

江苏沿海滩涂围垦对闸下河道淤积的影响

龚 政^{1,2}, 窦希萍^{1,3}, 张长宽^{1,2}, 丁贤荣^{1,2}, 陶建峰^{1,2}

(1. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 河海大学, 江苏 南京 210098;
3. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 江苏沿海地区入海河流众多, 承担着沿海及腹地片区防洪排涝的重要任务. 目前, 闸下河道普遍发生淤积, 且随着沿海滩涂围垦进程的加快, 闸下河道淤积程度还在加剧. 以王港为例, 基于 RS 技术, 提出了以纳潮汇水区历史外边线、河口现状主体汇水区边线, 以及口外主槽演变外边线, 作为确定河口滩面控制区域的参考. 从海岸地貌学、河口海岸水动力学, 以及泥沙运动学等角度, 提出了沿海滩涂围垦的最大允许范围.

关 键 词: 江苏沿海; 滩涂围垦; 闸下河道

中图分类号: TV148

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2010)01-0073-06

江苏沿海地区较大的入海河流有 60 余条, 形成了流域、区域及垦区排水的工程体系. 修建的众多挡潮闸^[1]的闸下河道普遍发生了淤积, 严重影响沿海及腹地片区的防洪排涝能力. 近 30 年来, 在江苏沿海闸下河道淤积成因、保港对策等方面开展了大量研究工作^[2-6], 但近年来随着沿海滩涂围垦进程的加快, 加剧了闸下河道的淤积. 因此, 需要研究江苏沿海滩涂围垦与闸下河道稳定性的关系, 提出沿海滩涂合理的围垦方式.

王港是大丰市最大的入海通道, 下游滩涂水域地处江苏辐射沙洲海域, 属典型的淤长型海岸带. 王港闸建成于 1959 年, 设计最大流量 1 060 m³/s, 日均流量 306 m³/s. 王港闸下河道地处江苏沿海粉砂淤泥质淤积型海岸辐射沙脊群海域, 随着海岸的淤长和河口滩涂围垦的加剧, 王港闸下河道逐年加长、变弯、萎缩, 加快了淤积趋势. 建闸时王港闸下河道长 3.18 km, 设计底宽 130 m, 底高程 -2.5 m; 现状河道长 19 km, 底宽 40 ~ 60 m, 底高程 -1.5 m ~ -2.0 m. 至 2005 年汛前, 闸下河道基本失去了排涝能力. 王港闸下河道属滩槽型河道, 其上段受到两岸围垦和高滩的影响, 平面形态相对稳定, 而中下段处于滩槽中, 平面形态主要受主槽落潮流、滩面归槽水控制, 同时受滩面围垦等人类活动影响显著, 平面摆动相对较大.

研究沿海滩涂围垦对闸下河道淤积的影响, 主要方法为水动力泥沙数值模拟、物理模型试验, 以及根据潮汐河口河床形态关系推导放宽率等^[7,8]. 江苏沿海闸下河道淤积严重的河口主要分布在粉砂淤泥质淤积型海岸, 滩面宽阔、潮沟系统发育, 落潮时的滩面归槽水量对于维持闸下河道稳定具有重要的作用^[9]. 因此, 本文应用海岸地貌学、河口海岸水动力学及泥沙运动学, 综合遥感分析、水动力数值模拟等手段开展研究.

1 基于 RS 技术的河口滩面控制区域分析

河口潮棱体是指感潮河段高潮面和低潮面之间的河床容积, 它是衡量河口纳潮能力的重要指标. 河口潮棱体高、低潮面之间的河床区域, 称为河口纳潮流域, 在地貌上表现为低潮位时滩面上由主沟、支沟和毛细沟渠等组成的树形潮水沟系统所对应的纳潮滩面空间. 在落潮的后期, 纳潮流域的退潮水主要为薄层滩面水

收稿日期: 2009-03-20

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费资助项目(200801016)

作者简介: 龚 政(1975-), 男, 江苏张家港人, 副教授, 博士, 主要从事河口海岸水动力学、水环境及泥沙运动的研究. E-mail: gongzheng@hhu.edu.cn

(10 ~ 15 cm)^[10] 逐步沿潮水沟系统向海域汇流, 形成所谓落潮滩面归槽水. 落潮滩面归槽水水流集中, 流速快, 水流动力轴线沉底, 有利于冲刷侵蚀滩面, 形成潮水沟系统, 并可将滩面泥沙通过潮水沟系统向海域输送. 因此, 维持滩面潮水沟系统不减少、保证河口纳潮流域的完整性是保持河口稳定的前提, 河口纳潮流域两侧边界线即为河口滩面控制区域的边界线.

