

贵州省岩溶地区严重缺水的 分水岭地带地下水勘察实录

—安龙县县城供水水文地质勘查与施工

裴永炜 杨富治 陈 萍

(贵州省地质调查院)

1. 前言

贵州省地处祖国西南的云贵高原，全省碳酸盐岩分布面积 $12.96 \times 10^4 \text{km}^2$ ，占总面积的 73.6%，是全国典型的岩溶地区，岩溶石漠化现象十分严重，加之河谷深切，干旱缺水问题非常普遍，特别是河谷的分水岭地区，由于地势高，与河谷相对高差大，大气降水通过岩溶裂隙或管道迅速转入地下或向河谷排泄，几乎无地表水体，因此这些地区更是典型的严重缺水的岩溶地区。为解决这地区的缺水问题，我院近年来先后在黔北的余庆，黔东南的岑巩，黔中的安顺及黔西南的安龙等岩溶分水岭地区开展地下水资源勘查工作，取得了一批丰硕的成果，并获得了较好的社会效益和经济效益，本文通过对安龙县县城供水水文地质勘查与施工进行总结，谈谈在这些地区找水的体会。

2. 安龙县县城缺水状况

安龙县位于贵州省西南边缘，处于云贵高原向广西丘陵过渡的斜坡面上。属珠江水系红水河上游南盘江（干流）与北盘江（支流）的河间地块地带，隶属黔西南布依族苗族自治州，为贵州的西南门户。南昆铁路从县境通过，县内交通方便，矿产资源丰富，是黔西南自治州经济发达县之一。

县城海拔高程 1360 - 1380m，南北盘江汇合口距县城约 70km，海拔仅 297m。地貌属峰林谷地，无地表水系。在 20 世纪 80 年代以前，县城供水主要靠县城西关的西龙井及县城北东塔山脚下的两个泉点。两泉受季节变化影响较明显，到枯水季节，水量减小，特干旱年份甚至出现断流。历史上，为解决县城供水，曾在县城南部的竹林湾（即安七井）附近挖一近 20m 深的人工井，未出水。县城的严重缺水制约了县城的发展。

根据安龙县人民政府 1995 年编制的安龙县县城总体规划面积为 7.895Km^2 ，在 2000 年人口达 4.5 万，2010 年人口将达 6 万。以 2000 年为近期规划，2010 年远期规划，用水量预测如下：

规划人口近期 4.5 万人，远期 6 万人，居住区综合用水标准为 200 升/人·日，供水普及率 100%，则生活用水量近期为 8000m³/d，远期为 3600 m³/d。则总用水量近期为 15000 m³/d，远期为 22000 m³/d。

到 1998 年以前，县城仅靠地表出露的几处泉水和我院在开展 1：20 万安龙幅区域水文地质普查时，在安龙县城东北的塔山下施工了一口普查井（该井涌水量达 1200m³/d，后应县人民政府请求，将该孔作为供水井交付地方使用即安一井作为当时的黔西南自治州第一井，为缓解县城供水的紧张状况起到了积极作用。）最多能达到 4000m³/d 的供水能力，仅能达到县城近期规划用水量的 30% 左右。因此，为解决县城供水问题，县有关管理部门规划在距县城约 5km 的巧洞水库引水，但由于巧洞水库库容小，在现有基础上加高坝后，库容量也仅能增加到 90 × 10⁴ m³，最多能保证 5000~7000m³/d 的供水，难以从根本上解决县城发展的需要。

1998 年，我院在实施西南岩溶石山找水扶贫项目过程中，将安龙县县城供水列为西南岩溶石山地区扶贫找水项目，项目从 1998 年 4 月开始，到 2000 年 6 月结束，先后在县城进行了 1：5 万、1：1 万的水文地质勘察，并先后施工勘查探采结合井 7 眼，其中成井六眼，即安二井、安四井、安五井、安六井、安七井、安八井。到 2001 年，安龙县县城的七口井（加原施工的安一井）供水总量已达 12000m³/d（见表 1，安三井未计入），完全可以满足县城近期乃至中长期的发展需要。

