

# 海洋工程环境概论

董 胜 孔令双 编著

中国海洋大学出版社

· 青 岛 ·

图书在版编目(CIP)数据

海洋工程环境概论/董胜,孔令双编著. —青岛:中国海洋大学出版社,2005.3

ISBN 7-81067-700-4

I. 海… II. ①董… ②孔… III. 海洋工程—海洋环境—概论  
IV. X145

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 024671 号

中国海洋大学出版社出版发行  
(青岛市鱼山路 5 号 邮政编码:266003)

出版人:王曙光

日照报业印刷有限公司印刷

新华书店经销

\*

开本:787mm×960mm 1/16 印张:16.75 字数:310千字

2005年4月第1版 2005年4月第1次印刷

印数:1~1100 定价:26.00元

# 前 言

随着我国海洋开发和利用的迅速发展,各种海洋工程包括海岸工程结构物被相继设计和建造。例如开敞式深水码头、人工岛、海洋平台、海底管道工程等。这些型式、尺度各异的水工结构常常建造于开敞海域,时时遭受到种种海洋动力因素,如海浪、海流、潮汐、海冰以及风、地震、海啸、泥沙等的作用。环境条件荷载的准确计算成为海洋工程设计成败的关键。本书围绕海洋工程所处环境条件,系统地论述了它们的主要特性,给出工程设计参数的实用计算方法,使读者对海洋工程环境问题有一个比较全面的了解,有助于读者从事海洋工程的研究、规划、设计和建造工作。有鉴于此,中国海洋大学在港口、航道及海岸工程专业本科生和港口、海岸及近海工程专业研究生的教学中都特别重视这一教学训练环节。20世纪80年代初专业创立以来,中国海洋大学就开设了“工程水文学”课程,讲授风、浪、流、潮等海洋环境条件及河川水文的基础知识。2003年中国海洋大学开设了“船舶与海洋工程”专业,并将“海洋工程环境”确定为必修课程。1997年以来,作者一直从事海洋工程环境条件的随机性分析及可靠性分析方面的教学和科研工作,在吸收国内同类教材及国外文献精华的基础上,融入作者在国家自然科学基金,国家“九五”攻关课题及其他省市科研项目的部分研究成果,在授课过程中撰写并不断修订讲义,最后形成本书内容。

全书在进行理论分析的同时,注重基本概念的介绍。第一章绪论介绍了海洋工程环境研究的意义、主要内容和方法。第二章介绍风的相关概念、影响我国的主要风系、风速的观测与资料整理,利用气象资料进行风速推算,探讨了极值风速的长期分布规律,进行风荷载的计算。第三章对海浪进行分类,定义了波浪要素,论述了波浪观测与资料整理方法,对波浪频谱和方向谱进行了简介,基于观测序列或气象资料推算波浪的长期设计要素,最后讨论了波浪的浅水变形计算。第四章介绍了潮汐现象及其观测和预报,分析了风暴潮的成因及其在我国的成灾特点,讨论了工程设计中不同潮位的计算方法,对风暴潮强度进行了等级划分。第五章介绍了海流的特征及其对海洋结构的影响。第六章介绍了我国海冰的观测及其物理力学特性,计算了海冰对海洋建筑物的作用力。第

七章介绍海岸工程泥沙的来源与特性,论述了各种海岸泥沙运动,建立了海岸泥沙的数学模型并给出工程实例。第八章简介地震的特点及相应荷载的计算方法,并介绍了海啸的形成、特点及传播。同时,为了方便读者对内容的理解和应用,本书附有算例和习题。

本书第一、二、三、四、五、六、八章由董胜执笔,第七章由孔令双执笔。全书由董胜统稿、定稿。

书稿完成后,承蒙中国科学院院士文圣常教授审阅了全书,并提出了指导性建议。在书稿付梓之际,先生又欣然提笔作序,对我们予以鼓励。在此,特向先生表示诚挚的谢意。

在本书出版过程中,作者始终得到中国海洋大学工程学院领导及同事们的鼓励和支持;交通部天津水运工程科学研究所曹祖德研究员、大连理工大学董国海教授在百忙之中审阅了初稿,并提出了宝贵意见;研究生郝小丽、冯春明完成了部分初稿的文字录入工作,在此表示衷心的感谢。同时,也要感谢中国海洋大学教务处等有关部门对本书编撰工作的大力支持,还要感谢中国海洋大学出版基金的资助。

