

# 天山北麓蓄水构造模式与水循环特征

乔晓英<sup>1</sup>, 王文科<sup>1</sup>, 陈 英<sup>2</sup>, 王 杰<sup>1</sup>, 韩锦萍<sup>1</sup>, 梁煦枫<sup>1</sup>

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西高速公路咨询公司, 陕西 西安 710054)

[摘要] 从控制地下水形成的地形地貌、地质构造出发, 探讨了新疆天山北麓串珠式、隐伏串珠式、隆起间歇式、连续式和山间谷地式5种蓄水构造模式, 提出大气降水、地表水和地下水(土壤水)相互转化一次循环、两次循环和多次循环类型, 在此基础上研究水资源开发利用不同方式, 为指导天山北麓水资源合理开发利用与生态环境保护提供技术依据。

[关键词] 蓄水构造; 水循环; “三水”转化; 开发利用方式; 天山北麓

[中图分类号] P339 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)03-0033-05

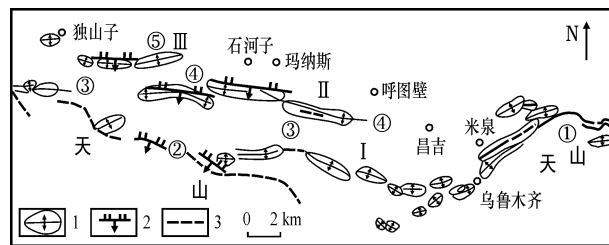
[作者简介] 乔晓英(1969-), 女, 山西运城人, 讲师, 博士研究生, 从事水资源与环境科学教学与研究。

从地下水不断得到补充和运移的角度看, 蓄水构造是由地质体构成, 具有供、排水意义的蓄积地下水空隙系统<sup>[1,2]</sup>。而地下水系统包含完整水动力系统、水化学系统等, 在时空上具有四维特征性质的实体<sup>[3]</sup>。因此, 蓄水构造可是一个完整地下水系统, 也可是部分的。同时, 山前平原与山体基岩的接触关系, 是研究水循环特征的基础。前人总结西北干旱区该接触关系分5种类型<sup>[4]</sup>: 基岩山体与平原区直接接触; 山前平原的第四系与基岩山体之间有第三系泥岩组成的背斜、向斜构造; 山前第三系泥岩沿山脉走向紧贴古老的基岩上; 山前平原第四系与基岩山体直接接触, 但第四系下部有第三系隆起; 山前平原第四系与基岩山体直接接触, 但被多排山前隆起分割成串珠状的山间盆地。另外, 山前平原基底变化又是决定蓄水构造产状与水循环特征的重要条件。西北干旱区山前平原基底变化主要分为台阶式断陷、反向式掀斜、凹槽式沉降和隆起起伏4种类型<sup>[5]</sup>。基于以上认识, 结合区域地质构造特征, 对天山北麓蓄水构造模式和水循环特征作以探讨。

## 1 天山北麓蓄水构造模式

天山北麓山前倾斜平原区在乌鲁木齐以西至

乌苏之间, 有第三系前山构造带的存在, 形成山前地带两排或三排背斜隆起与向斜拗陷彼此相间的构造, 称为乌鲁木齐山前拗陷<sup>[6]</sup>(图1)。由此阻挡了山区地表水和基岩裂隙水对山前平原的直接补给, 而使向斜洼地的卵砾石层接受山区河流的渗漏补给, 并向切穿前山带的河谷中排泄, 通过缺口的河流再次渗入山前倾斜平原。由此因构造作用、地形地貌及水文地质条件等诸因素控制作用, 可将天山北麓蓄水构造分为5种模式。



1 - 背斜构造; 2 - 逆断裂; 3 - 断裂或推断裂; I - 山麓背斜带; II - 玛纳斯背斜断裂带; III - 安集海背斜带; ① 博格达北缘断裂带; ② 准噶尔南缘断裂带; ③ 南天山-齐古断裂带; ④ 霍尔果斯断裂带; ⑤ 独山子-安集海断裂带

