

我国重点海岸带地下水资源问题与海水入侵防控*



高茂生¹ 骆永明²

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所 青岛 266071

2 中国科学院烟台海岸带研究所 烟台 264003

摘要 由于海岸带地理、地质条件的特殊性，我国重点海岸地下水资源环境承载力脆弱。近年来，围海造陆等海岸工程加快，海岸带环境水文地质问题频发，生态环境恶化，已经严重制约我国海岸带的生态建设。文章分析了我国海岸带环境水文地质特征，研究海岸带地下水需求现状和不合理开采地下水所产生的主要地质环境问题，指出水资源短缺、海（咸）水入侵所导致的生态环境退化问题将严重制约我国海岸带的可持续发展，如何科学促进地下水资源和环境的协调发展，已成为我国海岸带综合管理的一项重要战略任务。

关键词 海岸带，地质，地下水，海（咸）水入侵

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.10.009

海岸带界于大陆与海洋交汇处，大江大河的入海口为重点海岸带。海岸带水体交换能力强，地下水资源相对丰富，但水资源径流量存在时间分配的不合理性和空间分布的不均匀性，如大连、秦皇岛、天津、青岛、温州、厦门、北海等滨海城市陆续出现资源性缺水 and 水质性缺水现象^[1,2]，资源环境承载力明显下降。海岸带生态环境脆弱，已成为我国重点海岸带经济社会发展的重要限制因素^[3]。

海岸带生态环境问题与地下水密切相关，特别是与地下水资源的不合理开采有直接关系。人类工程活动加剧，导致地下水水位、水质或能量发生显著改变，地下水参与的水循环、岩（土）水力学与地下水流场的动态平衡均遭破坏，海岸带将出现诸多环境地质问题。如区域性地下水位持续下降、海（咸）水入侵、土壤盐渍化、地面下沉、地下水水质污染等。其中海（咸）水入侵是海岸带水系联动导致的重要问题之一。陆地含水层中的淡水与海洋海（咸）水之间平衡被破坏后，导致的海水（或与海水有水力联系的咸水）沿含水层向陆地方向入侵，从而形成海（咸水）入侵现象，对陆地地下淡水造成极大污染。

**资助项目：科技部基础性工作专项（2014FY210600）和国家海洋地质保障工程项目（GZH201200505、121201005000150004）

*修改稿收到日期：2016年7月3日

当前,我国沿海地区人口密集、经济高速发展,海岸带水资源和环境问题具有长期性和复杂性。海岸带地下水问题还包含较之江河直排更为隐秘的海岸带地下水排泄,这将可能造成近岸海域的水质污染。海(咸)水入侵又使得砂质(粉砂质)海岸地区淡水资源缺乏的问题进一步加剧。为满足人类生产生活的需求、缓解水资源的短缺和时空分布不均等问题,沿海各地都在积极寻求海岸带地下水及海(咸)水入侵问题的解决途径和方法。

1 国内外研究历程及现状

19世纪以来人类开始海岸带地下水和海(咸)水入侵研究,J. Du. Commun、Badon Ghyben和Herzberg分别于1828、1889、1901年各自给出咸淡水界面上任一点在海平面下深度的数学表达式^[4]。20世纪40年代以来,澳大利亚针对墨尔本、悉尼等海岸的海水入侵现象进行专项监测,制定用水计划并采取工程措施,海水入侵得到一定缓解。1965年,西班牙的巴塞罗那理工大学开始对该国地中海沿岸进行地下水流动与盐度关系、海(咸)水入侵预测、管理及治理等研究^[4]。20世纪后半期,日本学者通过对富士、大阪的海水入侵现象进行长期监测,提出相应的节水法规和防治海水入侵危害的措施。Bear在《多孔介质流体动力学》(1972年)和《地下水水力学》(1979年)中论述了稳定界面与移动界面近似解以及井在界面上抽水所引起的升锥问题。1985年,英国剑桥召开国际水文地质学家协会(IAH)第18届会议,较全面介绍了海水入侵的研究现状、基本原理、地质条件、地下水开采、计算方法、监测技术及滨海地区淡水资源管理等问题^[5]。联合国教科文组织1987年出版了Custodio等人所著《滨海地区地下水问题》一书,旨在鼓励科学家对海水入侵的深入研究。近年来,美国、日本、荷兰、西班牙、澳大利亚、墨西哥等通过海岸带地下水调查和监测,对海岸带地下水演化过程的研究更加深入,在海岸带地下水影响机制、监测、发展趋势和

