

引用格式: Jia Liqi, Chen Feifei, Li Hongfei. Study on the Construction of Industrial Chain and Low-carbon Technology Framework of Eco-industrial Park under the Coupling of Low-carbon Circular Economy: Taking Huachi Ecological Industrial Park in Qingyang City, Gansu Province as an Example[J]. Journal of Gansu Sciences, 2021, 33(4): 104-111. [贾丽奇, 陈飞飞, 李鸿飞. 低碳循环经济耦合下的生态产业园产业链构建与低碳技术框架研究——以甘肃省庆阳市华池县生态产业园为例[J]. 甘肃科学学报, 2021, 33(4): 104-111.]
doi: 10.16468/j.cnki.issn1004-0366.2021.04.018.

低碳循环经济耦合下的生态产业园产业链构建与 低碳技术框架研究

——以甘肃省庆阳市华池县生态产业园为例

贾丽奇, 陈飞飞, 李鸿飞

(兰州理工大学设计艺术学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要 针对乡村产业结构转型及乡村经济发展与生态环境保护问题, 展开基于低碳、循环经济理念的生态产业园产业链构建和园区低碳化建设研究。以甘肃省庆阳市华池县生态产业园为例, 提出建立关键产业选择层次结构模型筛选关键产业, 围绕关键产业纵向延伸、横向耦合构建园区循环经济产业链网。并针对园区所在地气候特点, 在新能源开发与利用、建筑节能设计、雨水综合利用等方面展开了对园区低碳建设的探索, 以期对同类地区开展相关工作提供参考。

关键词 生态产业园; 产业链构建; 低碳技术框架; 层次分析法; 节能

中图分类号: F327; X24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0366(2021)04-0104-08

生态产业园是循环经济和低碳经济在产业集中区的具体体现, 随着传统产业园区建设及实践过程中出现的低技术、低效益、低规模、低循环等问题, 生态产业园的循环共生产业链构建及建设模式已成为国内外学者关注的重点。

刘晶茹等^[1]提出了建立农工共生型生态产业园来实现核心园区与周边腹地的系统发展, 并给出了园区的发展模式、建设意义与设计原则。史宝娟等^[2]提出了将 TOPSIS 与灰色关联分析相结合来确定关键产业的方法。张西玲^[3]分析总结了国内外生态工业园区的规划建设和组织发展方面的经验, 为推动生态产业园建设提供了借鉴经验。颜培霞^[4]总结了低碳产业园区的基本内涵、建设现状、发展模式、碳源测量计算以及评价体系等方面的内容, 并就未来发展低碳产业园区拟解决的关键问题进行了相关探讨。吴雪莲等^[5]探讨了低碳园区建设存在的问题, 并分析了各类低碳园区发展模式的可借鉴性。洪

雷等^[6]总结了低碳产业园区的建设模式和框架, 同时对低碳产业园区建设和发展提出了若干对策和建议。总体而言, 从已有的研究成果来看, 学界对产业链构建原则、方法、低碳建设模式、技术支撑均取得了一定的进展。从研究地域来说多集中于中东部经济较为发达的地区, 且实证研究案例较少。对经济欠发达, 气候较恶劣的西部地区缺乏关注。

甘肃省庆阳市华池县地处陇东黄土高原腹地, 全年日照充足, 昼夜温差大。冬春干旱少雨, 夏季降水集中, 是甘肃省大陆性半干旱地区典型的农业经济县, 2018 年全县农村居民收入为 8 521.2 元^[7]。

在乡村振兴战略及精准扶贫政策的导向下, 华池县迫切希望找到一个能带动地方经济发展的增长极, 形成从“输血式”扶贫到“造血式”产业发展的转变。在此背景下, 研究以循环经济和低碳经济为基本理念, 结合当地实际对产业进行筛选, 在此基础上

收稿日期: 2020-01-02; 修回日期: 2020-03-04

基金项目: 国家自然科学基金(51968042); 甘肃省建设科技科研项目(JK2017-31)

作者简介: 贾丽奇(1977-), 女, 甘肃兰州人, 博士, 讲师, 研究方向为乡村规划、风景名胜区规划和小城镇规划。E-mail: 37848753@qq.com

