

贵阳市乌当区南部地下水发育特征与开发利用研究¹

张祥祥，程 星[▲]，王泽东

（贵州师范大学地理与环境科学学院，贵州 贵阳 550001）

【摘要】：贵阳市乌当区南部地区系典型的岩溶山区，该区岩溶管道发育充分，是典型的“地高水低”、“雨多地漏”区域，工程性缺水严重。结合乌当区南部水文地质特征，针对岩溶管道水提出了钻井取水、筑坝引水、堵洞成库、围泉引水、地下河天窗机电提水的开发利用方案，以期为该区域解决缺水问题提供参考。

【关键词】：乌当区南部，岩溶管道，地下水，开发利用方案

【中图分类号】：P931.5 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1003-6563（2018）01-0065-07

0、引言

贵州省是南方喀斯特地区极具代表性和典型性的区域，贵州省地下水资源十分丰富，多年平均地下水资源量 $479.39 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，其中岩溶地下水天然资源量为 $386.26 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，占全省地下水资源总量的 80.5%^[1]，可溶性碳酸盐岩出露面积占全省国土面积的 73%^[2]。全省 95% 的城镇及 95.3% 的耕地分布在喀斯特地区，98% 的城镇、工矿人口及 95% 的农村人口居住在喀斯特地区^[3]，贵州喀斯特山区至今至少还有 300 万人口饮水困难，大约接近三分之二的旱耕地浇灌缺水^[4]。研究区位于贵阳市乌当区南部，气候温和，雨量充沛，光照适中，雨热同季，属亚热带季风气候；但山高坡陡，喀斯特石漠化严重，地表持水和调控能力低，降雨很快沿裂隙、漏斗、落水洞和缺土缺林的坡面注入地下和深切河谷，可方便利用的水资源（经济、技术条件允许建取水工程）稀少，因此缺水问题一直是该区经济社会发展的瓶颈^[5]。

目前解决喀斯特地区用水匮乏的主要途径包括：地下河天窗提水、浅层地下水开挖提水、围泉建池等有效水资源利用模式与方式^[6-8]；但单个技术或模式只能解决某一个点或者一类环境缺水问题，因为人居格局呈现“大分散、小聚集”的特征，靠单一水源或者利用方式难以完全解决流域缺水问题^[5]。为此，以贵阳市乌当区南部为例，在弄清流域水文地质状况，分析开发利用条件的基础上，通过现有技术利用和新技术研发，针对性的提出钻井取水、筑坝引水、堵洞成库、围泉引水、地下河天窗机电提水的开发利用方案，以期为该区域解决缺水问题提供参考。

1、研究区概况

1.1 地理位置

乌当区南部地区位于贵州省贵阳市乌当区，地处 $106^\circ 43' \text{ E} \sim 106^\circ 54' \text{ E}$ ， $26^\circ 32' 40'' \text{ N} \sim 26^\circ 36' 43'' \text{ N}$ 。东邻龙里，南靠花溪、南明两区，北与乌当区的中部地区交界，西与白云区毗邻。区域面积为 151.39 km^2 ，本调查区主要包括乌当区东风镇、

¹【收稿日期】：2017-09-11；【修回日期】：2017-10-16

【作者简介】：张祥祥（1991-），男，安徽省宿州市人，贵州师范大学自然地理学硕士研究生，研究方向：岩溶水资源与 GIS。

▲【通讯作者】：程 星（1959-），男，贵州省贵阳市人，贵州师范大学教授，博士，研究方向：水文地质、喀斯特石漠化、岩溶洞穴、环境保护等。

新添寨镇 2 个镇和偏坡乡以及新天办事处、高新办事处 2 个办事处。有汉、布依、苗、侗等 23 个少数民族。其中新添寨镇为乌当区委区政府所在地。



图 1 研究区位图

1.2 自然气候

研究区属于北亚热带湿润季风气候区，多年的平均气温为 14.6℃，平均降雨量为 1154mm，无霜期长达 288 天，降水量分布不均，每年的 4-10 月为雨季，占全年的 80%左右，11 月至次年 3 月为旱季，仅占全年的 20%左右。其中初夏多暴雨，盛夏多伏旱，八月多秋风。

