

船舶结构理论与计算

林 砚 田 编著



国防工业出版社

U 651.4
L 61

333216

船舶结构理论与计算

林 硯 田 编著



国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要叙述船体结构中杆及杆系和板的弯曲与稳定性问题。书中不仅扼要地阐述了船舶结构理论中的基本理论与基本方法——方法、位移法及能量法,对这些方法作者都根据自己的研究成果有所改进,并且也阐述了应用较广泛的有限元法。此外,对弹性理论一些基本理论及在船舶工程中的应用也作了阐述。同时,书中还有大量计算例题。

本书可作为高等院校船舶设计与制造专业的教材及教学参考书,也可供从事船舶结构计算和设计的工程技术人员使用。

1248/05



船舶结构理论与计算

林祝田·编著

*

国防工业出版社出版、发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经销

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张35²/₄ 831千字

1989年5月第一版 1989年5月第一次印刷 印数: 101— 795册

ISBN 7-118-00310-7/U30 定价: 18.90元

前 言

本书是作者多年来从事船舶结构力学教学工作，在自编教材的基础上扩充修改而成的。其中包括作者多年来在该学科方面的研究成果和一些计算结果。它的内容基本上是根据从事舰船设计的需要，也照顾到了本门学科的系统性。本书对于基本理论的叙述尽量扼要明确，以便腾出足够的篇幅叙述较深的一些课题。所以本书是形成于教材，是按照教材的方式，深入浅出、由浅入深地叙述，但各部分的推演方法和公式形式绝大部分是作者自己的创作，因此本书不仅是一本教科书、教学参考书，也是一本科技专著。

作者从实际需要出发，企图想使本书在某程度上带有手册的色彩。根据作者的经验，在校的大学生、研究生以及从事实际的结构设计工作者，往往苦于某一数据和某一公式不易立即取得，而他們又不需要其推导和取得的过程。所以，本书除有一定数量的例题满足这方面要求之外，还汇集了较为完备的数据表和公式表，如各种弯曲参数表等，以备随时查用。

本书在成稿过程当中，不少同事和研究生们都为其付出了辛勤的劳动。在此谨向王昶、张祖枢、黄震球、邓子谷、吴迎春和纪令克等同志致以衷心的感谢。

本人学识浅薄，经验不足，书中错误之处在所难免，深望广大读者批评指正。

作 者

目 录

绪 论

§ 1 概述	1
§ 2 船体构造中的典型结构	1
§ 3 与结构力学密切相关的材料力学知识和若干符号的规定	4

第一章 直梁的弯曲

§ 1 梁的支座形式和边界条件	8
§ 2 等截面梁弯曲的初参数法	17
§ 3 弯曲参数表及其应用	27
§ 4 弹性固定端的力矩系数和刚性支承梁的弯曲参数及应用弹性固定端梁的计算	91
§ 5 阶梯状变截面梁的初参数法	100
§ 6 变截面梁的初参数法	111

第二章 结构力学的一般原理

§ 1 功与能 克拉贝依隆定理 变形能	114
§ 2 虚功 虚功互等定理	120
§ 3 莫尔定理和图乘法	126
§ 4 卡斯梯良诺定理	134
§ 5 最小变形位能原理 (最小功原理)	137
§ 6 势能和最小势能原理	138
§ 7 虚位移和虚位移原理	140
§ 8 瑞利-李兹法	142
§ 9 伽辽金法	154

第三章 连续梁和直杆刚架—(力法)

§ 1 概述	154
§ 2 静不定次数的计算和静定基的选择	158
§ 3 力法典型方程组	160
§ 4 力法正则方程组的系数和自由项的确定	162
§ 5 求静不定结构的位移	163
§ 6 利用结构的对称性简化计算	164
§ 7 联立一次方程组求解的列表计算法	169
§ 8 刚性支座连续梁计算——三弯矩方程式	175
§ 9 弹性支座连续梁计算——五弯矩方程式	179
§ 10 弹性支座连续梁实例分析	182

