

浅议水库防护工程方案设计

刘洪潭, 郑 轩, 黄道宏

(长江勘测规划设计研究有限责任公司 库区处, 湖北 武汉 430010)

摘要:水电工程建设移民安置过程中,在有条件的地方修建防护工程可有效减少淹没损失和安置难度。为了更好地充分利用防护工程进行移民安置,结合工程实例,分析总结了影响防护工程修建的各种因素,包括适合修建防护区的条件、工程技术的可行性、社会效益、防护方案选择、防护高程的确定、主要防护措施等。防护工程的修建与否应综合考虑淹没范围、淹没设施、经济技术可行性、水库运行等综合要素,才能取得最好的社会效益。

关键词:防护高程;防护类型;防护方案设计;水库防护

中图分类号:TV697 **文献标志码:**A

1 概述

大中型水电站工程建设,大部分都具有水库淹没影响涉及面广、移民安置任务大、政策性强、安置难度大、水库移民投资比重大等特征。例如,三峡工程与向家坝水电站之间的重要开发梯级,小南海水电站建设征地涉及重庆市4个区,22个镇(街),126个行政村(社区),832个村民小组,建设征地总幅员面积110.88 km²,涉及总人口46 251人、各类房屋面积301.86万m²、耕园地0.22 hm²、企事业单位503家、等级公路11.33 km、大中型桥梁22座1 415.8延米、高等级输电线路46.85 km、10 kV变电站71座、通讯线路273.27杆公里、广播线路82.39杆公里、小型水电站6座(装机11 940 kW)等。由此可见,移民安置任务的繁重与艰难。为减少淹没损失及安置难度,需要对移民防护工程建设的有关问题进行研究。

国家发展和改革委员会颁发的《国家发改委关于做好水电工程先移民后建设有关工作的通知》(发改能源[2012]93号),明确要求坚持“先移民,后建设”的水电开发方针。由此可见,建设征地移民安置是枢纽工程建设的重要组成部分,是工程建设的一项关键性工作,对工程建设成功与否具有举足轻重的作用。而往往在技术条件及外部环境许可的条件下,防护工

程又是移民安置工程成败的关键所在。

2 适用条件分析

水库防护工程是指通过采取相关措施建设以消除或减少水库淹没影响对象的工程。在水库淹没影响区内,如有成片农田、规模较大的农村居民点、集镇、城市、工业企业或铁路、公路、文物等重要淹没对象,在技术可行、经济合理和安全适用的前提下,应进行防护处理,以减少淹没损失。

(1) 工程技术的可行性是防护工程的首要条件。防护工程虽能大大减轻移民安置任务,但也具有一定的局限性。水电工程多位于河沟峡谷地带,农田垫高、库岸防护等都需要大量的回填料源,就近是否有足够的原材料,交通是否便利,施工质量是否有保证等,都可能影响防护工程的可行性。因此,防护工程的建设首先技术上要具有可行性。

(2) 经济承受能力。对有些水电工程而言,采用防护措施虽然成本略高于移民搬迁安置成本,但由于外部条件所限,土地资源紧张,移民安置环境容量有限,大部分移民也不愿意外迁,而枢纽工程整体经济指标较好,为保证工程顺利进行及社会的稳定,在总体经济可承受的范围内,可采用移民防护工程。

(3) 淹没浅、地势平缓、经济可行是修建防护工程

的最理想条件。对淹没相对集中成片、地势平缓、淹没较浅、交通便利、料源充足的水电工程,防护工程成本往往远低于移民安置成本。这种情况下,采取防护工程,经济上和工程技术上均最为理想。

综上所述,防护工程建设必须从实际出发,因地制宜,应综合比较近期和远期的经济效益、社会效益和环境效益作出正确的决策。

3 社会经济效益分析

《水电工程建设征地移民安置规划设计规范》(DL/T5064-2007)规定,“在水库临时淹没、浅水淹没或影响区,如有重要对象,具备防护条件,且技术可行、经济合理,应采取防护措施。”下面笔者以近期参与的井冈山水电站为例,阐述水库防护工程的社会经济效益。

