

水文地质环境地质

## 山东省海(咸)水入侵演化趋势与防治对策探讨\*

毕建新<sup>1</sup>, 贾承建<sup>2</sup>, 王仕昌<sup>2</sup>

(1. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东烟台 264000; 2. 山东省物化探勘查院, 山东济南 250013)

**摘要:**山东省海(咸)水入侵主要有面状、带状、脉状或树枝状和越流等4种入侵方式。气候、地形地貌、地质与水文地质、风暴潮是发生海(咸)水入侵的自然因素;地下水超采、上游修建蓄水工程、发展海水养殖、扩建盐田、河道采砂和海岸带工程建设等人为因素是诱发海(咸)水入侵的主要原因。提出了工程措施和非工程措施两种防治海(咸)水入侵的对策。

**关键词:**海(咸)水入侵;演化趋势;影响因素;防治对策;山东省

**中图分类号:**P641.8;X55;S237.5

**文献标识码:**A

海(咸)水入侵是指在自然和人为因素影响下,海(咸)水向内陆运移及弥散,导致淡水变咸的现象。其中与现代海水直接发生水力联系或联系密切的称海水入侵;由封存或半封存的海相沉积中的咸水引起的则称咸水入侵。山东省海岸线长3 024 km<sup>[1]</sup>,由于沿海地区地下水的合理开采,使海(咸)水与地下淡水水动力场发生改变,在沿海地区发生海(咸)水入侵,给工农业生产和人民生活造成了很大危害,成为山东省沿海地区特有的环境水文地质问题之一。根据其对于工农业生产及人畜用水造成不同程度的影响,以氯离子含量大于250 mg/L作为海(咸)水入侵的判别标准。

## 1 海(咸)水入侵历史及现状

山东省海(咸)水入侵开始于20世纪70年代中期,随着地下水开采量增加,沿海各地陆续出现零星海(咸)水入侵。山东省海(咸)水入侵发展进程大致经历了3个阶段<sup>[2]</sup>:①初始阶段(1976—1979年)。山东省海(咸)水入侵最早发现于1976年,在寿光、寒亭、莱州等地首先发现水质变咸、Cl<sup>-</sup>浓度增高海(咸)水入侵现象,仅为几处孤立的点状入侵。1973—1975年,山东省连续干旱,降水偏少,地下水开采量却

不断增大,地下水位呈下降趋势,出现了小范围的地下水位负值漏斗区,海(咸)水入侵的地段和面积也不断增加。②急剧发展阶段(1980—1990年)。20世纪80年代,环渤海地区进入连续干旱期,地下水开采量急剧增长,地下水位大幅下降,地下水负值漏斗区面积迅速扩大,海水入侵随之进入快速发展阶段。到20世纪80年代末山东省海(咸)水入侵面积730.7 km<sup>2</sup>。③减缓阶段(1991年至今)。自20世纪90年代以来,由于海水入侵造成的灾害日益严重,有关部门开始采取压缩地下水开采、调整地下水开采布局以及实施地下防渗工程等治理措施,海水入侵发展趋势逐步得到控制。至2005年咸水入侵的总面积为1 377.6 km<sup>2</sup>,虽然面积较前一阶段有较大的增加,但海(咸)水入侵速率呈减缓趋势。

山东省的海(咸)水入侵区可分为潍北平原咸水入侵区、莱州—龙口滨海平原海水入侵区以及烟台、威海、青岛、日照等地市的众多河口地段海水入侵区<sup>①</sup>。根据2005年各市地质环境监测站的监测结果,海(咸)水入侵区总面积达1 377.6 km<sup>2</sup>,较2000年的989 km<sup>2</sup>增加388.6 km<sup>2</sup>。各地市的海(咸)水入侵情况见表1<sup>②</sup>、图1<sup>③</sup>。

\* 收稿日期:2010-03-26;修订日期:2010-03-28;编辑:孟舞平

作者简介:毕建新(1964—),男,河北乐亭人,高级工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail:bjianxin@126.com。

①青岛地质工程勘察院,尹明泉、董杰、王桂玲等,山东省海岸带城市建设地质环境适宜性调查研究报告,2006年。

②山东省地质环境监测总站,任翠爱、胡玉禄、沙令宝等,山东省地质环境监测报告(2000—2005),2006年。

③山东省地质调查院,徐建国、卫政润、张涛等,环渤海地区(山东部分)地下水资源与环境地质调查评价报告,2003年。

表1 2005年海(咸)水入侵分布面积(km<sup>2</sup>)

