

海水入侵研究的现状与问题

尹泽生 林文盘 杨小军

(中国科学院 地理研究所)
(国家计划委员会)

提 要: 海水入侵 (Sea Water Intrusion) 是现代社中中具有特色的资源与环境问题。它在大量开采地下水的沿海地区表现为海水 (或古海水) 以各种方式向内陆的入侵。由于它所具有的动态变化快、潜在危害大、难以治理等特点, 使它比海水沿入海河流的倒灌对人类的影响更大。近年来, 国内外对这方面的研究日趋活跃。本文是对这一研究的现状与问题的简要评述。

主题词: 海水入侵 资源与环境 人地关系调整

一、研究概况

欧洲各国对海水入侵的研究比较深入而广泛。荷兰是一个长期受海水入侵危害的国家, 近年来在阿姆斯特丹、鹿特丹、哈德等地进行了抽取淡水与海水入侵关系的研究, 同时建立严格的地下水水质监测网以探求海水入侵的变化规律。西班牙地中海沿岸海水入侵现象较为普遍。其中以巴塞罗那西南部的劳布雷吉特 (Liobregat) 三角洲最严重。1965年开始, 西班牙东比利牛斯水管理局 (Eastorn Pyronees Water Authority) 和巴塞罗那理工大学 (Barcelona Polytechnical University) 加强了对这一地区的研究。在地下水开采、地下水流动与地下水盐度的关系、海水入侵预测、海水入侵管理及治理途径等方面都取得了明显进展。此外, 在西班牙的其它地区, 如巴塞罗那东北部的比索斯 (Besos) 三角洲、卡塔罗尼亚省的托德拉 (Tordera) 三角洲、东南沿海的格拉那达 (Granada)、拉帕拉纳 (La Riana) 等地, 也都进行过较深入的研究, 20多年来培养出了许多世界知名的研究海水入侵问题的专家, 如 Custodio, E., Candena, L., Vilario, F. 等, 意大利南部的莫格 (Murge) 和莎兰梯纳 (Salentina) 以及撒丁岛东南岸的穆拉维纳 (Muravena) 有海水沿碳酸盐岩裂隙和废弃的旧井入侵现象, 英国南海岸的布赖顿地区、西北海岸的利物浦和曼彻斯特, 以及东海岸的洪柏 (Humber) 河口北岸, 苏联亚速海、波罗的海、黑海和里海沿岸, 葡萄牙南部的阿尔加弗 (Algarve), 希腊的柯法利尼亚 (Kephaleinia), 比利时的北海沿岸, 德国的维特曼德等地区, 也存在着海水入侵现象。

美洲研究海水入侵的国家有美国和阿根廷。美国是最早研究海水入侵的国家之一。从本

世纪五六十年代开始,许多长期依靠地下水供水的地区面临着地下水不断咸化问题,引起了联邦政府和有关州政府的重视,美国地质调查所、美国环境保护局、美国水资源委员会和大学参与了各种研究和治理工作,研究的区域包括21个州的海岸地区,研究程度较高的有加利福尼亚州、佛罗里达州、纽约州、德克萨斯州等。研究内容很广,主要包括:海水入侵的通道,隐伏断裂在海水入侵中的作用,咸淡水界面附近的矿化度变化,盐度相关水力传导率对咸水入侵界面的影响,咸淡水关系的定量研究,海水入侵对农业的影响等。到1986年,美国专门论述海水入侵的论文已见到124篇,还有两部科学专著面世,一部是由美国环境保护局编著的《美国咸水入侵调查》(A Survey of Salt — Water Intrusion in the United States, 1977)和由俄克拉荷马大学环境及水资源研究所编著的《美国咸水入侵现状与潜在问题》(Salt-Water Intrusion, Status and Potential in the Contiguous United States, 1986)。

