

# 陆源碎屑沉积环境

〔西德〕 H. E. 赖内克 著  
〔印度〕 I. B. 辛 格

石油工业出版社

8860

# 陆源碎屑沉积环境

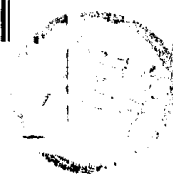
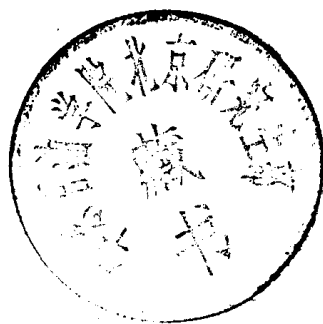
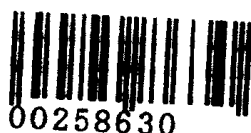
〔西德〕H.E. 赖内克 著

〔印度〕I. B. 辛 格

陈昌明 李继亮 译

陈景山 校

S421/13



石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书从“将今论古、以今溯古”的地质学原理出发,论述沉积环境重塑中许多有用的判别标志和现代陆源碎屑沉积物的各种沉积环境的特征。内容包括两大部分。第一部分侧重论述与水动力条件有关的物理标志,即原生沉积构造与结构,也简要的叙述矿物、化学及生物标志,并阐明它们的成因模式及其在沉积环境中的分布;第二部分介绍冰川、沙漠、湖泊、河流、三角洲、海滩、大陆架、海岸泻湖、潮坪以及大陆边缘、大陆坡和大洋盆地等现代陆源碎屑沉积环境的沉积特征和识别标志,同时附有该环境的现代与古代实例。

本书可供从事沉积学、沉积矿产、特别是从事石油地质研究的科技人员以及大专院校师生参考。

中译本的前半部分经武汉地质学院北京研究生部徐怀大副教授审阅。

## 陆源碎屑沉积环境

【西德】H.E. 赖内克 著  
【印度】I.B. 辛 格

陈昌明 李继亮 译

陈景山 校

石油工业出版社出版  
(北京安定门外外馆东后街甲36号)

兰州新华印刷厂排版

通县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 28<sup>1</sup>/<sub>2</sub>印张 699千字 印4,101—6,000

1979年8月北京第1版 1982年10月北京第2次印刷

书号: 15037·2035 定价: 2.90元

# 目 录

## 第一篇 原生构造与结构

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>一 物理参数</b>              | 5  |
| 1.1 一般知识                   | 5  |
| 1.2 无机原生沉积构造               | 5  |
| 1.3 水动力因素和水中的底形            | 6  |
| <b>二 水流波痕与波浪波痕</b>         | 13 |
| 2.1 一般知识                   | 13 |
| 2.2 波痕的描述                  | 13 |
| 2.3 波痕的内部构造                | 14 |
| 2.4 小波痕、大波痕和“微三角洲”的背流面上的流型 | 16 |
| 2.5 对称波浪波痕中沉积物的运动          | 22 |
| 2.6 不对称波浪波痕中沉积物的运动         | 23 |
| 2.7 波浪波痕                   | 24 |
| 2.8 水流波痕                   | 29 |
| 2.9 水流—波浪联合波痕              | 39 |
| 2.10 孤立波痕                  | 40 |
| 2.11 风成波痕                  | 41 |
| 2.12 波痕鉴定表                 | 44 |
| 2.13 波痕在各种环境中的分布           | 46 |
| <b>三 表面痕迹与印痕</b>           | 48 |
| 3.1 泥火山、沙火山及其他的类似构造        | 48 |
| 3.2 碎屑脉                    | 49 |
| 3.3 泥裂                     | 50 |
| 3.4 冻裂                     | 51 |
| 3.5 雨痕                     | 51 |
| 3.6 泡沫痕                    | 53 |
| 3.7 晶体印痕与假晶                | 54 |
| 3.8 水位痕迹                   | 55 |
| 3.9 原生水流线理                 | 55 |
| 3.10 皱痕                    | 56 |
| 3.11 反波痕(粘附波痕)             | 56 |
| 3.12 气泡砂构造与其他的气泡空洞         | 57 |
| 3.13 冲流痕                   | 58 |
| 3.14 细流痕                   | 58 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 3.15 冲淤构造 .....          | 62  |
| 3.16 沟槽 .....            | 62  |
| <b>四 冲刷痕</b> .....       | 64  |
| 4.1 槽痕 .....             | 64  |
| 4.2 横向冲刷痕 .....          | 66  |
| 4.3 槽型细流痕 .....          | 66  |
| 4.4 纵向脊与沟 .....          | 66  |
| 4.5 下游变尖的三角形痕迹 .....     | 67  |
| 4.6 枕状冲刷痕 .....          | 67  |
| <b>五 压刻痕</b> .....       | 68  |
| 5.1 静止压刻痕 .....          | 68  |
| 5.2 障碍痕 .....            | 69  |
| 5.3 运动压刻痕 .....          | 70  |
| <b>六 准同生变形构造</b> .....   | 75  |
| 6.1 负载构造 .....           | 75  |
| 6.2 球状与枕状构造 .....        | 77  |
| 6.3 卷曲层理 .....           | 78  |
| 6.4 滑塌构造 .....           | 79  |
| <b>七 层理</b> .....        | 81  |
| 7.1 一般知识 .....           | 81  |
| 7.2 交错层理 .....           | 84  |
| 7.3 上攀波浪纹理 .....         | 94  |
| 7.4 压扁层理和透镜层理 .....      | 96  |
| 7.5 递变层理 .....           | 101 |
| 7.6 平纹层砂和水平层理 .....      | 103 |
| 7.7 厚互层层理 .....          | 105 |
| 7.8 薄互层层理 (韵律层) .....    | 106 |
| 7.9 薄纹层泥 .....           | 110 |
| 7.10 均匀层理 .....          | 110 |
| <b>八 沉积物的颗粒参数</b> .....  | 111 |
| 8.1 一般知识 .....           | 111 |
| 8.2 粒度 .....             | 111 |
| 8.3 粒度分布 .....           | 111 |
| 8.4 沉积物颗粒的形态和圆度 .....    | 117 |
| 8.5 沉积物颗粒的表面结构 .....     | 120 |
| 8.6 原生组构或颗粒定向 .....      | 123 |
| <b>九 化学参数与矿物参数</b> ..... | 128 |
| 9.1 氧化还原电位 (Eh) .....    | 128 |
| 9.2 酸碱度 .....            | 128 |
| 9.3 盐度 .....             | 128 |

