

金沙江干热河谷水电站库区消落带的生态重建技术初探

穆军, 李占斌, 李鹏, 李强, 胡琳

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对金沙江干热河谷电站水库建成之后所形成的消落带的特点, 以及存在的水土流失, 水体污染, 生态系统破坏等生态环境问题, 提出利用香根草和工程综合技术来治理的思路。并对库区可能存在的生态环境问题、香根草特性及其在消落带可发挥的作用进行了简要介绍, 初步制定出库区消落带生态治理方案, 以期最终建立可持续发展的生态系统工程。

关键词: 消落带; 香根草; 干热河谷库区; 生态重建

文献标识码: B

文章编号: 1000—288X(2008)06—00172—05

中图分类号: X171.4

Ecological Restoration Technology in Water-Level-Fluctuating Zone of Dry-hot Valleys Reservoirs in the Jinsha River

MU Jun, LI Zhan-bin, LI Peng, LI Qiang, HU Lin

(Key Laboratory of Northwest Water Resources and Environment Ecology of the MOE, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: A large area of water-level-fluctuating zone will be emerged after the completion of the reservoir engineering of dry-hot valleys in the Jinsha River. This paper presents that using vetiver and integrated engineering technology may prevent some problems from probably appearing in the water-level-fluctuating zone, such as soil and water loss, water pollution, and damages to the ecological system. The likelihood of existed ecological environment problems and the characteristics of vetiver and its functions are briefly introduced. In addition, the program of ecological restoration for the water-level-fluctuating zone is proposed. It is expected that a sustainable ecological system may be established.

Key words: water-level-fluctuating zone; vetiver; dry-hot valleys reservoirs; ecological restoration

金沙江是中国第一大河——长江上游河段的重要组成部分,流域面积约 $5.0 \times 10^5 \text{ km}^2$, 约占长江流域总面积的 27.8%; 河流全长约 3 500 km, 为长江全长的 55.5%; 落差约 5 100 m, 占整个长江落差的 95%。金沙江玉树(巴塘河口)至宜宾河长 2 360 km, 落差 3 280 m。其中玉树至石鼓称为金沙江上段, 石鼓至攀枝花称为金沙江中段, 攀枝花至宜宾称为金沙江下段。

金沙江流域内资源丰富, 拥有水能、森林、矿产、生物、旅游等众多优势资源。特别是水能资源, 金沙江坡陡流急, 水量丰沛且稳定, 落差大且集中。水能资源丰富, 据 1980 年水力资源普查成果, 金沙江干支流水能资源蕴藏量达 $1.124 \times 10^8 \text{ kW}$, 占长江流域总蕴藏量的 42.257%, 可开发水能资源达 88 910 MW, 年发电量 $5.041 \times 10^8 \text{ kW/h}$, 占长江流域的 49%, 其水能资源的富集程度堪称世界之最。在西

南及全国均占很重要的地位, 是规划的“西电东送”的重要电源基地。

为了充分利用金沙江流域的水能资源, 1990 年长江流域规划拟定的梯级开发方案, 并明确提出, 金沙江干流河段的开发规划以发电为主, 兼顾防洪、发展航运等。

金沙江下段按梯级开发方案, 计划修建若干大型水电站。由于金沙江下段处于生态脆弱带, 流域干热河谷生态环境更是十分脆弱。在电站建成蓄水后, 不可避免地面临同一个生态环境问题即消落带问题。消落带出现将加重该区生态环境问题。三峡工程的竣工, 带来的消落带问题已引起广大库区人民群众和全国人民及科学工作者的广泛关注, 也引起笔者的深思。因此笔者认为有必要认识和探索金沙江流域下段干热河谷水电站库区消落带的有关生态环境问题和生态重建技术研究。

