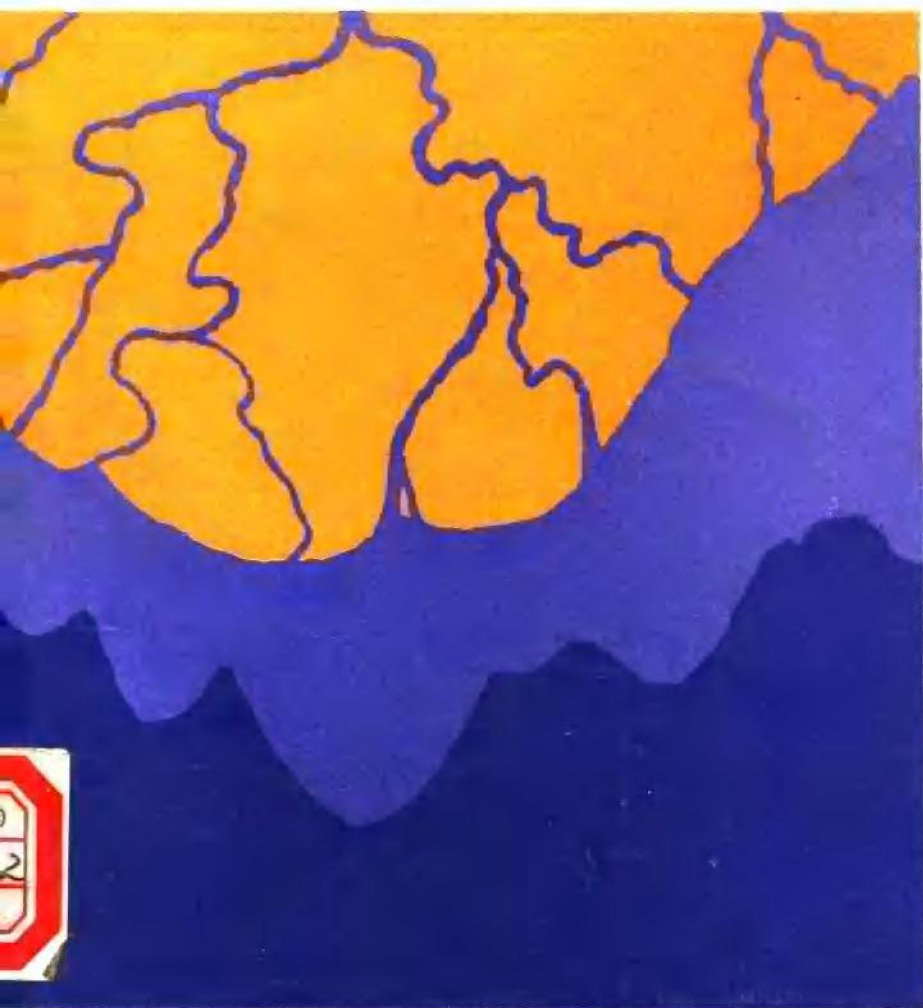


王寿庆 著

扇三角洲模式



石油工业出版社

P618.130.2/042

• 080252

扇三角洲模式

52/12/06

王寿庆 著



石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

全书从宏观到微观比较系统地研究了扇三角洲模式和沉积成因特点；重点论述了双河扇三角洲沉积相、垂向层序、成岩演化模式、成岩圈闭、储层非均质性、储层评价、储层地质模型等，属应用科学。在沉积学、沉积岩石学及油田开发地质学上有较高的科学价值，在油田地质应用上具有较大的实用价值。可供从事油田开发、地质科技人员及大专院校师生参考。

扇三角洲模式

王寿庆 著

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开本 $7\frac{5}{8}$ 印张 2 插页 195 千字 印 1—1500

1993 年 11 月北京第 1 版 1993 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0917-X / TE · 856

