

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2017.01.24

后河梓潼溪电站下游河段塌岸特征及 影响因素分析

向贵府^{1,2}, 许 模¹, 崔 杰²

(1. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学), 四川 成都 610059;

2. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 受“7·18”特大洪灾影响,后河梓潼溪电站下游河段右岸岸坡发生严重塌岸,造成河流沿线村民楼房倒塌,公路毁损等灾害。通过对水毁路段破坏情况的详细调查与分析,得出该河段地形地貌、岸坡物质组成及结构是塌岸的基本条件和物质基础,而暴雨洪水冲刷和梓潼溪电站工程建设是塌岸的直接触发因素。研究山区河道水力资源开发与河岸道路保护之间的关系,对于长江上游地区河谷生态环境保护具有重要的现实意义和理论价值。

关键词: 山区河道;河流岸坡;塌岸;影响因素

中图分类号: P694

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2017)01-0156-08

Analysis on the collapse characteristics and influencing factors of the lower reaches of Zitongxi hydropower station on Houhe river

XIANG Guifu^{1,2}, XU Mo¹, CUI Jie²

(1. National Laboratory of Geohazards Prevention and Geo-Environment Protection, Cheng du University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. College of Resource and Environment, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

Abstract: Due to the severe floods in 7·18, the bank slope of the right bank of the lower reaches of the Zitong River power station in the Houhe River caused serious collapses of the villagers' buildings along the river, and the highway was destroyed. Through the detailed investigation and analysis of the destruction of the water-damaged road sections, it is concluded that the topography, the material composition and the structure of the bank are the basic conditions and material foundation for the bank collapse. The construction of the torrential rain and the Tongtuxi power station shore of the direct trigger factors. It is of great practical and theoretical value to study the relationship between the exploitation of river water resources and the protection of riparian roads in the mountainous areas, and to protect the ecological environment of the river valleys in the upper reaches of the Yangtze River.

Keywords: bank collapse; mountain river; river slope; influencing factors

收稿日期: 2016-10-08; 修订日期: 2017-01-04

第一作者: 向贵府(1972-),男,四川万源人,博士研究生,主要从事地质工程与岩土体工程特性方面的教学与科研工作。E-mail: 28899600@qq.com

通讯作者: 许 模(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事水文地质及工程地质研究与教学工作。E-mail: 875924113@qq.com

河流岸坡崩塌(崩岸或塌岸)是山区河流岸坡经常性发生的灾害现象。近年来,受极端气候影响,百年一遇暴雨洪水频繁出现,对脆弱的山区河岸及沿线道路、房舍等造成严重破坏,危及这些地区的持续快速发展。同时,一些河道水利设施设计的缺陷,加重了灾害的破坏性影响。河岸崩塌成因复杂,戴海伦、代加兵等^[1]认为河岸崩塌、崩岸、塌岸等属于河岸侵蚀,是由土石等物质组成的河岸受水流冲刷,在水力、重力等作用下土石失去稳定并沿河、湖的岸坡产生崩落、崩塌和滑坡等破坏形式的一种灾害现象。王延贵、匡尚富等^[2]通过研究河岸岸脚淘刷机理与岸滩稳定性,把岸脚淘刷与岸滩崩塌有机地连接在一起。借用水流泥沙运动理论、水流动力理论和水流涡流理论就弯曲河道的淘刷机理进行了分析探讨,指出在主流和副流的共同作用下,弯道进口处的凸岸、弯道及其出口处的凹岸都属于高剪切力区,河岸淘刷严重,其中凹岸岸脚处的剪切力最大、淘刷最严重。张幸农等^[3]总结了以往研究,依据河流动力学和土力学等原理,将河岸侵蚀发生的原因分为土坡失稳、河岸侵蚀、土体液化以及其他原因(如管涌、降雨入渗等)。王延贵等^[4]、陈燕飞^[5]结合洪水期堤岸渗透与崩塌的特点,重点研究了崩滩与渗透险情的关系及水位升降等对崩岸的影响,得到“黏土岸滩,洪水迅速上涨期间,水压力对河岸的稳定是有利的,而洪水骤降时,河岸崩塌的几率增大;非黏土岸滩,洪水缓慢上涨期间,河岸稳定性变化不大,而洪水缓慢下降后,岸滩稳定系数减小”的认识。吴玉华等^[6]从河流动力学角度解释了崩岸成因与机理。简文彬等^[7]结合某临河道路岸坡失稳实例,详细分析了临河道路岸坡滑坡产生的机理及其破坏模式,进行了滑坡体稳定性验算,并提出了相应的治理措施。Thorne^[8]提出,岸坡组成物质的可蚀性及抗剪强度是影响河岸稳定性的两大因素。纵观已有河岸崩塌研究的文献资料,虽着重崩岸成因机理分析、崩岸影响因素等内容,但对暴雨洪水及水库建设等人类工程活动激发崩岸的研究还远远不够,而这些因素正在,并将会继续对河流岸坡失稳产生重要影响。

