

美丽广州的生态文明综合指标 体系构建与应用研究

项目组成员

项目负责人：吴小节 教授 博导 广东工业大学管理学院 副院长

参与人 1：丘 岷 本科生 广东工业大学管理学院

参与人 2：李 颖 本科生 广东工业大学管理学院

参与人 3：吴燕鹏 讲 师 广东工业大学管理学院

参与人 4：马美婷 硕士生 广东工业大学管理学院

参与人 5：杨尔璞 硕士生 广东工业大学管理学院

项目名称：美丽广州的生态文明综合指标体系构建与应用研究

立项编号：2018GZZK14

成果形式：研究报告

字 数：7.0 万字

完成时间：2019-06

广东工业大学管理学院

2019 年 06 月

摘要

本课题主要采用规范的理论研究和实证分析相结合、定性分析与定量分析相结合的研究方法。围绕生态文明综合评价指标体系构建和实证研究两个方面，论文界定了生态文明的概念内涵，建立了评价指标并确定了评价方法和评价标准，构建了评价区域生态文明发展程度综合评价指标体系，实证评估了广东省 21 个地级市行政区的生态文明发展程度、广东省以及广州市 1999-2016 年间的生态文明发展趋势。根据评价结果，本文进一步讨论了其理念、法制、经济手段和技术方面的政策启示。

(1) 界定了生态文明概念内涵。有关“生态文明”的定义，目前学术界尚未有统一的界定，学者根据各自的研究目的和需要，提出了生态文明的定义，目前学术界主要存在两种观点，即“类型说”和“要素说”，其内涵与特征存在区别（表 1）

表 1 “类型说”和“要素说”在内涵和特征上的关系

	类型说	要素说
内涵	文明演进到高级阶段	任何社会都存在的生态维度
时间上	阶段性：后现代指向	普遍性：贯穿文明始终
内容上	整体性与系统性	局部性和还原性
价值上	时代进步性	基础性，是任何文明存续的基础

资料来源：根据巩固和孔曙光（2014）的研究整理。

具体而言，“类型说”是从历史分期角度把生态文明界定为文明演进到高级阶段的一种类型，具有一定的历史发展演进轨迹，即从原始文明、农耕文明、工业文明到生态文明演进过程。其特征包括：一是时间上的阶段性，是人类文明的新形态，具有后工业或后现代的指向；二是内容上更为整体；三是价值上的进步性。“要素说”认为生态文明是任何社会都存在的生态维度，是任何人类社会存在的基础和前提，也是人类社会必须具有的结构维度。其特征包括：时间上的普遍性，贯穿所有文明始终；内容上的局部性，强调社会结构中生态直接联系的那部分；价值上的基础性，是任何文明得以存续的基础。

我们采纳生态文明的“要素说”的观点，一方面是“要素说”符合我们研究的目标，但更为重要的是，它相对于“类型说”具有三个突出的优点：一是在理念上，目前并不缺乏对生态文明理念的把握，缺乏的是将生态文明整体内涵和建设方向进行细分、可操作化，

以在实践中落实，为了响应十八大号召，我们强调“经济-社会-环境-文化-制度”五位一体协同发展的生态文明理念；二是时间上的普遍性，便于对不同区域的横向比较，并且时间上的连续性，也便于对同一区域进行纵向追踪分析；三是内容上除了整体性之外，还有分解和还原，这便于政府和相关的决策部门进行可操作化，因为理论终将还是要为实践服务的。

综上所述，我们认为生态文明是“以资源环境承载力为基础、以自然规律为准则、以可持续发展为目标”的文明形态，其可持续性体现在经济建设、政治建设、文化建设、社会建设和制度建设等“五位一体”总体布局的相互协调发展中。

(2) 建立了生态文明建设水平评价指标体系。“生态文明”建设的指标体系，主要反映某一国家或地区经济社会发展与资源环境协调的程度。同时，由于“生态文明”涉及经济社会发展的生产、消费、人口、资源、环境等各个方面，因此，评价指标也应该全面反映这些情况；又由于“生态文明”涉及的因素太多，评价指标不可能面面俱到、无所不包。基于上述考虑，我们提出一套简明扼要的“生态文明”建设评价指标体系。该指标体系分为四个层次：第一层次为目标层，主要通过各级指标加权得出某一国家或地区的“生态文明”建设程度；第二层次为准则层，包括“生态经济文明指数”、“生态社会文明指数”、“生态资源与环境文明指数”“生态文化文明指数”和“生态制度文明指数”五个方面，分别反映生态文明在经济、社会、资源与环境、文化和制度等五个方面的状况；第三层次为基本指标，分别从不同角度继续划分生态文明在经济、社会、资源与环境、文化和制度等方面的指标，第四层次为第三层次的具体衡量指标。本课题应用理论分析法、专家咨询等方法，构建了一套由 47 个指标构成的生态文明建设水平综合评价指标体系（如表 3-2 所示）。

(3) 探究广东生态文明建设与城市化耦合关系。在分析生态文明建设系统与城市化系统协调发展作用机理的基础上，构建生态文明建设与城市化的指标体系，并引入熵值法、耦合度和耦合协调度模型，对广东省 21 个行政区在 2010、2012、2014 以及 2016 年四个时间截面的两大系统耦合协调关系进行实证研究，主要发现以下结论：①从理论上来看，生态文明建设与城市化两个系统存在明显的耦合协调特征，系统间各要素相互作用、彼此影响，通过内部要素的组织 and 演化使得两大系统协调发展。同时，两大系统存在不同的耦合协调状况，协调好生态文明与城市化的关系对于生态环境优化与城市化发展具有重大意义。②广东省的生态文明建设水平以及城市化水平处于不断上升的状态，发展势头良好，其中深圳、东莞等城市化发展速度超前于生态文明建设速度。③

整体上而言，广东省的生态文明建设与城市化处于拮抗阶段，说明两大系统尚未演化到更高水平的耦合阶段，生态文明建设与城市化未能形成良性的互动。④广东省生态文明建设与城市化的耦合协调度存在空间差异，深圳、广州能逐渐迈入协调阶段，其余城市仍然处在失调状态，但大部分城市的生态文明建设与城市化之间的协调关系在不断好转，说明两大系统的协调发展趋势越来越明显。

(4) 对广州市生态文明建设水平进行综合监测。根据生态文明建设所涵盖的内容，本课题分别从生态文明的 1 个一级指标、5 个二级指标和 11 个三级指标对广东省 21 个地级市行政区 2016 年横截面、广东 1999-2016 年纵向数据和广州市 1999-2016 年间的时序序列三个方面进行综合评价和监测。

从广东省 21 个地级市行政区的横截面方面看，广州市生态文明综合评价的结果是：生态经济文明位列省内第三，综合得分为 1.10241；生态社会文明位列省内第二，综合得分为 2.06051；生态环境文明位列省内第六，综合得分为 0.39715；生态文化文明位列省内第二，综合得分为 0.88193；生态制度文明位列省内第五，综合得分为 0.68978；最终生态文明综合发展水平位列省内第二，综合得分为 1.15676。

从广州市 1999-2016 年间的时序趋势上看。从生态文明下的五个指标来看：(1) 生态经济文明方面。广州市 1999-2016 年间，除了 2005 年、2011 年和 2012-2014 年有所下降外，广州市的生态经济文明状况基本呈现逐渐上升的趋势，这一点与广州市 GDP 发展水平相一致，由此表明广州市的生态经济文明发展状况较好。(2) 生态社会文明方面。广州市在 1999-2016 年间，除了 2012-2013 年和 2015-2016 年外，生态社会文明综合指数呈现逐渐上升的趋势，这说明随着广州人的发展和公共品的投资，广州市的生态社会文明指标的未来发展趋势在逐渐变好。(3) 生态环境文明方面。广州市在 1999-2016 年间，生态环境文明综合指数总体上呈现波动上升趋势，这说明随着广州经济的发展，广州市的资源利用效率、生态环境安全以及生态系统的恢复与建设，都呈现出有利生态环境文明的趋势，尤其是近年来的生态环境文明呈现较快发展的趋势。但同时，广州市 1999-2016 年间的生态环境文明发展虽然总体看呈现上升趋势，但其发展并不稳定仍需注意。(4) 生态文化文明方面。广州市 1999-2016 年间，广州市的生态文化文明状况基本呈现总体上升的趋势，这一点表明随着广州市文化教育水平和生态环境质量的提高，广州市的生态文化文明状况逐渐变好。(5) 生态制度文明方面。广州市 1999-2016 年间，广州市的生态制度文明状况基本呈现波浪式下降的趋势。在 2007 年后，呈现逐渐下降的趋势越发明显，这说明广州市的生态制度文明状况逐渐变差，广州市制度保障和制度

管理水平仍然有待提高。同时，经济和社会等发展的同时也要兼顾好制度文明的发展，生态制度文明的发展尚且存在很大的发展空间。应当提高生态制度文明意识，积极改革发展以适应时代需求。

综合上述五个指标的分析，得到在 1999-2016 年间，广州市的生态文明状况基本呈现逐渐上升的趋势，这一点表明随着广州市经济发展、社会文明的提高、环境的改善、文化水平的提高，广州市的生态文明状况逐渐变好，但是在制度保障方面仍然有所欠缺。综合上述五个指标的分析，得到在 1999-2016 年间，广州市的生态文明状况基本呈现逐渐上升的趋势，这一点表明随着广州市经济发展、社会文明的提高、环境的改善、文化水平的提高，广州市的生态文明状况逐渐变好，尤其是近几年增长幅度逐渐增强。

最后，本课题讨论了在生态文明的理念、法制、经济手段和技术方面的政策启示。

关键词：生态文明，生态经济文明，生态社会文明，生态环境文明，生态文化文明，生态制度文明，综合评价，指标体系，广州市

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状与评述.....	1
1.2.1 国内外研究现状.....	1
1.2.2 对现有研究的简要评价.....	7
1.3 研究目标与内容.....	8
1.3.1 研究目标.....	8
1.3.2 研究内容.....	8
1.4 研究思路与方法.....	9
1.4.1 研究思路.....	9
1.4.2 研究方法.....	9
1.5 本项目的创新点.....	10
1.6 本章小结.....	12
第 2 章 生态文明的理论基础.....	14
2.1 可持续发展理论.....	14
2.1.1 可持续发展理论的定义.....	14
2.1.2 可持续发展理论的内容.....	14
2.1.3 可持续发展理论的原则.....	15
2.2 循环经济理论.....	16
2.2.1 循环经济理论的定义.....	16
2.2.2 循环经济理论的主要特征.....	17
2.3 低碳经济理论.....	18
2.3.1 低碳经济理论的定义.....	18
2.3.2 低碳经济的基本特征.....	18
2.3.3 低碳经济的发展途径.....	19
2.4 本章小结.....	19
第 3 章 生态文明评价指标体系的构建与评价方法选择.....	21
3.1 生态文明概念内涵.....	21

3.2 生态文明综合评价指标体系的构建原则.....	22
3.3 生态文明评价指标体系的指标设置.....	23
3.4 生态文明综合评价方法选择.....	28
3.4.1 研究对象与数据来源.....	28
3.4.2 评价方法选择和基本步骤.....	28
3.5 本章小结.....	31
第 4 章 广东省生态文明程度的横向比较研究.....	32
——基于广东省内 2016 年 21 个地级市的实证数据.....	32
4.1 广东省内 21 个地级市生态经济文明发展状况的综合评价.....	32
4.2 广东省内 21 个地级市生态社会文明发展状况的综合评价.....	34
4.3 广东省内 21 个地级市生态环境文明发展状况的综合评价.....	37
4.4 广东省内 21 个地级市生态文化文明发展状况的综合评价.....	40
4.5 广东省内 21 个地级市生态制度文明发展状况的综合评价.....	42
4.6 广东省内 21 个地级市生态文明发展状况的综合评价.....	44
4.7 本章小结.....	48
第 5 章 广东省生态文明建设与城市化耦合关系及协调发展研究.....	50
——基于广东省内 21 个地级市的实证数据.....	50
5.1 城市化系统维度分析.....	50
5.2 生态文明建设系统与城市化系统关系解析.....	51
5.3 生态文明建设系统和城市化系统指标选择.....	52
5.4 结果分析.....	54
5.4.1 研究区域概况.....	54
5.4.2 广东省生态文明系统与城市化系统发展水平分析.....	54
5.4.3 生态文明建设与城市化耦合度时空分析.....	56
5.4.4 生态文明建设与城市化耦合协调度时空分析.....	58
5.5 本章小结.....	59
第 6 章 广州市生态文明进程综合监测.....	50
——基于 1999-2016 年纵向追踪的实证研究.....	50
6.1 广州市 1999-2016 年间生态经济文明进程的综合评价.....	50
6.2 广州市 1999-2016 年间生态社会文明进程的综合评价.....	53

6.3 广州市 1999-2016 年间生态环境文明进程的综合评价.....	57
6.4 广州市 1999-2016 年间生态文化文明进程的综合评价.....	61
6.5 广州市 1999-2016 年间生态制度文明进程的综合评价.....	64
6.6 广州市 1999-2016 年间生态文明进程的综合评价.....	67
6.7 本章小结.....	71
第 7 章 促进广州市生态文明建设的政策建议.....	72
7.1 倡导生态文明建设的理念.....	72
7.2 加强生态文明的制度建设.....	72
7.3 加强生态文明建设的科学规划.....	73
7.4 转变生态文明建设的经济发展方式.....	74
7.5 本章小结.....	74
结 论.....	76
参 考 文 献.....	83
附 录.....	86
附录 1 因子综合评价法的思想与数学原理简介.....	86
A1.1 因子分析的概念.....	86
A1.2 因子分析的数学模型.....	86
A1.3 因子载荷矩阵的统计意义.....	87
A1.4 因子载荷矩阵的求解.....	88
A1.5 共同因子的贡献.....	89
A1.6 因子旋转与因子得分.....	90
附录 2 聚类分析法的思想与数学原理简介.....	89
A2.1 聚类分析.....	89
A2.2 距离和相似系数.....	89
A2.3 八种系统聚类方法.....	95
附录 3 数据处理及相关模型.....	100
A3.1 指标的规范化与标准化处理.....	100
A3.2 指标的权重赋值.....	101
A3.3 综合评价模型.....	101
A3.4 耦合评价模型.....	102

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及意义

改革开放三十多年来，中国经济和工业化进程经历了迅猛发展，取得了举世瞩目的成就。但也带来了一系列亟需解决的突出问题和矛盾，如资源短缺、环境污染严重、气候恶劣、生态系统退化和破坏等问题已引起了相关政府决策部门和学者们的担忧（周江梅、翁伯琦，2012）。在此日益迫切而严峻的形势下，近年来中国政府将大力推进生态文明建设作为中国未来的国家发展战略。2007年10月，胡锦涛在十七大报告中正式提出了“建设生态文明，基本形成节约能源资源和保护生态环境的产业结构、增长方式、消费模式”。这是我们党首次把“生态文明”这一理念写进党的行动纲领。在此基础上，2012年11月，胡锦涛在十八大报告中将“生态文明”提到了更为显著和重要的位置，报告专辟一章“大力推进生态文明建设”，并把它列为国家发展战略。胡锦涛说：“建设生态文明，是关系人民福祉、关乎民族未来的长远大计。面对资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势，必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念，把生态文明建设放在突出地位，融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程，努力建设美丽中国，实现中华民族永续发展。”

作为我国改革开放的先行地区，广东省同样面临着建设“生态文明”的战略任务。在2008年12月17日，国务院常务会议审议并原则通过的《珠江三角洲地区改革发展规划纲要（2008-2020年）》中明确指出，着力构建现代产业体系，加快发展方式转变，率先建立资源节约型和环境友好型社会，是推动广东实现社会现代化的重要举措和战略目标。

综上所述，生态文明建设，不仅对我国实现科学发展、可持续发展也具有重要意义；而且也是广东努力成为发展中国特色社会主义的排头兵、深化改革开放的先行地、探索科学发展的实验区（即三个定位），在调结构、保增长、上水平，落实十大产业调整振兴规划中发挥重要的作用的重要基础。同时，也是广东为率先全面建成小康社会、率先基本实现社会主义现代化进程中面临的一个重大课题（即两个率先）。因此，在这样的大背景下，加强生态文明的研究，显得非常紧迫而重要。

1.2 国内外研究现状与评述

1.2.1 国内外研究现状

20世纪90年代以来，面对日趋严峻的生态危机，学界提出了生态文明的范畴，学

者们运用唯物辩证法、理论与实践相结合、规范分析与实证分析相结合等方法，对生态文明的概念、内涵、理论体系、方法方式、建设实践等进行了多角度、多层次的研究和论述。国内对生态文明的研究已有 20 多年，研究成果非常丰富，第一阶段主要是对生态文明的初步构想，此时鲜有全面系统的研究著作；第二阶段开始从不同学科层面进行具体阐释和构建，生态文明理论基础更加坚实，实践模式也更加丰富；第三阶段，党的十七大提出生态文明的执政理念后，我国生态文明建设进入全局性整体推进阶段，学界对生态文明的研究更加深入，理论视野也更加开阔，在生态文明建设方面取得很大进展。目前国内外关于生态文明建设的研究主要集中于生态文明的内涵和本质特征、生态马克思主义与生态社会主义、生态文明观、生态文明制度、生态文明与消费方式、生态文明指标体系、生态环境的恢复治理和保护，以及生态文明建设等八个方面上。

1. “生态文明”的概念内涵与本质特征

(1) **生态文明的概念内涵。**“生态”一词源于古希腊语，最早的意思是房屋、家庭，19 世纪中叶以来被赋予了现代科学意义，主要指生物之间以及生物与环境之间的相互关系与存在状态。“文明”是人类文化发展的成果，现在主要是从两个角度来理解的：一是从时间来看，文明具有阶段性，随着人类的发展，反映人类进步状态的文明也一同发展，显现出不同的发展阶段和水平，如农业文明、工业文明就是这种含义的文明；二是从要素来看，不论在哪一个阶段或哪一个地域，构成文明有机系统的基本要素都是相同的，如物质文明、精神文明、政治文明就是这种含义的文明。

国内学术界对生态文明概念的界定，同样是从文明的两个角度来理解的：

从时间的角度来界定生态文明内涵。如北京大学徐春教授（2004）认为“生态文明是在工业文明已经取得的成果基础上用更文明的态度对待自然，不野蛮开发，不粗暴对待大自然，努力改善和优化人与自然的关系。”厦门大学卓越教授（2007）认为“生态文明是继原始文明、农业文明、工业文明之后人类社会发展的一个新的文明形态，意味着人类在处理人与自然的关系方面达到了一个更高的文明程度。”学者们认为人类社会先后经历了原始文明、农业文明、工业文明三个文明形态，生态文明是人类社会发展的一个新的文明形态。生态文明是一种依靠自然、利用自然而又特别注重保护自然的新文明形态,是对原始文明、农业文明和工业文明的超越，它主张人类要尊重自然，要与自然和谐相处。

从要素的角度来界定生态文明内涵。如中国地质大学的尹成勇（2006）认为“生态文明即生态环境文明，是指人们在改造客观物质世界的同时，不断克服改造过程中的负

面效应，积极改善人与自然、人与人的关系，建设有序的生态运行机制和良好的生态环境所取得的物质、精神、制度方面成果的总和。”中国人民大学的张云飞教授（2006）认为“按照唯物史观的社会结构理论，生态文明是一种与物质文明、政治文明和精神文明并列的文明形式，四者共同构成了社会的文明系统。”

目前国内学者在谈生态文明时，主要还是从时间的角度来界定的，即把生态文明看作是继工业文明之后的更进步的新文明，是与原始文明、农业文明、工业文明前后相继的社会整体状态的文明。但从我国实际出发，对生态文明内涵的科学把握，还要求我们与物质文明、精神文明、政治文明这“三大文明”联系起来进行考虑，深入了解它们之间的内在联系及文明演进的基本规律。

(2) 生态文明的本质特征。《光明日报》在2004年4月30日刊登的《论生态文明》一文中指出：“生态文明包含三个重要特征：较高的环保意识，可持续发展的经济发展模式，更加公正合理的社会制度。”丁开杰（2006）把生态文明的特征概括为独立性、整体性、相对性、反思性和过程性，即生态文明是独立于物质文明、精神文明和政治文明的，人们要从自然的整体性出发把握人与自然、人与人的关系，生态文明是相对于物质文明、精神文明和政治文明的一种新型的文明形态，生态文明是人类面临生态危机后对人与自然关系进行反思而提出的，生态文明建设是一个持续不断的过程。

本课题认为生态文明作为一种全新的文明形态构想，其特征应该从伦理价值观、生产方式、生活方式以及社会系统结构四个方面来考虑。第一，在伦理价值观上，树立人和自然的平等观。对自然的价值有明确的认识，不仅人有价值，自然也有价值；不仅人有主动性，自然也有主动性；不仅人依靠自然，所有生命都依靠自然。把人类与自然环境的共同发展放在首位，将生态价值与社会价值、经济价值统一起来。第二，在生产方式上，树立可持续发展的经济发展模式。追求经济社会与环境的协调发展而不是单纯的经济增长，转变高生产、高消费、高污染的工业化生产方式，以生态技术为基础实现社会物质生产的生态化，使生态产业在产业结构中居于主导地位，成为经济增长的主要源泉。第三，在生活方式上，树立健康、适度消费的生活观。人们的追求应不再是对物质财富的过度享受，而是一种既满足自身需要又不损害自然生态的生活，人类改造自然要以不损害自然生态的整体稳定和其他生物物种的生存为前提。要使绿色消费、文明消费成为人类生活的新目标，新时尚，从而使人过上真正的全面符合人类本性及其社会道德的生活。第四，在社会系统结构上，建立更加公正合理的社会制度。实现更为高度的民主，强调社会正义，并保障多样性。表现必须更加自觉地把全面协调可持续作为深入贯彻落实科

学发展的基本要求，全面落实经济建设、政治建设、文化建设、社会建设、生态文明建设“五位一体”总体布局，促进现代化建设各方面相协调，促进生产关系与生产力、上层建筑与经济基础相协调，不断开拓生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路。

2. 生态马克思主义与生态社会主义

近年来，国内学界对生态马克思主义和生态社会主义的产生、发展，主要代表观点，先进性和历史局限性以及这两种思潮对我国生态文明建设的启示进行了分析和探讨。

基于对两者的研究，学者们提出以下建议：首先，生态马克思主义者提出的异化消费现象也出现在中国，要树立正确的价值观和发展观，以马克思主义的发展观来约束自己（杜新蓉，2011）。而生态社会主义者认为，社会主义的内在本质要求它必须领导全世界从工业文明向新型文明伟大转型，这个新型的文明就是社会主义生态文明（田鹏，2007）。

其次，生态马克思主义者倡导要着眼于改革社会制度和人与人之间关系的角度来解决生态问题，而不是仅仅从技术的、人与自然关系的层面对待这个问题。因此，要借鉴生态马克思主义理论，加强中国生态文明建设过程中的制度建设，建立人们分配和使用生态资源中的物质利益关系的合理机制（赵海月等，2011）。生态社会主义者提出建立正义的稳态发展的社会，这对我国当前建设社会主义市场经济体制也有一些帮助（柳红霞，2004）。最后，必须要加强社会主义生态文明思想的指导，解决人们对于生存意义、幸福含义和消费观念的正确理解，建立一种与生态文明建设相符合的观念形态、生存方式（赵海月等，2011）。

3. 生态文明观

从人类中心主义到生态中心主义再到生态整体主义，人们对生态文明的认识更加深刻。生态中心主义也称泛生态主义，是对人类中心主义反思的产物，由于其坚持生态至上论，主张为了保护生态环境必须停止经济增长，其实质也是自然中心主义。而生态整体主义既反对工业文明的人类中心主义，又反对倒退到原始文明和农业文明初期的自然中心主义。因此，在实践中，应以生态整体主义为指导思想。十七大报告提出生态文明观念在全社会牢固树立，对于生态文明观，存在三种观点：生态文明是一种文化伦理形态，这是从单纯的文化角度出发；生态文明是相对于物质文明、精神文明和政治文明而言的一种类的文明形式；生态文明是相对于原始文明、农业文明和工业文明而言的一种社会文明形态。从生态文明的发展阶段来看，必然要从类的文明形态发展到社会文明形态。

4. 生态文明制度

以制度的形式将生态文明的体制机制确立下来并加以实施是生态文明建设的有效保证。首先我国要建立经济社会发展与生态环境保护综合决策机制，把环境保护和建设规划纳入各级政府经济和社会发展的长远规划和年度计划（刘国军，2008）。具体从以下四方面完善立法：第一，把“生态文明、环境权”写入宪法，确立生态文明的宪法地位；第二，调整环境法的基本原则，倡导人口与生态相适应，经济与生态相适应，把生态建设放在重要位置上；第三，将《环境保护法》修改为《资源环境保护法》，增加自然生态保护方面的内容；第四，在各种经济立法中突出生态环保型经济的内涵，使经济发展与生态文明的协调发展在经济法中得到充分体现（何熙，2008）。此外，各地应根据实际情况，及时调整和纠正不符合发展循环经济和保护环境的要求的规章和制度，确保将环境保护的理念贯穿于整个法律体系制定以及执行过程（李秀艳，2008）。

5. 生态文明与消费方式

消费是生活方式的重要内容和主要反映，是事关自然-人-社会复合生态系统生死存亡的最基本、最重要的问题。纵观人类现有的资源、环境和健康问题，无一不与工业文明的消费观念、消费内容和消费方式有关。因此，转变工业文明的生活方式为生态文明的生活方式迫在眉睫。建立生态文明生活方式就是要确立生态文明的消费观及其模式。第一，建立“以人为本”的消费观和全面发展的消费模式。第二，建立资源节约环境友好的消费观和绿色消费模式。第三，建立和谐消费观与公平消费模式（廖福霖，2009）。应该认识到，适度消费是一种综合型的消费，它提倡人们降低物质需求，形成正确的幸福观念，主张人们追求更高层次的精神消费（时继锋，2010）。此外，还应消除与生态文明的构建相背离的异化消费倾向，把自然的承载力纳入经济学研究的视野，探索更具一般意义的生产、消费和自然的一般均衡的实现过程（纪玉山，2008）。

6. 生态文明指标体系

生态文明建设是一个复杂的过程，需要有一套科学的指标体系来指导和评估规划方案和项目实施的效果。一些学者建议采用绿色 GDP 指标，即在 GDP 的基础上扣减资源环境成本，得到经过资源环境因素调整的 GDP（牛勇平，2011）。一些学者认为，在指标选取的过程中要遵循三个原则：坚持科学性和客观性；遵循典型性与代表性；坚持可操作性。根据以上原则，从自然本底、生态文明生产、生态文明消费、生态文明社会形成机制四个大方面，资源支撑、环境质量、绿色经济与生态化技术等 11 个层次选取人均土地资源量、人均森林资源量、人均生态用水、人均公共用地等 56 个指标形成生态

文明发展指标体系（廖福霖，2010）。一些学者指出生态文明指标既是衡量环境质量、测评被污染和被破坏程度的尺度，也是制定污染排放物标准的依据（梁文森，2009）。除此之外，现有生态文明指标体系对于社会进步的指标设计太少，基本为定性指标或参考性指标，而且考核大而统，缺乏可比性、可操作性（杜宇、刘俊昌，2009）。

7. 生态恢复与建设、环境治理与保护

生态环境与人们的生产、生活息息相关。在生态文明研究的早期，多数学者在森林、河流、沙漠、高原及海滩等的生态保护和建设方面给予了翔实的介绍。随着研究视角的转换，对生态环境保护的道德调适、制度供给、生态恢复与建设的新途径以及我国生态治理模式的研究成果开始丰富起来。

姬振海（2007）主张通过生态扶贫、建立生态补偿机制、实行以生态功能恢复为主等途径来促进环境治理与保护。陈寿朋和杨立新（2006）认为，生态环境问题主要是人类自身的行为失范所造成的，解决生态问题不仅要靠科技的、经济的、法律和行政的手段，而且要靠道德的手段。廖福霖（2010）认为，环境保护是人类社会绿色文明意识的体现，本身具有精神文明的属性。从生态建设上看，环境治理和保护是生态文明建设的题中应有之义。廖教授提倡以生态文明经济的视野审视生态恢复与建设，把对环境影响最直接最重要的主体确定为地方政府、企业与居民，并提出了在环境治理与保护中实现“三大效益”相统一和最优化的具体措施（廖福霖，2010）。洪富艳（2011）主张构建“政府主导—利益相关者参与治理”的模式，以期在这种模式下，既保证政府在生态治理中的重要作用，提高生态治理效率，同时又调动多元利益主体参与生态环境治理，为生态环境的改善创造条件。

8. 生态文明建设

生态文明建设是一项系统的复杂的工作，需要从各个方面、各个环节上努力。作为国内探索性研究著作，廖福霖（2001）的《生态文明建设理论与实践》系统、全面地探讨了生态文明建设的理论体系和实践途径，对国内生态文明建设起到开拓性作用。在理论体系构建方面，廖教授以生态文明为核心，有力地阐述了生态文明的内涵、建设目标和内容，生态安全观、生态生产力观、生态文明哲学观等。同时，还运用多学科知识和多种研究方法，从理论和实证分析的角度总结生态文明建设的实践，具体到城市、乡村、森林以及江河流域的生态建设，环境治理与保护，人口与生态文明建设，生态道德建设等方面。廖福霖（2010）将生态文明建设归纳为五个子系统的综合建设：其一，生态文明观在全社会牢固树立；其二，生态生产力的发展；其三，生态文明消费观及其模式的

确立；其四，生态系统的恢复与建设，环境的治理与保护；其五，生态文明建设机制的确立和实施。此外，归纳其他学者对生态文明建设的研究，可以看出其成果主要集中在以下几方面，即树立生态文明观、加强生态文化建设；加大政策推动力度、重视生态行政建设；转变经济发展方式、深化生态产业建设；倡导健康的消费方式；建立生态文明建设评价指标体系；健全生态法制等。

1.2.2 对现有研究的简要评价

从上述文献可以看出，生态文明是一个以经济学为主，多学科交叉的新的学术领域。我国学者基于自己的学术背景，从不同方面对生态文明进行探讨，形成了多层次多角度的研究。现有的研究主要集中在生态文明的概念内涵与本质特征、生态文明的消费方式和制度建设上，这些研究比较分散，比较宏观，很多还停留在问题的表面，同时又缺乏多学科、多视角的综合研究，所建立的评价指标体系也没有深入地体现十八大提出的社会经济发展“五位一体”的总体战略的要求，且对实证的研究过于宽泛。这就使得现有的研究大都停留在社会呼吁层面上，而生态文明建设到底该怎样走？其城市化战略和工业化战略究竟怎样实施？消费方式变革与传统消费方式有什么样的不同？如果说生态文明建设要求产业结构升级和经济增长方式的转变，那么产业结构调整方向是什么？该布局什么样的生态化产业？出台什么样的生态文明建设政策和制度？等等，这一系列的问题都急需学界、行业和政府部门同心协力来商讨和研究。正如党的十八大明确提出加强生态文明制度建设的要求：“要把资源消耗、环境损害、生态效益纳入经济社会发展评价体系，建立体现生态文明要求的目标体系考核办法、奖惩机制。”

具体来说，要真正建成生态文明社会，一方面，在理论上，必须明确“生态文明”内涵、外延、特征，“生态文明”建设的基本要求、影响因素和主要途径，解决什么是“生态文明”、怎样建设“生态文明”的基本理论问题。但是，目前理论界对这些问题研究刚刚起步，远远没有形成正确系统的理论，更没有达成共识。另一方面，明确了什么是“生态文明”，还需要提出合理的综合评价指标体系，才能准确衡量一个社会是不是“生态文明”或者“生态文明”建设的进展情况，这样才有助于相关的决策部门克服决策缺少依据，执行缺乏方向，考核无标准的实践问题。

1.3 研究目标与内容

1.3.1 研究目标

本课题的总体研究目标是在理解“生态文明”本质内涵基础上，从理论上构建“生态文明”综合指标体系，并对广州市“生态文明”进程进行综合评价，为广州市“生态文明”建设提供政策建议。分目标包括：

- (1) 厘清“生态文明”的本质内涵，从理论上构建广州“生态文明”综合指标体系；
- (2) 对广州市“生态文明”进程进行综合评价，以明确当前广州市“生态文明”建设的状况。
- (3) 针对广州“生态文明”建设状况，提出相应的政策建议。

1.3.2 研究内容

根据本课题的研究目标，本课题研究的主要内容，包括：“生态文明”综合监测评价指标体系的理论研究，及对广州市“生态文明”的状况进行评价的应用研究两部分。

第一部分：“生态文明”综合监测评价指标体系的理论研究。研究内容包括：

(1) 明确“生态文明”本质内涵。生态文明是“以资源环境承载力为基础、以自然规律为准则、以可持续发展为目标”的文明形态^[13]，其可持续性体现在经济建设、政治建设、文化建设、社会建设和制度建设等“五位一体”总体布局的相互协调发展。

(2) 提出“生态文明”综合监测评价指标体系。在建立“生态文明”综合监测评价指标体系的理论时，回答五个基本问题：

①评价什么？即生态文明建设的目标体系；②使用什么理论的视角去评价？即生态文明建设目标体系对应的具体内容的确定；③从哪些方面去评价？与内容密切相关的指标选择；④使用什么方法评价？⑤数据的来源如何？

