

分类号 _____
U D C _____

密级 _____
编号 10741



硕士学位论文
(专业学位)

论文题目 兰州—西宁城市群生态安全评价
及政策效应分析

研究生姓名: 刘迪

指导教师姓名、职称: 赵煜 教授

学科、专业名称: 统计学 应用统计硕士

研究方向: 经济统计应用

提交日期: 2024年6月3日

独创性声明

本人声明所提交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 刘迪 签字日期： 2024.6.3

导师签名： 赵煜 签字日期： 2024.6.3

导师(校外)签名： _____ 签字日期： _____

关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定， 同意 (选择“同意” / “不同意”) 以下事项：

1. 学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2. 学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊(光盘版)电子杂志社”用于出版和编入 CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 刘迪 签字日期： 2024.6.3

导师签名： 赵煜 签字日期： 2024.6.3

导师(校外)签名： _____ 签字日期： _____

Ecological security evaluation and policy effect analysis of Lanzhou-Xining urban agglomeration

Candidate :Liu Di

Supervisor:Zhao Yu

摘要

兰州—西宁地区虽地处我国战略地位突出的西部腹地,但仍存在发展任务重、发展底子薄,经济、民生和生态之间的矛盾突出的问题。国家安全和国家发展战略全局离不开该地区的发展,西部地区全面建成小康社会和实现社会主义现代化也离不开该地区的发展。本文选取《兰州—西宁城市群发展规划》所覆盖的主要地级市为研究对象,通过构建指标体系并结合 DPSIR 模型框架,对兰州—西宁城市群的生态安全现状进行评价,并结合空间演变规律对其动态演变进行分析,最后采用双重差分法分析城市群建设对生态安全带来的影响,为兰州—西宁城市群的生态安全提供发展的路径和科学的决策。

文章首先梳理了生态安全有关的国内外研究成果和对政策效果检验的各种理论,并提出文章所需的具体方法与理论。其次对兰州—西宁城市群的区域生态安全现状进行评价分析,从驱动力层、压力层、状态层、影响层和响应层五个层次选取指标,建立指标体系,选取熵权-Topsis 法测算出各指标权重,结合综合评价法测算出兰州—西宁城市群的生态安全水平,定量剖析当前兰州—西宁城市群的生态安全水平特征以及区域发展的差异性,然后进一步的应用核密度分析法,分析各城市间生态安全的差异性特征,之后通过标准差椭圆法及观察其重心迁移规律,分析兰州—西宁城市群在空间上的迁移规律。最后,文章为检验《兰州—西宁城市群发展规划》对生态安全水平带来的政策效果,采用双重差分模型对其实施效果进行检验。

研究表明:在总体上,兰州—西宁城市群生态安全水平呈现出一种不断上升的态势,在城市间存在一定的两极分化现象,表现为省会城市生态安全水平高,其他城市相对较低的特点,并且《兰州—西宁城市群发展规划》的实施也对兰州—西宁城市群生态安全水平起了促进的政策作用。

关键词: 生态安全 发展水平 动态演变 双重差分模型 政策效应分析

Abstract

Although Lanzhou-Xining region is located in the western hinterland of our country with prominent strategic position, there are still problems of heavy development tasks, weak development foundation, and prominent contradictions between economy, people's livelihood and ecology. The overall national security and development strategy of the country cannot be achieved without the development of the region, and the building of a moderately prosperous society in all respects and socialist modernization in the western region cannot be achieved without the development of the region. This paper selects the main prefecture-level cities covered by the "Lanzhou-Xining Urban Agglomeration Planning" as the research object, evaluates the ecological security status of Lanzhou-Xining urban agglomeration by constructing an index system and combining with the DPSIR model framework, analyzes its dynamic evolution in combination with the spatial evolution law, and finally adopts the difference-difference method to analyze the impact of the construction of urban agglomeration on ecological security. It provides the development path and scientific decision-making for the ecological security of Lanzhou - Xining city cluster.

At first, this paper reviews the domestic and foreign research results on ecological security and various theories on policy effect test, and puts forward the specific methods and theories needed for this article.

Secondly, the current situation of regional ecological security of Lanzhou-Xining urban agglomeration was evaluated and analyzed. Indicators were selected from five levels, namely, driving force level, pressure level, state level, influence level and response level, and an indicator system was established. The weight of each indicator was calculated by entropy weight-TOPSIS method, and the ecological security level of Lanzhou-Xining urban agglomeration was calculated by comprehensive evaluation method. Quantitatively analyze the current ecological security level characteristics of Lanzhou-Xining urban agglomeration and the differences in regional development, and then further apply the nuclear density analysis method to analyze the differences in ecological security characteristics among cities, and then analyze the spatial migration law of Lanzhou-Xining urban agglomeration by standard deviation ellipse method and observing the migration law of its center of gravity. Finally, in order to test the policy effect of "Lanzhou-Xining urban agglomeration planning" on the level of ecological security, the paper uses the difference-difference model to test its implementation effect.

The research results show that, on the whole, the ecological security level of Lanzhou-Xining urban agglomeration presents a rising trend, and there is a certain polarization phenomenon among cities, which is characterized by the high ecological security level of provincial capital

cities and relatively low ecological security level of other cities. Moreover, the implementation of Lanzhou-Xining urban agglomeration planning also plays a policy role in promoting the ecological security level of Lanxi urban agglomeration.

Key words: Ecological security; Development level; Dynamic evolution; Differential model; Policy effect analysis

目录

1 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的与意义	1
1.2.1 研究目的	1
1.2.2 研究意义	2
1.3 国内外研究现状	2
1.3.1 生态安全评价	2
1.3.2 政策效果评价	4
1.3.3 研究述评	6
1.4 研究思路、研究内容及创新点	7
1.4.1 研究思路	7
1.4.2 研究主要内容	8
1.4.3 创新点	8
2 相关理论与方法	9
2.1 相关理论	9
2.2 相关方法	9
2.2.1 DPSIR 模型	9
2.2.2 熵权 TOPSIS 法	10
2.2.3 标准差椭圆	11
2.2.4 双重差分法	12
3 兰州—西宁城市群生态安全水平测度体系的构建	13
3.1 生态安全水平测度体系的构建	13
3.1.1 测度体系的构建原则	13
3.1.2 指标选取及体系构建	13
3.1.3 权重的确定	15
3.1.4 评价函数	16

3.2 数据来源与处理	16
3.2.1 数据来源	16
3.2.2 数据处理	16
4 兰州—西宁城市群生态安全现状及动态演变	18
4.1 主要测算结果与分析	18
4.2 基于核密度估计的核心特征分析	20
4.3 生态安全综合评价	21
4.3.1 城市群总体评价	22
4.3.2 各子系统层评价	23
4.4 生态安全等级演变	28
4.5 标准差椭圆和重心迁移规律	30
4.5.1 生态安全标准差和重心迁移	30
4.5.2 子系统层标准差椭圆和重心迁移	32
4.6 本章小结	34
5 兰州—西宁城市群建设对区域生态安全的影响	37
5.1 数据说明及变量选择	37
5.2 双重差分模型设定	38
5.3 实证分析	39
5.3.1 相关变量的描述性统计	39
5.3.2 相关性分析	39
5.3.3 平行趋势检验	41
5.3.4 基准回归结果	43
5.3.5 稳健性检验	44
5.4 效应结果分析	45
6 结论与建议	47
6.1 主要结论	47
6.2 建议	48
参考文献	50

致谢..... 54

1 绪论

1.1 研究背景

改革开放以来,资源的过度开采加重了生态环境的破坏程度,水资源、土地资源、大气资源以及生物资源等与人类密切相关的一系列自然资源均受到不同程度的过度开发与利用。

近几十年里,以牺牲生态为代价使我国经济获得了迅速的发展和长足的进步,但也带来了一系列的生态问题。习总书记曾强调“我们既要绿水青山,也要金山银山”。兰州—西宁城市群是中国西部重要的跨省区城市群,范围主要以甘肃省省会兰州市、青海省省会西宁市为中心,包括甘肃省与青海省的其余主要地级城市,有定西市、白银市和海东市。国务院在2018年3月印发了《兰州—西宁城市群发展规划》,该规划的印发,给兰州—西宁城市群带来了重大的机遇,使兰州—西宁城市群成为向西开放的重要枢纽和载体,为深化对内对外开放、促进产业转型升级发展提供了历史性机遇,进一步凸显了兰州—西宁城市群对维护国土安全和生态安全的独特作用和战略价值。

2019年9月18日,习总书记就曾指出,黄河流域是打赢脱贫攻坚战的重要区域,对我国的生态安全方面具有十分重要的作用;2021年10月20日,习总书记在视察完黄河水道后就黄河流域的高质量发展和生态保护发表了重要讲话,生态安全一词再一次被提出并上升到一个崭新的高度。

1.2 研究目的与意义

1.2.1 研究目的

论文以兰州—西宁城市群为研究对象,以近十年的数据构建兰州—西宁城市群生态安全测度体系,对其发展现状在时间与空间上作出评价,根据评价结果并结合《兰州—西宁城市群发展规划》,研究兰州—西宁城市群城市群建设对其区域生态安全的影响以及提升路径,以期达到以下的研究目的:

(1) 兰州—西宁城市群生态安全现状的评估。对生态安全理论及相关研究进行梳理,依据DPSIR模型确定测算生态安全指数的指标,结合统计分析方法对建立的指标体系进行测算,并对测算结果分维度在时间与空间上进行评估。

(2) 兰州—西宁城市群建设对生态安全的影响。基于兰州—西宁城市群的生态安全现状,结合《兰州—西宁城市群发展规划》,为最大程度的避免内生性问题,运用双重差分法(DID)评估兰州—西宁城市群建设对兰州—西宁城市群生态安全带来的影响,并在各个维度评估其影响程度。

(3) 基于兰州—西宁城市群建设对生态安全带来的影响,寻求在各个维度的提升路径,并给出建议。

1.2.2 研究意义

在生态安全测评的基础上,分析其生态安全的发展现状,再基于其发展现状,结合兰州—西宁城市群建设的背景,对兰州—西宁城市群建设的效果有了明确的认识,并选用合理的统计学方法,结合城市学、经济学、生态学,对区域生态安全的提升路径进行深入研究,具有较强的理论意义和现实意义。

(1) 理论意义

在生态安全评价中引入标准差椭圆法以及重心迁移等空间计量模型,更加直观的展示了研究区域的生态安全迁移状态与趋势,对生态安全评价的理论作了补充。

评估兰州—西宁城市群建设对区域生态安全的影响程度,为进一步寻求区域生态安全的提升路径提供了理论依据。

(2) 现实意义

首先,研究兰州—西宁城市群建设对生态安全的影响并寻求提升路径,有利于发现外部因素对生态安全的作用机制,从而为政府更准确地制定发展策略和措施提供依据;其次,在未来做规模更大的城市群研究时,使得研究结论在我国生态安全政策方面有更强的现实意义。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 生态安全评价

上世纪40年代,国外就已经开始对生态安全方面的探究,主要是生态风险评价与生态系统安全方面的研究^[1]。20世纪60年代,生态环境保护首次出现在Rachel Carson撰写的《寂静的春天》一书中,自此以后,相关研究理论成果持续更新。1977年,在《建设一个持续发展的社会》一书中首次出现“生态安全”

的概念, Lester R Brown 在书中除了提出“生态安全”的概念外, 还指出了人与自然的的关系是目前对生态安全最大的威胁。之后一系列重大生态污染事件的爆发, 对人类的生存环境造成了严重的影响, 这使得生态安全正式成为学者们关注和研究的重点内容^[2]。国内对于生态安全方面的探究, 源于国内可持续发展理念的提出, 这就相较于国外完了许多, 自此之后, 生态安全研究领域浮现在国内学者的面前。21 世纪以前, 国内学者对于生态安全的研究主要是研究生态环境的保护, 进入 21 世纪之后, 随着一系列生态保护文件的颁布, 学者们才将研究重心陆续转移到生态安全评价上。

综合国内外学者的研究成果, 发现其对生态安全的研究主要集中于下列几个方面: 定性与定量相结合的方法, 以定性为主, 定量为辅的生态安全综合研究。例如: Baabou 等^[3]、Niccolucci V 等^[4]从生态足迹和生态承载力等方向出发, 对研究地区的生态安全现状及可持续发展状态进行研究。对生态系统的格局构建与生态脆弱区的维护进行可持续化研究。例如: 马晓琳、郭莎莎等^[5]以生态脆弱区为研究对象, 构建生态阻力评价指标体系, 结合生态服务空间特征, 通过最小累积阻力模型来构建生态安全格局, 为生态脆弱区的物种保护和生态系统提供决策工具。将某个流域、湿地、城市生态为研究对象, 研究其生态安全时空分异规律。例如: Liu 等^[6]和向丽、周伟等^[7]在进行生态安全评价时采用修正后的 DPSIR 模型, 为保护生态安全提供科学的依据; 以流域、湿地或城市群为研究主体, 对不同区域的生态安全进行深入探究。祁兰兰、王敏等^[8]借助“状态—隐患—响应”模型对抚仙湖流域的生态安全空间分异性进行特征研究, 结果表明该流域生态安全空间差异性明显, 且具有显著的空间集聚效应, 在不同的土地类型上存在明显差异的空间分异规律; Wen 等^[9]和牛最荣、贾玲等^[10]均以水流域为研究对象, 前者研究淮河流域并结合了气候数据、遥感数据和相关政策及空间技术, 后者则以长江流域甘肃省内段为研究对象, 从生态、生活、生存三个空间角度构建 PSR 模型研究长江流域的水生态安全, 为区域高质量发展提供科学依据。

将定量分析与模型的构建相结合应用在生态安全评价领域。例如周超凡、王毅勇等^[11]则选用 PSR 模型及 TOPSIS 方法, 对宝鸡市的大气环境进行生态安全评价, 为陕西省宝鸡市的环境保护提供科学的改善方向。Shi 等^[12]和刘平波、倪芳等^[13]均引入卫星遥感技术, 前者通过研究青藏高原牧区的植被覆盖率等指标来

探究生态问题,后者结合卫星遥感技术与PSR模型,并通过AHP分析法,研究洞庭湖流域的农业生态安全,结果表明各模型均有较高的精确度和稳定性;朱颖、顾春望等^[14]采用“驱动力—压力—状态—影响—响应—管理(DPSIRM)”模型科学评价了苏州市吴江区的湿地生态系统,并分析了湿地生态系统的保护需加强压力指标的调节;刘博、李华蕾等^[15]借助GIS模型与PSR模型对沈阳市的土地利用现状进行了评估,并对沈阳市土地利用现状进行了评价分析;李若颀、辛存林等基于PSR模型,运用熵值法与综合评价法并结合灰色GM(1,1)模型对大夏河流域的未来水生态安全进行了预测,以更好的了解大夏河的水生态安全现状^[16];

1.3.2 政策效果评价

在致力于研究公共政策的学者中,政策是为了改善或者解决一些被列在日程中的问题,包括经济问题、社会问题、以及环境问题^[17]。而环境政策,就是政府为处理环境问题所制定的政策,可定义为一个国家的政府为了保护其人民赖以生存的环境所采取的所有措施^[18]。

而政策的评估方法,国内外学者主要将其划分为两大类,定性研究与定量研究。定性研究主要是以非统计方法为分析和研究的工具;定量研究主要是以应用统计学方法作为分析的研究工具^[18]。