(1) 实施工程防护,降低移民安置难度。井冈山水电站水库属平原河道型水库,两岸地形平缓,I、III、IV级阶地广泛分布,其中以I级阶地最为发育,主要为农田和村镇集镇分布区,地面高程多为64~73 m,与正常蓄水位67.5 m相差不大。水库建成后,库区大片区域将被淹没或成为浸没区。水库淹没影响区涉及万安县百嘉、韶口、潞田、罗塘、五丰和芙蓉共7个乡镇(镇),27个行政村(社区),170个村民小组,以及韶口和百嘉2座集镇。水库淹没影响区涉及各类土地共约0.36万hm²,其中,耕(园)地590hm²,涉及人口共约974人。万安县为30万人口的小县,20世纪90年代初建设万安水电站时,实施了大量水库移民,土地资源已相对紧张,井冈山水电站移民安置则更加困难。通过研究发现,韶口村夏坪农田片区、罗塘乡村背村农田片区、百嘉村农田片区、廓埠桥农田片区等共23片相对集中的农田片区淹没深度不大,具备防护条件及一定防护效益。经研究,对这23片农田采用了低地垫高的工程防护方案。这种工程防护方案措施相对简单,运行维护方便,可保护耕、园地面积527hm²,直接减少生产安置人口约7000人,剩余的生产安置人口406人均可就近安置,大大降低了移民安置难度。防护措施实施后,既保证了土地面积不大量减少,也提高了土地质量,满足了生产安置要求,让移民生活水平略有提高,有利于社会稳定和移民可持续性发展。

(2) 防护工程经济合理。井冈山水电站单位耕(园)地(亩)征收补偿费用约为5.4万元,耕(园)地征收后,移民安置还需增加安置费。而回填垫高高度为4.0m的单位耕(园)地(亩)工程费用约为5.0万元。因此,井冈山水电站库区浅淹没的农田片区采取回填垫高防护处理,投资更少,同时,还可节省移民安置费,

减少移民安置人口数量。

(3) 防护工程社会效益。我国是耕(园)地资源非常缺乏的国家,节约用地是国家的基本方针。就井冈山水电站而言,对库区受淹没影响的大面积耕(园)地采用工程措施进行防护,其实质也是对土地资源的节约与保护,其社会效益体主要现在3个方面:①有利于社会稳定。“民以食为天”诠释了粮食对人类生存的重要性,我国人多地少,耕地后备资源严重不足,土地问题尤其是耕(园)地问题,始终是制约我国乃至整个国民经济发展的的重要因素。无农不稳,粮食生产是社会发展的头等大事,是国泰民安的基础,任何时候都不能忽视的问题。②对农民有保障性作用。虽然我国城市社会保障体系已逐步完善,但在农村,这方面建设还远远不足。耕(园)地对农民来说具有重要的社会保障功能,依靠土地就可以解决吃饭、就业、养老等问题。农民失去土地,就意味着社会保障能力的最终丧失,这关系到农村的经济发展及社会稳定。③社会经济可持续发展的基础。实现可持续发展,首先就是自然资源的可持续利用。土地作为稀缺的自然资源,在我国经济社会可持续发展战略中起着基础性、决定性的作用,是生存、发展的基石,是立国富民之本。经济社会可持续发展有赖于土地资源的可持续利用,而土地资源可持续利用的核心是耕(园)地资源的可持续利用,因此,保护耕(园)地就是保证经济社会可持续发展的重要前提条件。

