

# 大连沿海中小流域地下水人工调控研究

迟宝明, 易树平, 李治军, 丁元芳

( 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130026 )

**摘要** :分析大连沿海地区中小流域水资源系统的自然特点、开发利用条件及存在的问题,得出:利用汛期排泄入海的大量地表径流,可缓解大连地区供水矛盾。探讨在沿海独立入海流域实施地下水人工调控的内涵,包括必要性、可行性及技术要点等。结合旅顺区三涧堡地下水库实例进行了论证。

**关键词** :沿海中小流域;地下水;人工调控;大连

**中图分类号** :TV213      **文献标识码** :A      **文章编号** :1004-693X(2005)06-0034-03

## Study on artificial regulation of groundwater in coastal medium and small basins of Dalian

CHI Bao-ming, YI Shu-ping, LI Zhi-jun, DING Yuan-fang

( College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China )

**Abstract** :Based on analysis of the water resources system, this paper summarized the natural characteristics, development and utilization situation as well as the corresponding problems in Dalian coastal medium and small basins. It is concluded that the conflict between water supply and demand can be alleviated by the utilization of surface runoff discharged into the ocean in flood period. The related problems about groundwater artificial regulation in separated coastal basins were discussed, including its necessity, feasibility, key points and so on. Sanjianpu groundwater reservoir in Lüshun was taken as an example in order to illustrate the feasibility of artificial regulation.

**Key words** :coastal medium and small basin; groundwater; artificial regulation; Dalian

沿海中小流域由于其特殊的自然条件,水资源利用较为困难。同时,降水的分布不均及地下含水层与海水连通的特点,又增加了地表水的利用难度及地下水的利用风险。然而,沿海地区又多为经济增长较快的地区,对水资源的需求较大。因此,合理高效地开发利用沿海中小流域水资源对沿海地区经济建设具有重要意义。

大连市地处辽东半岛南端,是我国极度缺水的 40 座城市之一。不断加剧的水资源危机和水环境质量的持续恶化,严重地制约了大连地区的经济发展。然而,值得注意的是,目前大连市自来水生产能力却仅占全市总径流量的 12%<sup>[1]</sup>,大量径流未被很好利用而造成了水资源的巨大浪费。因此,探讨优化利用大连地区中小流域水资源的利用模式,可为

缓解大连地区城市供水问题及改善水环境提供理论基础,同时也为我国沿海中小流域水资源利用模式起到启示作用。

### 1 大连沿海小流域水资源系统的特点

#### 1.1 水文与水资源特征

大连境内河网比较发达,大小河流共计 200 余条,均属中小型季节性河流,其特点可概括如下:①空间分散性,中小流域几乎遍布全区所有城镇;②独立入海性,每个流域相对独立,彼此干扰小,流域水资源直接汇入大海;③流程短、坡降大,区内最大的碧流河流域,干流全长仅 156 km,平均坡降达 0.189%;④河床覆盖层浅,多数流域含水层直接出露河床;⑤水资源时空分配不均。降水自南向北递增,由大连市区

590 mm 至北部庄河地区的 800 mm ,年内 75% 左右的降水量集中在 6~9 月份(如图 1)这就导致了各流域径流汛期暴涨暴落、而冬春季流量小的特点。