(1) 定性研究方法

所谓的定性分析,主要是利用政策实施后的各项指标与政策实施前进行对比分析。例如余一倩、马辉等^[19]运用对比分析法分析了在不同的国家里不同的德育教育方法的不同运用发展,吸取各国的经验教训、发挥政策的实践作用,为提高我国新时代德育教育方法的时效性提供改进措施。高奇隆、孙雪姗等^[20]以完善医保个人账户相关政策为依据,采用对比分析法,对比分析三项政策措施的实施效果,然而结果显示购买商业保险的效果不明显,并据此提出了针对性建议。马赫、尹文强等^[21]通过“投射—实施后”对比分析法评价“全面二孩”政策实施的效果,将预测值与实际值进行对比,结果表明政策实施后的效果虽已显现,但仍旧达不到预期效果。

(2) 定量研究方法

评估政策和措施方案效果的计量方法有断点回归法(RD)、合成控制法(SCM)

以及双重差分法（DID）。

①断点回归法（RD）

断点回归法（Regression Discontinuity, RD）是一种广泛应用的政策评估方法，最初由 Thistlethwaite 和 Campbell 于 1960 年应用在一项研究中，即“对学生的未来学术成果进行嘉奖”^[22]。该模型的主要原理在于寻找一个可参考变量，划定临界值，控制样本近似随机分布在附近，确定处理组和控制组，通过比较其差别来研究干预变量和结果变量之间的因果联系^[23]。断点回归法在评估政策方面，更加适合应用在政策实施前后的短期评估中，判断其是否有一些突出的变化，如刘鸿雁、潘晗钰等将该方法应用于广东省，对广东省在“双碳”背景下的碳交易试点政策的政策效果做了评估分析，研究结果表明，广东省的碳强度在碳交易试点政策实施以来有了明显的下降，并指出清洁能源替代、能源优化是碳交易试点政策发挥作用的基本要素^[24]。此外，断点回归法还常用于研究某些行为所产生的影响，如杨志媛、盖骁敏等^[25]在断点回归设计的框架下，研究退休行为对居民家庭消费产生的影响，结果表明空巢老人家庭在退休后总消费支出显著下降，非空巢老人家庭的各类消费占比变化不显著。

②合成控制法（SCM）

合成控制法（Synthetic Control Method, SCM）是用于评估某政策或事件的效应的一种计量方法，Abadie 和 Gardeazabal 在 2003 年提出用来解决缺少参照地区的问题^[26]。该方法的基本原理是寻找一个合适的“参照物”，使得选择的处理组和控制组具有不同的数据特征。例如 Zhang 等^[27]、张雪纯、曹霞等^[28]运用合成控制法，基于 2000-2020 年全国各省的面板数据，对试点地区实施碳排放交易制度前后的减污降碳效果进行了对比分析，研究结果表明在试点地区，碳排放交易制度的减污降碳效果较为显著。Kim M K 和 Kim T^[29]也利用该方法进行了一项研究，揭示了在美国东北地区，CO₂ 等温室气体排放量明显下降的主要原因之一，就是区域温室气体倡议（RGGI）的广泛响应。谭砚文、李丛希等^[30]基于中国—东盟自由贸易区框架（CAFTA），利用合成控制法，对 1995-2020 年的农产品进出口贸易效应进行评估，结果表明该框架的实施对中国与东盟间的农产品贸易带来的影响是显著的，并呈现进出口效应逐步扩张的态势。

③双重差分法（DID）

双重差分法（Differences-in-Differences, DID）是一种用于估计变量之间因果效应的计量方法，西方学者 Ashenfelter 早在 20 世纪 70 年代末就将双重差分法引入到经济学研究领域^[31]。双重差分法是将某项政策看作是一个自然实验，通过一定的要求将研究数据科学、合理的分为两个不同的组来进行政策实施的效应分析，其中，将受到该政策影响的研究数据作为处理组，未受到该政策影响的部分数据作为控制组。选取要考量的个体指标，根据政策实施的时间进行第一次差分得到两组变化量，消除个体不随时间变化的异质性，再对两组变化量进行二次差分，消除随着时间变化的增量，得到政策净效应^[32]。王琳^[33]运用双重差分法评估了我国“一带一路”沿线省市的对外投资情况，结果表明该倡议的实施显著的正向促进了对外直接投资。同样的，胡颖、李维等^[34]也运用双重差分法，检验“一带一路”倡议对沿线国家的高质量发展所产生的影响，结果表明该倡议对可持续发展的促进效应最为明显。Jia and Chen^[35]评估了中央环保督查（CEPI）短期和长期的效果，构建了多期双重差分模型来进行系统的评估，结果表明实施 CEPI 可以显著改善环境绩效；张广海、闫义莹^[36]等则利用双重差分法研究城市建设所产生的影响，以国家智慧旅游试点城市为样本，研究智慧旅游城市建设对试点城市的旅游经济所产生的影响，结果表明，智慧旅游城市的建设对试点城市的旅游发展有着显著的促进作用，且其促进作用由内陆地区到沿海地区衰减。同样的高长春、朱仲逸等^[37]基于双重差分模型，评估智慧城市与创新型城市双试点的设立对城市数字经济的影响，结果表明，双试点政策的实施比单试点政策有着更深的影 响，且实施的先后顺序不影响试点城市的数字经济发展。

1.3.3 研究述评

通过对国内外对生态安全相关内容的发展历程及研究现状的梳理总结，可以看出国内外学者虽然已经在生态安全的研究方法、指标构建和现状研究等方面已取得丰富的研究成果，但仍存在一些问题需要深刻反思和积极解决。第一，在环境严峻的西北地区，如何对生态安全的概念进行合理的界定仍然是研究的重点；第二，国内外学者对指标体系的选取还未有一致的标准，国内对于欠发达的西北地区，针对性不足。

当前政策评价方法已广泛应用于各个领域的政策研究，相比采用定性分析，现有的研究中，学者们大多更加青睐定量分析方法。同时，为研究本文章中兰州

1.4.2 研究主要内容

根据研究的思路，本研究的主要内容包含三大部分：

第一部分主要是理论研究，包括第一章与第二章。第一章的内容主要是文章的选题依据、研究目的与研究意义，研究内容、研究思路和创新点，以及对国内外有关生态安全评价、政策效果评价等理论和提升路径做出研究述评，确立论文的研究切入点。第二章的内容包括文章涉及的相关理论以及相关方法的介绍。

第二部分为论文的核心内容，包括第三章、第四章与第五章。

(1) 第三章的内容是测度体系的构建，包括指标的选取、指标体系的构建、权重的确定以及评价方法的选取。

(2) 第四章的内容是对区域生态安全现状的评价，包括生态安全指数的测算与评价、核密度分析、生态安全等级演化以及标准差椭圆和重心演化规律。

(3) 第五章的内容是基于区域生态安全现状，设计双重差分模型，阐述本文涉及变量的选取和计算方式、数据来源等，并对相关变量进行了描述性统计和分析，最后通过双重差分法（DID）验证兰州—西宁城市群建设对区域生态安全的提升效果，主要包括基准回归结果、稳健性检验等。

第三部分则是提出建议，为论文第六章。根据实证分析的结果，结合区域生态安全现状，提出如何提高生态安全的一些可行性建议。

1.4.3 创新点

(1) 在生态安全评价中引入标准差椭圆法以及重心迁移等空间计量模型，更加直观的展示了研究区域的生态安全迁移状态与趋势，同时也更直观的展示了各子系统层的动态演变趋势。

(2) 研究视角的创新，在国内外均针对生态安全现状进行分析评价时，转换研究视角，紧跟国内城市群发展规划，在兰州—西宁城市群建设的政策背景下，结合区域生态安全现状，研究兰州—西宁城市群建设对区域生态安全的影响，并对区域生态安全的进一步提升做出分析，从而充分发挥兰州—西宁城市群对维护国土安全和生态安全的独特作用和战略价值。

2 相关理论与方法

2.1 相关理论

生态安全这一个概念最先由美国提出，既涵盖了原始的自然生态，也包括人类的经济活动，在学术界中是一个典型的交叉多领域的研究主题，近年来，对生态安全的研究越发引起国内外学术界的重视。生态安全这一理论内涵在学术界中的定义经过归纳整理，将其分为狭义的生态安全和广义的生态安全^[38-40]。

狭义的生态安全，主要指的是半自然生态系统与自然生态系统的安全，反映了生态系统整体的安全性及可持续性，重点强调半自然生态系统与自然生态系统功能的完整。

广义的生态安全，主要指复合生态系统的安全，这一复合系统包含了自然界、人类经济活动与社会，重点强调人类的生产生存安全。广义的生态安全从两个层面出发，一方面是从环境保护和生态系统的健康出发，主要是防止恶化的生态环境威胁经济社会的发展；另一方面则是从军事与外交方面出发，主要是防止自然资源短缺等问题会使经济衰退，对人类社会的生产生活活动造成影响，甚至出现环境难民^[41-42]。

生态安全评价以可持续发展为首要原则，以探究环境、经济与社会发展之间的关系为切入点，其目标是研究生态系统内发展的协调性，通过对区域生态安全的研究做出能为人类活动做出指引的科学合理的评价与分析，进而实现研究区域内的生态可持续发展及高度统一协调。

2.2 相关方法

2.2.1 DPSIR 模型

DPSIR 模型是欧洲环境署（EEA）在 1993 年基于加拿大学者提出的 PSR 模型以及联合国可持续发展委员会提出的 DSR 模型，在状态指标“S”中提取出一个新的影响指标“I”，形成具有更加细化指标分类的 DPSIR 模型。PSR 模型主要揭示自然环境与人类活动之间的关系，包含了压力“P”、状态“S”和响应“R”三个指标，但其只能描述静态的环境状态。之后联合国可持续发展委员会为突出生态系统中可持续发展的影响力，在 PSR 模型的框架上进一步延申，提出了包含驱动力“D”、状态“S”和响应“R”三个指标的 DSR 模型。DPSIR

模型则是在前两个模型框架的基础上,对指标的分类更加细化,从而能更加准确的分析自然环境与人类活动间的因果关系,完善了评价体系。

DPSIR 模型覆盖范围更广,更全面,包含了自然环境因素、政治因素、经济因素和社会因素,能充分描述人与自然间的因果活动,从而实现对生态安全水平做出科学、合理、准确的评价。

2.2.2 熵权 TOPSIS 法

熵权法是一种通常用来确定指标权重的客观赋权法,它的基本原理是:构建一个 n 行 m 列的决策矩阵,记作 $A: A = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$, 该决策矩阵中包含 n 个研究对象, m 个评价指标, x_{ij} 则代表第 i 个评价对象的第 j 个评价指标。对其中的某一项评价指标来说,如果它的熵值越大,说明该指标的不确定性越大,可以利用的信息量越小,在综合评价中则表现为效果越差,反之亦然。

Topsis 法是常用的指标评价方法,其基本原理是通过求解数据与正负理想解之间的距离来确定指标的相对贴程度。值越大,其对应的数据与正理想解之间的距离越大,反之值越小,其对应的数据与正理想解之间的距离越小。该方法的具体计算步骤如下所示:

(1) 计算指标比重

首先将原始数据做正向化和负向化处理,之后计算每个研究对象的每个指标所占的比重 $P_{\theta ij}$:

$$P_{\theta ij} = \frac{Y_{\theta ij}}{\sum \theta \sum i Y_{\theta ij}} \quad (2.1)$$

(2) 各指标的熵 E_j :

$$E_j = - \frac{1}{\ln(\theta i)} \sum_{j=1}^n P_{\theta ij} \ln P_{\theta ij} \quad (2.2)$$

(3) 各指标权重:

$$w_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)} \quad (2.3)$$

(4) 加权矩阵 A:

$$A_{ij} = Y_{\theta ij} X w_j \quad (2.4)$$

$$A = (a_{ij})_{m \times n} \quad (2.5)$$

(5) 选定最佳方案和最劣方案:

$$I_j^+ = \max(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{ij}) \quad (2.6)$$

$$I_j^- = \min(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{ij}) \quad (2.7)$$

其中, I_j^+ 和 I_j^- 分别代表第j个指标加权下的最大值和最小值。

(6) 计算评价指标到最优方案和最劣方案的欧氏距离:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - I_j^+)^2} \quad (2.8)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - I_j^-)^2} \quad (2.9)$$

(7) 计算出每种方案相对于理想方案的距离:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (2.10)$$

其中, C_i 的取值范围是大于0小于1的, 当 C_i 越接近1时, 该方案离最劣方案越远, 也就说明生态安全水平越高; 反之, C_i 越接近于0说明生态安全水平越低。

2.2.3 标准差椭圆

标准差椭圆 (SDE) ^[43]是一种通过计算椭圆的长轴、短轴以及重心的分布特征来描述研究区域空间特征的空间统计方法, 长轴与短轴的距离表示区域特征的离散程度, 重心则代表相对位置, 因此, 标准差椭圆法能够准确描述空间分布的各方面规律。标准差椭圆的公式为:

$$\bar{X}_W = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}; \bar{Y}_W = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.11)$$

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i \tilde{x}_i \cos \theta - w_i \tilde{y}_i \sin \theta)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2}} \quad (2.12)$$

$$\delta_y = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i \tilde{x}_i \sin\theta - w_i \cos\theta)^2}}{\sum_{i=1}^n w_i^2} \quad (2.13)$$

其中 w_i 表示第 i 个指标的权重； δ_x 为 x 轴的标准差； δ_y 为 y 轴的标准差； x 和 y 分别表示各点距离椭圆重心的相对坐标； $(\overline{X}_W, \overline{Y}_W)$ 为区域重心坐标。

2.2.4 双重差分法

双重差分法（Differences-in-Differences, DID）是一种用于估计变量之间因果效应的计量方法，西方学者 Ashenfelter 早在 20 世纪 70 年代末就将双重差分法引入到经济学研究领域^[12]。双重差分法是将某项政策看作是一个自然实验，通过一定的要求将研究数据科学、合理的分为两个不同的组来进行政策实施的效应分析，其中，将受到该政策影响的研究数据作为处理组，未受到该政策影响的部分数据作为控制组。选取要考量的个体指标，根据政策实施的时间进行第一次差分得到两组变化量，消除个体不随时间变化的异质性，再对两组变化量进行二次差分，消除随着时间变化的增量，得到政策净效应。具体来说，双重差分模型设置如下：

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 du + \beta_2 dt + \beta_3 du \cdot dt + \varepsilon_{it} \quad (2.14)$$

其中， $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ 为设定的 4 个模型系数，其中 β_3 反映政策执行的净效应； du 是分组的虚拟变量，如果研究对象 i 在政策实行的范围内，则其值为 1，属于处理组，反之 du 的值则为 0，属于对照组； dt 则是政策执行的虚拟变量，在政策执行之前其值为 0，反之则为 1； $du \cdot dt$ 为分组虚拟变量与政策实施虚拟变量的交互项。从表 2.1 可以明显看出，模型设定中的系数 β_3 ，反映了政策执行的净效应。

表 2.1 双重差分模型

	政策实施前	政策实施后	Difference
处理组	$\beta_0 + \beta_1$	$\beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3$	$\beta_2 + \beta_3$
对照组	β_0	$\beta_0 + \beta_2$	β_2
Difference	β_1	$\beta_1 + \beta_3$	β_3

3 兰州—西宁城市群生态安全水平测度体系的构建

3.1 生态安全水平测度体系的构建

3.1.1 测度体系的构建原则

论文基于兰州—西宁城市群生态安全的发展现状,结合相关文献,为了全面、有效地把兰州—西宁城市群生态安全水平展现出来,论文遵循以下原则来构建指标体系:

(1) 科学性 & 代表性

在指标选取与指标体系构建时,要遵循科学性这一前提条件,确保测度兰州—西宁城市群生态安全水平的指标体系构建合理与准确;同时,选取的指标要有代表性,能够相互配合且有各自的侧重点,重点突出兰州—西宁城市群生态安全水平基本特征与基本情况。

