

# 基岩海岸海水入侵特征及对策

## ——以长岛县南北长山岛为例\*

杜国云

(烟台师范学院地理与旅游系 264025)

**提要** 山东省长岛县南、北长山岛地下水海水入侵于 20 世纪 70 年代, 至 90 年代有明显扩大。海水入侵存在海湾层状沉积体孔隙式层状入侵、岩岸裂隙式脉状入侵和层状基岩层隙式面状入侵 3 种基本形式; 造成海水入侵不断加剧的原因一方面受大气降水的明显影响, 另一方面由于当地经济与社会发展带来的地下水过量开采引起, 形成了地下水水质恶化与城镇和人口稠密区、机井密集区相对应的社会-地质灾害空间组合。防止海水入侵, 切实保护地下淡水资源, 首先应采取重点地段上实施拦蓄结合的地下水工程, 也可以借用天然形成的糜棱岩带作为拦蓄工程基础, 以节约资金投入; 其次是减少地表径流与地表蒸发, 扩大地下淡水量; 以及采取以减少地下水资源开发量为目标的开源节流等方面的措施。

**关键词** 基岩海岸, 南北长山岛, 海水入侵, 对策

长岛县位于黄、渤海分界, 庙岛群岛南端, 是山东省境内唯一的海岛县, 地处暖温带, 属季风海岸性干旱气候。全县由 32 个岛屿组成, 总面积 55.96 km<sup>2</sup>, 总人口 68 497 人。南、北长山岛是长岛县岛陆面积最大的两大基岩岛屿与经济文化中心, 面积共计 22.06 km<sup>2</sup>, 其间由一条人工坝相连。近 10 a 来, 长岛县的地下水咸化愈来愈严重, 影响范围也越来越大, 淡水资源日益缺乏, 直接影响着城镇居民日常生活和海岛资源的开发, 成为制约当地社会与经济发展中最突出的生态环境因素。

海水入侵属于海岸带重要的生态环境地质灾害。山东省境内的海水入侵研究主要集中于莱州湾砂质海岸带<sup>[1, 2]</sup>和龙口平原北部砂质海岸带<sup>[3]</sup>, 基岩海岸的地下水海水入侵研究还十分薄弱, 而海岛县基岩海岸的海水入侵研究更缺乏。海岛县基岩海岸的地下水海水入侵方式、海洋动力在地下水海水入侵中的作用是应当解决的两个基本问题。长岛县基岩海岸海水入侵有一定的代表性。本文以长岛县水利局 1995 年完成的“长岛县南、北长山岛海水入侵现状”为依据作初步的分析和研究。

## 1 地质基础及水文地质特征

### 1.1 地质基础

南、北长山岛上的基岩主要由元古界蓬莱群变质岩组成, 岩性包括千枚岩、板岩、石英岩、片岩等。基

岩出露于沿岛基岩海岸地段, 形成海蚀崖和海蚀平台以及水下暗礁。陆地近南北至北西向谷岭地形突出, 侵蚀残丘上为砾质砂土、亚砂土覆盖。沿海有小的冲积、海积平原, 岩性包括粉砂质砂土、亚砂及亚粘土, 底部为残坡积及冲积砾石层混合物。其中基岩风化剥蚀区占全岛面积的 2/3, 属于典型的基岩海岛。

区内基岩产状平缓, 变质层理倾角一般在 10°~40°之间。地质调查中揭露出的基岩断裂主要包括 S N 向、NE 向和 NW 向 3 组。

### 1.2 水文地质特征

1.2.1 基岩裂隙水 基岩裂隙在地表风化带中有独特的表现, 主要表现为基岩风化裂隙, 它是一种次生改造型的裂隙。风化裂隙水埋深依岩性不同而不同, 一般在地表以下 50 m 的范围内。风化裂隙水往往与下部的基岩构造裂隙相连通, 在潜水面以上时向下渗透, 然后进入基岩构造裂隙, 转化成基岩构造裂隙水。基岩裂隙水主要赋存在与地下水渗透方向一致的坚直的基岩构造裂隙当中。其中一些片岩, 尤其是

