

古代和近代* 四川天然气的勘探与开发

陈 实

(四川石油管理局)

我国是世界上最早发现和利用天然气资源的国家之一。四川在战国后期即开始凿井采盐，西汉时又凿成著名的临邛火井并采气煮盐。公元18—19世纪，盐都自流井的天然气得到了较大规模的开发利用，成为世界上最早建成、开采历史最长的天然气生产基地。四川人民在地质、钻井、采气、集输等工程技术上的贡献，集中体现了我国天然气勘探和开发的历史发展概貌和巨大成就。

一、天然气的早期开发利用

成书于公元前11世纪左右的《周易·革卦·象传》，提及“泽中有火”、“上火下泽”，反映我国对天然气苗^[1]早有注意和记载。汉宣帝神爵元年(公元前61年)，又发现西河郡鸿门县(今陕西省神木县)“火从地出”，并钻成我国最早的气井之一——鸿门火井^[1]。

秦昭王时(公元前306—前251年)李冰为蜀守，“穿广都(今成都市双流县)盐井、诸陂池”^[2]。这是我国地质凿井的伟大开端。秦汉两代，盐井开凿更多。汉宣帝地节三年(公元前67年)，“又穿临邛、蒲江盐井二十所”^[2]。四川天然气常与盐卤共存于井下，凿井探盐时往往同时遇到天然气。临邛火井似即在这种情况下凿成。

这口火井见于记载，最早是西汉文史学家扬雄(公元前53—18年)在《蜀都赋》中说：“铜梁、金堂：火井、龙湫。”在《蜀王本纪》中更具体记叙其位置和井深：“临邛有火井，深六十余丈”^[3]。

临邛火井不仅是约与鸿门火井同时的气井，而且是世界上最早加以利用的生产井。三国两晋间对其记叙颇多，“夜时，光映上昭。民欲其火，先以家火投之，顷许，如雷声，火焰出，通耀数十里。以竹筒盛其光藏之，可拽行终日不灭也。井有二(按：《汉魏丛书》本于此字下注“当有误”)水，取井火煮之，一斛水得五斗盐，家火煮之，得无几也”^[2](图1)。晋代博物学家张华除记其煮盐情况外，还提及井径和与扬雄所记不同的井深：“纵广五尺，深二三丈”^[4]。同时代的另一博物学家郭璞在《盐池赋》中列举煮盐所用能源时，也特别提到“火井擅奇乎巴濮”^[5]。远处江南的书法家王羲之“欲广异闻”，还致书成都友好，询问“彼盐井、火井皆有否？足下目见不？”^[6]可见火井煮盐确系事实，引起了远近各方的注目。

上述资料反映当时已积累了一定的储采知识：(1)发现天然气可用容器(竹筒)携至远地使用。(2)作了井火与家火(木柴)两种能源煮盐的对比，得出在同样时间内用气可得盐五斗而“家火煮之，不过二三斗”^[7]的概略比值，初步察觉天然气的热效率比木柴高得多^[2]。(3)诸家所记开采设施不尽一致。《博物志》作“执盆盐井上，煮盐，得盐”，似是在井口直接加热盐水。《华阳国志》则作“取井火煮之”，《后汉书·郡国志》又作“取井火还煮井水”，又似通过管道引气至井侧煮盐。考虑到此井

* 按照史学界习用的我国历史分期，以1840年前为古代，1841—1919年为近代。

1) 有人疑是沼气，亦属天然气之一种。

2) 据《川盐纪要》，自贡地区高品位卤水含盐10—15%，“一斛水得五斗盐”(含盐50%)，已超过室温下氯化钠的饱和溶解度(每公升358.6克，含盐35.86%)，故此说只能看作当时简陋条件下进行试验得出的概略数据。

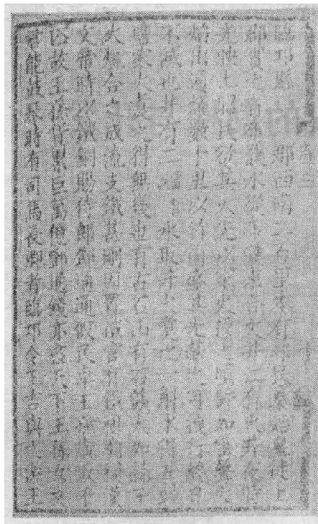


图1 晋·常璩《华阳国志》关于临邛火井采气煮盐的记录



图2 成都西郊出土之东汉凿井煮盐画像砖

气冲上，溅泥漂石，甚为可畏”^[13]。“广政二十三年（按：后蜀孟昶年号，公元960年），井口摧圯，毒气上如烟雾，炼匠缝入者皆死”。经修复后，“初炼盐日三百斤，稍增日三千六百斤”^[14]。显然这是一口含硫天然气较多的高产盐井。

另据《华阳国志》巴、蜀两志，汉晋时期四川广都、江阳（今泸州市、自贡市一带）、南安（今乐山、荣县一带）、胸忍（今万县、云阳县一带）等十多个县均有盐井或设盐官，而这些县又正是今日四川各气矿所在地，掘盐井时极可能遇到气层。北魏地理学家郦道元的《水经注》（卷三十三）把临井