第四章 连续梁和直杆刚架二（位移法）

§ 1	概述	186
§ 2	结构机动度的判断和固定基的形成	186
§ 3	位移法典型方程组	187
§ 4	位移法正则方程式系数和自由项的确定	190
§ 5	内力的确定和内力图	194
§ 6	利用结构的对称性简化计算	197
§ 7	力矩切力分配法	203

第五章 杆系的矩阵法

§ 1	概述	215
§ 2	结构离散化	215
§ 3	元素的势能用局部坐标节点位移表示	216
§ 4	位移和杆端力的坐标转换	220
§ 5	元素势能用整体坐标节点位移表示	222
§ 6	结构节点脱离体的势能	224
§ 7	整个结构的势能和基本方程式的建立	225
§ 8	总刚度矩阵和基本方程式的标准形式	226
§ 9	结构约束的处理	230
§ 10	杆端力和支座反力的计算和内力图的绘制	232
§ 11	杆件跨中荷重的处理	234
§ 12	杆系矩阵法小结	236

第六章 弹性基础梁

§ 1	弹性基础梁的基本概念和在造船上的应用	237
§ 2	弹性基础梁的弯曲微分方程式及其积分	237
§ 3	有限长弹性基础梁初参数法	259
§ 4	弹性基础梁的弯曲参数表及其应用	262
§ 5	弹性固定端的力矩系数	285
§ 6	弹性基础梁三弯矩方程式	289
§ 7	半无限长弹性基础梁计算及其通用公式表	291
§ 8	无限长弹性基础梁计算及其通用公式表	312

第七章 板架计算

§ 1	板架的工作情况	319
§ 2	节点数目很少的板架计算	321
§ 3	具有很多根同样主向梁的单层交叉构件板架的计算	323
§ 4	有加强主向梁单根交叉构件板架的计算	332
§ 5	多根交叉构件板架的计算——主弯矩法	335
§ 6	多根交叉构件板架的近似计算——荷重选择法	359
§ 7	双向梁数目都很多时板架的计算	369

第八章 杆件的纵横弯曲

§ 1	船舶结构中的纵横弯曲	381
§ 2	杆件纵横弯曲的微分方程式及其一般积分	381
§ 3	杆端在纵横弯曲情况下的边界条件	384
§ 4	纵横弯曲问题的初参数法	385
§ 5	纵横弯曲情况下的弯曲参数表	395
§ 6	叠加原理在纵横弯曲情况下的应用	410
§ 7	弹性固定端的力矩系数	413
§ 8	纵横弯曲连续梁——三弯矩方程式	414
§ 9	弹性基础梁的纵横弯曲	415
§ 10	弹性基础梁的纵横弯曲参数表	425
§ 11	板架的纵横弯曲	437
§ 12	纵横弯曲梁的静不定问题——求轴向力 N	439

第九章 板的弯曲理论

§ 1	概述	442
§ 2	板中面内的应变分量与位移分量间的关系——几何方程	442
§ 3	板中面内的物理方程和变形与应力沿板厚的变化规律	445
§ 4	作用在板截面内单位宽度上的内力	446
§ 5	内力与位移 w 之间的关系式	448
§ 6	板的平衡微分方程式和卡门方程组	449
§ 7	板的分类	453
§ 8	板的支承和边界条件	455
§ 9	板的变形位能	461

第十章 绝对刚性板

§ 1	两相对边铰支其余两边任意支承情况的板	463
§ 2	四边固定板在均布荷载作用下的弯曲	467
§ 3	能量法在绝对刚性板弯曲问题上的应用	476
§ 4	承受均布荷载的绝对刚性板的弯曲参数表及其应用	480
§ 5	承受三角形分布荷载的绝对刚性板的弯曲参数表及其应用	486
§ 6	具有弹性支座及承受集中力的板	494
§ 7	四边刚性固定承受均布荷载的具有弹性骨材加强的板	495

