

川、渝红层地区浅层地下水勘查与开采技术初步研究

鄢 毅

(四川省地质调查院 成都 610081)

内容提要：研究探导川、渝红层地区浅层地下水勘查与开采技术方法，解决上百个县近 100 万人的饮用水问题，是红层地区开采地下水的一次认识观念上的突破，本文在广泛搜集前人资料的基础上，经全面综合分析研究，在阐明区内自然经济地理、干旱缺水现状、区域地质背景、区域水文地质条件的基础上，重点对红层区地下水的区域分布特征、浅层风化裂隙水进行了详细论述，与此同时根据川、渝红层地区地下水分布发育特征，结合干旱缺水现状、人居分散的特点，提出了红层地下水勘查示范的思路。以供同仁参考。

关键词：红层 庭院式供水 浅层风化裂隙水 人居分散

1. 红层地区概况

1.1 自然经济地理

川、渝红层地区总面积 $17.2372 \times 10^4 \text{km}^2$ ，涉及范围 177 个县（市、区）48775 个村、人口 7239.744 万（其中干旱缺水人口 890.9 万，占红层区人口的 12%），人口密度达 420 人/ km^2 ，是四川平均人口密度（174 人/ km^2 ）的 2.4 倍。红层主要分布在四川盆地的中部和东部，盆底多以丘陵为主，部分为低山，盆周及川西南以中山、低山为主。交通较为发达。

由于特殊的地理地质环境条件，红层地区是历年春旱、夏旱、伏旱交错出现的地域，春旱常现于岷江以东、嘉陵江以西、长江之北，受旱中心地绵阳、南充、内江一带并波及周围；夏旱常现于包括春旱区外向东扩展，伏旱常现于达州、内江、宜宾东部、绵阳南部并波及周围。红层分布区受地质背景条件及多种自然因素的影响，水资源十分匮乏，据四川统计人均占有水资源量为 $856 \text{m}^3/\text{a}$ ，仅为全省平均数（ $2959 \text{m}^3/\text{a}$ ）的 28.9%，耕田占有水资源量 $915 \text{m}^3/\text{亩} \cdot \text{年}$ ，也只是全省平均数（ $3303 \text{m}^3/\text{亩} \cdot \text{年}$ ）的 27.7%。寻找清洁卫生的水源，改善饮用水卫生质量，是红层区 890.9 万人的迫切希望。如 1998 年旱情先后持续 30 天以上。随之春夏连旱持续达数月之久，使一部份地区的千余座中、小型水库先后干涸，大部份小河流、溪沟陆续涸竭，2000 多万亩粮田严重受旱、玉米枯萎、稻田开裂，栽种的棉花叶片泛黄脱落或枯死的近 50 万亩。受灾人口有 600 多万，280 多万头牲畜缺乏饮用水源，使部份场镇不能正常办公、学校不能正常行课，在干旱缺水季节，出现当地政府用汽车、拖拉机从数公里——数十公里外的大江、大河中拉水限量供应的紧张局面（如安岳、乐至、广元等）。在旱乡、死角和分水岭地带真乃“滴水难寻、水贵如油”！

1.2 红层地下水勘查与开采沿革

按照红层地区前后勘查开采历程大致可分为：零星分散勘查与开采阶段、集中按地域勘查与开采阶段、示范普及推广勘查与开采阶段。

鄢 毅，男，1954 年 12 月生，教授级高级工程师，现任副总工程师，主要从事水文地质、工程地质、环境地质、地质灾害的勘察评价以及岩土工程的施工。主攻地下水的合理开发利用和地质灾害的勘查与治理。

1.1.2 零星分散勘查与开采阶段

20 世纪 50 年代末至 60 年代，先后在红层地区进行了石油普查、区域地质调查、供水水文地质调查和其它为工矿企业找水的单项供水工作。在 50 年代，石油部门先后进行石油地质普查和构造细测，区调部门做了区域地质调查，首次提供了这一地区较系统的地层、构造资料。涉及供水水文地质资料较少、零星。人们多以自然泉水、历史留下的水井、山塘沟水为生，缺乏专门找水意识。

