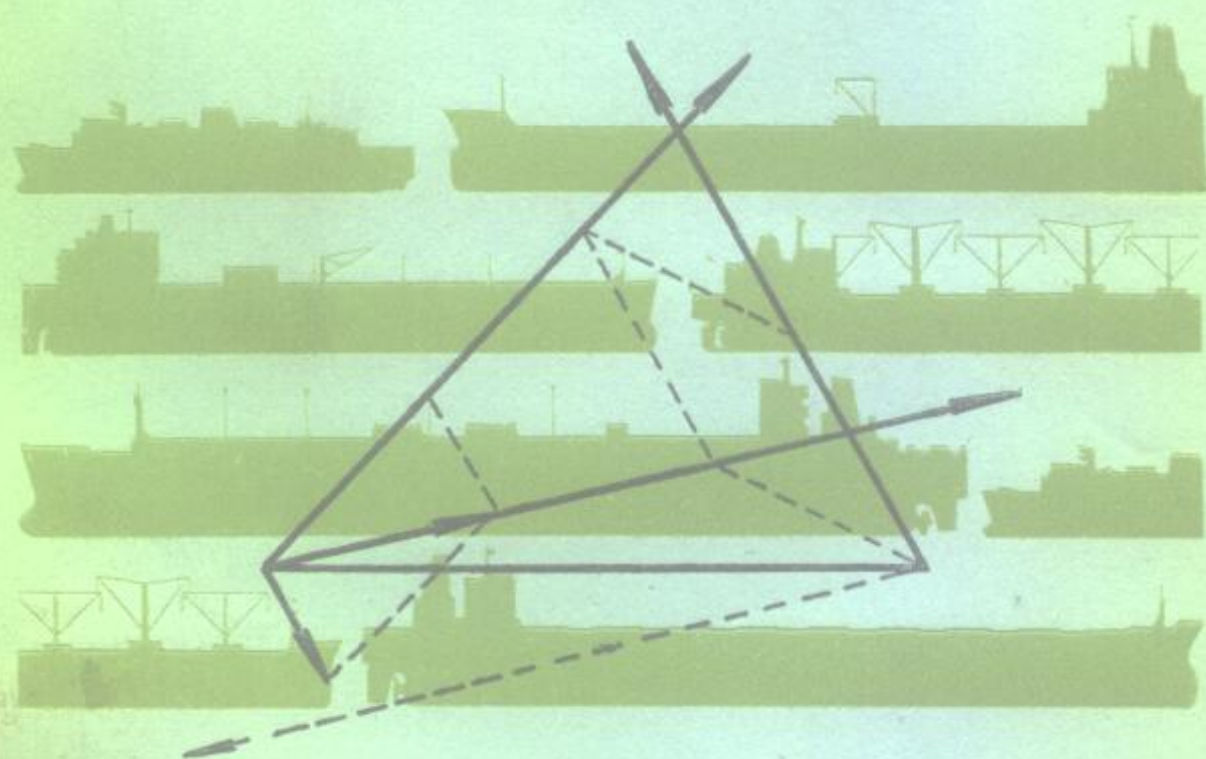


航海业务知识丛书

(船舶操纵部分)

船舶相对运动

夏一麟 编



人民交通出版社

187859

航海业务知识丛书
(船舶操纵部分)

船舶相对运动

Chuanbo xiangdui yundong

夏一麟 编

人民交通出版社

1984年·北京

内 容 提 要

本书主要介绍海上船舶间的相对运动基本原理与绘图方法，并结合船舶海上救助、补给、避离台风以及雷达避碰中的实际应用作了简明通俗的叙述。原理与实例相呼应，对海上船舶驾驶人员提高基础航海业务知识有一定参考价值。

DW37/27

航海业务知识丛书

(船舶操纵部分)

船舶相对运动

夏 一 麟 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：1 插页：8 字数：20千

1984年2月 第1版

1984年2月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,200册

定价：0.21 元

前 言

随着交通运输事业的发展，迫切需要有一支与其相适应的、具有一定科学文化水平的职工队伍。搞好全员培训，加强职工技术教育，实为当务之急。当前矛盾是：学习不能都进学校，在职自学又缺少合适的书籍。因此中国航海学会为普及和提高广大海员的航海科学技术水平，以适应航海事业现代化的需要，特倡议组织编写航海知识丛书。中国航海学会编辑委员会与人民交通出版社于1980年在上海组成了航海知识丛书编审委员会，由陈有义、印文甫分别担任正副主任，王世忠、赵国维任秘书。编审委员会开展工作以来，已组织了企事业、学校等专业人员在业余时间分别进行编写，丛书将先后出版，陆续与读者见面。

