

环渤海地区地下水资源与环境地质问题

孙晓明^{1,6} 王卫东² 徐建国³ 邢忠信⁴ 王兰化⁵

康 慧¹ 田德培⁵ 李建芬¹ 肖国强¹ 马 震¹

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 辽宁水文地质工程地质勘察院, 大连 116037; 3. 山东省地质调查院, 济南 250013; 4. 河北地勘局第四水文地质工程地质大队, 沧州 061000; 5. 天津市地质调查研究院, 天津 300191; 6. 中国地质大学水资源与环境学院, 北京 100083)

摘 要: 环渤海地区是我国水资源短缺最严重的地区之一, 人均占有水资源量 660m^3 , 为全国平均数的 23.6%。同时, 该区又是我国地质环境最脆弱的地区之一, 地震频发, 地壳稳定性相对较差; 山区崩塌、滑坡、泥石流灾害严重; 矿山开采引起了地面塌陷、地裂缝等地质灾害; 地下水污染已由以城市为主的点状向面状发展; 水资源、土地开发等人类工程活动, 造成沿海湿地的不断退化; 海平面上升、海岸侵蚀与淤积、风暴潮对港口建设等海岸带开发工程以及临海城市造成巨大威胁。特别是地下水开发诱发的地面沉降、海(咸)水入侵, 是我国地下水环境问题最严重的地区。合理开发利用地下水资源, 有效保护地质环境, 是实现环渤海地区社会、经济可持续发展的重要组成。

关键词: 环渤海; 地下水; 环境地质问题; 对策

1 研究区概况

本文所指“环渤海地区”是中国地质调查局组织开展的新一轮国土资源大调查项目——“环渤海地区环境地质调查(2001—2003 年)”所涉及的工作区范围, 包括辽宁省、河北省、山东省和天津市, 面积 16.12万km^2 。

环渤海地区在地貌上自北向南主要分布有辽东半岛中低山丘陵、下辽河平原、辽西山地、华北平原、鲁中南山前平原和胶东半岛低山丘陵等。海岸地貌有基岩海岸、砂质海岸、淤泥质海岸及三角洲海岸, 海岸线总长 5710km 。

环渤海地区属暖温带半湿润半干旱大陆性季风型气候。年降水量为 $550—1100\text{mm}$, 其中山地一般 $600—1100\text{mm}$, 平原区一般 $500—700\text{mm}$; 蒸发量 $1300—1900\text{mm}$ 。

区内分布有辽东半岛诸河、鸭绿江、浑河-太子河、辽河、饶阳河、辽西沿海诸河、滦河、海河、黄河、胶东半岛诸河等十大流域, 地表水多年平均径流量 407.32亿m^3 。其中 2002 年地表水径流量 197.67亿m^3 。区内水资源总量为全国水资源总量的 1.72%, 人均占有水资源量约 660m^3 , 为全国平均数的 23.6%, 是我国最缺水的地区之一。

本区为“京津—环渤海城市群”的主要组成部分, 人口 9329.70 万, 占全国人口的 7.29%; 国内生产总值 13310.02 亿元, 占全国 13%。港口吞吐量占全国沿海主要港口的 35.2%。现已形成以港口城市和中心城市组成双型的三大城市产业带, 即北京—天津城市产业带、沈阳—大连城市产业带和济南—青岛城市产业带。

2 水文地质条件与地下水资源

2.1 地下水系统划分

依据地下水赋存条件、含水介质特征、水动力场和水化学场特征，将环渤海地区划分为 13 个地下水系统（图 1）。

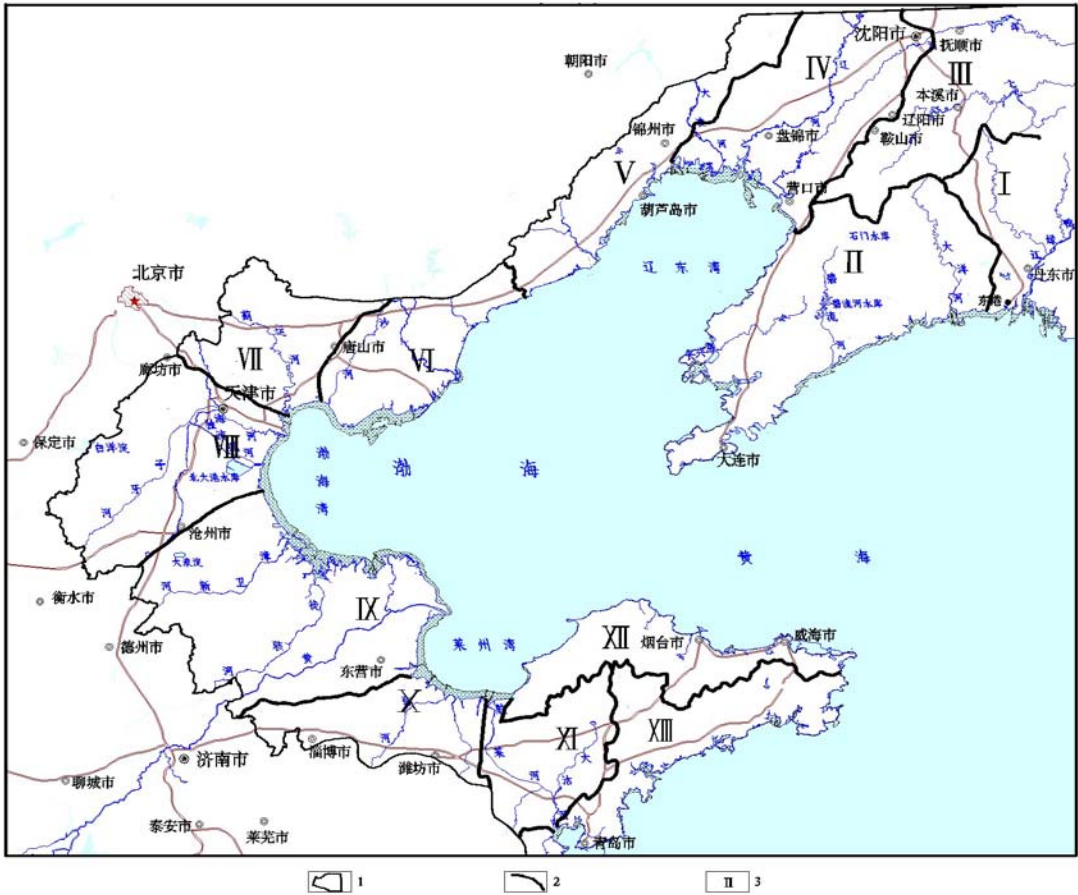


图 1 环渤海地区地下水系统分区图

1. 工作区范围 2. 地下水系统分区界线 3. 地下水系统分区编号

(I) 鸭绿江流域地下水系统；(II) 辽东半岛诸河流域地下水系统；(III) 辽东山地地下水系统；(IV) 下辽河平原地下水系统；(V) 辽西山丘诸河地下水系统；(VI) 滦河地下水系统；(VII) 潮白河—蓟运河地下水系统；(VIII) 大清河—子牙河地下水系统；(IX) 黄河地下水系统；(X) 淄河—潍河地下水系统；(XI) 胶莱盆地地下水系统；(XII) 胶东山地丘陵北坡地下水系统；(XIII) 胶东山地丘陵南坡地下水系统。

2.2 地下水流场时空变化与降落漏斗

2.2.1 第四系浅层地下水

(1) 地下水流场时空变化

下辽河平原地下水现状流场与 20 世纪 80 年代末流场对比，总体上区域水位埋深变化不大，仅在沈阳等局部超采水源地周边的流场略有变化。

对比 20 世纪 70 年代中到 90 年代初河北—天津平原的浅层地下水流场，水位下降区的面积进一步扩大，流场也发生相应的变化。其中，河北平原 1975-1980 年水位平均下降速率

为 0.054m/a; 1980-1985 年下降速率增大到 0.536m/a; 1985-1990 年下降速率有所减缓, 为 0.162m/a; 1990-2000 年下降速率又增大到 0.546m/a。目前, 京津以南的沧州西部水位埋深已达 10-30m, 中部水位埋深 6-10m (表 1), 东部变化不大, 一般 2-4m, 沿海地带水位小于 2m。冀东平原山前水位埋深由 2-10m 下降到 5-30m, 中部和滨海平原水位埋深由 0-6m 下降到 2-8m。

表 1 河北—天津平原浅层地下水平均水位埋深变化统计表

地 市	水 位 埋 深 (m)					
	1975年	1980年	1985年	1990年	1995年	2000年
唐 山	8.12	8.73	8.24	9.85	12.58	14.7
秦皇岛	3.48	3.39	3.15	3.21	4.22	5.78
廊 坊	4.68	3.38	7.63	6.1	6.33	8.41
沧 州	3.02	3.04	3.30	3.38	4.13	5.73
天津市					15.06	15.18

表 2 浅层地下水现状降落漏斗要素一览表(2002 年 6 月)

漏斗名称	资料起始 时间 (年、月)	漏斗要素					1990~2002 年中心水位 下降速率 (m/a)
		中心位置	封闭面积 (km ²)	封闭等水位线 (m)	中心水位埋 深 (m)	中心水位 标高 (m)	
沈阳城区	1917~2001	于洪水源 11 号井	101.5		24.85	7.08	-0.95
辽阳首山	1919~2001	首山乡后蛤蜊 河子村	317		19.90	-0.61	0.05
唐山漏斗	1991.6~ 2000.6	北郊水厂	132.9	4	47.7	-27.84	-0.216
古冶东矿区 漏斗	1991.6~ 2000.6	前张亭、 彭塔坨	41.2	16	25	8.79	-0.346
肃宁漏斗	1990~2002	肃宁涡北	787	0	32.7		1.73
孟村漏斗	1991.6~ 2002	孟村西南部	690	0	20.89		
桓台—潍坊 漏斗	1990.6 ~ 2002.6	桓台县朱台 镇、广饶县大 王镇、寿光城 区	1797.1	0	23.0	-14.80	0.67
昌邑漏斗	1990.6 ~ 2002.6	昌邑县城	182.1	0	23.0	-14.67	0.85
蓼兰—前 楼浅层 漏斗	1990.6~ 2002.6	蓼兰镇、 中村镇	195.5	4	13.24	-2.67	0.60

山东桓台—潍坊、昌邑和蓬—黄—掖等地浅层地下水近十年来下降速率 0.6-0.85m/a。

自 20 世纪 60 年代以来, 区内华北平原浅层地下水位埋深<10 m 的面积由 80 年代末的 49473km²减少到 2002 年的 43520km², 减少 12%; 而水位埋深 10—30 m 的面积由 80 年代末的 1131km²增大到 2002 年的 7084km², 增大 5.25 倍。

(2) 地下水位降落漏斗及其变化

图 2、表 2 反映了目前区内已形成的主要浅层地下水位降落漏斗的分布及特征。据 2002 年 6 月地下水位统测资料，环渤海地区浅层地下水位降落漏斗面积 9771.8 km²，漏斗中心水位埋深一般 12.24~49.56m。

