

莱州湾地区海水入侵通道的研究*

张铭汉 于洪军 单秋美

(中国科学院海洋研究所)

近十余年来,莱州湾地区海水侵染面积急剧扩展,已形成相当严重的灾情。根据调查监测,截止到 1990 年,本区海水侵染面积已达 435km^2 ,其中海水入侵面积为 304km^2 ,咸水入侵面积为 131km^2 。为了进一步研究海水入侵的机理、动态和发展趋势,中国科学院海洋研究所于 1993 年在莱州湾南部咸水入侵区进行了钻探和地下水的观测工作,其中对 A 孔(潍北农场)、B 孔(新河)、C 孔(龙池)和 E 孔(羊口盐场)进行了详细系统的粒度分析和古地磁测量工作。作者在以前工作的基础上,根据钻孔地层的划分及各个层位岩性和粒度分析的结果,进一步划分出了不同成因类型海水和咸水入侵通道,明确了入侵通道分布范围,分析研究了入侵通道的物质组成和粒度特征,为本区海水入侵的综合治理提供了科学依据。

一、莱州湾地区海水入侵通道电性特征和成因类型

海水入侵通道是指海水沿透水层进入陆地后矿化度明显增高的部位。海水入侵通道的发生、发展主要取决于陆地淡水水位高、低和入侵通道的物质组成、成因类型及构造特点。当陆地淡水水位下降,且入侵通道具有良好的透水性和导水性能时,咸、淡水界面向陆地方向推移,造成海水或咸水入侵。

判明地下水是否受到海水侵染一般用氯离子含量来表示,当地下水氯离子含量大于 300mg/L 时,表明已遭受海水入侵;若氯离子含量为 $250-300\text{mg/L}$ 时,表明受到咸水入侵。根据多年测试结果表明,本区地下淡水中氯离子含量为 $80-100\text{mg/L}$ 。从视电阻率数值变化与海水入侵地层矿化度对应关系可知,在海水入侵区,视电阻率值越低,其对应的氯离子含量就越高,一般视电阻率小于 $30\Omega\cdot\text{M}$,电性层的氯离子含量大体在 300mg/L 左右。根据莱州市滨海区域海水入侵通道电性特征分析研究结果^①,视电阻率以 $2-5\Omega\cdot\text{M}$ 低阻值有规律地分布于海水入侵地层中,其规律为低阻值由近海地电断面向内陆地电断面逐渐增大,表明海水入侵地层中的矿化度由海向陆逐渐降低。在海水入侵地区,第四纪

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告 3347 号。国家“八五”攻关基金资助项目,85-806-02-01 号

收稿日期:1997 年 10 月 6 日。

① 山东省莱州市王河流域综合防治海水入侵预研究组,1991,莱州市滨海区域海水入侵研究。

砂层具有良好的透水性和导水性,因而最易遭受海水入侵,形成海水入侵通道,通道视电阻率很低,通常在 $2-15\Omega \cdot m$ 范围内。在地层电测深曲线中,海水入侵通道表现为低阻闭合圈和半闭合圈,在平面分布上表现为不同层次低阻等值线所包含的范围。根据测试结果,本区第四纪砂砾层透水系数一般为 $50-150m/d$,这为本区海水入侵和入侵通道的形成创造了极为有利的条件。

莱州湾地区海水入侵基本分为两种情况:(1)自莱州市沙河镇以东至龙口市附近岸段为沙质海洋,海水主要沿岸边侵入内陆造成海水入侵;(2)沙河镇以西岸段为粉砂淤泥质平原海岸,主要表现为原来的咸水界面向陆推移造成咸水入侵。本文主要研究沙河镇以西地区的海水和咸水入侵通道。

根据莱州市滨海地区海水入侵的研究结果,沙河镇以东的海水入侵区已确定的海水入侵通道主要分为以下几种类型:(1)面状入侵通道:海水沿第四纪砂层呈面状入侵,发育于滨海平原及山前冲洪积平原;(2)带状入侵通道:海水沿现代河口段附近砂层顺河入侵,形成带状入侵通道,另外在断裂带附近可形成带状入侵通道;(3)面状-垂直入侵通道:地下面状海水入侵通道与地面上的盐田、虾池等连通,形成一个整体入侵通道。

