

柴达木盆地格尔木河流域生态需水量初步估算探讨

李 健, 王 辉, 黄 勇, 刘春娥, 郭宏业, 郭新华

(青海省地质调查院, 西宁 810012)

摘要: 格尔木河流域是柴达木盆地工农业较发达地区之一。近年来, 随着流域水资源开发利用程度不断加大, 用水结构欠合理, 生态环境趋于恶化。本文从流域主要植物生长状态分析了地下水位埋深对植物生长的影响, 确定了不同植物对地下水位埋深、地层岩性和不同盖度下的植物蒸发蒸腾强度。从研究流域生态需水量出发, 分别对河道内、河道外天然植被和东达布逊湖生态需水量进行了初步估算, 分析了水资源开发利用对生态环境的影响, 从而为今后研究流域水资源开发利用和生态环境保护提供理论参考。

关键词: 格尔木流域; 植物; 地下水位埋深; 生态需水量

中图分类号: P641. 2; X143

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)01-0071-06

格尔木河属柴达木盆地第二大内陆河流, 流域水资源研究程度相对较高, 但对流域中下游绿洲带和尾间湖(东达布逊湖)的生态需水研究甚少。本文根据流域生态环境现状, 从保护生态环境的角度考虑, 为生态环境得以恢复并稳定向良性方向发展, 初步对流域生态需水量进行估算, 为今后水资源开发利用和生态环境保护提供理论参考。

1 流域概况

格尔木河源于昆仑山北坡, 流域面积 $18\ 648\text{km}^2$, 年均流量 $24.8\text{m}^3/\text{s}$ (格尔木三站), 河流出口流经格尔木市最终注入东达布逊湖。格尔木河水以地下水补给为主, 补给量占年径流量的 65.15%, 余为冰雪融水和雨水, 分别占年径流量的 22.76% 和 12.09%^[1]。格尔木河水出山后在山前戈壁带大量入渗补给地下水, 至细土带地下水又大量溢出形成多条泉集河。

流域终端的东达布逊湖是格尔木河地表、地下水排汇中心。因地表水和地下水在径流过程中溶滤了大量盐分, 加之湖区蒸发作用强烈, 湖水主要为卤水, 矿化度达 319.3g/L 。目前全国最大的钾肥生产基地座落于此, 年产钾肥 $1 \times 10^6\text{t}$ 。由于中游水资源开发利用和钾肥生产抽取湖水, 使湖面积不断缩减, 目前仅为

154.4km^2 。

格尔木地区具有典型的高原大陆性气候特征, 干旱, 多风少雨, 蒸发强烈。年均降水量 42.7mm , 年均蒸发量 $2\ 645.2\text{mm}$, 年均气温 4.7°C , 相对湿度 32%。

2 格尔木河流域水资源开发利用分析

格尔木河平原水资源主要来自山区河水补给, 地表水资源量为 $7.99 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$, 地下水资源量为 $6.442 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$, 扣除二者重复量 $5.99 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$, 水资源总量为 $8.442 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 。据资料统计, 格尔木地区的水资源开发利用中农业灌溉与城市绿化以地表水为主, 年用水量为 $1.766 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$, 东达布逊湖开采卤水 $0.758 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$, 共 $2.524 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$, 占地表水资源量的 31.6%; 工业和城乡居民生活用水开采地下水, 分别为 $0.263 \times 10^8\text{m}^3$ 和 $0.135 \times 10^8\text{m}^3$, 占地下水资源量的 6.18%。目前流域地表水、地下水开采总量为 $2.92 \times 10^8\text{m}^3$, 占水资源总量的 34.6%。从流域用水总量分析, 水资源开发利用程度相对较低, 但由于流域用水结构欠合理, 水资源浪费严重, 流域生态环境在自然和人为影响下已处于恶化趋势, 生态环境表现得极为脆弱, 植被绝对需水量很大, 环境的支持能量有限^[2], 因此, 保持流域最基本的生态需水量是本文探讨的重点。

