

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2018.03.011

南黄海古生界烃源特征及资源潜力评估

谭思哲, 陈春峰, 徐振中, 侯凯文, 王军

中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335

摘要:南黄海海域广泛分布了海相古生界, 区域地质研究表明, 南黄海海相古生界主要发育4套烃源岩层系, 分别为下寒武统幕府山组泥质烃源岩, 上奥陶统-下志留统五峰组-高家边组泥质烃源岩, 下二叠统栖霞组灰质烃源岩和上二叠统龙潭-大隆组泥质烃源岩。通过对这4套烃源岩沉积特征及地球化学实验数据分析, 开展了烃源岩地化特征和生烃潜力的评价。评价结果认为, 下寒武统幕府山组、下二叠统栖霞组烃源岩有机质丰度高, 类型好, 生烃潜力高, 为好-最好烃源岩; 上二叠统龙潭组、大隆组烃源岩, 其有机质丰度高, 但有机质组成以陆源有机质为主, 为较好烃源岩; 奥陶-志留系为一般烃源岩, 在此基础上, 计算南黄海地区的天然气资源量为2.75万亿 m^3 。

关键词:烃源岩; 资源潜力; 古生界; 下扬子; 南黄海盆地

中图分类号: P744.4 文献标识码: A

Geochemical characteristics and hydrocarbon generation potentials of Paleozoic source rocks in the Southern Yellow Sea basin

TAN Sizhe, CHEN Chunfeng, XU Zhenzhong, HOU Kaiwen, WANG Jun

Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200335, China

Abstract: Marine Paleozoic deposits are widely distributed in the Southern Yellow Sea basin. As the regional geological survey suggests, there are four groups of source rocks, i.e. the muddy source rocks of the lower Cambrian Mufushan formation, muddy source rocks in the Gaojiabian formation of late Ordovician and Wufeng formation of early Silurian, lime source rocks in the lower Permian Qixia formation and muddy source rocks in the upper Permian Longtan-Dalong formation. In this paper, the source rocks systematically evaluated through analysis of its characteristics in petrology and geochemistry. Results show that the lower Cambrian and lower Permian source rocks have high organic abundance and hydrocarbon generation potential belonging to the better-best rank; the upper Permian source rocks, which have high abundance of organic matter, but mainly terrestrial in origin, are ranked as better source rocks; whereas the Ordovician-Silurian source rocks are on common level. Resources calculation suggests that the resource of natural gas might reach $27469 \times 10^8 m^3$ in total in the basin.

Key words: source rocks; resources potential; Paleozoic strata; Lower Yangtze; Southern Yellow Sea basin

近年来, 在上扬子地区古生界中不断获得喜人的勘探成果^[1-5]。截止目前, 上扬子四川盆地发现了9个储量超过千亿方的大型、特大型气田^[6], 这些成果预示着我国扬子地区海相古生界油气勘探潜力巨大。

南黄海盆地与四川盆地同位于扬子板块, 南黄海盆地是下扬子板块的主体, 与四川盆地类比, 两者在基底特征、构造演化、岩性组合上具有相似性^[7-10], 理应具有巨大的勘探潜力。但针对南黄海古生界油气的勘探始终未取得突破, 合理评价南黄海海相古生界的油气资源潜力, 进而取得油气突破

是迫切需要解决的问题。

本文针对南黄海盆地古生界钻井较少, 且海相烃源岩热演化程度高, 特别是下古生界烃源岩目前已经进入了过成熟阶段, 从而造成南黄海盆地古生界海相烃源岩资源潜力不明确的问题^[11-13], 通过类比下扬子苏北盆地, 借鉴苏北-南黄海盆地古生界烃源岩大量的地球化学实验分析数据及相关地质资料, 力图厘清南黄海盆地古生界主要烃源岩的展布范围, 确定古生界烃源岩有机质丰度、类型及成熟度, 并据此对南黄海古生界的资源量进行了初步估算, 为南黄海盆地海相油气勘探提供科学依据。

资助项目:中海石油(中国)有限公司项目“南海海盆地中部隆起古地理重建及成藏主控因素研究”(YXKY-2018-SH-01); 国家科技重大专项“近海中、古生界残留盆地特征及油气潜力”(2011ZX05023-003)

作者简介:谭思哲(1983—), 男, 工程师, 主要从事海上油气地质研究, E-mail: tanszh@cnooc.com.cn

收稿日期:2018-01-19; **改回日期:**2018-04-12. 周立君编辑

1 区域地质概况

南黄海盆地位于黄海海域, 中国大陆东缘与朝鲜半岛之间, 面积约 $32 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。从区域构造位置上分析, 南黄海作为下扬子块体的一个组成部分, 位于中朝、扬子和华南 3 大构造单元之间, 北部和西部为苏鲁一大别造山带, 南部以勿南沙隆起为界与浙闽隆起区相接, 东部与朝鲜半岛为邻。按照新生界构造格局, 南黄海盆地从北向南划为千里岩隆起、青岛坳陷、崂山隆起、烟台坳陷、青岛坳陷、即墨南坳陷、莱山隆起、即墨南坳陷、莱山隆起、即墨南坳陷 5 个构造单元(图 1)。



图 1 南黄海盆地构造区划图

Fig.1 Tectonic map of South Yellow Sea basin

2 海相古生界盆地原型与烃源岩发育

根据南黄海钻井以及中海油安徽巢湖页岩气钻井揭示的古生界烃源岩情况, 结合下扬子陆区烃源岩揭露情况及南黄海地震资料, 认为下扬子南黄海区烃源岩主要包括下寒武统幕府山组、上奥陶统一志留统、下二叠统栖霞组、上二叠统龙潭一大隆组 4 套烃源岩。针对这 4 套烃源岩, 开展了原型盆地与烃源岩沉积环境的研究。