本书可作为海洋、海岸、港航、水利、环境等专业本科生的教材,亦可作为相关专业研究生、科研人员及工程技术人员的参考书。

海洋工程环境是一门交叉学科,由于作者从事该领域研究的时间短,水平有限,书中难免存在不足甚至错误之处,敬请专家和读者批评指正。

作者

2005年3月

# 序

21 世纪将是海洋科学与技术飞速发展的世纪。为了解决日益突出的“人口、资源、环境”问题,我国已把开发海洋资源、发展海洋经济作为国家的发展战略目标。无论是海洋油气与矿产资源、海洋生物与海水资源,还是海洋运输与空间的开发利用,皆依赖于海洋工程的发展。

由于海洋工程结构复杂、体积庞大、造价昂贵,在建造与使用过程中一直遭受海浪、潮汐、风暴潮、海流、风的作用,有些地区还会受到海冰、地震、海啸等恶劣条件的影响。深入了解海洋工程环境条件的发生和发展规律,为海洋工程提供规划、设计、施工、营运等方面的客观数据,是保证结构安全、降低成本、高效营运的重要前提。

《海洋工程环境概论》一书的作者对海洋工程环境进行了全面的归纳总结,是多年科研与教学成果的积累。该书具有深入的理论研究和广泛的工程应用,同时融入作者的最新见解。例如,拓展了二维复合分布理论的应用领域,提出了新的海岸地区台风风暴潮强度等级划分准则;建立了有效风能的概念,给出了粉砂质海岸淤积预报的公式。作者注意面向海洋工程实际,舍弃了繁复的数学推导过程,内容适合于我国高等教育的要求和海洋工程技术人员需要,此书的出版将对我国海洋工程环境的研究起到促进作用。

我相信,通过年轻学者与国内同行的共同努力,对海洋工程环境开展深入系统的研究将取得更加丰硕的成果,为我国海洋资源的开发利用作出重要贡献。

文圣章

2005 年 3 月 28 日

# 目 录

第一章 绪论 .....	(1)
§ 1.1 丰富的海洋资源 .....	(1)
§ 1.2 海洋资源的开发 .....	(2)
§ 1.3 海洋工程环境研究的主要内容 .....	(3)
§ 1.4 海洋工程环境研究的意义 .....	(4)
§ 1.5 海洋工程环境研究的方法 .....	(5)
第二章 风 .....	(6)
§ 2.1 风与风系 .....	(6)
2.1.1 .....	(6)
2.1.2 .....	(6)
2.1.3 .....	(9)
2.1.4 .....	(10)
§ 2.2 风的观测与资料整理 .....	(13)
§ 2.3 根据气象资料推算风速 .....	(15)
2.3.1 .....	(15)
2.3.2 .....	(17)
§ 2.4 极值风速的长期分布规律 .....	(20)
§ 2.5 风对海洋建筑物的作用 .....	(24)
2.5.1 .....	(24)
2.5.2 .....	(24)
2.5.3 .....	(25)
2.5.4 .....	(27)
第三章 海浪 .....	(29)
§ 3.1 海浪的分类与基本要素 .....	(30)
3.1.1 .....	(30)
3.1.2 .....	(31)
§ 3.2 海浪观测与资料整理 .....	(33)

