

海军舰船技术手册

(损管—稳性与浮性)



SI—23—94

海军舰船技术手册

(损管—稳性与浮性)

第七〇一研究所
一九九四·九

DL 56/58

中译本前言

本书是我所翻译出版的外军标准资料之二十四。原文系美国海军舰船系统司令部《海军舰船技术手册》(NAVAL SHIPS TECHNICAL MANUAL)第 9881 章“损管——稳性与浮性”(DAMAGE CONTROL STABILITY AND BUOYANCY)

本资料作为美国海军舰船部队对舰员进行有关舰船稳性与浮性基本知识的培训教材,提供了舰船在各种破损情况下如何进行恢复、救助和抢救的各种正确的损管方法,以及如何防止舰船破损的防护措施和预防手段,是我国海军舰艇部队进行损管训练的很好参考资料,对我国舰船研制,生产及管理人员也有一定参考价值。

本资料由叶坚石翻译、李国佩校对、成更海译审,由孙映芳、成更海编辑。

欢迎提出宝贵意见。

第七〇一研究所
一九九四·九

海军舰船系统司令部 0901—881—0002

本文件的出口受特殊控制,只有预先经海军舰船系统司令部批准后,方可提供给外国政府或国家。

海军舰船技术手册 9881 章 损管—稳性和浮性

凡对本手册及其它所有海军舰船系统司令部出版物中的错误和不妥之处,可通过编制维护系统反馈报告提出(海军作战部长办公室表格 4700/7,或通过函寄海军舰船系统司令部,或采用其它方便的手段提出)。

海军舰船系统司令部
华盛顿 D. C. 20360

目 录

前言	
第一部分 抗损	(1)
第二部分 基本原理	(6)
第三部分 浮性与横稳性的基本概念	(13)
第四部分 吃水	(21)
第五部分 倾斜试验	(28)
第六部分 倾斜试验的校核	(31)
第七部分 重物的垂向移动	(38)
第八部分 重物的横向移动	(42)
第九部分 纵倾	(46)
第十部分 增加重物	(50)
第十一部分 自由溢流水	(56)
第十二部分 进水	(63)
第十三部分 横倾	(68)
第十四部分 船体强度	(74)
第十五部分 稳性资料	(78)
第十六部分 破损前防进水的预备性措施	(83)
第十七部分 破损影响	(92)
第十八部分 破损状态分析	(100)
第十九部分 纠正措施	(106)
第二十部分 进水控制	(115)
第二十一部分 搁浅	(124)

第一部分 抗损

9881. 1 海军舰船的抗损特性

设计舰船时所确定的抗损能力应与舰船的其它军用特性综合权衡,应留有储备排水量以允许在详细设计阶段,由于新研制项目和重心高出原估算值而引起的重量增加及重心比估算值高,从而保证建造完工后的舰船仍保持适当的排水量和稳性。在建造期间应努力控制舰船的重量增加,应仔细考虑船上增加的重量高度对舰船稳性的影响。在完工时还需要安排一项倾斜试验来校核排水量和稳性。就最终的救生结果而言,舰船受攻击前,保持其强度、水密完好性、稳性以及保持适当的排水量、适当的液体载荷分布及保持器材和人员准备最佳状态等抗损性能与舰船破损后所采取的损管措施具有同等重要意义。尽管舰船拥有自身固有的抗损能力以及破损前可以采用各种防护措施和预防手段,但破损后舰船的救生仍需依靠及时的和正确的损管方法,为此需对全体舰员进行抗损训练,以应付各种突发事件。

9881. 2 战斗舰船的失事

以下讨论战斗舰船失事的各种方式:

1、进水以下列三种情况之一或其复合的方式导致舰船失事。

a. 平行下沉 进水所增加的重量使舰船平行或近似平行地下沉。

b. 倾覆 进水引起横稳性降低,致使舰船横向侧滚翻沉。

c. 艏或艉进水倾覆 艏或艉进水引起纵稳性降低,致使舰船艏或艉先沉没。

2、因船体骨架破损而导致舰船的失事

舰船由于爆炸、遭受攻击、严重烧伤或受到大幅度的纵向冲击,其主要强力构件出现裂缝或失稳,从而使舰船结构强度降到失效点,引起船体断裂,造成舰船之一端或两端在航行中下沉。破损区域进水通常造成载荷增加,进而使已缩减的船体横截面承受的弯矩增大。弯矩的增大和船体结构横截面减少,两者综合起来会产生足够大的应力,因而使未受损的横截面也失效。

3、在没有其它危害的情况下,只是由于弃船需要,舰船因火势失控而导致失事,虽然通过改进灭火装置、灭火技术及灭火训练已大大减少了舰船在战斗中受到的破坏,但还是需要作出不懈的努力来保证舰船有最大限度的防火条件。