第十一章 小挠度柔性板

§ 1	概述	497
§ 2	用双三角级数求解复杂弯曲板	497
§ 3	利用单三角级数求解复杂弯曲板	499
§ 4	小挠度柔性板的弯曲参数表及其应用	510

第十二章 杆及杆系的稳定性

§ 1 稳定性理论的基本概念	512
§ 2 单跨杆的稳定性	513
§ 3 弹性支座连续梁的稳定性	516

第十三章 弹性理论基础

§ 1 概述	527
§ 2 平面问题基础理论	528
§ 3 平面问题的直角坐标解	535
§ 4 附连璧板有效宽度的计算	544
§ 5 平面问题的极坐标基本公式	548
§ 6 轴对称应力和相应的位移	553
§ 7 圆孔的孔边应力集中	555
参考文献	580

绪 论

§1 概 述

船舶结构力学(或称船舶结构理论)要研究些什么东西呢?它的基本任务是什么?这是学习船舶结构力学首先要解决的问题。作为结构力学来说,还有航空结构力学、土木结构力学等,它们各有自己的研究对象,各有自己的研究重点,比如,航空结构力学,其研究的对象是飞机和航天器等的结构受力情况,其研究的结构类型重点是桁架、蒙皮等。土木结构力学,其研究的对象是房屋建筑和桥梁等结构的受力情况,其研究的结构类型重点是刚架、连续梁、拱、桁架和板壳等。而船舶结构力学,是以船舶结构为对象,以连续梁、刚架、弹性基础梁、板架和板壳等部件为重点。

设计的船舶在航行时承受着各种外力。有船身自重和载重的重力,水的浮力,波浪的冲击力,摇摆的惯性力等。在这些力作用下,船舶既不能产生过大的变形,更不能有所破裂。也就是说,我们所设计的船舶要有强度的保证。既要保证局部强度,也要保证整体强度,此外,还要保证船体的基本构件不能丧失稳定性。船体本身也要有足够的刚度。也就是说,船舶结构力学要能给船体设计者提供保证船体强度、刚度和稳定性的依据。设计者即可按照结构力学提供的条件和计算方法对船舶结构的各部分确定出适当的尺寸。所谓适当的尺寸,就是既要保证船体结构的安全,又要使得船体最轻、造价最经济。但是安全和经济是互相矛盾的,前者要求增加使用的材料;而后者要求减少使用的材料。结构力学正是由这一矛盾促使其按照科学的方法不断地向前发展,不断地完善,达到今日的程度。

过去由于计算工具的落后,计算方法的不完善,致使对稍微复杂的结构都不得不进行割裂或采用近似的办法来进行计算。当然计算的结果与实际相差很远,这一缺陷只好用加大安全系数来弥补,这种盲目的措施致使船体设计得十分笨重。近几年来,先进的计算工具——电子计算机得到了广泛的应用,同时结构力学先进的计算方法——有限元法等得到了普及。这样,结构的计算就日趋精确,盲目加大安全系数致使船体设计得十分笨重的时代已经过去了。今天,我们不但能用先进的计算工具和先进的计算方法计算复杂的局部结构,而且可以对整条船、整个艇的整体结构进行高精度的计算。

§2 船体构造中的典型结构

在上节中提到过,船舶结构力学是以船舶结构为对象,以连续梁、刚架、弹性基础梁、板架和板壳为重点。那么,这些结构与船体上的哪些类型的部件有关呢?又是如何简化得来的呢?也就是说,如何由船体的局部结构或整体结构塑造出既切合实际又能够进行计算(与当代的计算水平有关)的力学模型。这是我们研究船舶结构力学又要解决的一个问题。

