

淤泥质港口适航水深技术研究与应用

庞启秀^{1,2}, 杨树森², 杨 华², 韩西军²

(1. 天津大学, 天津 300072; 2. 交通运输部天津水运工程科学研究所 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

摘要: 应用适航水深技术可以为淤泥质港口企业节约大量资金,但目前中国正式应用适航水深的港口只有天津港等6个港口(或港区). 适航水深在中国还存在着巨大的应用潜力,技术也需进一步完善. 依据在天津港等6个港口(或港区)研究和应用适航水深所取得的成果和经验,总结了适航淤泥重度值的确定方法及数值、适航水深测量手段与结果、使用适航水深需要注意的具体问题和各港口应用适航水深取得的效益或资源存在情况,提出了适航水深技术尚需进一步解决的几个问题.

关 键 词: 淤泥质港口; 适航水深; 适泊水深; 应用效益

中图分类号: U657.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2010)03-0033-07

我国有众多大中型的淤泥质海港,如天津港、连云港、上海港、宁波港、汕头港、广州港、深圳港和台山电厂煤港等,其中一些港口泥沙回淤严重,维护疏浚量大,给港口企业带来较大的经济压力,甚至某些港口在台风或寒潮作用下还会产生骤淤现象,给船舶的正常通航带来困难. 淤积物主要由黏性细颗粒泥沙组成,密实缓慢,淤泥重度垂线分布不均匀,由表向下逐渐增大. 表层淤泥单位体积内的含沙数量少,导致维护疏浚效率低;另一方面,表层重度较小的淤泥具有类似于水的流动特性,船舶航行与停泊作业过程中,船底龙骨与其接触并不会受到伤害,船舶操作性能也无明显影响,因而可作为水深使用,以增加港口的水深,同时也可避免资源浪费. 应用适航水深技术可以为淤泥质港口企业节约大量资金,但目前中国正式应用适航水深的港口只有天津港等6个港口(或港区). 从港方、疏浚施工方和节约国家资源角度而言,均迫切需要充分利用适航水深这种自然资源,适航水深技术在我国的应用潜力巨大.

1 适航水深的概念

港口水深测量通常采用高频测深仪,其反射面为水-淤泥的交界面,经大量实测资料证实这一反射面淤泥重度约为 10.3 kN/m^3 ,因此,作为港口通航使用依据的图载水深是指当地理论基面至重度 10.3 kN/m^3 淤泥面的距离. 而适航水深,则是原高频测深仪所测水深加上其反射面以下能确保船舶安全航行与停泊作业的小重度回淤层下界面的厚度. 小重度回淤层厚度可称为适航厚度(见图1). 衡量淤泥层或回淤层中适航水深下界面淤泥特性的参数有淤泥的动力黏度 η 、含沙量 ρ 和重度 γ 等物理量. 考虑到淤泥重度 γ 的单位为 kN/m^3 ,与国际标准制中单位一致,且概念清晰,测定方便,因此,适航水深下界面淤泥特性参数宜采用适航淤泥重度 γ 表示.

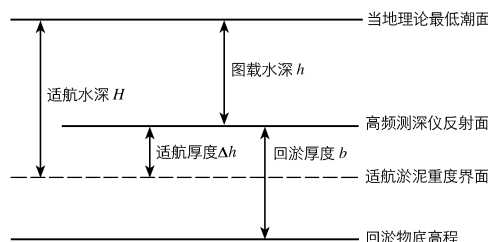


图1 适航水深示意图

Fig. 1 The sketch of definition for the nautical depth

收稿日期: 2009-09-04

作者简介: 庞启秀(1977-),男,山东潍坊人,助理研究员,博士研究生,主要从事港口、海岸及近海工程泥沙研究.

