

# Analysis and Prediction of Geo-Environmental Carrying Capacity in Economic Zone along the Yellow River\*

Jintao Liu<sup>1</sup>, Xiaolin Wang<sup>2</sup>, Wei Xia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design, Ministry of Water Resources, Beijing

<sup>2</sup>School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing

Email: jinxiaomei26@gmail.com

Received: Feb. 21<sup>st</sup>, 2013; revised: Mar. 5<sup>th</sup>, 2013; accepted: Mar. 17<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Jintao Liu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** Located in arid area, Ningxia Autonomous Region is the important ecological barrier in northwest China and its eco-environment is fragile. The Economic Zone along the Yellow River mainly consists of Yinchuan plain and Weining plain. It is the area with concentrated various production factors and economic activities. Consisting of geo-environmental subsystem, eco-environmental subsystem and social environmental subsystem, the evaluation index system was set up based on GIS. The evaluation model of complex system was used to assess the geo-environmental carrying capacity and the Economic Zone was classified as suitable construction area, slight control construction area and moderate control construction area. Finally, the environmental geological problem such as soil salinization, land desertification, ground subsidence, depletion of regional groundwater level and groundwater pollution were analyzed and predicted qualitatively.

**Keywords:** Geo-Environmental Carrying Capacity; Environmental Geological Problems; Evaluation Index System; Economic Zone along the Yellow River

## 宁夏沿黄经济区地质环境承载力分析及预测\*

刘金韬<sup>1</sup>, 王晓林<sup>2</sup>, 夏 薇<sup>2</sup>

<sup>1</sup>水利部水利水电规划设计总院, 北京

<sup>2</sup>中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京

Email: jinxiaomei26@gmail.com

收稿日期: 2013年2月21日; 修回日期: 2013年3月5日; 录用日期: 2013年3月17日

**摘 要:** 宁夏地区地处西北干旱区, 是我国西部重要生态屏障, 生态环境脆弱。沿黄经济区主要包括银川、卫宁两大平原区, 是宁夏各种生产要素和经济活动最为集中的地区。文章基于 GIS 技术, 构建由地质环境子系统、生态环境子系统和社会环境子系统组成的评价指标体系, 建立复合系统评价模型, 对宁夏沿黄经济区的地质环境承载力进行了分区评价, 将宁夏沿黄经济区分为适宜建设区、适度控制建设区、中度控制建设区三个等级。同时, 对研究区的土壤次生盐渍化、土地沙漠化、地面塌陷、区域地下水位下降及地下水污染等环境地质问题进行了定性分析及预测。

**关键词:** 地质环境承载力; 环境地质问题; 评价指标体系; 沿黄经济区

\*资助信息: 本文受国家自然科学基金项目“西北内陆盆地大尺度浅层地下水蒸发规律及其控制因素”(40772158)资助。

## 1. 引言

地质环境作为物质载体,影响和制约着人类的社会经济活动。同时,人类为了生存和发展所进行的一切活动,也会对地质环境产生影响,从而改变地质环境质量。当这种改变逐渐增大,超出了地质环境所能承受的能力,就会产生严重的环境地质问题,影响人类的生存和发展<sup>[1-3]</sup>。

地质环境承载力是指地质环境条件对人类社会发展活动的支持能力。城市地质环境承载力分析,就是指从地质环境条件的角度去分析适宜城市发展的区域、发展规模及发展水平<sup>[4]</sup>。在社会经济飞速发展的形势下,对我国城市未来规划提出了促进城市健康发展,提高区域承载力的要求。地质环境承载力是解决区域地质环境与人口、经济、社会相互协调的关键问题。倪师军等<sup>[5]</sup>从城市地质环境风险性评价方面进行了指标体系的研究,构建了三级指标体系组成的城市地质环境评价体系。夏既胜等<sup>[6]</sup>基于 GIS 的空间叠置技术,对昆明市城区和规划区新建、扩建区域进行了地质环境承载力的分级。李树文等<sup>[7]</sup>以城市为研究背景,探讨了生态-地质环境评价指标体系的基本结构,建立了生态-地质环境承载力综合剩余率模型,度量了区域人类活动与生态地质环境系统间的关系,为区域的可持续发展提供了理论依据。但是,目前的研究中,对地质环境质量的评价比较多,对承载力的研究相对较少,而且仅有的相关研究主要以定性描述为主,缺乏基于评价指标体系的定量分析。

