浙江嵊泗海域海底淡水资源初探

王振宇
（上海海洋石油局，上海 200120）

摘　要　中国是淡水资源比较贫乏的国家之一，人均占有量仅为世界人口平均占有量的四分之一，尤其是沿海经济发达区和岛屿地区缺水状况更十分突出，严重地影响了国民经济可持续增长和人民生活的需要。根据长江三角洲地区古地理环境、地层及水文地质特征，认为在浙江省舟山市嵊泗海域可能存在更新世时期长江古河道，下更新统地层中可能赋存承压含水层。在20世纪90年代，经过对嵊泗海域海底物探和钻探勘察，基本证实了上述推断的正确性，并发现在下更新统地层中存在五个承压含水层，其中四个含水层为淡水，总厚度可达60m，日出水量约3000t，初步估算海底淡水总资源量约$38\times10^9m^3$。该项工作填补了我国海底寻找淡水资源的空白，对解决沿海和岛屿地区严重缺水状况有着深远的意义。

关键词　嵊泗海域　古河道　海底淡水资源

1　引言

20世纪80至90年代，浙江省舟山地区嵊泗县，由于长期气候干旱，使该岛淡水供应极为困难，饮用水需从上海船运，工厂企业停工停产，造成严重的经济损失。上海市地质矿产局、浙江省地质矿产厅和上海海洋地质调查局通过大量资料的收集和充分论证的基础上，认为在舟山海域可能存在第四纪以来长江和钱塘江古河道，可能在第四系更新统地层内存在承压含水层。后经详细的高分辨率地震勘查，基本上证实了该区存在长江古河道，发现有五个承压含水层，总厚度可达60m左右，日出水量可达3000吨。

据悉，目前浙江省国土资源厅和舟山市政府已着手进行嵊泗海域第二阶段海底钻探工作，进一步求取各含水层水文地质参数及淡水资源储量，为海底淡水资源开发做好前期准备。为此，作者对第一阶段调查工作进行概略研究总结，以有利于第二阶段工作的开展。

2　海底找水地质依据

2.1　古地理环境依据

据长江三角洲陆地钻孔资料分析，古长江穿越流经上海地区，向舟山和东海大陆架延伸，在上海地区留下了宽阔的长江古河道。在早更新世时期长江存在浏河—南汇古河道和枫泾—奉城古河道（图1）。从上海地区地下水含水层分析，主要赋存在古河道砂体之中，因此，推测该古河道对嵊泗列岛的供水问题可能提供一些前景（据陆志坚，1989；陈荣堂，1997）。

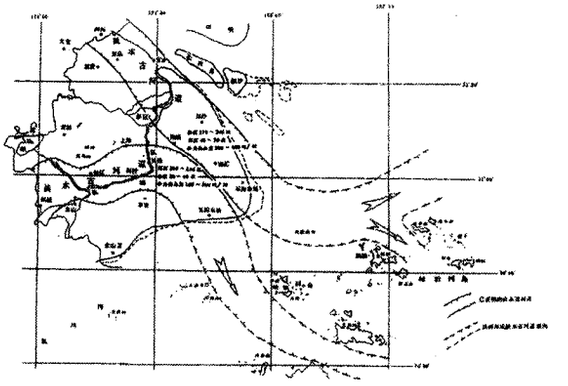


图1　嵊泗列岛附近海域海底淡水古河道流向预测图（据陆志坚，1989）

Fig. 1　The predication of current direciton of paleo－river channel around Chengsi Island

2.2　地层依据

上海长江三角洲地区第四纪地层可划分为四个

收稿日期：2005－04－25

第一作者简介：王振宇（**1939**年－），男，教授级高工。**1963**年毕业于长春地质学院海洋地质系。现从事海洋地质及工程地质研究工作。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

统十个组(据黄慧珍等,1996)。

从地层分析,长江口地区含淡水层主要出现在下更新统河流相砂层之中,而中、上更新统及全新统砂层主要为河口相、海陆过渡相及滨岸浅海相,受海水影响明显,主要为咸水和半咸水。因此,海区寻找淡水的目的层应放在下更新统地层中。