(2) 可量化 & 可比性

鉴于我国西北地区环境的复杂性,论文选取的指标能否可量化、数据能否获得就显得尤为重要。论文分析的是兰州—西宁城市群主要地级城市生态安全水平的动态演变,但各个城市生态安全水平具有差异性,因此要选取可量化的指标,且注重指标的可比性,实现研究对象在空间上的可比性。

3.1.2 指标选取及体系构建

生态安全评价指标体系是由多个层面的指标构成的,不同的指标代表其所在的不同维度,具有不同的解释。在上述的指标构建原则下,根据国务院颁发的《生态文明建设目标评价考核办法》,借鉴目前已有的指标体系,依据指标选取的科学性、针对性以及可比性,最终选定 DPSIR 模型作为兰州—西宁城市群生态安全评估概念框架,该模型在生态安全评价应用中主要包含以下五个方面内容:

(1) 驱动力系统层是指能够诱发生态环境发生变化的内在原因,在研究中表现为能够对生态安全起到促进作用的一些因素。本研究中选取人均 GDP、地区生产总值增长率、城镇化率、固定资产投资额和城镇居民可支配收入等五项指标。其中,人均 GDP、地区生产总值增长率等反映了经济发展对生态安全建设的驱动作用;城镇化率、城镇居民可支配收入等反映了城市的发展转化对生态安全的推动影响。

(2) 压力系统层则表现为人类活动对自然环境所产生的影响, 是能够直接改变生态的环境的因素, 包括人类活动中对自然资源的开发利用, 生产经营活动中的污染物排放等。而本文中则选取人口密度、人均用水量、人口自然增长率、人均工业二氧化硫排放量和人均工业废水排放量等五项指标。其中, 人口密度、人均用水量等指标反映了人类的经济活动给研究区域的生态环境带来的压力; 人均工业二氧化硫排放量和人均工业废水排放量则代表了工业废弃物的排放对生态环境产生的负荷。

(3) 状态系统层通常衡量目前人类的生活状态, 主要指自然环境在驱动力因素以及压力因素影响下所处的目前状态。本文则选取年平均气温、年降水量和第三产业比重等指标。其中, 年平均气温、年降水量代表了所研究区域目前生态环境所处的状态, 第三产业比重则是衡量研究区域的产业结构模式。

(4) 影响系统层指的是研究区域目前的状态对自然环境、人类生活活动以及经济社会发展所产生的影响。文章选取生活垃圾无害化处理率、人均绿地面积和建成区绿化覆盖率等指标。其中生活垃圾无害化处理率衡量了生活垃圾的及时处理对生态环境质量提升带来的影响; 人均绿地面积和建成区绿化覆盖率等衡量的是城市生活环境质量的改变对生态安全水平产生的影响。

(5) 响应系统层通常指的是决策者为处理人类活动所造成的不良影响而做出的相应决策, 具体表现为人类在发现恶劣的生态环境后所采取的积极有效的方法与措施, 例如管理污染物的排放以及加大对环境保护的力度等。本文选取万人拥有卫生机构数、万人拥有卫生机构人员数、万人在校大学生数、科技支出占财政支出的比例、教育支出占财政支出的比例、一般工业固体废物综合利用率和污水处理厂集中处理率等七项指标。其中, 万人拥有卫生机构数、万人拥有卫生机构人员数等指标反映的是社会的响应程度, 科技支出占财政支出的比例、教育支出占财政支出的比例等指标通过政府财政支出来衡量对生态环境的响应程度; 一般工业固体废物综合利用率和污水处理厂集中处理率等指的是工业废物污水的处理能力对生态环境安全提升的相应举措。

因此, 构建出基于 DPSIR 模型的兰州—西宁城市群生态安全评估指标体系, 见下表 3.1。

表 3.1 兰州—西宁城市群生态安全评估指标体系

准则层	指标层	单位	指标类型
Drive (驱动力)	D1.人均 GDP	元	+
	D2.地区生产总值增长率	%	+
	D3.城镇化率	%	+
	D4.固定资产投资额	万元	+
	D5.城镇居民可支配收入	元	+
Press (压力)	P1.人口密度	人/平方千米	-
	P2.人均用水量	m ³	-
	P3.人口自然增长率	%	-
	P4.人均工业二氧化硫排放量	吨	-
	P5.人均工业废水排放量	吨	-
State (状态)	S1.年平均气温	°C	-
	S2.年降水量	mm	+
	S3.第三产业比重	%	-
Impact (影响)	I1.生活垃圾无害化处理率	%	+
	I2.人均绿地面积	公顷	+
	I3.建成区绿化覆盖率	%	+
Response (响应)	R1.万人拥有卫生机构数	个	+
	R2.万人在校大学生数	人	+
	R3.万人拥有卫生机构人员数	人	+
	R4.科技支出占财政支出比例	%	+
	R5.教育支出占财政支出比例	%	+
	R6.一般工业固体废物综合利用率	%	+
	R7.污水处理厂集中处理率	%	+

3.1.3 权重的确定

指标体系构建之后,需要选用合理的方法确定各指标所占的权重。在涉及到城市领域,省域,江河流域等研究区域时,赋权的方法集中在熵权法^[44-45],组合

赋权法^[46]以及 CRITIC 法^[47]等。其中熵权法不仅能考虑到各个指标之间的相关性,而且能同时兼顾指标之间的差异性,因此,面对多个指标之间复杂的关系,选择熵权法更具优势。

熵权法是常用来确定权重系数的方法,是一种客观赋权方法。对其中的某一项评价指标来说,如果它的熵值越大,说明该指标的不确定性越大,可以利用的信息量越小,在综合评价中则表现为效果越差,反之亦然。之后再通过熵权对各指标的权重进行修正,从而得出较为客观的指标权重。

3.1.4 评价函数

权重确定之后,选择评价函数进行评价。在涉及到城市领域,省域,江河流域等研究区域时,评价方法有最小方差法、Topsis 法^[48]、最小生成树法 (MST)^[49]和双重激励模型构建动态综合评价方法^[50]等。

Topsis 法是一种多属性决策方法,可以综合考虑多个因素的影响,得出最终的决策结果。同时,熵权法与 Topsis 法结合使用,可以充分利用各自的优势,使评价结果更加客观、可靠。

Topsis 法是常用的指标评价方法,其基本原理是通过求解数据与正负理想解之间的距离来确定指标的相对贴近度。值越大,其对应的数据与正理想解之间的距离越大,反之值越小,其对应的数据与正理想解之间的距离越小。

3.2 数据来源与处理

3.2.1 数据来源

研究选取以甘肃省省会兰州市、青海省省会西宁市为中心的地级城市为研究对象,包括兰州市、定西市、白银市、西宁市和海东市,以 2018 年《兰州—西宁城市群发展规划》为切入点,时间跨度为 2010-2021 年(除海东市),其中,海东市在 2013 年设立地级市,因此海东市的时间跨度为 2013-2021 年。主要来自于《甘肃省统计年鉴》、《青海省统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、各州市统计年鉴与相关报告、国家统计局以及相关部门发布的统计公报、统计报表,文章数据来源可靠。

3.2.2 数据处理

首先,对搜集到的原始数据缺失的部分用插值法处理;其次,为解决选取的

各个指标之间存在的量纲差异问题，需要对原始数据做标准差处理，计算公式如下：

对正项指标而言，公式为：

$$Y_{\theta ij} = \frac{x_{\theta ij} - \min(x_{\theta ij})}{\max(x_{\theta ij}) - \min(x_{\theta ij})} \quad (3.1)$$

对负项指标而言，公式为：

$$Y_{\theta ij} = \frac{\max(x_{\theta ij}) - x_{\theta ij}}{\max(x_{\theta ij}) - \min(x_{\theta ij})} \quad (3.2)$$

其中， θ 、 i 、 j 分别代表年份、研究对象和相应的指标， $x_{\theta ij}$ 代表搜集的原始数据， $Y_{\theta ij}$ 代表标准化处理后的指标数据， $\max(x_{\theta ij})$ 和 $\min(x_{\theta ij})$ 分别代表指标原始数据在所有年份和研究对象的最小和最大值。

为避免经标准化后的数据出现部分为 0 的情况，从而使指标体系中部分指标无意义，因此在标准化处理后的数据后添加一个略大于零的正数 0.0001。

$$Y_{\theta ij} = \frac{x_{\theta ij} - \min(x_{\theta ij})}{\max(x_{\theta ij}) - \min(x_{\theta ij})} + 0.0001 \quad (3.3)$$

$$Y_{\theta ij} = \frac{\max(x_{\theta ij}) - x_{\theta ij}}{\max(x_{\theta ij}) - \min(x_{\theta ij})} + 0.0001 \quad (3.4)$$

4 兰州—西宁城市群生态安全现状及动态演变

4.1 主要测算结果与分析

论文利用 SPSS24 软件，使用熵权法对兰州—西宁城市群 2010-2021 年主要地级城市的生态安全水平展开测度，得到的各个指标的权重如下表所示。

表 4.1 兰州—西宁城市群生态安全水平综合权重

准则层	指标层	单位	权重	排名
Drive (驱动力)	D1.人均 GDP	元 (+)	3.51%	14
	D2.地区生产总值增长率	% (+)	4.21%	10
	D3.城镇化率	% (+)	4.51%	9
	D4.固定资产投资额	万元 (+)	5.71%	6
	D5.城镇居民可支配收入	元 (+)	2.88%	19
Press (压力)	P1.人口密度	人/平方千米 (-)	3.36%	18
	P2.人均用水量	m ³ (-)	2.42%	21
	P3.人口自然增长率	% (-)	4.16%	11
	P4.人均工业二氧化硫排放量	吨 (-)	1.83%	23
	P5.人均工业废水排放量	吨 (-)	3.48%	16
State (状态)	S1.年平均气温	°C (-)	5.13%	7
	S2.年降水量	mm (+)	4.91%	8
	S3.第三产业比重	% (-)	3.61%	13
Impact (影响)	I1.生活垃圾无害化处理率	% (+)	2.29%	22
	I2.人均绿地面积	公顷 (+)	7.20%	2
	I3.建成区绿化覆盖率	% (+)	3.40%	17
Response (响应)	R1.万人拥有卫生机构数	个 (+)	7.62%	1
	R2.万人在校大学生数	人 (+)	7.07%	3
	R3.万人拥有卫生机构人员数	人 (+)	6.40%	4
	R4.科技支出占财政支出比例	% (+)	5.95%	5
	R5.教育支出占财政支出比例	% (+)	4.05%	12

准则层	指标层	单位	权重	排名
	R6 一般工业固体废物综合利用率	% (+)	3.48%	15
	R7.污水处理厂集中处理率	% (+)	2.82%	20

在表中可以看到,万人拥有卫生机构数、人均绿地面积、万人在校大学生数、万人拥有卫生机构人员数、科技支出占财政支出比例、固定资产投资额和年平均气温这七个指标在兰州—西宁城市群生态安全水平测算中占有较高的权重,携带有绝大部分的信息量。

文章基于“驱动力-压力-状态-影响-响应”五个维度的生态安全评价框架,利用熵权-TOPSIS法测算2010-2021年兰州—西宁城市群生态安全水平。首先对原始数据进行标准化处理,利用熵权-TOPSIS法计算各个指标权重,然后根据各指标权重求和得到兰州—西宁城市群生态安全水平及其五个维度的生态安全评价指数值,其结果如表所示。

表 4.2 兰州—西宁城市群生态安全水平描述性统计

	样本量	均值	方差	中位数	最大值	最小值
驱动力水平	12	0.380	0.002	0.371	0.454	0.321
压力水平	12	0.569	0.004	0.544	0.682	0.508
状态水平	12	0.420	0.005	0.398	0.535	0.324
影响水平	12	0.181	0.003	0.166	0.272	0.120
响应水平	12	0.291	0.004	0.273	0.410	0.181
生态安全	12	0.393	0.002	0.367	0.470	0.325

如表 4.1 所示,2010-2021 年兰州—西宁城市群生态安全水平的平均值为 0.393,说明研究期内兰州—西宁城市群生态安全水平仍处于较低水平。2010-2021 年兰州—西宁城市群生态安全水平的方差为 0.002,说明该时期兰州—西宁城市群生态安全水平均衡平稳发展,没有大幅度波动。对各个维度静态分析可以发现,相较于其他维度的生态安全状况,2010-2021 年兰州—西宁城市群的压力水平和状态水平具有较高的水平,生态安全水平随之提升。

4.2 基于核密度估计的核心特征分析

根据演变特征可以发现,兰州—西宁城市群生态安全水平存在一定的差异性,为了更清楚的观察到这种差异的演变,对兰州—西宁城市群 2010-2021 年兰州—西宁城市群的生态安全水平运用核密度估计法进行特征分析。

从城市群层面看,如图 4.1 所示,展示了兰州—西宁城市群主要地级城市 2010-2021 年生态安全水平的分布及动态演变趋势。

(1) 从核密度曲线的演变过程出发,在 2010-2021 年,兰州—西宁城市群生态安全水平的核密度曲线呈现出右移的趋势,在 2014-2016 年的主峰高度迅速增高,在 2016 年以后,核密度曲线又迅速下降并保持稳定。

(2) 从波峰演变情况出发,在 2010-2021 年兰州—西宁城市群生态安全主要分为三个阶段,第一阶段在 2010-2012 年,核密度曲线为一个主峰表现为单峰分布;第二个阶段为 2013-2016 年,核密度曲线为一个主峰和一个侧峰,表现为双峰分布;第三个阶段则是 2016 年以后,虽演变为一个主峰,但峰值下降,呈现单峰分布。总的来看,兰州—西宁城市群生态安全程度分布呈现“单峰—双峰—单峰”的变化趋势,但两极分化的问题依然严峻。

(3) 从分布的延展性来看,核密度曲线有拓宽之势,表明兰州—西宁城市群生态安全水平空间上的绝对差异越来越大,具体表现为生态安全水平高的城市与平均生态安全水平之间的差距不断增加。

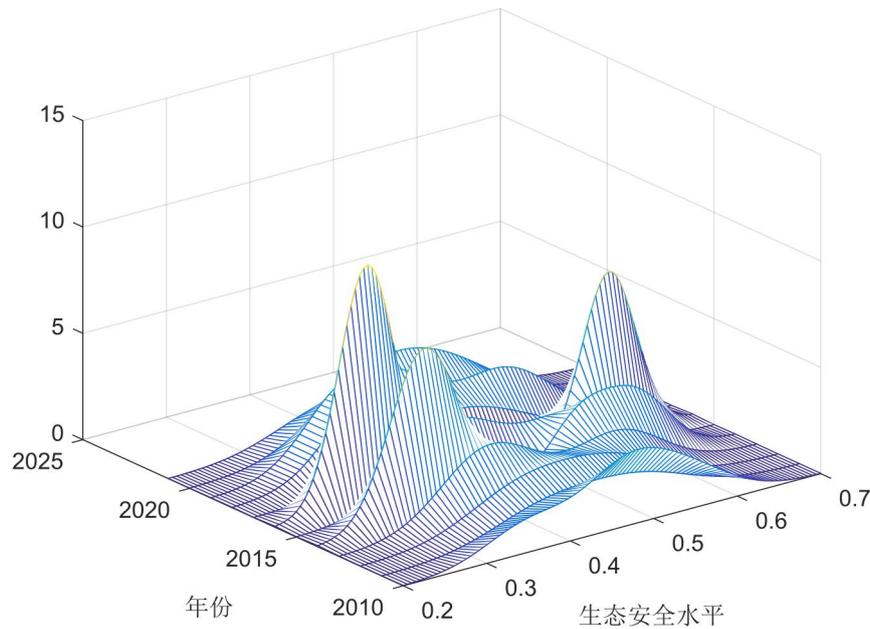


图 4.1 2010-2021 年兰州—西宁城市群生态安全水平核密度图

4.3 生态安全综合评价

从时间维度分析 2010-2021 年兰州—西宁城市群生态安全水平的变化趋势也是十分有必要的。如图 4.2 所示，2010-2021 年兰州—西宁城市群生态安全水平整体呈平稳增长趋势，2021 年较 2010 年上升 7.30%。2010-2021 年兰州—西宁城市群生态安全水平演进可划分为四个阶段：2010-2012 年为第一阶段，生态安全水平呈平稳增长态势，且各年份增长幅度基本保持一致，即增长速度基本保持不变，平均增长幅度为 4.69%；2012-2013 年为第二阶段，该阶段生态安全水平出现一定的下降，由 2012 年的 0.454 下降到 2013 年的 0.363；2013-2019 年为第三阶段，在该阶段生态安全水平呈平稳态势，该阶段各个年份生态安全水平值相差不大，均在 0.32 和 0.38 之间波动；第四阶段为 2019-2021 年，2021 年较 2019 年生态安全水平有较大幅度提升，由 0.323 上升到 0.444，增长幅度为 36.9%。



