

# 胶东半岛地下水库水资源调蓄研究

吉孟瑞<sup>1</sup>, 康凤新<sup>2</sup>

(1. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东烟台 264003; 2. 山东省地质矿产勘查开发局, 山东济南 250013)

**摘要:**胶东半岛是山东省的缺水地区,建设地下水库是提高该区水资源供应能力和改善生态环境的有效措施。该文系统分析了在胶东半岛建设地下水库的可行性及其水资源和生态环境意义,认为该区建设地下水库可大幅度提高水资源调蓄能力,解除海水入侵之患,生态环境得以逐步改善,其水资源效益、环境效益十分明显。

**关键词:**水资源;地下水库;调蓄;胶东半岛

中图分类号:TV62<sup>+</sup>3;P641.8 文献标识码:A

## 0 引言

胶东半岛是指山东省胶莱河以东地区,行政区域由青岛、烟台、威海3市组成,是山东省经济最发达地区。同时,胶东半岛也是山东省水资源相对缺乏的地区,主要原因是该区的大气降水特点和地形地貌、地质条件不利于水资源的天然蓄积利用。为满足不断发展的经济社会对水资源的需求,建国以来陆续建设了一系列的水利工程增加水资源的蓄积和供应,还实施建设了引黄工程使用客水等;但这些工程基本都是着眼于地表水,开发利用的是地表空间,而在水资源构成和利用中占有重要地位的地下水的调节作用未得到很好发挥。

20世纪80年代后期,由于气候连年干旱,地下水开采大幅增加,许多地区相继出现大面积地下水下降漏斗和海水入侵等环境地质问题,建设“地下水库”这种新的地下水开发利用方式开始在胶东半岛得到应用。利用地下空间调蓄水资源有着地表工程不可比拟的优越性,而且完全符合该地区的自然地理和地质特点。地下水库的开发不仅有效增加了水资源的供应,而且基本消除了该区日益严重的海水入侵之患,有着重要的生态环境意义,因此以“地下水库”为核心的水资源调蓄利用技术在胶东半岛有重要的实用和推广价值<sup>①</sup>。

## 1 自然条件概况

### 1.1 自然地理特征

胶东半岛是伸入黄海、渤海间的半岛,总面积近3万km<sup>2</sup>。半岛区地貌属于典型的滨海中低山丘陵区,区内除中南部胶莱盆地(莱阳、莱西附近)地形较为平坦外,其他地区地势起伏较大,大部分区域海拔高度在30~200m之间。区内主要山峰有崂顶主峰、昆崙山等,其中崂顶主峰海拔高度1133m,昆崙山922m。局部平原多为狭长的滨海平原和山间冲积平原,海拔一般10~30m。

胶东半岛属暖温带季风气候。年降水量一般650~850mm,多年平均降水量718.8mm(半岛南部要多于北部)。降水量在年内和年际间分布不均是该区的气候特点,年内6—9月份降水量占年降水总量的70%以上,常出现暴雨;降水的年际变化也很大,最多时年降水量达1400mm以上,最少时不足400mm。

区内河流多属半岛边缘水系,一般发源于中部山地,南北分流,河床比降大,源短流急,大部分独流入海。由气候条件所决定,该区河川径流量丰枯期相差悬殊,河水暴涨暴落,汛期集中全年径流量的70%~80%,非常不利于地表水的自然涵养与利用。

\* 收稿日期:2010-03-26;修订日期:2010-03-29;编辑:孟舞平

作者简介:吉孟瑞(1964—),男,山东寿光人,研究员,主要从事水工环地质技术工作;E-mail:kangfengxin@126.com。

①山东省地质矿产勘查开发局,张久祥、孙佑光、吉孟瑞等,山东省烟台市夹河中下游地段引渗回灌可行性研究报告,1991年。

由于受气候变化和人类用水的共同影响,常年流水的河流已不多,大多已成为季节性河流。

## 1.2 区域地质水文地质概况

在大地构造单元上,胶东半岛由胶北隆起、胶莱凹陷和威海-胶南断隆构成。丘陵、低山占总面积的70%,其分布的岩石类型主要以岩浆岩和变质岩为主,岩浆岩主要以花岗岩类岩性为主,变质岩岩性较复杂,主要有片麻岩、片岩、变粒岩、大理岩等。在胶莱盆地沉积有中生代泥岩及砂岩类,在蓬莱、龙口等地分布有少量震旦纪灰岩。第四系松散层主要分布在河流沟谷、山前及滨海地带,其厚度一般10~40 m,最大厚度80 m(烟台市夹河入海口)。

