

都江堰渠首工程改造对岷江中下游 径流过程的影响分析

王军¹ 范围² 王远铭³¹

(1. 遵义市水资源服务中心, 贵州 遵义 563000;

2. 重庆市生态环境科学研究院, 重庆 401147;

3. 四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 成都 610065)

【摘要】: 都江堰于 1974 年修建了外江枢纽闸以自主调节内外江分水, 其在满足自然行洪的同时, 不可避免地对下游水资源利用以及下游水环境产生影响。为探究都江堰渠首工程改造对岷江中下游径流过程的影响, 通过回顾都江堰渠首工程的历史演化, 利用已有水文资料分析都江堰渠首工程改造前后岷江及内江、外江的径流过程影响。研究发现: 渠首改造前, 内江汛期流量波动较大, 改造后内江汛期 7 月流量由 $348\text{m}^3/\text{s}$ 增至 $396\text{m}^3/\text{s}$, 枯期 1 月则由 $133\text{m}^3/\text{s}$ 降低为 $120\text{m}^3/\text{s}$, 全年平均径流量由 $215\text{m}^3/\text{s}$ 增加至 $245\text{m}^3/\text{s}$; 渠首改造前后, 岷江汛期流量变化不大, 流量波动很大, 枯期流量略有减小, 岷江彭山站全年平均径流量由 $704\text{m}^3/\text{s}$, 减小为 $676\text{m}^3/\text{s}$; 渠首改造前后, 岷江外江汛期与枯期流量均有所减小, 外江全年平均流量由 $384\text{m}^3/\text{s}$ 减小为 $322\text{m}^3/\text{s}$ 。

【关键词】: 都江堰 渠首改造 金马河 水资源

【中图分类号】: X37 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1001-3644(2022)03-0147-05

1 都江堰渠首工程的历史演化

现今都江堰渠首工程位于二王庙、虎头崖至离堆一带, 包括鱼嘴、飞沙堰、宝瓶口三大主体工程。鱼嘴自然分水分沙, 飞沙堰可将进入内江的超量洪水和泥沙翻入外江, 宝瓶口进一步限制超量水流入内江干渠(见图 1、图 2)。三者构成一个有机的整体, 相辅相成, 巧妙配合不假人力即可天然分水引水, 使都江堰灌区从此达到“水旱从人”的目标^[1]。

战国中期, 蜀郡守李冰主持了都江堰水利工程的兴建。在早期的都江堰工程中, 筑鱼嘴分流, 凿宝瓶口引水, 修飞沙堰泄洪。都江堰的创建, 改变了成都平原的天然水系, 沟通了岷江和成都大小湖泊河流, 使成都平原的河流及渠道获得了充沛的水源, 以及通畅的洪水通道^[2]。西汉以来渠首逐渐完善, 到两宋时期, 都江堰渠首工程状况与现在的都江堰已大致接近。宋末元初, 曾用 16000 斤铁铸成一只大铁龟作鱼嘴。明代时期, 用铁锭、铁柱和石料加固鱼嘴, 但不久后即被冲毁, 后采用铁牛鱼嘴, 并对基础

作者简介: 王军(1993-), 男, 贵州贵阳人, 毕业于重庆交通大学水利工程专业, 硕士, 工程师, 主要从事水环境治理相关研究。范围, fw915@foxmail.com。

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(51809186)