亚洲很多国家和地区也普遍发现海水入侵问题,其中日本、以色列研究比较深入。日本对静冈县富士市、西大阪地区的海水入侵的现状与运行规律进行了监测,制定节水法规,开发新的水源以减少海水入侵带来的危害。以色列雅法(Yafo)、特拉维夫以及约旦—死海裂谷等地区由于古泻湖的存在,加剧海水入侵。以色列学者在这些地区几十年来坚持进行入侵成因及危害的观测试验,并进行某些防治措施的研究,取得了明显成效。此外,南亚次大陆的印度、孟加拉国,东南亚的泰国、缅甸、斯里兰卡、马来西亚、马尔代夫、东南亚的柬埔寨、老挝、越南等国家,也进行过各类海水入侵研究。在我国,海水入侵现象也发现多处。沿海岸从北向南有大连市,秦皇岛的北戴河、洋河、戴河,天津市,莱州湾地区的寿光、莱州、龙口,胶东的牟平、崂山,胶南,苏北里下河地区,台湾西海岸等。研究工作也日渐普遍而深入,如近年来由中国科学院和山东省的一些科研单位组织开展的对莱州湾海水入侵预研究,已从海水入侵的成因、类型、机制,对环境的影响以及综合防治途径等方面,提出了初步意见。这一研究今后还将继续深入下去。台湾西海岸园林盆地 1075Km^2 的土地,目前已有四分之一以上的面积发生海水入侵。

大洋洲中澳大利亚墨尔本、堪培拉、悉尼、维克托港(Victor Harbour)、邦达伯格(Bundaberg)等地自60年代以来发现入侵现象。澳大利亚有关单位为解决这一问题,已在各处布置监测,制定若干用水计划并采取一些工程措施,使这一危害得到一定缓解。

非洲的海水入侵现象也已存在,但研究工作还不普遍。只有埃及学者在尼罗河三角洲及苏伊士运河沿岸进行过这方面的调查,提出了某些管理措施方面的意见。

从以上情况可以看出,全世界海水入侵问题带有普遍性,为此已引起国际社会的共同关注。联合国教科文组织还拨款重点支持,援助受害严重的发展中国家的研究工作。各国学者合作推动了这些研究。到1988年为止,欧洲学者举行过10次研究海水入侵问题的专门会议。1985年E. Custodio在国际水文地质工作者协会(IAH)第18次大会上,曾全面介绍海水入侵的基本原理、地质条件、地下水开采状况对海水入侵的影响、海水入侵的水文地质计算方法、监测及淡水资源管理等问题。

二、研究内容

由于海水入侵是现代社会中独具特色的资源与环境问题, 研究内容涉及面很广, 主要归结为以下3个方面。

(一) 地域环境

海水入侵是在特定的环境下发生并发展的。总的来看, 这种现象位于海洋环境与陆地环境的交接地带, 受这两类环境的历史演变、现实状态与发展趋势的控制和影响。所以调查这一特定环境便构成海水入侵基本规律研究的中心内容。主要包括:

1. 地理区位 现代海岸带的低平区域具有海水入侵的基本条件, 如冲积海积平原、三角洲等地区, 极易发生海水入侵。荷兰西部和西北部北海沿岸, 有占全国面积24%的滨海平原低于海平面, 使这一地区距海30—50Km的区域范围处在海水入侵威胁中。以色列东部沿死海的雅法和夸塔拉等洼地也低于海平面, 造成严重海水入侵。至于更多的滨海平原, 虽然并不都是洼地, 但由于地势低平, 也极易遭受海水入侵。我国大连、北戴河、胶东半岛和苏北的某些沿海区域的海水入侵, 多属此种类型。如山东省莱州市滨海区域冲积海积平原面积350Km², 海拔10m以下, 大部分已遭受海水入侵。三角洲因其地势更低平, 海淡水的相互运动频繁, 更易受到海水入侵。西班牙劳布雷吉特、越南红河和湄公河河口、澳大利亚伯德金、埃及尼罗河河口等地的三角洲, 都是受到严重海水入侵的例子。由此可见, 特定的地理区位是海水入侵的重要环境条件。调查时应侧重判定它们归属何种地貌区域和地貌类型, 次级形态(如洼地类型、河道型式、微地貌)、地势变化等。

