

基于能量守恒的四面六边形护岸框架群减速效率推导

朱菁¹, 方甜¹, 朱隐² (1. 南京农业大学食品科技学院, 江苏南京 210095; 2. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210095)

摘要 4面6边透水框架群的框架尺寸、架空率和长度都直接或间接地影响着其消能减速的效果。在河道中布设框架群对水流会产生阻塞和减速作用, 流经框架的水流雷诺数很大, 为湍流, 属于水力学中的无势有旋流。水力学中涉及湍流的分析计算难以列微分方程, 更不可能有解析解。然而, 水流的流速减慢必然导致河面抬高, 根据水面抬高得到的水头势能与流经框架而带来的阻力损失建立能量守恒方程, 便可绕过复杂的水力学计算。通过现有的水力学经验公式, 对钢筋混凝土正四面体护岸框架群的水流减速护岸机理进行了理论推导和研究, 得出了框架群的减速率 η 与架空率 ε 、长 a 、宽 b 、铺设长度 L 的关系式。

关键词 能量守恒; 4面6边形; 护岸框架群; 减速率; 架空率

中图分类号 S11 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)28-11577-03

The Derivation of Retardation Efficiency of 4-side Hexagon Revetment Framework Group Based on Energy Conservation

ZHU Jing et al (Institute of Food Science and Technology, Nanjing Agriculture University, Nanjing, Jiangsu 210095)

Abstract The frame size, the overhead rate and the length of 4-side hexagon framework group directly or indirectly affect the effect of energy dissipation to slow down. Layout of framework in the channel can block and slow down the water. If the Reynolds number of water flow through the framework is very large, it is turbulence, belonging to underprivileged hydro cyclone in hydraulics. It is hard to analyze and calculate the turbulence involved in hydraulics in differential equations, but also less likely to have analytical solutions. Water flow slows down, however, inevitably leading to the level of the river. According to the flow of water potential energy and resistance loss, energy conservation equation is established. Through existing hydraulics empirical formula, based on the theoretical derivation of the mechanism of reinforced concrete tetrahedron frame group protecting banks through flow deceleration, the formula of the deceleration rate and overhead rate, length a , width b , laying length L is obtained.

Key words Conservation of energy; 4-side hexagon; Revetment framework group; Deceleration rate; Overhead rate

4面6边透水框架群的框架尺寸、架空率和长度都直接或间接地影响着其消能减速的效果。当前人们通过水槽实验等方法, 已经积累了一些试验数据, 见诸各类文献当中, 但由于数据量和数据精度仍有各种不足之处, 没有形成足够完善的经验公式^[1-7]。

在河道中布设障碍物框架, 将对河道的流态和水流结构产生很大影响。水流流过四面体框架时, 一方面由于框架阻力的影响, 流速减小; 另一方面, 又因为框架的存在而使过水断面缩小, 流速增加, 同时, 框架的存在, 会在水流中形成涡旋, 产生涡流阻力, 或形状阻力^[8]。涡流阻力主要是由于在流体流动绕过物体后面的涡流形成, 以及沿附面层的长度的应力降落引起的^[8]。

四面体框架的减速原理, 在于其扰乱了原有水流的流场, 使流线趋于复杂化, 达到消除水能的目的。在大江大河岸边布设的四面体框架对近岸水流有很大影响, 但由于框架的体积相对于整个河流截面来说, 可以忽略不计, 故整个河流的流速是恒定的, 仅仅只是流过框架的水流流速大幅度地下降, 框架对水流的减速效果在于其对流过框架的水流速度的减低^[1]。

1 理论分析与假设

根据引言分析, 可以假设在河道中布设框架群, 由于框架的阻塞作用以及减速作用, 流经框架的水流雷诺数很大, 为湍流, 属于水力学中的无势有旋流。水力学中涉及湍流的分析计算难以列微分方程, 更不可能有解析解。然而, 水流的流速减慢必然导致河面抬高, 根据水面抬高得到的水头势

