

砂岩沉积模式与 能源矿产勘探

G. deVries 克莱因 编著

地质出版社

砂岩沉积模式与能源矿产勘探

G. deVries 克莱因 编著

李思田 李宝芳 林畅松 译
周明琛 校

地质出版社

内 容 提 要

《砂岩沉积模式和能源矿产勘探》一书系美国伊利诺斯大学教授、著名沉积学家克莱因博士编著。全书共分七章，包括序言、冲积扇和河流砂体、风成砂体、海岸砂体、三角洲砂体、大陆架砂体和浊流砂体等，总计约16万字，插图201张。本书介绍了砂岩沉积模式的基本内容和近期进展，内容丰富；注意在地质勘探中的应用是本书的突出特色。作者在论述每种沉积模式之后都联系了煤、石油和天然气、金和铀等重要矿产资源的普查勘探，并列举了大量实例。本书适合从事普查勘探的广大地质技术人员、教师和研究人員、大学生和研究生阅读。

Sandstone Depositional Models for Exploration for Fossil Fuels (Third Edition)

George deVries Klein

D. Reidel Publishing Company 1985

砂岩沉积模式与能源矿产勘探

G. deVries 克莱因 编著

李思田 李宝芳 林畅松 译

周明琛 校

责任编辑：杨珊珊

地质出版社出版发行

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：10.875 字数：252000

1989年10月北京第一版·1989年10月北京第一次印刷

印数：1—2310册 国内定价：4.80元

ISBN 7-116-00472-6/P·398

译者序

沉积环境分析和沉积模式是沉积学近代发展中成就最为明显的领域。70年代和80年代前期,各国地质工作者致力于沉积模式的应用,在能源和其它沉积矿产的寻找中取得了突出的经济效益,因此,我国广大地质工作者,特别是与能源和其它沉积矿产有关的地质工作者,积极地学习这方面的基本知识,并密切地关心着这一领域的新进展。

美国伊利诺斯大学 Klein 教授是国际著名的沉积学家,又有多年从事沉积学教学的丰富经验。他编著的《砂岩沉积模式与能源矿产勘探》一书介绍到我国后即受到读者的欢迎和重视,以后在第二、三版中又做了大量补充。此书较好地概括了砂岩沉积模式的基本内容和若干新进展。注重在地质勘探工作中的应用是本书的一个明显特色。作者在每章都介绍了寻找和勘探煤、油、金、铀等矿产的实例,将理论沉积学和应用沉积学较好地结合起来,因而很适于大学生、研究生和广大从事实际工作的地质工作者阅读。在专业领域上,事实上也不限于在能源矿产勘探中的应用。正因为如此,译者利用工作之余赶译此书,希望它对广大读者能有所收获。

沉积模式的知识对初学者和在新区开展工作时有重要的作用,但是模式毕竟是源于典型地区的总结,地质工作者面临的对象是千变万化的,在进行模式类比时特别要注意具体分析。

本书系在作者讲稿的基础上进一步加工而成,书中所附的插图不够清晰,沉积构造的实物照片也嫌不足,此为本书美中不足之处。

本书原根据第二版翻译,由李思田译第一、二和六章,李宝芳译第三、四、五章,周明琛对全文进行了审校。完稿之后英文版第三版已经出版,内容已调整为七章,故由林畅松根据第三版内容对各章进行了补译和改译,包括增译第三版第三章和第六章中大部分内容。由于译者在繁忙工作中用业余时间赶译以及水平所限,译文中必存在许多不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
第二章 冲积扇和河流砂体	5
第一节 冲积扇	5
一、冲积扇的沉积作用	5
二、冲积扇的沉积物和相	6
三、冲积扇的垂向层序	8
四、古代冲积扇的实例	10
第二节 辫状河	12
一、辫状河的沉积作用和沉积物	14
二、沉积构造	15
三、垂向层序	15
四、古代辫状河的实例	19
第三节 网结河	19
一、网结河的沉积作用、相和沉积物	19
二、垂向层序	22
三、古代网结河的实例	22
第四节 曲流河	24
一、径流作用	24
二、曲流河的沉积物	25
三、垂向层序	27
四、古代曲流河的实例	30
第五节 含油、气、煤、铀和金的河流沉积实例	30
一、油和气	30
二、煤	35
三、铀	36
四、金	36
第三章 风成砂体	38
第一节 引言	38
第二节 沉积作用	38
第三节 风成沙丘	39
第四节 沙丘间地	41
第五节 沉积构造	42
第六节 垂向层序	46
第七节 古代实例	46
第八节 油田实例	48
第四章 海岸砂体	52

第一节 障壁岛砂体	52
一、引言	52
二、沉积作用	53
三、障壁岛的成因	53
四、障壁岛体系的亚环境及其沉积物	55
五、波浪和潮汐相互影响对障壁岛地貌和沉积物所产生的相对作用	58
六、障壁岛的海侵层序	60
七、障壁岛的海退和垂向层序	61
八、古代障壁岛的实例	63
第二节 大潮海岸砂体	66
一、潮间坪	67
二、潮坪的垂向层序	69
三、潮间砂体	70
四、潮间砂体的垂向层序	75
五、古代潮间坪和砂体的实例	76
第三节 含油、气和铀的实例	76
一、障壁岛的烃类储集层和铀矿床	76
二、潮间坪和潮间潮道沉积中烃和铀的分布	76
第五章 三角洲	80
第一节 河流作用为主的三角洲沉积水力学	81
一、高密度流	81
二、等密度流	82
三、低密度流	83
第二节 密西西比三角洲（以河流作用为主）	83
第三节 尼日尔三角洲	90
第四节 潮汐作用为主的三角洲	92
一、巴生—朗加河三角洲	92
二、奥德河三角洲	92
第五节 波浪作用为主的三角洲	93
第六节 三角洲的垂向层序	94
第七节 古代三角洲	94
第八节 某些油田的三角洲实例	97
第九节 三角洲的含煤实例	104
第十节 扇三角洲	104
一、全新世的三角洲	104
二、古代扇三角洲	105
三、扇三角洲的垂向层序	106
四、扇三角洲的含油气实例	106
第六章 大陆架砂体	108
第一节 引言	108
第二节 沉积作用	109