图1 乌鲁木齐山前拗陷构造

Fig. 1 Brief diagram of the front of mountain depression structural Urumqi

### 1.1 串珠式蓄水构造

此模式为夹有山间盆地的区域, 如乌鲁木齐河流域(图2)。流域上下游连接成河流-含水层系统<sup>[7]</sup>。河流是山区基岩裂隙水的排泄通道, 在出山前地下水大部分转化为河水; 河流出山后进入柴窝

[收稿日期] 2004 12 17

[基金项目] 教育部科学技术研究重点项目(02078); 中国地质调查局项目(200310400012)

堡山间盆地,在山前洪积扇裙带大量渗漏转化为地下水,在南部受第三纪构造带影响,地下水位抬高,转化为地表水;河水经市区谷地再次进入山前倾斜平原,大量渗漏补给地下水,地下水以在溢出带以泉水出露变为地表水,而基底变化受断裂影响,起伏较大。柴窝堡山间盆地和乌鲁木齐北部倾斜平原之间由地表水与地下水转化和地下径流产生水力联系。

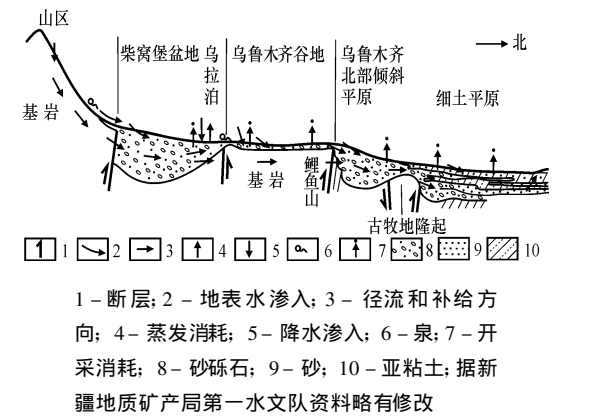


图 2 乌鲁木齐河流域地下水资源补、径、排特征

Fig. 2 Groundwater resources supply, runoff and drainage characteristic diagram of Urumqi River Watershed

1.2 隐伏串珠式蓄水构造

此模式指存在山前洼地又有隐伏构造的区域,如呼图壁河流域、玛纳斯河流域等,存在有安集海背斜、吐谷鲁背斜和呼图壁隐伏背斜三排构造<sup>6</sup>(图 3)。基底受构造运动的影响,在纵向上起伏较大,在隆起升幅大的地段,潜水以沼泽或泉的形式溢出,且形成地下水位落差较大的“跌水”构造。此时,以山区的地下潜流和河水的渗漏补给山前平原地下水。