定价：6.90 元

序

双河油田是一个典型的“小而肥”的油田，其储集层是扇三角洲砂体，地质储量相当可观。王寿庆高级工程师曾作为项目负责人，组织过该油田油藏、沉积相、非均质性等四次较大型的科研攻关课题研究，为河南油田连续稳产高产十余年做出了突出的贡献。在此期间，他提交的许多科研成果也接连获部、省、局级多项奖励，并列入国家科学技术研究成果公报。

王寿庆同志写的这本专著是他十多年来对双河油田扇三角洲研究的总结，也是他为祖国石油事业奉献四十多个春秋总结的一部分，是他为人类知识宝库做的一份奉献。该书基本上以双河扇三角洲为主线，系统阐述了扇三角洲的概念；运用比较沉积学，论述了箕状断陷湖盆型的沉积特征、沉积体系分布规律，扇三角洲的形成条件及扇三角洲模式；对细分沉积相做了多学科的探索性研究；对扇三角洲沉积物及其成岩作用、成岩演化、储集层的孔隙演化与成岩模式以及成岩圈闭等问题，作了比较系统的分析研究；应用储层非均质性参数，研究了扇三角洲储层的储集空间、孔隙结构和影响储层渗透性与非均质性的地质因素；用数值模拟方法，对储层地质模型进行了探讨。其中，有些方面的研究富有独创性，既有学术价值，又有实际参考价值。

总之，《扇三角洲模式》是理论与实践紧密结合的产物，资料丰富，论述详实，方法独到。该书的问世无疑会对我国沉积学、岩矿学、油田开发地质学起到一定的推动作用，尤其是对扇三角洲的研究，足以抛砖引玉，对其他扇三角洲油区的油气勘探与开发也具有实际指导意义。沉积学者、大专院校师生和油气田勘探开发的科技人员阅读此书，必有收获。

在此书即将出版之际，我十分高兴作此序，并借此机会向广大同仁推荐之，以期能充分发挥其应有的作用。

田在艺

1992年10月于北京

前 言

我国油气勘探和开发的实践表明,在许多断陷盆地中扇三角洲砂体是重要的目的层。尽管扇三角洲的研究历史可以追溯到十九世纪,但真正引起人们重视的还是近十几年的事。为了加深对扇三角洲的认识,推动并促进储层研究工作的深入,作者在对双河扇三角洲的研究实践的基础上,编写了这本专著,书中归纳了世界上已报道的扇三角洲模式,简述了断陷湖盆陡、缓坡型扇三角洲模式,湖盆深水、浅水时期的扇三角洲模式,以及双河扇三角洲沉积相模式——孔隙演化成岩模式、储层非均质模式、储层微观孔隙结构参数特征数字化模式等,故定名为《扇三角洲模式》。

书中,从宏观到微观比较系统地研究了扇三角洲这种重要的陆相湖盆储集层。首次探索了一些新理论、新方法应用于扇三角洲的新成果。对双河扇三角洲的沉积成岩作用、沉积物的成岩演化、孔隙演化、孔隙体积、成岩圈闭等与储层有关的实际问题作了有用的探讨,提出了自己的证据和见解。但应指出,该扇三角洲的成岩演化模式并不是扇三角洲的普遍规律,就象双河扇三角洲细分沉积相模式一样,不同扇三角洲可能会有不同的相模式和成岩模式。书中还简述了储层非均质性及地质模型在国内外研究的现状,描述了双河扇三角洲的宏、微观非均质性质的影响因素和参数应用等;借助模糊数学进行了储层评价,最后建立了储层的沉积模型、非均质模型及微观参数模型等。

