

第八篇

科学研究

30~40年代,国民政府的中央地质调查所、资源委员会矿产测勘处、四川省地质调查所、两广地质调查所、资源委员会四川油矿探勘处等单位曾分别进行油气地质调查研究工作,取得一些油气勘探基础成果。

1953年4月,四川石油工业系统开始组建油气科研专业机构。1955年,地质部系统亦建立了石油科研机构。1990年,两个系统有油气专业科学研究院、所、室22个,直接从事科研的技术人员3345名,其中,有高级职称的420人、中级职称的770人。科研范围覆盖了油气地质、地球物理、钻

井、试采、开发、油气加工、化工、油田化学、防腐、工程施工、输气、机械修造等油气工业的主要领域,以应用技术研究为主,也开展一定数量的基础研究。1980年以来,仅两个系统的5个局直属研究院所每年直接用于科研项目的费用达600~700万元。

1953~1990年,共取得科研成果1697项。1978年后获奖的(包括工程和新产品等)有406项(次),其中获国家发明奖10项(次)、科技成果奖64项(次);获四川省科技成果奖161项(次);获国家部级奖171项(次)。另有44项技术获得国家专利。

第一章 科研单位与科研管理

第一节 科研单位

四川石油管理局的科研单位分两级设置，西南石油地质局的科研单位为一级设置。局直属科研单位的科研课题和科研经费由局下达及直拨；局属二级单位的科研机构、经费均由各二级单位自行决定，部分由局下达的科研课题则由其支付科研经费。

一、局直属科研单位

(一)四川石油管理局地质勘探开发研究院

该院设在成都市，属企业科研单位。主要任务是围绕全局生产实际，研究解决四川油气勘探开发中的地质技术问题，为寻找油气资源，增加地质储量，提高钻探成功率，提高油气田最终采收率而开展科研工作；参与编制全

面勘探开发科研规划、中长期规划和年度部署，编制较大气田的开发方案和调整方案；负责全局勘探开发资料数据的汇编和出版；组织地质科研成果的评审。

地质勘探开发研究院的前身是1953年西南石油探勘处地质队设立的试验室筹备组。1954年称成都试验室，1955年称中心试验室，1958年正式成为局属二级单位——成都试验研究所，1962年改为石油科学研究所，1965年四川“开气找油会战”时改为地质指挥所，1970年曾与中国科学院和地质部抽调的130多人组成由四川石油管理局代管的西南石油地质综合研究大队，1973年改为四川省石油管理局地质综合研究大队，1977年12月更名地质勘探开发研究院。1990年，

全院设有9个专业研究室,开展地质、开发、地震、测井、数理地质、计算机、科技信息、试验分析等学科研究;有职工791人,其中技术人员388人(高级工程师127人、工程师109人)的配套研究队伍。拥有主要仪器设备129台(套),固定资产原值2720万;累计完成科研课题977个,其中获国家级奖8项次,部级奖23项次,省级奖24项次。

(二)四川石油管理局天然气研究所

该所是为石油天然气工业生产服务的化工应用科研单位,所址在泸州市。1958~1965年,主要开展以天然气转化合成油、天然气液化提氮、炉法炭黑试制、天然气组分普查和土壤腐蚀等的研究。1965年,增加催化剂、添加剂和润滑脂的研究。1975年后,转向天然气分析与测试、天然气分离与净化、炼油和天然气净化过程中的一些催化剂、油田化学药剂的研究以及环境监测与质量评价、污染防治等方面。

天然气研究所建于1958年3月,原名石油部四川天然气研究室。1960年1月更名为石油部石油科学院天然气研究所,1965年隶属四川石油管理局领导,1975年更名为四川石油管理局天然气研究所。1985年开始科研体制改革,由单纯科研型向科研经营型转变。1990年,全所设8个专业研究室,并代管四川石油管理局环境监测

科研中心站;拥有科研仪器、仪表412台(件),固定资产原值2580万元;有专业技术干部318人(高级职称的85人、中级职称的158人)。

1958~1990年,累计开设科研课题321项,取得284项成果。其中已用于生产的201项,占成果总数的70%;有192项科研成果推广应用于全国17个省(市)353个单位,有40个科研试验产品投入批量生产,累计产量1057吨、产值1915万元;共获国家发明奖5项,国家科学大会奖4项、省部级奖46项和专利2项。在天然气分析测试方法标准和标准气配制、化学药剂的分离、提纯和剖析配套技术、天然气的净化、硫回收和脱水技术、轻烃回收技术、气体分离、净化、环境监测与评价、气田污水处理、油气田化学药剂的批量生产能力8个方面形成配套开发能力。

(三)四川石油管理局钻采工艺研究所

该所是从事油气勘探开发钻采工艺技术与装置工具研究的单位,所址在资中县城郊。1965年6月,在原四川石油管理局石油研究所工程室的基础上发展为工程指挥所,为局属二级单位。1971年9月改名为工程研究队。1974年2月改称矿机研究大队,1977年12月更名为钻采工艺研究所。1990年,有高级工程师29人、工程师122人;设钻井地层测试站、泥浆中心试验

室、科技情报室等7个专业室和试制加工科研产品的试制车间；拥有18类410台(套)科研试验设备及仪器，固定资产原值1800万元；累计开设科研课题368项，取得成果227项，其中有131项获局级以上奖励、4项获国家发明专利、4项获实用新型专利。该所1980年前只能完成局内科研任务，1980年后开始承担部级科研课题，1982年起还承担国家科技攻关项目，开展工艺技术与装备工具研究相结合、成龙配套与标准化、系列化相结合的科学研究，形成经受生产考验的8套工艺技术(高压喷射钻井技术、平衡钻井与井控技术、陡构造防斜打直井与定量控制井斜技术、深井破碎地层取心技术、丛式井和水平井与定向井钻井技术、深井泥浆和泥浆处理剂与堵漏工艺技术、中途测试工艺技术、气举机抽和电潜泵排水采气技术)和10套装备工具(液压防喷装置与控制系统、节流压井装置与控制系统、泥浆固控净化装置、三缸单作用钻井泵及高压循环管汇、不压井起下钻作业装置、井喷失控抢险专用装置、高压防硫采气井口装置、排水采气装置、钻井井下工具、钻采配套仪器仪表)，并已逐步转化和形成生产能力与系列配套能力。

(四)西南石油地质局地质综合研究大队

该队是专门从事石油、天然气及

其它沉积矿产、区域勘查、开发研究的科研事业单位，1978年获“全国地质勘查功勋单位”称号。队址在成都市。

综合研究大队的前身是1955~1962年的西南地质局519队、四川石油普查大队、第四普查勘探大队综合研究队。1979年5月改称四川石油普查勘探指挥部地质综合研究大队，同年10月改称第一石油普查勘探指挥部地质综合研究大队，1983年更名为西南石油地质局地质综合研究大队。1990年，综合研究大队有技术人员183人(高级工程师53人，工程师66人)；拥有主要仪器180台(件)，固定资产原值868万元；在致密砂岩成矿、圈闭与成藏条件、碳酸盐岩油气勘探与开发、基础地质与区域地质勘查研究等方面拥有一批水平较高的技术力量，建立了相应的实验分析、计算机处理研究、科技信息、绘制出版印刷等系统；累计完成科研项目209项，其中获国家级奖5项、部级奖43项、省级奖4项。

(五)四川石油管理局天然气工业技术经济研究所

1989年筹建，1990年正式建立，是以研究国内外天然气勘探开发技术经济发展动向及有关经济政策、经济理论、经济法规，参与四川天然气勘探开发、油气田建设技术经济评价为主要任务的局属科研单位。所址在成都市双流县华阳镇。建所当年，开展了5

个研究课题和编辑出版《四川石油经济》(双月刊)。

二、局属二级单位科研所、室

1990年,四川石油天然气工业系

统共有二级单位科研所、室17个,职工1798人(表8-1);累计取得4000多项科研和技术革新成果。矿区科研所主要从事本矿区的地质勘探开发综合研究,其它单位的科研所(室)则从事某一领域的专项研究。

四川石油天然气工业系统二级单位科研机构情况简表

表8-1

科研机构名称	建立年份	主要科研范围	1990年职工人数
川南矿区勘探开发研究所	1972	矿区地质勘探开发综合研究	200
川中矿区勘探开发研究所	1971	矿区地质勘探开发综合研究	212
川西北矿区勘探开发研究所	1973	矿区地质勘探开发综合研究	108
川西南矿区勘探开发研究所	1974	矿区地质勘探开发综合研究	148
川东钻探公司研究所	1969	矿区地质勘探研究	51
川东开发公司研究所	1984	矿区开发研究	133
井下作业处井下工艺研究所	1965	井下作业工艺研究	271
测井公司测井研究所	1965	油气井测井工艺研究	73
成都总机械厂钻头研究所	1969	油气钻井使用的钻头研究	72
设计院综合研究室	1965	油气田防腐为主的研究	61
地质调查处研究所	1959	地震勘探研究	121
南充炼油厂研究所	1960	新产品、新工艺研究	33
油建公司施工技术研究所	1965	油气田地面建设施工技术研究	95
输气处输气工艺研究所	1972	天然气输送工艺研究	67
威远天然气化工厂设计研究室	1977	天然气提氮工艺技术研究	24
重庆仪器厂研究设计室	1978	钻井、测井仪表研究	42
南充石油机械厂研究所	1988	各类工程车辆改装技术研究	87
合计			1798

第二节 科研管理

一、计划管理

1985年10月,制订《四川石油管

理局科学技术研究计划管理暂行规定》,明确科研计划项目分两级管理(即局级和厂、矿、处级)。课题可以由个人或研究院、所、室提出,或由上级

下达。无论哪种形式提出的项目都要提出开题报告，由本单位学术委员会组织论证，重大项目由局组织论证。科研经费原则上是“谁给任务、谁给钱”。

1986年2月颁发的《四川石油管理局内部科技协作合同实施细则》规定，局横向委托下达和局二级单位之间互相委托的科研项目，一律实行合同制，按项目签订合同。

1987年，又颁行《四川石油管理局关于科研单位试行科研技术经济责任制的实施细则》，规定科研单位实行责任承包。纵向科研任务由局下达。对局直属科研单位，按局核定的年度固定费用总额和科研项目直接费用总额包干，超支不补，节余按规定留用。接受局内外横向委托的任务，其纯收入按5:2:3的比例，由院所分别建立科研发展基金、福利基金、奖励基金，并规定以科研计划完成率、科研课题成功率、科研成果推广率等6项指标作为承包考核的标准。