进行加固，并用竹笼护持堰首。民国初期，水利知事用条石改建鱼嘴，但于 1936 年再度被冲毁。同年冬天，大修都江堰，用混凝土和浆砌条石重建鱼嘴，并沿用至今。

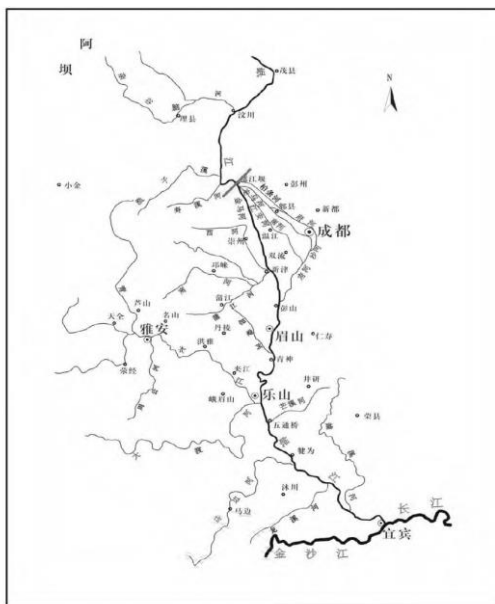


图 1 岷江流域水系分布图和都江堰渠首枢纽位置示意图



图 2 都江堰渠首枢纽工程布置示意图

新中国成立后于1952年春与1953年在渠首分水口分别建成两座节制闸。1970年冬彻底加固了离堆和宝瓶口。1974年春建成了外江枢纽闸。新中国成立以来，在渠首建成了一系列枢纽闸、分水闸等。都江堰经过了大规模的整治、修理、改造、扩建，成为了农业、工业、人民生活用水的多用途的综合性大型水利工程。

2 都江堰成功的秘诀

纵观都江堰两千多年的历史，工程设施被运用了千年以上，尽管期间多次失修而废弃，但在每一次重建后都可以恢复原有型式，工程设施、布置、建筑物的形式都没有发生太大改变。经久不衰，逐步完善，不断发展，兴利除害，造福人民。

都江堰得以延续两千多年依然持续发挥工程效益的技术基础是其“顺势利导，因时制宜”的设计思想和无坝引水、自动调水调沙的枢纽设计^[3]。都江堰的治水思想，包含了中国传统文化中“天人合一”的思想，尊重自然规律，并与周围环境相协调，做到“以水治水”。以都江堰处理泥沙的方式为例，首先在堰首加筑一道鱼嘴，改变入口水流角度，使表面清水汇入河道，同时挡住河底的泥沙。其次利用飞沙堰，将含沙底流流向凸岸。这样，河流中95%的泥沙便被排除掉了，每年的岁修工程的重点便是淘挖飞沙堰，由此减少了内、外江因沙石沉积造成的淤塞^[4]。其利用弯道水流天然排沙的规律来处理泥沙问题，就是都江堰工程中将水资源、河势与人的智慧相结合的典型。

同时，变化发展是都江堰永葆青春的核心主题^[5]。都江堰两千多年来，工程结构不断优化，工程技术不断提升，终于趋于成熟。都江堰工程的管理也经历了又粗放到精细，从传统到现代化的过程。都江堰是对历代治理者治水经验的继承、借鉴、发展、应用，也是理论方法和技术措施的创新。都江堰工程并不是一味的“遵旧制、毋擅变”，而是因时而异，因需而异，在保持传统中合理有效成分的同时，不断超越传统、更新传统。

3 渠首改造对下游径流过程影响

自新中国成立以来，都江堰水利工程原有设施、信息化管理系统和管理体制机制及管理能力和实现水资源高效利用和现代化管理的要求等都有不小差距，对都江堰进行改造是应对国家现代化发展的需要^[6]。但同时都江堰的改造不可避免地对下游水资源利用以及下游水环境产生影响。根据四川省水文局提供的水文数据，本文以1974年春建成外江枢纽闸为时间点，对比分析都江堰渠首改造前后内江、外江以及内外江汇合后岷江彭山断面的径流变化情况。

3.1 渠首改造前后内江径流量变化

选择宝瓶口水文站为内江径流量控制断面，分别选取1964~1974年、1976~1987年断面径流量过程为渠首改造前后的径流量过程，对比分析渠首改造前后内江径流量的变化。图3表明，渠首改造后宝瓶口月平均流量在12~5月变化不大，6~11月增加。全年平均流量增加 $31\text{m}^3/\text{s}$ ，增加了14%。其中8月份流量变化最大，增加了38%，2月份流量变化最小，增加了2%。