2. 环境变迁 研究区域的发展历史和淡水咸化的成因、过程是掌握海水入侵规律的必由之路, 这是古地理与历史地理研究的主要任务。目前学术界所注意的第四纪地质、历史地貌、卤水矿藏等方面的研究, 含有导致海水入侵环境条件的内容。第四纪地质研究中有关滨海平原的沉积模式、第四纪海侵和岸线变迁的问题, 与海水入侵有密切关系。中国学者在研究第四纪海平面变迁时, 普遍认为全新世海平面有四次波峰高于现今海面, 因而形成四次海侵。海侵事件所带来的直接影响是堆积了不同时代和结构的海相地层, 遗留下若干古地貌(埋藏地貌)形态。由于各海相层的成分、厚度、层序有很大差异, 古地貌形态的类型、部位、规模、形状也不一样, 所以一旦遭受海水入侵, 其结果也不会相同。换言之, 详细研究这些海相地层和古地貌状态, 可以推测海水入侵的方式与过程。如以色列对雅法地区古泻湖、我国对莱州市王河下游古河道和古泻湖的研究, 初步掌握了海水入侵地下通道的基本型式。对卤水的研究也很有用。卤水是海侵事件中形成并残留在潮滩中的古海水, 是一种高浓度的咸水。它也像海水那样会发生向内陆的入侵。所以研究它的生成过程和赋存环境, 以及卤水开发所产生的效应, 是古地理与历史地理等专题研究的任务。对山东寿光、寒亭、莱州等地海滨平原地下卤水分布、变化、生成环境与机制的研究, 已开始越来越多地涉及到海水入侵的问题。

3. 岩相与构造 在海水入侵的地质条件中, 岩相与构造的条件是最主要的。岩层的成因、类型、厚度、时代及其物理化学性质, 以及构造类型、规模等, 都对海水入侵发生直接关

系。在松散地层中,垂直和水平岩相的变化很大,使海水入侵的方式和速度受到影响。西班牙对劳布雷吉特三角洲海水入侵的研究,就进行了详细的冲积海积地层的岩相调查,研究了不同层位含水地层的物质组成和它们的渗透率。对海水入侵的基本规律研究提供了依据。又如我国在对胶东地区海水入侵研究中,就十分注意测定冲洪积平原砂层的机械组成,大致推定基岩海岸的冲洪积平原渗透系数一般为 $50\text{--}150\text{m/d}$,平原海岸的冲积平原的渗透系数一般为 $30\text{--}50\text{m/d}$ 。这种强透水地层为海水入侵创造了有利的条件。海水入侵在基岩区也时而发生。基岩区的某些岩层如果有相应的构造,也很容易导致海水入侵。如美国地质调查所在研究佛罗里达州东北部的含水层时,发现那里切过白云岩层的隐伏断裂很密集,断裂附近的氯离子浓度相对较高,证明海水沿断裂的入侵。英格兰西北部利物浦和曼彻斯特之间的区域内,存在着透水性很好的石灰系地层,由此引发的海水入侵比较严重。如某地1970年入侵内地已达 2Km ,入侵量每天达 10000m^3 。青岛崂山前海村的白垩系玄武岩,因构造裂隙发育,莱州石虎嘴与三山岛等地的花岗岩,因风化层厚,构造发育,也成为海水入侵的有利条件。至于碳酸盐岩分布地区,则其广泛发育的喀斯特地形,为入侵海水提供了广阔的空间。在国外如意大利西西里岛西北部海滨的巴勒莫地区,在我国如大连市北部金县等地区,这种类型的海水入侵现象都很典型。

(二) 人类活动与海水入侵相互关系

这一研究命题属于典型的地理学中的人地关系论。它涉及到引发、加速或减缓、终止海水入侵的人的活动,以及由此引起的海水入侵对环境和人类社会经济活动的影响。这两方面的研究在国内外都很活跃。具体表现在以下2个领域。

