

不同林相结构防浪林的消波性能计算

张茂章,宋正明

(安徽省怀洪新河河道管理局,安徽 蚌埠 233000)

摘要:为确定适用于淮河流域防浪林的林相结构,以已栽植的 5 种不同林相结构的防浪林为研究对象,分别选择南京水利科学研究院章家昌的消波性能经验公式和河海大学傅宗甫的柔性植物波高传递率公式作为乔木和灌木的消波计算公式,对 5 种不同林相结构防浪林的消波性能进行定量计算和理论分析。指出在淮河流域应因地制宜地选择防护林结构;在洪水起涨速率不快但高水位维持时间长的河道,宜选择单一乔木林相结构;在洪水期较长、单位时间水位涨幅缓慢、堤防整体抗冲能力薄弱的河道,宜选择复合林相的防浪林结构。

关键词:防浪林;林相结构;消波性能;淮河流域

中图分类号:TV139.2⁺9 文献标志码:A 文章编号:1006-7647(2013)06-0040-04

Calculation on wave dissipation performance for different wave break forest structures//ZHANG Maozhang, SONG Zhengming (*River Course Authority of New Huaihong River of Anhui Province, Bengbu 233000, China*)

Abstract: In order to determine the wave break forest structure suitable for Huaihe River Basin, the author takes five different kinds of wave break forest structures as the study object, and selects the laboratory formula from Zhang Jiachang in Nanjing IWHR and the flexible plant wave height transfer rate formula from Prof. Fu Zongfu in Hohai University as trees and shrubs wave dissipation formula, to calculate and analyze the wave dissipation performance of five different kinds of wave break forest structures in others river basins similar to Huaihe River. The conclusion is that in Huaihe River Basin, for the rivers with low speed of flood rising and long-time high-water level, we should choose the single tree forest type structure. And the composite wave break forest structure is the appropriate forest structure for the river course with long flood period, slow rising rate in unit time, and weak impact resistance embankments.

Key words: wave break forest; forest structure; wave dissipation performance; Huaihe River Basin

按照相关法律法规和水利工程技术规范的要求,河道堤防两侧根据河道规模和防洪任务的不同,划定和征用了不同标准的护堤地。对于这部分土地资源,人们广泛采用植树种草的形式作为生物保护河道堤防的重要措施,但长期以来植树种草一直停留在粗放的管理阶段。在过去的几十年里,章家昌^[1]、杨建民等^[2-3]、傅宗甫^[4]、黄本胜等^[5-6]分别对植物消浪护坡进行了理论研究,并各自提出了相应的消波计算公式。张乔民^[7]、颜学恭等^[8]也进行过防浪林的消能效益计算,但都只是对单一的防浪林或柔性植物进行消波性能的分析,很少对乔木、灌木、草本的复合结构进行综合研究。

20 世纪 80 年代中期,很多河道管理单位开始选择一些速生、耐湿、商品性强的单一树种(以欧美杨为主)进行防浪林的建设,虽然获得了一定的经济效益,但其防浪功能大幅度削弱,特别是对那些没

有块石护坡的堤防影响更大。总体来看,我国防浪林设计树种单一,林相简单,林木抚育管理粗放,持续性效益不够显著,消波性能提升的空间较大。为了使防浪林既具有较好的防浪性能,又能充分利用土地资源,产生较好的经济效益,在 1991 年淮河大水后,河道管理单位根据淮河的洪水特性和气候特征,按照河道特征基本一致的条件,在淮河淮北大堤涡齐段和新集段栽植了 5 种不同林相结构的防浪林进行观察和理论研究。由于充分考虑了适地适树的原则,各种林带都长势良好。本文重点对它们的消波性能进行定量计算和理论分析,以确定淮河流域防浪林的林相结构。