胶东半岛主要地下水类型为岩浆岩和变质岩类的基岩裂隙水,包括风化裂隙水和构造裂隙水,分布广泛,但富水性差,单井涌水量多小于 $100\text{ m}^3/\text{d}$ ,主要用作分散农村生活用水,基本不具备集中供水意义;灰岩或大理岩类岩溶裂隙水,单井涌水量虽较大,但在半岛地区分布较为零星,供水意义受限。目前胶东半岛集中供水的地下水水源地基本都是第四系松散岩类孔隙水,水源地主要分布于河流中下游及山前的冲洪积平原区,单井涌水量在 $1000\sim 3000\text{ m}^3/\text{d}$ ,这些地段一般也是建设地下水库的有利地段,有良好的储水和开发利用条件。

1980年以前该区由于城市供水量相对较小,地下水开采没有产生明显环境地质问题;20世纪80年代是地下水开采的迅速增长期,又逢连年的干旱,造成水源地分布区地下水位急剧下降,形成了较大范围的地下水位负值漏斗区,在一些重要河流的下游和滨海平原区海水入侵迅速发展,带来较为严重的地质环境问题。

## 2 地下水库的概念及建设条件分析

### 2.1 基本概念

广义的地下水库是指存在于地下的天然储水空间,是指在地壳内由内外动力地质作用下自然形成的地下水富集区,一般指厚度较大、范围较广的大型层状孔隙含水层、大型岩溶储水空间或大型含水构造带等。如冲洪积扇、冲积平原、岩溶储水构造、断裂储水构造等<sup>[1,2]</sup>。该文所说的地下水库是指充分利用天然地下储水空间开发建设的具有拦蓄、调节和利用地下水作用并兼有环境保护功能的地质工

程。有4层含意:①地下水库是一种强化地下水利用的地质工程;②利用的是地下天然储水空间(岩土体空隙);③通过人工开发建设来实现干预调节地下水资源;④具有环境保护功能(主要指生态地质环境)。地下水库最主要的特征就是更好地实现了人工调控地下水资源,其作用本质是强化了地表水与地下水的转化关系,调节了地表水和地下水的时空分布,增加了地下水可开采量,实现了地表水与地下水的联合调度,提高了水资源利用率。其环境保护作用主要体现在地下水库涵养地下水源,避免地下水环境恶化,在沿海地区更是防止海(咸)水入侵的最有效措施,因此在有些地区地下水库的生态环境保护意义甚至大于其在供水上的意义。

### 2.2 胶东半岛地下水库建设条件

胶东半岛经济基础好、发展快,对水资源的需求持续增加,这是地下水库建设必要性的前提。除此之外,较为丰富的调蓄补给水源、有一定规模可被有效利用的天然地下储水空间、良好的地质边界条件及环境条件是该区地下水库建设的基本条件。

#### 2.2.1 水源条件

大气降水是区内各类淡水资源形成的主要直接或间接来源。胶东半岛有比较丰富的降水,多年平均降水量在700 mm以上,这是首要的水源条件;区内地表水系较为发育,均可形成一定的地表径流量,整个半岛地区多年平均河川径流量为74.23亿 $\text{m}^3$ ,拦蓄量为25.18亿 $\text{m}^3$ ,仅为河川径流量的33.92%,有66.08%的河川径流量白白流走<sup>[3]</sup>,地表水是直接可用于人工调蓄的主要水源;另外,已建和在建的山东省西调黄河水、长江北输青岛、烟台、威海工程也为地下水库提供了间接利用水源,因此胶东半岛地下水库建设水源条件比较充足。