二、成果管理

1985年7月，制订《四川石油管理局科学技术研究成果管理暂行规定》，明确科技成果鉴定分为国家级鉴定、部级鉴定、局级鉴定、基层鉴定4级。鉴定合格，颁发鉴定证书。经下达任务的专业技术部门验收并出具证明或在

生产实践中证明技术上成熟、经济上合理的科技成果，经专业技术管理机构（计量、测试、标准等）检查合格并出具证明的，也可办理视同鉴定书。同年8月，颁发《四川石油管理局科技进步奖励办法实施细则》，规定经鉴定的成果，可申请奖励。局科技进步奖由局科学技术委员会审查、批准，奖励分为4个等级，由局给完成单位发奖状，给主要完成者颁发奖励证书及奖金。

1986年6月，《四川石油管理局技术有偿转让暂行规定的实施办法》规定，可以有偿转让的科技成果包括新工艺、新方法、新配方、新技术、新产品及其它实用性先进技术。凡使用公有物质条件取得的技术成果转让权属单位所有；不占用公有时间、器材、设备所取得的成果，转让权属发明者本人。转让费按科技成果投资1.5~3倍一次收取，或按1~3年内采用成果后新增销售额的1%~5%、新增利润的5%~15%、采用成果后一定的产品数量提成。成果单位可以从转让费或技术服务费的年净收入中提取10%用于职工奖励。

1990年3月颁行的《四川石油管理局科学技术成果鉴定实施细则》进一步明确规定，科技成果的鉴定权属局及其以上的科技管理部门，凡经局以上鉴定的科技成果，才能申报局或局级以上的奖励。

第二章 主要科研成果

第一节 地质勘探开发

一、构造对油气控制的研究

(一) 古构造

1970~1972年,由石油部、地质部、中国科学院组成的西南石油地质综合研究大队曾从整个西南地区着手(重点在四川盆地),研究加里东古构造对震旦系含油气的早期运移聚集作用。认为在乐山—龙女寺古隆起及其周围是灯影组含油气最有利地区,威远震旦系气藏就位于古隆起的西南部。龙女寺构造已钻获工业天然气。

1965~1977年,四川石油管理局地调处、西南石油地质综合研究大队等单位共同完成泸州古隆起与油气富集的关系研究,证实泸州古隆起嘉陵江组顶圈闭面积达3000平方公里,隆

起幅度350米左右,控制了泸州二叠系、三叠系气区,对形成油气富集区有3个方面的影响:①造成有利于储集油气的岩性相带,为大面积含气提供了岩性基础。②对油气的早期运移到良好的捕获作用,超出了局部构造的控制。③由于顶部侵蚀幅度大,向外围减弱,因而产气层由顶部向外围依次增多。

(二) 地面局部构造

50年代,在川南、川西南、川东钻了一批三叠系、二叠系探井,在产层相同的条件下,有的构造发现了工业性气流,有的构造只有油气显示,有的构造没有油气显示。为此,四川石油管理局开展了构造与油气关系的研究。1959年,四川石油管理局成都试验研究所在《川南二叠系构造和含油气远

景的研究》中提出：①川南地下三叠系、二叠系构造与地面构造基本符合，因受断层影响，下边构造高点多向缓翼偏移。②短轴背斜、低背斜，褶皱适中，构造较完整，保存条件好，对油气储集及保存均有利。1960年，在总结油气勘探时进一步指出：油气藏严格受三级构造控制，构造圈闭的油气藏占90%。1962年，四川石油管理局石油科学研究所、地调处对川南、川东108个地面局部构造的含油气条件进行综合评价，评出最有希望获得油气的一级构造（如自流井、卧龙河等）18个、有利获得油气的二级构造（如打鼓场、铁山等）18个、有希望获油气的三级构造（如兴隆场、铁山坡等）35个、希望小的四级构造（如天宫堂、铜锣峡等）37个。根据构造排队研究成果和实际勘探表明，构造钻探成功率从33%提高到60%~70%。同年，第四普查勘探大队21分队系统整理了历年盆地内发现和研究过的构造，进行排队和含油气远景评价，并完成《四川盆地构造汇编》。

（三）潜伏构造

1977年，在川东发现石炭系气层后，开展了高陡背斜构造带与天然气聚集关系的研究。1986年，四川石油管理局地质勘探开发研究院、地调处通过地震剖面的层状模式反演方法验证地腹石炭、二叠系复杂的构造，发现大部分都解体为若干性质不同的断

块，从而提出川东地区带有普遍意义的构造模型，并将其构造剖面划分为5个部分。认为其中以上冲块和反冲块含气最有利，为正确确定高陡构造井位提供了理论和实践的依据。高陡背斜构造带的形成、演化及“解体”后，在构造带两端的低褶断圈闭及两翼潜伏顺冲褶断、反冲褶断圈闭含气条件最好；高褶断圈闭只要具备良好的圈闭及保存条件，也有获得工业气藏的可能，仍不失为勘探目标之一。

二、油气储层研究

四川盆地已发现的工业性油气层自震旦系至侏罗系共有23层，储集岩有碳酸盐岩和砂岩两大类，且以前者为主（23个工业油气层，碳酸盐岩层占17个）。但无论是碳酸盐岩或砂岩，其岩块基质孔隙的渗透率都很低，孔隙度也不高，裂缝对储集层渗透性的改善起着重要作用，因而都属于低孔隙度、低渗透率的裂缝性储集层类型。碳酸盐岩储集层比砂岩储集层更为复杂，储渗空间的类型多样，结构较复杂，非均质性强。

川中出油后，对陆相碎屑岩凉山油层的储层性质曾有过一场激烈的争论，争论的焦点是孔隙性还是裂缝性油层。先后有人提出孔隙砂岩储油、黑色页岩层间裂缝储油、各种裂缝储油等观点。1961年后才统一了川中凉

高山以及大安寨两个油层都是裂缝性的认识。

四川天然气气藏具有裂缝性的特点，古代先民在自流井气田的钻探开采实践中就认识到天然气或地下水主要产自裂缝，并用火缝、水缝、立缝、横缝、干缝等精辟的语言描述裂缝。1954年，西南石油地质处成立自流井研究队，通过大量的开采资料，确认自流井气田深埋地腹的自流井群、香溪群、雷口坡组、嘉陵江组的碎屑岩、碳酸盐岩的储层性质是裂缝性的。裂缝以构造营力造成者为主，沿褶皱弯曲强烈的构造顶部和轴线附近发育，沿断层发育。裂缝在横向上是相互连通的，在纵向上被可塑性地层（石膏、页岩）分隔成许多储集单元，把跨越不同岩性和地层的储集流体被裂缝所贯穿的层段称作储集单元层。在同一储集单元层中，流体产生部位（裂缝）各井可能上下不尽相同，但可以互相连通，生产中可相互干扰（通腔）；而不同储集单元层的井则不发生干扰。

1958年，四川石油管理局成都试验研究所完成的《四川盆地石油地质综合研究报告》再次确认三叠系碳酸盐岩储气层均是裂缝性的，对裂缝性油气层的特点和裂缝与气井、气藏的关系进行比较系统的阐述：①生产层均系致密、性脆的石灰岩、白云岩，不具孔隙性，而易产生裂缝，油气产量大的井，主要沿岩层褶皱弯曲剧烈地带

（如轴线、顶部、断层带）分布。②生产井产量大小不一，变化幅度极大，甚至在大产量井群中有干井。井间干扰显示极不规则，出现相距远的井间有干扰，相距近的井反而无干扰的现象。③钻至生产层部位时，钻具常有跳钻现象或严重井漏、井塌以及突然井喷。④岩心、岩块的孔隙率、渗透率和实际生产显示的渗透性能相差非常悬殊。

1975年后，四川石油管理局地质勘探开发研究院在研究四川油气的基本控制因素中提出，四川碳酸盐岩储集层大多属于裂缝—孔隙型储集层，特点之一是具有孔、洞、缝多种储集空间类型，而且孔、洞、缝不仅成因上和形态上有着明显的差别，对油气储集和渗滤的作用也截然不同；特点之二是岩石孔隙度低，即使有的储层如川西北的雷三段，其孔隙度虽高，但渗透率仍然很低；特点之三是致密层与孔隙层共同组成统一的储渗体，裂缝发育层段与孔隙层段重合在一起时，常形成高产油气层。根据不同地质因素将裂缝—孔隙型碳酸盐岩储集层分为3种类型：①受局限海潮坪及暴露滩影响控制的裂缝—孔隙型储集层，三叠系嘉陵江组、雷口坡组一些产层及川东石炭系气藏属于此类。②主要受褶皱期构造影响控制的裂缝—孔洞型储集层，二叠系阳三及阳二气藏多数属于此类。③受风化壳淋滤带影响控制的裂缝—孔隙型储集层，上震旦统

灯影组及部分石炭系气藏属此类型。影响碳酸盐岩储集层的地质因素，主要有沉积旋回与沉积相、暴露滩及溶解作用、白云岩和白云岩化作用、构造运动和裂缝。

1977年，地质勘探开发研究院与成都地质学院等单位完成《碳酸盐岩储层的研究》，采用岩矿鉴定、压汞法、孔隙铸体、电子扫描显微镜等新技术，以研究储层岩心为基础，结合测井、试井资料，运用成分分类、结构分类的综合方法，对碳酸盐岩储层作了微相研究和小层分层对比，明确了粒间孔鲕云岩、云孔藻云岩、负鲕灰岩为较好的储集岩。裂缝是油气的主要渗滤通道，高产靠裂缝；孔隙是主要储集空间，稳产靠孔、洞。裂缝—孔隙型储层是稳产高产的基础。

1980~1985年，油气资源评价研究中进一步将四川碳酸盐岩低孔、低渗为主的储气层分为裂缝、裂缝—孔隙、孔隙3种类型，认为好的储集层主要受沉积相带控制。国外将孔隙度3%~8%视为较差的储集层，而在四川孔隙度>3%就被列为一级储集层，1%~3%的视为二级储集层。

1986年，西南石油地质局与南京大学协作完成的国家一级科研课题《四川盆地超低孔渗碎屑岩储层天然气富集规律及勘探领域的研究》，为川西拗陷地区的天然气的勘查，提供了地质评价依据。

