

农村庭院水窖设计及水质保护措施

乔光建¹,苑振海²,黄秋生³

(1. 河北省邢台水文水资源勘测局,河北 邢台 054000; 2. 邢台市水利工程处,河北 邢台 054000; 3. 沙河市水务局,河北 沙河 054100)

摘要 通过对沙河市丘陵山区降水特性的分析,得出了该区降水具有年内非常集中,全年降水量的 80% 左右集中在汛期(6~9月),而汛期降水量又主要集中在 7 月和 8 月的结论;根据降水特性计算了可集水量,并进行了水窖设计计算;依据当地生活水平进行了供水水量平衡调节计算;依据国家饮用水水质标准,对典型水窖水质进行评价,提出了水质净化的水质保护措施,从而为类似地区开展庭院饮水水窖工程设计提供了参考依据。

关键词 饮水安全;庭院集水工程;水质保护措施;山丘干旱区

中图分类号 :TU991.14;R123.5 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2009)06-0061-04

Design of courtyard water kiln and study on measures for protecting water quality

QIAO Guang-jian¹, YUAN Zhen-hai², HUANG Qiu-sheng³

(1. Xingtai Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Xingtai 054000, China; 2. Xingtai Hydraulic Engineering Department, Xingtai 054000, China; 3. Shahe Water Authority, Shahe 054100, China)

Abstract :Difficulty in exploiting groundwater and shortage of surface water and drinking water in Shahe City not only restricted local economic development, but also influenced the quality of life of residents. Analysis of the characteristics of local precipitation revealed that 80% of the amount of the rainfall in a year is concentrated in the flood season(6—9 months), and the amount of water in the flood season is mainly concentrated in July and August. The available amount of water for collection according to the rainfall characteristics was computed and a water kiln was designed. Water supply and demand balance and regulation calculation according to the local living standards were carried out. The water quality in the typical water kiln was evaluated according to the National Drinking Water Quality Standard and protection measures for water quality decontamination are put forward. This provides a basis for open courtyard drinking water kiln engineering design in similar regions.

Key words :drinking water safety; courtyard water harvesting engineering; water quality protective measures; hilly arid zone

沙河市位于河北省南部太行山东麓,面积 999 km²。市域内地形起伏较大,沟壑纵横,海拔高程在 100~1400 m 之间,山区山脉连绵,山谷较陡,丘陵区大面积松散沉积物覆盖其上,部分地区基岩裸露,局部地区呈弧形,切割深度 10~20 m,植被稀疏。沙河市西部山区和丘陵区,地下水开采困难,地表水严重匮乏,长期以来,农村生活饮水采用水池、旱池集蓄雨水。为了解决该地区居民饮水难问题,沙河市于

1999 年开始实施“千家水窖工程”。到 2006 年底,沙河市已在其山区和丘陵区建设家庭集水水窖 5 445 个,有效解决了部分居民的饮水难问题。实践证明,大力开展雨水集蓄利用是山区和丘陵区农村脱贫致富的重要途径,也是提高山区人民生活质量的有效途径。笔者以沙河市农村庭院饮水水窖为例,对农村水窖设计和水质保护措施等问题进行了研究。

1 降水特性分析

1.1 降雨量时空分布

沙河市的降水量具有年内非常集中的特点,全年降水量的80%左右集中在汛期(6~9月),而汛期降水量又主要集中在7月和8月,甚至更短的时间内,多以暴雨形式出现。特别是一些丰水年份,降水量更加集中。该区非汛期8个月降水量仅占全年降水量的20%左右,而非汛期又以4月、5月和10月所占比例较大。

沙河市降水量年际变化很大,且常出现连续几年降水量偏多或连续几年降水量偏少的现象。根据各雨量站监测的年降雨量资料分析,各站极值比值 K (降雨量最大值与最小值的比值)大都在4.0以上。

1.2 降雨量频率计算

利用1956~2007年沙河市降雨量资料系列进行分析计算,所得多年平均年降水量为571.0mm。对年降雨量系列进行频率计算,频率曲线采用皮尔逊Ⅲ型曲线,频率计算采用适线法,所得沙河市年降水量频率计算适线图如图1所示。关于变异系数 C_v 的确定,适线中对年降雨量系列中出现的特大和特小值一般不做处理,因为年降水量相对稳定。偏态情况一般通过参数 C_s/C_v 来反映。沙河市不同频率年降水量计算结果见表1。