1.1.2 集中按地域勘查与开采阶段

70 - 80 年代先后按国际分幅进行 1:20 万区域地质调查和 1:20 万区域水文地质普查，特别是 70 年代按全国统一部署进行了普查勘探，取得了比较全面系统的地质水文地质资料，基本查明了区内的水文地质条件、含水岩组的结构、分布、富水程度及补、迳、排特征，并初步进行了区内地下水资源计算及评价，是红层地区地下水勘查与开采较为重要的阶段。

1.1.3 示范普及推广勘查与开采阶段

90 年代末，在开展县（市）地下水资源调查中，对部分县（市）红层地下水开采现状及开采潜力进行了系统的工作，调查中发现红层地区农村居住分散，而红层浅层风化裂隙水赋存量小且分散，绝大部分地区单井出水量都在 $5\text{m}^3/\text{d}$ 左右，却正好可与农村居住分散的特点相吻合，能否开发利用这少又宝贵的地下水解决长期干旱缺水地区人们的饮用水困难是水文地质工作者面临的新问题，首先运用相对富水的哲学理论在贫中找富，结合市场现有取水设备，拓宽红层地区开发利用地下水新途径，开始了庭院式分散农户和小型集中供水等示范勘查工作。

2001 年，中国地质调查局用专项资金分别在四川省南充市嘉陵区、西充县，重庆市璧山、铜梁县等严重缺水地区进行地下水勘查示范，施工浅井 3000 多口，解决近 3 万人饮用水困难，收到明显的社会效益。同时进一步深化了对红层浅层风化裂隙水富水规律的认识，积累了红层地下水开发和成井工艺方面的经验、拓宽了红层地区开发利用新思路。是红层地区地下水勘查与开采发展创新阶段。

2. 区域地质背景

川、渝红层由东至西，分布有地台、地槽及其过渡带的不同大地构造环境，历经了完全不同而又相互联系的发展阶段。盆地同其西南侧的川滇南北构造带的北段（康滇地轴北段）都分布有大片红色地层。四川盆地在大地构造上是一个以中生代内陆拗陷为主要特征的大型沉降盆地，在地质上称为四川沉降褶皱带构造，大部分属于北北东向的新华夏系。其西南部由构造联合形成似帚状构造带，总体上具梳状褶皱的特点。在宽展的向斜谷地内广泛分布着中生代的红色地层，同川中褶皱带的红层在分布上各具特色。

四川盆地是东亚著名的红色盆地，侏罗系十分发育，层序完全。白垩系分布较广，并有少量老第三系分布。为一套湖、河相沉积的红色碎屑岩系，总厚度达 5000 ~ 6000m，分布面积纵横达 $17.2372 \times 10^4 \text{km}^2$ ，出露范围跨越几个地层分区与小区，岩相、岩性变化多，厚度变化大，岩性为湖、河相沉积的灰紫色砂岩及棕紫色泥岩，偶夹薄层泥灰岩。

红层区的地貌类型和地形特征，明显受岩性和地质构造基本骨架的控制，普遍以褶皱微弱的砂、泥岩迭置层的剥蚀构造地形为主，龙泉山与华蓥山之间，瞩目千里、绵延起伏的地

形，所见皆为红色丘陵和方山。

地貌形态方面，川中地区是红色盆地的腹心部位，为剥蚀构造的丘陵、方山地貌受构造和岩性的控制，经过漫长的风蚀和剥蚀作用以及流水的长时期侵蚀，被塑造成了今日的红色丘陵景观。分布在盆东背斜低山之间的向斜地区，以单斜丘陵为主。

川、渝红层区按其地貌形态并结合水文地质上的富水条件可划分为七种地貌形态：即浅丘宽谷、中丘平谷、深丘窄谷、低山峡谷、台状低山、山原及山间盆地。

3. 红层地下水区域分布特征

3.1 地下水基本类型

红层浅层地下水按其含水层（组）储水特征，可以概括地分为两大类型。

3.1.1 红层浅层风化裂隙水

为叠置的砂、泥岩孔隙、裂隙水。该类水在盆地内分布普遍。具有相对完整的补、迳、排条件，埋深 10—20m，水量一般 1—3m³/d。

3.1.2 红层浅层承压水

为砂、泥岩互层层间裂隙承压水，埋深 20—50m，水量一般 5—10m³/d。大者可 >20 m³/d，往往可以成为出水量较大的地下水水源地。承压含水层次众多，但厚度不大，一般在 40 米以内。以砂岩裂隙储水为主。富水性很不均匀，单井出水量悬殊大。