通信作者: 陈飞飞, E-mail: 1104706329@qq.com

围绕关键产业构建共生循环产业链,并提出符合当地气候特点的产业园区低碳建设技术框架从而达到资源的优化配置,实现农业经济效益和生态环境效益的共赢。

1 循环低碳经济概念辨析及实践作用

循环经济指一种以资源循环高效利用为核心,以低消耗、低排放、高效率为基本特征,以3R(减量化、再利用、再生利用)为基本操作原则,以可持续发展为目标的经济增长模式^[8]。低碳经济指通过技术创新、制度创新、产业转型及新能源技术开发等多种技术手段来减少煤炭、石油等高碳能源消耗以及温室气体排放为目的的经济形态。二者均是基于生态文明理念的可持续发展模式,其区别在于:循环经济发展模式强调经济活动中的资源循环利用和高效利用,能有效促进生态产业园产业资源的高效组织并形成共生产业链网;而低碳经济是以减少物质生产过程碳排放量为核心,研究重点主要聚焦于节能减排、废物循环处理等技术领域。

2 华池县生态产业园的循环经济产业链网构建

2.1 关键产业选择

关键产业的选定是构建循环经济产业链网的关键,它是循环产业链网状结构中的关键节点,具有物质流动大、与其他产业联动性强等特点^[2]。陈海汉等^[9]在安徽省主导产业的选择中提出了主导产业应具备先进性、发展性、带动性、适应性、竞争性、难易性和风险性7个产业属性特点。索贵彬^[10]在资源型城市循环经济系统规划中核心产业的选择中主张核心产业应具有产业相关性高、该产业增加值占区域增加值的比重高以及循环经济应该优先发展的行业原则。张哲乐等^[11]提出了关键产业选择应符合特色性、区域性、经济性以及生态性原则。在总结学者关于关键产业选择的基础上,并基于对华池县生态产业园所在地区位、气候、产业等现状的综合分析,提出了华池县生态产业园关键产业的选择应遵循经济性、适应性、产业关联度、产业技术和生态性原则。经济性是指生产成本较低,却能产生较好的经济效益;适应性是指能在多变甚至恶劣环境下健康生长的能力;产业关联度是指备选关键产业与其上下游产业联系的紧密度;产业技术是指实现构建以关键产业为核心的产业链网的难易度;生态性是

指备选关键产业在生产、流通和排放过程对周围环境的影响应降到最小。

根据关键产业选择原则及层次分析法构建关键产业选择模型,该体系分为3个层次,分别为目标层、准则层和方案层。将关键产品作为目标层,经济性、适应性、产业关联度、产业技术和生态性作为准则层,备选产业为方案层,可以实现对特定区域关键产业的选择。

实地考察调研华池县生态产业园所在地产业现状发现,玉米、糜子和荞麦为该地区近几年播种面积前三的农作物^[7],而构树林因其植物蛋白、氨基酸和微量元素含量丰富,纤维素含量高,可较好地用于高蛋白植物饲料、药食研发以及纤维制品,经济效益较高,已成为各地区常见的经济作物。依此建立了华池县生态产业园关键产业选择层次结构模型(见图1)。

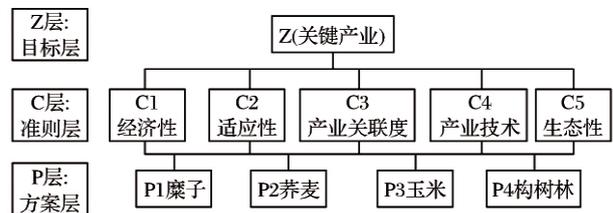


图1 关键产业选择层次结构模型

Fig.1 Hierarchy model of key industry selection

邀请当地生态产业、区域经济及城乡规划领域的教授及专家进行了100份问卷调查,对同层次因素进行两两比较取1~9分之间进行赋值。对所收回的93份有效问卷进行分析并得出了判断矩阵(见表1~表6)。运用数学软件Matlab计算各判断矩阵的最大特征值、特征向量以及一致性指标值,再查得各阶矩阵所对应的随机一致性指标RI(见表7),并检验判断矩阵的一致性。若一致性比率 $CR = CI/RI < 0.1$,则认为该判断矩阵通过一致性检验,否则需重新检验。

表1 关键产业(Z)与准则层(C)的判断矩阵

Table 1 Judgment matrix of key industries (Z) and criteria level (C)

Z	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	2	1/5	1/4	1/7
C2	1/2	1	1/6	1/2	1/8
C3	5	3	1	2	3
C4	4	3	1/2	1	1/3
C5	8	3	1	3	1

表2 经济性(C1)与方案层(P)的判断矩阵

Table 2 Judgment matrix of economy (C1) and scheme layer (P)

C1	P1	P2	P3	P4
P1	1	3	2	1/5
P2	1/3	1	1/2	1/7
P3	1/2	2	1	1/4
P4	5	7	4	1

表3 适应性(C2)与方案层(P)的判断矩阵

Table 3 Judgment matrix of adaptability (C2) and scheme layer (P)

