

文章编号: 1000-0550(2002)04-0595-05

油田开发中后期岩相单元的细分研究^①

撒利明^{1,4} 王天琦² 师永民^{3,4} 鲁明春⁵ 杜文博⁶

1(中国科学院长沙大地构造研究所 长沙 410013) 2(成都理工大学 成都 610059)
3(中国地质大学(北京) 北京 100083) 4(中国石油勘探开发研究院西北分院 兰州 730020)
5(青海石油管理局井下作业公司 甘肃敦煌 817500) 6(玉门石油研究院 甘肃玉门 735200)

摘要 油田开发中后期建立在原小层对比和沉积微相基础上的储层地质模型已不能适应调整挖潜和剩余油分布研究的要求,需要在小层划分的基础上,进一步细分到岩相单元。本文以大庆长垣南部葡北油田葡 1 组油层为例提出岩相单元的概念,通过现代沉积研究论证岩相单元细分的可行性,结合密井网测井曲线分析旋回性、隔夹层分布的稳定性及目前经济技术和采油工艺等,探讨细分单元的基本原则。最后提出岩相单元细分的基本方法。

关键词 油田开发 岩相单元 剩余油

第一作者简介 撒利明 男 1964 年出生 高级工程师 油储地球物理学

中图分类号 P618.130.2⁺1 文献标识码 A

1 引言

油田开发中后期高含水阶段精细地质研究基本目标是单油砂体,或称为单元^[1,2,3]。所谓单元是指上下为稳定泥岩隔挡层所分隔的、相对独立控制油水运动的储层单元,是在小层划分基础上进一步细分出的相对稳定分布的次小沉积旋回层。根据研究的目的和成因可进一步细分为岩相单元和流动单元两类^[4,5,6]。笔者认为,岩相单元和流动单元在内涵、外延以及研究目的、研究方法等方面存在一定的区别,由于篇幅有限,这里不在详论论述。

岩相单元是沉积物在搬运和沉积时形成的层或一个单层,是在基本稳定的介质条件下沉积的一个单元,表示最小的岩石地层单位,它由成份上基本一致的沉积物组成。层与层之间有层面分隔,层面代表了短暂的无沉积或沉积作用突然变化的间歇面。不同环境下形成的岩相单元厚度变化很大,可由数毫米到数米。按单层的厚度可分为:块状层(厚度 > 2.0 m),厚层(2.0~0.5 m),中层(0.5~0.1 m),薄层(0.1~0.01 m)。

岩相单元有时亦称结构单元、构成单元或成因单元^[7,8],从沉积成因环境上讲,它是由一个由其形态和相组成及其规模所表征的相同成因的沉积体,是一个沉积体系内部一个特定沉积作用过程或一组沉积作用过程的产物,在这个沉积体系内表现出坡降、流速、流量、输沙量、物源条件和母岩性质等处处相近,系一次或一期水流沉积作用的产物。

岩相单元在河道复合体内部是以隔挡层为边界的,隔挡层将砂体中的各级构成单位重新组合形成多个孤立的或半连通的空间^[9,10,11]。

2 岩相单元细分的沉积学原理

2.1 层次界面分析

沉积地层的层次性是地质体内部存在的普遍规律。若将盆地基底作为第 1 级层次,则界系统组段依次可划分为第 2~6 级层次。再次级的层次还将包括油层组、砂层组和小层(单层),依次排列为第 7、第 8 和第 9 级层次的内容。第 9 级层次的小层既可是成一个成因单元砂体也可是几个相同或不同成因单元砂体的复合体,仍然可划分出不同的层次。Miall 曾将河流砂体内部的界面(层次)划分出六级谱系^[10]。砂体内部的砂坝界面、冲刷面或再作用面,交错层系组、层系和纹层界面,直到颗粒级别,这样可以划分出第 10~15 级层次。油田开发中后期,在小层划分对比的基础上,岩相单元应细分到第 10 级层次。

