

干旱区内陆盆地水资源的合理配置——以甘肃省高台县为例

吕 智¹, 陈文贵², 丁宏伟¹

(1. 甘肃地质工程勘察院, 甘肃 张掖 734000 2. 甘肃省高台县水务局, 甘肃 高台 734500)

摘要 通过对高台县水资源现状分析, 指出了在水资源开发利用过程中存在的问题, 提出三种水资源利用配置方案: ①开发地表水为主的水资源配置方案; ②开发地下水为主的水资源配置方案; ③地表水、地下水兼顾的水资源配置方案。进行对比分析后得出, 地表水、地下水兼顾的水资源配置方案既兼顾了高台县工农业生产的可持续发展, 又保证了黑河正义峡下泄流量, 因而是目前较为合理的水资源配置方案。

关键词 水资源; 合理配置; 生态环境; 永续利用; 可持续发展; 高台县

中图分类号 :TV213 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2005)06-0045-04

Rational allocation of water resources of county(district) in inland basin of arid region—a case study on Gaotai County of Gansu Province

LÜ Zhi¹, CHEN Wen-gui², DING Hong-wei¹

(1. Gansu Geologic Engineering Exploration Institute, Zhangye 734000, China; 2. Water Authority in Gaotai County of Gansu Province, Gaotai 734500, China)

Abstract Through the analysis of the present condition of water resources in Gaotai County, the problems existing in the development and utilization of water resources were pointed out. Three programs of water resources utilization and allocation were proposed, including program mainly on the development of surface water, underground water, and both. Through the contrast analysis, it is concluded that the program of exploiting both of underground water and surface water is the most reasonable program at present, as it ensures not only the sustainable development of industry and agriculture of Gaotai County, but also the discharge capacity of the Zhengyi Gorge in the Black River.

Key words: water resources; reasonable allocation; ecological environment; permanent utilization; sustainable development; Gaotai County

我国西北内陆干旱区地域广阔, 矿产与能源资源丰富, 农业条件优越, 但水资源匮乏, 生态环境脆弱。水是这里最珍贵、最稀缺的资源, 有水便为绿洲, 无水即为荒漠。因此如何在开发中保护生态环境, 实现社会-经济-人口-环境效益的和谐统一和国民经济的可持续发展, 已成为专家学者关注的焦点^[1]。

甘肃省高台县位于河西走廊中部, 黑河干流中游下段(图1), 南北夹峙于祁连山与合黎山之间, 黑河及其支流浇灌的万顷良田是河西商品粮基地的重要组成部分。这里远离海洋, 雨水稀少, 年均降雨量

仅 104.3mm, 蒸发强烈, 年均蒸发量 1996.2mm, 干旱指数 19.1, 属严重干旱区。自 20 世纪 50 年代以来, 随着黑河中游张掖、民乐、高台、临泽、高台、山丹县(区)冰土资源的大规模开发利用及人口的增加, 使流域水资源的利用格局发生了重大变化, 并引起黑河过正义峡进入下游的河川径流量逐步减少, 中游挤占了本该属于下游的水资源量, 致使下游额济纳地区生态环境急剧恶化, 全面引发了湖泊干涸、水质恶化、土地沙漠化等一系列生态环境问题, 成为 20 世纪 90 年代以来连续发生在我国北方特大突发性沙尘暴天气的主要尘源区^[2]。为此, 水利部、黄河流

域水利委员会实施了《黑河流域生态环境综合治理》项目(2000~2003年),旨在通过中游地区建立节水型社会和水土资源的优化配置,使正义峡河川径流量在平水年达到9.5亿~10.0亿 m^3/a ,实现改善下游地区生态环境的目的。因此研究高台县水资源的合理配置,对于实现黑河流域生态环境综合治理的目标任务,具有重要的现实意义。

