

# 柴达木盆地严重缺水地区地下水勘查经验总结

## ——以乌兰县严重缺水地区地下水勘查为例

郭宏业 王永贵 许生福 辛元红 李健

(青海省地质调查院 西宁 810012)

**摘要** 本文通过乌兰县严重缺水地区地下水勘查实例,重点分析了柴达木盆地第四系松散岩类孔隙水的分布规律、赋存条件及富水性。盆地内地下水,呈现出与地貌岩相带和景观生态相应的水平分带规律。山前戈壁砾石带的第四系溶滤潜水是本区主要富水区,水量丰富,水质好,河流对地下水的形成起着决定性的支配作用。储存于洪积扇中的地下水,主要接受地表水的入渗补给,其富水程度,取决于补给河流流量的大小,一般较大型冲洪积扇轴部的含水层富水程度较高,水质好,而侧翼及其前缘富水性则相对较差。

**关键词** 地下水;冲洪积扇;分布规律;富水性

## 概况

柴达木盆地深居大陆腹地,具典型的中纬度高寒、干旱大陆性气候特征。由于地域辽阔、地形复杂,盆地内表现为干旱荒漠区,而周边山地则属高寒区。乌兰县地处青藏高原东北部、祁连山系中段,是柴达木盆地的次级盆地,呈近东西向展布,三面环山。

青海省乌兰县严重缺水地区人畜饮用水地下水勘查,是中国地质调查局于2001年12月5日下达给青海省地质调查院承担的“青海省乐都、民和等严重缺水地区地下水勘查”项目的补充项目,其目标是在青海省乌兰县严重缺水地区,开展人畜饮用水地下水示范勘查,旨在寻找地下水富水地段,为该地区指出找水方向解决当地群众饮用水水源,以解决或缓解该区的人、畜饮水困难。通过该项目的实施,了解盆地地下水的分布规律和赋存条件,指出地下水开采方向,达到在同类地区的地下水勘查示范作用。

## 地质、水文地质

### 2.1 地质

盆地周边为前第四纪地层组成基岩山区。盆地内除西北部因地壳缓慢抬升,使第三纪地层裸露于地表外,其余地区均被巨厚的第四纪地层所覆盖。

#### 2.1.1 前第四纪地层、岩石

柴达木盆地前第四纪地层主要分布于盆地周边的基岩山区,除太古代地层外,各时代地。

---

**第一作者简介:** 郭宏业,男,1965年出生,1987年毕业于西安地质学院水工系,学士学位,高级工程师,主要从事水文地质、工程地质和环境地质勘查工作。

层均有出露。侵入岩多分布于周边山区，从元古代到新生代均有发育

### 2.1.2 第四纪地层

柴达木盆地第四纪地层极为发育，且具分布广、成因类型复杂、沉积厚度大等特点。

早更新世 ( $Q_1$ ): 以湖相沉积为主。在盆地中部岩性以细粒松散岩类为主，含介形类化石，厚约 15.79m；西部为泥岩、砾岩，并形成油田水储水构造，蕴藏有高压自流水；在诺木洪、怀头他拉、达布逊湖北等地，岩性以细砂、粉砂、亚砂土及泥岩、砾岩等为主；出露于阿尔金山中段的七个泉组是胶结较好的碎屑岩类，总厚度达 15.79m。

中更新世 ( $Q_2$ ): 以冰碛、冰水堆积为主，湖积、冲湖积及洪积次之。冰川堆积多分布于山区及冲洪积扇底部，岩性以漂砾、砂砾卵石、泥砾为主。据钻孔揭露厚度达 803m。

晚更新世 ( $Q_3$ ): 以洪积砂砾卵石、冰水堆积砂砾石、湖积细砂、粉砂、亚粘土及化学沉积为主，地貌上多构成冲洪积扇。钻孔揭露厚度为 251m。

全新世 ( $Q_4$ ): 广泛分布于柴达木盆地，且成因类型繁多，有冲积、冲洪积、湖积、湖沼堆积、化学沉积、残坡积及风积等，以盐类沉积和风积分布最广，地层总厚度达 79m。

