

开封市污水灌溉费用效益分析

李立峰¹, 吴昊²

(1. 华北水利水电大学, 郑州 450045; 2. 河南省水利勘测设计研究有限公司, 郑州 450016)

摘要: 利用开封市用水资料, 计算了开封市区农业灌溉、市政用水、工业用水可利用的回用水量。由于污水的农业回用涉及到许多环境问题, 因此根据开封市具体实例分析了污水的农业回用对灌区土壤中 As、Pb 含量、小麦品质、地下水水质和居民健康的影响。同时, 运用费用效益基本理论, 选择了市场价法、影子工程法和人力资本法对灌溉带来的直接效益和间接效益进行了计算, 并折算为单方水的效益。最后对比单方水灌溉费用, 得到污水灌溉的单方水净效益, 以此分析了开封市污水农业回用的费用效益。

关键词: 开封市; 污水灌溉; 费用效益; 市场价法; 影子工程法; 人力资本法

中图分类号: TV213.9; X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0157-04

Analysis of Cost Benefit of Sewage Irrigation in Kaifeng

LI Lirong¹, WU Hao²

(1. North China University of Water Resources and Electric Power, Zheng Zhou 450045, China;

2. HeNan Water & Power Engineering Consulting Co., Ltd, ZhengZhou 450016, China)

Abstract: According to the municipal water utilization data in Kaifeng, the amount of reused sewage from agricultural irrigation, municipal, and industrial water consumption were calculated. Because the sewage reuse in agricultural irrigation involves many environmental problems, this paper analyzes the impacts of sewage irrigation on the As and Pb contents in soil, wheat quality, quality of groundwater, and health of the residents in the irrigation district. In addition, based on the basic cost effectiveness theory, the market value method, shadow engineering method, and human capital method were selected to calculate the direct and indirect benefits resulting from irrigation. These benefits were converted to the benefit of one cubic meter of water. Finally, the net benefit of sewage irrigation was obtained by comparing the irrigation cost and benefit of one cubic meter of water, which offered the insights for the cost benefit of sewage reuse in agricultural irrigation in Kaifeng.

Key words: Kaifeng; sewage irrigation; cost benefit; market value method; shadow engineering method; human capital method

1 开封市污水排放及处理现状

1.1 开封市污水排放量及水质状况

2001年开封市废污水排放量为1.12亿t, 达标排放率为37.1%^[1]。根据国家《地面水环境质量标准》^[2](氨氮以<地表水资源质量标准>^[3]), 除黄河水质符合Ⅰ类标准外, 其他4条河流均为Ⅱ类或超Ⅱ类, 已失去供水功能。几条主要河流两岸的地下水污染严重, 但个别地方还将其作为饮用水使用, 从而成为多种疾病与绝症高发区^[4]。

1.2 开封市污水处理现状

开封市现有城市污水处理厂两座, 每日可处理污水28万m³, 但未得到有效利用。近几年开封市工业用水量都超

过1亿m³, 主要企业都设有污水处理设施, 实际处理量为12088t/d, 此外开封所有医院的污水实际处理量为1240t/d。开封市两座污水处理厂可为污水回用提供充足稳定的水源。从表1中可看出, 污水的大量回用可大大减少污水处理厂污水排放量以及污染物质的排放量。

2 开封市城市污水回用量计算

(1) 农业用水的污水回用潜力。为安全起见, 回用水灌溉范围为开封市郊区及惠济河干支流沿岸2km宽度。开封市郊可发展回用水灌溉面积0.4万hm², 年灌溉需水量为2730万m³。另开封县、杞县沿惠济河污水灌溉农田都可改用回用水。

收稿日期: 2012-11-16 修回日期: 2013-07-16 网络出版时间: 2013-07-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1310.013.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50849047); 河南省科技攻关重点项目(000291)

