世界海洋陆架区砂矿

〔俄〕阿·依·艾涅梅尔，格·依·康申著

朱佛宏　单莲芳　朱成文
王显棣　莫恭敏　莫　杰　译
丁　禾　朱佛宏　单莲芳　校

地质矿产部海洋地质研究所

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 提 要

本书介绍了世界海洋陆架区最重要砂矿省的详细地质特征，探讨了美国、南美洲、非洲、印度、斯里兰卡、东南亚、澳大利亚、新西兰及欧洲各滨海陆架区的已知砂矿，并分析了苏联陆架区砂矿的地质构造和形成过程。

陆架区是大陆与海洋交界处的完整的体系，其特点是具有相同的结构-构造、动力地质和古地理环境以及成岩条件。根据基底的地质构造特征和沉积盖层的形成机制，提出了陆架区的分类方案。

划分了物质成份、空间-形态和动力学方面的三类砂矿形成因素。总的来说，砂矿的形成和分布规律与地球和世界大洋的全球不均一性的各个方面有关。

书中对陆架区砂矿地质和成因的研究程度所提出的统计学分析，能够查明所研究课题的总的结构，明确其某些优先研究的方面，并在此基础上确定陆架区砂矿在地质知识领域里的发展现状和发展趋势。

本书可供从事陆架区矿产普查、勘探及研究工作的地质人员使用。

附表 14、图 98、参考文献 193 条。

РОССЫПИ ШЕЛЬФОВЫХ
ЗОН МИРОВОГО ОКЕАНА

А. И. Айнемер, Г. И. Коншин

ЛЕНИНГРАД «НЕДРА» ЛЕНИНГРАДСКОЕ
ОТДЕЛЕНИЕ 1982

目　录

序言……1

第一部分　苏联以外世界各国陆架区砂矿的区域地质特征

第一章　美洲陆架区砂矿……6
一、美国大西洋沿岸……6
二、美国太平洋沿岸……10
三、南美和中美洲……20
第二章　非洲陆架区砂矿……22
一、埃及地中海沿岸……22
二、非洲大西洋沿岸……24
三、非洲印度洋沿岸……28
第三章　亚洲陆架区砂矿……29
一、印度……29
二、斯里兰卡……35
三、东南亚……38
四、东亚……42
第四章　澳大利亚和大洋洲陆架区砂矿……43
一、澳大利亚东部沿岸……43
二、澳大利亚西部沿岸……55
三、新西兰……58
四、太平洋诸岛……64
第五章　欧洲陆架区砂矿……65

第二部分　苏联陆架区砂矿的区域地质特征

第六章　苏联内陆海陆架区砂矿……69
一、波罗的海沿岸和陆架……69
二、黑海与亚速海沿岸和陆架……77
三、里海与咸海沿岸和陆架……83
第七章　苏联北极海陆架区砂矿……85
一、白海、巴伦支海与喀拉海沿岸和陆架……85
二、拉普帖夫海西部沿岸和陆架……92
三、拉普帖夫海东部、东西伯利亚海、楚科奇海与白令海北部沿岸和陆架……96
第八章　苏联远东陆架区砂矿……101

一、白令海与鄂霍次克海北部沿岸和陆架 ……101
二、鄂霍次克海南部沿岸和陆架 ……102
三、日本海沿岸和陆架 ……107

第三部分　世界海洋陆架区砂矿的分布规律和形成规律

第九章　砂矿的分布规律 ……111
一、砂矿的岩石分区和成矿专属性 ……111
二、沉积作用和砂矿形成条件 ……118
第十章　砂矿形成的控制因素及其研究程序和研究方法 ……127
一、物质因素 ……129
二、空间-形态因素 ……134
三、动力因素 ……138
四、砂矿形成的综合模式 ……147
五、在砂矿预测中砂矿形成因素的作用 ……149
六、砂矿成矿图及其辅助性图件的内容 ……150
七、在陆架区普查砂矿时地质-地球物理研究的程序 ……151
第十一章　陆架区砂矿地质及砂矿成因研究程度的多方面统计分析 ……153
结束语 ……157
参考文献 ……159

序　言

近数十年来，由于对矿产资源的需求急速增长，世界海洋陆架区砂矿成了工业上具有重要意义的一系列元素如：金、铂、锡、钍、钛、锆等有远景的开采对象之一。这些砂矿广泛地分布于许多国家(如澳大利亚、印度、新西兰、美国、日本、印度尼西亚等)的沿海和陆架地区(图1)。它们不仅见于现代沉积物和第四纪沉积物中，而且分布于组成陆架和沿岸区沉积盖层的新第三纪、老第三纪和更古老的不同成因的沉积物中。

