

江西省页岩气产业发展的前景分析及对策

钟志勇¹, 温志华²

(1. 华能江西分公司, 南昌 330029; 2. 华能瑞金电厂, 江西赣州 341108)

摘要: 根据国内外页岩气的开发现状, 结合江西省地质构造情况, 分析了江西省页岩气产业的发展前景, 认为下扬子赣东北区和萍乐坳陷区具有良好的页岩气开发前景, 并提出了加快江西页岩气产业科学发展的对策, 包括制定江西省页岩气产业的发展战略规划、突破页岩气开发及应用的关键技术、提供页岩气产业发展的扶持政策、规范页岩气勘探开发程序等。

关键词: 页岩气; 开发; 前景; 对策; 江西省

中图分类号: TK01*9; P618.13

文献标志码: A

文章编号: 1005-7676 (2011) 04-0004-05

Analysis on Development Prospect and Countermeasures of the Shale Gas Industry in Jiangxi Province

ZHONG Zhi-yong¹, WEN Zhi-hua²

(1. Huaneng Company Jiangxi Branch, Nanchang 330029, China;

2. Huaneng Ruijin Power Plant, Ganzhou 341108, Jiangxi, China)

Abstract: According to the shale gas development status at home and abroad, and the geological tectonic situation of Jiangxi Province, the development prospect of the shale gas industry in Jiangxi Province is analyzed, and the conclusion show that the Northeast Jiangxi area of lower Yangtze region and Pingle sag area has a good prospect of shale gas development. The scientific development countermeasures of shale gas industry in Jiangxi are advanced, including formulate strategic development plan of shale gas industry, breakthrough the key technologies of its development and application, providing some support policies and regulate its exploration and development program, and so on.

Key words: shale gas; development; prospect; countermeasure; Jiangxi Province

引言

随着社会对清洁能源需求的日益扩大, 作为新型能源资源的页岩气在北美成功开发利用后, 欧洲、亚洲各国相继加快开发利用页岩气的进程, 现已成为各国油气资源勘探开发的新亮点^[1]。页岩气是指聚集在暗色泥页岩或高碳泥页岩中, 以吸附或游离状态为主要存在方式的非常规天然气, 与煤层气、致密气同属一类。相关资料表明^[1-3], 我国页岩气资源

非常丰富, 具有巨大的资源潜力和勘探开发远景, 页岩气的开发利用将成为实现国家能源安全供给、多元化发展的重要战略选择, 是我国向清洁能源经济模式转变的有效途径。因此, 本文根据国内外页岩气开发现状及前景, 综合江西省地质构造情况, 分析江西省页岩气的开发前景, 从战略规划、技术突破、政策支持、开发程序等方面, 提出加快我省页岩气产业发展的对策。

投稿时间: 2011-08-10

作者简介: 钟志勇 (1974-), 男, 江西会昌人, 高级工程师, 工程硕士, 毕业于华北电力大学, 现任华能江西分公司计划发展部主任, 主要从事发电项目技术经济的分析研究。

1 页岩气的开发现状及前景

1.1 国外页岩气的开发现状及前景

1.1.1 国外页岩气的开发现状

页岩气的研究和勘探开发最早始于美国,世界第一口页岩气井于1821年在美国东部开钻,20世纪20年代开始规模生产,20世纪70年代页岩气勘探开发区扩展到美国中、西部,1980年美国实施非常规燃料免税政策后页岩气开始商业化开采。20世纪90年代,在政策、价格和开发技术进步等因素的推动下,页岩气成为了美国重要的勘探开发领域和目标。2007年美国页岩气产量接近500亿 m^3 ,占美国天然气总量的8%;2009年产量接近1000亿 m^3 ,超过我国常规天然气的年产量;2010年产量达1000亿 m^3 ,占美国天然气总量的15%^[4-5]。

