

# 乌鲁木齐河流域地下水水位监测网设计

朱瑾<sup>1</sup>, 霍传英<sup>1</sup>, 姜越<sup>1</sup>, 弓小平<sup>1</sup>, 李和生<sup>1</sup>, 王俊桃<sup>2</sup>, 李文鹏<sup>2</sup>, 周仰效<sup>3</sup>

(1. 新疆地质环境监测院, 乌鲁木齐 830000; 2. 中国地质环境监测院, 北京 100081;

3. 联合国教科文组织水资源学院, 荷兰德尔福特)

**摘要:** 文章阐述了乌鲁木齐河流域区域地下水水位监测网的优化设计。基于ARCGIS技术, 运用水文地质学方法在叠加合成地下水动态类型分区图的基础上优化设计了区域地下水水位监测网密度; 采用时间序列分析方法确定了地下水水位监测频率。首期施工安装了11个新的长期专门监测孔; 对73个现有监测孔进行了维修并安装了孔口保护装置, 安装了28套水位自动监测仪, 初步实现了地下水水位的自动监测。

**关键词:** 乌鲁木齐河流域; 地下水水位监测; 监测网密度优化; 频率优化; 自动监测

中图分类号: P641.74

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2007)02-0008-07

## 1 引言

乌鲁木齐河位于中国西北部新疆维吾尔自治区, 是一个典型的内陆河流域, 面积达5 803 km<sup>2</sup>。乌鲁木齐河起源于南部天山山脉, 经过封闭的柴窝堡盆地, 最终流入北部的准噶尔盆地(图1)。流域地处欧亚大陆腹地, 气候干旱, 平原地区干旱少雨, 蒸发强烈, 生态环境十分脆弱; 南山和东山的中山地区, 降水较多, 年降水量可达500 mm以上, 是乌鲁木齐流域水资源形成区及河流的发源地。

近50年来, 由于对水资源的不合理开发和缺乏统一管理, 忽视上、中、下游水资源的合理布局和生态保护用水, 河流出口后被层层拦截, 以人工渠系代替天然河道, 以人工水库代替天然湖泊及地下含水层, 不断扩大灌溉绿洲, 长期以来重视农业用水, 而忽视林业灌溉用水和荒漠生态保护; 灌溉方式落后(大水漫灌), 忽视节水工程, 使沙漠与灌溉绿洲之间的过渡带得不到水源, 结果引发了地下水水位下降、水质恶化、湖面萎缩、天然环境被破坏、地下水溢出群干涸、下游土壤次生盐渍化、沙漠化加重等诸多水环境问题。

建立和运行一个优化的地下水监测网是直接获取地下水信息、为政府合理规划开发水资源提供可靠数据的最有效手段。目前流域内地下水监测工作存在许

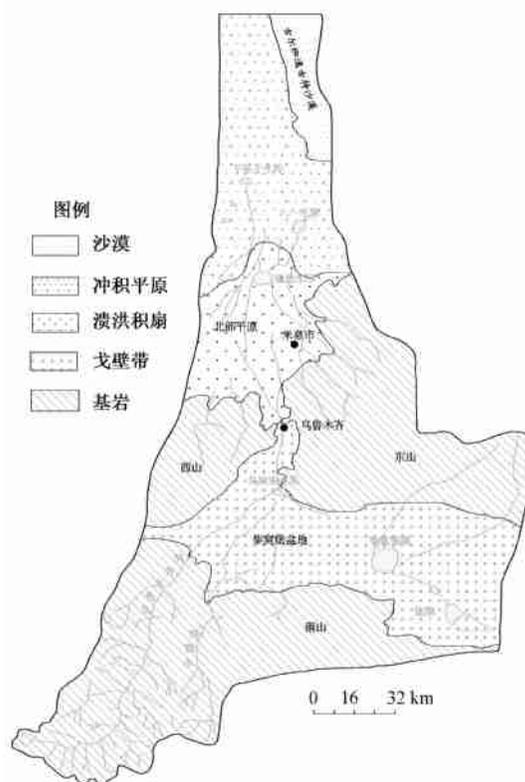


图1 乌鲁木齐河流域略图

Fig. 1 Urumqi River Basin

多问题: 如经费严重不足、监测井布设不合理、在水资源开发引起环境问题的地方缺少控制性监测点、监测内容单一、监测孔质量下降、监测手段严重落后等。

中荷合作项目乌鲁木齐河流域地下水水位监测网的优化设计和实施, 改善了流域区域地下水水位监测网, 为新疆及中国西北干旱地区建立和优化地下水水位监测网提供了范例。

收稿日期: 2006-12-21; 修订日期: 2006-12-30

基金项目: 中国荷兰合作项目“中国地下水信息中心能力建设”

