

淤地坝设计洪水计算方法探讨

盖永岗¹ 李超群² 王鹏¹ 陈松伟¹

(1. 规划研究院; 2. 前沿技术及战略研究院)

[摘要] 洪水是导致淤地坝水毁最根本的原因。本文梳理了现行淤地坝设计洪水计算方法,对比分析了各种方法的适用特点,剖析了理论性较强的推理公式法在淤地坝设计洪水计算中的适用性,总结了淤地坝特小流域暴雨洪水的产汇流特征。结合推理公式法中各类参数的物理意义,提出了推理公式法运用于淤地坝特小流域洪水计算中应重点关注的问题和需要把握的要点,为淤地坝设计洪水计算方法的发展提供了有益的参考。

[关键词] 淤地坝 设计洪水 推理公式法 适用性

1 研究背景

淤地坝是防治水土流失、解决黄河流域泥沙问题的重要措施,在滞洪拦沙等方面发挥了重要的作用^[1-2]。特别是人民治黄以来,建设淤地坝约 5.88 万座,拦减入黄泥沙 95.4 亿 t,淤地 10.3 万 hm²,2000 年以来年均减沙量在 3 亿 t 以上,在黄土高原保护修复中发挥了巨大作用^[3]。2019 年 9 月 18 日,习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上指出“中游要突出抓好水土保持、有条件的地方要大力建设淤地坝”。在黄土高原水土流失治理和生态环境保护修复中,淤地坝在经济社会发展中担当了沉重的历史责任,并在新时期被赋予了光荣的历史使命。

淤地坝从产生到大规模发展,经历了由传统经验到系统科学、由单坝到坝系、由自生自灭到强化管护的发展历程^[4-5],其源动力首先萌生于其农业生产能力的优越性,推动了群众自发筑坝淤地造田的热潮;而后基于淤地坝作为黄河中游地区水土保持治理的重要措施逐渐被越来越多的专家学者意识到,其建设发展受到政府层面重视,产生了其政策方面的推动力量;但随着 20 世纪后期黄河中游地区多次暴雨洪水导致淤地坝遭受不同程度水毁灾害,使得淤地坝的建设发展走走停停、断断续续,并屡遭非难,以至于学术界对于淤地坝的建设也持有异议,

甚至是偏见^[6]。水毁事件频繁发生成为困扰着黄土高原地区淤地坝建设发展的主要问题,淤地坝水毁事件的发生有着多方面的原因,主要可归结为洪水及防洪标准问题、坝体设计及质量问题、运行管理及管护问题等。

在中国开启全面建设社会主义现代化新征程之际,淤地坝的建设发展也应在跨步实现“脱贫摘帽”基础上跻身于现代化的建设发展之列。不少专家团队也已开展了一些有益的探索,陈祖煜团队^[7]研发了一种新型复合 PET 材料以及柔性溢洪道布置形式,用其对淤地坝坝身进行保护,可抵抗最大流速为 5.26 m/s 的过流冲刷,在低造价情况下可部分代替传统溢洪道,延缓土坝过流溃坝时限。张金良团队^[5]创新性地提出了高标准免管护淤地坝设计运用理念,基于淤地坝新型坝型结构、黄土固化新材料、设计施工新技术等,构建了高标准免管护淤地坝理论技术体系,可以实现淤地坝防溃决、免管护、多拦沙等目标。以上研究从坝体设计及质量问题、运行管理及管护问题方面开展了有益的探索,关于淤地坝的设计洪水标准问题,也曾有专家学者做过一些探讨^[8-9],然而,关于淤地坝的设计洪水问题研究尚少。