第二部分：广州“生态文明”程度的综合监测评价的应用研究。研究内容包括：

在上述综合监测评价体系的基础上，使用广州市统计数据和广东省统计数据等观察广州市“生态文明”的建设状况和未来发展趋势，据此提出广州建设“生态文明”的对策建议和主要途径。具体而言包括如下四项内容：

(1) 综合监测广州市在经济、社会、文化、制度、环境等方面的基本情况和“生态文明”的建设程度；

(2) 通过各级指标的各年对比分析，可以反映广州市在综合层面和各个具体层面

上的动态发展趋势。

(3) 通过上述指标，对广州市与广东省其他地级市地区在各个层次或者具体方面的“生态文明”建设水平进行对比分析，考察它们在“生态文明”建设程度的发展差异。

(4) 在上述分析结果的基础上，提出广州建设“生态文明”的对策建议和主要途径。比如，生态文明到底该怎样建设？其城市化战略和工业化战略究竟怎样实施？消费方式变革与传统消费方式有什么样的不同？如果生态文明建设要求产业结构升级和经济增长方式的转变，那么产业结构调整方向是什么？该出台什么样的生态环境的制度和政策？等等。

1.4 研究思路与方法

1.4.1 研究思路

本课题的研究思路如下图 1-1 所示。

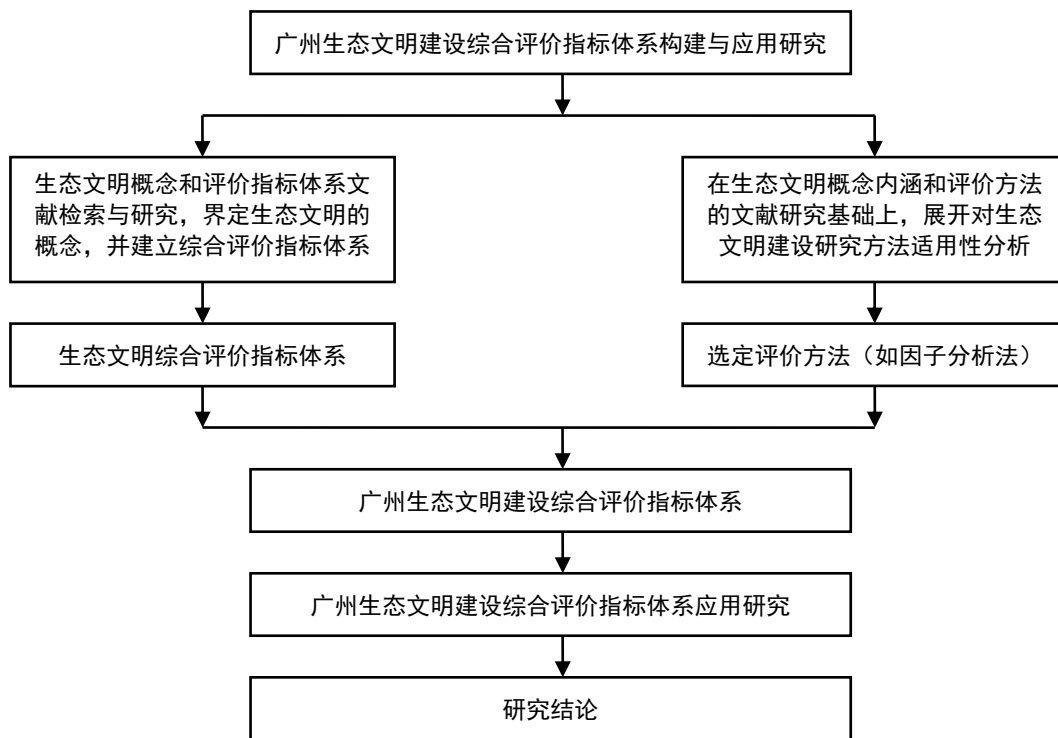


图 1-1 本课题的研究思路

1.4.2 研究方法

本课题包括规范研究与实证研究两部分，因而，研究方法也包括规范研究方法 with 实证研究技术。

在规范研究方面,本研究需要回答什么是“生态文明”?怎样监测“生态文明”建设的发展状况?以及应该采用什么政策来促进广州市的“生态文明”建设?对第二个问题,本研究将采用系统分析和文献研究相结合的方法,提出“生态文明”的综合评价指标体系。对于第一、三问题,本研究主要采用文献研究方法进行。

在实证研究方面,本研究需要对广州市“生态文明”发展状况做出评价;并指出影响广州市“生态文明”发展和提升的主要影响因素和主要途径。前者,本研究拟采用多元统计分析技术(如因子分析法);后者,采用多元回归分析和因子分析方法。

1.5 本项目的创新点

本研究主要观点与创新,主要体现在对“生态文明”的本质内涵、指标体系的构建及其在广州市“生态文明”建设的综合评价的应用三个方面。

1. “生态文明”的本质内涵

有关“生态文明”的定义,目前学术界尚未有统一的界定,学者根据各自的研究目的和需要,提出了生态文明的定义,目前学术界主要存在两种观点,即“类型说”和“要素说”,其内涵与特征存在区别(表1)

表1 “类型说”和“要素说”在内涵和特征上的关系

	类型说	要素说
内涵	文明演进到高级阶段	任何社会都存在的生态维度
时间上	阶段性:后现代指向	普遍性:贯穿文明始终
内容上	整体性与系统性	局部性和还原性
价值上	时代进步性	基础性, 是任何文明存续的基础

资料来源:根据巩固和孔曙光(2014)的研究整理。

具体而言,“类型说”是从历史分期角度把生态文明界定为文明演进到高级阶段的一种类型,具有一定的历史发展演进轨迹,即从原始文明、农耕文明、工业文明到生态文明演进过程。其特征包括:一是时间上的阶段性,是人类文明的新形态,具有后工业或后现代的指向;二是内容上更为整体;三是价值上的进步性。“要素说”认为生态文明是任何社会都存在的生态维度,是任何人类社会存在的基础和前提,也是人类社会必须具有的结构维度。其特征包括:时间上的普遍性,贯穿所有文明始终;内容上的局部性,强调社会结构中生态直接联系的那部分;价值上的基础性,是任何文明得以存续的基础。

我们采纳生态文明的“要素说”的观点，一方面是“要素说”符合我们研究的目标，但更为重要的是，它相对于“类型说”具有三个突出的优点：一是在理念上，目前并不缺乏对生态文明理念的把握，缺乏的是将生态文明整体内涵和建设方向进行细分、可操作化，以在实践中落实，为了响应十八大号召，我们强调“经济-社会-环境-文化-制度”五位一体协同发展的生态文明理念；二是时间上的普遍性，便于对不同区域的横向比较，并且时间上的连续性，也便于对同一区域进行纵向追踪分析；三是内容上除了整体性之外，还有分解和还原，这便于政府和相关的决策部门进行可操作化，因为理论终将还是要为实践服务的。

综上所述，我们认为生态文明是“以资源环境承载力为基础、以自然规律为准则、以可持续发展为目标”的文明形态，其可持续性体现在经济建设、政治建设、文化建设、社会建设和制度建设等“五位一体”总体布局的相互协调发展之中。

2. “生态文明”建设的综合评价指标体系构建

明确了什么是“生态文明”，还需要提出合理的评价指标体系，才能准确衡量一个社会是不是“生态文明”或者“生态文明”建设的进展情况。传统的经济增长评价指标侧重于经济规模、速度和效益，如 GDP 总量、增长速度、人均 GDP、固定资产投资、投入产出比、对外贸易额、就业人口、人均收入等等。虽然这些经济指标可以部分反映一国经济发展状况，但经济增长带来的日益严重的经济、社会、人文、民生和资源、环境等各个领域中的问题，却不能从上述经济指标中得到充分反映，不可能用这些指标去衡量“生态文明”社会状况。如同对传统 GDP 指标的批评一样，越来越多的人对现有经济增长的评价指标体系也提出了质疑。

建设“生态文明”，就是要解决经济增长中的经济、社会、人文、民生和资源、环境等各个领域中的问题，实现经济社会的可持续发展。因此，需要建立一套新的评价指标，用以衡量“生态文明”建设的状况，同时也就能全面客观地评价整个经济社会的发展。这套新的评价指标体系，既要反映经济社会发展的规模、速度、水平，更要反映社会在社会、人文、民生和资源、环境等方面的现状、努力程度和发展潜力；既要反映经济社会发展各个方面的实际状况，也要反映相对状况；既要反映静态情况，更要反映动态发展。整个指标体系必须遵循客观性、可行性、综合性、动态性、简明性和合理性的原则；并能较为全面准确地衡量经济社会发展中的“生态文明”建设和发展状况。

“生态文明”建设的指标体系，主要反映某一国家或地区经济社会发展与资源环境协调的程度。同时，由于“生态文明”涉及经济社会发展的生产、消费、人口、资源、环境

等各个方面，因此，评价指标也应该全面反映这些情况；又由于“生态文明”涉及的因素太多，评价指标不可能面面俱到、无所不包。基于上述考虑，我们提出一套简明扼要的“生态文明”建设评价指标体系。该指标体系分为四个层次：第一层次为目标层，主要通过各级指标加权得出某一国家或地区的“生态文明”建设程度；第二层次为准则层，包括“生态经济文明指数”、“生态社会文明指数”、“生态资源与环境文明指数”“生态文化文明指数”和“生态制度文明指数”五个方面，分别反映生态文明在经济、社会、资源与环境、文化和制度等五个方面的状况；第三层次为基本指标，分别从不同角度继续划分生态文明在经济、社会、资源与环境、文化和制度等方面的指标，第四层次为第三层次的具体衡量指标。该指标体系由47个既相互联系又相互独立并能进行量化的指标构成，从而保证了该指标体系是一个有机整体。具有一定科学性和完备性的评价指标，能比较准确地量化生态文明建设程度。

3. 广州市“生态文明”建设状况综合评价的应用研究

本课题对广州市“生态文明”建设的状况进行综合监测，在应用方面具有一定的创新性。通过各级指标的指数化处理后，可以得到一个一级指标，该指标可以综合反映广州市在“生态文明”建设方面的基本情况和总体的“生态文明”建设程度。这样，我们既可以考察了广州市的“生态文明”建设程度，也可以通过二级指标具体分析广州市在“生态经济-文化-环境-社会-制度文明”等五个方面中的某一方面的情况。此外，通过各级指标的各年对比分析，可以反映广州市在综合层面和各个具体层面上的动态发展趋势。

另外，通过上述指标，还可以对广州市与广东省内其它地级市的各个层次或者具体方面的“生态文明”建设水平进行对比分析，考察它们在“生态文明”建设程度上的发展空间分异。

1.6 本章小结

本章主要阐述了本课题的研究背景与意义、国内外研究现状、研究目标与内容、研究思路与方法，以及本项目的创新点。

第 2 章 生态文明的理论基础

“生态文明”模式实际上并不是直接出现的，而是由最开始的可持续发展模式慢慢演变，继而发展到循环经济发展模式，然后到低碳经济发展模式，再结合中国的资源节约型社会和社会主义科学发展观才形成“生态文明”模式。因此“生态文明”是以可持续发展理论、循环经济理论、低碳经济理论为理论基础的。

2.1 可持续发展理论

2.1.1 可持续发展理论的定义

可持续发展这一概念最早是 1972 年在斯德哥尔摩举行的联合国人类环境研讨会上正式提出的。全球的工业化和发展中国家的代表出席了此次会议，他们共同界定了人类在缔造一个健康而富有生机的环境上所应享有的权利。而后，“可持续发展”的含意在世界范围内被广泛地研究界定，现时已界定的定义已有几百个，涵盖范围包括国际、区域、地方及特定界别的层面，同时它也是我国科学发展观的基本要求之一。最被广泛认同的定义，是 1997 年由世界环境与发展委员会所出版的《我们共同的未来》报告中所界定的定义，即可持续发展是既满足当代人的需求，又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展称为可持续发展。也就是说经济、社会、资源和环境保护应协调发展，既要达到发展经济的目的，又要保护好人类赖以生存的大气、淡水、海洋、土地和森林等自然资源和环境，使子孙后代能够永续发展和安居乐业（世界环境与发展委员会，1997）。另外科学地理解可持续发展定义还需要特别注意可持续发展与环境保护既有联系，又不等同。环境保护是实现可持续发展的一个重要方面。可持续发展的前提和核心是发展，但它要求在严格控制人口、提高人口素质和保护自然资源环境永续利用的基础上进行经济和社会的发展。

2.1.2 可持续发展理论的内容

可持续发展理论的内容包括可持续经济、可持续生态和可持续社会三方面，它要求人类在发展中不仅要讲究经济效率、而且还要保护生态平衡和追求社会和谐，最终达到人类社会的全面可持续发展。这说明，可持续发展作为一个指导人类走向 21 世纪的发展理论，虽然缘起于环境保护问题，但它已经超越了单纯的环境保护。它将环境问题与发展问题有机结合起来，成为一个有关经济、生态和社会共同发展的全面性战略。具体

来讲：

1. **经济可持续发展**。可持续发展并不是要以环境保护为名取消经济增长，相反它鼓励经济增长，因为经济规模的增长是国家实力和社会财富的基础。但可持续发展不仅重视经济增长的数量，而且更追求经济增长的质量。可持续发展要求用清洁的生产模式和文明的消费模式，来替代以“高投入、高消耗、高污染”为特征的传统生产模式和消费模式，从而达到提高经济效益、节约自然资源和减少环境污染的目的。在一定程度上，集约型的经济增长方式就是经济可持续发展的体现。

2. **生态可持续发展**。可持续发展要求社会经济的发展要与自然承载能力相协调。发展的同时必须加强保护和改善自然生态环境，保证以可持续的方式利用自然环境资源，使人类社会的发展控制在自然环境的承载能力之内。因此，可持续发展所提倡的发展是有限制的发展，如果没有发展的限制也就没有发展的持续。另外，生态可持续发展不倡导以往将环境保护与社会经济发展相对立的做法，而是提倡通过转变社会经济发展模式，从人类发展的源头、从根本上解决生态环境问题。

3. **社会可持续发展**。可持续发展强调社会和谐是实现节约自然资源和保护生态环境的机制和目标。可持续发展认为虽然世界各国的发展阶段可以不同，发展的具体目标也可以不同，但发展的本质都应包括改善人类生活质量，提高人类健康水平等内容，从而创造一个保障人类平等、教育、自由、人权和免受暴力的和谐社会环境。因此，在可持续发展系统中，经济可持续发展是基础，生态可持续发展是条件，社会可持续发展是最终目的，人类应该共同追求以人为本的自然-经济-社会复合系统的持续、健康、稳定的发展。

2.1.3 可持续发展理论的原则

可持续发展是一种新的人类生存发展模式。这种生存发展模式不但要求体现在以节约资源和保护环境为主的环境生活领域中，更要求体现到作为发展源头和根本的社会经济生活中去。实施可持续发展战略必须遵循以下三项基本原则：

(1) **公平性原则**。指机会选择的平等性，具有三方面的含义：一是指同代人之间的横向公平性，二是指不同代人之间的纵向公平性，三是指人与自然，与其他生物之间的公平性。可持续发展与传统发展的根本区别就在于可持续发展不仅要求实现当代人之间的公平，而且也要求实现各代人之间以及人与其他生物之间的公平，要求任何一代都不能处于支配地位，即各代人都有同样选择的机会空间。

(2) **可持续性原则**。指生态系统受到某种干扰时能保持其自身生产率的能力。资源的持续利用和生态系统的可持续性保持是人类社会可持续发展的前提条件。可持续发展要求人类根据可持续性的条件调整自身的生活方式，在生态环境的承载能力内确定自身的消耗标准。

(3) **共同性原则**。指可持续发展作为全世界人类发展的总目标，所体现的公平性原则和持续性原则，是应该被共同遵循的。要实现可持续发展的总目标，就必须采取全人类的共同行动。从根本上讲，贯彻实施可持续发展就是要促进人类之间以及人类与自然之间的和谐共处。如果全人类都能真诚地按“共同性原则”办事，那么人类内部及人与自然之间就能长久保持互惠共生的关系，从而实现可持续发展。

2.2 循环经济理论

2.2.1 循环经济理论的定义

循环经济最早是美国经济学家 Boulding 在 20 世纪 60 年代受当时发射的宇宙飞船的启发提出的。他认为飞船是一个封闭独立系统，靠不断消耗自身资源存在，最终它将因资源的耗尽而毁灭。而惟一能使其寿命得到延长的方法就是，使飞船内部的资源循环起来，让资源得到充分的利用，尽可能少地排出废物。类似地，整个地球系统也如同一艘放大的宇宙飞船，只有实现循环经济，使其内部资源循环高效地利用，地球才能得以长存。循环经济经过 30 年的发展，到 20 世纪 90 年代，已经形成了一套以资源循环利用、避免废物产生为特征的，结合清洁生产、绿色消费、废弃物再生利用 and 环境保护于一体系统的经济理论。

循环经济，即物质闭环流动型经济，是指在人、自然资源和科学技术的大系统内，在资源投入、企业生产、产品消费及其废弃的全过程中，把传统的依赖资源消耗的线形增长的经济，转变为依靠生态型资源循环来发展的经济。循环经济的实质就是一种生态经济，它要求按照清洁，无污染的方式进行生产和消费，对资源及其产生的废弃物加以综合利用，形成“资源-产品-再生资源”模式的生产和消费过程，其特征是低开采，高利用，低排放。

循环经济在发展理念上就是要改变重开发、轻节约，片面追求 GDP 增长；重速度、轻效益；重外延扩张、轻内涵提高的传统的经济发展模式。GDP 的增长可归结为两种不同的效应：一种是由各种生产要素投入增加所产生的产出效应，另一种则是投入要素生产率提高的产出效应。要素的增加等十粗放外延方式，要素生产率的提高则与集约内涵

方式相当。它们之间的区别在于前者基本是一种数量扩张型的增长，而后者则为一种质量效益型。循环经济相对于非循环经济，更体现了质量效益增长的特点，而不是在简单的扩大生产规模、耗费资源线性方式增加 GDP，是对“大量生产、大量消费、大量废弃”的传统增长模式的根本变革。循环经济把传统的依赖资源消耗的线形增长的经济，转变为依靠生态型资源循环来发展的经济。既是一种新的经济增长方式，也是一种新的污染治理模式，同时又是经济发展、资源节约与环境保护的一体化战略。

2.2.2 循环经济理论的主要特征

循环经济作为一种全新的经济发展模式，一种科学的发展观，其具有以下五个主要特征：

(1) **新的系统观。**循环经济系统是由人类、科学技术和自然资源等要素构成的一个大系统。循环经济观要求人类在进行生产和消费活动时不能把自身置于这个大系统之外，而要把自己也作为这个大系统的一部分来研究符合客观规律的经济原则。要对物质转化的全过程采取综合性、战略性、预防性的措施，尽量避免人类社会经济活动对资源环境的过度使用，使人类经济社会的循环与自然生态环境的循环和谐地融合在一起，从而实现区域内能量流、物质流、资金流的系统优化配置。

(2) **新的经济观。**在传统工业经济的各生产要素中，资本和劳动力在循环，而自然资源却没有形成循环。而循环经济观要求运用生态学和生态经济学的规律来指导社会经济生产活动，要求在社会经济生产中不但要考虑工程的承载能力，还要考虑自然生态系统的承载能力，超过自然生态承载力的循环是恶性循环，会对生态系统造成严重破坏。只有在自然生态系统承载能力之内的良性循环，才能使生态系统持续平衡地发展。

(3) **新的价值观。**循环经济观在对待自然时，不仅要视其为供人类使用的资源，而且还要将其视为人类赖以生存的基础，是需要维持良性循环的生态系统；在进行科技创新时，不仅要考虑到其对自然的开发利用能力，而且还要充分考虑到其对生态系统的修复和改善能力，使之成为有益于环境的科技；在考虑人类自身发展时，不仅要考虑人类对自然的改造利用能力，而且还要更重视人类与自然和谐共处的能力，促进人类的全面发展。

(4) **新的生产观。**循环经济观要求彻底改变以最大限度开发利用自然资源，最大限度获取利润，最大限度创造社会财富为目的的传统工业经济的生产观，取而代之的是以充分考虑自然生态系统的承载能力，最大限度地节约资源，循环使用资源，尽可能地提

高资源利用效率，创造良性的可持续的社会财富为目的的循环经济的生产观。在生产过程中，循环经济生产观要求尽可能地利用可再生资源替代不可再生资源，利用高科技，以知识投入来替代物质投入，从而达到社会、经济与生态的协调发展，使人类在良好的环境中生产生活，真正提高人民的生活质量水平。

(5) **新的消费观。**循环经济观要求走出传统工业经济对自然资源最大限度利用和消费的误区，提倡对资源的适度消费、层次消费，在消费的同时就要考虑废弃物的再利用，建立良性的循环生产和消费观念。

2.3 低碳经济理论

2.3.1 低碳经济理论的定义

低碳经济最早是在 2003 年英国能源白皮书《我们能源的未来:创建低碳经济》中提出的。所谓低碳经济，是指在可持续发展理念指导下，通过技术创新、制度创新、产业转型、新能源开发等多种手段，尽可能地减少煤炭石油等高碳能源消耗，减少温室气体排放，达到社会经济发展与生态环境保护双赢的一种以低能耗、低排放、低污染为基础的经济发展模式。低碳经济的实质是解决清洁能源结构，提高能源利用效率和减少碳排放量的问题，其核心是能源制度创新、技术创新和人类生存发展观念的根本性转变。

发展低碳经济，需要改变以往先污染后治理、先低端后高端、先粗放后集约的发展模式，积极承担起环境保护责任，通过优化经济结构，提高能源利用效率，发展新兴工业和建设生态文明等途径，来实现社会经济和资源环境的协调发展。

2.3.2 低碳经济的基本特征

低碳经济是以低能耗、低排放和低污染为基础的经济模式，其基本特征表现在以下三个方面：

(1) **经济性。**指低碳经济的发展并不是让人们不消耗、不排放，而是在人民生活水平不断改善的基础上减少高能消耗，避免不必要的消耗，从而达到节约资源，减少排放的目的。即低碳经济既反对奢侈或能源浪费型的消费，又要求人民生活水平不断提高。

(2) **技术性。**指通过科技创新，提高资源的利用效率，降低二氧化碳等温室气体的排放强度，从而使得在消耗更少能源的条件下人们的生活水平不降低反而提高，而且所排放的温室气体更少。由此可以看出，低碳经济的技术性是经济性的重要保障和实现途径。

(3) **目标性**。发展低碳经济的目标应该是，尽可能地节能减排，将大气中温室气体的浓度保持在一个相对稳定的水平上，使其不会影响到人类的生存和发展，从而实现人与自然的和谐共处。

2.3.3 低碳经济的发展途径

在全球变暖对人类生活影响日益严重的情况下，发展低碳经济是解决人类社会可持续发展，实现经济增长，资源节约和环境友好的重要手段。发展低碳经济主要有以下三方面途径：

(1) **加强节能减排低碳观念的创新**。发展低碳经济，需要科学理解低碳经济的内涵本质，并结合地区经济发展和资源禀赋情况，加强教育宣传、科技创新，甚至战略规划。一方面加大教育宣传，鼓励人们改变过去高耗能的生活嗜好；另一方面出台相关政策法规，戒除掉以往高能耗、奢侈浪费的生产生活行为。

(2) **利用科技创新来推动产业升级和经济结构优化**。发展低碳经济，需要发挥科学技术的强力推动作用，一方面要鼓励企业的科技创新活动，利用科学技术来升级能耗高、物耗高、碳排放高的重化工业的生产方式或生产工艺，比如发展清洁能源，用可再生无污染的能源来替代不可再生污染大的能源；另一方面通过科技创新来发展低消耗、低排放的高新技术产业，如电子信息产业、文化创意产业和服务业等低碳产业，从而优化经济结构，实现低碳排放和经济良性发展。

(3) **植树造林，加快发展碳汇林业和农业**。碳汇主要是指森林吸收并储存二氧化碳的能力。有关研究表明，全世界每增加 1% 的森林覆盖率，可以减少大气中 0.6-7.1 亿吨碳。而且清洁发展机制下的造林碳汇项目，是《京都议定书》框架下发达国家和发展中国家之间在林业领域内的唯一合作机制。因此发展低碳经济，就需要通过土地利用调整和林业措施将大气温室气体储存于生物碳库，充分发挥、碳汇的潜力。

2.4 本章小结

本章概述了生态文明的理论基础，即可持续发展理论、循环经济理论和低碳经济理论，为后续第三章厘清生态文明的概念内涵和特征，构建生态文明监测综合指标体系，以及为选择生态文明指标体系的结构及其层次和具体指标内容，提供坚实的理论基础。

第3章 生态文明评价指标体系的构建与评价方法选择

3.1 生态文明概念内涵

有关“生态文明”的定义，目前学术界尚未有统一的界定，学者根据各自的研究目的和需要，提出了生态文明的定义，目前学术界主要存在两种观点，即“类型说”和“要素说”，其内涵与特征存在区别（表 3-1）

表 3-1 “类型说”和“要素说”在内涵和特征上的关系

	类型说	要素说
内涵	文明演进到高级阶段	任何社会都存在的生态维度
时间上	阶段性：后现代指向	普遍性：贯穿文明始终
内容上	整体性与系统性	局部性和还原性
价值上	时代进步性	基础性，是任何文明存续的基础

资料来源：根据巩固和孔曙光（2014）的研究整理。

具体而言，“类型说”是从历史分期角度把生态文明界定为文明演进到高级阶段的一种类型，具有一定的历史发展演进轨迹，即从原始文明、农耕文明、工业文明到生态文明演进过程。其特征包括：一是时间上的阶段性，是人类文明的新形态，具有后工业或后现代的指向；二是内容上更为整体；三是价值上的进步性。“要素说”认为生态文明是任何社会都存在的生态维度，是任何人类社会存在的基础和前提，也是人类社会必须具有的结构维度。其特征包括：时间上的普遍性，贯穿所有文明始终；内容上的局部性，强调社会结构中生态直接联系的那部分；价值上的基础性，是任何文明得以存续的基础。

我们采纳生态文明的“要素说”的观点，一方面是“要素说”符合我们研究的目标，但更为重要的是，它相对于“类型说”具有三个突出的优点：一是在理念上，目前并不缺乏对生态文明理念的把握，缺乏的是将生态文明整体内涵和建设方向进行细分、可操作化，以在实践中落实，为了响应十八大号召，我们强调“经济-社会-环境-文化-制度”五位一体协同发展的生态文明理念；二是时间上的普遍性，便于对不同区域的横向比较，并且时间上的连续性，也便于对同一区域进行纵向追踪分析；三是内容上除了整体性之外，还有分解和还原，这便于政府和相关的决策部门进行可操作化，因为理论终将还是要为实践服务的。

综上所述，我们认为生态文明是“以资源环境承载力为基础、以自然规律为准则、以可持续发展为目标”的文明形态，其可持续性体现在经济建设、政治建设、文化建设、社会建设和制度建设等“五位一体”总体布局的相互协调发展中。

3.2 生态文明综合评价指标体系的构建原则

建设生态文明，就是要解决经济发展中的资源消耗和环境污染问题，实现经济社会的可持续发展。因此，需要建立一套新的评价指标，用以衡量生态文明建设的状况，同时也能全面客观地评价整个经济社会的发展。这套新的评价指标体系，要反映经济社会发展的生产、消费、人口、资源、环境等各个方面。整个指标体系必须遵循科学性、客观性、可比性、系统性、层次性和可行性的原则；并能较为全面准确地衡量经济社会发展中的生态文明建设程度。

(1) 科学性原则。综合评价的科学性主要体现在评价目标的确定、评价指标体系的建立及各指标值的测定等关键环节上。为处理好这些环节，必须遵循系统观点，对评价对象做系统分析，包括评价对象的构成要素以及各构成要素之间的相互联系与作用，本研究采用因子分析法时需要注意这一点。

(2) 客观性原则。这一原则是综合评价的生命。评价的目的是为寻求系统真实的价值状态。离开了客观性，评价就失去了意义。评价指标体系应能够反映事物的主要特征，数据来源要客观、准确、公正、可靠，处理方法要科学、灵活，具体指标应该反映主要目标的实现程度。实现客观性的难点是对那些模糊的难以量化指标的处理，对此应切忌主观随意性。实现客观性的另一个难点是系统逻辑结构、层次及因果关系的正确分析，因为逻辑关系搞错了，就失去了真实性。本研究将在厘定生态文明本质内涵基础上，对其评价体系尽量选用客观指标，不用主观指标。

(3) 可比性原则。综合评价通常是对某个情况做横向比较分析，因此，评价目标、评价指标体系、评价模型、指标价值的测定，都要具备可比性、可测试性。一般而言，评价指标应尽量兼顾到相对指标和绝对指标，以相对指标为主。

(4) 系统性原则。系统总目标是对系统进行综合价值评价，以提示系统的状态和发展规律。作为一个区域系统来说，生态文明发展指标是由生态经济-社会-环境-文化-制度文明等五个方面构成，综合成一个完整的评价指标体系，用来测试和评价区域生态文明的整体水平和进度。

(5) 层次性原则。由于生态文明建设是一个有序整体，因此，必须设计一个层次

分明、逻辑严密的综合评价指标体系，该指标体系包括若干子系统，应在不同层次上采用不同的指标，有利于政府决策者在不同层次上对社会、经济的发展进行调控，对资源进行有效配置，对环境进行优化。

(6) **可行性原则**。在遵循系统性原则的基础上，综合评价体系的设计应坚持可操作性的原则，否则所构建的指标体系就无法进行操作。本课题中所采用的数据资料均具有可获得性，数据资料尽可能通过查阅统计年鉴和各种专业年鉴获得，或可通过现有统计年鉴经过计算获得。

3.3 生态文明评价指标体系的指标设置

“生态文明”建设的指标体系，主要反映某一国家或地区经济社会发展与资源环境协调的程度。同时，由于“生态文明”涉及经济社会发展的生产、消费、人口、资源、环境等各个方面，因此，评价指标也应该全面反映这些情况；又由于“生态文明”涉及的因素太多，评价指标不可能面面俱到、无所不包。基于上述考虑，我们提出一套简明扼要的“生态文明”建设评价指标体系。该指标体系分为四个层次：第一层次为目标层，主要通过各级指标加权得出某一国家或地区的“生态文明”建设程度；第二层次为准则层，包括“生态经济文明指数”、“生态社会文明指数”、“生态资源与环境文明指数”“生态文化文明指数”和“生态制度文明指数”五个方面，分别反映生态文明在经济、社会、资源与环境、文化和制度等五个方面的状况；第三层次为基本指标，分别从不同角度继续划分生态文明在经济、社会、资源与环境、文化和制度等方面的指标，第四层次为第三层次的具体衡量指标。整个指标体系如下表 3-2 所示。

表 3-2 “生态文明”综合监测评价指标体系

目标层	准则层	基本指标	具体指标
生态文明 建设 综合 指数	生态经济文明指数	经济发展	人均GDP
			人均绿色GDP
			绿色生产覆盖率
			农民人均纯收入
			城镇人均可支配收入
			非农业劳动力占总劳动力比重
			劳动力人均受教育年限
	产业结构调整	第三产业占绿色GDP的比重	
		产业结构调整幅度	
		科技进步贡献率	
	生态社会文明指数	人的全面发展	人居质量
生活质量			

			健康安全（食品与水、医疗等）
			绿色消费
			环境保护与资源节约意识
		公共品投资	人均基础设施建设投资
			普及教育、成人教育和技能培训投资
			健康保健医疗设备投资
	生态环境文明指数	资源利用效率	研发经费占绿色GDP比重
			自然资源对GDP贡献率
			单位GDP的资源消耗量
		生态环境安全	资源的重复利用率
			生态足迹
			生态承载能力
废物排放治理达标率			
生态系统恢复与建设		大气污染综合指数	
		水污染综合指数	
		森林覆盖率	
		水土流失治理率	
生态文化文明指数		文化教育	环保投入率
	环境综合治理指数		
	教育经费占绿色GDP比重		
	人均娱乐、文化消费占消费支出比例		
	环境教育普及率		
	受高等教育人数比例		
	生态环境质量	城市人均拥有公共图书量	
		公共文化设施免费开放程度	
		公众对环境的满意度	
		环保产品展社会总产品比例	
生态制度文明指数	制度保障	绿色产品占消费产品比例	
		居民对政府绿色行政满意度	
		万人环保律师数	
	制度管理	万人环保刑事案件立案率	
		重点行业清洁生产审核执行率	
		重点企业ISO14000认证率	
		环境管理能力标准化建设达标率	
		规划环境影响评价执行率	