|          |             |            |
|----------|-------------|------------|
| 9.4      | 温度          | 129        |
| 9.5      | 指示矿物        | 129        |
| 9.6      | 颜色          | 129        |
| 9.7      | 痕量元素        | 130        |
| <b>十</b> | <b>生物参数</b> | <b>131</b> |
| 10.1     | 一般知识        | 131        |
| 10.2     | 硬骨部分        | 131        |
| 10.3     | 生物扰动构造      | 135        |
| 10.4     | 粪球粒         | 152        |

## 第二篇 现代环境

|           |               |            |
|-----------|---------------|------------|
| <b>十一</b> | <b>冰川环境</b>   | <b>160</b> |
| 11.1      | 一般知识          | 160        |
| 11.2      | 冰川地貌          | 160        |
| 11.3      | 冰川流           | 163        |
| 11.4      | 冰蚀作用          | 163        |
| 11.5      | 冰川搬运          | 165        |
| 11.6      | 冰川沉积          | 166        |
| 11.7      | 蛇丘            | 168        |
| 11.8      | 冰碛阜           | 171        |
| 11.9      | 小三角洲沉积        | 172        |
| 11.10     | 冰川湖沉积         | 172        |
| 11.11     | 冰水平原沉积        | 174        |
| 11.12     | 间冰期沉积         | 176        |
| 11.13     | 冰川活动的证据       | 177        |
| 11.14     | 冰川沉积的粒度特征     | 177        |
| 11.15     | 冰水沉积平原中风的活动   | 178        |
| 11.16     | 冰川环境的古代沉积物    | 179        |
| <b>十二</b> | <b>沙漠环境</b>   | <b>180</b> |
| 12.1      | 一般知识          | 180        |
| 12.2      | 沙漠中的侵蚀作用与沉积作用 | 181        |
| 12.3      | 沙漠环境的沉积       | 184        |
| 12.4      | 岩漠沉积          | 184        |
| 12.5      | 砾漠沉积          | 185        |
| 12.6      | 沙漠湖和内陆盐沼沉积    | 186        |
| 12.7      | 旱谷沉积          | 188        |
| 12.8      | 风成砂沉积         | 191        |
| 12.9      | 沙堆和沙影         | 192        |
| 12.10     | 沙丘状积砂         | 192        |
| 12.11     | 小沙原           | 192        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 12.12 沙丘 .....                  | 193 |
| 12.13 尘土或黄土沉积 .....             | 205 |
| 12.14 风成砂沉积的粒度特征 .....          | 206 |
| 12.15 古代沉积物中沙漠环境的识别 .....       | 207 |
| 12.16 沙漠环境的古代沉积 .....           | 208 |
| <b>十三 湖环境</b> .....             | 209 |
| 13.1 一般知识 .....                 | 209 |
| 13.2 碎屑湖沉积 .....                | 209 |
| 13.3 日内瓦湖 .....                 | 210 |
| 13.4 博登湖 .....                  | 213 |
| 13.5 博登湖中的来因河三角洲 .....          | 215 |
| 13.6 湖中的生物 .....                | 219 |
| 13.7 湖中的化学沉淀物 .....             | 219 |
| 13.8 古代湖沉积的实例 .....             | 219 |
| <b>十四 河流环境</b> .....            | 222 |
| 14.1 一般知识 .....                 | 222 |
| 14.2 河道类型 .....                 | 222 |
| 14.3 河流环境及其沉积 .....             | 227 |
| 14.4 河床残留沉积 .....               | 228 |
| 14.5 曲流沙坝沉积 .....               | 228 |
| 14.6 河间沙坝和辫状河沉积 .....           | 238 |
| 14.7 天然堤沉积 .....                | 243 |
| 14.8 决口扇沉积 .....                | 245 |
| 14.9 河槽充填沉积 (割断河道与牛轭河) .....    | 246 |
| 14.10 洪泛盆地沉积 .....              | 248 |
| 14.11 洪泛平原沉积 .....              | 250 |
| 14.12 冲积扇沉积 .....               | 252 |
| 14.13 河流组合 .....                | 256 |
| 14.14 几点总论 .....                | 257 |
| 14.15 风成沉积物在河流沉积中的作用 .....      | 259 |
| 14.16 河流沉积物的粒度特征 .....          | 261 |
| 14.17 古代河流沉积 .....              | 261 |
| <b>十五 三角洲环境</b> .....           | 263 |
| 15.1 一般知识 .....                 | 263 |
| 15.2 三角洲的构造 .....               | 264 |
| 15.3 三角洲的亚环境 .....              | 265 |
| 15.4 三角洲体系中横向序列与垂直序列的反复发育 ..... | 273 |
| 15.5 三角洲环境的古代沉积实例 .....         | 278 |
| <b>十六 海岸</b> .....              | 280 |
| 16.1 引言 .....                   | 280 |

