

# 大连地下水开发模式探讨

迟宝明, 易树平, 李浩军

(吉林大学 环境与资源学院, 吉林 长春 130026)

**[摘要]** 为探讨提高大连地区水资源利用率的方法,通过分析总结大连地区滨海水文地质条件,剖析了地下含水系统的独立流域特征、开发价值特征、流动系统特征和环境水文地质的脆弱性特征。在此基础上,提出了大连水资源开发应以流域开发为指导思想、以地下水库为技术方法的加大开发地下水水资源利用模式,并进一步得出岩溶含水系统与河谷砂砾石堆积具有较大开发潜力而基岩裂隙含水系统开发难度较大的结论。

**[关键词]** 滨海水文地质特征;流域开发;地下水库技术;大连地区

**[中图分类号]** P641.8 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-6561(2005)02-0073-05

**[作者简介]** 迟宝明(1957—),男,辽宁瓦房店人,教授,博士,从事水资源配置及基岩裂隙水的研究。

大连地区位于辽东半岛南端,区内水资源人均占有量仅为中国平均水平的1/4,水资源十分贫乏。据预测,2005年后金州以南城区将缺水 $2.2 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}^{[1]}$ 。大连地区多年平均水资源总量为 $37.86 \times 10^8 \text{ m}^3^{[2]}$ ,据2002年《水资源公报》,大连地区总供水量 $9.28 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,不足水资源总量的1/4。可见,水资源利用率太低是导致大连地区缺水的重要原因之一。

大连地区水资源利用率低下有以下原因:

(1)地表水利用能力低。区内200余条流域短小、比降大的中小型季节性河流在丰水季节(6~9月)不能截下宝贵的降水资源,导致每年约 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的淡水资源白白流入大海。

(2)地下水利用量减少。由于地下水人为开采不当,引起海水入侵邻海含水层,使地下水咸化,减少了地下水的可开采量。

因此,要缓解大连地区的缺水状况,提高区域水资源利用率是一个重要途径。鉴于大连地区自然条件,兴建地表水利工程难度大,且使用寿命短。因此,应从总体上把握区域滨海水文地质特点,因势利导,在不引起环境负效应的前提下,加大开

发利用地下水的力度。

迄今为止,针对大连滨海水文地质的相关论著较少,对区域可资利用的水文地质条件认识还不够清楚,导致了水资源开发利用的盲目性和混乱性,产生了地下水位持续下降、水源枯竭、水质污染及海水入侵等环境水文地质问题。笔者通过对大连地区的水资源研究,分析概化出其滨海水文地质的普遍特征,并根据这些特征对地下水资源的开发利用模式进行探讨。

## 1 大连滨海水文地质特征分析

### 1.1 含水系统特征

#### 1.1.1 完整的滨海中小流域特性

大连市辖6区3市1县,陆地面积 $1.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,区内有大小流域200余个,流域面积从几平方千米到千余平方千米不等。这些流域绝大部分都保持独立入海,具有相对完整的特性。与地表流域相一致,各流域的水文地质条件,由于地下分水岭的存在及基岩的弱透水性(图1),大连地区的水文地质条件可用流域的观点来看待,除局部分布的碳酸盐岩区相邻两流域联系较密切外,在一个相对独立的中小水文地质流域内,地下水系统表现出统一独立的特征。

每个独立的中小水文地质流域,由源头分水岭

[收稿日期] 2004-05-07

[基金项目] 国土资源部中国北方沿海中小流域水资源开发理论与基础研究项目

起到入海口止,地势由高到低;地貌变化为低山—丘陵—山前倾斜平原—冲洪积平原、谷地—海蚀阶地;第四系沉积物具有从山前—平原—滨海,颗粒由粗到细,厚度由薄到厚的特点。

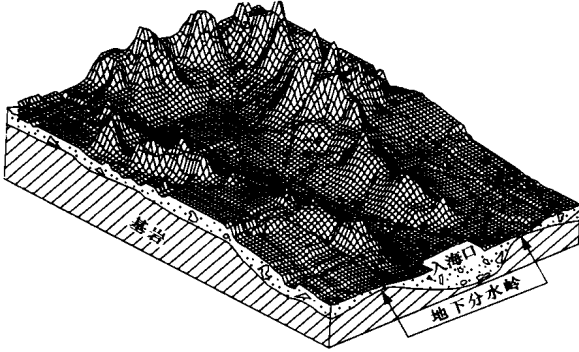


图 1 流域水文地质示意图

Fig. 1 Schematic diagram of watershed hydrogeology

水文地质的滨海特性主要表现在流域出口与海洋接壤,含水系统直接接触海水,有的在海平面以下几十米甚至超过 100 m。这就使地下水流动系统变得非常复杂,咸淡水接触带及海水入侵现象的存在为大连地区滨海水文地质的主要特征。