表 1 安龙县县城供水成井主要参数一览表

钻孔序号	钻孔位置				成井时间年 月	孔深 m	涌水量		降深 m	静止水位 m	渗透系数 m/d	影响半径 m	建议开采量 m ³ /d	实际开采量 m ³ /d	备注
	地名	x	y	z			l/s	m ³ /d							
安一井	自来水公司	2778650	18547500	1364	1981.4	250.38	13.36	1154	2.42	0.97	2.52	261.4	1200	1920	
安二井	自来水厂	2779125	18548325	1362	1998.6	200.13	18.32	1582	10.30	1.50	1.544	286.6	1400	1440	
安三井	新寨	2729950	18548925	1361	1998.9	200.45	3.719	321	50.80	6.70	0.045	297.99			未用
安四井	蒋家湾	2779750	18548800	1362	1998.11	200.28	16.56	1431	10.90	2.70	1.155	356.3	1400	1440	
安五井	海子农场	2779200	18548775	1361	1999.10	150.90	35.01	3025	13.20	1.00	1.997	456.8	2500	2400	
安六井	海子农场	2779350	18549175	1631	1999.12	151.09	16.56	1431	19.80	2.10	0.640	386.7	1200	1200	
安七井	竹林湾	2777900	18546450	1370	2000.1	151.50	31.33	2706	21.40	9.90	1.257	568.2	2500		备用水源井
安八井	苦瓜营	2777350	18545875	1365	2000.3	150.47	15.37	1328	33.60	1.40	0.381	506.5	1200		
合计							150.23	12978					11400		

3. 水文地质条件

3.1 气象水文

安龙县县城属中亚热带湿润季风型气候区，具有冬无严寒、夏无酷暑、雨热

同季，雨量充沛的特点，多年平均气温 15.3 ，多年平均降水量 1259.3mm，年蒸发量 1716mm，年平均相对湿度 80.65%，平均年日照 1661.5h，全年无霜期 300d 左右。

县城位于珠江水系红水河上游的南盘江（干流）与其支流北盘江的分水岭地区，属北盘江流域，县城内无常年性地表流，仅有一条县城内总排污渠道由南西向北东贯穿县城排入绿海子转入伏流。

3.2 地形地貌

安龙县城地势南西高，北东低，为峰林谷地地貌，峰顶高程 1460 - 1570m，谷地高程 1360 - 1380m，谷地相对平坦，山峰多呈近圆形或椭圆形。

3.3 地层岩性

县城及其附近出露地层较为单一，主要为第四系及三叠系中统关岭组。

第四系主要分布于谷地，厚度 0 - 10m，在县城及南西主要为残、坡积粘土，在海子农场一带为砂土、亚砂土及淤泥（20 世纪 50 年代以前，这里曾经是一岩溶湖，有十里荷塘美称，海子农场成立后，为人工造田，将岩溶湖内的水放干耕作。

中三叠系统关岭组地层在安龙断层北西盘分上下两段，下段（ T_2g^1 ）为薄至中厚层状泥质白云岩、泥灰岩，角砾状白云岩、粘土岩互层，底部有 0 - 2m 黄绿、灰绿色斑脱岩、凝灰岩，厚 148 - 209m；上段（ T_2g^2 ）为中厚层灰岩夹瘤状灰岩、泥灰岩，厚 215 - 539m。在安龙断层南东盘，上下段合并，相变为中厚层至块状白云岩、白云质灰岩，厚 350 - 800m。断层两盘岩层产状平缓，倾角一般小于 10° 。

3.4 地质构造

安龙县城在区域构造上位于广西山字型的前弧西翼西端安龙北东向构造带与南岭东西向构造带的西延部分——隆林东西向构造带复合部分，属安龙北东向构造带，距隆林东西构造带的北部边缘仅 10km。县城位于安龙北东向构造带的安龙断层（ F_{38} ）与坡燕断层（ F_{37} ）之间的断块上（见图 1）。