3 格尔木河流域生态环境现状

格尔木河上游为山区, 主要为高寒干草原、高寒荒漠和高寒草地, 其植物群落的生长发育主要依靠大气降水和地表水滋补, 基本不受地下水影响^[3]。山前戈壁带因地下水埋深大(一般 20~100m), 无植物生长, 到细土带后缘地下水位埋藏变浅(小于 10m), 植被主

收稿日期: 2007-02-23; 修订日期: 2007-05-22

基金项目: 中国地质调查局“柴达木盆地地下水资源及其环境问题调查评价”项目(200210400001)

作者简介: 李健(1963), 男, 工程师, 主要从事水文地质、水资源及环境地质问题研究。

E-mail: lj196381@163.com

要为稀疏的琵琶柴、蒙古沙拐枣、怪柳、白刺和梭梭等超旱生灌木和草本植物,盖度 5% 左右;至地下水溢出带,因地下水大量泄出,形成多条泉集河,此处土质厚,水质好,生长有怪柳、白刺、沙棘和相伴生的芦苇、芨芨草和苔草等,植物种类多样,生长茂密,覆盖度达 50% ~ 80%;冲湖积平原区,由于土壤含盐量增高,地下水质变差,植物以草本耐盐植物为主,如芦苇(矮)、罗布麻、盐角草和短穗怪柳等植物^[4],盖度大于 20%;湖积平原区为盐沼地,除沿河床两侧呈条带状有少量植物生长外,其余地带无植物生长。

格尔木河终端的东达布逊湖为盐湖,据遥感(ETM)解译资料对比,现东达布逊湖面积与五十年代末(334.7km²)比较缩减了 46.1%,目前湖面积仅 154.4km²,湖泊严重萎缩。原因是近几年青海钾肥厂大量抽取湖水晒制钾肥原料光卤石(KCl·MgCl₂·6H₂O)所致。

4 天然植被对地下水变化的响应

格尔木河平原区绿洲带植被主要为非地带性的旱生和超旱生植物,依靠地下水维持生命,因此,浅层地下水位的变化会对植物生长、发育产生直接影响。合理的地下生态水位与植被群落、种属、盖度等关系密

切,所以人们通常把能够维持天然植物正常生长、发育、繁殖的地下水位称为合理生态水位。据 2003~2004 年野外实地调查研究,格尔木河流域绿洲带纵向植被分布规律如下:地下水埋深 5m 的地段,主要以怪柳、白刺、沙棘和骆驼刺等灌木为主;地下水埋深 0~2m 地段,多形成片状沼泽,以苔草、芦苇、芨芨草、冰草等植物为主,伴生怪柳、白刺等灌木,植被生长茂盛、密度大,盖度达 50%~80%;至冲湖积平原区,因土壤含盐量增加,地下水质变差,植物群落、种属亦发生变化,主要为耐干旱和耐盐植物,如罗布麻、盐爪爪、角果碱蓬和矮红柳等,植被稀疏,盖度 10%~30%。由此根据格尔木河平原区不同植物群类分布、生长特征,并参考塔里木河下游和黑河流域植物生长的合理地下生态水位,确定格尔木河流域植物不同生长状态的潜水位埋深阈值范围(表 1)^[5]。

从表 1 可看出,主要植物生长良好的潜水位埋深下限一般不超过 1.5~3m,上限不小于 0.5~0.8m,生长较好且比较稳定的埋深下限不超过 5m,当潜水位埋深增大到 7~8m 时,植物群落的构成种属变少,只剩下怪柳、白刺、骆驼刺等对地下水位变化适应性大的植物,呈稀疏、枯萎分布,低矮草本植物普遍干枯死亡。

表 1 格尔木河流域主要植物不同生长状态的潜水位埋深阈值范围

Table 1 Groundwater depth scope of main plants under different growth conditions in Gel mud River Basin