(4) 城集镇、房屋、交通设施等基础设施重要对象得到保护。水库蓄水后,韶口镇韶兴街185m(约占整条街长度的50%)受淹没影响,涉及居民173人。韶兴街街道两侧房屋多为2~3层的砖混结构,底层均为门面房,是韶口镇的商业街,淹没影响的房屋面积为1.11万m²。另外,韶口中学与韶口中心小学淹没影响房屋面积分别为0.53万、0.22万m²,淹没影响深度均在1m以内。水库蓄水后库岸坍塌还将对韶口乡政府及岸边居民房屋安全产生影响。经研究,决定对韶兴街、中小学进行垫高防护后重建,对库岸坍塌影响段进行护坡防护,解决了移民安置问题、节省了工程成本,也满足了移民不愿外迁的意愿。

井冈山水电站百嘉至万安县的乡村公路塘上村段位于赣江右岸,库岸坍塌将影响公路的安全。该路为当地居民主要交通要道,且路旁有大量房屋,改线成本较大,不具可行性。为保护水库岸边房屋、交通道路设施等的安全,避免增加移民征地量,对坍塌段进行了防护处理,取得了较好的经济效益及社会效益。

4 防护方案选择

根据防护对象及其范围大小、高程、地形地质条

件、山洪条件等,防护工程主要有围堤防护、回填垫高防护、结合岸线整治与地灾治理的库岸防护等形式,各类防护型式均要配备必要的排水措施。

4.1 围堤防护

针对受淹城集镇,若淹没影响对象众多,搬迁安置困难,可选用修筑围堤防护方案,避免动迁防护对象,往往能取得很好的经济效益。如三峡库区开县水东坝、马肚坝、厚坝等 15 片连片良田和人口稠密的区域均研究过围堤防护方案,保护人口 33 635 人,房屋面积 125.63 万 m^2 ,搬迁补偿投资与防护工程投资比达到 1.8;南水北调中线一期工程丹江口库区郧县柳陂镇也研究过围堤防护方案,保护耕地约 533.33 hm^2 ,减少搬迁人口约 13 000 人,搬迁补偿投资与防护工程投资比达到 1.7。

围堤防护方案存在的问题主要有:① 堤基防渗工程量大,效果难以保证;② 占用水库有效库容,影响水库供水与防洪效益;③ 堤基防渗措施截断了地下水与水库水的天然交流通道,改变了防护区土壤的生态环境;④ 防护区成为库边洼地,通风条件欠佳,空气湿度大,视觉感受变差,人们的生活居住环境受影响;⑤ 由于防护区内存在水头差,居民可能长期存在担心溃堤的心理压力。另外,采用围堤防护方案防护重要的城(集)镇,还可能给水库防洪调度决策带来不利影响:当水库遇超防护工程设计标准洪水且下游也有防洪任务时,就存在是保防护区不淹开闸泄洪,还是拦洪蓄水保下游安全的问题,此时就必然增加水库调度决策的困难。因此,选用围堤防护方案应特别慎重。如三峡库区原论证的 15 片防护区最终真正实施的只有 1 片,南水北调中线一期工程丹江口库区郧县柳陂镇也放弃了防护方案。

4.2 回填垫高防护

回填垫高防护方案一般应用于水库临时淹没区、浅水淹没区或水库影响区。对于淹没深度较大的情况,由于建设需要大量的回填料,占用水库防洪库容也较多,一般不建议采用。

4.3 库岸防护

水库蓄水后,岸坡可能会发生剥蚀、滑移、崩塌等失稳破坏,一般应采取防护措施。库岸防护工程一般应结合岸线综合整治与开发利用进行规划设计。如南水北调中线一期工程丹江口水库库区的郧县县城地处水库的半岛上,三面环水,库岸地形支离破碎,岸线蜿蜒曲折,库岸再造严重,临江地带的城市基础设施受到丹江口水库大坝加高、水位上升的严重威胁。郧县县城库岸防护采用了综合防护方案,即结合城市总体规

划,统筹岸坡地灾治理、岸线整治、市政道路布置、土地开发利用及城市景观要求及各库岸段的具体地形地质条件,分别或综合采用了回填垫高、库岸回填放坡、挡墙、锚喷支护、坡面防护等措施,不仅解决了库岸稳定问题,而且为城市发展新造了约 22 hm^2 建设用地,改善了沿江交通条件及人居环境。