#### 2.2.2 地下储水空间

胶东地区地下水库一般建设在富水条件比较好的第四系堆积区,储水空间利用的主要是冲积、冲洪积松散层的孔隙,其空间介质颗粒较粗,岩性以中粗砂和卵砾石为主,给水度一般在0.1~0.3,渗透系数 $10\sim 100\text{ m/d}$ ,主储水层厚度一般5~30m,由于其埋藏浅、空隙度高,储水空间非常便于开发利用。因河流的流域面积和水文地质条件不同,地下水库的规模、容量相差较大,有效库容一般在几百万至几亿 $\text{m}^3$ 。

### 2.2.3 边界条件

就地下水库主储水层而言,其边界条件可分为底部围岩边界、上下游断面边界和顶部界面。良好的地下水库边界条件应是:水能进的来、留得住,要求底部围岩和下游断面边界透水性要差,不利于水的泄出;上游和顶面边界渗透性要好,有利于地下水的补给。胶东地区地下水库有着较为理想的边界条件:其库区底部围岩一般为变质岩和岩浆岩,透水性差,下游断面需构筑不透水的截渗墙(坝);上游边界为地下分水岭或自然尖灭与基岩相接触,侧面与基岩接触边界附近库区岩性一般为洪坡积物,透水性好于基岩,可接受基岩地下水的侧向补给;在多数河流的中上游地段,顶部界面相当于地表,基本无弱透水层存在,地表水入渗顺畅,在河流近下游或滨海地段,其顶部存在1~2层相对弱透水层,一般为砂质粘土或淤泥质土,为加快地表水入渗,需辅以人工补源措施。

### 2.2.4 环境条件

环境条件是左右地下水库建设重要因素,它包括两方面:一是指建库前库区污染状况和是否存在潜在污染,主要是指补给水源的污染和地下是否存在污染。如果已存在污染,必须经过治理满足建库条件后才能进行地下水库建设;二是指建立地下水库后由于条件变化是否带来不利的环境生态地质问题,如影响农作物的生长或建筑物的安全等。胶东半岛的整体环境状况良好,区内的大部分重要城市均位于滨海地区,适宜建设地下水库的河流中上游人为污染源较少,因此基本不影响地下水库建设。通过控制截渗坝高程和人工开采等措施,建设地下水库一般不会产生次生灾害,反而通过涵养水源、截断海水入侵而有利于改善生态地质环境。

## 3 地下水库类型及系统构成

### 3.1 地下水库类型

在胶东半岛建设地下水库多需兼顾调蓄水资源和防止海水入侵的双重需求,根据该区的自然条件,胶东半岛所建地下水库一般属于山间沟谷和滨海平原型或二者接合的第四系孔隙型地下水库,基本均需构建地下截渗坝,其库容个别为大型,以中小型居多。这种地下水库库区面积主要取决于第四系的分布,主含水层厚度一般小于20 m,其特点是建设难

度较小,地下水易采易补,利于发挥地下水库的调节功能。

### 3.2 地下水库系统构成

地下水库是由多个功能要素构成的一个自然-人工复合系统,这个大系统从对地下水的的作用来讲可大致分为3个子系统:补给渗入系统、储存径流系统和开发与保护系统。根据胶东半岛地下水库的类型及水文地质条件,该区地下水库系统构成要素如下:

#### 3.2.1 自然要素

水:作为地下水库工程的核心,是地下水库系统中一直处于不断变化和循环的要素(图1)。地下水库储存、利用的主要水类型是地下水,作为地下水补充来源的大气降水、符合条件的各类地表水等都可视作地下水库的组成部分。