作者简介: 朱瑾(1967-), 女, 高级工程师, 主要从事水文地质、环境地质和灾害地质等方面工作。

## 2 乌鲁木齐河流域地下水水位监测历史

乌鲁木齐河流域地下水监测工作始于 20 世纪 50 年代末期。1957~1963 年是监测网初步建立阶段,原新疆地矿局第一水文地质大队在进行乌鲁木齐市地质、水文地质、城市供水水文地质勘查项目时,初步建立起乌鲁木齐市地下水水位监测网,开始了流域地下水水位监测的历史,监测范围主要局限在市区,监测点数较少,大约有 20~46 个。文革后期到改革开放的十多年间(1974~1990 年),是地下水监测工作的发展时期,成立了专门性的监测机构:乌鲁木齐长观站,监测点数量逐渐增加,至 1990 年达 100 余个,监测范围向流域上游柴窝堡盆地及下游北部平原扩大。到 20 世纪 90 年代末期,受机构改革及市场经济的冲击,监测工作勉强维持、举步为艰。2004 年中国—荷兰合作项目“中国地下水信息中心能力建设”实施以来,随着新技术、新方法的广泛应用以及重要地区 11 个新监测孔的施工、监测,使流域地下水水位监测网得到改善,提高了监测能力和监测精度。

## 3 乌鲁木齐河流域地下水水位变化趋势

### 3.1 地下水水位空间变化趋势

流域南部柴窝堡盆地地下水水位高,北部地下水水位低,乌鲁木齐河流域地下水总体上从南向北径流,柴窝堡湖流域地下水总体从西向东径流。受人工开采等因素影响,柴窝堡湖北水源地、柴窝堡湖西水源地、青格达湖水源地、石化总厂水源地周边及市区河谷、北部细土平原地下水水位有所下降。近年来随着市区二宫水源地、部分自备井的封闭、停采,市区地下水水位有所回升。

### 3.2 地下水水位时间变化趋势

#### 3.2.1 柴窝堡盆地

广大地区属天然动态,局部为开采动态。1993 年柴北水源地,1999 年柴西水源地投产后,水源地中心 5km 范围内地下水水位出现明显下降趋势。至 2005 年,柴窝堡湖北水源周围地下水水位达到稳定,累积下降约 5m 左右(图 2)。柴西水源地地下水水位还在下降,已累积下降 6m 左右(图 3)。

#### 3.2.2 乌鲁木齐河谷区

河谷大部分地区目前为开采动态型。特别是 1961 年在乌鲁木齐河上游修建了乌拉泊水库,造成河谷区地下水水位大幅下降,从南到北平均下降幅度 1~5m,虽然在 1964 年初由于乌拉泊水库放水,造成河

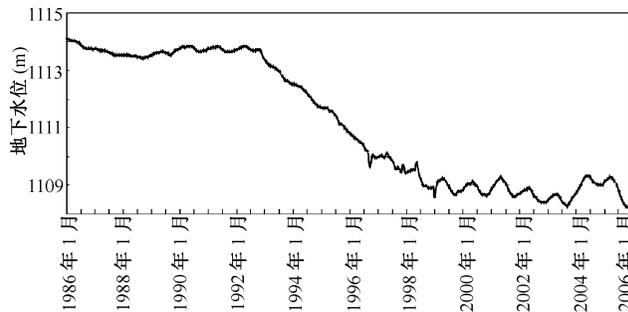


图 2 柴窝堡湖北水源地 W20 号孔地下水水位多年动态曲线

Fig. 2 Groundwater level hydrograph at well W20 in North Chaiwopu lake well field

