

An Empirical Study on the Pricing of Initial Discharge Right of Sewage in Liaoning Province Based on System Dynamics

Lina Wang^{1,2*}, Yongqiang Pan², Yitong Wang³, Linjiao Yang¹

¹Management School, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

²Economy & Management School, Hainan Normal University, Haikou Hainan

³Radio and Film School, Liaoning University, Shenyang Liaoning

Email: *lina1976113@126.com

Received: Feb. 5th, 2019; accepted: Feb. 20th, 2019; published: Feb. 28th, 2019

Abstract

Based on the analysis of the current situation of sewage discharge and treatment and emission trading in Liaoning Province, this paper studies the initial emission right price of wastewater from Liaoning Province by using the system dynamics model, and uses VENSIM PLE software to simulate the model, and obtains the price of the initial discharge right of wastewater in Liaoning 2013-2018. According to the possible future development trend of Liaoning Province, this paper puts forward five schemes: the population growth type, economic growth type, technology improvement type, investment increase type and the comprehensive type, analyzes the change of the initial discharge right price of Liaoning wastewater from the two angles of price change rate and price elasticity coefficient and discusses sewage initial emission rights price in four different industries of Liaoning paper and paper products industry, leather industry and pharmaceutical manufacturing and chemical raw materials and chemicals manufacturing industry. It is expected to provide theoretical support for the systematic modeling of the initial discharge rights of sewage and to provide a basis for environmental protection decisions of environmental management authorities.

Keywords

System Dynamics, Wastewater's Initial Emission Rights, Present Situation of Liaoning Province, Empirical Research

基于系统动力学的辽宁省污水初始排放权定价实证研究

王丽娜^{1,2*}, 潘永强², 王奕潼³, 杨林姣¹

*通讯作者。

¹辽宁工业大学管理学院, 辽宁 锦州

²海南师范大学经济与管理学院, 海南 海口

³辽宁大学传媒学院, 辽宁 沈阳

Email: ¹lina1976113@126.com

收稿日期: 2019年2月5日; 录用日期: 2019年2月20日; 发布日期: 2019年2月28日

摘要

本文在分析辽宁污水排放与处理及排放权交易现状基础上利用系统动力学模型研究辽宁污水初始排放权价格, 运用VENSIM PLE软件对模型仿真, 得出辽宁2013~2018年污水初始排放权价格; 根据辽宁省未来可能发展趋势, 提出了人口增长型、经济增长型、技术提高型、投资增加型以及综合型五种方案, 从价格变化率以及价格弹性系数两个角度分析了辽宁污水初始排放权价格的变化情况; 根据不同行业系数讨论辽宁造纸及纸制品业、皮革工业、医药制造业以及化学原料和化学制品制造业四个不同行业污水初始排放权价格。预期为污水初始排放权的系统建模提供理论支撑并为环保管理当局环保决策提供依据。

关键词

系统动力学, 污水初始排放权, 辽宁省现状, 实证研究

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

排放权交易机制是通过市场经济机制促进环境管理的有效措施, 目前被世界很多国家包括美国、日本、欧盟成员国等广泛实践于污染控制, 并取得了一系列的成果。中国从1989年就展开了排放权交易工作, 到了2007年先后确定了长江下游的江浙、两湖、陕西、山西等试点省市。试点地区积极推进排放权交易工作, 建立相关政策法规, 为排污单位提供排放权交易平台。截止2013年全国排放权交易金额达10.5亿元人民币[1], 主要是进行化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)、二氧化硫(SO₂)以及氮氧化物(NO_x)污染物的排放权交易, COD交易量达15,000吨, NH₃-N交易量达200吨, SO₂交易量达47,200吨, NO_x交易量达7700吨[2]。在11个试点中以江浙试点效果最为明显。浙江省政府积极鼓励全省重点排污企业参与排放权交易, 而且允许排放权跨区域转让, 截止到2013年浙江省累计排放权交易达7241笔, 交易金额达4.6亿元人民币。江苏省的排放权交易主要集中于江阴市, 截止2013年江苏省共进行767笔排放权交易, 交易金额为0.21亿元人民币。为排放权在中国的实施提供了可参考的方法和经验。虽然排放权交易从2007年开始深化试点以来, 取得了质和量的进展和突破, 但从排放权实践效果来看, 我国排放权交易仍然存在很多困难, 一是顶层设计不足, 排放权交易过程中缺乏有效政策制度支撑, 相关法律法规还不完善; 二是由于中国庞大的传统经济增长体系, 企业参与排放权交易积极性不高, 导致交易市场不活跃; 三是由于没有统一的排放权定价方法, 造成各地区排放权交易价格差异很大, 排放权价格不合理一定程度上阻碍了排放权交易市场化。表1为各试点地区COD排放权价格, 从表中可以看出各试点地区的COD交易价格存在显著差异, 内蒙古自治区COD排放权交易价格最低, 为1000元/吨, 同样作为资

源型大省的山西 COD 排放权交易价格最高, 达 29,000 元/吨, 两者差 29 倍, 可见 COD 排放权价格存在一定不合理性。

Table 1. COD emissions prices in pilot areas

表 1. 试点地区 COD 排放权价格

省份	内蒙古	河北	江苏	湖北	湖南	重庆	陕西	山西
COD (元/吨)	1000	4000	4500	8790	10,000	10,926	12,000	29,000

注: 各试点省市的排放权交易有效期限一般为 5 年, 山西和陕西排放权一经交易可以长期使用, 而湖北 COD 排放权有效期仅为 1 年[3]。

辽宁省污水排放主要来源于生活污水和生产过程中排放的工业废水, 其中生活废水占废水总量的 60%以上。辽宁省 2009~2013 年废水排放数据显示辽宁省污水年排放总量均大于 20 亿吨, 图 1 显示, 虽然工业废水排放总量从 2011 年后呈现下降趋势, 但废水排放总量依旧保持缓慢增长。大量的生活污水和工业废水未经适当处理排放, 造成区域内江河湖海污染严重, 造成辽宁省西部最大的河流大凌河污染严重, IV 类水质达到 40.0%, II~III 类为 60.0%, I 类水质不存在, 水体中污染物主要有化学需氧量和氨氮; 区域内流经的辽河, 劣 V 类水质(5.4%)和 IV~V 类(49.1%)占流域的 50%以上。

