

水库淤积防治技术综述

闫振峰,王远见,蒋思奇

(黄河水利委员会黄河水利科学研究院,河南 郑州 450003)

摘要:介绍国内外水库泥沙淤积的情况及危害,结合具体案例,探讨减少上游来沙、库区清淤减沙、加大下泄泥沙等 3 类水库淤积防治技术的划分、特点及其适用范围,旨在为以后水库淤积防治技术的选用提供技术参考。

关键词:水库淤积;泥沙淤积,淤积防治;综述

中图分类号:TV697.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2016)S1-0079-04

1 水库淤积的现状

同国外河流相比,我国众多河流以挟沙量大而闻名,如黄河年均输沙量达 16 亿 t,主要支流实测最大含沙量高达 1 500 kg/m³^[1]。因此,水库淤积问题在我国严重而普遍。黄河三门峡水库 1958—1966 年 7 年多的时间,库内淤积泥沙为 33.91 亿 m³,占总库容的 44.4%^[2]。盐锅峡水库蓄水后仅 3 年多时间库容损失达 70% 以上,官厅水库 1953—1977 年间损失库容 24.4%^[3]。陕西省 1973 年统计库容在 10 万 m³ 以上的水库 192 座,总库容为 15 亿 m³,已经淤废 4.7 亿 m³,占总库容的 31.6%,其中有 43 座水库已达冲淤平衡。水库淤积直接影响着水库的使用寿命,使水库的综合利用效益降低^[4]。

在国外,水库泥沙淤积的问题同样普遍。据统计,美国 1953 年前修建的水库,10% 已完全淤废,14% 的水库损失库容 1/2 ~ 3/4,3% 的水库损失库容 1/4 ~ 1/2,到 1975 年,美国 1 665 座水库淤积率达 20% 左右^[5]。在印度,1969 年大于 10 亿 m³ 的水库 21 座,蓄水量 1 260 亿 m³,年库容淤损率为 0.5% ~ 1.0%,有的年库容淤损率可达 2%,其中北部地区多采用高坝大库,淤积较严重,如巴克拉水库,运行 8 年后,淤积三角洲长达 17.6 km,淤积厚度为 36.6 ~ 39.6 m^[6]。苏联 1970 年水库总库容 11 000 亿 m³,其中中亚细亚、高加索地区淤积严重,坝高 6 m 以下的灌溉引水枢纽,淤满年限为 1 ~ 3 年,坝高 7 ~ 30 m 的发电、灌溉引水枢纽,淤满年限为 3 ~ 13 年^[7]。阿尔及利亚、突尼斯、苏丹等北非国家,泥

沙总量不大,但局部地区的侵蚀模数很大。

2 水库淤积的危害

我国大部分中小型水库建于 20 世纪六七十年代,运行至今,库区淤积问题十分突出,特别是黄河流域中下游多泥沙河流水库,是全国水库淤积最严重的区域,个别小水库濒临报废^[8]。库区淤积泥沙侵占了水库的大部分有效库容和滞洪库容,使水库的调蓄能力降低,兴利效益削减,尤其发生罕遇洪水或旱灾时,直接损失或间接损失难以估量,甚至会给下游造成毁灭性灾害^[9]。

2.1 降低水库效益

大量泥沙的淤积减少了水库的有效库容,进而对设计之初的防洪、灌溉以及发电等综合效益产生影响,其中某些方面的效益可能会因为泥沙淤积受到严重影响甚至直接消失。同样,泥沙淤积还会对水库的防洪能力产生影响,对水库的安全运行造成潜在影响。

2.2 影响水库上游

泥沙的不断淤积会将上游的水位太高,造成上游部分地区被淹没,对当地的经济发展以及交通运输产生影响,如不及时处理的话,被淹没地区的面积会不断扩大,造成经济损失和一系列社会问题。

2.3 降低水电站发电能力

水库淤积减少水库的有效库容,使水电站的调蓄发电能力降低。如果淤积形成的三角洲位于大坝附近,将改变机组进口水流的方向,影响机组发电效率,并增加进入发电机的泥沙,从而磨损涡轮机叶片

基金项目:水利部公益性行业科研专项项目资助(201501033,201501003)
作者简介:闫振峰(1986—),男,工程师,硕士,主要从事工程泥沙方面研究。E-mail:742701688@qq.com