1989年，四川石油管理局组织编写出版的《中国石油地质志·四川油气区》系统总结了多年碳酸盐岩储层的科研成果，归纳了四川碳酸盐岩储层的5个基本特征：①主要储集层是质纯、性脆的石灰岩；②储集岩的孔隙度和渗透率都较低；③储渗孔洞的类型多样；④空隙结构比较复杂；⑤储集层多为几种空隙组成的复合类型。并根据成因将碳酸盐岩储集层分为6种类型：①暴露浅滩相石灰岩、白云岩储集层，广泛分布在下三叠统嘉陵江组和飞仙关组中，在下古生界和下二叠统栖霞组也有存在，储渗类型主要属于裂缝—孔隙型，有少部分属于孔隙型。②潮坪藻白云岩储集层，分布在上震旦统、中石炭统和中三叠统雷口坡组，常为裂缝—洞穴—孔隙复合的储渗类型。③生物礁型白云岩储集层，是四川盆地最好的一类储集层，厚度大，孔隙度高，渗透率也较高。已在川东和鄂西的长兴组钻获4个生物礁气藏，在8000平方公里范围内发现几十个可能与礁有关的地震异常。④湖泊相介壳灰岩储集层，是以裂缝为主要渗滤通道，以溶孔、小溶洞为主要储集空间的裂缝—孔洞型储集层，油气的富集受岩性的控制，与局部构造的关系不大。⑤膏溶塌陷角砾状白云岩储集层，见于川东中石炭统，形成工业油气储集层不多，属于裂缝—孔洞型储集层。⑥裂缝性石灰岩储集层，储集条件

不算好,但厚度大、分布面广,可分为两个亚类,一是裂缝型泥质灰岩储集层,有效空隙只有裂缝,在川南部分气田中的下三叠统飞仙关组有此类储层;另一是裂缝—洞穴型生物灰岩储集层,四川下二叠统生物灰岩储集层属于这种类型。

三、裂缝研究

四川石油系统对于油气储层的裂缝问题开展了多方面的研究。1954年,自流井研究队通过野外及大量的火井、盐井调查访问,进行干井电测和整理“岩口簿”(古老的地质钻井日志),弄清裂缝成因是以构造营力造成者为主,沿褶皱弯曲强烈的构造顶部和轴线附近发育。

1957年,四川石油勘探局地质研究队完成圣灯山、黄瓜山、石油沟构造的裂缝研究,提出构造轴部除纵裂缝(节理)外,还发育两组斜交节理。

1960~1962年,四川石油管理局科研所裂缝专题研究队认为,嘉陵江组、下二叠统的裂缝是多种多样的,裂缝发育程度主要受两种因素制约:一是岩石性质,脆性岩石裂缝发育;二是构造褶皱强度,构造轴部、断层带附近、褶皱转折部位裂缝发育。

1964年前,有关裂缝在平面上的分布状况的研究,都得出与上述相近的结论。因而在1965年四川开气找油会战中,概括成“一占三沿”(即占高点,沿长轴,沿断裂,沿扭曲)的布井原则,1973年又发展为“三占三沿”(即占高点,占鞍部,占断块,沿长轴,沿扭曲,沿陡带)的布井原则。

1965~1966年,为了掌握裂缝规律,四川石油管理局科研所在成昆铁路乐山范店乡段,将隧道(长283.2米)中震旦系碳酸盐岩地层的裂缝、溶洞,绘成14米长、1米宽的素描图;在中梁山煤矿南井田的坑道中将二叠系茅口组碳酸盐岩地层的裂缝溶洞进行1:20比例尺的素描;又对威远气田8号井取出的震旦系岩心74米,以1:1比例尺素描。西南石油地质局运用地质力学方法,在川东北宣汉地区开展构造形迹分析及裂缝发育规律研究,完成专题研究报告。

1980年,四川石油管理局地质勘探开发研究院应用地质力学研究川东南下二叠统、嘉陵江组的裂缝分布,认为川东南已钻获的二叠系、三叠系气井主要分布在“中性面”^①以上,这个面大体是在一套岩石性质、结构基本相同的地层中的中间部位。这种认识在野外调查中得到证实。二叠、三叠系

^① “中性面”是材料力学的一个术语,指的是一般均质体在负荷弯曲时,受力单位(地质学上称为构造层)的不同部位,应力分布和形变特点各不相同。弯曲外弧以拉张应力为主,产生张性裂缝;弯曲内弧以挤压应力为主,产生压扭性裂缝。在张性和挤压应力变化之间的理想面称为中性面。

油气特征, 裂缝形成和岩石破裂情况与构造中性面的关系为: 构造层中性面控制了二叠统和嘉陵江组天然气储集层段的分布, 不同性质的裂缝组系在构造层中性面上下的不同位置其发育程度不同; 气井主要分布在构造中性面以上的构造外弧张性裂缝发育部位, 尤其弧顶最好; 岩块大小、形态、产状及应力作用方式相同的条件下, 岩石力学性质、岩石结构及裂缝、层理等诸因素均不同程度影响着岩石的破裂变形及其破裂类型。

1970~1982年, 又以地震构造图为基础计算产层面的曲率值, 研究四川盆地大部分气田及部分构造上的裂缝特征及分布, 发现曲率正值区主要分布在构造高点、长轴及陡缓变化带或肩部, 并揭示出有效裂缝的发育程度是影响裂缝性气井的主要因素。有效裂缝主要指构造中的纵张缝、横张缝及扭张缝。而产层构造面倾向曲率值大小反映了纵张缝的发育程度, 走向方位曲率变化大小反映了横张缝的发育程度。根据构造受力方式不同将构造分类, 其中扭动型及扭动与直压复合型构造的高点、对称背斜顶线(轴部)、不对称背斜陡缓变化带(轴部)、箱状背斜的肩部与压扭性断层有关的牵引褶曲上和直压型构造的背斜端部是有效裂缝发育的有利部位。用此成果验证1978~1979年完成的钻井, 结果表明, 70%~75%的获气井都在曲

率正值区。这项研究成果与1963年解剖圣灯山构造用曲率研究裂缝的方法基本相同, 但在应用上前进了一步, 也是对“一占三沿”、“三占三沿”布井方法的进一步具体化。

1980~1982年, 还引用材料力学原理研究裂缝, 认为主曲率值大的部位, 纵张裂缝发育。与曲率法不同之处在于, 主曲率法是在构造面上用等距纵横两度空间取点以计算主曲率值和主曲率方向, 从而为研究裂缝性气藏, 提高钻探成功率提供了一个新途径。1982年采用主曲率法提出的7口井位, 经钻探获5口气井, 成功率为70%。

四、气藏气井递减规律研究

1978年, 四川石油管理局地质勘探开发研究院完成《无水气藏(气井)稳产及递减规律》研究, 认为封闭性弹性气驱气藏的大部分气井产量递减符合等百分率递减规律, 可用产量衰变方程表示。由于气井生产制度不同又各有其自身的特点, 每一口气井或一个气藏都可列出一个递减方程, 它们之间的递减率不会完全相同。一个气藏、气井的生产全过程可划分为试采、稳产、递减、低产稳定4个阶段, 试采阶段是调整产量或净化井底产层的过程, 一般是几个月到1年, 采出程度在10%以下; 稳产阶段不保持地层压力,

自然能量降低,产量基本保持不变,采出程度在20%~50%;递减阶段表现为产量、压力均不稳定,产量曲线陡降,一般在数年之内,采出程度在30%左右;低产稳定阶段在采气曲线上表现平缓,产量、压力均很低。从地质因素分析,认为由于气藏内存在高、中、低渗透区,稳产期的天然气主要产自高渗透区。随着高、中、低渗透区的压差增大,补给速度不够时,产气量不能保持稳定,气井转入递减期。

1979年,完成《不同类型气井递减规律研究》,认为无水气井和有水气井的产量递减规律都是指数型的,所不同的是有水气井在出水后产量递减快,采出程度低,只能采出可采储量的45%~60%,而无水气井采出程度可达90%以上。气井递减快慢主要受生产制度、采气速度、采出程度的影响,递减率、采气速度、采出程度三者之间可用数学式表达。根据底水活动方式,有水气井按开采特征可分为3种:①底水沿大缝大洞进入井底的气水井;②底水沿微细裂缝和孔隙进入井底的出水气井;③钻穿气水界面后底水直接进入井筒的出水气井。前两种出水气井在开采过程中有4个阶段,即无水采气阶段、出水显示采气阶段、带水采气阶段、水淹或暂时性水淹阶段。延长无水采气阶段可以充分发挥气井产能潜力和增加累计采气量,控制合理采气压差可以延长气井无水采气阶

段,控制合理钻开(射开)程度是延长无水采气阶段的重要措施。

1983年,在《四川气井及气藏产量递减规律研究》中进一步阐述指数型递减规律和产量递减的原因,指出气井及气藏产量递减受采气速度的影响最大,其次是气井出水,工程因素也有一定影响。并提出减缓产量递减的措施,最重要的是确定合理的气井配产和裂缝系统的采气速度。含水裂缝系统推广排水采气是减缓气井产量递减、提高气藏采收率的有效方法,一个气藏的稳产主要靠高中产气井稳产,高中产气井稳产和合理配产是气藏稳产的保证。

五、天然气储量研究

储量是气井定产、配产、合理开发气田的科学依据。但四川碳酸盐岩复杂的储层条件,难于使用均质储层的储量计算方法。为此,四川进行了多种计算方法的研究,详见第三篇第一章第一节“储量复核”。

六、资源预测及勘探前景研究

1980~1985年,四川石油管理局、西南石油地质局从基本地质条件、生油、储层、保存条件、含油气地质规律以及已勘探的效果诸方面对四川盆地碳酸盐岩油气资源进行评价,最后

以局部构造为单元预测天然气资源量,认为已探明的天然气地质储量仅为总资源量的 $1/5\sim 1/7$,油气资源潜力很大。评价的主要内容以盆地震旦系至三叠系18个层系为目的层,以局部构造为资源评价单元,每单元按油源、储层、岩相及成油期古构造、局部构造类型、水文地质与保存条件5项内容,采用主观概率法分别分级赋值,

预测全盆地18万平方公里内的天然气远景资源量达7万亿方立方米。

1987年,西南石油地质局完成的《四川盆地油气资源量预测数据库系统》存储了四川盆地各地质时代油气资源量预测的有关数据,并研制配备了功能齐全的油气资源量预测方法程序的数据库系统。