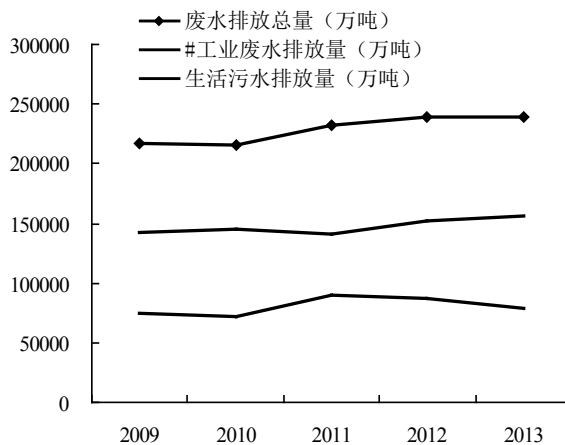


Figure 1. Wastewater discharge in Liaoning from 2009 to 2013

图 1. 2009~2013 辽宁废水排放情况

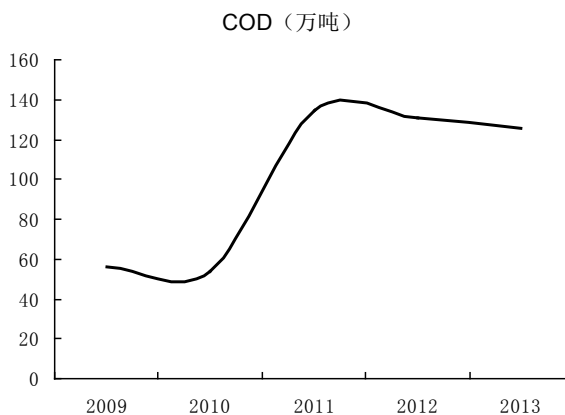


Figure 2. COD discharge in Liaoning from 2009 to 2013

图 2. 2009~2013 辽宁 COD 排放情况

本文通过研究污水中化学需氧量排放指标分析水体受污染的程度，以系统动力学方法研究分析辽宁省污水初始排放权定价。化学需氧量(Chemical Oxygen Demand)简称 COD，以化学方法测量水样中需要被氧化的还原性物质的量。辽宁省近年来水环境进一步恶化，2013 年辽宁省 COD 排放量达到 125.26 万吨，较 2010 年增长一倍多。辽宁省 2009 至 2013 年期间化学需氧量排放变化如图 2 所示。

2. 辽宁污水处理现状

污水处理是指运用生物、化学、物理方法，去除水体中有害和有毒物质，改善水体功能。污水处理主要包括两大类：生活污水处理以及生产污水处理，其中生产污水包括医疗行业排放的废水、工业废水以及农业生产活动中产生的污水。生活污水主要来源于日常生活中产生的废水。一般的污水处理流程见图 3。2013 年辽宁省投运城镇污水处理设施 118 座占全国 3.33%，其中有 22 座污水处理厂执行二级出水标准，占 17.2%，污水经二级处理后 COD 去除率可达 90%以上，执行一级标准的有 108 座，执行一级 B 标准有 45 座占 35.2%，余下 61 家污水处理厂均执行一级 A 出水标准。而 2014 年辽宁省投运城镇污水处理设施 131 座占全国 2.95%，截止 2015 年辽宁全省共有 81 座污水处理设施已投入使用，有 63 座污水处理设施有待整改需要投入资金约 15,393.77 万元，辽宁省各市已运行污水处理设施数目分布如表 2，设施的建设规模为 200~20,000 吨，实际处理污水量为 30~7000 吨，其中辽阳市灯塔市佟二堡镇污水处理工程的建设规模最大(20,000 吨)，辽阳县刘二堡镇污水处理工程实际处理污水量最大(7000 吨)，设施负荷率为 46.67%，目前广泛采用的污水处理流程如图 3，辽宁省 2013 年污水处理设施总设计处理能力为 806.9 万 m³/年，污水厂平均负荷率为 72.55%。城市污水排放总量 237,386 m³/年，污水处理量为 213,687 m³/年，城市污水处理率达 90.02%，各市之间差异较大，其中营口市、盘锦市污水处理率达 100%，而普兰店市的污水处理率仅为 25.57%。人均日处理量 0.115 吨高于全国平均水平，COD 年均进水浓度 272.84 mg/L，出水浓度为 34.13 mg/L，万吨水 COD 削减量 2.39 吨，污水处理平均电耗为 0.23 kWh/m³，污水处理费收费标准为居民用水 0.53 元/m³，工业用水 0.9 元/m³，商业用水 1.03 元/m³，再生水平均收费标准为 1.56 元/m³。污水处理年运行总费用为 113,692 万元，年更新改造费用 4459 万元，2013 年辽宁省收取污水处理费共 65,654 万元，发放排水许可证 6172 个，辽宁省各市污水处理情况如表 2，表 3。

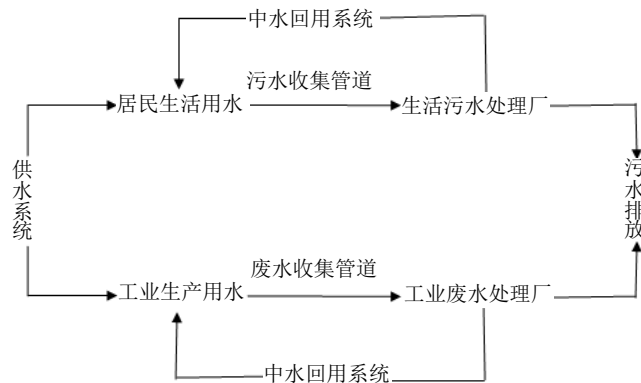


Figure 3. Sewage treatment process
图 3. 污水处理流程

Table 2. Number of operational sewage treatment facilities in Liaoning
表 2. 辽宁各市已运行污水处理设施数目

