

西北内陆盆地水循环特征分析

聂振龙 郭占荣 焦鹏程 董 华

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所,河北正定)

摘 要 针对西北地区大开发所面临的水资源问题以及水资源开发所引起的环境问题,从大气水、地表水、地下水和生态水之间的转化关系为切入点,通过系统分析,揭示了西北内陆盆地水循环特征及水资源形成演化规律,在此基础上,提出了实现生态环境保护和水资源合理开发利用应遵循的基本原则。

关键词 内陆盆地 水循环 水资源 生态环境

西北地区是我国水资源最为贫乏的地区。除局部地区年降水量超过 100 mm 外,其余广大平原地区均低于 100 mm(刘昌明等,1998)。本文以新疆地区为例。

1 降水与蒸发特征

1.1 降水与蒸发分布特征

新疆全区多年平均降水量 148 mm,降水量地区分布极不均匀。天山山区年平均降水量可达 800 mm 以上,向盆地急剧减小,塔里木盆地和准噶尔盆地中心年平均降水量不足 25 mm。蒸发势分布与降水量分布相反,降水大的地区蒸发势弱,降水小的地区蒸发势强。天山山区年平均水面蒸发量为 600 ~ 700 mm,盆地中心则高达 1 200 mm 以上。

就局部地区而言,降水量和蒸发量随海拔高度变化而变化,一般随海拔高度增加,降水量增大,蒸发量减小。表 1 是新疆昌吉地区降水量和蒸发量与海拔高度关系统计结果。

表 1 昌吉市降水量、蒸发量与海拔高度关系统计表^①

Table 1 Statistics of precipitation, evaporation and elevation in Changji area

测站名	海拔高程/m	年降水量/mm	年蒸发量/mm
蔡家湖	441	135.4	1276.3
昌 吉	557	184.9	1074.2
哈坡地	966	280.4	1131.7
碾盘庄	1100	276.8	948.1
制材厂	1430	369.9	900.1
小渠子	2160	548.0	776.5
天 山	3539	428.1	556.6

1.2 降水与蒸发年内分配特征

从西北全区看,最大月降水量一般占全年的 14% ~ 28%,连续最大 4 个月降水量占全年的 52% ~ 79%。从西至东,最大降水发生时间大致相差 2 ~ 3 个月,连续最大 4 个月降水发生时段相差 2 个月。最小蒸发月大致出现在 1 月或 12 月,最大蒸发出现在 5 ~ 6 月。

2 冰雪资源在水循环中的意义

西北地区冰雪资源以新疆最为丰富。据兰州冰川冻土研究所估算,新疆冰川面积为 2.302×10^4 km²,占全国冰川面积的 40.7%,储量为 $21\,347 \times 10^8$ m³。每年新疆冰川消融量可达 179×10^8 m³,占总径流量的 22%。

冰川形成于大循环过程中,是多年积累而成的“固体水库”,具有水库的年际调节作用,使得径流的年际变化幅度减小,也是西北内陆盆地水循环中的重要环节。

3 径流特征

3.1 径流分布特征

西北内陆地区年径流分布与降水基本一致。山区年径流深度大,向盆地逐渐减小,盆地中心基本不产径流。新疆地区,天山山区年径流深度在 200 mm 以上,盆地中心小于 25 mm。这反映了西北内陆地区山区产流,盆地平原区耗水的特征。

3.2 径流动态变化特征

径流年内变化主要取决于径流的补给类型。西

本文由国家重点科技攻关项目(96-912-01-03)和国土资源部重点基础项目(200010301)资助。

责任编辑:宫月萱。

第一作者:聂振龙,男,1972 年生,助理研究员,中国地质科学院在读硕士研究生,水文、水资源专业,邮政编码 050061。

①新疆水利厅水资源处等,1998,新疆维吾尔自治区昌吉市地下水资源开发和利用规划报告。

北内陆地区河川径流补给类型有 降水补给型、冰雪融水补给型、地下水补给型和混合补给型,补给类型与径流的关系见表 2。径流多年变化主要受降水控制,一般山区变化小,盆地变化大,以降水补给为主的河流年际变化大,以冰川补给为主的河流次之,以地下水补给为主的河流年际变化最小。图 1 是新疆头屯河出山口 1986~1998 年逐月径流过程线,头屯河为混合补给型,其最大径流出现在 5~9 月,径流量占全年总径流量的 83.5%。