C2	P1	P2	P3	P4
P1	1	3	5	7
P2	1/3	1	2	4
P3	1/5	1/2	1	2
P4	1/7	1/4	1/2	1

表4 产业关联度(C3)与方案层(P)的判断矩阵

Table 4 Judgment matrix of industry relevance (C3) and scheme layer (P)

C3	P1	P2	P3	P4
P1	1	1/5	1/3	1/7
P2	5	1	2	1/4
P3	3	1/2	1	1/5
P4	7	4	5	1

表7 平均随机一致性指标

Table 7 Average random consistency index

指标	阶数														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

表8 方案层归一化特征向量及各一致性比率

Table 8 Normalized eigenvectors and consistency ratio values of scheme layers

指标	表2	表3	表4	表5	表6
w ₁	0.187 3	0.581 7	0.054 9	0.177	0.128 0
w ₂	0.068 9	0.231 4	0.216 8	0.066 8	0.085 1
w ₃	0.124 7	0.120 5	0.126 0	0.107 3	0.290 3
w ₄	0.619 2	0.066 4	0.602 4	0.648 9	0.496 6
λ	4.096 4	4.028 3	4.123 1	4.076 6	4.056 6
CI	0.032 1	0.009 4	0.041 0	0.025 5	0.018 9
RI	0.890 0	0.890 0	0.890 0	0.890 0	0.890 0
CR	0.036 1	0.010 6	0.046 1	0.028 7	0.021 2

组合权重向量计算可得方案 P1 对目标 Z 的权重为：
 $0.187\ 3 \times 0.059\ 6 + 0.581\ 7 \times 0.048\ 8 + 0.054\ 9 \times 0.398\ 3 + 0.177\ 0 \times 0.156\ 9 + 0.128\ 0 \times 0.336\ 3 = 0.132\ 2$ 。

表5 产业技术(C4)与方案层(P)的判断矩阵

Table 5 Judgment matrix of Industrial Technology (C4) and scheme layer (P)

C4	P1	P2	P3	P4
P1	1	3	2	1/5
P2	1/3	1	1/2	1/7
P3	1/2	2	1	1/6
P4	5	7	6	1

表6 生态性(C5)与方案层(P)的判断矩阵

Table 6 Judgment matrix of ecology (C5) and scheme layer (P)

C5	P1	P2	P3	P4
P1	1	2	1/3	1/4
P2	1/2	1	1/3	1/5
P3	3	3	1	1/2
P4	4	5	2	1

由 Matlab 计算所得表 1 判断矩阵的最大特征根 $\lambda = 5.437\ 5$, 特征向量 $w = (0.059\ 6, 0.048\ 8, 0.398\ 3, 0.156\ 9, 0.336\ 3)$, $CI = 0.109\ 4$, 由表 7 得 $RI = 1.12$, 故一致性比率 $CR = 0.097\ 7 < 0.1$, 表明表 1 判断矩阵通过一致性检验。同理计算表 2~表 6 判断矩阵, 结果汇总见表 8。

整理各层因素所得指标权重, 结果见表 9。进行

以此类推可得方案 P2、P3、P4 对目标层 Z 的权重依次为 0.140 8、0.178 0 和 0.548 9, 由此可得 P4 为最佳方案, 即构树为该园区关键产业。

2.2 循环产业链网构建

循环产业链网的构建主要是在企业内部、企业之间以及企业所在区域建立生态产业网络^[12]。通过对产业结构和功能的调整, 实现产业链网的纵向闭合、横向耦合和系统整合目标, 最终实现对物料和能量的循环利用^[13]。在构建循环产业链网时应遵循以下原则:

(1) 根据实际条件, 应确定符合现状特征的产业链网类型。现有的产业链网主要包括依托型、平等型、嵌套型及虚拟型 4 种^[14]。

(2) 参与循环产业链的企业首先应实现自身企业的清洁生产。

表 9 各层次指标权重

Table 9 Index weight value of each level

目标层	准则层	权重	方案层	权重
Z	C1	0.059 6	P1	0.187 3
			P2	0.068 9
			P3	0.124 7
			P4	0.619 2
	C2	0.048 8	P1	0.581 7
			P2	0.231 4
			P3	0.120 5
			P4	0.066 4
	C3	0.398 3	P1	0.054 9
			P2	0.216 8
			P3	0.126 0
			P4	0.602 4
	C4	0.156 9	P1	0.177 0
			P2	0.066 8
			P3	0.107 3
			P4	0.648 9
	C5	0.336 3	P1	0.128 0
			P2	0.085 1
			P3	0.290 3
			P4	0.496 6