我们知道,船体结构是船舶的外板与其骨架相连接的一个整体结构。如果电子计算

机容量不大或没有电子计算机,要计算这样的整体结构是不可能的。同时,在很多情况下也没有必要把一个船体作为一个整体结构来进行计算。所以,为了简化计算,通常都是把船体外板和其骨架分开来考虑,把船体的外板看作是四边支承在骨架上的一块块的平板。这种板块多似矩形,所以矩形板的研究是船舶结构力学的重点之一。对于骨架的研究,不能孤立的来只看骨架,因为实际的情况是板和骨架连接在一起的,如骨架进行弯曲,板也跟着一起弯曲,尤其是靠近骨架附近区域内的板,其工作情况与骨架的一个翼板相当;距骨架稍远的板区,其工作情况将有差别。也就是说,靠近骨架附近的一部分板,既承受着作为板的弯曲应力,也承受着作为骨架翼缘的拉压应力,它身兼“二职”。这种把靠近骨架的一部分板作为骨架梁的一个翼板,我们叫做骨架梁的“**附连翼板**”或叫“**带板**”。“附连翼板”的计算宽度与骨架之间的间距及骨架的跨度有关。我国 1973 年《钢质海船建造规范》中规定骨架的带板宽度为骨架间距或骨架跨度的五分之一中的小者。这样一来,作为骨架的计算截面形状,将有如图 0.1 所示的数种情形。

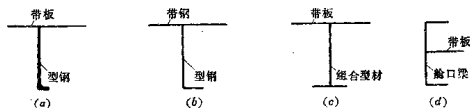


图 0.1

在船体结构中作为单独存在的杆件是不多的,大多数的杆件或多或少地都和其他结构有些联系。不过,在计算时,有些可以近似地把某些杆件当作单独的杆件来处理。在这方面的典型构件有:(1)受压力作用的各种支柱(图 0.2(a));(2)承受舱口荷重作用的舱口梁(图 0.2(b));(3)货舱内(无水平桁)的舱壁扶强材(图 0.2(c))等等。但有些则不能这样处理,否则将引起过大的误差,而使计算结果面貌全非。此时必须当作杆系来处理。在这方面的典型结构有如下几种:

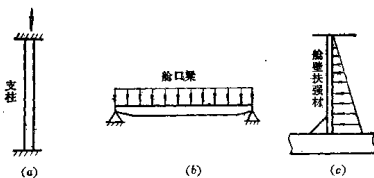


图 0.2

(1) 连续梁——甲板纵骨尺寸较横梁很小,它穿过横梁连续数跨。因此,纵骨在荷重作用下,由于横梁相对于纵骨来说相当刚硬,从而可认为纵骨在和横梁交点的地方挠度为零,而转角连续,这样就可以把纵骨简化成一个连续梁来处理。横梁就是纵骨的刚性支座。纵骨的两端是牢焊在横舱壁上,横舱壁是船体中最强的构件。相对于纵骨来

说可以认为它不变形,也就是说横舱壁可作为纵骨的固定端来处理。所以,纵骨可以简化成如图 0.3 所示的连续梁。

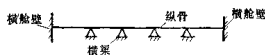


图 0.3

(2) 平面刚架——甲板横梁与肋骨的尺寸相差不太大,二者牢焊在一起,且有肘板加固,故可认为横梁与肋骨为刚性连接。横梁的另一端是搁置在甲板纵桁上,当然纵桁相对于横梁来说是一个很强的构件,所以可认为横梁在和纵桁的交点处不产生挠度。另一方面,由于纵桁是由组合型材构成,是一开口薄壁杆件,其抗扭能力较差,故可认为纵桁对横梁的转动变形将不产生多大的阻碍作用。所以可将纵桁对横梁的作用用刚性铰支座来代替。肋骨的下面与肋板相连,而肋板相对于肋骨来说要强大得多。同时,在其交接处又有肘板扶强,所以可将肋板看成是肋骨的刚性固定端。由于肋骨和横梁都设计在同一个平面内,故肋骨和横梁可简化成如图 0.4 所示的一个平面刚架。

