

张福存 安永会 等著

区域水资源评价 及可持续开发利用研究

——以黄河三角洲地区水资源为例

地质出版社

水利部 水利部 水利部

区域水资源评价 及可持续开发利用研究

——以黄河、长江、珠江、太湖为例

水利部 水利部 水利部

区域水资源评价及可持续开发利用研究

——以黄河三角洲地区水资源为例

张福存 安永会 潘世兵 姚秀菊 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书从可持续发展的观点出发,在总结黄河三角洲地区浅层淡水(微咸水)形成演化与赋存规律,评价区域水资源,分析水资源开发中存在的主要问题的基础上,有针对性地运用地理信息系统(GIS)对区域地下水资源开发前景评价新理论和新方法的应用进行研究,提出了基于GIS的浅层淡水资源多源信息评价方法,数值模拟、预报和优化方法以及水资源开发优化模式。在水资源供需平衡分析的基础上论述了黄河三角洲水资源可持续发展策略与实施措施及其社会环境效应。

本书对从事水文地质及地理信息系统开发的科技人员具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

区域水资源评价及可持续开发利用研究/张福存等著. -北京:地质出版社, 2003.9
ISBN 7-116-03905-8

I. 区… II. 张… III. ①黄河流域-水资源-评价②黄河流域-水利资源开发 IV. TV213.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第083623号

责任编辑:陈磊

责任校对:梁素林

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324565(编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787mm×1092mm¹/₁₆

印 张:7.75(共2册)

字 数:190千字

印 数:1—500册

版 次:2003年9月北京第一版·第一次印刷

定 价:18.00元(共2册)

ISBN 7-116-03905-8/P·2409

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

水资源既是基础自然资源又是战略和经济资源,以追求利润最大化为惟一目标的发展模式因水资源超量开采、污水随意排放和用水浪费而导致环境破坏和供水危机,进而影响社会经济发展。水资源可持续开发利用对社会经济可持续发展的基础和保证作用因此日益受到人们的重视,并进行了相关的研究及其行动指南的制定。

1992年巴西里约热内卢联合国环境与发展大会通过的《21世纪议程》和中国于1994年编制的《中国21世纪议程》都把水资源可持续利用问题作为重要内容列入其中。《21世纪议程》第18章“保护淡水资源的质量与供应:水资源开发、管理、利用的综合措施”包括7个工作领域,即水资源综合开发与管理,水资源评价,水资源、水质和水生态系统保护,饮用水的供应与卫生,水与城市可持续发展,可持续粮食生产及农村发展用水,气候变化对水资源的影响。《中国21世纪议程》第14章“自然资源保护与可持续利用”有关工作领域包括水的长期供求计划与水资源评价,水资源、水质和水生态系统保护,地下水资源的可持续利用与保护,保障城市生活与工业可持续用水,水污染控制和污水资源化,气候变化对水资源的影响及其适应战略,水资源管理体制改革及其能力建设。两个纲领性文件不仅强调了水资源可持续开发利用的重要性,而且也指出了工作领域和研究方向。

近十几年来,国际组织举行了许多与水资源有关的国际性会议,如“水与环境国际学术会议”(都伯林,1992)、“21世纪水资源研讨会”(斯德哥尔摩,1999)以及“21世纪初期大城市可持续发展的水资源保障国际研讨会”(天津,2000)等,这也充分表明水资源问题的重要性和人们对水资源问题的关注。

黄河三角洲是我国三大三角洲之一,也是世界上形成时间最晚,发展速度最快的三角洲。黄河三角洲地处环渤海经济开发区,地理位置优越,石油、天然气和土地等自然资源丰富,是我国第二大油田——胜利油田的所在地。与长江、珠江三角洲相比,黄河三角洲土地资源丰富而开发程度较低,具有可持续开发的巨大潜力。国家已把黄河三角洲地区的资源开发和环境保护列入《中国21世纪议程》优先项目计划。同时,山东省政府也把开发黄河三角洲列为国民经济发展战略重点和两大跨世纪工程之一。黄河三角洲可望发展成为国家重要粮棉和石化工业生产基地。

黄河三角洲地区咸水广泛分布,淡水资源贫乏,开采难度大。黄河客水为该区的主要供水水源,由于黄河上游用水量不断增加,区内黄河断流时间越来越长,给供水带来严重危机。据统计,1996年黄河连续断流时间达133天,胜利油田因此少注水 $260 \times 10^4 \text{ m}^3$,减少原油开采 $30 \times 10^4 \text{ t}$;东营市工业缺水 $3200 \times 10^4 \text{ m}^3$,经济损失达9.6亿元。黄河断流对农业的损害更为显著,近一半耕地得不到灌溉,减产30%~40%,同时约有34万人吃水困难。另一方面,水资源的不合理开发利用,已引起水资源枯竭、咸水入侵和土地次生盐碱化等一系列环境问题,进一步限制了水资源的开发利用。水资源紧缺和环境问题成为黄河三角洲可持续发展的重要制约因素。黄河三角洲水资源可持续开发利用成为重要研究课题。

“九五”期间，原地质矿产部设立了“资源与环境”重点科技攻关项目“黄河三角洲地区浅层地下淡水资源开发与供水前景研究”，经过中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所和山东省地质勘查局第二水文地质工程地质大队科技人员共同努力，在研究程度相对较低的三角洲地区取得了一系列重要成果。本书是在该研究成果的基础上，利用新技术、新理论对有关问题的进一步研究，试图为黄河三角洲地区提供新的供水途径和水资源可持续开发利用模式，以缓解黄河断流后的水资源供需矛盾，保护水资源生态环境，实现区域经济可持续发展的战略目标。

本书从四维角度（三维空间和时间维）探讨了黄河三角洲地区浅层淡水（微咸水）的形成演化与分布、赋存规律，总结了地下淡水形成演化规律与赋存模式。从可持续发展的观点出发，在区域水资源评价和水资源开发利用现状及存在的主要问题分析的基础上，有针对性的运用地理信息系统（GIS），开展区域地下水资源开发前景评价新理论和新方法的应用研究，提出了基于GIS的浅层淡水资源多源信息评价方法、数值模拟、预报和优化方法。在水资源供需平衡分析基础上，提出了黄河三角洲水资源可持续开发策略与实施措施，并分析评价实施各种工程措施条件下的社会环境效应。

