

宝鸡市污水再生利用潜力分析

熊家晴, 陈 浩, 王晓昌

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710055)

摘 要: 分析了宝鸡市污水排放现状及污水厂规划布局, 讨论了适合宝鸡市生态园林城市建设的潜在再生水用户, 并对这些用户的再生水需水量进行了预测计算, 利用线性规划模型对宝鸡市污水再生利用潜力进行了优化配置. 结果表明: 宝鸡市 2020 年三级处理再生水利用最大规模为 $31.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 二级处理再生水利用最大规模为 $22.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. 再生水分别由十里铺污水处理厂、石咀头污水处理厂、八鱼污水处理厂、西虢污水处理厂供给, 主要用途为工业冷却用水、城市杂用水(绿化、浇洒)、城市河湖生态用水三个方面. 实施污水再生利用, 对实现宝鸡市生态园林城市建设规划具有重要意义.

关键词: 污水再生利用; 潜力分析; 优化配置

中图分类号: TU984.11⁺ 5 文献标识码: A 文章编号: 1006-7930(2007)01-0051-06

当前水资源系统规划的一个重要发展趋势就是将再生水利用纳入城市水资源的范畴^[1-6]. 随着国家西部大开发和陕西省实施关中产业带建设的战略的实施, 宝鸡市正大力改善城市生态环境建设, 创建国家园林城市, 实施城市大绿、庭院增绿、“三边”造绿、街道造景、蓄水湿地等“五大工程”, 成为西北五省仅有的三个国家园林城市之一. 持续不断的生态环境建设带来城市生态用水量大幅度增长, 实施污水再生水利用, 对维护城市生态用水、实现生态环境建设规划具有十分重要的意义. 另一方面, 国家对生态园林城市也明确提出了污水处理率和污水再生利用率的要求, 因此, 宝鸡市在未来的发展建设中如何实施污水再生利用, 是水资源系统规划中不可忽视的一个重要内容. 本文针对宝鸡市的具体情况, 在对再生水用户水质和水量进行分析的基础上, 研究了污水处理厂的二级和三级再生水回用规模和再生水资源的优化配置方案.

1 宝鸡市可处理污水水量分析

1.1 宝鸡市污水处理厂的规划布局

宝鸡市现有的十里铺污水处理厂的污水处理规模为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 服务范围为渭河以北八里桥、市中心、上马营、十里铺、福临堡等区域, 已经开工建设 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的中水回用工程. 根据宝鸡市总体规划^[6], 到 2020 年宝鸡市将新建污水处理厂 3 座, 其中, 石咀头污水处理厂的服务范围为谭家村、姜城堡、石坝河等区域; 八鱼污水厂的服务范围为卧龙寺、下马营、八鱼等区域; 西虢污水处理厂的服务范围为西虢区域. 宝鸡市城市污水处理厂的布局见图 1.

1.2 宝鸡市区域污水水量分析

宝鸡市现有城市污水排放总量为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 其中工业排水约 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 占污水排放总量的 60%; 生活污水排放量约为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 占污水排放总量的 40%. 各区域的污水量见表 1(宝鸡市城市总体规划 1996—2020).

*收稿日期: 2006-10-15 修改稿日期: 2006-12-10
基金项目: 国家科技部“西部开发”重大项目(2004BA901A13)
作者简介: 熊家晴(1969-), 男, 湖北鄂州市人, 副教授, 主要从事水环境系统评价与建筑给水排水理论与技术研究.
©1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

