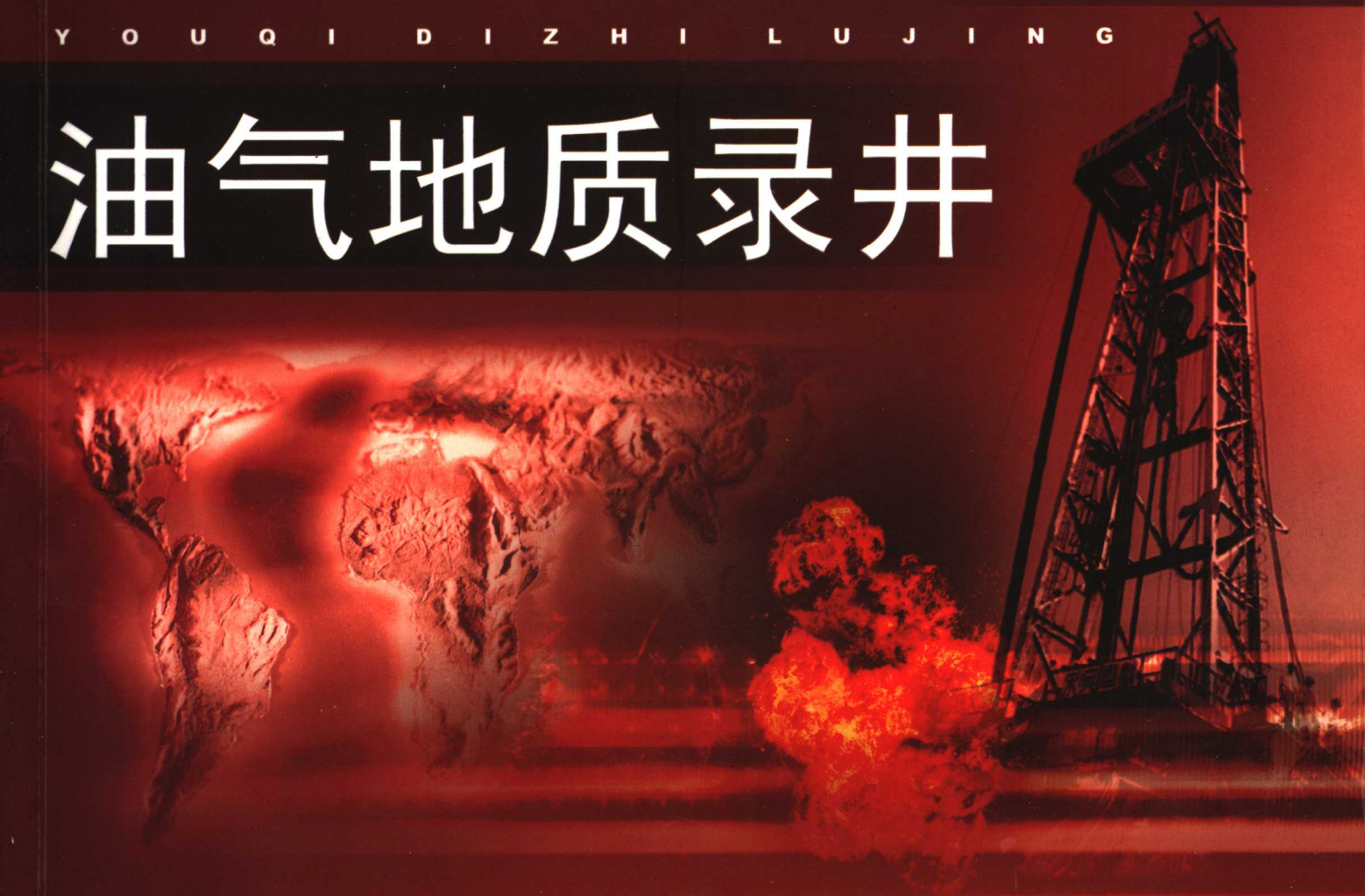


 四川石油管理局地质勘探开发研究院 编著

□ 执行主编 杜尚明

Y O U Q I D I Z H I L U J I N G

油气地质录井



四川出版集团 四川科学技术出版社

油气地质录井

四川石油管理局地质勘探开发研究院 编著
执行主编 杜尚明

四川出版集团
四川科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

油气地质录井/四川石油管理局地质勘探开发研究院
编著. - 成都:四川科学技术出版社,2006.2
ISBN 7-5364-5878-9

I. 油... II. 四... III. 录井 IV. TE242.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 146719 号

油气地质录井

编著者 四川石油管理局地质勘探开发研究院
执行主编 杜尚明
责任编辑 任维丽
封面设计 李庆
版面设计 杜尚明
责任出版 邓一羽
出版发行 四川出版集团·四川科学技术出版社
成都市三洞桥路12号 邮政编码610031
成品尺寸 210mm×285mm
印张20 字数645千
印刷 四川翰博印务有限责任公司
版次 2006年2月成都第一版
印次 2006年2月成都第一次印刷
定价 78.00元
ISBN 7-5364-5878-9/TE·19

■ 版权所有·翻印必究 ■

■ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。
■ 如需购本书,请与本社邮购组联系。
地址/成都市三洞桥路12号 电话/(028)87734081
邮政编码/610031

油气地质录井

编委会

主 任 张本全

副主任 刘必浩

主 编 杜尚明

编 委	杜尚明	戴 勇	李香华	向 明
	程绪彬	唐 鸣	赵良孝	胡可以
	朱心万	龙海涛	罗于海	邓 团
	赵绍新	唐家琼		

内 容 提 要

本书内容是由油气地质录井和相关的井筒系列技术两部分组成的。在油气地质录井部分,从四川盆地的油气地质特征出发,重点介绍了地质录井与综合录井仪录井的方法、原理和操作及其各种资料采集(含测量、观察、记录)、资料处理(描述)和资料解释(应用),以此提高现在录井服务技术水平;在相关的井筒系列技术部分,侧重介绍了测试工艺技术与资料录取以及测井资料解释与应用,藉以提高录井技术人员的综合素质;在上述基础上,阐明了单井评价与录井报告编写要略,以高水平地反映录井成果与地质认识。

本书可作为从事油气地质录井服务的技术人员、技工、录井监督和管理人员的培训教材和工作使用,也可供录井设计与研究者及石油院校师生参考使用。

序

中国是世界上最早创用录井的国家,从11世纪中叶“卓筒井”发明就伴生了“扇泥筒”录井,待到近代油气勘探,作为钻井基础的地质录井,在世界找油找气的发现中是功不可没的。

