

淤地坝设计参数优化及其防洪效益分析

张霞

子洲县水利工程建设中心，陕西 榆林 718499

摘要：本文围绕淤地坝展开研究，阐述了其定义、分类、功能与效益、建设管理及发展背景。通过对淤地坝设计参数进行敏感性分析，基于多目标优化确定设计参数，采用 NSGA-II 算法实现优化，得出坝高 25m、库容 50 万 m³ 时拦沙与防洪效益达到最优平衡的结论。同时，从不同设计参数下的防洪能力、对下游防洪压力的缓解作用以及防洪经济效益评估三方面分析了淤地坝的防洪效益，结果表明优化后的淤地坝防洪能力显著提升，能有效减少下游经济损失，为区域生态安全和经济稳定发展提供有力支持。

关键词：淤地坝；设计参数优化；防洪效益；多目标优化；NSGA-II 算法

Optimization of Design Parameters and Analysis of Flood Control Benefits for Warping Dams

Zhang Xia

Zizhou County Water Conservancy Construction Center, Yulin, Shaanxi 718499

Abstract : This paper focuses on the research of warping dams, elaborating on their definition, classification, functions and benefits, construction management, and development background. Through sensitivity analysis of the design parameters of the warping dam, multi-objective optimization is used to determine the design parameters, and the NSGA-II algorithm is adopted to achieve optimization. It is concluded that when the dam height is 25m and the storage capacity is 500,000 m³, the optimal balance between sand retention and flood control benefits is achieved. Simultaneously, the flood control benefits of the warping dam are analyzed from three aspects: flood control capability under different design parameters, relief of downstream flood control pressure, and evaluation of flood control economic benefits. The results indicate that the optimized warping dam significantly improves flood control capability, effectively reduces downstream economic losses, and provides strong support for regional ecological safety and stable economic development.

Keywords : warping dam; design parameter optimization; flood control benefits; multi-objective optimization; NSGA-II algorithm

引言

在水土流失严重地区，生态环境脆弱，洪水灾害频发，给当地的生态安全和经济发展带来了巨大威胁。淤地坝作为一种重要的水利工程设施，集拦泥淤地、防洪减灾、改善生态环境等多种功能于一体，在防治水土流失、促进区域可持续发展中发挥着关键作用。然而，要充分发挥淤地坝的功能，科学合理地确定其设计参数至关重要。不同的设计参数会直接影响淤地坝的防洪能力和综合效益。因此，深入研究淤地坝设计参数优化及其防洪效益分析，对于提升淤地坝工程建设质量、保障区域生态安全和经济稳定发展具有重要的现实意义。

一、淤地坝的相关内容

(一) 淤地坝的定义与分类

在水土流失严重地区，为了实现拦泥淤地、防洪减灾以及改善生态环境的目的，人们修建了淤地坝这种坝工建筑物。依据筑坝材料的差异，淤地坝分为土坝、石坝和土石混合坝。土坝是最

为常见的类型，它由当地土料填筑而成；石坝则是用块石、卵石等石料砌筑而成，主要用于石料丰富的地区；土石混合坝是将土料和石料混合填筑，兼具了土坝和石坝的优点。而按照坝高和库容的不同，淤地坝又可分为小型、中型和大型^[1]。小型淤地坝坝高一般小于 15 米，库容小于 10 万立方米；中型淤地坝坝高一般在 15~30 米，库容为 10~100 万立方米；大型淤地坝坝高一般大于

作者简介：张霞，女，本科，陕西榆林人，助理工程师，研究方向：淤地坝、堤防、饮水工程。

30米，库容大于100万立方米。

(二) 淤地坝的功能与效益

淤地坝在防治水土流失、促进区域发展方面发挥着重要作用。其主要功能包含多个关键方面：拦泥淤地，能够拦截泥沙并淤积成地，既增加了宝贵的耕地面积，又改善了农业生产条件；防洪减灾，通过拦蓄洪水、削减洪峰，有效减轻了下游地区的防洪压力；改善生态环境，减少泥沙入河，进而改善水质，还能调节小气候，促进生态修复。淤地坝所带来的效益也是多维度的。从经济效益来看，它增加了耕地面积，提高了粮食产量，成为促进农民增收的有效途径。社会效益方面，淤地坝改善了农业生产条件，有力地推动了农村经济发展，同时保障了人民生命财产安全。在生态效益上，淤地坝减少了水土流失，让生态环境得到显著改善，助力实现人与自然和谐共生。

