

水利水电工程水库淹没影响区防护方法及发展浅析

杨信美 胡涛 邹玉君 汪斌

长江勘测规划设计研究有限责任公司, 中国·湖北 武汉 430072

摘要: 水库建设会使上游水位抬高造成淹没和浸没影响问题, 对淹没影响区内的城(集)镇、成片耕地等特定对象进行防护有利于减小淹没损失。常见的淹没影响区防护方法包括围堤防护、护岸工程、建筑物加固、低地垫高和防浸工程等。围堤防护、护岸工程及建筑物加固应用范围广, 技术成熟。但低地垫高和防浸工程虽然已有一定范围的工程应用, 但研究尚不充分。低地垫高中, 农田抬填后易出现土壤肥力下降, 抬田后的保水保土保肥措施有待研究。防浸工程中, 难以精确预测蓄水后的地下水位雍高, 因此防浸设计多依赖经验, 且具有滞后性。并且, 水库淹没影响区防护是一项系统工程, 目前对防护方案的适用性缺乏量化的综合评价方法。

关键词: 水库淹没影响区; 库区防护工程; 低地垫高; 防浸工程

A Review of Protection Methods and Their Development for Reservoir Inundation-submergence Zones in Water Resources and Hydropower Engineering

Yang Xinmei, Hu Tao, Zou Yujun, Wang Bin

Yangtze River Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., China Hubei Wuhan 430072

Abstract: Reservoir construction raises upstream water levels, causing inundation loss and submergence loss. Protecting specific areas, such as towns and farmland, can reduce these losses. Common protection methods include embankments, revetment works, and structural reinforcement. These are widely used and technically mature. However, methods like lowland filling and anti-submergence works are less studied. Lowland filling often reduces soil fertility in raised farmland. Better techniques are needed to conserve water, soil, and nutrients. For anti-submergence works, it is hard to precisely predict groundwater rise after impoundment. Designs thus often rely on experience and can be delayed. Moreover, protecting reservoir inundation and submergence zones is a systematic task. Currently, there is a lack of quantitative methods to fully evaluate the suitability of different protection schemes.

Keywords: Reservoir inundation-submergence zone; Reservoir area protection engineering; Lowland raising; Anti-submergence works

0 引言

随着我国社会经济的快速发展, 水利水电工程规模不断扩大, 三峡、亭子口、乌东德、藻渡水库、黑山峡水利枢纽等水利水电工程先后建设^[1-2], 北山、甘肃玉门等抽水蓄能电站建设工作也陆续开展^[3-4]。这些工程的建设均会涉及水库建设, 水库建设会使上游水位抬高, 造成水库两岸的淹没和浸没问题^[5]。而水库淹没和浸没会给库区环境带来影响, 如造成耕地沼泽化和盐碱化、路基失稳、房屋倒塌, 诱发塌岸、区域滑坡等^[1-2,6-8]。

根据水库淹没影响程度, 水库淹没影响处理范围包括经常淹没区(深/浅淹没区)、临时淹没区、浸没影响区。若是对浅淹没区、临时淹没区、浸没影响区内的耕地、城(集)镇等全部进行征收, 不仅移民投资高、搬迁难度大, 还容易造成土地资源的浪费、且存在不利于社会稳定等问题^[2]。因此, 在技术可行、经济合理和安全适用的前提下,

可对上述区域内城(集)镇、成片耕地等对象进行适当防护, 减小淹没损失^[9]。目前, 水库淹没影响区常用的防护方式包括围堤防护^[9-11]、护岸工程^[12-13]、建筑物加固^[14-15]、低地垫高^[16-17]和防浸工程^[18-19]等。

但是目前对于库区防护设计仍然存在一些不足:(1)在抬田工程中, 设计和施工均未考虑抬田对土壤肥力的影响, 抬田后土壤肥力下降明显;(2)防浸设计普遍存在滞后性, 规划阶段防浸设计不足易导致大量经济损失;(3)防护方案比选多依赖经验和经济比选, 缺乏量化的综合评价手段。上述设计中的不足可能会导致库区工程投资增加、土地浸没减产、居民房屋失稳倒塌等^[20-22]。因此, 总结和研究水利水电工程水库淹没影响区防护方式对于控制工程投资、减少库区移民搬迁、保护耕地等方面具有重要意义。

