

我国区域地质环境压力变化的定量评价

杨建锋¹, 万书勤², 冯艳芳¹

(1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环与地表过程重点实验室, 北京 100101)

摘要: 定量评价经济活动所造成的区域地质环境压力及其动态变化, 是当前我国加强地质环境管理、协调经济发展与环境效应面临的一个基本问题。本文首先利用物质流分析方法对我国 1997~2006 年省域地质环境与区域经济的物质流进行核算, 在此基础上建立了地质环境压力评价指标。所建立的评价指标不仅考虑了区域经济活动强度, 同时考虑了区域生态承载力, 能够更好地反映经济活动对地质环境压力的大小。评价结果表明: 1997~2006 年, 我国各省域地质环境压力均呈增加趋势, 但增长速率存在很大差异; 我国地质环境压力重心在过去 10 年中发生了东移, 从中部的山西能源基地转移到了东部沿海的环渤海湾经济区和长三角经济区; 降低地质环境压力的途径包括两个方面: 一是提高资源利用率, 减少地质环境开发活动; 二是控制废弃物对地质环境的污染, 而重点在于前者。

关键词: 地质环境压力; 物质流; 生态承载力; 评价指标

中图分类号: X820.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2010)01-0095-07

近年来, 随着我国经济持续快速增长, 农业生产、资源开发、工程建设、城市化等经济活动对我国地质环境的扰动达到了前所未有的程度, 地质环境压力不断增大, 诱发了一系列地质环境问题。例如, 1998~2007 年全国每年地质灾害造成的死亡人数占自然灾害总死亡人数的 29.9%^[1]; 全国 2/3 城市地下水水质普遍下降, 300 多个城市由于地下水污染造成供水紧张^[2]。如果经济活动对地质环境的压力超过其承载能力, 则可能造成难以估量的灾难。如何定量评价经济活动所造成的区域地质环境压力及其动态变化, 从而协调经济发展与环境效应, 降低经济发展的地质环境成本, 是当前我国地质环境管理面临的一个基本问题。

物质流分析从物质的质量出发, 通过跟踪社会经济对自然资源的开发、利用以及遗弃过程, 揭示区域内的物质流动特征, 找出地质环境压力的直接来源, 从而能够有针对性地提出地质环境开发利用和管理措施^[3~4]。采用物质流分析方法, Niu 等估算了我国社会经济每年搬运的土壤和岩石数量^[5], Chen 等对我国经济环境系统物质输入进行了估算^[6], 杨建锋对我国地质环境与社会经济的物质流进行了核算, 结果表明:

我国从地质环境获取的物质需求总量呈增加态势, 致使我国地质环境压力不断增大^[7]。以物质流分析成果为基础, 杨建锋等构建了地质环境压力评价指标体系, 并对我国 2006 年省域地质环境压力进行了比较评价^[8]。本文首先利用物质流分析方法对我国 1997~2006 年省域地质环境与区域经济的物质流进行核算, 在此基础上对我国区域地质环境压力变化进行了定量评价。

1 理论与方法

社会经济从地质环境获取所需要的资源, 包括化石能源、金属矿石、地下水等, 形成了地质环境向社会经济的输入物质流; 社会经济在生产 and 消费过程中排出的工业垃圾、生活垃圾、废水等, 形成了社会经济向地质环境的输出物质流。这样, 社会经济通过输入、输出流向地质环境施加了两种压力: 经济活动对地质环境的开发压力和废弃物排放对地质环境的污染压力。在这两种压力下, 产生了各种地质环境问题。

1.1 物质流分析

输入物质流包括直接物质输入和隐流。直接物质输入是指取自地质环境并进入社会经济系统的物质, 包括化石能源、金属矿产等。地下水也属于直接物质输入, 但由于其输入量一般高于其它物质总和一个数量级, 一般将地下水单列。隐流是指社会经济在获取地质资源时所需移动的、本身不进入社会经济系统的物质, 包括开采地质资源需要剥离的岩石、经济活动造

收稿日期: 2009-02-16; 修订日期: 2009-08-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40501010); 中国地质调查局地质大调查项目 (1212010660204)