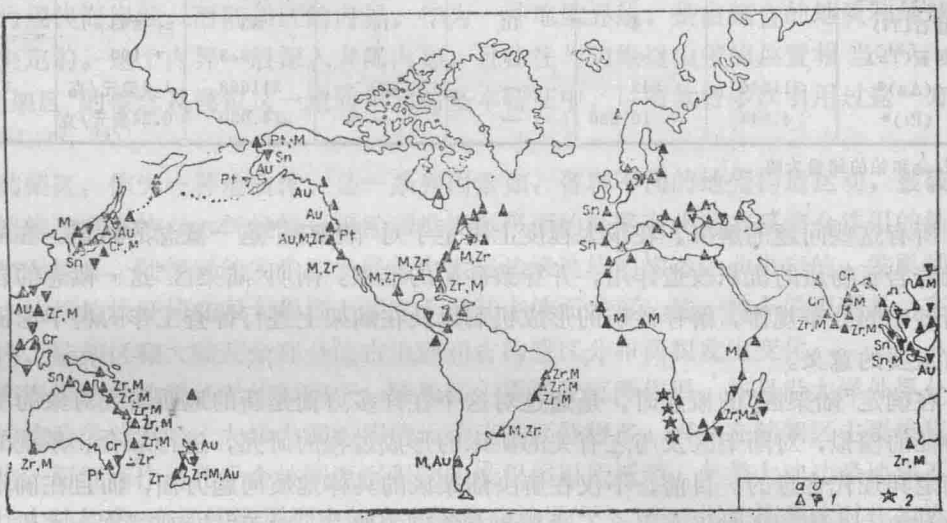

图1　世界海洋陆架区砂矿地理分布略图

1　钛铁矿、金红石(α)，磁铁矿(б)；2　金刚石；Au—金；Pt—铂；M—独居石；Sn—锡石；Zr—锆石；Cr—铬铁矿

作为矿产资源来看，这些砂矿的经济价值在年复一年地增长。在1960到1966年期间，各个国家(苏联除外)从滨海砂矿中开采的钛铁矿占全部产量的30%，独居石占80%，金红石占98%，锆石占100%[108]。目前大规模开采的虽然主要是位于海平面以上的矿床，毫无疑义，由于地质勘探和采矿工业技术以及工作方法的改进，在最近20—30年间，水下砂矿的开采将变得更为有利，陆架区矿产资源所占的比重必将增大。M.Kpyкшенк[12]根据美国矿业局的资料编制的美国大陆架砂矿储量表(表1)证明，陆架区可能具有矿物储量极其巨大的砂矿。印度尼西亚、马来西亚和泰国的陆架区含有储量巨大的锡，印度和斯里兰卡沿岸有极丰富的独居石、锆石、钛铁矿砂矿，加拿大和日本沿岸有磁铁矿砂，西南非洲的陆架区有金刚石。所有这些矿床和其他许多矿床都说明，世界海洋陆架区作为非常宝贵的矿产资源的来源，有着极其美好的前景。

近期内世界各国表现出对大陆边缘砂矿日益增长的特别强烈的兴趣，因而有必要对能够揭示这些砂矿的形成条件、成矿作用和分布规律的资料进行系统的综合整理，以弄清此类砂矿特有的普查标志，改进其普查与勘探方法。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

表1　　美国陆架区砂矿的储量

（据M.Крукшенк〔12〕引用的美国矿业局的资料*）

矿产（有用组分）	陆架区储量，百万吨					价格	总价值
	阿拉斯加	太平洋	大西洋	墨西哥湾	合计	美元/吨	10亿美元
兰晶石，矽线石	—	—	44	44	88	77	6.78
十字石	—	—	154	18	172	70	12.04
石榴石	—	—	—	4	4	105	0.42
锡石(Sn)	0.13	—	—	—	0.13	2962	0.385
磁铁矿(Fe)	500	52	—	13	565	10	5.65
钛铁矿(Ti)	500	21	1109	90	1720	20	34.4
铬铁矿(Cr)	—	40	—	—	40	30	1.2
锆石(Zr)	—	5	154	16	175	60	10.5
金红石(Ti)	—	4	15	14	33	193	6.37
独居石(Th)	—	—	1	4.3	5.3	190	1.0
金 (Au)*	311346	342	—	—	311688	1.6美元/克	501
铂 (Pt)*	4.044	10.886	—	—	14.930	6.24美元/克	0.093

* 金和铂的储量为吨

所有这些问题的解决，在很大程度上决定于对“陆架区”这一概念的认识。在陆架区进行着岩石物质的沉积改造作用，并导致砂矿的堆积。阐明“陆架区”这一概念的含意对弄清砂矿的分布规律，解释砂矿的形成机制以及在陆架上进行普查工作的科学论证，都具有重要的意义。

在确定“陆架区”的概念时，是通过对这个在许多方面是新的地质研究对象的基本构造特征的模拟，对陆架区及与之有关的矿床的形成过程的研究，进行综合、系统的分析而确定其现代含意的。目前，不仅在解决陆架区的具体地质问题方面，而且在确定所研究的对象——陆架区时仍有很多不清楚和有争议的地方。对于“陆架区”这一术语，不同的研究人员有不同的解释。有的认为是“大陆架”的同义词，有的则把它看成一个古地理名词或地球的大构造单元。

近年来随着海洋地质研究工作的开展，情况变得愈来愈清楚。陆架海及其陆架被认为是“构成大陆水下边缘部分的全球性地貌单元”〔59，第13页〕，而且它具有漫长而复杂的历史。我们知道，大陆架以一定的方式与邻近的陆地相联，并具有以前的陆地遗迹，有残留的陆地地形和陆上特有的沉积物。据K.O.Emery 1971年的资料，现代大陆架上70%的沉积物来自陆地表面。

对陆地地质的详细研究表明，在陆地上邻近海洋的部分具有以前存在过的海洋盆地的证据，如海洋的残留地形（岸堤、阶地等）或海洋与滨海沉积物组合。在陆架海的发展过程中，海岸线遭受过频繁的、有时甚至是幅度很大的震荡运动。

现代大陆架分布的界线与大陆架沉积盆地的地质界线并不一致。这些沉积盆地的年代，总的来说，比现代海岸线的年代要老得多，它们的边界深入大陆内部，甚至位于海平面以上相当高处（达200—300米或更高）。另外，众所周知，第四纪时世界海平面标高下降不少于100—110米，而面积广阔的大陆架则伸展到更大的深度。

所有这些，一方面说明对大陆架的形成有巨大影响的不仅是升降运动这一种因素，

而且还有最新的垂直构造运动；另一方面也表明，大陆架和大陆坡的形成大大早于第四纪，并且与海洋的发展史有关。

因此，作为大陆向海洋中直接延续的大陆架，它具有漫长的地质发展史，并与其附近构成过去的海侵区域而属于古陆架范畴[14, 57]的滨海地带共同组成一个统一体，并以“陆架区”的概念命名之。“大陆架”和“陆架区”这两个概念的差别在于，一般认为第一个概念表示一个地貌单元，一个全球性的地形要素，而第二个概念实质上则表示一个地质单元，一个具有统一的地质构造，统一的岩石成因类型和共同的古地理条件的某一特定沉积盆地的动力地质环境。

为了避免在运用两个概念时可能产生的象某些文章[59]所指出的问题，应该强调的是，陆架区和大陆架的分布面积不同，它们的内界实际上也从不一致。比如，大陆架的边界为现代海岸线，而陆架区的内界，作为一种地质界线，是由综合的地质和地球物理特征决定的。这个内界一般深入大陆内部，且往往与边缘造山带的位置相当[14]。在论述“陆架区”的概念及模拟这一地质单元的基本特征中，以前就曾多次引用过这一方法学观点[31, 57, 33]。

陆架区，作为一种地质体，是一系列因素如：各种不同的地壳构造运动，被破坏岩石的结构和成分特点，气候的分带性和世界海平面的升降变化等方面综合作用的结果。但是毫无疑义，陆架区的发生和发展是由大陆边缘地块的构造运动决定的。发展到一定阶段，边缘地块开始在很大程度上独立于大陆主体而发育。这一特点的表现是，在一定时期内，陆架区和大陆其余部分的古地理和古构造区分布面积发生变化。