因此,该书的面世,希望能起到借鉴、参考、修改、补充、推动和促进的作用。

在编写前的研究过程中,曾得到中国科学院南京地理研究所王苏民、冯敏、姚秉衡、吴瑞金、倪华、王云飞、郑长苏、龚墀

副研究员，西南石油学院苟光汉、周南翔、陈鸿筑副教授和蔡正旗、吕国祥、马青讲师，武汉地质学院马正副教授、赵彦超讲师，成都地质学院王本缙副教授和黄地龙讲师，西北大学祝总祺教授的积极协助。石油部勘探开发科学研究院吴崇筠教授、裘亦楠、应凤祥高级工程师和薛培华、肖劲修、徐士策、陈子琪、关春林高级工程师，胜利油田周自立教授，浙江石油研究所朱国华教授，成都地质学院曾允孚教授，西安地质学院安三元教授，同济大学李从先教授，以及辽河油田杨惠贤、盛和宜、牛仲仁、王玉珑高级工程师等曾给予指导和帮助。河南油田研究院敬国超、蒋发樑、何祖荣、陈万珍、曲玉线、夏云厚、王秀兰、李卓英、鲁敬礼、苟玉琢、明素娥、刘学峰、高凤珍工程师等及河南油田测井站王建杰高级工程师，郑仁淑、章云眉、任颖华、王颜辉等同志曾参加了部分工作。作者带培的研究生张育民、冯建新、荆志忠等同志也参加了部分研究工作。陈国娥、焦光裕、李莉英、张玉华、葛艳、许瑞娟等同志完成了本书的图幅清绘和稿件整理工作，借此一并致谢。

由于作者水平所限，错误之处，敬请广大读者指正。

作者

1992年8月

目 录

前言

第一章 冲积扇、扇三角洲与水下扇	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 冲积扇 (Alluvial fan)	(1)
第三节 扇三角洲 (Fan delta)	(6)
第四节 水下扇 (Submarine fan or Deep water fan)	(25)
第二章 泌阳箕状断陷盆地的扇三角洲	(32)
第一节 断陷盆地的沉积体系与沉积相	(32)
第二节 泌阳断陷盆地的地质概况	(34)
第三节 赵凹扇三角洲	(35)
第四节 井楼扇三角洲	(40)
第五节 下二门扇三角洲	(45)
第三章 双河扇三角洲细分沉积相模式	(52)
第一节 比较沉积学	(52)
第二节 双河扇三角洲与“水下冲积扇”	(62)
第三节 细分沉积相研究方法探索	(67)
第四节 细分沉积亚相	(87)
第五节 垂向层序与沉积模式	(96)
第六节 沉积成因特点	(100)
第七节 油藏开发地质特征与开采特点	(104)
第四章 双河扇三角洲沉积成岩作用	(109)
第一节 沉积物及其类型	(109)
第二节 沉积物的成岩演化	(115)
第三节 储集层的孔隙演化	(129)

第四节	次生孔隙体系与采收率·····	(144)
第五节	成岩遮挡与成岩圈闭·····	(151)
第五章	双河扇三角洲储层非均质性·····	(163)
第一节	储层非均质性概述·····	(163)
第二节	储层宏观非均质性·····	(165)
第三节	渗透率非均质性·····	(166)
第四节	储层孔隙结构特征及微观非均质性·····	(171)
第五节	影响储层渗透性及非均质性的地质因素··	(180)
第六节	储层微观参数应用·····	(192)
第七节	储层评价·····	(205)
第八节	储层地质模型·····	(213)
参考文献 ·····		(231)
沉积构造图版、薄片、铸体薄片图版 ·····		(234)

第一章 冲积扇、扇三角洲与水下扇

第一节 概 述

冲积扇、扇三角洲、水下扇作为单一沉积环境和沉积相都已进行了深入研究，并有了较为成熟的认识。概括地讲，冲积扇是一种整体位于水上的扇体沉积，也可称之为水上扇。我国西部天山、祁连山、昆仑山等山间山前盆地中均抬首可见冲积扇沉积。水下扇恰相反，是一种整体位于水下的扇体沉积。在我国多出现于断陷盆地水体补偿大于散失的时期，如现代抚仙湖尖山河口前缘发育较典型的水下扇沉积。而扇三角洲则兼具水上和水下沉积，并具有过渡带的浅水沉积特征（这是识别扇三角洲的关键）。在我国，现代的扇三角洲常分布于断陷湖盆的陡岸，松辽、辽河、泌阳等盆地下第三系都发育有较典型的扇三角洲沉积。由于它们都主要是粗碎屑沉积组成的扇形沉积体，故有人把它们统称为“扇体沉积”，也有人从地震勘探角度笼统地称其为“扇状地质体”。但作为独立的沉积环境和系统的沉积体系，其沉积环境和沉积相必然会呈现出明显的个性和共性。不过，经过近几十年的石油勘探，相继在众多的扇体沉积中，特别是在扇三角洲砂体中，发现了极为可观的工业性油气流，这就更加引起人们的重视。