作者简介: 杨建锋 (1971-), 男, 副研究员, 博士, 从事水文地质环境地质研究。

E-mail: jf_yang@sohu.com

成的土壤流失等。输出物质流包括区域内物质输出、区域外物质输出和隐流。区域内物质输出是指社会经济在加工、制造、利用、遗弃等生产-消费过程中排放到地质环境中的各种物质,包括工业垃圾、生活垃圾等。区域外物质输出是以产品的形式出口到区域外的矿产品、半成品或成品。详细的物质流计算方法参见参考文献[7],本文不再赘述。

1.2 地质环境压力评价指标

地质环境压力指数,指在经济发展过程中,由于矿产资源开发、工程建设、城市化、农业生产等经济活动以及生产-消费过程中固体废弃物、垃圾、污水排放,

对地质环境造成的压力大小。评价指标体系包括9个指标(表1)。地质环境压力指数按照下式计算^[8]:

$$G_k = \sum_{i=1}^n W_i \sum_{j=1}^m w_j x_{jk} \quad (1)$$

式中: G_k —— k 地区地质环境压力指数;

W_i ——主体评价指标的权重;

w_j ——群体指标的权重;

x_{jk} ——各 k 地区 j 指标的标准值;

n ——主体评价指标的个数;

m ——群体评价指标的个数。

表1 地质环境压力评价指标体系

Table 1 Evaluation index of geo-environmental pressure

目标层	准则层	指标层	指标含义
地质环境压力指数	地质环境开发压力指数	矿产资源开发强度	单位面积矿产资源开发量及其隐流,包括能源矿产、黑色金属矿产、有色金属矿产、工业矿物、建筑材料等。
		工程建设开发强度	单位面积工程建设搬移土石量,包括水利工程建设、公路建设和铁路建设等。
		房屋建设开发强度	单位面积房屋建设搬移土石量,包括住宅建设、商品楼建设等。
		农田土壤侵蚀强度	单位面积农田土壤侵蚀量。
		地下水开采程度	地下水现状开采量与地下水可开采资源量的比值。
	地质环境污染压力指数	固体废物排放强度	单位面积工业固体废物排放量,包括危险废物、冶炼废渣、粉煤灰、炉渣、煤矸石、尾矿、放射性废物等。
		生活垃圾排放强度	单位面积城市生活垃圾排放量。
		化肥施用强度	单位面积化肥施用量。
		废水污染物排放强度	单位面积废水污染物排放量。污染物包括工业废水和生活废水中的汞、镉、六价铬、铅、砷、挥发酚、氰化物、石油类、氨氮等。

由于自然条件的差异,不同地区地质环境承载力是不相同的。同样的经济活动规模,在不同地区造成的地质环境压力也可能并不相同。因此,在计算“矿产资源开发强度”等指标时,不能简单地将相应的物质流平均分摊到“国土面积”上。为了使不同地区地质环境压力具有横向可比性,有必要将不同地区的国土面积按照某一标准转换为具有相同承载能力的标准土地面积。生态足迹方法为此提供了成熟的解决方案——生态承载力^[9]。

1.3 生态承载力计算

20世纪90年代生态经济学家Rees和Wackemagel提出了生态足迹理论^[10]。该理论认为:维持给定数量人口的经济社会发展,需要一定面积的土地提供经济活动所消耗的自然资源,同时消纳生产-消费过程中排放的废弃物。由于不同地区的自然条件和土地利用方式存在很大差异,为了便于地区间的比较和评价,该理论定义了标准化的生物生产性土地面积,其度量单位为全球公顷(gha)。通过引入均衡因子和产量因子,生态足迹方法可将一个地区实有的

国土面积转换为标准生物生产性土地面积。一个地区的标准生物生产性土地面积就是该地区的生态承载力。如果该地区社会经济活动超过了其生态承载力,则说明其生态环境不足以支撑当地人口的生产和消费水平,其经济发展可持续能力较差。