发源于四川省万源市境内的后河流域属长江主要支流嘉陵江上游水系之一,具有典型的山区河流特征,弯道多、宽度变化大、河水流态变化频繁,对岸坡冲刷、改造强烈。每年汛期,暴雨洪水引发的河流塌岸都会造成沿河流修建的山区公路的严重破坏。2010年7月16~18日的特大洪水灾害中,万源境内后河沿岸发生上百处河流岸坡的塌岸破坏,尤其以梓潼溪电站下游河段塌岸破坏最为严重,该处塌岸造成河流右岸的国道210线K1463+721~K1464+155段发生严重毁损,致干线公路断道长达半月之久。因此,以该处河流塌岸为研究对象,开展该河段河流岸坡塌岸毁损情况调查,分析塌岸成因及影响因素,可以为山区河流岸坡山洪塌岸预防及治理提供理论指导和技术支持,为河流塌岸理论研究积累素材,具有较强的现实意义和理论价值。

1 后河梓潼溪电站下游河段塌岸特征

塌岸河段呈蛇形弯曲,自210国道K1463+800 m开始,由南向北至K1464+200 m处,长度达450余米,路基完全毁损段达100 m,局部地段公路外侧村民楼房、护墙及路基路面完全冲毁,仅残留原公路内侧排水沟,最大冲毁宽度达到20 m。调查发现塌岸所处部位不同,其塌岸规模、破坏模式也存在差异,主要表现为冲磨蚀型、坍塌后退型和牵引滑移型等,其中右岸沿线210国道K1463+721~K1463+836 m段岸坡受洪水冲刷与淘蚀作用,发生严重的冲磨蚀型破坏,上部护墙及早期堆填碎石土层全部冲毁,至下部基岩完全暴露(图1)。根据塌岸破坏特征,将该处塌岸段划分为6段,分布位置见图2,各段岸坡结构及水毁特征见表1。

2 后河梓潼溪电站下游河段塌岸的影响因素分析

分析表明后河梓潼溪电站下游河段河床岸坡的损毁除暴雨及人类工程活动的影响外,河床所在位置的地形地貌、河床岸坡的地层结构及岩土类型等因素是影响和决定河流岸坡稳定性及抗冲刷的重要因素。下面从地形地貌、岸坡岩土结构等内在因素

