生 态 学 报 2010,30(20):5601—5615
Acta Ecologica Sinica

中国环境管理分区:方法与方案

黄宝荣[1], 李颖明[1,*], 张惠远[2], 许开鹏[2], 邹秀萍[1], 王 毅[1]
(1. 中国科学院科技政策与管理科学研究所社会与可持续发展研究室,北京 100190;2. 环境保护部环境规划院, 北京 100012)

摘要:我国生态环境可持续性及其影响因素的区域差异显著,各地区环境管理面临的主要挑战和需要优先解决的生态环境问题不同。进行环境管理分区,根据各地区生态环境特征及其影响因素的差异性,制定有针对性的环境管理政策,将有效促进我国区域生态环境的整体优化。采取定性和定量分析相结合的方法进行我国环境管理分区。首先,在我国3大自然区的基础上,根据我国的自然地理格局和已有的相关区划成果,把我国划分为4个环境管理大区,包括:南部季风区、北部季风区、西北干旱区和青藏高寒区。其次,通过建立的包含13个指标的环境管理分区指标体系,采用一维化欧式距离法分析各环境管理大区下相邻省级行政区环境特征的相似性,把环境特征相似性大的相邻地区划分到同一分区,得到以省级行政区为基本单元的我国环境管理分区方案。然后,结合地区间历史渊源和区域未来发展趋势分析,对基于相似性分析的初步分区方案进行调整,把我国划分为8个以省级行政区为基本单元环境管理区。最后,根据相关调整原则和方法,对以省级行政区为基本单元的分区方案的边界线进行调整,得到以地级行政区为基本单元的分区方案,把我国划分为东北地区、华北平原区、华北山地与高原区、东南沿海地区、长江流域中游地区、西南地区、西北干旱区和青藏高寒区8个环境管理区。

关键词:环境管理;分区;方案

Environmental management regionalization in China: methods and scheme

HUANG Baorong[1], LI Yingming[1,*], ZHANG Huiyuan[2], XU Kaipeng[2], ZOU Xiuping[1], WANG Yi[1]
1 *Laboratory of Social and Sustainable Development, Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100085, *China*
2 *Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing* 100012, *China*

Abstract: There exists obvious environmental heterogeneity in China with regard to structure, function, impact and countermeasures, due to its evolution and its interaction with human beings. Accordingly, the environmental management in different regions faces different problems and challenges that need prior solution. Environmental managers are often faced with the task of combining similar environmental units with similar environmental problems within an extensive area into larger zones that may be considered homogeneous for planning and management purposes. According to the regional heterogeneity in environmental characters, problems and its social and economic influencing factors, environmental management regionalization (EMR) aims to classify environmental units into homogeneous zones, and to provide strategies and countermeasures needed to improve environmental quality for each zone. It should play an important role in regional environmental goals setting, policy making and investment decision-making. In this paper, we combined both of qualitative and quantitative analysis to perform EMR in the entire country. Firstly, on the basis of three physical geography domains in comprehensive physical regionalization of China, we obstained four environmental management domains (EMD), which includes the south summer Monsoon domain, the north summer Monsoon domain, the arid domain of northwest China and the Tibetan Plateau domain according to physio-geographical pattern in China and some key boundaries in related regionalization and planning. The main differences in environmental characters among the four EMDs are their natural resource endowment, ecological carrying capacity and environmental vulnerability. Secondly, based on the four themes of "natural resource endowment, social and economic development levels, utilization efficiency of resources and eco-

基金项目:环保部环境规划院对外委托项目(2009B-052);国家自然科学基金资助项目(40901300)
收稿日期:2010-01-08; **修订日期**:2010-08-19
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ymlimail@163.com

environmental effects", we developed a regionalization indicator system that consists of thirteen indicators, which were selected from the thirty-two candidate indicators to analyze the similarity of environmental characters and its social and economic influencing factors between neighbouring provinces in each EMD. Thirdly, based on the regionalization indicator system, the method of Euclidean distance measurement was employed to conduct quantitative classification and a one-dimensional Euclidean distance similarity coefficient was used to quantify the similarity of environmental characters and its influencing factors between neighbouring provinces. Based on these analysis, the neighbouring provinces with high similarity in environmental characters and its influencing factors were merged into one environmental management region. Thus, a preliminary draft of EMR was carried out. Fourthly, the preliminary draft of EMR was adjusted according to the historical relationship and the development trend of regional integration between neighbouring provinces, and thus eight environmental management regions based on provincial units were carried out. Finally, through boundary adjustment on regionalization scheme based on provincial units, eight environmental management regions in unit of prefecture were obtained, including the northeastern China region, the north China plain region, the loess plateau region, the southeast coast region, the middle reaches region of Yangtze River, the southwestern China region, the northwestern China region and the Tibetan plateau region. Each environmental management region faces different environmental problems that need prior solutions. The further research will focus on setting prior goals, and constituting suitable environmental management policies for each environmental management region according to its main environmental problems.

Key Words: environmental management; regionalization; scheme

我国地域辽阔,地理与气候条件复杂多样。区域间自然条件、历史进程和人文环境差异显著。各地区社会经济发展的阶段和模式各异,对生态环境的胁迫强度不一。这些因素的共同作用使我国各地区环境管理面临的主要矛盾和需要优先解决的生态环境问题不同。不同区域需要根据其面临的主要生态环境问题,以及区域自然、社会、经济背景,采取针对性的环境管理对策,才能促进区域生态环境的持续改善。进行环境管理分区,把生态环境特征及其影响因素相似性大或生态系统关系紧密的地区划分到同一分区,确定每个分区需要优先解决的生态环境问题,并采取针对性的环境管理对策,是确保我国生态环境整体优化的重要保障。

关于自然地理与生态环境区划,我国已经拥有众多研究基础。从早期侧重于自然因素的气候区划[1]、植被区划[2]、农业区划[3]、自然地理区划[4-6],到后来考虑到社会经济发展对生态环境影响的生态区划[7]、生态功能区划[8]和主体功能区划[9],均对我国环境管理分区具有重要的参考价值。全国生态功能区划把我国划分为 3 个生态大区、67 个生态亚区和 216 个生态功能区,强调通过对自然生态系统的保育,促进我国区域的可持续发展。其相关成果能够为我国区域环境管理政策的制定提供重要支撑。生态功能区划的主要目标是加强重要与脆弱生态系统的保育,而较少考虑水、大气和土壤等环境要素的管理。2006—2010 年,我国开始了主体功能区规划的编制工作,拟将国土空间划分为优化开发、重点开发、限制开发和禁止开发 4 类主体功能区,是我国区域发展理论的重大创新,为我国区域经济发展与环境保护关系的优化提供了重要的理论支撑。但是由于其具有高度的综合性与复杂性,在基础理论和分区实践方面还面临众多挑战[9-10];可以预见在未来一段时间内,区划方案与管理模式仍将处于不断调整与探索阶段。而且,主体功能区划是国家发改委主导编制的以形成合理的区域发展格局和产业布局为目标的区划,生态环境保护是其中的重要内容,但不是主导内容。此外,各类功能区划的边界多以自然边界为主,很少考虑行政区的完整性,使一些针对功能区的管理政策难以落实。因此,在我国的区域环境管理中,还需要一个综合的环境管理分区方案,不仅可以加强对生态、水、大气和土壤等要素的综合管理,还可以在各类基于环境要素的功能区划与以行政区为基本单元的环境管理模式之间架起一座"桥梁",使各类功能区划的管理政策能够落到实处;而且,还可以促进隶属于不同分区的同一类功能区的差别化管理(如黄土高原西部与武夷山常绿阔叶林两个土壤保持生态功能区的管理模式应不同),提高各类功能区管理的针对性。