沙河镇以西为宽阔的滨海平原地区,海拔高度大都在 $10m$ 以下,地势低平,坡度一般小于 1° ,第四纪地层发育,最大厚度可达 $300-400m$ 。该地区海水入侵通道主要表现为多层面状入侵通道,在沿海地带的盐田、虾池地区,浅层部位分布面状-垂直入侵通道。由于渤海水深较浅,因此海水和咸水入侵均在 $100m$ 以浅地层范围内。根据本区地层划分方案,海水和咸水入侵基本发生在晚更新世以来的沉积地层中。

根据沙河镇以西地区海水和咸水入侵通道的物质组成和成因类型,入侵通道可划分为下列类型:(1)海相砂层入侵通道:包括最后间冰期、亚间冰期和冰后期海相砂层入侵通道。(2)冲洪积砂层入侵通道:包括最后间冰期和亚间冰期冲洪积砂层入侵通道。

二、莱州湾南岸滨海平原海水和咸水入侵 通道粒度组成及分布特征

(一)海相砂层入侵通道

晚更新世以来本地区主要发育三层海相沉积地层,它们分别为最后间冰期、亚间冰期和冰后期海侵所形成。海相砂层主要由砾石、砂和粉砂组成,含有贝壳碎屑及海相生物化石,它们在形成过程中赋存一部分海水,部分砂层富含高浓度地下卤水,如羊口盐场地区。根据海相砂层形成时代,可分为下列入侵通道。

1. 冰后期海相砂层入侵通道

冰后期海相砂层由灰色、灰黄色中细砂和粉砂组成,含贝壳碎屑及海相生物化石,一般厚度 $2-5m$,其分布规律一般由海向陆逐渐变薄。据有关地层年代资料记载,本区冰后期海相砂层形成于距今 $8\ 000-10\ 000$ 年,其分布范围大致相当于冰后期海侵影响的范围,海侵最大范围的古海岸线自西向东大致分布于乔庄、南河、侯镇、李家埠至新河一线(韩友松等,1994)(图 1)。