沈阳	昌图	大连	铁岭	抚顺	葫芦岛	鞍山	辽阳	锦州	阜新	本溪	朝阳
16	15	10	8	6	6	5	4	2	2	1	1

Table 3. Sewage treatment actualities in Liaoning
表 3. 辽宁各市污水处理情况

城市名称	排水管道长度 (km)	城市污水年排放总量 (万 m ³)	污水年处理总量 (万 m ³)	城市污水处理率 (%)	年实收污水处理费 (万元)
辽宁	18317.83	237386	213687	90.02	65654
沈阳市	3981.3	52320	49704	95	14235
大连市	2653.9	37188	35687	95.96	23347
鞍山市	904.6	21825	19007	87.09	3326
抚顺市	921	15153	11364	75	3788
本溪市	361.3	19315	18237	94.42	3129
丹东市	782	4810	4301	89.42	1244
锦州市	493.2	9810	8275	84.35	3877
营口市	550.3	5512	5512	100	2063
阜新市	275.4	6277	3209	51.12	1306
辽阳市	878.5	8205	8205	100	1125
盘锦市	612.9	6707	6707	100	1880
铁岭市	464.5	2840	2840	100	1002
朝阳市	636.4	4689	3650	77.84	935
葫芦岛市	627.5	5849	5009	85.64	1193

来源：城镇排水统计年鉴 2014。

随着全国排放权交易试点工作的继续推进，2010 年确立辽宁省排放权交易试点，2012 年 6 月大连环境交易所在大连开发区挂牌[4]。辽宁省排放权交易相关政策性法律法规相对缺乏，主要依据辽宁省环境保护局在 2003 年颁发的《辽宁省排放污染物许可证管理暂行办法(试行)》文件开展排放权交易工作[5]。辽宁城市污水处理管理中心研究者董志刚(2014)在借鉴 11 个试点地区的经验基础上，研究辽宁省排放权交易机制，并设计了如图 4 的辽宁省排放权交易机制体系[6]。截止 2013 年，辽宁省排放权交易金额为 26,650 万元人民币，主要以化学需氧量、二氧化硫和氮氧化物排放权，参与交易的企业主要属于电力、钢铁等高污染行业。排放权交易所得的金额均用于环境治理。

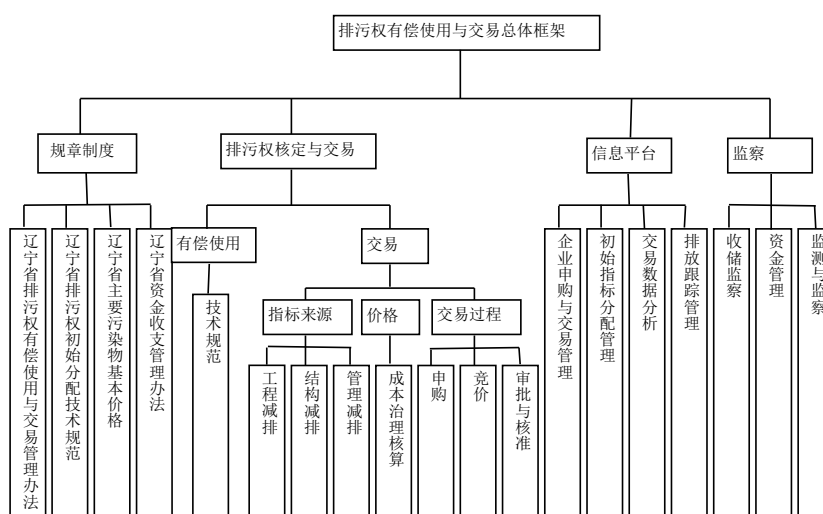


Figure 4. Emissions trading framework of Liaoning

图 4. 辽宁排放权有偿使用与交易总体框架

3. 辽宁污水初始排放权定价

模型中的数据主要来源于统计年鉴以及国家颁布的文件。为了保证模型仿真结果的有效性, 研究期间选取 2013~2018 年近 5 年, 各参数的取值如表 4。

Table 4. Parameter selection

表 4. 参数取值

人口增长率	固定资产增加率	人员配备比例	平均每人养护管网长度	每元 GDP 用水量
-0.05%	18%	0.0046 (人/万吨)	11.93 (km/人)	0.0048 (吨/元)
COD 去除率	平均工资增长率	每吨污水 COD 含量	排水管道长度增长率	平均用电价格
84.8%	4.8%	0.00055	9.3%	0.86 (元/kWh)
COD 电单耗	人均生活用水量	污水排放系数	平均每吨运行费用	污水处理率
973 (kWh/吨)	570.47 (吨/人)	0.017	1063.74 (元/吨)	90.02%

注: 其中固定资产折旧率根据平均年限法取 9.5%, GDP 根据经济形势取 7%。

1) 模型结构一致性检验

在建立污水初始排放权定价系统动力学模型前, 对所研究的问题进行了深度分析, 在借鉴相关系统动力学模型基础上根据污水初始排放权价格主要影响因素, 确定了系统的边界、各个子系统、变量之间的因果关系以及模型中的变量方程, 模型的参数设计主要依据于历史数据和变量之间相互关系, 因此设计的系统动力学能较好的反映实际。

2) 模型变量方程和单位检验

通过模型变量方程和单位检验不仅可以发现变量方程和单位中的错误, 而且能检查模型的系统结构是否完整。将模型中的变量方程输入到系统动力学软件 Vensim PLE 中, 在模型运行之前通过“模型检验”对变量方程表达是否正确进行检验, 根据“模型中有错误”提示, 对变量方程进行反复修改, 直至模型运行错误提示不在出现。在 Vensim PLE 软件中可以实现单位检验, 输入完各变量的单位后点击功能列中的“模型”选项进行“单位检验”, 如果变量单位有错误会弹出“从 Vensim 中停止”和“单位检查”对话框, 根据“单位检查”对话框中详细的提示对变量单位进行修改, 直至无错误提示。文中模型均在“模型检验”和“单位检验”通过情况下仿真。

3) 模型参数灵敏度检验

由于参数估计中存在一定非客观因素, 如果模型的参数是灵敏的使得系统行为可能产生较大偏差, 模型的适用性将受到限制。参数灵敏度检验就是检验系统行为是否对参数的变化敏感, 即参数对系统行为的影响程度。如果模型的参数在合理范围内变动, 造成系统行为曲线趋势发生较大改变, 则模型对参数是灵敏的, 如果系统行为曲线趋势未发生较大改变, 则模型的参数是不灵敏的, 即参数估计不会造成模型仿真结果很大程度上变化。以人口增长率为例检验模型的参数灵敏度, 将人口增长率由原来的-0.5% 改为-2.5%, 模型仿真结果如图 5 和表 5。

