只能间断利用,甚至长期处于闲置状态,为了提高这些资源的利用效率,从节约的角度,在摸清资源特性的基础上,研究资源共享规律,在生态体系中大力开展资源共享利用的途径、方式,构建共享利用模式。

3.6 协同机理

协同机理或称役使效应,是指在大系统中存在的一个或多个子系统,对其他系统能够产生重要作用,能够支配与影响其他系统的运行方式。一是系统内部各个组成要素形成一个有机整体,使该系统中各元素之间的关系变得和谐融洽,协调一致,使每一组相对稳定的发挥积极作用,维系系统循环发展。二是加强系统同外部环境交换信息、能量与物质的功能,不断修正循环经济系统内部各组成要素间的机构与组织关系,使其与外部环境形成动态平衡。三是通过获取与加工变换信息的能力,增强循环系统的内部作用,降低系统的混乱程度,从而使系统保持更长时间的有序状态或者提高系统的有序程度,增强循环经济系统的功能。湖矿区分布式生态系统是在结合湖矿区特点的基础上,对区内的水资源、土地资源、人力资源、能源资源等方面协调开发利用,进行农业、采矿业、旅游业及其他相关产业的协同发展,实现内外环境的协调发展,保证湖矿区生态体系的健康运行。

4 结 论

随着客观环境变化,生态体系生存环境应该适时

进行调整或转变,湖矿区应根据煤矿的生命周期有计划有步骤地进行生态系统建设,实现煤矿附属资源的边开采边利用、环境可持续发展和经济增长。本文研究的生命周期机理、代谢机理、平衡机理、组合机理、共享机理、协同机理为分布式湖矿区生态体系的调整与发展提供了理论依据,也为该系统的正常运行提出了合理建议。

参考文献:

- [1] 于晓燕,鞠 萍,任一鑫,等. 分布式矿区生态集成体系建设研究[J]. 矿冶工程, 2019,39(6):151-155.
- [2] 于晓燕. 矿农协同生态体系构建与评价研究[D]. 青岛:山东科技大学经济管理学院, 2020.
- [3] 任一鑫,苏海洋. 矿区资源循环绿色体系构建[J]. 矿冶工程, 2021,41(2):138-142.
- [4] 焦习燕,王志远,任一鑫. 高温深井煤矿降温系统集成体系研究[J]. 矿冶工程, 2018,38(1):127-131.
- [5] 蔡美峰,吴允权,李 鹏,等. 宁夏地区煤炭资源绿色开发现状与思路[J]. 工程科学学报, 2022,44(1):1-10.
- [6] 崔 艳,麦方代. 小保当煤矿智慧矿山生态环境防治体系建设模式研究[J]. 煤炭工程, 2017,49(5):20-23.

引用本文:鞠 萍,李宜伟,于晓燕,等. 湖矿区分布式生态系统运行机理研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(1):154-159.

(上接第 153 页)

- [8] SHI X W, YU K, JIANG L, et al. Microstructural characterization of Ni-201 weld cladding onto 304 stainless steel[J]. Surface and Coatings Technology, 2018,334:19-28.
- [9] Gurumoorthy K, Kamaraj M, Rao K P, et al. Microstructural aspects of plasma transferred arc surfaced Ni-based hardfacing alloy[J]. Materials Science and Engineering: A, 2007,456:11-19.
- [10] LIU Y F, FENG Z C, PU F, et al. Microstructure and dry-sliding wear properties of TiC/CaF₂/γ-Ni self-lubricating wear-resistant composite coating produced by co-axial powder feeding plasma transferred arc (PTA) cladding process[J]. Surface and Coatings Technology, 2018,345:61-69.
- [11] Zunake L, Kalyankar V D. On the performance of weld overlay characteristics of Ni-Cr-Si-B deposition on 304 ASS using synergetic pulse-GMAW process[J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2021,26:106-115.
- [12] Saroj S, Sahoo C K, Masanta M, et al. Microstructure and mechanical performance of TiC Inconel825 composite coating deposited on AISI 304 steel by TIG cladding process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2017,249:490-501.
- [13] Solecka M, Kopia A, Radziszewska A, et al. Microstructure, micro-segregation and nanohardness of CMT clad layers of Ni-base alloy on 16Mo3 steel[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2018,751:86-95.
- [14] Rajeev G P, Kamaraj M, Bakshi R. Comparison of microstructure, dilution and wear behavior of Stellite 21 hardfacing on H13 steel using cold metal transfer and plasma transferred arc welding processes[J].

Surface and Coatings Technology, 2019,375:383-394.

- [15] 安建勇,黄玉琴. 基于巴氏合金 CMT 技术的工艺性研究[J]. 上海大中型电机, 2022(1):26-30.
- [16] ZHANG H, PAN Y J, ZHANG Y, et al. Effect of laser energy density on microstructure, wear resistance, and fracture toughness of laser clad Mo₂FeB₂ coating[J]. Ceramics International, 2022,48:28163-28173.
- [17] Aghajani H, Valefi Z, Zamani P. Phase composition, microstructure, mechanical properties, and wear performance of nanostructured Al₂O₃ and Al₂O₃-Y₂O₃ coatings deposited by plasma spraying[J]. Applied Surface Science, 2022,585:152754.
- [18] YANG L, LI Z, ZHANG Y, et al. In-situ TiC-Al₃Ti reinforced Al-Mg composites with Y₂O₃ addition formed by laser cladding on AZ91D[J]. Surface and Coatings Technology, 2020,383:125249.
- [19] LI J, LUO X, LI G J. Effect of Y₂O₃ on the sliding wear resistance of TiB/TiC reinforced composite coatings fabricated by laser cladding[J]. Wear, 2014,310:72-82.
- [20] LIANG C, WANG C, ZHANG K, et al. Nucleation and strengthening mechanism of laser cladding aluminum alloy by Ni-Cr-B-Si alloy powder based on rare earth control[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2021,294:117145.

引用本文:郑军武,陈 绍,李富坤. CMT 堆焊巴氏合金堆焊层组织及力学性能[J]. 矿冶工程, 2023,43(1):150-153.