安龙断层向 $45^\circ - 60^\circ$ 方向延伸，长达 60km，倾向北西，倾角 $60^\circ - 70^\circ$ ，断距大于 150m，为逆断层。断层角砾岩胶结紧密，该断裂带具阻水特征。

坡燕断层（ F_{37} ），位于安龙断层南东，向 40° 方向延伸，长 25.6km，倾向南东，倾角 75° ，断裂带具阻水特征。

安龙断层北西盘地层倾向北东东，倾角一般小于 20° ，断层南东盘地层倾向北东 30° ，倾角小于 10° 。

3.5 水文地质条件

县城谷地内第四系粘土、亚粘土、砂土、亚砂土、淤泥等松散岩类孔隙水，富水性差，含水层厚度小，无供水意义。

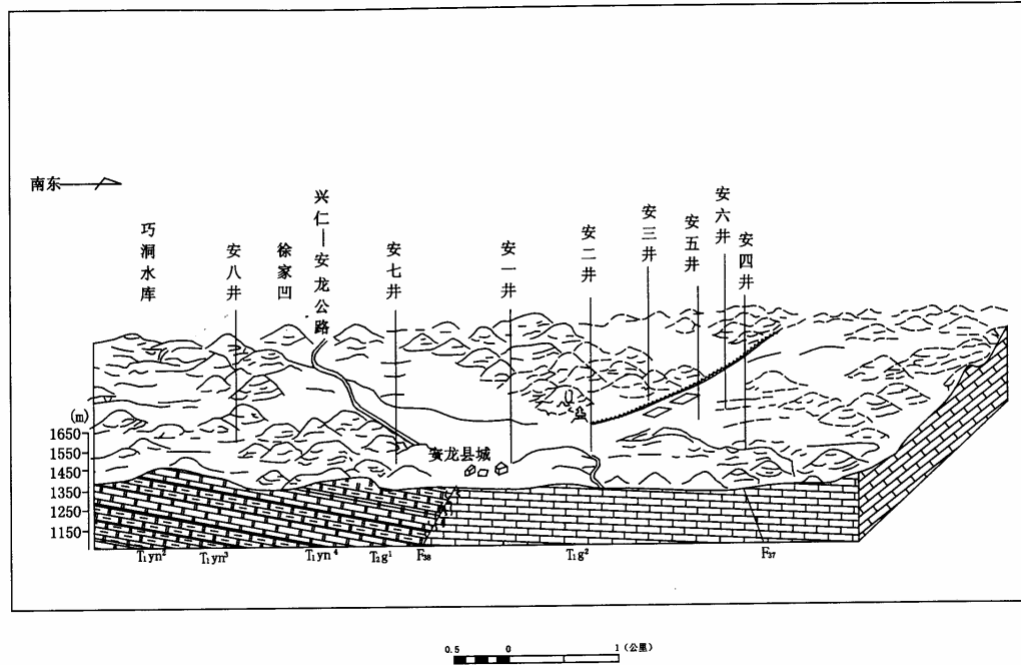


图 1 安龙县城附近地质地貌断块图

安龙断层北西盘三叠系中统关岭组下段，薄至中厚层状泥质白云岩、泥灰岩、角砾状白云岩与粘土岩互层，含碳酸盐岩、碎屑岩互层孔隙裂隙水和裂隙溶洞水，地下水枯季径流模数 $2.31\text{L/s}\cdot\text{km}^2$ 。

安龙断层南东盘的断块上为三叠系中统关岭组中厚层至厚层块状白云岩、白云质灰岩，含岩溶裂隙溶洞水，地下水枯季径流模数 $6.11\text{-}6.9\text{L/s}\cdot\text{km}^2$ ，为强含水岩组，是县城供水的主要含水岩组。

