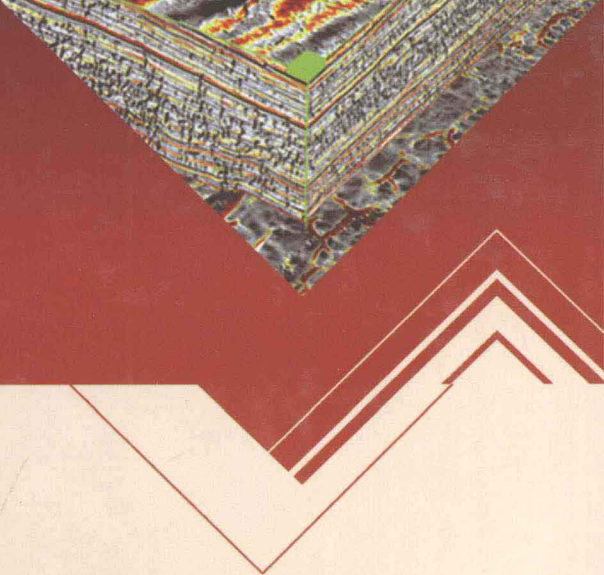




The Prediction Techniques of
Tight Sandstone Gas Reservoirs
in West Sichuan Basin

川西致密砂岩气藏 预测技术

杨克明 唐建明 甘其刚 张 筠 著



科学出版社

川西致密砂岩气藏预测技术

杨克明 唐建明 甘其刚 张 筠 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统介绍了川西致密砂岩气藏地球物理勘探的思路、方法技术及发展方向。主要内容包括：川西地区地震地质条件及地震勘探野外采集技术，川西地区地震勘探目标处理技术，川西地区不同层系致密砂岩气藏储层预测技术、裂缝预测技术及含气性识别技术，转换波三维三分量地震资料处理技术，川西致密砂岩气藏勘探方法技术配套以及川西致密砂岩气藏测井预测技术的研究应用等。所述内容全面反映了川西地区致密砂岩气藏当前研究的主要成果与进展，对陆相致密砂岩气藏的勘探开发具有重要的参考价值。

本书适合从事石油与天然气地质及地球物理勘探的研究人员阅读、参考，也可供高等院校地球物理与地质等相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

川西致密砂岩气藏预测技术 / 杨克明等著. —北京：科学出版社，2012
ISBN 978-7-03-034417-5

I. ①川… II. ①杨… III. ①砂岩油气藏-研究-川西地区 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 107510 号

责任编辑：张井飞 韩 鹏 王淑云 / 责任校对：刘小梅

责任印制：钱玉芬 / 封面设计：耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 6 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2012 年 6 月第一次印刷 印张：26 1/2

字数：606 000

定价：148.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

序

四川盆地具有陆相和海相两大含气地层，天然气资源十分丰富，是我国天然气生产的重要基地。其中川西拗陷陆相碎屑岩气藏具有分布广泛、层位众多、立体成藏、满拗含气的特点，经三次油气资源评价，川西拗陷中国石化矿权区内陆相领域天然气资源量有 $18\,301.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，已落实的三级地质储量达 $8\,141.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，勘探潜力巨大。

通过半个多世纪的勘探，川西拗陷从浅至深发现了多个气藏，其中最为著名的是新场气田蓬莱镇组气藏、沙溪庙组气藏、须家河组二段气藏和四段气藏，并在川西地区建成了多个大中型气田，如新场气田、洛带气田、马井气田、什邡气田、新都气田等。探明天然气地质储量为 $3\,361.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，年产量近 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在致密砂岩气藏的勘探开发实践中，以成藏地质理论为指导，通过“九五”至“十一五”坚持不懈的科技攻关，形成了先进、实用、有效的地球物理勘探方法技术体系，并在不同深度、不同层系、不同储集条件、不同气藏类型的天然气勘探开发中取得了一个又一个重大突破。