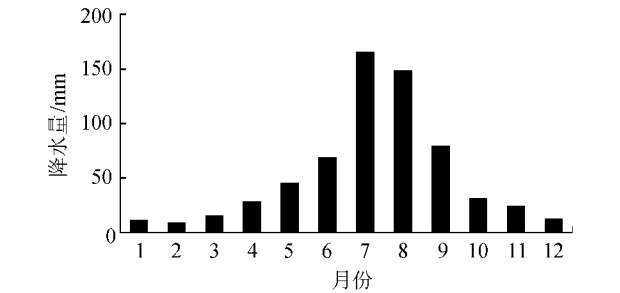


图1 多年(1905~2000年)平均月降水量分布

1.2 开发利用条件

相应于流域的自然特点,沿海中小流域水资源的开发利用特点表现在如下 4 个方面:①分散性。这是由流域的分布特点决定的,水资源开发的这一特性为分散城镇的供水提供了条件,弥补了跨流域调水为点状集中供水的不足;②独立性。地表和地下分水岭将各个中小流域分隔为相互独立的水资源系统,因此,系统内水资源的开发利用对其它流域几乎不造成影响,减少了相互间的利益冲突;③复杂性。流域平坦的喇叭状入海地形及多泥沙淤积状况,增加了修建地表水利工程的难度,再加上汛期径流暴涨暴落的特点,使本区地表水的开发利用更为复杂;④脆弱性。主要指各流域的地下水环境,不合理地大量开采流域地下水,必然引起海水入侵,造成流域内地下淡水的咸化。这是沿海流域地下水环境的共性。

1.3 存在问题

大连是一个资源性缺水的地区,淡水资源弥足珍贵。综合分析各中小流域水资源的开发利用、水环境及供需状况,不难得出区域水资源系统存在如下几个方面的不足。

a. 地表水利工程不足,导致水资源工程性短缺,开源不充分。截至 2000 年末,大连市共有各类地表水利工程 1435 项,其中水库 261 座(大型水库 6 座、中型水库 13 座、小型水库 242 座)、平塘 206 座、引水工程 248 处、提水工程 720 处<sup>[2]</sup>。其中多数工程都集中在较大河流或易于开发河流上,只有少数工程建在小流域上,而且由于地理条件的限制,其蓄水能力很小,不能接纳各流域全部或多数地表径流。目前地表水的拦截率仅约为 24.5%<sup>[3]</sup>,雨洪利用率低,每年汛期约有 14.81 亿 m<sup>3</sup> 的地表径流排泄入海而导致严重浪费。

b. 地下水不合理过度开发,环境地质问题突现。随着需水量的不断攀升和地表水开发难度的加大,一些流域大量超采地下水,结果引起大面积的海

水入侵甚至地面沉降。截至 2002 年,大连地区海水入侵面积已达 405.8 km<sup>2</sup>(如图 2)。海水入侵减少了地下水资源量,致使水环境恶化,造成土地碱化,植被破坏,人畜饮水困难。因此,采用先进技术,防治海水入侵,优化利用地下水资源就显得尤为重要。

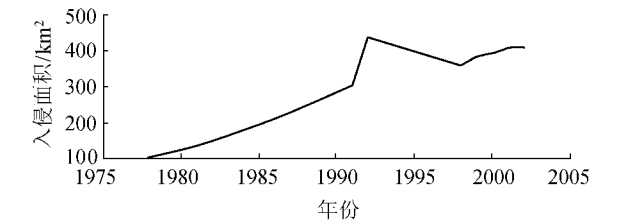


图2 海水入侵趋势

c. 需水量增加,一般城镇与重点城镇出现争水局面。由于各流域水资源开发利用困难,一般城镇为满足本区经济发展的需水要求,出现了与重点城市争水的现象,加重了重点城市的供水负担。据初步统计,2000 年从大连地区各流域共引出水量的 3.59 亿 m<sup>3</sup>,其中引入大连市区水量约为 2.76 亿 m<sup>3</sup>,其余 0.83 亿 m<sup>3</sup> 被用于缺水或未开发流域的基本生活、生态需水。可见,解决好各流域的供水问题,是缓解沿海重点城市水资源供需矛盾的重要途径。

由上述水资源问题可见,立足各流域,制定科学合理的调配方案,充分利用汛期地表水资源,实施地下水的人工调控,防止海水入侵,是解决沿海地区各分散城镇供水,缓解重点城市供水压力的有效方法。