\* 山东省教委自然科学基金资助项目 J00L51 号。

本文撰写中得到了长岛县交通委、长岛县水利局, 以及本系王庆博士的大力支持和帮助, 谨表谢意。

作者: 杜国云, 出生于 1962 年, 硕士, 副教授, 从事地质学、环境地质方面的教学与科研。电话: 0535-6672165

收稿日期: 2001-03-23; 修回日期: 2001-07-12

像云母片岩,以及断层带中的糜棱岩形成隔水层或隔水带,糜棱岩带旁侧发育的密集的基岩构造裂隙,常引起地下水的局部富集。由于基岩产状平缓,因此层状基岩裂隙水是岛上地下水的重要赋存形式。尤其是蓬莱群中的板岩、石英岩,当变质层理具有较平缓的产状时,层间易构成地下水迁移的通道;当变质层理与垂直方向的基岩构造裂隙形成联合时,又易形成地下水的富集。基岩构造裂隙水埋深一般在 50~150 m,水质较好,水化学类型多为重碳酸盐水,以及重碳酸盐-氯化物型水。

1.2.2 松散堆积物孔隙水 松散堆积物孔隙水依不同的堆积物特征分为以下几种:(1)松散基岩性孔隙水。主要由洪冲积和海积形成的粘土角砾层、粉砂细砂层及少量的粗砂卵石层构成;(2)角砾含水层。多分布在岛陆岭间谷地和山麓地带,角砾含水层呈透镜体埋藏在松散沉积物中,其顶板埋深在 10~20 m,底部常与坚硬基岩接触;(3)粉砂细砂含水层。分

布在滨海低地和海湾洼地。

粉砂细砂含水层可进一步区分为滨海低潜水含水层、洼地上层滞水含水层、海湾泻湖相沉积咸水含水层 3 种类型。滨海低潜水含水层,含水层多为一层,呈透镜体状,厚 1 m 左右不等,地下水埋深 8 m 左右;洼地上层滞水含水层,见于海湾沉积和泻湖相沉积洼地,上层滞水含水层的水位埋藏 2 m 左右,水位变化常因大潮作用而上升或下降;海湾泻湖相沉积咸水含水层,包括北长山岛月牙湾、南长山岛西大洼,水位埋藏 1~2 m,迳流条件差,含盐量大于 2 g/L 以上,为氯化物型水。

## 2 海水入侵的区域分布及动态变化

长岛县水利局于 1995 年完成了“长岛县南、北长山岛海水入侵现状”的研究,以地下水氯离子含量 250 mg/L 作为圈定海水入侵范围的控制指标,勾绘出海水入侵的大致范围,见图 1。