近年来,随着“3S”技术的发展,将 GIS 技术应用于地质环境评价及地质承载力分析,已成为国内外研究的新趋势<sup>[8]</sup>。同时,地质环境承载力的研究在方法上得到了多元化发展,也将使地质环境承载力的研究达到新的高度。因此,本文将宁夏沿黄经济区为实例,基于 GIS 系统对区域地质环境承载力进行定量研究,为城市地质环境规划提供科学依据。

## 2. 研究区概况

“沿黄经济区”是宁夏各种生产要素和经济活动最为集中的地区,主要包括银川、卫宁两大平原区,以全区 43% 的国土面积集中了全区 61% 的人口、80% 的城镇和 82% 的城镇人口,创造了自治区 90% 以上的 GDP 和 67% 的财政收入,是宁夏发展的战略高地和主

要的增长极。

银川平原位于宁夏回族自治区北部,地理座标东经 105°45′~106°56′,北纬 37°46′~39°23′,总面积 7790 km<sup>2</sup>(图 1)。银川平原地辖宁夏回族自治区银川市、吴忠市、石嘴山市三市六县,是中国黄河流域中上游地区重要的工农业生产基地,同时又是带动宁夏回族自治区及周边地区国民经济发展的核心地区。

卫宁平原位于宁夏回族自治区中部,平原海拔高程 1132~1238 m,面积 1077 km<sup>2</sup>。行政区划属众位沙坡头区、中宁县、青铜峡市的部分地区,地理坐标东经 105°58′~106°57′,北纬 37°25′~37°50′(图 1)。

沿黄经济区地处中温带干旱区,干旱少雨,日照充足,蒸发强烈,风大沙多。年平均气温 9.0℃,多年平均降水量 180~400 mm,多集中在 6~9 月,占全年降水量的 68.1%。年蒸发量为 1825 mm,接近降水量的 10 倍。流经沿黄经济区的主要河流有黄河干流及其支流清水河和苦水河。

宁夏地区是我国西部重要生态屏障。对沿黄经济区进行地质环境承载力的研究,可以为宁夏重点经济区的规划建设提供科学依据,也可促进经济建设与地质、环境、资源的协调发展。

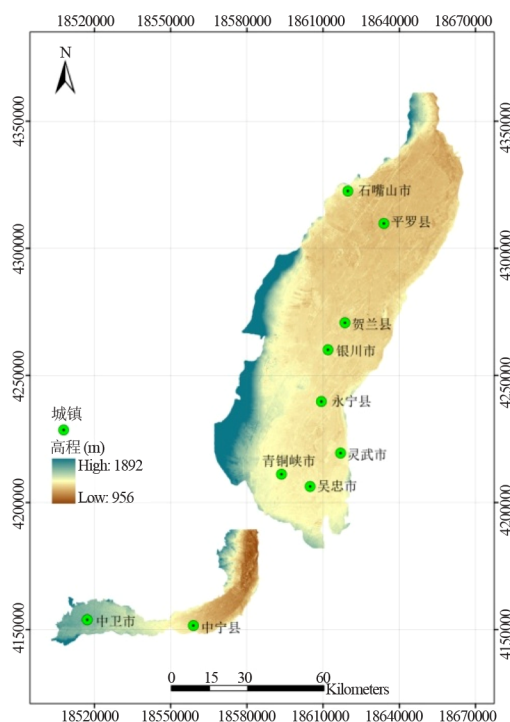


Figure 1. The elevation distribution of the Economic Zone along the Yellow River  
图 1. 沿黄经济区高程分布图