1. 水资源开发利用 天然淡水资源短缺,加之对水资源不合理开发利用,是造成海水入侵的主要原因。因此,研究海水入侵区域地表水、地下水资源数量、质量、时空分布特征、相互转换规律;建立水资源定量评价模型;研究制定水资源开发利用的优化系统,是国内外学术界考虑的重点。这方面的研究可以近年对山东莱州湾地区所作的水文要素的时空变化规律与海水入侵发生发展的相关分析为例:首先是干旱周期的分析。据该地区降水资料统计,自1886年有观测资料开始至1989年,百多年间出现多次明显的干湿交替,周期大约为30年。降水的多少直接影响到地区的水文状况,如地下水位在降水量不足 700mm/a 时就下降,下降的幅度随降水量的减少而增加:淮北各县1977年降水量 441.6mm ,地下水位下降 1.58m ;1981年降水量 369.7mm ,地下水位下降 2.19m 。地下水位的下降与海水入侵的扩展又是正相关:莱州市1976—1979年水位下降 0.87m/a ,入侵速度 46m/a ,入侵面积 $4\text{Km}^2/\text{a}$;1980—1982年水位下降 1.31m/a ,入侵速度 92m/a ,入侵面积 $7.8\text{Km}^2/\text{a}$ 。这是枯水年的情况。如果是丰水年,情况便可能不是这样。再就是人类的直接干预使水环境的形势变得更为复杂,这主要表现在水资源的开发上。实际上以上谈到的水位下降不完全受制于天然降水因素,人为的超采地下水有时甚至成为更重要的原因。仍以莱州市为例:由于水资源量不足(据计算目前供需平衡缺额较大,估算近年工农业生产及城乡人民生活用水量 3亿m^3 左右,而地表水仅可提供 0.6亿m^3 左右),促使人们大量开采地下水。1980—1982年每年超采 0.9亿m^3 。因而使大片地区地下水枯竭,出现大面积漏斗区和低于海平面的负值区。这些情况使海水入侵变得可能。类似情况在国外很多地区也常见到,如意大利西西里岛西北部的巴勒莫地区,几百年来

不断开采地层中的淡水,终于导致海水入侵,东南部的奥古斯塔(Augusta)与普利奥罗(Priolo)镇之间,由于强烈开采地下水,使其静压面低于海平面110m,海水沿着地堑断层,侧向侵入。苏联波罗的海沿岸的一些地区由于集中供水而大量抽取地下水(每24小时抽取60万 m^3 ,形成直径达100Km,深40—50m的地下水漏斗,加速了海水入侵。总之,人类在水资源开发利用方面的活动对海水入侵有直接的影响,研究面也相当广泛。

2.海水入侵区人地关系调整 海水入侵对人类生存环境造成了很大的危害,人们在认识它的过程中,寻找到了低御这种危害的一些途径,从而使这一特定环境下的人地关系的失调得到了局部改善。这方面的研究主要包括生态系统调整、水利工程改良、政策等事项。

在生态系统调整研究中,有对复合生态系统的研究,也有对生态要素的研究。1990年在对莱州市过西、西由、土山的一些沿海地区海水入侵预研究过程中,初步分析了这一地区自然生态系统背景(含自然环境、生物系统等)和社会经济系统特征(含人口、文教与卫生状况、经济发展水平、居民生活水平),对其自然-经济-社会复合生态系统特征与海水入侵的关系进行了探讨,有如下两点认识。其一,认识到海水入侵区自然生态系统的演替模式。在时间轴上,本区在至今的2000年以前曾是海洋生态系统,此后相继转为泻湖生态系统、沼泽生态系统和目前的盐生(旱生)低草生态系统,继续发展将演变为旱生先锋植物生态系统和暖温带落叶阔叶林生态系统。因此可以看出目前的生态系统,环境的稳定性较低,自我调节能力和干扰缓冲性都较弱,人为作用有可能使它向正负两个方向演化。其二,认识到这一地区出现海水入侵是复合生态系统正向逆向演化。海水入侵是特征性潜伏自然生态因子,它的存在是客观的和无法改变的,非人为措施可以消除。人类只能通过调整和它的关系才能减轻它的危害。这类调整在农业开发上应用广泛而颇有收效。以美国的研究为例,不少学者探讨海水入侵环境下农作物的适应性种植方面的研究成果很有推广价值。如1984年马斯(E.V.Maas)在《植物的盐度忍耐性》一书中就提出了数十种常见作物和蔬菜所能承受的海侵土壤的盐度极限值,有一定指导意义。类似的成果还有1970年里利(J.W.D'Leary)所作的《地下水盐度对植物生长的影响》和1984年詹金斯(S.R.Jenkins)所作的《海水入侵对亚拉巴马沼泽地土壤易蚀性的影响》等。除此之外,还有为适应海水入侵区的旱生环境所作的耐旱作物种植试验也在各地进行。如1990年在莱州市滨海平原海水入侵荒地上开展的这方面的研究,取得了较理想的结果。这一试验包含两方面内容,一是比较耐旱作物与当地作物(均为白薯)品种对海水入侵地的适应性,二是比较使用地膜和不使用地膜,以及大垄密植,林粮兼作等种植技术,取得了科学数据。

