

# 西南红层浅层地下水特征及其开发利用模式

张福存<sup>1,2</sup>, 鄢毅<sup>3</sup>, 刘安云<sup>4</sup>, 李旭峰<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学(北京), 北京 100083; 2. 中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所, 保定 071051; 3. 四川省地质调查院, 成都 610081; 4. 重庆市地质矿产开发局, 重庆 400039)

**摘要:** 西南红层地区人畜饮用水季节性短缺问题一直未能解决。通过地质调查与研究工作, 本文总结了四川省、重庆市红层浅层地下水分布广、埋藏浅、补给充沛、更新速度快的自然规律, 结合红层区农户居住分散、人畜饮用需水量小的用水特点, 提出了红层浅层地下水资源化的认识和相应的“小口径浅井”开采技术、“一户一井”分散式供水模式。

**关键词:** 西南红层; 浅层地下水特征; 开发利用模式

中图分类号: P641.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)03-0053-04

在我国南方四川省、重庆市、云南省等 14 个省(区、市), 分布有侏罗纪、白垩纪、第三纪沉积的以砂岩、泥岩为主的一套地层, 称之为红层, 总面积约  $43.51 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 区内不同程度的存在饮用水短缺问题, 其中又以四川省、重庆市和云南省饮用水短缺尤为严重<sup>[1]</sup>。

本文是在中国地质调查局实施西南红层缺水地区地下水勘查示范项目的基础上取得的成果。

## 2 缺水原因及现状

四川省、重庆市红层区为亚热带湿润季风气候区, 具有冬暖、夏热、春早、无霜期长、秋季多绵雨、风小、湿度大、云雾多、日照少的特点。降水量时空分配不均, 地域性明显, 四川省年均降雨量多为 800~1 200 mm, 重庆 1 000~1 400 mm。由于红色砂、泥岩地层对水资源的涵养能力较差, 降水难于渗入, 迅速汇入江河而流失, 往往出现年内春旱、夏旱、伏旱交错或连续出现, 年际十年一大旱, 三年一中旱, 小旱年年有; 缺水是红层地区农民生活水平提高和农村经济发展的主要障碍, 成为阻碍当地全面建设小康社会最为突出的问题。

## 2 研究区地质概况

### 2.1 地貌特征

四川盆地中部主要为海拔 350~500 m 的浅丘、中丘和深丘, 其形态有圆丘、方丘、垄状丘、脊状丘等; 盆

地东部及南北缘以海拔 500~1 200 m 的低山、中低山为主, 在东部形成独具特色的“川东平行岭谷”。

### 2.2 红层物质组成

四川盆地中部和东部红层发育在典型的内陆湖、河相沉积环境, 沉积特征在粒度上呈现一定的规律性。盆地边缘为粗粒山麓相堆积, 出现几层富含钙质的厚层砾岩, 北部边缘为坚硬砾岩, 南部以砂岩为主, 东部在浅水湖相沉积的钙质泥岩中含盐岩; 盆地中心岩性变化单一, 以紫色、棕红色泥岩、砂岩为主, 间夹页岩、薄层灰岩和膏岩。

红层碎屑的颗粒组成差异很大, 碎屑的砾石组成一般与其外围山地的物源一致, 岩屑、砾屑是其外围物源岩石碎屑的混合。其砂质主要是石英, 含部分长石; 胶结物以泥、砂为主, 化学胶结物主要为硅质、钙质和铁质<sup>[2]</sup>。砂岩多为碳酸盐胶结, 富含钙质。泥岩含砂质, 普遍含钙质, 且常含脉状、薄层状及斑块状石膏。

