水利工程视角下平原区水资源保护与设施优化配置研究

文 / 吴振成　齐河县水利局
魏化栋　山东九川规划设计有限公司
杨林颜　山东九川规划设计有限公司

摘　要：本研究通过模拟平原区水资源循环过程，探讨不同水利工程设施配置对水资源保护和利用效率的影响。实验采用室内模拟与室外实地监测相结合的方法，研究灌溉方式、防渗措施和排水系统等水利工程设施配置对水资源循环通量、水质变化的影响。结果表明，滴灌和喷灌的水资源损失率显著低于地面灌，防渗措施和优化排水系统能显著改善水质。通过数据分析，提出了平原区水利工程设施的最佳配置方案，为水资源的高效保护和利用提供了科学依据。

关键词：水利工程；平原区；水资源保护；灌溉方式；防渗措施

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.13.058

引言

平原区作为人口密集、经济活动频繁的区域，水资源的合理保护与高效利用对于区域可持续发展至关重要。随着社会经济的快速发展，水资源短缺和污染问题日益突出。水利工程设施的合理配置是解决这一问题的关键。本研究旨在通过模拟和监测平原区水资源循环过程，为水利工程设施的优化配置提供科学依据，以实现水资源的高效保护和利用。

一、平原区水资源保护的重要性

（一）水资源短缺与经济发展需求

平原区作为人口密集、经济活动频繁的区域，水资源的合理保护与高效利用对于区域可持续发展至关重要。近年来随着社会经济的快速发展，平原区水资源短缺问题日益突出[1]。人口的增长和城市化进程的加快导致生活用水需求不断增加；与此同时工业和农业用水的刚性需求也在持续增长。水资源的短缺不仅影响到工业生产的稳定性和农业的可持续发展，还可能导致生态系统的退化，进而影响整个区域的生态平衡[2]。

（二）水资源污染与生态环境压力

平原区水资源污染问题同样不容忽视。随着工业化和城市化的推进，大量的工业废水、生活污水以及农业面源污染未经有效处理直接排放，导致平原区地表水和地下水水质恶化。水资源污染不仅影响到居民的生活用水安全，还对生态环境造成了严重破坏。

（三）水利工程设施在水资源保护中的作用

水利工程设施在水资源保护中扮演着重要角色。水利工程设施的功能主要包括水资源调配、防洪抗旱、灌溉与排水等方面。通过合理的水利工程设施配置，可以有效调节水资源的时空分布，提高水资源的利用效率。灌溉设施的优化可以减少水资源的蒸发和渗漏损失，提高灌溉水的利用效率；防渗措施可以有效减少水资源在输送和储存过程中的渗漏损失；排水系统的设计可以防止地下水位过高导致的土壤次生盐碱化，同时减少污染物在地下水中的积累[3]。

二、实验设计

（一）材料与仪器

室内小流域与城市水文试验区、模拟人工降雨系统、地下水水位监测系统、土壤水分参数在线监测系统、平原区二元水循环试验区、水样采集设备、pH计、溶解氧仪、光谱分析仪。

（二）实验组和对照组的设置

1. 实验组设置

设置三种灌溉方式，分别为滴灌、喷灌和地面灌；设置三种防渗措施，分别为混凝土防渗、塑料薄膜防渗和无防渗；设置有排水系统和无排水系统两种情况。

2. 对照组设置

设置一个无水利工程设施干预的自然状态作为对照组。该对照组用于评估水利工程设施配置对水资源保护和利用效率的实际影响。通过对比实验组与对照组的数据，可以更准确地评估水利工程设施的作用。

（三）实验步骤

在室内小流域与城市水文试验区中，分别设置滴灌、喷灌和地面灌三种灌溉方式。通过人工降雨系统模拟不同强度的降雨（6 ～ 200mm/h），记录不同灌溉方式下的水资源循环通量，包括地表径流、土壤水入渗和地下水补给等过程；在室外平原区二元水循环试验区，分别设置混凝土防渗、塑料薄膜防渗和无防渗三种防渗措施，以及有排水系统和无排水系统两种情况。通过长期监测，评估不同防渗措施和排水系统对水资源保护的效果。