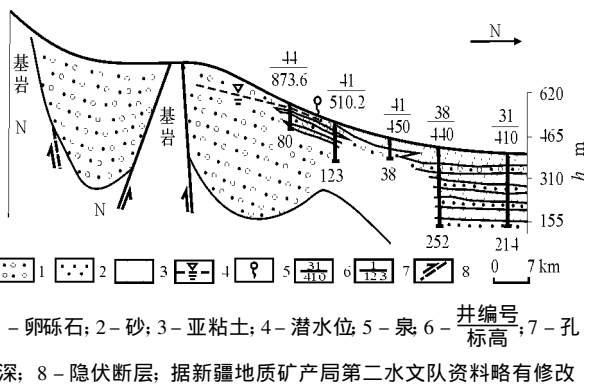


图 3 呼图壁河水文地质剖面

Fig. 3 Hydro geological section plane of Hutubi River

1.3 隆起间歇式蓄水构造

在奎屯河流域,南山与准噶尔盆地的冲洪积平原之间,被独山子背斜隆起所分开,在南山与独山子

背斜的山前坳陷带形成地下水赋存区,聚集了来自山区的地下潜流和奎屯河水的渗入补给(图 4)。受背斜隆起影响,与下部山前冲积平原之间仅发生地表水水力联系。

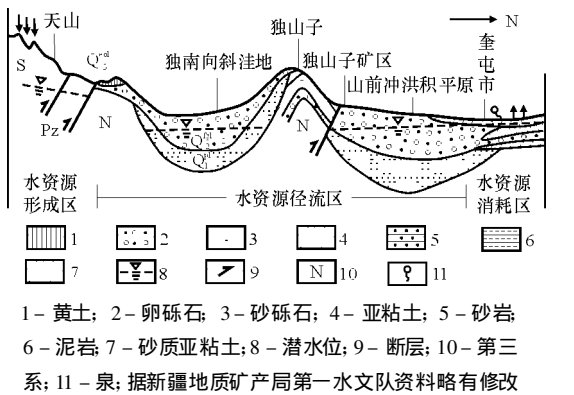


图 4 奎屯地区水资源特征

Fig. 4 Storage water structural diagram in Kuitun Area

1.4 连续式蓄水构造

此类型指南山山体与盆地山前平原直接接触,无构造隆起阻隔(图 5)。山前为断块沉降带,山区基岩裂隙水与河水渗漏直接补给平原区。

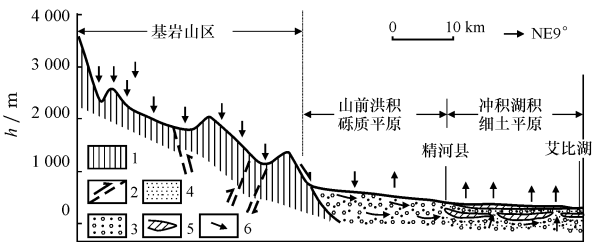


图 5 精河水文地质剖面

Fig. 5 Hydro geological section plane of Jinghe River

1.5 山间谷地式蓄水构造

此类型受南北西 3 个方向山体地质构造控制,形成谷地式松散沉积物,如博尔塔拉河流域。通过南北两侧倾斜平原地下水入渗补给,相向径流排泄于博尔塔拉河。且谷地受沙尔提断陷盆地、昆德仑断陷盆地等控制,造成基底凹陷和隆起,在河流不同地段大气降水、地表水和地下水发生多次相互转化。

2 水循环类型

天山北麓存在山间开启式洼地,导致蓄水构造模式各异,由此大气降水、地表水地下水相互转化

作用, 主要包括 3 个循环过程:

(1) 山区大气降水补给地表水、地下水。由于洼地出口的基底翘起, 部分地下水溢出转化成地表水, 完成“三水”转化的第一个循环过程。

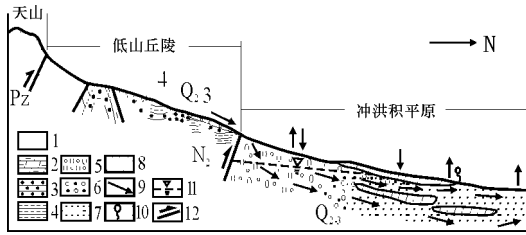
(2) 出山口的地表水及部分地下水进入山前平原后, 地表水通过河道、渠系再次入渗补给地下水, 少量的大气降水也补给地表水与地下水。至冲洪积扇边缘时, 由于沉积物颗粒变细, 使潜水溢出转化成地表水或泉集河, 完成了第二个循环过程。

(3) 地表水进入洼地或水库, 一部分下渗转化为地下水, 另一部分以蒸发、植物蒸腾的形式排向大气圈, 或以人工开采转化为地表水, 或以地下径流的形式进入沙漠区或湖泊, 完成第三个循环过程。

由于天山北麓东西向构造特征不同及南北向水资源归宿的不同, 水循环分为 3 种类型。

### 2.1 一次水循环型

山前无开启式洼地以及沙漠边缘无低地湖泊存在的地区或流程较短的河流, 大气降水或冰雪融水直接形成地表径流或暴雨洪流形式补给地下水, 缺失第一、第三次循环过程, 呈现一次循环型, 甚至部分地区只有入渗而无溢出(图 6), 如古尔图河。



1-片岩; 2-泥灰岩; 3-砂岩; 4-泥岩; 5-卵砾石; 6-砂砾石; 7-砂; 8-亚粘土; 9-水资源转化方向; 10-泉; 11-潜水位; 12-断层  
图 6 地表水与地下水一次转化示意图

Fig. 6 One transformation schematic diagram between surface water and groundwater