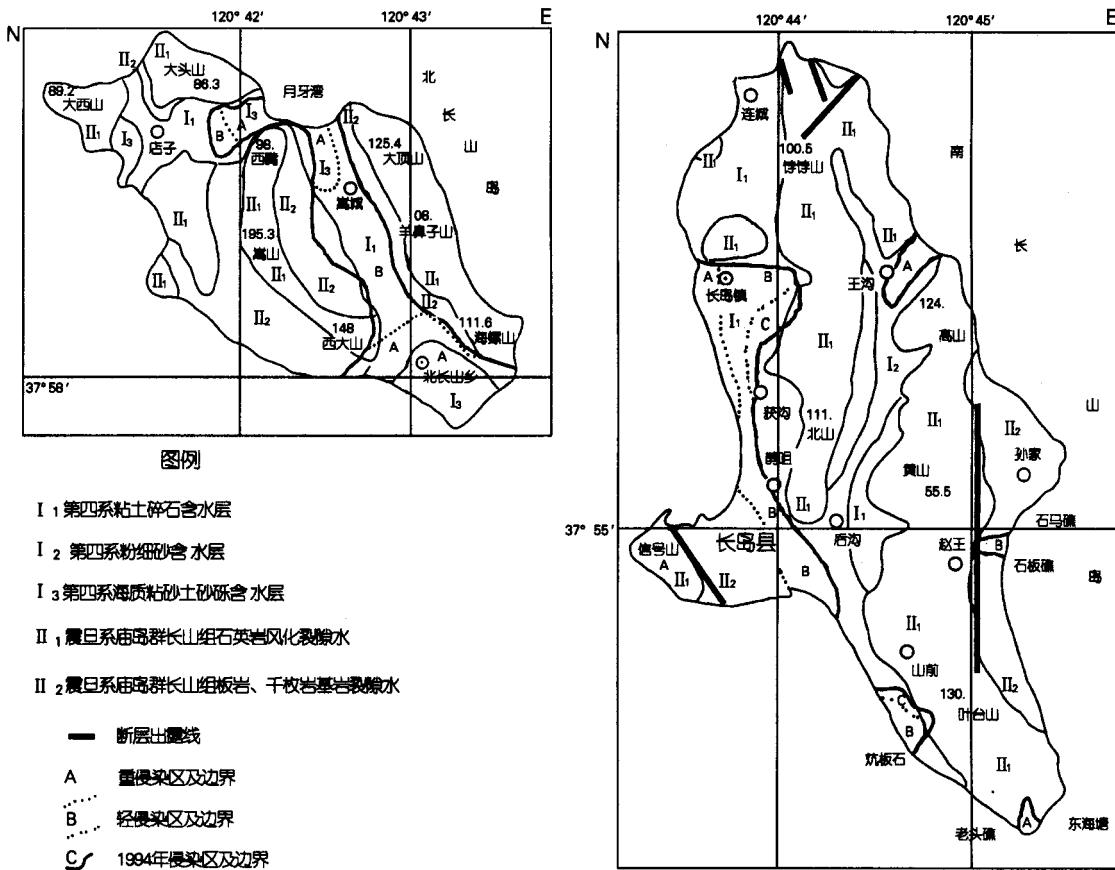


图 1 南、北长山岛海水入侵分布

Fig.1 Distribution of intrusion-intructuring on seawater in South and North Changshan Island

在南长山岛西部,海水入侵范围展布于信号山、前口至长山镇一带,以及零星分布于王沟、赵王、南长山岛南端及山前等地,海水入侵严重的地区分布于长岛镇至获沟海岸、信号山至长岛县城,以及王沟一带;北长山岛的海水入侵范围展布于北长山乡至月牙湾一带,以及店子以东地区,其中重入侵区集中分布于北长山乡与月牙湾南岸和西岸。南长山岛的山前、前口至长岛镇,北长山岛的北长山乡至月牙湾、月牙湾至店子以东地区在1994年中海水入侵范围均有明显扩大的趋势, $[Cl^-]$ 随海水入侵方向呈现梯度变化,并直接表现为海水污染的严重程度由海岸向岛内方向逐步降低,显示了海水入侵的基本方向以及较短时间尺度上的动态变化特征。海水入侵主要特征是:(1)海水入侵范围在总体分布上呈现近S-N向(南长山岛)和NW向(北长山岛),与岛上的岭、谷地形走向以及主体构造线展布方向平行;(2)以下两类地段海水易入侵:一类是陆地侵蚀丘陵间的谷地构成的海岸带,像北长山岛南端及北部的月牙湾沿岸;另一类是直接由侵蚀丘陵一侧构成的海岸带,像南长山岛西侧海岸带;(3)海水入侵范围在所勾绘出的轮廓线上的形态存在带状、面状和舌状等不同形态,这些形态各异的特点既反映了海水入侵在程度上的一些差别,也存在控制地下水活动的不同水文地质因素,并表现为入侵区与沉积物或基岩的空间上的对应性上。在北长山岛,北长山乡、月牙湾沿岸的重入侵区与第四系海质粘砂土沉积范围一致,北长山乡整个海水入侵区的区域分布基本上没有超出第四系分布范围,在南长山岛的长岛镇至长岛县城、以及王沟一带的入侵范围也主要限于第四系碎屑沉积的分布范围内。在南长山岛的山前沿岸、岛的南端、赵王以及信号山四处,海水入侵活动发生在基岩风化带及基岩当中,表明控制海水入侵的水文地质因素有所不同;(4)海水入侵范围大的地区比较靠近城镇或居民点,机井数量大的地段往往也是入侵比较严重的地区,即入侵严重区与淡水需求量大的经济发展区、地下水集中开采区相对应。在嵩山东麓一带的入侵区西界具有跨越第四系松散沉积体与基岩分布边界而进入基岩区的特点,调查表明与该地较多的机井及大量抽采地下水有良好的空间对应关系。

