

摘要

水是人类生产、生活不可缺少和无可替代的重要资源。地下水资源是水资源的重要组成部分，我国人均水资源量尚不及全世界的 1/4，而山东省人均占有水资源量仅为全国的 1/6，亩均占有量为全国的 1/5。

大汶河流域位于黄河下游，流域面积 9069Km²，其中泰安市境内 6387.11 Km²，流域多年平均年降水量 649mm，天然河川径流量 17.4431 亿 m³，地下水资源量 12.3758 亿 m³，扣除两者的重复计算量 6.3635 亿 m³，水资源总量 23.4524 亿 m³，人均、亩均水资源占有量仅为全国的 1/7。随着社会经济的快速发展，人们对水的需求量是越来越大，水资源的供求矛盾日渐突出。为了缓解水资源短缺，对地下水资源进行掠夺式开发，盲目打井，过量开采，造成了地下水位持续下降、地面裂缝、地面沉降塌陷等一系列严重的水环境问题。水资源严重短缺已经成为大汶河流域国民经济和社会发展的重要制约因素。

本文利用 1956 年—1993 年水文观测资料，对大汶河流域泰安市及其重点水源地地下水资源补排量 and 可开采量进行了分析计算。通过对大汶河流域地下水资源系统的初步分析，建立了东平县地下水数值计算模型，在数值模拟基础上，确定该区域水文地质参数。在分析影响地下水位动态变化因素及对生态影响的基础上，确定了大汶河流域典型地区地下水控制水位。论文建立了地下水资源承载力的评价指标体系，对区域地下水资源开发潜力进行了初步探讨。论文对大汶河流域地下水的开发利用具有一定的指导作用。

关键词：地下水资源，可持续利用，评价，水资源承载力

Abstract

Water is an indispensable and irreplaceable resource for life and production. The ground water resources are its important portion. The per capita water resources in our country is less than one fourth of the global average, and in Shandong province only one sixth for the per capita and one fifth for the per area.

The Dawen River located in the downstream of the Yellow River has a drainage area approximately 9069 km², where 6387.11 km² are within Taian county. The multi-year mean of annual precipitation is 649 mm, and annual amount of streamflow and ground water resources are 1.74431 and 1.23758 billion m³, respectively. The total water resources amount is 23.4524 billion m³ after excluding their duplicate. The per capita and per area values are only 1/7 of the average value in our country. An increasing requirement in water resources has resulted in the conflicts due to water shortage with the rapid development of society and economy. To alleviate water shortage, people there overexploited groundwater without carefully scheming pumping wells, resulting in concussive decrease in groundwater level, ground surface crack, land subsidence. Therefore, Extreme shortage of water resources has become a key factor limiting social and economic development in the Dawenhe basin.

Recharge and discharge amount of groundwater and its available for utilization in the Taian county and the groundwater source areas within the Dawenhe basin were estimated by using observation data from the year 1956 to 1993. An numerical groundwater modeling system was established on the basis of analysis of groundwater system in the Dawenhe basin. The hydrogeological parameters were then estimated through modeling calibration and validation. A reasonable groundwater table that preventing from environmental deterioration was determined on the basis of analysis of groundwater variations and their influences. An indicator system for evaluating a supporting capacity of groundwater resources was developed in order to evaluate the potential capacity of groundwater resources. This study will be very useful for planning groundwater utilization in the Dawenhe basin.

Key words: ground water resources; sustainable development; evaluation, variation tendency

第一章 综述

1.1 问题提出

可持续发展战略是二十一世纪的发展战略，是谋求以人为中心，以资源环境保护为条件，以经济发展为手段，实现当代人与后代人共同繁荣的发展。水是生命之源，其作为自然资源中的一种宝贵资源，对人们的生活、工农业生产、生态环境的保护和改善方面起着举足轻重的支撑作用。

但是，我国的水资源存在许多“先天不足”的缺点：时空分布不均匀；人均、亩均数量低；水土之间匹配不协调等现状；加之近年来，随着工农业的迅速发展和城乡居民人口剧烈增加，一方面对水资源需求量越来越大，另一方面造成的水体污染越来越严重。随着社会经济的进一步发展，水资源供需矛盾更加突出，而有许多地区为了缓解这项矛盾，对水资源进行了掠夺性的开发利用，结果出现了自然植被衰退、河床淤积、河水断流、河口生态环境恶化、地下水大面积严重超采、地面裂缝沉降、海水入侵等严重问题，使生态环境遭到破坏，影响了该地区社会经济进一步发展。对流域水资源的开发利用，只注重了当前的经济利益，而忽视了生态需水，导致了生态环境不同程度的缺水，生态环境质量下降。

由于水资源开发的不合理，一方面导致了生态环境恶化，另一方面又进一步缩小了水资源的可利用量，使其短缺矛盾日益加剧，水资源的短缺问题已经成为制约我国国民经济发展的“瓶颈”。水资源又分为地表水资源和地下水资源两大部分，而过去人们都有一个错误观念，认为“地下水资源是取之不尽用之不竭的”，这也导致了地下水资源的过度开采，诱发了一系列严重的地质环境问题。如何根据我国现状进行水资源特别是地下水资源的可持续开发变成了一个迫在眉睫的问题。

区域流域地下水资源开发系统是一个复杂的大系统，它包含有许多要素，如人力资源、自然资源、生产力水平、法规政策等；同时它又是一个开放系统，与其所处的环境发生着物质、能量和信息的交换，一个流域的社会经济发展关键因子不在于它的有利因子。而在于制约它的不利因子。在自然条件方面，一个流域最紧缺的是资源因子和最为脆弱的环境因子，而资源方面最紧缺的是水资源，环境最脆弱的与水资源关系最密切的是水环境。因此，地下水资源具有资源、社会、经济和环境多种属性，只有充分考虑它的多重性，才能实现它的资源价值和社会经济价值。

大汶河流域多年平均年降水量 649mm，折合总水量 62.94 亿 m^3 ，天然河川径流量 17.4431 亿 m^3 ，地下水资源量 12.3758 亿 m^3 ，扣除两者的重复计算量 6.3635 亿 m^3 ，水资

源总量 23.4524 亿 m^3 ，人均、亩均水资源占有量仅为全国的 1/7。水资源严重短缺已经成为大汶河流域国民经济和社会发展的重要制约因素。大汶河流域水资源量具有年际、年内变化大，丰枯交替，连丰、连枯，旱涝不均和地区分布不均衡等特点，这给开发利用带来了一定困难。本文利用翔实的地下水资料，对大汶河流域地下水资源进行评价，提出地下水可开采量和地下水资源承载力等可持续利用指标，为科学合理的利用大汶河流域地下水资源提供参考依据。

1.2 国内外研究动态

目前，地下水资源评价以及可持续利用问题受到国内外学者的广泛重视，对该问题的研究已成为水资源研究中的一个热点。国内外的学者进行了大量研究，并取得了丰硕的成果。

上世纪 50 年代，前苏联的 H·A·ИЛЮТНКОВ 四大储量法^[1]（即动储量、静储量、开采储量和调节储量）普遍应用于地下水资源评价中，此法运用传统理论和方法，认为地下水资源的发生、发展及变化，多取决于地质因素，难以说明变化着的水资源。

上世纪 70 年代以来普遍以总补给量（降雨入渗补给量、地表水体补给量、侧向补给量及其它补给量之和）作为地下水资源的主要指标。

近年来，随着计算机的快速发展，对地下水评价的研究逐渐转向了模型研究。随着 3S 技术的发展，它已成为地下水资源评价中的强有力的工具。随着 3S 技术的引入，国际上已经形成了一批非常有影响的地下水模拟模型，如 MODFLOW、MT3DMS、MT3D⁹⁹、PEST、MODPATH、UCODE 等^{[2][3]}，这些模型的出现，极大地推动了地下水资源评价的研究。

另外，地下水资源可持续利用问题也是各国十分关注的问题。波斯特（Postel）在《最后的绿洲》中，阐述了地下水资源的短缺将影响到国家的发展^[4]。1999 年，德国的 Magdalena Steiner & Helmut Lehn 提出了可持续的水管理的四个原则：其中提到了“使用水的比率应同它产生的比率相同^[5]”。这就意味着对地下水的开采率不应超过它长期的补给率。另外，联合国对亚太地区在“环境和可持续发展”问题上，提出了《亚太水资源利用与管理手册》、《水与可持续发展准则》^[6]，回顾了亚太地区水资源开发利用现状，提出了战略目标和实施方法；并分析了水资源与社会经济发展的关系，确定了地下水资源开发利用在可持续发展中的准则和地位。

近年来,随着我国社会经济的快速发展,水资源短缺已成为制约发展的突出问题,地下水资源开发利用面临新的挑战。面对这些问题,我国的水利工作者作了大量地下水资源评价及地下水可持续利用方面的工作,取得了大量成果。

2000年,赵秀云^[7]等通过分析水源地开采量与动水位、降水量等因素间的相互关系,探讨了相关分析在地下水资源评价中的应用。同年,束龙仓^[8]等提出地下水资源评价结果的可靠性问题,在阐述水文地质条件的基础上,对地下水资源评价结果的可靠性进行了定量分析。

2001年,余正元^[9]分析了疏干补偿法在地下水资源评价中的应用,该方法回避了为求取水文地质参数或水均衡要素所存在的一系列实际困难,取得了满意的效果。

2003年,夏自强^[10]等分别对地下水评价中的水量均衡法、地下水水文分析法以及比拟法进行了研究,并对三种方法的优缺点进行了分析。

2005年,伍立群^[11]等采用适宜水均衡法和直线斜割法的径流资料分割河川基流量,求出两种方法之间的换算系数,修正水均衡法的分割成果,分析了河川基流分割法在山丘区地下水资源评价中的应用。魏林宏^[12]等将人工神经网络预报降雨技术应用于地下水资源评价中,取得了较好的结果。

随着对地下水资源评价问题不断深入的研究,地下水可持续利用问题也被提升到了重要的位置上。王开章等在《地下水水源地污染分析及可持续利用对策》中^[13],根据目前我国城市化进程的加快、引发的地下水饮用水源地严重污染的严峻形势,对地下水水源地的污染现状、污染原因和水源地可持续利用做了较深入地研究。并从我国的经济技术现状、社会宏观政策和微观的技术措施等方面有针对性地提出了地下水源地可持续利用对策。

尤龙凤^[14]等在《城市地下水资源可持续开发利用模型研究》中,根据地下水可持续开发利用原则,运用系统分析方法建立了地下水可持续开发利用模型。

在《当期杂志》中提到,要科学合理地开发利用地下水,厉行节约,防止过量开采和污染,资源与环境并重。任美镔^[15]主编的《中国的大三角洲》中,对长江三角洲海岸地下水资源可持续利用进行了分析研究。《21世纪初期首都北京地下水资源可持续利用规划》中,按照新的治水思路,对地下水资源的可持续利用等方面进行了分析研究^[16]。

2001年,倪深海^[17]等通过对大汶河流域水资源的特点、开发利用现状及存在的问题的分析,提出大汶河流域水资源可持续利用的对策。郭冬冬^[18]等建立了该地区的地下水资源评价数据库系统。

从以上研究可以看出,地下水资源的可持续利用与发展问题已经越来越被人所重视。

1.3 大汶河流域概况

1.3.1 自然地理概况

(1) 地理位置：大汶河流域位于黄河下游，地处东经 $116^{\circ} 11' 15'' \sim 118^{\circ} 0' 0''$ ，北纬 $35^{\circ} 37' 30'' \sim 36^{\circ} 32' 30''$ ，北以泰山山脉与小清河为界，东以鲁山为界，南以蒙山及其余脉与淮河流域为界，西以黄河流域为界。流域东西长 176.6Km，南北宽 102Km，流域面积 9069Km^2 ，其中泰安市境内 6387.11Km^2 ，莱芜市境内 2139.10Km^2 ，沂原县、平阴县、章丘县境内 542.88Km^2 。

(2) 地形地貌

大汶河流域为鲁中山区的一部分，地势自东向西倾斜，山区面积约占整个流域面积的 $2/3$ ，主要分布在流域上游的莱芜市、新泰市和岱岳区等，山脉呈“E”字型分布，最高处为泰山玉皇顶，海拔 1545m。流域中部是广阔的平原，按照其成因可分为三种地貌类型①山间河谷平原，指山间盆地、山间河谷内相对较小的平原，分布在大汶河干、支流两侧。其微地貌类型主要是河流一级冲洪积阶地；在山脚处，有被冲积物覆盖的二级基座阶地；在河槽附近有断续分布的高河漫滩。②山前冲洪积平原，指鲁中山地以西、宁阳县、东平县大汶河以南，由大汶河、洸府河等河流冲洪积形成的山前平原。冲洪积层巨厚、冲洪积扇交错重叠。③黄泛平原，主要是指东平湖以西的位置，其主要是由黄河泛淤而成，地面十分平坦。

流域西部多为丘陵，西南为平原，间有洼地和湖泊。最低处为稻屯洼，海拔 37.5m。流域大部分高程在 100m~300m 之间，约占流域总面积的 70%；高程在 300m 以上的面积占流域总面积的 20%之多。

(3) 河流湖泊：大汶河是黄河下游的最大支流，它发源于沂源县悬固山，属于季节性河流。自大汶口以上为上游分为南、北两支，大汶口至戴村坝为中游，戴村坝以下为下游，称为大清河，在东平县马口村注入东平湖，全长 208.2 Km。自然落差 362m，在莱芜颜庄以上属山区河道，河岸稳定，河床宽约 150m。颜庄以下流经泰莱平原，大部分为平原耕地，河床平坦，河宽约 300~1000m。大汶河支流较多，大部分在右岸汇入。大汶河以上分南北两大支流。南支柴汶河，流域面积 1944Km^2 ，发源于莱芜市沙崖子，流经新泰市、岱岳区、宁阳县，在大汶口汇入大汶河，全长 116Km，沿途有平阴河、光明河、羊流河、属村河汇入，上游建有东周、金斗、光明等大中型水库。北支牟汶河，流域面积 3711Km^2 ，主要有瀛汶河，石汶河和泮汶河三支流组成。瀛汶河全长 86 Km，上游建有雪野水库；石

汶河全长 50 Km，上游建有黄前水库；泮汶河全长 42 Km，上游建有大河水库。大汶河以下主要支流有漕浊河、苗河、海子河、汇河等。漕浊河流域面积 648 Km²，河长 46 Km，汇河流域面积 1260 Km²，河长 94.2 Km，在戴村坝汇入大清河。大汶河水系主要支流简况见表 1.1。

东平湖位于大汶河下游东平县境内，上承大汶河来水，西南与大运河连接，北与黄河沟通，是黄河下游最大的滞洪区。1958 年改为东平湖水库，湖区现面积 632 Km²，其中老湖区 209 Km²，新湖区 423 Km²，其设计蓄洪水位 46.00m，相应库容 40 亿 m³，多年平均水面面积 119 m²，1991 年兴建引黄补湖工程，以补充大汶河来水不足。

稻屯洼位于流域内东平县中部，三面环山，南靠大清河北岸，形成封闭洼地，集水面积 272.5Km²。担负着大汶河流域的滞洪任务，确保黄河、东平湖、大汶河流域的安全。大汶河流域示意图见图 1.1。

(4) 水文气象：大汶河流域属于半湿润地区，是温带大陆性季风气候，四季分明，雨热同季，光照充足，受大气环流影响，春季干燥多风，夏季炎热多雨，秋季天高气爽，冬季寒冷少雪。多年平均气温 12.9° C，无霜期 195 天，年日照 2583 小时，日照率 58%，多年平均降水量 694.0mm，总趋势由东南向西北减少，由于山地对水汽的抬升作用，泰山山脉南坡是降水量高值区，而东平湖一带是降水量低值区，年降水量集中在汛期，6~9 月份降水量占全年总降水量的 75%左右。降水量年际变化很大，1964 年大汶河流域降水量 1275mm，而 1989 年只有 283mm，Cv 值在 0.27~0.33 之间，由东南向西北渐大，流域多年平均水面蒸发量为 1100mm，每年 4~6 月为蒸发量高值期。

大汶河流域河系多为雨源型河道，径流集中在汛期，6~9 月经流量占全年总径流量的 80%以上，枯季天然径流量很少，多数河段已经变成季节性河道，径流量年际变化很大。大汶河河口实测最大断面流量 60.5m³/s (1964 年)，最小是零 (1989 年)。总之大汶河流域水文气象特点为：汛期降雨集中，枯季干旱少雨，春旱夏涝。

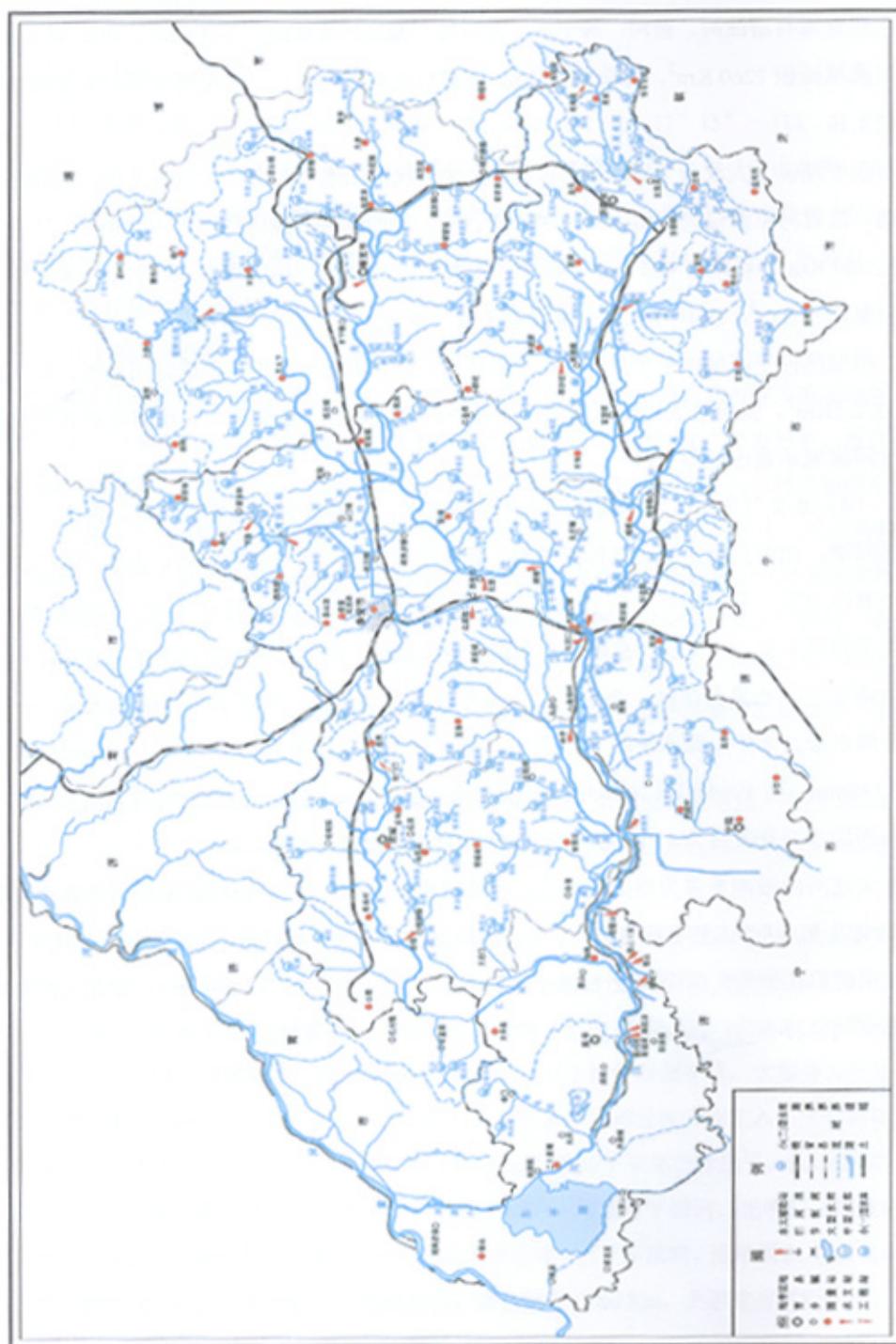


图 1.1 大汶河流域水系分布示意图

表 1.1 大汶河水系主要支流简况表

流域名称	级别	流域面积 (Km ²)	河道长度 (m)	发源地	上游已建 水利工程
大汶河	干流	9069.0	208.2	莱芜市沙崖子	
辛庄河	1	209.0	29.0	莱芜路家砬峪	乔店水库
方下河	1	226.0	43.0	莱芜市上拂羊	大冶水库
灤汶河	1	1326.0	86.0	章丘市池凉泉	雪野水库
石汶河	2	350	50.0	莱芜市后关	黄前水库
洋汶河	1	368.0	42.0	泰山桃花峪	大河水库
柴汶河	1	1944.0	116.0	沂源县牛栏峪	东周水库
光明河	2	148.0	24.0	新泰市关山头	光明水库
羊流河	2	212	24.0	新泰市单家庄	苇池水库
海子河	1	127.0	21.0	宁阳关山口	贤村水库
漕浊河	1	648.0	46.0	岱岳区胜利水库	胜利水库
康王河	1	183.0	34.0	肥城市横角山	尚庄炉水库
汇河	1	1260.0	94.2	平阴县毛家铺	
跃进河	1	272.0	14.0	东平县柿子园	