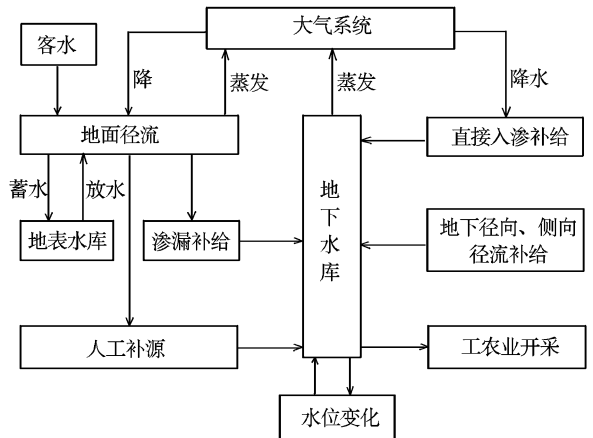


图1 地下水库系统水资源转化关系图

含水介质与储水空间:该区地下水库的含水介质为第四系松散沉积物,主要有:卵砾石、各种砂及砂性土。地下水库储水空间即为含水层的孔隙。

地下水渗流场:地下水的渗流场是地下水运动的重要特征,渗流场的形成是由地下水的补、径、排条件和地质条件所决定的,水渗流场包括地下水流网形态分布和地层渗流强度,其中地下水从接受补给到排泄的渗流强度决定了地表水和地下水的转化速度。天然条件下地下水渗流场有其分布规律和特征,地下水库的建设和使用(截渗流、人工回灌、抽水等)极大地改变了自然条件,地下水渗流途径和强度都会发生很大变化。

#### 3.2.2 人工要素

地表拦蓄水工程:用于涵养地表水源,为地下水库提供更加充足的水源补给保证。河流上游的地表

水库以尽可能多的拦蓄河川径流为主要目的,是主要的地表蓄水工程;中下游的河道挡水工程用于梯级截留地表水、延长河道存、过水时间,具有涵养地表水、补给地下水的的作用,近河口的拦河坝还是阻止海水沿河上溯的挡潮坝。河道拦蓄水工程包括各种拦截地表水流的坝、闸、堰等。

**地下截渗工程:**是指具备一定强度的各种人工地下防渗墙、坝。主要作用是截断来自上游的地下水潜流,在胶东半岛的另一重要作用是形成阻止下游海(咸)水入侵的屏障。

**地下水开采工程:**指用于抽取地下水的各种开采井、集水廊道及附属构筑物等。建地下水水库就是为了更好的用水,取水工程在地下水水库效能发挥中起着重要作用,地下水开采工程主要考虑开采井的形式、分布和能力。

**补源增渗工程:**为了提高地表水和地下水的转化效率、增加地表水入渗量而采取的各种人工措施,包括地表引渗回灌工程和提高地层渗透性能的增渗工程。

**环保工程:**主要指为防止地表、地下水污染而采取的污水收集、处理、排放工程和垃圾处理工程。

**监测工程:**为保证地下水水库的可持续运行而采

取的对地下水位、水质和环境变化为主的监测措施。

## 4 地下水水库宜建区及水资源调蓄能力

### 4.1 已建地下水水库

胶东半岛是我国有坝地下水水库建设和研究开展比较早的地区。20世纪80年代后期,由于连年干旱,地下水严重超采,水位大幅下降,海水入侵发展迅速,地下水水库建设提上日程。1990年第一座小型试验性有坝地下水水库—龙口八里沙河地下水水库建设完成,各项指标均达到设计要求,标志着胶东半岛地下水水库建设进入实施阶段。自20世纪90年代以来,胶东半岛先后在供水问题突出、海水入侵日益严重、生态条件逐步恶化的龙口市黄水河、青岛市大沽河、烟台市大沽夹河和莱州市王河等流域的下游或滨海地带建设了地下水水库(表1),这4个地下水水库均为大中型,总库容近7亿 $m^3$ ,设计调节库容3.77亿 $m^3$ ,这些地下水水库的库区集中了半岛地区的主要地下水水源地。地下水水库的建设大大提高了地下水的开采保障能力,解除了海水入侵之患,生态环境逐渐得以恢复,地下水水库建设的水资源效益和环境效益都十分明显。

表1 胶东半岛已建地下水水库概况

地下水水库名称	地下水水库类型	供水意义	面积( $km^2$ )	含水层岩性	含水层厚度(m)	总库容(万 $m^3$ )	调节库容(万 $m^3$ )	地下坝长(m)	建坝时间
八里沙河	山间河谷型	龙口市农业灌溉用水	0.7	中粗砂	4~6	43	36	756	1990
黄水河	滨海平原型	龙口市城市和农业用水	51.8	砾质粗砂	10~30	5289	3886	5996	1995
大沽河	山间河谷型	青岛市城市和农业用水	421.7	砂砾石	4~8	38413	23780	14200	1998
大沽夹河	山间河谷型	烟台市城市用水水源地	63.3	砂砾卵石	5~40	20520	6500	4030	2001
王河	滨海平原型	莱州市农业和工业用水	66.4	中粗砂 砂砾石	2~12	5246	2623	13593	2004