1 林相结构设计

林相也称森林的外形,一般指林冠的层次,有单层林和复层林之分。本文林相结构指的是乔木、灌

作者简介:张茂章(1979—),女,安徽蚌埠人,工程师,硕士,主要从事水土保持工作。E-mail:hhxhszk@ahsl.gov.cn

木、草本的不同空间层次组合形式。

1.1 物种选择

遵循耐淹防浪、适地适树、速生优质、综合高效、抚育简单的原则，选择堤防生物种植的物种。淮河流域所选生物品种主要为乔木（柳树、欧美杨）和灌木（杞柳、芦竹、芦苇）。

1.2 林相结构

a. 单一乔木层立体结构（图1）。在淮河北大堤涡齐段距堤脚3 m以外，按株行距3 m×3 m栽植10排柳树，林带宽27 m，林下为裸地。乔木冠顶与堤顶高程大体一致，冠层中部与保证水位大体持平。近地面树枝不再整修，任其生长，以增进防浪效果。

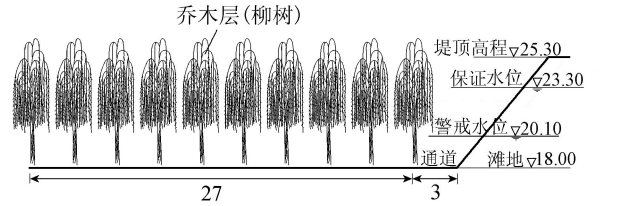


图1 单一乔木层立体结构示意图 (单位:m)

b. 树条结合复合立体结构（图2）。在淮河北大堤涡齐段按株行距3 m×3 m栽植8排柳树，林带宽21 m；乔木下层株行间栽植21 m杞柳，其内缘至堤脚方向栽植7 m宽杞柳，并留2 m通道。

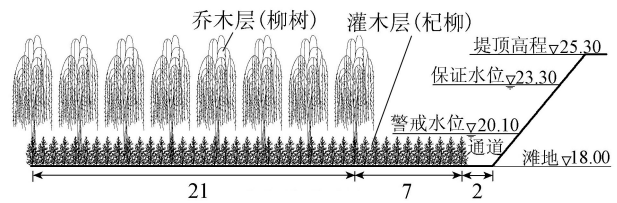


图2 树条结合复合立体结构示意图 (单位:m)

c. 树条立体结构（图3）。在淮河北大堤涡齐段按株行距3 m×3 m栽植8排柳树，林带宽21 m，林下为裸地。从乔木层的内缘至堤脚方向栽植7 m宽杞柳，留2 m通道。

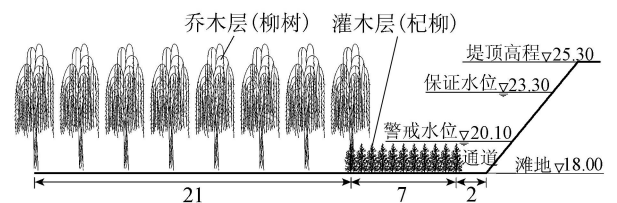


图3 树条立体结构示意图 (单位:m)

d. 树芦立体结构（图4）。在淮河北大堤新集段按株行距3 m×3 m栽植6排柳树，林带宽15 m；林下为裸地。从乔木层的内缘至堤脚方向栽植10 m宽芦竹，高度控制在乔木树冠中部以内。由于芦竹生长较高，为便于通行，留5 m通道。

e. 树芦条结合复合立体结构（图5）。在淮河北大堤新集段按株行距3 m×3 m栽植6排柳树，林带宽15 m；乔木下层株行间栽植杞柳，同样占宽

15 m；内缘至堤脚方向栽植13 m宽芦竹等高大耐淹禾本科植物，并留2 m通道。

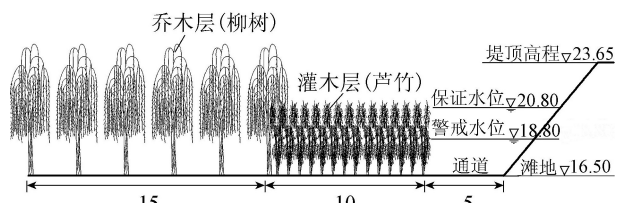


图4 树芦立体结构示意图 (单位:m)

