

环渤海山东地区地下水库建设条件分析

徐建国,卫政润,张 涛,朱恒华

(山东省地质调查院,济南,250013)

摘 要:环渤海山东地区是我国北方缺水地区之一,主要原因是水资源在时间上的不均匀分布,年内、年际降水量差别大。实践表明,修建地下水库工程,对区内水资源进行多年调蓄利用,是缓解该区水资源供需矛盾的重要措施。研究区水文地质条件差异较大,一方面胶东低山丘陵滨海河谷区、鲁中南山前冲洪积扇区及黄泛平原古河道带含水层厚度较大、颗粒较粗、调蓄能力较强;另一方面鲁中南山前冲洪积平原区和胶东半岛滨海平原部分地段地下水位多年持续下降,腾出了巨大的地下库容;这些都为修建地下水库提供了条件。本文将该区地下水库划分为山间河谷型、滨海平原型、冲洪积扇型和冲积平原古河道型 4 类,并根据地下水库库址选取的 6 个基本条件选出了 26 处地下水库库址,这些地下水库的总库容达 $65.17 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大调节库容总和为 $28.39 \times 10^8 \text{ m}^3$,建库后库区地下水可采资源量增长 73%,可取得明显的水资源效益。同时修建地下水库可以改善库区附近水环境质量,遏制海(咸)水入侵、土壤次生盐渍化等环境地质问题。

关键词:环渤海;地下水库;建设条件;地下水调蓄

中图分类号:P641.8

文献标识码:A

文章编号:1007-6956(2004)03-0197-06

1 引言

环渤海山东地区是山东省经济核心区,国民生产总值占了全省的近 50%,但水资源问题却一直制约着该区社会经济的飞速发展。据统计该区人均水资源占有量仅为 $373.7 \text{ m}^3/\text{a}$,为全国均值的 17%,远远满足不了经济高速发展的需要,预测 2030 年全区缺水量将达到 21.68 亿 m^3/a 。造成该地区水资源短缺的原因是多方面的,主要原因是水资源在时间上分布的不均匀性。该区多年平均降水量 592.3 mm,主要集中在 6、7、8 月,占年降水量的 65%,而需水量较大的 3、4、5 月降水量仅占全年降水量的 13.7%。由于空气干燥,蒸发量大,农业用水多,留给工业和生活用水资源就比较少。再者,该区降水量的年际变化也很大,特枯年(降水保证率 95%)平均年降水量较丰水年(降水保证率 20%)减少 49%;而且从近些年的降水量资料分析,枯水年份连续出现的几率大大增加,使区内水资源供需矛盾更加突出。

针对该区水资源的上述特点,为缓解区内

水资源供需矛盾,首先要做的是力争把分布极不均匀的降水量,转化为比较均匀地随时间分布的可供水量^[1]。比较理想的人工补源方法是修建地下水库,供水的目标不只限于库区范围内的工农业用水,还可以把库区作为水源地向区外供水,水资源效益明显。

环渤海山东地区在地下水库建设方面起步较早,早在 1990 年水利部门即在龙口市八里沙河下游修建了一处小型实验性地下水库,1995~2000 年又陆续在胶东半岛修建了黄水河、大沽河和大沽夹河三处地下水库。这几处地下水库在近几年均发挥了较大的资源效益和社会经济效益。实践经验表明,地下水库建设是一项复杂的系统工程,需要从水文、地质、环境、社会经济条件等多方面考虑。本文中针对山东地区特点,重点讨论了地下水库建设条件,并对 26 处库址进行了简要的资源效益分析。

2 建库的水文地质条件

以地貌与水文地质条件为主要依据,可将环渤海山东地区划分为胶东低山丘陵区、鲁中

收稿日期:2004-06-22

基金项目:国土资源大调查项目(200112400005)

作者简介:徐建国(1965-),高级工程师,学士学位,主要从事水文地质环境地质调查研究工作,联系方式:0531-6556973, E-mail: xjg-2008@yahoo.com.cn。