|           |                                |            |
|-----------|--------------------------------|------------|
| 16.2      | 海岸：定义和分类 .....                 | 280        |
| 16.3      | 海岸砂 .....                      | 281        |
| 16.4      | 海岸砂（海滩）的地貌 .....               | 285        |
| 16.5      | 海滩动力学和沉积物搬运 .....              | 286        |
| 16.6      | 海岸沙丘 .....                     | 291        |
| 16.7      | 海滩脊和海沼沙岭 .....                 | 293        |
| 16.8      | 墨西哥内亚利特海岸的海滩脊 .....            | 296        |
| 16.9      | 得克萨斯州东南部的海沼沙岭平原 .....          | 298        |
| 16.10     | 越岸水流蚀积扇 .....                  | 301        |
| 16.11     | 后滨 .....                       | 302        |
| 16.12     | 前滨 .....                       | 305        |
| 16.13     | 临滨 .....                       | 308        |
| <b>十七</b> | <b>大陆架 .....</b>               | <b>309</b> |
| 17.1      | 大陆架上的水动力条件 .....               | 309        |
| 17.2      | 过渡带 .....                      | 311        |
| 17.3      | 陆架沉积物 .....                    | 311        |
| <b>十八</b> | <b>现代环境中海滩—陆架剖面的实例 .....</b>   | <b>314</b> |
| 18.1      | 引言 .....                       | 314        |
| 18.2      | 地中海意大利加埃塔湾的海滩—陆架泥剖面 .....      | 314        |
| 18.3      | 北海的水道和沙坝（浅滩）——水道和沙舌 .....      | 316        |
| 18.4      | 北海外雅德的水道与沙坝（浅滩） .....          | 318        |
| 18.5      | 北海诺德格林德地区的沙舌（浅滩）和水道 .....      | 324        |
| 18.6      | 比苏姆的剖面：海岸砂—过渡带—含风暴砂层的陆架泥 ..... | 329        |
| 18.7      | 加尔沃斯顿岛 .....                   | 337        |
| 18.8      | 高能海岸的海滩剖面 .....                | 338        |
| 18.9      | 美国佐治亚州萨佩洛岛的海滩—陆架剖面 .....       | 340        |
| 18.10     | 大陆架上的砂沉积 .....                 | 347        |
| 18.11     | 古代海岸砂和陆架沉积物的实例 .....           | 351        |
| <b>十九</b> | <b>海岸泻湖 .....</b>              | <b>355</b> |
| 19.1      | 一般知识 .....                     | 355        |
| 19.2      | 沉积物和沉积构造的分布 .....              | 356        |
| 19.3      | 现代海岸泻湖的实例 .....                | 356        |
| 19.4      | 古代泻湖沉积物的实例 .....               | 359        |
| <b>二十</b> | <b>潮坪 .....</b>                | <b>360</b> |
| 20.1      | 一般知识 .....                     | 360        |
| 20.2      | 自然地理和地貌 .....                  | 361        |
| 20.3      | 潮坪沉积物的层理类型 .....               | 363        |
| 20.4      | 生物扰动和动物群 .....                 | 364        |
| 20.5      | 潮道 .....                       | 369        |
| 20.6      | 表面构造 .....                     | 370        |

|                       |                                  |            |
|-----------------------|----------------------------------|------------|
| 20.7                  | 潮坪沉积的水平序列和垂直序列 .....             | 375        |
| 20.8                  | 潮坪沉积的鉴定特征 .....                  | 377        |
| 20.9                  | 古代潮坪沉积 .....                     | 378        |
| <b>二十一</b>            | <b>大陆边缘、大陆斜坡和大洋盆地 .....</b>      | <b>379</b> |
| 21.1                  | 一般知识 .....                       | 379        |
| 21.2                  | 陆缘的主要单位 .....                    | 379        |
| 21.3                  | 海底峡谷和扇谷 .....                    | 383        |
| 21.4                  | 陆架、陆缘和洋盆中的搬运体系 .....             | 384        |
| 21.5                  | 河流混合搬运和砂与泥的分异 .....              | 386        |
| 21.6                  | 砂的搬运和沉积 .....                    | 386        |
| 21.7                  | 低速度、低密度的浊流 .....                 | 387        |
| 21.8                  | 高密度、高速度的浊流 .....                 | 388        |
| 21.9                  | 浊积 .....                         | 389        |
| 21.10                 | 大型重力滑动与滑塌沉积 .....                | 393        |
| 21.11                 | 砾质泥岩沉积 .....                     | 394        |
| 21.12                 | 平流 .....                         | 395        |
| 21.13                 | 海底峡谷中的沉积作用 .....                 | 397        |
| 21.14                 | 深海扇区的沉积作用 .....                  | 398        |
| 21.15                 | 古代深海扇与扇谷沉积的实例 .....              | 400        |
| 21.16                 | 深海沉积物 .....                      | 401        |
| 21.17                 | 深海沉积物中的水流痕迹和有关沉积构造 .....         | 402        |
| 21.18                 | 东非海岸外深海沉积物的海底样品中的层理和生物扰动构造 ..... | 405        |
| 21.19                 | 墨西哥湾的陆坡、陆隆和深海平原 .....            | 410        |
| 21.20                 | 边缘海较深部分的沉积作用 .....               | 413        |
| <b>结束语 .....</b>      |                                  | <b>417</b> |
| <b>附录 人名对照表 .....</b> |                                  | <b>419</b> |

