

红层区找水打井工程对农村饮水困难与安全问题的影响

——以渝西大足区为例

成六三

(重庆工程职业技术学院测绘地理信息学院, 重庆 402260)

摘要: 为了评估红层区找水打井工程对农村饮水困难与安全问题的影响,选取研究区典型红层缺水地区——渝西大足区为例,通过实地访谈、水平衡方程和地下水含水层可持续管理模型等方法,评估红层区找水打井工程对农村饮水困难与安全问题的影响。结果表明:2007—2016年,大部分浅层机井含水层供给水量随年限开采呈不同程度锐减趋势,部分机井水质劣化主要受环境恶化和机井维护管理不到位的影响,而富含高 Fe/Mn 等水质的机井欠缺水处理的相关措施;浅层机井含水层地下水供给受需求开采强度影响较大;这一工程模式急需系统的可持续管理政策调控。虽然找水工程对解决农村饮水困难与安全问题起到了积极的作用,但工程的可持续性受到了较多因素影响。研究结果对于防止红层缺水地区部分家庭人畜饮水困难与安全问题反弹具有理论和实践意义。

关键词: 民生工程; 大足区; 可持续发展; 打井

中图分类号: P641.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)03-0171-05

红层区找水打井工程已经实施 10 多年,在解决农村家庭人畜饮水困难与安全问题上发挥了巨大作用^[1]。但受浅层机井含水层自身的水文地质条件限制,这一浅层含水层地下水资源随机井开采年限的增加,其供水能力是否能够具有可持续性^[2-3],一直是水文地质界关注的热点之一。

自红层区的找水打井工程实施以来,形成了以红层岩性组成、构造以及地质地貌等因素下浅层地下水富水成井条件规律研究与应用实践案例^[4-6],初步集成了区域红层浅层地下水资源开发利用的模式,如重庆綦江红层地下水划分及供水评估等^[7-8],但这仅仅从成井时的涌水量和水质分析划分地下水赋存的丰富程度,实际上,随着机井运行时间的增加,这一浅层地下水资源易受到外界的其他因素影响,如重庆部分机井成井两年后,井底沉沙淤积、井台护壁管损坏以及井壁垮塌堵塞等方面问题^[9]。也有从地下水含水层、环境以及社会综合影响来分析找水工程的可持续利用评价^[10-11]。但实际上,对于红层找水打井工程而言,分散农户抽水和维护方面对于机井的可持续供水至关重要。另一方面气

候变化如降雨、需水大小以及水环境的时间变化等都都对这种分散供水模式产生较大影响。随时间变化红层“弱含水层”受农户行为影响的水文地质特征变化,对于深入持续推进这一民生工程,以及系统了解在根本解决人畜饮水困难与安全问题上发挥的作用,都需要长期持续对这一浅层地下水资源的开发利用进行调查与评价工作,以便为政府在解决农村人畜饮水困难与安全问题方面提供科学依据。因此,本文试图对比打井前后的含水层供水量、水位和水质变化以及维护管理等,在此基础上,分析这一浅层地下水年降雨补给量、储水量与年开采量之间的关系,再综合这几种因素,定量和定性判定常见地下水开采过程阶段,旨在引导社会和政府采取有效措施来维护这一浅层地下水资源的可持续利用。

1 研究材料与方法

1.1 研究区概况

重庆大足区地理位于重庆市西部,地处川中丘陵与原川东平行岭谷的过渡地带,介于东经 105°28′~106°02′,北纬 29°23′~29°51′,面积

收稿日期: 2024-08-06

基金项目: 重庆市教委项目(KJQN202103406);重庆市教委人文社会项目(22SKGH573)

作者简介: 成六三(1977—),男,陕西蒲城人,博士,副教授,研究方向为地质环境评价。

1 442.44 km², 境域略呈倒置的“三角形”。处于川中台拱与川东褶皱带两大地质构造单元, 有低山、丘陵、溪谷平坝 3 种地貌类型, 其中低山丘陵占全区面积的 90.9%, 地层侏罗系占全区总面积的 91.8%, 均为红层。多年平均年降雨量 984.3 mm, 主要集中于每年 6—9 月, 约占全年降水量的 80%, 多暴雨, 但春旱、伏旱频率高, 常有十年九旱。水资源总量缺乏, 人均水资源量 576 m³, 仅占重庆市人均水资源量的 1/3, 占全国的 1/4, 是重庆西部缺水严重地区之一。从 2007 年开始, 大足区开始大规模实施红层区“找水打井”工程, 截至 2016 年, 累计打井 37 771 口, 投资近 3 000 万元, 已初步解决或缓解了 12 万多人的饮水困难问题。但对于全区缺水人口近 21 万总量来说, 大足区仍将面临较大的水资源短缺的挑战。