从模型仿真输出的图可以直观看出模型的整体变化并未发生改变, 从输出的数据表中可以看出同期的数据变化很小, 说明模型对参数的改变是不敏感的。

4) 模型与实际系统行为一致性检验

由于设计的模型不能完全反映实际, 通过比较模型结果与历史数据的偏差来检验模型的一致性, 如果模型与实际有很大差异, 则模型不能有效表示实际。为了检验模型是否设计合理能否有效表示实际系统行为, 需要对模型一致性检验。选取总人口数量、用水总量、污水排放总量、COD 排放总量四个变量检验模型的一致性, 结果如表 6。

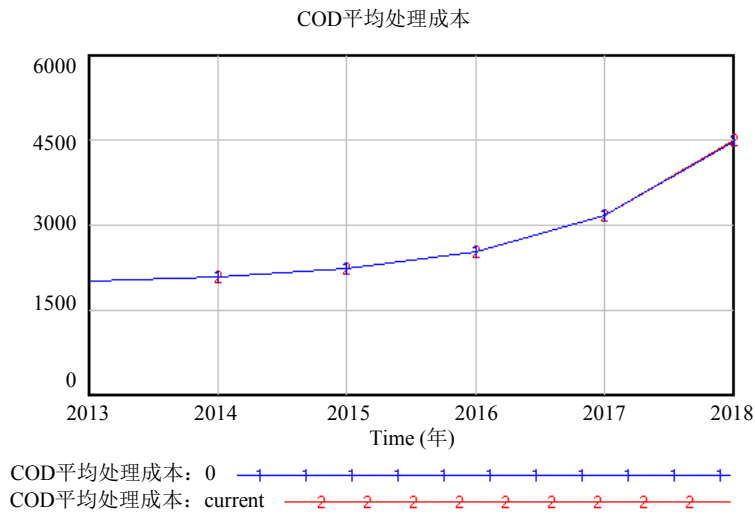


Figure 5. Model sensitivity test results
图 5. 模型灵敏度检验结果

Table 5. Model sensitivity test results
表 5. 模型灵敏度检验结果

年份	COD 平均处理成本	
	0	Current
2013	2005.23	2005.23
2014	2079.8	2079.57
2015	2231.87	2231.1
2016	2544.2	2542.09
2017	3188.02	3182.68
2018	4517.63	4504.61

Table 6. Model history data test results
表 6. 模型历史数据检验结果

年份	总人口数量(万人)			用水总量(万吨)		
	实际结果	仿真结果	偏差(%)	实际结果	仿真结果	偏差(%)
2009	4256.00	4256.00	0.00	14,279,000.00	15,064,285.71	5.50
2010	4251.70	4478.88	5.34	14,367,000.00	14,830,860.47	3.23
2011	4255.00	4362.95	2.54	14,453,000.00	15,127,882.35	4.67
2012	4244.80	4252.81	0.19	14,223,000.00	14,407,333.33	1.30
2013	4238.00	4251.74	0.32	14,213,000.00	14,531,472.22	2.24

年份	污水排放总量(万吨)			COD 排放总量(万吨)		
	实际结果	仿真结果	偏差(%)	实际结果	仿真结果	偏差(%)
2009	217,154.68	210,056.00	-3.27	56.30	57.77	2.60
2010	215,868.50	211,726.00	-1.92	54.20	58.22	7.43
2011	232,247.02	237,171.11	2.12	134.34	133.41	-0.69
2012	238,786.35	253,230.00	6.05	130.59	131.54	0.73
2013	238,786.35	241,222.50	1.02	125.26	125.69	0.34

模型仿真结果与实际结果之间的偏差均在 8%内，说明模型仿真的结果可信度高。

4. 系统动力学模型仿真结果分析

1) 系统动力学模型树结构分析

首先分析模型的主要变量的树结构，如图 6，模型原因树和使用树反映各变量之间的因果关系，一般包括三个层级，从原因树可以看出一个结果存在哪几个直接原因，哪几个直接原因的变化导致结果的变化。使用树表示某一变量会对哪些变量产生影响，与原因树逻辑上刚好相反，从原因树和使用树更清楚地表达变量间相互影响关系。选取模型中 COD 年运行总成本、COD 年处理总量、年运行费用、耗电费用、工资总额、固定资产折旧额、COD 年平均处理成本等几个主要变量的原因树和相对应的使用树进行分析。

① COD 平均处理成本原因树与使用树分析

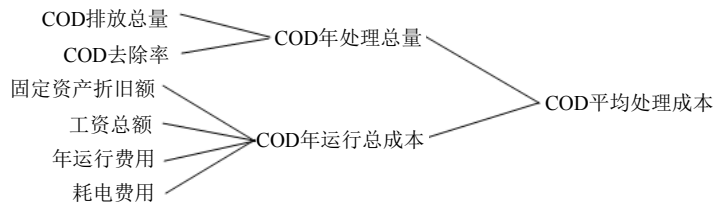


Figure 6. Causal tree of the average processing cost of COD
图 6. COD 平均处理成本原因树图

COD 平均处理成本变量的整体结构如图 6，COD 平均处理成本使用树中只包含其本身，说明模型最终目的是仿真求得 COD 平均处理成本。

② COD 年运行总成本原因树与使用树分析

COD 年运行总成本原因树如图 7。

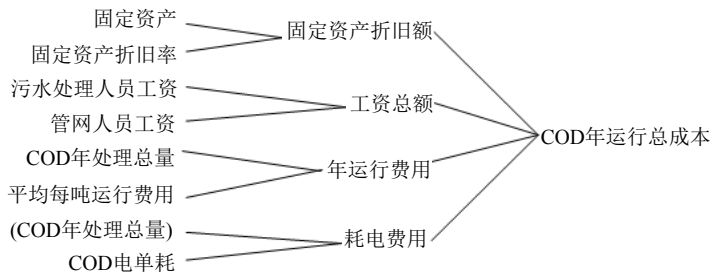


Figure 7. Causal tree of the total cost per year cost of COD
图 7. COD 年运行总成本原因树图

从图 7 可以看出 COD 年运行总成本中包括固定资产折旧额、工资总额、年运行费用、耗电费用四个影响因素，而四个影响因素中又均包括两个变量。其中固定资产折旧率与固定资产影响固定资产折旧额，工资总额中包括污水处理人员工资、管网人员工资，年运行费用由 COD 年处理总量和平均每吨运行费用决定，耗电费用与 COD 电单耗和 COD 年处理总量有关。



