

乐都、民和县等 严重缺水地区地下水勘查示范工程找水实录

逯林章 王春男

(青海省地质调查院)

1. 概况

示范区位于青海省最东端,行政区划隶属青海省乐都县、民和县管辖。该区深居内陆,多风少雨,寒长暑短,昼热夜凉,温差较大,具典型的大陆性干旱、半干旱气候特征,垂直分带明显。多年平均气温 6.9 - 7.8 ;多年平均降水量 334.83mm,年内分配极不均匀,多集中在 7、8、9 三个月;多年平均蒸发量 1471.68 - 1849.90mm,是降水量的 4.4 - 5.53 倍;多年平均风速 2.2m/s,主导风向为东风和南偏东风,历年最大风速 17.0m/s;平均无霜期 150 - 176 天,最大冻土深度 0.86 - 1.08m。

湟水干流由西向东横贯全区,流域面积 15342km²,区内流程 80km,河宽 40-200m,比降 4‰-5‰。多年平均流量 55.75m³/s,历年平均最大流量 98.7m³/s,历年平均最小流量 33.8m³/s。

乐都县、民和县地处青藏高原与黄土高原两大地貌单元的过渡带,北邻达坂山东端,南依拉鸡山中段。民和、乐都、西宁诸盆地镶嵌于其间,湟水河呈北西-南东向贯穿各盆地,形成葫芦状和串珠状地貌景观。区内地形复杂多变,有巍峨陡峻的高山、有延绵起伏的黄土红岩低山丘陵和平缓的河谷平原。

西宁、乐都、民和诸盆地,在地形、地貌上颇为相似。当地群众依据地形、气候、土壤、植被及农业结构不同分别惯称脑山(基岩山区与低山丘陵交接带及其之上)、浅山(低山丘陵)和川水地区(河谷平原区)。

该区根据缺水状况及水文地质条件,可分为资源型缺水、水质型缺水和工程型缺水三种类型。乐都、民和两县受气候、地质地貌、水文地质条件及水质等因素制约,可供人畜饮用的地下水资源在空间分布上极不平衡。湟水河及大通河河谷平原区,地表和地下水资源受上游工业废水和城镇生活污水的污染,造成水质型及工程型缺水。大面积黄土红岩区,山高坡陡、沟壑纵横、植被稀少,水土流失十分严重;该区人口占青海省总人口的 60%以上,耕地面积占总面积的 75%左右,是青海省主要农业区。人畜饮用水资源极度贫乏,属资源型、工程型缺水区。海拔 2750 - 3200m 的脑山地区,地势较高但地形平缓,地广人稀,植被覆盖率

达 70% - 80%。在海拔 3200 - 3800m 的高山区，发育高山草甸及灌丛，植被覆盖率达 90%左右，是区域地下水的主要涵养区。局部存在工程型缺水。随着地区经济的发展，人口的增长和水质的不断恶化，人畜饮用水资源的供需矛盾将更加突出，并严重制约着地区社会经济的发展和西部大开发战略目标的稳步实施。

2. 项目实施的工作程序

工作程序是：“先地面，后物探，再钻探”。“先地面”即在遥感解译、前人资料二次开发利用和实地踏勘的基础上，选择主攻找水目标靶区，重点突破、紧密围绕迫切需要解决人畜饮用水紧张的现实问题，采用“编 - 测 - 研”的工作策略开展地面水文地质调查，调查中对一般调查区以资料收编为主，重点调查区加大地面测绘力度，充分收集已有资料，应用新技术、新理论、新方法进行综合研究。物探工作采用先疏后密和多方法相互印证的程序，为钻孔定位、圈定富水地段提供依据；在上述基础上，采用先进的钻探技术和成井工艺，开展勘查工作，实现项目目标任务和示范的多目标突破。

资料收集与综合研究：勘查区先后以不同目的在不同地段进行过多种比例尺的地质、水文地质工作。通过广泛收集地质、水文地质和地方社会经济与发展规划等资料，系统收集近期水文、气象及地下水动态等长观资料，进行综合分析研究。

水文地质调查：调查黄土红岩丘陵和河谷平原两大地貌单元含水层的分布特征、地下水埋藏及补、径、排条件；调查控水构造特征及对区域水文地质的影响，判定断裂带的导水性和富水地段；调查泉的出露条件，测定泉水、地表水水量、水质、水温等；通过浅井揭露黄土丘陵区掌形（杖形）地地下水的分布规律，并了解其水文地质特征。

地球物理勘探：为了解与划分含水层，确定含（隔）水层位置、厚度和咸、淡水界面，了解构造破碎带及其产状，为钻探定位提供依据，采用视电阻率测深法和视电阻率联合剖面法进行划分确定工作。