对第二、三、四层次指标说明如下：

1. “生态经济文明”指数

推动经济发展是建设生态文明建设的核心与关键。这一指标首先分为两个三级指标，分别涉及经济发展指标和产业结构调整指标。

(1) 经济发展指标。主要包括以下6个具体指标：

① 人均GDP、人均绿色GDP。二者数值越高表明支撑“生态文明”建设的基础越坚

固。

② **绿色生产覆盖率**。绿色生产覆盖率越高越有利于生态文明整体建设。

③ **农民人均纯收入、城镇人均可支配收入**。收入水平越高，经济发展水平越高，生态文明建设越易推行。

④ **科技进步贡献率**。该指标反映科技转化为现实生产力的程度，随着经济发展方式转化，科技，尤其是绿色科技在“生态文明”科技推广与应用中应用将更为关键。

⑤ **非农业劳动力占总劳动力比重**。该比重越大，说明经济发展越好。

⑥ **劳动力受教育年限**。反映了生态文明建设推进顺利程度。

(2) 产业结构调整指标。主要包括以下3个具体指标：

① **产业结构调整幅度**。体现“生态文明建设”发展、产业结构升级组成状况，产业结构升级调整应朝向有利于低能源损耗的方向发展。

② **第三产业占绿色GDP比重**。该指标是生态文明建设中“节约资源能源”的重要体现。

③ **科技进步贡献率**。该指标是“生态文明建设”中借助科技推动产业结构调整的重要体现。

上述各层次指标可以通过设置的权重进行处理后得出量化的“生态经济文明”指数，通过对该指数的横向和纵向对比，就可以较为全面地反映社会在“生态经济文明”发展方面的状况、变化趋势和发展潜力。

2. “生态社会文明”指数

这一指标首先也分为两个三级指标，分别涉及人的全面发展和公共资源投资等指标，体现了生态文明建设中“以人为本”的重要思想。

(1) 人的全面发展指标。主要包括以下5个具体指标：

① **人居质量指标**。居民人均居住面积，家电环保率，居室装饰品环保率，家具环保率。人居质量指标越高，人的生存状态就越好，越能体现生态文明建设内涵。

② **生活质量指标（幸福指数）**。社会保障，基尼系数，生态城镇化率，就业率，人均预期寿命，恩格尔系数，人均消费性支出。生活质量高低反映了人们对目前社会满意程度，是人与人、人与社会和谐重要体现。

③ **健康安全指标**。人畜饮用水质达标率，食品安全率，农村洁净能源利用率，医疗保险率，药品、保健品安全率，传染疾病预防、医疗安全率，工农业产品、饮食品外包装安全环保率，婴幼儿用品安全率。该项指标高低是人们生存状态优劣的重要体现。

④ **绿色消费指标**。绿色消费覆盖率，生态旅游消费率。作为衡量生活消费方式转变的一个体现，同时也是对生态消费理念认同程度一个体现。

⑤ **环境保护和资源节约意识指标**。全社会对环境保护和资源节约观在生产与消费中理解程度，反映了人们对生态性生产消费和生态性生活消费认识程度。

(2) 公共品投资。主要包括以下4个具体指标：

① **人均基础设施建设投资**。基础设施建设如何直接关系到整个社会发展水平及人们生活水平高低。

② **普及教育、成人教育与技能培训投资/GDP**。直接关系到人们的受教育程度与掌握技能的水平，体现了人们对生态文明建设理解与掌握生态技术水平。

③ **健康保健医疗设备投资/GDP**。是医疗水平高低的一个标志，也是人与人、人与社会和谐发展一个重要体现。

④ **研发经费占绿色GDP的比重**。作为科技创新能力的一个标志，有利于提高人们的生活水平和改善生态环境。

对上述指标进行加权处理后，结合对各年情况的分析和横向对比分析，可以较为全面地刻画社会在“社会生态文明”方面的发展状况、发展趋势和发展潜力。

3. “生态环境文明”指数

这一指标首先也分为三个三级指标，分别涉及资源利用效率、生态环境安全和生态系统的恢复与建设等指标。

(1) **资源利用效率指标**。包括：自然资源对GDP贡献率，单位GDP的资源消耗量，资源的重复利用率。资源的利用效率高低表明资源节约利用程度，这是开展生态文明建设，发展“资源节约型、环境友好型”两型社会的重要体现。

(2) **生态环境安全指标**。生态环境安全指标体现了环境资源承载力，是生态文明建设基础。主要包括以下4个具体指标：

① **生态足迹**。体现了维持现有人口的生活质量所需要的自然资源和生态空间。若生态足迹与生态承载力之间为负值，则表明出现了生态赤字。

② **污染治理能力**。较常见的环境指标：废物排放（“三废”、光、噪音等）治理达标率、大气污染综合指数、水污染综合指数。

(3) 生态系统的恢复与建设。主要包括以下4个具体指标：

① **森林覆盖率**。森林覆盖率对于抗御自然灾害具有较大功效,同时森林覆盖率是森林碳汇能力重要体现，森林覆盖率越高越符合“低碳经济”的要求。

② **水土流失治理率**。对生态环境的投入和治理强度越大,越有利于生态环境保护与改善。

③ **环保投入率**。财政支出对环境保护的投入占生产总值的比重,该项指标对于生态文明建设的的重要性越来越凸显。

④ **环境综合治理指数**。可通过沼气拥有率、废水废气处理率来体现。该项指标能体现生态环境优劣程度,是生态文明建设内涵的又一重要体现。

上述各层次指标可以通过设置的权重进行处理后得出量化的“生态环境文明”指数,通过对该指数的横向和纵向对比,就可以较为全面地反映社会在“生态环境文明”发展方面的状况、变化趋势和发展潜力。

4. “生态文化文明”指数

这一指标首先也分为两个三级指标,分别涉及文化教育和生态环境质量等指标。

(1) **文化教育**。主要包括以下6个具体指标:

- ① **绿色教育覆盖率、环境教育普及率**。对生态文明宣传与推广程度体现。
- ② **教育经费占绿色GDP的比重**。可作为衡量接受生态文明理念程度的一个指标。
- ③ **人均娱乐、文化消费占消费支出比例**。是人们对生态文明建设需求程度高低的体现。

④ **受高等教育人数比例**。可作为衡量人们接受生态文明理念程度的一个指标。

⑤ **城市人均拥有公共图书量**。可作为衡量接受生态文明理念程度的一个指标。

⑥ **公共文化设施免费开放程度**。可作为衡量接受生态文明理念程度的一个指标。

(2) **生态环境质量**。主要包括以下3个具体指标:

① **公众对环境的满意度**。可作为衡量人们对生态环境接受程度的一个指标。

② **环保产品占社会总产品比例**。可作为衡量当地生态环境发展程度的一个指标。

③ **绿色产品占消费产品比例**。可作为衡量当地生态环境发展程度的一个指标。

上述各层次指标可以通过设置的权重进行处理后得出量化的“生态文化文明”指数,通过对该指数的横向和纵向对比,就可以较为全面地反映社会在“生态文化文明”发展方面的状况、变化趋势和发展潜力。

5. “生态制度文明”指数

这一指标反应了生态文明建设过程中的制度保障措施的力度。也分为两个三级指标,分别涉及制度保障和制度管理能力等指标。

(1) **制度保障**。主要包括以下3个具体指标:

- ① 居民对政府绿色行政满意度。体现政府在环境保护方面的施政成效。
- ② 万人环保律师数。体现了生态文明建设中立法与执行程度。
- ③ 万人环保刑事案件立案率。体现了生态文明建设中立法与执行程度。

(2) 制度管理。主要包括以下4个具体指标：

- ① 重点行业清洁生产审核执行率。体现了生态文明建设中制度管理能力。
- ② 重点企业ISO14000认证率。体现了生态文明建设中制度管理能力。
- ③ 环境管理能力标准化建设达标率。体现了生态文明建设中制度管理能力。
- ④ 规划环境影响评价执行率。体现了生态文明建设中制度管理能力。

上述各层次指标可以通过设置的权重进行处理后得出量化的“生态制度文明”指数，通过对该指数的横向和纵向对比，就可以较为全面地反映社会在“生态制度文明”发展方面的状况、变化趋势和发展潜力。

3.4 生态文明综合评价方法选择

3.4.1 研究对象与数据来源

为准确把握广州市生态文明的发展程度，进行横向的比较分析及纵向的趋向分析，本研究分别从横向和纵向两个方面进行综合评价：首先，在广东省范围内，选择 2016 年度与广州市具有同等地位的 21 个省内地级市区域为评价对象，进行横向比较分析，明确广州市生态文明发展状况。其次，以广州市为研究对象，选择 1999-2016 年 17 年间的广州市纵向追踪数据为评价对象，对广州市“生态文明”发展趋势进行分析。

本课题的综合评价数据资料，来自于 1999-2016 年的《广州市统计年鉴》、1999-2016 年《广东省统计年鉴》、2016 年《中国城市竞争力年鉴》、2016 年《中国城市能源统计年鉴》以及 1999-2016 年的《广东城市调查统计年鉴》等。

3.4.2 评价方法选择和基本步骤

1. 拟采用的评价方法

本课题拟采用统计描述、因子分析和层层因子分析以及聚类分析的方法，对广州市的“生态文明”状况进行综合评价。所谓层层因子分析是指先对每一个大指标下的子指标进行因子分析，算出大指标的数值，然后再对所有大指标进行因子分析，得出总的综合水平，最后对各个样本进行排名。

为便于直观分析和比较广东省各地级市区域的“生态文明”的具体发展情况，并根据

各地级市区域的实际情况制定相应“生态文明”建设政策与建议，本课题还将在因子分析的结果基础上看，对各地级市区域的“生态文明”发展状况进行聚类分析。本文采用 Hierarchical Cluster 的聚类方法，运用离差平方和法（Ward's method）计算类与类之间距离，选择欧式距离的平方（Squared Euclidean Distance）进行聚类，最终得出聚类树型图，并根据树型聚类图对广东省 21 个地级市区域的“生态文明”水平进行聚类分析，进而提出相应的政策建议。

下面分别简要介绍因子分析与聚类分析方法，更深入的内容参见[附录 1](#)和[附录 2](#)。

2. 因子分析法简介

在各个领域的科学研究中，往往需要对反映事物的多个变量进行大量的观测，收集大量的数据加以分析、寻找规律。多变量的大样本虽然能为科学提供大量的信息，但是在一定程度上增加了数据采集的工作量，更重要的是在大多情况下，许多变量之间可能存在相关性，从而增加了分析问题的复杂性。但也因此有可能利用较少的综合指标分别综合存在于各变量中的各类信息，而综合指标之间彼此不相关，及各个指标间的信息不重叠。这样就可以根据专业知识和指标所反映的独特含义对综合指标命名。这种分析方法就是因子分析。

因子分析（Factor Analysis）是多元统计分析技术的一个分支，其主要目的是浓缩数据。它通过研究众多变量之间的内部依赖关系，探索观测数据中的基本结构，并用少数几个假想变量来表示基本的数据结构。这些假想变量能够反映原来众多的观测变量所代表的主要信息，并解释这些观测变量之间的相互依存关系，我们把这些假想变量称之为基础变量，即因子(Factors)。因子分析就是研究如何以最少的信息丢失把众多的观测变量浓缩为少数几个因子。

因子分析又是一种降维、简化数据的技术。它通过研究众多变量之间的内部依赖关系，探求观测数据中的基本结构，并用少数几个“抽象”的变量来表示其基本的数据结构。这几个抽象的变量被称作“因子”，能反映原来众多变量的主要信息。原始的变量是可以观测的显在变量，而因子一般是不可观测的潜在变量。因子分析就是一种通过显在变量测评潜在变量，通过具体指标抽象因子的一种多元统计分析的技术。比如，在研究区域社会经济发展中，描述社会与经济现象的指标很多，过多的指标容易导致分析过程的复杂化。一个合适的做法就是从这些关系错综复杂的社会经济指标中提取少数几个主要因子，每一个主要因子都能反映相互依赖的社会经济指标间共同作用，抓住这些因素就可以帮助我们对复杂的社会经济发展问题进行深入分析、合理解释和正确评价。

使用因子分析法进行综合评价有以下优势：

① 因子分析法通过对原始变量的标准化处理和数学变换，可以消除指标间的相关影响及由于指标分布不同，数据本身差异造成的不可比性，从方法源头保证评价的质量。

② 应用因子分析法既可避免信息量的重复，又可克服权重确定的主观性。因子分析法进行综合评价所用权数属于信息量权数，它从指标所含区分样本的信息量多少来确定指标的重要程度，是伴随数学变换过程内在生成的，并随着样本集合的变化而变化，不能人为调整，这与根据评判者对指标自身重要程度的估计而确定的估价权数不同，提高综合评价的效度。

③ 因子分析法能将构成评价指标体系的众多原始指标所载信息浓缩并转存到因子中，并根据实际问题所要求的精度，通过控制主因子数目的，调控转存信息量的大小。

④ 因子分析法进行综合评价，能够较好地解决建立评价指标体系全面性和独立性的矛盾。

3. 聚类分析法简介

聚类分析（Cluster Analysis）是根据研究对象的特征，对研究对象进行分类的多元分析技术的总称。它把性质相近的个体归为一类，使得同一类中的个体具有高度的同质性，不同类之间的个体具有高度的异质性。聚类分析的最基本原理是测量研究目标之间的相似性，根据相似的程度将研究目标进行分类。本课题拟采用聚类分析方法是系统层次聚类法（Hierarchical Cluster Method），主要包含如下步骤：

- ① 计算 N 个样本，两两之间的距离 $\{d_{ij}\}$ ，记作 $D=\{d_{ij}\}$ ；
- ② 构造 N 个类，每个类只包含一个样品；
- ③ 合并距离最近的两类为一新类；
- ④ 计算新类与当前各类的距离，若类的个数等于 1，转到步骤⑤，否则回到步骤③
- ⑤ 画聚类图；
- ⑥ 决定类的个数与类。

4. 综合评价的基本步骤

根据研究内容，本课题的综合评价过程，包括以下两个基本步骤：

①使用因子分析和层次因子分析法对广东省内 21 个地级市区域的“生态文明”发展状况进行综合评价，以找到各地级市区域间的“生态文明”发展状况的差异，并进行聚类分析，进而提出各地级市区域的“生态文明”发展的提升对策与政策建议（使用的数据年限为 2016 年）。

②使用因子分析的方法,对广州市 1999-2016 年 17 年间的“生态文明”发展趋势进行动态监测,并提出广州市“生态文明”发展的政策建议。

多元统计分析软件使用 SPSS20.0 完成,而聚类分析结果的空间分异特征使用 ArcGIS10.0 软件完成。

3.5 本章小结

本章在界定生态文明概念内涵基础上,根据生态文明综合评价指标的构建原则,构建了一个新的生态文明综合监测指标体系;然后,简要介绍了本课题所采纳的生态文明综合评价指标体系的数据来源、评价方法的选择和基本步骤等,为第四章和第五章的实证研究工作打下基础。

第 4 章 广东省生态文明程度的横向比较研究

——基于广东省内 2016 年 21 个地级市的实证数据

4.1 广东省内 21 个地级市生态经济文明发展状况的综合评价

本研究通过对评价对象的人均 GDP (A11)、城镇居民消费比例 (A12)、最终消费率(A13)、科研成果转化指数(A14)、科技创新指数(A15)、第三产业占 GDP 比重(A16)、科技经费的相对投入量 (A17) 等指标的考察, 衡量评价对象“生态文明”中的生态经济文明程度。下表 4-1 是各原始变量的相关系数矩阵。

表 4-1 相关系数矩阵

	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
A11	1.000	-.165	.836	-.681	.764	.768	.659
A12	-.165	1.000	.054	.046	-.120	-.304	-.331
A13	.836	.054	1.000	-.521	.696	.534	.525
A14	-.681	.046	-.521	1.000	-.345	-.353	-.126
A15	.764	-.120	.696	-.345	1.000	.810	.695
A16	.768	-.304	.534	-.353	.810	1.000	.764
A17	.659	-.331	.525	-.126	.695	.764	1.000
A18	.713	.042	.606	-.299	.588	.505	.475

从表 4-1 中, 可以发现, 该 8 个变量之间直接的相关性有强有若, 最大的为 0.836, 而最小的只有-0.768, 说明它们之间的确虽然信息上的重叠, 初步判断可以进行因子分析。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验, 检验结果如下表 4-2 所示。

表 4-2 KMO and Bartlett's Test

取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量。	0.708	
近似卡方	115.168	
Bartlett 的球形度检验	df	28
	Sig.	0.000

由 Bartlett 球形检验可以看出, Chi-Square 统计量为 115.168 ($p < 0.000$), 应拒绝各变量独立的假设, 即变量间具有较强的相关性。但 KMO 统计量为 0.708, 大于 0.7, 说明各变量间的信息重叠程度高, 适合进行因子分析。

根据特征根大于 1 的原则选取因子，发现七个指标可以归纳为 2 个因子，其累计方差贡献率为 73.767%，能较好地反映原来 8 个指标的信息，如下表 4-3 所示。

表 4-3 Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.627	57.839	57.839	4.627	57.839	57.839
2	1.274	15.928	73.767	1.274	15.928	73.767
3	.885	11.068	84.835			
4	.474	5.926	90.761			
5	.330	4.128	94.889			
6	.244	3.054	97.943			
7	.128	1.603	99.546			
8	.036	.454	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

生态经济文明因子水平与人均 GDP (A11)、建成区绿化覆盖率 (A12)、城镇居民消费比例 (A13)、最终消费率 (A14)、科研成果转化指数 (A15)、科技创新指数 (A16)、第三产业占 GDP 比重 (A17)、科技经费的相对投入量 (A18) 间的关系表 4-4 所示。

表 4-4 生态经济文明水平指标贡献率

	1	2
人均 GDP	0.960	0.132
建成区绿化覆盖率	-0.202	0.810
城镇居民消费比例	0.830	0.326
最终消费率	-0.557	-0.415
科研成果转化指数	0.882	-0.066
科技创新指数	0.860	-0.292
第三产业占 GDP 比重	0.779	-0.421
科技经费的相对投入量	0.736	0.234

表 4-4 反映生态经济文明状况的只有一个主因子。根据各项分指标对主因子的贡献率，人人均 GDP (A11)、建成区绿化覆盖率 (A12)、城镇居民消费比例 (A13)、最终

消费率 (A14)、科研成果转化指数 (A15)、科技创新指数 (A16)、第三产业占 GDP 比重 (A17)、科技经费的相对投入量 (A18) 等 8 个指标对生态经济文明主因子影响均较大。

样本的生态经济文明状况综合得分及排名, 如表 4-5 所示。

表 4-5 广东省 21 个地级市生态经济文明因子得分及综合排名

城市	得分	排序	城市	得分	排序
广州	1.10241	3	中山	0.67902	4
深圳	2.29988	1	江门	-0.15485	10
珠海	1.22071	2	阳江	-0.33686	11
汕头	-0.08923	8	湛江	-0.79982	21
佛山	0.61663	5	茂名	-0.50597	14
韶关	-0.14287	9	肇庆	-0.45929	13
河源	-0.58442	15	清远	-0.61443	17
梅州	-0.77192	20	潮州	-0.43414	12
惠州	0.34462	7	揭阳	-0.61225	16
汕尾	-0.61755	18	云浮	-0.67440	19
东莞	0.53476	6			

注: 生态经济文明因子综合得分 = $\frac{57.839}{57.839+15.928} \times F_1 + \frac{15.92}{57.839+15.928} \times F_2$

4.2 广东省内 21 个地级市生态社会文明发展状况的综合评价

本研究通过对评价对象的人口密度(A21)、恩格尔系数(A22)、城镇人口比重(A23)、失业率(A24)、自然灾害发生率(A25)、诚信意识指数(A26)、各市接待过夜者人数(A27)、大专以上学历人口比重(A28)、每千人床位数(A29)、教育经费占地方财政支出比例(A30)等生态社会文明发展 10 个指标的考察, 衡量评价对象生态社会文明。表 4-6 为各原始变量的相关系数矩阵。

表 4-6 Correlation Matrix

	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30
A21	1.000	0.584	0.754	0.489	0.771	0.743	0.654	0.752	0.643	-0.532
A22	0.584	1.000	0.613	0.119	0.415	0.434	0.584	0.430	0.636	0-.534

A23	0.754	0.613	1.000	0.270	0.628	0.644	0.550	0.627	0.821	-0.707
A24	0.489	0.119	0.270	1.000	0.405	0.595	0.486	0.701	0.062	-0.182
A25	0.771	0.415	0.628	0.405	1.000	0.808	0.632	0.761	0.585	-0.516
A26	0.743	0.434	0.644	0.595	0.808	1.000	0.782	0.841	0.592	-0.559
A27	0.654	0.584	0.550	0.486	0.632	0.782	1.000	0.849	0.539	-0.446
A28	0.752	0.430	0.627	0.701	0.761	0.841	0.849	1.000	0.507	-0.557
A29	0.643	0.636	0.821	0.062	0.585	0.592	0.539	0.507	1.000	-0.700
A30	-0.532	-0.534	-0.707	-0.182	-0.516	-0.559	-0.446	-0.557	-0.700	1.000

从表 4-8 中，可以发现，该十个变量之间直接的相关性有强有若，最大的为 0.826，而最小的只有-0.173，说明它们之间的确虽然信息上的重叠，初步判断可以进行因子分析。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验，检验结果如下表 4-7 所示。

表 4-7 KMO and Bartlett's Test

	KMO 统计值	0.799
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	161.174
	df	45
	Sig.	0.000

由 Bartlett 球形检验可以看出，Chi-Square 统计量为 161.174 ($P < 0.000$)，应拒绝各变量独立的假设，即变量间具有较强的相关性，并且 KMO 统计量为 0.799，大于 0.7，说明各变量间的信息重叠程度很高，可以做因子分析。^①

根据特征根大于 1 的原则选取因子，发现 10 个指标可以归纳为 2 个因子，其累计方差贡献率为 75.037%，能较好地反映原来 10 个指标的信息，如下表 4-8 所示。

表4-8 Total Variance Explained

Componen t	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	6.322	63.224	63.224	6.322	63.224	63.224
2	1.443	14.435	77.659	1.443	14.435	77.659

^① KMO 和 Bartlett 球形检验是用于因子分析的适用性检验的。KMO 检验变量间的偏相关是否较小，Bartlett 球形检验是判断相关系数矩阵是否是单位矩阵。一般认为，若 KMO 的统计值为 0.7~1.0 则表明进行因子分析较好，若小于 0.5，则表明不适合进行因子分析（吴明隆，2010）；如若 KMO 的统计值在 0.5~0.7 之间，并且 Bartlett 球形检验显著的情况下，说明仍可以进行因子分析。

3	.592	5.922	83.581			
4	.476	4.761	88.342			
5	.407	4.067	92.408			
6	0.278	2.780	95.189			
7	0.180	1.804	96.993			
8	0.133	1.329	98.322			
9	0.124	1.239	99.561			
10	0.044	.439	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

生态社会文明水平与人口密度（A21）、恩格尔系数（A22）、城镇人口比重（A23）、失业率（A24）、自然灾害发生率（A25）、诚信意识指数（A26）、各市接待过夜者人数（A27）、大专以上学历人口比重（A28）、每千人床位数（A29）、教育经费占地方财政支出比例（A30）等间的关系表 4-9 所示。

表4-9 生态社会文明水平指标贡献率

生态社会文明水平	生态社会文明主因子 F1	生态社会文明主因子 F2
人口密度 A21	0.881	
恩格尔系数 A22	0.672	
城镇人口比重 A23	0.842	
失业率 A24		0.726
自然灾害发生率 A25	0.836	
诚信意识指数 A26	0.891	
各市接待过夜者人数 A27	0.829	
大专以上学历人口比重 A28	0.890	
每千人床位数 A29	0.778	
教育经费占地方财政支出比例 A30		0.375

由表 4-9 可见，反映生态社会文明水平的有 2 个主因子。根据各项生态社会文明水平指标对主因子的贡献率，对主因子 F1 影响较大的有口密度（A21）、恩格尔系数（A22）、城镇人口比重（A23）、自然灾害发生率（A25）、诚信意识指数（A26）、各市接待过夜者人数（A27）、大专以上学历人口比重（A28）、每千人床位数（A29）；对主因子 F2 影响较

大的有人失业率（A24）、教育经费占地方财政支出比例（A30）。

样本的生态社会文明状况综合得分及排名，如表 4-10 所示。

表4-10 广东省21个地级市生态社会文明得分及综合排名

城市	得分	排序	城市	得分	排序
广州	2.06051	2	中山	0.396062087	5
深圳	4.43076	1	江门	0.111443397	7
珠海	0.38669	6	阳江	-0.51357	11
汕头	-0.08440	9	湛江	-0.52038	12
佛山	0.84877	3	茂名	-0.65021	15
韶关	0.07986	8	肇庆	-0.74167	16
河源	-1.11364	21	清远	-1.09993	20
梅州	-1.09410	19	潮州	-0.53906	13
惠州	-0.29700	10	揭阳	-0.62852	14
汕尾	-0.92253	17	云浮	-0.93213	18
东莞	0.82309	4			

注：生态社会文明因子综合得分 = $\frac{63.224}{77.659} \times F_1 + \frac{14.435}{77.659} \times F_2$

4.3 广东省内 21 个地级市生态环境文明发展状况的综合评价

本研究通过对评价对象的环境改善投入指数（A31）、单位 GDP 耗电量（A32）、人均工业废水排放量（A33）、人均工业废气排放量（A34）、一般固体废弃物利用率（A35）、生活垃圾无害化处理率（A36）、建成绿化覆盖率（A37）、城市人口密度（A38）等 8 个指标的考察，衡量评价对象生态环境文明水平。表 4-11 是各原始变量的相关系数矩阵。

表4-11 Correlation Matrix

	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38
A31	1.000	-0.507	0.239	0.194	0.127	0.137	-0.499	0.175
A32	-0.507	1.000	0.151	0.012	-0.051	-0.362	0.171	-0.313
A33	0.239	0.151	1.000	0.596	0.124	0.248	-0.031	0.188
A34	0.194	0.012	0.596	1.000	-0.136	0.285	0.041	-0.162
A35	0.127	-0.051	0.124	-0.136	1.000	-0.153	-0.144	0.082
A36	0.137	-0.362	0.248	0.285	-0.153	1.000	-0.025	0.075
A37	-0.499	0.171	-0.031	0.041	-0.144	-0.025	1.000	0.146

	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38
A31	1.000	-0.507	0.239	0.194	0.127	0.137	-0.499	0.175
A32	-0.507	1.000	0.151	0.012	-0.051	-0.362	0.171	-0.313
A33	0.239	0.151	1.000	0.596	0.124	0.248	-0.031	0.188
A38	0.175	-0.313	0.188	-0.162	0.082	0.075	0.146	1.000

从表 4-11 中，可以发现，该六个变量之间直接的相关性有强有弱，最强的有 0.596，而最小的只有-0.507，说明它们之间的确虽然信息上的重叠，初步判断可以进行因子分析。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验，检验结果如下表 4-12 所示。

表4-12 KMO and Bartlett's Test

	KMO 统计值	0.391
	Approx. Chi-Square	36.303
Bartlett's Test of Sphericity	df	28
	Sig.	0.135

由 Bartlett 球形检验可以看出，Chi-Square 统计量为 36.303 ($P < 0.002$)，应拒绝各变量独立的假设，即变量间具有较强的相关性，并且 KMO 统计量为 0.391，小于 0.7，说明各变量间的信息重叠程度可能不是特别高，有可能做出的因子分析模型不是很完善，但还是值得尝试。

根据特征根大于 1 的原则选取因子，发现 8 个指标可以归纳为 4 个因子，其累计方差贡献率为 77.902%，能较好地反映原来 8 个指标的信息，如下表 4-13 所示。

表4-13 Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2.124	26.544	26.544	2.124	26.544	26.544
2	1.656	20.701	47.245	1.656	20.701	47.245
3	1.289	16.112	63.357	1.289	16.112	63.357
4	1.164	14.545	77.902	1.164	14.545	77.902
5	0.734	9.178	87.080			
6	0.578	7.221	94.302			
7	0.277	3.467	97.768			
8	0.179	2.232	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

生态环境文明水平与环境改善投入指数 (A31)、单位 GDP 耗电量 (A32)、人均工业废水排放量 (A33)、人均工业废气排放量 (A34)、一般固体废弃物利用率 (A35)、

生活垃圾无害化处理率（A36）、建成绿化覆盖率（A37）、城市人口密度（A38）等间的关系表 4-14 所示。

表4-14 生态环境文明水平指标贡献率

生态环境文明水平	生态环境文明水平 主因子 F1	生态环境文明水平 主因子 F2	生态环境文明水平 主因子 F3	生态环境文明水平 主因子 F4
环境改善投入指数（A31）	0.794			
单位 GDP 耗电量（千瓦时/万元）（A32）		0.502		
人均工业废水排放量（吨/人）（A33）		0.625		
人均工业废气排放量（标立方米/人）（A34）		0.744		
一般固体废弃物利用率（A35）				0.624
生活垃圾无害化处理率（A36）	0.549			
建成区绿化覆盖率（A37）			0.607	
城市人口密度（人/平方公里）（A38）				0.610

由表 4-14 可见，反映生态环境文明水平的有四个主因子。根据各项指标对主因子的贡献率，对主因子 F1 影响较大的有环境改善投入指数（A31）、生活垃圾无害化处理率（A36）；对主因子 F2 影响较大的是单位 GDP 耗电量（A32）、人均工业废水排放量（吨/人）（A33）、人均工业废气排放量（标立方米/人）（A34）；对主因子 F3 影响较大的是建成区绿化覆盖率（A37）；对主因子 F4 影响较大的是一般固体废弃物利用率（A35）、城市人口密度（人/平方公里）（A38）。

样本的生态环境文明水平的综合得分及排名，如表 4-15 所示。

表4-15 广东省21个地级市的生态环境文明因子综合得分及排名

城市	得分	排序	城市	得分	排序
广州	-1.11808	21	中山	0.45197	4
深圳	0.44821	5	江门	0.04460	11
珠海	0.52966	3	阳江	-0.76518	20
汕头	0.87898	1	湛江	-0.35462	16
佛山	0.38187	7	茂名	-0.53123	18
韶关	0.39715	6	肇庆	-0.15521	14
河源	-0.10417	12	清远	0.16604	8
梅州	-0.19519	15	潮州	0.11155	9
惠州	0.09968	10	揭阳	-0.14270	13
汕尾	-0.37335	17	云浮	-0.58152	19

东莞	0.81154	2			
----	---------	---	--	--	--

注：生态环境文明因子综合得分 = $\frac{26.544}{77.902} \times F_1 + \frac{20.701}{77.902} \times F_2 + \frac{16.112}{77.902} \times F_3 + \frac{14.545}{77.902} \times F_4$

4.4 广东省内 21 个地级市生态文化文明发展状况的综合评价

本研究通过对评价对象的大专以上人口比重 (A41)、教育经费占地方财政支出比例 (A42)、公共图书馆个数 (A43)、高校师生比 (A44)、每十万人高校学生数 (A45)、每万人拥有公共汽电车数 (A46)、每百万人拥有剧院数 (A47) 等指标的考察, 衡量评价对象“生态文明”中的生态文化文明程度。下表 4-16 是各原始变量的相关系数矩阵。

表4-16 Correlation Matrix

	A41	A42	A43	A44	A45	A46	A47
A41	1.000	-0.449	0.441	-0.085	0.404	0.869	0.443
A42	-0.449	1.000	-0.356	-0.244	0.252	-0.474	0.101
A43	0.441	-0.356	1.000	-0.119	0.009	0.281	-0.116
A44	-0.085	-0.244	-0.119	1.000	.086	0.013	0.383
A45	0.404	0.252	0.009	0.086	1.000	0.216	0.554
A46	0.869	-0.474	0.281	0.013	0.216	1.000	0.435
A47	0.443	0.101	-0.116	0.383	0.554	0.435	1.000

从表 4-16 中, 可以发现, 该七个变量之间直接的相关性有强有若, 最大的为 **0.869**, 而最小的只有 -0.449, 初步判断可以进行因子分析。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验, 检验结果如下表 4-17 所示。

表4-17 KMO and Bartlett's Test

	KMO 统计值	0.474
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	68.002
	df	21
	Sig.	0.000

由 Bartlett 球形检验可以看出, Chi-Square 统计量为 68.002 ($P < 0.000$), 应拒绝各变量独立的假设, 即变量间具有较强的相关性, 并且 KMO 统计量为 0.474, 小于 0.7, 说明各变量间的信息重叠程度可能不是特别高, 有可能做出的因子分析模型不是很完善, 但还是值得尝试。

根据特征根大于 1 的原则选取因子, 发现 7 个指标可以归纳为 3 个因子, 其累计方差贡献率为 78.877%, 能较好地反映原来 7 个指标的信息, 如下表 4-18 所示。

表4-18 Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2.726	38.949	38.949	2.726	38.949	38.949
2	1.747	24.953	63.902	1.747	24.953	63.902
3	1.209	17.278	81.180	1.209	17.278	81.180
4	0.699	9.988	91.168			
5	0.379	5.419	96.587			
6	0.172	2.455	99.042			
7	0.067	.958	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

生态文化文明因子水平与大专以上学历人口比重（A41）、教育经费占地方财政支出比例（A42）、公共图书馆个数（A43）、高校师生比（A44）、每十万人高校学生数（A45）、每万人拥有公共汽电车数（A46）、每百万人拥有剧院数（A47）等指标间的关系表 4-19 所示。