图 4.2 2010-2021 年兰州—西宁城市群生态安全水平变化趋势

从各个城市的生态安全水平测算结果来看,可以发现每个城市的生态安全水平从 2010 年至 2021 年都有所变化。首先,我们可以看到在 2020 年除个别城市外,大部分城市的生态水平均有了显著提升,其中,兰州市、白银市和定西市提升幅度尤其显著。此外,海东市的生态安全水平始终保持在较低水平,增长趋势并不显著。对比不同城市之间的生态安全水平,我们可以发现,兰州市、西宁市的生态安全水平相对较高,提升幅度较为显著。

表 4.3 2013-2021 年兰州—西宁城市群生态安全指数值

城市	兰州市	白银市	定西市	西宁市	海东市
2013	0.5530	0.3232	0.3450	0.5351	0.3824
2014	0.4963	0.3541	0.3571	0.5467	0.3785
2015	0.5722	0.3502	0.3858	0.5345	0.4074
2016	0.5375	0.3365	0.3541	0.5291	0.3501
2017	0.5662	0.4436	0.3371	0.4631	0.3085
2018	0.4890	0.3907	0.3627	0.5182	0.3463
2019	0.4606	0.3275	0.2982	0.5519	0.3498
2020	0.5421	0.4337	0.4569	0.5512	0.3903
2021	0.5676	0.3894	0.5194	0.6086	0.3940

4.3.1 城市群总体评价

兰州—西宁城市群的生态安全评价结果如图 4.3 所示。总体分析,兰州—西宁城市群的生态安全指数(ESI)值变化较为稳定且有所上升,直观反映出兰州—西宁城市群的生态安全程度在缓慢提高。具体来说,兰州—西宁城市群的生态

安全指数（ESI）值在 2012 年上升到最大值 0.470，之后有所回落，在 2019 年降到最低点 0.325，2019 年以后又有所回升到 2021 年的 0.404。

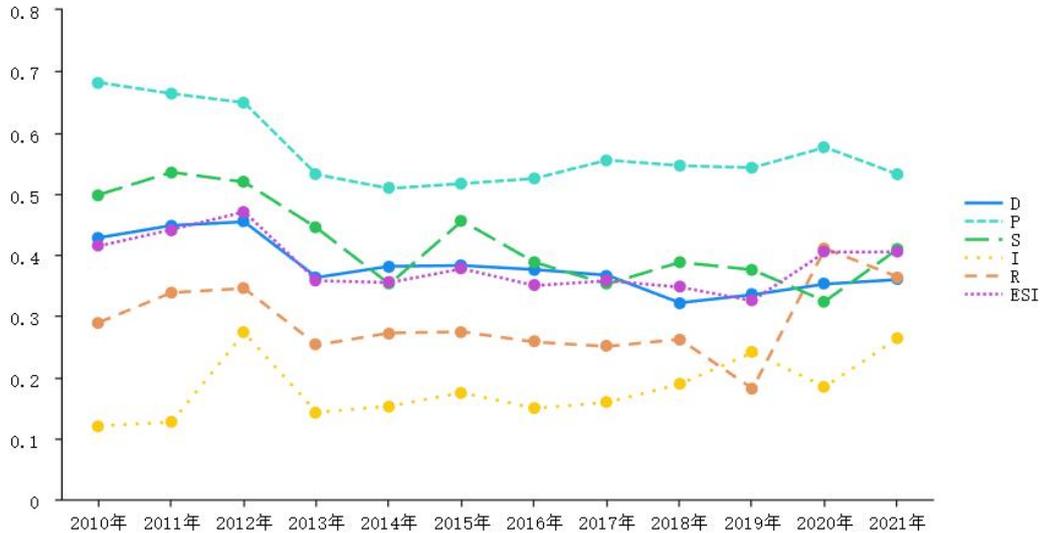


图 4.3 兰州—西宁城市群生态安全评价指数值

由图 4.3 可以看出，在兰州—西宁城市群的五个子系统，除压力系统层和状态系统层外，其余三个系统层指数值均高于初始值，但均具有不同的发展历程，表现为：在 2010-2013 年，兰州—西宁城市群除影响状态层有大幅度上升外，其余系统层指数值均有小幅度下降，说明在此期间生态安全影响有向好发展的趋势；在 2013-2019 年，除响应层指数值有小幅度下降外，其余系统层变化较为平稳，表现为兰州—西宁城市群生态安全发展稳定；在 2019 年以后，各系统层都有不同幅度的上升，表现为在此期间生态安全各系统层均向好的方向发展。总的来看，各系统间的指数值表现为压力指数值 > 状态指数值 > 驱动力指数值 > 响应指数值 > 影响指数值，表明兰州—西宁城市群在 2010-2021 年间受到的压力较小。

4.3.2 各子系统层评价

(1) 由下图 4.4 可以看出，2010-2021 年之间，虽然兰州—西宁城市群中各城市驱动力层指数值除兰州市、海东市外，均呈上升的趋势，但各城市的发展仍旧存在明显的分异规律。兰州市在 2010 年-2015 年的驱动力指数呈现上升的趋势，由 0.856 上升到 0.892，2015 年-2018 年的驱动力指数下降到 0.598，2018 年以后又在逐步上升到 0.670，2020 年-2021 年又稍微下降到 0.636。白银市 2010 年-2021

年驱动力指数呈现出上升-下降-上升-下降-上升的趋势，2010年-2012年由0.223上升到0.308，之后下降到2013年的0.173，2013年后白银市的驱动力指数又有大幅度的上升，上升到2017年的0.313，2017年-2019年又有略微的下降，最后又上升到0.253。定西市的驱动力指数变化较为简单，呈现上升-下降-再上升的趋势，上升阶段为2010年-2013年与2018年-2021年，下降阶段为2013年-2018年，且定西市的驱动力指数最大值在2013年，为0.155，2021年后有望超过2013年达到新的最大值。西宁市的驱动力指数整体呈现出一个上升的趋势且最高点出现在2019年，为0.841，在2010年-2021年，西宁市驱动力指数由0.621上升到0.789。海东市的驱动力指数与白银市的变化趋势一致，在2017年与2020年的驱动力指数值较高，分别为0.411与0.401，但在2020年出现了大幅度下降，下降到了0.190。

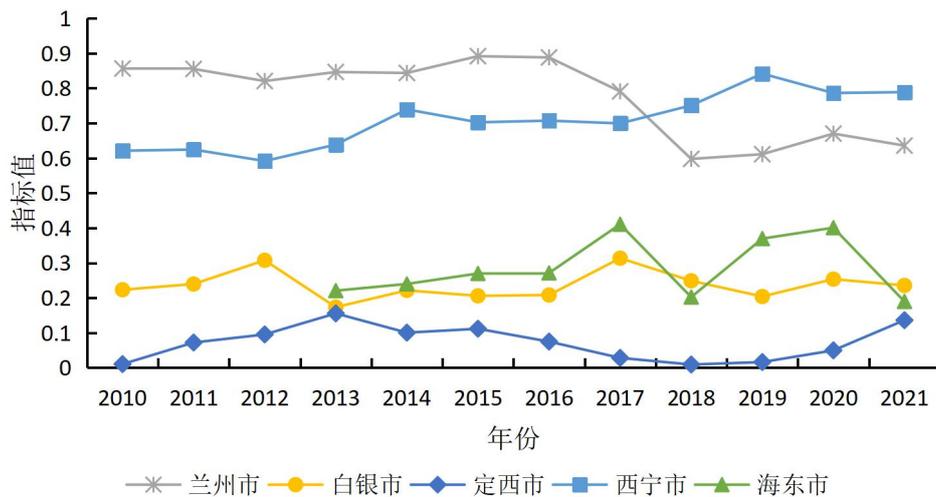


图 4.4 各地市驱动力系统层指标值

(2) 由图 4.5 可以看出压力系统层的变化情况，定西市的压力指数值波动变化不明显且明显高于其他城市，因此表明定西市在 2010 年-2021 年的生态安全压力持续处于一个较低的状态。而兰州市则不同，其生态安全压力处于较低的状态，其值在 2010 年处于峰值状态为 0.524，这表明在兰州—西宁城市群中，兰州市较于其他几个城市，生态安全压力持续处于偏高的状态。海东市、白银市的压力指数值整体处于较高的状态，海东市 2014 年压力指数值最低，即在 2014 年生态安

全压力最高, 2015年-2021年的压力指数值波动幅度较小, 且仅次于定西市, 这表明海东市在2015年-2021年的生态安全压力持续处于偏低的状态; 白银市的压力评价指数在2017年达到峰值为0.905, 在这一年白银市的生态安全压力最低, 但在2010年-2021年白银市的压力评价指数均大于0.66, 表明白银市所受到的生态安全压力持续较低。西宁市的压力指数值较于其他几市处于较低的状态, 西宁市在2010-2021年的压力评价指数值在2020年达到峰值为0.654, 其余时间的压力评价指数值均低于0.580, 这表明西宁市的生态安全压力持续处于较高的状态。

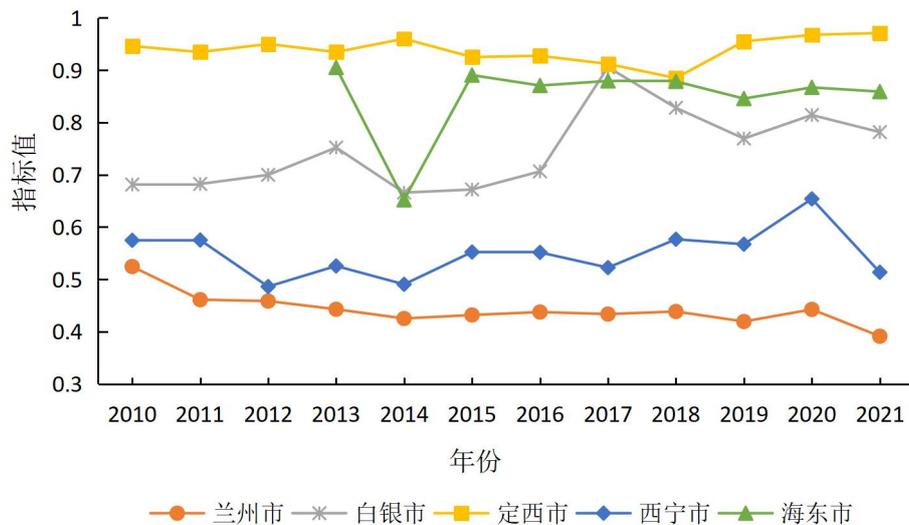


图 4.5 各地市压力系统层指标值

(3) 状态系统层的评价结果如图 4.6 所示。西宁市的状态指标值除 2012 年低于其他城市外, 其余时间西宁市的状态指标值大多都高于其余城市, 这表明除了 2012 年, 在其余时间西宁市的生态安全状态整体较高。海东市在 2013 年-2021 年期间的状态指标值仅次于指标值最高的西宁市, 且海东市状态指标值的变动趋势大致在 2017 年处前后呈现出对称趋势, 2017 年的状态指标值最低为 0.460, 即在 2017 年海东市的生态安全状态最低, 但也高于除西宁市以外的其余城市。在 2012 年, 兰州市的状态评价指标值达到峰值, 为 0.496, 这表明在 2012 年, 兰州市的生态安全状态最低。在 2015 年, 白银市、定西市和兰州市的状态评价指标值都有所上升, 且在 2015 年达到一个极值。定西市在 2020 年-2021 年期间的状态指标值提升幅度最大, 由 0.260 上升到 0.801, 上升幅度为 0.541, 定西市在 2021 年的生态安全状态最高。兰州市在 2012 年以后, 即 2013 年-2021 年期间状

态评价指标值均低于 0.35，这表明，兰州市在 2012 年以后生态安全状态持续处于较低的状态。

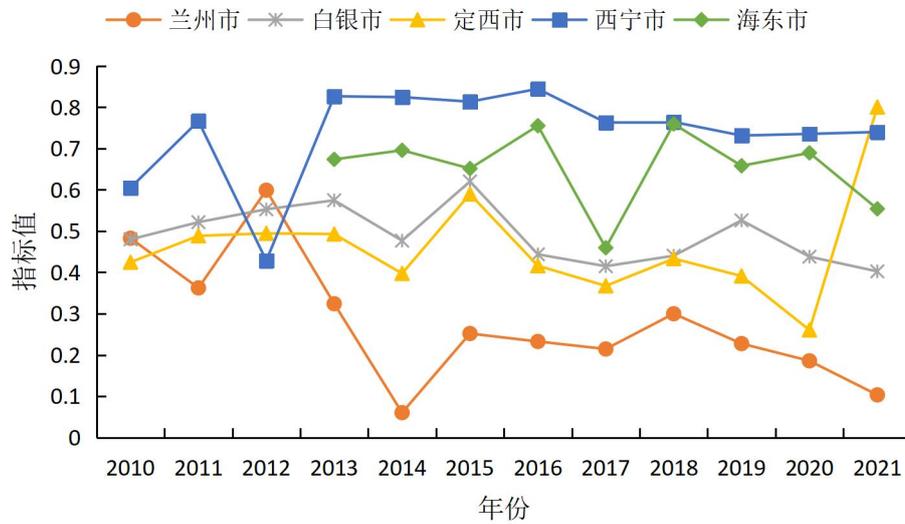


图 4.6 各地市状态系统层指标值

(4) 影响系统层评价结果如图 4.7 所示。在 2010 年-2021 年间各城市之间的影响层指数值相差较小，且大多处于上升的趋势。西宁市与兰州市两座省会城市在 2010 年-2021 年的变动趋势一致。具体表现为西宁市与兰州市在 2010 年-2011 年呈现下降趋势，2011 年-2012 年呈现上升趋势，2012 年-2013 年呈现下降趋势，在 2012 年处形成一个极大值点，分别为 0.459 和 0.394；之后 2013-2019 年呈现出缓慢上升的趋势，2019 年-2021 年呈现先下降后上升的趋势，在 2020 年处形成一个极小值点，分别为 0.219 与 0.311。白银市、海东市与定西市在 2010 年-2021 年间的影响层指数值变化趋势较为稳定，且除了海东市影响层指数值的 2021 年末期值较 2010 年初始值相比有所降低，白银市与定西市的影响层指数值在 2010 年-2021 年期间有所上升，分别由 2010 年的 0.076 和 0.011 上升到 2021 年的 0.184 和 0.097。海东市的影响层指数值则由 2013 年的 0.113 下降为 2021 年的 0.018。