红层浅层地下水，它实质是在四川盆地这个特定的地质构造、地质历史和现今地形、地貌与气候条件下形成的特殊类型地下水，这类地下水受诸多因素控制和影响，在水化学和水动力特征上都比较复杂，本身具有一系列的特点。这主要是由于盆地红层丘陵区，层叠的含水结构与各地地质构造、地貌条件自然地相互组合，形成不同的地下水类型的结果。

3.2 地下水分布、分区特征

红层浅层地下水较为普遍，但其聚水性却很不一致。综观全区，盆地西部及其边缘，富水性较强，至盆中腹心地区相对微弱。而对于每个地区来说，又受含水层岩性及所处的地形地貌、地质构造等条件的制约，表现出总体上贫乏，但贫中有富。各个含水岩层（组）的基本特征及富水性分述于后：

3.2.1 白垩系（K），主要分布在成都、绵阳、巴中等地，各地命名各异，以块状砂岩、砾岩为主夹泥岩，砂、泥岩互层夹钙质砂岩的含水岩组。均以砂岩裂隙水为主，泥岩类含水较弱，富水性极不均匀，在同一含水岩组中，富与贫水量悬殊，同一地段富水井同贫水井水量相差很大。

3.2.2 侏罗系上统蓬莱镇组（J_{3p}），分布于盆中与川北过渡地带，丘陵地形为主，构造平缓，为厚层砂岩与泥岩不等厚互层。普遍以风化裂隙水为主，有时兼有溶蚀孔洞水，上段富水性较下段为优，但极不均匀，单井出水量从 50 ~ 100m³/d 不等，由于岩性的区域变化，向南、西南富水性减弱，下段比上段差，单井出水量 20 ~ 50m³/d。

3.2.3 侏罗系上统遂宁组（J_{3s}），主要分布在盆中腹心地带及盆南、盆东一部分地段，浅切割宽谷圆缓丘陵，厚层泥岩浅部风化带溶孔、网状裂隙水为主，泥岩厚度特大，风化带以

下透水性极弱，因此富水性差，单井出水量一般 $20 \sim 50\text{m}^3/\text{d}$ 。但在川中浅丘区本组下段，风化带裂隙常与淋滤带溶蚀孔洞孔隙交织发育，富水性较好，且比较均匀，单井出水量大于 $100\text{m}^3/\text{d}$ 。

3.2.4 侏罗系中、下统沙溪庙组 (J_{2s}) 和自流井组 (J_{1-2z})，盆中、盆东分布较广，盆缘分布一部份。厚层泥岩为主夹不稳定的砂岩。自流井组夹薄层灰岩。

在威远背斜外围，南充背斜核部，营山、广安、渠县、岳池、是一个砂、泥岩互层，泥岩是主要的含水层（组）。砂岩颗粒细、砂泥质和铁质胶结，地形切割不大，构造十分平缓，裂隙不发育，不利于地下水补给、聚集，单井出水量 90% 以上小于 $50\text{m}^3/\text{d}$ ，以 $5 \sim 10\text{m}^3/\text{d}$ 为主，富水性极差。是川中地表水、地下水均感匮乏的地区。

总的说，广泛分布的红层区内，构造十分平缓，裂隙不甚发育，地形受刻蚀比较破碎等诸多因素的影响，风化带厚度又不大（一般 $10 \sim 30\text{m}$ ）。地下水的补给为就地补给、就近排泄的雨水型。补给范围小，径流途程短，交替强烈，极少参加较大区域的循环，浅咸水界面普遍存在。风化带浅层地下水水量虽小，孔深 $15 \sim 20\text{m}$ 均能获得一定水量，据射洪县 350 口机井统计，单井出水量 $20\text{m}^3/\text{d}$ 左右的占 80%、 $>50\text{m}^3/\text{d}$ 占 6%、干井和 $<20\text{m}^3/\text{d}$ 的占 14%。地下水位以下（一般 5m 左右）咸淡水介面以上的风化带是一个调蓄库容，起较好的调蓄能力，天旱时节保证有水。