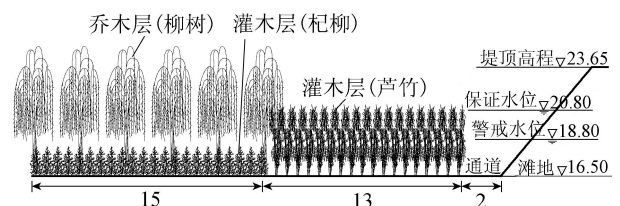


图5 树芦条结合复合立体结构示意图 (单位:m)

2 消波计算公式

上述5种林相结构由于物种配置不同，结构各异，防浪效果也不相同。群体的防浪作用应当是林木的主干（树干）、枝叶（树冠）、林下植被复合作用的叠加。本文分别在警戒水位和保证水位两种工况下计算分析防浪林对波浪的削减作用。由于目前植物在河道中消浪能力的计算边界条件十分复杂且研究甚少，国内采用的河道平顺段（非斜坡）计算都是以消波系数表示。通过查阅相关资料，分别选择乔木、灌木的消波计算公式。

2.1 乔木消波计算公式

南京水利科学研究院章家昌在实验室模拟平台和平缓的滩地上种植防波林，充分考虑林木主干和枝叶的消波作用，基于试验数据得到防波林林木株行距呈等边三角形交错排列时的林木消波性能的经验公式^[1]：

$$K = K_{\text{树冠}} + K_{\text{主干}} \quad (1)$$

其中

$$K_{\text{树冠}} = \frac{30 + \frac{0.03}{\alpha''}}{10^{\frac{0.2 - 0.16 \times (1 - \alpha')}{\alpha'^{\frac{B}{5L}}}}} \quad K_{\text{主干}} = \frac{70 - \frac{0.03}{\alpha''}}{10^{\frac{0.0026 - 0.23 \times (0.01 - \alpha')}{\alpha'^{\frac{B}{5L}}}}}$$

$$\alpha' = \frac{2\pi(R^2 - R_0^2)}{\sqrt{3}b^2} \quad \alpha'' = \frac{2\pi R_0^2}{\sqrt{3}b^2}$$

$$L = 10.4H^{0.8} \quad H = 0.0166v^{5/4}D^{1/3}$$

式中： K 为乔木整体的消波系数，%； $K_{\text{树冠}}$ 为乔木树冠（枝叶部分）的消波系数，%； $K_{\text{主干}}$ 为乔木主干的消波系数，%； α' 为乔木枝叶的遮蔽系数； α'' 为乔木主干的遮蔽系数； B 为林带宽度，m； L 为入射波波长，m； R_0 为乔木主干半径，m； R 为乔木树冠半径，m； b 为株距，m； H 为入射波波高，m； v 为风速，m/s； D 为吹程，一般取河道汛期水面平均宽度，km。

公式(1)的适用范围为 $0 \leq \alpha' \leq 1, 0.0006 \leq \alpha'' \leq 0.0091$ 。

2.2 灌木消波计算公式

河海大学傅宗甫^[4]对低水状态下水中灌木(柔性植物)的消浪能力进行了深入的研究。通过观察实验室内波浪水槽中互花米草对人工制浪的影响,得出柔性植物具有很好的消波作用的结论。对试验结果进行回归分析,得到波高传递率 K_l 与柔性植物栽植宽度 B 和水深 d 之比的关系式,进而得到柔性植物的消波系数:

$$K = 1 - K_l \quad (2)$$

其中 $K_l = 0.9748^{B/d} \times 100\%$

式中: K_l 为波高传递率。

3 不同林相结构的防浪林消波性能计算

在5种不同林相结构中(图1~5),柳树取5a树龄;乔木主干半径和树冠半径分别取5cm和150cm,株距取3m,淮河涡齐段汛期水面平均宽度取0.94km;汛期以7级风为标准,风速取最大经验值, $v = 17.10 \text{ m/s}$ ^[9]。计算得到式(1)中未知参数 $\alpha' = 0.91, \alpha'' = 0.001, H = 0.565 \text{ m}, L = 6.59 \text{ m}$ 。