经论证,大连地区具有建设河谷型地下水库潜力的流域有 22 个<sup>[3]</sup>。这为以流域为单位进行大连地区水文地质研究奠定了基础,但更详尽的划分,还需要进一步的现场调查研究。

#### 1.1.2 具有开发潜力的松散岩类孔隙含水层

含水层由全新统、上更新统构成,地貌为冲洪积谷地、冲洪积平原、坡洪积裙。主要分布在各流域的冲洪积河谷平原、海冲积平原和山前坡洪积扇裙。呈树枝状展布,长短不一、宽窄不同,都横切低山丘陵和丘陵地区,是相对于侵蚀基准面,有良好的汇水条件,又具有厚度不等的砂砾石含水层(一般厚 1~10 m),地下水矿化度 $<0.3\sim 0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。其富水性视冲积层分布的规模及含水层的厚度而异。渗透系数 $50\sim 79\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ <sup>[4]</sup>,单井涌水量一般 $<1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。经过概算,大连地区河谷含水层天然库容达 $3.028\,4\times 10^8\text{ m}^3$ <sup>[3]</sup>,具有较大的开发潜力。

入海口含水层的厚度最大,如复州河入海口厚度超过 30 m。含水层的这种滨海特性为孔隙潜水的开发利用造成了困难,人工开采和顺河而上的海潮都会导致海水入侵,表现出该类型水文地质环境的脆弱性。

#### 1.1.3 具有利用价值的碳酸盐岩类裂隙岩溶含水层

含水层岩性为寒武系、震旦系、奥陶系石灰岩

及页岩夹灰岩,地貌以低丘陵及海蚀阶地为主,在整个大连地区呈局部分布。地质构造带及地势低洼的负地形区岩溶发育,地层岩溶率在 $2.07\%\sim 13.53\%$ ,十三里台组碳酸盐岩岩溶率最高,各类岩性中纯质灰岩的岩溶率最大<sup>[5]</sup>。

由于气候的变化和构造运动的升降导致侵蚀基准面的变化,大连地区岩溶发育存在明显的成层性,其垂向发育总的规律是,随深度增加而逐渐减弱,填充亦减弱(表 1)。单井涌水量在岩溶发育地带为 $1\,000\sim 4\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,在岩溶发育较弱地带为 $500\sim 1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。

表 1 大连地区岩溶垂向发育规律

Table 1 Vertical law of karst developed in Dalian Area

h/m	岩溶发育程度	岩溶形态	富水性
40~0	最强	竖直溶隙溶洞填充紫红色粘土	较强
0~-40	强	串珠状溶洞半充填红色粘土	强,为主要含水层
-40~-70	较强	不连续溶洞少量红色粘土填充	强,为主要含水层
-70~-120	较弱	小溶隙和溶洞	较弱,为次要含水层
-120~-170	弱	小溶隙	弱

同样,岩溶裂隙介质的滨海特性使得其水文地质环境非常脆弱。地质构造发育在增大岩溶率的同时提供了海水入侵的直线通道,使得一些准内陆的岩溶发育地区受到海水入侵的威胁。由于岩溶含水层的厚度、深度及渗透系数都比较大,海水入侵后不容易得到恢复,开发利用过程中应特别注意。本区岩溶含水层具有较大开发利用价值,但由于厚度大、地质构造条件复杂,需要先进的开发利用技术。

#### 1.1.4 开发难度大的基岩裂隙含水层

含水层岩性为前震旦系古老片麻岩、混合岩及震旦系石英岩、板岩、页岩、砂岩,地貌以低山高丘陵为主,分布在区内各种基岩构成的丘陵、山地地区。含水体分层状和块状,层状含水体由震旦系石英砂岩、板岩、砂页岩组成;块状含水体由太古界片麻岩、片岩等组成。

在流域的分水岭低山丘陵地带,风化裂隙深度一般 $3\sim 5\text{ m}$ ;在被河谷横切分割连续分布的低缓丘陵地带,风化碎屑带厚 $10\sim 40\text{ m}$ 。地下水矿化度 $<0.3\text{ g/L}$ ,单井涌水量较小,一般 $<300\text{ m}^3/\text{d}$ 。

