



刚性透水结构作用下 水流泥沙特性研究综述*

尚倩倩^{1,2}, 许慧^{1,2}, 李国斌^{1,2}, 高亚军^{1,2}

(1. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210024; 2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210029)

摘要: 河道治理及航道整治工程中常用的岸滩守护结构分为实体结构和透水结构两种, 其中透水结构具有较大的孔隙率, 能够起到消能、防冲促淤的效果, 被广泛应用。以植被及四面六边透水框架为代表, 结合国内外研究成果, 对透水结构作用下水流泥沙特性进行综述, 进而指出目前存在的不足之处并提出展望, 为后续的研究工作提供参考。相关研究成果表明: 与实体结构会引起局部水流剧烈变化不同, 透水结构对水流能量的消减较为缓和, 阻力特性与淹没程度、孔隙空间结构等有关, 其产生的水流紊动呈各向异性, 另外, 从生态保护的角度来看, 透水结构不阻隔物质交换, 有利于生境多样化。

关键词: 透水结构; 消能; 阻力特性; 水流紊动; 防冲

中图分类号: TV 135

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)03-0095-07

Flow and sediment characteristics near rigid permeable structures

SHANG Qian-qian^{1,2}, XU Hui^{1,2}, LI Guo-bin^{1,2}, GAO Ya-jun^{1,2}

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China)

Abstract: Protective structures utilized in the river regulation and channel regulation works are generally divided into solid structures and permeable structures. The permeable structures with large porosity can dissipate the flow energy and control erosion effectively, so they are used widely. Taking the tetrahedron-like penetrating frame and vegetation for example, we summarize the research on the behavior of water flow and sediment affected by permeable structures, discuss the limitation of current research, and give some ideas for the future studies. Research findings show that unlike the solid structures, permeable structures dissipate the flow energy mildly, and its resistance characteristic is correlated with the submerged depth and the pore structure, the flow turbulence caused by permeable structures has anisotropic property, and the structures make the mass exchange possible which is conducive to the habitat diversification.

Keywords: permeable structure; energy dissipation; resistance characteristic; flow turbulence; erosion control

河道治理及航道整治工程中, 常见的护岸护滩结构有抛石、混凝土块软体排和四面六边透水框架等, 依据作用机理可分为实体型和透水型两种。其中, 实体结构是传统护岸护滩结构中最常

见的结构, 如抛石、模袋混凝土、钢筋混凝土铰链排等, 由于实体结构会引起局部水流条件的剧烈变化, 从而引起基础淘刷, 导致下抛块体大量流失、工程失稳崩塌^[1], 最终影响其自身稳定性,

收稿日期: 2015-08-13

*基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2012CB417002); 国家科技支撑计划 (2012BAB04B03)

作者简介: 尚倩倩 (1984—), 女, 博士, 工程师, 从事水力学及河流动力学方面的研究。

同时由于抛石等实体的流失也使得后期维护成本较大,甚至有年年补抛的需求。与实体结构相比,透水结构能够有效避免实体结构由于剧烈改变水流结构而导致的基础淘刷,维护成本也相对较小。

所谓透水结构是指结构内部有孔隙,允许水流从结构内部穿过,以一种较为缓和的方式消减水流能量,从而达到守护岸滩、防冲促淤的效果。常见的透水结构有四面六边透水框架、植物、桩坝、杓槎、沉树等形式。这些透水结构在成本、维护、工程效果等方面优越性明显,但自身结构基本呈独立个体状,整体性不强。针对以往透水结构整体性不足和容易散落的缺点,近年来,涌现出一些新型的透水结构,如可以自动钩连整体性较好的扭双工字型透水框架^[2-4]及主动式钩连体^[5]等。新型透水结构对以往透水结构存在的不足进行了改善,但目前研究成果仍较少,实际工程应用也尚在试验阶段,故本文主要选取研究成果相对较多的植被及四面六边透水框架为代表阐述透水结构对水流泥沙作用方面的研究。