4、丧失推进能力的舰船易成为敌人攻击的牺牲品,在敌人控制的水域舰船丧失活动能力,虽然它还处于正浮状态并且未受到严重损伤,但不得不采取弃船或毁船的措施。

5、弹药库爆炸会造成大面积毁坏的舰船,有时还会造成全船性破坏,如果火焰与导弹攻击、水下爆炸或不正确的转运军火产生引爆而穿透藏有诸如炸药包、弹药筒、炮弹、炸药或深水炸弹等爆炸物品的弹药库,而弹药库的爆炸将产生连锁破损,或造成全船性毁坏。依照爆炸时的位置和强度,造成舰船失事的因素可以是进水或断裂(或两者同时),可以是失控的火灾,可以丧失航行能力或弹药连锁爆炸。

9881. 3 舰船共有的抗损特性

为了能经受住各种形式的攻击，以及即使舰船在受到攻击时也不会失事，设计舰船时应保证舰船拥有各种等级的抗损能力；有些抗损能力是所有船舶都具有的；而另有一些则随舰船类型所特有。舰船共有的抗损特性有：

1、所有与纵向结构有关的主甲板和壳板构成舰船的主要强力构件，主甲板壳板与其它甲板、舱壁及构架共同承受由重量及海浪作用引起的船体应力。这些结构能阻止舰船破损，并且利用自身足够的安全系数来保证船体结构在发生严重破损时不出现失效。通常，凭借自身较结实的构件尺寸，大型舰船可以抵御外来攻击的能力较之小型舰船高，至今还未发现有哪条比巡洋舰级大的战斗舰船在战斗中破损造成船体骨架完全失效的战例，而且巡洋舰已显示了很强的抗结构破损的能力，其船体骨架完全失效的情况很少出现。

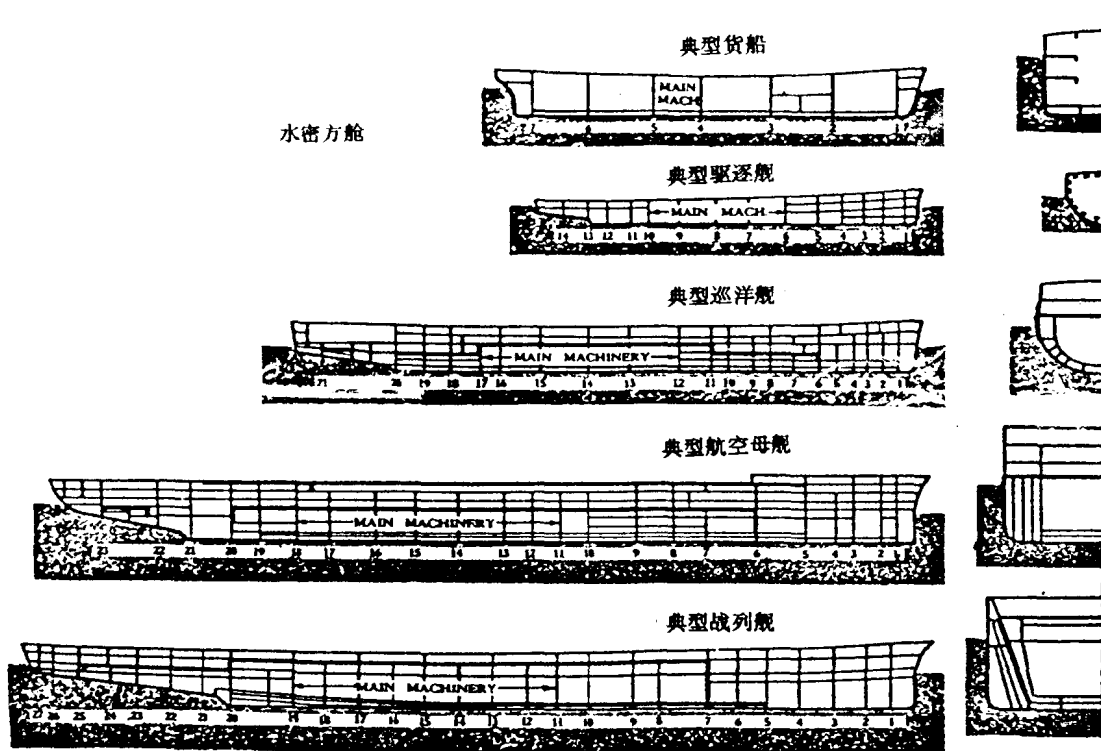


图 9881-1

2、水密分舱应能阻止水流进入破损的舰艇并限制进水在舰艇内扩散，通常增加舰船水密分舱的数量能提高舰船破损后保持正浮的能力，但当水进入舱室的速度相当大，则就会危及舰船的生命。在破损处的水流被堵住或减缓以前去排除舱室里的进水是徒劳无意义的，因此，在战斗打响之前，必须借助于专用器材严格保证水密的完好性，使进入舱室的水局限在某一区域内。