2 沿海中小流域水资源系统人工调控内涵

2.1 必要性

据预测,即使在“引碧入连”工程全部投产情况下,2005 年以后金州以南城市区仍将年缺水 2.19 亿 m<sup>3</sup> 以上<sup>[4]</sup>。大连地区水系比较发达,分布比较分散,同时各流域的水资源又没有得到充分利用,若将这部分水充分利用,基本上可以满足各流域上的村镇需水问题,极大地缓解金州以南重点城镇的供水压力。运用地下水库技术,将各流域未能充分利用的地表径流资源储存地下,然后于枯水期进行开发利用,不但能提高流域水资源的利用率,而且抬高了地下水位,防治海水入侵,改善生态环境。同时解决了分散城镇供水难题,促进地区经济的持续发展。

2.2 可行性

运用地下水库进行水资源人工调控必须具备三个前提,即充足的调蓄水源、较大的地下储水空间及良好的水更替条件。分析大连地区各流域的水资源系统,首先是具有可供调蓄的大量地表径流资源(大于 14.81 亿 m<sup>3</sup>/a);其次是具有较大的储水空间,经初步论证,200 多个流域中,仅较大的 22 个流域的

河谷冲积层含水层的天然库容就达 3 亿  $\text{m}^3$ <sup>[5]</sup>,若再加上其它流域及局部分布的岩溶调蓄空间,则将远远超出这个体积,第三是具备良好的水更替条件,大连地区河谷第四系含水层受沉积条件的影响,含水层覆盖层较薄,主要为砂性土,渗透能力较强,有些河谷的含水层与河床直接连通,成为补给地下水的“天窗”,对地表径流的入渗补给十分有利。可见,在大连地区各流域进行水资源人工调控是可行的。

### 2.3 技术要点

a. 无径流观测,流域地表水资源的评价。地表水资源的评价,实际上是定量回答地下水人工调控的“水源”问题,在有径流观测的流域,可以利用水文学的各种计算方法予以解决;但在大连沿海中小流域地区,大多为季节性河流,没有长期甚至根本没有观测资料,如何评价其地表水资源量是进行地下水人工调控的关键之一。传统的评价方法有等值线图法和水文比拟法<sup>[6]</sup>;其次是针对不同流域建立产汇流数学模型或经验模型,然后进行计算评价;目前较为有潜力的是基于 DEM 的评价方法。该类方法运用 DEM 生成数字流域,再借助 GIS 生成的水文属性地图,可对流域水文全过程进行模拟,并能实现模拟结果的可视化,从而方便地进行地表水资源评价。

b. 区域地下水的调蓄类型。地下水人工调蓄是借助地下赋水介质的蓄水空间来完成的,不同赋水介质的储水及导水性质差异较大,因而在进行水工勘察及工程设计时的重点及投入也不一样。因此确定调蓄类型为进行地下水人工调蓄的要点之一。大连地区地下水的调蓄类型可分为两类:①河谷砂砾石堆积型,与区内中小流域一致,呈条带状广布全区;②碳酸岩盐裂隙岩溶型,主要分布在沈大铁路以西的各流域中,如图 3 所示。