研究区机井含水层主要为侏罗系上统蓬莱镇组(J_{3p})至下统珍珠冲组的一套红色底层。侏罗系上统蓬莱镇组(J_{3p})地层底层稳定厚层砂岩为主, 主要成分为灰白-浅灰色厚层块状, 细-中粒岩屑长石砂岩、长石石英砂岩, 夹紫红色泥岩、含钙质泥岩、粉砂岩; 上统遂宁组(J_{3s})地层为紫红、砖红色泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩互层夹紫红色细粒长石石英砂岩, 下部泥岩含有石膏团块; 中统沙溪庙组(J_{2s})地层以泥岩为主夹砂岩及粉砂岩, 厚度稳定, 泥岩多呈紫红色, 含粉砂质, 钙质结核及团块, 是重庆市分布面积最广的红层; 中统的新田沟组地层以黄绿、紫红色杂色页岩、砂岩为主夹细、粉砂岩及生物碎屑灰岩透镜体; 中下统自流井组地层以泥岩、页岩为主夹粉砂岩、生物碎屑灰岩及泥灰岩; 下统珍珠冲组地层以紫红, 灰绿色泥岩为主夹细粒石英砂岩、粉砂岩、页岩为主夹粉砂岩、生物碎屑灰岩及泥灰岩, 部分地段底部含有赤铁矿。

按赋存特征和含水介质类型, 主要分为浅层承压水、溶孔裂隙水和风化带裂隙水 3 大类, 但主要以风化带裂隙水为主要类型。红层风化带裂隙水主要为侏罗系地层的风化裂隙及风化带内的少量构造裂隙中赋存的地下水。风化裂隙在浅部发育, 随着埋深的增加, 裂隙逐渐减弱, 发育深度一般在 33 m 内的范围, 比较发育段的深度多在 20 m 左右, 潜水位多在 0~10 m, 在 26 m 深度, 单孔流量差异较大, 为 0.15~20 m³/d, 补给主要大气降水, 其次是地表水体; 红层浅层承压水主要是指侏罗系地层中大片泥岩所夹的厚度比较大的砂岩层的层间裂隙水, 部分承压, 部分自流, 含水组主要为沙溪庙

组、新田沟组和自流井组, 分布在区内背斜的两翼及轴部, 浅层承压水在露头区主要是接受大气降水的补给, 其次是地表水体的补给; 红层溶孔裂隙水主要是赋存于红层溶孔中的水, 在遂宁组地层的泥岩中含有脉状和网状石膏等可溶性矿物, 在水的作用下溶蚀成空洞, 溶孔裂隙水赋存其中, 主要是接受大气降水的补给, 其次是地表水体的补给, 受控于大气降水, 动态变化较大, 在枯水季节水量明显减少。

1.2 研究材料

1.2.1 基础资料

本研究的基础资料来源于 2013 年大足区红层找水打井实施方案、大足区水资源公报(2000—2016 年)和大足区地质环境公报(2008—2016 年)。2023 年 3—12 月, 对研究区 11 个乡镇 26 村 616 口浅层机井进行了抽样调查以及访谈, 主要内容包括机井含水层的供水量、地下水稳定水位、维护管理等。与此同时, 采样了 100 口机井的水质进行室内分析, 测试指标仅为细菌总数。

1.2.2 机井含水层稳定供水评估参数

研究区 95% 以上机井属于浅层潜水, 且以降雨补给为主要形式, 一般红层区降雨入渗浅层地下水补给系数 $\lambda=0.026$, 含水层给水系数 $\mu=0.004$, 影响半径 $R=65$ m, 含水层的平均厚度 $H=25$ m^[11]。机井含水层能够提供稳定供水条件^[12]:

$$Q \leq Q_e/t + Q_k \quad (1)$$

式中: Q 为机井含水层供水量, m³/d; Q_e 为有效储量为可供旱季调节的一部分静水储量, 是存在于含水层的最枯地下水水位面之下到经济技术水平与地质环境安全允许的最低水位埋藏深度之间的储水量, m³; Q_k 为枯季需要调节时段的平均天然径流量, m³/d; t 为枯季需要调节的时间, d。

