

成长型资源城市绿色转型研究

杨键军¹, 杨学刚², 武其甫³, 石敏俊⁴

(1. 中国科学院大学 经济与管理学院, 北京 100080; 2. 内蒙古自治区能源局, 呼和浩特 010098;
3. 内蒙古低碳发展研究院, 呼和浩特 010010; 4. 浙江大学 公共管理学院, 杭州 310058)

摘要:资源型城市必须走绿色转型之路。绿色转型是以生态优先、绿色发展为导向的经济转型,其路径选择是一个摆脱传统发展模式向清洁、循环、低碳发展的递进过程,关键是选择在成长期主动转型,核心是优化资源型城市资源型产业发展路径。运用线性规划(linear programming)方法对成长型资源城市鄂尔多斯市的资源型产业发展路径优化分析得出,煤炭产业绿色转型不能只追求项目规模和经济增速,发展煤电及现代煤化工是煤炭产业绿色转型的最优路径,煤制气和煤制油是现代煤化工行业的最优路径。

关键词:成长型资源城市;绿色发展;产业转型

中图分类号:F062.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-980X(2019)10-0095-09

资源型城市是依赖资源开发而发展起来的城市^[1],具体讲是以本地区矿产、森林等自然资源开采、加工为主导产业的城市,其包括地级市、地区等地级行政区和县级市、县等县级行政区。按照产业生命周期理论,可将资源型城市划分为起步期、成长期、成熟期、衰退期和枯竭期(再生期)^[2]。通过国内外典型资源型城市实践案例分析说明,资源型城市必须走转型发展之路,转型不仅要受到所依赖资源可持续性的制约,同时要面临资源开发过程中带来的一系列环境问题。转型要把握时机,在成长期和成熟期谋求主动转型。资源型城市经济转型要想摆脱资源“路径依赖”,必须在制度、科技、产业等方面创新^[3],以产业发展路径优化提升地区的核心竞争力,即产品的竞争力。同时,转型应以生态优先、绿色发展为导向,以克服资源环境的约束,实现城市的可持续发展^[4]。当前,我国生态文明建设和绿色发展正迎来新的战略机遇^[5],习近平生态文明思想以及“绿水青山就是金山银山”的科学论断已成为引领我国经济走向绿色发展之路的理论之基,唯有坚持绿色发展才能切实推动资源型城市经济走向高质量发展。资源型城市由传统发展模式转向绿色发展模式尚需时间和空间,必须妥善处理绿色发展与转型发展之间的关系,走绿色转型之路。

国内部分学者已经开展了对资源型城市绿色转

型方面的研究。刘纯彬等^[6-7]认为与一般经济转型模式相比,绿色转型模式突出了转型的目标及方向,具有更高层面的追求,是比一般经济转型更加切合实际的健康先进的转型模式。张晨^[8]及支航^[9]认为,绿色转型的核心内容是由传统发展模式向科学发展模式的转变,是由人与自然相背离,经济、社会、生态相分割的发展形态,向人与自然和谐共生,经济、社会、生态协调发展形态的转变,其本质是传统经济向绿色经济的转型,不可持续发展向可持续发展的转型,工业文明向生态文明的转型。李昊^[10]认为,与一般转型模式相比,资源型城市绿色转型在发展目标、劳动力素质提升、资源高效利用、污染物源头治理、产业体系构建、政府角色转换七大领域与传统转型存在差别。孙毅等^[11]认为资源型区域绿色转型模式是介于传统的“黑色发展”模式与理想的“绿色发展”模式之间的寻优模式,最终目标是以最小的自然生态环境代价取得最大的经济收益,实现经济发展与生态环境保护双赢。总体上看,目前尚未有学者运用习近平生态文明思想从理论角度系统阐述资源型城市绿色转型问题。

《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》确立的262个资源型城市中,处于成长期的有31个,成熟期的141个,二者占到65.6%^[12]。这里把处于成长期的资源型城市称为“成长型资源城

收稿日期:2019-09-11

作者简介:杨键军(1967—),男,中国科学院大学经济与管理学院博士研究生,研究方向:能源经济;杨学刚(1984—),男,博士,内蒙古自治区能源局,研究方向:能源经济;武其甫(1984—),男,内蒙古低碳发展研究院,研究方向:低碳发展及碳排放计量;(通讯作者)石敏俊(1964—),男,浙江大学公共管理学院教授,博士研究生导师,研究方向:区域经济、绿色发展。

市”，处于成熟期的资源型城市称为“成熟型资源城市”。从数量看，我国成熟型资源城市多于成长型资源城市，但从资源分布情况看，支撑我国工业化走向后工业化的资源保障主要依靠成长型资源城市。我国的成长型资源城市具有充足的资源发展动力，正处于高速发展阶段，资源型产业对当地经济增长起到巨大的拉动作用^[13]，但也逐渐暴露出一系列的环境问题，资源型城市特别是成长型资源城市都在积极寻找和探索一条资源开发与环境保护的双赢之路。本文运用习近平生态文明思想，构建资源型城市绿色转型的理论框架，揭示资源型城市绿色转型的一般规律，在此基础上以产业创新为重点，对成长型资源城市鄂尔多斯市绿色转型的产业路径进行实证分析，提出促进资源型城市绿色转型的政策建议，对新时代下资源型城市如何贯彻“绿水青山就是金山银山”理念、实现资源型城市高质量发展具有重要的理论价值和现实意义。