横舱壁的设置就应将整个船体划分成几个部分以阻止进水流入一个或几个主要舱室。水密横舱壁的间隔适当能提高舰船抗水下破损及浸水扩散能力。

为了防止产生大的倾侧力矩，需设置一定数量的纵隔壁，以防止不对称进水。凡舷翼设置有油舱或水舱的舰船，一般应将油、水注满至水线处以减少破损后横倾。

因为舰船上舱室容积并不随舰船尺度增加而成比例增加,而且大型舰船的分舱要多于小型舰船,因此,大型舰船承受给定规模武器攻击的能力比小型舰船强。小型舰船上设置适当的水密分舱能大大提高其抗水下破损和浸水扩散的能力。图 9881-1 示明了一些典型舰船分舱的相对级别。

除了限制浸水扩散,水密分舱还应能减缓导弹爆炸引起的气浪、火焰及碎片的影响,阻止化学毒剂烟雾及毒气在全船的扩散以及限制火焰蔓延和消防水的四溢。

在战前和战时,必须坚持锁闭水密门、水密舱盖及通风设备的严格训练。采取所谓“畅通”的方法敞开舱门、舱盖等减轻不了爆炸时的破损程度,反而会扩大浸水、燃烧及其它爆炸的影响。

3、储备浮力是由水线以上的水密舱容积提供的,它提供破损后维持漂浮状态的储备值,设计海军舰船及其建造过程中都要考虑有效的储备浮力值来抵御严重的进水。储备浮力的大小可用干舷来衡量,同时在稳性高给定的情况下,干舷的大小还决定了稳性范围,储备浮力会通过以下情况损失:

- a. 由于水下破损进水。
- b. 由于横倾或纵倾经船体水密区段的水上破损部位进水。
- c. 救火过程中用水或管路断裂流入的水。

载荷增加通常会降低舰船的干舷和储备浮力。对装甲舰船添加载荷将减小装甲干舷或战斗储备浮力,超载的不利影响会使干舷和储备浮力减小。对于装甲舰船还将引起装甲干舷减小。对商船和一些改装作军用的商船,其两舷都有载重线标志来限制吃水。对各种类型和级别的海军舰船已制订和发布了排水量和吃水限值。

4、提供充分的稳性特性资料,使舰船具有适航性(保证安全航行的能力——校者注),并在采取了与舰船类型级别相应的减缓破损的措施后不致倾覆,为保持良好的稳性,要求遵守液体加载规则;保持吃水在限定范围内;清除甲板上的异常重物;保持一定程度的水密完好性。

9881. 4 主横隔壁上设置水密甲板的方法

1、海军战斗舰船主横隔壁上设置水密甲板要在以下两个问题之间权衡,一是最大限度开发舰船抗水下破损的能力;二是通过减少水密密封及水密装置来简化通风管路、电缆及其它系统管路穿过横隔壁通道的客观需要,幸亏这些隔壁保持非水密的那部分给各种系统提供非常方便的通道,又使水下抗损能力降得最少,即它位于船的中部,正好在露天甲板以下,舱壁的内侧区。虽然为了减少系统安装的复杂程度,可以考虑牺牲一些水下抗损能力,但舰船的抗损性能不允许降到某个最低标准,即使为此需要把所有舱壁直到露天甲板完全水密。

2、通常破损靠近船的两端会导致露天甲板的大范围浸没,并使舰船因艏或艉进水倾覆而失事,但该情况不会导致横稳性降到临界值。舢部的破损则状态相反,当破损损伤到足以使横稳性降到倾覆危险点,破损水线也不会淹到露天甲板。因此设计舰船时需要在两方面求得平衡,即在全船范围内无论是考虑临界的横稳性还是临界的艏或艉的进水倾覆,都应使舰船具有同等的耐破损限度。已制订出舰船不沉的最短破损长度限值,它用与船长的百分比来表示。

3、在主横隔壁上建立水密甲板的第一步是计算出相邻的主要隔舱组通海进水后,舰船

不会因沉没或倾覆而失事。因为不断的进水会穿过这些舱壁的两端进入其邻舱，导致舰船沉没或倾覆。为保证在任何进水情况下舰船不失事，需要确保舱组两端的主横隔壁水密高度达到最大水线处。因此第二步是计算各个舱组通海进水后舰船不失事的破损后艏艉吃水值，并依据此资料确定构成浸水边界的两舱壁上进水上升的高度，每个隔壁将会是这些其它舱组两端的边界，除船的艏艉两端的隔壁外，其它每个隔壁既是这组的后边界又是那组的前边界，作为两个舱组边界的隔壁而言，使隔壁浸水最深舱组的进水面将确定为水密甲板高度。