2.3 水文地质依据

2.3.1 地下水类型及含水层组划分

长江三角洲地区地下水类型主要为松散岩类孔隙水,基于不同埋深的地下水动力特征,可划分为潜水和承压水两类。依据形成时代、孔隙介质的不同成因及地下水的水理性质,划分为全新统潜水、中上更新统和下更新统承压水三个含水岩组,再按沉积顺序的先后,结合旋回又可细分为七个含水层组(表 1)。

表 1　长江三角洲陆区地下水含水岩组划分

Tab. 1　The classification of water - bearing formations onshore of Yangtze Delta

含水岩类	含水岩组	含水层组		时代
松散岩类孔隙水	全新统潜水含水岩组	潜水含水层		Q_4^3
		微承压含水层		Q_4^1
	中上更新统承压含水岩组	第Ⅰ承压含水层		Q_3^{2c}
		第Ⅱ承压含水层	第Ⅱ上承压含水层	Q_3^{2b}
			第Ⅱ下承压含水层	Q_3^1
		第Ⅲ承压含水层		Q_2^1
	下更新统承压含水岩组	第Ⅳ承压含水层	第Ⅳ上承压含水层	Q_1^{3a}
			第Ⅳ下承压含水层	Q_1^{2a}
		第Ⅴ承压含水层		Q_1^{1a}

2.3.2 下更新统含水层组水文地质特征

由于海区寻找淡水的目的层为下更新统砂层,现仅概述第Ⅳ、第Ⅴ承压含水层特征。

① 第Ⅳ承压含水层

堆积于早更新世中、晚期(Q_1^{2-3}),为河湖相堆积,分布于浏河~南汇县东海农场和闵行~五四农场约 4km~8km 宽的区间内,因上下层联通,水力联系密切,水动力特征基本一致。上层顶板埋深通常为 160m~180m,底板埋深为 180m~216m,层厚一般为 20m~30m;下层顶板埋深一般为 200m~220m,底板埋深 240m~260m,层厚通常为 10m~20m。沟通区层厚可达 60m~80m。富水性分布规律为:小于 100 t/d,分布于南部星火农场金山嘴及崇明县堡镇一带;100 t/d~1000 t/d,分布于古分支河道地带及崇明岛的东北部;3000 t/d~5000 t/d,分布于上、下含水层沟通地段。水质以淡水为主,主要为 HCO_3、Cl - Na、Ca 型。水温 23℃~24℃。因此,第Ⅳ承压含水组是寻找海底淡水资源主要层组。

② 第Ⅴ承压含水层

含水层形成于早更新世早期(Q_1^1),为初期河流至后期河湖相堆积。河床及河口部位岩性以砾质中粗砂或粗砂卵石层为主,毗邻基岩边滩为粉细砂夹亚砂土。含水层顶板埋深介于 250m~280m,底板埋深一般为 300m~320m,但凹陷中心部位可达 335m~350m,厚度通常为 30m~36m。富水性分布规律为:小于 100 t/d,环绕基岩呈条带状分布;100 t/d~1000 t/d,分布于古分支河流漫滩地段;1000 t/d~3000 t/d,分布于河床及河口地段。第Ⅴ承压含水组分布面积小,富水性比较差。水质为淡水和微咸水,主要为 HCO_3、Cl - Na、Ca 型及 Cl、HCO_3 - Na、Ca 型,铁离子含量相对较高。水温为 25℃~27℃。因此,第Ⅴ承压含水组也可作为寻找海底淡水资源主要层组之一。

3 海底水文地质调查

3.1 水文地质物探调查

3.1.1 电火花浅地震调查

上海海洋地质调查局于 1991 年 12 月~1992 年 2 月,利用"海滨二号"船,美国 EG&G 公司浅地震剖面系统,三极电火花震源开展了电火花浅地震剖面调查。通过模拟记录剖面解释,可划分出三个反射界面和四个反射层组(图 2),推测在嵊泗列岛北部海域可能存在早更新世长江古河道,并提出下一步水文地质钻井的钻孔位置(据上海海洋地质调查局①,1992)。