表 2 西北地区河流补给类型与最大径流时段径流量所占比例统计表

Table 2 Statistics of the river recharge type and the percentage of the river outflow during the largest runoff period, Northwest China

径流补给类型	年最大径流出现时段	占总径流量的百分比
降水补给型	5~8 月、6~9 月或 7~10 月	55%~65%
高山冰雪补给	6~9 月	70%~80%
季节融水补给	4~7 月或 5~8 月	70%左右
地下水补给型	1~4 月到 6~9 月	40%~50%
混合补给型	5~8 月或 6~9 月	65%左右

注 最大径流出现时段一般从西向东滞后约 1 个月。
据水利部南京水文水资源研究所等,1999.西北地区水资源与生态环境评价及其发展趋势研究报告。

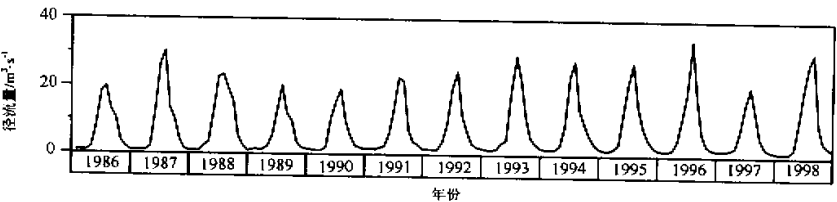


图 1 新疆头屯河出山口地表水流量动态过程

Fig.1 Flow duration curve of Toutun river at the mountain pass, Xinjiang

3.3 天然水循环径流特征

径流形成于山区,其水量由大气降水和冰雪融水构成。在山区除很少一部分入渗补给山区地下水,绝大部分向下游径流,进入平原区;在出山口戈壁带,大量入渗,补给地下水,其转化量约占平原区地下水资源的 75% 以上,一些小型河流往往出山不久就消失。河流在山前冲洪积扇扇缘接受地下水补给,向下进入冲洪积平原后,水流平缓,对地下水有少量补给,其入渗量与河流规模和沿途岩性相关。图 2 是新疆地区径流分级^①与入渗系数关系曲线。径

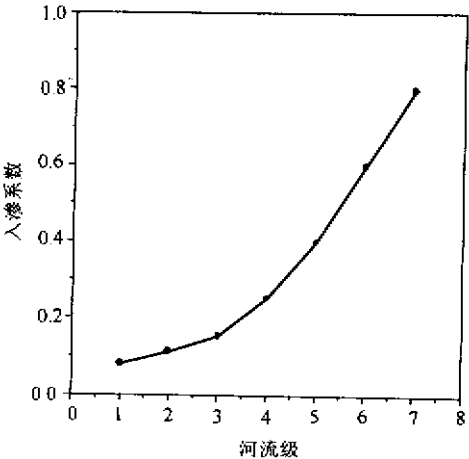


图 2 河流分级与入渗系数关系图

Fig.2 The diagram of relationship between the river grid and the infiltration coefficient

流参与循环的最终归宿是:或于径流途中蒸发,或排入荒漠或湖泊并最终通过蒸发返回大气。

4 地下水天然循环、生态耗水、区域天然水循环

4.1 地下水天然循环

西北干旱区地下水受地质构造和自然地理条件制约。在山区少量大气降水和冰雪融水渗入地下,形成山区裂隙水。裂隙水向下游径流,出山前大部分水量排入地表径流,一小部分从深部侧向补给山前平原地下水。山前平原地区多为相对沉降的大型构造盆地,堆积着巨厚的第四系松散物,汇集和蕴藏着较为丰富的地下水资源。沉降盆地地下水系统以溢出带为界可分为山前冲洪积扇地下水流子系统和溢出带以下冲洪积平原地下水流子系统(李文鹏等,1995)。山前地带的戈壁滩是地下水系统的主要补给区,一般山区径流出山后在此带有 75% 左右的地表水补给地下水,这一带地下水埋深较大,一般都在 100 m 以上,如天山北麓的昌吉地区,山前地下水位埋深达 200 m 以上,在冲洪积扇中下部,地下水埋深适中,此带分布人工绿洲,地下水有一部分转化为生态水,其余部分向下游径流,于扇缘溢出带上升补给地表,部分蒸发返回大气。进入冲洪积平原后,地下

① 河流分级与流量数据: 1 级-大于 50 2 级-10~50 3 级-5~10 4 级-1~5 5 级-0.5~1.0 6 级-0.3~0.5 7 级-小于 0.3。