断块上的地下水由南向北向安龙断层运移汇集，在断裂破碎带及影响带形成地下水的富集带，然后沿断裂走向向北东运移。在县城一般受地形地貌和次级构造的控制。从县城西南部两江的分水岭汇集而来的地表水、地下水在断层破碎带附近富集，形成安龙富水块段并在局部出露地表成泉。如西龙井及塔山脚下的泉点。安龙富水块段内，地下水埋深一般小于 10m。

4. 项目实施程序

安龙县县城供水工程是在 20 世纪 70 年代后期进行的 1:20 万区域水文地质普查基础上滚动发展起来的，正是因为在这一次普查中初步查明了安龙县城附近的水文地质条件，确定了安龙断裂带的富水性特征及安龙富水块段，为后面各井

的勘查与施工奠定了基础。安龙县县城供水工程的成功也是对已有资料进行二次开发的成功范例。

1998年4月,我院在开展西南岩溶石山缺水地区找水扶贫项目时,首先在安龙县县城进行了1:5万的供水水文地质普查,进一步查明了安龙县县城水文地质条件,并在此基础上编制了《安龙县县城开采地下水可行性论证报告》。报告认为,安龙县虽然地势较高且地处南、北盘江分水岭地区,但受区域性安龙北东向构造带和隆林东西向构造带的控制以及岩层的相变影响,形成了安龙县特定的水文地质条件。地下水主要接受大气降水补给,南有隆林东西向构造阻隔,向东坡燕断层(F_{37})又构成隔水边界,因而从西南方向径流而来的地下水在安龙县县城附近汇流富集。在安龙谷地之中,地下水水力坡度平缓,地下水径流缓慢,地下水埋深一般小于10m,地下水富集相对较为集中,便于集中开发利用。

根据普查资料,确定了两个供水成井孔位,即安二井和安三井。安二井施工较为顺利,经抽水试验,单井涌水量达 $1580\text{m}^3/\text{d}$,降深仅10.30m。但安三井则因地面覆盖,未能确定安龙断裂构造的位置,而将钻孔布在了安龙断裂的上盘 T_2g^1 地层中(见图2,后经物探证实断层距该孔不到150m),经抽水试验,该孔单井涌水量仅 $321\text{m}^3/\text{d}$,因水量小,到目前为止尚未利用。随后,将孔位移至新寨施工(即安四井)获得成功,安四井单井涌水量为 $1431\text{m}^3/\text{d}$,降深10.90m。这两口井与原来的安一并共同作为县城供水的主要水源。值得说明的是,安一并抽水试验单井涌水量为 $1154\text{m}^3/\text{d}$,降深仅2.42m。县自来水公司实际使用 $80\text{m}^3/\text{h}$ 的潜水泵抽水,实际抽水量为 $1920\text{m}^3/\text{d}$ 。

1999年8月,为适应县城发展与规划的需要,县建设局再次要求我院对县城进行供水水文地质勘查,试图通过勘查与施工,使县城的实际供水能力达到 $10000\text{m}^3/\text{d}$ 以上。1998年曾经进行过1:5万的水文地质普查,安龙县县城已有3口供水井,供水能力已达 $4000\text{m}^3/\text{d}$,对地处地下岩溶分水岭地区的安龙县县城地下水开采量能否达到 $10000\text{m}^3/\text{d}$,我们心里并没有底。我们再次组织技术人员到现场进行精度相当于1:2.5万(县城附近相当于1:1万)的供水水文地质勘查,并布置了部分物探工作。经过本次勘查,查明安龙县县城富水块段的实际汇水面积为 34.5km^2 ,概算地下水天然资源量为 $81137\text{m}^3/\text{d}$,地下水枯季天然资源量为 $18226\text{m}^3/\text{d}$,并再次查明了安龙断层两盘的岩性差异及水文地质条件的差异,定在安龙县县城附近勘探地下水只能在安龙断裂带附近或南东盘。

