

云南省严重缺水地区地下水勘查示范工程实例

王宇 张贵 段乔文 李继红 戴文敏

(云南省地质调查院)

1. 前言

1.1 云南省区域缺水状况

云南省正常年水资源总量 2222 亿万 m^3 ，地下水占 33.3%，但因时空分布极不均匀而造成广大地区严重干旱缺水。云南省国土面积 39.4 万 km^2 ，其中岩溶面积 11.09 万 km^2 ，红层面积 11.26 万 km^2 ，全省人口 4288 万人。据省政府公布现有缺水人口 500 万人，特别是东经 102° 以东碳酸盐岩连片分布的滇东地区，1998 年全省受旱灾耕地面积达 1347 万亩，成灾 761 万亩，绝收 138 万亩，干旱造成 397 万人、229 万头大牲畜饮水困难，旱灾直接经济损失 22.5 亿元。云南省共有 63 个贫困县，其中缺水人口约 250 万人，缺水大牲畜约 116 万头。分布于滇东岩溶地区的 24 个贫困县，因碳酸盐岩连片分布，地表多为干谷，人畜饮水困难，有缺水人口约 76 万人，缺水大牲畜约十余万头。部份地区人畜饮水需翻山越岭到数千千米以外的地方取水，水费可高达每方 60 元。由于缺水导致人民生活困难，人均收入 500 元左右。缺水已成为制约地区经济发展的一个主要因素。在滇中 3.6 万 km^2 的红层分布区，缺水人口约 100 万人，缺水大牲畜约 22 万头。据预测，全省 2005 年和 2010 年的水量缺口分别为 42 亿 m^3/a 和 95 亿 m^3/a 。

1.2 找水的意义及成果

云南省是一个集边疆、少数民族、山区为一体，各方面发展很不平衡的省份。总人口 4288 万人，20% 的人口散居于 15 万个自然村，贫困人口 405 万人，100 万人生活在生存条件极为恶劣的山区。农村人畜饮水困难问题，直接关系到人民群众身体健康、密切党群关系、增强民族团结、繁荣稳定边疆、巩固和发展农村经济、帮助脱贫致富的大事。近年来，云南省地质调查院在贫困岩溶区找水，取得了可喜的成绩，仅 98、99 年施工的探采结合井取水量就达 $16535.27m^3/d$ ，解决岩溶干旱山区 72655 人和 12097 头大牲畜的饮水困难及部份农田抗旱保苗用水。同时，还采取了暗河截流、封堵暗河出口建库、利用溶洼成库等手段，多方式开发利用岩溶地下水，取得了良好的社会效益，扩大了社会影响。

本文按高原断陷盆地、岩溶谷坡、岩溶山间河谷、峰丛洼地、江河分水岭五种类型的取水实例，介绍如下。

2. 云南省鲁甸茨院乡钻井提水工程——高原断陷盆地类型

2.1 示范区缺水状况

鲁甸县地处滇东北岩溶区，为国家级贫困县，位于昭通地区南部，面积 1519km²，人口 36.2 万，辖 1 镇、13 乡、82 个自然村，其中 9 个乡镇缺水，缺水人口 4.6 万。9 个缺水乡镇当中，茨院回族乡缺水尤为突出，2.1 万人就有 1.75 万人缺水，4.5 万亩耕地有 3.8 万亩缺水，缺水人口、缺水耕地的比例分别占 83.3% 和 84.4%。严重缺水极大地制约了当地社会经济的发展。

2.2 水文地质条件

茨院乡位于昭鲁盆地西南部，多年平均气温 12.1℃，年平均降水量 891.7mm，盆底高程 1900m 左右，周边山地海拔 2200—2800m，盆底有缓丘分布，相对高差 100m 左右，昭鲁盆地水文地质单元面积约 830km²。盆地内富水地段较多，茨院乡位于茨院—桃源富水地段内。茨院—桃源富水地段（图 1），属裸露—浅覆盖单斜白云岩潜流—承压流型，覆盖层为 Q、N 粘土，含水层为 D₂q、D₃z，岩性为