和闸门座槽。

2.4 造成进水口淤堵

水库中出现泥沙的淤积长时间积累下去,将导致坝前的水草及泥沙会越来越多,进而造成灌溉引水口以及抽水站淤堵,对坝前建筑物的整体使用造成影响。如果沙峰来势迅猛的话,将会造成开启水闸困难的情况,水轮机和金属闸门等过流部件还会因为长时间被粗大泥沙侵蚀而出现磨损。

3 减少上游来沙的水库淤积防治技术

减少上游来沙是解决泥沙淤积的根本性措施。减少上游来沙的措施分非工程措施与工程措施。非工程措施主要指以植树种草为主要手段的水土保持工作,工程措施是则可进一步细分为拦泥坝建设与各类减少上游地表径流的拦蓄工程等。

对中小水库而言,流域面积通常不大,通常推荐采用源头治理的措施来减少上游来沙,且常与治山造田等农业措施结合起来实施。大型水库流域面积通常较大,短期内全面实施上游减沙措施,困难较大,因此通常制定多年工作计划,分年度、分步骤推进^[10]。

非工程水保措施的应用范围最为广泛,主要通过植树种草的方式,增加水土流失区域的植被覆盖率,对水土流失区域地表进行保护。植被减沙的具体途径包括:避免地表土壤直接受到降水冲击;增加下渗和吸收降雨,有效拦蓄径流;利用植物根系作用提高土壤的抗冲刷力;进一步改良土壤等^[11]。尽管如此,非工程水保措施的应用受到区域水资源量的限制,特别在干旱半干旱区,植被的生长和维持需要较高成本。

工程措施主要指在有限范围内的小地形上对地表径流或泥沙进行拦蓄,其中,拦沙工程配合拦泥坝库区的清淤工程,可有效减少下游水库淤积;拦水工程依照兴修目的、应用条件可以分为4种:山坡防护工程、山沟治理工程、山洪排导工程、小型蓄水用水工程。其中应用最广泛的是为防止坡地土壤侵蚀的山坡防护工程。目前我国最为常用的山坡防护工程有:坡式梯田、水平梯田、隔坡梯田、水平阶等^[12]。工程措施适合单独应用于集水面积较小的小流域水库减沙,或者与其他措施相结合应用于大中型水库。

工程与非工程措施单独或结合运用在水库泥沙淤积防治的实践中取得了良好效果。清涧河流域的寒沙石水库总库容1250万m³,1977年在水库上游修建一批拦泥坝后,库区年均淤积量由76万m³降为11.4万m³,减少了85%,使水库运行年限由16年增至76年左右。园河流域的张湾水库库容122

万m³,通过在回水区域布置生物坝,5年内拦蓄泥沙11.7万t,直接拦沙效益达15万元,大大减少了张湾水库淤积。汾河水库上游1988—2004年实施大规模水土保持工程,累计减少入库沙量1.03亿t,约占同期入库沙量1.93亿t的53.4%。官厅水库上游流域修建了大量水库,其中大型水库2座、中型水库16座和小型水库257座,总库容约14亿m³,为官厅水库拦截了5.89亿m³的泥沙,约占官厅水库总库容的14.2%,同期在水库上游产沙区域采取保水固土措施,到2000年水土保持拦沙总量达3.51亿t,约占官厅水库总库容的8.5%,极大缓解了官厅水库的泥沙淤积。

黄河流域的综合治理是国内治沙实践成功的代表。截至2005年底,黄土高原地区累计初步治理水土流失面积21.5万km²,其中建设基本农田527.29万km²,营造水土保持林946.13万km²、经济果树林196.36万km²,人工种草349.38万km²,封禁治理131.46万km²。建成淤地坝12.21万座,其中骨干坝2708座;修建塘坝、涝池、水窖等小型蓄水保土工程430多万处(座)^[13]。

目前,黄土高原地区按照“以小流域为单元,骨干坝控制,中小型淤地坝合理配置、联合运用”的沟道坝系建设的科学技术路线,建成了一批防洪标准高、综合效益好的典型坝系,已拦泥210多亿t,淤成坝地30多万hm²,发展灌溉面积5300多hm²,保护下游沟、川、台地1.33万hm²,对于减少进入小浪底水库的泥沙,延长小浪底水库的使用寿命,起到了非常重要的作用。

