

海岸线变化的地质指标体系

王祎萍, 李瑞敏, 王 轶, 曹 峰, 徐 为

WANG Yi-ping, LI Rui-min, WANG Yi, CAO Feng, XU Wei

中国地质环境监测院, 北京 100081

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

摘要: 海岸带地质环境的演化集中表现是海岸线的变迁。基于对海岸线变迁的影响、演化方式、危害、防治对策等因素的分析, 建立影响-状态-结果(CSR)的海岸线变迁的调查指标体系。在调查指标体系的基础上, 抽取压力、状态、应对(PSR)指标, 建立中国海岸线变迁的监测指标体系。这对科学评价、监测和管理海岸带的环境具有重要意义。

关键词: 海岸线变迁; 调查指标体系; 监测指标体系

中图分类号: X144 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2011)11-1752-05

Wang Y P, Li R M, Wang Y, Cao F, Xu W. Geoindicator system of coastline changes. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30 (11): 1752-1756

Abstract: The evolution of geological environment in the coastal zone concentrates on the changes of the coastline. The survey indicator system of coastline changes was established by Cause-State-Result index (CSR model) based on the analysis of impact, evolution means, hazards and control measures and other factors of coastline changes. The monitoring indicator system of coastline changes was also established by the Pressure-State-Response index (PSR model) on the basis of the investigation indicator system. These results are of great significance in assessing, monitoring and managing coastal environment scientifically.

Key words: coastline changes; survey indicator system; monitoring indicator system

不稳定性和对外界的敏感性是海岸带岸线变化的明显特征, 这种特征往往使海岸带系统在面对外界干扰时朝着不利于人类生存与发展的方向演化。因此, 对海岸带环境的变化过程进行监测, 对于评价中国海岸带城市的安全性, 制定区域生态保护、经济开发决策和海岸环境保护政策都有重要意义。

那么, 什么样的指标可以反映海岸环境的变化, 可用来对其进行监测, 并且可预测海岸环境的未来? 国际地科联环境规划地质科学家国际地质指标工作组于 1992 年提出了 27 项指标用于监测环境, 其中与海岸环境有关的有: 相对海平面、珊瑚化学、海岸带位置、火山活动、地面变形、沉积层

序和成分、河流的泥沙输沙量等。这些指标大多数可用于中国海岸带的环境监测, 有些指标也未必适用, 如珊瑚化学等指标只适用于湿热海岸的海岸环境变化。因此, 针对中国复杂多变的海岸环境, 准确地把握海岸环境的演化规律, 建立适用于中国海岸带生态地质环境变化的地质指标体系势在必行。

1 海岸线变迁的调查指标体系

海岸带是一个复杂的系统, 海岸带地区地质环境的形成和演化主要来自 3 个方面的动力因素: 一是地球内动力, 主要表现为地壳的升降运动和水平运动; 二是地球外动力(如气候变化导致的海平面变

收稿日期: 2011-07-19; 修订日期: 2011-10-25

资助项目: 中国地质调查局项目《生态环境变化地质指标体系研究》(编号: 1212010535502)

作者简介: 王祎萍(1965-), 女, 教授级高级工程师, 从事环境地质、地质灾害研究。E-mail: wangyp@mail.cigem.gov.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

化,光、水、风等风化作用,侵蚀搬运、沉积等重力作用);三是人类工程活动,已成为影响和改造海岸带地质环境的重要营力。海岸带地质环境的演变集中表现为海岸线的往复变迁^[1]。因此,在研究海岸带地质环境的形成和演变规律时,重点研究中国海岸线变化的演化规律,以海岸线变迁的主要影响因素、运动方式、造成的主要危害为主线,建立“影响-状态-结果(CSR)框架模型^[2]”,搭建中国海岸线变迁的调查地质指标体系,反映在各种动力影响下海岸线的演化规律、过程和演化结果,同时研究人类活动的影响和环境退化最终对人类居住环境造成的影响。从地学的角度,提取海岸线变迁的影响、状态、结果三大类指标,每类指标分为 3 级,第 3 级指标为可测量和用于监测的指标(表 1),也可用于中国海岸带地质调查工作中,规范海岸带生态环境调查,科学地认识海岸带的地质环境,最终为科学规划和管理海岸环境提供基础依据。