南山前冲洪积平原区和黄泛平原三个水文地质区。

胶东低山丘陵区位于胶莱河以东,地下水资源主要分布于山间河谷和滨海平原的第四系松散岩类分布区,基岩裸露区一般富水性弱,供水意义不大。山间河谷区含水层沿河流呈带状分布,向两侧变薄,多为双层结构,上部为黏质砂土或砂质黏土,下部为中粗砂、砂砾石,含水层厚度一般1~20 m,多为单层状。河流两侧及中下游平原区富水性较强,含水层渗透系数一般30~300 m/d,给水度0.15~0.26,适于修建地下水库;河谷平原边缘或上游地段富水性较弱,含水层渗透系数一般小于50 m/d,给水度0.05~0.15,建库条件较差。滨海平原河流两侧地区含水层多由中细砂、砂砾石组成,厚3~10 m,单井涌水量一般500~4000 m³/d,渗透系数一般10~50 m/d,给水度0.07~0.22,也是地下水库的理想库址。

鲁中南山前冲洪积平原位于莱州湾南岸,是由多个冲洪积扇组成的扇群,自西向东依次为孝妇河、淄河、弥河、白浪河和潍河冲洪积扇。各冲洪积扇顶部以含水层厚度大、颗粒粗、入渗性较好成为地下水库库区首选地。其主要调蓄含水层为潜水—浅层微承压含水层,总厚度一般10~30 m。岩性多为中粗砂、砾卵石,单井涌水量一般大于1000 m³/d。扇轴部地段大于3000 m³/d,含水层渗透系数50~100 m/d之间,给水度0.1~0.3;该地段是环渤海山东地区调蓄能力最强的地区,适于修建地下水库。

黄泛平原位于小清河以北地区,由黄河多次泛滥沉积而成。浅层含水层在垂向上呈多层透镜体状,岩性以细砂与粉砂为主,局部地段为中砂,含水层间有多层粘质砂土、砂质黏土或黏土。在水平方向上砂层分布受古河道控制多呈带状分布。区内古河道带共7条,河道宽2~13 km,古河道带砂层厚度一般大于10 m,单井涌水量一般大于500 m³/d。古河道带具有淡水底界面埋深大、砂层厚、含水层渗透性较强、调节库容大的特点。在古河道带进行人工回灌,可扩散到较大范围,而且黄泛平原古河道带便于和现有河道和输水系统相结合,是该区建设地下水库的理想库址。

3 建库的环境地质条件

胶东半岛地区存在与地下水资源开发有关的环境地质问题主要是海水入侵。由于地下水开采多集中于河流下游冲洪积平原和滨海平原,长时间超采形成区域性地下水位降落漏斗,引起了海水入侵。该区海水入侵主要出现于蓬莱—龙口—莱州滨海平原和大沽夹河、沁水河、老母猪河、白沙河、大沽河等河流的河口地区,入侵总面积达822 km²。海水入侵的发生使地下水水质下降,严重制约了供水潜力。例如,已建的黄水河、大沽夹河和大沽河地下水库位于海水入侵危害较严重的地区,库区集中了胶东半岛地区的大部分地下水水源地,在地下水库修建前水源地水质都出现了不同程度的恶化,使枯水期开采量受到限制。但也要考虑到,有些地区地下水建成后,可以遏制海水入侵,主要是河流下游为较强富水区,如莱州市王河、龙口市巾村河、蓬莱市平山河、平畅河、牟平区沁水河、荣成市龙河、文登市黄垒河、青岛市白沙河等河流下游地下水库可以控制海水入侵的扩展,保持地下水资源的可持续开发利用。

鲁中南山前冲洪积平原区与地下水资源开发有关的环境地质问题主要是咸水入侵和区域性地下水位降落漏斗。该区地下水开采强度大,上部含水层已被疏干,沿冲洪积平原中部形成了区域地下水位降落漏斗,漏斗中心水位埋深大于30 m;据计算近20多年来已腾出地下库容44.42亿m³,这为在漏斗区修建地下水库进行地下水调蓄创造了空间。但是,降落漏斗的形成使得平原北部咸水内侵,加之地表水和地下水补给少,不适合建地下水库。

黄泛平原区的环境地质问题主要是土壤次生盐碱化和水质咸化。该区农田灌溉以引黄为主,浅层地下水开采程度较低,大部分地区浅层地下水位埋深小于4 m,部分地段因水位埋藏浅产生土壤次生盐碱化。另外,长期的引黄灌溉也带来了大量的盐分,导致地下水咸化,不具备地下水库建设的环境地质条件。但是,修建地下水库可以进行地下水人工调蓄防治盐碱化,改善地下水水质,具体措施是汛前加大地下水开采力度,降低地下水位。抑制强蒸发期间地下

