

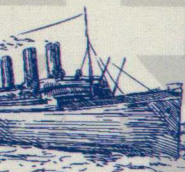


“海洋梦”系列丛书



碧海 鲸波

海洋能



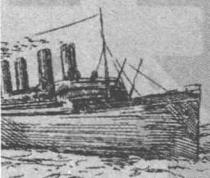
“海洋梦”系列丛书编委会◎编



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



“海洋梦”系列丛书



碧海 鲸波

海洋能

“海洋梦”系列丛书编委会◎编



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

碧海鲸波：海洋能/“海洋梦”系列丛书编委会编. —合肥：合肥工业大学出版社，2015.9

ISBN 978-7-5650-2416-0

I. ①碧… II. ①海… III. ①海洋动力资源—普及读物 IV. ①P743-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 210121 号

碧海鲸波：海洋能

“海洋梦”系列丛书编委会 编

责任编辑 李潇潇 孟宪余

出 版 合肥工业大学出版社

版 次 2015 年 9 月第 1 版

地 址 合肥市屯溪路 193 号

印 次 2015 年 9 月第 1 次印刷

邮 编 230009

开 本 710 毫米×1000 毫米 1/16

电 话 总 编 室：0551-62903038

印 张 12.75

市场营销部：0551-62903198

字 数 200 千字

网 址 www.hfutpress.com.cn

印 刷 三河市燕春印务有限公司

E-mail hfutpress@163.com

发 行 全国新华书店

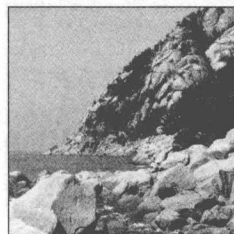
ISBN 978-7-5650-2416-0

定价：25.80 元

如果有影响阅读的印装质量问题，请与出版社市场营销部联系调换。

目 录

碧海鲸波——海洋能



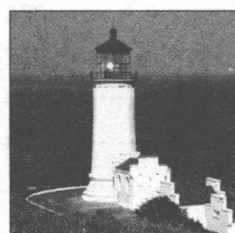
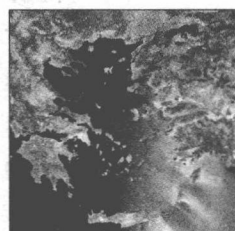
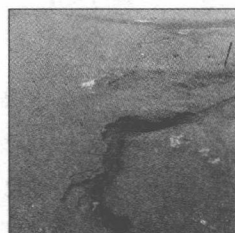
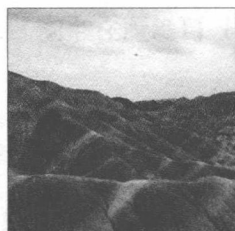
第一章 潮起潮落生电能：潮汐能

第一节	跌宕起伏的潮汐·····	002
	潮起潮落的起因·····	002
	到海边看潮汐·····	002
	天体带来的潮汐现象·····	004
第二节	潮汐能与潮汐发电·····	007
	威力无穷的潮汐能·····	007
	分布广泛的潮汐能·····	008
	一涨一落能发电·····	014
	亦喜亦忧的潮汐发电·····	019
	潮汐能发电有“潜力”·····	021
第三节	著名的潮汐能发电站·····	026
	朗斯潮汐电站·····	026
	白沙口潮汐电站·····	027
	江夏潮汐电站·····	028
	岳浦潮汐电站·····	030
	甘竹滩洪潮电站·····	031

第二章 海流湍急好发电：海流能

第一节	永不停息的海流·····	034
	奔腾不息的海流·····	
	海流会带来什么·····	036
第二节	巨大的海流能·····	038
	世界海流能资源分布·····	038





	丰富的海流能资源	039
	我国海流能资源分布	039
第三节	海流能开发乐园	042
	海流能开发现状	042
	海流能开发起源	043
	海流能开发的新时代	044