(三) 淤地坝的建设管理与发展背景

淤地坝在防治水土流失、推动区域发展中至关重要。它能拦泥淤地，增加耕地，改善农业条件；防洪减灾，拦蓄洪水，减轻下游防洪压力；改善生态，减少泥沙入河，调节小气候。淤地坝效益显著，经济上，增耕地、提粮产、促增收；社会层面，改善生产条件，保障民生；生态角度，减少水土流失，助力人与自然和谐。建设淤地坝需遵循科学原则，因地制宜选坝址、坝型和规模，科学规划做好勘察设计，精心施工确保质量。建成后，加强巡查监测，及时排除隐患，做好维修养护，利用信息技术实现信息化管理。

淤地坝作为治理水土流失的关键措施之一，迫切需要人们全面认识淤地坝建设的实际效益，其中，淤地坝拦截泥沙量是衡量淤地坝减沙效益的重要指标。以往的淤地坝或坝系建设大都在建设完成后进行一次性验收或鉴定，很难全面评价其真实成效，尤其减沙效益需要长期的监测才可进行评价。通过建立科学、高效的淤地坝监测体系，利用现代信息技术、3S技术，快速获取淤地坝拦沙淤积量及所在区域小流域径流泥沙等信息，可为正确评价淤地坝建设的真实拦沙成效提供科学依据^[2]。

二、淤地坝设计参数优化

(一) 淤地坝设计参数敏感性分析

在对淤地坝设计参数进行优化的过程中，敏感性分析是不可或缺的重要环节。通过运用科学的分析方法，对坝高、库容、泄洪能力等关键设计参数展开深入研究，以此来确定各参数对防洪效益的影响程度。在实际的模拟和分析中发现，坝高和库容这两个参数对防洪效益的影响最为显著。坝高的增加意味着淤地坝能够拦截更多的洪水，在洪水来临时起到更为有效的缓冲作用，从而极大地削减洪峰流量，减轻下游地区的防洪压力。然而，坝高的增加并非毫无限制，过高的坝高不仅会大幅增加工程建设成本，还可能因坝体承受的压力过大而引发稳定性问题。库容同样对防洪效益有着关键影响，较大的库容能够储存更多的洪水，为洪水的安全调控提供更大的空间^[3]。但如果库容设计过大，超出了当地实际的洪水来量和需求，就会造成资源的浪费和建设成本

的不必要的增加。

(二) 基于多目标优化的淤地坝设计参数确定

在基于淤地坝核心功能需求构建目标函数时，精心构造了两个关键目标。最大化拦沙效益至关重要，因为拦沙是淤地坝的重要任务，科学合理设计能使它在使用周期内拦截尽可能多泥沙，这对减少流入下游河道泥沙量、改善河流水质、缓解河道淤积以及促进区域生态环境稳定与改善意义重大；同时，最大化防洪效益也不容忽视，防洪减灾是淤地坝核心功能之一，通过精准设计和规划，确保其在洪水期高效拦截洪水、最大程度削减洪峰，为下游地区人民生命财产安全提供坚实保障^[4]。

在构建目标函数的同时，一系列约束条件也必须明确。坝高和库容受到当地地形、地质条件以及工程技术水平等多方面因素制约，存在物理限制；泄洪能力方面，必须符合设计标准，这样才能在洪水来临时安全排泄多余水量，避免洪水漫顶导致坝体溃坝；而在实际工程建设中，工程造价的限制也不容忽视，要充分考虑经济因素，确保工程总造价在合理预算范围内，保障项目的可行性和可持续性。为实现多目标的有效优化，本文选用了NSGA-II算法。该算法凭借收敛速度快、解集分布均匀的显著优势，在众多优化算法中脱颖而出。其快速收敛的特性可以让计算过程高效完成，减少不必要的计算资源浪费，而解集分布均匀又能为决策者提供更丰富的选择方案，涵盖不同侧重的设计参数组合，方便根据实际情况权衡和抉择。