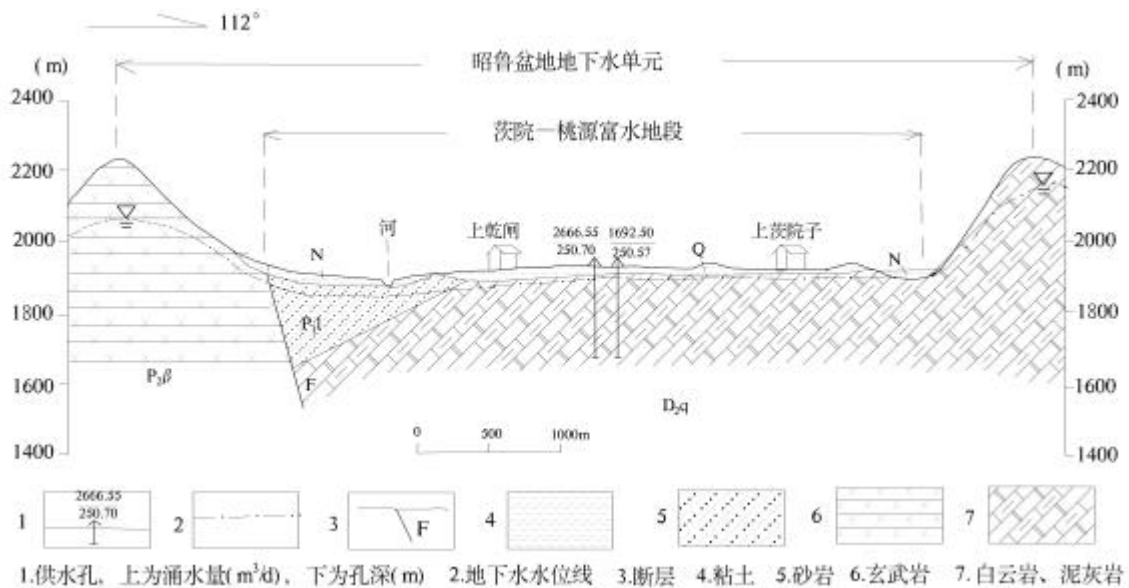


图 1 茨院—桃源富水地段水文地质结构剖面图

泥灰岩、白云岩，含水层顶板埋深 0—45m，地下水位埋深 0—28m，泉水平均流量 3.03l/s。茨院—桃源富水地段具有富水性强、水质良好、埋藏浅易开采等特点，是乡镇及村寨集中供水的较好水源地。

2.3 项目实施的工作程序

项目前期论证

1 : 5 万水文地质调查

地球物理勘探



2.4 勘探试验技术

1:5 万水文地质调查。查清了昭鲁盆地地下水单元的边界，查明了岩溶在空间上的发育规律，岩溶水的补径排条件及动态变化特征，圈定了富水地段。

地球物理勘探。利用音频大地电场测量扫面，快速高效地确定找水靶区，布置激电测深剖面 and 五极纵轴测深、环形测深点，相互对比验证，较可靠地确定钻孔孔位。

水文地质钻探。利用气体反循环钻进技术方法，极大地提高了工作效率。通过抽水试验，获得富水地段重要的水文地质参数（表 1）。水质符合国家生活饮用水标准。

表 1 茨院—桃源富水地段水文地质参数表

含水层代号	地下水类型	H(m)	S	R(m)	μ	K(m/d)	备注
D ₂ q	潜水	300		92.63	2.34×10^{-3}	0.42	S 值为区域资料
	承压水	250	3.90×10^{-3}	75.55	2.34×10^{-3}	2.11	

2.5 成果和效益

茨院乡钻井提水工程，施工 2 个钻孔，深度分别为 250.70m 和 250.57m，涌水量分别为 $2666.55\text{m}^3/\text{d}$ 和 $1692.50\text{m}^3/\text{d}$ 。经钻探和物探成果证实，昭鲁盆地覆盖型岩溶区在地面以下 150—160m、310—330m 段为强岩溶发育段，岩溶水丰富，即深部岩溶水还有较大的开发潜力。钻孔成井后已移交当地乡政府，并建成供水厂。目前，供水厂除满足茨院乡政府驻地 3000 多人的生活饮用水及 4000 多头大牲畜饮水外，还可供 300 亩耕地的抗旱保苗用水。

茨院乡钻井提水工程的成功实施，解决了当地的严重缺水问题，为当地农业生产的发展和人民生活水平的提高提供了有利条件。取得了良好的社会效益，受到了当地干部群众的一致好评，为类似地区扶贫找水起到了示范作用。

3. 云南省文山柳井天窗提水工程——岩溶谷坡类型

3.1 示范区缺水状况

文山县柳井乡地处滇东南岩溶区，位于文山县南部，为云南省扶贫攻坚乡之一。全乡土地面积 172.8km^2 ，人口 15118 人，其中彝、壮、苗、傣等少数民族人

口占 65%，系少数民族集居的边疆贫困乡，人均收入 482 元。目前尚有 6596 人未决解温饱，10965 人和数千头大牲畜饮水困难。海拔 1300m 左右，年降水量 1300 - 1400mm，最高气温 34.3，最低气温 6.1。由于地处岩溶山区，无地表河流，地表水资源奇缺，大部份村寨每年 2 月至 6 月，需翻山越岭到十余千米外的斗咀和盘龙河靠人背马驮取水，最困难时水费可高达 60 元/m³。若遇旱年，庄稼严重减产，饮水更为艰难，干旱缺水已成为制约全乡经济社会发展的首要因素。

3.2 水文地质条件

柳井乡地貌属溶蚀侵蚀低中山，以峰丛洼地地貌类型为主，地层以泥盆系、石炭系等灰岩、白云岩为主。断裂构造以北东向为主，多具正断层性质。岩溶形态多样，岩溶发育极不均一，落水洞、洼地、漏斗溶洞等常见，降水入渗系数高达 0.7 - 0.8。地下水极为丰富，年平均径流模数 10.15 - 43.04L/s.km²，地下水总体向北东径流。地下暗河发育，地下水以管流为主，动态变化大，水位埋深 100—120m，最大水位变幅可达 80m，白石岩暗河系统干流长 32km，汇水补给面积 680km²，通过柳井乡南西部的野猪塘、新发寨、长石盆等地（图 2）。