在海洋动力地质状况的影响下，陆架区主要经受沉降作用，并且沿大洋外界分布的地块的构造运动速度比大洋内部的构造运动速度要低得多。因此在陆架区主要堆积浅海沉积物，而沉降作用几乎全被陆源沉积物的堆积作用所抵消。此类大陆边缘地块不仅可以看作大陆构造-海洋构造系列中的岩石圈构造单元[31]，在应用地槽理论时作为近海地槽(大陆周边拗陷)，或稳定地块周边凹陷的亚种，还可以看成与大陆坡、大陆坡脚、岛弧和洋中脊相同的一种动力地质环境[28]。根据上述概念，陆架区乃是大陆边缘的一部分(图2)，而其边界，亦应象对待其他动力地质环境一样，根据下列综合特征来确定，如：根据地形上表现出的区域构造线，古地理和古构造区的完整分布受到破坏以及某些沉积建造在侧向上的连续转变等。

陆架区沉积盖层中的重矿物精矿很早以前就吸引着许多研究人员，现在，不论苏联还是其他国家，都积累了这些砂矿的研究和开发方面的大量文献资料。这些文献，按照它们的主要研究观点和报道的特点，可分为地质的、地质-经济的和方法学的等三类。在这方面的全部出版物中，三类资料所占的比例约为 1.0∶0.7∶0.1。

根据国外砂矿研究经验的报道和总结，我们知道，地质-经济的和方法学的情报分析近年来在Дж.Мерo[39]，T.Хесс，E.A.Величко等[6, 7, 8]和M.Крукшенк[12]的论文中都作了比较全面的论述，而各个矿区砂矿的形成条件、时间、地点和规律方面的地质资料，至今尚未进行系统整理。差不多所有国家在这方面都只是罗列一些砂矿赋存部位和矿物成分方面的资料，有的也只是一般性地涉及它们的成因问题。苏联的研究人员在这方面的论文[1, 46, 54, 56, 82]则比其他国家进了一步。他们设法分析了形成砂矿

的基本条件和环境，不过也未能将全部问题阐述清楚。在某些论文中，对形成砂矿的海岸带动力学和沉积物生成条件进行了详细的分析，但对砂矿区的地质背景只作了简略的介绍[1]；有些文章特别注重陆架区砂矿地质构造的描述，但对其分布规律和形成砂矿的控制因素则研究较少[82]。



图2　大陆边缘基本要素的理想剖面[12]

I 陆架区：I_1滨海平原，I_2大陆架(平均宽度75公里，平均坡度1.7米/公里)；II大陆坡(宽20—100公里，平均坡度70米/公里)；III大陆坡脚(宽0—600公里，坡度1—10米/公里)；IV深海平原(坡度＜1米/公里)。

本书的基本宗旨是对世界海洋陆架区最重要的砂矿区进行广泛的、尽可能全面的地质-成因上的探讨。对区域性资料进行系统化整理，这一工作本身就是有益的，同时，又为采用对比的方法弄清砂矿构造和生成作用的相同点和不同点，确定砂矿的分布规律，系统总结形成砂矿的控制因素，以及为选择和论证陆架区砂矿的研究和预测的综合方法提供了现实的前提。除此之外，根据对砂矿成因控制因素方面的各种文献进行的统计和分析来评述世界各重要地区的研究方向和研究程度，也是很有意义的。通过这种分析，不仅能使我们的注意力有目的地集中到尚未研究或者研究不够的领域，还能建立最佳的陆架区砂矿床的情报检索体系。

本书的编写提纲就是依据上述宗旨制定的。书中的第一部分介绍了除苏联以外世界各国海洋陆架区砂矿床和砂矿点的地质特征，并按每个国家所属区域的分区进行叙述(图3)。在这一部分中，对美国、阿拉斯加、南美洲、非洲地中海部分、南部非洲、印度、斯里兰卡、澳大利亚、新西兰和东南亚陆架区已知的砂矿和砂矿矿源进行了详细的描述。在本书的第二部分中，根据已公布的资料对苏联陆架区砂矿和砂矿点的地质构造、物质成分和生成过程进行了分析。

本书第三部分论述砂矿的主要分布规律。在这一部分中，探讨了最重要的找矿标志，引用了砂矿形成因素的理论分析，拟定了这些因素的分类和最佳研究顺序，提出了陆架区砂矿成矿作用的综合模式和绘制砂矿成矿预测图的方法以及必要的一套辅助图件和图例。最后一章对陆架区砂矿床的文献资料按情报检索体系的不同建立原则和不同研究方面进行了统计分析。

作者认为，本书不可能对有关砂矿成因和分布，以及砂矿的研究方法等问题全部详加论述，只能对世界海洋陆架区砂矿的来源问题进行初步的专业性和系统性的总结。还有相当多的问题仍有争议或者尚未搞清，如个别矿床的成因问题，形成砂矿的某些控制因素的作用问题，以及个别砂矿区潜在资源的评价问题。也许，致力于这一研究的许多

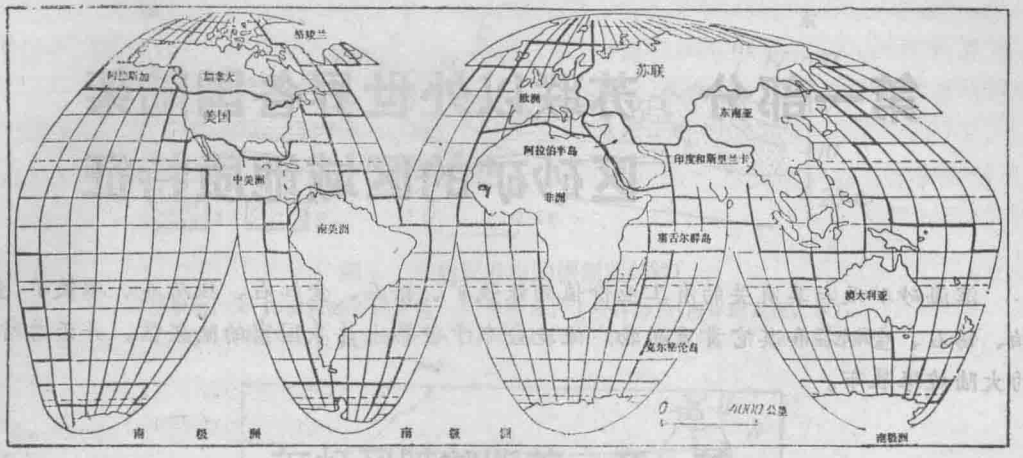

图3　按各国所属区域划分的大陆[12]