(5) 土壤植被：大汶河流域平原区大部分属褐土类，在历年地下水埋深较浅的西部地区，广泛分布着潮褐土，在湖泊沉积或洪积扇之间的低洼区域，有砂姜黑土。东部近山地带，部分为棕壤，土质较粘重，土壤质地夹粗沙甚至砾石。

植被属于温暖带落叶阔叶林群落，土地利用率高，基本无休闲空地，以种植小麦、玉米为主，也有较大面积的果林菜园及地瓜、花生、谷豆之类，小部分有棉花、姜、蒜等经济作物。

1.3.2 社会经济状况

(1) 行政区划及人口：大汶河流域主要包括泰安市和莱芜市，两市内的利用面积占总流域面积的 94% 以上，只有极少部分流域面积在沂源县、平阴县境内山区。泰安市管辖有泰山区、岱岳区、新泰市、宁阳县、东平县和肥城市六个县市区，2000 年全市人口 549 万，非农业人口占 30% 左右。人口密度为每平方公里 697 人，是全国平均人口密度的 5.8

倍，年内人口自然增长率为 4.5%。

(2) 国民经济状况：大汶河流域耕地面积 594 万亩，人均占耕地不足 1 亩，低于全国平均水平，2000 年工农业生产总值 600 亿元（按照 1990 年不变价）。工业主要有水电、建材、水泥、化工、电子、制衣、塑料等；矿产主要有铁、锡、铝、煤炭及稀土类矿石等。

1.3.3 地质与水文地质

1.3.3.1 地质概况

按大地构造划分，大汶河流域属于华北地台山东台背斜的一部分，分属鲁中南台隆，鲁西台背斜等构造单元，河谷平原周围的山丘，有较多地质年代的岩层出露，自 2 亿年前的印支运动以来，主要表现为间歇性的急剧抬升运动，目前的山体仍呈现上升趋势。地质构造主要表现为强烈的高角位，多组平行或交叉的大断裂运动。断层上下的相对升降和水平运动，形成了山川盆地。在大断裂过程中，伴有强烈的岩浆侵入活动。褶皱运动不是很明显，但断层上、下盘相对运动的掀压力使岩层产生了倾角，故山体大部分为南陡北缓的单斜断块山。山体基底大多为裂隙发育，不透水的泰山群变质岩系，上覆寒武、奥陶系地层，有些地区还分布着石炭、二叠系含煤地层。在山间盆地中，部分地区分布着巨厚的第三系河湖相沉积层，都是为不含水、不透水地层，主要是胶结半胶结的红色粘土质粉砂岩、砂砾岩、粘土岩（分布在东部）和深灰色钙质泥页岩、泥灰岩（主要分布在中部）。其上部为第四系冲洪积松散层，一般厚约 10~30m。

山前冲洪积平原，自第三纪晚期以来，其构造运动处在东升西降区域的转折过渡带，第四系地层厚一般为 50~200m，自东北向西南方向逐渐增厚。

东平湖的黄泛平原区，周围为断续分布的低山丘，下部一般为寒武系地层，上部为黄泛淤积层。

1.3.3.2 平原区水文地质条件

(1) 山间河谷平原：含水地层主要有两类，一类为第四系松散孔隙地层，地层厚一般 10~30m，大体上由东向西渐厚。含水层为粗砂、砂砾层。在大面积的一级阶地区域，地层为上细下粗的二元结构，上部质地较粘重，以亚粘土为主，间有夹砾粘土，亚砾土等分布；下部为粗砂、砂砾，是主要含水层。一般单井出水量 40~100m³/h，局部富水地段可达 300 m³/h。在二级阶地区域，土层薄，缺砾层，是相对贫水区。在河漫滩地带，以砂层为主，富水性强，单井出水量大于 150m³/h。在肥城市、东平县大汶河以北，第四系地层以下分布着巨厚的、岩溶十分发育的奥陶系灰岩，局部为寒武系灰岩，地下水丰富，是

第四系孔隙水不足地区的重要水源。还有的区域，第四系地层以下为第三系岩层，无岩溶水可言。

由于受地质构造、地层、地形等因素影响，区域内存在富水区和相对贫水区，水文地质条件有较大差异。区域内多数以开采孔隙水为主，但在有岩溶水的区域，以开采岩溶水为主。凡在有裂隙岩溶水的地区，工业和城镇生活用水，都开采岩溶水。有些开采岩溶水的地区，引起第四系孔隙水越流下渗，第四系孔隙水基本失去开采价值。

地下水主要靠降水补给，也不同程度地接受周边地区侧渗补给，补给量大小取决于含水层的导水系数、水力坡度及其长度。在天然条件下，地下水经区内河道或含水层排泄，在地下水埋深较小及沿河区域，有一定数量的潜水蒸发量排泄，地下水动态为降水入渗—径流型；在现状条件下，地下水开采主要是排泄项，地下水动态变为降水入渗—开采—径流型。

(2) 山前冲洪积平原：第四系孔隙水含水层以中粗砂为主，在近山处也有砂砾层，地层结构具有典型的冲洪积特征，含水层由扇顶到前缘，颗粒由粗变细，层数由少变多，分选性由差变好，上下粗细呈互层结构，富水性较好。区内第四系地层厚度变化很大，有东北向西南逐渐变厚，富水程度也有差异。在宁阳县第四系地层厚 50~150m，最厚 213m，开采深度一般 15~25m，城镇水源地开采深度超 60m。在一般开采深度内，含水层 6~7 层，总厚度 5~8m，单井出水量 50~80m³/h，富水性较强。东平县大清河南区，第四系地层厚度一般 40~100m，最厚 115m，开采深度一般在 20m 内，城镇水源地超 30m。在开采深度内，主要含水层 2~5 层，厚 6~10m，单井出水量 125~208m³/h，富水性强。

降水入渗是地下水主要补给项；并不同程度的接受山前及河道侧渗补给。近几年来，也有较多的地表水回灌补给。排泄项以开采为主，其次为侧向排泄。除局部低洼地带地下水位较高处外，潜水蒸发量很小。地下水动态变为降水入渗—开采—径流型。

(3) 黄泛平原：这部分地区西北靠黄河，东南临东平湖，地下水与黄河、东平湖水有较好的水力联系。地下水也以降水入渗补给为主；在开采条件下，有黄河水和东平湖水侧渗补给。主要排泄项为开采和潜水蒸发，侧向排泄量甚微。总的看，该区富水性较强，但受黄河、东平湖制约。地下水动态变为降水入渗—开采—蒸发动态型。

1.3.4 水资源开发利用现状

(1) 水资源概况：大汶河流域 1950~1999 年多年平均年降水量 649mm，折合总水量 62.94 亿 m³，天然河川径流量 17.4431 亿 m³，地下水资源量 12.3758 亿 m³，扣除两者

的重复计算量 6.3635 亿 m^3 ，水资源总量 23.4524 亿 m^3 ，人均、亩均水资源占有量仅为全国的 $1/7$ 。水资源严重短缺已经成为大汶河流域国民经济和社会发展的重要制约因素。

(2) 地表水资源开发利用现状：建国以来，进行了大规模水利建设，先后对大汶河河道及东平湖进行了初步治理；在山区兴建大型水库 2 座，中型水库 20 座，小型水库 76 座，塘坝 400 余座，总拦蓄能力可达 10 亿 m^3 ，有效灌溉面积 26 万 ha^2 ，约占总耕地面积的 40%，这些水利工程为保证大汶河流域社会和国民经济的发展做出了贡献。

(3) 地下水资源开发利用状况：地下水资源量主要受降水、山前侧渗、地表水体侧渗、灌溉回归等补给的影响，受人工开采、潜水蒸发、侧渗等排泄的影响。大汶河流域地下水资源主要分布在含水层厚度大，孔隙多的隐伏岩溶地层和第四系粗砂地层中，一般山丘区和其它地层含水量很少，主要补给来源是降水。

①开发阶段：一是原始开采期，主要为 70 年代以前，分布在沿河平原地区有些水井，水井的种类大体分为土井、半土井和砖井，以土井、半土井居多，开采方式主要为人力提拔、辘轳取水，开采水源主要是第四系孔隙水，深度一般在 10m 以上；二是深井初采期，在 1970 年~1980 年间，为适应大力发展农田灌溉及少数大型国营工矿企业的建设需求要求，地下水的开采已经逐步有原始浅井转入深井开采期，地下水的可开采量大于实际开采量，供大于求，井深一般在 $80\sim 150\text{m}$ 之间，提水机械主要为离心泵。三是规模开采期，在 1980~1990 年间，随工农业生产的迅速发展和人民生活水平的提高，用水量急剧增大，工矿企业及城镇集中开采地下水初具规模，在总用水量中所占比重逐渐增大，地下水可开采量基本满足实际开采量，供需基本平衡，提水机械主要是电力离心泵，主要开采深层岩溶水，井深一般在 $120\sim 200\text{m}$ 之间。四是超采失衡期，自 1990 年以后，随着工农业生产的快速发展及城镇规模的扩大，需水量增加，由于集中持续开采地下水，使局部地区地下水水位急剧下降，漏斗区面积扩大，超采现象严重，提水机器的离心泵已经转为潜水泵，井深一般在 $150\sim 300\text{m}$ 之间，个别地区的水井已经打到了 500m 以上。

②开发利用现状：由于一些地区大量开采地下水，造成了地面沉降、塌陷等严重的地质灾害，引起了地方政府的高度重视，采取了一些充分利用地表水资源的措施，如：泰安、新泰等政府驻地，引用水库蓄水为城市供水；农业上一些地方采用了管灌、微灌等方式，通过大力发展节水灌溉，以逐步实现“粮田管灌化、果园微灌化、渠道防渗化、管理科学化”。

第二章 大汶河流域地下水资源量评价

2.1 地下水资源量及可开采量的基本概念及分类

地下水是指赋存于饱水带岩土空隙中的重力水。地下水资源量是指具有开采价值的参与水循环且可以逐年更新的动态水量。可开采量是指在可预见的时期内,通过经济合理、技术可行的措施,在不致引起生态环境恶化条件下允许从含水层中获取的最大水量。

从水文循环的观点,地下水资源可以分为补给量、储存量和消耗量^[19]。

补给量是指天然和开采条件下单位时间进入单元含水层的水量,单位为 m^3/d 或 $m^3/$ 年。主要包括降水和地表入渗、地下径流的流入、越流补给、人工回灌、回归复渗等。补给量可分为天然补给量和开采补给量。天然补给量指在开采前,天然条件下存在的补给量。开采补给量是开采条件下夺取过来的额外补给量。多少主要取决于当地和附近的水文气象条件和水文地质条件,并与当地和附近的开采强度有关。储存量指储存于含水层内的重力水的体积,单位为 m^3 。据埋藏条件的不同,分为容积储存量和弹性储存量。前者是指在大气压力下,含水层空隙中所能容纳的重力水体积;后者指承压含水层中地下水所承受的压力,降到大气压时承压含水层中能释放出来的重力水体积。储存量起调节作用。

消耗量指脱离含水层的地下水量,单位 m^3/d 或 $m^3/$ 年,它包括天然消耗量和人工消耗量,前者如潜水蒸发、以泉或地下渗流形式的侧向排泄以及越流排泄;后者指打井开采地下水、挖排水沟排泄地下水等。对某一地区某一含水层来说,消耗量是随时间地点变化的,而且,天然与人工消耗量可以相互转化,例如开采量增加,形成降落漏斗,潜水蒸发和侧向排泄都会减少,其中一部分直接转换为开采量。地下水资源分类可综合如下表 2.1。

表 2.1 地下水资源分类表

补给量	天然补给量	天然补给量	降雨入渗补给量
			地表水体渗漏补给量
			越流补给量
		侧向补给量	地表水体侧渗补给量
	含水层上游侧渗补给量		
	人工补给量		井、渠人工回灌补给量
灌溉回归水补给量			
存储量	容积存储量		
	弹性存储量		
消耗量	允许开采量		
	天然消耗量	地下水径流排泄量	
		潜水蒸发排泄量	
		泉水溢流量	

2.2 大汶河流域地下水资源量计算

2.2.1 水文地质参数的确定

水文地质参数是计算地下水资源量重要而复杂的关键数据，国内虽然有许多试验研究成果，但因区域的不同，不能直接引用，需要根据各地的土壤岩性、水文地质条件等正确取值，所以关键在于如何确定各计算区的水文地质参数均值。

2.2.1.1 给水度 μ 值的确定

给水度是指被水饱和的岩土自由流出水的体积与饱和岩土体积的比值，是表示岩土自由释水能力的指标，是计算地下水蓄水变量的关键数据。它主要与岩性及其结构特征（如岩土的颗粒级配、孔隙、裂隙的发育程度及密实度等）有关；此外，第四系孔隙水在浅埋深（地下水埋深小于地下水毛细管上升高度）时，同一岩性， μ 值随地下水位埋深减小而减小。

确定给水度 μ 值的方法很多，目前，在区域地下水资源评价中常用的方法有：

① 抽水试验法

抽水试验法适用于典型地段特定岩性给水度测定，在含水层满足均匀无限（或边界条件允许简化）的地区，可采用抽水试验测定的给水度成果。

② 地中渗透仪测定法和筒测法

通过均衡场地中渗透仪测定（测定的是特定岩性给水度）或利用特制的测筒进行筒测（一般采用截面积为 3000cm^2 的圆铁筒）在野外采取原状土样，在室内注水令土样饱和后，测量自由排出的重力水体积，以排出的重力水体积与饱和土样体积的比值定量为该土样的给水度。这两种方法直观、简便，特别是筒测法，可测定粘土、亚粘土、亚砂土、粉细砂、细砂等岩土的给水度 μ 值。

③ 实际开采量法

该方法适用于地下水埋深较大（此时，潜水蒸发量可以忽略不计）且受侧向径流排泄、河道补排和渠灌入渗都十分微弱的井灌区的给水度测定，当区域开采量及其开采强度基本一致时，可用下式计算区域平均 μ 值。

$$\mu = \frac{Q_{\text{开}}}{F \cdot \Delta h} \quad (2.1)$$

式中， $Q_{\text{开}}$ 为计算时段内观测区浅层地下水实际开采量 (m^3)； Δh 为计算时段内观测区浅

层地下水平均水位变幅 (m); F 为观测区面积 (m^2)。

在选取计算时段时, 应注意避开动水位的影响。为了提高计算精度, 可选取开采强度大、能观测到开采前后两个稳定地下水水位降幅较大的集中开采期作为计算时段。

泰安市浅层水采用的方法是实际开采量法。采用公式 (2.1), 在开采量、面积和观测区水位变幅已知的条件下, 就可以计算出 μ 值, 计算结果如下: 粘土的 $\mu=0.019$; 裂隙粘土的 $\mu=0.035$; 亚粘土的 $\mu=0.024$; 裂隙亚粘土的 $\mu=0.036$; 亚沙土的 $\mu=0.032$; 粉沙土的 $\mu=0.063$; 细砂土的 $\mu=0.145$ 。

2.2.1.2 降水入渗补给系数 α

降水入渗补给系数指降水入渗补给地下水量 P_r 与相应降水量 P 的比值, 即: $\alpha = \frac{P_r}{P}$ 。

在同一地区, 地形地貌岩性等影响因素可视为定值, 故影响系数值变化的主要因素是降水量和地下水埋深。在侧向径流较微弱、地下水埋藏较浅的平原区, 根据降水后地下水位升幅 Δh 与变幅带相应埋深段给水度的乘积 (即 $\mu \cdot \Delta h$) 与降水量 P 的比值计算 α 值。计算公式为:

$$\alpha_{\text{年}} = \frac{\mu \cdot \sum \Delta h_{\text{次}}}{P_{\text{年}}} \quad (2.2)$$

式中, $\alpha_{\text{年}}$ 为年均降水入渗补给系数; $\sum \Delta h_{\text{次}}$ 为年内各次降雨引起的地下水水位升幅的总和 (mm); $P_{\text{年}}$ 为年降水量 (mm)。泰安地区根据山东省水文局编写的《胶东地区地下水资源评价和开发利用现状调查研究》中建立的 $P_{\text{年}} \sim \Delta \sim \alpha_{\text{年}}$ 相关曲线组, 再根据实测的 $\alpha_{\text{年}}$ 值, 选配经验公式为:

$$\alpha_{\text{年}} = a \Delta^b e^{-c \Delta} \left(\frac{P_i}{\bar{P}} \right)^d \quad (2.3)$$