水文地质钻探及抽水试验：水文地质钻探严格按（DZ/T0148 - 94）《水文地质钻探规程》、《抽水试验技术规程》及单孔设计书要求执行。

水化学分析样品采取及水质评价：水质分析测试按 GB/7466 - 7494 - 87《水质分析方法标准》和 DZ/T006401 - 80 - 93《地下水水质检验方法》有关要求执行。按照 GB/T14848 - 93《地下水质量标准》和 GB/5794 - 85《生活饮用水卫生标准》对地下水水质进行评价。

工程测量：对勘查区所有调查点及钻孔、机（民）井、泉及测流断面等均采

用 GPS 精确定位，钻孔用水准仪和经纬仪测量孔口高程及坐标。

3. 查清富水地段、确定探采结合孔采用的新技术、新方法

3.1 遥感

严重缺水地区面积广，而工作周期短，选择水文地质条件许可、具备开采条件的地段，仅靠投入大量的人力、物力进行大面积的调查，已不能满足新一轮国土资源大调查的工作要求和地方经济建设发展的步伐。因此，应用遥感技术方法快速、便捷的筛选、确定工作靶区。

3.2 物探

本区前人研究程度较高，投入的钻探工作量大，但始终未能从根本上解决人畜饮用水困难问题，在遥感解译确定的靶区内，能否打井成功，其富水地段、富水空间控水构造的展布仅靠传统的工作方法分析、判定，风险大，成效低，因此利用物探方法分析、判定深部的水文地质条件、确定钻孔孔位已成为首选的一种工作手段。

3.3 水文地质钻探

在选定的靶区、确定的钻孔孔位点施工开采井，钻探工艺和成井工艺已成了决定成败的关键。本次施工中，青海省地质调查院为了保证钻探施工质量满足（DZ/T0148 - 94）《水文地质钻探规程》要求，采用跟管钻进的钻探工艺方法进行钻探取芯，然后采用物探测井方法确定含水层的最佳部位，最后扩孔成井。在细粒含水层中采用缠丝、包网、包棕的方法，有效的阻止了细粒含水层涌砂现象，达到了理想的出水量；在承压自流水井中，采用托盘加粘土的止水方法有效的遏止了咸水和浅层污染水与理想含水层的联通。

本次在严重缺水地区进行地下水资源勘查工作，实现了不同地段、不同类型的突破，起到了以点带面的示范作用。

4. 不同缺水区勘查成果

4.1 水质型、工程型缺水区（河谷平原区）

4.1.1 示范区和同类型地区缺水状况

水质型、工程型缺水示范区以乐都县马哈拉沟、羊官沟和双塔营地区为代表。乐都、民和盆地湟水河谷平原区以第三系含石膏泥岩作为隔水底板，第四系地层厚度较薄，多沿河谷呈狭长带状分布，地下水储存量有限，加之地下径流缓慢，地下水苦咸；城镇、厂矿的生产、生活污水未经处理，直接排入湟水河，地表水及地下潜水均已遭受严重污染，人畜不能饮用。深部主要为第三系含膏盐红

层，地下水多为苦咸水（矿化度 3 - 10g/L）。据民和县享堂地区石油钻探资料，在 853.7m 深处揭露的下白垩系细砂岩含水层中，承压水头可达 108 个大气压，水呈微黄、褐黄色，有臭味，苦咸，矿化度可达 58g/L，比重 1.03 - 1.06，水中含溴 2 - 6mg/L，含碘 1.2 - 2mg/L，溴与碘的比值系数 1.7 - 3，显示出油田水类型。该区水资源的日趋贫乏，已严重制约着当地工农业及国民经济发展步伐。

马哈拉沟位于湟水河南岸，乐都县城台乡位于该沟中游，现有 10 个村、4900 人、5200 余头牲畜饮水困难；马哈拉沟下游的雨润乡辖区有 3 个村、4200 人、2400 余头牲畜严重缺水。该区无供水水源地，人畜饮用水及农田灌溉用水均取自河水，卫生条件差，马哈拉沟每年 1 - 3 月全河道断流，下游除洪水期有地表水流外，平、枯水期均为干河床。当地群众只能靠买水、远距离人背、牲口驮或吃苦水、窑水度日。由于缺水，迫使该区部分农民外迁，下游部分农田荒芜，老百姓生活条件十分艰难，城台乡也成了全县有名的贫困乡。马哈拉沟河水出山口后，要穿越几十公里的黄土红岩丘陵区，沟谷潜水受可溶盐地层影响，在中下游地区水质苦咸，无法饮用。