### 2.2 两次水循环型

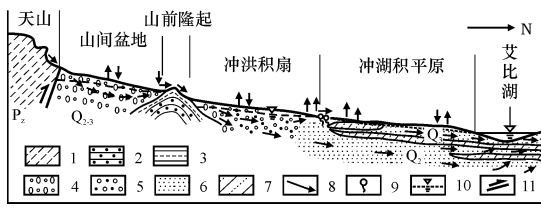
山前有开启式洼地以及无湖泊或沙漠边缘湖泊干枯地区或无开启式洼地但流程较长的河流, 呈现 2 次水循环型, 如玛纳斯河、巴音沟河、呼图壁河以及四棵树河等。

### 2.3 多次循环型

山前有开启式洼地以及沙漠边缘有湖泊存在的区域, 如奎屯河有三次完整水循环过程(图 7)。

值得指出的是, 以上水循环过程指天然条件下, 近 40 多年人类工程技术活动, 溢出带向北迁移

2~8 km 甚至消失, 水循环过程亦相应变化。另外, 同位素研究也证明了水循环类型的存在<sup>[8]</sup>, 并从水流交替深度和交替速率方面进一步验证“三水”转化的平面与剖面循环特征。



1-片岩; 2-砂岩; 3-泥岩; 4-卵砾石; 5-砂砾石; 6-砂; 7-亚粘土; 8-水资源转化方向; 9-泉; 10-潜水位; 11-断层

图 7 地表水与地下水多次转化示意图

Fig. 7 Many transformations schematic diagram between surface water and groundwater

## 3 水资源合理开发利用模式

天山北麓受地质构造、地貌等因素的控制作用, 山前倾斜平原区地下水分布特征明显<sup>[9, 10]</sup>。根据前述蓄水构造模式和水循环特征研究, 提出水资源开发利用 3 种方式。

### 3.1 地下水库调蓄方式

在山前平原冲洪积扇地带, 存在单一结构、巨厚含水层组成的天然地下水库, 由于其具有不占耕地、卫生防护条件好以及减少无效蒸发等特点, 世界各国推行并取得良好效果。评价地下水库调蓄功能主要有 4 方面:

(1) 水源上, 来自山区河道入渗、河谷潜流、山前暴雨洪流以及渠系、田间灌溉补给地下水, 水流交替强烈, 水量、水质优良。

(2) 库容上, 第四纪沉积了单一卵砾石为主的巨厚松散物, 含水层厚度 100~500 m, 甚至更厚, 地下水储存空间大。

(3) 调蓄工程上, 结合地表水、地下水及大气降水密切水力联系的特点, 利用含水层颗粒渐变等天然坝基的优势, 通过水利工程或非工程措施进行年内、年际和空间调节, 以解决春旱和夏洪问题。

(4) 调蓄效益评价上, 基于干旱区水资源与生态环境保护可持续发展原则, 评价地下水库修建产生的经济、社会和生态功能<sup>[11]</sup>。以乌鲁木齐河流域乌拉泊洼地地下水库调蓄研究为例, 拟建西山应急水源地运转 30 年(1998~2028)对已建甘河水水源

地影响见表 1。由表 1 可知,在干河子水源地开采  $1\,500\times 10^4\text{ m}^3\cdot\text{a}^{-1}$  的状态下,西山水源地再叠加开采  $484\times 10^4\text{ m}^3\cdot\text{a}^{-1}$ ,  $726\times 10^4\text{ m}^3\cdot\text{a}^{-1}$  和  $968\times 10^4\text{ m}^3\cdot\text{a}^{-1}$ , 泉水排泄量分别减少 8.3%, 10.6% 和 12.5%。而选用何种开采方案,取决于泉水对维持乌拉泊洼地水资源与生态环境的作用大小。由此既解决了乌鲁木齐城市供水不足问题,又保证了生态环境需水,带来的经济和环境效应明显可见。

表 1 拟建西山应急水源地与已建干河子水源地运行 30 年地下水资源评价结果(1998~2028)

Table 1 Groundwater resources evaluation result between planning construct Xishan urgent water source field and Ganhezi finished water source field after 30 years

