

盘河地区低序级断层地震识别和应用效果

马玉歌

中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司物探研究院, 山东东营 257100

摘要 盘河地区是低序级断块富集的油气田。由于各级别的断层发育, 导致勘探开发难度增大, 正确识别低序级断层对于该区复杂断块油藏的勘探开发具有重要意义。随着地震资料采集、处理与解释技术的不断进步, 低序级断层构造油藏三维精细描述逐渐成为可能, 为此从多角度、多方位研究了开发地震技术以识别低级序断层, 并系统优化了低序级断层的平面组合配套技术, 重点应用了精细综合标定、水平切片、分频相干体、井控成图等地球物理勘探技术, 将这些技术应用于该区低序级断层的识别与重新组合中, 厘清了该区低序级断层的展布规律, 对各断块和油水系统的边界进行了重新认识, 明确了挖潜、调整的方向, 取得了较好的滚动开发效果。

关键词 盘河地区; 低序级断层; 识别技术; 分频相干体

中图分类号 TE19

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.08.005

Applications of Seismic Identification Technique to Low-level Faults in Panhe Area

MA Yuge

Geophysical Research Institute, Shengli Oilfield Company, China Petroleum & Chemical Corporation, Dongying 257100, Shandong Province, China

Abstract Panhe area is an oilfield with many low-level faults. Because of the complex fault system, the exploitation and exploration would become increasingly difficult, and it is important to identify correctly the low-level faults for the exploration of complex fault-block reservoirs. The well developed technology of collecting, processing and interpreting seismic data makes the 3D fine interpretation possible for low-level fault-block reservoirs. In this paper, an analysis of several exploitation seismic technologies is carried out from various angles to identify low-level faults, and the plane association matching technology of low-level fault is optimized. Then an explanation is made for the technologies of fine horizon calibration, horizontal slice, frequency-divided coherence, seismic forward modeling, as well as the well-controlled structure mapping technology. Panhe Area is taken as an example to apply these techniques to identify and recombine low-level faults. As a result, the distribution pattern of low-level faults in the area is obtained. In addition, the boundary of each fault block and oil-water system is identified, and the direction of exploration and regulation is made clear. The results show that these technologies can help petroleum exploration and development.

Keywords Panhe area; low-level fault; identification technology; frequency coherence

0 引言

盘河地区是临盘采油厂的主要产油区, 同时也是世界上复杂断块油田的典型代表, 属于典型的由多种油藏类型组成的复式油气聚集区^[1], 局部地区火成岩的侵入进一步加剧了油藏的复杂性。低序级断层控制形成的很多小断块由于构造不清, 注采井网难以完善, 甚至不能注水, 开发效果较差。

盘河地区以往重点研究对象为 3~5 级断层形成的构造

圈闭, 随着勘探程度不断深入, 实践证明低序级断层对油气聚集起关键作用。低序级断层指由 5 级以上断层派生的 6 级、7 级断层等^[2], 低序级断层油藏作为一种较隐蔽的特殊构造油气藏, 在油气勘探中仍占有相当大的比例。现阶段低序级断层构造油藏的勘探目标主要为断裂系统较复杂的断块以及小断层形成的小幅度断块, 由于在断层识别与描述、断裂组合、断块圈闭描述等方面存在一系列难点, 对该类油藏的精

收稿日期: 2010-11-05; 修回日期: 2011-01-28

作者简介: 马玉歌, 工程师, 研究方向为地震地质综合分析, 电子信箱: mayuge.slyt@sinopec.com

细描述也存在较大的难度。随着勘探的不断深入,地震资料采集、处理与解释技术的不断进步,使低序级断层构造油藏精细描述逐渐成为可能^[9]。因此,通过地质和地震的密切结合,利用低序级断层描述技术,对地震资料进行精细解释,重新认识老区块,明确含油范围,落实勘探开发井位及补充完善井位,同时在老区发现新的有利圈闭,为滚动开发奠定基础。