# 第一篇 原生构造与结构

## 绪 言

地质工作者主要是研究岩石圈。沉积岩与变质沉积岩,虽然按体积算只构成岩石圈的5%,但却占已暴露的陆地面积的75%(佩蒂约翰,1957)。因此,沉积岩的研究是地质学的主要问题。在研究沉积岩时,有一个明显的问题,即所研究的沉积岩是在什么条件下,通过什么过程沉积下来的。

佩蒂约翰(1957)曾指出,地质学主要是研究地球的历史。沉积岩的研究涉及到沉积岩的历史。他又写道,任何特定的沉积岩单位的历史,都包括了确定物源区与母岩,确定沉积环境——沉积物堆积时的物理、化学及生物环境,以及石化作用——研究沉积后的变化。

除石化作用外,可以把沉积物看作为来源与环境的一种产物(佩蒂约翰,1957)。揭示沉积岩的成因和重塑产生沉积岩的环境,是一项困难的工作。全面了解引起产生、搬运及沉积的各种沉积过程,在环境重塑中是非常重要的。对这样的论题来说,最重要的是原生构造与结构,以及沉积物的生物特征和化学特征。本书主要考虑原生构造与结构。然而,由于生物因素在沉积过程与环境解释方面的重要性,也涉及了生物因素。同时也简略地叙述了矿物因素和化学因素。

在所有的沉积岩中,碎屑岩——砂岩与页岩——最丰富。本书的重点是论碎屑沉积物的沉积环境。

研究近代沉积物的兴趣与日俱增,这主要是因为,了解沉积过程及其所形成的沉积特征有助于更好地理解在古代沉积物中所见到的各种特征。随着对沉积过程及其所形成的各种特征的深入了解,重塑沉积环境就更有把握。近几十年来,大量的著作都论述了现代环境中的沉积作用过程和沉积构造。有关沉积构造的实验性与理论性的详细研究工作,更有助于了解各种沉积构造的形成过程。

本书最强调各种沉积构造的成因特征——它们在现代环境中的成因模式与分布。考虑到沉积构造分类对古代沉积物的适用性,因此我们没有试图作呆板的分类,但是提出了略为概括性的编组。特别强调了各种沉积特征的相互关系。尤其注意那些更有可能保存下来的特征以及在判断古代沉积环境方面的重要特征。外表类似的各种构造可以由完全不同的方式形成。在有可能的情况下,则提出区别这些构造的标志。

有关沉积物、沉积构造及环境分析的各个方面,有许多优秀的著作、专题文章和专题论文集可用。补充阅读材料如下:瓦尔特(1894),安德烈(1920),特温霍费尔(1932、1950),克伦宾和佩蒂约翰(1938),特拉斯克(1939),斯维德鲁普等人(1942),施罗克(1948),库南(1950a),巴格诺尔德(1954a),隆巴德(1956),斯特拉霍夫(1956),佩蒂约翰(1957),布伦斯(1958),鲁欣(1958),特默尔(1960),韦勒(1960),米尔纳(1962),希尔(1963),克伦宾和斯洛斯(1963),波特和佩蒂约翰(1963),佩蒂约翰和波特(1964),泽林斯基和沃尔顿(1965),米德尔顿(1965a),古布勒等人(1966),达夫等人(1967),哈勒姆(1967),艾伦

(1968 a), 科尼比尔和克鲁克(1968), 拉波特(1968), 亨宁森(1969), 艾伦(1970), 富克特鲍尔和米勒(1970), 格伦尼(1970), 卢基(1970), 里格比和汉布林(1972), 佩蒂约翰等人(1972)。

## 沉 积 环 境

在地质学的研究中,经常使用“环境”一词。人们能够研究和解释的地质环境,其范围很广。人们能够研究火成岩的环境,即形成火成岩的物理—化学环境,或者研究变质岩和矿物的环境,即研究各种矿物在不同的温度、压力条件下的稳定性,或者研究沉积岩的环境,即研究侵蚀过程与沉积过程。本书所涉及的是沉积作用的沉积环境<sup>①</sup>——即特定的岩石是在什么样的水动力、生物和化学的条件下沉积的。沉积环境可以是侵蚀作用环境,也可以是沉积作用环境。侵蚀环境的特征是剥蚀过程和剥蚀地貌,及其所形成的剥蚀产物。与侵蚀环境伴生的是沉积环境,具有特征的沉积过程与沉积产物(瓦尔特,1894)。在地质记录中,沉积环境在沉积物中留下了它的“印痕”,并产生了沉积序列。因此,沉积环境与侵蚀环境相比之下,地质工作者更关心沉积物的沉积环境。