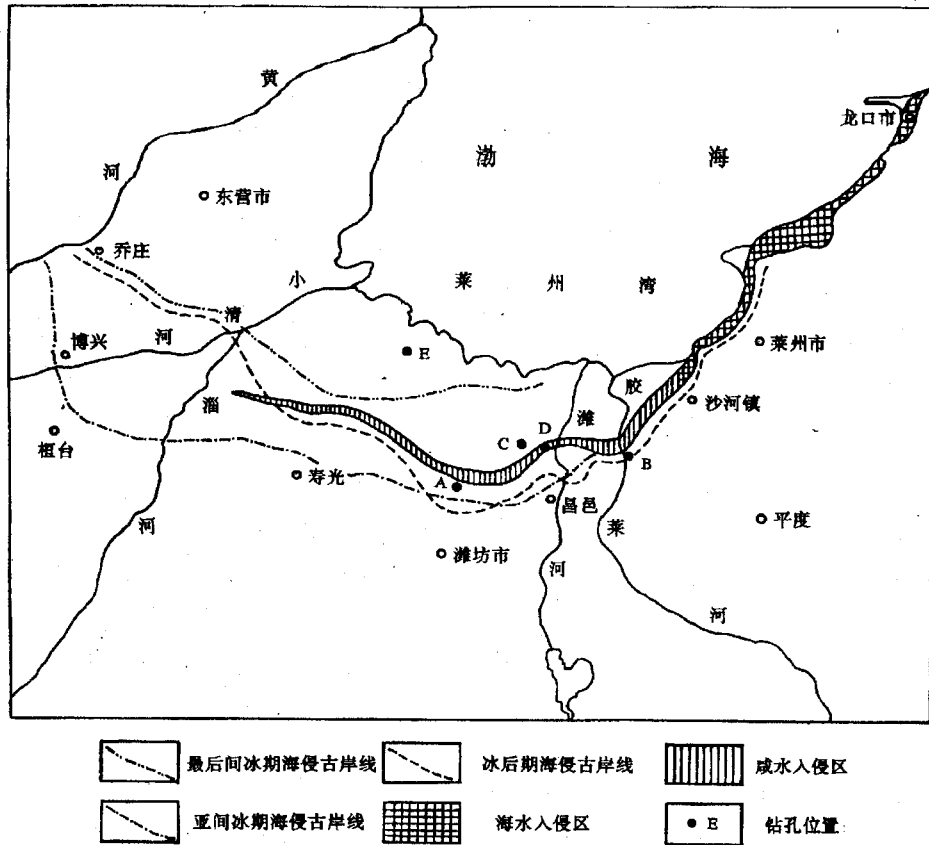


图1 莱州湾南岸古海岸线及海水入侵区分布图

部分钻孔冰后期海相砂层的粒度分析结果表明(表1),此海相砂层以细砂和粉砂沉积为主,具有较好的透水性和导水性。冰后期海相砂层一般分布于10m以浅地层中,由于砂层埋藏较浅,故易受地表降水的影响,因此在远离岸边的部分钻孔电测井结果中显示出较低的矿化度。在近岸地带的盐田、虾池分布区,由于咸水的渗漏而使冰后期海相砂层矿化度增高,形成咸水垂直入侵通道。另外在岸边地带,海水可以直接入侵海相砂层,形成面状入侵通道。因此,冰后期海相砂层在近岸地区常形成面状-垂直入侵通道。

2. 亚间冰期海相砂层入侵通道

该海相砂层由黄色、灰黄色含砾中粗砂、粉细砂组成,含有较多的贝壳碎屑,一般由2—3层砂层组成,总的分布趋势是由海向陆逐渐变薄。其粒度分析结果表明(表1),该海相砂层具有良好的透水性和导水性。有关电测井结果显示该段地层为咸水分布段。据有关地层年代资料记载,亚间冰期海相砂层形成于距今2.5万—3.9万年间,其分布范围大致相当于玉木亚间冰期海侵范围,海侵所形成的古海岸线西起乔庄,向南经博兴与桓台之间,再向东延伸至昌邑北侧,经新河到虎头崖附近(图1)。该海相砂层分布广泛,是本区海水和咸水入侵的主要通道。

3. 最后间冰期海相砂层入侵通道

该海相砂层仅出现在羊口盐场附近的E孔中,由灰黄、灰褐色砂和粉砂组成,含有大量贝壳碎屑,由最后间冰期(里斯—玉木间冰期)海侵形成。入侵通道由三层海相砂层组

成,砂层总厚度约 9m。据有关资料记载,该海相砂层形成于距今 7 万—11 万年间,其分布范围相对较小,最大海侵古海岸线位置大致分布于乔庄至羊口盐场南部,向东止于潍河以西地区(图 1)。

表 1 海相砂层入侵通道粒度成分及粒度参数

地层时代	孔号	埋藏深度(m)	地层厚度(m)	岩性	粒度成分(%)			粒度参数(Φ)				
					砂	粉砂	粘土	Md	Mz	σi	SKi	KG
冰后期	E	3.1—8.1	5.0	灰黄、灰黑色细砂,含少量贝屑	75.2	18.1	6.7	3.66	3.93	1.15	0.54	2.56
	A	5.0—10.0	5.0	灰黄色砂质粉砂,含贝屑及少量钙核	32.1	58.9	9.0	4.31	4.59	1.39	0.37	2.24
	C	5.7—7.7	2.0	灰黄色粉砂质细砂,含贝屑	49.3	44.7	6.0	4.02	3.97	1.57	0.25	1.95
	B	4.7—7.7	3.0	灰褐色砂质粉砂,含贝屑	35.8	52.6	11.6	4.34	4.84	1.87	0.42	1.72
亚间冰期	E	19.3—21.9	2.6	黄色粉砂质砂,含少量贝屑	75.0	21.7	3.3	3.09	3.19	1.13	0.29	1.83
		21.9—22.9	1.0	灰黄色中粗砂,含砾石及大量贝壳碎片	95.3	4.7	0	0.90	1.08	1.60	0.21	1.11
		28.5—31.1	2.6	灰黄色细砂,含大量贝屑	77.2	13.8	9.0	3.58	3.96	1.36	0.63	3.70
	A	17.0—19.0	2.0	黄色砂质粉砂,含较多贝屑	34.2	54.0	11.8	4.32	4.84	1.91	0.49	2.85
		19.7—22.4	2.7	黄色粉砂质砂,含贝屑	50.4	45.6	4.0	3.98	4.06	0.83	0.36	1.80
最后间冰期	E	39.0—45.2	6.2	浅黄色粉砂质砂,含较多贝屑	58.5	37.0	4.5	3.97	4.13	0.73	0.32	1.90
		46.6—48.3	1.7	灰黄色粉砂质砂,含大量贝壳碎片	67.4	22.9	9.7	3.72	4.12	1.47	0.57	2.69
		49.5—50.6	1.1	灰褐色粉砂质砂,含大量贝壳碎片	67.9	22.2	9.9	3.65	4.07	1.47	0.67	2.78