式中: Δ —研究区年平均地下水埋深 (m), P_i 、 \bar{P} —分别为研究区内第 i 年的年降水量、多年平均降水量 (mm), a, b, c, d —待定系数 (与地形地貌岩性有关), e —自然对数底值。经计算, a 取 $0.16 \sim 0.19$, b 取 $1.30 \sim 1.65$, c 取 $0.35 \sim 0.45$, d 取 $0.90 \sim 1.50$ 。上式表明, 当地下水埋深为 0 时, $\alpha_{\text{年}}=0$, 即降水量全部流失。当埋深为 4m 左右时, $\alpha_{\text{年}}$ 最大。随着埋深的增减, $\alpha_{\text{年}}$ 又变小。当埋深为定值时, 降水量越大, $\alpha_{\text{年}}$ 值也越大。此式计算精度较高,

经计算, $\alpha_{\text{年}}$ 值在 0.11~0.33 之间。

2.2.1.3 潜水蒸发系数 C 值

潜水蒸发系数是指潜水蒸发量 E 与相应计算时段的水面蒸发量 E_0 的比值, 即 $C=E/E_0$ 。水面蒸发量 E_0 、包气带岩性、地下水埋深和植被状况是影响蒸发系数 C 的主要因素。可利用浅层地下水动态观测资料, 通过潜水蒸发经验公式拟合分析计算。

潜水蒸发经验公式 (修正后的阿维里扬诺夫公式):

$$E = k \cdot E_0 \cdot \left(1 - \frac{Z}{Z_0}\right)^n \quad (2.4)$$

式中, Z_0 为极限埋深 (m), 即潜水停止蒸发时的地下水埋深, 一般取粘土 $Z_0=5\text{m}$ 左右, 亚粘土 $Z_0=4\text{m}$ 左右, 亚砂土 $Z_0=3\text{m}$ 左右, 粉细砂 $Z_0=2.5\text{m}$ 左右; n 为经验指数, 一般为 1.0~2.0, 应分析合理选用; k 为作物修正系数, 无作物时 k 取 0.9~1.0, 有作物时 k 取 1.0~1.3; Z 为潜水埋深 (m); E_0 为水面蒸发量, E 为潜水蒸发量 (mm)。

2.2.1.4 灌溉入渗补给系数 β

灌溉入渗补给系数(包括渠灌田间入渗补给系数 $\beta_{\text{渠}}$ 和井灌回归系 $\beta_{\text{井}}$), 指田间灌溉入渗补给量 h_r 与进入田间的灌水量 $h_{\text{灌}}$ 的比值, 即

$$\beta = \frac{h_r}{h_{\text{灌}}} \quad (2.5)$$

式中: $h_r = \mu \cdot \Delta h$ (均以深度表示) 计算, $h_{\text{灌}}$ 可采用引灌水量计算。在大汶河流域, 一般区域取 $\beta_{\text{井}} = 0.04$ 左右, $\beta_{\text{渠}} = 0.13$ 左右。在常年地下水位埋深较大的区域, 取 $\beta_{\text{井}} = 0$; 在引汶回灌计算区, 取 $\beta_{\text{渠}} = 0.45$ 。

2.2.1.5 渗透系数 K 和导水系数 T

渗透系数 K 和导水系数 T, 是表示含水层导水能力的参数, 是计算侧向补、排水量的主要参数。其值的大小主要由非稳定流抽水试验确定。由于大汶河流域各地含水层岩性和厚度差别很大, 水文地质条件各异, 故取值的任意性较大。本次取值。主要参照泰安市农业区划及蒙阴、平邑的抽水试验资料, 经综合分析, 取 K 值在 85.2~141m/d 之间, T 值在 300~1500m²/d 之间。

2.2.2 各项补给量的计算

2.2.2.1 降雨入渗补给量

降雨入渗补给量是指降水（包括坡面漫流和填洼水）渗入到土壤中并在重力作用下渗透补给地下水的水量。采用降雨入渗补给系数法计算，公式为：

$$Q_r = 10^{-1} \alpha P F \quad (2.6)$$

式中： Q_r —一年降雨入渗补给量（万 m^3 ）； α —一年降水入渗补给系数； P —平均降水量（mm）；

F —计算区面积（ km^2 ）

2.2.2.2 河道侧渗补给量

当河道水位高于河道两岸边地下水位时，河水渗漏补给地下水。依据河水试验资料和水量平衡原理，采用下式计算：

$$Q_{河补} = (Q_{上} + \sum Q_{入} - \sum Q_{出} - Q_{下}) \cdot (1 - \lambda) \cdot L / L' \quad (2.7)$$

式中： $Q_{河补}$ —河道侧渗补给量； $Q_{上}$ 、 $Q_{下}$ —试验河段上、下游断面实测流量（ m^3/s ）；

$\sum Q_{入}$ 、 $\sum Q_{出}$ —试验河段区间进入、流出流量（ m^3/s ）；

λ —试验河段水面蒸发及两岸浸润带耗水量与 $(Q_{上} - Q_{下})$ 之比值，对常年过水河段， $\lambda = 0$ 。

L 、 L' —试验河段上、下游断面间距和计算区内该河道长度（m）。

2.2.2.3 侧渗补给量

采用达西公式计算，公式为

$$Q_{侧} = 10^{-1} K M L I \quad (2.8)$$

式中： K —渗透系数（m/d）； M —含水层厚度（m）； I —侧渗补给边界地下水水力坡度；

L —侧渗补给边界断面长度（km）； $Q_{侧}$ —侧渗补给量； t —侧渗补给时间段（d）。

2.2.2.4 井灌回归补给量

井灌回归补给量是指井灌水（系浅层地下水）进入田间后，入渗补给地下水的水量，用下式计算：

$$Q_{井灌} = \beta_{井} \cdot Q_{井田} \quad (2.9)$$

式中： $Q_{井灌}$ —为井灌回归补给量（万 m^3 ）； $\beta_{井}$ —为井灌回归补给系数； $Q_{井田}$ —井灌水进入田间的水量（万 m^3 ）。

2.2.3 各项排泄量的计算

2.2.3.1 地下水开采量

地下水开采量主要指农灌、工业、生活三项开采量^[20]。开采量是最主要的排泄项，占总排泄项的 70%左右。农灌开采量主要依据典型地片的试验研究成果和逐乡镇的调查资料，此项开采量占总开采量的 80%以上。工业开采量主要依据实际调查或万元产值耗水量计算。生活开采量主要指人畜生活用水，按照需水定额及实有人数和大、小牲畜计算。年地下水开采量受降雨及其年内分配情况影响较大。

2.2.3.2 潜水蒸发量

潜水蒸发量是指潜水在毛细管的作用下，通过包气带岩土向上运动造成的蒸发量。

计算公式为：

$$E = 10^{-1} \cdot E_0 \cdot C \cdot F \quad (2.10)$$

式中： E —潜水蒸发量（万 m^3 ）， C —潜水蒸发系数， E_0 —陆地水面蒸发量（mm）， F —计算区面积（ km^2 ）。

2.2.3.3 侧向排泄量及河道排泄量

该两项排泄量的计算方法与侧向补给量和河道补给量相同。

2.2.4 泰安市地下水资源量及可开采量

用 1956-1993 年资料，根据公式（2.1）～（2.10），计算出不同保证率降雨入渗补给量、河渠入渗量、侧渗量，计算结果见表（2.2）。

年地下水可开采量，指在现状条件下，经济上合理，技术上可行和不造成环境恶化，地下水位年变幅为零时全年能够开采的地下水量。一般来说，年地下水可开采量与年降水量有一定的关系。泰安市多年平均地下水开采量为 11 亿 m^3 左右，根据泰安市 1998～2003 年降水量与可开采量表（表 2.3）可以看出年降水量小的年份，地下水可开采量小，反之就大。

表 2.2 泰安市各县不同保证率地下水资源量计算 (资源量: 万 m³; 模数: 万 m³/Km²)

县区名称	保证率	降水入渗补给		地表水补给量	井灌回归补给	地下水总补给		地下水资源量		地下水入境量	地下水出境量
		模数	总量			模数	总量	模数	总量		
岱岳区	多年平均	14.12	25337	851		14.60	26188	14.06	26188	70.3	18.1
	P=50%	13.70	24581	851		14.18	25432	14.18	25432	70.3	18.1
	P=75%	11.11	19920	851		11.58	20771	11.58	20771	70.3	18.1
	P=95%	8.03	14403	851		8.50	15254	8.50	15254	70.3	18.1
泰山区	多年平均	11.23	3310	244		12.06	3554	12.06	3554		
	P=50%	10.98	3237	244		11.81	3481	11.81	3481		
	P=75%	9.15	2697	244		9.98	2941	9.98	2941		
	P=95%	6.90	2034	244		7.73	2278	7.73	2278		
新泰市	多年平均	13.99	27229	1068		14.54	28297	14.54	28297		6.8
	P=50%	13.43	26139	1068		13.98	27207	13.98	27209		6.8
	P=75%	10.55	20519	1068		11.10	21587	11.10	21587		6.8
	P=95%	7.17	13959	1068		7.72	15027	7.72	15027		6.8
宁阳县	多年平均	16.06	18071	2281	1242	19.19	21594	18.09	20352	482	426
	P=50%	15.45	17385	2281	1242	18.58	20908	17.48	19666	482	426
	P=75%	12.21	13739	2281	1242	15.34	17262	14.24	16020	482	426
	P=95%	8.41	9463	2281	1242	11.54	12986	10.44	11744	482	426
肥城市	多年平均	16.58	20937	81		16.64	21018	16.64	21018	18.1	0.05
	P=50%	15.99	20195	81		16.06	20276	16.05	20276	18.1	0.05
	P=75%	12.72	16065	81		12.78	16146	12.78	16146	18.1	0.05
	P=95%	8.89	11228	81		8.95	11309	8.95	11309	18.1	0.05
东平县	多年平均	14.13	17278	1453	954	16.22	19685	15.40	18731	447.4	778
	P=50%	13.69	16769	1453	954	15.78	19176	14.95	18222	447.4	778
	P=75%	11.01	13504	1453	954	13.10	15911	12.27	14957	447.4	778
	P=95%	7.86	9665	1453	954	9.95	12072	9.12	11118	447.4	778
泰安市	多年平均	14.45	112162	5978	2196	15.50	120336	15.22	118140	1017.8	1229
	P=50%	13.95	108306	5978	2196	15.00	116480	14.72	114286	1017.8	1229
	P=75%	11.13	86440	5978	2196	12.19	94618	11.90	92422	1017.8	1229
	P=95%	7.82	60752	5978	2196	8.88	68926	8.59	66730	1017.8	1229

表 2.3 泰安市 1998~2003 年降水量与可开采量表

年份	年降水量 (mm)	年地下水可开采量 (百万 m ³)
1998	770	132001
1999	567	94706
2000	651	111232
2001	675	102069
2002	338	53680
2003	1015	267772

据上表数字点绘了年降雨量~年地下水可开采量相关图(图 2.1), 相关关系较好, 据此可以推求多年平均及不同保证率的年地下水可开采量。

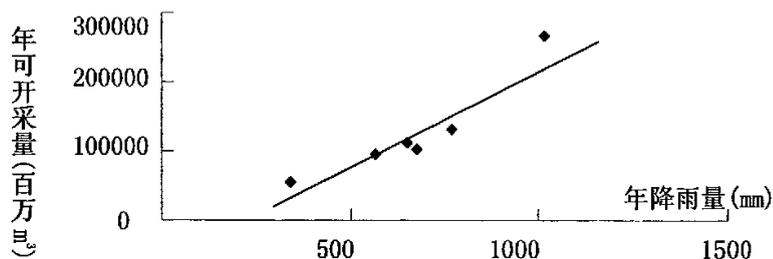


图 2.1 年降水量与可开采量关系图

在此基础上, 利用地下水可开采量公式计算各县市的地下水可开采量(详见表 2.4), 公式如下:

$$W_{g,可} = W_{总补} \cdot \rho \quad (2.11)$$

式中: $W_{g,可}$ —地下水可开采量; $W_{总补}$ —地下水总补给量; ρ —可开采系数, 取值 0.45。

表 2.4 泰安各县市不同保证率的地下水可开采量 (单位: 万 m^3)

县、市、区	多年平均	50%	75%	95%
泰安市	102635	99282	80635	58722
泰山区	2939	2878	2432	1884
岱岳区	22129	21490	17552	12889
新泰市	23826	22910	18176	12653
肥城市	18706	18045	14369	10065
宁阳县	18047	17435	14391	10827
东平县	16988	16524	13715	10404

2.2.5 泰安市区地下水资源量及可开采量

1、市区水文条件 经对 1956~1992 年计 37 年系列资料分析, 市区多年平均降水量为 735.4mm, 50%为 730.8mm, 75%为 591.2mm, 95%为 432.6mm。由于受气候和地形条件影响, 具有年际变化大, 年内分配不均, 区域分布不平衡等特点。

2、河流及径流特征 区内流域面积 $5K m^2$ 以上的河流 62 条, 其中流域面积 $50K m^2$ 以上的 18 条, 牟汶河、瀛汶河、石汶河、泮汶河, 控制了市区的大部分面积, 市区年径流量的地区分布主要受降水量及下垫面条件的影响, 总的分布趋势是由东向西和由北向南多年平均径流深值呈递减趋势, 其幅度在 253.15~165.4mm 之间, 黄前水库以上山丘区最大为 253.5mm, 漕浊河平原区最小为 165.4mm。

3、水文地质条件及地下水类型 本区地层岩性分布, 受泰莱断裂、新泰断裂、南留断裂和肥城断裂四条弧形大断裂的控制, 各断块降起的南部, 近部裂弧, 升幅大, 形成太古界变质岩系裸露山丘区; 各隆起的北部、升幅小形成宽阔带状的寒武、奥陶系单斜地块, 单斜地块自南而北, 由丘陵裸露型降低为覆盖型。另外寒武、奥陶系地层还以窄第带状分布在弧形断裂的内外弧之间的地块上, 并且断裂弧的东段(收敛段)内外弧间的寒武、奥陶系地块往往为裸露型, 西段(散开段)多为覆盖型。第三系地层分布于各断陷沉降盆

地内，为第四系覆盖型，分布于河谷平原，山前平原和较大上游河谷地带。地质岩性：山前平原系有坡洪积物堆积而成，厚度 5-15m，岩相变化复杂。河谷平原由冲洪积—冲积物构成。厚度 10-25m，系松散层普具双层结构，上层由黄土状亚粘土和亚砂土，下层为中粗砂砾石构成。

地下水类型特征，受地形地貌及地层岩性的控制。各变质岩系裸露山丘区，分布着浅层风化带弱裂隙水，风化裂隙带发育深度 15-30m，且随地形变化起伏。其山前地带的风化裂隙水埋深一般 5-12m，水力坡度为百分之一左右。古生界地带，埋藏着碳酸岩类裂隙岩溶水，岩溶发育深度，寒武系大多在 100m 以内，奥陶系大多在 250m 以内，裂隙岩溶水的水力坡度约为二百分之一，埋深一般为 10-30m，高岗地带达 100m 以上。山前平原分布着弱孔隙水，该区具双层结构，地下水变幅带在由亚砂土（为主）和黄土状亚粘土（少部分）构成的上复层中，而下伏中粗砂砾石层构成了半承压性强赋水层，泰莱盆地地下水多年平均埋深为 5.50m，多年平均变幅为 3.80m；南部盆地地下水多年平均埋深 3.30m。地下水水力坡度四百分之一至一百分之一。

4、地下水资源量分析 市区内地下水资源主要按山丘区和河谷平原分别计算。

山丘区地下水资源主要是基岩裂隙水和岩溶水，补给来源比较单一，主要是靠大气降水垂直补给，所以山丘区地下水资源模数等于降水入渗补给模数。山丘区地下水以水平径流为主，通过河道和潜流排泄，其垂向消耗甚微。河谷平原区地下水类型以孔隙水为主。补给源主要为降水和地表水体及灌溉回归，主要排泄方式是潜水蒸发和开采净消耗，由于各地降水，地表水体分布和水文地质条件不同，故地下水资源的地区分布差异较大。经计算，市区多年平均地下水资源量 29750 万 m^3 ，地下水资源模数 14.25 万 m^3/Km^2 。市区不同保证率地下水资源量及可开采量见表 2.5。地下水可开采量计算方法与全市计算相同，成果见表 2.6。

表 2.5 泰安市区不同保证率地下水资源量计算成果表 (单位: 万 m³)

一级区	二级区	计算单元分区			计算面积 (km ²)	不同保证率地下水资源量			
		名称	类型区	编号		多年平均	50%	75%	95%
大汶河 I	合计				2087	29750	28913	23712	17532
	北望北支以上 I-1	黄前水库	一般山丘	I-1-3	258.53	1898	1842	1506	1130
		北望—莱雪黄 I-1-4	一般山丘	I-1-4-3	533.97	4459	4335	3575	2668
			岩溶山区	I-1-4-2	175.4	4448	4321	3563	2664
			河谷平原	I-1-4-3	285.4	5683	5528	4571	3498
			山前平原	I-1-4-4	35.8	689	670	547	413
		小计			1030.57	15279	14854	12256	9243
	汶口—北望谷里 I-3	汶口—北瑞谷 I-3-2	一般山丘	I-3-2-1	150.2	1631	1589	1288	931
			河谷平原	I-3-2-2	121.6	2934	2855	2316	1673
			山前平原	I-3-2-3	40.8	946	920	747	540
			小计		312.6	5511	5364	4351	3144
	干流汶口—戴村坝 I-4	漕浊河 I-4-1	一般山丘	I-4-1-1	170.7	1596	1549	1267	907
			岩溶山区	I-4-1-2	28.0	611	594	485	347
			河谷平原	I-4-1-3	201	4008	3888	3180	2279
			小计		399.7	6215	6031	4932	3533
		康王河 I-4-2	一般山丘	I-4-2-1	67.4	476	462	374	271
			岩溶山区	I-4-2-2	18.2	371	360	293	211
小计		85.6	847	822	667	482			

表 2.6 泰安市区地下水可开采量成果表

分区名称	分区代号	可开采量 (万 m ³)			
		多年平均	50%	75%	95%
黄前以上	I-1-3	1569	1525	1246	936
北望黄前	I-1-4	14061	13690	11365	8517
汶口—北望	I-3-2	5246	5078	4123	2982
漕浊河	I-4-1	5894	5718	4634	3350
康王河	I-4-2	731	721	550	415
合计		27501	26732	21918	16200