4.4 排水措施

无论采用何种防护方案,都需配以必要和适当的排水措施。如修建排涝泵站及必要的调蓄设施抽排防护区内的涝水;修筑排洪渠、截洪沟等排泄山洪;修筑自排涵闸,在库水位较低时实现防护区内涝水自排;设置排渗沟、减压井等降低防护区地下水位以减轻或消除浸没影响等。

5 防护高程的确定

防护高程应根据防护对象的重要性,按防洪设计标准,以及防护工程所处位置(平水段或回水段)不同而分别确定。防护对象的防洪设计标准应根据工程等级、洪灾类型(河洪、山洪、内涝)按照《防洪标准》及相应的行业标准确定,《防洪标准》及行业技术标准无规定的,可根据其服务对象的重要性研究确定设计洪水标准。

当防护对象位于水库平水段时,防护工程顶高程一般取水库正常蓄水位加浪高和安全超高与防护对象淹没处理高程的大值,即按下式确定:

$$H_{\text{顶}} = \max(H_{\text{正}} + R + e + \nabla_h, h_f) \quad (1)$$

式中, $H_{\text{顶}}$ 为防护高程, m ; $H_{\text{正}}$ 为水库正常蓄水位, m ; R 为设计波浪爬高, m ; e 为设计风壅高度, m ; ∇_h 为安全加高, m , 根据防护工程等级按相应规范要求确定; h_f 为防护对象淹没处理高程, m 。

当防护对象位于水库回水段时,防护工程顶高程按相应标准的水库回水位加浪高与安全超高,即按下式确定:

$$H_{\text{顶}} = H_{\text{回}} + R + e + \nabla_h \quad (2)$$

式中, $H_{\text{回}}$ 为防护对象与防洪标准相应的水库淤积洪水回水线高程, m 。

当防护对象的性质、规模、防洪标准相差较大时,若技术可行,经济合理,可以进行单独防护,采取不同的防护高程,以适应各防护对象的防护标准要求,从而减少防护工程量和工程投资。例如,对于外侧为农田,内侧为居民点、集镇均需防护的情况,可修建两道堤防,外侧农田由低堤防护,内侧居民点、集镇由高堤防护。

为确保岸坡及防护工程的稳定安全,对可能遭受库水冲淘的岸坡或堤坡,应采取可靠措施进行防护,坡

面防护坡底高程的上限应按水库最低设计水位并考虑冲刷的影响确定,计算公式为

$$H_{\pm} = H_d - h_s - \nabla_h \quad (3)$$

式中, H_{\pm} 为坡面防护坡底高程的上限, m; H_d 为水库防限水位, m, 应考虑围堰挡水期和水库初期运行低水位; h_s 为水库低水位时波浪最大冲刷深度, m; ∇_h 为安全高度, m。

当岸坡坡底为岩质岸坡或底部地形平缓, 发生再造破坏可能性小时, 坡面防护坡底高程的上限值可根据基岩出露或缓坡出露高程确定。

6 应用分析及工程实例

6.1 堤防

堤型与堤身结构宜根据地形地质及施工场地等条件进行选择。在场地开阔、施工组织便利、料源丰富、冲积覆盖层厚度较大的库岸建防护堤, 最好采用对地基承载力要求较低和对地基沉陷适应性较强的土石防护堤。若防护堤堤顶与岸边河床之间高差较大或库岸场地狭窄, 则宜选用挡墙作为防护堤。堤基处为软弱土层时, 应采用挖除、置换、放缓堤坡、加强排水等方式进行处理, 或者在上、下游设置堆石棱体压重。当堤基土层透水性较强时, 应采用垂直防渗或铺盖防渗措施。