1　分区方法

1.1　分区的基本原则

分区的基本原则是分区总体思路与分区技术路线确定的基础。本次分区所遵循的基本原则包括:(1)发生学原则——根据区域生态环境及其影响因素的时空演变规律,确定区划中的主导因子与分区依据;(2)地域分异原则——充分重视区域生态环境特征及其影响因素的地域分异规律;(3)区域共轭原则——确保每个环境管理区都是完整的个体,不存在空间上彼此分离的部分;(4)主导因素原则——选取能反映区域生态环境特征及其影响因素分异的主导因素作为确定分区边界的主要根据;(5)行政区划的完整性原则——为了保障政策的落实和执行,在分区单元上将以行政区作为政策引导分区单元;(6)尊重历史的原则——尊重一些已有的区划和规划成果,使环境管理区划能够同已有的各类区划、规划实现衔接,保证相关政策的延续性和易操作性;(7)面向未来的原则——区划过程中需要对未来一段时间我国区域社会、经济与环境系统的发展趋势进行预判,在预判的基础上对区划方案进行调整和完善。

1.2　分区的技术路线

分区的技术路线如图 1 所示,采用定性分析和定量分析相结合的方法进行:(1)根据我国主要自然地理分界线与相关区划分界线,把我国划分为若干个环境管理大区;(2)建立环境管理分区指标体系,对同一环境管理大区下相邻地区环境特征的相似性进行分析,把相似性大的相邻地区初步划分到同一分区;(3)结合我国主要地理分界线和相关区划与规划成果,对分区方案进行调整,确定我国环境管理分区方案;(4)针对各环境管理区的环境特征,制定有针对性的环境管理政策。

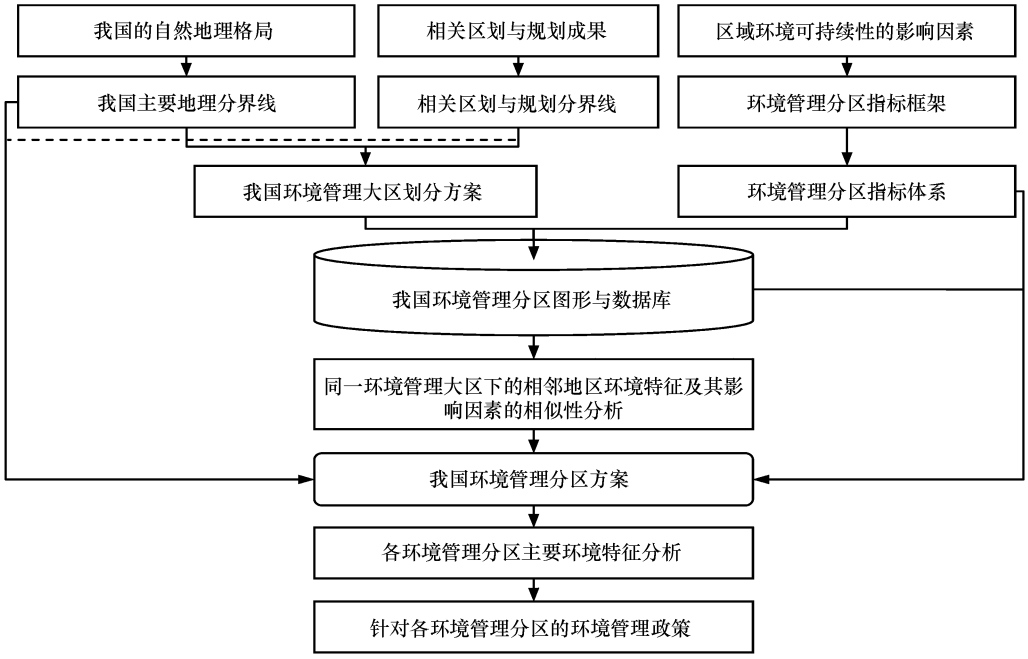

图 1　分区技术路线图

Fig. 1　Technique flow chart for regionalization

1.3　分区中参考的重要自然地理分界线

一些自然地理分界线不仅对我国地貌、气候、水文的空间格局产生影响,而且还对我国的人口分布、社会经济发展水平、土地利用/覆盖的空间格局,以及区域大气污染物的迁移扩散[11-13]产生深远影响,使分界线两侧自然条件、人类活动对生态环境的干扰强度和存在的主要环境问题存在巨大的差异[14]。因此,具有明显自然地理或社会人文分界特征的地理分界线可以作为环境管理分区的分界参考线。本研究选择下述 7 条分界线作为分区的分界参考线:(1)我国地势第 1、第 2 阶梯的分界线,为昆仑山-阿尔金山-祁连山-横断山脉一线;

(2)我国地势第2、第3阶梯的分界线,为大兴安岭-太行山-巫山-雪峰山一线;(3)我国半干旱半湿润区分界线,为400mm降雨量等值线;(4)我国南北地理分界线,为秦岭-淮河一线;(5)长江水系与珠江水系的分界线,为南岭山脉;(6)长江水系与东南诸河分界线,为武夷山山脉;(7)胡焕庸线,为从黑龙江省黑河市到云南省腾冲的直线[15]。

1.4 分区中参考的相关区划与规划成果

分区中参考的相关区划与规划成果包括:(1)中国气候区划;(2)中国植被区划;(3)中国综合自然地理区划;(4)中国农业区划;(5)全国生态功能区划;(6)主体功能区划;(7)国家生态保护"十一五"规划;(8)国家环境保护"十一五"规划;(9)全国生态脆弱区保护规划纲要;(10)京津冀都市圈规划;(11)长江三角洲地区区域规划;(12)东北地区振兴规划;(13)促进中部地区崛起规划。

1.5 分区指标体系

1.5.1 指标框架设计

环境、经济和社会系统间存在错综复杂的交互作用关系。从单纯的环境科学和生态学的角度来研究环境问题,往往难以准确把握这种错综复杂的交互作用关系及其动态演变特征。越来越多的研究者认为系统思想和跨学科的研究方法更适合处理地方可持续发展和环境管理问题[16-18]。区域环境管理,除了需要关注区域环境问题本身外,还需要关注区域环境问题产生的自然地理、历史文化和社会经济背景[19-21]。基于此,研究从自然条件、社会经济发展水平、资源利用效率、污染物排放强度和环境效应5个方面构建我国环境管理分区指标框架。各主题间存在错综复杂的彼此联系,共同决定着我国区域环境可持续性情况(图2)。自然条件对社会经济发展、资源利用和污染物排放具有重要的支撑、供给和消纳功能;社会经济发展是区域资源利用效率和污染物排放强度变化的重要驱动力;而区域自然条件、资源利用效率和污染物排放强度共同决定了区域环境效应情况。

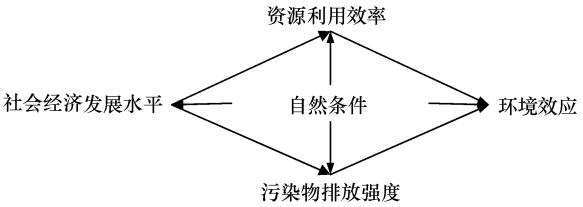

图2 我国环境管理分区指标框架

Fig. 2 Indicator framework for environmental management regionalization in China

1.5.2 指标筛选

为了确保分区指标的科学合理性,需要采取严谨的分区指标筛选程序。指标筛选过程为:(1)通过文献调研,查找区域生态环境质量评价、管理、分区中常用的指标,建立环境管理分区指标库;(2)全面调查2004—2008年各地区各类统计年鉴与公报,结合国家环境保护部提供的2004—2008年各地区各类污染物排放量数据,收集可以获取的数据,把数据的完备性较高的指标作为环境管理分区的备选指标;(3)分析备选指标集中各指标的全局空间自相关Moran's I指数[22],剔除空间自相关性小、在空间分布上随机性大、不能反映空间分异规律的指标;(4)采用分层聚类法中的变量聚类法对各主题中的指标进行变量聚类分析,在聚为同一类指标中选择较为常用的指标作为分区优先选择指标;(5)计算各指标数据近5a来的变异系数及其与年份的秩相关系数,剔除来变异系数大、秩相关系数绝对值小,即难以由历史数据预测未来变化趋势的指标;(6)分析各个主题中指标的系统性和完备性,对于系统完备性低的主题,补充替代指标加以完善。