市区地下水资源特点是地区分布不均匀,东多西少,东部平原地下水资源较为充沛,西部地下水资源极为贫乏。

2.3 地下水超采区资源量的校核

2.3.1 超采区的定义与划分

所谓地下水超采区,是指在某一区域内,多年平均地下水开采量超过多年平均的地下水可开采量。从而引起区域地下水位下降、地面沉降、水质恶化等不良水文现象。划分的标准是依据地下水多年平均开采强度与地下水可开采模数(或开采量与可开采量)的比值来确定。即

$$K = \frac{I}{M} \quad (2.12)$$

式中: K —开采系数, I —地下水开采强度(或开采量), M —地下水可开采模数(或可开采量)。

划分的标准是: $K \leq 1$ 为未超采区, $1 < K \leq 1.2$ 为一般超采区, $K \geq 1.2$ 为严重超采区。

2.3.1.1 平原区校核方法

在确定的严重超采区中,仅有宁阳县超采区位于平原区,含水层为第四系含水层。此区采用疏干体积法计算,即采用超采区多年超采疏干的含水层体积计算超采量,超采区的最大可开采量为多年平均开采量与超采量之差值。公式为:

$$Q_k = Q_p - Q_c \quad (2.13)$$

式中: Q_k —最大可开采量; Q_p —多年平均开采量; Q_c —多年平均超采量

其中 Q_p 由统计资料求得, Q_c 采用公式计算:

$$Q_c = \mu(V_i - V_j) / n \quad (2.14)$$

式中: μ —给水度(潜水)或弹性释水系数(承压水), (取值 0.188); V_i, V_j —计算时段的初始和终末的含水层疏干体积; n —从 V_i 至 V_j 的历时(年数)。

经计算,宁阳县城年平均水位降幅 0.45 米,超采量 406 万 m^3 ,多年平均开采量为 2246 万 m^3 ,校核后最大可开采量为 1840 万 m^3 。

2.3.2. 山丘区校核方法

采用水量均衡法计算，公式为：

$$Q_{\text{补}} - Q_{\text{排}} = \Delta Q \quad (2.15)$$

式中： $Q_{\text{补}}$ —超采区地下水补给量； $Q_{\text{排}}$ —超采区地下水排泄量，超采状态下以人工开采为主； ΔQ —超采区地下水储存量的变化量。

为了防止超采区地下水进一步被疏干和水位持续下降， ΔQ 值不应该为负，即 $\Delta Q \geq 0$ ，也就是 $Q_{\text{补}} \geq Q_{\text{排}}$ 。因此最大可开采量即最大排泄量为 $Q_{\text{补}} = Q_{\text{排}}$ 时的开采量。

山丘区超采区地下水资源量校核见表 2.7

表 2.7 山丘超采区地下水资源量校核成果表

超采区名称	面积 (Km ²)	多年平均地下水 总补给量(万 m ³)	地下水可开采 量 (万 m ³)	多年平均开 采量 (万 m ³)	超采量 (万 m ³)
新汶矿区	96	2542	2262	3960	1698
宁阳华丰工业区	23	690	548	996	448
肥城盆地漏斗区	270	5306	4775	6565	1787

2.4 重点水源地地下水资源量

下面分析泰安市地下水三个主要水源地(旧县水源地、东武水源地、埠阳庄水源地)的水资源量。

2.4.1 岱岳区旧县水源地

1、区域自然地理概况 旧县水源地位于泰安市岱岳区邱家店镇，距泰城约 12km。水源地东起东羊楼，西至篦子店，南起旧县，北至上高，南北长 8.0km，东西宽约 2.8km，区域面积 22.1km²。旧县水源地区域内有十三个村庄，人口 2.365 万，耕地灌溉面积约 2.0 万亩。农作物以小麦、夏玉米为主，由于井灌条件较好，农田连年高产稳产。

旧县水源地位于泰莱盆地西南端，南、北两面为山，中间为开阔的河谷平原，东部和中部为冲洪积平原，地面标高在 120~160m 之间，形成坡度平缓向东南倾斜的山前平原。

大汶河由旧县水源地南沿近东西方向穿过。发源于泰山的泮汶河作为大汶河的支流从水源地的西部汇入大汶河，大汶河是旧县水源地的重要补给水源。

本地属于温带季风区、春夏秋冬四季分明。据北望站 1956~1992 年 37 年降水资料分析，多年平均年降水量 695.5mm，变差系数 0.31，降水多集中在 6-9 月，占全年降水量的 75%。最大年降水量出现在 1964 年为 1412mm，最小年降水量出现在 1989 年为 333.3mm，极值比为 4.2。

2、区域地质和水文地质条件 本区在大地构造单元上属鲁西台北斜的一部分，泰山群变质岩构成了古老的结晶基底，由于构造作用，基底形成线状紧密弯曲，并产生断裂。古生界盖层发育，在水源地范围呈倾角平缓的单斜构造覆于基底之上，旧县以东呈背斜出现，徂徕山和泰山基底上升分别形成南、北两个断裂凸起；两山之间为平缓的向斜组成的古生界盖层下降，形成泰徕断块凹陷，形成断层两条：一是旧县岱道庵断层；二是桂林官庄断层。

本区地层有太古界前震旦系，古生界寒武系、奥陶系，新生界第三系、第四系下奥陶统白云质灰岩和中奥陶统三段泥灰泥灰岩岩溶特别发育，为本区主要含水层在断裂带附近岩溶也比较发育，浅部较深部发育，在靠近汶河的旧县附近，由于基岩地下水与第四系潜水交替作用强，岩溶在深层和浅层均较发育。第四系为冲洪积层组成的山前斜平原，含水层为中、粗砂夹卵石或砾石，上部有粘质砂土，底部为灰岩。地下水埋深，在旧县附近约 3m，流向与地形倾斜方向一致，水力坡度自北向南变缓。基岩含水层为旧层一岱道庵断层以西的寒武系上统风山组及奥陶系下、中统石灰岩，走向北西，呈长条形，宽度为 3000~4500m，绝大部分为第四系复盖。地下水流向由西北向东南，水源地东、西两侧，不可能受地下水补给。

3、主要含水层特征 (1) 冲积层水层：呈带状沿大汶河分布，其上部为中粗砂，下部为砂夹卵、砾石，含水层渗透系数为 54~62m/d，旧县附近地下埋深 1.53~2.71m。(2)

冲洪积含水层：分布于大汶河以北山前倾斜平原，含水层上部为细砂，中部为粗砂，下部为砂砾层。含水层上复 3.7~7.8m 的砂质粘土，含水层厚度 0~8.5m 不等，旧县以北为 3.5m，地下水为微承压孔隙水，渗透系数为 15-40m/d，埋深为 1.21-5.93m，单井涌水量一般为 12L/S。第四系水化学特征为低矿化度 $\text{HCO}_3^- \text{Ca}^{2+}$ 型，矿化度为 0.25-0.3g/L。(3) 灰岩岩溶裂隙水：含水层为寒武系上统风山组和奥陶系下统、中统的二、三段；奥陶系中统一段，以中奥陶二、二段涌水最大，有的井达 84.22-107.14L/S。

基岩岩溶水化学类型较简单，均为低矿化度 $\text{HCO}_3^- \text{Ca}^{2+}$ 型，矿化度为 0.25-0.3g/L，PH 值为 7-7.6，总硬度为 10-16 德国度。

4、地下水的补给、径流及排泄条件 第四系地下水补给来源主要为当地降水渗补给、区外侧渗补给（主要来自北部地区）、地表水体补给（大汶河侧渗和灌溉回归）。在未开采天然状态下，枯水期基岩水位高于第四系水位，故在水源地南部，枯水期还有基岩对第四系的反越流补给，混合后排入大汶河。基岩地下水补给是大气降水和地表水体通过第四系冲、洪积层渗入补给。运动方向由西北流向东南，在南部汶河处，经第四系排泄入汶河。勘察表明，水源地东部、西部、南部因受相对隔水层阻挡，一般不可能从这些方向接受补给。基岩排泄带宽约 1700m，一定程度上限制了地下水的排泄，因而有利于地下水的富集。天然状态下，地下水经第四系排泄入汶河。

5、地下水资源量分析 根据地形地貌及水文地质条件可知，旧县水源地地下水补给来源有四个方面：当地降水入渗补给、汶河渗漏补给、区外侧向补给、井灌回归补给。地下水补给量系列取 1956~1992 年共 37 年。水源地计算面积为 22.1km^2 。

1) 当地降水入渗补给量。采用降水入渗补给系数法计算，依据《泰安市水资源综合评价研究》，降水入渗补给系数，据该水源地不同频率的年降水量选用，多年平均及 50% 保证率选用 0.22，75% 为 0.20，95% 为 0.18。经计算，旧县水源地多年平均降水入渗补给量为 353.9万 m^3 。

2) 汶河渗漏补给量。开采条件下汶河水渗漏补给第四系潜水，一部分潜水流到水源地然后补给基岩，另一部分潜水在河道附近就补给基岩，然后流向水源地。这两部分渗漏

补给量都根据达西公式计算。 $W_1=36.5R_1Im_1L+36.5R_2Im_2L$ ，式中第四系潜水含水渗透系数 R_1 取 58m/d，基岩含水层渗透系数 R_2 取 20m/d； m_1 为第四系含水层厚度，采用河岸水位减去河床基岩高程，基岩透水层厚度 m_2 由钻孔资料取 86.66m； L 为汶河渗漏计算长度，取 $L=1.21\text{Km}$ ， I 为含水层年平均水力坡度，经计算，多年平均河道渗漏补给量为 1766.5 万 m^3 。

3) 区外侧向补给量 区外补给区地下水资源量主要来自降水渗补给。扣除补给区开采利用的地下水量即得区外侧向补给量，计算公式为： $W_c=0.1(1-R)P_1aF_1$ ；式中 R 为补给区地下水开发利用程度取 0.5； P_1 为补给区年降水量，取旧县水原地年降水量； a 为降水入渗补给系数，取用旧县水源地的降水入渗补给系数； F_1 为补给面积取 75km^2 。经计算，旧县水源地多年平均区外侧向补给量为 600.6 万 m^3 。

4) 井灌回归补给量 井灌回归补给量为水源地范围内农田灌溉回归补给地下水量，采用井灌回归系数 0.15，井灌面积 2 万亩，井灌水的有效利用系数 0.9 净灌溉定额采用王大下试验站的资料，计算旧县水源地多年平均井灌回归补给量为 87.8 万 m^3 。各项补给量计算见表 2.7。

因此，旧县水源地多年平均地下水总补给为 2808.8 万 m^3 。50%为 2787.7 万 m^3 ，75%为 2513.9 万 m^3 ，95%为 2155.8 万 m^3 。旧县水源地地下水资源量表 2.8。

6、不同保证率的可开采量及调节开采量 取可开采系数 $k=0.9$ ，则不同保证率的可开采量 $W_k=KW_{\#}$ 。考虑到水源地有一定的多年调节能力，枯水年和特枯水年，开采量可允许超过当年补给量，而动用一部分丰水年余力量，不同年份的调节能力，用调节系数 a 反映，计算结果见表 2.9，该水源地为一大型水源地。

7、现状实际开采量超采量分析 旧县水源地自 70 年代初开始发展井灌面积，1982 年建成向泰城供水的一期工程，年供水量 665 万 m^3 ，1988 年二期供水工程建成，至目前年供水量为 1770 万 m^3 ，水源地内现有机电井 184 眼，井灌面积 2.0 万亩，现状年实际开采量为 2723 万 m^3 ，其中农田灌溉年取水 913 万 m^3 ，人年取水 40 万 m^3 ，年平均下降速率为 1.37m/a。该水源地可采系数为 1.07，为一般超采区。

表 2.8 泰安市旧县水源地历年地下水资源量成果表 (单位: 万 m³)

年 份	降水入渗 补给量	河道渗漏 补给量	区外侧向 补给量	井灌回归 补给量	地下水资源 总 量
1956	399.0	1782.5	677.1	90.0	2948.6
1957	523.6	1816.1	888.5	89.2	3317.4
1958	547.0	1767.3	928.1	80.0	3322.4
1959	306.3	1773.4	519.8	70.8	2670.3
1960	240.5	1779.5	408.2	81.7	2509.9
1961	463.4	1797.7	786.2	74.2	3121.5
1962	402.0	1831.4	682.2	73.3	2988.9
1963	487.3	1828.3	826.8	74.2	3216.6
1964	829.7	1843.6	1407.9	46.7	4127.9
1965	223.7	1806.9	379.5	87.5	2497.6
1966	132.7	1767.3	225.1	106.7	2231.8
1967	252.2	1764.3	428.0	82.5	2527.0
1968	189.1	1767.3	320.9	99.2	2376.5
1969	476.5	1782.5	808.6	50.3	3117.9
1970	337.5	1779.5	572.7	101.7	2791.4
1971	413.8	1782.5	702.1	79.2	2977.6
1972	312.1	1776.4	529.6	114.2	2732.3
1973	309.3	1761.2	524.9	85.0	2680.4
1974	405.0	1767.3	687.2	88.3	2947.8
1975	477.7	1785.5	810.6	87.5	3161.3
1976	265.1	1764.3	449.8	129.2	2608.4
1977	300.4	1761.2	509.8	94.5	2665.9
1978	412.0	1724.9	699.1	108.3	2944.3
1979	327.0	1746.1	554.9	81.7	2709.7
1980	372.6	1737.0	632.3	72.5	2814.4
1981	165.4	1734.0	280.7	90.0	2270.1
1982	384.1	1703.8	651.7	60.0	2799.6
1983	226.8	1712.8	384.8	103.3	2427.7
1984	411.4	1855.9	698.1	70.0	3035.4
1985	390.9	1764.3	663.2	83.0	2901.7
1986	193.6	1749.1	328.5	113.3	2384.5
1987	322.3	1737.0	546.9	83.3	2689.5
1988	175.9	1718.9	298.6	103.3	2296.7
1989	119.3	1688.8	202.4	103.3	2113.8
1990	724.8	1809.9	1229.9	100.0	3864.6
1991	263.0	1718.9	446.3	93.3	2521.5
1992	248.1	1703.8	421.0	83.3	2456.2
1993	419.0	1734.0	710.9	100.0	2963.9
平均	353.9	1766.5	600.6	87.8	2808.8

表 2.9 旧县水源地可开采量及调节可开采量

保证率 (%)	补给量 (万 m ³ /a)	可开采系数 (k)	可开采量 (万 m ³ /a)	调节系数 <i>a</i>	调节开采量 (万 m ³ /a)
多年平均	2808.8	0.9	2527.9	1.0	2527.9
50%	2787.7	0.9	2508.9	1.0	2508.9
75%	2513.9	0.9	2262.5	1.1	2488.7
95%	2155.8	0.9	1940.2	1.2	2328.2

2.4.2 岱岳区东武水源地

东武水源地位于泰安市岱岳区汶口镇，距泰城 26.5km。水源地北始东武，南以大汶河为界，东起大汶口，并以东武至大候村南沿东南方向延至呈东西方向的大汶河，整个水源地沿大汶河呈东西狭长带状分布。东西长 9.0km，南北平均宽约 1.8km，区域面积 15.8km²。

东武水源地区域内有 5 个村庄，人口 2.023 万，其中非农业人口 0.82 万。灌溉面积 1.65 万亩，农作物以小麦、夏玉米为主，灌溉条件较好，农田高产稳产。

汶口镇政府所在地就座落在水源地区域范围内。汶河镇是泰安市郊区的一个重镇，京沪铁路及 104 国道南北穿过，著名的大汶口遗址座落在此。

1、自然地理及水文气象特征，东武水源地位于大汶河中游的河谷平原，地形北高南低，南临大汶河，该水源地处于大汶河北支牟汶河和南支柴汶河的交汇处。上游流域面积 5655km²，建有雪野、黄前、大河、光明、东周等 20 座大中型水库和众多的小型水库及塘坝。

水源地稍偏下的大汶河干流控制站——临汶水文站，流域面积 5876km²。水源地附近河段，河道平坦，水面开阔，河床由中粗沙构成，沙层厚度一般在 8-10m，河堤高出地面 2-3m，河流渗透向北侧外补给水源地。受季风气候影响，河流来水呈明显的季节性，多集中的汛期 6-9 月份，春季最枯。枯季径流多为地下径流以及灌溉回归水、城市工业与生活污水。

据临汶水文站 1956~1992 年 37 年资料分析，多年平均降水量 693.3mm，交差系数

Cv 为 0.32, 降水多集中在汛期 6-9 月份, 占全年降水量的 73.6%, 最大年降水量 (1964 年) 为 1525.5mm, 最小年降水量 (1989) 为 303.8mm, 极值比 5.0。据泰安气象站 1956~1989 年 E601 蒸发皿观测资料计算, 多年平均年水面蒸发量为 1092.0mm, 干旱指数为 1.57, 属半湿润地区, 该区域多年平均气温为 12.8℃, 多年平均相对湿度为 65%。

2、地质状况和水文地质条件 区内分布地自老至新依次为太古界泰山群、寒武系、奥陶系、第三系和第四系、汶口盆地断裂构造发育, 南留弧形大断裂为北盘上升, 南盘下降的正断层, 高差大于 3000m, 控制了盆地的生成演化。

汶口盆地主要受北东向及北西向两组断裂影响, 将盆地分割成若干大小不等的菱形块, 形成许多个独立的水文地质小单元。属北西向构造的离要有在吕吴——北泉断层, 走向 315° 左右, 中间被两条北东向断层错开, 断层两侧水位有较大差别。近东西向构造区内有两条, 盆地南北边界也各有一条。区内这两条断层为该水源地的主要控水断层。北东向构造: 区内有两条北东向断层和与该两条断层同期形成的一组平行断层, 将两条东西向断层多次错开, 呈现不同的富水性和阻水特征。大从侯——东武一带, 由于构造线密集且与东西向断层交叉, 致使这一带富水性较强。

含水岩组主要有两类: 一是松散岩类孔隙含水岩组, 主要分布于汶河北岩东武、土门、西界一带。主要含水岩性为砂层及砂砾石层, 属冲积、冲洪积物, 厚度不一, 其上为粉质粘土、粘质砂土层, 补给来源为大气降水和地表水体的入渗 (汶河不侧渗及灌溉回归)。流向与地表水一致, 径流通畅, 水质良好, 为 HCO_3^- — Ca^{2+} 型水, 二是碳酸岩岩溶裂隙含水岩组, 岩性主要为奥陶系灰岩和寒武系凤山灰岩, 多分布于汶河两岸, 隐伏于第四系之下, 以汶河及第四系补给为主。在土门、东武、西界一带, 由于构造影响, 裂隙岩溶发育, 富水性强, 且补给来源充沛, 据已成井的抽水资料, 单井涌水量在 1200~1920 m^3/d 之间, 是该水源地的主要含水层。

3、地下水的补给、径流与排泄条件 本区第四系松散岩类孔隙水的补给来源主要是大气降水、农田灌溉水的渗入及汶河地表水的侧渗, 其流向与地形坡降基本一致, 除一部分蒸发排泄外, 大部顺汶河河谷方向流向下流。另一部分补给下伏灰岩, 地下水动态变化, 受季节影响明显。

石灰岩含水岩组, 主要接受第四系含水层的越流补给, 水源地东南部汶口一带汶河

下部岩溶水的侧向补给, 流经条件良好, 在本区西部排入大汶河。

4、地下水资源量分析 根据东武水源地形、地貌及水文地质条件可知, 东武水源地下水补给来源有四个方面: 当地降水入渗补给、汶河渗漏补给、区外侧向补给、井灌回归补给。计算系列为 1956~1992 年共 37 年, 计算面积为 15.8km^2 。