基于20世纪30年代油气地质理论开始形成,各种探测技术风起云涌,其中以气测井出现到70年代综合录井仪的诞生,伴随现代油气地质学、地球物理学、地球化学、电子学和计算机学的迅猛发展,综合录井技术巧妙地将这些科学技术完美地融为一体,并以信息化、网络化集成直接为钻探油气服务。

1978年,我国以徒手录井为题材的《钻井地质》一书问世,标志着录井技术成为一门独立的学科;直到20世纪80年代,随着各油气区综合录井仪的引进与开发,才打破了传统录井作业的方法,各种培训教材应运而生;90年代大港油田《录井技术》专业杂志公开发行人,涉猎多种录井技术的文献报道与日俱增,对推动油气地质录井发展作出了重要贡献。《油气地质录井》一书在借鉴与综合的基础上,系统地总结了四川盆地碳酸盐岩、裂缝性储层、天然气为主的录井特征,从实用性、可操作性、前瞻性出发,不仅涵盖了地质录井与综合录井仪的采集、资料处理和解释的一般原理、方法、技术与操作,而且拓宽到油气地质、地球物理测井、井筒系列技术的各个领域,以现代录井为主题,兼容多学科应用题材,藉以培养具有“细、深、精”,“线、面、空”的高素质综合人才,以适应国内外地质服务市场发展的需要。《油气地质录井》一书的出版,凝聚了川渝地区半个世纪以来的地质录井经验与成果,丰富并充实了现代油气地质录井技术,对油气勘探必将起到推动作用。值此出版之际,向参加本书编著的专家、工程技术人员表示衷心的感谢,并祝川渝广大录井工作者推陈出新,不断前进,为提高和发展我国油气地质录井水平作出新的贡献。

张书全

前 言

《油气地质录井》一书是以油气勘探开发为目的,适应国内外地质服务市场的发展,旨在培养高素质的综合地质服务人才,由四川石油管理局地质勘探开发研究院主持编写的。从教材的实用性、可操作性、前瞻性的编写思路出发,它不仅需要涵盖常规地质录井与综合录井仪的资料采集、整理、处理、解释的一般原理、方法和技术规范的内容,而且更需要将地质综合录井拓宽到油气地质、地球物理、井筒系列技术的各个领域,以实现对于钻经地层剖面的各种几何属性、物理属性、含流体属性的综合解释,达到实践与认识、普及与提高的统一,在综合油气勘探技术中独树一帜。

《油气地质录井》一书共分 10 章。

第一章绪论。简要记叙了中国卓筒井的发明开创了录井的纪元;以生动的史例,再现了地质录井在油气田发现中的重要地位与作用,提出培养和造就高素质的录井工作者是新时期的使命,由杜尚明编写。

第二章是从川渝录井作业者的基础地出发,阐明四川盆地油气地质的基本地质特征,由杜尚明编写。

第三章从四川盆地以气为主的实际出发,简要介绍了天然气录井的特点,由杜尚明编写;重点阐述钻时、钻井液、岩屑、岩心、荧光、地化等录井技术的方法、原理、操作与资料解释,由胡可以编写。

第四章从国内外综合录井仪发展与展望,引申到该项技术的要件,并对传感器、接口箱、硫化氢与气测色谱监测系统的类型、性能、工作原理、调校、安装、常规故障与排除作了全面介绍,由龙海涛、许绍俊编写。

第五章以综合录井技术为核心,系统介绍了该技术的现状、发展趋势、数据的采集、整理、传输、管理与处理,以及气测录井、综合录井技术的综合应用,由罗于海、刘德伦编写。

第六章以录井卡层、识别和发现油气层为重点,结合四川勘探经验,针对录井工作中常见的地质问题,指出如何利用录井过井的多种信息进行综合解释与评价的方法和技巧,旨在提高录井地质的质量与水平,由杜尚明编写;四川盆地地层分层标志由席代成、韩永刚、罗国成、李壮、刘仲宣编写。

第七章重点介绍电缆地层测试、管柱测试技术及其相关联的井筒技术工艺、流程和资料录取与地质解释,以及提高油气井产能的对策,由邓团、彭守祥、朱建宁编写。

第八章以四川盆地复杂的油气地质特征为背景,系统地总结了主要测井方法、原理与资料解释;综合阐述了复杂地层测井资料对储层划分、储集类型识别、储层参数定量解释中的综合应用,由赵良孝编写。

第九章综合介绍了以录井资料为基础,应用地球物理、井筒系列技术信息,进行单井评价、专题评价、综合评价的技术和方法,由赵绍新编写。

第十章扼要介绍了录井报告编写的要点,由唐家琼编写;如何提高录井报告编写水平,由杜尚明编写。

全书文字由杜尚明编纂。

本书在厘定、策划和组织编写过程中,得到张本全院长、刘必浩副院长的精心指导和全力支持;在成书过程中,胡光灿、唐泽尧、吴继余等专家对全书进行审查并提出了详尽的修改意见,西南油气分公司勘探开发研究院鼎力相助;参加本教材工作的还有陈礼平、杨波、王坛和于竹梅同志,在此一并致谢。

四川石油管理局地质勘探开发研究院《油气地质录井》编写组

目 录

第一章 绪论	1
第一节 地质录井的发展简史	1
第二节 地质录井在油气勘探中的地位和作用	2
第三节 地质录井的特点和录井工作者应具备的素养	4
第二章 四川盆地油气地质特征	5
第一节 构造特征	5
第二节 地层特征	13
第三节 天然气运移、聚集一般规律	23
第四节 地层温度与压力	26
第三章 地质录井	30
第一节 天然气录井特点	30
第二节 地质录井技术、方法	34
第四章 综合录井仪	79
第一节 概述	79
第二节 传感器	84
第三节 接口箱	91
第四节 Device Net (CAN Open)现场总线	95
第五节 SK-7J02 数据接口	104
第六节 硫化氢气体检测系统	115
第七节 气测色谱检测系统	116
第五章 综合录井	142
第一节 概述	142
第二节 综合录井基础	143
第三节 气测录井	154
第四节 综合录井技术的综合应用	168
第五节 综合录井技术发展展望	184
第六章 录井资料解释	186
第一节 卡层是录井的基础	186
第二节 识别、发现油气层(藏)是录井的重心	193
第三节 录井资料综合解释	196
第七章 测试工艺技术与资料录取应用	203
第一节 测试概述	203
第二节 电缆地层测试技术	203
第三节 地层测试技术(管柱地层测试)	205
第四节 射孔技术	207

