

浙江省滨海地区地下水资源开发诱发的环境地质问题

赵建康

(浙江省地质环境监测总站,杭州,310007)

内容提要: 浙江省滨海平原因地下水资源开采诱发了地下水位持续下降、区域性地面沉降、咸水内侵等环境地质问题,并随着地下水的开采不断发展,造成洪涝灾害加剧、城市排水排污能力削弱、内河通航能力下降及水质恶化等危害,影响社会经济的可持续发展。本文根据多年来的地面沉降与地下水动态监测、调查成果,对浙江省滨海地区因开采地下水诱发的主要环境地质问题进行简要的总结介绍。

关键词: 环境地质问题 地下水资源 地面沉降 滨海平原 浙江省

1 地质环境背景

浙江省位于我国东南沿海,以山地为主,山地和丘陵占 70.4%,平原和盆地占 22.4%;海域辽阔,海岸线总长 6632km,其中大陆海岸线长 1840km。浙江省滨海平原面积约 $1.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,主要分布于浙北和浙东南沿海地区。钱塘江河口及杭州湾以北为杭嘉湖平原,面积 6490 km^2 ;以南为宁绍平原,包括萧绍姚平原、慈北平原、宁奉平原;浙东南沿海地区有温黄平原、温瑞平苍平原及象山港、三门湾、乐清湾等沿海平原(图 1)。

浙江省滨海平原区,由于新构造运动及海面升降、气候冷暖变化影响,第四纪地层具有成因类型多、岩性岩相复杂、沉积韵律明显、厚度变化大等特点。杭嘉湖平原第四纪地层厚度 200~300m,其它平原一般厚度 100~180m。中下更新统以冲积、冲湖积陆相地层为主,上更新统成因类型复杂,主要有河、湖、海积及其混合类型。全新统以海积、冲海积和湖沼积为主。

滨海平原地区,埋藏一~三个孔隙承压含水组 2~7 层含水层。含水层主要由更新统

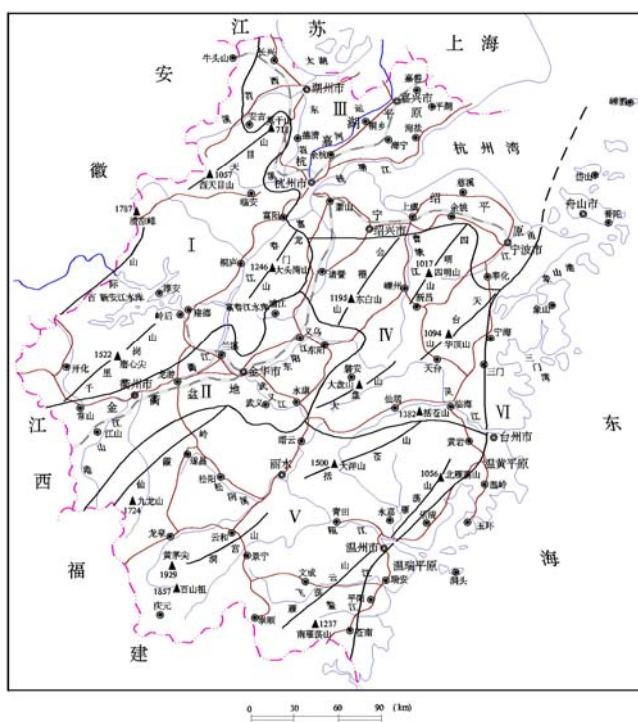


图1 浙江省山脉、水系分布及地貌分区图

- | | | |
|------------|----------|------------------|
| I、浙西中山丘陵区 | II、浙中盆地区 | III、浙北平原区 |
| IV、浙东低山丘陵区 | V、浙南中山区 | VI、浙东南沿海丘陵平原及岛屿区 |