3.1 单一乔木层消波性能计算

在淮河淮北大堤涡齐段和五河新集段分别栽植10排、8排、6排柳树,林带宽度 B 分别为27m、21m、15m,将各参数取值代入公式(1)计算得到10排柳树、8排柳树、6排柳树的消波系数分别为69.75%、63.27%、53.40%,其中乔木主干的消波系数分别为22.04%、18.59%、13.69%。

3.2 单一灌木层消波性能计算

3.2.1 警戒水位处消波性能计算

a. 涡齐段警戒水深 $d = 20.10 \text{ m} - 18.00 \text{ m} = 2.10 \text{ m}$,将树条结合复合立体结构(图2)、树条立体结构(图3)中的灌木带宽度分别代入式(2),计算得到:①图2中乔木层下方杞柳层 $B = 21 \text{ m}, K = 1 - 0.9748^{21/2.10} \times 100\% = 22.53\%$;②图3中杞柳层 $B = 7 \text{ m}, K = 1 - 0.9748^{7/2.10} \times 100\% = 8.16\%$ 。

b. 新集段警戒水深 $d = 18.80 \text{ m} - 16.50 \text{ m} = 2.30 \text{ m}$,将树芦立体结构(图4)、树芦条结合复合立体结构(图5)中不同的灌木带宽度分别代入式(2),计算得到:①图4中芦竹层 $B = 10 \text{ m}, K = 1 - 0.9748^{10/2.30} \times 100\% = 10.50\%$;②图5中芦竹层 $B = 13 \text{ m}, K = 1 - 0.9748^{13/2.30} \times 100\% = 13.43\%$;③图5中杞柳层 $B = 15 \text{ m}, K = 1 - 0.9748^{15/2.30} \times 100\% = 15.33\%$ 。

3.2.2 保证水位处消波性能计算

新集段保证水位工况下水深 $d = 20.80 \text{ m} - 16.50 \text{ m} = 4.30 \text{ m}$,将树芦立体结构(图4)、树芦条结合复合立体结构(图5)中不同的灌木带宽度代入式

(2)计算得到:①图4中芦竹层 $B = 10 \text{ m}, K = 1 - 0.9748^{10/4.30} \times 100\% = 5.76\%$;②图5中芦竹层 $B = 13 \text{ m}, K = 1 - 0.9748^{13/4.30} \times 100\% = 7.43\%$ 。

由于杞柳在保证水位处完全被淹没,基本无消波作用,故图5中的杞柳层消波性能忽略不计。

3.3 立体结构警戒水位处消波性能计算

单一乔木层立体结构(图1)、树条立体结构(图3)和树芦立体结构(图4)在警戒水位处的消波性能计算包括两部分:①乔木主干的消波系数;②衰减后的波浪经过灌木的消波系数。二者经过叠加得出综合消波系数,即

$$K_{\text{综合}} = K_{\text{主干}} + (1 - K_{\text{主干}})(1 - K_l) \quad (3)$$

将图1、图3、图4中的灌木带宽度代入式(3)分别得到警戒水位处的消波系数:①图1中 $K_{\text{综合}} = 22.04\%$;②图3中 $K_{\text{综合}} = 18.59\% + (1 - 18.59\%) \times 8.16\% = 25.23\%$;③图4中 $K_{\text{综合}} = 13.69\% + (1 - 13.69\%) \times 10.50\% = 22.75\%$ 。