从以上论述可知,某一地区的生态承载力表示该地区所具有的开发自然资源和消纳废弃物的最大承载负荷。所以,可以把采用物质流方法计算得到的一个地区的物质流平均分摊到其标准生物生产性土地面积(即生态承载力)上,代表该地区经济活动对地质环境的平均压力。这样,不同地区的物质流所分摊的土地均是具有相同承载能力的生物生产性土地,所计算得出的地质环境压力是在同一参照系下真实的、可比较的数量指标。

自1999年生态足迹方法引入我国以来,生态承载力的研究成果已经覆盖了我国所有省域。本文采用中国21世纪议程管理中心可持续发展战略研究组的计算成果(表2)^[11]。

表 2 中国各地区生态承载力
Table 2 Provincial bio-capacity (gha)

地区	生态承载力	地区	生态承载力	地区	生态承载力	地区	生态承载力	地区	生态承载力
北京	3 311 272	黑龙江	61 012 371	山东	34 427 568	重庆	12 174 600	青海	20 620 026
天津	2 459 457	上海	1 898 316	河南	33 682 584	四川	45 343 076	宁夏	6 039 252
河北	31 224 720	江苏	22 135 488	湖北	22 074 536	贵州	23 102 850	新疆	26 855 676
山西	20 540 310	浙江	15 406 038	湖南	27 395 760	云南	43 660 416	总计	79 055 9564
内蒙古	68 668 776	安徽	25 943 324	广东	29 132 182	西藏	37 741 100		
辽宁	23 393 760	福建	15 109 263	广西	26 350 430	陕西	27 556 620		
吉林	29 429 664	江西	21 072 600	海南	5 581 404	甘肃	27 216 126		

注:由于缺乏相关数据,本次评价暂不包括台湾。

2 数据与处理

我国人口、地区生产总值等数据是按照行政区域统计的,所以本次评价以省级行政区域为单元,以 1997、2000、2003、2006 年为评价年,通过这 4 年的数据反映 1997~2006 年地质环境压力变化情况。由于缺乏相关数据,本次评价暂不包括台湾。

社会经济数据包括人口、地区生产总值、耕地面积等,来源于《中国统计年鉴》。能源矿产产量数据来源于《中国能源统计年鉴》。黑色金属矿产产量数据来源于《中国钢铁统计年鉴》和《中国矿业年鉴》。有色金属、非金属矿产、建筑材料产量数据来源于《中国有色金属工业年鉴》和《中国国土资源年鉴》。水利建设数据来源于《中国水利年鉴》。交通数据包括公路里程、铁路里程来源于《中国统计年鉴》和《中国交通年鉴》。房屋建设数据来源于《中国建筑业年鉴》。人类活动下产生的水土流失,仅包括农业活动造成的农田土壤流失,采用孙新章等人的研究成果^[12]。地下水开采量来源于《中国水资源公报》,地下水可开采资源量来源于新一轮全国地下水资源评价成果^[12]。废弃物排放数据包括工业固体废弃物、城市生活垃圾、废水排放量、废水污染物等,来源于《中国环境统计年鉴》。农业化肥施用量来源于《中国农业年鉴》。

矿产开发的隐流计算采用隐流比率法。铁矿石、有色金属矿石的隐流比率根据《中国矿业年鉴》、《中国有色金属工业年鉴》上提供的往年隐流数据计算而得。其他金属、非金属、建筑材料和原煤地下开采的隐流比率采用德国 Wuppertal 研究所物质流数据库提供的数据。

本文收集了 1997、2000、2003、2006 年 4 个年份的相关数据,有个别数据存在缺失情况。为了保证计算的连续,采用间接方法对缺失数据进行了估算,即建立其与相关指标的统计关系,推算得出缺失数据。例如,

水利工程建设土方量和石方量数据缺失 1997 年的数据,则利用 1998 年的数据建立土方量、石方量与水利基本建设投资完成额之间的统计关系,然后根据 1997 年的水利基本建设投资完成额推算得出 1997 年水利工程建设土方量和石方量数据。1997 年和 2000 年有部分统计数据重庆和四川没有分开,因此这两年重庆和四川是作为一个省域进行评价的。