Figure 8. Using tree of the total cost per year cost of COD
图 8. COD 年运行总成本使用树图

COD 年运行总成本使用树结构比较简单, 如图 8, 在模型中 COD 年运行总成本的变化仅引起 COD 年平均处理成本的变化。

③ COD 年处理总量原因树与使用树分析, 如图 9。

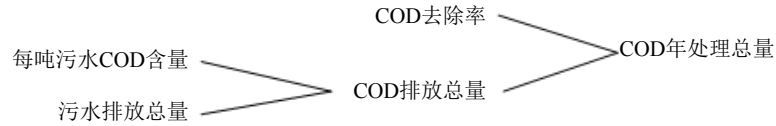


Figure 9. Causal tree of the total annual processing of COD
图 9. COD 年处理总量原因树图

COD 年处理总量主要受 COD 排放总量和 COD 去除率影响, 其中明确污水排放总量和每吨污水 COD 含量就能得到 COD 排放总量。

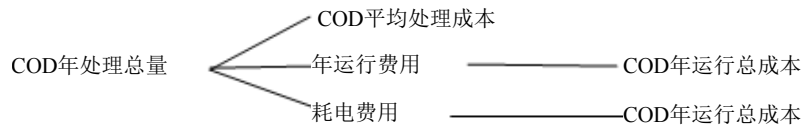


Figure 10. Using tree of the total annual processing of COD
图 10. COD 年处理总量使用树图

由图 10 可知, COD 年处理总量通过影响年运行费用、耗电费用进而影响 COD 年运行总成本, 同时 COD 平均处理成本受 COD 年处理总量的直接影响。

④ 年运行费用原因树与使用树分析

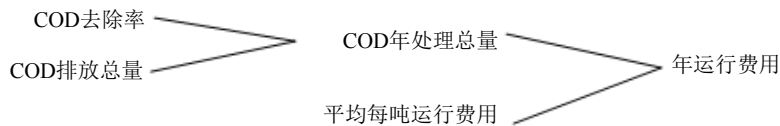


Figure 11. Causal tree of annual operating cost
图 11. 年运行费用原因树图

如图 11, 年运行费用原因树显示 COD 排放总量和 COD 去除率影响 COD 年处理总量, COD 年处理总量与平均每吨运行费用共同影响年运行费用。

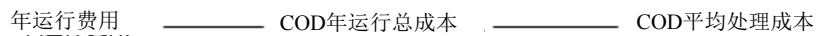


Figure 12. Using tree of annual operating cost
图 12. 年运行费用使用树图

年运行费用通过影响 COD 年运行总成本影响 COD 平均处理成本, 如图 12。

⑤ 耗电费用原因树与使用树分析

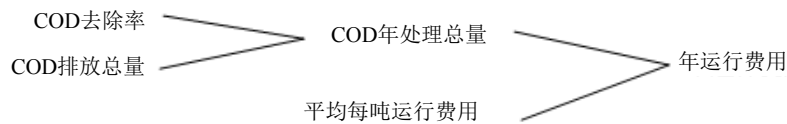


Figure 13. Causal tree of electricity cost
图 13. 年运行费用原因树图

耗电费用同年运行费用一样均受 COD 年处理总量的影响，同时还受到 COD 电单耗、平均用电价格影响。

耗电费用 ———— COD年运行总成本 ———— COD平均处理成本

Figure 14. Using tree of electricity cost

图 14. 年运行费用使用树图

耗电费用与年运行费用的使用树相同(如图 13，图 14)。

⑥ 工资总额原因树与使用树分析，如图 15。

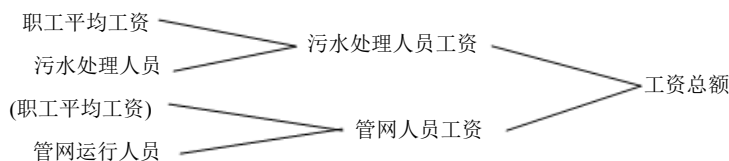


Figure 15. Causal tree of the total wages

图 15. 工资总额原因树图

工资总额来源于污水处理人员工资和管网人员工资，污水处理人员工资和管网人员工资不仅受到职工平均工资的影响还与职工人数(污水处理人员、管网运行人员)有关。

工资总额 ———— COD年运行总成本 ———— COD平均处理成本

Figure 16. Using tree of the total wages

图 16. 工资总额使用树图

工资总额的使用树同耗电费用与年运行费用一致，如图 16。

⑦ 固定资产折旧额原因树与使用树分析，如图 17。

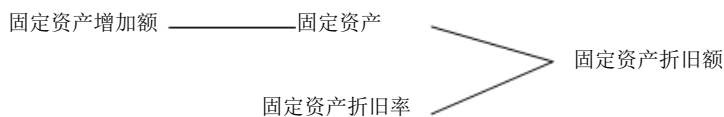


Figure 17. Causal tree of fixed assets depreciation

图 17. 固定资产折旧额原因树图

固定资产折旧额通过固定资产与固定资产折旧率计算所得，其中固定资产增加额为介于固定资产与固定资产折旧率之间的辅助变量。固定资产折旧额、工资总额、耗电费用、年运行费四个变量的使用树相同。

2) 系统动力学原模型运行结果分析

① 污水初始排放权价格运行结果分析

系统动力学原型中 COD 平均处理成本输出结果如图 18 和表 7。

Table 7. The average processing cost of COD

表 7. COD 平均处理成本

Time (年)	2013	2014	2015	2016	2017	2018
COD 平均处理成本(元/吨)	2005.23	2079.57	2231.10	2542.09	3182.68	4504.61



注：图中呈现的曲线变化趋势是由于在既定参数下得出的，并不能说明污水初始排放权价格呈现上升趋势，只是在最近几年可能呈现的上升趋势，未来可能受到参数变化趋势也会随之变化，仅在此说明，下文中不在累述。