第五节	压裂酸化技术·····	209
第六节	诱导油(气)流·····	213
第七节	钻井中井喷气量计算·····	215
第八节	复合测试新工艺技术·····	216
第九节	桥塞封闭技术·····	216
第十节	中途测试·····	217
第十一节	完井测试·····	220
第十二节	测试结论及划分标准·····	227
第八章	测井资料解释及应用·····	229
第一节	主要测井方法原理及资料解释·····	229
第二节	测井资料的综合应用·····	256
第九章	单井评价·····	292
第一节	概述·····	292
第二节	井位评价·····	293
第三节	随钻评价·····	293
第四节	井位评价的具体做法·····	294
第五节	专题评价·····	295
第六节	综合评价·····	296
第十章	录井报告编写·····	301
第一节	录井报告编写·····	301
第二节	如何提高录井报告的编写水平·····	304

第一章 绪论

在油气勘探活动中,油气地质录井是钻井识别、发现油气层(藏)的最直接的手段。

油气地质录井,通常是指沿钻井剖面采集、测定、观察、描述所钻地层的岩性、储集性、油气水性及其变化,并监测、记录、传输井筒系列技术实施的工程(含油气藏工程)参数,地球物理、地球化学等信息,以利于从建井到完井施工作业顺利进行,最终实现钻井目的。

第一节 地质录井的发展简史

世界录井技术的发展,都经历了从徒手作业向仪表化过渡与发展的过程。中国是世界上最早发现和利用天然气的国家,相伴古代深井凿井技术发展,录井技术应运而生,使中国成为世界上录井技术的始祖。

中国开采利用天然气和凿井求盐的历史源远流长,最早可以追溯到秦汉时期。久负盛名的自流井气田,自汉晋时期井盐生产则有之,到唐代已具规模,至北宋时期已成为四川名产地。公元 656 年,侏罗系浅层天然气已有所发现,主要经历了 13 世纪至 19 世纪的开采时期。自流井天然气和盐卤的开采、利用都是很独特的。最先是从地面气苗或盐泉处,用人工开凿“大口井”开采,气或水枯竭,再往下凿,循环往复开采一层,加深一层,有的“大口井”已深愈五十余丈,人力开凿已不胜重荷。随着冶炼技术的发展推动了顿钻(“小口井”)技术的变革。早在 11 世纪中叶,北宋庆历、皇佑(公元 1041~1053 年)年间,“蜀始创用‘筒井’,用圆刃铤如盃大,深者数十丈,以巨竹去节,牝牡相銜为井,以隔横入淡水,则碱泉上……”(苏轼,《东坡志林》)。卓筒井开创了“小口井”深井掘进的新纪元。据宋李心《建炎以来系年要录》记载,到公元 1129 年前后,四川地区有凿井的 30 个州县中,就有 17 个推广了卓筒井。卓筒井发祥于四川井研,发展完善于自流井。然而,卓筒井的兴起不同于人工开凿大口井:一是要清除顿钻“铤小井”的岩屑;二是必须掌握井深所在岩层,才能钻达预计的“建功”层位。由此,伴随卓筒井的发展,出现了“扇泥筒”录井。

据《四川盐法志》卷二“盐井图记”篇记载,“铤井初,则灌水凿之。及二三丈许,泉四出,不用灌水,无论大小钎触处尽为泥水。每凿一二尺,起钎,用竹筒一,约丈余,通节,以绳系其梢,筒下以皮钱掩其底,操绳以缩皮,泥水翕入,汨满提出,渐尽,复下钎凿焉。”用竹筒扇泥的作用,首先在于清除井底岩屑;其次是录井。据《自流井记》记载:“凡凿井需审地中之岩,井铤初下为红岩,次为瓦灰岩,次黄姜岩,见油。次草白岩,次黄沙岩,见草皮火。次青沙岩,次白沙岩,见黄水。次煤炭岩,次麻箍岩,次黑烟岩,次绿豆岩,见黑水。凡井,诸岩不备见,唯黄姜、绿豆必有之(图 1-1)……”。如此生动形象的记叙,一是指出,“诸岩不备见”,反映了陆相地层横向变化大的特征;二是指出“唯黄姜、绿豆必有之”,即下侏罗统“东岳庙灰岩”与中三叠统雷口坡组底“绿豆岩”标准层,沿用至今,作为四川盆地的区域标准层,可谓先民的伟大发现。

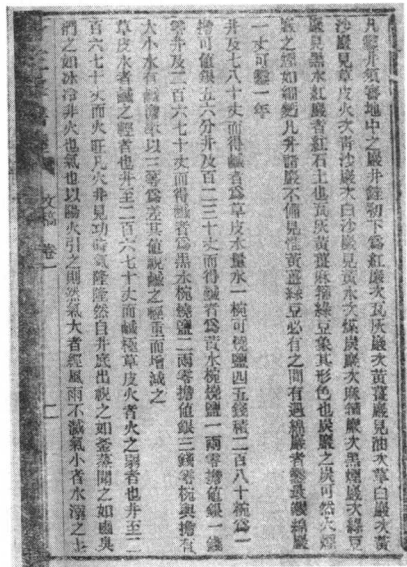


图 1-1 清李榕著《自流井记》载(《十三峰书屋》)文稿卷一,1914 年成都文伦书局铅印本

用于凿井的原始井口记录——“井(岩)口簿”,大量记载了钻遇“横缝”、“立缝”的地质现象。据《四川盐法志》记载:“泥孩儿专为试走岩(注:系指地层垮塌),其名盖承木孩儿云,其形制则殊。凿井最忌走岩,漏白水。然少能免此者,其要在能补(注:时称补腔,以防塌)……然走岩何方,以及白水之多寡不知也,于是以此试之(曰试腔)。百年前相传

用木孩儿,今改用泥孩儿(曰泥娃娃),削木为杵,长可三、四尺,半傅泥,外束以麻,大与井眼相若而稍缩。度纍悬而下,至走岩处顿许时取出,视其湿即知其方,湿宽者则知其腔大,湿深者即知其水力劲,然后据以补之”。通过大量的“试腔”,发现并认识了地层中的“横缝”和“立缝”,进而掌握了“立缝见火”,“横缝见水”的规律性。

