

Research on System Dynamic in Plan Sustainability Assessment

Shaolu Zheng^{1,2}, Renhai Wu¹

¹School of Environmental Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou Guangdong

²Environment Protection Bureau of Liwan District, Guangzhou Guangdong

Email: eeswrh@163.com

Received: Dec. 13th, 2015; accepted: Jan. 4th, 2016; published: Jan. 7th, 2016

Copyright © 2016 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

Abstract

The paper analyzed the characteristics of system dynamics (SD) method by summarizing the study of SD application in the field of sustainable development and EIA, then concluded that system dynamics could be an effective method of planning sustainability assessment and designed an operational framework for SA on plan level. It provided ideas in implementing plan sustainability assessment, and did some helps in promoting impact assessment system in China.

Keywords

Sustainability Assessment, Impact Assessment System, System Dynamic

基于系统动力学的规划可持续性评价研究

郑少露^{1,2}, 吴仁海¹

¹中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州

²广州市荔湾区环保局, 广东 广州

Email: eeswrh@163.com

收稿日期: 2015年12月13日; 录用日期: 2016年1月4日; 发布日期: 2016年1月7日

摘要

本文分析了系统动力学方法在规划可持续性评价的适用性, 设计了基于系统动力学的评价框架, 并进行

文章引用: 郑少露, 吴仁海. 基于系统动力学的规划可持续性评价研究[J]. 可持续发展, 2016, 6(1): 1-9.

<http://dx.doi.org/10.12677/sd.2016.61001>

了案例应用, 结果表明方法是可行的并具有优越性。

关键词

可持续性评价, 评价体系, 系统动力学

1. 引言

项目环境影响评价与战略环境评价均有利于可持续发展, 但均主要关注环境方面, 环境可持续性仅是全面可持续发展的要素之一。面对全面可持续发展需求, 新一代评价体系“可持续性评价(Sustainability Assessment, SA)”应运而生, 成为评价领域研究热点之一。我国缺少可持续性评价方面的研究, 因此深入开展可持续性评价理论与技术方法的研究, 确立适合国情的评价方法, 对完善评价体系, 推动区域可持续发展具有重要意义。本文分析了系统动力学用于规划可持续性评价的适用性, 设计了基于系统动力学的评价框架, 并以《珠江三角洲地区改革发展规划纲要》为例进行实例应用, 为规划设计提供评价思路。

2. 可持续性评价概述

可持续性评价有别于单纯的可持续发展评价, 它均衡地预测评价决策(包括政策、规划或计划)的经济、社会和环境的影响, 以长远视角识别三者之间的协同与矛盾, 分析积极效应与决策缺陷, 从而为完善决策提供建议, 促使最终方案最有利于可持续发展[1]-[3]。它打破了环境影响评价单维度评价思路, 在政策规划和管理各层次将经济、社会和环境要素系统地结合起来, 对环境与发展的综合决策进行全面、有效的评价。

可持续性评价被认为是影响评价体系中的一员, 与项目环评和战略环评紧密联系, 是影响评价体系的“第三代”[1]。从项目环评到战略环评再到可持续性评价的发展, 实质上是随着对可持续发展的认识深化及在可持续发展需求下, 影响评价体系逐渐完善的过程。

3. 系统动力学适用性分析

系统动力学(System Dynamics, SD)是以反馈控制理论为基础, 以计算机仿真技术为辅助手段的研究复杂系统的定量分析方法, 可作为实际复杂系统的“实验室”进行中长期分析与预测, 被誉为“政策研究实验室”[4]。

可持续性评价要均衡地考虑经济、社会和环境因素, 要分析、预测和评价决策可能产生的影响。系统动力学的应用有其优越性, 可满足评价要求(表 1)。

可持续性评价所要求的综合性、融合性、长时效和动态性等特点与系统动力学解决系统问题的优越性具有较好的对应性, 系统动力学适用于规划可持续性评价。

4. 应用框架设计

系统动力学在规划可持续性评价中的应用框架流程见图 1, 可分为内部评价和外部评价两种形式: 内部评价由规划编制者来进行评价, 并且评价过程与规划的编制过程融合在一起; 而外部评价则由第三方来进行评价, 评价时间在规划草案完成之后。