1 应用及研究现状

针对城(集)镇、成片耕地、公路等重要对象以及

塌岸、滑坡等水库淹没影响区,可以采用一种或多种防护方式进行防护,以减小水库淹没和浸没影响^[9]。根据三峡、亭子口、乌东德等水利水电工程的建设经验,水库淹没影响区常用的防护方式主要有围堤防护、护坡工程、建筑物加固、低地垫高和防浸工程等。

1.1 围堤防护及护岸工程

围堤防护、护坡工程作为常见的岸坡防护方式,应用历史悠久,工程经验丰富,已形成了较完善的理论体系,且已有成熟的标准体系以指导设计,如《堤防工程设计规范》《城市防洪工程设计规范》《水工挡土墙设计规范》《水利水电工程边坡设计规范》等^[23-26]。

1.2 建筑物加固

库区建筑物变形倒塌的原因主要是地下水雍高导致浸润后的地基土承载力、抗弯、抗剪、抗冲切承载力等力学性能下降引发的地基变形或地基稳定性不足,因此库区建筑物加固主要为建筑物基础加固和地基土补强。该工况下的建筑物加固方法已总结在《既有建筑地基基础加固技术规范》^[27]中,技术相对较为成熟。

如柯桥城区活水工程枢纽泵站管理房,因地质条件较差,建筑荷载发生变化,出现不均匀沉降,采用“先加固基础、后整体纠偏”的方案,通过锚杆桩加固地基,增强基础承载力;随后运用“整体同步顶升纠倾法”逐步调整建筑水平度与垂直度。

1.3 低地垫高

低地垫高主要用于浅淹没区和浸没区的城(集)镇、成片耕地的防护,按照防护对象的不同,可以分为建筑物场地抬填和农田抬填。

建筑物场地抬填是将位于水库淹没区、淹没影响区或移民搬迁线以下的建筑物,通过工程手段将其基础或整体结构升高,使其室内地坪高程高于水库的设计洪水水位或土地征用线,从而避免被淹没或浸泡,使其能够继续安全使用。建筑物场地抬填中回填设计可依据《建筑地基基础设计规范》^[28]中相关要求,保证回填后的地基力学性能和变形满足使用要求。

建筑物场地抬填包括垫高复建以及原地整体顶升。垫高复建是将原有建筑拆除,然后进行场地垫高,再在原址或原址附近重新建造一个相同或相似的建筑。该方法费用相对较低,但不利于建筑物的完整保护。如井冈山航电枢纽,对库区内受淹没的历史建筑进行场地垫高后重建。原地整体提升是对建筑物先进行基础托换,然后将建筑物整体顶升至指定高程,再进行场地回填。如受丹江口水库大

坝加高影响,将武当山遇真宫山门及两翼琉璃墙体、东西宫门整体顶升约15m,并对原址进行回填^[29-30](图1)。该方法虽利于建筑物的完整保护,但建筑整体顶升实施难度大、费用高,尚无完整的设计理论^[31],因此目前仅查询到库区古建筑保护应用案例。



图1 遇真宫原址影像图(左)和遇真宫整体顶升施工影像图(右)^[30]

农田抬填需先将原耕地表土层剥离集中堆放,然后使用砂石料等填筑料回填至指定高度,再将原耕作土覆于表面^[16]。自上世纪80年代以来,抬田技术已先后应用于老岚水库、大源渡枢纽、峡江水利枢纽、亭子口水利枢纽等工程^[32-35](图2)。与建筑物场地抬填仅需考虑地基土力学性能不同,抬田设计不仅需满足机械耕作承载力要求,还需综合考虑排渍水位、土壤肥力、保水保土等因素,但目前的施工方式仍然较为粗放,对抬田工程研究不足。陈立华等^[22,34,36-39]对抬田工程应用实例进行了总结,推荐采用耕作层-保水层-垫高层的结构。刘东等^[17,35]使用取自亭子口水利枢纽的抬填土样进行了室内试验,研究了土壤密度、厚度等对抬填土保水保土性能的影响。鲁璐璐等^[16,40]对峡江水利枢纽抬田土酶活性、有机碳和养分含量等进行了研究,结果显示土壤肥力在抬田后先下降后上升,在耕作8年后尚未恢复至未抬田水平,但未提出改善措施。



图2 峡江水利枢纽孔孝新村抬田(左)和井冈山航电枢纽罗塘抬田(右)