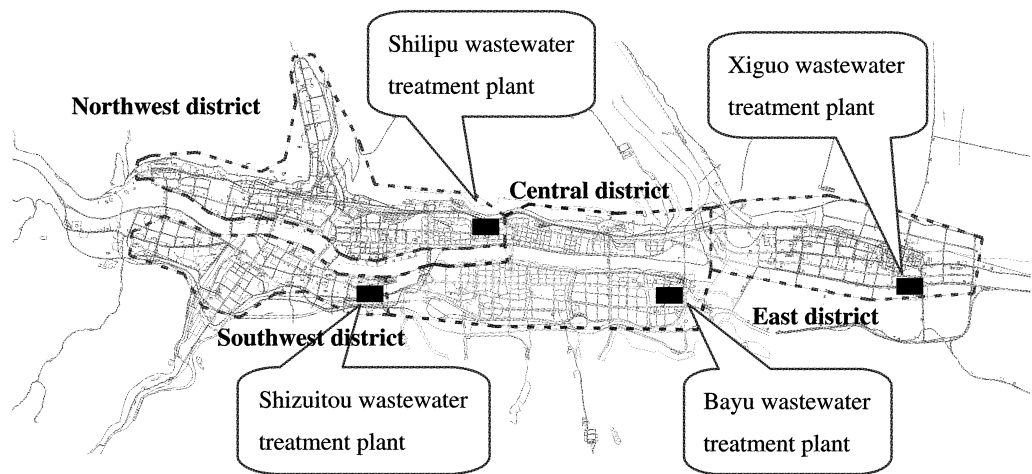


图 1 宝 鸡 市 污 水 处 理 厂 布 局

Fig. 1 The layout of wastewater treatment plant in Baoji

表 1 城 市 各 分 区 面 积 及 污 水 量 分 析(2020)

Tab. 1 District area and wastewater quantity in Baoji(2020)

Layout district	Total area of layout district / km ²	Average household wastewater quantity in pipeline / m ³ · d ⁻¹	Average gray water quantity in pipeline / m ³ · d ⁻¹	Total wastewater quantity in pipeline / m ³ · d ⁻¹
Shilipu district	24. 586	9. 59× 10 ⁴	7. 44× 10 ⁴	17. 03× 10 ⁴
Shizuitou district	21. 704	8. 08× 10 ⁴	8. 74× 10 ⁴	16. 82× 10 ⁴
Bayu district	19. 93	6. 23× 10 ⁴	10. 50× 10 ⁴	16. 73× 10 ⁴
Xiguo district	19. 49	5. 24× 10 ⁴	13. 92× 10 ⁴	19. 16× 10 ⁴
Citywide	85. 70	29. 14× 10 ⁴	40. 60× 10 ⁴	69. 74× 10 ⁴

注:(1)2020 年日平均综合生活用水量 45. 51× 10⁴ m³/d, 折算系数 0. 8, 日平均综合生活污水量 36. 41× 10⁴ m³/d; 污水处理率 80%; 日平均综合生活污水面积比流量 0. 480 5× 10⁴ m³/d · km²;

(2)2020 年日平均工业用水量 72. 5× 10⁴ m³/d, 折算系数 0. 7, 日平均工业污水量 50. 75× 10⁴ m³/d; 污水处理率 80%; 日平均工业污水面积比流量 2. 713 9× 10⁴ m³/d · km²;

(3)日平均城市污水总量 87. 16× 10⁴ m³/d.

2 宝 鸡 市 各 再 生 水 用 户 用 水 潜 力 分 析

宝鸡市污水再生利用尚处于起步阶段. 再生水需求不仅与宝鸡市的水环境、产业结构、居民生活水平等密切相关, 而且受政策和经济能力的制约. 鉴于目前宝鸡城市用户的用水和城市实际规划的情况, 再生水的主要用途为工业用水(冷却水)、市政杂用水和城市环境生态用水三个方面.

2. 1 再 生 水 的 工 业 回 用 潜 力 分 析

宝鸡市工业用水中冷却水用量所占的比重较大, 且对水质的要求较低. 特别是间接冷却水对水质(如碱度、硬度、氯化物以及铁锰含量等)的要求不高, 因此, 再生水的工业回用主要考虑冷却用水, 回用率为 50%, 各分区冷却用水量见表 2. 至于工厂的工艺用水和锅炉用水, 由于其对水质的要求较高, 而且涉及到企业的管道与设备的更新改造, 因此, 不考虑使用再生水.

2. 2 再 生 水 的 生 活 回 用 潜 力 分 析

再生水回用于居民生活用水(冲洗厕所等)需要进行供水系统的改造, 铺设双管系统等, 且居民对再生水的健康风险有较大顾虑. 根据宝鸡市的居民生活水平和经济能力, 这部分再生水应用难度较大, 因此, 规划期内可暂时不考虑再生水的生活回用.