防治方面取得了较大进展^[6-9]。

我国海(咸)水入侵研究始于1975年,重点选择渤海湾地区开展海岸带地下水及海(咸)水入侵的专项调查研究,致力于砂质海岸带地下水动态变化及其机理探讨^[10],注重用数值模拟方法进行海(咸)水入侵计算^[11],建立地下水水质模型研究咸淡水界面地下水运移规律^[12],对海(咸)水入侵机理进行应用性研究,通过多种环境示踪剂调查,在古水文地质演化方面提出了新认识^[13,14]。李海龙以莱州湾、胶州湾为重点,开展海岸带地下水多组分、多相流的海岸带水文地质学研究^[15]。2015年6月国家地下水监测工程通过国家的技术审查和概算核定,工程现已进入实施阶段。科技部等联合制定了《国家水安全创新工程实施方案(2015—2020)》,其中一项重要内容就是通过黄渤海沿海地区地下水管理与海水入侵防治研究,研发海岸带地下水开采调控和海水入侵综合防治技术。

2 我国海岸带主要地质特征

我国大陆海岸带有着十分特殊的南北气候分带和地质特点,海岸带横跨22个纬度,从南到北降水量明显减少,蒸发量、干燥系数增加^[16]。第四纪早期,因青藏高原的快速急剧隆升,由西向东流的江河携带碎屑物质的能力大增。泥砂碎屑物源源不断地输运到河口海岸沉积,还有相当一部分被沿岸流输送到邻近的海岸沉积。因此,陆地地质作用是控制海岸带形成、发育和演化的主要营力,而海洋营力只起一定的改造作用^[16]。

受太平洋板块与印度洋板块的地应力影响,处于欧亚板块东部边缘的我国近海板缘及板内的地质构造活动强烈^[17],特别是第四纪以来,全球冷暖气候交替频繁,我国海岸带经历了数次沧桑巨变。据刘锡清等人^[18]研究,以杭州湾南侧为界,界限以北海岸垂直运动较强,形变较复杂,主要受北东向构造控制,以沉降为主(山海关、山东半岛隆起等属于下降背景中的上升),下降速率以渤海西岸(天津—沧州海岸)为最大,表现为构

造下降和地下水开采引起的地面沉降为特征。并形成下辽河、华北和苏北大平原海岸,该海岸第四系海陆沉积层厚达数百米。界限中部地壳垂直运动较弱且平稳,升降变化小。界限以南海岸则以隆升为主,大部分是丘陵海岸,间有小的河口沉降盆地,但活动强度不大,唯珠江三角洲西部呈下降趋势。

我国东部海岸带水文地质分带性明显,海岸地下水特征各异^[19]。(1)平原海岸海陆交互沉积层普遍分布,地下咸、淡水交错,水质类型复杂。(2)长江口南北各异。长江口以南(包括长江口)海岸地下水资源丰富,长江口以北海岸干旱缺水,地表水、地下水相对缺乏。南方海岸常见咸、淡水层交错分布,淡水层中夹残留咸水透镜体;北方海岸浅部以咸水层为主,有些地区淡水层埋藏深。南部海岸带碳酸盐岩分布广泛,岩溶发育,容易造成岩溶塌陷、海水入侵等环境地质问题。部分南部海岸带风化壳发育,局部厚度可达10—50 m,是造成山体坍塌、水土流失等地质灾害的主要原因。(3)许多滨海城市由于大量开采地下水,动水位降到海平面以下,造成海水、咸水入侵。(4)河口三角洲沉降平原的海岸淤积不断扩大,河流来水量减少所引起的地下淡水资源减少、水质变差等现象严重。

3 我国海岸带地下水资源问题及对策

3.1 主要问题

我国大约20%的供水来自地下水,而在降水量较少的华北和西北地区,该比例更是高达50%—80%。但我国地下水水质状况又十分令人担忧,根据国土资源部门2011年对200多个城市和行政区进行的地下水采样结果,4700多个地下水样中的55%显示为IV或V类水^[20]。而全国范围内地下水污染的严重程度,目前仍没有准确的统计数据。