2、水文地质条件

2.1 区域水文条件

乌当南部地区的河流属于长江流域的乌江水系，其中河床较狭窄，比降较大，流速快。本地区河流干流主要为发源于平坝县白泥田，流经花溪和贵阳市区进入乌当区的南明河，在研究区河长为 47.5km，流域面积为 529km²，平均天然产水量为 2.834 亿 m³，除干流南明河外还有松溪河、南门河、鱼洞河 3 条支流，支流汇流面积为 210.8km²。从乌当区河流水系分区来看，研究区属于南明河的中、下游及其支流地区（图 2、表 1）。



图 2 乌当区河流水系图

表 1 乌当区河流基本情况统计

河流名称	发源地或人口		出境或汇口		流经乡镇	河长/km		汇流面积/km ²	
	地名	高程	地名	高程		全长	区域内	全流域	区域内
松溪河	三元冲	1410	土巴寨	1028	新添寨	4.3	4.3	28.1	28.1
南门河	杨柳井	1528	长坡	992	小碧 东风	47.5	9.4	416.8	84.5
鱼洞河	龙里猫冲	1140	头堡	995	偏坡 东风	25.8	10.3	149	98.2
合计						77.6	24	593.9	210.8

2.2 区域地质条件

2.2.1 地层岩性

研究区出露的地层包括寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、二叠系等地层，其二叠系在研究区的分布最广。南部的新添寨镇是一短轴背斜构造，由于其主要受到乌当断裂带的控制，因此在该区出露的地层较多，碳酸盐岩与碎岩相间的分布。

表 2 乌当区地层简表

系统	地层名称	代号	厚度/m	主要岩性
第四系		Q	0-15	粘土
第三系	中统	K2m	0-25	灰质藤岩
	上统			
		三桥组	T3s	62-126 泥页岩与砂岩、灰岩、砂页岩
		二桥组	T3e	70-193 泥页岩与砂岩、灰岩、砂页岩
三叠系	中统	关岭组	T2g	795-1073 白云岩、白云质灰岩
		花溪组	T2h	540-760 白云岩、粘土岩
		茅草铺组	Tim	378-643 灰岩及白云岩
	下统	安顺组	T1a	246-637 白云岩、泥质白云岩
		夜郎组	T1y	184-905 灰岩、粘土岩
		大冶组	T1d	260-499 灰岩页岩夹少量泥质灰岩
		吴家坪组	P2w	164-202 灰岩
二叠系	中统	长兴组	P2c	8-116 灰岩、砂、页岩
		龙潭组	P2l	0-168 泥岩、砂岩为主
	下统	茅口组	P1m	138-455 灰岩
		栖霞组	P1q	57-195 灰岩
石炭系	中统	黄龙群	C2h	0-58 灰岩、白云岩
		摆佐组	Cb	4-56 灰岩、白云岩及白云质灰岩，
	下统	上司组	C1sh	0-77 灰岩、白云质灰岩及白云岩
		旧司组	cij	4-95 灰岩、白云质灰岩夹炭质页岩
泥盆系	上统	望城坡组	D3w	80 -450 白云质灰岩、泥岩
	中统	鸡窝寨组	D2j	0-270 泥灰岩
		麟山群	D1 -2m	0-570 石英砂岩

志留系	下统	上高寨田群	S2gz	222 -364	泥岩，砂岩、页岩夹薄板状灰岩和白云质灰岩
		下高寨田群	S1gz	0-195	泥岩夹泥灰岩
		韩家店群	S1h	0-630	石英砂岩夹灰岩
奥陶系	上统	宝塔组	O3b	21-40	泥质灰岩
		黄花冲组	O2-3h	9-35	灰岩
	下统	湄潭组	O1m	9-373	页岩、灰岩
		红花园	O1h	27-115	灰岩
		桐梓组	O1t	73-182	白云岩、白云质灰岩
寒武系	中统	娄山关组	e2-3ls	731 -930	白云岩
		清虚洞组	e1q	195 -376	白云岩及灰岩
	下统	金顶山组	e1j	106-180	砂岩、粉砂质页岩及页岩夹球鲕状灰岩
		明心寺	6 1m	0-300	页岩、粉砂岩