2. 3 再 生 水 的 城 市 杂 用 潜 力 分 析

(1) 园 林 绿 化 的 再 生 水 需 求

宝鸡市园林绿化面积较大, 用水相对集中且便于管道敷设, 较易实现再生水回用. 参考宝鸡市园林绿地系统规划, 宝鸡市内的绿地系统可以划分为: 公园绿地、生产绿地、防护绿地、附属绿地等部分(宝鸡市城市园林绿地系统规划 2005– 2020). 绿地用水定额标准取 $2\text{ L}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, 浇洒面积按照绿地总面积的 70% 计算, 预测区域绿地需水量见表 2.

(2) 城市道路广场浇洒的再生水需求

道路广场浇洒用水主要增加空气湿度, 减少地面扬尘, 对水质要求不高. 宝鸡市内主要的道路总长为 250 km, 总面积为 198 万 m^2 ^[7]. 根据国家标准, 浇洒道路和广场用水定额为 $1.0\text{--}2.0\text{ L}/\text{m}^2 \cdot \text{次}$, 浇洒次数为 2– 3 次/日. 根据宝鸡市对各级道路保洁质量的要求, 浇洒用水量标准近期取 $1\text{ L}/\text{m}^2 \cdot \text{次}$, 远期取 $1.5\text{ L}/\text{m}^2 \cdot \text{次}$, 浇洒面积按照宝鸡市道路广场总面积的 75% 计算, 每日浇洒 2 次, 预测道路广场浇洒需水量见表 2.

表 2 城市各分区工业冷却及城市杂用水量分析(2020)

Tab. 2 Analysis of industrial cooling water and miscellaneous water demand in different districts

Layout district	Cooling water demand / $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	miscellaneous water demand/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	
		Gardening & Forestation	Road & Piazza
Shilipu district	39 060	23 940	1 110
Shizuitou district	45 885	21 140	980
Bayu district	55 125	19 410	900
Xiguo district	73 080	18 980	880
Total	213 150	83 470	3 870

2.4 城市河湖生态用水分析

河湖生态需水量为维持城内河流基流和湖泊一定水面面积、满足景观及保护生物多样性所需的水量. 河湖生态需水量包括水面蒸发需水量、水底渗漏需水量、湖泊作为栖息地存在的自身需水量、湖泊换水需水量和河道基流需水量. 宝鸡市河流湖泊生态用水主要集中在渭河宝鸡段上游金渭湖的三级处理再生水和渭河宝鸡段下游的二级处理再生水.

金渭湖是在马营桥以东修建拦河闸蓄水而成, 总水面约 $1.4 \times 10^6\text{ m}^2$, 沿河长度达 1.65 km, 最大蓄水深度为 3.5 m, 属于宝鸡市渭河生态治理工程的主要组成部分, 也是宝鸡市生态园林城市重点建设项目之一. 取多年平均水量的 10% 作为低级生态需水量, 此流量为维持生物生存栖息地的最低条件, 20% 的平均流量为中级生态需水量, 而 30% 的平均流量为最佳(高级) 生态需水量^[8]. 取平均水深 3.0 m, 则金渭湖生态需水量的高、中、低级生态需水量分别为 $4.2 \times 10^5\text{ m}^3/\text{a}$ 、 $8.4 \times 10^5\text{ m}^3/\text{a}$ 和 $12.6 \times 10^5\text{ m}^3/\text{a}$, 如表 3 所示.

表 3 金渭湖生态需水量

Tab. 3 Ecological water demand of the Jinwei Lake

Unit	Average water quantity in Jinwei Lake	Ecological water demand in low grade	Ecological water demand in middle grade	Ecological water demand in high grade
m^3/a	42×10^5	4.2×10^5	8.4×10^5	12.6×10^5
m^3/d	11507	1150	2300	3452

3 宝鸡市再生水优化配置模型

为了充分发挥再生水利用潜力, 有必要对宝鸡市再生水进行优化配置. 在再生水系统分析中, 常用的数学模型, 依其结构形式、模型功能、用途等性质, 可分成多种类型. 由于线性规划模型在建模、求解方面具有简单、适用的特点, 实际应用较为广泛^[9].