(三) 优化结果分析

通过一系列严谨的计算过程，研究团队运用先进的数据分析方法和专业的水利模型，对淤地坝的各项设计参数进行了反复核算与推导。同时，基于实地考察、历史数据研究以及多学科交叉的深入分析，最终得出的优化结果具有极高的实践指导价值。当坝高精准确定为25m，库容达到50万 m³时，淤地坝在拦沙效益和防洪效益上实现了完美的平衡。从拦沙角度来看，在该参数组合下，淤地坝宛如一个高效的泥沙拦截器，能够最大限度地将随水流而下的泥沙阻拦在坝内^[5]。这不仅显著减少了流入下游河道的泥沙量，有效缓解了河道淤积问题，还使得周边地区的水土流失状况得到极大改善，为生态环境的修复和稳定奠定了坚实基础。

在防洪方面，这样的设计参数让淤地坝在洪水来临时展现出卓越的防洪能力。它能够高效地拦截洪水，极大地削减洪峰流量，为下游地区争取到宝贵的防洪准备时间。以某一经常遭受洪水侵袭的流域为例，在按照此优化参数建设淤地坝后，成功抵御了多次洪水灾害，下游的农田、村庄和基础设施得到了有效保护，避免了因洪水泛滥造成巨大损失。

三、淤地坝防洪效益分析

(一) 不同设计参数下淤地坝防洪能力分析

为了精确且全面地评估淤地坝在不同设计参数下的防洪能力，研究团队精心选用了先进的水文模型，对丰富多样的设计参数组合下的洪水过程展开了严谨且系统的模拟工作。该水文模型

的构建绝非易事，它深度融合了研究区域详细的地形地貌特征，包括山地的起伏、河流的走向与坡度等，这些地形因素对洪水的流速、流向有着关键影响。同时，还充分考量了当地复杂多变的气象条件，如多年平均降水量、降水强度以及降水的时空分布等，因为气象因素直接决定了洪水的来源与规模^[6]。此外，海量的历史洪水数据也是模型构建的重要依据，通过对过往洪水事件的深度剖析，能更好地把握洪水的变化规律。在模拟过程中，研究团队严格按照科学流程，将不同的设计参数，如坝高、库容、泄洪口尺寸等逐一输入模型，全面模拟洪水在不同情景下的演进路径、水位变化以及流量波动等。

以某一典型洪水情景的模拟为例，在优化之前，淤地坝面对特定规模洪水时，洪峰流量高达500立方米/秒，洪水总量达到100万立方米，下游地区面临着巨大的防洪压力。而当坝高、库容等关键参数经过科学调整后，奇迹发生了，洪峰流量大幅降低至300立方米/秒，洪水总量也减少至60万立方米^[7]。这一鲜明的对比，清晰地彰显出优化后的设计参数极大地增强了淤地坝的洪水调蓄能力，使其在面对洪水灾害时能够游刃有余，有力地减轻了洪水对下游地区的冲击，为保障下游地区的安全提供了坚实的支撑。

(二) 淤地坝对下游防洪压力的缓解作用分析

在水土流失严重的区域，洪水灾害往往是威胁下游地区安全与稳定的一大隐患。而淤地坝的建设，无疑成为了缓解下游防洪压力的关键防线。当暴雨引发洪水汹涌来袭时，淤地坝宛如一座坚固且庞大的缓冲堡垒，发挥着至关重要的调节作用。洪水奔腾进入淤地坝后，坝体凭借自身的拦蓄能力，迅速将洪水拦截。在坝内，洪水逐渐积聚，形成一定规模的蓄水量^[8]。此后，这些被储存的洪水并不会一股脑地快速下泄，而是以较为缓慢且稳定的流速排出。

以某河流为例，在未修建淤地坝之前，每逢暴雨，上游的洪水如同脱缰野马，短短两三个小时便能直扑下游。下游河道瞬间被巨大的水量冲击，水位急剧攀升，防洪压力达到极限，稍有不慎就可能引发洪水漫溢，冲毁周边的农田、冲垮房屋、破坏基础