羊官沟位于湟水河北岸，该区包括湟水河北岸高庙镇管辖的上寨、段堡子一带和湟水河南岸洪水镇管辖的高家湾、江湾等地区，有 9220 人和 9110 头（只）牲畜长期饮用矿化度 3g/L 左右的苦咸水。乐都县城东自来水公司，在羊官沟设有供水水源地，开采量为 2000m³/d 左右，但仍供不应求。

双塔营位于湟水河南岸的 级阶地上，现有 5 千余人和 1 万余头（只）牲畜长期饮用矿化度高达 3.65g/L 的苦咸水或耗费大量的人力、物力、财力到数公里外拉水。

据统计，该区有近 13 万人，11 万头（只）牲畜长期饱受饮用水困难的煎熬。到目前为止乐都县 20 个乡镇 172 个村的 115354 口人和 103319 头牲畜饮用水一直未能得到解决；民和县川口镇辖区的史纳和享堂村，现有人口 10920 人，牲畜 4000 头（只）。当地群众长期饮用受污染的大通河河水，导致肝炎、肝硬化、伤寒等传染性疾病盛行；湟水干流两岸及各支沟下游的不少村、镇居民只能饮用苦咸水和污染的河水，生存条件极端恶劣，严重威胁着当地群众的生存与经济发展。当地群众迫切渴望找到水质良好的地下水以改变最基本的生存条件，提高生活质量。

4.1.2 水文地质条件

马哈拉沟属湟水河南岸的一级支沟，发源于拉鸡山脉，全长 24.60Km，流域面积 74.80Km²，比降 51.20‰。基岩山区多年平均降水量在 400mm 以上，补给充

足。地表河水年平均流量 $0.207\text{m}^3/\text{s}$ ，年径流量 $655.66 \times 10^4\text{m}^3$ 。2001 年 8 月丰水期实测出山口地表水流量 $0.0907 \text{m}^3/\text{s}$ ，(1 - 3 月份断流)，年径流量 $215.51 \times 10^4\text{m}^3$ 。ZK01 孔上游的 003 号泉水年补给量 $2.69 \times 10^4\text{m}^3$ ，ZK01 孔处地表水年径流量 $123.08 \times 10^4\text{m}^3$ ，地下水年径流量 $38.92 \times 10^4\text{m}^3$ 。山口至 ZK01 孔段 1.5Km 流程内，河水对深层地下水的年补给量为 $56.20 \times 10^4\text{m}^3$ 。距山口 8Km 的城台乡政府东侧河水断面流量为 $0.047\text{m}^3/\text{s}$ ，8Km 流程内河水年渗漏量为 $81.26 \times 10^4\text{m}^3$ ，占总量的 38%。流程 14Km 左右河水全部渗入地下。沟谷两侧为梁、峁状黄土红岩丘陵，沟谷宽 100 - 300 m，发育 - 级阶地。以乡政府所在地为界，上游河段发育堆积阶地，在、 级阶地上分布有松散岩类孔隙潜水，近河地段潜水位埋深 1-4m，靠近边缘水位埋深大于 10m，水质较好，矿化度小于 1g/L，属 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型水。城台乡以北河段基底隆起，河床内第三纪红层出露，多为基座阶地，分布有悬挂泉，水量贫乏，水质变差，矿化度在 2g/L 以上；据红坡村民井的水质分析资料，矿化度高达 3.92g/L，属 $\text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水。

该沟地下水资源相对较贫乏，属中富水地段，含水层主要是第四系冲洪积砂砾卵石层，隔水底板为第三系含石膏红层，马哈拉沟地表及地下水自山口向北，在 14Km 流程内，矿化度由 0.23 g /L 迅速升高到 3.92 g /L，水化学类型由 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型转化为 $\text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型，说明第三系地层对地表及地下水的水质影响是很大的。见表 1。

表 1 马哈拉沟沟谷区井、泉点主要特征统计表

地下水类型	点号	位置	距山口 (m)	海拔(m)	矿化度 (g/L)	水化学类型
泉水	003	山口处	0	3080	0.23	$\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$
井水	ZK01	新庄南	1500	2900	0.26	$\text{HCO}_3 - \text{Ca}$
井水	031	乡中学	6100	2593	0.67	$\text{HCO}_3 - \text{Ca}$
泉水	033	坝口村	8100	2464	通过人工集水后管道引水供水	
泉水	034	山城庄	10500	2340	2.29	$\text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$
井水	045	吊沟滩	14000	2202	3.92	$\text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$

羊管沟属湟水河北岸的一条小支沟，全长 31.40km，流域面积 105Km^2 ，河床坡降 49.3‰，河床宽 10 - 20m，两侧发育、 级阶地，河谷宽 100-500m。保家村以南河谷两侧由白垩系及黄土组成；保家村以北主要由加里东期花岗岩组成。河道除枯水期河水流量很小外，全年有地表水流。据统计：多年平均流量