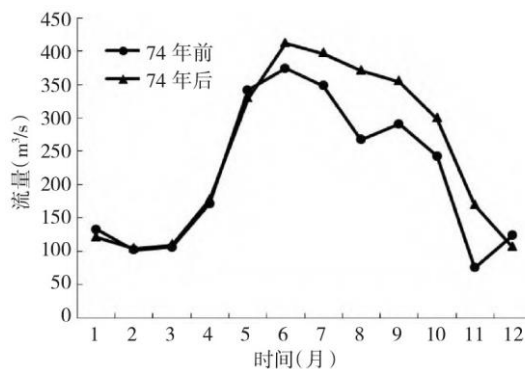


图3 宝瓶口 1964~1974 年及 1976~1987 年逐月平均流量变化关系

以汛期典型 7 月为代表进行分析, 渠首改造前, 内江汛期流量波动较大, 变幅在 $110\text{m}^3/\text{s}$ 之内, 渠首改造后, 内江汛期流量趋于稳定, 流量波动在 $72\text{m}^3/\text{s}$ 范围内, 且与渠首改造前相比, 改造后的月平均流量明显增大(改造前: $348\text{m}^3/\text{s}$;改造后: $396\text{m}^3/\text{s}$)。以 1 月作为枯期代表月进行分析, 渠首改造后枯期月平均流量略有减小, 从 $133\text{m}^3/\text{s}$ 降低为 $120\text{m}^3/\text{s}$ 。全年平均流量改造前为 $215\text{m}^3/\text{s}$, 改造后增加为 $245\text{m}^3/\text{s}$ 。(详见图 4)

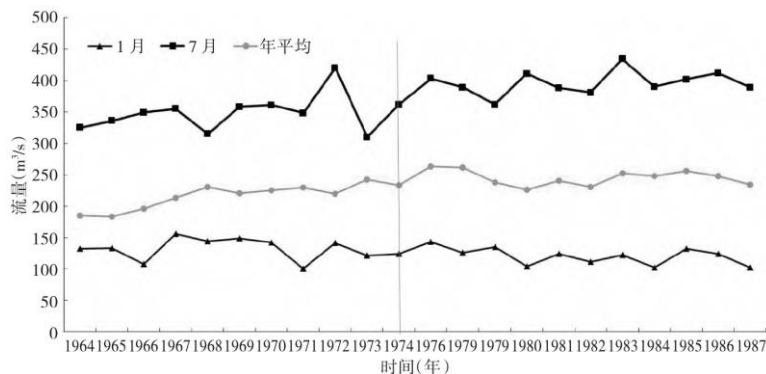


图 4 宝瓶口枯期 1 月、汛期 7 月及年平均流量在渠首改造前后的变化关系

3.2 中游彭山站在改造前后的径流量变化

选择彭山水文站为岷江径流量控制断面, 分别选取 1964~1974 年、1976~1987 年断面径流量过程为渠首改造前后的径流量过程, 对比分析渠首改造前后岷江径流量的变化。图 5 表明, 改造后彭山站流量在 1~5、10~12 月份平均流量减少 $18\text{m}^3/\text{s}$, 在 6~9 月平均增加 $52\text{m}^3/\text{s}$, 全年平均减少了 4%。其中 5 月份变化最大, 降低了 18%, 8 月份变化最小, 增加了 0.5%。

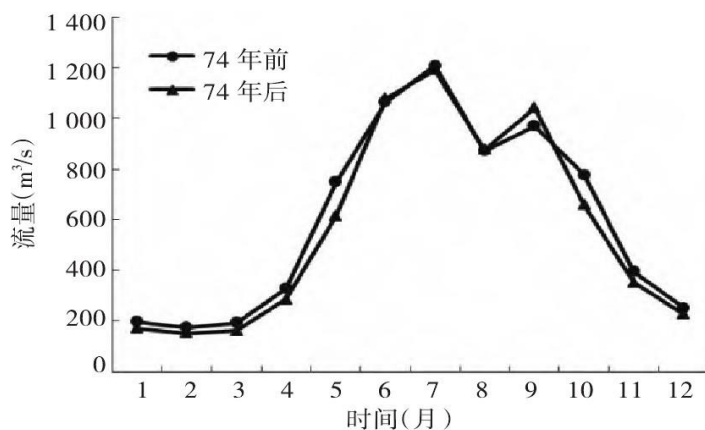


图 5 彭山站 1964~1974 年及 1976~1987 年多年平均流量与月份的关系

以汛期典型 7 月为代表进行分析, 渠首改造前后, 岷江汛期流量变化不大, 流量波动很大。以 1 月作为枯期代表月进行分析, 渠首改造后枯期月平均流量略有减小, 从 $197\text{m}^3/\text{s}$ 降低为 $171\text{m}^3/\text{s}$ 。全年平均流量改造前月平均为 $704\text{m}^3/\text{s}$, 改造后减小为 $676\text{m}^3/\text{s}$ 。(详见图 6)