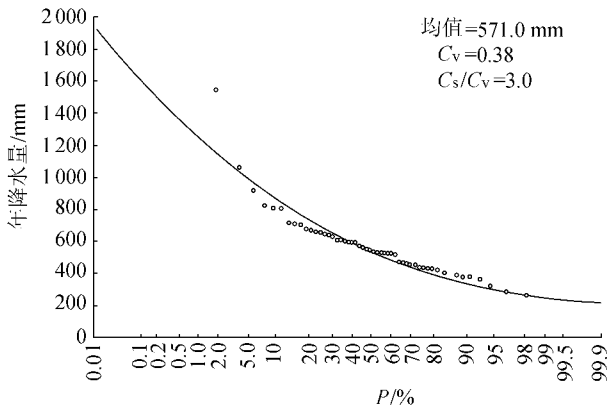


图1 沙河市年降水量频率计算适线图

表1 沙河市年降水量频率计算结果

多年平均年 降水量/mm	参数		不同频率年降水量/mm			
	C_v	C_s/C_v	$P=25\%$	$P=50\%$	$P=75\%$	$P=95\%$
571.0	0.38	3.0	686.0	531.0	410.0	296.0

1.3 降水量年内分配计算

沙河市降水量具有年内非常集中的特点,按平水年多年平均计算,7~8月降水量占全年降水量的59.7%左右,6~9月降水量占全年降水量的78.3%。特别是一些大水年份,降雨更加集中^[1]。非汛期8个月的降水量仅占全年降水量的21.7%。沙河市不同

保证率降水量年内分配统计结果见表2。

表2 沙河市不同保证率降水量年内分配统计结果

月份	$P=50\%$ 年 降水量/mm		月份	$P=75\%$ 年 降水量/mm	
	$P=50\%$ 年 降水量/mm	$P=75\%$ 年 降水量/mm		$P=50\%$ 年 降水量/mm	$P=75\%$ 年 降水量/mm
1	2.8	2.1	7	154.1	119.0
2	6.0	4.6	8	162.6	125.6
3	11.0	8.5	9	45.6	35.3
4	21.8	16.9	10	26.9	20.8
5	30.8	23.8	11	12.8	10.0
6	53.5	41.3	12	3.1	2.4

2 农村庭院水窖设计

按照当地生活习惯、人口结构和生活方式,一户以4口人计算,每人日消耗水量40L,家庭日消耗水量为160L。为计算方便,以月为时段进行计算,则最高月消耗水量4.96m³。根据当地降水特性,每年12月和次年1月、2月,主要以降雪为主,集水受到限制,集水量计算时,降雪期间不考虑集水量。因此,水窖容积计算最低应满足3个月生活用水需要。

蓄水水窖容量确定,按照冬季3个月没有积蓄雨水计算,需要15m³水窖容量,3月、4月和11月降水量不能满足生活用水量需要,水窖存水调节水量增加5m³;为用水方便,水窖最低限存水按5m³计算,则增加水窖设计容量5m³。因此,水窖设计总容量为25m³。水窖容量太大会造成工程投资浪费,小于25m³则不能满足全年生活用水需要。

蓄水水窖设计施工应考虑用途及地形等条件进行整体布局。庭院水窖以解决人畜饮用水为主,应建在庭院内地形较低处,并考虑使用方便,不影响房屋建筑等。山区地形复杂,水窖外壁距崖坎的距离不少于5m,并距根系较发育的树木5m以外。

家庭水窖工程以屋顶、院落为集水场。以25m³水窖为例,水窖规格为3m×4m×2.5m,窑墙、窑底均为0.4m厚的浆砌石,底层铺设一层厚10cm的混凝土。水窖上部用建筑空心板作为盖板。家庭饮水水窖要求水窖水温尽可能不受地表和气温影响,水窖深度一般要达到6~8m。家庭饮水水窖包括水窖、窑口和窑盖3个部分。水窖位于窑体下部,是主体部分,也是蓄水的位置所在,窑口和窑盖起稳定上部结构的作用,可防止来水冲刷,并连接提水设施。