现代手工地质录井是近代百年来一直沿用至今,并对油气勘探起到重要的基础作用。

现代综合录井技术是以 20 世纪 30 年代末气测仪出现而起步的。经过钻井参数仪过渡发展,到 80 年代逐步形成了随钻录井(LWD)、随钻测量(MWD)、随钻地震(SWD)等;随着物理、化学分析技术、网络技术和电子学、计算机技术的飞跃发展,以集成化的综合录井技术、网络技术和信息分析技术为特征的综合录井仪正不断向前推进。

我国现代综合录井技术起步较晚,自 20 世纪 70 年代上海 SQC-701 气测录井仪问世,才取代了简易气测仪。80 年代引进国外综合录井仪并研制和开发了 ZZL-1 型综合录井仪。90 年代发展到无二次仪表的智能化录井仪及联网录井仪,缩短了与世界的差距。与此同时,地化录井、定量荧光录井等技术得到蓬勃发展,日愈显示出在油气勘探开发中的重要作用。

第二节 地质录井在油气勘探中的地位和作用

从古至今,地质录井是发现油气层(藏)的最重要手段,可以说离开了地质录井就很难有所发现。

人们不会忘记,1919 年以来,在美国众多杂志上发表的“中国贫油论”文章传播世界。同时更不会忘记,1959 年 9 月 26 日大庆长垣松基 3 井喷油和 27 日扶余油田被发现,改写了中国贫油论的历史。大庆会战截至 1960 年 12 月,完成了 93 口井探井钻探,每口探井要求必须取全取准“12 项资料和 72 项数据”,正是这种高度的革命精神和实事求是的科学态度,坚持严、细、精、准的地质录井,只用了 1 年 3 个月探明了世界级特大油田。松基 3 井自井深 1051 m 取心,至 1461.76 m 已多次发现油气显示,取心见油砂(1109.5~1308.5 m 共 14 层,厚 19.8 m),中方决定完钻,与原苏联总地质师米尔钦克专家有重大分歧(不能中途改变设计),结果经康世恩批准测试,从而加速了对大庆油田的发现。

1974 年 9 月在冀中拗陷任丘构造上的冀门 1 井于井深 2976 m 进入震旦系(新元古 III 系)取心 0.92 m,发现风化壳白云岩晶洞裂缝含油,结果只在下第三系(古近系)试油日产油 63 t,推迟了古潜山的发现。1975 年任 4 井钻至井深 3153 m,进入震旦系迷雾山组,在地质人员精心录井下,于 3162 m 发现十余颗含油白云岩,3177 m 发生井漏,钻至 3200.67 m 试油,7 月 3 日经酸化后日产油 1000 t,翌年探明石油地质储量 5×10^8 t,成为继 1960 年大庆油田探明后又一个储量增长高峰期。

1970 年,东濮凹陷新霍构造的新 1 井在沙二段发现 0.5m 的油斑白云岩,于是决定对凹陷开展地震普查、详查,1975 年 6 月在文留构造上钻探的濮参 1 井,在钻至井深 2067 m 时发生强烈井喷,由此揭开了中原大地石油勘探的序幕。

地质录井首先发现油气田,在全国各油气区,乃至国外的勘探实例是不胜枚举的。回顾四川盆地的勘探,在储量增长的曲线上(图 1-2),最引人注目的增长点,无不与气藏的重大发现息息相关。其中,以 1960 年下二叠统、1964 年震旦系、1977 年石炭系、1987 年雷一¹亚段、1995 年飞仙关组和上侏罗统等气藏的发现最令人醒目!因为这些发现充满着地质录井的曲折与艰辛、成功与失利的经验和教训。1960 年 4 月 8 日,自流井构造的自 2 井钻入下二叠统井深 2265 m,钻具放空 4.45 m(未见底)强烈井喷,获日产 $200 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上的高产气井,探明动态法储量 $55.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,1990 年被中国石油天然气总公司命名为“功勋气井”。结合当前在川东南地区已累计钻探 27 个构造,获气田 13 个的事实,从而确立了四川盆地“油气并举,以气为主”的勘探方针。

威远构造是中国的罕见大构造,三叠系顶面闭合面积 1751 km^2 ,闭合度 1080 m,可是它的钻探却经历了“三上二下”的曲折经历。1940 年首钻威 1 井无果;1956 年学习苏联“上地台,打基准井”的区域勘探经验,钻威基井,因设备不足,进入寒武系 20.65 m 被迫停钻;1963 年决定修井、完成原设计,钻穿震旦系,于 1964 年 9 月 1 日井深 2831 m 进入震旦统,2844.5 m 下油层套管固井后,使用密度为 $1.19 \sim 1.21 \text{ g/cm}^3$ 钻井液,钻至井深 2852.7m 时发生井漏,至 2859.39m 共漏失钻井液 44.27 m^3 。正在四川考察的原石油部勘探局

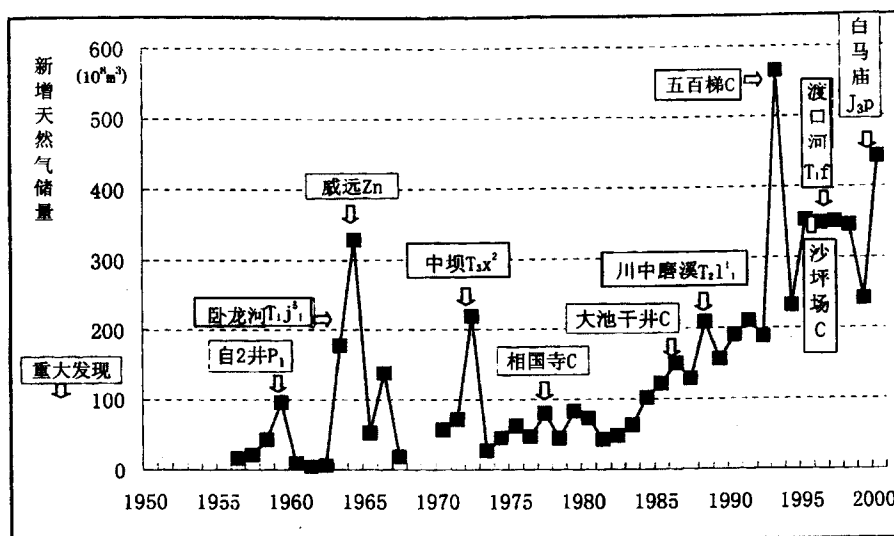


图 1-2 四川盆地历年新增天然气探明储量与重大发现关系图(谢姚祥等, 2002)