美国页岩气的成功开发应用得益于其技术先进、油气管线设施完备、投资机制多元化,该国现有10000多家从事页岩气开发的石油公司,一般由小公司进行页岩气项目前期开发,当项目进展到一定规模时再由大公司收购,进行规模开发。此外,加拿大也有较长的页岩气开发历史,起步较美国晚,从2000年开始重点针对11个盆地(或地区)的页岩气资源潜力进行分析,之后投入大量资金,应用先进技术来勘探阿尔伯特、不列颠哥伦比亚、萨斯喀彻温省、魁北克、安大略、新斯科舍等地区的页岩气资源,其中HornRiver盆地和Montney深盆地是最重要盆地。除美国和加拿大外,澳大利亚、德国、法国、瑞典、波兰等国家也开始了页岩气的研究和勘探开发^[1-3]。

1.1.2 国外页岩气的开发前景

据初步评价^[6],全球页岩气资源量达456.2万亿 m^3 ,相当于煤层气与致密砂岩气的总和,占全球非常规天然气资源量的50%,其中北美地区108.7万亿 m^3 ,占全球的23.8%;中亚和中国为99.8万亿 m^3 ,占全球的21.9%。其中,美国页岩气资源量超过28万亿 m^3 ,位居第一,目前美国已进入页岩气开发的快速发展阶段,预计至2035年,页岩气产量将占本国天然气总量的45%^[4]。

1.2 国内页岩气的开发现状及前景

1.2.1 国内页岩气的开发现状

页岩气在北美规模化开发取得成功后,我国从2005年开始关注页岩气,之后加快了页岩气资源调查与勘探开发工作,2009年11月在重庆市彭水县连湖乡实施了第一口页岩气战略调查井;2010年国

土部启动川南、川东南、黔北、渝东南以及渝东北5个重点目标区的先导性实验工作,共优选出20个页岩气富集有利区,估计总资源量为8.50万亿~14.72万亿 m^3 ;2011年将全国页岩气资源划分为上扬子及滇黔桂区、中下扬子及东南地区、华北及东北区、西北区、青藏区5个大区,在全国范围进行页岩气资源潜力的总体评价。总体而言,国内页岩气开发还处于探索起步阶段,尚未商业化开采,目前只有7口页岩气探井和29口地质浅井,且页岩气井多为勘探井,尚未产气^[4]。

由于我国页岩气具有巨大的资源潜力和勘探开发前景,国家能源战略已将页岩气摆到重要位置,全面铺开了页岩气资源前期工作,2010年国土部已分层次、梯次依次开展了全国页岩气资源战略调查:第一梯次是先期设置以海相地层为主的上扬子川渝黔鄂先导试验区,包括四川、重庆、贵州和湖北的部分地区,面积约为20万 km^2 ,进行先导性试验;第二梯次是在以海相地层为主的下扬子苏皖浙赣地区,包括江苏、安徽、浙江、江西省的部分地区,展开页岩气资源调查;第三梯次是以陆相和海陆交互相地层为主的北方重点区,包括华北、东北、西北的部分地区^[5]。

1.2.2 国内页岩气的开发前景

我国页岩气富集地质条件优越,页岩气地质条件与美国相似,页岩气资源前景及开发潜力与美国相当。全国页岩气资源量虽尚未经过权威评价,但通过采用成因法、统计法、类比法及特尔菲法估算,我国页岩气可采资源储量大约31万亿 m^3 ,主要分布在南方、北方、西北和青藏等广大地区,既有有机质含量高的古生界海相页岩、海陆交互相页岩,也有有机质丰富的中、新生界陆相页岩,其中,海相沉积面积达300万 km^2 ,海陆交互相沉积200多万 km^2 ,陆上海相沉积面积280万 km^2 ^[5]。从岩石类型上,中国陆上的富有机质页岩可分为3大类^[6]:第1类为通常意义上的富有机质黑色页岩,主要分布于中国的南方、华北、塔里木3大区域,以海相沉积为主;第2类为与煤系地层相关、发育在煤层上下的高炭质页岩,以石炭系-二叠系、三叠系-侏罗系为主,在南方扬子地区、北方广大地区均有分布;第3类为泥岩,以陆相湖泊沉积为主,广泛存在于松辽、渤海湾、鄂尔多斯、塔里木、准噶尔、吐哈、柴达木等盆地和河西走廊等地区的石炭系-新近系中。中国富有机质页岩类型与分布情况见图1^[6]。总而言之,我国页岩气资源勘探开发前景很