3.2.1	.....	(33)
3.2.2	.....	(37)
3.2.3	.....	(39)
§ 3.3 固定点海浪要素统计规律	.....	(40)
3.3.1	.....	(41)
3.3.2	.....	(49)
3.3.3	.....	(49)
3.3.4	.....	(51)
§ 3.4 波谱的基础知识	.....	(55)
3.4.1	.....	(55)
3.4.2	.....	(57)
3.4.3	.....	(60)
3.4.4	.....	(63)
§ 3.5 基于观测资料的重现期波浪推算	.....	(65)
3.5.1	.....	(66)
3.5.2	.....	(67)
3.5.3	.....	(74)
3.5.4	.....	(77)
§ 3.6 根据气象资料推算风浪尺度	.....	(78)
3.6.1	.....	(79)
3.6.2	.....	(81)
3.6.3	.....	(86)
3.6.4	.....	(89)
3.6.5	.....	(91)
§ 3.7 近岸波浪传播的变形	.....	(93)
3.7.1	.....	(94)
3.7.2	.....	(96)
3.7.3	.....	(101)
3.7.4	.....	(104)
3.7.5	.....	(105)
3.7.6	.....	(108)
<b>第四章 潮汐与风暴潮</b>	.....	(110)
§ 4.1 潮汐现象及其成因	.....	(110)
4.1.1	.....	(110)

---

4.1.2	.....	(111)
§ 4.2 潮汐的观测、分析和预报	.....	(115)
4.2.1	.....	(115)
4.2.2	.....	(119)
4.2.3	.....	(121)
§ 4.3 工程设计中的潮位推算	.....	(122)
4.3.1	.....	(122)
4.3.2	.....	(123)
§ 4.4 风暴潮的形成与推算	.....	(133)
4.4.1	.....	(133)
4.4.2	.....	(138)
§ 4.5 台风风暴潮的统计分布与强度等级划分	.....	(141)
4.5.1	.....	(143)
4.5.2	.....	(145)
<b>第五章 海流</b>	.....	(150)
§ 5.1 近岸海流概述	.....	(150)
5.1.1	.....	(150)
5.1.2	.....	(151)
5.1.3	.....	(152)
§ 5.2 海流的观测与资料的整理	.....	(154)
5.2.1	.....	(154)
5.2.2	.....	(156)
§ 5.3 海洋工程设计中的近岸海流特征值	.....	(158)
5.3.1	.....	(158)
5.3.2	.....	(158)
5.3.3	.....	(158)
§ 5.4 海流对海洋建筑物的作用	.....	(159)
<b>第六章 海冰</b>	.....	(160)
§ 6.1 海冰概况	.....	(161)
6.1.1	.....	(161)
6.1.2	.....	(163)
6.1.3	.....	(163)
6.1.4	.....	(163)
§ 6.2 海冰的观测	.....	(165)

6.2.1	.....	(165)
6.2.2	.....	(165)
§ 6.3	海冰的物理力学特性 .....	(170)
6.3.1	.....	(170)
6.3.2	.....	(172)
§ 6.4	海冰对海洋建筑物的作用 .....	(174)
6.4.1	.....	(175)
6.4.2	.....	(175)
<b>第七章</b>	<b>泥沙</b> .....	(180)
§ 7.1	泥沙来源及泥沙基本特性 .....	(180)
7.1.1	.....	(180)
7.1.2	.....	(181)
7.1.3	.....	(188)
§ 7.2	海岸泥沙运动 .....	(190)
7.2.1	.....	(191)
7.2.2	、 .....	(193)
7.2.3	、 .....	(195)
7.2.4	、 .....	(195)
7.2.5	、 .....	(196)
7.2.6	、 .....	(197)
7.2.7	.....	(198)
7.2.8	.....	(198)
7.2.9	.....	(199)
§ 7.3	海岸泥沙数学模型 .....	(208)
7.3.1	.....	(208)
7.3.2	.....	(209)
7.3.3	.....	(209)
7.3.4	.....	(209)
<b>第八章</b>	<b>地震与海啸</b> .....	(211)
§ 8.1	地震 .....	(212)
8.1.1	.....	(212)
8.1.2	、 .....	(212)
8.1.3	.....	(214)
8.1.4	.....	(217)

---

§ 8.2 海啸 .....	(222)
8.2.1 .....	(223)
8.2.2 .....	(223)
8.2.3 .....	(225)
8.2.4 .....	(226)
8.2.5 .....	(228)
习 题 .....	(230)
附 录 .....	(235)
参考文献 .....	(251)