随着常规油气资源勘探目标的减少，包括致密砂岩在内的非常规油气资源的勘探已成为当今我国油气资源战略的重要领域。在“九五”以前，由于技术难题多、风险大和成本高等问题，占总资源近一半的致密砂岩气藏的勘探与开发徘徊不前。面对这一世界级难题，特别是地震勘探难题，中国石化西南油气田的专家们牢记“业精于勤”的古训，刻苦攻关，在成藏地质理论和工程技术，特别是地球物理创新技术的驱动下，实现了川西拗陷浅层、中深层的规模勘探开发，获得了深层超致密领域的重大突破，并不断丰富油气地球物理勘探理论和方法技术。值得特别提及的是，他们在多波多分量研究领域，无论是工业化应用水平，还是油气勘探开发效果，都处于业内领先地位。

它山之石，可以攻玉，川西致密砂岩气藏的勘探经验、勘探思路及地球物理方法技术，对我国其他地区的油气勘探与开发具有重要的借鉴和参考价值。愿广大石油物探工作者坚持科技创新，不断发展和完善物探技术，持续满足油

气勘探开发对物探技术的需求，为我国油气勘探开发事业的发展和油气资源战略的顺利实施作出更大贡献！

中国科学院院士

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Guang, a Chinese geologist and academician of the Chinese Academy of Sciences.

2011年10月10日

前 言

四川盆地是中国西部一个大型的近菱形含油气叠合盆地，面积约 $19 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，位于上扬子大型沉积区。同等发育海、陆两大沉积建造，中三叠统以下主要是海相碳酸盐岩，上三叠统以上主要为陆相碎屑岩。震旦系至第四系沉积岩总厚达 $6\,000 \sim 12\,000 \text{ m}$ 。从上震旦统至侏罗系，都有不同程度的生油能力，并具有有利于油气运移、储集的优越条件。半个多世纪前在该盆地开始了油气勘探开发工作，开展了大量地质、物探、钻井、测试等工作，并进行了油气生产。在震旦系、奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系和白垩系中均发现了天然气藏，发现和探明的油气田及含油气构造 200 余个，天然气总资源量约为 $18 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，探明天然气地质储量超过 $2 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，目前全盆地年产天然气超过 $250 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

四川盆地川西拗陷中段位于四川盆地西北部，面积约 $1.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，是中国石化天然气生产的重要基地，拗陷内碎屑岩气藏的分布范围广、层位众多、深度跨度大。气藏在纵向上既有与源岩同一层系的上三叠统近源气藏，也有与主力烃源岩相距较远的侏罗系远源气藏，浅层、中层及深层相互联系成为不可分割的整体。尽管有着明显的非均质性和突出的低孔渗性，但致密化前后储层都有利于油气运移和聚集的良好条件。目前在川西拗陷浅层、中层及深层陆相碎屑岩领域已发现多个气藏，其中最为著名的是新场气田的蓬莱镇组气藏、沙溪庙组气藏、须家河组二段气藏和四段气藏。川西拗陷中国石化矿权区内天然气三级地质储量达到 $8\,141.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中探明储量达到 $3\,361.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，天然气年产量达到 $29 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

川西拗陷油气地球物理勘探经历了四个发展阶段。

第一阶段：光点和模拟地震勘探阶段（1965～1979 年）。该阶段全面展开了四川盆地油气地震勘探工作，完成了四川盆地川西、川北及川中地区的大剖面施工，发现了数十个局部构造。同时投入四个地震队，采用二维多次覆盖地震勘探技术，完成安县—晓坝、倒流河、玉泉—绵竹—什邡等地区局部构造的普查，并于 1973 年在川西北发现了中坝气田。

第二阶段：数字地震勘探阶段（1979～1983 年）。该阶段采用数字地震仪，在川东北通南巴地区、川北阆中地区、川西龙门山前缘和孝泉—新场—合兴场地区及川中地区开展了多次覆盖二维地震普、详查工作，在川北石龙场的川 30 井钻获侏罗系自流井组大安寨段高产油气流（油 160 万 m^3 、气 80 万 m^3 ），在川西的川 37 井发现 10 多个含气层。