E-mail: pangqixiu@tiwte.ac.cn

2 适航水深技术的研究与应用

适航水深资源的开发利用,能给港口企业带来巨大的经济效益,自 20 世纪 30 年代以来,许多国家都进行过大量的研究与应用.荷兰的鹿特丹(Rotterdam)港对进港航道中的浮泥特征及其对船舶的影响做了大量研究后,将 11.8 kN/m^3 作为确定回淤层中适航厚度的判断标准,并用这个值所处的层面作为确定航道底部的高程;比利时泽布勒赫(Zeebrugge)港在确定适航水深时不仅考虑重度,而且还根据淤泥的流变特性确定了该港适航水深下界面的淤泥重度值为 $11.3 \sim 12.3 \text{ kN/m}^3$;德国埃姆登(Emden)港适航淤泥重度值为 $12.0 \sim 12.2 \text{ kN/m}^3$;在泰国曼谷(Bangkok)、苏里南帕拉马里博(Paramaribo)海岸沿线均采用淤泥重度 12.1 kN/m^3 为确定适航水深的标准;印度的科契(Cochin)港、委内瑞拉的马拉开波(Maracaibo)港、法国的波尔多(Bordeaux)港、南特·圣纳泽尔(Nantes-Saint-Nazaire)港、敦刻尔克(Dunkirk)港的适航淤泥重度值均采用了 11.8 kN/m^3 ;英国还颁布了有关适航水深应用的国家标准《海工建筑物》(BS6349),适航淤泥重度值采用 11.8 kN/m^3 .我国许多港口如天津港、连云港、长江口、宁波港北仑港区虾峙门航道、汕头港外航道和珠海港等^[1-8],针对如何有效利用港池航道中的适航资源,曾开展了多项研究并积累了一定的经验,为我国适航水深的研究和应用做出了贡献.

适航水深的应用主要涉及 2 个关键问题:适航淤泥重度的确定和适航水深的测量.确定各港口的适航淤泥标准重度是安全、合理使用适航水深的前提,但因各港淤积物组成、颗粒级配、含盐度等不同,其数值也有可能不同,因此需要在充分掌握回淤泥沙特性的基础上,通过试验来综合确定各港的适航淤泥重度值.适航水深的测量是应用适航水深的关键,目前测量方法主要有重力式器具法、走航式适航水深测量系统、密度计法、测深仪配合密度计法等,但通常多采用重力式器具法和走航式适航水深测量系统.

2.1 天津港适航水深技术的研究与应用

天津港为典型的淤泥质海岸港口,1999–2003 年期间,针对天津港现状的泥沙问题,对适航水深进行了一系列研究^[1-2,9-11],通过下述 3 种手段确定了适航淤泥重度值.

2.1.1 以三爪铰测深和取泥样来确定适航淤泥重度 1999-05–2000-04 期间,在三爪铰测深垂线上采集泥样 967 个,测定重度变化范围均介于 $12.2 \sim 13.0 \text{ kN/m}^3$ 之间,其中 85% 的泥样重度值为 12.7 kN/m^3 ,由此,天津港适航水深下界面淤泥重度值可取 12.7 kN/m^3 .

2.1.2 由淤泥流变试验确定适航淤泥重度 根据淤泥流变试验,获得低剪切率时初始刚度与重度的关系和高剪切力率时动力黏度与重度的关系.借鉴比利时的泽布勒赫港经验,以曲线的曲率半径突变点作为确定标准的依据,该突变点大多数都在 12.5 kN/m^3 左右.

2.1.3 由船模阻力试验确定适航淤泥重度 在没有实船试验的条件下,采用船模在实际淤泥中的运动,测定阻力的变化状况也是一种较为直观的试验方法.试验采用 2 种船型(U 型和 V 型)、2 种运动速度,测定模型船在不同重度淤泥中运动时所受的阻力(R_i),绘出相对阻力 R_i/R_0 (R_0 为模型船在水中以同样速度运动时所受的阻力)与淤泥重度的关系曲线.结果表明,无论何种船型以何种速度运动,在淤泥重度较小时,相对阻力 R_i/R_0 的变化都很缓慢,当淤泥重度达到某一临界值后, R_i/R_0 随重度的变化十分迅速,可得到临界重度值变化范围介于 $12.0 \sim 12.5 \text{ kN/m}^3$ 之间.

依据上述 3 种方法确定数值,并结合有关浮泥的研究和一段时间的试用,综合确定天津港适航水深淤泥重度值为 12.7 kN/m^3 .

通过几年的实际应用,在延长维护疏浚时间、减少维护土方量、提高维护疏浚效率、节约维护费、提高码头的使用率等方面都取得了较好的效果,例如 1998 年 10–12 月发生强淤现象,东突堤周边港池和当时南疆四港池的淤积厚度分别达 1.22 m 和 1.77 m,港池水深明显不足,但一直到 1999 年 9 月才进行疏浚维护,并未影响码头的正常使用.截止到 2005 年,适航水深的应用已为天津港节约资金超过亿元,同时也为《淤泥质海港适航水深应用技术规范》的编写提供了最基础的资料,为我国适航水深技术的推广应用做出了重要贡献.

