

土壤生物工程措施对河溪洪水位影响的数值模拟

刘 瑛¹, RAUCH Hanspeter², 高甲荣¹

(1. 北京林业大学教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083 ;
2. 维也纳农业大学土壤生物工程与景观工程所, 维也纳)

摘要 介绍在欧盟水体框架的支撑下维也纳对 Liesing 河实施河流生态修复工程的概况。为了探讨土壤生物工程措施对河溪洪水位的影响, 借助 HEC-RAS 软件, 分别模拟 Liesing 河在混凝土治理方式、河岸全部以土壤生物工程修复和实际修复情况 3 种方案下河流水位的抬升情况。模拟结果表明, 土壤生物工程治理情况对河流上游水位的抬升作用显著, 且植被覆盖面积越大, 对上游水位抬升越明显。防洪安全演算结果表明, 在实际修复和整个河岸土壤生物工程治理情况下左岸 17, 19, 20 以及 22 ~ 25 断面不满足防洪要求。

关键词 生态修复 土壤生物工程 曼宁糙率系数 HEC-RAS
中图分类号 :X171.4 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2008)S1-0027-03

河流开发使许多河道的岸坡受到不同程度的破坏, 生态功能也严重受损, 导致了河流的行洪能力大幅度降低, 洪灾总体风险不断增加, 城市洪涝灾害的发生日渐频繁且强度加甚。这种人为造成的自然灾害越来越引起人们的广泛关注, 于是近年来河道的生态修复已提上议事日程并在许多实际工程中得到应用, 也已经普遍得到专家的认可^[1]。土壤生物工程作为河流生态修复的一项重要技术已经在国外广泛的应用, 我国近几年来也开始了对土壤生物工程的研究和应用。

河岸植被的根系可以保护土壤, 防止水土流失, 能切实可行地做到“固滩固岸”, 保护岸坡不受侵蚀。采用土壤生物工程措施治理河岸坡面, 投资少、技术简单, 又可以绿化自然, 美化环境, 有利于生态的良性循环。同时, 不得不考虑到植被增大了河流的阻力, 减缓了河流的流速, 导致河道水位攀升, 甚至引起部分泥沙淤积; 另外, 河道水流部分能量被迫转换成植被附近产生的紊流脉动动能, 导致水流动能消耗, 降低了河道的泄洪能力^[1-7]。因此, 基于目前河流生态修复工程实践中面临的新问题, 从防洪的角度出发, 分析土壤生物工程治理措施对河流水文要素的影响, 因地制宜找出最合理的施工方案是目前河流生态修复需要研究的方向之一^[8]。本研究利用 HEC-RAS 软件对维也纳 Liesing 河在不同工程治理措施下的百年

一遇洪水水位进行水文模拟, 以期为我国今后的河流生态修复设计以及施工后期的管理提供科学依据。

1 Liesing 河生态治理工程

Liesing 河是维也纳的第三大河流, 总长 30 km, 流域面积 115 km²。该河由 Reich Liesing 和 Durre Lesing 两条支流组成, 由于所处地貌不同, Reich liesing 洪量大且历时短, 数小时内水位就可以达到常水位的 2 000 倍, Durre Liesing 在枯水时期河床干涸。随着经济的发展以及对河流防洪要求的提高, Liesing 河河道在 1947 ~ 1949 年被直线化、混凝土化, 河流生态系统遭到了严重的破坏。为了改变该河的生态状况, 在欧盟水体框架指南的支持下, 2002 ~ 2006 年对其实施了河流生态修复工程(图 1)。其中流经城市长度为 5.5 km 混凝土河段被改造为近自然状态的河流, 且取得了良好的生态效果。此项生态恢复工程分 4 期完成, 2002 ~ 2006 年为第 1 期工程, 对河流的生态修复采取的措施主要有改善河流形态、营造耐旱性植被、构建河床工程、护岸工程和景观设计等几个部分^[9]。河岸已无拓展的余地, 只有少部分河段拓展了河道, 大部分河段形状仍保持原有梯形断面。河岸岸坡的生态修复主要采用土壤生物工程措施, 主要有圆木挡墙、梢捆、灌丛垫和扦插 4 种治理措施。



