



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.03.012

李永国, 贾小龙, 郭生秀, 等. 水源地扩大开采对格尔木河绿洲带的影响预测[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(3): 67-72. LI Yong guo, JIA Xiao long, GUO Sheng xiu, et al. Impact prediction on oasis of Geermu River with expanding the exploitation of water source[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(3): 67-72. (in Chinese)

# 水源地扩大开采对格尔木河绿洲带的影响预测

李永国<sup>1,2</sup>, 贾小龙<sup>1,2</sup>, 郭生秀<sup>1,2</sup>, 郭宏业<sup>1,2</sup>, 郭守鋈<sup>1,2</sup>, 吴艳军<sup>1,2</sup>

( 青海省水文地质工程地质环境地质调查院, 西宁 810008;  
青海省水文地质及地热地质重点实验室, 西宁 810008)

**摘要:** 格尔木地区地处内陆极干旱区, 水资源分布不均衡。区内生态系统与地下水水位密切相关。随着地下水开采的加剧, 区域地下水位下降, 绿洲带泄出量减少, 将可能造成绿洲带植被退化。文章通过综合分析格尔木河冲洪积扇水文地质条件, 应用 Visual Modflow 软件, 建立了水文地质条件概念模型及数学模型, 分别预测了地下水现状开采和扩大开采 10 年后, 丰、平、枯水期地下水水位的升、降情况及其对下游绿洲带的影响。结果表明: 扩大开采量开采 10 年后, 在丰水期, 不会影响绿洲带的物种, 土壤含盐量适宜时苔草分布范围可能会扩大; 在平水期, 绿洲带的分布和物种基本上维持现状; 在枯水期, 对苔草的生长有负面影响, 其生长范围和覆盖度都会变小。

**关键词:** 格尔木; 水源地; 地下水; 扩大开采; 数值模拟; 绿洲带影响; 预测

**中图分类号:**      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-1683(2016)03-0067-06

## Impact prediction on oasis of Geermu River with expanding the exploitation of water source

LI Yong guo<sup>1,2</sup>, JIA Xiao long<sup>1,2</sup>, GUO Sheng xiu<sup>1,2</sup>, GUO Hong ye<sup>1,2</sup>, GUO Shou yun<sup>1,2</sup>, WU Yarr jun<sup>1,2</sup>

( *Hydrogeology and Engineering Geology Environmental Geology Prospecting Institute of Qinghai Province, Xining 810008, China; Hydrogeology and Geothermal Geology Key Laboratory of Qinghai Province, Xining 810008, China*)

**Abstract:** The water source of Geermu which was in inland arid region was imbalance. With the gradual enlargement of the scale of Geermu water source mining, regional underground water level was decreased, and the overflow downstream was reduce, leading to vegetation degradation of oasis. Geermu River's alluvial and flood fan hydrogeologic conditions were analyzed in this article. Visual Modflow was used to build a model on groundwater, aiming at impact prediction on oasis band downstream with decreasing of regional underground water level after the expansion of the gradual enlargement of the scale of Qingxia water source upstream in decades. The results showed that the oasis species were not affected by expanding mining, and the distribution of sedge would extend while soil salt content was suitable in wet season. The above results were standstill in normal water period and contrary in dry season.

**Key words:** Geermu; water source; groundwater; expand the exploitation; numerical simulation; impact on oasis; prediction

格尔木河冲洪积扇上, 已有的四个水源地位于在洪积扇的上、中游, 水源地的地下水开采量为 23 38 万 m<sup>3</sup>/d, 可开采量为 70 万 m<sup>3</sup>/d。在下游的