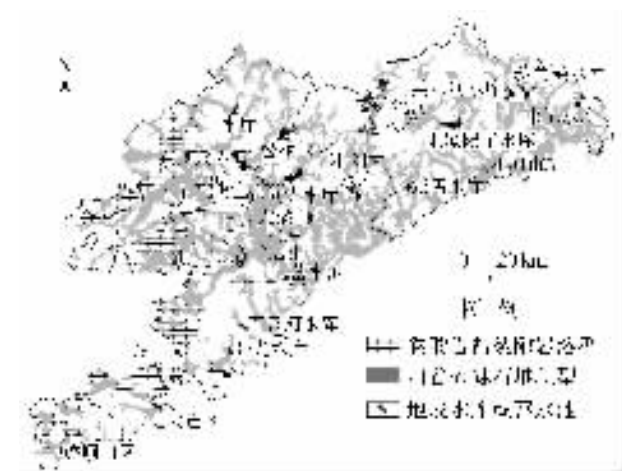


图 3 人工调蓄类型分布

c. 地下水库库容的设计。地下水库的库容大小决定了其调控能力的大小。内陆地区地下水库的

库容主要取决于地下含水层性质,比较容易确定,而沿海地区却远非如此。由于近海处含水层与海连通,在含水层内形成一个咸、淡水接触带,该带的存在对兴建地下水库的库容有着巨大的影响。因为人工调蓄通过建地下拦水坝来拦蓄地下径流及阻止海水入侵,而坝址的确定必须考虑残留咸水处理的可行性问题。拦水坝内移可减少或清除残留咸水的投入,但是同时也减小了地下含水层的储水空间。特别是对河谷砂砾石堆积型地下水库,其含水层沿流域下游至上游呈逐渐尖灭状态,入海口最厚,因此地下拦水坝的内移将会极大的减少库容。因此,在大连沿海中小流域进行地下水库的库容设计时,应结合调蓄类型,从库容、咸水处理费用、地形地貌及建坝投入等多个方面进行综合考虑。

## 3 三涧堡流域人工调控应用实例

### 3.1 流域概况

三涧堡流域位于辽东半岛的最南端,汇水面积约 80  $\text{km}^2$ ,地势东南高、西北低,为一西北角开口临海的山间盆地。盆地内第四纪地层发育,是一个较完整的水文地质单元体。间歇性河流尖包河由东向西流经全区,于大潮口与西部自南而北的大王河支流汇合入海。

自然条件决定了该流域不能修建地表水利工程,致使每年大约 195.5 万  $\text{m}^3$  的径流资源排泄入海而浪费掉。与此同时,当地政府大量开采地下水资源来满足经济发展的需要,导致 20 世纪 70 年代中期以来严重的海水入侵,至 1994 年已形成浅层地下水无淡水资源可采的局面,极大地制约着当地经济和社会的发展。目前,该流域深层岩溶水也已严重超采,海水入侵在进一步加剧,水环境恶化,水资源严重不足,严重影响工农业生产和居民生活,已逐渐形成向大连市“引碧入连”工程争水的趋势。

### 3.2 水资源人工调控

为达到流域用水自给自足、防止海水入侵、提高水资源利用率的目的,经地方和国家投资,1998 年由辽宁水工勘察院完成 26.09  $\text{km}^2$  河谷型地下水库设计论证,设计施工内容见表 1。

2002 年该地下水库主体工程地下拦水坝工程竣工,水位抬升明显,即使在大连最干旱的季节,库区河谷内也存在被拦蓄的地下淡水。但由于后继资金没跟上,仅建成部分拦蓄工程、取水工程和监测管理系统,其它工程还在进一步的完善过程中。

事实证明,地下拦水坝工程竣工后,有效地阻止了孔隙地下水海水入侵的加剧,地下水位得以抬升,水环境得到改善。按照设计,三涧堡(下转第 65 页)

0.25 g/L 增高到 1.5 g/L 氟的含量也有明显的增高。根据 2003 年《山西省地下水资源量调查评价》成果,运城盆地现状开采量为 43 916 万 m<sup>3</sup>/a ,可开采量为 27 813 万 m<sup>3</sup>/a ,其利用率为 157.9% ,已经处于严重超采状态。可见过量开采地下水也是引起氟含量较高的因素之一。

3.4 水文地质条件

运城盆地的水文地质条件较为复杂,浅层水由周围向盆地中心汇集,径流条件一般是山前比盆地好,上游比下游好,中条山前水力坡度为 0.6% ~ 1.2% ,峨嵋台地为 0.7% ,平原仅为 0.3% 左右。

在峨嵋台地及中条山前地区由于地下水的径流条件好,水交替能力强,所以地下水中含氟量一般都较低。平原区由于地下水径流不畅,水的交替性差,

有利于氟水在局部洼地浓缩。该区中独特的闭流型水文地质条件是形成本区地下水含氟量明显分带的最重要因素。

4 结 论

- a. 运城盆地浅、中、深层水含氟量大面积超标。
- b. 在半干旱的气候条件下,入渗—淋溶—强烈蒸发—浓缩、富含氟化物的包气带土体、碱性的地球化学环境、地下水的过量开采以及独特的水文地质条件是本区高氟地下水的成因。
- c. 盆地中氟病区的广泛分布是由饮用高氟地下水所致,在弄清氟分布及成因的基础上,各级有关部门应及时提出改水方案,预防氟病的发生。