开发研制了基于GIS的黄河三角洲水资源开发利用决策支持系统。重点讨论了黄河三角洲浅层地下水资源开发适宜性综合评价模型的建立和应用，研究成果可为黄河三角洲地下水规划和开发的决策提供依据。本文提出的基于GIS的地下水前景评价多源信息方法同传统方法相比，具有评价精度高，经济、快捷的特点。

黄河三角洲地下水系统模拟、预报研究，在海积冲积平原建立了典型淡水地区浅层地下水系统三维数值模拟和预报模型，用于分析浅层淡水开发可能引起的环境问题，提出了避免咸水入侵淡水的合理开发模式。在地下淡水丰富，开发利用程度高，而环境问题突出的冲洪积平原区，开展了当地地表水、浅层地下水和黄河客水联合调度方案的数值模拟和优化研究，提出了人工引水补源和调整地下水开采布局的优化方案，以缓解区域地下水位下降速度，阻止咸水入侵淡水的进一步发展。

本研究成果为地下咸水广布的环渤海平原地区浅层淡水和微咸水资源可持续开发和相关研究提供了参考。

在本书编写过程中，马志靖教授级高工、马绍忠教授级高工、刘桂仪高级工程师给予了精心指导，提出了许多宝贵意见；贾淑琴工程师清绘了所有图件。在此表示衷心的感谢！由于我们水平有限，错误之处敬请指正。

作者
2003年6月

目 录

前 言

第一章 研究区概况	(1)
第二章 地下淡水形成演化与水文地质特征	(6)
一、地下水的形成与演化	(6)
二、地下水类型与分布	(9)
三、地下水补给、径流、排泄条件	(11)
四、地下水水化学特征	(12)
五、地下水动态特征	(13)
第三章 黄河三角洲地区水资源评价及开发利用现状	(15)
一、地下水资源评价	(15)
二、地表水资源可供水量评价	(26)
三、水质评价	(26)
四、水资源开发利用现状	(28)
五、水资源开发利用存在的问题	(29)
第四章 GIS 的区域地下水开发适宜性评价模型	(32)
一、区域地下水资源开发决策支持系统总体设计与开发	(32)
二、GIS 支持下区域地下水资源开发适宜性评价模型	(33)
第五章 沿黄地区浅层地下水系统数值模拟预测	(38)
一、利津南宋沿黄浅层淡水系统三维数值模拟模型	(38)
二、浅层地下水系统数值模拟及预测	(40)
第六章 冲洪积平原地区水资源合理开发利用与优化管理	(42)
一、冲洪积平原地区浅层地下水水流数值模拟与预报	(42)
二、冲洪积平原北部地区浅层咸淡水界面迁移趋势分析预测	(44)
三、冲洪积平原地区浅层地下水人工调蓄方案模拟与优化	(46)
第七章 黄河三角洲水资源可持续发展策略与实施	(54)
一、需水量预测	(54)
二、可供水量分析	(54)
三、供需平衡分析	(55)
四、黄河三角洲地区水资源开发利用的对策与实施	(57)
五、水资源开发利用与环境效益分析	(58)
六、结论	(59)
七、建议	(60)
主要参考文献	(62)

第一章 研究区概况

1. 地理位置与社会经济概况

黄河三角洲位于山东省北部黄河入海口处,考虑到行政区划的完整性,研究范围为整个东营市范围(本书所指黄河三角洲),包括了东营区、河口区、广饶县、利津县和垦利县等两个区和三个县,总面积约为 7893 km²。研究区地理位置优越,区内公路四通八达,密度达到 0.48 km/km²。另有东营至淄博铁路线。水运有东营港、广利港和刁口码头等。东营机场已完工通航,形成海陆空交通运输网。东营市 1995 年人口 162 万人,其中农业人口 121 万人,非农业人口 41 万人,人口密度 205 人/km²,人口自然增长率 4.88‰。

东营市有丰富的土地资源,总土地面积约 1184 万亩。其中耕地面积 370 万亩,林地园地 34 万亩,牧草地 64 万亩,居民、工矿与交通用地 99 万亩,水体 358 万亩以及未利用土地 259 万亩。耕地有效灌溉面积达 212.5 万亩,其中井灌和渠灌面积分别为 34.7 万亩、177.8 万亩。粮食作物以小麦、玉米、水稻和大豆为主;经济作物主要为棉花和蔬菜。

本区石油天然气资源丰富。自 20 世纪 60 年代初起,先后在黄河三角洲地区发现 68 个油气田,探明石油地质储量 38 亿吨,约占全国探明石油储量的 1/6。黄河三角洲还有丰富的盐卤、地热、煤炭和石膏等矿产资源。

2. 地形地貌

黄河三角洲地区属渤海西岸滨海平原,为华北平原东北部鲁北平原的一部分。按地貌成因类型可划分为小清河以南冲积洪积平原和小清河以北海积冲积平原两部分。前者占研究区面积的 6%,后者占 94%。

海积冲积平原由古黄河三角洲、近代黄河三角洲、现代黄河三角洲平原组成。地势西南高东北低,海拔 10~0 m,地面自然坡降 1/7000,呈扇状向东北展开,黄河构成该区地表、地下分水岭。按微地貌形态特征及成因划分为高地、坡地、低地、洼地、潮间带等类型。

冲积洪积平原,南高北低,海拔 28~10 m,地面自然坡降 1/1000~1/2000,微地貌类型主要为缓平坡地、浅平洼地等。

3. 气象水文

黄河三角洲地区属暖温带季风气候区,具大陆性气候特点,四季分明。春季回暖快,降水少;夏季气温高,天气湿热,降水集中;秋季气温急降,雨量骤减,旱多于涝;冬季干冷,雨雪少。