5. 实例研究

应用前述可持续性评价框架, 以《珠江三角洲地区改革发展规划纲要》为例进行可持续性评价, 分

Table 1. Applicability analysis of SD method to Plan SA
表 1. 系统动力学方法适用性分析

可持续性评价要求	系统动力学优越性
评价内容涵盖规划实施可能带来的经济、社会和环境影响, 评价内容“综合性”要求, 涉及复杂系统	系统动力学广泛应用于复杂的社会经济环境系统领域, 适用于复杂系统
在系统中融合三大因素, 分析其内在联系, 协调“三者”矛盾, 实现“三赢”的整体优化效果	系统动力学可在宏观层次上对大规模复杂系统进行综合研究, 将影响系统运行的各种因素融合在一个模型之中, 着眼于系统的整体最佳目标, 有助于各子系统的协调发展, 求得“三赢”方案
评价的时间范围较长, 若考虑代际关系, 则评价的时间范围跨度更长	系统动力学适合研究中长期的系统动态发展问题, 预测时间范围有十年、几十年甚至是百年
识别、预测、评价多个备选方案, 并能选出首选方案, 根据评价对首选方案进行微调 对规划进行跟踪评价	系统动力学能方便灵活地进行决策模拟和多方案比较, 根据不同方案输入控制因素, 可以观察系统行为的变化趋势, 通过预测和分析, 可以寻求首选方案 系统动力学可以根据真实系统的变化, 对模型进行持续性调整, 从而评价规划的实际影响与预测之间的差距, 通过不断调整、完善而长期使用
评价内容广泛, 需要多学科专家、决策者共同参与	系统动力学在建模过程中便于实现各学科专家、决策者和管理人员的结合, 便于结合其它学科的理论成果

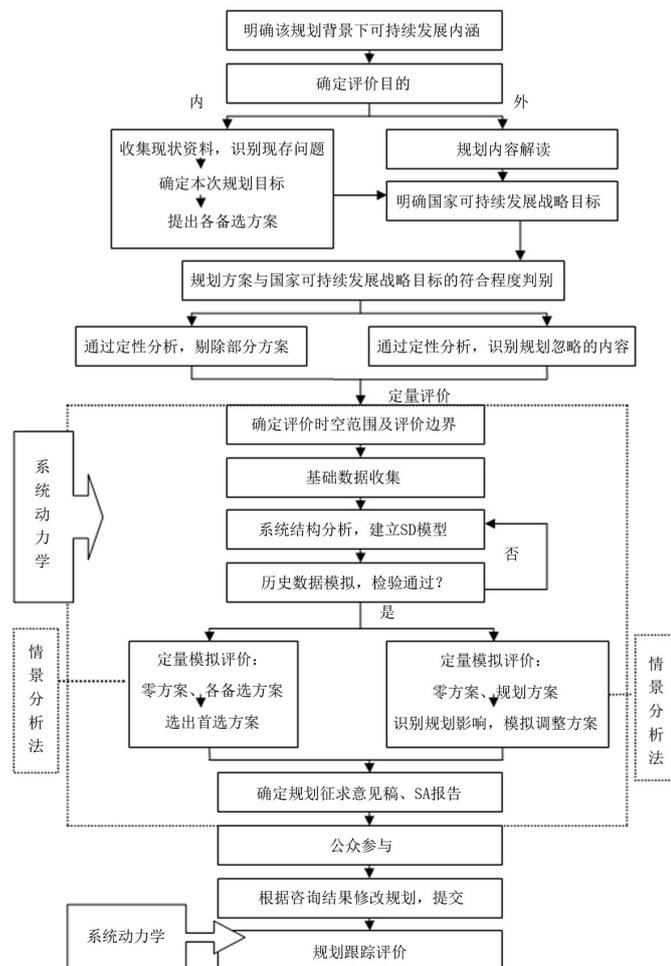


Figure 1. Application framework of system dynamic for Plan SA
图 1. 系统动力学在规划可持续性评价中的应用框架