# 第一章 绪论

在人类生存的地球表面上,海洋面积占 70.8%,而陆地面积占 29.2%。随着人类文明的快速发展,陆地资源面临枯竭。相比之下,人类对海洋资源的开发利用还相当有限。面对“人口、资源、环境”三大问题,人类把解决问题的希望寄托于海洋。

## § 1.1 丰富的海洋资源

广阔的海洋蕴藏着极为丰富的自然资源,主要有如下种类。

### 1. 海洋矿产资源

在海底蕴藏着各种矿物资源,仅多金属结核(亦称锰结核)和多金属硫化物的储量约达 $6 \times 10^{19}$  t,其中所含的镍、钴、铜、锰总储量为陆上总储量的几十倍到几千倍。特别是多金属结核,它是一种年年生长的永久性资源,主要分布在水深 3 500~4 500 m 的海底表层,厚度约 1 m。

海底石油的储量高达  $1.35 \times 10^{11}$  t 左右,占世界石油总储量的 2/3 以上,天然气储量约达  $1.4 \times 10^{14}$  m<sup>3</sup>。我国渤海、东海陆架、南海珠江口、北部湾、台西南、莺歌湾-琼东南以及南沙曾母、万安等区域都发现了大型油气盆地和近百个含油气构造。其中渤海海域的石油储量约  $7 \times 10^9$  t,探明石油地质储量  $1.19 \times 10^9$  t。预计未来,深海区域的油气总储量占世界的 44%,石油可采储量  $6 \times 10^{10}$  t,天然气达  $2.1 \times 10^{13}$  m<sup>3</sup>。深水海区天然气水合物的甲烷碳含量相当于全世界煤、石油、天然气总储量的 2 倍。

其他矿产资源在海底的蕴藏量也比陆地多,但较分散,开采价值不及石油和锰。

### 2. 海水资源

地球上海水的体积约为  $1.37 \times 10^9$  km<sup>3</sup>,对海水和其所含物质的利用也是海洋开发的内容,例如海水淡化、制盐、提取铀(每升海水含铀 0.002 mg,估计全部海水含铀可达  $5 \times 10^9$  t)、提取重氢(海水含 0.014 6% 重氢,全部海水含重氢约为  $1.99 \times 10^4$  km<sup>3</sup>)等。铀与重氢是原子能的重要原料。

### 3. 海洋能

潮汐、海流、波浪都具有大量能量,还有温差、盐度差等,据估测,全球海洋能理论蕴藏量为 $7.66 \times 10^{10}$  kW,可开发装机容量为 $6.4 \times 10^9$  kW,约为目前世界发电装机容量的2倍。中国海洋能理论蕴藏量为 $6.3 \times 10^8$  kW,其中潮汐能为 $1.1 \times 10^8$  kW,可开发装机容量为 $2.158 \times 10^7$  kW;波浪能理论功率为 $2.302 \times 10^7$  kW;潮流能可开发装机容量 $1.828 \times 10^7$  kW。

### 4. 海洋生物资源

海洋中的生物资源十分丰富,鱼、虾、贝、藻等共有20万种以上。海洋也是人类蛋白质的来源宝库,特别是水产品的人工养殖,极大地促进了人类生活水平的改善。

## § 1.2 海洋资源的开发

海洋开发包括海洋与周围环境(海洋大气、海岸、海底)的资源开发和空间利用的一切活动。21世纪是海洋资源开发的世纪,世界各国都把开发海洋、发展海洋经济和海洋产业作为国家发展的战略目标。20世纪80年代以来,美、日、英、法、德等国相继制定了海洋科技发展计划,提出了优先发展海洋高技术的战略决策。如1985年美国制定了《全球海洋发展战略与规划》,英国海洋科技协调委员会发表了《90年代英国海洋科技发展报告》,日本政府制定了《面向21世纪海洋开发推进计划》,我国“九五”期间正式启动了“国家863高技术计划海洋领域”项目,宣布我国进入国际开发海洋的行列。

我国既是一个陆地大国,也是一个海洋大国。大陆海岸线长达18000多千米,管辖的海域面积达300万平方千米,是一个独立的蓝色经济带,蕴藏着丰富的海洋资源。而开发海洋资源,发展海洋经济,对我国国民经济的发展具有重要的战略意义。