通过上述指标筛选过程,研究从32个可以获取数据的备选指标中,筛选出13个指标作为我国环境管理分区指标(表1)。

1.6 基于分区指标体系的相邻地区环境特征相似性分析

相邻地区环境特征的相似性分析是环境管理分区过程的重要基础。欧式距离(euclidean distance)常用来分析两个事物的相似性,在各种分类方法中广为应用[23-25]。但欧式距离大小与多维空间中变量的数量多少有关,为了消除变量数量对欧式距离大小的影响,本研究对欧式距离法进行了一维化处理,使分区指标数量不同的主题之间可以相互比较。

表 1　我国环境管理分区指标体系

Table 1　Indicator system for environmental management regionalization in China

主题 Themes	指标 Indicators
自然资源条件	R_1 森林覆盖率 /%
Natural state	R_2 耕地覆盖率 /%
	R_3 草地覆盖率 /%
社会经济发展水平	R_4 工业经济密度/(10^4元/(a·km^2))
Social and economic development levels	R_5 农业经济密度/(10^4元/(a·km^2))
	R_6 城市化率 U/%
资源利用效率	R_7 单位 GDP 能耗 /(标准煤/10^4 元)
Utilization efficiency of resources	R_8 单位 GDP 水耗 /(t/10^4 元)
污染物排放强度	R_9 单位国土面积 SO2 排放量/(t/(a·km^2))
Pollutants emission intensity	R_{10} 单位地表水资源接纳的 COD 排放量/(kg/(a·10^4 m^3))
	R_{11} 单位国土面积化肥施用量 (kg/(a·hm^2))
环境效应	R_{12} 河流断面(包括国控和省控断面)监测水质劣于Ⅲ类水体的百分比/%
Eco-environmental effects	R_{13} 设区市空气环境质量达到或好于Ⅱ级的平均天数/d

相对于其他地区,北京、天津、上海 3 市面积过小,环境可持续性对周边其他地区的依赖性大,而且一些分区指标容易出现远大于或小于其他地区的极值数据,使得整个面板数据不能满足正态分布,影响相似性分析结果。因此,进行相似性分析时,先把这 3 个市排除在外。根据区域共轭原则,研究只比较相邻地区环境特征的相似性。

1.6.1　指标数据的标准化

用 Z-score 法对除北京、天津、上海 3 市以外的其他 28 个地区的指标数据进行标准化处理:

$$Z_{ij} = (r_{ij} - \overline{r_i})/S_j \tag{1}$$

式中,Z_{ij}为第 i 个地区第 j 个指标的标准化值;r_{ij}为第 i 个地区第 j 个指标的原始值;$\overline{r_i}$为各地区第 j 个指标的平均值;S_j为第 j 个指标的标准差。

1.6.2　计算相邻两地区各主题的欧式距离

计算相邻两个地区各个主题的欧式距离:

$$D_{k,\mathrm{Euclid}}(Z_{aj}, Z_{bj}) = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(Z_{aj} - Z_{bj})} \tag{2}$$

式中,$D_{k,\mathrm{Euclid}}(Z_{aj}, Z_{bj})$为相邻两地区 a 和 b 第 k 个主题欧式距离;Z_{aj}为地区 a 指标 j 的标准化值;Z_{bj}为地区 b 的指标 j 的标准化值;n 为主题 k 中指标数量。

1.6.3　对相邻地区各环境主题的欧式距离进行一维化处理

各个主题中的分区指标数量不一样,为了使相邻地区不同主题的相似程度能够相互比较,对不同主题的欧式距离进行一维化处理。即把 n 维空间的距离投影到 1 维空间。n 维空间中任意两个点 a 和 b 的一维化欧式距离为其欧式距离值除以$\sqrt{n}$。考虑到把大部分一维化欧式距离转换到 0 到 1 之间的数据,把 n 维空间中任意两个点一维化欧式距离设为其欧式距离值除以 $2\sqrt{n}$所得值:

$$D_k(a,b) = \frac{D_{k,\mathrm{euckud}}(Z_{aj}, Z_{bj})}{2\sqrt{n}} \tag{3}$$

式中,$D_k(a, b)$为相邻两地区 a 和地区 b 的第 k 个主题的一维化欧式距离。

1.6.4　相邻地区平均一维化欧式距离

计算指标体系中 5 个主题一维化欧式距离的平均值,用来反映各个相邻地区综合环境可持续性特征的相似性:

$$D(a,b) = \frac{1}{5}\sum_{k=1}^{5} D_k(a,b) \tag{4}$$

式中,$D(a, b)$为相邻两地区 a 和地区 b 平均一维化欧式距离。

1.6.5 相邻地区各个主题相似程度判断

假设:相邻两个地区的某一主题的一维化欧式距离或平均一维化欧式距离越小,则这两个地区该主题或者环境综合特征的相似性越大。根据假设,设定相邻地区各环境主题相似程度判断标准如表 2 所示。

表 2 相邻地区各环境主题相似程度判断标准

Table 2 Judging standard for similarity degree in each environmental theme between neighboring regions

$D_k(a_j, b_j)$或$D(a, b)$值 The values of $D_k(a_j, b_j)$ or $D(a, b)$	(0, 0.25]	(0.25, 0.50]	(0.50, 0.75]	(0.75, +∞)
相似程度 Similarity degree	高度相似	中度相似	低度相似	不相似

1.6.6 相邻地区环境管理分区标准

假设:相邻两个地区平均一维化欧式距离越小,且高度相似(即 $D_k(a, b) \leq 0.25$)的主题越多,则这两个地区的相似性越大,划分到同一分区的可能性越大。根据该假设,如果满足下两条分区标准中的任意一条分区标准,则把相邻的两个地区划为同一环境管理区,否则划到不同的分区:

(1)如果相邻两个地区没有明显的地理分界,当这两个地区的平均一维化欧式距离 $D(a, b) \leq 0.50$,而且不少于 2 个主题的一维化欧式距离 $D_k(a, b) \leq 0.25$;

(2)如果相邻两个地区存在明显的地理分界,当这两个地区的平均一维化欧式距离 $D(a, b) \leq 0.25$,而且不少于 3 个主题的一维化欧式距离 $D_k(a, b) \leq 0.25$。

2 分区方案

2.1 环境管理大区划分方案

在《中国自然地理区划》或《中国生态功能区划》所划分的三大自然区或三个生态大区的基础上,综合参考我国各类相关区划、重要的自然地理分界线,以及气候资源、水资源、土地利用/覆盖、环境效应的空间分异格局,对三大自然区(或生态大区)进一步进行划分,确定我国环境管理大区划分方案。