好,具备加快勘探开发的资源基础。据国土资源部预计^[5],到2020年,全国有20~30个页岩气勘探开发区,国内页岩气产量将达到150亿~300亿 m^3/a ,页岩气产量将占全国常规天然气产量的8%~12%;

到2030年达到1100亿 m^3 ,届时页岩气将占到中国天然气总产量的25%,使页岩气成为我国重要的清洁能源资源。

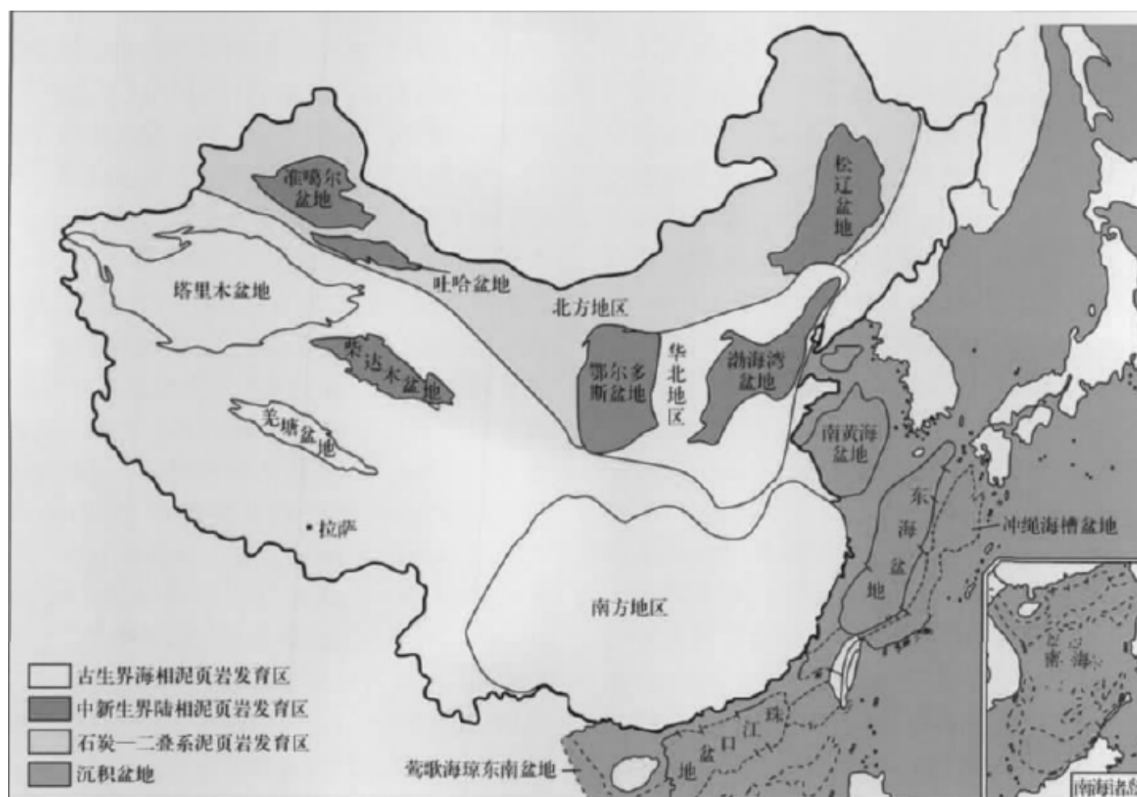


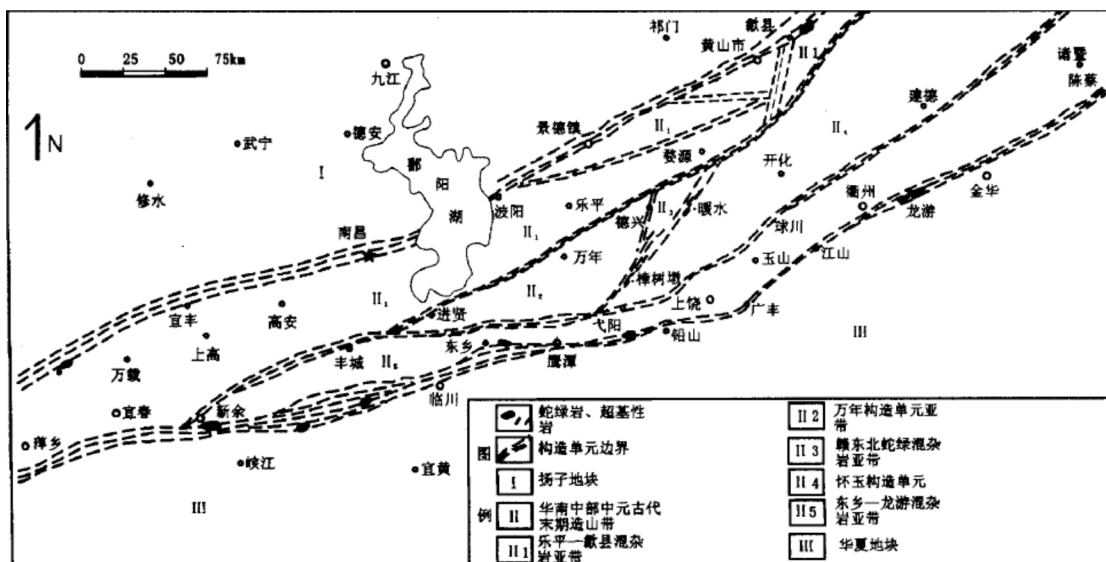
图1 中国富有机质页岩类型与分布图^[6]

2 江西省页岩气的开发前景分析

目前,国家已把华东地区的页岩气勘探列为重点,把以海相地层为主的下扬子苏皖浙赣地区列为页岩气资源战略调查的第二梯次。2011年5月,《中国南方页岩气选区评价研究》项目通过专家组评审,研究成果表明^[7],南方地区具备页岩气生产的地质条件,是我国开展页岩气地质研究及勘探开发生产的有利地区,其范围包括上扬子地区和下扬子地区,地理上跨越川、黔、渝、鄂、湘、皖、苏、赣、浙等省市。