## 3 红层浅层地下水特征

### 3.1 浅层地下水类型及其赋存规律

根据红层浅层地下水的赋存条件和埋深可分为风化带裂隙水、溶蚀孔洞裂隙水、浅埋藏层间承压水、桌状台阶状低山深丘上层滞水四类, 本文也仅对前两类进行重点分析。

#### (1) 风化带裂隙水

即赋存于红层砂、泥岩风化带裂隙中的地下水, 主要埋藏在侏罗系蓬莱镇组、沙溪庙组、新田沟组、自流井组和珍珠冲组等地层风化带中。构造节理裂隙在风化等外力作用下, 形成风化裂隙带, 裂隙发育与构造、地貌、岩性(砂岩、泥岩)及其组合密切相关; 厚度一般小于 30 m, 最大可达 50 m, 含水层厚度一般为 10~25 m。

收稿日期: 2007-04-12; 修订日期: 2007-07-04

作者简介: 张福存(1963-), 男, 博士研究生, 教授级高工, 主要研究方向为水文地质。

E-mail: zhangfucun@sina.com

风化带裂隙水分布与赋存除受基岩风化带的制约外,还与地形、地貌、含水层岩性、地质构造、地下水循环等因素相关。出水量小于  $10\text{m}^3/\text{d}$ , 富水性总体上自谷底、谷边、坡下、坡中、坡顶逐渐变差。

## (2) 溶蚀孔洞裂隙水

指赋存于钙质泥岩、泥灰岩、泥质白云岩等可溶性岩石的溶孔、溶(裂)隙中的地下水。

含水层主要为侏罗系上统遂宁组, 风化作用形成的微细裂隙, 在长期淋滤作用下, 易溶物质被溶于水带走, 形成的针孔状、蜂窝状溶孔与风化裂隙相互连通。溶孔、溶隙分布、发育与岩石中的钙质、灰质含量、地貌、构造以及地下水径流循环有关。钙质、灰质含量高, 易被溶蚀形成孔洞; 构造发育致使溶孔、溶隙发育; 地貌在一定程度上控制着地下水循环。溶孔、溶隙的发育程度、大小、连通性等直接影响着富水性。

溶蚀孔洞裂隙富水性较好, 出水量  $1\sim 20\text{m}^3/\text{d}$ , 部分富集地段可达  $100\text{m}^3/\text{d}$  以上。在河谷阶地、丘陵或低山谷地中均有分布, 水量稳定, 易开采。可开采资源模数为  $3\times 10^4\sim 3.5\times 10^4\text{m}^3/\text{km}^2\cdot\text{a}$ , 开采井平均密度为  $350\text{眼}/\text{km}^2$ 。

## 3.2 红层浅层地下水补径排条件

红层区浅层地下水分布普遍, 一般在地形限定的小范围内就地补给、就近排泄, 构成相对独立的地下水补给、径流、排泄系统, 相互缺少联系, 很少参加大区域循环。在红层构造节理裂隙的基础上, 由于风化等外力作用, 形成厚度不等的风化裂隙带, 丘顶或坡顶为补给区, 斜坡中下部为补给径流区, 接受大气降水补给, 沿斜坡向丘间沟谷底部径流, 沟谷内松散层汇集地表水和两侧补给的地下水, 通过蒸发和向下游径流方式排泄, (见图1)。

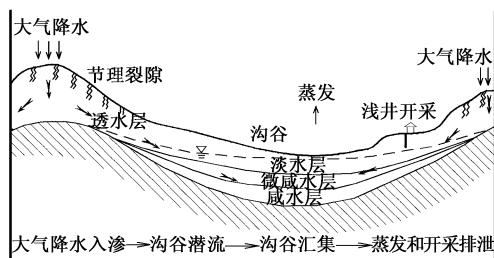


图1 红层浅层地下水补给径流排泄条件示意图

Fig.1 Flow diagram of recharge, runoff and drainage of red strata in southwest China

据重庆市荣昌县地表水、大气降水和地下水同位素分析测试结果, 浅层地下水的同位素测试数据均投影在 Craig (1961) 总结的北半球陆地降水中年平均  $\delta\text{D}$