3 结果与讨论

3.1 1997~2006 年各省物质流变化

表 3 列出了 1997~2006 年我国各省输入物质流和输出物质流核算结果。从表 3 可以看出,1997~2006 年,我国各省的输入物质流和输出物质流均呈增长趋势,说明各个省的经济活动对本地地质环境的开发、扰动和污染的程度不断加大。输入物质流增长最快的 5 个省份是天津、宁夏、浙江、上海和山东,年平均增长率分别为 37.2%、28.5%、28.3%、28.0% 和 25.5%;输出物质流增长最快的 5 个省份是西藏、福建、贵州、内蒙古和青海,年平均增长率分别为 42.6%、39.5%、38.1%、21.5% 和 19.2%。

3.2 省域地质环境压力对比

表 4 给出了我国各省域地质环境压力评价结果。从表 4 和图 1 可以看出,1997~2006 年,我国各省域地质环境压力均呈增长趋势。1997 年地质环境压力最大的 5 个省分别是上海、北京、山西、河北和辽宁,平均地质环境压力指数为 32.8;2006 年地质环境压力最大的 5 个省分别是上海、浙江、山西、天津和北京,平均地质环境压力指数为 61.6,比 1997 年增加了 87.8%。1997 年地质环境压力最小的 5 个省分别是海南、新疆、内蒙古、青海和西藏,平均地质环境压力指数为 4.0;2006 年地质环境压力最小的 5 个省分别是内蒙古、黑龙江、广西、青海和西藏,平均地质环境压力指数为 8.0,比 1997 年增加了 100.0%。

表 3 1997~2006年我国各省输入物质流和输出物质流核算结果

Table 3 Material flow analysis results for provincial economy from 1997 to 2006

地区	输入物质流 (不含地下水) (×10 ⁴ t)					固体输出物质流 (×10 ⁴ t)				
	1997年	2000年	2003年	2006年	年平均增长率 (%)	1997年	2000年	2003年	2006年	年平均增长率 (%)
北京	18 021	19 009	18 102	27 230	5.7	1 594	1 402	1 655	1 909	2.2
天津	4 547	7 259	10 818	19 751	37.2	714	711	834	1 471	11.8
河北	90 201	95 669	126 281	210 038	14.8	6 734	7 862	9 971	15 211	14.0
山西	125 668	94 777	143 031	200 878	6.6	4 670	8 357	9 943	12 381	18.3
内蒙古	46 668	68 534	60 486	117 840	16.9	3 123	2 761	4 132	9 158	21.5
辽宁	66 174	79 939	77 930	122 516	9.5	7 715	8 510	9 154	13 888	8.9
吉林	34 686	37 227	41 921	73 154	12.3	2 341	2 357	2 439	3 498	5.5
黑龙江	66 924	94 090	71 471	92 043	4.2	4 509	3 733	4 266	5 071	1.4
上海	6 819	6 943	12 739	24 012	28.0	1 798	1 898	2 260	2 736	5.8
江苏	84 220	99 558	117 611	175 010	12.0	3 357	3 889	5 003	8 387	16.6
浙江	59 548	107 664	129 594	211 357	28.3	1 545	1 912	2 741	3 878	16.8
安徽	57 881	91 961	88 722	173 226	22.1	3 388	3 396	4 210	5 719	7.6
福建	34 827	35 986	42 203	63 794	9.2	1 026	2 531	3 367	4 678	39.5
江西	37 055	54 489	69 448	94 659	17.3	4 157	5 101	6 530	7 797	9.7
山东	94 303	127 747	136 715	310 900	25.5	5 758	6 598	8 402	12 442	12.9
河南	76 516	83 915	83 989	198 883	17.8	3 761	4 596	5 586	8 705	14.6
湖北	59 990	69 155	81 216	162 385	19.0	2 889	3 715	4 196	5 296	9.3
湖南	43 133	88 044	88 491	84 278	10.6	2 190	2 895	3 386	4 408	11.2
广东	73 068	118 969	99 728	153 051	12.2	2 393	2 750	3 893	4 910	11.7
广西	45 844	35 191	54 334	45 914	0.0	1 976	2 441	3 633	4 316	13.2
海南	7 230	14 272	15 291	16 228	13.8	197	192	210	235	2.2
四川	106 558	156 848	162 240	179 812	7.6	5 042	6 850	7 520	10 435	11.9
贵州	4 2731	36 465	50 062	80 430	9.8	1 374	2 591	4 034	6 086	38.1
云南	68 406	66 699	75 111	173 392	17.1	2 326	3 462	3 745	6 333	19.1
西藏	5 259	27 542	6 467	14 623	19.8	34	53	47	163	42.6
陕西	69 790	75 558	82 974	104 286	5.5	2 477	2 980	3 441	5 231	12.4
甘肃	48 834	57 199	53 444	69 990	4.8	1 811	1 956	2 418	2 936	6.9
青海	9 205	20 540	16 131	19 098	11.9	348	440	442	949	19.2
宁夏	6 411	12 172	14 614	22 852	28.5	509	578	726	926	9.1
新疆	30 203	32 734	49 674	67 779	13.8	959	1 057	1 512	1 996	12.0