第三阶段：三维地震勘探阶段（1984～2004 年）。1984 年，首次在川东北达县—宣汉地区的双石庙构造上实施了 26.50 km^2 的详细勘探，随后三维地震勘探技术在四川盆地油气勘探中得到广泛推广，先后在合兴场、石泉场、弥陀场、石龙场构造上进行了小规模的应用，并取得了良好的勘探效果。为此，1995 年正式启动了以浅中层为主要勘探目标的超多道大面积三维地震勘探工作，通过三维地震资料的解释研究，发现了 1 000 亿级储量

的新场大气田,并使之得到有效开发,同时取得了川西深层须家河组勘探的重大突破(X851井,150万 m^3 无阻流量)。此后,针对浅中层天然气藏勘探的三维地震工作在川西全面展开,先后发现了洛带、新都、马井、中江、合兴场等一批中小型气田,使川西地区的天然气勘探开发实现了跨越式发展。

第四阶段:多波多分量勘探阶段(2004年至今)。川西深层致密砂岩气藏勘探难度极大,裂缝预测和含气性识别是世界公认的难题。为高效勘探开发深层致密砂岩气藏,2004年在川西新场气田开展了当时全球规模最大的三维三分量地震勘探,利用全球最先进的数字三分量检波器采集了156 km^2 的三维转换波资料,通过纵横波资料的联合研究,实现了致密砂岩气藏的储层预测、裂缝检测和含气性识别,探井成功率从15%提高到89%,高产井命中率从9.1%提高到67%,并首次在深层致密砂岩领域提交了规模地质储量(1211.20亿 m^3)。地球物理测井技术在2000年后也逐步从以常规测井系列为主发展为常规、特殊兼备的成像测井系列,特别是成像测井、偶极横波测井、核磁共振测井及元素俘获测井等得到了广泛的应用。

本书是在“九五”至“十一五”国家重点科技攻关成果基础上,经系统总结、提炼而成的。地域上以川西拗陷中段为主,沉积领域主要为川西拗陷陆相,勘探层位主要有上侏罗统蓬莱镇组气藏、中侏罗统沙溪庙组气藏、上三叠统须家河组气藏。

参照石油天然气行业标准SY/T 6168—2009《气藏分类》,低渗透气藏有效渗透率介于0.1~10mD、孔隙度介于10%~15%;致密气藏有效渗透率不大于0.1mD、孔隙度不大于10%。以此标准衡量,川西拗陷浅层气藏为低渗透气藏,中深层气藏均为致密气藏—超致密气藏。在川西拗陷天然气藏整体低渗透—致密的大背景下开展天然气的勘探开发难度极大,特别是深层致密—超致密领域天然气的勘探开发堪称世界性难题。然而立足“科技兴气”方针,在勘探开发技术进步,特别是地震勘探技术进步的推动下,用了不到15年的时间,我们在川西拗陷中段就逐一实现了浅层蓬莱镇组低渗透气藏规模勘探开发、中深层沙溪庙组致密气藏规模勘探开发及深层超致密裂缝性气藏勘探的重大突破,取得了一系列令人瞩目的科研成果,极大地丰富了油气地球物理勘探理论和方法技术体系。川西浅中层气藏的勘探开发是经济高效勘探低渗透—致密气藏的典范,方法技术配套讲究快速、实用、低成本。而深层致密—超致密砂岩气藏的勘探方法技术的研究和配套更加强调先进、准确、有效。其中最为突出的就是三维三分量(3D3C)转换波地震勘探方法技术的研究应用,使深层致密砂岩气藏的地球物理勘探从单一纵波发展到了多波多分量,储层预测的属性从纵波属性发展到了全波属性,这一方法技术无论是在完整性、先进性,还是在工业化应用规模和油气勘探效果方面都处于业内领先地位,已成为系统性、国际性、标志性的成功范例。