1.1 影响指标的选取

海岸线变迁是海岸带生态环境系统功能在外界动力作用下发生改变的现象。改变的方式和程度首先取决于海岸本身,其次取决于动力的类型、强度和频次。

影响指标主要根据已有海岸带变迁的研究资料和规范,分析影响中国海岸线变迁的原因和要素,可分为两大类:海岸带的地质条件要素和动力影响因素。

(1)地质条件要素:是海岸线在各种动力因素影响下变化程度的内因,包括岩性和地形 2 个指标。

岩性:海岸的物质组成和形态控制了海岸的抗侵蚀能力。表层物质是影响海岸带冲淤速率的重要因素。粉沙淤泥质海岸较容易侵蚀,砂砾质海岸侵蚀相对较慢,石质海岸的侵蚀最慢^[3]。如中国海岸线的基本轮廓形成于距今 6~5ka 以前,几千年来,基岩海岸虽经历了侵蚀或堆积的变化,但变迁幅度较小,暴露的岸段侵蚀后退不过几十米至几百米^[4];部分沙质或淤泥质海岸(平原海岸)与现今海岸线的形态存在一定差别。低海岸,特别是大河流经的岸段在历史时期变化十分显著,在黄河三角洲尤为明显。主要行水河道的入海口附近,海岸线推进速度可达每年数千米;改道之后,这里的侵蚀速度可达每年数百米^[4]。

通过海岸第四纪沉积物的成因类型、岩性、时代、现代沉积物质组成,可了解沉积环境演变和泥沙的冲淤规律。根据一些微地貌如贝壳堤、红树林的位置、珊瑚礁体等都可以追溯以前的海岸环境。

地形:地形地貌也是影响侵蚀与淤积的重要因素。河口是快速堆积区,形成向海突出的大嘴,但一旦断流或改道,大嘴最容易遭受快速侵蚀^[5]。向海突出的沙嘴等突出地貌部位一些特殊的海岸地貌格局使浪、潮流在该地区相对增强,岸滩侵蚀后退。例如,杭州湾北岸,特别是钱塘江口门附近,涌潮使该段海岸遭受到几倍于邻近岸段的动力作用^[5]。

表 1 海岸线变迁地质环境指标体系框架结构^[2]
Table 1 Framework of geoindicator system of coastline changes

指标类型	指标大类 (一级指标)	指标亚类 (二级指标)	测量及监测指标(三级指标)
影响指标	动力因素	地质条件	岩性 海岸的物质组成(海岸类型)、第四纪沉积物的沉积类型
		地形	海岸地形、微地貌、河流形态
		地球内动力	地壳升降速率、地震的活动性
		气候	海平面升降、CO ₂ 排放量、沉积物沉积序列
		海洋动力	风暴潮、海浪、潮汐
状态指标	海岸线变化	重力作用	上游土壤侵蚀量、河流输沙量、海滩沉积速率
		人类活动	地面沉降速率、地下水位、地面标高
		海岸侵蚀	海岸线位置、海岸侵蚀速率
		海岸淤积	淤积速率、海滩沉积物的沉积序列、沉积速率、珊瑚礁、红树林分布范围、贝壳堤的位置
		海岸陆地面积	海岸线位置及形态、潮间带宽度、河口三角洲造陆速率
危害指标	海岸地貌改变	湿地	湿地的组成和分布、短期地表水水位
		生物地貌	珊瑚礁、红树林分布范围、贝壳堤的位置
		城市安全	地面沉降、海水入侵

(2)地球内外动力指标:包括地壳稳定性、气候、重力作用、海洋动力和人类活动 5 个指标。各种动力作用是决定海岸线变迁速率和变化方式的外因。

地壳稳定性:在此主要考虑地壳垂直升降速率和地震活动性对海岸环境的影响。中国沿海地区构造升降的不同及其引起的入海河流沉降物的分配不均是导致海岸线变化的主要原因。接纳大量河流沉积物的构造下沉区大部分海岸线快速向海推进,形成宽广的三角洲平原、滨海平原及淤泥质潮间浅滩,如渤海沿岸、江苏沿岸和黄河、长江、珠江三角洲。构造上升地区接纳的物质有限,这些海岸在全新世最大的海侵以来海岸线虽然向海推进,但速度小得多,如胶辽半岛、闽粤桂海岸等,物质组成以沙质海岸为主^[6]。