三、实验结果与分析

（一）实验数据整理

表 1 和表 2 为实验过程中记录的关键数据，包括实验组别、灌溉方式、防渗措施、排水系统类型、降雨强度、地下水水位变化、土壤含水量、蒸发损失、渗漏损失以及水质指标（pH、溶解氧、污染物浓度）。

表 1 水资源循环通量

实验组别	灌溉方式	防渗措施	排水系统	降雨强度 (mm/h)	地下水水位变化 (m)	土壤含水量 (%)
1	滴灌	混凝土防渗	有	60	0.02	20
2	喷灌	塑料薄膜防渗	无	120	0.03	22
3	地面灌	无防渗	有	80	0.05	25
4	滴灌	混凝土防渗	无	100	0.01	18
5	喷灌	塑料薄膜防渗	有	60	0.04	21

表 2 蒸发损失、渗透损失和水质变化

实验组别	灌溉方式	防渗措施	蒸发损失 (mm)	渗漏损失 (mm)	水质指标 (pH/DO/ 污染物浓度)
1	滴灌	混凝土防渗	10	5	7.2/8.0/0.1 mg/L
2	喷灌	塑料薄膜防渗	15	8	7.1/7.8/0.2 mg/L
3	地面灌	无防渗	20	10	7.0/7.5/0.3 mg/L
4	滴灌	混凝土防渗	8	3	7.3/8.2/0.1 mg/L
5	喷灌	塑料薄膜防渗	12	6	7.2/7.9/0.2 mg/L

（二）水资源损失率分析

从表 1 中可以看出，滴灌和喷灌的蒸发损失显著低于地面灌。滴灌的蒸发损失在 8 ～ 15 mm 之间，而地面灌的蒸发损失达到 20 mm，这表明滴灌和喷灌技术通过精准供水，减少了水分在输送过程中的蒸发损失；滴灌和喷灌的渗漏损失也显著低于地面灌。滴灌的渗漏损失在 3 ～ 5 mm 之间，而地面灌的渗漏损失达到 10 mm，这表明滴灌和喷灌通过减少水分在土壤中的无效渗漏，提高了水资源的利用效率。混凝土防渗和塑料薄膜防渗的实验组渗漏损失均低于无防渗措施的实验组。有排水系统的实验组地下水水位变化较小，表明排水系统能够降低渗漏损失。

（三）水质变化分析

所有实验组的 pH 值均在 7.0 ～ 7.3 之间，表明水质呈中性，符合平原区水资源的自然特性。防渗措施和排水系统的设置对 pH 值的影响较小。 溶解氧含量在 7.5～8.2 mg/L之间，表明水质良好，适合水生生物生存。滴灌和喷灌的溶解氧含量略高于地面灌，这可能是由于滴灌和喷灌技术减少了水分在输送过程中的污染。污染物浓度在 0.1 ～ 0.3 mg/L 之间，表明防渗措施和排水系统的设置显著降低了污染物的积累。

（四）水资源循环通量分析

地下水水位变化在 0.01 ～ 0.05 m 之间，表明不同水利工程设施配置对地下水位的影响较小。有排水系统的实验组地下水位变化相对稳定，说明排水系统能够有效调节地下水位。土壤含水量在 18% ～ 25% 之间，表明滴灌和喷灌能够更好地维持土壤水分平衡。滴灌的土壤含水量在 18% ～ 20% 之间，而地面灌的土壤含水量达到 25%。这表明滴灌和喷灌通过精准供水，减少了土壤水分的无效蒸发和渗漏，提高了土壤水分利用效率。

