

# Renewable Water Utilization in Taiyuan Normal University

Zijing Wang, Shifang Ren

Taiyuan Normal University, Jinzhong Shanxi  
Email: Ren74@126.com

Received: Apr. 21<sup>st</sup>, 2020; accepted: May 7<sup>th</sup>, 2020; published: May 14<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

By estimating renewable water resources on the campus included reclaimed water and rainwater in campus so far, the following conclusions are drawn: 1) The actual amount of renewable water resources on campus is huge. The renewable water resources are mainly used for toilet (including cleaning) and green irrigation, and the latter accounts for about 58%; 2) The potential for water-saving irrigation and rainwater collection on campus is huge, which can save 50% of current water costs; 3) It was the main obstacles to give full potential of renewable water resources for the poor management and unregulated water use behaviors of water resources of school, as well as imperfect campus planning and construction.

## Keywords

Campus, Renewable Water Resources, Reclaimed Water, Rainwater Resources

---

# 太师校园可再生水资源利用研究

王紫荆, 任世芳

太原师范学院, 山西 晋中  
Email: Ren74@126.com

收稿日期: 2020年4月21日; 录用日期: 2020年5月7日; 发布日期: 2020年5月14日

---

## 摘要

通过估算太师学院的中水使用情况及雨水资源可收集量, 研究校园可再生水资源的利用, 得出以下结论: 1) 太师校园可再生水资源的实际使用量巨大, 目前主要集中在如厕(包括保洁)及绿化浇灌用水两方面, 其中绿化用水占比约为58%; 2) 校园节水灌溉和雨水资源收集潜力巨大, 可以节约目前用水成本50%

左右; 3) 学校目前对水资源的落后管理、用水行为没有得到规范以及校园建设规划不完善等原因是可再生水资源潜力不能充分发挥的主要障碍。

## 关键词

校园, 可再生水资源, 中水, 雨水资源

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

作为生态环境的重要组成要素, 水资源具有可再生的资源性质, 水资源的再生利用是城市水资源有效利用的重要途径[1]。目前关于可再生水资源的研究主要集中在两个方面, 一是根据水资源可更替周期理论, 对区域水资源量的可再生性进行定量研究[2], 另一部分则着眼于建立多种自然及社会评价指标体系以评价城市水资源的社会可再生性[3]。对于大学校园这个特定区域范围的可再生水资源利用研究很少。高校校园是水资源被大量使用的城市区域之一。由于高素质人才的集中, 可持续资源利用的理念深入人心, 在这里实施水资源节约使用和科学管理的可行性也最大。在全球水资源危机不断加剧的背景下, 研究干旱和半干旱区高校可再生水资源的利用与开发情况, 可以为当地集约高效利用水资源以及建设节约型生态校园提供研究基础。

研究对象为太原师范学院新校区, 地点位于山西省中部的太原盆地内的晋中市榆次区。本区的气候类型为典型的暖温带半干旱大陆性季风气候, 多年平均气温为 9.8℃, 多年平均降水量为 479.6 mm, 降水集中在 7~9 月, 占年降水量的 60%以上; 年平均蒸发量为 1718.4 mm。该区多年平均水资源总量为 8075 万 m<sup>3</sup>, 总用水量 11,565 万 m<sup>3</sup>, 其中 85%左右的用水量通过开采地下水获得, 地下水严重超采, 形成了多个漏斗区, 因此晋中市资源型缺水情况十分严重[4] [5]。学校占地总面积为 104.61 万 m<sup>2</sup> (1569 亩), 建筑总面积为 57.2 万 m<sup>2</sup> (含 2.4 万 m<sup>2</sup> 教工宿舍和 9.4 万 m<sup>2</sup> 道路用地), 目前绿地面积 12.24 万 m<sup>2</sup> (指绿植、地被和草皮) [6]。校区所在地属沟壑地貌, 沟壑中有干涸多年的黑河和涧河历史河道, 于 2018 年 11 月份填水, 整个校园的生态用水中绿地用水和河道用水量巨大[6] [7]。由于地处缺水地区, 校园所在大学城重视可再生水资源的利用, 校内中水的使用占很大比例, 但雨水资源的利用还没有足够重视。