1 植物对水流的影响

植物有增强岸滩稳定性、防止水土流失、防风消浪等功能,具有成本低、工程量小、环境协调性好等优点。植物的茎秆和枝叶具有一定的柔韧性,在水流作用下可能出现形变和倒伏的现象,与工程中使用的透水框架等的刚性特征不同,本节主要阐述刚性植物的相关研究。分别从阻力特性、垂线流速分布、紊动特性3个方面进行总结叙述。

1.1 阻力特性

一般认为,河道中的植被会增大水流阻力、减缓流速、壅高河道水位,并引起泥沙在植被区的淤积。当流速很慢时,水流流经生长植被的区域,可能处于层流状态,这时阻力系数与雷诺数成反比,阻力系数较固定床面的情况大得多。但这种情况在天然情况下很少存在。

对于有植被生长的河道,水流阻力包括3部分:床面剪应力、边壁剪应力、植物引起的阻力。

前两者为边壁阻力,植被引起的阻力则是沿水深方向作用于水体的。与无植被情况相比,有植物生长的水力半径和能坡难以划分和确定。目前,常用的水流阻力公式有曼宁、谢才、达西-魏斯巴赫方程等,这些公式在河流水流阻力分析中得到了较好的应用,含植物的水流阻力研究也多使用这些公式来计算。

设植被淹没于水中的高度为 h_v ,水深为 H ,则有相对突出高度为 h_v/H 。突出于床面的植被所造成的阻力损失,类似于大尺度糙率问题,主要决定于突出高度、排列形式和分布密度^[6]: 1) 分布稀疏时,每棵植物可看做一个独立的阻力单元,这时由于床面上植物很少,它们在整个阻力中起的作用也就很小; 2) 分布密度加大后,水流在植被茎干背水区形成的尾迹会相互干扰,会抵消一部分形状阻力; 3) 密度进一步加大至密布甚至封闭的状态,水流仅与植被顶端接触,虽然仍可能处于粗糙紊流区,但粗糙尺度要比植物高度小得多,性质更类似于定床阻力。

通常理论推导和水槽试验中采用圆柱体来模拟植物的作用。依据植物茎叶是否挺出水面,将植物分为挺水植物(emerged plant)和淹没植物(submerged plant)。对于挺水植物,目前的研究较为深入,挺水植物处于非淹没状态,糙率系数 n 随水深 H 增大线性增加^[7-8],有研究^[7-9]表明,挺水植物产生的阻力远大于床面和边壁对水流的阻力,因此有时可以忽略床面和边壁阻力。挺水植物的阻力系数与其分布密度有关,常用的分布密度参数有单位床面面积上的迎流面积、单位体积内的迎流面积、植被所占体积比例等。Petryk S等^[10]曾推导出植被高度大于水深时的阻力公式,认为由植被造成的阻力是单位床面面积上的植物迎流面积的函数。Nepf等的研究则认为挺水植物综合阻力系数 \bar{C}_D 是植物所占体积比例的函数。Williamson等^[9-11]的研究表明,单个圆柱体的阻力系数与尾流结构有关,即取决于杆茎雷诺数($Re_s = Ud_v/\nu$), $Re_s < 200$ 时圆柱周围的流动为层流状态,当 $Re_s > \approx 200$ 时,圆柱体后形成尾迹,

不断产生漩涡, 边界层内流态由层流转变为紊流状态。多个圆柱同时存在的综合阻力系数则与圆柱体分布密度有关, 尾迹的相互干扰, 减小了综合阻力系数, 因此在紊流状态下, 综合阻力系数是圆柱分布密度的函数。

淹没植物的阻力系数随着淹没度的增加呈非线性减小, 且植物密度越大减小越快, 但衰减的速度逐渐变缓, 糙率系数有趋于一个常数的趋势; 当淹没度足够大, 边壁对糙率的贡献逐渐增大, 糙率系数将趋于稳定。存在冠层的植物并不适合概化为圆柱体, 由于糙率系数随水深的变化与植物投影面积在不同高程的分布关系很大, 在不同的高度, 植物由于茎杆粗细变化以及枝叶疏密程度的不同, 使得迎流面积沿高度变化, 因此在公式应用过程中要充分考虑植物迎流面积随高度的分布情况, 但这方面的研究目前还较为欠缺。