1 资源型城市绿色转型的概念特征

资源型城市绿色转型，是以生态优先、绿色发展为导向的经济转型。具体讲，从过度依赖资源开发、单纯追求经济增长、不顾环境承载能力的不可持续发展模式，转向以产业创新驱动为主要载体实现资源节约型、环境友好型城市的可持续发展模式。绿色转型的目标是实现经济持续发展与生态环境保护双赢，经济效益、生态效益二者有机统一。其路径选择是一个摆脱传统发展模式向清洁、循环、低碳发展的递进过程。绿色转型是资源型城市进入新时代，适应高质量发展新要求，符合资源型城市普遍发展规律的一种新发展方式，有其独特的特征。

首先，绿色转型是一种高质量的经济转型。马克思历史唯物主义认为，经济基础决定上层建筑。人类社会从农业文明发展到现在的工业文明，以及即将到来的生态文明，都是生产方式变革在推动社会形态的演变。同样，资源型城市转型首先是经济发展方式的转型，没有资源型城市的经济转型，也就谈不上其社会转型、文化转型，更谈不上其生态转

型。我国经济从计划经济到市场经济，从粗放式增长到集约式增长，从城乡二元到城乡一体化，从封闭到开放再到对外开放与扩大内需并举，伴随新旧发展动能转换，已经进入高质量发展阶段。资源型城市经济转型也必须走高质量转型之路，摒弃单纯追求资源开发的规模与效益，根据市场需要，运用先进技术，优化产业发展路径，建设现代能源经济，输出清洁能源和新材料产品，提高资源的附加值，积极培育新产业，逐步提高非资源型产业的占比。

其次，资源型城市绿色转型是处理好资源型城市经济发展与绿色发展和谐统一的最佳选择。资源型城市发展的比较优势是资源，然而过度依赖资源又容易陷入“资源诅咒”^[14]；一方面，城市因资源而兴，资源开发规模的扩张抬高了生产要素成本，对技术、制造业产生挤出效应，缩短了资源型城市的寿命，反而会造成矿竭城衰的困境；另一方面，资源开采与加工转化过程中不可避免地带来环境的破坏，经济效益与环境成本往往负相关，处理好二者矛盾是资源型城市发展永恒的难题。只有始终坚持生态优先的绿色转型之路，才是资源型城市经济发展与绿色发展和谐统一的最佳选择，也是其唯一出路。

第三，资源型城市绿色转型有别于传统发展方式。资源型城市传统发展方式往往是单纯追求资源的开发规模扩张，以输出“原”字头产品为主，增长方式粗放，只注重经济效益的最大化，忽视资源消耗与环境成本，甚至将经济发展与环境保护相互对立。而绿色转型发展方式则是在生态优先的前提下考虑资源的合理高效利用，以技术投入带动产业创新，努力降低环境成本，使资源型经济效益大于环境负效应，实现经济发展与资源环境和谐互补。具体见表 1。

第四，资源型城市绿色转型不同于非资源型城市的绿色发展。资源型城市依赖资源而兴，非资源型城市发展往往依赖区位优势、人才优势，制造业的原料来源于资源型城市输出的初级产品或再生资源，不会产生矿产等不可再生资源开发带来的环境破坏等问题，其绿色发展的压力远低于资源型城市。具体见表 2。

表 1 资源型城市绿色转型与传统发展方式比较

理论依据		传统发展方式 比较优势理论	绿色转型方式 可持续发展理论
假设前提	经济主体	经济人	绿色经济人
	发展方向	经济增长	生态环境承载力许可前提下的经济发展
	追求目标	经济效益最大化	经济效益与环境效益均衡
经济特征	经济增长	粗放式(高消耗、高排放、高能耗)	集约式(清洁、循环、低碳)
	产业结构	单一、低端、低附加值、高风险	多元、高端、高附加值、低风险
	发展动力	资源开发规模扩张	绿色开采、分质高效利用、技术创新、节能减排、新产业
人与自然关系		对立	相对和谐

表 2 资源型城市与非资源型城市绿色发展比较

	资源型城市	非资源型城市
竞争优势	资源优势	区位优势、人才优势
增长要素	资源、资本、劳动力、设备	资本、技术、人才、信息
依赖产业	资源型产业	非资源型产业
经济结构	产业结构单一 企业结构失衡 产品结构偏重 所有制结构以国有或国有控股为主	产业结构多元 企业结构均衡 产品结构偏轻 所有制结构以非公有制为主
环境压力	资源开发带来的环境破坏 资源转化带来的高能耗高排放	发展制造业带来的电耗 人口密集城市的土壤污染
可持续性	资源开发强度影响城市寿命	可再生资源的保障程度影响城市发展规模和产业竞争力
创新能力	主要依靠大企业创新	全社会创新
发展短板	资源诅咒	资源短缺

第五,资源型城市绿色转型重在产业发展路径优化。资源型城市的实践证明,产业路径优化是资源型城市转型的核心。转型的过程实质上是不可再生资源型产业由大到小和可再生资源型产业与非资源型产业由小到大的交替变化过程。不可再生资源型产业起步、发展与壮大,成为资源型城市的主导产业,进而陷入资源路径依赖。如能依托不可再生资源型产业积极培育可再生资源型产业与非资源型产业及时跟进,逐步成为资源型城市新的主导产业并占据城市经济总量的一半以上,方能实现资源型城市经济转型。不可再生资源型产业规模过大是造成资源型城市绿色发展水平不高的主要因素,且伴随其转型的全过程,随着可再生资源型产业与非资源型产业的发展壮大,资源型城市绿色发展水平会不断提升。因此,不可再生资源型产业的路径优化是决定资源型城市实现绿色转型的关键。