由此可见,虽然抬田应用较广,但目前国内针对抬田技术的研究多集中于施工工程技术总结,对抬田后的保水保土和土壤肥力变化研究较少^[16-17]。

1.4 防浸工程

水库浸没是库区五大工程问题之一,高发于平原型水库,遥田水库、阎王鼻子水库和官厅水库等均发生过大范围

围浸没,即蓄水后出现地面冒水、房屋沉裂、粮食减产等现象^[18,20,41]。由此可见,水库浸没的影响范围大、经济损失大,社会风险高,浸没防治不容忽视^[42]。

浸没防治首要内容是对蓄水后地下水雍高的预测,王汇明^[6]针对性建立了多种情况下渗流的有限元计算模型,分析了潮州水库的可能浸没情况、浸没影响因素及不同措施防治效果。但多数研究主要聚焦于已发生浸没地区的排水方案设计^[18-19,41,43],针对浸没预测的研究较少。

浸没防治的另一重点在于浸没地下水临界埋深取值,主要受土的毛细水上升高度和农作物、建筑物的安全超高值控制^[44]。土的毛细水上升高度受到土的种类、土颗粒大小、水溶液浓度等因素影响,可通过室内和现场试验进行测试,或使用经验公式进行估算^[45-47]。但室内试验的测试结果偏差较大,代表性较差;已有的经验公式计算误差较大^[48]。农作物、建筑物的安全超高值多直接采用农作物根系深度、建筑物基础埋深或经验值^[48],但取值均偏保守,且农作物根系深度经验值无可查阅的完善的资料^[44]。

水库浸没治理优先考虑采用排水沟、减压井等措施控制地下水位^[8,49]。而排水设计多采用解析解或依据经验设计^[50],但现场水文地质情况复杂,对地下水位勘测和,因此适用性较差。

2 存在的问题与不足

库区防护是一个系统工程,是多种工程措施的综合应用,不同措施组合防护效果、适宜防护对象不同。防护方案选择时应从技术、经济和社会角度进行综合比较分析,以确定适宜方案。但目前工程设计多基于当地需求和设计人员工作经验选定防护方式,方案比选也多为经济指标比选^[37,51]。且自2013年出版的《水工设计手册(第2版)》^[52]后,无相关文献对库区防护方式进行全面总结。现阶段,针对库区防护工程,仍存在以下问题与不足:

2.1 农田抬填后土壤肥力不足导致农作物减产现象频发

虽然农田抬填技术已经先后应用于大源渡枢纽、峡江水利枢纽、亭子口水利枢纽等工程中,但是目前对于农田抬填设计主要依据经验,施工较为粗放。在设计中考虑的因素主要有垫高高程、回填土层等措施,对于回填土的保水保土性能、土壤肥力等考虑较少。根据鲁璐璐等^[16,40]学者的研究,抬填后的土壤在恢复耕种三年后才能勉强恢复土壤肥力。抬填土壤参数的时间变化规律、土壤肥力的恢复情况、以及如何在设计中考虑抬填土的保水保土保肥需求均有待进一步研究。

2.2 平原型水库浸没影响严重,规划阶段防浸设计不足导致大量经济损失

水库浸没是库区五大工程问题之一,多为区域性发生,影响范围大、经济损失大,社会风险高。但是目前研究多集中于潮州水库、官厅水库等已发生浸没库区的排水工程设计,具有滞后性,不但经济损失大、而且设计和施工均较为被动。如何在水库规划设计阶段对水库蓄水后的地下水位雍高进行准确预测,并且对浸没高风险地区进行防浸设计等均有待进一步研究。

2.3 防护方案比选多依赖经验,缺乏量化的评价手段和成熟的设计体系

库区防护是一项系统工程,往往需要多种防护方式结合使用,且针对不同的防护对象,不同防护方式的效果不同。针对特定防护对象,防护方案选择时应从技术、经济和社会角度进行综合比较分析。但由于目前尚未形成成熟的库区防护工程设计体系,对防护效果缺乏量化的评价手段,设计人员多依据经验或从经济指标入手进行防护方案选择和设计。

3 未来研究方向

3.1 研究农田抬填工程保水保土保产措施

研究农田抬填后土壤肥力的变化规律及其影响因素、土壤参数随时间的变化规律以及农作物种植于土壤肥力的相互作用关系,研究农田抬填工程设计方法和保水保土保产措施,以快速恢复抬田地区的土地产能,降低水库工程的施工影响。

3.2 研究影响场地排水的设计参数,优化防浸工程设计方法

通过研究不同土壤的毛细上升规律和农作物、建筑物的安全超高值,提出地下水临界埋深推荐值;并通过典型工程的地下水运移三维数值模型,研究不同排水方式及不同设计参数对排水的影响,确定影响排水效果的主要工程参数,并优化防浸工程设计方法。