0.468l/s,年径流量 $1476.2 \times 10^4 \text{m}^3$,对河谷潜水具较好的补给条件。羊管沟沟口大路村、段堡子一带的地下水总泄出量为 $1452.2 \text{m}^3/\text{d}$,矿化度达 1.53g/L 。

据 ZK04 孔揭露 :0.00 - 39.08m 为第四系砂砾卵石夹含砾中 - 粗砂 ;39.08 - 69.87m 为白垩系砂岩夹砂质泥岩,呈互层状 ;69.87 - 109.15m 为下元古界黑云石英片岩夹石英岩 ;109.15 - 252.33m 为灰白色花岗岩。经抽水试验,39.08m 以深的碎屑岩类孔隙裂隙水及基岩裂隙水水量较贫乏,矿化度 0.67g/L ,水化学类型为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$;39.08m 以浅的松散岩类孔隙潜水,静水位 19.46m ,含水层厚度 19.62m ,降深 5.06m 时涌水量 $887.16\text{m}^3/\text{d}$,属水量丰富地段。

位于湟水河的双塔营地区,南、北两岸均发育基座阶地,基底为第三系含石膏的红层,石膏层中的大量盐分使地下水矿化度升高,水质变差。出露于湟水河北岸的双龙泉(上升泉群)属构造断裂控水所致。该断裂呈北东 - 南西向斜切湟水河谷地,规模较大,延伸长达 25Km ,北端与北西 - 南东向延伸的山前断裂斜交,而双龙泉正好处在该断裂带上。据高庙火车站自流井和 679 院内自流井位置分析,两自流井的连线基本与断裂带平行,均位于断裂带上盘。而在远离断裂带上盘与下盘施工的钻孔均未打出承压自流淡水。2001 - 2002 年在双一村部署实施的 ZK05 号钻孔,首次在湟水河南岸的 级阶地上打出了高承压 - 自流淡水,从而证实,该构造断裂为导水断裂,沿断裂带存在淡承压 - 自流水,上盘充水,下盘相对阻水,而储存于下盘的深层基岩裂隙水矿化度大于 2.37g/L 。

4.1.3 钻井工艺、钻孔取水层位、抽水试验及其水文地质参数、水质等

ZK01 井采用人工开挖的形式成井,因位于黄土丘陵区,地层松散,成井难度大,在施工过程中,采用边开挖边圈固的方法,保证了施工人员安全的前提下,取得了较好的出水量,满足了当地群众的饮用水要求。0.00 - 2.00m 为第四系灰褐色含砾亚砂土 ;2.00 - 8.80m 为第四系灰褐色冲洪积砂卵石 ;8.80 - 9.00m 为第四系褐红色含砾亚粘土 ;9.00m 以下为第三系灰白色、褐黄色钙质半胶结砂砾岩。潜水含水层岩性为砂砾卵石层,埋深 $2.00 - 8.80\text{m}$,含水层厚度仅为 5m ,水位埋深 3.80m 。单孔抽水试验,降深 4.416m 时涌水量 $234.58\text{m}^3/\text{d}$,单位涌水量 $53.12\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$,渗透系数 $35.37\text{m}/\text{d}$,矿化度 0.26g/L ,属 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型水,水质较好。位于马哈拉沟西侧 级阶地的乡初级中学院内民井,水位埋深 1.10m ,含水层岩性为第四系砂砾卵石层,矿化度 0.67g/L ,属 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型水 ;出露于山城庄东侧 级阶地陡坎处下降泉,其流量为 0.14l/s ,矿化度 2.29g/L ,属 $\text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型水 ;位于吊沟滩河边民井,含水层岩性为第四系砂砾卵石层,埋深 $0.00 - 5.30\text{m}$,潜水位 2.04m ,矿化度 3.92g/L ,属 $\text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水,下伏

第三系砖红色泥岩。

ZK04 孔位于羊官沟沟口，为了能以最少投入，获得最大的成果，钻探过程中采用跟管钻进的方法，采取岩芯，然后进行井内物探测井，确定最佳含水层位后，扩孔成井。0.00 - 39.08m 为第四系砂砾卵石夹含砾中 - 粗砂；39.08 - 69.87m 为白垩系砂岩夹砂质泥岩，呈互层状；69.87 - 109.15m 为下元古界黑云石英片岩夹石英岩；109.15 - 252.33m 为灰白色花岗岩。经抽水试验，39.08m 以深的碎屑岩类孔隙裂隙水及基岩裂隙水水量较贫乏，矿化度 0.67g/L，水化学类型为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ ；39.08m 以浅的松散岩类孔隙潜水，静止水位 19.46m，含水层厚度 19.62m，降深 5.06m 时涌水量 $887.16\text{m}^3/\text{d}$ ，属水量丰富地段。