2.2.2 地质构造

研究区在大地构造上是属于黔中隆起与黔南凹陷的过渡地带。因而在研究区东片区属于东向华夏式构造体系，在西片区属于南北向的构造体系。

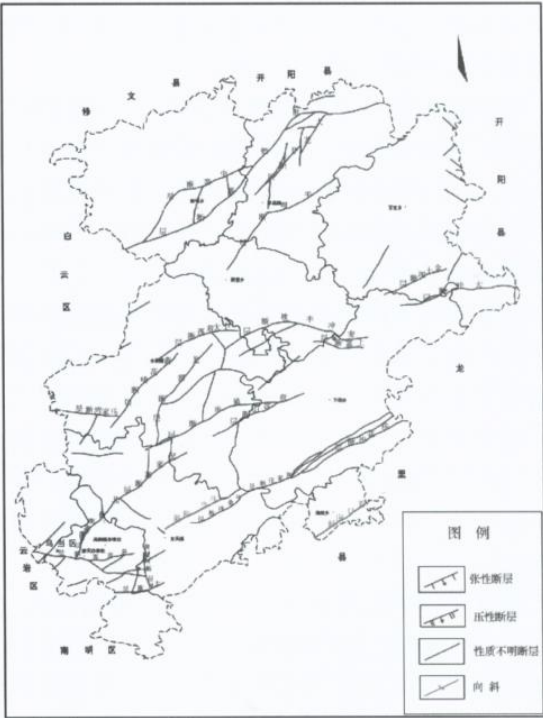


图 2 乌当区构造纲要图

研究区为典型的岩溶山区，喀斯特地貌发育较充分，碳酸盐岩层的分布广，根据岩溶地貌成因及其形态组合特征，主要的地貌类型又可以详细的划分为：侵蚀、剥蚀低中山地区；溶蚀、侵蚀丘陵区；溶蚀、峰丛洼地；丘峰洼地；侵蚀河谷；溶蚀丘峰低盆地。

3、乌当区南部地下水发育特征

3.1 地下水埋藏特征

研究区地区地下水资源比较丰富，埋藏深度在 900m~1300m 之间。由于其径流量在空间和时间分配的不均匀，导致部分地区的地下水资源不足。地下水类型主要包括岩溶水、基岩裂隙水及孔隙水 3 类，其中主要以岩溶水为主，基岩裂隙水第二，孔隙水较贫乏。

碳酸盐岩裂隙溶洞水赋存于岩层的溶蚀裂隙、孔洞和岩溶管道中，水量较丰富、富水中等，泉水和地下河的流量一般为 5~20L/s，最大流量为 798.5L/s，地下水枯季径流模数为 4.40~9.48L/s.kg，含水均一性较差，在白云岩中的地下水主要赋存于溶孔和溶隙中，其中分布较均匀，局部地区存在统一的地下水位。而在石灰岩中地下水主要赋存于岩溶管道之中，分布不均匀。

碳酸盐岩夹碎屑岩裂隙溶洞水，其含水岩层和隔水层是相间分布的，地下水在碳酸盐岩层中作顺层运动，其管道流的发育较为充分，水量也比较丰富，泉水流量一般在 5~10LA 之间，地下水的枯季径流模数为 2.8~6.5L/s.kg 之间。

基岩裂隙水赋存于碎屑岩的构造裂隙和风化裂隙之中。泉水流量一般在 0.1~0.5L/s 之间，地下水的枯季径流模数为 1.3~2.9L/s.kg 之间。

松散岩类孔隙水由于赋存在第四系的松散岩层之中，含水层较薄，分布不均，其水量较贫乏。主要在河流阶地、河漫滩、岩溶盆地、洪积层等中分布有孔隙水。

研究区位于长江流域乌江水系支流南明河，因此，地下水受到地表水系的影响较大，排泄基准面影响由两侧向中部径流。流域内次级分水岭及地质构造影响，构成了较为复杂的地下水运动格局。