名称	开采方案	地下水总补给量 $/ (10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1})$	地下水排泄量 $/ (10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1})$	补排相对误差/%	开采期限
干河子水源地	河水入渗	5 479	泉水排泄 9 611		
	渠系入渗	7 172	潜水蒸发 29		
	田间入渗	2 263	开采量 2 661	2	
	降水入渗	467	侧向流出 5 175		
	侧向补给	1 836			全年开采
西山应急水源地	河水入渗	5 591	泉水排泄 9 272		
	渠系入渗	7 172	潜水蒸发 29		
	田间入渗	2 263	开采量 3 391	2	
	降水入渗	467	侧向流出 5 244		
	侧向补给	2 066			开采时间为 2~9 月
西山应急水源地	河水入渗	5 642	泉水排泄 9 044		
	渠系入渗	7 172	潜水蒸发 29		
	田间入渗	2 263	开采量 3 756	0.4	
	降水入渗	467	侧向流出 4 870		
	侧向补给	2 085			
西山应急水源地	河水入渗	5 692	泉水排泄 8 852		
	渠系入渗	7 172	潜水蒸发 29		
	田间入渗	2 263	开采量 4 122	0.4	
	降水入渗	467	侧向流出 4 766		

3.2 山区水库调蓄方式

山区降水和冰雪融水是西北水资源的摇篮,冰雪融水对地表径流具有多年调节作用。为加大河川径流调蓄能力,解决季节性缺水问题,山区水库的无效蒸发和渗漏损失明显小于平原水库是其修建的前提<sup>[12]</sup>。据有关水文站资料,高程越低,蒸发强度越大,天山北麓平原区水面蒸发是山区的 2~3 倍。通过山区水库的调蓄作用,使区域总水资源量增加,为缓解干旱区水资源短缺提供一种有效途径。

3.3 地表水与地下水高效开发方式

天山北麓山前倾斜平原区具有西北水资源分

布的共性,即河川径流量、山前侧向补给及大气降水的总量为山前平原区的水资源总量。从水资源转化关系看,地表水、地下水同出一源,均来自山区的降水。从水循环角度看,存在数次转化形式。以玛纳斯河为例,1956~1987 年河川径流与溢出带泉流量关系如图 8。由图 8 可知,二者变化趋势以及水资源开发利用不同阶段是相一致的。因此,地表水和地下水由联合开发进入高效开发阶段。

同时,水资源开发利用规划必须遵循系统科学原理,采用系统分析方法,以蓄水构造模式和水循环类型等基础依据,以典型地区为示范工程,制定地表水与地下水统一规划目标<sup>[13]</sup>,充分发挥地表水、地下水和土壤水 3 种水库的中长期和短期调节功能,弥补水资源时空分布的不均匀,提高水资源开发潜力,实现水资源的优化配置与生态环境保护。

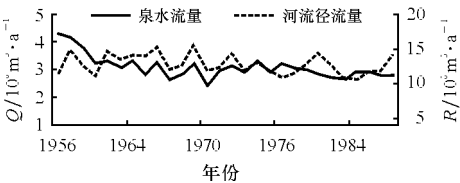


图 8 玛纳斯河红山嘴年径流量与泉流量关系

Fig. 8 Relation of runoff flow and spring flow in annual

4 结语

受地形地貌、地质构造控制,蓄水构造模式不同,地下水与地表水相互转化积极且多次重复转化,大气降水是二者共同的来源。水资源的形成、径流转化及消亡是流域水资源总量研究的重要内容。水是干旱区生态环境系统中起决定作用的敏感因子,人类一切工程技术活动必须基于合理地下水循环特征,充分考虑干旱区地下水资源的经济、社会及生态属性,以系统论的观点,分析研究内陆干旱区“三水”转化的机理,采用合理地下水资源开发方式,以提高水资源的利用率,更好地实现水资源的可持续利用。

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 钱学溥. 中国蓄水构造类型[ M ]. 北京: 科学出版社, 1990.

[ 2 ] 沈照理, 刘光亚, 杨成田 等. 水文地质学[ M ]. 北京: 科学出版社, 1985.

[ 3 ] 李文鹏, 周宏春, 周仰效, 等. 中国西北典型干旱区地下水流系统[ M ]. 北京: 地震出版社, 1995.

[ 4 ] 魏忠义, 汤奇成. 西北干旱区地表水与地下水相互转化及总

水资源的计算[ J] . 干旱区资源与环境, 1997, 11(4): 1~7.

[ 5] 李志安. 我国干旱区大型盆地水文地质特征研究[ J] . 兰州铁道学院学报, 1995, 14( 2): 59~66.