2 资源型城市绿色转型的理论分析

2.1 目标设定

资源型城市绿色转型的核心是为了理顺经济发展与生态环境之间的关系,其路径可以通过产业生态化和生态产业化来实现,以达到经济增长与生态环境质量双提升的目标,技术创新是动力,制度创新是保障。

2.2 理论构架

习近平生态文明思想突出体现在“绿水青山就是金山银山”的绿色发展中^[15]。在实践中,对绿水青山和金山银山这“两山”理论的认识,经历了从“只要金山银山不要绿水青山”,到“既要金山银山也要绿水青山”,再到“绿水青山就是金山银山”的三个阶段^[16]。资源型城市传统发展模式形成资源路径

依赖,要素向资源部门集中,形成一种高耗能、高污染的粗放型经济增长方式,而过度依赖资源与环境,必然导致资源的短寿命和环境的超负荷。资源型城市传统发展模式实质上就是“只要金山银山不要绿水青山”的过程。通过绿色转型,将人与自然之间矛盾的经济增长方式,转变为人与自然和谐共处的可持续发展方式,节约集约高效利用资源,主动保护生态环境,增强社会财富积累,提高城市的可持续发展能力。资源型城市的绿色转型,实质上就是资源型城市从“既要金山银山也要绿水青山”到“绿水青山就是金山银山”的演变过程。

习近平总书记在2018年5月召开的全国生态环境保护会议上指出,要加快建立健全“以产业生态化和生态产业化为主体的生态经济体系”,这一论断对促进资源型城市绿色转型具有重大现实意义^[17]。相对于资源型城市而言,产业生态化是本着“既要金山银山又要绿水青山”理念,通过优化产业路径,对资源型产业进行升级改造、延链补链,围绕主导产业完善配套产业,优化资源型产业的成长环境,采用先进技术减少资源消耗,降低排放,实现资源型产业的集约集群循环发展,解决发展中保护的问题;生态产业化是本着“绿水青山就是金山银山”理念,把资源型产业产生的“三废”作为资源再利用,对工矿区土地修复再利用,挖掘本地区可再生资源,发展具有比较优势且节能环保的非资源型产业,加大生态环境建设力度并作为产品去打造,使生态建设与环境保护产生经济效益,解决保护中发展的问题。资源型城市绿色转型可以通过产业生态化和生态产业化来实现,构成绿色转型的核心内容。推动产业生态化与生态产业化,需要技术创新和制度保障。绿色技术创新与资源型经济的融合,是推动绿色转型的动力机制。绿色科技创新需要从区域创新体系的供给

和企业对绿色技术创新的需求两个角度推进技术创新的融合。引导绿色转型的制度体系构建,是推动绿色转型的保障机制。绿色转型的制度创新体系,

包括绿色开采与加工转化技术、绿色产业政策、绿色金融、绿色发展评价体系的构建以及绿色消费理念的培养。如图 1 所示。

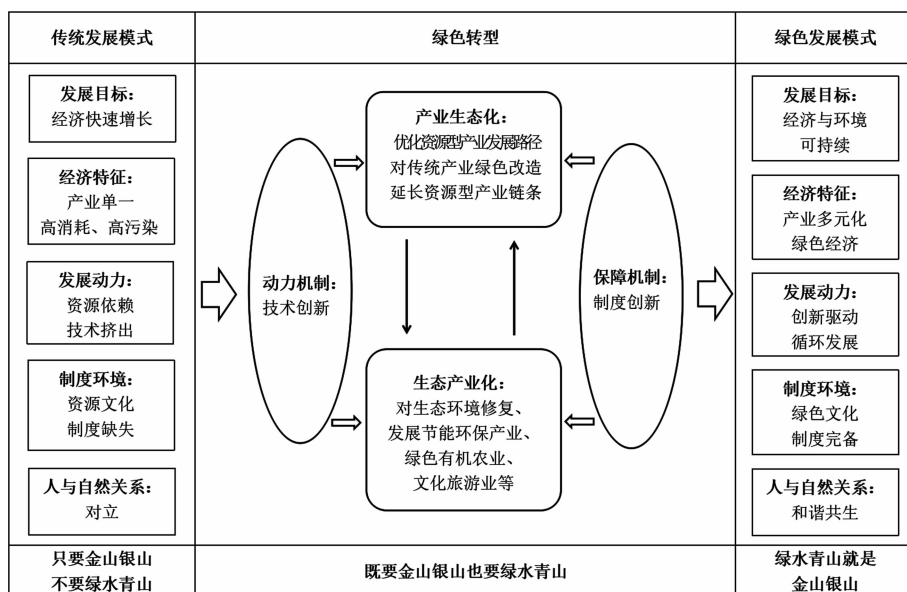


图 1 资源型城市绿色转型的框架图

2.3 路径演化

根据产业生命周期理论和国际国内资源型城市的转型实践,成长期、成熟期的转型属于主动转型,衰退期、再生期的转型属于被动转型^[18-19]。资源型城市绿色转型就是基于生态优先理念下的主动转型,是资源型城市走向高质量发展的现实选择。依照资源型城市绿色转型路径变化趋势(图 2b),资源型产业是影响资源型城市生态环境质量的主要因素,随着资源型产业和非资源型产业的交替发展,呈以下三种梯度演进模式。

第一阶段——清洁发展模式:以产业生态化为主、生态产业化为辅,资源型产业全面推行清洁生产标准,单个行业的清洁生产达到同行业和国内先进水平。此模式下,缺少产业间的系统优化,追求单个行业的发展规模,经济效益大幅度提升,但城市的绿色发展水平不高。