沉淀池(坑)是水窖建设中的重要组成部分。在我国北方干旱半干旱地区,水窖以集蓄雨汛期降水为主,来水常挟带泥沙、杂物等,因此,修建沉淀池是必不可缺的^[2]。设沉淀池规格为1m×1m×1m,池墙、池底均为0.4m厚的浆砌石。

水窖和沉淀池土石方开挖总量为49.82m³,使用浆砌石21.86m³,用工35个劳动日,混凝土3t,石

子 3 m^3 , 沙子 4 m^3 , 顶板(采用建筑空心板)6块。按照当地条件和价格,建设 25 m^3 庭院水窖总投资需 2492 元。这样的建设投资,一般家庭可以承受,可解决 4 口之家的生活用水问题。当现有屋面为瓦屋面时,可尽量加以利用。该区目前新建屋顶和院落均为水泥表面,房屋院落大部分为长方形(规格为 $15\text{ m} \times 20\text{ m}$),庭院集水面积以 300 m^2 计。

3 水窖可集水量计算

雨水集流系统是雨水资源开发利用的基础。该系统通过人工措施,将产生于集水面的径流进行拦截、蓄积、净化和利用,进而提高自然降水的利用效率。混凝土集水面的表面光滑且硬度大,有利于降雨径流的产生。根据试验资料³¹,混凝土集水面在干燥条件下的临界产流雨量为 1.48 mm ,该雨量主要为集水面上的入渗和蒸发过程中的蒸发所消耗。次降雨和产流量呈直线相关关系,相关系数为 0.96。产流后集水面的效率为 0.80。该区以月为时间单位进行计算,产流系数按 0.8 计算,集水量的其他损失按其 5% 估算。每年 12 月和次年 1 月、2 月,主要以降雪为主,没有集水,所以冬季 3 个月不计算集水量。沙河市平水年($P = 50\%$)农村庭院可集水量计算公式为

$$H_i = KP_iM - S_i$$

式中: H_i 为 i 月农村庭院面集水量, m^3 ; K 为水泥表面的产水系数,取 $K = 0.80$; M 为农村庭院的集水面积,该区以 300 m^2 计; P_i 为 i 月 $P = 50\%$ 时段降水量, mm ; S_i 为 i 月水量损失, m^3 。沙河市平水年($P = 50\%$)农村庭院可集水量计算结果如表 3 所示。

表 3 沙河市平水年($P = 50\%$)农村庭院可集水量计算结果

月份	P_i/mm	KP_iM/m^3	S_i/m^3	H_i/m^3
6	53.5	12.84	0.64	12.20
7	154.1	36.98	1.85	35.13
8	162.6	39.02	1.95	37.07
9	45.6	10.94	0.55	10.40
10	26.9	6.46	0.32	6.13
11	12.8	3.07	0.15	2.92
12	3.1	0	0	0
1	2.8	0	0	0
2	6.0	0	0	0
3	11.0	2.64	0.13	2.51
4	21.8	5.23	0.26	4.97
5	30.8	7.39	0.37	7.02

4 供水水量平衡调节计算

从理论上讲,根据水量平衡原理,通过一定的工程和技术措施,可实现家庭生活用水供需平衡。实际上,天然降水存在时间上的不均匀性和时段上的

不确定性,故某一用水时段水量供需并不平衡。因此,需通过一定的工程调节,即利用水窖蓄水对可供水量进行调节,才能实现全年供水的目的。

蓄水工程总容积,根据年供水量和年生活用水量,通过调节计算确定。蓄水工程的容积应能够满足在年调节的过程中,保证设计供水模式下生活用水的要求。调节计算过程以月为调节计算单元。从水量调节计算过程可以看出,按照该区平水年多年平均降水量 531.0 mm 计算,根据当地生活习性,应以 300 m^2 的庭院面积(包括房屋和院落面积)作为选定蓄水设施容积的依据。