细土平原区, 约 30 km 宽的绿洲带为该地区气候调节、生物多样性保护、水土保持、荒漠化防治上起着举足轻重的作用, 也是该地区经济可持续发展的重

收稿日期: 2015-12-17      修回日期: 2016-03-02      网络出版时间: 2016-05-05

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160505.1336.028.html>

作者简介: 李永国(1967-), 男, 青海乐都人, 高级工程师, 主要从事水工环地质专业调查及研究工作。E-mail: 876333320@qq.com

要保证<sup>[13]</sup>。2009 年以前, 格尔木河冲洪积扇四个水源地地下水开采没有导致绿洲带变化<sup>[4]</sup>; 2009 年, 依据青海盐湖集团的用水需求, 在原有青钾水源地地下水开采量 5.57 万 m<sup>3</sup>/d 基础上增加至 18.7 万 m<sup>3</sup>/d。随着开采量的增大, 降落漏斗的扩展, 将造成区域地下水位的下降, 势必对下游绿洲带造成影响<sup>[5-8]</sup>, 以往的水文地质工作中, 开采地下水对洪积扇下游的绿洲带造成的影响没有具体的分析和预测, 因而, 本文利用地下水数学模型和 2009 年底地下水开采型抽水试验和动态观测数据<sup>[9]</sup>, 针对格尔木水源地地下水的开发利用对下游绿洲带产生的影响作初步的预测<sup>[10-12]</sup>。

### 1 水文地质条件及概念模型

格尔木洪积扇是昆仑山前平原发育的典型洪积扇, 自洪积扇上游至扇前缘绿洲带长约 30 km, 扇缘宽约 45 km<sup>[13]</sup>。洪积扇自上而下, 地层由粗颗粒的砂砾卵石逐步变化为前缘绿洲带部位的细颗粒亚砂土、黏土及粉砂。冲洪积扇的上、中部为单一巨厚的潜水含水层系统, 已建水源地均位于该地带, 中游以下含水层由潜水逐渐分化为表层潜水和下部多层承压水。勘探成果表明, 洪积扇中后缘水源地地段, 地下 135 m 为 Q<sub>2</sub><sup>2</sup> 和 Q<sub>2</sub><sup>1</sup> 的地质界线, 存在弱透水层, 厚度 1.5~5.0 m。将本次数值模型预测中将单一潜水含水层下限定在 135 m, 为了便于模型计算, 将单一的潜水含水层概化为潜水、弱透水层和承压水三层, 虚拟厚度为 1.5 m 的承压含水层和弱透水层, 水文地质参数采用该区潜水水文地质参数, 不会影响计算结果。依据上述条件, 该区内地下水水流可以概化为非均质各向同性非稳定三维孔隙水<sup>[10]</sup>。

模拟区为一个相对完整的水文地质单元, 面积 522 km<sup>2</sup>。模拟区的南部为地下水渗流区补给边界, 位于格尔木河上游的水文站闸门一带; 北部为地下水流出边界, 位于细土平原区。洪积扇两侧含水层朝东西延伸, 考虑到拟建水源地建成后开采降落漏斗的影响范围, 选择两条流线作为零通量边界。经过多年地下水长观资料分析, 洪积扇东西两侧零通量边界较为稳定。

计算区补给源项为格尔木河和引水渠渗漏、基岩裂隙水侧向径流和洪积扇沟口河谷潜流; 排泄项为泉集河泄出、人工开采和蒸发, 概化水文地质概念模型见图 1。

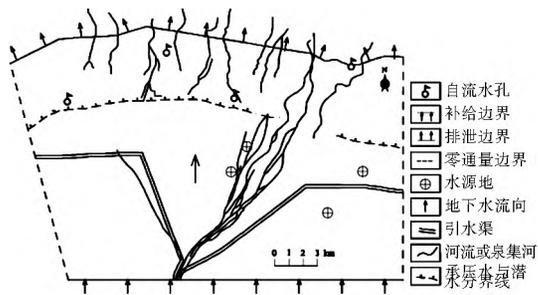


图 1 水文地质概念模型

Fig. 1 The hydrogeological conceptual model

## 2 数学模型

### 2.1 水文地质概念模型

表征上述水文地质概念模型的数学模型如下:

$$\begin{cases}
 S \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \varepsilon & x, y, z \in \Omega, t \geq 0 \\
 h(x, y, z, t) |_{t=0} = h_0 & x, y, z \in \Omega, t \geq 0 \\
 \mu \frac{\partial h}{\partial t} = k_x \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + k_y \left( \frac{\partial h}{\partial y} \right)^2 + k_z \left( \frac{\partial h}{\partial z} \right)^2 - \frac{\partial h}{\partial z} (k_z + p) + p H |_{\text{潜水面} = z} & x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0 \\
 K_n \frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{\Gamma_1} = q(x, y, t) & x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0 \\
 \frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{\Gamma_2} = 0 & x, y, z \in \Gamma_2, t \geq 0
 \end{cases}$$