2.2 国华台山电厂煤港适航水深研究与应用

国华台山电厂煤港自2004年建成使用后,泥沙回淤现象十分明显,强台风侵入时,港池航道还会产生骤淤,给电厂燃煤的正常供应带来了困难.2006年初本文作者与港方共同开展了适航水深应用研究^[12-14],通过港池航道回淤泥样颗分试验、水力特性试验(起动和沉降)、密实试验等,掌握了回淤泥沙的基本特征,并开展了淤泥流变试验和船模阻力试验来研究适航淤泥重度值.

2.2.1 流变试验确定适航淤泥重度 利用从港池、航道中采集的泥样,在试验室内配制了7种重度的淤泥,测定其不同剪切率时的剪应力和黏度,并绘制了从低到高多种剪切率时剪应力与重度、黏度与重度的关系图,绘制的某剪切率时剪应力与淤泥重度的关系曲线如图2所示.其结果表明:在淤泥重度较小时,剪切力(或黏度)变化均较缓慢;当淤泥重度达某一临界值后,剪切力(或黏度)随重度的增加而迅速增加.经流变试验确定的适航淤泥重度值约为 12.3 kN/m^3 .

2.2.2 船模阻力试验确定的适航淤泥重度 利用现场所取的5 t左右的泥样配制了9种重度淤泥,测量了港口代表船型的船模以8种速度在淤泥中运行时的阻力,然后绘制了相对阻力 R_t/R_0 与重度的关系曲线,确定的临界重度值变化范围为 $12.0 \sim 12.5 \text{ kN/m}^3$.

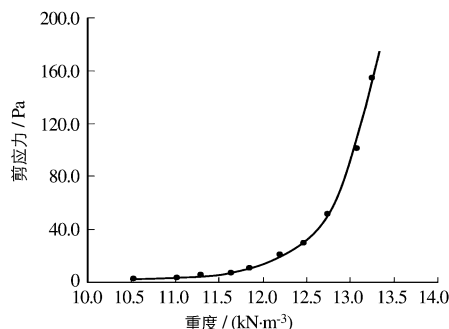


图2 某剪切率时剪应力与淤泥重度关系

Fig.2 Relationship between the stress and mud weight under a certain shearing rate

综合淤泥流变试验和船模阻力试验结果,并参考国内外的研究经验,确定台山电厂煤港适航水深淤泥重度值为 12.3 kN/m^3 .

在2006-2007年期间,台山海域接连受到“珍珠”、“杰拉华”、“派比安”、“帕布”等超强台风影响,国华台山电厂港池航道出现了严重淤积,但由于电厂成功地利用了适航水深技术,保证了煤船安全进港靠泊码头,使发电燃煤得以正常供应,同时还有效地减少了船舶滞港时间和滞港费,获取了良好的经济效益和社会效益.

2.3 适航水深研究方法的规范化

为推广并规范适航水深技术的应用,交通部组织天津水运工程科学研究所和天津水运勘察设计院,在大量收集国内外资料并广泛征求意见的基础上,结合天津港、台山电厂煤港等港口的实际应用经验,开展了《淤泥质海港适航水深应用技术规范》的编写工作.该规范于2006年11月由交通部发布(编号:JTJ/T325-2006),2007年5月1日起实施.在《淤泥质海港适航水深应用技术规范》颁布后,适航水深技术得到了推广,但目前正式、公开应用适航水深的港口,只有天津港、国华台山电厂煤港、连云港、深圳港大铲湾港区、广州港南沙港区和深圳港西部港区等6个港口或港区,我国的适航水深资源还有待于进一步开发利用.

总结我国适航水深的研究方法和测量手段以及适航资源情况于表1.天津港综合分析了三爪铰测量、流变试验和船模阻力试验3种方法的结果,确定了适航淤泥重度值;台电煤港由于三爪铰可操作性较差没有采用,而依据流变试验和船模阻力试验的结果综合确定适航淤泥重度值,这2种方法也写进了《淤泥质海港适航水深应用技术规范》.而且在后续开展的连云港^[15]、深圳港大铲湾港区^[16]、广州港南沙港区^[17]和深圳港西部港区^[18]的适航水深应用研究中,均采用了流变试验和船模阻力试验来综合确定适航淤泥重度值.

