

基于双曲距离协调度模型的地下水资源与经济承载协调关系

王 轶, 李瑞敏, 高萌萌, 刘 琼, 殷志强, 李小磊, 杨 楠

WANG Yi, LI Ruimin, GAO Mengmeng, LIU Qiong, YIN Zhiqiang, LI Xiaolei, YANG Nan

中国地质环境监测院, 北京 100081

China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China

摘要: 如何分析区域资源环境与社会经济之间的协调匹配程度, 是促进区域经济可持续发展首先需要厘清的问题。基于资源环境承载协调理论, 构建了基于双曲距离协调度的资源-经济系统的协调分析模型方法。根据该模型对全国依赖地下水资源且开发程度较高的 514 个县的地下水资源和经济数据进行了协调关系分析, 评价了各县地下水资源禀赋与其承载的经济体之间的协调关系水平, 结果显示 2 个系统之间的协调匹配程度及空间上具有较大差异性。东北和西北大部分地区处于地下水资源与经济协调的正向区间, 区域经济发展仍具有一定潜力, 华北及南方大部分地区处于负向协调区间, 经济的发展超越了地下水资源的承载能力。

关键词: 双曲距离协调度; 地下水; 资源经济系统; 承载协调

中图分类号: P624; F127 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2020)01-0088-06

Wang Y, Li R M, Gao M M, Liu Q, Yin Z Q, Li X L, Yang N. An analysis of coordination relationship between groundwater resources and economic carrying capacity based on hyperbolic distance coordination model. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(1): 88-93

Abstract: Resources and environment conditions are important factors for supporting social and economic development. China's natural resources and environment conditions are very complex, regional differences are great, and the gap of regional economic development is widening day by day. How to analyze the degree of coordination and matching between resources, environment and social economy is the first problem to be clarified in order to promote the sustainable development of regional economy. Based on the coordination theory of resource and environment carrying capacity, the authors constructed a coordination analysis model method of resource-economy system based on hyperbolic distance coordination degree. According to the model, the authors made coordinated relationship analysis of China's 514 counties which rely on groundwater resources and have developed a higher degree of groundwater resources as well as economic data, and evaluated the level of coordination between economy and the groundwater resources endowment of these counties. The results show some differences of coordination between the two systems and between the degrees of space. Most areas in Northeast and Northwest China are in the positive region of groundwater resources and economic coordination, and regional economic development still has certain potential, whereas most areas of North China and South China are in the negative coordination zone, where the economic development exceeds the carrying capacity of groundwater resources.

Key words: hyperbolic distance coordination; groundwater; resource-economy system; bearing coordination relationship

收稿日期: 2019-08-10; 修订日期: 2019-12-10

资助项目: 中国地质调查局项目《全国地质资源环境承载力评价与监测预警》(编号: DD20160328)

作者简介: 王轶(1979-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事资源环境承载力综合评价研究。E-mail: wangy@cigem.cn

通讯作者: 李瑞敏(1964-), 女, 教授级高工, 从事水工环地质、资源环境承载力综合评价研究。E-mail: lirm@cigem.cn

当前,经济与资源环境的协调可持续发展已成为时代的主题。如何系统评判自然资源环境系统与经济系统之间的协调关系已成为全世界面临的重要难题。地区的资源禀赋和环境容量状况是否能支撑当地经济的可持续发展,资源环境系统与经济系统之间相互匹配程度如何,需要予以度量,才能为相关部门进一步针对性地科学决策,为经济可持续发展提供依据。