### 3 海水入侵的主要形式

#### 3.1 海湾层状沉积体孔隙式层状入侵

海湾地带是层状沉积体重要分布地区,由于海水的波浪运动而形成了微向海倾斜的原始沉积地形。在较深的海湾处,受两侧岬角的影响,波浪对湾

岸的侵蚀力大为降低,在湾岸泥沙供给充足的情况下,形成了微向海倾斜的层状沉积体。由钻孔揭示的海湾第四系中,下部通常是一些砂砾石层直接覆盖在基岩之上,这些砂砾石层孔隙度大,既是海湾地区重要的含水层,又是海水入侵的主要层位,此种形式的水入侵以北长山岛月牙湾最具代表性,在南长山岛的长岛镇至鹊嘴之间海岸带入侵也主要是沿着海岸带层状沉积体发生的。这些砂砾石层与岛内谷地的第四系洪、坡积物基本上是连续的,当入侵活动自谷地两端向岛陆内地扩展时,容易形成沿谷地方向的入侵贯通带,但此种入侵一般只发生在地表浅层的第四系松散沉积体中,不直接形成深层入侵。

#### 3.2 岩岸裂隙式脉状入侵

在没有海岸沉积物的情况下,基岩海岸也会出现海水入侵现象。在此情况下的海水入侵往往沿着一些构造裂隙向内地扩展,呈现出与构造裂隙平行而狭长的脉状,海水入侵方向与构造裂隙的方向相吻合,在地表上既可以平行于地形走向,如南长山岛的南端,也可以垂直于地形走向,如赵王、山前两地。岩岸裂隙式脉状入侵具有不受地形影响、入侵范围小、形状狭长、影响深度大等特点。其在平面上的延伸方向有助于识别基岩断裂的存在及其方向,这一点很重要,因为南、北长山岛基岩的表层覆盖着大量残坡积物,在地表识别基岩断裂是比较困难的,但通过基岩分布地区的脉状海水入侵的分析可以看出,南长山岛南端的入侵是沿着近南北向基岩断裂进行的,这一断裂与赵王东侧南北向断裂平行,而山前及赵王两地的入侵,尤其是赵王则反映了近东西方向断裂的存在,但地表并没有明显的构造显示。

#### 3.3 层状基岩层隙式面状入侵

本地区基岩是一些层状变质岩,这些变质岩的变质层理产状十分平缓,加之岩石当中存在许多陡倾的岩石破裂,从而形成三维空间上的网状裂隙,容易造成地下水沿横向迁移,一旦具备了地下水横向迁移的条件,就会形成海水入侵。长岛县城至信号山一带的基岩分布区的海水入侵属于此种形式。

### 4 造成海水入侵的主要影响因素

根据近些年来国内外对海水入侵的调查与研究,浅层第四系沉积层中的入侵取决于咸、淡水之间的平衡状态。一般来讲,阻止海水入侵必须形成一定的淡水水头压力,为此在原有平衡基础上需要有源源不断的淡水供应。咸、淡水之间平衡的破坏主要表现为地下水淡水资源量的明显减少,即地下水开采量明显大于地下水在相同时间段内的储积增量,造成咸、淡水相

互作用带上的地下淡水水位下降、水头压力不足,从而导致海水入侵。对基岩海岸海水入侵来讲,也应具备类似上述的地下水动力学特征。在不考虑海平面变化和潮汐作用影响下,海水入侵应主要受大气降水和人为地下水开发引起的地下淡水储集减少的影响。