1 水电站库区消落带的形成及特点

所谓消落带是指工程建成之后正常运转的水位变动带。具体而言,电站水库夏季为腾出库容防洪,水位调至蓄洪水位,而每年10月之后,为蓄水备冬季发电之用,水库水位调至正常水位(起码有一段时间达到这个水位)。每年这样水位上下变化使库区出现一条约30 m宽的沿金沙江两岸的变动带,在正常情况下,夏季露出水面因受库水反复、周期性的浸泡以及水位涨落所产生的冲刷和淤积作用,消落区的地形、土壤和水分状况将会发生一定变化,其水、土活动特点、景观以及生态功能也会有所改变,表现出一些特点。

库水位周期性涨落使消落区成为库区生态系统中能量循环、物质转换的活跃地带,其生态系统受到来自水、陆两方面的影响,库水下降时,水中的一些漂浮物、生活垃圾、生物死亡体等大量污染物会沉积在消落区;库水上涨时,消落区土壤中N、P、K及重金属会随水转移到水体中,造成水体污染,同时因利益驱动,人们会自发地利用消落区土地,特别是无序开垦和不合理利用将会严重地破坏消落区的生态环境,对水库的水质、泥沙淤积、库岸防护产生重大影响。另一方面,很多地方在成库前是肥沃的耕地和园地,在光、温、水、气条件较好的夏秋两季,具有潜在的利用价值,消落区内原有的缓坡瘠薄土地,也会因成库后的泥沙淤积而提高其利用价值。因此,消落区具有生态脆弱性、变化周期性、人类活动频繁性、多功能资源性等特点。

2 库区消落带主要的生态环境问题

2.1 岸边污染带的形成

库区高水位运行期后,11月至翌年5月库区水位由正常水位缓慢下降到蓄洪水位,消落带水流会变成缓流、滞流,水体自净能力和稀释能力逐月降低,上游和库周边排放的污染物滞流库岸,在消落带形成岸边污染带。污染带将对库区及库岸城乡景观产生严重的影响。

2.2 水陆交叉区的环境污染

消落带作为水域与陆地环境系统的过渡地带,受库区水位周期性涨落的影响,消落带将成为生态系统中物质、能量的输移和转化的活跃地带,消落带生态系统将受到来自水陆2个界面的交叉污染^[1]。

库区汛期(5—9月)低水位(低于正常水位)运行期间,库周边土壤侵蚀产生的泥沙,水中的部分垃圾以及人类生产、生活产生的大量废物、工业废水、生活

污水,加上消落带土地季节性利用产生的面源污染物都将会主要淤积沉淀在消落带。

2.3 土壤的侵蚀和水土流失

水库属于河道型水库,两岸沟壑纵横、地势陡峻,相对高差大,水土流失严重。库区蓄水后,在降水和库水位周期性地涨落的水动力作用下,消落带坡面上的植被和土壤结构将被破坏,水土流失加大。除了局部为“平川坝地型”的消落带河段外,大部分“山地型”的消落带河段的土壤重力侵蚀和冲刷作用将加剧。

2.4 植物多样性及生态系统受损问题

水库蓄水运行后,消落带由原来的陆生生态系统演变为季节性湿地生态系统:一方面会出现一些新的物种或发生物种变异;另一方面更重要的是原来适应陆生环境生长的物种尤其是植物物种将逐步消亡,而适应水生环境生长的物种又因消落带的季节性出露水面(陆地环境)而成活率低。因此在消落带及其支流回水影响区浅平地方可能只有少量的湿生和水生植物群落生长^[2]。整个消落带的植物种类将较以前的陆生环境大为减少,生态系统结构和功能简单化,生态系统稳定性降低,脆弱性增强。

3 香根草在库区生态治理中的应用

3.1 香根草的主要特性

香根草(*Vetiveria zizantoides* (Linn.) Nash),又名岩兰草,为禾本科香根草属(*Vetiveria* Bory)多年生粗壮草本植物。我国江苏、浙江、福建、台湾、广东、广西、海南及四川均有引种^[3]。