城市	东营	潍坊	烟台	威海	青岛	日照	合计
入侵面积	163.7	374.8	603.4	55.5	154.3	25.9	1377.6

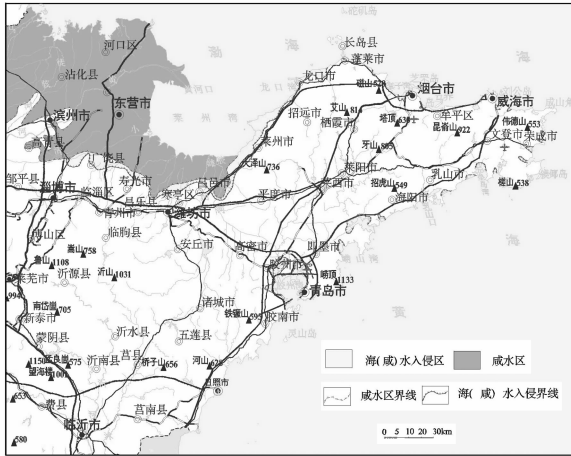


图1 2005年海(咸)水入侵现状图

## 2 海(咸)水入侵主要方式及影响因素

海水入侵(Sea Water Intrusion)是指滨海地区因长期超强度开采地下水或矿井地下水强烈疏干等原因,地下水动力条件发生变化,造成地下水位大幅度下降,甚至低于海平面,地下水与海水的动力平衡遭到破坏,海水沿地下孔隙、裂隙或溶蚀孔洞向陆地扩侵的现象。

### 2.1 海(咸)水入侵主要方式

山东省的海水入侵主要分布在山东半岛的沿海低平原和滨海河谷下游平原区,咸水入侵分布在莱州湾南岸低平原。其中,莱州湾东、南岸长达150 km的海(咸)水入侵带又可划分出海水入侵、咸水入侵和咸水与海水混合入侵3种类型区<sup>[2]</sup>。海(咸)水入侵方式主要受地貌、地质条件制约。按入侵方式和分布形态,区内海(咸)水入侵可分为面状入侵、带状入侵、脉状或树枝状入侵和越流入侵等4种主要方式。

#### (1) 面状入侵

是较普遍入侵类型,主要发育在长度约950 km的砂质、泥砂质海岸的第四纪沉积物分布区、基岩风化层厚度较大的地区以及滨海河谷下游平原区。由于滨海平原和河谷下游平原含水层多为冲积、冲洪积的砂层或砂砾石、砂卵石层,含水层连续性、透水性好,一般呈现同一含水层咸、淡水并存局

面,海水可顺着含水层向内陆渗透,入侵体在平面上呈面状形态,在剖面上呈楔状形态<sup>[2]</sup>。

#### (2) 带状入侵

第四纪沉积层中的古河道具有较强的渗透性,是地下水富集场所。当含水层水位下降时,海水就会沿着古河道呈带状向内陆入侵,入侵速度相对较快。在烟台夹河、莱州湾等沿海地区的第四纪沉积层中,分布着多条古河道,因这些古河道中多分布淡水,开采后造成水位下降并低于海平面时,就会发生海水入侵。

#### (3) 脉状或树枝状入侵

在基岩或碳酸盐岩分布区的海水入侵主要受裂隙和断裂构造控制,如沿断裂带或发育稀疏的构造裂隙的“脉状”入侵,或沿岩溶系统发育的“树枝状”入侵。脉状或树枝状入侵受降雨影响较明显,且变化幅度较大。入侵面积与降雨量的关系一般呈反比关系:降雨量增大,入侵面积减小;降雨量减小,入侵面积增大。

#### (4) 越流入侵

这种入侵方式仅是针对莱州湾地区的咸水越流入侵而言,不包括其他地区广义的咸水下移。在咸、淡水同时存在的地区,当咸水层的水位高于淡水水位时,咸水便越过隔水层入侵淡水层。如广饶、寿光、寒亭等地北部分布着大面积历史上形成的浅层咸(卤)水,其下为承压淡水。20世纪70年代中期以来由于大量开采承压淡水,致使承压淡水水头比咸水水位降低数米到十几米,造成咸水向下越流入侵。

