

基于雷达观测量化控制实现船舶自力靠泊操作

穆振迪¹，谷通²，解国强³

(1. 浙江海港集团宁波远洋运输股份有限公司, 浙江 宁波 315040; 2. 天津海事局, 天津 300211; 3. 青岛远洋船员职业学院, 山东 青岛 266427)

摘 要：为有效把控船舶自力靠泊，减少判断失误，基于理论研究的基础，通过靠泊操纵实践，结合靠泊过程中的操纵手段和变量因素，通过对雷达标绘参数的精准设定，使自力靠泊操作基于雷达观测量化控制。讨论靠泊过程中应注意的相关问题，提出对应的解决思路，把握最佳操纵时机，利用车、舵、锚、缆的相互配合，合理掌控船身摆位、入泊角度、抵泊余速、用锚时机、带缆顺序等关键因素，保障船舶在有流港实现安全稳定自力靠泊。

关键词：自力靠泊；船舶操纵；有流港；雷达观测；量化控制
中图分类号：U675 **文献标识码：**A

引言

日常船舶靠离泊受制于港口周转率、进出港引航安排和可使用拖轮数量等被迫候泊，对港口运转造成极大的压力。在此情况下，自引自靠船舶可充分发挥其独有优势，既不需要引航员登轮操纵，甚至不需要拖轮的靠离泊协助，可最大程度地提升港口周转效率，减少港口引航和拖轮助航的压力。但船舶自引自靠并非易事，特别在靠泊阶段存在很强的随机性，在强风强流时难以准确估计，险象环生，容易引发事故。

本文以某“A轮”为例，基于雷达观测的量化控制，把握最佳操纵时机，合理掌控靠泊过程，保障船舶在有流港实现安全稳定自力靠泊，以期实现最小的风险和最大的效益。

1 雷达参数设定

“A轮”使用FURUNO（古野）雷达，配备23.1英寸液晶显示屏（MU-231），可清晰呈现船舶抵泊操纵各类参数设置画面和量化控制的运动趋势，完全适用于自力靠泊过程的雷达标绘和观测。为精确设定雷达标绘参数，须充分掌握该轮的船舶规范。“A轮”船舶规范如表1所示。

表 1 “A 轮”船舶规范	
项目	参数
船名	A 轮
总长	139.90m (驾驶台距艏 111.23m，距艉 28.67m)
型宽	25.00m
型深	11.50m
满载吃水	8.00m
空载吃水	4.58m
最大高度	42.62m
总吨	11180
净吨	6260
最大载重吨	15234.10T
主机马力	SMCR:3762KW,127RPM
	CSR:3386KW,122.60RPM
螺旋桨	4 叶整体式无键连接定距桨

在抵目标泊位 2 至 3nm 前，利用淌航控速间隙，精准调节雷达增益（GAIN）、雨雪抑制（A/C RAIN）、海浪抑制（A/C SEA），使码头沿线的雷达回波清晰可见，方便根据码头走向判断选择合适的靠拢角。根据该船舶规范设定雷达各项基本参数如表 2 所示。

表 2 雷达基本参数设定

项目	设定值	备注
显示模式	STAB HEAD UP RM	稳定艏向上 (相对方位)
尾迹显示	TRUE-G TRAIL 01:30	真运动尾迹
量程 (RANGE)	0.25nm	船型轮廓直观显示
运动轨迹矢量线 (VECTOR)	TRUE-G $\geq 30\text{MIN}$	真运动轨迹预判 (航迹向和航迹速度)
固定量程圈间隔	0.05nm	根据量程自动变化
平行刻度线方向 (PI)	码头真 实走向 (比对海 图)	近靠岸测显示
平行刻度线间隔 (PI)	0.055nm	100m
活动电子方位线 EBL 1	平行刻度 线方向 $\pm 90^\circ$ T	垂直于码头走向
活动距标圈 VRM 1	0.135nm	250m
活动距标圈 VRM 2	0.065nm	120m