能与流经框架而带来的阻力损失建立能量守恒方程, 便可绕过复杂的水力学计算, 从而将减速效果转化为框架扰流作用与框架尺寸、架空率、铺设长度的关系式, 大大简化了推导过程。

实际流体在河道中的运动模型要考虑到河岸的粗糙率, 河道坡度, 河道弯角, 四面体框架表面粗糙率, 不同河水的含沙量及水的粘滞系数等, 极为复杂, 为了简化模型的推导, 现作如下假设: (1) 模型应用对象考虑在一条长 L , 宽 W , 深 H 的长方体河道中进行, 河岸及四面体的粗糙率忽略不计, 视为表面绝对光滑的固体; (2) 河道整个截面均匀的排列四面体框架群, 水流流速完全均匀, 流量恒定, 框架足够重, 不会被水流冲走; (3) 当底部没有铺设四面体框架时, 设水流流速为 v_0 , 当铺设了四面体框架后, 河水流速下降, 水位抬升, 但框架群仍然占据整个截面(图1); (4) 定义框架的减速效率

$$\eta = \frac{v_0 - v_i}{v_0}$$



图1 框架完全填充河道过流断面侧视图

2 理论推导

2.1 有限制条件下的框架阻流模型 为了铸造、运输、搬运方便, 以及结合工程中实际使用的四面体框架尺寸, 现假设四面框架的尺寸为: 边长1 m, 宽度0.1 m, 框架截面为0.1 m × 0.1 m的正方形。

在原有河道坡度条件下, 原始流速为, 河水原始深度为

作者简介 朱菁(1992-), 女, 安徽安庆人, 在读本科生, 专业: 食品质量与安全, E-mail: 997199532@qq.com.

收稿日期 2013-08-27

H , 则原始流量 Q_0 为:

$$Q_0 = W \times H_0 \times V_0$$

现在河道中铺满四面体框架, 叠放方式为每 1 m^2 河床放置一个正四面体, 不考虑第 1 层与第 2 层的连接方式, 令整个河流截面都布满了正四面体框架, 如图 2 所示。

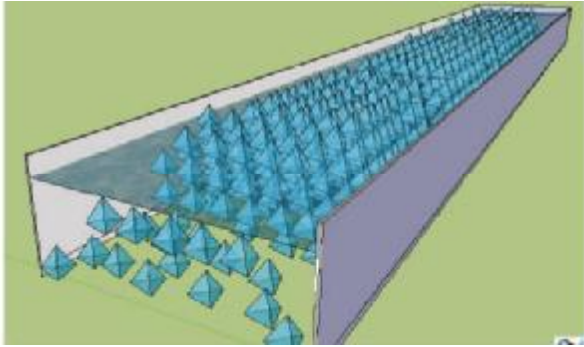


图 2 框架铺设设想方案

由于有了框架的阻流作用, 河流水位抬高了 h , 流量不变, 则根据流体连续性方程有:

$$V_0 \times W \times H = V_i \times W \times (H + h) \quad (1)$$

河流由于水位抬高而造成的水头压力等于框架对水流的阻力, 有:

$$\int_H^{H+h} \rho g A dh = F_D \quad (2)$$

式中, 截面面积 $A = W \times h$

上式积分得:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho g h^2 W \quad (3)$$

根据李若华^[7]等人的研究, 透水框架作用于水的等效阻力

$$F_D = C_D A_i \rho u^2 \quad (4)$$

式中: C_D 为框架群的等效阻力系数, A_i 为框架群顺水流方向的投影, 在模型中为河流截面面积 A ; ρ 为水的密度; u 为水流流速, 实例中为流速 v_i 。