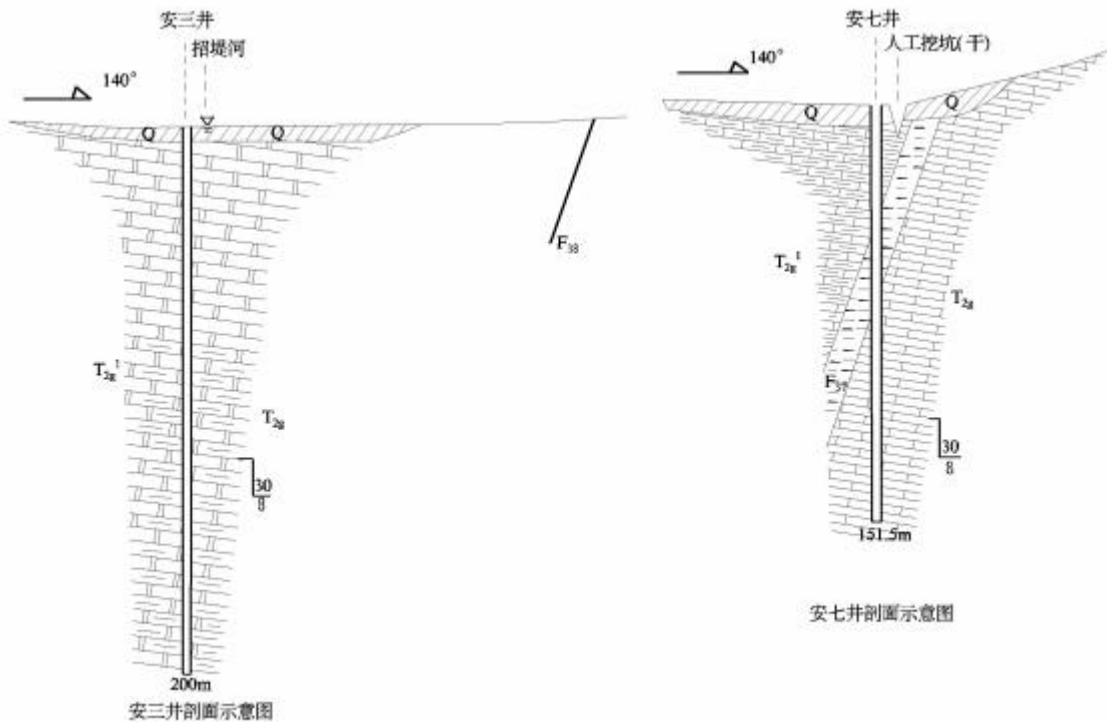


图2 安龙县供水成井安三、安七井剖面图

在此基础上，通过地面调查并结合物探成果分析，在安龙县城的海子农场、竹林湾、苦瓜营等地分别布置了四口供水井（即安五井、安六井、安七井和安八井）。从1998年11月开工，至1999年6月结束，四口井均获得成功，单井涌水量分别为 $3025\text{m}^3/\text{d}$ 、 $1431\text{m}^3/\text{d}$ 、 $2706\text{m}^3/\text{d}$ 和 $1328\text{m}^3/\text{d}$ ，四口井总涌水量达 $8590\text{m}^3/\text{d}$ 。这四口井成功的经验主要有两点，一是重视基础的水文地质调查和对水文地质条件分析，通过大量的地面水文地质测绘，查明区内水文地质条件，对每一个可能作为供水井孔位的地段进行剖面测量并加以计算、分析；二是充分利用物探成果，对经过物探工作选定的9个孔位进行认真的分析，并结合地面工作成果进行认真的比较与筛选。施工结果表明，本次物探成果与孔内的实际情况基本吻合（见表2和图3）。

值得一提的是安七井的孔位确定与施工，安七井位于县城西南的竹林湾，在拟选孔位的南侧约25m处，有一近20m的大坑，系人工开挖而成，据访是历史上为解决县城供水而挖的，坑内无水。该处地层为 T_{2g}^1 薄至中厚的泥质白云岩。物探成果显示，联合剖面的 s^A 、 s^B 值在断层北西盘较高，在南东侧较低，273号点附近有一明显的低阻正交点。