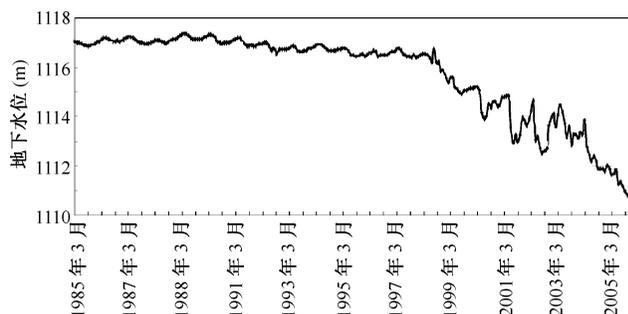


图 3 柴窝堡湖西水源地 W12 号孔地下水水位多年动态曲线

Fig. 3 Groundwater level hydrograph at well W12 in South Chaiwopu lake well field

谷区潜水较大幅度上升,1966 年以后又不断在水库下游河谷中修建了集水廊道、大口渗井、集中开采地下水井群以及大量自备井,使地下水水位保持持续下降趋势,近几年在乌拉泊水库放水时水位抬升很高(图 4)。

#### 3.2.3 北部倾斜平原

该区是农垦区,机井星罗棋布,地下水水位呈补给开采动态。灌溉期水位下降,停灌溉期地下水补给使水位上升,年变幅达到 4m 左右。还没有发现地下水水位持续下降趋势(图 5)。