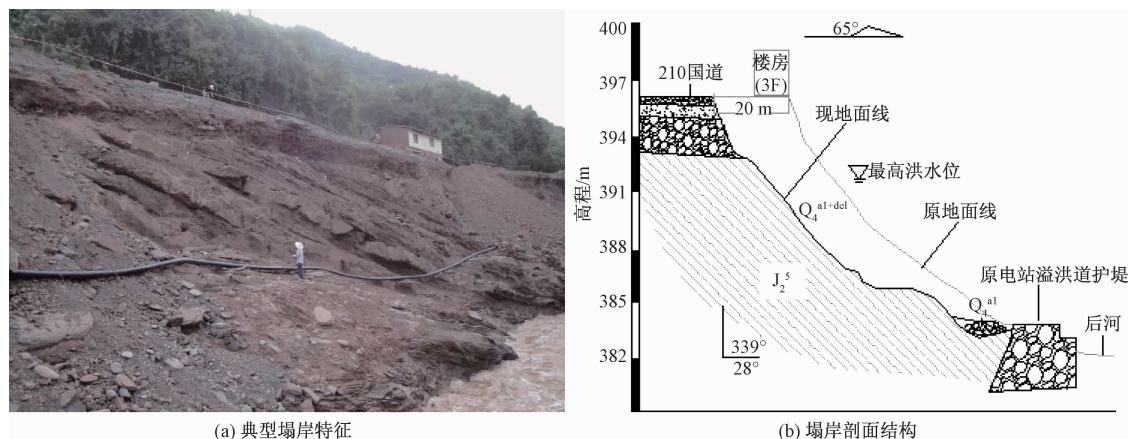


图1 河流右岸国道210线 K1463 + 721 ~ K1463 + 836 m 段岸坡结构及塌岸特征

Fig.1 Bank slope structure and bank collapse characteristics of K1463 + 721 ~ K1463 + 836 m section of No.210 State Road



图2 后河梓潼溪电站下游河段河流右岸岸坡塌岸分布及分段

Fig.2 Distribution and segmentation of bank collapse on the right bank of the lower reaches of Zitong River power station, Houhe River

及暴雨、人类工程活动等外在因素多角度讨论河流岸坡水毁原因。

2.1 地形地貌因素

后河梓潼溪电站下游河段塌岸段处于河流右岸弧形弯道部位,岸坡总体为斜坡地形。根据河流演化与河水运动的水力学特征^[9],在河床弯道部位,弯道离心力(河道弯曲部位因惯性作用而产生的离心力)作用强烈,在弯道离心力作用下,水体向凹岸集中,因此,凹岸水面将抬高,凸岸水面降低,从而产生横比降,引

起自凹岸向凸岸的横向力,在弯道流水断面的垂线上,水质点的流速随深度而逐渐减小,故垂线上各点的离心力在表层最大,向下逐渐减小,在水体上层,离心力大于横向力,合力向右,水质点向右,其产生的冲击力对岸坡产生强烈的冲刷作用;在水体下层,离心力小于横向力,合力向左,水质点向左运动,离心力和横向力在中偏下的水体部分达到平衡,由此形成了横向环流(图3)。在平面上,河流的主流线偏向于凹岸,且水体呈螺旋式前进。由于横向环流的作用,使河流凹岸侵

表 1 塌岸段岸坡结构及塌岸特征

Table 1 Bank collapse bank slope structure and collapse characteristics				
分段里程/m	长度/m	岸坡结构	塌岸特征	备注
K1464 + 155 ~ K1464 + 200	45	上部人工填土及残破积碎石土层,厚 5 ~ 7 m,主要由砂泥岩风化碎块及砂土组成;下部由紫红色粉砂质泥岩及泥质粉砂岩互层组成,岩层缓倾坡外,产状 339°/NW/28°。	该段河床岸坡塌岸破坏最大宽度为 6.5 m,体积约 3 800 m ³ 。冲刷坍塌型破坏。	凸岸出口
K1464 + 96 ~ K1464 + 155	59	该段为弧形岸坡,岸坡由上部毛石挡墙和下部基岩组成,基岩为紫红色泥质粉砂岩和青灰色长石石英砂岩互层组成。	受洪水强烈冲刷,岸坡两侧出现基岩岩体松动变形,但未发生塌岸破坏。	凸岸
K1464 + 22.5 ~ K1464 + 96	73.5	上部人工填筑路基路面层、残破积碎石土层和下部基岩组成。下部基岩由紫红色中厚层状泥质粉砂岩及薄层粉砂质泥岩组成,岩体松动变形强烈。	该段发生塌岸地段的最大宽度为 6.7 m,总体积约 4 410 m ³ 。该段塌岸主要表现为强烈风化基岩发生坍塌破坏。	凹岸出口
K1464 + 6.5 ~ K1464 + 22.5	18	该段处于河流凹岸的拐弯处,由上部毛石挡墙和下伏基岩组成。毛石挡墙高约 9 m,墙面直立,基础置于中风化紫红色泥岩之上,基础底面与地形坡度一直,倾向坡外。	仅局部出现淘蚀悬空,岸坡总体稳定,未发生整体塌岸。	凹岸
K1463 + 836 ~ K1464 + 6.5	170.5	内侧为成渝铁路修筑中产生的堆渣填筑而成的碎石土路基,该部分厚约 5 m 左右,下部多为紫红色泥页岩,基岩形成坡度 30° ~ 50° 的斜坡地形。	该段塌岸宽度为 11.7 m,总方量约 21 000 m ³ 。洪水冲刷塌岸导致公路外侧民房全部倒塌。为牵引滑移型破坏。	凹岸入口
K1463 + 721 ~ K1463 + 836	115	上部碎石土层及下部基岩层组成,总体近直线型。河岸边坡坡向为 80° 左右,下部基岩产状为 339°/NW/28°,为斜向坡。	本段塌岸最大宽度为 7.8 m,总体积约 14 490 m ³ 。塌岸导致上部居民楼房倒塌及路基路面冲毁,为冲刷磨蚀型破坏。	电站下游