编写这部《川西致密砂岩气藏预测技术》专著的目的,不仅是要全面展示中国石化在四川盆地川西拗陷致密砂岩气藏勘探技术攻关过程中所取得的方法技术成果和油气勘探成果,更重要的是向广大油气勘探工作者、地震勘探方法技术研究的学者以及院校学子系统地介绍致密砂岩气藏的地球物理勘探思路、方法技术及发展方向。通过不同类型砂岩气藏勘探思路的构建、方法技术的配套及勘探效果的分析,为广大地球物理勘探工作者提供一部实用的参考书,使他们既可以全面了解低渗透—致密气藏的勘探技术现状,又能够增长

理论知识、积累勘探经验，对开阔研究人员思路、拓宽视野十分有利。本书也可作为含油气盆地地球物理勘探工作的参考，有助于在实际勘探或研究工作中少走弯路，也有利于地球物理方法技术研究人员确立正确的研究方向和攻关目标，推进我国低渗透-致密气藏地球物理勘探整体技术水平的提高。

本专著是中国石化西南油气分公司、西南石油局地震及测井专业“九五”至“十一五”科研成果的结晶。各章执笔人是：前言、第一章由杨克明和唐建明执笔，第二章由唐建明执笔，第三章由甘其刚执笔，第四章、第五章由杨克明和甘其刚执笔，第六章由甘其刚和杨克明执笔，第七章由唐建明和甘其刚执笔，第八章由唐建明和杨克明执笔，第九章由张筠和葛祥执笔。

杨克明负责全书统稿和审定。

叶军、张虹教授级高工参加了编写提纲的讨论，并提出了有益的修改意见。刘光鼎院士为本书拨冗作序，并肯定了本书的出版将使我国陆相低渗透-致密领域油气地球物理勘探方法技术体系进一步丰富和完善，对陆相低渗透-致密天然气藏的勘探开发具有理论和实践的指导意义。在此一并表示感谢。

作 者

2012年3月

目 录

序

前言

第一章 川西地区地震地质条件	1
第一节 探区地理条件	1
一、探区位置	1
二、自然地理条件	1
三、人文地理条件	2
第二节 表层地震地质条件	3
一、表层岩性	3
二、表层速度结构	5
三、对地震勘探的主要影响	6
第三节 深部地震地质条件	7
一、地层及构造	7
二、主要反射波组属性及特征	9
第四节 地震资料特点	11
一、干扰波特征	11
二、有效波特征	12
三、品质分布特征	13
第五节 地震勘探难点及挑战	14
一、地表、地下“双复杂”条件下地震资料采集难题	14
二、深层高分辨率地震勘探难题	15
三、致密砂岩储层和裂缝预测难题	15
四、致密砂岩流体性质判别问题	15
第二章 川西地区地震勘探野外采集技术	17
第一节 地震资料采集技术设计	17
一、基础资料收集分析	17
二、采集参数论证	17
三、观测系统设计及属性分析	19
四、观测系统的正演模拟验证	19
五、川西地区三维地震勘探设计应遵循的基本原则	22

第二节 川西地震勘探激发接收技术	23
一、地震波激发技术	23
二、地震波接收技术	24
第三节 表层调查技术	24
一、小折射法	24
二、微测井法	25
三、层析反演法	27
第四节 质量控制方法	29
一、过程质量控制	29
二、监控处理分析方法	30
三、采集资料评价分析	31
第五节 川西不同层系的三维地震勘探采集技术	31
一、浅中层侏罗系气藏三维地震采集技术	31
二、深层上三叠统气藏三维地震勘探采集技术	34
第三章 川西地区地震勘探目标处理技术	37
第一节 川西地区地震资料处理关键技术	37
一、表层静校正处理技术	37
二、叠前自动去噪技术	39
三、叠前地表一致性振幅恢复与补偿技术	43
四、地表一致性提高分辨率处理技术	45
五、分频地表一致性三维剩余静校正处理技术	49
六、高精度叠加成像技术	50
七、叠前时间偏移技术	53
第二节 浅中层侏罗系三维地震资料处理技术	54
一、川西浅中层地震资料特点	54
二、以突出含气地震响应异常为特点的三维资料处理技术	54
三、基本处理流程	63
第三节 深层上三叠统三维地震资料处理技术	65
一、川西深层地震资料处理技术思路	65
二、深层地震资料叠前预处理技术	66
三、基本处理流程	78
第四章 浅层侏罗系含气砂体横向预测技术	80
第一节 储层识别标志	80
一、储层基本特征	80
二、储层的可识别性	81
三、储层（含气砂体）精细标定	83
四、含气砂体的地震响应模式	83