ZK05 孔位于双塔营，其岩芯采取率同上孔，但本孔为承压自流水，成井过程中，止水最为关键，采取托盘止水，降低孔内水位，一次性投入粘土球的方法进行止水，经试验止水效果显著。0.00 - 13.10m 为第四系冲洪积砂砾卵石；13.10 - 115.18m 为第三系褐红色砂砾岩、砂质泥岩、含石膏的砂岩等互层；115.18 - 229.38m 为杂色构造碎裂岩、断层泥夹下元古界灰白色石英岩及绢云石英片岩透视镜体；229.38 - 280.02m 为下元古界绢云石英片岩夹构造碎裂岩及断层泥。115.18 - 229.38m 段水头高出地面 13.93m，自流量 $111.97\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度 0.91g/L，水化学类型为 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型。115.18 - 280.02 m 段水头高出地面 17.53 m，自流量 $123.38\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度 2.37g/L，水化学类型为 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型。679 院内自流井井深 92m，含水层岩性为第三系砂砾岩，埋深 35.20 - 92.00 m，厚 59.80m，静止水位 +8.18m，涌水试验水位下降 8.03m 时、自流量 4.239L/s，矿化度 0.39g/L，水化学类型为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型，是该区水质最好的自流井。ZK05 孔及附近的井、泉点主要特征见表 2。

表 2 双塔营地区各井、泉点主要特征一览表

编号	位置	海拔 (m)	类型	流量 (l/s)	矿化度 (g/L)	水化学类型
188	店子村	1945	下降泉	2.10	1.65	$\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Na}$
190	洪水镇	1912	下降泉	1.142	2.07	$\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Ca} \cdot \text{Na}$
237	双龙泉	1939	上升泉	7.58	0.80	$\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na}$
240	双塔营	1925	下降泉	0.454	3.65	$\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na} \cdot \text{Ca}$
262	上柳湾	1923	下降泉	1.35	1.85	$\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na}$
679	679 院内		自流井	4.239	0.39	$\text{HCO}_3 - \text{Ca}$
ZK05	双一村	1928	自流井	1.296	0.91	$\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Ca}$

4.1.4 成果和效益

湟水河谷由串珠状断陷盆地所组成。在山前盆缘带分布有北西—南东向或近东—西向展布的逆掩式深大断裂及次级构造断裂，老地层常超覆于新地层之上，构成基岩裂隙水与碎屑岩类裂隙孔隙水的突变带。该系列断裂具有上盘充水下盘相对阻水的性质，上盘的老地层节理裂隙十分发育，成为良好的导水通道，沿断裂带常有泉水出露。泉水的流量大小与沟谷的切割深度有关，切割深度大则泉水流量也大，反之则小。如马哈拉沟与盆缘断裂交汇处，海拔高程 3080m，泉水呈泉群出现，动态稳定，流水常年不断，水温 6℃ 左右，单泉流量 0.454L/s，总流量 73.79 m³/d。因此，该地段日供水能力大于 1000m³，是建设供水水源地的理想部位，在沟谷狭窄，第四纪松散层厚度较小地段，可考虑实施截潜引流工程，通过铺设输水管道，实现自流供水。在沟谷较宽，含水层厚度较大地段，可实施人工开挖大口井开采地下水，井径 1.50m 为宜，成本低，可实现小规模自来水供水。

2001 年布置实施的 Zk01 孔，单孔涌水量 234.58m³/d，可解决下游地区 3000 多人和 2000 多头（只）牲畜的饮用水困难问题。

羊官沟河谷潜水与地表河水关系较为密切，含水层厚度受基底起伏变化的控制，大致以保家村为界，以北基底隆起，部分地段花岗岩体出露地表，河谷宽度小于 200m，含水层厚度一般小于 10m；水位埋深浅，适宜人工开挖大口井开采；以南地段，河谷宽度 300-500m，含水层厚度 10 - 50m，潜水位埋深大于 15m，地下水资源丰富，适宜机械钻探大口径管井开采。只要注意开源节流，加强水资源的保护和管理，满足下游部分地区远景需水要求是有资源量保证的。