宝鸡市再生水系统的优化调整, 实际就是根据宝鸡市规划污水处理厂所在地区的再生水供需水情况, 合理配置再生水资源量, 充分发挥再生水的利用潜力, 以求得效益最大化. 在调查研究污水处理厂所

在地区排水现状、供水条件和社会经济发展规划的基础上, 预测污水处理厂远期需要供给的再生水量, 以污水处理厂可供水量和各区域不同供水对象的再生水需水量为约束条件, 将污水再生系统成本最小作为目标函数, 建立模型, 通过模型求解, 最后确定再生水资源优化配置方案.

渭河将宝鸡市划分为南北两个区域, 考虑到这一天然的边界条件, 将宝鸡市再生水系统分成两部分考虑. 再生水供水区的工业用水、道路浇洒、绿化用水和生态用水由污水处理厂三级处理再生水供给, 二级处理再生水排入渭河, 作为生态补水.

(1) 渭河以北城区再生水优化计算

设十里铺污水厂的三级处理再生水规模、二级处理再生水规模分别为 x_1 、 x_2 , 西虢污水厂的三级处理再生水规模、二级处理再生水规模分别为 x_3 、 x_4 , 根据渭河以北城区的水资源供需状况, 以污水厂污水处理量及该地区不同用户最大需水量作为约束条件; 以污水处理再生系统成本最小化为目标函数, 建立数学模型如下:

目标函数: $\min z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4$ (1)

约束条件:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 0.8w_1 \\ x_3 + x_4 \leq 0.8w_2 \\ x_1 + x_3 = u_1 \\ x_2 + x_4 = u_2 \\ x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0 \end{cases}$$
 (2)

其中: c_1 、 c_2 为十里铺污水厂三级再生水、二级再生水成本指数; c_3 、 c_4 为西虢污水厂的三级再生水、二级再生水成本指数; w_1 、 w_2 为十里铺污水厂、西虢污水厂可收集的污水量; u_1 为渭河以北城区工业再生水、城市再生水、金渭湖的三级再生水需水量之和; u_2 为排入渭河、维护渭河基流的二级再生水量.

(2) 再生水成本指数的确定

由于目前国内外尚无较完整、统一的污水回用工程费用资料, 在此引用李梅等人建立的再生水成本价格函数^[10], 再生水资源的成本价格模型为:

$$P = k[0.036Q^{-0.17} + 0.004Q^{-0.22} + 0.0035eH + 1.15 \times 10^{-3} \sum(aibi)]$$

式中: P 为再生水成本价格(元/ m^3); Q 为再生水年处理量(万 m^3/d); k 为与销售税金、利润率、附加费有关的系数, 一般取值为 1.2~ 1.4; e 为电费单价(元/(kWh)); H 为工作全扬程, 包括各级泵站的总扬程(mH_2O); a_i 为第 i 种药剂(包括混凝剂、消毒剂等)的平均投加量(mg/L); b_i 为第 i 种药剂的单价(元/ kg).

参照再生水成本价格模型及宝鸡市具体情况, 估算十里铺污水厂三级再生水回用的成本指数 c_1 为 0.93 元/ m^3 , 二级再生水回用的成本指数 c_2 为 0.68 元/ m^3 , 西虢污水厂三级再生水回用的成本指数 c_3 为 1.17 元/ m^3 , 二级再生水回用的成本指数 c_4 为 0.57 元/ m^3 . 十里铺污水厂具备较好的再生水回用条件, 可同时渭河以北城区向西北部区域和中部区域供水, 回用成本较低, 西虢污水厂地处宝鸡市下游, 中水污水收集条件好, 但回用成本高, 再生水成本价格模型计算出的成本价格符合当地的基本供水情况.