长唐克等赶赴现场,当机立断中途测试。结果,在不同回压下,日产气 $(7.89 \sim 14.4) \times 10^4 \text{ m}^3$,产水 $12.7 \sim 37.2 \text{ m}^3/\text{d}$ 。威基井发现震旦系气藏,促使了距 8.5 km 的威2井第二次修改钻探目的层(第一次由下二叠统改为奥陶系—寒武系),1965年在震旦系井深 $2836.5 \sim 3005 \text{ m}$ 测试,日产气 $71.1 \times 10^4 \text{ m}^3$,极大地推动了四川“开气找油”大会战,至1967年探明了威远震旦系储量 $400 \times 10^8 \text{ m}^3$,成为中国20世纪80年代前的最大气田。

回首川东石炭系的发现更是不同寻常的。本来1965年9月蒲包山构造蒲1井在钻遇②号断层的下二叠统梁山组与志留系之间发现了 39.5 m 白云岩,且见针孔。但不知其白云岩的层位归属,结果在完井总结报告中用“D?”表达了地质技术员的疑惑。1977年,相国寺构造相8井又在上述层位间钻遇 17.4 m 白云岩,因高密度钻井液无显示完钻,“其层位暂定为石炭系?”,又是一个疑问,但它留下了未尽的思索。同年9月,本来进入下二叠统完钻的相18井,决定修改设计,加深钻探相8井白云岩,结果在井深 $2305 \sim 2317.5 \text{ m}$,钻厚 12.5 m 的白云岩,测试日产气 $85.05 \times 10^4 \text{ m}^3$,并通过地层标准生物化石鉴定,确认为石炭系。经过12年的周折,才发现了石炭系气藏,由此改变了四川盆地以二、三叠系裂缝性气藏为主的勘探历史,揭开了川东石炭系整体会战的序幕。

20世纪80年代,川东石炭系勘探是“一波三折”的,直到1986年后才取得高陡构造地震勘探突破,但1987年的储量增长却面临找米下锅的窘境。然而这年春节,川中磨溪构造的磨9井雷—1亚段取心 74.12 m ,发现了溶孔性白云岩 13.84 m ,平均孔隙度 10.13% ,井段 $2776 \sim 2785 \text{ m}$ 井漏,漏失钻井液 80 m^3 。于是对 $2756.7 \sim 2787.94 \text{ m}$ 测试,日产气 $11.8 \times 10^4 \text{ m}^3$,产水 $50 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据该井气/水界面海拔 -2445 m ,圈定孔隙性气藏的含气面积 122.2 km^2 ,预测储量 $180 \times 10^8 \text{ m}^3$,于是果断决策调整当年勘探部署。结果当年探明+控制储量 $207.45 \times 10^8 \text{ m}^3$,后来实际探明 $349 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。磨溪构造雷—1气藏发现不仅解决了1987年储量的燃眉之急,而且改写了川中有油无气的历史,填补了四川盆地东西南北中的天然气空白。

川东南地区飞仙关组低孔、低渗裂缝性气藏早在20世纪60年代以来,时有发现,但无大气。1995年,川东北部地区台地边缘鲕滩相白云岩孔隙性气藏的发现是始料不及的。本来渡口河构造的渡1井以石炭系为目的层,兼探二、三叠系。12月25日当钻至井深 5037 m 进入下二叠统风化壳 5 m ,超高压气流引起强烈井喷,4条 127 mm 管线放喷,压力不降,天然气中高含 H_2S 异常,这才被迫从裸眼井段地层中查找产层原因。结果,综合录井的钻时、气测在井深 $4292 \sim 4252 \text{ m}$ 均有显示特征,复查岩屑发现白云岩,测井解释有两段气层。如果地质录井能及时发发现针孔白云岩,综合分析相关录、测井资料,绝不至于使这一发现付出沉重的代价。尽管如此,飞仙关组台缘滩相高孔隙、高丰度气藏的发现,必定成为继川东石炭系勘探的接替层,

截至 2005 年,它的探明地质储量已超过了石炭系。

综上,油气勘探的发现,都离不开地质录井。即便是综合录井发展到随钻录井直接监测油气的那天,也依然离不开地质录井的标定、刻度和检验。因此,它在油气勘探中的重要地位和作用是不可取代和动摇的。随着勘探领域的日益复杂和不断拓宽,更需要培养、造就一批很有素养的录井队伍。

第三节 地质录井的特点和录井工作者应具备的素养

地质录井的特点是它的工作对象是深埋地腹的、隐蔽而多变的、难以正确预测的风险工程。虽然,每口钻井都有设计,在设计时根据相邻的构造、相邻的井和地震资料,预计该井的地层、岩性、深度、油气水显示及压力等。这些预测的可靠程度、精度,取决于预测资料的丰富程度和地腹地质的复杂程度,以及人们对它的认识和判断。基于这些特点,就以地震而言,与钻井的深度误差在 3% 以下,都是可靠的,足见录井的实际与设计的差异是经常遇到的。作为录井的主要任务是发现油气层,但从前述发现油气层(藏)实例中可以看出:这些新的发现都不是设计中预测到的。一是在人们认为不可能是油气层的层位中(威远震旦系、任丘迷雾山组)发现了油气层;二是在新发现的地层中(川东石炭系)发现了油气层;三是已经勘探的地层中(川东飞仙关组)由于沉积相的变化发现了新的油气藏类型。

至于地下情况的复杂性,引起实钻的地层、岩性、深度、圈闭位置与设计不符的情况更是常见的。

以上与预测不符而获得新发现的实例中,不少是从录井的微观信息中得到的。如任丘 4 井迷雾山组油藏是从岩屑砂样中的十几颗含油岩屑发现的;川东石炭系气藏是从发现的白云岩岩屑见溶孔的启示。这些微观信息,不注意就会瞬时即逝,如川东渡口河构造渡 1 井鲕滩针孔云岩,不是因阳新统超高压气层造反,也许会因信息漏过而推迟发现;发现了信息不思索,不联想也会错过。

地质录井按设计取全取准各项资料这是最基本的要求,只要具有责任心是能够做到的,因为这些录井方法并不难,也不复杂。但要能抓住设计中未预测的信息以及对新信息的敏感性,并对新信息进行周密思索和联想,提出发现新油气层的认识,采取相适应的措施,这对录井工作者的素质提出了更高要求,归纳起来是:

(1)要有忠于职守,艰苦敬业的职业精神。要熟悉地质设计,严格按设计的录井内容要求,遵守各种录井方法和操作规程,一丝不苟,取全取准资料。

(2)要有求真务实,未雨绸缪的工作态度。地质录井既要遵循设计而又不拘泥成法,善于在录井过程中去发现各种新的与设计预测变异的信息。真知源于实践,应当随时有所预知。地质录井作为钻探工程的地下侦察兵,通过新的、变异的信息发现,才能使录井工作有所创建。

(3)要有见微知著,联想思索的工作作风。自然界存在的油气藏,客观地讲,没有相同的,只有相似的。这种千变万化的地质自然体,为录井工作者提供了展示自己才干的广阔天地。一旦发现新的信息,应当去思索它所反映的地质、工程的内涵,再将各种录井信息联想起来作出客观的判断,从地质现象去揭示地层的本质(岩性、储集层、油气水性等),提出可行措施,才能铸就钻探成功。

(4)要有业精于勤,奋发进取的学习风貌。随着现代地学、地球物理、地球化学、应用数学和计算机等多学科的交叉与综合,鉴于这些边缘学科的发展,使油气地质学变得更加丰富多彩。要善于应用这些理论、方法、技术去发现和识别油气信息,正确分析和判断信息的真伪,就须要学习多方面的知识,并在实践中不断理解和提高。正如韩愈所说:“业精于勤,荒于嬉;行勤于思,毁于随。”

参 考 文 献

- 1 申力生主编. 中国石油工业发展史(第一卷). 北京:石油工业出版社,1984;29~131
- 2 杜尚明,胡光灿等编著. 天然气资源勘探. 北京:石油工业出版社,2004;175~206
- 3 刘德林,周志征著. 中国古代井盐工具研究. 济南:山东科学出版社,1990;41~64

第二章 四川盆地油气地质特征

四川盆地位于四川省东部及重庆市,为一具有明显菱形边框的构造盆地,同时也是四周高山环抱的地形盆地,其范围介于北纬 $28^{\circ}\sim 32^{\circ}40'$,东经 $102^{\circ}30'\sim 110^{\circ}$ 之间,面积约 $18\times 10^4\text{ km}^2$ (图 2-1)。

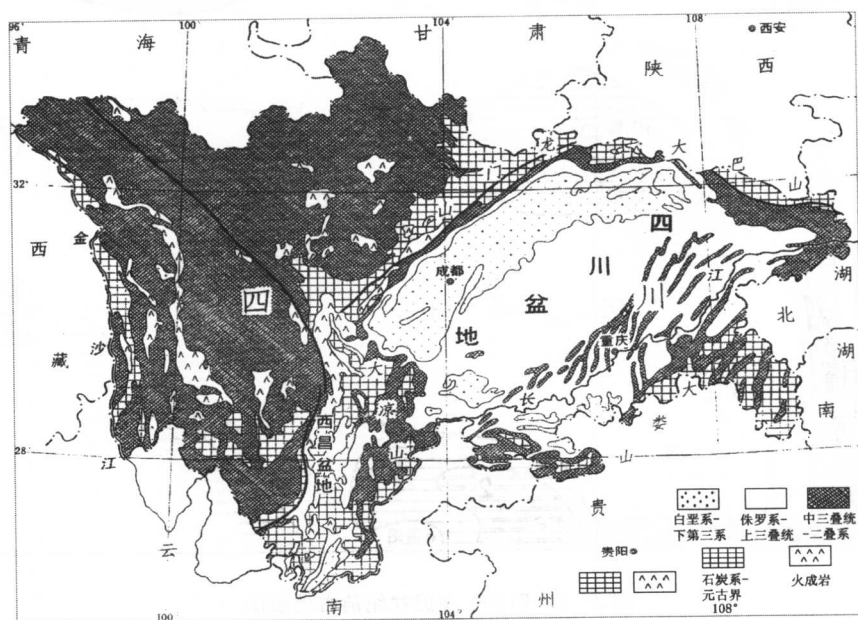


图 2-1 四川盆地及邻区地质略图

四川是世界上最早发现和利用天然气的地方。从汉代“临邛火井”(图 2-2)的出现,到隋朝(616 年)“火井县”命名,从凿井求盐到自流井气田“竹筒井”·“窠盆”·“笕”钻采输技术的发展,无不证明四川天然气的开采源远流长。但是,四川天然气的发展,经历了近代被欺凌的衰落,直到 20 世纪中叶,古老的中国重新崛起,伴随工业化的进程,才得到真正的发展。截至 2004 年,经过半个多世纪的勘探,全盆地已经探明 114 个气田,14 个油田,获得天然气地质探明+控制+预测储量约 $15000\times 10^8\text{ m}^3$,3 级储量之和约占 2002 年盆地资源评价总量的 $1/4$ 。伴随新区、新层、新领域的勘探发现,盆地的总资源量还将继续增长,为川、渝天然气能源发展锦上添花。

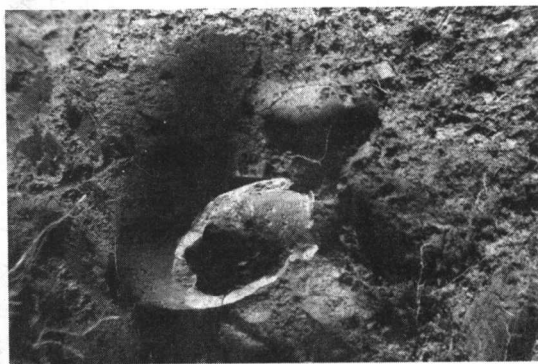


图 2-2 世界第一井——临邛火井遗迹

第一节 构造特征

四川盆地属扬子准地台西北隅的一个次级构造单元,是古生代克拉通盆地与中生代前陆盆地的复合型盆地。从晋宁运动前震旦系基底褶皱回返,使扬子板块从地槽转向地台发展,直到喜山运动盆地定型,共经历了 9 期构造运动,但对盆地构造、沉积地层发展演化有明显影响的有 4 期:一是加里东期,形成加里东期