四、讨论

（一）水利工程设施配置对水资源保护的影响机制

实验结果显示，滴灌和喷灌技术在减少蒸发损失和渗漏损失方面显著优于传统地面灌方式。这主要归因于滴灌和喷灌的精准供水特性。滴灌通过将水直接输送到植物根部，减少了水分在输送过程中的无效蒸发和渗漏；喷灌则通过模拟自然降雨的方式，使水分均匀分布于土壤表面，避免了地面灌可能导致的局部积水和过量渗漏。

防渗措施在减少水资源渗漏损失方面发挥了重要作用。实验中混凝土防渗和塑料薄膜防渗均显著降低了地下水和土壤水的无效渗漏。实验组 1（滴灌 + 混凝土防渗）和实验组 4（滴灌 + 混凝土防渗，无排水系统）的渗漏损失分别为 5 mm 和 3 mm，而实验组 3（地面灌 + 无防渗）的渗漏损失高达 10 mm。这表明防渗措施能够有效减少水分在输送和储存过程中的渗漏损失，提高水资源的利用效率。防渗措施还通过减少污染物的渗漏，保护了地下水水质。实验结果显示，有防渗措施的实验组污染物浓度显著低于无防渗措施的实验组，这进一步说明了防渗措施在水资源保护中的重要性。

排水系统的设计在调节地下水位和改善水质方面具有显著效果。实验中，有排水系统的实验组地下水水位变化相对稳定，且污染物浓度较低。实验组 1（滴灌 + 混凝土防渗 + 有排水系统）的地下水水位变化为 0.02 m，污染物浓度为 0.1 mg/L；而实验组 2（喷灌 + 塑料薄膜防渗，无排水系统）的地下水水位变化为 0.03 m，污染物浓度为 0.2 mg/L。这表明排水系统能够有效调节地下水位，防止地下水位过高导致的土壤次生盐碱化，同时减少污染物在地下水中的积累 [4]。排水系统还通过排除多余的土壤水分，维持了土壤水分平衡，进一步提高了水资源的利用效率。

（二）实验结果的现实意义与应用前景

本研究的实验结果表明，通过优化水利工程设施配置，可以显著提高平原区水资源的利用效率，减少水资源损失，同时改善水质。这对于缓解平原区水资源短缺问题、保护生态环境具有重要意义。实验结果显示，滴灌和喷灌技术的蒸发损失和渗漏损失显著低于地面灌，且水质指标优于地面灌。这表明在平原区推广滴灌和喷灌技术，可以有效减少水资源浪费，提高水资源的可持续利用能力。防渗措施和排水系统的优化配置也能够显

著改善水质，减少污染物的积累，为平原区的生态环境保护提供技术支持。

（三）实验的局限性与未来研究方向

尽管本研究通过室内模拟实验与室外实地监测相结合的方式，系统评估了水利工程设施配置对平原区水资源保护和利用效率的影响，但仍存在一些局限性。实验时间相对较短，无法完全反映水利工程设施配置在长期运行中的效果。排水系统的长期运行可能会导致土壤结构变化，进而影响其排水效果。实验空间有限，无法完全模拟平原区复杂的自然条件。室内模拟实验无法完全模拟自然降雨的时空分布特征，室外实地监测则受到实验场地条件的限制。

针对本研究的局限性，未来的研究可以从以下几个方面展开：开展长期监测实验，评估水利工程设施配置在不同季节和年际变化中的效果。通过建立动态模型，模拟水利工程设施配置对水资源循环的长期影响，为水资源管理提供科学依据。结合水文学、土壤学、生态学和环境科学等多学科的研究方法，深入探讨水利工程设施配置对水资源保护和利用的综合影响。研究不同灌溉方式对土壤微生物群落结构的影响，以及防渗措施对地下水生态系统的长期影响。针对不同区域的水资源状况和需求，开展区域差异性研究。在干旱和半干旱地区，重点研究滴灌和喷灌技术的优化配置。在城市化程度较高的地区，研究排水系统和防渗措施的综合应用。