析其积极效应及存在的决策缺陷以完善规划, 从而验证所设计的评价框架能否满足评价要求。

《珠江三角洲地区改革发展规划纲要》规划目标为: 到 2020 年珠江三角洲地区率先基本实现现代化, 基本建立完善的社会主义市场经济体制, 形成以现代服务业和先进制造业为主的产业结构, 形成具有世界先进水平的科技创新能力, 成为全球最具核心竞争力的大都市圈之一。人均地区生产总值达 13.5 万元, 服务业增加值比重达到 60%, 实现全社会更高水平的社会保障, 单位生产总值能耗和环境质量达到或接近世界先进水平。

5.1. 规划纲要的可持续发展内涵

可持续发展既不单指经济发展或社会发展, 也不单指生态持续, 而是指以人为中心的自然社会经济复合系统的可持续。本规划纲要可持续发展内涵应为: 调控自然经济社会复合系统, 使珠三角地区在资源和环境的约束下, 协调各方面矛盾, 促进经济、社会 and 环境的综合发展。评价时间跨度跨越整个规划期, 直至 2020 年。

5.2. 评价目的

本次评价属于外部评价形式。通过规划方案与国家可持续发展战略目标的符合程度定性判别, 全面检查规划方案中被忽略的与可持续发展相关的内容, 进而运用系统动力学方法, 通过与零方案的对比并进一步分析, 识别规划方案的不足, 以尽可能消除规划方案的缺陷, 为规划方案的完善提供建议。

5.3. 符合程度定性判别

首先了解《中国 21 世纪可持续发展行动纲要》中规定的国家可持续发展战略目标及重点内容; 然后通过判别规划方案与国家可持续发展战略目标的符合程度, 可以从定性的角度考查规划内容的全面性, 从而发现规划方案中被忽略的与可持续发展紧密联系的内容。按照评价框架, 本次符合程度判别采用矩阵法。通过判别矩阵分析, 《纲要》的规划内容较广泛, 涵盖国家可持续发展战略重点领域的大部分内容, 但也有不足。

5.4. 定量评价

对于《纲要》具体的规划目标, 定性分析往往无法评价规划目标值定量化的合理性, 无法预测在这些规划目标下的发展趋势, 因此结合可持续性评价综合性、融合性、长时效以及动态性的要求, 运用系统动力学对规划纲要目标值设置是否合理进行定量评价。

5.4.1. 评价内容

定量评价的空间范围为整个珠江三角洲, 时间范围为 2002~2020。借助 VENSIM 软件构建《纲要》可持续性评价的系统动力学模型。综合分析历年统计资料, 多次调试, 验证并完善仿真模型, 对《纲要》实施可能带来的积极效应和决策缺陷进行分析。

1) Vensim

Vensim 是一个基于视窗界面的可视化的系统动力学建模工具, 提供了功能强大的图形编辑环境。本研究所用的系统动力学建模软件为 Vensim PLE, 是 Vensim 软件的一种, 该软件在 Windows 环境下工作, 使用过程简单、界面友好、形象直观并且模拟快捷。主要有以下几个特点:

利用图示化编程建立模型, 在 Vensim PLE 中, 只要在模型建立窗口中画出流图, 根据变量之间的数量关系利用 Equation Editor 输入方程和参数, 就可以直接进行模拟;

提供丰富的输出信息和灵活的输出方式。其输出兼容性较强, 一般的模拟结果, 除了即时显示外,

还可以保存文件和复制到剪贴板;

对模型提供多种分析方法。Vensim 可以对模型进行结构分析和数据集分析。其中结构分析包括原因树分析(逐层列举作用于指定变量的变量)、结果树分析(逐层列举该变量对于其它变量的作用)和反馈环分析。数据结果分析包括变量随时间变化的数据值及曲线图分析。

2) 系统结构分析及建模

系统动力学认为, 系统的行为模式与特性主要取决于其内部的动态结构与反馈机制。本研究在系统综合分析的基础上, 确定评价系统的结构层次, 通过对珠江三角洲区域的相关资料进行搜集, 进一步分析该区域系统的主要因果反馈机制。根据系统的层次性, 将规划纲要可持续性评价系统分解为经济子系统、社会子系统、资源子系统和环境子系统; 然后再对各子系统进行子模块划分。在确定了各子系统的层次结构之后, 建立了规划纲要可持续性评价系统的总体因果反馈机制图, 总体因果关系如图 2 所示。