现代海洋开发的内容,大致可概括为五个方面。

### 1. 海洋资源开发

有关海洋资源和能源的开发和利用主要包括:碳氢化合物以石油与天然气为主;固体矿物从海滩、海底表层或海底之下开采,或从海水中提炼;生物资源则包括鱼类与其他海生物;能源包括潮汐、海流、波浪、温差、盐度差、生物发电以及太阳能和风能的利用;海水淡化、海洋化学元素提取和海水直接利用等。

### 2. 海水物流与信息流

货物、人、材料、能源、信息等在海面上、海洋中或海底下的运输、输送或传递,主要有下列形式:各种水上、水面和水中的交通工具,如商业船舶、驳船、潜

艇、气垫船、水翼船等；电缆与光导纤维的电力输送和通信；管道，输送石油与天然气、泥浆和化学品。

### 3. 勘探与测量

有关海洋观测资料的采集、分析和利用，如水文和海洋学的有关资料；科学勘探则指探索海洋与海底资源、构成物、现象与特性。

### 4. 海洋环境保护

在开发利用海洋资源的同时，要防止海洋与其边缘地区的环境恶化和有关人造装置的破坏、变坏或损失。污染控制，包括由陆上、船上与近海装置排出的废液和废气的控制；侵蚀与沉积的控制，对海岸保护与疏浚；废物处理，海洋作为废物、废热和噪声的排放场所的有计划利用；安全保护。

### 5. 海岸带的开发

增进、利用与发展海岸和沿海水域的活动。港口、海岸和航道建设；工厂、码头和仓库等设施建设，包括生产或中转用的浮动式或固定式的设施；水上游览与居住，包括游艇码头、水上娱乐场所、人工岛等；围海造田。

## § 1.3 海洋工程环境研究的主要内容

海洋丰富资源的开发和利用，无论是海洋油气与矿产资源的开发、海洋生物资源与海水资源的开发和利用，还是海洋运输和海洋空间的利用与开发都依赖于海洋工程的发展，都必须通过其特定型式的工程结构物来实施。这些结构物种类繁多，海洋工程环境条件及其诱导的环境荷载的确定是结构设计的重要组成部分之一。

海洋工程环境是研究与海洋工程有关的环境现象，确定海洋建筑物自然条件设计标准的一门科学，它是海洋工程的新兴分支。其主要内容包括：①海洋工程物理环境，如风、浪、潮汐、海流、风暴潮、冰、温度、海啸、内波等；②海洋工程地质地貌环境，如泥沙输移、海岸演变、地震、水下塌落与滑坡等；③海洋工程化学环境，如海水成分；④海洋工程生物环境，如海洋生物等。

海洋工程物理环境中的风、浪、流、潮等是影响海洋工程建筑物的主要环境动力因素，本书将着重讨论它们的形成机理及其计算方法。由于这些现象都是随时间和空间而变化的随机过程，本书不仅要揭示它们与海洋结构的短期相互作用，还要分析它们的长期分布规律；不仅要探讨各种荷载对建筑物的独立作用，还要研究某一灾害（如风暴潮，海啸）过程中多种动力要素对建筑物的联合作用。这样才能为海洋结构的优化设计提出客观合理的环境条件设计参数。

海洋工程地质地貌环境中的泥沙输移与冲刷也是工程设计需要考虑的重

要环境因素,虽然它不能使结构的受力产生直接变化,但能通过结构基础的变化影响整体的稳定,如结构物水深增加,造成整体结构失稳,降低建筑物的使用寿命。另外,在地震活跃的海域建造海洋建筑物,地震荷载往往是主要荷载,必须加以考虑。