ZK04 孔单孔涌水量为 1367.40m³/d。可解决下游地区 3000 多人和 2000 多头（只）牲畜的饮用水困难问题。

双塔营位于湟水河南岸。ZK05 孔揭露第四纪松散层沉积厚度为 13.10m；679 院内自流井揭露厚度为 10.40m。下伏第三纪地层沉积厚度为 102.08m，下元古界石英岩及绢云石英片岩埋深为 115.18m，该区明显处于基底隆起部位。ZK05 孔西 4Km 处的湟水河床中及南岸，下元古界石英岩及绢云石英片岩已大面积出露。据遥感解译及野外调查，该区发育大致相互平行的一系列北东-南西向张扭性构造断裂，并与近东西向及北东-南西向发育的压扭性构造断裂构成网格状构造体系。因此，该区地下水的空间分布受构造断裂的严格控制。另外受地表河水的污染及第三纪含膏盐地层影响，使该区水文地质条件十分复杂。在该区寻找可

供人畜饮用的淡水资源，可列为专题研究项目进行调研。

ZK05 孔单孔自流量 $111.97 \text{ m}^3/\text{d}$ ，可解决下游地区 1000 多人和 2000 多头（只）牲畜的饮用水困难问题。

为了能从根本上解决湟水河谷地城镇及乡村人畜饮用水困难问题。最有效的途径是通过综合开发湟水河南、北两侧盆缘带及各主要沟谷的地表及地下水资源，构成自来水联合供水网络予以实现。

4.2 资源型、工程型缺水地区（黄土红岩区）

4.2.1 示范区和同类型地区缺水状况

资源型、工程型缺水示范区以乐都县寿乐乡仓岭顶村和李家乡大洼村地区为代表。寿乐乡仓岭顶严重缺水地区，现有 300 人和 250 头（只）牲畜饮用水特别困难；大洼村有 10 余户农民人畜饮用水特别困难，要靠牲口到深达数百米的沟底驮水。该区无供水水源地。在降雨量大于 400mm 的低山丘陵区（脑山区），沟谷或洼地中均有地下水分布。在局部地带黄土下部残留有第三纪红层，地下水矿化度一般较高，多为苦咸水。南部低山丘陵区（浅山区），沟谷深切，干旱少雨，植被稀疏，缺乏补给源，大部分地区地下水处于疏干状态。

4.2.2 水文地质条件

该区位于黄土红岩区。基底主要由加里东期花岗岩及元古界变质岩组成，顶部大面积覆盖厚 10-100m 的新、老黄土，降水量一般小于 300mm，树枝状水系发育，沟谷深切，多呈“V”字型，构成黄土梁、峁状地形，相对高差 100—400m。地形支离破碎，植被稀少，水位埋深大，水质较好，水资源贫乏，属资源型极度缺水地区。该区地下水主要分布在掌、杖形洼地及沟谷中，水质较好，水量不大，含水层多呈岛状分布。地下水主要受汇水面积和下伏基底岩性、埋藏深度、形态及遭受侵蚀的程度所控制。局部地带黄土下部残留的第三纪红层中地下水矿化度一般较高，多为苦咸水。

该区在掌、杖形洼地出口地带及基岩隆起部位，一般有泉水出露，流量小于 1.0 L/s ，矿化度小于 1.0 g/L ，水化学类型为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 。据 ZK02 孔揭露：表层黄土厚 2.90m，底部泥质砂砾石层厚 0.90m，花岗岩埋深 3.80m，（沟谷两侧及谷底部分地段有出露），潜水位埋深 3.15m，泥质砂砾石层及花岗岩层均含水。降深 3.38m 时涌水量 $55.64 \text{ m}^3/\text{d}$ 。水质一般，矿化度 0.33g/L ，水化学类型为 $\text{Cl} - \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型，可满足当地人畜饮用水需求。

在盆缘带，由于地势高，降水量大，地形切割较弱，地下水分布范围大，水质好，水量也较丰富，开发利用条件好。该区人口分散，多依泉而居，可充分利

用泉水资源解决供水问题。黄土红岩低山丘陵区（浅山区）的掌、杖形洼地，是找水最有利地段，宜采用大口井揭露黄土底砾石孔隙水及花岗岩古风化壳孔隙-裂隙水，井径 1.5 - 1.8m 为宜。通过有效保护和充分利用现有泉水资源，可解决各散居村庄人畜饮用水问题。

在沟谷两侧及基岩隆起部位，一般有泉水出露，流量小于 1.0 l/s，矿化度小于 1.0 g/L，但水化学类型较复杂，属 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Na} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Ca}$ 型水（207 号泉）。据 ZK03 号孔揭露：黄土层厚 28.50m，底部为亚粘土夹砂砾石透镜体（未揭穿）。潜水位埋深 21.275m，地下水赋存于老黄土节理裂隙中。经抽水试验，降深 3.975m 时涌水量 28.77m³/d。水质一般，矿化度 0.44g/L，水化学类型为 $\text{SO}_4 - \text{Na}$ 型。