专家们以前发表的论文和专著中，对本书中提到的某些问题已经作出了更为完整的解答。我们不可能一一列举引证过的许多专著作者，下面仅提出最著名的几位：A.A. Аксенов, Е.Н. Невесский, В.Г. Ульст, Г.В. Нестеренко, В.С. Трофимов等。

*　　*　　*

在本书准备付印前，作者采纳了Л.И. Аникеева, Е.А. Величко, Э.А. Грикевич, Б.Х. Егиазаров, А.М. Иванова, В.М. Лазуркин, Н.В. Логвиненко, Ю.Е. Погребицкий, С.М. Прохорова, А.П. Пуминов, О.Н. Суздальский, В.И. Ушаков, В.Г. Ульст的建议和意见。作者谨对给本书以支持的所有同志们致以衷心的感谢。

1—4及第11章由Г.И. Коншин整理，5—8及第10章，还有第3章有关东南亚的部分和第4章有关大洋洲的部分由А.И. Айнемер整理。第9章，第1章中关于阿拉斯加砂矿的部分以及序言和结束语则由两位作者共同编写。

第一部分　苏联以外世界各国陆架区砂矿的区域地质特征

滨海砂矿及与其有关的有工业价值的钛铁矿、锆石、金红石、独居石、磁铁矿、金、铂、锡石、金刚石和其它贵重矿物广泛地分布于世界上许多国家的陆架区，并沿着所有的大陆边缘展布。

第一章　美洲陆架区砂矿

在本区，无论是美国的大西洋沿岸，还是太平洋沿岸——在南、北卡罗来纳、弗吉尼亚、乔治亚、佛罗里达、加利福尼亚、俄勒冈、阿拉斯加等州的海岸和陆架上都分布有巨大的砂矿床。

一、美国大西洋沿岸

美国东南部各州(佛罗里达、乔治亚、南、北卡罗来纳，弗吉尼亚)的大西洋沿岸呈一长达1300多公里的巨大弧形，从哈特勒斯角向南延伸是钛铁矿、锆石、金红石和独居石海洋砂矿发育的广阔地区。目前正在开采的砂矿床虽然仅有两个，它们却提供了美国钛铁矿开采量的50%和全部的锆石(Hess H.D., 1965)。乔治亚和南、北卡罗来纳州现代海岸和古海岸的许多地段在近几年内可能成为滨海重矿物砂矿有经济价值的开采对象。仅仅在南卡罗来纳州，已知的砂矿床就多达70个，最大的几个分布在希尔顿山、霍洛河、霍尔斯河等岛屿上[138]。

美国东南部大西洋沿岸，包括一直延伸到陆地深处皮德蒙特山前区山麓的广阔的(宽达100—150公里)滨岸平原带和被狭窄的泻湖(所谓海岸内水道)或涨潮时被淹没的海边沼泽地，与大陆隔开的断断续续的长形障壁岛(岛坝)链。

海岸区第四纪沉积物组合的下面是第三纪建造。

近岸平原地形的特点是有阶梯状高达50米的海岸生成物，是由淤泥和沙质沉积物的互层构成的。以前曾有人认为，常常有重砂矿物赋存的沙质地带在成因上是以悬崖为后界的岸滩阶地，而淤泥则是陆架上较深部位的沉积物。但经过更详细的研究[128,130,166]得知，淤泥是埋藏的泻湖沉积相，砂是与其同时形成的古沙洲(图4)。根据文献资料可知，佛罗里达、乔治亚和南、北卡罗来纳州的滨岸平原至少可以清楚地分出三个古老的更新世沙洲即：奥克菲诺克沙洲，怀科米柯和帕姆利科沙洲。它们分别是在比现代海平面高45、30和6—8米的海侵海盆中形成的(图5；149；Richards M.G., Iudson, 1965)。

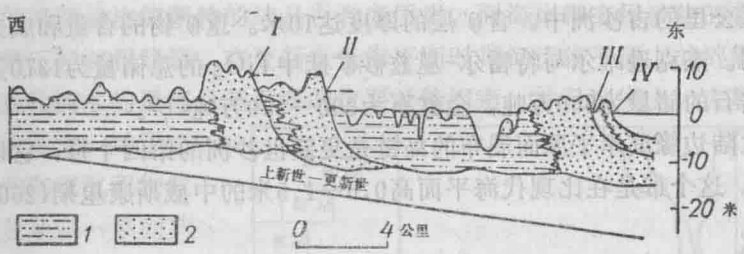

图 4　乔治亚沿岸的横剖面[128]

沉积物：1 泻湖和海边沼泽地，2 障壁岛。Ⅰ—Ⅳ沙洲(海岸线宽度，米)：Ⅰ 帕姆利科(7.5)，Ⅱ安娜公主(4)，Ⅲ西耳佛—布拉夫(1.4)。Ⅳ 全新世沙洲。

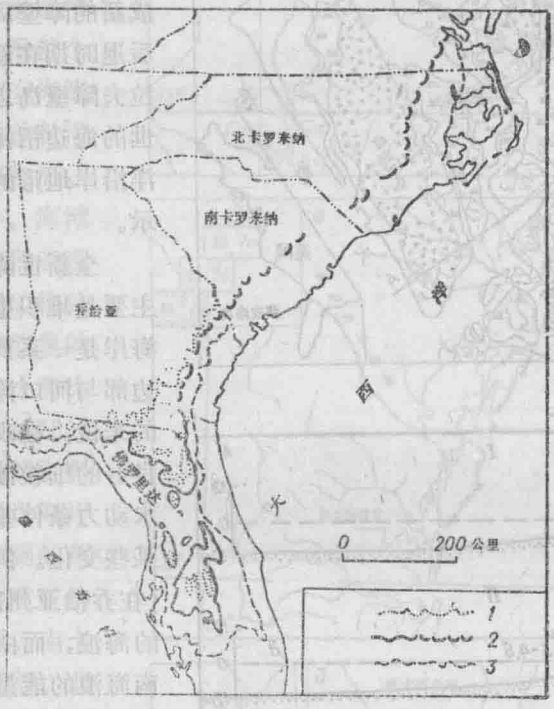

图 5　美国大西洋沿岸滨岸平原第四纪海岸线[79]