第三节	北美东部大西洋陆架砂体	110
第四节	北海的潮流砂脊	113
第五节	白令海陆架砂体	118
第六节	黄海的砂体	121
第七节	大陆架砂的分散作用	123
第八节	大陆架砂体的垂向层序	124
第九节	古代实例	126
第十节	克拉通的沉积作用	128
第十一节	含油气的实例	129
第七章	油积砂体	135
第一节	引言	135
第二节	重力流作用	136
	一、滑塌和滑动	136
	二、泥石流	137
	三、颗粒流	138
	四、液化沉积物流	139
	五、流体作用的相互关系	139
第三节	浊流	140
	一、定义和沉积机制	140
	二、全新世浊流	142
第四节	海底扇	143
	一、Navy扇	145
	二、加利福尼亚Borderland区共生的海底扇	147
	三、加利福尼亚海底扇的沉积物源	147
	四、Amazon海底扇	148
	五、密西西比海底扇	150
	六、Laurentian海底扇	152
	七、孟加拉海底扇	153
	八、全新世海底扇的总结	154
第五节	古代浊积物和海底扇	156
第六节	海平面变化和海底扇的沉积	158
第七节	油田实例	160

第一章 绪 论

本书对15种碎屑沉积环境的沉积作用、全新世沉积物、相应的古代沉积物以及含油气地层圈闭的实例进行了扼要的总结。其目的是想对涉及下列问题的讲课和阅读课程作一些补充，这些问题包括沉积学、沉积体系，沉积相、沉积环境、砂岩成岩作用以及作为勘探预测工具的沉积模拟等。但必须提醒读者注意，此书仅是本论题的入门和概括，并不强调其论题和内容的完整性。更为完整的论述需参看正式的教科书。

在过去的30年中，沉积学发生了较大的变化并取得了进展。其部分的原因是美国石油工业需要对较难发现的地层圈闭进行预测。另外，由于板块构造理论的出现和深海钻探工程获得了可靠的资料，沉积学已由一门基本上是描述性的科学发展成为一门成熟的、具有预测性的科学。尤其是60年代、70年代和80年代，对沉积物如何沉积和沉积岩如何形成、又如何变化等问题有了许多新的认识和理解。

过去对沉积岩成因的理解是基于沉积岩的形成与物理和化学作用有关的认识基础上的，这些作用可归纳成为一些作用—反应模式（表1.1）。现在已认识到沉积物和沉积岩是沉积物质（由不同粒度的颗粒和各种矿物成分组成的）与各种搬运和沉积作用（如河流、潮流和波浪等）以及化学作用相互作用的产物。在全新世沉积物和岩石记录中保存了这些作用产生的特征反应，其中包括沉积构造、垂向层序（粒度大小、岩性和沉积构造的垂向变

表 1.1 沉积学中作用-反应预测模式的流程图解

作 用	+ 物 质 → 反 应 → 预 测		
宽阔河道水流 波浪体系 潮汐流 喷射流 泥石流 滑塌 浊流 压力 温度	结 构 矿 物 学	沉积构造 垂向层序 几何形态 孔隙度 渗透性 自然电位曲线 电阻率曲线 γ曲线 声速曲线 地震反射	沉积环境 成岩变化 上倾方向 下倾方向 沉积走向 石 油 天然气 煤 铀 铁矿 砂金 铜 铅 锌

化)、沉积体的几何形态、原生孔隙度和渗透性以及次生孔隙等。电测井曲线，γ测井曲线以及声速测井曲线的形态和地震反射特征是这些沉积层序特性的最终反映。这些特征使我们能够对沉积环境、成岩变化、沉积盆地的方位和走向，进而对各种能源和矿物资源进行解释和预测。这样，就有可能通过垂向层序的分析去理解自然电位曲线和γ测井曲线形

态的变化特征，这对石油和能源地质工作者来说是极为重要的。沉积岩的几何形态是沉积物与流体相互作用的直接产物。这一作用还控制着油气藏的形态和地震反射的性质和不连续性。而且，认识沉积作用还有助于更好地解译和解释地震剖面。这对寻找油气藏是很重要的。

砂岩的原生孔隙度和渗透性受到沉积作用的控制；它本身又控制着油田开发勘探所得到的电测井和 γ 测井曲线的形态。这些测井曲线的形态可以分为四种基本的类型(图1.1)，即指状交错的、钝底-钝顶的、钝底-倾斜顶和倾斜底-钝顶的(或漏斗型)等四种类型(Selley, 1976; Taylor, 1977)。在进行测井曲线分析时，可以利用这些形态特征来识别几种可能的沉积环境。而且，正如一些学者(Fisher等, 1971; Taylor, 1977)所指出的那样，还可以利用它们来进行盆地编图。但是，这些曲线形态并不是某种环境所特有的。成岩变化也可以引起曲线形态的改变。因此，还需要应用其它有说服力的资料。Selley (1976) 建议把海绿石和碳质碎屑的是否存在作为进一步鉴别沉积环境的标志。如果把这些资料和野外的露头观察、等值线图、岩芯分析(参见 Berg, 1968, 1975; 或其他学者)、地震剖面、古生物分析等结合起来综合研究，对沉积环境的识别就会更为准确。本书将进一步对这些关系作详细讨论。