## 2.2 柴达木盆地地下水系统的基本特征

第四纪盆地主要是在中、新生代盆地基础上发展而成的，根据地质构造、地形地貌、水文地质特征，柴达木盆地可分为南盆地、北盆地和西盆地三个水文地质区。西盆地是指阿尔金山以南、冷湖—格尔木以北的中低山—丘陵区。该区气候极其干旱、年降水量不足 20mm，除局部山前冲洪积扇区有不稳定的地下淡水资源外，大部分地区地表水、地下淡水资源均极为贫乏，以卤水为主；北盆地是盆地北缘祁连山南麓乌兰—苏干湖一线的次级中小型山间盆地（包括乌兰希里沟盆地），地下水的形成和演化各具特色，一般具有独立的汇流中心，具有较丰富的淡水资源；南盆地是指盆地南缘昆仑山之北的茫崖—都兰山前平原区，该区是柴达木盆地主要地下淡水分布区。盆地四周为褶皱带形成的高山，高山区降水及冰雪融水相对丰富，并形成强大的地表径流，河流均为内流水系，流入盆地后成为地下水的主要补给来源。所以，地下水具以下鲜明的特点：

自山区流入盆地的河流径流量，基本代表了全盆地的总水资源。

出山河流流经戈壁带，大部分入渗地下成为地下水，又在冲洪积扇前缘溢出地表，形成泉群或泉集河，成为绿洲带的主要涵养水源。

河流出山口后的转化模式有两种，即一次转化型和多次转化型。北盆地和南盆地多数河流出山口后，多直接进入各自的汇水中心，以格尔木河、诺木洪河、乌图美仁河、大灶火河、铁力木克河、乌兰的都兰河、赛什克河等为典型代表，属于一次转化型；而那棱郭勒河、柴达木河、大哈勒滕河、塔塔棱河、鱼卡河等河流从上游至下游要流经两到三个次级盆地，地表水、地下水多次重复，相互转化。

山前平原自戈壁带（地下水补给带） 绿洲带（地下水泄出带过渡到径流带） 盐土

带或沙漠带（地下水蒸发排泄带）的水平环带分布现象十分明显，河流最终汇入尾间湖。

盆地内地下水，呈现出与地貌岩相带和景观生态相应的水平分带规律。地下水自盆地边缘至湖盆中心呈现出水量、水质、埋藏条件等一系列的共生连续变化。它具体表现为：

- 中高山及中低山基岩带——基岩裂隙水；
- 山前戈壁砾石带——第四系溶滤潜水局部承压水；
- 绿洲细土带——第四系大陆盐渍化潜水—承压自流水；
- 盐壳湖沼带——第四系大陆盐渍化潜水及盐溶水、咸承压自流水。

显然，山前戈壁砾石带的第四系溶滤潜水是本区主要富水区，水量丰富，水质好，河流对地下水的形成起着决定性的作用。河流出山口后大量渗漏地下，成为地下水的丰富源泉。

地下水的径流排泄情况和地貌岩相带和景观生态关系极为密切。河流出山口后大量渗入地下，形成戈壁砂卵砾石层中潜水，径流畅通，埋藏较深，而不受蒸发，为地下水强烈径流带。到冲洪积扇前缘之细土带，由于含水层岩性变细，地形坡度变缓，水位雍高，使地下水大量溢出地表，形成沼泽后蒸发排泄或泉群及泉集河形式排泄到盆地中央湖泊中。

在细土平原中部，潜水埋藏仅 1—3m，蒸发强烈，排泄量很大，加之地表长有茂密的丛草灌木，也大量蒸腾地下水。

总体上，柴达木盆地（包括次级山间盆地）从山前一盆地中心，含水层特征、地下水富水性及水质等，具有环带状或半环带状分带规律。具有如下特征：

山前至冲洪积扇的中部，含水层岩性以砂卵砾石为主，地下水埋藏深度一般大于 50m，含水层厚度大于 200m，透水性好，径流迅速，地下水循环交替积极，富水性强，单孔涌水量多大于 5000m<sup>3</sup>/d，水质好，水化学类型因地制宜，一般以 HCO<sub>3</sub>·Cl—Na、Cl·HCO<sub>3</sub>—Na·Ca 为主，矿化度 < 1g/l。

冲洪积平原及冲洪积扇中前缘，地下水埋藏深度小于 50m，含水层厚度大于 100m，含水层岩性为粗中砂、粉砂，富水性强，单井出水量 1000—5000m<sup>3</sup>/d，水质好，洪积扇轴部矿化度 < 1g/l，侧翼及前缘地带富水性稍差，矿化度 1g/l 左右。