水的消耗和表土积盐,引黄灌溉期和汛期通过农灌和降雨入渗补给地下水,有效地淋浇表土盐份,使土壤和地下水矿化度长期处于脱盐和淡化之中。

4 建库的水源条件

水源条件是建设地下水库的先决条件。以鲁中南山前冲洪积平原为例,由于主要河流中上游地区水资源的拦蓄和利用率较高,使得冲洪积扇区河道经常断流,补给水源严重不足;采取地表水库放水补源措施并不能增加水资源量,只是水资源的空间再分配,不能从整体上改变水资源短缺的局面,所以从目前情况看该区还不具备修建地下水库的水源条件,只有在通过引调江水或黄河水解决回灌水源问题后才可以修建。环渤海山东地区地下水回灌水源主要有当地地表径流、黄河水、南水北调江水。

4.1 地表径流

当地地表径流是地下水库的主要回灌水源。虽然区内水利工程设施相对较完善,但总体上地表径流的拦蓄利用率偏低。胶东半岛地区多年平均河川径流量为 74.23 亿 m^3 ,拦蓄量为 25.18 亿 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。鲁北平原地区天然地表径流拦蓄率也仅为 8.1% ~ 10.4%,绝大部分成为弃水。所以地表径流拦蓄利用潜力很大,关键是如何通过地表拦蓄工程将这部分地表水引入地下水库区。

4.2 黄河水

黄河水是环渤海山东地区重要的客水资源,近些年来区内年均引黄利用量为 $28 \times 10^8 m^3$ 。黄河水主要用于农田灌溉。引出的黄河水除一部分转化为土壤水、一部分蒸发外,约 15% ~ 45% 入渗补给地下水。黄泛平原引黄灌区可以有计划地在农灌季节加强库区地下水开发,腾出足够多的地下库容,在非农灌期引黄河水回灌补源。

4.3 引调江水

山东省西水东调工程规划于 2015 年完成,向山东半岛供水 $10 \times 10^8 \sim 15 \times 10^8 m^3/a$,2030 年完成供水 $15 \times 10^8 \sim 20 \times 10^8 m^3/a$ 。因为引调江水水价较高,如果没有特殊政策的扶

持,是不可能直接回灌地下含水层的,所以在江水引入受水区后,首先会储存于调水线路附近的大中型地表水库,直接用于城市供水。江水入库后将出现水库对地表径流拦蓄量减小的局面,同时在汛期到来前这些地表水库又会根据防汛需要向下游放水以腾出部分库容,所以在调水工程投入运行后,地表水库以下河道径流量会增加,这部分河道径流量可以通过地下水工程蓄存于地下。

5 库址选取的基本条件

5.1 理想的地表拦蓄场所

作为地下水库区首先应具备足够的地表蓄水场地,地形较平缓,以便为地表水下渗补给提供足够的场地和时间,所以主要河流的河床及两侧冲洪积平原区、冲积平原灌区是较理想的库址,可以通过在河床上修建拦河闸或利用已有灌溉渠道、坑塘蓄存地表水。

5.2 良好的地下水开采条件

取水条件是地下水库建设要考虑的一个重要因素。地下水的特点决定其必须采用打井抽水的方式取水,因此地下水库的含水层必须透水性较强,单井涌水量要足够大。因为只有单井涌水量大才能做到尽量少打井,而同时又能大量取水为蓄水提供足够的空间条件。环渤海山东地区暂定临界单井涌水量为 $1000 m^3/d$ 。

5.3 良好的地下水调蓄条件

足够大的库容是地下蓄水的前提条件之一。地下库容越大蓄水调节功能越强,库容多大才具有利用价值?要结合各地的条件和需水量大小决定,环渤海山东地区初步确定临界库容为 500 万 m^3 。另外良好的调蓄条件还应体现在含水层渗透性较强,且埋藏深度不大,包气带岩性颗粒较粗,且没有大面积分布的弱透水层,有利于降水入渗和地表水下渗补给,含水层产状较平缓,具有相对较封闭的边界条件。

5.4 优越的补给水源条件

要求库区控制流域面积较大,以保证汛期有足够多的地表径流量,且靠近常年的过境水体(如调水线路),以保证枯水期尤其是连续枯水年出现时有充足的补充水源。补给水源除满足数量要求外,还要满足水质方面的要求,水质要求