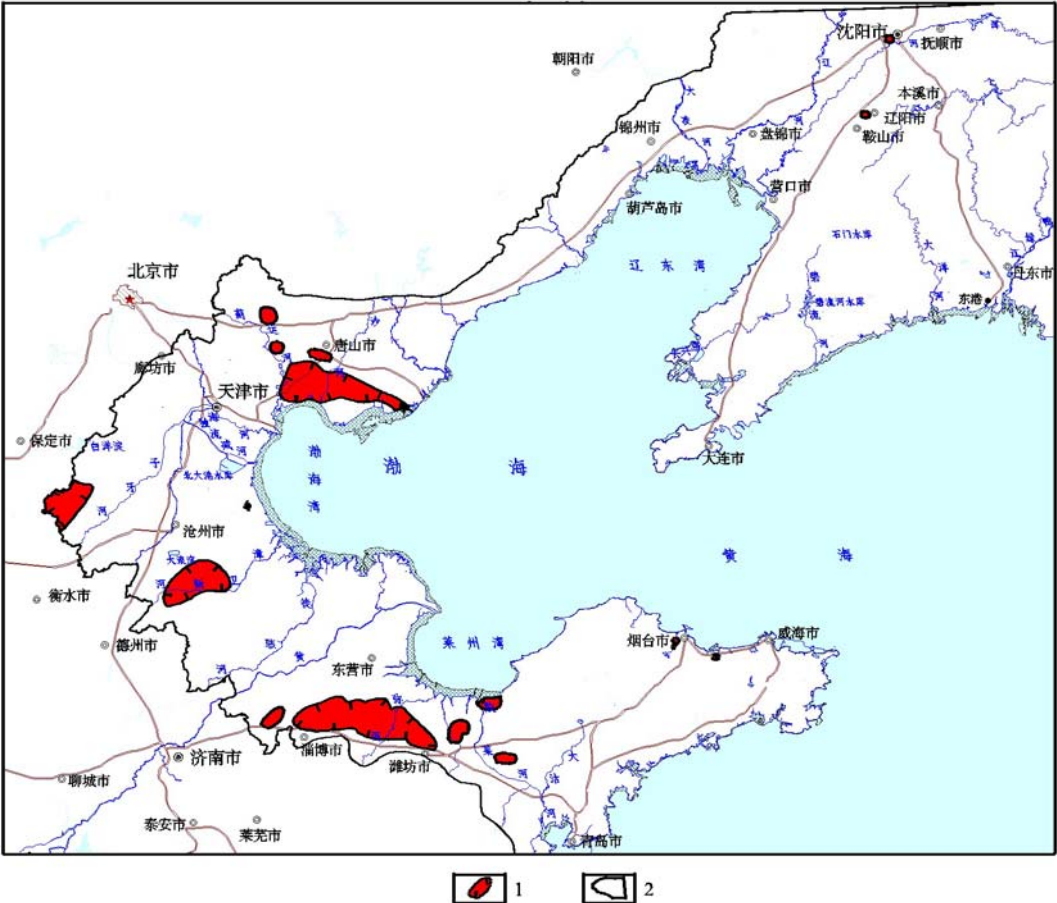


图 2 2002 年 6 月浅层地下水位降落漏斗分布图

1. 浅层地下水位降落漏斗分布区 2. 工作区范围

2.2.2 第四系深层地下水

(1) 地下水流场时空变化

据 2002 年 6 月所测的深层地下水等水压线与河北平原 20 世纪 70 年代中期、鲁北平原 1980 年的深层地下水等水压线相对比，深层地下水流场发生了较大变化。随着深层地下水的长期超采，表现为区域性地下水头持续下降，水头埋深不断加大（表 3）。在 1975-2000 年，河北辖区深层地下水头在京津以南中部平原一般下降 50~70m，下降速率 1.39~1.94m/a。同时，在区域性复合型降落漏斗中，还形成了若干个漏斗中心。区内最大的沧州漏斗中心水头埋深在 2002 年已达 111.4m。其中，1990-1995 年下降速率 1.49 m/a，1995-2000 下降速率 3.85 m/a，-40 米等水压线圈定的漏斗面积达 7119 km²。在冀东平原山前水头下降一般小于 25m，

表 3 河北平原深层地下水平均水位埋深变化统计表

地 市	水 位 埋 深 (m)					
	1975年	1980年	1985年	1990年	1995年	2000年
唐 山	4.17	3.6	12.22	14.25	22.79	25.65
秦皇岛			5.81	4.07	6.05	4.83
廊 坊	8.65	12.51	23.8	23	26.41	39.58
沧 州	6.34	23.03	26.74	35.06	39.48	52.22

下降速率小于 0.69m/a。中部平原水头一般下降 25~50m，下降速率 0.69~1.39m/a。汉沽农场附近水头下降幅度 50~70m，下降速率 1.39~1.94m/a。滨海平原水头下降一般小于 25m，下降速率 0.69m/a，但丰南、唐海滨海一带水头下降 25~50m，下降速率 0.69~1.39m/a。山东惠民、滨州—博兴带，最大水头下降速率 4.8m/a。

(2) 地下水头降落漏斗及其变化

深层地下水头降落漏斗主要有天津—沧州漏斗、滨州—博兴漏斗和惠民漏斗（图 3）。其中，天津—沧州漏斗是由天津、沧州、宁河—唐海、廊坊、青县、霸州等几个漏斗中心组

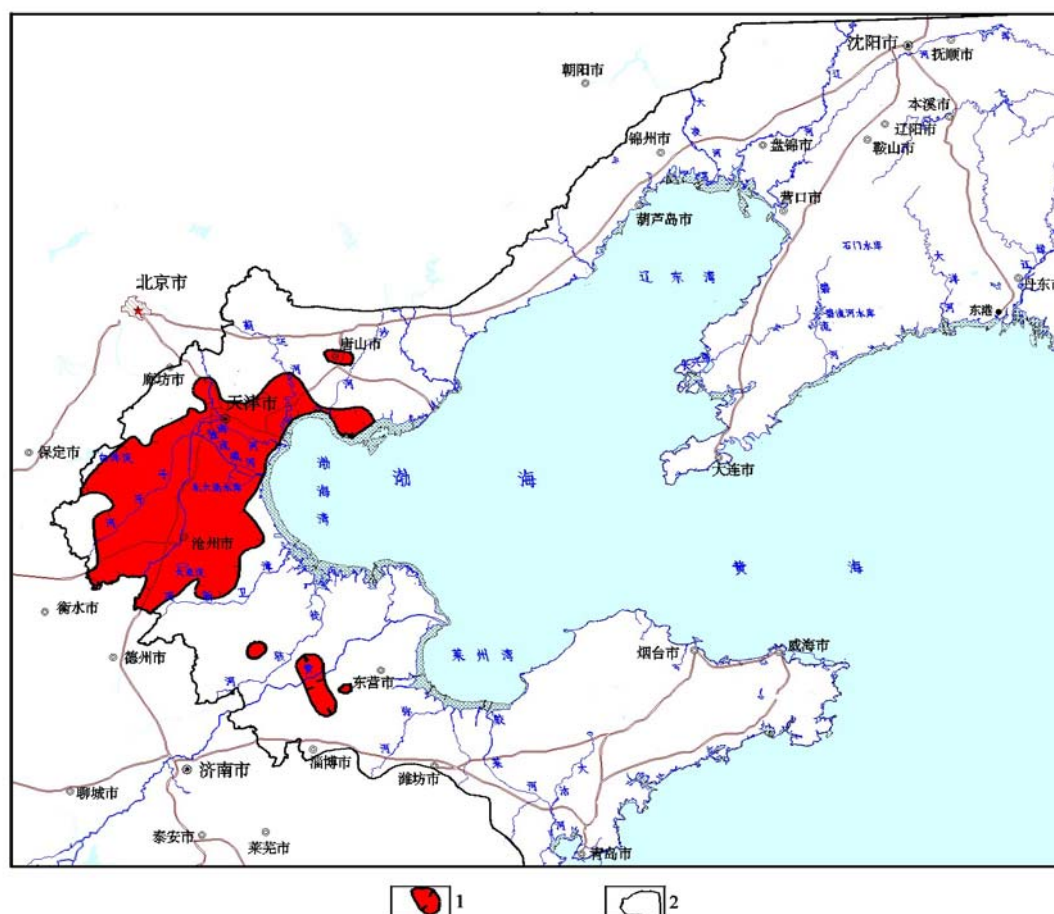


图 3 深层地下水头降落漏斗分布图

1. 深层地下水位降落漏斗分布区 2. 工作区范围

成的大型复合漏斗。据 2002 年 6 月地下水头统测资料，全区深层地下水位降落漏斗以 0m 等水压线圈闭的面积为 48873km²，以 -40 等水压线圈闭的面积 19597.0km²。漏斗中心水位埋

深 57.21~111.40m，中心水位-45.91~-104.9m（表 4）。其中，山东惠民和滨州——博兴降落漏斗面积 3491km²，较 1980 年扩大了两倍（图 4）。

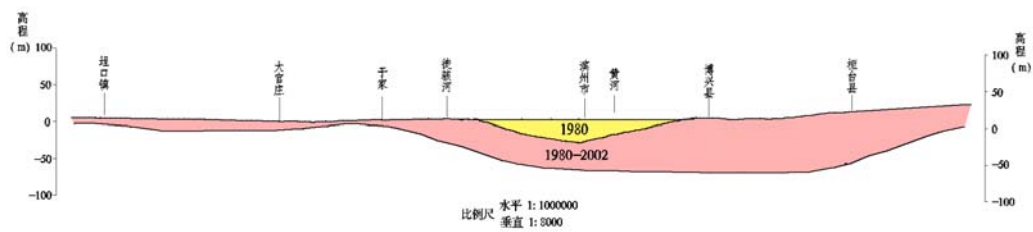


图 4 鲁北平原深层地下水漏斗变化剖面图

在 20 世纪 80 年代末，环渤海地区的华北平原部分深层地下水头埋深小于 20m 的面积为 30575km²，到 2002 年 12 月，水头埋深小于 20m 的面积减少到 15764km²，减少 48.5%；地下水头埋深 20—40 m 的面积在 80 年代末为 10477km²，到 2002 年 12 月，增加到 18984km²，增

表 4 津、冀、鲁平原深层地下水头现状降落漏斗要素一览表(2002 年 6 月)

漏斗名称	-40m 水头 圈定面积 (km ²)	中心位置	中心水头埋深 (m)	中心水头 (m)	1990~2002 年中 心水头降速 (m/a)
宁河唐海漏斗	3146*	汉沽一分场	82.54	-75.5	3.35
天津—沧州漏斗	12145	宁河县城區	82.63	-79.94	2.75
		西青区杨柳青	100.76	-97.78	1.36
		武清城区	73.10	-70.60	1.32
		津南城区	88.5	-88.56	1.52
		沧州 641 厂	96.28	-74.36	1.21
		沧州旧州	111.4	-104.9	2.55
		青县化肥厂	67.3	-60.8	2.64
		青县机修厂	94.0	-87.5	2.23
		黄骅南大港留庄	61.14	-57.14	1.55
滨州—博兴漏斗	2799	任丘市区、梁召	57.21	-45.91	1.05
		滨州市区			
惠民漏斗	692	博兴县城	93.03	-85.11	4.80
		惠民县城	65.0	-54.42	0.81

加了 81.2%；到 2002 年 12 月，水头埋深大于 40 m 的面积 20218km²，比 80 年代末的 10531km²增加了 92%。

2.2.3 新近系地下水流场时空变化

地下水开采初期（20 世纪 70 年代初期），下辽河平原新近系明化镇组承压水天然水头接近或高于地表。馆陶组承压水天然水头一般高于地面 4m 以上。由于地下水开采量的不断增加，明化镇组和馆陶组地下水动态均表现为地下水位的持续下降，并形成区域性水头降落漏斗（图 5、图 6）。

