

成果与方法

* 青岛市大沽河水源地地下水资源潜力分析

尹明泉¹, 王治良², 王通国¹, 袁西龙¹

(1. 青岛地质工程勘察院, 山东 青岛 266071; 2. 崂山区国土资源局, 山东 青岛 266061)

摘要:青岛市水资源可利用量远远满足不了区内经济快速发展的需要, 水资源缺乏已成为青岛市最突出的问题之一。大沽河水源地是青岛市最大的供水水源地, 易采易补, 本文在以往工作成果的基础上, 结合大沽河水源地的水文地质条件, 按照在枯水年系列中动用的储存资源在丰水年能够得到补偿的实践经验和思路, 对大沽河水源地的地下水资源潜力进行了全面分析, 提出新增地下水人工调蓄资源潜力 $54.54 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, 为青岛市增大可供水量、缓解水资源供需矛盾提供了后备水源。

关键词:地下水资源; 潜力分析; 大沽河水源地; 青岛市

中图分类号: P641.8

文献标识码: A

1 大沽河水源地概况

大沽河水源地位于大沽河下游河谷冲积平原, 地下水类型为浅层孔隙潜水—微承压水, 含水砂层沿古河道呈带状分布, 厚度一般 4~8 m, 透水性强, 水量丰富, 水质良好, 易采易补, 是青岛市最大的供水水源地, 为青岛市的工农业供水、城市生活供水发挥了巨大的作用。大沽河水源地北起平度古岬—莱西朴木, 南至青岛—胶州公路, 南北长约 51 km, 东西宽约 5~7 km, 面积 436.8 km²。在 20 世纪 80—90 年代初, 山东省地矿局曾在此开展过水源地的勘察评价工作, 对区内的含水层结构、分布、含水层水文地质参数、边界条件等已基本查清, 提供了丰富的水文地质资料。

受古地形的制约, 大沽河水源地储水层在水源地边缘逐渐变薄, 趋于尖灭, 过渡为弱透水的粘性土或直接与不透水的粘土岩接触, 东、西两侧可视为隔水边界, 北界的大、小沽河出山口段、西北界辛庄—冷家庄段以及南部边界, 因区内外含水层连通, 可视为透水边界。储水层以下主要为白垩纪王氏群粘土岩、细砂岩、粉砂岩或砂砾岩, 组成区域性隔水底板, 不存在地下水的越流补给。除局部地段外, 储水层以上均分布一层弱透水的粉质粘土或粉土。

大沽河水源地地下水主要接受大气降水和侧向径流的补给, 其水位动态主要受降水和开采的制约, 一般在枯水期的 5—6 月份开采量较大, 水位达最低值; 在丰水期后的 9—10 月份开采量小, 水位达最高值。在大沽河水源地大量开采地下水以前的丰水年份里, 地下水位高于储水层顶板, 具有微承压性。20 世纪 80 年代后期, 由于天气连续干旱, 且大沽河水源地的地下水开采量不断增大, 地下水已处于无压状态, 至 1985 年枯水期地下水位达历史最低值, 在南部采区产生了面积约 100 km² 的地下水降落漏斗。1985 年丰水期后, 由于宏观控制地下水开采量, 漏斗逐渐缩小以至平复, 1994 年至今未再出现。

2 水源地地下水资源潜力分析

地下水资源潜力分析就是在计算地下水各种资源量和调查地下水现状开采量的基础上, 对可进一步扩大开采的潜力进行评价分析。根据大沽河水源地范围内的具体水文地质特征, 地下水资源潜力可分为: 地下水开采资源潜力、地下水储存资源潜力和地下水调蓄资源潜力 3 种。地下水调蓄资源潜力, 即根据地下水储水层储水空间的大小、允许最大水位降深、地下水可调节储存资源潜力, 在下游咸水边界处修建截渗墙、防止海咸水入侵的条件下, 计算可

收稿日期: 2004-05-25; 修订日期: 2005-02-22; 编辑: 张天祯

作者简介: 尹明泉(1963-), 男, 山东宁津人, 高级工程师, 主要从事水文地质环境地质工作。

增加的地下水调蓄资源量;考虑大气降水补给和河流径流渗漏补给,未考虑人工回灌的自然条件下可采资源量为自然调蓄可采资源量(即地下水允许开采量);在人工调蓄(回灌)条件下,新增加的地下水人工调蓄资源量为人工调蓄资源潜力(图 1)。