第三章 咸水淡水融汇出：盐差能

第一节	海水盐度	046
	海水为什么是咸的	046
	什么是海水盐度	047
	海水里到底含有多少盐	048
第二节	神奇的盐差能	051
	海水的“咸”里有能量	051
	盐度差能发电的前景	052
	盐度差能会发电	054
	盐度差能分布广	058

第四章 波涛汹涌的能量：海洋能

第一节	能量与新能源	064
	认识能量与能源	064
	正在枯竭的常规能源	068
	新能源“大观园”	079
第二节	清洁的海洋能源：海洋能	085
	什么是海洋能	085
	海洋能优缺点	087
	海洋能大家族	090
	海洋能开发历史	093
	海洋能开发前景	097
第三节	魅力无穷的海洋能	100
	来自海底的巨大瀑布	100





海流成为摇钱树 101

匪夷所思的洋流 102

第五章 波浪滚滚送能源：波浪能

第一节 不断翻滚的波浪 106

波浪有哪些特征 106

波涛汹涌的波浪 107

有趣的波浪家族 108

第二节 威力无穷的海洋波浪能 111

波浪能的形成 111

波浪能的无穷威力 112

波浪能的特点 113

第三节 愤怒的“蛟龙”能发电 115

波浪能发电 115

波浪能的分布 119

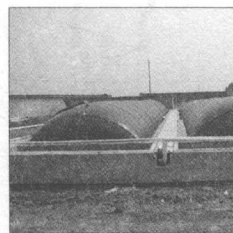
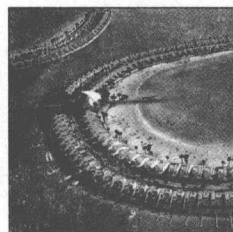
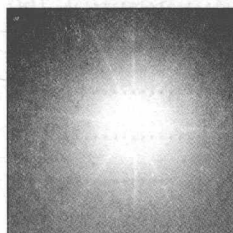
波浪能发展的前景 125

波浪能发电的早期利用 127

第四节 著名的波浪能发电站 130

早期的波浪发电站 130

“海明号”波力发电船 131



第六章 冷暖交替蕴电能：温差能

第一节 取之不尽的温差能 134

海洋温差能如何形成 134

海洋里的无限热能 136

温差能有什么优势 136

第二节 温差能发电 138

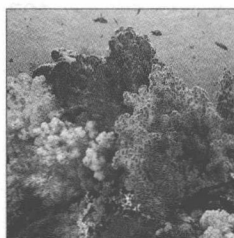
温差能如何发电 138

著名温差能电站 145

温差能发电的发展 146

第三节 温差能的广泛应用 148





全球的温差能分布	148
我国海洋温差能分布	150
温差能的综合利用	157

第七章 人类最后的资源宝库：海洋资源

第一节 蔚蓝的海洋世界	160
辽阔的海洋	160
海洋从哪里来	161
海与洋一样吗	168
海洋的地形分类	173
第二节 储量惊人的海洋资源	178
认识资源	178
海洋资源	182
海洋资源分类	185





第一章 潮起潮落生电能：潮汐能

凡是到过海边的人们，都会看到海水有一种周期性的涨落现象：到了一定时间，海水推波助澜，迅猛上涨，达到高潮；过后一些时间，上涨的海水又自行退去，留下一片沙滩，出现低潮。如此循环重复，永不停息。海水的这种运动现象就是潮汐。潮汐为人类的航海、捕捞和晒盐提供了方便。同时，它也可以带来巨大能量，形成可供人类利用的潮汐能。