Figure 18. The average processing cost of COD

图 18. COD 平均处理成本

根据重置成本法污水初始排放权价格等于社会平均处理成本，从 COD 平均处理成本仿真图看出辽宁省污水初始排放权整体上呈现非线性上升趋势，其中 2013~2016 年间上升趋势较为平缓，2016~2018 上升趋势较为明显。数据表显示 2013 年辽宁污水初始排放权价格为 2005.23 元/吨，2018 年辽宁污水初始排放权价格为 4504.61 元/吨。从 11 个试点地区 COD 交易情况来看，COD 价格区间为(1000~29,000)，可知辽宁省污水初始排放权价格并不算高，差异来源主要是辽宁省职工平均工资水平较低，固定资产投资较少。从图 18 和表 7 可以看出污水初始排放权价格 3 年内变化幅度很小，到第 5 年有些增长幅度，因此在制定污水初始排放权价格有效期限可以定为 3 年或 5 年，长期有效可能使资源配置不合理。

② COD 年运行总成本运行结果分析，如图 19 和表 8。

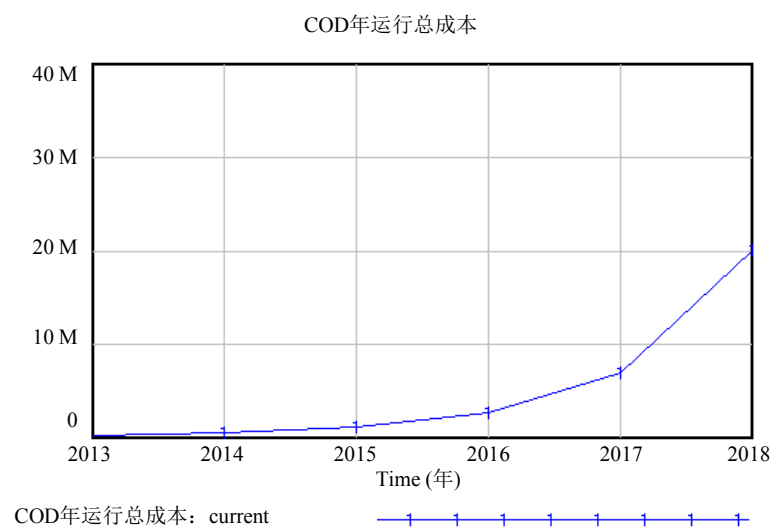


Figure 19. The total cost per year cost of COD

图 19. COD 年运行总成本

Table 8. The total cost per year cost of COD
表 8. COD 年运行总成本

Time (年)	2013	2014	2015	2016	2017	2018
COD 年运行总成本(万元)	24.08	51.42	113.60	266.59	687.53	2004.81

从 COD 年运行总成本仿真图看出整体趋势与 COD 平均处理成本一致，也分为两个阶段，第一阶段：在 2013~2016 年间 COD 年运行总成本变化较小，第二阶段：2016~2018 年间 COD 年运行总成本变化大幅度增长，

③ COD 年处理总量运行结果分析

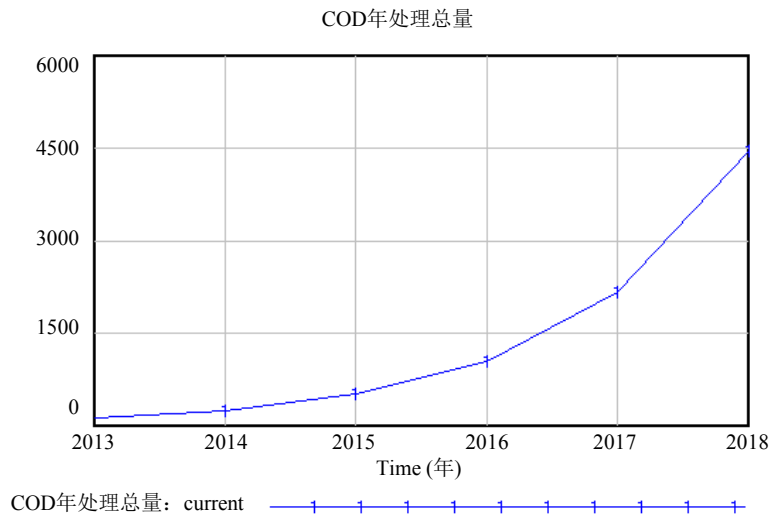


Figure 20. The total annual processing of COD
图 20. COD 年处理总量

Table 9. The total annual processing of COD
表 9. COD 年处理总量

Time (年)	2013	2014	2015	2016	2017	2018
COD 年处理总量(万吨)	120.08	247.25	509.16	1048.68	2160.23	4450.58

如图 20 和表 9 知，从增长斜率上看 COD 年处理总量的趋势也存在两阶段：微增长(2013~2016)，明显增长(2016~2018)。

3) 五种方案下辽宁污水初始排放权价格分析

根据辽宁省未来可能的发展形势，设计了五种方案：方案 1、方案 2、方案 3、方案 4、方案 5。

方案 1：人口增长型

上世纪 60 年代的严格计划生育政策，一定程度上抑制了人口增长，2015 年新的计划生育政策允许生育二胎，对人口增长有一定的刺激作用，未来辽宁省人口可能出现微幅增长。因此设计方案 1：人口增长率由原来的-0.05%调整为 0.05%。

方案 2：经济增长型

辽宁省处在经济转型的大环境中，技术的高度发达刺激经济快速增长，方案 2 中将 GDP 增长率由原来的 7%提高到 7.5%。

方案 3: 技术提高型

各种减排措施的实施, 政府鼓励企业积极研发高效减排技术以及面对国际和国内减排压力, 考虑未来 COD 去除率可能得到提高, 将 84.8% 的 COD 去除率调整为 90%。