稳定艏向上的显示模式能更直观地进行雷达标绘和观测设置画面；真运动蓝色尾迹呈现船体过去 1 分 30 秒内所发生的整体运动趋势；设定间隔为 0.055nm (100m) 的平行刻度线组合，借助雷达量程 0.25nm 时呈现的本轮船型轮廓在各条平行刻度线之间的位置，观察入泊的横向平移，方便落锚点和码头横距的判断；调取活动电子方位线 (Electronic Bearing Line, EBL) 垂直于码头走向，运动轨迹矢量线 (白色点线) 设置为 30 分钟或以上的真运动轨迹预判，使其自雷达船位点指向目视所测指泊灯 (泊位旗) 所在方位，通过两线自该船位点向码头沿线所截距离的量化显示，直观地标识出船舶尚需行进的纵距，并且垂线的设定可用以观测运动轨迹矢量线的变化趋势，提供矢量线角度变化的参考；调取 2 组活动距标圈 (Variable Range Marker, VRM)，分别设置为 0.135nm 和 0.065nm，对应 250m 和 120m，结合“A 轮”驾驶台距艏 111.23m，通过雷达标绘和观测实现对船舶拢岸纵距量化控制。所有雷达基本参数设定必须全部精确到位，以适用不同

的靠泊角度和方式，以不变应万变。

2 自力靠泊操纵要点

2.1 掌控船舶性能

船舶靠泊操纵过程大都处于进速低、漂角大、间距小、水深浅的境况，各个环节相互联系、互为条件、共同影响。这就要求船长对船舶要具有很强的操控能力，对车、舵、锚、缆使用的反应足够敏感，根据实时情况及时修改对应的操纵方案，以适应现实情境的需要。对船舶的操纵特性，包括停车冲程、旋回性能、转舵速率，主机使用压缩空气启动正倒车换向所需时间间隔及可连续操作次数等，船长需全部掌握。船舶负载、吃水、横倾和纵倾，因不同的载态，船舶操纵性能略有不同，船长也必须清楚明了。另外，机械设备性能，如缆机松绞缆速度；参与靠泊作业船员技能水平，如船员撇缆一般可达有效距离，船长都须做到心中有数^[1]。

2.2 把控关键时机

2.2.1 控制正确摆位

船舶近靠过程中借助船舶惯性克服水动力作用，通过车、舵配合淌航行进至预定位置，施内舷舵使船舶内张受流产生一定的回转角速度，以此选定合理的船位作为入泊航迹起始点，实施自力靠泊量化控制。

2.2.2 控制入泊角度

在舵压力和水动力共同作用下，一般采取船舶内张的态势逐渐向码头靠拢，充分考虑风流压差以及“嵌档 (泊位空挡)”入泊时泊位后端船的宽度和纵向距离等相关因素，通过观测运动轨迹矢量线的指向作为重要的参考依据，通过对船舶向的调整，预配风流压角，控制合适的入泊角度。实时关注和重点分析雷达右上角显示的各个具体参数，通过车、舵、锚的相互配合，量化控制航迹速度横向分量值 (Speed over Starboard, SB) 处于理想的范围。在顶流自力靠泊时 SB 值一般控制在 0.7kn 以内为宜，以此保证船体在贴靠时不致破坏码头结构且不被碰垫反弹，且在必要的情况下可使用内舷满舵进车，短时间内使航迹速度横向分量为零。

2.2.3 控制抵泊余速

控制抵泊余速就是控制法向近岸速度。余速过小，会引起更强的流压作用和更大的风致漂移，

势必影响横距的把控；余速过大，势必会频繁或长时间倒车，不利于船位和艏向的控制。根据船舶载况，结合停车淌航冲程、倒车有效功率，以及当时的风流作用合力，适时停车淌航。船舶平泊位后端时，空载速度不超过 2kn 为宜，重载不超过 1.5kn 为宜。空载且横风较强时，需适当提高余速。综合以上因素，抵泊速度应选择在保证舵效前提下的最小速度为最佳匹配速度，适时出车以提高舵效，增强船体控制力。

2.2.4 精准操纵用锚

外舷定点抛后八字锚制动是自力靠泊的最佳选择。通过淌航的方式操纵船舶顶风流或其上风、顶流侧慢速接近，通过锚抓力和卧底链的系留力控制船舶的拢岸速度，使船舶安全入泊。结合雷达观测进行量化控制，判断卧底链的拉伸程度，尽可能使卧底链完全拉伸。锚链处松弛状态易造成船舶过分贴近泊位。可通过锚机回绞使锚链吃力，或在船舶纵距足够时短暂微速进车（Kick Engine）使后八字锚链拉伸受力，确保抛得出，刹得住，且可实时用以减缓船舶拢岸速度^[2]，有效控制船舶向前和向内的运动趋势^[3]。

