

天然河床渗滤水水质特征及净化机理研究

李 晓^{1,2}, 杨立中¹, 魏 民³

1. 西南交通大学环境科学与工程学院, 四川 成都 610031;
2. 成都理工大学环境工程系, 四川 成都 610059;
3. 重庆渗滤取水工程有限公司, 重庆 400044

【摘要】 渗滤取水净水机理主要是利用砂砾石层表面的泥膜及砂砾石层本身过滤作用、吸附作用, 微生物的降解作用达到去除水中的悬浮物质、降低水的浊度、除菌的效果。通过分析重庆江津白沙渗滤取水工程中渗透水水质表明, 河水经过天然河床渗滤处理, 其中的悬浮物质几乎可以被完全去除, 并有较好的除菌效果。渗透水中 NO_3^- , COD, BOD, TOC 去除率达 75% 以上。渗透水常量化学组分 Na^+ , Cl^- 浓度明显降低, Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- 有少量增加。渗滤水的水质得到大幅提高, 不仅达到国家饮用水标准, 而且由于水岩相互作用, 使渗滤水矿化度也有所增加, 产生一定矿化作用。

【关键词】 渗透水; 渗滤取水工程; 渗滤; 砂砾石层

中图分类号: X522 文献标识码: A

文章编号: 1001-6872(2004)04-0111-04

利用天然河床砂砾石层及表层的泥膜(或生物膜)作为滤床净化河水直接获得清洁的水资源, 是近年来发展起来的集取河床渗透水的新技术。它是在传统水傍河取水工艺(辐射井、渗渠、岸边大口井)的基础上发展、演化形成的, 其主要特点是利用一定规模天然砂体作净化层并利用河水的冲刷作用清除滤床表层的淤积物^[1], 因而不需人为更新滤床。渗滤取水的净化原理与辐射井、渗渠、岸边大口井的净化原理有相似之处, 但目前有关这方面的净化作用和水质变化特征研究较少。因此, 加强对渗滤取水净化机理和水质变化特征的研究, 对完善天然河床渗滤取水技术具有意义。重庆江津白沙渗滤取水工程就是一例, 根据对重庆江津白沙渗滤取水工程渗透水的水质分析, 着重探讨河水在转化为渗透水的水质变化, 分析净化机理, 为进一步完善天然河床渗滤取水

技术提供参考。

1 天然河床渗滤净水机理

1.1 渗滤取水工艺及原理

天然河床渗滤取水是在江河底部基岩中设置江底输水水平巷, 通过渗流孔和基岩裂隙系统, 从河床底部集取河床渗透水。取水工程由竖井、输水水平巷和渗流孔群几个部分组成(图 1), 重庆江津白沙自来水厂渗滤取水工程位于重庆市江津白沙镇长江南岸, 输水水平巷垂直伸入江心, 长 300 m, 设置渗流取水孔 110 个, 控制取水面积 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 工程设计取水量 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。工程区砂砾石层分布面积较大, 砂砾石层厚 4 m~5 m。输水水平巷设置于河床砂砾石层与基岩分界面以下 10 m 的位置。