未污染或轻污染(符合国家水质标准的有关规定)。因为补给水会对地下水水质产生重要影响,地下水一旦受到污染,治理起来难度很大。

5.5 良好的环境地质条件

地下水库库区要求地质环境状况良好,人口密度不大,工厂较少,无较大污染源。地下水现状水质较好,符合生活饮用水卫生标准,或尽管现状水质较差,但通过地下水库调蓄运行,水质状况有逐步改善的可能。

5.6 较强的供水需求,良好的供水和环境效益。

要求库区及附近地区水资源供需矛盾较突出,修建地下水库可以解决当地工农业和生活供水不足,在保证安全运行的前提下,有利于改善环境,避免产生新的环境地质问题。

根据地下水库库址所处地质地貌单元和水文地质条件的不同,可将区内地下水库分为山间河谷型、滨海平原型、冲洪积扇型和冲积平原古河道型 4 种类型。经过对环渤海山东地区地质环境条件和建库条件进行全面的分析,共选出了 26 处有开发前景的地下水库库址(包括已建的 3 处地下水库),其中山间河谷型 12 处、滨海平原型 5 处、冲洪积扇型 4 处、冲积平原古河道型 5 处(表 1,图 1)。这些地下水库的总库容达 $65.17 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大调节库容总和为 $28.39 \times 10^8 \text{ m}^3$,而区内 2269 座大、中、小型地表水库的总库容仅为 $41.98 \times 10^8 \text{ m}^3$,兴利库容为 $22.28 \times 10^8 \text{ m}^3$,由此可以看出该区地下水库比地表水库具有更强的调蓄能力,修建地下水库有广阔的前景。

6 地下水库分布与资源效益

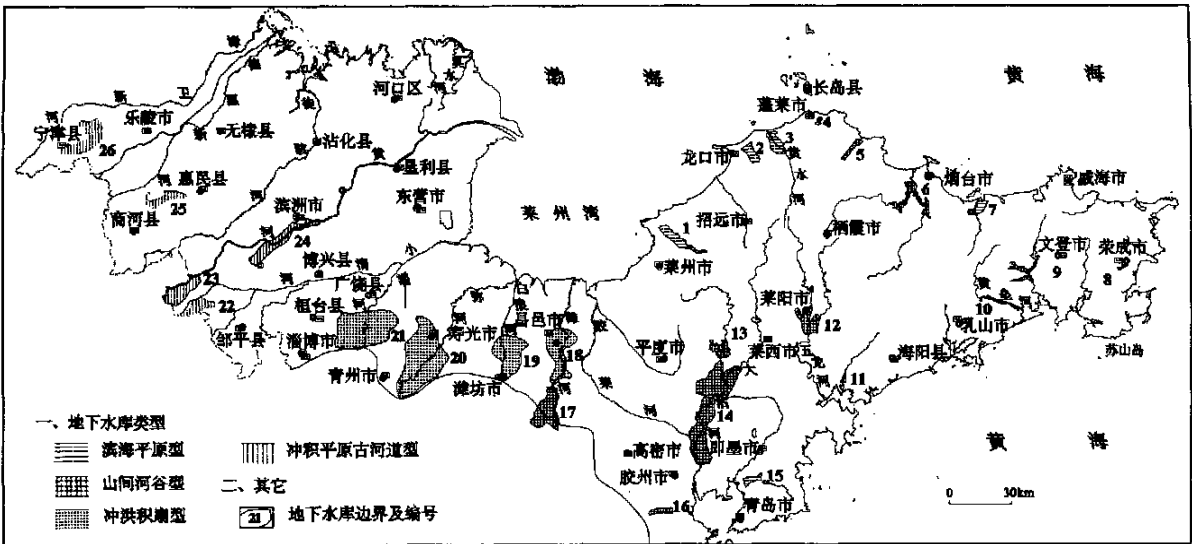


图 1 地下水库选址建议图

Fig. 1 Location of the suggested groundwater reservoirs

环渤海山东地区地下水库工程建设实践表明,修建地下水库是缓解区内水资源供需矛盾的重要途径,可以取得明显的资源效益。已建的 3 处地下水库调查资料显示,水库修建前后库区地下水可开采量依次为 $1.59 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 、 $2.65 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,可采资源量增长率为 66 %。

表 1 中的 26 处地下水库如果补给水源基本得到保证,则分布于胶东半岛地区的 17 处地下水库建库前地下水可开采量为 $3.91 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,建库后可达 $5.83 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,可采资源增长率为