(3) 产业链衍生构建需以 3R 原则为操作导则。

(4) 尽量建立多样复合的产品体系,以增加循环产业链网的稳定性。

(5) 整体把握资源动向、物质交换以及能量的

多层次利用^[15]。

华池县生态产业园以构树林种植为关键产业,开展产业间的纵向延伸和横向耦合,形成园区内部循环、园区-区域循环的循环产业链网(见图 2),并将所涉及到的工艺流程落实到产业园具体地块中(见图 3)。纵向延伸方面:围绕构树林种植,开发与其相关产业包含饲料加工、牲畜养殖、肉食品加工、仓储物流、药食研发、构树纤维及有机蔬菜等产业形成企业内部产业链。横向耦合方面:一部分通过农户购买构树幼苗、饲料进行构树林种植及牲畜养殖,成年构树及牲畜再次回卖至华池县生态产业园形成园区-区域循环产业链的一环;另一部分则是在生态产业园已有产业的基础上拓展第三产业,开展与农业技术有关的教育培训、观光旅游、生态餐饮等服务业,两部分综合形成园区-区域循环产业链。

3 基于半干旱地区条件下的华池县生态产业园低碳技术框架

华池县生态产业园规划中通过能源系统规划、水资源系统规划、废物循环利用与处置规划建立园区低碳建设技术框架,可以提高园区能源、水资源利用效率,减少对煤炭、石油等不可再生资源的消耗,降低园区运行碳排放,有利于改善当地生态环境,缓解当前区域能源、水资源供给紧缺局面,维护自然生态平衡。华池县生态产业园低碳技术框架体系见图 4。

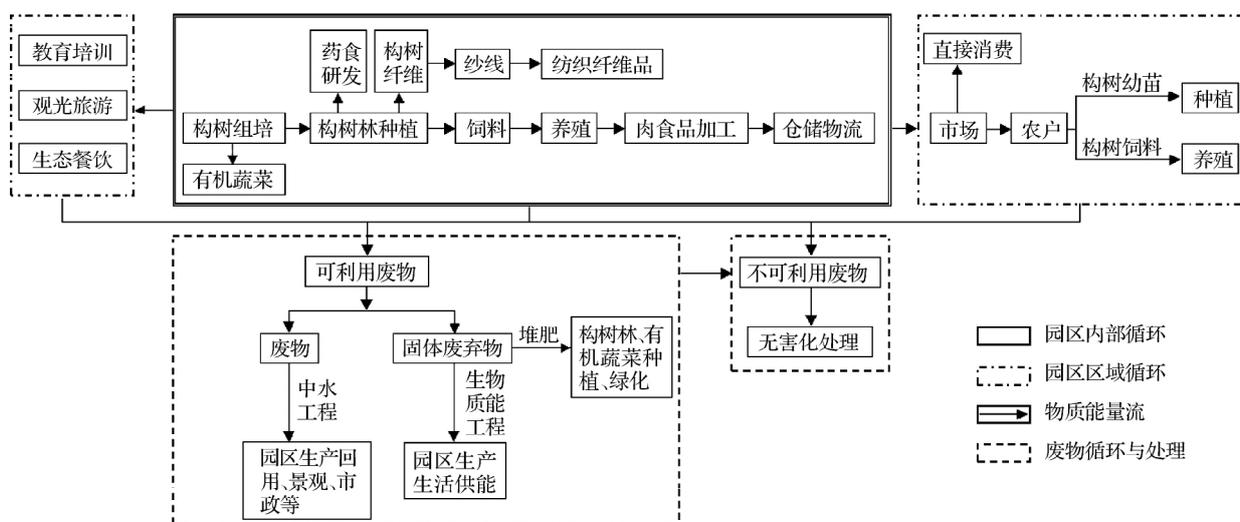


图 2 华池县生态产业园循环经济产业链网

Fig.2 Industrial chain network of circular economy in Huachi Ecological Industrial Park