界线(高度，米)：1 奥克菲诺克沙洲(～45)，2 怀科米柯阶地(～30)，3 帕姆利科阶地(～10)。

根据放射性碳测定结果[128,130]可知，距海岸线 11—18 公里的帕姆利科沙堤形成于散加芒间冰期，怀科米柯和奥克菲诺克沙洲较老，形成于更新世。佛罗里达的帕姆利科海岸线沉积物中含有大量的重矿物。在乔治亚也可能找到这样大规模的重矿物堆积[140]。在奥克菲诺克海岸沙洲沉积中也有重矿物的富集。

目前，大西洋沿岸正在开采的更新世砂矿床有杰克逊维尔和特雷耳-里兹矿床(Cannon H.B., 1949)。前者与高出现代海平面12米、距岸16公里的古海岸沙丘有关。它的含矿层长达10公里，宽 1 公里，可采层厚 4 米。重矿物平均含量为 4 %，其中含有40%的钛铁矿，14%的锆石，7 %的金红石，2.5%的独居石。

特雷尔-里兹矿床位于佛罗里达半岛、杰克逊维尔矿床西南70公里处，赋存于长 30

需要全本请访问 www.ertongbook.com

公里、宽达4公里的古沙洲中。含矿层的厚度达10米。重矿物的含量和成分与杰克逊维尔矿床的相同。杰克逊维尔与特雷尔-里兹砂矿床中TiO_2的总储量为1370万吨。佛罗里达砂矿床中锆石的储量为650万吨，金红石为300—350万吨[7]。

平行于大陆边缘滨岸平原而展布的岛链是更新世沙洲的第四个带，它以地名锡尔弗-布拉夫命名。这个带是在比现代海平面高0.6—1.5米的中威斯康星期(25000—48000年以前)形成的。

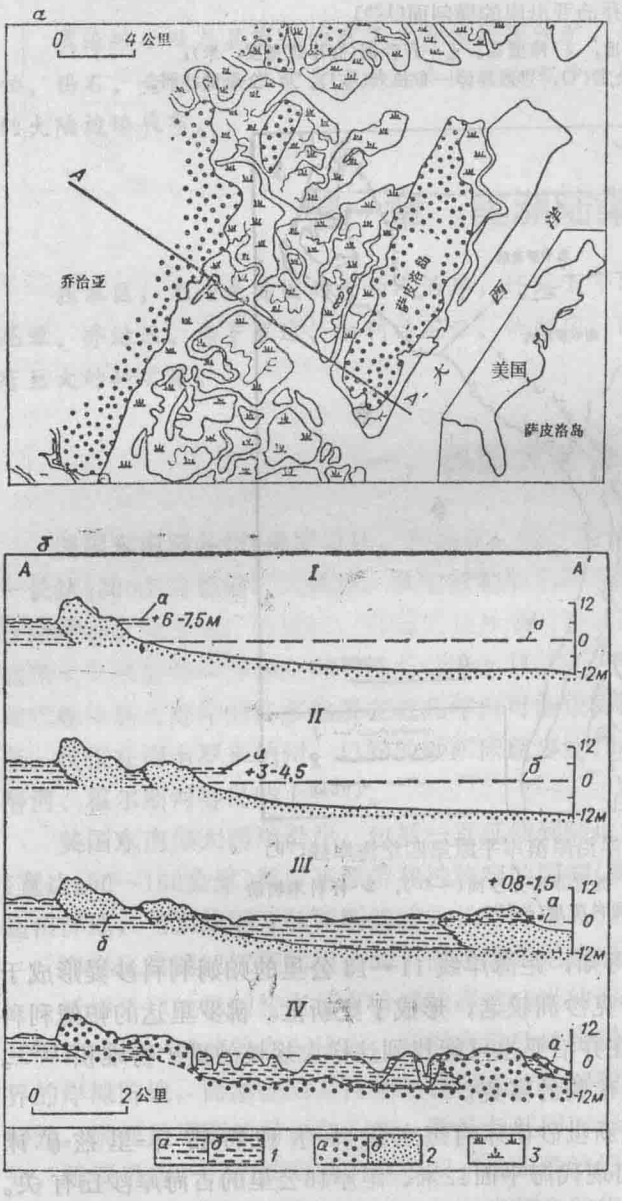

图6 乔治亚沿岸更新世和全新世[129] Ⅰ到Ⅳ阶段的发展

а 第四纪沉积物分布图；б A—A'剖面，1 粉砂和粘土(а更新世，б全新世)；2 砂(а更新世，б全新世)；3 植物；а，б海平面(剖面中)：а当时的，б 现在的。

在全新世时，随着威斯康星冰期海平面下降、冰期后海平面上升，锡尔弗-布拉夫沙洲的前面形成新的障壁岛链。在冰期后海侵的后退时期在新障壁岛与锡尔弗-布拉夫障壁岛之间的地带曾经是全新世的海边沼泽地。美国东南部大西洋沿岸地形的形成过程如图6所示。

全新世障壁岛外缘的现代海岸主要是堆积型的。在平面上，现代海岸是一系列略微凹进的砂弧，其边部与河口湾和岛间海峡相邻。总的来说，在现代海滩上主要是分选良好的细粒砂，局部可见与地区性水动力条件差异有关的粒度成分的某些变化。例如：沿岸区中部海滩(在乔治亚州范围内)上是能量较低的海浪，而由乔治亚沿岸向北和向南海浪的能量均增大，所以乔治亚海滩砂的平均粒径相应地比北卡罗来纳和佛罗里达的小。在砂的轻组分中石英、长石占大多数，而在佛罗里达，除这些组分之外，还有贝壳碎屑。在一般海滩砂的重组分中占优势的是钛铁矿、绿帘石、矽线石、普通角闪石、十字石、锆石、金红石和独居石。重组分的平均含量是3.8%[156]。在墨西哥湾沿岸的海滩上锆石和独居石的含量占总砂体的0.1%，而在浅水处可增至2—4%[185]。

重矿物的来源是皮德蒙特的结晶岩和变质岩，而海岸带有用矿物的直接补给源是滨岸平原上的第三纪沉积建造，在更新世低海平面时期河流将平原上的碎屑物质夹带入海[147]。而现代河水的迳流只是海滩的次要补给因素，并且事实上，主要的冲积物是从海底进入水边线的。对于这一点，陆架和海滩沉积物成分间的相互关系和一系列其它标志可以作为证据(118，Pilkey O.H.，1963)。

根据海岸地形和动力学特征，以及水利工程淤塞情况的研究结果可知，沿整个大西洋海岸从北向南有海流流动。这股海流带动砂粒沿海岸运移，形成冲积物流。但冲积物流动过程中，海滩物质的区域性分选作用表现较弱。沉积物中不同矿物分布的变化一般与波浪能量的差别，以及颗粒的大小和比重有关(Stow S.H.，1976)。