第二节 地球物理

一、重力、磁力、电法勘探研究

1956年,四川石油勘探局地调处803队在苏联专家指导下,应用全盆地重力、磁力普查资料与其它勘探资料进行综合研究,首次编制出比例尺为 $1:200$ 万的四川盆地结晶基岩最小深度起伏推断图,表明四川盆地中部地壳厚度约为40公里,龙门山地区约为60公里。盆地的基础是拗陷很深的洼地,南翼缓,北翼陡。沉积盖层总厚度最深12公里,其中陆相沉积厚4~5公里。在四川盆地区域构造划分图中,划出盆地的深大断裂带,把盆地的主要构造单元划分为四川中间地块、成都拗陷、川南山前盆地、自流井地堑、华蓥山地垒、威远隆起,推断在成都拗陷及垫江、大足地区可能存在

泥盆系、石炭系。经1977年钻探证实,垫江地区确有石炭系,且是天然气的重要产层。

1958年,地质部西南物探大队303队根据电测深结合重磁力等综合研究,认为川中地台与龙门山准地槽之间存在一个区域性构造单元川西北拗陷,大足重力高地区深部基底可能是由较老的磁性较强、密度较大的基性岩石组成。

1964年,四川石油管理局地调处102队综合研究重力、磁力、地震、地质和钻井资料编制出《四川盆地基岩性质推断图》,认为盆地具双重基底特性:磁性基底控制川中型平缓褶皱,结晶基底控制川东南型梳状褶皱。

二、地震勘探研究

1961年起,四川石油管理局地调处综合研究历年取得的地震勘探资料,逐步发现横亘盆地中央的乐山—龙女寺加里东古隆起核部位于乐山—青神一带,隆起幅度高达1000~1800米,以侵蚀面古地质界线计,东西长约375公里,南北宽约65~87公里,面积约6万平方公里。

1981年,地调处又根据地震勘探资料编制出比例尺1:20万的《四川盆地中三叠统侵蚀面、二叠系阳新统顶、中奥陶统顶三层地震反射连片构造图》及《川中至川西北地区上三叠统须二顶地震反射连片构造图》,标明地腹各个局部构造间的接触关系和区域构造格局,为研究盆地内区域构造特征、部署油气勘探提供有了价值的基础资料。

1982年,西南石油地质局完成《四川盆地西部上三叠统地震层序研究初步总结》,开始在较大的范围内应用地震地层学进行沉积作用、盆地结构和含油气性的研究。1986年,完成国家重点科技攻关项目《上扬子地区复杂地形地质条件下物探方法技术的研究》,推动了碳酸盐岩地区油气普查勘探的进展。

此外,两个局还在地震勘探方法、地震资料处理技术、油气检测技术、纵横波联合地震勘探、三维地震、垂直地震剖面(VSP)等地震勘探技术方面开展研究和实际应用,取得不同程度的

成果,为油气勘探开辟了新途径。

三、地球物理测井研究

在碳酸盐岩裂缝性油气井中,使用地球物理测井资料识别裂缝、判别油气层,进而确定储层参数,是四川地球物理测井试验研究的中心课题。

50~60年代,经过各种测井方法的试验,发现四川碳酸盐岩裂缝性产层具有低电阻、低自然伽马、自然电位偏负的特征,用声波测井中的低幅度、高时差的特性以划分缝洞发育层是有效的。还发现自然电位在碳酸盐岩地层剖面中,既可区分岩性,又可划分渗透层。

70年代,用测井方法求储层参数的试验研究取得成果。用声波测井资料能计算出储层的孔隙度;用径向电阻率、双侧向—中子寿命交会等方法,可以划分气水层。

进入80年代,开始引进国外测井仪和计算机进一步深化测井技术研究。应用斯伦贝谢系列测井资料和阿特拉斯普通源距声波仪全波测井及地层倾角仪进行裂缝识别与气层判别技术研究,取得多项成果:划分有效裂缝发育段,进行单井评价;判别裂缝产状和储集类型,进而计算含水饱和度,以评价地层流体性质及其产能。这项成果,不仅能有效地评价碳酸盐岩裂缝性储集层的单井,而且用以研究气田

底水活动也有显著效果。1986年,用测井资料研究地层破裂压力。根据密度测井、声波测井资料计算出地下岩石的弹性常数和强度,结合双井径曲线,还可计算出上覆岩层压力、径向应力等参数,算出压裂酸化时井下岩石

的破裂压力。1988年,用测井资料研究现代构造应力方向,进而预测人工压裂垂直缝的径向延伸方向,为改造低渗透层的压裂酸化施工提供有效的参数。

第三节 钻 井

一、边喷边钻与不压井起下钻技术研究

1966年以前,限于当时的装备工具及工艺条件,没有完善解决油气层安全控制井喷的技术问题,于是提出开展“边喷边钻”及“不压井起下钻”的技术研究。“边喷边钻”是在油气层处于放喷的条件下继续钻进;“不压井起下钻”是在不使用高密度钻井液压死油气井的前提下,将油气流引出井场外放喷,控制一定回压,进行起下钻具、油管,拆换井口和处理复杂事故的钻井作业。1966年,四川石油管理局工程技术指挥所矿机队(钻采工艺研究所前身)开展旋转防喷器和不压井起下钻装置的多项研究。通过10多年100多次试验改进,工艺与装置逐步完善。1977年可以在井口压力2兆帕下进行边喷边钻和不压井起下 $6\frac{3}{4}$ ~2英寸的管柱(如钻杆、套管、油管、钻

头、测井电缆等)作业。这套装置包括8英寸1型、2型、3型、5型旋转防喷器以及工作压力5兆帕、通径 $\varnothing 60$ 、 $\varnothing 100$ 、 $\varnothing 130$ 毫米的自封头,不压井起下钻用的特殊四通,钻杆、油管锥管挂,安全卡瓦,4 $\frac{1}{2}$ 英寸可逆回压凡尔,防顶加压装置等。不压井起下钻装置也由绳索式、丝杆式发展到30吨液压力式。这项科研成果,获1978年四川省科学大会奖。1988年,为适应四川“加深添火”钻井工艺需要,又研制成功静密封10.5兆帕、动密封7兆帕的两种带旁通的旋转防喷器。

二、平衡钻井及井控技术研究

边喷边钻与不压井起下钻技术在当时的装备条件下,对防止井喷失控着火起过积极作用,打出许多包括百万立方米级的高压高产油气井。但由于采取的是“放喷防火”的技术政策,工作重点仍放在井喷发生后的控制和

处理上。为从根本上改变钻井中井喷、井喷失控和着火的被动局面,1982年开展《平衡钻井及井控技术研究》。四川石油管理局和西南石油学院等单位组成攻关组,从地层压力监测与预报技术、平衡钻井及井控技术、井控装备研制、理论研究及模拟试验等4个方面开展研究。经过3年多的努力,取得的成果包括砂泥岩地层压力的监测和预报、复杂地质条件下井身结构设计、钻井液安全附加压力值的确定、溢流显示的及时发现和对井口的正确控制程序、正常情况和特殊情况下的压井、井漏情况下的防喷技术、井喷失控及处理着火事故的技术、具有监测、控制和处理等多项功能的、工作压力35兆帕的井控装置,形成能对高压地层流体实施有效控制、实现平衡钻井、最大限度地减少溢流和井喷次数、尽可能杜绝井喷失控和着火事故的油气井压力控制技术,达到提高钻井速度、保护油气层和安全钻井的目的。此项成果获国家级科学技术进步三等奖和1986年四川省科技进步一等奖。由于平衡钻井及井控技术研究成果的应用,使四川井控技术从遇溢流显示就放喷转变为遇溢流井喷就关井,井喷发生率由1980年的0.89次/井下降至1986年的0.10次/井。及时发现溢流、正确实施关井程序的井,占总数的78.9%。从1981年7月至1990年底,没有再发生重大的井喷失控和着火事故。

三、井斜控制工艺技术的试验研究

四川地层倾角大,软、硬岩层交错,钻井措施稍有不当地,井斜变化大。长期以来,控制井斜是个十分棘手的问题。缺乏有效措施,只好“轻压吊打”,不仅钻井速度慢,井身质量难以保证,因井斜而发生事故或填井纠斜仍屡见不鲜。1979~1980年,四川石油管理局钻采工艺研究所与川东钻探公司从制订合理的井斜控制原则、标准入手,开展井斜控制工艺技术研究,取得3方面的成果:①拟定新的着重控制“狗腿严重度”的原则和具体标准,取代国内执行20多年的主要控制井斜角的旧标准。②研究成功以满眼钻具控制井斜变化率为主、钟摆钻具降斜以限制最大井斜角为辅的定量控制井斜的工艺技术,还系统研究了满眼及钟摆防斜组合设计及部分地区的地层造斜指数等理论。③研制成功适合四川地层特点的刚性螺旋扶正器及滚轮扶正器,不仅使易斜地区的井斜得到合理的控制,保证良好的井身质量,而且提高了易斜地区的钻井速度,降低了成本。

四、定向井及丛式井钻井工艺技术研究

针对四川裂缝性碳酸盐岩油气藏的特点,为增加捕捉目的层油气的机遇,达到少占土地、节省费用、增加油气储量和产量的目的,1961年起进行多底井、水平井、套管开窗侧钻井、大斜度井等多种类型定向斜井的钻凿试验。1985年,在中坝气田钻成四川第一个丛式井组。1986~1989年,四川石油管理局钻采工艺研究所、井下作业处和西南石油学院等单位共同完成《四川地区定向井丛式井钻井技术研究》,建立了定向井丛式井设计及定向井专业数据库,在定向井井眼轨迹控制技术和定向井固井技术研究方面迈进一大步,并研制出大斜度定向井钻井液和取心工具。

五、钻井液研究

为适应四川钻探浅井至超深井过程中的漏、喷、塌、卡和井下高温高压、膏盐以及含硫化氢等复杂多变的地质条件,满足不断发展的钻井工程技术需要,四川石油管理局钻采工艺研究所与西南石油学院、成都栲胶厂、重庆合成化工厂、成都科技大学等单位合作,从70年代起先后研制成功“三磺”(磺化褐煤、磺化单宁、磺化酚醛树脂)处理剂、抗高温失水处理剂(SCH)、抗高温抗盐处理剂(SCSP)、聚丙烯酰胺硅酸钾钠钻井液、钒钛磁