沉积环境已有各种定义。沉积环境可以根据物理的、生物的、化学的或地貌的变量来下定义。因此,沉积环境是一个发生沉积作用的地貌单位。这样的一个沉积区,其特点是一组独特的物理过程、生物过程及化学过程,这些过程以特定的速度和强度起作用,在沉积物上留下足够的印痕,从而产生特征性的沉积。由此所产生的沉积物的特征,取决于起作用的形成过程的强度以及这种作用的持续时间(佩蒂约翰,1957)。

某些地貌单位在特征方面相当复杂。在这样的地貌单位中,物理的、生物的以及化学的变量各地都很不相同,因此,所沉积的沉积物类型也很不相同。在一个大环境中若有若干亚环境。例如,潮间坪可区分出潮道、泥坪、砂质坪等。一个河流环境可分出河床、天然堤及洪泛盆地沉积。它们属于亚环境。此外,由于气候条件和水动力条件的变化,也可以产生变动。

因此,研究古代沉积物的沉积环境,基本上是研究地貌,即识别地貌单位。地貌单位的识别,是根据古代沉积物中所保存下来的沉积特征。只有那些能在古代沉积物中留下永久性记录的作用,在环境识别中才是有用的。这样的环境参数可分为三类——物理的、生物的和化学的。在这三类之中,物理过程的研究最重要,因为它为地貌解释提供了最基本的资料。

这里,我们想加上有关“相”的几句话。一种沉积相可定义为一个沉积单位中所有原生特征的总和。然而,“相”这一术语在使用中却有许多不同的意义。

有关相概念的详细讨论,可在下列著作中见到:邓巴和罗杰斯(1957),穆尔(1949、1957),泰彻特(1958),韦勒(1960),克伦宾和斯洛斯(1963)。

有些工作者在给“相”下定义时只考虑沉积物的一个或两个方面,例如,岩相、生物相、地球化学相等等。总之,一种沉积相都是一个特定环境中沉积作用的结果,因此具有该特定环境的特征。

① 本书所说的沉积环境(sedimentary environment)包括沉积作用环境(depositional environment)和侵蚀作用环境(erosional environment)。而沉积作用的沉积环境(depositional sedimentary environment)则是本书的特殊用法。在一般的文献中,sedimentary environment和depositional environment均作为同义词使用。因此,这三个词组以及environment of deposition在译文中均译为沉积环境,皆指发生沉积作用的环境。——校者

在研究古代沉积物时，研究一个地层单位中的各种沉积特征并把它作为一个相来描述，这是可取的。只有在这样的基础研究之后，所研究的相才有可能指定环境。如“海滩相”和“泻湖相”这样的术语应予废除。只有在总结所有的沉积特征并与根据现代沉积物的研究所建立起来的模式进行对比之后，一个特定地层单位的砂质相才可以指定为海滩环境。

相的研究应包括相在横向上和垂向上的变化。如果成因上相互有关的相（在瓦尔特的意义上，1894）彼此迭覆，那么它们就能够归类为序列。

在最重要的物理因素中，有沉积介质、水流与波浪的强度和速度、水深等等。换句话说，研究物理环境意味着确定沉积某种沉积物的水动力条件。要获得有关水动力条件的资料，最好是通过原生沉积构造（无机的与生物的）和粒度分布参数的详细精心研究。近几十年来，关于沉积构造的成因、稳定性及分布状况，已在实验室内和野外做了大量的工作。这方面的资料有助于我们认识和解释环境。

一个地貌单位中的沉积，受气候和沉积盆地的大小与形状的影响很大。在古代岩石中，通过研究岩石单位的几何形态及其相互关系，能够获得有关沉积盆地大小与形状的资料。通过研究动、植物，在某种程度上通过研究矿物参数和化学参数，可以提供有关一般气候条件的线索。

沉积大地构造（sedimentary tectonics），是重塑古代环境时应该考虑的另一个重要因素。研究横向与垂向的相变、沉积速度及古地理，为沉积大地构造提供重要线索。

识别沉积环境中原始沉淀的矿物，为确定沉积介质的Eh、pH和盐度提供重要线索。生物标志，即古生态资料，能够提供水深、盐度、温度、扰动性、沉积速度与再沉积速度等方面的决定性资料。物理因素的研究，如果与生物因素和化学因素的研究结合起来，就可以提供沉积环境的更完整的情景。

本书主要论述环境重塑中有用的物理标志。生物标志与化学标志仅简要地说一下。列出了论述地球化学参数与生物参数的重要参考文献。

一般都不把单个特征的存在与否作为环境解释的确实标志。大多数的沉积构造都出现在几种环境中。一般来说，在环境解释方面提供直接线索的是沉积构造系列以及以一定组合出现的沉积构造。一定的沉积构造组合和一定的岩性组合，对于特定环境来说是典型的。现代环境的研究提供了大量资料，根据这些资料能够建立起环境模式。然而，这样的模式应该仅仅是作为“模式”来考虑，因为在类似环境的沉积中可能有许多变化。气候变化和地形起伏在物源区和沉积盆地中都起着很重要的作用。例如，温和气候下的潮坪环境同干旱气候下和温暖潮湿气候下的潮坪环境有许多差异。当一个地区的地貌和气候方面可用的资料不够充足时，在古代沉积物中识别环境就更为困难。此外，某些条件在地质历史中可能是独一无二的；而且，我们可以说，没有一个沉积序列完全与另一个沉积序列相同。然而，尽管它们在不同的条件下沉积，但某些基本形式在一个特定环境的沉积中总是相似的。这就能进行沉积环境的识别，即使在地质记录中也可能有几分把握。

