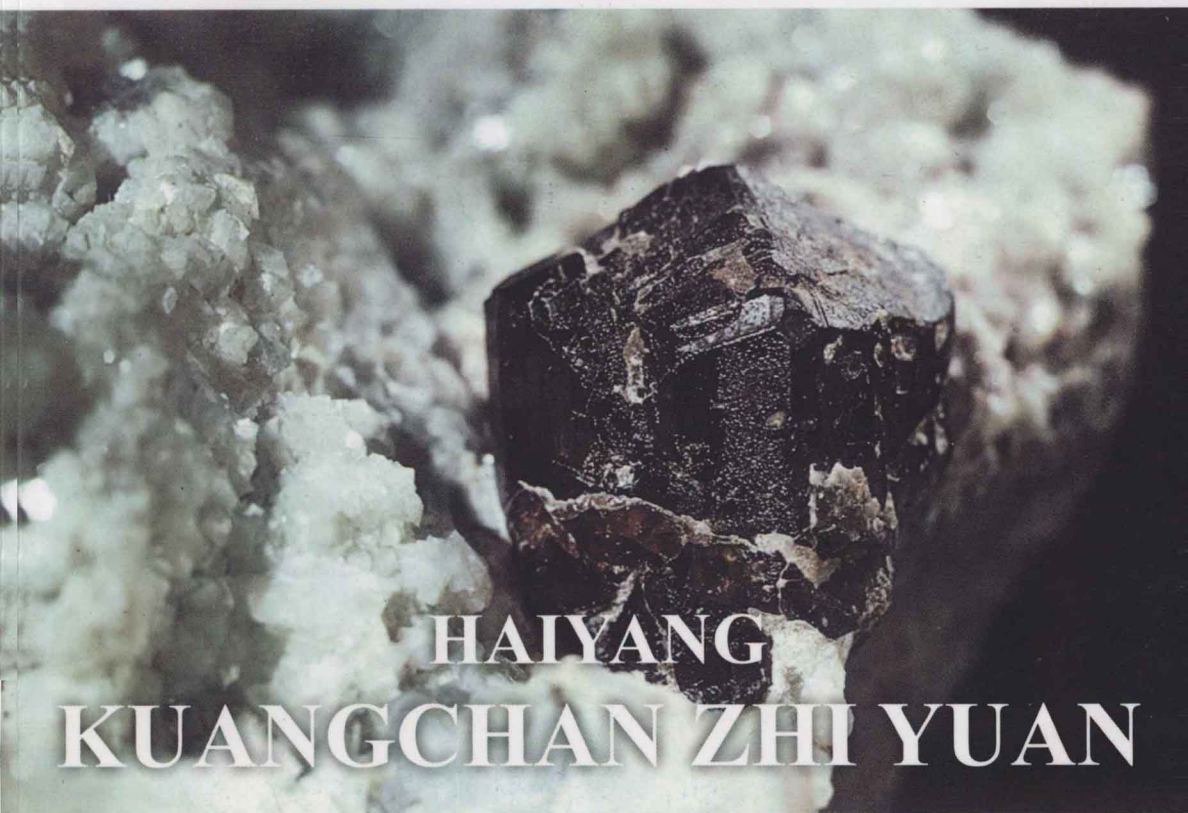




中国科协科普专项资助

“十一五”国家重点图书出版规划项目

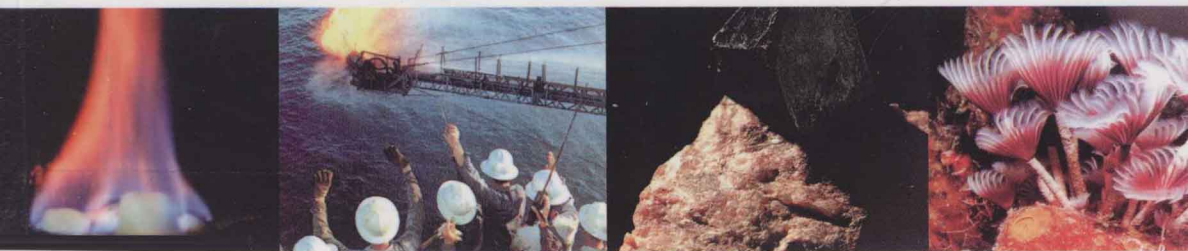
海洋地学科普丛书



HAIYANG
KUANGCHAN ZHI YUAN

海洋矿产之源

莫杰 蔡乾忠 姚长新 编著



海洋出版社



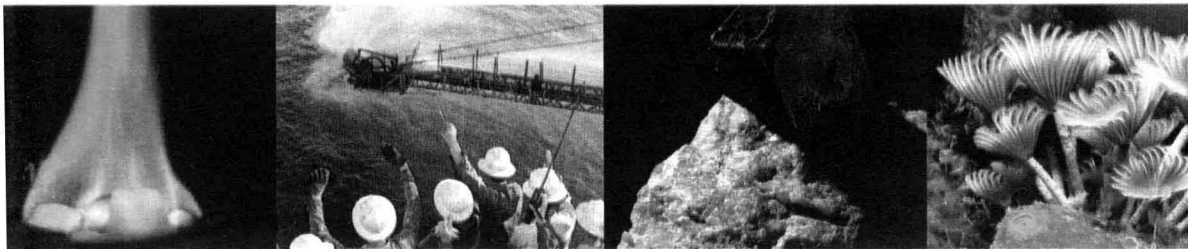
中国科协科普专项资助

“十一五”国家重点图书出版规划项目
海洋地学科普丛书

海洋矿产之源

HAIYANG KUANGCHAN
ZHI YUAN

莫 杰 蔡乾忠 姚长新 编著



海洋出版社

2012年·北京

图书在版编目(CIP)数据

海洋矿产之源 / 莫杰, 蔡乾忠, 姚长新编著. —北京: 海洋出版社, 2012.1

(海洋地学科普丛书)

ISBN 978-7-5027-8124-8

I. ①海… II. ①莫… ②蔡… ③姚… III. ①海洋矿物—普及读物 IV. ①P744-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第201597号

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路8号)

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2012年1月第1版 2012年1月北京第1次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 10.25