2.2 沉积间歇面是岩相单元细分的重要基础

所谓沉积间歇面是指在纵向沉积层序中一期连续稳定沉积结束到下一期连续稳定沉积开始之间形成的有别于上下邻层的特征岩性。这种间歇面可大可小,大到区域性沉积剥蚀间断面,小到下一次洪水沉积之间的沉积间隔。

以大庆长垣中部杏十三区葡 13 层河道相复合砂体为例探讨利用沉积间歇面划分岩相单元。该区纵向

① CNPC 物探重点实验室资助项目, CNPC 中青年创新基金资助项目

收稿日期: 2002-04-26 收修修改稿日期: 2002-07-30

上为一典型复合旋回,尤其是该层中部从葡 I32a 砂岩集中发育,代表了三角洲分流平原建设性时期发生(33a)、发展(32b)和消亡(32a)的过程,依据沃尔索相律,这种纵向上连续出现而不间断。因而,使得沉积进一步复杂化,造成井间对比难度大。按照等期对比的原则,识别单一河道沉积间歇面是解剖复合砂体的重要分析内容。根据杏十三区葡 I3 层复合砂体沉积特点分析,沉积间歇面存在以下三种类型:① 泥质夹层及过渡性岩性;② 钙质层;③ 均一叠加型河道砂电测曲线台阶变化(图 1)。

3 岩相单元细分的基本原则

3.1 现代河湖沉积学理论指导

现代河流—三角洲储层沉积学研究表明,沉积具有事件性、季节性、周期性和突发性等特点,与特定的地理环境密切相关。一期或一次沉积的砂层在空间上厚度和形态变化较大,如在三角洲平原和前缘相带上,分流河道作为三角洲沉积体的格架改道非常频繁,在三角洲主体部位周期性变迁,形成了三角洲平原和前缘相带垂向剖面上多期河道叠加的特征,造成其储层空间展布呈似人体“血脉状”分支连通特征。然而,不同期次河流冲刷切割及展布方向不尽相同,使其不同期次形成的储集体连通状况亦不尽相同,水平渗透率往往大于垂向渗透率。虽然表现为垂向剖面上上下连通,但流体主要沿同期次沉积砂层的“天然水道”方向渗流。如青海湖西北部布哈河三角洲就具备以上这些特征,通过卫星照片分析表明(图 2),其上主要分流河



图 2 青海湖西部布哈河三角洲 TM 影像图(1989 年)

Fig. 2 TM image showing Buha river delta in the west of the Qinghai Lake(1989)

道 25 年左右改道一次,这在地质历史时期属一瞬间的概念,比我们通常所谓的时还要小。因此,在岩相单元细分过程中,应以一期沉积的砂层作为岩相细分与对比的最基本单位。只有将岩相单元细分到期,按等期对比,才能将地下复杂的河流三角洲储层描述得更细,更利于下一步流动单元的研究。

3.2 单砂层旋回特征明显,易于划分对比

我国陆相含油气盆地油气储层具有多旋回多油层层状储层的特点,在纵向上具有稳定的多级次的沉积旋回特征,似“千层饼”状,电测曲线上能够比较清晰地反映出次小旋回或韵律的变化。因此,划分出的单层应基本上为一岩电组合特征比较明显的次小旋回层段,易于在一定区域范围内划分对比。

3.3 细分单元间泥岩隔层稳定分布

为适应开发中后期油田细分调整挖潜的客观需求,单元间必须有稳定分布的隔层可供利用。若一部分单砂层中出现泥质或钙质夹层,且分布不稳定,则此类单砂层仍视为一个岩相单元,夹层视为单元内部夹层。

一般在划分单元时,遵循的原则是单砂层纯泥岩厚度应在 0.4~0.6 m 以上,且隔层平面上分布较稳定,可在全区内追溯对比。如大庆长垣南部葡萄花油层葡 I 11、葡 I 10、葡 I 5 和葡 I 2 小层三角洲外前缘相以连续稳定的薄层席状砂沉积为主,其间泥岩隔层分布稳定,厚度变化不大,平面上可对比性强(图 3)。因此,对这类储层在原小层划分基础上进一步细分单砂层的隔层条件是具备的,一般为三分。葡 I 3、葡 I 4、葡 I 6、葡 I 7、葡 I 8、和葡 I 9 层三角洲内前缘相储层,由于湖水较浅,进退频繁,以射流作用为主,水动力条件和供给物变化频繁,加之水下分流河道砂体多期