1 地质背景

盘河地区位于惠民凹陷西部、马寨—盘河滚动构造带的盘河构造上,盘河构造是临邑大断层长期活动,在下降盘形成的一个典型的逆牵引构造。临邑大断层是惠民凹陷中部帚状断裂体系的主干断裂,是一条中生代末以来长期发育的铲形生长断层,其派生的各级小断层数量众多。盘河构造处于该主干断层由北东转为近东西向并分裂散开的转折部位,也是主干断层与分支断层联合构成的弧形断层下降盘的内侧。构造为短轴背斜,轴线近东西,与断裂线趋于平行。

盘河构造南临临南生油洼陷、油气资源丰富。已发现的盘河油田是富集的低序级断层油气田。油田基本构造形态为滚动背斜,具有地质构造复杂、断层多、低序级断层发育、断块小、上下构造差异大等特点,含油层系多。油气藏的主要控制因素是构造,而低序级断层的展布及组合是油藏精细描述的关键^[4]。

2 低序级断层解释技术

应用精细综合标定、水平切片、高分辨率分频相干、井控成图等解释技术对盘河地区低序级断层进行描述。

2.1 精细综合标定技术

层位标定是地震解释及综合研究的基础,将合成记录与实际地震资料进行反复分析对比,研究和分析地震反射特征,为进一步精细解释提供依据和参考。单一的合成记录标定存在一定的局限性,综合标定以钻井的地质分层和区域标志层作为约束条件,利用精细的合成记录和 VSPLOG 剖面与井旁地震道进行反射波组、能量等反射信息的相关对比,通过反复调试,使之相关性达到最好,从而得到精确的时深关系。利用该时深关系,将有关信息(钻井地质分层,测井解释和试油成果,反映波阻抗界面的速度曲线或声波曲线,反映储层物性的自然电位曲线等)由深度域转换为时间域,并与合成记录一起放于井旁地震道上,进行层位的二次标定,从而提高了标定的准确程度,并且赋予地震剖面丰富的地质含义。多元综合标定^[9]克服了单一用声波进行标定的局限性,使层位标定更加准确,地震与地质的结合更加紧密,目前该方法已被普遍使用。

由于地震资料的频率随深度的增加而衰减,用不变的子波制作合成地震记录会影响合成记录与地震资料的匹配。通过提取井旁道地震时变子波,在不同时段,采用不同的子波作为标定子波,进行合成记录制作,提高了合成记录与地震剖面的匹配,很好地完成了地质与地震间的对比和标定。

此次在综合标定的过程中,应用了 GeoFrame 系统中的时变子波对该区的已钻井编制合成记录,进行层位标定,得到了合理的时深关系,为精细的构造研究奠定了坚实的基础。

2.2 水平切片技术

水平切片是用一个水平面去切三维地震数据体,得出某一时刻各道的信息。它反映了不同地层在同一时间的出露情况,对了解地下构造形态和查明某些特殊的地质现象有独特的优点。通过观察不同时间、不同类型数据体水平切片的变化,识别出断层在水平切片上的反映(如同相轴中断、错开,振幅突变、同相轴拐弯、相邻两组同相轴走向不一致等),进而研究断裂发育的期次、剖面构造样式、断层延伸长度和平面组合特征^[7]。断层在水平切片上的反映主要表现在:① 同相轴中断、错开;② 振幅发生突变,即在水平切片上同相轴的宽度发生突变;③ 同相轴突然拐弯;④ 相邻两组同相轴走向不一致。依据这些特点来可以划分出主要断块。本区在 1000~2300ms 时间段,每 4ms 切一张时间切片,根据同相轴的中断、错开、振幅突变、拐弯、走向不一致等特点,分析小断裂和断层的细微变化(图 1),同时与地震剖面一起交互解释。在该区,利用水平切片识别出 6 条小断层,使构造解释精度更高。另外,水平切片对于落实低序级断层形成的低幅度构造高点的位置也具有重要作用^[8-9]。