### 3. 评价指标体系及评价方法

#### 3.1. 评价指标体系

生态地质环境承载力评价指标体系的建立是一个复杂的过程,它既包含有自然生态地质条件因素,又包含有社会属性的人类活动因素。本文以城市带为研究背景,根据城市生态地质环境的普遍情况,分层次探讨了生态地质环境承载力评价指标体系的内容。把生态地质环境承载力评价指标体系分为三个子系统,它们分别是:地质环境子系统、生态环境子系统和社会环境子系统。

##### 1) 地质环境子系统

根据城市的特点和要求,城市地质环境子系统可以从地质环境条件和地质资源两个方面考虑。地质环境条件方面可以从地理位置、气象水文、地形地貌、地质构造、地层岩性、水文地质、地质灾害等方面选取指标;地质资源方面可以选取与地质环境有紧密联系的自然资源,如土地资源、森林资源、矿产资源等,再根据各自的特点选取具体指标(表 1)。根据宁夏地区的特点,我们选取了如下地质要素指标:地貌类型、地质构造、地质灾害、年降雨量、年均气温、日照时数、高程、坡度、地下水位埋深、潜水污染、岩土性质、盐渍化程度等。

##### 2) 生态环境子系统

生态环境子系统的影响因素主要从植被、土壤、水体等方面分析,从中选取具有代表性的具体指标(见表 2)。在宁夏沿黄经济区地质环境承载力的研究中,我们选取了下面生态环境要素:植被指数、景观分布、

Table 1. Index of geological environmental sub-system  
表1. 地质环境子系统指标

准则层	指标层	分指标层	影响程度
	地理位置	公路交通、铁路交通	±2
	气象水文	年降雨、气温、日照	±2
地质环境子系统	地形地貌	地貌类型、地形坡度、地面高程	±3
	地质构造	地质构造复杂性、断裂发育程度	±2
	地层岩性	地层组合类型、岩土性质	±3
	水文地质	地下水埋深、地下水污染程度	±3
	地质灾害	地质灾害发育程度、土壤盐渍化程度	±3
	土地资源	耕地面积、土地利用程度	±3

湿地分布等。

##### 3) 社会环境子系统

社会环境子系统主要包括人口因素、经济因素、人类工程活动等因子(见表 3)。本文选取人口密度、地区生产总值、城市建设、采矿活动、水利工程为研究要素。

#### 3.2. 评价方法

根据上述分析,将影响宁夏沿黄经济区发展的生态环境承载力的主要要素分别建立图层。首先进行矢量化操作。将所有图形,包括地形地貌图、水文地质图、岩土类型图、植被分类图、人口密度图等,进行矢量化操作。经过地图扫描、配准、屏幕跟踪矢量化、属性赋值等一系列操作,完成图件的矢量化。其次是要素层的提取。在建立好的矢量文件库中,提取分析区域地质环境承载力的要素,如地貌类型、地质构造、地质灾害、年降雨量、年均气温、日照时数、高程、坡度、地下水位埋深、潜水污染、岩土性质、盐渍化程度、植被指数、景观分布、湿地分布、人口密度、地区生产总值等,分别建立各要素的图层。最后划分栅格单元,也即建立评价单元。根据宁夏区域特点,本次选择单元格大小为 10 m × 10 m。

对参加分析的要素进行打分,有利城市发展的要素为正分,反之为负分,无要素分布的值为 0。各地质要素的权重根据其影响程度(表 1~3)确定,例如地形为 3,断裂为 2。

Table 2. Index of eco-environmental sub-system  
表2. 生态环境子系统指标

准则层	指标层	分指标层	影响程度
生态环境子系统	植被	植被覆盖率、绿地面积	±3
	土壤	土壤侵蚀能力	±2
	自然景观	旅游景点分布	±2
	水体	水资源量、湿地分布	±2