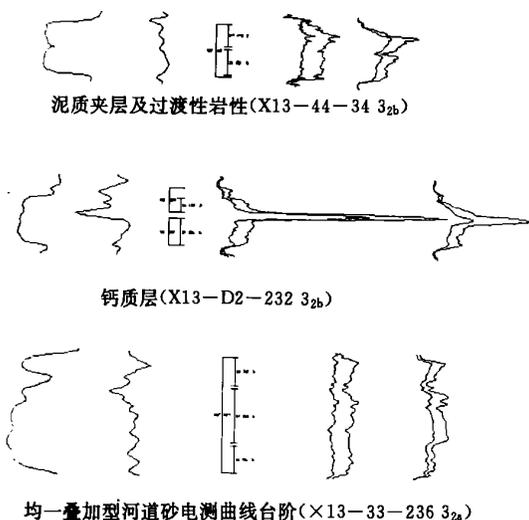


图 1 多期河道叠加砂岩中常见的沉积间歇面类型

Fig. 1 Types of common depositional intermittent surfaces in the sandstone

stacked by multiphase fluvial channel deposits

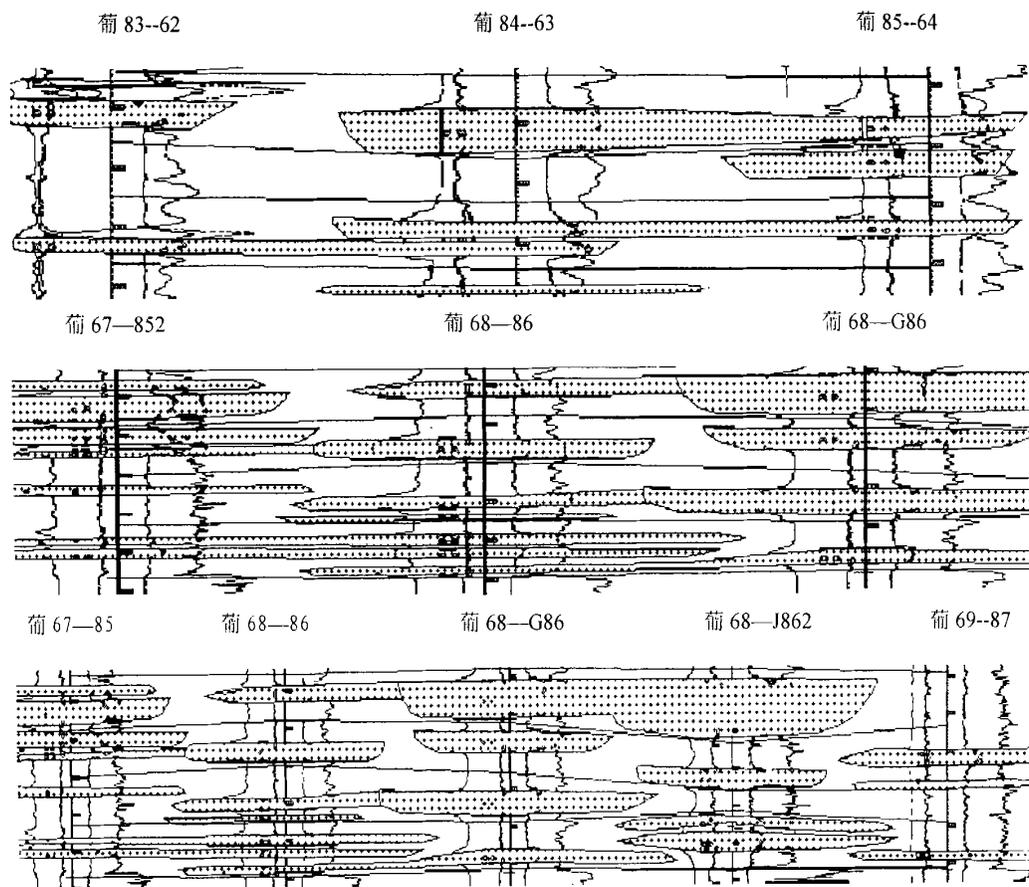


图3 单元细分对比图

Fig. 3 Diagram showing unit subdivision and correlation

切割、冲刷、充填,次小旋回间隔层厚度变化大,甚至隔层在局部地区不连续,隔层平面分布相对不十分稳定,横向可比性差。因此,在这些层细分单元中应慎重考虑其隔层稳定发育状况,一般为上、下两分。

3.4 细分单砂层应具有一定的地层厚度,可作为调整挖潜的基本储层单元

细分单砂层的目的是要更好地揭示地下油层分布的本来面貌,深化对单砂层的认识,但同时必须考虑与油田开发工艺技术现状及今后发展趋势相结合,这样才能为油田开发动态分析及调整挖潜措施方案制定提供可靠的地质依据。一般在细分单元时主要考虑到以下两方面因素:一方面是划分出的单元应具有一定的地层厚度,一般在0.5~1.0 m以上,利于单卡挖潜;另一方面是细分出的单元钻遇率较高(一般大于40%),砂体较稳定分布,可做为调整挖潜的一个基本单元。但也有例外的情况,如大庆长垣南部葡I 1单元和葡I 113单元钻遇率虽然不高,但这些层在平面上某一局部区域成片分布,也可作为一个局部单元进行细分研究。

3.5 细分单层的总层数与单井平均钻遇的自然砂层数应保持一定的比例