表 4 规划模型有关参数统计表(2020)

Tab. 4 Statistics on relevant parameters for the model(2020)

Source of regenerative water	Quality standard of regenerative water	Decision-making variable x_i / $m^3 \cdot d^{-1}$	Cost exponent of Reuse c_i / $yuan \cdot m^{-3}$	Collectable wastewater quantity $w_i / m^3 \cdot d^{-1}$	regenerative water demand u_i / $m^3 \cdot d^{-1}$
Shilipu wastewater treatment plant	third grade	x_1	0.93	17.03×10^4	67 562
	second grade	x_2	0.68		
Xiguo wastewater treatment plant	third grade	x_3	1.17	19.16×10^4	92 940
	second grade	x_4	0.57		

将有关参数(见表 4)代入公式(1)、(2), 整理得:

$$\min z = 0.93x_1 + 0.68x_2 + 1.17x_3 + 0.57x_4$$
$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 13.62 \times 10^4 \\ x_3 + x_4 \leq 15.33 \times 10^4 \\ x_1 + x_3 = 160\,502 \\ x_1 \geq 67\,562 \\ x_2, x_3, x_4 \geq 0 \end{cases} = \begin{cases} x_1 \geq 67\,562 \\ x_2 \leq 68\,638 \\ x_3 \leq 92\,940 \\ x_4 \leq 60\,360 \end{cases}$$

求解模型, 得: $x_1 = 70\,533$, $x_2 = 65\,667$, $x_3 = 89\,969$, $x_4 = 51\,066$

(3)渭河以北城区再生水优化计算

同理, 利用上述的计算方法也可以对渭河以北城区再生水进行优化计算, 得石咀头污水处理厂三级再生水规模 $x_5 = 74\,817$ 、二级再生水规模 $x_6 = 59\,743$, 八鱼污水厂三级再生水规模 $x_7 = 82\,979$ 、二级再生水规模 $x_8 = 50\,861$.

4 宝鸡市再生水资源配置方案

通过对宝鸡市再生水用户和污水厂规划布局的分析, 结合城市建设的现状[宝鸡市排水工程规划 (1996– 2020)], 利用上述线性规划模型进行优化分析与计算, 可提出如图 2 所示再生水资源配置方案.

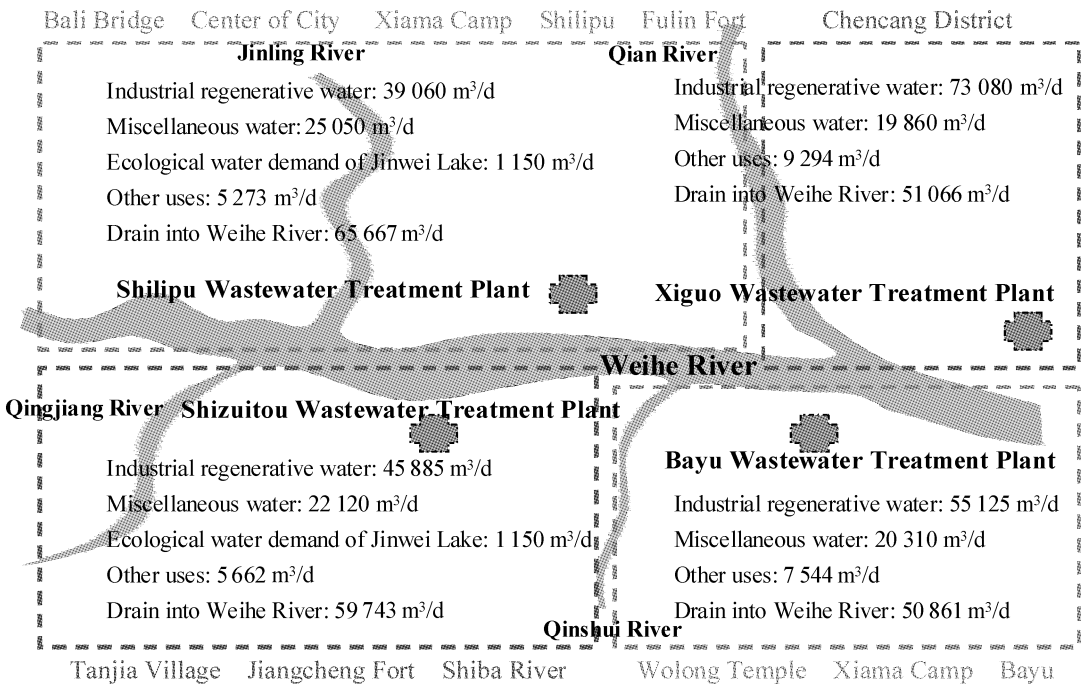


图 2 宝鸡市再生水资源配置分析(2020)
Fig.2 Allocation of the recycled water in Baoji(2020)