字数: 142千字 定价: 28.00元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 图书中心: 62100038

海洋版图书印、装错误可随时退换

《海洋地学科普丛书》编委会

主任委员：秦蕴珊

副主任委员：张训华 杨绥华 彭轩明 刘守全 何起祥

委员：(按姓氏笔画)

丁 东 印 萍 石亚平 李培英 刘锡清

李广雪 李铁钢 邬象隆 周永青 赵松龄

徐家声 莫 杰 潘克厚 蔡乾忠

序

海洋，这是人们既熟悉又陌生的地方。在已知的行星中，目前只发现地球上有海洋，有人类；也许，正是有了海洋才有了生命，有了人类。从这点上说，海洋是生命的源泉。生命之源的水有 97% 存在于海洋之中，人类生存的地球表面约 71% 是海洋，29% 为陆地，有些陆地还是从当年的沧海演变而来。地球上发生的一切自然现象几乎都与海洋有关，可见，海洋在整个世界占据着非常重要的地位。然而，人们对海洋的了解远不如陆地：什么是海？什么是洋？它是怎样形成的？又是怎样发展着，变化着，影响整个世界……对我，对许多人来说，海洋是一个巨大迷宫！

带着人们对海洋的向往，考虑到人们对海洋知识和海洋科学的渴望，海洋出版社和国土资源部青岛海洋地质研究所共同策划，诚请青岛海洋科学与技术国家实验室、中国海洋大学、中国科学院海洋研究所和国家海洋局第一海洋研究所的多位著名专家学者，撰写了这套“海洋地学科普丛书”。丛书共分五册，全面系统地介绍了海岸、海岛、海洋，海底世界，海洋矿产，海洋资源，海洋灾害，海洋对气候环境的巨大调节作用以及中国的海洋和海洋事业。读起来不仅能增长海洋方面的科学知识，了解海洋的奥秘，为我们伟大祖国不仅有 960 万平方千米的辽阔陆地，还有约 300 万平方千米主张管辖海域而感到自豪；还能找到身临海洋境地的感觉，舒展海一样的豪情，洋一样的胸怀，受益匪浅。