由于所处的地形较高及较弱的透水性能,基岩裂隙含水层的开发难度大,不易作集中型开采水源地。

## 1.2 流动系统特征

### 1.2.1 地下水补、径、排特征

地下水从接受补给到排泄出去,是自然界水循环的一部分,掌握地下水流的运移规律,对有针对性的开发利用地下水具有重大意义。大连地区地下水可分为基岩裂隙水、岩溶水和孔隙水 3 种类型。不同类型的地下水具有各自独特的补、径、排特征,但又有总的运移规律(图 2)。

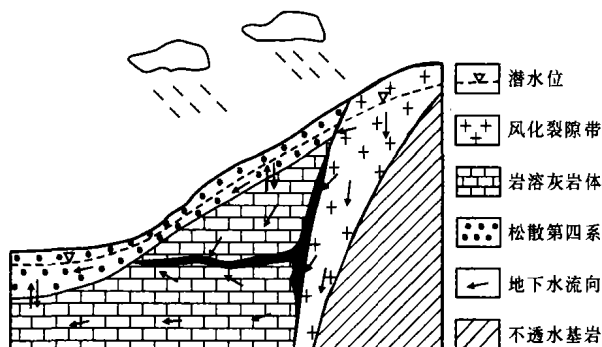


图 2 流域地下水流向

Fig. 2 Schematic diagram of groundwater flow direction

由各种基岩构成的丘陵、山地大面积裸露,是地下水接受大气降水渗透补给的主要区域。接受补给后,一部分沿裂隙渗入补给到基岩裂隙含水层,一部分从分水岭向谷地运动,在山前补给第四系堆积含水层。分布灰岩地段,岩相变化带往往发育岩溶,裂隙水补给岩溶水。

岩溶水和孔隙水接受大气降水、裂隙水的补给后与地表水流向基本一致,向流域下游运动,在人海口与海水形成复杂的咸淡水界面,最终排泄入海。在此过程中,孔隙水与下伏岩溶和基岩裂隙水之间由于人为或自然原因,存在一定的水量交换。

### 1.2.2 地下水动态特征

地下水的动态变化主要反映其补给与排泄量、质的变化。不同的动态类型,反映着开采强度和补给强度的差异。大连滨海地区地下水动态大致可分为 5 种类型(表 2)。

这 5 种动态类型都不同程度地反映出与大气降水关系的密切性,即雨季(7~9 月)补给阶段,地下水位年内最高,漏斗区显示出地下水位迅速升高的特点。基岩裂隙水和孔隙潜水的化学组分含量随季节略有增减,但水化学类型基本不变。滨海岩

溶水水质动态较复杂,自然状态下,其化学组分含量与水位变化同步;在人为干扰情况下,水化学组分显示出随抽水强度变化的特点。

表 2 大连地区地下水动态类型

Table 2 Types of groundwater kinesis in Dalian Area

类型	动态特点
气象型	动态曲线呈波状,季节变化明显,波峰出现在丰水期
水文-开采型	参差状曲线,枯水期开采强烈,水位急剧变化,洪水期则呈锯齿状
常年开采型	“V”形曲线,雨季水位缓慢上升,枯季水位连续下降
季节开采型	峰林状曲线,农灌开采期水位下降较大,非灌期水位恢复,曲线变缓
潮汐型	沿海地带,由于潮汐影响,水位呈细微锯齿状

## 1.3 环境水文地质特征

大连地区环境水文地质特征,突出表现在其叠加的滨海特性方面,由海水入侵历年变化过程可见一斑(图 3)。

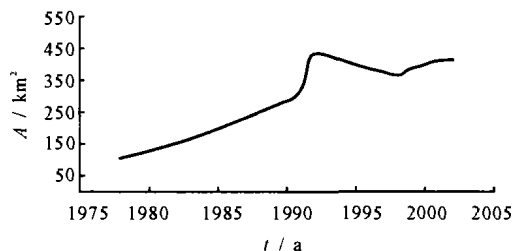


图 3 历年海水入侵变化趋势

Fig. 3 Trend map of seawater intrusion in Dalian Area

20 世纪 70 年代以前,海水自然入侵范围很小,入侵面积及宽度均不大<sup>[6]</sup>。从 70 年代开始,因地下水开采量骤增,使得地下水超采形成七顶山、大魏家、金州、南关岭、革镇堡、春柳等 6 处地下水降落漏斗。降落漏斗的形成改变了滨海地区特别是流域入海口地区的地下水流场,使得原来排泄入海的地下淡水反方向而行,进而导致海水入侵。可见,海水入侵与地下水降落漏斗密切相关,在滨海地区开发利用地下水过程中应加以防治。