蚀,从而导致凹岸下部被掏蚀,上部崩塌,形成凹腔或悬崖^[10]。210 国道被严重损毁路段正好处于河流弯道的凹岸部位,因此,具备了发生冲刷侵蚀并导致塌岸的地形地貌条件。

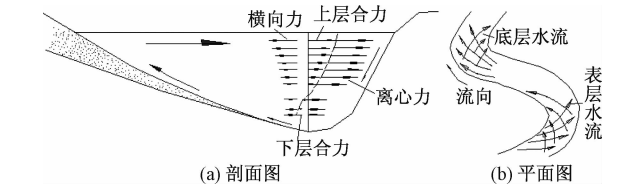


图 3 河流弯道环流形成的平面图、剖面图

Fig. 3 Plan and section of the formation of river bend

2.2 岸坡地层岩性因素

河流岸坡地层岩性是决定岸坡稳定性及抗冲刷能力的关键要素。通常来说,基岩岸坡由于岩石强度高,结构致密,抗冲刷能力强,岸坡稳定性较好;而土质岸坡由于土体结构相对松散,且在水的浸泡及冲刷作用下,极易解体,从而发生塌滑破坏。经过野外调查,该路段主要为岩土混合型岸坡,且靠近河床

部位,土层愈厚,土体多为 20 世纪 60 年代铁路修筑中的堆渣填筑碾压而成,所经历年代时间短,土体未得到充分固结,结构较为松散,其抗冲刷能力较弱。下部基岩主要为紫红色泥岩及泥质粉砂岩,少量青灰色石英砂岩,属于四川盆地典型的红层地层。其中的泥岩及粉砂质泥岩为工程软岩,具有强度低、遇水易崩解等工程性质。基岩埋藏深度变化较大,仅局部露出地表,形成基岩岸坡,其余则为土质岸坡或岩土混合型岸坡,各段岸坡岩土类型及特征见表 1。显然,该河段岸坡物质组成为河流塌岸的形成提供了良好的物质基础,对塌岸的严重破坏具有决定性作用。

2.3 岸坡岩土体结构因素

工作区地处长坝向斜南翼,以单斜地层为主,岩层产状 40° ~ 70°/NW/25° ~ 30°。调查路段边坡坡向 14° ~ 70°,与岩层走向间以小角度相交,多为顺向坡到斜向坡,以弯道为界,上游侧为斜向坡,下游侧则

以顺向坡为主。基岩岩层倾向与原始斜坡坡度基本一致,上覆土层堆积于基岩层面之上,形成上软下硬的二元结构,在软硬交界部位形成天然软弱接触面。这种岸坡结构特征,于岸坡稳定极为不利,一旦其下部被冲刷淘蚀,极易发生塌滑破坏变形。通过对该毁损河岸沿岸公路路破坏情况的调查表明,多数地段的破坏均属于该种形式,如破坏最为严重的国道 210 线 K1463 + 720 ~ K1464 + 6.5 段,当洪水冲破电站大坝下游右岸护堤后,汹涌的洪水将该段岸坡下部土层一扫而光,直至基岩出露,上部土层沿基岩面滑塌进入洪水中,被洪水带走,最上层路基硬壳处于暂时悬空状态,在路基自重或在房屋荷载作用下沿