在降雨量大于 400mm 的低山丘陵区，沟谷或掌、杖形洼地都有地下水分布。降雨量小于 400mm 的梁、峁状低山丘陵区，沟谷深切，干旱少雨，补给贫乏，含水层多呈岛状分布，地下水多处于疏干状态。该区解决人畜饮用水供水问题，其工作重点应放在沟谷或掌、杖形洼地中，通过大口井开采，井深 30m 左右（以不揭穿底部亚粘土为限），井径 1.50 - 1.80m 为宜，寻找老黄土中孔隙—裂隙潜水，并通过有效保护和充分利用现有泉水资源，可满足当地分散住户人畜饮用水需求。

4.2.3 钻井工艺、钻孔取水层位、抽水试验及其水文地质参数、水质等

ZK02、ZK03 号孔位于黄土丘陵区的掌（杖）形地上，采用人工开挖大口井方式成井，其成井工艺同 ZK01 号孔。

4.2.4 成果和效益

在乐都县寿乐镇仓岭顶村的梁峁状丘陵杖形地实施的 ZK02 号人工开挖大口井，揭露出花岗岩风化裂隙水，水位埋深 2.1m，含水层厚 3.85m。经抽水试验，出水量 23.94m³/d，矿化度 0.33g/L，属 $\text{HCO}_3 - \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水，水质较好。可解决该村 50 户人家和学校、卫生院 300 口人、300 头（只）牲畜饮用水。该井水已被当地群众饮用。

在乐都县李家乡大洼村黄土梁峁状丘陵区的掌形地实施的 ZK03 号人工开挖大口井，揭露出第四系中更新统黄土层孔隙裂隙水，水位埋深 22.275m，含水层厚 6.225m，经抽水试验，出水 3.16m³/d，矿化度 0.44g/L，属 $\text{HCO}_3 - \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水。虽然水质一般、水量很小，但在这水贵如油的极度缺水地区而言，也是可贵的人畜饮用水水源。成井后，10 余村民告别了到 300 多米深的沟底驮水吃的艰难困苦。该井出水量是本次工作在黄土梁峁状丘陵区找水的重大突破，为当地群众在相同条件下找水打井起到了示范作用。

4.3 工程型缺水地区（盆缘带及基岩山区）

4.3.1 示范区和同类型地区缺水状况

民和县人畜饮用水供需矛盾突出。特别是川口镇史纳村座落于湟水河一级基座阶地上，现有人口 10920 人，牲畜 4000 头（只），当地群众长期饮用已污染的大通河河水，导致伤寒、肝炎、肝硬化等疾病流行，引起当地政府及有关专家的高度重视，迫切需要纯净卫生的淡水资源，改变有水难吃的现状，改善饮用水质量，提高生活质量。

共和盆地塔拉滩受黄河深切，地下水大量泄入黄河，浅部含水层严重疏干，前人在此均未打出地下水，土地荒漠化严重，时刻威胁龙羊峡水库的安全运营。

4.3.2 水文地质条件

史纳地区湟水河北岸及大通河西岸发育一级基座阶地，阶面宽 200 - 1500m，阶地前缘陡坎沿基座面均有地下水泄出，总泄出量 2118.27m³/d，矿化度 1.4 - 2.169g/L，水质较差，据补给条件分析，泄出带地下水主要由灌溉回归水和生活污水补给。

据前人资料，勘查区第三系、白垩系细砂岩中赋存的承压水矿化度高达 32.6 - 58g/L，人畜不能饮用。

史纳村西端老鸦峡东口沿湟水河北岸出露侏罗系享堂群砂岩、砂砾岩。底砾岩宽 100 - 400m，产状 188° < 41°，地层未被河流切穿，具较好的储水空间。据 ZK06 号钻孔揭露地层：0 - 20.35m 为第四系灰色砂砾卵石，20.35m - 229.00m 为侏罗系享堂群灰 - 灰绿色砂岩、砂砾岩与灰 - 灰黑色炭质页岩互层，229.00 - 393.32m 为下元古界石英岩、石英片岩。侏罗系地层视厚度 208.65m，真厚度 178.85m，倾角 31°，垂向上岩性粗细相间缓变，显示沉积韵律，粗碎屑组成的砂砾岩、砾岩构成含水层，细粒物质组成炭质页岩，构成隔水层。这为承压自流盆地自流水储水空间的形成提供了地质构造、地层岩性方面的条件。