作者简介: 李立峰(1979-), 男, 河南林州人, 讲师, 硕士, 主要从事水资源、农业水利方面研究。E-mail: 89937547@qq.com

表 1 开封市污水处理厂污水处理能力和回用量规划

Table 1 Plan of sewage treatment capability and wastewater reuse in the sewage treatment plant of Kaifeng

t/a

水平年	污水处理厂名称	设计处理能力	污水回用	污水排放量	COD 排放量	氨氮排放量
现状	西区污水处理厂	8 万	-	2 920 万	2 336	-
	西区污水处理厂	8 万	-	2 920 万	2 336	-
2010 年	东区污水处理厂	一级处理 20 万 二级处理 15 万	2 920 万	2 555 万	2 044	638.75
	西区污水处理厂	8 万		2 920 万	2 336	-
2020 年	东区污水处理厂	一级处理 20 万 二级处理 15 万	2 920 万	2 555 万	2 044	638.75
	西区污水处理厂	15 万	3 650 万	1 825 万	1 460	456.25
2030 年	东区污水处理厂	20 万	5 475 万	1 825 万	1 460	456.25

(2) 市政用水的污水回用潜力。a. 绿化用水, 使用单位绿化面积指标法预测绿化用水量, 根据《城市给水工程规划规范》^[5], 修正后取开封市的绿地用水定额为 1.5 L/(m²·d), 预计年绿地浇洒用水量为 318.2 万 m³, 这部分绿化用水可由回用水替代。b. 冲刷道路用水, 开封市道路面积为 486.5 万 m², 冲刷道路需水量为 0.63 万 m³/d, 每年以 7 个月计, 每年用水量约 132.3 万 m³。

(3) 工业用水的污水回用潜力, 适合使用回用水的行业有: 黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、金属制品业、普通机械制造业、专用机械制造业、电力、蒸气、热水的生产和供应业(表 2), 这些行业的总需水量为 2 369 万 m³。

(4) 污水回用总量。这里仅考虑了最容易实现的污水回用方式, 即农业回用、浇洒绿地、冲刷道路和部分工业回用^[6], 可利用回用水总量 3 666 万 m³。

表 2 2000 年开封市区各行业用水情况调查

Table 2 Water consumption of each type of industry in Kaifeng in 2000

行业	万 m ³		
	取水量	重复用水量	耗水量
纺织业	187.35	180.36	37.47
造纸及纸制品业	22.90	-	4.81
化学原料及化学制品制造业	1 247.89	5 756.77	311.97
医药制造业	142.06	327.34	35.52
黑色金属冶炼及压延加工业	0.55	-	0.11
有色金属冶炼及压延加工业	77.51	67.73	15.50
金属制品业	30.99	1.53	6.20
普通机械制造业	173.66	246.45	34.73
专用机械制造业	61.09	86.77	12.22
食品制造业	100.88	11.93	22.19
饮料制造业	57.19	131.76	12.58
电力	2 024.89	52 310	774.09
建筑业	140	-	126
第三产业 商业、饮食业、服务业等	776.27	-	-

3 污水灌溉对环境的影响

(1) 对污灌区土壤的影响。有研究表明^[7], 不低于灌溉水质标准的有机污染物进入农田, 在环境容量的容许范围之内, 不会造成农田污染。但是通过对开封郊区惠济河沿岸污水灌溉区土壤进行检测发现, 污灌区表层土壤中的 As 和 Pb 含量明显高于清水灌溉区。随着土层深度变大, As 和 Pb 的含量累积减少, 接近于清灌区的土壤, 见表 1、图 1 和图 2。