式(1)以 5 年为一个水文年时期, 则研究区机井可分 2 个连续水文年, 即 2007—2011 年和 2012—2016 年。 Q_e 可等价于机井含水层的静储水量 Q_{ec} , Q_k 等价于机井含水层的降雨补给量 Q_{bj} , 研究区均干旱的天数为 170 d^[13], 则可等价于 t 。一般红层区单户家庭人畜饮水量(开采量/供水量)为 0.8~1.5 m³/d, 则可设置 3 种情景的家庭人畜需水量, $Q_{x1}=0.8$ m³/d, $Q_{x2}=1.15$ m³/d, $Q_{x3}=1.5$ m³/d。

$$Q_{bj} = \lambda PR^2 \quad (2)$$

式中: Q_{bj} 为年降雨补给量, m³/a; λ 为降雨入渗补给系数; P 为多年平均降雨量, 10⁻³ mm/a; R^2 为机井平均影响半径的面积, m²。

$$Q_{jc} = R^2 H \mu \quad (3)$$

式中: Q_{jc} 为机井含水层的静储量, m^3 ; H 为含水层厚度, m ; μ 为给水度。

最后,假定研究区找水打井工程所实施的机井可看作是一个机井,即均影响半径 $R=65\text{ m}$,均含水层厚度 $H=25\text{ m}$ 。则可分析在 2 个水文年时期的机井含水层的年降雨补给量、静储量与需求量之间的关系,即可评定机井含水层稳定供水的能力。

1.2.3 常见的地下水含水层可持续管理模型

常见的地下水含水层可持续管理模型如图 1 所示^[14-15]。该模型依据地下水开采利用过程出现问题划分可调控管理的几个阶段,以此来判断当前地下水资源开采的主要问题以及给予相应的管理措施加以调控,旨在保证地下水含水层水资源能够持续被利用。该模型的地下水开发利用的过程非常类似于红层区找水打井工开采地下水利用过程。因此,运用此模型可为红层区找水打井工程的可持续提供理论指导意义。

2 结果与分析

2.1 浅层机井含水层的供水、水位和水质现状

机井地下水含水层供水量、水位和水质变化统计见表 1。

由表 1 可知,风化带裂隙水、浅层承压水和溶孔裂隙水的部分机井含水层的供水量都比成井时的供水量有所衰退,地下水位有持续下降的趋势。从开采过程来看,机井含水层成井时的供水量越大,这种衰退的强度就越小,如浅层承压水的机井含水层的供水量普遍比风化带裂隙水和溶孔裂隙水含水层的供水量衰减的不明显。浅层承压水的部分机井含水层 q 减少幅度为 $0\% \sim 33\%$,风化带裂隙水的部分机井含水层 q 减少幅度为 $8\% \sim 100\%$,溶孔裂隙水的部分机井含水层 q 减少幅度为 $0\% \sim 100\%$,而地下水水位也是这种变化。这表明部分机井含水层正在不断消耗含水层的静储量。与农户访谈中知,当气候干旱时,部分机井含水层的 q 会出现锐减,甚至干枯,特别对 $q < 0.5\text{ m}^3/\text{d}$ 机井含水层较为明显,这主要由于大部分红层区机井含水层的补给来自大气降雨。

在细菌总数指标水质方面,浅层承压水水质为良好,而风化带裂隙水和溶孔裂隙水水质溶孔裂隙水的含水层的水质指标细菌总数超标幅度达 $23\% \sim 255\%$ 。从实地调查结果分析,主要由井距离人畜粪便场所较短($\leq 20\text{ m}$),机井井台和井壁缺乏维护和管理,甚至缺失,导致地表径流直接流入井内等因素造成的(表 2)。