1) 水源当地地降水入渗补给量, 采用降水入渗补给系数法计算, 降水入渗补给系数的选用同旧县水源地。经计算, 东武水源地多年平均降水入渗补给量为 251.6万 m^3 。

2) 汶河渗漏补给量 开采条件下汶河水首先渗漏补给第四系潜水, 一部分潜水流到水源地然后补给基岩, 另一部分潜水在河道附近补给基岩, 然后流向水源地。渗漏补给量用达西公式 $W_H=36.5R_1Im_1L+36.5R_2Im_2L$ 计算, 式中 R_1 为第四系潜水含水层渗透系数, 取 63m/d ; R_2 为基岩透水层渗透系数, 取 20m/d ; m_1 为第四系潜水含水层厚度, 由潜水位和河床基岩高程确定; m_2 为基岩透水层厚度, 由钻孔资料确定取 70m ; L 为汶河渗漏计算长度为 7.5km ; I 为含水层年平均水力坡度, 经计算, 东武水源地多年平均河道渗漏补给为 1653.5万 m^3 。

3) 区外侧向补给量 水源地地区外补给区地下水以侧向径流的形式补给地下水。补给区地下水资源量主要来自降水入渗补给, 扣除补给区开采利用的水量即得区外侧向补给量。 $W_c=0.1RP_1aF_1$, 式中 R 为补给区地下水开发利用程度取 0.5 ; P_1 采用东武水源地年降水量; a 降水入渗补给系数, 采用东武水源地降水入渗补给系数, F_1 为补给区面积为 30km^2 , 经计算水源地多年平均区外侧补给量为 238.8万 m^3 。

4) 井灌回归补给量 为水量地范围内井灌回归补给地下水量。采用井灌回归补给系数 0.15 , 井灌面积 1.65 万亩, 井灌水的有效利用系数 0.9 , 净灌溉定额采用王大下试验站的资料, 计算东武水源地多年平均井灌回归补给量为 72.4万 m^3 。

因此, 东武水源地多年平均地下水补给量为 2216.4万 m^3 , 即水源地多年平均地下水资源量; 50% 为 2199.8万 m^3 , 75% 为 1983.7万 m^3 , 95% 为 1701.1万 m^3 。见表 2.10。

5、不同保证率的可开采量调节开采量 取可开采系数 $K=0.9$, 则不同保证率的可开采量 $W_k=KW_{\#}$ 。考虑到水源地有一定的调节能力, 对于来水量较小 (即保证率较高) 的年份, 调节能力较大, 其调节系数可大于 1.0 , 计算结果见表 2.11。该水源地日可开采量为 5万 m^3 , 为一中型水源地。

表 2.10 泰安岱岳区东武水源地历年地下水资源量成果表 (单位: 万 m³)

年份	降水入渗补给量	水源地用水量	区外侧向补给量	井灌回归补给量	地下水资源总量
1956	286	1715.1	271.5	74.3	2346.9
1957	403.3	1842.6	382.9	73.6	2702.4
1958	352	1657.2	334.2	66	2409.4
1959	232.7	1680.4	220.9	58.4	2192.4
1960	183.4	1703.5	174.1	67.4	2128.4
1961	279.8	1773.1	265.6	61.2	2379.7
1962	288	1900.6	273.4	60.5	2522.5
1963	284.9	1889	270.5	61.2	2505.6
1964	603.4	1946.9	572.8	38.5	3161.6
1965	171.8	1807.8	163.1	72.2	2214.9
1966	116.2	1657.2	110.3	88	1971.7
1967	178.3	1645.6	169.3	68.1	2061.3
1968	135.3	1657.2	128.4	81.8	2002.7
1969	359.1	1715.1	340.9	41.5	2456.6
1970	302.8	1703.5	287.4	83.9	2377.6
1971	274.4	1715.1	260.5	65.3	2315.3
1972	227.5	1692	216.1	94.2	2229.8
1973	242.3	1634	230.0	70.1	2176.4
1974	286.2	1657.2	271.7	72.9	2288
1975	347.7	1726.7	330.1	72.2	2476.7
1976	213.5	1645.6	202.7	106.6	2168.4
1977	213.3	1634	202.5	77.9	2127.7
1978	296.8	1494.9	281.8	89.4	2162.9
1979	229.7	1576.1	218.1	67.4	2091.3
1980	219.6	1541.3	208.5	59.8	2029.2
1981	100.7	1529.7	95.6	74.3	1800.3
1982	237.3	1413.8	225.3	49.5	1925.9
1983	142	1448.6	134.8	85.3	1810.7
1984	268.5	1993.3	254.9	57.8	2574.5
1985	266.0	1645.6	252.5	68.6	2232.7
1986	140.3	1587.8	133.2	93.5	1954.8
1987	186.7	1541.3	177.3	68.6	1973.9
1988	162.2	1471.8	154	85.3	1873.3
1989	80.5	1355.9	76.5	85.3	1598.2
1990	494	1819.4	469	82.5	2864.9
1991	280.8	1471.8	266.5	77	2096.1
1992	179.2	1413.8	170.1	68.8	1831.9
1993	294	1529.7	279.1	82.5	2185.3
平均	251.6	1653.5	238.8	72.4	2216.3

表 2.11 东武水源地可开采量及调节可开采量

保证率(%)	补给量 (万 m ³ /a)	可开采系数 (k)	可开采量 (万 m ³ /a)	调节系数 <i>a</i>	调节开采量 (万 m ³ /a)
多年平均	2216.4	0.9	1994.8	1.0	1994.8
50%	2199.8	0.9	1879.8	1.0	1879.8
75%	1983.7	0.9	1785.3	1.1	1963.8
95%	1701.1	0.9	1531.0	1.2	1837.2

2.4.3 岱岳区埠阳庄水源地

1. 地质状况和水文地质 本区地层有太古界前震旦系, 古生界寒武系、奥陶系, 新生界第三系、第四系下奥陶统白云质灰岩和中奥陶统三段泥灰泥灰岩岩溶特别发育, 为本区主要含水层在断裂带附近岩溶也比较发育, 浅部较深部发育, 在靠近汶河附近, 由于基岩地下水与第四系潜水交替作用强, 岩溶在深层和浅层均较发育。第四系为冲洪积层组成的山前斜平原, 含水层为中、粗砂夹卵石或砾石, 上部有粘质砂土, 底部为灰岩。本区地层属于泰莱盆地断裂带的一部分。第四纪地下水覆盖于冲洪积层组成的河谷平原, 含水层为中、粗砂夹卵石或砾石, 上部有粘质沙土, 底部为粘土或灰岩地下水为微承压状态, 水力坡度为 1%左右。

2. 地下水补给与排泄条件 第四系地下水补给来源为区内大气降水, 区外侧渗补给。由于汶河由南北向转为北西向, 转向角为 260 度, 而水源地恰处于这一河套内, 水源地在北部接受汶河侧渗补给, 由于水力坡度大, 砾石较厚, 为本水源地的主要补给来源。

3. 地下水资源量分析 根据埠阳庄水源地地形、地貌及水文地质条件可知, 埠阳庄水源地地下水补给来源有四个方面: 当地降水入渗补给、汶河渗漏补给、区外侧向补给、井灌回归补给。计算系列为 1956~1992 年共 37 年, 计算面积为 17.35km²。

1) 水源当地地降水入渗补给量, 采用降水入渗补给系数法计算, 降水入渗补给系数的选用 0.24。经计算, 东武水源地多年平均降水入渗补给量为 284.2 万 m³。

2) 汶河渗漏补给量 开采条件下汶河水首先渗漏补给第四系潜水, 一部分潜水流到水源地然后补给基岩, 另一部分潜水在河道附近补给基岩, 然后流向水源地。渗漏补给量用达西公式 $W_H=36.5R_1Im_1L+36.5R_2Im_2L$ 计算, 式中 R_1 为第四系潜水含水层渗透系数, 取 52m/d; R_2 为基岩透水层渗透系数, 取 20m/d; m_1 为第四系潜水含水层厚度, 由

潜水位和河床基岩高程确定； m_2 为基岩透水层厚度，由钻孔资料确定取70m； L 为汶河渗漏计算长度为1.5km； i 为含水层年平均水力坡度，经计算，东武水源地多年平均河道渗漏补给为1442.7万 m^3 。

3) 区外侧向补给量 水源地区外补给区地下水以侧向径流的形式补给地下水。补给区地下水资源量主要来自降水补给，扣除补给区开采利用的水量即得区外侧向补给水量。 $W_c=0.1RP_1AF_1$ ，式中 R 为补给区地下水开发利用程度取0.5； P_1 采用东武水源地年降水量； a 降水入渗补给系数，采用东武水源地降水入渗补给系数， F_1 为补给区面积为71.5 km^2 ，经计算水源地多年平均区外侧补给量为585.5万 m^3 。

4) 井灌回归补给量 为水量地范围内井灌回归补给地下水水量。采用井灌回归补给系数0.15，井灌面积1.5万亩，井灌水的有效利用系数0.9，净灌溉定额采用王大下试验站的资料，计算东武水源地多年平均井灌回归补给量为65.8万 m^3 。

该水源地多年平均地下水补给量为2216.4万 m^3 ，见表4.9，即水源地多年平均地下水资源量；50%为2199.8万 m^3 ，75%为1983.7万 m^3 ，95%为1701.1万 m^3 。见表2.12。

5、不同保证率的可开采量调节开采量 取可开采系数 $K=0.9$ ，则不同保证率的可开采量 $W_k=KW_{\text{井}}$ 。考虑到水源地有一定的调节能力，对于来水量较小（即保证率较高）的年份，调节能力较大，其调节系数可大于1.0，计算结果见表2.13。该水源地日可开采量为6万 m^3 ，为一大型水源地。

地下水的变化特征，受地形、地貌、水文地质条件、降水特性和开发利用状况等综合性因素的影响。地形、地貌和水文地质条件决定了地下水的埋藏、运动及动态变化规律；降水特性决定了地下水补给量的大小；开发利用状况又决定了排泄量的多少。

从全市地下水资源量及可开采量分析看，今后地下水的开发利用仍将坚持首先利用地表水，合理开发利用地下水，科学利用污、废水特别是矿坑排水的原则。在开发利用战略上应坚持近期与长远兼顾：即近期开发利用当地水资源，长远引用客水资源。在具体措施上，应采取工程措施和非工程措施相结合的方法，开源与节流并重，在广开水源的同时，加强水资源的统一调配，强化节约用水管理，加强基础工作的研究，使地下水的开发利用和保护适应两个转变的需要，让有限的地下水资源更好地为国民经济和社会可持续发展服务。

表 2.12 泰安岱岳区埠阳庄水源地历年地下水资源量成果表 (单位: 万 m³)

年份	降水入渗补给量	河道侧渗补给量	区外侧向补给量	井灌回归补给量	地下水资源总量
1956	374.5	1445.2	771.7	67.5	2658.9
1957	459.1	1481	946	66.9	2953
1958	392.4	1443.5	808.5	60	2704.4
1959	256.8	1448.2	529.2	53.1	2287.3
1960	295.7	1452.8	609.3	61.3	2419.1
1961	301.8	1466.9	621.9	55.6	2446.2
1962	362.6	1492.7	747.1	55	2657.4
1963	331.6	1490.3	683.2	55.6	2560.7
1964	648.1	1502.1	1335.4	35	3520.6
1965	150.3	1473.9	309.8	65.6	1999.6
1966	149	1443.5	307	80.0	1979.5
1967	233.9	1441.1	482	61.9	2218.9
1968	174.3	1443.5	359.2	74.4	2051.4
1969	364.7	1455.2	751.4	37.8	2609.1
1970	320.3	1452.8	660	76.3	2509.4
1971	322.5	1455.2	664.6	59.4	2501.7
1972	248.3	1450.5	511.7	85.7	2296.2
1973	253.4	1438.8	522.2	63.8	2278.2
1974	305.2	1443.5	628.8	66.3	2443.8
1975	403.7	1457.5	831.8	65.6	2758.6
1976	206	1441.1	424.4	96.9	2168.4
1977	230.1	1438.8	474	70.9	2213.8
1978	309	1410.7	636.7	81.3	2437.7
1979	247.5	1427.1	510	61.3	2245.9
1980	266.7	1420	549.5	54.4	2290.6
1981	150.8	1417.7	310.7	67.5	1946.7
1982	292.2	1394.3	602.1	45	2333.6
1983	197.6	1401.3	370.1	77.5	2046.5
1984	325.2	1511.4	670	52.5	2559.1
1985	261.6	1441.4	539.1	62.5	2304.6
1986	184.4	1429.4	380	85.0	2078.8
1987	249.8	1420	514.7	62.5	2247
1988	136.7	1406	281.7	77.5	1901.9
1989	86.8	1382.5	178.9	77.5	1725.7
1990	533.4	1476.3	1099.1	75.0	3183.8
1991	195.3	1406	402.3	70.0	2073.6
1992	197.9	1344.3	407.7	62.5	2012.4
1993	397.2	1417.7	818.4	75.0	2708.3
平均	284.2	1442.7	585.5	65.8	2378.2

表 2.13 埭阳庄水源可开采量及调节可开采量

保证率 (%)	补给量 (万 m ³ /a)	可开采系数 (k)	可开采量 (万 m ³ /a)	调节系数 α	调节可开采量 (万 m ³ /a)
多年平均	2378.3	0.9	2140.5	1.0	2140.5
50%	2357.8	0.9	2122.0	1.0	2122.0
75%	2111.2	0.9	1900.1	1.1	2090.1
95%	1790.8	0.9	1611.7	1.2	1934.0

2.5 泰安市现状年供需平衡分析

按照首先利用地表水,合理开采地下水,科学利用污废水,多种水源统一调度的前提下,对全市现状年进行水量供需平衡分析。现状年水量供需平衡分析成果表见表 2.14。

表 2.14 现状年水量供需平衡分析成果表 (单位: 万 m³)

县、市、区	多年平均	50%	75%	95%
泰安市	77140	71980	3335	-73387
泰山区	3408	3298	1840	443
岱岳区	18728	10292	-50	-19703
新泰市	18658	19405	220	-8324
肥城市	9796	7374	608	-2823
宁阳县	14903	12392	216	-6535
东平县	11913	10499	453	-16072

从表中可以看出,全市多年平均余水 77140 万 m³,平水年余水 71980 万 m³,枯水年余水 3335 万 m³,特枯水年缺水 73387 万 m³。

2.6 对策与建议

水资源的可持续利用是我国在新世纪的基本方针。为确保水资源的可持续发展利用,应按照“依靠法规,全面节流,积极开源,加强保护,限制开采,强化管理”的指导思想,制定地下水资源开发利用保护的综合性对策。

(1) 依法管理。加强对《水法》、《条例》的宣传力度,强化人们的水患意识,使全社会逐步了解水资源现状,彻底扭转“地下水是取之不尽,用之不竭”的错误思想,认识到加强地下水资源保护工作的重要性和紧迫性,树立起“水是有限的自然资源”的新观念。

为更好管好用好水资源，应尽快出台各项配套法规，坚持实行“统一规划，统一调度，统一发放取水许可证，统一征收水资源费，统一管理水量水质”，做到依法治水，依法管水。

(2) 广开水源。为缓解水资源的供求矛盾，应积极拦蓄地表水，合理开发地下水，充分利用污水，综合利用，讲求实效。在汛期加强洪水的开发利用，充分利用现有的引河、扬水站等工程，补充地下水资源；在条件适宜的地方兴建地下水库，将汛末余水存入地下，供非汛期使用。大力兴建拦河闸和截潜工程，一方面能拦蓄利用地表水，另一方面可拦截河川基流，抬高地下水位。充分利用矿坑排水，矿坑排水具有排水量大，水质污染轻，毒性小等特点，经适当处理，可利用于工业生产、生活用水、农田灌溉、坑塘养殖等。

(3) 积极开展计划用水、节约用水工作。农业是用水大户，也是节水重点，要实行有偿供水，利用经济杠杆，促进农田灌溉节约用水，进行以减少输水损失、节水增产为中心的农田灌溉工程技术改造。因地制宜地推广喷灌、滴灌、渗灌、微灌等节水技术；选择耐旱高产作物，推广先进耕作方式。工业节水要以提高工业用水的重复利用率为重点，充分考虑各地水源条件，合理调整工业布局；要制定各行各业的标准和定额，实行计划用水，严格按取水计划指标管理用水，实行节水技术改造，大力推进节水技术和设备。在城市生活用水方面，对城市供水系统和用水设备进行更新改造，减少水量损失；生活用水要实行季节水价和累计水价，鼓励推广先进的节水器具。

(4) 加强地下水资源保护。水污染不仅对环境构成极大威胁，而且减少了水资源的可利用量。污水未经处理就排入河道，不仅污染了地表水体，也直接威胁着地下水的水质。因此要采取以下措施：一是新改扩建项目的排污口设置必须经过水行政主管部门同意，否则不能随便设置任意排放污水进入河道；二是加强大汶河上游排入的污、废水监测控制；三是限期关闭停产污染严重企业，限期治理，达标后方可排放；四是做好地下水供水水源地的保护，划定保护区，定期进行动态监测；五是兴建一批污水处理厂，采取单项治理与集中治理相结合的方法，处理后的水可用于农田灌溉，既减少了污染，又节约了水资源，缓解了水资源的供需矛盾。

小结

本章对大汶河流域泰安地区及重点水源地地下水资源量进行了评价。在对该区水文地质参数进行定量分析基础上，计算了评价区地下水补给量与排泄量，校核了地下水超采区资源量，分析了泰安市供需平衡状况，提出了泰安市地下水资源开发利用策略。

第三章 地下水资源系统数值模拟

3.1 系统模型

所谓模型，是把实体系统通过适当的概括和抽象，用某种形式来表达实体系统本质属性的简洁模仿品。模型是研究系统的重要工具，模型可分为两类：

- (1) 抽象模型：在认识实体系统的基础上进行高度的概括和抽象，用一组符号来表示系统的行为。
- (2) 具体模型：把实体系统按照一定的原则变换成一个便于实验的实体结构。

3.2 数学模型

(1) 定义：数学模型^{[21][22]}是对研究对象本质的数学表达形式，是用数学关系来表示所研究对象的某种本质特征。

(2) 数学模型的组成：变量（输入变量、决策变量、状态变量、输出变量），参数：反映系统有关特性的一些已知的或假定数值
关系式：反映系统变量相互关系的或反映系统本质的数学表达式。

(3) 建立数学模型的方法：数学模型要满足可靠性和适用性，方法有两种，一种是实验归纳法：通过多次实验，得到一系列观测数据，求得变量间的函数关系。首先选择函数形式，其次确定待定系数，最后进行检验。第二种方法是理论分析法：首先建立系统物理模型，其次建立系统的数学模型（尽量减少参数），最后对得到的模型进行检验与修正。