式中:  $\Omega$  为渗流区域;  $h$  为含水层的水位标高 (m);  $K_x, K_y, K_z$  分别为  $x, y, z$  方向的渗透系数 (m/d);  $K_n$  为边界法向方向的渗透系数 (m/d);  $S$  为自由面以下含水层储水系数 (1/m);  $\mu$  为重力给水度;  $\varepsilon$  为源汇项 (1/d);  $p$  为潜水面的蒸发和灌溉入渗等 (1/d);  $h_0$  为含水体的初始水位分布 (m);  $\Gamma_0$  为渗流区域的上边界, 即地下水的自由表面;  $\Gamma_1$  为渗流区域的南部和北部边界, 定义为二类边界的流量 (m<sup>3</sup>/d), 流入为正, 流出为负;  $\Gamma_2$  为渗流区域的东部和西部隔水边界;  $\vec{n}$  为边界面的法线方向。

本次数学模型以有限差分法求解。空间上将计算域剖分为 100 × 100 m 的正方形网格, 每层共剖分 52 192 个, 三层共 156 576 个单元格。时间上以月为应力期, 计算间隔为 24 h, 时间步长为 12。数值模型的建立利用 Visual Modflow 4.2 的 Modflow 2000 模块, 最终利用该模块中的 WHS 解算器求解。

### 2.2 源汇项和均衡分析

均衡分析: 模拟区 2009 年 5 月 - 2010 年 4 月地下水在一个水文年各项补给量和排泄量总均衡如表 1。

研究区 2009 年- 2010 年期间地下水的补给总计 146 64 万 m<sup>3</sup>/d, 主要包括格尔木河水入渗、南部边界(水库渗漏转化的河谷潜流和基岩地下水径流)和引水渠入渗, 大气降水对平原区地下水的补给量可以忽略不计; 地下水排泄总计 144. 13 万 m<sup>3</sup>/d, 主要包括地下水蒸发、侧向地下水径流流出、泉集河排泄和人工开采。

表 1 2009 年 5 月- 2010 年 4 月地下水总均衡表 / (万 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup>)

Tab. 1 Total balance sheet of groundwater from May 2009 to April 2010				
格尔木河入渗 132.01				
补给量	潜水	灌溉及渠入渗	14.58	潜水合计: 146.64
		侧向补给	0.05	
蒸发 19.56				
排泄量	潜水	边界流出	15.01	潜水合计: 84.87
		泉集河排泄	50.3	
承压水	承压水	北边界流出	35.88	承压水合计: 59.26
		开采量	23.38	

### 2.3 模型识别和验证

#### 2.3.1 模型初始条件及计算时间段

2009 年 5 月至 2010 年 4 月 31 日进行对拟建水源地研究区周边对地下水水位进行了连续观测。模型识别选择 2009 年 4 月底统测的地下水流场作为初始流场。模型验证以 2009 年 9 月底统测的地下水流场作为初始流场。

#### 2.3.2 初始水文地质参数

本次初始水文地质参数的分区及其取值主要依据以下四点: 一为本次大型抽水试验资料; 二为钻孔揭露的地层岩性; 三为冲洪积扇沉积规律; 四为区内前人所做模型中所验证的水文地质参数。

#### 2.3.3 模型的识别与验证

模型识别期为 2009 年 4 月- 2009 年 9 月, 初始流场采用 2009 年 4 月底统测的地下水流场, 南北边界以计算的流量作为定流量边界, 模型赋值采用 Visual Modflow 4.2 中的注水井方式。