### 4.2 其他地下水水库建设适宜区

根据地下水水库建设的基本条件分析,在胶东半岛适宜建设地下水水库的主要地段为河流中下游山间河谷地带及滨海平原区,这些地段第四系在平面上多呈条带状分布,具有一定的面积和厚度,松散层一般呈二元或三层结构,主要含(储)水层埋藏较浅,地下水赋存状态为潜水或微承压水,含水层厚度虽一般不是很大,但具有易采易补的特点,便于开发利用,地下水水库建设的成本也不高。区内地下水多数

没有受到明显污染,环境状况良好,基本满足地下水水库建设要求。除已建成的地下水水库外,在具备建库条件的龙口市中村河、蓬莱市平畅河、牟平区沁水河、荣成市沽河、文登市老母猪河、乳山市黄垒河、青岛市白沙河等地均有建设地下水水库的需求和意义(图2,表2),在一些边远地区意义更大,有的已经列入政府建设规划。表中所初步列出的14处地下水水库均为中小型,总库容估算为4.4亿 $m^3$ ,估算调节库容至少应在2亿 $m^3$ 以上,这些地下水水库主要以

县级市及以下城镇或农业用水为供水目标。

表2 胶东半岛其他地下水水库宜建区基本情况

序号	地下水水库位置	地下水水库类型	库区面积 (km <sup>2</sup> )	含水层岩性	含水层厚度 (m)	估算库容 (万 m <sup>3</sup> )	供水目标
1	龙口中村河中下游	滨海平原型	38.7	砾砂、中粗砂、细砂	5~15	9172	龙口市农业及城镇
2	蓬莱南王河中下游	山间河谷型	6.2	粗砂、玄武岩、大理岩	10~15	920	蓬莱市城镇
3	蓬莱平畅河中下游	山间河谷型	28.0	中粗砂、砾石	14~23	5540	烟台开发区
4	牟平沁水河中下游	滨海平原型	29.5	细砂、中粗砂、砾砂	10~30	5062	烟台市牟平区
5	海阳留格河中下游	山间河谷型	8.0	中粗砂、卵砾石	2~13	800	海阳市
6	威海石家河中下游	山间河谷型	12.0	砂及卵砾石	2~13	1040	威海市
7	文登老母猪河下游	山间河谷型	40.9	含砾中粗砂	3~13	3662	威海、文登市
8	荣成沽河下游	山间河谷型	8.7	砂砾石	3~6	827	荣成市
9	荣成车道河中下游	山间河谷型	2.5	中粗砂、砾砂	2~10	250	荣成市
10	乳山市乳山河中下游	山间河谷型	20.0	含砾粗砂、中粗砂	3~10	2100	乳山市
11	乳山黄垒河中下游	山间河谷型	19.8	含砾粗砂、中粗砂	3~9	1782	乳山市农业及城镇
12	莱阳五龙河中游	山间河谷型	82.2	砂砾石	6~9	7400	莱阳市农业及城镇
13	青岛白沙河中下游	滨海平原型	23.5	砂砾石	8~15	4230	青岛城阳区
14	胶南洋河中下游	山间河谷型	24.1	中粗砂	4~8	1117	青岛黄岛区

注:根据徐建国、卫正润等修改。

### 4.3 地下水库效益浅析

#### 4.3.1 水资源效益

根据以上分析,胶东半岛建设地下水水库可大幅度提高水资源调蓄能力,若上述地下水水库全部建成,总库容可达11.4亿m<sup>3</sup>,调节库容近6亿m<sup>3</sup>,较自然条件下年增加水资源供应量约2亿m<sup>3</sup>以上,超过目前实施的引黄水量,因此地下水水库建设的水资源效益显著<sup>[4]</sup>。