方案 4: 投资增加型

由于环境污染的严峻形势, 以及面临国际和国内压力, 辽宁省未来可能会加大对污水处理业的固定资产投资, 考虑将 18% 的固定资产投资增加率提高到 20%。

方案 5: 综合型

方案 5 是综合型方案, 既考虑人口增长率提高同时考虑到 GDP 增长率上升、COD 去除率提高以及固定资产投资增加率的调整。

对五种方案的仿真如图 21 和表 10, 图中显示五种方案结果差异不是很显著, 说明模型参数的不灵敏。

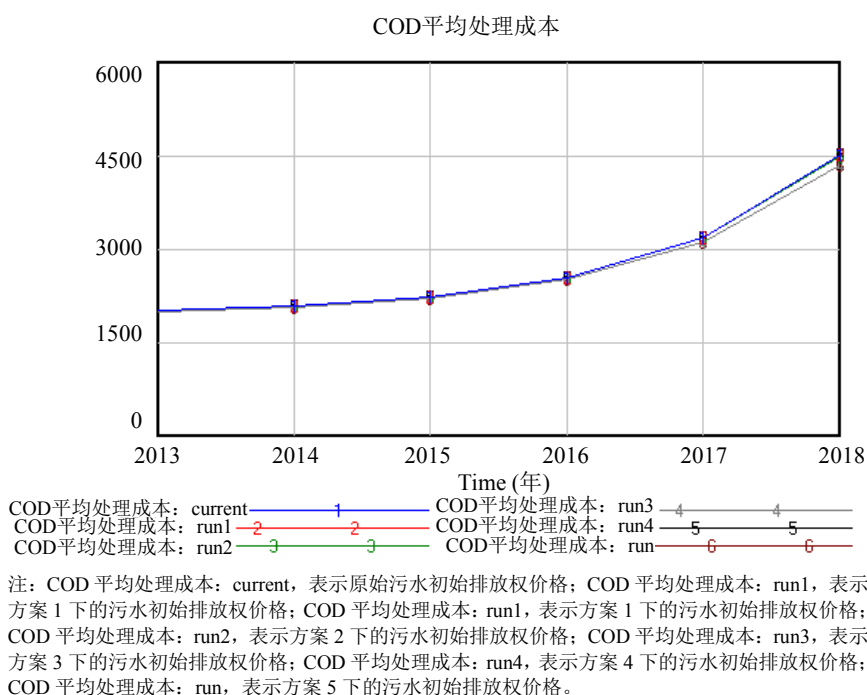


Figure 21. Five types of simulation results of sewage initial emission rights price

图 21. 污水初始排放权价格五种方案仿真结果

Table 10. Five types of simulation results of sewage initial emission rights price

表 10. 污水初始排放权价格五种方案仿真结果

年份	Current	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
2013	2005.22	2005.22	2005.22	1999.17	2005.22	1999.17
2014	2079.55	2079.53	2079.05	2069.2	2079.91	2069.06
2015	2231.02	2230.97	2229.26	2211.92	2231.79	2210.94
2016	2541.86	2541.73	2536.89	2504.81	2543.09	2501.14
2017	3182.06	3181.73	3168.96	3108.02	3183.8	3096.98
2018	4503.03	4502.22	4469.85	4352.66	4505.33	4322.8

Table 11. Rate of sewage initial emission rights price change
表 11. 污水初始排放权价格变化率

年份	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
2013	0.00%	0.00%	-0.30%	0.00%	-0.30%
2014	0.00%	-0.02%	-0.50%	0.02%	-0.50%
2015	0.00%	-0.08%	-0.86%	0.03%	-0.90%
2016	-0.01%	-0.20%	-1.46%	0.05%	-1.60%
2017	-0.01%	-0.41%	-2.33%	0.05%	-2.67%
2018	-0.02%	-0.74%	-3.34%	0.05%	-4.00%

污水初始排放权价格变化率(如表 11), 显示五种方案中, 只有方案 4 是同向变化, 即污水处理业的固定资产增加, 污水初始排放权价格也会上升, 但增长的幅度很小, 固定资产投资增加率从 18%提高到 20%, 增加了 2%, 而污水初始排放权价格最大增幅仅为 0.05%。而方案 1、方案 2、方案 3、方案 5 显示反向变化, 无论是人口增长率提高, 还是经济增长加快或是污水处理技术提高都会使得污水初始排放权价格下降, 但下降的幅度微小。

Table 12. Sewage initial emission rights price elasticity
表 12. 污水初始排放权价格弹性系数

年份	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
2013	0.00	0.00	-0.06	0.00
2014	-0.01	-0.02	-0.10	0.01
2015	-0.01	-0.08	-0.16	0.02
2016	-0.03	-0.20	-0.28	0.02
2017	-0.07	-0.41	-0.45	0.03
2018	-0.12	-0.74	-0.64	0.03

通过弹性系数将各方案的影响因素进行直接的比较, 如表 12 是各方案的弹性系数, 从表可以看出, 方案 4 的弹性系数大于零, 而方案 1、方案 2、方案 3 的弹性系数均小于零, 说明固定资产投资的增加使得污水初始排放权价格上升, 对于人口、经济、技术的提高污水初始排放权价格会降低, 而且降低的幅度各不同, 经济的变化对污水初始排放权价格影响最大, 随着年份的增加, 弹性系数绝对值也呈现上升趋势, 在方案 2 中污水出是排放权价格弹性系数绝对值大于 1, 说明当经济变化 1%时, 污水初始排放权价格变化幅度大于 1%, 而其他弹性系数均小于 1, 说明自变量变化 1%, 污水初始排放权价格变化低于 1%。弹性系数绝对值大小有方案 3、方案 2 > 方案 4、方案 1, 说明污水初始排放权价格对经济、减排技术的弹性大于污水初始排放权价格对人口数量、固定资产投资的弹性。在方案选择上, 由于辽宁省面对全国全面放开的二胎的计划生育政策、经济转型后的发展、减排技术的开发和固定资产建设需求增多, 这些因素共同作用可能使得辽宁省未来污水初始排放权价格呈现方案 5 的趋势, 即污水初始排放权价格整体上呈现上升趋势, 而相对于基本污水初始排放权价格会出现小幅下降。

5. 辽宁不同行业污水初始排放权价格分析

由于各地区污水排放量、污水处理量、用水总量及 COD 去除率等影响平均社会处理成本的因素存在差异, 使得污水初始排放权也存在地区差异, 运用重置成本法可以使用地区差异系数进行调整, 但通过

选取经济发展、生活水平等评价指标确定地区差异系数,可能产生很大偏差,在本文中,基于系统动力学污水初始排放权定价模型同样适用于辽宁省各地区,通过输入相应变量的数据,就可以使用 VENSIM PLE 软件仿真出各个地区的污水初始排放权,通过各个地区污水初始排放权价格比上辽宁省污水初始排放权价格就可以得到各地区差异系数,由于仿真过程基本一致,在这里就不一一计算。通过模型仿真计算的地区调整系数更能反映实际情况。本小节主要研究辽宁不同行业的污水初始排放权价格,通过借鉴张胜军(2010) [7]调研 300 多家排污企业的污水平均治理成本,得到主要污染行业的行业差异系数。