我国东部海岸带人口高度密集,经济快速发展,城市化进程不断加速。海岸带水资源分布不均衡(表现为资源性缺水或水质性缺水)、地下水严重超采、水污染加重等海岸带水环境问题,已成为滨海城市率先实现现

代化的重要制约因素。辽河、海河和山东沿海的主要河流,约有50%以上河段水已不符合农灌标准,而山东滨州部分地区地下水已检出有机氯农药及“三致物质”(致癌、致畸、致突变)30余种^[21]。海岸带水源污染已造成农作物减产、水产养殖受损、工业效益降低、居民饮水困难、粮食和蔬菜中重金属含量增高、居民癌症和肠胃病等发病率逐年上升、自来水制水成本逐年增高等问题^[22]。

沿海地区近40年来的改革发展表明^[23],社会经济发展的海岸城市往往也是水污染最为严重的地区。工业污染和生活污染已从点状向面状、从城市向乡村蔓延,地区经济发展水平与环境污染程度呈现同步增长趋势。环渤海城市密集,产业性结构布局重型化特点突出,区域地下水资源供需矛盾加剧,水资源合理配置问题成为制约区域整体发展的矛盾焦点。珠江三角洲、长江三角洲等南方海岸带地区,尽管降水充沛,井网、河网密布,但由于近年来工业污染和生活污染的加剧,也普遍出现了水质性缺水现象^[23]。

3.2 治理方法

(1) **树立整体观点**。将地表水、地下水、土壤作为环境系统整体^[24],综合考虑海岸带水循环过程。针对海岸带地下水资源的分布特点,加强流域水资源开发管理的整体规划。充分考虑现有水资源条件,优化水源井的地域分布,避免局部地区过量开采。调控地下水位和降落漏斗的形态,逐步达到地下水补给量与开采量的动态平衡^[25]。

(2) **加强海岸带地下水监测**。建立地下水水位、水量、水质监测井网络,提高监测技术,建立地下水动态数据库,完善地下水开发利用方案,利用现代化信息手段开展不同时间尺度海岸带地下水的深入调查研究,确保我国海岸带地下水资源的可持续利用。

(3) **建立地表水和地下水联合调度机制**。根据来水量、蓄水量和需水量,制订合理的水量分配方案和调度方案,充分合理地开发利用地下水资源^[25]。同时,结合

典型海岸带水资源分布特征, 有针对性地进行地下水回灌, 恢复或抬高超采区地下水位, 增加地下水补给量。

(4) 开源节流。随着海岸带地下水资源需求量不断增加, 必须开源与节流并重, 实行最严格的水资源管理制度, 建立节水型社会。

4 海(咸)水入侵分布及防控

海(咸)水入侵主要包括海水入侵、咸水入侵、咸潮入侵。产生的必要条件为: 存在海水与陆地含水层的水力联系通道, 存在海水与陆地含水层间的水头压力差。产生的主要原因为: 在海洋潮汐、波浪、潮流作用下, 产生海水楔形体的动态变化; 当压力差发生异常涨落时, 海水楔不断向陆地含水层运动, 则发生海(咸)水入侵。海(咸)水入侵方式与海岸类型密切相关, 如我国北部环渤海地区(如辽宁营口、辽河三角洲、天津滨海新区、河北沧州-黄骅、山东莱州湾等)为泥质海岸, 以咸水入侵为主, 主要与地下水过量开采有关。而长江口、珠江口的入侵方式则是以咸潮入侵为主, 表现出受河流入海径流量和海洋潮汐作用等的综合因素影响的特点。在东南沿海(如广东湛江、广西北海、钦江三角洲、海南儋州新英湾等)以及山东龙口、河北北戴河、辽宁大连等地的砂质海岸以海水入侵为主。

4.1 分布特征

20 世纪 70 年代以来, 我国海(咸)水入侵开始发生并有逐年增加趋势, 如在辽宁、河北、天津、山东和广西等沿海地区均有不同程度的表现。其中以辽宁大连、山东北部海岸带最为突出^[26], 地下水开采, 海岸带出现零星的海(咸)水入侵。20 世纪 80 年代后, 随着国民经济的持续高速发展, 地下水开采力度增强、范围增大。海(咸)水入侵速度随之加快, 特别是在莱州湾南岸形成一条连续的海(咸)水入侵带(山东广饶至龙口)^[27], 在山东烟台、威海、青岛、日照等地主要河流的河口附近出现规模不等的海(咸)水入侵现象, 成为