地下水的埋藏主要受到地形、地貌、地质构造控制，其控制作用明显。例如峰丛洼地和溶丘洼地是地下水的主要补给区，峰丛沟谷和侵蚀槽谷又是地下水主要的径流区，溶丘谷地和岩溶中低山峡谷是地下水的排泄区。如本地区的南明河是一级排泄区。研究区地下水动态变化较大，泉水流量和地下水位受到地形和气象等因素控制，其流量变化与大气降水变化的规律基本同步。地下水埋藏的深度则受到地形控制比较明显，比如在研究区新添寨一带地下水埋藏较深，而在乌当区北部的新场到百宜一带埋藏较浅。

3.2 地下水发育特征

由于研究区岩溶地貌分布面积广，因此岩溶地下水分布面积广，地质结构较复杂，地下水与地下水转换比较频繁，因此从地下水补给、径流、排泄等条件分析研究研究区不同地下水类型的发育特征。

3.2.1 松散岩孔隙水的补给、径流、排泄

1) 松散岩孔隙水的补给条件

研究区孔隙水的补给主要有两种：大气降水和稻田灌溉水的补给。大气降水是孔隙水的主要补给来源，孔隙水赋存于盆地和谷地中，其强度不大，持续时间较长的降雨对孔隙水的补给是最有利的。大气降水的入渗量因其含水层的结构而有所不同：如以残坡积亚粘土为例，粘土夹碎石结构为主的含水层，其结构较为致密，孔隙度小，不利于大气降水的渗入；相反，冲积、洪积砂、砾石层结构较为疏松，孔隙度大，有利于大气降水的渗入，因此降水的人渗量大。

2) 松散岩孔隙水的径流排泄条件

由于孔隙水的含水层分布主要集中在较平缓的盆地、谷地中，水力的坡度较小，因此地下水径流的速度较慢。如众多民井，当地下水位下降之后，如果没有大气降水的补给，地下水的回复一般较缓慢。

孔隙水的排泄形式主要以面状泄流的形式排泄，比如在河流两岸常有 10~20 米宽的湿地，孔隙水经湿地缓慢的排泄于河流中。由于孔隙水的埋藏较浅，且大多数是农作物的分布地区，因此地面蒸发和植物的蒸腾作用也是孔隙水排泄的重要途径。

3.2.2 基岩裂隙水的补给、径流、排泄

1) 基岩裂隙水的补给条件

研究区基岩裂隙水的补给来源主要是大气降水。其补给量的多少与研究区的地形、裂隙的发育程度以及水文网切割等因素密切相关。南部的碎屑岩区主要以侵蚀一剥蚀的地形为主，沟谷的发育充分，水文网的切割密度大。在地形的切割较浅，地势较平缓，植被发育好的地方，有利于大气降水的渗漏补给。

2) 基岩裂隙水的径流排泄条件

基岩裂隙水的径流条件与碎屑岩风化裂隙发育的程度有关，一般情况下，研究区的碎屑岩风化的裂隙发育深度不大，其连续性较差，所以研究区裂隙水的径流较短。在沟谷中常以小泉点的形成排泄于地表，从而汇聚成山间溪流，在切割深的地方，泉点数量相对较多，流量较小，但其动态变化大。相反，在比较平缓的地带，泉点的数量也就相对要少，流量较大，其动态较稳定。

南部碎屑岩地区居民住地多，有很多的民用井，因此在该区人畜饮用水也是基岩裂隙水排泄的重要消耗途径。

3.2.3 岩溶水的补给、径流、排泄

由于研究区系典型的岩溶山区，喀斯特地貌发育充分，岩溶水分布面积广，因此，此次调查主要调查了岩溶水的水文地质结构类型。通过考察发现本地区岩溶地下水的水文地质结构类型主要包括：向斜汇流型、断层导向型和间层状单斜横谷排泄型三种类型。

断层导向型是指研究区断层发育较充分，不同的构造体系和不同次序的断层纵横交错。当断层含水层，地下水排泄出地面就形成泉，断裂破碎带就成为地下水流动的通道，而压性断裂就形成阻水边界。在研究区有新添寨断层，有龙潭张性正断裂、况家寨张性正断裂等都是良好的导水和阻水构造。因此在岩溶地区有很多大泉成串出露，形成断裂富水带。