表4-19生态文化文明水平指标贡献率

生态文化文明水平	主因子 F1	主因子 F2	主因子 F3
大专以上学历人口比重 A41	0.852		
教育经费占地方财政支出比例 A42		0.370	
公共图书馆个数 A43	0.677		
高校师生比 A44			0.938
每十万人高校学生数 A45		0.864	
每万人拥有公共汽电车数 A46	0.815		
每百万人拥有剧院数 A47		0.834	

由表 4-19 可见，反映生态文化文明水平有两个主因子。其中，大专以上学历人口比重（A41）、公共图书馆个数（A43）、每万人拥有公共汽电车数（A46）对生态文化文明主因子 F1 的影响较大；教育经费占地方财政支出比例（A42）、每十万人高校学生数（A45）、每百万人拥有剧院数（A47）对生态文化文明主因子 F2 的影响较大；高校师生比（A44）对生态文化文明主因子 F3 的影响较大。样本的生态文化文明状况综合得分及排名，如表 4-20 所示。

表 4-20 广东 21 个地级市生态文化文明因子得分及综合排名

城市	得分	排序	城市	得分	排序
广州	0.8819	2	中山	0.20609	6
深圳	2.00500	1	江门	-0.60901	20
珠海	0.33750	4	阳江	0.01150	8
汕头	-0.46243	19	湛江	-0.27872	16
佛山	0.57066	3	茂名	-0.906	21
韶关	0.20718	5	肇庆	0.04025	7
河源	-0.13974	11	清远	-0.21701	12
梅州	-0.10656	10	潮州	-0.39602	17
惠州	-0.2400	15	揭阳	-0.44135	18
汕尾	-0.22724	13	云浮	-0.00631	9
东莞	-0.22966	14			

注：生态文化文明综合得分 = $\frac{38.949}{81.18} \times F_1 + \frac{24.953}{81.18} \times F_2 + \frac{17.278}{81.18} \times F_3$

4.5 广东省内 21 个地级市生态制度文明发展状况的综合评价

本研究通过对评价对象的刑事案件发生率（A51）、刑事案件征破率（A52）、地方法规条例健全程度（A53）、政策法规透明度（A54）、政府办事效率（A55）、民众对政府满意度（A56）等指标的考察，衡量评价对象“生态文明”中的生态文化文明程度。下表 4-21 是各原始变量的相关系数矩阵。

表 4-21 Correlation Matrix

	A51	A52	A53	A54	A55	A56
A51	1.000	.860	0.836	0.845	0.868	0.948
A52	0.860	1.000	0.955	0.938	0.929	0.949
A53	0.836	0.955	1.000	0.979	0.974	0.942
A54	0.845	0.938	0.979	1.000	0.978	0.947
A55	0.868	0.929	0.974	0.978	1.000	0.944
A56	0.948	0.949	0.942	0.947	0.944	1.000

从表 4-21 中，可以发现，该六个变量之间直接的相关性有强有若，最大的为 0.979，

而最小的只有 0.836，说明它们之间的确虽然信息上的重叠，初步判断可以进行因子分析。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验，检验结果如下表 4-22 所示。

表 4-22 KMO and Bartlett's Test

	KMO 统计值	0.849
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	248.315
	df	15
	Sig.	0.000

由 Bartlett 球形检验可以看出，Chi-Square 统计量为 248.315 ($P < 0.000$)，应拒绝各变量独立的假设，即变量间具有较强的相关性。KMO 统计量为 0.849，大于 0.7，说明各变量间的信息重叠程度很高，可以进行因子分析。

根据特征根大于 1 的原则选取因子，发现 6 个指标可以归纳为 1 个因子，其累计方差贡献率为 77.376%，能较好地反映原来 6 个指标的信息，如下表 4-23 所示。

表4-23 Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5.634	93.895	93.895	5.634	93.895	93.895
2	0.231	3.848	97.744			
3	0.081	1.358	99.102			
4	0.026	0.428	99.530			
5	0.017	0.279	99.809			
6	0.011	0.191	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

生态制度文明因子水平与刑事案件发生率 (A51)、刑事案件侦破率 (A52)、地方法规条例健全程度 (A53)、政策法规透明度 (A54)、政府办事效率 (A55)、民众对政府满意度 (A56) 等指标间的关系表 4-24 所示。

表4-24生态制度文明水平指标贡献率

生态制度文明水平	主因子 F1
刑事案件发生率 A51	0.920
刑事案件侦破率 A52	0.969
地方法规条例健全程度 A53	0.979

政策法规透明度 A54	0.979
政府办事效率 A55	0.980
民众对政府满意度 A56	0.986

由表 4-24 可见，反映生态制度文明水平只有一个主因子。样本的生态制度文明状况综合得分及排名，如表 4-25 所示。

表4-25 广东21个地级市生态制度文明因子得分及综合排名

城市	得分	排序	城市	得分	排序
广州	0.68978	5	中山	0.50333	6
深圳	3.49383	1	江门	-0.10025	9
珠海	0.69562	4	阳江	-0.49659	12
汕头	-0.16718	10	湛江	-0.67495	17
佛山	0.71377	3	茂名	-0.52577	13
韶关	0.06518	7	肇庆	-0.48346	11
河源	-0.68005	18	清远	-0.64586	15
梅州	-0.74255	19	潮州	-0.67323	16
惠州	-0.01942	8	揭阳	-0.61006	14
汕尾	-0.75236	20	云浮	-0.77193	21
东莞	1.18212	2			

注：生态制度文明综合得分=1.0000×F₁

4.6 广东省内 21 个地级市生态文明发展状况的综合评价

本研究通过对评价对象的生态经济文明（A61）、生态社会文明（A62）、生态环境文明（A63）、生态文化文明（A64）、生态制度文明（A65）等指标的考察，衡量评价对象“生态文明”程度。下表 4-26 是各原始变量的相关系数矩阵。

表4-26 Correlation Matrix

	A61	A62	A63	A64	A65
A61	1.000	0.920	0.355	0.980	0.637
A62	0.920	1.000	.233	0.964	0.647
A63	0.355	0.233	1.000	0.420	-0.097
A64	0.980	0.964	0.420	1.000	0.610

A65	0.637	0.647	-0.097	0.610	1.000
-----	-------	-------	--------	-------	-------

从表 4-26 中，可以发现，该五个变量之间直接的相关性有强有若，最大的为 0.969，而最小的只有 0.011，说明它们之间的确虽然信息上的重叠，初步判断可以进行因子分析。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验，检验结果如下表 4-27 所示。

表4-27 KMO and Bartlett's Test

	KMO 统计值	0.698
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	134.638
	df	10
	Sig.	0.000

由 Bartlett 球形检验可以看出，Chi-Square 统计量为 134.638 ($P < 0.000$)，应拒绝各变量独立的假设，即变量间具有较强的相关性。KMO 统计量为 0.698，接近 0.7，说明各变量间的信息重叠程度较高，可以进行因子分析。

根据特征根大于 1 的原则选取因子，发现 5 个指标可以归纳为 2 个因子，其累计方差贡献率为 94.510%，能较好地反映原来 5 个指标的信息，如下表 4-28 所示。

表4-28 Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	3.503	70.067	70.067	3.503	70.067	70.067
2	1.099	21.978	92.045	1.099	21.978	92.045
3	0.328	6.555	98.600			
4	0.070	1.400	100.000			
5	0.000694	0.000138	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

生态文明因子水平与生态经济文明 (A61)、生态社会文明 (A62)、生态环境文明 (A63)、生态文化文明 (A64)、生态制度文明 (A65) 等指标间的关系表 4-29 所示。

表4-29生态文明水平指标贡献率

生态文明水平	主因子 F1	主因子 F2
生态经济文明 A61	0.975	0.036
生态社会文明 A62	0.959	-0.078
生态环境文明 A63	0.365	0.893
生态文化文明 A64	0.988	0.100
生态制度文明 A65	0.723	-0.533

由表 4-29 可见，反映生态文明水平有两个主因子。其中，生态经济文明 (A61)、

生态文化文明（A64）、生态制度文明（A65）对生态文明主因子 F1 的影响较大；生态社会文明（A62）、生态环境文明（A63）对生态文明主因子 F2 的影响较大。样本的生态文明状况综合得分及排名，如表 4-30 所示。

表4-30 广东21个地级市生态文明因子得分及综合排名

城市	得分	排序	城市	得分	排序
广州	1.156765	2	中山	0.436828	6
深圳	2.365075	1	江门	-0.098162	10
珠海	0.853173	3	阳江	-0.576041	15
汕头	0.29486	7	湛江	-0.654610	20
佛山	0.677031	4	茂名	-0.621863	18
韶关	0.148413	8	肇庆	-0.518157	12
河源	-0.54238	13	清远	-0.58102	16
梅州	-0.65256	19	潮州	-0.38957	11
惠州	0.080006	9	揭阳	-0.55967	14
汕尾	-0.61831	17	云浮	-0.79103	21
东莞	0.591245	5			

注：生态文明综合得分=0.6701×F₁+0.3299×F₂

表4-31 各类包含的地级市个数

	第1类	第2类	第3类
Ward Method (3)	2	8	11
Ward Method (2)	2	19	

从表 4-32 可看出，如果划分太少的类别（如分为 2 类），则无法考察类别之间的具体差异，为了体现类型之间的差异性，又保证不同类型包含地级市的均匀性，因此本课题将 21 个地级市分为 3 类，如下表 4-32 所示。

表4-32 各类别所包含的具体地级市

类别	包含省份	类别	包含省份
第 I 类 (2)	广州、深圳	第 III 类 (11)	阳江、湛江、茂名、肇庆、梅州、云浮、潮州、揭阳、汕尾、清远、河源
第 II 类 (8)	珠海、佛山、韶关、东莞、中山、惠州、江门、汕头		

为了反映广东省 21 个地级市生态文明空间差异情况，同时对前面生态文明因子分析、聚类分析的结果进行验证，我们用表 4-30 中的生态文明综合得分建立数据库，借助 ArcGIS10.2 软件自然间隔分类功能，对筛选出来的数据进行分级处理，设定 5 级以达到较高空间分异可视化效果，得到广东省 21 个地级市生态文明发展状况的空间分异

图（如图 1），根据分级结果，对广东省 21 个地级市生态文明发展状况的空间差异进行分析。

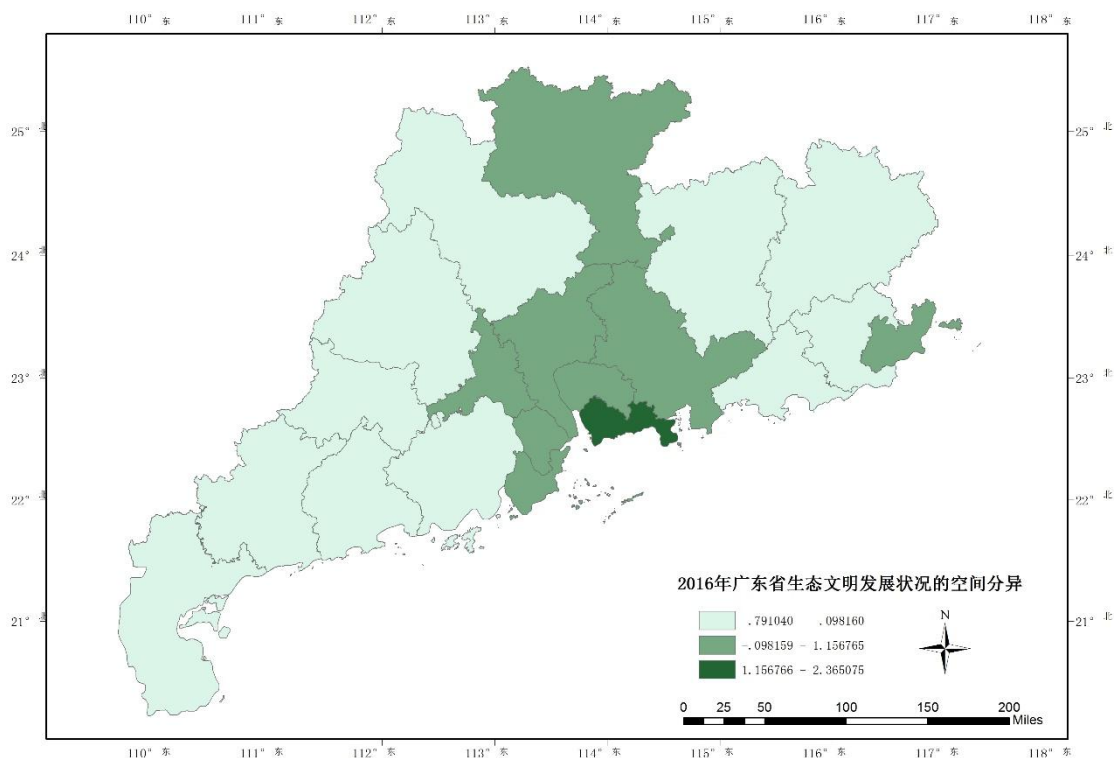


图 1 2016 年广东省生态文明发展状况的空间分异

第 I 类：均衡发展型。该类主要包括广州、深圳这两个地级市。这些地级市的生态文明建设整体状况是目前最好的，其生态文明发展状况综合得分的平均值为 1.765，远高于其他类的地级市。各方面生态文明建设成效显著，且发展较为均衡，是其他发展地区重要的学习和借鉴对象。

第 II 类：环境偏弱型。该类主要包括珠海、佛山、韶关、东莞、中山、惠州、江门、汕头等地级市。该类型的突出特点是，经济发展水平、社会发展水平和制度发展水平在全省居于领先，文化发展水平也较高，但是，经济社会的快速发展也给生态环境带来较大压力，导致环境发展水平相对较低。

第 III 类：环境偏优型。该类主要包括阳江、湛江、茂名、肇庆、梅州、云浮、潮州、揭阳、汕尾、清远、河源等地级市。这一类型的特点是，经济发展水平、社会发展水平、文化发展水平和制度发展水平这四个指标均没有明显的优势，大多处于中等和中等偏下的水平，但生态环境发展水平却大多高于其它经济社会发展水平较高的地级市，这也是当下我国大部分地区的发展缩影，即环境发展和经济社会的发展二者不可兼得的悖论。今后需要在保持环境发展水平的基础上，着力加强其它方面的建设力度。

4.7 本章小结

本章以广东 21 个地级市行政区为研究对象，使用因子分析和聚类分析的方法，分别从生态文明的五个方面（即生态经济文明、生态社会文明、生态环境文明、生态文化文明、生态制度文明），分别进行了综合评价。在此基础上，进行生态文明总体发展程度的综合评价并聚类，研究结果发现下表 4-33 所示：

表4-33 广东21个地级市生态文明发展状况综合得分及排名

城市	生态经济文明		生态社会文明		生态环境文明		生态文化文明		生态制度文明		生态文明	
	得分	排序	得分	排序	得分	排序	得分	排序	得分	排序	得分	排序
广州	1.10	3	2.06	2	-1.12	21	0.88	2	3.49	1	1.16	2
深圳	2.30	1	4.43	1	0.45	5	2.01	1	1.18	2	2.37	1
珠海	1.22	2	0.39	6	0.53	3	0.34	4	0.71	3	0.85	3
汕头	-0.09	8	-0.08	9	0.88	1	-0.46	19	0.70	4	0.29	7
佛山	0.62	5	0.85	3	0.38	7	0.57	3	0.69	5	0.68	4
韶关	-0.14	9	0.08	8	0.40	6	0.21	5	0.50	6	0.15	8
河源	-0.58	15	-1.11	21	-0.10	12	-0.14	11	0.07	7	-0.54	13
梅州	-0.77	20	-1.09	19	-0.20	15	-0.11	10	-0.02	8	-0.65	19
惠州	0.34	7	-0.30	10	0.10	10	-0.24	15	-0.10	9	0.08	9
汕尾	-0.62	18	-0.92	17	-0.37	17	-0.23	13	-0.17	10	-0.62	17
东莞	0.53	6	0.82	4	0.81	2	-0.23	14	-0.48	11	0.59	5
中山	0.68	4	0.40	5	0.45	4	0.21	6	-0.50	12	0.44	6
江门	-0.15	10	0.11	7	0.04	11	-0.61	20	-0.53	13	-0.10	10
阳江	-0.34	11	-0.51	11	-0.77	20	0.01	8	-0.61	14	-0.58	15
湛江	-0.80	21	-0.52	12	-0.35	16	-0.28	16	-0.65	15	-0.65	20
茂名	-0.51	14	-0.65	15	-0.53	18	-0.91	21	-0.67	16	-0.62	18
肇庆	-0.46	13	-0.74	16	-0.16	14	0.04	7	-0.67	17	-0.52	12
清远	-0.61	17	-1.10	20	0.17	8	-0.22	12	-0.68	18	-0.58	16
潮州	-0.43	12	-0.54	13	0.11	9	-0.40	17	-0.74	19	-0.39	11
揭阳	-0.61	16	-0.63	14	-0.14	13	-0.44	18	-0.75	20	-0.56	14
云浮	-0.67	19	-0.93	18	-0.58	19	-0.01	9	-0.77	21	-0.79	21

第5章 广东省生态文明建设与城市化耦合关系及协调发展研究

——基于广东省内 21 个地级市的实证数据

根据“生态文明”综合评价指标体系和评价方法，主要从生态文明的 5 个指标层，即“生态经济文明指数”、“生态社会文明指数”、“生态环境文明指数”“生态文化文明指数”和“生态制度文明指数”五个方面和城市化系统的人口城市化、经济城市化、社会城市化、空间城市化四方面出发，深入阐释生态文明建设与城市化相互协调发展的作用机理并总结两者的作用机理模型，接着运用耦合协调模型对广东省 21 个行政区 2010、2012、2014 与 2016 年四个时间断面的两大系统耦合协调关系进行定量研究，最后针对生态文明建设与城市化的协调发展的现状提出相应的对策与建议。

5.1 城市化系统维度分析

随着城市化进程的加速发展，对城市化质量的衡量标准也产生了变化。目前，城市化水平的测度主要有单一指标法和综合指标法两种（张同升等，2002）。单一指标法主要是测算城市人口占比及城市用地占比等，综合指标法则包含人口、经济、社会、文化与景观等系列指标（欧向军等，2008）。众多学者研究表明，单一的城市化水平指标很难全面反映城市化的发展状况（范辉等，2014；李德胜等，2016）。单一的人口城市化指标只反映了农村人口向城市聚集的数量，单一的土地城市化指标也仅能反映土地资源向城市用地转化的情况。因此，城市化的测度指标逐渐出现多维度。李久枫等将城市化划分为人口城市化、经济城市化、土地城市化、社会城市化与生态城市化等五大维度（李久枫等，2018）。肖祎平等从城市自身发展质量、城市化推进效率、城乡一体化程度和城市可持续发展能力四个方面构建起城市化质量的综合评价指标体系（肖祎平等，2018）。姚成胜等选择人口城市化、经济城市化与景观城市化等三个维度来测量城市化水平（姚成胜等，2016）。万庆等从“投入—产出”的角度切入，对中国的城市化效率进行评价，选取劳动力、资本、土地、水资源和能源作为城市化的投入，以综合城市化水平作为城市化的期望产出，以污染排放为非期望产出（万庆等，2015）。但是，大多数学者在测量城市化时运用“人口—经济—社会—空间”的四维度模型（WANG 等，2014；YOU，2016；闫璐璐等，2016；刘雷，2016）。因此，本研究考虑到城市化的综合内涵，即以人为本和可持续的城市化理念，选取人口城市化、经济城市化、社会城市化与空间城市化等四个维度，并且在具体的指标选择时更注重采用人口相关指标，例如人均地方

财政收入、万人拥有卫生医疗人员数、人均城市道路面积等。

5.2 生态文明建设系统与城市化系统关系解析

耦合是来源于物理学的概念，用来解释两个或两个以上系统之间相互作用、相互协调的关系（FISCHER，2002）。生态文明建设与城市化作为两个内容复杂、结构庞大的非线性系统，两者之间存在着交互耦合关系（如图 5-4 所示）。生态文明建设与城市化协调发展系统作为一个动态的过程，需要不断整体规划人口、资源与环境，促进城市化与生态文明建设两个系统达到各自功能和整体功能最优，达到时间上、功能上、发展速度上的交互促进和协同完善（王俊霞等，2011）。作为彼此联系、相互耦合的共同体，生态文明建设与城镇化的关系体现为：

(1) 生态文明建设是提高城市化质量与可持续性的强大动力和基础保障（沈清基，2014）。生态文明建设包括经济、政治、社会、文化、生态等五方面的建设内容。其中，经济健康发展能加快城市化进程，较高的经济水平和合理的产业结构是城市化的标准之一；政治制度的健全有利于城市的良好发育和居民安居乐业；社会公平公正和保障体系完善为城市和谐稳定提供动力；文化建设能塑造城市的形象和形成竞争力；生态环境保护则是城市可持续发展的基础条件。

(2) 城市化是实现生态文明目标的重要手段。城市化发展过程的优化体现在以人为本、经济规模与质量协调发展、空间布局合理、生态环境友好以及居民生活水平提高，这同样是生态文明建设的关键内容，因此城市化是服务于生态文明建设的主要工具与手段之一。

(3) 推进生态文明建设与城镇化共同进步，以避免扭曲发展。过去城市化建设进程强调经济生产总值和人口比重，可能忽略了生态环境承载力，导致城市的资源消耗过快和效益低下。因此，在发展城市化的过程中应充分关注人地关系的协调统一，在生态文明建设的过程中注重以人为本与绿色发展相结合，既要关注人的基本权利和生活质量，也要兼顾生态环境保护。

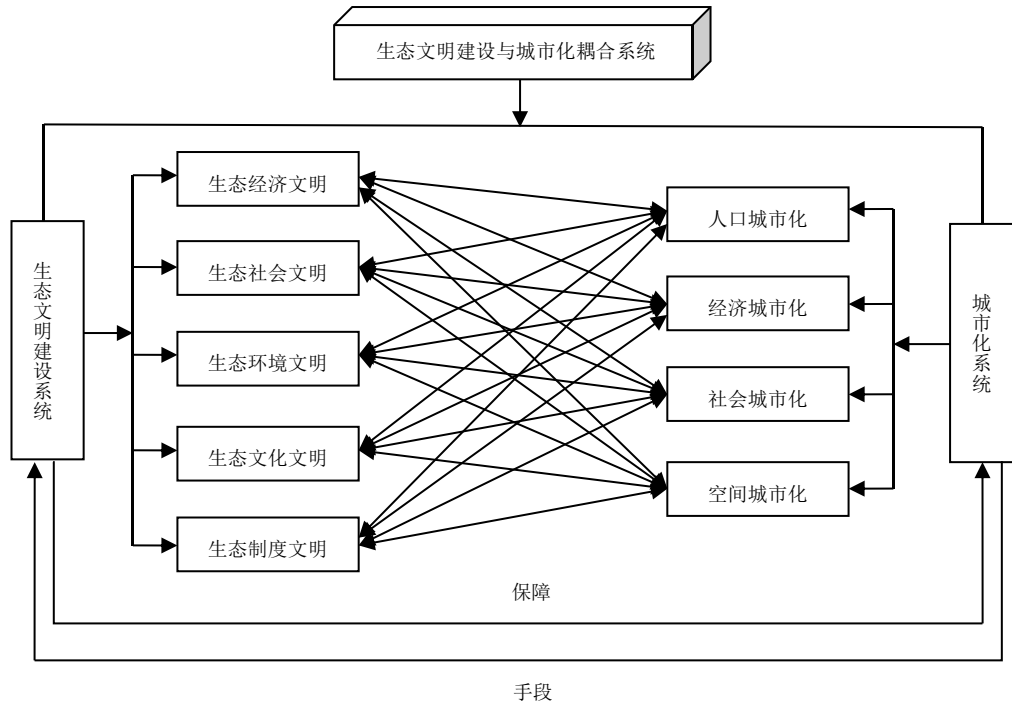


图 5-4 生态文明建设与城市化耦合作用机理模型

5.3 生态文明建设系统和城市化系统指标选择

本研究选用吴小节等（2017）提出的生态文明建设指标体系，包括生态经济文明、生态社会文明、生态环境文明、生态文化文明和生态制度文明等 5 个子系统，并下设 27 个指标（见表 5-13）。另外，城市化是某地区经济社会发展到特定阶段的产物，其特征是人口的集中与非农人口向城市集聚、产业结构以及社会生活的转型以及城市空间的治理水平提高。因此，本研究参照陈明星等人的研究（陈明星等，2009），从人口城市化、经济城市化、社会城市化以及空间城市化四个维度来构建城市化水平的评价指标体系，并包括了 16 个二级指标（见表 5-13）。

考虑到数据的可获得性和指标的变动频率，以及考虑生态文明建设被纳入中国特色社会主义事业“五位一体”的总体布局的时间，本研究选取 2010 年、2012 年、2014 年、2016 年 4 个时间节点广东省 21 个行政区的生态文明与城市化共 43 个评价指标作为测算对象，数据主要来源于《广东省统计年鉴》和《中国城市统计年鉴》。由于数据统计的问题导致部分指标缺失，例如个别城市的人均城市道路面积、每万人拥有公共汽车数等指标存在缺失值，采用相邻年份进行插值补齐。并对指标进行规范化与标准化处理、指标的权重赋值、根据综合评价模型来利用线性加权法分别计算生态文明系统和城市化系

统各自的综合发展程度和设计耦合评价模型。根据相关学者的划分标准，对两个子系统的耦合协调度进行等级分类（廖重斌，1999），如表 5-14。

表 5-13 生态文明建设与城市化指标体系及权重

目标层	系统层	指标层	单位	指标功效	权重	
生态文明 建设系统	生态经 济文明	人均 GDP	元	+	0.074	
		最终消费率	%	+	0.026	
		科研成果转化指数	无量纲	+	0.034	
		科技创新指数	无量纲	+	0.078	
		第三产业占 GDP 比重	%	+	0.036	
		科技经费的相对投入量	万元	+	0.040	
	生态社 会文明	恩格尔系数	%	-	0.013	
		失业率	%	-	0.031	
		诚信意识指数	无量纲	+	0.035	
		各市接待过夜旅游者人数	万人次	+	0.051	
		每千人床位数	张	+	0.035	
		生态环 境文明	环境改善投入指数	无量纲	+	0.059
	单位 GDP 耗电量		kW·h/万元	-	0.011	
	人均工业废水排放量		t/人	-	0.002	
	人均工业废气排放量		t/人	-	0.004	
	生活垃圾无害化处理率		%	+	0.007	
	生态文 化文明		大专以上学历比重	%	+	0.039
		教育经费占地方财政支出比例	%		0.020	
		公共图书馆个数	座	+	0.024	
		每十万人高校学生数	人	+	0.118	
		每百万人拥有剧院数	座	+	0.069	
		生态制 度文明	刑事案件发生率	%	-	0.004
	刑事案件征破率		%	-	0.027	
	地方法规条例健全程度		无量纲	+	0.057	
	政策法规透明度		无量纲	+	0.031	
	政府办事效率		无量纲	+	0.048	
	民众对政府满意度		无量纲	+	0.027	
城市化系 统	人口城 市化	城市人口密度	人/km ²	+	0.080	
		常住人口城镇化率	%	+	0.035	
		非农产业从业人员比重	%	+	0.028	
	经济城 市化	非农产业产值占 GDP 比重	%	+	0.016	
		固定资产投资额	亿元	+	0.056	
		城镇居民消费比重	%	+	0.004	
		城市经济密度	亿元/km ²	+	0.130	
		工业增加值占 GDP 比重	%	+	0.024	
		人均地方财政收入	元	+	0.071	
		社会城 市化	城镇居民人均可支配收入	元	+	0.033
			万人拥有卫生医疗人员数	人	+	0.063

	万人拥有公共汽车数	辆	+	0.103
	每万人移动电话用户数	人	+	0.074
空间城	建成区面积	平方公里	+	0.089
市化	人均公共绿地面积	平方米/人	+	0.128
	人均城市道路面积	平方米/人	+	0.066

表 5-14 耦合协调度等级划分标准

耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调度	耦合协调等级
0.00 - 0.09	极度失调	0.50 - 0.59	勉强协调
0.10 - 0.19	严重失调	0.60 - 0.69	初级协调
0.20 - 0.29	中度失调	0.70 - 0.79	中级协调
0.30 - 0.39	轻度失调	0.80 - 0.89	良好协调
0.40 - 0.49	濒临失调	0.90 - 1.00	优质协调

5.4 结果分析

5.4.1 研究区域概况

广东省位于中国大陆最南部，纬度跨北纬 20°09'—25°31'，经度跨东经 109°45'—117°20'，下辖 21 个地级市，省域面积约 17.97 万平方公里，划分为 4 个经济区，其中珠江三角洲经济区共 9 个地级市，分别为广州、深圳、珠海、佛山、江门、中山、东莞、惠州、肇庆；粤东经济区共 4 个地级市，分别为汕头、潮州、揭阳、汕尾；粤西经济区共 3 个地级市，分别为湛江、茂名、阳江；粤北经济区共 5 个地级市，分别为河源、清远、梅州、韶关、云浮。2017 年全省 GDP 总量为 89705.23 亿元，人均 GDP 为 80932 元，第一、二、三产业结构为 4.0:42.4:53.6(%)；4 个经济区中，珠江三角洲经济区占全省 GDP 的 80.1%，粤东、粤西、粤北经济区分别占 6.6%、7.4%、5.9%。由此可见，各区域的经济发展水平差距比较明显，区域发展较不均衡。

5.4.2 广东省生态文明系统与城市化系统发展水平分析

基于熵值法得到的广东省 21 个行政区两大系统各指标值权重系数的基础上，运用线性加权的方法得到各个行政区生态文明和城市化两大系统的综合指标值作为发展水平的评价值（表 5-15-表 5-16）。从结果可得，生态文明和城市化两大系统具有一定的相似性：①两者总体上呈上升态势。这说明了广东省各个地区的生态文明和城市化建设进程在不断推进和实现优化。②两大系统的发展水平均呈现较为明显的分层现象。其中，生态文明建设水平的第一梯队有广州市和深圳市，2010-2016 年的综合评价在 0.5-0.6 之间；第二梯队为珠海市和东莞市，评价位于 0.3-0.5 之间；其余城市划分为第三梯队，

指标综合评价主要分布在 0.3 及以下。另外，城市化水平方面，深圳市的城市化综合评价得分独居第一档，在 0.7-0.9 之间；第二梯队是东莞市和广州市，得分在 0.4-0.6 之间；其余的城市可归类为第三梯队，城市化水平在 0.4 以下。从以上结果可见，深圳市、广州市、东莞市这三大经济社会发展水平较高的城市有较好的物质基础和充足的资源用于生态文明建设和城市化建设上，而粤西、粤北等偏远地区的城市受地理位置、经济、资源等因素的制约，在这两方面的发展水平则比较低下以及发展速度缓慢。

表 5-15 广东省 21 个行政区生态文明建设系统评价价值

		2010	2012	2014	2016
第一梯队	广州	0.488	0.513	0.523	0.641
	深圳	0.497	0.541	0.507	0.644
第二梯队	珠海	0.354	0.429	0.352	0.494
	东莞	0.332	0.388	0.296	0.405
第三梯队	汕头	0.179	0.175	0.173	0.235
	佛山	0.237	0.236	0.238	0.342
	韶关	0.225	0.216	0.218	0.298
	河源	0.120	0.132	0.145	0.219
	梅州	0.179	0.169	0.184	0.245
	惠州	0.162	0.194	0.187	0.273
	汕尾	0.130	0.128	0.139	0.193
	中山	0.250	0.322	0.248	0.338
	江门	0.191	0.187	0.189	0.242
	阳江	0.128	0.136	0.138	0.213
	湛江	0.151	0.169	0.183	0.259
	茂名	0.140	0.156	0.143	0.210
	肇庆	0.164	0.162	0.170	0.252
	清远	0.124	0.122	0.154	0.217
	潮州	0.148	0.128	0.143	0.217
揭阳	0.122	0.174	0.139	0.208	
云浮	0.137	0.177	0.184	0.224	

表 5-16 广东省 21 个行政区城市化系统评价价值

		2010	2012	2014	2016
第一梯队	深圳	0.686	0.745	0.796	0.854
第二梯队	东莞	0.376	0.408	0.489	0.569
	广州	0.396	0.465	0.510	0.562
第三梯队	珠海	0.220	0.248	0.294	0.326
	汕头	0.140	0.156	0.170	0.188
	佛山	0.250	0.278	0.304	0.327
	韶关	0.063	0.076	0.081	0.086
	河源	0.051	0.052	0.060	0.070
	梅州	0.055	0.061	0.062	0.074

惠州	0.140	0.167	0.194	0.224
汕尾	0.081	0.056	0.062	0.066
中山	0.195	0.209	0.234	0.254
江门	0.123	0.130	0.142	0.158
阳江	0.037	0.059	0.072	0.076
湛江	0.054	0.072	0.081	0.102
茂名	0.037	0.052	0.067	0.083
肇庆	0.069	0.084	0.102	0.110
清远	0.078	0.061	0.091	0.077
潮州	0.078	0.088	0.086	0.093
揭阳	0.082	0.098	0.112	0.121
云浮	0.020	0.032	0.054	0.048