3.4 复合立体结构警戒水位处消波性能计算

树条结合复合立体结构(图2)和树芦条结合复合立体结构(图5)防浪林在警戒水位处的消波性能包括两部分内容。

a. 乔木与灌木共同作用的消波系数。在乔木与灌木混交的防浪林段,由于水流冲击能量受到灌木消波后,产生的紊流能量已经衰减了一部分。此段树干所受冲击的能量有所降低,其消波系数受到灌木的影响后也有所降低,其值为

$$K_{\text{复合}} = K_{\text{主干}} K_{\text{灌木}} + K_{\text{灌木}} \quad (4)$$

式中: $K_{\text{灌木}}$ 为复合立体结构中林下灌木的波高传递率。

b. 波浪经过乔灌复合结构后,能量衰减一部分;再经过林后的灌木层带的阻滞,再次衰减相应的比率,得出复合立体结构防浪林消波系数的计算公式为

$$K_{\text{综合}} = K_{\text{复合}} + (1 - K_{\text{复合}})(1 - K_{\text{林}}) \quad (5)$$

式中: $K_{\text{林}}$ 为复合立体结构中林后灌木带的波高传递率。

将图2、图5中的灌木带宽度代入式(4)和式(5)分别计算得到警戒水位处的消波系数:①图2中 $K_{\text{复合}} = 18.59\% \times 0.9748^{21/2.10} + 22.53\% = 36.93\%$; $K_{\text{综合}} = 36.93\% + (1 - 36.93\%) \times 8.16\% = 42.08\%$ 。②图5中 $K_{\text{复合}} = 13.69\% \times 0.9748^{15/2.30} + 15.33\% = 26.92\%$; $K_{\text{综合}} = 26.92\% + (1 - 26.92\%) \times 13.43\% = 36.73\%$ 。

3.5 不同林相结构保证水位处消波性能计算

所栽植的5种不同林相结构在保证水位处的消波系数仅与乔木层及芦竹层有关,计算时图1~3中的结构均可视为图1的单一乔木层立体结构,图4和图5结构均可视为图4的树芦立体结构。

表 1 防浪林 5 种林相结构消波性能比较

林相结构	警戒水位处消波系数/%					保证水位处消波系数/%				
	柳树			杞柳	芦竹	综合	柳树			杞柳
	主干	树冠	合计				主干	树冠	合计	
单一乔木层立体结构	22.04		22.04			22.04	22.04	47.71	69.75	69.75
树条结合复合立体结构	18.59		18.59	22.53		42.08	18.59	44.68	63.27	63.27
树条立体结构	18.59		18.59	8.16		25.23	18.59	44.68	63.27	63.27
树芦立体结构	13.69		13.69		10.50	22.75	13.69	39.71	53.40	56.08
树芦条结合复合立体结构	13.69		13.69	15.33	13.43	36.73	13.69	39.71	53.40	56.86

a. 图 1~3 中的保证水位处消波系数为单一乔木层的消波作用,即保证水位处消波系数为乔木整体的消波系数,故:①图 1 中 $K_{综合}=69.75\%$;②图 2、图 3 中 $K_{综合}=63.27\%$ 。

b. 图 4、图 5 中保证水位处是乔木整体起到消波作用,故式(3)中的乔木主干的消波系数 $K_{主干}$ 变成乔木的总消波系数 K ;杞柳在保证水位处已被洪水完全淹没,故只考虑林后芦竹层对消波作用的影响,即保证水位处为单一乔木层整体的消波作用和林后芦竹层共同形成的立体结构的消波作用,故保证水位处的消波系数为

$$K_{综合} = K + (1 - K)(1 - K_l) \tag{6}$$

计算得到:①图 4 中 $K_{综合}=53.40\%+(1-53.40\%)\times(1-0.9748^{10\text{ m}/4.30\text{ m}})=56.08\%$;②图 5 中 $K_{综合}=53.40\%+(1-53.40\%)\times(1-0.9748^{13\text{ m}/4.30\text{ m}})=56.86\%$ 。