3) 评价模型有效性检验

本文主要采用运行检验和历史检验这两种常用方式对评价系统进行检验。运行检验使用 Vensim 软件的模型检测(Model check)功能来检验模型, 结果显示模型合理; 历史检验是指模型仿真行为对系统的历史数据的拟合程度检验, 以珠三角总人口、珠三角 GDP、珠三角工业增加值、珠三角废水排放量、珠三角二氧化硫排放量及珠三角固废排放量为检验指标, 各指标仿真结果的拟合效果较好, 仿真结果与其历史值在发展趋势上是一致的, 相对误差范围为 0.005%~3.37%, 满足系统动力学模型的误差要求。

通过上述模型的有效性检验, 表明评价模型的行为可以较为真实地反映规划纲要可持续性评价系统的结构与状态, 其流图设计和参数选择具有合理性, 仿真精度满足建模要求。

4) 评价方案设计

运用情景分析法进行评价方案的设计, 包括零方案、规划方案和调整方案。其中, 零方案即无规划方案, 以现状水平为基础, 按现状趋势预测在 2010~2020 年的发展水平, 作为本次评价的背景; 规划方案则根据《纲要》的相关规划内容, 对科技投资比例、单位生产总值能耗、工业用水重复利用率、城镇污水处理率、城镇生活垃圾无害化处理率、工业废水达标排放率等参数进行调控, 预测评估《纲要》规划值设置的合理性; 调整方案则通过对比零方案与规划方案, 对识别出的规划值设置不合理的指标, 参考珠三角发展现状及其它相关研究[5][6], 对不合理的指标值进行调整, 包括工业废水达标排放率、单位 GDP 能耗等指标。

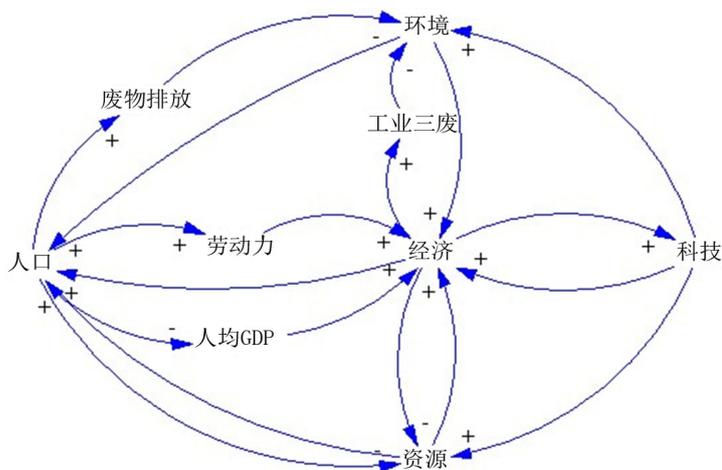


Figure 2. Cause-and-effect relation chart within SA system of Pearl River Delta Plan Outline

图 2. 珠三角规划纲要可持续性评价系统总体因果关系图

5.4.2. 仿真结果分析

人口方面的仿真结果见图 3，零方案情景下到 2020 年珠三角总人口规模将达到约 6300 万人，这与《珠江三角洲城市群协调发展规划》中人口规模 6500 万的预测结果相符合；规划方案下，由于经济的增长、基础设施的完善，总人口仍保持增长趋势；而调整方案通过对超出人口控制规模的城市的人口迁移增长率进行调控，到 2020 年人口总数约为 5700 万。

经济方面(图 4)，零方案下珠三角经济总量仍有相对较大发展，但受资源和环境压力制约着，经济发展速度偏低；规划方案通过产业结构调整和经济增长方式的转变，经济发展突破了现状趋势的瓶颈；调整方案下，尽管 GDP 总量比规划方案略有下降，伴随着人口规模得到控制，“人均 GDP”却有所增长，并在 2019 年可以提前完成《纲要》的远期目标。