此外，从各行政区的具体评价价值而言，在时间和空间发展上也存在差异性。①从生态文明和城市化动态变化曲线来看，生态文明的波动性较强，城市化的曲线波动相对较小呈稳步上升的态势。这反映了各行政区的城市化建设水平和变化幅度较为稳定；反之，由于 2012 年党的十八大做出“大力推进生态文明建设”的战略决策后，生态文明建设的具体内容才得到全方位的刻画和完善，各行政区在经济、社会、文化、生态和制度五个方面的建设过程中面临着众多矛盾和问题，达到各方面均衡和高水平的发展仍需要较长的时间，因此生态文明建设的水平存在波动性；②从生态文明建设和城市化的相对发展速度来看，2010 年深圳市、佛山市、东莞市的城市化得分高于生态文明建设得分，2012 年深圳市的城市化发展水平比生态文明发展水平要高，2014 年深圳市、佛山市和惠州市以及 2016 年深圳市和东莞市的城市化评价价值较生态文明建设评价价值更高，这说明了部分城市的城市化超前于生态文明建设，这些城市的城市化水平本身较高，高水平的城市化推进区域第三产业、休闲、文化、社会文明等多方面的发展，从而通过城市化发展带动生态文明建设的进程，城市化的驱动作用比较明显。

5.4.3 生态文明建设与城市化耦合度时空分析

将广东省 21 个行政区的生态文明建设与城市化系统的综合评价价值代入耦合度计算公式，得到生态文明建设与城市化两大系统的耦合度（见表 5-15 中 C 值），并依据耦合阶段的划分标准，总结广东省 21 个行政区所处耦合阶段。

由表 5-17 可知，广东省 21 个行政区的生态文明建设与城市化之间的耦合度以波动上升为主，但是耦合度均徘徊在 $[0.3,0.5]$ 之间，且变动比较微弱，始终处于拮抗阶段，并未向更高水平阶段演化，这表明全省生态文明建设与城市化系统虽进入稳步发展的阶段，但两大系统尚未形成良性耦合的阶段。表明各行政区在发展城市化与生态文明建设

时并未能够兼顾系统内各个要素的全面均衡发展，例如在城市化发展过程虽完成经济水平提高、产业结构完善等目标，但未能有效解决社会治安、法律法规健全、生态环境保护等问题。从区域视角看，广州市、深圳市、汕头市、佛山市、惠州市的耦合度比较接近 5.0，四年的耦合度均处于 0.49-0.5 之间，说明这五大城市的生态文明建设与城市化两大系统逐渐走向磨合阶段。首先，这些城市位于珠三角或东部沿海发达地区，在经济物质基础、社会制度保障、居民文化建设方面处于较高的发展水平，故逐步转向资源环境友好、国土空间优化等方面的完善，使得生态文明建设与城市化共同发展、相互促进。其次，这些城市的政府及相关部门出台了较为科学的生态文明建设规划、绿色发展规划等发展政策与规划，提出了创建全国生态文明示范城市的明确目标，从制度层面上保证地区的生态文明水平提高。另外，其余珠三角（如东莞市、中山市等）和粤东（如潮州、揭阳等）城市的生态文明建设与城市化系统耦合度在波动中上升，可推测将来能够进入磨合阶段并向更高水平的协调发展。最后，粤西（如茂名、阳江等）和粤北（如韶关、梅州、云浮等）的城市两大系统耦合度较低，特别是云浮市明显低于其他城市，可见生态文明建设与城市化之间没有形成合力和共鸣，系统之间仍处于相互制约与对抗的状态。这是由于该区域内的城市发展处于相对落后阶段，经济基础薄弱、居民社会保障体系有待加强，以及面临经济发展与环境保护之争，两大系统的协调有待加强。

表 5-17 生态文明建设与城市化耦合协调发展测算结果

行政区	2010 年		2012 年		2014 年		2016 年	
	C	D	C	D	C	D	C	D
广州	0.497	0.469	0.499	0.494	0.500	0.508	0.499	0.548
深圳	0.494	0.540	0.494	0.563	0.488	0.563	0.495	0.609
珠海	0.486	0.374	0.482	0.404	0.498	0.401	0.489	0.448
汕头	0.496	0.282	0.499	0.288	0.500	0.293	0.497	0.324
佛山	0.500	0.349	0.498	0.358	0.496	0.367	0.500	0.409
韶关	0.413	0.244	0.440	0.253	0.444	0.258	0.417	0.283
河源	0.458	0.198	0.450	0.204	0.456	0.216	0.429	0.249
梅州	0.425	0.223	0.442	0.226	0.434	0.231	0.423	0.260
惠州	0.499	0.275	0.499	0.300	0.500	0.308	0.498	0.351
汕尾	0.486	0.226	0.461	0.206	0.462	0.215	0.436	0.238
东莞	0.499	0.420	0.500	0.446	0.484	0.436	0.493	0.490
中山	0.496	0.332	0.489	0.360	0.500	0.347	0.495	0.383
江门	0.488	0.277	0.492	0.279	0.495	0.286	0.489	0.313
阳江	0.417	0.185	0.459	0.212	0.475	0.223	0.441	0.252
湛江	0.441	0.213	0.458	0.235	0.460	0.247	0.450	0.285
茂名	0.408	0.190	0.432	0.212	0.466	0.222	0.450	0.257
肇庆	0.457	0.231	0.474	0.242	0.484	0.257	0.460	0.288

清远	0.487	0.222	0.471	0.208	0.483	0.243	0.439	0.254
潮州	0.475	0.232	0.491	0.230	0.484	0.235	0.459	0.267
揭阳	0.490	0.223	0.480	0.256	0.497	0.249	0.482	0.281
云浮	0.334	0.162	0.360	0.194	0.418	0.223	0.499	0.228
均值	0.464	0.279	0.470	0.294	0.477	0.301	0.463	0.334

注：C 值表示耦合度；D 值表示耦合协调度。

5.4.4 生态文明建设与城市化耦合协调度时空分析

在测算出生态文明建设与城市化耦合度的基础上，将耦合度和综合评价指数代入耦合协调度指数公式，能够更加准确地反映生态文明建设与城市化系统的协调关系。然后根据耦合协调度的划分标准，得到广东省 21 个行政区的耦合协调阶段，结果如下：

如表 5-15 所示，广东省的生态文明建设与城市化系统耦合协调度的数值处于 0.161-0.609 之间，但多数行政区在大部分时间处于 0.5 以下，说明广东省总体上生态文明建设与城市化两大系统产生失衡。另外，从纵向时间发展来看，耦合协调度从 2010 年至 2016 年在缓慢地提升，耦合协调度平均值自 2010 年 0.279 增加到 2016 年的 0.334，两个系统的协调度增速缓慢且仍未全面进入协调发展阶段，尽管各市纷纷出台生态文明建设规划对于生态文明与城市化的协调发展具有推动作用，然而政策存在一定的滞后性，因此未来两者的协调度可能朝着更高水平发展。

从各行政区域视角看，①广州与深圳的耦合协调度相对较高，并进入协调阶段。广州从 2010 年的濒临失调演进到 2016 年的勉强协调水平；深圳则从 2010 年便处于勉强协调阶段发展到 2016 年的初级协调。这两大行政区在城市化水平较高的前提下，应加快生态环境改善和缩小城乡差距的步伐，进一步促进生态文明与城市化的良性互动。②相当部分行政区的失调水平得到不断改善。佛山和珠海从轻度失调向濒临失调转变，惠州、江门与汕头由中度协调发展到轻度协调，河源、茂名、阳江与云浮从严重协调变为中度协调。这些地区在发展经济的同时，兼顾良好的生态环境、优质的文化建设和全面的社会保障是实现生态文明建设与城市化和谐发展的必由之路。③其余地区的生态文明建设与城市化协调关系保持不变。东莞始终保持濒临失调状态，中山则一直处于轻度失调，潮州、揭阳、梅州、清远、汕尾、韶关、湛江与肇庆始终处在中度失调阶段。这些地区为了提高两大系统的协调度需要寻找发展的突破点，对于东莞和中山此类经济相对发达的地区要适当控制经济发展速度使之与生态环境承载力相适应，而对于其他地区而言则可以利用生态环境优势，合理发展生态经济，同时促进生态旅游、文化创新产业、知识密集型服务业的发展，使得城市化水平提高。

5.5 本章小结

本研究在分析生态文明建设系统与城市化系统相互协调发展作用机理的基础上，构建生态文明建设与城市化的指标体系，并引入熵值法、耦合度和耦合协调度模型，对广东省 21 个行政区在 2010、2012、2014 以及 2016 年四个时间截面的两大系统耦合协调关系进行实证研究，主要发现以下结论：

(1) 从理论上来看，生态文明建设与城市化两个系统存在明显的耦合协调特征，系统间各要素相互作用、彼此影响，通过内部要素的组织和演化使得两大系统协调发展。同时，两大系统存在不同的耦合协调状况，协调好生态文明与城市化的关系对于生态环境优化与城市化发展具有重大意义。

(2) 广东省的生态文明建设水平以及城市化水平处于不断上升的状态，发展势头良好，其中深圳、东莞等城市化发展速度超前于生态文明建设速度。

(3) 整体上而言，广东省的生态文明建设与城市化处于拮抗阶段，说明两大系统尚未演化到更高水平的耦合阶段，生态文明建设与城市化未能形成良性的互动。

(4) 广东省生态文明建设与城市化的耦合协调度存在空间差异，深圳、广州能逐渐迈入协调阶段，其余城市仍然处在失调状态，但大部分城市的生态文明建设与城市化之间的协调关系在不断好转，说明两大系统的协调发展趋势越来越明显。

第 6 章 广州市生态文明进程综合监测

——基于 1999-2016 年纵向追踪的实证研究

根据“生态文明”综合评价指标体系和评价方法，对广州市 1999-2016 年的生态文明发展情况进行监测，主要从生态文明的 5 个指标层，即“生态经济文明指数”、“生态社会文明指数”、“生态环境文明指数”、“生态文化文明指数”和“生态制度文明指数”五个方面，分别反映生态文明在经济、社会、资源与环境、文化和制度等五个方面的状况。

6.1 广州市 1999-2016 年间生态经济文明进程的综合评价

本研究通过对广州市的人均 GDP (A1)、绿色生产覆盖率 (A2)、农村居民家庭纯收入 (A3)、城乡消费水平对比 (A4)、科技进步率 (A5)、每 10 万人专利数 (A6)、第三产业占 GDP 比重 (A7)、R&D 投入占 GDP 比重 (A8) 等八类经济发展指标的分析，评价广州市“生态经济文明”状况。表 6-1 是各原始变量的相关系数矩阵。

表6-1 Correlation Matrix

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1.000	0.476	0.986	-0.468	0.733	0.962	0.952	-0.159
A2	0.476	1.000	0.577	-0.649	-0.072	0.488	0.502	-0.627
A3	0.986	0.577	1.000	-0.491	0.644	0.962	0.949	-0.235
A4	-0.468	-0.649	-0.491	1.000	0.032	-0.521	-0.555	0.633
A5	0.733	-0.072	0.644	0.032	1.000	0.635	0.661	0.317
A6	0.962	0.488	0.962	-0.521	0.635	1.000	0.939	-0.116
A7	0.952	0.502	0.949	-0.555	0.661	0.939	1.000	-0.224
A8	-0.159	-0.627	-0.235	0.633	0.317	-0.116	-0.224	1.000

从表 6-1 中，可以发现，八个变量之间直接的相关性比较强，最大的为 0.986，还有多项指标的相关系数超过 0.500，说明它们之间的确存在信息上的重叠，初步判断是可以进行因子分析的。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验，检验结果如下表 6-2 所示。

表6-2 KMO and Bartlett's Test

	KMO 统计值	0.660
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	197.305
	df	28
	Sig.	.000

由表 6-2 中的 Bartlett 球形检验可以看出，Chi-Square 统计量为 197.305 ($P < 0.000$)，

应拒绝各变量独立的假设，即变量间具有较强的相关性。但 KMO 统计量为 0.660，小于 0.7，说明各变量间的信息重叠程度可能不是特别高，有可能做出的因子分析模型不是很完善，但还是值得尝试。

根据特征根大于 1 的原则选取因子，发现八个指标可以归纳为 2 个因子，其累计方差贡献率为 90.293%，能较好的反映原来 8 个指标的信息，如下表 6-3 所示。

表6-3 Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5.023	62.792	62.792	5.023	62.792	62.792
2	2.053	25.657	88.449	2.053	25.657	88.449
3	.372	4.654	93.103			
4	.325	4.061	97.164			
5	.152	1.905	99.069			
6	.054	.681	99.750			
7	.018	.0219	99.969			
8	.002	.031	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

生态经济文明因子水平与人均 GDP (A1)、农村居民家庭纯收入 (A2)、城乡消费水平对比 (A3)、科技进步率 (A4)、绿色生产覆盖率 (A5)、每 10 万人专利数 (A6)、第三产业占 GDP 比重 (A7)、R&D 投入占 GDP 比重 (A8) 间的关系由表 6-4 所示。

表6-4生态经济文明指标贡献率

生态经济文明	经济文明主因子 F1	经济文明主因子 F2
人均 GDP A1	0.969	0.216
农村居民家庭纯收入 A2	0.635	-0.612
城乡消费水平对比 A3	0.978	0.116
科技进步率 A4	-0.639	0.598
绿色生产覆盖率 A5	0.601	0.719
每 10 万人专利数 A6	0.955	0.177
第三产业占 GDP 比重 A7	0.967	0.125
R&D 投入占 GDP 比重 A8	-0.329	0.835

表 6-4 反映生态经济文明状况的有两个主因子。根据各项分指标对主因子的贡献率，对生态经济文明状况主因子 1 影响较大的有城乡消费水平对比 (A3)、人均 GDP (A1)、

第三产业占 GDP 比重 (A7)、每 10 万人专利数 (A6)；对主因子 2 影响较大的有 R&D 投入占 GDP 比重 (A8)。

广州市 1999-2016 年的生态经济文明因子得分及排名，如表 6-5 所示。

表6-5 广州市2000-2013年间生态经济文明因子得分及排名

年份	因子 1 得分	因子 2 得分	综合得分	排序
1999	-1.16451	-0.24806	-1.41257	18
2000	-1.00651	-0.27071	-1.27721	17
2001	-0.86428	-0.25659	-1.12087	16
2002	-0.70487	-0.19587	-0.90074	15
2003	-0.67411	-0.03848	-0.7126	14
2004	-0.45798	0.297357	-0.16063	12
2005	-0.40088	0.157631	-0.24325	13
2006	-0.25357	0.228715	-0.02485	11
2007	0.029643	0.369851	0.399494	9
2008	0.200009	0.38403	0.584039	6
2009	0.301845	0.325802	0.627647	5
2010	0.477456	0.276846	0.754303	2
2011	0.529211	0.18198	0.711191	4
2012	0.658447	0.123129	0.781576	1
2013	0.628841	-0.12022	0.50862	8
2014	0.59236	-0.38526	0.207098	10
2015	0.950692	-0.38494	0.565755	7
2016	1.158204	-0.44521	0.712993	3

注：生态经济文明因子综合得分=0.7099×F1+0.2901×F2

根据上述计算结果，广州市 1999-2016 年间生态经济文明的发展趋势，如下图 6-1 所示。

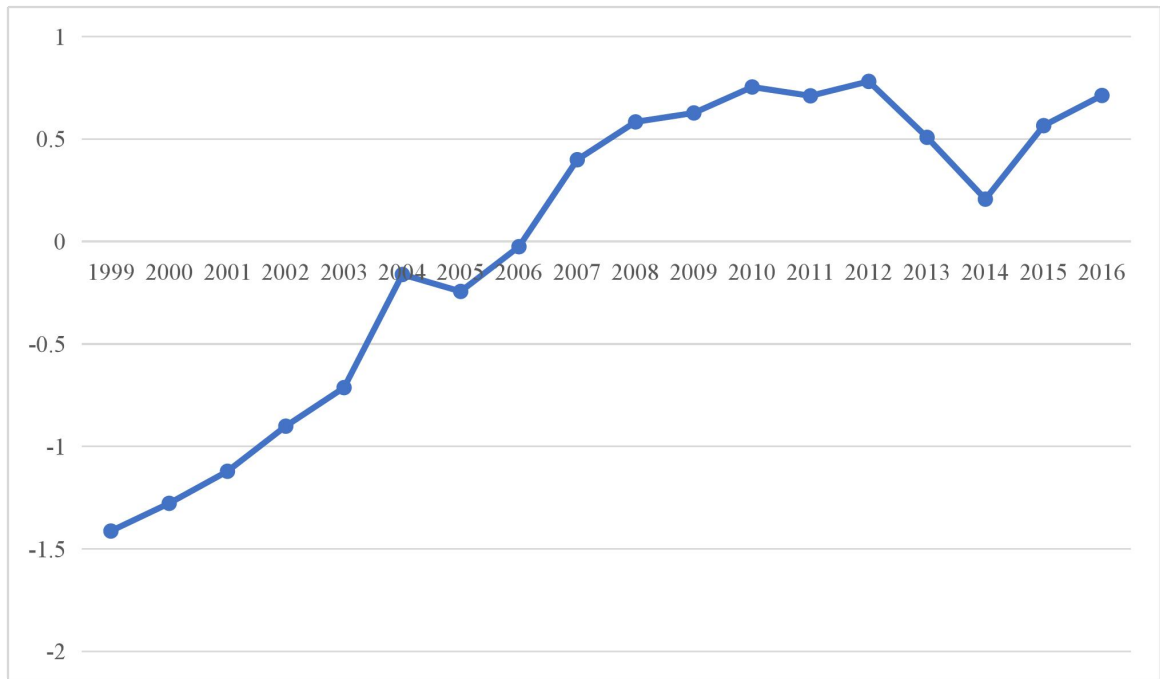


图 6-1 广州市 1999-2016 年生态经济文明发展趋势

从图 6-1 可以发现，广州市 1999-2016 年间，除了 2004-2005 年、2012-2014 年有一定的下降趋势外，广州市生态经济文明状况基本呈现上升的趋势，由此表明广州市的生态经济文明发展状况较好。

6.2 广州市 1999-2016 年间生态社会文明进程的综合评价

本研究通过对广州市的人均居住面积（B1）、恩格尔系数（B2）、城镇人口比重（B3）、城镇居民最低生活保障人数（B4）、失业率（B5）、10 万人火灾发生率（B6）、交通事故发生率（B7）、保险收入与赔付比例（B8）、城市接待旅游者次数（B9）、每十万人高等教育人数（B10）、每千人床位数（B11）、教育经费占财政支出比重（B12）、平均每人奶制品消费额（B13）、医保每人平均消费额（B14）等社会文明指标的考察，衡量广州市的“生态社会文明”程度。下表 6-6 是各原始变量的相关系数矩阵。

表6-6 Correlation Matrix

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1	1.000	-.946	.831	.399	-.438	.738	-.945	.126	.859	.983	.881	.291	.794	.920
B2	-.946	1.000	-.819	-.439	.424	-.723	.935	.015	-.800	-.956	-.831	-.208	-.801	-.936
B3	.831	-.819	1.000	.765	-.660	.331	-.742	-.219	.493	.779	.553	.131	.644	.814
B4	.399	-.439	.765	1.000	-.524	-.205	-.279	-.451	-.078	.310	-.043	-.156	.240	.512
B5	-.438	.424	-.660	-.524	1.000	-.009	.446	-.028	-.200	-.424	-.276	-.138	-.369	-.504
B6	.738	-.723	.331	-.205	-.009	1.000	-.757	.363	.867	.784	.881	.234	.524	.591

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B7	-.945	.935	-.742	-.279	.446	-.757	1.000	-.237	-.893	-.975	-.906	-.279	-.818	-.931
B8	.126	.015	-.219	-.451	-.028	.363	-.237	1.000	.281	.142	.279	.256	.123	.091
B9	.859	-.800	.493	-.078	-.200	.867	-.893	.281	1.000	.910	.986	.388	.756	.756
B10	.983	-.956	.779	.310	-.424	.784	-.975	.142	.910	1.000	.931	.315	.809	.923
B11	.881	-.831	.553	-.043	-.276	.881	-.906	.279	.986	.931	1.000	.421	.754	.760
B12	.291	-.208	.131	-.156	-.138	.234	-.279	.256	.388	.315	.421	1.000	.268	.230
B13	.794	-.801	.644	.240	-.369	.524	-.818	.123	.756	.809	.754	.268	1.000	.826
B14	.920	-.936	.814	.512	-.504	.591	-.931	.091	.756	.923	.760	.230	.826	1.000

从表 6-6 中，可以发现，该 14 个变量之间直接的相关性比较强，最大的为 0.986，还有多项超过 0.500，说明它们之间的确存在信息上的重叠，初步判断可以进行因子分析。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验，检验结果如下表 6-7 所示。

表6-7 KMO and Bartlett's Test

	KMO 统计值	0.486
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	418.018
	df	91
	Sig.	.000

由 Bartlett 球形检验可以看出，Chi-Square 统计量为 418.018 ($P < 0.000$)，应拒绝各变量独立的假设，即变量间具有较强的相关性。但 KMO 统计量为 0.486，小于 0.7，说明各变量间的信息重叠程度可能不是特别高，有可能做出的因子分析模型不是很完善，但还是值得尝试的。

根据特征根大于 1 的原则选取因子，发现 14 个指标可以归纳为 3 个因子，其累计方差贡献率为 87.462%，能较好地反映原来 14 个指标的信息，如下表 6-8 所示。

表6-8 Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	8.753	62.524	62.524	8.753	62.524	62.524
2	2.488	17.774	80.298	2.488	17.774	80.298
3	1.003	7.163	87.462	1.003	7.163	87.462
4	.748	5.343	92.805			
5	.379	2.709	95.514			
6	.356	2.543	98.057			
7	.109	.779	98.836			
8	.092	.658	99.494			

9	.037	.261	99.755		
10	.019	.137	99.892		
11	.008	.054	99.947		
12	.004	.032	99.978		
13	.003	.021	99.999		
14	.000	.001	100.000		

Extraction Method: Principal Component Analysis.

表 6-9 反映生态社会文明只有 3 个主因子。根据各项分指标对主因子的贡献率，对生态社会文明水平的主因子 1 影响较大的有人均居住面积（B1）、恩格尔系数（B2）、城镇人口比重（B3）、10 万人火灾发生率（B6）、交通事故发生率（B7）、城市接待旅游者次数（B9）、每十万人高等教育人数（B10）、每千人床位数（B11）、平均每人奶制品消费额（B13）、医保每人平均消费额（B14）；对生态社会文明水平的主因子 2 影响较大的有城镇居民最低生活保障人数（B4）、保险收入与赔付比例（B8）；对生态社会文明水平的主因子 3 影响较大的有失业率（B5）、教育经费占财政支出比重（B12）。

表6-9 生态社会文明因子指标贡献率

生态社会文明	生态社会文明主因子 F1	生态社会文明主因子 F2	生态社会文明主因子 F3
人均居住面积 B1	.981	-.053	-.044
恩格尔系数 B2	-.960	.134	.156
城镇人口比重 B3	.798	-.552	.050
城镇居民最低生活保障人数 B4	.329	-.898	.027
失业率 B5	-.473	.495	-.552
10 万人火灾发生率 B6	.756	.508	-.272
交通事故发生率 B7	-.979	-.050	.014
保险收入与赔付比例 B8	.158	.658	.425
城市接待旅游者次数 B9	.895	.380	-.100
每十万人高等教育人数 B10	.994	.025	-.057
每千人床位数 B11	.918	.344	-.045
教育经费占财政支出比重 B12	.333	.345	.632
平均每人奶制品消费额 B13	.848	-.007	.006
医保每人平均消费额 B14	.941	-.188	.006

广州市 1999-2016 年间生态社会文明因子得分及排名，如表 6-10 所示。

表6-10 广州市1999-2016年间生态社会文明因子得分及排名

年份	因子 1 得分	因子 2 得分	因子 3 得分	综合得分	排序
1999	-1.20102	-0.19398	0.128232	-1.26677	18
2000	-0.93973	-0.25407	0.003945	-1.18986	17
2001	-0.5867	-0.32717	-0.04729	-0.96117	16
2002	-0.68835	-0.19696	-0.02425	-0.90956	15
2003	-0.61516	0.062191	-0.05968	-0.61265	14
2004	-0.56715	0.157125	-0.02292	-0.43295	13
2005	-0.51477	0.228185	-0.03225	-0.31884	12
2006	-0.38771	0.234358	-0.03554	-0.18889	11
2007	0.019333	0.167306	-0.05125	0.135393	10
2008	0.186642	0.143217	-0.05999	0.269871	9
2009	0.271577	0.188083	-0.0005	0.459162	8
2010	0.632124	0.047842	-0.15061	0.529353	7
2011	0.469197	0.117659	0.005585	0.59244	6
2012	0.317154	0.194281	0.15539	0.666826	4
2013	0.492758	0.020832	0.109815	0.623405	5
2014	1.33067	-0.40147	-0.08312	0.846079	2
2015	0.875352	-0.06691	0.119509	0.927949	1
2016	0.905776	-0.1205	0.044923	0.830194	3

注：生态社会文明因子综合得分= $0.7149 \times F_1 + 0.2032 \times F_2 + 0.0819 \times F_3$

根据上述计算结果，广州市 1999-2016 年间的生态社会文明指标的趋势，如下图 6-2 所示。

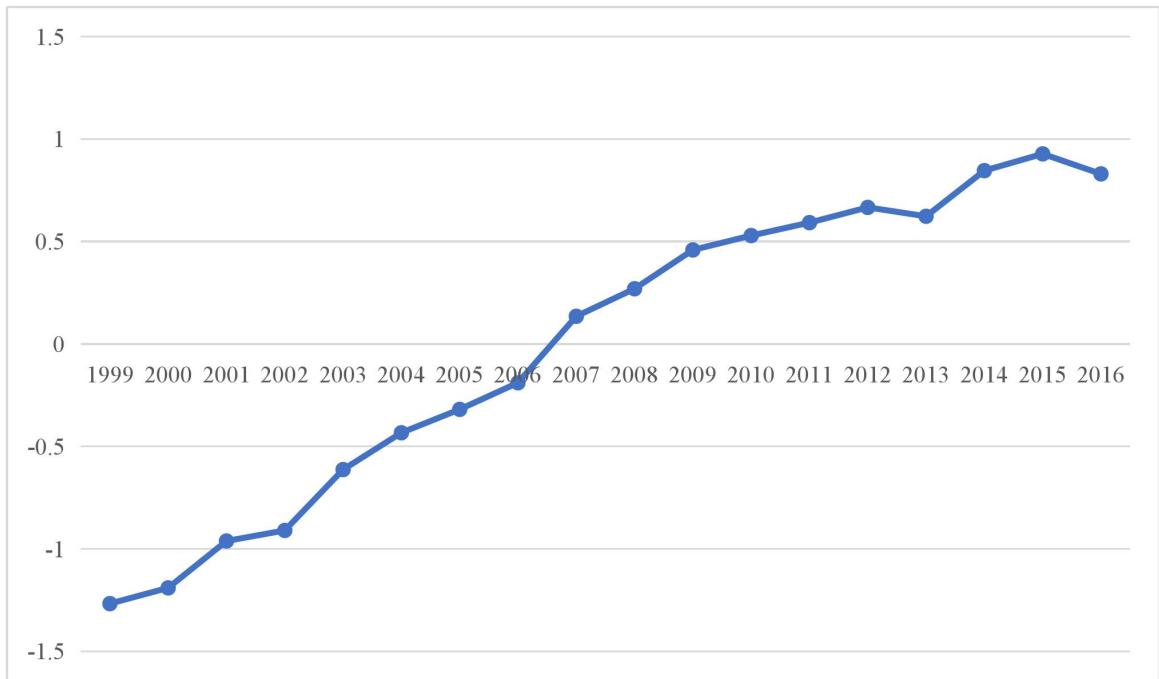


图 6-2 广州市 1999-2016 年生态社会文明指数

从图 6-2 可以发现，广州市在 1999-2016 年间，除了 2012-2013 年、2015-2016 年有一定的下降趋势以外，生态社会文明综合指数呈现逐渐上升的趋势，这说明随着广州市的经济发展和公共品的投资等方面的投入增加，广州市的生态社会文明指标的发展趋势在逐渐变好。

6.3 广州市 1999-2016 年间生态环境文明进程的综合评价

本研究通过对广州市的工业污染治理完成投资额（C1）、单位 GDP 耗电量（C2）、人均每年用水量（C3）、人均工业废水排放量（C4）、工业 SO₂ 排放量（C5）、一般固体废物利用率（C6）、生活垃圾无害化处理率（C7）、建成区绿化覆盖率（C8）、城市人口密度（C9）等九类环境文明发展指标的分析，评价广州市“生态环境文明”状况。下表 6-11 是各原始变量的相关系数矩阵。

表6-11 Correlation Matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1.000	-.120	-.536	-.109	-.845	.687	-.683	.843	.354
C2	-.120	1.000	-.062	.481	.258	.111	-.341	-.163	-.469
C3	-.536	-.062	1.000	-.616	.065	-.098	.289	-.102	.457
C4	-.109	.481	-.616	1.000	.532	-.347	-.024	-.521	-.951
C5	-.845	.258	.065	.532	1.000	-.740	.538	-.972	-.731
C6	.687	.111	-.098	-.347	-.740	1.000	-.602	.789	.506

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C7	-.683	-.341	.289	-.024	.538	-.602	1.000	-.516	-.096
C8	.843	-.163	-.102	-.521	-.972	.789	-.516	1.000	.726
C9	.354	-.469	.457	-.951	-.731	.506	-.096	.726	1.000

从表 6-11 中，可以发现，该 9 个变量之间直接的相关性比较强，最大的为 0.843，还有多项超过 0.500，说明它们之间的确存在信息上的重叠，初步判断可以进行因子分析。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验，检验结果如下表 6-12 所示。

表6-12 KMO and Bartlett's Test

	KMO 统计值	0.634
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	201.776
	df	36
	Sig.	0

由表 6-12 中的 Bartlett 球形检验可以看出，Chi-Square 统计量为 201.776 ($P < 0.000$)，应拒绝各变量独立的假设，即变量间具有较强的相关性。但 KMO 统计量为 0.634，小于 0.7，说明各变量间的信息重叠程度可能不是特别高，有可能做出的因子分析模型不是很完善，但还是值得尝试。

根据特征根大于 1 的原则选取因子，发现 9 个指标可以归纳为 3 个因子，其累计方差贡献率为 91.918%，能较好地反映原来 9 个指标的信息，如下表 6-13 所示。

表6-13 Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.627	51.406	51.406	4.627	51.406	51.406
2	2.528	28.090	79.496	2.528	28.090	79.496
3	1.118	12.422	91.918	1.118	12.422	91.918
4	.343	3.810	95.729			
5	.222	2.462	98.191			
6	.122	1.356	99.547			
7	.023	.254	99.801			
8	.009	.105	99.906			
9	.008	.094	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

生态环境文明因子水平与工业污染治理完成投资额 (C1)、单位 GDP 耗电量 (C2)、人均每年用水量 (C3)、人均工业废水排放量 (C4)、工业 SO₂ 排放量 (C5)、一般固

体废弃物利用率（C6）、生活垃圾无害化处理率（C7）、建成区绿化覆盖率（C8）、城市人口密度（C9）间的关系表如 6-14 所示。

表 6-14 生态环境文明因子指标贡献率

生态环境文明	生态环境文明主因子 F1	生态环境文明主因子 F2	生态环境文明主因子 F3
工业污染治理完成投资额 C1	.822	.486	-.257
单位 GDP 耗电量 C2	-.245	.550	.752
人均每年用水量 C3	-.025	-.808	.539
人均工业废水排放量 C4	-.617	.750	-.110
工业 SO ₂ 排放量 C5	-.971	-.039	.075
一般固体废弃物利用率 C6	.822	.237	.271
生活垃圾无害化处理率 C7	-.569	-.600	-.320
建成区绿化覆盖率 C8	.970	.075	-.022
城市人口密度 C9	.790	-.594	.038

由表 6-14 可见，反映生态环境文明状况有 3 个主因子。根据各项指标对主因子的贡献率，对生态环境文明水平的主因子 1 影响较大的有工业污染治理完成投资额（C1）、人均工业废水排放量（C4）、工业 SO₂ 排放量（C5）、一般固体废弃物利用率（C6）、建成区绿化覆盖率（C8）、城市人口密度（C9）；对生态环境文明水平的主因子 2 影响较大的有人均每年用水量（C3）、人均工业废水排放量（C4）；对生态环境文明水平的主因子 3 影响较大的有单位 GDP 耗电量（C2）、人均每年用水量（C3）。

广州市 1999-2016 年间生态环境文明因子得分及排名，如表 6-15 所示。

表6-15 广州市1999-2016年间生态环境文明因子得分及排名

年份	因子 1 得分	因子 2 得分	因子 3 得分	综合得分	排序
1999	-1.08347	-0.03012	-0.07666	-1.19026	18
2000	-0.88801	0.022947	-0.07315	-0.93822	16
2001	-0.76541	-0.12285	-0.10077	-0.98902	17
2002	-0.63069	-0.11468	-0.05054	-0.7959	15
2003	-0.46935	-0.02296	-0.00894	-0.50126	14
2004	-0.20439	0.14543	0.341991	0.283031	6
2005	-0.3506	0.107123	0.13935	-0.10413	13
2006	0.171486	-0.14152	0.166354	0.196322	8
2007	0.553254	-0.06457	0.208622	0.697305	4