为保证全年生活不缺水,选择某一时段作为水量供需平衡点进行水量调节计算。水量供需平衡点的时段一般为丰水期开始的时段,本区选择 6 月作为水量供需平衡点的时段。供水水量调节计算公式为

$$W_i = W_{i-1} + H_i - X_i - Q_i$$

式中: W_i 为 i 月水窖蓄存水量, m^3 ; W_{i-1} 为 $(i-1)$ 月水窖蓄存水量, m^3 ; H_i 为 i 月农村庭院面集水量, m^3 ; X_i 为 i 月生活需水量, m^3 ; Q_i 为 i 月弃水量(当实际产水量和上月水窖存水量之和大于 25 m^3 时,才发生弃水), m^3 。沙河市庭院水窖集水、用水水量平衡计算结果如表 4 所示。

表 4 沙河市庭院水窖集水、用水水量平衡计算结果

月份	H_i	X_i	W_i	Q_i
6	12.20	4.80	7.40	0
7	35.13	4.96	25.00	12.57
8	37.07	4.96	25.00	32.11
9	10.40	4.80	25.00	5.60
10	6.13	4.96	25.00	1.17
11	2.92	4.80	23.12	0
12	0	4.96	18.16	0
1	0	4.96	13.20	0
2	0	4.64	8.56	0
3	2.51	4.96	6.11	0
4	4.97	4.80	6.28	0
5	7.02	4.96	8.34	0

从表 4 可以看出,按照平水年平均降水量计算,由于该区降水时空分布不均匀,7~10 月会发生弃水,弃水量为 51.45 m^3 ;蓄存水量最小值出现在 3 月,为 6.11 m^3 ,不会影响生活用水。因此,庭院集水水窖能够满足以年为周期的家庭生活用水需要。

5 水窖水质保护措施

雨水净化主要去除水中泥沙、悬浮杂物以及大肠杆菌、细菌类指标。根据山区雨水特点,在集水的开始阶段,通过设在蓄水池进口的格栅式沉淀池,对

雨水中粗粒泥沙、杂物等,进行雨水进入蓄水池之前的简单处理。

庭院集水水窖,以屋顶、庭院集水面收集雨水,收集雨水受到环境条件的影响。2005 年对没有处理的水窖水质进行了抽样调查,结果如表 5 所示。

从表 5 可知,调查监测的 6 个饮水水窖的毒理性指标基本没有超过 GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》^[4]。监测结果表明:水窖存水长期放置,对水质会产生一定的影响,影响的项目主要有颜色、肉眼可见物和细菌超标等;水窖存水长期放置还会衍生植物类和细菌类的生物等^[5]。在未实施消毒的情况下,细菌总数在 181~231 个/mL 之间,总大肠菌群在 1~5 个/L 之间,且不同程度地含有肉眼可见物。因此,应采取相应的消毒措施,保证饮水质量。

5.1 消毒剂消毒

二氧化氯对细菌、病毒及真菌孢子具有很强的杀灭能力,对细胞壁有较好的吸附性和透过性,可有效地氧化细胞内含巯基的酶,与半胱氨酸、色氨酸和游离脂肪酸发生反应,快速控制生物蛋白质的合成,使膜的渗透性增大,能改变病毒衣壳蛋白,导致病毒灭活。

但是,二氧化氯的气体非常活跃和不稳定,溶液易挥发,一般不便制成压缩气体或浓缩溶液,这就大大降低了二氧化氯的使用性能。目前已研制出了稳定性二氧化氯溶液和二氧化氯固体制剂 2 大类消毒剂产品。

稳定性二氧化氯溶液是一种液体制剂,其中水分占了很大比例,二氧化氯含量较低,必须投加一定量的酸性活化剂后才能使用,这给使用带来诸多不便。相对于稳定性二氧化氯溶液,二氧化氯固体制剂除具有操作简单、ClO₂ 含量高、性质稳定、运输及使用方便等优点外,有时还具有一些特殊功能。水窖水源分布于各家各户,水量小,它的消毒只能因地制宜,所以应选用合适的固体消毒剂进行消毒。

5.2 熟石灰消毒

熟石灰是一种价廉、有效的消毒剂、杀虫剂、净水剂和硬水软化剂^[6]。熟石灰不仅消毒效果好、无污染、无特殊气味,而且使用方便,在山区水窖消毒方面发挥了重要作用。生石灰本是常用的建筑材料,主要成分为氧化钙,但由于其水溶液呈强碱性,具有消毒、改良水质的功效,并且价格便宜,所以成为饮水保护最常用的消毒药物。生石灰加水后反应生成熟石灰,并放出大量的热。