地震活动性指标可提供处于活动构造带的海岸过去地表瞬间沉降的证据,可以此推断该地区的地震频率,评估该地区的地震风险。

气候:气候因素是导致海平面升降和全球海岸线变化最重要的因素。在晚第四纪的若干万年内,海平面曾因气候的大幅度冷暖变化而升降达百余米或更多,使海岸位置在平面上往返迁移数十或数百千米。海侵和海退使近海动力模式、海岸地貌结构和陆架沉积层序均发生根本性的变化^[7]。工业革命以来,温室气体的大量排放已明显改变了世界的气候^[8],大气中 CO_2 的含量由 19 世纪末的 265×10^{-6} 增至 20 世纪末的 350×10^{-6} ^[9,5],气温上升导致海洋表层海水受热膨胀,陆地冰川融化导致全球海平面上升,过去百年全球海平面上升 10~20cm,现在仍在上升^[5]。因此全球平均气温、 CO_2 排放量指标均可预示海平面的升降趋势。

海洋动力:包括风暴潮、海浪、潮汐等动力的类型、强度、频率、周期等指标,是区域海岸短期变化的主要影响因素,决定沿岸泥沙的离岸移动方向。风暴可快速地使泥沙再分布,成为控制岸线短期(<10a)变化最重要的因素^[10-11],可以使局部的岸线变化加速或改变岸线的变化趋势。

重力作用:包括河流上游土壤侵蚀量、河流输沙量和海滩沉积速率。海岸沉积物质的多少是区域海岸线变化的物质基础。由于入海泥沙的大量减少,从 1949 年全国解放到现在,渤海全岸被海吞噬的土地已超过 400km²。自 1855 年黄河北归后,废黄河三角洲因沉积物供给突然中断,海岸受到严重侵蚀,在最

初几年,岸线后退速率达 1000m/a,为世界有记录以来的最大海岸侵蚀量^[8]。

人类活动:可用地面沉降速率、地下水开采量、地面高程的变化等指标表示。人类活动不仅改变了沿海平原的地貌,同时也影响和改变了现代海岸线及其开放潮坪。如人类开采地下水引发地面沉降、围海造田等经济活动,都通过改变地面高程,从而改变海平面与陆地的相对高差,引起了区域海岸线的移动。自 1980 年代中期以来,在潮间带开挖养殖池、对贝壳堤的肆意挖掘等活动使得平均大潮线被人为地向海推进。

1.2 状态指标的选取

海岸线的变迁有 2 种方式,一种是岸线向海推移,一类是岸线向陆地推移。海岸线的移动方向是由该地区相对海平面的变化决定的,全球海平面上升与当地陆地升降值之和即为该地区相对海平面的变化值。由于各区域海平面升降的幅度和陆地升降值均不相同,宏观上,相对海平面上升,海岸线向陆地移动(蚀退岸线),而相对海平面下降,海岸线向海推进(淤进岸线),如果相对海平面没有变化,则海岸线静止。

海岸线变迁的次一级指标:海岸线位置、海岸侵蚀速率、淤积速率、海滩沉积物的沉积序列、沉积速率。海岸线的位置是海岸变化过程最重要的指标,浅层地表沉积物的次序与过去的海面上升、陆地下降或两者的综合有关。

1.3 危害指标的选取

危害指标是在岸线变迁给人类居住的海岸带来的各种危害中提取的。一般来说,岸线向海推移不会对人类造成大的危害,这里所说的危害,主要指岸线向陆地移动给人类居住环境带来的危害。它的次一级指标为陆域面积和湿地面积的变化、湿地的植物与生物资源的变化、海岸城市安全等。