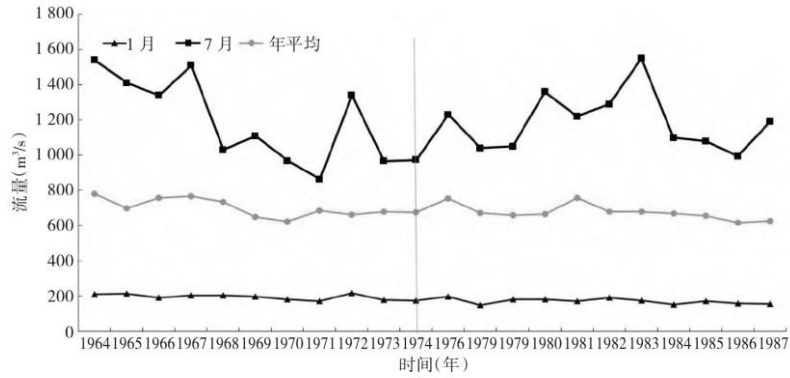


图 6 彭山站枯期、汛期月平均流量及年平均流量与年份的关系

3.3 金马河(外江)在改造前后的径流量变化

选择彭山水文站流量减去宝瓶口水文站流量为外江，分别选取 1964~1974 年、1976~1987 年断面径流量过程为渠首改造前后的径流量过程，对比分析渠首改造前后外江径流量的变化。图 7 表明，改造后金马河流量在 6 月份增加了 $6\text{m}^3/\text{s}$ ，其他月份平均减小了 $68\text{m}^3/\text{s}$ ，全年平均减小了 16%。其中 3 月份变化最大，降低了 40%，9 月份变化最小，增加了 0.9%。

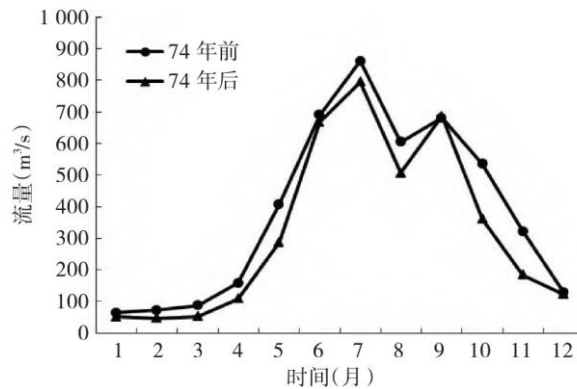


图 7 金马河 1964~1974 年及 1976~1987 年多年平均流量与月份的关系

以汛期典型 7 月为代表进行分析，渠首改造前后，外江汛期流量减小，改造前月平均流量为 $860\text{m}^3/\text{s}$ ，改造后减小为 $795\text{m}^3/\text{s}$ 。以 1 月作为枯期代表月进行分析，渠首改造后枯期月平均流量略有减小，从 $64\text{m}^3/\text{s}$ 降低为 $51\text{m}^3/\text{s}$ 。全年平均流量改造前为 $384\text{m}^3/\text{s}$ ，改造后减小为 $322\text{m}^3/\text{s}$ (图 8)。