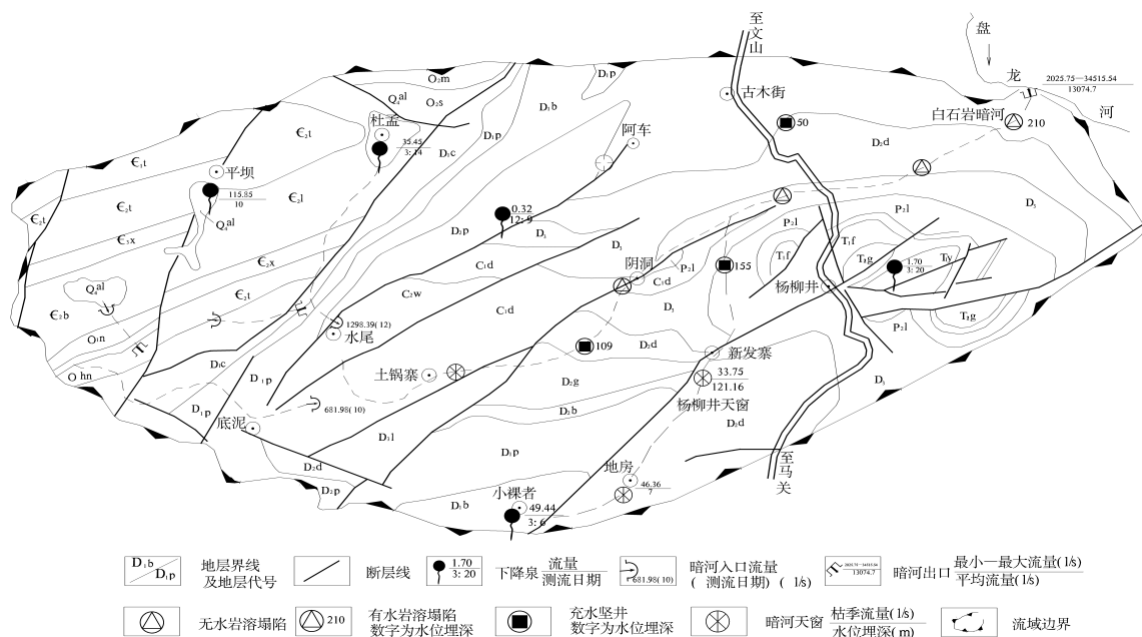
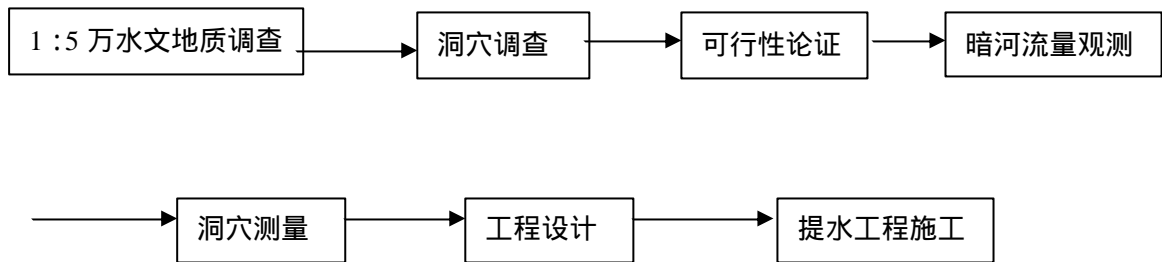


图 2 白石岩暗河平面图

柳井天窗位于新发寨南部约 1km 处，总长 602m，坡降 35‰，进口部位 30m 范围内狭窄，弯道多而急，最窄处仅 40cm。底部与暗河相通，溶洞总体走向北西，洞内曲折。暗河埋深 121.2m，枯季流量 33.75L/s。

3.3 项目实施的工作程序



3.4 找水及开发工程技术

1:5 万水文地质调查。查清了地下暗河的分布特征，水量、水质的变化，天窗的空间展布。

测量。为取得暗河天窗的精确数据，采用红外测距、经纬仪进行测量。

高扬程大流量提水。为大大降低工程造价，设计 2 处 180° 的环形转弯，最大限度地减小了水头损失，同时避免了开凿 50 余米斜硐的工程量。洞口至取水点管道安装长 425m，弯道 26 个，高差 121.2m，洞口至高位水池高差 60m，管道安装长 135m，总长 560m，提水总高差 186m，提水量 1000m³/d。

3.5 成果和效益

柳井天窗提水工程，抽水量 1000m³/d，解决了柳井乡、新发寨等 15 个自然村 3137 人及 1794 头大牲畜的人畜饮用水困难问题和 1000 亩旱作物的用水问题。结束了该乡严重缺乏人畜饮用水的历史。同时使上千人旱季运水的劳动力从水荒中解脱出来，每年至少可多创造 60 万元的劳动力价值。在柳井地区，有水就可以大面积种植三七及果树、经济林，不但可推动地方经济发展，且对当地的生态环境建设起到了积极的作用。滇东南地区，暗河天窗较为普遍，该提水项目的成功实施，为岩溶石山找水、多方式开发利用深埋地下水开辟了一条新路，提供了示范经验。

4. 云南省文山白石岩暗河水库——岩溶山间河谷类型

4.1 示范区缺水状况

白石岩暗河流域地处云南省文山州文山县盘龙河右岸。盘龙河横剖面呈“V”字形，切割深度 300m 左右，该流域处于文山县严重缺水的古木、柳井地区，枯水季节电力不足，农业缺水问题突出，有 1.9 万人和数千头大牲畜饮水困难。

4.2 水文地质条件

白石岩暗河出口位于追栗街乡白石岩村岩脚下东方红电站技改增容工程下

游 100m 处，东经 $104^{\circ}21'25''$ ，北纬 $23^{\circ}15'59''$ 。暗河处于杨柳井向斜构造核部，补给区地貌类型以峰丛洼地为主，海拔一般 1300—1700m。年降水量 1300—1400mm，最高气温 34.3，最低气温 6.1。地下水赋存于泥盆系 - 石炭系碳酸盐岩岩溶溶隙洞管内，向斜翼部分布的 D_1p 页岩，厚 30—60m，未被断裂切割，连续性好，除暗河出口处（白石岩—糯米科一带），均构成良好的隔水边界。白石岩暗河由大棵者、水尾等地暗河支流汇集后于白石岩村出露，大致由南西向北东径流。杨柳井的西部为主要的补给区。暗河流域汇水面积约为 680km^2 ，暗河干流长约 32km（图 3），水力坡度 1.5‰，水位埋深 50—210m，水质类型为 HCO_3-Ca 型。理论计算，年径流量为 2.20—3.60 亿 m^3 ，流量大、水力资源丰富，具有兴建地下水库的基本条件。