冲积砂砾石、含砾砂、中细砂组成，上部为海积、冲海积、湖沼相粘性土覆盖，层间为湖沼相及海相粘性土所分隔，形成良好的储水构造。各含水层分布规律、岩性、厚度的变化，受古河道演变和展布方向控制，具有明显的纵向、横向分布规律。一般自上游向下游、自古河道中心向两侧岩性由粗变细，时代由老及新含水层颗粒也由粗变细。各含水层顶板自上游向下游微倾，原始水力坡度约 0.1%，迳流迟缓，排泄不畅，补给甚微，但贮存量丰富，天然动态稳定。富水性受古河道规模及其展布所制约，沿古河道主流线附近，导水性好，单井涌水量 1000~3000m³/d，最大可达 5000m³/d 以上，两侧一般小于 1000m³/d。

孔隙承压水受沉积环境及第四纪时期海侵影响，水质较为复杂。杭嘉湖平原绝大部分为淡水，温黄平原以淡水为主，其余平原以微咸水、咸水为主，淡水则以面积不等的透镜体形式分布。孔隙承压水是我省滨海平原地区的主要工业、生活用水供水水源之一。

2 滨海平原地下水开采状况

浙江省滨海平原地下水开采历史悠久，地下水开采集集中在杭嘉湖、宁奉、温黄、温瑞等四大滨海平原。自 1914 年开凿第一眼深井开采孔隙承压水以后，至二十世纪六十年代起滨海平原地下水开采范围不断扩大，开采量持续增长。1980 年四大平原开采量 $0.67 \times 10^8 \text{m}^3$ ，1990 年增加到 $1.44 \times 10^8 \text{m}^3$ 。二十世纪九十年代以来，由于地面沉降等环境地质问题日益明显，并引起政府和社会各方的高度关注，孔隙承压水开采迅速增长的势得到一定程度遏制，特别是宁波平原地下水开采得到有效控制，但开采总量仍呈增加趋势，增幅明显减缓。2000 年滨海平原孔隙承压水开采量 $1.57 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2003 年为 $1.62 \times 10^8 \text{m}^3$ （表 1）。

表 1 沿海平原地下水开采量统计表

单位：万m³

年份	杭嘉湖平原	温黄平原	温瑞平原	宁奉平原	合计
1980	5580	428	18	869	6895
1990	12056	1633	480	592	14761
2000	11410	2044	1865	254	15573
2003	11888	2037	2204	78	16207

浙江省滨海平原孔隙承压水以开采第Ⅱ孔隙承压含水组地下水为主，第Ⅱ孔隙承压含水组开采量占承压水开采量的 50%，其次为第Ⅰ含水组，约占 38%，第Ⅲ含水组仅分布于杭嘉湖平原，其开采量约占承压水开采量的 12%。滨海平原地下水作为供水

的补充水源，在城乡生活和工业中占有重要地位。主要用途为城乡居民生活和工业，用水比例已从工业为主转为生活为主，生活用比例约占 60%以上。

3 地下水资源开发诱发的主要环境地质问题

3.1 区域地下水位持续下降，地下水资源衰减

由于过量开采地下水，杭嘉湖、宁奉、温黄、温瑞平原均出现了地下水位下降，形成区域性水位降落漏斗，漏斗范围都已扩展到含水层边界（表 2）。

表 2 浙江省沿海平原地下水位降落漏斗一览表（2003 年）

平原名称	含水组		漏斗中心位置	中心平均水位 (m)	区域平均水位 (m)	水位漏斗面积(km ²)				
	代号	面积 (km ²)				<-5m	<-10m	<-20m	<-30m	<-40m
杭嘉湖平原	II	4654	嘉兴市区	-45.57	-34.92	4654	4654	4534	3926.5	642.5
	III	2623	嘉善魏塘	-46.05	-35.53	2623	2623	2609	2405	495
温黄平原	I	595	台州路桥	-44.36	-27.03	595	569	480	293	45
	II	528	台州路桥	-35.42	-24.04	528	506	388	106	
温瑞平原	I	98	永强永中	-33.47	-23.26	98	98	62	19	
	II	132	瑞安新华	-30.59	-20.09	132	98	46	1	