最近的一个发展是人们对地下和近地表的成岩作用所引起的矿物学、胶结作用、孔隙度和渗透性等方面的变化有了进一步的认识。这些作用包括Eh值、pH值、不断增大的深度和压力、温度以及砂岩的原始成分(Scholle和Schluger, 1979; McDonald和Surdam, 1984)。理解这些变化对有关完成钻井和油田开发的经济上的决策是非常重要的。在

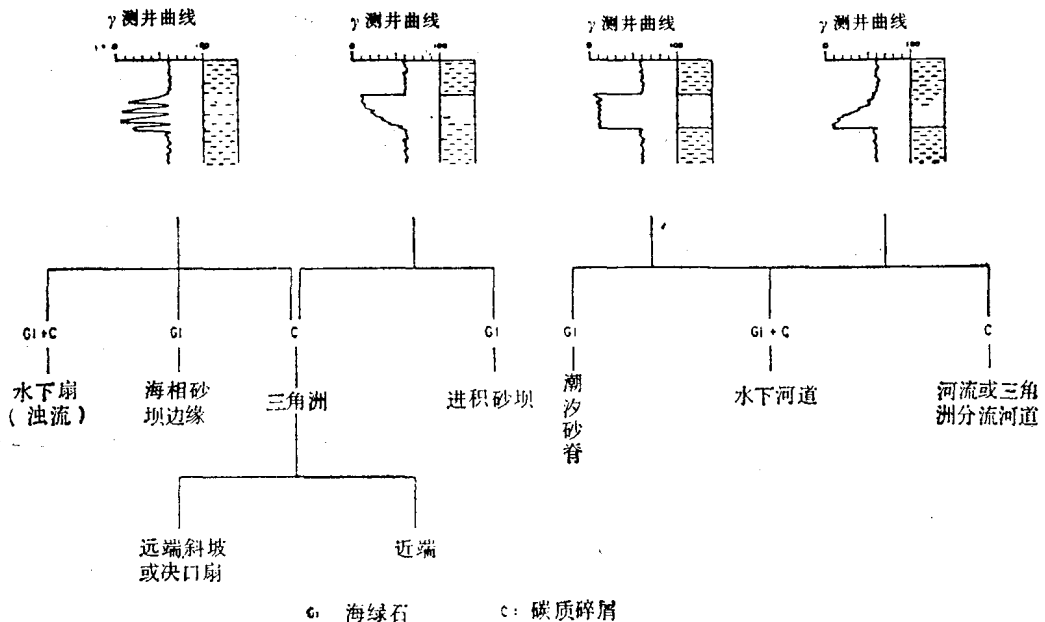


图 1.1 碎屑沉积岩中的四种 γ 测井曲线类型。从左至右：由薄层砂泥互层形成的指状交错型；顶部突变、向上变粗的层序(漏斗型)，顶底突变的砂岩和总体向上变细、底部突变的层序。这些曲线形态没有一种类型本身就可用来判别成因的，但如果把曲线形态与海绿石含量以及碳质碎屑的存在等资料结合起来分析就有可能判断出砂岩的成因(据 Selley, 1976)

Scholle和Schluger (1979) 以及McDonalol和Surdam (1984) 所写的一本书中有几篇极好的论文概括了这些变化。

本书把重点放在两个方面。首先集中讨论砂岩沉积体系的15种类型, 这些沉积体系都已证实是可含有石油和天然气储集层的, 而且在某些情况下还可含有铀矿和煤层。这些体系可归为如下六种一般的模式:

- 1) 冲积扇和河流砂体模式
- 2) 风成砂体模式
- 3) 滨海砂体模式
- 4) 三角洲砂体模式 (包括扇三角洲)
- 5) 大陆架砂体模式
- 6) 深水浊流和海底扇砂体模式

本书着重论述了地质和地球物理标志, 这些标志可用来识别可能成为可以进行勘探和开发的潜在地层圈闭的砂体。随后的一些概述较为简略。每一部分都是先讨论形成相应砂体的全新世沉积物的沉积作用, 接着根据全新世沉积资料来论述这些砂体中每一种砂体的沉积标志和几何形态, 最后列举有关的研究较好的相应古代砂体实例。

本书着重论述的第二个方面是关于如何应用沉积学的基本原理来认识和解释地下资料。为此在介绍每一种模式的结尾都对油、煤、铀等典型实例做了非常简要的论述。在这些实例中, 电测井、 γ 测井曲线和声速曲线随同对岩心和地震剖面的观察结果等一起都用图件表示。

一种有效的沉积模式必须能够起到Walker (1976, P.22) 提出的四种作用:

1. “能够做为类比的标准。”
2. “必须是未来观察的一个参考模式和指导。”
3. “应能对地质上的新区进行预测。”
4. “应能作为对沉积环境或体系进行水动力解释的基础。”

在本书中讨论的六种主要的沉积模式中, 也许除深海扇模式以外都能满足Walker(1976) 提出的要求。

过去10年的进展之一是认识到在相同的沉积格架和沉积作用下的沉积组成可以有很大的变化。这样的一些变化首先是Galloway (1925) 和Coleman (1976, 1980) 在对三角洲的研究时认识到的。他们的研究表明, 沉积物供给量的变化、波能和潮汐能的变化都会使三角洲的几何形态、垂向层序和砂体的排列等产生差异。Miall (1977) 提出, 辫状河的垂向层序具有很大的可变性。最近, Normark, Barnes和Coumes (1984) 表明, 深海扇的地貌特征、沉积物分布和发散还存在很大的变化, 因而认为现阶段所有深海扇的模式都是不完善的 (Barnes和Normark, 1984)。