3.1 能源系统规划

华池县生态产业园区能源系统规划设计主要以能源循环流动为切入点,一方面通过挖掘新的能源

供应端,将太阳能、生物质能转化为园区的供应能源,以减少化石类能源的消耗,降低环境污染;另一方面结合建筑节能、生产设备节能措施,在能源

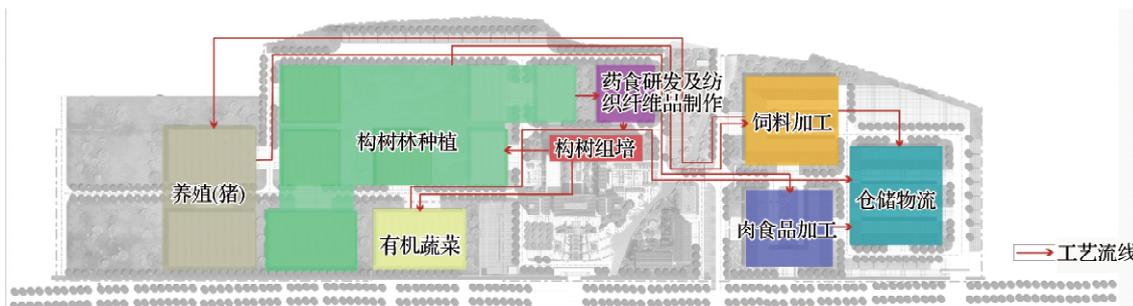


图3 华池县生态产业园内部工艺流程

Fig.3 Internal process flow of Huachi ecological industrial park

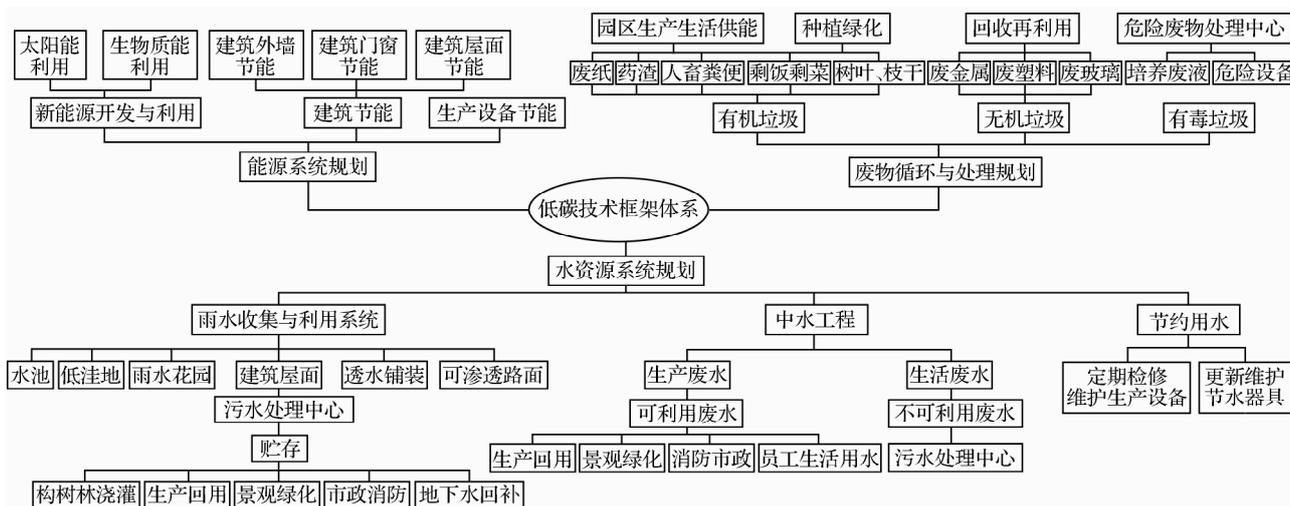


图4 华池县生态产业园低碳技术框架体系

Fig.4 Low carbon technology framework system of Huachi ecological industrial park

输送利用途中提高能源利用效率,尽最大限度促进能源循环利用。

(1) 新能源开发利用 太阳能是珍贵的可再生能源,具有储量大、易得及无污染等特点,其常见的利用方式可分为被动利用与主动利用。被动利用是将建筑主要空间或者蓄热墙置于建筑向阳面直接获取太阳热量;主动利用是利用机械设备与动力装置收集太阳能进而转换为热能和电能供建筑使用。

庆阳市华池县全年日照充足,在华池县生态产业园规划中,园区建筑选用了太阳能被动与主动利用相结合的新能源利用方式。园区采用全玻璃温室大棚,顶部安装透光性能较好的非晶硅太阳能电池板(透光率最高可达40%),既满足植物生长需要又捕获充足的光能用于光电转化。温室建筑内部则采用了具有吸热储热性能的材质作为地面铺装,白天大量光源经玻璃射入后由储热地板储存热量,至晚上再将热量释放出来以维持温室大棚适宜的温度(见图5)。

园区生产办公及生活建筑通过在屋顶安装太阳能集热装置与太阳能光伏板将太阳能转换为热能和

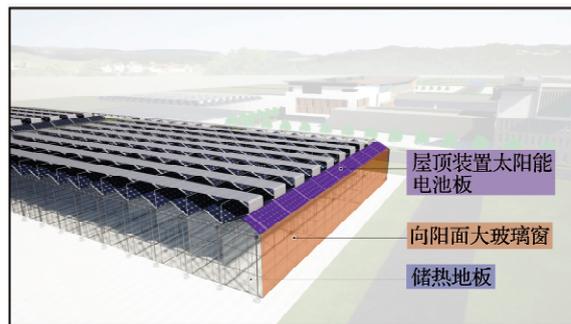


图5 园区温室建筑太阳能利用

Fig.5 Solar energy utilization of greenhouse buildings in the park

电能,可为园区提供热水、照明、空调制冷等用途(见图6)。

生物质能开发与利用是指将自然界各式有机物,包括农作物、农作物废弃物、动物粪便等物质通过一定的方法和手段转变成燃料物质的技术。生物质能因其分布广泛、储量大且污染低等特点,作为园区的新型能源可有效缓解其他不可再生能源消耗并促进园区可持续发展。