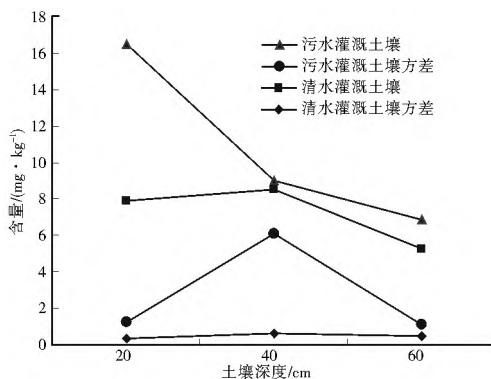


图 1 土壤中 As 含量

Fig. 1 Content of As in soil

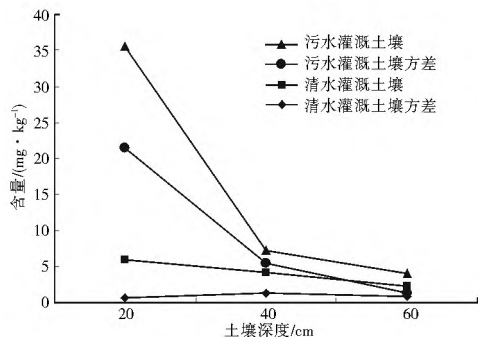


图 2 土壤中 Pb 含量

Fig. 2 Content of Pb in soil

(2) 污水灌溉对农作物的影响。惠济河太平岗污水灌溉试区清污对比实验见表 4。

(3) 污水灌溉对地下水的的影响。影响以有机污染物较多, 其中酚最常见。根据试验, 开封市地下水总共监测 21 个指标, 浅层地下水普遍受到污染, 深层地下水只有 3 项超标, 基本没有污染。

表3 惠济河各断面水质监测结果

Table 3 Water quality of each section of the Huji River

采样地点	项目名称							
	Ph	化学需氧量 /(mg·L ⁻¹)	生化需氧量 /(mg·L ⁻¹)	氨氮 /(mg·L ⁻¹)	砷 /(mg·L ⁻¹)	汞 /(mg·L ⁻¹)	铅 /(mg·L ⁻¹)	总磷 /(mg·L ⁻¹)
汪屯桥	7.73	304	93	31.8	0.021	0.000 03	0.015	-
开封县太平岗	7.25	611	154	61.3	0.11	0.000 03	0.015	1.43
开封县陈留	7.19	887	276	40.4	0.035	0.000 067	0.015	-
开封县仇楼	7.51	598	248	56.6	0.019	0.000 03	0.015	-
罗寨	7.49	2 070	434	46.9	0.053	0.000 03	0.015	-
马头桥	7.44	1 340	336	31.8	0.029	0.000 03	0.015	-
大王庙水文站	7.49	1 760	422	2.09	0.018	0.000 08	0.04	2.04

表4 开封太平岗污水灌溉试验区清污灌溉产量对比

Table 4 Comparison of yields between clean water and wastewater irrigation in Taipinggang sewage irrigation area of Kaifeng

灌水类别	平均千颗粒重/g	单产/(kg·hm ⁻²)
清水灌溉	34.88	5 865
污水灌溉	47.71	6 825

(4) 污水灌溉对居民健康的影响。污水灌溉对人体健康的影响主要通过3种途径进行^[8]: a. 食物链, 污水灌溉污染了农作物后, 长期食用含有较多有害物质的农作物, 对人体有较大危害, 有可能引起很多疾病。b. 浅层地下水源地污染, 据我国农业部进行的全国污灌区调查^[9], 许多污灌区的农村将地下水作为饮用水源, 因此因污灌不当造成浅层地下水的污染对人体健康有很大危害。c. 污染居住环境。污水灌溉对开封市居民健康影响调查见表5。

表5 污水灌溉对开封市居民健康影响的调查

Table 5 Health impacts of wastewater irrigation in Kaifeng

调查地区	患病率(%)	死亡率(%)
污灌区	30	2.6
清水灌区	20	0.5

表6 2000年开封市各种作物平均每公顷的产值和物质费用

Table 6 Average production value and expense of each type of crop in Kaifeng in 2000

作物类型	元/hm ²										
	小麦	玉米	水稻	大豆	棉花	花生	辣椒	菜花	红萝卜	大白菜	芹菜
产值	4 515	5 280	9 825	5 580	10 950	7 560	23 340	18 015	9 240	11 835	20 850
费用	2 299.2	1 271.9	2 294.7	555	2 252	1 782.5	2 587.7	1 539.2	2 475	2 145	2 283.5

(2) 减少地下水污染的效益。地下水污染造成的损失可采用影子工程法进行计算^[13]。开封市污灌区通常远离城市, 采取打新井的方法解决, 费用为2.33万元/a。灌溉用污水量为80×3 600=288 000 m³/a, 使用回用水可以避免地下水的污染, 避免地下水污染的损失作为回用水使用的效益G₁为0.081元/m³。