水资源利用方面(图 5)，零方案下现状集中供水量远远不足用水量需求，而《纲要》通过加强工业和生活节水工作，提高工业用水重复利用率，实施用水定额管理，使规划后期珠三角用水量呈现下降趋势，而调整方案与规划方案趋势一致。

废水排放方面(图 6)，零方案下规划远期随着废水产生量的增加，在维持现状治理水平下，未达标的废水排放量呈现上升趋势；规划方案中，由于产业结构调整，低能耗、低污染的产业为能耗下降、污染

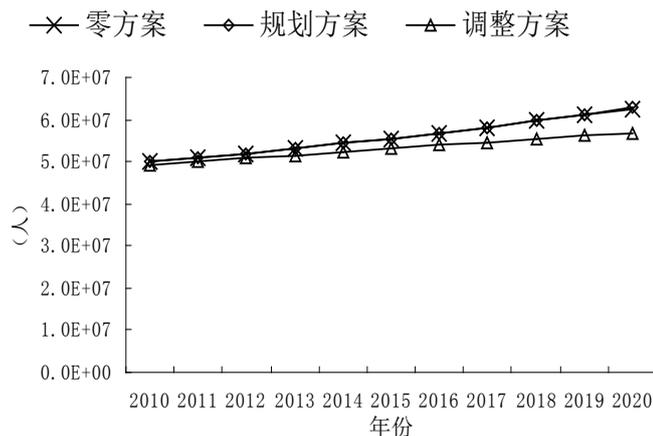


Figure 3. Population size in Pearl River Delta under different scenarios

图 3. 不同方案下珠三角总人口规模

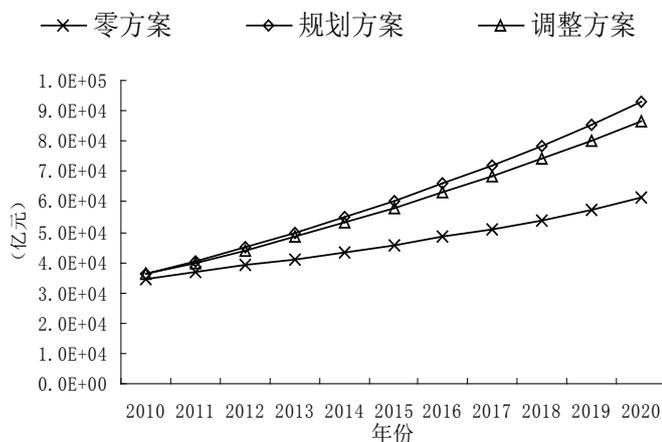


Figure 4. GDP size in Pearl River Delta under different scenarios

图 4. 不同方案下珠三角 GDP 规模

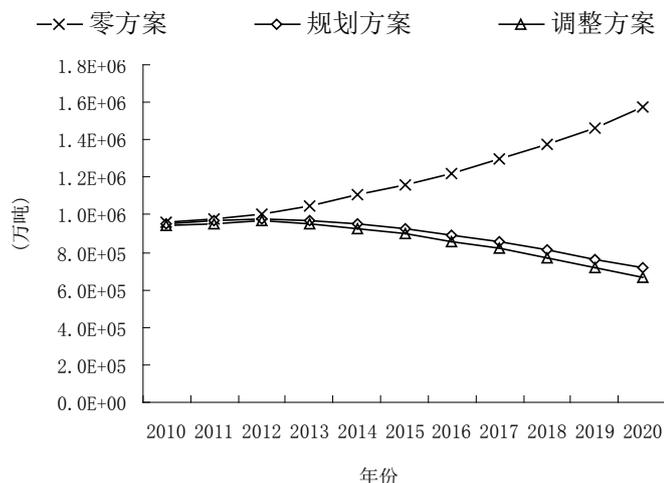


Figure 5. Water usage size in Pearl River Delta under different scenarios

图 5. 不同方案下珠三角用水量规模

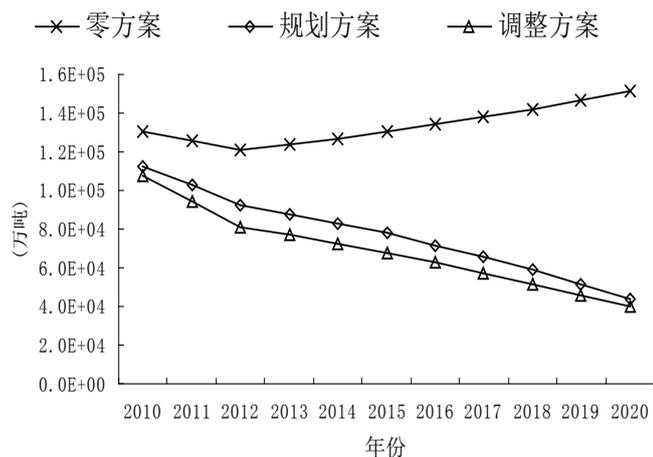


Figure 6. Wastewater amount in Pearl River Delta under different scenarios

图 6. 不同方案下珠三角废水排放量