4、假定舰船没有横倾浮于静水中，对相邻两舱进水而舰船仍不沉的极限进水情况，按上述研究的观点，最高水位可按每个隔壁上进水将达到的水位来确定。最终一步是用如下方法选取合适的横倾、横摇及波浪运动的许用值。

a. 在一张舱壁草图上，在中线处标出水会达到的最高液面线。

b. 假设舰船绕此点横倾和横摇，为了考虑可能出现的不对称浸水的影响，假定取横倾 15° 按船的大小不同，横摇角可假定取 7° 至 12° 之间。在左、右两个方向绘出对应极限横倾角加横摇角的水线。

c. 为考虑波浪运动的影响，在平行于上述第一组水线之上4英尺处绘出第二组水线。根据这些在中心线处形成的“V”形交叉线的线确定出水密甲板的位置。

5、在“V”区域之上穿越舱壁可以不附带水密装置。这种情况下，希望舰船部队在与此隔壁邻接的舱室定期进行气密试验。而这些非水密通口只限于装通风管路，以及做气密试验时为使舱壁不漏气须临时设置密封。

6. 可以发现一些干舷较高的舰船，即使主甲板和第二层甲板间的局部区域不提供稳性和储备浮力，却仍可获得良好的稳性和足够的储备浮力。如果在船舦区域发生破损并假设在第二层甲板以上的破损舱向前与向后进水是等量扩散，如果此假设成立，则船舦隔壁的水密甲板应设置在第二层甲板上，且隔舱在第二层甲板与主甲板可制成完全非水密的，在该情况下，非水密门或拱形结构可以设置在主甲板与第二层甲板间的主横隔壁上。除了能简化各种系统的安装，还将大大改进损管的纵向通道。

9881. 5 稳性

为保证舰船在完好状态下的适航性和在水下最大实际可行破损状态下的生存能力，所要求的稳性特性应考虑如下三方面的因素：飓风横向力作用下的横倾、高速迴转时的横倾和破损后的稳性。舰船的稳性特性包括：

- 1、初稳性（用 GM 表示）
- 2、稳性范围
- 3、最大扶正力臂
- 4、最大扶正力臂处的倾角
- 5、动稳性

9881. 6 战斗舰船的抗损特性

下列抗损特性专门用于战斗舰船的防护

1、装甲是通过阻止导弹穿透和限制导弹攻击效果来保护战斗舰船要害区和控制站的，因为随着船的尺度增加，船体和机械在整个排水量中所占的比例相对减少，因此，大型舰船能够设置相对较大的装甲防护，有两种装甲可以采用：A级和B级。

a、A级装甲是指采用表面硬化装甲，无论它是渗碳处理的还是未渗碳处理过的均可。A级装甲用于抵御炮弹、炸弹等的爆炸或爆破攻击，当重量允许，A级装甲可用于大型装甲舰船。装甲坚硬的表面使与船体相连处结构上受到很大制约。因种种原因装甲不参与纵向强度。装甲对弹药舱、机舱及其它要害部位均起到保护作用，同时对“浮筏”（raft body）或“装甲盒”的水密完整性也起到保护作用。在装甲“堡垒”顶部浸没以前，足够的“装甲干舷”或“战斗储备浮力”对保证船体合理的平行下沉和倾斜量是必要的，因为装甲区域以上的轻结构会被炮弹、弹壳或炸弹弹片等炸穿，故保持装甲干舷是很重要的。如果因水下破损导致装甲干舷减为零或所剩无几，那么，水可能会沿着主装甲区上方的甲板，穿过满是弹孔的非装甲结构而进水，使舰船处于丧失稳性的危险之中。

b、B级装甲是表面非硬化装甲，它集强度、韧性及延展性为一体，当炮弹将表面打出弹槽并变形时，装甲的延伸作用阻挡了炮弹的射入。B级装甲还起到限制碎块、弹片及爆炸所引起的破损，B级装甲较A级装甲结构简单，建造方便，它要求弹性防护与结构强度相结合。

c、特殊处理钢是B级装甲的一种型式，它用作防弹片装甲护板、承击构件、弹性舱壁、某些船体壳板、某些装甲甲板等。特种处理钢、一般安装在防空副炮、舰桥、火力控制站、输弹机、通信站及一些巡洋舰的舵机舱周围。

d、防御机枪、轻武器攻击属第三类型装甲，亦称轻装甲，它可用于对操作者、小艇、机枪及飞机的防御。

2、供重型舰船使用的多舱壁鱼雷防护系统，用于抵御鱼雷和水雷的爆炸。

3、必须加强弹药库的防护以抵御水下爆炸碎片的攻击。设置大约4英尺厚或更厚一些的水层能有效的减缓鱼雷爆炸产生的碎片的速度，5或者4英尺厚在结构内的液体能有效阻止碎片的生成。依照舰船的类型和大小以及军火类型，通过将弹药库设置在水下以及采用喷淋系统、装甲、液层及多舱壁鱼雷防护系统等手段来对弹药库加以保护。弹药库设在水下，敌方攻击较困难，但同时攻击性武备又会使弹药库进水。