五、地震正演模拟验证	85
六、储层含气性分析	87
第二节 含气砂体横向预测及空间展布刻画技术	89
一、地震多属性预测技术	89
二、含气砂体边缘检测技术	92
三、含气砂体空间展布刻画技术	93
第三节 地震相的沉积相转换	94
第五章 中深层致密气藏储层描述技术	96
第一节 致密储层地震响应模式	96
一、精细构造解释	96
二、岩石物性测定	98
三、储层精细标定	101
四、储层地震响应模式	103
第二节 致密气藏储渗体差异性识别技术	106
第三节 致密气藏储层描述技术	108
一、储层几何形态描述技术	108
二、储层参数反演技术	110
三、油气综合识别技术	114
四、储层含气性空间展布刻画	132
第六章 深层上三叠统储层预测关键技术	134
第一节 上三叠统储层预测技术	134
一、储层地震响应特征	134
二、地震有利相带分析	140
三、地震属性储层预测技术	142
四、地震反演储层预测技术	149
第二节 深层超致密气藏裂缝预测技术	154
一、裂缝地震响应岩石物理模拟	154
二、基于地史成因的裂缝预测技术	159
三、地震属性裂缝预测技术	165
四、P波方位各向异性裂缝检测技术	171
五、裂缝网络建模与表征	177
第三节 储层含气性识别技术	181
一、基于 AVO 分析及叠前同时反演的含气性识别	182
二、P波 Proni 吸收滤波技术	183
三、P波衰减与速度发散 (AVD) 技术	186
四、P波动态能谱 (DR) 技术	188
五、P波多尺度频率与吸收技术	190

六、基于频变特性的流体识别技术	192
第四节 高渗区预测技术	198
一、高渗区地震响应特征	198
二、储层地震响应模型正演	200
三、高渗区预测技术	202
第五节 致密裂缝性气藏储层综合评价方法	204
一、储层分区评价	205
二、裂缝综合预测评价	207
三、天然气高产富集区综合评价	209
第七章 致密非均质裂缝性气藏储层预测新技术	211
第一节 3D3C 地震资料采集技术	212
一、3D3C 采集参数论证及观测系统设计	212
二、3D3C 采集工作方法	224
三、转换波波场调查	225
四、多波表层调查	226
五、多波质量控制及评价	227
第二节 转换波 3D3C 地震资料处理技术	227
一、转换波 3D3C 资料极化滤波去噪技术	228
二、转换波 3D3C 资料静校正	230
三、转换波 3D3C 资料速度分析及动校正	236
四、转换波 3D3C 地震资料叠前时间偏移	240
五、转换波 3D3C 资料各向异性和各向同性处理	243
六、转换波 3D3C 资料处理流程	253
第三节 转换波 3D3C 资料解释技术	255
一、P 波和 C 波标定	255
二、纵横波匹配	258
三、全波属性分析	262
四、多波属性敏感性分析	264
五、全波属性的融合	265
六、解释工作流程	267
第四节 多波储层预测技术	268
一、岩石物性分析	268
二、有利沉积相带预测	270
三、多波储层预测	273
第五节 转换波裂缝检测技术	281
一、转换波方位各向异性裂缝预测	281
二、横波分裂裂缝检测技术	285