模型识别过程, 立足计算区的水文地质条件, 以调整各项水文地质参数为主。模型识别采用 12 个观测孔, 5 个时段的地下水位观测值, 一个时段的流场作为拟合对比依据。

模型的验证, 用识别后的水文地质参数, 模拟 2009 年 10 月- 2010 年 7 月的地下水变化来验证水文地质参数的正确性。

#### 2.3.4 模型可靠性分析

模型识别采用 12 个观测孔、5 个时段的地下水位观测值、一个时段的流场作为拟合对比依据, 拟合

了潜水和承压水流场图; 模型验证应采用了 12 个观测孔、10 个时段的水位观测值、一个时段的流场作为计算对比依据。

通过计算对比, 可以得出如下结论。

(1) 格尔木冲洪积扇地下水的数值模型符合区内水文地质条件, 流场的宏观规律和地下水动态拟合较好, 反映出模型与模拟区具有很高的相似性, 保证了模型预测的可靠性。

(2) 模型识别期时, 结合了地下水流场、地下水动态和水均衡, 减少了调参时的任意性, 最大可能地保证了调参结果的唯一性。

(3) 模型求参结果与抽水试验所确定的参数基本接近。

### 3 植被的分布规律

格尔木河冲洪积扇从沟口到洪积扇中缘为戈壁带, 无植被。从洪积扇中缘至察尔汗盐湖, 植被类型一般为旱生、盐生的荒漠植被类型, 受土壤含水率和含盐量的控制, 植被物种自上游至盐湖边呈带状分布, 依次为麻黄带、乔木带(农作物带)、苔草带、矮化芦苇带、罗布麻+ 矮化芦苇混生带和无植被带等 6 个植被分带<sup>[11-12]</sup>(图 2、图 3)。为表述方便, 把植被盖度较高的乔木带(农作物带)、苔草带、矮化芦苇带、罗布麻+ 矮化芦苇混生带统称为绿洲带。

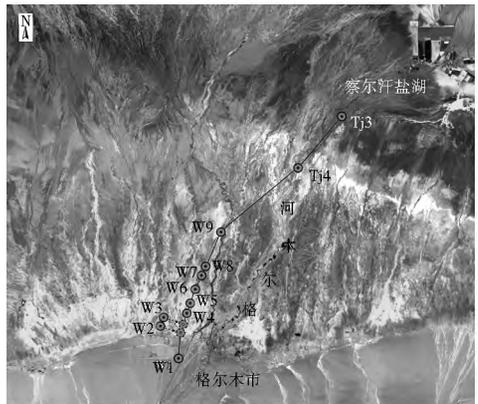


图 2 格尔木—察尔汗盐湖生态调查剖面

Fig. 2 The section of ecology investigation from Geermu to Qarhan Salt Lake

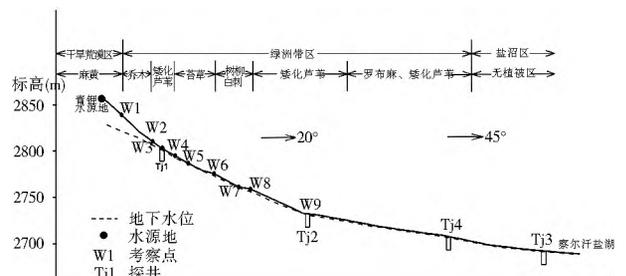


图 3 格尔木冲洪积扇植被分带

Fig. 3 Vegetation band of Golmud alluvial proluvial fan

## 4 地下水位和植被的关系

研究区植被分布受控于地下水水位、包气带含盐量、包气带含水率<sup>[14-16]</sup>。

在洪积扇后缘,植被的主要控制因素为水分,而在洪积扇前缘,土壤含水率较高,植被种类的主要控制因素为盐份。从图 2、图 3 可知,在格尔木河洪积扇区,除上游麻黄带外,绿洲带植被与地下水关系密切,植被类型和分布受地下水埋深控制<sup>[17-18]</sup>。苔草带一般分布在地下水溢出带附近,适生的地下水埋深小于 1 m;矮化芦苇是区内分布最广的植被物种,生态水位埋深为 1~4 m;在矮化芦苇带和罗布麻、矮化芦苇带中分布的柽柳和白刺,生长在地下水泄出带、古河道和河漫滩地带,可大片分布,该分布规律表明其生长与地下水关系密切,适生的地下水埋深为 2~4 m。