水一方面接受少量地表水的入渗补给 ;另一方面 ,补给天然绿洲的生态用水 ,此带地下水位埋深较浅(普遍小于 2 m) ,蒸发强烈 ,土壤盐碱化严重。盆地地下水除径流途中的消耗外 ,其余部分最终排入下游荒漠或终端湖泊 ,经蒸发返回大气。

4.2 生态耗水

绿洲是西北内陆地区人类赖以生存的基础 ,而西北地区的生态环境又十分脆弱 ,所以生态用水是西北水循环过程中需要首先考虑的重要环节。西北地区绿洲主要分布在冲洪积扇中下部至冲洪积平原中上游一带 ,冲洪积扇中下部一般为人工绿洲 ,溢出带到冲洪积平原中上游一般为天然绿洲分布带 ,向下游逐渐过渡到荒漠生态。

生态系统对水资源的要求一方面体现在水量上的需求 ,另一方面体现在对地下水水位的要求。在水量上 ,西北重点区年生态耗水量^①(约 $341.3 \times 10^8 \text{ m}^3$) 不同地区耗水量不同 ,以新疆年生态耗水量最大 ,约为 $254.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。天然生态对地下水位十分敏感 ,水位过低 ,植被因缺水而死亡 ;水位过高 ,又会导致盐分上升 ,植被因失水而不能生存。如 :胡杨林在水位埋深大于 8 m 时大部分枯死 ,当水位埋深小于 4m 时 ,不能正常生长 ,甚至不能生存。不同植被类型对地下水水位的要求不同(表 3)。

表 3 不同草本植物和树种适宜的地下水埋深
Table 3 The appropriate burial depth for herbaceous plants and trees growing

适宜地下水埋深/m	地下水临界埋深/m	主要草本植物	主要树种
<1.0 或 1.0~2.0	2.0	沼生、水生植物 芦苇、赖草等草	沙枣、胡杨
2.0~3.0	3.0	芨芨草、甘草、罗布麻	沙枣、胡杨
3.0~4.0	4.0	骆驼刺、黑果、枸杞等	沙枣生长不良 ,胡杨成熟林
<5.0	5.0	红砂、泡泡刺等	沙枣死亡 ,胡杨大部分枯死
<7.0	8.0		

4.3 区域天然水循环

综上所述 ,西北内陆盆地水循环模式如图 3。高大山系环绕众多盆地是西北内陆地区典型的地形地貌特征 ,地势由四周向盆地中心倾斜 ,决定了其水循环方向由四周山区流向盆地中心。区内山峰高峻 ,海拔多在 4 000 m 以上 ,高山地区往往发育冰川和多年积雪 ,温暖季节 ,冰雪消融。冰雪融水向低处汇集 ,形成地表径流。另外 ,由于山脉高大 ,含水

气流在高山的拦截和抬升作用下 ,于高山区形成较为充沛的降水 ,降水在地表汇集 ,亦形成地表径流。山区径流就是由这两种水源形成的 ,向下游进入盆地平原区。在山区 ,部分冰雪融水和大气降水渗入地下 ,形成山区裂隙地下水 ,山区地下水沿裂隙向下游径流 ,在出山前 ,大量排入地表径流 ,少部分从深部侧向补给山前平原地下水。在平原区 ,降水稀少 ,蒸发强烈 ,大部分地区基本不产流 ,其水资源主要来源于山区形成的径流补给。天然状态下 ,山区径流出山后 ,流经山前冲洪积扇顶部的戈壁带时 ,大量入渗补给地下水 ,转化为地下径流。一般小型河流 ,出山后不久就消失殆尽。地下水在山前冲洪积扇径流途中一部分转化为人工绿洲带的生态水 ,一部分在扇缘溢出 ,转化为地表径流。向下游进入冲洪积平原 ,在冲洪积平原中上游 ,部分地表径流再次入渗转化为地下水 ,部分地下水在天然绿洲带转化为生态水。地表、地下径流最终排向下游的荒漠区或终端湖泊 ,通过蒸发返回大气。平原区 ,地表水和地下水在径流和相互转化过程中 ,或通过直接蒸发或通过绿洲生态消耗 ,返回大气 ,小型泉集河往往消失于径流途中。