4 库区清淤的水库淤积防治技术

4.1 挖泥船清淤

挖泥船是一种具备破土、挖掘、提升、输送等功能的清淤工具。常见的挖泥船有抓斗式挖泥船、链斗式挖泥船、铲斗式挖泥船和绞吸式挖泥船和射流冲吸式挖泥船等^[14]。

a. 抓斗式挖泥船清淤。抓斗式挖泥船有自航和非自航两种。自航式挖泥船一般带泥舱,泥舱装满后自航至排泥区卸泥。非自航式挖泥船则利用泥驳船装泥和卸泥,挖泥时运用钢缆上的抓斗,依靠其重力作用,放入水中一定的深度,通过插入泥层和闭合抓斗来挖掘和抓取泥沙,然后通过操纵船上的起重机械提升抓斗出水面,回旋到预定位置将泥沙卸入泥驳船中,如此反复进行。抓斗式挖泥船一般用于航道、港池及水下基础工程的挖泥工作,适合于挖掘淤泥、砾石、卵石和黏性土等,但是不适合挖掘细沙和粉沙土^[15]。

b. 链斗式挖泥船清淤。链斗式挖泥船的工作原理是,将斗链的下端放入水下一定的深度,使之与疏浚土层相接触,然后在上导轮驱动下使斗链连续运转,带动斗链上的斗泥,挖泥后装入,再随斗链的转动提升出水面,并传送至塔顶部,经过上导轮改变方向后,斗内的泥沙在自身的重力下倒入斗塔中的泥井,最后泥沙经过两边的溜泥槽排出挖泥船的船舷外^[16]。链斗式挖泥船由于挖后平整度较其他类型挖泥船好,适用于开挖港池、锚地和建筑物基槽等。链斗式挖泥船可挖掘各种淤泥、软黏土、砂和砂质黏土等。

c. 铲斗式挖泥船清淤。铲斗式挖泥船是一种非自航的单斗式挖泥船,其工作机构与反向铲挖土机、正向铲挖土机类似,挖的泥土卸入停靠在船旁的泥驳船,满载后运至卸泥区卸泥。铲斗式挖泥船通常备有轻重不同类型的铲斗,以挖掘不同性质的土壤。铲斗式挖泥船适用于挖掘黏土、砾石、卵石、珊瑚礁和 underwater 爆破的石块等,还可以清理围垦,打捞沉船物和排除水下障碍。

d. 绞吸式挖泥船清淤。绞吸式挖泥船是利用转动着的绞刀绞松河底或海底的土壤,与水泥混合成泥浆,经过吸泥管吸入泵体并经过排泥管送至排泥区。绞吸式挖泥船施工时,挖泥、输泥和卸泥都是一体化完成,生产效率较高,适用于风浪小、流速低的内河湖区和沿海港口的疏浚,以开挖砂、沙壤土、淤泥等土质比较适宜,采用有齿的绞刀后可挖黏土,但是工效较低^[17]。

总体而言,挖泥船具有机动性能强,人工费用低,有破土、清淤、输送等众多功能,具有不受水库调度影响、取料浓度大、耗水量少、可常年排沙等优点,但也存在挖泥船售价较高,不便于深水区使用,工作效率较低等不足^[18]。

4.2 虹吸式清淤

水力虹吸清淤,是利用水库上下游水位差的虹吸作用,吸送水库泥沙至坝下游。水力吸送装置,由吸送管路(包括吸沙头及管路)、操作船(包括移位系统缆装置等)、机械或水力松土造浆装置、排砂建筑物(包括与管路连接装置)等组成。整个装置与机械清淤设备相似,最大区别是动力装置简化,吸送管常悬浮在水中^[19]。

虹吸式清淤一般设计成放水涵管的形式。具体工作时,先排除管内空气,使管内形成真空,此时涵管起虹吸作用,使水库的水沙从涵管进口上升到涵管的顶部,从而源源不断向下游涵管出口流出。虹吸式清淤的优点在耗水量少,不必泄空水库或过多降低水库水位,不受季节限制,可常年排沙。但虹吸