## 5 地下水开发对绿洲带影响预测

如前所述,绿洲带的不同植被类型各有不同的适生地下水埋深,因此可以通过预测地下水埋深的变化来评价地下水对植被的影响:即在青钾水源地 5.57 万 m<sup>3</sup>/d 的基础上增加开采量至 18.7 万 m<sup>3</sup>/d,评价连续开采 10 年时的丰、平、枯水年水位变化对植被的影响程度。

由于区内植被仅与潜水位埋深有直接关系,承压水对洪积扇下游的水位没有太大的影响<sup>[19]</sup>,因此主要用潜水水位埋深进行预测评价。

### 5.1 潜水初始水位埋深

图 4 为预测模型的潜水初始水位埋深,即 2009 年 7 月底的地下水埋深。可以看出,在模型北部的绿洲带预测期初始的潜水埋深在 1~4 m 之间。

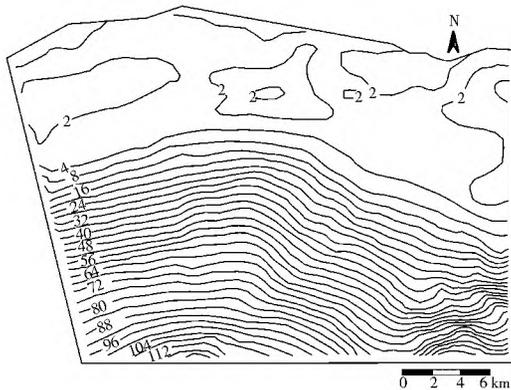


图 4 预测模型潜水初始埋深

Fig. 4 Prediction model of the initial burial depth

### 5.2 丰水年预测

现状开采下的丰水年,绿洲带南部潜水位普遍升高了 3~6 m 左右,在绿洲带北部上升了 1~2 m

见图 5 和图 6;而在扩大规模开采条件下,开采区没有形成明显的降落漏斗,绿洲带南部潜水位普遍升高了 2~4 m,在绿洲带北部上升了 1~2 m。由于在丰水年扩大规模开采和现状开采潜水位都会上升,扩大规模开采只是比现状开采时水位上升了 2 m 左右。因此绿洲带土壤含水率不会因为地下水开采而减少,地下水水位也都保持在该区主要植被的适生水位范围。

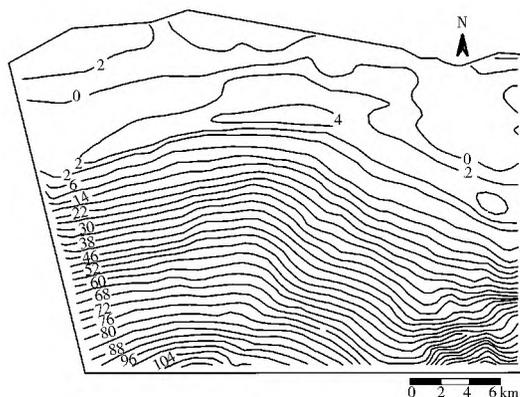


图 5 丰水年现状开采条件下十年后的潜水埋深  
Fig. 5 Diving depth under the current mining condition of wet years after ten years

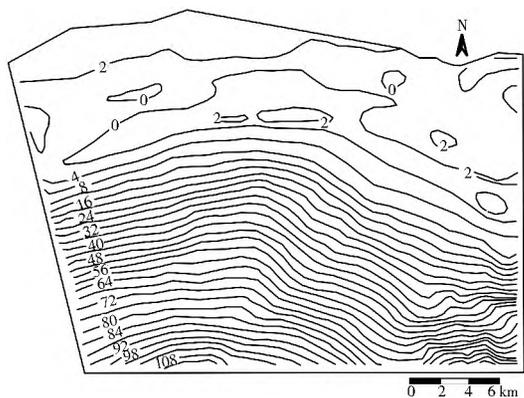


图 6 丰水年扩大规模开采条件下十年后的潜水埋深  
Fig. 6 Diving depth under the expansion mining condition of wet years after ten years