河口纳潮流域的空间位置、形态特征等随河口水沙条件的变化而变化, 既包括河口自然演变, 又包括人类活动引发的河口水沙条件的急剧变化. 本文基于 RS 技术, 以现状河口流域边界为基础, 河口现状主体汇水区边线、口外主槽演变外边线, 重点考虑 20 世纪 90 年代以来河口流域边界的演变区域及人类活动引起的港道干槽的变化, 以纳潮汇水区历史外边线、作为确定河口滩面控制区域的参考. 纳潮汇水区历史外边线, 指 1991 年以来未受人工干扰的河口纳潮流域边界线的外包线. 口外主槽演变外边线, 指 1991 年以来河口干槽演变区的外包线. 河口现状主体汇水区边线, 主要指 1991 年以来河口纳潮流域边界线的内切线, 并考虑围垦等人类活动的现状.

采用王港 1992, 1998, 2005 年的高分辨遥感图像, 基于遥感解译技术研究得到了河口滩面控制区域参考线 (见图 1).

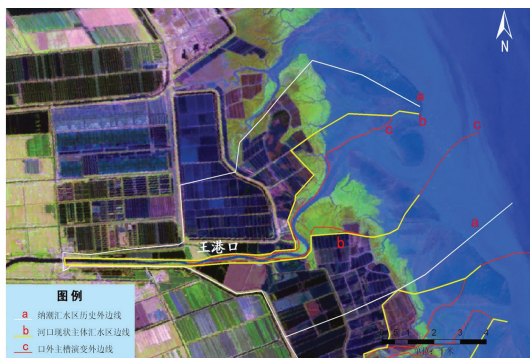


图 1 王港河口滩面控制区域参考线

Fig. 1 Reference lines of Beach restricted area in Wanggang estuary

2 河口滩面控制方案水动力数学模型

本文建立王港闸下港道水动力数学模型, 对不同的滩面控制方案开展定量研究. 考虑到平均大潮高潮位以上的滩涂在一般大潮时不上水, 基本属潮上带 (大潮高潮位以上潮汐可以达到的范围) 及以上区域, 该区域归槽滩涂保护范围对于闸下港道的稳定性影响甚微; 《江苏省沿海滩涂围垦规划 (2005 ~ 2015) 年》草案中建议 2005 ~ 2010 年围垦滩涂的起围高程一般应相对于当地的平均高潮位. 因此, 河口围垦滩面方案的研究范围选为河口平均大潮高潮位至平均高潮位之间的滩面.

2.1 水动力数学模型

采用大、中、小三层网格嵌套技术, 实现东中国海、江苏辐射沙脊群海域及王港闸下港道水动力场的精细模拟. 东中国海潮波数学模型 (大模型), 精确模拟了辐射沙脊群海域的潮流场特征; 包含辐射沙脊群海域的中模型可以提供王港闸下港道模型的外海边界条件; 网格尺寸为 10 m 量级的王港闸下港道模型可以精细模拟港道内的水动力特征.

2.1.1 计算范围 王港闸下港道潮流数学模型计算范围见图 2. 具体计算域为: 上段为两岸有堤防控制的闸下港道; 下段开口水域为具有落潮滩面的闸下港道, 开边界为西洋水域; 南北边界根据遥感影像分析中的纳潮流域汇水范围确定. 计算域东西长 13.6 km, 南北长 7.4 km, 小模型网格尺度为 20 m × 10 m.

闸下港道上段 (有堤防控制段) 底高程 -1.6 m (废黄河基面, 下同), 底宽 40 m, 边坡 1 : 3, 滩面高程 2.0 ~ 2.6 m; 闸下港道中、下段底高程 -2.5 m, 底宽 60 m, 边坡 1 : 3.5, 潮间带滩面平均坡降 0.2‰.