气量较大¹⁾，在井口直接设锅当困难，以管道引至井侧似较符合实际。果能如此，则汉晋之际不仅有输卤管道（图2），且可能出现输气管道。（4）南北朝刘敬叔记此井兴衰说：“汉室之隆，则炎赫弥炽，暨桓、灵之际（按：即汉桓帝、灵帝期间，公元147—189年），火势渐微，诸葛亮一戮而更盛。至景耀元年（按：从下文看，应为六年，即公元263年），人以烛投即灭，其年蜀并于魏”^[8]。这一可贵资料，反映该井产气时间长达300多年（自公元前67年起算）。

临邛火井出气后，北周曾在此地设火井镇，隋、唐、宋三代升为火井县。汉晋时期火井故址，据《博物志》，应在“县南百里”，但早已湮没。唐宋时期的井址，据近年调查，在今邛崃县西五十余里之油榨沱^[9]。场口尚存乾隆年间所立碑石，上书“自唐时古火井处”。四川石油管理局何天华地质师两次在此进行调查，发现附近与火井有关之地名甚多，如火井口、火井坝、火井槽等；并且尚存废井多处，有的井还继续冒出微气。临邛火井位于水口场背斜东翼，地面出露侏罗系沙溪庙组（J_{2c}），其泥岩中多夹砂岩透镜体，形成天然储气库。下伏三叠系须家河煤系（T_{3x}），为区域性主要生气层和产气层，同时，火井故址正处于一道掩断带上，天然气可沿此断层运移到沙溪庙组

中。据四川石油地质勘探开发研究院取样分析结果表明：这两层气体组分基本相同（表1），证实临邛火井故址确有浅气层，且有深部气源供应，故有相当产量是完全可能的。

除临邛外，汉晋古井之著名者尚有气卤共存之陵州（今仁寿）井。

《益州记》首加记载^[10]，该井相传为东汉献帝建安二年（公元197年）张陵入川主持凿成^[11]，“因陵遂以名井，因井遂以名州”^[12]。“曾有汲水，误以火堕，即雷吼沸涌，烟

1) 左思《蜀都赋》描写此井燃烧情况时说：“高焰飞煽于天陆”，《华阳国志》亦言其“如雷声，火焰出，通耀数十里”，可见此井产量和压力都比较高。

组分 层位	甲 烷 (%)	乙 烷 (%)	丙 烷 (%)	氢 (%)	甲烷碳同位素 (‰)	乙烷碳同位素 (‰)
J ₂ c	96.5	2.54	0.6	0.018	-33.8—34.1	-23.4—24.1
J ₃ x	96.2	2.67	0.44	0.017	-32.6—33.9	-22.9—23.8

称为“蜀火井之伦”。这可视为当时尚存有其它气井的旁证。

二、天然气勘探开发的鼎盛时期

由汉至明初,火井虽时有发现,史不绝书,但因勘探和开采中的许多技术障碍难以突破,故较长时期内未能扩大勘探,广为利用。

明季中叶以后,火井渐多,集中分布在邛州、蓬溪、富顺等地。同时,在嘉州、犍为、眉州、青神、井研、洪雅等州县还发现一批油气井、油气卤同产井^[15]。明代宋应星《天工开物》(成书于公元1637年)除记叙当时的钻井设备、操作工艺、井径、井深、钻速以外,又着重叙述了浅层低压气井的开采情况,绘制了火井煮盐图。他泛言“四川有火井”而未确指何地,恐亦系火井分布益广之故。

由明末开始的钻采工艺技术革新,至清代中叶更趋成熟和完善,特别是对裂缝性气卤田的地质特点和规律逐步有了认识,故勘探地域和开采深度都大大超过以前。继射洪、蓬溪、犍为、乐山之后,又在自流井气卤田上进行了比较集中的勘探和开发,我国天然气事业遂发展到鼎盛时期。

自流井气田位于自贡市艾叶滩、贡井、自流井、凉高山、大山铺一带,是喜山运动形成的自流井凹陷带北沿最大的一个背斜,圈闭条件良好,沉积层厚,生、储层组合多而好,裂缝系统发育,是一个气卤并茂的好构造。

一般认为,自贡产盐发轫于汉,当时即以“江阳之盐”著称^[16]。晋代有深达250尺的富世盐井和大公井^[17]。由唐至宋,“邦赋弥崇”、“饶沃衍谿过于他郡”、“百姓得其富饶,出盐最多,商旅辐凑”^[18]。及至明代后期,原有生产井相继废塌,公元十六世纪五十年代前后,在今自流井釜溪河西岸之火井沱一带,找到新的气卤资源,并逐步扩大开发。明代万历年间(公元1573—1620年),该地已出现火井坡这一地名,当地政府还将火井列为税收项目,称为“裁课火井”¹⁾。这标志着天然气已由盐井副产品变成独立的生产井,开始得到比较集中的勘探和开发。