基于这一认识,国内外多位专家学者对资源环境与社会经济的承载协调关系进行了系统理论研究。李瑞敏等^{①②[1-4]}提出了“资源环境承载协调理论”。该理论以追求社会经济系统与自然资源环境系统的协调为要义,即自然资源环境禀赋条件的优劣是确定社会经济发展目标的依据。也就是说,自然资源环境禀赋差的区域,只能承载较小的社会经济发展总量,而自然资源环境禀赋好的区域,应该承载较大的社会经济发展总量。该理论系统定义了资源环境与社会经济的协调关系。关于协调度分析,也有多位学者进行过研究,如汪耘西^[3]从资源环境承载力入手,分析区域经济协调发展相关问题,认为资源环境承载力是影响区域经济协调发展的基础,构建资源环境承载力评价模型,从自然资源供给、生态环境承受力及经济社会条件支持三方面通过协调度模型分析资源环境承载力差异与经济差异之间的关系。石月珍^[4]以江苏盐城滨海湿地区域为例,开展滨海湿地区域资源环境与经济社会协调发展研究,从系统的角度分析滨海湿地区域经济、社会、资源与环境子系统协调发展特征、内在协调机制,建立了滨海湿地区域协调发展的 DPSIR 框架体系和系统动力学模型,并给出了滨海湿地生态系统的改善途径。李爽等^[5]根据生态系统特征将陕西省区域生态系统与经济发展划分为资源环境承载力、经济 2 个子系统,建立关于资源环境承载力与经济增长协调度的评价指标,从系统指标体系中选取了 23 个代表性指标,利用状态空间法、综合指数法、协调发展函数法对区域资源环境承载力和区域协调发展水平进行实证研究。

前人对资源环境与社会经济的承载协调关系、资源环境本底与经济社会协调发展关系有了诸多理论分析和研究,在分析协调水平时,多采用指数综合判定资源环境与社会经济的协调水平,难以体现主控因素的作用。

中国的水资源是承载社会经济发展的重要因素,“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”是当前可持续发展的重要理念。对水资源的开发利用中,地下水资源是中国特别是北方地区重要的水资源基础,开采强度也较大,水资源已成为约束地区社会经济发展的主控因素。

基于前人研究的基础及中国地下水资源特征,本文从分析资源环境与社会经济 2 类不同系统中的协调关系出发,借助模糊数学理论建立概念模型,分析 2 个系统之间的协调匹配程度。

1 资源环境与经济协调关系

2 个系统之间的协调关系,即两者在发展过程中的和谐匹配程度,而协调度就是度量这种程度的测度。“协调”关系是一个内涵明确而外延不明确的模糊概念^[6],即无法准确描述系统之间是否协调,只能通过程度分析系统之间的协调关系。对于协调程度的判定,可以借助概率论和统计学中的“数学期望值”^[7]概念予以表征。“数学期望值”可通过分析大量资源环境与经济数据样本,经过数据检验,建立回归方程予以判定。协调模型基于量化实际观测值与数学期望值离差的基础上,其离差越小,表现出系统之间越协调,反映在空间上即为空间距离的长短^[8]。

就资源环境系统与经济系统来说,区域自然资源禀赋与环境容量是承载支撑当地经济发展的重要因素,二者之间从理论上说应处于正向相关联系,即 $A \propto B$ (其中 A 为资源环境系统, B 为经济系统)。其回归方程也应表达为正向曲线。但资源环境承载能力与经济发展之间的关系不能简单地以正相关的线性曲线来表达,因为经济的发展有多方面制约因素,不能永远趋于上行,在一定阶段即趋于“饱和”,不会再随着自然资源禀赋与环境容量的增加而增大,表现为一种双曲线关系(图 1)。因此,本文基于这一本质,构建协调度模型。

图 1 中曲线方程为 $S = \frac{R}{aR+b}$, 其中: S 表示经济

系统; R 表示资源环境系统; a, b 表示曲线参数; $S_a(i)$ 表示 i 地区实际的经济度; $S_c(i)$ 表示 i 地区的理想经济度; $D_c(i)$ 表示 i 地区资源环境-经济距离协调度; S_{max} 表示理想协调状态下资源环境承载经济的最大发展程度。

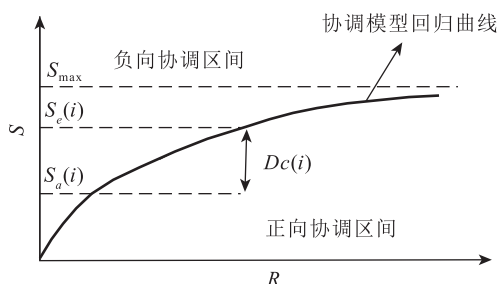


图1 资源环境-经济系统协调度模型(示意)

Fig. 1 Resource environment-economic system coordination model(schematic)