丹江口水利枢纽大坝加高工程郧县柳陂防护工程防护区位于汉江右岸, 与郧县县城隔江相望, 防护对象主要位于汉江古河道内。工程由柳陂防护堤、三门防护堤、柳陂湖泵站及调蓄区、三门塘泵站及调蓄区组成。由于防护堤位于汉江古河道, 地基表层为深厚的淤泥质壤土, 防护堤采用均质粘性土修建, 并对堤基进行置换强夯处理。排水泵站位于坝后, 防护区内的低洼地作为调蓄区利用, 以减小泵站装机容量, 节约工程运行费用。

6.2 回填垫高

回填垫高按防护对象可分为农田回填垫高和农村居民点、城(集)镇场址用地回填垫高。对农田回填垫高工程, 首先将防护区内低于设计防护高程以下的农田耕作层土料剥除, 集中堆放于附近并采取临时防护措施, 再回填土石料抬高原场地, 最后将堆放的土料回填至设计高程。耕作层厚度应根据有关土地复垦技术标准的要求确定, 一般为 0.3 ~ 1.0 m。对农村居民点、城(集)镇场址用地回填垫高工程, 首先将回填垫高处理范围内的房屋建筑物等上部结构拆除, 并清理场地, 再分层填筑压实, 直至场地设计高程, 待地基满足建设要求后, 开展基础设施建设, 最后进行复建。

亭子口水利枢纽库区邓家坪、翰林坝、罗家桥等 10 片农田防护区位于库尾, 主要分布于嘉陵江上游两岸, 属受水库回水影响的临时淹没区。防护工程均采用回填垫高方案, 采取了回填、护岸、截洪沟及土地复耕等措施, 保护区平均垫高 1.7 ~ 5.6 m。

6.3 护岸

库岸岸坡再造破坏主要有崩塌型、滑移型和侵蚀剥蚀型 3 种基本类型, 可采取的防护措施有放坡、挡墙、锚固支护、坡面防护等。防护措施应根据防护对象位置、库岸地形地质条件、施工组织、工程投资等因素进行合理选择。

放坡防护一般用于以崩塌或滑移型破坏为主的岸坡, 岸坡坡度相对较缓, 地形地势条件能满足放坡要求。放坡防护主要是在现有岸坡的外侧回填形成新的边坡, 以保护现有岸坡。放坡防护也可与岸坡上部削坡减载联合使用。

挡墙支护一般用于以崩塌或滑移型破坏为主的岸坡, 岸坡坡度较陡, 地形地势条件不能满足放坡防护要求。支护方式可采用直立挡墙或上部回填放坡 + 下部直立挡墙。挡墙的结构型式应根据地质条件、挡土高度和建筑材料等, 经技术经济比较确定, 可采用重力式、半重力式、衡重式、悬臂式、扶臂式、板桩式、锚杆式或加筋式等。

锚固支护一般用于有地质缺陷且放坡不经济或不具备地形条件的岩质库岸段, 主要加固措施有预应力、非预应力锚杆加固及预应力锚索加固。锚固支护可与坡面防护措施如挂网喷混凝土及混凝土格构等结合使用, 以提高支护措施的整体性。

坡面防护一般用于以侵蚀剥蚀型为主的岸坡。对岩质岸坡, 当岸坡较缓时, 可采取喷素混凝土、挂网锚喷、格构锚杆等护面措施, 防止表面进一步风化; 当岸坡较陡时, 库水长期浸泡后可能引起边坡崩塌失稳, 应设置锚杆进行系统锚固, 并采取挂网喷混凝土、格构或混凝土板的护面措施。对土质、岩土质混合岸坡及土质回填坡(堤)面, 可对其坡面进行平顺修整后采用干砌石、浆砌石、混凝土预制块、现浇混凝土板等进行护面, 提高坡面的抗冲刷能力。