东部季风区的南部和北部无论是自然条件,还是环境压力和存在的主要环境问题均存在巨大差异,因此,有必要对其进一步划分,以采取不同的环境管理策略。南北差异是东部季风区的主要差异,基于“秦岭-淮河”线是公认的我国南北地理分界线,具有明显的自然条件分界特征,而且各类气候[1]、植被[2]、自然地理[3-5]、农业[6]、生态系统生产力[26]、生物地理[27]和国土综合整治[28]区划也均把它作为不同分区间的分界线,反映了其南北两侧在与生态环境相关的众多方面存在显著的差异性。因此,采用“秦岭—淮河线”进一步把东部季风区划分为南部季风区和北部季风区两个环境管理大区。西北干旱区和青藏高原区区内环境特征的差异不是十分明显,没有必要进一步分区。这样便把我国划分为四个环境管理大区(图 3)。

4 个环境管理大区的差异主要体现在自然条件、资源禀赋、生态承载力、生态系统服务功能与生态环境脆弱性的相对大小等方面。南部季风区各地区自然条件优越,水资源丰沛,河流水网密布,森林覆盖率高,耕地相对较少且以水田为主,区域生态承载力普遍较高,是我国即将出台的主体功能区划中优化和重点开发区集中分布的地区。北部季风区自然条件相对较好,但水资源十分贫乏,东北地区森林覆盖率较高,华北地区森林覆盖率偏低,农业用地较多且以旱地为主,区域生态承载力相对较高,但是由于人口密布、土地开发利用强度大,部分地区环境污染和生态退化十分严重,是我国优化开发区和重点开发区集中分布的区域。西北干旱区自然条件恶劣,水资源十分贫乏,森林覆盖率低,耕地少,植被以荒漠草原为主,沙漠化、荒漠化严重,生态环境脆弱敏感,生态承载力低,是我国限制开发区和禁止开发区集中分布的区域。青藏高寒区自然条件恶劣,气候高寒,水资源丰富,但开发利用条件差,森林覆盖率低,耕地少,高寒草原和草甸是最主要的景观类型,生态承载力低,生态系统极为脆弱敏感,一经破坏很难修复,是我国限制开发区和禁止开发区集中分布的区域。

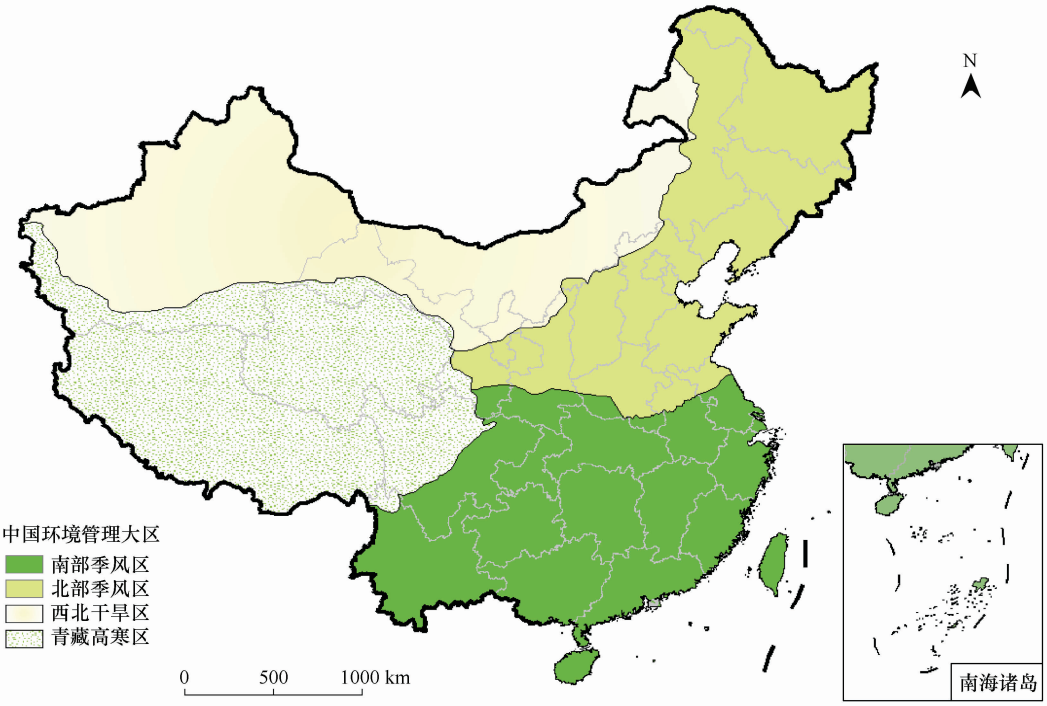

图 3　我国环境管理大区划分方案

Fig. 3　Division scheme of environmental management domain in China

2.2　环境管理区划分方案

2.2.1　以省级行政区为基本单元的划分方案

根据一维化欧式距离,把各环境管理大区下环境特征相似性大的相邻省级行政区划分到同一分区,得到以省级行政区为基本单元的分区方案。由于环境管理大区的边界以自然边界为主,有些省份跨越两个甚至 3 个环境管理大区。这时,需要根据各省级行政区主体部分的隶属情况,确定其所属大区。如安徽省跨越南部和北部季风区 2 个大区,但由于其主体部分布在南部季风区,被认为隶属于南部季风区。

以南部季风区的进一步分区为例来说明以省级行政区为基本单元的环境管理分区的基本过程。首先,根据一维化欧式距离分析南部季风区下相邻省级行政区各环境主题特征的相似性。如:从表 3 可以看出,江西与浙江、福建、广东和湖南等省之间的自然条件一维化欧式距离均小于 0.25,在自然条件方面表现为高度相似;与湖北省之间的自然条件一维化欧式距离介于 0.25 到 0.50 之间,表现为中度相似。同样,根据表 3—表 8,可以分析其他相邻地区各环境主题特征的相似性程度。

根据表 3—表 8 所示的南部季风区相邻省级行政区各环境主题特征的相似性分析结果,以及 1.6.6 相邻地区环境管理分区标准,初步把南部季风区划为六大区域:(1)江苏;(2)浙江-福建-广东-海南;(3)安徽-福建-江西-湖北\湖南-广西;(4)重庆;(5)贵州;(6)四川-云南-广西。根据这种划分方案,江苏、重庆和贵州 3 个地区不能与它们周边任意相邻的地区划分到同一分区,但过多的分区显然无法满足我国区域环境综合与协调管理的需求。而且,福建和广西两地的划分归属问题也悬而未决。此时,相邻地区间的历史渊源分析和未来发展趋势预测是有效的分区辅助方法,能够帮助确定悬而未决的分区方案,而且使分区结果既尊重历史,又面向未来。

综合各地区环境特征的相似性、历史渊源和未来发展趋势,研究认为西南四省一市适合划分到同一环境管理分区,具体原因如下:(1)西南四省一市中除重庆市和贵州省之间的综合环境特征低度相似外,其他相邻地区均为高度或中度相似,反映了整个西南四省一市之间环境特征具有相对较高的相似性;(2)“大西南经济圈”是全国开展区域经济合作较早的地区之一,西南地区经济协调会为西南四省一市区域环境管理的一体化

表 3　南部季风区相邻省级行政区自然条件的一维化欧式距离

Table 3　One-dimensional Euclidean distance in the theme of natural state between neighboring provinces in SSMD