#### 3.2.4 细土平原区

细土平原为农灌区,开采的主要含水层为第一至第四层承压水。潜水水位多年动态基本稳定,承压水水位呈缓慢下降趋势(图 6)。

## 4 乌鲁木齐河流域地下水水位监测网密度优化

### 4.1 现状监测网基本情况

历史上监测网的布设是以为城市供水服务为目

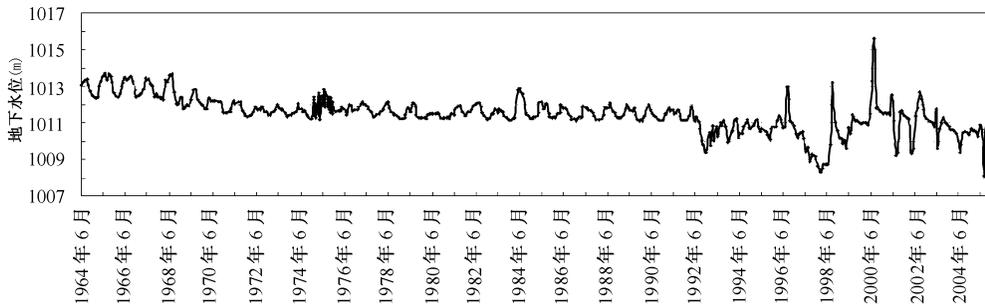


图4 河谷区240号孔地下水水位多年动态曲线

Fig. 4 Groundwater level hydrograph at well 240 in Urumqi Valley

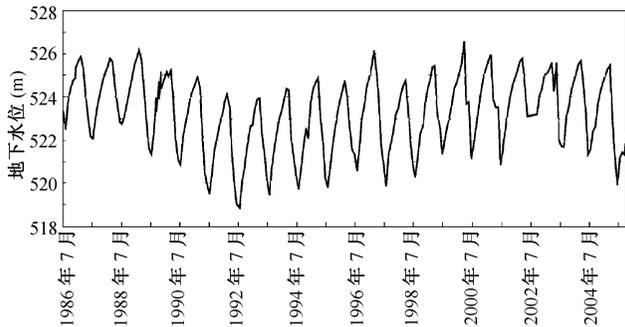


图5 北部倾斜平原S16号点地下水水位多年动态曲线

Fig. 5 Groundwater level hydrograph at well S16 in North Alluvial Plain

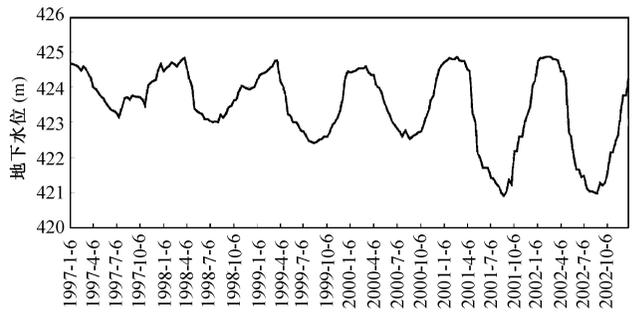


图6 北部细土平原22026号点地下水水位多年动态曲线

Fig. 6 Groundwater level hydrograph at well 22026 in North Plain

的。监测井集中在水源地周围与市区。共有长期动态监测点73个，其中柴窝堡盆地34个，河谷区21个，北部倾斜平原区10个，细土平原区8个。监测频率开始为6次/月，之后减少为3次/月，目前为1次/月。监测网虽然为监测水源地周围地下水位下降提供了大量有用信息<sup>[1-2]</sup>，但已无法监测区域地下水位的变化趋势。

#### 4.2 监测网密度设计

乌鲁木齐河流域水资源的开发已经引起区域地下水位变化，建立区域地下水位监测网实属必然。为了满足地下水资源的可持续开发利用和流域水资源的综合管理要求，迫切需要把目前的局部监测网建成区域战略监测网。由于现有监测井稀少且局部集中分布，无法应用定量方法优化监测网密度。本文运用编制地下水动态类型图的方法<sup>[3]</sup>，充分考虑影响地下水动态的自然因素和人为因素，利用先进的ARCGIS软件进行空间叠加合成地下水动态类型图，在此图及现状监测孔分布的基础上进行监测井空间位置设计。

##### 4.2.1 影响动态因素的单要素图

水文地质单元图：根据流域平原区水文地质分区、地形地貌分区和富水性分区共分46个水文地质单元

区，以“水文地质区+地形地貌大区+富水性+地形地貌小区”命名。

水文地质大区主要由大的构造断裂所控制，分为柴窝堡盆地、乌鲁木齐市河谷、北部山前倾斜平原和下游细土平原4个大区，大区中的小区由次一级的构造断层或主要补给河流所控制，共分为23个水文地质单元小区。

地形地貌大区按成因类型划分为侵蚀剥蚀低山、山前倾斜平原、山间盆地平原、冲积湖积平原，次一级地貌单元按次一级成因类型及地形坡度划分。地形坡度利用地理底图数字高程，使用ARCGIS软件分析划分，共分为波状斜地洼地、浑圆状低山区、老冲积扇区、新冲积扇区、扇缘沼泽低地、粘土质洪积平原、强倾斜洪积扇、缓倾斜洪积扇、高台状冲积洪积扇、串珠状冲积洪积扇、河漫滩及扇缘平原、冲积平原、洪积平原及沙漠等14个地形地貌小区。

富水性分区是根据第四系潜水含水层的渗透系数及第四系松散岩类孔隙潜水单位涌水量划分为强、中、弱、贫等4个区<sup>[4]</sup>。

利用ARCGIS图形叠加功能把上述3张分区图合

并生成水文地质单元分区图。

**非饱和带岩性图:** 由地下水埋深图及土壤岩性图叠加合成, 共分为 5 个区: 即粘土区, 粉砂、砂、亚粘土互层区, 粉砂、砂互层区, 砂砾石区, 卵砾石区。

**补给分区图:** 是在土地利用图和地下水补给来源的基础上叠加合成的, 共分为 11 个区。

山前倾斜平原非农灌区地下水的主要补给来源为山前侧向径流、河流入渗、降雨入渗补给, 农业区为山前侧向径流、河流入渗、渠系及灌溉入渗、降雨入渗补给; 河流中游非开采区为地下水侧向径流, 开采区为地下水侧向径流、灌溉入渗、降雨入渗补给; 下游非农业灌溉区以侧向径流及降雨入渗补给为主, 农业灌溉区为侧向径流、渠系及灌溉入渗补给为主。