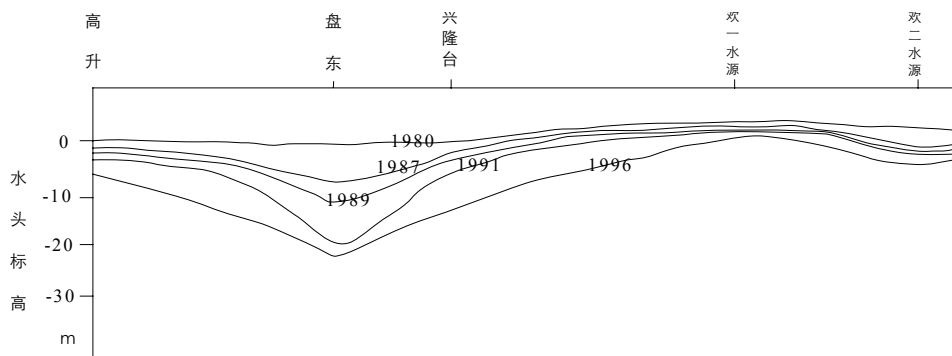


图 5 下辽河平原明化镇组地下水开采条件下水头变化曲线图

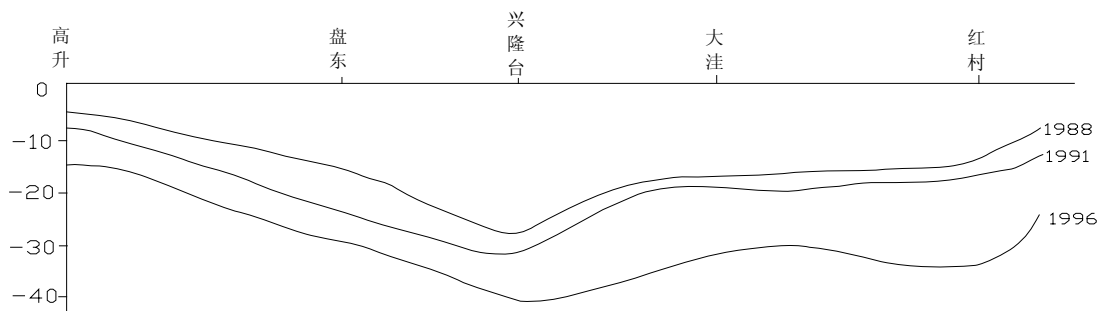


图 6 下辽河平原馆陶组地下水开采条件下水头变化曲线图

天津市新近系含水组的原始水位高出地表。自 1973 年大规模开采以来，水位骤然下降，初期年下降值一般 12~18m。在 1985 年左右水位达到历史最低，水头一般-70~-90m，大部分地区水头在-80m 以下。自 1986 年控沉以来，区域水位开始恢复，市区一般水位埋深仍大于 70m（图 7），但漏斗中心已转移到市区外围。

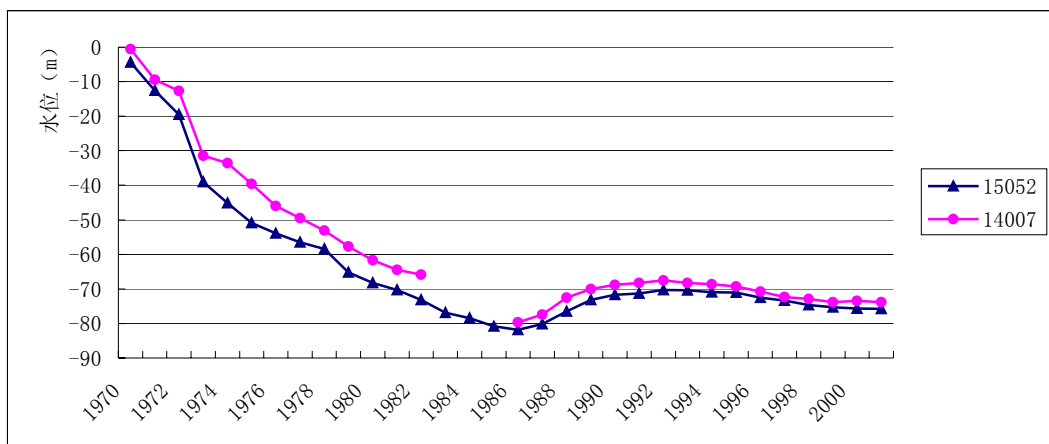


图 7 天津市市区新近系地下水水位动态曲线

2.3 地下水化学场时空变化特征

2.3.1 第四系地下水

(1) 第四系浅层地下水

在下辽河平原地下水中， $\text{HCO}_3\text{—Ca} \cdot \text{Mg}$ 型水是区内主要的水化学类型，主要分布在下

辽河平原中上游地区，矿化度一般低于 0.5g/L；Cl—Ca·Na型水主要分布在沿海河谷下游以及下辽河滨海平原南部及丹东的东港市山前滨海倾斜平原区，矿化度一般在 1g/L 以上。在华北平原，地下水类型呈环绕渤海湾、莱洲湾自北而南、由西向东及由南向北的水平分带规律。沿此方向，水化学类型由 $\text{HCO}_3\text{—Ca} \cdot \text{Mg} \rightarrow \text{HCO}_3\text{—Ca} \cdot \text{Na} \rightarrow \text{HCO}_3 \cdot \text{Cl—Na} \cdot \text{Ca} \rightarrow \text{Cl} \cdot \text{HCO}_3\text{—Na} \rightarrow \text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{—Na} \rightarrow \text{Cl—Na}$ 型，矿化度也由山前平原 $<0.5\text{g/L}$ ，过渡到滨海平原 $>10\text{g/L}$ 。其中， $\text{HCO}_3\text{—Ca} \cdot \text{Mg}$ 型水和 $\text{HCO}_3\text{—Na} \cdot \text{Ca}$ 型水主要分布在山前平原全淡水区，矿化度多小于 1g/L； $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl—Na} \cdot \text{Ca}$ 型和 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3\text{—Na}$ 型水主要分布于咸淡水界线两侧，多属于浅层淡水、微咸水和咸水淡化带的水化学类型，矿化度在 1-2g/L 或 2-3g/L； $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{—Na}$ 型和 Cl—Na 型水主要分布于华北平原中东部和东南部滨海带，矿化度 3-30g/L。在鲁北平原黄泛区西部出现了 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}$ 和 SO_4 型水。

自 1975 年以来，华北原浅层地下水中 HCO_3^- 有减少趋势， Cl^- 和 SO_4^{2-} 都有增加的趋势。 HCO_3^- 型地下水面积呈缩小趋势，而以 $\text{HCO}_3\text{—SO}_4$ 型，以及 Cl 型和 Cl—SO_4 型水的面积均有增大趋势。这表明，随着人类活动对浅层地下水污染的增强，咸水和淡水混合作用也在加剧，浅层淡水逐渐咸化，水质变差。

(2) 深层地下水化学场时空变化

近 30 年以来，华北平原深层地下水水质总体上保持相对稳定状态，但在局部小于 300m 深度内的地下水水质有变差趋势，水化学类型由 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}$ 型水逐步变为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Cl}$ 型水或 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3$ 、 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ 型水。其中，在冀东山前平原区矿化度、硝酸根离子有增长趋势；在中部及滨海平原区部分小于 300m 井深的孔中矿化度有所增加，井深大于 400m 的孔矿化度基本保持稳定状态；在京津以南中部平原、天津市中东部及滨海平原区，局部地区第二和第三含水组地下水的矿化度有所增加。另外，随着水头大幅度下降，深层地下水中氟离子含量和面积均有所增加。

2.3.2 新近系地下水水化学特征

水化学类型由 $\text{HCO}_3\text{—Na}$ 型水或 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl—Na}$ 型水过渡到滨海地带的 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3\text{—Na}$ 型水或 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{—Na}$ 型水，矿化度一般小于 1 g/L，到滨海地带超过 1 g/L，F 离子含量也较高。水化学成份多年来比较稳定。

2.3.3 岩溶裂隙水水化学特征

以 $\text{HCO}_3\text{—Ca}$ 型为主，矿化度一般在 0.5g/L 以下。在沿海地区分布的岩溶裂隙水中，因受海水入侵的影响， Cl^- 在阴离子中占优势，矿化度增高，水化学类型变为 Cl—Na 型水，矿化度达 5g/L 以上。除沿海地区外，岩溶裂隙水的水化学类型及主要组分含量多年无明显变化，仅在局部矿化度、总硬度等稍有增高的显示。

2.3.4 咸水分布特征

环渤海地区第四系咸水主要分布在华北平原、下辽河平原、辽东大洋河河口至鸭绿江河口滨海山前倾斜平原及胶东半岛沿海、莱州湾南岸地区，咸水体分布面积达 36857km²。其中：

下辽河平原第四系咸水分布面积 4582km²，呈“上咸下淡”的区域大格局。咸水体的矿化度一般 5—10g/L 左右，咸淡水接触带附近 1—3g/L，近海处矿化度增高。

华北平原第四系咸水分布面积 31743km²，水化学特征不仅具有明显的水平分带性，而且也有垂直分带规律，尤其是浅层咸水。其中，河道带冲积平原水化学区的水质结构在垂向有两种：一种为浅层淡水—咸水—深层淡水结构，另一种为咸水—淡水结构，矿化度的最高值位于咸水体中上部；滨海冲积海积平原水化学区（含黄河三角洲水化学区）除古河道外，浅层基本上无淡水，水质结构为咸水—深层淡水型和全咸水型。

2.4 水资源开发利用现状

2.4.1 地表水资源开发利用现状

目前，区内及其上游共有各类地表水库 8665 座，库容 341.83 亿m³；万亩以上灌区 195 处，灌溉面积 1126.84 万亩。全区地表水多年平均径流量 407.32 亿m³。2002 年全区地表水径流量 197.67 亿m³，仅为多年平均径流量的 48.5%。2002 年全区地表水利用量 143.12 亿m³，占径流量的 72.4%，占水资源利用总量的 51.6%。

2.4.2 地下水资源开发利用现状

目前，区内及其上游共有各类地下水开采井 142.1 万眼。截止 2000 年，全区地下水开采量达 134.20 亿m³，占区内水资源利用总量的 48.4%。其中，岩溶水开采量 1.93 亿m³，基岩裂隙水开采量 4.18 亿m³，第四系孔隙水开采量 127.77 亿m³，新近系地下水开采量 1.53 亿m³。区内各省、市地下水开采现状见图 8。

2.4.3 水资源用水结构分析

据各省、市以行政区范围进行的统计资料，在水资源开发利用量中，工业用水量占 8.3%，农业用水量占 62.3%，生活用水量占 14.8%，其他用水量占 4.5%。各省、市用水结构对比见图 9。在地下水利用结构中，生活用水占 13.3%，农业用水占 58.5%，工业用水占 16.4%。

2.5 地下水资源评价

2.5.1 地下水天然补给资源量

经计算，全区地下水天然补给资源 209.03 亿m³/a。其中，第四系松散岩类孔隙水 128.96 亿m³/a；岩溶裂隙水 8.37 亿m³/a；基岩裂隙水 71.71 亿m³/a。