第一节 跌宕起伏的潮汐



潮起潮落的起因

潮汐虽有规律，但很复杂，随时间、地域的不同而变化着。长期以来，有关潮汐的成因，尚无十分精确的解释。多数学者认为（也被大家所接受），潮汐是月球、太阳和其他星体对地球的引力（主要指对海水的引力）以及地球的自转所形成的，由于这些力的作用从而导致了海水的相对运动。牛顿的万有引力定律告诉我们：任何2个物体之间都存在着相互吸引的力，吸引力的大小和这2个物体的质量的乘积成正比，而与2个物体之间的距离的平方成反比。把万有引力定律运用到地球和其他天体之间存在的引力关系上时，可以把地球本身的质量看作不变的。因此，吸引力与天

体的质量成正比，与地球到天体的距离的平方成反比。大家都知道，地球围绕着太阳转，月球围绕着地球转。太阳的质量虽然比月球的质量大得多，但是，月球与地球的距离却比太阳与地球的距离小得多，用牛顿万有引力公式计算得到的结果可以证明，月球的引力远大于太阳的引力，而其他天体对地球的引力则是很微弱的。所以说，月球的引力是形成潮汐的主要成因。潮汐现象主要是随月球的运动而变化的。



到海边看潮汐

潮汐现象是海水在天体（主要是月球和太阳）引潮力作用下所产生的周期性运动，习惯上把海面垂直方向的涨落称为潮汐，而海水在



水平方向的流动称为潮流。潮汐是沿海地区的一种自然现象，古代称白天的河海涌水为“潮”，晚上的称为“汐”，合称为“潮汐”。潮汐是一种周期现象，在潮汐升降的一个周期中，海面升到最高位置时称为高潮；海面降到最低位置时称为低潮。从低潮到高潮的过程中，海面不断升涨称为涨潮。自高潮到低潮的过程中，海面逐渐下落称为落潮。两相邻高低潮水位之差称为潮差，潮差每天不等，其平均值成为平均潮差。在涨潮或落潮中，当水位达到高潮或低潮时，海面有短时间不涨也不落，此段时间分别称为平潮和停潮。



你知道吗

潮汐的军事利用

潮汐是由于日月引潮力的

作用，使地球上的海水产生周期性的涨落现象。它不仅可发电、捕鱼、产盐及发展航运、海洋生物养殖，而且对于很多军事行动有重要影响。历史上就有许多成功利用潮汐规律而取胜的战例。1661年4月21日，郑成功率领2.5万名将士从金门岛出发，到达澎湖列岛，进入台湾攻打赤崁城。郑成功率领军队乘着涨潮航道变宽且深时，攻其不备，顺流迅速通过鹿耳门，在禾寮港登陆，直奔赤崁城，一举登陆成功。

潮汐的涨落现象因时因地而异，从涨落的周期来看，可以把潮汐分为三种：

(1) 半日潮

潮汐的涨落在24.8小时（天文学上称为“1个太阴日”）内有2个



涨潮现象



周期，出现2次高潮和2次低潮，半日完成1个周期。半日潮的相邻2个潮差几乎相等；涨、落潮时也几乎相同。我国黄海、东海沿岸多数港口属半日潮海区。

(2) 全日潮

1个太阴日内仅出现1次高潮和1次低潮，即1日内只完成1个周期。

(3) 混合潮

每个太阴日内，涨、落潮2次和涨、落潮1次混杂地出现，这种潮汐称为混合潮。混合潮的相邻2个潮差及相邻的2个涨、落潮时也不一定相等。我国南海多数地区属于混合潮。

潮汐除了半日或全日的变化外，还有较长的周期变化，其中最明显的周期为半个太阴月，即14.7天，在此期间潮差在最大值和最小值之间变化1周。



天体带来的潮汐现象

一般而言，大洋、外海的潮差较小，愈近海岸潮差愈大，尤其是在伸入陆地的海湾，潮差从湾口向湾顶递增，海湾两岸呈对称分布。河口地区的潮差因流河而异一般大的河口，凡呈喇叭状的，潮差由口门往里逐渐增大，甚至形成涌