曲线下方为正向协调区间,表示经济发展落后于资源禀赋和环境容量水平;曲线上方为负向协调区间,表示经济发展超过资源环境条件。

2 双曲距离协调度模型的建立

2.1 数据处理

衡量资源环境与经济的要素是多维度的,可以通过多种数学方法,如灰色模型、神经网络、主成分分析、专家打分等进行综合判定。这些方法各有优劣,在此不予讨论,仅在假定上述资源环境和经济数据均得以综合的基础上进一步分析。

不同类型、不同量纲数据综合需要对数据进行标准化处理,即消除数据原始量纲,并使数据分布在同一范围区间内,同时又不丧失原有数据的分布特征。常见的数据标准化方法包括线性函数归一化(Min-Max scaling)和0均值标准化(Z-core standardization)等。其中线性函数归一化能实现原始数据的等比例缩放,适用于线性发展数据的归一化。

$$X_{\text{norm}} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

公式(1)为线性函数归一化方法。

但传统的线性函数归一化仅将数据归一化到[0,1]区间内,最小值为0在数据分析和转换中存在一定局限性。因此本文采用改进的线性函数归一化方法,使归一化的数据能在 $[I_1, I_2]$ 区间内分布。

$$X_{\text{norm}} = I_1 + (I_2 - I_1) \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

公式(2)为改进的线性函数归一化方法。

2.2 建立回归曲线

资源环境-社会系统回归方程 $S = \frac{R}{aR+b}$ 为双曲函数,不能直接进行线性回归,但可以通过数据转换,将双曲函数转换为线性函数,从而计算a、b值。将 $S = \frac{R}{aR+b}$ 方程予以转换,可得到 $\frac{1}{S} = b \frac{1}{R} + a$, 设 $S' = \frac{1}{S}$, $R' = \frac{1}{R}$, 即 $S' = b R' + a$, 为线性回归方程。运用最小二乘法^[9]进行回归分析,其中:

$$b = \frac{\overline{R' \times S'} - \overline{R'} \times \overline{S'}}{\overline{R'^2} - (\overline{R'})^2} \quad (3)$$

$$a = \overline{S'} - b \overline{R'} \quad (4)$$

由此可得出回归方程 $S = \frac{R}{aR+b}$ 中的a、b参数值,回归曲线得以建立。

2.3 距离协调度计算

距离协调度表示为: $D_c(i) = S_e(i) - S_a(i)$,

即基于当前资源环境承载力条件,目前经济发展水平与期望值间的差距。表现为差值越大,经济系统与资源环境系统之间越不协调,若 D_c 趋于0,表示协调程度越高; D_c 为正值,表示目前资源环境条件下,经济仍有发展空间; D_c 为负值,表示目前经济发展已经超越资源环境条件的支撑能力,需要引起重视。

3 基于模型的地下水资源与经济的协调匹配程度分析

水资源是经济发展的重要支撑因素,尤其在中国北方大部分地区,地下水资源已成为地方水资源开发利用的主要来源。本文根据中国地下水资源禀赋情况,结合经济发展水平,采用双曲距离协调度进行验证分析。

中国地下水资源分布极不均衡,空间差异大,开发利用程度也不一样。中国南方地表水资源丰沛,对地下水资源的利用程度较低,在一些地表水开发利用程度高而地下水资源利用程度较低的地区,单纯采用地下水资源天然禀赋情况对比分析与经济的协调关系并不合理。因此,本文在全国综合选取了地下水资源开采程度超过50%的514个县进行分析(图2)。上述区县主要分布于中国华北大部