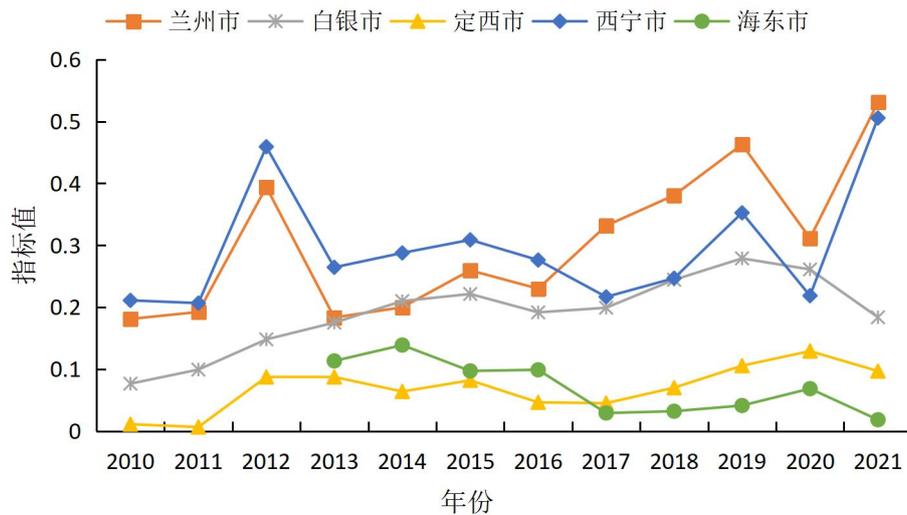


图 4.7 各地市影响系统层指标值

(5) 响应系统层评价结果如图 4.8 所示。在 2010 年-2021 年，除白银市的响应层指数值有明显下降，其余几座城市的响应层指数值均呈现一种上升的趋势。兰州市的响应层指数值在 2010 年-2019 年的变化趋势呈现出一种“M”型变动趋势，在 2019 年-2021 年的响应层指数值迅速上升到 0.831，且 2019 年-2020 年的变动幅度最大，上升了 0.362，最低值出现在 2019 年为 0.412。西宁市在 2010 年-2021 年的响应层指数值整体上呈现出一种上升的趋势，在 2012 年-2017 年响应层指数值有所下降，与兰州市一致，西宁市的响应层指数值在 2019 年有了大幅度的上升，2021 年的响应层指数末期值由 2010 年的 0.235 上升到 0.483。定西市与白银市两市在 2010 年-2021 年的变化趋势大体相同，均在 2019 年响应层指数值下降到最低点，分别为 0.108 和 0.094，在 2020 年响应层指数值达到最高点，分别为 0.407 和 0.388，之后白银市的响应层指数值在 2021 年迅速下降到 0.146，而定西市的响应层指数值在 2021 年缓慢下降到 0.357。

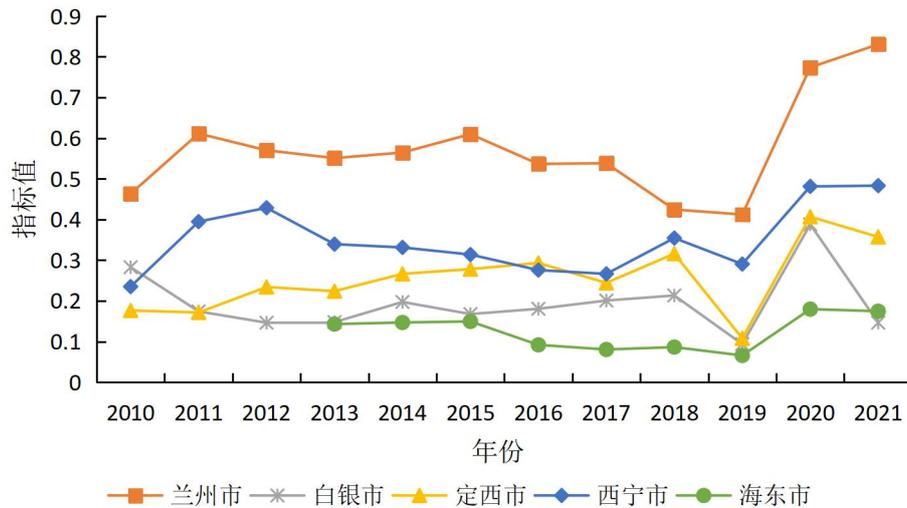


图 4.8 各地市响应系统层指标值

4.4 生态安全等级演变

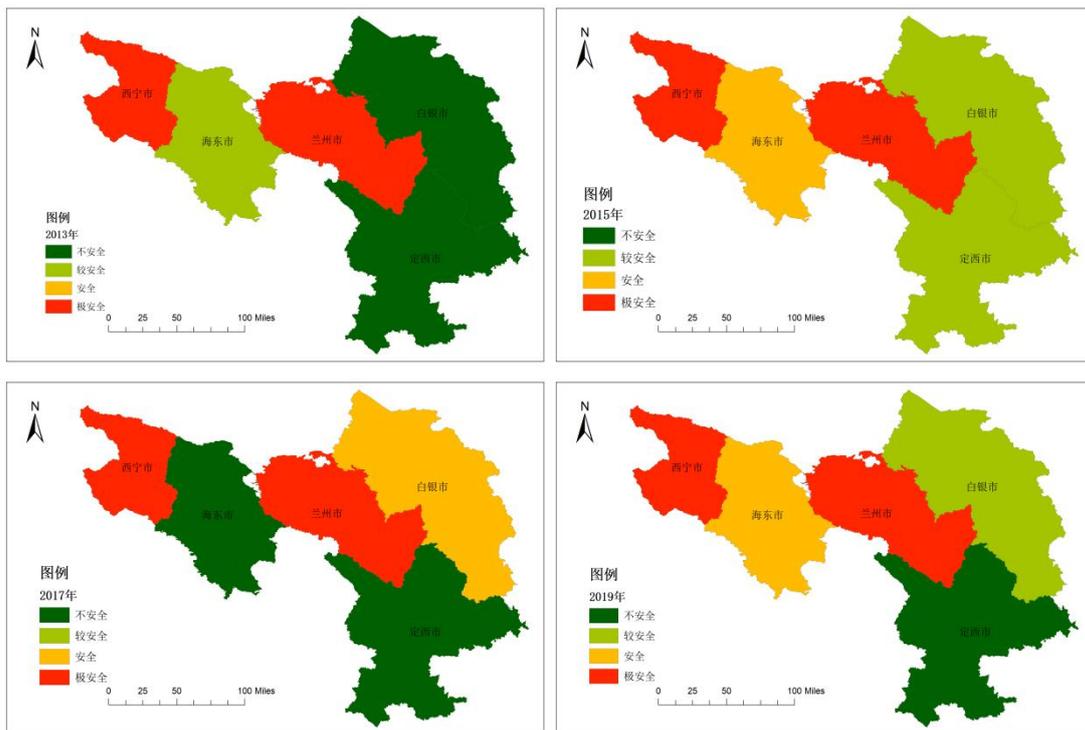
基于上文中计算得出的兰州—西宁城市群中主要地级市的生态安全综合指数，将生态安全划分为不安全状态、较安全状态、安全状态和极安全状态四个等级，这里采用自然间断法并结合具体实际将生态安全等级进行划分，见下表 4.4。之后借助 ArcGIS10.8 软件，绘制出 2010-2021 年兰州—西宁城市群中各地市的生态安全等级变化图，如图 4.9 所示（仅展示 2013 年、2015 年、2017 年、2019 年与 2021 年）。

表 4.4 生态安全评价等级分级标准

生态安全指数值	生态安全等级
[0.00, 0.35)	不安全
[0.35, 0.40)	较安全
[0.40, 0.45)	安全
[0.45, 1.00)	极安全

根据 2010-2021 年兰州—西宁城市群各地市的生态安全等级演变结果来看，除海东市由较安全的状态下降到不安全的状态外，兰州—西宁城市群中的其余各地级市的生态安全等级均有提高，但提高幅度有所不同。2010-2021 年，西宁市

在 2017 年由极安全的状态下降到较安全的状态，其余时间的生态安全等级均处于极安全的状态。兰州市与西宁市类似，在 2019 年时生态安全等级处于较安全的状态，在其他时间里均处于极安全的状态。海东市的生态安全等级在 2010 年-2021 年期间持续降低，在 2015 年由较安全的状态下降到基本安全的状态，并在 2017 年持续下降到极不安全的状态，并持续到 2021 年。定西市在 2010 年-2021 年的生态安全等级总体处于上升的趋势，在 2013 年-2015 年定西市的生态安全等级由较不安全上升到基本安全的状态，2015 年-2019 年又降低到极不安全的状态，但在 2019 年-2021 年间，定西市的生态安全等级有了大幅度的提高，由极不安全的状态上升为较安全的状态。白银市的生态安全等级在 2010 年-2021 年间的变动较为波动，最佳状态为 2017 年，此时的生态安全等级处于基本安全的状态，之后有所下降，在 2021 年白银市生态安全等级降低到较不安全的状态，但相较于初始阶段，依然有所提高。



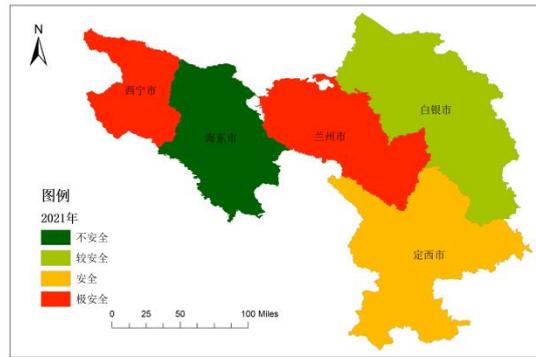


图 4.9 兰州—西宁城市群生态安全等级演变图

统观 2010-2021 年兰州—西宁城市群几座地级市的生态安全演变过程，除个别城市外，其余城市在 2010-2021 年都迈进了更高级别的生态安全等级，定西市与白银市的生态安全等级跨度最广泛和明显，其中定西市的生态安全等级由不安全的状态发展成为安全的状态，白银市的生态安全等级由不安全的状态发展到了较安全的状态。西宁市、兰州市的生态安全等级无明显的发展趋势，在 2010-2021 年间均处于极安全的生态安全等级状态。海东市的生态安全等级则是有明显的下降，由 2013 年刚成立地级市时所处的较安全的生态安全等级状态下降到 2021 年不安全的生态安全等级状态。

4.5 标准差椭圆和重心迁移规律

4.5.1 生态安全标准差和重心迁移

标准差椭圆法是常用的空间统计方法，标准差椭圆的中心即为研究区域的重心，代表数据集的平均中心，能够反映研究区域的整体态势；标准差椭圆的长轴与短轴则分别表示空间分布特征的方向与离散程度；方向性的趋势由长轴与短轴的差值来表示。

借助 ArcGIS10.8 软件，对兰州—西宁城市群的生态安全标准差椭圆和重心迁移变化趋势进行分析，为便于观察，特取图 4.10 中所示五个年份进行分析，其结果如下。

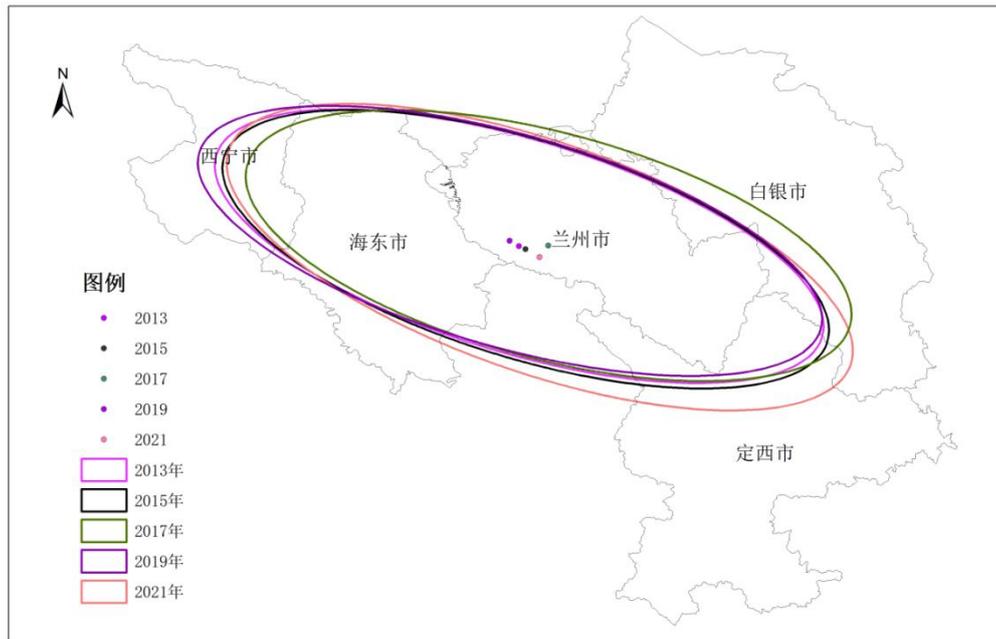


图 4.10 兰州—西宁城市群生态安全标准差椭圆和重心迁移

由图 4.10 可看出，兰州—西宁城市群生态安全标准差椭圆覆盖了研究对象中的所有城市，整体呈现出“东南—西北”方向分布，虽然五个标准差椭圆的方向一致，但其宽度与范围大小各有差异。从标准差椭圆的重心来看，虽然五个标准差椭圆的重心均位于甘肃省兰州市境内，但在 2017 年，重心变化较为明显。首先看兰州—西宁城市群生态安全的标准差椭圆：五个椭圆中覆盖范围最广的甘肃省和青海省两省的省会城市兰州市与西宁市，而白银市被覆盖的面积最小；在 2010-2021 年，标准差椭圆有向东南方向逐渐移动的趋势；兰州—西宁城市群生态安全标准差椭圆的长轴由 2013 年的 181.02km 变化到 2021 年的 188.29km，短轴则由 2013 年的 61.33km 变化到 2021 年的 66.45km，这表明在 2010-2021 年兰州—西宁城市群的生态安全标准差椭圆逐渐变大，有向周围扩散的趋势。其次观察兰州—西宁城市群生态安全标准差椭圆的重心迁移，发现其重心变化并不大，最先是由西向东迁移，其重心位置由（103°14'0.16"E，36°30'7.802"N）变化至（103°30'8.412"E，36°31'13.08"N），到 2017 年之后，兰州—西宁城市群生态安全标准差椭圆的重心开始向西北方向迁移，重心位置坐标迁移至 2019 年的（103°08'7.286"E，36°33'8.438"N），该迁移过程变化明显；最后兰州—西宁城市群生态安全标准差椭圆的重心继续向东南方向迁移，直至迁移到 2021 年底的（103°25'7.788"E，36°24'46.08"N），但不管兰州—西宁城市群生态安全标准差

椭圆的重心如何变化，都依然位于兰州市境内。

4.5.2 子系统层标准差椭圆和重心迁移

兰州—西宁城市群生态安全各子系统层的标准差椭圆和重心分布如图 4.11 所示，其属性数据如表 4.4 所示。根据标准差椭圆计算得出各个系统层标准差椭圆的长短轴长度，能够进一步计算出各系统层标准差椭圆的椭圆率，椭圆率表示标准差椭圆的长短轴比值，椭圆率越小，则标准差椭圆的长短轴之比越小，即空间分布的方向性越不明显，离散程度越大。长短轴长度，椭圆率等数据见表 4.5。