油田开发初期通常开展小层划分与对比,但是一个小层内往往出现两个或两个以上的单油砂体,分别代表了两期或多期沉积,高含水阶段单元细分应将一期作为一个单元,因此细分单元后划分出的单元数比原小层数更多更细。一般细分单层的总层数与单井平均钻遇的自然砂层数大致保持1:1到1:1.5的比例。

且细分的单元有利于精细沉积微相研究、流动单元的划分与对比及剩余油分布规律研究

3.6 细分单元应与目前经济技术和采油工艺相结合

目前,油田开采工艺技术现状是薄隔层平衡限流法压裂技术和深穿透、低伤害射孔技术要求隔层厚度在0.5 m以上。细分注水工艺技术对卡距的要求已经降低到0.8 m。堵水封窜、常规压裂技术只需隔层厚度大于1.0 m就能满足工艺的要求。根据当前油田开采工艺技术对隔层的要求,确定了细分单元间隔层状况。单元间纯泥岩厚度一般在0.5~1.0 m以上,其中单元间泥岩隔层厚度大于0.8 m以上所占比例

应在50%以上,且隔层平面上分布较稳定,单层间纯泥岩隔层钻遇率应大于60%,可在全区内追溯对比。同时也确保了单层间的隔层具有较高的承压能力,对纵向上流体流动具有较强的隔绝作用,可作为一个相对独立控制油水运动的最基本储层单元。

4 岩相单元细分的基本方法

4.1 编制综合统计剖面,定量分析细分单砂层可行性
为了更准确研究所解剖区块精细分层的统一性,可根据河流—三角洲沉积体系的方向性(如大庆长垣三角洲发育由北而南),逐排绘制出垂直主流方向的主干剖面。研究剖面曲线形态(如特征点、特征段和旋回性)、数量特征(如泥质含量百分数)及演变趋势,进行油层的精细分层,初步确定细分单元的数目及相对划分界线。为了进一步验证综合统计剖面细分单元的可行性,在统计剖面所在井排构成横向对比剖面,利用测井曲线,采取不同相带区别对待的单元对比方法进行单元的精细划分对比。