近几年来,由于连续干旱,地下水开采量加大,海水入侵又表现出加剧的趋势。截至 2002 年,海水入侵总面积为 405.8 km<sup>2</sup>,其中入侵面积 > 20.0 km<sup>2</sup> 的地段有 6 处。海水纵向入侵深度最大达 6.8 km,单地段入侵最大面积 73.2 km<sup>2</sup>。

另外,农田施肥和部分地区污水灌溉以及生活污水的不合理排放造成了地下水中硝酸根和亚硝

酸根的大面积超标,集中于大辛寨子以东、三十里堡以南的沿海地带,其他污染物有酚、铵、六价铬、铜、铅、锌等,地下水开采利用中应予以注意。

综上所述,大连地区水文地质特征可概括为以下 4 点:

(1)具有完整的流域特性。

(2)根据开发价值,可分为:孔隙含水系统、岩溶含水系统和裂隙含水系统 3 种类型。

(3)各含水系统的地下水流具有总的运移规律且分属 5 种动态特征。

(4)滨海特性使得大连地下水易受海水入侵。

因此,在地下水开发利用过程中,必须根据上述特征,扬长避短,在不引起环境负效应的前提下,提高水资源的利用率。

## 2 地下水开发利用模式

鉴于大连地区的缺水形势及难以增大利用地表水的状况,为提高区域水资源利用率,应充分利用本区含水层的调蓄功能,用增大地下水的循环速度来提高地下水的利用量。利用各流域地下含水层的调蓄空间,采用工程措施增大地表水入渗,减少入海排泄,防止海水入侵为大连地区开发利用地下水的主要方向之一。笔者根据大连滨海水文地质特性,提出以下模式和方法。

### 2.1 流域开发模式

流域是一个从源头到河口的天然集水单元,是地表水及地下水分水线所包围的集水区域的统称,水利部规定 50 km<sup>2</sup> 内的流域为小流域<sup>[7]</sup>。目前,以流域为单元对水资源进行综合开发与统一管理,已为许多国际组织所接受和推荐,并形成潮流。

把小流域作为一个相对独立的整体进行开发利用,中国已取得巨大成绩。自中国第 4 次水土保持工作会议召开以来,先后开发治理的小流域有 10 000 多条,总面积达 5 × 10<sup>5</sup> km<sup>2</sup>。南方省市如浙江丽水、湖州地区对流域进行立体开发,取得了经济社会环境的综合效益。

大连地区多为中小型流域,独立的地表流域和完整的水文地质单元,为进行流域水资源的开发利用提供了自然条件。以小流域综合开发为指导思想,针对不同流域独特的水文地质特点,结合地表状况,因地制宜地开发利用水资源,达到提高整个

小流域水资源利用率的目的。由于调蓄能力总是有限的,不能仅从水均衡角度加以强制,故可统一用公式表示

$$Q = \max[(Q_{\text{表储}} + Q_{\text{地储}}) - (R_{\text{表损}} + R_{\text{地损}}) - E] \quad (1)$$

式中:Q 为可利用的水资源量;Q<sub>表储</sub>,Q<sub>地储</sub> 分别指地表和地下水资源储存量;R<sub>表损</sub>,R<sub>地损</sub> 分别指地表和地下径流损失量;E 为流域蒸发蒸腾损失量。

从式(1)可以看出,扩大储水量、减少损失量为提高可利用水资源量的 2 个方面,因此流域水资源开发应最大限度的提高地表和地下储水能力,以减少地表和地下的径流损失,同时采取措施降低蒸发蒸腾损失。

由于大连地区地表蓄水空间的开发利用程度已经很高,因此,应以加大开发地下储水空间为主,兼顾地下与地表的联合开发。在开发过程中,要考虑以下因素:

(1)流域水文地质的滨海环境,不能使地下水位持续下降,从而导致海水入侵、水源地破坏等环境水文地质问题。

(2)水量分配,应合理规划流域上下游、左右岸、地方和城区的水资源分配。

(3)科学管理,保持流域水资源和生态环境的可持续发展。

### 2.2 提高含水系统调蓄能力的地下水库技术

地下水库技术就是利用含水层空间,作地下水储存的库容,采取一定的工程措施,将自然排泄入海的洪水、河水和水库弃水,引渗到地下储存起来,然后进行调节扩大开采利用地下水<sup>[8]</sup>。由于地下水库具有建设成本较低、不占地、蒸发损耗小、环境效益好、安全且无防洪压力等优点,目前世界各国都比较热衷于运用地下水库来扩大水资源调蓄空间和改善生态环境。