香根草须根呈网状、海绵状,含挥发性浓郁的香气,粗1~2 mm,深2~3 m,甚至5 m,被认为是“世界上具有最长根系的草本植物”^[4-5]。香根草属于暖季型草,可耐55℃的高温,也可抗-15.9℃的低温(地上部枯死,地下部存活),但温度过高时生长减缓^[5]。香根草属于C4植物,光合能力强,光照不足会明显影响生长^[6]。香根草是一种两栖植物,耐水淹,在潮湿土壤生长最好,也耐旱,连续干旱几个月的情况下仍能生长。可在河岸、库岸等水位波动地区种植。年降雨量在200~6 000 mm的地区均适合生长^[5]。靖元孝等研究表明,香根草完全淹水5个月仍能存活^[7]。香根草对土壤要求不严,在强酸性土(pH=3)和强碱性土(pH=11)及盐碱土条件下,在有机质N、P、K贫瘠的条件下以及在强烈侵蚀的土壤中均能生长^[8-9]。

3.2 香根草在库区消落带的作用

由于香根草是一种适应性强,生物量大,易种好管的禾本科多年丛生草本植物,它在水土保持,土壤

改良,海河岸防风固沙,燃料使用,工艺品编织,香料提取,造纸利用和土工工程等方面存在巨大应用潜力和价值,至今已在 100 多个国家和地区得到广泛应用和研究^[10]。我国 20 世纪 50 年代引种,80 年代在南方地区(福建、江西和广东等地)大面积试种和推广取得了良好的效果^[11]。下面主要从防治水土流失,治理污染,改善土壤和小气候及经济价值等方面探讨香根草在库区消落带的应用潜力。

3.2.1 防治水土流失 香根草很难结实,一般通过分蘖繁殖,且无匍匐茎或根状茎,因此不会成为农田杂草,在热带亚热带地区的印度、斐济、泰国、马来西亚、印尼、澳大利亚等国家,香根草被广泛用来防治水土流失。由于香根草具有强大的根系,在陡、缓坡地上可形成土壤根结性植物篱,一方面拦截了降雨冲刷的泥土;另一方面可形成等高植物篱笆,其根系能轻易穿透各种类型的土壤,增加土壤渗透性,使大部分降雨能更好地渗透到地下,减少土壤径流和土壤养分的流失,提高土壤的含水量,有利于农作物的生长和产量的提高。在我国,香根草在水土保持方面的应用一直作为研究的重点,并取得了较好的效果。研究表明^[12],香根草可使地表径流量和土壤侵蚀量分别下降 60%和 93%,土壤含水量上升 4%~42%。香根草在雨季使 0—20 cm,20—40 cm 土层含水量分别提高 20.3%和 4.1%,在旱季增幅更大,分别为 42.1%和 13.3%,较好地起到抗旱保收的作用。贵州省用香根草保护长江水系的河道、坡地、农田。常年 7 级以上大风的福建省平潭岛,风蚀现象十分严重,风沙土占耕地面积 90%以上,种植香根草后起到了较好的防风固沙作用。荒漠化 60%~70%的云南省元谋干热河谷地区及广东种植香根草以恢复植被^[13]。由于香根草根系发达,一般可达 2~5 m,这是一般草类难以达到的,在其向下伸长的同时相互交错形成网状根,国外研究表明,香根草的根系平均抗张强度为 75 MPa,其根系的抗拉力、张力相当于钢强度的 1/6,因此,根系与土粒形成复合有机整体具有较强的抗冲击力和抗侵蚀力。在某种程度上香根草可以代替工程措施,许多国家如马来西亚、泰国、印度、斐济、南非、新西兰、中国等还运用这一特性来加固沟渠、石砌坝的稳定性和高速公路路基。泥石流多发地带种植香根草则可防止泥石流“多米诺”现象的发生。

研究表明,将香根草应用于高速公路路基保护工程,可有效地防止了滑坡和崩塌的发生^[14]。中国科学院地理科学与资源研究所^[15]采用坡地植物篱农业技术,将香根草等多种植物在三峡库区秭归县内种植 4 669 m²植物篱,以寻求一条有效防治水土流失,提

高土地生产潜力,防止水库淤积的坡地利用改良途径,结果表明,香根草挡土防蚀效果明显。

库区生态环境建设面临的突出问题是泥沙淤积严重,而农区陡坡开垦,顺坡耕种是导致水土流失的重要原因,因此人工种植香根草无疑是一种解决库区泥沙淤积,解决库区移民生计,实现库区长久治安的比较好的选择。