注: Md 为中值粒径; Mz 为平均粒径; σi 为分选系数; SKi 为偏度; KG 为峰态(下同)。

海相砂层的物质组成和粒度分析结果表明(表 1),该海相砂层具有良好的透水性和导水性,是本区海水和咸水的主要入侵通道。

(二) 冲洪积砂层入侵通道

根据冲洪积砂层入侵通道的形成时代,可划分为亚间冰期和最后间冰期冲洪积砂层入侵通道。

1. 亚间冰期冲洪积砂层入侵通道

该砂层由黄色、灰黄色中粗砂、中细砂和粉砂组成(表 2),含有少量粘土,一般由 2—3 层砂层组成,砂层厚度 3—7m。E, A 二孔亚间冰期以海相地层为主,陆相冲洪积砂层较薄。冲洪积砂层粒度组成及粒度特征表明其透水性和导水性较好。部分砂层粘土含量有所增高,且分选差,因为使其透水性能受到一定影响,部分含砾中粗砂层粘土含量很低,具有良好的透水性。

2. 最后间冰期冲洪积砂层入侵通道

该入侵通道仅出现在 E, A 两个较深的钻孔中,层次单一且较薄,由黄色砂和粉砂组成(表 2)。该砂层的粒度特征、透水性及导水性与亚间冰期冲洪积砂层大致相同。本区部

分钻孔资料表明,最后间冰期地层中仍发育 2—3 层冲洪积砂层,因此,在未遭受亚间冰期和最后间冰期海侵影响的地区,冲洪积砂层是咸水入侵的主要通道。

表 2 冲洪积砂层入侵通道粒度成分及粒度参数

地层时代	孔号	埋藏深度(m)	地层厚度(m)	岩性	粒度成分(%)			粒度参数(Φ)				
					砂	粉砂	粘土	Md	Mz	σ_i	SK_i	KG
亚间冰期	E	34.0—35.2	1.2	黄色粉砂质砂	55.0	32.6	12.4	4.06	4.73	1.77	0.59	2.05
	A	24.1—25.7	1.6	灰黄色砂质粉砂	38.5	47.2	14.3	4.32	5.11	1.84	0.69	1.76
	C	20.5—22.7	2.2	黄色含砾中粗砂	86.6	8.4	5.0	0.02	0.76	2.77	0.38	4.91
		24.8—25.7	0.9	灰黄色中粗砂	77.6	17.9	4.5	1.14	2.98	3.86	0.61	1.14
	B	17.5—19.5	2.0	黄色中细砂	74.9	13.4	11.7	2.32	3.26	2.50	0.64	2.15
		21.7—23.5	1.8	黄色粘土粉砂质砂	53.9	24.6	21.5	3.50	4.23	3.56	0.27	0.96
		23.5—26.4	2.9	黄色含砾中粗砂	85.3	9.7	5.0	0.39	0.53	3.37	0.16	1.61
最后间冰期	E	51.8—53.6	1.7	黄色粉砂质砂	65.5	23.7	10.8	3.89	4.43	1.56	0.67	3.59
	A	29.1—29.6	0.5	浅黄色粉砂质砂	32.3	49.8	17.9	4.53	5.0	2.38	0.38	1.0