生长状态 植物类型	生长良好		生长较好		生长不好		枯萎死亡
	适宜范围(m)	最宜范围(m)	适宜范围(m)	稳定范围(m)	分布范围(m)	稳定范围(m)	分布范围(m)
怪柳	0.5~5	1.5~3	1~7	1~5	2~9	>7	>10
白刺	0.5~5	1.5~3	1~6	1~4	2~8	>7	>10
骆驼刺	0.8~7	2~3.5	2~7.5	3~5	>8		
高杆芦苇	<2.2	0.5~2	<3				
矮杆芦苇	0~4	1~3.5	0.5~5		>5		
芨芨草	0.5~3	1~2	0.5~4	1~3	>3.5		
罗布麻	0.5~5	1.5~3	0.5~5	1~4	>6		
冰草	0.3~2	0.5~1.5	0.5~2	>3			

5 生态需水量的估算

格尔木河上游是径流形成区,地处高山和中高山区,海拔高且温度低,植被蒸发蒸腾量小,大部分降水在上游植被需水得到满足后形成出山口径流,即降水量总体上可满足生态需水要求,因此从水资源配置角度不必估算生态需水量。从山口(乃吉里电站)到东达布逊湖区全长近 90km,其中山口到格尔木市 30km 处为径流散失区,属山前戈壁带,地下水位埋藏大,无植

物生长;市区到东达布逊湖为绿洲分布区,同时也是流域生态需水量的估算区。由于格尔木河山前平原区降水稀少,既不能形成径流也没有生态意义,天然植被主要为中、旱生的非地带性植物,依靠地下水来维持生命^[6]。因此,根据植物耗水量估算生态需水的基本原理,可近似的用潜水蒸发量估算维持天然植被的生态需水量。因为当土壤处于稳定蒸发时,不仅地表水的蒸发强度保持稳定,土壤水分含量也不随时间变化,即潜水的蒸发强度、土壤水分通量和土壤蒸发量三者相

等^[6]。从流域生态需水的意义出发,本次主要估算河道内生态需水、河道外天然植被生态需水和最大限度保证东达布逊湖生态需水量,维持整个流域的生态平衡。

5.1 河道内生态需水量估算

河道生态需水量主要是维持水生生物的正常生长,以及满足部分的排盐、入渗补给和污染自净的要求^[7]。格尔木河从山口至农灌枢纽处为单河道渗漏,经灌渠引输后河水呈网状入渗补给地下水,径流至格尔木市流量减小,余下河水经格尔木西河最终注入东达布逊湖。另为地下水泄出形成的泉集河补给湖水,这些地表水是维持绿洲带植物生长和东达布逊湖水面积的主要水源。为保证河水不断流,最大限度保证河流量维持下游植物需水和河内生态景观的需求,本次根据格尔木河多年水文资料,以河流年均最小月径流量(13.91m³/s)估算河道内基本生态需水量^[7~8]。

$$W_0 = \frac{T}{n} \sum_{i=1}^n \min(Q_{ij}) \times 10^{-8}$$

式中: W_0 ——河流基本生态需水量(10⁸ m³);
 Q_{ij} ——第 i 年第 j 个月最小年均月径流量(m³/s);
 T ——单位换算系数,值为 31.536×10⁶s;
 n ——统计年数。

通过计算,格尔木河道内基本生态需水量为 4.39×10⁸ m³/a。

5.2 河道外天然植被生态需水量估算

河道外生态需水主要指除农业生产之外的植被需水,包括天然植被和人工植被。格尔木地区气候干旱,蒸发强烈,农作物和人工植被主要依靠灌溉才能生长,人工植被生态需水已归于农业用水,本次估算的主要是河道外天然植被所需的生态需水量。

因格尔木河水出山后大量入渗补给地下水,河道外天然植被主要依靠地下水维持,地下水则通过潜水蒸发和植物蒸腾的方式排泄与损耗,而影响潜水蒸发和植物蒸腾的主要因素是含水层及包气带岩性、地下水埋深、植物种类等,其中地下水位埋深是重要的因素之一。根据格尔木地区 1988 年 5 月~ 1989 年 11 月青海省柴达木综合地质大队建立的简易蒸发试验场结果得出潜水蒸发系数和地下水位埋深之间的关系(图 1)。

由图可知,强烈蒸发为地下水埋深小于 1.0m 地段,1.0m 以下潜水蒸发作用急剧减弱,当潜水埋深为 3m 时,潜水的年蒸发量仅 20mm 左右,据此,确定地区的极限蒸发埋深为 3.5m。一年蒸发最强烈的是 7、8