3.3 红层浅层地下水的富集规律

红层浅层带地下水的富集规律受地层岩性、地质构造、地形地貌三因素的控制。但不同类型的红层地下水受三因素的制约表征上有所不同。根据西充、璧山、铜梁等严重缺水的示范区和盆地各地所获取的资料，论述不同类型的地下水富集规律。

3.3.1 浅层风化裂隙水的富集规律

该地下水的富集除了受风化裂隙发育程度的影响外主要受地貌因素的制约。地貌条件是这类地下水富集的主控因素。岭、丘贫水，沟谷、洼地富水是总的富水规律。

(1) 在同一沟谷中，岩性所处构造部位条件相同，其所处的地貌部位不同，出水量、地下水埋藏深度有较大的差异，说明地下水受地貌控制较强。

(2) 沟谷低洼地段的井出水量大，位置相对较高的井出水量小。泥岩夹泥质粉砂岩出水量较泥岩出水量大，同一地段同岩性风化裂隙发育的出水量大，井深者出水量相应较大，也说明富水性不均一。

(3) 受地貌控制明显，在两沟交汇的坡咀下，山坡转折（凸部）地带富水。

(4) 在浅切丘陵区，宽缓的丘坡上部也有一定的地下水，说明在丘坡上裂隙只要发育，有一定的储水空间，就有一定的地下水分布，在两沟交汇地带的坡咀下富水性较好。

(5) 砂、泥岩互层层间裂隙发育地段，富水性较好。

(6) 风化裂隙与构造裂隙勾通富水，风化裂隙与构造裂隙——纵张裂隙勾通的部位富水。

综上述、红层地区风化裂隙水的富水规律是：地下水的富水性主要受地貌条件、岩性及结构、风化裂隙发育程度和风化层厚度的控制。其中岩性结构及裂隙、裂隙发育程度是地下水富集的关键因素，是决定岩层本身能否储水的前提条件；红层地区主要由砂、泥岩组成，形成不同的丘陵地貌和低山地貌，沟谷纵横，在侵蚀基准面以上的丘坡，水交替循环强烈，是地下水的补给带。

3.3.2 红层浅层承压水富集规律

该类地下水的富集一般受含水砂岩层的控制，红层中的砂岩层有相对隔水层，形成红层承压水，砂岩层的厚薄，稳定性以及裂隙发育的程度，补给条件的优劣决定了它的富水性。

- (1)厚度大，稳定性好，倾角适中的砂岩层相对富水
- (2)汇水谷地的似层状砂岩富水
- (3)构造、地貌条件有利的薄层砂岩也富水

综合前述，红层浅层地下水分布较普遍，富水性极不均匀，水量较小。在良好的汇水条件下，得以普遍富水。红层浅层风化裂隙水与浅层承压水相比，后者的富水性好，水量较丰富的钻孔和民井多，水量贫乏的极少，而风化裂隙水水量贫乏的多，水量较小。

3.4 红层浅层地下水水质

埋藏于红层中的浅层风化裂隙地下水，受大气降雨和地表水渗入补给，其水化学成份形成主要与交替、径流条件和含水介质性质有关。红层区降雨补给比较充分，广大低山、丘陵区地形切割细碎，水文网发育，浅层地下水交替、径流比较畅通，一般是在被地形限定的小范围内就地补给，就近排泄，相互之间缺少联系，很少参加大区域的循环。因此，水质属于雨水成因类型。具有两个明显特点：浅部普遍以淡水为主，对于不同的地区、不同的层位，在淡水带以下均可以接替出现一些不同化学成份的微咸水和咸水。

浅层淡水带地下水水质主要特征是：以重碳酸钙型水为主，其分布面积占红层区总面积的90%以上，矿化度低，以0.3—0.5g/l为主。

总归上述，在红层中开发利用地下水，泉水、开挖民井、大井（沉井）或简易机井，一般水质都是良好的。20—30m深度的机井（向盆边还可能更深一些）除局部含盐沉积地段外，一般不存在水质不良的问题，所以，从水质上看，对于开发利用浅层地下水，是很有利的条件之一。