3.2.2 污染控制与治理 国外研究表明,香根草能在高浓度金属含量条件下,如 As, Pb, Cr, Cu, Ni, Cd 等能正常生长,在土壤被重金属放射性污染或开矿、地下掩埋、废弃物等污染条件种植香根草极有利于土壤的复垦。近年来,我国也开始以香根草为试验材料进行研究,用于污染治理和控制。陈怀满等研究表明,香根草是一种净化富养水体的优良植物,具有极大的应用潜力^[16]。马立珊等^[17]研究了浮床香根草对富营养化水体氮磷的去除动态及效率,发现香根草在 60 d 的生长期降低了水体中全 N 4.6~5.3 mg/L,全 P 0.23~0.30 mg/L。夏汉平等研究用香根草净化处理垃圾场的渗滤液,也取得了较好的效果。廖新佛于 2002 年用香根草通过人工湿地对猪场废水有机物处理,水力停留 4 d 后, COD_{CR}, BOD₅, NH₄-N 和全 P 分别下降了 64%, 68%, 20%和 18%, 处理效果良好^[18]。

我们知道,库区消落带一般是富营养化污染集中的区域,考虑在此区域以工程方式,例如浮动式、集成式和固定式等种植香根草绿篱,再加上堤岸防护林,这样的河岸消落带复合式生态结构,是一种比较适应于库区大幅度涨落复杂消落带生态系统保护与重建的实施方案。

3.2.3 改善土壤和小气候 有试验表明,香根草周围含有 15 种固氮菌。香根草所具有极强的抗逆性,可能与其根系周围的根际菌有一定关系。夏汉平等观测到在广东兴宁市种植香根草 29 个月,土壤 pH 值上升 0.5~0.7,空隙度增加近 5%,土壤有机质、全 N、速效 N、速效 K 等养分含量也有不同程度的增加^[12],表明香根草具有改良土壤作用。在种植香根草的沙田柚复合园与对照相比土表温度,20 cm 深处土温和 1.5 m 高处气温有较好转变。陈凯等^[19]研究表明,香根草覆盖柑橘树盘能在高温伏早期有效地降低柑橘园气温、土温,提高空气相对湿度和土壤含水量,使土壤容重下降,孔隙率增大,有机质,全 N,水解 N,速效 P 及 Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo 和 20 种氨基酸含量都有提高。印度在不毛荒地上种植香根草,经过 12~15 a 的时间,已演变为林草混生地^[6]。香根草为热带、亚热带大量退化土地生产能力的恢复提供了希望。

3.2.4 较高经济价值 香根草不仅在防治水土流失和治理环境污染方面具有生态效益,而且还具有一定的经济效益。例如,利用香根草培养菌种现已成为较成熟的技术;香根草根部分含有香根油,含量为0.2%~0.3%,其主要成分为岩兰草醇(Vetiverol),又称香根醇,是调制各种香精和制作化妆品的重要原料;香根草茎叶中含有大量动物生长所需的蛋白质、氨基酸及其它矿物质,可以作为饲料开发;香根草茎叶生长直立性强而且旺盛,并具有一定的纤维含量和韧性,因而可以直接作为燃料使用^[20-23];利用香根草生态工程^[24]治理公路边坡,不仅产生明显的护坡效果,而且为公路护坡节省了大笔经费。

香根草一年四季都可发生分蘖,分蘖盛期为5—8月,在5—9月进行剪割,不会出现枯叶现象,而库区5—9月为枯水期,此时为香根草剪割最佳时期,剪割的香根草可用作编织工艺品、造纸或燃料等。由于香根草生长过程中能充分利用光能转换为生物能物质,尤其是作为农村家庭中迫切需要的,符合环保要求的,几乎是取之不竭和极为廉价的沼气发酵原材料,在燃烧时释放高热值和基本无污染的热能,从根本上满足和解决库区农村长期缺乏能源而导致乱砍乱伐、水土流失和生态恶化的恶性循环。