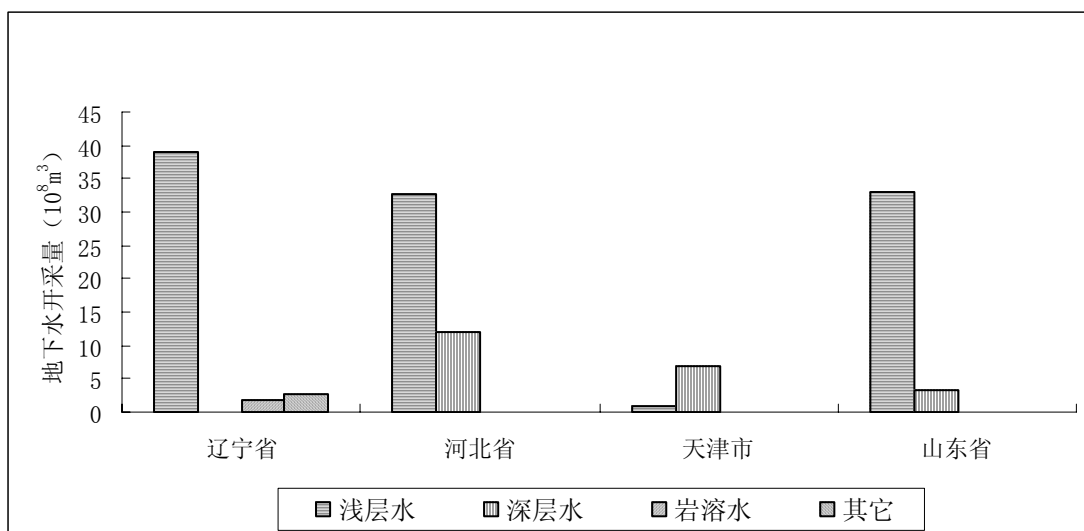


图 8 环渤海地区各省、市地下水开采现状对比图

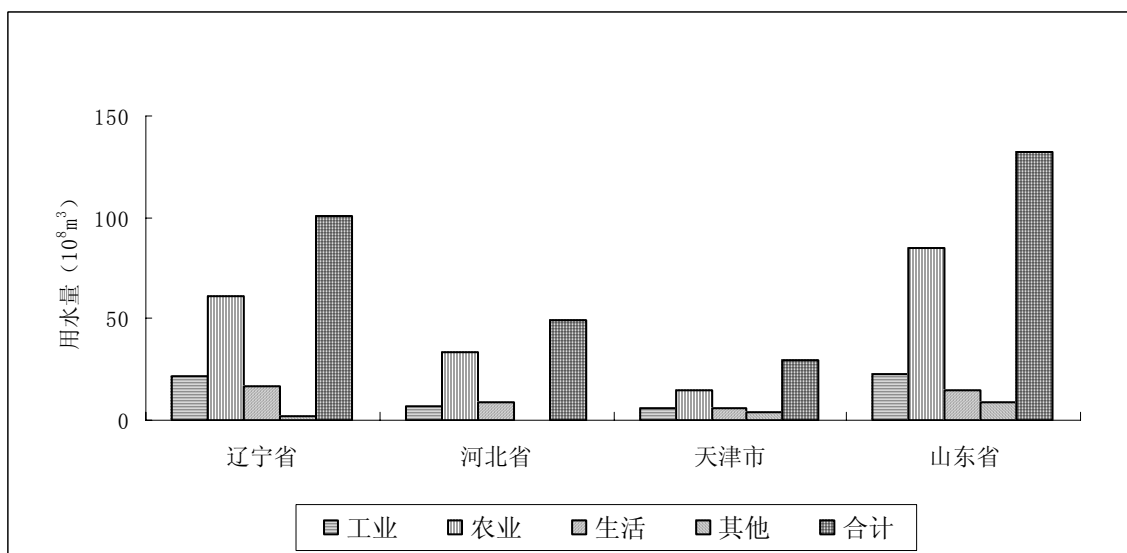


图 9 环渤海地区水资源利用结构对比图

2.5.2 地下水开采资源量

经计算，全区地下水开采资源总量 168.13 亿 m^3/a 。其中，第四系浅层孔隙水开采资源量 138.52 亿 m^3/a ；第四系深层孔隙水开采资源量 11.06 亿 m^3/a ；岩溶裂隙水开采资源量 7.64 亿 m^3/a ；基岩裂隙水开采资源量 8.38 亿 m^3/a ；下辽河平原新近系地下水开采资源量 2.54 亿 m^3/a 。

2.6 地下水质量评价

环渤海地区浅层地下水三类以上水质的分布面积 105199 km^2 ，占评价区面积的 61.2%。其质量评价与分布特征见表 5。华北平原深层地下水的质量总体上讲较浅层水水质好，其质量评价与分布特征见表 6。

2.7 地下水资源潜力分析

2.7.1 浅层地下水资源潜力

环渤海地区浅层地下水开采资源量 152.22 亿 m^3/a ，现状开采量 108.16 亿 m^3/a ，尚有开

采潜力 44.06 亿 m³/a。主要分布在辽东山地、下辽河平原、冀东平原和鲁北平原引黄灌区。其中，下辽河平原开采潜力约 22.2 亿 m³/a，鲁北平原引黄灌区开采潜力 8.68 亿 m³/a。

表 5 环渤海地区浅层地下水质量特征一览表

质量级别	分布面积 (km ²)	区域分布	简要评价
优良的 (Ⅰ类水)	11684	主要分布在辽东和辽西山区、胶东半岛大部，鲁中南山前冲洪积平原区南部也有少量分布。	水化学类型以HCO ₃ —Ca型、Ca·Mg型，矿化度小于 0.5g/L，适用于各种用途。
良好的 (Ⅱ类水)	67222	主要分布于下辽河平原北部及辽东、辽西山区的河谷平原区，燕山山前冲洪积平原区、鲁中南山前冲洪积平原区南部也有大面积分布。	水化学类型以HCO ₃ —Ca型、Ca·Mg型为主，矿化度一般小于 0.5g/L，适用于各种用途。
较好的 (Ⅲ类水)	26293	主要分布于辽宁本溪地区，在河北境内呈条带状分布于山前冲洪积平原Ⅱ类水Ⅳ类水之间，山东的惠民、商河、桓台、潍坊也有分布。	水化学类型多样，多为HCO ₃ —Ca型、Ca·Mg型或HCO ₃ ·SO ₄ —Ca型、Ca·Mg型或SO ₄ ·HCO ₃ —Na·Ca型、Na·Mg型或Cl·HCO ₃ —Na·Ca型、Na·Mg型水，矿化度小于 1g/L。因原生或人为因素的影响，单项组分总铁、总硬度、氟等在局部超标，酚、氰、砷、汞、镉、“三氮”等呈点状污染。这些地区需经处理后饮用。
较差的 (Ⅳ类水)	21102	主要分布于辽河平原南部、大连、抚顺地区，河北的中部冲湖积平原大部分地区及冀东滨海平原北部、沧州市南部，天津市平原区北部和中部，山东蓬—黄—掖的滨海平原区等。	水化学类型复杂，多以Cl型、SO ₄ 型、Cl·HCO ₃ 型、SO ₄ ·HCO ₃ 型为主，矿化度 1—2g/L。单项组分超标以氯离子、硫酸根、总硬度、矿化度、氟为主，“三氮”和酚、氰、砷、汞、镉等在部分地区超标，但污染程度相对较低，水质质量较差，适用于农业和部分工业用水。但因严重缺水，区内部分乡村目前仍然饮用这类水。
极差的 (Ⅴ类水)	45674	主要分布于河北、天津滨海平原大部地区，鲁北平原及蓬—黄—掖滨海平原区、胶州湾沿岸平原，辽宁省集中分布于抚顺、金州、锦州、葫芦岛市区，零星分布于河流沿岸。	受海(咸)水入侵和大陆盐渍化的影响，水化学类型复杂，多为Cl型、Cl·HCO ₃ 型、Cl·SO ₄ 型水，矿化度大于 2 g/L。其中，矿化度在滨海地区多大于 5 g/L，其它地区一般在 2—5g/L。以高矿化度、总硬度、氯离子为主要特征。受污水排放和引灌、海水入侵、原生水质等影响，水质差。但可有条件地用于农业混灌，也可经淡化处理后用于工业用水，以及滨海地区的小型饮用水源。

2.7.2 深层地下水资源潜力

下辽河平原新近系地下水现状开采量 1.53 亿m³，虽尚有疏干性开采潜力，但不宜再扩大开采量；华北平原深层第四系孔隙水现状开采量 16.38 亿m³，开采潜力指数 0.67，为潜力轻度不足区。

表 6

华北平原深层地下水质量特征一览表

质量级别	区域分布	简要评价
优良的 (I类水)	主要分布在天津武清北部、宁河北部和东南部至汉沽北部地区第II含水组, 山东小清河以南地区。	水化学类型以HCO ₃ 型水为主, 矿化度一般小于0.5g/L。
良好的 (II类水)	主要分布于河北的山前平原及中部平原, 天津武清北部、宁河北部和东南部至汉沽北部的第二、三、四含水组, 山东商河—惠民—无棣—高青—博兴—东营一线东部。	水化学类型以HCO ₃ 型、HCO ₃ ·Cl型、HCO ₃ ·SO ₄ 型水为主, 矿化度多小于0.5g/L。/ HCO ₃ —Ca型、Ca·Mg型或HCO ₃ ·SO ₄ —Ca型、Ca·Mg型或SO ₄ ·HCO ₃ —Na·Ca型、Na·Mg型或Cl·HCO ₃ —Na·Ca型、Na·Mg型水。
较好的 (III类水)	主要分布在河北中部平原、中北部和沿海西部, 山东商河—惠民—无棣—高青—博兴—东营一线东部。	水化学类型多为HCO ₃ ·SO ₄ 型、HCO ₃ ·Cl·SO ₄ 型、Cl·HCO ₃ 型、Cl·HCO ₃ ·SO ₄ 型水, 矿化度小于1g/L, 在局部地区NH ₄ ⁺ 、SO ₄ ²⁻ 、Cl等有少量超标。
较差的 (IV类水)	主要分布于河北中部冲、湖积平原南部和中西部, 天津南部平原, 山东鲁北平原西南部。	水化学类型多为重碳酸·氯化物、重碳酸·氯化物·硫酸盐型、氯化物·硫酸盐型水, 矿化度1—2g/L, 总硬度、氨氮、氟、碘、铁、氯、亚硝酸盐氮、高锰酸盐等超标。
极差的 (V类水)	主要分布在河北滨海平原, 天津静海县东南和大港区西南部、宝坻县中部和市区南部, 山东鲁北平原东北部。	水化学类型以氯化物·重碳酸盐型、氯化物·硫酸盐型、氯化物·硫酸盐·重碳酸型水, 矿化度大于2g/L, 总硬度、氯化物、氟等严重超标。

3 主要环境地质问题

环渤海地区环境地质问题, 概况起来可分为以原生为主的环境地质问题和以人类活动影响为主的环境地质问题两大类(表7)。

表 7

环渤海湾地区环境地质问题一览表

	环境地质问题	主要分布区
以原生为主的环境地质问题	区域地壳稳定性	相对不稳定区主要分布在唐山—天津—沧州、辽宁盘锦—营口
	海岸侵蚀与淤积	海岸带
	劣质地下水	下辽河原、华北平原、莱州湾等
	软土地基、沙土液化	淤泥质、泥沙质海岸带的沿海地区等
	构造型地裂缝	河北沧州、山东淄博等地区
	土地盐渍化	海岸带地区和辽宁锦州、辽阳西部, 冀东平原中部, 天津宝坻县, 河北永清、大城县等地
以人类活动影响为主的环境地质问题	地下水过量开采与区域性地下水位降落漏斗	冀东平原、天津市—河北省沧州等地区、沈阳市首山水源地区等
	地面沉降	冀东平原西部、天津市、河北省沧州等地区、山东省东营、滨州等地区
	地面塌陷	冀东矿区和柳江盆地、山东半岛、天津蓟县等
	非构造型地裂缝	各矿区附近、天津蓟县和宝坻等地
	地下水污染与水质恶化	城市(镇)、污水农灌区和地下水集中开采区、矿山等
	海(咸)水入侵	辽东湾、冀东平原、莱州湾的临海地区, 辽东半岛、辽西和胶东半岛临海河口地区
	崩塌、滑坡、泥石流	辽东山地、胶东半岛、燕山和辽西山前
	湿地退化	海岸带湿地分布区
	垃圾处置与水土环境污染	城市(镇)区