铁矿加重料、碱式碳酸锌高效除硫剂等23种新型处理剂和17类钻井液,形成与四川地质特点和钻井工艺要求相匹配的钻井液体系:有适应深井、超深井钻探的抗高温、抗膏盐的深井钻井液;有适应高压喷射钻井的优质低密度聚合物钻井液;有适应水平井、多底井、丛式井、大斜度井防卡、防斜的钾基钻井液;有满足地质工程要求的油基钻井液;有满足其它特殊工艺要求的新型钻井液。西南石油地质局则应用抑制型洗井液控制井径,通过人造岩芯的渗透实验,提出了洗井液、完井液的理化改性方案。

六、钻头研究

1953年前使用德、美、苏等国制造的钻头,单只进尺少,钻头耗量大,无论质量上和数量上都不能满足四川油气钻井的需要;1953~1965年使用上海生产的钻头亦难于适应勘探形势发展的需要。1966年,石油部决定四川石油管理局总机械厂研制适宜钻凿四川各类地层的钻头。在冶金部、一机部、中国科学院等单位的协助下,从钻头设计、结构、材料选用、工艺制造等方面进行三牙轮钻头和金刚石钻头的研制。详见第六篇第一章第二节“钻头制造”。

第四节 试油采气

一、压裂酸化

四川石油管理局除不断完善压裂酸化的施工装备配套和施工工艺技术外,主要进行了酸反应机理和酸液配制及缓蚀方面的研究。

1977~1979年,四川石油管理局井下作业处与西南石油学院共同完成《酸反应流动模拟试验研究》,应用数学物理模拟方法,模拟地层酸化压裂时所特有的高温、高压和酸液在裂缝中流动的条件,取得131套次的系统试验结果,编绘成15幅标准图版和1套计算方法。利用这些方法和图版,可以计算出不同条件下(温度40~100℃,压力10兆帕)活性酸的有效穿透距离,为施工设计计算、预测增产效果等工作提供方法和基础数据。

1980年,井下作业处完成川南二叠系阳新统石灰岩地层酸液有效穿透距离计算图版。通过高温高压流动模拟试验,获得不同条件下氢离子有效传质系数,结合施工特点,确定各种计算程序。从地层条件出发,计算出不同地层温度(80℃、100℃)和不同酸液浓度(15%、20%、25%、28%)的现

场酸液配方,在不同排量时可能获得的酸液有效穿透距离,并绘成8套图版,可供现场酸化压裂设计使用。

1978~1983年,井下作业处与成都地质学院合作完成《地层破裂机理研究及现场破裂压力预测》。针对四川地质特点,对影响岩石破裂因素,如射孔方式、气层压力、天然裂缝等进行非均匀围压条件下的室内试验和理论分析,研制三轴向破裂压力试验仪等设备,完善实验研究方法,把多元统计分析方法应用于压裂酸化施工的资料处理,提出预测破裂压力的经验公式、实用计算公式等。

四川石油管理局天然气研究所先后研制成多种酸化缓蚀剂和酸化压裂液的配方,在四川及国内各大油田广泛使用。1976年研制的“7623油气井酸化复合缓蚀剂”,用于高温(160℃)、高浓度盐酸(15%~18%)中,对深井的压裂酸化和地面设备的缓蚀率大于95%。1984年研制的“CT1-2高温酸化缓蚀剂”,具有凝固点低、酸溶性好、配制简便、无臭味等特点,缓蚀性能可与国外同类产品媲美。1985年研制的“CT1-3高浓度盐酸缓蚀剂”,具有无臭味、粘度小、凝固点低等优点,在

温度90~120℃、盐酸浓度28%的条件下,缓蚀速度达到部颁标准;在酸液中稳定,有明显抑制钢材氢脆的效果。1986年研制的“CT1-6酸液胶凝剂配方”,用3.5%的胶凝剂与20%、25%盐酸配制成的胶凝酸,分别适用于地层温度120℃以上的酸化,效果良好。1984~1987年研制的“CT9-1压裂液配方”,是一种水溶性植物胶衍生物,以其配制的水基冻胶压裂液或酸化前置液,可满足温度40~130℃的油气层压裂酸化施工要求。1987~1989年研制的“CT1-5酸化缓蚀增效剂”,与“CT1-3缓蚀剂”相匹配,能满足温度160~204℃、盐酸浓度15%的深井压裂酸化施工缓蚀增效的要求,质量达到国外80年代同类产品。1989年研制的“CT1-7酸液铁离子稳定剂及施工配方”,由多种有机酸及其金属盐与表面活性剂等助剂复配而成,实验室评价和现场试验结果,证明其适用于地层温度60~204℃的油气井酸化,能有效控制铁离子沉淀。

二、排水采气

四川气田大部分存在活跃程度不同的地层水。气井出水,产气量便急剧下降,甚至气井在短期内即被水淹而停产。为了稳定天然气产量,提高出水气井的采收率,四川石油管理局开展多项排水采气工艺技术研究。钻采工艺研究所、地质勘探开发研究院与川南矿区、川西南矿区从1978年起,选择不同类型的气水井,先后开展机抽排水、气举排水、化学泡沫排水、优选管柱排水、电潜泵排水等项试验研究,研制及引进了一批排水采气设备和化学助剂,完善了施工工艺。这些排水采气技术虽受井深、产水量、气水比、井底压力及井场条件等因素的制约,但各具适应性能。采取工艺配伍,优势互补,可以有效地减轻或消除地层水的危害,提高气井的产量。这套对付不同类型气藏、不同开采阶段的排水采气工艺技术,已在全川气田广泛使用。

第五节 油气加工

一、天然气净化

(一) 脱硫

1964~1966年,四川石油管理局

天然气研究所和设计院共同组建脱硫攻关队,在川东新市含气构造建立国内第一套乙醇胺法脱硫和克劳斯法硫回收试验装置,日处理量8000立方米,将每立方米原料气中的硫化氢从

100克降到20毫克以下。试验成功后,相继在东溪气田和威远气田建厂。

60年代,国外砒胺法脱硫技术问世不久,四川石油管理局天然气研究所即着手进行研究。1966年在实验室合成环丁砒。1970年在威远气田进行乙醇胺—环丁砒脱硫试验获得成功。此法与乙醇胺法脱硫比较,具有处理量高、能耗低、腐蚀轻等优点,立即应用于威远净化二厂和川东天然气净化总厂垫江分厂。

1975年进行二异丙醇胺—环丁砒脱硫试验获得成功。与砒胺法脱硫比较,在节能和减少腐蚀方面又前进一步。

进入80年代,四川开采碳硫比高的天然气量日益增多,天然气研究所着手研究选吸性能比二异丙醇胺更优的甲基二乙醇胺法。试验证明,在处理量相同的情况下,甲基二乙醇胺溶液循环量仅为砒胺法的三分之一,具有更高的经济性。

1987年,天然气研究所用甲基二乙醇胺—环丁砒混合溶剂脱硫新工艺,在川西北、川东两个净化厂中试成功。此法有良好的脱除硫化氢和有机硫的能力,净化后每立方米的天然气中硫化氢含量低于20毫克,总有机硫含量低于60毫克,符合国家规定的气质标准。

(二) 硫回收和尾气处理

以脱硫富液再生中吸解出来的酸

气作为原料回收元素硫是天然气脱硫的重要配套工序,回收的高纯度硫磺又是重要的化工原料,提高硫回收率的关键是催化剂。1966年试验成功的克劳斯硫回收工艺用的催化剂是福建铝砒土。1975年后,天然气研究所相继研制出人工合成的CL-1、CT6-1硫回收催化剂。后者能使回收装置的总转化率达到94%~96%,再与尾气处理装置配套,至80年代中期,硫总收率最高可达99.8%。

克劳斯法硫回收后的尾气中含有较多的硫化氢和二氧化碳,直接排放将造成环境污染。天然气研究所开展两种处理工艺方法研究均取得成功:1972年,开展液相催化法处理硫回收尾气的研究,在进料尾气中硫化氢和二氧化碳比例适当的情况下,净化尾气的含硫量可降到0.3%以下,并在威远净化一厂进行工业性试验获得成功,环境保护效果明显。1977年,进行还原吸收法处理硫回收尾气工艺研究。评选出加氢还原催化剂后,在垫江分厂中试成功;1984年应用于川西北矿区净化厂,达到排放尾气中的总硫含量低于万分之五,较彻底地解决了装置区域的大气污染问题。

(三) 天然气脱水

1973年,四川石油管理局设计院在川南傅家庙气田净化试验装置上试验成功三甘醇法天然气脱水工艺,净化气的露点降达53℃。1977年,该工

艺通过石油化工部组织的技术鉴定，并推广应用于四川气田。

二、天然气加工

(一) 凝析油回收和加工

1964~1966年，四川石油管理局先后在沈公山、纳溪气田进行高压低温分离试验，凝析油收率可达60%~80%，为1971年设计卧龙河低温分离回收凝析油提供工艺参数。卧龙河气田回收的凝析油因含硫量高（特别是含有机硫），组分复杂而难于直接利用。1977年，天然气研究所在实验室研制成功凝析油脱硫加工工艺，在卧龙河建成日处理凝析油5吨的中试装置，用催化裂化脱硫和催化氧化脱硫醇工艺，炼出符合国家标准汽油、煤油、柴油。

(二) 轻烃回收

1982年，地质部第一石油普查勘探指挥部与四川空气分离厂研制出LTQ-3000型天然气分离装置，在石龙场气田提取液化石油气，回收率达64%。1983年，四川石油管理局天然气研究所开展“用热分离机制冷回收轻烃”的研究；1987年，与设计院和川中矿区共同完成热分离机轻烃回收工艺，在南充市建成热分离机轻烃回收试验装置，从较贫天然气中分离丙烷以上烃类获得成功。

(三) 天然气提氮和制取纯甲烷

60年代初，国家科委确定天然气提氮的科研项目，由石油部、化工部分别下达石油科学研究院天然气研究所、西南化工设计研究院同时开展试验研究。1960~1965年，天然气研究所在重庆建成天然气液化提氮半工业试验装置，从天然气中回收纯氮，总收率为91%，氮产品纯度达99.99%。又以提氮后的液化天然气为原料，用低温分馏法除去氮、用活性炭吸附脱除乙烷以上组分制取纯甲烷，甲烷纯度达99.9%。1961~1963年，西南化工设计研究院在自贡建立试验站，亦成功提取99.97%的纯氮；1964年，扩大试验规模，获99.99%的精氮产品。1971~1973年，两个试验站合并建成提氮专业工厂，改变了氮气全赖国外进口的局面。