在某些环境中，鉴别是相当困难的，因为有些环境不具有足够典型的特征。就识别潮汐环境内的潮间坪亚环境来说，情况就是这样。对于确切地识别潮间坪亚环境来说，沉积表面间歇性出露的确切标志是必不可少的。但这样的特征保存在沉积物中的机会很少。其他环境需要同时进行详细研究和区域性研究。在识别三角洲环境时，情况就是这样，因为三角洲的各个亚环境也可以单独出现。各个亚环境的特定组合及其地理分布，使得有可能来识别古代三角洲。

沉积序列的环境分析，通常是部分的或整个的沉积盆地的更广泛研究的一部分。

对于盆地分析来说，除了解沉积环境之外，还需要详细地了解水流体系的性质与型式、沉积物的分布型式等等。波特与佩蒂约翰（1963）详细地讨论了研究沉积盆地的方法。选择沉积盆地中的某些剖面进行详细的环境分析，能为盆地分析提供良好的背景材料。

因此，我们认为，研究古代沉积物的最好方法是记录一个沉积序列中各个单位的所有原生沉积构造、颗粒的特征与参数以及生物扰动构造，并且尝试性地解释该单位沉积的水动力条件。

下一步是研究各个单位的横向关系和垂向关系，并且确定它们的几何形态。然后，可与研究现代环境得出的资料所建立起来的环境模式进行对比。应该讨论古代沉积物中的特殊特征，而且应该力图找出形成这些特征的特殊条件。在一个沉积盆地中建立起这样详细的剖面，将有助于重塑盆地的轮廓、沉积大地构造以及古地理。

从一开始就已认识到研究沉积物在环境重塑中的重要性。早在十五世纪，当L.达芬奇认识到化石是保存下来的动物时，他就从事解释环境了。他得出结论，蒙蒂费拉托—隆巴代岩石上所出现的珊瑚和牡蛎，是海洋沉积以及在该区曾有海洋存在过的标志（扎洛蒙，1928）。此后，地质工作者就已从事于解释古代沉积物的沉积环境。

识别古代沉积环境，不只是具有学术意义，即正确地了解地球历史中的沉积过程。这样的知识在勘探如石油、煤、石灰岩、磷块岩、砂矿等自然资源中也是很重要的，因为发现这些矿床与特定环境有关。

# 一、物理参数

## 1.1 一般知识

前面已论述了物理参数在重塑古代环境中的重要性。沉积物的原生沉积构造与结构，是提供有关搬运介质与方式（通过冰、水或风）以及沉积时期能量条件方面的主要沉积特征。能量条件包括水深、流速、扰动性、风速等等。物理参数的研究可分为两类。

（1）研究无机原生沉积构造。包括研究沉积时期所产生的所有层理特征与表面特征，它们是沉积时期所盛行的沉积介质与能量条件的直接表现。

（2）研究沉积结构。包括研究沉积物的粒度。粒度、粒度参数、形态与圆度、表面结构以及原生结构，是这种研究的重要方面。这些特征主要是受搬运介质与方式所控制的，在较小的程度上受沉积介质所控制。因此，它们提供搬运介质方面的更精确的资料，仅提供沉积条件方面的有限资料。这使得原生沉积构造的研究在重塑古代物理环境中是最重要的。

## 1.2 无机原生沉积构造

佩蒂约翰和波特（1964）将原生沉积构造定义为：在沉积时或者沉积之后不久以及在沉积物固结之前在沉积物中所形成的那些构造。

因此，它们包括各种表面痕迹（surface marking）、底形<sup>①</sup>及层理。也包括了由生物活动所产生的构造，即生物扰动构造（bioturbation structure）。在沉积之后沉积物固结之前所产生的准同生变形构造（penecontemporaneous deformation structure）甚至也包括在这当中。

无机原生沉积构造，是由于重力、沉积物与流体的物理特征和化学特征以及水力环境的相互作用而产生的（布拉什，1965）。布拉什又说道，发育可辨认的构造是由于沉积物按大小、形态及比重进行分选的结果。这种分选作用又是沉积物颗粒的不同沉降速度、湍流扩散、重力作用下的塌落以及边界切应力的结果。简言之，无机原生沉积构造提供沉积环境的水动力条件方面的有用资料。

生物沉积构造，特别是由底栖生物群落所产生的那些构造，也能够提供沉积作用条件方面的有用资料。

许多地质学家做了原生沉积构造分类的尝试。有些人仅论述特殊类型的构造；另一些人试图认识所有的沉积构造。最近关于这方面的尝试有：佩蒂约翰（1957），佩蒂约翰和波特（1964），以及克伦宾和克鲁克（1968）。

一般来说，无机原生构造可分为两类：

（1）表面特征。包括所有在沉积物表面上或层面上所观察到的各种特征。在古代沉积物中，可以发现其中有些在沉积物层的底面上保存得更好。

① 底形（bedform）是指运动的流体（水或空气）在底床（河床、湖床、海床等的统称）的非粘结性物质的表面上所形成的波痕、沙波、反丘等构造的总称（底床形态）。——校者

