兰州大学

硕士学位论文

# 基于GIS和RS的区域生态安全评价研究——以银川市为例

姓名：王希强

申请学位级别：硕士

专业：地理学 人文地理学

指导教师：张建明

20100601

# 摘　要

经济的迅速发展推动了人类社会和人类文明的进步，人类在满足自身物质和精神享受的同时，给地球带来了各种各样的生态安全问题。国外从 20 世纪 70 年代就开始关注生态安全问题，而国内从20世纪90年代末期才开始公开关注生态安全问题。近几年来，国内对于生态安全的研究显著增多。目前，生态安全研究已成为国内外研究的热点。

银川为宁夏的省会城市。经过几十年的快速发展，银川已成为西北地区举足轻重的城市。银川市地处西北内陆干旱区，雨雪稀少，蒸发强烈，气候干燥，风大沙多，存在土地沙漠化、土壤盐渍化、沙尘暴、水资源短缺等问题，生态环境脆弱。对银川市生态安全现状进行评价分级，因地制宜的应对生态安全威胁，对于银川市生态环境保护、生态安全建设等具有一定的指导意义。

本文通过总结生态安全方面的基础理论、研究现状和研究方法，基于 PSR 模型，建立了银川市生态安全评价指标体系；利用 RS 与 GIS 技术对银川市生态安全评价指标信息进行提取，并在此基础上建立了 2007 年银川市生态安全评价指标数据库；基于常权和变权加法平均综合模型对 2007 年银川市生态安全现状进行评价，最后提出了生态安全调控措施。主要结论如下：

（1）运用基于常权和基于变权加法平均综合模型对银川市生态安全进行评价对比，发现运用变权方法得到的结果更加符合实际情况。

（2）银川市生态安全水平以较差和一般为主，两者占到银川市总面积的68.17%。其中，较差水平面积为 3704.05km$^2$，占银川市总面积的 38.77%；其次为一般水平，面积为 2809.35km$^2$，占银川市总面积的 29.4%；生态安全水平良的面积为 1113.84km$^2$，占银川市总面积的 11.66%；生态安全水平差的面积为1927.75km$^2$，达到银川市总面积的 1/5 以上，为 20.18%；银川市不存在生态安全水平优的区域。

（3）银川市整体生态安全处于较差水平。临河镇生态安全水平最高，生态安全指数为 6.47，大新镇生态安全水平最低，生态安全指数为 2.74。银川市乡镇生态安全以差和较差水平为主，两者分别占到 13 个和 9 个乡镇，生态安全水平一般的乡镇有 5 个。

（4）针对综合分析结果，在分析原因的基础上提出了银川市生态安全分级

管制的思路，把银川市划分为四级管制区：一级管制区基本上集中在城区和交通线周围；二级管制区主要集中在灌区两侧和灵武市中部；三级管制区主要集中在贺兰山山前洪积倾斜平原、黄河冲积平原东侧以及灵武市北部和南部零星区域；四级管制区主要集中在贺兰山自然保护区、白芨滩自然保护区。最后，针对不同级别的管制区提出了具有针对性的生态安全调控措施。另外，针对宁东能源化工基地，提出了专门的生态安全调控措施。

**关键词**：生态安全；银川市；评价指标；指标权重

# Abstract

The rapid development of economic promotes the progress of human society and human civilization. However, when the human satisfy their own material and spiritual enjoyment, a series of problems of ecological security occur one after another. In Foreign, the human begin to focus on the problems of ecological security from the 1970s, however, in domestic, the human begin to do it until the late 1990s. In recent years, the study on the ecological security increases obviously. At present, the study on ecological security has become a hot spot at home and abroad.

Yinchuan is the capital of Ningxia's province. With the fast development of eomomic, Yinchuan has become one of the leading cities in Northwest China. However, Yinchuan City is located in Northwest Arid Region of China, which has following characteristics: the scarcity of rain and snow, strong evaporation, dry climate, strong wind, more sand and so on. There are some problems, such as land desertification, soil salinization, sandstorm, water shortages and other issues. So, the ecological environment of Yinchuan is fragile. So it is necessary to comprehensively evaluate the eclogical security level of Yinchuan city. It is hepeful to guide the construction of Yinchuan environmental protection and ecological security.

The basic theory of ecological security, research status and research methods were summarized in this thesis. The ecological security assessment index system of Yinchuan was established based on PSR model. The information of the ecological security assessment index was extracted by using RS and GIS technology. The ecological security evaluation database of Yinchuan City was established. And then, the level of ecological security of Yinchuan was evaluated based on the constant weight and the variable weight average additive synthesis model. At last, some ecological security control measures were made. The main conclusions were as follows:

(1)Based on evaluating the level of ecological security of Yinchuan by using the constant weight and the variable weight average additive synthesis model,we found that the result obtained by using the variable weight average additive synthesis model

was more practical.

(2)The ecological security of Yinchuan was mainly of lower and general level. They accounted for 68.17% of the total area of Yinchuan. The proportion of the lowerer level was 38.77%, and the area was 3704.05km$^2$. The proportion of the general level was 29.4%, and the area was 2809.35km$^2$. The proportion of the higher level was 11.66%, and the area was 1113.84km$^2$. The proportion of the lowest level was 20.18%, and the area was 1927.75km$^2$. There was no the highest level in Yinchuan.

(3)The whole level of ecological security of Yinchuan was mainly the lower. The level of ecological security of Linhe Town was the highest, which was 6.47. The level of ecological security of Daxin Town was the lowest, which was 2.74. The ecological security of local villages and towns were mainly the lowest and lower level, which accounted for 13 and 9 respectively. The number of the general level was 5.

(4)Considering the evaluation results and the contributing factors, the idea of the graded control of ecological security was proposed. Yinchuan City was divided into four zones: The first control zone was largely concentrated in urban areas and transport lines. The second control zone was largely concentrated in both sides of irrigation district and the central of Lingwu. The third control zone was largely concentrated in the Helan Mountains piedmont alluvial plain sloping, east of the Yellow River alluvial plain and the northern and southern parts of Lingwu City. The fourth control zone was largely concentrated in Helan Mountain Natural Reserve, Bletilla Beach Natural Reserve. At last, some control measures of ecological security were proposed to different graded control zones. In addition, some special control measures were made for construction of Ningdong Energy Chemical Base.

**Key words:** ecological security; Yinchuan City; assessment index; index weight

# 原 创 性 声 明

本人郑重声明：本人所呈交的学位论文，是在导师的指导下独立进行研究所取得的成果。学位论文中凡引用他人已经发表或未发表的成果、数据、观点等，均已明确注明出处。除文中已经注明引用的内容外，不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究成果做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：王希强　　日　期：2010.6.5

# 关于学位论文使用授权的声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属兰州大学。本人完全了解兰州大学有关保存、使用学位论文的规定，同意学校保存或向国家有关部门或机构送交论文的纸质版和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权兰州大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用任何复制手段保存和汇编本学位论文。本人离校后发表、使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，第一署名单位仍然为兰州大学。

保密论文在解密后应遵守此规定。

论文作者签名：王希强 导师签名：张建明 日 期：2010.6.5

# 第一章　绪论

## 1.1 研究背景与意义

### 1.1.1 研究背景

经济的迅速发展推动了人类社会和人类文明的进步，但是，人类在充分享受自身创造的物质和精神财富同时，给地球也带来了各种各样的环境问题和生态危机(杨京平等，2002)。

20 世纪 20 年代尤其是 90 年代以来，跨国界全球性环境问题日益突出，如沙尘暴、全球变暖、厄尔尼诺现象，以及区域环境污染、资源等问题，这对国家的经济、社会生活构成了挑战，同时也威胁到国家安全稳定(龚建周等，2008)。

在处理环境问题方面，美国的行动引人注目，美国白宫、国务院、国防部、能源部、中情局、环保局等国家机构都在生态环境与安全问题研究方面扮演了重要角色。1991 年美国公布《国家安全战略报告》，首次明确将环境看做国家利益不可分割的一部分，并宣言为保护美国利益，美国有义务和责任督促世界各国共同承担责任（周珂等，2003；龚建周等，2008）。紧接着，美国国防部于 1993 年成立“环境安全办公室”，并且从 1995 年开始，每年定期向总统和国会提交环境安全方面的年度报告。其它发达国家也积极效仿，加拿大、欧盟、日本等国相继把环境安全列入国家安全战略。

诺曼·迈尔斯（2001）、曲格平（2004）等指出，对于安全的保障不再局限于传统的军事力量，而是越来越多地包括我们人类赖以生存的土壤、水源、森林、气候等环境资源。假如这些基础退化，国家的经济基础和上层建筑也将最终衰退。这样的结果可能会导致区域发生冲突、国家内部发生骚乱和造反等严重后果。

我国学者任志远等（2003）指出，在一定意义上，生态安全与经济安全、政治安全、军事安全等同等重要，都是国家安全战略重要组成部分。军事、政治和经济安全是创造生态安全的基本条件和重要保障；而生态安全是政治、经济和军事安全的基础和载体。

### 1.1.2 研究意义

20世纪50年代，“一个公园，两只猴；一个警察，看两头”凸显了银川城市的落后。经过几十年的发展，银川市社会经济等取得了巨大成就。银川市人口不断增加，由1949年的23.6万人增加到2007年的148.8万人，城市化进程不断加快，城市化水平由1949年的16.9%提高到2007年的63.8%，城市综合竞争力进入全国百强行列，县域经济增势强劲，灵武市跨入西部百强县（市）。社会事业成果硕果累累，银川市已经成为西北地区举足轻重的城市。

随着经济社会的快速发展，银川市越来越重视生态环境保护问题，在该领域的投入逐渐增多。2006 年，宁夏被列为全国首批农村小康环保行动试点省，同年银川市提出建设“两个最适宜城市”目标，即：把银川市建设成为西北地区最适宜居住、最适宜创业的现代化区域中心城市。但是，银川市地处西北内陆干旱区，雨雪稀少，蒸发强烈，气候干燥，风大沙多，存在土地沙漠化、土壤盐渍化、沙尘暴、水资源短缺等问题，生态环境脆弱。所以，对银川市生态安全现状进行综合评价，进而进行空间分区，因地制宜的应对生态安全威胁，对于银川市生态环境保护、生态安全建设等具有一定的指导意义。

## 1.2 生态安全概念

1987 年，世界环境与发展委员会在《我们共同的未来》正式报告中第一次提出生态安全概念。1989 年，国际应用系统研究所 IIASA(International Institute for Application System Analysis)对生态安全进行广义和狭义两种定义，其中广义定义是指在人的生活、安乐、健康、生活保障来源、基本权利、社会秩序、必要资源和人类适应环境变化能力等方面不受威胁的状态，它包括自然、社会和经济生态安全，组成一个复合人工生态安全系统；狭义定义指自然和半自然生态系统的安全，是对生态系统完整性和健康的整体水平反映（张婷婷等，2006）。自 1989 年国际应用系统分析研究所提出生态安全概念以来，关于生态安全的研究已经成为国内外相关学科研究的前沿和热点之一（崔胜辉等，2005；高长波，2006）。

我国许多学者对生态安全的概念和内涵从不同的角度进行了界定。郭中伟（2001）从生态系统角度入手研究，认为生态安全应该包括两方面含义：一方面

是指生态系统本身是否安全，即系统本身结构是否完整或是否受到破坏；二是指生态系统本身对于人类是否安全，即生态系统所提供的服务是否满足人类的生存需求。

曲格平（2002）也从两个方面对生态安全进行阐释：一方面是指防止生态环境退化对经济基础造成威胁，主要是指环境质量状况和自然资源的减少、退化削弱经济可持续发展的支撑能力；另一方面是指防止环境问题引发群众不满情绪，尤其是导致环境难民的大量产生，影响社会稳定。

肖笃宁等(2002)把生态安全与保障程度密切联系起来，认为生态安全是人类在生产、生活和健康等方面免受环境污染与生态破坏等影响的保障程度，具体包括食物安全、饮水安全、绿色环境与空气质量等基本要素。

陈国阶等（2002）、邹长新（2003）、刘上余（2004）认为，生态安全是指人类赖以生存的生态与环境（包括聚落、聚区、区域、国家甚至全球）不受生态条件、状态和其变化的胁迫、威胁、危害、损失乃至毁灭，能够处于正常生存和发展的状态。换句话说，生态安全就是指人类的生存环境处于健康可持续发展状态。

左伟等(2004)、王丰年(2004)认为，生态安全为人类生存和发展所必需的生态环境处于不受或者少受威胁与破坏的状态，是国家安全与社会稳定重要组成部分，也就是指自然生态环境能够满足群落和人类持续生存与发展需要，但不损害自然生态环境的潜力。

王耕等（2007）指出，由于研究者学科背景不同，目前对生态安全的解释主要有四种倾向：强调生物(系统)与环境或与其他生物之间可持续发展关系、强调生态环境涵义、强调环境安全、强调复合生态系统等。王耕等同时指出，必须赋予主体明确定义，充分考虑各种因素对其影响，既包括确定性的因素，比如水土流失等，也要包括不确定性因素，比如水灾、旱灾等。

综上所述，生态安全含义尚无统一界定，从不同的角度考虑，有不同的结果。但是，生态安全的概念大都是建立在人类活动与环境可持续发展基础之上的，生态安全研究应综合考虑人口、资源、环境和发展等方面内容。对于生态安全的概念，作者比较倾向于国际应用系统研究所的定义。生态安全对于区域而言具有重要的战略性地位，是实现区域长期稳定、可持续发展关键所在。对于研究者来说，生态安全有着很多未知领域，概念的统一、研究方法的改进、评价的标准化、国

家甚至全球生态安全预警系统的建立等都需要进一步探索（邹长新等，2003）。

## 1.3 区域生态安全研究现状

### 1.3.1 国外研究现状

国外对区域生态安全研究的现状，可以从宏观和微观两个角度去分析。

在宏观领域，国外研究主要集中在生态安全的定义及生态安全与国家安全、军事战略、民族问题、全球化和可持续发展相互关系这几方面。美国环境学家莱斯特·布朗（1984）在1977年提出要对国家安全重新界定，最早将环境变化含义明确引入安全概念。他明确指出："目前对安全的威胁，来自国与国间关系的较少，而来自人与自然间关系的可能较多"。同年，联合国裁军和安全委员会对集体安全(collective security)和共同安全(common security)进行区分；1987年世界环境与发展委员会在《我们共同的未来》报告中明确指出："安全的定义必须扩展，超出对国家主权的政治和军事威胁，还要包括环境恶化和发展条件遭到的破坏"；Westing（1989）对"全面安全"的概念进行扩展，指出"全面安全"应该包括政治安全和环境安全两个方面；1996年，大概有100多个国家的200多万人在《面对全球生态安全的市民条约》上签字。这个条约是基于生态安全、生态责任和可持续发展基础之上的，要求各成员国及各团体组织互相协调利益，履行责任和义务；在1998年发表的《生态安全与联合国体系》中，就生态安全的概念、不安全成因、影响与发展趋势，各国专家发表了不同看法，包括悲观危机观点、中立客观的认识和积极乐观的见解；2002年，由联合国组织的全球环境与发展峰会在南非约翰内斯堡举办，会议主要议题是生态（环境）安全和资源安全；2009年12月，被喻为"拯救人类的最后一次机会"的联合国气候变化大会在丹麦哥本哈根开幕，各国首脑就如何解决气候变化和生态安全问题进行磋商。

在微观领域，国外对生态安全的研究主要集中在两个方面（吴国庆，2001；邹长新等，2003）：一方面是基因工程生态风险与生态安全；另一方面是化学药品施用对农业生态系统健康与生态安全的影响。

经过多年的研究与探讨，国际上对生态安全取得了一定共识，可以归纳为四点：(1)逐渐增加的环境压力可能会引发冲突并增加灾害防御的脆弱性，进而影

响到政治、经济和社会。(2)人口膨胀、消费量和污染量增多以及土地利用方式的改变，导致环境压力在冲突和灾害中起的作用逐渐增加。(3)冲突和灾害冲击了环境保护和发展的成就。对生态安全适应性的策略牵涉到社会结构、经济活动、组织规章以及机构机制。(4)生态安全研究不能只停留在国家层面，也应在其它层面上予以考虑，大到全球，小到地方（崔胜辉等，2005）。

### 1.3.2 国内研究现状

我国于20世纪90年代末期开始公开讨论生态安全问题，直到2000年国务院发布《全国生态环境保护纲要》，才第一次明确提出“维护国家生态环境安全”的目标（周毅，2003；龚建周等，2008）。我国提出生态安全问题的原因主要有三点：第一是1998年长江流域暴发特大洪水及多年以来北方频繁发生沙尘暴；第二是西部大开发战略的实施；第三是很多发达国家把环境变化列入国家安全战略并且重新界定安全的概念。

在1999年以前，国内关于生态安全的研究范围较小，成果较少，大部分局限在工程、植物保护等方面，而且多依赖于发达国家科研成果，如张小青（1993）介绍了水利工程技术与生态安全评价方法的现状，张玉良（1994）阐述了前苏联研究植物保护的生态安全方法，冯耀忠（1995）探讨了干线输油管道生态安全问题及解决途径等。1999年至今，特别是近几年来，生态安全已经成为科学界和公众讨论的热点，国内对于生态安全的研究显著增多，主要集中在生态安全的概念、生态安全评价指标体系、生态安全评价方法、生态安全监测与预警等方面。