3.3 研究库区防护方案适用性综合评价方法

研究针对不同的防护对象,影响和制约防护方案的关键因素和评价指标,建立基于技术、经济和社会角度的综合评价方法,用于在规划设计阶段防护方案的量化比选,促进形成完整的库区防护工程设计体系。

4 结论与展望

针对城(集)镇、成片耕地、公路以及塌岸、滑坡等对象,防护方法包括围堤防护、护岸工程、建筑物加固、低地垫高和防浸工程等。通过对上述防护方法进行整理和

总结,得到以下结论:

(1) 低地垫高工程包括建筑物场地抬填和农田抬填,建筑物场地抬填仅见古建筑保护个案。农田抬填虽应用较多,但抬填后土壤肥力下降明显,农田抬填工程实施后如何保水保土保产仍有待研究。

(2) 浸没影响多发生于平原型水库,现阶段防浸设计普遍具有滞后性,规划设计阶段的防浸设计不足易造成大量经济损失。如何准确预测水库蓄水后的地下水雍高水位,且根据不同防护对象进行针对性防浸设计等均有待进一步研究。

(3) 水利水电工程水库淹没影响区防护工程是一项系统工程,但目前防护工程设计多依赖经验和经济比选,就防护方案的适用性缺乏量化的综合评价方法。

参考文献:

[1] 张莉媛,宁家贤,马长鹏等. 水利水电工程建设对生态环境影响的利弊分析[J]. 人民黄河, 2023, 45(S1): 64-65.

[2] 廖蔚. 水库移民经济论[D]. 四川大学, 2005.

[3] 张必勇,马力刚,尹春明. 北山抽水蓄能电站上水库防渗地质条件研究[J]. 人民长江, 2024, 55(S1): 86-92.

[4] 王明,宋国栋. 甘肃玉门抽水蓄能电站输水发电系统布置方案的选择[J]. 广东水利水电, 2022(10): 79-83.

[5] 刘新荣,景瑞,缪露莉等. 巫山段消落带岸坡库岸再造模式及典型案例[J]. 岩石力学与工程学报, 2020, 39(07): 1321-1332.

[6] 刘璐. 新形势下水利工程建设对生态环境的影响综述[J]. 人民黄河, 2022, 44(S2): 129-130.

[7] 王林. 水利工程建设对生态环境的影响及建设意义[J]. 工程技术研究, 2022, 7(02): 198-199.

[8] 王汇明. 平原型水库库区浸没分析与研究[D]. 河海大学, 2004.

[9] 刘洪潭,郑轩,黄道宏. 浅议水库防护工程方案设计[J]. 人民长江, 2013, 44(17): 100-104.

[10] 梁婕鹏,沈灿,龚敬等. 库区城镇防护处理与移民安置有关问题探讨[J]. 水利水电快报, 2015, 36(07): 30-33.

[11] 刘川顺,罗放祥,刘志才等. 三峡库岸防护堤若干问题研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003(S1): 2523-2527.

[12] 张乾坤. 万里水库库岸荷载边坡塌方与微型桩支护措施研究[J]. 陕西水利, 2022(10): 145-147.

[13] 王汉辉,李盛青,刘权庆等. 乌东德水电站自然边坡防治设计思路与经验总结[J]. 人民长江, 2014, 45(20):

28-31.

[14] 陈新. 库岸路基挡土墙的稳定性分析与加固实践[D]. 湖南科技大学, 2019.

[15] 梁为邦,张钧,张正平. 某水库库岸稳定性与坝岸对公路桥墩和路基影响研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2019, 41(S1): 91-96.

[16] 鲁璐璐. 峡江库区抬田水稻土酶活性及养分含量变化特征研究[D]. 南昌工程学院, 2020.

[17] 刘松,刘洁颖,查元源等. 亭子口库区农田防护工程保水保土性能试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(03): 46-49.

[18] 杨家亮. 减压井在长沙综合枢纽库区浸没区处理中的应用研究[J]. 湖南水利水电, 2014(03): 3-6.

[19] 张宇,任国澄,杨蕴等. 赣江新干航电枢纽左库岸地下水浸没控制效果研究[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(03): 147-155.

[20] 冯超英. 官厅水库淤积浸没影响范围分析[J]. 水科学与工程技术, 2010(03): 77-79.

[21] 刘燕. 枣庄市庄里水库抬田地存在问题与对策[J]. 山东水利, 2022(01): 39-41.