第六节 多波储层含气性识别技术	293
一、基于纵横波联合的含气性识别	293
二、基于横波分裂信息的含气性识别	297
第八章 川西致密砂岩气藏勘探方法技术配套及应用	302
第一节 浅层近常规气藏勘探技术	302
第二节 中深层致密非均质气藏勘探技术	303
第三节 深层超致密裂缝性气藏勘探技术	304
第四节 川西致密砂岩气藏地震勘探技术应用	306
一、浅层近常规气藏	306
二、中深层致密砂岩气藏应用效果	310
三、深层裂缝性气藏应用效果	311
第九章 川西致密砂岩气藏测井预测技术	316
第一节 测井技术系列	316
一、测井项目简介	316
二、测井技术系列的优选	318
第二节 浅层侏罗系 (Jp) 预测关键测井技术	319
一、储层识别技术	319
二、储层参数计算	324
三、含气性判别技术	327
四、产能预测技术	332
第三节 中深层侏罗系 (J _{sn} —J _s) 预测关键测井技术	334
一、储层识别技术	334
二、储层参数计算	340
三、含气性判别技术	342
四、测井相聚类分析	346
五、产能预测	350
第四节 深层上三叠统 (T _{3x}) 预测关键测井技术	352
一、储层识别技术	352
二、储层参数计算	365
三、裂缝识别及有效性评价技术	375
四、含气性判别技术	385
参考文献	402

第一章 川西地区地震地质条件

第一节 探区地理条件

一、探区位置

川西拗陷中段是中国石化重要的天然气勘探区块，位于四川盆地西北部，行政区隶属于四川省成都市、德阳市、绵阳市，共涉及 29 个县市（图 1.1），面积约 $1.2\times 10^4\text{km}^2$ 。

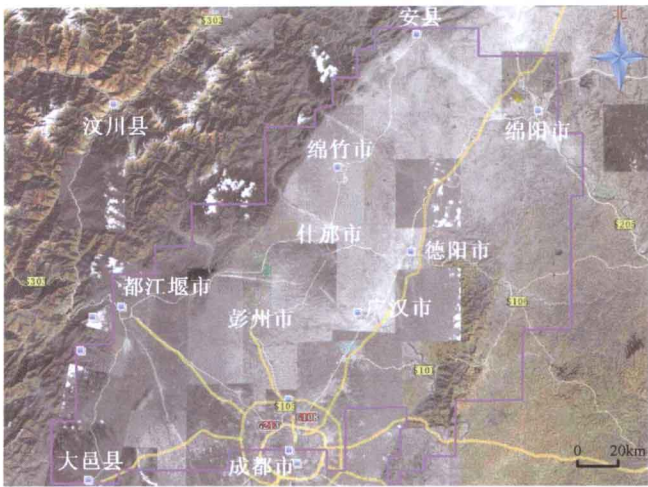


图 1.1 探区位置图

探区所处构造位置跨越了龙门山逆冲推覆构造带、前陆褶皱、前陆拗陷、龙泉山断褶带（图 1.2）。龙门山前缘褶皱带地表及地下构造均十分复杂，是典型的“双复杂”地区，对此区的勘探方法至今尚未有突破性进展。

二、自然地理条件

1. 地形

探区范围大，地形复杂。按地表高程大致可分为三类：第一类为龙门山前缘大山区，海拔一般为 800~2 800m，最高为 3 600 余米；第二类为丘陵区、山区，主要分布在绵阳市、德阳市罗江县和中江县至成都市龙泉驿区一带，海拔一般为 600~700m；第三类为平原区，主要分布在成都平原范围内，平均海拔为 450m 左右。

