

文章编号:1673-9469(2016)01-0108-05

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2016.01.024

基于 Google Earth 软件的密西西比河 现代三角洲沉积特征解剖

谢启红¹,邵先杰¹,孙庆宇²,接敬涛¹,张珉¹,时培兵¹,霍梦颖¹

(1. 燕山大学 石油工程系,河北 秦皇岛 066004;2. 河南理工大学 能源科学与工程学院,河南 焦作 454000)

摘要:以密西西比河三角洲为例,应用 Google Earth 软件等信息技术将密西西比河三角洲解析数字化,提取三角洲的地貌、海拔深度值等参数,结合地质沉积背景及测井曲线资料,详细解剖三角洲各沉积亚相及微相单元特征。研究发现密西西比河三角洲各沉积微相及亚相均比较发育,横向与纵向上连续性较好;密西西比河三角洲是典型的鸟足状三角洲,受河流主控因素影响,三角洲前缘发育特有的支流间湾沉积,河口沙坝发育数量多,席状沙在河口沙坝前端呈舌状凸起。

关键词:密西西比河三角洲;沉积特征;鸟足状三角洲;河流作用;Google Earth

中图分类号:TE121

文献标识码:A

Anatomy of sedimentary characteristics on the Mississippi River modern delta based on the Google Earth software

XIE Qi-hong¹, SHAO Xian-jie¹, SUN Qing-yu², JIE Jing-tao¹,
ZHANG Min¹, SHI Pei-bing¹, HUO Meng-ying¹

(1. Department of Petroleum Engineering, Yanshan University, Hebei Qinhuangdao 066004, China;

2. Department of Energy and Engineering, He'nan Polytechnic University, He'nan Jiaozuo 454000, China)

Abstract: As the Mississippi River Delta for example, the author with the help of Google Earth software, put the delta into digital for analysis, and got some parameters such as depth and geomorphology. Combining with the geological sedimentary background and well logging curve, the author analyzed the characteristics of sedimentary subfacies and microfacies units of the delta. The study found that the sedimentary microfacies and subfacies of the Mississippi River delta both developed well, the continuity in transverse and longitudinal was better. The Mississippi River delta is a typical bird foot delta, which mainly influenced by fluvial factor. The deposits between tributary bay only developed on a large scale in the delta front of the bird foot delta, and also developed a lot of mouth bar. The shape of sheet sand in front mouth bar front was ligulate.

Key words: the Mississippi River Delta; sedimentary characteristics; bird foot delta; fluvial factor; Google Earth

密西西比河三角洲是由美国西部落基山脉的密西西比河携带的大量碎屑物,在路易斯安那州南部的墨西哥湾入海口处堆积形成的泥沙等综合沉积体。密西西比河流域是典型的高落差、强能量、多溯源的流系。三角洲沉积体系含有丰富的有机物,砂体孔隙性发育,是良好的油气储集区,已被大量的油气勘探成果所证实^[1]。因此,准确的掌握其沉积特征及沉积模式对于寻找油气资源

具有重要的指导意义。目前,针对不同三角洲的沉积模式及沉积特征研究成果已经很多^[2-5],但由于缺乏真实的水下沙体海拔深度、坡降等资料,导致水下沙体的平面展布研究准确性较差。随着遥感卫星技术的发展,卫星图像资料在研究中得以应用,并发挥了重要作用^[6-7]。前人对密西西比河三角洲的河口边缘的动力沉积过程及有关生态恢复建设进行了大量的研究^[8-10],但是针对密

收稿日期:2015-10-27

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05038-001)