#### 1.3.2.1 生态安全概念

对生态安全进行评价，首先必须明确生态安全的概念。郭中伟（2001）、曲格平（2002）、肖笃宁(2002)、陈国阶（2002）、任志远等（2003）、邹长新（2003）、刘士余（2004）、左伟(2004)、王丰年(2004)、张婷婷等(2006)、李晶（2008）等从不同角度不同层面对生态安全概念进行界定，虽然生态安全概念的提法很多，但是其核心要点都是要阐明生态环境与人类社会经济发展的相互关系。

#### 1.3.2.2 生态安全评价指标体系

生态安全评价指标体系的构建是生态安全评价的核心和关键所在，是进行生态安全评价和建立预警机制的重要内容与前提。构建生态安全指标体系和监测预警系统主要是为了制定生态安全衡量标准，通过实施标准把生态系统控制在既满

足当前需要又不削弱子孙后代满足其需要的能力的状态（刘红等，2005）。

根据工作目的差异，区域生态安全评价的指标选择方法和侧重点有所不同，比如基于环境暴露的、基于区域生态条件和空间格局的、基于生态压力的和基于压力-状态-响应的指标选择方案等等。目前比较公认的生态安全评价模型框架主要有两种：基于 PSR 模型基础上的指标体系和基于生态安全评价内涵基础之上的模型框架。目前以建立在 OECD 提出的压力-状态-响应(PSR)框架基础之上的指标体系居多（张保华等，2005）。左伟等（2003）在 PSR 框架基础之上，构建了人文社会压力指标、生态安全状态指标和人文社会响应指标作为对区域生态安全进行评价的指标体系；谢花林等（2004）利用 PSR 模型对北京海淀区生态安全水平进行了定量研究；李苏楠等（2005）利用 PSR 模型和层次分析法，构建了西藏曲松县生态安全评价指标体系；高长波等（2006）依据 PSR 模型，构建了 4 个层次的城市生态安全水平度量指标体系；Zhao 等（2006）利用 PSR 模型，对西藏高原生态安全进行了评价；王明全等（2007）从生态安全的内涵着手，运用 PSR 模型构建了长春市生态安全评价指标体系；方振锋（2007）运用改进的 PSR 模型建立了宝安区生态安全评价指标体系；邱微等（2008）依据 PSR 模型，选取 27 项指标，建立了黑龙江省生态安全评价指标体系；李佩武等（2009）依据 PSR 模型，以深圳和 4 个中央直辖市为研究对象，建立了城市生态安全评价指标体系；曲青林等（2009）依据 PSR 模型，结合兰州市经济、社会、环境等实际情况，建立了兰州市土地利用生态安全评价指标体系；杨勇等（2009）基于 PSR 模型建立了泾河流域生态安全评价指标体系。

另一种具有代表性的生态安全评价模型是从生态安全内涵着手，构建区域生态安全评价指标体系。认为生态安全评价指标体系应该包括生物安全指标、环境安全指标和生态系统安全指标。刘勇（2004）以嘉兴市土地资源可持续发展为目标，建立了包括土地自然、土地经济和土地社会生态安全指标体系，对该市土地资源安全状况进行了评价；张保华等（2005）以农业生态学理论为指导，构建了 4 个一级指标、10 个二级指标、43 个三级指标组成的指标体系，对区域农业生态安全进行了综合评价。

#### 1.3.2.3 生态安全评价方法

生态安全的评价方法较多，将在下面进行专门综述。

#### 1.3.2.4 生态安全监测与预警

国内关于生态安全监测与预警方面的研究近几年才迅速兴起并日益受到学术界的重视，中科院将“国家生态安全的监测、评价与预警系统”研究作为2000年重大攻关项目。郭中伟（2001）认为，生态安全预警是一种社会公益性的服务，理应由国家组织实施。傅伯杰（1993）、苏维词等（1997）、邵东国等（1999）、邹长新（2003）、石明奎等（2005）、孙凡等（2005）、曹新向（2006）、Hu等（2008）、Gong等（2009）、孟兆鑫等（2009）分别从不同角度不同层面对生态安全监测与预警进行研究，取得了一定的成果。

## 1.4 研究方法

生态安全评价可从区域、行业和国家等三个层次进行评价（杨京平等，2002）。目前生态安全的评价方法，可归纳为定性评价和定量评价两大类。

### 1.4.1 定性评价方法

定性评价方法重点是围绕生态安全内涵、评价指标体系、生态安全与国家安全、军事战略、民族问题、全球化和可持续发展等之间的相互关系而展开，如肖笃宁等（2002）论述了生态安全的概念与内容，王耕（2007）对区域生态安全概念和评价指标体系进行了重新认识；周珂等（2003）、张炳淳（2006）从法律角度和国家安全高度呼吁建立《生态安全法》的必要性与重要性。

### 1.4.2 定量评价方法

有关生态安全评价方法的研究较多，根据评价模型的差异性可归纳为数学模型、生态足迹模型、景观生态模型和数字地形模型等四类主要模型（刘红等，2006；龚建周等，2008）。

#### 1.4.2.1 数学模型法

数学模型法具体包括综合指数法、模糊评价法、物元评判法、灰色关联法、主成份投影法和层次分析法等。

综合指数评价法是目前应用较多较广泛的方法。该方法结合层次分析法与专家咨询法对各评价指标在生态安全评价中的相对重要性进行判断，据此确定各指

标权重，最后通过数学计算得到综合评价指数。如王强等（2003）、吴国庆（2003）、谢花林等（2004）、宋冬梅等（2004）、周文华等（2005）、杨勇等（2006）分别采用综合指数法对不同区域生态安全水平进行了综合评价。用综合指数评价法对区域生态安全水平进行分析，表现出该方法具有综合性与整体性的优势，但也暴露出其不能很好地反映城市生态安全的动态性与相对性。

Tran 等（2002）用模糊评价方法对区域生态系统的脆弱性进行了评价；高长波等（2006）利用该法对城市生态安全水平进行了对比分析研究；屈芳青等（2007）采用模糊评价法对若儿盖草原生态安全进行了评价；党碧玲等（2009）采用模糊数学中的多层次综合评判法对铜川市生态安全进行了评价。因为每一因素与每一被评价对象的模糊评价结果都表现为一个模糊向量，而不是只得到一个综合评价值，从而使评价结果包含更多信息，有利于对评价结果进行解释。但是该方法无法有效解决指标间相关造成的信息重复问题，同时，隶属度函数的确定人为性较大，不同研究者对同一研究对象选择的隶属度不同会产生不同的评价结果。

谢花林等（2004）将拓扑学引进生态安全评价中，并对我国十大城市生态安全进行了物元评判模型研究；张小虎等（2009）把熵值理论和物元理论有机结合起来，构建了区域土地生态安全评价模型，并据此在宏观上对黑龙江省 2000-2006 年土地生态安全程度进行评价分析。

吴开亚（2003）通过对生态安全评价方法的探索，发现主成份投影法能够有效解决生态安全评价中各指标之间信息重叠问题；同时，他还把灰色关联评价法引用到生态安全评价中。结果表明将该方法应用到生态安全评价中是比较合理的，有利于克服常见的数理统计量化方法的局限，但是对于结果的判断具有一定主观因素，进而对评价结果的精确性产生一定影响。

层次分析法是对复杂现象的决策思维过程进行模型化、系统化、数量化的方法。何琼等（2004）、叶明武等（2007）、吴春笃等（2008）、邱微等（2008）分别利用层次分析法对不同区域生态安全评价指标的权重进行分析。通过分析发现，应用层次分析法对区域进行生态安全评价分析时能够得到较满意的结果。但是，由于生态环境的易变性，评价指标对于区域生态安全的重要性也是变化的，不同区域的各指标的重要性在同一时期也是各异的。因此，利用层次分析法获得的权重很难较好地反映出区域评价指标贡献的动态变化。

#### 1.4.2.2 生态足迹模型

生态足迹模型由加拿大生态经济学家 William Ree 和他的学生 Weckernagel 于1992年提出，并在1996年由Weckernagel进一步完善（Wackernagel M,and Rees W，1996），该模型是近20年定量量测可持续发展领域最主要的进展之一（徐中民等，2006）。生态足迹的严格定义为：任何已知人口（某个个人、一个城市或一个国家）的生态足迹是生产这些人口所消耗的所有资源和吸纳这些人口所产生的所有废弃物所需要的生物生产性土地面积（包括陆地和水域）（徐中民等，2006）。国内不少学者（徐中民等，2001；窦贻俭等，2004；毛峰等，2005；陈敏等，2005；张燕等，2006；常斌等，2007；符海月等，2007；张月从等，2008）基于生态足迹模型开展了省、市、县级生态足迹静态和动态研究。方一平等（2004）、Huang 等（2006）分别利用生态足迹模型对城市生态安全进行了评价，结果显示该模型能够更真实的提供人类活动对自然界和生态系统的依赖程度。

但是，生态足迹模型实际上只是测算了资源承载力，核算的重点局限在资源的消耗上（不包括水），对不是因为使用化石燃料而释放的 $CO_2$ 和一些温室气体等，还有固体废弃物和废水等，并没有在生态足迹中考虑，低估了人类对环境的影响（符国基等，2007）。

#### 1.4.2.3 景观生态模型

景观生态学是20世纪70年代以来发展起来的新兴交叉学科，逐渐成为资源、环境和生态方面研究的热点之一。景观生态学以生态学理论为基础，吸取现代地理学和系统科学长处，研究景观的结构、功能和演化，研究景观和区域尺度上的资源、环境等问题，体现了综合整体性和宏观区域性特点。当前，越来越多的人将景观格局应用于区域生态安全评价中。马克明等（2004）、黎晓亚等（2004）、李宗尧等（2007）分别对区域生态安全格局概念、理论基础及生态安全格局构建等进行了研究；李晓燕等（2005）以景观格局为基本框架，分析了吉林省西部景观结构变化背景下的区域生态安全动态变化；苏伟等（2006）对生态安全条件下的土地利用格局优化模拟进行了深入研究；郭明等（2006）从景观生态安全的关键环境要素着手，对区域景观安全格局进行了分析；王棒等（2006）从生物多样性保护角度对区域生态安全格局进行研究；王亮（2007）以崇明岛为例，构建了区域景观生态安全格局；俞孔坚等（2009）以景观生态学理论和方法为指导，针

对北京市的生态问题，重点研究了北京市综合水安全格局、地质灾害安全格局、生物保护安全格局、文化遗产安全格局和游憩安全格局。

通过应用一系列景观格局指数方法和空间统计学方法可以对景观格局特征进行研究。景观格局指数能够高度浓缩景观格局信息，能够反映其结构组成和空间配置上的某些方面特征，可以从斑块、斑块类型和整个景观三个层次上进行分析，包括斑块面积、数量、形状多样性、密度、均匀度、丰富度、聚集度、优势度和分维数等指数(邬建国，2000)。曾辉等（1999）以深圳市为例，构造了一个综合性生态风险指数，对该区域生态风险进行了 GIS 空间插值研究；肖生春等（2006）以蒙古族水域、植被和沙丘 3 大类民间自然景观类型为研究对象，通过研究各类型自然景观的景观格局类型数量变化，对区域生态环境的变化进行了分析；龚建周等（2008）以广州市为例，运用景观指数和半变异函数的方法探讨了区域生态安全的景观格局与动态特征；万利等（2009）以京郊三个不同功能的区(县)为例，把景观生态学原理与方法应用到区域生态安全评价当中，选取景观干扰指数和景观脆弱度指数两个指标，构建了基于景观结构的区域生态安全指数。

1.4.2.4 数字地形模型

数字地形模型是描述地表空间分布特征和属性特征的数值阵列，是用三维空间的形式表达研究对象特征的一种可视化图形模型（黎夏等，2006；龚建周等，2008）。数字化生态安全分析与表示法是利用 RS 和 GIS 技术对区域生态安全进行调查、评价的方法。左伟等（2002）将其研究方法与步聚概括为以下几点：首先，用 RS 和 GIS 技术方法对研究区域相关的数据进行采集和处理，具体包括对研究区相关统计数据的收集、标准化及研究区基础要素底图和各类专题地图的数字化工作等；其次，依据研究精度和研究实际要求，确定格网大小，并通过 GIS 软件生成栅格图层；再次，运用某种数学模型或规则对以行政单元为统计单位的属性数据进行格网化，并使之与每一个格网单元一一对应，构建空间数据库；最后，运用 GIS 其他分析方法对基于格网的各类统计数据进行可视化表达和空间分析。

王耕等(2005)对西辽河流域生态安全进行了可视化评价分析；李晶等(2008)将 RS 和 GIS 技术相结合，对陕北黄土高原的生态安全现状进行了评价；邹秀萍等（2008）以西双版纳为例，通过将 RS、GIS 技术和层次分析方法综合集成，

构建了区域生态安全评价的空间多级加权叠加模型。由于该方法将生态安全以及各安全影响因素信息在具有地理空间坐标的二维表面上表达出来，这样就使评价结果更直观，逻辑运算更简单，并能够顺利地完成以上各类模型的评价运算。

## 1.5 研究内容及技术路线

### 1.5.1 研究内容

（1）参考相关文献，对生态安全的研究背景及意义、国内外研究现状等进行了概述总结，具体分析了生态安全定义、生态安全评价指标体系、生态安全评价方法等问题。

（2）分析银川市存在的主要生态环境问题，结合相关理论，以 RS 和 GIS 技术为支撑，建立了基于压力-状态-响应模型的银川市生态安全评价指标体系，通过多种途径，获得银川市生态安全评价指标数据，在此基础上建立了银川市生态安全评价数据库。

（3）利用 spss 软件对指标数据进行主成份分析，获得银川市各指标的权重，运用基于常权加法平均综合模型，对银川市生态安全进行评价，同时，根据地貌特征，把银川市分为四部分，引入变权概念，运用变权加法平均综合模型对银川市生态安全进行评价，对两种方法得到的结果进行对比分析。

（4）分析影响银川市区域生态安全水平高低的原因，在分析成因的基础上提出对策和建议。

### 1.5.2 技术路线

本论文技术路线如下：

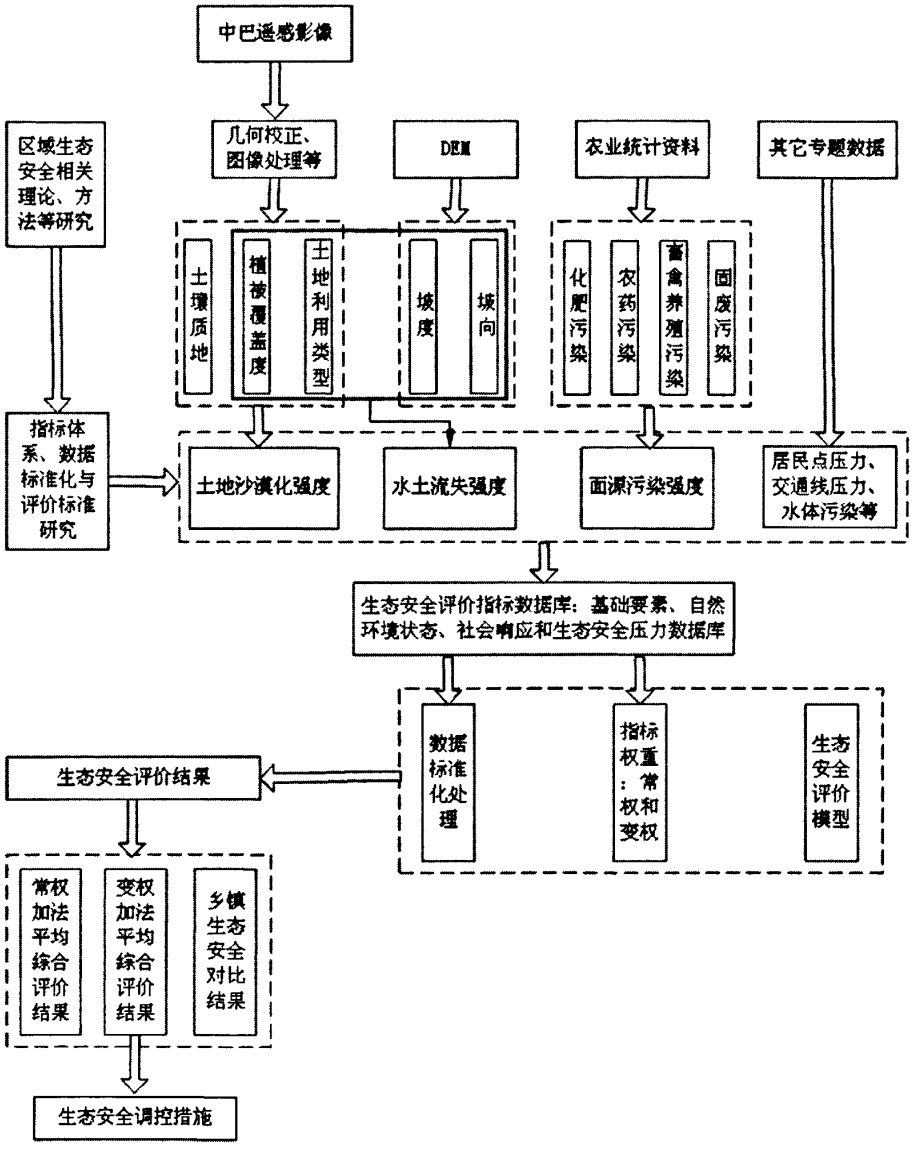

中巴遥感影像
几何校正、图像处理等
DEM
农业统计资料
其它专题数据
区域生态安全相关理论、方法等研究
土壤质地
植被覆盖度
土地利用类型
坡度
坡向
化肥污染
农药污染
畜禽养殖污染
固废污染
指标体系、数据标准化与评价标准研究
土地沙漠化强度
水土流失强度
面源污染强度
居民点压力、交通线压力、水体污染等
生态安全评价指标数据库：基础要素、自然环境状态、社会响应和生态安全压力数据库
数据标准化处理
指标权重：常权和变权
生态安全评价模型
生态安全评价结果
常权加法平均综合评价结果
变权加法平均综合评价结果
乡镇生态安全对比结果
生态安全调控措施

