



基于回归分析的锚泊半径*

陈昌源，戴 冉，黎 泉，吴祖新
(大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026)

摘要：锚泊半径对于船舶锚泊安全具有重要意义，它不仅是判断船舶是否走锚的数据保障，也是 GPS 接收机值锚更警（ANC）的重要依据。通过研究锚泊半径的相关规范，总结前人对锚泊半径的计算公式，利用 SPSS 软件对实测数据进行回归分析并比较实测数据的曲线与利用算法所得数值曲线之间的关系，从而分析各类算法的适用条件，并得到新的锚泊半径计算公式，为航海实践提供理论依据，保证船舶锚泊安全。

关键词：锚泊半径；SPSS；回归分析；锚更警；锚泊安全

中图分类号：U 675.92 **文献标志码：**A **文章编号：**1002-4972(2015)10-0009-04

Anchoring radius based on regression analysis

CHEN Chang-yuan, DAI Ran, LI Quan, WU Zu-xin
(Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: Anchoring radius is vital to anchoring safety in that it is not only an important datum for judging whether the vessel is dragging or not, but also an important basis for setting reasonable GPS receiver ANC alarm. Previous work on anchor radius calculation formula is summarized according to related specification of anchor radius. The regression analysis of measured data is analyzed by software SPSS, and the relationship between regression curves of measured data and the values derived from previous formula is analyzed. The application circumstances are discussed and new formula for anchor radius calculation is drawn. The work provides a theoretical basis for navigation practice and ensure the safety of anchoring.

Keywords: anchor radius; SPSS; regression analysis; ANC; safety of anchoring

近年来，随着船舶朝着大型化发展，锚泊船数量增多，锚地水域受限，锚泊事故频发，准确计算锚泊半径可以为合理利用锚地资源提供数据支持、为 GPS 接收机判断船舶走锚和值锚更警提供数据来源。目前，国内外锚泊半径计算公式大多是一些经验或理论计算公式，无法准确计算锚泊半径。本文综合运用回归分析方法，借助 SPSS 数据分析软件，根据实际数据推导出准确的锚泊半径，并运用实船数据进行验证，结果表明回归分析的锚泊半径具有一定的参考价值。

1 锚泊半径的相关规范要求

通常情况下，远洋船舶的主要锚泊方式是单锚泊，由于受周围自然环境的影响，锚泊船在锚泊过程中以抛锚点为圆心进行转动，因此考虑到风浪影响的情况下，锚泊船占用的水域是一个圆形的几何区域，圆形区域的半径即为锚泊半径。

通过研究大量锚泊船占用水域情况，国内外相关规范给出了锚泊半径的计算公式^[1]，见表 1。

收稿日期：2015-03-12

*基金项目：中央高校基本科研业务费专项资金资助项目（3132015016/3132015017）；山东海事局海事调查专家技术服务项目（80815007-92）；东港市獐岛码头工程通航安全评估项目（80815040-92）

作者简介：陈昌源（1989—），男，硕士研究生，从事交通信息工程及控制方向研究。

表 1 锚泊半径的相关规范

标准	条件	锚泊条件	锚泊半径 R
我国标准		风力 ≤ 7 级	$L + 3H + 90$
		风力 > 7 级	$L + 4H + 145$
日本、 英国标准	离岸候船 或装卸货物	锚抓条件好	$L + 6H$
		锚抓条件不好	$L + 6H + 30$
	暴风雨锚泊	风速 20 m/s	$L + 3H + 90$
		风速 30 m/s	$L + 4H + 145$

注: R 为单锚泊水域系泊半径 (m); L 为设计船长 (m); H 为锚地水深 (m)。

本文以船长 150 m 的船舶为例, 计算不同水深不同风速条件下, 国内外规范的锚泊半径。综合分析表 1 和图 1 可知, 在相同锚泊条件下, 我国计算的锚泊半径值要比国外大, 我国的单锚泊系泊半径标准相对保守^[2], 和国际标准中暴风雨时船舶的锚泊半径一致。因此在实践中确定一个准确的锚泊半径非常有意义。