Table 3. Index of social environmental sub-system  
表3. 社会环境子系统指标

准则层	指标层	分指标层	影响程度
社会环境子系统	人口因素	人口密度	±2
	经济因素	地区生产总值	±2
	人类工程活动	城市建设、采矿、水利工程	±2

#### 4. 区域地质环境承载力分析

在 ArcGIS 软件下,对上述所有要素层进行叠置分析,叠置后各单元的分值为各要素的综合分。在此基础上,得到地质要素、生态要素、社会环境要素的综合评分,将其作为地质承载力分区的依据。

研究得出,区域内所有单元的综合承载力分值介于 1~9 之间,根据分值由高至低平均分段,将宁夏沿黄经济区分为三个等级区域(图 2),即:

I 类适宜建设区(承载力 > 6):包括银川平原中部银川市东部、永宁地区及南部吴忠、青铜峡地区,卫宁平原的北部和中宁地区,约占研究区总面积的 37%。本区域地质条件良好,植被覆盖率高,地质构造及地质灾害相对不发育,地下水位埋深相对于北部较深,地下水污染程度较轻,人口密度较高,是城市发展的最佳区域;

II 类适度控制建设区(3 < 承载力 < 6):包括银川平原的北部和中部大部分地区,卫宁平原的中卫地

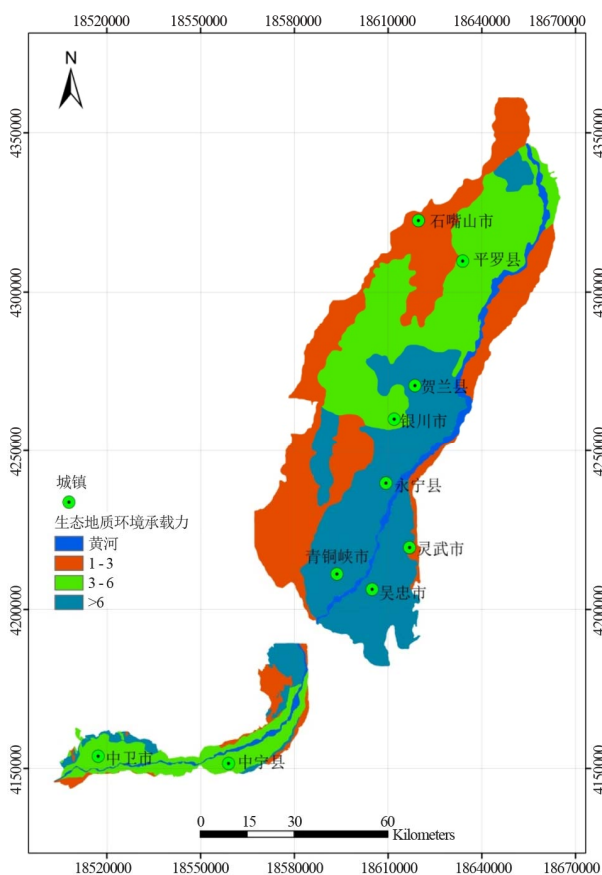


Figure 2. Geo-environmental carrying capacity distribution of the Economic Zone along the Yellow River  
图 2. 沿黄经济区地质环境承载力分区图

区,约占研究区总面积的 34%。本区域地质条件较好,地质构造及地质灾害发育程度较轻,人口密度较高,但地下水位埋深较浅,水质轻度污染,因此要适度控制工程的建设;

III 类中度控制建设区(1 < 承载力 < 3):主要包括银川平原北部石嘴山、东部陶乐、西部贺兰山区、西大滩及部分银川市区,约占研究区总面积的 29%。区内地质环境条件差,植被覆盖率低。石嘴山地区由于采矿污染严重,水位埋深浅,水质较差。贺兰山区内地形坡度较陡,岩土体结构疏松,易发生地质灾害;西大滩地区地下水中度污染,土壤盐渍化较为严重;东部陶乐地区,土地沙化、沙漠化分布广泛且严重。因此,本区域应属于中度控制建设区域。