在应用沉积模式时必须提醒注意的一点是观察的尺度和在确定沉积体系, 相和模式中所用的收集资料的方法 (Normark Piper和Hess, 1979; Normark, Barnes和Coumes, 1984)。一个主要的问题是在每一项研究中缺少一般性的资料。观察结果来自野外露头, 层理特征、构造、层序、几何单元, 地震勘探或遥感, 每一观察结果都包含了一组不同尺度的资料。有些对比划分是超出了生物地层的鉴别能力, 因而从露头上重造盆地和沉积体系的形态几乎是不可能的。对全新世沉积体系的研究方法, 无论是深海扇、三角洲或潮坪

所使用的尺度远比一般地质露头要大。除非在能够接近的环境条件下，如潮坪，所形成的研究方法才能提供宏观的解晰和形态特点，但不可能确定在岩心和露头上所观察到的细节。也许连结这两种不同的观察的唯一方法是应用三维的地震勘探，正如Brown, Dahm和Graebner (1981) 的描述的那样。图1.2表明在观察和资料收集计划中的这些离散的差异；其后果之一是由于不同地质学家工作时存在的很大的差别而很难建立模式。为了确定适应石油勘探的标准，在这一问题上应从尺度上把这些变化归纳起来。

本书中介绍的沉积模式的实例对于烃、煤和铀的勘探具有重要意义，这些实例遍布世界各地。尽管所讨论的大多数是北美的实例，但读者应该能够在他们自己的勘探和评价区内发现许多其它的例子。本书讨论的只是以前发表了实例。这些实例能够使所有进行勘探工作的读者积极地把新的和不同的理论应用到他们正在寻找未被发现的油、气、煤、铀和其它矿床的勘探区域。

值得注意，经济地质学领域也正在发生变化，上面提到的作用—反应研究方法也是可以利用的。由于金属矿床即将采完，因此勘探的战略重点正在改变，由对“硬的（非沉积的一译者注）—岩石—矿物—地球化学”的研究而转向用沉积学去发现低品位的但有经济价值的矿床。了解河流作用的性质和坝的形成有助于砂金的勘探 (Minter, 1976, 1978; Smith和Minter, 1980)，相似的方法也用来帮助地质工作者确定其它重金属矿床的位置。本书收入了这些方面有关的内容。

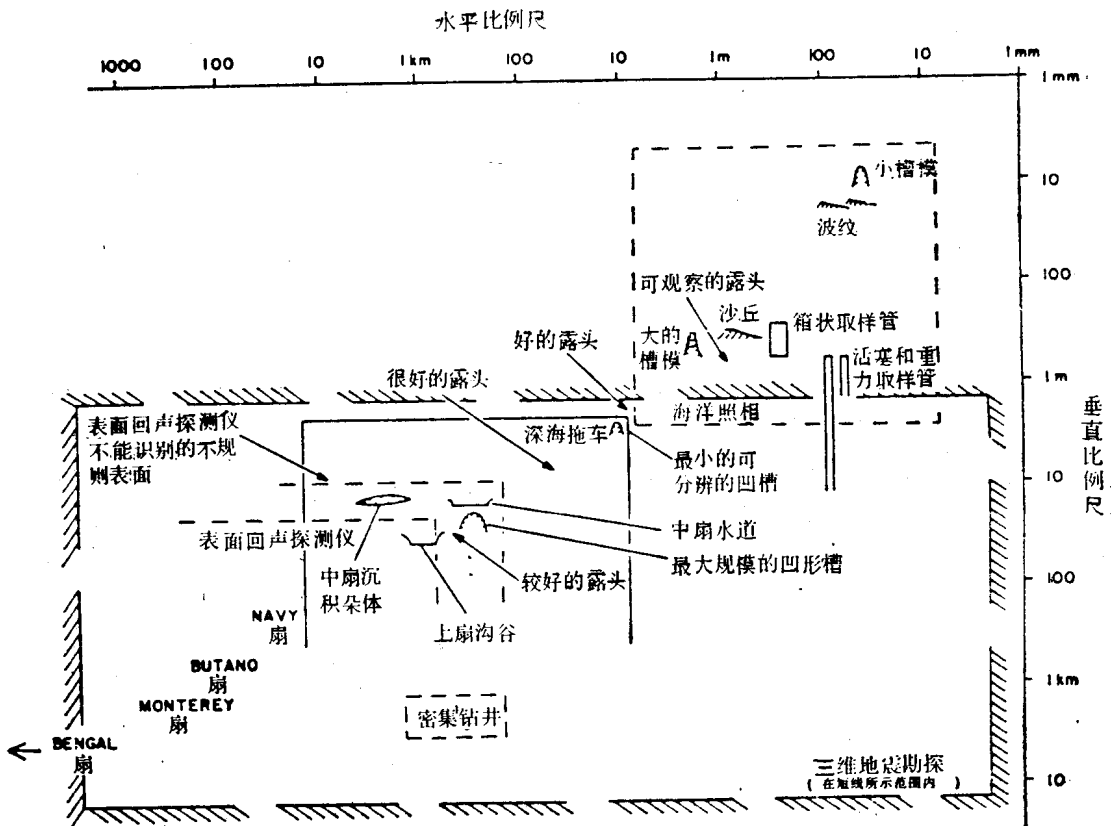


图 1.2 勘测海底扇和共生的沉积地形以及地貌特征所获得的标准海洋资料的分辨力限度与自然露头大小之间的比较 (据Normark, Piper和Hess修改, 1979)