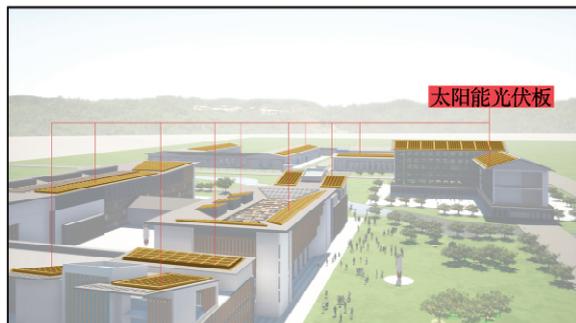


图 6 园区办公及生活建筑太阳能利用

Fig.6 Solar energy utilization of working and living buildings in the park

在华池县生态产业园中,引用了生物质能气化发电利用技术。通过将种植、养殖、构树纤维生产、药食研发过程中产生的农作物枝叶、动物粪便、药渣等垃圾倒入气化炉中,转换为可燃烧的气体,再将气体净化,传输至热电联产发动机发电为园区提供电力与热量。

(2) 建筑节能 建筑节能是通过对建筑群空间的有效组织、建筑体型系数控制、维护结构设计等来降低建筑能耗,达到建筑节能减排的目的^[16]。而建筑维护结构能耗是建筑整体使用能耗的重要组成部分,因此在庆阳市华池县生态产业园建设中重点设计了建筑的维护结构。

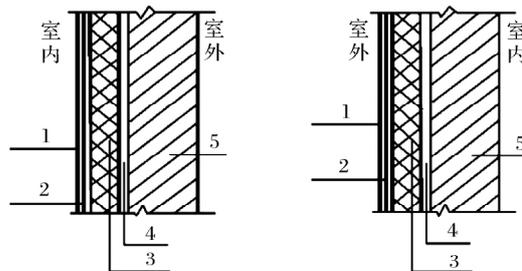
建筑墙体保温主要有外墙外保温、内保温^[17](见图 7)和夹芯墙保温技术^[18](见图 8)。针对华池县气候特征,园区建筑应避免室外温差、湿度对外墙的影响。由于传统的外墙外保温和内保温技术易受室内外温差影响进而导致墙体膨胀收缩、墙面鼓起、开裂,所以在园区建筑外墙技术中选用了夹芯保温墙体。它的构造特点是将保温层建造在内墙与外墙中间,因外叶墙和夹芯层的存在极大地保护了内叶墙,降低了外界气温对它的影响,从而减少墙体鼓起、龟裂等问题的发生,并能充分发挥保温材料的保温性能^[18]。

表 10 不同种类玻璃的热工性能

Table 10 Thermal performance of different kinds of glass

玻璃种类	单片 K 值/[W·(m ² ·K) ⁻¹]	中空组合	组合 K 值/[W·(m ² ·K) ⁻¹]	遮阳系数 SC/%
透明玻璃	5.8	6 白玻+12A+6 白玻	2.7	72
吸热玻璃	5.8	6 蓝玻+12A+6 白玻	2.7	43
热反射玻璃	5.4	6 反射+12A+6 白玻	2.6	34
Low-E 玻璃	3.8	6Low-E+12A+6 白玻	1.9	42

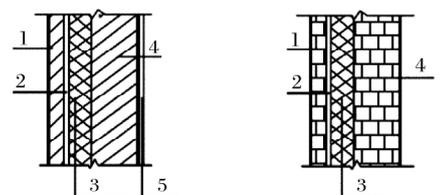
建筑门窗框材料主要有木、铝、PVC 塑钢以及断桥铝合金 4 种。由于木质门窗框易变形、腐蚀;铝制窗框导热快,保温性差;PVC 塑钢易老化、防火性能差,均不能满足华池县生态产业园区低碳建设要