(4) 建立数学模型的步骤：数学模型的建立流程可用下图 3.1 表示。

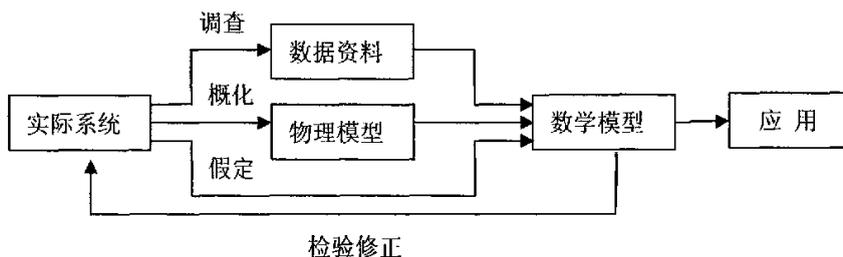


图 3.1 数学模型的建立流程图

3.3 模拟区地下水数值模拟系统

由于建立模型工作量大，难度大，需要全面的资料做基础，因此，当前没有条件对所有大汶河流域去进行模拟计算，可选择有代表性区域进行建模，选区的主要原则是：(1) 水文地质条件有代表性；(2) 研究资料丰富；(3) 地下水动态变化规律有一定的代表性。根据以上原则，选择东平县大清河以南的区域为模拟区，区域面积 89.4km^2 ，该区地面平整，各项影响因素较一致，地面以下虽土层数较多，但在 $15\sim 20\text{m}$ 以内多为透水性良好的中粗砂、亚砂等土层，再向下多为厚度不等的粘土层，可以视为隔水底板。地下水流向总体上由东北向西南流动，河流补给作用明显。为了有利于开展工作，详细收集了该地区地下水位动态、水文地质、降水量、河道补给量、引河回灌水量等资料。计算区域如图 3.2。



图 3.2 大汶河流域模拟区及测井位置图(阴影部分为模拟区)

3.3.1 模型的选择

地下水系统模型^[25]一般可分为集中参数模型与分布参数模型两种，集中参数模型不考虑个项参数的时空变化，一般只适用于宏观控制等问题，分布参数模型则常用于地下水系统的控制和管理等问题，此次选用分布参数模型。

3.3.2 模型建立

为了正确确定模型形式、结构、构造定解问题，需要仔细分析研究模型区水文地质条件、位置形状、补排特点等事项。在此基础上建模。

① 基本方程：

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k(h-\eta) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(h-\eta) \frac{\partial h}{\partial y} \right] + N(x, y, t) - P(x, y, t) = \mu \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3.1)$$

式中：地下水分布 $h(x, y, t)$ ；隔水底板标高 $\eta(x, y)$ ； $N(x, y, t)$ 为大气降水补给； $P(x, y, t)$ 为计划开采量。

② 边界条件：模型区北部边界为大清河，一般情况下对于定水头的河流边界，可将其视为一类流量边界。考虑到该次研究计算时段为日，而该河为季节性河流，年内水位变幅较大，因此，将其处理为二类流量边界。东部边界接受少量上游侧向补给，西部、南部边界有侧向径流排除，均可处理为二类边界。

初始条件： $h(x, y, 0) = h_0(x, y, t)$ ，以 1992 年 1 月 1 日地下水位作为初始水位。

综上所述，定解问题可表述如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(kh \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(kh \frac{\partial h}{\partial y} \right) + N(x, y, t) - P(x, y, t) &= \mu \frac{\partial h}{\partial t} \\ h(x, y, 0) &= h_0(x, y, t) \\ Kh \frac{\partial h}{\partial n} \Gamma_2 &= -q(x, y) \\ \Gamma_2 &= D \end{aligned} \quad (3.2)$$

式中： K —渗透系数； h —地下水位； Γ_2 —二类边界函数； q —不同位置单位入流量。

本研究采用美国地质调查局发布的三维地下水有限差分计算软件 MODFLOW 进行地下水数值模拟。

③ 模型区剖析与参数分区：考虑模型区边界形状，水文地质条件差异及开发利用程度

上的不同, 采用 $1.5\text{km} \times 2\text{km}$ 矩形网格进行剖分。

根据区内水文地质条件差异, 对给水度 μ , 渗透系数 K 进行了分区, 并给出了初值, 做为模拟计算的基础。

④各项模拟水量的确定:

A: 降雨入渗补给量: 采用降水入渗系数法计算降雨入渗补给量, 然后根据各月实际降水量及地下水位实际埋深分析确定其月分配。

B: 侧向补给(排泄)量: 采用达西公式计算, $Q = KIML$

C: 潜水蒸发量: 采用潜水蒸发系数计算, $C = 10^{-ab}$

D: 开采量: 直接采用调查统计值, 原则上平均分配到各计算网格上, 同时对工业、生活等开采较集中地区进行适当调整。

E: 河渠引水补给量:

$$W_{\text{补}} = W_{\text{引}} \cdot \beta \quad (3.3)$$

式中: $W_{\text{引}}$ ——引水量实际值; β ——补给系数, 根据设计资料, β 取 0.45。

3.3.3 模型的识别与校正

模型采用有限差分法^[26]求解。模型识别采用间接法, 即先给定一组参数, 计入离散方程求解。使得计算水位与实测水位误差最小, 通过试算, 优选确定模型的参数。

依据上述方法步骤编制计算流程图^[27], 见下图 3.3。

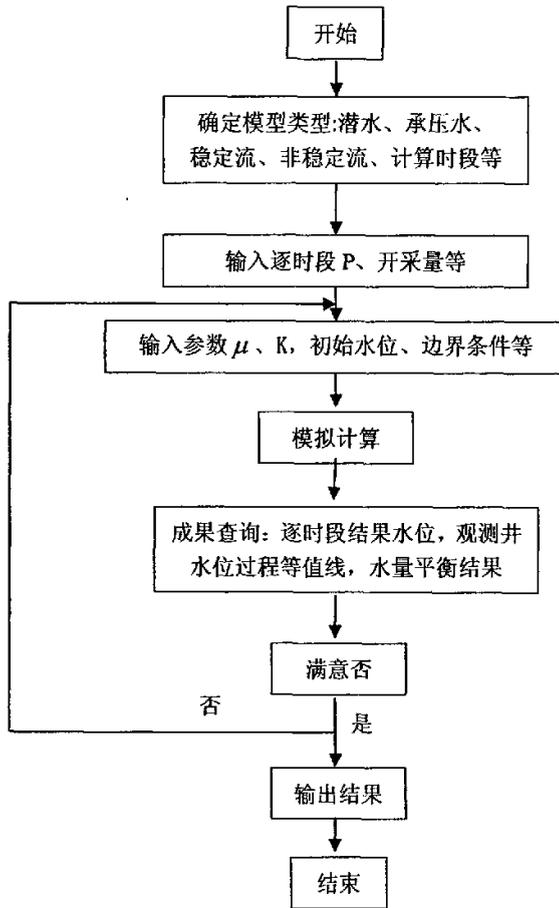


图 3.3 模型技术流程图

本次选用 1992 年实测地下水位、降水量、开采量资料, 采用上述方法确定各分量, 通过人工调试, 求得不同分区给水度 μ 及渗透参数 k 值, (见表 3.1); 选取了模拟区四眼地下水观测井 (测井分布图见图 3.2), 分别用 1992 年、1993 年模拟水位与实测水位进行了对比, 见表 3.2。

表 3.1 参数分区成果表

分区	1 (大)	2 (中)	3 (小)
μ	0.066	0.056	0.046
$K(m/s)$	0.0018	0.0017	0.0016

表 3.2 地下水位对比表

井号	年份	方法	各月初水位 (m)											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
93	1992	实测	41.70	41.70	41.55	41.47	41.25	41.18	40.42	40.30	41.28	41.28	41.24	41.20
		模拟	41.70	41.70	41.68	41.67	41.40	41.24	40.59	40.49	41.31	41.34	41.35	41.26
	1993	实测	41.25	41.30	41.36	40.96	40.42	40.30	39.70	41.38	41.23	41.12	41.10	41.58
		模拟	41.12	41.29	41.29	40.95	40.46	40.34	39.84	41.30	41.24	41.10	41.17	41.82
79	1992	实测	39.78	39.97	40.05	39.88	39.72	39.12	38.63	38.70	37.90	37.83	37.78	37.70
		模拟	39.78	39.96	40.05	39.90	39.56	38.92	38.48	38.34	37.72	37.69	37.57	37.38
	1993	实测	37.70	37.60	37.25	36.88	36.55	35.95	34.40	35.15	35.60	36.13	36.70	37.63
		模拟	37.15	37.56	37.26	36.84	36.47	35.86	34.65	35.31	35.78	36.14	36.70	37.62
11	1992	实测	35.60	35.76	36.07	36.40	36.05	35.50	33.07	33.28	33.23	33.25	33.25	33.45
		模拟	35.60	35.82	35.99	36.13	36.01	35.56	34.40	34.54	34.06	34.25	34.31	34.29
	1993	实测	33.48	33.49	33.50	32.57	31.95	31.92	30.88	31.30	32.00	33.95	35.95	36.70
		模拟	34.18	33.50	33.51	32.39	32.57	31.89	30.77	31.39	32.11	34.00	35.59	36.12
77	1992	实测	35.90	35.90	35.93	35.86	35.50	35.25	34.65	34.75	34.33	34.30	34.25	34.22
		模拟	35.90	35.83	35.82	35.87	35.62	35.13	34.51	34.61	34.15	34.22	34.19	34.07
	1993	实测	34.40	34.45	34.50	34.30	34.20	34.10	33.25	34.65	34.53	34.65	34.83	35.17
		模拟	33.90	34.44	34.52	34.43	34.22	34.17	33.23	33.63	34.39	34.46	34.56	35.18

为了核验模型参数的可靠性，又利用模拟区四眼测井（测井见图 3.2）对 1993 年资料进

行了验证，从实测与模拟水位过程线对比（见图 3.4）可以看出，水位过程线拟合良好，具有同步的升降变化。说明率定的参数正确，所建立的模型可靠，能够反映该地区的地下水运动规律。

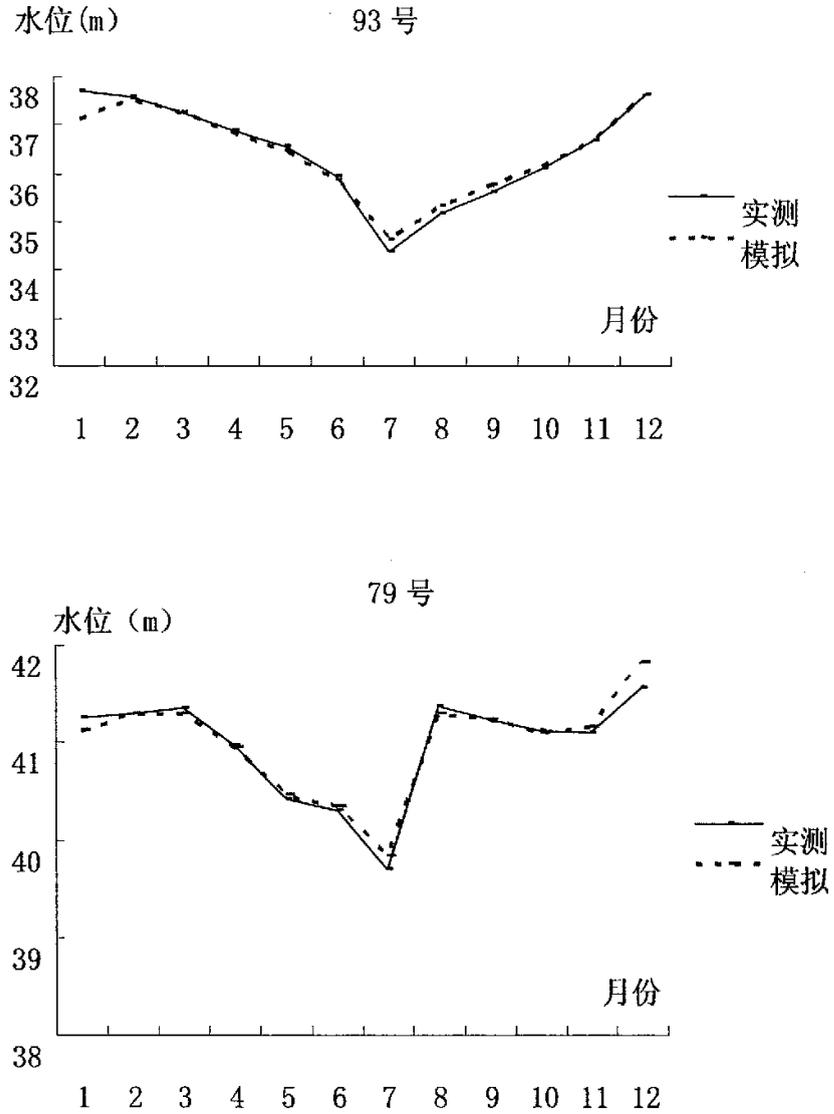


图 3.4 模拟区地下水井实测与模拟地下水过程线图

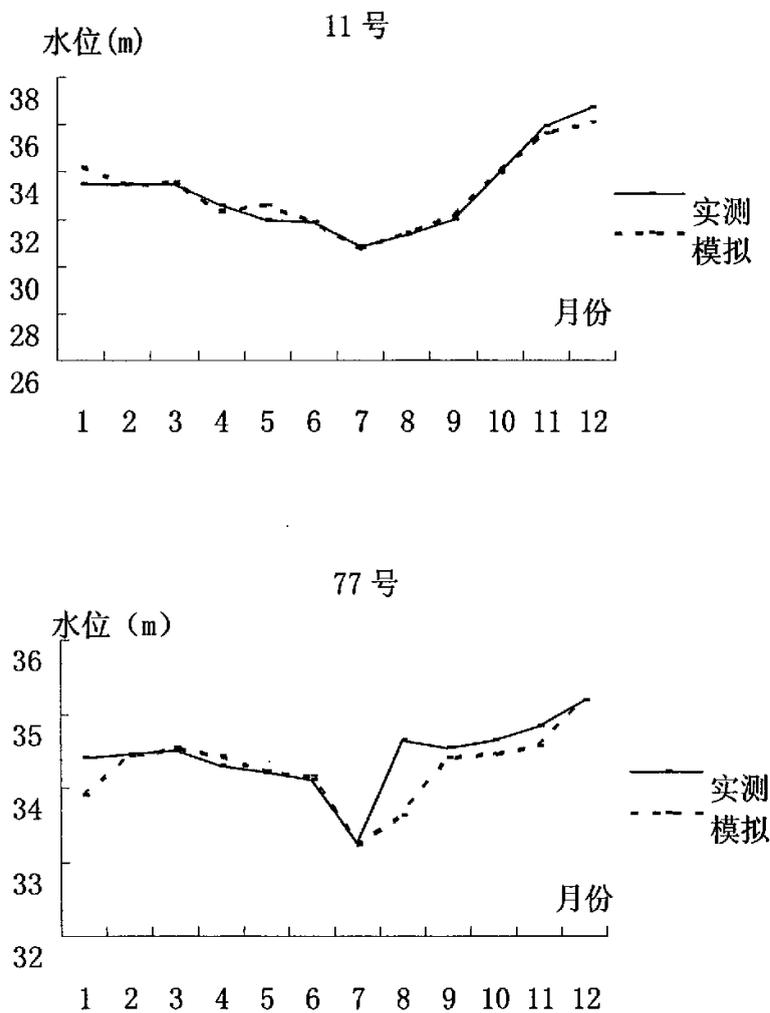


图 3.4 模拟区地下水井实测与模拟地下水过程线图

小结

选择大汶河水文地质条件典型区域，建立地下水数值计算模型。采用地下水观测资料，推求了该典型区水文地质参数。模型参数率定和验证表明，建立的模型能用来模拟该地区地下水运动及动态变化规律。

第四章 大汶河流域地下水动态及合理控制水位

4.1 大汶河流域地下水动态变化分析

地下水动态变化,既受降水入渗、山前侧渗、河道侧向补给、灌溉回归等补给项的影响,又受人类开采、侧向排泄、河道排泄、潜水蒸发等排泄项的影响。地下水位一般随着降水量的增加而升高,随开采量的增加而下降,其下降幅度因各地自然地理条件不同而异。

4.1.1 年内及年际地下水动态变化

大汶河流域地下水动态变化,因受多种动态因素影响,各年情况不尽一致,就一般年份而言,有如下共性:1~2月份,降水量和开采量都很小,地下水位升降幅度不大,稳定少变。3~6月份,降水量小,开采量大,地下水位迅速下降,大部分区域在6月底前后出现年最低水位。7~9月上旬,是年内集中降雨时节,地下水位大幅度上升,一般在9月上旬前后出现年内最高水位。随后,地下水位又往往随着开采量的增加及降水量的减少而下降,11~12月份地下水位又恢复为稳定阶段。遇特殊年份,地下水位的变化趋势有很大差异:有的年份,汛后降水量大,侧渗补给量多,最高水位出现在年底;有的年份,汛期和汛后降水量都少,最高水位出现在年初。

采用山东省泰安市省级井网优化后的地下水井观测资料,对大汶河流域1998年~2003年地下水位变化情况进行分析。本系列年限中共使用地下水监测井资料77站年,其中浅层水井37站年,承压水井40站年。泰安市1998~2003年年初地下水埋深、年变差统计表详见表4.1。

大汶河流域地下水位埋深情况:一般沿河两侧埋深较小,离河湖越远,埋深越大;但因受地理条件和集中开采等因素的影响,存在局部地下水位埋深或大或小的区域,在山脚下泉水出漏或富水区域,地下水位埋深较小,变化也较小。

地下水位年变差指年末与年初水位之差。此值为正,说明年末水位高于年初水位,地下水储量增加,反之减少。六年来的年变差累计值就是在此期间地下水总升降值。

表 4.1 泰安市 1998~2003 年年初地下水埋深、年变差统计表 (单位: 米)