当水中加入熟石灰后,水体中 OH⁻ 离子增加,就会与水中 H⁺ 离子生成水。HCO₃⁻ 和 H₂CO₃ 提供 H⁺ 离子,H⁺ 离子与 OH⁻ 生成水,增加的 CO₃²⁻ 与 Ca²⁺ 发生反应,生成 CaCO₃ 沉淀,水中的 pH 值就会发生变化。熟石灰离解出氢氧根离子后才有杀菌作用。当反应进行到一定程度,即水体中的 OH⁻ 离子浓度达到一定的值时,可以起到消毒作用。

表 5 沙河市抽样水窖水质监测结果

水窖名称	色度/度	浑浊度/度	嗅和味	肉眼可见物	pH	总硬度/ (mg·L ⁻¹)	c(Fe ²⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(Mn ²⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(Cu ²⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(FN)/ (mg·L ⁻¹)	c(SO ₄ ²⁻)/ (mg·L ⁻¹)
刘石岗	10	2	有	有	8.0	190	0.10	0.02	—	—	31.0
孟石岗	10	3	有	有	7.9	129	—	—	—	—	166.0
御路村	35	15	有	有	8.0	132	—	—	—	—	27.5
西北街	12	3	无	有	7.7	190	0.07	—	—	—	65.2
高庄	10	3	无	有	8.0	122	—	—	—	—	35.6
西九家	8	2	无	有	7.7	141	0.09	—	—	—	35.2

水窖名称	c(氯化物)/ (mg·L ⁻¹)	c(溶解性总固体)/ (mg·L ⁻¹)	c(氟化物)/ (mg·L ⁻¹)	c(氰化物)/ (mg·L ⁻¹)	c(As ³⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(Cr ⁶⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(Pb ²⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(NO ₃ -N)/ (mg·L ⁻¹)	细菌总数/ (个·mL ⁻¹)	总大肠菌群/ (个·L ⁻¹)
刘石岗	17.7	520	0.21	—	—	—	—	0.41	181	1
孟石岗	11.6	666	0.25	—	—	—	—	6.30	216	5
御路村	8.8	220	0.43	—	—	—	—	3.20	231	4
西北街	12.5	434	0.20	—	—	—	—	11.10	183	1
高庄	6.5	196	0.14	—	—	—	—	1.07	202	2
西九家	13.5	464	0.52	—	—	—	—	9.34	193	1

注:—表示未检出。

表 6 饮用水标准^[4]

项目	色度/度	浑浊度/度	嗅和味	肉眼可见物	pH	总硬度/ (mg·L ⁻¹)	c(Fe ²⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(Mn ²⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(Cu ²⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(FN)/ (mg·L ⁻¹)	c(SO ₄ ²⁻)/ (mg·L ⁻¹)
标准	≤15	≤3	不得含有	不得含有	6.5~8.5	≤450	≤0.3	≤0.1	≤1.0	≤0.002	≤250

项目	c(氯化物)/ (mg·L ⁻¹)	c(溶解性总固体)/ (mg·L ⁻¹)	c(氟化物)/ (mg·L ⁻¹)	c(氰化物)/ (mg·L ⁻¹)	c(As ³⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(Cr ⁶⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(Pb ²⁺)/ (mg·L ⁻¹)	c(NO ₃ -N)/ (mg·L ⁻¹)	细菌总数/ (个·mL ⁻¹)	总大肠菌群/ (个·L ⁻¹)
标准	≤250	≤1000	≤1.0	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤20	≤100	≤3

(下转第 93 页)

能受到危害的毗邻或者相关地区的人民政府通报。通过建立科学的水质监测手段,如生物水质监测^[7],及时、准确地掌握水情、污情,并将信息向社会公布。

3.2.3 建立突发事件中饮用水安全保障机制

安全供水是突发性水污染事件发生后最为敏感和紧迫的问题^[8]。在可能影响到饮用水的安全供应的情况下,供水部门应当采取紧急措施,保障饮用水的供应。此外,供水部门应当建立备用水源,在突发事件影响到饮用水正常供应的情况下启用备用水源。在事发地不能提供有效饮用水供应保障的前提下,供水部门应当从外地进行暂时性调水,或者由政府其他部门暂时将部分人口转移。