向斜汇流型主要是指向斜两翼的岩溶水向轴部汇集，由顺轴向发育的纵谷排泄。例如南部地区乌当向斜两翼的三叠系岩溶水，经横张裂隙或横谷向轴部汇集，排入沿轴向流动的河流中。

间层状单斜横谷排泄型这一类型主要受到碳酸盐岩和碎屑岩相间分布的影响，岩溶地下水顺层运动，排泄与横谷中，此类型在本地区分布面积广，是研究区最重要的水文地质结构类型。例研究区南部三叠系夜郎组、大冶组地层和关岭组地层中的地下水。

1) 乌当区南部岩溶水的补给条件

通过考察发现研究区岩溶地下水的补给来源主要包括：大气降水、河流、水库和农田灌溉的补给。

大气降水的渗入补给是本地区岩溶地下水的主要补给来源，大气降水经过岩溶裂隙、落水洞、落井、溶潭、地下河天窗等渠道渗入到地下。岩溶地区大气降水补给地下水的多少与岩溶的发育程度关系密切，由于研究区岩溶发育普遍为各种负向岩溶的形态，根据计算其入渗系数发现：该地区约有 16%~32%的大气降水转入地下形成岩溶地下水，相对而言，在研究区间层状水文地质结构分布地区，其岩溶发育较弱，因此对大气降水的吸收相对较少。

大气降水的渗入还与降水强度有关，降水强度对地下水的渗入有明显的影响，具体表现为：降水时间短但降水强度较大的如大雨暴雨主要形成地表径流汇入河流中，对地下河流量的变化影响较大，形成其流量大起大落特点。对于连续性降水如中雨、小雨，降水在地表滞留的时间长，因此渗入到地下的较多，渗入量大。

研究区在地表存在着很多的地表溪流，地表溪流经过落水洞、伏流入口消入地下，形成岩溶地下水。

研究区地区拥有大中小型蓄水工程 50 处，引提水工程 277 处，因为岩溶工程地质条件复杂和施工、使用等方面的原因，水库等其它引水工程的渗漏也是普遍存在的。这些水通过裂隙等渗入地下形成了对地下岩溶水的补给。

在研究区的岩溶谷地、洼地和地势较平缓的山坡上都有稻田的分布。每年的 6-9 月农田充水，田水下渗进入地下，对地下水有一定的补给。

2) 乌当区南部岩溶水的径流条件

研究区的岩溶地下水主要受到地质构造地貌和水文网的控制。径流的条件十分复杂。本地区地下水径流的趋势大致从分水岭高的地方向地势低的河谷径流。受到岩性、构造等因素的影响，径流条件比较复杂。经考察发现本地区的地下径流分为与岩层走向一致、垂直或斜交岩层走向、沿褶皱深部循环和顺断层走向四种径流。根据含水介质组合特征又可以分为管道流、层间流和裂隙流等。

3) 乌当区南部岩溶水的排泄条件

岩溶水的排泄主要受到岩性、构造、地貌和水文网展布格局等因素的影响和控制，通过考察研究分析发现本地区岩溶地下水的排泄方式主要有褶皱断裂的深切峡谷排泄，岩溶谷地、坝子汇集排泄和开采井排泄及湖泊排泄。

4) 褶皱断裂深切峡谷排泄

本地区主要受到南明河及其支流的深切形成的河谷都是本地最低的侵蚀基准面，为地下水主要的排泄区，这些河谷由于切割较深，周边岩层褶皱、断裂发育强烈，地下水补给的面积较宽，径流的途径较长，主要形成有大泉和暗河的形式排泄与河流中，具有流量大、动态较稳定的特点。

