

干旱地带非常规水源归集利用配套水工建设探析

陈普

新疆汇金源水利工程有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i5.7009

[摘要] 干旱地带水资源匮乏严重制约区域经济社会发展与生态安全。非常规水源的归集与利用成为缓解水资源供需矛盾的关键途径。本文聚焦于干旱地带,系统探讨了以雨水、微咸水、再生水为主的非常规水源特性及其开发潜力。论文重点分析了支撑其高效归集与安全利用的配套水工建设体系,涵盖集流、储存、处理、输配及智能管控等关键环节。通过剖析不同水源的特异性工程需求、适宜技术工艺集成以及建设运营中的核心挑战,旨在为干旱地区构建多元化、可持续的水资源供给模式提供系统的工程技术参考与实践思路。

[关键词] 干旱地带; 非常规水源; 水资源归集; 水工建设; 雨水利用

中图分类号: S342.1 **文献标识码:** A

Exploration of supporting hydraulic construction for the collection and utilization of unconventional water sources in arid areas

Pu Chen

Xinjiang Huijinyuan Water Conservancy Engineering Co., Ltd

[Abstract] The severe scarcity of water resources in arid regions severely restricts regional economic and social development as well as ecological security. The collection and utilization of unconventional water sources have become a key way to alleviate the contradiction between water supply and demand. This article focuses on arid regions and systematically explores the characteristics and development potential of unconventional water sources mainly consisting of rainwater, brackish water, and recycled water. The paper focuses on analyzing the supporting hydraulic construction system that supports its efficient collection and safe utilization, covering key links such as collection, storage, treatment, transmission and distribution, and intelligent control. By analyzing the specific engineering requirements of different water sources, the integration of suitable technology processes, and the core challenges in construction and operation, the aim is to provide systematic engineering technical references and practical ideas for building a diversified and sustainable water resource supply model in arid areas.

[Key words] arid zone; Unconventional water sources; Collection of water resources; Hydraulic construction; rainwater utilization

引言

在全球气候变化和人类活动加剧的背景下,干旱半干旱地区的水资源短缺问题越来越严重,传统的水源供给方式已经不能满足生态保护和社会经济发展需要了。非常规水源主要是雨水、再生水、微咸水、苦咸水等,由于其分布广、开发潜力大,是干旱地区水资源可持续管理的补充和战略储备。但是其有效归集和安全利用很大程度上依靠系统化的、有针对性的配套水利工程建设。这些工程要适应干旱区特有的气候、地质和水文条件,并且要考虑水源水质的特点、利用方式以及经济性。本文主要研究干旱地带非常规水源开发过程中配套水工建设的技术体系、工程模式和存在的问题,为提高区域水资源保障能力提供

理论依据和技术支持。

1 干旱地带非常规水源的类型与特性分析

干旱地带可利用的非常规水源有三类,分别是大气降水(雨水)、经过处理的城镇污水(再生水)和地下微咸水、苦咸水。干旱区雨水总量少、时空分布不均,多以短时强降雨的形式出现,但是水质好,经有效集流后可以实现零散水资源的规模化聚集,适合于农业灌溉、生态补水和分散式生活用水补充。再生水来源于城镇生活污水和生产污水,具有水量稳定、不受气候影响的特点,但是水质成分复杂,含有营养盐、病原微生物和微量有机物等,需要经过适当的处理才能达到不同的回用标准(城市杂用、工业冷却、景观环境、农业灌溉等),其利用的核心是水质

分级处理和分质供水的匹配。微咸水、苦咸水在干旱区地下水资源中所占比例较大,其开发利用不需要长距离调水,但是高盐度是主要的限制因素,需要通过淡化或者与淡水掺混等方式降低盐分后才能利用,能耗和成本是关键技术的经济瓶颈。这三种水源具有共同的特点就是“非传统性”和“条件可利用性”,其开发价值不是由于水质好而产生的,而是由于存在普遍性,在一定的技术经济条件下可以转化为可用水资源的潜力。因此,配套水工建设的第一要务就是充分认识并顺应水源本身的固有特性,设计出具有较强适应性、高效率、低成本的工程系统^[1]。

2 配套水工建设的关键技术体系构成

支撑干旱地带非常规水源高效归集和利用的配套水工建设,是集收集、储存、处理、输配、管理为一体的复合技术体系。收集环节,对雨水要建设高效的集流面工程(专用集雨场、屋面集流系统、地表径流拦截沟渠等),最大程度上收集降水并控制面源污染;对再生水要建设完善的污水收集管网和提升泵站,保证污水资源不流失;对微咸水要依靠合理的布井和抽提设施。储存环节十分重要,特别是对那些高度不稳定、难以长期保存的雨水资源,要修建适应各种规模需求的水窖、水池、塘坝甚至水库等蓄水工程,其设计要重视防渗、防蒸发(使用浮盖、遮荫等),还要注意水质的保持。处理环节是保障用水安全的重要环节,技术选择有多种多样和梯度之分。雨水处理比较简单,一般采用沉淀、过滤、消毒等工艺;再生水处理根据回用目标分为二级生物处理、高级氧化、膜过滤等深度处理工艺;微咸水淡化主要采用反渗透、电渗析等膜法技术,近几年来也开始研究太阳能蒸馏等低碳技术。输配环节要建立独立的或者有明显标识的管网系统,再生水管网必须严格防止和饮用水管网交叉污染。管理环节越来越依靠智能化监测和控制技术,用物联网监测水源水质水量、调控处理工艺运行、实现精准灌溉等来提高整个系统的效率和可靠性。该技术体系不是孤立的模块叠加,而要依照具体的水源情况、用水需求、地形地貌和社会经济状况来有机地整合并加以改进^[2]。