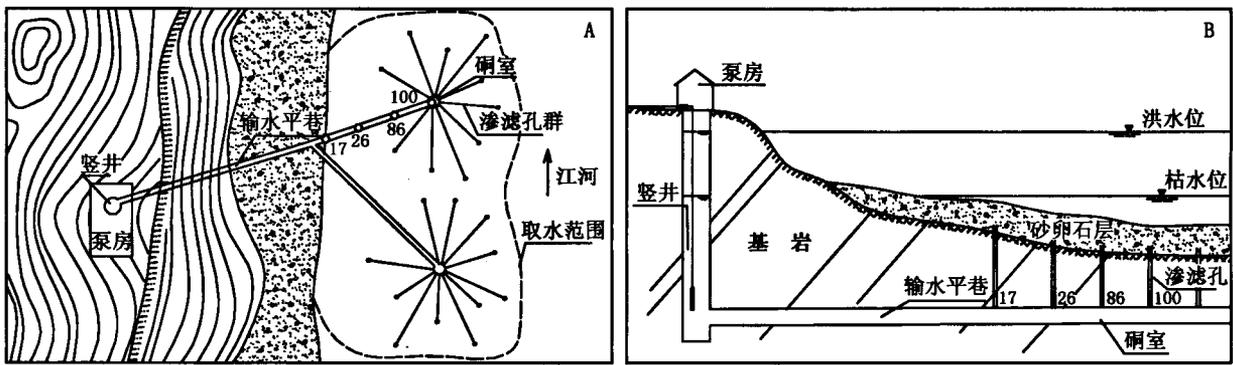


图1 重庆白沙天然河床渗滤取水工程示意图

A. 工程平面图; B. 工程剖面图

Fig. 1 Diagram of Baisha filter project in Chongqing

1.2 水质净化机理

渗滤取水的水质净化是河水慢速渗透,在穿过天然河床砂砾石层的过程中实现的,天然河床是长期地质作用过程中形成的,据对白沙河床砂砾石层的研究,4 m~5 m厚的砂砾石层通常发育有4个~7个沉积旋回,其表层视水深情况,发育有不同的生物膜或泥膜。因此,可以把天然河床砂砾石层作为一层过滤系统,其净水机理如图2所示。

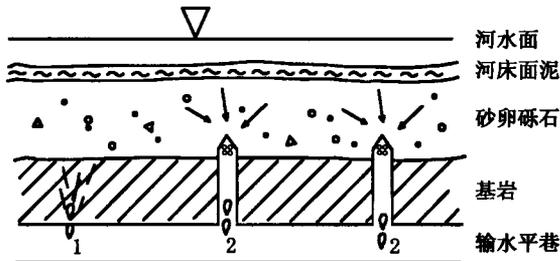


图2 河水经过天然河床渗滤示意图

1. 基岩渗透水; 2. 渗滤孔渗透水

Fig. 2 Diagram of river water converting into seepage water

河水在渗透过程中,发生一系列物理化学和生物化学作用,包括:机械筛滤、生物吸附降解、沉淀、扩散、传递及静电吸附等作用。实验表明,滤膜在水的渗透过程中截留水中大部分悬浮物^[2],滤膜中所吸附的有机质为微生物的生长和繁殖提供了良好的条件,因此在滤膜内生长繁殖着大量各种类型的微生物群体和微型动物,并形成了有机物→细菌→原生动物的食物链^[3]。在异养微生物和自养微生物的作用下,含碳有机物被氧化为水和二氧化碳,含氮有机物被氧化成氨,进而在亚硝酸菌作用下转化为亚硝酸盐,在硝酸菌作用下又转化为硝酸盐,这样,水中的有机物几乎被完全去除,细菌或者由于食物链的存在被捕食,或者被下层滤料截留,或者在滤层内死亡成为其他细菌的营养源。水在渗透过程中与岩石发生水岩相互作用对水质也产生改善作用^[4-6]。

2 水样的采集与分析

在白沙渗滤取水工程施工过程中,采集6组水样进行分析,其中包括河水1组,渗滤孔渗透水5组,水样采取位置见图1,所取样品在现场测定pH值、浊度、COD、BOD、TOC指标后,其余分析由四川省地勘局成都岩土水质检测中心进行,细菌总数由江津县卫生防疫站分析结果见表1,2。

3 讨论

3.1 渗滤水质变化特征

通过河水和渗透水水质对比(表1,表2),河水经过渗滤处理,渗透水的主要阴离子为 HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} ,主要阳离子为 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ,为 HCO_3^- -Ca型,pH 7.4~7.83,为中性水,矿化度低,变化在187.77 mg/L~204.65 mg/L范围内。与河水相比较,水质主要发生如下几方面变化:

(1)浊度、细菌含量的变化:工程区河水色度低(<5度),但混浊度高达950度。经过渗滤后,渗滤水的色度基本没有变化,而混浊度却由950度大大降低至1度~2度,表明高浊度的河水在经过天然河床砂砾石层渗滤后,浊度明显降低,水质明显提高。

河水细菌总数为2300个/ml,渗透水细菌总数小于3个/ml(表2)。表明含细菌较多的河水经过砂砾石层后,细菌被基本被全部去除。细菌总数均符合国家饮用水标准。

(2)化学常量组分的变化(表1):①渗滤孔渗透水相对于工程区江段河水,主要阴阳离子发生了较为明显的变化,表现为渗透水中 Ca^{2+} , Mg^{2+} ,

HCO₃⁻ 离子含量较河水有所增加,而 Na⁺, Cl⁻ 有所减少;
② Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ 离子的变化幅度较小,在 5%~20% 范围内,而 Na⁺, Cl⁻ 等的变幅很大,达 20%~40%。

这些变化表明渗滤过程中发生了水与岩石相互作用,导致水的性质发生了一系列物理化学变化。

Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ 增加是由水与岩石在渗滤过程溶解作用所致,由于其溶解度极低,因而变化幅度较小。而 Na⁺, Cl⁻ 为活性强的元素,在渗滤过程中主要发生离子交换作用和吸附作用,因而变化幅度大。

表 2 江津白沙渗滤取水工程水样微量组分 .ρ(B)/(mg·L⁻¹)

取样位置	工程区河边	100 号渗流孔	GB5749-85	
水点性质	河水	渗滤水		
取样时间	2001.8.19	2001.8.19		
分析项目	Zn	0.001	0.0016	1.0
	Cu	0.002	0.003	1.0
	As	<0.01	<0.01	0.05
	Hg	<0.0002	<0.0002	0.001
	Cd	<0.0001	<0.0001	0.01
	Cr	<0.002	<0.002	0.05
	Pb	<0.004	<0.004	0.05
	Mn	<0.02	<0.02	0.1
	Se	<0.005	<0.005	0.01
	氰类化合物	<0.01	<0.01	0.05
酚类化合物	<0.002	<0.002	0.002	
阴离子合成洗涤剂	<0.005	<0.005	0.3	

注:测试单位同表 1

此外,渗滤水中 CO₂ 的浓度 6.80 mg/L~8.66 mg/L 较河水(4.3 mg/L)有明显的增加(表 1),这是河水中含碳有机物在微生物的作用下被氧化为水和二氧化碳的结果,表明微生物在河水有机物的净化中起重要的作用。

(3)微量组分的变化:河水中 F 的含量为 0.65 mg/L,经过渗滤降低为 0.25 mg/L,降低幅度达 60%,表明渗滤对 F 也有较好的去除效果。研究中还分析了水的其它微量组份,包括:Fe, AL, F, Cr, Cu, Pb, Hg, Cd 等(表 2),分析结果显示江津白沙段江水中重金属、氰类化合物、酚类化合物、阴离子合成洗涤剂含量低于国家饮用水水质标准,河水经过天然河床砂砾石层作用,上述指标保持稳定,含量仍

表 1 江津白沙渗滤取水工程水质常量组分 .ρ(B)/(mg·L⁻¹)