乐山—龙女寺古隆起(图 2-3);二是东吴期,拉张断裂活动,引发玄武岩喷发(峨眉山玄武岩厚达 1500 m);三是印支期,形成印支期泸州、开江、天井山古隆起,且具盆地雏形(图 2-4);四是喜山期,盆地全面褶皱定型。纵观盆地的发展,受欧亚、太平洋、印度板块活动的影响,盆地应力场的变化经历了古生代拉张为主,中生代三叠纪反转(由拉张向挤压过渡),中生代侏罗纪以来的挤压过程。这一拉张—过渡反转—压挤的地应力场,控制了油气生成、运移、聚集、保存与破坏以及晚期成藏的全过程,尤其对复合型盆地更为明显。

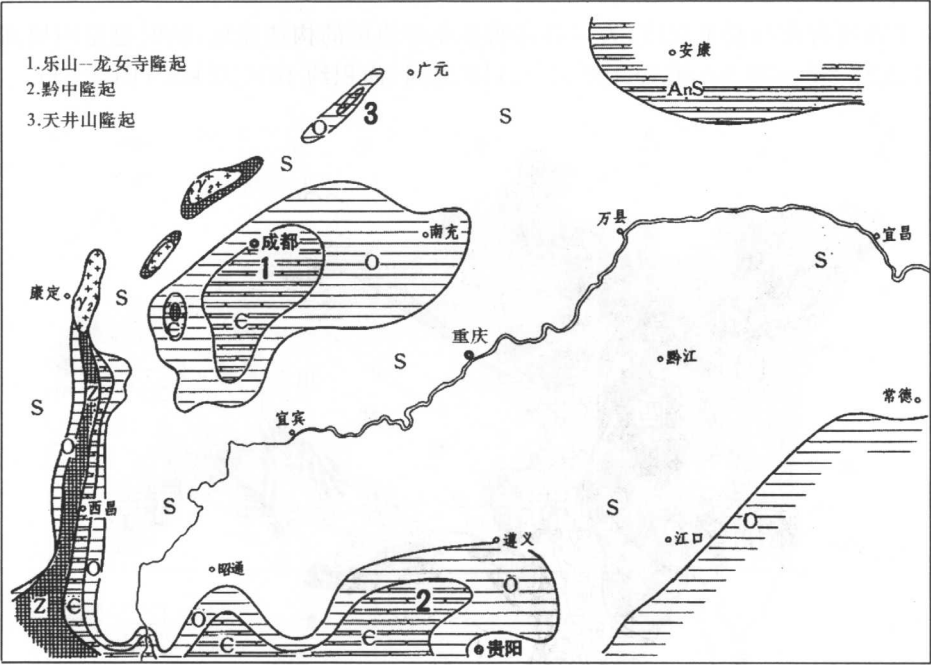


图 2-3 四川盆地泥盆纪前古地质图

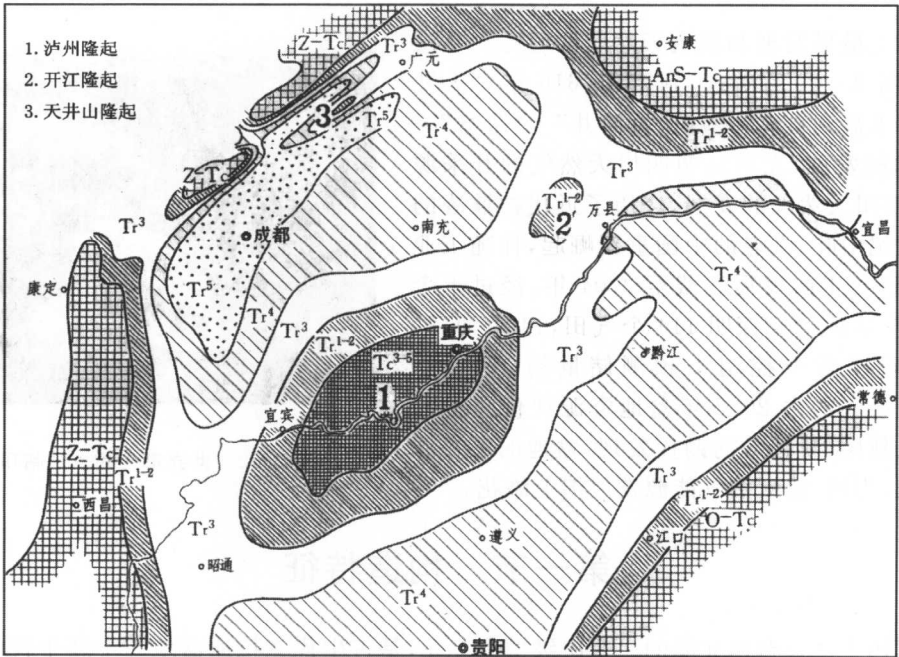


图 2-4 四川盆地晚三叠世前古地质图

一、基底特征

四川盆地的基底岩系为中新元古界,其结构具3分性。盆地中部的磁场特征显示为一宽缓的正异常区,多为中性及中基性岩浆岩组成的杂岩体,变质程度深,硬化强度大,构成盆地中部刚硬基底隆起带。基岩埋深一般4~8 km,地史中较稳定,沉积盖层厚度较薄,褶皱平缓带。盆地东南和西北侧为弱磁场区,组成基底的岩石是浅变质沉积岩,属柔性基底,是褶皱带。基岩埋深8~11 km,沉积盖层厚度较大,褶皱较强烈(图2-5)。