乌江银盘水电站库区彭水县城防护方案主要采用挡墙、堆石棱体、斜坡回填等措施。其中, 乌江左岸沙沱码头 - 滨江路段, 结合沿江道路复建, 采取直立式路堤防护, 路堤由直立挡墙及墙后填土组成; 乌江右岸粮食局仓库 - 商贸园段, 结合环城道路复建, 采取路堤防护, 其上游段为直立式路堤, 下游段兼顾码头复建, 采取混合式路堤, 堤顶布置道路; 郁江左岸桥头 - 民政局段有直立式和混合式两种防护型式; 乌江右岸外河坝

采取放坡防护型式。

6.4 排水

为有效减少防护区内的积水,减小排水闸和抽排泵站的规模,可在防护区后缘的山坡设置截、排洪沟,汇集雨水直接排入防护区外的水库。截、排洪沟高程应高于防护高程,以实现自排。对于农田防护,应结合防护区实际情况合理布置截、排洪沟,实现排灌结合。

有条件的防护区,可修建自排涵闸,在库水位低于防护区内水位时,通过涵闸自排,当库水位高于防护区内的水位时,再使用泵站抽排,以降低泵站运行费用。

当防护区集水面积较大,山洪洪峰流量较大时,如果仅采取抽排措施,则排水工程规模势必很大,这种情况应尽量利用防护区内洼地、水塘等临时滞蓄涝水,或

在山地沟溪上修建调洪水库起到适当的削峰作用,以减少排洪泵站装机容量。

7 结语

在具备防护条件的情况下,加强防护工程方案的研究,在变水库淹没为工程防护的过程中具有十分重要的作用,对水库移民安置有重要意义。大型或复杂防护工程一般应采取多种措施和形式组合并与地灾防护、岸线综合整治、土地开发区利用、岸边市政基础设施建设相结合的综合防护方案,从技术、经济和社会效果等方面进行全面的综合分析比较,才能取得较好的社会效益。

(编辑:常汉生)

Preliminary discussion on protection works design of reservoir

LIU Hongtan, ZHENG Xuan, HUANG Daohong

(Planning and Design Department of Reservoir Region, Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: In the resettlement process of a hydropower project, constructing protection works in permissible area can reduce inundation loss and resettlement difficulties. In order to fully utilize protection works for resettlement, in the combination of practical works, this paper analyzes and summarizes the factors influencing the construction of protection works, including the suitable condition for constructing protection area, engineering technological feasibility, social and economic benefit, selection of protection scheme, determination of protection height, main protection measures etc. It is concluded that only by fully considering the inundation area, inundated facilities, economic and technological feasibility, reservoir operation etc., the protection works can obtain the most favorable benefit of society and economy.

Key words: protection elevation; protection type; protection scheme design; reservoir protection

(上接第 91 页)

Analysis on spatial and temporal variations of different rainfall erosivity models in Zhejiang Province

LI Gang¹, TIAN Gang¹, LU Fangchun^{1,2}, SHEN Zhaowei^{1,2}, ZHANG Jinjuan^{1,2}

(1. Zhejiang Guangchuan Engineering Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310020, China; 2. Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary, Hangzhou 310020, China)

Abstract: In order to understand the difference of rainfall erosivity values calculated by different models, the values of rainfall erosivity were calculated by using power function, trigonometric function and piecewise - multi - power function based on daily rainfall data collected at 84 meteorological stations from 1980 to 2009 in Zhejiang Province. Inter - annual variation trend, annual distribution and spatial similarity of different model values were studied. The results indicated that there were significant liner relationships (statistic probability $p < 0.01$) among different model values, but the differences of different model values as well as years of eigenvalues and inter - annual variation trends were significant. However, the inter - annual distributions of three models were described as peak shape and distribution characteristics were in high space similarity. Considering the consistency between model values and eigenvalues in variation trend, distribution and spatial similarity, the model of power function has a favorable application in Zhejiang Province.

Key words: rainfall erosivity; daily rainfall; model structure; spatial and temporal characteristics; Zhejiang Province