淤地坝因大都地处黄土高原地区流域上端的支毛沟内,分布面广、数量众多、位置偏僻,水文资料基础条件差,工程论证中设计洪水分析计算所依据的

作者简介:盖永岗(1982—),男,河北省石家庄人,高级工程师,从事水利规划、水文分析计算和水情自动测报系统设计等工作。

实测洪水资料支撑薄弱,在淤地坝工程设计实践中,少有通过实测洪水资料系列开展设计洪水计算的实例。《水土保持沟骨干工程技术规范》(SL289-2003)、《淤地坝技术规范》(SL/T 804-2020)等^[10-11]对淤地坝设计洪水计算也作出了规定,主要方法有三种:推理公式法、洪水调查法和经验公式法,从总体上看,受现行水文资料条件和技术水平限制,淤地坝设计洪水计算依据和方法发展困难,计算思路从规范标准层面即将其定位在推理、调查、经验等方法范畴内,尚无较大突破性进展。

本文基于淤地坝极易遭受水毁灾害而倍受非议的实际发展困局,试图对淤地坝设计洪水计算方法进行探讨,厘清现行方法的适用条件与特点,并对重点方法进行深入剖析,结合淤地坝特小流域的暴雨洪水特点提出在使用中应关注的要点和需进一步完善的方面,以期可以对淤地坝设计洪水分析计算的发展进行有益的探索。

2 淤地坝现行设计洪水计算方法及特点

2.1 计算方法

(一)推理公式法

$$Q_p = 0.278 \frac{h}{\tau} F \quad (1)$$

$$\tau = 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3}Q_p^{1/4}} \quad (2)$$

式中, Q_p 为设计频率为 P 的洪峰流量(m^3/s); h 为净雨深(mm),在全面汇流时表示相应于各不同历时 τ 时段的最大净雨深,在部分汇流时表示由主雨峰产生的净雨深,两种不同汇流形式下计算形式有所差别,主要通过 S_p 、 n 和 μ 进行计算, S_p 为暴雨雨力或称1h雨强(mm/h), n 为暴雨递减指数(一般根据时段不同分别取值 n_1 、 n_2 、 n_3), μ 为损失参数或称产流参数(mm/h),通过实测降雨径流资料推求,一般可根据当地水文手册有关规定取值; τ 为流域汇流历时(h); m 为汇流参数,在一定概化条件下,通过本地区实测暴雨洪水资料综合分析得出,一般可根据当地水文手册有关规定取值; F 、 L 、 J 为流域特征参数, F 为流域面积(km^2), L 为沿主沟道从出口断面至分水岭的最长距离(km), J 为沿 L 的平均比降(以小数计),该三项参数通过流域地形资料量算求得。

(二)洪水调查法

洪水调查法主要思路如下:根据洪水调查信息测定洪峰流量,确定调查洪水重现期、经验频率、模

比系数,根据前述参数推求坝址断面洪峰流量均值;根据地区水文手册或图集等,查取坝址区域的 C_v 、 C_s/C_v 值,进而可计算出坝址断面设计频率的洪峰流量值。

(三)经验公式法

计算淤地坝设计洪峰流量的经验公式主要有洪峰面积相关法和综合参数法,分别见(3)和(4),

$$Q_p = K_N F^n \quad (3)$$

$$Q_p = C_1 H_p^\alpha \lambda^m J^\beta F^n \quad (4)$$

式中, K_N 、 n 为相应重现期 P 的经验参数, C_1 为洪峰地理参数,可由当地水文手册中查得; H_p 为相应频率 P 的流域中心点3(或6)小时雨量(mm); λ 为流域形状系数,可由流域特征值计算; α 、 m 、 β 、 n 为经验参数,可采用当地经验值;其余参数与推理公式法中意义相同。

2.2 各方法特点对比

洪水调查法主要适用于淤地坝坝址处沟道有可靠或较可靠的历史大洪水调查资料的情况。由于可靠的调查洪水是历史发生的实际洪水,经过合理的处理后,其在实际运用中相当于基于洪水流量系列进行设计洪水分析计算。因此,应用洪水调查法推求淤地坝坝址设计洪水,将获得相对其它方法更切合实际的设计成果。然而,鉴于淤地坝大都地处黄土高原地区流域末端的支毛沟内,水文基本资料尚且十分匮乏,历史洪水洪痕、洪水流量估算、洪水重现期等可靠的历史洪水调查资料的获取更是更上加难。因此,洪水调查法本身虽是可靠可行的方法,但其实际应用受到洪水资料条件的限制,不易大范围运用。