1.2 垂线流速分布

有植被存在的区域垂线流速分布不再单纯遵循对数规律, 而与植被相对突出高度、分布密度、植被沿高度方向的迎流面积分布等有关。

在淹没植被作用下, 有研究^[12-14]表明床面上、植被高度以下, 水流受突起物尾迹的影响, 流速分布偏离对数分布; 植被顶部以上流速分布依然遵循对数规律, 因此植被层内和植被层之上的区域不能单纯用一种关系来描述。当底坡较小时, 垂线流速可分为3层: 1) 靠近床面的植被区, 是一个流速很低的区域; 2) 植被顶层上的过渡层, 该层流速迅速增加; 3) 过渡层以上的水体层, 流速增加不明显。

受植物沿高度方向迎流面的变化影响, 不同类型的植被层内部的流速分布也有所不同。对于顶部枝叶繁茂、中下部主要为杆径的植物, Ikeda等^[14-15]的研究数据表明, 植被区域内部流速呈S型(图1b)); 对于沿高度迎流面积变化不剧烈的植物, 可能出现从床面到植被顶层单调递增的规律^[13-16], 或者该区域流速很小基本保持一个常数的情况^[17](图1c))。图1b)中, 由于植被中上部枝叶吸收水流的运动能量, 流速在植被中上部迅

速减小, 在植被层顶部形成一个流速的偏转, 有时, 在靠近床面的根部(基本无枝叶)存在一个微弱的极大值。植被顶部以上的区域, 垂向流速呈J型, 水流结构符合紊流边界层理论, 尤其当植被相对高度减小时, J形分布更趋明显, 因此在相对突出高度 h_v/H 较小的水流, 有研究^[18-20]直接将植被的作用看做大尺度粗糙问题, 认为流经植被上的水流流速分布可表示为式(1)。在断面流速分布方面, 唐小南等^[21]针对复式断面滩地存在植被的条件下, 对横断面垂线平均流速分布进行了理论分析, 通过在 $N-S$ 方程中增加一项植被拖曳力附加项来表征植被对水流的作用, 推导出了基于RANS的平均流速理论解, 研究表明在有植被的交界区流速变化较大、存在着显著的动量交换。

$$\frac{u}{u_*} = \frac{u_{h_v}}{u_*} + \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{h_v}\right) \quad (1)$$