1956~1997 年年平均降水量 547.9 mm,降水量在时空分布上极不均匀。在时间上,年内降水量主要集中在汛期,占全年的 74%;年际间丰、枯水期交替出现,最大、最小年降水量比值为 2.88。在空间上,从南向北递减,多年平均降水量南部广饶县为 580.9 mm、北部的河口区为 532.9 mm。年平均水面蒸发强度 1194.2 mm,夏、春季较大,占全年的 70%;蒸发量与降水量之比为 2.2:1。

水系以黄河为分界线,北属海河流域,包括沾利河、马新河、草桥沟等;南属淮河流

域，包括小清河、支脉河、淄河等。

黄河从西南向东北斜贯本区，注入渤海，境内长 138 km。利津站年均径流量 1950 ~ 1993 年为 $373.31 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、1973 ~ 1993 年为 $275.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从 50 年代开始水量逐渐减少，70 年代比 60 年代减少 38%，80 年代比 70 年代减少 8.4%（表 1-1）。同时利津站自 70 年代出现断流，1972 ~ 1997 年有 20 年出现时间不等的断流；90 年代中后期断流时间逐年增加，1997 年达到 226 天。

表 1-1 利津站 1950 ~ 1993 年各时期径流量特征值表

年内时段	项 目	时 期					
		1950 ~ 1959	1960 ~ 1969	1970 ~ 1979	1980 ~ 1989	1950 ~ 1993	1973 ~ 1993
3 ~ 6 月	径流量/ 10^8 m^3	94.07	110.90	49.12	37.48	68.69	35.63
	占全年百分比	17.75	22.22	18.79	13.16	18.40	12.95
7 ~ 10 月	径流量/ 10^8 m^3	298.69	291.45	187.36	184.30	228.59	177.00
	占全年百分比	62.71	58.39	60.23	64.71	61.23	64.31
11 ~ 2 月	径流量/ 10^8 m^3	83.56	96.79	74.60	63.01	75.89	62.61
	占全年百分比	17.54	19.39	23.98	22.13	20.33	22.75
年均径流量/ 10^8 m^3		476.32	499.14	311.08	284.79	373.31	275.24

小清河源于济南诸泉，注入莱州湾，区内河道长约 34 km，流域面积 594 km^2 ，据石村站资料，多年平均入境水量 $6.18 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。随着中上游纳污量逐年增加，特别是 1991 年齐鲁石化工业废水排入，水质受到严重污染，已丧失供水价值。通过整治，近年已开始向好的方向发展。

支脉河源于高青县前吉池沟，注入莱州湾，流域面积 1388 km^2 ，区内河道长约 48.2 km，据西营站多年平均入境水量 $2.13 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。近年来，因上游纳污，水质趋于恶化。

淄河源于莱芜市原山，在区内流入小清河，境内长约 37.8 km，据白兔丘站多年平均入境水量 $1.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1980 年以后因上游修建水库，已无入境水量。

4. 地层与地质构造

研究区位于华北拗陷区三级构造单元济阳拗陷的东北部，属中、新生界的沉降区，中生代以前地层及构造均被数千米厚的新生代地层所覆盖。济阳拗陷西部、北部为埕宁隆起、东为庙西拗陷、南为鲁西隆起。在拗陷内，受许多东西向断裂的分割，又形成许多次一级的凸起和凹陷。区内新构造运动主要表现为差异性的升降运动，以垂直下降运动为主。1855 年以来，因黄河重新流入渤海，使本来以垂直下降运动为主的地区，出现了快速堆积，堆积速度大于地壳下降速度，造成假海退现象。

研究区太古宇正变质的花岗片麻岩构成区内沉积地层的基底，古生界由寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系的海陆相白云质灰岩、灰岩、砂岩、页岩等构成。中生界以陆相盆地沉积为主，沉积了中下侏罗系砂岩、页岩与煤层，上侏罗统至白垩系为火山碎屑岩和红色砂岩、泥岩。新生界主要为滨海相、湖相—河流相沉积物，厚达七千余米。第四纪时期，经历了五次海侵，沉积了五个海相层。区内第四系松散沉积物厚约 180 ~ 370 m。

鉴于本研究主要涉及新生界,故根据 200~700 m 深度内钻孔地质资料及孢粉、微体古生物样品资料,对其重点描述。

(1) 第四系

全新统 (Q_4): 小清河以北主要为海积冲积层,层底埋深 21~33 m。上部为土黄、灰黄色粉土,粉质粘土;中部为灰黑色淤泥质土或淤泥,具臭腥味;下部为砂层,以粉砂或粉细砂为主,厚 1.9~8m,具钙核、锈染。

小清河以南主要以冲积洪积层为主,间有湖沼相及海相沉积,层底埋深 2.5~26 m,一般厚 20 m,地层岩性主要为灰黄色粉质粘土、粉土、灰黑色淤泥或淤泥质土,底部有土黄色粉砂,砂层一般仅有 1 层,厚 1~4 m。

上更新统 (Q_3): 小清河以北为海积冲积层,层底埋深 79~101 m。岩性为土黄、灰黄色粉土、粉质粘土及砂层,东部地区多见有淤泥,砂层为粉砂、粉细砂,可见 1~4 层,层厚 1~12 m,最厚可达 20 m,具灰绿色网纹,含钙核。

小清河以南以冲积洪积层为主,间有湖沼相及海相沉积,层底埋深 24~72 m。岩性以粉土、粉质粘土为主,夹有粉细砂、中细砂 1~2 层,砂层厚 1~7 m,最厚可达 10 m。

中更新统 (Q_2): 支脉河以北为海积冲积层,层底埋深 157~200 m。以灰黄、棕黄色粉质粘土为主,夹粉土、粉砂及粉细砂。砂层自西向东层数逐渐增多,可见 1~4 层,垦利县最长达 8 层;厚度一般为 1~10 m,最厚达 22 m。含钙核、铁锰结核,具灰绿色斑及网纹。