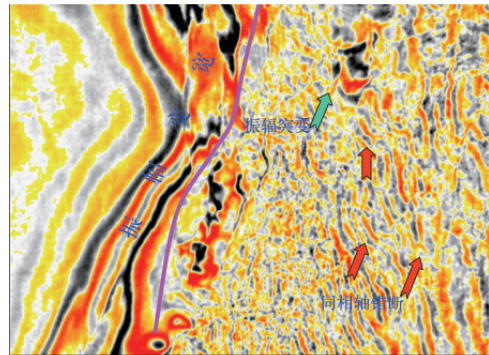


图 1 盘河高精度三维 2030ms 水平切片

Fig. 1 Horizontal slice map of high-precision three-dimensional 2030ms in Panhe

2.3 高分辨率分频相干体分析技术

2.3.1 本特征值高精度相干技术原理

相干体技术现已成为常规解释中的一项普及性技术^[10-11],Epos 本征值高精度相干是一种量化计算波形相似性的方法,通过在时空中定义“全局化的”孔径,并利用倾角和方位角的计算实现。此种处理方法可为地震波形空间变化提供准确的成图显示,并可方便直观地与地质特征与沉积环境联系在一起。断层与断裂系统可直接在空间成像或平面成图,不必在所选垂直剖面上进行主观繁琐的断层解释后,再对其进行平面组合成图。相干体的计算结果取决于优化参数的选取,如倾角限制、时间孔径、空间孔径等。

相干分析技术减少了解释员的主观判断干预和经验因素影响,解释结果更客观、合理,对断层的识别能力有大的提

高,工作效率也大大提高,对小断层的识别尤为有效。

2.3.2 参数的选取

(1) 倾角参数。为倾角/方位角的输入一个数据,输入倾角/方位角越高,得到的相干结果将越好,尤其是在向多个方向倾斜时,但此处理过程花费时间较长。输入在主测线方向观察到的最大反射倾角及在联络测线方向观察到的反射体的最大倾角。在该区选择的倾角参数分别为 2,3。

(2) 时间孔径。大部分参数测试中都包含最好时间孔径这一参数,此参数的建议范围大约在目标反射体最高频率波长的一半到最低频率的一个波长之间。长时间孔径可以抑制相干体内噪音,但是在较长的计算因子下,范围较窄的同相轴,如河道等将变得模糊不清。通常来说,当要突出地层特征或低角度断层时,应使用小的时间孔径;当要突出持续性地质特征,如高角度断层时,应使用较长的时间孔径。盘河高精度三维选择的参数是 40ms。

(3) 空间孔径。以矩形或圆形的方式说明。当半径为 1

时,所用的地震道为 5 道,分别为中心道及其在主测线和联络测线方向上的相邻道。

2.3.3 分频相干方法

利用该技术不仅使研究目标直观化,准确把握断层及岩性体在空间内的变化特点,细致地描述油气藏内部特征,而且使解释结果量化,改善了解释精度。进一步用小波变换得到的不同尺度的分频地震数据体进行相干分析,可以看出低频相干体对大断层的反映敏感,而高频成分的相干体则对小断层的反映更为敏感^[12]。

2.3.4 应用实例

在盘河地区的 L22 井区发育一条近东西走向的南掉小断层,从地震剖面上看,该断层由东向西,断层断距逐渐变小,与北界断层南掉未搭接,而通过运用分频相干分析,发现该断层与北部发育的一条同样走向的断层搭接(图 2),但是由于相交处断距太小,在地震剖面上无法识别。后经钻井证实了该断层与北部的断层搭接。