## 2. 校园中水的使用

学校绿地的灌溉用水全部来源于晋中市政提供的中水。校后勤处办公室提供的校园中水使用量(表 1)显示, 最近三年学校的中水使用量逐年增加, 且近两年由于学校各楼宇使用情况和绿地面积基本固定下来, 用水量增长变化也逐渐减小。据了解, 这部分中水使用有两个用途: 校园绿地浇灌用水和楼宇内厕所冲水及洒扫清洁用水两部分。这两部分用水量没有分开统计, 因此下文对其分别进行估算, 以明确中水具体使用情况。

**Table 1.** Water usage in campus from 2016 to 2018

**表 1.** 2016~2018 年校园中水使用量

年份	2017	2018	2019
中水实用量/t	588,898	720,240	723,484

## 2.1. 楼宇厕所中水使用量

楼宇厕所中水使用量包括如厕冲水和保洁用水两部分。保洁用水量较少, 且缺乏实际统计数据, 因此首先估算如厕冲水量。采用的计算思路是: 统计在校人数及天数, 查询蹲式厕所一次使用的冲水量, 估算一人一天上厕所的次数, 最终计算相乘得出结果。

截止 2018 年, 学院在校学生共 24,375 人, 在册教职工共 1336 人[7]。据研究, 蹲式厕所一次冲水量为 3~8 L, [8]因学校厕所使用洁具冲水量较大, 取 6L/次进行估算; 学生在校天数时间按全年 365 天去除寒暑假共 81 天后的在校天数计, 为 284 个整天; 教职工在校天数较短, 按去除寒暑假、周末和国家法定假日共 199 天后的在校天数计, 共 166 天, 且由于教职工在校时间短, 且晚间大部分不住校, 故厕所使用频率按减半计。假定学生一天上 6 次厕所, 教职工一天上 3 次厕所。则计算结果如下: 年均学生如厕用水量为 249,210.00 t, 年均教职工如厕用水量为 3991.97 t, 二者合计校园如厕中水总使用量 253,201.97 t。

将保洁用水按如厕总用水量的 20%计, 其中将管道渗漏和故障损失水量也相应包含, 则如厕用水和保洁用水合计为楼宇厕所中水使用量, 为 303,842.36 t, 约占 2019 年中水实际使用量的 42%。

## 2.2. 绿地浇灌中水使用量估算

方法一: 根据《室外设计给水规范》(GB50013-2006)规定, 浇洒绿地用水量可以  $1.0\sim 3.0 \text{ L/m}^2\cdot\text{d}$  (合  $0.365\sim 1.095 \text{ t/a}$ )计算[8]。考虑学校地处干旱半干旱气候区, 将浇洒绿地用水量取上限值“ $3.0 \text{ L/m}^2\cdot\text{d}$ ”计; 另走访负责浇灌的员工得知, 校内绿地每年从 3 月中旬开始浇水到 11 月底, 共浇水九个月, 这九个月中因气温、土壤、降水量不同, 浇水的次数也有差异。学校初步统计, 每年 3 月浇水 2 次, 4 月浇水 3 次, 5、6 月份每周浇水一次, 共 10 次, 7、8 月份每 5 天浇水一次, 共 12 次, 9 月每周浇水一次, 共 4 次, 10、11 月共浇水 5 次, 一年共浇水 36 次。因此, 学校绿地每年总浇水总量为 13,219.2t。

由上述计算结果, 如厕用水和保洁用水合计的楼宇厕所中水使用量 303,842.36 t 与学校绿地每年总浇水总量 13,219.2 t 之和为 317,061.56 t。这一数字与 2019 年中水实际使用量 723,484 t 相比少了 56.2%, 明显存在较大误差。

方法二: 由 2019 年校中水实际使用量 723,484 t 减去如厕和保洁合计用水的计算结果 303,842.36 t, 差为 419,642 t, 即学校绿地每年总浇水总量 419,642 t, 合绿地每平方米每年浇水量为  $3.43 \text{ t}^2$ , 但这一数字是国家标准的绿地灌溉定额上限( $1.095 \text{ t/a}$ )三倍多。

两种方法计算得出的绿地浇水量相差甚远, 前者为后者的 31.75 倍。经观察和走访绿地浇灌实际操作, 发现在浇水工作中普遍存在放任漫灌的问题, 粗估每次浇水量远超过前述国标《规范》所述定额  $3.0 \text{ L/m}^2\cdot\text{d}$  的数倍, 因此, 第二种方法计算所得绿地浇灌中水使用量可信度较高。