4、把机舱、电站、舵机、操纵控制系统、防火控制系统、军械、通信及其它重要系统和设备加以隔离并设置备用设备，这样，在任何预定攻击情况下，由于降低了停航的概率，减少了火力损失和通信功能损失的概率等，能大大提高舰船的生命力。具有分离式能源或类似电源的应急设备是备用的一个重要方式。设备的隔离可通过结构分界，可用纵向、横向或垂向隔离以及可以用周围有装甲堡垒的管子来隔离等等。

5、重要系统的隔离分舱，如总的防火划区等限制了破损的扩展和影响，并隔绝受损系统。

6、至于对现役海军舰船及按照国防部政策新设计的舰船，应采取特殊的防护措施以提高它对防空及防水下原子弹爆炸的能力。

第二部分 基本原理

9881. 11 引言

在研究稳性时，将会用到数学和力学方面的有关知识，故本章将复习一下有关的主要内容。但是由于复习内容不能面面俱到，故对有关内容作了精简。为了有效地理解和消化本章后续部分，首先需要具备一些普通运算方法、三角学及力学方面的基础知识。

9881. 12 三角学

1、三角学是研究三角形及三角形的角与边关系的一门学科，不过这里仅涉及直角三角形，也就是说三角形中有一个角为 90° ，直角三角形角与边长之间存在着固定关系。

2、直角三角形边与边之间的比或众所周知的三角函数，可由图 9881. 2 所示的直角三角形来叙述。本文需要的是“正弦”、“余弦”和“正切”。角 A 用希腊字母“ θ ”表示，“ θ ”角的正弦定为 θ 角的对边与斜边的比，即：

$$\sin\theta = BC/AB$$

由图可知，当 θ 角增大时， BC 和 AB 的比值随之增大，相应的 $\sin\theta$ 也随之增加。显然，下表的正弦值可从手册中查出。正弦值的变化与角度变化关系由图 9881—3 所示曲线来表示，这条曲线叫正弦曲线。运用表格横向标出角度，纵向标出正弦值，这样任何角度时，基线与曲线间的垂直高度值就是这个角的正弦值。正弦曲线的特点是： $\sin 30^\circ$ 是 $\sin 90^\circ$ 的一半； $\theta = 0^\circ$ 时， $\sin\theta = 0$ ； $\theta = 90^\circ$ 时， $\sin\theta = 1$ 。

角度正弦、余弦值表

角度	正弦值	余弦值
0°	0	1. 000
10°	0. 174	0. 985
20°	0. 342	0. 940
30°	0. 500	0. 866
40°	0. 643	0. 766
50°	0. 766	0. 643
60°	0. 866	0. 500
70°	0. 940	0. 342
80°	0. 985	0. 174
90°	1. 000	0

3、“余弦”为 θ 角的邻边除以斜边 $\cos\theta = AC/AB$

当 θ 角增加时， AC/AB 的比值随之减小，即余弦值降低，这在上述的余弦表中示出。角度与余弦值的关系示于图 9881-4，当 $\theta=0^\circ$ 时， $\cos\theta=1$ ； $\theta=90^\circ$ 时， $\cos\theta=0$ ； $\theta=60^\circ$ 时， $\cos\theta=1/2$ 。

θ 角的正切是 θ 角的对边与 θ 角的邻边之比： $\tan\theta = BC/AC$

可以画出正切曲线，但这里不需要，故未将其绘出。

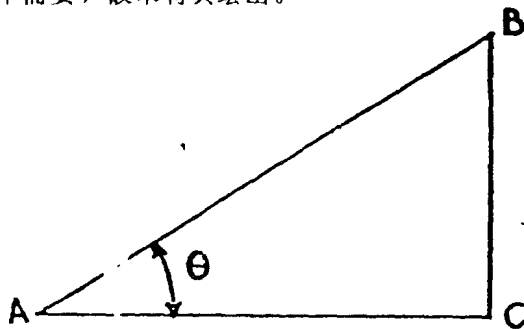


图 9881-2

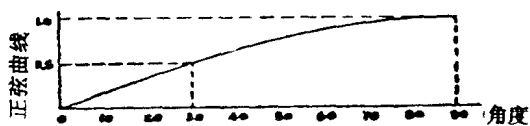


图 9881-3

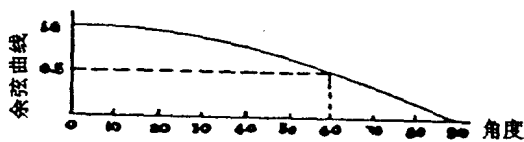


图 9881-4

4、在三角学中度量角度大小常常不是以度，而是以弧度为单位的，1 弧度等于 57.3° 。弧度的大小可按下列方法决定：在任一圆上，沿周长取一段弧长，当弧长等于半径时，所对应的角度就是 1 弧度。在图 9881-5 中，沿圆周量出弧长为 R ，形成 θ 角，这样定义该角为一弧度。