为了对扇三角洲有一个比较深入的了解和认识，下面对冲积扇、扇三角洲和水下扇进行较为详细的描绘。

第二节 冲积扇 (Alluvial fan)

W.L.Fisher 和 L.F.Brown (1972) 将冲积扇描述为河流从高地流入相邻洼地且由沉积物构成的锥状堆积 (图 1-1A)。几个冲积扇彼此相连，常在横向上形成冲积山麓坡 (复合冲积扇)

沉积体。W.B.Bull, (1964) 发现, 干旱区冲积扇通常表现为一个上凸的横向剖面 (图 1-1B) 和一个下凹的纵向剖面 (图 1-1C, 并且在冲积扇上一般可分出三个地貌单元: 扇顶 (近源扇)、扇中和扇基 (末端扇)。扇面坡变小于 $1\sim 40\text{m}/\text{km}$, 单个扇长可达 $1\sim 6\text{km}$, 面积达 $1\sim 900\text{km}^2$ (Fisher 和 Brown, 1972; D.R.Spearing, 1975)。可以认为冲积扇是一种整体位于水上的扇体沉积。

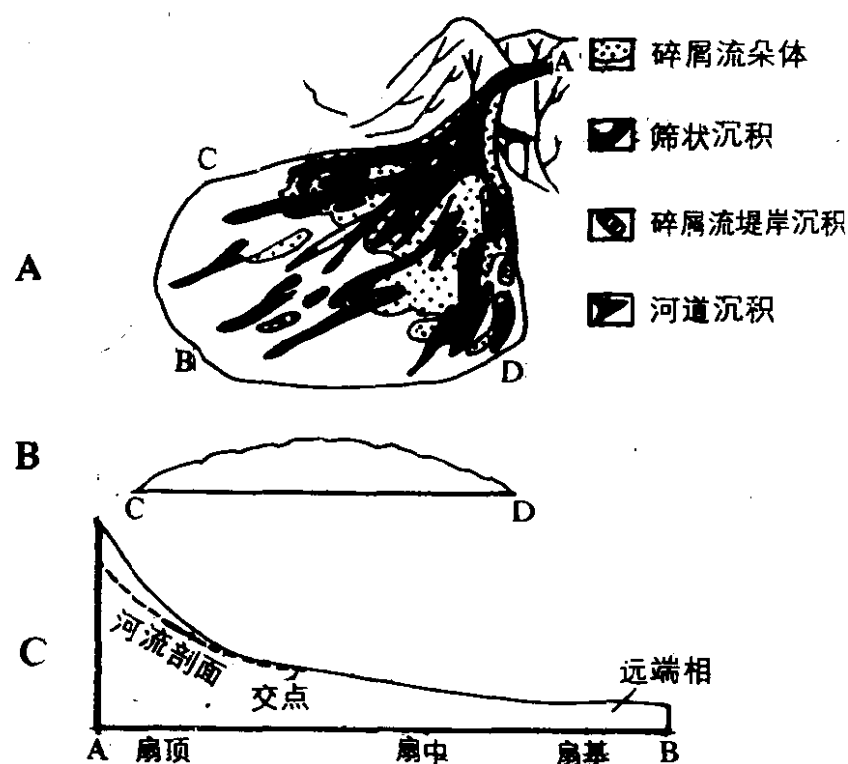


图 1-1 一个理想的冲积扇沉积 (相) 及其剖面分布
(据 D.R.Spearing, 1975)