落锚点的纵距一般以距泊位前端三分之一船长（ $\frac{1}{3}LOA$ ）对开处为参照；横距应为与码头泊位一倍船长（Length Over all, LOA）或 5 节链长（标准锚链 27.5 米/节 $\times 5 = 137.5\text{m}$ ）取其大者。以船舶距码头横距 140m（ $\pm 20\text{m}$ ）为落锚基准点，估算该内张角度对应的横距差。例如船舶内张 20° ，落锚点所对应的全球定位系统（Global Positioning System, GPS）船位距码头的初始横距为 180m，以此确定合适的落锚点。通过雷达观测量化控制尽可能精确地将外舷侧锚抛入预想的落锚点区域内。如图 1 所示。

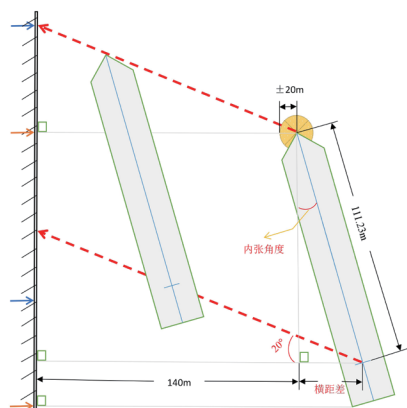


图 1 自力靠泊量化控制示意图

最终靠泊完成时呈后八字锚态势，既能防止前方泊位船靠泊用锚时发生绞缠，又有利于离泊操纵用锚。

2.2.5 合理带缆排序

通过雷达量化精确设定平行刻度线组合，结合运动矢量线，准确将船带至船舶横距足够水手撇缆上岸时，先后带妥头缆和艏倒缆，为船舶提供可靠的牵制，和外档后八字锚联合作用有效控制船舶摆动，如图 2 所示。

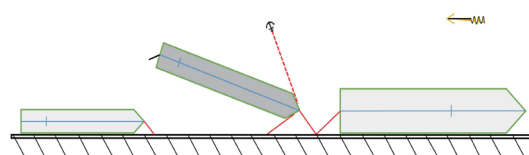


图 2 船舶抛开锚近靠示意图

待船舶头缆和倒缆上桩带妥，在流压作用下船艏自行向内舷贴靠。保持内舷满舵在位，必要时进车以防船舶近靠速度过快，待船舶贴拢码头再松舵。如遇流速减缓或开始转流，可通过短暂进车施外舷舵，促使船舶拢岸，尽可能保持船舶平行或以小角度内张的态势缓慢贴靠。当船舶横距接近到足以把撇缆打上码头时，在确定主机停车时，迅速带妥艏倒缆，巩固船舶防止受流影响后缩，随后带妥艏缆。全程关注 SB 值的大小和运动轨迹矢量线的偏转，进行有效的量化控制，最终船舶“3+1”（船舶各三根头缆和一根倒缆）带妥全部缆绳。

综合船舶规范参数合理设定雷达标绘参数，以此判明靠泊过程中的横距、纵距以及船舶内张角度。

2.3 环境因素评估

2.3.1 泊位及附近水域

提前掌握泊位长度、码头走向、泊位附近水深等相关信息。当接近至可视范围内时观察指泊灯（泊位旗）位置，判明泊位基本结构，确认可移动式装卸设备尽可能远离靠泊区域，不应妨碍也不致危及码头和船舶安全。

2.3.2 风流影响

自力靠泊通常遵循顶流驶靠原则。根据靠泊计划，同时关注雷达界面显示艏向速度（Speed,SPD）和航迹速度（Speed Over Ground, SOG）的差值和运动轨迹矢量线的偏转，判定该时段码头边的风流情况。如有必要及时做好掉头靠泊准备，切勿反潮水驶靠。