计算区	1998		1999		2000		2001		2002		2003	六年 累计 变差
	埋深	变差	埋深	变差	埋深	变差	埋深	变差	埋深	变差	埋深	
岱岳区	4.68	-0.66	5.34	0.50	4.84	1.26	3.58	-2.19	5.77	-1.63	7.40	-0.45
泰山区	6.79	3.40	3.39	-0.36	3.75	-0.65	4.4	0.01	4.39	-1.34	5.73	0.18
莱芜市	3.97	-4.94	8.91	-0.20	9.11	-0.93	10.04	-0.39	10.43	-3.39	13.82	-1.64
新泰市	3.91	-0.21	4.12	-0.18	4.30	-0.02	4.32	-0.56	4.88	-1.85	6.73	-0.47
宁阳县	10.14	-0.42	10.56	0.80	9.76	-0.8	10.56	-0.82	11.38	-0.80	12.18	-0.34
东平县	4.21	0.10	4.11	-0.28	4.39	0.04	4.35	-0.72	5.07	-2.57	7.64	-0.57
肥城市	4.05	0.75	3.30	0.00	3.30	-0.88	4.18	-0.45	4.63	-2.01	6.64	-0.43
潜水平均	5.39	0.34	5.05	-1.57	6.62	0.53	6.09	-0.56	6.65	-1.94	8.59	-0.53
岱岳区	12.84	4.63	8.21	0.24	7.97	0.02	7.95	-2.34	10.29	-2.35	12.64	0.03
泰山区	39.65	18.98	20.67	-4.46	25.13	2.76	22.37	2.62	19.75	-8.66	28.41	1.87
莱芜市	52.58	20.17	32.41	-17.20	49.61	15.33	34.28	2.50	31.78	-36.69	68.47	-2.65
新泰市	33.89	21.04	12.85	-4.83	17.68	-12.46	30.14	12.96	17.18	-25.04	42.22	-1.39
宁阳县	18.49	3.24	15.25	0.47	14.78	0.14	14.64	-2.24	16.88	-9.66	26.54	-1.34
东平县	9.47	0.09	9.56	-0.78	10.34	-0.87	11.21	0.70	10.51	-23.68	34.19	-4.11
肥城市	27.93	-12.05	39.98	-8.57	48.55	5.05	43.50	-1.17	44.67	-27.27	71.94	-7.34
承压水平均	30.90	8.23	22.67	-4.97	27.64	2.32	25.32	3.73	21.59	-19.04	40.63	-1.62

4.1.2 年降水量对地下水动态变化的影响

为了分析大汶河流域地下水动态变化趋势,应用观测资料系列较长的测井,对每一眼观测井 1978~2003 年的地下水位年变差系列值和相应的年降水量进行一元回归分析^[18],建立一元线性回归方程式:

$$\Delta H = A + B\bar{P} \quad (4.1)$$

式中: ΔH —地下水位年变差 (m), \bar{P} —测井附近相应年降水量 (mm), B—回归系数, A—常数 (m)

此式表示地下水位年变差与年降水量的线性关系，一般相关系数在 0.8 左右，关系较密切，符合相关分析的要求，可以根据年降水量进行地下水位年变差的趋势预测。

将多年平均降水量代入方程式求得多年平均地下水位年变差 (ΔH) 值，如果此值为正，说明在相当于多年平均降水量年份时，地下水位将回升，正值越大，回升越快，由此预测此地下水源较充足；实际上，这类地区，随着地下水位的升高，潜水蒸发量和侧向排泄量都会增加，地下水位在某一高度趋于稳定。相反的，如果 ΔH 值为负，则说明此地的地下水源不足，水位将持续下降，如果不采取节水或补源措施，地下水源将逐渐枯竭。

经过去粗取精，选取了 32 眼观测井资料，点绘了“多年平均降水量引起地下水位年变差等值线图”（见图 4.1）。

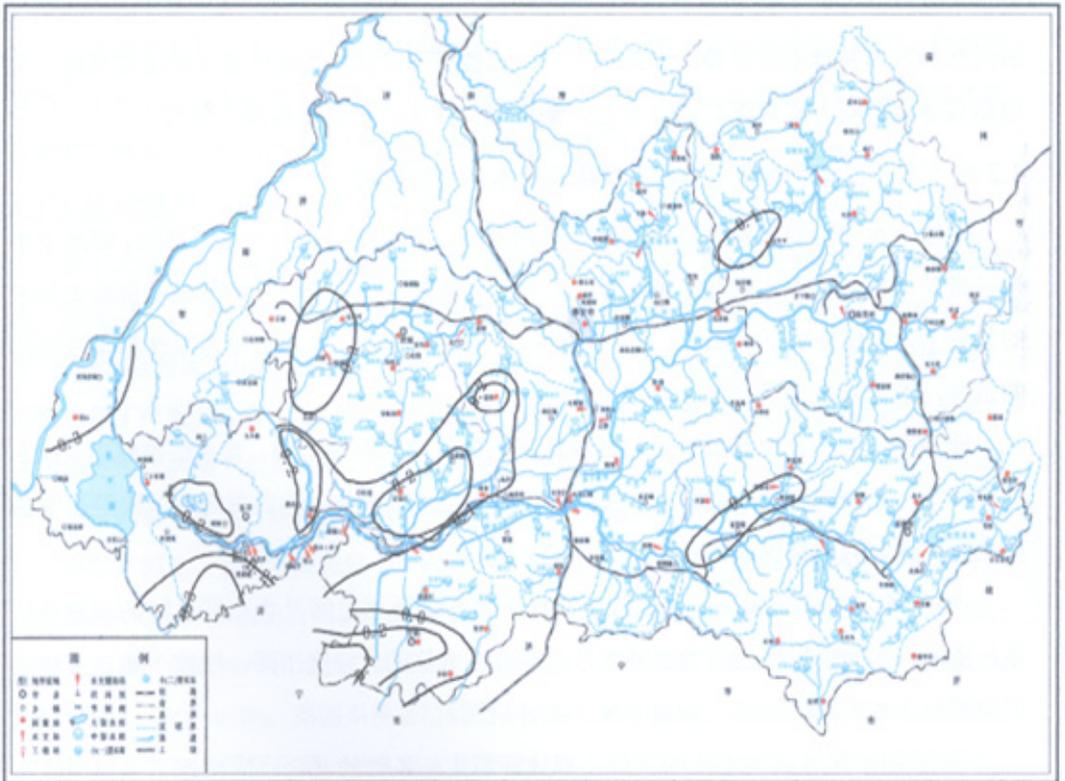


图 4.1 多年平均降水量引起地下水位年变差等值线图

由图可知，在严重缺水的宁阳西南部地区，年变差值可达到 -0.30m 以上。而水源充足的东平县南部大清河周围及夏张一带，年变差值可达到 $0.2\text{m}-0.3\text{m}$ 之间，在宁阳北部，肥城南部区域，年变差值在 $0.1\text{m}-0.2\text{m}$ 之间。表明在现状条件下，经过多年调节，地下水

位仍可以在一定范围内变化而不会引起地质环境问题。

为了对地下水动态变化趋势进行量化预测,可根据不同的水文地质条件分区,根据逐年平均年降水量和相应的年地下水位年变差建立各区回归方程。本次选取东平县大清河以南的地区为研究对象,多年平均降水量为 645mm, $B=0.0076$, $A=-4.65$, 则多年平均降雨引起的地下水位年变差为 0.25m, 预测此地水位为上升趋势, 而实测地下水位年变差为 0.22m, 预测地下水位年变差为 0.41m, 相对差=(预测值-实测值)/年末埋深=6%。说明本地计算精度较高, 可以用回归方程进行预测。

但是地下水动态预测是一个十分复杂的问题, 它受地下水开采情况, 补排关系的变化等外界因素的影响, 预测值会有较大出入, 因此在泰安市岱岳区东部、东平县大清河北区及东平湖西区等地不宜采用上述回归方程预测。上面的回归方程的建立是把 1978 年以来的天然和人为补排条件看做一个随机系列, 只适用于现状。当现状条件发生变化时, 应该根据具体情况对方程式进行合理修正, 条件变化较大时, 需要再深入研究。

4.2 地下水开发利用对地下水动态变化及生态环境的影响

对地下水资源的开发是以确定地下水水资源可开采量为合理开采条件的, 即地下水的开采量是不超过地下水的补给量。这是从水文学角度以开采量与补给量能够保持大体平衡的条件下, 以保证地下水循环。另外还可以从生态学角度, 从保证生态系统稳定及其改善的角度, 确定开发地下水的合理水位。

地下水位的不合理开采会引起区域地下水位持续大幅度下降、含水层被疏干、抽水成本增加等一系列问题, 严重的可导致海水入侵、土地盐碱化、地面裂缝或沉降等严重的地质生态问题, 具体来说, 可导致如下问题:

(1) 地下水位大幅度下降, 改变了地表水与地下水之间及含水层之间的天然补给关系, 使原有水利工程规划的效益降低, 区域地下水位的大幅度下降, 导致一些在天然条件下接受地下水补给的河流, 变成了地下水补给源。

(2) 由于区域地下水位的下降, 导致环境生态条件的恶化。区域地下水位下降, 对土壤和潜水赖以生存的植被系统来说构成了极大威胁。

(3) 区域性地下水位下降对土地含水量、沙化程度、地表水体分布范围以至局部气候都有影响。

(4) 当开采区的地下水位低于与其有水利联系的劣质地表水或相对劣质含水层水位时, 使地下水动力条件发生变化, 劣质水体直接或间接进入开采含水层造成水质恶化。

(5) 大量抽取地下水导致的区域地下水位的大幅度下降, 不仅引起含水层水动力条

件发生改变,同时也将促使含水层水文条件变化,可导致含水层地下水水质变化。在一些地区,地下水位常年低于河水位,河水(包括河床潜流)由对地下水的季节性补给变成常年补给,河流不再是地下水的排泄渠道。因浅层地下水主要靠地表水补给,被污染的地表水造成了浅层地下水污染,使部分供水井不能饮用。

(6)地下水是维持土体应力平衡的一个重要因素。大量开采地下水,使水体从含水层空隙中被排出或使地下水水头压力降低,改变了土体原来的应力状态和平衡条件,从而使土体结构和稳定遭到破坏,导致了地面沉降、开裂及塌陷等地质灾害的发生。如2002年5月在泰安市泰山区省庄东羊楼村发生了一起严重的地质塌陷:出现了一个长27m,宽35m,面积约900m²,近3万m³的椭圆大坑,其原因就是人们大量开采地下水,使天然条件遭到破坏形成的。

上述地下水不合理开发引起的环境地质问题及由其诱发导致的环境生态恶化,归根结底是由于地下水位大幅度下降造成的。因此,合理地控制开采区域的地下水位对生态环境保护 and 区域社会、经济的可持续发展起着重要的作用^[23]。

4.3 大汶河流域合理控制水位的确定

对于大汶河流域来说,流域多年平均降雨量为694mm,生态系统的耗水量主要是靠降雨,因此以开采地下水时不引起环境、地质情况的破坏(地面沉降、开裂、塌陷等地质灾害)而确定合理地下水位。像泰山区东羊楼村由于超采地下水使地下水位大幅度急剧下降,结果引起了严重的地面塌陷。为了不再引起生态环境进一步恶化,政府部门已经下令强制关闭附近所有的地下水开采井。有些沉降地区为了解决问题,采取了地下水回灌方式,使地下水位能够有所上升或维持现状,不再使地面沉降幅度和范围扩大。

泰城水源地:泰城水源地位于奈河及梳洗河的冲积扇上,就地形地貌特征,可划分为三个地貌单元,即泰山山前倾斜平原剥蚀堆积地貌;泰山强烈切割的中等断块山侵蚀构造;西部变质岩区的剥蚀堆积地貌。泰城城区大部分位于山前倾斜平原,北高南低,高差较大。地面标高为130—210m,第四系覆盖层约为2—3m,为砂质粘土,其下部为灰岩。其地下水类型分为三种,即空孔隙一是孔隙水,主要分布在山前冲洪积扇中;二是裂隙岩溶水,具有承压性质;三是裂隙水,主要分布在风化裂隙和构造裂隙中。对于这种地质条件和地形地貌地区,地下水埋深控制在20—22m左右是合理的。

旧县水源地:本区地层有太古界前震旦系,古生界寒武系、奥陶系,新生界第三系、第四系下奥陶统白云质灰岩和中奥陶统三段泥灰泥灰岩岩溶特别发育,为本区主要含水层在断裂带附近岩溶也比较发育,浅部较深部发育,在靠近汶河的旧县附近,由于基岩地下

水与第四系潜水交替作用强,岩溶在深层和浅层均较发育。第四系为冲洪积层组成的山前斜平原,含水层为中、粗砂夹卵石或砾石,上部有粘质砂土,底部为灰岩。主要含水层有:

(1)冲积层水层;(2)冲洪积含水层;(3)灰岩岩溶裂隙水。对于这种地质条件和地形地貌地区,地下水埋的合理埋深控制在18-21m左右是合理的。

岱岳区东武水源地:含水岩组主要有两类,一是松散岩类孔隙含水岩组,主要含水岩性为砂层及砂砾石层,属冲积、冲洪积物,厚度不一,其上为粉质粘土、粘质砂土层,补给来源为大气降水和地表水体的入渗(汶河不侧渗及灌溉回归)。流向与地表水一致,径流通畅,水质良好,二是碳酸岩岩溶裂隙含水岩组,岩性主要为奥陶系灰岩和寒武系凤山灰岩,多分布于汶河两岸,隐伏于第四系之下,以汶河及第四系补给为主。在土门、东武、西界一带,由于构造影响,裂隙岩溶发育,富水性强,且补给来源充沛,据已成井的抽水资料,单井涌水量在1200~1920m³/d之间,是该水源地的主要含水层。对于这种地质条件和地形地貌地区,地下水的合理埋深控制在25m左右才不会引起地面沉降。

根据研究并通过分析计算知道,水位超过合理水位并继续开采,长时间(半年以上)没有补给的情况下,会引起地面沉降,地下水位降幅每下降1m,会引起0.2cm左右的地面沉降。通过对这些地区地下水位的降幅与引起地面沉降关系研究,来确定与上述地区相同或近似水文地质等条件下,其它区域地下水开采时的合理水位。因此,可以通过类比的方式确定合理地下水位。

根据大汶河流域的实际情况,当潜水地下水埋深在6m以下时,潜水位以上的土壤损失就不能由潜水供给,土壤发生干旱,植被生长受到影响,因此把6m看作潜水蒸发的极限深度,即合理水位的下限;当地下水埋深小于5m时,潜水蒸发强度随着地下水埋深的减小急剧增长,因此,把5m看作合理水位的上限,潜水埋深控制在5m-6m时,能很好地满足该区域的生态需水水位。

4.4 大汶河流域生态需水量计算

4.4.1 浅层地下水恢复补给量

大汶河流域自20世纪70年代大规模开采地下水以来,出现了严重超采状况。1956—2005年,全流域地下水储量消耗35亿m³,其中浅层水25亿m³。因此,恢复大汶河流域浅层地下水,必须严格控制浅层地下水的开采。为使浅层地下水在2020年左右基本恢复到合理控制水位(埋深),本次浅层水恢复水量取为每年1亿m³。

2010年城市控采按照70%考虑,可有1亿m³的回补量。因此,2010年地下水恢复水量确定为1亿m³。到2020年可使浅层水基本得到恢复,使地下水开采处于合理的水平,

成为流域水资源的战略储备。

4.4.2 城市湖泊环境用水量

采用人均水量法推算,流域内主要城市河湖环境用水量每年约 0.52 亿 m^3 。不同水平年城市河湖环境用水量分别是:2010 年 0.52 亿 m^3 ,2020 年为 0.58 亿 m^3 。城市河湖建设要在原有河道改造进行,充分利用再生水、雨洪资源等调剂水。

4.4.3 湿地保护用水量

主要考虑洼地的生态功能,确定洼地的最低水位,然后考虑蒸发、渗漏所需的补水量。以东平湖为例,最低水位考虑以下因素:

(一)渔业水位:东平湖养鱼有网箱养鱼和天然养鱼两种养殖方式,水深最好为 2.0—3.0m,相应水位为 40.1—41.1m 之间。

(二)旅游业所需水位:一般来说,1m 左右可以划船;1.0m—2.0m 适宜游泳,大于 2m 适宜其它机械船只航行,因此,相应水位为 39.1m—41.1m。综合分析,确保东平湖养鱼、旅游业及维持生态所需的最低水位为 41.1m,对应的水深 3.1m,水面面积 85 km^2 ,相应最低生态需水量 2.65 亿 m^3 。补充蒸发、渗漏损失水量分别为 0.91 亿 m^3 和 0.30 亿 m^3 ,合计年补水量为 3.86 亿 m^3 。类似东平湖计算方法,计算出流域内湿地稻村洼的环境用水量约为 0.42 亿 m^3 。

4.4.4 河道最小环境用水量

大汶河多年平均径流量为 17.44 亿 m^3 。取 10%作为维持河道的最小水量,计算河道蒸发量和渗漏量为 0.004 和 0.20,则河道最小环境用水量为 1.944 亿 m^3 。

4.4.5 水土保持生态用水量

按照生态环境建设规划,每年治理 400 km^2 ,按照 1.8 万 m^3/km^2 定额计算,2010 年要完成 4600 km^2 的水土流失面积,生态需水要 0.83 亿 m^3 。

综上分析计算得出,2010 年大汶河流域生态环境用水总量为 8.534 亿 m^3 。

大汶河流域地下水总资源量为 12.3758 亿 m^3 ,地表径流量为 17.4431 亿 m^3 ,大汶河流域生态环境用水量 8.534 亿 m^3 。若将径流量的 30%和 60%作为大汶河流域生态环境用水总量控制的上限和下限计算,则大汶河流域生态环境用水总量为 5.23~10.46 亿 m^3 ,上述计算结果在其范围之内,认为是合理的。

小结

本章利用大量的实测资料,对大汶河流域地下水动态变化进行了分析,建立了地下水

位年变差与年降水量的线性关系。通过对大汶河流域地下水动态变化影响因素分析,确定了大汶河流域合理的地下水位机生态需水量,为该地区地下水的合理开发提供了参考依据。

第五章 区域地下水资源承载力综合评价研究

随着人口的剧增和经济的高速发展,社会各方面对水的需求迅速增长,水资源供需矛盾日益突出。地下水资源是区域经济发展的基础资源之一,合理加以开发、保护,提供更多的水量,做到可持续发展,是一项重要而艰巨的任务。正确评价地下水资源承载能力,对该区域社会、经济的可持续发展、生态环境的良性循环和地下水资源的持续开发利用有重要作用。目前,关于区域水资源承载力^[24]方面研究较多,但单将地下水资源承载力做为研究对象的较少。

5.1 地下水资源承载力的概念和内涵

水资源承载力是指在某一历史发展阶段,以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性发展为条件,在水资源得到合理的开发利用下,某一研究区域人口增长与经济发展的最大容量,在这个容量下水资源可以自然循环和更新,并不断被人们利用,造福于人类,同时不会造成环境恶化。而地下水资源承载力是指未来不同的时间尺度上,一定的技术经济水平和社会生产条件下,地下水资源可最大提供给工农业生产、人民生活 and 生态环境保护等用水的能力。

地下水资源承载力的涵义主要包括:(1)地下水资源承载力的涵义必须同时兼顾社会、经济、技术和生态四个因素。(2)地下水资源承载力是适度的,具有阈值。地下水资源承载力的阈值一方面取决于当代技术能力、经济水平,而且呈正比例关系;另一方面取决于生态环境对地下水资源承载力的制约,呈反比例关系。(3)地下水资源承载力是动态的量。一方面,随着工程建设和开发技术的进步,地下水资源的开发量占当地地下水资源总量的比例可逐渐增大,从而增大地下水资源承载力,但这种增长具有阈值;另一方面,随着时间的前进和节水技术的进步及节水意识的增强,挖掘潜力,节约用水,多方设法提高用水效率,可提高单位水量的承载能力。但是,如果过度开发地下水资源或污染地下水,引起地下淡水资源的退化,那就会减小地下水资源承载力。