支脉河以南以冲积洪积层为主,间有湖沼相及海相沉积,层底埋深 72~156 m。岩性以粉土、粉质粘土为主,夹 1~3 层砂层,砂层自南向北增多,颗粒由粗变细,砂层厚 1~6.5 m。

下更新统 (Q_1): 支脉河以北为海积冲积湖积层,层底埋深 250~370 m。以粉质粘土为主,夹粉土及 1~6 层细砂及粉细砂,砂层单层厚 1.5~10 m,颜色多为棕黄、棕红、灰绿、灰褐等色,结构紧密,压裂面发育。

支脉河以南以冲积洪积层为主,间有湖沼相沉积,层底埋深 168~270 m。岩性为粉土、粉质粘土及砂层,局部地区以粉土为主,底部为粘土层。砂层可见 1~4 层,厚 3~5 m,最厚可达 8 m,砂层颗粒从南向北由粗变细,结构较紧密。

(2) 新第三系

上新统 (N_2) 明化镇组上段在利津—胜利电厂一线以南为冲洪积、湖积,以北为冲积、湖积,岩性基本一致,呈胶结半胶结状态。北部颗粒较细,南部颗粒较粗,胶结程度北部较南部稍高。岩性以粉质粘土为主,夹粘土层及砂层。砂层多为细砂、粉细砂,北部 2~12 层,层厚 1~16 m,最厚可达 24 m;南部砂层 3~13 层,厚 0.4~6 m。

5. 黄河三角洲形成与发育规律

根据历史记载,三千年来,黄河下游多次决口泛滥,范围北抵海河,南到淮河。大体分三个时期:自春秋战国到南宋建炎二年(公元前 602~公元 1128 年),黄河北流入渤海;自南宋到清咸丰五年(公元 1128~1855 年),南流入黄海;1855 年 6 月在兰考县铜瓦厢决口改道,夺大清河河道,重新汇入渤海(1938~1947 年经江苏入海)。

根据三角洲形成的年代,将黄河三角洲划分为古黄河三角洲、近代黄河三角洲和现代黄河三角洲。古黄河三角洲形成于 1855 年以前。1855 年 6 月黄河回流入渤海后,尾间决

口 50 多次，大的改道 11 次，分别于 1855 ~ 1934 年和 1934 年至今形成以宁海和渔洼为顶点的近代和现代三角洲。

河流从初期改道到河流废弃，再到在顶点改道，经过一个周期，相应沉积的一套沉积物称三角洲叶瓣(或舌状体)，改道后的河道又开始建造新的叶瓣。叶瓣依次叠置，便成三角洲。黄河三角洲也不例外，近代和现代三角洲分别由七个叶瓣和五个叶瓣组成(图 1-1)。

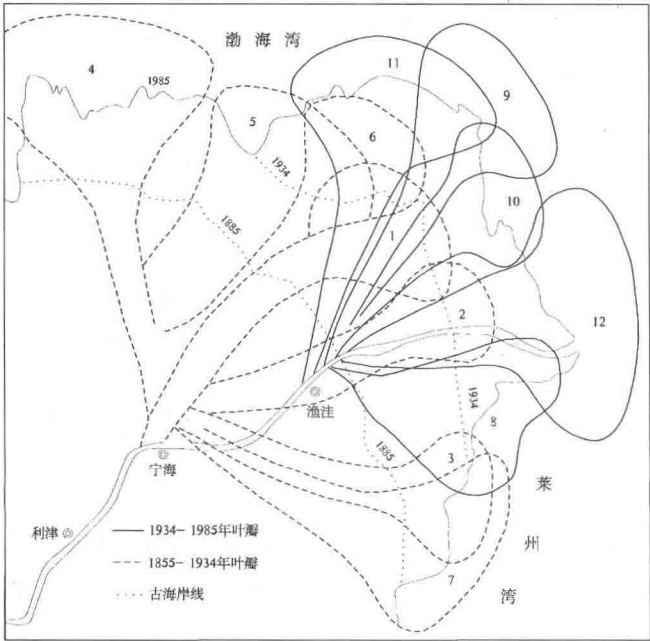


图 1-1 近代、现代黄河三角洲叶瓣

1—1855.6 ~ 1889.3; 2—1889.3 ~ 1897.5; 3—1897.5 ~ 1904.6; 4—1904.6 ~ 1917.7; 5—1917.7 ~ 1926.6; 6—1926.6 ~ 1929.8; 7—1929.8 ~ 1934.8; 8—1934.8 ~ 1953.7; 9—1953.7 ~ 1960.8; 10—1960.8 ~ 1964.1; 11—1964.1 ~ 1976.5; 12—1976.5 ~ 1985

近代和现代黄河三角洲河道演化可归纳为漫流游荡展宽→归股顺直延伸→弯曲出汊摆动→废弃蚀退成堤四个阶段。叶瓣的形成演化与河道的变迁演化紧密相关，与之相对应，一般有三个活动期阶段和一个非活动期阶段的演化过程(成国栋等，1986)。

叶瓣发育的第一阶段，处于一条河道的改道初期。由于河水主流不稳定而漫流入海，该阶段是陆上三角洲堆积物沉积速度最快，也是三角洲迅速向海扩展的阶段。第二阶段，由于河流归股顺直延伸，大多形成单一稳定河道入海，大量泥砂被携带到入海口堆积，河口外延且突出于海中，是河口砂坝形成的主要时期。第三阶段，由于河口外延，河床坡度变缓，河道溯源堆积影响增大，逐渐导致河口改道，随着决口点上移，最终在三角洲顶点附近改道。该阶段三角洲横向扩展，河口砂坝连接成席状砂体。改造阶段河道废弃后，流路迁移，形成新的流路。原来流路形成的叶瓣，开始受到改造。三角洲前缘受到侵蚀，海岸蚀退(主要为沉积物压实下沉和海岸侵蚀)。当有新的叶瓣覆盖后，改造作用停止。