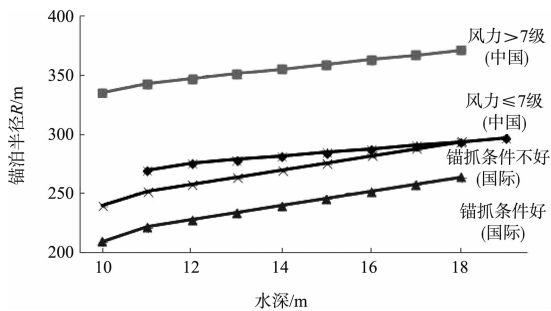


图 1 国内外锚泊半径计算公式比较

2 锚泊半径的公式算法

当船舶在锚地锚泊时, 最难确定的就是锚泊半径, 如果在抛锚之前值班驾驶员能够得到准确的锚泊半径, 那么船舶不仅能拥有一个安全锚泊水域, 而且很大程度上提高了锚地的利用率。目前计算锚泊半径的算法有很多种, 通过对国内外研究成果的分类汇总, 笔者选取了如下几种锚泊半径的计算方法进行分析比较(图 2), 从而更进一步推算出准确的锚泊半径。

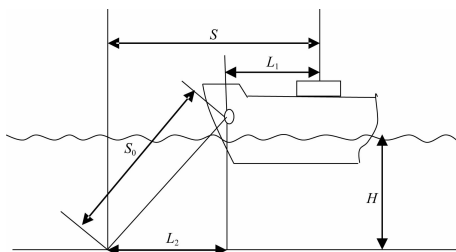


图 2 锚泊半径的计算示意图

2.1 考虑 GPS 定位精度的锚泊半径计算公式 R_a ^[3]

当船舶处于正常锚泊状态时, 悬链具有一定的弧度, 且有一段卧底链长^[4]。然而当船舶处于走锚临界状态时, 锚链将处于绷紧状态, 也就是说悬链基本没有弧度而成为一条直线, 由此可得, 船舶即将走锚时的出链长度在海底的投影距离为:

$$L_2 = \sqrt{S_0^2 - H^2} \quad (1)$$

其中: L_2 为锚链在海底水平投影长度 (m); S_0 为出链长度 (m); H 为锚链孔到海底的距离 (m)。

修正到锚链孔的安全警戒半径为 S :

$$S = L_1 + L_2 = \sqrt{S_0^2 - H^2} + L_1 \quad (2)$$

式中: L_1 为锚链孔到 GPS 天线的距离 (m)。

考虑到 GPS 在定位时存在精度误差^[5], 因此锚泊半径为:

$$R_a = S + \delta \cdot HDOP = \sqrt{S_0^2 - H^2} + L_1 + \delta \cdot HDOP \quad (3)$$

式中: δ 为 GPS 接收机等效测距误差; $HDOP$ 为 GPS 水平精度几何因子。

2.2 锚位修正到船位的锚泊半径计算公式 R_b ^[6]

抛锚时, 锚的位置位于锚链口的正下方, 在船舶没有发生位移的情况下, 锚位位于以船位为圆心、以 GPS 天线到锚链孔的距离为半径的圆上, 两者相距 L_1 (m)。在风浪流的作用下, 船舶将会绕着锚位点做旋回运动, 旋回半径为 S (m)。可知, 将锚位修正到船位后的半径为 R_b , GPS 天线到锚位点水平距离为:

$$S = L_1 + L_2 = \sqrt{S_0^2 - H^2} + L_1 \quad (4)$$

锚位修正到船位的锚泊半径为:

$$R_b = S + L_1 = \sqrt{S_0^2 - H^2} + 2L_1 \quad (5)$$

2.3 锚泊半径计算经验公式 R_c

根据经验公式, 船舶的出链长度 S_0 可由下式估算得到^[7]:

$$\begin{cases} \text{当风速为 20 m/s 时, } S_0 = 3H + 90 \\ \text{当风速为 30 m/s 时, } S_0 = 4H + 145 \end{cases} \quad (6)$$

假设锚位点的水深为 30 m, 由 $S_0 = 4H + 145$ m $\approx 9H$, 把 S_0 代入式(4), 得:

$$S = L_1 + L_2 = \sqrt{S_0^2 - H^2} + L_1 \approx S_0 + L_1 \quad (7)$$

在航海实践中, 如果水深不太深, 出链长度足够长的情况下, 锚泊船占用水域为以锚位点为圆心, 以 $S + L_1$ 为半径的圆形区域。锚泊半径可以根据经验公式估算得到:

$$R_c = S + L_1 = S_0 + 2L_1 \tag{8}$$

换句话说, 锚泊半径为出链长度 S_0 加上 2 倍锚链口到驾驶台的距离 L_1 。

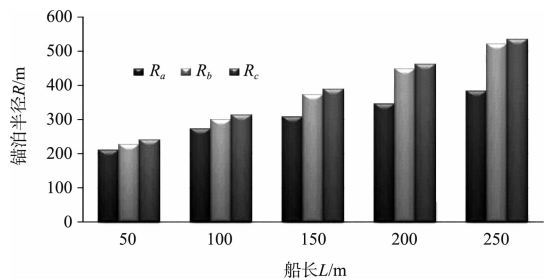


图 3 3 种锚泊半径理论计算公式比较

如图 3 所示, 对相同锚泊条件下 3 种锚泊半径理论计算公式进行了定量比较和定性分析。通过公式说明和实测数据计算得知: 1) 公式计算 R_a 考虑到 GPS 定位精度但未将锚位修正到船位, 计算的数值较 R_b 、 R_c 相对较小; 2) R_b 虽然将锚位修正到了船位, 但未考虑到 GPS 接收机的定位精度, 在计算锚泊半径时还是存在一定误差; 3) R_c 是一种经验计算公式, 只有在水深不太深、出链长度足够长的情况下适用, 所以计算出来的结果偏大。综上所述, 3 种锚泊半径理论计算公式适用的条件和计算的精度都存在一定的差别, 对准确计算锚泊半径产生一定的影响。

3 实测数据回归分析及其与公式算法的比较

3.1 实测数据回归分析

为了探究船舶在锚泊时实际的锚泊半径的变化规律, 笔者在浙江海事局辖区内利用 VTS、AIS 等数据采集设备, 完成了相关数据的采集, 从而对船舶的锚泊半径进行研究。

在数据采集阶段, 主要利用交管中心的 AIS 自动识别系统完成数据采集。在分析 AIS 信息解码技术的基础上, 从 AIS 解码数据中获取船舶相关的信息, 找出处于锚泊状态的 AIS 数据, 生成锚泊船舶数据库, 并挑选出反映锚泊状态的数据

进行锚泊半径的分析。通过在浙江海事局辖区内长期的观测, 收集到了 312 艘锚泊船的实时锚泊半径数据。

对收集到的数据进行整理, 利用 SPSS 软件回归分析, 采用图表和比较分析法对数据进行描述, 在剔除粗差的基础上, 得到相同锚泊条件下锚泊半径和船长之间的线性拟合度为 $R_N = 0.904\ 8$, 反映出锚泊半径和船长具有较好的相关性。将锚泊半径和船长数据进行回归分析, 得到的回归方程为^[8]:

$$\begin{cases} \text{风力} > 7 \text{ 级时, } R_d = 1.249L + 146.1 \text{ m} \\ \text{风力} \leq 7 \text{ 级时, } R_e = 1.166L + 93.2 \text{ m} \end{cases} \tag{9}$$

式中: R 为锚泊半径 (m); L 为船长 (m)。

由于危险品船和化学品船具有一定的危险性, 因此危险品船和化学品船应适当增加锚泊半径。相关研究表明, 危险品船和油轮的锚泊半径应增加至普通船舶锚泊半径的 1.07 倍。

3.2 回归方程和公式算法比较分析

为了方便计算和回归, 假设锚泊船型相同, 讨论在相同的水深条件下锚泊船单船回转半径 R 与船长之间的关系及对多种公式算法进行比较分析。

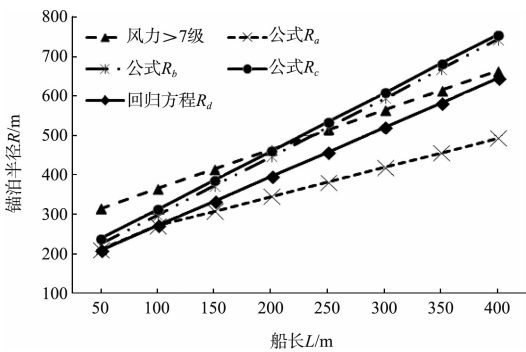


图 4 风力 > 7 级回归方程与公式算法及规范比较分析

如图 4 所示, 风力 > 7 级条件下:

- 1) 当船长小于 100 m 时, 回归方程 R_d 曲线与 R_a 曲线接近, 但实测数据比理论计算值略小, 在考虑安全的前提下, 建议选用公式 R_a 。
- 2) 在船长介于 100 ~ 300 m 时, 回归方程 R_d 曲线介于中国规范 (简称规范) 中风力 > 7 级的曲线与公式 R_a 曲线之间; 由于船舶处于恶劣天气

条件下,考虑船长 100 ~ 300 m 船舶操纵性较好及 GPS 接收机的定位精度问题,故选用回归方程 R_d 。

3) 在船长介于 300 ~ 400 m 时,回归方程 R_d 曲线逐渐趋近于规范中的风力 > 7 级曲线,考虑到 300 ~ 400 m 超大型船舶在走锚时的操作性比较差,故此时将规范中的风力 > 7 级的公式作为锚泊半径的计算公式为好,从而提高了超大型船舶的安全性,防止走锚事故的发生。