经验公式法适用于淤地坝所在地区综合归纳有成熟、并经工程实践检验证明为合理可行的经验公式的情况。各地区经验公式一般是根据实测洪峰流量资料或调查的小面积洪水资料推算出设计洪水成果后,与流域面积等流域特征参数、降雨特征参数通过回归分析建立经验关系式,并移用至无资料地区。该方法用于水文气象及下垫面条件相似的地区时,具有一定的计算精度;但是,经验公式的建立主要是资料数据的拟合,很少考虑物理机理,其计算结果的精度与公式建立时所依据的洪水资料情况紧密相关,因而在应用上具有地区局限性,不宜较大范围进行移用,且由于经验公式的建立中普遍缺乏特小集水面积的实测洪水资料,用于地处特小流域的淤地坝设计洪水计算时,也应充分考虑其适用性。

推理公式法是目前计算小流域设计洪水最常用

的方法之一^[12],其表达形式简单、相关参数易于通过地区水文手册/图集获得,适用于无实测洪水资料中小流域设计洪水分析计算,已在目前水利水电等行业得到越来越广泛的应用^[13]。推理公式法相较于其他两种方法而言,更加具有成因推理的属性,同时结合经验分析进行应用,使得该方法在应用中即具有一定的理论基础,又简单实用、具有一定的计算精度,是淤地坝设计洪水分析计算中应首选的方法。当然,由于淤地坝地处特小流域,在运用推理公式法时,也应深入掌握其各类参数的物理意义,在取值中充分考虑淤地坝地处特小流域的特点,才能使得计算结果更加真实合理。

3 推理公式法适用性及运用要点

3.1 适用性

推理公式法是由暴雨计算洪水的最早方法之一,距今已经有 180 多年历史,比较适用于小流域暴雨洪水计算。推理公式法在许多国家和地区得到了广泛应用和发展,1958 年,陈家琦等首次在国内提出了推理公式法后,我国诸多专家学者对该方法进行了大量研究和改进^[14-22]。

推理公式法一个重要的基本假定为:降雨强度 I 、径流系数 C 和汇流速度 V 三者的时空分布都是均匀的^[17]。对于淤地坝所在的特小流域而言,因其流域面积特小,暴雨在流域内的时空分布不均匀性可以忽略不计,而流域内的地形、地貌、土壤、植被等下垫面条件相对均匀一致,流域的产流、汇流参数也可视作为空间均匀的,因此,推理公式法在淤地坝特小流域内进行应用,相较于中小流域而言,更加符合其运用的基本假定条件。从这个角度看,在淤地坝设计洪水分析计算中,推理公式法的适用性是毋庸置疑的。

3.2 运用要点

关于推理公式法应用于淤地坝设计洪水计算中需把握的要点,在深入剖析推理公式法中各类参数的物理意义和淤地坝特小流域暴雨及洪水产汇流特性的基础上总结如下。

(一) 暴雨参数

在采用推理公式法进行设计洪峰流量计算时,主要涉及到的暴雨参数包括暴雨雨力 S_p 和暴雨递减指数 n 的取值。其中暴雨递减指数 n 值是非常灵敏、变化又非常复杂的参数^[23],一般具有以 1 h、6 h 为分界进行分时段取值(n_1, n_2, n_3)的特点,并且暴雨递减指数 n 值具有点面雨量的区别。