黄河三角洲的演化过程决定了三角洲结构的特点。垂向上不同时期的叶瓣上下叠置，具多层结构；在平面上多表现为相邻年代的叶瓣紧挨(王爱华等，1990)。黄河三角洲的

堆积方式，从总体及堆积发展速率来看，以侧向外移为主，垂向沉积为辅。河口砂坝沉积和河道间海湾型沉积是现代黄河三角洲最普遍的两种基本形式。尾间河道决口—摆动—改道的循环规律是黄河三角洲发育的特有规律性。

黄河三角洲陆地面积在不断扩大，遥感解译结果认为，1855 年 6 月~1996 年 5 月研究区内填海造陆面积 2900 km²，141 年来年均填海造陆面积 20.57 km²。其中 1855 年 6 月~1975 年 5 月为 2460 km²；1975 年 5 月~1996 年 5 月为 440 km²。1996 年 6 月黄河尾间改道北流，从 1996 年 5 月 23 日和 1996 年 10 月 4 日 TM 假彩色合成卫片对比解译结果，仅四个月时间就造陆 30 km²。

通过对近代和现代黄河三角洲古（故）河道带的遥感解译成果，并与前人资料分析对比，黄河自 1855 年以来，大的改道 11 次，各流路位置与流经时间见图 1-2。

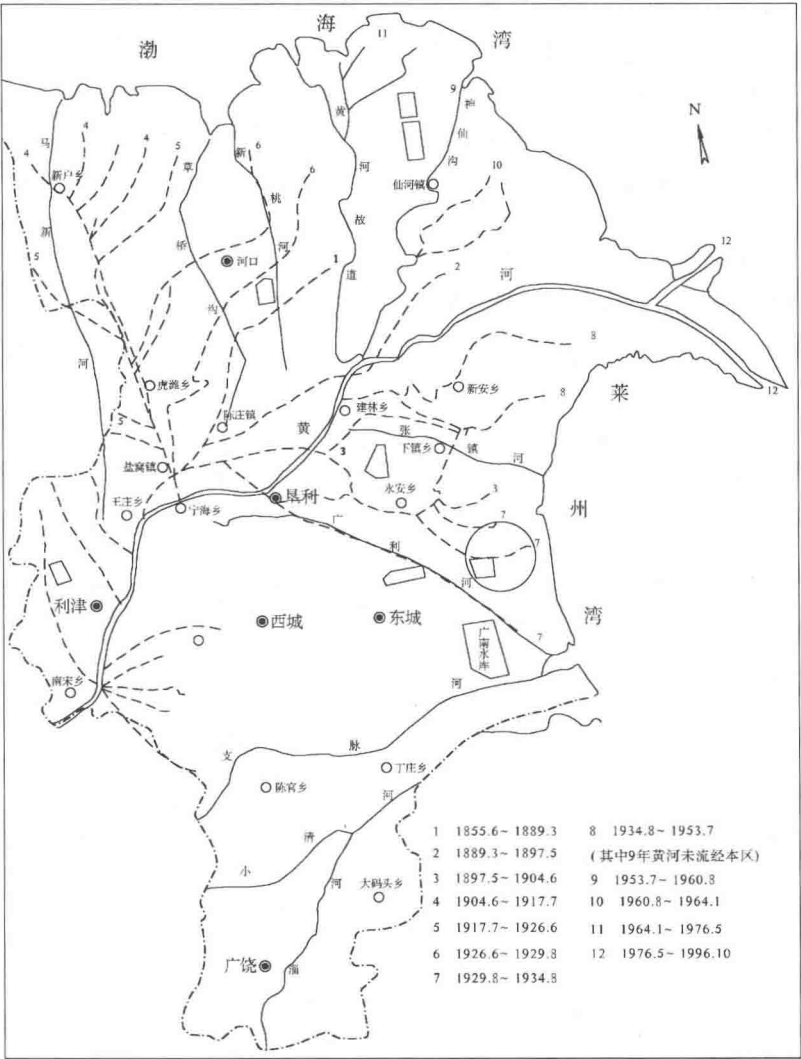


图 1-2 黄河三角洲遥感解译黄河古（故）河道分布与变迁图

本图按黄河摆动范围与规律，根据遥感图像将黄河古道分为 12 期次，每期次流经时间依据以往工作成果

第二章 地下淡水形成演化与水文地质特征

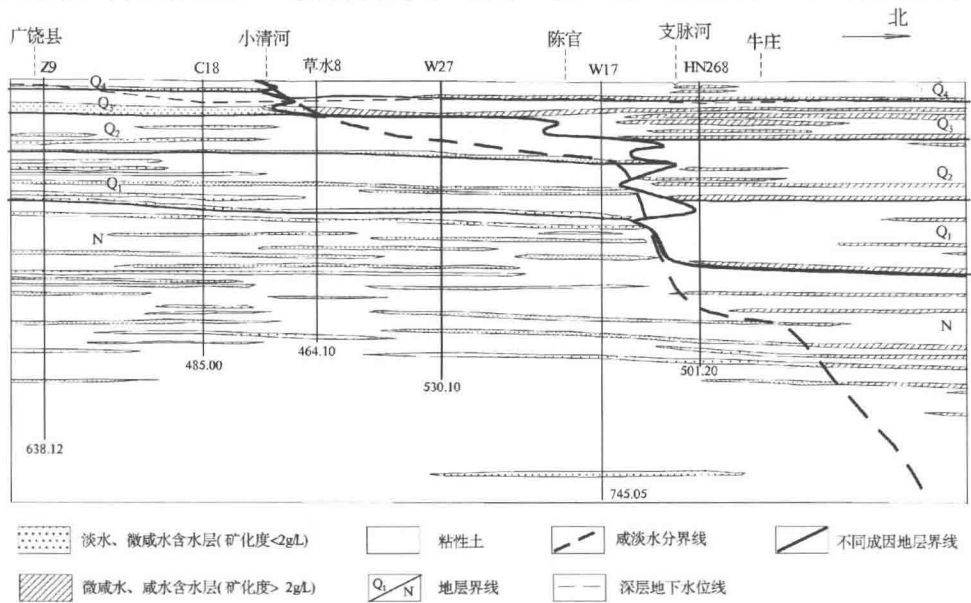
一、地下水的形成与演化

研究区南部（小清河以南）为泰沂山前冲积洪积平原中尾部，从南向北由全淡水含水层分布区逐渐过渡为浅层咸水、中深层（上咸下淡）和深层为淡水的二层含水结构。北部海积冲积平原浅层孔隙潜水、微承压水含水岩组咸水广泛分布，仅有小部分地区分布有淡水含水层，中深层和深层承压水含水岩组从南向北由淡水逐渐过渡为咸水。