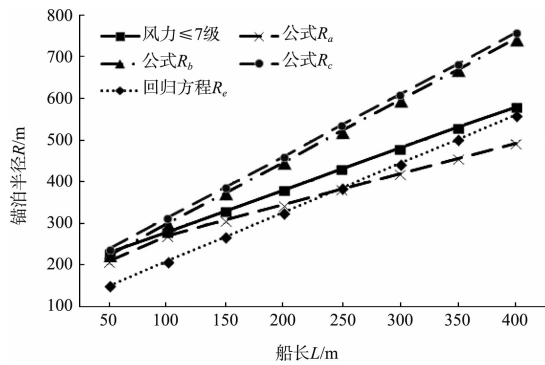


图 5 风力 ≤ 7 级回归方程与公式算法及规范比较分析

如图 5 所示,风力 ≤ 7 级条件下:

1) 当船长小于 250 m 时,回归方程 R_e 计算值相对其他公式计算值较小,并逐渐趋近于 R_a 曲线,为了防止船舶发生误报警,建议使用公式 R_a 。

2) 当船长在 250 ~ 400 m 时,回归方程 R_e 曲线位于规范中风力 ≤ 7 级曲线与公式 R_a 曲线之间,并逐渐趋近于前者,综合考虑超大型船舶的操纵性及良好天气条件等因素,建议选用回归方程 R_e 。

由图 4、5 可知: 1) 锚泊半径计算公式 R_b 和 R_c 曲线在船长为 0 ~ 400 m 范围,基本呈平行趋势,究其原因在于锚泊半径计算时,当水深比较深时, R_b 考虑到水深 H 对锚泊的半径的影响;当水深比较浅时,根据经验公式, R_c 将出链长度作为出链长度在海底投影。2) R_b 和 R_c 曲线与回归方程 R_d 和 R_e 相差较大,分析数据和计算公式可知,公式 R_b 在锚位修正时,增加了 GPS 天线到锚链孔的距离,而 R_c 是根据经验公式估算得到的,它是一种近似计算,在选择锚泊半径计算公式时,充分考虑其他因素的情况下,可以使用上述公式。

为了方便驾驶员使用最佳公式计算锚泊半径,在充分考虑规范要求 and 自然环境条件的情况下,

列出了各种情况下推荐使用的公式,见表 2。

表 2 回归方程和公式算法最优选取方案

公式名称	风力 ≤ 7 级		风力 > 7 级		
	0 ~ 250 m	250 ~ 400 m	0 ~ 100 m	100 ~ 300 m	300 ~ 400 m
$L + 3H + 90$					
$L + 4H + 145$					√
R_a	√		√		
R_b					
R_c					
R_d				√	
R_e		√			

4 “育鲲”轮实例验证回归方程

为了验证回归方程的可行性,以“育鲲”轮船舶资料为依托,进行锚泊半径的计算。

“育鲲”轮部分船舶资料为: GPS 天线到锚链孔的距离 $L_1 = 30$ m, 船长 $L = 116$ m, 艏吃水 $D_f = 5.05$ m, GPS 天线到船艏的距离 $L_w = 83.5$ m, GPS 测距误差 $\delta = 8.6$ m, 富裕水深 $H_f = 6.3$ m, 锚链孔到水面距离 $H_0 = 3.5$ m, $HDOP = 4$ m, 抛锚节数 $n = 6$ 节。

良好天气(风力 < 7 级)下,“育鲲”轮船长介于 0 ~ 250 m, 锚泊半径计算公式选用 R_a , 由上文所述 $R_a = S + \delta \cdot HDOP = \sqrt{S_0^2 - H^2} + L_1 + \delta \cdot HDOP \approx 0.124$ n mile, $R_e = 1.166L + 93.2$ m ≈ 0.123 n mile。

通过实船模拟,得出船舶锚泊半径和利用最优方案计算的结果基本一致,两者浮动百分率为 0.8%,可见回归方程具有很大的参考价值。根据实测数据,利用回归方程 R_e 计算得知,“育鲲”轮的实际锚更警(ANC)设置为 0.13 n mile 最佳。

5 结论

本文从规范中锚泊半径计算入手,综合比较分析锚泊半径的理论计算公式,运用 SPSS 软件,利用回归分析方法对锚泊半径统计资料进行回归,通过定性和定量的分析得到最优锚泊半径计算公式。由于本文的锚泊半径统计数据资料有限,还不能涵盖船型因素对锚泊半径的影响,为了方便分析,本文采用相同船型下的锚泊半径进行比较,取得理想的效果。

(下转第 26 页)