2008	0.202275	-0.12006	0.073202	0.155415	9
2009	0.274053	-0.10613	0.046909	0.214836	7
2010	0.335273	-0.34515	-0.0744	-0.08429	12
2011	0.560661	-0.47914	-0.0995	-0.01798	11
2012	0.646554	-0.504	-0.10218	0.040381	10
2013	0.411732	0.444713	-0.05795	0.798497	2
2014	0.405881	0.420409	-0.07664	0.749647	3
2015	0.490152	0.25138	-0.1687	0.572834	5
2016	0.340594	0.659184	-0.087	0.912781	1

注：生态环境文明因子综合得分=0.5593×F₁+0.3056×F₂+0.1351×F₃

根据上述计算结果，广州市 1999-2016 年间的生态环境文明指标的趋势，如下图 6-3 所示。

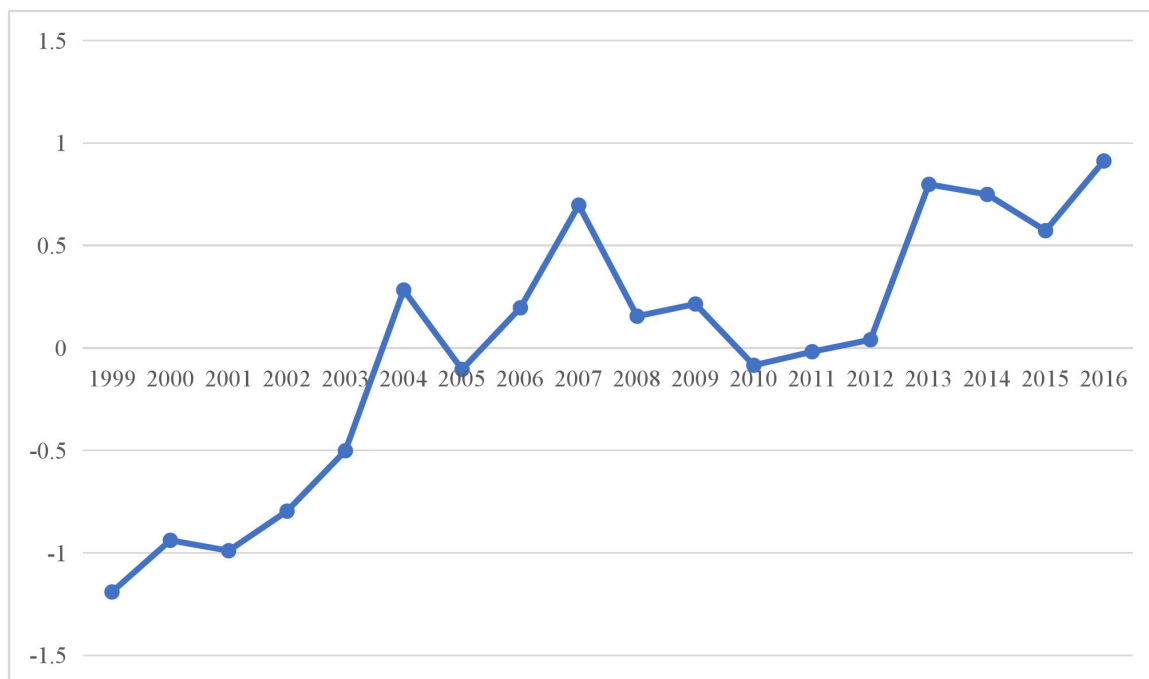


图 6-3 广州市 1999-2016 年生态环境文明综合指数

从图 6-3 可以发现，1999-2016 年广州市生态环境文明发展综合指数呈现波动上升趋势。1999-2004 年总体上升期间，2004 年出现波峰；2005 年下降到达波谷；2005-2007 年再次上升，且上升趋势明显，2007 年再次出现波峰后，很快下降回 2005 年水平；2008-2012 年间，整体生态环境文明指数波动不大。2012 年后上升速度很快于 2013 年到达 2007 年波峰水平；2013 年后，波动上升。这说明，广州市 1999-2016 年间的生态环境文明发展虽然总体看呈现上升趋势，但其发展并不稳定。

6.4 广州市 1999-2016 年间生态文化文明进程的综合评价

本研究通过对评价对象的教育经费占财政支出比重 (D1)、人均拥有公共图书馆藏量 (D2)、营运线路长度 (D3)、高校师生比 (D4)、每十万人高校学生数 (D5)、每万人拥有公共交通工具 (D6)、人均娱乐文化消费占消费支出比例 (D7) 等七类经济发展指标的分析, 评价广州市“生态文化文明”状况。下表 6-16 是各原始变量的相关系数矩阵。

表6-16 Correlation Matrix

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
D1	1.000	.417	.425	.291	.315	.416	-.230
D2	.417	1.000	.651	.781	.947	.804	-.642
D3	.425	.651	1.000	.388	.475	.646	-.463
D4	.291	.781	.388	1.000	.876	.692	-.418
D5	.315	.947	.475	.876	1.000	.801	-.621
D6	.416	.804	.646	.692	.801	1.000	-.762
D7	-.230	-.642	-.463	-.418	-.621	-.762	1.000

从表 6-16 中, 可以发现, 七个变量之间直接的相关性比较强, 最大的为 0.947, 还有多项超过 0.500, 说明它们之间的确存在信息上的重叠, 初步判断是可以进行因子分析的。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验, 检验结果如下表 6-17 所示。

表6-17 KMO and Bartlett's Test

	KMO 统计值	0.687
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	105.895
	df	21
	Sig.	.000

由 Bartlett 球形检验可以看出, Chi-Square 统计量为 105.895 ($P < 0.000$), 应拒绝各变量独立的假设, 即变量间具有较强的相关性。但 KMO 统计量为 0.687, 小于 0.7, 说明各变量间的信息重叠程度可能不是特别高, 有可能做出的因子分析模型不是很完善, 但还是值得尝试。

根据特征根大于 1 的原则选取因子, 发现七个指标可以归纳为 1 个因子, 其累计方差贡献率为 65.413%, 能较好的反映原来 7 个指标的信息, 如下表 6-18 所示。

表6-18 总的累计方差解释率

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.579	65.413	65.413	4.579	65.413	65.413

2	.918	13.117	78.530			
3	.700	9.993	88.523			
4	.482	6.886	95.410			
5	.192	2.737	98.146			
6	.115	1.636	99.782			
7	.015	.218	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

生态经济文明因子水平与教育经费占财政支出比重（D1）、人均拥有公共图书馆藏量（D2）、营运线路长度（D3）、高校师生比（D4）、每十万人高校学生数（D5）、每万人拥有公共交通工具（D6）、人均娱乐文化消费占消费支出比例（D7）间的关系表 6-19 所示。

表 6-19 生态文化文明因子指标贡献率

生态文化文明	文化文明主因子 F1
教育经费占财政支出比重 D1	.498
人均拥有公共图书馆藏量 D2	.950
营运线路长度 D3	.706
高校师生比 D4	.816
每十万人高校学生数 D5	.925
每万人拥有公共交通工具 D6	.922
人均娱乐文化消费占消费支出比例 D7	-.746

由表 6-19 可见，反映广州市生态文化文明状况的有一个主因子。根据各项分指标对主因子的贡献率，对生态文化文明状况主因子 1 影响较大的有人均拥有公共图书馆藏量（D2）、每十万人高校学生数（D5）、每万人拥有公共交通工具（D6）、高校师生比（D4）、营运线路长度（D3）。

广州市 1999-2016 年的生态文化文明因子得分及排名，如表 6-20 所示。

表 6-20 广州市 2000-2016 年间生态文化文明因子得分及排名

年份	因子 1 得分	综合得分	排序
1999	-1.48962	-1.48962	18
2000	-1.17951	-1.17951	17
2001	-0.88	-0.88	14
2002	-0.96811	-0.96811	16
2003	-0.95869	-0.95869	15

2004	-0.69585	-0.69585	13
2005	-0.48798	-0.48798	12
2006	-0.43777	-0.43777	11
2007	-0.24294	-0.24294	10
2008	-0.04986	-0.04986	9
2009	0.384241	0.384241	6
2010	-0.04845	-0.04845	8
2011	0.320119	0.320119	7
2012	0.822198	0.822198	5
2013	1.604699	1.604699	2
2014	1.200372	1.200372	4
2015	1.475977	1.475977	3
2016	1.631163	1.631163	1

注：生态文化文明因子综合得分=1×F_i

根据上述计算结果，广州市 1999-2016 年间的生态文化文明的发展趋势，如下图 6-4 所示。

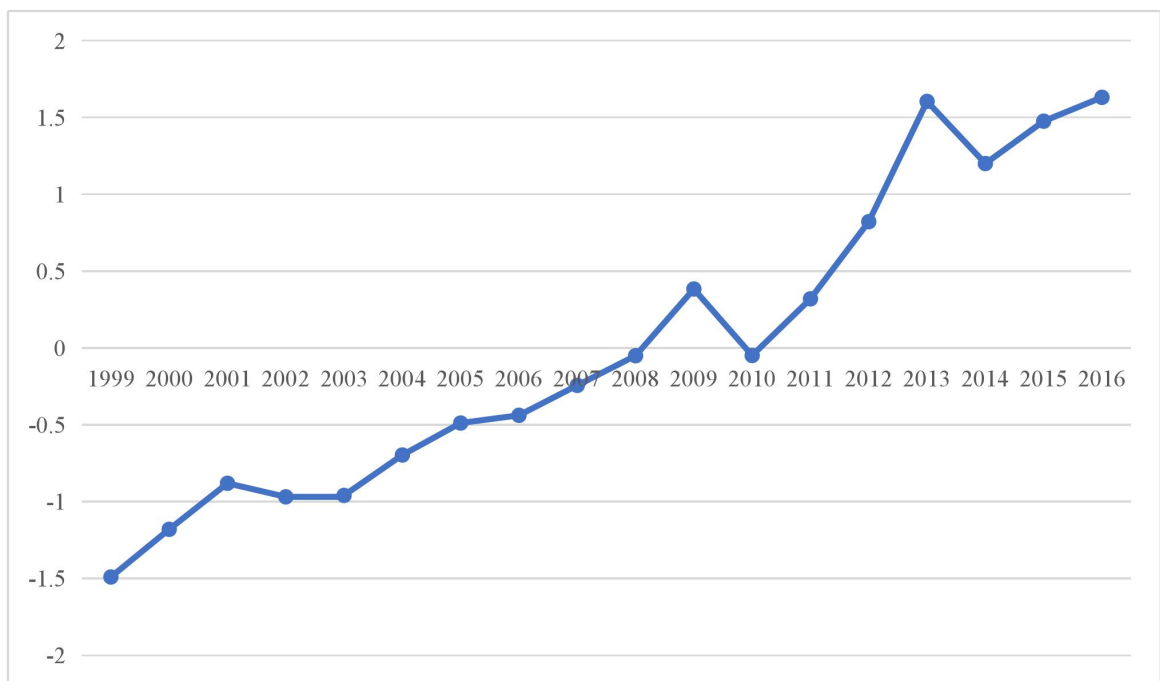


图 6-4 广州市 1999-2016 年生态文化文明综合指数

从图 6-4 可以发现，1999-2016 年广州市生态文化文明发展综合指数呈总体上升趋势。1999-2001 年呈上升趋势，2001-2003 年呈小幅度下降趋势，2003-2009 年呈稳步上升趋势，2009-2010 年出现下降后，2010-2013 年逐年上升，2013-2014 年出现短暂下降，

2014-2016 年逐年回升。这说明随着广州市经济和社会的发展广州市生态文化文明发展程度也在逐渐在加深，生态文化文明也有了较大程度的提高。

6.5 广州市 1999-2016 年间生态制度文明进程的综合评价

本研究通过对评价对象的单位 GDP 执业律师人数 (E1)、单位 GDP 民事诉讼代理数 (E2)、单位 GDP 调解纠纷数 (E3)、单位 GDP 刑事案件立案数 (E4)、破案率 (E5)、单位 GDP 治安案件查处数 (E6)、社会公平保障指数 (E7)、社会管理指数 (E8)、社会体制竞争力 (E9) 等九类指标的分析，评价广州市“生态制度文明”状况。下表 6-21 是各原始变量的相关系数矩阵。

表 6-21 Correlation Matrix

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
E1	1.000	-.091	.767	.775	.300	.165	-.758	-.562	-.879
E2	-.091	1.000	-.228	-.245	.229	.209	.327	-.043	-.044
E3	.767	-.228	1.000	.764	.075	.083	-.551	-.353	-.705
E4	.775	-.245	.764	1.000	-.224	-.059	-.675	-.300	-.638
E5	.300	.229	.075	-.224	1.000	.397	-.035	-.520	-.281
E6	.165	.209	.083	-.059	.397	1.000	-.070	-.258	-.362
E7	-.758	.327	-.551	-.675	-.035	-.070	1.000	.484	.695
E8	-.562	-.043	-.353	-.300	-.520	-.258	.484	1.000	.315
E9	-.879	-.044	-.705	-.638	-.281	-.362	.695	.315	1.000

从表 6-21 中，九个变量之间直接的相关性比较强，最大的为 0.879，还有多项超过 0.500，说明它们之间的确存在信息上的重叠，初步判断是可以进行因子分析的。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验，检验结果如下表 6-22 所示。

表 6-22 KMO and Bartlett's Test

	KMO 统计值	0.538
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	105.710
	df	36
	Sig.	.000

由 Bartlett 球形检验可以看出，Chi-Square 统计量为 105.710 ($P < 0.000$)，应拒绝各变量独立的假设，即变量间具有较强的相关性。但 KMO 统计量为 0.538，小于 0.7，说明各变量间的信息重叠程度可能不是特别高，有可能做出的因子分析模型不是很完善，但还是值得尝试。

根据特征根大于 1 的原则选取因子，发现 9 个指标可以归纳为 2 个因子，其累计方差贡献率为 68.765%，能较好的反映原来 9 个指标的信息，如下表 6-23 所示。

表 6-23 总的累计方差解释率

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.265	47.385	47.385	4.265	47.385	47.385
2	1.924	21.380	68.765	1.924	21.380	68.765
3	.905	10.055	78.820			
4	.734	8.159	86.979			
5	.502	5.581	92.560			
6	.420	4.662	97.222			
7	.153	1.698	98.921			
8	.071	.789	99.710			
9	.026	.290	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

生态制度文明因子水平与单位 GDP 执业律师人数 (E1)、单位 GDP 民事诉讼代理数 (E2)、单位 GDP 调解纠纷数 (E3)、单位 GDP 刑事案件立案数 (E4)、破案率 (E5)、单位 GDP 治安案件查处数 (E6)、社会公平保障指数 (E7)、社会管理指数 (E8)、社会体制竞争力 (E9) 间的关系表 6-24 所示。

表 6-24 生态制度文明因子指标贡献率

生态制度文明	制度文明主因子 F1	制度文明主因子 F2
单位 GDP 执业律师人数 E1	.963	.041
单位 GDP 民事诉讼代理数 E2	-.178	.602
单位 GDP 调解纠纷数 E3	.836	-.188
单位 GDP 刑事案件立案数 E4	.816	-.427
破案率 E5	.247	.813
单位 GDP 治安案件查处数 E6	.236	.663
社会公平保障指数 E7	-.834	.194
社会管理指数 E8	-.596	-.430
社会体制竞争力 E9	-.879	-.138

由表 6-24 可见，反映生态制度文明状况的有两个主因子。根据各项分指标对主因子的贡献率，对生态制度文明状况主因子 1 影响较大的有单位 GDP 执业律师人数 (E1)、单位 GDP 调解纠纷数 (E3)、单位 GDP 刑事案件立案数 (E4)、社会公平保障指数 (E7)、社会体制竞争力 (E9)；对主因子 2 影响较大的有破案率 (E5)、单位 GDP 治安案件查处数 (E6)。

广州市 1999-2016 年的生态制度文明因子得分及排名，如表 6-25 所示。

表 6-25 广州市 2000-2016 年间生态制度文明因子得分及排名

年份	因子 1 得分	因子 2 得分	综合得分	排序
1999	0.953002	0.217678	1.17068	1
2000	1.365517	-0.27771	1.087806	2
2001	1.033097	-0.25933	0.77377	4
2002	0.728577	0.133438	0.862015	3
2003	0.386288	-0.07604	0.310247	8
2004	0.455504	-0.05217	0.403339	7
2005	0.201435	0.21747	0.418905	6
2006	-0.17775	0.480949	0.303197	9
2007	0.314306	0.173227	0.487534	5
2008	-0.42397	0.265978	-0.15799	11
2009	-0.58568	0.52012	-0.06556	10
2010	-0.57023	0.321295	-0.24893	12
2011	-0.73729	0.111275	-0.62602	13
2012	-0.56137	-0.26589	-0.82726	15
2013	-0.48203	-0.41779	-0.89982	16
2014	-0.59993	-0.33657	-0.9365	17
2015	-0.77367	-0.4657	-1.23938	18
2016	-0.5258	-0.29023	-0.81603	14

注：生态制度文明因子综合得分=0.6891×F₁+0.3109×F₂

根据上述计算结果，广州市 1999-2016 年间的生态制度文明的发展趋势，如下图 6-5 所示。

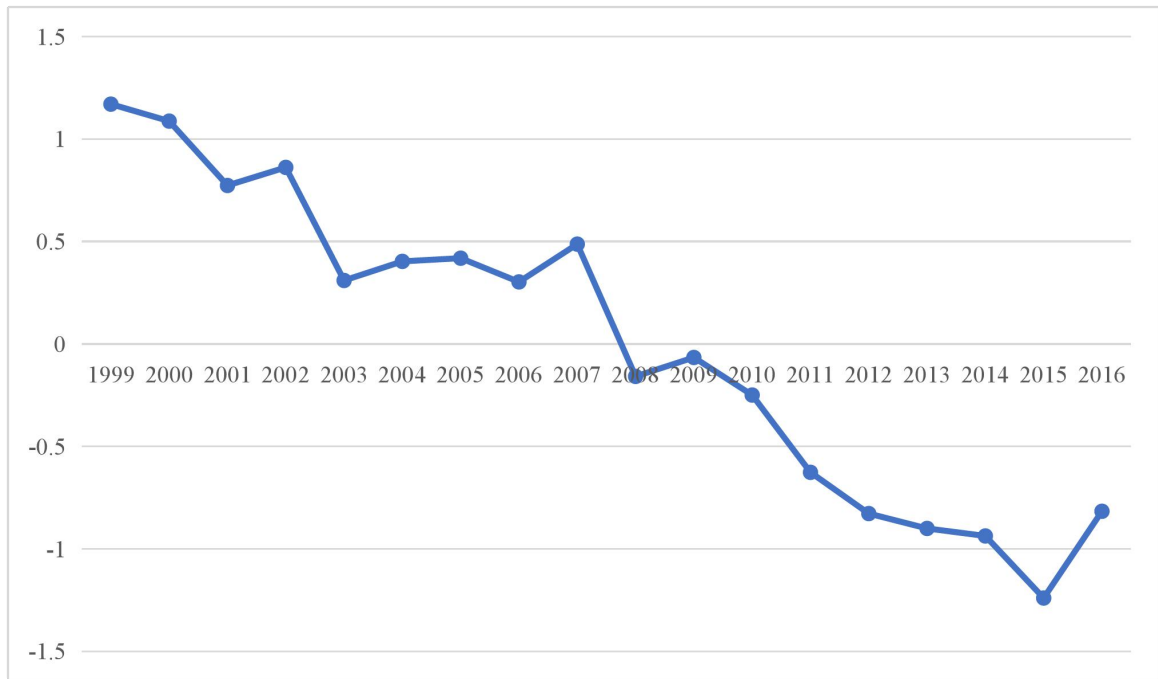


图 6-5 广州市 1999-2016 年生态制度文明综合指数

从图 6-5 可以发现，1999-2016 年生态制度文明发展趋势总体呈现下降趋势。广州市生态制度文明发展不断波动下降，这一点表明随着广州市制度保障和制度管理水平的还并不高，广州市的生态制度文明并不适合当前广州市的发展水平。同时这说明经济和社会等发展的同时也要兼顾好制度文明的发展，生态制度文明的发展尚且存在很大的发展空间。应当提高生态制度文明意识，积极改革发展以适应时代需求。

6.6 广州市 1999-2016 年间生态文明进程的综合评价

本研究通过对广州市的生态经济文明（A）、生态社会文明（B）、生态环境文明（C）、生态文化文明（D）、生态制度文明（E）等五类指标的分析，评价广州市“生态文明”状况。下表 6-26 是各原始变量的相关系数矩阵。

表 6-26 Correlation Matrix

	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D	E1	E2
A1	1.000	.000	.947	.210	.185	.911	.234	-.262	.948	-.924	-.258
A2	.000	1.000	-.091	.840	-.358	.315	-.578	.669	-.209	-.200	.713
B1	.947	-.091	1.000	.000	.000	.856	.279	-.318	.914	-.880	-.297
B2	.210	.840	.000	1.000	.000	.446	-.378	.580	.046	-.382	.531
B3	.185	-.358	.000	.000	1.000	.058	.140	-.352	.325	-.091	-.423
C1	.911	.315	.856	.446	.058	1.000	.000	.000	.812	-.902	-.057
C2	.234	-.578	.279	-.378	.140	.000	1.000	.000	.435	-.052	-.502
C3	-.262	.669	-.318	.580	-.352	.000	.000	1.000	-.329	.169	.479
D	.948	-.209	.914	.046	.325	.812	.435	-.329	1.000	-.836	-.453

	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D	E1	E2
A1	1.000	.000	.947	.210	.185	.911	.234	-.262	.948	-.924	-.258
A2	.000	1.000	-.091	.840	-.358	.315	-.578	.669	-.209	-.200	.713
B1	.947	-.091	1.000	.000	.000	.856	.279	-.318	.914	-.880	-.297
B2	.210	.840	.000	1.000	.000	.446	-.378	.580	.046	-.382	.531
B3	.185	-.358	.000	.000	1.000	.058	.140	-.352	.325	-.091	-.423
C1	.911	.315	.856	.446	.058	1.000	.000	.000	.812	-.902	-.057
C2	.234	-.578	.279	-.378	.140	.000	1.000	.000	.435	-.052	-.502
C3	-.262	.669	-.318	.580	-.352	.000	.000	1.000	-.329	.169	.479
D	-.924	-.200	-.880	-.382	-.091	-.902	-.052	.169	-.836	1.000	.000
E1	-.258	.713	-.297	.531	-.423	-.057	-.502	.479	-.453	.000	1.000
E2	1.000	.000	.947	.210	.185	.911	.234	-.262	.948	-.924	-.258

从表 6-26 中，可以发现，11 个变量之间直接的相关性比较强，最大的为 0.947，而且有多个指标之间的相关系数都大于 0.5，说明它们之间的确存在信息上的重叠，信息重叠程度比较大，初步判断是可以进行因子分析的。对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 球形检验，检验结果如下表 6-27 所示。

表 6-27 KMO and Bartlett's Test

Bartlett's Test of Sphericity	KMO 统计值	0.563
	Approx. Chi-Square	253.316
	df	55
	Sig.	.000

由 Bartlett 球形检验可以看出，Chi-Square 统计量为 253.316 ($P < 0.000$)，应拒绝各变量独立的假设，即变量间具有较强的相关性。但 KMO 统计量为 0.563，小于 0.7，说明各变量间的信息重叠程度可能不是特别高，有可能做出的因子分析模型不是很完善，但还是值得尝试。

根据特征根大于 1 的原则选取因子，发现五个指标可以归纳为 3 个因子，其累计方差贡献率为 85.438%，能较好的反映原来 11 个指标的信息，如下表 6-28 所示。

表6-28 Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.867	44.243	44.243	4.867	44.243	44.243	4.734	43.036	43.036
2	3.440	31.274	75.518	3.440	31.274	75.518	2.880	26.177	69.214
3	1.091	9.920	85.438	1.091	9.920	85.438	1.785	16.224	85.438
4	.982	8.925	94.363						
5	.367	3.339	97.702						
6	.124	1.124	98.827						

7	.048	.433	99.260						
8	.046	.418	99.677						
9	.020	.178	99.855						
10	.012	.111	99.966						
11	.004	.034	100.000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

生态制度文明因子水平与生态经济文明（A）、生态社会文明（B）、生态环境文明（C）、生态文化文明（D）、生态制度文明（E）间的关系表 5-29 所示。

表6-29 生态文明因子指标贡献率

生态文明	生态文明主因子 F1	生态文明主因子 F2	生态文明主因子 F3
生态经济文明 A1	.979	.157	.004
生态经济文明 A2	-.150	.964	-.032
生态社会文明 B1	.954	.059	.154
生态社会文明 B2	.080	.879	-.165
生态社会文明 B3	.265	-.365	-.625
生态环境文明 C1	.863	.453	-.009
生态环境文明 C2	.327	-.522	.638
生态环境文明 C3	-.355	.632	.485
生态社会文明 D	.984	-.070	.046
生态制度文明 E1	-.891	-.372	.061
生态制度文明 E2	-.399	.747	-.008

表 6-29 反映反映生态文明状况的有 3 个主因子。根据各项分指标对主因子的贡献率，对生态文明状况主因子 1 影响较大的有生态经济文明（A1）、生态社会文明（B1）、生态环境文明（C1）、生态文化文明（D）、生态制度文明（E1）；对生态文明状况主因子 2 影响较大的有生态经济文明（A2）、生态社会文明（B2）、生态制度文明（E2）；对生态文明状况主因子 3 影响较大的有生态环境文明（C2）、生态社会文明（B3）。

广州市 2000-2013 年间生态文明因子得分及排名，如表 6-30 所示。

表6-30 广东省2000-2013年间生态文明因子综合得分及排名

年份	因子 1 得分	因子 2 得分	因子 3 得分	综合得分	排序
1999	-0.94413	0.00542	0.00542	-1.08512	17
2000	-0.8395	-0.31502	-0.31502	-1.2097	18

2001	-0.68736	-0.31077	-0.31077	-1.04326	16
2002	-0.60231	-0.09439	-0.09439	-0.72232	15
2003	-0.41693	-0.02296	-0.02296	-0.41017	14
2004	-0.22783	0.029988	0.029988	-0.00829	12
2005	-0.2069	0.1252	0.1252	0.027784	11
2006	-0.03892	0.374994	0.374994	0.435382	7
2007	0.108403	0.225701	0.225701	0.478048	6
2008	0.199594	0.284093	0.284093	0.570116	5
2009	0.291895	0.391958	0.391958	0.722209	1
2010	0.303265	0.268911	0.268911	0.636022	4
2011	0.355563	0.450552	0.450552	0.699212	2
2012	0.384047	0.514169	0.514169	0.647777	3
2013	0.522441	-0.2803	-0.2803	0.17958	8
2014	0.551448	-0.74017	-0.74017	-0.1056	13
2015	0.603784	-0.29288	-0.29288	0.154147	9
2016	0.64345	-0.61451	-0.61451	0.034179	10

注：生态制度文明因子综合得分=0.5179×F₁+0.3660×F₂+0.1161×F₃

根据上述计算结果，广州市 1999-2016 年间的生态文明发展趋势，如下图 6-6 所示。

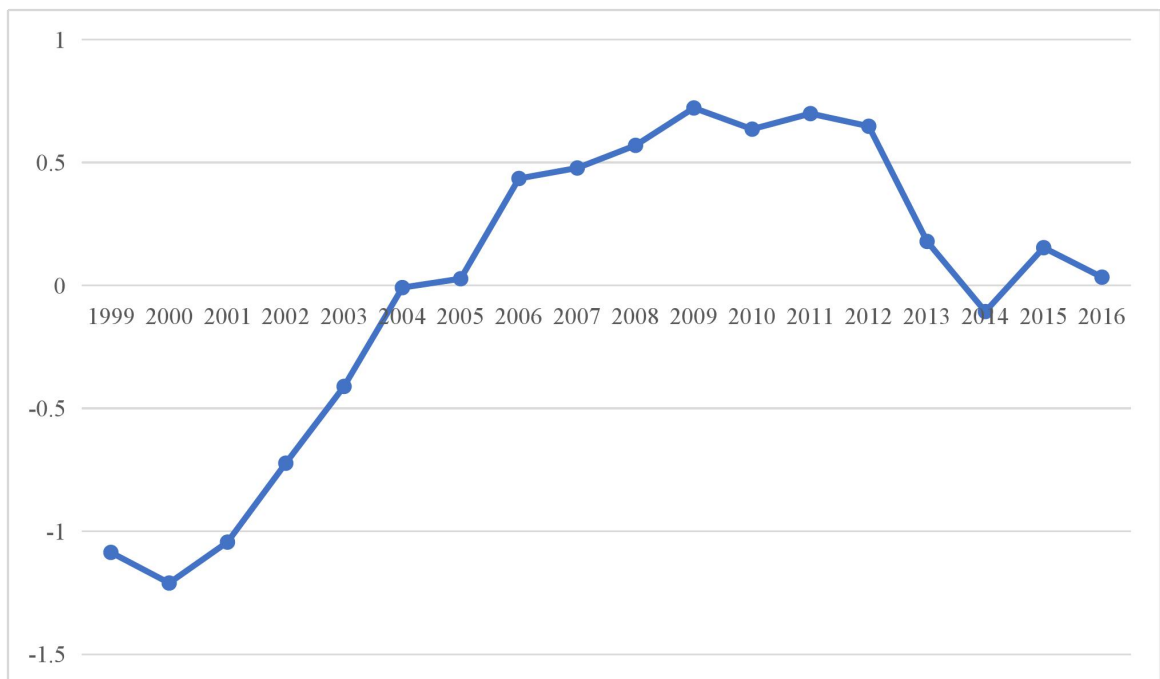


图 6-6 广州市 1999-2016 年生态文明综合指数

从图 6-6 可以发现，1999-2016 年生态文明发展趋势总体呈两种状态：1999-2009 年生态文明综合指数波动上升；2009-2016 年波动下降。1999-2009 年生态文明综合指数波

动上升且发展增速较为稳定，这说明随着广州市经济社会等的发展，广州市生态文明发展程度也在不断加深。2009年后，生态文明发展综合指数波动下降，且回落到2004年水平。这说明，虽然经济社会在发展的同时，生态制度文明的不断下降这也要引起注意，做出调整，在建设生态文明社会的进程中需要不断努力完善制度。

6.7 本章小结

本章以1999-2016年间广州市生态文明发展情况为研究对象，使用因子分析方法，分别从生态文明的五个方面（即生态经济文明、生态社会文明、生态环境文明、生态文化文明、生态制度文明）分别进行了综合动态监测，研究结果总结如下：

从生态文明下的五个指标来看：**（1）生态经济文明方面。**广州市1999-2016年间，除了2005年、2011年和2012-2014年有所下降外，广州市的生态经济文明状况基本呈现逐渐上升的趋势，这一点与广州市GDP发展水平相一致，由此表明广州市的生态经济文明发展状况较好。**（2）生态社会文明方面。**广州市在1999-2016年间，除了中间2012-2013年和2015-2016年外，生态社会文明综合指数呈现逐渐上升的趋势，这说明随着广州人的发展和公共品的投资，广州市的生态社会文明指标的未来发展趋势在逐渐变好。**（3）生态环境文明方面。**广州市在1999-2016年间，广州市生态环境文明发展综合指数呈现波动上升趋势，这说明随着广州经济的发展，广州市的资源利用效率、生态环境安全以及生态系统的恢复与建设，都需要进一步增加投入。**（4）生态文化文明方面。**广州市生态文化文明发展综合指数呈总体上升趋势，这一点表明随着广州市文化教育水平和生态环境质量的提高，广州市的生态文化文明状况逐渐变好。**（5）生态制度文明方面。**广州市1999-2016年间，生态制度文明发展趋势总体呈现下降趋势。广州市生态制度文明发展不断波动下降。这说明经济和社会等发展的同时也要兼顾好制度文明的发展，生态制度文明的发展尚且存在很大的发展空间。同时广州市制度保障需要继续完善和制度管理水平还亟待提高，应当提高生态制度文明意识，积极改革发展以适应时代需求。

综合上述五个指标的分析，得到在1999-2016年间，广州市的生态文明状况基本呈现逐渐上升的趋势，这一点表明随着广州市经济发展、社会文明的提高、环境的改善、文化水平的提高等，广州市的生态文明状况逐渐变好，但是在经济社会在发展的同时，生态制度文明的不断下降这也要引起注意，做出调整，在建设生态文明社会的进程中需要不断努力完善制度。

第7章 促进广州市生态文明建设的政策建议

生态文明建设是关系人民福祉、关乎民族未来的长远大计。生态文明建设是一项系统工程，尚处于初级阶段，把生态文明建设融入到经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程。以科学发展观为指导，充分协调各方面力量，牢固树立生态文明观念，注重发展绿色生产力，完善环境保护法律法规，健全环保制度及评价体系，为生态文明建设提供支持。