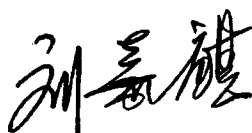
我不是搞海洋的，本无资格为此套丛书作序，但在去南、北极考察的过程中深受大海的熏陶和洗礼，海洋的魅力深深地吸引着我。这次受出版社和朋友之邀，只好勉为其难，先科普一下自己，再成此序；说是序，不如说是读后感。我诚心感谢海洋出版社和丛书作者，给我这样一个受科普长知识

的机会，更要以一个先睹为快的读者身份感谢海洋出版社、青岛海洋地质研究所以及丛书作者为民众出了一套好书，做了一件好事。科学普及是每位科学家和科学工作者义不容辞的社会责任。科学越普及，民众的科学素养越高，我们的民族，我们的国家，才能越进步，越昌盛。我衷心祝愿我们的科学工作者为民众创作出更多更好的科普作品。预祝“海洋地学科普丛书”早日面世。

中国科学院地质与地球物理研究所研究员

中国科学院院士

中国科普作家协会理事长

A handwritten signature in black ink, appearing to read '刘兴' (Liu Xing), written in a cursive style.

2011年3月 北京

前言

“上天、入地、下海”是人类向大自然三个极限的挑战。要想在这个挑战中占据主动并赢得胜利，就必须通过学习了解自然，依靠现代科学与技术揭示自然的奥秘，从而掌握自然规律，为人类社会和经济发展服务。人们可以通过实践的直接感知获得知识，也可以通过书籍等传媒的间接感知获得知识。而后一种途径获得的信息是大量的。这就是人们常说的读万卷书，行万里路。

占地球表面积 71% 的海洋，不仅能供应人类生存所需要的生物资源，而且能够供应社会经济发展所需要的矿物资源，它同时又是一个巨大的气候调节器。古人早就知道海洋的渔盐之利和舟楫之便。随着经济的发达和社会的进步，海洋在政治、经济、军事、环境和气候等方面的重大作用越来越为人们所感知。中华民族要自立于世界民族之林，就必须把中国建设成海洋强国。这就要使更多的人认识海洋，了解海洋。作为海洋科学和地球科学的一个组成部分，海洋地学就是研究地球及其表面海洋的科学。它所涉猎的科学问题不仅有下海的，也有入地的，甚至有上天的。因此，关注海洋就是一件天经地义的事。而这种关注不应当仅仅是科学家的事，更应当是人民大众的事。这就是海洋出版社和国土资源部青岛海洋地质研究所共同策划编辑出版这套“海洋地学科普丛书”的初衷。

2008 年 10 月 15 日，海洋出版社和国土资源部青岛海洋地质研究所在青岛联合主持召开了海洋地学科普丛书编写专家座谈会。来自青岛海洋科学与技术国家实验室、中国科学院海洋研究所、国家海洋局第一海洋研究所和中国海洋大学的近 20 位科学家参加了座谈会。这次座谈会取得高度共识，认为做好科学普及工作是科学家的重要责任，应当尽快编辑出版海洋地学方面的科普读物，向社会大众宣传和普及海洋地质方面的科学知识，增强大众的海洋意识，使更多的人关心海洋、爱护海洋。应当让社会大众都知道，我们

的国土不仅有 960 万平方千米的陆地国土，而且有近 300 万平方千米的主张管辖海域。2009 年 1 月 8 日，以中国科学院院士秦蕴珊研究员为主任委员的“海洋地学科普丛书”编委会成立，同时成立了编委会办公室，确定了海洋地学科普丛书五个分册的作者，明确了这套丛书的定位、编写内容和要求、时间进度、经费筹措等事宜。此后，又召开了三次编委会会议和两次各分册作者工作会议，讨论和解决编写工作中诸如知识产权界定和科普读物编写方法等问题。