第二阶段——循环发展模式:产业生态化和生态产业化并重,资源型产业不再追求单个行业的发展规模,开始注重系统优化,追求产业间的互补融合,最大限度延长产业链条,积极寻求低能耗、低排放、低污染的非资源型产业,经济发展与生态保护步入良性循环,城市绿色发展水平上升。

第三阶段——低碳发展模式:以生态产业化为主、产业生态化为辅,矿产资源开发达到峰值,不再新增化石能源的生产与消费,资源型产业按照国家产业政策要求降低生产规模并逐步退出,城市主导

产业被非资源型产业取代,二氧化碳排放逐年下降,城市绿色发展水平显著提升。

2.4 时机选择

图 2a 显示传统发展模式下资源型产业的周期变化规律,经济增长随市场变化的同时受到资源开发强度的影响,资源萎缩经济迅速下滑。与此同时,生态环境质量随资源开发强度增加而不断下降,并逐渐低于经济增长与环境质量平衡线,人与自然之间是对立关系。图 2b 显示绿色转型模式下资源型产业与非资源型产业的周期变化规律,转型发展最好从资源型城市成长期开始主动转型,随着资源开发强度增加,资源型产业对经济贡献开始下滑之前,非资源型产业逐步代替资源型产业成为资源型城市新的主导产业。与此同时,生态环境质量随资源开发强度达到顶峰下降到最低点后,非资源型产业的逐渐壮大降低对资源型产业的依赖,环境质量开始上升,使之重新回到经济增长与环境质量的平衡线以上,实现人与自然的和谐共生。

3 成长型资源城市——鄂尔多斯市绿色转型实证分析

资源型产业是影响资源型城市绿色发展水平的主因,耗能耗水以及产生排放主要集中在其初级加工阶段。实现资源型城市绿色转型,优化其产业发展路径至关重要。鄂尔多斯市资源富集,多种能源

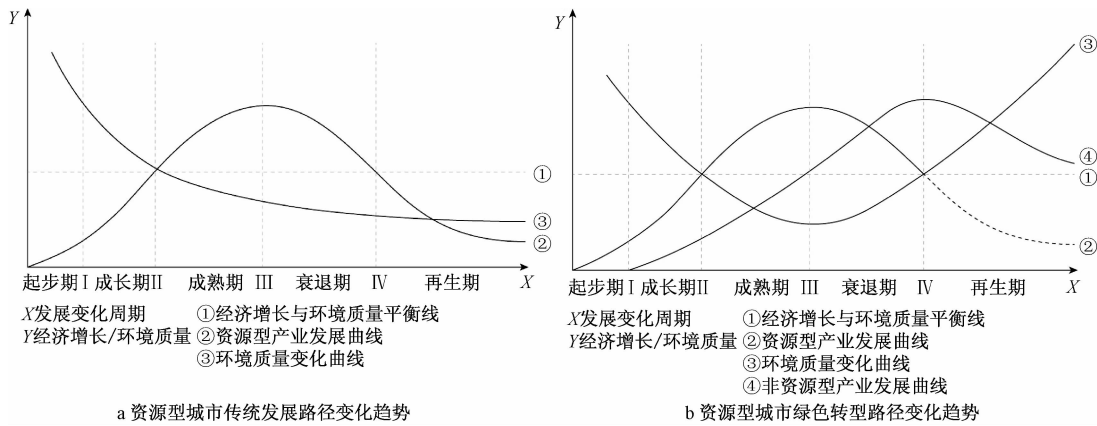


图2 资源型城市传统发展路径与绿色转型路径变化趋势

并存,是典型的成长型资源城市。当地政府积极推动资源型城市主动转型,从2005年开始,全面推行行业清洁生产标准;煤矿实施三年技术改造攻坚战,整合兼并重组,开展矿区环境综合整治,火电厂实施脱硫脱硝改造,煤化工高浓盐水结晶处理,城市实施垃圾集中处置,污水回收处理,中水再利用,工业废渣集中处置与利用,危险废弃物集中处理。整体上通过关小上大,淘汰落后产能,行业清洁生产水平显著提升,资源型产品产能规模不断扩大。对照三种绿色转型模式,以上可以作为绿色转型的第一阶段——清洁发展模式。这一发展模式下,煤电与煤化工追求单个行业规模的扩张,带来水资源相对不足、环境排放总量指标短缺、能耗剧增的突出矛盾,尽管经济效益得到大幅提升,但区域的绿色发展水平并不高。解决这些矛盾与问题,从现在开始,需要尽快进入绿色转型的第二阶段——循环发展模式:即资源开发领域不能再追求单个行业的发展规模,更多追求能源生产、消费、运输结构的整体优化,已有能源化工产业延伸互补融合,积极培育低能耗、低排放、低污染的“三低”新产业,在水资源、环境承载能力的前提下实现经济效益和生态效益的有机统一,坚守生态红线、环境底线和资源上限,积极探索以生态优先、绿色发展为导向的高质量发展新路径。以鄂尔多斯市2018年为例,在水资源、环境排放总量指标、煤炭消费总量等绿色发展条件约束情况下,使用线性规划(linear programming)方法对其资源型产业发展路径进行优化,从而使其在给定的约束条件下实现经济效益(工业增加值)的最大化。