杭嘉湖平原孔隙承压水原始水位接近地表，1964 年前后在嘉兴城区开始形成水位降落漏斗，并逐步发展成为区域水位降落漏斗。2003 年杭嘉湖平原漏斗中心水位已达-45~-46m（图 2），全区平均水位约-35 左



图2 杭嘉湖平原第Ⅱ孔隙承压含水组水位等值线图(2003年)

右，并继续以 1~1.5 m/a 的速率下降，漏斗范围波及整个平原，并与江苏、上海地区水位漏斗相连。以路桥为中心的温黄平原孔隙承压水 1996 年最低水位曾达到-57m，2003

年为-44.36m，区域平均水位-24~-27m，并继续以 1m/a 的速率下降（图 3）。温瑞平原近年来开采量急增，中心水位低于-30m/a，水位下降速率达 3~5m/a。宁奉平原由于开采大幅度减小，水位回升，漏斗逐步消失。

3.2 地面沉降

3.2.1 地面沉降现状

浙江省因开采地下水引起的地面沉降主要发生在杭嘉湖平原、宁波平原、温黄平原、温瑞平原。

杭嘉湖平原地面沉降始于 1964 年前后，沉降中心位于嘉兴市城区。截止 2003 年，杭嘉湖平原地面累计沉降量超过 100mm 的沉降面积在 2500km²以上，约占整个平原区面积的

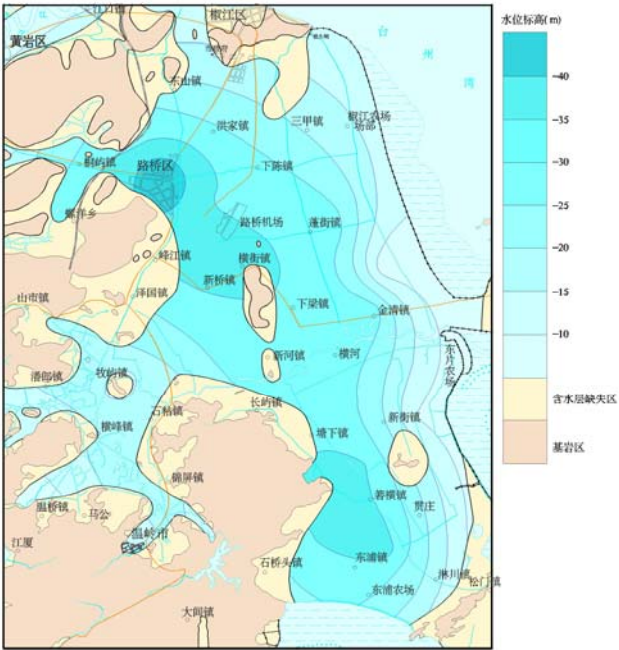


图3 温黄平原第 I 孔隙承压含水组水位等值线图(2003年)

的 40%；嘉兴市老城区均在 400mm 沉降范围之内，沉降中心累计沉降量 860mm。在嘉兴王江泾，桐乡市的乌镇、崇福镇、梧桐镇、屠甸镇，海盐县的武原镇、平湖市城关镇，海宁市袁花镇等地下水集中开采城镇形成次级沉降中心（图 4）。

近几年来，嘉兴沉降中心沉降速率趋于减缓，但沉降漏斗及主要沉降区继续向外围扩展。平湖城关镇、海盐武原—坎城—百步镇、桐乡屠甸镇等次级沉降漏斗中心沉降速率超 50mm/a。