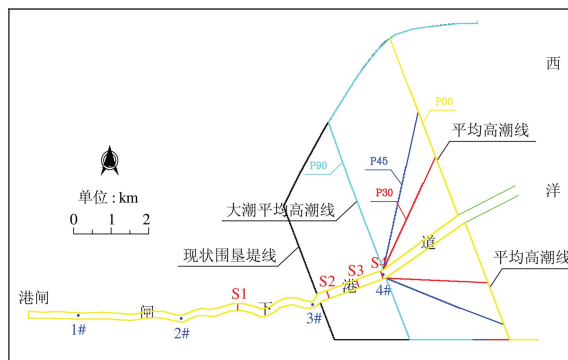


图 2 王港闸下港道潮流数学模型计算范围及方案

Fig. 2 Numerical tide model domain and cases of the downstream waterway in Wanggang channel

2.1.2 基本方程及求解

连续性方程:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(HU)}{\partial x} + \frac{\partial(HV)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

动量守恒方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(HU)}{\partial t} + \frac{\partial(HUU)}{\partial x} + \frac{\partial(HUV)}{\partial y} &= \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho} - gH \frac{\partial(H + Z_b)}{\partial x} + fHV + \alpha H \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial(HV)}{\partial t} + \frac{\partial(HVU)}{\partial x} + \frac{\partial(HVV)}{\partial y} &= \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho} - gH \frac{\partial(H + Z_b)}{\partial y} - fHU + \alpha H \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

式中: U, V 分别为垂线平均流速在 x, y 方向的分量; H 为全水深; Z_b 为床面高程; f 为柯氏力系数, $f = 2\omega \sin\varphi$; ω 为地转角速度, φ 为计算水域的地理纬度; g 为重力加速度; τ_{bx}, τ_{by} 分别为沿 x, y 方向的水底摩擦分量, $(\tau_{bx}/\rho, \tau_{by}/\rho) = C_f |\vec{V}| (U, V)$, 其中, C_f 为阻力系数, $|\vec{V}|$ 为流速模, $|\vec{V}| = \sqrt{U^2 + V^2}$; τ_{sx}, τ_{sy} 分别为沿 x, y 方向海面风应力分量, $(\tau_{sx}/\rho, \tau_{sy}/\rho) = C_w |\vec{W}| (W_x, W_y)$, 其中, C_w 为风阻力系数, $|\vec{W}|$ 为风速模, W_x, W_y 为海面风速沿 x, y 方向的分量。

计算中, 岸边界: $V_n(x, y, t) = 0$ (岸边界的法向流速为零); 水边界: $h = h(t)$ (已知水边界点上的潮位过程)。采用上游枯季关闸和 2006 年 2 月 12 日 (农历正月十五日) 12:00 ~ 16 日 (农历正月十九日) 12:00 外海潮汐过程的水文组合, 高潮位 2.94 m, 低潮位 -2.44 m (以当地平均海平面起算)。

2.1.3 模型率定和验证 近年的研究工作中曾多次采用大模型, 并经过了实测资料验证^[10]; 中模型验证主要包括西洋和烂沙洋的潮位和流速验证, 限于篇幅, 此处不再赘述; 小模型中河道主槽糙率取为 0.02, 滩地糙率取 0.045。

2.2 计算方案设计及计算成果分析

根据河口滩面围垦方案的范围, 设计了 5 组计算方案 (图 2), 分别为:

- (1) 现状方案: 不对现有闸下滩涂进行围垦;
- (2) P90 方案: 将大潮平均高潮线以上的滩涂进行围垦;
- (3) P45 方案: 与闸下河道成 45° 夹角对高滩进行围垦;
- (4) P30 方案: 与闸下河道成 30° 夹角对高滩进行围垦;
- (5) P00 方案: 围垦堤线平行于闸下河道堤线, 对平均大潮高潮线与平均高潮线之间的滩地全部进行围垦。