月球与地球





海湾摄影图

潮，其他河口一般是由口门往里潮差渐小。

潮汐不仅有地域的差别，在同一地点还明显地随时间变化。月球在绕地球运行的过程中，由于相对于地球和太阳位置的变化，在一个太阴月中会出现盈亏圆缺的变化，称月相变化。因此，半日潮的潮幅在半个太阴月中具有最显著的变化，其间潮幅由最大值变化到最小值，而且这些最大值也往往不相同。

由于运动着的地球、月球和太阳的相对位置存在着多种周期性变化，所以由月球和太阳引潮力产生的潮汐也存在多种周期组合在一起的复杂周期性变化，从而产生了潮汐各种周期性的不等现象。

1. 日不等现象

实际的潮汐振动在一个太阴日(24.8 小时)中两个潮的高低潮和潮差不相等，涨潮时和落潮时也不相等，这种不规则现象称为日不等现

象。高潮中比较高的一个叫高高潮，比较低的叫低高潮；低潮中比较低的叫低低潮，潮高的叫高低潮。

当月球赤纬不为零时，除赤道和高纬地区外，地球上其他各点半日潮部分与全日潮部分叠加，便出现潮汐日不等现象。随着月球赤纬的增大，全日潮成分增大，日不等现象也增大。当月球赤纬最大(月亮直射南、北回归线)时，日不等现象最显著，此时半日潮部分最小，日潮部分最大，这时的潮汐称回归潮。当月球赤纬为零(月亮直射赤道)时，除南北两极附近外，各地潮汐全日潮部分为零，半日潮部分最大，一个太阴日内有两涨两落，无日不等现象，赤道上潮差最大，越接近两极潮差越小，这时的潮汐称赤道潮(又称分点潮)。

2. 月不等现象

由于月球绕地球运动的轨道为椭圆，地球位于椭圆的一个焦点上，月球从近地点出发，经过远地点又回到近地点，需要一个近点月(27.554 6 天)，因此就产生了潮汐的月不等现象。月球离地球近时潮差较大，相应的潮汐为近地潮；月球离地球远时潮差较小，相应的潮汐为远地潮。月球轨道的偏心率较大，月地距离在近地点时为 57

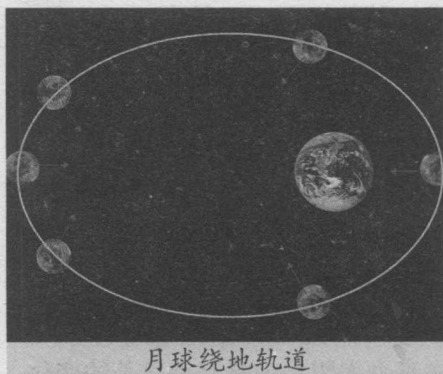


个地球半径，在远地点时为64个地球半径，引潮力大小与距离的三次方成反比，近地潮比远地潮大39.1%。

3. 年不等现象

地球环绕太阳运动的轨道也为椭圆，太阳位于椭圆的一个焦点上，地球从近日点出发，经过远日点又回到近日点，需要一个近点年（165.2596天）由于地球距太阳的远近变化，就产生了潮汐的年不等现象。地球位于近日点时，太阳引潮力最大，相应的潮汐称近日潮；地球位于远日点时，太阳引潮力最小，相应的潮汐称远日潮。由于太阳潮汐称近潮的一半，而且地球轨道的偏心率较小，所以太阳潮的这种变化不甚明显。太阳赤纬的变化，同样对潮汐产生影响。所不同的是，因为太阳潮小于太阴潮，太阳赤纬的变化产生的潮汐变化不像赤道潮与回归潮那样来得明显。每年在春分和秋分前后，太阳赤纬最小，如

果月球此时出现在赤道附近，则潮汐不等现象不显著，相应的潮汐称分点大潮（又称二分潮）；而在夏至和等冬至前后，太阳赤纬最大，若此时月球赤纬较大，则混淆不等现象最大，相应的潮汐称至点大潮（又称二至潮）。