由于淤地坝地处特小流域,设计暴雨成果可直接采用点设计暴雨成果作为流域的设计暴雨,而不需要进行暴雨的点面换算,暴雨递减指数 n 也应注意选取为点雨量对应的 n 值。此外,由于淤地坝地处特小流域,流域汇流时间短,一般都在 1 h 以内,其洪峰由超短历时雨峰(一般在 1 h 以内)所形成。在此基础上,应特别注意,在运用推理公式法进行淤地坝设计洪峰流量计算时,暴雨递减指数 n 应选取由 10 min-1 h 的点雨量资料率定得出的 n_1 值,才能计算得出合理的设计洪峰流量值。

(二) 产汇流参数

采用推理公式法进行设计洪峰流量计算时,产流参数主要为损失参数 μ , μ 是反映暴雨产洪效率参数。由于淤地坝特小流域内降雨在面上分布比较均匀,全流域供水条件充足,截留入渗量相对较大;且淤地坝特小流域河网切割较浅,受到地表滞流作用的表层流,可能有部分或大部分不能在出口断面以上回归河网,因而暴雨洪水径流系数相对较小,使得淤地坝特小流域相较于中小流域而言,损失参数 μ 要大一些。

采用推理公式法进行设计洪峰流量计算时,汇流参数主要为损失参数 m 。 m 是反映水流汇集过程中阻力特征的参数,在用于流域汇流时,集中反映了流域下垫面的阻力特性,并与流域自然地理条件密切相关。由于淤地坝特小流域汇流中,坡面汇流的作用相对较大,河床质糙率相对也较大,使得其相较于中小流域而言,汇流阻力要大,从而 m 值相对较小。

根据上述分析,推理公式法应用于淤地坝特小流域设计洪水计算时,产汇流参数的取值有其特殊性。然而,现行的推理公式产汇流参数的取值体系大都是根据已有中、小流域水文站的实测雨洪资料为基础而构建的,故而在实际应用中,以现有的水文手册/图集中相关规定为取值依据时,应对该特殊性加以把握,产汇流参数的取值应在合理范围内进行相应的倾斜。

此外,建议加强特小流域面积的雨洪资料积累,继续完善特小流域面积时产汇流参数的取值依据,以使得推理公式法计算的淤地坝特小流域设计洪水结果更符合客观实际。

(三) 流域特征参数

流域特征参数包括河长 L 、比降 J 和面积 F 。根据推理公式的定义,河长 L 应为流域最远流程点至出口断面的流程长度,比降 J 则为沿最远流程的平

均纵比降。因淤地坝特小流域在雨洪汇流时,坡面汇流占比相对较大,流域内明显的沟道占比较少,因此,应根据地形图进行比较判断,判明最远流程中的坡面部分,才能算出符合推理公式物理意义的L值;而J值计算中,应选取最远流程坡面的顶高程开始沿着最远流程L分段进行计算。

4 结语

淤地坝作为防治水土流失的重要工程措施,肩负着黄土高原地区生态保护和高质量发展的历史责任和使命,从导致淤地坝极易遭受水毁灾害的洪水问题角度,针对其设计洪水计算方法开展了探讨。简要介绍了淤地坝现行的推理公式法、洪水调查法、经验公式法等各种设计洪水计算方法,对各方法适用条件和特点进行了分析对比。洪水调查法本身可靠可行,但其实际应用受洪水资料条件限制,不易大范围运用;经验公式法具有一定精度,但是在应用上具有地区局限性,不宜较大范围进行移用;推理公式法具有一定理论基础和计算精度,还简单实用,且应用于淤地坝特小流域时更加符合推理公式法原理的基本假定,因此,推理公式法应当作为淤地坝设计洪水分析计算中的首选方法。

深入剖析了推理公式法中各类参数的物理意义,结合淤地坝特小流域暴雨及洪水产汇流特性,对重要参数取值提出了注意要点:

(1)暴雨递减指数 n 应选取由 $10\text{ min}-1\text{ h}$ 的点雨量资料率定得出的 n_1 值。

(2)产流参数 μ 、汇流参数 m 的取值应在现有的水文手册/图集中取值依据基础上,着重注意特小流域相较于中小流域而言, μ 偏大、 m 偏小的特点,在合理范围内进行相应的倾斜。并建议加强特小流域面积的雨洪资料积累,继续完善特小流域面积时产汇流参数的取值依据。

(3)流域特征参数中的河长 L 、比降 J 的量算中,应注意淤地坝特小流域坡面汇流占比较大的特殊性,在判明最远流程中的坡面部分基础上,进行 L 和 J 的量算。

参考文献

[1] 冉大川,左仲国,上官周平.黄河中游多沙粗沙区淤地坝拦减粗泥沙分析[J].水利学报,2006,37(4):443-450.
[2] 方学敏,万兆惠,匡尚富.黄河中游淤地坝拦沙机理及作用[J].水利学报,1998,29(10):50-54.

[3] 高健翎,高云飞,岳本江,等.人民治理黄河70年水土保持效益分析[J].人民黄河,2016,38(12):20-23.
[4] 陈晓梅.黄土高原地区淤地坝的形成与发展[J].山西水土保持科技,2006(4):20-21.
[5] 张金良,苏茂林,李超群,吴向东.高标准免管护淤地坝理论技术体系研究[J].人民黄河,2020,42(09):136-140.
[6] 魏霞,李占斌,武金慧,等.淤地坝水毁灾害研究中的几个观念问题讨论[J].水土保持研究,2007,14(6):154-156,159.
[7] 于沐,陈祖煜,杨小川,等.淤地坝柔性溢洪道泄流模型试验研究[J].水利学报,2019,50(5):612-620.
[8] 黄国俊,蒋定生.黄土地区修建淤地坝的设计洪水标准[J].水土保持通报,1988,8(2):52-56.
[9] 胡建军,秦向阳,王逸冰,等.韭园沟流域相对稳定坝系防洪标准研究[J].人民黄河,2002,24(1):22-23.
[10] SL 289-2003,水土保持沟谷骨干工程技术规范[S].北京:中华人民共和国水利部,2003:7-10.
[11] SL/T 804-2020,淤地坝技术规范[S].北京:中华人民共和国水利部,2020:7-9.
[12] 时振阁,金玉玺.小流域设计洪水误差分析及改进措施[J].南水北调与水利科技,2009,7(5):114-117.
[13] 张丽伟,滕凯.小流域设计洪水推理公式简化计算[J].水资源与水工程学报,2013,24(5):219-222.
[14] 陈家琦,张恭肃.小流域暴雨洪水计算问题[M].北京:水利电力出版社,1983.
[15] 陈家琦,张恭肃.推理公式的应用和改进[J].水文,1983(1):2-3.
[16] 程小春,张善余.推理公式的一种简化算法—牛顿迭代法[J].水利水电科技进展,2002,22(3):13-15.
[17] 王国安,贺顺德,李荣蓉,等.论推理公式的基本原理和适用条件[J].人民黄河,2010,32(12):1-4.
[18] 黄启有,谷洪钦,华家鹏,张琨.应用推理公式推求不同形状小流域设计流量[J].水电能源科学,2010,28(01):22-24.
[19] 邱林,孙元元,周生通.一种基于VB求解小流域设计洪峰流量的图解方法[J].水文,2012,32(1):18-21.
[20] 田景环,梁文涛.应用Matlab求解小流域推理公式的方法[J].水文,2013[J].33(1):79-81
[21] 索明生,张靖梅.推理公式中汇流参数对洪水计算的影响分析[J].杨凌职业技术学院学报,2013,12(02):39-41.
[22] 辛波.改进的推理公式法在无资料地区山洪评价计算中的应用[J].水利技术监督,2018(02):77-79,181.
[23] 董秀颖,刘金清,叶莉莉.特小流域洪水计算概论[J].水文,2007,27(5):46-48.