一种影响范围广、危害较为严重的地质灾害。1991—2004 年, 该区域地下水开采量增加显著, 加之大量抽取地下卤水资源, 咸水区面积达到最大。2005—2014 年, 降水量保持稳定, 区域内调入了一定量的黄河水, 地下水位负值漏斗面积有持续缩小趋势, 部分地段入侵速度明显减缓, 局部终止。

近年来, 受降水量减小、工农业生产水需求量增大的双重影响, 部分海岸地区加大地下水开采, 导致局部海(咸)水入侵界面的波动。国家海洋局发布的《2015 年中国海洋灾害公报》记录了相关波动^[28]。2011—2015 年, 渤海滨海地区辽宁盘锦和葫芦岛部分监测区海水入侵距离有所增加; 黄海滨海地区江苏连云港监测区海水入侵范围逐渐扩大; 东海滨海地区福建长乐漳港镇近岸站位氯离子含量明显升高, 海水入侵距离逐渐增加; 南海滨海地区广东茂名龙山监测区海水入侵距离呈缓慢上升趋势。至 2015 年, 海水入侵严重地区主要分布于渤海滨海平原, 46% 以上监测区海水入侵距离为距岸 10—43 km, 分布在河北、山东沿岸; 黄海和东海滨海地区海水入侵范围总体较小, 约 86% 监测区海水入侵距岸 5 km 以内; 南海滨海地区海水入侵范围小、程度低, 90% 监测区海水入侵距离距岸 0.5 km 以内。

莱州湾是我国北方海(咸)水入侵危害最严重的地区^[31], 有海水入侵, 也有咸水入侵, 在国内具有典型性。莱州湾沿岸地下咸、卤水入侵深度主要位于 80—100 m 以上, 含多层河流冲积、洪积砂层, 颗粒粗、分布广、连续性较好, 是咸、卤水入侵的主要通道, 各砂层间多以粉砂质黏土、黏土质粉砂等弱透土层相隔, 主要为顺层入侵, 局部地下水强采区可发生一定程度的越流入侵^[29]。调查分析认为, 在影响海(咸)水入侵的因素中, 连续干旱少雨、水资源分配不均以及沿海潮汐、波浪、潮流变化等都是背景条件; 含水层导水性等是基础条件; 超量开采地下水, 地下水位大幅度下降, 破坏了咸、淡水的天然平衡状态, 海(咸)水体侵入地下淡水含水层, 是海(咸)水入侵产生的直接原因^[30]。近 30

多年来各科研院校、生产单位在该区进行过专项调查研究,取得了一些成果,但往往随着工作的结束,相关监测工作也停止,工作持续性不够,不利于对海岸带地下水深入研究,也无法向国家有关部门及时提供海(咸)水入侵预报的准确信息。

4.2 防控措施

(1) **合理开采地下水**。大力推广工业节水和节水灌溉新技术,使工农业向节水型转变。建立水资源管理模型,尽快实现海岸城市水资源的优化开采。

(2) **建造地下水库**。海岸带地下水库分为山间河谷型、冲洪积扇型和埋藏古河道型3种类型。地下水库既可阻止海(咸)水入侵,又可拦蓄淡水。我国北方沿海地区具备良好的建库条件,且开发潜力较大^[33]。合理建设和管理地下水库是我国北方沿海缺水地区增加水资源可利用量的有效途径。如山东半岛陆续兴建了莱州王河、黄水河、龙口八里沙河、青岛大沽河、烟台夹河等地下水库。通过对水资源的时空优化配置和联合调度,实行地下水库科学管理,将有效改良土壤和水质,防治海(咸)水入侵,改善库区生态水文环境,实现沿海地区有限淡水资源的长期有效利用。

(3) **跨流域调水**。对于无法就地解决淡水资源的重点海岸带地区,应适时兴建跨流域调水工程,以保持和恢复地下水与海水的动力平衡,防止海(咸)水入侵并缓解城市供水紧缺状况。如青岛的“引黄济青”工程就对青岛防治海(咸)水入侵起到了重要作用。