Table 1 Chemical component of seepage water in Baisha

水点性质	1	2	3	4	5	6	
取样位置	工程区河边	100 号渗流孔	100 号渗流孔	86 号渗流孔	26 号渗流孔	17 号渗流孔	
取样时间	2001-8-19	2001-8-19	2001-10-31	2001-10-31	2001-10-31	2001-10-31	
分析项目	ρ(K ⁺)	2.3	2.1	2.08	1.7	1.96	3.66
	ρ(Na ⁺)	18.9	6.7	9.82	8.8	9.26	14.19
	ρ(Ca ²⁺)	42.08	44.09	42.78	43.67	43.71	55.90
	ρ(Mg ²⁺)	7.30	9.12	8.63	8.68	9.24	10.48
	ρ(Cl ⁻)	28.37	15.25	14.97	14.55	14.02	14.02
	ρ(SO ₄ ²⁻)	38.64	30.72	39.48	33.05	34.11	43.85
	ρ(HCO ₃ ⁻)	122.0	140.3	138.22	139.74	142.65	167.46
	ρ(NH ₄ ⁺)	<0.02	<0.02	<0.06	<0.07	0.06	0.04
	ρ(总铁)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.06	0.06	0.06
	ρ(H ₂ SiO ₃)	6.32	6.76	5.72	6.67	5.72	6.24
	ρ(游离 CO ₂)	4.33	8.66	6.80	7.65	6.37	6.80
	ρ(F)	0.64	0.12	0.27	0.25	0.26	0.26
	TDS/(mg·L ⁻¹)	199.95	204.65	199.34	187.77	190.02	178.52
	混浊度/度	950	1	1	1	1	2
	ρ(NO ₃ ⁻)	9.86	0.36	0.35	0.3	0.3	0.3
	COD/(mg·L ⁻¹)	7.0	1.6	1.5	1.2	1.5	1.6
	BOD/(mg·L ⁻¹)	3.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	TOC/(mg·L ⁻¹)	4.0	<1	<1	<1	<1	<1
	细菌总数/(个/mL)	21300	<3	<3	<3	<3	<3
	pH	7.4	7.7	7.83	7.68	7.63	7.64
水型	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Ca	

注:测试单位:四川省地勘局成都岩土水质检测中心

低与国家饮用水标准。

(4)渗透水的 NO₃⁻, COD, BOD, TOC:2001 年 8 月 19 日,在现场对河水、渗流孔渗透水的 NO₃⁻, COD, BOD 进行测量分析,结果显示河水含 NO₃⁻, COD, BOD, TOC 值较高,表明工程区河水受到一定程度的污染(表 1)。这些受污染的河水在经过天然河床砂砾石层净化后,NO₃⁻ 从 9.86 mg/L 降低至 0.72 mg/L 去除率达 92%;COD 从 7.0 mg/L 降低至 1.60 mg/L,去除率为 71%;BOD 从 3.1 mg/L 降至 0.5 mg/L,去除率为 78%;TOC 从 4 降至 1,去除率为 75%。

由上述分析结果可见,利用天然河床对河水净化,其渗滤水的水质得到大幅提高,不仅达到国家饮用水标准,同时由于水岩相互作用,使渗滤水矿化度也有所增加,产生一定矿化作用。

3.2 渗滤水化学组分随时间和在空间变化

(1)渗滤水水质随时间的变化:为研究在取水过程中渗滤水质随时间发生的变化,本次在施工过程中对 100 号渗流孔水质进行了两次测量,结果见表 1。对比 100 号渗流孔 8 月 19 日和 10 月 31 日的水质分析结果,水化学组成有以下特征:

1)渗透水的浊度、细菌含量变化不大。水中的 NO₃⁻, COD, BOD, TOC 变化也不大,表明渗滤净化对河水中的主要污染物的去除作用随时间变化不大,去除效果稳定。

2)水的化学组分发生的变化有:① 8 月 31 日渗滤水中 Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ 离子含量较 10 月 19 日减少,但仍高于江水;② Na⁺ 含量增加。8 月 19 日渗滤水中的 Na⁺ 含量 6.7 mg/L,10 月 31 日增加至

9.82 mg/L。③ 游离 CO₂ 的浓度减少,8月19日渗滤水中的 CO₂ 的浓度 8.66 mg/L,10月31日降至 6.80 mg/L。④ 渗透水中 F 的浓度由 0.12 mg/L 增加到 0.27 mg/L。根据河水水质长期观测资料,在 8月19日和 10月31日之间河水的化学组成变化不大。渗透水质随时间变化的这些特征反映河水在渗透过程中水岩相互作用、离子交换作用、生物作用随时间有逐渐减弱的趋势。虽然这些变化对渗透水的水质总体不会产生大的影响,但研究渗透过程中的水岩相互作用、离子交换作用、生物作用随时间是很有意义的,对渗透水质应进行长期观测研究。