3.1.2 陆地浅地震调查

1992 年 3 月浙江省地矿厅在上海市南汇县果园附近,利用日本 OYO 公司 MCSEIS - 1500B 信号增强型浅地震仪进行了陆地浅地震 P 波法调查,该地区可划分出 7~8 个反射波组,其层位可与陆地钻孔资料及海区地震资料相对比,三者基本吻合,说明长江古河道有向海区延伸的趋势,在嵊泗北部海域寻找海底淡水资源有着可靠的依据(据浙江省地矿厅②,1992)。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

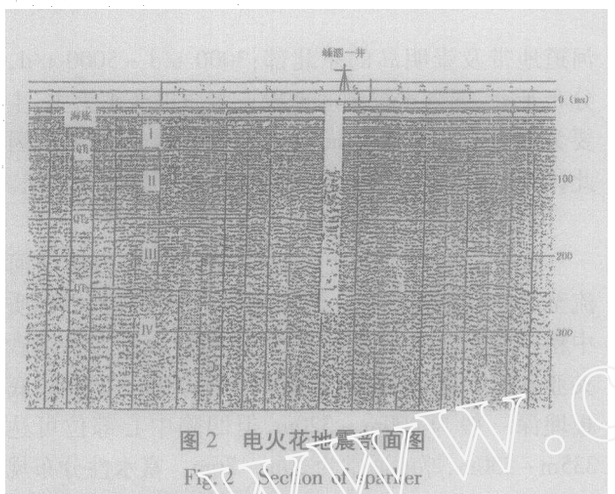


图2 电火花地震剖面图

Fig. 2 Section of sparker

3.1.3 高分辨率地震调查

1993年3月上海海洋地质调查局利用"奋斗三号"调查船,美国DFS－V型地震仪,开展了高分辨率地震调查。由地震资料可划分为三个反射界面,四个反射层组。其中Ⅲ层组又可分为三个亚层组(表2)(据上海海洋地质调查局③,1993):

3.1.4 早更新世长江古河道

根据对海区地震资料的分析研究和地质解释表明,在调查区嵊泗列岛北部海域可能存在早更新世长江古河道。从早更新统下部地层(Q_1^1)底板埋深等值线图(图3)可以看出,最大埋深呈SE—EW—NE方向延布,古地形为一条洼地,并向EN方向发散扩大,推测该洼地可能为早更新世长江古河道。