第二章 冲积扇和河流砂体

河流体系的沉积物早就引起地质工作者的兴趣。已有许多关于河流作用 (Leopold, Wolman和Miller, Miall, 1978a), 河流沉积物 (Allen, 1965a; Miall, 1978a) 以及河流相模式 (Miall, 1978a; Reading, 1978; Collinson和Lewin, 1983) 等问题的文献。我们已知道河流砂岩层不仅含有石油储集层 (Nanz, 1954; Harms, 1966; Berg, 1968; Mackenzie, 1972a; Bloomer, 1977; Campbell, 1976; Putnam, 1982), 而且形成了在落矶山和墨西哥湾沿岸平原发现的著名砂岩型铀矿床的母岩 (Fischer, 1970, 1974; Galloway, 1977)。

河流沉积物的结构是本书所涉及到的所有砂体类型中最为复杂多变的, 尤其是分选性变化很大, 其大部分的分选性都很差。在露头上和地下的河流成因的储集层中, 层理的样式和类型在短距离内就显示出明显的横向变化。但在某些情况下, 特别是滨海平原的河流体系, 分选程度有所提高。这种河流砂具有高的渗透性和孔隙度, 而且地下的实例研究已表明它们含有极好的石油储集层。

第一节 冲积扇

冲积扇可出现在干燥或潮湿地区, 发育在沉积坡度急剧变小, 河道水流由受限制变为不受限制的地方。其扇状和楔状的几何形态反映了沉积坡度从较大到较小和水流从受限制到不受限制的变化。因此, 冲积扇沿断层崖和断线崖一侧发育最好。开阔河道水流速度的突然减小是形成冲积扇的原因, 而这种流速的突变是坡度角的急剧变小和水流从受限制变为不受限制造成的。其形态特征和沉积物的分布均受控于坡度和水流的改变 (图2.1和图2.2) 以及由此引起的沉积作用和流速的变化。从扇的顶端到扇的远端, 沉积物的颗粒大小, 分选性和层理类型都随着这些改变发生相应的变化。不断侧向迁移的水流体系使冲积扇沿着山的形成席状的山麓冲积平原, 并具有楔状的内部几何形态 (Denny, 1967)。这种山麓冲积平原的沉积厚度向山前方向增加, 其等厚线的走向平行于盆地的沉积走向。

一、冲积扇的沉积作用

在冲积扇上有几种沉积作用。以下的讨论是根据Blissenbach (1954), Hooke (1967, 1968), Denny (1967), Bull (1972) 和Spearing (1975) 等先前的工作成果。冲积扇的主要沉积作用包括泥石流 (或泥流)、筛积、辫状河道沉积以及受风的再改造作用等。

泥石流 冲积扇中常见有泥石流, 特别是在干旱气候带内。在水下扇中也可出现。对于这种作用的更详细的讨论, 读者可以参阅本书的第七章。

筛积 Hooke (1967) 发现, 在干旱冲积扇上许多沉积物的表面是多孔的。因此, 携带着沉积物的一部分水流渗过多孔带并由于过滤作用在其后形成了舌状的沉积体。其分选性很差, 含有从漂砾到粘土粒级的大小颗粒。它们常为线状沉积体 (图2.1和2.2), 主要限于扇顶区发育, 并大致平行于沉积走向。

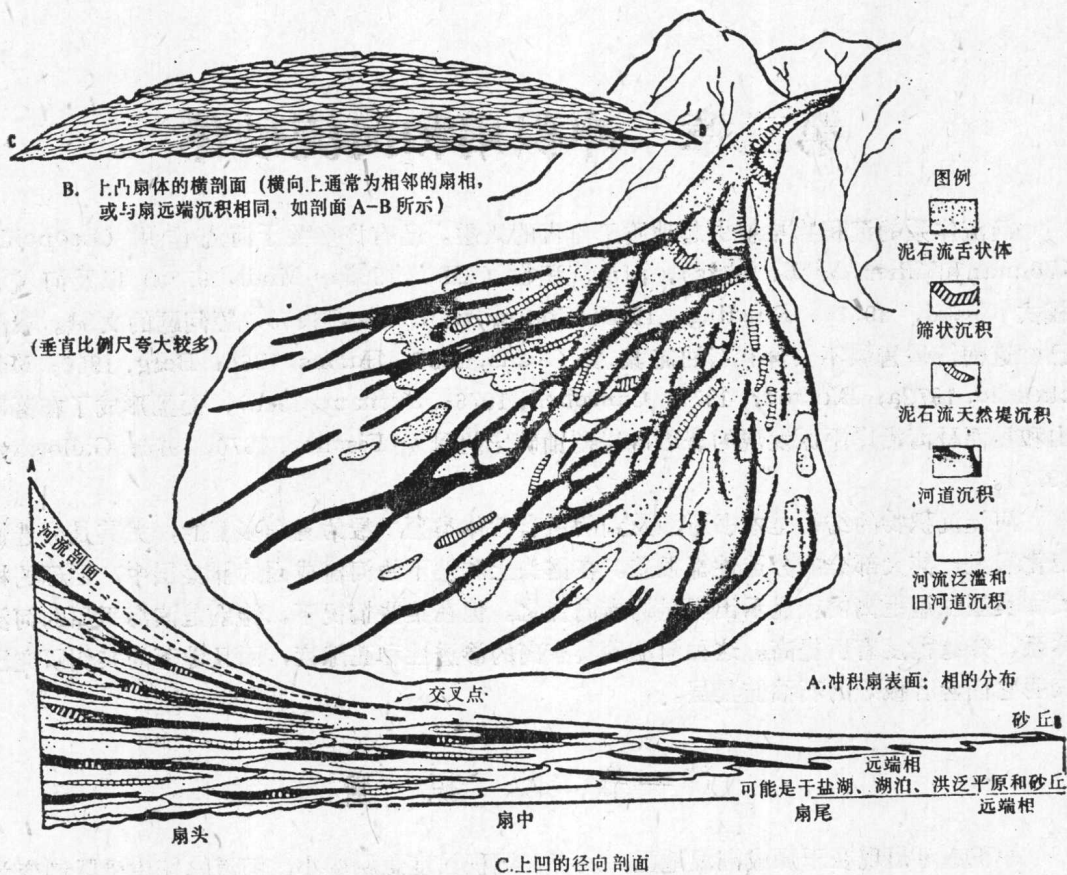


图 2.1 一个理想冲积扇的沉积相的分布和地貌剖面 (据Spearing, 1975)