研究认为^[7],南方古生界发育多套海相富有机质黑色页岩,寒武系底部和志留系底部各存在一套高成熟度、高有机质丰度的黑色页岩,具有厚度大、展布稳定、有机质类型好等特征,是较现实的页岩气勘探开发领域;南方古生界下寒武统泥页岩、上奥陶统-下志留统泥页岩、中二叠统泥岩3个层位岩矿组成较为相似,都具有较好的脆性,有利于页岩气的开发。

从江西的地质构造划分看,江西中部及赣浙皖

相邻区内以宜丰—景德镇—歙县断裂带以北为扬子地块,以萍乡—广丰—江山—绍兴断裂带以南为华夏地块,扬子地块与华夏地块之间为华南中部中新元古代末期造山带,该带又可划分为乐平—歙县构造混杂岩亚带、赣东北蛇绿混杂岩亚带、东乡—龙游混杂岩亚带、万年构造单元、怀玉构造单元等5个级构造单元^[8],见图2^[9]。相关地质勘察资料证实^[9-10],赣东北地区的地层发育齐全,区内约2万 km^2 范围内地层从老至新大致分成以下构造层:①最古老变质岩基底,由角闪岩相变质的前震旦系混合岩、片麻岩、片岩和变粒岩等构成;②新元古代地层主要为一套巨厚的泥砂质夹火山碎屑物的复理石建造;③寒武纪-早志留世地层发育良好,层序齐全;④石炭系和二叠系为一套海相、海陆交互相—浅海相的沉积建造,三叠系为海陆交互相砂砾岩、粉砂岩、泥岩、炭质泥岩夹含煤建造;⑤侏罗系为一套钙碱性—碱钙性系列陆相火山杂岩。绝大部分地区为前寒武系浅变质岩。