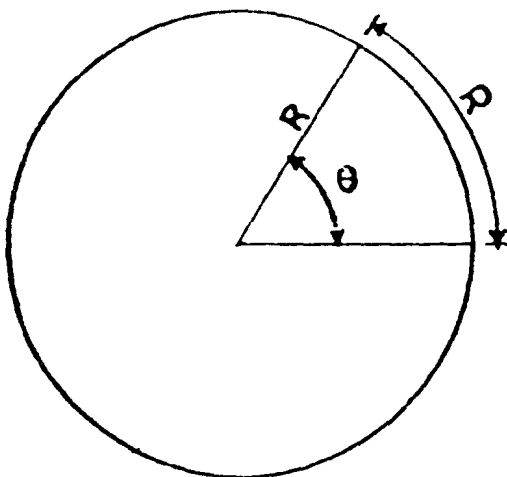


图 9881-5

9881. 13 比重*

1、任何一种物体的体积都是用有关物体本身的立方英尺或立方英寸值表示的。一条船水下体积由船体水线以下部分的立方英尺值来表示。

2、任何材料，无论它是固体或是液体，它的比重是指材料单位体积的重量，例如我们取 1 立方英尺的海水，称其重量，重量是一吨的 $1/35$ ，（一吨等于 2240 磅）。因此我们说海水的比重是每立方英尺的 $1/35$ 吨。

3、如果我们知道一种物质的体积，和这种材料的比重^①，则这物质的重量可通过体积乘比重求出，即

$$W = V \times d \quad (\text{重量} = \text{体积} \times \text{比重})$$

4、当我们已知一种物质的重量和比重，则该物质体积大小可通过重量除比重求出。

$$V = W / d \quad (\text{体积} = \text{重量} \div \text{比重})$$

5、当某种物体漂浮在一种液体中，该物体排开液体的重量等于该物体的重量。因此如果我们已知物体排开液体的体积，则该物体的重量可通过液体的体积与比重两者的乘积求出。例如一条船在海水中排开水的体积是 35000 立方英尺，则该船的重量就是 1000 吨，即

$$35000 \text{ 英尺}^3 \times 1/35 \text{ 吨/英尺}^3 = 1000 \text{ 吨}$$

9881. 14 力

1、力为拉力或压力，它能使物体产生运动或在力的作用方向上使物体发生运动变化。力可以作用在不与其直接接触的物体上，最典型的例子是引力的作用，引力无所不在。力通常用重量的单位表示，如磅、吨、盎司等等。

2、如果有若干平行的力作用在一个物体上，可以将它们合成一个力，它等于作用在同一方向上所有作用力之和并且确定作用位置使产生的效果相同。

图 9881—6 中 F_4 就是 F_1 、 F_2 、 F_3 最终的或合成的力。

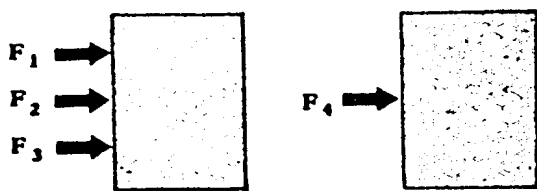


图 9881—6

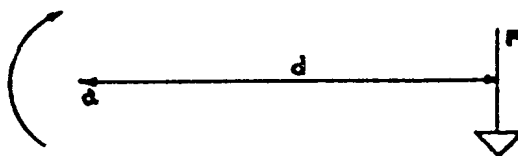


图 9881—7

3、无论我们采用分力 F_1 、 F_2 、 F_3 或只用 F_4 作用在该物体上，这些力的作用效果，都将使物体在作用力方向上产生运动。为了阻止物体运动，即保持物体静止，可在该物体上施加一个与 F_4 大小相等方向相反，且在同一条直线上的力。新的力与 F_4 彼此平衡，由于合力为零，故将不产生运动。

① 现在不称“比重”，应为密度。由于牵涉一系列叙述，故仍用老的称谓“比重”。——校者注

9881. 15 力矩

1、除了力的大小和它的作用方向外，力的作用位置也是很重。如果两个重量相等的人分别垂直一条跷跷板的两头，且在距支点相等的位置上，此时跷跷板处于平衡状态。然而如果其中一个人移动位置，则跷跷板不再保持平衡，远离支点的人下移，因此他的重力比另一人有更大的旋转力矩。