其根部折断后便发生垮塌。

局部地段主要以基岩为主,岩体中结构面发育,共发育 3 组结构面:①组,产状 $66^{\circ}/SE/31^{\circ}$,迹长 0.3 ~ 1.5 m,间距 15 ~ 50 cm,面较平直光滑,多闭合,无充填;②组,产状 $133^{\circ}/NE/87^{\circ}$,迹长 2 ~ 5 m,间距 20 ~ 100 cm,面较起伏粗糙,局部张开,充填次生粘土;③组,产状 $30^{\circ}/NW/58^{\circ}$,迹长 0.3 ~ 2.0 m,间距 20 ~ 60 cm,面起伏粗糙,多张开,充填碎屑夹泥。在河流冲刷及风化卸荷作用下,多数裂隙发生拉张,最大宽度可达 10 cm,受裂隙组合切割及卸荷拉张影响,边坡中发育多个孤立块体,岩体松动变形强烈,在洪水冲击下而发生崩塌(图 4)。

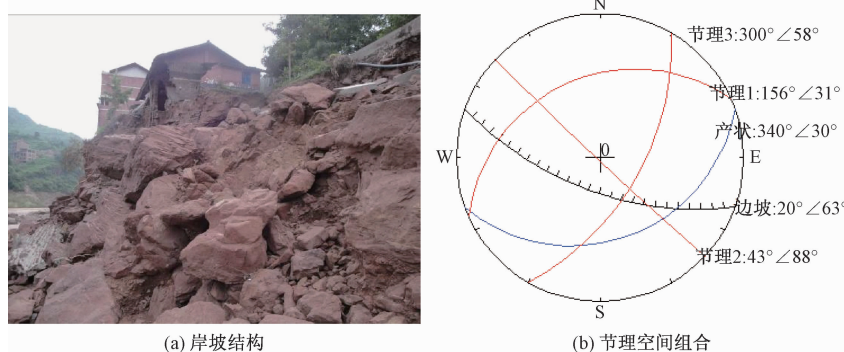


图 4 K1464 + 96 ~ K1464 + 155 km 段基岩岸坡结构及岩体节理空间组合情况

Fig. 4 Spatial structure of bedrock bank and rock joint in K1464 + 96 ~ K1464 + 155 km section

2.4 暴雨洪水因素

受高空低槽和西南暖湿气流的影响,自 7 月 16 日 17 时至 18 日 18 时,达州市由北向南出现强降雨过程,局部地区出现特大暴雨,迅速引发特大暴雨洪灾。

从距离梓潼溪电站最近的毛坝水文站所监测到的万源 2010 年“7·18”洪水过程资料可以看出,洪水流量出现两次波峰,在 17 日上午 8:30 ~ 9:30 出现

第一次洪峰,峰值流量达 $3\,430\text{ m}^3/\text{s}$,17 日 9 时该站水位达 361.03 m,超警戒水位 1.58 m。随后洪水开始消退,流量逐渐减小,至 17 日下午 5 时,洪水流量减少至 $1\,200\text{ m}^3/\text{s}$,到 18 日凌晨 3 点,流量小幅波动,基本维持在 $1\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 左右。随后洪水继续上涨,流量不断增大,至 18 日下午 2:30 ~ 4:00,出现第二次洪峰,峰值流量达 $4\,550\text{ m}^3/\text{s}$,随后逐渐消退(图 5)。

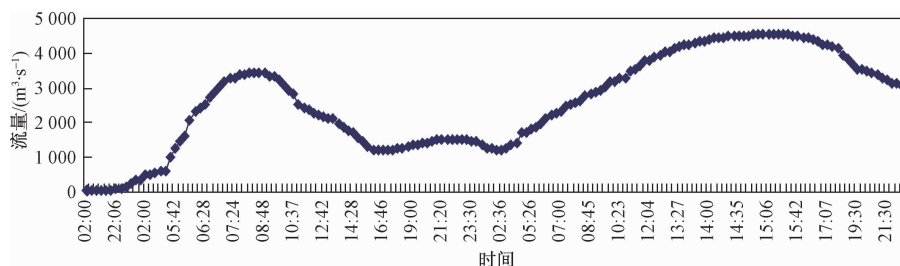


图 5 毛坝水文站“7·18”洪水流量变化情况

Fig. 5 The change of “7·18” flood flow at Maoba hydrological station

洪水含沙量变化在初期与流量变化基本一致,即随着洪水流量的增大,含沙量也逐渐增大,在第一次洪峰过后随即出现最大含沙量值:40.5 kg/m³,随后含沙量快速下降,最后稳定在5 kg/m³左右(图6)。显然在洪水初期,暴雨将岸坡松散泥砂