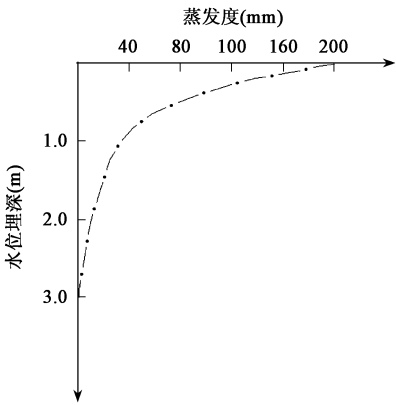


图 1 潜水蒸发与地下水埋深关系图

Fig. 1 Relationship between groundwater evaporation and groundwater depth

(亚砂土(Sand) 1988. 8)

月份,两月潜水蒸发量占年蒸发量的 34.4%。在潜水位埋深、植被相同的情况下,不同岩性也导致潜水蒸发极限埋深的差异,最不易蒸发的岩性为粗颗粒岩性,最易蒸发的岩性是亚砂土,亚砂土是细粉砂的 2.28 倍(图 2)。有植被覆盖下的蒸发量占的比重可达 41%~45%,有植被地段潜水蒸发蒸腾量是无植被地段的 1.76~2.18 倍^[1](年内平均),在植物生长期内相差倍数则更大(图 3)。

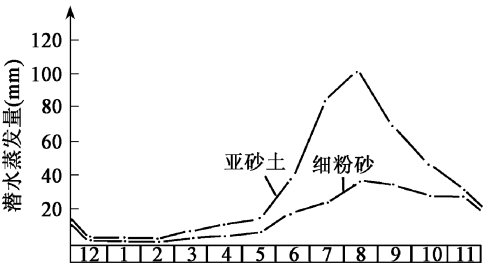


图 2 不同岩性蒸发曲线

Fig. 2 Evaporation curve of different lithology characters

1988. 12~ 1989. 11

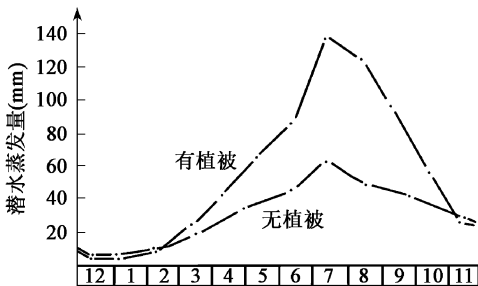


图 3 植被对潜水蒸发的影响

Fig. 3 Influence of vegetation to groundwater evaporation

1988. 12~ 1989. 11

根据上述地层岩性、地下水位埋深与潜水蒸发强度等关系,选择柯夫达-阿里维杨诺夫经验公式近似求得潜水蒸发量:

$$E_g = E_0(1 - \Delta / \Delta_0)^n$$

式中: E_g ——潜水蒸发量 (mm);

E_0 ——水面蒸发量 (mm), 换算为 E-601 水面蒸发系数取 0.64;

Δ ——地下水平均埋深 (m);

Δ_0 ——地下水极限蒸发深度 (m), 与岩性有关;

n ——无量纲指数, 本区近似取 2。

根据植被类型、不同盖度和地下水埋深等关系, 采

用潜水蒸发量、有植被地段蒸发蒸腾不同系数和分布面积, 求得河道外天然植被生态需水量。

$$E = E_g \cdot m \cdot F$$

式中: E ——天然植被生态需水量 (m^3);

m ——植被蒸发蒸腾系数(植被盖度大于 30% 以上取 2.18, 30% ~ 20% 取 1.97, 小于 10% 取 1.76);

F ——植被分布面积 (km^2)。

依据上述公式, 结合格尔木河流域平原区主要植物群落、不同盖度和地下水位埋深等关系, 求得河道外天然植被生态需水量为 $1.137 \times 10^8 m^3/a$ (表 2)^[9]。