3.5 红层地下水资源概算与评价

红层丘陵地下水资源的评价，通常沿用富水性，即单井出水量的大小来衡量贫富程度。这些地区地下水分布不够均匀，仅据少量钻孔和部份观测试验工作，是难以解决大面积资源计算的。天然资源与储存量是地下水开采资源的基础，虽然最具实际意义的是开采资源，但在计算开采量时还必须给出一定的经济技术指标。根据川、渝两省市浅层地下水打井取得的经验，初步确立下列有关参数计算储存量、开采量。

3.5.1 含水层平均厚度储水指数与给水度：

按照红层丘陵山地实际情况，含水层底界的深度一般30m，地下水位埋深一般不超过5m。含水层平均厚度按25m计算。参考四川省地貌区划有关参数，分别给出储水指数，浅丘35%、中丘26%、深丘20%、低山5%，中山及山原1%。给水度按地下水类型不同含水岩组采用经验数据，裂隙含水层为0.01、溶隙含水层为0.02、溶隙溶孔（洞）含水层为0.05。

3.5.2 开采井数量。据调查资料，每一分散农户平均人数为5人，一户一井。再按人口密度，浅丘为700人/km²；中丘为600人/km²；深丘为500人/km²；低山为200人/km²；中山山原为100人/km²。

3.5.3 井的开采水量。据川渝红层找水试点的总结资料，就目前农村消费水平，每户用

水量 $1.0\text{m}^3/\text{d}$ 即能满足人畜用水需求。故每口井以 $1\text{m}^3/\text{d}$ 为基础。

3.5.4 计算结果：红层区天然资源 $111.82 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$, 储存资源 $72.11 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$, 可开采资源 $39.89 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 。符合区内实际情况。

3.5.5 红层地下水资源的评价, 是以水文地质单元为基础, 采用计量方法, 调查测定能满足目前分散农户所需求的地下水的开采量, 并搜集开采井孔丰、枯水期实际水量, 分析需水量的保证程度用井的出水量可视为允许开采量。但基于红层地下水资源补给在时空分布上的不均匀性, 含水层边界条件的复杂性和补给滞后性, 储存资源对开采量的调节作用是有限的。据南充、西充等地抽水试验资料, 试验井的水位恢复较快, 所需时间与抽水时间大体相当, 开采量在丰期或枯期均能满足, 说明目前的开采水平不属于消耗型的水源地。应该指出, 在一些人口密度较大, 含水层分布面积有限的水文地质单元, 由于布井过密, 会影响井的出水量, 据对南充曲水镇二村一社的调查, 在 0.246km^2 面积中, 打井 46 个, 井距偏小, 布井密度达 $187\text{个}/\text{km}^2$, 其开采量在丰水期可达到 $46\text{m}^3/\text{d}$ 的需水要求, 但至枯水期得不到保证。这种情况说明, 开采量的构成, 可以包括在一定开采期内消耗储存量所获得的流量增量, 属于有使用时限的消耗型水源地。对于此类水源地, 开采量在一定时段, 应该有所控制, 避免产生因超采地下水所引起的一系列环境地质问题

4. 红层浅层地下水的开发利用条件

为解决严重缺水地区分散农户的人畜饮用水困难、推进西部农村经济发展、改善红层地区广大农村人民群众的生活环境条件, 根据红层丘陵、低山区, 水资源不足的突出问题, 从长远规划考虑, 由区外调水亦有诸多有利条件, 而近期更应把天上水、地面水、地下水三水资源充分利用起来。估算总计该区地下水天然补给量 $111.82 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$, 可开采量仅 $39.89 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 、储存资源量 $72.11 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 。总体看地下水量虽然贫乏但用它解决旱区人畜饮用困难, 调节抗旱保苗水源是可以发挥其至关重要作用的, 少部份红层富水块段地点则可以开发用作场镇、集体单位生活水源或做补充农灌水源。