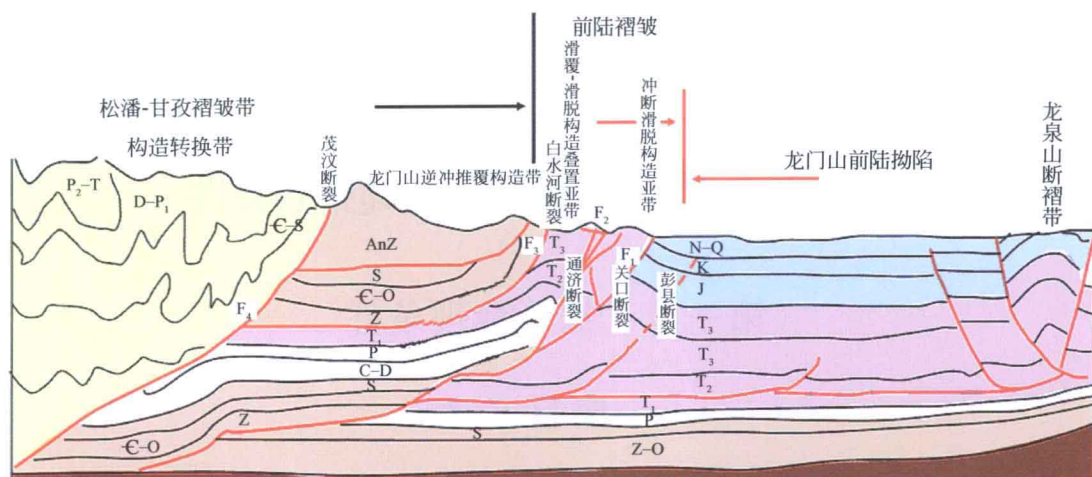


图 1.2 探区构造样式及单元区划图

2. 水源

区内丘陵区及龙门山大山区水源缺乏，平原区水源状况较好。主要河流有岷江、毗河、湔江、鸭子河、石亭江、绵远河、凯江、安昌河、沱江、涪江等。潜水面埋深变化较大，平原区潜水面一般为 2~6m，丘陵区一般为 9~11m，龙门山大山区潜水面随地形变化较大，没有稳定的潜水面深度。

3. 植被

区内植被发育，平原区 11 月至翌年 4 月主要种植小麦、油菜，4 月底至 5 月初为小麦、油菜收割季节，5~9 月为水稻种植期，郫县、温江一带以苗圃为主；东南部丘陵区农作物主要为玉米、水稻等；西北部彭州市、绵竹市境内的部分地区川芎、黄连等中药材基地较多。区内封山育林多年，北部山区灌木丛生，西北部为国家地质公园。由于山区植被茂密、平原区经济作物较多，施工及油地关系协调难度较大。

4. 人口、气候

川西地区城镇人口主要集中在城市和场镇，农村人口主要以散居的方式居住在田间、路旁。总体而言平原区人口稠密，山区人口较少，大山区人口稀少，个别地区由于自然条件恶劣，为无人区。区内气候以亚热带湿润气候为主，四季分明，气温适宜，潮湿，年平均气温为 17℃ 左右，最高气温可达 39℃，冬春季多雾，夏秋季多雷、暴雨，为典型的山前阵雨天气，9~10 月属梅雨季节，12 月至次年 2 月早晚大雾天气较多，冬季山区、大山区下雪，大山区积雪时间为 1~3 月，历时较长。

三、人文地理条件

1. 交通

区内除北部龙门山前缘大山区交通不便外，其余地段交通情况良好。交通情况可大致分为三类：第一类为宝成铁路、成渝铁路、成南高速、成绵高速、成彭高速等，构成区内主要交通框架；第二类为 108 国道、213 国道、212 国道、318 国道、317 国道、德阳—中江、中

江—三台、中江—罗江—绵竹—安县、罗江—绵竹等公路，交通便利；第三类为新都—泰兴—石板滩、中江—回龙—西平—上新、西平—跃进、德阳—东泰、德阳—双东等乡镇公路。便利的交通虽然为地震勘探施工提供了方便，但同时也成为地震勘探重要的干扰源。

2. 城镇

川西地区是四川省经济发达区，县级以上城市众多，如成都市、都江堰市、彭州市、广汉市、德阳市、什邡市、绵竹市、绵阳市、金堂县等，涉及乡镇数百个。城市化的推进使地震勘探障碍变得越来越多。

3. 工业

川西地区大型工业园区密集，主要涉及原材料生产、机械制造业、炼油及化工业、电子信息业等，主要分布于城市附近及江河沿岸。这些是地震勘探的主要障碍和干扰源。

4. 自然与文化遗产

区内有多处自然与文化遗产，如都江堰、青城山、三星堆遗址、安县国家地质公园等。地震勘探工作必须避开这些地区。

第二节 表层地震地质条件

一、表层岩性

川西地区表层地震地质条件复杂，横向变化较大。自西向东出露的地层由老到新主要有二叠系海相碳酸盐岩，下中三叠统海相碳酸盐岩，上三叠统砂、泥岩，侏罗系砂、泥岩，白垩系砂、泥岩，第四系流沙及卵石层等（图 1.3）。