表 2 格尔木河流域地下水埋深与植被分布面积蒸发量估算表

Table 2 The area evaporation estimate table of groundwater buried depth and vegetational distribution in Golmud River Basin

植被类型和生长状况	地下水埋深范围(m)	计算潜水蒸发的平均地下水埋深(m)	单位面积潜水蒸发量(m^3)	植被分布面积(km^2)	植被不同盖度系数	生态需水量($\times 10^8 m^3/a$)
灌木 灌丛, 盖度 > 30%	1~4	2.5	1388.18	27.86	2.18	0.084
稀疏灌丛, 盖度 > 10%	2.5~6	3	338.58	34.57	1.97	0.023
稀疏衰败灌丛, 盖度 < 10%	4~10	3.3	50.79	41.73	1.76	0.004
沼泽草地, 盖度 > 50%	< 1	1	8633.79	26.37	2.18	0.496
草甸草地, 盖度 > 30%	1~3	2	3114.94	68.46	2.18	0.465
草地 灌丛草地, 盖度 > 20%	3~4	3	338.58	78.25	1.97	0.052
稀疏退化草地, 盖度 < 10%	> 4	3.2	118.50	62.45	1.76	0.013
合计		339.69		1.137		

5.3 湖泊生态需水量估算

东达布逊湖是格尔木河地表水、地下水的汇集中心。河水在戈壁带大量入渗补给地下水, 至细土带又大量泄出形成多条泉集河, 这些河水是补给东达布逊湖的主要水源。近些年河流中上游水资源被开发利用, 使河水入湖补给量逐年减少, 加之青海钾肥厂抽采湖水, 使湖水面积不断萎缩, 从 1958 年 $334.7 km^2$ 缩减到 2000 年的 $180 km^2$, 目前湖面积仅 $154.4 km^2$ (2003 年), 湖水平均深度不足 0.5m。为最大限度维持目前湖水面积不再缩减, 并恢复到 2000 年的 $180 km^2$, 保证湖泊所需的生态需水量, 在地下水维持动态平衡的条件下, 使河水充分补给东达布逊湖用于自然蒸发和卤水开采。根据察尔汗地区年均蒸发量这 3549.6mm, 采用水面蒸发公式估算东达布逊湖生态需水量。因东达布逊湖为卤水, 其蒸发量与淡水不同, 据 2004 年“柴达木盆地西部油田水资源评价及钾硼锂碘提取技术现场扩大试验报告”, 卤水蒸发度是淡水蒸发度的 0.769 倍^[10]。

据公式估算东达布逊湖年生态需水量为 $2.757 \times 10^8 m^3/a$, 因青海钾肥厂年开采湖水为 $0.758 \times 10^8 m^3/a$, 如果恢复湖水面积 $180 km^2$ 并满足生产需求, 东达布逊

湖生态需水总量应为 $3.515 \times 10^8 m^3/a$ 。

5.4 流域生态需水量讨论

格尔木河水出山后在山前戈壁带大量入渗补给地下水, 至细土带又大量泄出形成地表水, 地表水和地下水经过多次转化最终径流补给东达布逊湖, 所以河道内与湖泊生态需水量的估算中存在重复计算。根据格尔木河流域年最小月均径流量估算, 河道内生态需水量为 $4.39 \times 10^8 m^3/a$, 从山口(乃吉里电站)至地下水泄出带河水渗漏量通过计算为 $2.89 \times 10^8 m^3/a$, 之下为地下水补给河水, 所以有 $1.5 \times 10^8 m^3/a$ 地表水补给了东达布逊湖, 而维持湖泊 $180 km^2$ 的生态需水量中 $3.515 \times 10^8 m^3/a$ 已包含了河道内生态需水量 $1.5 \times 10^8 m^3/a$ 。因此, 流域生态需水总量应为河道外天然植被生态需水与东达布逊湖生态需水量之和, 共 $4.652 \times 10^8 m^3/a$, 占流域水资源总量的 55.1%。

6 结论

(1) 格尔木属于干旱区, 降雨稀少, 蒸发强烈, 大气降水不能维持天然植被组成的生态系统正常运转, 维系天然植被生态系统的水分主要是地下水, 因此, 生态需水与分布区的地下水位埋深、植物种类、盖度关系密