暗河出口段分上下两层溶洞：上层溶洞，高程 1144 m，洞高 15 m，洞宽 18

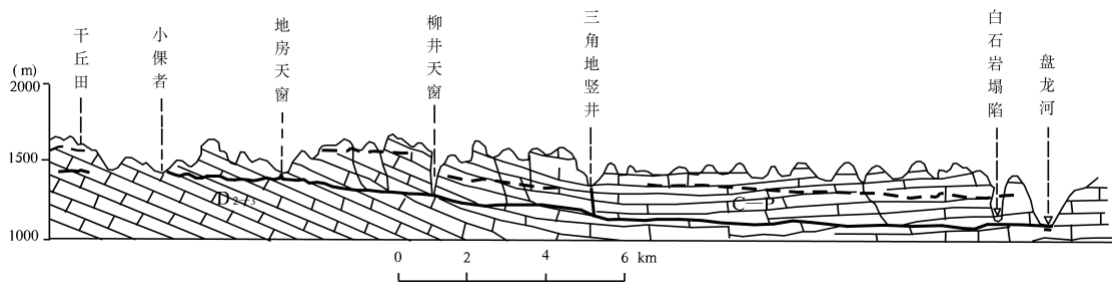
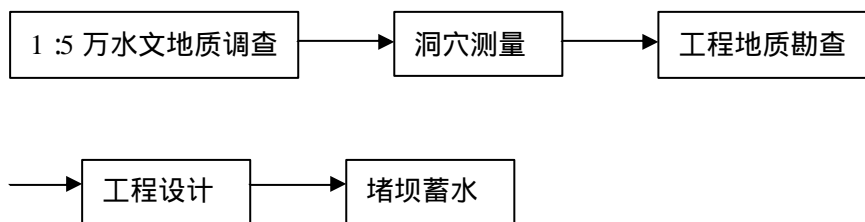


图 3 白石岩暗河纵剖面图

m，为干溶洞；下层溶洞，高程 1105.5 m，高 18.3 m，宽 8 m，水深 10.3 m，水下是 15.2 m 厚的砂砾层，无胶结，水面标高为 1110.82 - 1105.50m，流量为 $1.53 - 23.5\text{m}^3/\text{s}$ 。暗河出口段与盘龙河右岸成垂直相交，枯水季节水位高程 1105.5 m，水面宽 4.50 - 5.40m，水深 2.87 - 6.00m，断面平均流速 0.112 - 0.73m/s，出口处与盘龙河水位齐平。暗河水位线以下岩体岩溶不发育，钻孔压水试验 Q 小于 $0.005\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}$ 。

4.3 项目实施的工作程序



4.4 找水及开发工程技术

1:5 万水文地质调查。查清了流域内岩溶发育程度，地下暗河的分布特征，水量变化。

充分利用已有工程确定渗漏问题。渗漏是水库兴建后能否达到预期目的的关键问题，利用暗河出口旁东电坝后蓄水位 1193m 时，暗河在临岸仅发现一处来水，水量较稳定，流量 0.5L/s，漏水点标高 1180m，判断暗河堵体与盘龙河之间的临岸地段，当暗河水位在标高 1180m 以上时将发生临岸渗漏。暗河水位线以下岩体岩溶不发育，不存在渗漏。

不清基、不围堰，高压灌浆处理坝基。因坝位处水深 10.3m，砂砾层厚度 15.2m，按常规施工方法要在坝位前后堵隔水围堰，而洞内大型机械无法施工，靠人工投入人力将十分庞大。因此，采取不清基、不围堰，在坝位处砂砾层上堆放不同级配的块石，浇灌混凝土，预埋直径 2.4m 的过水管，迎水面铺隔水膜，之后采用高压灌浆技术，实施自上而下灌浆，加固砂砾层、堆石强度，使其成为坝体（图 4）。

堵体工程分期进行。暗河堵体选择在距离暗河出口 116 m 处的溶洞内，此处暗河较窄。第一期工程堵体按 60 m 水头设计，把堵体浇筑至 1127.0 m 高程，蓄水 300 万 m³。第二期工程是进行 1127—1142 m 高程之间的堵体浇筑和加强第一期堵体结构，水位总高为 126 m，兴利蓄水量为 2353 万 m³，经过试堵阶段后期抬高水位进行验证，渗漏问题不突出。第三期工程是在第一、二期工程成功的基础上进行从 1142 m 高程直到洞顶（封顶）和坝后式电站建设地下厂房。

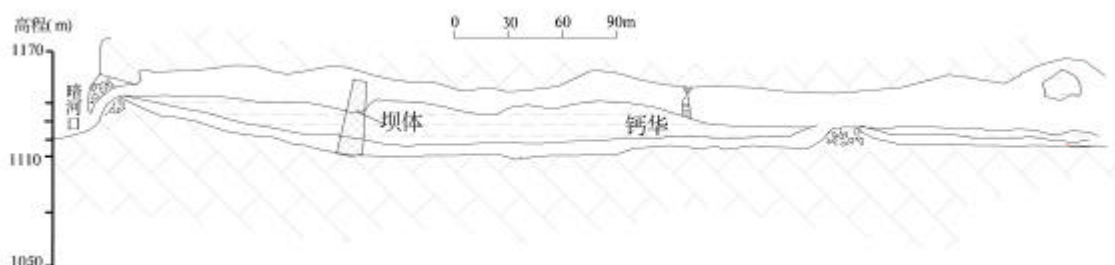


图 4 白石岩暗河出口纵剖面图

4.5 成果和效益

对白石岩暗河的出口采用不清基、不围堰，高压灌浆处理坝基进行封堵，使

地下水位抬升形成一座地下水库。将地下水位抬高至 1210m 高程后，形成地下水总库容为 2.2 亿 m^3 ，利用落差 60 米，水库利用水量 1.32 亿 m^3 的地下水库。未淹没农田，不需要搬迁居民点，实现了对下游电站的时段放水调节，缓解了文山电网峰谷差带来的电力供求矛盾，年发电量 3586.8 万度，增加收入 538 万元，增加农田灌溉 1750 亩，解决 40616 人、6262 头大牲畜的人畜饮用水，每年可节约水费 300 万元。