### 2.2 海(咸)水入侵影响因素

影响海(咸)水入侵的因素主要有气候、地质与水文地质等自然因素和地下水过量开采等人为因素。

#### 2.2.1 自然因素

(1) 气候:气候变化对海(咸)水入侵起着重要作用。自20世纪80年代以来,山东省的气候总体上呈现持续干旱,如烟台市1960—1976年平均降水量为767 mm,1977—2009年则减少到615 mm。由于持续干旱,造成地下水补给量和地表河流径流量的减少,以及地下水开采量的增加,在沿海地区形成一系列的地下水位降落漏斗,导致地表水、地下水入海径流明显减少或消失,含水层中咸、淡水之间的动态平衡被破坏,从而产生海(咸)水入侵,如莱州湾东岸(表2)<sup>[3]</sup>。

表2 莱州湾典型岸段海水入侵与年降水量地下水位变化关系

类别	1976—1979年	1980—1982年	1983—1984年	1985—1987年	1988—1990年
年降水量(mm)	571.3	429.9	312.3	482.5	486.2
地下水埋深大于15m面积(km <sup>2</sup> )	—	—	338.4	136.5	427.6
地下水负值区面积(km <sup>2</sup> )	209.6	262.1	—	—	—
海水入侵面积(km <sup>2</sup> )	15.8	23.4	31.9	98.5	68.6

(2)地质与水文地质条件:区内海(咸)水入侵区多为第四系孔隙水、岩溶裂隙水、基岩裂隙水分布区,含水砂层厚度较大,断裂裂隙较发育,渗透系数大,导水能力强,使咸淡水连通性较好。其中,在第四系孔隙水分布区多为沿海平原和河流下游的砂质、泥砂质海岸区,地形平坦,地面标高仅2~5m,天然状态下地下水位埋深多小于2m。当人为超采地下水改变其天然流场时,形成低于海平面的地下水位负值区,海水就会沿孔隙含水层、河道向地下水漏斗区径流浸染;在岩溶裂隙水或基岩裂隙水分布区,当地下水超采引起水位下降时,海水将会沿裂隙或断裂带呈“脉状”或“树枝状”入侵淡水体。

(3)地形地貌:地形地貌对海水入侵也有较大影响,如基岩海岸一般常发育有海蚀崖。若断裂裂隙不发育,这一地带的地层透水性和地下水富水性均较差,地下水位高于海平面,一般不会发生海水入侵;淤泥质海岸因具有很低的渗透性,海水入侵也难以发生;砂质、泥砂质海岸一般地形比较低平,地层透水性较强,地下水位标高较低且水力坡度小,地下水流场容易发生变化,也易受风暴潮袭击,是海(咸)水入侵的易发区。

(4)风暴潮:莱州湾地区是风暴潮灾害易发区,在1970—2000年间就发生了28次较大的风暴潮,当风暴潮发生时海水沿河道和槽沟上溯数公里,虽然沿海地区多建有防潮堤,但多不封闭。风暴潮的发生加剧了海水入侵的强度和范围,以广饶县为例,1992年受16号台风袭击,发生特大风暴潮,该县1/3耕地都受到影响。

#### 2.2.2 人为因素

(1)超量开采地下水:地下水过量开采是引起海(咸)水入侵的主要人为因素,莱州湾海(咸)水入侵较为严重的地区,均与地下水超采有关。地下水持续超采,使地下水位大幅度下降,出现大面积低于海平面的负值区。当地下水位负值区长期存在时,含水层中咸-淡水之间的水力平衡关系被破坏,海

(咸)水向陆地淡水区入侵,但海(咸)水入侵速度滞后于负值区发展,分布面积也比负值区小。

(2)上游修建蓄水工程:入海河流中上游大量修建水库、塘坝等拦蓄地表径流工程,造成滨海平原地表径流减小,地下水补给量减少,导致地下水位持续下降,海水入侵加剧。在广饶、寿光等咸水分布区的河道上修建拦河坝或大量引用地表水灌溉,人为抬高了咸水区地下水位,造成咸、淡水之间水力坡度增大,加快了咸水入侵速度。