值和  $\delta^{18}\text{O}$  值比值线  $\{\delta\text{D} = (8.1 \pm 0.1) \delta^{18}\text{O} + (11 \pm 1)\}$  附近(图2), 并且位于丰水期与贫水期大气降水同位素组成之间, 说明地下水的补给来源主要来自于大气降水。同时, 四处典型地下水、地表水的氢、氧同位素测试结果表明, 地下水补给一部分来源于地表水。

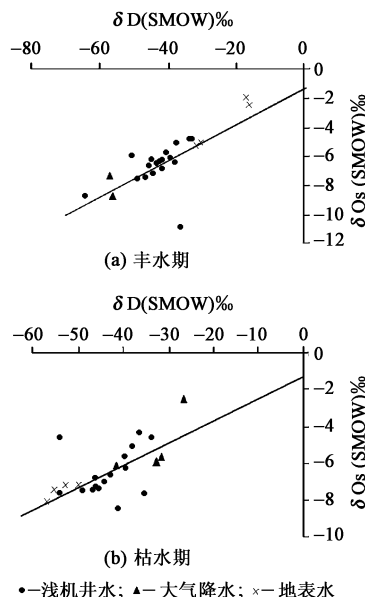


图2 荣昌县地下水及其与大气降水、地表水的氢、氧同位素关系图

Fig.2 Relationship between groundwater and rainfall, hydrogen and oxygen isotopes of surface water in Rongchang County

## 3.3 红层浅层地下水水质特征

由于红层部分层段含有可溶性膏盐, 导致地下水矿化度高, 但水化学成分主要与交替、径流条件和含水介质性质有关。随着地下水循环条件由强变弱, 水质在垂向上大多存在由淡变咸的规律。浅部普遍以淡水为主, 淡水厚度不一, 总体上由外围低山向盆地中心由厚变薄, 淡水含水岩组底界埋深为  $20\sim 50\text{m}$ 。淡水带在形态上支离破碎, 互不相连, 分布面积悬殊很大; 不同地区、不同层位, 在淡水层下均交替出现一些不同化学成分的微咸水和咸水。咸淡水界面虽然错综复杂, 在局部地区甚至起伏很大, 但从区域上看, 仍有一定规律可循。

根据已有成果归纳, 浅层地下水以  $\text{HCO}_3^- \text{Ca}$  型水为主, 其分布面积占红层区总面积的百分之九十以上, 局部地区为  $\text{HCO}_3^- \text{Na}(\text{Na}\cdot\text{Ca})$  型水, 水质复杂的少见, 一般属局部因素影响的独立水点。矿化度几乎都在  $1\text{g}/\text{L}$  以下, 临近地表的泉和民井, 矿化度为  $0.3\sim 0.5\text{g}/\text{L}$ , 显示出矿化度与交替条件有较密切的关系。钻孔、

机井揭露的浅层地下水,矿化度常比井、泉稍高,多数在 $0.4\sim 0.6\text{g/L}$ 之间,少数为 $0.6\sim 1\text{g/L}$ 。

#### 4 红层浅层地下水资源化

红层浅层地下水虽然含水层厚度小,渗透性较弱,地下水径流缓慢,单井产水量小,但分布广,埋藏浅,因降水量充沛而补给量充足,地下水更新速度快,含水层具有一定的调蓄空间,可在空间和时间上进行调节。据重庆市统计,风化带裂隙水单井出水量一般在 $0.3\sim 5\text{m}^3/\text{d}$ ,其中最大水量为 $48.9\text{m}^3/\text{d}$ ,水量小于 $0.3\text{m}^3/\text{d}$ 的浅机井仅占 $7.6\%$ 。根据2001~2005年示范井的情况,按 $0.3\text{m}^3/\text{d}$ 出水量作为成井标准,成井率高达 $92\%$ 。

与此相对应的是,红层地区群众居住分散,按照《农村生活饮用水卫生标准》(GB11730-89),红层所处的V类气候区最高生活用水量标准为 $50\sim 90\text{L}/\text{人}\cdot\text{日}$ (包括农家散养的猪、羊、禽类饮水量),取其高值 $90\text{L}/\text{人}\cdot\text{日}$ ,按每户 $3\sim 4$ 人计算,每日需水量仅 $0.3\sim 0.4\text{m}^3$ ,并且一天中用水也是断续、间歇式的。