5 人类活动对水循环的影响

人类对地表径流的影响表现为 :河流上游农业灌溉引水量逐年增加 ,减少了天然河道的径流量 ,有些河流甚至中途断流 ,如塔里木河流域 ,由于上游大规模的引水灌溉 ,使到达下游的水量不断减少 ,终至大西海子水库以下 300 km 完全断流。这种灌溉引水活动 ,一方面在灌溉区改变了地下水的天然循环途径 ,每年有大量的渠系水和灌溉水渗入地下 ,如玛纳斯流域渠系渗漏量占地下水总补给量的 31.87% ,使地下水位抬升 ,导致土壤次生盐渍化 ;另一方面导致下游地下水的补给减少 ,从而影响下游天然生态环境的生存 ,出现了“人工绿洲扩大 ,天然绿洲萎缩”的现象 ,如塔里木河下游断流后 ,导致塔里木河末端 3 000 km³ 的罗布泊干涸 ,下游阿拉干招待站水井水位埋深由 1964 年的 8 m 至 1983 年下降到 16.7 m ,从而导致下游两岸数百公里的胡杨林大部分干枯 ,草场丧失 1.8 万多公顷(国家环境保护局监督管理局 2000)。

由于人类活动是地下水开采。近几十年来 ,地下水开采量逐年增长 ,据统计 ,西北五省区(陕西、甘

① 本文生态耗水量指天然生态耗水和人工生态耗水及洗碱用水和河湖环境用水。

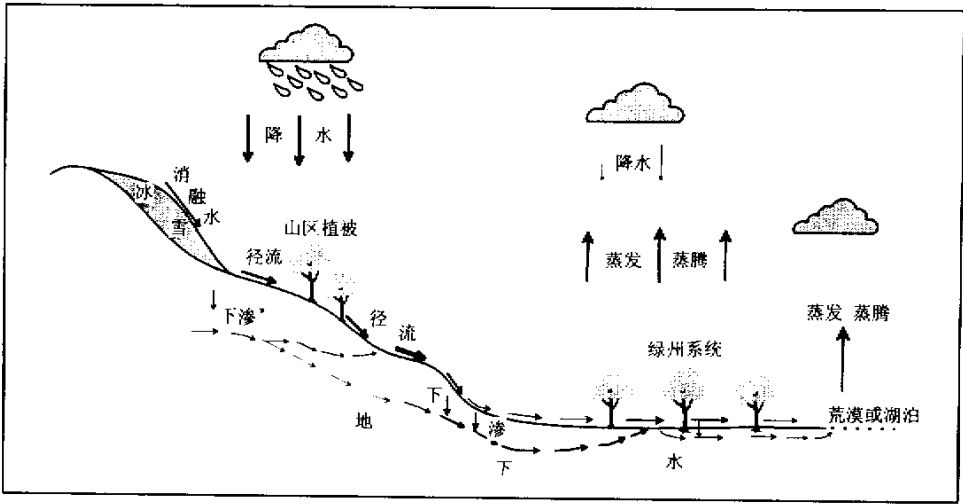


图 3 西北内陆盆地天然水循环示意图

Fig.3 The simplified diagram of natural hydrological cycle in interior basin ,Northwest China

肃、宁夏、青海、新疆)在“七五”期间地下水开采量为 $90 \times 10^8 \text{ m}^3$, 1992 年增为 142 亿 m^3 (武选民, 1999), 导致一些地区地下水位呈多年下降趋势, 天山北麓的

昌吉地区 1991 ~ 1995 年间平均年水位下降 $0.3 \sim 0.5 \text{ m}$ (图 4)。

可见, 人类水资源开发活动改变了局部天然水

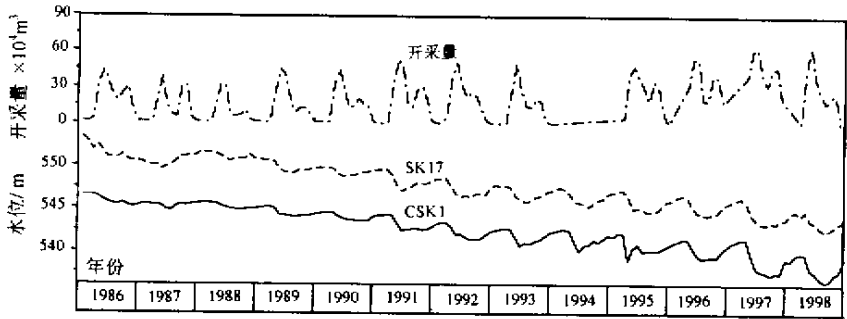


图 4 昌吉市山前平原地下水位动态变化曲线

Fig.4 Curve of groundwater regime in torrential plain ,Changji area

循环, 使得平原区垂向水交换作用加强, 减弱了径向水循环强度, 甚至使得径向水循环过早结束, 虽增加了人工生态用水, 使人工绿洲扩大, 却减少了天然生态用水, 导致天然绿洲萎缩。