**局部动态因素影响分区图:** 根据影响地下水年内动态及趋势类型的主要局部因素, 如河流、湖泊、水库、泉、水源地、地下水分水岭、构造断层等分为 4 个区, 分别为泉水溢出带、北部细土平原强蒸发区、柴窝堡盆地强蒸发区、农业灌溉强开采区。

#### 4.2.2 动态类型分区图

将上述 4 张单要素图进行叠加合成动态类型分区图。在叠加过程中形成的面积小于  $1\text{km}^2$  的小区进行分析后与相邻区合并, 全区最终分为 178 个动态类型区, 其中柴窝堡盆地有 62 个区, 河谷区有 44 个区, 北部平原原有 72 个区(图 7)。

#### 4.2.3 监测孔空间位置优化设计

监测孔布置原则:

- (1) 最大限度利用现状监测点;
- (2) 每个动态类型区布置 1 个专门性监测点, 布置时尽量远离开采井;
- (3) 充分考虑灌溉、蒸发、河流对地下水动态的影响以及东西两侧边界地下水动态;
- (4) 在北部砾质平原单一结构潜水与细土平原多层结构承压水过渡带布置一组分层监测地下水水位的监测孔, 用以计算垂向水量交换;
- (5) 垂直水文地质边界设置一对观测孔, 用以计算边界的流入量和流出量;
- (6) 垂直河流、水库设计一对观测孔, 用以计算水量交换。

示范区共分为 178 个地下水动态类型区, 根据现状监测点布局, 还应新增布置 105 个专门性监测点, 其中柴堡盆地新布设 48 个, 河谷区布设 4 个, 北部平原布设 53 个, 才能使全流域补给区、径流区、排泄区及不同动态类型区的地下水得到全面控制(图 8)。