从上述供需状况分析可知,红层含水层的富水性不宜用传统的、以集中供水为目标的标准来判别,针对解决红层区分散居民饮用水困难这一目标,采取适宜的模式开发利用,红层区浅层地下水是可以满足供水需要的,是一种宝贵的水资源。

#### 5 地下水开发利用模式

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居住而少有集中的特点,开发出了成本低廉、适用于分散式布井的“小口径浅井”开采技术,和“一户一井”分散式、间歇式供水模式。针对不同地区特点,“一户一井型”与“相对集中型”相结合,前者主要适用于单井出水量 $0.3\sim 20\text{m}^3/\text{d}$ 的广大地区,后者为大于 $20\text{m}^3/\text{d}$ 的地区。

“一户一井”型是目前较为合适的地下水开采模式,技术条件较为成熟,一般用30型回转钻机钻探成井,井径 $150\sim 110\text{mm}$ ,用保护管深入基岩 $2\sim 3\text{m}$ 作为永久性止水,主要含水层部位下入圆孔过滤器(或PVC-U管),井底下入 $5\text{m}$ 同径沉砂管。取水设备采用螺杆潜水泵( $0.3\sim 1\text{m}^3/\text{h}$ ),放置深度一般 $10\sim 20\text{m}^{[3]}$ 。开采井的成本,由钻孔、管材、抽水设备等组成。相对集中型按照供水管井技术要求布置和施工。

(1) 风化带裂隙水开发利用模式:小口径浅井取水,适用于分散农户“一户一井”,单井供水量大于

$0.3\text{m}^3/\text{d}$ ,井深 $15\sim 25\text{m}$ ,井间距一般 $30\text{m}$ 。

全孔下管型。对水敏性泥岩等易于塌井的井孔,应全孔下入成井管,管底封闭。

部分孔段下管型。对砂岩或泥质砂岩层等不易塌井的井孔,在井口段(覆盖层及强风化带)下入护壁井管即可,但护井管管脚必须安放在完整基岩的变径台阶处,并在井管外侧用粘土捣实或水泥砂浆进行固定。

适用地区:①南方红层丘陵区;②南方红层丘状低山、台状低山、桌状低山。

(2) 溶蚀孔洞水、浅埋藏层间裂隙水开发利用模式:常规管井取水,在富水部位适用于场镇、学校、医院、小型企业等小规模集中供水,出水量大于 $20\text{m}^3/\text{d}$ ,井深 $30\text{m}$ ,井间距 $30\sim 60\text{m}$ 。

适用地区:①南方红层丘陵区遂宁组富含钙质的泥岩分布区;②南方红层褶皱中山、低山区背向斜翼部、背斜转折部、单斜构造等砂泥岩互层,岩层倾角 $8^\circ\sim 30^\circ$ 左右的地段。

红层地下水不同开发利用模式,只要密切结合其地下水类型、分布埋藏特点与供水需求,取水科学,控制水量,达到采补平衡,完全能够满足分散农户人畜饮水和部分集中供水的需要,且可保证持续供水。

#### 6 结论

红层浅层地下水以集中供水为目的而进行评价,没有开发利用价值;但其具有分布广泛,埋藏浅,因降水量大而补给条件好、更新速度快的优势,与红层区农户居住分散、季节性缺水、日需水量小且间歇性取水的特点相结合,以农村普及用电、价格低廉的家用微型水泵和新开发的微型钻机为支撑,因地制宜,采用“一户一井”或“几户一井”的“小口径浅井”分散开发利用新模式,与“相对集中型”供水相结合,可以有效解决西南红层区人畜饮用水季节性短缺的历史难题,对南方降水量充足的其他红层地区也具有重要的推广意义。

#### 参考文献:

- [1] 安永会,张福存.红层盆地缺水类型区人畜饮用地下水勘查示范[A]//严重缺水地区地下水勘查论文集[C].北京:地质出版社,2003,60.
- [2] 彭华,吴志才.关于红层特点及分布规律的初步探讨[J].中山大学学报(自然科学版),2003,42(5):109.
- [3] 武选民,文冬光,郭建强,等.西部严重缺水地区人畜饮用地下水勘查示范工程[M].北京:中国大地出版社,2006:317.