1. 冲积洪积平原地下淡水

冲积洪积平原沉积物主要来源于泰沂山地，在淄河等河流的搬运作用下，经过河流多次改道摆动，形成冲洪积平原。冲洪积平原自南向北缓倾斜，具有典型的冲洪积平原水文地质特征。在地壳不断下沉和古气候等综合因素影响作用下，冲积洪积平原亦随之不断向南退缩，并为黄河泛流冲积层及湖沼相沉积和海相沉积层所覆盖，但深部延伸较远，形成垒叠式的冲洪积平原（图 2-1）。在大陆蒸发积盐过程中，形成大陆盐化作用，在不同时期冲洪积扇前缘地带形成矿化度较高的地下水。又由于该地区经历了五次海侵，在海侵海相沉积作用下，对地下水的动力场、化学场的影响，使不同时期的沉积物，不同时期的盐化过程加剧，形成了“盐上加盐”的局面，因此形成不同时期相互叠置的咸水含水水体。

上新统山前冲洪积物一直延伸到前刘—郝家—史口镇—胜利电厂—广利联合站一线以



南,形成深层孔隙裂隙承压淡水。该线以北,在目前勘探深度(600 m)内无深层淡水;下更新统至中更新统山前冲洪积物后退至麻湾分洪闸—西南李—牛庄—王屋一线以南(即支脉河以南),形成中深层孔隙承压淡水,该线以北中深层孔隙承压含水岩组均为咸水;上更新统至全新统山前冲洪积物退缩至石村—张庄—大营—三岔河口—西刘桥一线以南(即小清河以南),形成浅层孔隙潜水、微承压淡水含水体(姚秀菊等,2002)。

中更新统以来,沉积环境发生了较大变化,区内经历了五次较大规模的地壳升降运动,形成了五个海陆相沉积旋回(表 2-1)。第一次和第三次海侵的古海岸线均在大营以北;第四次海侵的古海岸线在牛庄以北;第五次海侵在本区范围较小,仅在研究区的北部和东部见有此次海侵的海相沉积层;第二次海侵于本区范围最广,古海岸线在广饶县城以南的南十里堡至大王一线,在海相沉积环境作用下,第二次海侵古海岸线至目前石村、颜徐、稻庄一带范围内,在埋深 23~67 m 之内,因海侵作用形成了浅海相沉积的咸水含水体(姚秀菊等,2002)。

表 2-1 黄河三角洲地区海相沉积旋回及沉积岩性特征

沉积旋回		埋 深/m		海 相 岩 性 特 征	沉积环境	时 代		绝对年龄/a
序号	名称	顶板	底板					
1	北镇海侵	2.78 ∩ 8.00	8.90 ∩ 27.73	黄灰色淤泥质粉质粘土和淤泥质粉细砂。分布于广饶大营以北	浅海 滨海	全新统中期		8000 ~ 3000
2	惠民海侵	23.40 ∩ 32.31	32.30 ∩ 67.22	灰黄灰黑色粉质粘土夹淤泥层。分布范围较大,南到广饶县城以南的十里堡至大王一线	浅海	晚更新统	中期	约 40000 ∩ 20000
3	无棣海侵	39.0 ∩ 72.0	52.0 ∩ 100.0	灰黄色粉土、粉细砂,含淤泥质。分布于广饶大营以北	浅海		早期	约 100000 ∩ 80000
4	滨县海侵	90 ~ 114		灰黄色粉质粘土或粉细砂。分布于牛庄以北	滨海 浅海	中更新统中期		约 190000
5		118 ∩ 166		褐色、土黄色粉土。主要见于工作区北部和东部		中更新统早期		

南部冲积洪积平原浅层地下淡水,接受泰沂山前侧向径流补给,水质好,而且地形坡度较大,含水层颗粒较粗,地下水径流条件好,浅层淡水由南向北径流、排泄过程中,在地下水水动力条件作用下,将咸水由南部向北部推移。另外,浅层咸水还接受当地降水补给,起到了淋溶淡化作用,漫长地质历史时期的水岩相互作用,易溶盐分被逐渐淋溶携出,也起到了咸水淡化作用。在上述两方面的综合作用下,在经历了长达 2~4 万年的漫长地质时期,使咸水含水体逐渐淡化,将咸淡水水平方向的界面逐渐由南向北推移。直到 20 世纪 70 年代中期人类大量开发利用地下水之前,形成了 10~20 km 宽的咸水淡化区,将原来以第二次海侵古海岸线一带的咸淡水水平方向的界面,向北推移到了石村、颜徐、稻庄一线以南。70 年代中期,地下水位埋深 2~4 m,随着地下水的大量开发利用,浅层地下淡水水位迅速下降,形成了以花园和稻庄为中心的降落漏斗,改变了地下水由南向北径流、排泄的地下水水动力场,形成了由降落漏斗四周向漏斗中心径流的水流动力场,破坏了咸淡水之间的极限平衡,又形成了北部咸水向南入侵的状况。据东营市广饶县水利局

监测资料分析,到1996年累计咸水入侵面积63.01 km²,1996年11月到1997年11月,郝家村以西咸淡水界面平均向南推进约200 m。

2. 海积冲积平原浅层地下淡水

小清河以北海积冲积平原,是由黄河冲积作用和海相沉积作用而形成,其地势平坦,岩性松散,含水层颗粒细。由于该区一直处于地壳下降为主的沉降盆地环境中,而且又是黄河一河控制填海造陆形成,所以形成了以黄河流路为骨架的扇状体。自中更新世以来,该区经历了五次海侵,因此,不仅广泛分布咸水含水层,而且第四系沉积物含盐量亦较高。