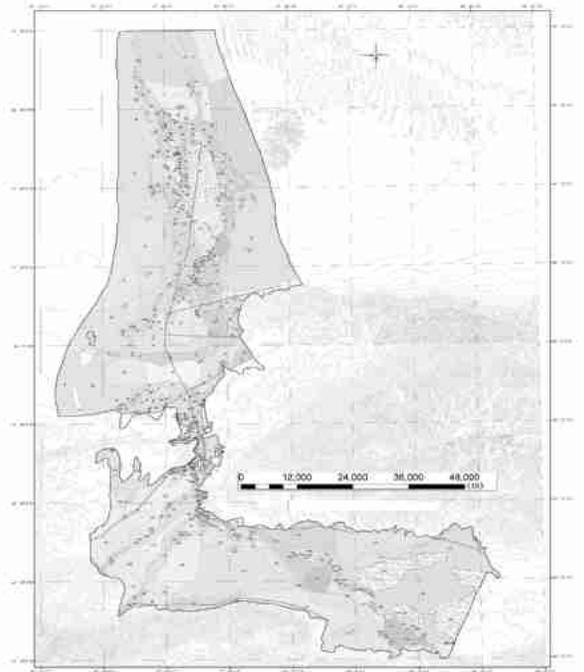


图 7 地下水动态类型分区图

Fig. 7 Groundwater regime zone map of Urumqi River Basin

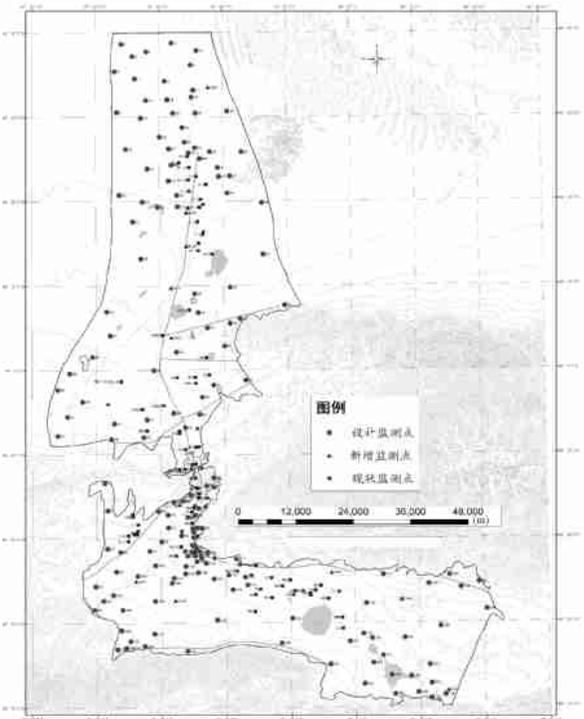


图 8 布置的地下水动态监测点分布图

Fig. 8 Locations of newly designed observation wells in Urumqi River Basin

## 5 乌鲁木齐河流域地下水水位监测网频率优化

在运用时间系列叠加模型分析地下水动态特征的

基础上确定合理的观测频率。计算过程用 FREQ 软件完成<sup>[5]</sup>。分别在柴窝堡盆地、河谷和北部平原各选择一个有连续观测的系列进行了分析。结果表明乌鲁木齐河流域地下水位只在局部地区有所下降,还没有发生区域性长期持续下降趋势。地下水位变化的主要特

征为周期波动和随机变化。主要周期为年周期,年内水位变幅达到 4m 以上,每年最低水位值出现在灌溉期后的 8 月份,最高水位出现在 3 月份,另外还存在半年周期和多年周期。图 9 表明河谷区地下水水位的周期性变化规律。

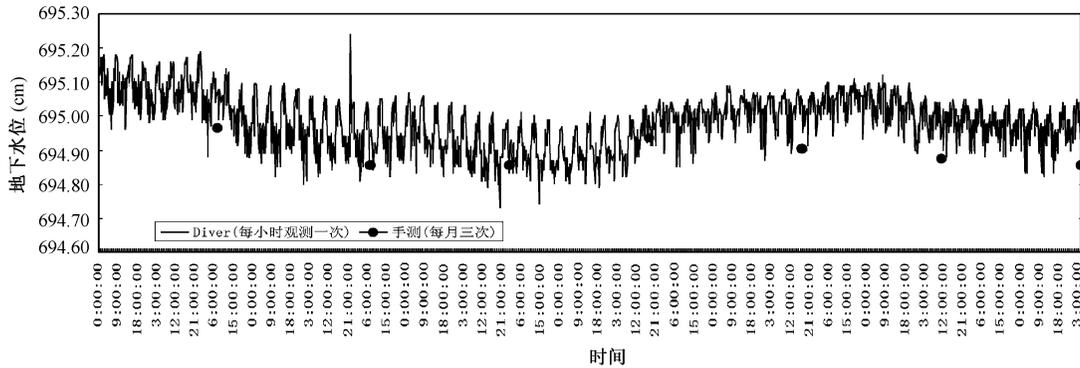


图 9 河谷区 261 号孔地下水水位系列周期性变化曲线

Fig. 9 Periodic fluctuations of groundwater level at well 261 in Urumqi River Valley

因此乌鲁木齐河流域地下水位手工监测频率定为 1 次/月即可有效地监测到区域地下水水位的下降趋势和周期性变化,高频率的随机变化可由自记水位仪监测。

## 6 乌鲁木齐河流域地下水水位监测网维护

维修:乌鲁木齐河流域地下水监测网运行近 40 年,部分监测井淤积严重,监测数据失真。为满足项目及安装自记水位仪的需要,对监测区 24 口淤积、破坏的监测孔进行了洗井维修(照片 1),使监测孔恢复正常运行。



照片 2 孔口保护

Photo 2 Well head protection



照片 1 洗井现场

Photo 1 Cleaning observation wells

保护:对现有 73 个监测孔采用 273mm 的钢管焊制了统一规格的孔口保护装置,并用汉、维两种文字制作了三角形警示标志牌(照片 2),以提高社会公众保护地下水监测设施的意识。

## 7 乌鲁木齐河流域地下水水位新监测孔

作为从局部监测网向区域监测网过渡的第一步,中荷合作项目在全面分析示范区地质、构造、水文地质条件以及地下水动态监测孔布设图的基础上,确定了首期施工的 11 眼监测孔的位置(表 1),重点放在北部平原与柴窝堡无监测控制区,其中:柴窝堡盆地布设 6 个,主要目的是确定东部地下水分水岭及河流(水西沟、大西沟、白杨河、三个山河)入渗补给;北部平原布设 5 个(其中有一组分层监测两层承压水),主要目的是确定农业灌溉及蒸发对地下水的影响以及计算垂向水量交换。共设计钻探进尺 1 440m,实际累计进尺 1 483m,每个孔都进行了抽水或注水试验,取得了所需