框架对流体阻力与水流流动方向相反, 设作用在柱子表面的压强为 P , 则形状阻力为:

$$F_v = - \int_S T_{cr} dS \cos(T_{cr}, v_0) \quad (5)$$

河流流经框架区时的沿程水头损失用达西公式 (Darcy-weisbach formula) 计算:

$$h_f = \lambda \frac{l v^2}{4R2g} \quad (6)$$

式中: l 为河岸长度, R 为水力半径, v 为河水流速, λ 为沿程摩擦阻力系数。此时可以用水深 H 代替水力半径 R , 则达西公式变为:

$$\frac{1}{8} \lambda = \frac{h_f H g}{l u^2} \quad (7)$$

由于 $h_f = h$

$$h_f = \frac{\lambda l u^2}{8H g} = h = \frac{2F_D}{\rho g h} \quad (8)$$

则

$$F_D = \frac{\lambda l u^2 \rho g h}{16H} \quad (9)$$

式中: λ 为与框架粗糙率、架空率、框架尺寸有关的参数。

根据流体连续性方程

$$V_i = \frac{S_0}{S_1} V_0 \quad (10)$$

减速率定义为:

$$\eta = \frac{V_0 - V_i}{V_0} \quad (11)$$

综上推导得出

$$\eta = 1 - \frac{H \times W}{(H + h) \times W - S_z} \quad (12)$$

S_z 为正四面体框架在河流截面上第 1 层的总截面积。

$$h = \frac{2F_D}{\rho g h} = \frac{\lambda l u^2}{8H g} \quad (13)$$

$$\eta = 1 - \frac{H \times W}{(H + \sqrt{\frac{2F_D}{\rho g}}) \times W - S_z} \quad (14)$$

设水流为层流, 将实际流形简化为二维平面流动模型, 在平面水流模型中, 可以将阻力系数转化为等效曼宁糙率系数。

根据谢才公式 $u = C \sqrt{RJ}$, 其中, $C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{3}}$, 不考虑河道

阻力, 则谢才公式可以近似变为:

$$u^2 = \frac{H^{\frac{1}{3}} J}{n^2} \quad (15)$$

在长度为 L , 宽度为 W , 深度为 $H + h$ 的长方体水槽中, 有边长为 a , 宽度为 b , 截面为 $b \times b$ 的正四面体框架, 则框架在高度方向排列的层数为:

$$n_1 = \frac{H}{a \sin 70.528779^\circ} \quad (16)$$

框架在宽度方向的层数为:

$$n_2 = \frac{W}{a} \quad (17)$$

框架在长度方向上的层数为:

$$n_3 = \frac{l}{a \cos 60^\circ} \quad (18)$$

在长方体河道中的框架总数是:

$$n = n_1 \times n_2 \times n_3 \quad (19)$$

每个框架的等效阻力截面积为

$$S_i = 6 \times a \times b \quad (20)$$

由于框架的柱子都不是垂直布置的, 要考虑角度系数, 唐士芳^[8]等给出了截面为正方形的长方体桩柱在流水中受力的角度系数如下:

$$\xi = 0.52 + 0.013(\theta^\circ) \quad (21)$$

由扰流阻力公式:

$$P = \xi S \rho \frac{V_i^2}{2g} \quad (22)$$

式中: P 为水流压强, ρ 为水的密度, S 为阻力体截面积, 在均匀流的假设下将式(24)~(31)带入式(17)有:

$$P = (0.52 + 0.013 \times 70.528779^\circ) \times \rho \times \frac{V_i^2}{2g} \times 6a \times b \times$$

$$n_1 n_2 n_3 \times S_i \tag{23}$$

河道的截面积:

$$A = W \times L \times (H + h) \tag{24}$$

由模型分析所得结论

$$\frac{1}{2} \rho g (H + h) A = P \times n \times S_i \tag{25}$$

最终得到减速率的表达式为:

$$\eta = 1 - \frac{H \times W}{(H + \sqrt{\frac{2P \times n \times S_i}{A \rho g}}) \times W - S_z} \tag{26}$$

$$S_z = n_1 \times n_2 \times a \times b \times \cos 70.528\ 779^\circ \tag{27}$$

$$\eta = 1 - \frac{H \times W}{(H + \sqrt{\frac{2(0.52 + 0.013 \times 70.528\ 779^\circ) \times \rho \times \frac{V_i^2}{2g} \times 6a \times bn^2 \times S_i^2}{A \rho g}}) \times W - n_1 n_2 abc \cos 70.528\ 779^\circ} \tag{28}$$