#### 5. 环境地质问题预测

沿黄经济区主要的环境地质问题是银川平原北部地区的土壤次生盐渍化,中卫及陶灵地区的土地荒漠化、沙漠化,石嘴山地区的地面塌陷地质灾害、区域地下水位下降及地下水污染。

##### 1) 土壤盐渍化

沿黄经济区次生土壤盐渍化集中分布于银川以北平原区,以平罗县西大滩为主,是盐、碱荒地分布区,农作物无法生长;中度、重度盐渍土分布于银北平原地下水径流滞缓地带,以平罗县、惠农县、贺兰县较为严重;轻度盐渍土分布于银川平原银川市郊区及贺兰县,卫宁平原亦由零星分布,地表有盐霜和盐斑发育,作物生长受到抑制,一般为低产田。

据 2005 年统计计算,银川平原盐碱化土壤面积约占平原总面积的 32%,而中度和重度盐渍化地区占了总体面积的 13%。随着综合应用各种措施,目前土壤含盐量维持在 0.2% 左右。虽然全灌区土壤盐渍化面积下降,土壤含盐量降低,但仍将是影响土地持续生产能力提高的主要因子之一。改造中低产田、防治土壤盐渍化仍是灌区农业发展不容忽视的问题。

##### 2) 土地沙漠化

宁夏回族自治区中北部地区东、西、北三面为毛乌素沙漠、乌兰布和沙漠、腾格里沙漠所围限,因而在低缓丘陵及台地上,土地沙化与沙漠化现象普遍,尤以黄河以东陶乐县东部,灵武、盐池县北部的毛乌素沙漠南缘和中卫县西北部腾格里沙漠南缘土地沙化与沙漠化最为严重,地表呈流动沙丘及沙带成片分

布。其余地段呈流动沙丘及沙地、半固定沙丘、固定沙丘，石质荒漠相间分布。

潜在沙漠化土地主要分布于贺兰山、卫宁北山山前低缓丘陵及洪积斜平原，宁中低山丘陵及山间洼地及清水河谷平原北段。地表形态多为砾质荒漠，固定沙地。流沙分布面积小于 10%，风沙活动较弱。地表植被为矮化、旱生植被，植被覆盖率大于 40%。

正在发展中的沙漠化土地主要分布于灵盐台地中南部，地表多为风蚀坡、坑、残墩，出现片状，点状沙地和灌丛沙丘。风沙活动明显，沙生植被与原生植被呈镶嵌分布，植被覆盖率 20%~40%。强烈发展的沙漠化土地主要穿差分布于陶灵盐台地高沙窝 - 惠安堡地区。地表风沙活动频繁，流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘与滩地相间分布，丘间和滩地开阔，多为牧场，流沙面积 30%~50%，积沙厚度一般仅数米。地表为多年沙生植被，原生植被衰败。植被覆盖率小于 20%。

沙漠主要分布于卫宁平原北腾格里沙漠南缘、陶乐台地毛乌素沙漠南缘。风蚀地貌发育，多为新月形沙丘链，沙丘链呈东西向、近南北向走向，地表以砂为主，几乎没有植被生长。

近年来，尽管宁夏在荒漠化治理工作中取得了很大的成绩，从整体看宁夏实现治理速度大于沙化速度，但是由于自然条件限制，特别是随着宁夏沿黄经济区城市快速开发过程中人类活动的影响，局部地区土地沙化与沙漠化有加速发展的趋势。

### 3) 地面塌陷

研究区地面变形地质灾害主要为采矿及煤层自燃引发的地面塌陷及地裂缝。以石嘴山、石炭井煤矿地面塌陷灾害较严重。随着采矿面积的不断加大，使地表大面积成为塌陷区。现部分陷坑已填埋。目前矿区仍有地表大小不一、深浅不等的塌陷区域。