结合图 4.11 和表 4.5 对生态安全各子系统层的标准差椭圆和重心进行分析后发现：

(1) 在 2013 年，兰州—西宁城市群生态安全各子系统层的标准差椭圆间的位置比较接近，但压力层标准差椭圆不同于其他系统层的标准差椭圆，压力层标准差椭圆有着向西北方向迁移的趋势，并且路径较长。对比 2013 年兰州—西宁城市群生态安全各子系统层的标准差椭圆的覆盖范围，发现压力层标准差椭圆的覆盖范围最大，覆盖范围最小的是驱动力层标准差椭圆。从各系统层的标准差椭圆的椭圆率来看，驱动力层的标准差椭圆率最大，压力层的标准差椭圆率最小，这表明压力系统层的标准差椭圆方向性最不明显，离散程度最大，相反的驱动力系统层的标准差椭圆方向性最明显，离散程度最小。根据经纬度坐标来看，压力系统层的坐标相差最大。

(2) 在 2017 年，驱动力系统层、压力系统层、状态系统层、影响系统层与响应系统层五个标准差椭圆进一步向东南方向移动，这表明，在东南方向，兰州—西宁城市群生态安全评价结果较西北方向有着更好的趋势。从五个系统层的标准差椭圆覆盖面积来看，压力系统层的标准差椭圆覆盖面积最大，覆盖范围最小的是驱动力层标准差椭圆，与 2013 年有着同样的规律。从各系统层标准差椭圆的椭圆率来看，驱动力系统层的标准差椭圆的椭圆率最大，为 5.2854，这表示在 2017 年，驱动力系统层的标准差椭圆更具有方向性，并且离散程度最小；而压力系统层的标准差椭圆与之相反，其标准差椭圆的椭圆率最小，为 2.3535，表现为其离散程度最大。

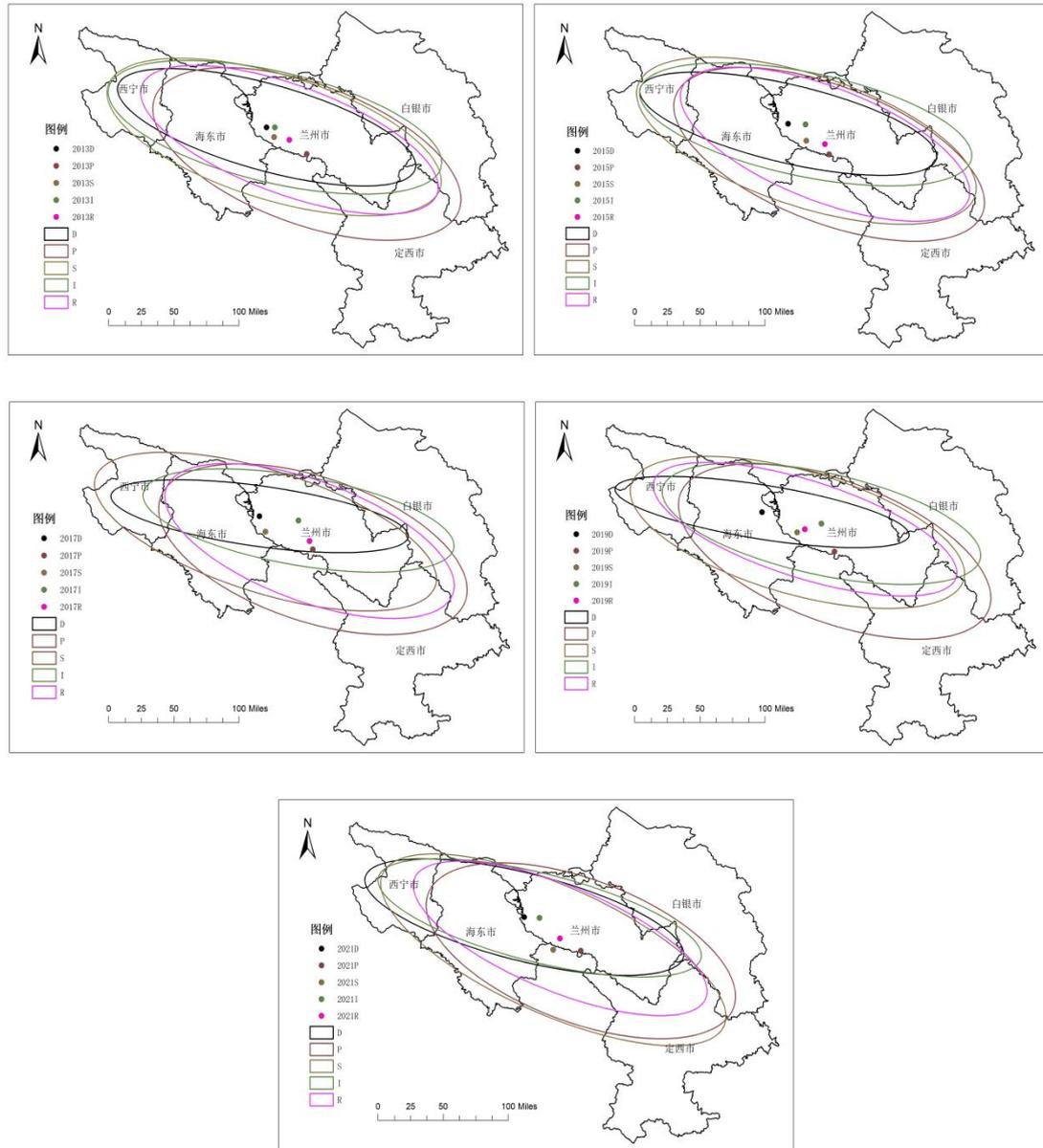


图 4.11 各系统层标准差椭圆和重心迁移

(3) 在 2021 年，兰州—西宁城市群生态安全各子系统层的标准差椭圆之间的间距进一步的缩减，椭圆整体上向西北方向迁移，即向甘肃省境内迁移。观察五个系统层的标准差椭圆的覆盖范围，发现部分系统层的标准差椭圆不包含定西市，这进一步揭示了标准差椭圆有着向西北迁移的规律，且状态层在 2021 年的标准差椭圆覆盖范围最大。观察状态层、压力层、响应层、影响层、驱动力层五个系统层标准差椭圆的椭圆率，发现驱动力系统层的标准差椭圆的椭圆率依旧是最大的，但影响系统层标准差椭圆的椭圆率已经接近驱动力系统层，这表明驱动

力系统层的标准差椭圆离散程度最小，但影响系统层的标准差椭圆的离散程度有望在未来几年替代驱动力系统层，成为离散程度最小的系统层。

表 4.5 各系统层标准差椭圆和重心属性表

各系统椭圆	XstdDist	YstdDist	Rotation	Longitude	Latitude	椭圆率
2013D	1.7090	0.4512	104.5408	102.9597	36.4266	3.7879
2013P	1.7903	0.7333	108.6463	103.4076	36.1487	2.4414
2013S	1.9226	0.6551	105.8528	103.0435	36.3251	2.9350
2013I	1.8939	0.5794	102.3953	103.0525	36.4266	3.2689
2013R	1.7354	0.5710	108.6720	103.2143	36.2953	3.0391
2015D	1.6874	0.4083	102.3451	102.9103	36.4637	4.1328
2015P	1.8126	0.7181	109.4173	103.3653	36.1446	2.5240
2015S	1.9608	0.6894	106.8481	103.1122	36.2868	2.8441
2015I	1.8776	0.5420	100.9552	103.1048	36.4568	3.4642
2015R	1.6954	0.5960	109.7990	103.3200	36.2509	2.8447
2017D	1.6674	0.3155	97.4098	102.8681	36.5172	5.2854
2017P	1.7780	0.7555	107.0044	103.4607	36.1723	2.3535
2017S	1.9718	0.6392	106.3425	102.9336	36.3563	3.0850
2017I	1.7500	0.4642	99.3243	103.3013	36.4719	3.7700
2017R	1.6856	0.6296	108.8457	103.4236	36.2585	2.6771
2019D	1.6526	0.2820	98.5277	102.6064	36.5603	5.8593
2019P	1.8169	0.7401	108.8323	103.4126	36.1486	2.4550
2019S	1.9139	0.6462	104.7523	102.9980	36.3481	2.9619
2019I	1.8035	0.5318	101.5595	103.2662	36.4398	3.3911
2019R	1.7533	0.5086	106.4692	103.0841	36.3806	3.4471
2021D	1.8173	0.4568	103.1500	102.8178	36.4852	3.9779
2021P	1.7984	0.7494	108.8448	103.4457	36.1343	2.3998
2021S	2.0565	0.6713	112.3869	103.1396	36.1443	3.0634
2021I	1.8424	0.4633	103.1367	102.9879	36.4778	3.9764
2021R	1.7350	0.5524	110.8777	103.2159	36.2631	3.1407

表 4.5 中，第二列数据、第三列数据分别表示标准差椭圆的长轴长度与短轴长度；第四列数据表示椭圆的角度位置；第五列数据、第六列数据分别表示椭圆的重心经纬度坐标；第七列则表示标准差椭圆的长短轴之比，即椭圆率。2013D 则表示 2013 年驱动力层标准差椭圆，其余以此类推。

4.6 本章小结

本章主要基于核密度估计的核心特征分析、基于标准差椭圆法的动态演变分析，对兰州—西宁城市群的生态安全现状进行评价与分析。结果表明：

(1) 兰州—西宁城市群的生态安全水平表现为不断升高的态势，生态安全水平发展表现为甘肃省内各城市间生态安全水平两级分化明显，存在明显差异；青海省内各城市间无明显差异。

(2) 兰州—西宁城市群的生态安全指数(ESI)值变化较为稳定且有所上升，直观反映出兰州—西宁城市群的生态安全程度在缓慢提高。此外，各系统间的指数值表现为压力指数值 > 状态指数值 > 驱动力指数值 > 响应指数值 > 影响指数值，表明兰州—西宁城市群在 2010-2021 年间受到的压力较小。

(3) 从兰州—西宁城市群各子系统的评价结果来看，兰州—西宁城市群中各城市驱动力层指数值除兰州市、海东市外，均呈上升的趋势；定西市的压力指数值明显高于其他城市，其生态安全压力持续处于一个较低的状态；西宁市的状态指标值大多都高于其余城市，这表明西宁市的生态安全状态整体较高；西宁市与兰州市两座省会城市的影响指标值变动趋势一致，呈波动趋势，白银市、海东市与定西市的影响层指数值变化趋势较为稳定；响应层的指标值除白银市有明显下降，其余几座城市的响应层指数值均呈现一种上升的趋势。

(4) 从生态等级的动态演变来看，2010-2021 年兰州—西宁城市群几座地级市中除个别城市外，其余城市均呈现出向更高级别的生态安全迈进的趋势。定西市与白银市的生态安全等级跨度较明显，其中定西市的生态安全等级由不安全的状态发展成为安全的状态，白银市的生态安全等级由不安全的状态发展到了较安全的状态。西宁市、兰州市的生态安全等级无明显的发展趋势，在 2010-2021 年间均处于极安全的生态安全等级状态。海东市的生态安全等级则是有明显的下降，由 2013 年刚成立地级市时所处的较安全的生态安全等级状态下降到 2021 年不安全的生态安全等级状态。

(5) 从标准差椭圆和重心迁移规律中得出，兰州—西宁城市群生态安全标准差椭圆覆盖了研究对象中的所有城市，整体呈现出“东南—西北”方向分布，虽然五个标准差椭圆的方向一致，但其宽度与范围大小各有差异。在 2013 年，兰州—西宁城市群生态安全各子系统层的标准差椭圆间的位置比较接近，但压力层标准差椭圆不同于其他系统层的标准差椭圆，压力层标准差椭圆有着向西北方向迁移的趋势，并且路径较长；在 2017 年，驱动力系统层、压力系统层、状态系统层、影响系统层与响应系统层五个标准差椭圆进一步向东南方向移动，表明

在东南方向，兰州—西宁城市群生态安全评价结果较西北方向有着更好的趋势；在 2021 年，兰州—西宁城市群生态安全各子系统层的标准差椭圆之间的间距进一步的缩减，椭圆整体上向西北方向迁移，即向甘肃省境内迁移。

5 兰州—西宁城市群建设对区域生态安全的影响

5.1 数据说明及变量选择

本文中关于《兰州—西宁城市群发展规划》实施效果的分析，所使用的数据为 2010-2021 年我国兰州—西宁城市群主要地级市的面板数据，数据来源于《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、国家统计局及各相关部门发布的统计报表，数据的权威性、科学性和可靠性可以保证。变量详细说明如下所示：

(1) 被解释变量

将研究对象的生态安全水平 (esl) 作为被解释变量，该变量的数据主要来源于前几章的计算。

(2) 解释变量

本文研究的是《兰州—西宁城市群发展规划》发布的政策效果，因此将兰州—西宁城市群的主要地级城市进行分组，分组虚拟变量 (treat)、《兰州—西宁城市群发展规划》提出的时间节点 (after) 以及两者的交互项 (treat x after) 作为核心解释变量。

(3) 控制变量

本文选取的控制变量有能够反映各个城市经济发展水平的人均 GDP (pgdp)、反映城镇化对生态安全需求的城镇化水平 (urb)、各个产业所占的加权平均值 (ind)、反映各个城市贸易水平的对外开放程度 (open) 以及政府对提高生态安全水平的财政支出 (gov)。

经济发展水平 (pgdp)：由于兰州—西宁城市群内各个地级市的经济技术水平各不相同，而人均 GDP 能客观展示每个地级市社会的发展程度与发展水平，因此用人均 GDP 来反映某城市的经济发展水平。

城镇化水平 (urb)：城镇化虽然对人类社会的发展起到积极的促进作用，但同时也给生态环境带来了巨大的挑战，城镇化带来了一系列的生态问题，因此，城镇化水平，即城镇人口与总人口的比值对生态安全水平有一定的影响。

产业结构 (ind)：不同的产业结构会对生态环境产生不同的影响，工业化加速了自然资源的消耗和环境污染，农业生产导致了土地退化和农药化肥的污染，服务业的发展带来了交通和资源需求的增加，因此，以各大产业所占比重的加权平均值来体现各个地级市的产业结构。

对外开放程度（open）：在经济全球化背景下，对外开放在一定程度上可以反映一个城市的贸易水平，对外经济贸易在一定程度上促进了环保事业的发展，用进出口总额与 GDP 的比值代表各个地级市的对外开放水平。

政府支持（gov）：生态环境保护离不开政府的支持与政府政策的指导，以及政府在环境保护领域的投入。因此，用财政环境支出与财政一般预算支出的比值代表政府支持的力度。

表 5.1 变量说明

类型	名称	符号	说明
被解释变量	生态安全水平	esl	前几章计算得出
解释变量	规划实施	pl	城市规划实施前为 0，实施后为 1
	经济发展水平	gdp	人均 GDP
	城镇化水平	urb	城镇人口/总人口
控制变量	产业结构	ind	第一产业、第二产业、第三产业所占比重的 加权平均值
	对外开放程度	open	进出口总额/GDP
	政府支持力度	gov	政府环境支出/财政一般预算支出

5.2 双重差分模型设定

2018 年，国家发展改革委为维护我国国土安全和生态安全大局，决定在甘肃省兰州市、白银市和定西市，青海省西宁市和海东市等地培育发展兰州—西宁城市群。论文将兰州—西宁城市群发展规划的发布视为准自然实验，为了检验发布《兰州—西宁城市群发展规划》对该地区生态安全水平增长的政策效果，将上述覆盖城市作为实验组（处理组），未覆盖到的城市作为控制组（对照组）。采用双重差分模型（Difference-in-differences）进行效应分析，设定如下模型：

$$esl_{it} = \alpha_0 + \alpha_1(Time_{it} \times Treat_{it}) + \alpha_2 Control + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

其中，下标 i 与 t 分别表示各研究对象与各年份， esl_{it} 为被解释变量，表示生态安全水平，通过比较《兰州—西宁城市群发展规划》政策实施前后覆盖城市与非覆盖城市的差异来判断《兰州—西宁城市群发展规划》政策是否影响覆盖城市生