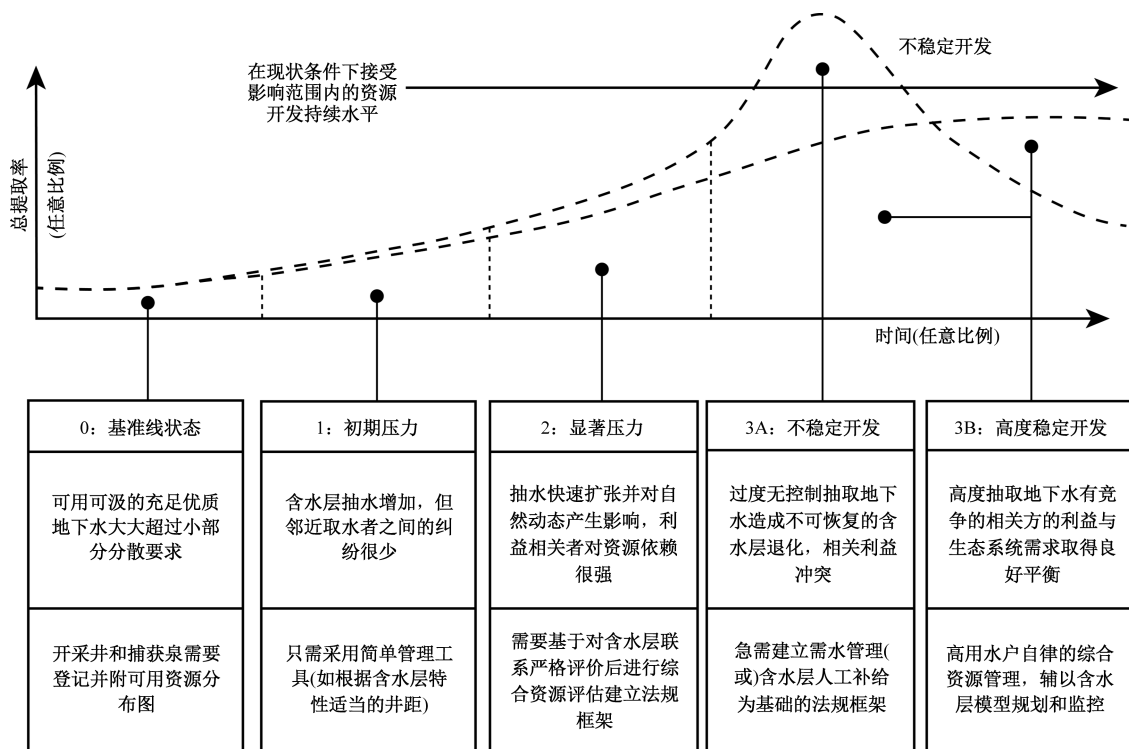


图 1 常见的含水层的地下水资源开发阶段及其相应的管理模型

表 1 机井地下水含水层供水量、水位和水质变化统计

地下水类型	供水量 $q/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$		供水量变化率/%	地下水位 h/m		水位变化率/%	细菌总数/ $(\text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1})$		细菌总数变化/%
	成井时	2022 年		成井时	2022 年		成井时	2022 年	
风化带裂隙水	0.25	0~0.09	64~100	7.5	18~10	140~33	438	650~1120	48~153
	0.45	0~0.08	78~100	11	20~14	81~27	388	550~890	43~129
	0.7	0.4~0.65	7~43	5.3	9~7	69~32	276	590~980	113~255
	1	0.8~0.95	5~20	4.6	8~6	73~30	400	560~980	40~145
	1.2	1~1.1	9~16	13	15~14	15~7	430	520~760	23~81
	1.5	1.2~1.4	6~20	10	10~9	0~2	261	425~657	66~155
	2.3	1.9~2.1	8~17	4.3	4.3~4.2	0~2	135	332~430	未超标
浅层承压水	0.35	0.25~0.3	19~32	11	14~12	9~27	130	340~460	未超标
	0.6	0.4~0.55	8~33	13	14~13	0~7	110	278~321	未超标
	0.9	0.8~0.9	0~11	12	13~12	0~8	100	230~370	未超标
	1.3	1.1~1.25	3~15	10	11~10	0~10	70	112~320	未超标
	1.9	1.75~1.9	0~15	11	12~11	0~9	45	83~104	未超标
	2.4	2.35~2.4	0~2	12	12	0	50	52~65	未超标
	2.7	2.6~2.7	0~3	13	13	0	60	63~69	未超标
	3.1	3.1~3.1	0	10	10	0	40	45~54	未超标
	3.6	3.6~3.6	0	12	12	0	30	31~37	未超标
4.5	4.5~4.5	0	12	12	0	20	22~28	未超标	
溶孔裂隙水	0.25	0~0.07	72~100	10	17~16	70~60	450	670~1 200	48~166
	0.55	0~0.3	46~100	8.3	15~13	56~81	560	665~1 070	19~91
	0.7	0.2~0.4	43~72	9.4	12~10	6~27	500	667~1 000	33~100
	0.9	0.6~0.75	17~33	8.6	12~10	16~39	350	580~980	66~180
	1.1	0.9~1	9~18	9.6	11~10	4~14	360	540~880	50~144
	1.5	1.2~1.3	13~20	7.2	8~7.5	4~11	320	460~680	43~112
	2.1	1.8~2	5~14	6.3	7~6.5	3~11	270	480~660	77~144
	2.8	2.75~2.8	0~1	5.3	6~5.5	3~13	220	430~580	95~163