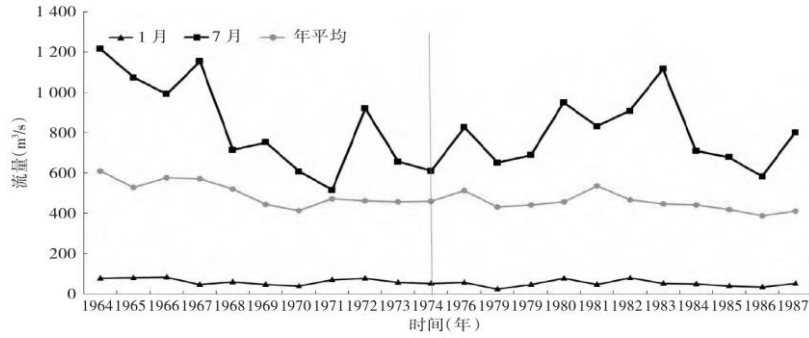


图 8 金马河枯期、汛期月平均流量及年平均流量与年份的关系

4 对策思考

1974 年修建外江临时闸以后，为了保证灌区供水，外江断流时间相对延长。到 2030 年，都江堰灌区需要的引水量将达到岷江可引水量的极限，即岷江金马河河段将处于长时间断流的状态^[7]，不仅河流生态系统稳定受到威胁，同时水体的自净能力也会降低^[8]。所以应在保证内江流量的前提下，适当补充金马河流量。

首先通过河道水生生物节律以及污染负荷变化规律、水文情势变化规律，合理确定金马河和岷江中游生态需水和环境需水，为合理确定措施提供依据^[9]。

其次，实施最严格水资源管理制度，全面实施节水管理，严守水资源开发利用控制、用水效率控制、水功能区限制纳污三条红线。制定水量分配方案，建立取用水总量控制指标体系^[10]。优化水资源配置，强化水资源统一调度和管理，提高水资源优化配置决策水平，促进水资源合理、高效利用^[11]。引进和推广节水型新工艺、新技术，提高灌溉效率。

合理配置鱼嘴断面的水资源，实施跨流域调水。当金马河流量低于生态流量时，增大金马河流量配置。同时沱江和涪江具有丰沛的水量，可以在春灌季节从沱江和涪江引水，以补充所需流量^[7]。

5 结论

本文通过回顾都江堰渠首工程的历史演化，利用已有水文资料分析都江堰渠首工程改造前后岷江及内江、外江的径流过程影响，得到如下结论。

5.1 都江堰渠首工程改造后内江全年平均径流量由 215m³/s 增加至 245m³/s;岷江全年平均径流量由 704m³/s，减小为 676m³/s;外江全年平均流量由 384m³/s 减小为 322m³/s。

5.2 都江堰渠首工程的改造，导致下游内、外江水文情势发生改变，不仅河流生态系统稳定受到威胁，同时水体的自净能力也会降低。

5.3 合理确定外江和岷江中游生态需水和环境需水、落实水资源管理政策、节约灌区综合用水、合理配置鱼嘴断面的水资源及实施跨流域调水增加水资源量，是都江堰可持续发展的保障。

参考文献:

-
- [1] Shuyou Cao, Xinnian Liu, Huang Er. Dujiangyan Irrigation System—a world cultural heritage corresponding to concepts of modern hydraulic science[J]. Journal of hydro-environment Research, 2010, (4):3-13.
- [2] 彭述明, 谭徐明. 都江堰史[M]. 科学出版社, 2004.
- [3] 李可可, 黎沛虹. 都江堰—我国传统治水文化的璀璨明珠[J]. 中国水利, 2004, (18):75-78.
- [4] 林承坤, 吴小根. 2200 多年来都江堰的效能为何历久不衰[J]. 自然杂志, 2001, 23(4):193-198.
- [5] 王绍良. 历史的都江堰是变化的都江堰[J]. 中国水利, 2004, (18):70-71.
- [6] 高占义. 对都江堰水利工程现代化改造的思考[J]. 中国水利, 2020, (3):13-17.
- [7] 彭述明, 王兴奎. 都江堰水资源发展战略思考[J]. 水力发电学报, 2006, 25(3):1-5.
- [8] 王雪蕾, 杨胜天, 郝芳华, 等. 都江堰灌区金马河河流健康空间形态分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2007, 43(4):452-456.
- [9] 王凯利, 王远铭, 蒲迅赤, 等. 岷江中游眉乐段水质变化及其受航电开发的影响[J]. 水生态学杂志, 2018, 39(4):17-23.
- [10] 张蓝天, 梁川. 都江堰灌区水资源管理制度探析[J]. 河南水利与南水北调, 2012, (18):35-36.
- [11] 李翊, 梁川. 都江堰灌区水资源优化调度系统研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2007, 15(4):466-472.