控制腾出巨大的空间。随着污水处理率及工业废水达标排放率的提高,使未达标的废水排放量逐年递减,调整方案通过调控规划中期的工业废水达标排放率,使规划中期废水排放比规划方案有所减少。

二氧化硫排放方面(图 7),零方案下规划期内排放量呈现上升趋势,二氧化硫总量控制工作仍需加强;规划方案下,尽管企业推行清洁生产有助于减少二氧化硫产生量,但其排放量逐年上升,二氧化硫总量控制仍不可忽视;调整方案通过提高二氧化硫治理率,到规划中后期,随着二氧化硫产生量的减少及治理率的提高,其排放量呈现下降趋势。

二氧化碳排放方面(图 8),零方案下规划期内呈现上升趋势;规划方案尽管单位 GDP 能耗有所下降,但二氧化碳排放量仍呈现逐年上升趋势,难于达到国家的控制目标;调整方案通过调控单位 GDP 能耗指标值使二氧化碳排放量的增长趋势趋于平缓,排放总量比规划方案有所下降,且到 2020 年可达到国家控制目标要求。

总之,与零方案相比规划纲要方案在经济、资源、环境等各个方面都表现出优势,总体上规划纲要方案有利于突破现状发展瓶颈,促使珠三角的进一步发展;但规划纲要也存在小部分决策缺陷,针对这

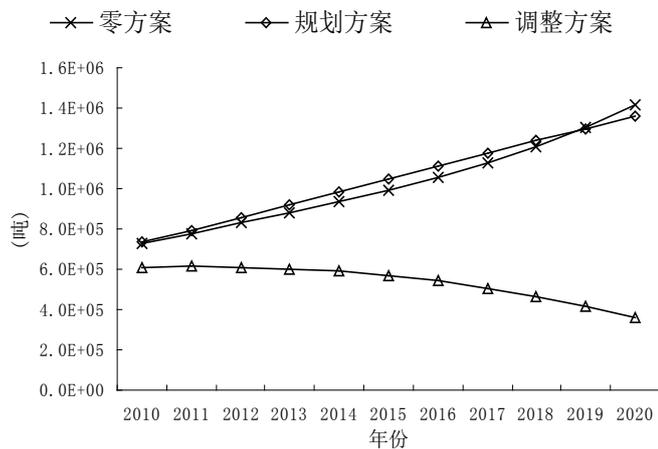


Figure 7. SO₂ amount in Pearl River Delta under different scenarios
图 7. 不同方案下二氧化硫排放量

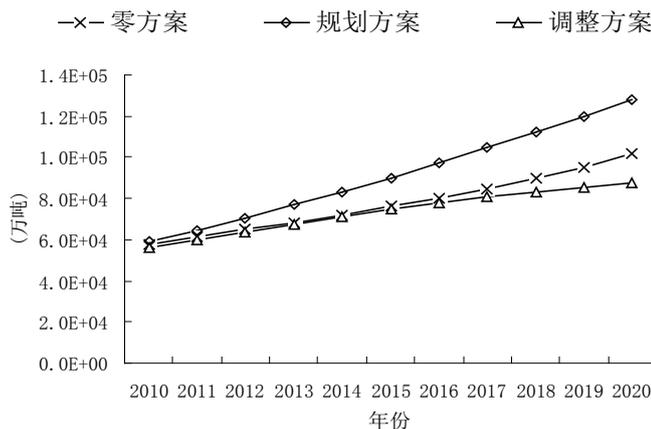


Figure 8. CO₂ amount in Pearl River Delta under different scenarios
图 8. 不同方案下二氧化碳排放量