49 %;分布于鲁中南山前冲洪积平原区的 4 处地下水库建库前地下水可开采量为 $3.98 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,建库后为 $7.23 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,可采资源增长率为 82 %;分布于黄泛平原区的 5 处地下水库建库前地下水可开采量为 $79.28 \text{ m}^3/\text{a}$,建库后为 $1.98 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,可采资源增长率为 150 %。黄泛平原区地下水库具有比较高的可采资源增长率,原因是这几处地下水库均位于引黄灌区,引黄补源极为便利,有较高的水源补给条件。

表1 宜建地下水水库基本情况一览表

Table 1 Conditions of the suggested groundwater reservoirs

代号	名称	类型	库区面积 (km ²)	含水层岩性	含水层厚度 (m)	水位埋深 (m)	总库容 (万 m ³)	最大调节库容 (万 m ³)
1	王河地下水水库	滨海平原型	66.4	细中、粗砂、砂砾石	2~12	3~20	5 246	2 623
2	中村河地下水水库	滨海平原型	38.7	砾砂、中粗砂、细砂	5~15	3~16	9 172	3 106
3	黄水河地下水水库	滨海平原型	51.8	砾质粗砂	10~30	3~20	5 289	3 886
4	南王地下水水库	山间河谷型	6.2	粗砂、玄武岩	10~15	2~4	920	552
5	平畅河地下水水库	山间河谷型	28.0	中粗砂、砾石	14~23	2~10	5 540	3 324
6	大沽夹河地下水水库	山间河谷型	63.3	砂砾卵石	5~40	3~15	20 520	6 500
7	沁水河地下水水库	滨海平原型	29.5	细砂、中粗砂、砾砂	10~30	5~24	5 062	3 069
8	龙河—沽河地下水水库	山间河谷型	8.7	砂砾石	3~6	1~3	827	496
9	老母猪河地下水水库	山间河谷型	40.9	含砾中粗砂	2~6	2~5	2 940	1 764
10	黄垒河地下水水库	山间河谷型	19.8	含砾粗砂、中粗砂	3~9	1~3	1 782	1 069
11	邢村地下水水库	山间河谷型	7.2	砂砾石	6~8	1~3	691	415
12	莱阳盆地地下水水库	山间河谷型	82.2	砂砾石	6~9	3~6	7 400	4 440
13	小沽河—猪拱河河岔地下水水库	山间河谷型	46.3	中砂、粗砂、砾砂	4~6.5	2~4	1 569	942
14	大沽河地下水水库	山间河谷型	421.7	砂砾石	4~8	3~7	38 413	23 780
15	白沙河地下水水库	滨海平原型	23.5	砂砾石	8~15	3~8	4 230	2 538
16	洋河地下水水库	山间河谷型	24.1	中粗砂、粗中砂	4~8	2~4	1 117	670
17	黄旗堡地下水水库	山间河谷型	160.0	砂砾石	8~20	5~10	24 530	14 718
18	潍河地下水水库	冲洪积扇型	211.8	砂砾石、中粗砂	12~24	5~23	74 554	32 193
19	白浪河地下水水库	冲洪积扇型	205.3	中粗砂夹砾石	6~30	5~27	49 814	24 636
20	弥河地下水水库	冲洪积扇型	508.5	中砂、粗砂夹砾石		10~30	125 854	55 605
21	淄河地下水水库	冲洪积扇型	421.5	中粗砂、砂砾石	10~30	25~47	158 063	70 897
22	魏桥地下水水库	冲积平原古河道型	65.5	粉细砂	10~15	3~7	12 314	2 892
23	码头—台子地下水水库	冲积平原古河道型	109.6	粉细砂、中细砂	15~20	1~3	26 304	5 700
24	高青—滨州地下水水库	冲积平原古河道型	144.0	粉细砂、中细砂	5~15	1~5	24 768	5 184
25	沙河—石庙地下水水库	冲积平原古河道型	67.5	细砂、粉砂、中细砂	10~15	2~6	9 180	2 835
26	宁津—前魏地下水水库	冲积平原古河道型	143.7	细砂、中砂、中细砂	10~20	7~12	35 638	10 060

7 库区回灌措施

合理的回灌措施是决定地下水水库调蓄功能大小重要条件。地下水回灌方法可分为地面入渗法和地下灌注法。地面入渗法主要利用河道、沟渠、坑塘,因为它们一般都与含水层联通,该法对解决几米、十几米含水层效果较好^[2]。地下灌注法是在河床、沟渠、坑塘施工大口井,穿透黏土、砂质黏土层,将水直接注入砂层,井桶内填满砂砾石,另外还可以利用废机井作为回灌井,该方法对埋深20米以下微承压含水层和浅部地层颗粒较细的场地效果好。