作者简介:谢启红(1989-),男,河南濮阳人,硕士,主要研究方向为油藏描述与油藏工程。

西西比河现代三角洲沉积特征、相带具体划分和沙体分布方面的研究相对较少,本文将对此进行完善与丰富。

1 区域背景概况

密西西比河三角洲位于美国路易斯安那州南部，属亚热带湿润地区，气候温和，雨量充沛。冬季平均气温 13°C ；夏季平均气温为 28°C ，降雨主要来源于墨西哥湾和太平洋的湿气，冬季月平均降雨量在 127 mm ，夏季月平均降雨量为 152 mm 。密西西比河汛期为 $4\sim 5$ 月， $9\sim 10$ 月为枯水期，河流径流量介于 $2\ 830\sim 57\ 900\text{ m}^3/\text{s}$ 。河口属典型的弱潮河口，平均潮差为 $0.3\sim 0.75\text{ m}$ ，流速为 $0.1\sim 0.15\text{ m/s}$ 。因此，河流作用在河口发育中起主导作用^[11]。密西西比河年均径流量为 $5\ 800\times 10^8\text{ m}^3$ ，年均输沙量 $4.95\times 10^8\text{ t}$ ，且主要在三角洲前端的西部分支河道注入海湾^[12]。

密西西比河三角洲形成于新生代第四纪晚期,在全新世沉积速率最大,超过了 $3.0 \text{ cm/y}^{[11]}$ 。密西西比河三角洲的形成经历了多期的叠置沉积,根据大量钻孔岩心资料^[8]研究表明,密西西比河在过去的 6 000 年中形成了 16 个不同的三角洲瓣,其中,每一个三角洲瓣都包含了一个完成的三角洲沉积相。密西西比河现代三角洲的沉积速率平均值为 $0.24 \text{ cm/y}^{[13]}$ 。三角洲在平面上展布呈鸟足状(图 1),水上三角洲面积为 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。三角洲平原分流河道密布,约 250 多条支流,形成巨大的不对称树枝状水系,其中最主要的支流有俄亥俄河、密苏里河、阿肯色河等。三角洲地势低平,海拔高度为 $-3 \sim 2 \text{ m}$,大部分人口集中于狭窄的土脊高地。近百年以来,密西西比河曾发生了 37 次重大洪灾^[12],导致河堤两岸多沼泽湿地,洼地分布。

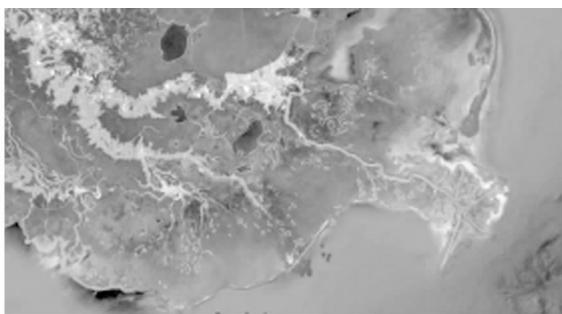


图1 密西西比河现代三角洲卫星图

Fig. 1 The satellite imagery of modern Mississippi River delta

2 沉积特征

三角洲总的沉积面貌和各亚相沙体特征主要取决于河流和海洋水体各种动能的相对差异程度^[14-15]。笔者通过采用 Google - Earth 信息技术对密西西比河三角洲进行了海拔深度数字化取点分析,通过数据整理,作出了密西西比河三角洲的海拔深度等值线图(图 2),并结合对现代沉积调查资料的分析,将其归类为鸟足状三角洲^[1]。又根据沉积特征与沙体分布,将三角洲划分为三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲三个亚相,并作出了其沉积微相图(图 3)。