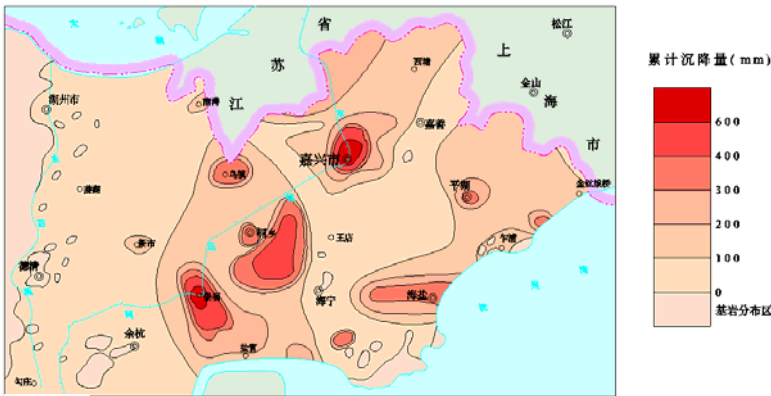


图4 杭嘉湖平原地面沉降量等值线图(1964—2002年)

宁波市地面沉降始于二十世纪六十年代中期，沉降速率和沉降范围不断扩大，最大 1985 年达沉降速率 35.3mm/a。1987 年开始，宁波市政府实施地下水限采和开展地下水人工回灌等措施，地面沉降趋于减缓，1987~2003 年沉降中心区以 3~12mm/a 的速率下沉，沉降中心年平均沉降速率 10mm/a。截止 2003 年宁波市地面沉降面积超过 190km²，沉降中心累积

沉降量 489mm。

温黄平原大部分地区发生了不同程度的地面沉降,地面沉降迹象非常明显(照片 1),累计沉降量大于 100mm 的沉降区域面积 435km²。沉降中心在温岭市横峰街道,累计沉降量超过 1000mm;在路桥、金清、东浦、潘朗形成次级地面沉降漏斗,累计沉降量大于 600mm。横峰以及滨海镇一新街一带地面沉降速率大于 30mm/a,路桥城区、温岭城区以北—潘郎、滨海镇东南、石桥镇、箬横镇以南、松门镇淋川等地沉降速率 20~30mm/。



照片 1 温黄平原台州市路桥井台上升

温瑞平原的乐清市天成、瑞安市汀田镇和瓯海区永强均有地面沉降迹象。近年来永强平原地下水开采量持续快速增加,水位持续急剧下降,地面沉降发展迅速,中心累计沉降量大于 200mm,沉降中心沉降速率在 30mm/a 左右。

3.2.2 地面沉降基本特点与规律

(1) 地面沉降随地下水的开采而持续发展

监测资料分析,嘉兴市沉降中心累计沉降量与城区地下水累计开采量呈直线相关,沉降面积则与累计开采量呈指数函数相关。地面沉降量及沉降面积与地下水开采量关系密切,即当地下水位超过沉降临界水位后,地面沉降量及沉降范围随地下水开采而发展。

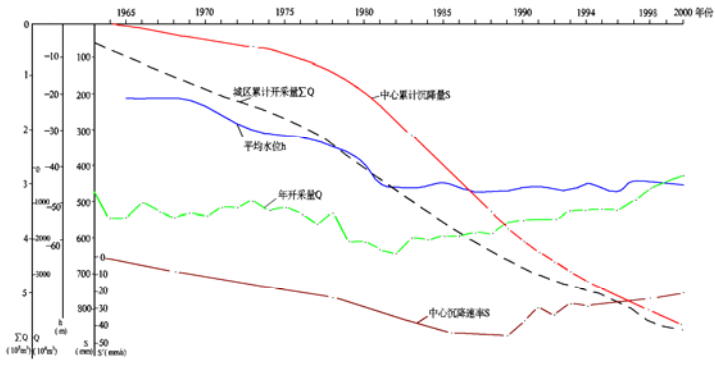


图 5 嘉兴市城区累计开采量与沉降中心累计沉降量关系曲线图

(2) 地面沉降的分布范围与地下水位降落漏斗展布形态基本吻合

杭嘉湖平原的地面沉降状况表现为以嘉兴城区为沉降中心,嘉兴王江泾、桐乡崇福、屠甸、乌镇、濮院、海宁长安、平湖城关、海盐武原等地下水集中开采的城镇为次一级漏斗中心的地面沉降漏斗,这与杭嘉湖平原开采量最大的第Ⅱ承压含水组水位