[ 6] 新疆地质矿产局第一水文地质工程地质大队. 新疆天山北麓山前平原( 西段) 及吐鲁番哈密盆地地下水资源与开发利用研究报告[ R] . 乌鲁木齐: 新疆地质矿产局第一水文地质工程地质大队, 1986.

[ 7] 乔晓英, 王文科, 杨泽元, 等. 乌鲁木齐河流域水资源转化关系及其生态环境效应[ A] . 李佩成, 王文科, 裴先治. 中国西部环境与可持续发展国际学术研讨会论文集[ C] . 北京: 中国环境科学出版社, 2004.

[ 8] 新疆地质矿产局第二水文地质工程地质大队. 天山北麓山前平原( 乌鲁木齐河—玛纳斯河流域) 三水转化特征及水资源合理开发利用研究[ R] . 新疆昌吉: 新疆地质矿产局第二水文地质工程地质大队, 1990.

[ 9] 李文鹏, 郝爱兵. 中国西北内陆干旱区地下水形成演化模式及其意义[ J] . 水文地质工程地质, 1999, 26( 4): 28~32.

[ 10] 魏忠义. 天山北坡水资源开发对地下水资源的影响及其合理利用[ J] . 干旱区资源与环境, 1992, 6( 2 ): 55~62.

[ 11] 王雁林, 王文科, 杨泽元, 等. 渭河流域陕西段水资源与生态环境保护[ J] . 地球科学与环境学报, 2004, 26( 1): 79~84.

[ 12] 潘世兵, 王忠静, 曹丽萍. 西北内陆盆地地下水循环模式及其可持续利用[ J] . 地理与地理信息科学, 2003, 19( 1): 51~54.

[ 13] 陈友媛, 周聿超. 利用水资源管理模拟模型研究乌鲁木齐河流域地表水与地下水的转换[ J] . 干旱区资源与环境, 1996, 10( 3): 43~48.

## Storage water structure modes and water cycle characteristic on Tianshan Mountain foot

QIAO Xiaoying<sup>1</sup>, WANG Wenke<sup>1</sup>, CHEN Ying<sup>2</sup>, WANG Jie<sup>1</sup>, HAN Jinping<sup>1</sup>, LIANG Xufeng<sup>1</sup>  
( 1. School of Environmental Sciences and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Expressway Consulting Company of Shaanxi, Xi'an 710054, China)

**Abstract** Based on topography, landforms and geology structure of controlling groundwater information, five storage water structure modes on the foot of Tianshan Mountain, such as series beads mode, cover up series beads mode, intermittent ridge mode, continuous mode and valley mode are discussed different water cycle styles based on precipitation, surface water and groundwater (soil water) are proposed. The reasonable exploration, utilization and protect of water resources are offered.

**Key words** storage water structure; water cycle; three water transformation; exploration and utilization modes; Tianshan Mountain foot

[ 英文审定: 马致远]

( 上接第 29 页)

## Sedimentary facies evolution of Upper Palaeozoic formation in Ordos Basin

ZHANG Xiao li  
( School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract** This study of sedimentary facies evolution of the Upper Palaeozoic formation is based on drilling and geological information. It analyses palaeogeographic environment, rock type, sedimentary facies type and distribution in the Benxi Stage (incursion), Taiyuan Stage (incursion spread), Shanxi Stage (regression), Shihezi Stage (paralic) and Shiqianfeng Stage (continental lacustrine). As a result, these five stages formed a transgression and regressive cycle including from coastal facies to delta facies, fluvial facies and lacustrine facies of continental sedimentary in marine continental transition, and controlled the formation of the favorable reservoir facies which comprised delta facies, distributary channel, pschopholite, submerged distributary channel, pschopholite and tidal flat facies bar. The hydrocarbon source rocks is coal bearing strata in the tidal flat facies. The caprock is related to shaly rocks in the flood plain. The complicated overlapping and juxtaposition between the source and reservoir rocks caused the formation of lithologic gasses, which was largely controlled by sandbody distribution.

**Key words** Ordos Basin; sedimentary facies; sedimentary evolution; source reservoir cap rock combinations

[ 英文审定: 周军]