此暗河出口筑坝蓄水成库的成功，为岩溶地区开发利用地下暗河提供了宝贵的经验和示范作用。

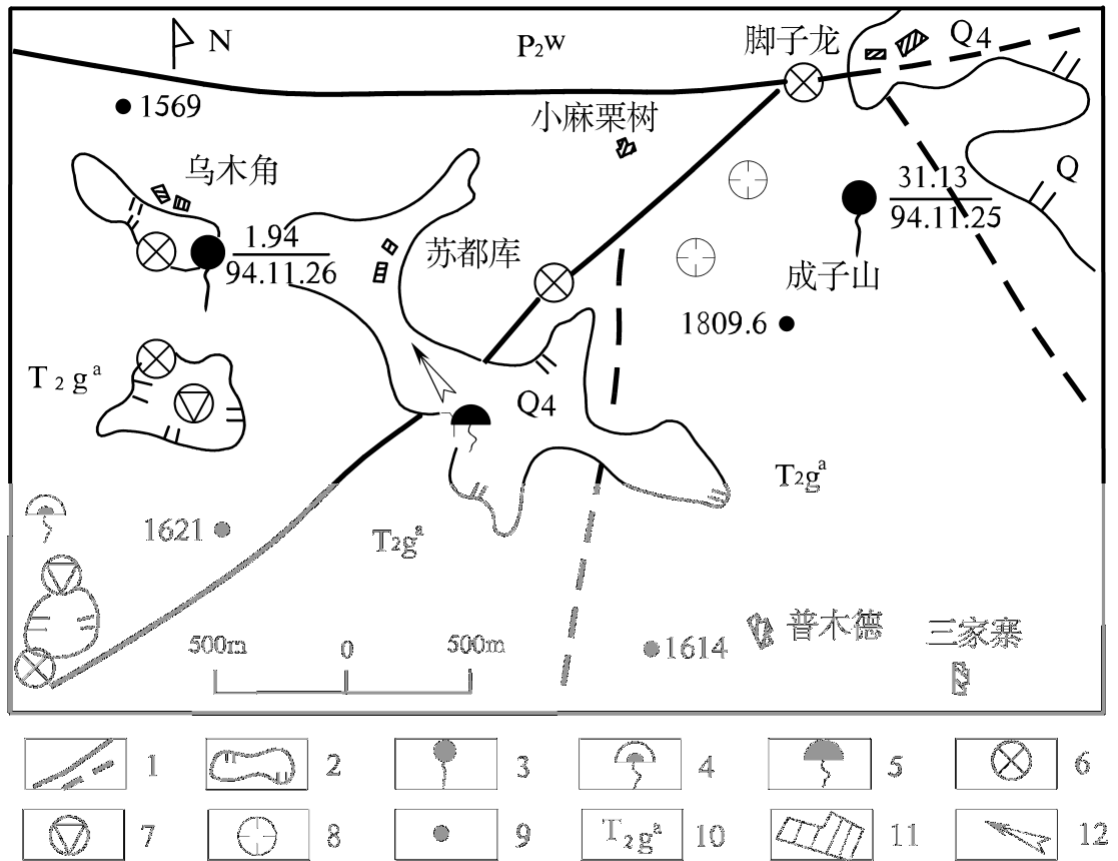
5. 云南省广南珠琳暗河截流工程——峰丛洼地类型

5.1 示范区缺水状况

云南省广南县珠琳处于滇东南高原斜坡地带干旱的岩溶石山地区，地表水资源严重缺乏，农业灌溉和人畜生活用水极为困难，严重地制约该区工农业生产发展。苏都库为云南省广南县珠琳镇所辖的一个自然村，位于珠琳镇南东约 8km 处，面积约 $1km^2$ 的一个封闭岩溶洼地中，洼地中无落水洞（图 5）。该村人口约 400 余人，大牲畜百余头，在村南东洼地边缘有一季节泉出露，泉水枯季断流，使得该村田地均为雷响田，人畜饮用水均要到数公里外人担马驮。雨季有时，又遭受洪水之灾。

5.2 水文地质条件

珠琳地区处于南盘江水系支流清水江和西洋江的分水岭地带，属裸露—半裸露岩溶山区，呈峰丛（林）洼地、谷地、溶丘洼地等岩溶地貌形态。年均气温 16.7℃，年均降水量 845.3mm。地表无常年性河流，地表水奇缺。总体地势自西向东降低，海拔高程 1200 - 1960m，大部份地区海拔高程 1400m 左右，相对高差 200m 左右。相对最低侵蚀基准面为东部的旧莫河，水面高程 1200m。



1、断层及推测断层 2、洼地 3、下降泉 4、季节泉 5、开发季节泉
6、落水洞 7、漏斗 8、溶洞 9、高程点 10、地层代号 11、村寨 12、地下水流向

图5 苏都库水文地质平面图

区内岩溶在垂向上具明显的成层性。发育了三层溶洞，第一层规模最大，海拔高程 1200 米，成为暗河出口；第二层规模较小，海拔高程 1400 - 1450 米，多成为大泉出口或季节性排水通道；第三层规模亦较小，高程大于 1500 米，为干溶洞。