图 1-1　技术路线图

# 第二章　研究区概况

## 2.1 自然概况

### 2.1.1 地理区位

银川市是宁夏政治、经济和文化中心，为宁夏省会城市。位于北纬37°29′～38°53′，东经105°49′～106°53′之间，东与吴忠市盐池县接壤，南与吴忠市利通区、青铜峡市相连，西依贺兰山与内蒙古自治区阿拉善盟为邻，北接石嘴山市平罗县，与内蒙古自治区鄂托克旗相邻。银川市下辖3区2县1个县级市，共包括27个乡镇。银川市地理位置见图2-1。

图2-1　银川市地理位置图

### 2.1.2 地貌特征

银川市地貌类型多样，可分为四部分（图2-2），从西向东依次为：贺兰山山

地、贺兰山山前洪积倾斜平原、黄河冲积平原、灵武台地。银川市西部的贺兰山呈北偏东走向，全长约 150km，宽 20km～30km，在银川市境内近 70km，面积 5.88 万 $hm^2$，是阻挡西北冷空气和风沙长驱直入的天然屏障；贺兰山山前洪积倾斜平原沿贺兰山东麓呈带状分布，从贺兰山南水坡至高家闸南 3km，宽 8km～15km，由第四系洪积物堆积而成，海拔在 1140m～1700m 左右，以 10‰～32‰的坡度自西向东倾斜；黄河冲积平原西邻贺兰山山前洪积倾斜平原，向东延伸至黄河岸边。由南西向北东缓缓低降，坡降约 1/4000，地势平坦。平原上沟渠纵横，湖沼繁多。根据地貌特征的差异性，可划分为洪积冲积平原、冲积湖积平原、河谷平原和河漫滩地等 4 种类型；灵武台地波状起伏，相对高差 50m 左右，西缘分列马鞍山、杨家窑山、面子山等南北向山地，山体低矮平缓，台地上沙丘分布，主要分布在磁窑堡镇境内西天河流域的中下段。

### 2.1.3 气候

银川市深居内陆，位于我国季风区的西缘。影响银川气候的主要因素为太阳辐射、大气环流和地表性质。银川市日照和太阳辐射量充足，年均日照时数 2800h～3000h，是中国太阳辐射和日照时数最多的地区之一；银川市位于中纬度地带，全年大部分时间受高空西风环流影响，天气系统也多来自西边。同时又是季风气候区，夏季东南风波及全市，带来水汽；地表性质的影响，主要反映在地理位置和地形上。银川地势西部、南部较高，北部、东部较低，贺兰山呈南北走向经过银川市境，对防止西北寒流、风沙入侵等都有明显影响。在上述因子的综合作用下，银川市形成了明显的大陆性气候。银川市气候的基本特征是：四季分明，春迟夏短，秋早冬长，昼夜温差大，雨雪稀少，蒸发强烈，气候干燥，风大沙多等。年平均气温8.5℃左右，年平均日照时数2800h～3000h，年平均降水量 200mm 左右，无霜期185d 左右。

### 2.1.4 水文

银川市地表水属于黄河水系。银川市的主要引黄灌溉渠道，从西向东依次为：西干渠、新开渠、良田渠、唐徕渠、汉延渠、惠农渠与民生渠等，水流方向基本与地形倾斜方向相一致，由西南入境，向东北方向流去。银川市主要的排水沟从

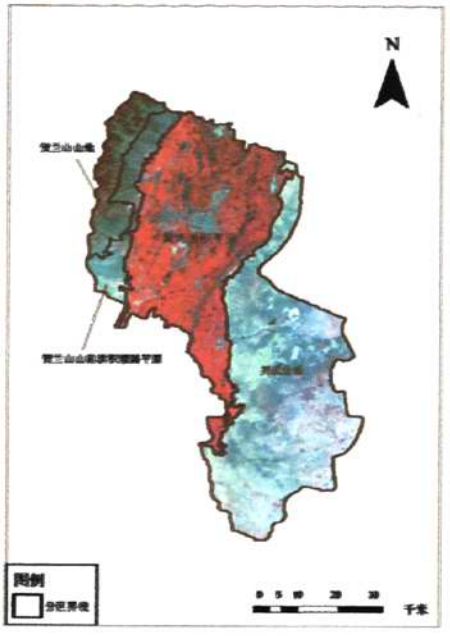



图 2-2　银川市地貌分区图

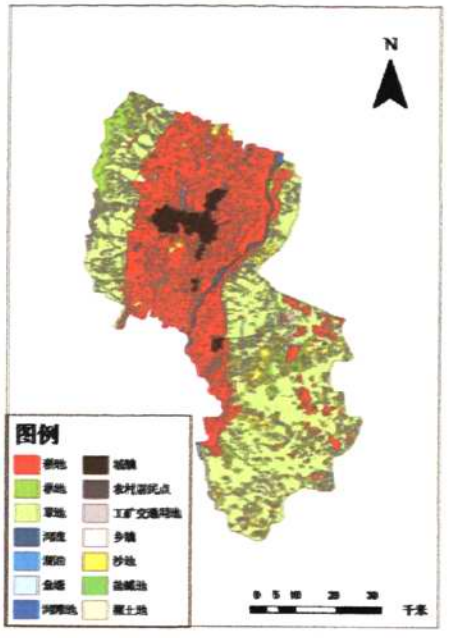



图 2-3　银川市 2008 年土地利用类型图

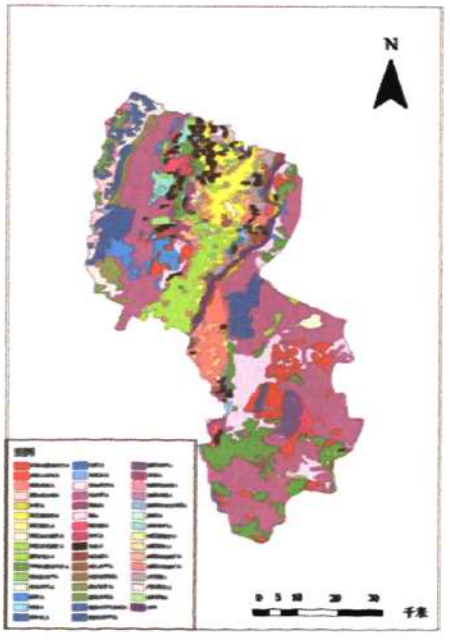



图 2-4 银川市土壤类型图

图 2-5 银川市交通图

西向东依次为：四二干沟、三一支沟、银新干沟、第四排水沟、第二排水沟、三

支沟与永二干沟等。走向主要是北东向，其次是东西向，排水方向是由南西向北东方向排泄，或者由西向东排泄。随着城市的迅速发展，银川市排水沟道的职能发生了巨大变化。永二干沟、中干沟、四二干沟、银新干沟和第二排水沟等排水沟道已经变成了银川市工业和生活废水的主要接纳沟，水质不断恶化。

银川市由西向东形成了贺兰山基岩山区、山前洪积倾斜平原等一系列地貌单元。这些不同的地貌单元控制着各种类型的含水岩组的分布和地下水的赋存及补给、径流、排泄条件，在一定程度上控制了地下水的化学特征、动态特征及其水质。

### 2.1.5 土壤植被

银川市土壤类型较多（图2-4），主要有9个土类，28个亚类，48个土属及500多个土种或变种，其分布具有一定的规律性。西部贺兰山山地，山体相对高差较大，导致土壤分布具有明显的垂直地带性特征；洪积、冲积平原地区，土壤分布不仅与地形有关，而且还与耕种有着密切关系；灵武台地土壤以风沙土为主。全市土壤分布的特征为：由西向东随着海拔高度的逐渐下降，土壤类型在分布上也由地带性土壤向区域性土壤进行有规律的变化。

银川市天然植被以草原为主，森林比较少，是我国森林较少的城市。银川市草原主要由荒漠草原和干草原两类，植物区系成分比较贫乏，群落结构比较简单，群落特征值偏低，草场质量比较差。

## 2.2 社会经济概况

### 2.2.1 人口

截至2007年，银川市共有148.79万人。其中市辖区86.08万人，占全市总人口的57.85%，；永宁县20.85万人，占全市总人口的14.01%；贺兰县18.70万人，占全市总人口的12.57%；灵武市23.16万人，占全市总人口的15.57%。

全市2007年非农业人口为94.91万人，占全市人口总数的63.79%；全市农业人口为53.89万人，占全市人口总数的36.21%。其中市辖区非农业人口为73.96万人，占市辖区人口总数的85.92%；永宁、贺兰两县非农业人口分别占人口总数的25.60%和25.99%；灵武市非农业人口为10.75万人，占人口总数的46.43%。

全市男女比例基本持平，为102:100。

表2-1　银川市2007年基本情况

| 名称 | 乡镇数（个） | 年末总人口（万人） | 非农业人口（万人） | 面积（$km^2$） | 人口密度（人/$km^2$） | 地区生产总值（亿元） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 兴庆区 | 4 | 47.08 | 41.61 | 828.26 | 568 | 166.96 |
| 金凤区 | 2 | 16.38 | 12.44 | 353.00 | 464 | 50.13 |
| 西夏区 | 2 | 22.62 | 19.91 | 1129.27 | 200 | 84.41 |
| 永宁区 | 6 | 20.85 | 5.34 | 1178.68 | 177 | 33.14 |
| 贺兰县 | 5 | 18.7 | 4.86 | 1527.20 | 122 | 26.62 |
| 灵武市 | 8 | 23.16 | 10.75 | 4538.97 | 51 | 64.48 |
| 合计 | 27 | 148.79 | 94.91 | 9555.38 | 156 | 425.75 |

### 2.2.2 社会经济

银川市下辖灵武市、贺兰县、永宁县、兴庆区、金凤区、西夏区。灵武市具有丰富的煤炭和矿产资源，以煤炭生产、煤化工、羊绒生产加工为主要产业；永宁县和贺兰县都为国家级粮食基地县，其中永宁县以生物制药为主要产业，贺兰县以农副产品加工业为主要产业；兴庆区是全市商品流通、金融和信息中心；金凤区为银川新区建设所在地，是全市甚至全区的行政中心；西夏区为全市工业基地、旅游中心和高等教育中心。

2007年，全市生产总值高达425.75亿元，生产总值首次突破400亿元大关，比去年增长27%，人均GDP达到2.35万元，城市居民人均可支配收入11903元，农民人均纯收入4303元。产业结构不断优化，三大产业结构由2000年的13.2∶44.8∶42调整为2007年的5.8∶47.6∶46.6。农业产业化水平不断提高，奶牛等特色产业发展较快，养殖业占农业总产值比重不断提高。第三产业稳步发展，社会消费品零售总额不断增加，旅游人数和总收入明显增加。

## 2.3 主要问题

### 2.3.1 水体污染

在银川市境内，黄河过境长度达 78.4km。银川市地表水的主要污染源为工业废水和生活污水。含有较多有毒害物质的工业废水和生活污水，部分未经处理就通过排水沟直接排入黄河或被湖泊接纳，直接污染了地表水，有一部分则渗入地下，污染了地下水。根据《银川市地面水环境功能区划分》，黄河银川段工业用水为Ⅳ类水域，西湖景观娱乐用水为Ⅳ类水域。银川市境内沿途接纳废水的主要排污沟共有八条，分别为永二干沟、中干沟、四二干沟、第一排水沟、第二排水沟、银新干沟、灵武东沟、永清沟。其主要功能是接纳全市工业废水、生活污水和农田退排水，水质全为劣Ⅴ类。

地下水是银川市工业与生活用水的水源。伴随着经济的迅速发展和人口的大量增加，银川市工业“三废”及生活污水和生活垃圾逐年增多，另外加上农业方面大量施用农药、化肥，从而使有害元素通过各种途径和方式进入地下水，对地下水体造成了不同程度地污染。目前，地下水体的污染，已经明显影响和威胁着农业生产和人民的生活，已经成为一个亟待解决的问题。

### 2.3.2 土壤盐渍化

土壤中易溶性盐类的积累，使土壤溶液的浓度不断增加，渗透压的增高，会对作物根系产生腐蚀作用，从而危害到作物的正常生长和发育。当溶性盐类在土壤表层盐分含量超过 1.0%时，绝大部分农作物停止生长。因此，土壤盐渍化是农业生产的一项重要限制因子。银川市土壤盐渍化的原因较多，自然因素包括气候干旱、降雨量少、蒸发强度大等；人为因素主要包括渠道渗漏、不合理的灌溉与种植方式、湖泊积水与鱼池浸渍以及沟、渠、路、条田布局不合理和灌排管理不善等。历史上宁夏土壤盐渍化调查进行过四次。分别发生在 1958 年～1960 年、1979 年～1989 年、1994 年、1997 年，银川市土壤盐渍化变化情况见表 2-2。

表 2-2　银川市土壤盐渍化变化比较　(%)

| 时段 | 1958 | | | 1962 | | | 1979-1983 | | | 1997 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 县市名 | 轻盐渍区 | 中盐渍区 | 重盐渍区 | 轻盐渍区 | 中盐渍区 | 重盐渍区 | 轻盐渍区 | 中盐渍区 | 重盐渍区 | 轻盐渍区 | 中盐渍区 | 重盐渍区 |
| 银川郊区 | 36.06 | 24.40 | 2.55 | 28.35 | 19.37 | 17.11 | 23.40 | 23.80 | 11.20 | 19.13 | 15.89 | 8.09 |
| 贺兰县 | 22.64 | 17.94 | 3.60 | 35.07 | 17.65 | 9.88 | 21.40 | 16.00 | 10.70 | 14.09 | 13.09 | 5.89 |
| 永宁县 | 33.34 | 13.77 | 2.84 | 37.48 | 24.63 | 13.79 | 18.50 | 6.50 | 2.20 | 7.40 | 5.74 | 5.31 |
| 灵武市 | 41.10 | 26.60 | 9.00 | 28.80 | 20.90 | 22.10 | 25.50 | 14.70 | 7.20 | 19.23 | 2.26 | |

数据来源：《宁夏回族自治区国土资源遥感综合调查报告》、《宁夏土壤》

### 2.3.3 土地沙漠化

银川市土地沙漠化包括自然和人为两方面的因素。自然因素主要是气候干旱多风、土壤富含沙粒、地表植被稀疏等。人为因素主要是滥垦、滥挖、滥樵、滥牧等。自然因素是形成沙化的基本条件，人为因素则起到诱发与加重作用。

银川市境内特别是东部灵武市存在大面积的流动风沙土、半固定风沙土和固定风沙土。另外，银川平原两侧，存在一定数量的沙地，对灌区农田造成一定的威胁。银川郊区的芦草洼、贺兰县洪广营和灵武市小部分区域是银川市面积较大的沙区。

### 2.3.4 面源污染

银川平原地势平坦开阔，土地肥沃，沟渠纵横，水利资源丰富，加之日照充足，热量丰富，自然条件优越，自古以来就有“塞上江南”的美誉，是重要的农林牧渔生产区。银川市农业化肥施用量大，农药使用不科学、流失量大，再加上生活污水、工业废水等的排放，造成比较严重的面源污染问题。

### 2.3.5 水资源短缺

银川平原被腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、毛乌素沙漠等包围，生态环境比较脆弱，水资源的稀缺性、不可替代性也非常突出。银川以利用黄河水为主，黄河水大部分均用于农业灌溉，城镇生活和工业用水以地下水为主。2006 年，银川

农田灌溉平均用水量为16905$m^3$/hm，比全区高15.7%，为全国的2.52倍；工业增加值用水量79$m^3$/万元，比全区低34.2%，不到全国的1/2；城镇生活人均每天用水量为186.6L/人·d，高于全区的147.7L/人·d，低于全国的211L/人·d；农村居民生活人均每天用水量为32L/人·d，不到全国的1/2。

黄河自1991年出现断流以来，可用水资源呈减少趋势，水资源的减少，不但影响到农业的灌溉，也影响到地下水补给。黄河水资源的减少加大了地下水用量，造成未来银川市水资源的短缺。科学分析与预测银川市水资源，合理开发与利用水资源成为急需解决的问题。

# 第三章　银川市生态安全指标体系

构建指标体系是生态安全评价的关键所在，由于指标体系的建立涉及到多尺度、多学科和复合的生态系统，导致指标体系的建立比较困难和复杂。

## 3.1 指标体系构建原则

（1）层次性原则

生态安全指标体系中的各指标应该能够有机的联系在一起，组成一个统计方法科学、层次分明的整体，可以尽可能全面的反映研究区域特定的社会、经济、生态环境等方面的内容，提高评价结果的客观性和真实性。