(3) 健康效益的计算。污灌造成的人体健康损失可用人力资本法进行计算。以开封县11个自然村作为典型区域进行调查并计算得出: 污灌区死亡率增加的损失为22 739元, 发病率增加的损失为231 894元, 污水灌溉所造成的健康损失为354 633元。该地区每年灌溉用污水量为702 000 m³, 采用回用水灌溉避免人体健康损失的社会效益等于污水灌溉造成的损失。则G₂=0.505元/m³

4 开封市污水农业回用费用效益分析

费用效益分析是建立在企业财务分析和开发项目的环境影响评价之间的桥梁^[10]。这里讨论直接的费用效益分析法, 重点在于对开发项目的环境影响的经济评估。主要方法有: 市场价值法、人力资本法、机会成本法、影子工程法^[11]。

用回用水取代原污水进行灌溉, 可以保证灌溉水质, 减少灌溉对人体健康的影响, 避免由于用污水灌溉造成的环境污染^[12]。将回用水灌溉的总效益分为直接经济效益和间接的环境效益、社会效益。直接效益是农业产出增加和成本减少的效益, 间接效益是避免了原污水灌溉污染的环境效益、社会效益。

(1) 灌溉带来的直接效益。假定使用回用水前后种植结构和种植技术以及市场条件都保持不变, 经过对主要作物种植成本和产值的测算(表6), 开封市土地的平均收益约为11 400元/hm²。回用水灌溉比清水灌溉有明显的增产作用, 通常可增产10%~20%。单方回用水灌溉带来的增产效益E₁为0.317元/m³。

(4) 应用发展阶段系数对部分效益进行调整。对于某些间接的效益, 用发展阶段系数L_d调整其数值将会更接近于事实。

$$L_d = 1/(1 + e^{-t}) \quad (1)$$

$$t = \frac{1}{E_n} - 3$$

E_n为恩格系数, 其计算方法为人均食品消费支出除以人均生活消费总支出^[14]。根据2000年的《河南统计年鉴》^[15], 开封地区的发展阶段系数:

$$L_d = 0.194 \times 0.407 + 0.806 \times 0.350 = 0.361$$

用替代法计算的间接效益, 若没考虑支付意愿, 需用发展阶段系数来调整。

(5) 单方回用水灌溉的效益。单方回用水灌溉的总效

益为:

$$B = E_1 + (G_1 + G_2) L_d = 0.317 + (0.081 + 0.505) \times 0.361 = 0.53 \text{ 元/m}^3$$

(6) 污水回用于农业的费用。回用水可以免费从污水处理厂获取,省去了水资源费。回用水在管理、运行、维护费用上与一般的引水灌区基本上没有什么区别。因此其用水成本可以根据灌区的灌溉成本进行估算,目前开封市引黄灌区的水价为 0.043 元/m³,其中水资源费为 0.008 6 元/m³。预计回用水灌溉的成本为 0.04 元/m³,远远低于回用水灌溉的效益。污水回用于农业的费用和效益见表 7。

表 7 开封市污水灌溉社会经济效益计算成果

Table 7 Results of socio economic benefits of wastewater irrigation in Kaifeng

		元/m ³
单方水灌溉的直接效益	E_1	0.317
单方水灌溉的间接效益	G_1	0.081
	G_2	0.505
调整后的总效益	B	0.53
单方水灌溉的费用	C	0.04
单方水净效益	$B-C$	0.49

5 结语

本文根据开封污水处理和污水回用现状,计算了农业、市政用水和工业用水可利用的回用水量,得出可以初步利用的回用水总量。污水的农业回用涉及到许多环境问题,这些问题的产生增加了费用效益分析的难度。由于无法直接对某些影响进行评价,因此采用人力资本法和影子工程法这类替代方法。评估环境价值对于数据的要求严格,并且数据的收集和获取难度较大,由于数据的限制,在计算中也采用了一些近似的算法。文中只考虑了主要因素的影响,忽略了部分次要因素。

处理后的污水不加以利用就排放是一种浪费。而在开封境内存在大量的使用未经处理的污水进行灌溉的农田,生产的农产品多销往城市,这将会给消费者造成健康隐患。政府须发挥作用促使环保、水利、农业管理等部门的相互配合,逐步改变现状,为此应优先发展污水回用于农业。目前,将一部分处理过的城市污水回用做灌灌区的灌溉用水是完全可行的,综合效益可观。