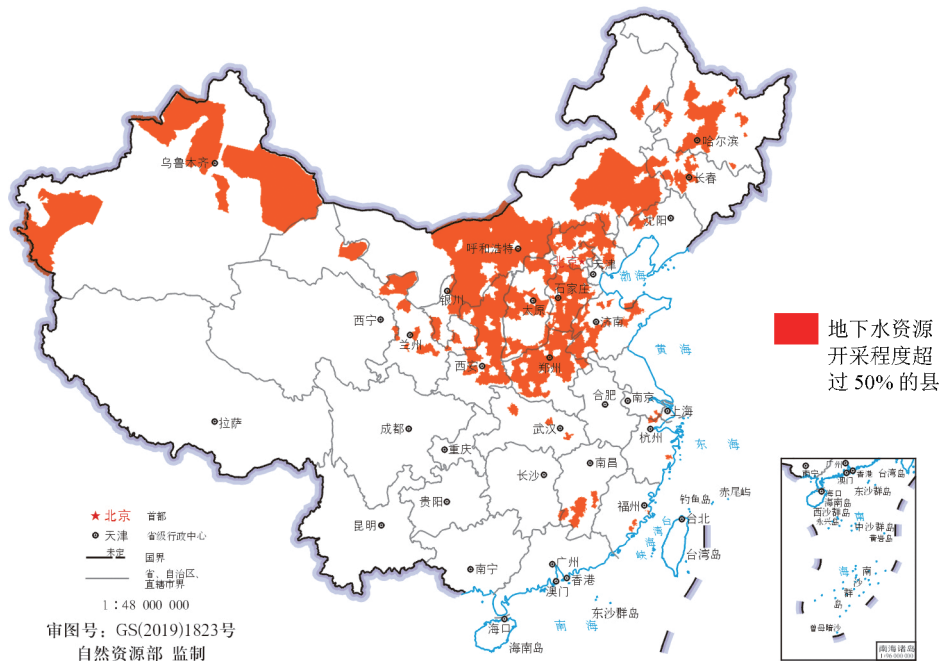


图 2 514 个县在全国的分布示意图

Fig. 2 The distribution of 514 counties in China

分地区、东北和西北地区也分布较广,南方零星分布,表明地下水资源在中国北方具有重要意义。

3.1 指标选取

地下水资源数据来源于 2005 年全国地下水资源评价结果^[10],并根据全国地下水资源公报进行修正,更新至 2014 年,经济数据采用 2015 年中国县域统计年鉴^[11]中的统计数据。

反映地下水资源的指标有多种,包括地下水资源总量、地下水可采资源量、地下水位等。其中,地下水可采资源量反映在经济合理、技术可行且不引起生态环境恶化的条件下,允许从含水层中抽取的最大水量,反映地下水系统在不丧失系统功能前提下的最大可利用资源量,是最合适的评判区域地下水资源禀赋的指标。反映经济发展的指标也很多,本文采用比较公认的 GDP(地区生产总值)指标予以表征。

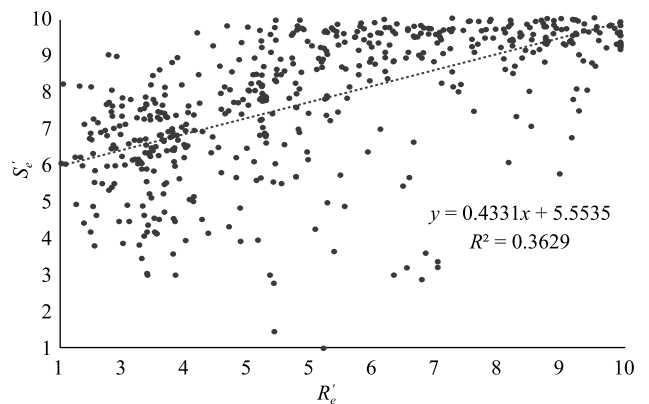
前述距离协调度模型是建立在数理统计分析构建回归曲线的基础之上,数理统计分析需要根据数据间的差异性进行拟合。就中国的县域行政区单元来说,其地理分布和空间大小有较强的差异性,直接采用总量指标进行对比和分析不能反映实际情况,因此本文采用各指标的地均水平进行分析。

3.2 双曲回归方程建立

数据采用线性函数归一化(Min-Max scaling)法进行标准化。考虑到标准化后的数据最小值不能为 0(求反后为无穷大),因此标准化数据区间采用[0.1,1]。

设曲线回归方程为 $S_e = \frac{R_e}{a R_e + b}$, 根据 $S'_e = b R'_e + a$

建立回归方程(设 $S'_e = \frac{1}{S_e}$, $R'_e = \frac{1}{R_e}$),运用最小二乘法进行计算,计算结果 $a=5.5535$, $b=0.4331$ (图 3)。