式中: κ 为卡门常数; h_v 为植被高度; z 为距床面的距离; u_{h_v} 为距离河底 h_v 处的流速。

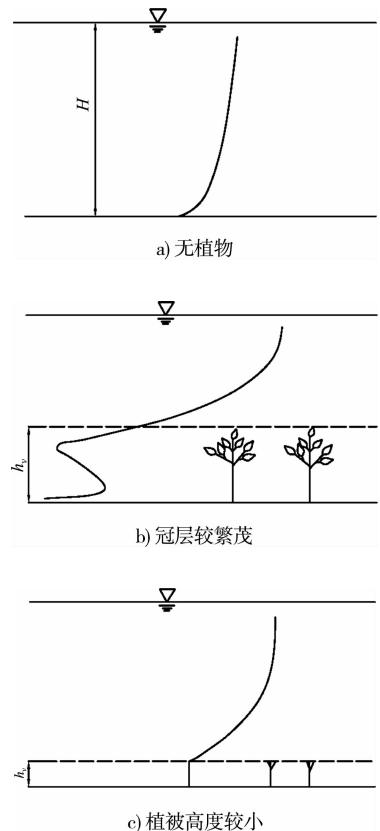


图1 有无植被作用下垂线流速分布

1.3 紊动特性

植被是水流紊动的干扰源, 植被作用下的水流紊动特性一般分为植被布满河道、植被仅存在于滩地上的复式河槽漫滩水流研究。天然河道中, 植物通常生长在滩地上, 而河槽内生长植被较少, 因此研究滩地植被对复式断面漫滩水流的影响具有重要的实际意义和应用价值。杨克君等^[22]选取塑料吸管、鸭毛和塑料草模拟研究了复式断面上乔木、灌木和野草作用下漫滩水流的紊动特性^[23]。结果表明, 植物使水流的脉动增强, 纵向、横向和垂向的脉动流速基本满足正态分布, 横断面上以滩槽交界面上的水流脉动最强; 横向动量交换较垂向大, 横向动量基本是由主槽向滩地传递; 滩地种植植物后, 增强了水流的紊动强度, 不同类型的植物对水流的紊动强度影响不同。

在植被作用下, 各个方向的紊动强度不同, 呈各向异性, 一般纵向紊动强度较大。垂向上, 紊动强度的最大值的大小主要受植物排列密度的影响^[24], 紊动强度最大值先随植物密度增加而缓慢增大, 但当密度达到一定值后, 紊动强度最大值又有减小趋势。紊动强度最大值出现的位置受植物密度和植物相对高度 h_v/H 影响, 当植物密度较小时, 紊动最大值出现在冠层顶部, 表明在植被层顶部动量交换强烈, 植被以上区域, 随着高度的增加, 植被对上层水流扰动影响越来越小, 紊动强度也开始递减; 随着植物密度的增加, 最大紊动强度的位置逐渐上移; 当植物密度达到一定值, 峰值位置将不再受植被密度的影响。

2 四面六边透水框架影响

四面六边透水框架自 20 世纪 90 年代研制以来, 在河道整治、护岸、凹岸防护以及抢险中得到了广泛的应用。与抛石等实体守护结构不同, 四面六边透水框架属于透水型结构, 不会引起局部水流的急剧变化、淘刷基础等现象, 允许水流在结构内部通过, 改变河道的阻力分布, 能够有效降低近岸流速, 起到减速促淤的效果^[25]。单个

透水框架的结构见图 2, 是由 6 根杆件组成的透水结构, 呈正三棱锥体, 施工时通常 3~4 个串接抛投, 形成稳定的框架群。

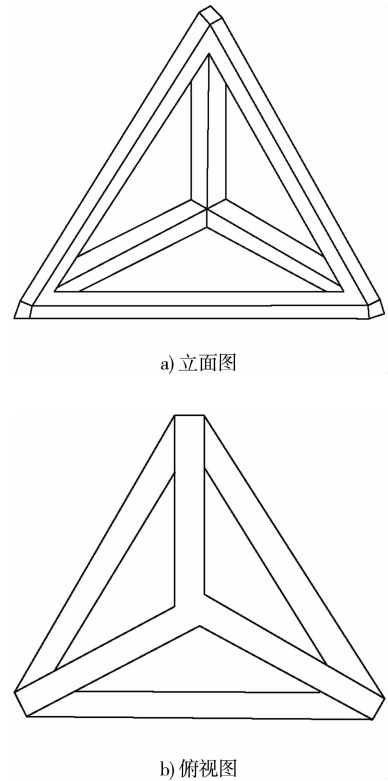


图 2 四面透水框架

从现有的研究成果来看, 主要是基于工程效果的分析研究, 包括消能减速效果、基于减速率的结构和布设参数优化、防冲促淤效果以及结构稳定性研究等。研究大多以工程效果为指导, 系统的机理性研究和数学模型模拟技术研究则较少。

当水流通过透水框架群, 水流动能被杆件逐渐消减, 减缓流速, 并促使泥沙落淤。透水框架的减速效果通常采用减速率来表征, 定义为水流通过框架群后流速降低的百分数。透水框架群的减速率一般为 30%~70%。减速率取决于杆件的截面形状、杆件长宽比、疏密度(架空率)、抛投长度、间隔长度等。因此为使减速效果达到较优, 需要对透水框架的结构尺寸和布设参数进行优化研究。