(2) 层理特征。包括在垂直切过沉积物表面的剖面中所观察到的各种形态。各种类型的层理和变形构造(即卷曲层理、球状与枕状构造)可归此类。

然而,有许多表面特征与层理构造密切有关,而且,某些层理只不过是表面特征的内部构造。例如波痕,如果它们彼此重迭起来,那么,在剖面中它就表现为交错层理。但是,为了分类起见,表面特征和层理构造则放在不同的标题下叙述。

本书没有试图将沉积构造进行分类。为了叙述清楚,把它们分成几组,并不代表严格分类中的任何类别,只不过是编组而已。现分组如下:水流波痕(current ripple)与波浪波痕(wave ripple),风成波痕(wind ripple),表面痕迹与印痕,冲刷痕(scour marks),压刻痕(tool marks),准同生变形构造以及层理。

### 1.3 水动力因素和水中的底形

运动的流体在非粘结性物质的表面上造成波痕和其他底形。自然界中有两种重要的流体与地质工作者有关,即水和空气。前者是液体,后者是气体,但均有流体的性质。因此,流体与非粘结性物质(如砂)相互作用便产生波痕、反丘等构造。关于流体动力学的主要知识,可以在下列著作中找到:普兰特尔(1952、1956),戈尔德施泰因(1938/52),特鲁肯布罗特(1968),塞林(1969)以及普兰特尔等人(1969)。艾伦(1968a)主要从地质学的观点对流体运动原理作了概要的介绍。

自1865年达西和巴津所作的研究以来(引自西蒙斯等人,1965),许多工作者(主要是水力工程师们)试图用水动力来解释底形。吉尔伯特(1914)第一个提供了底形与流速之关系的大批实验资料。后来还有一些人在这方面做过工作,如:安德森(1953),森德伯格(1956),巴格诺尔德(1956),刘(1957),迪洛(1960),西蒙斯和理查森(1961),劳德基维(1963),雅林(1964),肯尼迪(1964),以及博加迪(1965)。他们解释了各种底形及其与水流强度的关系。例如,他们观察到小波痕和大波痕同时形成,这是由于不稳定性的两种不同模式同时存在的缘故,他们还发现底形和底床糙度随水流条件变化而变化。英格伦和汉森(1966)以及英格伦(1966)根据线性化理论全面地分析了底形的稳定性。

详细考虑这些著作超出了本书的范围。对这方面的详情有兴趣的读者可参阅艾伦(1968a)的著作。下面我们只详细地引述西蒙斯和理查森及其同事们的概念。他们有关流态(flow regime)的概念,给地质工作者所关心的底形提供了水动力处理方法。这个概念主要是根据1956年到1961年间在水槽实验中所做的工作成果。盖伊、西蒙斯和理查森(1966)总结了他们在水槽实验中所得到的资料。有关流态概念的有用总结,是西蒙斯、理查森和小诺登(1965)提供的。

下面对流态和单个底形的简述基本上是根据西蒙斯等人(1965)的文章。

#### 流态

冲积性沟槽里的水流可以分为低流态(lower flow regime)和高流态(upper flow regime),中间有个过渡流态。这种分类是根据底床形态的类型、沉积物搬运的方式、能量消耗的过程以及底床与水面之间的相位关系来划分的,如表1所示。

#### 低流态

在低流态中,对水流的阻力大,沉积物搬运比较小。水面波动与底床波动相位不同。底床物质发生相当大的分异。底形是小波痕或大波痕或两者的组合。底床物质搬运的一般方式,

对于单个颗粒是搬运到小波痕或大波痕的背上，以及顺背流面塌落。弗劳德数 $(F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}})$ 小于1，流型为稳流。

表 1 流态的分类及其特征 (根据西蒙斯等, 1965)

| 流 态  | 底 形      | 底床物质的浓度<br>(ppm) | 沉积物搬运方式 | 糙度类型        | 底床与水面的<br>相位关系    |
|------|----------|------------------|---------|-------------|-------------------|
| 低流态  | 小 波 痕    | 10~200           | 不连续     | 以形态糙<br>度为主 | 不同相位 <sup>①</sup> |
|      | 大波痕上的小波痕 | 100~1200         |         |             |                   |
|      | 大 波 痕    | 200~2000         |         |             |                   |
| 过渡流态 | 被冲蚀的大波痕  | 1000~3000        |         | 可变的         |                   |
| 高流态  | 平 底      | 2000~6000        | 连续      | 以颗粒糙<br>度为主 | 同相位 <sup>①</sup>  |
|      | 反 丘      | 2000             |         |             |                   |
|      | 流槽和潭     | 2000             |         |             |                   |

① 同相位 (in phase) 是指底形的波峰相应于水面波的波峰，底形的波谷相应于水面波的波谷。不同相位 (out of phase) 即指二者不相对应。——校者

### 过渡流态

在由低流态的大波痕向高流态的平底 (plane bed) 和反丘 (antidune) 的过渡中，底形是不稳定的。在过渡流态中，底形可以由典型的低流态的底形到典型的高流态的底形。弗劳德数在1左右。