1. 饰面层 2. 保护层 3. 保温层 4. 粘结层 5. 基层墙体
(a) 墙体内保温 (b) 墙体外保温

图 7 墙体内保温、外保温构造图

Fig.7 Structural drawing of internal and external insulation of wall



1. 外叶墙(外墙饰砖) 2. 空气层 3. 保温层 4. 内叶墙(普通多孔砖) 5. 内饰层
1. 外叶墙(装饰砌块) 2. 空气层 3. 保温层 4. 内叶墙(混凝土砌块)

(a) 多孔砖夹芯保温墙 (b) 混凝土砌块夹芯保温墙

图 8 夹心墙构造形式

Fig.8 Construction form of interlayer wall

门窗能耗约占建筑维护结构能耗的 50%,因此提高建筑门窗的保温性能显得尤为重要。在华池县生态产业园建设中,建筑门窗节能主要通过控制建筑窗墙比,使用中空节能玻璃并采用较高热阻性能的门窗框来提高门窗节能性能。

由于华池县气候呈冬暖夏凉的特点,所以园区建筑采用了具有较小传热系数和遮阳系数的玻璃来保证玻璃的保暖和隔热性能。通过对比市面上常见的节能玻璃热工性能^[19](见表 10),最终选用了隔热保暖性能优越的 Low-E 中空组合玻璃。

求;断桥铝合金因其良好的保温隔热、安全隔音特性,在园区建设中被大量采用(见图 9)。

建筑屋面节能技术主要涉及到传统外保温屋面、倒置式屋面、绿化屋面、平加坡屋顶节能措施 4 类。



图9 华池县生态产业园建筑立面

Fig.9 Building elevation of Huachi ecological industrial park

经对比各类屋面建造方式、造价及后期维修等因素,倒置式屋面因其构造形式有利于简化施工流程、造价低、保护防水层并方便后期维修等优势^[20](见图10),在园区建设中被大量使用。

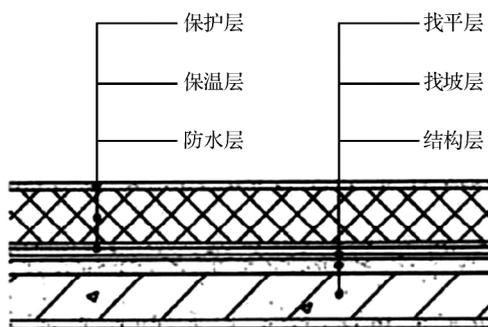


图10 倒置式屋面基本构造

Fig.10 Basic structure of inverted roof

(3) 生产设备节能 生产设备的定期维护更新有助于提高园区生产效率,降低生产耗能和废物排放,从而实现低碳园区建设目的^[21]。

3.2 水资源系统规划

可利用水资源匮乏,生产工艺造成的用水利用率低,污水处理不当,用水器具渗漏是当前我国水资源利用中普遍存在的问题。对于华池县生态产业园所在地域半干旱气候特点而言,推进园区水循环利用系统尤为重要。

(1) 雨水综合利用 华池县生态产业园建立了完整的雨水收集、贮存和利用系统。在园区建立低洼地、雨水花园以及通过建筑屋面和透水砖收集雨水。再将收集到的雨水输送至园区污水处理中心,净化后的雨水可用于园区构树林种植浇灌、市政消防、生产回用以及地下水回补。

(2) 中水回用工程 园区中水回用工程是通过收集园区生产生活污水,经分类净化处理后用于景观喷灌、消防市政以及员工宿舍生活用水等。

(3) 节约用水 通过提升华池县生态产业园生

产过程用水工艺、宣传节约用水理念,减少供水管道、节水器具“跑、冒、滴、漏”等现象的发生,可使园区水资源高效利用。

3.3 废物循环利用与处置规划

随着全球科技的发展,生产生活废物已被视为一种重要的可再生利用资源。对于生态产业园而言,废物循环利用与处置规划作为循环产业链网的重要环节,对促进园区循环经济的构建、物质能量的层级利用有着重要的意义。

将华池县生态产业园中产生的有机垃圾诸如剩饭剩菜、动物粪便、农作物秸秆等作为生物质能工程的原料或进行堆肥处理,回用于构树林种植;易拉罐、玻璃瓶等无机物垃圾则直接回收再利用;培养废液、危险设备等有毒垃圾按相关规定做特殊处理。

4 结论

研究综合循环经济与低碳经济2种可持续发展经济理论,构建了园区循环经济产业链网和园区低碳建设框架,并以华池县生态产业园为例开展实证研究,对建立以资源高效利用及环境友好为目标的生态产业园建设展开了探索,并得出以下观点:

(1) 在循环产业链网的构建上,根据当地资源现状筛选出符合关键产业遴选原则的关键产业,围绕关键产业展开产业间的纵向延伸和横向耦合,形成多维、高效的循环共生产业链网。