(3)发展海水养殖、扩建盐田、河道采砂和海岸带工程建设等。近十余年来,莱州湾滨海平原区在村头地边修建大量养虾池,将海水引入内陆数千米或十几千米;扩建盐田,抽引海水或高浓度地下卤水晒盐等,这些生产活动加剧了局部地区的海水入侵。在近海河道中大量采砂,致使河床标高低于潮水位,也助长海水上溯浸染;沿岸和城市的工程建设,造成地下水补给条件改变,形成局部强抽水中心、破坏含水层结构等情况,加速了海水向内陆的渗透。

### 3 海(咸)水入侵演化趋势

山东沿海地区除环莱州湾沿岸外,其他地区海水入侵均发生于主要河流入海口平原,入侵区附近第四系展布范围相对较小,第四系基底岩性致密,裂隙不发育,这使得海水入侵的范围受到一定限制,且当地政府对入侵区地下水采取了一系列的限采措施,海水入侵得到遏制,有些地区入侵范围有缩小趋势。所以近期上述地区海水入侵总体上将维持现状,不会有较大变化。

环莱州湾沿岸第四系厚度大、面积广,地势低平,工农业生产开采地下水强度大,虽然海(咸)水入侵总体处于减缓阶段,但在降水稀少的特殊枯水年份,仍然存在海(咸)水入侵加剧的可能性。环莱州湾海(咸)水入侵主要以第四系为入侵通道,由于下伏基岩岩性为变质岩、花岗岩,透水性极弱,所以

该区以海平面与基岩顶面交线作为最大入侵线。根据这一原则可确定最大海(咸)水入侵区界线位置(图2),由该图看出,龙口平原区如不采取切实有效的地下水限采措施,地下水位持续下降,海(咸)水入侵将最终危及整个龙口平原,最大入侵距离将达14.2 km。其他地区入侵线已接近最大入侵线,不会再有大幅扩展。莱州湾南岸尽管第四系厚度较大,但咸水入侵并不会无限度地向内陆入侵,而是与地下水位负值漏斗规模、漏斗中轴线位置有关,最大入侵线位于负值漏斗南侧水力坡度恰为原始水力坡度时的位置,根据目前莱州湾南岸地下水开采布局、开采程度分析,地下水负值漏斗位置和规模不会再有较大变化,所以可依据现状漏斗情况确定最大入侵线。今后咸水入侵的发展主要集中于广饶、寿光西部和昌邑市,未来将向内陆入侵3~15 km,其他地区已

接近入侵终止线,扩展面积不会太大。根据以上预测,整个环莱州湾沿岸地区各县市海(咸)水入侵最大面积见表3。

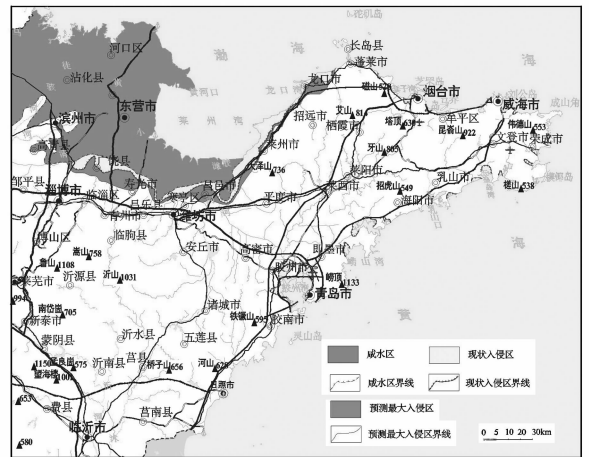


图2 海(咸)水入侵预测结果图

表3 莱州湾沿岸海(咸)水入侵预测最大入侵面积(km<sup>2</sup>)

县(市)	广饶	寿光	寒亭	昌邑	平度	莱州	招远	龙口	合计
现状入侵面积	163.7	137.8	100.5	136.5	82.9	380.6	24.0	131.7	1157.7
最大入侵面积	371.0	447.2	130.5	377.0	144.9	461.4	39.5	331.1	2302.6

## 4 海(咸)水入侵的危害

山东省沿海地区发生的海(咸)水入侵,给工农业生产和人民生活造成了很大危害,主要表现在以下几个方面<sup>[4]</sup>:

### 4.1 海(咸)水入侵对农业的危害

#### (1) 农业减产

海(咸)水入侵发生以后,由于农田生态环境恶化,使原先正常生长的农作物受到土壤盐分的危害而引起生态变异,轻者生长受抑,重者死亡,农作物产量显著下降。例如莱州市,1979年粮食产量为5.2亿kg,由于海水入侵加上气候连续干旱,到1989年总产量仅3.09亿kg。又如寿光市,由于北部咸水入侵,1989年就有2000hm<sup>2</sup>土地严重次生盐渍化,使水浇地变成旱地,高产变低产,3300hm<sup>2</sup>因水质变咸,粮食产量每公顷由11250kg下降到2250~3750kg,每年减产粮食2500万kg,经济损失约2000万元。据不完全统计,截至到1998年,寒亭区咸水侵染耕地面积达2400余公顷,农业经济损失

就达4000万元。

据有关部门估算,海(咸)水入侵以后一般年景粮食减产20%以上,干旱年份减产40%以上,特旱年份基本绝产。仅莱州湾沿岸地区1988年以前平均每年减产1.5~2.0亿kg,1989年在连续干旱基础上又逢大旱年,粮食减产约5亿kg。

#### (2) 机井报废

由于地下水位持续大幅度下降、水质严重恶化,致使海(咸)水入侵区大批机井干枯或不能用于灌溉和人畜饮用而报废。据估算,海(咸)水入侵区已报废机井近万眼,包括异地新打机井,其经济损失不可小觑。1989年寿光市报废机井558眼,新打机井150余眼,经济损失达2748万元;1998年,寒亭区报废机井300余眼,导致缺水人口2万余人。

烟台市因海(咸)水入侵报废机井3720眼,减少地下水开采量4275.6万m<sup>3</sup>/a,有30.68万人饮用水困难,12.774万头牲畜、约100万公顷农田用水受到影响,造成农业减产25164.38万kg,工业产值减少41514万元,受灾乡镇共计48个。

截至2002年,受害土地面积14.78万hm<sup>2</sup>,减

产成数估算,每年平均减产粮食4.44亿kg,报废机井500余眼,农业直接经济损失约为5.94亿元。

#### 4.2 海(咸)水入侵对工业的影响

(1)水质恶化,原有水源地水井报废,被迫移地另建水源地,增加建设费用及经常性的长距离送水费用,提高了生产成本。一些外地调水水量不足或费用太高的工厂,被迫陷于面临转产或搬迁的困境。

(2)水质下降(硬度增加,氯离子含量及矿化度升高),不仅增加了水处理费用,还使产品质量下降。如莱州市造纸厂原以生产新闻纸为主,因纸质达不到标准被迫改产以生产办公纸和包装纸为主。

(3)含盐量升高,水质变坏,造成生产设备锈蚀严重,缩短了利用年限。如莱州化工厂供水管道每3~5年就需更换,造成很大经济损失。

#### 4.3 海(咸)水入侵对人民生活的影

海(咸)水入侵区地下淡水遭受侵染而变咸,人畜饮水发生很大困难,生存环境趋于恶化。为此,当地政府和群众花费了大量资金,采取了很多措施,如淮北平原浅层淡水遭受侵染后,主要改打200m以上的深井。有些地方深层无淡水或F含量过高,又没有条件从外地调水,就只有饮用咸水或高氟水。

长期饮用劣质水,致使某些与水源有关的疾病的发病率增加。据卫生部门20世纪90年代前期对莱州湾沿岸寒亭、龙口等7市区的调查,患甲状腺肿、氟斑牙、氟骨病、布氏菌病、肝吸虫病的人数达45.5万人。其中寿光市患各种地氟病人数由20万人增加到40万人,莱州市氟斑牙患者由1978年的3076人发展到15000人,增加近5倍。影响人民群众的身体健康,影响社会稳定,也影响该地区的投资环境和经济发展。

#### 4.4 海(咸)水入侵对生态环境的影响

受海(咸)水入侵的影响,致使水质恶化,土地荒芜,植被枯萎,对生态环境产生了较大影响。如烟台市牟平区北部沿海防护林,由于海水入侵影响使黑松大片枯萎死亡,面积约0.30km<sup>2</sup>,严重破坏了当地的生态环境,制约着经济发展和人民生活水平的提高。