式(1)中的 Q 与 R 互为消长关系,鉴于大连地区各中小流域的滨海水文地质特征,增大 Q<sub>地储</sub>、减小 R<sub>地损</sub> 和 E 项正好符合地下水库的优点。因此,建设地下水库为各流域兴利除弊的最佳途径之一,具体表现在:

(1)可直接提高流域水资源利用率。采用工程措施对地下水进行强采强补,提高地下水的循环速度,扩大调蓄空间,截取排泄入海的地表和地下径流,对有条件的流域,可进行地表水和地下水联合调度,最大程度的开发利用流域水资源的调蓄空

间,增大  $Q_{地储}$  减小  $R_{地损}$ , 提高水资源利用率。

(2)防治海水入侵,间接提高水资源利用率。目前,海水入侵在各水源地和流域入海口已很严重且有进一步加大的趋势,运用地下水库技术,借助地下帷幕切断淡咸水的水力联系,一方面可以拦蓄上游地下水加以开发利用,另一方面又可以阻止海水入侵改善区域水文地质环境,逐步恢复原有水源地,从而提高区域水资源利用率。

(3)减小无效损失,提高水资源利用率。通过对地下水库进行适当管理,其蓄水有效利用率可达 100%,而一般地表水库的利用率仅 50%左右,可见地下水库能大大减少水资源的无效损失量,提高蓄水利用率。

根据前述含水层系统特征,大连地区具有调蓄潜力的含水系统有孔隙含水系统和岩溶含水系统。其含水介质的渗透性能都较好,接受补给和汇流条件优越,具有巨大的人工调蓄潜力。

比较孔隙水和岩溶水的单井涌水量及含水层厚度,易得岩溶水系统更具有开发价值,但技术难度大;河谷孔隙潜水也具有较大的开发潜力,尽管含水层厚度较薄,但分布面积广、汇水条件好却较岩溶含水系统优越,在流域下游河谷入海口附近建设地下水坝——拦河坝,可以起到雍水即阻水作用,于丰水期增加地下水的回渗量以备枯水期利用。

基岩裂隙水系统渗透性较差,地处低山或高丘,难以运用地下水库技术进行开发,可采用坡面径流积蓄模式,即修容集蓄雨水径流以供农灌使用,发展高效农业,缓解其他水源的供水压力。至于规模性开发利用则还有待于进一步研究。

### 3 结语

(1)大连滨海水文地质具有相对完整的特点,可采用以增大地下水利用为主,以地表水与地下水联合开发为辅的流域水资源开发模式进行开发。

(2)根据大连滨海含水系统特征、动态特征及环境水文地质条件,采用地下水库技术进行开源,既可以提高水资源利用率,又能防止海水入侵污染含水层。

(3)比较各类型含水系统,点状分布的岩溶水文地质条件最有利用价值,河谷砂砾石堆积也具有较大开发潜力,基岩裂隙水的开发利用难度较大,但对发展高效农业大有裨益。

#### [参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 王茂军, 张学霞, 盖美, 等. 21 世纪初大连市水资源供需保障与解决途径研究[J]. 地域研究与发展, 2001, 20(1): 65~69.
- [3] 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, 27(4): 37~39.
- [4] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省水文地质图集[M]. 天津: 海洋出版社, 1987.
- [5] 李晚良, 王春耕, 孙熙芝, 等. 大连泉水—南关岭岩溶地下水可行性勘察报告[R]. 大连: 辽宁水文地质工程地质勘察院, 1993.
- [6] 陈梦熊, 马凤山. 中国地下水资源与环境[M]. 北京: 地震出版社, 2002.
- [7] 杨延生. 小流域开发的意义及几个技术问题的探讨[J]. 湖南农业科学, 1997, (2): 42~44.
- [8] 林学钰, 廖资生. 地下水管理[M]. 北京: 地质出版社, 1995.

## Exploitation pattern of groundwater in Dalian Area

CHI Bao-ming, YI Shu-ping, LI Zhi-jun

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

**Abstract:** In order to approach a way of advancing the water resources use rate in Dalian Area, this paper analyzes and summarizes the characteristics of the coast hydrogeology including independent watershed, developing value, flow system and the vulnerability of environment hydrogeology. And based on these characteristics, the paper brings forward a water resources' utilization mode of watershed exploitation direction and groundwater reservoir technology, and furthers the conclusion that karst and valley filling systems are more valuable and easier than bedrock fissure system as far as groundwater development is concerned.

**Key words:** characteristics of coast hydrogeology; watershed exploitation; groundwater reservoir technology; Dalian Area

[英文审定: 苏生瑞]