(1) 古黄河三角洲:黄河从1128年由流入渤海改为流入黄海再到1855年又流入渤海,在这近千年的历史时期,咸水广布的古黄河三角洲地区一系列古河道中的浅层淡水含水体由于以下两种因素被咸化,即大气降水入渗补给地下水过程中,对土体中的盐分起淋溶作用,将盐分携带给淡水体;同时,在水动力场作用下,咸水侵入带状浅层淡水体。因此,该区基本无浅层淡水。

1855年黄河又回流入渤海,在古三角洲上堆积了泛滥平原沉积物,形成局部带状浅层淡水含水体。同时,大气降水入渗补给、黄河水侧向渗漏补给及引黄灌溉入渗补给对黄河古河道带等咸水起到淡化作用,淡水含水体逐渐扩大,形成目前浅层淡水、微咸水分布区。

黄河现行河道是当地的地下水分水岭,黄河淡水向两侧补给地下水,古河道带具有集中侧渗补给条件,所以在现代黄河河道两侧,以决口扇和古河道带为骨架,在大面积的咸水分布区形成了矿化度小于1 g/L的地下淡水和1~3 g/L的微咸水分布带,或仅形成矿化度1~3 g/L的微咸水分布带。如以宫家决口扇和南宋至北宋古河道带为骨架、以麻湾决口扇和麻湾至油郭古河道带为骨架、以庄科决口扇和利津至明集古河道带为骨架的淡水和微咸水分布带等。

根据20世纪80年代黄河下游8组观测断面计算黄河侧渗补给量表明,黄河对两岸地下水补给的影响宽度有限,仅为10 km左右,所以淡水含水体沿古河道带延伸一般不足10 km则变为微咸水。在黄河侧渗、大气降水和引黄灌溉等综合作用下,微咸水沿古河道带延伸亦不足20 km。并且由古河道带向两侧横向变化很快,如麻湾至油郭古河道带淡水和微咸水分布带,矿化度小于1 g/L、1~2 g/L、2~3 g/L的区域分别长14 km、宽0.3~0.5 km,16 km、单侧宽0.5~0.8 km,长18 km、单侧宽6~8 km。

黄河淡水向两侧补给使咸水淡化,因不同部位补给强度不同而咸水淡化程度各异。董王一利津县城一带的黄河漫滩因与黄河古流路河床一致,接受黄河淡水补给条件好,形成了该区最富水的淡水区。麻湾—油郭古河道带位于黄河河道由北东转为北北东方向的冲刷岸一侧,接受补给条件较好,形成了规模较大的条带状淡水含水体。而其北部相邻的两条古河道带小于1 g/L的带状淡水含水体规模较小,最北部的北王一刘家古河道带淡水条带仅长5 km、宽0.1~0.2 km。其他地带的古河道带因补给强度差仅形成不同规模的条带状微咸水分布区。

引黄干、支渠因渠系淡水渗漏补给对两侧产生(微)咸水淡化,形成很窄的淡水或微咸水条带;当水渠断水后,淡化的咸水又产生咸化。如店子村渠边井水矿化度为1.0 g/L,距离水渠150 m的井水矿化度达3 g/L;当渠中无水,渠边井水矿化度2.2 g/L,北100 m处的井水为2.8 g/L。

引黄灌溉入渗补给对微咸水或咸水起淡化作用而形成一定面积和厚度的淡水体。利津

微咸水区北朱村一深 9.5 m 水井水位埋深 1.1 m, 1.1 m 处矿化度 1.34 g/L, 向下逐渐增加, 2 m 处 1.85 g/L, 3 m 以下则稳定在 2.17 g/L, 这说明引黄灌溉入渗补给的淡水将表层微咸水淡化。

浅层地下淡水、微咸水的分布与微地貌亦有一定的关系, 在黄河决口扇高地、黄河泛流主流带高地等有浅层地下淡水和微咸水分布, 而在决口扇间洼地、河间洼地及低地均为咸水分布区。这是因为大气降水和引黄灌溉回归水, 在径流和渗流过程中, 把高地土(砂)层的盐分携带到低洼地, 从而高地地带土(砂)层的盐分缓慢减少, 在长期补给作用下, 淡水逐渐将咸水淡化, 形成微咸水分布区; 而在地形低洼地带则会形成盐分聚集, 造成大面积中等或重盐渍化。如宁海乡至垦利县城黄河泛流主流带高地为微咸水分布区, 而利津水库一带扇间洼地则是盐渍化区。

(2) 近代和现代黄河三角洲: 均为填海造陆形成, 因此, 不但含水层中赋存着咸水, 而且沉积物含盐量也很高。1855 年黄河夺大清河入渤海, 黄河在流经近代黄河三角洲时, 在其上又堆积了黄河冲积物, 并形成了带状淡水含水体。黄河三角洲形成机理决定了黄河流路必定频繁迁移改道, 1855 年以来黄河尾间河道决口 50 余次, 大的改道 11 次, 一个流路流经时间最长 30 年左右, 短则仅几年, 平均每十年变更一次。因此, 在咸水广泛分布区不是咸水淡化, 而是有限的淡水被咸化。所以无论是古河道带的带状含水体, 还是决口扇处的淡水含水体, 均被逐渐咸化成为咸水含水体。仅在黄河侧渗补给条件好的地段有淡水, 而且很快过渡为微咸水和咸水。如黄河现行河道仅在扇顶部的王庄乡到东坝一带的大堤内侧为微咸水及淡水, 再向下游黄河河道水边线附近, 地下水矿化度亦大于 3 g/L。

盐窝、老董、北岭乡一带为近代黄河三角洲的顶部地区, 是黄河前五次决口改道地区, 而且黄河在夺大清河之前, 大清河流经此地入海, 并且处于黄河由近南北向河道转为近东西向河道转弯处, 黄河侧向补给条件好, 因此在古河道带赋存有浅层微咸水, 但微咸水水体延伸不远则变为咸水。