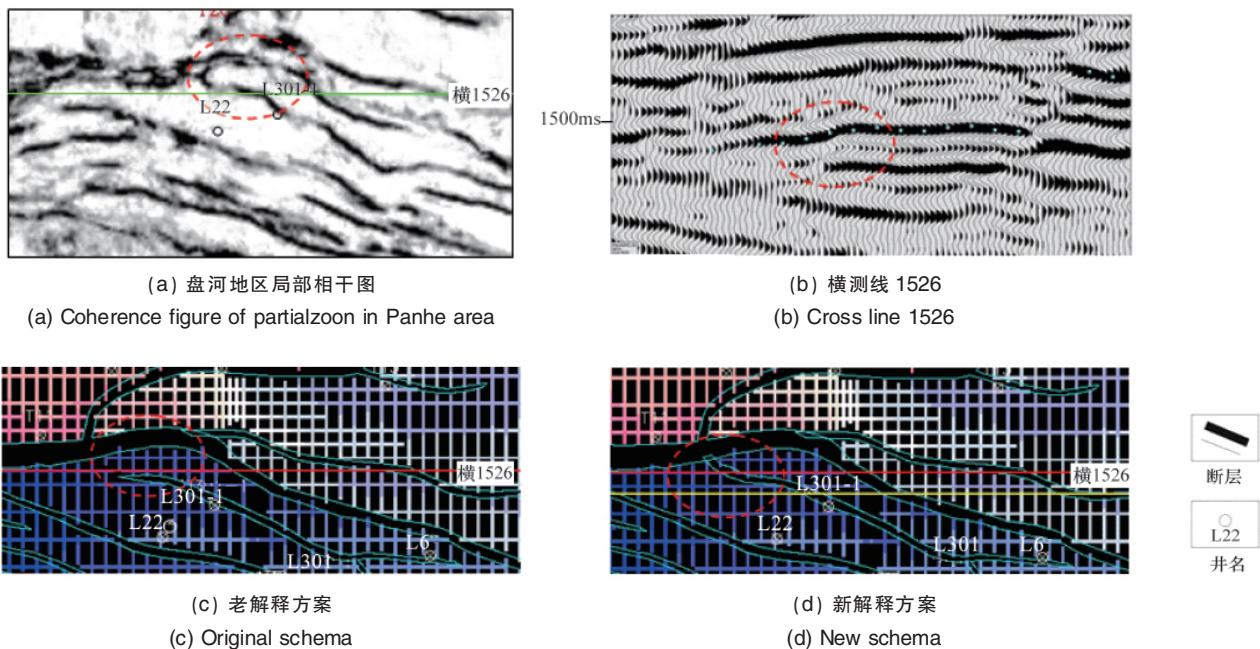


图 2 分频相干技术修改解释方案

Fig. 2 Modified interpretation scheme of fractional frequency coherent technology

2.4 井控成图

2.4.1 消除火成岩速度陷阱及校正

盘河地区 L10 井区沙二上亚段沉积时期,在一砂组底部穿插一套辉绿岩侵入体,面积 4.0km²,厚度 10~55m。火成岩在空间上的形态变化、内部的速度变化使平均速度在横向上产生不均匀,导致速度陷阱,这是本区研究难题之一,受地震资料所限。地震地质解释模型是建立在水平层状均质地层基础上的,地震处理不可能事先对火成岩的速度、形态建立精确的地质模型,因而不能完全消除速度陷阱。速度陷阱引起钻井、地震矛盾,使地震资料不能直接准确反映构造高低。

一般速度场是随时间和空间变化的,对于该地区有特殊性,横向变化剧烈,故采用井资料控制的约束方法。研究中采用 GeoFrame 的 CPS3 成图模块,该模块可以通过测井分层对成图结果加以控制,构造成图时测井分层与地震解释结果相制约,对火成岩引起的速度陷阱进行校正,使最终结果更接近实际情况(表 1),并为下一步的部署提供可靠依据。

2.4.2 成图参数的调整

利用 Landmark 解释软件中的 ZmapPlus 模块可自动生成构造图^[13]。但由于工区内断裂多,构造格局复杂,计算机自动成图可能在等值线走向、连接的合理性存在问题,可采取人

表 1 盘河地区 L10 井区构造图校正前后对比

Table 1 Comparison of contours before and after calibration in L10 Wellblock of Panhe area

| 井名 | 钻井深度/m | 校正后深度/m | 误差/m | 校正前深度/m | 误差/m |
|--------|--------|---------|------|---------|------|
| LS1 | 2984 | 2987 | 3 | 2955 | 29 |
| L10 | 3027 | 3026 | 1 | 2965 | 62 |
| L10-1 | 3010 | 3011 | 1 | 2955 | 65 |
| L10-2 | 3040 | 3040 | 0 | 2993 | 47 |
| L10-3 | 3011 | 3016 | 5 | 2968 | 43 |
| L10-5 | 2978 | 2978 | 0 | 2917 | 59 |
| L10-6 | 3027 | 3026 | 1 | 2955 | 72 |
| L10-7 | 3056 | 3056 | 0 | 2981 | 75 |
| L10-11 | 3010 | 3008 | 2 | 2947 | 63 |
| L34 | 2952 | 2952 | 0 | 2926 | 26 |
| L34-3 | 2927 | 2929 | 2 | 2855 | 72 |
| L34-15 | 3157 | 3157 | 0 | 3233 | 76 |