人地关系调整的另一项重要内容是建设水利改良工程,促使海水入侵环境向良性循环转化。工程的核心目的是拦蓄补源,改善水环境。国内外为此所开展的工程项目很多,可举出有代表性的几例:在回灌地下水方面,美国纽约州长岛通过人工回灌网将处理过的废水引入地下,产生了一个阻止海水入侵的屏障;以色列特拉维夫从外地修建了一条约旦—雷格夫输水管道,外引水源进行回灌,使目前该市南部和中部的地下水水面比回灌前的水面高得多;莱州市王河下游的西由、过西两镇于1990年春在河床中开挖渗渠121条、渗井242口,有效地拦截了7月24日和26日的两次雨洪。经测试发现因此河床两侧400m以内的地下水位平均上升了5.6m。在修建帷幕方面,日本目前已建成多座滨海板墙地下水库,我国龙口市在八里沙河也

建了同样工程,都起到了拦蓄淡水或阻止海水入侵的作用。为建设这些水利工程,有关方面进行了深入的水源条件、水文地质条件与补源工程技术参数、经济效益的分析,还进行了各种环境评价。

人地关系调整的又一项重要内容是建立一系列行之有效的防治海水入侵的管理条例与法规。这方面的内容很多,应视各地不同的情况而定。其中最主要的是规定淡水开采方式、数量、时间、间隔等,尽量保持咸淡之间的水力平衡。美国马塞诸塞州在海水入侵区通过调整抽水速率,已部分控制了海水的继续推进;荷兰阿姆斯特丹规定抽水间隔,保持了长时期地下水不被咸水污染;泰国规定了地下水井的打井密度,西班牙规定了抽取地下水的收费办法,也起到一定作用。我国龙口市和寿光县目前采取严格控制在咸淡水界面附近建造水源工程,也初见成效;在用水方面,各地普遍推行节水的灌溉制度和农业生产结构,以及其它方面的节水制度,都是属于管理方面的问题。

(三) 海水入侵规律

海水入侵成因、机理、过程、类型等是规律性研究的重要内容。学术界对此给予了足够的重视。主要包括以下几个方面。

1. 一般问题 海水入侵所要研究的问题很多。首先要明确海水入侵范围的含义,这就牵涉到导致海水入侵的咸水矿化度标准。这一标准由于各地区环境背景差异很大,因而很不一致。不过一般根据我国卫生部制定的饮水盐份容许值标准和国际健康组织(WHO, 1970)的规定,以及一些专门研究海水入侵学者(薛禹群等, 1990; 耿树德等, 1990)的意见,大致将这一标准确定为 $200-300\text{mg/l}$ 。据此可以确定海水入侵范围。不过即使有此标准,确定海水入侵范围时,也要考虑具体的环境因素。目前各国都很重视海水入侵地区环境趋势监测网络的设置,它为连续获取影响海水入侵的各类环境变化数据提供了基础。利用这类数据可迅速查明海水入侵的现状。如西班牙对劳布雷吉特三角洲,我国即将对莱州市王河流域海水入侵区的研究中,已经或计划设立严密的海水入侵监测站,开展长期工作。在研究海水入侵的技术路线方面,目前各国除了广泛采用常规地学、生物学、物理学、化学等方法以外,还特别强调使用诸如电阻率法、中子测井法、环境和人工投放同位素方法、低空航空电磁测量方法、航空热红外测量方法等,取得了较好的成果。

2. 海水入侵通道 各国学者对这一问题的研究一直比较重视。据研究,通道可划分为两组类型:一组是以地层相变带、不整合面、风化壳、古河道、断裂破碎带、溶蚀洞穴等为代表的在自然状态下形成的通道;另一组是以结构不完善或损坏的水井、未加填塞的钻孔、引水建筑物以及滨岸采矿活动带来的洞穴等为代表的人为作用造成的通道。当然,“通道”的提法还不够准确,实际情况也没有这样简单。不过,不管是单一类型的通道还是复合类型的通道,都直接决定海水入侵的方式,因此对它的研究便构成了研究海水入侵规律的核心问题之一。如邦德(L. D. Bond, 1987)通过调查加里福尼亚州帕加拉谷地海水入侵区的复合通道,明确了该区海水入侵所具有的3种方式:大洋水垂直渗漏,大洋水侧向渗漏和微咸水垂直渗漏。1990年在对莱州市滨海平原海水入侵研究中,通过寻找海水通道,得出7种海水入侵类型:沿海第四纪砂层中的面状入侵,沿古河道形成的带状入侵,沿基岩断裂带形成的脉状入侵,沿溶洞溶隙形成的管状入侵,沿基岩风化层和半风化层形成的片状入侵,沿井孔上