一般, 冲积扇的主要特征是以颗粒粗大的砂及砂砾岩为主体, 成分杂, 分选差, 成熟度极低。但母岩的岩性是冲积扇形态与大小的主要控制因素, 气候是另一个重要因素。多数冲积扇上的粒度、数量、厚度向下游减少, 磨圆度也向下游变好。几何形态则是从楔形向席状变化, 自扇顶向扇基呈放射状展开的流沙型

式 (J.D.Howard, 1966)。

其垂向层序、理想的剖面很难建立,因为它牵涉到沉积作用,气候条件及源岩性质等。冲积扇沉积物中垂向粒度变化的旋回特点和沉积单元序列反映了盆外对冲积扇的控制,如盆地边缘断层活动和洪水作用 (Galloway 和 Hobday, 1983)。Rust 和 Koster (1984) 认为,通常反映盆地构造的应当是向上变粗的旋回——代表了冲积扇的进积过程,其次是向上变细的旋回——代表了返回到平衡状态。

冲积扇可与各种环境组合,这取决于地形和气候条件。最普通的组合是河流环境,形成冲积扇沉积与山区的辫状河沉积组合。在沙漠气候中,冲积扇可与沙丘和干盐湖沉积物组合。在冰川环境中,它们与冰川沉积和冰水沉积组合。有时,冲积扇沉积直接与海岸沉积物组合。故冲积扇可分为干旱区冲积扇和潮湿区冲积扇, Bull (1962、1963、1964、1968) 对现代干旱和半干旱的冲积扇进行了广泛的研究。潮湿区冲积扇还可进一步划分成潮湿冰川带冲积扇、潮湿带冲积扇和湿温带冲积扇 (Kochel 和 M.G.Johnson, 1984)。

E.Blissenbach (1954) 认为,冲积扇上有三种沉积方式:
(1) 暴洪: 形成短时间短距离的暴洪沉积,呈席状展开;
(2) 河流: 在充足水供给条件下形成河流,可深切并表现出河道分叉的沉积物;
(3) 槽洪: 河流泛滥,在冲积扇上形成洪泛沉积。

在冲积扇上广泛起作用的另一个过程是泥石流或泥流沉积,为泥质基质中广泛分布的粗粒沉积物顺冲积扇向下运动。

冲积扇上河流沉积的一种特殊类型——筛状沉积 (Sieve deposits) 缺乏砂、粉砂和粘土。如果扇面的渗水力很强,就能使洪水流量完全下渗,砾石朵体就能形成 R.Leb.Hooke (1967) 提出的“筛状沉积”。