表 2 机井维护与管理现状

地下水类型	成井运行 5 年以上机井比例/%	机井不利环境比例/%	机井管理不利比例/%
J _{2s} 风化裂隙水潜水	85.2	73.81	42.91
J _{3p} 风化裂隙水潜水	83.4	72.88	51.27
J _{3s} 风化溶孔水潜水	87.8	68.26	13.75
J _{3p} 表层承压水潜水	92.1	26.21	8.92

注:机井不利环境主要包括井周围杂草丛生、人畜粪便场所、起土、农业垦殖等;机井管理不利主要包括井台损坏、井壁垮塌、井底淤积等。

2.2 机井含水层地下水资源开采分析

由表 3 可知,2007—2011 年机井含水层供水量满足不了家庭人畜需水量,但在 $Q_{x1} = 0.8 \text{ m}^3/\text{d}$ 情景下,机井含水层供水量与需水量略有差异,随着需水量的增加,机井含水层供水量更加匮乏。这说明在偏干旱的年时,主要依靠降雨补给的浅层机井含水层是难以补充已消耗的静储水量,甚至消耗完机井含水层的静储水量,最终导致地下水位下降较明显或干枯等。表 2 调查的结果可以佐证这一结论。2012—2016 年机井含水层在 $Q_{x1} = 0.8 \text{ m}^3/\text{d}$ 情景下,机井含水层供水量完全可以满足需水量,当需水量增加 $Q_{x2} = 1.15 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $Q_{x3} = 1.5 \text{ m}^3/\text{d}$

表 3 开采量下含水层供水分析结果

水文周期	年降雨补给量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	调节静水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	含水层可供水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	需水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	供需差/ $(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$
2007—2011 年	0.3	0.49	0.79	$Q_{x1} = 0.8$	-0.01
				$Q_{x2} = 1.15$	-0.36
				$Q_{x3} = 1.5$	-0.71
2012—2016 年	0.33	0.49	0.82	$Q_{x1} = 0.8$	0.02
				$Q_{x2} = 1.15$	-0.33
				$Q_{x3} = 1.5$	-0.68

时,含水层供水量不能满足需水量。这表明在偏丰水年时,机井含水层供水量仅能满足 $Q_{x1} = 0.8 \text{ m}^3/\text{d}$ 的需水量,若增加需水量,含水层供水量无法保证实际的需水量。综合分析,研究区每户家庭人畜饮水的需水量限制在 $0.8 \text{ m}^3/\text{d}$ 以下,绝大部分机井可以提供足够的供水量。

2.3 地下水资源开发利用阶段的划分

从图 1 可以看出,某一含水层地下水开采利用过程所出现的主要问题及其相应调控措施。依据表 1、表 2 和表 3 的研究结果,随着开采强度的增大,机井含水层供水能力就会衰减,从实际调查可知,部分机井含水层供水量衰减较明显,相应的地

下水位下降也较明显,甚至小部分机井水量干枯。从维护与管理机井来看,部分机井存在较多不利于含水层可持续供水的因素。而当前研究区找水打井的密度在 20 口/km² 以上,若不限开采量和维护机井等措施的实施,就会出现和图 3 中 3A 中的不稳定开发利用状态,即过度无控制抽取地下水影响含水层不可恢复,因此,部分机井含水层急需进行相关措施进行调控,以保证这一浅层地下水的可持续利用。