同时,由于海(咸)水入侵而形成了盐渍土,影响道路交通安全,硫酸盐盐渍土随着温度变化,体积也产生变化,引起土体变形松胀,路肩塌陷,路基下陷;或土被溶蚀,形成地下空洞,导致地基下沉。盐

渍土还可侵蚀桥梁、房屋等建筑物基础,引起基础开裂或破坏。

## 5 海(咸)水入侵防治对策

针对山东省海(咸)水入侵的实际情况并结合成功的防治措施,提出工程措施和非工程措施两种防治对策(图3)。

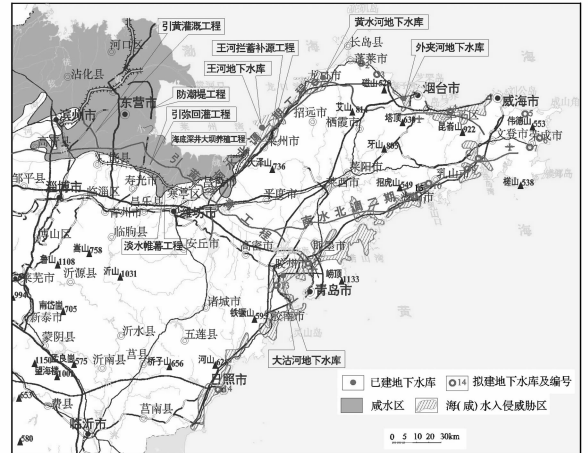


图3 海(咸)水入侵防治对策图

- 1—龙口中村河;2—蓬莱南王河;3—蓬莱平畅河;4—牟平沁水河;5—威海石家河;6—荣成车道河;7—荣成沽河;8—文登老母猪河;9—乳山黄奎河;10—乳山市乳山河;11—海阳留格河;12—青岛白沙河;13—胶南洋河;14—日照傅疃河

#### 5.1 工程措施

(1)修建地下截渗墙,建设地下水库。建设地下水库,一可阻挡海水继续入侵,解燃眉之急,二可拦挡汛期淡水向海洋渗流,避免资源浪费。该方法主要是通过截断海(咸)水与地下水之间的水力联系,来截堵海(咸)水向地下淡水的入侵,也拦挡地下淡水向下游的排泄,保护淡水资源。

(2)拦蓄回灌补源。海水入侵区的河流多为季节性河流,源短流急,不能得到充分利用。可以改建和加固部分现有蓄水工程,在河流中、下游新建拦河闸坝,拦蓄洪水增加地表水可利用量,在地下水位漏斗区修建渗渠、渗井,利用汛期洪水补给地下水,把入海表流蓄在地下,该方法一是可以缓解水资源供需矛盾,二是可以恢复咸淡水界面的原有平衡,对预防和治理海水入侵是切实可行并有效的。但应注意加强对闸、坝内水质的环境保护,防止水质遭受污染。在主要河流的下游海(咸)水入侵区,继续建设

橡皮坝、地下水坝、地表拦水闸等,同时结合回灌井、渠工程对地下水进行回灌补源,提高地下水的补给资源量,抬高地下水水头,减缓海(咸)水入侵速率。

(3)淡水帷幕工程。淡水帷幕工程采用以沟渠入渗为主的工程布局。通过在淡水帷幕附近形成与入侵界线平行的高水位带,形成淡水屏幕,阻止咸水侵入。采用淡水帷幕工程防治咸水入侵的基本条件是要有淡水资源,莱州湾南岸的淡水帷幕工程靠近西水东调线路,且处于引黄灌区南缘,具备引黄条件,可以采用黄河水或长江水作为补给水源;同时作为一条与海岸线近于平行的地表沟渠,在汛期可以起到充分拦蓄地表径流的功能,这同样为淡水帷幕的形成创造了条件。

(4)修建、加固防潮堤、闸。建议在有条件的砂质岸线区均建设防潮堤、在河口地段建设防潮闸,以防范风暴潮把海水携带到陆地,造成海水入侵。同时对已有的防潮堤、防潮闸进行维护或加固,确保其安全。

(5)继续优化地下淡水开采布局。继续加强对海(咸)水入侵区的用水管理,严禁长时间超量开采地下水,保持地下水对海(咸)水的正向水力坡度。由于生产或生活急需而超量开采时,也应依据开采位置,严格控制开采量和开采时间。在开采布局上要坚持中上游密,下游疏的原则。在有条件的海(咸)水入侵区尽可能多的利用地表水进行工农业生产,减少地下水的开采量。