的水文地质参数。这 11 个监测孔的实施,填补了区域空白区地下水位的动态监测,并为建立乌鲁木齐河流域地下水数值模型提供了十分有用的数据。

## 8 乌鲁木齐河流域地下水水位自动监测

流域面积大,距离远,冬季寒冷且漫长,加之测绳操作不便,野外人工手测地下水位十分艰苦。必须发展自动监测,才能实现流域区域性地下水动态监测。地下水位自计监测仪同时能够监测特殊因素影响下局部地下水水位的变化,如水源地周围和灌区的地下水位影响等。

表 1 乌河流域示范区新增监测孔基本情况表

Table 1 Lists of newly installed observation wells

监测孔位置	监测孔号	坐标		地下水类型	监测孔目的
		X	Y		
新增柴窝堡盆地监测孔	cai1	15 600 289. 99	4 804 283. 02	孔隙潜水	确定地下水分水岭
	cai2	15 547 428. 62	4 834 799. 59	孔隙潜水	监测泉流量动态
	cai3	15 535 145. 4	4 827 725. 91	孔隙潜水	确定大西沟入渗补给
	cai4	15 543 381. 01	4 823 525. 06	孔隙潜水	确定水西沟入渗补给
	cai5	15 575 889. 47	4 829 896. 54	孔隙潜水	确定白杨沟入渗补给
	cai6	15 590 522. 13	4 824 099. 65	孔隙潜水	确定三个山河入渗补给
新增北部平原监测孔	bei1	15 542 505. 38	4 881 197. 86	浅部含水层	了解溢出带动态
	bei2	15 542 399. 38	4 892 097. 67	浅部含水层	了解农业灌溉对地下水影响
	bei3	15 545 516. 62	4 901 301. 0	浅部含水层	了解农业灌溉对地下水影响
	bei4	15 545 495. 42	4 908 617. 04	浅部含水层	了解农业灌溉对地下水影响
	bei5	15 550 012. 26	4 936 142. 22	深层多层含水层	监测蒸发

仪器安装之前对选择的监测孔进行了修复和维护,包括洗井、安装孔口保护装置。目前已安装了 28 个 TD-DIVER, 3 个 BaroDiver, 监测频率设置 1 次/h。经

过近一年的运行表明, DIVER 仪器运行良好, 准确度较高, 与手工监测数据相比能监测到地下水位的微小变化(图 10)。

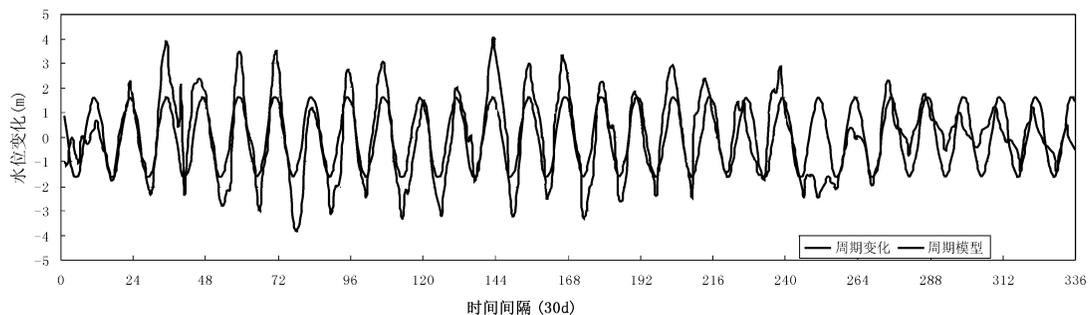


图 10 22011 孔手工监测与 DIVER 监测对比曲线

Fig. 10 Comparison between hand and Diver measurements at well 22011

## 9 结论

乌鲁木齐河流域地处干旱内陆盆地,山区降水产流贮存在盆地与平原含水层之中。地下水是城市供水、工业供水和农业灌溉的重要水源。建立流域地下水位战略监测网是实现流域水资源可持续开发与综合