图2 江西境内大地构造单元划分示意图^[9]

由此可见,江西省具备页岩气成藏的基本条件,且资源相对丰富。其中,九江、景德镇等地区在大地构造上属于扬子板块东南缘的江南造山带,发育下古生界海相页岩,其上覆盖新生代地层,埋深适中,具有良好页岩气资源前景。此外,现已完成的油气勘探资料表明^[11],萍乐坳陷是扬子地台东南缘江南隆起与华南褶皱系之间的一个晚古生代海相和海陆交互相裂陷盆地,总面积 33 628 km²,其西部下二叠统海相生油岩的沉积条件与四川含油气区二叠系沉积条件相当,其海相烃源岩残留有机质丰度与四川、黔南、桂中、塔里木等已知含油气区(或古油藏)的烃源岩相当;该区上二叠统的煤系、下二叠统碳酸盐岩也具有一定的生烃潜力,虽然其烃源岩演化程度较高,但仍具有较好的油气藏成藏条件,页岩气勘探前景较好。

目前,中石化、中石油等公司已开始下扬子苏皖浙赣地区页岩气资源评价和钻井工作,预计在未来 1~2 a 内,浙西、江西、皖南、江苏将会出现页岩气勘探热潮。

3 发展江西省页岩气产业的对策

3.1 制定江西省页岩气产业的发展战略规划

发展江西省页岩气产业,必须尽快制订页岩气勘探开发的中长期发展规划,加强页岩气资源战略调查等基础工作。

1) 加强页岩气资源战略调查,优选页岩气目标区和勘探开发区。根据我省地质条件,在全省范围内开展页岩气地质调查,查明我省页岩气基础地质背景及条件,预测富含有机质页岩发育区,预测页

岩气资源潜力与分布,形成页岩气基础地质资料数据和系列图件。对可能蕴藏页岩气的下寒武统、晚奥陶-早志留海相页岩地层及二叠系萍乐煤系中的炭质页岩进行剖析,研究其厚度、有机质含量和成熟度;对可能保存页岩气的区块,构造演化情况进行分析;进而对页岩气勘探的有利区块进行研究与筛选,并钻资料井予以验证,从而优选出页岩气富集有利目标区和勘探开发区^[12]。

2) 制订页岩气开发的中长期发展规划。科学评价和分析我省页岩气资源潜力,进行页岩气探明储量趋势预测研究,对我省页岩气勘探开发目标、重点和发展阶段作出科学规划,明确发展定位,制订出页岩气勘探开发的中长期发展规划。近期规划重点选择下扬子赣东北区和萍乐坳陷区,作为我省页岩气战略突破区,尽快开展页岩气地质和富集条件调查,力争率先实现重大突破;中长期选择我省海陆交互相和陆相页岩地层,作为战略准备区,开展页岩气地质综合调查和资源前景分析,力争实现新发现。

3) 配套页岩气产业发展,完善天然气管网设施。目前我国天然气管网设施只有 4 万 km,多为国有石油企业所有,且大部分城市天然气供应是“单气源、单管道、无地库”,管网互不相连,因此页岩气的发展战略规划中必须同步完善天然气管网设施^[4]。