图1 Liesing 河 18 断面实际修复情况(方案 3)

2 研究方法

2.1 模拟河段调查

在 Liesing 河土壤生物工程平面设计图中,以 50 m 河段长度为一设计断面,因此,在河流调查中以此作为参考,每隔 50 m 作为 1 个独立断面进行河流的调查测量。本研究调查了 0.75 km (11 ~ 26 断面) 的河段情况,测量了河道各断面的几何地形,通过现场调查各断面的植物生长状况以及植被在护岸上的分布状态等资料,根据调查材料和参考 HEC-RAS 水文参考手册所提供的曼宁糙率系数对照表,对各个断面上的不同分区给定曼宁糙率系数值^[10]。调查河段曼宁糙率系数选取:河床为 0.04,护岸上植物生长区为 0.1,草皮为 0.035。

2.2 分析方法

以美国水文研究中心开发的河川分析软件 HEC-RAS 为基础,对土壤生物工程施工后的河流进行水文分析。河道水力分析模型 HEC-RAS 是一个针对一维恒定或非恒定流的水力模型,主要用于明渠河道流动分析和洪泛平原区域的确定。模型模拟所得结果可以用于洪水区域管理以及洪水安全研究分析,用以评价洪水淹没区域的范围及危害程度。例如在进行河道整治以及新建桥梁等工程的时候,就要分析考虑河道壅水高度、流速变化、桥涵冲刷等因素对河流输水及城市防洪的影响^[10-11]。利用该软件对 Liesing 河的高水位分析流程见图 2。

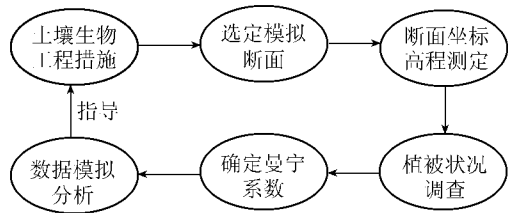


图2 Liesing 河高水位分析流程

3 河流水流的数值模拟

为了有效地了解土壤生物工程护岸对水位抬高

的影响,在不改变河道断面几何形状的情况下,本文对 3 种方案进行了对比分析。方案 1 表示河道为混凝土结构,河道断面的曼宁糙率系数 n 值为 0.016; 方案 2 表示整个河岸以土壤生物工程施工,修复河岸植被。河道河床 n 值为 0.04,护岸植物覆盖部分 n 值为 0.1。方案 3 表示在河岸坡脚部位以土壤生物工程施工,修复河岸植被(以 18 断面示例,见图 1)。河岸草皮部分 n 值为 0.035,护岸植物部分 n 值为 0.1,河床部分 n 值为 0.04。

3.1 水位模拟

以 Liesing 河百年一遇的洪水 $Q = 85 \text{ m}^3/\text{s}$ 和河道的坡降 0.0022 作为边界条件,采用亚临界流流况演算各断面的水位变化。由于 HEC-RAS 能够根据断面构造情况的不同,利用与实地相近的糙率系数以及利用输入断面的坐标位置将河道的地形地貌分布状况利用电脑数位化的方法加以描述,使得水文分析更加接近于实地状况。不同河道治理措施水位变化模拟结果如图 3 所示。

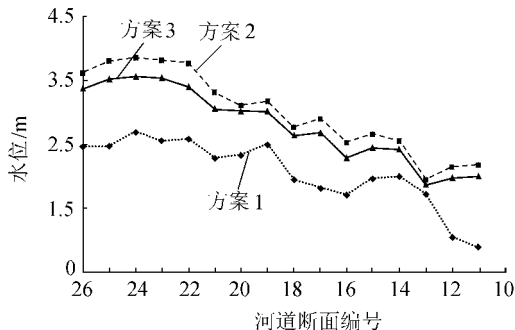


图3 3 种河流治理类型各断面水位

在百年一遇洪水流量下方案 1 河道在各断面的水位最低,其次为方案 3 情况下的河道,方案 2 水位最高。方案 2 河道断面水位比方案 1 河道断面水位高 0.22 ~ 1.34 m,比方案 1 水位高 47% ~ 146%; 方案 3 河道断面水位比方案 1 河道断面水位高 0.14 ~ 1.12 m,比方案 1 水位高 8% ~ 127%。方案 2 河道断面水位比方案 3 河道断面水位高 0.13 m ~ 0.36 m,比方案 3 河道断面水位高 2.3% ~ 10.5%。河岸经土壤生物工程治理后(方案 2、方案 3)水位抬升十分明显。