三、晚更新世末期莱州湾南岸滨海平原沉积环境及沉积物粒度特征

晚更新世末期为玉木冰期最盛时期,气候寒冷而干燥,黄、东海海面下降至—130—160m,黄、东海陆架和渤海陆架裸露成陆,当时渤海陆架普遍发生沙漠化(赵松龄,1991,1995),并形成一系列风沙地貌和风沙沉积。浅地层剖面显示,渤海陆架发育大量埋藏沙丘及由沙组成的沙漠化沉积,这些砂质沉积物在北风和西北风的作用下,细粒物质被带到渤海陆架外围地区,形成辽东半岛西岸及山东半岛北岸的黄土沉积,与此同时,在莱州湾南岸平原地区也形成风成黄土沉积。本区西起寿光,东至莱州境内,在山前地区普遍发育黄土台地,在滨海平原地区,黄土沉积被埋藏于全新世地层之下,根据黄土中钙质结核的年代资料分析,这些黄土沉积形成于距今 1.2 万—2.5 万年间。

从表 3 可以看出,部分钻孔晚更新世末期黄土沉积的物质组成以粉砂和细砂为主,不同层次黄土沉积物内普遍含有钙质结核,表明了它们具有风成黄土的物质组成和粒度特征。由于这些黄土沉积分布于渤海陆架沙漠化地区外围,而且受到北风和西北风的作用,因此,其粒度组成表现出由北向南粒径逐渐变小的趋势(李培英等,1991),而本区的埋藏黄土处于渤海陆架沙漠化地区与莱州湾南岸山前黄土台地之间的过渡地带,因而含砂量相对较高。

晚更新世末期是玉木冰期最盛时期,渤海陆架广泛发育沙漠化沉积,其南部的沙漠边缘延伸到莱州湾南岸地区,在冰后期海侵过程中,这些沙漠沉积物受到海水作用,部分沙漠沉积物形成了冰后期海相砂层,并塑造了现今的海水入侵通道。

四、结 论

(1)本区莱州市沙河镇以东至龙口市附近岸段主要为砂质海岸,海水沿岸边侵入内陆造成海水入侵。海水入侵通道主要分为面状入侵通道、带状入侵通道和面状-垂直入侵通道。沙河镇以西岸段为粉砂淤泥质平原海岸,海水入侵过渡带造成咸水入侵,入侵通道主要表现为面状多层入侵通道和面状-垂直入侵通道。根据入侵通道的物质组成和成因类型,又划分为海相砂层入侵通道和冲洪积砂层入侵通道。

表 3 晚更新世末期黄土沉积粒度成分及粒度参数

孔号	埋藏深度 (m)	地层厚度 (m)	岩 性	粒度成分(%)			粒度参数(Φ)				
				砂	粉砂	粘土	Md	Mz	σ_i	SKi	KG
E	10.9—13.5	2.6	灰黄色粉砂	15.2	67.2	17.6	4.83	5.61	1.99	0.62	1.23
	13.5—14.5	1.0	土黄色粘土质粉砂	4.6	72.4	23.0	5.55	6.24	1.97	0.52	1.02
	14.5—16.0	1.5	灰黄色砂质粉砂,含钙质结核	38.0	42.1	19.9	4.48	5.44	2.30	0.60	1.07
	16.0—17.5	1.5	土黄色粉砂质砂,含钙质结核	45.0	39.9	15.1	4.18	4.87	1.92	0.60	1.68
	17.5—19.3	1.8	灰黄色粉砂质砂,含钙质结核	46.4	44.0	9.6	4.13	4.54	1.54	0.60	1.88
A	12.7—14.3	1.6	黄色砂质粉砂,含少量钙质结核	44.0	47.2	8.8	4.20	4.51	1.32	0.59	2.47
	14.3—15.9	1.6	黄褐色砂质粉砂,含钙质结核	23.7	58.6	17.7	4.47	5.56	2.02	0.60	1.48
	15.9—16.7	0.8	黄褐色砂粘土质粉砂	25.4	41.3	33.3	4.92	5.98	2.55	0.54	0.70
C	10.9—13.8	2.9	黄色砂质粉砂	23.0	68.6	8.4	4.42	4.44	1.07	0.38	2.82
	13.8—19.7	5.9	黄褐色砂质粉砂,底层含大量钙质结核	23.0	60.7	16.3	4.60	4.97	2.31	0.39	2.05
	19.7—20.6	0.9	灰黄色粘土粉砂质砂	38.7	31.2	30.1	4.75	4.77	4.14	-0.05	0.88
B	10.5—12.1	1.6	棕黄色粘土砂质粉砂,含钙质结核	34.3	37.4	28.3	4.75	5.16	3.36	0.16	0.79
	12.1—13.1	1.0	灰黄色粉砂粘土质砂,含大量钙质结核	37.3	28.2	34.5	6.06	5.46	3.65	-0.18	1.07
	13.1—15.1	2.0	灰黄、棕黄色粉砂质粘土含钙质结核	8.9	41.4	49.7	7.51	7.48	2.47	-0.09	1.05
	15.1—17.5	2.4	棕黄青灰色粘土砂质粉砂,含钙质结核	35.0	39.4	25.6	4.56	5.24	2.97	0.35	0.75