（2）空间性原则

各评价指标具有空间属性，即具有空间的面状特性，其属性特征能覆盖研究区的全部或部分区域，并具有空间分异的特点。

（3）可操作性原则

选取评价指标时必须充分考虑到该指标是否具有可操作、指标是否可以量化、相关资料是否可以获取等。

（4）区域性原则

不同的区域有不同的经济、社会和环境背景，所以建立的指标体系应该符合特定区域的特征，能够有效反映特定区域的生态安全水平，不能盲目照搬其它指标体系。

## 3.2 指标体系构建

基于 PSR 模型框架，按照上述原则，构建了银川市生态安全评价的指标体系，见表 3-1。

表 3-1　银川市生态安全评价指标体系

| | 指标 | 数据来源 | 趋向 | 标准化处理方法 |
|---|---|---|---|---|
| 压力 | 人口自然增长率 | 统计数据 | 逆 | 与标准值的贴近度 |
| | 居民点压力 | 遥感调查、地形图 | 逆 | 专家赋值 |
| | 交通线压力 | 遥感调查、交通图 | 逆 | 专家赋值 |
| | 人均可利用水资源潜力 | 统计数据 | 正 | 专家赋值 |
| | 耕地压力 | 统计数据 | 逆 | 与标准值的贴近度 |
| | 面源污染 | 统计数据 | 逆 | 极差标准化 |
| | 水体污染 | 统计数据、水系图 | 逆 | 专家赋值 |
| 状态 | 土壤盐渍化强度 | 统计数据 | 逆 | 极差标准化 |
| | 景观多样性指数 | 遥感调查 | 正 | 极差标准化 |
| | 土地沙漠化强度 | 遥感调查 | 逆 | 极差标准化 |
| | 水土流失强度 | 遥感调查 | 逆 | 专家赋值 |
| | 生态系统价值指数 | 遥感调查 | 正 | 极差标准化 |
| 响应 | 自然保护区建设 | 相关图件 | 正 | 专家赋值 |
| | 各乡镇环保投入 | 统计数据 | 正 | 专家赋值 |

其中，人口压力可能会引发土地资源利用的变化，会导致产生一系列诸如城市扩张、侵占耕地、破坏植被等问题，其结果必然会危及到区域生态安全，这一点在生态脆弱区更加凸显。选取人口自然增长率和居民点压力两个指标反映区域人口压力；交通线压力反映了人类经济活动对生态环境的压力；人均可利用水资源潜力和耕地压力指标反映了区域资源压力；面源污染和水体污染指标反映了区域环境污染压力；盐渍化强度、土地沙漠化强度和水土流失强度指标反映了区域自然生态环境所处的状态；景观多样性指标在一定程度上可表征生物多样性，一般来说，景观多样性指数越高，生态系统结构就越复杂，生态系统就越稳定并且生物多样性越丰富；生态系统价值指数用于表征区域生态服务功能水平的高低；自然保护区建设、各乡镇环保投入两个指标反映了人类为了保护和改善环境所做的努力。

## 3.3 指标标准化方法

由于各指标量纲不一致，指标之间及指标内部没有可比性，必须根据数据的来源和特征，采用不同的方法进行标准化处理（龚建周等，2008）。本研究采用的方法包括极差标准化、与标准值的贴近度和专家赋值法，参考左伟等（2002）、谢花林等（2004）、龚建周等（2008）等的研究成果，笔者认为，在对数据进行标准化处理时，利用 int 函数对数据进行取整处理，会使数据丢失很多属性信息。所以，本研究没有对指标数据进行取整。

（1） 极差标准化法

极差标准化法是以指标的最大值和最小值为基准，对指标数据进行线性插值，用等间距的方式反映出指标的贡献情况。在生态安全评价指标体系中，有些指标与生态安全水平呈正相关，即该指标数值越大，则生态安全水平越高，如生态服务价值指数等指标；有些指标与生态安全水平呈负相关，如面源污染指标、土地沙漠化强度指标等。

正相关指标标准化公式为：

$$X_i' = 10 \times \left( \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right)$$

负相关指标标准化公式为：

$$X_i' = 10 \times \left( \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \right)$$

其中，$X_i'$为指标$i$的标准值，$X_{\min}$为指标$i$的最小值，$X_{\max}$为指标$i$的最大值，$X_i$为指标$i$的原始值。

（2） 专家赋值法

专家赋值法就是采用专家意见，按照专家的经验对指标直接进行赋值。

（3）与标准值的贴近度法

有些指标有具体的参考值（标准值），对于这类指标，如果仍采用极差法进行标准化处理，这些标准化的指标值所反映的生态安全状况可能就会与现实情况存在一定偏差。用与标准值的贴近度法将原始数据进行无量纲化处理，可以更加真实的反映区域实际情况。计算公式如下（吴国庆，2001；杨勇等，2006；龚建

周等，2008）：

正相关指标：

$$X_i' = \begin{cases} 10\times\left(\dfrac{X_i}{S_i}\right) & X_i < S_i \\ 10 & X_i \geq S_i \end{cases}$$

负相关指标：

$$X_i' = \begin{cases} 10\times\left(\dfrac{S_i}{X_i}\right) & X_i > S_i \\ 10 & X_i \leq S_i \end{cases}$$

其中，$X_i'$为指标$i$的标准化值；$X_i$为指标$i$的原始值；$S_i$为指标$i$的安全性标准值。

## 3.4 指标标准值的确定

参考左伟等（2002）、高长波等（2006）、龚建周等（2008）研究成果，生态安全指标标准值的主要来源为：国家、行业和地方规定标准及国际标准；研究区生态环境本底值或者背景值；以未受人类严重干扰的生态安全水平高的相似生态系统，或者以相似自然条件下的原生态系统作为类比标准；科学研究已经确定的生态环境阈值等。根据以上来源，确定各指标的标准值。

## 3.5 指标等级划分

目前学术界还没有统一的生态安全评价标准。不同专家和学者给出了自己的理解。依据区域研究的区域性原则，参考相关研究成果（吴国庆，2001；胡宝清等，2003；谢花林等，2004；龚建周等，2008），设置银川市生态安全评价分级标准（表3-2）。生态安全水平一级区对人类干扰极为敏感，生态系统遭到严重破坏，区域生态安全现状差，生态环境很可能遭受永久性、不可恢复的影响；二级区对人类干扰较为敏感，生态系统遭到一定程度上的破坏，生态安全现状较差，生态环境可能会受到较长时间的影响，恢复需要较长的时间；三级区对人类活动一般敏感，生态环境受到一定程度上的破坏，生态系统结构有所变化，但尚可以维持基本功能，生态安全水平一般；四级区生态环境较少受到影响，或者影响可在很短时间内恢复，生态系统服务功能基本完整，生态安全水平较高；五级区生

态环境基本不受到影响，生态系统结构完整，生态系统服务功能完整，生态安全水平高。

表3-2　银川市生态安全评价分级标准

| 生态安全指数 | [0,3.5] | (3.5,5.5] | (5.5,7.5] | (7.5,9.5] | (9.5,10] |
|---|---|---|---|---|---|
| 生态安全等级 | I | II | III | IV | V |
| 结论 | 差 | 较差 | 一般 | 良 | 优 |

# 第四章　银川市生态安全评价指标数据库

根据指标体系和数据来源，可将银川市生态安全评价指标数据库分为以下四部分：基础要素数据库、自然环境状态数据库、社会响应数据库和生态安全压力数据库。

## 4.1 基础要素数据库

本研究基础要素数据可分为四部分，一是各类图件，包括银川市地形图（1：5 万）、行政区划图、交通图、土壤类型图、水系图、主要排水沟水质图、自然保护区分布图等；二是银川市 27 个乡镇统计数据，包括人口自然增长率、各乡镇人口数、农药、化肥等施用情况等；三是银川市 2008 年中巴遥感影像、土地利用类型数据和 DEM 数据等；四是各类报告、文件等，如《银川市环境质量报告书》、《宁夏村庄环境综合整治规划（2009—2015 年）》等。

## 4.2 生态安全压力数据库

### 4.2.1 人口自然增长率

人口自然增长率在一定程度上可以反映区域人口压力对生态安全的影响程度。由于未获得银川市各乡镇人口自然增长率的统计资料，所以用各县平均值代替各乡镇人口自然增长率。

### 4.2.2 居民点压力

人类活动一般以聚集区（居民点）为中心往外辐射，随着距离的增加，人类活动强度逐渐减弱，居民点内部人类活动最强烈。据此，我们利用缓冲区分析和专家赋值法对银川市不同级别居民点对生态安全产生的压力进行定量分析。

首先通过遥感影像和地形图判读银川市居民点，然后按照行政等级划分为县城居民点、乡镇居民点和农村居民点三大类，结合左伟等（2002）、龚建周等（2008）的研究成果，同时结合银川市社会经济发展的现状，对银川市居民点产生的压力进行赋值。其中，银川市居民点内部压力都赋值为 10。对居民点以外，县城居

民点以1000m作为缓冲区半径进行3层缓冲区划分，依次从内到外赋值8，6，4，0；乡镇居民点以500m为半径进行3层缓冲区划分，依次从内到外赋值7，5，3，0；农村居民点以250m为半径进行3层缓冲区划分，依照从内到外赋值6，4，2，0；将三大类居民点的缓冲区结果进行叠加，用max命令取居民点压力最大值，即可得到银川市居民点压力图（图4-1）。

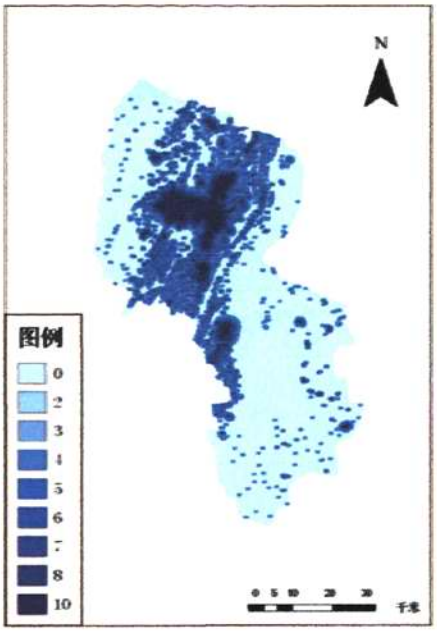



图4-1　银川市居民点压力图

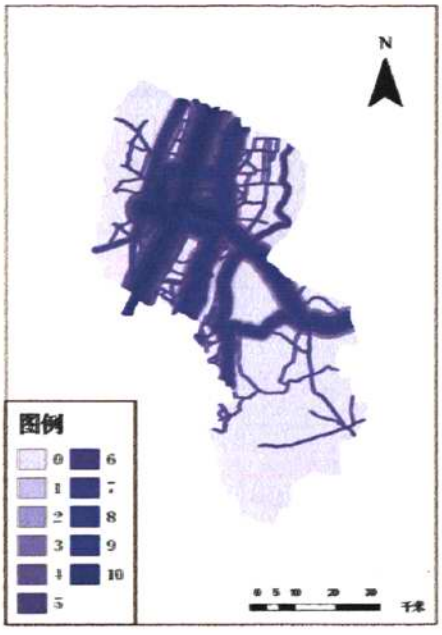



图4-2　银川市交通线压力图

### 4.2.3 交通线压力

道路建设对生态安全的影响，主要包括占用土地、诱发地质灾害、有害物质排放、噪声和生物多样性等几个方面。

首先依据银川市2008年中巴遥感影像、1:5万地形图、2008年县域行政区划图、2005年交通图等提取银川市交通道路数据，然后依据道路级别与距离交通线远近进行赋值。结合左伟等（2002）、龚建周等（2008）的研究成果，同时结合银川市社会经济发展的现状，银川市铁路以2000m进行3层缓冲区分析，从内到外依次赋值10，7，4，0；高速公路以1500m作为缓冲区半径进行3层缓冲区的划分，从内到外分别赋值9，6，3，0；国道以1000m作为缓冲区半径进行3层缓冲区划分，从内到外依次赋值8，5，2，0；省道以500m作为缓冲区半

径进行3层缓冲区划分，从内到外依次赋值7，4，1，0；县级公路以250m作为缓冲区半径进行2层缓冲区划分，从内到外依次赋值6，3，0；乡级公路以250m作为缓冲区半径进行2层缓冲区划分，从内到外依次赋值5，2，0。将这几类交通线的缓冲区进行空间叠加，用 max 命令取交通线压力最大值，即可得到银川市交通线压力分布图（图4-2）。

### 4.2.4 水体污染

银川市境内沿途接纳废水的排污沟主要有八条，分别为永二干沟、中干沟、四二干沟、银新干沟、第一排水沟、第二排水沟、灵武东沟、永清沟。其主要功能是接纳全市生活污水、工业废水与农田退排水。八大排水沟水质全为劣Ⅴ类。首先，依据银川市水系图、主要排水沟水质图、1:5万地形图、2008年中巴遥感影像等提取银川市八大排水沟，结合杨圣军（2007）研究成果，各排水沟以300m为缓冲半径，进行三级缓冲，分别赋值10，7，4，0，用以表征水体污染对生态安全产生的压力。

### 4.2.5 面源污染

银川平原区为银川市农业精华所在，近年来随着农业集约化生产和集约化饲养业的迅速发展，农用地膜、化肥、农药、畜禽粪便等导致全市农业面源污染问题显现出来，影响着城镇环境、湖库与景观水体功能、农田环境质量和农畜产品的质量安全。本文参考农业面源污染相关研究文献（王桂玲等，2004；陈超等，2007），通过收集银川市各乡镇农业方面的统计资料，计算银川市农业面源污染压力[1]，用以表征农业生产活动对生态安全的压力（论文只考虑耕地上的面源污染压力）。

（1）化肥污染

各乡镇化肥施用量采用折纯量，数据主要来源于银川市各县区统计局、农业局，由于兴庆区与西夏区的数据无法获得，暂且按县区平均值处理。

化肥流失量计算公式如下：

总氮=（氮肥+复合肥*0.3+磷肥*0.185）*20%

总磷=（磷肥+复合肥*0.3）*15%

[1]面源污染计算相关系数均参考王桂玲等（2004）、陈超等（2007）的研究成果

（2）生活垃圾（固体废弃物）污染

银川市农村固体废物产生量按人均 0.7kg/d，总氮和总磷排放系数分别为0.21%和0.22%。

（3）生活污水污染

银川市生活污水排放量=农村人口总数*人均排污系数(只考虑农村生活污水和人粪尿，未考虑城镇)

表 4-1 银川市生活污水、人粪尿的排污系数（kg/人·a）

| 污染源 | COD | TN | TP |
|---|---|---|---|
| 农村生活污水 | 5.84 | 0.584 | 0.146 |
| 人粪尿 | 1.98 | 0.806 | 0.0524 |

（4）畜禽养殖污染

各类畜禽粪尿年排泄系数和年排放量见下表（表 4-2，表 4-3）：

表 4-2 各类畜禽粪尿的年排泄系数（kg/头·a）

| | 猪 | 牛 | 羊 | 家禽 |
|---|---|---|---|---|
| 粪 | 234 | 10950 | 730 | 7.5 |
| 尿 | 522 | 6570 | - | - |

表 4-3　畜禽粪尿污染物年排放量（kg/头·a）

| 项目 | 牛粪 | 牛尿 | 猪粪 | 猪尿 | 家禽粪 | 羊粪 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $COD_{Cr}$ | 226.3 | 21.9 | 20.7 | 5.91 | 1.165 | 4.4 |
| TP | 8.61 | 1.46 | 1.36 | 0.34 | 0.115 | 0.45 |
| TN | 31.9 | 29.2 | 2.34 | 2.17 | 0.275 | 2.28 |

（5）农药施用强度

农药施用强度是指单位耕地面积化学农药施用量。《全国生态示范区建设试点考核验收指标》规定：生态示范区建设需满足本地农药施用强度小于 3kg/hm$^2$。计算公式为：农药施用强度=农药施用量/耕地面积。本研究以 3kg/hm$^2$ 作为标准值，利用与标准值的贴近度法对计算结果进行标准化处理。

综合考察化肥、畜禽养殖、农村生活排放的 COD、TN 和 TP，可以估算银

川农业和农村污染的总体状况。COD、TN 和 TP 的污染指数等于各乡镇该指标排放总量除以各乡镇耕地面积。COD、TN 和 TP 综合污染指数为三种污染指数的等权叠加，然后再对叠加结果进行极差处理，即可得到银川市 COD、TN 和 TP 综合污染指数标准化结果（图 4-3）。将 COD、TN 和 TP 污染指数标准化数据和农药施用强度标准化数据进行等权叠加，即可得到银川市农业面源污染分级结果（图 4-4）。面源污染分级采用的是 classification 中的 Natural Breaks 方法，这种分类方法是利用统计学的 Jenk 最优化法得出的分界点，能够使各级的内部方差之和最小（王小丹，2004）。