#### 4.3.2 生态环境效益

地下水水库的建设涵养了水源,阻断了海水入侵,生态环境显著改善。以莱州王河地下水水库为例,于2004年建成后,地下水水位明显回升,海水侵染面积大幅减少,由建库前的78.69 km<sup>2</sup>减为25.36 km<sup>2</sup>,减少68%<sup>[5]</sup>;水质改善,供水能力增强,在王河下游个别地段地下水中氯离子含量建库后比建库前最大减少71.1%,平均减少50.6%,困扰多年的区内人畜吃水困难得以彻底解决,并开辟了新的地下水水源地,确保了莱州三山岛新区和周围大型矿山企业三山岛金矿、仓上金矿等的生产、生活用水;生态功能逐步恢复,农业生产条件大为改善,库区内年可增产粮食上万吨,位于王河下游的300余公顷湿地可逐步恢复。

#### 4.3.3 经济效益

在胶东半岛立足当地地质和自然地理条件,利用地下水水库调蓄水资源经济效益也十分可观,其增加的水资源成本远小于建设同等规模的地表水库和调引客水的费用。据有关测算,地下水水库若按设计调蓄能力运行3~5年,其增加的供水效益即可将投入的所有工程成本全部收回<sup>[6]</sup>。

## 5 结论

(1)地下水水库是指充分利用天然地下储水空间开发建设的具有拦蓄、调节和利用地下水作用并兼有环境保护功能的地质工程。地下水水库的本质功能是通过人为干预调蓄水资源的时空分布,实现地表水和地下水的联合调度,提高水资源利用率。经过几十年的研究和实践,其理论技术和工程措施已日趋成熟,已发展成为人工调蓄地下水资源和保护生态环境的一种重要方式。

(2)胶东半岛主要为低山丘陵区,水资源相对缺乏,一方面是该区自然地理和水文地质条件不利于水资源的自然蓄存,另一方面是在河流冲积平原下游的一些主要地下水水源地均存在有海水入侵问题,因此为提高半岛地区的水资源供应保证程度和