由此可见,冲积扇沉积的动力机制以牵引流为主,重力流 (泥石流) 为辅。

冲积扇的 CM 图能分出两个带,一是拖曳水流沉积的图

式，另一是泥流沉积的图式，后者与浊流沉积的 CM 图相当类似（图 1-2）。

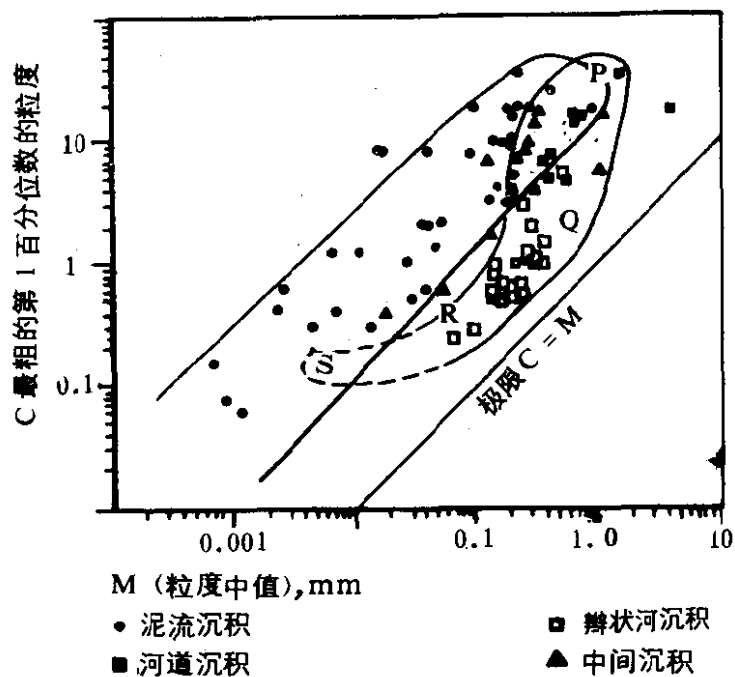


图 1-2 加利福尼亚州某县冲积扇沉积物的 CM 图
(据 W.B.Bull, 1964)

冲积扇沉积中的层理、由河流沉积作用的沉积物，有丰富的冲淤构造，有时河道沉积与泥石流沉积成互层，有大型交错层理（图 1-3）。水平层理甚为普遍，在砂质层中可见水流波痕，泥质表面大量发育泥裂、雨痕和细流痕，说明有间歇性的暴露条件。由于暴洪作用，卵石常呈水平定向和叠瓦构造，也有巨砾和泥球出现。有时也有空隙和空洞（Bull, 1964）。泥流沉积中的层理则发育很差，多呈杂乱堆积的块状体或颗粒不规则排列的层理，但有时可出现递变。

冲积扇沉积层厚由数厘米到几米，一般为数十厘米，常为复杂沉积的互层。径向可追索较长距离，横向范围有限，一般多呈不规则的透镜状。局部有滑塌作用，产生变形构造。

冲积扇是在极端氧化条件下沉积的，有机质和生物化石罕

见，但在较潮湿的气候下，局部有植物残骸。

我国新疆等地的冲积扇实属山洪产物，与一般河流冲积物相比具有明显的自身特点，故用“洪积扇”一词，实质上它与冲积扇相当。Bull 将洪积扇沉积物分为泥流沉积物、水携沉积物和二者间的中间类型沉积物，统称洪积扇沉积物。

冲积扇沉积往往也具有良好的储集性能，我国克拉玛依油田的冲积扇沉积中，砂砾占总体沉积的 80%以上，其扇根河槽与扇中分叉辫状河槽沉积有较好储层，孔隙度 10%~20%，渗透率 $50\sim 100\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，形成洪积扇砾岩油层，但具有严重的非均质性。大港枣园油田陆上冲积扇储层也形成一个小油田，岩心可见大量砾岩、含砾砂岩及砂泥岩红层。由于冲积扇储层具有孔隙结构复杂、非均质性严重的特点，该油田有部分地区井网密度已达 150m，为开发程度较高的油田。此外在我国的胜利油田、松辽盆地（中和冲积扇）也发现了由冲积扇沉积作

为储层的油藏。冲积扇为陆上沉积，其沉积环境一般为干旱、半干旱气候，不利于油气形成，未引起石油地质工作者的重视。但随着油田勘探的不断深入，必将会有更多的油藏和油田被发现。