为了分析上述不同河口滩面围垦方案对于闸下河道纳潮能力的影响, 沿闸下河道至港口口门处选取 4 个点, 统计各点的水位、流速变化情况; 选取 4 个典型断面 S1 ~ S4, 统计断面落潮水量的变化情况。选取的点位及断面位置见图 2。

限于篇幅, 本文以 4# 点为例给出水位过程比较曲线 (见图 3)。4# 点位于闸下河道大潮平均高潮线附近, 由于现状方案中有大面积滩地, 其滩面落潮归槽水量对于河道落潮水量有贡献, 因此, 其低潮位高于 P30, P45, P90 方案, 但高潮位为各方案中最高。P30, P45 与 P90 方案低潮位基本相等, 高潮位略有差别, 从高到低依次为 P90, P45, P30 方案。相对其他方案, P00 方案高潮位低、低潮位高。从各方案的潮差分析, 现状方案港道的纳潮能力最大; P30, P45 与 P90 方案总体接近, 从高到低依次为 P90, P45, P30 方案; P00 方案纳潮能力最小。

4# 点的流速、流向过程比较见图 4。可见, 现状方案涨落潮流速最大, P30, P45 与 P90 方案涨落潮流速比较接近, P00 方案涨落潮流速最小。

断面落潮水量是维持闸下河道的主要指标, 断面落潮水量越大, 河道稳定性越高。各方案 S1 ~ S4 断面落

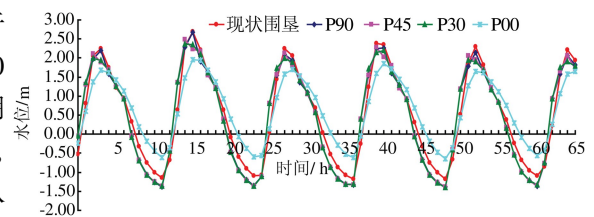


图3 4#点不同方案水位过程比较

Fig. 3 Water level curves of different cases in 4#

潮水量统计成果见表 1. 可见,现状方案的落潮水量最大,P90 方案次之,P30 与 P45 方案基本相当,P45 方案略大,P00 方案明显最小.

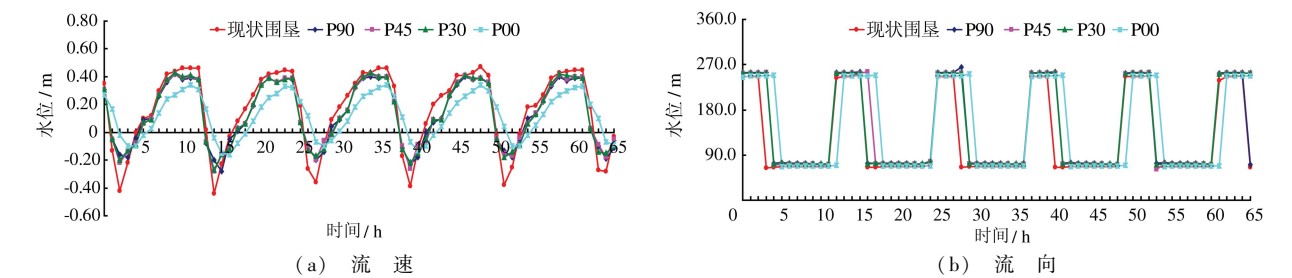


图 4 4#点不同方案流速、流向过程比较
Fig. 4 Curves of velocity and current direction

表 1 不同方案断面落潮水量				
Tab. 1 Ebb tide discharge of representative sections of different cases				
	S1	S2	S3	S4
现状方案	195	288	349	397
P90	189	281	321	360
P45	172	273	306	351
P30	166	269	297	344
P00	139	235	253	280

3 河口滩面控制方案闸下港道淤积

《海港水文规范》(JTJ213-98)附录中推荐了淤泥质海岸航道和港池的淤积计算公式. 在淤泥质浅滩水域中完成围垦工程后,其淤积强度可按照下式计算:

$$P = \frac{\omega ST}{\gamma_0} K_1 \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^3 \right]$$
 (3)