经过计算,得出在宽度均为 30 m 的滩地上采用 5 种不同林相结构的防浪林消波性能如表 1 所示。

4 结 论

a. 高水位时乔木的防浪作用主要来自于树冠,其防浪能力是主干的 2~3 倍;具有一定冠幅的乔木在相同占地面积情况下,防浪效果是灌木和草本的 10~12 倍。在高水位下单一乔木林的防浪作用最好,且与密度、排数、冠幅、胸径的大小成正比;配合种植其他灌木和高层耐水草本植物对提高其防浪能力效果不大。

b. 中低水位时乔木的防浪作用主要来自于主干,林下配置灌木和其他草本植物能显著增大防浪效益,一般可以提高此水位下乔木林防浪效益 1 倍以上。但低层柔性植物必须有足够的种植宽度,以大于乔木林的宽度为宜。

c. 根据防浪林不同林相结构的消波性能计算结果,可以因地制宜地确定防浪林结构;在洪水起涨速率不快但高水位维持时间长的河道,宜选择单一乔木林相结构;在洪水期较长、单位时间水位涨幅缓慢、堤防整体抗冲能力薄弱的河道,宜选择复合林相的防浪林结构。

参考文献:

[1] 章家昌. 防波林的消波性能[J]. 水利学报,1966,4(2): 49-52. (ZHANG Jiachang. Wave absorption performance of wind-wave protection forests [J]. Journal of Hydraulic Engineering,1966,4(2):49-52. (in Chinese))

[2] 杨建明. 植物消浪护岸动力机制理论分析与模型试验研究[D]. 天津:天津大学,2004.

[3] 白玉川,杨建明,胡赜,等. 植物消浪护岸模型实验研究[J]. 海洋工程,2005,23(3):65-69. (BAI Yuchuan, YANG Jianmin, HU Mei, et al. Model test of vegetation on the bank to attenuate waves and protect embankments[J]. The Ocean Engineering,2005,23(3):65-69. (in Chinese))

[4] 傅宗甫. 互花米草消浪效果试验研究[J]. 水利水电科技进展,1997,17(5):45-47. (FU Zongfu. Experimental study on the effect of dissipating waves about smooth cord-grass [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,1997,17(5):45-47. (in Chinese))

[5] 黄本胜,赖冠文,程禹平. 海堤外滩地种树效果及对行洪影响[J]. 人民珠江,1995(3):38-42. (HUANG Bensheng, LAI Guanwen, CHENG Yuping. Effects of wave protection trees growing on flood plains and its influence upon flood carrying capacity[J]. Pearl River,1995(3):38-42. (in Chinese))

[6] 吉红香,黄本胜,邱秀云. 植物消波消浪研究综述[J]. 水利水运工程学报,2005,3(1):75-78. (JI Hongxiang, HUANG Bensheng, QIU Xiuyun. Review on research of wave absorption by vegetation [J]. Hydro-Science and Engineering,2005,3(1):75-78. (in Chinese))

[7] 张乔民. 红树林防浪效益定量计算初步分析[J]. 南海研究与开发,1997,9(3):1-6. (ZHANG Qiaomin. Preliminary analysis on the quantitative calculation of mangrove wave benefits[J]. Research and Development of the South China Sea,1997,9(3):1-6. (in Chinese))

[8] 颜学恭,曾祥培,徐德新. 长江中游防浪林消能效益分析与研究[J]. 武汉水利电力大学学报,1997,30(3):51-53. (YAN Xuegong, ZENG Xiangpei, XU Dexin. Investigation on energy dissipation benefit of wind-wave protection forests in middle reach of Changjiang River[J]. Engineering Journal of Wuhan University,1997,30(3):51-53. (in Chinese))

[9] 李楠,李佳. 蓄滞洪区风浪要素计算的探讨[J]. 水利水电快报,2002,23(15):28-30. (LI Nan, LI Jia. Discussion on the calculation of wind wave elements about the flood storage and detention area[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2002, 23 (15): 28-30. (in Chinese)) (收稿日期:2013-01-07 编辑:骆超)