根据航空肉眼观测资料(图7)证实，沿大西洋海岸分布的现代砂矿比预测的范围要广得多[146]。含重矿物最富的海滩是乔治亚、南卡罗来纳和佛罗里达北部。北卡罗来纳和佛罗里达南部富矿少见，这可能是由于这些地区的海滩砂变粗所致[145]在与亚拉巴马州和密西西比州毗连的墨西哥湾沿岸，沉积物中重组分的总含量由莫比尔湾向西逐渐减少，这可能是由于沿这一方向有滨岸流存在和沉积物运移过程中重组分逐渐沉积所致(Stow S.H.，1976)。

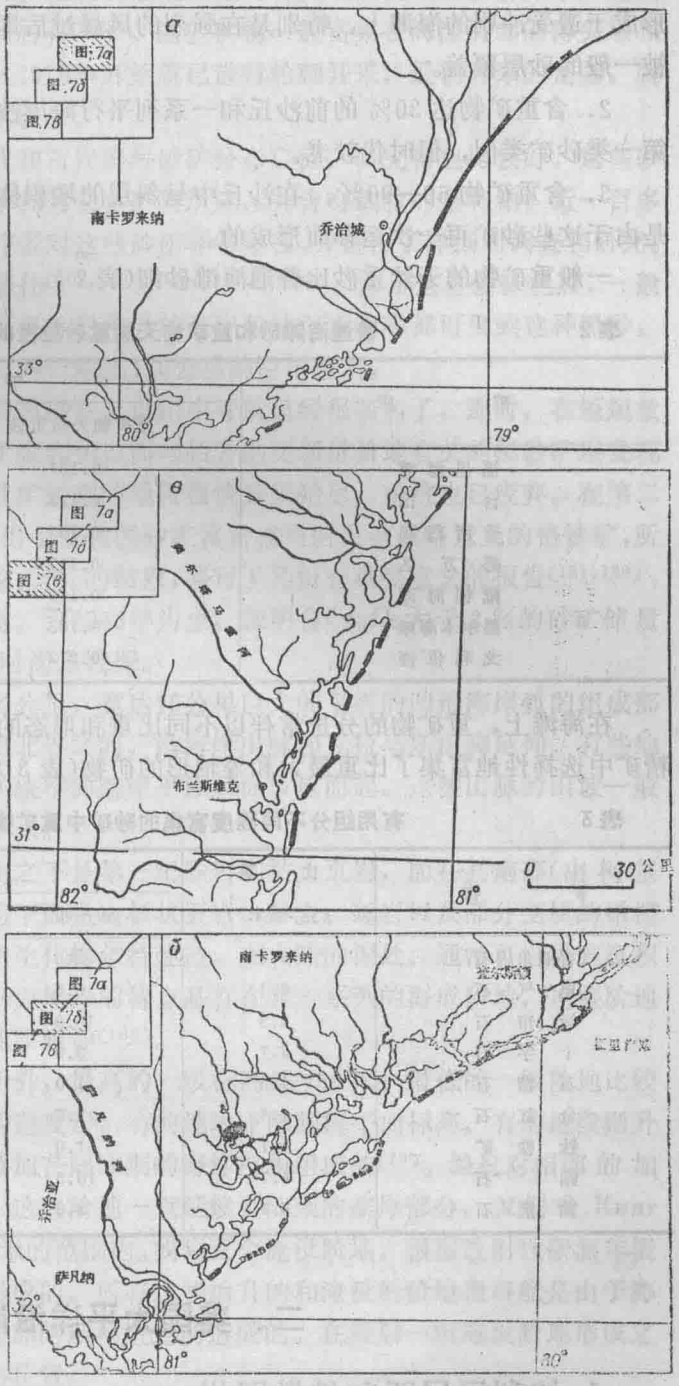

图7　沿南、北卡罗来纳和乔治亚海岸发育的黑砂矿层的分布[146]
粗黑线条表示黑砂分布区

很明显的现象是，在个

别弧形海岸上重矿物一般多富集在岸弧的南部边缘。看来，这是由于海岸突出部位对沿岸流的阻滞作用造成的。Neiheisel J.[165]把海岸砂矿分成如下几种形态成因类型：

1．含重矿物达90%的海滩上部砂矿：呈宽10米、厚5—10厘米的表层。这类砂矿形成于遭受冲刷的海滩上，特别是在强烈的风暴过后即可发现。在平静的天气里，它们被一般的砂层覆盖。

2．含重矿物达30%的前沙丘和一系列平行海岸沙丘底部的砂矿：在成因上它们与第一类砂矿类似，但时代较老。

3．含重矿物50—90%、在沙丘中呈斜层的堆积体：只见于海滩富砂矿邻近的地段，是由于这些砂矿再一次运移而形成的。

一般重矿物的天然重砂比普通海滩砂细(表2)。

表2　　普通海滩砂和重矿物天然重砂粒径的对比[145]

矿床	平均粒径（毫米）	
	重矿物天然重砂	海滩砂
福里海滩	0.137	0.217
台比	0.133	0.168
圣西门岛	0.108	0.160
都万区	0.117	0.224
戴顿海滩	0.160	0.165
墨尔本海滩	0.193	0.315
戈利伍德	0.272	0.510

在海滩上，重矿物的分选常伴以不同比重和形态的矿物相应的分异作用，结果使富精矿中选择性地富集了比重最大和等轴形的矿物(表3)。

表3　　有用组分不同程度富集的砂矿中重矿物的分布[156]

矿物	比重（克/厘米³）	富集程度（%）		
		50—90	5—30	1—5
普通角闪石	3.1	2.0	4.2	9.1
电气石	3.1	0.5	1.3	1.8
绿帘石	3.3	10.0	14.5	16.0
十字石	3.7	3.0	3.8	2.7
石榴石	4.3	1.0	1.0	1.1
金红石	4.4	7.5	5.8	5.2
钛铁矿	4.7	51.0	42.0	37.2
锆石	4.7	16.5	14.3	13.2
独居石	5.1	3.0	1.2	1.5