历时两年多的批阅删改、反复推敲，“海洋地学科普丛书”五个分册陆续脱稿，付梓印刷出版。这就是由何起祥和许靖华编著、秦蕴珊研究员主审的第一分册《海底探索之路》，由丁东编著、李广雪教授主审的第二分册《海底景观之奇》，由莫杰、蔡乾忠和姚长新编著、刘守全研究员主审的第三分册《海洋矿产之源》，由赵松龄和王珍岩编著、夏东兴研究员主审的第四分册《海陆沧桑之变》以及由徐家声（海岸部分）和刘锡清（海岛部分）编著、中国海洋学会科普部全开建主任和韩春瑞副研究员主审的第五分册《海洋世界之窗》。中国科普作家协会理事长、中国科学院院士刘嘉麒亲自执笔为这套丛书作序，令作者和编委会成员倍感欢欣。

在编写的过程中，大家深切体会到，由于专业和写作水平的限制，编写科普读物要比编写专业著作更困难。这套丛书定位为高级科普读物，不仅它的读者群会因此受到一定的限制，而且写作的分寸更难拿捏；因而我们深知还存在很多问题和不足，希望能得到科普专家和同行及读者的批评指教。尽管如此，我们依然把丛书的问世看成众多海洋地学工作者为建设海洋强国鼓与呼的强烈社会责任感的表现。如果因此而使更多的人关注海洋，了解海洋，那就实现了我们编写这套丛书的初衷和期望，并把它看成是对我们工作的肯定和褒奖。我们真诚地希望与全国的海洋科学工作者一起努力，为把伟大的祖国建设成海洋强国而不懈奋斗。

《海洋地学科普丛书》编辑委员会

2011 年 7 月 6 日

CONTENTS

目次

第一章 海岸是条黄金带

03/ 大浪淘沙

06/ “沙”里淘金

07/ 砂矿聚集地

14/ 砂矿价值知多少

第二章 近岸向海底延伸的矿产

23/ 海底“乌金”

25/ 浅海砂矿

28/ “农业矿产”——磷钙石

30/ 靠鸟粪发家致富

第三章 油气的生成

34/ 石油的形成

37/ 石油早期发现史

38/ “中国贫油论”的由来

40/ 中国科学家独创的“陆相生油理论”

第四章 沉积盆地是油气的摇篮

44/ 海相地层蕴藏丰富的油气资源

46/ 到海相地层找油气

第五章 中国海域大油库

50/ 渤海油苗变油田

52/ 黄渤海海上地质奇观

第六章 东海陆架盆地的油气突破

56/ 奇思妙想的构造命名

57/ 平湖油气田的发现

59/ 台湾海峡油气勘探前景

第七章 南海油气聚宝盆

62/ 珠江口盆地 17 勇士保平台

64/ 莺歌海上能点燃的气泡

65/ 珊瑚礁油气大储层

第八章 “可燃冰”探秘

71/ “可燃冰”的形成

72/ 气体水合物的分布

75/ 南海首钻获可燃冰实物

78/ “可燃冰”开发指日可待

第九章 深海大洋底的聚矿宝盆

87/ 多金属结核遍布大洋

88/ 结核成矿的物质与环境

93/ 奇形怪状的多金属结核

95/ 中国在太平洋有块矿区

第十章 大洋海山长出钴结壳

- 99/ 海底山的发现
- 102/ 海山长出钴结壳
- 107/ 中国将申请一块矿区

第十一章 海底热液活动制造硫化物矿

- 112/ 大洋中脊是矿床
- 115/ 海底喷溢热液流体
- 118/ 新的硫化物矿床
- 120/ 热硫矿与极端生命
- 123/ 中国环球科考的新发现
- 127/ 发现海底热液“烟囱”