注:由于 1996年、2000年四川省与重庆市部分统计数据没有分开,在计算时将重庆市包含在四川省内;由于缺乏相关数据,本次评价暂不包括台湾。

表 4 1997~2006年我国各省域地质环境压力指数计算结果

Table 4 Calculation results of provincial geo-environmental pressure from 1997 to 2006

地区	1997年	2000年	2003年	2006年	年平均增长率 (%)	地区	1997年	2000年	2003年	2006年	年平均增长率 (%)
西藏	0.02	2.63	0.16	1.19	1 910.8	新疆	5.87	6.87	9.86	13.23	10.5
浙江	19.45	33.93	41.16	65.01	17.1	广东	12.91	20.16	17.63	26.17	10.2
青海	1.87	4.37	3.46	4.64	16.3	福建	11.44	13.71	16.42	24.37	9.8
云南	7.32	7.55	8.45	19.19	15.8	江苏	20.53	24.05	27.65	41.4	9.1
重庆	9.47	13.97	26.42	25.47	14.8	上海	43.47	43.02	55.72	83.98	8.8
安徽	12.27	18.11	18.0	33.27	14.6	吉林	8.06	9.06	10.03	15.04	8.1
湖北	14.3	16.74	19.49	36.36	13.3	河北	26.02	27.12	32.55	46.73	7.5
宁夏	7.84	12.69	15.24	20.94	13.3	山西	33.98	30.01	41.59	55.89	6.8
山东	20.74	26.05	27.08	50.47	12.9	辽宁	22.01	24.85	25.02	36.36	6.5
天津	20.58	27.06	33.1	52.28	12.4	四川	9.47	13.97	11.29	14.32	6.1
河南	16.24	17.43	17.85	35.16	11.9	陕西	15.75	17.04	18.26	22.81	4.5
海南	6.32	11.9	12.55	13.49	11.3	甘肃	12.19	13.94	13.61	16.67	3.8
内蒙古	5.74	7.56	7.75	12.82	11.1	北京	38.48	39.53	37.88	50.58	3.6
贵州	8.64	8.52	11.99	19.0	10.9	广西	8.81	7.35	11.24	10.41	3.2
湖南	8.53	16.55	17.12	16.99	10.7	黑龙江	9.73	10.74	8.52	10.76	1.8
江西	11.31	15.55	19.49	25.6	10.5						

注:由于缺乏相关数据,本次评价暂不包括台湾。

虽然各省域地质环境压力均呈增长趋势,但各省增长速率有很大差异。从表 3 可知,年平均增长率最大的是西藏,高达 1910.8%,说明虽然在所有省份中西藏地质环境压力是最小的,但其地质环境压力增长是最快的。其次是浙江、青海、云南、重庆。年平均增长率最小的省份有北京、广西和黑龙江,说明其社会经济发展对地质环境压力处于缓慢增加状态。但北京与广西、黑龙江不同,北京地质环境压力底数大,虽然年平均增长率小,但其绝对数量很大;广西和黑龙江地质环境压力底数小,年平均增长率小,绝对数量也小。