图 3 R'_e - S'_e 线性拟合结果Fig. 3 R'_e - S'_e Linear fitting result

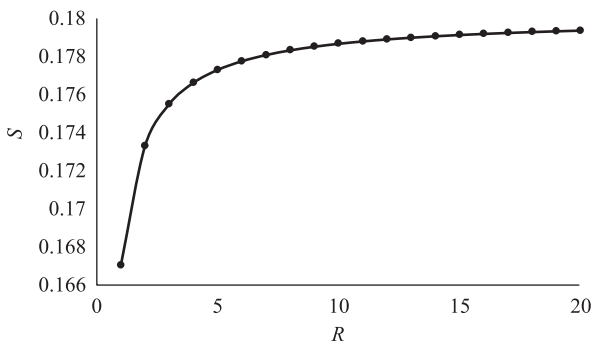


图4 地下水资源 R -经济 S 协调回归曲线
Fig. 4 Groundwater resource (R)-economic (S) coordination regression curve

由此可得出地下水资源 R 和经济 S 协调回归曲线方程为, $S = \frac{R}{5.5535R + 0.4331}$ (图4)。

3.3 协调度计算结果

采用 $D_c(i) = S_c(i) - S_a(i)$ 公式进行协调度计算。计算结果显示,514 个县的地下水与经济距离协调度水平在 $-0.872 \sim 0.047$ 之间,其中处于正向协调区间的有 302 个县,处于负向协调区间的有 212 个县。

对上述结果进行分级评判。由于各项数据进行了标准处理,考虑到数据标准化的方法不同,结果也不尽相同。因此,本文采用累积频率 (Cumulative frequency) 法进行分级^[12],按照 $C < 10\%$, $10\% \leq C < 30\%$, $30\% \leq C < 70\%$, $70\% \leq C < 90\%$, $90\% \leq C \leq 100\%$ 进行等级划分,等级分别评判为优质协调、良好协调、轻度失调、中度失调和重度失调。

考虑到该模型是以距离来评判协调程度,因此对距离协调度计算结果取绝对值后进行累积频率分级。分级对应结果见表 1。

对 514 个县的地下水资源与经济的协调度水平按照上述分级标准进行评判,评判结果如表 2 和图 5 所示。

表 1 累积频率分级结果

Table 1 Cumulative frequency classification results

累积频率 C	对应协调度 D 值
10%	0.002
30%	0.007
70%	0.021
90%	0.050

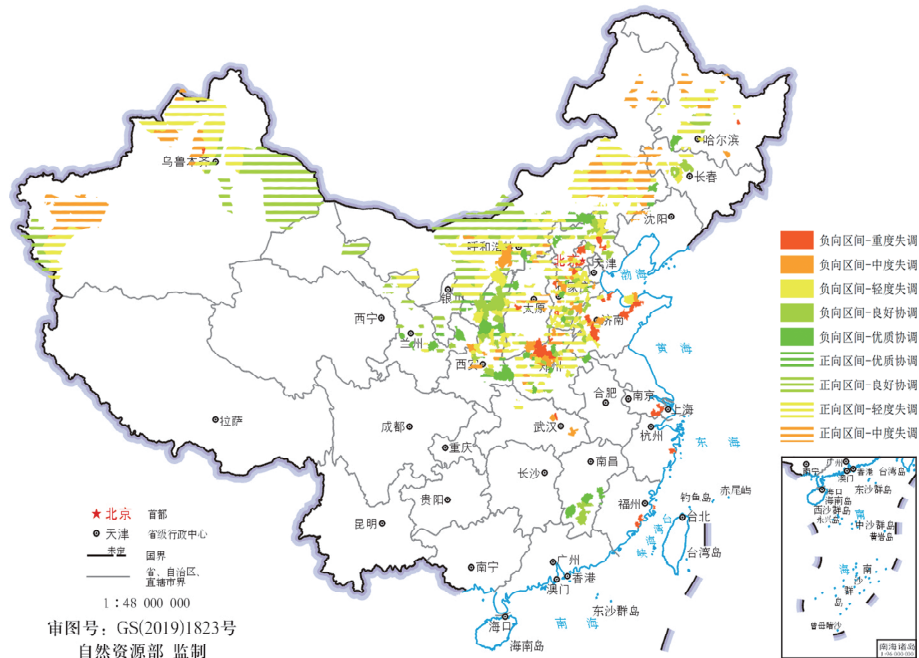


图5 全国 514 个县的地下水资源与经济距离协调度评价结果分布图

Fig. 5 The distribution of the evaluation results of the coordination degree of groundwater resources and economic distance in 514 counties of China