辫状河道 冲积扇具有中等到较高的坡角，因此辫状河道体系趋于上叠在冲积扇的表面之上。由于进入冲积扇上的河道流速迅速改变，沉积物的卸载是迅速的。水倾向于围绕这样一些堆积的部位流动，从而形成辫状河体系。这些河流分叉并在河道之间形成了局部的狭窄小岛。这些河流的特点是深度很小（相对于宽度而言），而且由于流速的突然改变，沙坝进一步发育，又形成新的辫状水道。由于向扇的下游方向沉积物的分选性不断提高，扇远端的辫状河道沉积的粒度分布均匀，成层性也较好。

风的改造 中一细粒砂被风改造和再沉积的现象，在干旱带的冲积扇中是常见的。

二、冲积扇的沉积物和相

从沉积学和地貌学的角度，冲积扇可划分为近端相、中部相和远端相（图2.1）。

近端相 近端冲积扇相的形态特征是以扇面上最大的坡度角为特征。该相分布于靠近断层崖或断线崖处，由扇复合体的顶部带组成。这个带的沉积作用以泥石流或泥流为主，其次是筛选沉积和辫状河道沉积（Hooke, 1967; Bull, 1972）。因而沉积物颗粒的大小相差很大，分选性很差，缺少组构，没有层理。砾石呈棱角状，并被粘土和砂围绕和支撑（图2,3）。

中部相 分布于冲积扇的中部，以辫状河道沉积和占次要地位的泥石流沉积为特征。一般是由泥石流和辫状河道沉积互层所组成。但有时泥石流沉积的再改造会使分选性得到提高，因此造成砂和分选较好的砾互层，同时含砂量也增加了。砾石碎屑多呈叠瓦状排

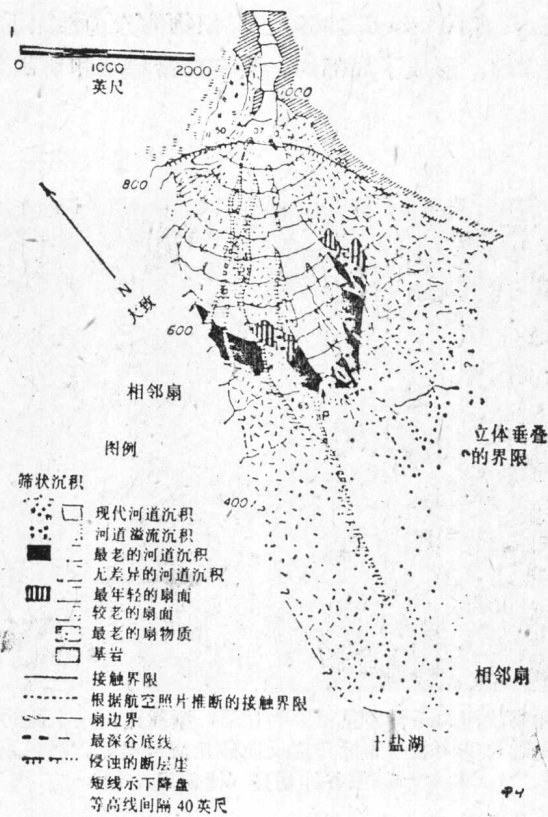


图 2.2 加利福尼亚州Shadow Rock扇的地貌图 (据Hooke,1967)

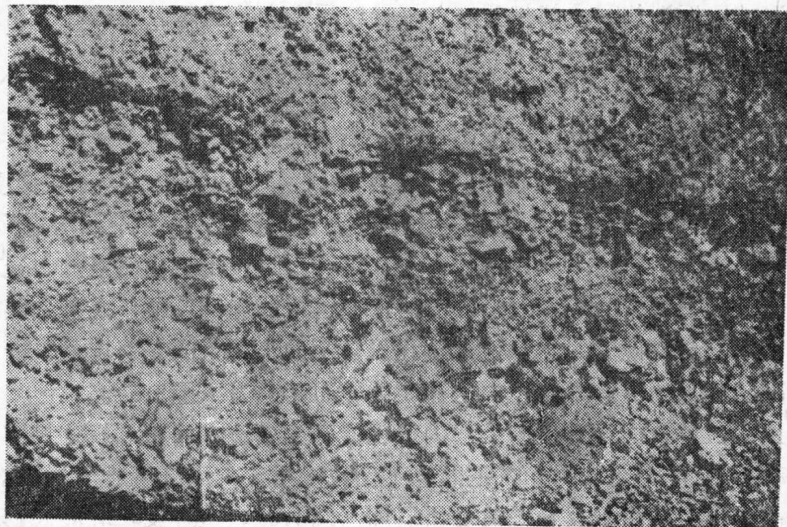


图 2.3 加利福尼亚Inyo山脉西部的Mazourkao峡谷冲积扇 (比例尺50cm) 近端的泥石流砾岩, 缺乏组构和层理, 分选差

列。互层状的砂具有平行纹层（图2.4），并可能保留有反向砂丘底形和内反向砂丘交错层理（图2.4）（Hand, Hayes和Wessell 1969）。沉积物的分选性比近端相为好，但还是差的。由于辫状河的沉积作用，形成了局部的、具有交错层理和切割充填构造的较薄的河道沉积带。