航海知识丛书根据专业性质分为《航海业务知识丛书》和《轮机业务知识丛书》两套丛书。为了方便海员学习，力求结合实际，通俗易懂，并以小册子形式分专题出版。希望这两套丛书能不断为海员们业务技术学习作出贡献，同时也希望广大海员和航运单位大家共同来支持它和扶植它，使这两套丛书在不断更新中成为广大海员所喜爱的读物。

《航海知识丛书》编审委员会

目 录

一、真运动与相对运动.....	1
二、两船直航向相对运动绘算原理.....	3
三、相对运动线的求得.....	4
四、在相对运动线上能解决的几个问题.....	6
五、与目标船接近到相遇.....	10
六、到达相对于目标船的新位置点.....	14
七、保持与他船在指定距离外驶过.....	16
八、最短时间接近到预定距离.....	18
九、在雷达绘算纸上应用相对运动原理作图.....	22

在海上两个运动着的物标之间的位置（方位、距离或舷角）任何时刻都是不断地发生着变化的。“相对运动”就是要研究这个变化规律，通过必要的绘算，去解决航海上的一些具体问题，如援救遇难船舶，避开台风以及船舶避让等。

一、真运动与相对运动

所谓物体的运动和静止都是相对于参照物来说的。如果一个物体相对于参照物有位置的变化，我们说它在运动；如果不发生位置变化，我们就说它是静止的。

对于同一个物体，如果所选择的参照物不同，所观察到同一物体的运动状态，速度的大小和方向是不相同的。如以不动的地面物标作为参照物看地面上运动物体的位置变化叫真运动。以运动着的物标作为参照物，看其他物体的位置变化叫相对运动。

如图 1，以地面上不动物标 P 为参照物，看 M 船的运动情况是： M 以 V_M 速度向 000° 方向运动，以 P 为参照物看到 M 的运动是真运动。

如图 2，观测者以船为参照物，船在运动但测者不感到自己在运动，测者看到地面不动物标 P 以 V_M 速度向 180° 方向运动即 P 以 $-V_M$ 运动。所以测者看到的是 P 在对 M 作相对运动。