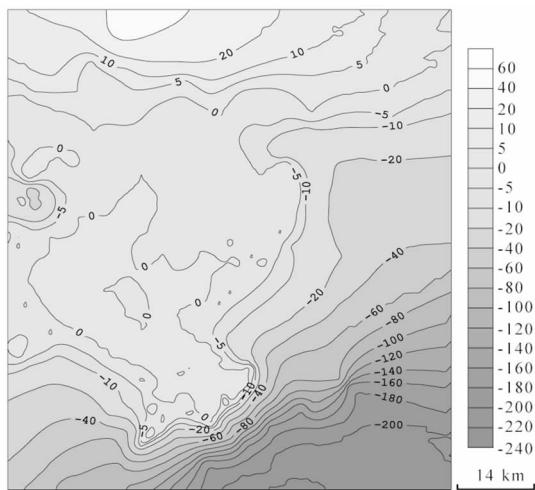
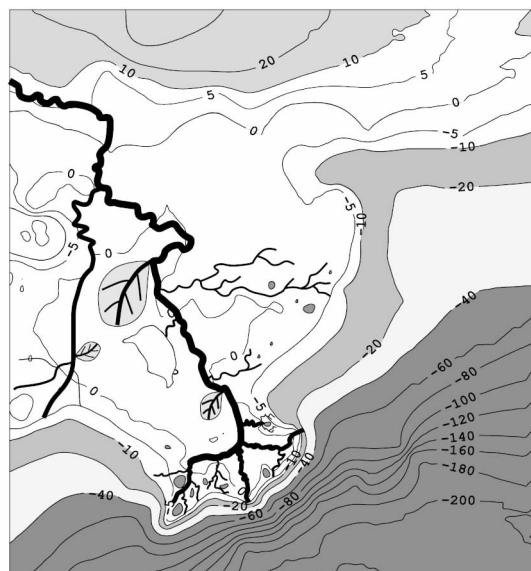


图2 海拔深度等值线图(单位: m)

Fig. 2 The depth contour map



等值线单位:m
比例尺1:4km
平原分流水道 汽湖 决口扇
分流水道冲积带 穗状沙带
水下分流水道 河口沙坝 席状沙带
水流冲积带 浅海、半深海
前三角洲—滨浅海 前三角洲泥带 滨海泥带

图3 密西西比河三角洲沉积微相图

Fig. 3 Sedimentary microfacies map of Mississippi River Delta

2.1 三角洲平原

三角洲平原是三角洲的水上部分,地势低平,分布在海拔深度值0~10 m之间,平均坡降为0.000 1,整个平原地区平均海拔高程(相对于平均海平面)为1 m。三角洲平原纵向长度(垂直于海岸线方向)为120 km,其中,伸出海面的鸟足状三角洲纵向长度为70 km,横向长度为28 km。三角洲平原沉积微相主要发育平原分流河道、分流间、泻湖和决口扇。

(1) 平原分流河道

以密西西比河为干流的平原分流河道十分发育,约250多条支流,其中最主要的支流有俄亥俄河、密苏里河、阿肯色河等,在三角洲平原上构成了不对称树枝状体系(图1)。以伸出海面的局部三角洲平原分流河道为例(图3),河道可划分为两级:一级为主河道,有1条;二级河道4条。分支河道在三角洲前端表现为“足指头”形状,平均纵向距离20 km,其中,西部分支最长可达25 km,河宽均70 m;而东部前端较短,只有18 km,河宽均40 m。河道平均水深为0 m,流速3~15 m/s。

三角洲平原地区属亚热带湿润气候,降雨量丰富,平均年降雨量在1 200 mm以上,河口平均年径流量为 $5\ 800 \times 10^8$ m³,年均输沙量 4.95×10^8 t。河流沉积主要以细沙为主,沙粒由于河流长期搬运作用,磨圆度较好。

(2) 分流间

分流间主要是由于季节性降雨或者洪水形成的泛滥沉积,分布面积广。沉积物主要以泥质为主,含少量粉沙沉积。

(3) 泻湖

泻湖分布于平原分流河道之间的洼地(图3),主要是由于前期分流河道废弃遗留下来的河口坝等造成遮挡条件而形成的。泻湖长21 km,宽10 km,水深2~5 m,以泥质沉积为主,含少量粉沙及生物碎屑。由于河流的改道、消亡等原因,导致泻湖沉积容易发生间断,沉积厚度很薄。