在流变试验时,天津港绘制的是低剪切率时初始刚度与重度的关系和高剪切率时动力黏度与重度的关系曲线图,而台山电厂煤港则分别绘制了从低到高多种剪切率时对应的剪切力(或黏度)与重度的关系,2种方法各有利弊,但曲线的形状和变化规律基本一致,都能找出临界淤泥重度.经实际应用表明,2种方法确定的适航淤泥重度值都是安全的.

表 1 适航淤泥重度值及适航水深

Tab. 1 Results of determination of the nautical standard value and survey of the nautical depth						
港口名称	采用的研究手段			采用的淤泥 重度值/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	适航水深测量手段	适航资源情况
	三爪铰	流变试验	船模阻力 试验			
天津港	✓	✓	✓	12.7	三爪铰和高频回声测深仪组合; 走航式适航水深测量系统	港池泊位局部较厚
台电煤港	/	✓	✓	12.3	走航式适航水深测量系统	台风过后港池及航道近岸段较厚,最大达 3.0m 以上
连云港	/	✓	✓	12.2 (港池 12.4)	三爪铰、走航式适航水深测量系统	庙岭港区多个泊位存在 0.5 ~ 1.8 m 的适航厚度
深圳港大铲湾港区	/	✓	✓	12.2	三爪铰、走航式适航水深测量系统	1.0 ~ 4.0 m 的适航厚度
广州港南沙港区	/	✓	✓	12.3	三爪铰、走航式适航水深测量系统	0.5 ~ 2.5 m 的适航厚度
深圳港西部港区	/	✓	✓	11.8 (港池 12.2)	采用三爪铰初步测量	部分港池泊位存在适航资源

船模阻力试验中,天津港和台电煤港均绘制了相对阻力 R_t/R_0 与淤泥重度的关系曲线,但这个参数的物理意义不够明确,也不能与流变试验采用的剪应力相互对应,因而《淤泥质海港适航水深应用技术规范》推荐采用船模阻力代替相对阻力,绘制船模阻力与淤泥重度的关系曲线,并从中确定适航标准重度值.深圳港大铲湾港区、广州港南沙港区和深圳港西部港区均采用这种方法,绘制的关系曲线图如图 3 所示.

2.4 适航淤泥重度的取值范围

为了给其它尚未应用适航水深的淤泥质港口提供参考,汇总国内港口的适航淤泥重度值与对应的泥沙部分特征值见表 2.由表 2 可知,除天津港因适航水深主要应用在泊位而选用了较大的数值 12.7 kN/m^3 外,其他港口的适航淤泥重度值介于 $11.8 \sim 12.3 \text{ kN/m}^3$,相差不大;经各港回淤泥沙的中值粒径和黏土含量比较,已研究的各港中泥沙中值粒径基本相当,均在 0.005 mm 左右,而黏土含量也相差不大,主要在 $43\% \sim 52\%$ 之间.

我国多个尚未应用适航水深的淤泥质港口的泥沙粒径也很细,黏土含量也较高,因而可以判断这些港口也具有应用适航水深的条件,其适航淤泥重度值也将在 $11.8 \sim 12.7 \text{ kN/m}^3$ 之间.但需要说明的是,真正应用适航水深时还应利用港口现场泥沙通过试验来科学确定,以保证船舶的安全.

表 2 国内有关港口泥沙特征及适航淤泥重度

Tab. 2 Characteristics of sediment and nautical standard values in Chinese harbors			
港口名称	回淤泥沙平均中值粒径/ mm	黏土含量/ % ($<0.004 \text{ mm}$)	适航淤泥重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)
天津港	港池 0.002 3 航道 0.003 8	港池 63 航道 52	12.7(主要用于泊位)
国华台山电厂煤港	0.004 8	46	12.3(只在骤淤时用)
连云港	0.004 3	52	12.2(港池泊位 12.4)
深圳港大铲湾港区	0.005 0	45	12.2(主要用于港池)
广州港南沙港区	0.005 2	43	12.3(主要用于港池)
深圳港西部港区	0.004 8	46	11.8(港池泊位 12.2)