省份 Provinces	自然条件一维化欧式距离 One-dimensional Euclidean distance in the theme of natural state													
	江苏	浙江	安徽	江西	福建	广东	海南	广西	湖南	湖北	重庆	贵州	四川	云南
江苏	0	0.9872	0.3070											
浙江	0.9872	0	0.6975	0.0774	0.1980									
安徽	0.3070	0.6975	0	0.7432						0.5013				
江西		0.0774	0.7432	0	0.2074	0.1788			0.1118	0.4743				
福建		0.1980		0.2074	0	0.1391								
广东				0.1788	0.1391	0	0.2432	0.3442	0.2572					
海南						0.2432	0							
广西						0.3442		0	0.1822			0.2453		0.1434
湖南				0.1118		0.2572		0.1822	0	0.3877	0.4787	0.3651		
湖北			0.5013	0.4743					0.3877	0	0.2298			
重庆									0.4787	0.2298	0	0.1275	0.5581	
贵州								0.2453	0.3651		0.1275	0	0.4671	0.3814
四川											0.5581	0.4671	0	0.3559
云南								0.1434				0.3814	0.3559	0

表 4　南部季风区相邻省级行政区社会经济发展水平的一维化欧式距离

Table 4　One-dimensional Euclidean distance in the theme of social and economic development levels between neighboring provinces in SSMD

省份 Provinces	社会经济发展水平的一维化欧式距离 One-dimensional Euclidean distance in the theme of social and economic development levels													
	江苏	浙江	安徽	江西	福建	广东	海南	广西	湖南	湖北	重庆	贵州	四川	云南
江苏	0	0.6001	1.1950											
浙江	0.6001	0	0.8554	0.9080	0.5768									
安徽	1.1950	0.8554	0	0.2008						0.1901				
江西		0.9080	0.2008	0	0.3707	0.9905			0.1382	0.1901				
福建		0.5768		0.3707	0	0.6405								
广东				0.9905	0.6405	0	0.8394	1.1039	0.9380					
海南						0.8394	0							
广西						1.1039		0	0.2072			0.3008		0.2406
湖南				0.1382		0.9380		0.2072	0	0.1243	0.2726	0.5010		
湖北			0.1901	0.1901					0.1243	0	0.1578			
重庆									0.2726	0.1578	0	0.6732	0.4243	
贵州								0.3008	0.5010		0.6732	0	0.2527	0.1091
四川											0.4243	0.2527	0	0.1796
云南								0.2406				0.1091	0.1796	0

表 5　南部季风区相邻省级行政区资源利用效率的一维化欧式距离

Table 5　One-dimensional Euclidean distance in the theme of utilization efficiency of resources between neighboring provinces in SSMD

省份 Provinces	资源利用效率的一维化欧式距离 One-dimensional Euclidean distance in the theme of utilization efficiency of resources													
	江苏	浙江	安徽	江西	福建	广东	海南	广西	湖南	湖北	重庆	贵州	四川	云南
江苏	0	0.1198	0.1640											
浙江	0.1198	0	0.2651	0.3649	0.1165									
安徽	0.1640	0.2651	0	0.1437						0.1287				
江西		0.3649	0.1437	0	0.2484	0.3326			0.1698	0.2502				
福建		0.1165		0.2484	0	0.0917								
广东				0.3326	0.0917	0	0.2680	0.4632	0.3414					
海南						0.2680	0							
广西						0.4632		0	0.2085			0.8690		0.3219
湖南				0.1698		0.3414		0.2085	0	0.0907	0.1886	0.7770		
湖北			0.1287	0.2502					0.0907	0	0.1115			
重庆									0.1886	0.1115	0	0.7928	0.0473	
贵州								0.8690	0.7770		0.7928	0	0.7459	0.6332
四川											0.0473	0.7459	0	0.1591
云南								0.3219				0.6332	0.1591	0

表 6　南部季风区相邻省级行政区污染物排放强度的一维化欧式距离

Table 6　One-dimensional Euclidean distance in the theme of pollutants emission intensity between neighboring provinces in SSMD

省份 Provinces	污染物排放强度一维化欧式距离 One-dimensional Euclidean distance in the theme of pollutants emission intensity													
	江苏	浙江	安徽	江西	福建	广东	海南	广西	湖南	湖北	重庆	贵州	四川	云南
江苏	0	0.8104	0.7172											
浙江	0.8104	0	0.4873	0.3287	0.3315									
安徽	0.7172	0.4873	0	0.4239						0.1755				
江西		0.3287	0.4239	0	0.0582	0.2694			0.0865	0.2490				
福建		0.3315		0.0582	0	0.2506								
广东				0.2694	0.2506	0	0.4704	0.2232	0.2002					
海南						0.4704	0							
广西						0.2232		0	0.0365			0.3280		0.2760
湖南				0.0865		0.2002		0.0365	0	0.1789	0.4569	0.3308		
湖北			0.1755	0.2490					0.1789	0	0.5258			
重庆									0.4569	0.5258	0	0.2448	0.6242	
贵州								0.3280	0.3308		0.2448	0	0.4267	0.5128
四川											0.6242	0.4267	0	0.0909
云南								0.2760				0.5128	0.0909	0

表 7　南部季风区相邻省级行政区环境效应的一维化欧式距离

Table 7　One-dimensional Euclidean distance in the theme of eco-environmental effects between neighboring provinces in SSMD

省份 Provinces	环境效应的一维化欧式距离 One-dimensional Euclidean distance in the theme of eco-environmental effects													
	江苏	浙江	安徽	江西	福建	广东	海南	广西	湖南	湖北	重庆	贵州	四川	云南
江苏	0	0.6014	0.5201											
浙江	0.6014	0	0.8076	0.7070	0.8284									
安徽	0.5201	0.8076	0	0.4705						0.6750				
江西		0.7070	0.4705	0	0.2547	0.2603			0.2640	0.3217				
福建		0.8284		0.2547	0	0.4608								
广东				0.2603	0.4608	0	0.2003	0.4230	0.5088					
海南						0.2003	0							
广西						0.4230		0	0.3353			0.4980		0.5823
湖南				0.2640		0.5088		0.3353	0	0.0594	0.7360	0.2394		
湖北			0.6750	0.3217					0.0594	0	0.6927	!		
重庆									0.7360	0.6927	0	0.7169	0.8403	
贵州								0.4980	0.2394		0.7169	0	0.3531	0.3924
四川											0.8403	0.3531	0	0.5884
云南								0.5823				0.3924	0.5884	0

表 8　南部季风区相邻省级行政区平均一维化欧式距离

Table 8　Average One-dimensional Euclidean distance between neighboring provinces in SSMD

省份 Provinces	平均一维化欧式距离 Average One-dimensional Euclidean distance													
	江苏	浙江	安徽	江西	福建	广东	海南	广西	湖南	湖北	重庆	贵州	四川	云南
江苏	0	0.6238	0.5807											
浙江	0.6238	0	0.6226	0.4772	0.4102									
安徽	0.5807	0.6226	0	0.3964						0.3341				
江西		0.4772	0.3964	0	0.2279	0.4063			0.1541	0.2971				
福建		0.4102		0.2279	0	0.3165								
广东				0.4063	0.3165	0	0.4043	0.5115	0.4491					
海南						0.4043	0							
广西						0.5115		0	0.1939			0.4482		0.3128
湖南				0.1541		0.4491		0.1939	0	0.1682	0.4266	0.4427		
湖北			0.3341	0.2971					0.1682	0	0.3435			
重庆									0.4266	0.3435	0	0.5110	0.4988	
贵州								0.4482	0.4427		0.5110	0	0.4491	0.4058
四川											0.4988	0.4491	0	0.2748
云南								0.3128				0.4058	0.2748	0

奠定了良好的体制基础;(3)重庆与四川间具有更深的历史渊源和更为紧密的经济联系,成渝城市群是我国十大城市群之一,即将出台的《成渝经济区区域规划》也将加速两地的区域一体化,区域经济一体化对环境管理一体化提出了要求,也创造了便利条件;(4)贵州省、云南、广西 3 个地区同为我国少数民族的集聚地区,共同面对的最为严重的生态环境问题是在分区指标中未能体现的喀斯特地貌石漠化、水土流失问题,而且 3 个地区存在较多的经济合作,南-贵-昆经济区建设具有一定的基础。