依据联合剖面曲线分析：以断层为界，南—东侧电阻率较低，含水较丰富；北—西侧电阻率较高，地下水较贫乏，断层为相对高阻层，具阻水作用。在断裂

南东侧断裂影响带附近，岩石受应力作用，岩体破碎，岩溶裂隙发育，地下水丰富。依据 273 号电测深曲线解释 55—77m 为断裂带，77~99m 为断层影响带富水性好（见图 3）。

地面测绘和实测剖面表明，孔口位置所在断层上盘为 T_2g^1 泥质白云岩，安龙断裂倾角为 66° ，断层角砾岩胶结紧密，计算断层带埋深在 60~75m 之间，断层下盘为 T_2g 泥质白云岩，富水性好。物探曾建议，该孔孔位是否考虑移动和不在此处施工。经地质技术人员进一步分析，还是将孔位布在断层北西盘。在实际施工过程中，机场反映，在孔深 74m 以前，孔内冲洗液一直返回地表，岩心完整，呈长柱状，岩溶裂隙不发育，富水性差。但从 74m 开始进入断层下盘，孔内岩心破碎，冲洗液完全漏失。说明地质推测、物探成果基本准确。

原来设计孔深为 200~250m，查看以往资料，参考安一井、安三井资料，在孔深 130m 以下岩心完整，裂隙不发育，安二井在安龙断裂带上，孔内岩心破碎，但在 160m 以下，岩心也趋于完整。结合物探成果，其推断的主要富水部位均在 100m 以上，为此，这四口井的孔深均设计为 150m。事实证明，这个孔深是适宜的。

在布孔间距上，依据已有成井孔的影响半径，在安二井、安四井、安五井与安六井四口井之间，井间距原则按照大于 2 倍影响半径布置。安五井、安六井继 2000 年初投入运行后，各井出水量正常，未出现明显的井群干扰现象。应当说明的是各井均未按抽水试验的涌水量开采量，而是按照我院在各井的专题报告中提供的建议开采量开采地下水，在实际使用过程中，各井开采量均在建议开采量以内（见表 1）。实践证明，井间距的布置是基本合理的。

表 2 安龙县城供水井安五~安八井物探剖面与勘探剖面对照表

井号	勘 探 剖 面	物 探 剖 面
安五井	0~6.4m 为耕植土、粉质砂土、粉砂土、淤泥;6.4~150.90m 为灰白色中厚层至厚层块状白云岩，浅部风化强烈，其中 8.90~17.00m 岩心破碎，29~73m 岩溶裂隙发育。	物探剖面垂直于地下水主要径流方向布置。以对称四极进行剖面测量，在 s 剖面曲线上，341~343 号点有一明显的“V”字型低阻异常带。343 号电测深曲线在 $AB/2=15m$ ，40~65m 两处出现明显的低阻异常，经分析：在地表以下深度 9—17m、36—60m 为岩溶裂隙较为发育的含水段（见图 6）
安六井	0~7.4m 为耕植土、粉质砂土、粉砂土; 7.4~150.19m 为灰色中厚层至厚层块状白云岩，上部岩心破碎，其中 46.5~73.8m 岩溶裂隙发育，为本孔的主	剖面方向与安五井相同，对称四极剖面 s 曲线在 318 号点附近出现明显的“U”字型低阻异常区，异常宽度 20m 左右，与安 5 井属同一含水带。电测深曲线在 $AB/2=40 - 65m$ 有一低阻台