3.1 区域地壳稳定性

3.1.1 新构造运动特征

环渤海地区新构造运动具有明显的继承性与新生性。继承性表现为新近纪基本继承了古近纪的构造格局；新生性表现为在古近纪构造格局的基础上，上新世以来形成一些新构造，如张家口——渤海北西向一系列拗陷带。周边山区在新近纪以来继承性持续上升，冀渤拗陷为继承性持续下沉地区。在胶、辽山地和燕山山地表现为以间歇性上升运动为主；在下辽河平原和华北平原则以下降运动为主，沉积了巨厚的第四系。第四纪以来海岸带升降速度均有递增趋势，但在 4000 年以来上升的速度在递减（表 8）。下降速度最大在天津，最小在下辽河地区。

表 8 沿海地带海岸升降速率一览表 单位：mm/a

地区 时间		下辽河地区	天津地区	黄骅地区	垦利地区		丹东—庄河		
							年龄	速度	
平原 区沉 降速 度	Q ₄ 1-1.1 万	1.37-1.12	2.0-2.2	2020-4740 年→ 1.24-0.21 4740-5130 年 → 0.21-0.39	Q ₄ ³	2.24	2050±95	0.78-0.98 0.47-0.51	
					Q ₄ ²	2.23			
					Q ₄ ¹	2.28-1.87			
	Q ₃ 13 万	0.375	3.5-5.5	2.43-0.77	Q ₃ ³	1.84	2750±100		
					Q ₃ ²				0.66-0.21
					Q ₃ ¹				
	Q ₂ 78 万	0.175	0.14-0.169	0.4-0.34			3730±120	0.62-0.67 0.22-0.23	
Q ₁ 260 万	0.081	0.061-0.122	0.28			6660±160	0.22-0.23		
							7990±190	0.22-0.23	
地区	辽东半岛黄海岸				辽东半岛渤海岸				
基岩 岸区 抬升 速度	庄河：2050±95 年→0.78-0.98				复州：4493 年→2.2				
	东沟：2530±100 年→0.42-0.47				大连牧城驿：12290 年→0.65				
	庄河：3730±120 年→0.62-0.67								
	大孤山：5450±130 年→0.39-0.40								
	大孤山：6660±160 年→0.20-0.23								
	大孤山：7390±190 年→0.22-0.23								
	东沟：7770±150 年→0.39-0.40								

区内分布的主要活动构造带有郯～庐断裂带、唐山～衡水断裂带、东营～聊城束状构造带、渤海构造区和辽东～胶东构造带。并分布有河北平原地震带、郯～庐地震带、北京～渤海地震带、辽东地震带、辽西地震带和石家庄～安丘地震带。自公元前 231 年有 6 级地震记录以来，区内至今已发生≥6 级地震 55 次，是我国地震强烈活动地区之一。

3.1.2 区域地壳稳定性评价

利用收集的 1951-2001 年环渤海地区地壳垂直形变、1996-2000 年地壳水平形变和最新构造应力场等资料，以构造稳定性研究为主，结合介质稳定性和地面稳定性的研究，选择表层地壳结构与岩土力学性质、深部地壳结构构造与深断裂、地块升降与现今地壳活动速率、

断裂及其活动性、现今地应力与能量、主要内动力地质灾害等六项评价指标，采用模糊数学综合评判方法，对环渤海地区区域地壳稳定性进行了评价和分区（表 9 、图 10 ）。本次评价分区结果与中国地震局采用地震危险性分析概率方法编著的地震烈度区划图（中国地震局，1990）、地震动峰值加速度区划图（中国地震局，2001）的结果是一致的。

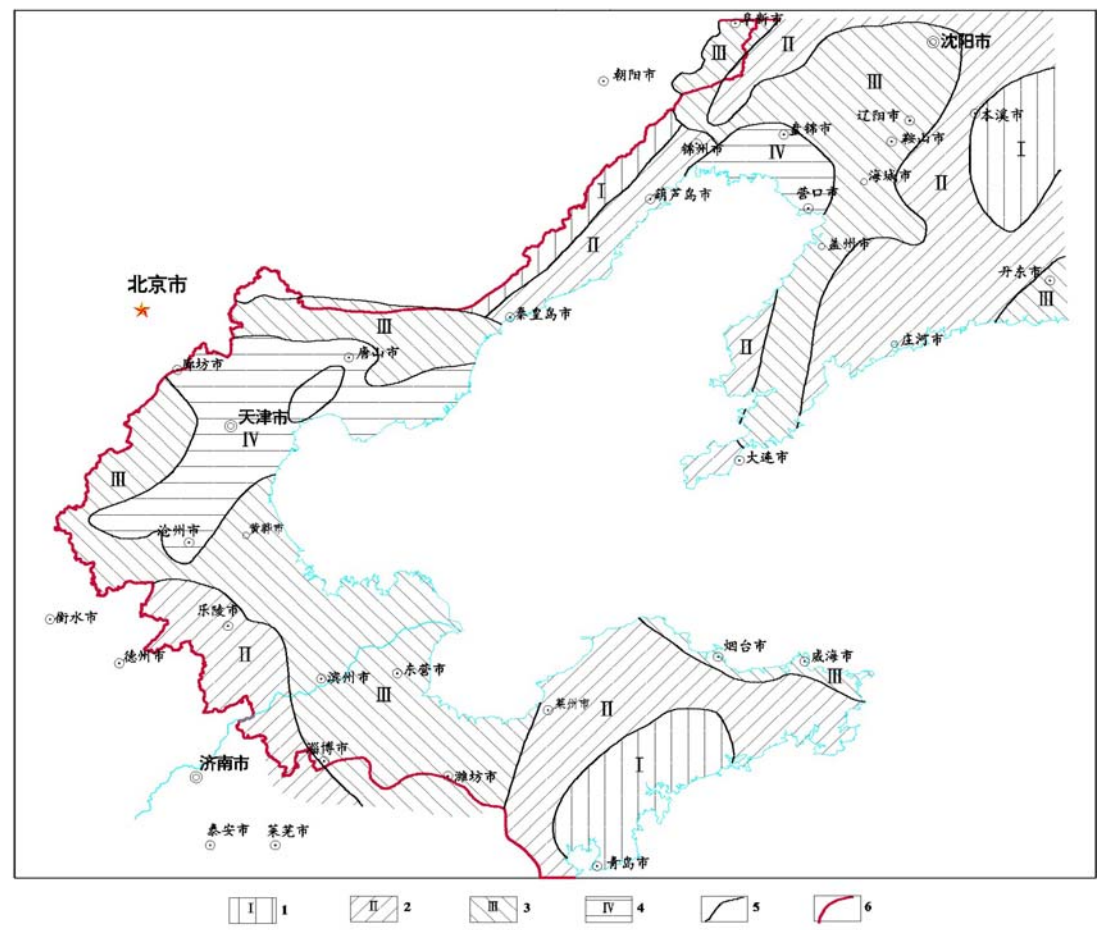


图 10 环渤海地区地壳稳定性分区图

1. 稳定区 2. 基本稳定区 3. 较不稳定区 4. 不稳定区 5. 稳定性分区界线 6. 工作区范围

3.2 地面沉降

3.2.1 地面沉降及其变化

从整体上看，区内华北平原部分一直处于下降趋势，在其中又分布着几个规模不等的沉降区，这些沉降区一般以城市为中心。据最新调查显示，区内天津—河北平原累计地面沉降量大于200mm的面积26829.4km²，大于1000 mm的面积5011.8km²，大于2000 mm的面积614.7km²。

表 9 环渤海地区地壳稳定性分区一览表

地壳稳定性等级划分	各等级分区大致范围
-----------	-----------

稳定区	辽东本溪～凤城，辽西义县南～河北迁安，山东青岛～海阳～莱阳等地区
基本稳定区	辽宁阜新～新民～抚顺～本溪～岫岩环形带，辽宁复州～大连地区，辽宁锦州～河北秦皇岛地区（辽西走廊），河北泊头～山东乐陵～山东邹平地区，山东高密～招远～荣成等地区
较不稳定区	河北昌黎～滦县～玉田～霸州～任丘～泊头～海兴地区，山东潍坊～东营～沾化地区，山东长岛～烟台～威海北西带，辽宁金州～鞍山～沈阳～辽西义县环形带，辽宁丹东～孤山等地区
不稳定区	唐山～天津～沧州地区（其中宁河、汉沽和丰南为极不稳定地段），辽宁下辽河平原的盘锦～营口地区

环渤海地区地面沉降最早发现于 20 世纪 50 年代末的天津市，靠近地下水开采区的水准点 1941～1959 年平均沉降量为 7.1～12.3mm/a，而远离开采区的水准点平均沉降量仅为 1.7mm/a。目前，天津市宝坻断裂以南平原区均有不同程度的地面沉降，累计地面沉降量大于 100mm 的面积 9369.85km²，累计沉降量超过 1000mm 的面积也达 4087.71 km²，分布范围与河北省沉降区连成一片。在这一大面积沉降范围内，又形成了市区、塘沽区、汉沽区、大港区及海河下游工业区五个地面沉降中心区，最大累计沉降量达 3182mm。自 1985 年采取控沉措施以来，大量压缩地下水开采量，取得了较好的效果。目前，市区地下水开采量控制在 1000—2000 万 m³/a，地面沉降已控制在 10—15 mm/a。

20 世纪 60 年代中期，河北平原也在深层地下水头降落漏斗中心地带发现了地面沉降现象，1965—1975 年间的地面沉降速率小于 10mm/a。在 1975—1979 年间，随着深层水的大规模开采，在沧州、任丘、霸州、大城、唐海等地下水头漏斗区均出现地面沉降，并逐渐形成了沧州、黄骅、河间、任丘、霸州、大城、唐海等主要沉降区。1979—1985 年间沧州地面沉降速率 23.4—100mm/a，1990—1997 年沉降速率达 118.6 mm/a。1997 年以来虽然控制到 68.75mm/a，但仍是河北平原最大的沉降中心，2001 年累计沉降量已达 2236mm。

东营市在 1985 年也发现了地面沉降现象。到 2000 年地面累计沉降量已达 248～397mm，2002～2003 年间的地面沉降量 22～32mm，并由山前到东营市西城区其沉降速率逐渐增大，形成了广饶县城、草桥地区和牛庄～西城等沉降中心。

3.2.2 地面沉降机理分析

引起地面沉降的原因有自然因素和人为因素。自然因素为构造活动、软弱土层固结压缩以及地震活动产生等；人为因素包括地下水开采、地热资源开采、油气资源开发、工程建设等。调查研究显示，各因素的影响程度是不同的，其中：

（1）开采地下水：地面沉降伴随着地下水的开采而产生，沉降的速率和发展趋势也随着地下水位的变化而变化（图 11）。引起地面沉降的层位与各含水组的开采量相对应，超量开