第十二章 红海的多金属软泥矿

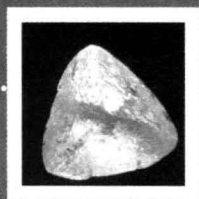
- 131/ 天然成矿实验室
- 134/ 红海仍在断裂扩张

第十三章 未来的海洋矿业开发

- 136/ 发达国家抢占先机
- 140/ 海洋高新技术
- 148/ 深海采矿技术

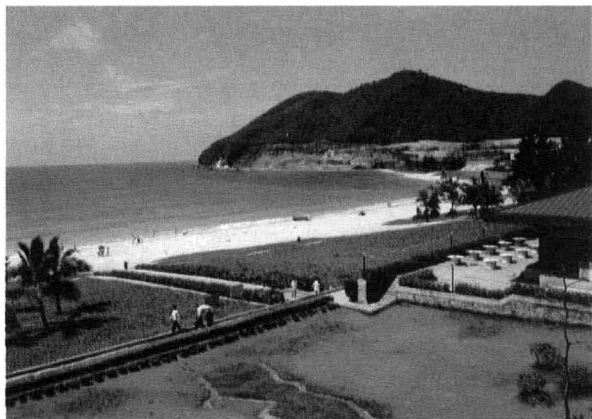
1 第一章

海岸是条黄金带



海岸带是陆地与海洋的交接地带，海岸带向陆、海两侧扩展一定宽度的带形区域。海岸带区域是地球上生物圈、岩石圈、水圈和大气圈的海陆交汇地带。在四大圈层的共同作用下，地球的内部动力和外部营力最为活跃。各种自然过程，特别是地质历史过程中的各种地质构造作用不仅复杂，而且变动频繁。因此，这一区域具有许多独特的自然环境与资源，是一个生态环境脆弱、资源种类繁多、资源储量较大的高价值地区（带）。

我国海岸线漫长，大陆岸线北起鸭绿江口，南至中越交界处的北仑河口，全长约 18 000 千米，岛屿岸线 14 000 千米。沿海的 11 个省（区、市）总面积为 125 万平方千米，占全国陆地总面积的 16.8%；人口近 5 亿，占全国总人口的 38.5%，而国内生产总值（GDP）却占全国的 72.5%。沿海地区还



美丽富饶的黄金海岸带

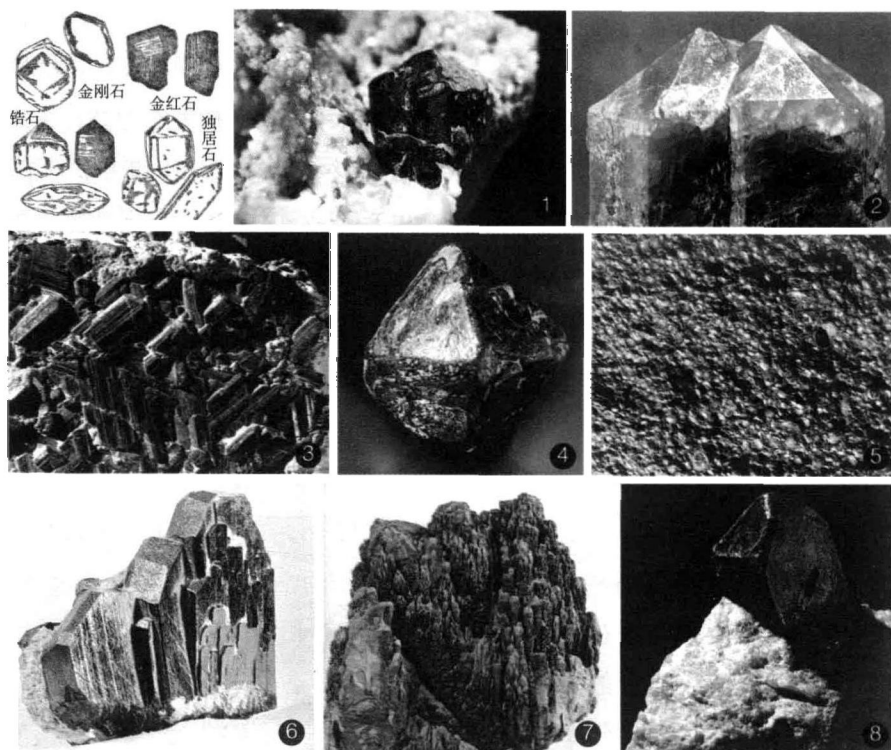
集中了我国 70% 以上的大中城市和 5 个（环渤海、长江三角洲、台湾海峡西岸、珠江三角洲、泛北部湾）经济发达区。新世纪以来，沿海地区经济增长速度多年保持在 15% ~ 20%，是我国经济社会发展和海洋开发的“黄金带”。就在这条海岸带陆地沿岸的一些堆积阶地、沙滩、沙嘴、潟湖、河口海湾、海岬和近岸浅海海域中埋藏着各种各样、五颜六色、具有工业价值的滨海砂矿。