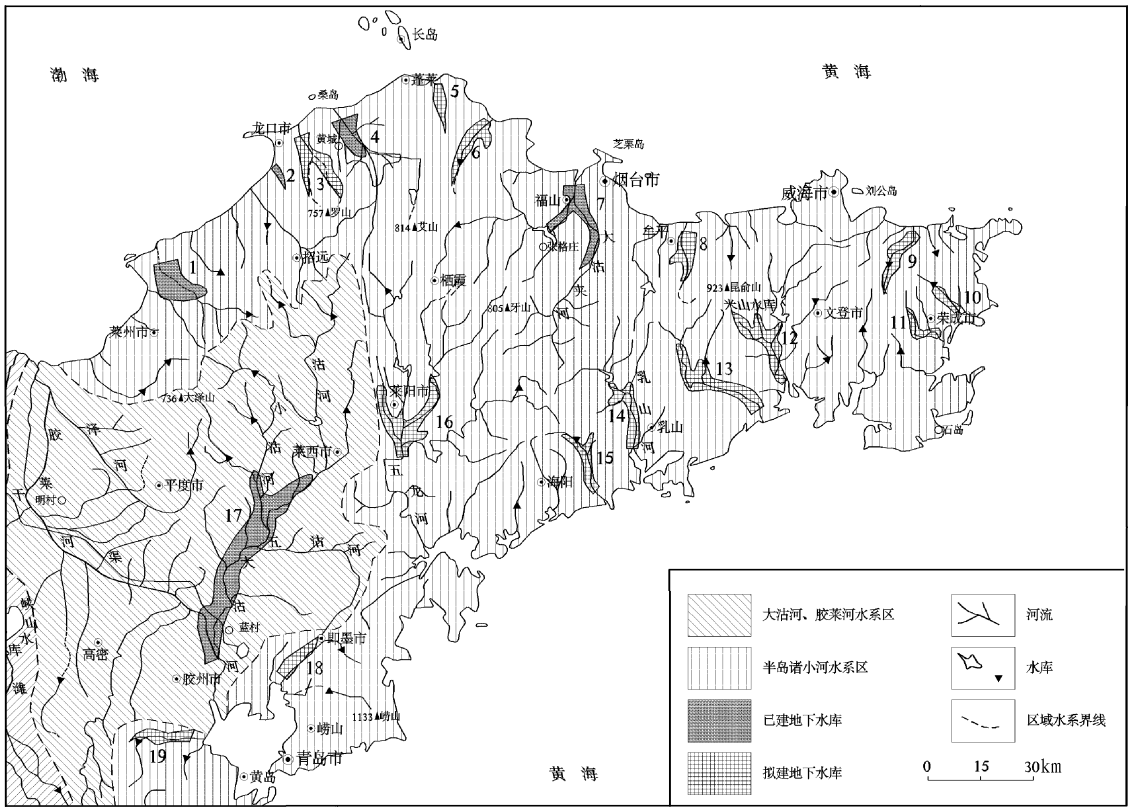


图2 胶东半岛已建和拟建地下水库分布图

1—莱州王河地下水库;2—龙口八里沙河地下水库;3—龙口中村河地下水库;4—龙口黄水河地下水库;5—蓬莱南王河地下水库;6—蓬莱平畅河地下水库;7—烟台市夹河地下水库;8—牟平沁水河地下水库;9—威海石家河地下水库;10—荣成车道河地下水库;11—荣成沽河地下水库;12—文登老母猪河地下水库;13—乳山黄垒河地下水库;14—乳山河地下水库;15—海阳留格河地下水库;16—莱阳五龙河地下水库;17—青岛大沽河地下水库;18—青岛白沙河地下水库;19—青岛洋河地下水库

防止海水入侵,除地表拦蓄水工程外,建设地下水库也是符合该区实际条件、并且行之有效的工程措施。

(3)自20世纪80年代至今,在胶东半岛地区的一些重要的地下水源地先后建成了黄水河、烟台市夹河、青岛大沽河、莱州王河等地下水库,已经显现出良好的水资源和生态环境效益。进入21世纪以来,胶东半岛降水相对比较丰富,水资源的供需矛盾有所缓解,但地下水库建设更要着眼于枯水周期,作为一种战略储备或应急储备。由于气候变化的周期性,潜在的用水危机在整个“面”上随时都会出现,为了长远和应急的考虑,地下水库建设还远未结束。另外在已建地下水库的库区内,优先使用较为优质的地下水作为供水水源,地表水作为补给水源是一种更好的水资源利用模式。

(4)建设地下水库是一种地下水开发利用的技术方法,也是一种人工调蓄水工程措施,为充分

发挥其应有的作用,达到设计目的,其开发建设工程布局、运行管理都应建立在科学合理的地下水补给、开采方案基础上,要重视地下水库建成后的动态监测工作,视情况变化对调蓄方案进行必要调整。

### 参考文献:

[1] 杜汉学,常国纯,张乔生,等.利用地下水库蓄水的初步认识[J].水科学进展,2002,13(5):618-622.  
 [2] 赵天石.关于地下水库几个问题的探讨[J].水文地质工程地质,2002,(5):65-67.  
 [3] 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,2004,27(3):197-202.  
 [4] 郝竹青,王卫山,滕尚军,等.山东省莱州市王河地下水库效益分析[J].水利发展研究,2005,(4):44-45.  
 [5] 卜华,王义生,陈占成,等.应急供水水源地评价研究方法探讨[J].山东国土资源,2007,24(8):1-4.  
 [6] 徐军祥,康凤新.山东省地下水资源可持续利用研究[M].北京:海洋出版社,2001.

## Study on Water Resources Regulation of Underground Reservoir in Shandong Peninsula

JI Mengrui<sup>1</sup>, KANG Fengxin<sup>2</sup>

(1. No.3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Yantai 264003, China; 2. Shandong Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** Jiaodong peninsula in Shandong province is dry areas. Underground reservoirs are effective countermeasures for promoting water supply capacity and improve ecological environment. In this paper, feasibility of the construction of underground reservoirs, significance of water resources and ecological environment in Jiaodong peninsula are analyzed systematically. It is regarded that the construction of underground reservoirs in the area can greatly enhance the storage capacity of water resources, relieve seawater intrusion, and improve the ecological environment. It has gained obvious water resource benefit and environmental benefit.

**Key words:** Water resource; underground water reservoir; regulation and storage; Jiaodong peninsula