式中: P 为时段 T 内的床面淤积强度 (m); ω 为细颗粒泥沙的絮凝沉降速度 (m/s); S 为平均含沙量 (kg/m^3); T 为淤积历时 (s); γ_0 为泥沙干密度 (kg/m^3); V_1, V_2 为围垦工程实施前、后平均流速 (m/s); K_1 为横流淤积系数,在缺少现场资料的情况下,可取 $K_1 = 0.35$. 取絮凝沉速 $\omega = 0.0004 \text{ m/s}$,泥沙干密度 $\gamma_0 = 734 \text{ kg}/\text{m}^3$, $K_1 = 0.35$,淤积历时 T 取为 1 年. 据 2005 年实测值,工程区海域的平均含沙量 S 为 $1.1 \text{ kg}/\text{m}^3$. 相对于现状方案,P00,P30,P45,P90 方案在 1#~4#采样点的年回淤强度计算结果见表 2. 可见,P90 方案相对于现状方案的回淤强度不大,沿程淤积约 $0.01 \sim 0.16 \text{ m/a}$,P30,P45 方案回淤强度较接近,略大于 P90 方案,约 $0.03 \sim 0.19 \text{ m/a}$;P00 方案回淤强度最大,约 $0.20 \sim 0.62 \text{ m/a}$.

表 2 不同方案各点的年回淤强度				
Tab. 2 Yearly siltation intensity of different cases				
测 点	P00 方案	P30 方案	P45 方案	P90 方案
1#	0.62	0.19	0.17	0.16
2#	0.32	0.17	0.16	0.14
3#	0.21	0.07	0.07	0.01
4#	0.20	0.04	0.03	0.01

4 结 语

(1)维持滩面潮水沟系统不减少,保证河口纳潮流域的完整性是保持河口稳定的前提.本文基于RS技术,以现状河口流域边界为基础,重点考虑20世纪90年代以来河口流域边界的演变区域及人类活动引起的河道干槽的变化,以纳潮汇水区历史外边线、河口现状主体汇水区边线、口外主槽演变外边线,作为确定河口滩面控制区域的参考;

(2)各种方案的计算结果表明,王港滩涂围垦的合理方案为在平均大潮高潮位线与平均高潮位线之间,按照 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 的方向对高滩进行围垦.

参 考 文 献:

- [1] 江苏省科委. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查报告[M]. 北京:海洋出版社,1986. (Science and Technology Commission of Jiangsu Province. The integrated investigation report of coastal zone and sea beach resources in Jiangsu Province [M]. Beijing: Ocean Press, 1986. (in Chinese))
- [2] 张文渊. 苏北沿海挡潮闸下淤积的原因及其对策[J]. 泥沙研究, 2000(1): 73-76. (ZHANG Wen-yuan. Siltation and its control in downstream tidal gates in North of Jiangsu Province[J]. Journal of Sediment Research, 2000(1): 73-76. (in Chinese))
- [3] 陈 静. 射阳河口挡潮闸闸下淤积分析与治理开发研究[D]. 南京:南京水利科学研究院,2006. (CHEN Jing. Study on regulation and analysis of sediment siltation downstream tidal barriers in Sheyang estuary[D]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2006. (in Chinese))
- [4] 王义刚, 席 刚, 施春香. 川东港挡潮闸闸下淤积机理浅析[J]. 江苏水利, 2005(3): 28-29. (WANG Yi-gang, XI Gang, SHI Chun-xiang. Preliminary analysis on sedimentation mechanism of tidal channel downstream sluice in Chuandong channel[J]. Jiangsu Water Resources, 2005(3): 28-29. (in Chinese))
- [5] 宋洪华, 汤可方. 六垛南闸下游引河淤积成因及对策[J]. 江苏水利, 2006(9): 31-34. (SONG Hong-hua, TANG Ke-fang. Causes and measures of sedimentation in the channel downstream south sluice of Liuduo channel[J]. Jiangsu Water Resources, 2006(9): 31-34. (in Chinese))
- [6] 施春香. 挡潮闸下游河道淤积原因分析及冲淤保港措施研究——以王港闸为例[D]. 南京:河海大学,2006. (SHI Chun-xiang. Analysis of the cause of sedimentation in lower approach of the floodgate and research of the project of bring into the tidewater and eroding the sedimentation——Take the Wanggang floodgate as an example[D]. Nanjing: Hohai University, 2006. (in Chinese))
- [7] 韩西军, 杨树森. 海河口治导线规划方案的研究[J]. 水道港口, 1998(3): 12-20. (HAN Xi-jun, YANG Shu-sen. Study on plan of regulation line at Haihe River mouth[J]. Journal of Waterway and Harbor, 1998(3): 12-20. (in Chinese))
- [8] 罗肇森. 河口治导线放宽率的计算[J]. 水利水运工程学报, 2004(2): 55-58. (LUO Zhao-sen. Calculation widening rate of estuarine regulation line[J]. Hydro-Science and Engineering, 2004(2): 55-58. (in Chinese))
- [9] 张忍顺. 落潮滩面水及其在挡潮闸下游淤积过程中的作用[M]//江苏省水利厅. 江苏沿海闸下河道淤积防治对策研究, 北京:海洋出版社,2007: 57-60. (ZHANG Ren-shun. Ebb tidal water and its effect on the process of sedimentation in the downstream of the sluice[M]//Water Resources Department of Jiangsu Province. Research on the protection scheme about sedimentation in the tidal channel downstream sluice of Jiangsu coastal zone, Beijing: Ocean Press, 2007: 57-60. (in Chinese))
- [10] 张东生, 张君伦. 黄海辐射沙洲的M2潮波[J]. 河海大学学报, 1996, 24(5): 35-39. (ZHANG Dong-sheng, ZHANG Jun-lun. M2 tidal wave of the Yellow Sea radiate shoal[J]. Journal of Hohai University, 1996, 24(5): 35-39. (in Chinese))