□ 大浪淘沙

滨海砂矿种类繁多、分布广泛、资源储量丰富，它们大多埋藏在近岸沙堤、沙滩、沙嘴和海湾之中，默默无闻地躺在海滨沉积物中成千上万年。那么，这些砂矿又是从哪里来的呢？百川入大海，矿物聚宝盆。原来，这些砂矿的母体都是陆地上各种各样的岩石或矿体、矿脉，经过上千万年漫长的风化剥蚀，巨大的岩体碎裂后，大的碎块变小，小的碎屑变成砂粒。这些砂粒在风力和流水等自然力的搬运下，离开母体，走向异地他乡，顺河流水而下，从陆地来到入海河口、海湾，堆积在浅海地带，在“适合安居”的地方聚集。

地质学家曾作计算，陆地上每分钟大约有 3 万立方米的泥沙被河流携带到海洋。这些含有各种矿物的碎屑物在河口海湾堆积起来，又在海流、潮汐和海浪的水动力昼夜不停、周而复始的作用和淘洗下，按照它们的比重、硬度、形状和大小的不同进行机械的自然分选。那些比重和大小比较接近的有用矿物，便会自行“物以类聚”。在一些有利的地貌部位，如古河床、阶地、沙堤、沙嘴、海滩、浅湾、岬角等，它们聚集形成有用的矿物集合体——滨海砂矿。

关于世界各地滨海砂矿的发现，在古代的记载中有许多传奇的故事，大多是沿海地区的渔民不经意中的发现。传说 20 世纪初，在西南非洲的纳米比亚，那里海边的居民祖祖辈辈以捕鱼为生。一天，一个信仰宗教的黑人独自出海捕鱼却一无所获，甚为沮丧。在他返回途中，海上突然起风，顿时乌云密布，电闪雷鸣。就在黑人离岸不远时，遭到暴雨巨浪的袭击，船被打翻，他掉进海里。死神就要降临，忽然一个巨浪把他冲卷上海滩。不知昏死了多久，当黑人苏醒过来睁开双眼，发现不远的沙滩上有一个闪闪发光的东西。他欣喜若狂地捡起带回了家。家人见他打不到鱼反而如此高兴，不得其解。后来经过一个牧师的鉴定和珠宝商确认，原来那是一颗价值连城的金刚钻石，从此他发了大财。此事一传十、十传百，当地许多居民都涌向海滩寻宝淘金。



各种砂矿的晶体形态

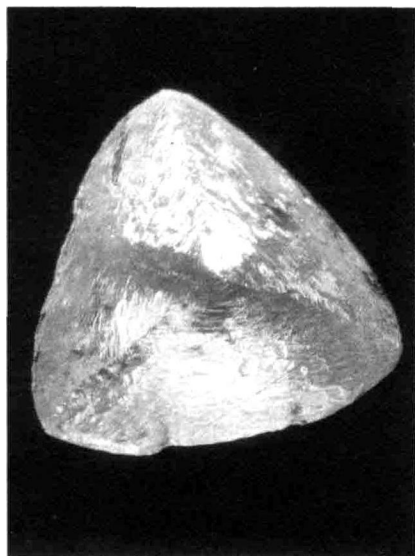
1. 锡石；2. 磷灰石；3. 钛（金红石）；4. 磁铁矿；5. 赤铁矿；6. 铌铁矿；7. 褐铁矿；8. 锆石

1870 年在南非首先发现原生金刚石，翌年又在金伯利城发现原生金刚石并以此地名将金刚石的产出岩石命名为“金伯利岩”。在南非金伯利城附近的金伯利岩筒的原生金刚石和河流下游金刚石砂矿开采红火的同时，人们都把眼光投向西南非洲海岸。近百年来，人们从那里获得大量金刚石和刚玉。20 世纪 60 年代，平均年产 10 万 ~ 15 万克拉（1 克拉 = 0.2 克）。80 年代开始，那里的采矿业已从潮间地带推向 15 ~ 20 米水深的浅水域。