通过《潮汐表》查询附近潮汐预报点的高/低潮时刻,了解该海域潮汐涨落的大致规律,以此推算泊位前沿水域潮流的转流节点和变化趋势,如图3所示。

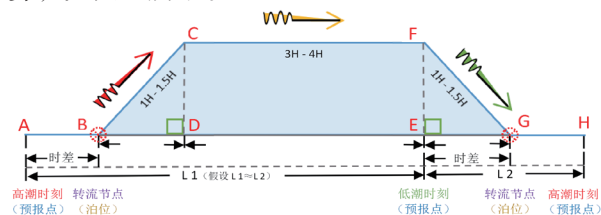


图3 潮汐涨落大致规律示意图

如遇初涨或初落时段（B至C），潮流流速随着近靠过程逐渐增大，流压对船体横向压拢和纵向后退的作用力不断增强，随着靠泊横距的减小，需不断减小船艏的内张角度；反之在涨末或落末时段（F至G），为保持预设的横向靠拢速度，需不断增大船艏的内张角度，以维持稳定的SB值量化控制；而在急流时段（C至F），流速变化较小，以恒定的内张角度入泊，但因急流影响需格外谨慎操作。其中，在预报点高潮时刻后或低潮时刻后靠泊，目标泊位的转流节点因地理位置关系存在一定的时差（A至B或E至G）。在此时段内靠泊码头前沿存在不同方向潮流堆积形成的“涨落流分界线（切变线）”，靠泊操纵方案更为复杂。在泊位对开涨落流分界线外延水域顶流驶近，选择合适的横距适时抛内舷侧锚，保持5节及以上锚链带力松出，以锚点为圆心进车施舵掉头，使船体转至涨落流分界线内沿区域呈顶流内张态势缓慢贴靠，如图4所示。

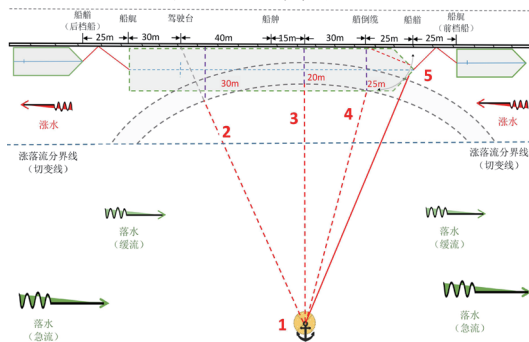


图4 船舶转流时刻近靠操纵示意图

操纵靠泊需注意风流的不确定性。相对于静水港中以恒定的入泊角度近靠，在有流港中随着近靠过程的逐步推进，潮流发生着一定的变化，并且贴近码头的离岸流和码头对开的沿岸流也往往存在差异。同时还要考虑横风对近靠速度的影响。一般认为受6级风力的持续作用，可产生约

1kn的横向作用力。当风速超过12m/s，切不可盲目操纵靠泊。利用雷达矢量线的变化趋势，结合当前载态下的受风面积，评估船体和甲板货物堆积所致不同部位受风流叠加合力的转船力矩，是自力靠泊能否顺利实施的关键因素。

3 雷达量化控制实例解析

通过观察雷达上显示的运动轨迹矢量线，将实际运动速度艏向分量和横向分量的大小和方向变化进行直观把控^[4]，如表3所示。

表3 雷达速度显示量化控制参数

项目	量化控制值	备注
船艏向 (HDG)	电罗经航向	船艏方向
艏向速度 (SPD)		SOG 艏向分量
横向速度 (SB)	$\leq 0.7\text{kn}$	SOG 横向分量 (向右数值为正, 向左数值为负)
航迹向 (COG)	船体运动轨迹	对地航向
航迹速度 (SOG)	船体合速度	对地速度

当急流和/或吹拢风时，内张角度应稍小，以降低入泊速度并减小拢岸力；当缓流和/或吹开风时，内张角度宜稍大，以增加流压横向力，减少风致漂移，保证有一定的入泊速度。雷达观测量化控制操纵实践如图5（大角度近靠）和图6（小角度近靠）所示。

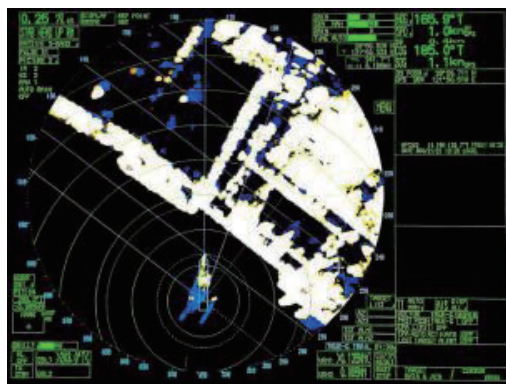


图5 雷达观测量化控制应用（大角度近靠）

通过使用2组活动距标圈进行雷达量化控制，特别是对大角度近靠起着重要的参考作用。“A轮”驾驶台距船艏111.23m。以该值作为参考，如上文所述，在涨末或落末时段，需增大船艏的内张角度增大拢岸力，以到达所需的横向靠拢速度，甚至与码头几乎接近垂直近靠。在此情境中本船与泊位横距偏大，但纵距偏小，为此纵向速度把控至关重要。活动距标圈的设置值可直观地标识出船艏拢岸距离，为控速和用车时机提供重