此外,香根草不传播病虫害,也不会成为农田杂草。香根草已在全世界大面积种植几十年,至今未发现有关香根草形成生态灾害的报道,如糯奇草、水葫芦等则可能形成生态灾害^[24]。

4 消落带生态重建技术探讨

从目前查阅的文献资料,还没有看到消落带生态重建技术的成功应用实例。为此,笔者根据香根草的生物特性及相关取得的研究成果,提出利用香根草和工程综合技术来治理的思路,以期在金沙江干热河谷电站库区消落带区域生态恢复的研究中取得一定的进展。

4.1 消落带生态治理方案的设计

库区消落带生态重建设计结构示意图如图1所示,将消落带分为3部分,高于蓄洪水位0—5 m地段为工程加固带;5—15 m为浮床香根草带,这部分涨落大,可随江水涨落,用于治理水体污染;20—30 m为香根草植物篱带(考虑到香根草在水中淹没深度的极限),这部分主要是为了防止水土流失。30 m以上为多功能防护林带。工程加固带主要是为了稳固堤岸,治理滑坡、崩岗和泥石流,还可保障植物篱的建立;浮床香根草带主要是源于污水处理中生物浮床思想和香根草对水淹深度的承受能力,使香根草种植始

终处于消落带的水面,这样可部分克服江水的涨落而有效处理水体中的各类污染,对于库区水域水位周期性涨落、水位全年落差达30 m的流域系统有较好的可行性和适应性;多功能防护林建设是改善、恢复与重建库区生态环境的重要组成部分,也是维持库区良好生态环境的关键因素之一。建立多种群、多生态位结构紧密的生态防护林带,如采用种植耐水渍、耐水淹、根系发达、繁殖力强的乔木、灌木和草本植物如池杉、柳树、芦苇、芭茅等,以有效降低地表径流的冲蚀速度,固结库岸,预防崩塌、滑坡、水土流失等灾害,吸纳库边富营养物质,从而降低污染物对消落带及库区水环境的影响。多层配置的植物根系可以在上下土层均匀分布,从而增强对土壤的固持力,有效防止根层土壤滑坡;多种植物的配置还能更好地美化库周环境。此外通过多功能防护林建设,可改善水质、降低风速、调节气温和净化空气等,为人类生产生活提供良好环境条件,还可不断地为人类提供木材、植物性和动物性的林产品及林副产品等,这可在一定程度上缓解人地矛盾,提高单位面积土地人口承载能力,在维系库区可持续发展、不断提高人民生活水平中将占有重要的地位。

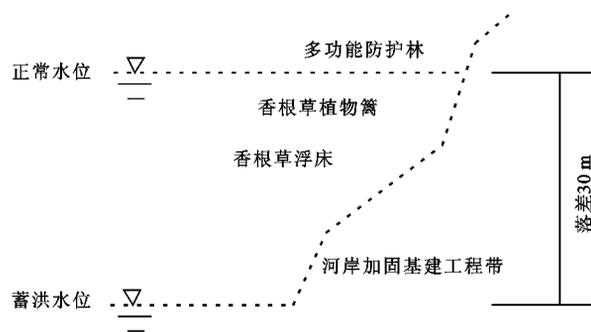


图1 库区消落带生态治理工程示意图

4.2 建立可持续发展的生态系统

走可持续发展之路是水电站工程实施成功的关键因素。优良的水利工程应以最小的环境代价换取最大的社会、经济效益,并尽可能地改善流域生态环境,实现可持续发展。本文提出在库区消落带以工程措施和生物措施相结合,用工程措施作保障,建立并发挥生物措施作用;植物多层配置,以香根草为纽带,乔、灌、草结合,形成立体的生态防护网,辅助香根草篱来防治水土流失,稳固坡面和路基;充分发挥香根草在复合生态系统中的生态和经济效益,以建立有利于库区可持续发展的生态系统。建立库区消落带可持续发展的生态系统,需要深入开展有关的恢复技术的研究,对其技术参数、恢复效果及可行性都需