冲湖积平原上部弱矿化潜水与下部淡、微咸承压—自流水带：本带地下水是前两带地下水的延续和分异，潜水埋藏一般 < 20m，含水层岩性以细粉砂为主，富水程度中等，单井涌水量 100—1000m<sup>3</sup>/d。水化学类型复杂，以 HCO<sub>3</sub>·Cl·SO<sub>4</sub>—Na·Ca·Mg 居多，矿化度 < 1g/l。

湖积平原咸水、盐卤水带：分布于盆地中央现代湖泊及其周边地区，地下径流近于停滞，矿化度高，多为苦咸水及卤水。

### 2.3 希里沟盆地地下水分布特征

希里沟盆地为独立的水文地质单元。周围山区的大气降雨和冰雪消融水通常以构造裂隙和风化裂隙为主要通道渗入补给，形成基岩裂隙水。由于山区地形陡峭，基岩裂隙水经短径流后很快以泉的形式排泄于沟谷中。地下水受季节性控制非常明显，雨季降水增多，泉水

流量较大；枯水期补给量减少，泉水流量渐小、甚至于枯竭。基岩裂隙水在沟谷低洼处泄出汇集地表水，在出山口附近大量入渗补给，形成盆地内松散岩类孔隙水。山区河流动态不稳定，季节性变化较明显。

盆地山前平原后缘为地下水补给区，主要接受基岩山区的入渗补给和基岩裂隙水的侧向径流补给，在盆地山前平原中部地带，主要以水平运动为主，接受来自山区的地表径流和地下径流补给后，沿冲洪积扇轴线方向向盆地中心径流汇集；在洪积扇后缘地层颗粒粗，孔隙度大，地下水径流通畅；到洪积扇前缘因地层颗粒变细，径流缓慢，加之受全新统湖相地层阻挡，使其地下水位抬升并溢出地表，形成泉溪或沼泽；至柯柯湖及都兰湖湖滨地带，地下水基本停滞，最终消耗于大面积地面蒸发及湖水蒸发。根据盆地北部洪积扇水文地质条件分析，该区第四系松散岩类孔隙水主要受北部山区河水出山口渗漏补给，含水层岩性主要为中、上更新统砂砾石、含砾中细砂等，含水层厚度大，补给条件好，地下水丰富，单井出水量大于  $1000\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度小于  $1\text{g/l}$ ，水化学类型属  $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na} \cdot \text{Mg}$  型水。但由于盆地水文地质结构具山前自流斜地特征，表现在第四系岩性、岩相及沉积特征上具有明显的水平分带性，垂向上由单一潜水层向洪积扇前缘逐渐过渡为多层状互层结构。一般较大型冲洪积扇轴部的含水层富水程度较高，而侧翼及其前缘富水性则相对较差。

地面物探采用激电测深法，在重点勘查区内沿平行地下水流向和垂直地下水流向，布设十字电测深剖面，采用仪器为 WDJD—1 型多功能数字激电仪，测深点每  $1\text{km}$  一个点。观测参数以视电阻率为主，视激化率  $\rho_s$  和半衰时  $t$  为辅，用以对比解释。通过地面物探工作，基本确定了地下水的富集区，为水文地质钻探工作的合理布置取得了较为可信的资料。

所有钻孔都采用“JJZ 型四笔自动记录仪”进行了测井工作，测量采用视电阻率梯度法、视电阻率电位法、自然电位法。通过测定自然电位、自然  $\rho$  和视电阻率等参数后，进行综合解释，从而较准确的确定了地层结构和含水层部位，为钻孔的进一步施工和成井提供了可靠资料。通过对前人资料的分析研究，针对严重缺水地区的实际情况，在地面调查和地面物探工作的基础上，在乌兰县柯柯镇的东西村，赛什克乡怀灿吉村、纳木哈村，希里沟镇西庄村，铜普乡政府院内共施工 6 眼大口径探采结合井，钻孔口径为  $500\text{mm}$ ，成井均采用  $305\text{mm}$  的铸铁井管，采用穿孔缠丝式滤水管，洗井采用水泵、活塞及压风机联合洗井，洗井效果良好，成井工艺达到设计要求；找水效果突出。