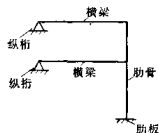


图 0.4

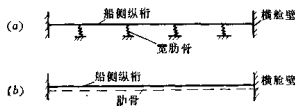


图 0.5

(3) 弹性支座连续梁或弹性基础梁——船侧纵桁搁置在宽肋骨上,由于宽肋骨的截面尺寸不相上下,且宽肋骨较船侧纵桁跨度为小,故其刚性与船侧纵桁相差无几,故宽肋骨可简化成为船侧纵桁的弹性支座,这样船侧纵桁就形成了弹性支座连续梁。如果宽肋骨数目较多,则宽肋骨所化成的弹性支座可看成连续的弹性基础,这样就形成了弹性基础梁。这样,船侧纵桁可简化成如图 0.5 所示的弹性支座连续梁或弹性基础梁。

(4) 板架——甲板由横梁、纵桁和纵骨组成,横梁和纵桁都是强力构件,相对来说纵骨很弱。故在考虑甲板的计算模型时,可略去纵骨对横梁的牵连作用,这样既简化计算,又不致产生过大的误差,于是得到甲板板架的简化计算模型如图 0.6 所示。无论是甲板板架或船底板架其抗弯刚性都较船侧板架为强,故可略去船侧板架对甲板或船底板架的抗弯牵连作用,于是船侧板架便可看成是甲板或船底板架的铰支座。

以上按照船体结构的实际情况将互相有牵连的结构割裂开来进行简化,作出计算模型。但是,这样的割裂和简化必然会带来一定的误差,有时这些误差还相当大。为了提高结构计算的精确度,当然最好不进行割裂,而把它作为一个整体来进行计算,在目前有电子计算机可用的情况下,这还是可行的。于是就出现了船体计算的空间结构。当

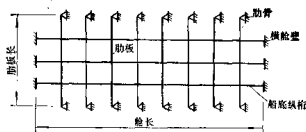


图 0.6

然，如果电子计算机容量有限，也可把船体分割成数个舱室来进行计算。其计算模型如图 0.7 所示。

以上对船舶结构力学中有代表性的数种结构进行了简单地阐述。今后，我们还要对它们分专题论述。

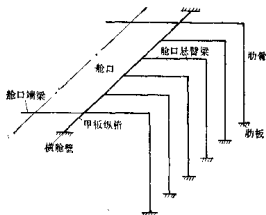


图 0.7

§ 3 与结构力学密切相关的材料力学知识和若干符号的规定

船舶结构力学是以材料力学为基础，因此，在学习结构力学之前，有必要对材料力学作简单的回顾。

如果一根杆件主要是承受弯曲，则这根杆件就叫做梁。

在船舶设计时，经常要用到梁的概念。例如对船体进行总弯曲计算时，就是把船体简化成一根开口薄壁型材的梁。进行局部计算时，例如计算刚架和板架时，梁就是这些杆系的主要元件。

梁的计算通常是采用材料力学中的实用弯曲理论。这个理论是以下面的几个假设为基础：

(1) 平面假设——即弯曲变形前垂直于梁轴的横截面，在弯曲变形之后，仍然是一个平面，且垂直于梁弯曲后的轴线。认为梁的弯曲变形与剪切变形无关。横截面的翘曲面只由剪切所引起。

(2) 梁的纵向纤维互不挤压——即认为在平行于梁轴的截面上的应力很小，而略去不计。每一根纤维都处于单向拉伸或压缩的受力状态。

(3) 变形微小性——认为梁截面的转角远小于单位一。梁弯曲时梁轴的曲率远小

于 h/l^2 (h 为梁截面的高度, l 为梁的跨度)。

由于采用了这几个假设, 所以梁的实用弯曲理论不适用于大挠度的情况, 不能用来计算截面急剧改变的地方、截面削弱的地方和集中载荷作用地方的局部应力。

今后, 取 x 轴与梁轴重合, y 轴和 z 轴分别与横截面的两个中心主惯性轴重合, y 轴指向观察者, z 轴指向下。研究 xoz 平面内的弯曲时, xoy 平面就是梁的中性层, 如图 0.8 所示。