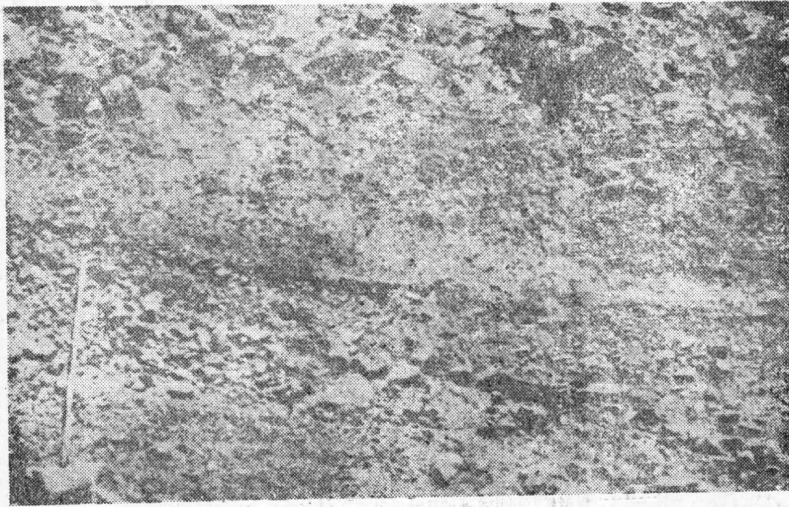


图 2.4 泥石流砾石和辫状河的砾质砂及粗砂的互层，紧靠比例尺上面的砂层可见保存下来的反向砂丘驻波底形，同时可见向右倾的低角度反向砂丘交错层理。加利福尼亚 Inyo 山脉西侧 Mazourka 峡谷冲积扇（比例尺70cm）

远端相 分布于冲积扇的尾部，并以低坡度角为特征。远端相的主要沉积作用是辫状河道沉积，其次可能有风的改造作用，因而辫状河沉积与风的沉积可能呈互层状。远端沉积物还可能与干旱区的干盐湖或短暂的湖泊沉积呈指状交错。沉积物主要由砂和砾质砂组成。因此分选性比近端相和中部相要好。平行纹层和交错层理以及砾石碎屑的叠瓦状排列是常见的。

三、冲积扇的垂向层序

冲积扇的垂向层序一般是总体向上变粗的（Wessel, 1969; Steel, 1976; Steel等, 1977; Heward, 1978a, b）。扇的进积导致近端相上覆于中部相，中部相又上覆于远端相之上。挪威Hornelen和Solund盆地泥盆纪红层是上述扇的发育和进积历史的一个研究最好的实例之一（Steel, 1976; Steel等, 1977）这些盆地中可见由重复的构造上升引起扇进积而产生的几个向上变粗的旋回（图2.5），许多这样的旋回反映了几种扇相的进积作用。虽然这些序列中都是以砾岩为主，但近端相只显示向上变粗的砾岩旋回，而中部相的向上变粗的旋回则从底部的砂岩开始，向上递变为较粗的砾岩（图2.5）。

在局部地方，单个向上变粗的岩层内可观察到上部流态的垂向层序（图2.6）。根据Wessell（1969）的研究还表明，在垂向上不仅粒度增大，而且可看出从下部流态的波痕逐渐过渡到平面层，然后到反丘驻波交错层理（图2.6）。这种反丘驻波底形也是可以保存下来的（图2.7），其内部显示出向上变粗的粒度变化（Hand, Hayes和Wessell, 1969）。这些局部的层序表明了水流强度的增加，可能还表明从辫状河作用过渡到泥石流作用所产