根据在南充市嘉陵江区移山乡、曲水镇(深切丘陵区)西充县义兴镇(中切丘陵宽谷区)开展分散农户打井供水示范, 钻机井 3000 多口, 90% 的井位于沟谷两侧或坡麓地带, 井深一般 $18\text{--}20\text{m}$; 单井出水量 $1\text{--}10\text{m}^3/\text{d}$, 少数大于 $20\text{m}^3/\text{d}$, 成功率为 95.71%, 解决了 15000 余人的生活饮用水困难。收到良好的社会效果。

分散农户庭院式供水, 是目前较为合适的开采模式, 技术条件较为成熟, 一般用 30 型回转钻机钻孔成井, 井径 $150\text{--}110\text{mm}$, 井深 $15\text{--}25\text{m}$, 井距一般应大于 50m , 用保护管深入基岩 $2\text{--}3\text{m}$ 作永久性止水, 主要含水层部位要下入圆孔过滤器 (或 PVC 管), 井底要下入 5m 同径沉砂管。取水设备采用螺杆潜水泵 ($0.3\text{--}1\text{T/h}$), 放置深度一般 $15\text{--}20\text{m}$ 。开采井的成本, 由钻孔、管材、抽水设备等组成, 按目前市场价格, 约 1000 元左右, 就一般农村村民是能够承受的。

5. 红层浅层地下水的开采利用方案

川、渝红层浅层地下水勘查开发, 要以 “三个代表” 思想为指导, 以解决红层区人畜饮用水紧缺的实际问题为目的, 依靠科技进步, 以先进的技术方法为支撑, 在以往地质、水

文地质等资料的基础上,根据缺水现状及红层地区水文地质条件、水资源特点,按不同缺水类型地区分轻重缓急,分期分批开展地下水勘查工作。通过勘查示范探索不同缺水类型地区的找水方向及取水方法,达到以点代面,引导解决红层缺水地区人畜饮用水问题。

西南红层地区找水方向以红层浅层风化裂隙水、浅层承压水及构造带裂隙水为主。

鉴于广大红层地区风化裂隙水“量小而分布广泛”的赋存分布特征与广大农村人口居住分散、需水量较小相吻合的特点,宜在水资源开发利用条件调查的基础上,开展以满足农村人畜用水为目的,能充分利用风化带裂隙水调节能力,以分散浅井为主的供水模式示范。首先,开展以县、区为单位的水文地质调查,重新编制一套水文地质图,着重针对单井 $50\text{m}^3/\text{d}$ 以下地区,按 $< 1\text{m}^3/\text{d}$ 、 $1—5\text{m}^3/\text{d}$ 、 $5—10\text{m}^3/\text{d}$ 、 $10—20\text{m}^3/\text{d}$ 、 $> 20\text{m}^3/\text{d}$ 标准进行富水等级划分。其次根据红层地区区域地质—水文地质条件、结合广大农村农户分散而不集中的特点,划分为“分散农户型”(主要是单井出水量小于 $20\text{m}^3/\text{d}$,大于 $1\text{m}^3/\text{d}$ 的广大地区,)“相对集中型”(单井大于 $20\text{m}^3/\text{d}$ 的地区)并进行区划。按轻重缓急选择干旱缺水县、区进行地下水勘查打井示范,采用多种投资方式,普及推广。

结 语

川、渝红层地区受地形、地质条件和水文地质条件限制,使红层地区地下水相对贫乏,造成部分农村饮用水困难,制约了农村经济发展,但红层地区浅层风化裂隙水具有分布普遍,水量小的特点,正好与红层地区农村居住分散相吻合。实践证明:在农村分散居住的房前屋后适当位置施工钻孔,孔深 $15—20\text{m}$,均能获得一定的水量,可满足人畜饮用甚至提供抗旱保苗用水,进而发展庭院经济。但是,红层地区缺乏统一的工作方法和统一的技术要求,应尽快编制适合西南红层地区地下水勘查示范的技术规程。与此同时,应加强对东亚发育分布面积广,沉积厚度大的著名四川盆地的红色岩层(红层)及其相连的渝、云、贵所分布的红层应进一步深入研究,尤其是加强对红层地区的浅层风化裂隙水、浅层承压水的补、迳、排及其地下水富集规律的研究,加强对地下水咸、淡水界面和水资源评价方法的研究探导,以填补学科领域中的相关技术空白。更技术经济的实施推广红层分散农户型供水。