上式中, 架空率为: $\varepsilon = \frac{W(H+h)L}{n \times \frac{1}{12} \sqrt{2} a^3}$ (29)

注: 正四面体的体积为 $\frac{1}{12} \sqrt{2} a^3$, 其每边与水流的平均夹角等于其二面角角度 $70.528\ 779^\circ$ 。

长宽比为 $\lambda = \frac{a}{b}$ (30)

铺设长度为 L , 将架空率带入式(28)有:

$$\eta = 1 - \frac{H \times W}{\varepsilon \times \frac{H}{a \times \sin 70.528\ 779^\circ} \times \frac{W}{a} \times \frac{L}{a \times \cos 60^\circ} \times \frac{\sqrt{2} a^3}{12} - \frac{H}{a \times \sin 70.528\ 779^\circ} \times \frac{W}{a} \times a \times b \times \cos 70.528\ 779^\circ} \tag{31}$$

式(31)便是理论推导出在四面体成阵列布设时的减速率与架空率 ε 、长 a 、宽 b 以及铺设长度 L 的关系式。

2.2 试验验证 上文推导过程是通过现有的水力学经验公式进行的, 由于经验公式都不可避免地存在一定误差, 且经过多次变换与计算后, 得出的结果误差会大大地加大。理论上, 该误差会随着运算次数的增加而呈几何级数增大, 故而试验验证是极为重要的。

之前的研究多是从水力学的角度来考虑, 希望对流管线或者形状阻力、粘滞力的试验观察得出结果, 然而, 研究人员忽视了经过正四面体框架的流体很可能是无势的, 即是不可能用函数表达该流体的流动。有鉴于此, 设计水槽试验如下: 在长 6 m、宽 2 m、高 1 m 的玻璃水槽中, 在水槽前 3 m 段内均匀铺设 1:20 比例的正四面体框架模型, 完全填充整个河道, 如图 1 所示。调整水槽的倾角, 使水流自填充段流向未填充段, 按水力学要求选择流速 v_0 , 水流完全充满水槽时水深为 1 m, 经过填充段, 进入未填充段后其深度会有所降低, 记录其深度 H , 则水头损失 $h = 1 - H$ 。

由以上分析, 水流经过框架群的水头损失系数为:

$$\xi = \frac{1}{2} A \rho g h \tag{32}$$

其中: A 为水槽横截面积减填充四面体模型截面积。

水头损失为:

$$h_f = \xi v^2 \tag{33}$$

减速率为:

$$\eta = 1 - \frac{H \times W}{(H + \sqrt{2h_f}) \times W - S_z} \tag{34}$$

3 结论

涉及湍流的水力学计算不但繁复, 而且得到的偏微分方

程往往是没有解的, 在现有理论条件下, 无论涉及河流中桩柱的问题还是为保护河岸设计的正四面体护岸框架, 都难以依靠完整的水力学推导出精确的结论。前人的研究中得到了一些数据与经验公式, 但仅仅是对试验数据的简单拟合。

基于能量守恒来设计试验, 便只需要考虑需要保护的河流在加入正四面体护岸框架前与加入正四面体护岸框架后的水流势能和水流动能的转化关系, 而绕过了对水流与框架接触的力学分析以及对水流势函数的推导。工程应用中, 有很多混沌系统按现时的理论是难以进行数学分析的, 然而热力学的能量守恒定律给予出一种新的思维, 即将复杂的过程当作一个黑箱, 只对输入与输出进行处理, 由此直接得出结论。对于许多难以进行分析建模的工程问题, 应用热力学来解决力学问题无疑开拓了一种新的思路。