(4) 决口扇

由于季节性洪水泛滥,导致在河道天然堤低处溢出或天然堤决口,在堤的下坡形成的扇状堆积物。近百年以来,密西西比河曾发生了37次重大洪灾,导致发育了大量决口扇(图3),决口扇沉积以泥质粉沙为主,面积最大可达4 km²^[16]。

2.2 三角洲前缘

三角洲前缘是处于平均低水位的海平面与平均低水位时期的正常浪基面之间的部分。本文将其划分在海拔深度等值线标注的-40~0 m之间。该地区海洋作用较弱,沉积水体环境稳定,沙滩广布,三角洲前缘纵向宽度最大20 km(西部前缘)。三角洲前缘沉积微相主要发育水下分流河道、支流间湾沉积、河口沙坝和席状沙。

(1) 水下分流河道

水下分流河道是平原分流河道在水下的延续,在等值线图上表现为向陆地海拔高值微凸起。由于河流水动力很强,导致水下分流河道发育,延伸距离可达15 km。沉积水体环境稳定,碎屑沉积物经过长距离搬运后堆积,以细沙沉积为主,分选性好,磨圆度高,厚度大。

(2) 支流间湾沉积

支流间湾沉积是鸟足状三角洲特有的一种沉积微相^[17],发育在水下分流河道之间。由于河流作用很强,导致分支河道和河口沙坝向前推进速度很快,沉积物还未等到海洋波浪、沿岸流的搬运作用,就被水下分流河道冲到了两侧,在分支河道之间形成支流间湾沉积。以泥质沉积为主,含少量粉沙和生物碎屑沉积,发育水平层理。

(3) 河口沙坝

河口沙坝主要分布在海拔深度值-5~0 m之间,在海拔深度等值线上表现为向深海低值凸起,沿垂直海岸线方向呈纺锤体状分布(图3)。由于河流作用较强,携带的大量泥沙沉积物在三角洲前缘堆积,导致河口沙坝十分发育。其中,河口坝纵向长度介于1.5~4 km,横向长度在0.5~2 km。以细粉沙沉积为主,分选性好,磨圆度高。由于多期叠置沉积,导致厚度大。

(4) 席状沙

席状沙分布在河口沙坝的前端,无明显河流作用,是海洋作用(波浪、沿岸流)下将部分河口沙坝的沙沿海搬运沉积形成的。海拔深度等值线为-20~-10 m,其纵向长度可达0.7 km,以粉沙沉积为主。研究发现席状沙在河口沙坝前缘呈舌状凸起,而非条带状或席状。

2.3 前三角洲

以海拔深度值在-40~20 m之间区域作为前三角洲,以暗色泥岩沉积为主。由于河流作用相对

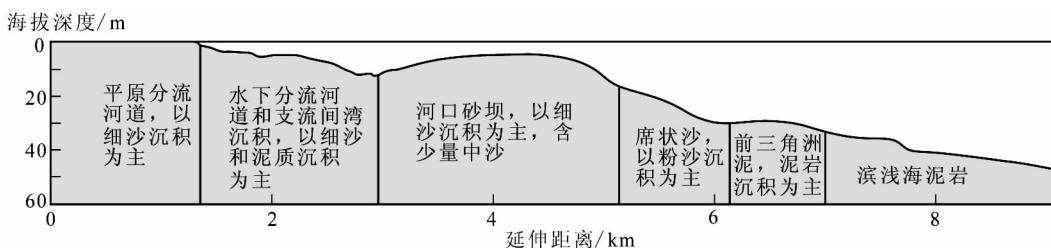


图4 密西西比河三角洲沉积剖面图

Fig. 4 The sedimentary profile map of Mississippi River delta

于海洋作用较强,携带的大量泥沙在前缘沉积,形成的前三角洲泥分布范围较广,厚度较大。

3 结果分析

根据三角洲测井曲线资料^[1]分析,可以看出密西西比河三角洲沉积相发育完整,无明显地层缺失,从上往下依次发育三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲。