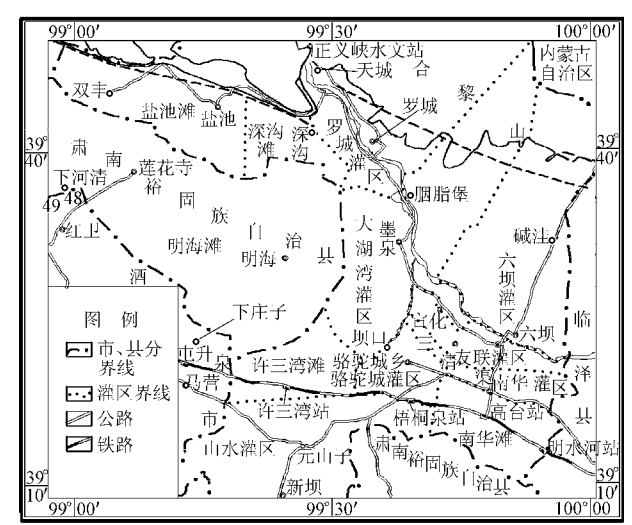


图1 高台县及各灌区平面位置

1 水资源基本状况

1.1 地表水资源

高台县境内常年性河流为黑河、摆浪河、大河、水关河、石灰关河及红沙河,均发源于南部的祁连山区。其中黑河为过境河流,自南东向北西流经广大的绿洲地带,多年平均出山(莺落峡)径流量为15.80亿 m^3/a ,出境(正义峡)水量为10.90亿 m^3/a ,20世纪90年代以来仅为6.93亿 m^3/a ,其余5条小河流多年平均出山总径流量为0.77亿 m^3/a 。河流径流的年内分配很不均匀,汛期6~9月的径流量占全年径流总量的68%~80%以上,变差系数 C_v 值为0.18~0.28。

根据黑河莺落峡、高崖、正义峡站径流量多年实测值建立的相关方程,计算黑河干流入境水量为11.62亿 m^3/a ,采用频率分析方程计算的高台县黑河干流多年平均可利用水量为2.93亿 m^3/a ($P=50\%$,下同),其余5条小河流多年平均可利用水量为0.56亿 m^3/a 。县境内总的多年平均可利用地表水量为3.49亿 m^3/a 。

1.2 地下水资源

高台县地处河西走廊酒泉东盆地东部,盆地内主要含水层为第四系中上更新统山麓相—河湖相松散沉积物。主要岩性为砾卵石、砂砾石和中粗砂、细粉砂,厚度20~350m,自南而北沉积物厚度渐薄、颗

粒渐细。由单一的潜水体渐变为多层结构的潜水—承压水含水综合体。地下水主要接受来自河水及引灌河水(渠系、田间灌溉水)的入渗补给,占总补给量的80%以上。水位埋深3~150m,自南而北渐浅,黑河干流沿岸水位埋深1~3m,局部有泉水溢出。地下水自南向北径流,水力坡度0.3%~0.8%,南陡北缓,黑河干流地带地下水径流方向与河流流向一致。地下水以蒸发蒸腾、泉水溢出和人工开采的方式排泄,排泄带主要集中于黑河干流沿岸。地下水水质良好,水化学类型以 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Mg}\cdot\text{Na}$ 和 $\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3-\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 为主,矿化度南部山前小于0.5g/L,骆驼城—明水河一带为0.5~1.0g/L,盐池一带有高达50g/L的卤水。

根据地下水均衡计算结果(均衡期为2002年),境内地下水总补给量为3.28亿 m^3/a ,其中地表水入渗补给量2.66亿 m^3/a ,占总补给量的81.1%,降水、凝结水入渗量和地下侧向径流补给量为0.62亿 m^3/a ,占总补给量的18.9%,境内平原区地下水储存资源量为581.74亿 m^3 ,地下水允许开采量1.32亿 m^3/a 。

2 水资源开发利用现状及存在的问题

2.1 水资源开发利用现状

1949年以后,在各河流出口及黑河沿岸修建的各项水源调蓄工程,大大缓解了农业用水季节上的供需矛盾。从20世纪60年代开始,又展开了大规模的渠系改建、渠道防渗衬砌建设。进入20世纪70年代后,随着水资源需求量的不断增加,又大规模地开展了机井工程建设,弥补了地表水不足时的工农业生产用水。进入21世纪以后,伴随着黑河流域生态环境综合治理项目的实施,境内水利建设迎来了新高潮,以常规节水和高新节水技术为特点的干、支、斗、农、毛渠道防渗衬砌和田间配套工程的建设在全县迅速展开。现在已初步形成了地表水、井水、泉水并举的水资源利用模式。