2、一个力的作用位置称为力的“转矩”，它等于力与力到转轴距离的乘积，该轴是我们欲知道运动效果的点。一个力的转矩是讨论这个力绕轴产生旋转运动的可能性。力到轴之间的距离被称为力臂，有时简称“臂”。

3、因为力的单位用重量单位来表示，如“吨”或“磅”，而力臂的单位用长度单位来表示，如“英尺”或“英寸”，所以力矩的大小用力与长度的乘积来表示，即“英尺—吨”或“英寸—磅”。在图 9881—7 中， F 吨的力有一个绕 a 轴为 d 英尺的力臂，因此， F 相对于 a 轴点的力矩是 Fd 英尺—吨，（“吨—英尺”和“英尺—吨”表示同一个意思）。

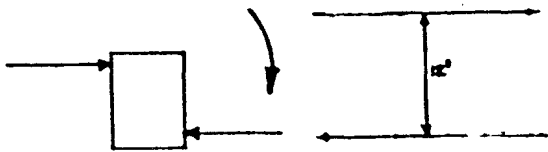


图 9881—8

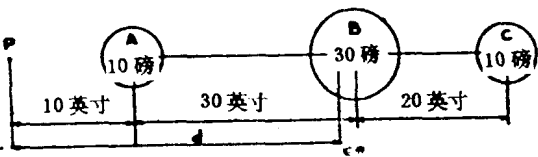


图 9881—9

4、如果产生顺时针转动的力正好等于产生逆时针转动的力的大小时，物体将不转动，此时，物体将处于平衡状态。

5、两个大小相等、方向相反，且作用线相平行的力会产生一种特殊的转矩，这种力使物体旋转，这两个力的力系称之为“力偶”，力偶矩等于一个力与两个力之间垂向距离的乘积，在图 9881—8 中有：

$$\text{转矩} = F \times d = 50 \times 12 = 600 \text{ 英尺—磅}$$

9881. 16 重心

1、某一物体的重心是构成这种物体各个部分重量的中心，各个部分或系统的重量可以合成在这个中心点处，并且效果与其它所有分部分各自产生的效果相同。

2、当一组物体，如构成一条船的各个部件，存在不同的比重时，物系的重心就不在其几何中心处，这时我们可以通过各个分部件重量对任一点取矩求得重心。力矩之和除以所有部件的总重量，便求出假定点到系统重心的距离。

a、提问：求出图 9881—9 中重量系统的重心。

b、解：三个重物对任何一点如 P 点取矩。

A	10 磅 $\times$ 10 英尺 = 100 英尺—磅
B	30 磅 $\times$ 40 英尺 = 1200 英尺—磅
C	10 磅 $\times$ 60 英尺 = 600 英尺—磅

总计 50 磅

1900 英尺—磅

系统的重心位置距 P 点

$$d = \frac{1900}{50} = 38 \text{ 英尺 (距 } P \text{ 点)}$$

3、如果各个部分对刚才求得的重心取矩，则顺时针力矩将正好等于逆时针的力矩。

对重心取矩

顺时针 $10 \text{ 磅} \times 22 \text{ 英尺} = 220 \text{ 英尺—磅}$

$30 \text{ 磅} \times 2 \text{ 英尺} = 60 \text{ 英尺—磅}$

280 英尺—磅

逆时针 $10 \text{ 磅} \times 28 \text{ 英尺} = 280 \text{ 英尺—磅}$

合力矩 = 0

9881. 17 重心位置的变化

如果将系统中的任何一部分重物移位，则系统的重心位置将会发生变更。重心的变化与移位量的大小及移动距离成正比。此外重心的变化还取决于整个系统的重量；对于任何给定的重物位移，如物系越小，则重心移动越大；物系越大，则重心移动越小，重心 G 移至 G' 的变化量等于

$$GG_1 = \frac{ws}{W}$$

且移动方向平行于重物移动的方向

W —移动物体的重量 (见图 9881-10)