态安全水平。Treat 是处理分组，Treat =1 为《兰州—西宁城市群发展规划》包含城市即实验组，Treat =0 为《兰州—西宁城市群发展规划》未包含的城市即控制组。Time 是虚拟变量，根据《兰州—西宁城市群发展规划》政策的发布时间，在 2018 年之前的 Time 取值为 0，2018 年后的 Time 取值设置为 1。Control 表示控制变量，是影响生态安全水平的其它因素，即经济发展水平、城镇化水平、产业结构、对外开放程度和政府支持力度。为了控制更多能够影响到生态安全水平，但无法观测到的因素，选择控制时间与城市的固定效应， λ_t 表示时间固定效应， μ_i 表示城市固定效应， ε_{it} 是随机误差项。

5.3 实证分析

5.3.1 相关变量的描述性统计

表 5.2 相关变量的描述统计

变量	Ave	Sd	min	max
生态安全水平	0.4354	0.0937	0.2940	0.6086
人均 GDP	11.5609	0.4466	6.8138	11.1285
城镇化水平	0.5086	0.8976	0.3266	0.8373
产业结构	3.1275	1.6397	0.4358	8.6672
对外开放水平	6.2982	1.9636	0.3279	7.3578
政府支持力度	0.0299	0.0097	0.0118	0.0681

首先对主要变量做简单的描述性统计分析，具体结果如表 5.2 所示。在表中可以看出，生态安全水平的均值为 0.4354，处于较安全的一个状态；标准差为 0.0937，表示生态安全水平在不同的城市间存在较大的差异。人均 GDP 最大值为 11.1285，最小值为 6.8138，即各个城市间经济发展水平有着明显的差异。同样的，对外开放程度在 0.3279 至 7.3578 之间，说明不同的城市有着不同的对外开放程度，同时各个城市政府支持力度的差异也较大，为论文的研究提供了良好的数据基础。

5.3.2 相关性分析

下表 5.3 是基于 StataMP17 得出的双重差分模型中主要变量的 Pearson 相关

系数表。从表中可以看出，本文章中所选取的五个控制变量与被解释变量之间存在一定的相关性，如表 5.3 所示。从表中可以看出，绝大多数的变量均通过了显著性检验，但由于两两相关的系数不控制其他变量，会出现相关系数显著而回归系数不显著，或者相反的情况。这充分说明了本文所选的五个控制变量在某种程度上影响着被解释变量，而在使用该双重差分模型时，控制这些变量的特征是非常有必要的。

表 5.3 主要变量之间的 Pearson 相关系数表

	esl	did	pgdp	urb	ind	open	gov
esl	1						
did	0.0576	1					
gdp	0.703***	0.086	1				
urb	0.768***	0.061	0.792***	1			
ind	0.567***	0.412**	0.396***	0.566***	1		
open	0.413***	0.152	0.467***	0.539***	0.267	1	
gov	-0.205	0.634***	-0.316**	-0.176	0.273*	-0.037	1

*, **和***分别表示 10%、5%和 1%以上的水平显著。

基于上述个主要变量间的相关性结果，深入研究各主要变量间的多重共线性，因此有下表 5.4。

表 5.4 变量的多重共线性检验

Variable	VIF	1/VIF
esl	3.4	0.293754
gdp	2.65	0.377177
ind	2.3	0.435232
open	2.08	0.479778
gov	1.94	0.515725
did	1.56	0.641747
Mean VIF	2.32	

表中的第一列为各主要变量，第二列中 VIF 为方差膨胀因子，它是存在多重共线性时的方差与不存在多重共线性时方差的比重。具体如下表 5.5:

表 5.5 VIF 的取值及表示

VIF 的取值	多重共线性结果
$VIF < 10$	不存在多重共线性
$10 \leq VIF \leq 100$	存在较强的多重共线性
$VIF \geq 100$	存在严重的多重共线性

从表 5.4 中变量的多重共线性检验结果可以发现，各个变量的方差膨胀因子 VIF 均小于 10，表示各个变量不存在多重共线性问题，实证结果能够较好的反映出论文结论。

5.3.3 平行趋势检验

双重差分模型是在趋同假设的情况下建立的，也就是说在政策前的实验组与控制组的两组数据在走势上基本一致，所以，为检验双重差分模型是否适用，论文首先对其进行平行趋势检验。倘若其结果表明实验组和控制组在《兰州—西宁城市群发展规划》政策实施之前有相同或相似的变化趋势，那么论文采用双重差分模型是正确的。如图 5.1 显示，在《兰州—西宁城市群发展规划》政策实施之前，实验组和对照组的生态安全水平变化趋势相似，但在《兰州—西宁城市群发展规划》政策实施之后，两组城市的生态安全水平表现出了不同的变化趋势，对于实验组而言，2018 年以后生态安全水平表现出先快速增长、最后又缓慢增长的趋势，而对于控制组来说，生态安全水平先增长、后下降的趋势，呈现出和《兰州—西宁城市群发展规划》政策实施之前相似的趋势。因此，符合双重差分模型平行趋势假设前提，论文采用双重差分模型检验《兰州—西宁城市群发展规划》政策实施对生态安全水平的政策效应是准确的。



图 5.1 平行趋势检验

为了对平行趋势进行更加准确的判断，对加入年份虚拟变量的交互项进行动态效应检验，倘若与共同趋势假定一致，那么在政策实施之前，系数不会与 0 有很大的差异，实验组与控制组的趋势基本一致。如图 5.2 所示，横轴为政策时点，current 为《兰州—西宁城市群发展规划》政策执行年份，Before 为政策实施之前，After 为政策实施之后，纵轴对应回归的结果。政策没有实施时，回归曲线都在 0 轴附近，总体情况均不明显，这就是说明，它适应平行趋势假定所包含的东西，这和前文结论是一致的。从政策实施第二年开始，回归系数值均大于零，非常显著，说明《兰州—西宁城市群发展规划》政策在一段时间内明显提升了城市的生态安全水平。

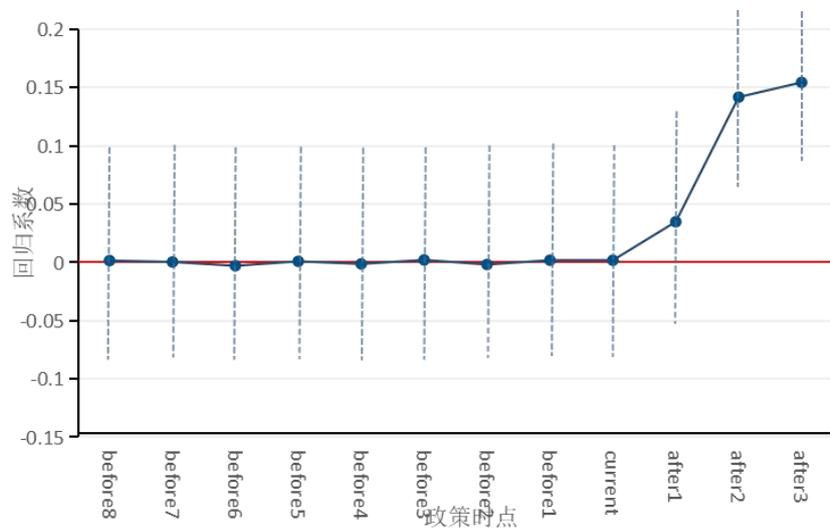


图 5.2 平行趋势检验结果

5.3.4 基准回归结果

这部分估计《兰州—西宁城市群发展规划》政策实施对生态安全水平的综合效应。表 5.6 呈现了在控制城市和时间的双重固定效应下，《兰州—西宁城市群发展规划》政策实施对生态安全水平的影响。我们重点关注的是《兰州—西宁城市群发展规划》政策乘以实验组的回归系数，因为其反映了受《兰州—西宁城市群发展规划》政策影响的地区和未受政策影响的地区的生态安全水平的差异部分。表 5.6 中，第 1 列是没有加任何控制变量的回归结果，第 2 列至第 6 列是依次加入经济发展水平、城镇化水平、产业结构、对外开放和政府支持控制变量后的回归结果。回归结果表明，无论添加哪些控制变量，模型中的系数均为正数，也就是说，无论在 1%或 5%还是 10%的显著性水平下，《兰州—西宁城市群发展规划》政策的实施与生态安全水平是存在显著的正向因果关系的，即《兰州—西宁城市群发展规划》政策的实施会显著提高兰州—西宁城市群的生态安全水平的。

表 5.6 基准回归结果

Variable	1	2	3	4	5	6
did	0.0130**	-0.0006*	0.0356*	0.0038*	0.0128**	0.1002**
	-1.88	-0.14	-1.15	0.05	-2.37	2.13
pgdp		0.0581***	0.0244***	0.0241***	0.0147*	0.0131
		-16.91	-3.01	3.04	-1.82	-1.6
urb			0.1391***	0.1338***	0.0281	0.3512
			-4.7	3.71	-0.65	-0.79
ind				0.0115	0.0982***	0.1135***
				-0.42	-3.1	-3.41
open					0.0095***	0.0088***
					-7.53	-7.28
gov						0.5939***
						-1.93
constant	0.3485***	-0.2780***	0.0036***	0.0038*	0.0649	0.9298
	-136.93	-7.45	-0.05	-0.05	-0.88	-1.23
时间固定 效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
城市固定 效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	60	60	60	60	60	60
R-squared	0.0067	0.3825	0.4197	0.42	0.5309	0.5472

*、**和***分别表示 10%、5%和 1%以上的水平显著。

具体来看,在不加入任何控制变量时,《兰州—西宁城市群发展规划》政策在 5%的显著性水平上促进生态安全水平的增长,在加入控制变量之后,仍然在 5%和 10%的水平上显著。在加入经济发展水平、城镇化水平、产业结构、对外开放和政府支持这几个控制变量后, R 方由 0.0067 提升到了 0.5472,《兰州—西宁城市群发展规划》政策的回归系数大小为 0.1002,表明当其它条件不变时,相比于非《兰州—西宁城市群发展规划》政策的城市生态安全水平提升了 10.02%。与此同时,观察控制变量的系数可以发现,经济发展水平和城镇化水平的系数不显著为正,说明人均 GDP 与城镇化水平的干预对生态安全水平的带来不显著的正面作用;政府支持的系数显著为正,表示政府对生态安全水平的提升有着显著的积极影响;产业结构和对外开放的系数均在 1%的水平上显著为正,即产业结构越优、对外开放水平越高,生态安全水平越高。

5.3.5 稳健性检验

在所有的样本数据中随机抽取五个样本作为实验的“伪处理组”,将其他剩余的所有样本作为实验的“伪控制组”,并构建安慰剂检验伪检验的虚拟变量及交叉项。由于实验中的“伪处理组”的分组具有不确定的随机性,所以构建的交叉项对模型因变量的影响不显著。如果在实验中显著的遗漏变量偏误不存在,则安慰剂检验中处理变量的回归系数在零点处不可能出现显著的偏离。为避免在抽样过程中出现的小概率事件影响实验结果的准确性,随机抽取 500 次分别做安慰剂检验,并将得出的结果绘制在图 5.3 中。如果随机抽样的估计系数分布在 0 附近,那就代表着模型的设定未忽略关键的影响因素。

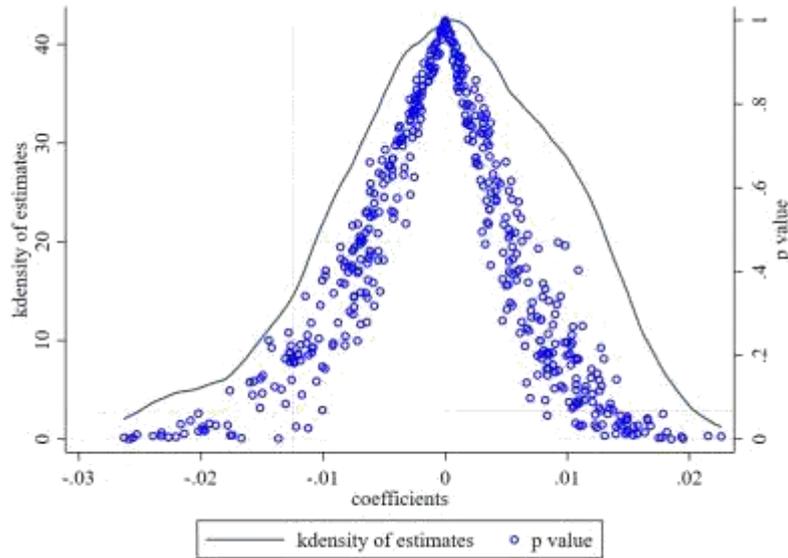


图 5.3 随机抽样 500 次的安慰剂检验

图 5.3 为经过 500 次随机抽样及检验后的核密度及每次实验对应的 p 值的分布。在图中可以看出，500 次随机试验的回归系数大多集中在零点附近，且绝大部分实验的 p 值是大于 0.1 的。在图中，基准模型回归的结果表示为图中的红色虚线，可以看出安慰剂检验的估计系数是显然偏离零点的。因此，实验基准模型的估计结果不会产生由遗漏变量造成的误差，从而该基准回归的结果是具有稳健性的。

5.4 效应结果分析

生态安全水平的提升离不开环境友好的政策背景。作为生态安全水平提升的重要标志，《兰州—西宁城市群发展规划》政策促进了要素在更广阔的范围内流动与配置，势必会重塑生态安全水平空间格局。基于此论文将建设兰州—西宁城市群看成一种准自然实验，检验城市群的建立对地区生态安全水平的政策效用。将规划内所包含的城市作为实验组(处理组)，其余城市作为控制组(对照组)。采用双重差分模型实证检验《兰州—西宁城市群发展规划》政策对生态安全水平的影响效应，研究结果表明：

(1) 兰州—西宁城市群的建设促进了生态安全水平的增长，并且促进效应有着倒工型的特点，政策一开始促进效果比较明显，在持续上升一段时间后，促进效果保持平稳的状态。

(2) 运用平行趋势检验、加入年份虚拟变量交互项的动态效应检验以及随机

抽样 500 次的安慰剂检验都证明了兰州—西宁城市群的建设促进了生态安全水平的增长这一研究结论是成立的。

6 结论与建议

6.1 主要结论

文章首先梳理了生态安全有关的国内外研究成果和对政策效果检验的各种理论,并提出文章所需的具体方法与理论。其次对兰州—西宁城市群的区域生态安全现状进行评价分析,从驱动力层、压力层、状态层、影响层和响应层五个层次选取指标,建立指标体系,选取熵权-Topsis法测算出各指标权重,结合综合评价法测算出兰州—西宁城市群的生态安全水平,定量剖析当前兰州—西宁城市群的生态安全水平特征以及区域发展的差异性,然后进一步的应用核密度分析法,分析各城市间生态安全的差异性特征,之后通过标准差椭圆法及观察其重心迁移规律,分析兰州—西宁城市群在空间上的迁移规律。最后,文章为检验《兰州—西宁城市群发展规划》对生态安全水平带来的政策效果,采用双重差分模型对其实施效果进行检验。得出以下结论:

1) 兰州—西宁城市群的生态安全水平表现为不断升高的态势,省域生态安全水平发展表现为甘肃省内各城市间生态安全水平两级分化明显,存在明显差异;青海省各城市间无明显差异。兰州—西宁城市群的生态安全指数(ESI)值变化较为稳定且有所上升,直观反映出兰州—西宁城市群的生态安全程度在缓慢提高。此外,各系统间的指数值表现为压力指数值>状态指数值>驱动力指数值>响应指数值>影响指数值,表明兰州—西宁城市群在2010-2021年间受到的压力较小。从兰州—西宁城市群各子系统的评价结果来看,兰州—西宁城市群中各城市驱动力层指数值除兰州市、海东市外,均呈上升的趋势;定西市的压力指数值明显高于其他城市,其生态安全压力持续处于一个较低的状态;西宁市的状态指标值大多都高于其余城市,这表明西宁市的生态安全状态整体较高;西宁市与兰州市两座省会城市的影响指标值变动趋势一致,呈波动趋势,白银市、海东市与定西市的影响层指数值变化趋势较为稳定;响应层的指标值除白银市有明显下降,其余几座城市的响应层指数值均呈现一种上升的趋势。