4.2 均匀抽稀井网,构造骨架对比剖面,确定单元细分方案

依据所解剖区主力油层沉积特点及各套层系调整井网的布井方式,确定适当的网格距,进行平面网格化,均匀抽稀井网,选择油层钻遇齐全的井,作为骨架剖面井来构造骨架对比剖面。应用骨架剖面井进行大井距的油层细分对比,确定细分单元方案及标准。

首先,在区域对比标准层的控制下,选择岩性、电性特征明显的单层或次小旋回特征明显的层段,作为单元细分对比的辅助标准层,在骨架剖面井上进行全区范围内的单元划分对比。初步确定原小层细分单元的数目及划分界线,同时选择出一批细分对比的标准井。然后在各级标准层及标准井的控制下,采取河湖及过渡相区别对待的单元对比方法,对全区骨架剖面井进行逐排逐井的精细划分对比,在研究区范围内确定统一的细分单元数目和具体划分界线。

4.3 通过较密井网解剖区细分对比,验证细分方案可行性

在抽稀井网、大井距条件下确定的单元细分方案及标准,能否在较密井网、较小井距对比状况下得以应用。因此,必须对细分单元方案进行验证。在初步确定细分单层方案后,在研究区范围内选择较密井网区作为重点解剖研究,进行精细的划分对比,然后按照细分单层基本原则所规定的各项指标,利用相关静态数据库资料统计分析,验证细分方案的可行性,对不符合要求的要重新修正,最终确定细分单层的方案及标准。

4.4 细分单元的结果

依据前述单元细分的原则和方法,进行单元细分,最终得到所研究区块的单元细分结果。如大庆长垣南部葡北油田葡I组油层在原划分出11个小层的基础上,以三角洲内、外前缘沉积砂体一期沉积作为划分层次界线的依据,自下而上可划分出二十六个单元,分别代表了本区三角洲沉积自发生、发展到消亡的累计二十六期沉积,如表1所示。

5 结论

岩相单元的细分是建立在小层划分的基础上的,是在一个小层内进一步细分出的相对稳定分布的次小沉积旋回层。在侧向上则由沉积微相、单砂体、内部结构、不连续薄夹层、物性非均质性等因素所限制。

在岩相单元细分过程中,应以一期沉积的砂层作为岩相细分与对比的最基本单位。只有将岩相单元细分到期,按等期对比,才能将地下复杂的河流三角洲储层描述得更细,更利于下一步流动单元的研究。

表1 大庆长垣南部葡北油田葡I组油层单元细分结果统计表

Table 1 The statistics of Oil-bed Unit of Group Pui subdivision of Pubei oil field in the South of Changyuan, Daqing

油层组	砂岩组	亚砂组	小层	单元
葡 I 组	1~5	1~3	1	1 ₁ 1 ₂
			2	2 ₁ 2 ₂ 2 ₃
			3	3 ₁ 3 ₂
		4~5	4	4 ₁ 4 ₂
			5	5 ₁ 5 ₂ 5 ₃
	6~9	6~7	6	6 ₁ 6 ₂
			7	7 ₁ 7 ₂
		8~9	8	8 ₁ 8 ₂
			9	9 ₁ 9 ₂
	10~11		10	10 ₁ 10 ₂ 10 ₃
			11	11 ₁ 11 ₂ 11 ₃

岩相单元的细分进一步揭示出注水开发过程中油水运动规律,便于剩余油分布研究和综合调整方案的

编制与实施,是今后储层精细描述的一个发展方向。

岩相单元的提出从静态的角度为地层的进一步细分和储集层非均质性研究提供了沉积学依据和新的研究途径。它是在高分辨率、高频层序格架内对储集岩体进行精细沉积微相分析和非均质性定量描述与评价的一种综合研究储层内流体流动特性的新思路 and 综合技术方法。岩相单元概念的提出和作为储层描述和评价的一个有用工具,它与油田生产实际结合紧密,相信在今后一段时期,必将成为石油地质和石油工程领域里的一个新的热点研究方向之一。

参考文献(References)