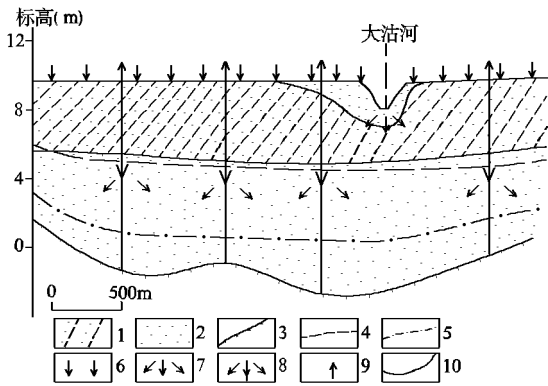


图 1 人工调蓄资源潜力概念模型图

1—粉砂质粘土;2—砂层;3—基岩;4—人工调蓄后可恢复到的地下水位;5—允许最低水位;7—河流径流渗漏补给;8—人工回灌;9—水井开采;10—地层界线

2.1 水文地质参数的确定

参考有关该区水文地质勘察成果,结合区内储水层岩性特征,将计算区分为 3 个大区 12 个块段(图 2),各块段的给水度(μ)见表 1;各块段的渗透系数(K)见表 2;降水入渗系数(λ)见表 3。

表 1 储水层给水度(μ)

大区	1	2	3	4
	0.179	0.168	0.165	0.156
	0.178	0.168	0.166	0.155
	0.180	0.174	0.166	0.156

表 2 储水层渗透系数(k) (m/d)

大区	1	2	3	4
	150	100	50	30
	120	80	50	20
	150	120	50	30

表 3 降水入渗系数(λ)

岩性	粘土	粉质粘土	粉土	粉细砂、中细砂
降水入渗系数	0.15	0.23	0.25	0.30

2.2 大沽河水源地地下水开采资源潜力分析

大沽河水源地范围内的农业开采程度较高,在平面上近于均匀开采,但在时间上具有明显的季节

性,多集中在枯水季节;工业开采采用大面积分散井群相对集中的开采方式,在平面上可视为不同强度开采地段内的均匀开采。

根据 1987 年山东省地矿局八一队勘察成果(青岛市大沽河水源地供水水文地质勘察总体报告),大沽河水源地可采地下水资源量 $Q_{可} = 79.51 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$,2002 年实际地下水总开采量 $Q_{开} = 76.70 \times 10^6 \text{ m}^3$,剩余可采资源量^[1] $2.815 \times 10^6 \text{ m}^3$,则大沽河水源地地下水开采资源潜力指数: $P = Q_{可}/Q_{开} = 79.51/76.70 = 1.037$,即现状处于采补平衡状态^[2]。

2.3 大沽河水源地地下水储存资源潜力分析

2.3.1 大沽河水源地储水层的总储水空间

储水层的总储水空间是储水层顶、底板之间能够存储重力水的存储空间。根据 1:5 万精度的储水层顶底板深度、储水层岩性分区图,分别求取不同岩性、不同厚度区段的储水层体积,然后根据前述中给出的储水层给水度,根据公式 $V = V_0 \cdot \mu$ 计算出大沽河水源地总储水层储水空间为 $Q_{储} = 3.8413 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.3.2 大沽河水源地可调节储存资源量

大沽河水源地储水层厚度不大,平均厚度为 5.19 m,最大厚度 15 m,故总储水空间不大,但含水层埋藏浅,顶板覆盖层一般具有较好的垂向渗透性,地下水资源具有易采、易补的特点。因此,为了充分发挥大沽河水源地对水资源的调蓄作用,在枯水时段最大限度地对储水层进行开采疏干,在丰水时段通过自然入渗和人工回灌等方式,使大气降水、地表水最大限度地转化为地下水,减少弃水。枯水时段允许且可能疏干而丰水时段可以得到补偿的这部分储水空间的资源量,即为可调节储存资源量。

可调节储存资源量的计算根据储水层的分布规律,并结合大沽河水源地地下水开采实践确定。储水层厚度大于 6 m 分布区属古河道主流带,并处于古地形低洼部位,也是大沽河水源地的主要开采地段,允许水位降低 3 m;储水层厚度 < 3 m 区,一般分布于水源地的边缘地段,允许水位降低 2.5 m;储

1987—2003 年,山东省地矿局八一队,青岛市大沽河水源地供水水文地质勘察总体报告;山东省地质环境监测总站,山东省青岛市大沽河地下水库勘察报告;青岛地质工程勘察院,青岛地区生态环境地质调查报告。

水层厚度 3~6 m 区,分布于上述两区之间,其分布面积和分布宽度与古地形变化密切相关,根据 , III 区段(图 2)的地下水纵横水力坡度,并考虑开采地段开采井正常运转需保留的含水层厚度,确定 , III 区允许水位降低至剩余含水层厚度分别为 1.0 m,1.5 m,2.0 m。