因此,单从地下水水位分析,丰水期扩大开采规模开采 10 年后,绿洲带地下水位没有下降,相反有所上升,土壤含水率没有减少,大部分地区由于水位埋深小于 1 m,含盐量适宜时苔草分布范围可能会扩大,植被盖度将会增加。

### 5.3 平水年预测

在平水年扩大规模开采条件下,开采区没有形成明显的降落漏斗,绿洲带的地下水埋深基本保持在初始埋深的水平,仅在绿洲带东南部水位埋深增加了 2 m 左右,与未扩大规模开采相比,水位埋深在绿洲带北部减少了 2 m 左右,而在南部二者水位埋深基本相同,土壤含水率将不会有太大的变化。

因此在平水期增加开采量后开采 10 年, 绿洲带的分布和物种基本上会维持现状。

#### 5.4 枯水年预测

枯水期现状开采条件下, 南部的潜水埋深达到了 3~4 m, 比初始埋深增大了 1~2 m。枯水年扩大规模连续开采 10 年后, 水位整体有下降, 开采区没有形成明显的降落漏斗, 绿洲带南部潜水埋深变化为 4~6 m, 比初始埋深增加了 2~4 m, 而绿洲带北部基本与初始埋深相同, 与未扩大规模开采相比, 水位埋深在绿洲带北部减少了约 2 m, 而在南部二者水位埋深基本相同, 东部水位虽有所变化, 但降深在 1~2 m 以内见图 7 和图 8。当然, 枯水期增加开采量开采 10 年后, 造成绿洲带南部潜水水位埋深增大, 不只是扩大规模开采所造成, 也有枯水期上游补给量的减少等原因。

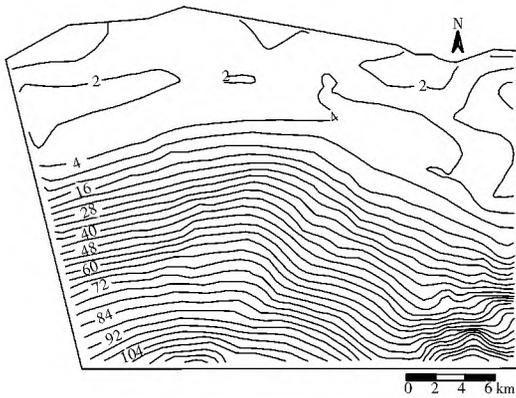


图 7 枯水年现状开采条件下十年后的潜水埋深

Fig. 7 Diving depth under the current mining condition of dry years after ten years

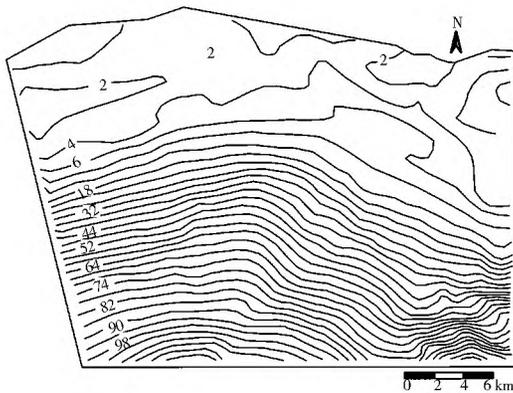


图 8 枯水年扩大规模开采条件下十年后的潜水埋深

Fig. 8 Diving depth under the expansion mining condition of dry years after ten years

因此在枯水期增加开采量后开采 10 年, 会影响绿洲带南部的植被物种乔木和苔草, 如果水位埋深增大到 4~6 m, 土壤含水率将会减少, 对苔草的生长影响增大, 其生长范围和覆盖度都会减小。