胶东低山丘陵区地下水水库库区由于含水层埋藏较浅,包气带岩性颗粒较粗,宜采取地面入

渗法为主、地下灌注法为辅的回灌措施。地面回渗区宜选在河床和漫滩,可在河床修建拦河坝拦蓄地表径流,增加入渗,若河床与含水层联通性较差,应在拦河坝前迴水区施工回灌井。

鲁中南山前冲洪积平原区由于含水层埋藏相对较深,采取地面入参与地下灌注相结合的回灌措施。地面入渗应通过河床、引渗沟渠和坑塘回灌,为增大回渗量宜于河床和引渗沟渠施工回灌井。

黄泛平原区由于含水层颗粒较细,单层厚度较小,地下水位埋深较小,宜采取地面入渗回灌措施,具体回灌方法为沟渠和淹灌回渗。

8 结论

环渤海山东地区地表水体的调节能力较差,

区内河水暴涨暴落,拦蓄利用不便,而地下水含水层有着巨大的地下库容,具有比地表水体大得多的调节能力,所以采取科学规划、合理开发的方式,大力开展地下水库建设,可在一定程度上缓解区内的水资源供需矛盾。胶东半岛低山丘陵地区在地下水库建设方面取得了许多宝贵经验,实践表明,地下水库在增加地下水资源的同时,对防治海水入侵灾害,改善库区生态环境质量成效显著,应在该区大力推广^[3]。但鲁中南山前冲洪积平原区和黄泛平原区还没有建设地下水库的经验,尤其是无地下截渗坝型地下水库工程的建设尚处于空白,今后应在以上地区选择典型地

段开展地下水库勘察工作,在此基础上进行示范性地下水库的建设,以带动这些地区开展人工补给地下水工作的全面实施。

参考文献:

- [1] 田园,等. 黄淮海平原地下水人工补给[M]. 北京:水利电力出版社,1990.
- [2] 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.
- [3] 赵天石. 地下水库——辽宁省 21 世纪可持续发展战略的重要选择[J]. 中国地质,2000,(2).
- [4] 赵云章,苗晋祥,张国建. 南水北调中线受水区地下调蓄水库选址及水量调控研究[J]. 工程勘察,2002,(3).

Construction Condition Analysis for Groundwater Reservoir in the Shandong Sector of the Circum Bohai Sea Region

XU Jian guo, WEI Zheng run, Zhang Tao, ZHU Heng hua

(Shandong Institute of Geological Survey, Jinan 250013)

Abstract Shandong sector of the Circum Bohai Sea (CBS) region is one of the serious water shortage areas in North China. The main cause of the shortage is the uneven distribution of the fresh water resources temporally, and the large difference of the annual as multi annual precipitations as well. The practice indicates that construction of the groundwater reservoir is an important way to preserve and regulate water to settle the contradiction between supply and need in a long time. The hydrogeological conditions in the working area are quite different. The eastern Shandong is the low mountain hill seashore river valley region, the mid southern Shandong is the pre mountain alluvial and pluvial plain region, and Huanghe (the Yellow River) plain is the paleo river valley zone. The aquifers in these places are very thick with the coarse grain, which have the high capacity to contain water. In the alluvial pluvial plain and Jiaodong Peninsula seashore plain, the ground water table is continuously lowered for many years, created a great capacity to recharge water in. All of the above factors indicate that there are good conditions to construct ground water reservoirs. The authors suggest that the groundwater reservoirs may be classified into four types. They are inter mountain valley type, seashore plain type, alluvio pluvial type and alluvial plain paleovalley type, all together 26 candidate localities are selected for groundwater reservoirs. The total capacity of these groundwater reservoirs amount to $65.17 \times 10^8 \text{ m}^3$, the maximum regulation preserve capacity is $28.39 \times 10^8 \text{ m}^3$. After construction of these groundwater reservoirs, the recovery groundwater will increase 73%. And the water environment around the groundwater reservoirs can be improved, which can stop the seawater intruding and prevent the soil from the secondary solinization and solve other environmental geological problems.

Key words: Circum Bohai Sea region; construction of groundwater reservoir; high capacity of groundwater reserve and regulation; Shandong Province