南黄海海相沉积盆地演化主要经历了加里东期(Z-S)、海西—印支期(D-T₂)两大构造旋回, 晚震旦世—中奥陶世克拉通盆地、晚奥陶世—志留纪前陆盆地、晚泥盆世—中三叠世被动大陆边缘盆地 3

个成盆演化阶段^[14-16], 对应发育了 4 套 2 种类型的区域烃源岩(表 1)。

表 1 下扬子南黄海地区海相古生界区域烃源岩发育特征

Table 1 Characteristics of Paleozoic source rocks in the South Yellow Sea area of the Lower Yangtze

构造旋回	层位	盆地原型	烃源岩
海西-早印支旋回	D ₃ -T ₂	台地+台内拗陷	P ₁ g+P ₂ l+P ₂ d-裂陷型(泥质)P ₁ q-台地型(灰质)
加里东旋回	O ₃ -S ₃	前陆+台内拗陷	O ₃ w-S ₁ g-台内拗陷型(泥质)
	Z-O ₂	台地+离散陆缘拗陷	∈ ₁ m-被动边缘型(泥质)

2.1 加里东期

该时期在下扬子南黄海区分别发育了以黑色泥页岩为特征的下寒武统(幕府山组)被动边缘型和上奥陶统一志留统台内拗陷型 2 套区域性烃源岩, 这也是下扬子地区海相下组合最重要的 2 套烃源岩。

下寒武统幕府山组沉积时期, 扬子板块在陆块离散拉张作用下发育克拉通与周缘被动大陆边缘盆地(图 2), 在整个扬子地区发生大规模海侵背景下, 发育 1 套欠补偿沉积的细屑物暗色泥岩和黑色页岩, 形成了南黄海区第一套有利的烃源岩。

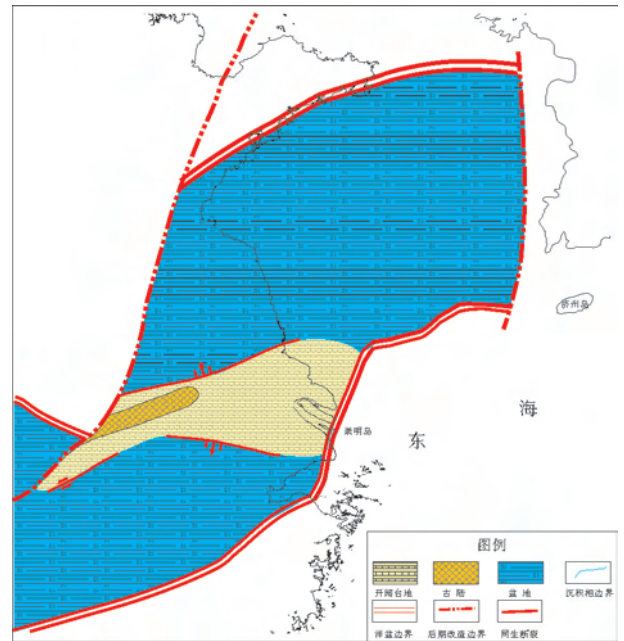


图 2 南黄海区早寒武世盆地原型分布图

Fig.2 Prototypes of South Yellow Sea basin in Early Cambrian

晚奥陶世晚期到晚志留世, 扬子板块与古华夏板块发生第二次碰撞, 北侧在苏鲁洋扩张背景下, 下

扬子地区南部形成前陆盆地(图3)。在前渊区接受志留纪早期海侵,沉积了大量的黑色笔石页岩及浊流沉积,以五峰组、高家边组为典型代表,是烃源岩形成的有利环境。

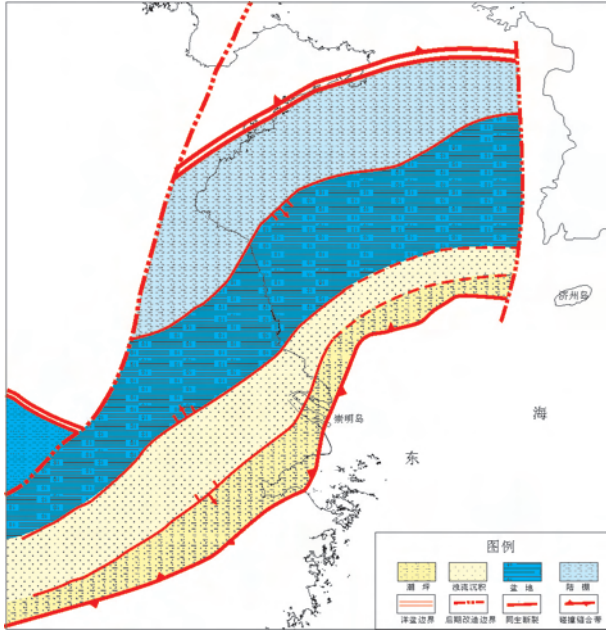


图3 南黄海区早志留世盆地原型分布图

Fig.3 Prototypes of South Yellow Sea basin in Early Silurian

2.2 海西—印支期

该阶段下扬子南黄海区处于板块离散的环境,发生多幕式的区域拉张,并接受不断扩大的海侵,受幕式拉张作用形成的台内断陷,以及拉张间歇期转化的台内拗陷,它们并列发育或交互演替,成为发育烃源岩的主要场所,发育二叠系2套烃源岩。

晚石炭世—早二叠世,受古特提斯扩张、南秦岭海槽开启影响,下扬子地区由先前挤压向拉张转化,并引发整个区域沉降,并于早二叠世栖霞期接受了最大规模海侵,从而在下扬子地区发育了范围广阔的碳酸盐岩台地沉积(图4),并在台地缓坡区发育了品质较好—好的碳酸盐质烃源岩。该套烃源岩广泛分布于下扬子陆域至南黄海南部。