出露地层以二叠系吴家坪组(P₂w)灰岩、三叠系个旧组(T₂g)灰岩、白云岩为主，岩层浅部褶皱极为发育。区内断裂较发育，主要有北东向和北西向两组。北东向断裂常具压性、压扭性特点。由于 T₁x、T₁y 薄层泥质灰岩、泥岩的存在，造成含水层在垂向上的成层性和相对独立性。地下水不能全部流入主径流区参加区域深循环，在裸露的补给区出现季节性或常年性的地下水排泄点，枯季泉流量一般 0 - 25 L/s，年变幅一般小于 10 倍，个别可达 20 倍。地下水径流模数 10.15—43.04L/s.km²。

5.3 项目实施的工作程序



5.4 找水及开发工程技术

1:5 水文地质调查。查清了地下水的补、迳、排特征，地下水埋深较浅，具管洞流并呈现出阶梯状降低，地表、地下水转换较频繁的特点。

地球物理勘探。在季节泉周边布置激电测深剖面 and 五极纵轴测深、环形测深点剖面，相互对比验证，确定暗河管道埋深底板约为 12m，经过季节泉后自南向北延伸。

爆破施工筑堵体。由于 12m 深度以下岩溶不发育，故对季节泉口实施爆破不会造成上层地下水的漏失。实施爆破后，发现一岩溶管道，横断面呈不规则状，高 1.8m 左右，宽 2m 左右，顶板埋深 8m，地下水流向 330°，流量 15.01 L/s。实施截堵时考虑到洼地呈封闭状且无落水洞，若将管道全部封堵，地下水位抬高至地面后，势必造成整个洼地的淹没。因此，工程设计兼顾旱季截流取水及雨季排洪，将堵体设计在洞口的中间部位，这样当地下水位抬高至地面后，旱季引水利用，雨季开启泄洪口将洪水泄入堵体后面的岩溶管道中流走（图 6）。

5.5 成果和效益

该暗河截流工程量小，造价低，成功地获得枯季流量 1296.86m³/d，需时用、余则泄，直接解决了苏都库村及周围 3 个小村子约 700 余人、200 余头大牲畜饮水的困难，使 300 余亩雷响田变成了水田。400 余亩旱地变成了水浇地。使当地群众不再为水而发愁，安心耕作。不但粮食能自足，田地里还种上了时鲜蔬菜，以前的荒山上长起了果树，当地群众解决了温饱，正向小康迈进，社会效益、环境效益及经济效益皆十分显著。为滇东南峰丛洼地区浅埋暗河的开发利用提供了又一途径。