管理的基础。本文运用地下水动态类型编图法进行了乌鲁木齐河流域地下水水位监测网密度优化。共设计了 178 监测孔,利用现有 73 个长期监测孔,需要 105 个新的长期监测孔。中荷项目首期确定并施工了 11 眼监测孔,未来需要逐步实施 94 个新的长期监测孔。地下水位的监测应从手工监测向自动监测发展。手工

监测频率1次/月即能监测地下水位的趋势下降和周期性变化。局部地区地下水水位高频率的变化可由自动监测仪监测。

乌鲁木齐河流域具有典型的内陆河流域特征,因而水位监测网的优化与实施,不仅提高了流域内监测质量及监测水平,同时为西北干旱地区地下水水位监测提供了范例。

致谢:该项目得到了中国和荷兰政府的经费资助,乌鲁木齐河流域地下水水位监测网优化设计工作得到了联合国教科文组织荷兰水资源学院(UNESCO-IHE)、荷兰应用地学研究所(TNO)、荷兰范爱森仪器公司、中国地质环境监测院和新疆国土资源厅的技术支持;乌鲁木齐市水务局、新疆五家渠水利局、米泉市水利局、农六师各团场水管站等单位提供了宝贵资料;新疆地质环境

监测院魏文慧、虞庆华、吴银光、李仪、邹享、石炎、夏红艳、王光文等协助项目实施;在此一并表示感谢!

#### 参考文献:

- [1] 王彩华,朱瑾,姜越. 新疆主要城市和地区地下水动态监测五年报告(1991—1995)[R]. 1996.
- [2] 朱瑾. 乌鲁木齐地区地下水动态监测五年报告(1996—2000)[R]. 2001.
- [3] 周仰效,李文鹏. 区域地下水监测网优化设计方法[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(1): 1—9.
- [4] 新疆维吾尔自治区地矿区第一水文地质大队. 新疆乌鲁木齐河流域水资源综合评价报告[R]. 1985.
- [5] Zhou Yangxiao. Sampling frequency for monitoring actual state of groundwater systems[R]. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands, 1992.

## Monitoring of regional groundwater level in Urumqi River Basin

ZHU Jin<sup>1</sup>, HUO Chuan-ying<sup>1</sup>, JIANG Yue<sup>1</sup>, GONG Xiao-ping<sup>1</sup>, LI He-sheng<sup>1</sup>,  
WANG Jun-tao<sup>2</sup>, LI Wen-peng<sup>2</sup>, ZHOU Yang-xiao<sup>3</sup>

(1. Xinjing Geo-environmental Monitoring Institute, Urumqi 830000, Chian; 2. China Institute of Geo-environmental Monitoring, Beijing 100081, Chian; 3. UNESO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands)

**Abstract:** This paper describes the design of a regional groundwater level monitoring network in Urumqi River Basin. The monitoring network density was determined based on the regional groundwater regime zone map which was created using ARCGIS by combining the hydrogeological zone map, unsaturated zone map, recharge zone map and local influence zone map. The sampling frequency was determined using time series analysis. Eleven new observation wells were drilled and 73 old wells were cleaned and protected with a special cover. Twenty eight automatic data loggers (TD Divers) were installed, which provide detailed information of groundwater level variations.

**Key words:** Urumqi River Basin; Groundwater level monitoring; optimum network density; sampling frequency; automatic recording

编辑:汪美华

(上接第7页)

**Abstract:** A regional groundwater level monitoring network was optimally designed for the Jinan Karstic Spring Basin. The network density was optimized by delineating groundwater regime zone map. The sampling frequency was determined based on the time series analysis and statistical test of historical groundwater level time series. Automatic recorders were installed to monitor high frequent variations. Procedures for protecting groundwater monitoring wells were set-up. Information from the monitoring network will be disseminated to water managers, water users and public for protecting Karstic groundwater and maintaining spring outflows.

**Key words:** Jinan Karstic Spring Basin; groundwater level; network density; sampling frequency; automatic recording

编辑:汪美华