## Characteristics and development models of shallow groundwater in the red strata of southwest China

ZHANG Fur cun<sup>1,2</sup>, YAN Yi<sup>3</sup>, LIU An yun<sup>4</sup>, LI Xu feng<sup>2</sup>

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. The Institute of Hydrogeology and Engineering Geology Techniques, CGS, Hebei 071051, China; 3. Sichuan Academy of Geological Survey, Chengdu 610081, China; 4. Chongqing Bureau of Exploration & Development Geology & Mineral Resources, Chongqing 400039, China)

**Abstract:** The problem of seasonal drinking water shortage of man and livestock has not been solved in southwest red strata areas of China. By geological survey and study authors summarize a series of natural orders on red strata in Sichuan and Chongqing, such as shallow groundwater wide distribution, shallow burying, enough recharge and fast refresh and so on. At the same time, water use characteristics are separated residence and low water requirement in these areas. So put forward theory on the resources of shallow groundwater in the red strata, and its exploit techniques on minor caliber shallow wells, and water supply model on one household using one well.

**Key words:** red strata of southwest China; characteristics of shallow groundwater; development models of shallow groundwater

责任编辑: 王宏

(上接第41页)

较大情况下,很难做到桩径均匀一致。施工中应严格控制填料量、留振时间、振密电流3个主要参数。尤其是振密电流如控制不好,则容易出现串桩、塌孔、缩颈等现象。施工中碎石填料要有良好级配,并保证含泥量不超过设计要求。

实践证明,振冲碎石桩技术简单,成桩快,工期短,成本低,基本无噪音,振动影响范围小,只要合理布置泥浆池,完全可以在有限噪音的地区施工,经济效果显著。用振冲碎石桩处理加固地基其复合地基承载力大大提高,加固效果显著,减小了沉降量,提高了抗震能力。

参考文献:

[1] 蓝冰. 论碎石垫层在振冲碎石桩复合地基中的必要

性[J]. 岩土工程, 2001, 13(1): 39-41.

[2] 唐建中, 王也宜. 振冲碎石桩处理液化地基的设计与施工[J]. 建筑科学, 2004, 20(3): 42-45.

[3] 王会兰. 振冲碎石桩施工技术在基础处理中的应用[J]. 水科学与工程技术, 2006, 3: 9-10.

[4] 龚晓南. 复合地基设计和施工指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

[5] 林本海, 谢定义. 复合地基的液化检验理论及其应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.

[6] 中华人民共和国水利部. 水闸设计规范 SL265-2001[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.

[7] 中国建筑科学研究院. 建筑地基处理技术规范 JGJ79-2002[S]. 北京: 建筑工业出版社, 2002.

[8] 中华人民共和国建设部. 建筑地基基础设计规范 GB-50007-2002[S]. 北京: 建筑工业出版社, 2002.

## Application of vertical pile driven by vibration in subgrade reinforcement

JIANG Huan, ZI Min

(Navy Engineering Quality Supervision Station, Beijing 100073, China)

**Abstract:** The thick saturated silty and gravel strata with poor bearing capacity, strong penetrating and liquefaction are existing in the subgrade of one gate. The vibration piles were applied to reinforce the subgrade to solve such potential problems. This paper discussed the design, construction and examination of the vibration piles in detail. It is indicated that the vibration piles are effective for ground treatment.

**Key words:** vertical pile driven by vibration; bearing capacity; penetrating; liquefaction; subgrade reinforcement

责任编辑: 王宏