## § 1.4 海洋工程环境研究的意义

与陆上建筑物相比,海洋工程结构所处的环境更加恶劣。准确预测海上物理环境条件的强度、出现的概率及其诱发的荷载,对海洋建筑物的安全至关重要。

全球范围内已经探明的海洋油气储量 80% 以上在水深 500 m 以内,历经数十年的开发,世界大部分地区的浅海与近海油气资源日趋减少,人类海洋油气资源开发的目光投向了广阔深海。在深水建设平台,不仅要保证在正常条件下的安全作业,即使在极端条件下,生产设施暂停作业,也要保证建筑物的基本安全。因此对自然环境条件的勘查选取要求更加客观,对结构设计提出更大的挑战。此外,据统计,海洋石油钻井装置发生的特重大事故主要是对相关海域的自然环境条件及地质资料收集和分析不足引起的。如 1964 年位于东阿拉斯加库克湾的 2 座海洋钻井平台被海冰摧毁;1969 年我国的“渤海”2 号在拖航过程中翻沉;1982 年在加拿大近海油田,半潜式钻井平台“海上徘徊者”的翻沉事件。上述事故说明准确掌握海洋水文气象观测资料的重要性。有鉴于此,世界上一些海洋技术发达的国家,为了适应大型海上工程设施的建设需要,建立了完善的海洋观测体系。如英国和挪威为了在风浪险恶的北海大陆架开采海底石油,增设了水文和气象观测设备,用于广泛收集和分析北海水文气象资料。日本为了海岸工程的安全,在其沿海建立了几十个观测站,用于波浪、潮汐、风等自然条件观测资料的收集。在国家海洋局的统一部署下,我国逐步在沿岸和岛屿建立起了气象站和海洋站,系统地进行气象、水文等要素的观测。目前,我国已经建立了 65 个台站,遍布渤海、黄海、东海和南海,积累了 30 多年的历史观测资料,对我国的海洋开发起到了积极的推动作用。

海洋环境条件与荷载的合理确定对海洋建筑物的建造投资和经济效益也是举足轻重的。有研究表明,对于墨西哥湾某一固定式平台,风、浪、流各自选取 100 年一遇重现值作为设计荷载时,所得平台的整体倾覆力矩比考虑三者联合概率影响的值高出 18% 左右,因此,采用联合概率设计方法可以大大降低工程的投资费用。

海洋建筑物的安全性和经济性虽是海洋工程设计中彼此矛盾的两个方面,

基于工程可靠度设计理论,二者可以实现和谐的统一。其中对海洋环境条件荷载以及某一结构物的抵抗外荷载的能力进行准确的概率分析是解决问题的关键。

## § 1.5 海洋工程环境研究的方法

海洋工程环境概论的研究方法主要有以下 4 种。

### 1. 理论分析法

根据海洋环境的观测现象,建立起各要素之间的数学力学关系。由于涉及因素的多样性,往往对自然条件作出不同程度的简化,在数学上作出近似处理,使得现有理论在不同程度上与客观现实之间存在偏离。许多问题有待进一步探索研究。

### 2. 现场观测法

这是研究海洋环境条件的最基本方法。由于自然条件的复杂性,它是揭示物理现象、各物理因素之间相互关系的主要途径,也是确定数学力学公式中经验系数的必要手段。虽然如此,现场观测需要耗费巨大的人力、物力和财力,有时还存在测量上的困难,而且与现场研究遇到的因素掺合在一起,不容易把感兴趣的因素分离出来。

### 3. 物模实验法

由于现场观测法存在的不足,在实验室里模拟重现各种自然现象成为科学研究的主要途径。虽然科学工作者通过努力,已经在此方面取得很大的发展,但是“比尺效应”的困难,使得在小比尺下建立的理论关系应用到自然条件中存在疑问。

### 4. 数值模拟法

数值模拟法随着计算机的飞速发展而日益成为解决各种科学问题的重要手段。如波浪在近岸区域的浅水变形计算,风暴潮的数值模拟等。与物理模型相比,它避免了比尺效应问题,可以处理很大的空间范围问题,容易实现不同设计方案的快速比选。即便如此,数值模拟的基础是正确的物理模式和力学关系,否则其结果是没有实际意义的。

需要说明的是,上述方法是相互关联、彼此补充的,不能强调某一方法而忽略其他方法,只有通过多种方式的研究才能确定海洋环境条件对建筑物的影响,提出客观合理的工程结构设计标准。