晚二叠世龙潭组、大隆组时期,扬子地区进入强烈拉张期(图5),在南黄海区形成拉张断陷带,沉积了一套海陆过渡相的碎屑岩沉积,发育了上二叠统以龙潭组、大隆组为代表的台内断陷型三角洲平原相沉积的泥岩与炭质泥岩。该套烃源岩呈条带状或团块状展布,主要分布在下扬子的苏南地区和南黄海的烟台拗陷区域。

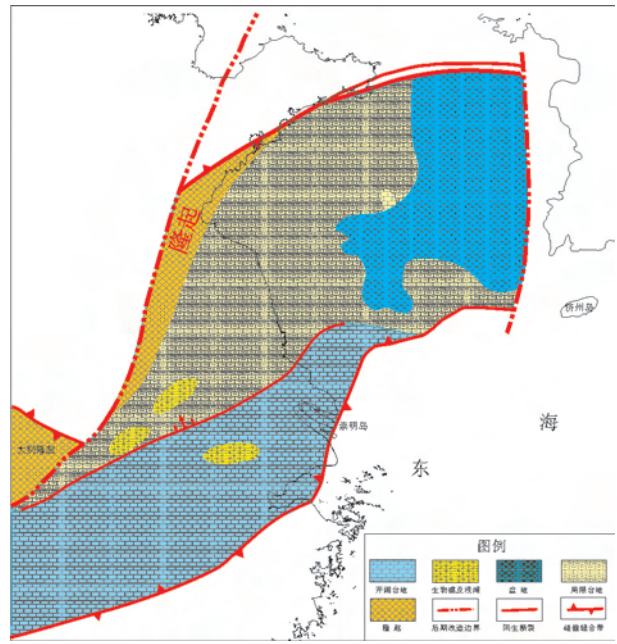


图4 南黄海区早二叠世盆地原型分布图

Fig.4 Prototypes of South Yellow Sea basin in Early Permian

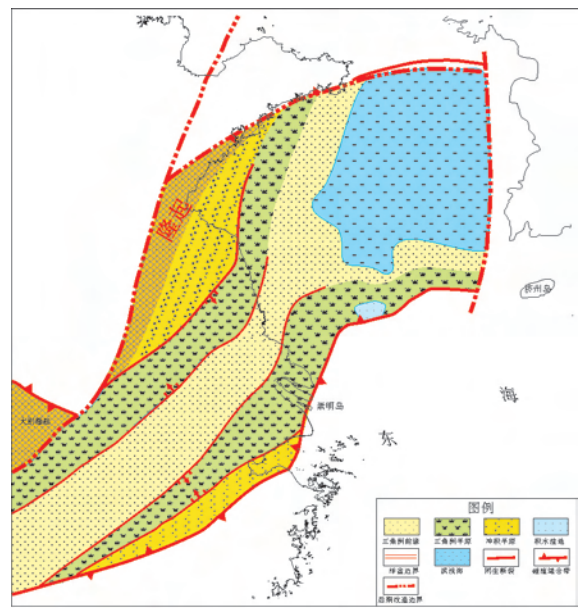


图5 南黄海区晚二叠世盆地原型分布图

Fig.5 Prototypes of South Yellow Sea basin in Late Permian

3 古生界海相层系烃源岩基本特征

通过对下扬子陆区 N 参 4 井等 10 余口井及南黄海海域 CZ35-1-1 井等 6 口井的钻井取心及下扬子区野外露头样品,进行了有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度等表征烃源岩特征的有机地球化学参数的分析测试^[17,18],进而对古生界烃源岩进行系统的评价,确定其资源潜力。

3.1 有机质丰度

下寒武统烃源岩岩性以泥岩、炭质泥岩为主, 180 个样品 TOC 含量为 0.26%~23.44%, 平均为 4.22%; 上奥陶统一志留统五峰组—高家边组烃源岩以硅质页岩、深灰色泥岩为主, 589 个样品 TOC 含量为 0.01%~3.29%, 平均为 1.28%; 下二叠统栖霞组烃源岩岩性以灰岩为主, 75 个样品 TOC 含量为 0.05%~2.36%, 平均为 1.21%; 上二叠统龙潭组烃源岩岩性以炭质泥岩为主, 24 个样品 TOC 含量为 0.37%~5.43%, 平均为 1.57%; 上二叠统大隆组烃源岩岩性以泥岩为主, 9 个样品 TOC 含量为 0.49%~3.48%, 平均为 1.75% (表 2)。有机质丰度来看, 下寒武统泥岩最好; 其次为二叠系泥岩和灰岩, 包括栖霞组、龙潭组和大隆组等; 上奥陶统五峰组—下志留统高家边组相对较差。

3.2 有机质类型

有机质类型是确定烃源岩生烃特征的重要参数, 不同类型的有机质具有不同的生油气潜力^[19,20]。有机质类型的划分主要通过干酪根镜鉴和岩石热解特征分析来确定。在研究区, 样品热演化程度较高, 热解参数受热演化程度影响严重, 缪卫东等认为当 $R_o > 1.0\%$ 时, 热解氢指数 (IH) 大多 $< 50 \text{ mg/g}$, 已经不能有效划分有机质的类型^[21], 据此, 划分南黄海古生界烃源岩有机质类型的原则为以干酪根镜鉴提供的信息为主, 结合热解参数综合判定有机质类型。

综合烃源岩地层时代、岩性、形成环境和分布特征等, 通过干酪根镜鉴和岩石热解参数的综合分析, 判定了南黄海古生界烃源岩有机质类型。自下而

上, 下寒武统泥岩为 I 型, 上奥陶统五峰组—下志留统高家边组泥岩为 II 型, 下二叠统栖霞组灰岩为 I 型, 上二叠统龙潭组—大隆组泥岩为 II 型和 III 型 (表 2)。