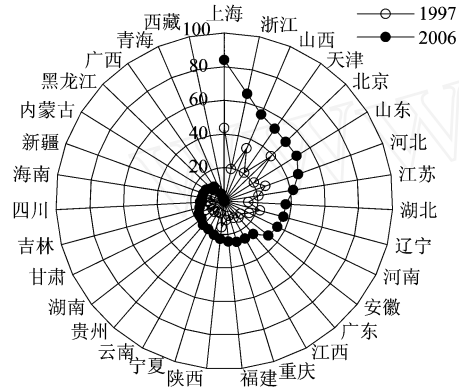


图 1 我国 1997 年和 2006 年省域地质环境压力对比
Fig 1 Comparison of provincial geo-environmental pressure in 1997 and 2006

根据 4 年评价结果,绘制成图 2。从图中可以看出,大体上地质环境污染压力指数与地质环境开发压力指数呈正相关关系,开发压力越大,则污染压力也越大。这说明一个地区地质环境开发强度越大,则经济活动对环境污染的可能越大。因此,降低一个地区地质环境压力的途径包括两个方面:一是提高资源利用效率,减少地质环境开发活动;二是控制废弃物对地质环境的污染,而重点在于前者。

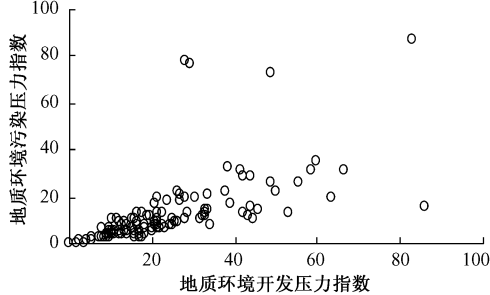


图 2 地质环境开发压力指数与地质环境
污染压力指数的关系

Fig 2 Relationship between development pressure index
and contamination pressure index of geo-environment

3.3 区域地质环境压力变化

按照评价结果对地质环境压力进行了定性分级:地质环境压力很大(50)、地质环境压力大(30~50)、地质环境压力中等(20~30)、地质环境压力小(10~20)、地质环境压力很小(<10)。从图 3 可知,1997~2006 年,地质环境压力很大及大的区域面积呈扩大态势,从 1997 年的 3 个省域增加到 2006 年的 12 个省域;而地质环境压力很小的区域面积逐年减少,从 1997 年的 12 个省域减少到 2006 年的 2 个省域。从区域分布来说,总体上地质环境从东部沿海地区向西部地区呈减小态势,地质环境压力大的区域主要分布在东部沿海地区和长江以北的中部地区。

分析我国地质环境压力重心,可以推知:我国地质环境压力重心在过去 10 年中发生了东移,从中部的山西能源基地转移到了东部沿海的环渤海湾经济区和长三角经济区。1997~2006 年,上海、北京和山西 3 个省域的地质环境压力始终处于大或很大的状态,说明经济活动对地质环境产生了越来越大的压力,其累积效应使其成为地下水污染、地面沉降、矿山地质灾害等地质环境问题频繁、集中发生的区域。

从地质环境压力区域分布和经济增长区域分布的关系来看,地质环境压力较大的区域往往也是经济发展较快的区域,地质环境压力的重心也与我国经济增长的两极——长三角经济区和环渤海湾经济区相重合。这是由我国所处的经济发展阶段所决定的:我国正处在加快工业化和城市化的进程中,长期以来高投入、高消耗、高排放、低效率的粗放型经济增长方式未能得到根本扭转,地质资源需求不断增加,废弃物的排放亦随之增加。

4 结论

(1) 1997~2006 年,我国各省域地质环境压力均呈增长趋势,但是各省域地质环境压力增长速率存在很大差异。2006 年地质环境压力最大的 5 个省域平均地质环境压力比 1997 年增加了 87.8%,地质环境压力最小的 5 个省域平均地质环境压力比 1997 年增加了 100.0%。

(2) 我国地质环境压力重心在过去 10 年中发生了东移,从中部的山西能源基地转移到了东部沿海的环渤海湾经济区和长三角经济区。上海、北京和山西 3 个省域的地质环境压力始终处于大或很大的状态,其累积效应使其成为地质环境问题频繁、集中发生的区域。