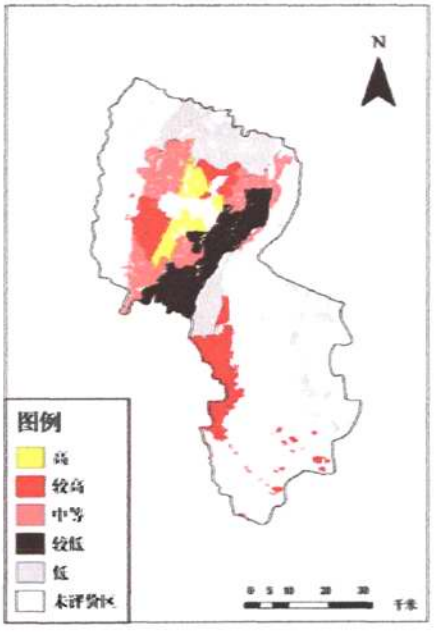



图 4-3 银川市 COD、TN 和 TP 综合污染指数

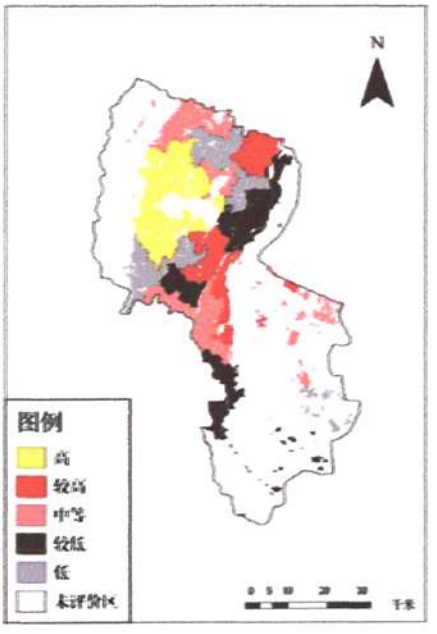



图 4-4 银川市面源污染压力图

### 4.2.6 人均可利用水资源潜力

根据 2008 年《宁夏主体功能区划》，计算人均可利用水资源潜力，人均可利用水资源潜力主要是评价一个地区剩余或潜在可利用水资源对未来社会经济发展的支撑。具体计算公式如下：

人均可利用水资源潜力=（多年平均地表水资源量+多年平均地下水资源量-重复计算量+黄河分水量-实际需水量）/人口总数。其中，实际需水量包括银川市各县级行政单元农业、工业、居民生活、城镇公共的实际用水量和生态用水量。

计算结果如下：

表4-4 银川市人均可利用水资源潜力　单位（亿$m^3$，$m^3$/人）

| 地区 | 多年平均地表水资源量 | 多年平均地下水资源量 | 重复计算量 | 黄河分水量 | 可用水资源量 | 实际需水量 | 可利用水资源量 | 人均可利用水资源潜力 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 银川市区 | 0.252 | 2.526 | 2.217 | 5.63 | 6.191 | 3.67 | 2.521 | 304.3 |
| 永宁县 | 0.169 | 3.561 | 3.321 | 5.31 | 5.719 | 3.18 | 2.539 | 1214.4 |
| 贺兰县 | 0.28 | 2.806 | 2.503 | 5.65 | 6.233 | 3.8 | 2.433 | 1325.9 |
| 灵武市 | 0.165 | 1.851 | 1.787 | 3.54 | 3.769 | 2.18 | 1.589 | 694.7 |

按照宁夏人均可利用水资源分级标准（表4-5），评价银川市水资源潜力，分为缺乏、较缺乏、中等、较丰富和丰富五大类，分别赋值：1、3、5、7、9。分值越大，表明该区人均可利用水资源相对越丰富。参考表4-4和表4-5，银川市三区赋值为3，灵武市赋值为5，贺兰县与永宁县赋值为9。

表4-5 宁夏人均可利用水资源分级标准　单位（$m^3$）

| 紧缺程度 | 丰富 | 较丰富 | 中等 | 较缺乏 | 缺乏 |
|---|---|---|---|---|---|
| 人均可利用水资源量 | >1000 | 700-1000 | 500-700 | 250-500 | <250 |

### 4.2.7 耕地压力

耕地是农业生产的物质基础，其在数量和质量上的变化将会影响到粮食的产出，进而影响到区域粮食自给和粮食安全水平。随着银川市工业化、城市化进程加快，银川市耕地资源向其他建设用地转移速度加快，严重影响到全市的粮食安全，加上农业面源污染、不合理的灌溉方式和自然灾害等因素，银川市耕地质量下降速度可能会加快，会严重影响到本地粮食生产和安全。

耕地压力指数计算公式为：　$K = S_{\min} / S_a$

其中：为 $K$ 耕地压力指数：$S_a$ 为实际人均耕地面积($hm^2$/人)，$S_{min}$ 是区域最小人均耕地面积($hm^2$/人)。

用人均耕地面积与宁夏“最小人均耕地面积”标准值 0.1851（$hm^2$/人）（朱红波等，2007）比较，人均耕地压力指数=10*各乡镇人均耕地面积/标准值，对于人均耕地面积大于 0.1851 的乡镇，说明本乡镇耕地可以自给自足，人均耕地压力指数设为 10。对于人均耕地面积小于 0.1851 的乡镇，直接按照上述公式计算。

## 4.3 自然环境状态数据库

### 4.3.1 水土流失强度

水土流失是导致区域生态安全系统不稳定的因子之一。本研究参考水利部颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》（SL190-2007）标准，通过综合分析地面坡度、非耕地林草覆盖度和坡耕地三个指标，把银川市水土流失强度分为六级（表 4-6，图 4-5），分别为：微度、轻度、中度、强度、极强烈和剧烈六类，分别赋值：0、1、3、5、7、9。

表 4-6 银川市水土流失侵蚀分级标准

| 地类 \ 地面坡度（°） | | 5～8 | 8～15 | 15～25 | 25～35 | >35 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 非耕地林草覆盖度（%） | 60～75 | 轻度 | 轻度 | 轻度 | 中度 | 中度 |
| | 45～60 | 轻度 | 轻度 | 中度 | 中度 | 强烈 |
| | 30～45 | 轻度 | 中度 | 中度 | 强烈 | 极强烈 |
| | <30 | 中度 | 中度 | 强烈 | 极强烈 | 剧烈 |
| 坡耕地 | | 轻度 | 中度 | 强烈 | 极强烈 | 剧烈 |

### 4.3.2 土地沙漠化强度

参考《生态功能区划技术暂行规程》中指定的沙漠化分级指标，依据数据可

操作性原则，结合银川市实际情况，最终选取土壤质地、植被覆盖度和距沙源地距离三个指标对银川市土地沙漠化进行分级。

土壤质地：不同粒度的土壤颗粒具有不同的抗剪切力，黏质土壤易形成团粒结构，抗剪切能力增强；相同条件下，沙质土壤的起沙速率大于壤质土壤的起沙速率；砾质结构的土壤和戈壁土壤的风蚀速率小于沙地土壤的起沙速率；而基岩质地地表的供沙率极低，对风蚀影响不大。先数字化银川土壤类型图，然后根据《宁夏土壤》确定各类土壤表土层土壤质地，按照土壤质地诱发土地沙漠化的程度，分为五类，一类为中粘土，二类为轻粘土，三类为重壤、砾质壤土、砾质轻壤土，四类为轻壤、中壤、沙壤土，五类为紧沙土、松沙土，分别赋值1、3、5、7、9。

植被覆盖：要计算植被覆盖度，可以先计算NDVI，然后利用NDVI与植被覆盖度之间的关系计算。计算公式具体如下：

归一化植被指数：$NDVI=(Band4-Band3)/(Band4+Band3)$

植被覆盖度：$f=(NDVI-NDVI_{min})/(NDVI_{max}-NDVI_{min})$

距沙源地距离：评价区距离沙源地越近，该地发生土地沙漠化的概率越高。先从银川市土地利用图中提取沙源地，然后进行缓冲区分析，以200m为缓冲区半径，进行五级缓冲，从内到外分别赋值9、7、5、3、1，沙源地内部赋值10。

分别获得土壤质地、植被覆盖度和距沙源地距离三个指标数据后，首先利用极差法将各指标数据进行标准化处理，然后再将各指标进行等权叠加，分级采用王小丹（2004）介绍的Natural Breaks方法。各指标及分级结果见图（4-6,4-7,4-8,4-9）。

### 4.3.3 土壤盐渍化强度

土壤盐渍化是宁夏农业生产的一项主要限制因子。宁夏土壤盐渍化形成的原因主要有自然和人为原因。由人为原因产生的盐渍化，称为人为盐渍化，也叫次生盐渍化。

根据指标选取的可操作性原则，选取土壤表层盐分含量指标进行银川市土壤盐渍化分级。首先数字化银川市土壤类型图，然后从《宁夏土壤》一书中查找每种土壤亚类土壤表层盐分含量，接着利用极差法进行数据标准化处理，采用

Natural Breaks 方法进行银川市土壤盐渍化分级（图 4-10）。

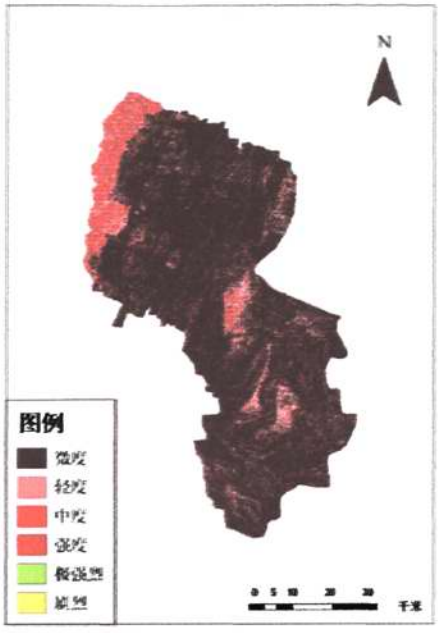



图 4-5　银川市水土流失分级图

图 4-6　银川市植被覆盖度

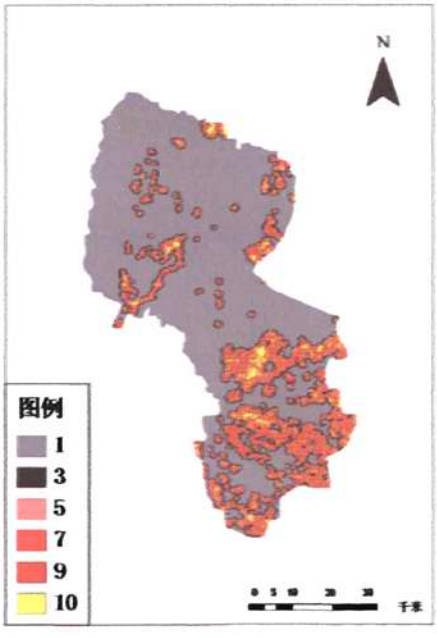



图 4-7　距沙源地距离

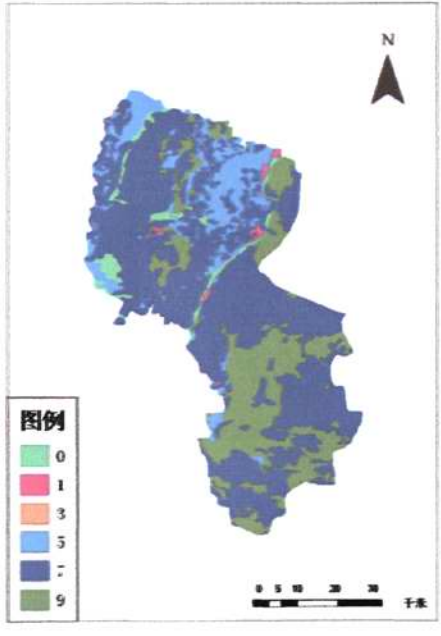



图 4-8　银川市土壤质地赋值

图 4-9 银川市土地沙漠化分级图

图 4-10　银川市土壤盐渍化分级图

### 4.3.4 生态系统价值指数

生态系统价值指数主要用于评价区域生态服务功能水平在不同土地覆被格局下的高低。为了有效说明土地覆被变化的生态服务价值效应，谢高地等(2003)在 Costanza 等学者研究基础上，建立了中国陆地生态系统单位面积服务价值表（表 4-7），并通过生物量等因子对不同生态资产服务价值进行校正和估算，取得了良好的效果。结合研究区的实际，为便于生态系统价值指数的计算，根据彭建(2004)、张玉虎（2008）等的研究成果，将生态系统生态服务相对价值进行极差标准化处理，得到各生态系统服务价值标准值，分别赋予不同生态系统，采用 Natural Breaks 方法进行分级。银川市生态系统类型及生态系统价值指数分级结果见图（4-11，4-12）。

表 4-7　中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值表　　元/$hm^2$

| | 森林 | 草地 | 农田 | 湿地 | 水体 | 荒漠 | 城乡 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 气体调节 | 3097.0 | 707.9 | 442.4 | 1592.7 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| 气候调节 | 2389.1 | 796.4 | 787.5 | 15130.9 | 407.0 | 0.0 | 0 |
| 水分调节 | 2831.5 | 707.9 | 530.9 | 13715.2 | 18033.2 | 26.5 | 0 |
| 土壤形成与保护 | 3450.9 | 1725.5 | 1291.9 | 1513.1 | 8.8 | 17.7 | 0 |
| 废物处理 | 1159.2 | 1159.2 | 1451.2 | 16086.6 | 16086.6 | 8.8 | 0 |
| 生物多样性保护 | 2884.6 | 964.5 | 628.2 | 2212.2 | 2203.3 | 300.8 | 0 |
| 食物生产 | 88.5 | 265.5 | 884.9 | 265.5 | 88.5 | 8.8 | 0 |
| 原材料 | 2300.6 | 44.2 | 88.5 | 61.9 | 8.8 | 0.0 | 0 |
| 娱乐休闲 | 1132.6 | 35.4 | 8.8 | 4910.9 | 3840.2 | 8.8 | 0 |
| 相对价值 | 52 | 17 | 16 | 149 | 109 | 1 | 0 |
| 相对价值标准值 | 3.49 | 1.14 | 1.07 | 10 | 7.32 | 0.07 | 0 |

### 4.3.5 景观多样性指数

景观多样性指数是用来衡量生态系统结构复杂程度的指数。一般来说，景观多样性指数越高，生态系统结构就越复杂、生态系统越稳定、生物多样性越丰富。景观多样性在一定意义上可以代表生物多样性。

首先从银川市政区图（乡镇）中提取银川市 27 个乡镇的边界，然后利用乡镇边界从银川市土地利用图中提取各乡镇的土地利用图层，在 arcgis 软件中将土地利用图层 shapefile 格式转为 grid 格式，导入 Fragstats3.3 软件计算各乡镇 SHDI。将各乡镇 SHDI 数值进行极差标准化处理并采用 Natural Breaks 方法进行分级。各乡镇景观多样性指数分级结果见图（4-13）。

## 4.4 社会响应数据库

社会响应数据主要是用于反映人类对生态安全破坏的积极响应。根据数据的可操作性和层次性原则，选取自然保护区建设、各乡镇环保投入两个指标对银川市生态安全水平进行评价。

### 4.4.1 自然保护区建设

贺兰山自然保护区成立于 1982 年，于 1988 年晋升为国家级自然保护区行列，

主要以干旱风沙区森林生态系统和珍稀动植物为保护对象。地处贺兰山的中段东侧，并以山脊为界与西侧内蒙古贺兰山国家级自然保护区相邻。区内自然环境复杂多样，生物多样性比较丰富，植被垂直分带明显，是我国中温带半干旱-干旱地区山地生态系统的典型代表。

白芨滩自然保护区位于毛乌素沙漠西南边缘，是在原灵武县白芨滩防沙林场基础上发展起来的，是国内较早建立的荒漠生态系统保护区。在1985年为县级自然保护区，1986年批准建立区级自然保护区。2000年正式晋升为国家级自然保护区。白芨滩自然保护区南北长约61km、东西宽约21 km，总面积74843km$^2$，占灵武市总面积的四分之一。保护区内集中分布着干旱沙地、荒漠草原和流动沙丘等荒漠生态系统，孕育着比较丰富的荒漠区特有的野生动植物资源，并且拥有特殊的大漠景观、文化古迹等资源。