3 不同类别水源的配套水工建设探析

3.1 雨水集蓄利用配套水工建设

干旱区雨水集蓄利用工程的关键就是“聚少成多,蓄丰补歉”。其配套水工建设包括集流系统、蓄水系统、净化系统和配水系统。集流系统的设计要科学计算集流效率,选用合适的集流面材料(混凝土、沥青、塑料膜、原土夯实处理等),合理规划集流面积和坡降,在有限的降雨事件中捕获最大的水量。同时还要设置初期雨水弃流装置,避免初期径流带入的集流面沉积物和污染物,这是保证后续储存水质的第一步。蓄水系统是工程的心脏,常见的有家庭水窖、社区水池、田间塘坝和小型水库等。极度干旱区防蒸发损失是设计重点,采用地下式或者半地下式结构,附加拱形顶盖、漂浮盖板(塑料球)、利用当地材料搭建遮荫棚。防渗处理非常重要,传统的做法有胶泥夯筑,现代的多用水泥砂浆抹面、铺设土工膜或者混凝土整体浇筑。净化系统一般与蓄水系统相结合使用,使用简易沉淀池、慢滤沙滤池或者小型

滤罐和消毒设备(紫外线、氯片投加器)等,处理成本要保持在较低的水平上,符合农村经济条件。配水系统大多使用重力自流或者小型提水泵,配合滴灌、渗灌等高效节水灌溉技术,直接把水输送到农田或者庭院。此类工程建设的关键是因地制宜、就地取材、群众参与,从而达到降低成本和提高可持续性的目的。挑战就是长期运行中维护管理、水质动态监测、应对极端干旱年份蓄水不足等风险^[3]。

3.2 再生水回用配套水工建设

再生水回用工程是城市污水系统和用水单元之间的“再造循环”的纽带。其配套水工建设是以污水处理厂为中心向前后端延伸。前端依靠全覆盖、高收集率的城镇污水管网来保证原料充足稳定。核心处理设施要按照回用目的“量身定做”:城市绿化、道路冲洗、施工降尘等杂用水一般需要污水经过二级生化处理之后,再经过混凝、沉淀、过滤、消毒(深度处理)达到相应的标准;补给河道景观水体时,可能还需要增加脱氮除磷或者生态处理单元(人工湿地)来控制富营养化风险;工业冷却等用途则对硬度、氯离子、微生物等指标有特定的要求,可能需要软化、膜过滤等工艺。因此水厂设计要具有工艺的灵活性和升级的空间。处理过的再生水要通过独立设置的输配管网(一般用紫色管道标示),再经由该输配管网送到各用水点。管网布置要同城市总体规划相衔接,优先考虑绿化带、工业区、景观水体等集中用水户,设置可靠的安全倒流设施,防止与饮用水系统误接。另外还要建立水质在线监测和预警系统,对重要的指标(余氯、浊度、大肠杆菌等)实行实时的监控,保证供水安全。该体系建立之初就存在着巨大的初期投入,尤其是管网部分,公众接受度提高、不同季节用水需求的波动和稳定的供水之间的矛盾。发展方向就是建立分布式、模块化的小型再生水处理厂,靠近用水点设置,减少管网投资并达到精确供水的目的^[4]。

3.3 微咸水/苦咸水开发利用配套水工建设

微咸水开发利用的配套水工建设以淡化或者改良利用为主。淡化利用的核心工程为淡化装置和配套能源设施。反渗透(RO)是目前应用最广的一种技术,工程建设内容有预处理单元(多介质过滤、精密过滤、阻垢剂投加)、高压泵、RO膜组、后处理单元(调节pH、消毒)、浓盐水排放或者处理设施等。在电网覆盖范围小、资源匮乏的偏远干旱地区,能源供应是制约因素,所以以太阳能作为动力源的可再生能源耦合淡化系统成为研究和应用的重点。太阳能光伏驱动的RO系统,或者直接用太阳能蒸馏(太阳能蒸馏棚、多级闪蒸等)。这些系统设计要对当地的太阳辐射资源、水源水质和水量做准确的评估,并且还要做能量平衡和成本核算。对于含盐量低的微咸水,另一种方法就是“改良利用”,即不完全淡化,而是用工程措施达到安全利用的目的。建设混灌系统,把微咸水和有限的淡水按一定比例混合,降低灌溉水盐度;建设排盐工程,用滴灌等精准灌溉技术减少根系区盐分积累,配套建设排水沟渠,将淋洗出的盐分排出农田区域。另外,选育耐盐作物并配合土壤改良剂使用,也属于一种生物和工程相结合的利用方式。该领域水工建设最大的难题就是淡化过程