### 高流态

在高流态中，对水流的阻力小，沉积物搬运是大的。水面波动与底床波动同相位，底床物质的分异可以忽略不计。常见的底形是平底和反丘。沉积物搬运的主要方式，对单个颗粒来说是在几个颗粒直径那么厚的薄水层内几乎连续地顺流滚动。弗劳德数大于1。流型为急流。

### 底形

西蒙斯和里查森用水流功率 ( $V\tau_0$ ) 来表示水流强度：

$V$ ——速度；

$\tau_0$ —— $\gamma DS$ —切应力；

$\gamma$ ——流体和沉积物的比重；

$D$ ——水流深度；

$S$ ——能量梯度的斜率。

随着水流强度的增大，他们识别出下面的底形序列。

图1表示随水流功率和粒度而变的各种底形。把盖伊等人 (1966) 的各种结果绘制成图，说明各种底形的稳定范围。

### 没有运动的平底

平底是没有任何底形的平坦底床。曾经有人研究过没有运动的平底，来确定运动开始时的切应力和运动开始后所形成的底形。开始运动后，就粒度小于0.6毫米的砂来说，平底变为小波痕，对粒度大于0.6毫米的砂来说则变为大波痕。在几个实验中，直径为0.93毫米的

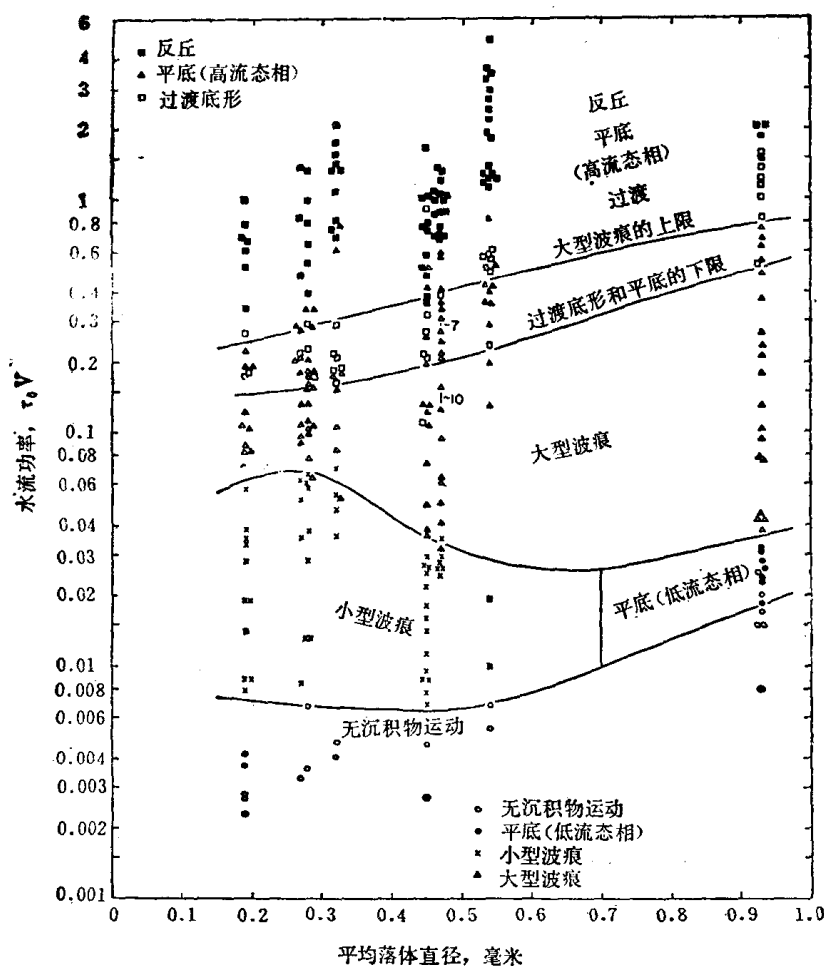


图1 底形与水流功率和粒度的关系。盖伊等(1966)的数据(据艾伦, 1968 a)

砂, 当水流功率小时, 在大波痕形成之前, 形成有运动的平底(盖伊等, 1966)。刘氏(1957)和博加迪(1961, 1965)也报道过流速小时有运动的平底。博加迪的资料所涉及到的沉积物粒度要比盖伊等人(1966)的小得多。艾伦(1968a)也指出, 至少对于粗砂来说, 存在有低速运动的平底是完全令人信服的。然而西蒙斯等(1965)在他们的文章中没提这一点。

#### 小波痕

小波痕是具有缓上游坡和陡下游坡的小型底形。它们的长度一般都小于30厘米(从谷到谷), 从来不超过60厘米。开始形成时, 它们是平行的长脊, 并具有小的波幅。但随着水流强度的增大, 就形成不规则的较大的波痕。波痕长度与砂的粒度无关。在细砂中能产生小波痕的最低水流速度是20厘米/秒左右。里斯(1966)得到了在不含粘土的粉砂中产生波痕的水流速度为8~15厘米/秒。

#### 大波痕

如果人们用种种方法逐渐增大与小波痕(或者粗砂情况下的平底)伴随的边界切应力和水流功率, 不久便可达到一定的底床物质搬运率、速度量和扰动度, 就会形成称之为大波痕的较大沙波。向大波痕的过渡是相当突然的。在较小的切应力值下, 在大波痕背上就上迭有小波痕。这些小波痕在较大的剪切值下趋于消失。大波痕的形态与小波痕相似。它们的长度