降落漏斗基本一致。地面沉降范围及幅度明显受地下水位下降幅度与地下水开采强度控制。

(3) 年内沉降量随地下水位的升降而变化

由于地下水开采的季节性变化，地下水位也出现季节性波动。夏季地下水开采高峰期水位较低，冬季开采量减少，水位较高。随着水位的季节性升降，地面表现出沉降与回弹的周期性变化。宁波平原地下水以工业冷却用水为主，开采季节性强，水位年变幅可达 17~22m。分层沉降标监测结果，4~8 月为沉降期，以 7 月沉降量最大，9 月~次年 3 月为回弹期。沉降期沉降量 30~40mm，回弹期回弹量 20~35mm，年度沉降量除部分年份外，一般小于 10mm/a（图 6）。

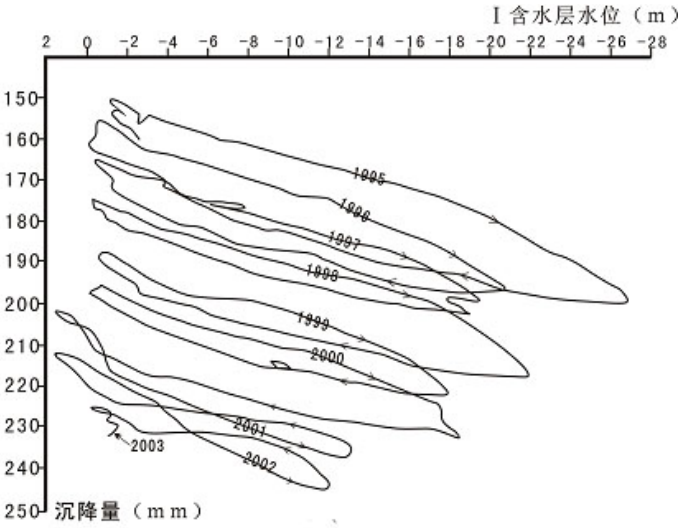


图 6 江东地面沉降中心沉降与 I 含水层水位关系曲线图

(4) 地面沉降与地层性质及结构有关

杭嘉湖地区第四纪地层厚度 100~300m，埋深 60m 以下以陆相地层为主且分布比较均匀，60m 以浅海陆相地层交替出现，分布不均，尤其是 40m 以浅的软土层厚度大小及硬土层缺失与否对地面沉降差异的影响最大。在同等水位下降的情况下，硬土层较薄甚至缺失，软土层厚度大的地层结构区沉降量大于硬土层厚度大、软土层较薄甚至缺失的地层结构区。

宁波市第四纪地层厚度 90~100m，50m 以浅由海相软土层与湖相硬土层组成，50m 以深主要由冲积砂砾石与湖相硬土层构成。宁波分层沉降标监测资料表明，宁波市地面沉降主要发生在上部软土地层。最近十年，顶部第一软土层平均压缩量约 8mm/a，其厚度只占第四系总厚度的 22.1%，而压缩量占地面沉降量的 80%以上，并且第一软土层压缩量在地面沉降量中所占比例呈明显上升趋势，这除与开采地下水有关外，滨海平原建筑密集区工程性地面沉降现象日益显现。