土壤生物工程治理后,植物对水位的抬升作用从下游到上游有逐渐增大趋势。从图 3 可以看出,方案 2 河道下游 13 断面水位比方案 1 河道水位高 0.22 m,而后逐渐抬升,到上游 26 断面比方案 1 河道水位高 1.16 m,方案 3 河道下游 13 断面水位比方案 1 河道水位高 0.14 m,而后逐渐抬升,到上游 26 断面比方案 1 河道水位高 0.91 m。由此可知,植物生长于河道中会对水流造成阻力,从而使得上游水位有

显著的抬升作用。

方案 2 河道下游 13 断面水位比方案 3 水位高 0.08 m,而后逐渐抬升,到上游 26 断面比方案 3 水位高 0.25 m,由此可知河道中植物覆盖面积越大对水流造成的阻力也越大,对上游水位的抬升也越明显。

3.2 防洪安全性模拟

通过 HEC-RAS 模拟的 Liesing 河 26 个断面水位数值和实测河流岸坡高度相比较,可以得出在百年一遇洪水流量下 3 种方案河道整治措施的水位超高情况,见表 1(表中仅列出 11 ~ 26 断面数据)。可以看出混凝土河道在各断面的洪水位都未超出河岸的最高高度,满足防洪要求 ;方案 2 和方案 3 河道在 17,19,20,22,23,24,25 等断面水位均有超高。从模拟结果来看,由于植物对河流上游水位的抬升作用,使得上游水位超出河岸高度,不能满足行洪要求。

表 1 3 种方案河道防洪安全性 m

断面	人工河岸 (方案 1)		自然河岸 (方案 3)		全部整治河岸 (方案 2)	
	左岸超高	右岸超高	左岸超高	右岸超高	左岸超高	右岸超高
26	-0.93	-2.10	-0.30	-1.19	-0.05	-0.24
25	-0.74	-1.90	0.39	-0.56	0.10	-0.85
24	-0.61	-1.57	+0.43	-0.40	+0.13	-0.70
23	-0.64	-1.64	+0.50	-0.37	+0.21	-0.66
22	-0.48	-1.51	+0.64	-0.32	+0.19	-0.68
21	-1.18	-1.61	-0.14	-0.59	-0.39	-0.84
20	-0.67	-1.92	+0.10	-0.85	+0.03	-0.92
19	-0.39	-1.36	0.26	-0.69	0.10	-0.85
18	-0.85	-1.89	-0.03	-1.07	-0.16	-1.20
17	-0.86	-1.93	0.22	-0.85	0.02	-1.05
16	-0.92	-2.13	-0.24	-1.31	-0.35	-1.55
15	-0.70	-1.64	-0.01	-0.94	-0.22	-1.15
14	-0.68	-1.6	-0.11	-1.04	-0.24	-1.17
13	-1.14	-2.04	-0.59	-1.49	-0.73	-1.63
12	-1.54	-2.26	-0.43	-1.15	-0.59	-1.31
11	-2.34	-2.30	-1.05	-1.01	-1.22	-1.18

注 :- 表示水位未超出河岸高度, + 表示水位超出河岸高度。

该模拟结果也说明利用土壤生物工程对河流进行生态修复的时候应考虑植物生长对河流水位的影响。在施工前河流水文模拟时应考虑到植物对河道水文的影响,由于植物生长情况随时间而改变,在施工后期应考虑到对植物的后期维护。植被的类型、生长高度、生长密度及柔性不同等都可影响到河道的曼宁糙率系数^[12-19]。从这个角度出发,可以通过对河岸植被进行修剪,降低其生长的密度,或对高度进行控制等来降低河道的粗糙度,达到防洪标准。