参考文献(References):

[1] 开封市水利局. 开封市水资源公报(2002) [R]. 开封: 开封市水利局, 2003. (Kaifeng Water Resources Bureau. Kaifeng City Water Resources Bulletin (2002) [R]. Kaifeng: Kaifeng Water Resources Bureau, 2003. (in Chinese))

[2] GB 3838-88, 地面水环境质量标准[S]. (GB3838-88, Environmental Quality Standards for Surface Water[S]. (in Chinese))

[3] SL 63-94, 地表水资源质量标准[S]. (SL63-94, Quality Standards for Surface Water Resources[S]. (in Chinese))

[4] 邹桂英. 淮河流域高癌区水体 NO₃-N 和 NO₂-N 时空变化及来源[D]. 开封: 河南大学, 2011. (ZOU Guiying. The Spatio Temporal Change and Source of Nitrate and Nitrite Nitrogen in Aquatic System from Hua' He River in High Cancer Area[D]. Kaifeng: Henan University, 2011. (in Chinese))

[5] GB 50282-98, 城市给水工程规划规范[S]. (GB 50282-98, City Water Supply Works Planning Specification[S]. (in Chinese))

[6] 唐标文. 城市污水再生利用消毒技术比较[J]. 水电能源科学, 2011, 29(1): 104-105. (TANG Biao wen. Comparison of Disinfection Technique for Urban Sewage Reclamation [J]. Water Resources and Power, 2011, 29(1): 104-105. (in Chinese))

[7] 王德荣. 污水灌溉与农用水质控制标准[J]. 陕西环境, 1996, (1): 17-21. (WANG De rong. Sewage Irrigation and Agricultural Water Quality Control Standard [J]. Shaanxi Environment, 1996, (1): 17-21. (in Chinese))

[8] 郭郢, 姚淑萍, 郑卫萍. 污水灌溉对农业生产与人体健康的影响[J]. 环境与健康杂志, 1994, (2): 77-79. (GUO Ying, YAO Shu ping, ZHENG Wei ping. The Impact of Sewage Irrigation on Farm Production and Human Health [J]. Journal of Environment and Health, 1994, (2): 77-79. (in Chinese))

[9] 陈志良, 仇荣亮, 张景书, 等. 重金属污染土壤的修复技术[J]. 环境保护, 2002, 29(6): 21-23. (CHEN Zhi liang, QIU Rong liang, ZHANG Jing shu, et al. Removed Technology of Heavy Metal Pollution in Soil [J]. Environmental Protection, 2002, 29(6): 21-23. (in Chinese))

[10] 王泽福. 城市林业与房地产复合生态经营系统评价研究[D]. 北京林业大学, 2009. (WANG Ze fu. City Forestry and Real Estate Compound Ecological Management System Evaluates Research [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009. (in Chinese))

[11] 阮晓波, 陆宝宏, 徐玲玲, 等. 天长市生态需水变化特征与预测[J]. 水电能源科学, 2012, 30(10): 20-22. (RUAN Xiao bo, LU Bao hong, XU Ling ling, et al. Variation Characteristics and Prediction of Ecological Water Demand in Tianchang City [J]. Water Resources and Power, 2012, 30(10): 20-22. (in Chinese))

[12] 刘小梅. 城市污水回用系统分析与优化[D]. 北京: 华北电力大学, 2008. (LIU Xiao mei. Analysis and Optimization for Municipal Wastewater Reuse System [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2008. (in Chinese))

[13] 郝晓美, 刘兴平. 地下水环境污染的经济学评价方法[J]. 水利经济, 2002, (11): 41-44. (HAO Xiao mei, LIU Xing ping. Economic Evaluation Method of Groundwater Environment Pollution [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2002, (11): 41-44. (in Chinese))

[14] 王宋涛. 恩格尔定律: 理论与检验[J]. 湖北经济学院学报, 2012, (7): 15-18. (WANG Song tao. Engel's Law: Theory and Test [J]. Journal of Hubei University of Economics, 2012, (7): 15-18. (in Chinese))

[15] 河南省统计局. 河南统计年鉴(2000) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000. (Statistics Bureau of Henan Province. Henan statistical yearbook (2000) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2000. (in Chinese))