	要来水部位。	阶。经分析解释：在地面以下 42—70m 为岩溶裂隙较为发育的含水段（见图 6）。
安七井	0~7.4m 为粘土。7.4~43.77m 为中厚层状泥质白云岩，裂隙多为方解石脉充填，含水性差；43.77~74.60m 为断层角砾岩，成份为白云岩，61.37m 以上胶结紧密，岩心完整，60.80m 以后，孔内不翻水。74.60~151.50 为白云岩夹泥质白云岩，其中 74.60~97.90m 岩溶裂隙发育。	该井位于 F ₃₈ 断层北—西侧，依据联合剖面曲线分析：以断层为界，南—东侧电阻率较低，含水较丰富；北—西侧电阻率较高，地下水较贫乏。断层为相对高阻层，具阻水作用，在断裂南—东侧断裂影响带附近，岩石受应力作用，岩体破碎，岩溶裂隙发育，地下水丰富。依据 273 号电测深曲线解释 55—77m 为断裂带，77—99m 为相对含水层（见图 6）
安八井	0~6.00m 为粘土；6.0~117m 为中厚层白云岩，白云岩中节理裂隙发育，在 33.50~72.30m 段，岩溶裂隙发育，是本孔的主要出水部位。	该井位于断层附近，剖面方向与安 7 井相同，对称四极电测 s 曲线在 341 号点及 255 号点附近均有较明显的低阻异常，341 号电测深 s 曲线在 AB/2=40—90m 有一明显的底阻台阶状异常。经分析解释，在深度 42.0~84.0m 为岩溶裂隙较发育的含水段（见图 6）

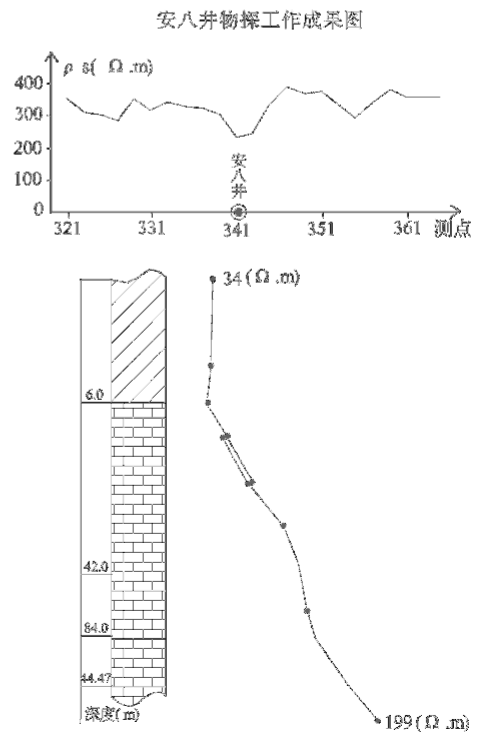
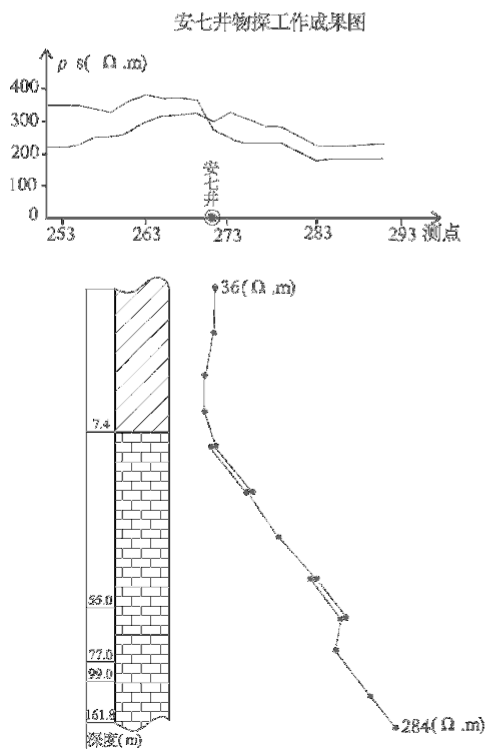
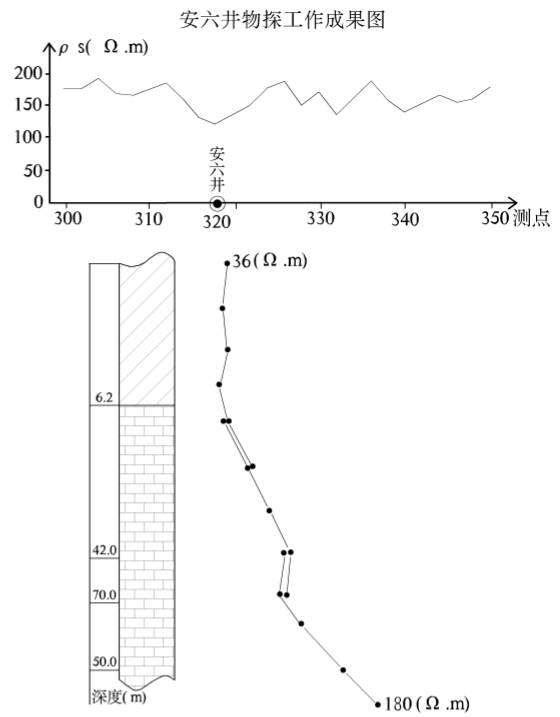
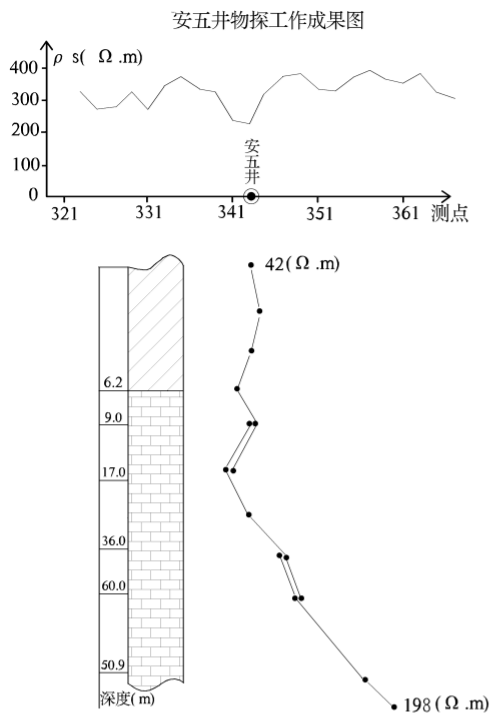