## 6 结论

(1) 格尔木冲洪积扇前缘绿洲带分布区, 是格尔木市人口聚集区。该区域植物自上而下半环带状分布。受地下水影响的南部苔草带, 适生地下水位为小于 1m, 北部矮化芦苇、罗布麻带适生地下水位为 1~4 m, 再向下游就是盐湖盐沼区, 为无植被区, 水位埋深 0.5 m 以下。

(2) 通过对地下水现状开采条件下和扩大开采十年后的地下水数学模型数值模拟, 丰水年地下水位南部至北部上升 1~4 m, 不会影响绿洲带的物种, 土壤含盐量适宜时苔草分布范围可能会扩大; 平水年地下水位在绿洲带南部变化不明显, 北部水位下降约 2 m, 土壤含水率不会有大的变化, 对绿洲带的影响不显著, 绿洲带的分布和物种基本上会维持现状; 枯水年绿洲带南部苔草和乔木带水位埋深增大 1~2 m, 达到 4~6 m, 水位下降使土壤含水率有一定的变小, 对苔草的生长有不利影响, 将会造成绿洲带植被盖度降低、分布范围变小, 进而使较大范围分布的苔草带退化而加剧荒漠化, 但对绿洲带北部的矮化芦苇、罗布麻带基本没有影响。

(3) 格尔木冲洪积扇的地下水开采量为 23.38 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 可开采量为 70 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 地下水开采量仅为可开采量的 1/3, 地下水的开发利用有保障, 但水源地开采区应设立一级保护区, 确保地下水不受污染。

该文章的写作得到了长安大学教授程东会、青海师范大学鄂崇毅博士的指导, 在此表示感谢。

#### 参考文献(References):

- [1] 李健, 王辉, 魏丽琼. 格尔木河流域平原区地下水同位素及水化学特征[J]. 西北地质, 2007, 40(4): 94-100. (LI Jian, WANG Hui, WEI Liqiong. Groundwater isotope and water chemical characters in Golmud River Basin[J]. Northwestern Geology, 2007, 40(4): 94-100. (in Chinese))
- [2] 李健, 王辉, 黄勇, 等. 柴达木盆地格尔木河流域生态需水量初步估算探讨[J]. 水文地质工程地质, 2008, 219(35): 71-75. (LI Jian, WANG Hui, HUANG Yong, et al. Preliminary estimation discussion on ecological consumption use of water of Golmud River in Qaidam Basin[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2008, 219(35): 71-75. (in Chinese))
- [3] 金家琼, 李健, 黄勇, 等. 柴达木盆地鱼卡河流域水资源开发利用与生态保护[J]. 水文地质工程地质, 2014, 47(2): 223-230. (Jin Jiaqiong, LI Jian, HUANG Yong, et al. The exploitation and ecological protection of water resources around Yuka River Basin of Qaidam[J]. Northwestern Geology, 2014, 47(2): 223-230. (in Chinese))
- [4] 寇文杰. 格尔木河流域地表水与地下水相互转换关系及其合理