三角洲平原微相以平原分流河道、分流间、决口扇为主。分流河道岩性以细沙为主,厚度100 m;分流间以灰色泥岩为主,富含生物碎屑沉积,经多期叠置沉积总厚度可达100 m;决口扇以粉沙沉积为主,含少量泥质,厚度20 m。三角洲前缘微相发育水下分流河道、支流间湾沉积、河口沙坝和席状沙。水下分流河道沉积以细沙为主,厚度120 m;支流间湾沉积以泥质为主,含少量粉沙,厚度20 m;河口沙坝以粉细沙沉积为主,厚度85 m;席状沙以粉沙为主,厚度较薄,10 m左右。前三角洲以暗色泥质沉积为主,厚度60 m。

根据Google earth软件沿陆上“平流分流河道—水下分流河道—河口坝—席状沙—前三角洲”作剖面(图4)。看出该三角洲沉积相横向与纵向上有很好的连续性:三角洲平原分流河道的海拔深度0 m,垂直海岸线延伸长约1.6 km;到三角洲前缘处坡降突然增大,坡降0.02,主要为水下分流河道和支流间湾沉积;垂直海岸线再延伸长度大约1 km,在水下分流河道前端出现一个正地貌与周边高差4 m,为河口沙坝;沙坝前端坡降增大,达到了0.03,延伸长度约0.7 km,主要为三角洲前缘席状沙沉积;向前地势变缓,坡降0.002,为前三角洲环境,在水深40 m处进入滨浅海沉积环境。

本文依据海拔深度等值线结合沙体特征来划分了沉积亚相及微相单元,准确的还原了水下沙体展布特征,再结合测井曲线分析,大大提高了三角洲沉积相研究的精确度,为同类型的沉积体系

研究提供了借鉴与参考。

4 结论

1)利用Google Earth软件作出的海拔深度等值线图,结合地质沉积背景和测井曲线,准确还原了水下沙体展布特征,大大提高了三角洲沉积相研究的精确度,为三角洲沉积体系的研究提供了一种新方法。

2)密西西比河三角洲沉积相存在明显的三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲三层结构,横向与纵向上连续性较好,三角洲各亚相均比较发育。

3)密西西比河三角洲是典型的鸟足状三角洲,受河流主控因素影响,三角洲前缘发育特有的支流间湾沉积,河口沙坝发育数量多,席状沙在河口沙坝前端呈舌状凸起。

参考文献:

- [1]周书欣.三角洲体系的分类和油气聚集:综述[J].大庆石油学院学报,1980(2): 61-75.
- [2]刘海燕,王秀平,马东旭.苏里格气田S120区块山1-盒8沉积微相研究[J].河北工程大学学报:自然科学版,2013,30(1): 63-68.
- [3]谭富荣,周立发.南祁连盆地二叠系沉积特征及其充填模式[J].河北工程大学学报:自然科学版,2010,27(3): 62-65.
- [4]金振奎,李燕,高白水,等.现代缓坡三角洲沉积模式—以鄱阳湖赣江三角洲为例[J].沉积学报,2014,32(4):710-723.
- [5]于兴河,李胜利,李顺利.三角洲沉积的结构—成因分类与编图方法[J].沉积学报,2013(31):782-797.
- [6]ROBERT S R. Geomorphology: An approach to determining subsurface reservoir dimensions[J]. AAPG Bulletin, 2004,88 (8):1123-1147.
- [7]尹太举,李宣弱.现代浅水湖盆三角洲沉积砂体形态特征—以洞庭湖和鄱阳湖为例[J].石油天然气学报,2012,34(10):1-7.
- [8]D. REIDE CORBETT, MICHAEL DAIL, BRENT MCKEE. High-frequency time-series of the dynamic sedimentation