二、美国太平洋沿岸

1.加利福尼亚和俄勒冈州

在美国太平洋沿岸的现代和古代海岸上，发现许多有利于重矿物堆积的地带。加利福

尼亚州境内最著名的砂矿是洛杉矶附近的砂矿(勒东和赫尔莫兹海滩)，以及在圣克鲁斯和门多西诺境内的砂矿[191]。这些砂矿的有用组分中钛铁矿和磁铁矿占大多数；次要的有金、铂、铀钍矿、锆石和金红石。在加利福尼亚圣马特奥地区的工业砂矿床中，见到少量铀钍矿(0.2—6.95%)和钍独居石[132]。这些矿物一般富集在海滩后部的薄夹层和透镜体中。加利福尼亚的砂矿床从1870年开始就已进行轮翻开采，最初开采的是金，后来是铁和钛。在华盛顿州沿岸砂矿较少。

在俄勒冈州西南部沿岸，现代和古代滨海砂矿分布广泛，研究得也比较好。这些砂矿主要由铬铁矿、钛铁矿、磁铁矿和其它重矿物组成，并含有细粒的金和铂。近一百多年来，许多矿业工作者和地质工作者对这些砂矿非常重视，并进行了详细的调查和研究。他们编写了许多关于这些砂矿的著作[107, 106, 121, 127, 188等]。由于这些砂矿色黑，一般称之为黑砂。无论是在现代海滩还是在已抬升的海岸阶地沉积物中都可见到这种黑砂。它分布于北起库斯比湾、南达鲁日河口绵延120公里的沿岸带上。

俄勒冈州西南部现代海滩上的黑砂在上世纪中叶就已经很闻名了，那时，在短短数年间就从这些黑砂中成功地开采了金和铂。而与抬升的更新世阶地有关的黑砂矿层发现得则比较晚(在1870年)。但阶地砂矿最富的地段很快开采殆尽，矿坑也已废弃。在第二次世界大战期间(1939—1945年)，由于俄勒冈砂矿富含在当时具有战略意义的铬铁矿，所以又重新成为详细地质研究的对象。研究的结果，编写了几份有重要意义的报告[121,188]，对重矿物的富集给予了特别的注意。到1943年为止，探明含Cr_2O_3大于3%的砂矿储量达310万吨，许多有远景的矿体当时尚未勘探。

俄勒冈西南部沿岸是长600多公里、宽达10公里巨大的平缓的凹形海岸弧的组成部分，界于华盛顿州和加利福尼亚州北界之间，沿海岸山脉和克拉马斯山脚延伸。有些地段，山脉直接从海岸线耸起，或在狭窄的海岸平原后面拔地而起。这些山脉的山坡一般都很陡，山顶的高度为600—1200米。

在其北部，第四纪滨海沉积物之下是第三纪砂岩和粘土页岩，而在其南部(由柯基尔河口向南)，第四纪滨海沉积物的下面是由板状页岩、砂岩、砾岩以及部分变质的橄榄岩，蛇纹岩和玄武质岩石组成的中生代梅尔特建造。在大陆的深处，通常可以见到沉积岩向岩浆岩的过渡。这里，海岸平原地形的特点是存在着一系列的海成阶地，这些阶地断续地沿所有有工业价值的海岸地段延伸[188]。

这里的海成阶地，共有七级抬升，最高的一级标高是450米；最低的一级阶地比较明显，它的标高为30米，但由于构造变形，有的地段下降到海平面标高，有的地段则升高到70米处。据推测这一阶地是散加芒间冰期的海洋沉积组成的[79]。经过对相邻的加利福尼亚区域内海底的研究证明，这些阶地一直延续到陆架的滨岸部分。又据Ф.Кинг的报道[79]，在这一地带水深150米的范围内，找到五个淹没阶地，根据放射性碳测年资料得知，它们是在威斯康星冰期形成的。所有这些抬升的和淹没的阶地很可能是由于海平面的升降运动以及区域性的和局部的新构造运动造成的。在最后一级淹没阶地形成之后，海平面开始升高达到其现在的位置。

俄勒冈州所有已知的古砂矿都位于晚更新世下部威斯吉兰(高30米)，帕伊尼尔斯(45—50米)和瑟芬德弗兹(95—105米)三级堆积阶地上(图8)。这些阶地明显地展布于

瑟芬德弗兹区以南到科吉尔河之间。继续往奥弗德港方向则发育不好，有的近岸平原通过一系列沙洲平缓地下降到海岸线；有的被高达30米的台阶所切，形成近代悬崖。阶地的宽度为几十米到3公里。还应指出的是，这些阶地的基底表面不平坦，这种不平坦的基底很可能既控制了相应的黑砂矿层的堆积，也控制了广泛发育的河谷网系的展布。

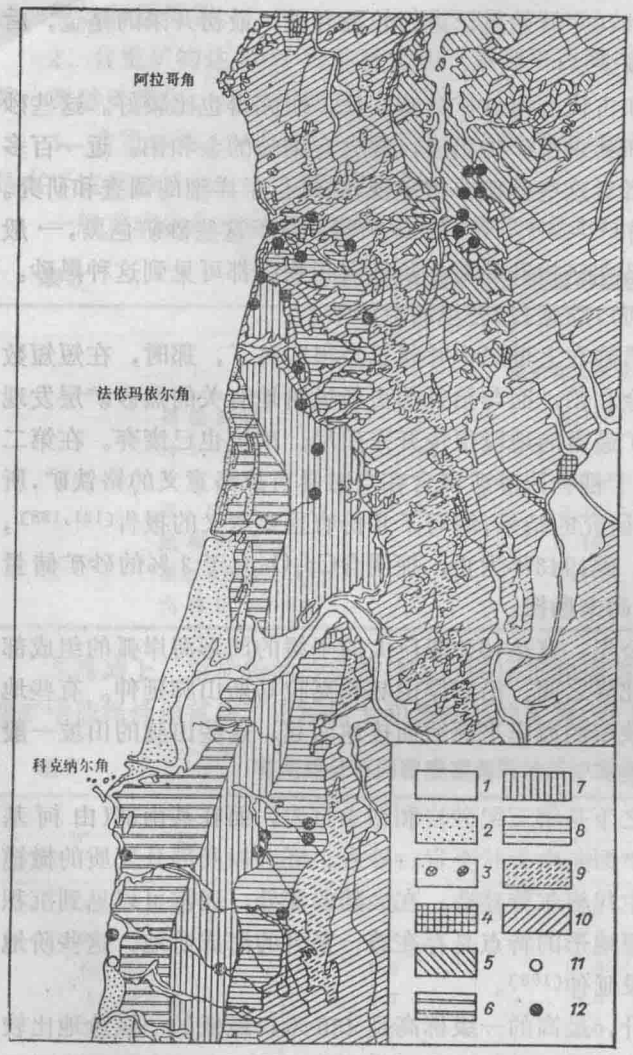

图8　俄勒冈州埃姆巴伊和班顿两地地质图的一部分(阶地沉积物和铬铁矿砂矿的分布)〔121〕

1现代冲积物；2现代沙丘和海滩；3更新世沙丘；4—9阶地沉积物：4更新世河流沉积，5萨斯洛，6威斯吉兰，7帕伊尼尔斯，8瑟芬德弗兹，9较高的阶地；10下伏沉积岩；11，12砂矿：11现代的，12阶地沉积物中的更新世砂矿。