(6)调引客水。实施调引客水工程,一方面解决城市供水不足问题,另一方面可以对海(咸)水入侵区进行回灌补源,减少地下水开采量。

(7)推广海(咸)水淡化工程。随着科技的进步海(咸)水淡化设备和运行成本必将大幅降低,在条件许可且经济可行的情况下,积极推广海(咸)水淡化工程,如反渗透咸水淡化、核能咸水淡化、太阳能咸水淡化等,特别在因海(咸)水造成饮用水困难的地区要加强进行海(咸)水淡化,确保居民生活用水,减少地下水开采量。

## 5.2 非工程措施

(1)加强科学研究。继续加强对海水入侵的专题研究,根据研究的成果,进行海水入侵调查评价、

电测、水质化验分析,从中得出海水入侵的成因,计算出海水入侵的速度和面积,初步摸索出海水入侵的变化规律,为有针对性进行防治奠定基础。

(2)制定规范性文件,强化水资源管理。建议各级水行政主管部门根据相关的水法规并结合各地海(咸)水入侵实际制定和完善《水资源管理办法》,对滨海平原水资源进行强化管理,在海水入侵区内禁止打深井,严格控制新打井,除保人畜用水外,控制农田灌溉开采地下水;发展乡镇企业,提倡上耗水量少的项目,用水较多的工业项目一律不准在海水入侵区筹建;对海水入侵区原有的用水大户进行统筹安排,采取从远距离集中供水的方法,尽量不开采当地地下水资源,使海水入侵区地下水开采做到有章可循<sup>[5,6]</sup>。

(3)在海水入侵区进一步调整种植结构,进行海水入侵区生态改良试验,扩大耐盐碱作物和经济作物种植面积。发展雨养农业,促使海水入侵区水资源逐步走向良性循环。

(4)调整产业结构,建立节水型社会。在海(咸)水入侵区进一步调整产业布局和工业结构,大力发展节水型和无水型高科技工业体系。在围绕节水上大做文章,各工矿企事业单位进行内部挖潜,生活上逐步普及节水型器具,通过实行计划用水,节约用水,大大降低万元产值耗水量,提高工业用水重复利用率。同时,采取优惠政策积极推广管灌、喷灌等节水灌溉技术,实现节水化灌溉,从而降低地下水的开采量。

## 参考文献:

- [1] 徐军祥,康凤新.山东省地下水资源可持续开发利用研究[M].北京:海洋出版社,2001.
- [2] 孙晓明,徐建国,杨齐青,等.环渤海地区海(咸)水入侵特征与防治对策[J].地质调查与研究,2006,29(3):1-8.
- [3] 刘军.基于GIS的海岸带地质灾害评估方法研究及信息管理系统的实现[D].武汉:中国地质大学(武汉),2007.
- [4] 李振函,朱伟.日照市海水入侵现状与治理方案[J].山东国土资源,2009,25(6):21-24.
- [5] 李希国,谭鼎山,于培强,等.烟台滨海平原海水入侵现状研究[J].山东水利,2005,(11):12-13
- [6] 丰爱平,谷东起,夏东兴.莱州湾南岸海水入侵发展动态和原因[J].海岸工程,2006,25(3):7-13.

## Study on Evolution Trend and Protection Countermeasures of Sea ( salt ) Water Intrusion in Shandong Province

BI Jianxin<sup>1</sup>, JIA Chengjian<sup>2</sup>, WANG Shichang<sup>2</sup>

(1. No. 3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Yantai 264000, China; 2. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** Sea ( salt ) water intrusion in Shandong province are mainly composed of four types, they are planar type, ribbon type, vein type and leaky type. Climate, topography, geology, hydrogeology and storm are natural elements which caused sea ( salt ) water intrusion; while other human factors, such as over - exploitation of underground water, construction of water storage in upstream, the development of mariculture, expansion of salt field, sand excavation and coastal construction projects are major elements which induced sea ( salt ) water intrusion. It is put forward that engineering countermeasures and non - engineering countermeasures are two kinds of methods for protecting sea ( salt ) water intrusion.

**Key words:** Sea ( salt ) water intrusion; evolution trend; impact factors; prevention countermeasures; Shandong province