月球绕地轨道

4. 多年不等现象

由于月球运行轨道的近地点是移动的，每隔8.85年完成一周。同时，月球运行轨道和地球运行轨道的相交点也是在地球运行轨道上缓慢移动，每隔18.61年完成一周。因此，潮汐还存在多年不等现象。





第二节 潮汐能与潮汐发电



威力无穷的潮汐能

潮汐能是以位能形态出现的海洋能。海水涨落的潮汐现象是由地球和天体运动以及它们之间的相互作用而引起的。月球对地球的引力方向指向月球中心，其大小因地而异。同时，地表的海水又受到地球运动离心力的作用，月球引力和离心力的合力正是引起海水涨落的引潮力。除月球外，太阳和其他天体对地球同样会产生引潮力。虽然太阳的质量比月球大得多，但太阳离地球的距离也比月球与地球之间的距离大得多，所以，其引潮力还不到月球引潮力的一半。其他天体或因远离地球，或因质量太小，因此所产生的引潮力微不足道。如果用万有引力计算，月球所产生的最大

引潮力可使海水面升高 0.563 米，太阳引潮力的作用为 0.246 米，但实际的潮差却比上述计算值大得多。如我国杭州湾的最大潮差达 8.93 米，北美加拿大芬地湾最大潮差达 19.6 米。这种实际与计算的差别目前尚无确切的解释。一般认为海水的自由振动频率与受迫振动频率一致而导致的共振会使潮差显著



杭州湾跨海大桥



增大。海水水位具有按照类似与正弦的规律随时间反复变化的性质，水位达到最高状态，称为满潮；水位落到最低状态，称为干潮；满潮与干潮两者的水位差称为潮差。海洋潮汐的涨落变化形成了一种可供人们利用的海洋能量。



你知道吗

21 世纪潮汐发电成为潮流

世界上适于建设潮汐电站的 20 多处地方，各国都在研究、设计建设潮汐电站。其中包括：美国阿拉斯加州的库克湾、加拿大芬地湾、英国塞文河口、阿根廷圣约瑟湾、澳大利亚达尔文范迪门湾、印度坎贝河口、俄罗斯远东鄂霍茨克海品仁湾、韩国仁川湾等地。随着技术进步，潮汐发电成本的不断降低。进入 21 世纪，将不断会有大型现代潮汐电站建成使用。

损的量值作为确定潮汐电站最佳地点的参考。然而，后来的研究表明，潮汐能与河川水能并不完全相同。潮汐能具有许多特性，首先是潮汐能与潮流过程有关，其次将潮波耗散能量与理论储量混为一谈是不合理的。这一点在对比两个形状相同、面积大小一样的海湾（只是其中一个海湾内能量耗损剧烈，且集中在海湾顶部，而另一个则没有能量耗损）后，就显而易见了。

在自然条件下，从外海传来的潮波相同，在第一个海湾中潮汐接近前进波，而在第二个海湾中却发生驻波。但是在离湾顶相同距离处建坝后，能量耗损地段就可能消除。这样两个海湾内的条件就会变得相同，而且大坝外侧会形成同样的潮汐波动，因而这就确定了两个潮汐电站完全相同的运行方式和发电量。所以，自然耗损的能量与所期望的潮汐电站功率特性之间并无



分布广泛的潮汐能

1. 全球的潮汐能分布

早期的一些研究成果，将全球海洋在沿岸耗损的潮汐能功率 $(10 \sim 14) \times 10^8$ 千瓦，视为潮汐能的理论储量。并且，用沿岸潮能耗



秦皇岛港口

直接联系。而且在许多情况下(在自然耗散能量很小时),潮汐电站所获得的能量比在自然条件下因摩擦而耗损的能量要多得多。例如,法国的朗斯河口自然摩擦耗损的能量功率仅为 6×10^4 千瓦,而朗斯潮汐电站利用该喇叭口潮能的实际功率达 24×10^4 千瓦。由此可见,潮波在近岸耗散的能量不能作为潮汐电站功率估计的依据。建潮汐电站获得的能量比自然情况下的潮能耗损大的原因,首先是建潮汐电站后潮波的波形发生了变化,其次是电站通过人工调节潮能,可以完全避免流速与潮水位之间的相位差,这时流速最大值与水位的最高值同