根据环境特征的相似性分析,江苏省既不适合与安徽省划分到同一个分区,也不适合与浙江省划分到同一个分区。但长江三角洲地区的区域经济一体化,以及国务院出台的《关于进一步推进长江三角洲地区改革开放和经济社会发展的指导意见》和即将推出的《长江三角洲地区区域规划纲要》,对长江三角洲江苏、上海和浙江三地社会、经济和环境的协调管理提出了要求。区域经济一体化对环境管理一体化提出了要求[29],也创造了便利条。结合基于生态环境特征相似性判断的划分方案,研究把江苏、上海与浙江、福建、广东、海南以及东南沿海诸岛划分到同一分区。江苏和上海省与同一分区内其他地区环境特征存在较大的差异,可以通过进一步的功能分区来进一步实现分类管理。

综合上述分析,把南部季风区划分为 3 个环境管理区:(1)东南沿海地区,包括江苏、上海、浙江、福建、广东和海南 6 个地区;(2)长江流域中游地区,包括安徽、江西、湖南、湖北 4 个地区;(3)西南地区,包括重庆、四川、贵州、云南和广西 5 个地区。

采取相似的分析方法,把北部季风区也划分为 3 个环境管理区:(1)东北地区,包括黑龙江、吉林和辽宁 3 省;(2)华北平原区,包括河北、北京、天津、山东、河南 5 个地区;(3)陕晋高原区,包括陕西和山西两省。

西北干旱区和青藏高寒区的区内环境特征的相似性程度较高,而且社会经济发展普遍较为落后,缺乏较为明显的经济一体化区域,也缺乏涉及多个地区的区域经济一体化规划。因此,没有必要对这两个大区进一步分区。

综合上述对各环境管理大区的进一步划分方案,把我国划分为 8 个以省级行政区为基本单元环境管理区(图 4)。计算各环境管理区内两两地区间平均一维化欧式距离的平均值(表 9),分析各分区的区内环境特征的相似性发现,除东南沿海地区的区内环境特征低度相似外,其他分区的区内环境特征均为中度相似。而东南沿海地区在剔除江苏省后,区内环境特征也为中度相似。表明该分区方案基本上把环境特征相似性较大的地区划分到了同一分区,能够促进生态环境特征相似的地区采取相似的生态环境管理政策。

表 9　各环境管理分区的区内环境特征的相似性

Table 9　Similarity degree of environmental characters among different provinces in each environmental management region

环境管理区 Environmental management region	范围 Provinces contained	区域平均一维化欧式距离 Average one-dimensional Euclidean distance	区内相似性 Similarity degree
Ⅰ 东北地区 Northeastern China region	黑龙江、吉林、辽宁	0.3173	中度相似
Ⅱ 华北平原区 North China plain region	河北、山东、河南	0.4905 **	中度相似
Ⅲ 陕晋地区 Shaanxi and Shanxi region	陕西、山西	0.4862	中度相似
Ⅳ 东南沿海地区 Southeast coast region	江苏、浙江、福建、广东、海南	0.5243 **	低度相似
Ⅴ 长江流域中游地区 Middle reaches of Yangtze River region	安徽、江西、湖北、湖南	0.2873	中度相似
Ⅵ 西南地区 Southwestern China region	四川、重庆、云南、贵州、广西	0.4297	中度相似
Ⅺ 西北地区 Northwestern China region	新疆、甘肃、内蒙古、宁夏	0.4633	中度相似
Ⅻ 青藏地区 Tibetan Plateau region	西藏、青海	—	中度相似

** 北京、天津、上海 3 地与周边省份相比国土面积小,环境特征不具备可比性,没有包含在区内环境特征相似性分析中

2.2.2　以地级行政区为基本单元的划分方案

在以省级行政区为基本单元的划分方案的基础上,通过对各分区边界的调整,得到以地级行政区为基本单元的划分方案。分区边界调整的基本原则如下:(1)主导因素原则——把具有相类似主导环境问题的地区调到 1 个区,如根据我国水土流失敏感性的分布情况对以省级行政区为基本单元的分区方案中陕晋地区、西北干旱区和华北平原区进行了调整,形成了华北山地和高原区;(2)参考重要的自然地理分界线——如根据

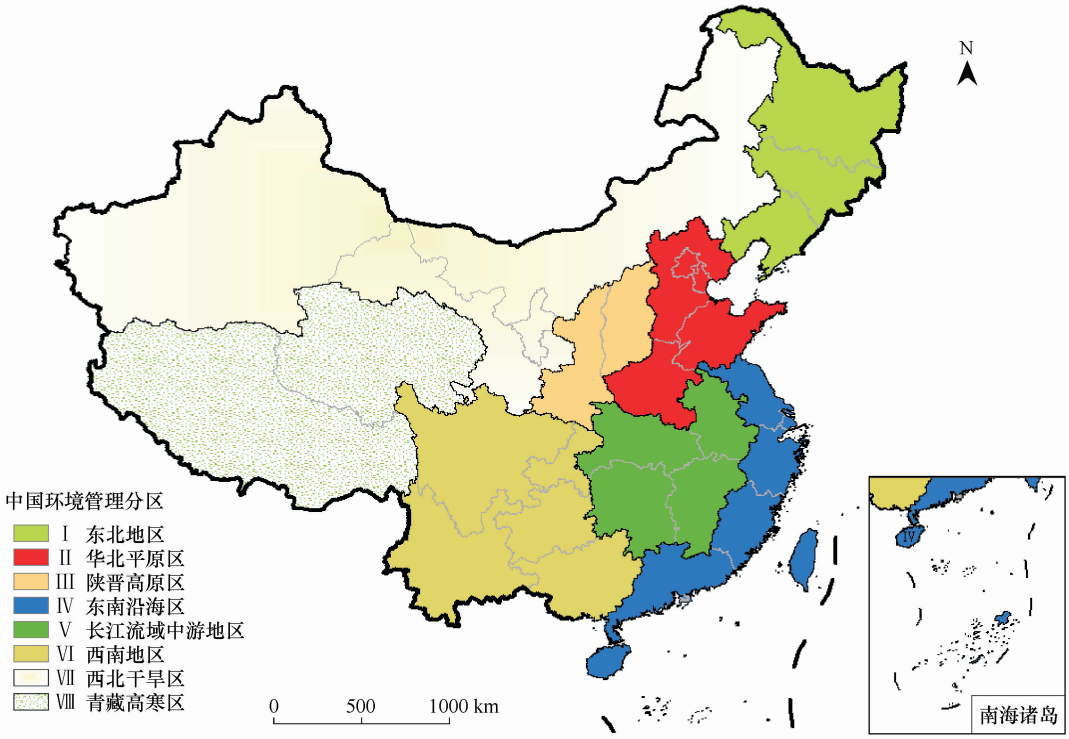

图 4 以省级行政区为基本单元的我国环境管理区划分方案

Fig. 4 Scheme of environmental management regionalization in China

第 1 和第 2 阶梯间的分界线,把四川盆地区的阿坝藏族羌族自治州和甘孜藏族自治州划分到青藏高寒区,根据秦岭-淮河一些把安徽省北部、江苏省北部的一些地区与华北平原区进行归并;(3)参考历史上重要的规划——如东北地区、京津冀地区、中部地区近年来都出台了相关的区域一体化规划,按照这些规划中所确定的区域范围进行调整;(4)为了确保环境政策的落实和执行,尽量保证地级行政区行政区划的完整性。