相关研究^[25-29]表明: 1) 长宽比相同的情况下, 杆件截面为正方形和三角形的减速效果优于

圆形; 2) 框架布置的疏密程度和杆件长宽比均存在一个最优值使减速率达到最大, 当架空率为5左右、杆件长宽比为15左右时减速效果最好; 3) 抛投长度大于10 m后, 间隔区的近底流速减速效果的提高不明显; 4) 透水框架布置间隔长度超过10 m后, 间隔区内的减速率显著下降, 而在间隔长度小于10 m时, 间隔区内的减速率变化不大。

工程应用效果表明, 透水框架群在多数水流条件下均表现出较好的减速促淤效果^[30], 框架群改变了河道阻力分布, 断面流速分布相应调整。例如在平顺河段内岸坡抛投, 由于岸坡阻力加大, 水流趋向主槽, 抛投区垂线平均流速明显减小, 工程区外侧垂线平均流速则有所增大^[31]。李若华等^[32]研究了透水框架满铺密集有序排列时, 透水框架阻力系数与相对突出高度 Δ/H 之间的关系, 并拟合出糙率系数的经验计算公式, 其研究表明在低淹没水流条件下, 阻力系数随 Δ/H 的增大而增大, 且 Δ/H 越大阻力系数增加越迅速。周根娣等^[33]研究了单个四面六边透水框架的影响, 并得出了单个框架的阻力系数 C_D 与雷诺数的关系曲线, 与实体相比, 框架对水流的减速作用区域更大, 向下游延伸较远, 水流恢复速度比实体慢, 这意味着透水框架通过在更大的空间内以一种较为缓和的方式逐渐耗散掉水流的能量, 达到防冲促淤的效果。

虽然透水框架重心较低、稳定性较好, 但在流速较大时仍会发生大面积移位现象。当平均流速达到2.5 m/s时, 会有少量的四面体发生位移; 流速增大到3 m/s时, 会发生大面积成串位移^[34]。由于杆件突出于床面之上, 流速上大下小, 当流速较大时, 由于框架群整体性较弱稳定性仍有不足, 容易引起四面体失稳移动, 削弱了结构的防护效果。

透水框架的防冲促淤效果也在各类试验和实际工程应用中得到了证实^[27, 29-30, 35], 通过改变底层流速, 框架群对床面泥沙运动产生强烈影响。冲淤试验多依据实际工程的概化模型进行研究, 对

比有无透水框架的床面冲淤量, 说明透水框架的促淤效果, 以及不同抛投范围和抛投层数条件下防冲促淤效果的变化等。但系统地探讨透水框架群对垂线流速分布、泥沙浓度、淤积速率等方面的影响研究则较少。

3 实体与透水结构应用对比

实体结构是传统的岸滩守护结构, 是河道治理的有效措施, 施工方便、易于组织控制。抛石等直接抛投于床面之上, 施工工艺简单, 但水流能量在一个很小的空间内急剧变化, 易使水流紊乱淘刷基础和守护区域边缘, 另外, 模袋混凝土、铰链排等直接铺设于床面上, 阻隔了水流与床面泥沙的相互接触, 阻碍了物质交换, 虽可保护岸滩不受侵蚀并具有良好的适应河床变形的效果, 但对守护区域的生态保护与环境美化无益, 会导致生境单一化。

透水结构在一个较大的空间里逐步耗散水流能量, 水流能够通行其中, 并在结构内部形成流速较小的区域, 一方面有利于保护岸滩由冲刷变为不冲或淤积, 另一方面使床面保持“可呼吸”的状态, 在一定条件下可为生物提供庇护环境, 促进植物生长和生境多样化的发展。但目前所采用的透水结构整体性不足, 稳定性以及施工的难易程度都有一定的限制。以透水框架为例, 由于框架整体性较弱, 同时为了保证抛投效率, 通常将3~5个绑扎抛投, 形成框架群, 而框架杆件焊接处日久会腐蚀开裂, 导致结构破坏; 对于植物而言, 由于其本身自重有限, 在洪水期间植物形成的阻力可能会将植物连根拔起, 引起岸坡局部失稳现象。