湿地分布与范围:海岸湿地的组成与分布是生态系统健康与否的指示因子。它们对水质、水位和沉积物供应的变化响应迅速。海岸湿地对海平面上升非常敏感,如海平面上升 100mm 和 500mm,中国沿海潮滩湿地将分别损失 24%~34%和 44%~56%^[6],使低潮滩转化为潮下滩。这样,不仅滩涂湿地的自然景观遇到严重破坏,而且滩涂湿地调节气候、储水分洪、抵御风暴潮、护岸等能力将大大降低,还对区内红树林造成严重的破坏。

地面高程和陆地面积:中国沿海地区地面高程小于或等于 5m 的重点脆弱区面积为 14.39×10⁴km²^[6],约占沿海 11 个省、自治区、直辖市面积的 11.3%,占全国陆地国土面积的 1.5%。在海平面上升时容易被海水淹没,同时咸水入侵范围扩大,风暴潮等灾害加剧。

海水入侵的范围:一般情况下,陆地淡含水层的水位比海水水位高,但长期大量抽取陆地淡水,或者相对海平面上升,会使地下水位低于海水水位,海水(咸水)通过透水层渗入陆地淡含水层中,从而破坏地下水资源。中国沿海许多地区受咸水入侵的危害。在海平面上升的背景下,海潮上溯距离增大、延时增长,加剧了沿海城市水质性缺水的形势。短期地表水位:可反映海水位、湖水位、河流的水位等。短期地表水位涉及陆地和地表水的任何相互联系。它受风暴潮、洪水、河水、降雨的直接影响,也影响植被的发育。

海岸侵蚀速率:相对海平面上升使水深和潮差加大,海浪和潮流作用增强。据计算,海平面上升 10mm,潮差将增加 34~69mm,海岸将侵蚀后退 28m;水深增加 1 倍,海浪作用强度增加 5 倍^[6]。相对海平面上升将增大海岸侵蚀的范围和速率,海岸防护费用将成倍增加,也会引起海岸侵蚀加剧。

沿海城市环境:如果海平面上升,沿海城市即使有人工堤岸的捍卫,现有的污水排放体系亦会因排污口高程过低而失效。

2 中国海岸线变迁监测指标体系

监测指标体系是建立在调查指标体系基础上的,是调查体系的结果,其目的是监测海岸带环境的变化,为管理者制定海岸带的管理对策提供依据,以满足海岸带地区可持续发展的需要。其研究过程是通过分析中国海岸线变迁对海岸环境造成的危害、表现形式,以及人类为应对这些危害所采取的措施,在此基础上构建海岸线变迁监测指标体系,分别从地学的角度提取压力、状态、应对指标(PSR)。压力指标即为海岸线变迁对海岸环境的危害,也就是海岸线变迁对海岸环境造成的压力;状态指标与调查指标体系中的相同,为海岸线变迁的方式;响应指标即人类为预防海岸线变迁对海岸环境造成的危害所采取的应对措施。这些指标是从海岸线变迁的影响因素中提取的在短期(百年)内变化显著并且易于

表 2 海岸线变迁监测指标体系^[2]

Table 2 Monitoring indicator system of coastline changes

指标类型	指 标	可 测 量 参 数
压力指标	陆地面积及	地面高程、短期地表水水位、海岸陆地面积、湿地面积
	海岸景观	海岸线位置及形态、珊瑚礁、红树林分布范围、贝壳堤的位置、潮间带宽度
	及生物地貌	
状态指标	海岸侵蚀 海岸淤积	河口位置、沉积速率、地面高程、沉积序列
应对指标	海滩沉积物	河流输沙量、海滩补沙
	地面形态	地下水位、地面高程、海岸工程

获取监测数据的指标。同时对这些指标进行分级,第二级指标为可用于监测的指标,以此构建海岸线变迁的监测指标体系(表 2)。

2.1 压力指标的提取

在海岸线变迁造成的所有危害中,提取地面高程、短期地表水水位、海岸陆地面积、湿地面积、海岸线位置和形态、珊瑚礁、红树林分布范围、贝壳堤的位置、潮间带宽度这些可以量测获取的指标,通过监测这些指标的变化来确定岸线变化对人类环境所造成的危害的程度。其中红树林的分布、珊瑚礁指标是湿热海岸地区所特有的指标。