耗能高、成本高,浓盐水的环境友好处理问题。浓盐水如果直接排放到当地土壤和浅层地下水里,就会造成严重的污染,所以需要建设蒸发塘、结晶分盐资源化或者用作某些工业生产的原料(如化工原料等)^[5]。

3.4 智能化管控系统在水工建设中的集成应用

现代信息技术正在渗透到非常规水源利用的配套水工体系当中,产生出“智慧水工”的新范式。智能化管控系统的集成运用,使得工程运行效率得到提升,安全水平得以提高,并且具备较好的适应能力。该系统一般使用的是物联网架构,分为感知层、传输层、平台层和应用层。在工程的关键节点上布置传感器来实时检测水源地水位、水质(pH、电导率、浊度、氨氮等)、集流面降雨量、蓄水池液位、处理设施运行参数(压力、流量、膜通量)、管网压力和流量以及最终用水点的使用情况。传输层用LoRa、NB-IoT、4G/5G等无线通信技术把海量数据安全地传送到云端。平台层为“大脑”,搭建起云平台或者本地服务器,用大数据分析、机器学习算法对数据进行汇聚、分析、存储和可视化。应用层为不同的用户群提供智能服务,运维人员可以对泵阀、加药装置、过滤反冲洗等设备进行远程控制和自动调节,根据水质水量预测来调度工艺,达到节能降耗的目的,水质超标、设备故障或者管网泄漏的时候,系统会自动报警并且定位。对管理者来说,系统给出全域水资源平衡分析、利用效率评定、成本算账和决策支撑报表。对于使用手机APP查看蓄水情况并预约使用农业灌溉用水的用户(农户)。干旱区这样的智能系统可以很好地解决水源时空上的不均衡问题,达到精确分配的目的。

3.5 配套水工建设的综合挑战与可持续发展对策

干旱地带非常规水源配套水工建设虽然有潜力,但是推进过程中会遇到很多综合性的挑战。技术经济上许多先进的处理技术(高性能反渗透膜、高级氧化等)价格昂贵、系统运行能耗大,在经济发展水平较低的干旱地区很难大规模推广;分散式的小型工程存在着技术标准程度低、后期维护不到位等缺点。管理机制上存在多头管理、权责不明的现象,雨水集蓄、再生水回用、微咸水开发分别属于水利、住建、环保、农业等不同的部门,没有统一的规划和协调,水价形成机制不健全,非常规水价与成本倒挂,影响市场的积极性。从社会接受度上来说,公众

对于再生水、微咸水的“心理门槛”还不能完全跨过,对于其安全性的顾虑影响了直接使用。生态环境风险上,浓盐水、再生水灌溉带来的长期土壤盐渍化和生态累积效应要谨慎考虑。为了促进其可持续发展,需要采取综合性的对策。技术上要大力研发和推广适合于干旱区的低成本、低能耗、易维护的适宜技术,改进型雨水过滤设备、太阳能驱动的小型淡化装置、人工湿地耦合处理工艺等。

4 结语

干旱地区水资源危机促使人们不得不把眼光投向雨水、再生水、微咸水等非常规水源。但是这些水源从“潜在资源”变为“稳定供给”,很大程度上依靠的是系统的、精细化的配套水工建设。本文对集蓄、处理、输配、管控等主要环节进行分析可知,水工建设要遵循“因地制宜、分类施策、技术集成、智能管理”这一原则。它不单是混凝土和管道的堆砌,更是一个包含水文、材料、环境、信息等多学科知识的系统工程。随着气候变化的不确定性以及水需求量的不断增大,干旱地带非常规水源开发的作用将会越来越大。因此,不断加强相关水工技术的研究,破除成本、能耗的瓶颈,创新建设、运维管理方式,加强区域之间经验交流和国际合作,对建立干旱区具有韧性的水安全保障体系有着十分重要的意义。

[参考文献]

- [1]关兴.基于IoT与动态感知的干旱区多水源智能灌溉调控措施[J].数字农业与智能农机,2025,(11):72-75.
- [2]王文琪,王宗志,白莹,等.干旱背景下湖库型水源地水生态环境特征及调水输入影响[J].水利水运工程学报,2026,(01):82-96.
- [3]郭溪,梁鹏辉,吴泽宁,等.不同干旱条件下区域抗旱水源优化配置研究[J].水利学报,2025,56(09):1228-1239.
- [4]刘妍昕.昆明地区气象—水文干旱传播特征及多水源联合抗旱优化调度研究[D].大连理工大学,2025.
- [5]梁鹏辉.基于结构—功能损伤的不同干旱条件下区域抗旱水源配置研究[D].郑州大学,2025.

作者简介:

陈普(1991—),男,汉族,河南人,本科,研究方向水资源。