3.3 有机质成熟度

有机质成熟度是衡量烃源岩生烃潜力的重要指标之一, 也是评价烃源岩资源前景的重要依据^[22]。本文主要依据镜质体反射率来划分烃源岩热演化阶段。

数据统计结果表明 (图 6), 寒武系有机质镜质体反射率 R_o 值主要分布在 1.3%~2.0% 范围内, 整体平均值为 1.9%; 志留系有机质镜质体反射率 R_o 值主要分布在 1.3%~2.0% 范围, 整体平均值为 1.60%; 二叠系栖霞组有机质镜质体反射率 R_o 值分布在 0.7%~1.3% 范围的占 50%, 分布在 1.3%~2.0% 范围的占 50%, 整体平均值为 1.33%; 二叠系龙潭组有机质镜质体反射率 R_o 值分布在 0.7%~1.3% 的占 30%, 在 1.3%~2.0% 范围的占 70%, 整体平均值为 1.28%。

整体而言, 寒武系烃源岩已进入高成熟—过成熟热演化阶段, 奥陶系和志留系已进入高成熟热演化阶段, 二叠系栖霞组烃源岩整体进入成熟—高成熟热演化阶段, 龙潭组和大隆组整体进入成熟—高成熟热演化阶段。

3.4 烃源岩评价

根据南黄海地区多口探井及下扬子探井和野外剖面实测和收集的烃源岩地球化学指标和烃源岩厚度数据, 结合区域沉积相研究成果和残留地层分布, 对下扬子南黄海地区各时代烃源岩进行了整体评

表 2 下扬子和南黄海地区烃源岩地化特征综合对比^[18]

Table 2 Comparisons of geochemical characteristics of source rocks in Lower Yangtze area and South Yellow Sea area

地区	层位	岩性	烃源岩 TOC (%)			类型	成熟度	厚度 (m)
			样品数	范围	平均值			
下扬子	P ₂ d	泥岩	69	0.23~14.82	1.8	II	成熟—成熟	20~50
	P ₂ l	泥岩	484	0.10~16.46	2.1	II		50~200
	P ₁ q	泥岩	10	0.04~2.51	1.32	I		50~100
	O ₃ w~S ₁ l	泥岩	589	0.01~3.29	1.28	II	高成熟	40~80
	Є ₁	泥岩	180	0.26~23.44	4.22	I	高一过成熟	50~150
南黄海	P ₂ d	泥岩	9	0.49~3.48	1.75	II	熟—高成熟	45~80
	P ₂ l	泥岩	24	0.37~5.43	1.57	III		234~252
	P ₁ q	灰岩	75	0.05~2.36	1.21	I		24~77

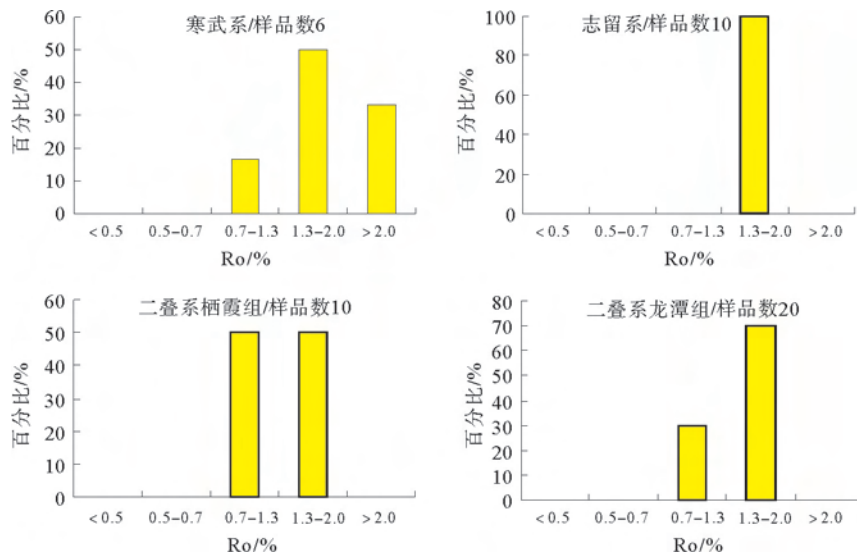


图6 南黄海区烃源岩成熟度分布特征

Fig.6 Distribution characteristics of source rock maturity in South Yellow Sea area

价^[17,18],评价结果认为,下寒武统幕府山组烃源岩厚度分布呈现从南北向崂山隆起逐渐增厚的趋势,厚度为50~300m,厚度大于100m的面积达到2.8万km²,最厚地区在WX5-ST1井附近,达到近150m,有机质丰度高,TOC平均值为4.22%,有机质类型为I型,生烃潜力高,为好—最好烃源岩;奥陶—志留系烃源岩厚度为40~80m,厚度大于60m的面积近8000km²,TOC平均值为1.28%,有机质类型为II型,为一般烃源岩;下二叠统栖霞组烃源岩在南黄海广泛分布,已钻井揭示厚度为24~77m,厚度大于50m的面积近4万km²,TOC平均值为1.21%,有机质类型为I型,为好烃源岩;上二叠统龙潭组、大隆组烃源岩厚度为150~300m,厚度大于100m的面积大于1.7万km²,TOC平均值为1.57%~1.75%,有机质类型为II—III型,为较好烃源岩。

与上扬子四川盆地类比,下扬子苏北—南黄海盆地与上扬子四川盆地古生代海相沉积层经历了相同的构造运动的改造,海相地层岩性组合及沉积相特征十分相似^[23-27](图7),均发育了下寒武统泥质烃源岩、上奥陶统一志留统泥质烃源岩、下二叠统灰质烃源岩和上二叠统泥质烃源岩。早寒武世,上、下扬子区沉积特征大体相似,在浅海台地背景下,发育一套黑色泥岩、页岩烃源岩;晚奥陶世至早志留世台地内再次强烈沉降,海水明显加深,发育了非补偿的陆棚相页岩沉积,上扬子区发育页岩及泥质页岩,下扬子区发育陆棚砂泥岩;二叠纪,南黄海盆地与四川盆地同属扬子浅海,早期为台地沉积,发育海相碳