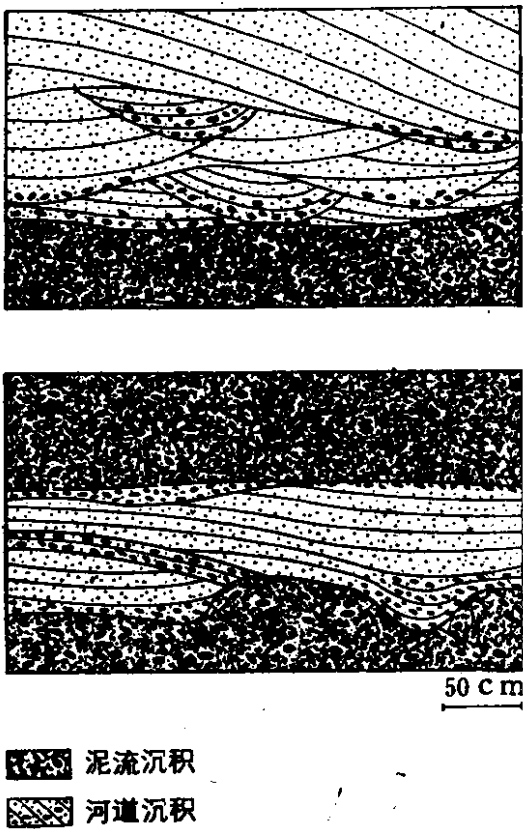


图 1-3 冲积扇沉积的层理构造
(据 E. Blissenbach, 1954)

泥流沉积与河道沉积成互层

第三节 扇三角洲 (Fan delta)

一、扇三角洲的提出及研究概况

早在 1885 年美国学者 G.K.Gilbert 根据湖滨的地貌特点, 就描述过吉尔伯特型三角洲, 区分出顶积层、前积层和底积层三层结构特征 (图 1-4)。1890 年美国地质学会发表了吉尔伯特的名著《Lake Bonneville》, 论述了美国犹他州大盐湖的发展历史, 进一步又描述了 Lake Bonneville 的数个三角洲, 如 Provo 三角洲 Fork 三角洲和 Logan 三角洲等, 提出了有名的被称为吉尔伯特型三角洲的模式。虽描述不详, 但仍认为吉尔伯特所描述的人湖三角洲类型 (目前一般称为吉尔伯特型三角洲) 是第一个描述者。

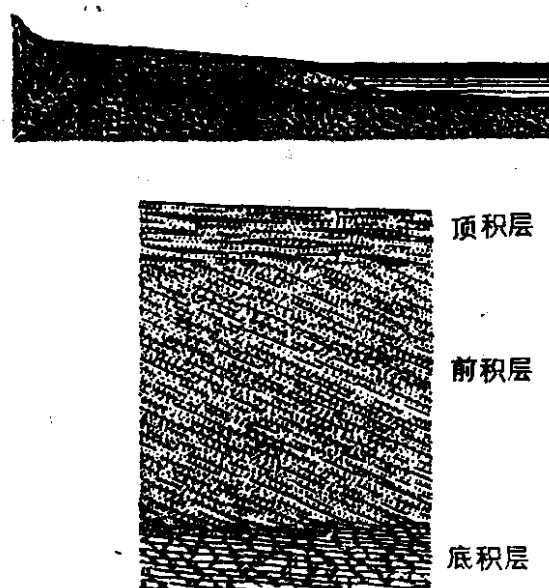


图 1-4 吉尔伯特型三角洲
沉积模式及层序

扇三角洲 (Fan delta 或 Fan-delta) 的明确提出并定义为“从邻近高地直接进入稳定水体的冲积扇”这一概念, 首先是 A.Holmes(1965)和 J.H.Mcgowen(1970)提出来的, 前者研究的是英格兰西海岸的现代扇三角洲, 后者研究的是美国德克萨斯州 Nueces 湾的古霍洛 (Gum Hollow) 扇三角洲, 这是一个小型人造无砾石层的扇三角洲 (0.4km^2)。缺乏冲积扇,

且不均衡地受海洋作用的影响。因为它与天然扇三角洲的地理环境和粒度存在巨大差异, 所以它并不代表扇三角洲的沉积过程和沉积物 (J.G.Mcpherson 等, 1987)。之后, T.Goreau 和

K.Burke (1966, 1967) 等研究牙买加东南海岸一个活跃的 Yallahs 扇三角洲。

藤井 (Fujii, 1965, 1966), 门村 (Kadomura, 1966, 1971) 和大内 (Ouchi, 1979) 等曾对日本本州岛中西海岸富士湾边缘分布的几个大的扇和扇三角洲作过地貌学与沉积学的描述。这些扇和扇三角洲的面积为 $45\sim 171\text{km}^2$ 。它们的许多特点类似于 Yallahs 扇三角洲。