(四) 天然气制炭黑

1951年，西南化工局成功试制出第一批国产天然气槽法炭黑及炉法炭黑。1958年后，根据国家科委12年规划要求，四川石油管理局天然气研究所与有关单位合作，相继研制成功高耐磨油炉法炭黑、高强力型瓦斯炉黑、高定伸强力型瓦斯炉黑等新品种。

三、原油加工及合成油脂

1963年，为解决军需民用的提纯地蜡，南充炼油厂与上海炼油厂合作，用川中原油减压渣油为原料，制取80

号提纯地蜡获得成功。1966年,在生产80号提纯地蜡的基础上,利用丙酮—苯混合溶剂脱油,研制成功87号高滴点提纯地蜡。1976~1978年,又以80号粗地蜡为原料,用轻油作溶剂,研制成功125号地蜡。80号、87号地蜡均为全国独家产品,获1978年全国科学大会奖和四川省重大科技成果奖;125号地蜡的生产工艺属国内首创,获四川省重大科技成果奖。南充炼油厂在油品、地蜡生产中研制成功的连续式成球法尿素脱蜡工艺(1965~1966年与北京石油科学研究院合作)和异丙醇脱沥青工艺(1972~1973年)两项,属国内首创。

南充炼油厂1968年研制成功水基防锈液后,于1970年研制成功用于兵器油封的71-13薄膜防锈油。1971年又与国营二九六厂和五四研究所联合研究优选出BM-16号薄膜防锈油,经过10年的封存试验,证明具有抗湿热、抗盐雾性强,防锈时间长,封存、启封、清洗方便,储运使用安全的特

点,于1981年通过石油部、五机部和总后军械部的联合鉴定,评为军工及民用产品长期封存和工序防锈的理想用油,并在全国27个省、市、自治区推广应用。1978年和1983年,BM-16号薄膜防锈油先后获四川省重大科技成果奖和国家经委的“优秀产品金龙奖”。

从1965年开始,一坪化工厂先后研制成功4104、4105、4109、4106、4209等多种型号的航空润滑油、防锈油及7014高低温润滑脂、7111与7123陀螺马达润滑脂、7405高温高压丝扣密封脂、聚醚润滑剂等一批军需民用的合成润滑油脂,其中4109、4106、4209号合成航空润滑油、防锈油分别获得1978年全国科学大会奖、1980年国防科技成果二等奖和1987年国家银质奖;生产合成润滑脂的十八烷基对苯二酸酰胺钠盐稠化剂及其制造新工艺两项,获1979年国家科委发明二等奖。

第六节 腐蚀与防护

一、含硫气田的腐蚀与防护

四川气田所产的天然气的都含有

硫化氢和二氧化碳等酸性气体,随天然气采出的气田水中含有硫化氢和盐卤。这些物质具有很强的腐蚀性,严重威胁着井下管系、井口装置、地面集输

和加工过程的设备管线乃至人身安全,周围环境亦受污染。1959年3月,卧龙河气田1号井钻获每立方米含硫化氢70克以上的高产天然气,当时无法解决井下管系、井口阀门和设备的抗硫防腐技术,气井不能投入开采,被迫注水泥塞封堵。1965年8月,威远气田2号井又钻获每立方米含硫化氢20克的高产天然气。虽然硫化氢含量比卧龙河气田的低,但同样威胁着气田的勘探和开发。半年内钻凿的气井,用常规方法测试或试采时,接连发生严重事故:井内油管断裂9次;井口装置的阀门阀杆断裂、锈死,阀板和阀心座破裂,使井口失去控制;压力表爆毁39只;集气管线多次爆裂;威23井井口底法兰腐蚀破裂引起大火,燃烧44天,气井严重破坏;钻井过程中钻杆、钻铤断裂和采气时抽油杆断裂事故亦时有发生。抗硫防腐成为勘探开发气田迫切需要解决的技术关键问题。1963年,四川石油管理局为解决含硫气田的防腐脱硫问题,曾拟从西方国家引进技术,因对方提出苛刻条件而未能实现。1965年,四川石油管理局在设计院组建防腐攻关队,从查阅国内外的技术资料入手,结合四川含硫气田的实际,深入生产现场,分析发生各种腐蚀破坏事故的情况,与中国科学院长春应用化学研究所、冶金部钢铁研究总院等国内10几个单位协作,在威远气田建立试验基地,同时开展

金属材料筛选、缓蚀剂合成及评价、设备改型、焊接及冷加工的应力分析、模拟井下试验、阀门抗硫试验、不同材质的钢管充含硫气加压爆破等试验。经过3年的努力,基本解决了抗硫防腐技术,使威远气田安全投入开发。1972年又在卧龙河气田建立试验基地,进一步试验研究含硫量更高的气田抗硫防腐技术,保证了卧龙河气田1973年和中坝气田1982年先后投入开发。逐步形成一套符合国情、行之有效的气田抗硫防腐技术,填补了国内抗硫技术领域的空白。

(一) 材质选择和热处理

1966年,试验成功耐硫化氢应力腐蚀断裂的35铬钼钢和阀门丝杆的镀铬、渗铬及热处理条件。1968年,与上海材料所、上钢五厂、重庆钢铁厂合作研制的“318”钢,具有良好的抗硫性能。1968~1977年,用“318”钢生产3900余只阀门投入含硫气田上使用,未发生断杆事故;以2铬13为基体堆焊硬质合金,在高温条件下回火制成的阀门闸板、针形阀的阀尖及阀座,解决了阀门零部件的脆裂问题。1972年,四川石油管理局设计院、钻采研究所与上海第二石油机械厂共同研制成功国内第一套能承受25兆帕压力的CQ-250型抗硫采气井口装置;1986年,承受70兆帕压力的CQ-700型抗硫采气井口装置研制成功,基本满足四川钻井需要。1985年,四川石油管

理局设计院与广州有色金属研究所联合开发的离子氮化钛合金密封付,用以制作高压采气井口阀板、阀座,进一步提高抗硫阀门和抗硫采气井口装置的质量和使用寿命。

四川石油管理局与冶金部钢铁研究总院、鞍山钢铁公司等单位1972年研制成功的40 锰钼铌抗硫油管,投入含硫气井使用取得良好效果,获1983年国家发明四等奖;1989年又与上海宝山钢铁公司、成都无缝钢管厂合作研制成功强度更高的C-90级抗硫油管、套管。

四川石油管理局设计院与局内外单位共同研制、筛选的抗硫金属材料还有:1971年评选可用作抗硫集输管线的09 锰钒钢;1972年制成长4000米抗硫录井钢丝的铁基新2号钢及铬镍钼钢;1975年筛选出抗硫仪表及抗硫轴承用钢;1985年研制成P-250合金弹簧抗硫压力表用材以及抗硫压力容器用钢、非晶态电刷镀;1989年试制成功6000米长的抗硫录井钢丝等。

为能迅速判断金属材料是否抗硫耐蚀,四川石油局设计院逐步建立抗硫材质评选试验室,拥有恒负荷应力腐蚀仪、“简支梁试验法”、“管线抗阶梯型破裂性能试验法”和“电化学腐蚀法”装置、大型金相显微镜、X 衍射仪等,完善了评选抗硫材质的手段。

(二) 缓蚀剂或涂层

1965年,四川石油管理局天然气

研究所、设计院同时开展含硫气井缓蚀剂的研究。1966年,设计院与兰州化学机械研究所合作,合成“兰-4缓蚀剂”,在威远气田使用,有较好的缓蚀效果。1970年,设计院与北京石油科学研究院合作,筛选出四甲基吡啶釜残的再蒸馏馏分“1901”,在威远气田使用,缓蚀率达96%以上,解决了当时的气井腐蚀问题。1973年,天然气研究所研制成功“7251缓蚀剂”,在威远气田和威成管线使用,均有良好的防腐效果。1979年,天然气研究所研制成功“CT2-1气井缓蚀剂”,此种缓蚀剂具有无异味、毒性低、能溶于烃类和醇类、使用方便、成本低等特点,在威远、卧龙河等含硫气田及输气管线使用,证明处于硫化氢、二氧化碳、盐水环境中的金属设备及零部件注入“CT2-1缓蚀剂”后,都有良好的防腐效果,对油管、套管的腐蚀率低于石油部规定的指标。经四川含硫气田广泛使用,获1985年国家发明四等奖。1980年和1982年,天然气研究所先后研制成功“CT2-2”、“CT2-5”输气管道缓蚀剂,能抑制管道内壁腐蚀。1990年,四川石油管理局输气处研制成功抑制管道局部腐蚀的“GP-1缓蚀剂”,用于生产,收到良好的防腐效果。

在解决含硫气田的防腐技术过程中,逐步制订了各类技术标准和操作规定。《抗硫阀的材料选用、热处理条

件及产品检查验收技术标准》、《对含硫气田防腐措施的几点意见》，是60年代四川石油管理局内部的防腐技术要求；《金属抗硫化物应力开裂恒负荷拉伸试验方法》(GB4157—84)、《管线抗阶梯型破裂试验方法》(GB8650—88)，是四川石油管理局设计院参加编制的国家标准，已颁布实施；《天然气地面设施抗硫化物应力开裂金属材料要求》(SYJ12—85)、《控制碳钢设备焊接硬度防止硫化氢应力腐蚀》，是四川石油管理局设计院代石油部编制的部标，前者已颁布施行，后者待批。此外，对含硫气田的钻井设计及施工、集输设备的制造、净化装置的设备制造、热处理工艺操作条件等都形成一套技术要求和操作规定，有效地保障四川含硫气田的安全开发。

二、油气管道的腐蚀与防护

(一) 绝缘层防腐

50年代以前，四川自贡等地输送天然气、卤水的管道，多用竹、木制作，外缠竹篾，涂以油灰，可以“外不浸雨水，内不遗涓滴”，能起一定的防漏防腐作用。

50年代以后，四川大规模使用钢制输气管道。1958年敷设的南充油田至南充炼油厂的输油管道和1963年敷设的石油沟气田至重庆市的巴渝输气管道，都因管道外壁涂层质量欠佳