3.2 突破页岩气开发及应用的关键技术

页岩气藏分布与页岩烃源岩关系密切,常呈区域性、连续性分布,且页岩气藏具有自生自储特点,页岩既是烃源岩,又是储层,不受构造控制,埋藏深度范围大,埋深从 200~3 000 m 以下,使得页岩气储集于致密岩层,具有低孔、低渗透性、气流阻力大

等特点,其开采难度大,不仅需要先进的勘探钻井技术,如斜井、水平井、环形水平井等定向钻井技术,还需要在地下岩层压裂方面有重大突破。当前,国内页岩气开发还处于起步阶段,缺乏核心技术,如岩层压裂技术、水平井和分段压裂技术等,而页岩气采收率的高低又主要取决于所采用的开采技术^[13]。

目前,拥有先进的页岩气开采技术的者是壳牌、雪佛龙公司、哈利伯顿公司等国际能源企业,而这些公司对关键技术封锁相当严密。因此,要突破页岩气开发的关键技术,一方面划拨专项资金,支持国有和民营石油企业开展技术攻关,力争在短时间内有所突破,掌握页岩气开发关键技术;另一方面全力推进页岩气勘探开发技术创新,完善和创新页岩气地质、地球物理、地球化学、钻探完井和压裂等技术方法,形成多学科、多手段的综合勘探技术方法体系,并针对页岩气特点,引进、吸收、提高、创新页岩气储层评价技术、射孔优化技术、水平井技术和压裂技术,逐步形成一批适合我国页岩气地质特点的自主创新关键技术^[5]。

此外,页岩气的应用技术方面也要同步突破。页岩气用途广泛,可作为燃料用来发电、取暖和运输,其中利用页岩气发电的形式有2种:①直接用作锅炉燃料燃烧产生蒸汽发电;②经处理后输送到内燃机燃烧发电。

3.3 提供页岩气产业发展的扶持政策

1) 制定鼓励页岩气资源战略调查和勘探开发政策。加强政府引导,参照国内煤层气开发的优惠政策,给予页岩气补贴不低于国家对煤层气的补贴0.2元/m³;将页岩气的勘探开发纳入新能源规划中,制定页岩气的专项发展规划,给予页岩气与水电、风能、太阳能和地热发电同等重要的战略地位^[5]。

2) 税费优惠和定额补贴。减免页岩气探矿权和采矿权使用费;对页岩气开采企业增值税实行先征后退政策,企业所得税实行优惠;页岩气开发关键设备免征进口环节增值税和关税;对页岩气开采给予定额补贴;对关键技术研发和推广应用给予优惠等,引导和推动页岩气产业化发展^[14]。

3) 放开页岩气矿业权,鼓励多种资本投入。根据页岩气丰度低、分布广、勘探开发灵活性强的特点,可借鉴煤层气矿业权管理经验,设立专门的页岩气区块登记制度,允许具备资质的地方企业、民营资本等,通过合资、入股等多种方式参与页岩气的勘探开发,也可独立投资,直接从事页岩气勘探开发,尽快形成大中小型企业齐头并进的态势^[15]。

3.4 规范页岩气勘探开发程序

页岩气的勘探开发应按照科学有效的程序进行,因此开发节奏可以加快,而开发程序不能逾越^[16]。

1) 优选页岩气目的层和目标靶区。深入研究区域地质资料,根据区域构造发展历史与沉积相序,推断覆盖区页岩气地质条件,评选有利勘探区;根据有机质含量及成熟度、脆性矿物含量等原始沉积状况和后期演化情况,预测页岩气资源的潜力与丰度。

2) 资料参数井。精细确定井位,按照要求取准各项地质资料和工程工艺参数;进行二维地震勘探,对区块构造与沉积格架进行控制。

3) 试验水平井。通过资料井证实有利区块选择的正确性之后,开始钻水平井并实施分段大型水力压裂,进行试采,其目的是进行产能与经济评价,并探索钻、完井及压裂等工艺技术的适应性。