# 第二章 风

作为一种重要的天气因素,风对海洋工程既有直接作用,也有间接影响。风力可以直接作用在海洋建筑物上,例如海洋石油平台的上部构件,或作用在船舶上,然后传给岸壁结构。海面风场对海水的运动有巨大的影响,特别与表层海流的变化、海浪的发展和传播以及风暴水位涨落的程度等,有密切关系。一次强大的风暴和它引起的巨浪,往往是造成海洋建筑物破坏的主要原因。风力的计算,已成为海洋建筑物设计中不可缺少的条件。为了利用良好的天气进行施工、作业以及钻井船、预制沉箱的拖航等,也必须了解工作海区的大风规律及特点,并通过分析强风向和常风向、统计大风日数、绘制风玫瑰图等方法,进一步掌握风对建筑物的影响。

## § 2.1 风与风系

### 2.1.1 气压的意义和单位

大气作用于地球表面单位面积上的力叫做大气压力,简称气压。在纬度 $45^\circ$ 的海平面上,温度为 $0^\circ\text{C}$ 时,760 mm高水银柱产生的压力称为1个标准大气压,其值相当于每平方厘米受到10.132 N的力。若规定每平方厘米受到0.01 N的力为1毫巴(mb),则1个标准大气压力就等于1 013.2 mb。世界气象组织统一使用的气压单位为“百帕”(hPa)。1 Pa=1 N/m<sup>2</sup>,因此,1 hPa = 0.01 N/cm<sup>2</sup>,可见,百帕和毫巴在数值上相等。

### 2.1.2 风速和风向

风是空气从高压区向低压区的流动。风的特征可以用风速和风向来表示。风速是指空气在单位时间内流过的距离,单位一般用 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。为了便于使用,蒲福(Beaufort)将风速的大小划分为13级,后人加以完善,补充了5级,成为现在通用的风级表(表2.1.1)。

风的来向称为风向。以北向为起始方位,每隔 $22.5^\circ$ 确定一个风向(见图

2.1.1),分别为北(N)、东北偏北(NNE)、东北(NE)、东北偏东(ENE)、东(E)、东南偏东(ESE)、东南(SE)、东南偏南(SSE)、南(S)、西南偏南(SSW)、西南(SW)、西南偏西(WSW)、西(W)、西北偏西(WNW)、西北(NW)和西北偏北(NNW)。

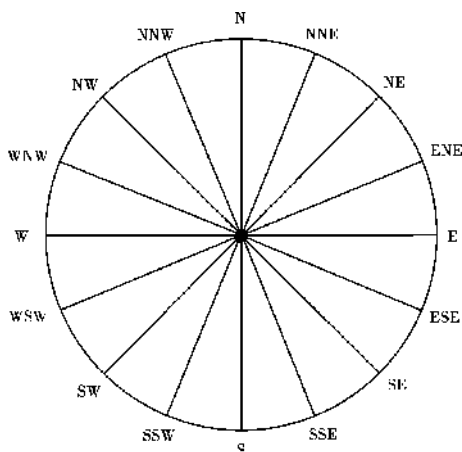


图 2.1.1 风向的方位

表 2.1.1 风级表

风级	风名	海面浪高/m		海面征象	陆面征象	相当风速 /m·s <sup>-1</sup>
		一般	最高			
0	静风	/	/	海面像镜子一样平静	静,烟直上	0~0.2
1	软风	0.1	0.1	海面有波纹,但没有白色波顶	烟能表示风向,但风标不能转动	0.3~1.5
2	轻风	0.2	0.3	波纹虽小,但已明显,波顶透明像玻璃,但不碎	人面感觉有风,树叶有微响,风向标能转动	1.6~3.3
3	微风	0.3	1.0	波较大,波顶开始分裂,泡沫有光。间或见到白色波浪	树叶有微枝摇动不息,旌旗开展	3.4~5.4
4	和风	1.0	1.5	小浪,波长较大,往前卷的白碎浪较多,有间断的呼啸声	能吹起地面尘土和纸张,树的小枝摇动	5.5~7.9