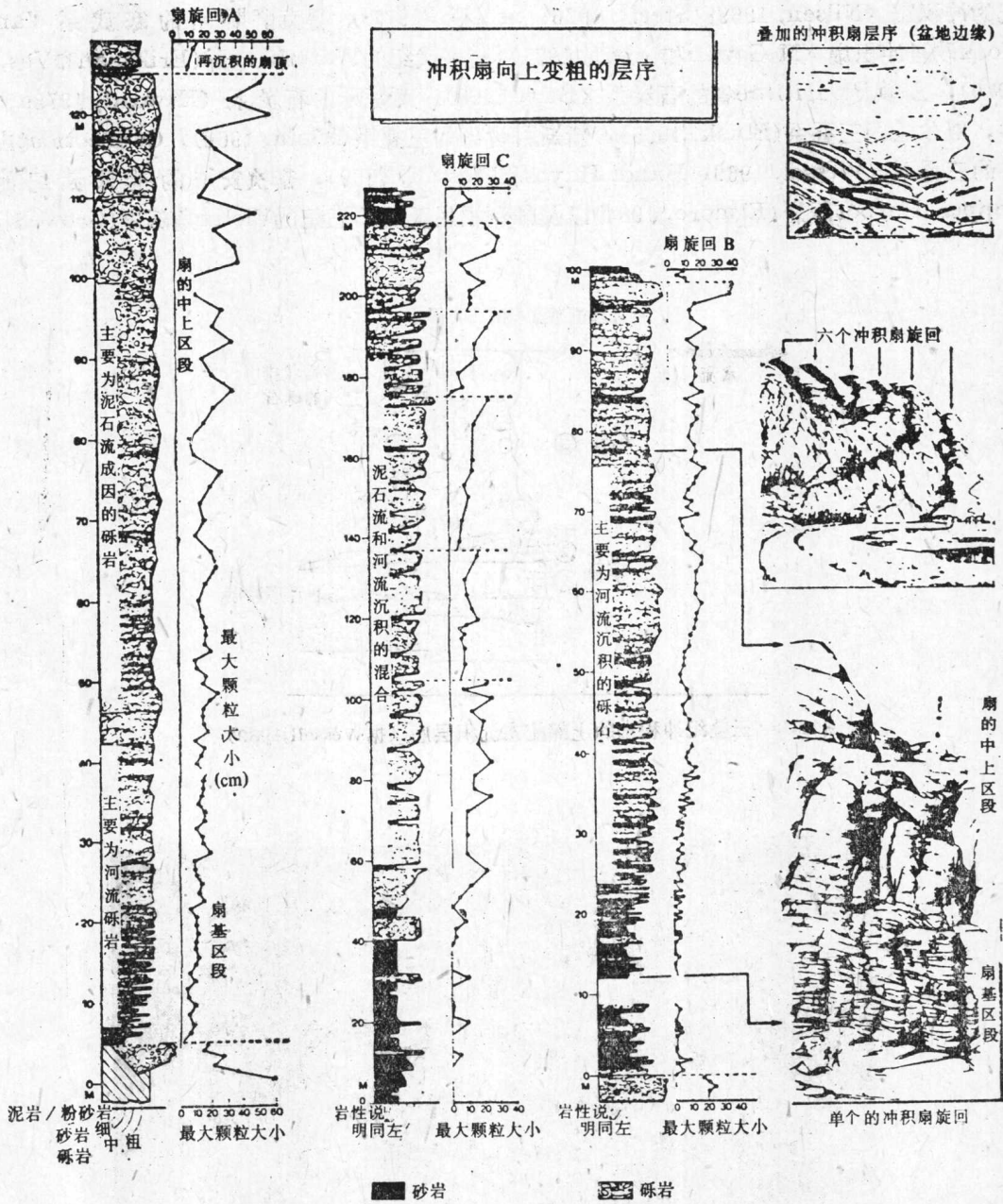


图 2.5 挪威Hornelen盆地泥盆系三种向上变粗的冲积扇层序的内部细节，右图表示向上变粗的冲积扇旋回的露头特征(据Steel等,1977)

生的沉积物浓度的增加。图2.8是一个典型化的冲积扇垂向层序。

四、古代冲积扇的实例

在岩石记录中，已识别出很多古代的冲积扇实例。研究最好的一些实例有：挪威泥盆纪的冲积扇 (Nielsen, 1969; Steel, 1976; Seel等, 1977)，得克萨斯州的寒武系 Van Horn砂岩冲积扇 (McGowen和Groat, 1971)，前寒武纪的Waterberg群 (Eriksson和Vos, 1970)，加拿大Maritime省的石炭系 (Belt, 1968)，西班牙的石炭系 (Heward, 1978a、b)，威尔士的三叠系 (Bluck, 1965)，新斯科舍省的三叠系 (Klein, 1962)，Connecticut山谷的三叠系 (Wessel, 1969; Hand, Hayes和Wessell, 1969)，密执安州的前寒武纪的Copper Harbor砾岩 (Elmore, 1984)以及加利福尼亚晚第三纪的Violin角砾岩 (Growell,

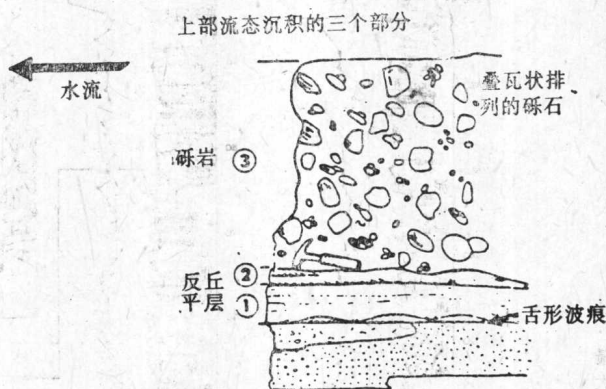


图 2.6 三叠纪冲积扇的上部流态沉积层序 (据Wessell,1969)

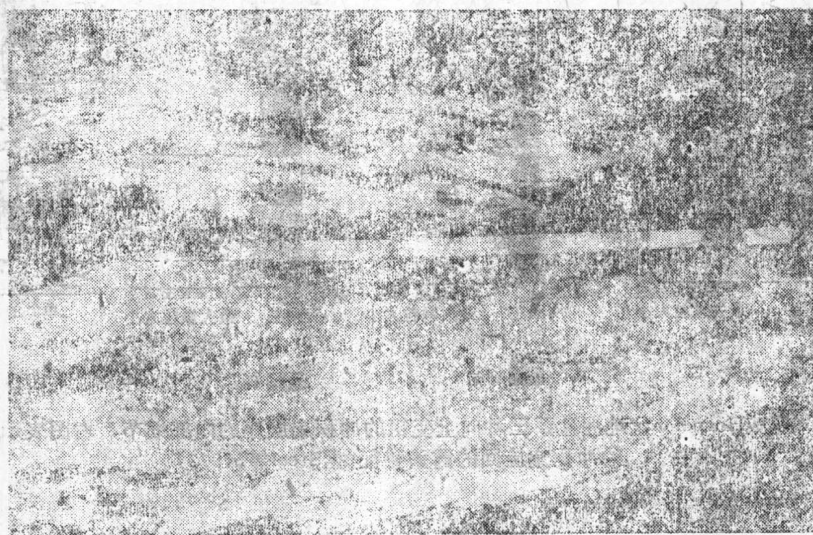


图 2.7 具有向左方倾斜的反丘交错层理的反丘驻波底形；Toby山砾石（三叠纪，马萨诸塞州，Sunderland）