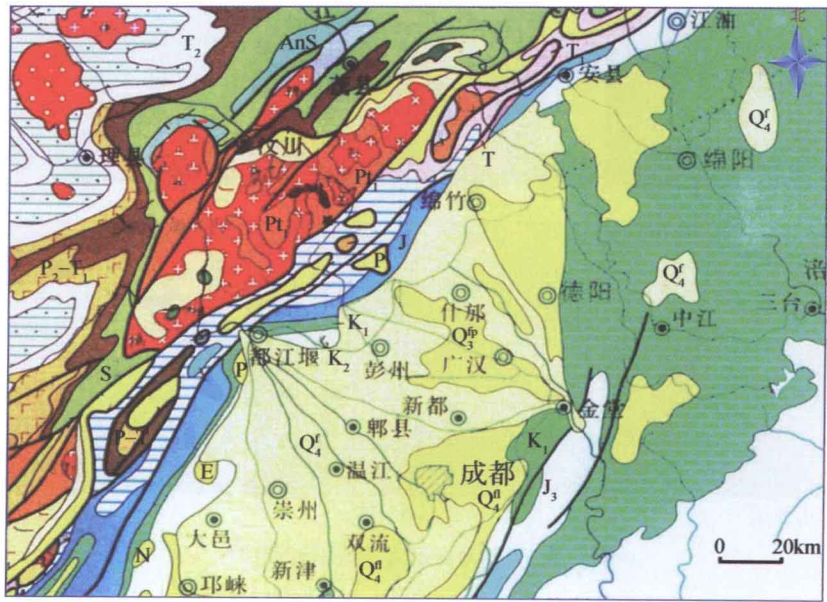


图 1.3 川西地区地质图

表层地震地质条件可分为七类：第一类为海相碳酸盐岩裸露区，主要分布在龙门山区，个别地段以“飞来峰”的形式出现，施工条件差、激发接收条件极差、地震记录散射干扰严重、深部地震反射能量弱、低频成分缺乏、信噪比低。第二类为流沙、卵石覆盖区，主要分布在成都平原及主要水系的河滩地带。这类地区激发接收条件一般，炮井打井施工困难，难以实施 12m 以上的深井钻井，地震记录浅中层能量虽能达到勘探要求，但深层特别是海相地层的反射能量明显偏弱，记录中直达波、折射波、面波、声波等规则干扰严重，信噪比中等偏低，高频能量弱、频带较窄，垂向分辨率低。第三类为砂、泥岩出露区，主要分布在龙门山前缘及东部和南部地区，以出露的侏罗系地层为主，激发接收条件好、地震记录信噪比高、各种干扰相对较弱、频带较宽。第四类为疏松砂岩出露区，主要分布在清泉、中江附近，以白垩系砂岩为主，激发条件差，激发能量弱，地震记录面波强，有效反射能量弱，信噪比低、频带窄、主频偏低。第五类为大卵石分布区，主要分布在龙门山前主要水系的出山口，为冲积扇或洪积扇的堆积物，激发接收条件极差，根本不可能实施炮井钻井作业，检波器无处可埋，必须采用特殊工艺才能完成地震施工，如挖掘机挖大坑，并进行多坑组合，挖坑贴泥饼埋置检波器等措施，地震记录面波、声波、折射波严重，信噪比、分辨率均很低。第六类为砾岩出露区，主要有侏罗系莲花口砾岩和白垩系剑门关砾岩，分别分布在安县—江油一带和罗江白马关一带，地震地质条件差，施工困难，必须采用空气钻方能成井，记录信噪比低、能量弱。第七类为黄泥夹卵石区，主要分布在绵阳—梓潼一带，地震地质条件较差，成井困难，地震记录品质中等。川西地区出露的不同典型岩性如图 1.4 所示。



图 1.4 川西地区出露的典型岩性照片