带入水中,含沙量逐渐增大,水体密度随之加大,河流冲刷能力加强^[11],河岸不断发生崩塌,导致更多固体物质参入水体中,随着冲刷的进一步发展,河岸逐渐趋于稳定,洪水中携带物质也随之减少,含沙量逐渐趋于平稳。

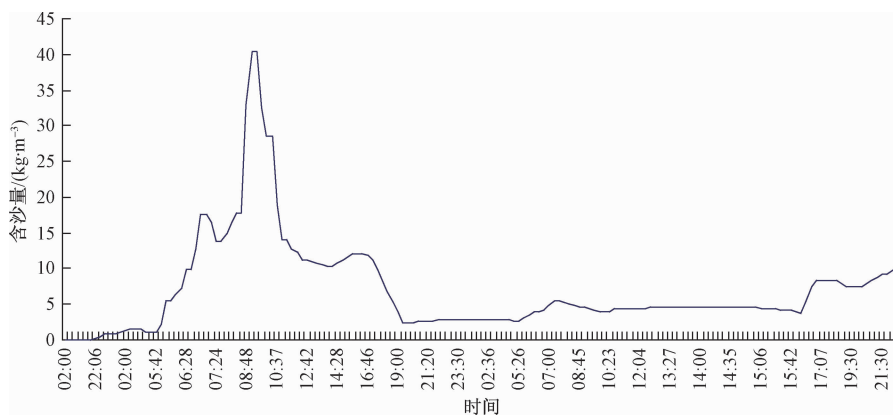


图6 毛坝水文站“7·18”含砂量变化情况

Fig. 6 Variation of sand content in “7·18” hydrological station of Maoba hydropower station

携带大量泥砂的洪水具有紊流特征,这种不规则洪流形成的高密度流体所携带大量的能量,不仅对河床底部产生强烈揭底冲刷,而且猛烈冲刷河床岸坡,一波又一波的巨浪不断地击打岸坡支挡结构及岩土体,河床岸坡不断地发生冲刷坍塌,位于河床堤岸上的楼房顷刻间便因下部冲刷坍塌而倾斜倒塌,并最终被洪水卷走。

2.5 梓桐溪电站修建对河流岸坡塌岸的影响分析

梓桐溪电站坝型采用埋石砼重力坝加钢筋砼自动翻板闸,固定坝最大坝高25 m,活动闸高5 m,坝长60 m,坝址紧靠河流岸坡塌岸段上游。为了减小集中下泄水流余能的冲刷,梓桐溪电站大坝采用了底流消能的工程设计方案。溢洪道作为该水利工程的重要泄水建筑物,其结构功能受工程地质条件、工程结构以及工程整体布置等条件限制,并且溢洪道结构设计以及工程布置会对泄流的水力特性产生较大的影响^[12]。正是由于电站大坝设计中,不合理的溢洪道设计,在洪水爆发时,洪水对溢洪道侧堤产生的巨大冲击力导致长约50 m段导流堤发生溃堤。失去约束的洪流不仅对岸坡形成强大的冲击力,而且产生巨大的波浪,猛烈抨击着岸坡岩土及建构物,加剧了该段河床岸坡的严重毁损。另外,大坝修

建阻塞河道,造成洪水雍高,河道行洪泄洪能力被削弱。分析认为梓潼溪电站的修建改变了河流环境,加剧了下游河岸的塌岸破坏。

3 塌岸宽度计算

河床岸坡塌岸或河床岸坡边岸再造范围和规模的方法可分为:类比图解法、计算图解法、经验法等。目前,主要的计算图解预测方法包括卡丘金法、卓洛塔寥夫法和平衡剖面法三种。王跃敏等经过近年数十处水库塌岸的调查研究,提出了“两段法”,该方法的具体图解为以原河道多年最高洪水位与岸坡交点为起点,以为倾角绘出水下稳定岸坡线,该线延伸至设计洪水位加毛细水上升高度的高程点,再以点为起点,以角为倾角绘出水上稳定岸坡线,该线与原岸坡的交点即为水上稳定岸坡的终点。水上稳定岸坡线的起点的高程所对应的原岸坡点与该线终点之间的水平距离,即为“两段法”预测的塌岸宽度(图7)。许多工程应用案例表明该方法预测河流塌岸宽度比较接近实际。