### 2.3.1 阿木内格洪积扇，

该区降水稀少，补给条件差，地表基本无常年性流水，沟谷地下水的主要运动方式为地下潜流，向下游补给沟口冲洪积扇区地下水。山区地域广大，降雨又较集中，所形成的暂时性洪流是很可观的。据

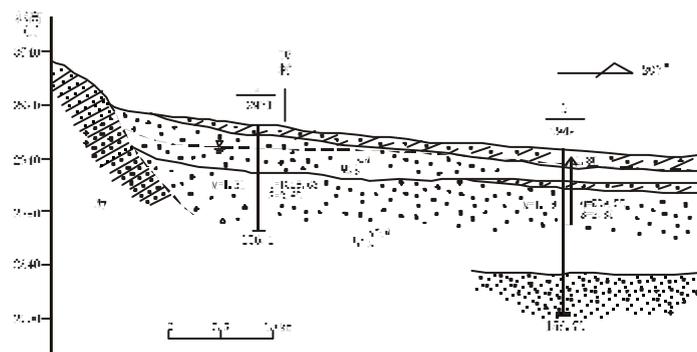


图1 阿木内格洪积扇水文地质剖面图



前人对洪水渗失量的计算，约 44% 下渗补给盆地地下水，因此阿木内格洪积扇地下水的补给量较丰富。

据资料，位于阿木内格洪积扇轴部的 3 号钻孔孔深 72.31m，揭露的含水层为上更新统冲洪积砂砾石，地下水埋深 36.61m，含水层厚度 35.6m，单孔计算涌水量  $3628.2\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度  $1.07\text{g/l}$ ，属  $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\text{—Na}\cdot\text{Mg}\cdot\text{Ca}$  型水。本次施工的两眼大口径探采结合孔，分别位于柯柯镇东、西村。西村的 4 号孔位于阿木内格洪积扇东侧，孔深 106.10m，口径 500mm，含水层为上更新统的冲洪积砂卵砾石、中更新统的冰水—洪积含泥质砂卵砾石及砂卵砾石，地下水埋深 22.33m，含水层厚度 83.77m（图 1）。水位降深 2.815m 时，涌水量达  $1825.63\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度  $1.5\text{g/l}$ ，为  $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{—Na}\cdot\text{Mg}\cdot\text{Ca}$  型水。

东村位于阿木内格洪积扇的东侧，远离洪积扇轴部，前人资料显示该区为地下水水量贫乏地段，本次通过地面调查、物探工作和对前人资料认真、仔细的分析研究，前人钻孔由于口径小，洗井和成井工艺较落后，在东村施工的 8 号孔孔深 127.58m，口径 500mm。揭露的含水层一是上更新统冲洪积砂卵砾石，二是中更新统冰水—洪积含泥砂卵砾石，夹有含砾粉砂，亚砂土、泥质砂卵石等，地下水埋深 21.10m，含水层厚度 96.10m，水位降深 3.878m 时，涌水量达  $2099.52\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度  $1.54\text{g/l}$ ，为  $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{—Na}\cdot\text{Mg}\cdot\text{Ca}$  型水。

根据物探和勘探资料，本区第四系厚度大，水位埋深浅，一般小于 50m，含水层厚度大于 90m，具有巨大的储水空间。在洪积扇轴部水质好，富水程度好，而侧翼及其前缘富水性则相对较差。但在严重缺水地区，作为人畜饮用水水源仍是目前无法可替代的较理想的供水地段。为彻底解决人畜饮用水严重困难的问题，应在柯柯镇所在的洪积扇中前缘地区就地开采地下水，在靠近洪积扇轴部地区，水量丰富，矿化度小于  $1\text{g/l}$ ，可作为重点地段进行开发利用。洪积扇前缘细土平原区，可开采水质较好的下层承压水作为人畜饮用水的后备水源地，进行保护性开发利用。