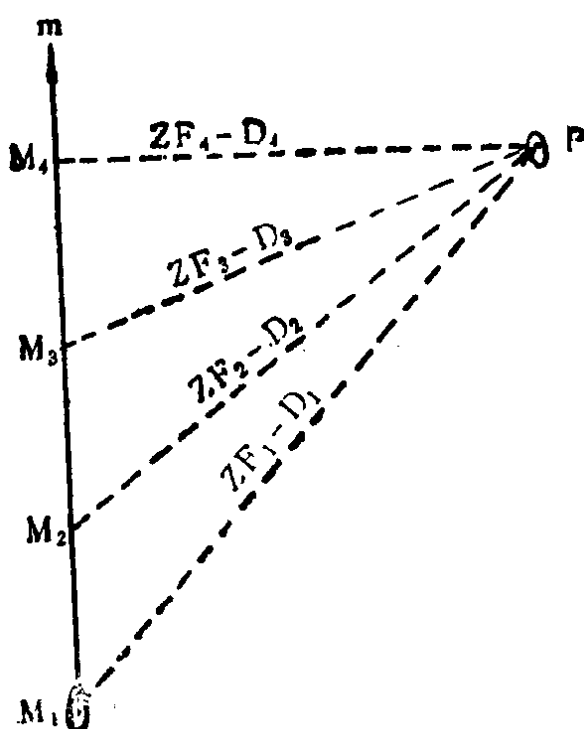


图 1

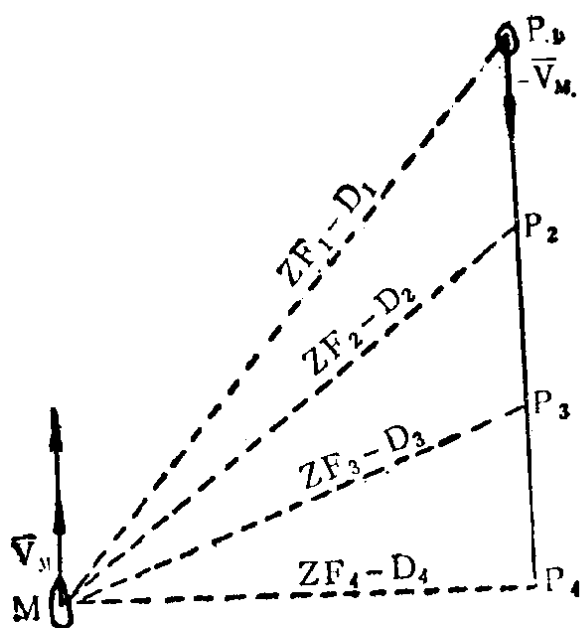


图 2

二、两船直航向相对运动绘算原理

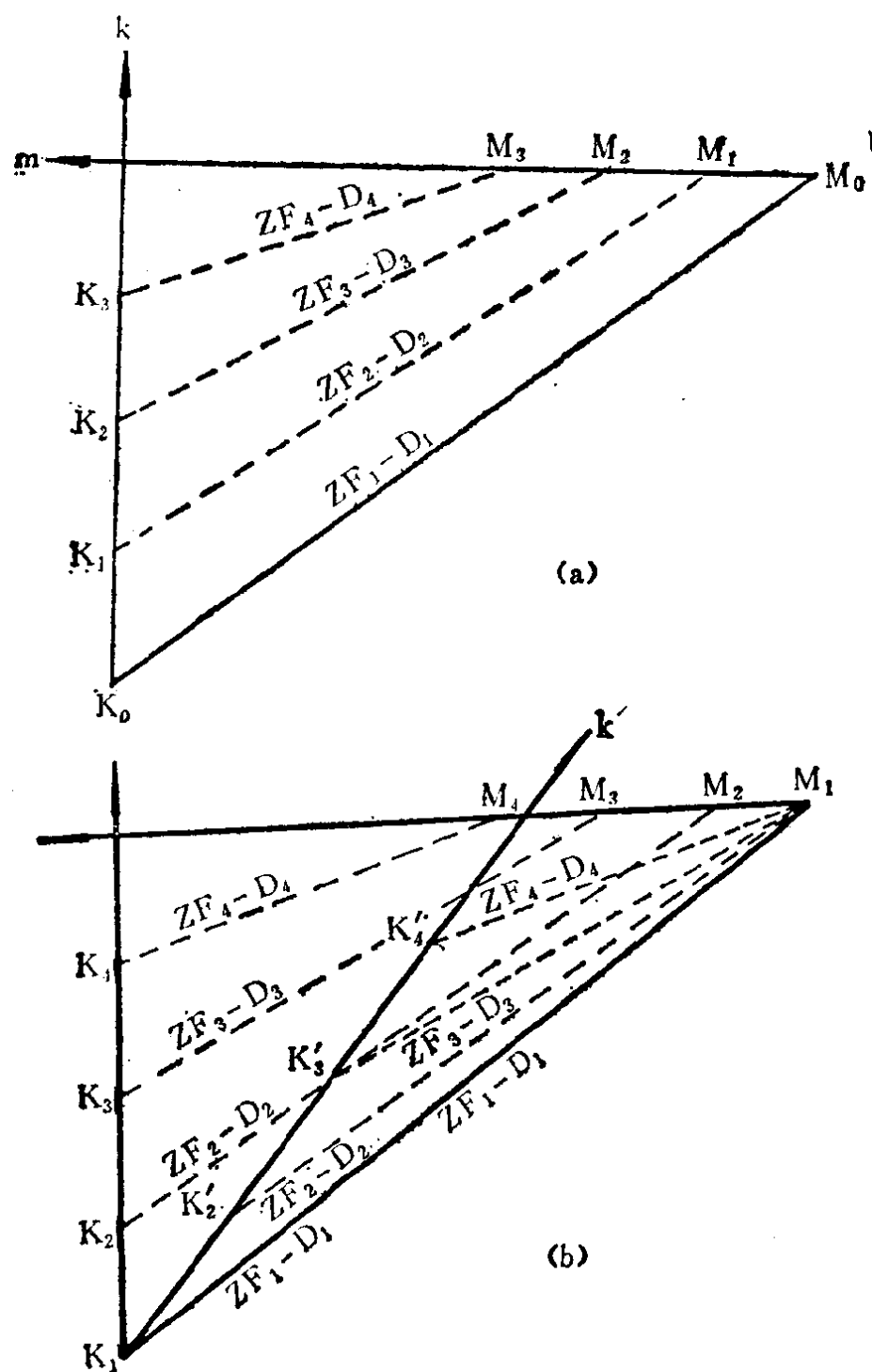


图 3

如两个物标都在运动，若要准确地绘算两物标间位置的变化，就要利用相对运动的法则。将两船中的一船当作不动，求另一船的相对运动的轨迹，即求另一船对这假设为不动的船的相对航向线和相对运动速度，然后根据单方运动的情况来解决相对位置的变化问题。