而遭受严重腐蚀。1964年敷设长垣坝至纳溪(泸州天然气化工厂)的输气管线时，四川石油管理局设计院将防腐绝缘层列为专题进行试验研究，经室内多种配方筛选，确定“沥青玛蹄脂”新配方、薄涂多层结构的方案，并按管道周围介质的腐蚀强度确定涂敷厚度分为普通级(6毫米)和加强级(8毫米)两种，层与层之间用玻璃纤维布作加强材料，最外裹以聚氯乙烯膜作防护层。实际应用中取得良好的防腐效果，成为四川油气管道防腐绝缘的主要工艺，被纳入石油部部颁标准《埋地钢质管道石油沥青防腐技术标准》(SYJ8—84)之中。80年代，先后试验聚乙烯粘胶带、挤塑聚乙烯涂层(夹克)、硬质聚氨脂泡沫塑料防腐保温层、聚乙烯热缩套等，均取得一定成果。

(二) 管道内壁涂层

1977年，四川石油管理局设计院开始试验研究，在川汉线红花套长江穿越管段(管道直径1016毫米、长1200米)涂敷武汉油漆厂生产的601—6101环氧树脂常温胺固化双组份涂料。1981年，为解决威远气田输卤管道的严重腐蚀问题，与川西南矿区合作进行试验研究，使用化学工业部涂料工业研究所筛选调制的E—1混合涂料试涂成功；1983~1984年，又涂敷管径79~159毫米、近20公里的输卤管线。管道内壁经涂敷后使用

寿命较未涂敷的管道增长1~4倍,而涂敷费用仅为新建同直径管道投资的13%,获1987年国家科技进步三等奖。

(三) 电化学防腐

1964年12月,四川石油管理局设计院在长纳管线建立四川气田第一座强制电流法阴极保护试验站。投入运行后,取得单站保护距离57公里的优异成绩。1966年,在威成输气管线采用加强防腐层和阴极保护技术,阴极保护的单站保护距离提高到80公里。1973年,四川石油管理局设计院与中国科学院福建物质结构研究所二部、福建省三明市无线电二厂合作,研制成功阴极保护的主体设备KKG-3系列恒电位仪。1985年,与深圳通华电子有限公司防腐仪器厂合作试制成功微电脑控制的PS-1型恒电位仪,完善了管道阴极保护专用设备,实现阴极保护站无人值守、自动定时记录、数字显示、自动打印。1986年,根据多年试验研究和实际应用成果,四川石油管理局设计院主编完成《埋地钢质管道阴极保护参数测试方法(试行)》(SYJ23-86)和《埋地钢质检查片腐蚀速率测试》(SYJ29-87)两项石油部标准,均已颁布试行。

1971年,四川石油管理局设计院开始在四川省外管道进行试验,使用锌合金牺牲阳极保护100公里管道获得成功;1977年,与重庆有色金属研究所合作,完成锌合金牺牲阳极的商品化试验。80年代,与昆明冶金机械厂合作开发成功高硅铁阳极。此项试验研究成果,已应用于川内外近30条油气管线,而且推广应用于油库和城市煤气管道等工程。1986年,设计院代部主编的《锌合金牺牲阳极应用技术标准(试行)》(SYJ20-86),经石油工业部批准颁布施行。

1972年,为解决宝成线电气化铁道与输气管道的安全距离和110千伏高压线断线后对输气管道产生高电位入侵事故的问题,四川石油管理局设计院与成都工学院合作开展研究,于1981年取得初步成果后,与东北输油管理局合作,分别在四川、辽宁、黑龙江、湖北4省的10多个地区进行室内外试验,历时11年,完成《地下金属管道交流干扰影响及其防护》的专题研究,获1988年国家科技进步二等奖。1988年,由四川石油管理局设计院主编的《电力线路对埋地钢质管道交流干扰测试方法(试行)》(SYJ32-88),亦经石油工业部批准颁布施行。

第七节 专利技术

四川石油管理局的专利工作从1987年起步,至1990年专利申请累计达130项,已授权44项,有24项分别获得全国发明展览会、广州国际专利及新技术展览会和四川省专利技术展览会的奖励,包括金奖3项、银奖7项、铜奖8项、优秀奖5项、中国专利优秀奖1项。专利实施率达66%,获得3800万元的经济效益。如“球墨铸铁刮刀钻头”,具有生产成本低、工作效率高的优点,可提高钻速20%~25%,出口远销印度尼西亚。“可燃气体检漏器”灵敏度高,响应时间短,可检测埋地管线泄漏,属国内首创,获四川省科技进步三等奖。重庆市用该检漏器发现埋深1.7~4米的漏气点,并对40多个厂、站的50多个点检漏,及时堵塞漏洞,消除隐患,保证了平稳安全供气。“井下任意活动油嘴”可在井底节流,降低井口工作压力,利于安全生产。1988年以来在胜利油田的19口气井使用,在冬季-20℃的条件下,井口不加热

也不发生冻堵,确保气井冬季连续生产。“排水解堵棒”对有水气井有良好的排水、解堵、降阻的功能。“助采油气举液棒”适用于一切因井底积液而减产、减压的气水井,在川南矿区实施8口井281井次,增产天然气218万立方米,性能优于国外同类产品,而价格仅为进口的三分之一。“CT9-1胶凝剂”、“CT8-3重整原料油脱硫剂”、酸化地层用的“胶凝剂”等3项发明专利,前两项分获国家发明三等奖和四等奖。“TT12型天然气透平发电机组”不仅解决了偏远山区缺电井站的生产问题,也满足了职工使用家用电器的需要,产品已销往四川、长庆、大庆等油气田。“水泥头转柄式挡销机构”实施600余次,有效地防止了固井作业时水泥浆凝固在套管内的问题。“GZB-1300型灌注泵”居国内同类产品的领先地位,产品已销往华北、新疆等油田。

第三章 学术交流与技术设备引进

第一节 学术交流

20世纪30年代,四川开始在油气勘探方面开展国内外学术交流。1979年后,相继成立全省性的学术团体“四川省石油学会”和全国性的学术团体“中国石油学会天然气委员会”,国内外的学术交流活动广泛开展。至1990年,举办国内外学术会议107次,交流学术论文2489篇,有7947人次参加;组织学术考察2次,58人次参加;举办培训班9期,486人次参加;举行大型科普活动5次,1327人次参加;举办青少年石油科技夏(冬)令营9期,4516人次参加。通过各类学术会议,提出各种建议243项;完成科技咨询32项,有29项被委托单位采纳,取得显著成绩和良好的社会效果。1983年、1988年和1989年四川石油学会被评为四川省科协系统的先进集体;1983年和

1989年被评为中国石油学会的先进集体。

一、国际学术交流

(一) 外国人来川交流

50年代,苏联油气专家学者多次来川,在技术上帮助油气勘探开发。1953年11月,到江油一带考察;1953~1956年,指导地球物理勘探、测井、涡轮钻井和野外地质普查工作;1958年,四川盆地浅油层获重大突破,龙女寺构造龙4井发现油流后,协助开展裂缝研究;1959年,与中方人员共同编制阳高寺、石油沟等气田三叠系气藏试采设计和指导水文地质调查。1964年,阿尔巴尼亚地矿部石油勘探总局组团来川,在重庆参观巴渝输气

管线,参观石油沟气田。1966年,阿尔巴尼亚石油代表团来川了解山区重力勘探经验。1977年,为建设卧龙河天然气净化总厂,日本国有关人员多次来川谈判、设计、施工、试运。1979~1990年,四川石油系统与美国、英国、日本、法国、意大利、印度、澳大利亚、菲律宾、瑞典、缅甸、哥伦比亚、新加坡、伊拉克、新西兰、也门、加拿大、泰国、肯尼亚、苏联、巴基斯坦、马来西亚等国的同行开展了多种形式的学术交流活动,其中来川考察的有美国、加拿大、伊拉克、法国、新西兰、英国、泰国、苏联等国家的22家石油公司或代表团;来川讲学或技术座谈的有美国、加拿大、日本、也门、澳大利亚等国的17家石油公司或大学的专家、学者;来川参加国际石油学术会议的有美国等8个国家的34位专家;来川洽谈石油技术合作的有伊拉克、泰国、美国、肯尼亚、加拿大、苏联的6家石油公司;来川进行技术服务的有法国、美国的3家石油(测井)公司;来川承包勘探工程的有美国的GSI公司;来川安装设备或交流技术的有美国、日本、法国的9家石油(服务)公司。此外,世界银行还派代表团来川洽谈、签订威远气田调整工程贷款协议,并考察贷款项目的进展情况。

(二) 赴国外交流

1945年,四川油矿探勘处曾派员赴美国学习石油专业技术。

1950~1990年,四川石油工业系统派出约2000人赴36个国家进行交流活动,其中,①公派出国留学1年以上的回国人员32人(留苏14人、留美10人、其余8人是赴英国、墨西哥、德意志联邦共和国、法国、加拿大等国留学)。②出国参观考察、洽谈业务及短期培训的共有1863人次到过30个国家(包括到美国298人次、到日本84人次、到加拿大70人次、到苏联32人次)。③援外及劳务输出。四川石油系统奉命派出40多名干部到8个国家执行援助任务,包括前往阿尔巴尼亚协助解决含硫气的精制技术(1969年)、处理天然气井井喷事故(1970年);到越南完成抗美援朝野战输油管线任务(1970年);去朝鲜援助钻油气井(1970~1978年);赴索马里援建公路(1973年);到坦桑尼亚和赞比亚援助修建坦赞铁路等。还派出174人次到伊拉克、日本、孟加拉、乌干达、巴基斯坦等5国完成劳务合同项目,其中派往伊拉克的6个钻井队,1985~1990年完成钻井23口,总进尺78570米,因安全、优质、快速钻井,工作出色,受到伊方多次赞扬,树立了中国钻井信誉,一再延长合同,增派队伍。④参加国际学术会议。1980年,参加美国石油地质家协会及洛杉矶地质家协会年会,考察美国古生代海相沉积盆地油气;在巴黎参加第26届国际地质大会。1982年,参加国际石油工程会

议。1983年,参加在美国召开的第11届世界石油大会。1984年,赴马来西亚参加中国代表团出席第5届东南亚地质大会,参加在莫斯科召开的第27届国际地质大会。1987年,赴泰国曼谷出席联合国亚太经社会(ESCAP)召开的亚太地区沉积盆地地层对比及三叠纪地层编图第五次工作会议等,在这些国际会议上交流学术论文。