根据调查资料和县水利年度报表,境内共建成干渠26条,总长度127km,其中高标准防渗衬砌长度占74.9%;建成支渠64条,总长度402km,其中高标准防渗衬砌长度占84.5%;斗、农、毛渠1600余条,总长度1531km,综合高标准防渗衬砌长度占90.1%,渠系水综合利用率达63.7%;建成各类水库、塘坝12座,兴利库容2340万 m^3 ;建成配套机井1745眼,开采量1.15亿 m^3/a ;现有灌溉面积4.1万 hm^2 ,粮食总产量0.936亿kg,平均产粮8670kg/ hm^2 。

2002年实际水资源利用量为5.13亿 m^3/a ,其中农、林、草灌溉用水量5.00亿 m^3/a ,占总用水量的

97.4% ;工业用水量 0.05 亿 m³/a ,占总用水量的 0.9% ,城乡生活用水量 0.08 亿 m³/a ,占总水量的 1.7%。在水资源利用中 ,引用地表水 3.49 亿 m³/a , 占总用水量的 68.0% ,引用泉水 0.49 亿 m³/a ,占总用水量的 9.6% ,开采地下水 1.15 亿 m³/a ,占总用水量的 22.4%。

2.2 水资源开发利用存在的问题

水资源开发利用存在的问题有以下 4 个方面：

- a. 地表水资源由于时空分布极不均匀 ,每年 4 ~ 6 月份需水高峰期 ,正是河水枯水季节 ,出现“卡脖子”旱 ,严重制约农业生产 ,水利调蓄工程滞后 ,不能满足用水需求。
- b. 地下水开采利用不合理。①井的密度过大 ,一般为 5 ~ 10 眼/km² ,井距 200 ~ 400 m ,个别的小于 50 ~ 100 m ,开采井相互干扰 ,影响井的出水量 ;②井深过浅 ,没有深浅搭配 ;③成井质量低劣 ,滤水管孔隙率低且与含水层错位 ,井内涌沙淤塞 ,井灌效益较差 ;④局部(如骆驼城灌区)超采严重 ,致使地下水水位持续下降 ,形成降落漏斗。
- c. 地表水-地下水联合开发、综合规划不够 ,使区域生态环境日益恶化。
- d. 仍需大力推广各种高新和常规节水技术 ,彻底改变传统大水漫灌灌溉模式 ,不断提高水资源的利用率。

3 水资源合理配置

水资源配置分区按现有的利用格局划分为山水灌区、许三湾滩等 11 个小区(见图 1)。目前高台县总的可供水量为 50 858 万 m³/a。按现状灌溉定额和工业规模及人口数量 ,总需水量为 51 337 万 m³/a (表 1) ,供需差为 - 479 万 m³/a。因此必须进行水资源的合理配置 ,才能满足未来水资源的供需平衡。本文提出以下三种水资源的配置方案。

表 1 高台县目前需水量及可供水量 万 m³/a

灌区	需水量	可供水量		合计
		地表水	地下水	
山水	6506	5600	804	6404
三清渠	5974	4646	1544	6190
大湖湾	7718	6756	2761	9517
友联	10358	10045	2939	12984
罗城	6408	4838	266	5104
六坝	5065	3271	802	4073
骆驼城	5201	2475	1723	4198
许三湾	11130	0	760	760
南华滩	1789	0	447	447
深沟滩	757	0	345	345
盐池	448	0	836	836
合计	51337	37631	13227	50858

3.1 开发地表水为主的水资源配置方案

该开发方案以最大能力开发利用地表水资源为主 ,不足部分由开采地下水补充 ,为水资源配置方案 1 ,见表 2 ,共计引用地表水 40 452 万 m³/a ,占地表水可供总量的 107.5% ,开采地下水 10 885 万 m³/a ,占地下水允许开采量的 82.3%。