图 3 (a) 中 M 与 K 两方都在作等速度的直航向运动，如每隔 10 分钟 M 视 K 的方位和距离为 $ZF_1-D_1, ZF_2-D_2, ZF_3-D_3, ZF_4-D_4, \dots$ ，就可绘出双方的实际位置变化情况。

M 船上的人，不感到自己的船在动，从 M 船上每 10 分钟所测得的方位和距离，即可得出在不同时间 K 的相对于 M 的位置为 K_1, K'_2, K'_3, K'_4 各点如图 3 (b) 所示，连接 K_1, K'_2, K'_3, K'_4 各点，即可得出 K 对 M 的相对航向线。 $\overline{K_1 K'_3}$ 即 30 分钟内 K 对 M 的相对位移（也叫相对航程）。所以两船之间相对位置的相互关系和两船之间的实际位置的相互关系是完全一致的。也就是相对运动线 Kk' ，它反映了 K 对 M 作相对运动的情况，即 M 看 K 运动过程中相互位置变化情况。

因为从相对航向线上可以看出双方运动发展的情况，所以只要求出相对运动航向和相对速度就可以依照单方运动的情况来解决运动过程中相互位置关系（方位和距离）的变化问题。但应说明， M 看 K 在相对运动线上的运动方向和速度不同于 K 的实际运动方向和速度的。切勿混淆。

三、相对运动线的求得

1. 为了便于说明，将有关使用符号规定如表 1。

2. 速度三角形作法

上面讲了相对运动线的意义，这里要讲相对运动线怎样

表 1

	代 号	速 度	航 向	航 程	舷 角
我 船	M	V_M	ZH_M	S_M	q_M
他 船	K	V_K	ZH_K	S_K	q_K
相 对		V_ρ	ZH_ρ	S_ρ	q_ρ

通过作速度三角形而求得。

在图 4 中, 设 M 与 K 是两条各以速度 V_M 和 V_K , 按航向

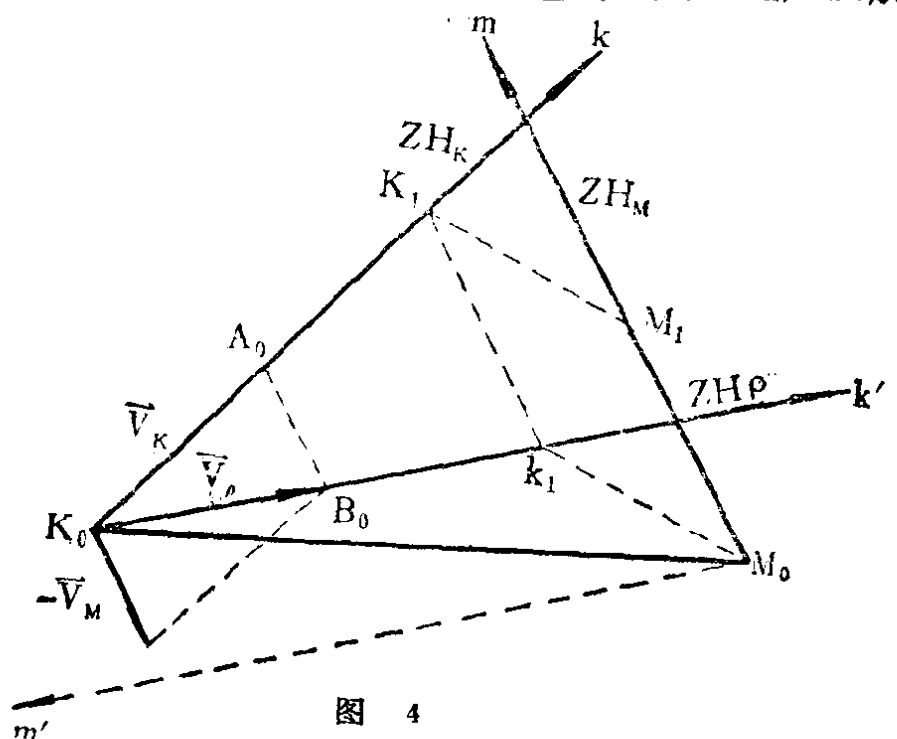


图 4

ZH_M 和 ZH_K 运动着的船舶。如果 $V_K = 0$, 则 M 看 K 是以 $-\vec{V}_M$ 运动的 ($\vec{V}_M$ 表示速度矢量, 它包含大小和方向。 $-\vec{V}_M$, 表示与 $\vec{V}_M$ 大小相等而方向相反) 而现在 K 船也在运动, 其速度 V_K , 则 M 看 K 是按 $\vec{V}_K$ 与 $-\vec{V}_M$ 的合成矢量即 $\vec{V}_\rho$ 而运动。故