4) 三维地震勘探与评价井。试生产并取得突破,则部署三维地震以对目的层构造与岩性岩相变化进行控制,部署更多评价井控制气藏分布范围,按照国家标准计算页岩气探明储量,申报探明储量,储量经国家评审备案后,向国土资源部申请页岩气的采矿权。

5) 开发前期评价。在开发前,进行早期评价,必要时建立先导试验区,深化气藏地质认识,对开发方式、井型、井网及各项工艺技术等进行工程工艺优化,落实可动用储量,为编制开发方案提供依据。

6) 气田开发。进入大规模开采生产阶段,编制正规的气田开发方案,包括气藏地质、气藏工程、地面集输等内容;滚动实施,不断优化调整开发方案;对各项采气参数实时监测和动态分析,提高采气速度与采收率。

4 结论

1) 我国富有机质页岩含气具有普遍性,含气范围广、资源丰富,开发前景广阔。同样,江西赣东北地区的下古生界海相页岩和萍乐坳陷地区的下二叠统海相生油岩、上二叠统的煤系及下二叠统碳酸盐岩,均具有良好的页岩气资源开发前景和现实性。

2) 加快江西省页岩气产业的发展,应采取相应对策,如:制订页岩气开发的中长期发展规划,加强页岩气资源战略调查,优选页岩气目标区和勘探开发区,突破岩层压裂技术、水平井和分段压裂技术等关键技术,提供页岩气资源战略调查及勘探开发鼓励政策、税费优惠、定额补贴、鼓励多种资本投入等扶持政策,规范页岩气勘探开发程序等。

(下转第20页)

究。这种利用疏浚底泥建设生态湿地的应用途径,不仅降低了对资源和环境的破坏,并对建立健全的生态体系结构有着极其重要的意义。

3 结论

我国是一个人均自然资源占有量比较少的国家,提高资源的综合利用水平至关重要。对疏浚泥的处理要坚持“无害化、资源化”的原则,鼓励疏浚泥的回收和综合利用。要依靠科技充分利用好疏浚泥这一宝贵资源,要改变将疏浚泥作为废弃物倾倒的传统观念,要充分认识到疏浚泥资源化对可持续发展的重要意义。疏浚泥转化为可再生资源的处理需要各种技术的综合集成,这也已经成为世界范围内众多专家和学者关注和研究的焦点课题。其中,固化填方技术、制陶和烧制水泥的技术已经有了规模性的应用。

不过疏浚泥的再回收利用还面临着多方面的因素制约,比如回收成本较高以及回收处理后的利用途径有限等问题。由于疏浚泥产业化的资金投入庞大,具有较大的投资风险,一般企业难以承受,加上综合利用的处理规模较小,所生产的产品认知度比较低,市场不配套并且开拓需较长周期,在整个中短长期经济效益均不明显,严重影响了这个新兴产业的发展。只有寻求更广泛的利用途径,引起社会和政府的广泛关注,制定相关的环境保护政策法规,对海洋疏浚泥的综合利用给出明确的鼓励和指示方向,如纳入到国家发改委、财政部和国家税务总局联合颁布的《资源综合利用目录》中来,给予国家政策和资金的扶持,疏浚泥的综合利用技术才