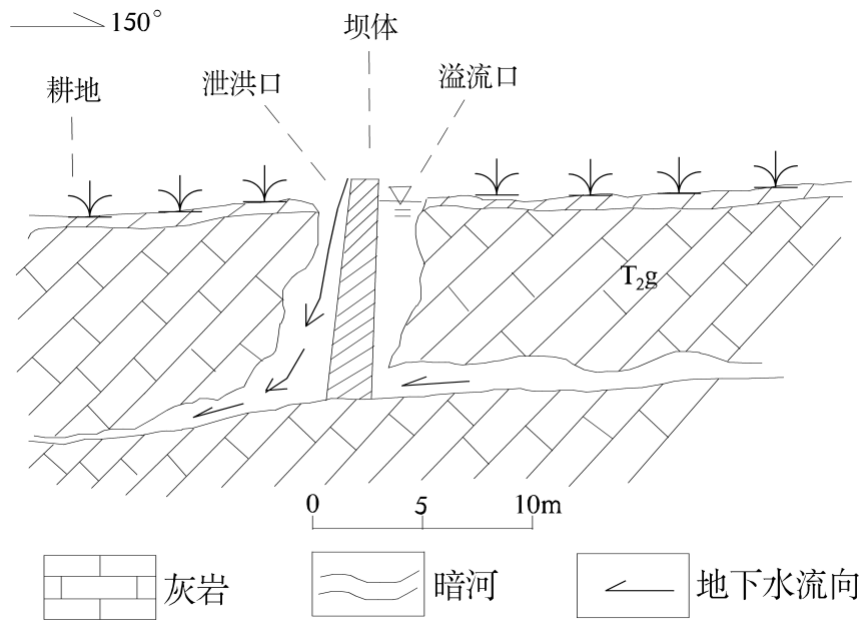


图6 苏都库暗河截流剖面图

6. 云南省蒙自五里冲盲谷无坝水库——江河分水岭类型

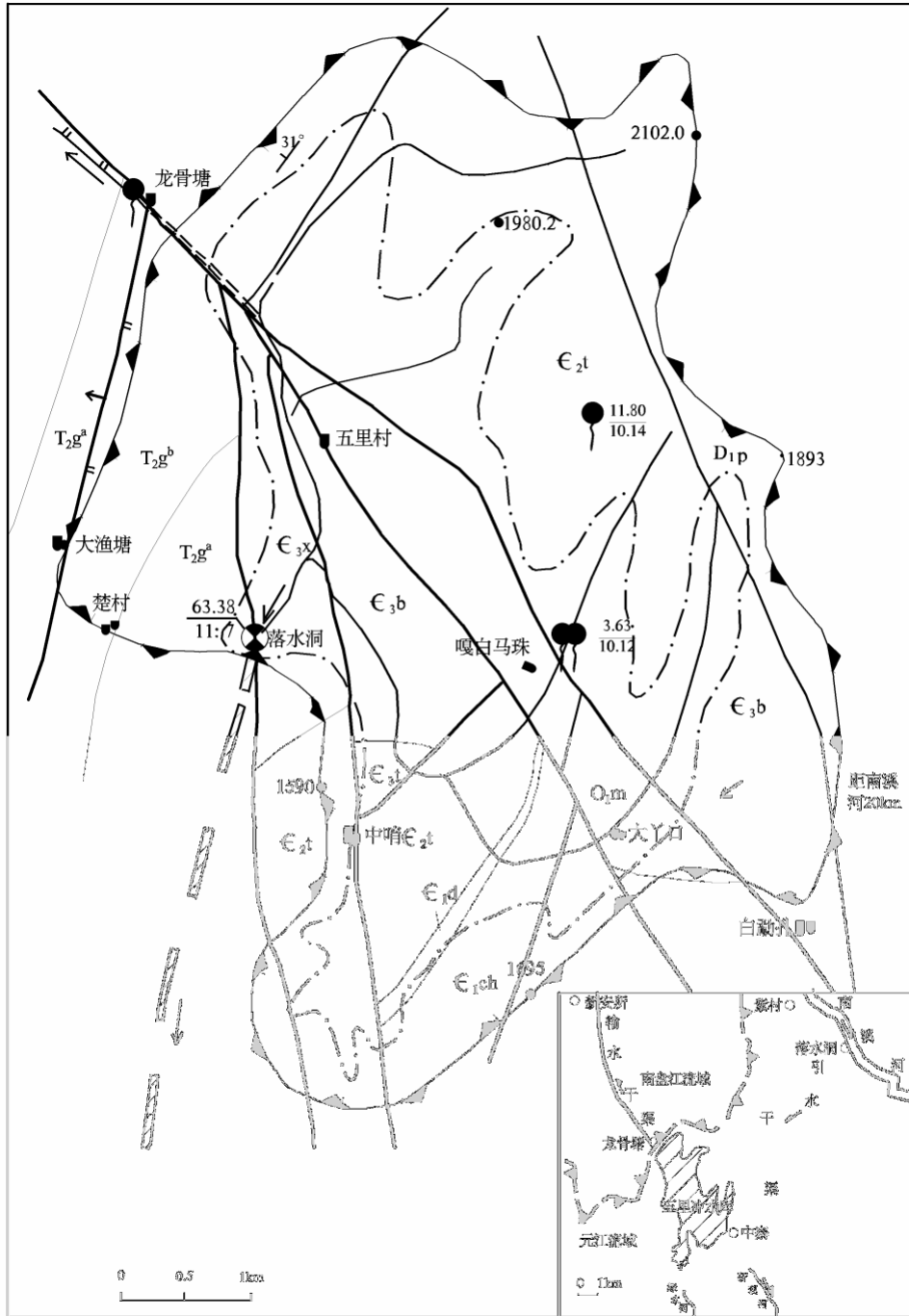
6.1 示范区缺水状况

五里冲水库位于云南省蒙自县南部，距蒙自县城 22km。蒙自县为滇东南干旱缺水严重的地区之一，有人口 31.5 万人，耕地面积 27803 公顷，其中旱地 20106 公顷，县城因水源不足而严重缺水，相对缺水量 44%。五里冲水库，位于珠江水系南盘江流域，由于水库流域面积较小，仅有集雨面积 25.4km²，来水量远远满足不了设计库容要求，故该水库修建了长达 20 多公里的引水渠道，从元江水系一级支流的南溪河跨流域引水入库。

6.2 水文地质条件

五里冲水库位于南盘江与元江分水岭地带的绿水河源头，岩溶山地与非岩溶的中深切割的中山山地接触带上，两者以盲谷、串珠状洼地、漏斗等相连接。岩溶山地标高在 1700-1800m 以上，高出盲谷底部 300-400 多米。盲谷四周多陡岩、斜坡、溶洞。其库容 7949 万 m³，正常蓄水高程 1458m，蓄水深 106m(不含地下)。流域内标高 1350-2200m，年均气温 18.6 左右，年降雨 1300-1400mm，五里冲河平均流量 0.46m³/S，在盲谷终端落水洞处流入地下（图 7），成为五里冲地下河——九股水暗河源头，落水洞口标高 1352m。在其南部 1130m 标高的窝子泉的形式溢出，再沿峡谷地形汇入绿水河。绿水河在汇入元江处标高仅 130m。

水库区由一岩溶盲谷及发育于砂板岩区的南北两支沟组成。库区处于三叠系个旧组 (T_{2g}) 寒武系歇马场组(?3x)碳酸盐岩与非碳酸盐岩南北向断裂接触带



1. 地层界线及地层代号 2. 断层 3. 泉水、落水洞 4. 地表水分水岭 5. 地表溪流(箭头示流向)
 6. 伏流(箭头示流向) 7. 引水渠(箭头示流向) 8. 蓄水水位线 9. 输水隧道

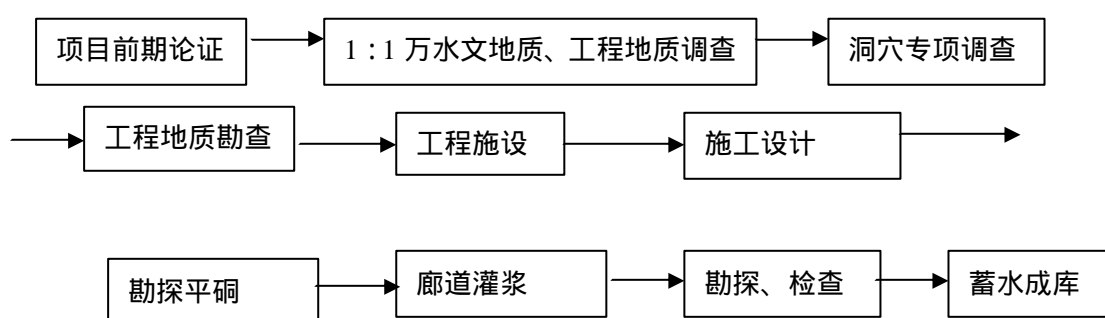
图7 五里冲水库流域水文地质略图

两侧， T_2g 为灰岩、白云岩组成，其岩溶十分发育。 $\text{?}3x$ 由砂板岩组成。个旧组岩溶地层断裂构造发育，近南北向的 F_1 断层是主控断裂，纵贯库区，并成为非岩溶区与岩溶区的分界线。此外，其北西向、北东向及近东西向断裂都较发育，把库区岩层切割成块状。