二、国内学术交流

80年代以后,国内学术交流,以工程应用技术为主,涉及地质勘探、油气田开发、地面工程建设、油气加工、环境保护、油田化学、资源评价、技术装备、物资供应、经济管理等诸多领域。仅由四川省石油学会、中国石油学会天然气委员会及其下属专业委员会组织或与兄弟省区石油学会联合召开的学术交流会共43次,有3328人次参加,交流学术论文1292篇。交流会主要内容有:1980年,“四川低含硫天然气净化学术交流会”提出四川低含硫净化技术方案。1982年,“四川盆地构造与油气学术讨论会”对四川盆地油气勘探新领域作了探讨;“钻井学术交流会”交流西南地区碳酸盐岩破碎地层提高钻井速度,降低钻井成本,提高取心收获率等方面的经验。1983年,“龙门山逆冲带地质结构及含油气远景座谈会”提出在该带北段开展勘探

的建议。1984年,“全国天然气(包括煤成气)资源评价座谈会”讨论天然气的成因、生气量计算、运移聚集、成型类型等问题;“测井技术学术交流会”交流西南地区碳酸盐岩的测井技术。1985年,“含硫凝析油加工学术讨论会”针对中坝气田含硫凝析油加工工艺问题提出的建议,已被生产部门采纳。1986年,“全国海相地层油气勘探学术讨论会”提出尽快突破南方碳酸盐岩地区找油的建议;“西南西北片区第二次物资管理工程学术研讨会”结合改革实际,探讨了横向联合、改善经营管理,提高经济效益等问题。1987年,“第二届测井学术年会”针对四川地区测井存在问题商讨对策。1988年,“全国第二届生物礁油气藏学术讨论会”交流了生物礁油气藏的特征、成因、分布规律及勘探方法;“深井钻井技术与工具使用学术交流会”交流了国内最新深井钻井技术成果。1989年,“钻井学术研讨会”交流探讨钻井液、完井液、压裂液、酸液等方面的基础理论、现场应用及发展方向。1990年,“水污染防治技术交流会”提出“八五”期间科研项目的建议。

三、学术刊物与专著

50年代以后,四川石油科研、设计单位陆续创办《四川石油普查》、《天然气勘探与开发》、《钻采工艺》、《石油

与天然气化工》、《石油与天然气》、《四川石油经济》6种刊物。1981年，四川石油管理局创办全国唯一的综合报道天然气工业的科技期刊《天然气工业》，向国内外发行。《天然气工业》创刊10年（1981~1990年），共出版10卷44期，发表天然气地质、测井、开发、钻采、储运、加工利用、节能环保、深化改革与经营管理等论文725篇，

经验交流文章112篇，译文、简讯等文章416篇，发行15.3万册。已被收入国内核心期刊统计分析和国内石油文摘，纳入国际连续出版物号系统和一些国家的数据库，多次获得全国石油系统优秀科技期刊奖和四川省首届科技期刊评比一等奖。50~90年代，四川石油天然气工业系统编写出版的主要学术专著列于表8-2。

四川石油天然气工业系统主要学术专著统计表

表8-2

书 名	作 者	出 版 社	出版年份
天然气采运读本	孙自全	石油工业出版社	1956
天然气开采试井实用计算	胡砺善	石油工业出版社	1957
炭黑	周学厚 张铁生	石油工业出版社	1958
天然气采运工程	孙自全	石油工业出版社	1959
油气井酸化读本	四川石油管理局 西南石油学院	石油工业出版社	1976
天然气工程手册	四川石油管理局	石油工业出版社	1982
天然气地质学	包茨主编	中国科学出版社	1988
中国石油地质志·四川油气区	四川油气区石油地质志编写组	石油工业出版社	1989
井控问题100例	马兴峙 吴柳生 郑基烜 林安村 李 锋	石油工业出版社	1990

第二节 技术设备引进

一、地球物理勘探设备

1953年，四川组建地球物理勘探队伍，使用的设备是联邦德国产的阿

斯卡尼亚（ASKANIA）金属重力仪（1953年和1962年引进）、苏联产的嘎卡（ГКА）金属丝重力仪和威尔格石英丝重力仪（1954年引进）；磁力勘探使用的是联邦德国产的阿斯卡尼亚扭丝

式磁力仪和施密特刃口式磁力仪；电法勘探使用的是苏联产的ЭИ-1型电位差计（1954年引进，用于垂向电测深勘探）和ЭИС-23-53型电测站（1959年引进，用于大地电流勘探）；地震勘探先是使用苏联产的光点地震仪（1953年引进CC-26-51型，1959年引进CC-24-И型），1966年从法国引进AS626型磁带地震仪，1980年后相继引进美国产的数字地震仪（1980年引进DFS-V-48型，1984年引进DFS-V-120型，1985年引进OPSEIS-120型遥测自控数字仪），与地震仪配套使用的计算机有1975年引进的美制1704型（运算速度每秒36万次）、1981年引进的美制PDP-11/45型（运算速度每秒50万次）和1985年引进的美制TIMAP-IV型地震专用计算机（运算速度每秒200万次）

西南石油地质局于1978年引进美国DFS-V型（60道）数字地震仪，1980年引进法国SN338HR-48道数字地震仪，1981年引进美国PDP-11/45型计算机地震资料处理系统，1986年引进美国SGR-I型遥控组块地震仪和IBM-4381计算机地震资料处理系统。

二、钻井设备

（一）钻机

1936年，国民政府资源委员会四川油矿探勘处从德国进口钻凿深度为1200米的G70型旋转钻机4台（在运输途中遭日机轰炸受损后，拼装成3台）。50年代后，四川石油管理局使用苏联、罗马尼亚和美国制造的钻机，均由石油工业部调拨。

（二）钻井工具

1936年，四川钻井使用的钻头是德制刮刀钻头和美制牙轮钻头，其它钻井工具均从西方国家引进。

50~70年代初，四川钻井使用的钻头主要从苏联和罗马尼亚引进。1974年，从美国休斯公司引进滚动轴承钻头、滑动轴承钻头、油密封钻头、镶齿硬质合金钻头和喷射式钻头及其使用技术，从美国歇福尔和卡麦隆公司引进井控装备；1984年，引进法国埃尔夫公司的定向钻井技术暨专用设备、工具和美国洛夫兰公司的防喷器；1986年，引进法国舍米伽综合录井仪和美国马丁·代克钻井参数仪。

三、测井设备

50年代后，四川从苏联引进电测仪、气测仪等测井设备。1976年起，先后从法国斯伦贝谢、美国吉尔哈特等测井公司和电子计算机公司引进测井设备6套及相应的计算机处理系统。1982年和1985年，雇用法国斯伦贝谢公司测井队来川服务。1986年，雇用

美国吉尔哈特公司测井队来川服务。外国测井队撤离后，购买了他们携带的全套设备、仪器和测井资料处理系统。

西南石油地质局于1983年引进美国德莱赛—阿特拉斯公司3700系列测井仪，1985年引进法国Geoservice公司的综合录井仪。

四、试采设备

50年代后，四川从苏联、罗马尼亚等国引进通井机、压裂车等试采设备。1974年，从美国贝克、莱因斯公司引进井下工具（封隔器、防硫钢丝等）和测井设备（压力计等）39套（只）。1975年，从美国斯图尔特·史蒂文森公司引进最高泵压100兆帕、单台压裂车最大输出功率735.5千瓦的高压大功率压裂酸化设备3套，从BJ公司引进工作压力70兆帕、排量5097立方米/小时的液氮车2台，从FMC及卡麦隆公司引进35、70、100兆帕抗硫采气井口20套。1976年，从美国贝克公司引进车载连续油管作业车1台。1980年，从美国库柏能源公司引进橇装天然气压缩机4台。1981年，从美国卡姆科公司引进柱塞气举排水采气设备4套（台）。1983年，从美国斯图尔特·史蒂文森公司引进高功率、高压成套压裂酸化设备1套。1984年，从美国休斯公司引进用于排水采

气的VSSP型变频电潜泵机组2套，从库柏公司引进开采低压天然气的橇装压缩机组11套。1985年，从美国、奥地利胡普纳—格雷公司引进中途测试工具和70~100兆帕的抗硫采气井口6套。1986年，从英国德力克斯公司、加拿大波达斯特系统公司和美国引进井底压力计、便携式抗硫井口加热及测试分离器、井下工具45台（套）。1987年，从美国引进设备、仪表24套（台），包括阿里尔国际公司的橇装及车装JGR/2型压缩机组，塞科设备公司的试井车，ICT公司的试井数据录取系统、电子压力表、井下电子压力计，斯图尔特·史蒂文森公司的高排量混砂车，GRC公司的RPC—3型井底压力计等。1988年，从英、美两国引进设备20套（台），有英国德力克斯公司的100兆帕静重仪和70兆帕2½英寸抗硫防喷管及润滑器；有美国卡姆斯公司的可回收桥塞及起下工具，史密斯国际公司的螺杆钻具、过油管桥塞、外油管刮刀，GRC公司的79DI型井口压力计、GSC—503型压力计信号转换器及资料处理计算机、EMS—700型井下电子存储压力计及现场资料处理计算机，ICT公司的手提式资料录取及自动智能资料取出器等。1989年从美国引进设备3套（台），有ICT公司最高工作压力为207兆帕的D—6B2型回声仪，海德拉里克公司工作压力为100兆帕、排量11327立方

米/小时的液氮车、贝克石油工具公司的钢绳作业车。1990年,从美国引进设备11套(台),有阿里尔国际公司JC/4型橇装天然气压缩机组5台、车装天然气压缩机组5台和贝克石油工具公司的气举设备1套。

西南石油地质局于1987年引进美国哈里伯顿公司高压大排量压裂设备。

五、天然气净化装置

1979年,四川从日本千代田化工建设公司引进国内第一套天然气处理成套装置,包括萨菲诺法脱硫、三甘醇

脱水、克劳斯法硫回收、斯科特法尾气处理、污水处理5个单元以及相应的水、电、气、制氮机和硫磺结片机等辅助设施,装置日处理含硫天然气400万标立方米,用于净化卧龙河气田含硫天然气。

1989年1月,四川引进加拿大德尔泰项目工程公司亚露点硫回收技术和装置1套,该装置自动化程度高,现场无人操作。

1989年7月25日,四川引进加拿大马洛尼公司橇装天然气净化装置1套,日处理能力为50万标立方米含硫天然气。此装置属国内首次引进。