3.1 约束条件

根据当地行业管理部门的相关数据和国家已批复的在建项目情况,经测算,主要约束条件如下。

(1)水资源:水资源是鄂尔多斯市绿色转型发展的最大短板,从2005年开始,先后实施了市内一二期水权转让工程、盟市间一期水权转让工程和拦沙换水工程,以解决鄂尔多斯市工业用水短缺问题。截止2018年底全市已配置用水指标工业项目546个、配置水量 $6.29 \times 10^8 \text{ m}^3$,2018年工业用水 $2.86 \times 10^8 \text{ m}^3$,剩余 $3.43 \times 10^8 \text{ m}^3$ 用水指标尚未使用。此外,还有 $6700 \times 10^8 \text{ m}^3$ 闲置中水可用于工业项目。不考虑已配置尚未开工项目的用水指标,总计共 $4.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 可用于优化工业项目用水需求。

(2)环境排放总量指标:目前,鄂尔多斯市已无存量环境排放总量指标,产业绿色转型发展新增的二氧化硫和氮氧化物排放总量指标主要通过优化现有火电、水泥、焦化、交通等行业以及关停生产设备或锅炉、清洁能源替代散煤带来的减排实现。如不考虑火电与煤化工项目使用减排指标的行业限制(目前火电行业减排总量指标只能用于新建火电项目),经初步测算,截至2018年底全市可用二氧化硫总量指标 $2.9 \times 10^4 \text{ t}$ 、氮氧化物总量指标 $3 \times 10^4 \text{ t}$ 。

(3)新增煤炭消费量:2018年鄂尔多斯市生产煤炭 $6.2 \times 10^4 \text{ t}$,其中自用 $1.4 \times 10^4 \text{ t}$ 、外送 $4.8 \times 10^4 \text{ t}$ 。随着国家能源生产力布局的调整以及绿色发展的要求,鄂尔多斯市未来煤炭就地转化率将进一步提高。按照全市煤炭现有产能和核准在建新增产能计算,预计未来近 $2 \times 10^4 \text{ t}$ 煤炭可以用来发展煤电和煤化工(煤炭热值按4500 kcal计算)。

(4)已核准煤电、煤化工产能情况:目前,国家已批复的特高压外送电通道配套煤电及自用电新增装机 $2000 \times 10^4 \text{ kW}$,部分项目已开工;伊泰煤制油和北控煤制气也已分别获国家批复,规模分别为 $200 \times 10^4 \text{ t}$ 和 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$,项目均已开工建设。

3.2 相关参数

在给定的约束条件下,主要通过发展煤电及传统煤化工(煤制甲醇、煤制尿素),煤电及现代煤化工(煤制气、煤制油、煤制烯烃、煤制乙二醇),煤电及传统、现代煤化工进行比较,从而得出绿色转型的资源型产业最优路径。选取参数指标分为技术类与经济类。技术类参数包含单位煤耗、单位水耗、SO₂ 排放强度和氮氧化物排放强度 4 项指标,指标值采用

目前国内同行业最先进水平,以体现生态优先和技术领先要求。经济类参数包含行业增加值率和产品单价两项指标,行业增加值率采用 2018 年鄂尔多斯市工业统计调查年均值,产品单价分别采用 2018 年鄂尔多斯市工业产品不含税统计年平均价格和基准收益率 11%、80 美元/桶原油价格体系下的分行业换算单价^[20-21]。具体如表 3 所示。

表 3 产品相关参数

名称 参数	煤电	煤制气	煤制油	煤制烯烃	煤制乙二醇	煤制甲醇	煤制化肥
增加值率	46.35%	25.01%	30.19%	29.63%	22.58%	24.73%	8.64%
产品单价(a)	0.2829 元/度	1.7 元/m ³	5479 元/t	8781 元/t	5880 元/t	2157 元/t	2048 元/t
产品单价(b)	0.2829 元/度	1.8 元/m ³	6673 元/t	9880 元/t	5870 元/t	2300 元/t	1800 元/t
单位煤耗	300 g/度	2.0 吨标煤/千标方天然气	3.4 吨标煤/吨油品	5.0 吨标煤/吨烯烃	2.0 吨标煤/吨乙二醇	1.3 吨标煤/吨甲醇	1.6 吨标煤/吨化肥
单位水耗	0.06 (m ² /s) · (10 ⁶ kW)	5 吨/千标方天然气	6.8t/吨油品	12 吨/吨烯烃	10.8 吨/吨乙二醇	3.81 吨/吨甲醇	4.3 吨/吨化肥
SO ₂ 排放	0.1225g/度	0.27 千克/千标方天然气	0.87kg/吨油品	1.8kg/吨烯烃	2.36kg/吨乙二醇	0.41kg/吨甲醇	0.45kg/吨化肥
NO _x 排放	0.175g/度	0.21 千克/千标方天然气	0.83kg/吨油品	2kg/吨烯烃	1.81kg/吨乙二醇	0.31kg/吨甲醇	0.37kg/吨化肥

注:a 表示在 2018 年鄂尔多斯市工业产品不含税统计平均单价;b 表示在基准收益率 11%、80 美元/桶原油价格体系下产品单价。

3.3 模型的建立和求解

3.3.1 第一种情景模式下(在 2018 年价格体系下)

分三组(第一组:煤电及传统煤化工;第二组:煤电及现代煤化工;第三组:煤电及传统、现代煤化工),在给定约束条件下,分别使用 LINGO 软件进行线性规划分析,建立如下模型,求最优解:

1)第一组:煤电及传统煤化工(煤制甲醇、煤制化肥),代入相关参数,得出以下线性规划模型:

$$\begin{aligned} \max z_1 &= 721.182825x_1 + 533.4261x_2 + 176.9472x_3; \\ \text{s. t. } &\begin{cases} 2.5665x_1 + 2.0221x_2 + 2.4887x_3 \leq 20000 \\ 1.188x_1 + 3.81x_2 + 4.3x_3 \leq 41000 \\ 6.7375x_1 + 4.1x_2 + 4.5x_3 \leq 29000 \\ 9.625x_1 + 3.1x_2 + 3.7x_3 \leq 30000 \\ x_1 \geq 2000 \\ x_2, x_3 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

2)第二组:煤电及现代煤化工(煤制气、煤制油、煤制烯烃、煤制乙二醇),代入相关参数,得出以下线性规划模型:

$$\max z_2 = 721.182825x_1 + 4251.7x_4 +$$

$$1654.1101x_5 + 2601.8103x_6 + 1327.704x_7;$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} 2.5665x_1 + 31.109x_4 + 5.2885x_5 + 6.2218x_6 + 3.1109x_7 \leq 20000 \\ 1.188x_1 + 50x_4 + 6.8x_5 + 12x_6 + 10.8x_7 \leq 41000 \\ 6.7375x_1 + 27x_4 + 8.7x_5 + 18x_6 + 23.6x_7 \leq 29000 \\ 9.625x_1 + 21x_4 + 8.3x_5 + 20x_6 + 18.1x_7 \leq 30000 \\ x_1 \geq 2000 \\ x_4 \geq 40 \\ x_5 \geq 200 \\ x_6, x_7 \geq 0 \end{cases}$$

3)第三组:煤电及传统、现代煤化工(煤制甲醇、煤制化肥、煤制气、煤制油、煤制烯烃、煤制乙二醇),代入相关参数,得出以下线性规划模型:

$$\begin{aligned} \max z_3 &= 721.182825x_1 + 533.4261x_2 + 176.9472x_3 + 4251.7x_4 + 1654.1101x_5 + 2601.8103x_6 + 1327.704x_7; \end{aligned}$$

s. t.

$$\begin{cases} 2.5665x_1 + 2.0221x_2 + 2.4887x_3 + 31.109x_4 + \\ 5.2885x_5 + 6.2218x_6 + 3.1109x_7 \leq 20000 \\ 1.188x_1 + 3.81x_2 + 4.3x_3 + 50x_4 + 6.8x_5 + \\ 12x_6 + 10.8x_7 \leq 41000 \\ 6.7375x_1 + 4.1x_2 + 4.5x_3 + 27x_4 + 8.7x_5 + \\ 18x_6 + 23.6x_7 \leq 29000 \\ 9.625x_1 + 3.1x_2 + 3.7x_3 + 21x_4 + 8.3x_5 + \\ 20x_6 + 18.1x_7 \leq 30000 \\ x_1 \geq 2000 \\ x_4 \geq 40 \\ x_5 \geq 200 \\ x_2, x_3, x_6, x_7 \geq 0 \end{cases}$$

其中:决策变量 $x_1 \sim x_7$ 分别表示煤电 (10^4 kW)、煤制甲醇 (10^4 t)、煤制化肥 (10^4 t)、煤制气 (10^8 m⁴)、煤制油 (10^4 t)、煤制烯烃 (10^4 t)、煤制乙二醇 (10^4 t) 的规模,目标函数 $z_1 \sim z_3$ 表示第一组(煤电及传统煤化工)、第二组(煤电及现代煤化工)、第三组(煤电及传统、现代煤化工)实现的工业增加值(万元)总和。

使用 LINGO 软件求解上述线性规划模型的最优解,其中:

第一组: $x_1 = 2000, x_2 = 3467.742, \max z_1 = 3292150$, 即在给定的约束条件下,第一组(煤电及传统煤化工)可实现最大工业增加值为 3292150 万元,对应的煤电装机 2000×10^4 kW、煤制甲醇规模 3467.742×10^4 t。

第二组: $x_1 = 2000, x_4 = 432.8571, x_5 = 200, \max z_1 = 3613566$, 即在给定的约束条件下,第二组(煤电及现代煤化工)可实现最大工业增加值为 3613566 万元,对应的煤电装机 2000×10^4 kW、煤制气规模 432.8571×10^8 m³、煤制油规模 200×10^4 t。

第三组:与第二组结果相同。

3.3.2 第二种情景模式下(在基准收益率 11%、80 美元/桶原油价格体系下)

与第一种情景模式相同,分三组(第一组:煤电及传统煤化工;第二组:煤电及现代煤化工;第三组:煤电及传统、现代煤化工),在给定约束条件下,分别使用 LINGO 软件求解上述线性规划模型的最优解,其中:

第一组: $x_1 = 2000, x_2 = 3467.742, \max z_1 = 3414783$, 即在给定的约束条件下,第一组(煤电及传统煤化工)可实现最大工业增加值为 3414783 万元,对应的煤电装机 2000×10^4 kW、煤制甲醇规模

3467.742×10^4 t。

第二组: $x_1 = 2000, x_4 = 40, x_5 = 1193.976, \max z_1 = 4027796$, 即在给定的约束条件下,第二组(煤电及现代煤化工)可实现最大工业增加值为 4027796 万元,对应的煤电装机 2000×10^4 kW、煤制气规模 40×10^8 m³、煤制油规模 1193.976×10^4 t。

第三组:与第二组结果相同。

3.3.3 第三种情景模式下(在基准收益率 11%、80 美元/桶原油价格体系且无 SO₂、氮氧化物排放条件约束条件下)