史纳东端北山分布有下元古界湟源群东岔沟组（Pt.d）大理岩，出露宽度 500 - 600m，长约 5km，且穿越多条冲沟，分布面积约 5km²。该大理岩层厚、质纯、色白、方解石含量 90%以上，可溶性较强，已作建材开采。大理岩条带南端盆缘带有逆冲阻水断裂发育，大理岩逆冲于侏罗系砂砾岩之上，大理岩东西两侧均为压性阻水断裂（F₇、F₉）与石英片岩接触，东、西、南三条阻水断裂形成“地下暗坝”使地下水自北而南运移，并使之储存。在大理岩中靠近背斜轴部沿地层走向发育一条张性断裂（F₈），古岩溶发育，溶洞直径达 2-3m，其间还有磨圆度极好的洞内沉积物，东西两条压性断裂在大理岩内有宽数十米至近百米的影响带，

延伸远至大通河，岩石破碎，岩溶发育，溶沟、溶隙、溶孔随处可见，为地下水的集中径流和岩溶发育提供了通道及储水空间。

大理岩条带北部来水方向汇水面积 11km^2 ，其穿越各种冲沟，上游植被发育、乔灌木茂盛，利于降水入渗，下游植被稀疏，基岩裸露，不利于降水入渗，大气降水降落地表后，形成的地表径流流程短，到大理岩段时，顺着岩溶通道快速渗入地下，成为岩溶水的主要补给来源。史纳北部山区各大支沟在雨季降雨后无地表水流出，便是降水快速入渗的佐证。另外控制大理岩的东侧逆断层向北穿过石英闪长岩体与大通河相连，使大通河也成为另一补给源。

据此，盆缘带逆冲断裂上盘的大理岩条带中，不仅具有很好的储水条件和集中径流通道，而且还有约 11km^2 汇水面积作为补给来源，是寻找大理岩裂隙溶洞水的理想地段。

4.3.3 钻井工艺、钻孔取水层位、抽水试验及其水文地质参数、水质等

ZK06 孔位于民和县史纳村西端，孔深 393.32m ，在 $77.60 - 223.00\text{m}$ 处揭露出裂隙孔隙承压自流水，含水层有 5 层，累计厚度 95.65m ，顶板埋深 77.60m ，水头高出地面 9.56m ，降深 8.31m （水头 $+1.25\text{m}$ ）时，管口自流量达 $112\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度 2.41g/L ，属 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 型水，水温 19°C 。

ZK07 号钻孔位于民和县史纳村东端，钻孔深度 114.59m ，揭露地层情况： $0 - 9.2\text{m}$ 为第四系风积黄土， $9.2 - 14.20\text{m}$ 为灰色大理岩， $14.20 - 18.30\text{m}$ 为灰黄色石英砂岩， $18.30 - 79.40\text{m}$ 为大理岩， $79.40 - 87.00\text{m}$ 为石英岩， $87.00 - 92.00\text{m}$ 为大理岩， $92.00 - 99.08\text{m}$ 为变晶灰岩， $99.08 - 105.71\text{m}$ 为钙质糜棱岩， $105.71 - 114.59\text{m}$ 为岩溶角砾岩，在 87.00m 处揭露出碳酸盐岩裂隙溶洞承压水，水头 -48.43m ，含水层厚度 28.88m ，顶板埋深 87.00m ，经 14.4h 连续抽水试验，水位降深 16.24m 时，出水量达 $1125.63\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度 0.71g/L ，属 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型水，水质很好。

共和盆地塔拉滩受黄河深切，地下水大量泄入黄河，浅部含水层疏干严重，前人未在此打出地下水，本次工作在充分利用前人资料的基础上，综合分析区域水文地质条件，采用物探先行的工作方法，确定了相对富水地段，实施了位于共和盆地二塔拉滩的 2001ZK01 孔，为第四系的冲湖积粗砂夹细砂，含水层水位埋深 186m ，含水层厚 297m ，出水量达 $500\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度小于 1g/L ，水质好。

4.3.4 成果和效益

本次地下水勘查在民和县川口镇史纳地区打出自流水及优质高产承压水，合计开采量可达 $1837.84\text{m}^3/\text{d}$ 。按生活用水量 $30\text{升}/\text{人} \cdot \text{日}$ （见给水设计规范

TJ13-74), 牲畜用水量 45 升/头·日计算, 史纳地区 10920 人、4000 头(只)人畜需水量为 $10920 \times 0.03 + 4000 \times 0.045 = 507.6 \text{ m}^3/\text{d}$ ZK07 和 ZK06 号供水井(特别是 ZK07 号井)可完全解决其饮用水问题。两个孔成井出水后, 引起当地群众的格外关注与政府部门的高度重视, 对水质型缺水极为严重和供水条件复杂的史纳地区彻底解脱长期饮用污染河水, 摆脱伤寒, 肝炎等多种传染性疾病、改善最基本的生存条件带来了前所未有的福音。本勘查区找水打井成功, 不仅引起轰动, 更为今后在碳酸盐岩分布区找水积累了经验。