清淤对上下游水位差的依赖程度大,水位差决定输出的流量,因此更适用于水头落差大的山区水库或平原高坝大库^[20]。

4.3 气吸式清淤

气吸式清淤装置是一种新型的清淤装置,可有效结合振荡脉冲射流与气力输送系统,由振荡脉冲的喷嘴处产生脉冲射流,具有高效的破碎功能,在破碎岩层的同时进行淤泥的抽取与开采。气吸式清淤装置在整个清淤的过程中,抽吸泥土的深度不受限制,清淤装置甚至可以抽取至岩层以下数百米的泥土。整个装置没有旋转的工作部件,且装置的排淤管与吸淤管的通径是一致的,因此装置可以迅速实现排淤,且经由装置吸入的淤泥可排送至指定的地点。输送的地点与距离都是准确且可计量的,最远可输送至 20km 外。气吸式清淤是依靠气力泵压缩空气产生动力,而整个气力泵设备由空气压缩机、泵体、压缩空气分配器构成。气吸式清淤的费用较挖淤船小,机械磨损小,整体维修方便,排淤浓度较高,且工作水深大,运行费用低。但气力泵的吸头处需要放置机械铰刀,其使用寿命受铰刀自身材料与水库泥沙的粒径级配限制,需及时更换^[21]。

5 加大下泄泥沙的水库淤积防治技术

5.1 降水溯源冲刷

水库溯源冲刷,指库水位下降时所产生的向上游发展的冲刷,是清除水库淤积的有效方法之一。随库水位降落到淤积面以下,水位越低,水库溯源冲刷的强度越大,相应向上发展的速度越快,冲刷末端发展的也越远,其发展形势与库水位的降落情况及前期淤积物的密实抗冲性有关。当冲刷过程中库水位比较稳定或放空水库时,冲刷的发展是以冲刷基点为轴,以辐射扇状形式向上游发展;当冲刷过程中库水位不断下降,冲刷是层状地从淤积面向深层,同时也向上游发展。当前期淤积有压密的抗冲性能较强的黏土层,则在冲刷发展过程中库区床面常形成局部跌水^[22-23]。降水溯源冲刷的优点是操作简单,排沙量大,不足之处在于所需水资源量大,输沙效率低,适用于水资源丰沛地区或非骨干型水库的清淤。

5.2 异重流排沙

当高含沙水流具备产生异重流的条件时,入库后将以异重流形式潜入库底向坝前运动。这时若及时打开相应闸门下泄异重流,便可将这部分泥沙排走,从而减少水库淤积。异重流排沙效果与洪水来流量、来沙量、来沙级配、下泄流量、开闸时间、库区地形和底孔高程等因素有关。洪水流量大、含沙量高、来沙细且历时长则有足够的能量支撑异重流持

续运动到达坝前,排沙效果较好。经一定时间洪峰降落后,含沙量逐渐下降,排沙效率也随之降低。因此,为提高异重流排沙效率,当异重流到达坝前时,应及时开闸,并加大泄量,洪峰降落后则应逐渐减小泄量^[24]。异重流排沙的优点是弃水量小,不影响水库蓄水;缺点是浑水潜入清水后将有部分浑水向清水中扩散,尤其是潜入点附近的泥沙在主槽两侧滩地上大量淤积,排沙效果较降水冲刷低,适用于来沙量大、来水量小,或受其他条件限制不能泄空排沙的水库。

5.3 自吸式排沙

水库常规下泄泥沙的方式是在大坝枢纽设置排沙底洞,通过水力冲刷排走泥沙,该方法排沙影响范围有限,只是排沙底洞进口前几十米到百米范围。近年来,相关学者开展了自吸式管道排沙系统研究。目前自吸式管道排沙有两种形式:一是对于已淤积水库,根据排沙洞前喇叭口的冲淤状态,在原有排沙洞进口向上游延伸管道,扩大排沙洞影响范围,这样的延伸越接近库尾,排沙效果越好;二是对于新建水库,在库区内增建自吸式管道(廊道)排沙系统,将网络状管道铺设于库底,网络状管道由主管道和支管道构成,在管道不同位置上设置很多排沙孔,通过电动控制这些排沙孔的有序优化启闭来实现高效排沙^[25-27]。自吸式管道排沙不需专门的动力措施,不影响水库调度,水资源的利用效率高,但对现有水库施工改造和排沙管道维护检修工程,难度较大,多需水下作业,因此更适合作为新建中小型水库的排沙措施。