#### 4.1 大气降水

根据长岛县长年的地下水水位观测结果,地下水的补给主要来自大气降水。笔者选取了近 20 a 来年

降雨量进行了初步分析(见表 1,前 10 a 为连续年份,后 10 a 为代表性年份),年降雨量平均值为 500.4 mm/a。前 10 a 平均降雨量为 545.7 mm/a,总离差为 62 373.8;后 10 a 中年均降雨量为 455.2 mm/a,总离差为 218 189.24。可见,后 10 a 中年平均降雨量比前 10 a 的年平均明显减少,总离差则反映出后 10 a 比前 10 a 有更大的降雨量波动。

#### 4.2 地下水过量超采

抽取地下水与海水入侵有直接的关系。据长岛县

表 1 长岛县历年降雨量

Tab.1 Rainfall quantity each year in Chang dao County

年份	1977	1976	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
降雨量(mm)	540.9	716.2	590.2	527.3	534.9	321.4	494	485	539	708
年份	1987	1986	1988	1989	1990	1991	1993	1995	1997	1999
降雨量(mm)	478	294	424	375	751	388	520	663	411	248

注:据长岛县气象局。

水利局,长岛镇的南城村东南,在震旦系板岩层中发育一向斜谷地,在向斜轴部及两翼打了 5 眼深井,前 4 眼井水质水量很好,连续多年不变,1986 年在北翼打了第 5 眼井,井位距海岸约 700 m,座落在一条小断裂带上,井深 120 m,成井后每小时出水量 10 m<sup>3</sup>,抽水月余,水质变成报废,实测氯离子含量为 713 mg/L。伴随着本地区的经济发展,淡水使用量呈现逐年递增的趋势,地下水过量超采使原本天然地下水减少的状况更

表 2 典型单井出水量与开采强度对比

Tab.2 Contrast water quantity with exploitation intensity of uniparous well for model

井名	应净出水量(m <sup>3</sup> /h)	实际开采流量(m <sup>3</sup> /h)
王沟大井	30~50	195
店子西井	5~20	80

加严重。地下水开发程度直接反映在机井数量和单井抽采量上,仅 1970 年到 1981 年的 11 a 间,机井数量就从 12 眼增加到 54 眼,进入 20 世纪 90 年代后,新钻机井虽得到了有效控制,而单井抽水量则大大超出了其自身的出水能力,形成地下水资源的连年亏损,最终导致海水入侵。北长山岛店子西井和南长山岛王沟大井的开发与海岸带海水入侵状况进一步证实了地下水抽采与海水入侵有必然的联系和因果关系,社会经济活动中对地下水资源的过量开采是导致海水入侵的主要人为因素。

## 5 防止海水入侵的对策

从理论上说,海岛地下淡水资源开发有一个下

限,在此特征点上,获得利益最大化,同时又不因开采地下水引起地下水咸化,其中在浅层沉积中存在与地下水开发模式相对应的两种咸、淡水界面类型,基岩地下水咸、淡水之间的平衡除受地下水开发模式的影响外,还受到基岩岩性、基岩裂隙的性质及其空间组合、裂隙空间展布与裂隙的透水性等方面的影响。实际上,这一地下淡水开发下限水平是极其脆弱的,由年降雨量离差所反映出的降水量的年际变化及降水特征(如月降雨量分配情况、降雨大小等)是很难预测和无法控制的。防止海水入侵涉及到如何减少天然降水损失和增加地下淡水量,阻断咸、淡水之间的交流,减少地下水开采量为主要方面的一系列问题。采取以下 3 个方面的主要对策。

### 5.1 综合治理,涵养水源,增加地下水的补给量

地下水资源的形成是由不断的大气降水补给的,为使地下淡水形成抵制海水的水头,首先要有一个充足的补给。为此应根据岛上的丘陵地形特点,采取一些必要的坡地治理,如挖水平沟、鱼鳞坑、植树造林等措施,建造拦蓄调节回补工程,以减少地表水的径流,使大气降水最大限度地补充到地下。