要的参考依据。通过雷达标绘的量化控制,以 1 号活动距标圈标示和码头边沿雷达回波相切确定横距,推断落锚点的最佳位置区间;通过 2 号活动距标圈标示,确保不与码头边沿雷达回波相切,即表明即使船艏正对泊位,也不致发生触碰。

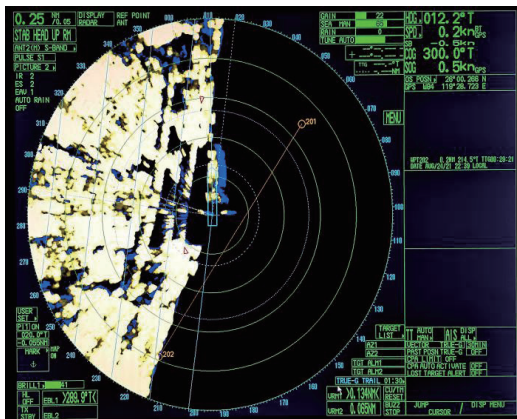


图 6 雷达观测量化控制应用 (小角度近靠)

而小角度近靠更多地依赖间隔为 0.055nm (100m) 的平行刻度线组合,以判明横向距离,精确锚点的位置。

4 自力靠泊注意事项

4.1 遵守档位调整“先贴后调”原则

受风流影响,往往贴靠的初始位置需做前后适当的平移调整,应根据码头方的指示利用艏艉缆绳配合松绞平行移动船舶,以期满足码头方的精确船位要求。切记不可在艏艉未完全平行贴靠码头碰垫时做前后平移运动,防止受力不均导致触碰码头。宜“先贴后调”,切不可同时进行甚至颠倒顺序。

4.2 注意利用一切有利安全的手段

实施自力靠泊须制定详细周密的靠泊方案,部署近靠过程中各个环节的应对措施和等效替代方案。密切关注风流影响,对各种局面要有充分的准备,确保靠泊工作安全顺利完成^[5]。

5 小结

船舶自力靠泊关键在于船长充分利用有效的手段,以及全船的通力配合,结合操船技能和良好船艺,利用或克服风流对本船的影响,充分利用一切有利资源,使船舶实现前移、后退、转艏、拢艉、横移等一系列动作,安全地完成自力靠泊。上述方法充分结合本轮“船舶规范”,使用雷达标绘和观测进行量化控制,使抛外档后八字锚自力操纵入泊变得有据可依。该方法也不是一种万能靠泊方法,需根据现场的情况做适当调整。若遭遇恶劣天气,风大流急,艏向控制和速度无法有效把控时,需谨慎采用。

参考文献:

- [1] 程飞. 小型船舶无拖轮协助靠泊操纵 [J]. 珠江水运, 2014, (21): 50-52.
- [2] 林呈辉. 浅谈泉州港港内靠离泊操纵用锚 [J]. 珠江水运, 2014, (16): 46-47.
- [3] 王超敏. 锚在船舶操纵中的作用 [J]. 武汉船舶职业技术学院学报, 2011, 10(04): 26-29.
- [4] 戎超峰. 浅谈雷达在靠泊作业中的运用 [J]. 中国水运, 2019, (04): 71-72.
- [5] 孙琦. 船舶操纵 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2015.

Analysis of Ship Self-force Berthing Operation Based on Quantitative Control of Radar Observation

MU Zhen—di¹, GU Tong², Xie Guo—qiang³

(1. Zhejiang Harbour Group Ningbo Ocean Shipping Co., Ltd., Ningbo 315040, China; 2. Tianjin Maritime Safety Administration, Tianjin 300211, China; 3. Qingdao Ocean Shipping Mariners College, Qingdao 266427, China)

Abstract: To effectively control the ship berthing, reduce judgment error, based on the basis of theoretical research, through the berthing operation practice, combined with the manipulation and variable factors in the process of berthing, through the precise setting of radar plotting parameters, make the berthing operation based on radar observation quantitative control, discuss the relevant problems in the process of berthing, the corresponding solution, grasp the best timing, using the car, rudder, anchor, cable, reasonable control of ship position, into the Angle, berthing speed, with anchor timing, cable sequence key factors, secure ship berthing in the flow port.

Keywords: self-reliance berthing; ship manoeuvring; flow port; radar observation; quantitative control