升形成的垂直入侵等。

2. 咸淡水界面与混合带 界面的运移与混合带的形状是解释海水入侵运行机制和活动规律的中心问题。界面将两种流体分割开,使界面演化成一个过渡带或混合带。在理想情况下,表述界面物理状态的公式就有多种,其中最著名的有巴唐·吉本-赫茨伯格、裘布依-福熙汉姆、柯林斯和赫尔哈、雅贝尔等公式。这些公式均可用数值法求解。混合带的厚度取决于含水层的水动力特征。根据混合带与含水层相对厚度比,可将咸淡水关系概化为两种模型。即突变界面模型与移流弥散模型。突变界面模型在实际应用中受潮汐波动、海平面变化以及风暴潮的影响,其求解只能获得一种近似结果。在混合带内也存在着物质运动与水流运动。利用水流运动方程、物质运动方程、达西定律及某些经验关系式,可构成移流弥散模型的基本方程式。1960年亨利就对稳定流($\partial h/\partial t=0$)一定浓度的物质运移($\partial c/\partial t=0$)条件得出了解析解,并绘出了特定条件下流域和浓度分布图。这些研究目前还在继续。

本文是作者根据当前国内外大量研究海水入侵的文献资料编辑而成的。文中可以看出,现代海水入侵已不单纯是一个地下水动力学的理论问题,而是一个跨学科、综合性很强的课题。因此,对原有理论体系进行补充、完善、发展,已成为海水入侵研究中的关键问题。一方面需要对原有理论方法的薄弱环节,如各种环境参数的提取方法、各类模型的研制、海水入侵区人地关系的合理调整等加强研究,另一方面,需要依照地理系统的原理,将海水入侵的研究和资源保护与环境改善联系起来。以最终取得明显的经济、社会、环境的综合效益。

参 考 文 献

- 〔1〕 周宏春、黄金生。苏北平原海岸咸水入侵速率初探。水文地质工程地质, 1988, 3。
- 〔2〕 杨增文。山东滨海地区海水内侵状况、成因分析及对策研究。勘探科学技术, 1989, 5。
- 〔3〕 王成林。大连市海水入侵及其防治措施探讨。勘探科学技术, 1989, 2。
- 〔4〕 孙铁。天津滨海地区咸水体分布规律及成因初步探讨。水文地质工程地质, 1988, 4。
- 〔5〕 许广森。北戴河海水入侵含水层系统改造分析, 水文地质工程地质, 1986, 2。
- 〔6〕 李凤林。试论黄渤海沿岸平原地下咸水与海侵。海洋学报, 1987。
- 〔7〕 姜克华。莱州市地下水污染及其防治现状。水资源保护, 1989, 2。
- 〔8〕 范家爵。海水入侵地区地下水质数值模拟方法的初步探讨。工程勘察, 1988, 4。
- 〔9〕 杨兆麟。龙口滨海平原的海水入侵。工程勘察, 1985, 5。
- 〔10〕 韩再生、高恩厚、洋河。戴河冲洪积平原水文地球化学特征及其成因分析。勘探科学技术, 1988, 4。
- 〔11〕 武强等。大连市大魏家一带岩溶地下水系统海水入侵的特征。工程勘察, 1990, 3。
- 〔12〕 S.F. Atkinson, G.D. Miller, D.S. Curnry, B. Lee. Salt Water Intrusion, Status and Potential in the Contiguous United States, Lewis Publishers, INC Chelsea, Michigan, 1986. 390 P.
- 〔13〕 A.-A. I. Kashef. Salt-water Intrusion in the Nile Delta. Ground Water 1983, 21(2). P160-167.
- 〔14〕 E. Custodio, G. A. Bruggeman, Groundwater Problems in Coastal areas, Belgium, UNE-

SCO, 1987, 596P.