3.2 "嵊泗一井"水文地质钻探

1993年1至2月,上海海洋地质调查局利用"勘探二号"石油钻井平台对"嵊泗一井"实施了水文地质钻探,浙江省地矿厅进行了地质录井、物探测井和含水层抽水试验等工作。

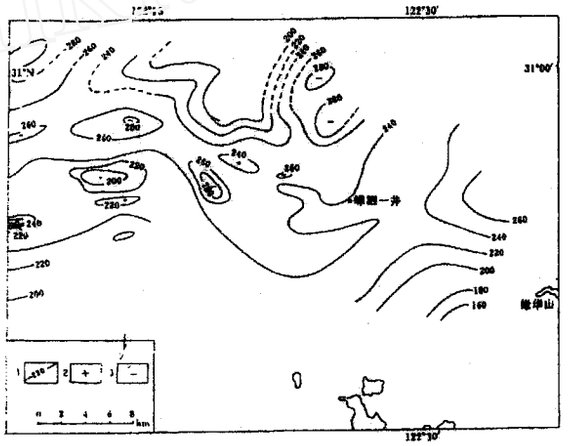


图3 嵊泗海域早更新统地层(Q_1^1)底板埋深图

Fig. 3 Depth map of upper section of lower－Pleistocene (Q_1^1) of Chengsi area

表2 嵊泗海域地震层序表

Tab. 2 The correlation of seismic sequence of offshore Chengsi Area

时代	高分辨率地震CHG-1剖面812测点				推断岩性
	反射界面	反射深度(m)	反射层组		
$Q_4+Q_3^2$	QT_1	47	Ⅰ		上部为粘土夹粉细砂，下部为硬粘土和粘土质粉砂。
$Q_2+Q_3^1$	QT_2	71	Ⅱ		中粗砂、细砂、粉细砂为主，底部见多层薄粘土。
		134			
Q_1^3	QT_2A	174	Ⅲ	$Ⅲ_A$	粉细砂、细砂，夹有粘土层。
Q_1^2	QT_2B	208		$Ⅲ_B$	细砂为主，底部为粘土层。
Q_1^1	QT_3	249		$Ⅲ_C$	砂质砾石、粘土质粗砂为主，底部为粘土层。
J_3			Ⅳ		凝灰岩、花岗岩或辉绿岩。

①上海海洋地质调查局,1992。浙江省嵊泗海域长江古河道浅地震调查报告。

②江省地矿厅,1992。上海市南汇县果园P18孔附近浅地震调查报告。

③上海海洋地质调查局,1993,浙江省嵊泗海域高分辨率地震调查报告。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.2.1　地质录井

"嵊泗一井"地质录井主要靠井口捞砂和少量间断取芯进行,根据岩性地层从上至下初步划分如下:

① 全新统(Q_4):深度 0 ~ 14.7m,厚度 14.7m。灰褐色淤泥质粘土及粘土质粉砂。

② 上更新统(Q_3):深度 14.7m ~ 87.5m,厚度 72.8m。

上段(Q_3^2):深度 14.7m ~ 60.0m,厚度 45.3m。上部:暗绿色粉质粘土及褐黄色粘土质粉砂,厚 8.5m;下部:黄灰色中细砂,向下岩屑及碎石增多,厚 36.8m。

下段(Q_3^1):深度 60.0m ~ 87.5m,厚度 27.5m。上部:灰色粉质粘土,厚 7.5m;下部:灰黄色细砂及中粗砂,厚 20.0m。

③ 中更新统(Q_2):深度 87.5m ~ 117.0m,厚度 29.5m。

上段(Q_2^2):灰色细砂及中砂,厚 12.5m。

下段(Q_2^1):上部褐黄色及灰绿色粉质粘土,厚 7.5m;下部灰黑色粉细砂,厚 9.5m。

④ 下更新统(Q_1):深度 117.0m ~ 258.0m,厚度 141.0m。

上段(Q_1^3):深度 117.0m ~ 211.0m,厚度 94.0m。从上至下相互出现三个粘土层和三个砂层。第一粘土层:黄色粘土,厚 19.0m;第一砂层:中细砂,厚 10.0m;第二粘土层:黄色粘土,厚 5.0m;第二砂层:灰黑色细粉砂,厚 29.0m;第三粘土层:灰绿色粉质粘土,厚 11.5m;第三砂层:灰黄色中细砂,中下部夹碎石,厚 19.5m。

中段(Q_1^2):深度 211.0m ~ 232.0m,厚度 21.0m。上部:深紫色含碎石粘土及黄色粘土,厚 12.0m;下部:灰白色粗砂,含炭化木,下部以砾石为主,厚 9.0m。

下段(Q_1^1):深度 232.0m ~ 258.0m,厚度 26.0m。上部:灰绿色粉质粘土,厚 4.0m;下部:灰黄色砾砂,含较多粘土,厚 22.0m。

⑤ 上侏罗统(J_3):钻遇深度 258.0m ~ 277.8m,厚度 19.8m。灰绿色熔结凝灰角砾岩,未见底。

3.2.2　物探测井

通过物探测井资料的解释,主要取得以下几项成果:

① 根据测井资料解释划分的钻孔地层剖面及岩性,与钻探取芯和捞取砂样的录井结果基本上是吻合的。

②结合录井资料确定了含水层深度、厚度和判别了咸淡水(表 3)。

表 3　嵊泗一井含水层情况表

Tab. 3　The data of water - bearing layers in Chengsi 1 well

编号	时代	岩　性	深度(m)	厚度(m)	性 质
第一砂层	Q_3^2	中细砂	25.0 ~ 60.0	35.0	咸水
第二砂层	$Q_2^2 \sim Q_3^1$	中、细、粗砂互层	67.5 ~ 100.0	32.5	咸水
第三砂层	Q_2^1	粉细砂	107.5 ~ 117.0	9.5	咸水
第四砂层	Q_1^{3c}	粉细砂为主,次有亚砂土、细砂、中砂	136.0 ~ 146.0	10.0	淡(微咸)水
第五砂层	Q_1^{3b}	中粗砂	151.0 ~ 180.0	29.0	咸水
第六砂层	Q_1^{3a}	砂砾石为主,次有中细砂,含砾粗砂	191.5 ~ 211.0	19.5	淡水
第七砂层	Q_1^2	粗砂,底部含砾石	223.0 ~ 232.0	9.0	淡水
第八砂层	Q_1^1	砾砂,夹粘土层	236.0 ~ 258.0	22.0	淡水

③通过测井资料解释对地层剖面中泥质体积含量(V_{SH})、有效孔隙度(φe)、粒度中值(Md)、地层水矿化度(CW)、束缚水饱和度(S_{WCB})、渗透率(K)、含水层涌水量(q)等参数进行了定量(半定量)的估算。估算结果见表 4,表 5。

3.2.3　含水层及抽水试验

本孔抽水试验仅在下更新统上段三个砂层(第四砂层、第五砂层和第六砂层)之中进行。

对测井资料及区域水文地质条件进行对比分析,"嵊泗一井"下更新统地层中除第五含水砂层为咸水或半咸水外,第四、六、七、八含水砂层均为淡水,无色、无味、无嗅、透明,PH 值 8.7 左右,水温 18℃ ~ 21℃,各项指标符合国家饮用水水质标准。

根据已有水质分析资料,第四砂层水中 Zn^{2+} 含量为 0.56mg/L,第六砂层水中 Zn^{2+} 含量为 1.2mg/L,均达到了饮用天然矿泉水的国家标准(GB - 8537 - 87),可命名为锌矿泉水。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表4　含水层水文地质参数统计表

Tab.4　The statistics of hydrogeology parameters

参数 / 编号	V_{SH}/%	Φe/%	Md/m.m	S_{WCB}/%	CW/(g/L)	K/毫达西
第二砂层	11.4~20.9	5.7~48	0.15~0.19	4~80	大于9	8~272
第三砂层	17.1	30	0.13	52	7.5	8
第四砂层	13~41	10~20	0.07~0.24	14~50	1.5~4.5	8~192
第五砂层	10	20.9	0.23	24	13~18	8~112
第六砂层	2~3	6~45	0.37~0.57	4~90	0.3~0.7	16~400

表5　含水层涌水量估算结果表

Tab.5　The estimation of daily production

编号	深　度/m	单位涌水量/(L/s.m)	单井涌水量/t/d	降　深/m	井　径/mm	计算公式
第四砂层	136.0~146.0	1.121	969	10	175	模型1
第四砂层	136.0~146.0	0.4919~0.8275	425~715	10	175	模型2
第六砂层	191.5~211.0	2.032	1756	10	165	模型1
第六砂层	191.5~211.0	2.505	2164	10	165	模型2

4　海底淡水资源初步评价

“嵊泗一井”揭露了八个砂层，与上海地区完全可以对比，而在上海市东部地区，上述各层单井日出水量均在1000t左右，最大可达3000t以上。在嵊泗海域，含水层厚度依然很大，从水质和岩性来看，第四(Q_1^3)、六(Q_1^3)、七(Q_1^2)层具有开采价值。由于没有补给量，仅估算各含水层的储存量(见表6)。从表可知，仅按嵊泗北部海域一条长江古河道在调查区承压含水层分布面积为600km^{2}计算，其弹性储量和容积储量分别为$2.343\times10^8m^3$和$36\times10^8m^3$，总计为$38.343\times10^8m^3$(据浙江省地矿厅①，1993)。