采地下水是引起地面沉降的主要原因。

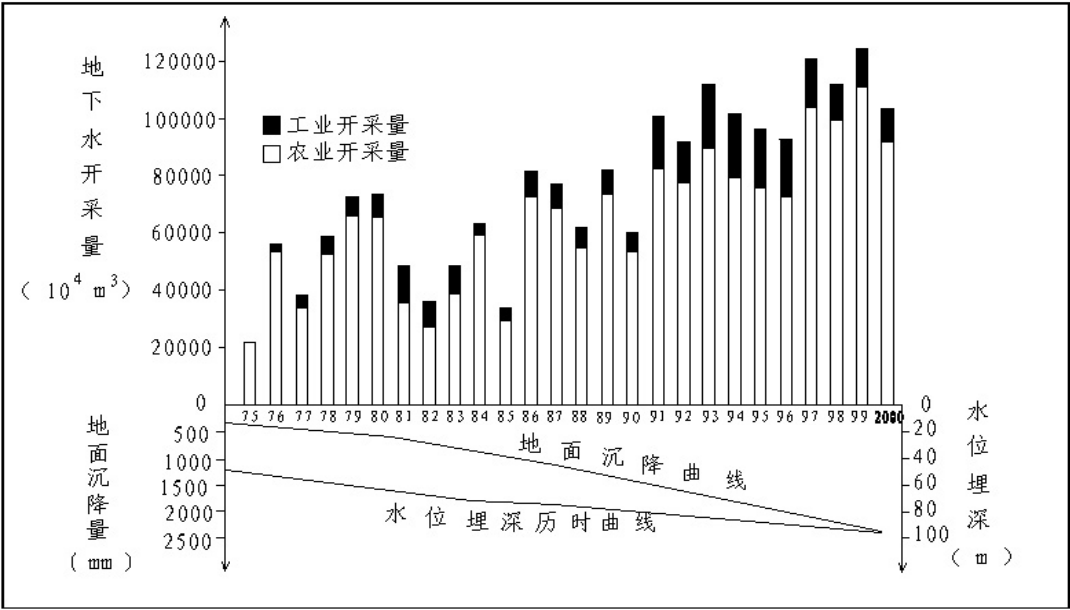


图 11 沧州市地面沉降与地下水开采量、水位埋深关系图

根据对沧州地区的研究，深层地下水头降深与地面沉降呈幂指数关系：当水头降深小于 40m 时，随着降深的增加，累计沉降量缓慢增加，曲线缓慢上升；当水头降深 40—70m 时，沉降量明显增加，曲线呈明显上升趋势，出现拐点（图 12），说明 40m 水头降深应是一个警

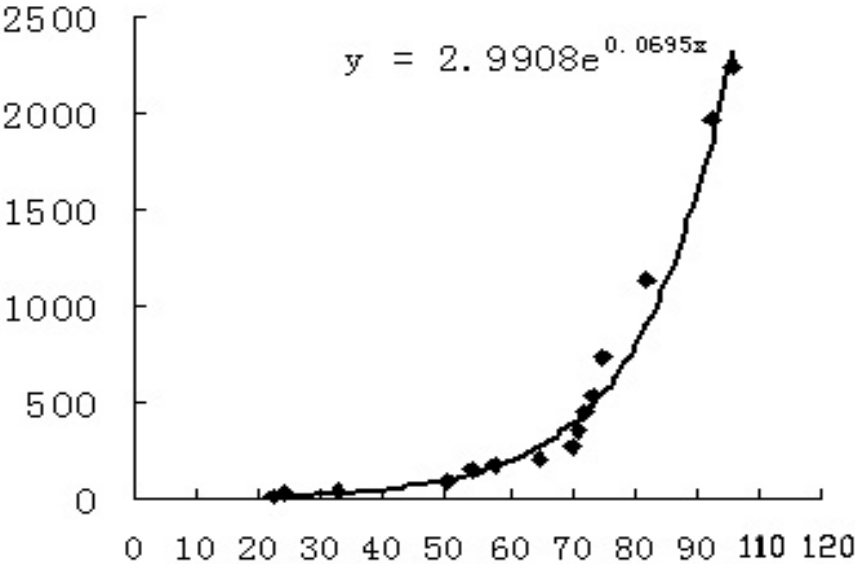


图 12 累计沉降量与地下水头降深关系图

戒水头降深值。超过这一值，随着降深的不断增加，累计沉降量将加速上升；当水头埋深大于 70m 时，曲线呈近于直立上升趋势，说明 70m 水头埋深是深层地下水环境约束条件的严格限制值。超过这一限制值，将产生严重的沉降后果。

(2) 软弱土层固结压缩：在天津、河北、山东等沿海地区的淤泥质海岸带普遍分布着软土。据在天津的观测研究，该软土层压缩所引起的沉降占总沉降量的 50—60%，其压缩沉降量 10~20mm/a，这也是滨海地区地面沉降的一个主要因素。

(3) 构造活动：华北平原自古近纪始新世以来一直为持续沉降区，第四纪时期的隆起区平均沉降速率 0.23~0.54mm/a，坳陷区平均沉降速率 0.56~0.84 mm/a。同时，强烈地震也引起了地壳快速形变，造成地面升降异常。据区内地层厚度和沉积年代资料、历史水准点沉降资料和区域地形变资料推算，华北平原东部沉降区构造活动造成的地面沉降的基本速率在 1.3~2.0mm/a。

(4) 开采地下水：据对天津塘沽区的调查研究显示，开采新近系地热水引起的沉降量 6~12mm/a。

(5) 开采油气：据天津大港油田有关资料，2500m 以下普遍出现了欠压密地层，目前已知欠压密地层出现的深度超过了 4500m。但开采油气引起地面沉降的定量评价有待进一步勘查研究。

(6) 大型建筑：据对天津市区建筑物的长期观测，浅基础施工最终沉降量平均值 135.89mm，平均沉降 10~15mm/a；桩或桩加箱深基础施工最终沉降量平均值为 50.47mm，平均沉降约 5~10mm/a。

3.3 海（咸）水入侵

环渤海地区的海（咸）水入侵主要分布在大连、凌海、葫芦岛、绥中、秦皇岛、莱州湾、胶东半岛沿海河谷等地，海（咸）水入侵总面积 2457.3km²（图 13），比 20 世纪 80 年代末增加了 936.9 km²，增长 38.1%。入侵面积增长最多的地区主要是莱州湾，十年间增长了近一倍。由于采取措施，逐步减少了临海地区地下水开采量，自 1997 年以来，大连地区的海水入侵扩大趋势已基本得到控制。

3.4 海岸线变化

3.4.1 海岸侵蚀与淤积

为查明环渤海海岸线变化特征，全区选用美国陆地资源卫星 1970 年代和 2000 年两个时相的遥感数据，对辽东湾、渤海湾、莱州湾、滦河三角洲、黄河三角洲等重点地区选用三个以上时相的遥感数据进行了解译。

根据海岸线变化特征，环渤海岸线可划分为蚀退岸线、淤进岸线、稳定岸线、人工工程



图 13 环渤海地区海（咸）水入侵现状分布图

1. 海（咸）水入侵分布区 2. 咸水入侵分布区 3. 分区界线 4. 工作区范围

稳定岸线 4 种海岸稳定性类型（图 14）。其中，侵蚀海岸主要分布在辽宁省的长兴岛—盖州、葫芦岛，河北省的乐亭，黄河三角洲北岸（沾化—孤岛）、莱州湾、蓬莱—烟台以及威海、文登、荣城、乳山、海阳等地的局部岸段。全区侵蚀海岸总长度约 1051km，占环渤海岸线（包括部分黄海岸线）总长度的 21%；淤积海岸主要分布在辽东湾、滦河三角洲、渤海湾、黄河三角洲等地。全区淤积海岸长度 1484km，占环渤海岸线总长度近 30%。环渤海海岸线的变化特征见表 10。

根据遥感解译，辽东湾、渤海湾、黄河三角洲-莱州湾等重点地区近三十年来海岸总体淤进面积 541.5 km²，蚀退面积 356.71km²，人工工程淤进面积 23.94km²。从这个意义上讲，淤进是环渤海湾淤泥质海岸近三十年来主要特征，但黄河三角洲在 1976—2000 年间总体上蚀退略大于淤积（表 11、图 15）。

3.4.2 海岸带现代地质环境变化警示性预测

影响海岸带现代地质环境变化的主要因素有：现代地表保有高程、海面升降、陆地垂直形变、现代沉积作用、突发性陆地与海洋水文气象因素和人类工程活动等。在暂不考虑人类工程活动的影响程度，到 2030 年海岸带陆域地表保有高程变化趋势表达如下：

2030 年时地表保有高程=（现有高程+沉积物加积量）—（海面上升量+垂直地形变量）。

表 10 环渤海海岸线变化程度与分布一览表

类型	程度	平均变化速率 (m/a)	分布岸段	岸线长度 (km)	时间段
蚀退岸段	严重蚀退	>20m/a	黄河老入海口	70	1976-2000
	重度蚀退	10-20m/a	六股河入海口、黄河入海口西南岸-老河河口	166	1981-2000 1976-2000
	中度蚀退	5-10m/a	滦河入海口、大口河河口-马颊河口、莱州湾	132	1981-2000 1976-2000
	轻度蚀退	2-5m/a	狗河入海口-滦河老入海口、灯笼堡、老狼坨子、虎头崖-莱州、-龙口、套子湾、养马岛、海阳	393	1973-2000 1976-2000
	弱蚀退	<2m/a	辽宁车河-盖州、葫芦岛-兴城、六股河老入海口以北、刁龙嘴、砬岛-蓬莱、牟平-威海	290	1976-2000 1973-2000
淤积岸段	特严重淤积	>50m/a	鸭绿江口-青堆子湾、辽河口-小凌河口、河北省南堡、河北省歧口-南排河、黄河入海口	720	1976-2000 1978-2000
	重度淤积	20-50m/a	庄河、普兰店湾-葫芦山湾-复州湾、盖州-营口、靖海湾、乳山湾、丁字湾、横门湾、胶洲湾	595	1976-2000 1981-2000 1973-2000
	中度淤积	10-20m/a	盖子头-登沙河入海口、曹妃甸、大口河入海口、莱州	143	1978-2000 1976-2000
	轻度淤积	<10m/a	鲅鱼圈-盖州	26	1976-2000
稳定岸段	基岩		青堆子湾西-庄河岸段东、小寺河-盖子头岸段、登沙河入海口西-黑嘴子、西中岛-长嘴子、蓬莱-烟台、威海-靖海湾	1636	1973-2000 1976-2000 1978-2000 1981-2000
	淤蚀平衡		驴驹河至唐家河、滦河口	36	1976-2000
人工工程			大连港、营口港、锦州港、秦皇岛港、京唐港、曹妃甸港、天津港、黄骅港、龙口港、烟台港、青岛港	218	1973-2000
人工筑坝（石坝）			鸭绿江口-青堆子湾、涧河-独流减河	349	2000-2003
人工筑坝（土坝）			盖州-双台子河口、捞鱼尖-南堡	83	2000-2003

预测方案一：以最小沉降速率和最佳海面上升速率来考虑，到 2030 年，风暴潮在无海档情况下（未考虑地面阻力、人类工程活动等影响因素），海水将可能影响沿海陆域面积约 2525km²。

预测方案二：以平均最大沉降速率和最大海面上升速率考虑，到 2030 年，风暴潮在无海档情况下，海水将可能影响沿海陆域面积约 16328km²。

3.5 湿地退化

利用两期遥感数据资料，分别对环渤海地区 1970 年代和 2000 年的湿地进行了遥感解译。目前，环渤海海岸带湿地面积（不包括滩涂，下同）为 1623296hm²，比 20 世纪 70 年代减少 11.4%。但从表 12 可知，环渤海地区 1970 年代的自然湿地面积 1307934 hm²，人工湿地为 525012 hm²。到 2000 年时，自然湿地减少面积 680633 hm²，减少约 52%；人工湿地面积增加 470983 hm²，增加了约 90%。



图 14 环渤海海岸线 1970 年代—2000 年变化示意图

1. 侵蚀岸线 2. 淤积岸段 3. 稳定岸段 4. 筑坝岸段 5. 海岸线 6. 工作区范围

表 11 1976 年—2000 年黄河三角洲淤、蚀土地面积统计表								
年度 面积 (km ²)	1976-1981 年		1981-1996 年		1996-2000 年		1976-2000 年总计	
	面积 (km ²)	平均速率 (km ² /a)	面积 (km ²)	平均速率 (km ² /a)	面积 (km ²)	平均速率 (km ² /a)	面积 (km ²)	平均速率 (km ² /a)
淤长面积	245.1848	49	85.5	6	14.3	4	344.9848	14
蚀退面积	105.0276	21	205.2384	14	48.7848	12	359.0508	15
实增面积	140.1572	28	-119.7384	-8	-34.4848	-9	-14.0624	0.5