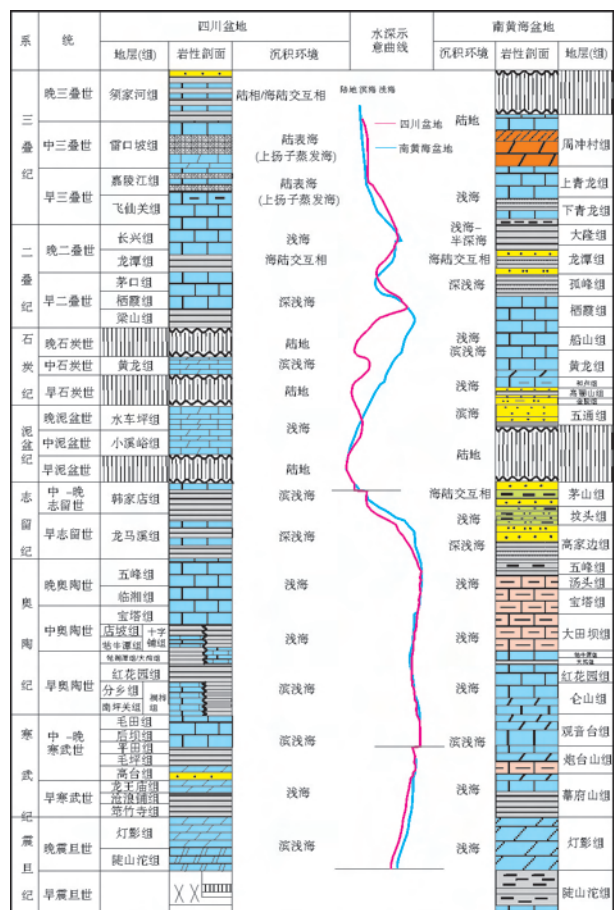


图7 南黄海盆地与四川盆地中、古生界沉积充填史对比图(据文献[7])

Fig.7 Correlation of Mesozoic-Paleozoic depositional history between South Yellow Sea Basin and Sichuan basin(after CHEN Jianwen)

酸盐岩, 晚期为海陆过渡沉积, 发育沼泽相煤系地层及泥岩。从烃源岩形成的沉积环境来看, 下扬子南黄海盆地与上扬子四川盆地相比, 并没有很大区别, 推测下扬子南黄海区也具有优质烃源岩形成的沉积环境。以岩石的残留有机碳及有机质类型指标来比

较(表 3), 南黄海区下二叠统烃源岩品质要优于四川盆地, 下寒武统烃源岩与四川盆地相当, 下志留统及上二叠统烃源岩劣于四川盆地。综合分析认为, 下扬子南黄海区烃源岩条件较好, 具有形成大气藏的物质基础。

表 3 苏北—南黄海地区与上扬子四川盆地烃源岩特征对比

Table 3 Comparison of source rock characteristics between north Jiangsu- South Yellow Sea basin and Sichuan basin in Upper Yangtze region

地区	层位	岩性	TOC	有机质类型	成熟度
四川盆地	P ₂ l	泥岩	3%~7%	I—II	2%以上
	P ₁ q	泥灰岩/灰岩	0.8%	II	2%
	S ₁ l	黑色页岩	1%	I	2%~3.6%
	Є ₁ q	黑色页岩	0.75%~4%	I	2%~5%
南黄海	P ₂ l + P ₂ d	黑色泥岩	1.57%~1.75%	II—III	0.7%~2.0%
	P ₁ q	灰岩	1.75%	I	0.7%~2.0%
	O ₃ w~S ₁ g	暗色泥岩	1.28%	II	1.3%~2.0%
	Є ₁ m	暗色泥岩	4.22%	I	1.3%~2.0%

注: 四川盆地数据来源于文献[28]

4 资源潜力评价

4.1 参数选取

运用成因法计算生烃量主要根据以下公式:

$$\text{生烃量} = \text{Tot}(\text{Ro}) \times \text{TOC} \times S \times H \times \rho$$

式中: Tot(Ro) 为产气率, 它是热成熟度(Ro)的

$$\text{Tot}(\text{Ro}) \approx$$

$$\begin{cases} 0, & \text{Ro} < 0.71 \\ 557.5\text{Ro}^6 - 4880.5\text{Ro}^5 + 16935\text{Ro}^4 - 29976\text{Ro}^3 + 28646\text{Ro}^2 - 14005\text{Ro} + 2739, & 0.71 \leq \text{Ro} \leq 1.65 \\ -2.5096\text{Ro}^6 + 41.065\text{Ro}^5 - 272.73\text{Ro}^4 + 939.92\text{Ro}^3 - 1764.1\text{Ro}^2 + 1735.8\text{Ro} - 664.86, & \text{Ro} > 1.65 \end{cases}$$

上古灰质烃源岩产气率为:

$$\text{Tot}(\text{Ro}) \approx$$

$$\begin{cases} 0, & \text{Ro} < 0.71 \\ 489.21\text{Ro}^6 - 2834.7\text{Ro}^5 + 6336\text{Ro}^4 - 6798.8\text{Ro}^3 + 3509.6\text{Ro}^2 - 688.43\text{Ro} - 8.5, & 0.71 \leq \text{Ro} \leq 1.65 \\ -1.0978\text{Ro}^6 + 11.426\text{Ro}^5 - 48.655\text{Ro}^4 + 129.24\text{Ro}^3 - 87.495, & \text{Ro} > 1.65 \end{cases}$$

下古泥质烃源岩产气率为:

$$\text{Tot}(\text{Ro}) \approx \begin{cases} 0, & \text{Ro} < 1 \\ 2.8752\text{Ro}^4 - 37.704\text{Ro}^3 + 159.43\text{Ro}^2 - 180.37\text{Ro} + 58.55, & \text{Ro} > 1 \end{cases}$$