该文设计了一种跳过繁琐的流体力学推导而直接以能量守恒求出结果的理想试验设计, 并就现有数据下的正四面体阻流效果进行了理论推导, 得到了 2 种不同的经验公式, 对 4 面 6 边护岸框架群的工程计算和推广应用作出了一定贡献。然而该设计仅考虑了工程中常用的 1 m × 0.1 m × 0.1 m 尺寸的正四面体框架以及框架呈整齐的阵列排列, 在实际运用中, 还应当收集试验数据, 对公式进行不断的改进和完善。

参考文献

[1] 高柱, 李星, 唐洪武, 等. 四面体框架群三维水动力模型[J]. 船舶与海洋工程学报(英文版), 2009, 8(4): 338-342.
 [2] 房世龙, 唐洪武, 王志良, 等. 透水框架布设形式对桥墩局部冲刷防护的影响[J]. 人民长江, 2005(7): 63-65.
 [3] 邹军贤. 砗六边框架在长江九江段护岸中的应用及防护机理分析[J]. 江西水利科技, 2012(4): 245-248.
 [4] 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.
 [5] 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, 22(3): 9-12.

设课程间有重复章节,如种子生产学、种子贮藏与加工部分章节内容与种子经营与管理课程有交叉。围绕教学目标和教学实际情况,教研组内教师进行讨论分析,适时、灵活地对教学大纲进行合理调整,适当精简教学内容,避免内容重复脱节,完善教学设计,优化相关课程内容,提高课程讲授效果。

近年来,随着国家政策的调整、相关法律法规的出台及国外种业巨头对我国种业市场的冲击,我国种业市场规模发生了巨大变化。在新形势下,农业高等院校要承担起培养适应种业发展需求人才的重任,这也对农业高等院校教师提出了更高要求。教师必须了解种业发展趋势,熟悉当前种业发展方向,结合当前我国种业的实际情况,全面、详细、深入地了解我国种业面临的新情况和新问题,及时更新教材内容,教授最新的经营模式和管理理念,突出基础性、综合性、实践性、先进性的特点,培养适应社会需求的人才^[4]。

2.2 改进教学方法,调动学生学习积极性 学生是教育的主体,只有激发学生的学习兴趣,才能调动学生学习的积极性和主动性。教师要改变传统的“满堂灌”、照本宣科、“一言堂”等不适应现代教育思想和观念的教学方式方法,避免教学内容和教学形式的格式化,不断研究和改进教学方法,使教学方式多样化,积极引导主动参与学习的意识。针对多媒体计算机现代化教学内容丰富、可视化、易于理解的特点,先进行理论教学,然后结合案例解析基本理论和方法,调动和引起学生的兴趣和共鸣。课堂上将提问式、讨论式和启发式教学方法相结合,实现师生互动,调动学生主动参与的积极性,提高学生思考问题、分析问题与解决问题的能力,积极转变“教”与“学”模式。在理论教学中引入当前营销的成功案例,如玉米优良品种“郑单 958”和“先玉 335”在我国的经营模式和理念的比较分析;详细地讲述国内外种子产业概况,尤其通过世界著名种子企业和我国优势种子企业的介绍和比较,启发和开阔学生的思路,使学生明确我国各类各级种子企业进一步生存、发展壮大的方向和措施。

丰富的网络资源为学校教育带来了前所未有的变化。教育网络资源的共享使学生学习选择的自由度大大提高。教师要引导学生利用网络教育资源(如数据库、期刊杂志、博客等),这样既可以增强学生的查阅资料能力,又能使其了解最新种业市场信息和经营管理理念。在课程学习过程中,设置学生讨论课,要求每位学生必须选择课程某方面内容制作幻灯片,在课堂上讲述自己的思路,为学生创造更多的锻炼机会,让学生在课堂上进行思想交流,增强学生分析问题和解决问题的能力。