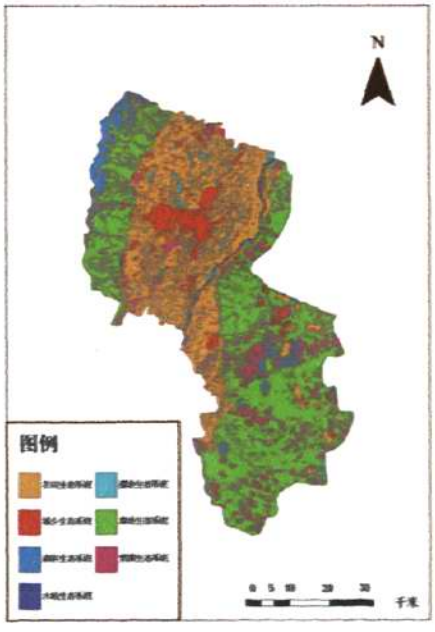



图4-11　银川市生态系统类型

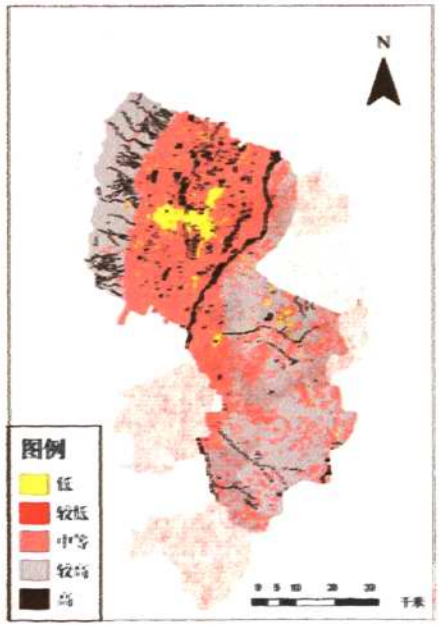
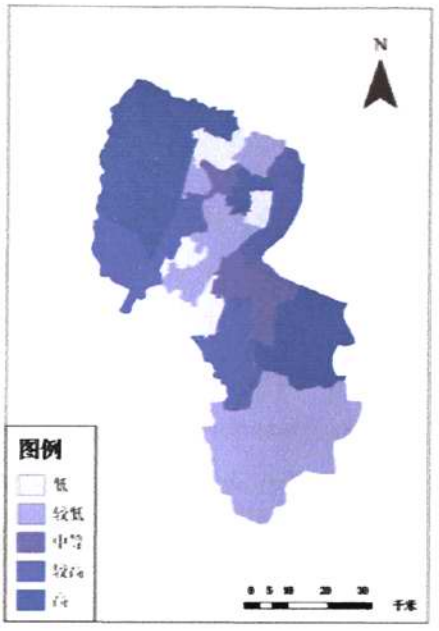
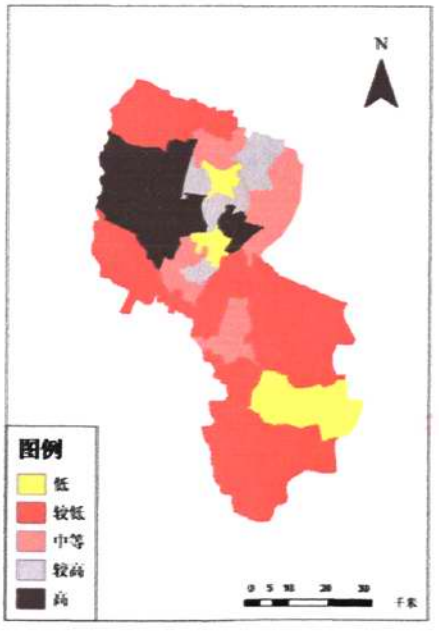



图4-12　银川市生态系统价值指数




4-13　银川市景观多样性指数

4-14　银川市自然保护区




4-15　银川市乡镇环保投入水平

表 4-8 银川市自然保护区名录

| 保护区名称 | 面积（hm2） | 主要保护对象 | 类型 | 级别 | 批建时间 |
|---|---|---|---|---|---|
| 宁夏贺兰山自然保护区 | 206250 | 森林生态系统及野生动植物资源 | 森林生态 | 国家级 | 1988.5.9 |
| 宁夏白芨滩自然保护区 | 74843 | 荒漠生态系统 | 荒漠生态 | 国家级 | 2000.4 |
| 宁夏沙湖自然保护区 | 5580 | 湿地生态系统及珍禽 | 内陆湿地 | 省级 | 1997.1 |

根据自然保护区的级别，贺兰山自然保护区和白芨滩自然保护区赋值 9，沙湖赋值 5。

### 4.4.2 各乡镇环保投入

针对宁夏农村存在的主要环境问题，如：饮用水源地污染和饮水安全保护问题，村庄生活污水和生活垃圾污染等综合污染问题，畜禽养殖污染，乡镇工业企业污染，面源污染，沟渠综合整治等问题，2008 年起，宁夏实施了《宁夏村庄环境综合整治规划（2009-2015 年）》。本研究结合《宁夏村庄环境综合整治规划（2009-2015 年）》中的治理村庄布局示意图、宁夏按地市 2009-2010 年拟治理村庄投资估算汇总表和宁夏按地市 2011-2015 年拟治理村庄投资估算简表，提取银川市环境综合整治村庄信息，用村庄整治个数占所在乡镇村庄总数的比例，表征各乡镇环保投入水平（图 4-15）。

# 第五章　银川市生态安全评价

## 5.1 数据标准化处理

按照第四章给定的数据标准化处理方法，对所获得的各指标数值进行标准化处理（注意正相关与负相关指标标准化方法的区别）。

## 5.2 指标权重

由于各指标对生态安全水平的贡献大小不同，因此，设定各指标的权重就显得非常关键，这将直接关系到评价结果的可靠性和合理性。

目前主要有两类确定指标权重的方法：主观赋权法与客观赋权法（林忠等，2008）。主观赋权法主要是凭借专家对评价指标的理解，采用专家赋值法确定指标权重，有一定的盲目性和主观性；客观赋权法主要是依据原始数据，通过运算获得各指标权重，具体包括主成分分析、逐步回归分析等方法，但往往受到数据数量和质量的制约。

为摆脱主观赋权法的盲目性和主观性，本研究采用主成份分析法获得各指标权重。但是，此方法获得的权重无法反映同一指标对区域内部各部分生态安全的贡献情况。于是，彭补拙等（1996）提出了“变权”思想。左伟等（2002）将变权引入生态安全的评价中，并对其进行了改进，目的是为了惩罚特别差的环境因子对生态安全的影响。该思想类似于 Liebig 的“最小因子法则”（利比希法则）思想。

### 5.2.1 常权

主成分分析法是统计分析的重要方法，通过将多个指标进行线性组合，把具有复杂关系的大量指标整合为少数几个综合指标，既能使各主成分相互独立，去除大量重叠信息，又能更好地表明研究对象的特征，避免大量重复工作（张文霖，2005；张世银等，2007）。

基于标准化处理后的指标数据，提取 27 个乡镇各指标标准值的平均值，14 个指标 27 个乡镇共形成 27 个数据文件，作为求常权的原始数据。

利用 SPSS 软件对指标体系中 14 项指标数据进行主成分分析，得到各个主成分的特征根、贡献率及累积贡献率(表 5-1)和初始因子载荷矩阵(表 5-2)

由表 5-1 可知，前五个主成分的累积贡献率已经达到 80%以上，能反映原始变量的绝大部分信息，具有代表性，也符合进一步分析的要求。因此，提取前五个主成分进行分析。

用表 5-2(初始因子载荷矩阵)中的数据除以主成分相对应的特征值开平方根便得到五个主成分的特征向量。用第 n（n=1、2、...5）主成分中每个指标所对应的系数乘上第 n 主成分所对应的贡献率再除以所提取五个主成分的五个贡献率之和，所得到的每个指标的五个系数对应相加，即可得到综合得分模型。综合得分模型中每个指标所对应的系数即每个指标的权重系数，取权重系数的绝对值并进行归一化处理，就可得出银川市生态安全评价 14 个指标的权重，结果见表 5-3。

表5-1 方差分解主成分提取分析表

| Component | Initial Eigenvalues | | | Extraction Sums of Squared Loadings | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total | % of Variance | Cumulative % | Total | % of Variance | Cumulative % |
| 1 | 4.404 | 31.459 | 31.459 | 4.404 | 31.459 | 31.459 |
| 2 | 2.504 | 17.887 | 49.346 | 2.504 | 17.887 | 49.346 |
| 3 | 1.959 | 13.992 | 63.337 | 1.959 | 13.992 | 63.337 |
| 4 | 1.473 | 10.520 | 73.857 | 1.473 | 10.520 | 73.857 |
| 5 | .885 | 6.318 | 80.175 | .885 | 6.318 | 80.175 |
| 6 | .664 | 4.739 | 84.915 | | | |
| 7 | .538 | 3.842 | 88.756 | | | |
| 8 | .476 | 3.398 | 92.154 | | | |
| 9 | .345 | 2.462 | 94.617 | | | |
| 10 | .290 | 2.072 | 96.689 | | | |
| 11 | .178 | 1.269 | 97.958 | | | |
| 12 | .149 | 1.061 | 99.019 | | | |
| 13 | .110 | .786 | 99.806 | | | |
| 14 | .027 | .194 | 100.000 | | | |

表 5-2 初始因子载荷矩阵

| | Component | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 人口自然增长率 | -.380 | .738 | -.017 | .029 | -.309 |
| 居民点压力 | .886 | -.021 | .296 | -.261 | -.065 |
| 交通线压力 | .608 | -.285 | .263 | -.402 | .225 |
| 人均可利用水资源潜力 | -.214 | -.631 | .341 | .569 | -.090 |
| 耕地压力 | -.264 | -.538 | .456 | .327 | .288 |
| 面源污染 | .601 | -.286 | -.218 | .175 | -.534 |
| 水体污染 | .793 | .050 | .202 | -.199 | .071 |
| 土壤盐渍化强度 | .373 | -.023 | -.565 | .428 | .386 |
| SHDI | .542 | .451 | .165 | .401 | .250 |
| 土地沙漠化强度 | -.767 | .150 | .416 | .221 | -.115 |
| 水土流失强度 | -.578 | -.498 | -.349 | -.394 | .145 |
| 生态系统价值指数 | -.205 | .182 | .843 | -.239 | .035 |
| 自然保护区建设 | .650 | .375 | .169 | .364 | -.021 |
| 各乡镇环保投入 | -.425 | .676 | -.087 | -.060 | .326 |

表 5-3 银川市生态安全评价指标权重

| 指标 | 常权 | 变权 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 贺兰山山地 | 贺兰山山前洪积倾斜平原 | 黄河冲积平原 | 灵武台地 |
| 人口自然增长率 | 0.0146 | 0.0144 | 0.0126 | 0.0089 | 0.0127 |
| 居民点压力 | 0.1091 | 0.1074 | 0.0941 | 0.0661 | 0.0951 |
| 交通线压力 | 0.0586 | 0.0577 | 0.0506 | 0.0355 | 0.0511 |
| 人均可利用水资源量潜力 | 0.0292 | 0.0287 | 0.0252 | 0.0177 | 0.0254 |
| 耕地压力 | 0.0151 | 0.0148 | 0.0130 | 0.0091 | 0.0146 |
| 面源污染 | 0.0211 | 0.0208 | 0.0182 | 0.0128 | 0.0184 |
| 水体污染 | 0.1085 | 0.1068 | 0.0935 | 0.0658 | 0.0945 |
| 土壤盐渍化强度 | 0.0544 | 0.0536 | 0.0469 | 0.0330 | 0.0474 |
| SHDI | 0.1593 | 0.1569 | 0.1374 | 0.0966 | 0.1388 |
| 土地沙漠化强度 | 0.0433 | 0.0427 | 0.0374 | 0.0263 | 0.0378 |
| 水土流失强度 | 0.1608 | 0.1583 | 0.1386 | 0.0975 | 0.1401 |
| 生态系统价值指数 | 0.0514 | 0.0658 | 0.0607 | 0.0534 | 0.0853 |
| 自然保护区建设 | 0.1493 | 0.1470 | 0.2502 | 0.4620 | 0.2132 |
| 各乡镇环保投入 | 0.0252 | 0.0248 | 0.0217 | 0.0153 | 0.0256 |

### 5.2.2 变权

由于银川市内部自然和社会环境的差异较大，同一指标对区域内部各部分生态安全的贡献不等，因此，对评价指标进行变权分析是很有必要的。

首先按照银川市地貌的差异性，结合遥感影像和 DEM，把银川市分为四部分：贺兰山山地、贺兰山山前洪积倾斜平原、黄河冲积平原、灵武台地；然后提取各部分各指标的平均值，作为变权分析的原始数据。

变权求算方法如下：

设常权向量为：$W=(w_1^0,w_2^0\cdots,w_3^0)$，设状态变权向量为：$S(x)=(s_1(x),s_2(x),\cdots,s_m(x))$，其中 $s_j(x)=\begin{cases}2-\log_{a_j}^{x_j} & x_j<a_j\\ 1 & x_j\geq a_j\end{cases}$，$a_j$ 为惩罚水平，依据评价指标对区域生态安全状态的影响情况，参考左伟（2004）、龚建周（2008）等的研究成果，为了比较明显的发挥惩罚的作用，取 $a_j$=3。假设变权 $W(x)=(w_1(x),w_2(x),\cdots w_m(x))$，其中：

$$w_j(x)=\frac{w_j^0 s_j(x)}{\sum_{j=1}^{m} w_j^0 s_j(x)}$$

，由于 $\lim_{x_j\to 0} s_j=+\infty$，所以指标值越小，惩罚力度越大。银川市各指标变权结果见表（5-3）

## 5.3 生态安全综合评价

本研究采用目前应用最广的加法平均综合评价法进行分析。加法平均综合评价法表达式为：

$$ESI=\sum_{j=1}^{m} x_j\times w_j(x)$$

其中，$ESI$ 为评价对象的生态安全指数，$x_j$ 为评价指标 j 的标准值，$w_j(x)$ 为评价指标 j 的权重。

### 5.3.1 常权加法平均综合评价

依据压力-状态-响应模型构建的指标体系及各指标的常权，运用常权加法平均综合模型计算研究区每个评价单元（30m 栅格）的生态安全指数，得到银川市生态安全指数（见图 5-1）。按照已经建立好的银川市生态安全等级划分标准，确定各等级水平的面积和比重，具体结果见表 5-4。

银川市生态安全以一般水平为主，面积为 6632.00km$^2$，占银川市总面积的69.41%；良好和较差等级的面积相当，比重分别为13.98%和16.57%；生态安全差的面积极小，仅占银川市总面积的0.04%；银川市不存在生态安全水平优的区域。

表 5-4　银川市生态安全评价结果

| | 常权加法平均综合评价结果 | | 变权加法平均综合评价结果 | |
|---|---|---|---|---|
| 生态安全等级 | 面积（km$^2$） | 百分比（%） | 面积（km$^2$） | 百分比（%） |
| 优 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 良 | 1336.13 | 13.98 | 1113.84 | 11.66 |
| 一般 | 6632.00 | 69.41 | 2809.35 | 29.40 |
| 较差 | 1583.52 | 16.57 | 3704.05 | 38.77 |
| 差 | 3.35 | 0.04 | 1927.75 | 20.18 |

### 5.3.2 变权加法平均综合模型

按照区域内部地貌的差异性，把银川市分为四个单元：贺兰山山地、贺兰山山前洪积倾斜平原、黄河冲积平原、灵武台地。首先，按照前面计算获得的变权，运用变权加法平均综合模型对四个评价单元进行评价，然后再运用 Mosaic 命令把四个单元拼接为一个整体，获得基于变权加法平均综合模型的银川市生态安全评价结果，评价结果见图 5-2 和表 5-4。

银川市生态安全水平以较差和一般为主，两者占银川市总面积的 68.17%。其中，较差水平面积为 3704.05km$^2$，占银川市总面积的 38.77%；其次为一般水平，面积为 2809.35km$^2$，占银川市总面积的 29.4%；生态安全水平良的面积为1113.84km$^2$，占银川市总面积的 11.66%；安全水平差的面积为 1927.75km$^2$，达到银川市总面积的 1/5 以上，为 20.18%；银川市不存在生态安全水平优的区域。