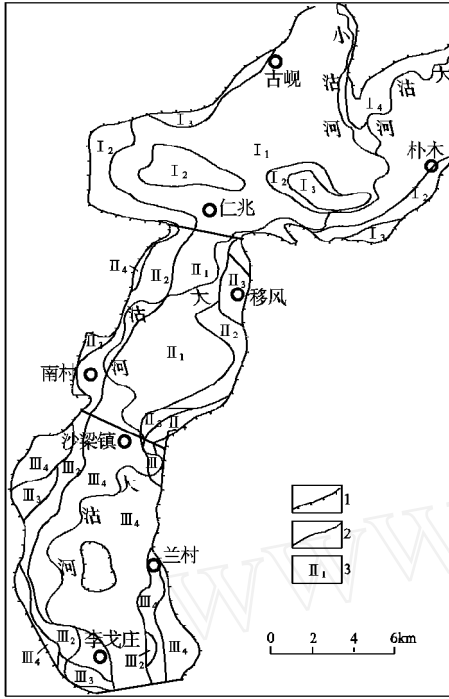


图 2 大沽河水源地储水层区分区示意图

1—大沽河水源地边界;2—大沽河水源地储水层区分区界线;3—大沽河水源地储水层分区代号

根据上述允许最低水位,计算出当开采至允许最低水位时,含水层保留储量为 $Q_{\text{保留}} = 1.4634 \times 10^8 \text{ m}^3$,则大沽河水源地最大可调节储存资源量(即储存资源潜力)为:

$$Q_{\text{调}} = Q_{\text{储}} - Q_{\text{保留}} = 3.8413 \times 10^8 - 1.4634 \times 10^8 = 2.3779 \times 10^8 \text{ (m}^3\text{)}。$$

根据 1982—2002 年大沽河水源地的地下水开采实际情况,各采区(图 3)平均储水层厚度和历史最低水位(1984 年 6 月 30 日)时的平均含水层厚度见表 4,表 5。

表 4 平均储水层厚度

开采区段	李戈庄	南沙梁	移风	仁兆-朴木	全采区 平均值
平均储水层 厚度(m)	8.04	6.79	5.40	6.88	6.87

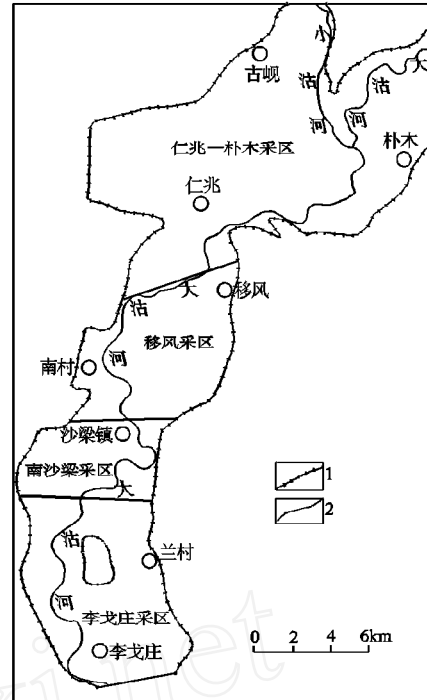


图 3 大沽河水源地开采区分布示意图

1—大沽河水源地边界;2—大沽河水源地开发区分区界线

表 5 历史最低水位平均含水层厚度

开采区段	李戈庄	南沙梁	移风	仁兆-朴木	全采区 平均值
平均水位 埋深(m)	8.08	6.67	6.27	6.17	6.92
平均含水层 厚度(m)	4.06	3.61	1.94	3.24	3.18

从表 4、表 5 可以看出,在采区范围内,储水层平均厚度为 6.87 m,历史最低水位下的含水层平均厚度为 3.18 m,占储水层厚度的 46.29%,其中移风采区平均含水层厚度仅为 1.94 m,占该采区储水层厚度的 35.9%。尽管历史最低水位下含水层平均厚度低于总储水层厚度的 50%,但在丰水期来后仍能使地下水位得到较快恢复,故上述分析计算的大沽河水源地可调节储存资源量是符合大沽河水源地具体水文地质条件的。

2.4 大沽河水源地地下水调蓄资源潜力分析

大沽河水源地由于在 20 世纪 80 年代多年连续超采,造成地下水位持续下降,下游李戈庄镇附近形成地下水降落漏斗,产生了海咸水入侵,南部地下水矿化度、总硬度、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等都有明显增高,水化学类型变得复杂多样。为了保护大沽河水源地,增