- processes on the western shelf of the Mississippi River Delta [J]. *Continental shelf Research*, 2007(27): 1600–1615.
- [9] MICHAEL B DAI, D. REIDE CORBETT, WALSH J P. Assessing the importance of tropical cyclones on continental margin sedimentation in the Mississippi delta region [J]. *Continental shelf Research*, 2007(27): 1857–1874.
- [10] G. PAUL KEMP, JOHN W DAY, ANGELINA M FREE-MAN. Restoring the sustainability of the Mississippi River Delta [J]. *Ecological Engineering*, 2014 (65): 131–146.
- [11] 杜亚楠, 李保. 长江河口和密西西比河河口水文测验工作比较[J]. 水文, 2012, 32(6): 56–60.
- [12] D REIDE CORBETT, BRENT MCKEE, MEAD ALLISON. Nature of decadal – scale sediment accumulation on the western shelf of the Mississippi River Delta [J]. *Continental Shelf Research*, 2006(26): 2125–2140.
- [13] 赵军. 长江口与密西西比河口沉积有机碳生物地球化学比较研究: 以色素为生物标志物[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [14] 马广州, 黄波, 杨娟. 密西西比河三角洲结合海岸侵蚀保护的洪水风险管理展望[C]//第三届黄河国际论坛论文集, 2007: 219–228.
- [15] 裴亦楠, 肖敬修, 薛培华. 湖盆三角洲分类的探讨[J]. 石油勘探与开发, 1982(1): 1–11.
- [16] DONALD R. CAHOON, DAVID A. WHITE, JAMES C. LYNCH. Sediment infilling and wetland formation dynamics in an active crevasse splay of the Mississippi River Delta [J]. *Geomorphology*, 2011(131): 57–68.
- [17] 金振奎, 高白水. 三角洲沉积模式存在的问题与讨论[J]. 古地理学报, 2014, 16(5): 569–580.

(责任编辑 王利君)

(上接第 107 页)

活动影响, 聚煤条件较差, 主要发育粗碎屑沉积, 辫状河三角洲沉积向凹陷内延伸至中央洼陷–反转构造带, 煤层在辫状河下三角洲平原泥炭沼泽中形成。

4 结论

1) 西湖凹陷平湖组的主要聚煤环境为潮坪相潮上–潮间泥炭沼泽、潮控三角洲平原泥炭沼泽以及辫状河三角洲平原泥炭沼泽, 潮坪和潮控三角洲较辫状河三角洲更有利于聚煤。

2) 西湖凹陷平湖组沉积期主要为潮坪–三角洲聚煤模式, 平湖组下段至上段煤层平面上分布范围逐渐扩大, 西部斜坡带聚煤作用强于东部断阶带。

参考文献:

- [1] 张敏强, 徐发, 张建培, 等. 西湖凹陷裂陷期构造样式及其对沉积充填的控制作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(5): 67–72.

- [2] 高伟中, 田超, 赵洪, 等. 西湖凹陷平湖斜坡带非构造油气藏勘探潜力探讨[J]. 海洋石油, 2015, 35(1): 22–26.
- [3] 魏恒飞, 陈践发, 陈晓东, 等. 西湖凹陷平湖组滨海型煤系烃源岩发育环境及其控制因素[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 487–497.
- [4] 张建培, 徐发, 钟韬, 等. 东海西湖凹陷平湖组–花港组层序地层模式及沉积演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(1): 35–41.
- [5] 郭英海, 刘焕杰, 贾进华. 平沟矿区山西组潮控三角洲–河流沉积及聚煤特点[J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26(5): 10–13.
- [6] 李增学, 周静, 吕大炜, 等. 琼东南盆地崖城组煤系空间展布特征[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2013, 32(2): 1–8.
- [7] 王建平. 西湖凹陷平湖组时代及古环境古气候浅析[J]. 中国海上油气, 1992, 6(4): 27–30.
- [8] 谢启红, 邵先杰, 霍梦颖, 等. 生物礁成礁条件、成礁模式及与油气关系[J]. 河北工程大学: 自然科学版, 2015, 32(4): 94–97.

(责任编辑 王利君)