- 1 吕晓光,于洪文,田东辉等. 高含水后期细分单砂层的地质研究[J]. 新疆石油地质, 1993, 14(4): 345~349 [Lu Xiaoguang, Yu Hongwen, Tian Donghui. Geological research of subdividing single sand beds in the late high water content period of oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1993, 14(4): 345~349]
- 2 赵翰卿,付志国,吕晓光等. 大型河流——三角洲沉积储层精细描述方法[J]. 石油学报, 2000, 21(4): 109~113 [Zhao Hanqing, Fu Zhiguo, Lu Xiaoguang et al. The technique of reservoir fine description of large river-delta deposition[J]. Petroleum Transactions, 2000, 21(4): 109~113]
- 3 贾爱林,穆龙新,陈亮等. 扇三角洲储层露头精细研究方法[J]. 石油学报, 2000, 21(4): 105~108 [Jia Ailin, Mu Longxin, Chen Liang, et al. The fine research method of fan-delta reservoir outcrop[J]. Petroleum Transactions, 2000, 21(4): 105~108]
- 4 冀之林. 储层流动单元研究[M]. 北京:石油工业出版社, 2000. 1~7 [Dou Zhilin. Flow unit of reservoir researches[M]. Beijing: Petroleum Industry Press 2000. 1~7]
- 5 Galloway W E. Clastic depositional system and sequences: applications to reservoir prediction, delineation, and characterization[J]. Leading Edge, 1998, 17(2): 173~180
- 6 North C P, et al. Ephemeral-fluvial deposits: integrated outcrop and stimulation studies reveal complexity[J]. AAPG Bulletin, 1996, 80(6): 811~830
- 7 Guangming Ti, et al. Use of flow units as a tool for reservoir description: a case study[J]. SPE Formation Evaluation, 1995, 122~128
- 8 Miall A D. Architectural element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. Earth Sci. Rev. 1985, 22: 261~308
- 9 Miall A D. Reservoir heterogeneities in fluvial sandstone: Lessons from outcrop studies[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(6): 682~697
- 10 Douglas W Jordan and Wayne A Pryor. Hierarchical levels of heterogeneity in a Mississippi river meander and application to reservoir system[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(10): 1601~1624
- 11 张昌民. 储层研究中的层次分析方法[J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(3): 344~350 [Zhang Changmin. Hierarchy analysis in reservoir researches[J]. Oil & Gas Geology, 1992, 13(3): 344~350]

Subdivision of Lithofacies Units during Middle-late Stage of Oil Development

SA Li-ming^{1,4} WANG Tian-qi² SHI Yong-min^{3,4} LU Ming-chun⁵ DU Wen-bo⁶

1(Changsha Institute of Geotectonics, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410013)

2(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059) 3(China University of Geosciences Beijing 100083)

4(Northwest Branch of Research Institute of Petroleum Exploration and Development CNPC, Lanzhou 730020)

5(Underground Working Company of Qinghai Petroleum Administration Bureau, Dunhuang Gansu 735200)

6(Yumen Oil Field, Yumen, Gansu 735200)

Abstract During the middle or late stage of oil-field development, reservoir geological model based on former minilayer division and sedimentary microfacies could not meet the demand of regulation tap the latent power and distribution of remaining oil. This demands minilayer division and further finely divides lithofacies. Lithofacies unit is bed or a single bed, formed during transportation and deposition of sediment, which formed under basically stable medium. It represents the smallest lithology unit composed of sediment with identical component. Bedded plane exists between beds, which represents intermittent plane of transient nondeposition or abrupt sedimentation. Lithofacies unit provides sedimentary foundation and new research way for further subdivision and reservoir anisotropy from static view. This paper proves feasibility of lithofacies unit subdivision by studying recent deposits and discusses the principle of finely divided unit, combining close-spaced well to analyze cyclicity, stability of interbed, and propose economic technology and oil-producing technology. At last, the paper provides basic method for finely dividing lithofacies unit.

Key words oil-producing development, lithofacies unit, remaining oil