与第一、二种情景模式相同,分三组(第一组:煤电及传统煤化工;第二组:煤电及现代煤化工;第三组:煤电及传统、现代煤化工),在给定约束条件(无二氧化硫、氮氧化物排放条件约束条件)下,分别使用 LINGO 软件求解上述线性规划模型的最优解,其中:

第一组: $x_1 = 2000, x_2 = 7352.258, \max z_1 = 5624256$, 即在给定的约束条件下,第一组(煤电及传统煤化工)可实现最大工业增加值为 5624256 万元,对应的煤电装机 2000×10^4 kW、煤制甲醇规模 7352.258×10^4 t。

第二组: $x_1 = 2000, x_4 = 40, x_5 = 200, x_6 = 2019.502, \max z_1 = 7937334$, 即在给定的约束条件下,第二组(煤电及现代煤化工)可实现最大工业增加值为 7937334 万元,对应的煤电装机 2000×10^4 kW、煤制气规模 40×10^8 m³、煤制油规模 200×10^4 t、煤制烯烃规模 2019.502×10^4 t。

第三组:与第二组结果相同。

3.4 结果分析与结论

(1)在三种不同情景模式(不同价格体系或约束条件)下,最优解下煤电及现代煤化工的增加值比煤电及传统煤化工增加值均高,且最优解下煤电及现代煤化工的增加值与煤电及传统、现代煤化工的增加值相同,说明在不同情景模式下,发展煤电及现代煤化工是煤炭产业绿色转型产业的最优路径。

(2)在相同约束条件、不同价格体系下(第一种与第二种情景模式相比),尽管价格在一定程度上影响着增加值的大小,但从总体上看,煤制甲醇是传统煤化工的最优路径,煤制气和煤制油是现代煤化工以及整个煤化工行业的最优路径。

(3)在相同价格体系、不同约束条件(第二种与第三种情景模式相比)且无二氧化硫和氮氧化物排放约束情况下,尽管相应产能规模以及增加值比有二氧化硫和氮氧化物排放约束情况下均翻一番,但这是不考虑环境代价换来的增长,不符合绿色发展

要求。说明在煤炭产业绿色转型中,一定要摆脱对项目规模和经济增速的一味追求,守好生态环保底线。

4 促进成长型资源城市绿色转型的政策建议

成长型资源城市绿色转型,产业转型是核心、技术创新是动力、体制机制是保障。本文围绕成长型资源城市绿色转型的共性问题,在以上分析的基础上提出如下政策建议。

第一、编制好绿色转型产业发展规划。成长型资源城市要增强绿色转型的紧迫性认识,根据发展现状、产业基础,选择确定清洁、循环、低碳三种不同绿色转型模式,在不同模式下根据当地的资源禀赋、服务年限、水资源与环境承载力,优化资源型产业发展规模与路径。

第二,发展新动能,谋划新产业。资源型城市绿色转型迈向低碳发展模式是必然之路,由资源开发最终走向摆脱资源依赖的彻底革命。首先,要在做大做强做优资源型产业的过程中,注重发展相关装备制造、物流、信息、技术咨询等产业,最大限度完善资源型产业的配套成长环境,促进产业生态化;其次,要在绿色发展中谋划替代产业,从资源型产业产生的“三废”(废渣、废气、废水)再利用中发展新材料产业,选择适合当地发展的新能源、绿色有机农业等可再生资源产业,立足区位、人才优势发展战略性新兴产业等非资源型产业,设立引导培育壮大产业发展基金,使之逐步成为支柱产业,促进生态产业化。

第三,实行差别化的能耗管理政策。成长型资源城市多依赖化石资源,转化输出的产品多以清洁能源和化学品为主,在选择清洁发展模式和循环发展模式,都离不开资源型加工业,能耗增长过快是其必然结果。但比起将大宗的化石资源远距离运出后加工转化,不考虑受端的环境承载能力,单就运输过程中发生的能耗要远大于就地加工转化输出洁净产品产生的能耗。因此,对成长型资源城市的能耗管理,要侧重对加工转化项目行业准入、生产过程的监管,侧重地区能耗相对值的考核,淡化能源消费总量(绝对值)的考核,只有这样,才能为成长型资源城市绿色转型留出发展空间,顺利度过转型期。

第四,运用市场化手段解决绿色转型指标不足问题。成长型资源城市处在工业化初期,已有的环境总量指标基数小,优化发展资源型产业过程中面临环境排放总量指标严重不足的问题,延长资源型产业链必然增加二氧化碳排放强度,这些问题制约资源的就地加工转化,单纯依靠成长型资源城市自

身难以解决。为此建议,一是对当地污染物减排中节余的排放总量指标打破火电和非电行业界限,由成长型资源城市根据比较优势优化选择延伸产业路径;二是加快建立用能权、排污权和碳排放权全国交易市场,积极探索消费端能耗管理办法,用经济政策和市场化手段解决资源型城市绿色转型中的指标制约问题。

第五,发挥高碳能源与低碳能源集中打捆外送优势。多数成长型资源城市拥有丰富的能源资源,其化石资源通过加工转化可输出清洁能源,同时可以发挥地广人稀的优势发展风电、光伏等新能源。利用煤炭资源建设煤电基地,火电实行深度调峰,腾出空间搭载新能源,既可以优化能源结构、保障能源供应,又可以促进成长型资源城市绿色转型。国家应加大这些资源型城市电力外送通道建设,加快相关项目的规划与审批。