### 5.2 建立地下水拦截工程

地下水分布区段一般都有很好的含水层或含水构造,在含水层区段的下游兴建地下水截水墙,可以起到内蓄外截的作用。基岩裂隙对地下水的储存和运移是通过地下裂隙网络来实现的,它们具有不连续的地质构造特征和方向上的规律性,不同于松散沉积物的层状特点,一旦弄清了基岩构造的详细信息,采取地

下水拦截工程反而变得简单经济,尤其是本地区变质岩石中发育对地下水文地质有明显作用的糜棱岩带,构成了地下水迁移的天然屏障,同样具有内蓄外拦的作用,可以直接利用。尤其是当糜棱岩带与海岸线平行时阻挡海水入侵的作用将更加明显,莱州市三山岛金矿开发中已经证实了这一点。因此在地下水开发中一旦钻孔设计在糜棱岩构造带附近时,不应凿穿糜棱岩带,以保护地下水文活动的天然屏障。

### 5.3 加强地下水开发管理

地下水的渗透速度较当前人们对地下水的开发速度要慢得多,地下水资源尽管属于再生性自然资源,但在一定时期内是有限的,为此必须对地下水开发进行管理。据研究,海水入侵与强抽采中心有直接关系,即强抽采中心一旦形成,则咸、淡水界面相对不动;强抽采中心向陆内迁移或强抽采中心向陆地一侧新增加抽水井时,都会引起明显的海水入侵<sup>[3]</sup>。上述结论为沉积层分布区的地下水开发管理提供了理论依据,为此必须建立地下水动态监测制度,新井设置、日抽水量的审批制度,通过审批与加大地下水资源开

发的资源补偿费征收,严格控制地下水强抽采中心和新井设置,使地下水的日开采量控制在一个合理的水平上,使地下水开发的区域分布与实际地下水资源的区域分布相一致。

根据北长山岛海水入侵的空间分布特征,应严格控制谷地走向上中段位置打井抽水,避免因谷地中段的地下水大量抽采引起海水自两端的海湾沟口处向中部入侵而连成带。在南长山岛的王沟至后沟一带沿谷地沟口处的海水入侵已十分明显,因此应严格控制后沟及其以北谷地的新井设置与开发量,避免出现北长山岛北长山乡至月牙湾的入侵局面。

### 参考文献

- 1 许 多,庄振业,牟信侃等。海水入侵灾害防治研究。济南:山东科学技术出版社,1996。53~61
- 2 姜爱霞,李道高。莱州湾南岸滨海平原咸水入侵区浅层地下水水化学特征,海洋学报,1997,19(4):142~147
- 3 薛禹群,吴吉春,谢春红等。莱州湾沿岸海水入侵与咸水入侵研究,科学通报,1997,42(22):2360~2368

## CHARACTER AND COUNTERMEASURE OF SEA WATER INTRUSION ON BEDROCK SUCH AS SOUTH AND NORTH CHANGSHAN ISLAND

DU Guoyun

(Geography and Traveling Department of Yantai Teachers University, 264025)

Received: Mar., 23, 2001

Key Words: Bedrock seaboard, South and north Chang Shan island, Sea water intrusion, Countermeasure

### Abstract

The observation from the waterboard of Chang Dao County shows that the quality of underground water trends toward deteriorating and the intruded range is enlarging since the 1970's to the 1994's in South and North Chang Shan Island. According to the character about sea water invasive location deduced from the condition of water geology of the island above, there are three kinds of sea water invasion: the layered invasion of the gap of the layered deposits in ocean bay; the veined invasion of the gap in shore; and the faced invasion of the gap of layered rock. It is considered that sea water invasion is due to the interaction of nature and mankind, the change of rain, the human activities about building, the development of society and economy and so on. Several methods combining the character of island county suggested that include decreasing ground directflow, building the project for holding sea water up, developing new water resources and saving water.

(本文编辑:李本川)