### 2.3.2 赛什克洪积扇

呈南北向扇状展布，长约 7km，宽约 10km，地势整体向南倾斜，赛什克乡 80% 的人口就集中在该洪积扇区。本次施工的 12 号孔位于怀灿吉村东，地处赛什克洪积扇中部轴部，施工孔深 124.8m，该孔成井孔深为 118.23m，揭露的含水层为上中更新统冰水—洪积的含卵砾漂石，砂砾卵石，含砾粗砂。地下水类型为潜水—半承压水，静止水位埋深 53.72m，含水层厚度 56.31m；当降深 8.25m 时，出水量达  $1840.32\text{m}^3/\text{d}$ ，地下水矿化度为  $0.95\text{g/l}$ ，水化学类型为  $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\text{—Na}\cdot\text{Ca}\cdot\text{Mg}$  型。

13 号孔位于纳木哈村北，地处赛什克洪积扇前缘西侧，离洪积扇轴部较远，该孔施工孔深 81.7m，揭露地层岩性 0.0—37.4m 为上更新统冲洪积亚砂土、砂砾卵石，37.4—81.7m 为中更新统冰水—洪积的含泥质砂砾卵石，地下水类型为潜水，静止水位埋深 22.76m，含水层厚度 58.94m，经钻孔抽水试验，降深 2.92m 时，出水量达  $2410.56\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度  $1.35\text{g/l}$ ，属  $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{—Na}\cdot\text{Mg}\cdot\text{Ca}$  型水。在洪积扇前缘细土平原区，18 号钻孔揭露两层含水层，上部潜

水，水位埋深浅，受强烈的蒸发作用的影响，水质差，矿化度在 1.59g/l，水化学类型为 Cl·SO<sub>4</sub>—Na 型水，下部承压水，顶板埋深 11.07m，含水层厚度 90.4m。水质好，矿化度 0.78g/l，属 Cl·SO<sub>4</sub>—Na·Ca·Mg 型水，单井计算涌水量大于 1000 m<sup>3</sup>/d。

赛什克洪积扇 124.8m 以浅均为第四系松散岩类堆积物，储水空间巨大，赋存有水量丰富的松散岩类孔隙水（图 2）。在怀灿吉村以北的洪积扇中后缘地区，属地下水补给径流区，地下水位埋深大于 50m，地下水径流迅速，水质好，矿化度小于 1g/l，水化学类型为 Cl·SO<sub>4</sub>·HCO<sub>3</sub>—Na·Ca·Mg 型水；在 13 号孔—赛什克乡一线的洪积扇中前缘地区，地下水位埋深小于 50m，在接近前缘细土平原区，地下水

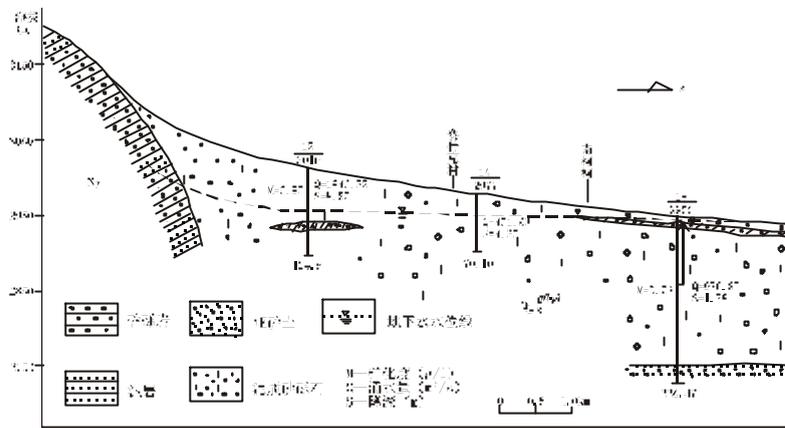


图 2 赛什克洪积扇水文地质剖面图

径流滞缓，水位变浅。在纳木哈村及南柯柯一带，地下水位埋深小于 10m，但水质差，矿化度一般都大于 1g/l，水化学类型属 Cl·SO<sub>4</sub>·HCO<sub>3</sub>—Na·Mg 型或 Cl·SO<sub>4</sub>—Na·Mg 型水；在靠近洪积扇轴部的强径流区，水质较好，矿化度小于 1g/l，水化学类型为 Cl·HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>—Na·Ca·Mg 型水。

赛什克洪积扇地下水量丰富，为彻底解决该区其他村庄人畜饮用水严重短缺的问题，应通过物探等工作寻找水质相对较好的地下水强径流带或舌状淡水分布区，作为区内人畜饮用水的后备水源地，进行保护性开发利用。