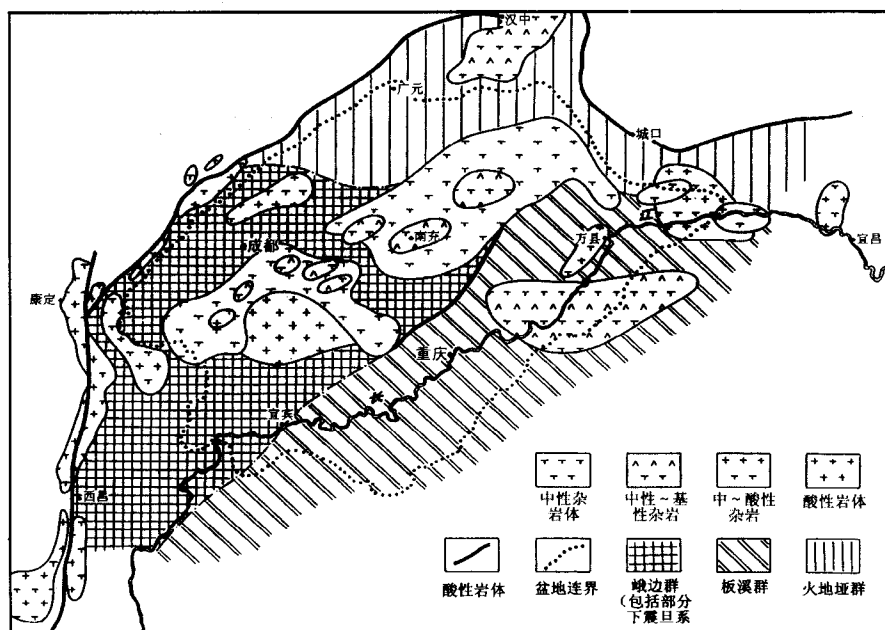


图 2-5 四川盆地基底岩相示意图

二、区域构造特征

四川盆地的发生、发展,形成菱形边框和不同组系、不同方向的褶皱构造,大体可以追溯到 8.5×10^8 年的地史发展过程,是受基底、周边古陆、深大断裂以及地应力作用方式等诸种因素相互作用的综合反映,也是多次构造旋回叠加的产物,使盖层褶皱出现形式多样,交织复杂化的局面。

1. 褶皱构造的展布特点

盆地内最早形成的褶皱构造可上溯到印支期,但范围仅局限于川西龙门山前,如矿山梁—天井山—海棠铺等北东向背斜构造。整个盆地的现今构造主要形成于喜山期,包括震旦系在内的全部沉积盖层都被卷入,出现了众多成群成带分布的褶皱构造。

1) 川东南坳褶区

系指华蓥山以东的川东与川南区,包括川东高陡构造带和川南低陡构造带,是盆地内褶皱最强烈的地区。一般陡翼倾角 $>45^\circ$,甚至直立倒转(图 2-6)。高、低陡构造之分,在于构造核心出露地层的新老,前者出露中下三叠统及其以老地层,后者出露上三叠统及其以新地层。构造线走向主要由北东向高陡构造带和断裂带组成的隔挡式褶皱,背斜紧凑,向斜宽缓,成排成带平行排列。北部受大巴山弧的影响向东弯曲,局部呈近东西向;南部逐渐低倾呈帚状撒开,除北东向为主外,还有受边界条件干扰的南北向、东西向等多组构造线(图 2-7)。

2) 川中隆起区

介于华蓥山断裂与龙泉山断裂之间,包括川中平缓褶皱带和川西南低陡褶皱带,是盆地内褶皱最弱的地区。

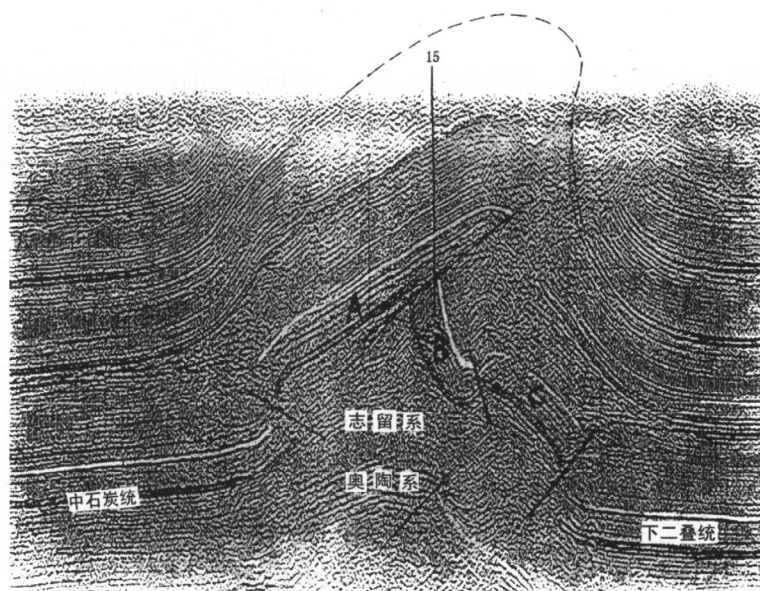


图 2-6 大池干井构造地震时间剖面图

图示川东地区高陡背斜上下构造变异情况,地腹二叠系构造被断层解体为 3 带:
A 带为断层上盘正向构造;B 带为断层下盘牵引陡带及向斜;C 带为断层下盘潜伏正向构造

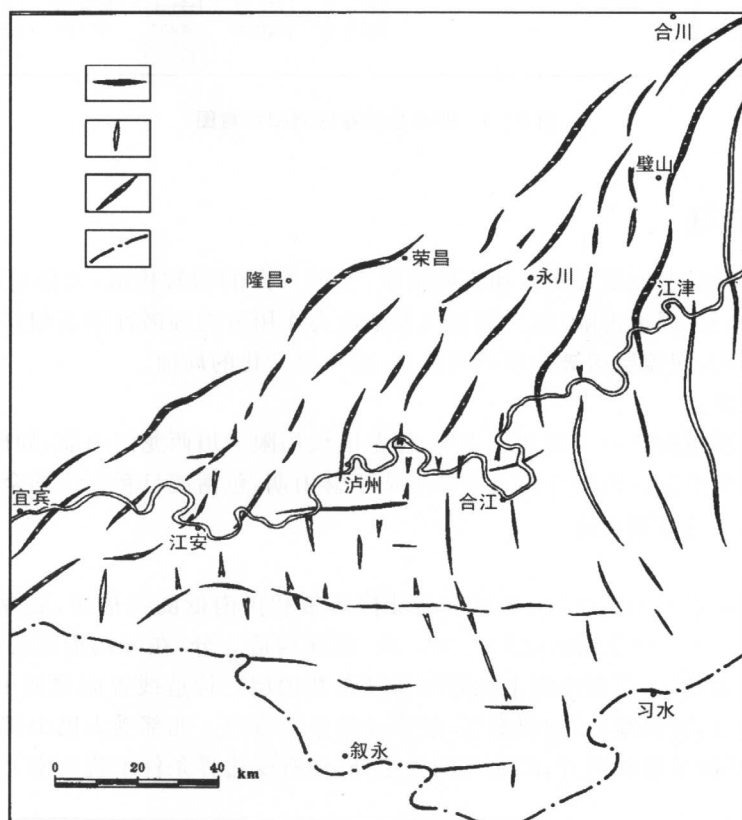


图 2-7 川南低褶带不同方向构造形迹图(引自中国石油志)