喀斯特地区特有的地貌景观，例如岩溶坝子、盲谷、峰丛洼地等形成的封闭条件良好的低洼地带，地下水沿层理面排泄到洼地中，形成岩溶地下水。

研究区的工农业开发程度较高，工农业的生产和生活用水部分采用了钻井取水。在研究区还有多个湖泊、水库，其部分水量来源于地下水的补给。

4、开发方案

4.1 地下水允许开采量确定

依据《供水水文地质勘察规范》GB50027-2001 的 8.2.17 至 8.2.37 规定。地下水的可开采量是指通过技术经济合理的取水构筑物，在整个开采期内的出水量不会减少，动水位不超过设计要求，水质和水温变化在允许范围内，不影响已建水源地正常开采。不发生危害性的工程地质现象的前提下，单位时间内从水文地质单元或取水地段中能够取得的水量。

研究区碳酸盐岩类的地层出露广泛，岩溶的发育较强烈，大气降水为研究区地下水补给源，含水层的富水性不均匀。地下水类型以裂隙—溶洞水为主，地下水在接受补给后以泉及地下河的方式排泄于地势低洼处和河谷中，其流量动态变化与大气降水量的变化呈正相关。一个相对完整地下水系统内的地下水资源量在一个水文年内的补排基本处于平衡的状态。

调查区在原 1:20 万、1:10 万水文地质调查的基础上，对区内水文地质情况作了进一步的深入研究，调查资料可为地下水允许开采资源量计算提供较为详实的基础数据。

原则上研究区最大可开采水量为 6289.65 万 m^3/a ，但岩溶地区地下水动态存在时空的动态不均匀性，同时应考虑地下水可采带来的…系列问题，为保守起见，可开采值低于多年平均地下水出露值，但本次调查因时间条件有限，未对地下水动态作详实论证。综上依据，建议取 95%保证率下 1/3 的枯季径流量作为调查区可允许开采总量。即区内地下水允许开采量为 1516.11 万 m^3/a 。

4.2 地下水开发利用现状

根据乌当区水资源开发资源综合规划报告中指出，研究区水资源开发利用率为 24.8%，水资源开发利用属中等。参照贵阳市水务管理局 2013 年水资源公报，乌当区南部地下水供水能力为 758.10 万 m^3/a ，以地下水调查所确定的地下水可开采量(1516.11 万 m^3/a)而分析，地下水仍有较大利用空间。但研究区地下水资源开发利用程度不高，开发地下水主要受以下几方面问题的制约：

1) 主要受地理条件、水文地质条件的限制，开发条件较差，空间分布不均。地下水主要富集区是寒武系中上统、二叠系中统、三叠系几个层位当中，在空间分布上表现为溶蚀孔隙水分布北多南少，地下水特征为小水量出露点多且分散，多数泉水出露点又不具备实际供水意义；溶蚀管道水主要集分布于研究区南部，地下水富集受构造作用、溶蚀作用控制强烈，地下水特征表现为地下水集中而埋藏深度较大，因此开发利用难度较大。

2) 地下水疏干区分布较广泛。由于在研究区内的地表岩溶形态较发育，落水洞、天窗、岩溶潭分布较多，致使大气降水迅速渗流较深的地层中，地表蓄水、地下取水难度加大。

3) 地面工程破坏地下水资源问题存在。随着城市化进程加快，地表工程修建的同时导致大气降水被人为阻断地下水补给，或是因修道路、开山采石等人为活动破坏原有水资源平衡。

4) 地下水资源开采成本受到影响。地下水空间分布不均造成钻井取水成孔率不高，加之地下水埋藏深度与开发成本成正相关性，因此地下水开发受开采成本控制。

5) 地下水时间分布不均一。研究区区内浅层可利用的地下水直接受到大气降水控制，枯丰季水量变化巨大。

6) 地表人为活动污染潜层地下水情况明显, 研究区区内诸如农田化肥、工矿企业排放污水、垃圾倾倒及堆垛于地表与地下通道之上等污染地下水水质情况屡见不鲜, 地下水未被利用而先被污染。

依据前文所述, 研究区地下水发育特征及地下水资源开发利用现状, 现提出研究区地下水的开发方案, 对研究区合理利用与保护地下水资源及实现经济可持续发展有一定的帮助:

(1) 钻井取水, 开发研究区管道承压水

在研究区有隔水层出现的喀斯特盆地和洼地中, 因为管道承压水的压力大, 因此只要打通承压水上部的隔水层, 地下承压水就会自动流出, 如东风镇龙井。

(2) 筑坝引水

主要在地下河出口处修筑堤坝, 提高地下水水位, 然后通过明渠和管道引水。如乌当区东风镇鱼洞地下河的开发。鱼洞地下河出流量为 700L/s, 且与鱼洞河支流相汇流, 因此可在其汇流鱼洞河峡谷处筑坝建库引水, 基本可以解决部分地区用水需求, 筑坝建库工程投入少, 经济和社会效益较好。

(3) 堵洞成库

充分利用研究区喀斯特地下洞腔充分发育的特点, 在洞穴出口处修坝拦堵, 把地下水蓄积起来, 进行丰枯水的调配, 开展地下水人工调蓄, 人为地利用地下储水库容调节水资源, 达到扩大可利用水资源的目的。根据区域水文地质条件和地下水与地表转化关系特点进行地下水人工调蓄, 提高水资源的利用率。

(4) 围泉引水

利用研究区地形的落差, 在泉水(裂隙水)出口的附近修建一些积水池, 然后通过水渠和管道自流把泉水引到海拔较低的村庄的调节水池中, 用以基本的生产生活用水需求。

(5) 地下河天窗机电提水

研究区地下河天窗, 溶裂, 漏斗等地貌发育, 因此可以在地下河天窗, 溶裂, 漏斗处安装提水泵站, 提取地下水, 研究区地下水天窗机电提水可以采取流动式提水、轨道式提水、梯级式提水、深井泵站提水。

5、结 论

研究区系典型的岩溶山区, 在岩溶地貌分布广的大背景下, 地表水常以溶洞水和溶蚀裂隙水的方式存在, 造成了地下水位深埋, 地表缺水的现状。但南部地区地下水系发育充分, 其分布受到了地质条件和地貌条件的影响和控制。本文从研究区地质条件和地貌条件出发, 分析研究区水文地质环境及其地下水发育特征, 其分布受到地质条件和地貌条件的影响和控制。乌当区南部地区喀斯特地貌发育充分, 研究区岩溶地下的水分布面积广, 地质结构较复杂, 地下水与地下水转换比较频繁, 本文从地下水补给、径流、排泄等条件分析研究区不同地下水类型的发育特征。依据研究区地下水发育特征及地下水资源开发利用现状, 提出了在研究区开发利用地下水资源的钻井取水, 开发研究区管道承压水、筑坝引水、堵洞成库、围泉引水、地下河天窗机电提水五种开发思路。

[参考文献]:

- [1]吴春占, 张艳红. 贵州省岩溶地区地下水资源开发利用方案及建议[J]. 水利科技与经济, 2014, 20 (9): 46-47.
- [2]苏维词. 中国西南岩溶山区石漠化治理的优化模式及对策[C]//中国科学技术协会. 加入 WTO 和中国科技与可持续发展: 挑战与机遇、责任和对策 (下册). 北京: 中国科学技术出版社, 2002: 2.
- [3]范荣亮, 苏维词, 张志娟. 贵州喀斯特地区水资源存在问题及解决对策[J]. 中国农村水利水电, 2007 (4): 12-15.
- [4]朱文孝, 李 坡, 贺 卫, 等. 贵州喀斯特山区工程性缺水解决的出路与关键科技问题[J]. 贵州科学, 2006 (1): 1-7.
- [5]高渐飞, 苏维词, 陈永毕, 等. 喀斯特高原山地水资源赋存特征及其综合利用方式——以贵州省七星关区朝营小流域为例[J]. 中国水土保持, 2015 (9): 4649.
- [6]王 宇. 云南泸西小江流域岩溶水有效开发模式研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2006.
- [7]韩至钧, 金占省. 贵州省水文地质志[M]. 北京: 地震出版社, 1996: 27-385.
- [8]苏维词. 花江喀斯特峡石漠化治理示范区水资源赋存特点及开发条件评价[J]. 水文地质工程地质, 2007 (6): 37-40.