4 结论

1) 从施工、维护、治理效果及生态环境的不同角度来看, 实体结构与透水结构各有优劣, 总的来说, 实体结构靠自身重力维持稳定、守护岸滩, 而透水结构相对较轻, 其对水流的阻力也相

对较小;从后续维护和生态环境保护等方面来看,透水结构相对优于实体结构,在具体应用时需根据治理目标及应用区域的水流等条件合理评估应用风险和效果。

2) 目前常用的透水结构主要有四面六边透水框架、植物、朽槎等。透水结构允许水流通过,具有较大的孔隙率,能够在一个较大的空间里逐步耗散水流能量,在结构内部形成一个减速区,有利于床面守护;从垂向流速分布的变化来看,透水结构内部流速减小,外部流速则有所增加;透水结构作为水体的紊动源,在透水结构顶部附近形成紊动增强区域,但这一变化过程较实体结构缓和,受透水结构影响流速场和紊动场的变化需要一定的恢复空间,会影响到下游一定范围;另外,透水结构并不阻隔床面与水流的物质交换,有利于生境的多样化,有利于生态建设和环境保护。

3) 现有的研究成果中,有关透水结构的研究参差不齐,在此基础上提出几点建议:①植被对水流的影响研究较深入,流速分布、阻力特性、紊动特性国内外成果丰硕,但不同类型植被冠层和茎秆形态不同,垂直方向上孔隙的空间分布差异显著,导致结构内部水流特性的空间差异,直接影响对岸滩的守护效果,因此从微观机理上进一步把握透水结构孔隙空间分布对水流特性的影响是今后的一个研究方向;②透水结构尤其常用的四面六边透水框架的研究,大多是基于工程实践应用而进行的特定的优化研究,对于透水结构作用下水流泥沙运动的机理性研究较少,尤其在泥沙沉速、泥沙输移等方面没有形成系统的科学理论,因此在工程实践的基础上,进一步深入开展相关基础理论研究具有重要理论意义和实践意义;③刚性透水结构对水流泥沙的作用从本质上来讲是相似的,都是利用结构孔隙的存在,使水流能够从其结构内部通过,达到缓流、消能、防冲促淤的效果,虽然各类透水结构特点不同、研究的侧重点也有不同,但研究成果在一定范围内仍可以相互借鉴。

参考文献:

- [1] 李若华. 空心四面体框架群减速特性研究[D]. 南京: 河海大学, 2004.
- [2] 马爱兴, 曹民雄, 谭伦武, 等. 扭双工字型透水框架防冲机理试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2014(1): 8-16.
- [3] 曹民雄, 张卫云, 马爱兴, 等. 软体排与扭双工字透水框架结构潜堤下游联合护底试验研究[J]. 水运工程, 2015(7): 1-7.
- [4] 尹书冉, 雷国平, 谭伦武, 等. 基于水槽试验及图像分析的透水框架护底检验标准研究[J]. 水运工程, 2014(12): 162-167.
- [5] 魏祥, 夏云峰, 吴道文, 等. 主动式钩连体结构孔隙率研究[J]. 水运工程, 2014(3): 8-12.
- [6] 钱宁, 万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [7] 唐洪武, 闫静, 肖洋, 等. 含植物河道曼宁阻力系数的研究[J]. 水利学报, 2007(11): 1 347-1 353.
- [8] James C S, Birkhead A L, Jordanova A A, et al. Flow resistance of emergent vegetation[J]. Journal of Hydraulic Research, 2004, 42(4): 390-398.
- [9] Nepf H M. Drag turbulence and diffusion in flow through emergent vegetation[J]. Water Resources Research, 1999, 35(2): 479-489.
- [10] Petryk S, Bosmajian G. Analysis of flow through vegetation[J]. Journal of Hydraulic Engineering-Asce, 1975, 101: 871-884.
- [11] Williamson C H K. The natural and forced formation of spot-like vortex dislocations" in the transition of a wake[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1992, 243: 393-441.
- [12] Gourlay M R. Discussion of flow resistance in vegetated channels[J]. Irrig and Drain Div, 1970, 3(96): 351-358.
- [13] 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(2): 22-25.
- [14] 王付. 有植被的河道水流试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2003.
- [15] Ikeda S, Kanazawa M. Three-dimensional organized vortices above flexible water plants [J]. Journal of Hydraulic Engineering-Asce, 1996, 122(11): 634-640.
- [16] Omnia, Mohamed M. Velocity distribution inside and