时出现。这种调节效果的物理本质就好像将潮汐能从海洋中抽到浅海中,并将其集中用在潮汐电站上。许多研究质能等的结论认为,全球潮汐能理论储量大于小潮波在大陆架上耗散的功率 17×10^8 千瓦,而接近潮波在海洋中总耗散的功率 24×10^8 千瓦。

据伯恩斯坦统计,全世界运行、设计、研究及建设的潮汐电站共 139 座,按调查和设计资料统计这些电站的总装机容量为 8×10^8 千瓦,年发电量为 2×10^{12} 千瓦小时。占全球潮汐能总功率的 27% (取全球潮汐能总功率为 30×10^{12} 千瓦/小时)。



黄河三角洲旅游区



2. 我国潮汐分布

(1) 海岸类型分布

我国海岸的形态和成因类型多种多样,按海岸地质地貌特征划分,主要有基岩海岸、平原海岸和生物海岸三类。

①基岩海岸。基岩海岸又称港湾海岸,主要由地质构造活动及波浪作用形成。沿岸波浪能量大,作用强烈,是塑造海岸的主要动力。其特征是山地直接临海,地势险峻,海岸曲折,多有伸入陆地的天然港湾,岬湾相间,岸滩狭窄,水下岸坡较陡,深水逼岸。沿岸基岩岛屿众多,常在沿岸及湾口一带形成水深流急的水道,也常使湾口或岬角深水岸段受到一定程度的掩护。海岸带的潮上带往往基岩裸露,潮下带沉积物由砾石和粗砂组成。此类海岸主要分布在北起辽东半岛南部的大洋河口,向西绕过辽东半岛南端至辽河口附近,小凌河口至河北秦皇岛,山东半岛北部莱州市虎头崖向东,绕过山东半岛顶部至江苏连云港附近,浙江镇海角以南经福建至广东、广西岸段,以及台湾东岸和海南岛东南岸段。此类海岸具有开发潮汐能资源的良好地质条件。

②平原海岸。平原海岸主要由江河携带入海的泥沙在风浪和沿岸

流作用下形成。潮流是塑造此类海岸的主要动力因素,波浪作用较弱,仅作用在岸外较远处,岸外有很宽的破波带。此类海岸由厚而松散的沉积物组成,主要成分是细粉砂、极细粉砂和黏土等。此类海岸线比较平直单调,岸上地带平坦,潮间带宽阔,沿岸湾少水浅,缺乏天然良港和岛屿,多沙洲、浅滩。平原海岸又可分为以下三类:河口三角洲海岸,主要分布在大河入海处,如辽河、黄河、长江、钱塘江和珠江等河口附近。此类海岸的特征是地势平坦,沿岸水浅坡缓,海岸组成物质较细。在北方多为向海突出的弧状三角洲,在南方多为海湾型三角洲;沙砾质海岸,主要分布于辽宁黄龙尾至盖平角、小凌河以西,河北大清河口以东,福建闽江口以南,台湾岛西岸,广东大亚湾以东和漠阳江以西,海南岛和广西沿岸。其特征是海岸组成物质以粗粒级为主,岸滩和水下岸坡远较淤泥质海岸陡,海滩一般较狭窄,仅几十米至几百米;淤泥质海岸,主要分布在辽东湾、渤海湾、莱州湾、苏北、长江口、浙江至闽江口以北的港湾和珠江口等岸段。其特征是海岸组成物质较细,一般海滩宽度大坡度小,滩宽几千米至几十千米。

③生物海岸。生物海岸又分为