(2) 渗透水质在空间上的变化:在输水平巷中选择不同位置的 4 个渗流孔,分别是 17#, 26#, 86#, 100#, 每孔相距 40 m,依次从岸边向河心延伸(图 1B)。水质分析结果(表 1)表明:渗流孔渗透水水化学类型相同、总体特征相似,浊度、细菌含量及 NO₃⁻, COD, BOD, TOC 相近,说明渗流孔的空间位置对水质影响不大。

4 结 论

4.1 渗滤取水净水机理主要是利用砂砾石层表面的泥膜及砂砾石层本身过滤作用、吸附作用,微生物

的降解作用达到去除水中的悬浮物质、降低水的浊度、除菌的效果。重庆江津白沙渗滤净化结果表明,高浊度河水经过渗滤净化,浊度和细菌数显著降低,水中的氮化物、有机碳、COD、BOD 去除率 75% 以上。天然河床渗滤取水是适合于象长江这类微污染、高浊度水直接净化的一种可行的技术,净化后的水质可以达到国家饮用水标准。

4.2 透水的水化学常量组分中主要阴阳离子含量发生较为明显的变化。水化学常量组分发生的变化,是河水下渗转化为渗透水的过程中发生水岩相互作用的结果,水岩相互作用有利于水质的改善。渗透水中微量组分没有明显的变化,其原因是河水本身微量元素含量低于本次分析的检测限。

4.3 渗透水质随时间变化的这些特征揭示河水在渗透过程中水岩相互作用、离子交换作用、生物作用随时间有逐渐减弱的趋势。

4.4 在输水平巷不同位置渗流孔渗透水质总体相近,变化不大。

由于渗透水的水质是受很多因素的影响的,如生物泥膜的发育情况、砂卵砾石层组成、厚度及渗透性、河水的动态特征以及取水量等,特别是研究中发现水质随时间的变化可能反映滤床中净化能力的变化,这些问题值得进一步深入研究。

参考文献

- [1] 陈台智. 开拓供水新领域·施工天然滤床渗流井取水工程[J]. 探矿工程, 1995, (1): 11-13.
- [2] 李晓. 渗流井滤膜的初步实验研究[J]. 地质灾害防治与环境保护, 1997, (8): 25-28.
- [3] 王永胜, 等. 慢滤水处理技术[J]. 中国农村水利水电, 2000, (1): 57-59.
- [4] 李晓, 等. 重庆白沙渗流井渗透水水质研究[J]. 西南交通大学学报, 2002, 37(6): 610-614.
- [5] Ponce V M, Pandey R P, Kumar S. Groundwater recharge by channel infiltration in El Barbon basin[J]. Journal of hydrology, 214(1999) 1-7.
- [6] Herman Bouuer. Artificial recharge of groundwater[J]. Hydrogeology Journal, (2002)10: 121-142.

RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS AND PURIFICATION MECHANISM OF SEEPAGE WATER

LI Xiao^{1,2}, YANG Li-Zhong¹, WEI Ming³

1. Environment Science and Engineering College of Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;
2. Depament of Environment Engineering of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;
3. Chongqing seepage water Co., Ltd. Chengdu 400044, China

Abstract: River water of slight pollution and high turbidity was converted into seepage water by filter through which the suspended substance was removed, turbidity was depressed and bacteria reduced. After the treatment, the NO₃⁻, COD, BOD, TOC of water is removed dramatically along with the decrease of Na⁺, Cl⁻ and increase of Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ in seepage water. As a result, the water quality met the nation's standard.

Key words: seepage water; filter project; sandy gravel; filtration

ISSN 1001-6872(2004)04-0111-04; CODEN: KUYAE2

Synopsis of the first author: Li xiao, male, 41 years old, an associate professor of municipal engineering. Now he is engaged in the research of water processing.