切,合理的地下水位是维持流域生态平衡的基本保障。格尔木河流域绿洲植被在地下水埋藏浅,水、土、盐较适宜地段内,植被盖度大,是生态耗水量大区;而地下水埋深大的地区,由于植物相对稀疏,盖度变小;位于湖积区由于土壤含盐量增加,各植物种类生长受到抑制,植被多以喜盐植物为主,盖度低,生态需水量也小。

(2) 流域生态需水量为 $4.652 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 占流域水资源总量的 55.1%。现状流域水资源已开发利用量为 $2.92 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占水资源总量的 34.6%。如果统筹考虑流域水资源目前利用总量已达 89.7%, 表明流域剩余水资源可利用量仅有 10%, 这对今后流域水资源开发利用是一个值得探讨的课题。格尔木河流域属生态环境脆弱区, 自然条件严酷, 自我恢复能力较差, 如果生态环境一旦遭受破坏很难恢复, 因此, 应减少水资源的无序开发和低效利用, 加强生态环境建设, 分析和研究流域水资源承载力对社会、经济发展的影响, 科学合理的利用流域有限的水资源, 使人与自然和谐发展。

(3) 格尔木河流域终端的察尔汗地区为盐化工业基地, 以生产钾肥为主, 需水量较大, 现河水补给东达布湖的水量无法满足现状生产需求, 为了能够满足地区盐化工业用水需求, 可考虑从邻区那陵格勒河调水, 以解决和缓解东达布逊湖区盐化工业用水的紧张局面。

参考文献:

[1] 赵家绪, 郑碧玉, 曾明寿, 等. 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[R]. 格尔木: 青海省柴达木综合地质勘查大队, 1990: 5-6.

- [2] 许建新. 格尔木河流域水资源与经济可持续发展研究[J]. 盐湖研究, 2003, 11(1): 51.
- [3] 刘燕华. 柴达木盆地水资源合理利用与生态环境保护[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 68-69.
- [4] 潘晓玲, 张宏达. 柴达木盆地植物区系分析及形成的探讨[J]. 新疆大学学报, 1995, 12(1): 81-85.
- [5] 张长春, 邵景力, 李慈君, 等. 地下水生态环境效应及生态环境指标[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(3): 6-9.
- [6] 刘昌明, 王礼先, 夏军, 等. 西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究(生态卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 157-201.
- [7] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 450-495.
- [8] 全国地下水资源及其环境问题调查评价技术要求(试行二)[S]. 北京: 中国地质调查局, 2004.
- [9] 王芳, 王浩, 陈敏建, 等. 中国西北地区生态需水研究(2)//基于遥感和地理信息系统技术的区域生态需水计算及分析[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 133-136.
- [10] 付建龙, 荣光忠, 李银平, 等. 青海省柴达木盆地西部油田水资源评价及钾硼锂碘提取技术现场扩大试验报告[R]. 西宁: 青海省地质调查院, 2006: 135-137.

Preliminary estimation on ecological consumption of water of Gelmud River in Chaidamu Basin

LI Jian, WANG Hui, HUANG Yong, LIU Churr e, GUO Hong-ye, GUO Xiir hua
(Qinghai Geological Survey Institute, Xining 810012, China)

Abstract: Gelmud River Basin is one of the most developed industrial and agriculture areas in Chaidamu basin. In recent years, ecologic environment has deteriorated gradually with the development of basin water resource and unreasonable water use structure. This thesis analyzed the influence of groundwater depth to plant growth from the grow situation of main plants in the basin, and confirmed different groundwater depths, lithology character and plant evaporate strength under different coverage degrees. From the research on basin ecologic water demand, the paper preliminarily estimated on the natural vegetation of inner river and outer river and ecological water demand of east Dabuxun lake, analyzed the influence of water resource development to ecological environment, and provided the theoretical basis for the research on basin water resource development and ecological environmental protection.

Key words: Golmud River Basin; vegetation; groundwater depth; ecological water demand

责任编辑: 王宏