6 结 语

水库泥沙淤积防治是一项需长期研究的技术问题,关系到水库运行安全及综合经济效益的发挥。本文将目前常用的各种水库泥沙淤积防治技术手段分成减少上游来沙、库区清淤减沙及加大下泄泥沙3类,对各种淤积防治措施的技术原理、优缺点与适用范围等进行了综述,旨在为未来不同水库淤积防治技术的选用提供参考。需要指出的是,水库淤积防治的开展一方面要依赖于各种清淤技术的不断进步,另一方面也依赖于建立良性的水库清淤——泥沙资源利用的运转机制,以需求推动研发,实现水库淤积治理的可持续发展。

参考文献:

[1] 王光谦. 中国泥沙研究述评[J]. 水科学进展,1999(3): 337-344.
[2] 韩其为. 水库淤积[M]. 北京: 科学出版社,2003.
[3] 郜国明,谈广鸣,李涛. 多沙河流水库泥沙研究展望

[J]. 浙江水利科技,2014(5):42-46.
[4] 巨安详. 陕西水库淤积现状与对策[J]. 陕西水利,1992(5): 33-37.
[5] GROOTHUIZEN A G M. Situation and solutions of reservoir silting [J]. PIANC Magazine, 2008, 130: 23-28.
[6] EU D A. Summarization of the dredging and water supply project [J]. Industrial Water & Wastewater,2003(10): 6-18.
[7] VLASBLOM W. The four stages of dredging[J]. Dredging and Port Construction,2003(22): 42-43.
[8] 陈国祥,徐和兴. 水库泥沙与防治[J]. 湖泊科学,1992, 4(4): 86-96.
[9] 韩其为,杨小庆. 我国水库泥沙淤积研究综述[J]. 中国水利水电科学研究院院报, 2003(12):169-178.
[10] 赵光宇. 水库淤积治理措施综述[J]. 技术与应用,2011(10):52-54.
[11] 罗彩霞,张晓萍. 谈水库泥沙淤积的防治措施[J]. 农业科技与信息,2009(22):51-52.
[12] 郭建胜,石红标. 加强引洪淤地发展水土保持[J]. 内蒙古水利,2004(3):34-35.
[13] 冉大川. 黄河中游水土保持措施的减水减沙作用研究[J]. 资源科学,2006(1):93-100.
[14] 胡涛,郑方帆. 库区清淤方式探讨和应用[J]. 浙江水利科技,2013(1):27-28.
[15] 李柏辉. 天堂山水库抽沙船清淤及泥沙利用探讨[J]. 广东水利水电,2009(6):10-11.
[16] 殷磊. 莲花山水库年内清淤[N]. 东莞日报, 2009-08-06(A05).
[17] 周磊. 官厅水库清淤应急供水工程综述[J]. 北京水利, 2003(2): 9-12.
[18] 于守全. 多种清淤手段在水槽子水库的应用[J]. 云南电力技术,1998(3): 4-7.
[19] 黄鑫,喻和军. 中小型水库清淤措施及方法[J]. 工程技术,2009(21):188-189.
[20] 何亮,龚涛. 中小型水库清淤措施研究进展[J]. 科技信息,2010(5):44-46.
[21] 李善征. 水库深水清淤工程实例简介[J]. 北京水利, 2001(3): 29-31.
[22] 陈书奎,张俊华,马怀宝,等. 小浪底水库降水冲刷试验研究[J]. 人民黄河,2010(9):24-26.
[23] 张艺,姜乃迁,武鑫奇. 三门峡库区溯源冲刷现象分析[J]. 水利技术,2014(1):254-255.
[24] 张俊华,李涛,马怀宝. 小浪底水库调水调沙研究新进展[J]. 泥沙研究,2016(2):68-75.
[25] 陈俊杰,高航,江恩慧,等. 小浪底水库管道排沙系统[J]. 人民黄河,2008(7):162-164.
[26] 王鹏. 水库自吸式管道排沙技术研究初探[J]. 水利科技,2014(17):79-81.
[27] 陈成林,夏新利,侍克斌. 大库盘水库自吸式管道排沙系统研究[J]. 中国农村水利水电,2011(6):101-103.

(收稿日期:2016-11-28 编辑:彭桃英)