- above branched flexible roughness [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1992, 118 (6): 914-927.
- [17] 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: A辑,2004(4):513-519.
- [18] 时钟.海岸盐沼冠层水流平均流速分布的试验研究[J].海洋工程,2001(19):51-59.
- [19] 时钟.海岸盐沼植物单向恒定水流流速剖面[J].泥沙研究,1997(3):82-88.
- [20] 丁瑞.水生植物作用下水流的水动力特性研究[D].南京:南京水利科学研究院,2012.
- [21] Tang X N, Knight W D. Lateral distributions of streamwise velocity in compound channels with partially vegetated floodplains [J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 2009(11): 3 357-3 362.
- [22] 杨克君,刘兴年,曹叔尤,等.植被作用下的复式河槽漫滩水流紊动特性[J].水利学报,2005(10):1 263-1 268.
- [23] 唐洪武,闫静,吕升奇.河流管理中含植物水流问题研究进展[J].水科学进展,2007(5):785-792.
- [24] 李艳红,李栋,范静磊.含淹没植物河流水流紊动强度最大值及其影响因素[J].水科学进展,2007(5):706-710.
- [25] 徐国斌,张耀哲.一种新型江河护岸工程技术——混凝土四面六边透水框架群[C]//新世纪水利工程科技前沿(院士)论坛.北京:中国工程院土木、水利和建筑工程学部,2005.
- [26] 吴龙华,周春天,严忠民,等.架空率、杆件长宽比对四面六边透水框架群减速促淤效果的影响[J].水利水运工程学报,2003(3):74-77.
- [27] 徐国宾,张耀哲.混凝土四面六边透水框架群技术在河道整治、护岸及抢险中的应用[J].天津大学学报,2006(12):1 465-1 469.
- [28] 李若华,周春天,严忠民.四面六边透水框架群减速效果的优化研究[J].水利水电快报,2003(11):13-15.
- [29] 刘兆锋,李如洁,叶素策.混凝土四面六边透水框架群技术的研究与应用[J].中国水运:下半月,2010(1):114-115.
- [30] 张文捷,王南海,王玢,等.四面六边透水框架群用于长江护岸固脚工程实例及设计要点[J].江西水利科技,2002(1):11-16.
- [31] 徐锡荣,唐洪武,宗竞,等.长江南京河段护岸新技术探讨[J].水利水电科技进展,2004(4):26-28.
- [32] 李若华,王少东,曾甄.穿越四面六边透水框架群的水流阻力特性试验研究[J].中国农村水利水电,2005(10):64-66.
- [33] 周根娣,顾正华,高柱,等.四面六边透水框架尾流场水力特性[J].长江科学院院报,2005(3):9-12.
- [34] 姚仕明,卢金友,罗恒凯.长江中下游护岸工程新材料新技术试验研究[J].人民长江,2006(4):79-80.
- [35] 南晓红,聂源宏,冯普林.渭河吊桥段四面六边体透水框架群试验研究[J].人民黄河,2003(11):11-12.

(本文编辑 武亚庆)

· 消 息 ·

三航院设计建造的越南台塑河静钢厂码头开港

3月2日,三航院设计建造的越南台塑河静钢厂全天候码头正式开港。此码头为亚洲最大的全天候雨棚码头。

此码头是越南台塑河静钢厂的标志性建筑,码头采用高桩梁板式结构,码头雨棚采用重钢结构厂房形式,由2跨组成,建筑面积为17 888 m²,钢结构总量为8 500 t,雨棚由52根钢立柱支撑,每根钢立柱高48 m、质量100 t。雨棚主体结构历经1 a设计、1 a加工制作、1 a现场安装,共计3 a全部安装完成。

(摘编自《中国交通建设网》)