(1) 数的选取

参照长委会勘测规划设计研究院《三峡工程岸坡塌岸分析及初步评价》中的塌岸预测及山区红层地层

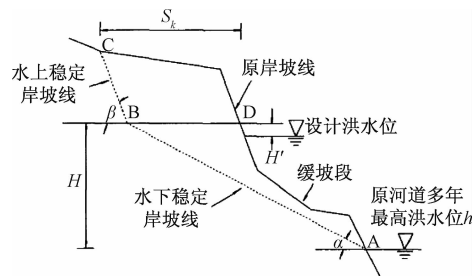


图 7 两段法塌岸预测图解

Fig.7 Diagram of two-stage bank collapse prediction

及残坡积土质河床岸坡塌岸计算,根据环境和河床岸坡岩土体物理力学性质的相似性,梓潼溪电站下游河段岸坡模型简化为残坡积土类岸坡和红层砂泥岩互层的基岩类岸坡,除 α 、 β 、 γ 实测外,总结已有相似条件河床岸坡经验,对该段河床岸坡塌岸计算参数选定见表 2。

表 2 不同岩土体在不同水位条件下的稳定坡角建议值

Table 2 Recommended values of slope stability for different rock and soils at different water level			
岩 性	水下稳定坡角/(°)	水位变动带稳定坡角/(°)	水上稳定坡角/(°)
砂岩	25°~35°	35°~50°	50°~70°
缓倾向泥岩	18°~30°	30°~45°	45°~60°
Q_4^{al}	8°~10°	10°~20°	20°~30°
Q_4^{ml}	8°~10°	12°~18°	20°~30°

(2)塌岸计算

根据洪水动力条件和塌岸参数,选取河床岸坡段相应的工程地质剖面运用两段法进行塌岸范围估算。计算中选取河床岸坡段的代表性剖面:如第 1 段中的 1-1 剖面、第 2 段中的 2-2 剖面、第 3 段中的 3-3 剖面、第 4 段中的 4-4 剖面、第 5 段中的 5-5 剖面、第 6 段中的 6-6 剖面,计算的各剖面部位的塌岸宽度见表 3。

表 3 塌岸计算成果表

Table 3 Calculation results of bank collapse			
剖面号	本次洪水位以上岸坡的高度 hs/m	原始岸坡坡角 $\gamma/(^\circ)$	塌岸宽度 S/m
1-1	4	35	3.96
2-2	4	75	0
3-3	3	53	6.7
4-4	2	50	0.3
5-5	2	62	11.7
6-6	1.5	63	7.5

4 结论

通过对后河梓潼溪电站下游河段右岸岸坡发生塌岸破坏情况的调查与分析,得出岸坡地形地貌、地层岩性、地质构造、岸坡结构等为该河段塌岸的基本条件和物质基础;暴雨洪水及人类工程活动为塌岸发生的直接触发因素。塌岸的发生是上述因素综合作用的结果,河流岸坡沿线工程建设及河流上的工程建设应对这些因素进行充分而全面的评估,并再次基础上做好防范措施,以确保工程建构筑物的安全运行。

参考文献:

[1] 戴海伦,代加兵,舒安平,等.河岸侵蚀研究进展综述[J].地球科学进展,2013,28(9): 988 - 996.
DAI Hailun, DAI Jiabing, SHU Anping, et al. A review of research on river bank erosion [J]. Advances in Earth Science, 2013, 28 (9): 988 - 996.

[2] 王延贵,匡尚富.河岸淘刷及其对河岸崩塌的影响[J].中国水利水电科学研究院学报,2005,3(4): 251 - 257.
WANG Yangui, KUANG Shangfu. Riverside scouring brush and its impact on river bank collapse [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2005, 3 (4): 251 - 257.

[3] 张幸农,蒋传丰,陈长英,等.江河崩岸的影响因素分析[J].河海大学学报(自然科学版),2009,
ZHANG Xingnong, LIANG Chuanfeng, CHEN Changying, et al. Analysis of influencing factors of river bank collapse [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2009, 37 (1): 36 - 40.