能够得到更为广泛的推广。

参考文献

- [1] 郑淑英.中国海上排污与倾倒收费政策及标准研究[M].北京:海洋出版社,2006.
- [2] 戴明新.湛江港 30 万吨级航道工程疏浚泥倾倒对海洋生态环境的影响研究[J].交通环保,2005,26(3):9-11.
- [3] 周顺和.开挖施工中产生的废弃物在新加坡的循环利用[C].第二届全国非饱和土学术研讨会论文集.杭州:浙江大学出版社,2005:686-691.
- [4] Kuo Wen-yih, Huang Jong-shin, Tan Tsze-eng. Organo-modified reservoir sludge as fine aggregates in cement mortars[J]. Construction and Building Materials, 2007, 21(3): 609-615.
- [5] 林安珍, 郑荣跃. 粉煤灰应用于疏浚泥固化处理时的最佳配比研究[J]. 混凝土, 2005(4): 73-76.
- [6] Kay Hamer, Volker Karius. Brick production with dredged harbour sediments: An industrial-scale experiment[J]. Waste Management, 2002 (22): 521-530.
- [7] 李志国, 张方, 沈海涵. 天津市海泥战略资源的利用[J]. 天津建设科技, 2005(4): 7-8.
- [8] 迟培云, 张连栋, 钱强. 利用淤积海泥烧制超轻陶粒研究[J]. 新型建筑材料, 2002(3): 28-30.
- [9] 谢健, 林鑫城, 石萍, 等. 利用海洋疏浚泥生产轻质陶粒的研究[J]. 湛江海洋大学学报, 2004, 24(6): 33-36.
- [10] Canet R, Chaves C, Pomares F, et al. Agricultural use of sediments from the Albufera Lake (eastern Spain)[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2003, 95: 29-36.
- [11] 朱广伟, 陈英旭, 王凤平, 等. 景观水体疏浚底泥的农业利用研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 335-339.
- [12] Jennifer L Dalton, Kevin H Gardner. Properties of Portland cement made from contaminated sediments[J]. Conservation and Recycling, 2004, 41(3): 227-241.

(上接第8页)

参考文献

- [1] 董大忠, 邹才能, 李建忠, 等. 页岩气资源潜力与勘探开发前景[J]. 地质通报, 2011, 30(2): 324-336.
- [2] 安晓璇, 黄文辉, 刘思宇, 等. 页岩气资源分布、开发现状及展望[J]. 资源与产业, 2010, 12(2): 103-110.
- [3] 李建忠, 董大忠, 陈更生, 等. 中国页岩气资源前景与战略地位[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 11-17.
- [4] 张大伟. 加快中国页岩气勘探开发和利用的主要路径[J]. 天然气工业, 2011, 31(5): 1-5.
- [5] 张大伟. 加速我国页岩气资源调查和勘探开发战略构想[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 135-139.
- [6] 邹才能, 董大忠, 王社教, 等. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6): 641-653.
- [7] 孙宇浩. 我国南方地区具备页岩气勘探潜力 [EB/OL]. (2011-06-02). 中国矿业网, <http://app.chinamining.com.cn>.
- [8] 楼法生, 黄志忠, 吴新华, 等. 华南中部赣浙皖相邻区大地构造单元划分及其特征[J]. 资源调查与环境, 2003, 24(3): 177-183.
- [9] 楼法生, 黄志忠, 宋志瑞, 等. 华南中部中新元古代造山带构造演化探讨[J]. 资源调查与环境, 2003, 26(4): 200-206.
- [10] 王长明, 吴淦国, 张达, 等. 赣东北地区的区域成矿特征和成矿谱系[J]. 世界地质, 2010, 29(4): 588-600.
- [11] 邓荣敬, 徐备, 张立勤, 等. 萍乐坳陷西部上古生界-下三叠统烃源岩评价[J]. 天然气工业, 2005, 25(3): 23-28.
- [12] 李延钧, 刘欢, 刘家霞, 等. 页岩气地质选区及资源潜力评价方法[J]. 西南石油大学学报, 2011, 52(2): 28-34.
- [13] 崔思华, 班凡生, 袁光杰. 页岩气钻井技术现状及难点分析[J]. 天然气工业, 2011, 31(4): 72-75.
- [14] 潘继平. 页岩气开发现状及发展前景——关于促进我国页岩气资源开发的思考[J]. 国际石油经济, 2009, 17(11): 12-15.
- [15] 张鸿翔. 页岩气: 全球油气资源开发的新亮点——我国页岩气开发的现状与关键问题[J]. 中国科学院院刊, 2010, 25(4): 406-410.
- [16] 李玉魁. 中国页岩气资源前景与开采技术[R]. 北京: 北京九尊能源技术有限公司, 2011.