表6　嵊泗北部海域海底淡水储存量计算表

Tab.6　The fresh water reserve calculation of north area of Chengsi area

含水层	弹性储存量($\times10^8m^3$)				容积储存量($\times10^8m^3$)			
	F	S	h	结果	F	μ	m	结果
四	600	7×10^{-4}	150	0.63	600	0.15	10	9
六	600	7×10^{-4}	163	0.684	600	0.15	20	18
七	600	7×10^{-4}	245	1.029	600	0.15	10	9
合计		2.343				36		
总计				38.343				

根据估算的三个主要淡水含水层的储存量，如按嵊泗县每年淡水需求量为$600\times10^4m^3$考虑，则可开采约60年左右时间，因此，利用海底淡水资源解决嵊泗供水问题也是一种途径。需要指出的是，这个储存量尚不包括早更新世底部第八含水砂层的储存量。如果工作程度进一步提高，则海底淡水资源的储存量也将不断增加。

但海上开发海底淡水资源，具有较强的探索性和很大的风险性，一定要在充分调查的基础上，查清海底淡水资源的储量和涌水量，其次则是科学的经济、技术评估和社会效益的综合考虑。

① 据浙江省地矿厅，1993。浙江省嵊泗列岛海底供水水文地质普查报告。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献

[1] 陈吉余,杨启伦. 上海市海岸带和海涂资源综合调查报告[M]. 上海:上海科学技术出版社,1988.

[2] 陈荣堂,王振宇. 上海海上人工岛建设研究[M]. 上海:上海三联书店,1997.

[3] 陆志坚. 从上海地区地下淡水古河道含水层的分布探讨嵊泗列岛的供水问题[J]. 上海地质,1989,(1):23 ~ 26.

[4] 黄慧珍,唐保根,袁迎如. 长江三角洲沉积地质学[M]. 北京:地质出版社,1996.

The offshore fresh water exploration in Chengsi, Zhejiang Province

Wang zhenyu

(Shanghai Offshore Petroleum Bureau, Shanghai 200120)

Abstract: China is one of the countries lacks of fresh water. The fresh water possessed by one person is only one fourth of the world level. The lack of fresh water, especially in East China area and islands, seriously deter the development of the economy and living standard in these area. According to the analysis of the paleogeography, paleo - stratigraphy and the character of the hydrogeology, the paleo - channel of Yangtze River (Pleistocene or earlier) may exist around Chengsi island, Zhoushang, Zhejiang province. High - pressure fresh water could be found in lower Pleistocene formation. This viewpoint has been verified by the drilling in 1990s. Afrer drilling, five high pressure water formations have been found in lower Pleistocene formation, of which 4 layers contains fresh water, thickness 60m, daily production 3000 ton, reserve about $38 \times 10^8 m^3$. This research work is the first fresh water exploration under sea in the world, which is meaningful to improve the condition of fresh water supplying to the coast city or islands.

Key words: Chengsi area, Paleochannel off shore fresh water resource

(上接第 34 页)

[3]庄咏涛 渭河临潼断面以上流域非点源总氮负荷研究[D]. 西安:西安理工大学,2002

[4]陈友媛,惠二青,金春姬 非点源污染负荷的水文估算方法[J]. 环境科学研究,2003(16):10 ~ 13

A study on watershed distribution of agricultural non - point source pollution

Li wei　Guo yafeng　Wang qi　Guo zhongyang

(Lab. of information science East China normal university, Shanghai, 200062)

Abstract: The study on watershed distribution of agricultural non - point source pollution is important to improve environmental quality. According to the information of Remote Sensing technique, combining with Geographic information system(GIS), quantitative calculation and video - analysis on watershed distribution of agricultural non - point source pollution are done. And the result of distribution in eaca river segment can be guided to search for the sound utilizing pattern in the segment and the controlling method of the sum of agricultural non - point source pollution.

Keywords: agricultural non - point source pollution geographical information system watershed distribution

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net