此外, 如完全按照国家标准规定的绿地浇灌定额上限和正常年均浇灌次数取 150 次计(春秋一天一次, 夏季一天两次, 冬季和雨天不浇灌), 则绿地浇水量应为  $= 55,071.00 \text{ t}$ , 仅为目前浇水量的 13%, 可见目前绿地浇灌的节水潜力巨大。

## 2.3. 校园雨水资源可收集量

雨水是校园可再生水资源的重要组成部分, 如能将地处半干旱地区的校园雨水资源收集起来循环利用, 不但可以节约水资源, 实现可持续利用, 还能减少学校日常开支, 提高后勤部门服务管理水平。

晋中市的气候特征是冬夏较长、春秋较短, 降水分布不均匀, 主要集中在 7 月、8 月份。夏季(6 月~8 月)受印度洋低压和太平洋副热带高压影响, 雨热同季, 也是绿地最需要灌溉的时期[5]。就自然资源的循环利用而言, 雨水资源作为校园绿地灌溉用水的补充是一个非常好的选择。雨水可收集量可由公式

$W = 10 \psi h F$  (m<sup>3</sup>) [8]计算获得, 式中:  $W$  为年雨水径流总量, 即每年可收集的雨水总量,  $\psi$  为雨水径流系数,  $h$  为年降水量(研究中取晋中市多年平均降水量 479.6 mm [9]),  $F$  为雨水径流面积。

1) 校园内各类用地的雨水径流面积  $F$  值如下表 2:

**Table 2.** Rainwater runoff area of various types of campus land

**表 2.** 校园各类用地的雨水径流面积

用地类别	总面积	河道	绿地	道路	建筑	其他
面积(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )	104.61	8.18	12.24	9.40	57.00	17.76

2) 校园各种地面的雨水径流系数

不同地面雨水径流系数不同, 径流系数主要受集水区的地形、流域特性因子、平均坡度、地表植被情况及土壤特性等的影响[10]。按照《建筑给水排水设计规范》GB50015-2009 (2009 版)中 4.9.6 项规定, 各种地面径流系数如表 3 所示, 径流系数越大说明降雨越不容易被土壤吸收。

**Table 3.** Rainwater runoff coefficients on campus grounds

**表 3.** 校园各种地面的雨水径流系数

地面种类	面积(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )	径流系数采用值
屋面	1.2	0.9
沥青道路人行道	0.6	0.9
圆石路面	0.6	0.4
外铺砌石路面	0.8	0.3
绿地	0.8	0.15
合计	4	-

3) 年雨水径流总量(每年可收集的雨水总量)

采用雨水可收集雨量计算公式得出, 校园平均每年可收集的雨水总量为 321,010.05 m<sup>3</sup>, 其中绿地直接可收集雨水总量为 8804.02 m<sup>3</sup>, 即 8804.02 吨, 为绿地规范浇水量(55,071.00 t)的 16%。该占比数字虽然不大, 但平均年雨水总收集量可以占 2019 年全校中水使用量的 44%。

### 3. 校园可再生水资源经济效益

近三年来, 学校中水使用成本随着使用量的增加而增加(表 4), 2019 年中水使用支付成本为 108.52 万元, 与上一年相比增加了 0.4%, 基本持平。晋中市在 2017 年对城区供水价格进行了调整, 按照补偿成本的原则, 居民用水价格采取“阶梯式”计量水价。即, 用水为一级水量: 3 立方米/人·月(含 3 立方米/人·月)以下, 拟按 2.8 元/立方米收取; 用水为二级水量: 3.01 立方米/人·月至 4.5 立方米/人[11]。中水使用价格较为低廉, 为每吨 1.5 元, 是一级阶梯居民水价的 53.6%。如果前述每年校园雨水资源收集量可以实现, 则这部分用于浇灌绿地的中水可以节约下来, 按每吨中水 1.5 元/t 成本计算, 相当于学校后勤部门每年可节约 43.4 万元, 这一数字较为可观。

**Table 4.** Cost of water use on campus in 2017~2019

**表 4.** 2017~2019 年校园中水使用成本

年份	2017	2018	2019
中水实用量/t	588,898	720,240	723,484
使用成本/元	883,347	1,080,360	1,085,226

## 4. 结论和建议

综合以上分析可以得出以下结论:

1) 太师校园可再生水资源的实际使利用量巨大, 以 2019 年为例, 消耗的中水成本为 108.5 万元。如厕(包括保洁)及绿化浇灌用水共同组成了中水总用水量, 其中绿化用水占比较多, 约为 58%。

2) 校园可再生水资源潜力巨大, 体现在灌溉节水潜力开发和雨水资源收集方面。如果严格按照国标规定的绿地浇灌定额上限和正常年均浇灌次数(取 150 次)进行灌溉, 则绿地浇水量仅为目前实际浇水量的 13%; 而年平均雨水资源收集量可以占全校年中水使用量的 44%(同 2019 年相比), 用水成本较目前可以节约 50%左右。

3) 学校目前对水资源使用的管理还有待加强, 如需要对校园内各类水源的具体使用情况进行详细统计, 日常用水行为也需要得到规范等, 此外在校园建设规划中应有完善的雨水收集利用系统。这些都是可再生水资源潜力不能得以充分开发的障碍所在。

鉴于以上结论, 提出如下建议:

后勤管理部门应完善校园基本建设数据, 对各类水源使用情况和各单位用水情况进行系统科学的记录; 定期会同有关专家对水资源使用数据进行研究分析, 找出用水中存在的问题和节水潜力所在, 并提出针对性的解决办法。

在全校师生中倡导节约用水、科学用水的新风尚, 并建立师生监督机制, 对浪费水资源的行为进行批评教育; 对参与水资源管理的后勤人员定期组织针对性的技术培训, 不断优化、规范工作人员的工作方式, 提升管理素质, 培养生态校园建设意识, 严格规范校园用水行为。

学校应会同有关专家, 就校内绿植的特性和本地气候特点制定科学灌溉计划; 加大校园水利工程投入, 完善节水灌溉体系; 增加可渗式路面、雨水收集管道系统比重, 加大雨水收集力度, 并结合校区的实际情况对雨水的利用进行分区的规划。

针对高校青年学生集中住宿, 日常个人清洁用水较多的实际情况, 还可以参照相关研究结果, 改造现有建筑给排水系统设计, 尽量将结合“三洗水”(洗澡水、洗漱水、洗衣水)的排放与卫生间排污分开, 形成两路单独的排放系统, 将三洗水在校园内实现循环使用, 从而提高水资源有效利用率[12]。

## 致 谢

研究过程中太原师范学院后勤处动力维修部的侯老师和申老师为我查阅中水使用数据提供了大力支持, 工程科贺老师给予我查阅新校区建设规划设计图方面的帮助, 特此致谢!

## 基金项目

山西省哲学社会科学规划课题(2019B375)资助。

## 参考文献

- [1] 李春晖, 杨志峰. 水资源社会可再生性及其基本理论[J]. 中国人口·资源与环境, 2014(6): 53-57.
- [2] 王中根, 夏军, 刘昌明, 等. 水资源量可再生性的量化方法研究[J]. 资源科学, 2003(4): 33-38.
- [3] 丁晓雯, 沈珍瑶, 杨志峰. 黄河流域典型城市水资源社会可再生性评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005(19): 72-74
- [4] 张莲香. 太原师范学院新校区规划设计[J]. 山西建筑, 2013, 39(30): 12-13.
- [5] 王鑫. 晋中市气候变化特征分析[J]. 农业与技术, 2017, 37(2): 232.
- [6] 刘晋聪. 高校新校区景观设计的探析[J]. 山西建筑, 2014, 40(29): 31-32.

- [7] 太原师范学院教务处.太原师范学院本科教学工作审核评估宣传手册[Z]. 太原师范学院, 2018.
- [8] 赵元. 输配水系统的脆弱性及风险评估研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2009.
- [9] 庞珍丽, 贺恒丽. 榆次区水资源现状调查分析研究[J]. 山西水利, 2013, 29(5): 23+34.
- [10] 王品才. 某生态校园雨水调蓄与资源化利用研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2010.
- [11] 晋中市人民政府网站[EB/OL]. [http://www.sxjz.gov.cn/publicity\\_fgw/gzdt/42756](http://www.sxjz.gov.cn/publicity_fgw/gzdt/42756)
- [12] 马进明. 谈谈水资源欠缺地区新建、改建、扩建高校再生水资源利用方案[J]. 现代物业(中旬刊), 2017(6): 72-75.