( 收稿日期 2004-03-05 编辑 舒 建 )

( 上接第 36 页 )

表 1 三涧堡河谷地下水库设计及资金预算<sup>①</sup>

| 工程名称    | 施工项目                              | 资金预算/万元 |
|---------|-----------------------------------|---------|
| 地下拦水坝工程 | 钻探、套管、水泥、高压注浆                     | 678     |
| 地表水拦蓄工程 | 拦洪防波闸、拦洪闸( 3 座 )<br>河道整治( 28 km ) | 1 018   |
| 人工补源工程  | 补源沟( 320 条 )<br>补源井( 2 000 眼 )    | 420     |
| 取水工程    | 渗渠( 3 条 )                         | 240     |
| 供水工程    | 泵房及配套( 3 处 )<br>集水井( 3 眼 ) 供水配电   | 148     |
| 排污工程    | 污水管道( 15 km )                     | 150     |
| 咸水体处理工程 | 大口井( 4 眼 ) 深井封孔                   | 50      |
| 监测管理系统  | 监测井及配套( 15 眼 )<br>中央控制室           | 128     |
| 合 计     |                                   | 2 832   |

地下水库可增加孔隙地下水开采资源量 447.5 万 m<sup>3</sup>/a ,吨水造价仅为引碧三期工程吨水造价的 40%<sup>[ 5 ]</sup> ,造价较低。将汛期地表径流转化为孔隙水资源加以利用后,可相应减少深层岩溶裂隙水的开采,从而控制或减轻下伏岩溶含水层的海水入侵。同时,增加的水资源可促进当地经济的稳定发展,亦从根本上解除了与大连市争水的可能性。可见,三涧堡地下水库的建立具有良好的环境效益、经济效益、社会效益,为沿海小流域水资源系统人工调控起到了示范作用。

4 结 论

- a. 大连沿海中小流域水资源的优化利用,可解决分散小城镇的供水问题,对缓解重点城市水资源

- 的供需矛盾具有重要意义。
- b. 大连沿海中小流域的自然特点,决定了其地表水利工程开发难度较大,但由于多数流域具备水源、地下调蓄空间、补给通道等条件,可实施地下水人工调控以调节水资源的时间分配不均,实施人工调控的技术要点在于无径流观测流域地表水资源的评价、调蓄类型的确定及地下水库库容的确定。
- c. 三涧堡地下水库实例证明,地下水人工调蓄提高了流域水资源的调蓄能力,避免了与重点城市争水的矛盾,同时可防治海水入侵、恢复水环境,成为优化利用沿海中小流域水资源的有效模式。

致谢 :感谢辽宁水文地质工程地质勘察院所提供的大量实例资料。

参考文献 :

[ 1 ] 曲天桥,翟红.大连市水资源现状调查[ J ].辽宁城乡环境科技,2001,21( 1 ) 4 ~ 8.  
[ 2 ] 大连市地方志编纂委员会办公室[ M ].大连年鉴.2000 : 111.  
[ 3 ] 李小华.数字令人无法漠视[ N ].大连日报,2004-03-25.  
[ 4 ] 杨绍南.大连市水资源开发利用战略构想[ J ].辽宁地质,2000,17( 3 ) 235 ~ 237.  
[ 5 ] 赵天石,杨绍南.建设地下水库是大连市开发水资源的重要途径[ J ].水文地质工程地质,2000( 4 ) 37 ~ 39.  
[ 6 ] 张立中.水资源管理[ M ].北京:中国广播电视大学出版社,2002.

( 收稿日期 2005-01-12 编辑 舒 建 )

① 王卫东,董维科,李宝兰,等.大连市旅顺口区三涧堡地段海水入侵地质灾害勘察报告.1998.