$$\vec{V}_\rho = \vec{V}_K + (-\vec{V}_M)$$

或者写成:

$$\vec{V}_K = \vec{V}_M + \vec{V}_\rho$$

图中速度三角形 $K_0A_0B_0$ 作出后, 得出了 $\vec{V}_\rho$, $\overline{K_0k'}$ 就是 K 船对 M 船的相对运动线。也就是 K 以相对速度 $\vec{V}_\rho$ 对 M 船

在相对航向线上作相对运动。或者说 M 看 K 在运动过程中之方位、距离的变化过程与 K 在相对运动线上以 V_p 速度按相对航向 ZH_p 运动的过程一样。

M 看 K 在 t_1 时刻处于相对位置 k_1 点, 而 K 船的实际位置是在 K_1 点。因为 $\triangle K_0 A_0 B_0$ 与 $\triangle K_0 k_1 K_1$ 是相似三角形, 故 $\overline{K_0 k_1}$ 表示相对航程, 则 $\overline{K_0 K_1}$ 表示 K 船的实际航程, 而 $\overline{K_1 k_1}$ 表示 M 船的实际航程所以我们称 $\triangle K_0 K_1 k_1$ 为航程三角形。而把新的相对位置点与原始位置点构成的 $\triangle M_0 k_1 K_0$ 称为相对位置三角形。从这相对位置三角形可以看出某时刻的相对位置关系。因此在两船直航向相对运动的各种作图、计算问题中都与速度三角形、相对位置三角形和航程三角形有密切关系。

图中是 M 看 K 的运动, 相对运动线是 $\overline{K_0 k'}$, 如果改为 K 看 M 的运动, 相对运动线将是 $\overline{M_0 m'}$, 而 $\overline{M_0 m'} \parallel \overline{K_0 k'}$ 。由此可以看出:

(1) 如求 M 对 K 作相对运动 (即 K 看 M 运动) 的相对运动线时, 速度三角形应在 M_0 点作。

(2) 如求 K 对 M 作相对运动 (即 M 看 K 运动) 的相对运动线时, 速度三角形应在 K_0 点作。

(3) 如已作出 K 对 M 的相对运动线, 若要改为 M 对 K 的相对运动线时, 只要在 M_0 点画前一相对运动线的反向平行线即可。相对速度的大小不变但方向相反。

四、在相对运动线上能 解决的几个问题

已知两运动船的航向、航速及原始位置, 求:

1. 两船距离、方位（或舷角）变化到指定值的时刻；
2. 运动 t 分钟以后，两船间的距离、方位。

现举例来说明以上问题的作图求解法：

0800, M 船视 K 船方位 090° , 距离 12 海里, $ZH_M = 030^\circ$,
 $V_M = 18$ 节, $ZH_K = 000^\circ$, $V_K = 12$ 节。

- 求：（1） M 对 K 的相对运动线和相对速度；
 （2）两船相距 9 海里的时刻及双方实际位置。两船相距最近的时刻，最近距多少海里？
 （3） M 船过 K 船前的时刻；
 （4） K 船在 M 船正横的时刻；
 （5）0829 M 视 K 的方位、距离。