加大沽河水源地的可采资源量,经过 1985—1986 年的大沽河水源地供水水文地质勘察和 1990 年大沽河地下水库勘查工作,于 1997—1998 年由青岛市政府投资兴建了大沽河水源地小麻湾截渗墙工程,截断了墙下游海咸水的倒灌,使海咸水的入侵现象得到遏制^[3],为更好地发挥大沽河水源地的供水能力提供了工程措施保障。据区域地下水长期动态观测资料,兴建大沽河水源地小麻湾截渗墙工程后,大沽河水源地总体水位略有升高,经估算,地下水允许开采量增加 $2.626 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

2.4.1 地下水自然调蓄资源分析

大沽河水源地地下水补给项主要为大气降水补给和大沽河径流渗漏补给,因此丰水年出现的频率决定了大沽河水源地自然调蓄资源量。

根据青岛气象台及大沽河流域降水资料的分析,1899—2002 年的 104 年中,丰水年、平水年、枯水年各出现 25,35,44 次。丰水年出现的平均频率为 24.04%,枯水年出现的平均频率为 42.31%,平水年出现的平均频率为 33.65%。20 世纪 80 年代出现了 2 次连续 4 年的枯水年系列。1981—1984 年的连续枯水年系列中,大沽河水源地大量开采地下水,引起地下水位大幅度下降,当经过 1985 年一个丰水年(降雨量 886.3 mm)后,在未采取人工回灌的条件下,地下水位就基本恢复到采前水位,且大沽河有 $3.91 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的弃水外泄。根据大沽河水源地这种易采易补,储水空间不大的特点,自然条件下的调蓄周期为 5 年,调蓄周期内丰水年出现频率按 20% 计算(小于长系列的平均值 24.04%),从供水角度考虑,提高了保证程度。

通过数值模拟对水源地范围内的地下水开采量进行调整,得到大沽河水源地地下水自然调蓄可采资源量为 $82.136 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ($0.225 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$)。

2.4.2 地下水人工调蓄资源潜力分析

根据水量均衡原理,在人工调蓄(回灌)条件下,大沽河水源地新增地下水人工调蓄资源潜力可用下式表示:

$$Q_{\text{新}} = [Q_{\text{动储}} + Q_{\text{补}} + Q_{\text{人}} - Q_{\text{控}} - Q_{\text{排泄}}] - Q_{\text{可}}$$

式中: $Q_{\text{新}}$ —大沽河水源地新增地下水人工调蓄资源潜力 (m^3/a);

$Q_{\text{动储}}$ —枯水年可动用的最大储存资源量 (m^3/a);

$Q_{\text{补}}$ —枯水年天然补给资源量 (m^3/a);

$Q_{\text{人}}$ —枯水年人工补给资源量 (m^3/a);

$Q_{\text{控}}$ —地下水自然调蓄可动用的储存资源量与可动用的最大储存资源量差额(即控制连续超采量) (m^3/a);

$Q_{\text{可}}$ —原地下水可采资源量 (m^3/a);

$Q_{\text{排泄}}$ —地下水自然排泄(潜水蒸发、向下游径流排泄)量 (m^3/a)。

(1) 枯水年可动用的最大储存资源量

根据前述计算结果可知:大沽河水源地可动用的储存资源量为 $2.3779 \times 10^8 \text{ m}^3$,在 4 枯 1 丰的调控周期内(设丰水年内有 212 天为枯水期),平均每个枯水年内,可动用的最大储存资源量为: $Q_{\text{动储}} = 51.91 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

(2) 枯水年天然补给资源量

根据模型输出结果:平均每个枯水年天然补给资源量为: $Q_{\text{补}} = \text{降水补给量} + \text{径流补给量} = (212 \text{ d/a} \times 6.61 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d} + 153 \text{ d/a} \times 28.16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}) + 1.03 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d} \times 365 \text{ d/a} = 60.85 \times 10^6 (\text{m}^3/\text{a})$ 。

(3) 枯水年人工补给资源量

人工补给资源量是一个变量,视决策者对该水源地的期望值而定,其最小可为零,最大值不大于剩余的含水层储水空间,在 4 枯 1 丰的调控周期内,人工补给量为: $0 \leq Q_{\text{人}} \leq Q_{\text{动储}}$,即最大 $Q_{\text{人}} = 51.91 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