(2) 在低碳技术框架的组织上,为降低园区碳排放和减少园区对环境的污染,首先应加大新能源开发与使用力度,增强建筑节能减排技术的应用;其次需建立园区节水工程、中水工程以及雨水综合利用工程以促进水资源高效利用;最后在废物循环利用与处置规划方面对园区垃圾进行科学分类及处理,建立园区废物循环利用体系,以减小污染。

研究对于以大陆性半干旱气候、农业型经济为特点的甘肃经济欠发达地区实现了农业经济效益和生态环境效益的共赢,对促进地区经济发展具有一定的实践意义和理论意义。

参考文献:

- [1] 刘晶茹, 聶鑫蕊, 周传斌, 等. 农工共生型生态产业园的构建——以郑州经开区为例[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4891-4896.
- [2] 史宝娟, 杨楠. 基于TOPSIS-灰色关联方法的生态产业链关键产业选择[J]. 生态经济, 2019, 35(1): 37-42.
- [3] 张西玲. 国内外生态产业园区建设典型案例研究[J]. 科技创新与生产力, 2011, (3): 54-58, 62.

- [4] 颜培霞.我国低碳产业园区的研究进展与未来展望[J].生态经济,2019,35(5):26-30,87.
- [5] 吴雪莲,鲍仁冬,万迎峰.武汉市低碳产业园发展模式探讨[J].工业安全与环保,2017,43(8):103-106.
- [6] 洪霄,钱忠好.低碳产业园区的建设及发展对策研究——以常州武进高新区为例[J].扬州大学学报:人文社会科学版,2011,15(6):40-45.
- [7] 华池县人民政府.2018年华池县国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2019-10-25)[2020-01-02].<http://www.hcx.gov.cn/publicity/jjshfztj/3141>.
- [8] 陆佳.循环经济理念下的生态工业园规划实践——以深圳市宝安区为例[J].城市规划学刊,2007,(3):6671.
- [9] 陈海汉,冯南平,梁魏.安徽省主导产业的选择与发展方向[J].科技管理研究,2012,32(6):37-40.
- [10] 索贵彬.资源型城市循环经济系统规划中核心产业的选择研究[J].生态经济,2014,30(5):46-48.
- [11] 张哲乐,马晓路.试析农-旅耦合生态产业链关键产品的选择[J].商业经济研究,2015,(27):117-118.
- [12] 尹琦,肖正扬.生态产业链的概念与应用[J].环境科学,2002,(6):114-118.
- [13] 李云燕.产业生态系统的构建途径与管理方法[J].生态环境,2008,(4):1707-1714.
- [14] 王兆华,尹建华.生态产业园中工业共生网络运作模式研究[J].中国软科学,2005,(2):80-85.
- [15] 刘路云,郑伯红.循环产业园用地布局方案生成与评价方法——以济源市金利循环产业示范园为例[J].城市规划,2016,40(6):37-42.
- [17] 孙晶.花园式低碳建筑设计[J].煤炭工程,2010,(12):22-23.
- [18] 中国建筑科学研究院.民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分):JGJ26-1995[S].北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [19] 王玉良,毕永清,张海.农村住宅外墙保温技术研究[J].安徽农业科学,2010,38(11):6038-6040.
- [20] 杨燕萍.夏热冬冷地区既有建筑门窗的节能改造[J].新型建筑材料,2007,(9):40-43.
- [21] 倒置式屋面工程技术规程:JGJ230-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [22] 温娟,包景岭,李大鹏.高新技术产业园区生态产业园规划研究[J].生态经济:学术版,2007,(2):177-181.

Study on the Construction of Industrial Chain and Low-carbon Technology Framework of Eco-industrial Park under the Coupling of Low-carbon Circular Economy: Taking Huachi Ecological Industrial Park in Qingyang City, Gansu Province as an Example

Jia Liqi, Chen Feifei, Li Hongfei

(School of Design and Art, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract Aiming at the structure transformation of rural industrial and the development of rural economy and ecological environment protection, the research on the construction of the industrial chain of the eco-industrial park and the low-carbon construction of the park based on the concept of low-carbon, circular economy was carried out. Taking Huachi Eco-industrial Park in Qingyang, Gansu as an example, it is proposed to establish a key industry selection hierarchy structure model to screen key industries, extend around the key industries, and horizontally establish a circular economy industrial chain network in the park. According to the local climate characteristics, low carbon construction exploration of the park is launched in the aspect of new energy development and application, energy saving design and comprehensive utilization of rainwater, which with the purpose of providing reference for similar work in similar areas.

Key words Eco-industrial park; Construction of industrial chain; Low carbon technology framework; AHP; Energy-saving

(本文责编:毛鸿艳)