解：如图 5 所示（比例尺：距离 2 : 1，速度 3 : 1）。

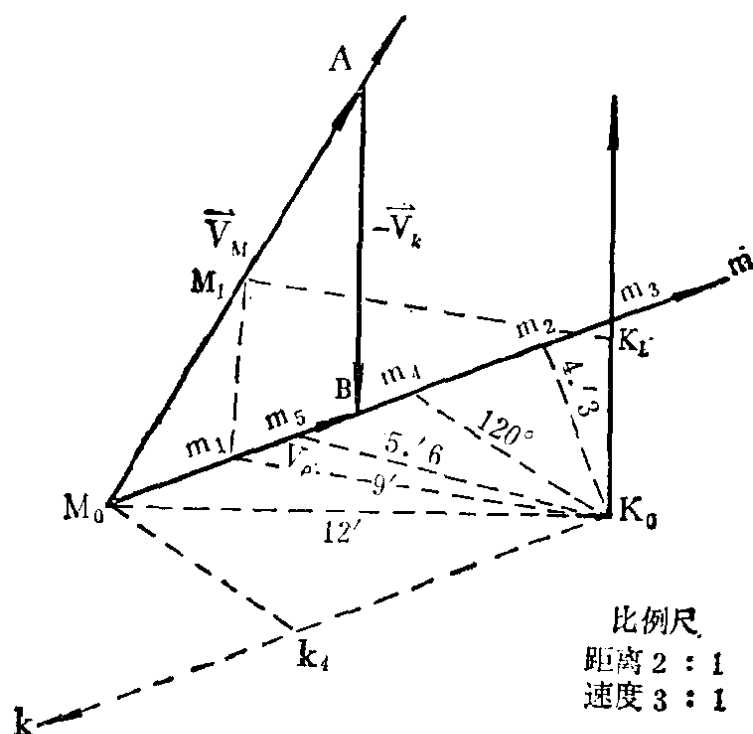


图 5

标出两船最初的位置 M_0 、 K_0 ，在 M_0 点画出 $ZH_M = 030^\circ$ ，

在 K_0 点作 $ZH_K = 000^\circ$ 。

(1) 设 K 船不动, 求 M 对 K 的相对航向线和相对速度。
在 M_0 作速度三角形得 $\triangle M_0AB$, $M_0A = 18$ 节 $AB = V_K = 12$ 节, 量得 $M_0B = V_\rho = 9.8$ 节, $ZH_\rho = 068^\circ$, M_0m 即为 M 对 K 的相对运动线。

求得 M 对 K 的相对运动线后, 可按单方运动的情况即 M 以 $V_\rho = 9.8$ 节, 沿 $ZH_\rho = 068^\circ$ 对 K 作相对运动的情况来求解问题。

(2) 求两船相距 9 海里的时刻及双方实际位置

以 K_0 为圆心, 9 海里为半径画弧交 M_0m 于 m_1 点, m_1 点即为两船相距为 9 海里时的相对位置点。

量取 $M_0m_1 = S_\rho = 3.4$ 海里, 则运动所需时间为:

$$t_1 = \frac{S_\rho}{V_\rho} = \frac{3.4}{9.8} = 21 \text{分}$$

因而两船相距 9 海里的时刻 $T_1 = 0800 + 0021 = 0821$ 。

过 m_1 作 ZH_K 的平行线交 ZH_M 于 M_1 , M_1 即两船相距 9 海里时 M 船的实际位置。

过 M_1 作 K_0m_1 的平行线 $\overline{M_1K_1}$ 交 ZH_K 于 K_1 , K_1 即为 K 船的实际位置。或者在 K_0 点截取 $K_0K_1 = M_1m_1 = S_K$ 得 K_1 点, 也可得 K 船的实际位置。

(3) 求两船相距最近的时刻和最近距离

从一定点到一定直线的最近距离是垂直距离。故可以从 K_0 对 M_0m 作垂线交于 m_2 点, m_2 点即两船相距最近时的相对位置点。量得: $K_0m_2 = 4.3$ 海里, 即两船最近时相距 4.3 海里。

量出相对航程 $S_\rho = M_0m_2 = 11.1$ 海里, 则运动所需时间

为 $t_2 = \frac{S_\rho}{V_\rho} = \frac{11.1}{9.8} = 1 \text{ 时 } 08 \text{ 分}$ 。

所以两船相距最近的时刻 $T_2 = 0800 + 0108 = 0908$ 。

(4) 求 M 船过 K 船首的时刻

M 船过 K 船首时的相对位置点是相对运动线和 K 船航向线的交点 m_3 ，则过 K 船首时的相对航程 $S_\rho = M_0 m_3 = 12.9$ 海里，故运动所需时间为：

$$t_3 = \frac{S_\rho}{V_\rho} = \frac{12.9}{9.8} = 1 \text{ 时 } 19 \text{ 分}$$

所以过 K 船首的时刻 $T_3 = 0800 + 0119 = 0919$ 。

(5) 求 K 船在 M 船正横的时刻

K 船在 M 船之正横时， M 视 K 之方位为：

$ZF = ZH_M + Q = 030^\circ + 90^\circ = 120^\circ$ ，也就是 K 视 M 之方位为 $120^\circ + 180^\circ = 300^\circ$ ，故可从 K_0 点作 300° 方位线交 $M_0 m$ 于 m_4 点， m_4 点就是 M 视 K 为正横时的相对位置点。