1) 造纸及纸制品业

造纸及纸制品业的废水主要产生于抄纸与制浆这两个主要生产过程,其中制浆过程中产生的废水污染最为严重,俗称黑水,污水中化学需氧量浓度一般为 600~2400 mg/L,而抄纸过程中也会产生大量的废水俗称白水。目前造纸行业主要采用涤净不对称纤维过滤器(AFF)和膜生物流化床工艺降低污水中 COD 以及其他污染物浓度。辽宁省拥有大中型造纸及纸制品业 27 个,实现利润总额 11.8 亿元,消耗电力 8.74 亿千瓦小时、煤炭 68.18 万吨。借鉴张胜军(2010)论文中造纸及纸制品业行业差异系数为 0.49,根据重置成本法 $P = P_0 * \lambda_i$ 可计算辽宁省造纸及纸制品业污水初始排放权价格,见表 13。

2) 皮革工业

辽宁省拥有大中型皮革工业企业 12 个,实现年利润总额 8.6 亿元,辽宁省皮革工业的繁荣带来收入的提高,但皮革工业生产过程中产生大量的废水问题不容忽视,大量的废水主要产生于洗皮、脱脂、鞣制和染色过程,其废水中悬浮物质多、有机污染物浓度大、耗氧量大、碱性强,而且含有硫化物和铬等有毒物质。如果不经处理排放会造成水环境的严重污染和水质的破坏,借鉴张胜军(2010)论文中皮革工业污水初始排放权行业系数为 1.04,根据重置成本法 $P = P_0 * \lambda_i$ 可计算辽宁省皮革工业污水初始排放权价格,见表 13。

3) 医药制造业

医药制造业排放的废水中 COD 母液可达数万毫克/升,同时还含有氰、氟及汞化合物等有毒物质。对于医药制造业的废水主要采用延时曝气、膜处理工艺、生物流化床等方法处理。辽宁省大中型医药制造企业有 34 个,年利润总额高达 38.32 亿,其中位于辽宁沈阳的东北制药总厂是我国最大的以化学合成为主的制药企业,在 2004 年东北制药总厂建立了综合污水处理中心,日处理工业废水 3 万吨,处理 COD 能力为 100 吨。辽宁省医药制造业煤炭年消耗量为 68.13 万吨、消耗 7.55 亿千瓦小时电力。借鉴医药制造业污水初始排放权行业系数为 2.06,根据重置成本法 $P = P_0 * \lambda_i$ 可计算辽宁省皮革工业污水初始排放权价格,见表 13。

4) 化学原料和化学制品制造业

化学原料和化学制品制造业产生的废水含有砷、镉、铅,多数有剧毒、而且不易净化、高耗氧量,而且废水 PH 值不稳定加大了化工行业的废水处理的难度,如果未经处理的化工废水流入河流由于含有剧毒物质可能会造成水生生物的大范围死亡甚至绝迹,通过各种途径废水中的有毒物质进入人体,造成生命危险,如上文所讲的水俣病事件。针对于降低废水中的 COD 浓度,可采用微电解处理法又称内电解法。微电解处理法是在污水中填充微电解材料,通过微电解材料自身产生的电势差对污水中的有害物质进行电力。辽宁省 2013 年大中型化学原料和化学制品制造业企业达 101 家,实现利润总额 20.55 亿元,同时消耗了巨量的能源:煤炭消费量 546.02 万吨、电力消费量 72.6 亿千瓦小时,其能源消耗量是其他行业的几十倍。由于化工行业的废水处理难度大,耗费的成本大,所以其行业系数比其他行业高。借鉴化学原料和化学制品制造业污水初始排放权行业系数为 2.47,根据重置成本法 $P = P_0 * \lambda_i$ 可计算辽宁省皮革工业污水初始排放权价格见表 13。

Table 13. Initial emission rights price in different industries
表 13. 不同行业污水初始排放权价格

年份	基本价格	造纸	皮革	医药	化工
2013	2005.22	982.56	2085.43	4130.75	4812.53
2014	2079.55	1018.98	2162.73	4283.87	4990.92
2015	2231.02	1093.20	2320.26	4595.90	5354.45
2016	2541.86	1245.51	2643.53	5236.23	6100.46
2017	3182.06	1559.21	3309.34	6555.04	7636.94
2018	4503.03	2206.48	4683.15	9276.24	10807.27

6. 结论

本文在分析辽宁污水排放与处理及排放权交易现状基础上利用系统动力学模型研究辽宁污水初始排放权价格,运用 VENSIM PLE 软件对模型仿真,得出辽宁 2013~2018 年污水初始排放权价格;根据辽宁省未来可能发展趋势,提出了人口增长型、经济增长型、技术提高型、投资增加型以及综合型五种方案,从价格变化率以及价格弹性系数两个角度分析了辽宁污水初始排放权价格的变化情况;根据不同行业系数讨论辽宁造纸及纸制品业、皮革工业、医药制造业以及化学原料和化学制品制造业四个不同行业污水初始排放权价格。预期为污水排放权的实证分析和建模进行理论和实践补充,同时,为环保当局进行相关决策提供现实依据。

基金项目

2017 年辽宁省科技厅自然科学基金项目;项目号:20170540439;项目名称:基于中微观的污染控制模型体系构建。

参考文献

- [1] 王金南,张炳,吴悦颖,郭默.中国排污权有偿使用和交易:实践与展望[J].环境保护,2014,42(14):22-25.
- [2] 许艳玲,杨金田,蒋春来,王彦超.排污权有偿使用和交易的最新进展及问题剖析[J].环境保护,2014,42(2):52-54.
- [3] 苏丹,李志勇,冯迪,胡成.中国排污权有偿使用与交易实证的比较研究[J].环境污染与防治,2013,35(9):93-100.
- [4] 耿春建,张兴文,李明华.大连市实行水污染物排污权交易管理特点研究[J].科技管理研究,2012(10):203-206.
- [5] 苏丹,王鑫,李志勇,胡成.中国各省级行政区排污许可证制度现状分析及完善[J].环境污染与防治,2014,36(7):84-91.
- [6] 董志刚.辽宁省排污权有偿使用和交易框架设计研究[J].环境保护与循环经济,2014,34(5):73-75.
- [7] 张胜军,徐鹏炜,卢瑛莹,郦颖.浙江省排污权初始分配与有偿使用定价方法初探[J].环境污染与防治,2010,32(7):96-99.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2160-7311，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：mm@hanspub.org