### 4) 区域地下水位下降

区域地下水位下降在沿黄经济区集中分布于银川市及石嘴山市。随着经济发展对供水量需求的不断增长，银川地下水开采呈逐年增长趋势，超量开采地下水现象日益严重，在工矿企业集中的新市区、城区形成两处降落漏斗中心。石嘴山市作为宁夏重工业城市及煤炭生产基地，多年来随着地下水开采量的不断增加，先后于石嘴山区、石嘴山市大武口区工矿企业地下水开采区形成大小不等的八个降落漏斗，且区域

地下水降落漏斗呈加速发展趋势。

### 5) 地下水污染

沿黄经济区由于工农业生产密集，人类工程经济活动集中而造成地下水中化学元素发生异常与变化的地下水污染环境地质问题。地下水污染以潜水为主。银川平原潜水污染程度以微污染为主，中重污染除小面积分布于石嘴山区及吴忠市 - 青铜峡镇南东侧，其余呈点状散布于石嘴山钢铁厂、平罗县、银川市以东、永宁县城附近；卫宁平原中卫县城北西园乡轻污染区有所恶化，部分地带演变为中度污染区；中宁县城一带污染程度也有所增强，由中度污染发展为重度污染；随着沿黄经济带城市化的快速发展，地下水污染的趋势将会加剧。

## 6. 结论

本次研究在分析宁夏沿黄经济区地质环境各因子的基础上，构建评价指标体系，建立复合系统评价模型，将遥感技术与 GIS 技术相结合，对宁夏沿黄经济区的地质环境承载力进行了分区评价，并对存在的环境地质问题进行了预测，本研究得到以下重要结论：

1) 构建由地质环境子系统、生态环境子系统和社会环境子系统组成的评价指标体系，选取地貌类型、地质构造、地质灾害、年降雨量、年均气温、日照时数、高程、坡度、地下水位埋深、潜水污染、岩土性质、盐渍化程度等为地质环境要素；植被指数、景观分布、湿地分布为生态环境要素；人口密度、地区生产总值为社会环境要素。针对宁夏沿黄经济区特点建立了分级标准，较客观地反映了研究区地质环境现状；

2) 基于 GIS 建立了宁夏沿黄经济区环境地质数据库，既可以提取各图层单因子评价信息，也可以综合叠加分析；

3) 将宁夏沿黄经济区分为适宜建设区、适度控制建设区、中度控制建设区三个等级。其中适宜建设区约占研究区总面积的 37%，适度控制建设区占研究区总面积的 34%，中度控制建设区研究区占总面积的 29%；

4) 沿黄经济区主要的环境地质问题有土壤次生盐渍化、土地沙漠化、地面塌陷、区域地下水位下降及地下水污染。

## 参考文献 (References)

- [1] 孙培善. 城市地质工作概论[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 2-5, 42-43, 189-193.
- [2] E. F. D. Mulder, U. G. Cordani. Geoscience provides assets for sustainable development. Episodes, 1999, 22(2): 78-82.
- [3] 蔡鹤生, 唐朝晖, 周爱国. 地质环境容量评价指标初步研究[J]. 水文地质工程地质, 1998, 3: 23-25.
- [4] 姚治华, 王红旗, 郝旭光. 基于集成分析的地质环境承载力研究——以大庆市为例[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(10): 183-189.
- [5] 倪师军, 魏伦武, 张成江等. 城市地质环境风险性分区评价体系[J]. 地质通报, 2006, 25(11): 1279-1286.
- [6] 夏既胜, 付黎涅, 刘本玉等. 基于 GIS 的昆明城市发展地质环境承载力分析[J]. 地球与环境, 2008, 36(2): 148-154.
- [7] 李树文, 康敏娟. 生态 - 地质环境承载力评价指标体系的探讨[J]. 地球与环境, 2010, 38(1): 85-90.
- [8] 赵金平, 焦述强. 基于 GIS 的地质环境评价在国外的研究现状[J]. 南通工学院学报(自然科学版), 2004, 3(2): 46-50.