- 开发利用研究, [M]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006. (KOU Weirjie. The conversion between surface water and ground water and the rational exploitation in Geermu basin [M]. Beijing: China University of Geosciences, 2006. (in Chinese))
- [5] B A 柯夫达. 盐渍土的发生与演变 [M]. 北京: 科学出版社, 1957. (B A Kefuda. The Occurrence and Evolution of Saline Soil [M]. Beijing: Science Press, 1957. (in Chinese))
- [6] 郭守鋈, 李威, 张树恒, 等. 青海盐湖集团供水二期水源地数值模拟 [J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(4): 116-120. (GUO Shouryun, LI Wei, ZHANG Shuheng, et al. Numerical simulation of the second period water source of water supply for Salt Lake Group Qinghai Province [J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(4): 116-120. (in Chinese))
- [7] 李瑞航, 张永波, 刘天霸, 等. 三维水文地质建模技术研究综述 [J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(6): 98-101. (LI Ruifang, ZHANG Yongbao, LIU Tianba, et al. An overview on the study three dimensional hydrogeology modeling [J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 9(6): 98-101. (in Chinese))
- [8] 赵文智, 常学礼, 李启森, 等. 荒漠绿洲区芦苇种群构件生物量与地下水埋深关系 [J]. 生态学报, 2003, 23(6): 1138-1146. (ZHAO Wen zhi, CHANG Xue li, LI Qi sen, et al. Relationship between structural component biomass of reed population and ground water depth in desert oasis [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(6): 1138-1146. (in Chinese))
- [9] 格尔木河中下游冲洪积扇地下水数学模型及环境地质研究报告 [R]. 1990. (Research Report on Alluvial proluvial Downstream Area of Golmud River [R]. 1990. (in Chinese))
- [10] 潘世兵, 王忠静, 田伟. 河西走廊地下水系统数值模拟中的几个问题探讨 [J]. 水文地质工程地质, 2002, 29(5): 59-61. (PAN Shi bing, WANG Zhongjing, TIAN Wei. Discussions on numerical modeling methods of groundwater system in Hexi Corridor [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2002, 29(5): 59-61. (in Chinese))
- [11] 张晓烨, 董增川. 地下水模拟模型与优化模型耦合技术研究进展及方法对比 [J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(2): 142-144. (ZHANG Xiaoye, DONG Zengchuan. Research progress and comparison of methods to couple groundwater simulation model and optimization model [J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(2): 142-144. (in Chinese))
- [12] 康卫东, 谢文, 杨涛, 等. 独山子地区水资源耦合模型与优化配置研究 [J]. 水文地质工程地质, 2011, 38(1): 22-28. (KANG Weidong, XIE wen, YANG Tao, et al. Research on the coupled model and optimization management for water resources in the Dushanzi area [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2011, 38(1): 22-28. (in Chinese))
- [13] 青海省格尔木市水源地供水水文地质勘探报告 [R]. 1999. (Hydrogeological Exploration Report on Water Sources of Golmud City, Qinghai Province, 1999. (in Chinese))
- [14] 潘世兵, 路京选, 张建立, 等. 黑河流域水资源开发与生态保护中的几个问题探讨 [J]. 干旱区研究, 2006, 23(2): 236-240. (PAN Shi bing, LU Jingxuan, ZHANG Jianli, et al. Discussion on water resources exploitation and ecological conservation in the Heihe River basin [J]. Arid zone Research, 2006, 23(2): 236-240. (in Chinese))
- [15] 刘燕华. 柴达木盆地水资源合理开发利用与生态环境保护 [M]. 北京: 科学出版社, 2000. (LIU Yanhua. Exploitation of Water Resources Reasonable and Protection of Environment in Qaidam Basin [M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese))
- [16] 祁正鸿. 格尔木地区环境变化对植物影响分析 [J]. 现代农业科学, 2008, 15(8): 50-51. (QI Zheng hong. Analysis on the influence of environmental change on plants in Geermu Region [J]. Modern Agricultural Sciences, 2008, 15(8): 50-51. (in Chinese))
- [17] 潘晓玲, 张宏达. 柴达木盆地植物区系分析及其形成的探讨 [J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 1995, 12(1): 81-86. (PAN Xiaoling, ZHANG Hongda. An analysis on the flora and the research on forming of that in Tsaidam Basin [J]. Journal of Xinjiang University: Science & Engineering, 1995, 12(1): 81-86. (in Chinese))
- [18] 刘圣, 娄华君, 贾绍凤, 等. 马海绿洲区植被与地下水埋深的定量关系 [J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(6): 36-40. (LIU Sheng, LOU Huajun, JIA Shaofeng, et al. Quantitative relationship between vegetation and ground water depth in Mahai Oasis area [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(6): 36-40. (in Chinese))
- [19] 王大纯. 水文地质学基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1986. (WANG Dachun. General Hydrogeology [M]. Beijing: Science Press, 1986. (in Chinese))
- [20] 柴达木盆地地下水资源及其环境问题调查评价报告 [R]. 2008. (Investigation and Evaluation Report of Ground Water Resource and Environment Issues in Qaidam basin [R]. 2008. (in Chinese))