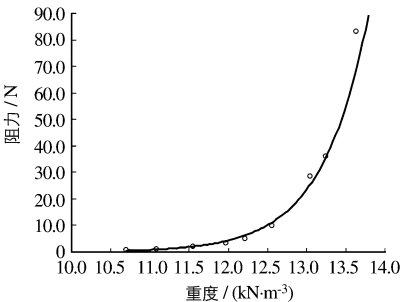


图 3 某船速时阻力与淤泥重度关系

Fig.3 Relationship between the resistant force and the mud weight under a certain ship speed

2.5 适泊水深

在不影响船舶安全的前提下,考虑到泊位、港池区域船舶航速较慢和泥沙受扰动变化,可适当增大适航淤泥重度值,取流变试验和船模阻力试验结果的上限值,以进一步利用适航资源,节约维护疏浚费用,即适泊水深.本文作者将此概念引入到连云港适航水深研究中,在确定适航淤泥重度值时,划分了港池泊位区和航道区,分别采用试验结果的上、下限值,港池泊位采用 12.4 kN/m^3 ,航道为 12.2 kN/m^3 .通过1年多的实际应用,证明这是安全合理的.在研究确定深圳港西部港区的适航淤泥重度时也采用了这种方法,确定港池泊位采用 12.2 kN/m^3 ,航道为 11.8 kN/m^3 .

2.6 适航水深应用时的注意事项

由于各船舶在船型结构、航道流压以及泥浆水对舵效产生的影响等方面不尽相同,使用适航水深时,各船舶遇到的问题也有所不同,因此安排船舶利用适航水深进港时应充分重视船长的意见.而且引航员应同被引领船舶的船长加强沟通,并做好详细记录,及时发现问题以便解决和改进;为了保障使用适航水深的船舶的安全,在航道拐弯处或调头区旋转以及靠泊码头时,可以适当增加拖轮的艘数;为避免轮船在使用适航水深过程中,海水滤器堵塞给主、辅机运行带来危险,利用适航水深进港的船舶需要关闭低位冷却进水口,而采用高位冷却进水口;船舶要慢速航行,并注意主机负荷、主机转速、船速和船舶的下沉量,同时还应注意航道流压,可采用拖轮协助,使船舶保持在航道上.

3 尚需解决的问题

3.1 实船试验

目前国内尚未进行过实船试验,其原因除实船试验费用昂贵外,也存在着难以正确掌握船舶入淤泥层深度、控制实际航行速度和保证测量精度等问题.因此国内多采用室内船模阻力试验,测定船模在不同淤泥中以各种速度航行时所受阻力的方法来分析实船航行的安全性,并确定适航淤泥重度值,经多个港口的实践表明,总体结果是安全的.但有条件的港口可以尝试开展该项研究工作,为安全评价积累更多的数据和经验.

3.2 适航水深测量周期(即适航水深图的使用时间)

港池和航道中的适航厚度会随时间变化,因此需要确定适航水深测量周期,从而避免盲目性的定期观测造成人力、财力的浪费,也可避免测量周期过长而增加适航水深使用的不安全性.适航水深(适航厚度)与港口的泥沙状况、回淤强度、水动力强弱、边界条件、设计水深等多种因素有关,因此应按各港口的实际情况,通过港区适航、适泊水深的大量测量、整理并收集资料,在实践中确定该港的适航水深测量周期及有效期.

在尚未确定测量周期前,建议针对整个应用适航水深的水域开展高频率(如每月1~2次)的适航水深测量调查,以掌握正常天气下适航水深的时空分布情况,从而为确定适航水深测量周期和应用区域提供依据;但当有大风及恶劣天气侵袭后,应在第一时间开展适航水深测量,因为其产生的泥沙回淤状况取决于现场的风浪和泥沙条件,如在山台电厂煤港和连云港,要求测量技术人员在12 h内赶赴现场,48 h内提供适航水深检测图,为船舶及时安全进出港提供科学依据.因此,适航水深图应根据船舶进港实际需要不定期修正.

3.3 淤泥对船舶舵效的影响

泥浆与水相比,具有一定的黏性,对操舵性能可能会造成一定影响,且泥浆重度越大影响越明显,因而也应开展该项研究.

3.4 适航淤泥重度值的确定

目前主要依据流变实验和船模阻力实验结果绘制的关系曲线的拐点来确定适航淤泥重度值,还应依据淤泥的流变或剪切特征,建立起新的理论模型,进而从理论上确定适航淤泥重度值,提高可信度.