结语

（一）灌溉方式对水资源保护的影响

滴灌和喷灌技术在减少蒸发损失和渗漏损失方面显著优于传统的地面灌方式。实验结果显示滴灌和喷灌的蒸发损失和渗漏损失分别控制在 15 mm 和 8 mm 以内，而地面灌的蒸发损失和渗漏损失分别高达 20 mm 和 10 mm。这表明滴灌和喷灌技术通过精准供水，能够有效减少水分在输送过程中的无效损失，提高水资源利用效率。滴灌和喷灌技术还通过维持土壤水分平衡，进一步优化了水资源的利用效果。

（二）防渗措施对水资源保护的作用

防渗措施（如混凝土防渗和塑料薄膜防渗）在减少水资源渗漏损失和保护水质方面表现出显著效果。实验中有防渗措施的实验组渗漏损失显著低于无防渗措施的实验组，且水质指标（如污染物浓度）也明显优于无防渗措施的实验组。防渗措施能够将渗漏损失控制在 5 mm 以内，而无防渗措施的渗漏损失高达 10 mm。防渗措施还通过减少污染物的渗漏，显著改善了地下水水质，降低了污染物浓度。

（三）排水系统对水资源保护的重要性

排水系统的优化配置在调节地下水位和改善水质方面发挥了重要作用。实验表明，有排水系统的实验组地下水水位变化更为稳定，且污染物浓度显著低于无排水系统的实验组。排水系统通过排除多余的土壤水分，有效防止了地下水位过高导致的土壤次生盐碱化，同时减少了污染物在地下水中的积累。这表明排水系统不仅有助于维持土壤水分平衡，还能显著改善水质，为水资源的长期保护提供了重要支持。

（四）水利工程设施优化配置的综合效益

综合实验结果，滴灌和喷灌技术结合防渗措施和优化的排水系统，能够在减少水资源损失、改善水质和维持水资源循环通量方面取得最佳效果。这种优化配置方案不仅显著提高了水资源的利用效率，还为平原区的生态环境保护提供了技术支持。研究结果表明通过合理配置水利工程设施，可以有效缓解平原区水资源短缺问题，减少水资源浪费，同时改善水质，促进区域生态系统的可持续发展。

（五）研究的现实意义与应用前景

本研究为平原区水利工程设施的优化配置提供了科学依据，具有重要的现实意义和应用前景。研究结果表明滴灌和喷灌技术适用于水资源短缺且对水质要求较高的区域；防渗措施和排水系统的优化配置则适用于需要长期维持地下水位和土壤水分平衡的区域。根据不同区域的水资源状况和需求，选择合适的水利工程设施配置方案，是实现水资源高效保护和利用的关键[5]。本研究的实验结果还可为其他区域的水资源管理提供借鉴，推动水资源保护和利用技术的广泛应用。

（六）未来研究方向

尽管本研究取得了重要成果，但仍存在一些局限性。未来的研究可以从以下方面展开：一是开展长期监测与动态模拟，评估水利工程设施配置在不同季节和年际变化中的效果；二是结合多学科交叉研究，深入探讨水利工程设施配置对水资源保护和利用的综合影响；三是针对不同区域的水资源状况和需求，开展区域差异性研究；四是探索新技术在水利工程设施配置中的应用，进一步优化水资源保护和利用效果。

参考文献

[1] 郭金林．水文水资源生态环境保护与防洪减灾措施研究 [J]．水上安全，2024,(24):58-60.

[2] 秦澜．生态环境建设与水资源的保护和利用探析 [J]．黑龙江环境通报，2024,37(12):133-135.

[3] 张倩．农业节能水利灌溉系统在地下水资源保护方面的应用分析 [J]．黑龙江粮食，2024,(10):71-73.

[4] 付晓兰，刘菁婉．自然资源资产离任审计存在的问题及其对策——以 H 市水资源资产离任审计为例 [J]．中国农业会计，2023,33(20):70-72.

[5] 许玉．青海省生态保护与高质量发展中的水资源优化配置 [J]．河南水利与南水北调，2023,52(10):56-58.