5.2 模糊综合评价模型

设给定 2 个有限论域: $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$; $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$,其中 U 表示综合评判的因素组成的集合, V 代表评语所组成的集合,则模糊综合评判为下列模糊变换, $B = A \cdot R$,式中 A 为 U 的模糊子集,而评判结果 B 是 V 上的模糊子集,并且可表示为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, $0 \leq b_j \leq 1$,其中 a_i 即为 U 对 A 的隶属度,表示单因素 U_i 在评定因素中所起作用大小的变量,也在一定

程度上代表根据单因素 U_i 评定等级的能力,而 b_j 为等级 V_j 对综合评判的结果.评判矩阵为:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

式中: r_{ij} —— U_i 的评价等级 V_j 隶属度,因而矩阵 R 中第 i 行 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ 即为对第 i 个因素 U_i 评价结果.评价计算中 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ 代表各个因素的综合评价重要性的权系数,因此满足 $\sum_{i=1}^m a_i = 1$. 同时模糊变换也即退化为普通矩阵计算.即:

$$b_j = \min \left| 1, \sum_{i=1}^m a_i r_{ij} \right| \quad (5.2)$$

5.3 评价指标体系及权重的确定

5.3.1 评价指标体系的建立

影响区域地下水资源承载力的因素^[25]很多:既有供水方面的因素,又有需水方面的因素;既有直接因素,又有间接因素.根据指标体系建立的完全性原则、简捷易得性原则、相对独立性原则和客观性原则,在充分考虑大汶河流域地下水资源差异以及开发利用方式不同的基础上,选取了以下相对性评价指标:

① 地下水资源耕地灌溉率 U_1 : 地下水资源灌溉面积/耕地面积(%), 取 $U_1=45\%$

② 地下水资源利用率 U_2 : 现状年地下水供水量与可利用的地下水资源总量之比(%), 取 $U_2=90\%$

③ 地下水资源开发利用程度为 U_3 : 现状年地下水供水量与地下水资源总量之比(%), 取 $U_3=77\%$

④ 供水模数 U_4 : 地下水资源年供给量/土地面积($10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$), 取 $U_4=11\%$

⑤ 需水模数 U_5 : 现状年需水量/土地面积($10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$), 取 $U_5=13\%$

⑥ 重复利用率 U_6 : 重复用水量/总用水量(%), 取 $U_6=21.2\%$

⑦ 人均供水量 U_7 : 地下水年供给量/总人口($\text{m}^3/\text{人}$), 取 $U_7=100(\text{m}^3/\text{人})$

⑧ 生态环境用水率 U_8 : 生态环境用水量/总水量(%), 取 $U_8=9.8\%$

把以上因素按对地下水资源承载力影响的程度划分为 3 个等级 V_1, V_2, V_3 . 其中 V_1 表示

该区仍有较大的超载能力, V_3 表示水资源的承载能力已接近饱和值, 进一步开发利用的

潜力较小， V_2 介于两者之间，表明该地区的水资源开发利用已有相当规模，但仍有一定的开发利用潜力。为了定量反映各级因素地下水资源影响程度，对 V_1, V_2, V_3 进行 0~1 之间评分， $a_1=0.95, a_2=0.5, a_3=0.05$ ，数值越高，表明水资源开发潜力越大，综合评定时，按上述 a_i 的值以及矩阵中各等级隶属度 b_j 的值，按下式计算地下水资源承载力分级的综合评分值^[26]：

$$a = \sum_{j=1}^3 b_j^k \cdot a_j / \sum_{j=1}^3 b_j^k \quad (5.3)$$

各级评价指标的分级值见表 5.1：

表 5.1 评价指标的分级值表

评价因素	单位	V_1	V_2	V_3
U_1	%	<15	15~50	>50
U_2	%	<50	50~75	>75
U_3	%	<30	30~70	>70
U_4, U_5	$10^4 m^3/km^2$	<10	10~15	>15
U_6	%	<50	50~80	>80
U_7	$m^3/人$	>150	150~100	<100
U_8	%	>5	5~2	<2
评分值		0.95	0.50	0.05

5.3.2 指标权重的确定

确定指标权重的方法很多，目前国内外广泛采用的方法有语言评价法、区间打分法（即隶属频度）、特尔斐（Delphi）法及层次分析（AHP）法。

5.4 矩阵 R 的计算

根据上述的分析可知，评价因素集 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_8\}$ 对应着评语集 $V = \{V_1, V_2, V_3\}$ ，评价矩阵 R 中 r_{ij} 即为某因素 U_i 对应等级 V_j 的隶属函数，其值的推求可根据各评价因素的实际值

对照个因素的分级指标来分析推求。为了清除各等级之间数值相差不大，而评价等级相差一级的跳跃现象，使隶属函数在各等级之间平滑过渡，对其进行模糊化处理；对于 V_2 级即中间区间，令其落在区间中点隶属度为 1，而侧边缘点的隶属度为 0.5，中间点向两侧按线形递减处理。对于 V_1 和 V_3 两侧区间，则令距临界值越远属两侧区间的隶属度越大。在临界值上则属于两侧等级的隶属度各为 0.5，按上述设想，根据相对隶属函数的定义，构造了如下各评价等级相对隶属函数的计算公式：对于 $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6$ 各评语级相对隶属函数的计算公式：

$$u_{v_1}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 + \frac{k_1 - U_i}{k_2 - U_i}) & U_i \geq k_1 \\ 0.5(1 - \frac{U_i - k_1}{k_2 - k_1}) & k_1 \leq U_i < k_2 \\ 0 & U_i < k_1 \end{cases} \quad (5.4)$$

$$u_{v_2}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 - \frac{k_1 - U_i}{k_2 - U_i}) & U_i \geq k_1 \\ 0.5(1 + \frac{U_i - k_1}{k_2 - k_1}) & k_2 \leq U_i < k_1 \\ 0.5(1 + \frac{k_3 - U_i}{k_3 - k_2}) & k_2 \leq U_i < k_3 \\ 0.5(1 - \frac{U_i - k_3}{U_i - k_2}) & U_i > k_3 \end{cases} \quad (5.5)$$

$$u_{v_3}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 + \frac{k_1 - U_i}{k_2 - U_i}) & U_i \geq k_3 \\ 0.5(1 - \frac{U_i - k_1}{k_2 - k_1}) & k_2 \leq U_i < k_3 \\ 0 & U_i > k_2 \end{cases} \quad (5.6)$$

对于评价因素 U_7, U_8 ，计算公式为：

$$u_{v_1}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 + \frac{k_1 - U_i}{k_2 - U_i}) & U_i \geq k_1 \\ 0.5(1 - \frac{U_i - k_1}{k_2 - k_1}) & k_2 \leq U_i < k_1 \\ 0 & U_i > k_2 \end{cases} \quad (5.7)$$

$$u_{v_2}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 - \frac{k_1 - U_i}{k_2 - U_i}) & U_i \geq k_1 \\ 0.5(1 + \frac{U_i - k_1}{k_2 - k_1}) & k_2 \leq U_i < k_1 \\ 0.5(1 + \frac{k_3 - U_i}{k_3 - k_2}) & k_3 \leq U_i < k_2 \\ 0.5(1 - \frac{U_i - k_3}{U_i - k_2}) & U_i > k_3 \end{cases} \quad (5.8)$$

$$u_{v_3}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 + \frac{k_1 - U_i}{k_2 - U_i}) & U_i \geq k_3 \\ 0.5(1 - \frac{U_i - k_1}{k_2 - k_1}) & k_3 \leq U_i < k_2 \\ 0 & U_i \geq k_2 \end{cases} \quad (5.9)$$

上述公式中, k_1 为 V_1 和 V_2 等级的临界值; k_2 为 V_2 等级区间中点值, $k_2 = (k_1 + k_3)/2$; k_3 为 V_2 和 V_3 等级的临界值。

5.5 大汶河流域地下水资源承载力实例计算

根据各评判因素的指标特征,按照上面给出的 R 矩阵的计算公式,计算出各等级的相对隶属度 r_{ij} 。其中 $r_{i1} = u_{v_1}(u_i)$, $r_{i2} = u_{v_2}(u_i)$, $r_{i3} = u_{v_3}(u_i)$ 。从而求出整个综合评判矩阵 R 的值。在综合考虑各评判指标对地下水资源承载力影响的情况下,参考全国水资源评价标准,本次计算取各指标的相对权重如下: $a_1=0.080$, $a_2=0.24$, $a_3=0.179$, $a_4=0.077$, $a_5=0.077$, $a_6=0.228$, $a_7=0.070$, $a_8=0.046$ 。则

$$B = A \cdot R = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8) \cdot \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} = (0.472, 0.138, 0.535)$$

也就是说，大汶河流域的 $V_1=0.472$ ， $V_2=0.138$ ， $V_3=0.535$

$$\begin{aligned} \text{其综合评分值为: } a &= \sum_{j=1}^3 b_j^k \cdot a_j / \sum_{j=1}^3 b_j^k = (a_1, a_2, a_3) \cdot (b_1, b_2, b_3)^T \\ &= (0.95, 0.5, 0.05) (0.472, 0.138, 0.535)^T = 0.544 \end{aligned}$$

根据本次计算的综合评价结果，可以知道，大汶河流域地下水资源承载能力综合评价成果 b_j 值对 V_1 和 V_3 的隶属度都在 0.5 左右，而 V_2 的隶属度在 0.5 以下，综合评价标准为 0.544，表明大汶河流域地下水资源可开发利用已经达到了一定规模，但仍有较大的开发潜力。

5.6 结论

地下水资源的承载力是一个动态概念，它不仅包含地下水资源开采量本身的承载能力，而且还包含部分水量经“深度”开发而形成的承载能力，如节约用水，提高水的重复利用率等均可提高水资源的承载能力。在资料充足情况下应用本方法就可以对地区地下水资源承载力进行分析评价，且精度较高，会为地区的地下水资源进一步开发利用和保护而做短期、长期规划提供比较客观的依据，为区域经济的发展奠定基础。

第六章 结论与建议

6.1 结论

本次对大汶河流域地下水资源可持续利用及变化趋势研究，查阅了大量的实测资料和各种水文气象资料，参照许多科学试验成果，深入分析和综合研究，主要结论如下：

(1) 对大汶河流域地下水动态变化趋势进行了分析预测。应用所有观测资料系列较长的测井，对每一眼观测井 1978~2003 年的地下水位年变差系列值和相应的年降水量进行一元回归分析，建立了一元线性回归方程式 $\Delta H = A + B\bar{P}$ 。

将多年平均降水量代入方程式求得多年平均地下水位年变差 (ΔH) 值，如果此值为正，说明在相当于多年平均降水量年份时，地下水位将回升，正值越大，回升越快，由此可以预测此地下水源较充足；如果 ΔH 值为负，则说明此地的地下水源不足，地下水位将持续下降，如果不采取节水或补源措施，地下水源将逐渐枯竭。

(2) 对大汶河流域地下水资源系统进行了初步分析。建立了数学模型，为了核验模型参数的可靠性，又利用 1993 年资料进行了验证，从实测与模拟水位过程线对比可以看出，水位过程线拟合良好，具有同步的升降变化。说明所建立的模型可靠，能够反映该地区的地下水运动规律。

(3) 水文地质参数的确定。本文重点研究了以下几个参数。

给水度 μ 值的确定；降水入渗补给系数 α ；潜水蒸发系数 C 值；灌溉入渗补给系数 β ；渗透系数 K 和导水系数 T 。

利用确定的参数，计算了各项补给量和排泄量，通过调查分析计算，合理划分了地下水超采区和未超采区，并对规划区的地下水资源量和可开采量进行了校核，技术精度较高。

本研究表明：大汶河流域地下水资源开采状况不统一，开发利用程度不平衡。在地下水超采区，供需矛盾尖锐；在地下水未超采区，地下水的开发还有较大的潜力。为此对超采区应按照先地表后地下的原则要求，提出调控方案，明确规划目标，进行重点规划。

(4) 对大汶河流域地下水资源承载力进行了初步研究分析计算，得出了大汶河流域地下水资源开发利用仍有开发潜力的结论，对以后的实际工作起到一定的指导作用。

6.2 建议

要解决大汶河流域地下水开发利用所带来的问题，关键是要因地制宜，分区控制地下

水开采,改善水文地质环境。再就是利用经济和法律手段限制开采量。

根据地下水超采和造成的危害程度,将地下水开采管理划分为“禁采区”、“限采区”和“控采区”。深层地下水和浅层严重超采区实行禁采,浅层地下水一般超采区、已引发地质灾害地区和受污染地区实行限采(允许开采量小于可开采量),轻微超采区实行控制开采,实现采、补平衡。通过开采控制,使地下水资源得到恢复。

(1)地下水禁采区:控制措施是封闭禁采区内所有地下水井,实行地下水禁采,同时充分利用本区地处山前区地表水资源条件较好的特点,开发引水入市工程,完善城市地表水供水系统,以地表水代替地下水,推广中水利用,充分利用城市回归水。

(2)地下水限采区:控制措施为批准的地下水开采量必须低于可开采量,逐步恢复限采区内的地下水储量,使地下水位控制在合理埋深范围之内,逐步实现采、补平衡,改善和保护生态环境。有关的水行政主管部门根据分区地下水开采方案,组织编制限采区年度开采计划。

(3)地下水控采区:包括现状轻微超采区和采补平衡区。控制区地下水允许开采量不得高于可开采量,实现采、补平衡。主要分布在山前平原采补基本平衡区。泰莱山前平原的采补平衡区地下水资源条件较好,但也不能过度开发,造成新的环境地质问题。应控制地下水开采量,有计划、有目标的利用,维持较好的水文地质环境。

(4)运用经济和法律手段控制开采地下水:提高水资源费标准,开征农村地下水水资源费,使地下水水价和水资源费高于地表水供水水价和水资源费,促进当地地表水的利用,限制地下水的使用。鼓励利用处理后的污水,在水价上给予优惠,以减少地下水的开采量。建立地下水养蓄基金制度,以限制开采自备井。

将地下水资源经济管理引入市场经济,真正以资源产品形式进入经济活动中,提高灵敏的水资源价格变化,发挥价值规律的作用,使地下水资源的价格与价值相匹配,真正起到经济杠杆的作用,以促进地下水资源的优化配置,提高地下水资源的合理开发利用程度。严格执行取水许可审批制度。严格控制超采区内新增地下水取水项目的审批,对新建、改建、扩建的项目原则上不再增加地下水取水量。对有特殊要求的取水户,需对开采方式、取水层位、地下水资源量、对环境的影响等做出严格的可行性论证。

主要参考文献

1. 翟公敏, 魏宪昌, 地下水资源评价方法, 水文, 1995 年, 第 6 期, 38-41
2. 丁继红, 周德亮, 马生忠, 国外地下水模拟软件的发展现状与趋势[J], 勘察科学技术, 2002, (1): 37-42
3. 宫辉力, 吕卫, 地理信息系统 (GIS) 在地下水领域应用的一些新进展[J]工程勘察, 1996, (6): 28-31
4. 陈家琦, 王浩. 水资源学概论[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1987
5. Magdalena Steiner & Helmut Lehn . 可持续水资源管理评价指标体系研究 (一) [J], 长江职工大学学报, 2000, 17: 1-7
6. World Bank. World Sustainable and Development and Water. [J]. Oxford University Press, 1999.
7. 赵秀云, 刘琦, 刘铁银. 相关分析在地下水资源评价中的应用. 黑龙江水专学报, 2000. VOL.27 NO.1
8. 束龙仓, 朱元生等, 地下水资源 评价结果的可靠性探讨, 《水科学进展》, 2000 年. 11 (1): 21~24;
9. 余正元, 地下水资源评价中的疏干补偿法, 电力勘测, 2001, NO. 1
10. 夏自强, 杜小舜, 浅层地下水资源评价研究, 商丘师范学院学报 Vol19No.2, 2003. 04. 6
11. 伍立群, 河川基流分割法在山丘区地下水资源量评价中的运用, 中国农村水利水电-2005, 1-35~38.
12. 魏林宏, 束龙仓等. 地下水数值模拟的研究现状和发展趋势. 重庆大学学报 (自然科学版), 2000, 23(10): 50-53.]
13. 王开章. 地下水资源地污染分析及可持续利用对策, 《地下水》2000-9.
14. 尤龙凤, 李洪建, 郝永红, 王丽娟. 城市地下水资源可持续开发利用模型研究, 《水利水电》, 1997-5
15. 任美鄂, 包浩生. 中国自然区域及开发整治[M]. 北京: 科学出版社. 1992.] [14]
16. 项文娟, 迈向 21 世纪的北京生态水利, 中国水利水电出版社, 2001
17. 倪深海. 大汶河流域 地下水资源开发利用对策研究[J]. 地下水, 1998(1): 7~11.
18. 郭冬冬, 周新国. 泰山区地下水资源评价数据库系统[J]. 中国农村水利水电, 1998, (11): 21-24.
19. 叶水庭, 施鑫源编著, 地下水水文学, 南京, 河海大学, 1990
20. 运城地区地下水可持续开发利用的问题及对策. 《中国水利报》2002-7-19 第 4 版
21. [日], 近藤次郎著, 数学模型, 宫荣章等译, 机械工业出版社, 1985
22. 湛安琦, 科技工程中的数学模型, 中国铁道出版社, 1988
23. 刘昌明. 二十一世纪中国水资源若干问题的讨论[J]. 水利水电技术, 2002, 33 (1): 15-19
24. 杨桃红, 张晓波, 黄长林, 浅谈水资源承载能力与水资源统一管理, 水资源研究, 25 卷 1 期 2004.3
25. 物元模型在区域地下水资源承载力综合评价应用[J], 四川大学学报(工程科学版), 2003. 35(1), 34-37.
26. 程国栋, 多级模糊综合评价的自然资源承载力评价中的应用, 水科学进展, 2004(1)

致 谢

论文的顺利完成，得到了母校、我的工作单位及家人的大力支持；得到了导师的辛勤教诲；得到了很多同学、同事的帮助。

首先，感谢我的指导老师陈喜教授，从本文的选题，到论文的修改、完成都得到了他精心的指导和帮助。老师严谨的治学态度，精益求精的作风，令我受益非浅；对学生热情的关心照顾，使我深受感动。这将是我一生的财富。

其次，感谢我的单位导师，高级工程师侯元。在本人的论文撰写过程中，提出了许多宝贵中肯的建议和意见，使论文得以如期完成。

感谢我的单位，泰安水文水资源勘测局对我学习的支持。感谢我的母校，河海大学水环院对我的培养教育，衷心感谢山东济南函授站的关心帮助。

真诚地感谢宋西文、张春霞、李军硕士在我论文过程中的支持帮助，感谢张志才博士，魏玲那、薛显武、王凯硕士对我的帮助，使我的论文得以顺利完成，对所有帮助我的人表示深深的谢意！

张 芹

2006年5月