要进一步的试验研究,以便能将研究成果应用到实践中去,利用可行的技术方法,最终实现库区消落带生态系统重建。

因此,香根草种植生态工程将在库区消落带实施生态重建工程中发挥比较重要的作用。可以认为,在金沙江下段库区消落带开展香根草种植的生态重建工程的试验研究,是十分必要的,从而为大坝和长江中下游地区的水环境安全提供更好的保护服务。

[参 考 文 献]

- [1] 刁承泰. 三峡水库水位消落带土地资源的初步研究[J]. 长江流域资源与环境,1999,8(1):75—79.
- [2] 邹家详,金义欣. 长江三峡工程对植物的影响及其保护措施[C]//水利部长江水资源保护局. 长江三峡工程生态与环境影响文集. 北京:水利电力出版社,1988:511.
- [3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1997:132.
- [4] 刘金祥. 一种优良水土保持植物:岩兰草[J]. 世界沙漠研究,1989(3):48.
- [5] 徐礼煜,方长久,万明,等. 香根草系统及在中国的研究与应用[M]. 香港:亚太国际出版有限公司,2003:1—100.
- [6] 刘金祥,陈燕. 我国大陆唯一的大面积成群落分布的优良水土保持植物:香根草的用途与保护问题[J]. 草业科学,2002,19(7):13—16.
- [7] 靖元孝,陈兆平,杨丹菁. 香根草(*Vetiveria zizanioides*)对淹水的反应和适应初报[J]. 华南师范大学学报:自然科学版,2001(4):41—43.
- [8] 夏汉平,敖惠修,何道泉. 环境因子对香根草生长习性的影响[J]. 生态学杂志,1994,13(2):23—26.
- [9] 卢升奎,贺湘逸,熊国根,等. 香根草在红壤丘陵的适应性及效益[J]. 中国水土保持,1994(4):71—80.
- [10] 程洪. 香根草在我国的应用及研究综述[J]. 水土保持通报,1998,18(3):77—81.
- [11] 徐礼煜. 国际香根草研讨会论文集[C]. 广州:中山大学出版社,1997:50—55,112,23—33.
- [12] 夏汉平. 香根草在土壤改良和水土保持中的作用[J]. 热带地理,1996,16(3):265—270.
- [13] 李章成,许红艳,丁德蓉. 香根草应用研究进展[J]. 四川草原,2004,104(7):28—30.
- [14] 敖惠修. 广东公路应用香根草绿篱治理滑坡的试验研究[J]. 香根草通讯,1997,1(3):2—3.
- [15] 申元村. 山峡库区植物篱坡地农业技术提高土地生产潜力的研究[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(1):56—59.
- [16] 陈怀满. 香根草净化富养水体的初步试验[C]//国际香根草研究会论文集,1997.
- [17] 马立珊,骆永明,吴龙华,等. 浮床香根草对富营养化水体氮磷去除动态及效率的初步研究[J]. 土壤,2000(2):99—101.
- [18] 廖新伟,骆世明. 香根草和风车草人工湿地对猪场废水氮磷处理效果研究[J]. 应用生态学报,2002,13(6):719—722.
- [19] 陈凯,胡国谦,饶茂辉,等. 红壤坡地柑桔园栽植香根草的生态效应[J]. 生态学报,1994,14(3):249—253.
- [20] 胡建业. 香根草在红壤开发中的应用研究[J]. 当代复合农业,1997,5(3):55—59.
- [21] Xia Han-ping. Observation and experiments on the multiplication, cultivation and management of vetiver grass conducted in China in the 1950's [J]. The Vetiver Newsletter, 1997,18:18—22.
- [22] Grass V. A Thing Green line Against Erosion[M]. W D C: National Academy Press, 1993:113—119.
- [23] 夏汉平. 香根草生态工程应用于公路护坡的效益研究[J]. 草业科学,2002,19(1):52—56.
- [24] 夏汉平. 论长江与珠江流域的水灾、水土流失及植被生态恢复工程[J]. 热带地理,1999,19(2):124—129.