运动所需时间： $t_4 = \frac{S_\rho}{V_\rho} = \frac{M_0 m_4}{V_\rho} = \frac{7.6}{9.8} = 46 \text{ 分}$

故 K 船在 M 船正横的时刻 $T_4 = 0800 + 0046 = 0846$ 。

在本例中，求 K 在 M 之正横位置之时刻，也可以用作 K 对 M 的相对运动线 $K_0 k$ ，即作 $K_0 k // M_0 m$ ，而后作 $M_0 k_4$ 垂直于 $M_0 A$ ，交 $K_0 k$ 于 k_4 点， k_4 点是 K 对 M 作相对运动时 M 视 K 右正横之相对位置，运动所需时间： $t_4 = \frac{S_\rho}{V_\rho} =$

$$\frac{K_0 k_4}{9.8} = \frac{7.6}{9.8} = 46 \text{ 分}$$

结果是一样的。

(6) 求 0829 M 视 K 的方位、距离

运动时间 $t_5 = 0829 - 0800 = 0029$ 。

$$\text{所以 } S_{\rho} = V_{\rho} \cdot t_s = 9.8 \times \frac{29}{60} = 4.8 \text{ 海里}$$

在 M_0m 上量取 $M_0m_5 = S_{\rho} = 4.8$ 海里, 得 m_5 点再量取 $\overline{m_5K_0}$ 的方位、距离为: $ZF = 098^{\circ}$, $D = 5.6$ 海里。

注: 在解题作图时, 距离的比例尺与速度的比例尺可以不同, 如本例题中距离是以 1 厘米代表 2 海里, 速度是以 1 厘米表示 3 节的, 只要注意在求取 V_{ρ} 时要按速度比例尺而量取距离和航程时, 用距离比例尺, 切勿弄错。

五、与目标船接近到相遇

“接近到相遇”是研究已知他船的航向、船速和初始两船的相互位置, 求我船应采取什么航向与他船接近到相遇和计算运动所需时间的问题。

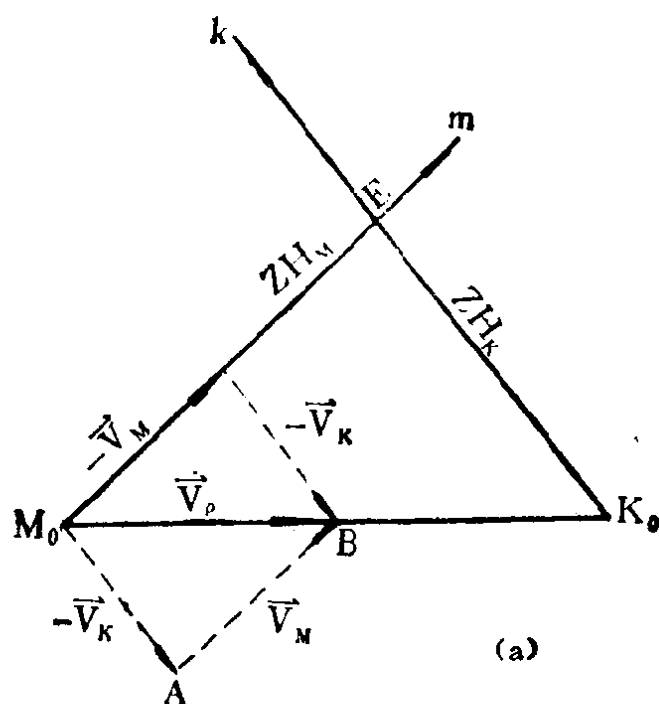
如图6(a)所示, 两船初始位置在 M_0 和 K_0 , 现设 K 船不动, 而 M 船对 K 船作相对运动。若 M 船要与 K 船接近到相遇, 就是要从 K_0 到 M 对 K 的相对运动线的垂直距离等于零。即 M_0 一定要沿 $\overline{M_0K_0}$ 对 K_0 作相对运动, 则 $\overline{M_0K_0}$ 就是相对运动航向线, $\overline{M_0K_0}$ 之长就是相对航程 S_{ρ} 。

作图计算:

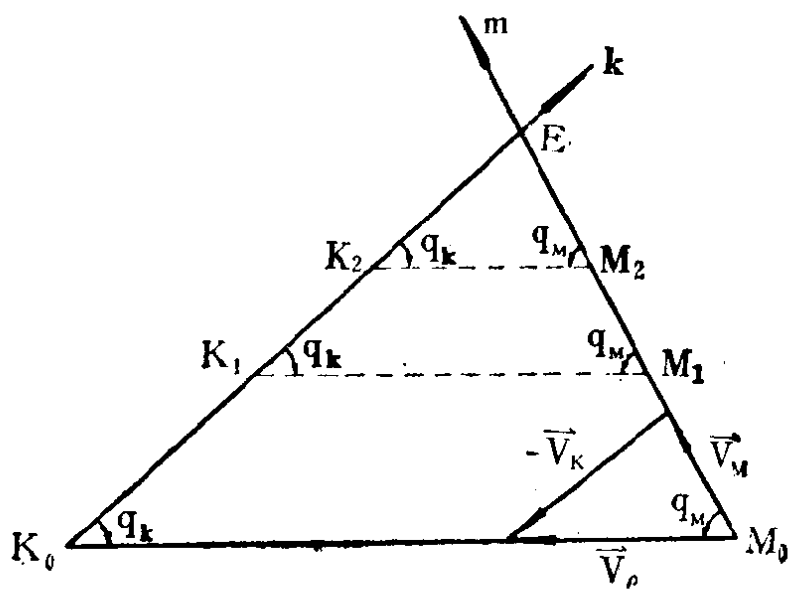
在 M_0 点作速度三角形。从 M_0 画 $-\vec{V}_K$ 矢量 (M_0A) 以 A 点为圆心, 以 V_M 为半径画弧交相对运动线 $\overline{M_0K_0}$ 于 B 点, 连结 $\overline{AB}$ 得速度三角形 M_0AB , 作 $\overline{M_0m} \parallel \overline{AB}$; $\overline{M_0m}$ 的方向即 M 船应驶的航向, 而 $\overline{M_0B}$ 即 M 对 K 运动的相对速度矢量 $\vec{V}_{\rho}$ 。

接近到相遇运动所需时间可按下式计算:

$$t = \frac{S_{\rho}}{V_{\rho}} = \frac{\overline{M_0K_0}}{V_{\rho}}$$



(a)



(b)

图 6

M_0m 与 K_0k 相交于 E 点, E 点即为两船实际相遇点。
 $\triangle M_0K_0E$ 就是航程三角形, 其中 $M_0E = S_M$, $M_0K_0 = S_\rho$,
 $K_0E = S_K$ 。这种情况相对位置三角形已变为直线 $\overline{M_0K_0}$ 。

显然如图 6(b)所示, 在运动过程中, 两船的方位始终保持不变, 而只是距离逐渐缩短, 直至两船相遇。所以在船舶避让运动中把目标方位不变而距离不断缩小作为判断两船将有碰撞危险的特征。

(请读者思考: 如将 M 船当作不动, K 船对 M 船作相对运动时, 应如何作图计算, 相对速度的大小、方向如何?)

讨论:

在 K_0 点作速度三角形时, 以 V_M 为半径画弧有三种情况:

(1) 如以 V_M 为半径画弧与 $\overline{K_0 M_0}$ 正好相切时, 只有一个航向可以与 K 船接近到相遇。此时的舷角 q_K 叫临界舷角 (图 7), 用 Q_K 表示之。故:

$$\sin Q_K = \frac{V_M}{V_K}$$

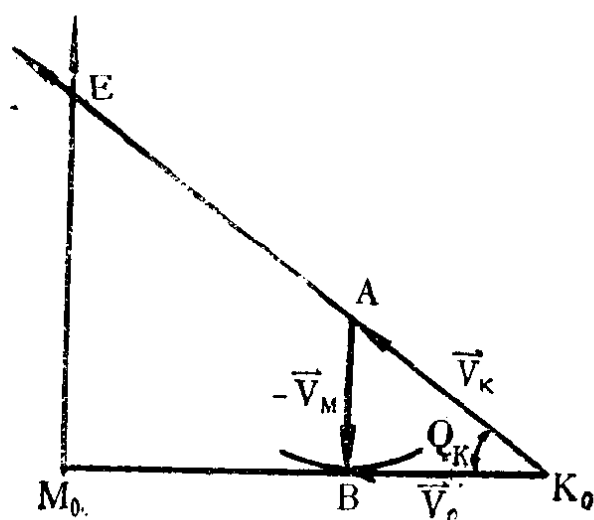


图 7

(2) 如以 V_M 为半径画弧与 $\overline{K_0 M_0}$ 相截得两点时, 则有两个航向可以与 K 船接近到相遇。其中有一个航向是可取的, 因所需运动时间较短。此时 $q_K < Q_K$, 见图 8 所示。