西南非洲沿岸海滩的金刚石砂矿源于那里的众多火山，火山筒里堵塞的大量来自地壳深部含有碳元素物质的岩浆，在高温高压环境下转变成金刚石（地质学家把含有金刚石的岩石称之为“金伯利岩”）。金伯利岩是在南非金伯利

发现的母岩，是一种斑状橄榄岩。1887—1888年由路易斯鉴定命名。它含有橄榄石、蛇纹石、黑云母、古铜辉石、铬透辉石、镁铝榴石和钛铁矿，通常被认为是云母橄榄岩（或角砾云母橄榄岩）的同义语。同时也认为金伯利岩是陆源金刚石唯一的原生源。

火山岩筒的金伯利岩经过千百万年风吹雨打、日晒水淋，含有丰富原生矿的岩石被风化剥蚀而破碎了，就地堆积形成疏松的矿土，那些坚硬无比的金金刚石颗粒被包裹在沙土之中。流经这一矿区的奥兰治河及支流，把大量的泥沙运移堆积在河谷里或运送到大西洋沿岸。河流入海口就在南非和纳米比亚之间，那里常年盛行西南风和自南向北的海浪与沿岸流。这样就把含有金刚石的泥沙运移到安哥拉长达 1600 千米的海岸带上。据估计，那里的金刚石总储量可达 4000 万 ~ 5000 万克拉，其中奥兰治河口两侧的奥兰杰蒙德和沙梅斯海湾之间长 270 千米的浅海地带的冲沟或基岩洞穴是主要的富集区，金刚石砂矿量特别丰富，是世界上独一无二的金刚石矿带。



南非金伯利岩与金刚石

□“沙”里淘金

我国海洋地质科技工作者，在调查实践和研究的基础上，认识到滨海砂矿的形成与富集往往是多种因素控制的，但它们的成矿过程具有一定的规律性，并总结出滨海砂矿过程的五个阶段或称“五部曲”，地质专业上叫做“成矿模式”。通俗地说，滨海砂矿的形成过程就是一种“沙里淘金”的过程，海流、潮汐、波浪就是心甘情愿辛勤劳动的天然“淘沙工”。

矿物的原生赋存阶段——是指金属、非金属矿物呈分散或富集的状态赋存于沉积岩、岩浆岩和变质岩等各类岩石或原生矿体中。这是砂矿的物质来源或称砂矿的母体。

矿物的活化阶段——由于含矿岩石受风化剥蚀而形成不同厚度的风化壳，使含矿岩石松动、破裂、脱离、破碎。这个阶段气候条件决定风化作用的强度。而构造运动也是重要因素，即在外营力和内动力的互相作用下，造就了砂矿成矿物质来源的条件。

矿物的搬运阶段——成矿物质的搬运和分异作用与地表水流作用密切相关。陆上河流是输送含矿碎屑物质到河口入海沿岸地带的主要途径；而分异作用取决于水动力条件的强度；被搬运的距离则取决于地形的坡度和矿物的比重、硬度、粒径和水动力等特征。此阶段的机械搬运作用在滨海地带形成一些冲积或堆积型砂矿床。

工业矿物的富集成矿阶段——砂矿的原始碎屑物经历了长期的崩裂、分离和分异作用，使陆源物质组合中的重矿物数量不断增加，并由河流将其输送到滨海地带。因受海岸类型与地貌形态的制约以及海水动力条件和沉积方式的作用，当各种成矿因素相匹配时，即可聚合富集成具有工业含矿品位或商业开采价值的堆积体（砂矿床）。

砂矿的后生变化阶段——当砂矿体形成后，这种后生变化表现在由于海岸变迁或构造运动使已经形成的砂矿床抬升或下降而形成的抬升和沉溺或埋藏砂矿；也可因为大的风暴潮破坏作用使已形成的砂矿体在新的水动力平衡条件下，在有利的地貌部位再次富集成矿。同样，因地壳抬升或海平面下降