2.2 状态指标的提取

在海岸线变迁的方式中提取河口位置、沉积速率、地面高程、沉积序列 4 个指标。其中河流入海口的海岸线呈淤积状态。无论海岸是侵蚀还是淤积状态,从海岸沉积物的沉积序列、沉积物的厚度均能得到反映。

2.3 应对指标的提取

在所有影响海岸线变化的指标中,地下水位、地面高程、海岸工程指标都与人类活动直接相关。海岸工程是人类最直接的保护海岸的方式,河流输沙还可用海滩补沙的方式,控制开采地下水,减少人类活动造成的地面标高的损失,保护海岸环境。

3 结 语

(1)揭示海岸带地质环境的自然演化规律,科学地认识海岸环境,并指导海岸地质环境的监测,合理利用海岸资源,最终达到科学地管理海岸环境的目的,对海岸带经济的可持续发展具有重要意义。

(2)海岸线变迁是海岸地质环境演变的最直

接的体现。海岸线变迁调查指标体系是基于 C-S-R 框架模型构建的, 主要应用于海岸带的地质调查, 以海岸线变迁的原因、表现方式、对人类居住环境的危害为主线, 分别提取影响指标、状态指标、危害指标三大类指标, 每类指标分为 3 级, 一级指标 5 个, 二级指标 13 个, 三级指标 33 个。通过这些指标可以掌握海岸带地质环境的演化规律和变化趋势。

(3)海岸线变迁监测指标体系是在调查指标体系的基础上, 以 P-S-R 框架模型构建的, 从海岸线变迁对海岸环境造成的压力、表现形式、应对措施等分别提取压力指标、状态指标和响应指标。指标分为 2 级, 一级指标 8 个, 分别为陆地面积、湿地面积、海岸景观、生物地貌、海岸侵蚀、海岸淤积、海滩沉积物、地面形态; 二级指标共 18 个, 包括地面高程、短期地表水水位、海岸陆地面积、湿地面积、海岸线位置和形态、珊瑚礁、红树林分布范围、贝壳堤的位置、潮间带宽度、河口位置、沉积速率、地面高程、沉积序列、河流输沙量、海滩补沙量、地下水位、地面高程和海岸工程, 可直接用于海岸环境的监测。

致谢: 在成文过程中得到岑嘉法、赵运昌专家的悉心指导, 在此表示衷心的感谢。

参考文献

[1]文冬光,吴登定,张二勇.中国海岸带环境地质问题[C]//中国地质调查局.海岸带地质环境与城市发展论文集.北京:中国大地出版社,2005: 29-36.

[2]李瑞敏,鞠建华,等.生态环境地质指标研究[M].北京:地质出版社,2007:163-199.

[3]尹延鸿,刘宪启.影响黄河三角洲海岸带冲淤速率的因素[J].海洋地质动态, 2000,(4):1-4.

[4]姜梅,夏东兴.6000 年来我国低平海岸线的冲淤变化及其对海岸带开发的影响[J]. 黄渤海海洋,2001,(1):32-37.

[5]夏东兴,王文海,武桂秋,等.中国海岸侵蚀述要[J]. 地理学报, 1993,5:1-4.

[6]刘锡清.我国海岸带主要灾害地质因素及其影响[J]. 海洋地质动态, 2005,21(5):23-42.

[7]庄振业,林振宏,刘志杰,等.海平面变化及其海岸响应[J]. 海洋地质动态, 2003,19(7):1-13.

[8]任美镔.海平面研究的最近进展[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2000,36(3):269-279.

[9]何起祥,刘守全,周永青.中国海岸带的地质特征与综合管理[C]//中国地质调查局.海岸带地质环境与城市发展论文集.北京:中国大地出版社,2005:36-43.

[10]Morton R A, Gibeaut J C, Paine J G. Mesoscale transfer of sand during and after storms—implications for prediction of shoreline movement[J]. Marine Geology, 1995, 126(1/4):161-179.

[11]李志强,陈子繁.砂质岸线变化研究进展[J]. 海洋通报, 2003,8(4): 77-87.