[22] 王勇,王志鹏,易海多等. 航电枢纽库区抬田防护技术研究[J]. 水利技术监督, 2020(03): 253-257.

[23] SL 386-2007 水利水电工程边坡设计规范[S].

[24] GB 50286-2013 堤防工程设计规范[S].

[25] NB/T 10512-2021 水电工程边坡设计规范[S].

[26] NB/T 10497-2021 水电工程水库塌岸与滑坡治理技术规程[S].

[27] JGJ 123-2012 既有建筑地基基础加固技术规范(附条文说明)[S].

[28] GB 50007-2011 建筑地基基础设计规范(附条文说明)[S].

[29] 边智慧,王铁成,付素娟等. 武当山遇真宫山门无降点同步顶升设计研究[J]. 建筑结构, 2013, 43(24): 89-92.

[30] 高洪远,邓东生,马昌勤. 南水北调大型水利工程与文化遗产保护——武当山遇真宫保护工程[J]. 中国名城, 2015, 164(05): 74-84.

[31] 王洪,秦云,何帅等. 建筑物顶升技术概述及国内外应用与研究进展[J]. 工业建筑, 2023, 53(S1): 792-797+765.

[32] 李秀强. 烟台市老岚水库工程建设征迁存在问题与建议[J]. 山东水利, 2022(05): 22-24.

[33] 黄文华,吴顺华. 浅谈“抬田”措施在水库淹没

- 处理中的应用[J]. 江西水利科技, 2001(S2): 34-35.
- [34] 夏美龙, 付鹏, 沈均榕等. 峡江水利枢纽库区抬田工程研究及应用[J]. 陕西水利, 2019(12): 189-190.
- [35] 汤卫宇, 蒋建东, 朱丽江. 亭子口库区农田防护工程低地垫高方案研究[J]. 水利水电快报, 2009, 30(02): 36-39.
- [36] 任传栋, 王志真. 抬田工程设计——以贺庄水库增容工程为例[J]. 海河水利, 2018(02): 33-34+42.
- [37] 陈立华, 卫伟. 安徽省江巷水库库区造地工程方案比选[J]. 水利水电技术, 2017, 48(04): 109-111.
- [38] 李瑞鸿, 李云霞, 张曼丽. 白龙江引水工程代古寺水库抬田造地方案研究[J]. 水利水电工程设计, 2023, 42(02): 15-18+64.
- [39] 马锡铭. 十六道岗水库库区垫高造地工程方案研究[J]. 黑龙江水利科技, 2021, 49(08): 100-101+169.
- [40] 段茂庆. 抬田措施对水稻土有机碳和养分的含量影响及评价[D]. 南昌工程学院, 2016.
- [41] 王帅帅. 石佛寺水库祝家堡及陈平堡副坝下游淹没分析[D]. 沈阳农业大学, 2016.
- [42] 谢先红. 水库淹没及堤内排水降压效果研究[D]. 武汉大学, 2005.
- [43] 尹庆华, 卢占国. 赣江石虎塘航电枢纽工程库区防护工程的浸没治理[J]. 江西水利科技, 2015, 41(05): 383-386.
- [44] GB 50487-2008 水利水电工程地质勘察规范(附2023年局部修订)[S].
- [45] 董斌, 张喜发, 李欣等. 毛细水上升高度综合试验研究[J]. 岩土工程学报, 2008(10): 1569-1574.
- [46] 栗现文, 周金龙, 赵玉杰等. 高矿化度对砂性土毛细水上升影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(08): 84-89.
- [47] 姜璐莎. 非饱和压实黄土毛细水迁移规律试验研究[D]. 兰州大学, 2019.
- [48] 毛海涛, 王正成, 王晓菊等. 水库防渗措施及坝后排水沟距离对周边农田地下水埋深的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(11): 98-107.
- [49] 谢媛. 平原型水库浸没治理措施研究[D]. 沈阳农业大学, 2019.
- [50] GB 50288-2018, 灌溉与排水工程设计标准[S].
- [51] 张梦雨, 荆哲, 徐婧. 抬田工程成本效益分析与决策方法研究[J]. 经贸实践, 2016(14): 48.
- [52] 索丽生, 刘宁. 水工设计手册. 第3卷, 征地移民, 环境保护与水土保持[M]. 中国水利水电出版社, 2013.
- 作者简介: 杨信美, 女, 工程师, 研究方向: 主要从事水利水电工程移民及库区专业工程勘察设计与研究工作。