通过边界调整得到以地级行政区为基本单元的环境管理分区如图 5 所示,各分区所包含的地域范围如表 10 所示。

表 10 我国环境管理分区(以地级行政区为基本单元)的区域范围

Table 10 Geographical scope of each environmental management region based on based on prefecture-level divisions

环境管理区 Environmental management region	区域范围 Geographical scope
Ⅰ东北地区 Northeastern China region	黑龙江省,吉林省,辽宁省,内蒙古东部地区(包括大兴安岭以东的呼伦贝尔、兴安盟、通辽和赤峰四个地区)
Ⅱ华北平原区 North China plain region	河北省,北京,天津,山东省,河南省东部地区(包括除三门峡市、洛阳市、平顶山外其他所有地区)、安徽省北部地区(阜阳、亳州、淮北、宿州、蚌埠五个地区)、江苏省北部地区(徐州、连云港和宿迁三个地区)
Ⅲ华北山地与高原区 Loess plateau region	山西省,陕西省秦岭以北地区(包括西安、宝鸡、渭南、咸阳、铜川、延安、榆林七个地区),甘肃兰州以南秦岭以北五市(包括庆阳、平凉、天水、定西及临夏回族自治州五个地区),宁夏固原市,河南省西北三市(包括洛阳、焦作和三门峡三个地区)
Ⅳ东南沿海地区 Southeast coast region	江苏省淮河以南地区,上海市,浙江省、福建省、广东省、海南省、台湾省、香港、澳门及东南沿海岛屿
Ⅴ长江流域中游地区 Middle reaches of Yangtze River region	湖北省,湖南省,江西省,安徽省淮河以南地区
Ⅵ西南地区 Southwestern China region	四川省,重庆市,云南省,贵州省,广西省,陕西秦岭以南地区(包括汉中、安康和商洛三个地区)以及甘肃陇南市
Ⅺ西北干旱区 Northwestern China region	新疆自治区,内蒙古大兴安岭以西地区,甘肃省西北部地区(包括兰州、白银、武威、金昌、张掖、嘉峪关、酒泉七个地区),宁夏北部地区(吴忠、中卫、银川、石嘴山四个地区)
Ⅻ青藏高寒区 Tibetan plateau region	青海省,西藏自治区,四川省西部地区(包括阿坝藏族羌族自治州和甘孜藏族自治州),甘肃省甘南藏族自治州,云南省迪庆藏族自治州

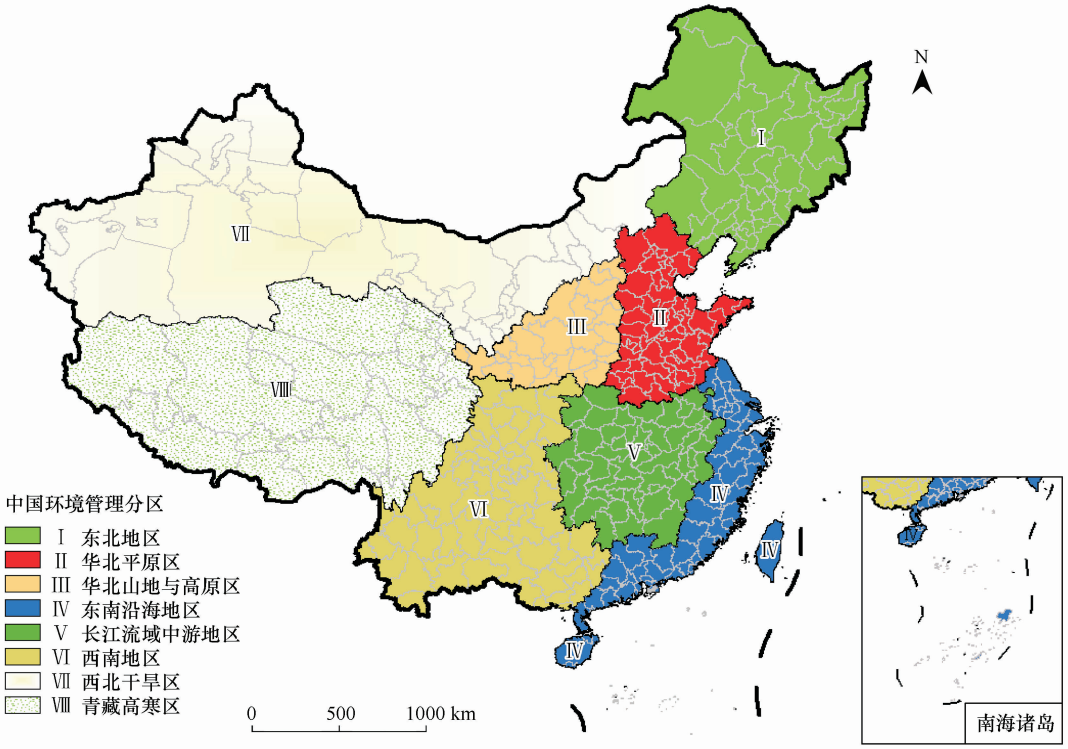

图 5　以地级行政区为基本单元的我国环境管理区划分方案

Fig. 5　Scheme of environmental management regionalization in China

3　结论与讨论

在我国三大自然区(或生态大区)的基础上,考虑到东部季风区的南部和北部在自然条件、环境压力和存在的主要环境问题方面均存在的巨大差异,以秦岭-淮河线为分界线,把东部季风区进一步划分为南部季风区和北部季风区,加上原有的西北干旱区和青藏高寒区,把我国划分为 4 个环境管理大区。

通过建立分区指标体系,采取一维化欧式距离法,分析 4 个环境管理大区下相邻省级行政区环境特征的相似性。在此基础上,确定以省级行政区为基本单元的环境管理区初步划分方案。结合地区间历史渊源和区域未来发展趋势分析,对初步分区方案进行调整,把我国划分为 8 个以省级行政区为基本单元的环境管理区。通过对以省级行政区为基本单元的分区方案边界线的调整得到以地级行政区为基本单元的分区方案,把我国划分为东北地区、华北平原区、华北山地与高原区、东南沿海地区、长江流域中游地区、西南地区、西北干旱区和青藏高寒区 8 个环境管理区。

在环境管理分区指标体系建立过程中,受数据的可获取性制约,一些重要的指标没有纳入到分区指标体系,如反映水土流失和生物多样性丧失方面的指标;一些指标由于数据不完备,采用更为宏观的指标代替,如各地区各个监测断面各类污染物浓度或综合污染指数能够更好地反映区域水体污染状况,但是由于数据不全,用河流断面监测水质劣于Ⅲ类水体的百分比代替,显然存在信息精度不高和信息失真的问题。这些因素都会影响分区过程中相邻地区环境特征相似性分析结果准确性,并影响分区方案的科学合理性。随着生态环境监测技术的不断发展和区域生态环境信息获取手段的日益完备,更多的信息支撑将促进分区方案的进一步优化。

进一步研究工作的重点在于:(1)根据各环境管理区的主要环境特征、面临的主要环境问题及其成因,明确各分区环境管理目标,并制定针对性的环境管理政策;(2)研究同一个环境管理区内不同行政区间、不同功能区间的综合协调管理机制;(3)研究同一省级行政区内隶属于不同环境管理区的地级行政区间的差别化与协调管理问题;(4)研究不同环境管理区间的协调管理问题。

References:

[1] Editorial Committee for "Climatological Atlas of the People's Republic of China". Climatological Atlas of the People's Republic of China. Beijing: Meteorological Press, 2002: 6-7.

[2] Wu Z Y. Vegetation of China. Beijing: Science Press, 1980: 1051.

[3] Committee of the Agricultural Subarea of China. Overall Regionalization of Agriculture in China. Beijing: Agriculture Press, 1981.