3.2.3 地面沉降的危害

地面沉降是一种累进性地质灾害，给浙江省滨海平原防洪排涝、土地利用、城市

规划建设、航运交通等造成严重危害。尤其是低平原地区海平面上升与地面沉降迭加，其影响更为严重。浙江省滨海平原地面沉降危害主要表现在：①防洪排涝工程效能降低，洪涝灾害加剧；②水准点高程、水位标高失真，影响滨海平原防洪调度和城市规划建设，大大增加建设成本；③城市排污能力降低，防潮水侵袭能力减弱，海潮倒灌；④桥梁净空减少，内河通航能力下降。⑤农田的渍害加剧，农田受淹损毁等。地面沉降使杭嘉湖等地区大量已建的 20 年一遇标准的防洪工程已普遍达不到设计时的御洪能力。投资数十亿的太湖流域治理工程，也因此难以达到预期效果。二十世纪九十年代杭嘉湖地区发生的四次大洪水，特别是 1999 年“6·30”洪水，沉降地区大面积农田受淹严重，造成直接经济损失达 39.6 亿元。温椒黄平原的温岭市西部，因地面沉降导致农田地面高程低于和接近正常河水位的面积达 9740 亩，这一部分农田由于处于长期受淹或在汛期正值耕种水稻的季节受淹，已无法耕种；村民住宅经常进水，受淹水深经常超过 1 米，住宅成了“阁楼”，“出门要靠船，进门上阁楼”。

3.3 咸水内移，水质恶化

浙江省沿海平原的杭州、台州、温州永强等咸淡水分布区域的局部地段，由于地下水超量开采，区域水位下降，地下水流场改变，导致咸水扩张内移，淡水体缩小，出现水质恶化现象。

杭嘉湖平原杭州祥符桥第 I 含水组淡水体，与二十世纪六十年代初期比较，咸水呈舌状侵入淡水体内，淡水体面积缩减一半以上，其中 1970~1983 年间缩小 3.84km^2 ，咸化面积占淡水体分布面积的 20%，西侧咸淡水边界逐渐收缩；1990 年后，由于开采量的大幅度减少，咸淡水边界渐趋稳定。杭嘉湖平原余杭三家村淡水体自开采以来水质不断咸化，1991~1995 年间三家村淡水体的崇贤、沾桥两开采井固形物年平均增高 15.4mg/l 、 20.4mg/l ， Cl^- 年均增高 10.2mg/l 、 9.8mg/l ；1996~2000 年间由于开采量有所减少，地下水水位基本稳定，水质咸化趋势也减缓。

杭嘉湖海宁市许村地段第 II 含水组与上层咸水呈“天窗式”连通，由于 II 组淡水过量开采，水位持续下降，上部咸水入侵，局部地段水质有逐年咸化之趋势。其中许村水厂 1 号井 1991~1995 年间固形物、 Cl^- 年均增高 89.7mg/l 、 53.9mg/l ；1996~2000 年间水质虽略有起伏，但最高的 1999 年固形物、 Cl^- 分别达 2750mg/l 、 1649mg/l ，比 1995 年分别增高 487mg/l 、 319mg/l 。

温黄、温瑞平原孔隙承压水，由于同一含水层咸淡水共存，淡水区地下水大量开采，水位下降，咸水不断向淡水区移动。温黄平原台州市洪家、椒江农场二大队、腰

塘等地的咸水体，不断向淡水一侧入侵；温瑞平原永强地区也因淡水区水位下降，咸水内侵，近几年咸水边界移动了数百米。

4 防治对策建议

浙江省滨海平原过量开采地下水资源诱发了一系列环境地质问题，并造成了严重危害，影响社会经济的可持续发展。为此建议：

（1）加强地下水资源管理，科学合理利用地下水资源

开展滨海平原地下水开发利用现状调查，深入研究地下水含水系统结构及地面沉降状况，确定地下水超采区，划定限采区和禁采区，把地下水开采量控制在合理范围之内。加强用水管理，合理用水、优水优用，进一步控制工业用地下水，并把优质地下水作为生活饮用水逐步过度为作为饮用水水源；采用经济杠杆，实行优质优价；加大环境综合整治力度，解决潜代水源，改善地面水功能，提高地面水的供水能力。