6 结论与建议

6.1 结论

(1) 西北内陆地区水循环系统是一统一的有机整体, 地下水与地表水相互转化强烈, 二者同出一源, 相互依存, 相互制约, 此消彼长, 不可分割, 地下水与生态水紧密联系, 地下水是生态水的直接来源, 天然生态水对地下水的依赖直观地体现在地下水水

位上。

(2) 西北内陆地区, 地表水、地下水、生态水之间的循环平衡十分脆弱, 决定了其生态环境的脆弱性, 任一环节的破坏都会导致生态平衡的崩溃。这种脆弱性集中表现在, 生态系统对地下水的敏感性, 水位过低, 生态系统因得不到足够的水分而死亡, 水位过高又打破了水盐平衡, 使生态系统难以生存。这就加大了西北地区的水资源开发利用的难度。

(3) 山区降水和冰雪融水是西北水资源的摇篮, 冰雪资源是西北地区水资源的重要组成部分, 其对地表径流量具有多年调节作用。

(4)在西北地区水资源开发过程中应引入“清洁生产”的思想^①,做到防患于未然。

总体而言,西北内陆大部分地区的水资源开发利用尚处于初级阶段,水资源开发诱发的环境问题仅仅是一个开端,这为打破原来先开发、后治理的落后模式,建立先规划、后开发,管理先进的良性水资源开发利用模式提供了条件。

6.2 建议

根据西北内陆盆地水循环特征,建议西北内陆地区水资源开发利用应遵循以下原则:

(1)首先保证生态用水的原则。绿洲是西北地区人类赖以生存发展的物质和环境基础,水资源开发应以满足生态用水为前提。

(2)先规划,后开发,管理先行的原则。西北内陆地区水资源开发程度较低,为打破先开发后治理的落后开发模式,建立先规划后开发,管理先行的先进水资源开发模式提供了有利条件。

(3)统一管理的原则。西北内陆地区水循环,从上游到下游是一个统一的有机整体,地表水和地下水相互依存,相互制约,地下水与生态水紧密联系,其中任一环节的不平衡都会导致整个水循环系统的

恶性发展,从而破坏生态平衡,因此,需要建立区域性的统一水管部门,对区域水资源进行统一管理,统一调配。

(4)调整水资源开发结构,实行分段开发,分段控制的原则。根据其水循环特征和生态对地下水依存规律,对水资源进行分段开发,分段控制。

(5)建立监测预测系统,实行动态管理的原则。西北内陆地区水循环中,地表水、地下水和生态水之间的平衡十分脆弱,极易被破坏,应建立监测系统,掌握其动态变化规律,研究其发展趋势,建立预测预报系统,适时调整水资源开发结构,实行动态管理。

参 考 文 献

- 国家环境保护局监督管理司编. 2000. 中国环境影响评价. 北京: 化学工业出版社.
- 刘昌明等. 1998. 中国 21 世纪水问题方略. 北京: 科学出版社.
- 李文鹏等. 1995. 中国西北典型干旱区地下水流系统. 北京: 地震出版社.
- 武选民. 1999. 干旱半干旱区水文地质研究现状. 水文地质工程地质, (4): 41~46.

An Analysis of the Hydrological Cycle Characteristics in Interior Basins of Northwest China

Nie Zhenlong Guo Zhanrong Jiao Pengcheng Dong Hua

(Institute of Hydrogeology and Environment Geology, CAGS, Zhengding, Hebei)

Abstract Water resources and environmental problems resulting from water utilization are major problems that have to be faced in the development of west China. Therefore, the understanding of the hydrological process is a critical problem for reasonable utilization of water resources. The present paper first discusses the transformation among the meteoric water, surface water, groundwater and ecological water, and then, through systematic analysis, reveals the characteristics of hydrological cycle and the formation and evolution of water resources in interior basins of Northwest China. Finally, on the basis of the above discussion, the general principle is put forward for reasonable development of water resources and protection of ecological environment.

Key words interior basin hydrological cycle water resources ecological environment

^① “清洁生产”的概念是联合国环境规划署于 1989 年提出的,其核心思想是:将整体预防的环境战略应用于生产过程,以增加生态效率,减少人类风险和环境风险,该思想打破了“先污染后治理”的传统观念。