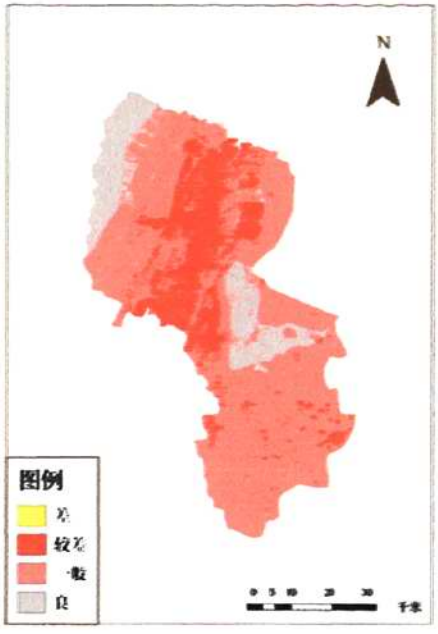



图 5-1 基于常权加法平均综合模型评价结果

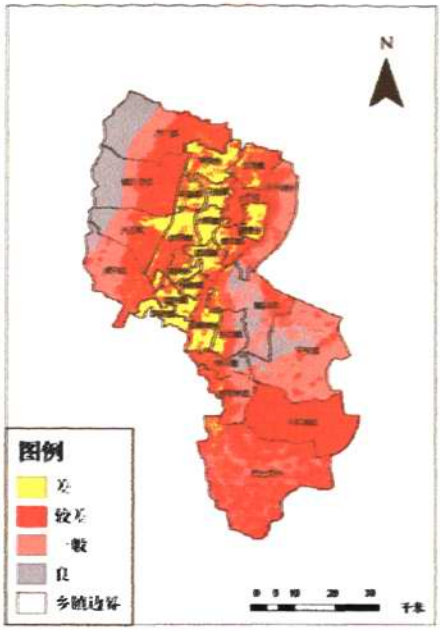



图 5-2 基于变权加法平均综合模型评价结果

图 5-3 银川市乡镇生态安全评价结果

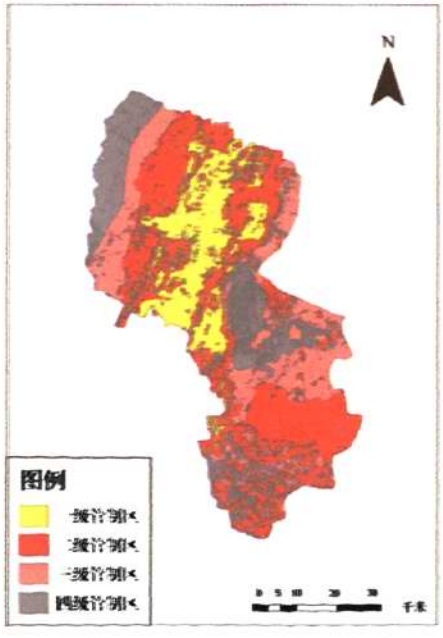



图 5-4 银川市空间管制图

### 5.3.3 乡镇生态安全对比

基于变权加法平均综合模型计算获得的银川市生态安全评价结果，以银川市27个乡镇为统计单元，用27个乡镇的边界提取各乡镇的生态安全指数，然后利用下列公式，计算获得银川市乡镇生态安全水平，评价结果见表5-5和图5-3。

$$ESI_m = \sum_{i=1}^{k_m} esi_i / k_m$$

其中，$ESI_m$为第m个行政单元的生态安全指数，$esi_i$为第m个行政单元第i个栅格的生态安全指数，$k_m$为第m个行政单元栅格总个数。

表5-5　银川市乡镇生态安全评价结果

| 乡镇 | 生态安全指数 | 生态安全水平 | 乡镇 | 生态安全指数 | 生态安全水平 |
|---|---|---|---|---|---|
| 银川市 | 5.08 | 较差 | 闽宁镇 | 5.30 | 较差 |
| 白土岗乡 | 5.35 | 较差 | 掌政镇 | 3.47 | 差 |
| 马家滩镇 | 5.14 | 较差 | 兴泾镇 | 5.11 | 较差 |
| 郝家桥镇 | 4.92 | 较差 | 良田镇 | 3.42 | 差 |
| 崇兴镇 | 5.17 | 较差 | 大新镇 | 2.74 | 差 |
| 东塔镇 | 5.54 | 一般 | 通贵乡 | 3.13 | 差 |
| 宁东镇 | 6.26 | 一般 | 金贵镇 | 4.11 | 较差 |
| 李俊镇 | 3.15 | 差 | 习岗镇 | 3.17 | 差 |
| 梧桐树乡 | 3.24 | 差 | 丰登镇 | 3.26 | 差 |
| 望洪镇 | 3.16 | 差 | 月牙湖乡 | 5.45 | 较差 |
| 杨和镇 | 3.36 | 差 | 镇北堡镇 | 5.87 | 一般 |
| 临河镇 | 6.47 | 一般 | 立岗镇 | 3.55 | 较差 |
| 胜利乡 | 3.25 | 差 | 常信乡 | 3.21 | 差 |
| 望远镇 | 3.26 | 差 | 洪广镇 | 6.09 | 一般 |

银川市整体生态安全处于较差水平。临河镇生态安全水平最高，生态安全指数为6.47，大新镇生态安全水平最低，生态安全指数为2.74。银川市乡镇生态安全以差和较差水平为主，两者分别占到13个和9个乡镇，生态安全水平一般的乡镇有5个。

### 5.3.4 生态安全评价分析

从表5-4可以看出，银川市不存在生态安全水平优的区域，两种评价结果相差较大。由于变权方法是基于银川市分区，以常权为基础权，通过公式运算获得

的，更能够反映同一指标对区域不同部分生态安全贡献大小，其评价结果更加接近银川市生态安全的实际情况。

从图5-2中可以看出，银川市生态安全水平差的区域主要分布在城区以及交通线周围，基本涵盖常信乡、丰登镇、习岗镇、大新镇、通贵镇、望远镇、杨和镇、望洪镇、李俊镇、梧桐树乡等全部区域，涵盖立岗镇西部和东南部、良田镇北部、胜利乡东部和南部、东塔镇西部、兴径镇东北部等区域。其压力主要来源于人类活动，主要受到居民点压力、交通线压力、生态系统价值指数等指标的制约；

生态安全水平较差的区域主要分布在灌区两侧和灵武市中部，基本涵盖金贵镇、马家滩镇等全部区域，涵盖洪广镇东部、镇北堡镇东部、兴径镇东南部、闽宁镇东部、月牙湖西部、崇兴镇西部、郝家桥西部、白土岗乡部分、立岗镇部分、临河镇东北部等区域。主要受到面源污染、土地沙漠化、环保投入不足等指标的制约；

生态安全水平一般的区域主要分布在贺兰山山前洪积倾斜平原、黄河冲积平原东侧以及灵武市北部和南部零星区域，具体包括月牙湖东部、临河镇东南部、崇兴镇东南部、郝家桥镇东部、宁东镇大部分、白土岗零星部分及贺兰山山前洪积倾斜平原等区域。主要受到环保投入、耕地压力、土地沙漠化等指标的制约；

生态安全水平良的区域主要分布在贺兰山自然保护区和白芨滩自然保护区范围内，白芨滩自然保护区虽然地处荒漠区，植被稀疏，但是由于国家和政府政策倾斜，所以生态安全级别较高，只是局部存在部分生态安全水平较低的区域；贺兰山区植被覆盖度高，人类活动干扰较少，国家又投入很多资金技术进行保护，生态安全水平相对来说也是比较高的，但是局部存在水土流失现象。

## 5.4 对策及建议

参考土地利用分区管制(刘国臻，2003)、生态风险分级管理（李谢辉，2008）等方法，提出银川市生态安全分级管制思路。生态安全分级管制就是按照生态安全问题出现的概率大小设定区域范围，针对不同区域，土地、农业、环保等相关部门因地制宜地制定规章制度，给出可以遵守的行为规则用来控制生态安全问题的发生或加剧。

按照生态安全等级标准，结合银川市实际，拟划定四个不同级别的管制区（图5-4）。一级管制区为生态安全水平差的区域，二级管制区为生态安全水平较差的区域，三级管制区为生态安全水平一般的区域，四级管制区为生态安全水平良的区域。

（1）一级管制区：一级管制区基本上集中在城区和交通线周围，主要受到居民点压力、交通线压力、生态系统价值指数等指标的制约。由于银川市城市化进程的加快，人类活动对生态安全的影响更集中的表现在道路、建筑建设上，大量的汽车尾气、噪声污染等现象普遍存在。同时，该区生态系统价值指数较低。对于一级管制区，应合理进行城市道路交通、建筑等的布局，同时加大生态服务功能方面的投入，做好城市绿化、城市建设和保护工作，把银川市逐步建成“城在园中，园在城中，城在林中，林在城中，城在湖中，湖在城中”的格局，使城市生态系统不断完善和发展，城市生态系统的服务功能不断提高。

（2）二级管制区：二极管制区主要集中在灌区两侧和灵武市中部，主要受到面源污染、土地沙漠化、环保投入水平等指标的制约。对于二级管制区，①应加大面源污染的治理力度。根据不同地情、不同作物，严格按照测土配方施肥，做到对症施肥。转变传统的灌溉方式，采取滴灌、喷灌等节水灌溉方式来防止化肥的大量流失。大力发展秸秆还田，发展绿肥生产等；大力推广可降解农膜，从源头上消除“白色污染”，同时组织农机部门研制残膜回收和加工利用，对以残膜为原料进行加工生产的工厂，应按国家有关利用“三废”的政策，给予减免税收；通过科学、合理用药，延缓病虫害抗性的产生，减少农药使用次数和使用量。加强农药生产、销售和使用领域的监督执法工作和管理，用法律手段促进农药安全、科学、合理的使用，力争减少高毒、高残留化学农药的使用量。调整农药结构，推广应用环保型农药；大力推进健康养殖，强化养殖业污染防治。②加大对灵武市荒漠区的治理力度。采取生物措施和工程措施遏制土地沙漠化。生物措施有人工栽植沙生植物，飞播适合沙生的林草种子，增加植被覆盖度，从而建立起以柠条、毛条、杨柴、花棒、黑沙蒿、沙蓼等灌木林种树为主和以甘草、苦豆子、麻黄、黄芪、黄沙蒿、沙米等沙生牧草和药材相结合的立体防风固沙系统。③加大各级政府环保投入力度，积极争取国家资金支持，积极开展此区域的村庄整治工作。各级政府要落实环保专项资金，充分利用市场化形式筹措资金，采取建立

基金、联合经营等多种融资形式，扩大社会化环保投资份额，拓宽环保资金来源。

（3）三级管制区：三级管制区主要集中在贺兰山山前洪积倾斜平原、黄河冲积平原东侧以及灵武市北部和南部零星区域。该管制区生态安全水平处于中等一般水平，耕地压力较大，环保投入相对不足，植被稀少，部分区域有沙漠化的趋势。对于三级管制区，①要合理引导、科学用地。建立行之有效的、科学的土地利用机制，做到不占耕地或少占耕地。要落实耕地保护责任，明确耕地保护面积、责任人及相互责任、义务。大力推进节约集约用地。②加大环保投资力度，积极开展此区域的村庄整治工作。③治理和防止局部土地沙漠化趋势，减少植被破坏。应该禁牧，趁雨季补播草籽，尽快恢复草场植被，防止草场继续退化。在丘间平地进行人工造林，在整个台地大面积飞播造林，造林树种宜选择沙柳、柠条、花棒等耐旱的灌木为主，草本植被宜选播黑沙蒿、干草、麻黄、苦豆子一类的旱生植物，从而达到荒漠化控制的生态功能。

（4）四级管制区：四级管制区主要集中在贺兰山自然保护区和白芨滩自然保护区范围内。白芨滩自然保护区虽地处荒漠区，植被稀疏，但是由于国家和政府政策倾斜，所以生态安全级别较高，只是局部存在部分生态安全水平较低的区域；贺兰山区植被覆盖度高，人类活动干扰较少，国家又投入很多资金技术进行保护，生态安全水平相对来说也是比较高的，但是局部存在水土流失现象。对于四级管制区，要防止人为破坏自然保护区。对于白芨滩自然保护区，应以保护荒漠草原原生态系统及其动植物资源等生物多样性为目标，加强对保护区内自然资源和自然环境的保护管理。搞好水土保持，提高苗木成活率。核心区严禁人为活动，严禁破坏动植物资源，试验区要积极开展科学实验，培育固沙种苗，缓冲区在加强水土保持的同时，严禁放牧，尽快恢复植被；对于贺兰山自然保护区，要认真保护好森林资源和各种野生动植物。浅山地段以治理山洪为主要任务，栽植耐旱耐瘠的林草和灌木，增加植被覆盖，减少水土流失。

在进行分级管制的同时，要特别注意重大建设项目对生态安全的影响。宁东能源化工基地建设是实现宁夏跨越式发展、惠及全区人民的重大举措，被确定为自治区开发建设的“一号工程”。宁东能源化工基地位于陕、甘、宁、蒙毗邻地区，涉及灵武市、盐池县、红寺堡开发区和同心县四个县(市、区)，总面积3483.70km$^2$。化工基地的建设必然会对当地的生态安全造成一定的影响，这就要

求有关部门严格进行水土保持生态环境动态监测，继续实施封山禁牧和退耕还林（草）政策，治理与开发并重，促进宁东基地生态环境的改善，最大程度地保护和改善当地的生态环境。

# 第六章　结论与讨论

## 6.1 主要结论

本文通过总结生态安全方面的基础理论、研究现状和研究方法，基于 PSR 模型，建立了银川市生态安全评价指标体系；利用 RS 与 GIS 技术进行了银川市生态安全评价指标信息的提取，并在此基础上建立了 2007 年银川市生态安全评价指标数据库；对银川市生态安全现状分别进行了基于常权和基于变权加法平均综合模型评价，最后提出了生态安全调控措施。主要研究结论如下：

（1）运用基于常权和基于变权加法平均综合模型对银川市生态安全进行评价对比，发现运用变权方法得到的结果更加符合实际情况。

（2）银川市生态安全水平以较差和一般为主，两者占银川市总面积的 68.17%。其中，较差水平面积为 3704.05km$^2$，占银川市总面积的 38.77%；其次为一般水平，面积为 2809.35km$^2$，占银川市总面积的 29.4%；生态安全水平良的面积为 1113.84km$^2$，占银川市总面积的 11.66%；安全水平差的面积为 1927.75km$^2$，达到银川市总面积的 1/5 以上，为 20.18%；银川市不存在生态安全水平优的区域。

（3）银川市整体生态安全处于较差水平。临河镇生态安全水平最高，生态安全指数为 6.47，大新镇生态安全水平最低，生态安全指数为 2.74。银川市乡镇生态安全以差和较差水平为主，两者分别占到 13 个和 9 个乡镇，生态安全水平一般的乡镇有 5 个。

（4）针对综合分析结果，在分析原因的基础上提出了银川市生态安全分级管制的思路，把银川市划分为四级管制区：一级管制区基本上集中在城区和交通线上；二级管制区主要集中在灌区两侧和灵武市中部；三级管制区主要集中在贺兰山山前洪积倾斜平原、黄河冲积平原东侧以及灵武市北部和南部零星区域；四级管制区主要集中在贺兰山自然保护区、白芨滩自然保护区。最后，针对不同级别的管制区提出了具有针对性的生态安全调控措施。另外，针对宁东能源化工基地，提出了专门的生态安全调控措施。

## 6.2 讨论

（1）区域生态安全评价涉及到资源、环境、经济、社会等各个方面，由于专业背景和数据资料所限，本文所建立的指标体系不可避免的会有遗漏和偏差，有待于进一步调整。

（2）受资料所限，部分社会经济等方面的指标以县为单元进行统计，但是，为了更好的反映实际问题，更好的进行银川市生态安全空间分区，最好以乡镇或村庄为统计单元。

（3）银川市水资源主要依赖于过境黄河水，黄河来水量、黄河水质等因素会直接影响到银川市的生产和生活水平。如何合理评价银川市水资源、如何将水资源压力进行空间分区是论文研究的难点，本论文没有进行深入探讨。

（4）指标标准值确定是目前生态安全评价研究中的难点，论文中很多指标是基于相对标准建立的；对数据进行标准化处理时，为防止数据丢失较多属性信息，没有利用 int 函数对数据进行取整处理，所以，建立的生态安全评价标准没有直接套用相关学者的研究结果，其合理性有待进一步研究。

（5） 限于数据资料和时间所限，未做银川市生态安全动态变化，这是下一步工作重点。

# 参考文献

[1] FAO Proceedings. Land Quality Indicators and their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development[M]. Proceedings of the Workshop organized by the Land and water Development Division FAO Agriculture Department,1997,2-5,106

[2] Jian-zhou Gong, Yan-sui Liu, Bei-cheng Xia,et al. Urban ecological security assessment and forecasting,based on a cellular automata model:A case study of Guangzhou,China[J]. Ecological Modelling, 2009,220(24):3612-3620

[3] Jyldyz Sydygalieva. Ecological security:an urgent necessity for centra Asia[EB/OL].http://www.cacianalst.org/Headline_2.htm,2001-12-05

[4] Qing Huang, Ranghui Wang, Zhiyuan Ren, et al. Regional ecological security assessment based on long periods of ecological footprint analysis[J]. Resource,Conservation and recycling,2007,51(1):24-41

[5] Shu-heng Hu, Kai-ya Wu, Jia-quan Wang. Study pre-warning of ecological security on basis of fuzzy optimize in Anhui province[J]. Journal of Biotechnology, 2008,136(1):32

[6] Tran L T,Knight C G,O'Neill R V. Fuzzy Decision Analysis for Integrated Environmental Vulnerability Assessment of the Mid-Atlantic Region[J]. Environment Management,2002：29(6):845-859

[7] Wackernagel M,and Rees W. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth[M]. Gabriola, Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 1996:61-83

[8] Westing A H. The environmental component of comprehensive security[J]. Bulletin of Peace Proposals,1989,20(2) :129-134

[9] Xiaoqing Shi, Jingzhu Zhao, Ouyang Zhiyun. Assessment of eco-security in the Knowledge Grid e-science environment[J]. Journal of Systems and Software, 2006,79(2):246-252

[10] Yan-Zhi Zhao, Xue-Yong Zou, Hong Cheng, et al. Assessing the ecological security of the Tibetan plateau: Methodology and a case study for Lhaze County[J]. Journal of Environmental Management, 2006,80(2):120-131

[11] 蔡守秋. 论环境安全问题[J]. 安全与环境学报,2001,1(5):28-32

[12] 曹新向. 旅游地生态安全预警评价指标体系与方法研究-以开封市为例[J]. 环境科学与

管理,2006:31(3):50-54

[13] 常斌,熊利亚,侯西勇等. 基于空间的生态足迹与生态承载力预测模型-以甘肃省河西走廊地区为例[J]. 地理研究,2007,26(5):940-948

[14] 陈超,黄东风,邱孝煊等. 闽江中上游流域农业面源污染调查评估及其防治技术探讨[J]. 农业环境科学学报,2007,26(增刊):368-374

[15] 陈敏,张丽君,王如松等. 1978 年-2003 年中国生态足迹动态分析[J]. 资源科学,2005,27(6):132-139

[16] 陈国阶. 论生态安全[J]. 重庆环境科学. 2002,24(3):1-3,18

[17] 陈国阶,何锦峰. 生态环境预警的理论和方法探讨[J]. 重庆环境科学,1999,21(4):8-11

[18] 陈家琦. 水安全保障问题浅析[J]. 自然资源学报,2002,17(3):276-279

[19] 崔胜辉,洪华生,黄云凤等. 生态安全研究进展[J]. 生态学报,2005,25(4):861-868

[20] 党安荣,王晓栋,陈晓峰等. ERDAS IMAGING 遥感影像处理方法[M]. 北京:清华大学出版社,2005

[21] 党碧玲,任志远,王菊翠. 区域生态安全的模糊多层次评价[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版）,2009,37(3):105-108