[4] 王延贵,匡尚富,黄永健.洪水期岸滩崩塌有关问题的研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2003 (2): 90 - 97.
WANG Yangui, KUANG Shangfu, HUANG Yongjian. Study on the problems of beach collapse in flood period [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2003 (2): 90 - 97.

[5] 陈燕飞,潘林勇,王延贵.洪水位变化对河岸崩塌影

- 响机理的研究[J]. 中国农村水利水电, 2004, 11: 93-95.
- CHEN Yanfei, PAN Linyong, WANG Yangui. Study on influence mechanism of flood level change on river bank collapse [J]. China Rural Water and Hydropower, 2004, 11: 93-95.
- [6] 吴玉华, 苏爱军, 崔政权, 等. 江西省彭泽马湖堤崩岸原因分析[J]. 人民长江, 1997, 28(4): 27-30.
- WU Yuhua, SU Aijun, CUI Zhengquan, et al. Cause analysis of bank collapse in Pengze lake of Jiangxi province [J]. People's Yangtze River, 1997, 28(4): 27-30.
- [7] 简文彬, 李润, 柳侃. 临河道路岸坡滑坡及其防治研究[J]. 工程地质学报, 2012, 20(S): 357-361.
- JIAN Wenbin, LI Run, LIU Kan. Study on bank slope landslide of Linhe Road and its prevention and control [J]. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(S): 357-361.
- [8] Thorne C R, Tovey N K. Stability of composite river banks [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1981(6): 469-484.
- [9] 周勤. S"型溢洪道试验与数值模拟研究[D]. 四川大学, 2005.
- ZHOU Qin. S " type spillway test and numerical simulation research [D]. Sichuan University, 2005.
- [10] 李志威, 王兆印, 徐梦珍, 等. 弯曲河流颈口裁弯模式与机理[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2013, 53(5): 618-624.
- LI Zhiwei, WANG Zhaoyin, XU Mengzhen, et al. Mode and mechanism of bending of neck in curved river [J]. Journal of Tsinghua University (Natural Science), 2013, 53(5): 618-624.
- [11] TORREYVH. Retrogressive failures in sand deposits of the Mississippi river, report2, empirical evidence in support of the hypothesized failure mechanism and development of the levee safety, flow slide monitoring system [R]. Vicksburg, Mississippi, USA: Department of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineers, 1988.
- [12] 李根, 王圣海, 王健骁, 等. 孤山子水库溢洪道设计及水力特性分析[J]. 河南水利与南水北调, 2015, 10: 28-29.
- LI Gen, WANG Shenghai, WANG Jianxiao, et al. Gushanzi reservoir spillway design and hydraulic characteristics [J]. Henan Water Conservancy and The South to North, 2015, 10: 28-29.

· 新书介绍 ·

《干热岩发电技术理论与实践》

《干热岩发电技术理论与实践》是由中国地质调查局、中国地质环境监测院董颖教授、田廷山教授, 中国能源研究会地热专业委员会郑克棣教授主编, 地质出版社出版发行的专业著作。

本书主要介绍了当前在国际上广受关注的重要清洁能源代表之一——“干热岩”发电技术的应用现状和发展前景。以干热岩发电技术理论为出发点, 着重强调了干热岩发电在中国能源革命中的重要地位, 系统地介绍了我国近些年在干热岩资源勘探、试验探索和科学研究等方面的相关进展, 同时还介绍了在干热岩发电领域领先的世界各主要国家, 包括美国、德国、英国、法国、澳大利亚、瑞士、瑞典、日本在内的8国, 干热岩发电技术的应用现状, 以及中国与澳大利亚、德国共同合作、研究、探索的重要科技成果。

全书共分6个章节, 第1章为“中国能源革命的重要支撑”; 第2章为“世界干热岩发电技术现状”; 第3章为“中国干热岩试验研究历程”; 第4章为“中澳干热岩合作项目研究”; 第5章为“中德干热岩合作研究的探索”; 第6章为“近年的一些相关进展”。全书共260千字, 2016年9月第1次印刷, 定价88.00元。

本书可供相关领域科技人员与院校师生阅读参考。

(中国地质环境监测院 赵伟 供稿)