(4) **人工回灌地下水**。人工回灌地下淡水,可提高地下淡水的水位和流速,以淡水压咸水,迫使海水后退,是防治海(咸)水入侵的有效方法之一。如荷兰充分利用河流来水进行人工回灌,以维持海岸地区的地下水动力平衡。

(5) **建立监测预报体系**。建立海(咸)水入侵监测研究基地,建立完善重点区海水入侵监测井网,实时在线监测,建立海(咸)水入侵预测预报模式,达到防治海(咸)水入侵的目的^[32]。

5 结论与建议

受全球气候变化、海平面上升、地面不均匀沉降等自然因素影响,海岸带工程活动更加频繁,海(咸)水入侵难以避免,它具有隐蔽性和多变性,治理难度大。水资源与环境效应问题对典型海岸带工程建设和经济发展的影响加剧,理应引起足够重视。

鉴于人类不合理开采地下水所引起的海岸带地下水资源与环境地质问题,应从区域水循环角度,开展地质灾害的对比分析,结合地下水资源的可持续利用(包括微咸水、咸水、卤水和矿泉水的开发利用以及海岛地下水、应急水源地的建立)及环境地质灾害防治指明未来工作方向;结合当前经济和社会发展的需求开展海岸带地下水研究,对未来水环境发展趋势进行预测评价,进而提出防治措施。

参考文献

- 1 张寿全,王世敬,黄巍. 中国沿海地质环境与区域持续发展的若干问题探讨. 工程地质学报, 1996, 4(3): 24-29.
- 2 高茂生,朱远峰. 中国海岸带环境水文地质问题及防治. 海洋地质动态, 2006, (5): 8-10.
- 3 陈梦熊. 沿海地区地质环境特征与地质环境系统——兼论“人地系统”. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 11(增): 81-86.
- 4 李国敏. 海水入侵研究现状与展望. 地学前缘, 1996(4): 161-167.
- 5 Custodio E. 咸水入侵, 国际水文地质学家协会第18届大会论文集. 北京: 地质出版社, 1987.
- 6 Barbecot F, Marlin C, Gibert E, et al. Hydrochemical and isotopic characterization of the Bajocian coastal aquifer of Caen area (northern France). Applied Geochemistry, 2000, 15: 791-805.
- 7 Boluda B N, Gomis Y V, Ruiz B F. Influence of transport parameters and chemical properties of the sediment in experiments to measure reactive transport in seawater intrusion. Journal of Hydrology, 2008, 357: 29-41.