现代黄河三角洲仅在刁口河与神仙沟黄河故道河床地带有宽约 100 m 的窄条状淡水体分布, 两侧很快则变为咸水。如刁口河垦 71 泵站大桥下黄河充水故道中水的矿化度 1.1 g/L, 此点向东仅 100 m, 浅层地下水矿化度则达 2.9 g/L。这是因为目前不但仍有黄河潜流补给, 而且有引水闸引水, 仍为一充水河道。

3. 黄河三角洲地区淡水、微咸水赋存模式

按三角洲形成时的沉积环境、沉积物成因、浅层地下水的赋存条件及其所处的微地貌部位, 浅层淡水(微咸水)赋存模式可分为两类六种, 即海积冲积平原类型和冲积洪积平原类型。前者包括现代黄河河床漫滩高地型、黄河泛流主流带高地古河道带型、决口扇及古河道带型、充水的黄河故道带型、河间坡地型等; 后者为冲积洪积平原型。

二、地下水类型与分布

自新生代以来, 在晚近期构造运动作用下, 研究区地壳长期处于下降趋势, 堆积了巨厚的沉积物。因受地形、地貌、地层岩性、海水入侵和海陆交互沉积等因素影响, 小清河以北地区咸水广泛分布, 而地下淡水和微咸水分布面积有限。按埋藏深度、第四系厚度、地下水水力性质等将第四系和第三系明化镇组沉积物划分为三个含水岩组, 即浅层孔隙潜

水、微承压水含水岩组,含水层底板埋深小于 60 m;中深层孔隙承压水含水岩组,含水层底板埋深 180~370 m;深层孔隙裂隙承压水含水岩组,含水层顶板埋深大于 180~370 m。按地下水矿化度划分为淡水(矿化度 $<1\text{ g/L}$)、微咸水(矿化度 $1\sim3\text{ g/L}$)和咸水(矿化度 $>3\text{ g/L}$)三种类型。

1. 浅层孔隙潜水微承压水含水岩组

浅层地下淡水主要分布于小清河以南,含水介质主要为第四系全新统和上更新统冲积、洪积物,在 40~50 m 深度内一般无稳定隔水层,形成潜水和微承压水。其水文地质特征具有典型的冲洪积扇形水文地质特征,即从南向北沉积物厚度由薄变厚;含水层颗粒由粗变细,南部以中粗砂和中细砂为主,夹砾石,北部以细砂、粉细砂为主;含水层层数由少增多,单层厚度由厚变薄;含水层富水性由强变弱。受淄河古河道展布控制,含水层分布大致有三个南北向条带,西边为李鹊-石村带,中部为西营-稻庄带,东部是大王-南郭带。含水层厚度由各带中部向两侧变薄,一般中部厚 10~15 m,最厚可达 20 m。单井出水量一般大于 $1000\text{ m}^3/\text{d}$,富水部位大于 $1500\text{ m}^3/\text{d}$ 。三个南北向条带之间为古河道河间地带,含水层厚度逐渐变薄,一般 5~10 m,部分地带小于 5 m。

小清河以北地区,浅层地下淡水、微咸水资源贫乏,仅在黄河现行河道两侧及两侧的决口扇和古(故)河道带地带有小面积分布,其他广大地区为咸水分布区。在垂向上表现为全咸结构或上淡(或微咸)下咸结构。含水介质主要为全新统和上更新统海积冲积物。浅层淡水底界埋深一般小于 25 m,最深 36 m,其下为咸水。微咸水底界埋深一般小于 15 m,最深 25 m,其下为咸水。含水层岩性为粉砂或粉细砂,结构较单一,大部分地区含水层厚 1~10 m,富水部位砂层一般厚 10~20 m。以现代黄河河床为中心,砂层厚度和浅层淡水底界埋深向两侧变薄、变浅。含水层富水性差,富水地段单井出水量 $200\sim500\text{ m}^3/\text{d}$,大部分地段小于 $200\text{ m}^3/\text{d}$ 。

2. 中深层孔隙承压水含水岩组

该含水岩组含水层底板埋深 180~370 m。以官庄—陈桥—王屋—广北农场为界,以南为淡水,含水介质为中更新统和下更新统冲洪积物;以北为咸水,含水介质为中更新统和下更新统冲积及湖沼相、海相沉积物。含水层结构在石村—广饶—稻庄一线以南为全淡结构、以北为上咸下淡结构,咸水底界埋深向北逐渐加深。

承压淡水含水层岩性南部以粉细砂、中细砂为主,局部有中粗砂,含水层厚 40~50 m,单井出水量一般大于 $1000\text{ m}^3/\text{d}$;向北含水层颗粒由粗变细,厚度由大变小。北部含水层岩性以粉细砂为主,含水层厚 10~30 m,单井出水量 $500\sim1000\text{ m}^3/\text{d}$ (局部地区小于 $500\text{ m}^3/\text{d}$)。根据钻孔抽水资料和含水层砂层厚度,将中深层承压淡水划分为两个富水性等级。

(1) 水量丰富:单井涌水量大于 $1000\text{ m}^3/\text{d}$ 。主要分布在花官—房家一线以南,房家一大码头一线以西地区,含水层岩性为中细砂、粉细砂。中更新统含水层砂层单层厚 1~6.5 m,累计厚 10~15 m;下更新统砂层单层厚 3~5 m,最厚 8 m,累计厚 15~25 m。矿化度 $<1\text{ g/L}$,水质良好。

(2) 水量较丰富:单井出水量 $500\sim1000\text{ m}^3/\text{d}$ 。主要分布在官庄—陈桥—王屋—广北农场一线以南,花官—房家一大码头一线以北地区,含水层岩性为粉砂、粉细砂,砂层单层厚度 1.5~10 m,最厚 15 m,含水层富水性较差,个别地区单井出水量大于 $1000\text{ m}^3/\text{d}$ 。