J.H.Mcgowen (1970, 1981) 等分别描述了德克萨斯岸堤后环境和洪都拉斯开阔海岸的小型扇三角洲, 它们在洪水期是非常活跃的。

Pico (1974), G.M.Friedmen 和 Sanders (1978), 曾报道过波多黎各南部爪亚马和萨林拉斯之间的海岸平原, 由一系列大的冲积扇和扇三角洲组成。

Mcgowen 和 Scott (1974), 将扇三角洲分为干燥区的和润湿区的两大类, 前者含有丰富的碎屑流和筛积物, 后者仅为河流相及次要的泛滥相。

R.M.Flores (1975) 认为西德克萨斯马拉松盆地宾夕法尼亚海蒙特组的短头河三角洲沉积不同于常态河流三角洲体系建立的模式, 确立了一个特殊的岩相模式 (下部细粒沉积物代表前三三角洲和三角洲前缘, 上部粗粒沉积物为三角洲平原)。

R.G.Vos (1975) 对南非维特瓦特斯特兰特盆地前寒武系沉积物的沉积模式进行研究, 证明盆地内的沉积作用适于一个辫状冲积平原和湖相的沉积模式, 粗粒沉积物直接进入湖泊环境成扇形。该盆地是世界上金和铀的主要来源。

J.C.Boothroyd 和 G.M.Ashley (1975)、W.E.Galloway (1976)、D.Nummedal (1978) 等研究了阿拉斯加东南海岸全新世扇三角洲的沉积特征。

Boothroyd(1976)研究了阿拉斯加在寒温环境中的冲积扇—扇三角洲沉积模式。

L.F.Brown 和 W.L.Fisher (1976) 以巴西裂谷及拉张盆地

为例，研究了地震资料的地层解释，认为巴西近海盆地内可识别出三个主要的沉积体系——三角洲和扇三角洲、碳酸盐陆架及斜坡体系。

M.H.Link 等和 R.H.Osborne (1978) 研究美国加利福尼亚里奇盆地全新世湖相沉积，认为 Ridge 盆地西南圣加布里尔断层一侧有数个相当发育的扇三角洲，单个沉积的扇叶厚 30—90m，由前积作用在原底积层之上建成入湖三角洲。浊流沉积发生在远离这种前积扇三角洲的前缘和侧翼。主要生物群由藻叠层石，淡水软体动物，介形类和鱼组成，皆生活在边缘湖环境中。滨外湖环境有暗色富含有机质白云岩和方沸石泥、页岩与菱铁矿。

J.V.Howell 和 G.Linke (1979) 把加利福尼亚南部始新统的 Stadium 和 Pomerado 砾岩解释为扇三角洲沉积。整个剖面砾岩最大厚度 75m，分布面积超过 60km²。

A.Snen (1979) (以色列) 对死海裂谷更新世入湖扇三角洲作过较详细的描述。

W.A.Wescott 和 F.G.Ethridge (1980) 对全世界寒武纪到更新世扇三角洲的沉积和构造背景进行划分，分为拖曳—边缘海岸型扇三角洲，岛弧碰撞海岸型扇三角洲和大陆碰撞海岸型扇三角洲。

R.G.Vos (1981) 研究利比亚西部加尔加夫隆起奥陶纪古扇三角洲复合体沉积。

S.P.Dulton (1982) 研究德克萨斯莫贝蒂油田宾夕法尼亚纪扇三角洲。

R.J.Mclaughlin 和 T.H.Nilsen (1982) 对圣安德烈斯断裂系统的新第三纪小 Sulphur Creek 拉张盆地群进行了详细研究，认为一个粗粒的扇三角洲从中部盆地的东北缘伸入湖中，沿其前缘触发浊流。

J.E.Pollardy, R.J.Steel 和 E.Undersrud (1982) 研究挪威西部 Hornelen 盆地中泥盆世边缘地区湖泊扇三角洲沉积的相序