[4] Huang B W. The draft of comprehensive physical regionalization of China. Chinese Science Bulletin, 1959, 18: 594-602.

[5] Editorial Committee for Physical Geography of China, CAS. Physical Geography of China: A General Summary. Beijing: Science Press, 1985 (10): 187-413.

[6] Zhao J, Chen Y W, Han Y F, Li Z, Liu Y Z, Li W. Physical Geography of China. Beijing: Higher Education Press, 1995: 176-187.

[7] Fu B J, Liu G H, Chen L D, Ma K M, Li J R. Scheme of ecological regionalization in China. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(1): 1-6.

[8] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Chinese Academy of Sciences. National Ecological Function Regionalization. [2009-11-12] http://cpsc.sepa.gov.cn/info/bgw/bgg/200808/t20080801_126867.htm.

[9] Fan J. The scientific foundation of major function oriented zoning in China. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(4): 339-350.

[10] Ding s B. Some basic theoretical issues faced with plan of essential function region system. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(4): 587-592.

[11] Su F Q. Ren Z H, Gao Q X, Zhang Z G Convergence system of air contamination in boundary layer above Beijing and north China: transportation convergence in boundary layer. Research of Environmental Sciences, 2004, 17(1): 21-25, 33.

[12] Sun N, Lu C G, Gao X, Li C L, Chen L M. Distribution and source of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil of east Qingzang Plateau. Environmental Science, 2007, 28(3): 664-668.

[13] Wu D, Liao G L, Deng X J, Bi X Y, Tan H B, Li F, Jiang C L, Xia D, Fan S J. Transport condition of surface layer under haze weather over the Pearl River Delta. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19(1): 1-9.

[14] Liu D W, Feng Z M, Yan J P. Effects of the rapid population increase on the water resources of the northe and the south of Qinling Mountains. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2005, 19(7): 147-151.

[15] Tian Y Z, Chen S P, Yue T X, Zhu F L, Wang Ying A, Fan Z M, Ma S N. Simulation of Chinese population density based on land use. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(2): 283-292.

[16] Ballamy J A, Walker D H, Mcdonald G T, Syme G J. A systems approach to the evaluation of natural resource management initiatives. Journal of Environmental Management, 2001, 63(4): 407-423.

[17] Azapagic A. Systems approach to corporate sustainability: a general management framework. Process Safety and Environmental Protection, 2003, 81(5): 303-316.

[18] Laszlo C, Cooperrider D L. Design for sustainable value: A whole system approach. Advances in Appreciative Inquiry, 2007, 2(2): 15-29.

[19] Hirschfeld J, Dehnhardta A, Dietrich J. Socioeconomic analysis within an interdisciplinary spatial decision support system for an integrated management of the Werra River Basin. Limnologica, 2005, 35(3): 234-244.

[20] Dorling S R, Davies T D, Pierce C E. Cluster analysis: A technique for estimating the synoptic meteorological controls on air and precipitation chemistry-Method and applications. Atmospheric Environment. Part A. General Topics, 1992, 26(14): 2575-2581.

[21] Hobbs R. Woodland restoration in Scotland: ecology, history, culture, economics, politics and change. Journal of Environmental Management, 2009, 90(9): 2857-2865.

[22] Uuemaa E, Roosaare J, Kanal A, Mander Ü. Spatial correlograms of soil cover as an indicator of landscape heterogeneity. Ecological Indicators, 2008, 8(6), 783-794.

[23] Ozawa K. Classic: A hierarchical clustering algorithm based on asymmetric similarities. Pattern Recognition, 1983, 16(2): 201-211.

[24] Dorling S R, Davies T D, Pierce C E. Cluster analysis: A technique for estimating the synoptic meteorological controls on air and precipitation chemistry-Method and applications. Atmospheric Environment. Part A. General Topics, 1992, 26(14): 2575-2581.

[25] Flores-Sintas A, Cadenas J M, Martin F. Detecting homogeneous groups in clustering using the Euclidean distance. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 120(2): 213-225.

[26] Xu J T, Chen B M, Zhang X Q. Ecosystem productivity regionalization of China. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 401-407.

[27] Xie Y, Li D M, MacKinnon J. Preliminary researches on bio-geographical divisions of China. Acta Ecologica Sinica, 002, 22(10): 1599-1615.

[28] Feng Z M, Pan M Q, Zhang J. Study on Zoning of Chinas Integrated Land Consolidation. Journal of Natural Resources, 2006, 21(1): 45-54.

[29] Huang Y C, Yan Z C, Wang M. An analysis on pressures on resources and environment under the integrated development trend in Yangtze Delta Region. Shanghai Environmental Sciences, 2007, 26(6): 248-251.

参考文献:

[1] 中华人民共和国气候图编辑委员会. 中华人民共和国气候图集. 北京: 气象出版社, 2002: 6-7.
[2] 吴征益. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980: 1051.
[3] 全国农业区划委员会. 中国综合农业区划. 北京: 中国农业出版社, 1981.
[4] 黄秉维. 中国综合自然区划草案. 科学通报, 1959, 18: 594-602.
[5] 赵松乔. 中国综合自然地理区划. 中国自然地理(总论). 北京: 科学出版社, 1985(10): 187-413.
[6] 赵济, 陈永文, 韩渊丰, 李桢, 刘炎昭, 李文. 中国自然地理. 北京:高等教育出版社,1995: 176-187.
[7] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 马克明, 李俊然. 中国生态区划方案. 生态学报, 2001, 21(1): 1-6.
[8] 中华人民共和国环境保护部, 中国科学院. 全国生态功能区划. http://cpsc.sepa.gov.cn/info/bgw/bgg/200808/t20080801_126867.htm 2008-07-18[2009-11-12].
[9] 樊杰. 我国主体功能区划的科学基础. 地理学报, 2007, 62(4): 339-350.
[10] 丁四保. 中国主体功能区划面临的基础理论问题. 地理科学, 2009, 29(4): 587-592.
[11] 苏福庆, 任阵海, 高庆先, 张志刚. 北京及华北平原边界层大气中污染物的汇聚系统-边界层输送汇. 环境科学研究, 2004, 17(1): 21-25, 33.
[12] 孙娜, 陆晨刚, 高翔, 李春雷, 陈立民. 青藏高原东部土壤中多环芳烃的污染特征及来源解析. 环境科学, 2007, 28(3): 664-668.
[13] 吴兑, 廖国莲, 邓雪娇, 毕雪岩, 谭浩波, 李菲, 蒋承霖, 夏冬, 范绍佳. 珠江三角洲霾天气的近地层输送条件研究. 应用气象学报, 2008, 19(1): 1-9.
[14] 刘登伟, 封志明, 延军平. 秦岭南北地区人口增长对水资源影响的比较研究. 干旱区资源与环境, 2005, 19(7): 147-151.
[15] 田永中, 陈述彭, 岳天祥, 朱莉芬, 王英安, 范泽孟, 马胜男. 基于土地利用的中国人口密度模拟. 地理学报, 2004, 59(2): 283-292.
[26] 徐继填, 陈百明, 张雪芹. 中国生态系统生产力区划. 地理学报, 2001, 56(4): 401-407.
[27] 解焱, 李典谟, MacKinnon J. 中国生物地理区划研究. 生态学报, 2002, 22(10): 1599-1615.
[28] 封志明, 潘明麒, 张晶. 中国国土综合整治区划研究. 自然资源学报, 2006, 21(1): 45-54.
[29] 黄宇驰, 鄢忠纯, 王敏. 长三角区域一体化发展趋势下的资源环境压力分析. 上海环境科学, 2007, 26(6): 248-251.