[22] 窦贻俭,苏慧,高超等. 江苏省生态足迹分析与可持续发展研究[J]. 长江流域资源与环境,2004,13(6):519-513

[23] 方创琳. 西北干旱区生态安全系统结构与功能的监控思路初论[J]. 中国沙漠，2000,20(3):326-328

[24] 方一平,陈国阶. 西昌市生态空间占用及其生态系统安全评估[J]. 长江流域资源与环境,2004,13(3):212-217

[25] 方振锋. 基于改进 PSR 模型的生态安全评价研究[D]. 华中科技大学硕士论文,2007

[26] 冯耀忠. 干线输油管道生态安全问题及其解决途径[J]. 国外油气储运,1995,13(3):63-66

[27] 傅伯杰. 区域生态环境预警的原理与方法[J]. 应用生态学报,1993,4(4):436-439

[28] 符国基. 海南省生态足迹研究[M]. 北京:化学化工出版社,2007

[29] 符海月,李满春,毛亮等. 基于生态足迹的土地利用规划生态成效定量分析-以河北省廊坊市为例[J]. 自然资源学报,2007,22(2):225-235

[30] 高长波,陈新庚,韦朝海等. 熵权模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用[J]. 应用生态学报,2006,17(10):1923-1927

[31] 高长波,陈新庚,韦朝海等. 珠江三角洲城市生态安全水平对比研究[J]. 环境科学与技

术,2006,29(5):65-66

[32] 龚建周,夏北成. 城市景观生态学与生态安全-以广州为例[M]. 北京:科学出版社,2008

[33] 龚建周,夏北成,陈健飞等. 基于 3S 技术的广州市生态安全景观格局分析[J]. 生态学报,2008,28(9):4323-4333

[34] 郭明,肖笃宁,李新. 黑河流域酒泉绿洲景观生态安全格局分析[J]. 生态学报.2006,26(2):457-465

[35] 郭中伟. 建设国家生态安全预警系统与维护体系:面对严重的生态危机的对策[J]. 科学导报,2001(1):54-56

[36] 何琼,孙世群,吴开亚等. 区域生态安全评价的 AHP 赋权方法研究[J]. 合肥工业大学学报（自然科学版）,2004,27(4):434-437

[37] 胡宝清,廖赤眉,严志强等. 广西都安瑶族自治县农业可持续发展的生态安全评价[J]. 农村生态环境,2003,19(2):16-19,23

[38] 黄青,任志远. 论生态承载力与生态安全[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(2):11-17

[39] 李晶,任志远. GIS 支持下陕北黄土高原生态安全评价[J]. 资源科学,2008,30(5):732-736

[40] 李佩武,李贵才,张金花等. 城市生态安全的多种评价模型及应用[J]. 地理研究,2009,28(2):293-302

[41] 李晓燕,张树文. 基于景观结构的吉林西部生态安全动态分析[J]. 干旱区研究,2005,22(1):57-62

[42] 李宗尧,杨桂山,董雅文. 经济快速发展地区生态安全格局的构建-以安徽沿江地区为例[J]. 自然资源学报, 2007,22(1):106-113

[43] 林忠,王永平. 基于信息熵灰色关联法的高速公路网评价研究[J]. 交通与运输, 2008:122-124

[44] 刘国臻. 土地利用分区管制论略[J]. 政法学刊,2003,20(5):26-28

[45] 刘红,王慧,刘康. 我国生态安全评价方法研究述评[J]. 自然生态保护,2005,(8):34-37

[46] 刘勇,刘友兆,徐萍. 区域土地资源生态安全评价-浙江嘉兴市为例[J]. 资源科学,2004,26(3):69-75

[47] 莱斯特·R·布朗. 建设一个持续发展的社会[M]. 北京:科学技术文献出版社,1984

[48] 黎晓亚,马克明,傅伯杰等. 区域生态安全格局:设计原则与方法[J]. 生态学报,2004,24(5):1055-1062

[49] 黎夏,刘凯. GIS 与空间分析-原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2006

[50] 马克明,黎晓亚等. 区域生态安全格局:概念与理论基础[J]. 生态学报,2004,24(4):761-768

[51] 毛峰,宾国澍,肖劲松. 生态足迹与区域可持续发展评价[J]. 地域研究与开发,2005,24(5):43-47

[52] 孟旭光. 我国国土资源安全面临的挑战及对策[J]. 中国人口资源与环境,2002,12(l) :47-50

[53] 孟兆鑫,李春艳,邓玉林. 沱江流域生态安全预警及其生态调控对策[J]. 生态与农村环境学报,2009:25(2):1-8

[54] 宁夏农业勘察设计院. 宁夏土壤[M]. 宁夏:宁夏人民出版社,1990

[55] 诺曼·迈尔斯著. 王正平,金辉译. 最终的安全[M]. 上海:上海译文出版,2001

[56] 彭补拙,窦贻俭. 用动态的观点进行环境综合质量评价[J]. 中国环境科学,1996(1):16-19

[57] 彭建,王仰麟,张源等. 滇西北生态脆弱区土地利用变化及其生态效应-以云南省永胜县为例[J]. 地理学报, 2004,59(4):629-638

[58] 邱微,赵庆良,李崧等. 基于"压力-状态-响应"模型的黑龙江省生态安全评价研究[J]. 环境科学,2008,29(4):1148-1152

[59] 屈芳青,周万村. RS 和 GIS 支持下的若儿盖草原生态安全模糊评价[J]. 干旱地区农业研究, 2007,25(4):24-29

[60] 曲格平. 关注中国生态安全[M]. 北京:中国环境科学出版社,2004

[61] 曲青林,曹爱霞,刘学录. 兰州市土地利用生态安全评价[J]. 环境科学研究,2009,22(6):753-756

[62] 任志远,张艳芳等. 土地利用变化与生态安全评价[M]. 北京:科学出版社,2003

[63] 邵东国,李元红. 基于神经网络的干旱内陆河流域生态环境预警方法研究[J]. 中国农村水利水电,1999,4(6):10-12

[64] 世界环境与发展委员会. 我们共同的未来[M]. 长春:吉林人民出版社,1997

[65] 石明奎,彭昱,李恩东等. 珠江上游少数民族农业区域生态安全预警研究-贵州境内 22 县实证分析[J]. 中国人口资源与环境,2005:15(6):50-54

[66] 宋冬梅,肖笃宁,张志城等. 石羊河下游民勤绿洲生态安全时空变化分析[J]. 中国沙漠,2004,24(3):335-342

[67] 苏楠,赵延治,史培军. 西藏高原生态安全评价方法与应用-以西藏自治区曲松县为例[J]. 水土保持研究,2005,12(5):142-145

[68] 苏伟,陈云浩,武永峰等. 生态安全条件下的土地利用格局优化模型研究-以中国北方农

牧交错带为例[J]. 自然科学进展,2006,16(2):207-214

[69] 苏维词,李久林. 乌江流域生态环境预警评价初探[J]. 贵州科学,1997,15(3):207-214

[70] 孙凡,李天云,黄轲等. 重庆市生态安全评价与监测预警研究-理论与指标体系[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2005:27(6):757-762

[71] 万利,陈佑启,谭靖等. 北京郊区生态安全动态评价与分析[J]. 地理科学进展,2009,28(2):238-244

[72] 王棒,关文彬,吴建安等. 生物多样性保护的区域生态安全格局评价手段-GAP分析[J]. 水土保持研究,2006,13(1):192-196

[73] 王丰年. 论我国生态安全的现状和对策[J]. 自然辩证法研究,2004:20(4):61-64

[74] 王耕. 区域生态安全概念及评价体系的再认识[J]. 生态学报,2007,27(4):1627-1637

[75] 王耕,王利,吴伟. 区域生态安全概念及评价体系的再认识[J]. 生态学报,2007,27(4):43-47

[76] 王耕,吴伟. 基于GIS的西辽河流域生态安全空间分异特征[J]. 环境科学,2005,26(5):28-23

[77] 王桂玲,王丽萍. 河北省面源污染分析[J]. 海河水利,2004(4):29-30、45

[78] 王亮. 崇明岛景观生态安全格局分析[J]. 国土与自然资源研究,2007,54(2):54-55

[79] 王龙. 山西煤炭开发与生态环境预警初探[J]. 生态经济,1995,(5):32-36

[80] 王明全,王金达,刘景双. 城市生态安全评价研究-以长春市为例[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(3):72-76

[81] 王鹏,庄大昌. 衡阳市生态足迹分析与生态环境保护对策[J]. 水土保持研究,2007,14(2):246-268

[82] 王强,杨京平. 我国草地退化及其生态安全评价指标体系的探索[J]. 水土保持学报,2003:17(6):27-31

[83] 吴春笃,谭宁,解清杰. 镇江市生态安全的PSR-AHP评价[J]. 人民长江,2008,39(3):42-44

[84] 吴国庆. 区域农业可持续发展的生态安全及其评价探索[J]. 生态经济, 2001(8):22-25

[85] 吴国庆. 农业可持续发展的生态安全研究[J]. 中国生态农业学报, 2003,11(2):141-143

[86] 邬建国. 景观生态学-格局、过程、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社,2000

[87] 吴开亚. 生态安全理论形成的背景探析[J]. 合肥工业大学学报,2003,17(5):24-27

[88] 吴开亚,孙世群,聂磊. 生态安全的灰关联评价方法探讨[J]. 安徽农业大学学报,2004,31(3):368-371

[89] 夏军,朱一中. 水安全的度量:水资源承载力的研究与挑战[J]. 自然资源学

报,2002,17(3) :262-269

[90] 谢高地,鲁春霞,冷允法等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003:18(2):189-196

[91] 谢花林,张新时. 城市生态安全水平的物元评判模型研究[J]. 地理学与国土研究,2004,20(2):87-90

[92] 谢花林,张新时. 城郊区生态安全水平的量度及其对策研究-以北京市海淀区为例[J]. 中国人口资源与环境,2004,14(3):23-26

[93] 肖笃宁,陈文波,郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. 应用生态学报,2002,13(3):354-358

[94] 肖生春,肖洪浪,肖笃宁等. 额济纳蒙古族民间景观格局反映的区域环境状况[J]. 冰川冻土,2006,28(4):492-499

[95] 徐中民,程国栋,张志强. 生态足迹方法的理论解析[J]. 中国人口资源与环境,2006,16(6):69-78

[96] 徐中民,张志强,程国栋等. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹[J]. 地理学报,2001,56(5):559-610

[97] 杨京平,卢剑波. 生态安全的系统分析[M]. 北京:化学工业出版社,2002

[98] 杨勇,任志远. 泾河流域中下游生态安全评价与分析[J]. 干旱区研究,2009,26(3):441-446

[99]叶文虎,孔青春. 环境安全:21 世纪人类面临的根本问题[J]. 中国人口资源与环境,2001,11(3) :42-44

[100]叶明武,陈振楼,王军等. 城镇地区生态安全评价及对策-以上海崇明岛为例[J]. 城市环境与城市生态, 2007,20(1):9-13

[101]银川市统计局. 银川统计年鉴 2007[M]. 北京:中国统计出版社,2008

[102] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报,1999,19(1):8-15

[103]俞孔坚,王思思,李迪华等. 北京市生态安全格局及城市增长预景[J]. 生态学报,2009,29(3):43-47

[104]曾辉,刘国军. 基于景观结构的区域生态风险分析[J]. 中国环境科学,1999,19(5):454-457

[105]张保华,张二勋,张秀省. 农业生态安全评估指标体系研究[J]. 河南农业科学,2005(12):5-7

[106]张大任. 洞庭湖生态环境预警[J]. 地理学与国土研究,1991,7(2):42-44

[107]张雷,刘慧. 中国国家资源环境安全问题初探[J]. 中国人口资源与环境, 2002,12(l):41-46

[108]张世银,周加来. 城市化指标体系构建与评析[J]. 技术经济,2007,26(3):32-37

[109]张婷婷,吴胜军,杜耘等. 黄石市土地利用变化的生态安全评价[J]. 华中师范大学学报（自然科学版）,2006,40(2):296-300

[110]张文霖. 主成分分析在 SPSS 中的操作应用[J]. 市场研究,2005(12):31-34

[111]张小虎,雷国平,袁磊等. 黑龙江省土地生态安全评价[J]. 中国人口资源与环境,2009,19(1):88-93

[112]张小青. 利用植被维护架空输电线路的生态安全（续）[J]. 电工技术杂志,1993(5):36-39

[113]张燕,吴玉鸣. 西南溶岩区生态环境可持续发展的生态足迹分析-以广西为例[J]. 冰川冻土,2006,28(2):293-298

[114]张玉良. 前苏联植物保护的生态安全方法[J]. 苏联科学与技术,1994(3):35-36

[115]张月丛,孟宪峰,赵志强等. 承德市 1999-2004 年生态足迹与土地生态承载力分析[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(7):37-40

[116]周珂,王权典. 论国家生态环境安全法律问题[J]. 江海学刊,2003(1):113-120

[117]周文华,王如松. 城市安全评价方法研究-以北京市为例[J]. 生态学杂志,2005,24(7):848-852

[118]周毅. 中国生态环境安全[J]. 西北林学院学报,2003,18(1):109-112

[119]邹长新. 内陆河流域生态安全研究-以黑河为例[D]. 南京:南京气象学院,2003

[120]邹长新,沈渭寿. 生态安全进展研究[J]. 农村生态环境,2003,19(1):56-59

[121]邹秀萍,王毅,齐清文等. 基于 RS&GIS 的西双版纳生态安全评价[J]. 生态经济:学术版,2008(1):24-27

[122]朱红波,张安录. 中国耕地压力指数时空规律分析[J]. 资源科学,2007,29(2):105-108

[123]左伟. 基于 RS、GIS 和 Models 的区域生态环境系统安全综合评价研究[D]. 南京师范大学博士论文,2002

[124]左伟. 基于 RS、GIS 的区域生态安全综合评价研究[M]. 北京:测绘出版社,2004

[125]左伟,周慧珍,王桥. 区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究[J]. 土壤,2003,35(1):2-7

# 在学期间的研究成果

发表文章：

王希强等. 西北黄土高原区生态环境可持续发展的生态足迹动态分析—以宁夏为例. 中国科技论文在线, 四星级论文（第一作者）

李辉等. 基于生态足迹方法的银川市2006年可持续发展状况分析. 中国科技论文在线, 五星级论文（参与作者）

吴兵兵等. 基于修正生态足迹模型探讨银川可持续发展状况. 中国科技论文在线, 四星级论文（参与作者）

参与项目：

宁夏农村环境保护规划， 2009年1月-2009年12月.

宁夏执行国家环境保护“十一五”规划中期评估，2009年4月-2009年5月

# 致　谢

在论文脱稿之际，我要衷心感谢我的导师张建明副教授。从论文的选题、数据收集到论文的修改、定稿，无不倾注着导师的大量心血。三年学习过程中，张老师严谨求实的学术作风以及对教学工作的认真负责给我留下了深刻印象，是我终身学习的榜样。感谢师母陈老师在日常生活中给予的关怀和帮助，陈老师和蔼可亲，平易近人，给我们留下了深刻印象。衷心感谢张老师的指导和教诲以及师母的关心和照顾！

感谢地球系统科学研究所的全体老师、博士生、硕士生，定期交流，经常组织参加一些活动，增进了彼此之间的了解和沟通，增加了相互交流和学习的氛围。

感谢资环院陈兴鹏教授、牛叔文教授、杨永春教授、常跟应副教授等三年学习过程中给予的帮助。感谢花蕊老师、宋伟国老师、马国强老师、王建勇老师、郭丽娟老师，研究生阶段有幸加入研会，并得到各位老师的指导，使我更加成熟。

感谢宁夏农科院的各位老师，与他们交流，使我增长了很多见识。感谢宁夏环科院给予的实习机会，感谢陈燕工程师、马涛师兄等在在收集数据方面给予的方便。同时，要感谢宁夏统计局及银川各县统计局在资料收集方便给予的方便。

感谢中科院寒旱所祁元副研究员、王建华高级工程师、徐真师姐、齐红超同学在软件操作、遥感解译等方面给予的帮助。感谢蒋晓荣、杨永民、杨红卫、许民、王超等同学在数据处理方面给予的帮助。

感谢师姐米丽娜，在繁忙的工作之余，师姐仍抽出时间帮忙收集数据。同时感谢同师门的吴兵兵师兄、林长伟师姐、李辉以及师弟肖连刚、刘光龙和师妹齐文文、彭锋、张春梅，是他们使我的研究生生活更加丰富。

衷心感谢家人在我求学生涯中一如既往地在经济和精神上给予的真挚关爱和默默支持，感谢孙红杰、黄璜等挚友在学习与生活上给予的关心和帮助，感谢女友蔡媛三年无怨无悔的等待。

最后，感谢在百忙之中参加本论文评审、答辩的各位专家、教授，由于能力有限，敬请指正。

王希强

二〇一〇年五月于兰州