5 结 论

宝鸡市的建设目标是国家生态园林城市, 而健康、良好的水环境是其重要的基础条件和内在要求. 对城市污水的再生利用潜力进行分析, 是合理规划宝鸡市污水处理厂再生水规模的基础. 本文的分析结果表明, 宝鸡市 2020 年三级处理再生水利用最大潜力为 $31.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 排入渭河的二级处理水为 $22.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$.

参考文献 References

[1] 叶永毅, 黄守信. 水资源大系统优化规划与优化调度经验汇编[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

- YE Yong-yi, HUANG Shou-xin. Large water resource system optimization plans and optimization controller experiences assemblies[M]. Beijing: Chinese Science And Technology Press, 1995.
- [2] Huffaker R. The role of prior appropriation in allocating water resources into the 21st century [J]. Water Resources Department, 2000, 16(2): 265-273.
- [3] 许新宜, 王浩. 华北地区宏观经济水资源规划理论与方法[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997.
XU Xin-yi, WANG Hao. North China area macro-economy water resource plans theory and method [M]. Zhengzhou: Huanghe River water conservancy Press, 1997.
- [4] 尹明万, 甘泓. 智能型水供需平衡模型及其应用[J]. 水利学报, 2000(10): 71-76.
YIN Ming-wan, GAN Hong. Intelligence type water co-ordination of supply and demand model and their application[J]. Water conservancy academic Journal, 2000(10): 71-76.
- [5] DAI Teweï, LABADIE J W. River basin network model for integrated water quantity/ quality management [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2001(5): 295-305.
- [6] KUMAR Arun, MINOCHA V K. Fuzzy optimization model for water quality management of a river system [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 1999, 205(3): 179-180.
- [7] 宝鸡市统计年鉴(1998-2004) [Z]. 宝鸡: 宗华印务有限公司, 2000.
Baoji Statistical Yearbook (1998-2004)[Z]. Baoji: Zonghua Print Ltd, 2000.
- [8] 徐志侠. 生态需水计算的蒙大拿法及其应用[J]. 水利水电技术, 2003(11): 15-17.
XU Zhi-xia. The Montana arithmetic of ecological water demand & application[J]. Water conservancy water and electricity technology, 2003(11): 15-17.
- [9] 左其亭, 陈曦. 面向可持续发展的水资源规划与管理[M]. 北京: 水利电力出版社, 2003.
ZUO Qi-ting, CHEN Xi. Be geared to the needs of the sustainable development water resources planning and be managed[M]. Beijing: China Water Power Press, 2003.
- [10] 李梅, 黄廷林. 再生水资源成本价格模型的构建[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2004, 36(6): 160-163.
LI Mei, HUANG Ting-lin. The structure of regenerative water resource cost model [J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2004, 36(6): 160-163. (编辑 李斌)

Analysis on the potential of sewage regeneration and Reuse in Baoji City

XIONG Jia-qing, CHEN Hao, WANG Xiao-chang

(School of Envir. and Muni. Eng., Xi'an Univ. of Arch. & Tech.,
Key Laboratory of Northwest Water Resource, Environment and Ecology
of Ministry of Education, Xi'an 710055, China)

Abstract: Based on the drainage status analyses and the layout of wastewater treatment plant in Baoji city, potential users of recycled water is analyzed and the water requirement calculated, by using the linear programming model to optimize the recycled water potential in Baoji. The highest possible scale of high quality regenerative water is $31.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ and the highest possible scale of medium quality regenerative water is $22.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ during 2020. The regenerative water is mostly supplied by Shilipu, Shizuitou, Bayu and Xiguo wastewater treatment plants as the purpose of industrial cooling water demand, vegetation water demand, road and square water demand, ecological water demand of water body in Baoji city. Actualizing wastewater's regeneration and reuse means much for realizing the city's ecological goal as a city.

Key words: reuse of sewage; potential analyses; optimization collocate