图 3 安龙县供水井安五 - 安八井物探工作成果图

5. 结论

5.1 安龙县县城地处南盘江与北盘江分水岭地区，地势高、岩溶发育、地表水资源匮乏，为典型的岩溶缺水地区。

5.2 区域性的安龙断层（ F_{38} ）为一高角度逆断层，断层南东侧富水，该断层是形成安龙富水块段的控制性构造。地下水主要来自断层南东盘的 T_{2g} 白云岩、白云质灰岩含水组的补给。该含水岩组有效补给面积 34.5km^2 ，地下水枯季天然资源量 $18226\text{m}^3/\text{d}$ 。勘探结果表明，在岩溶石山严重缺水地区的分水岭地带，虽然普遍存在严重的缺水现象，但有些是地表现象，在一定的地质条件下仍可以形成地下水相对的富水块段。

5.3 安龙县县城供水工程共施工供水井八眼，其中安三井因水量较小未利用，七口井实际供水能力可达 $12000\text{m}^3/\text{d}$ 。目前仅使用五口井，其开采量为 $8400\text{m}^3/\text{d}$ ，安七井和安八井作为县城供水的后备水源井尚未启用。因此安龙县县城已施工的七口供水井的开采量完全可以满足安龙县城目前人口和经济发展的需要。

5.4 安龙县城供水工程是一个在区域水文地质普查项目上滚动发展起来的项目，目前贵州省这一类型的岩溶石山缺水地区尚有很多，安龙县城供水工程的成功经验对在这些地区找水具有一定的指导意义。