（2）优化地下水的开采布局

滨海平原地下水开采具有地域和层次集中的特点。在平面上开采分布不均，某些城镇地段开采高度集中，在开采层次也相对集中，由于大流量的集中式开采，极易打破含水系统的天然水动力平衡，破坏含水系统的结构，导致地下水位下降幅度过大，地层层压缩沉降。因此，在总量控制的前提下，要进一步优化地下水的开采布局，把按层次、地区和时间内集中开采调整为按含水系统的特征转化为分散式的开采，避免现有地下水降落漏斗的进一步发展。

（3）完善地下水动态与地面沉降监测网络，加强监测

进一步完善地下水动态监测网络，加强地下水动态监测，改进监测手段，加快地下水动态监测信息网建设，提高监测成果的时效性和服务水平。建立和完善滨海平原地面沉降区域监测网，加快 GPS 监测网络与分层标相结合的地面沉降监测网络体系建设，实现 GPS 监测与分层监测标组监测自动化。及时掌握地下水开采与地面沉降动态情况，适时调整地下水开采计划，实现地下水资源的动态管理。

（4）加强地面沉降预测预警系统研究

加强地面沉降预测预警与防治研究，研究地面沉降与地下水开采、水位动态与地质结构的相互关系及其演化规律，结合海平面变化趋势研究，深入分析地面沉降对城市建设、国土整治、经济发展的危害。建立沿海平原地区地下水资源与地面沉降预测

预警系统，为政府制定城市和区域可持续发展规划提供科学依据。

(5) 因地制宜开展地下水人工回灌

人工回灌是防治地面沉降的有效手段之一，且方法简单，技术可行，并能起到蓄水储能的综合效果。应积极创造条件，在保证水质的前提下，选择水文地质条件有利地段建立地下水人工回灌试验场，进行地下水人工回灌试验，并有计划有步骤因地制宜逐步推广地下水人工回灌工作。

参考文献

- 1、段永侯. 我国地面沉降研究现状与 21 世纪可持续发展. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9 (2)
- 2、刘毅. 地面沉降加重了 1998 年中国大洪灾. 中国地质, 1999, (11) .
- 3、张阿根, 刘毅, 龚士良. 国际地面沉降研究综述. 上海地质, 2000, (4) .
- 4、黄长江, 董巧香, 林俊达. 全球温暖化与海平面上升. 自然杂志, 2000, 22 (4)
- 5、陈崇希, 斐顺平. 地下水开采—地面沉降模型研究. 水文地质工程地质, 2001, 28 (2)
- 6、张云, 薛禹群. 抽水地面沉降数学模型的研究现状与展望. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(2).
- 7、陈崇希. 关于地下水开采引发地面沉降灾害的思考. 水文地质工程地质, 2000, 27(1)
- 8、张梁, 张业成, 罗元华等. 地质灾害灾情评估理论与实践. 北京: 地质出版社, 1998
- 9、刘毅. 地面沉降研究的新进展与面临的新问题. 地学前缘, 2001, 8 (2)
- 10、朱俊高, 陆晓平. 大面积地面沉降研究现状. 地质灾害与环境保护, 2001, 12 (4)

Environmental Geological Problems in Coastal Areas in Zhejiang Province Caused by the Development of Underground Water Resources

Zhao Jiankang

(Zhejiang Provincial Monitoring Station for Geological Environment, Hangzhou, PC 310007)

Abstract : The coastal plains in Zhejiang province are facing some serious environmental geological problems such as decreasing underground water levels, land subsidence and salty water invasion induced by exploitation of underground water resources. The situation will be further deteriorated by further or over exploitation of underground water resources, leading to worsened flood disasters, weakened drainage capabilities of urban drainage systems, reduced inland water navigation capacity as well as the deteriorating water quality and etc and hindering the sustainable development of social and economic aspects. This article gives a brief but informative summary of the major environmental geological problems in the shore and coastal regions in Zhejiang province due to exploitation of underground water

resources on the basis of dynamic monitoring and researches of land subsidence and underground water over past years.

Key words: Environmental Geological problems, underground water resources, land subsidence, coastal plain, Zhejiang Province