% 个旧组灰岩，在枢纽区为其第三段(T_2g^c)，厚约 500m，除中部有 27-65m 厚的黑色碳质板岩夹薄层生物碎屑泥晶灰岩外，均为质纯层厚、可溶性强的厚层至块状的泥晶、亮晶灰岩，地层一般陡倾至直立。岩溶现象十分复杂，发育强度极不均匀，岩溶发育有由上向下递减的现象，而无明显的分层发育规律，最深的古岩溶下限为高程 1183.82m，为紫红色钙质粘土全充填。

五里冲地下河洞管系统北起五里冲岩溶盲谷，南至小窝子及座坡泉口，直线长 9-11km，高差 150-220m，上游段有分支，已探明的五里冲洞、龙宝洞、期白邑洞、岩峰洞等洞穴总长度 3224m，占管洞总长度的 24.4%。其洞穴管道系统多呈双层单管多支的洞 - 厅 - 管结构。平均坡降 14-17‰。 、 、 号暗河是五里冲地下河的入口组成部分，洞口处于盲谷末端。洞底暗河枯季流量 $0.2m^3/s$ ，流速 $0.32m/s$ 。暗河水位低于西侧地下水位，高于东侧地下水位呈半悬挂状态。有 KM7、KM8 洞等大型洞穴群。五里冲地下河管道系统，绝大部份发育于 T_2g^c 质纯厚层灰岩中，主要受南北向区域性断裂控制，大的溶洞、厅堂又与北西向或北东向断裂关系密切。

6.3 项目实施的工作程序



6.4 找水及开发工程新技术

% 采用水文地质调查、洞穴探险、工程地质勘查、示踪试验、平硐勘探、廊道灌浆、井中透视、地质雷达、CT 图像、原位声波、弹模试验等多种方法手段。

防渗帷幕南北两端插入相对隔水的 $\text{?}3x$ 砂板岩地层中，把岩溶发育强烈，强透水的个旧组(T_2g)灰岩全部包围起来，防渗效果理想，做到了充分利用有利

地质条件，合理布置帷幕，降低工程造价。

防渗帷幕是在岩溶地层中设置的悬挂式帷幕，即帷幕底界未能插入隔水岩层，仍在岩溶地层中，极大地减少了工作量，降低了造价。从蓄水至今看来，帷幕是成功的。

在已建成的廊道内，由下层 中层 上层分层采用 4-6MPa 压力，小口径钻进，孔口封闭，自上而下分段钻灌，不待凝，灌前压水，孔内循环、集中供浆的高压灌浆技术，成功地处理了岩溶地层的强渗漏问题，形成了共三层总高 260m，长 1330m，面积 $26.2 \times 10^4 \text{m}^2$ 的防渗帷幕。

超高超薄防渗墙通过溶洞间破碎岩体。在中层廊道开挖中，先后遇 KM7、KM8 特大型溶洞，其体积都在 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上，如何处理好如此巨大的岩溶洞穴系统，达到防渗、稳定安全的目的，国内外少有成功先例，技术上要求创新。经补充勘探，利用 KM7 与 KM8 之间残留岩体设置高 105m，厚 2-2.5m，宽 50m 的超高超薄钢筋混凝土防渗墙起防渗作用，左右与帷幕相连，下部与堵头相结。

加密高压灌浆技术，成功处理特殊复杂的溶塌堆积体。在帷幕北段的中层及上层廊道中发现了结构复杂的体内无空洞的溶洞塌陷堆积体，在帷幕线上长 30-70m 面积 3200m^2 ，体积在 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上。采取先封闭固结，逐渐加压，终止压力控制在 4MPa。对特大耗浆段还采用了限流、待凝、加速凝剂、复灌、控压、冲砂等综合措施，终于使这一段软弱复杂岩体达到了工程设计要求。现经蓄水考验，仍处于安全稳定中。

6.5 成果和效益

五里冲水库是利用天然岩溶盲谷堵洞、帷幕高压灌浆处理岩溶地层渗漏建成的无坝中型水库。库容 $7949 \times 10^4 \text{m}^3$ ，正常蓄水高程 1458m，蓄水深 106m。97 年已开始向蒙自供水，发挥效益。水库的建成，大大地改善蒙自县的供水状况，一年可向蒙自供水 $8161 \times 10^4 \text{m}^3$ ，可增加灌溉面积 10 万亩，改善灌溉面积 2.3 万亩，向城市及工业供水 $1210 \times 10^4 \text{m}^3$ ，使蒙自水利化程度由 37% 提高到 70% 以上，是振兴蒙自经济的一项重大工程。五里冲水库是在地质条件十分复杂，岩溶极其发育的地区建成的一项水利工程。超高超薄防渗墙的建成、加密高压灌浆技术成功处理特殊复杂的溶塌堆积体，为我国岩溶地区兴建无坝水库提供了一个成功的范例。%

\$