本研究曼宁糙率系数 n 值的给定主要靠经验和参考曼宁糙率系数对照表,对河流水位的分析有一定的假设性,需通过后期的不断模拟进行验证。

4 结 语

应用 HEC-RAS 软件对维也纳 Liesing 河 3 种方

案治理措施下 15 个断面的水位变化进行了水文模拟,可得出以下结论 :

a. 百年一遇洪水下,Liesing 河经土壤生物工程治理,由于河道糙率系数增加导致洪水水位升高。方案 3 河道治理情况下比方案 1 河道治理情况下河流水位抬高 8% ~ 127%,方案 2 河道整治后水位比方案 1 河道治理情况下抬高 47% ~ 146%。2 种土壤生物工程治理情况对河流上游水位的抬高作用显著。

b. 防洪安全演算结果表明,方案 2、方案 3 河道治理模式下左岸 17,19,20 以及 22 ~ 25 断面不满足防洪要求,需要拓展河道或对植物进行修剪,以降低河道的糙率系数,使其达到防洪要求。

c. 本研究曼宁糙率系数 n 值的给定主要靠经验和参考曼宁糙率系数对照表,对河流水位的分析有一定的假设性。如果对不同洪水频率进行水文测量并结合各种植被对水流影响的研究,不断调整 n 值,那么就可得出与实际情况基本一致的曼宁糙率系数,再通过水文演算即可得到更为接近实际的洪水水位。

土壤生物工程措施在河流生态修复中已得到广泛的应用,如何在防洪要求方面最大限度地兼顾生态性将成为今后的研究方向之一,植物对水流的影响将是未来生态修复工程长期响应研究的重点。河道中植被对水流的影响是特殊而复杂的,植被的类型、生长密度、柔性以及淹没状况等对水流紊动结构的影响都不尽相同,而且千变万化的河道断面形状也对水流形态有较大的影响,目前国内外已对此进行了初步研究^[2-6,10-18]。也正是由于有植被的河道水流问题的交叉与复杂性,有待于进行更深入的研究。

分析模拟土壤生物工程对河溪水文的影响具有一定的实用价值,为河流生态修复的设计和施工后期的管理(如决策对护岸植物进行修剪还是培育等)都具有重要的指导意义。

参考文献 :

[1] 高甲荣.近自然治理——以景观生态学为基础的荒溪治理工程[J].北京林业大学学报,1999,21(1) 81-85.
[2] 高甲荣,刘瑛,Rauch HP.土壤生物工程在北京河流生态恢复中的应用[J].水土保持学报,2008,22(3) 152-157.
[3] 李小平,张利权.土壤生物工程在河道坡岸生态修复中应用与效果[J].应用生态学报,2006,17(9) 1705-1710.
[4] 王莹莹,赵振兴.有低矮植被覆盖的河道水流特性试验研究[J].华北水利水电学院学报,2007,28(2) 22-25.
[5] 叶一隆,朱家民,陈智谋.布袋莲对渠槽曼宁系数之影响[J].水利学报,2005,36(9) 1-7.

(下转第 105 页)

表 2 有限元法与常规计算方法对比

计算对象	计算方法	最大位移/mm	最大正弯矩/(kN·m)	最大负弯矩/(kN·m)	最大剪力/kN
前排板桩(单根)	常规算法	10.452	27.911	-27.911	12.285
前排板桩(单根)	有限元法	7.380	20.820	-20.630	9.230
后排方桩(单根)	常规算法	10.452	38.168	-50.804	34.710
后排方桩(单根)	有限元法	7.380	28.190	-37.610	25.000

由表 2 可见,有限元法和常规计算方法计算得出的位移和内力相差约 30%,分析原因如下:①有限元法考虑了结构与土体的作用,使得土体的受力反映在了整体结构中。土体分担荷载减轻了结构的受力。②常规计算方法中,承台假定为绝对刚性,而防汛墙结构承台通常刚度较小,自身亦会发生变形,因此变形后的承台亦分担了一部分内力。③常规计算方法中,桩底计算面积是较重要的参数,该参数对紧密成排的板桩和有一定间距的桩得到的结果基本一致,这样就低估了板桩的刚度,从而使得计算位移偏大。