- [15] J. Bear, *Hydraulics of Groundwater*, Mc Graw-Hill, New York, 1979, 567P.
- [16] L. Nordberg, Problems in Sweden with Intruded and Fossil Groundwater of Marine Origin, *Proceedings of 7th Salt Water Intrusion Meeting*, NEF, Uppsala, 1981, P20-24.
- [17] D. S. Chada, Saline Intrusion in the Chalk Aquifer of North Humberside, U. K. *Proceedings of the Ninth Salt Water Intrusion Meeting*, Delft. R. H. Boekelman, J. C. van Dam, M. Evert man and W. H. C. Kenten Hoorn (Eds). 1986, P121-132.
- [18] E. Custodio, V. Iribar, Manzano, A. Bayo, and A. Galofre, The Evolution of Sea Water in the Liobregat Delta, *Proceedings of the Ninth Salt Water Intrusion Meeting*, Delft 1986 P133-146.
- [19] L. D. Bond and J. D. Bredehoeft, Origin of Seawater Intrusion in a Coastal Aquifer- A Case Study of the Pajaro Vall California, *Journal of Hydrology*, 1987, 92(3-4), P363-388.
- [20] E. Custodio, Saline Intrusion, *Proc. 18th Int. Assoc. Hydrogeol. Symp*, Publ. No154, Cambridge, U.K., P65-90.
- [21] A. D. Gupta and P. N. D. D. Yapa, Salt water Encroachment in An Aquifer, A Case Study, *Water Resour. Res.* 1982, 18(3), P546-556.
- [22] D. K. Todd, Salt-water Intrusion and Its Control, *J. Am. Water Works Assoc.* 1974, 66(3), P180-187.
- [23] S. Mandel, L. C. Goldenberg, Anomalies of Seawater-intrusion and Seawater-repulsion in the Area of Tel Aviv, *Conjunctive Water Use*, IAHS Publ. no. 156, 1986, P241-248.
- [24] M. R. Cajendra Gad, C. Naganna, et al. Salt water Intrusion and Related Problems in South Kanara-Acase study, *Conjunctive Water Use*, IAHS Publ. no 156, 1986, P231-239.
- [25] B. Kozerski, Salt Water Intrusion into Coastal Aquifer of Gdansk Region, *Proc. of 7th Salt Water Intrusion Meeting*, NFR, Uppsala, 1987, P83-90.
- [26] L. Lebbe, The Subterranean Flow of Fresh and Salt Water Underneath the Western Belgian Beach, *Proc. of 7th Salt Water Intrusion Meeting*, NFR, Uppsala, 1981, 193-219.
- [27] V. Cotecchia, T. Tadolini and C. Tulipano, Saline Contamination Phenomena in the Karstic and Fissured Carbonatic Aquifer of the Salentine Peninsula (Southern Italy) and Their Evolution, *Proc. of 7th Salt Water Intrusion Meeting*, NFR, Uppsala, 1981, P77-82.
- [28] G. B. Engelen, J. C. de Ruiter-Peltzer, A Case Study of Regional Hydrological Systems and Fresh-salt Water Interaction in the Western Part of the Netherlands, *Proc. of 9th SWIM*, Delft, 1986, P177-192.

ON STATUS AND PROBLEMS OF SEA WATER INTRUSION RESEARCH

Yin Zeshing Lin Wenpan Yang Xiaojun

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and State Planning
Commission of the People's Republic of China)

Subject term: Sea Water Intrusion Resources and Environment, The
Regulation of Man-land Relationship

Abstract

Sea water intrusion (SWI) is a characteristic problem of the resources and environment. It has been given much attention in many countries because the problem has brought about disaster along some coastal areas in the world.

Apart of SWI research outline in many countries in Europe, America, Asia, Australia and Africa having been presented in this paper, the authors lay stress on research contents, including three parts as follows: a) Territorial environment (geographic location, paleogeography and historical geography, lithofacies and structure). b) The relationship between human activities and SWI (the development and utilization of water resources, the regulation of manland relationship in SWI regions). c) SWI mechanism (general considerations, the pathways, fresh-saline water interface and transition/mixture zone). Last but not the least, some suggestions about future research direction have also been presented in this thesis.