3.6 地下水污染

据不完全统计，2001 年环渤海地区工业废污水排放量 190298 万吨，除辽宁工作区外的生活废污水排放量为 133606 万吨，处理量为 199700 万吨，达标率 56.7%。

环渤海地区地下水污染物中常见的污染组份有硝酸氮、亚硝酸氮、氨氮、酚、氰、砷、汞、镉等，主要污染组分为“三氮”。据调查，环渤海地区“三氮”污染正严重威胁着部分供水水源地的地下水质量，“三氮”检出率 81.0%~98.3%，超污染起始值比率 42.9%~92.4%，超饮用水标准率 27.3%~48.5%。在毒物类污染项目中，酚、氰、砷、汞、镉等以点状污染

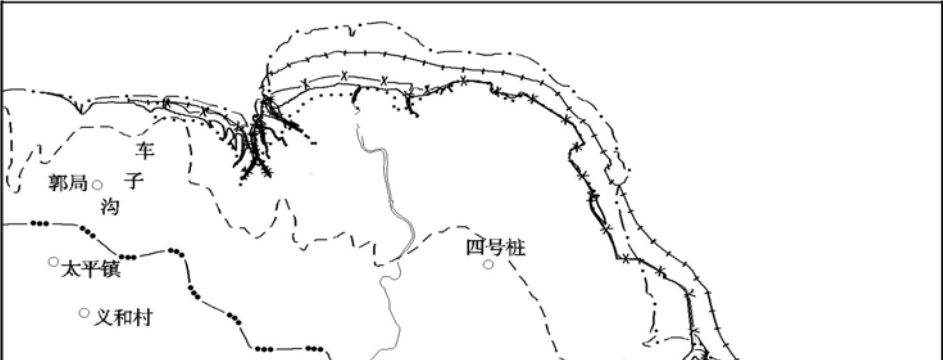


图 15 黄河三角洲不同时期海岸线变化对比图

1. 1855 年岸线 2. 1955 年岸线 3. 1976 年岸线 4. 1981 年岸线 5. 1996 年岸线
6. 1998 年岸线 7. 2000 年岸线

表 12

环渤海地区海岸带不同类型湿地面积变化一览表

单位: hm^2

面积 年代 湿地类型	20 世纪 70 年代		2000 年		增(+)减(-)量*		备 注
	自然湿地	人工湿地	自然湿地	人工湿地	自然湿地	人工湿地	
芦苇田	141310		107972		-33338		
水稻田		311087		448654		+137567	
盐沼	631642		372510		-259132		
现代泻湖	14575		1961		-12614		
游荡型湿地	290897		144858		-146039		季节性存水洼地、 湿草甸等
河泛湿地	229510				-229510		
盐田		213925		309533		+95608	
养殖池				237808		+237808	
滩涂	375606				170817		下界为瞬时水面边线
合计	1307934	525012	627301	995995	-680633	470983	
总计	1832946		1623296		-209650		

*: (1) 增 (+) 指 2000 年与 20 世纪 70 年代相比面积增加, 减 (-) 指 2000 年与 20 世纪 70 年代相比面积减少。

(2) 滩涂的解译是根据遥感数据接收时的瞬时水面边线, 不是实际滩涂界线, 因此不在总计面积之内。

为主, 检出率 11.4%~21.9%, 超污染起始值比率 7.2%~21.6%, 超饮用水标准率 0.3%~21.6%。此外, 总硬度、矿化度、硫酸根离子、氯离子也是区内重要的污染指标。

3.7 地面塌陷与地裂缝

区内地面塌陷可分为采空塌陷、岩溶塌陷和地面沉陷三种类型，不同类型地面塌陷在区域上的分布特征不同。在空间上，地面沉陷集中分布于采煤矿区；采空塌陷广泛分布于河北唐山、胶东半岛、辽东半岛采矿区；岩溶塌陷则主要分布于辽东岩溶发育的碳酸盐岩地区和河北唐山市、柳江盆地。在时间上，近十几年以来，塌陷灾害逐渐增多，尤其是近年来随着采矿业的高速发展，地面塌陷点愈来愈多，危害性也愈来愈大。据调查，环渤海地区共发生地面塌陷 462 处。其中，地面沉陷 7 处，采空塌陷 96 处，岩溶塌陷 359 处。

环渤海地区地裂缝主要分布在河北平原西部、鲁中南山前冲洪积平原区和胶东半岛，多数为张性裂缝。自 20 世纪 80 年代中开始，在区内已发生了 70 余处地裂缝。其中胶东半岛地裂缝主要以采空区塌陷地裂缝为主，其它地区地裂缝主要是由大量超采浅层水引起的。如河北的任丘、肃宁、泊头、河间、献县，山东的广饶、临淄等地浅层地下水位埋深一般 10~30m，地裂缝较发育。这些平原区地裂缝发生的地貌部位多为山前平原与中部平原交接地带、冲洪积扇前缘洼地、古河道及现代河道等地段。近 5 年来，沧州地区的地裂缝发育呈上升趋势，新发现就有 20 多条。裂缝多为张性裂缝，缝宽一般 0.3~0.5m，最大可见宽度为 2m，最大可测深度 8m，最长延伸达 4km。

3.8 崩塌、滑坡、泥石流灾害

环渤海地区崩、滑、流地质灾害强发育地区主要分布在辽东山地丘陵区南部的凤城、岫岩和盖州、瓦房店、普兰店三县交界处的老帽山区，胶东半岛的莱州市南部、栖霞市东北部低山丘陵区；中度发育区分布在辽东半岛的大部分地区，天津北部蓟县低山丘陵地区，胶东半岛低山丘陵区。区内共发生崩、滑、流地质灾害 9427 起。其中，崩塌 80 处，滑坡 66 处，泥石流 9281 处。

4 地下水资源可持续利用对策

在环渤海这样一个因超量开采地下水诱发了严重地质灾害的地区，优化地下水资源开采布局、解决水资源的短缺问题尤为重要。据水资源供需分析，到 2010 年，环渤海地区缺水 34.58 亿 m^3/a 。解决水资源短缺除了实施跨流域调水，建立节水型农业、工业和城市，污水资源化，海水淡化，分质供水等多种措施外，现从地学角度提出缓解区内水资源紧缺的应对措施。

(1) 优化调整地下水开采布局和开采层位，加强浅层地下水开发利用，遏制地质环境恶化。

根据区内地下水开发利用现状、地下水潜力和主要环境地质问题，通过调整地下水开采

布局 and 开采层位，实现采补平衡，这是缓解环渤海地区水资源供需矛盾的现实措施。目前，环渤海地区虽然尚有 44 亿 m^3/a 的浅层地下水开采潜力，但因其地域分布不均和开采布局不合理，主要城市和人类活动密集区均出现不同程度的缺水，地下水的持续超采诱发了地面沉降、海（咸）入侵等地质灾害的进一步发展。为此，根据环渤海地区地下水潜力，对区内地下水开发方案进行调整。其中，浅层地下水可扩大开采区和适度扩大开采区主要分布在辽东山地、下辽河平原、冀东平原、天津山前平原隐伏岩溶区、华北平原中、西部的部分地区和鲁北平原引黄灌区；浅层地下水适度控制开采区和严格控制开采区主要分布在辽东半岛和辽西山地的滨海河谷区，河北的唐山市、滦南、霸州、河间、大城、肃宁、献县等浅层地下水漏斗分布区，以及莱州湾和山东半岛的滨海河谷区。

深层地下水从全区总体上讲已超采，需调减开采量 44.45 亿 m^3/a 。但因深层地下水超采区都属于严重缺水的地区，在目前还无法解决替代水源的情况下，考虑到区内社会、经济发展的现实需求，在 2010 年南水北调引水前，可逐步调减开采量，在 2010 年以后，再逐步实现均衡开采。

加大浅层地下水资源的开发利用，促进地下水环境向良性循环方向转化。但因东部平原区浅部沉积物颗粒细，渗透性差，单井出水量小少，致使浅层地下水的开采利用受到限制。因此对于浅层地下水的开采，还应加强不同地区浅层水开采井型、成井工艺等的研究和开发利用示范。并在水利投资政策上，对开发浅层水给以倾斜，以促进浅层水的开发利用。

（2）充分利用滨海河谷，建设地下水库，实施水资源地下调蓄。

在以低山丘陵为主要地貌类型的滨海地区，分布着大量的短径流河谷。这些河谷中的地表径流源短流急，暴雨洪流快速汇流入海。但在这些河谷中分布着面积数十 km^2 到数百 km^2 、厚度数 m 到四十余 m 不等的第四系松散沉积物。充分利用地下含水层的调蓄功能，在滨海地区选择适宜地段，采用相应的工程措施，建设地下水库，适度拦截入海径流，可增加水资源的有效供给量，有效防止海水入侵，具有水资源与水环境保护的双重效益。区内已建七处地下水库的工程实践充分证明了这一点。

环渤海地区的辽东半岛、辽西走廊、胶东半岛尚有宜建地下水库库址区 39 处（图 16），地下水库总库容可达 30.07 亿 m^3 ，可新增地下水开采资源量 3.04 亿 m^3 。加上区内已建 7 处地下水库，环渤海地区共有可建地下水库的库址 46 处，总库容 37.09 亿 m^3 ，新增地下水开采资源量达 5.92 亿 m^3 。



图 16 环渤海地区地下水库分布示意图

1. 已建滨海河谷开采型地下水库
2. 宜建滨海河谷开采型地下水库
3. 宜建山前冲洪积平原调蓄型地下水库

(3) 充分利用地下空间资源和雨洪水资源，实施地下水与地表水的联合调度，建立合理的水资源开发模式，优化水资源的利用。

在下辽河平原、滦河三角洲、鲁中南北坡冲洪积扇等沿海平原，分布着数十m到数百m厚度的第四系松散沉积物。这些沉积物的颗粒一般较粗，渗透性较好，为利用雨洪水资源和开展地表水与地下水联合调蓄提供了理想的地下空间。经估算，仅鲁中南丘陵北坡山前冲洪积平原和冀东山前平原区就有宜建调蓄型地下水库的库址 7 处，可调节库容达 27.80—31.80 亿 m^3 。通过修建一些地表工程增大地表水的入渗，把洪水、水库弃水、雨水集中起来回灌地下。在城市周边也应采取工程等措施，蓄集雨洪径流回灌地下，也可减轻洪涝灾害对城市的影响。

(4) 积极扩大咸水资源的改造利用。

区内分布矿化度大于 2g/L 的微咸、半咸水面积达 32948 km^2 ，目前仅有少量开采，开发潜力很大。同时，开发浅层微咸（咸）水不仅增加了水资源的有效供给，还可以治理盐碱化，增加降水等淡水资源的补给，改良地下水水质，具有增加淡水资源和改善生态环境的双重效益。区内正在发展的微咸水农业灌溉模式、“温室大棚+深井咸水”的养殖模式、建立化工供水的

咸水集中水源地开发模式、农村小型井采淡化生活供水模式等等，为咸水资源的开发利用提供了示范和经验。

(5) 建立城市地下水应急（后备）供水水源地。

建立地下水应急（后备）供水水源地是构建城市供水保障体系、保证城市和港口供水安全的一项战略性举措。据初步评估，区内可建立 43 处地下水应急（后备）供水水源地（图 17），应急（后备）开采资源量达 432.5 万 m^3/d 。