3 结论

(1)研究区部分机井含水层的供水量随着使用年限有所衰减,地下水位也有下降。地下水水质受机井维护与管理等方面因素影响较为明显。

(2)开采强度是影响机井含水层供水持续能力的重要因素。

(3)红层区浅层机井含水层急需进行需水方面的管理或其他水源进行补给等方面的措施。

参考文献

- [1] 成六三. 红层缺水地区地下水资源开发利用研究进展及其现状[J]. 太原师范学院学报(自然科学版), 2019, 18(2): 84-88.
- [2] 高东东, 吴勇, 陈盟. 红层裂隙-孔隙水功能特征及可持续利用评价[J]. 人民长江, 2017, 49(8): 55-61.
- [3] 成六三, 马明国. 求开采对机井地下水含水层资源供给功能的影响研究: 以重庆市红层区的打井工程为例[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 2019(3): 33-40.
- [4] 任良治. 重庆红层浅层地下水的勘查与开发[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2010.
- [5] 潘德元, 王杰, 方国庆, 等. 红层区典型储水构造快速钻探成井工艺研究[J]. 科技和产业, 2022, 22(8): 319-323.
- [6] 张福存, 鄢毅, 刘安云, 等. 西南红层浅层地下水特征及其开发利用模式[J]. 水文地质与工程地质, 2008(3): 53-56.
- [7] 刘前进, 黄旭娟, 何文城. 赣州地区红层盆地找水模式探讨: 以于都盆地为例[J]. 华东地质, 2021, 42(4): 467-474.
- [8] 韦开行, 楚宪法, 潘喆, 等. 重庆红层区水文特征及地下水富集规律: 以綦江区为例[J]. 水文, 2020, 40(3): 76-81.
- [9] 成六三, 朱朝霞, 张茂超. 红层区找水打井工程的地下水资源可持续利用影响评价[J]. 太原师范学院学报(自然科学版), 2019, 18(4): 87-92.
- [10] 赵幸悦子, 肖攀, 宋文龙, 等. 赣南红层地区地下水水化学特征及成因分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(33): 14112-14122.
- [11] 张洪波. 蓬安县红层区丘陵布井地下水水资源水量调查与保证程度评价[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [12] 王宇. 裂隙含水层的储存调节功能评价[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2010, 35(1): 29-32.
- [13] 周婷婷. 重庆市干旱时空分布特征与规律研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [14] ROGERS P, HALL A W. Effective water governance global water partnership technical committee[M]. Stockholm, Sweden: Global Water Partnership, 2003: 44-47.
- [15] TUINHOF A, DUNARS C, FOSTER S, et al. Groundwater resource management: an introduction to its scope and practice[R]. Washington: Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools, Briefing Note1, GW MATE (Groundwater Management advisory Team), The World Bank, 2005: 6-10.

Water Drilling Project Effects on Problems of Troubles and Safety of Drinking Water in the Rural of Red Bed Hills: Taking DaZu District of Chongqing as an Example

CHENG Liusan

(Geology and Geometry Engineering College, Chongqing Vocational Institute of Engineering1, Chongqing 402260, China)

Abstract: In order to effect on problems of troubles and safety of drinking water since water drilling project working in the rural of bed red hills, taking a type of Dazu Zone of Chongqing as example, the methods of field interviews and actual investigations and peasant household international field, and water balance equation and theory of groundwater resources sustainable managements were used to assess the effect of water drilling project working in the rural of bed red hills on the troubles and safety problems of drinking water. The results show that most of pump wells aquifers in water supply have been decreasing from 2007 to 2016 with ages, some of pump wells aquifers in water quality have been deterioration, which is caused by environment deterioration and losing of management of well maintenance, but for Fe/Mn higher quality of pump wells shorted measures related to water treatment; shallow wells aquifers in water supply affected by the intensity of demand water exploration; this model of project needed urgently regulate and manage policies to sustain. Although the project has well bigger influences of problems of troubles and safety of drinking water in the rural of bed red hills, the sustainability of the project is affected by more factors. The findings have important theoretical and practical significance to against rebounding of difficulty in drinking water.

Keywords: the people's livelihood project; Dazu Zone; sustainable development; well