部分决策缺陷而设计的调整方案，总体上发展趋势与规划纲要方案一致，但在人口规模、污染物治理及单位 GDP 能耗等方面进行微调，在这些方面，调整方案弥补了规划纲要方案的缺陷，从而，既发挥了规划纲要的积极效应，同时避免了规划纲要实施可能产生的不良影响。

5.5. 完善规划纲要的建议

根据矩阵法定性分析与系统动力学定量评价，识别出规划纲要的积极效应与不良影响，针对规划中的不足，提出以下完善规划纲要的建议(表 2)。

6. 结论

作为一种较高层次的评价手段，可持续性评价可以成为可持续发展战略决策的重要支持工具。可持续性评价内容综合、涉及时空范围更广，系统动力学可应用于规划可持续性评价。针对可持续性评价的应用框架设计，为规划可持续性评价实施提供具体思路。在矩阵法定性分析的基础上，运用系统动力学进行定量评价，将有助于获得更全面的评价结果，符合规划可持续性评价的相关要求。

被誉为影响评价体系“下一代”的可持续性评价，将成为决策影响评价的发展趋势。本文对《纲要》的评价只是一个探讨，在以后的研究中，将进一步对可持续性评价方法进行研究，为其它层面的可持续

Table 2. Advice table of improving the Plan
表 2. 完善规划纲要的建议表

规划要点	规划内容	优化调整建议
构建现代产业体系	大力发展高技术产业, 新能源领域重点发展风能、太阳能等清洁能源	应补充发展地热能
推进基础设施现代化	加快交通、能源、水利和信息基础设施建设, 推进区域基础设施一体化发展	基础设施建设规划应进一步明确环境保护设施建设的有关内容
促进区域协调发展	积极建设惠州临港石化产业基地	应重视惠州临港石化产业基地和沿海重化产业带的生态环境隐忧, 进一步加强对产业发展环境风险认知
加强资源节约和环境保护	2012 年工业废水排放达标率达 90% 2020 年单位地区生产总值能耗下降到 0.57 吨标准煤	2012 年工业废水排放达标率调整为 95% 2020 年单位 GDP 生产总值能耗调整为 0.42 吨标准煤
加快社会事业发展	以改善民生为重点, 大力发展各项社会事业	应补充完善优生优育体系, 稳定低生育水平, 控制人口总量等相关内容
规划实施的保障机制	国家发展改革委员会同有关部门加强对本纲要实施情况的跟踪分析	建议结合可持续发展监测评价系统的建立, 开展监测评价, 定期发布评价报告

性评价提供指引, 以进一步推动我国可持续性评价的发展, 完善影响评价体系。

参考文献 (References)

- [1] Sadler, B. (1999) A Framework for Environmental Sustainability Assessment and Assurance. In: Petts, J., Ed., *Handbook of Environmental Impact Assessment*, Blackwell, Oxford, 12-32.
- [2] Dimitri, D. (1999) Sustainability Assessment: The Application of a Methodological Framework. *Environmental Assessment Policy and Management*, 1, 459-487.
- [3] Lee, N. (2002) Integrated Approaches to Impact Assessment: Substance or Make-Believe? In: Institute of Environmental Management and Assessment/EIA Center, Ed., *Environmental Assessment Yearbook*, University of Manchester, Lincoln, 14-20.
- [4] 包存宽, 王金南, 罗宏, 刘涛, 等. 政策可持续发展评价[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [5] 珠江三角洲环境保护规划编制技术组. 珠江三角洲环境保护规划[R]. 广东: 珠江三角洲环境保护规划编制技术组, 2004.
- [6] 吴舜泽, 王金南, 邹首民, 等. 珠江三角洲环境保护战略研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006, 12.