4 结 语

(1)不同港口由于回淤物质不同,适航水深淤泥重度值也可能有所不同,因而各淤泥质港口应通过科学

研究来确定合理的适航淤泥重度值;

(2) 适航淤泥重度值应通过流变试验和船模阻力试验进行综合确定,适航水深测量可采用重力式器具和走航式适航水深测量系统进行;

(3) 适航水深在多个港口的成功应用,产生了良好的经济效益,该项技术在我国实际工程应用中潜力巨大,具有推广价值。但针对适航水深技术,还需要开展进一步的深入研究。

参 考 文 献:

- [1] 刘富强,孙建澎. 天津港适航水深资源的开发[J]. 水道港口, 2002, 23(增刊): 161-169. (LIU Fu-qiang, SUN Jian-peng. The development of the nautical resource of Tianjin Port[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2002, 23(Suppl): 161-169. (in Chinese))
- [2] 邰志. 论适航水深在天津港强淤现象中的应用[J]. 水运工程, 2003(5): 23-24. (PI Zhi. Application of navigable depth in dealing with the strong siltation of Tianjin Port[J]. Port & Waterway Engineering, 2003(5): 23-24. (in Chinese))
- [3] 金镠,虞志英,陈德易. 关于淤泥质港口航道适航水深的研究[C]//连云港回淤研究论文集. 南京:河海大学出版社, 1985: 249-257. (JIN Liu, YU Zhi-ying, CHEN De-yi. The nautical depth on muddy coast[C]//The Collected Papers of Research on the Sediment in Lianyungang Port. Nanjing: Hohai University Press, 1985: 249-257. (in Chinese))
- [4] 陈学良. 连云港浮泥测试及“适航深度”的确定[G]//连云港泥沙研究成果汇编. 南京:河海大学出版社, 1985: 258-266. (CHEN Xue-liang. Observation of fluid mud and definition of “nautical bottom in mud” in Lianyungang Port[G]//The Collected Papers of Research on the Sediment in Lianyungang Port. Nanjing: Hohai University Press, 1985: 258-266. (in Chinese))
- [5] 徐海根,徐海涛,李九发. 长江口浮泥层“适航水深”初步研究[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 1994(2): 91-97. (XU Hai-gen, XU Hai-tao, LI Jiu-fa. Study on the nautical depth utilizing fluid mud layer of the Changjiang Estuary[J]. Journal of East China Normal University(Natural Science), 1994(2): 91-97. (in Chinese))
- [6] 张华,阮伟. 长江口北槽深水浮泥的研究与应用[J]. 水运工程, 2002(10): 98-102. (ZHANG Hua, RUAN Wei. Study and application of fluid mud at north passage deepwater channel of the Yangtze Estuary[J]. Port & Waterway Engineering, 2002(10): 98-102. (in Chinese))
- [7] 陈晓峰,黄建维,刘建军. 汕头港外航道适航水深的研究与应用[J]. 海洋工程, 2002, 20(4): 26-31. (CHEN Xiao-feng, HUANG Jian-wei, LIU Jian-jun. Investigation and utilization of the nautical depth of the outer navigation channel of Shantou Harbour[J]. The Ocean Engineering, 2002, 20(4): 26-31. (in Chinese))
- [8] 陆振邦,郑乔雄. 宁波港北仑港区虾峙门航道浮泥探索及适航水深测量[J]. 中国港湾建设, 2000(6): 8-11. (LU Zhen-bang, ZHENG Qiao-xiong. Probe into mud scum and survey of navigable depth in Xiashimen channels in Beilun Port complex of Ningbo Port[J]. China Harbor Engineering, 2000(6): 8-11. (in Chinese))
- [9] 沈小明,裴文斌. 适航水深测量技术介绍与探讨[J]. 水道港口, 2003, 24(2): 94-96. (SHEN Xiao-ming, PEI Wen-bin. Discussion on measuring technique of navigable depth[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2003, 24(2): 94-96. (in Chinese))
- [10] 裴文斌,牛桂芝,曹满. 走航式适航水深测量误差来源及准确度检测[J]. 水道港口, 2004, 25(6): 112-115. (PEI Wen-bin, NIU Gui-zhi, CAO Man. Causes errors of nautical depth measurement in moving and checking of the measuring accuracy[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2004, 25(6): 112-115. (in Chinese))
- [11] 蒋唯耀,杨华. 天津港适航水深问题的研究与应用[R]. 天津:交通部天津水运工程科学研究所, 2004. (JIANG Ju-yao, YANG Hua. The research and application on the problems of nautical depth of Tianjin Port[R]. Tianjin: Tianjin Research Insistiute of Water Transport Engineering, 2004. (in Chinese))
- [12] 庞启秀,杨华,沈小明,等. 国华台电港口适航水深应用研究[R]. 天津:交通部天津水运科学研究所. 2006. (PANG Qi-xiu, YANG Hua, SHEN Xiao-ming, et al. The research and application on the nautical depth of the Port of Guohua Taishan Power Plant[R]. Tianjin: Tianjin Research Insistiute of Water Transport Engineering, 2006. (in Chinese))
- [13] 庞启秀,杨华,梅剑云,等. 国华台电港口泥沙回淤规律与适航水深应用研究[R]. 天津:交通部天津水运科学研究所, 2007. (PANG Qi-xiu, YANG Hua, MEI Jian-yun, et al. The research on the law of siltation and the nautical depth of the