3.2.4 建立突发事件后饮用水恢复供应机制

突发事件发生以后,应当规定政府各部门之间相互配合,采取各种有效措施,以恢复突发事件地的饮用水供应。这些方面的措施包括对环保部门、卫生部门恢复饮用水水质的措施、建设部门恢复饮用水供水系统的措施等。

4 结 语

作为保障人民生命安全的饮用水应急保障机制,在我国现阶段的法律建设中还存在很多的不足,这种不足对于现实中处理突发事件影响下的饮用水保障是不利的。在当今社会中,法律的制约权力、保障权利的功能越来越得到突显,从法律上对突发事件中的饮用水应急保障机制作出规定,对于明确政

(上接第 64 页)

5.3 其他消毒方法

可通过加明矾(硫酸铝)、草木灰(碳酸钾)、漂白粉等方法进行消毒处理。可根据具体情况采用不同的消毒方法。饮用水煮沸可以消毒灭菌,因此将饮用水煮沸是改善水质、确保健康最简单易行的方法。

6 结 论

a. 农村饮水安全是当前农民最关心、最直接、最现实的问题。沙河市“千家水窖工程”,是确保沙河市干旱区农村喝上放心水的一项长效的农村饮水安全工程。

b. 笔者根据当地降水特性及生活水平进行供水水量平衡调节计算和可集水量计算,并将计算结果作为农村庭院水窖设计的依据。

c. 笔者依据 GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》^[4]对典型水窖水质进行了评价,并提出了水质净化的水质保护措施。

府相关部门的职责,保障人民群众饮用水的安全有着十分重要的现实意义。笔者认为突发事件下,饮用水应急保障机制不仅应当关注水污染,还应关注由于突发事件引起的饮用水枯竭与供水系统破坏。不仅应当关注城市,也应当关注农村,建立城乡统筹的饮用水应急保障机制。

参考文献:

- [1] 乌尔里希·贝克. 风险社会[M]. 何博文,译. 南京:译林出版社,2004:27.
- [2] 陈群祥. 我国突发事件应急法制建设问题初探[J]. 江东论坛,2008(3):27-32.
- [3] 石秋池. 从美国“9·11”之后为保护饮用水水源地所做的工作看我国饮用水水源地应急保护中的问题[J]. 水资源保护,2003(5):50-52.
- [4] 张卫. 社会风险发展趋势与我国突发事件应急机制建设[J]. 中南民族大学学报:人文社会科学版,2008,28(6):111-115.
- [5] 吴小刚,尹定轩,宋洁人,等. 我国突发性水资源污染事故应急机制的若干问题评述[J]. 水资源保护,2006,22(2):76-79.
- [6] 蓝楠. 国外饮用水源保护法律制度对我国的启示[J]. 环保科技,2008(3):1-9.
- [7] 张士乔,吴小刚,应向华. 生物监测体系建设的若干问题探讨[J]. 水资源保护,2004,20(1):25-27.
- [8] 崔伟中,刘晨. 松花江和沱江等重大水污染事件的反思[J]. 水资源保护,2006,22(1):1-4.

(收稿日期:2008-09-08 编辑:高渭文)

d. 农村庭院集水水窖投资小、见效快、效益好,一次投资,可以解决长期饮水问题,而且受外界污染影响小,集水水源质量有保障。农村庭院积蓄雨水利用模式,对山丘干旱区雨水利用饮水工程建设具有重要的指导作用和实践价值,是目前解决干旱山区农村饮水的有效途径。

参考文献:

- [1] 张钧玲,乔光建. 山丘区塑料大棚集水节水栽培技术[J]. 水资源保护,2008,24(2):92-94.
- [2] 张祖新,薛勤. 雨水集蓄工程技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2000.
- [3] 高前兆,李小雁,烜瑞平. 干旱区供水集水保水技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [4] GB5749—2006 生活饮用水标准[S].
- [5] 郭芳,姜光辉. 西南岩溶石山地区水窖水质状况及保护措施[J]. 水资源保护,2005,21(1):18-20.
- [6] 崔毅. 农业节水灌溉技术及应用实例[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

(收稿日期:2008-06-11 编辑:陈吉平)