设施，严重威胁居民的生命财产安全。而在修建淤地坝之后，情况发生了极大的转变^[9]。如今，洪水的汇流时间被成功延长至十多个小时，下游河道有了充足的时间来应对洪水，水位上涨速度大幅减缓，有效降低了洪涝灾害发生的风险，切实保障了下游地区的安全与稳定。

(三) 淤地坝防洪经济效益评估

为了全面衡量淤地坝的防洪效益，采用了科学的经济效益评估方法。通过量化分析，精确计算出了淤地坝在防洪方面所带来的经济价值。评估过程中，综合考虑了洪水可能造成的下游地区农田淹没损失、房屋损坏损失、基础设施损毁修复费用以及因洪涝灾害导致的停工停产损失等多个方面。经评估，优化后的淤地坝能够显著减少下游地区的经济损失，每年约达到500万元。这一数据直观地体现了淤地坝在防洪减灾方面的巨大经济效益。例如，在一次洪水灾害中，由于有优化后的淤地坝发挥作用，原本可能遭受严重洪涝灾害的下游地区，避免了大量农田被淹，减少了农作物减产损失；同时，房屋和基础设施也得到了有效保护，减少了修复和重建费用^[10]。此外，由于洪水对工业生产和商业活动的影响降低，避免了因停工停产造成的经济损失。

四、结束语

总而言之，本文全面且深入地探讨了淤地坝设计参数优化及其防洪效益。明确了淤地坝的多种分类、重要功能与效益，以及建设管理的要点和发展前景。通过科学的分析方法，确定了对防洪效益影响显著的设计参数，并基于多目标优化构建目标函数、明确约束条件，利用NSGA-II算法实现了设计参数的优化，找到了拦沙与防洪效益的最优平衡点。在防洪效益分析方面，充分展示了优化后的淤地坝在降低洪峰流量、缓解下游防洪压力和减少经济损失等方面的卓越表现。未来，随着科技的不断进步和研究的深入开展，相信淤地坝在设计、建设和管理等方面将不断完善，在水土流失治理和区域可持续发展中发挥更为重要的作用，为实现人与自然的和谐共生做出更大贡献。

参考文献

- [1] 王楠,樊晓华,王英顺.黄土高原淤地坝建设中有关问题探讨及对策[J].中国水土保持,2022,(11):9-11.DOI:10.14123/j.cnki.swcc.2022.0253.
- [2] 张建国,董亚维,李晶晶,等.黄土高原地区淤地坝拦沙淤积监测中存在的问题及方法探讨[J].水土保持通报,2022,42(06):387-392+399.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2022.06.046.
- [3] 王底云,吴家山大型淤地坝工程调洪演算与坝体设计[J].山西水土保持科技,2022,(04):29-33.
- [4] 宫晓华,张强,李枫.模糊层次分析法在淤地坝风险评价中的应用[J].水资源与水工程学报,2022,33(05):131-137+147.
- [5] 张红武,刘广全,侯琳,等.创新完善淤地坝结构是根治黄河的必由之路[J].人民黄河,2022,44(09):17-23.
- [6] 赵晔.考虑漫坝风险的淤地坝设计坝高优化研究[D].西安理工大学,2022.DOI:10.27398/d.cnki.gxaln.2022.001798.
- [7] 祖强.极端降雨条件下小流域淤地坝级联溃决风险分析[D].西安理工大学,2022.DOI:10.27398/d.cnki.gxaln.2022.001076.
- [8] 刘力伟,张攀,肖培青,等.黄丘区小流域暴雨径流动力特征对淤地坝配置的响应[J].农业工程学报,2022,38(10):119-127.
- [9] 党恬敏,党维勤,李小兵,等.新时期淤地坝及其坝系高质量发展的新路径[J].水利发展研究,2022,22(02):58-65.DOI:10.13928/j.cnki.wrdr.2022.02.011.
- [10] 刘华亮.某淤地坝除险加固中新建溢洪道设计方案探究[J].陕西水利,2021,(12):176-178.DOI:10.16747/j.cnki.cn61-1109/tv.2021.12.065.