阶地上的海洋沉积盖层主要由细粒砂、有时是粘土质砂组成。底部常有砂砾层存在。这些沉积物的厚度为几米到60米之间。

按照与古海岸线的相对位置，可将与抬升阶地沉积物有关的黑砂埋藏矿层分为两种主要成因类型：海滩矿层和水下岸坡矿层。第一种类型的矿层一般紧靠古悬崖，并平行古海岸线延伸，呈长条形，具逐渐向海边尖灭的陡峭边缘。第二种类型是被淹没的水下岸坡上的矿层，与前者的区别是，它距古悬崖相当远，在不同的地段距离不同，一般为0.5—1公里。根据计算，它相当于这些砂矿在大约5—20米深处的堆积。这一类型的矿层并不全与海岸线平行，因为它们主要是在水下斜坡的低洼处和水下斜坡堆积体的末端形成的。砂矿的平面形状不规则，矿层的界限不清楚〔122〕。如果说海滩矿层中重矿物含量最高的部位是矿层的海岸边缘，那末水下岸坡矿层中重矿物富集地段的位置则是不固定的。

总的来看，阶地砂矿的厚度一般为0.3—12米(平均为1.5—3.0米)，宽由几米—300米，长由几十米到1.5—2公里。矿体的规模，无论在垂直方向上，还是在水平方向上都受基岩起伏或海岸轮廓控制。所有矿层往往被厚达20米的无经济价值的砂层覆盖。在个别地区，砂矿直接产在阶地的基岩上，但经常见到的是矿层被厚度不大的底部砂砾沉积物与基底隔开。

与古海滩相沉积物有关的矿层和水下岸坡矿层的内部构造相似，是由一系列与石英砂成互层的重矿物精矿薄层(2—10厘米)构成的。在大多数矿层中，重矿物呈细粒结构(平均粒径0.19—0.47毫米)，分选良好，圆度较高。富集程度为20—90%。重矿物组合中以铬铁矿、磁铁矿、钛铁矿、锆石、金红石、石榴石、橄榄石和辉石为主。

金和铂的含量不超过2.5克/吨(Pardee I.T., 1934)；尽管当时采用的是原始的选矿技术，但在某些地区也曾成功地进行过开采。这两种矿物一般都呈鳞片状，金的鳞片厚度可达1毫米，重量为0.5毫克。铂的鳞片小一些。

阶地砂矿中的钛铁矿、磁铁矿、铬铁矿、橄榄石和铂的原生来源是海岸山脉和克拉马斯山的蛇纹石化超基性岩。金可能与穿插白垩系梅尔特建造的石英脉有关。而铬铁矿、金和铂等重矿物的中间性捕集岩无疑是第三系沉积岩。补给古滨岸带的碎屑物质是河流的冲积物或侵蚀的产物。假设来自克拉马斯山岩石中的重矿物的进一步富集发生在更新世每一个冰期海退的过程中[93]，那么，每一次海退都能造成强烈的剥蚀和碎屑物质向最终沉积盆地运移。Pardee认为，在冲积物被搬运到从前曾是阶地平原的广阔海湾的过程中，沿岸流也能起相当大的作用(Pardee I.T., 1934)。

俄勒冈州西南部有上述砂矿的现代海岸，属于夷平的侵蚀和堆积海岸。这种海岸开始形成时与冰川晚期海侵作用关系密切。在海侵作用下30米高的阶地外缘被切割成悬崖，而海岸内部的各个地带又被沙洲垅地所占据。对所有的沿岸地区来说，存在着两种主要的波浪系统。一种是冬季周期较长的来自西南的波浪(周期为20秒)，它能在许多海滩上产生堆积作用，并能强烈地影响到海底；另一种是较频繁的夏季海浪，由于它是比较陡的海浪，因而能促进海滩水上部分的冲蚀作用。这里的水下斜坡都相当陡(20米等深线离水边线不到1公里)，海洋击岸浪很容易到达海岸。风暴期的浪高可超过6米。

因为俄勒冈海岸有许多海角，海岸流被分成一系列局部的海流，当它们的方向发生季节性变化时，砂粒超越每个单独的海岸弧的界限而运移比较困难(Cooper W.S.,1958)。所以海岸的堆积地段通常位于海岸弧的中部。强烈的海岸侵蚀地段常常就是由坚硬的火山岩和变质岩或更新世阶地的次生阶梯构成的海岬，如布兰科(Бланко)、阿拉哥(Aparo)和塞巴斯契雅(Себастъян)角等。通常，在侵蚀地段的海岸，拍岸浪、海蚀平台都比较陡，其边部是高达70米的陡崖。在许多海岬周围有裸露的海蚀平台。但侵蚀海岸常伴有宽15—60米、厚1—2米的不同砾径的砂砾活动层海滩。正是在这种后退海岸的附近，存在着巨大的重矿物现代富集源，其中最大的见于海岸弧北缘附近紧靠基岩海岬的南侧。据W.Twenhofel[188]的意见，砂矿之所以如此分布主要是因为冲积物沿俄勒冈海岸向北运移时，伸向海中的基岩海岬在某种程度上阻碍了冲积物流的通过，在这里产生的强大的补偿逆流又促进了轻物质向水下斜坡运移，导致重矿物在上述地带富集。

这种砂矿的产状一般呈狭窄的和较短的(300—400米)透镜体状分布在海岸的后部地带，在悬崖脚下，它们常常直接覆盖在基岩或底部砾石层之上。每个砂矿都是由厚5—10厘米的精矿薄层互层组成，在某些部位被普通的石英砂层掩盖。

现代侵蚀岸滩上的砂矿层是不稳定的。它们的规模和分布显示出季节性和年代的差别。显然，这可以用海浪作用时间的长短和作用力的不同来解释，特别是在冬季暴风时期更是如此。

需要全本请访问 www.ertongbook.com