- Port of Guohua Taishan Power Plant[R]. Tianjin: Tianjin Research Insitiute of Water Transport Engineering, 2007. (in Chinese))
- [14] 梅剑云, 孙月, 李占元. 国华台电煤港适航水深应用研究[J]. 水道港口, 2008, 29(5): 314-317. (MEI Jian-yun, SUN Yue, LI Zhan-yuan. Nautical depth applied to Port of Guohua Taishan Power Plant[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2008, 29(5): 314-317. (in Chinese))
- [15] 庞启秀, 杨华, 闫新兴, 等. 连云港港口适航水深应用研究[R]. 天津: 交通部天津水运科学研究所, 2008. (PANG Qi-xiu, YANG Hua, YAN Xin-xing, et al. The research and application on the nautical depth of Lianyungang Port[R]. Tianjin: Tianjin Research Insitiute of Water Transport Engineering, 2008. (in Chinese))
- [16] 韩西军, 庞启秀, 杨树森, 等. 深圳港大铲湾港区集装箱码头一期工程港池适航水深综合论证分析[R]. 天津: 交通部天津水运科学研究所, 2008. (HAN Xi-jun, PANG Qi-xiu, YANG Shu-sen, et al. The complex analysis on the nautical depth of Dachan Bay District of Shenzhen Port[R]. Tianjin: Tianjin Research Insitiute of Water Transport Engineering, 2008. (in Chinese))
- [17] 杨树森, 韩西军, 庞启秀, 等. 广州港南沙港区一期、二期港池适航水深综合论证分析[R]. 天津: 交通部天津水运科学研究所, 2008. (YANG Shu-sen, HAN Xi-jun, PANG Qi-xiu, et al. The complex analysis on the nautical depth of Nansha District of Guangzhou Port[R]. Tianjin: Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, 2008. (in Chinese))
- [18] 庞启秀, 杨华, 刘涛, 等. 深圳港西部港区港池航道适航淤泥重度值试验研究[R]. 天津: 交通部天津水运科学研究所, 2009. (PANG Qi-xiu, YANG Hua, LIU Tao, et al. The research on the nautical standard value of western district of Shenzhen Port[R]. Tianjin: Tianjin Research Insitiute of Water Transport Engineering, 2009. (in Chinese))

Research and application of the technique of nautical depth in muddy harbors

PANG Qi-xiu^{1,2}, YANG Shu-sen², YANG Hua², HAN Xi-jun²

(1. *Tianjin University, Tianjin 300072, China*; 2. *Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, Key Laboratory of Engineering Sediment of the Ministry of Transport, Tianjin 300456, China*)

Abstract: In many muddy harbors, large amounts of funds can be saved through the application of the technique of nautical depth. However, there are only 6 muddy harbors in China that have employed formally the technique of nautical depth. The prospect of application will be excellent, and the technique needs to be improved continually. The methods and results of the determination of nautical standard value and the survey of nautical resources in these 6 harbors are summed up in this paper. Then, the economic benefits of the application of nautical depth are analyzed, as well as the matters needing attention. At the end of paper, several problems concerning the nautical depth needed to be further researched are put forward.

Key words: muddy harbor; technique of nautical depth; nautical depth for berth; benefit of application