(2)根据本区海相砂层的形成时代,将其划分为最后间冰期、亚间冰期和冰后期海相砂层入侵通道。其物质组成和粒度特征表明,最后间冰期和亚间冰期海相砂层具有良好的透水性和导水性,一般由2—3层砂层组成,砂层厚度5—9m,是本区主要的海水和咸水入侵通道。冰后期海相砂层具有较好的透水性和导水性,主要表现为海水和咸水的面状-垂直入侵通道。本地区最后间冰期、亚间冰期和冰后期海相砂层入侵通道的分布范围,大致相当于其同时代的海侵范围。

(3)根据本区冲洪积砂层形成时代,将其划分为最后间冰期和亚间冰期冲洪积砂层入侵通道,其物质组成和粒度特征表明它们具有较好的透水性和导水性。冲洪积砂层一般厚3—7m。在未遭受最后间冰期和亚间冰期海侵影响地区,冲洪积砂层是咸水入侵的主要通

道。

(4)A,E 钻孔亚间冰期海相砂层粒度分析结果表明,砂的含量一般在 50%以上,最高可达 95.3%,粘土含量一般低于 10%。本区其它有关钻孔亚间冰期海相砂层的粒度分析结果也普遍显示出亚间冰期海相砂层含砂量较高,粘土含量很低,这说明了当时黄河可能没有从这里流入渤海,因为黄河含沙量很高,难以在河口附近形成纯净的海相砂层。因此,在晚更新世末冰期最盛时期,气候寒冷干燥,当时黄河在本区可能是不存在的。

(5)晚更新世末低海面时期,气候寒冷干燥,渤海陆架普遍发生沙漠化,在其南部地区广泛发育风成黄土沉积,当时渤海陆架沙漠边缘曾延伸至莱州湾南岸地区,在冰后期海侵过程中,这些沙漠积物又受到海水作用,部分沙漠沉积物形成了冰后期海相砂层,塑造了本区海水和咸水的面状入侵通道及面状-垂直入侵通道。因此,晚更新世末期渤海陆架的沙漠化,对于莱州湾南部的海水入侵和大范围咸水带及地下卤水的形成都起了极其重要的作用。

参 考 文 献

- 李培英等,1991,中国东部海岸带黄土成因及冰期渤海沙漠化之探讨,中国海陆第四纪对比研究,科学出版社,50—59。
赵松龄,1991,晚更新世末期中国陆架沙漠化及其衍生沉积的研究,海洋与湖沼,22(3):285—293。
赵松龄,1995,陆架沙漠化,海洋出版社,159—175。
韩友松等,1994,渤海莱州湾滨海平原晚第四纪地质事件与古环境,海洋科学集刊,35:87—94。

STUDY ON SEAWATER INTRUSION CHANNELS IN LAIZHOU BAY REGION*

Zhang Minghan, Yu Hongjun, Shan Qiumei

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences)

ABSTRACT

Study of sediment grain size composition and distribution parameters of cores from the Laizhou Bay region, revealed the distribution range of the seawater intrusion channels and showed that they are divided into different types; and that the main seawater intrusion channels in the region are the marine and alluvial-pluvial sand layer in the Post-glacial, Interstadial and last Interglacial. The desertization on the Bohai Sea shelf in the last stage of late Pleistocene had effect on the seawater intrusion and the formation of the salt water transitional region and subterranean bittern.

* Contribution No. 3347 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.