2.3 加强实践教学环节,培养学生综合素质 根据专业特点,在注重课堂教学的基础上,增加社会实践教学、市场调研等内容,切实提高学生的实践能力,培养其综合素质保证。校外实习基地是完成教学实践的重要场所,很大程度上保证了实践性教学环节的顺利实施。实现“从课堂到课外、从被动到主动、

从个体到协作”的课外学习新模式,推动了教学质量和教育水平的全面提升。河南农业大学与当地影响力较大的企业合作建立了校外教学实习基地,如河南省农业科学院秋乐种业公司、北京奥瑞金种业郑州分公司、北京联创种业河南分公司和河南金博士种业公司等,校外实习基地进行实践教学是学生了解企业组织结构、企业文化和经营管理理念的重要途径。

为了解当前种子市场情况,组织学生到种子市场参观调查,锻炼学生适应社会、了解种业市场能力。每年组织学生参观“河南省春(秋)季种子信息交流暨产品展览会”。根据小麦、玉米和棉花等夏秋两季作物种子的市场特点,适当增加种子市场调查的学时数,并要求学生写出调查报告。同时,结合后续学习内容,对市场调查所搜集的信息进行加工和处理,对市场进行预测,做出经营决策,制订种子经营计划。力求避免学生对实践重要性认识不足、态度不够端正的问题,使学生能够理论联系实际,恰当地把所学知识灵活运用于实践中。

2.4 完善考核方法,促进学生学习主动性 笔试是考查学生对基础知识掌握情况的必要手段,可以促进学生对专业知识的学习。但当前大学教育最重要的是培养学生的综合能力和素质,因此在考试内容的选择上以考核学生的能力为主,实现“以考促学”。课程考核方式主要采取“闭卷考试+平时成绩”方式。根据学院对核心专业课程考试要求,对种子科学工程专业学生采取期中考试(30%)、期末考试(50%)、实践和平时成绩(20%)相结合考核方法。笔试主要考核实践相关知识与技能,运用理论知识解决实际问题的能力,以充分调动学生自主学习基础知识的积极性。实践和平时成绩的考核,要求学生完成每次实习任务,必须在课余时间深入市场调查或查阅资料,并按要求完成作业,既可以锻炼学生对种业市场的分析能力,又了解我国种业市场现状。

3 教学改革效果

种子经营与管理作为农学、种子工程专业一门核心实用性课程,在教学内容上需要紧跟时代步伐,适应种业市场需求。通过对该课程教学改革,教学内容的及时更新以及教学方法的不断改进,激发了学生的学习兴趣,活跃了课堂气氛,增强了师生间课堂互动,充分调动了学生学习的主动性和积极性,强化巩固了学习内容;课下的调查报告锻炼了学生的实践能力,学到了很多课堂传授不到的知识;成绩考核方法和实践教学环节的改善,在巩固学生理论知识的基础上,提高了学生的社会实践能力,毕业生从事种子相关行业受到用人单位好评。

参考文献

- [1] 张桃林. 加快种业科技创新做大做强民族种业[J]. 种子世界, 2010(3): 57-58.
- [2] 李媛. 面向人才培养质量标准的高等农业院校人才培养模式研究[J]. 科技资讯, 2012(17): 213-214.
- [3] 胡群文, 张文明, 郑文寅, 等. 新形势下种子科学与工程专业教学改革与实践[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(18): 159-161.
- [4] 韩岚岚, 樊东, 赵奎军. 新世纪农业专业教学改革探讨[J]. 黑龙江教育, 2006(4): 28-29.

(上接第 11579 页)

- [6] 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.
- [7] 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.

- [8] 唐士芳. 桩和桩群的水流阻力及其在潮流数值模拟中的应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2002.
- [9] 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, 39(12): 1465-1469.