(4) 控制连续超采量

控制连续超采量为地下水自然调蓄可动用的储存资源量与可动用的最大储存资源量差额,可用下式计算: $Q_{\text{控}} = Q_{\text{动储}} + Q_{\text{补}} - \text{自然调蓄可采资源量} = 51.91 \times 10^6 + 60.85 \times 10^6 - 82.136 \times 10^6 = 30.62 \times 10^6 (\text{m}^3/\text{a})$ 。

(5) 原地下水可采资源量

根据前述可知:大沽河水源地原可采资源量为 $Q_{\text{可}} = 79.51 \times 10^6 (\text{m}^3/\text{a})$ 。

(6) 地下水自然排泄量

在大沽河水源地下游已修建截渗墙的条件下,地下水向下游径流排泄量可视为 0,枯水年地下水位埋深一般小于潜水蒸发极限深度,潜水蒸发量可忽略不计,即 $Q_{\text{排泄}} = 0$ 。

综上所述,大沽河水源地在 4 枯 1 丰的调控周期内,新增地下水人工调蓄资源潜力为: $Q_{\text{新}} = [Q_{\text{动储}} + Q_{\text{补}} + Q_{\text{人}} - Q_{\text{控}} - Q_{\text{排泄}}] - Q_{\text{可}} = [51.91 \times 10^6 + 60.85 \times 10^6 + 51.91 \times 10^6 - 30.62 \times 10^6 - 0] - 79.51 \times 10^6 = 54.54 \times 10^6 (\text{m}^3/\text{a})$ 。

在 4 枯 1 丰的调控周期内,枯水年内限量动用储存资源量,保证不突破允许最低水位,在大气降水补给、河流径流渗漏补给和在枯水年内的丰水期进行人工调蓄(回灌)条件下,在丰水年可恢复到采前地下水位,这样即可实现人工调蓄资源潜力。

3 结语

合理开发利用水资源,首先应该树立地表水、地下水全面开发,先地表水后地下水的指导思想,联合开采,相互调节和补充。面对青岛市供水日益紧张的严峻形势,提高人们对节约用水工作的认识,增强危机感和自觉性,提高工业用水重复利用率,推广节水灌溉措施。在连枯年份,合理利用部分地下水储

存资源,只要在枯水年系列中动用的储存资源在丰水年能够得到补偿,就不会产生严重不良后果,改变汛期以排为主的想法和做法,代之以拦蓄为主、蓄排结合,在保证不发生洪涝灾害的前提下,将大气降水最大限度地拦蓄在水库、塘坝、沟渠及地下含水层中,增大地下水资源的天然补给量。

参考文献:

- [1] 张永波. 水工环研究的现状与趋势[M]. 北京:地质出版社, 2001, 4.
- [2] 王贵玲,刘志明,刘花台,等. 地下水潜力评价方法[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(1): 63.
- [3] 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, 79 - 85.

Potentiality Analysis on Underground Water Resource in Daguhe Water Source Area in Qingdao City

YIN Ming - quan¹, WANG Zhi - liang², WANG Tong - guo¹, YUAN Xi - long¹

(1. Qingdao Geo - engineering Exploration Institute, Shandong Qingdao 266071, China; 2. Laoshan Bureau of Land and Resources, Shandong Qingdao 266061, China)

Abstract: Water resource in Qingdao city can not meet the demand of rapid developing economy, and lack of water has become an important problem. Daguhe water source area is the largest water - supplying area in Qingdao city. On the basis of the former work achievements, combining with hydrogeological condition in Daguhe area, according to the thoughts of storing water in high flow year and using the storing in low water year, underground water potentiality is analysed comprehensively in Daguhe water source. It is put forward that newly increased adjusting and storing potentiality is $54.54 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, which can provide storing water resource for settling contradiction between water demand and supply in Qingdao city.

Key words: Underground water resource; potentiality analysis; Daguhe water source; Qingdao city

(上接第 29 页)

Abstract: Yantai city, as an important part of economic areas around Bohai sea, is an important industrial developing zone in Shandong province, even in the whole north part of China, while fresh water is very lack in this area. Furthermore, due to unreasonable exploitation, some geological environment problems, such as drying up of fresh water and seawater intrusion have been heightened. Thus, through typical examples, 4 basic conditions for establishing underground water reservoir in this area are analysed comprehensively, they are as follows: perfect surface water blocking and storing condition, good adjustment condition for groundwater, predominant water recharging source and suitable natural and social conditions. Meanwhile, economic, social and ecological efficacies brought by establishment of underground water reservoir are proved as well in this paper. Suggestions are put forward to enact exploration and establishment plan immediately in order to allay the lack of fresh water, and to improve geological environment.

Key words: Underground water reservoir; resource environment; efficacy analysis; Yantai city in Shandong province