7.1 倡导生态文明建设的理念

缺乏科学的发展观和全民生态文明建设意识是影响生态文明发展的首要原因。因此，建设生态文明首先要从观念上入手。

中共十八大报告中首次把“美丽中国”作为未来生态文明建设的宏伟目标，把生态文明建设放在突出地位，引起了全国人民的共鸣。首先应倡导人们从生态批评的视角去重新看待人类与自然的关系，反拨人类中心主义的专断和排他意识，唤醒人们的生态保护意识，使人们重新树立尊重自然、爱护生态环境的理念。其次建议人们深刻认识生态文明。生态文明是对以往文明的反思和扬弃。生态文明也是对现有文明的整合与重塑。生态文明是社会文明在自然环境和社会环境融合的过程中的扩展与延伸，是社会文明的生态化表现。最后提高人们的生态伦理必须建立新的系统概念、价值观、经济观、消费观、科学技术观，应积极创建国家生态道德意识培养的社会氛围。

生态文明建设应以创新为动力，以不断完善生态建设为长效机制，以构建生态文明全民公众参与体系为主要策略，帮助公众建立新的系统概念、价值观、经济观、消费观、科学技术观，进而完善城市生态文明建设。同时，生态文明建设是加快城市文明建设进程中的重要环节，是社会文明在自然环境和社会环境融合的过程中的扩展与延伸，是社会文明的生态化表现。研究出能够促进生态文明建设的可行性对策，为政府部门决策提供相对依据，有利于积极创建国家生态道德意识培养的社会氛围。

经济社会发展的目的，是为了更好地满足人们日益增长的物质、文化和生态需求。建设生态文明，并不是要人们节衣缩食，而是要构建健康文明的生产和生活消费方式，这是建设生态文明需要注意的重要方面。

7.2 加强生态文明的制度建设

党的十八大报告指出：“保护生态环境必须依靠制度。要把资源消耗、环境损害、

生态效益纳入经济社会发展评价体系，建立体现生态文明要求的目标体系、考核办法、奖惩机制”。这是首次提出把生态文明制度建设作为建设社会主义生态文明的根本保障。必须制定相应的制度来保障生态文明建设的有序进行。

在我国生态文明的建设中，政府必须发挥主导作用。政府应该综合利用经济、行政以及法律等多种手段，建构起完整的生态文明制度，为生态文明建设提供制度保障。就经济手段而言，政府应该继续加大绿色 GDP 核算体系，增加环保投入，调动社会力量积极参与生态文明建设，完善财政转移支付制度，使其更加符合生态文明建设的公平性原则。就行政和法律手段而言，在立法条件不太成熟的地方，可以先出台一些行政规定，待条件成熟后制定相应法律法规，以法律的形式规定相应的指标、考核及奖惩办法。并且将生态文明的建设纳入地方政府领导的政绩考核中，把“青山绿水”作为一个重要的指标，不再只注重看得见的政绩工程，建立环保责任制，环境风险评价机制以及有效的公众参与机制，让每一个人都参与到生态文明建设事业中来，建构起生态文明制度的“无缝之网”。此外，应该积极参与国际合作，借鉴国外先进的制度和管理经验，为我国的生态文明建设提供完整的制度保障。

7.3 加强生态文明建设的科学规划

生态文明建设是一项科学而严肃的系统工程，是一个长期性、战略性、持续性进程，必须以科学规划为指导。目前我国基本建立了由主体功能区规划、环境规划与各专项资源规划构成的规划体系，应加强规划的实施管理，另外这些规划的系统性和协调性还需要完善，应编制生态文明建设规划来统领资源环境生态规划体系。

生态文明建设须严格执行国土空间规划。严格实施主体功能区规划，根据 4 类功能区的功能定位及配套政策，优化区域功能配置和定位，区域差异化地推进生态文明建设。严格实施正在编制之中的全国国土规划纲要，优化国土开发利用保护与整治的空间格局。严格实施水资源规划、土地利用规划、能源规划、环境保护规划、生态建设规划等专项规划。

按照科学性、长期性、战略性、系统性的特点和要求，研究编制生态文明建设规划。生态文明建设规划须科学分析生态文明建设的基础和条件、优势和劣势、前景和风险；科学确认生态文明建设原则和目标、路径和模式；科学界定生态文明建设的重点领域和重点区域；科学把握生态文明建设的关键环节和重点措施；明确规划的地位和作用，必要时需要经过同级立法机关的通过。

7.4 转变生态文明建设的经济发展方式

改革开放以来，我国的 GDP 持续高速增长，但也付出了沉重的环境代价。调查数据显示：“我国的 GDP 以每年 8%-12% 的速度增长，环境损失也占当年 GDP 的 8%-13%。改革开放三十多年了，不能再走“先污染，后治理”，走粗放型经济增长方式的老路，必须走科学发展之路，不单纯追求经济的“增长”，而要注重经济的“发展”，变“粗放型”经济增长方式为“集约型”经济发展方式，建设资源节约型、环境友好型社会，实现国民经济又好又快地发展。

加快形成有利于节约能源资源和保护生态环境的产业结构，使整个经济发展模式更加科学化、生态化。一是大力发展生态工业，实现降低能源消耗、减少污染。二是大力发展绿色农业，控制并尽量减少农药的使用剂量。三是充分利用城市自身的生态资源优势，大力发展生态旅游业。

7.5 本章小结

本章简要地提出了促进广州市生态文明建设的政策建议。具体而言，主要包括：倡导生态文明建设的理念，加强生态文明的制度建设，加强生态文明建设的科学规划和转变生态文明建设的经济发展方式等。

结 论

本课题主要采用规范的理论研究和实证分析相结合、定性分析与定量分析相结合的研究方法。围绕生态文明综合评价指标体系构建和实证研究两个方面，论文界定了生态文明概念内涵，建立了评价指标并确定了评价方法和评价标准，构建了评价区域生态文明发展程度综合评价指标体系，实证评估了广东省 21 个地级市行政区的生态文明发展程度和广州市 2000-2013 年间的生态文明发展趋势。根据评价结果，本文进一步讨论了其理念、法制、经济手段和技术方面的政策启示。

(1) 界定了生态文明概念内涵。有关“生态文明”的定义，目前学术界尚未有统一的界定，学者根据各自的研究目的和需要，提出了生态文明的定义，目前学术界主要存在两种观点，即“类型说”和“要素说”，其内涵与特征存在区别（表 1）

表 1 “类型说”和“要素说”在内涵和特征上的关系

	类型说	要素说
内涵	文明演进到高级阶段	任何社会都存在的生态维度
时间上	阶段性：后现代指向	普遍性：贯穿文明始终
内容上	整体性与系统性	局部性和还原性
价值上	时代进步性	基础性，是任何文明存续的基础

资料来源：根据巩固和孔曙光（2014）的研究整理。

具体而言，“类型说”是从历史分期角度把生态文明界定为文明演进到高级阶段的一种类型，具有一定的历史发展演进轨迹，即从原始文明、农耕文明、工业文明到生态文明演进过程。其特征包括：一是时间上的阶段性，是人类文明的新形态，具有后工业或后现代的指向；二是内容上更为整体；三是价值上的进步性。“要素说”认为生态文明是任何社会都存在的生态维度，是任何人类社会存在的基础和前提，也是人类社会必须具有的结构维度。其特征包括：时间上的普遍性，贯穿所有文明始终；内容上的局部性，强调社会结构中生态直接联系的那部分；价值上的基础性，是任何文明得以存续的基础。

我们采纳生态文明的“要素说”的观点，一方面是“要素说”符合我们研究的目标，但更为重要的是，它相对于“类型说”具有三个突出的优点：一是在理念上，目前并不缺乏对生态文明理念的把握，缺乏的是将生态文明整体内涵和建设方向进行细分、可操作化，

以在实践中落实，为了响应十八大号召，我们强调“经济-社会-环境-文化-制度”五位一体协同发展的生态文明理念；二是时间上的普遍性，便于对不同区域的横向比较，并且时间上的连续性，也便于对同一区域进行纵向追踪分析；三是内容上除了整体性之外，还有分解和还原，这便于政府和相关的决策部门进行可操作化，因为理论终将还是要为实践服务的。

综上所述，我们认为生态文明是“以资源环境承载力为基础、以自然规律为准则、以可持续发展为目标”的文明形态，其可持续性体现在经济建设、政治建设、文化建设、社会建设和制度建设等“五位一体”总体布局的相互协调发展。

(2) 建立了生态文明建设水平评价指标体系。“生态文明”建设的指标体系，主要反映某一国家或地区经济社会发展与资源环境协调的程度。同时，由于“生态文明”涉及经济社会发展的生产、消费、人口、资源、环境等各个方面，因此，评价指标也应该全面反映这些情况；又由于“生态文明”涉及的因素太多，评价指标不可能面面俱到、无所不包。基于上述考虑，我们提出一套简明扼要的“生态文明”建设评价指标体系。该指标体系分为四个层次：第一层次为目标层，主要通过各级指标加权得出某一国家或地区的“生态文明”建设程度；第二层次为准则层，包括“生态经济文明指数”、“生态社会文明指数”、“生态资源与环境文明指数”“生态文化文明指数”和“生态制度文明指数”五个方面，分别反映生态文明在经济、社会、资源与环境、文化和制度等五个方面的状况；第三层次为基本指标，分别从不同角度继续划分生态文明在经济、社会、资源与环境、文化和制度等方面的指标，第四层次为第三层次的具体衡量指标。本课题应用理论分析法、专家咨询等方法，构建了一套由 47 个指标构成的生态文明建设水平综合评价指标体系（如表 3-2 所示）。

(3) 对广州市生态文明建设水平进行综合监测。根据生态文明建设所涵盖的内容，本课题分别从生态文明的 1 个一级指标、5 个二级指标和 11 个三级指标对广东省 21 个地级市行政区 2016 年横截面、广东 1999-2016 年纵向数据和广州市 1999-2016 年间的时序序列三个方面进行综合评价和监测。

从广东省 21 个地级市行政区的横截面方面看，广州市生态文明综合评价的结果是：生态经济文明位列省内第三，综合得分为 1.10241；生态社会文明位列省内第二，综合得分为 2.06051；生态环境文明位列省内第六，综合得分为 0.39715；生态文化文明位列省内第二，综合得分为 0.88193；生态制度文明位列省内第五，综合得分为 0.68978；最终生态文明综合发展水平位列省内第二，综合得分为 1.15676。

从广州市 1999-2016 年间的时间序列趋势上看。从生态文明下的五个指标来看：(1) 生态经济文明方面。广州市 1999-2016 年间，除了 2005 年、2011 年和 2012-2014 年有所下降外，广州市的生态经济文明状况基本呈现逐渐上升的趋势，这一点与广州市 GDP 发展水平相一致，由此表明广州市的生态经济文明发展状况较好。(2) 生态社会文明方面。广州市在 1999-2016 年间，除了 2012-2013 年和 2015-2016 年外，生态社会文明综合指数呈现逐渐上升的趋势，这说明随着广州人的发展和公共品的投资，广州市的生态社会文明指标的未来发展趋势在逐渐变好。(3) 生态环境文明方面。广州市在 1999-2016 年间，生态环境文明综合指数总体上呈现波动上升趋势，这说明随着广州经济的发展，广州市的资源利用效率、生态环境安全以及生态系统的恢复与建设，都呈现出有利生态环境文明的趋势，尤其是近年来的生态环境文明呈现较快发展的趋势。但同时，广州市 1999-2016 年间的生态环境文明发展虽然总体看呈现上升趋势，但其发展并不稳定仍需注意。(4) 生态文化文明方面。广州市 1999-2016 年间，广州市的生态文化文明状况基本呈现总体上升的趋势，这一点表明随着广州市文化教育水平和生态环境质量的提高，广州市的生态文化文明状况逐渐变好。(5) 生态制度文明方面。广州市 1999-2016 年间，广州市的生态制度文明状况基本呈现波浪式下降的趋势。在 2007 年后，呈现逐渐下降的趋势越发明显，这说明广州市的生态制度文明状况逐渐变差，广州市制度保障和制度管理水平仍然有待提高。同时，经济和社会等发展的同时也要兼顾好制度文明的发展，生态制度文明的发展尚且存在很大的发展空间。应当提高生态制度文明意识，积极改革发展以适应时代需求。

综合上述五个指标的分析，得到在 1999-2016 年间，广州市的生态文明状况基本呈现逐渐上升的趋势，这一点表明随着广州市经济发展、社会文明的提高、环境的改善、文化水平的提高以及制度保障，广州市的生态文明状况逐渐变好，尤其是近几年增长幅度逐渐增强。

应当指出，本文虽然在生态文明发展程度综合评价问题研究上做了一些探索，但对于该领域理论研究和实际问题的解决，这些工作仅仅是一个开端，还有很多方面需要完善和研究：

(1) 生态文明发展水平评价系统是一个复杂的系统，系统的多目标性决定了评价是在一个多维空间体系开展。目前，多目标评估存数理统计学领域也是一个难题，如何寻求更适合的生态文明评价的理论方法，有待于进一步深入研究。

(2) 生态文明评价指标的选取和确定还需要更加精确化。尽管本文所选取的评价

指标是在兼顾科学性原则、客观性原则、可比性原则、系统性原则、层次性原则和可行性原则基础上做出的，但由于受到目前相关学科发展水平的制约，大多数具体的指标，包括一级、二级和三级指标的分类仍略显得不够深入和不够精确。有待于在后续的量化研究和定性研究的基础上，对指标体系进行深入研究。

(3) 生态文明评价指标对传统统计数据提出了挑战。生态文明评价的数据采集是一项复杂的上作，不仅涉及到社会经济数据，而且也需要资源环境数据。然而，我国政府部门公开出版的年鉴主要是反映社会、经济和人口等方面的数据，关于资源环境方面的数据披露的较少。基础数据难以获得在一定程度上影响评价效果。因此，在后续研究中，选定一些更加适切的资源和环境方面数据也是本文未来的一个重要研究方向。

参 考 文 献

- [1] 巩固, 孔曙光. 生态文明概念辨析[J]. 烟台大学学报, 2014, (3):14-23.
- [2] 周江梅, 翁伯琦. 生态文明建设评价指标与其体系构建的探讨[J]. 农学学报, 2012, 2(10):19-25.
- [3] 徐春. 生态文明与价值观转向[J]. 自然辩证法研究, 2004, 20(4).
- [4] 卓越, 赵蕾. 加强公民生态文明意识建设的思考[J]. 马克思主义与现实, 2007(3):106-111.
- [5] 尹成勇. 浅析生态文明建设[J]. 生态经济(中文版), 2006(9):139-141.
- [6] 张云飞. 试论生态文明在文明系统中的地位和作用[J]. 教学与研究, 2006, V(5):25-30.
- [7] 丁开杰, 刘英, 王勇兵. 生态文明建设: 伦理、经济与治理[J]. 马克思主义与现实, 2006(04):19-27.
- [8] 杜新蓉. 生态马克思主义及其对我国生态文明建设的启示[J]. 科学时代月刊, 2011(6):4-5.
- [9] 田鹏. 生态社会主义理论浅析——兼谈对社会主义生态文明建设的启示[J]. 潍坊教育学院学报, 2007(4):6-7.
- [10] 赵海月, 金东梅, 马晓明. 生态马克思主义与生态文明建设[J]. 学习与探索, 2011(6):34-36.
- [11] 柳红霞. 试论当代西方生态社会主义对我国环境治理的启示[J]. 社会主义研究, 2004(4).
- [12] 何煦. 和谐社会的生态文明解读及制度建设启示[J]. 思想政治教育研究, 2008, 24(3):41-42.
- [13] 李秀艳. 中国生态文明建设的问题与出路[J]. 西北民族大学学报(哲学社会科学版), 2008(4).
- [14] 廖福霖. 关于生态文明及其消费观的几个问题[J]. 福建师范大学学报(哲学社会科学版), 2009(1).
- [15] 纪玉山. 正确认识凯恩斯消费理论确立与生态文明相和谐的消费观[J]. 税务与经济, 2008(1):1-5.
- [16] 牛勇平. 生态文明相关研究评述与展望[J]. 发展研究, 2011(8):104-107.
- [17] 梁文森. 生态文明指标体系问题[J]. 经济学家, 2009, 3(3):102-104.
- [18] 杜宇, 刘俊昌. 生态文明建设评价指标体系研究[J]. 科学管理研究, 2009, 27(3):60-63.
- [19] 姬振海. 大力推进生态文明建设[J]. 环境保护, 2007(21):61-63.
- [20] 陈寿朋, 杨立新. 生态文明建设的结构形态与路径选择[J]. 职大学报, 2006(4).
- [21] 洪富艳. 基于生态文明的政府创新路径探讨[J]. 经济研究导刊, 2011(2):1-3.
- [22] 王立群, 李冰, 郭轲. 北京市生态足迹变化及其社会经济驱动因子分析[J]. 城市问题, 2014, 07:2-8.
- [23] 张同升, 梁进社, 宋金平. 中国城市化水平测定研究综述[J]. 城市发展研究, 2002 (2): 36-41.
- [24] 欧向军, 甄峰, 秦永东, 等. 区域城市化水平综合测度及其理想动力分析[J]. 地理研究, 2008, 27(5): 993-1002.
- [25] 范辉, 刘卫东, 吴泽斌, 等. 浙江省人口城市化与土地城市化的耦合协调关系评价[J]. 经济地理, 2014, 34(12): 21-28.

- [26] 李德胜,王占岐,蓝希.环鄱阳湖城市群人口城市化与土地城市化协调度评价[J].国土资源科技管理,2016,33(1):16-23.
- [27] 李久枫,余华飞,付迎春,等.广东省“人口—经济—土地—社会—生态”城市化协调度时空变化及其聚类模式[J].地理科学进展,2018,37(2):287-298.
- [28] 肖祎平,杨艳琳,宋彦.中国城市化质量综合评价及其时空特征[J].中国人口·资源与环境,2018,(9):112-122.
- [29] 姚成胜,邱雨菲,黄琳,等.中国城市化与粮食安全耦合关系辨析及其实证分析[J].中国软科学,2016(8):75-88.
- [30] 万庆,吴传清,曾菊新.中国城市群城市化效率及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2015,25(02):66-74.
- [31] WANG S J, MA H, ZHAO Y B. Exploring the Relationship between Urbanization and the Eco-environment—A Case Study of Beijing–Tianjin–Hebei Region[J]. Ecological Indicators, 2014, 45:171-183.
- [32] YOU H. Quantifying the Coordinated Degree of Urbanization in Shanghai, China[J]. Quality & Quantity, 2016, 50(3):1273-1283.
- [33] 闫璐璐,王小梅,柴彦威,等.基于熵变视角的生态脆弱区城市化与生态环境交互耦合发展研究——以西宁市为例[J].中国人口·资源与环境,2016(S2):48-52.
- [34] 刘雷,喻忠磊,徐晓红,等.城市创新能力与城市化水平的耦合协调分析——以山东省为例[J].经济地理,2016(6):59-66.
- [35] FISCHER T B, Wood C, Jones C. Policy, Plan, and Programme Environmental Assessment in England, the Netherlands, and Germany: Practice and Prospects[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2002, 29(2): 159-172.
- [36] 王俊霞,王晓峰.基于生态城市的城市化与生态文明建设协调发展评价研究——以西安市为例[J].资源开发与市场,2011(8):709-712.
- [37] 沈清基.论基于生态文明的新型城镇化[J].城市规划学刊,2013(1):29-36.
- [38] 吴小节,谭晓霞,杨书燕,等.生态文明时空演变特征与影响因素——以广东省为例[J].华东经济管理,2017(11):36-43.
- [39] 陈明星,陆大道,张华.中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J].地理学报,2009,64(4):387-398.
- [40] 廖重斌.环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系--以珠江三角洲城市群为例[J].热带地理,1999,19(2):171-177.
- [41] 孟德友,李小建,陆玉麒,樊新生.长江三角洲地区城市经济发展水平空间格局演变[J].经济地理,2014,(2):50-57.
- [42] 李健,周慧.中国碳排放强度与产业结构的关联分析[J].中国人口·资源与环境,2012,22(1):7-14.
- [43] 杨晓晖,慈龙骏.半干旱农牧交错区小城镇发展及其对土地利用时空格局的影响分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(01):109-114.
- [44] 齐元静,杨宇,金凤君.中国经济发展阶段及其时空格局演变特征[J].地理学报,2013,68(4):517-531.
- [45] 赵雪雁,周健,王录仓.黑河流域产业结构与生态环境耦合关系辨识[J].中国人口·资源与环境,2005,15(4):69-73.
- [46] 谢东明,王平.生态经济发展模式下我国企业环境成本的战略控制研究[J].会计研究,2013,(3):88-94.
- [47] 谢炳庚,陈永林,李晓青.耦合协调模型在“美丽中国”建设评价中的运用[J].经济地

- 理,2016,36(7):38-44.
- [48] 王富喜, 毛爱华, 李赫龙, 等. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析[J]. 地理科学, 2013, 33(11):1323-1329.
- [49] 舒小林, 高应蓓, 张元霞, 等. 旅游产业与生态文明城市耦合关系及协调发展研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015,25(3):82-90.
- [50] 朱喜安,魏国栋.熵值法中无量纲化方法优良标准的探讨[J].统计与决策, 2015, 02: 12-15.
- [51] 时朋飞, 李星明, 熊元斌. 区域美丽中国建设与旅游业发展耦合关联性测度及前景预测——以长江经济带 11 省市为例[J]. 中国软科学, 2018 (2): 86-102.
- [52] 张明斗, 莫冬燕. 城市土地利用效益与城市化的耦合协调性分析——以东北三省 34 个地级市为例[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 8-16.
- [53] 张国俊, 邓鸿鹄. 珠江三角洲地区服务业与城镇化协调关系的时空演变[J]. 地理科学, 2018, 38(7): 1118-1128.
- [54] 毕国华, 杨庆媛, 刘苏. 中国省域生态文明建设与城市化的耦合协调发展[J]. 经济地理, 2017, 37(1): 50-58.

附 录

附录 1 因子综合评价法的思想与数学原理简介

A1.1 因子分析的概念

在各个领域的科学研究中，往往需要对反映事物的多个变量进行大量的观测，收集大量的数据加以分析、寻找规律。多变量的大样本虽然能为科学提供大量的信息，但是在一定程度上增加了数据采集的工作量，更重要的是在大多情况下，许多变量之间可能存在相关性，从而增加了分析问题的复杂性。但也因此有可能利用较少的综合指标分别综合存在于各变量中的各类信息，而综合指标之间彼此不相关，及各个指标间的信息不重叠。这样就可以根据专业知识和指标所反映的独特含义对综合指标命名。这种分析方法就是因子分析。

因子分析是一种降维、简化数据的技术。它通过研究众多变量之间的内部依赖关系，探求观测数据中的基本结构，并用少数几个“抽象”的变量来表示其基本的数据结构。这几个抽象的变量被称作“因子”，能反映原来众多变量的主要信息。原始的变量是可以观测的显在变量，而因子一般是不可观测的潜在变量。因子分析就是一种通过显在变量测评潜在变量，通过具体指标抽象因子的一种多元统计分析的技术。比如，在研究区域社会经济发展中，描述社会与经济现象的指标很多，过多的指标容易导致分析过程的复杂化。一个合适的做法就是从这些关系错综复杂的社会经济指标中提取少数几个主要因子，每一个主要因子都能反映相互依赖的社会经济指标间共同作用，抓住这些因素就可以帮助我们对复杂的社会经济发展问题进行深入分析、合理解释和正确评价。

A1.2 因子分析的数学模型

因子分析中的公共因子是不可直接观测，但又客观存在的共同影响因素；每一个变量都可以表示成公共因子的线性函数与特殊因子之和，即：

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \cdots + a_{im}F_m + \varepsilon_i, \quad (i=1,2,\dots,p)$$

该模型可用矩阵表示为：

$$X = AF + \varepsilon$$

式中：

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{p1} & a_{p2} & \cdots & a_{pm} \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_m \end{bmatrix}, \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_p \end{bmatrix}$$

且满足:

(1) $m \leq p$;

(2) $\text{cov}(F, \varepsilon) = 0$, 即公因子与特殊因子不相关的;

(3) $\Sigma_F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} = I_m$, 即各个公共因子不相关且方差为 1;

(4) $\Sigma_\varepsilon = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_p^2 \end{bmatrix}$, 即各个特殊因子不相关, 方差为不要求相等。

模型中的 a_{ij} 称为因子“载荷”, 是第 i 个变量在第 j 个因子上的负荷, 如果把变量 X_i 看成空间中的一个点, 则 a_{ij} 表示它在坐标轴 F_j 上的投影, 因此矩阵 A 成为因子载荷矩阵。

A1.3 因子载荷矩阵的统计意义

因子载荷是变量与公共因子的相关系数。

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \cdots + a_{im}F_m + \varepsilon_i, \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

所以 X_i 与 F_j 的协方差如下:

$$\begin{aligned} \text{cov}(X_i, F_j) &= \text{cov}\left(\sum_{k=1}^m a_{ik}F_k + \varepsilon_i, F_j\right) \\ &= \text{cov}\left(\sum_{k=1}^m a_{ik}F_k, F_j\right) + \text{cov}(\varepsilon_i, F_j) \\ &= a_{ij} \end{aligned}$$

以上推导中用到公共因子间、公共因子与特殊因子间不相关的性质。

又 X_i 作了标准化处理, F_j 的标准差为 1, 因此:

$$r_{X_i, F_j} = \frac{\text{cov}(X_i, F_j)}{\sqrt{\text{var}(X_i)}\sqrt{\text{var}(F_j)}} = \text{cov}(X_i, F_j) = a_{ij}$$

a_{ij} 是 X_i 与 F_j 的相关系数，它一方面表示 X_i 对 F_j 的依赖程度，绝对值越大，密切程度越高；另一方面也反映了变量 X_i 对公共因子 F_j 的相对重要性，了解这一点非常重要，它对我们理解抽象因子含义有非常重要的作用。

A1.4 因子载荷矩阵的求解

实际应用中建立因子分析的具体模型，关键是根据样本数据估计载荷矩阵 A 。对 A 的估计方法有很多，下面介绍“主成分法”，该方法是常用的一种估计方法。

设随机向量 $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)'$ ，协方差矩阵为 Σ ， $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ 为 Σ 的特征根， t_1, t_2, \dots, t_p 为对应的正交化特征向量。则：

$$\begin{aligned} \Sigma &= T \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_p \end{bmatrix} T' \\ &= (t_1, t_2, \dots, t_p) \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_1' \\ t_2' \\ \vdots \\ t_p' \end{bmatrix} \\ &= \lambda_1 t_1 t_1' + \lambda_2 t_2 t_2' + \dots + \lambda_m t_m t_m' + \lambda_{m+1} t_{m+1} t_{m+1}' + \dots + \lambda_p t_p t_p' \\ &= [\sqrt{\lambda_1} t_1, \sqrt{\lambda_2} t_2, \dots, \sqrt{\lambda_p} t_p] \begin{bmatrix} \sqrt{\lambda_1} t_1' \\ \sqrt{\lambda_2} t_2' \\ \vdots \\ \sqrt{\lambda_p} t_p' \end{bmatrix} + \lambda_{m+1} t_{m+1} t_{m+1}' + \dots + \lambda_p t_p t_p' \end{aligned}$$

略去上式后面的 $p-m$ 项的贡献，有：

$$\Sigma \approx [\sqrt{\lambda_1} t_1, \sqrt{\lambda_2} t_2, \dots, \sqrt{\lambda_p} t_p] \begin{bmatrix} \sqrt{\lambda_1} t_1' \\ \sqrt{\lambda_2} t_2' \\ \vdots \\ \sqrt{\lambda_p} t_p' \end{bmatrix}$$

另外，由 $X = AF + \varepsilon$ ，可知：

$$\Sigma = D(X) = AD(F)A' + D(\varepsilon) = AA' + \Sigma_\varepsilon$$

上式利用了因子模型中的 $\text{cov}(F, \varepsilon) = 0$ 和 $D(F) = I_m$ 的假设。

如果假设因子模型中的特殊因子是不重要的，因而也从 Σ 的分解中忽略特殊因子的方差，则有：

$$\Sigma \approx AA'$$

实际应用中，如果 Σ 未知，可用样本协方差矩阵 S 代替，这时 A 的估计是

$$\hat{A} = \left[\sqrt{\hat{\lambda}_1} t_1^*, \sqrt{\hat{\lambda}_2} t_2^*, \dots, \sqrt{\hat{\lambda}_p} t_p^* \right]$$

A1.5 共同因子的贡献

共同因子或公共因子在对观测变量的解释中的贡献，可用变量的“共同度”来衡量。所谓变量 X_i 的共同度就是因子载荷矩阵 A 中的第 i ($i=1, 2, \dots, p$) 行元素的平方和，即：

$$h_i^2 = \sum_{j=1}^m a_{ij}^2$$

实际上，由于：

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{ij}F_j + \dots + a_{im}F_m + \varepsilon_i$$

所以：

$$D(X_i) = a_{i1}^2 D(F_1) + a_{i2}^2 D(F_2) + \dots + a_{im}^2 D(F_m) + \varepsilon_i$$

$$D(X_i) = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{im}^2 + \sigma_i^2$$

由于 X_i 已经标准化了，所以有：

$$1 = h_i^2 + \sigma_i^2, \text{ 或者 } h_i^2 = 1 - \sigma_i^2$$

从上式可以看出，共同度 h_i^2 解释了 X_i 中除特殊因子解释的信息之外的所有信息，这恰好是公共因子的贡献。共同度刻画了全部公共因子对变量 X_i 的解释能力； h_i^2 接近 1，说明该变量的几乎全部信息都被公共因子说明了，这是仅用公共因子来解释变量的变化几乎没有什么信息的损失。

另外，因子载荷矩阵中的各列元素的平方和：

$$S_j = \sum_{i=1}^p a_{ij}^2, \quad (j=1, 2, \dots, m)$$

是公共因子 F_j 对所有变量 X_i ($i=1,2,\dots,p$) 指标的方差贡献之和,它是衡量每个公共因子相对重要性的。对于“主成分法”估计的因子载荷矩阵, $S_j = \lambda_j$ ($j=1,2,\dots,m$) 成立。每个特征根就是相应因子的方差贡献大小。

A1.6 因子旋转与因子得分

(1) 因子旋转

因子分析的目标之一就是要对所提取的抽象因子的实际含义进行合理解释。有时直接根据特征根、特征向量求得的因子载荷难以看出公共因子的含义。例如,可能有些变量在多个公共因子上都有较大的载荷,有些公共因子对许多变量的载荷也不小,说明它对多个变量都有较明显的影响作用。这种因子模型不利于突出主要矛盾和矛盾的主要方面,也很难对因子的实际背景进行合理的解释。这时需要通过因子旋转的方法,使每个变量仅在一个公共因子上有较大的载荷,而在其他的公共因子上的载荷比较小,至多达到中等大小。这时对于每个公共因子而言(即载荷矩阵的每一列),它在部分变量上的载荷较大,在其他变量上的载荷较小,使同一列上的载荷尽可能向靠近 1 和靠近 0 两极分离。这时就突出了每个公共因子和其载荷较大的那些变量的联系,矛盾的主要方面的显现出来了,该公共因子的含义也就能通过这些载荷较大变量作出合理的说明。

当然,我们这里所说的因子旋转方向之所以可行,是因为因子分析的模型中,载荷矩阵 A 不是唯一确定的。

实际上,对于任何一个正交矩阵 Γ ,满足 $\Gamma\Gamma = I$ 。所以有:

$$X = AF + \varepsilon = A(\Gamma\Gamma)F + \varepsilon$$

即:

$$X = (A\Gamma')(\Gamma F) + \varepsilon$$

得到一个新的因子结构 ΓF , 其载荷矩阵是 $A\Gamma'$ 。新模型相当于对原来模型的因子和载荷矩阵都作了正交旋转。

因子分析模型的形式不确定性从表面上看对我们不利,因为它违背了数学上的“结论唯一性”要求;但实际上它却体现了因子分析方法的灵活性,当我们所获得的公共因子难以得到合理解释时,可以通过某个正交变换,使其具有鲜明的实际意义。

实际应用中,有多种因子旋转的方法,其中最常见的方法是: VARIMAX 法: 最大方差法(矩阵直角转轴法),该方法通过使在每个因子具有较高载荷的变量个数最小化来简化因子。

(2) 因子得分

在因子分析模型 $X = AF + \varepsilon$ 中，如果不考虑特殊因子的影响，当 $m = p$ 且 A 可逆时，我们可以非常方便地从每个样品的指标取值 X 计算出其在因子 F 上的相应取值： $F = A^{-1}X$ ，即该样品在因子 F 上的“得分”情况，简称为该样品的因子得分。

但是因子分析模型在实际应用中要求 $m < p$ ，因此，不能精确计算出因子的得分情况，只能对因子得分进行估计。估计因子得分的方法有很多，1939 年 Thomson 给出了一个回归的方法，称为“Thomson 回归法”，该方法的因子得分可以按照以下公式直接估算：

$$F = A'R^{-1}X$$

R 是 X 的相关系数矩阵。

附录 2 聚类分析的思想与数学原理简介

A2.1 聚类分析

聚类分析起源于分类学，在考古的分类学中，人们主要依靠经验和专业知识来实现分类。随着生产技术和科学的发展，人类的认识不断加深，分类越来越细，要求也越来越高，有时光凭经验和专业知识是不能进行确切分类的，往往需要定性和定量分析结合起来去分类，于是数学工具逐渐被引进分类学中，形成了数值分类学。后来随着多元分析的引进，聚类分析又逐渐从数值分类学中分离出来而形成相对独立的分支。