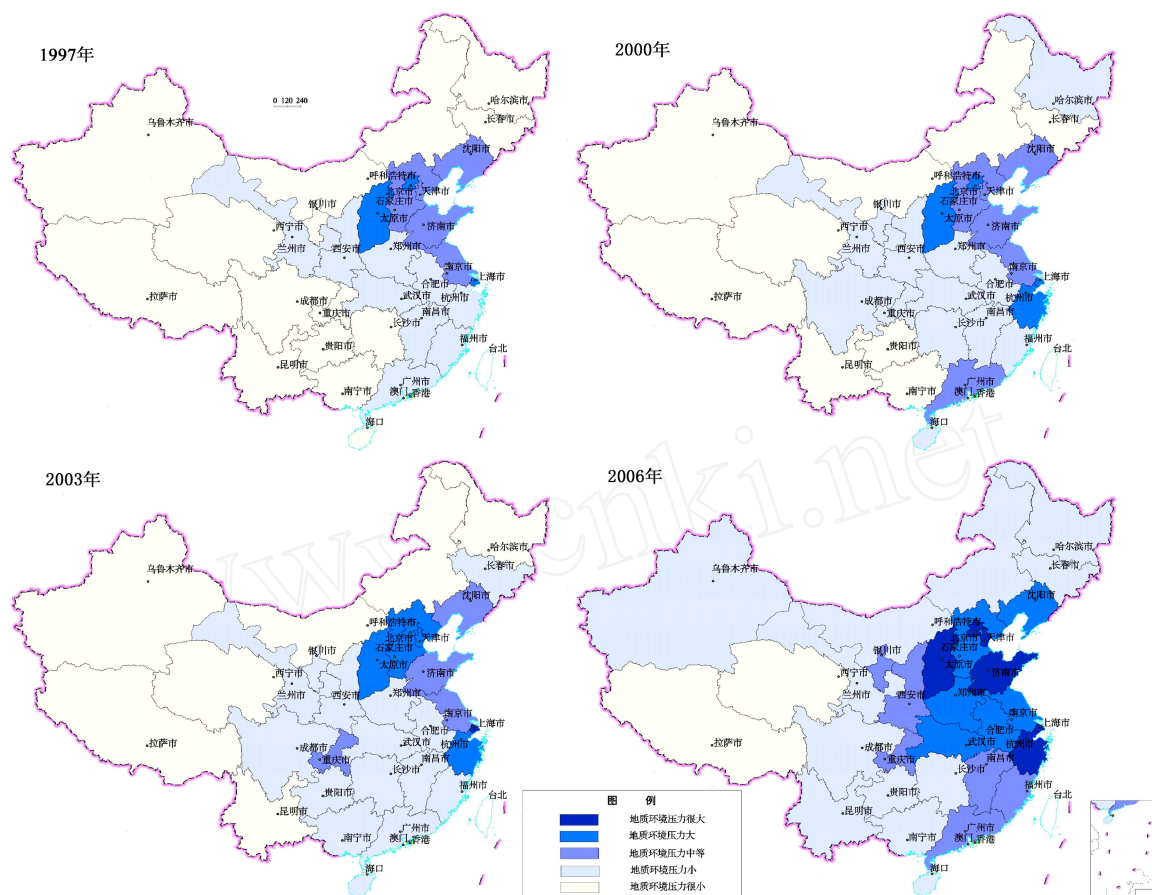


图 3 1997~2006年我国区域地质环境压力变化示意图

Fig 3 Changes in provincial geo-environmental pressure from 1997 to 2006

(3)降低地质环境压力的途径包括两个方面:一是提高资源利用效率,减少地质环境开发活动;二是控制废弃物对地质环境的污染,而重点在于前者。

参考文献:

- [1] 中国人民共和国国土资源部. 中国地质环境公报 (2007) [R]. 北京: 中国人民共和国国土资源部, 2008
- [2] 张宗祜, 李烈荣. 中国地下水资源 (综合卷) [M]. 北京: 中国地图出版社.
- [3] Rogich D, Cassara A, Wemich I, *et al* Material flows in the United States: a physical accounting of the U. S industrial economy [R]. Washington DC: World Resources Institute report, 2008
- [4] European Environment Agency. Sustainable use and management of natural resources [R]. Luxembourg: EEA report, 2005: 1 - 68
- [5] Niu W, Harris W M. China: the forecast of its environmental situation in the 21st century [J]. Journal of Environmental Management, 1996, 47: 101

- 114 -

- [6] Chen X, Qiao L. A Preliminary Material Input Analysis of China [J]. Population and Environment, 2001, 23(1): 117 - 126
- [7] 杨建锋. 我国地质环境与社会经济的物质流分析 [J]. 自然资源学报, 2008, 23(4): 553 - 559.
- [8] 杨建锋, 万书勤, 冯艳芳. 我国区域经济发展对地质环境压力分析与评价 [J]. 自然资源学报, 2009, 24(6): 956 - 964.
- [9] 王青, 刘敬智, 顾晓薇, 等. 环境荷载与环境压强: 环境压力指标及应用 [J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(1): 52 - 57.
- [10] Wackemagel M, Schulz B, Deumling D, *et al* Tracking the ecological overshoot of the human economy [J]. PNAS, 2002, 99(14): 9266 - 9271.
- [11] 中国 21 世纪议程管理中心可持续发展战略研究组. 发展的基础: 中国可持续发展的资源、生态基础评价 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2004.
- [12] 孙新章, 谢高地, 成升魁, 等. 中国农田生产系统土壤保持功能及其经济价值 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 156 - 159.

Evaluation of temporal changes in provincial geo-environmental pressure in China

YANG Jian-feng¹, WAN Shu-qin², FENG Yan-fang¹

(1. Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China;

2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China)

Abstract: In order to strengthen regional geo-environmental management and reduce environmental side effect of economic development, it is urgent to evaluate temporal changes in regional geo-environmental pressure caused by economic activities for decision-makers. This paper estimates material flows from and to its geo-environment for each provincial industrial economy from 1997 to 2006 using the method of material flow accounting, and establishes an index system of regional geo-environment pressure evaluation. The index system takes account of economic activity intensity and regional ecological carry capacity. It reasonably reflects real regional geo-environmental pressure. The evaluation results indicate that regional geo-environmental pressure for each province rose from 1997 to 2006, but their rates differed greatly. The epicenter of geo-environmental pressure in China moved eastward in past 10 years from Shanxi energy base in middle China to the Bohai Sea economic region and the Yangtze River Delta along the east coast. Solutions to decrease geo-environmental pressure may include two measures: to increase resources utilization efficiency and reduce development activities of geo-environment, and to control waste drainage to reduce possible contamination.

Key words: geo-environmental pressure; material flow; ecological carrying capacity; index

责任编辑:汪美华

(上接第 94 页)

- [7] 黄英,符必昌,金克盛,等. 不同排水条件加筋红土三轴试验研究 [J]. 昆明理工大学学报:理工版, 2006, 31 (1): 56 - 60.
- [8] 黄英,符必昌,金克盛,等. 加筋红土的广义等效围压和极限平衡条件 [J]. 岩土力学, 2007, 28 (3):

533 - 539.

- [9] 黄英,何发祥,符必昌. 玻璃纤维与红土的界面作用特性研究 [J]. 水文地质工程地质, 2003, 30 (4): 7 - 12.

Strength research of reinforced laterite in different failure models

HUANG Ying, FU Bi-chang, JIN Ke-sheng

(Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: Base on equivalent confinement pressure and according to the different functions of the materials when the reinforced soil is pull or cohering to failure, the formula of equivalent confining pressure is carried out in the two failure models in which it is abated and the strength parameters are decided, the affect of drainage on the strength is also analyzed. So that the failure standard of strength of reinforced soil is set out in which the critical confining pressure is used. By the way, abating coefficient of equivalent confining pressure in two failure models are decided by means of expanded equivalent confining pressure and they are validated by existing fact.

Key words: reinforced laterite; failure model; equivalent confining pressure; strength analysis; failure standard

责任编辑:张明霞