s —物体移动距离

w —整个物系重量

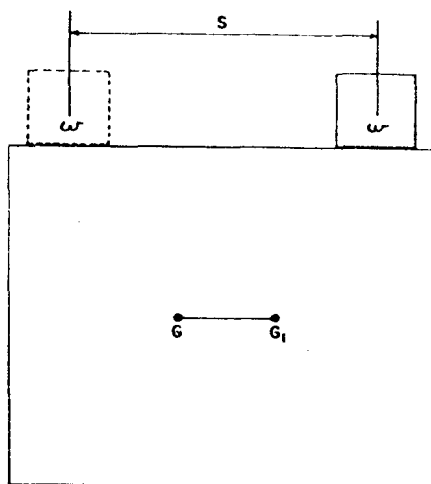


图 9881-10

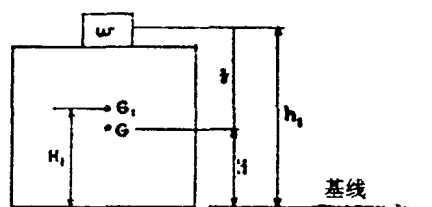


图 9881-11

2、当在某个物系上新增加一个重物时，求新的重心可以用原来物系取的力矩加上新的

重物的力矩再除以总重量的办法。在图 9881-11 中, G 是原物系重量的重心, 小重物 w 是增加的重物, 它使重心从 G 移至 G_1

$$H_1 = \frac{(W \times H) + (w \times h_1)}{W + w} = \text{新的重心相当于基线的位置}$$

$$W = 100 \text{ 磅} \quad H = 10 \text{ 英尺}$$

$$w = 20 \text{ 磅} \quad h_1 = 20 \text{ 英尺}$$

$$\text{则: } 100 \times 10 = 1000 \text{ 英尺-磅}$$

$$\frac{20}{120} \times 25 = \frac{500}{1500} \text{ 英尺-磅}$$

$$H_1 = \text{新的重心高度} = \frac{1500 \text{ 英尺-磅}}{120 \text{ 英尺}}$$

$$= 12.5 \text{ 英尺 (基线以上)}$$

新的重心上移了 2.5 英尺

3、另外一种可得到同一结果的方法是: 假定重物先放于原来物系的重心位置上, 然后, 将其移至最终位置上。在重心处放置重物, 不会引起重心位置的变化, 但是位移使重心位置发生变化量:

$$GG_1 = \frac{wZ}{W + w} = \frac{20 \times 15}{100 + 20} = \frac{300}{120} = 2.5 \text{ 英尺 (上移)}$$

9881. 18 功

1、物理学中做功是只有当用力移动一段距离, 力若未发生位移, 则就没做功。因此, 功是用力乘以移动距离来衡量。力的单位是磅或吨, 距离单位是英尺或英寸。当把 10 磅重物提起垂直高度为 5 英尺时, 就说做了 50 英尺-磅的功。

2、类似地, 当转动物体时, 也要做功, 它的大小由产生转动的力矩乘以力矩作用下转过的角度来衡量 (角度用弧度来表示, 它可以用表示的角度除以 57.3° 得出)。无论物体是直线运动还是转动, 功的单位通常是力乘距离。

3、一个力偶, 它的力矩值等于 500 英尺-磅, 使物体转动 13° , 所做的功等于:

$$500 \text{ (英尺-磅)} \times \frac{13^\circ}{57.3^\circ} = 113 \text{ 英尺-磅的功}$$

9881. 19 惯性矩

1、在下列讨论中, 将会用到某个图形面积的惯性矩, 正如在任何一本数学或工程技术手册中都列有与某个轴正交图形面积惯性矩一样, 它是设想把面积划分成微元面积, 与它到上述轴的距离平方的乘积求和的极限得出惯性矩 $I = \int y^2 dA$ ①。通过计算证明矩形截面的惯性矩:

$$I = \frac{b^3 l}{12} \quad (\text{见图 9881-12})$$

I —惯性矩, 英尺⁴

① 原文误为 $I = \int y^2 dA$ ——校者注。

b —垂直于轴的截面的宽度，英尺

l —平行于轴的截面的长度，英尺

2、对不同的轴，其惯性矩的值也不同。同样，不同的尺度或不同的形状也有不同的惯性矩，大多数手册或其它参考书都给出了各种形状面积和对不同轴的惯性矩。

例：示于图 9881—13 的矩形截面绕 $A-A$ 轴的惯性矩等于

$$I = \frac{b^3 l}{12} = \frac{(20)^3 \times 6}{12} = 4000 \text{ 英尺}^4$$

绕 $B-B$ 轴

$$I = \frac{6^3 \times 20}{12} = 360 \text{ 英尺}^4$$

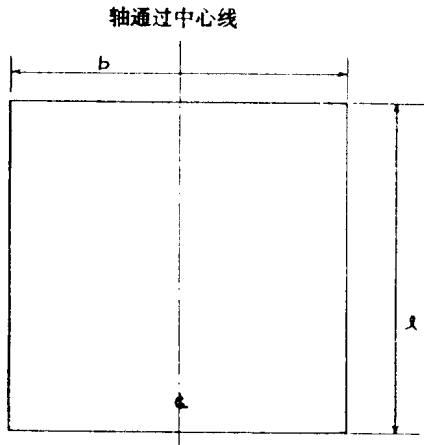


图 9881—12

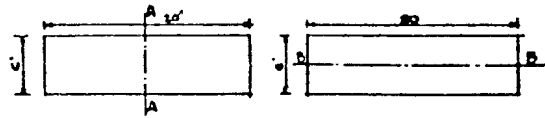


图 9881—13