- 8 Carol E, Kruse E, Mas-Pla J. Hydrochemical and isotopic evidence of groundwater salinization processes on the coastal plain of Samborombon Bay Argentina. *Journal of Hydrology*, 2009, 365:335-345.
- 9 Marimuthu S, Reynolds D A, Salle C L G L. A field study of hydrologic, geochemical and stable isotope relationship in a coastal wetland system. *Journal of Hydrology*, 2005, 315: 93-116.
- 10 薛禹群, 谢春红, 吴吉春, 等. 海水入侵咸淡水界面运移规律研究. 南京: 南京大学出版社, 1991.
- 11 成建梅, 李国敏, 陈崇希. 滨海、海岛海水入侵数值模拟研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 2004.
- 12 陈鸿汉, 王新民, 张永祥, 等. 淮河下游地区海水入侵动态三维数值模拟分析. *地学前缘*, 2000, 7(8): 297-304.
- 13 Han D M, Song X F, Currell M J, et al. Chemical and isotopic constraints on evolution of groundwater salinization in the coastal plain aquifer of Laizhou Bay, China. *Journal of Hydrology*, 2014, 508: 12-27.
- 14 Han D M, Kohfahl C, Song X F, et al. Geochemical and isotopic evidence for palaeo-seawater intrusion into the south coast aquifer of Laizhou Bay, China. *Applied Geochemistry*, 2011(26):863-883.
- 15 李海龙, 万力, 焦赳赳. 海岸带水文地质学研究中的几个热点问题. *地球科学进展*, 2011, 26(7): 685-694.
- 16 朱志伟, 高茂生. 海岸带基本类型与分布定量分析. *地学前缘*, 2008, 15(4): 315-320.
- 17 陈吉余, 陈介胜. 中国海岸带地质. 北京: 海洋出版社, 1993.
- 18 刘锡清. 我国海洋环境地质. *海洋地质动态*, 2005, 21(5): 10-22.
- 19 陈吉余, 陈介胜. 中国海岸带水文. 北京: 海洋出版社, 1993.
- 20 文冬光, 林良俊, 孙继朝, 等. 中国东部主要平原地下水质量与污染评价. *地球科学*, 2012, 37(2): 220-228.
- 21 鲁连胜. 环渤海地域文明资源利用的研究. *城乡生态环境*, 1998, 22(1): 1-5.
- 22 沈红心. 水资源的持续开发和利用. *环境污染与防治*, 1998, 20(3): 32-34.
- 23 刘伟江, 王东, 文一, 等. 我国地下水污染修复试点对策建议——对《水污染防治行动计划》的解读. *环境保护科学*, 2015, 5: 8-10.
- 24 郑春苗, 齐永强. 地下水污染防治国际经验——以美国为例. *环境保护*, 2012, 41(3): 12-15.
- 25 陈鸿汉, 张永祥, 王新民, 等. 沿海地区地下水环境系统动力学方法研究. 北京: 地质出版社, 2002.
- 26 马凤山, 蔡祖煌, 宋维华. 海水入侵机理及其防治措施. *中国地质灾害与防治学报*, 1997, 8(4): 20-22.
- 27 薛禹群, 吴吉春, 谢春红, 等. 莱州湾沿海水入侵与咸水入侵研究. *科学通报*, 1997, 42(22): 2360-2368.
- 28 国家海洋局. 2015年中国海洋灾害公报. [2016-03-30]. http://www.coi.gov.cn/gongbao/zaihai/201603/t20160330_33831.html
- 29 庄振业, 刘冬雁, 杨鸣, 等. 莱州湾沿岸平原海水入侵灾害的发展进程. *中国海洋大学学报*, 1999, 29(1): 141-147.
- 30 李响. 尊重自然, 让“海水”不犯“淡水”. *中国国土资源报*, 2013-05-04.
- 31 孙晓明, 徐建国, 施佩歆, 等. 环渤海地区海(咸)水入侵特征与防治对策. *地质调查与研究*, 2006, 29(3): 203-211.
- 32 李响. 及早建立海水入侵预测预报模式. *中国国土资源报*, 2013-05-04.
- 33 林学钰. 论地下水开发利用中的几个问题. *长春地质学院学报*, 1984, 2: 113-121.

Change of Groundwater Resource and Prevention and Control of Seawater Intrusion in Coastal Zone

Gao Maosheng¹ Luo Yongming²

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China;

2 Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract Because of the specialties of coastal geology and geography condition, the capacities of groundwater resource and environment are fragile in main coastal zone in China. Recently, the frequent coastal engineering has resulted in many questions of coastal environmental hydrogeology and deterioration of coastal ecological environment. That has restricted the development of ecological civilization construction severely in coastal zone. By introducing the characteristics of coastal environmental hydrogeology, this paper analyzes the demand situation of typical coastal groundwater and major questions caused by unreasonable groundwater exploitation. It has been concluded that some factors have restricted sustainable development strategy in typical coastal zone, such as water shortage, water environment pollution, land subsidence, sea (saline) water intrusion, degradation of ecological environment, and so on. How to realize the coordinated development between groundwater resource and environment has become an important strategic task for coastal integrated management in China.

Keywords coastal zone, geology, groundwater, sea (saline) water intrusion

高茂生 中国地质调查局青岛海洋地质研究所研究员，博士，博士生导师。现主要从事海岸带地下水及海洋沉积环境调查研究。主持了“海岸带地质环境监测规范”“海岸带综合地质调查规范”“山东半岛海岸带综合地质调查与监测”“黄河三角洲滨海湿地综合地质调查评价”等项目。E-mail: gmaosheng@cgs.cn

Gao Maosheng Professor of Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey. He is mainly engaged in the study of groundwater in the coastal zone and marine sedimentary environment survey. He has presided over many projects, such as “geologic environment monitoring norms”, “coastal zone comprehensive geological survey specification”, “Shandong peninsula coastal zone comprehensive geological survey and monitoring”, and “the Yellow River delta coastal wetland comprehensive geological survey evaluation”. E-mail: gmaosheng@cgs.cn