以上为通过计算分析得到的结论,若能通过现场监测、测试验证以上分析的合理性,则该典型结构

可以在荷载分布、荷载分配、桩底计算面积等方面取值进一步优化,以达到经济合理的目的。

4 结 语

“前板桩、后方桩”结构形式可广泛应用于土地资源紧张、墙前泥面较低的大型城市防汛墙结构中。通过对上海市区典型防汛墙结构进行三维有限元计算分析,对该结构形式的变形、内力、荷载分担比例等进行了系统分析,较全面地掌握了该结构的变形及内力规律。若能通过现场监测、测试验证有限元法计算的可靠性,则可以进一步指导该类型结构的设计。

参考文献:

[1] JCJ 94—94,建筑桩基技术规范[S].
[2] 谭志勇,王余庆.软土地层中考虑土与结构共同作用的支护结构设计计算方法[J].工业建筑,1999,29(5) 8-11.
[3] 王钊,邹维列,李广信.挡土结构上的土压力和水压力[J].岩土力学,2003,33(4) 23-27.
[4] 朱百里,沈珠江.计算土力学[M].上海:上海科学技术出版社,1990 123-124.

(收稿日期 2008-04-01 编辑 骆超)

(上接第 29 页)

[6] 黄胜顶.河溪近自然工法之设计及其高水分析—以台中地区筏子溪为例[D].台湾:中原大学,2002.
[7] 拾兵,付强,曹叔尤.植物对明渠水流的影响[J].西南民族大学学报:自然科学版,1998,24(4) 354-357.
[8] VELASCO D, BATEMANI A. An open channel flow experimental and theoretical study of resistance and turbulent characterization over flexible vegetated linings [J]. Flow Turbulence and Combustion,2003,70 79-88.
[9] Department 45-Water Engineering,Vienna City Administrator. Life environment project :living river Liesing [R]. Vienna : Roetzerdruck,Eisenstadt,2006.
[10] US Army Corps of Engineers.HEC-RAS river analysis system-users manual [K]. Davis,CA :US Army Corps of Engineers, 2001.
[11] 蔡新明,董志勇,张永华. HEC 系列水利软件的应用[J].浙江水利科技,2005,124(6) 20-23.
[12] KLOPSTRA D, BAREVELD H J, NOORTWIJK J M, et al. Analytical model for hydraulic roughness of submerged vegetation [C]//The 27th Congress of the International Association for Hydraulic Research. San Francisco :[s. n.], 1997,775-780.
[13] WILSON C A M E. Application of the drag force approach to

model the flow-interaction of natural vegetation [J]. River Basin Management,2006,4(2) 137-146.
[14] MOGHADAM M F. Characteristics and mechanics of tall vegetation for resistance to flow [J]. African Journal of Biotechnology,2007,6 (4) 475-480.
[15] ISHIKAWA Y, SAKAMOTO T, MIZUHARA K. Effect of density of riparian vegetation on effective tractive force [J]. The Japanese Forestry Society and Springer-Verlag Tokyo, 2003,8 235-246.
[16] ABOOD M M, THAMER B Y, MOHAMMED A, et al. Manning roughness coefficient for grass-lined channel [J]. Suranaree J Sci Technol,2006,13(4) 317-330.
[17] GREEN J C. Modeling flow resistance in vegetated streams : review and development of new theory [J]. Hydrology Process, 2005,19 1245-1259.
[18] 李艳红,赵敏.含植物河流动力学实验研究—流速、摩阻流速及曼宁糙率系数垂线分布[J].水动力学研究与进展,2004,19(4) 513-517.
[19] WILSON C A M E, YAGCI O, RAUCH H P, et al. Application of the drag force approach to model the flow-interaction of natural vegetation [J]. International Journal of River Basin Management,2006,4(2) 137-146.

(收稿日期 2008-05-30 编辑 高建群)