4.2 生烃量

分别对下寒武统、上奥陶统一下志留统、二叠系泥岩与灰岩等 4 套烃源岩在前印支末期、燕山期和三垛期及现今的生气量进行了计算。由表 4 可见,

函数; TOC 为有机碳含量(%); S 为烃源岩面积(m²); H 为烃源岩厚度(m); ρ 为烃源岩密度(g/cm³)。ρ_泥 = 2600kg/m³, ρ_灰 = 2730kg/m³, 烃源岩面积、厚度及有机质丰度等参数, 前述研究中已经确定, 产气率主要采用中国科学院广州地球化学研究所所在封闭体系下热模拟所确定^[10,11], 分为上古泥质烃源岩、上古灰质烃源岩和下古泥质烃源岩, 其中上古泥质烃源岩产气率为:

南黄海 4 套烃源岩总生气量为 216.7917 × 10¹² m³, 从层位上看, 主要由下古生界烃源岩贡献, 其中幕府山组贡献 76.5%, 下奥陶统一上志留统贡献 18.2%。从形成期来看, 前印支期约占整个生气量的 85%; 从生烃强度上看, 自南北往崂山隆起生气强度逐渐增大, 最大生气强度中心在 CZ12-1-1 井至

WX5-ST1 井区附近,最大生气强度可达 30 亿 m^3/km^2 。

表 4 南黄海地区古生界天然气资源量估算(单位: $10^8 m^3$)

Table 4 Estimation of natural gas resources in the Paleozoic in South Yellow Sea

层位	前印支期	J_3-K_1	三叠期	现今	累计	生气量占比
$\epsilon_1 m$	1527782	83865	43595	2997	1658239	76.5%
$O_3 w \sim S_1 l$	297287	55654	36466	5243	394650	18.2%
$P_1 q$	0	2210	3161	7846	13217	0.6%
$P_2 l, P_2 d$	0	5528	22180	74102	101811	4.7%
运聚系数	1%	1%	4%	4%	—	—
资源量	18250.6	1395.2	4216.4	3607.6	27469.8	—

4.3 资源量

计算生气量之后,按下面公式估算资源量:资源量=生气量×运聚系数,生气量前文已经计算,运聚系数则与有效烃源岩的年龄和成熟度、圈闭的发育程度以及上覆地层的区域不整合个数等因素有关^[29,30]。到目前为止,尚无确切的方法加以计算聚集系数,大多以勘探和研究程度较高的盆地为例,计算相应的生油量和已探明的地质储量,获得相应的运聚系数。南黄海地区油气的运聚系数主要通过与相似盆地的对比予以确定。表 5 为不同地区古生界运聚系数^[31-33],根据类比分析,南黄海地区与下扬子区更为接近,因此南黄海地区不同运聚时期气运聚系数分别取 1%和 4%^[34-36],计算南黄海地区的天然气资源量为 2.75 万亿 m^3 。

表 5 不同地区古生界运聚系数

Table 5 Migration and accumulation coefficients of Meso- Paleozoic in different regions

地区	烃源岩层系	运聚系数	说明
四川盆地	古生界	气:0.5%	
鄂尔多斯盆地	古生界	气:0.4%	
华北地区	寒武-奥陶、石炭-二叠	气:0.3%	全国第一轮油气资源评价
滇黔桂、鄂湘赣下扬子	古生界	气:0.1~1.5%	
塔里木塔中	奥陶系	油:1.76% 气:0.58%	徐忠美(2011)
川东南地区	下志留~上奥陶	气:0.56%	李辉(2013)
中扬子湘西北	上元古界-下古生界	油:0.75% 气:0.25~0.35%	焦鹏(2013)

5 结论

(1) 南黄海海相沉积盆地演化经历了加里东期、海西—印支期 2 大构造旋回,对应发育了 4 套 2 种类型的区域烃源岩。分别为下寒武统幕府山组泥质烃源岩、上奥陶统一志留统泥质烃源岩、下二叠统栖霞组灰质烃源岩、上二叠统龙潭—大隆组泥质烃源岩。

(2) 烃源岩评价认为:南黄海盆地古生界海相烃源岩下寒武统幕府山组、下二叠统栖霞组烃源岩有机质剪度高,类型好,生烃潜力高,为好—最好烃源岩;二叠系龙潭组、大隆组烃源岩,为较好烃源岩;奥陶—志留系为一般烃源岩。

(3) 采用成因法对南黄海地区的资源量进行了估算,天然气资源量 2.75 万亿 m^3 。

参考文献 (References)

- [1] 新华社. 四川盆地安岳气田龙王庙组将建成年产 110 亿方天然气产能[EB/OL]. (2018-03-21). <http://energy.people.com.cn/n/2014/0324/c71661-24719189.html>. [Longwangmiao formation of Anyue gas field in Sichuan basin will have an annual production capacity of 11 billion cubic meters of natural gas [EB/OL]. (2018-03-21). <http://energy.people.com.cn/n/2014/0324/c71661-24719189.html>.]
- [2] 新华社. 中石油在四川盆地发现新的工业油气层系[EB/OL]. (2018-01-23). http://news.xinhuanet.com/2017-01/23/c_1120369688.htm. [New industrial oil and gas series discovered by PetroChina in Sichuan basin [EB/OL]. (2018-01-23). http://news.xinhuanet.com/2017-01/23/c_1120369688.htm.]
- [3] 刘树根, 宋金民, 赵异华, 等. 四川盆地龙王庙组优质储层形成与分布的主控因素[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2014, 41(6): 657-670. [LIU Shugen, SONG Jinmin, ZHAO Yihua, et al. Controlling factors of formation and distribution of lower Cambrian Longwangmiao formation high-quality reservoirs in Sichuan basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2014, 41(6): 657-670.]
- [4] 罗贝维, 贾承造, 魏国齐, 等. 四川盆地上震旦统灯影组风化壳古岩溶特征及模式分析[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2015, 39(3): 8-19. [LUO Beiwei, JIA Chengzao, WEI Guoqi, et al. Characteristics and models of weathering paleokarst in upper Sinian, Sichuan basin[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2015, 39(3): 8-19.]
- [5] 邹才能, 徐春春, 汪泽成, 等. 四川盆地台缘带礁滩大气区地质特征与形成条件[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(6): 641-651. [ZOU Caineng, XU Chunchun, WANG Zecheng, et al. Geological characteristics and forming conditions of the large