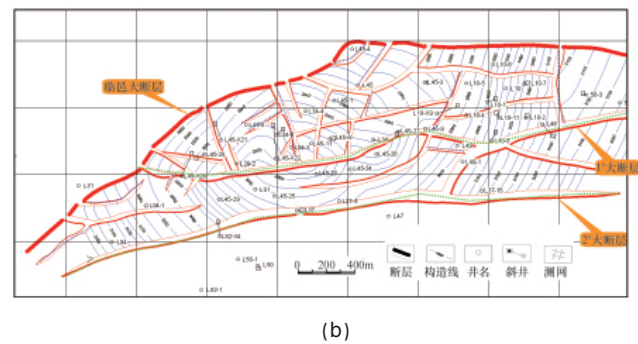
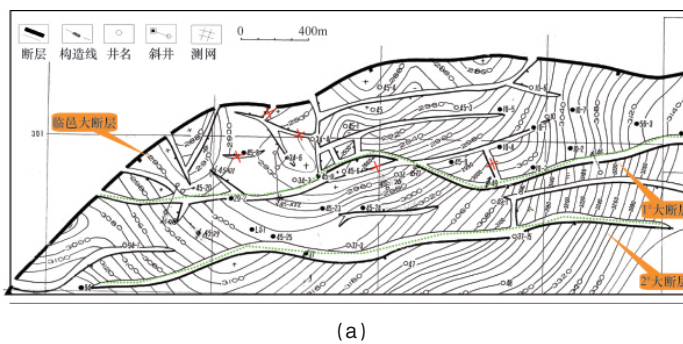


图 3 盘河地区临 45 井区沙二下 1 砂层组顶面构造图老(a)新(b)对比图

Fig. 3 Comparison between the old (a) and the new (b) top structure map of a sand group of Lin 45 well area in Panhe area

区,东西向 1#、2# 大断层的走向及倾向未变,但具体位置、延伸长度有所变动,在新的构造图上可以看出 2# 大断层延伸到西部 L94 井以西;临邑大断层的平面形态发生了变化,在新的构造图上,L45-4 井更靠近北部的临邑断层,与已钻井比较吻合;断层的解释方案有了变化,一些落差小的调节断层有所增加,新增了 11 条小断层(图 3 中蓝色),修改了 14 条断层,删除 5 条小断层,构造虽然更加复杂,但却更合理可靠,与已钻井更吻合。

(2) 断层的组合方式有了变化。从油水关系上看,东二段 1 砂组,L93-10 井深 1915m,解释结论是水层,L34 井深 1925m,解释结论是油层,老构造东部的小断层原来与其南部东西向断层未组合,两井处于同一断块,出现了水高油低的矛盾。新识别出的西北方向小断层将两井分成两个断块,很好地解决了这一矛盾,说明新的断裂组合方式更加合理。

(3) 盘河地区在 L106 井西侧识别出一条近南北向东掉断层,其西部 L41-15 块高部位均钻遇油层,在 L106 井西南发现一个有利的断块圈闭。可在 L106 块高部位部署 1 口滚

动井,该块圈闭面积为 0.08km²。

3 应用效果分析

通过对低序级断层的识别和重新组合,利用各种新的地震剖面识别和平面组合技术,对构造形态和断裂系统有了新的认识;并在断层新认识的基础上完善注采井网,提高储量控制程度。

(1) 断层位置更加准确,断层数量增加(图 3)。在 L45 井

动井,该块圈闭面积为 0.08km²。

(4) 完善注采井网,提高储量控制程度。L45-20 块目前单井控制储量大(24.5×10⁴t/口),地层能量低,油井供液差,开发效果差。从新构造图上可以看出,L45-20 块为受 3 条断层控制形成的三角形小断块,目前生产井仅 1 口,高部位无井控制,可在断块高部位部署 1 口新油井,在低部位利用老井注水,提高储量控制程度。

4 结论

盘河地区低序级断层构造精细解释在吸收前人研究成果的基础上,根据本区的特点制定了一套行之有效的针对低序级断层的解释流程,并且应用了精细综合标定技术、分频相干、井控成图技术等构造解释技术,取得了良好的勘探效果。