第六,健全绿色转型技术创新体系。技术创新是成长型资源城市绿色转型的源动力。首先要围绕资源型产业中面临的重大技术难题建立区域性的重点实验室进行技术攻关,或依托科研院所建立产学研联合体,从实验到孵化器再到商业化,充分发挥大企业大项目对先进技术引进、开发与应用的主体作用。成长型资源城市政府要鼓励和支持企业建立各类技术开发应用研究院,搭建本土化的技术创新平台。要设立科技创新基金,建立绿色科技专利申请激励机制,可以面向全社会开展技术难题招标,吸引各类科技人员研发、申请专利并以技术入股投资建设技术服务型项目。要围绕当地产业发展需要,建设技术应用型大学,培养本地专业技术人才。

第七,完善绿色转型政策保障机制。建立分行业、分园区的产业准入负面清单,将生态优先与绿色发展作为前置条件,按照国家环境保护、清洁生产与行业标准的最高要求设置资源型产业准入门槛,严把新上产业项目的准入关。结合国家产业政策,建立包括产能置换、阶梯用能用水、环保税费等在内的地方性经济调节政策,以经济手段倒逼,逐步淘汰落后产能。建立产业扶持基金与绿色信贷制度,对资源型产业下游精深加工业、“三废”利用等可再生资源型产业、高新技术等非资源型产业设定不同等级的绿色信贷与产业引导资金支持政策,促使其不断发展壮大。优化营商环境,充分运用社会信用体系,重塑社会诚信,运用信息化手段优化政务服务流程,提高办事效率,运用国土空间规划成果创新招商方式,根据成长型资源城市产业发展需要进行定向选商,真正为产业绿色发展提供公平、高效、便捷的政府服务。

参考文献

- [1] 胡礼梅. 国内资源型城市转型研究综述[J]. 资源与产业, 2011, 13(6): 6-10.
- [2] 梁振杰. 热资源型城市转型时期选择与模式研究[J]. 中国国土资源经济, 2006(9): 4-6,9,46.
- [3] 李焯,潘伟恒,龙梦琦. 资源型产业绿色转型升级的驱动因素[J]. 技术经济, 2016, 35(4): 65-69, 119.
- [4] 王艳秋,胡乃联,苏以权. 我国资源型城市绿色转型能力评价[J]. 技术经济, 2012, 31(5): 72-76.
- [5] 石敏俊. 生态文明建设和绿色发展的路线图[J]. 公关世界, 2018(11): 68-69.
- [6] 刘纯彬,张晨. 资源型城市:绿色转型与一般经济转型比较[J]. 开放导报, 2009(3): 57-61.
- [7] 刘纯彬,张晨. 资源型城市绿色转型内涵的理论探讨[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(5): 7-10.
- [8] 张晨. 我国资源型城市绿色转型复合系统研究[D]. 天津: 南开大学, 2010.
- [9] 支航. 吉林省资源型城市绿色转型方式与机制研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2017.
- [10] 李昊. 资源型城市绿色转型与循环经济发展[J]. 河南科学, 2011, 29(2): 224-230.
- [11] 孙毅,景普秋. 资源型区域绿色转型模式及其路径研究[J]. 中国软科学, 2012(12): 152-161.
- [12] 徐君,李贵芳,王育红. 国内外资源型城市脆弱性研究综述与展望[J]. 资源科学, 2015, 37(6): 1266-1278.
- [13] 赵辉. 成长型资源型城市转型路径研究——以榆林市为例[J]. 当代经济管理, 2014, 36(5): 57-62.
- [14] 景普秋. 资源诅咒:研究进展及其前瞻[J]. 当代财经, 2010(11): 120-128.
- [15] 黄晓武. 践行“绿水青山就是金山银山”理念 推动资源型城市高质量绿色转型发展[J]. 旗帜, 2019(5): 41-42.
- [16] 任勇. 关于习近平生态文明思想的理论思考[N]. 中国环境报, 2018-05-29(003).
- [17] 韩宁. 大力推进我国生态文明建设投融资措施探析[J]. 江苏大学学报(社会科学版), 2019, 21(1): 78-83,92.
- [18] 路卓铭,于蕾,沈桂龙. 我国资源型城市经济转型的理论时机选择与现实操作模式[J]. 财经理论与实践, 2007(5): 102-108.
- [19] 张晨,刘纯彬. 资源型城市绿色转型的成本分析与时机选择[J]. 生态经济, 2009, (6): 33-36, 40.
- [20] 牛新祥,袁泉. 煤化工主要产品经济性分析(待续)[J]. 化学工业, 2013, 31(8): 20-24.
- [21] 牛新祥,袁泉. 煤化工主要产品经济性分析(续完)[J]. 化学工业, 2013, 31(9): 9-14.

The Green Transformation of Growing Resource-based Cities

Yang Jianjun¹, Yang Xuegang², Wu Qifu³, Shi Minjun⁴

- (1. School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;
 2. Energy Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010098, China;
 3. Inner Mongolia Low-carbon Development Research Institute, Hohhot 010010, China;
 4. School of Public Administration, Zhejiang University, Hangzhou, 310058, China)

Abstract: Resource-based cities must take the road of green transformation. Green transformation is an economic transformation oriented by ecological priority and green development, the path is a progressive process from traditional development mode to clean, circular and low-carbon development, the key is to choose active transformation in the growth period, and the core is to optimize the development path of resource-based industries in resource-based cities. The linear programming method is used to optimize the development path of resource-based industry in Ordos, a growing resource city. It is concluded that the green transformation of coal industry can not only pursue the project scale and economic growth rate, the development of coal electricity and modern coal chemical industry is the optimal path of green transformation of coal industry, and coal gas and coal oil are the best paths of modern coal chemical industry.

Keywords: growing resource-based cities; green development; industrial transformation