表 2 三种水资源配置方案 万 m³/a

灌区	总配置水量	地表水配置量			地下水配置量		
		方案 1	方案 2	方案 3	方案 1	方案 2	方案 3
山水	6506	5600	5600	5600	906	906	906
三清渠	5974	4646	4430	4580	1328	1544	1394
大湖湾	7718	6756	5598	6218	962	2120	1500
友联	10358	10045	7419	8358	313	2939	2000
罗城	6408	6142	6142	6142	266	266	266
六坝	5065	4263	4263	4263	802	802	802
骆驼城	5201	3000	1475	2500	2201	3726	2701
许三湾	1113	0	0	0	1113	1113	1113
南华滩	1789	0	0	0	1789	1789	1789
深沟滩	757	0	0	0	757	757	757
盐池	448	0	0	0	448	448	448
合计	51337	40452	34927	37661	10885	16410	13676

3.2 开发地下水为主的水资源配置方案

该开发方案以最大能力开采利用地下水资源为主(允许开采量) ,不足部分由地表水补充 ,为水资源配置方案 2 ,见表 2 ,共计开采地下水 16 410 万 m³/a ,占地下水允许开采量的 124.1% ,引用地表水 34 927 万 m³/a ,占地表水可供总量的 92.8%。

3.3 地表水、地下水兼顾的水资源配置方案

该开发方案兼顾地下水、地表水的综合开发利用 ,以全县目前地表水总供水量为配置基础(保证黑河正义峡下泄流量) ,不足部分由开采地下水补充 ,为水资源配置方案 3 ,见表 2 ,共计引用地表水占地表水可供总量的 99.9% ,开采地下水占地下水允许开采量的 103.4%。该方案地下水超采量仅超过地下水允许开采量的 3.4% ,通过对地下水资源开采潜力分析 ,开采潜力指数($P = Q_{允}/Q_{采}$)0.97 ,全县地下水利用采补基本平衡 ,对中游地区生态环境不会产生不良影响。

4 方案比较及结论

根据建立的高台县地下水二维流水量数学模型 ,将 3 种水资源配置方案所形成的地下水补给、排泄量等源汇项量代入水量数学模型 ,预测地下水流场在 2010 年的变化趋势。结果表明 :与现状相比较 ,水资源配置方案 1 ,将会使黑河干流沿岸各灌区地下水水位上升 1 ~ 3 m ,进一步加剧部分地带土壤次生盐渍化程度 ,对农作物的生长产生一定的影响 ,并在枯水年份($P = 75\%$, $P = 95\%$)使黑河过正义峡

的河川径流量减少 1 200 ~ 1 800 万 m³/a ,直接影响黑河下游生态环境的综合治理 ;水资源配置方案 2 ,虽然使黑河过正义峡下泄流量增加 800 万 m³/a (P = 75%)和 1 300 万 m³/a (P = 50%) ,但会产生骆驼城灌区地下水水位下降 8 ~ 10 m、黑河沿岸灌区地下水水位下降 1.5 ~ 4.3 m、泉水溢出量减少 24% 等水文地质现象 ,使包括高台县在内的中游地区产生土地沙漠化和植被退化等生态环境问题 ,不利于工农业经济的可持续发展与生态环境的良性循环 ;水资源配置方案 3 ,虽然也使黑河沿岸灌区地下水水位下降 0.5 ~ 1.5 m、骆驼城灌区地下水水位下降 5 ~ 6 m(年均下降 0.6 ~ 0.8 m ,较现状年均下降 1.0 ~ 1.2 m) ,但对中游地区生态环境影响程度较小。另外 ,使黑河过正义峡的河川径流量增加了 650 万 m³/a (P = 75%)

和 950 万 m³/a (P = 50%) ,这对下游生态环境的综合治理将产生重要的作用。由于该方案充分考虑了地表水、地下水相互转化规律 ,有针对性地提出了实现水资源永续利用的措施 ,既兼顾了高台县工农业生产的可持续发展 ,又保证了黑河正义峡下泄流量 ,因而是目前较为合理的水资源配置方案。

参考文献：

[1] 樊自立 ,马映军 . 干旱区水资源开发及合理利用的几个问题[J]. 干旱区研究 ,2001 ,18(2) :6 ~ 11.
[2] 丁宏伟 ,高玉卓 ,何江海 . 黑河过正义峡河川径流量减少原因及对策分析[J]. 中国沙漠 ,2001 ,21(1) :64 ~ 68.
[3] 丁宏伟 ,张荷生 ,王文科 ,等 . 河西走廊地下水勘查报告[R]. 甘肃省地质调查院 ,2002.