Influence of tidal flat reclamation on channel sedimentation downstream of tidal sluice in Jiangsu coastal zone

GONG Zheng^{1,2}, DOU Xi-ping^{1,3}, ZHANG Chang-kuan^{1,2}, DING Xian-rong^{1,2}, TAO Jian-feng^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China ;
2. Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: There are a lot of sea entering channels in Jiangsu coastal zone, and they are charged with functions of flood control and drainage in seaside district and hinterland. At present, sedimentation of tidal channels downstream of sluices is universal and serious. What's more, with the rapid development of tidal flat reclamation, sedimentation becomes more and more serious. As an example, based on coastal geomorphology, estuary & coastal hydrodynamics and sediment hydraulics, Wanggang tidal channel is taken to study the influence of tidal flat reclamation on channel sedimentation downstream of tidal sluice in Jiangsu coastal zone was studied, and the allowable maximal tidal flat reclamation area is brought forward.

Key words: Jiangsu coastal zone; tidal flat reclamation; channels downstream of tidal sluice

我院 5 项成果获得 2009 年度国家科技进步奖

2009 年度国家科学技术奖励大会于 2010 年 1 月 11 日上午在北京人民大会堂举行。根据《国务院关于 2009 年度国家科学技术奖励的决定》,国家科学技术进步奖授奖项目 282 项,其中特等奖 3 项、一等奖 17 项、二等奖 262 项。水利部、交通运输部、国家能源局南京水利科学研究院主持和参加完成的 5 项科技成果获奖。

由我院作为主持单位之一完成的交通部西部建设科技项目“膨胀土地区公路修筑成套技术研究”获得国家科技进步一等奖。该项目为提高膨胀土路基与构造物地基的设计、施工技术提供资料,提出膨胀土路基与构造物地基的设计计算理论,研究开发膨胀土路基与构造物地基经济合理的处治方法,以及施工工艺和质量检测标准,提出膨胀土路基与构造物地基设计和施工技术指南。

由我院主持完成的国家“十五”科技攻关项目“水安全保障技术研究”的“海河流域洪水资源安全利用关键技术及应用研究”和“中国分区生态用水标准研究”2 个课题分别获得国家科技进步二等奖。由我院作为主要参加单位完成的水利部科技创新项目“沙漠严寒地区长距离供水工程关键技术研究”和“平原河流防洪安全水动力关键技术及工程应用”2 个课题也分别获得国家科技进步二等奖。

摘自南京水利科学研究院网站