表 2 514 个县地下水资源与经济协调度水平
Table 2 Groundwater resources and economic
coordination level in 514 counties

协调水平	处于正向协调 区间的县个数	处于负向协调 区间的县个数
优质协调	21	29
良好协调	68	35
轻度失调	148	57
中度失调	65	38
重度失调	—	53
合计	302	212

4 结果分析

对全国 514 个县的地下水资源和经济发展水平的协调度分析结果显示。

(1) 514 个县中处于正向协调区间的有 302 个县,处于负向协调区间的有 212 个县,显示地方经济发展超出地下水资源的承载理想水平的地区占比较大,部分地区经济发展滞后于当地的地下水资源承载水平,还具有一定的发展空间。

(2) 负向协调区间的各县距离协调度在 0~0.872 之间,反映出经济发展超地下水资源承载能力程度较高,且区域差异较大,而正向协调区间的各县距离协调度在 0~0.047 之间,表明各县经济发展相对地下水资源承载能力滞后程度不大,没有出现重度失调。

(3) 全国对地下水资源利用依赖程度较高的地区主要分布在中国华北、东北和西北地区,零星分布于南部部分岩溶石山地区和沿海部分地区。其中东北和西北大部分地区处于地下水资源与经济协调的正向区间,区域未来经济发展仍具有一定潜力。华北及以南大部分地区处于负向协调区间,经济的发展超越了地下水资源的承载能力。

(4) 有 53 个县(区)达到重度失调水平,主要分布在河南、河北、山东及东南沿海一带,需要引起重视,通过逐步改善资源禀赋与经济发展之间的协调关系,实现区域资源经济协调持续发展。

5 结 论

(1) 根据对全国地下水资源开发利用强度较大

的县与其社会经济发展水平对比来看,协调水平不一,体现了区域发展的差异性,可作为分析社会经济是否良性发展的参考依据。

(2) 除资源量水平外,资源利用效率未来也是考量协调水平的重要因素。未来应考虑根据资源利用效率对曲线的修正。而且随着科学技术的发展,资源利用效率是会有所改变,未来可配合这一参数对协调水平进行动态预测分析。此外,地区发展水平和资源跨区域调度也是未来需进一步考虑的重点。

参考文献

- [1] Li R M, Yin Z Q. Geological resources and environmental carrying capacity evaluation review, theory, and practice in China [J]. China Geology, 2018, 4: 556-565.
- [2] 殷志强,李瑞敏,李小磊,等.地质资源环境承载力研究进展与发展方向[J].中国地质,2018,(6): 1103-1111.
- [3] 汪耘西.基于资源环境承载力的区域经济协调发展研究[D].浙江大学硕士学位论文,2015.
- [4] 石月珍.滨海湿地区域资源环境与经济社会协调发展研究[D].河海大学博士学位论文,2006.
- [5] 李爽,刘梅香.西部地区资源环境承载力与经济增长协调度分析——以陕西省为例[J].西安财经学院学报,2015,(5): 46-53.
- [6] 罗建玲,王青.资源、环境与经济的协调度测定——以陕西省为例[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2011,(9): 80-84.
- [7] 张奔.基于层次分析模糊集合数学期望值的煤矿应急能力评估[J].现代矿业,2015,(12): 175-177.
- [8] 汤玲,李建平,余乐安,等.基于距离协调度模型的系统协调发展定量评价[J].系统工程理论与实践,2010,(4): 594-602.
- [9] 陈绍元,封峰.用最小二乘法确定最可信赖值[J].实验技术与管理,1991,(2): 49-53.
- [10] 张宗祜,李烈荣.中国地下水资源[M].北京:中国地图出版社,2005.
- [11] 国家统计局农村社会经济调查司.中国县域统计年鉴(2015).县市卷[M].北京:中国统计出版社,2015.
- [12] 谢丽芳,李军.线性累积频率分布模型下基于风险效率的项目风险决策分析[J].水运工程,2008,(4): 10-12.
- ① 李瑞敏,李小磊.全国地质资源环境承载力评价监测预警年度报告.中国地质环境监测院,2017.
- ② Li R M, Li X L, Meng H, et al. Evaluation results of resources and environmental carrying capacity research support land and resources management. China Geological Survey Results Bulletin, 2018, 6: 11.