- platform margin reef-shoal gas province in the Sichuan basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(6): 641-651.]
- [6] 马新华. 四川盆地天然气发展进入黄金时代[J]. *天然气工业*, 2017, 37(2): 1-10. [MA Xinhua. A golden era for natural gas development in the Sichuan basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2017, 37(2): 1-10.]
- [7] 陈建文, 龚建明, 李刚, 等. 南黄海盆地海相中—古生界油气资源潜力巨大[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(1): 1-7. [CHEN Jianwen, GONG Jianming, LI Gang, et al. Great resources potential of the marine Mesozoic-Paleozoic in the South Yellow Sea basin[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(1): 1-7.]
- [8] 刘守全, 戴春山, 蔡峰, 等. 黄海海域前第三系盆地基本石油地质条件和勘探前景研究[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2002: 82-91. [LIU Shouquan, DAI Chunshan, CAI Feng, et al. Basic petroleum conditions and exploration prospects of pre-Tertiary Basin in Yellow Sea area[R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2002: 82-91.]
- [9] 龚建明, 王建强, 陈建文, 等. 由上下扬子对比探讨南黄海中—古生界油气保存条件[J]. *海洋地质前沿*, 2017, 33(1): 27-35. [GONG Jianming, WANG Jianqiang, CHEN Jianwen, et al. Preservation potential of Meso-Paleozoic hydrocarbon reservoirs in South Yellow Sea basin—A comparison to Upper Yangtze[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2017, 33(1): 27-35.]
- [10] 戴春山, 李刚, 蔡峰, 等. 黄海前第三系及油气勘探方向[J]. *中国海上油气(地质)*, 2003, 17(4): 225-231. [DAI Chunshan, LI Gang, CAI Feng, et al. The pretertiary and its hydrocarbon exploration targets in Yellow Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(4): 225-231.]
- [11] 肖国林. 南黄海盆地油气地质特征及其资源潜力再认识[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2002, 22(2): 81-87. [XIAO Guolin. Reassessment of petroleum geologic features and potential reserves in the South Yellow Sea basin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2002, 22(2): 81-87.]
- [12] 王连进, 叶加仁, 吴冲龙. 南黄海盆地前第三系油气地质特征[J]. *天然气工业*, 2005, 25(7): 1-3. [WANG Lianjin, YE Jiaren, WU Chonglong. Petroleum geological characteristics of Pre-Tertiary in South Yellow Sea basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2005, 25(7): 1-3.]
- [13] 谭思哲, 高顺莉, 葛和平, 等. 南黄海盆地二叠系烃源岩孢粉相特征及其形成环境[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2015, 45(3): 691-700. [TAN Sizhe, GAO Shunli, GE Heping, et al. Palynofacies characteristics and formation environment of permian source rock in South Yellow Sea basin[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2015, 45(3): 691-700.]
- [14] 姚永坚, 冯志强, 郝天珧, 等. 对南黄海盆地构造层特征及含油气性的新认识[J]. *地学前缘*, 2008, 15(6): 232-240. [YAO Yongjian, FENG Zhiqiang, HAO Tianyao, et al. A new understanding of the structural layers in the South Yellow Sea basin and their hydrocarbon-bearing characteristics[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(6): 232-240.]
- [15] 徐旭辉, 周小进, 彭金宁. 从扬子地区海相盆地演化改造与成藏浅析南黄海勘探方向[J]. *石油实验地质*, 2014, 36(5): 523-531, 545. [XU Xuhui, ZHOU Xiaojin, PENG Jinning. Exploration targets in South Yellow Sea through analysis of tectono-depositional evolution and hydrocarbon accumulation of marine basin in Yangtze area[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(5): 523-531, 545.]
- [16] 李慧君. 南黄海盆地海相中—古生界构造区划[J]. *海洋地质前沿*, 2014, 30(10): 8-13. [LI Huijun. The tectonic division of the Mesozoic-Paleozoic in the South Yellow Sea basin[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2014, 30(10): 8-13.]
- [17] 中国石油(中国)有限公司上海分公司. 下扬子西部区块页岩气勘探项目2015年度研究报告[R]. [CNOOC (Chinese) Co. Ltd. Shanghai branch. The 2015 annual report the west block of shale gas exploration project [R]. 2015.]
- [18] 张敏强, 施和生, 徐发, 等. 近海中、古生界残留盆地特征及油气潜力[R]. 上海: 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 2010: 177-225. [ZHANG Minqiang, SHI Hesheng, XU Fa, et al. Residual basin characteristics and hydrocarbon potential of the offshore basins in the Mesozoic and Paleozoic [R]. Shanghai: Shanghai Branch of CNOOC Ltd. 2010: 177-225.]
- [19] 王振升, 刘庆新, 谭振华, 等. 黄骅坳陷歧南凹陷烃源岩评价[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(6): 968-971. [WANG Zhensheng, LIU Qingxin, TAN Zhenhua, et al. Comprehensive evaluation of source rock of Qinan sag, Huanghua depression[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(6): 968-971.]
- [20] 袁近洋, 朱建伟, 林波, 等. 延吉盆地铜佛寺组烃源岩地球化学特征及勘探潜力评价[J]. *天然气地球科学*, 2015, 26(1): 137-147. [YUAN Jinyang, ZHU Jianwei, LIN Bo, et al. Source rocks geochemical characteristic and exploration potential evaluation of Tongfosi formation in Yanji basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(1): 137-147.]
- [21] 缪卫东, 史晓颖, 张志琳, 等. 楚雄盆地烃源岩特征及资源潜力分析[J]. *石油天然气学报*, 2010, 32(1): 6-12. [MIAO Weidong, SHI Xiaoying, ZHANG Zhilin, et al. Characteristics of source rock and analysis on resource potentialities of Chuxiong basin [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2010, 32(1): 6-12.]
- [22] 陈善斌, 甘华军, 时阳, 等. 北部湾盆地福山凹陷烃源岩地球化学特征及地质意义[J]. *油气地质与采收率*, 2015, 22(1): 14-19, 25. [CHEN Shanbin, GAN Huajun, SHI Yang, et al. Geochemical features and geologic significance of source rocks in Fushan sag, Beibuwan basin[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(1): 14-19, 25.]
- [23] 张银国, 陈清华, 陈建文, 等. 下扬子海相中—古生界烃源岩发育的控制因素[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(1): 8-12. [ZHANG Yinguo, CHEN Qinghua, CHEN Jianwen, et al. Controlling factors on the Mesozoic-Paleozoic marine source rocks in the lower Yangtze platform [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(1): 8-12.]
- [24] 蔡峰, 熊斌辉. 南黄海海域与下扬子地区海相中—古生界地层对比及烃源岩评价[J]. *海洋地质动态*, 2007, 23(6): 1-6.