2) 从生态等级的动态演变来看,2010年-2021年兰州—西宁城市群几座地级市中除个别城市外,其余城市均呈现出向更高级别的生态安全迈进的趋势。定西市与白银市的生态安全等级跨度较明显,其中定西市的生态安全等级由不安全的状态发展成为安全的状态,白银市的生态安全等级由不安全的状态发展到了较

安全的状态。西宁市、兰州市的生态安全等级无明显的发展趋势，在 2010 年-2021 年间均处于极安全的生态安全等级状态。海东市的生态安全等级则是有明显的下降，由 2013 年刚成立地级市时所处的较安全的生态安全等级状态下降到 2021 年不安全的生态安全等级状态。

3) 从标准差椭圆和重心迁移规律中得出，兰州—西宁城市群生态安全标准差椭圆覆盖了研究对象中的所有城市，整体呈现出“东南—西北”方向分布，虽然五个标准差椭圆的方向一致，但其宽度与范围大小各有差异。在 2013 年，兰州—西宁城市群生态安全各子系统层的标准差椭圆间的位置比较接近，但压力层标准差椭圆不同于其他系统层的标准差椭圆，压力层标准差椭圆有着向西北方向迁移的趋势，并且路径较长；在 2017 年，驱动力系统层、压力系统层、状态系统层、影响系统层与响应系统层五个标准差椭圆进一步向东南方向移动，表明在东南方向，兰州—西宁城市群生态安全评价结果较西北方向有着更好的趋势；在 2021 年，兰州—西宁城市群生态安全各子系统层的标准差椭圆之间的间距进一步的缩减，椭圆整体上向西北方向迁移，即向甘肃省境内迁移。

4) 从《兰州—西宁城市群发展规划》实施效应分析的结果来看，兰州—西宁城市群的建设促进了生态安全水平的增长，并且促进效应有着倒工型的特点，政策一开始促进效果比较明显，在持续上升一段时间后，促进效果保持平稳的状态。运用平行趋势检验、加入年份虚拟变量交互项的动态效应检验以及随机抽样 500 次的安慰剂检验都证明了兰州—西宁城市群的建设促进了生态安全水平的增长这一研究结论是成立的。

6.2 建议

1) 坚持创新驱动，绿色发展，进而促进兰州—西宁城市群驱动力发展。根据近 10 年来兰州—西宁城市群生态安全子系统层演变分析发现，驱动力系统层是阻碍兰州—西宁城市群生态安全发展的重要因素，而驱动力发展又是兰州—西宁城市群地区可持续发展的重要保障。因此需要依托国内强大的市场，坚持创新驱动，实现我国西北地带生态较脆弱地区的绿色发展，推动生产生活向高质量发展的方向转换，以强有力的驱动力保障兰州—西宁城市群地区的生态安全稳步上升。

2) 从全局出发，科学决策环境污染问题，构建环境治理协调机制，维持兰

州—西宁城市群生态安全的稳定。2010年-2021年兰州—西宁城市群除海东市之外均呈现出向更高级别的生态安全迈进的趋势，其中西宁市、兰州市的生态安全等级无明显的发展趋势，这两城市分别属于青海省与甘肃省的省会城市，具有较好的经济基础，因此在保证自身生态安全等级稳定的同时，发挥自身省会城市的辐射作用，带动周边城市生态安全等级的提升；同时可以加快优化重工业企业的生产生活活动，减少大气、水、河流和土地中的污染物排放，推动污染废物处置能力建设，鼓励跨区域合作共建危险废物处理设施。同时加强对中小学的生态文明宣传教育，提高全民生态安全意识，倡导勤俭节约、绿色低碳的健康生活，实现兰州—西宁城市群生态安全的稳步上升。

3) 形成兰州—西宁城市群的协同发展格局。首先优化城市生态安全格局，努力形成强中心、多节点的城市格局。从标准差椭圆和重心迁移规律中得出，兰州—西宁城市群生态安全整体呈现出“东南—西北”方向分布，且向东南方向迁移，各个标准差椭圆的重心均位于兰州市境内，因此可以将兰州市作为西北地区的强中心，发挥中心城市的辐射作用，不断加强对周边地区的支撑与服务功能。其次应构建与资源环境承载能力相适应的空间格局，按照“大均衡、小集中”的原则，不断调整和优化空间结构，提高空间利用率。

参考文献

- [1] Pina, A., Ferrão, P., Fournier, J. et al. Urban form Symposium and ecological footprint: Heating and Cooling form and ecological footprint : analysis for Urban form and ecological footprint : morphological Assessing the feasibility of using[J]. Energy Procedia. 2017, 115:332–343
- [2] Cobbinah, P.B., Poku-boansi, M., Pephrah, C. Urban environmental problems in Ghana [J]. Environment Development. 2017, 23:33–46.
- [3] Baabou, Wafaa, Grunewald, et al. The Ecological Footprint of Mediterranean cities: Awareness creation and policy implications[J]. Environmental Science & Policy, 2017, 69: 94-104.
- [4] Niccolucci V, Gali A, Reed A. Towards a 3D national ecological footprint geography [J]. Ecological Modelling, 2011, 222(16): 2939-2944.
- [5] 马晓琳,郭莎莎,徐扬等.生态脆弱区生态安全格局构建研究[J].生态学报, 2023, 43(22):9500-9513.
- [6] Liu Y Y, Zhao C Y, Liu X M, et al. The multi-dimensional perspective of ecological security evaluation and drive mechanism for Baishuijiang National Nature Reserve, China [J]. Ecological Indicators, 2021, 132: 108295.
- [7] 向丽,周伟,任君等.基于 DPSIRM 模型的高原城市湿地生态安全评价——以湟水流域西宁段为例[J].生态学杂志, 2022,41(10):2064-2071.
- [8] 祁兰兰,王敏,王卿等.基于 SDR 模型的抚仙湖流域生态安全空间分异特征研究[J].生态学报, 2023,43(22):9527-9538.
- [9] Wen J F, Hou K. Research on the progress of regional ecological security evaluation and optimization of its common limitations [J]. Ecological Indicators, 2021,127(10):77-97.
- [10] 牛最荣,贾玲.三生空间角度的甘肃长江流域水生态安全评价及障碍诊断[J].水生态学杂志, 2023,44(02):19-25.
- [11] 周超凡,王毅勇,黄榕等.基于 PSR-TOPSIS 法的宝鸡市大气环境生态安全评价预测及其障碍因子诊断研究[J].环境科学与管理, 2023,48(11):171-176.

- [12] Shi R X, Jia Q Y, Wei F Z, et al. Comprehensive evaluation of ecosystem health in pastoral areas of Qinghai-Tibet Plateau based on multi model [J]. *Environmental Technology & Innovation*,2021, 23: 101552.
- [13]刘平波,倪芳,刘蓉.基于遥感的洞庭湖流域农业生态安全评价指标体系研建[J].*现代农业研究*, 2021,27(09):10-11.
- [14]朱颖,顾春望,李欣等.基于 DPSIRM 模型的苏州吴江区湿地生态安全评价[J].*浙江农林大学学报*, 2022,39(05):1114-1123.
- [15]刘博,李华蕾.基于 GIS 和 PSR 模型的沈阳市土地利用动态变化及生态安全评价[J].*辽宁农业科学*, 2022(03):41-44.
- [16]李若飏,辛存林,陈宁等.三生空间视角下大夏河流域水生态安全评价与预测 [J].*水利水电技术(中英文)*, 2022,53(07):82-93.
- [17]肖金明.为全面法治重构政策与法律关系[J].*中国行政管理*, 2013(05):36-40.
- [18]刘明德,徐玉珍.环境政策研究理论与方法[M]. 清华大学出版社, 2019.
- [19]余一倩,马小辉.新时代德育教育方法实效提升研究——基于对比分析法[J].*改革与开放*, 2022(24):34-40.
- [20]高奇隆,孙雪姍,魏景明等.义乌市完善职工医保个人账户政策效果的评价研究——基于“投射—实施后”对比分析法[J].*中国卫生政策研究*, 2019,12(10): 8-14.
- [21]马赫,尹文强,吴倩倩等.关于“全面二孩”政策实施效果的研究——基于指数平滑法和“投射——实施后”对比分析法[J].*卫生软科学*, 2019,33(05):21-25.
- [22]Thistlethwaite D L,Campbell D T. Regression-discontinuity analysis: An alternative to the ex post facto experiment [J].*Journal of Educational Psychology*,1960,51(6):309-317.
- [23]罗胜.断点回归设计:基本逻辑、方法、应用述评[J].*统计与决策*, 2016(10):78-80.
- [24]刘鸿雁,潘晗钰.基于断点回归法分析广东省碳交易试点政策对碳强度的影响 [J].*电力科学与工程*, 2023,39(02):21-35.
- [25]杨志媛,盖骁敏.退休行为对居民家庭消费的影响[J].*山东社会科学*, 2021(08): 100-108.

- [26] Abadie, A. and J., Gardeazabal, 2003, The Economic Costs of Conflict: A Case Study of the Basque Country, *The American Economic Review*, 93(1): 113-132.
- [27] Jun Zhang, Chunping Zhong, Ming Yi. Did Olympic Games improve air quality in Beijing? Based on the synthetic control method[J]. *Environmental Economics and Policy Studies*, 2016, 18(1).
- [28] 张雪纯, 曹霞, 宋林壕. 碳排放交易制度的减污降碳效应研究——基于合成控制法的实证分析[J]. *自然资源学报*, 2024, 39(03): 712-730.
- [29] Kim M K , Kim T . Estimating impact of regional greenhouse gas initiative on coal to gas switching using synthetic control methods[J]. *Energy Economics*, 2016, 59(SEP.): 328-335.
- [30] 谭砚文, 李从希, 曾华盛等. 中国—东盟自由贸易区的农产品贸易效应——基于合成控制法的实证评估[J]. *中国农业大学学报*, 2024, 29(03): 241-259.
- [31] Ashenfelter, O. Estimating the Effect of Training Programs on Earnings[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1978, 60(1).
- [32] 胡日东, 林明裕. 双重差分方法的研究动态及其在公共政策评估中的应用[J]. *财经智库*, 2018, 3(03): 84-111+143-144.
- [33] 王琳. “一带一路”倡议下我国沿线省市对外直接投资研究——基于双重差分法[J]. *商展经济*, 2023(23): 15-18.
- [34] 胡颖, 李维. “一带一路”倡议对沿线国家高质量发展的影响及机制研究——基于双重差分模型的实证分析[J]. *金融理论与实践*, 2023(11): 24-38.
- [35] Kai Jia, Shaowei Chen. Could campaign-style enforcement improve environmental performance? Evidence from China's central environmental protection inspection[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 245.
- [36] 张广海, 闫义莹. 智慧旅游城市建设对旅游经济发展的影响——基于双重差分法的政策效果评估[J]. *泰山学院学报*, 2023, 45(06): 80-93.
- [37] 高长春, 朱冲逸. 智慧城市和创新型城市双试点能否助力数字经济发展? ——基于双重差分法的准自然实验[J]. *经济论坛*, 2023(11): 127-140.
- [38] Yuyu Chen, Ginger Zhe Jin, Naresh Kumar, Guang Shi. The promise of Beijing: Evaluating the impact of the 2008 Olympic Games on air quality[J]. *A*

- ademic Press,2013,66(3).
- [39]Lucas W. Davis. The Effect of Driving Restrictions on Air Quality in Mexico City[J]. Lucas W. Davis,2008,116(1).
- [40]邓溟丹,叶露锋和刘丽香等.城市生态安全研究进展[J].环境工程技术学报, 2022,12(01):248-259.
- [41]曲格平.关注生态安全之一:生态环境问题已经成为国家安全的热门话题[J].环境保护, 2002(05):3-5.
- [42]张楠楠,石水莲和李博等.基于“压力-状态-响应”模型的土地生态安全评价及预测——以沈阳市为例[J].土壤通报,2022,53(01):28-35.
- [43]盖美,聂晨.环渤海地区生态效率评价及空间演化规律[J].自然资源学报, 2019, 34(01):104-115.
- [44]马勇,黄智洵.长江中游城市群绿色发展指数测度及时空演变探析——基于 GWR 模型[J].生态环境学报,2017,26(05):794-807.
- [45]酒二科.中国绿色发展的时空差异及障碍因子分析[J].统计与决策,2019,35(08): 121-125.
- [46]傅为忠,储刘平.长三角一体化视角下制造业高质量发展评价研究——基于改进的 CRITIC-熵权法组合权重的 TOPSIS 评价模型[J].工业技术经济,2020,39(09):145-152.
- [47]赵慧卿,郭晨阳.中国省域绿色低碳循环发展动态综合评价研究[J].调研世界,2020(04):39-48.
- [48]肖德,于凡.中国城市群经济高质量发展测算及差异比较分析[J].宏观质量研究, 2021,9(03):86-98.
- [49]刘智.中国省域农业绿色发展指数关联性分析[J].统计与决策,2020,36(07):91-95.
- [50]赵慧卿,郭晨阳.中国省域绿色低碳循环发展动态综合评价研究[J].调研世界,2020(04):39-48.

致谢

时光荏苒，岁月如梭。转眼间，三年的研究生求学生活即将结束，站在毕业的门槛上，回想三年的求学生活。这三年的求学生活对于我的记忆，在于导师无微不至的关怀和教导，也在于不能很好完成导师交待任务的焦虑……，从对这座城市的陌生到熟悉，从青涩到成熟，这三年是一种积累，它给我带来太多的感动、感悟乃至成长。值此毕业论文完成之际，我谨向所有关心、支持、帮助我的师长，亲友呈上我最诚挚的感谢与最美好的祝愿。

首先，衷心感谢我的导师赵煜教授在学习、工作及生活上给我的孜孜教诲、精心培养和悉心关怀。是您在过去一段时间里鼓励与支持我的科研工作，开启了我真正意义上的学术之旅。并多次给予我机会能参与到科研项目与专著编写中，在此过程里，我明确了我的研究方向，提高了写作能力，让我在求学、工作和生活上都满载而归。在论文的完成过程中，从选题到开题，从写作框架到具体问题，您都严格把关，循循善诱，您严谨的治学态度是我毕生学习的榜样。感谢申社芳教授在我初来乍到之时，对我生活学习上的关心与帮助。

其次，感谢我的父母家人支持我不远千里的求学路。每当遇到困难时，你们永远是第一个给我支持鼓励的人。三年在外求学路，寄托着你们对我的殷切期望，你们在物质上与精神上的无私支持，永远是我在外闯荡的坚强后盾，期望将来所取得的成就能让你们为之骄傲。

最后，感谢在我研究生学习期间给我诸多帮助的同学朋友们。感谢李婷、于湘等师兄师姐在生活中的关心，科研上的帮助；感谢杨盛文、韩旭昊、李晨欣和魏毛毛四位同门，一同走过三年最开心、最难忘的硕士研究生生活，因意见不一而相互探讨，面对困难相互加油打气，你们是我生活中的好搭档，学习中的好伙伴，研究上的好助手；感谢我的舍友王利与黄登江，从遥远的家乡来到陌生的城市，三个人来自三个不同的地方，有着各自的生活习惯，但都能相互包容，相互鼓励，不是家人，近似家人。大家即将各奔前程，愿你们在未来的日子里皆能事业顺利，前程似锦。