聚类分析的实质就是按照距离的远近将数据分为若干个类别，以使得类别内数据的“差异”尽可能小，类别间“差异”尽可能大。

值得提出的是将聚类分析和其它方法联合起来使用，如判别分析、主成分分析、回归分析等往往效果更好。

聚类分析内容非常丰富，有系统聚类法、有序样品聚类法、动态聚类法、模糊聚类法、图论聚类法、聚类预报法等。本附录主要介绍本课题所采纳的常用的系统聚类法。

A2.2 距离和相似系数

为了将样品（或指标）进行分类，就需要研究样品之间关系。目前用得最多的方法有两个：一种方法是用相似系数，性质越接近的样品，它们的相似系数的绝对值越接近 1，而彼此无关的样品，它们的相似系数的绝对值越接近于零。比较相似的样品归为一类，不怎么相似的样品归为不同的类。另一种方法是将一个样品看作 P 维空间的一个点，并在空间定义距离，距离越近的点归为一类，距离较远的点归为不同的类。但相似系数和距离有各种各样的定义，而这些定义与变量的类型关系极大，因此先介绍变量的类型。

由于实际问题中，遇到的指标有的是定量的（如长度、重量等），有的是定性的（如性别、职业等），因此将变量（指标）的类型按以下三种尺度划分：

① **间隔尺度**：变量是用连续的量来表示的，如长度、重量、压力、速度等等。在间隔尺度中，如果存在绝对零点，又称比例尺度，本书并不严格区分比例尺度和间隔尺度。

② **有序尺度**：变量度量时没有明确的数量表示，而是划分一些等级，等级之间有次序关系，如某产品分上、中、下三等，此三等有次序关系，但没有数量表示。

③ **名义尺度**：变量度量时、既没有数量表示，也没有次序关系，如某物体有红、

黄、白三种颜色，又如医学化验中的阴性与阳性，市场供求中的“产”和“销”等。

不同类型的变量，在定义距离和相似系数时，其方法有很大差异，使用时必须注意。研究比较多的是间隔尺度，因此本章主要给出间隔尺度的距离和相似系数的定义。

设有 n 个样品，每个样品测得 p 项指标（变量），原始资料阵为

$$X = \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{matrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_p \\ x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}$$

其中 x_{ij} ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, p$) 为第 i 个样品的第 j 个指标的观测数据。第 i 个样品 X_i 为矩阵 X 的第 i 行所描述，所以任何两个样品 X_K 与 X_L 之间的相似性，可以通过矩阵 X 中的第 K 行与第 L 行的相似程度来刻画；任何两个变量 x_K 与 x_L 之间的相似性，可以通过第 K 列与第 L 列的相似程度来刻画。

(1) 对样品分类（称为 Q-型聚类分析）常用的距离和相似系数定义

① 距离

如果把 n 个样品（ X 中的 n 个行）看成 p 维空间中 n 个点，则两个样品间相似程度可用 p 维空间中两点的距离来度量。令 d_{ij} 表示样品 X_i 与 X_j 的距离。常用的距离有：

i) 明氏（Minkowski）距离

$$d_{ij}(q) = \left(\sum_{a=1}^p |x_{ia} - x_{ja}|^q \right)^{1/q}$$

当 $q=1$ 时

$$d_{ij}(1) = \sum_{a=1}^p |x_{ia} - x_{ja}| \quad \text{即绝对距离}$$

当 $q=2$ 时

$$d_{ij}(2) = \left(\sum_{a=1}^p (x_{ia} - x_{ja})^2 \right)^{1/2} \quad \text{即欧氏距离}$$

当 $q = \infty$ 时

$$d_{ij}(\infty) = \max_{1 \leq a \leq p} |x_{ia} - x_{ja}| \quad \text{即切比雪夫距离}$$

当各变量的测量值相差悬殊时，要用明氏距离并不合理，常需要先对数据标准化，然后用标准化后的数据计算距离。

明氏距离特别是其中的欧氏距离是人们较为熟悉的也是使用最多的距离。但明氏距离存在不足之处，主要表面在两个方面：第一，它与各指标的量纲有关；第二，它没有考虑指标之间的相关性，欧氏距离也不例外。除此之外，从统计的角度上看，使用欧氏距离要求一个向量的 n 个分量是不相关的且具有相同的方差，或者说各坐标对欧氏距离的贡献是同等的且变差大小也是相同的，这时使用欧氏距离才合适，效果也较好，否则就有可能不能如实反映情况，甚至导致错误结论。因此一个合理的做法，就是对坐标加权，这就产生了“统计距离”。比如设 $P=(x_1, x_2, \dots, x_p)'$ ， $Q=(y_1, y_2, \dots, y_p)'$ ，且 Q 的坐标是固定的，点 P 的坐标相互独立地变化。用 $s_{11}, s_{12}, \dots, s_{pp}$ 表示 p 个变量 x_1, x_2, \dots, x_p 的 n 次观测的样本方差，则可以义 P 到 Q 的统计距离为：

$$d(P, Q) = \sqrt{\frac{(x_1 - y_1)^2}{s_{11}} + \frac{(x_2 - y_2)^2}{s_{22}} + \dots + \frac{(x_p - y_p)^2}{s_{pp}}}$$

所加的权是 $k_1 = \frac{1}{s_{11}}, k_2 = \frac{1}{s_{22}}, \dots, k_p = \frac{1}{s_{pp}}$ ，即用样本方差除相应坐标。当取 $y_1 = y_2 = \dots = y_p = 0$ 时，就是点 P 到原点 O 的距离。若 $s_{11} = s_{22} = \dots = s_{pp}$ 时，就是欧氏距离。

ii) 马氏 (Mahalanobis) 距离

马氏距离是由印度统计学家马哈拉诺比斯于 1936 年引入的，故称为马氏距离。这一距离在多元统计分析中起着十分重要的作用，下面给出定义。

设 Σ 表示指标的协方差阵即：

$$\Sigma = (\sigma_{ij})_{p \times p}$$

其中 $\sigma_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{a=1}^n (x_{ai} - \bar{x}_i)(x_{aj} - \bar{x}_j)$ $i, j=1, \dots, p$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n x_{ai} \quad \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n x_{aj}$$

如果 Σ^{-1} 存在，则两个样品之间的马氏距离为

$$d_{ij}^2(M) = (X_i - X_j)' \Sigma^{-1} (X_i - X_j)$$

这里 X_i 为样品 X_i 的 p 个指标组成的向量，即原始资料阵的第 i 行向量。样品 X_j 类似。

顺便给出样品 X 到总体 G 的马氏距离定义为

$$d^2(X, G) = (X - \mu)' \Sigma^{-1} (X - \mu)$$

其中 μ 为总体的均值向量， Σ 为协方差阵。

马氏距离既排除了各指标之间相关性的干扰，而且还不受各指标量纲的影响。除此之外，它还有一些优点，如可以证明，将原数据作一线性交换后，马氏距离仍不变等等。

iii) 兰氏 (Canberra) 距离

它是由 Lance 和 Williams 最早提出的，故称兰氏距离。

$$d_{ij}(L) = \frac{1}{p} \sum_{a=1}^p \frac{|x_{ia} - x_{ja}|}{x_{ia} + x_{ja}} \quad i, j = 1, \dots, n$$

此距离仅适用于一切 $x_{ij} > 0$ 的情况，这个距离有助于克服各指标之间量纲的影响，但没有考虑指标之间的相关性。

计算任何两个样品 X_i 与 X_j 之间的距离 d_{ij} ，其值越小表示两个样品接近程度越大， d_{ij} 值越大表示两个样品接近程度越小。如果把任何两个样品的距离都算出来后，可排成距离阵 D ：

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & & & \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix}$$

其中 $d_{11} = d_{22} = \cdots = d_{nn} = 0$ 。 D 是一个实对称阵，所以只须计算上三角形部分或下三角形部分即可。根据 D 可对 n 个点进行分类，距离近的点归为一类，距离远的点归为不同的类。

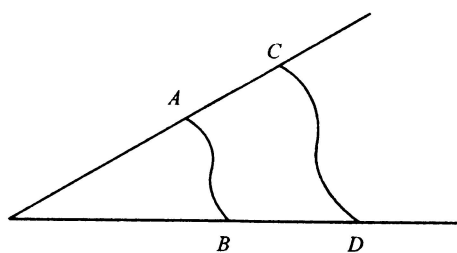
以上三种距离的定义是适用于间隔尺度变量的，如果变量是有序尺度或名义尺度时，也有一些定义距离的方法，读者可参看文献，[1]。

② 相似系数

研究样品之间的关系，除了用距离表示外，还有相似系数，顾名思义，相似系数是描写样品之间相似程度的一个量，常用的相似系数有：

i) 夹角余弦

这是受相似形的启发而来的，下图曲线 AB 和 CD 尽管长度不一，但形状相似。



当长度不是主要矛盾时，要定义一种相似系数，使 AB 和 CD 呈现出比较密切的关系，则夹角余弦就适合这个要求。它的定义是：

将任何两个样品 X_i 与 X_j 看成 p 维空间的两个向量，这两个向量的夹角余弦用 $\cos\theta_{ij}$ 表示。则

$$\cos\theta_{ij} = \frac{\sum_{a=1}^p x_{ia}x_{ja}}{\sqrt{\sum_{a=1}^p x_{ia}^2 \cdot \sum_{a=1}^p x_{ja}^2}} \quad 1 \leq \cos\theta_{ij} \leq 1$$

当 $\cos\theta_{ij} = 1$ ，说明两个样品 X_i 与 X_j 完全相似； $\cos\theta_{ij}$ 接近 1，说明 X_i 与 X_j 相似密切； $\cos\theta_{ij} = 0$ ，说明 X_i 与 X_j 完全不一样； $\cos\theta_{ij}$ 接近 0，说明 X_i 与 X_j 差别大。把所有两两样品的相似系数都算出，可排成相似系数矩阵：

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{11} & \cos\theta_{12} & \cdots & \cos\theta_{1n} \\ \cos\theta_{21} & \cos\theta_{22} & \cdots & \cos\theta_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \\ \cos\theta_{n1} & \cos\theta_{n2} & \cdots & \cos\theta_{nn} \end{bmatrix}$$

其中 $\cos\theta_{11} = \cos\theta_{22} = \cdots = \cos\theta_{nn} = 1$ 。 \mathbf{H} 是一个实对称阵，所以只须计算上三角形部分或下三角形部分，根据 \mathbf{H} 可对 n 个样品进行分类，把比较相似的样品归为一类，不怎么相似的样品归为不同的类。

ii) 相关系数

通常所说相关系数，一般指变量间的相关系数，作为刻划样品间的相似关系也可类似给出定义，即第 i 个样品与第 j 个样品之间的相关系数定义为：

$$r_{ij} = \frac{\sum_{a=1}^p (x_{ia} - \bar{x}_i)(x_{ja} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{a=1}^p (x_{ia} - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum_{a=1}^p (x_{ja} - \bar{x}_j)^2}} \quad -1 \leq r_{ij} \leq 1$$

其中

$$\bar{x}_i = \frac{1}{p} \sum_{a=1}^p x_{ia} \quad \bar{x}_j = \frac{1}{p} \sum_{a=1}^p x_{ja}$$

实际上， r_{ij} 就是两个向量 $X_i - \bar{X}_i$ 与 $X_j - \bar{X}_j$ 的夹角余弦，其中 $\bar{X}_i = (\bar{x}_i, \cdots, \bar{x}_i)'$ ， $\bar{X}_j = (\bar{x}_j, \cdots, \bar{x}_j)'$ 。若将原始数据标准化，则 $\bar{X}_i = \bar{X}_j = 0$ ，这时 $r_{ij} = \cos\theta_{ij}$ 。

$$R = (r_{ij}) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

其中 $r_{11} = r_{22} = \cdots = r_{nn} = 1$ ，可根据 R 对 n 个样品进行分类。

名义尺度也有一些相似系数的定义，读者可参考文献[1]。

(2) 对指标分类（称为 R-型聚类分析）常用的距离和相似系数定义

p 个指标（变量）之间相似性的定义与样品相似性定义类似，但此时是在 n 维空间中研究的，变量之间的相似性是通过原始资料矩阵 X 中 p 列间相似关系来研究的。

① 距离

令 d_{ij} 表示变量 $X_i = (x_{1i}, \cdots, x_{ni})'$ 与变量 $X_j = (x_{1j}, \cdots, x_{nj})'$ 之中距离。

i) 明氏距离

$$d_{ij}(q) = \left(\sum_{a=1}^n |x_{ai} - x_{aj}|^q \right)^{1/q}$$

ii) 马氏距离

设 Σ 表示样品的协方差阵即

$$\Sigma = (\sigma_{ij})_{n \times n}$$

$$\text{其中 } \sigma_{ij} = \frac{1}{p-1} \sum_{a=1}^p (x_{ia} - \bar{x}_i)(x_{ja} - \bar{x}_j) \quad i, j = 1, \cdots, n$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{p} \sum_{a=1}^p x_{ia} \quad \bar{x}_j = \frac{1}{p} \sum_{a=1}^p x_{ja}$$

如果 Σ^{-1} 存在，则马氏距离为

$$d_{ij}^2(M) = (x_i - x_j)' \Sigma^{-1} (x_i - x_j)$$

iii) 兰氏距离

$$d_{ij}(L) = \sum_{a=1}^n \frac{|x_{ai} - x_{aj}|}{x_{ai} + x_{aj}}$$

此处仅适用于一切 $x_{ij} \geq 0$ 的情况。

② 相似系数

i) 夹角余弦

$$\cos \theta_{ij} = \frac{\sum_{a=1}^n x_{ai} x_{aj}}{\sqrt{\sum_{a=1}^n x_{ai}^2 \cdot \sum_{a=1}^n x_{aj}^2}} \quad -1 \leq \cos \theta_{ij} \leq 1$$

把两两列间相似系数算出后，排成矩阵

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \cos \theta_{11} & \cos \theta_{12} & \cdots & \cos \theta_{1p} \\ \cos \theta_{21} & \cos \theta_{22} & \cdots & \cos \theta_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \cos \theta_{p1} & \cos \theta_{p2} & \cdots & \cos \theta_{pp} \end{bmatrix}$$

其中 $\cos \theta_{11} = \cos \theta_{22} = \cdots = \cos \theta_{pp} = 1$ ，根据 \mathbf{H} 对 p 个变量进行分类。

ii) 相关系数

$$r_{ij} = \frac{\sum_{a=1}^n (x_{ai} - \bar{x}_i)(x_{aj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{a=1}^n (x_{ai} - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum_{a=1}^n (x_{aj} - \bar{x}_j)^2}} \quad -1 \leq r_{ij} \leq 1$$

把两两变量的相关系数都算出后，排成矩阵为

$$R = (r_{ij}) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pp} \end{bmatrix}$$

其中 $r_{11} = r_{22} = \cdots = r_{pp} = 1$ ，可根据 R 对 p 个变量进行分类。

在实际问题中，对样品分类常用距离，对指标分类常用相似系数。

由于样品分类和指标分类从方法上看基本上是一样的，所以两者就不严格分开说明了。

A2.3 八种系统聚类方法

正如样品之间的距离可以有不同的定义方法一样，类与类之间的距离也有各种定义。例如可以定义类与类之间的距离为两类之间最近样品的距离，或者定义为两类之间最远样品的距离，也可以定义为两类重心之间的距离等等。类与类之间用不同的方法定义距离，就产生了不同的系统聚类方法。本节介绍常用的八种系统聚类方法，即最短距离法、最长距离法、中间距离法、重心法、类平均法、可变类平均法、可变法、离差平

方和法。系统聚类分析尽管方法很多，但归类的步骤基本上是一样的，所不同的仅是类与类之间的距离有不同的定义方法，从而得到不同的计算距离的公式。这些公式在形式上不大一样，但最后可将它们统一为一个公式，对上机计算带来很大的方便，详见后。

以下用 d_{ij} 表示样品 X_i 与 X_j 之间距离，用 D_{ij} 表示类 G_i 与 G_j 之间的距离。

(1) 最短距离法

定义类 G_i 与 G_j 之间的距离为两类最近样品的距离，即

$$D_{ij} = \min_{G_i \in G_i, G_j \in G_j} d_{ij}$$

设类 G_p 与 G_q 合并成一个新类记为 G_r ，则任一类 G_k 与 G_r 的距离是：

$$\begin{aligned} D_{kr} &= \min_{X_i \in G_i, X_j \in G_j} d_{ij} \\ &= \min \left\{ \min_{X_i \in G_k, X_j \in G_p} d_{ij}, \min_{X_i \in G_k, X_j \in G_q} d_{ij} \right\} \\ &= \min \{ D_{kp}, D_{kq} \} \end{aligned}$$

最短距离法聚类的步骤如下：

① 定义样品之间距离，计算样品两两距离，得一距离阵记为 $D_{(0)}$ ，开始每个样品自成一类，显然这时 $D_{ij} = d_{ij}$ 。

② 找出 $D_{(0)}$ 的非对角线最小元素，设为 D_{pq} ，则将 G_p 和 G_q 合并成一个新类，记为 G_r ，即 $G_r = \{G_p, G_q\}$ 。

③ 给出计算新类与其它类的距离公式：

$$D_{kr} = \min \{ D_{kp}, D_{kq} \}$$

将 $D_{(0)}$ 中第 p 、 q 行及 p 、 q 列用上面公式并成一个新行新列，新行新列对应 G_r ，所得到的矩阵记为 $D_{(1)}$ 。

④ 对 $D_{(1)}$ 重复上述对 $D_{(0)}$ 的 (2)、(3) 两步得 $D_{(2)}$ ；如此下去，直到所有的元素并成一类为止。

如果某一步 $D_{(k)}$ 中非对角线最小的元素不止一个，则对应这些最小元素的类可以同时合并。

(2) 最长距离法

定义类 G_i 与类 G_j 之间距离为两类最远样品的距离，即

$$D_{pq} = \max_{X_i \in G_p, X_j \in G_q} d_{ij}$$

最长距离法与最短距离法的并类步骤完全一样，也是将各样品先自成一类，然后将非对角线上最小元素对应的两类合并。设某一步将类 G_p 与 G_q 合并为 G_r ，则任一类 G_k 与 G_r 的距离用最长距离公式为

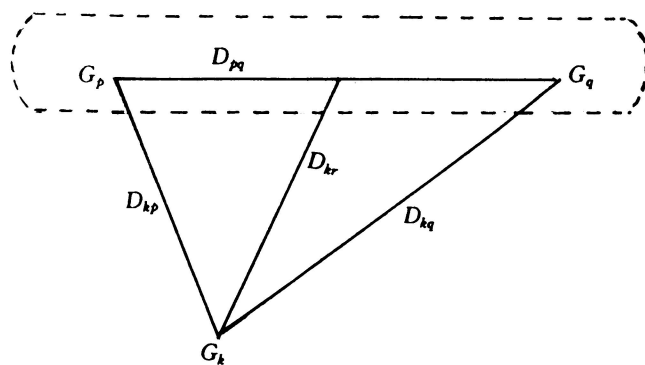
$$\begin{aligned} D_{kr} &= \max_{X_i \in G_k, X_j \in G_r} d_{ij} \\ &= \max \left\{ \max_{X_i \in G_k, X_j \in G_p} d_{ij}, \max_{X_i \in G_k, X_j \in G_q} d_{ij} \right\} \\ &= \max \{ D_{kp}, D_{kq} \} \end{aligned}$$

再找非对角线最小元素的两类并类，直至所有的样品全归为一类为止。

易见最长距离法与最短距离法只有两点不同：一是类与类之间的距离定义不同；另一是计算新类与其它类的距离所用的公式不同。下面将要介绍的其它系统聚类法之间的不同点也表现在这两个方面，而并类步骤完全一样，所以下面介绍其它系统聚类方法时，主要指出这两个方面：定义和公式。

(3) 中间距离法

定义类与类之间的距离既不采用两类之间最近的距离，也不采用有两类之间最远的距离，而是采用介于两者之间的距离，故称为中间距离法。



如果在某一步将类 G_p 与类 G_q 合并为 G_r ，任一类 G_k 和 G_r 的距离公式为：

$$D_{kr}^2 = \frac{1}{2} D_{kp}^2 + \frac{1}{2} D_{kq}^2 + \beta D_{pq}^2 \quad -\frac{1}{4} \leq \beta \leq 0$$

当 $\beta = -\frac{1}{4}$ 时，由初等几何知 D_{kr} 就是上面三角形的中线。

如果用最短距离法，则 $D_{kr} = D_{kp}$ ；如果用最长距离法，则 $D_{kr} = D_{kq}$ ；如果取夹在这

两边的中线作为 D_{kr} , 则 $D_{kr} = \sqrt{\frac{1}{2}D_{kp}^2 + \frac{1}{2}D_{kq}^2 - \frac{1}{4}D_{pq}^2}$, 由于距离公式中的量都是距离的平方, 为了上机计算的方便, 可将表 $D_{(0)}$ 、 $D_{(1)}$ 、 $D_{(2)}$ 、……中的元素, 都用相应元素的平方代替而得表 $D_{(0)}^2$ 、 $D_{(1)}^2$ 、 $D_{(2)}^2$ 、……。

(4) 重心法

定义类与类之间距离时, 为了体现出每类包含的样品个数给出重心法。

重心法定义两类之间的距离就是两类重心之间的距离。设 G_p 和 G_q 的重心 (即该类样品的均值) 分别是 \bar{X}_p 和 \bar{X}_q (注意一般它们是 p 维向量), 则 G_p 和 G_q 之间的距离是

$$D_{pq} = d_{X_p X_q}。$$

设聚类到某一步, G_p 和 G_q 分别有样品 n_p, n_q 个, 将 G_p 和 G_q 合并为 G_r , 则 G_r 内样品个数为 $n_r = n_p + n_q$, 它的重心是 $\bar{X}_r = \frac{1}{n_r}(n_p \bar{X}_p + n_q \bar{X}_q)$, 某一类 G_k 的重心是 \bar{X}_k , 它与新类 G_r 的距离 (如果最初样品之间的距离采用欧氏距离) 为

$$\begin{aligned} D_{kr}^2 &= d_{X_k X_r}^2 = (\bar{X}_k - \bar{X}_r)'(\bar{X}_k - \bar{X}_r) \\ &= \left[\bar{X}_k - \frac{1}{n_r}(n_p \bar{X}_p + n_q \bar{X}_q) \right]' \left[\bar{X}_k - \frac{1}{n_r}(n_p \bar{X}_p + n_q \bar{X}_q) \right] \\ &= \bar{X}_k' \bar{X}_k - 2 \frac{n_p}{n_r} \bar{X}_k' \bar{X}_p - 2 \frac{n_q}{n_r} \bar{X}_k' \bar{X}_q \\ &\quad + \frac{1}{n_r^2} (n_p^2 \bar{X}_k' \bar{X}_k + 2n_p n_q \bar{X}_p' \bar{X}_q + n_q^2 \bar{X}_q' \bar{X}_q) \end{aligned}$$

利用 $\bar{X}_k' \bar{X}_k = \frac{1}{n_r} (n_p \bar{X}_k' \bar{X}_k + n_q \bar{X}_k' \bar{X}_k)$ 代入上式得

$$\begin{aligned} D_{kr}^2 &= \frac{n_p}{n_r} \left(\bar{X}_k' \bar{X}_k - 2 \bar{X}_p' \bar{X}_q + \bar{X}_p' \bar{X}_q \right) + \frac{n_q}{n_r} \left(\bar{X}_k' \bar{X}_k - 2 \bar{X}_k' \bar{X}_q + \bar{X}_q' \bar{X}_q \right) \\ &\quad - \frac{n_p n_q}{n_r^2} (\bar{X}_p' \bar{X}_p - 2 \bar{X}_p' \bar{X}_q + \bar{X}_q' \bar{X}_q) \\ &= \frac{n_p}{n_r} D_{kp}^2 + \frac{n_q}{n_r} D_{kq}^2 - \frac{n_p n_q}{n_r n_r} D_{pq}^2 \end{aligned}$$

显然, 当 $n_p = n_q$ 时即为中间距离法的公式。

(5) 类平均法

重心法虽有很好的代表性，但并未充分利用各样品的信息，因此给出类平均法，它定义两类之间的距离平方为这两类元素两两之间距离平方的平均，即

$$D_{pq}^2 = \frac{1}{n_p n_q} \sum_{X_i \in G_p} \sum_{X_j \in G_q} d_{ij}^2$$

设聚类到某一步将 G_p 和 G_q 合并为 G_r ，则任一类 G_k 与 G_r 的距离为

$$\begin{aligned} D_{kr}^2 &= \frac{1}{n_k n_r} \sum_{X_i \in G_k} \sum_{X_j \in G_r} d_{ij}^2 \\ &= \frac{1}{n_k n_r} \left(\sum_{X_i \in G_k} \sum_{X_j \in G_p} d_{ij}^2 + \sum_{X_i \in G_k} \sum_{X_j \in G_q} d_{ij}^2 \right) \\ &= \frac{n_p}{n_r} D_{kp}^2 + \frac{n_q}{n_r} D_{kq}^2 \end{aligned}$$

(6) 可变类平均法

由于类平均法公式中没有反映 G_p 与 G_q 之间距离 D_{pq} 的影响，所以给出可变类平均法，此法定义两类之间的距离同上，只是将任一类 G_k 与新类 G_r 的距离改为如下形式：

$$D_{kr}^2 = \frac{n_p}{n_r} (1 - \beta) D_{kp}^2 + \frac{n_q}{n_r} (1 - \beta) D_{kq}^2 + \beta D_{pq}^2$$

其中 β 是可变的且 $\beta > 1$ 。

(7) 可变法

此法定义两类之间的距离仍同上，而新类 G_r 与任一类的 G_k 的距离公式为：

$$D_{kr}^2 = \frac{1 - \beta}{2} (D_{kp}^2 + D_{kq}^2) + \beta D_{pq}^2$$

其中 β 是可变的，且 $\beta > 1$ 。

显然在可变类平均法中取 $\frac{n_p}{n_r} = \frac{n_q}{n_r} = \frac{1}{2}$ ，即为上式。

可变类平均法与可变法的分类效果与 β 的选择关系极大， β 如果接近 1，一般分类效果不好，在实际应用中 β 常取负值。

(8) 离差平方和法

这个方法是 Ward 提出来的，故又称为 Ward 法。

设将 n 个样品分成 k 类： G_1, G_2, \dots, G_k ，用 $X_i^{(t)}$ 表示 G_t 中的第 i 个样品（注意 $X_i^{(t)}$ 是 p 维向量）， n_t 表示 G_t 中的样品个数， $\bar{X}^{(t)}$ 是 G_t 的重心，则 G_t 中样品的离差平方和为：

$$S_t = \sum_{i=1}^{n_t} (X_i^{(t)} - \bar{X}^{(t)})'(X_i^{(t)} - \bar{X}^{(t)})$$

k 个类的类内离差平方和为

$$S = \sum_{t=1}^k S_t = \sum_{t=1}^k \sum_{i=1}^{n_t} (X_i^{(t)} - \bar{X}^{(t)})'(X_i^{(t)} - \bar{X}^{(t)})$$

Ward 法的基本思想是来自于方差分析，如果分类正确，同类样品的离差平方和应当较小，类与类的离差平方和应当较大。具体做法是先将 n 个样品各自成一类，然后每次缩小一类，每缩小一类离差平方和就要增大，选择使 S 增加最小的两类合并（因为如果分类正确，同类样品的离差平方和应当较小）直到所有的样品归为一类为止。

粗看 Ward 法与前七种方法有较大的差异，但是如果将 G_p 与 G_q 的距离定义为

$$D_{pq}^2 = S_r - S_p - S_q$$

其中 $G_r = G_p \cup G_q$ ，就可使 Ward 法和前七种系统聚类方法统一起来，且可以证明 Ward 法合并类的距离公式为：

$$D_{kr}^2 = \frac{n_k + n_p}{n_r + n_k} D_{kp}^2 + \frac{n_k + n_q}{n_r + n_k} D_{kq}^2 - \frac{n_k}{n_r + n_k} D_{pq}^2$$

附录 3 数据处理及相关模型

A3.1 指标的规范化与标准化处理

由于各指标的正负取向差异，以及指标的量纲和数量级存在差异，需要对生态文明与城市化的指标进行标准化与归一化处理。当指标具有正向作用，即指标值越大越好时，采用公式（1）进行处理；当指标具有负向作用，即指标值越小越好时，采用公式（2）进行处理。

$$u_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (1)$$

$$u_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (2)$$

其中， u_{ij} ($i=1,2; j=1,2, \dots, m$) 为无量纲化的指标评价系数， x_{ij} 为样本 i 的第 j 个实际指标值， $\max(x_{ij})$ 为样本中该指标的最大值， $\min(x_{ij})$ 为样本中该指标的最小值。

A3.2 指标的权重赋值

赋权法分为主观赋权法与客观赋权法。主观赋权法包括主观判断法、专家咨询法和层次分析法（AHP法），但是这些方法的主观性和随意性较强，所得出的结果在一定程度上缺乏实际参考价值（谢炳庚等，2016）。为了保证评价结果的客观性与科学性，本研究采用客观赋权法中的熵值法。熵值法是基于客观环境的原始信息，根据指标的相关性和数值本身意义来确定权重，尽可能地避免主观因素造成的偏差，且赋权过程具有透明性和可再现性，可信度较高（王富喜等，2013）。具体步骤如下（舒小林等，2015）：

（1）指标的标准化处理。由于一些数据为0，为确保有意义，故在此类数据的处理结果后加上一个略大于零的正数，本研究选择加0.001进行处理。

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} + 0.001 \quad (3)$$

$$x'_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} + 0.001 \quad (4)$$

（2）计算第*i*个样本第*j*项指标的比重 S_{ij} ：

$$S_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{j=1}^m x'_{ij}} \quad (5)$$

（3）计算第*j*项指标的熵值 h_j ：

$$h_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m S_{ij} \ln S_{ij} \quad (6)$$

（4）根据熵值 h_j 计算差异度 a_j 的值：

$$a_j = 1 - h_j \quad (7)$$

（5）计算指标的权重：

$$w_j = \frac{a_i}{\sum_{j=1}^p a_j} \quad (8)$$

w_j 为第*j*个指标的权重，*m* 和 *p* 分别代表样本个数和指标个数。

A3.3 综合评价模型

利用线性加权法分别计算生态文明系统和城市化系统各自的综合发展程度，公式如

下:

$$U_{i=1,2} = \sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot u_{ij}, \quad \sum_{j=1}^m w_{ij} = 1 \quad (9)$$

A3.4 耦合评价模型

从前面的分析可得, 生态文明与城市化之间存在着耦合协调现象。耦合评价模型包括耦合度和耦合协调度两部分, 用来刻画不同系统和要素之间相互作用、彼此影响的程度, 反映系统的结构与功能, 在分析多个复杂系统关系时具有重要作用 (时朋飞等, 2018)。

耦合度可测量两个或两个以上系统之间以及系统内部各要素的之间相互作用和影响的程度。借助耦合度函数可以挖掘生态文明与城市化两个系统之间的相互作用关系与程度, 因此参照廖重斌的耦合度计算模型 (廖重斌, 1999), 得到如下公式:

$$C_2 = \sqrt{\frac{U_1 \times U_2}{(U_1 + U_2)^2}} \quad (10)$$

其中, C_2 表示两个系统之间的耦合度, 取值在 $[0,1]$ 之间。根据相关学者的划分标准, 可将耦合度分为下列几个阶段 (张明斗等, 2014):

当 $C = 0$ 时, 表示系统将处于无序状态发展;

当 $0 < C \leq 0.3$ 时, 系统处于低水平耦合阶段;

当 $0.3 < C \leq 0.5$ 时, 系统处于拮抗阶段;

当 $0.5 < C \leq 0.8$ 时, 系统处于磨合阶段;

当 $0.8 < C \leq 1$, 系统处于相互促进、协调发展的高水平耦合阶段;

当 $C = 1$ 时, 系统处于良性共振的状态, 并趋向于新的有序结构。

耦合度能反映两个系统之间相互作用的强弱, 但是难以说明两者之间是在高水平上还是低水平上的相互联系, 为了避免生态文明与城市化两者发展水平都很低, 耦合度却较高的情况, 因此引入耦合协调度模型来具体地衡量协调发展的水平 (张国俊等, 2018)。耦合协调度的计算方式如下:

$$D = \sqrt{C \times T}, \quad T = \alpha u_1 + \beta u_2 \quad (11)$$

D 表示耦合协调度, T 为综合协调指数, 反映了系统之间的整体协同效应, α 和 β 为待定系数且 $\alpha + \beta = 1$ 。考虑到生态文明和城市化相互促进和相互作用, 两者地位平等, 故取 α 和 β 均为 0.5 (毕国华等, 2017)。