(收稿日期 2004-05-19 编辑 舒 建)

(上接第 30 页)

[16] Anderson H M . A dynamic simulation model for wastewater renovation system[D]. Michigan :Wayne State University , 1981.
[17] Hamilton J ,Jain R ,Antoniou P ,et al . Modeling and pilot ~ scale experimental verification for predenitrification process [J]. J Environ Engng ,1992 ,ASCE118(1) :38 ~ 55.
[18] Ozinsky A E ,Ekama G A ,Reddy B D . Mathematical simulation of dynamic behaviour of secondary settling tanks [R]. Research Report W85 ,Cape Town :University of Cape Town South Africa ,1994.
[19] Watts R W ,Svoronos S A ,Koopman B . One-dimensional modeling of secondary clarifiers using a concentration and feed velocity-dependent dispersion coefficient[J]. Wat Res ,1996 ,30(9) :2112 ~ 2124.
[20] Lee T T ,Wang F Y ,Newell R B . Distributed parameter approach to the dynamics of complex biological processes[J]. AIChE J ,1999 ,45(10) :2245 ~ 2268.
[21] Vesilind P A . Theoretical considerations :design of prototype thickeners from batch settling tests[J]. Water and Sewage Works ,1968 ,115(7) :302 ~ 307.
[22] Dupont R ,Henze M . Modelling of the secondary clarifier combined with the activated sludge model no. 1[J]. Wat Sci Technol ,1992 ,25(6) :285 ~ 300.
[23] Otterpohl R ,Freund M . Dynamic models for clarifiers of activated sludge plants with dry and wet weather flows[J]. Wat Sci Technol ,1992 ,26(5/6) :1391 ~ 1400.
[24] Dupont R ,Dahl C . A one-dimensional model for a secondary settling tank including density current and short-circuiting[J]. Wat Sci Technol ,1995 ,31(2) :215 ~ 214.
[25] Grijpspeerdt K ,Vanrolleghem P ,Verstrate W . Selection of one

dimensional sedimentation models for on-line use[J]. Wat Sci Technol ,1995 ,31(2) :193 ~ 204.
[26] Parker D S ,Kaufman W J ,Jenkins D . Flocbreakup in turlulent flocculation processes[J]. J Sanit Engng Div ,ASCE ,1972 ,98 (SA1) :79 ~ 99.
[27] Lyn D A ,Stamou A I ,Rodi W . Density currents and shear-induced flocculation in sedimentation tank[J]. J Hydr Engrg , ASCE ,1992 ,118(6) :849 ~ 867.
[28] Mazzolani G ,Pirozzi F ,d 'Antonoi G . A generalized settling approach in the numerical modeling of sedimentation tanks [J]. Wat Sci Tech ,1998 ,38(3) :95 ~ 102.
[29] Härtel L ,Pöpel H J . A dynamic secondary clarifier model including processes of sludge thickening[J]. Wat Sci Technol , 1992 ,25(6) :267 ~ 284.
[30] Vanderhasselt A ,Vanrolleghem P A . Estimation of sludge sedimentation parameters from single batch settling curves[J]. Wat Res ,2000 ,34 :395 ~ 406.
[31] Clercq J D ,Devisscher M ,Boonen I ,et al . A new one-dimensional clarifier model-verification using full-scale experimental dat[J]. Water Sci Technol ,2003 ,47(12) :105 ~ 112.
[32] Cho S H ,Colin F ,Sardin M ,et al . Settling velocity of activated sludge[J]. Wat Res ,1993 ,27 :1237 ~ 1242.
[33] Wett B . A straight interpretation of solids flux theory for 3-layer sedimentation model[J]. Wat Res ,2002 ,36 :2949 ~ 2958.
[34] Anderson N E . Design of Final Settling Tanks for Activated Sludge[J]. Sewage Works J ,1945 ,17(1) :50 ~ 63.

(收稿日期 2004-11-29 编辑 高渭文)