### 2.3.3 都兰河洪积扇

都兰河是希里沟盆地最大的一条常年性河流，在下游出山口后河水沿洪积扇呈散流状。都兰河洪积扇扇面由于后期人为改造，地势平坦，开阔，总体略向南倾斜。该区也是希里沟盆地主要的粮油生产基地。山区基岩裂隙水及都兰河常年性河水是洪积扇地下水的补给来源，都兰河沟谷地下水以地下潜流方式运移，在下游出山口后补给洪积扇区的地下水。据勘探资料，都兰河洪积扇的含水层有两层：上部主要为上更新统的冲洪积砂卵砾石，下部为中更新统冰水—洪积含泥砂卵砾石，间夹含砾粉砂、亚砂土、泥质砂卵石等（图 3）。

近山前地带为地下水中等富水区，单井涌水量 100—1000m<sup>3</sup>/d，潜水水位埋深在 10—50m，沿山前呈环带状展布；洪积扇轴

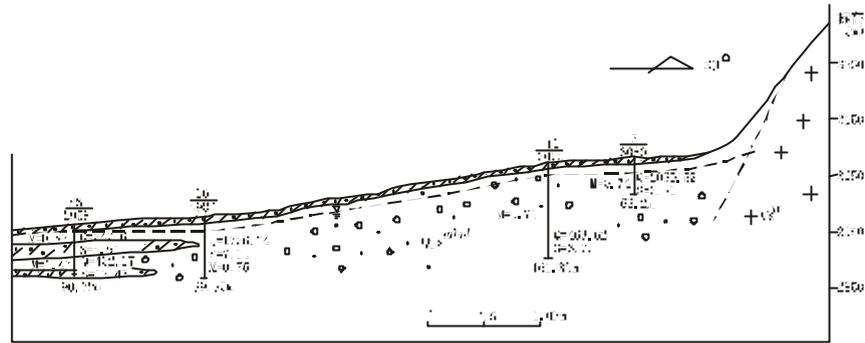


图3 都兰河洪积扇水文地质剖面图

图例：+ 砾石；o 砂砾石；▨ 砂砾石；▧ 砾质砂岩；▩ 砂质砂岩；▪ 砂质砂岩；▫ 砂质砂岩；▬ 潜水水位埋深；▭ 涌水量 (m<sup>3</sup>/d)

部及两侧地带为水量丰富区，单井计算涌水量为大于 1000m<sup>3</sup>/d，潜水位埋深 10—50m。本次施工的 16 号探采结合孔位于都兰河洪积扇轴部，含水层为砂卵砾石，间夹薄层含泥砂卵石层，孔隙度大，地下水径流畅通。静止水位埋深 22.74m，含水层厚度 73.41m，降深 7.14m 时，出水量 1736.64m<sup>3</sup>/d，矿化度 0.75g/l，水化学类型属 Cl·HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>—Na·Ca·Mg 型水。

洪积扇前缘细土平原地带，地下水为双层结构，富水性中等，单井计算涌水量在 100—1000m<sup>3</sup>/d。上部潜水位埋藏浅，受强烈蒸发作用，矿化度相对较高，水质差；下部承压水，顶板埋深小于 50m，矿化度小于 1g/l，水化学类型属 Cl·SO<sub>4</sub>—Na·Ca 型水。

据前人及本次物探、勘查资料，都兰河洪积扇第四系堆积厚度大，水位埋深小于 50m，含水层厚度大于 90m，是地下水良好的储水空间。该区水质良好，矿化度小于 1g/l，是理想的人畜饮用水地下水供水水源地。

## 结论

柴达木盆地内第四系松散岩类孔隙水的分布，呈现出与地貌岩相带和景观生态相应的水平分带规律。山前戈壁砾石带——山前冲洪积平原及冲洪积扇中前缘是第四系溶滤潜水主要富集区，水量丰富，水质好，河流对地下水的形成起着决定性的支配作用，河流出山口后大量渗漏地下，成为该区地下水的丰富源泉。也是解决该地区人畜饮水困难的主要地段。今后盆地第四系松散岩类孔隙水的勘查工作，重点应放在冲洪积扇的中前缘，先地面后物探，地面调查选定重点靶区，采用各种物探方法确定孔位，然后再进行钻探工作。