- [CAI Feng, XIONG Binhui. Comparison of marine Mesozoic-Paleozoic strata and hydrocarbon source rocks in the South Yellow Sea and Lower Yangtze area[J]. Marine Geology Letters, 2007, 23(6): 1-6.]
- [25] 李刚, 陈建文, 肖国林, 等. 南黄海海域的海相中-古生界油气远景[J]. 海洋地质动态, 2003, 19(8): 12-16. [LI Gang, CHEN Jianwen, XIAO Guolin, et al. Petroleum prospect of marine Paleozoic in the South Yellow Sea[J]. Marine Geology Letters, 2003, 19(8): 12-16.]
- [26] 袁勇, 陈建文, 张银国, 等. 南黄海盆地崂山隆起海相中-古生界构造地质特征[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(1): 48-53. [YUAN Yong, CHEN Jianwen, ZHANG Yinguo, et al. Geotectonic features of the marine Mesozoic-Paleozoic on the Laoshan uplift of the South Yellow Sea basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(1): 48-53.]
- [27] 吴淑玉, 陈建文, 梁杰, 等. 南黄海海相中-古生界碳酸盐岩储层特征及成藏模式——对比四川盆地和苏北盆地[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(1): 13-21. [WU Shuyu, CHEN Jianwen, LIANG Jie, et al. Characteristics of Mesozoic-Paleozoic marine carbonate reservoir in the South Yellow Sea basin and hydrocarbon accumulation: Comparison between the Sichuan basin and the Subei basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(1): 13-21.]
- [28] 祁江豪. 南黄海盆地中-古生界构造演化及与四川盆地对比分析[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2012. [QI Jianghao. Mesozoic-Paleozoic tectonic evolution in the South Yellow Sea basin and the comparative analysis with Sichuan basin[D]. Master Dissertation of China University of Geosciences (Beijing), 2012.]
- [29] 周总瑛. 我国东部断陷盆地石油排聚系数统计模型的建立[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(1): 9-12. [ZHOU Zongying. Establishment of statistical model for oil migration and accumulation coefficients of rift basins in east China[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(1): 9-12.]
- [30] 宋国奇. 多因素油气聚集系数的研究方法及其应用[J]. 石油实验地质, 2002, 24(2): 168-171. [SONG Guoqi. Study and application of the coefficient of hydrocarbon accumulation determined by multifactors[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(2): 168-171.]
- [31] 徐忠美. 塔里木盆地塔中地区奥陶系油气成藏体系及资源潜力[D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2011. [XU Zhongmei. Petroleum accumulation system and resources assessment, a case study of Ordovician in Tazhong area, Tarim basin[D]. Doctor Dissertation of China University of Geosciences (Beijing), 2011.]
- [32] 李辉. 川东南下古生界烃源岩特征研究[D]. 成都理工大学硕士学位论文, 2013. [LI Hui. Study on characteristics of the lower Paleozoic source rocks, southeast Sichuan[D]. Master Dissertation of Chengdu University of Technology, 2013.]
- [33] 焦鹏. 湘西北地区上元古界—下古生界油气地质条件与勘探前景[D]. 中南大学硕士学位论文, 2013. [JIAO Peng. Petroleum geological conditions and exploration prospects of upper Proterozoic to lower Paleozoic in northwestern Hunan[D]. Master Dissertation of Central South University, 2013.]
- [34] 陈安定, 刘东鹰, 刘子满. 江苏下扬子区海相中-古生界烃源岩晚期生烃的论证与定量研究[J]. 海相油气地质, 2001, 6(4): 27-33. [CHEN Anding, LIU Dongying, LIU Ziman. Demonstration and quantification analysis of late hydrocarbon generation of Mesozoic-Paleozoic marine source rocks in the lower Yangzi sedimentary region[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2001, 6(4): 27-33.]
- [35] 郭念发, 姚柏平, 雷一心, 等. 下扬子改造型海相盆地的多期生烃及晚期生烃资源评价[J]. 勘探家, 1999, 4(3): 15-20. [GUO Nianfa, YAO Baiping, LEI Yixin, et al. Evaluation on multi-and later-stage hydrocarbon generation in the Lower Yangtze modified marine basin[J]. Petroleum Explorationist, 1999, 4(3): 15-20.]
- [36] 张凯. 下扬子黄桥地区上古生界二叠系油气运聚系统研究[D]. 西北大学硕士学位论文, 2012. [ZHANG Kai. Study on the hydrocarbon migration and accumulation system of upper Paleozoic Permian in the Huangqiao region of the lower Yangtze [D]. Master Dissertation of Northwest University, 2012.]