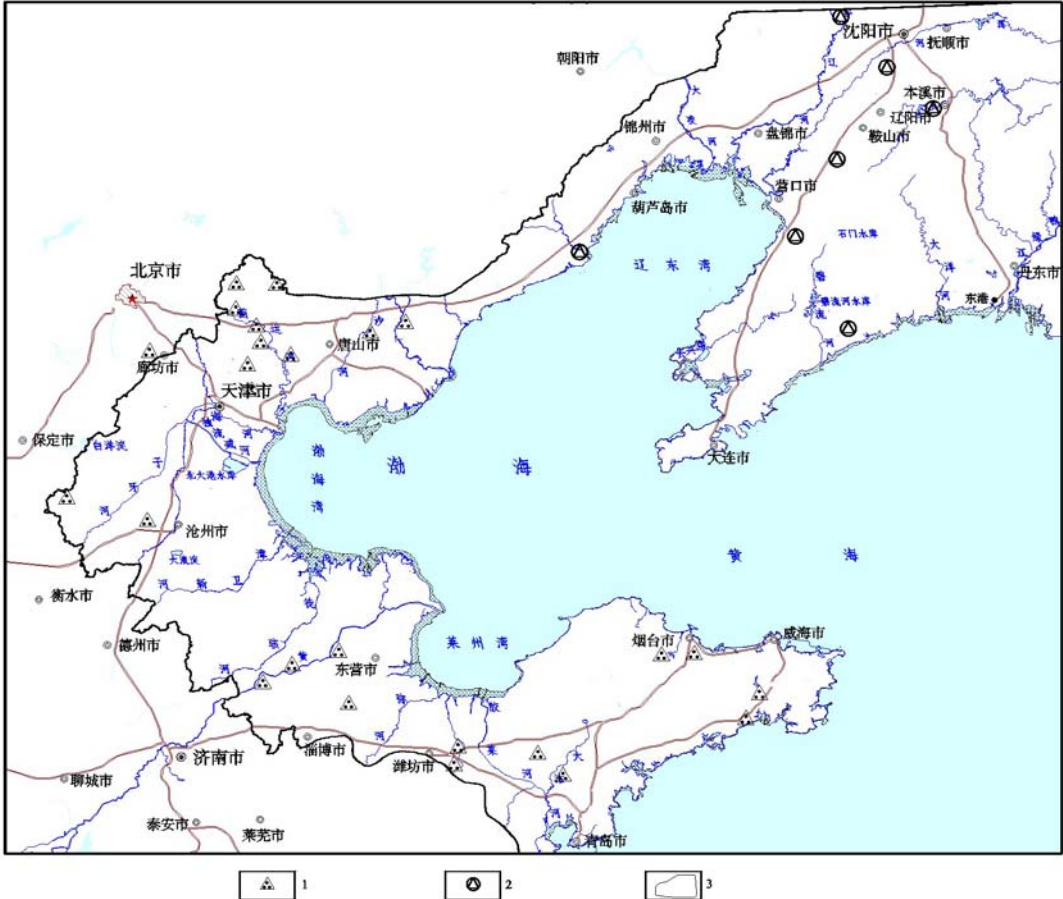


图 17 环渤海地区主要城市应急（后备）水源地分布示意图

1. 应急水源地 2. 后备水源地 3. 工作区范围

(6) 加大实施污水资源化，积极探索开展污染含水层修复示范的工作。

据不完全统计，全区污水排放量达 32.4 亿 m^3 ，这也是宝贵的可利用水资源。城市污水量大且集中，水量相对较稳定，是可以恒量供水的水源。污水资源化开辟了城市供水的新水源。因此，在对污水资源化的同时，需要对已污染含水层进行修复，这是一个城市地下水环境保护中的重要问题。

(7) 开展土壤水资源调查评价，逐步推广土壤水开发利用技术示范成果。

作为水资源利用量占全区 62% 的农业用水，充分利用土壤水资源，对于缓解区内水资源短缺有着现实意义。根据中国地质大学（武汉）在河北平原开展的土壤水调查研究，若在小麦生产中充分利用土壤水资源，仅此一项每年就可节约水资源 12 亿 m^3 。因此，应积极开展

土壤水资源调查评价与开发利用技术研究,推广提高土壤水系统调节能力技术、合理密植充分利用深部土壤水技术、优化土壤水流动模式的土壤水利用技术等近年来国土资源大调查中已取得的成果。

(8) 继续加强环渤海地区地下水资源与环境地质调查、监测、研究等工作

紧紧围绕环渤海区域经济、社会、生态环境规划与发展建设,从区域和重点地区两个层次持续开展地下水资源与环境地质的调查研究和相应的工程示范,建立海岸带地质环境监测体系,为城市与港口建设布局和功能区划、重大工程建设与地质灾害防治、海岸带开发等需求提供时实基础资料。

5 结 语

水资源紧缺和地面沉降、海岸侵蚀与淤积、海(咸)水入侵等地质灾害严重制约了环渤海区域经济和社会可持续发展。寻求遏制地质环境不断恶化、可持续利用地下水资源的有效办法,仍然是一项长期的基础性、战略性地质调查工作。

致谢: 本文所采用的资料是国土资源大调查项目—“环渤海地区环境地质调查”项目的集体成果。辽宁省、河北省、天津市、山东省地调院项目组和天津地质矿产研究所水文地质环境地质室的全体同仁参加了项目的野外工作和报告编制。在成文过程中,得到了天津冶金地质研究院王云生研究员的指导,赵长荣、张素凤、潘桐、施佩歆、杨齐青、钟新宝、方成等同志协助完成了有关数据统计和图件的清绘,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- [1]潘家铮、张泽祯. 中国北方地区水资源的合理配置和南水北调问题[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2001.
- [2]田德培、王兰化、王丽瑛. 环渤海地区区域地壳稳定性分区与评价[J]. 地质调查与研究, 2005(1).
- [3]孙叶等著. 区域地壳稳定性量化评价[M]. 北京:地质出版社, 1998.
- [4]晁洪太等编著. 山东省地震构造图及说明书[M]. 济南:山东省地图出版社, 1997.
- [5]晁洪太等编著. 山东省新构造图及说明书[M]. 济南:山东省地图出版社, 1997.
- [6]中国地质科学院地质力学研究所编制. 中国区域地壳稳定性图及说明书[M]. 北京:地质出版社, 1997.
- [7]国家地震局地质研究所. 河北平原及周围地区新构造图说明书[M]. 北京:地震出版社, 1985.
- [8]中国水文地质工程地质勘察院. 环渤海地区区域地壳稳定性分析与评价[R]. 1991.
- [9]张宗祜、沈照理、薛禹群等. 华北平原地下水环境演化[M]. 北京:地质出版社, 2000.
- [10]王卫东、宋庆春. 下辽河平原新近系地下水的开采动态变化特征[J]. 地质调查与研究

- 究,2004(3).
- [11]王卫东、宋庆春、李宝兰,等. 大连市滨海河谷地下水资源开发利用的可行性[J]. 地质调查与研究,2004(4).
- [12]辽宁省地质矿产局编制. 辽宁省水文地质图集[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [13]王力江、陈远新、赵杰等. 辽宁省地下水资源评价[R]. 辽宁省地质环境监测总站, 2002.
- [14]段永侯、肖国强. 河北平原地下水资源与可持续利用[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(1).
- [15]陈望和等著. 河北地下水[M]. 北京:地震出版社, 1999.
- [16]王欣宝、尚琳群、李玉龙. 环渤海河北地区地下水环境演化研究[J]. 地质调查与研究,2004(3).
- [17]段永侯、王家兵,等.天津市地下水资源与可持续利用[J]. 水文地质工程地质,2004,31(3).
- [18]王兰化、张士金、王亚斌. 二十一世纪初期天津市水资源供需分析及对策探讨[J]. 地质调查与研究,2005(1).
- [19]天津地质矿产局编制. 天津市地质环境图集[M]. 北京:地质出版社, 2004.
- [20]徐建国、卫政润、张涛,等. 环渤海山东地区地下水库建设条件分析[J]. 地质调查与研究,2004(3).
- [21]徐建国、卫政润、张涛,等. 环渤海山东地区浅层地下水资源潜力分析及利用对策[J]. 地质调查与研究,2004(3).
- [22]段永侯、马震,山东鲁北平原地下水资源与可持续利用[J].水文地质工程地质,2005,32(2).
- [23]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.
- [24]山东省地质矿产局主编. 山东省环境地质图集[M], 济南:山东省地图出版社, 1996.
- [25]辽宁省地质环境监测总站. 辽宁省 1: 50 万环境地质调查报告[R]. 2000.
- [26]邢忠信、李和学、张熟,等. 河北省沧州市地面沉降及防治对策研究[J]. 地质调查与研究,2004(3).
- [27]段永侯等. 中国地质灾害[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1993.
- [28]天津市环境地质研究所. 天津市区地下水及地面沉降预测模型研究[R]. 1995.
- [29]天津市环境地质研究所. 天津市滨海新区地面沉降研究[R]. 1998.
- [30]天津市环境地质研究所. 天津市地面沉降机理研究及预测预报综合治理[R]. 1995.
- [31]刘高焕等. 黄河三角洲生态环境动态监测与数字模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [32]陈梦熊、马凤山著. 中国地下水资源与环境[M]. 北京: 地震出版社, 2002.
- [33]恽才兴、蒋兴伟著. 海岸带可持续发展与综合管理[M]. 北京: 海洋出版社, 2002.
- [34]赵希涛. 中国海岸演变研究[M]. 福建科学技术出版社, 1984.
- [35]张明书、刘守全、陈民本. 中国海岸带晚第四纪事件地质学[M]. 北京:地质出版社, 2000.
- [36]何庆成等, 黄河三角洲海岸带综合管理—从地学角度展望 21 世纪[M]. 北京:海洋出版社,1999.

- [37]王宏等. 泥质海岸带及百年地质环境变化及精细测年[R]. 天津地质矿产研究所, 2002.
- [38]钟新宝、康慧. 渤海湾海岸带近现代地质环境变化[J]. 第四纪研究, 2002, 22(2).
- [39]李凤林等著. 渤海沿岸现代海蚀研究[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1996.

Ground Water Resources and Geoligo-environmental Problems in Surrounding Bohai Gulf District

Sun Xiaoming^{1,6}, Wang Weidong², Xue jianguo³, Xing zhongxin⁴, Wang Lanhua⁵, Tian Depei⁵, Li Jianfen¹, Xiao Guoqiang¹, Ma Zhen¹

- 1) Tianjin Geological Research Center, China's Geological Bureau, Tianjin 300170
- 2) Liaoning Hydro-engineering prospecting Academy Dalian 116037
- 3) Shandong Geo-Prospecting Academy, Jinan 250013
- 4) Hebei Geo-prospecting Bureau , The Fourth Hydro-geological-engineering geological Team, Changzhou,061000;
- 5) Tianjin Geo-research Academy,Tianjin,300191;
- 6) Water Resource-environment Academy, China's Geological University,100083

Abstract: The surrounding Bohai Gulf District is one of water source extreme short regions in our country, in average one person possesses only 660m³ of water, that occupies only 23.6% for a person in whole China. In addition, the mentioned district is one of extreme brittle and week regions in geo-environmental aspect, where the earthquakes occur frequently and has relative poor crust stability in some locality: In mountain region, collapse, landslips and mudflow and other geological disasters are of serious, the mines exploitation often cause surface subsidence and fractures; groundwater contamination develops from city points developing to areas; the water resource, and land development and other artificial engineering activity promotes threatening and continuously decreasing of the wetland, sea-level uprising, the erosion of coastal and silt up, especially the wind storm will cause great threaten to the port construction and coastal zone development engineer projects as well as to coastal city constructions, especially ,the ground water exploitation may induce the land subsidence and seawater intrusion. In short, the mentioned district is one of more serious groundwater environmental problem.

However, the rationally applying groundwater resources, effectively protecting the geological environment are the main aspect in order to realize the social and economical sustainable development in the mentioned surrounding Bohai Gulf District.

Keywords: Surrounding Bohai Groundwater Geo-environmental Problems Counterplot