(1) 井控成图技术适用于井网密度相对较高的地区。

(2) 高分辨率分频相干体分析技术是在针对目的层的频率体的基础上进行相干分析,相干参数的选取也至关重要的。参数的选取要具体地区具体对待,才能取得较好的效果。

参考文献 (References)

- [1] 陈广军, 张善文. 对地震资料应用中几个常见问题的思考 [J]. 石油地球物理勘探, 2001, 36(1): 115-211.
Chen Guangjun, Zhang Shanwen. *Oil Geophysical Prospecting*, 2001, 36(1): 115-211.
- [2] 罗群, 黄捍东, 王保华, 等. 低序级断层的成因类型特征与地质意义[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 19-21.
Luo Qun, Huang Handong, Wang Baohua, et al. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2007, 14(3): 19-21.
- [3] 夏冰. 地震新技术在低级序断层识别中的应用 [J]. 断块油气田, 2007, 14(2): 24-26.
Xia Bing. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2007, 14(2): 24-26.
- [4] 马丽娟, 金之钧. 复杂断块构造的精细解释 [J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(6): 688-692.
Ma Lijuan, Jin Zhijun. *Oil Geophysical Prospecting*, 2005, 40(6): 688-692.
- [5] 陆红梅. 物探及地质资料在地震解释中的综合应用[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2002, 26(4): 23-28.
Lu Hongmei. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2002, 26(4): 23-28.
- [6] 崔世凌, 秦爽, 杨泽蓉, 等. 惠民凹陷复杂断块精细描述技术及应用[J]. 石油物探, 2002, 41(3): 348-353.
Cui Shiling, Qin Shuang, Yang Zerong, et al. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2002, 41(3): 348-353.
- [7] 雷明, 王建功, 刘彩艳, 等. 地震切片技术在安达工区的应用 [J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(3): 418-422.
Lei Ming, Wang Jianguo, Liu Caiyan, et al. *Oil Geophysical Prospecting*, 2010, 45(3): 418-422.
- [8] 王延章, 林承焰, 温长云, 等. 低幅度构造油藏研究方法 [J]. 新疆石油地质, 2006, 27(4): 407-408.
Wang Yanzhang, Lin Chengyan, Wen Changyun, et al. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2006, 27(4): 407-408.
- [9] 陈广军, 宋国奇. 低幅度构造地震解释探讨[J]. 石油物探, 2003, 42(3): 395-398.
Chen Guangjun, Song Guoqi. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2003, 42(3): 395-398.
- [10] 余德平, 曹辉, 郭全仕. 应用三维相干技术进行精细地震解释 [J]. 石油物探, 2000, 39(2): 83-88.
She Deping, Cao Hui, Guo Quanshi. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2000, 39(2): 83-88.
- [11] 边树涛, 董艳蕾, 苏晓军, 等. 地震相干体技术识别低序级断层方法研究[J]. 世界地质, 2007, 26(3): 368-373.
Bian Shutao, Dong Yanlei, Su Xiaojun, et al. *Global Geology*, 2007, 26(3): 368-373.
- [12] 徐亮. 低序级断层的地震识别技术在惠民凹陷辛 34 断块中的应用 [J]. 矿物岩石, 2007, 27(2): 86-93.
Xu Liang. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2007, 27(2): 86-93.
- [13] 徐梅, 谭明友, 张明振, 等. 垦东滩海上第三系油藏地震描述技术[J]. 石油物探, 2007, 46(6): 633-636.
Xu Mei, Tan Mingyou, Zhang Mingzhen, et al. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2007, 46(6): 633-636.

(责任编辑 刘志远)



2011年国际电气电子工程师学会服务、运筹、物流与信息化国际会议

时间: 2011年7月10-12日 地点: 北京

主办: 国际电气电子工程师学会智能交通系统委员会 (IEEE ITSS)
运筹学和管理学研究协会
承办: 中国科学院自动化研究所

征文范围: 服务设计、工程、运营和创新, 物流及供应链管理, 物质流 (MF) 科学和技术, 服务/事件管理与制造, 信息通信技术和系统 (ICTS), 电子商务与知识管理。

<http://www.ieeesoli.org>