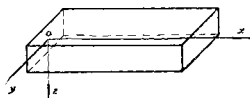


图 0.8

我们认为: 如果按照已知的外力求出了梁的位移 (挠度和转角) 和内力 (弯矩和剪力), 则梁的弯曲问题就算解决了。至于应力可按照材料力学的已知公式来计算。

按照上面的坐标系, 将外力和内力的符号规定如下 (见图 0.9),

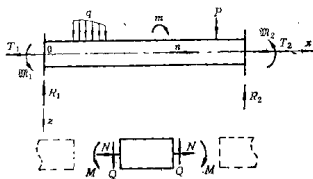


图 0.9

P ——集中荷重, 向下为正;

q ——分布荷重, 向下为正;

n ——轴向集中载荷, 向右为正;

m ——外力矩, 以顺时针旋转为正;

R ——支座反力, (支座作用在梁上的力) 向上为正;

M ——支座反力矩 (支座作用在梁上的力矩) 以反时针旋转为正;

T ——轴向支反力, 向左为正;

N ——轴内力, 拉力为正, 压力为负;

M ——弯矩, 使单元体向上凸起者为正;

Q ——剪力, 以绕单元体反时针旋转为正;

v ——挠度, 向下为正;

θ ——转角, 顺时针转为正。

弯矩图画在梁纤维受拉的一边, 所以正的弯矩图是在 z 轴的负向。面正的挠度、转角和剪力图是画在 z 轴的正向。

为叙述方便起见, 今后统称挠度、转角、弯矩和剪力为弯曲参数。如果从梁中取出一单元体如图 0.10 所示, 令其平衡, 则由平衡条件可知:

$$\frac{dQ}{dx} = q(x) \quad (0.1)$$

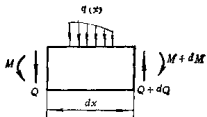


图 0.10

$$\frac{dM}{dx} = Q(x) \quad (0.2)$$

将 (0.2) 式微分后代入 (0.1) 式, 消去 $\frac{dQ}{dx}$ 得:

$$\frac{d^2M}{dx^2} = q(x) \quad (0.3)$$

如果单元体上作用有集中力 P 或集中力矩 m (如图 0.11) 则内力经过单元体的变化就不是一个微量, 而是一个有限值。由平衡条件可知:

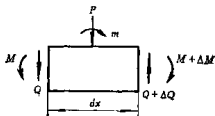


图 0.11

$$\Delta Q = P \quad (0.4)$$

$$\Delta M = -m \quad (0.5)$$

严格说来, 同一截面上不同的点, 沿 z 轴方向的位移是不同的, 但是由于梁的高度较跨度很小, 所以这一差值与整个截面的位移 (挠度) 相较可略而不计, 而认为截面上所有点的位移都等于截面中心的位移。

在一般情况下, 截面中心的位移 v 由三部分组成:

$$v = v_1 + v_2 + v_3 \quad (0.6)$$

式中 v_1 ——由弯曲所引起的挠度;

v_2 ——由剪切所引起的挠度;

v_3 ——由支座沉陷所引起的挠度。

通常细而长的杆件由剪切所引起的挠度 v_2 与由弯曲所引起的挠度 v_1 相较很小, 可略去不计。由平面假设和虎克定律可导出:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ} \quad (0.7)$$

式中 ρ ——梁弯曲曲线的曲率半径;

EJ ——梁的抗弯刚度。

由高等数学得知:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{v_1''}{[1 + (v_1')^2]^{3/2}}$$

根据变形的微小性假设, 有 $v_1' \ll 1$, 故得:

$$\frac{1}{\rho} \approx v_1'' \quad (0.8)$$

比较 (0.7) 式和 (0.8) 式得挠度和弯矩的关系式如下:

$$EJv_1'' = M \quad (0.9)$$

将 (0.9) 式逐次进行微分得:

$$[EJv_1'']' = Q \quad (0.10)$$

$$[EJv_1'''] = q(x) \quad (0.11)$$

这样, 就得到了外载荷和挠度的关系式。

对于等截面梁来说 $EJ = \text{常数}$, 于是有:

$$EJv_1'' = Q \quad (0.12)$$

$$EJv_1''' = q(x) \quad (0.13)$$

由于挠度很小, 所以梁截面的转角和挠度 v_1 有如下的近似关系式:

$$\theta \approx \tan \theta = v_1' \quad (0.14)$$

以上是材料力学中的几个基本关系式, 也是船舶结构力学经常用到的几个关系式。

第一章 直梁的弯曲

§1 梁的支座形式和边界条件

在船舶结构中,各个构件是互相牵连作用的,是组成一个整体来共同抵抗外荷的。如果把船舶作为一个整体——非常复杂的空间薄壁结构,来进行分析,假若没有电子计算机,将不可能得出任何可用的结果。同时,由于各条件的限制(外荷、材料、工艺等不可能十分理想),在很多情况下也没有必要来进行这样分析。所以,通常都是根据实际情况,将这种复杂的结构割裂,进行简化,以便能迅速求得具有足够准确度而又简便的计算公式。在进行割裂的过程当中,我们总是将一个构件或几个构件的组合作为研究的对象,而把其它部分的构件或构件的组合对它的作用,或者化成它的外荷,或者化成它的支座,或者二者兼备。到底需要化成哪一种情况,则须视具体情况而定。

这样说来,要对某一构件或几个构件的组合作出可靠的分析,就必须首先根据实际情况弄清楚外荷的规律和大小以及支座的形式。外荷的情况大多是根据各部分的结构一级一级地分析而求得。这个并不难。而支座的形式则是各种各样的。同时由于支座的形式和构件的边界条件有关,而要求得梁的弯曲参数,就必须由结论中的平衡微分方程

(0.13) 配合相应的边界条件来解决问题。所以,我们来着重叙述各种支座形式和它们所对应的边界条件。

(一) 铰 支 座

如图 1.1 所示,若舱口处的横梁 AB 的 B 端与甲板纵桁 CD 相连接,纵桁一般是开口薄壁杆件(工字形钢),抗扭刚度很小,可认为不能承受扭矩,而它的抗弯刚度远较横梁为大,相对于横梁 AB 来说可认为纵桁不弯曲。这样说来,横梁 AB 在 B 端的弯矩为零,挠度也为零。这种形式的支座,我们叫做铰支座。铰支座可分为活动铰支座(不承受轴向力)(图 1.2)和固定铰支座(承受轴向力)(图 1.3)。

(1) 活动铰支座(图 1.2)

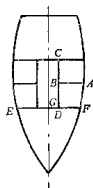


图 1.1

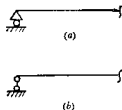


图 1.2

边界条件为:

$$\left. \begin{aligned} v &= 0, \\ M &= 0, \text{ 即 } v'' = 0 \\ N &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

(2) 固定铰支座 (见图1.3)



图 1.3

边界条件为:

$$\left. \begin{aligned} v &= 0 \\ v' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

(二) 固定端

如果相连接的两个构件 (如肋骨和实肋板) 刚度相差很悬殊, 而我们又以刚度小的 (如肋骨) 为研究对象, 则由于刚度小的 (肋骨) 被刚度大的 (实肋板) 所固定, 故在连接点处的挠度和转角为零。这种形式的支座就叫做固定支座或固定端, 如图 (1.4) 所示。

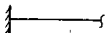


图 1.4

边界条件为:

$$\left. \begin{aligned} v &= 0 \\ v' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

(三) 单向固定端

船舶上的构件, 有很多是处于对称状态 (构件的几何形状、外荷和支座形式都对称), 如图 1.1 所示的横梁 EF 。根据对称构件的特性我们知道, 该构件在对称轴处 G 点的转角和剪力为零。在这种情况下, 如果把横梁 EF 的一半对另一半的作用, 用支座来代替, 则这种支座必须保证在梁端点处的转角和剪力为零。这种形式的支座, 就叫做单向固定支座, 或叫单向固定端, 如图 1.5 所示。



图 1.5

边界条件为:

$$\left. \begin{aligned} v' &= 0 \\ Q &= 0 \text{ 即 } v'' = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$