据乾隆《富顺县志》,清初自流井地区已是“井厂遍凿遍山”。由雍正到乾隆的七十余年间(公元1723—1795年),盐井数由298口增至413口,火井数也上升到11口^[19]。富(顺)荣(县)盐厂的气卤产量一跃而与原有射(洪)蓬(溪)、犍(为)乐(山)两大盐厂并驾齐驱。至道光二十四年(公元1844年),“富顺县厂仍益繁盛,且多火井……,引入锅底煮盐,利最厚,省煤炭,甚至有一井口接数十竹者。……大火可烧二三百锅,最次者亦烧数十锅”^[20]。咸丰、同治年间(公元1851—1874年),由于“川盐济楚”这一因素的促进²⁾,使自流井气卤资源加速开发:“乃大办井灶,并及深井,及于火脉,火乃大升”^[21]。据光绪年间的统计,盐火两井猛增至三至五千口,火灶约二万口(一锅为一口)^[22],日产气超过一万立方米的火井至少在十口以上^[23]。

随着钻井深度的增加,开采层位也由新而老。乾隆三十年(公元1765年)钻成530米深的老双盛井;嘉庆二十年(公元1815年)更钻穿侏罗系到达三叠系顶部,此时钻成的桂粘井深达797.8米;

1) 见自贡盐业世家李氏《族谱》卷十所载明万历时李汉应临终遗言,原件藏自贡市盐业历史博物馆。

2) 由于太平天国革命运动遍及东南各省,海盐无法沿长江上运两湖。两湖地方当局遂奏请借川盐调济,一向行銷本省的川盐遂得以沿江而下,称为“川盐济楚”。

道光二十年(公元1840年)钻成1001.4米深的兴海井^[23];咸、同以后,更陆续钻穿三叠系嘉陵江组 and 雷口坡组各主要气层,高产井接踵而来:“火之极旺者曰海顺井,可烧锅七百余口;水、火、油三者并出曰磨子井,水、油经年而涸,可烧锅四百余口,经二十余年犹旺也;德成井火卤气薰人至死,可烧锅五百余口”^[24]。磨子井位于构造顶部裂缝区,深1200米,井喷后着火,火舌高达数十米,二十多里外就能看到火光,被誉为“自贡古今第一大火井”,日产气估算在数十万立方米以上。

当时,自流井气田的二十多个勘探、生产基点上,呈现一派“天车(井架)林立”,“地架(碛凿设施)喧腾”、“索纜(输气输卤管线)蜿蜒”、“辘轳(绞车)霆震”^[25]和“气上冒,声四起,非战而群器贯耳,不雨而黑云遮天”^[26]的繁荣景象。山匠、盐匠、灶头 etc 勘探生产技术人员与管理人员以及主要生产工人近万人,从事铁、木、竹、石等辅助性生产的店铺数百家,经营矿场人员所需生活资料的店铺近千家,搬运、航运工人数万人,合计直接间接从事勘探、生产的人员多达30—40万人^[24]。据已故胡毓善工程师的估算,1850至1878年间采出的天然气达到60亿立方米^[23]。以“盐火两旺”的自流井为主力的富荣盐厂,年产盐20—30万吨,占全川产量的一半以上,除供应四川四十多个州县外,还远销湘、鄂、滇、黔四省的百余州县。她不愧为我国天然气和盐业发展史上的一颗灿烂明珠。

三、天然气地质学的成就

四川古代地志和古籍中,常可见到“相地凿井”的说法。穿广都盐井的李冰“知天文、地理”^[27],汉代张陵“见阳山气象”选定陵井井位^[11],汉廷尉扶嘉临终根据“三牛对马岭”的地形提示云阳井位^[27]。这些都反映他们掌握了某些初步的地质知识,对地形地貌作了观察,对其与矿藏的关系有所分析和认识。惜记载过于简略,并且掺杂某些迷信色彩。在长时期内,相地凿井往往与卜墓地、择屋基的堪舆术混在一起,世代秘相传授,鲜为世人所知。这不能不是古代天然气地质学长期发展缓慢的一个重要原因。

地质专业人员的出现 明末清初逐渐出现一批专门从事勘定井位、研究井下地质情况、判断气卤储藏规律的专业地质人员。最初,他们只是一批善于在“两岸夹河、山形险急、得沙势处”选定井位的“匠氏”^[28]。清代盐厂的专业分工中,主要职司“规画形势、督工匠以凿井”的地质钻井技术和管理人员被称为“井管事”,负责整个地质钻井工作。由于钻凿气卤井的投资巨、时间长、风险大,“见功”则成巨富,失利即倾家荡产,故井管事位列杜(开采)、笕(集输)、号(运销)等管事之上,职权最重^[24]。

在勘定井位时,井管事或者根据岩层、山形和气卤露头,“撷草拾土嗅之,即知下宜有水火”^[29],“山高大者,须择其低处平原,山低者,须择其曲折凸起之处”^[21],即找寻裂缝发育的构造部位布井;或者“择四旁有井者居中度地焉,曰看榜样”^[29],即按类比原则和插入法布井;有的还专找“黑矿子石平铺”(当地称石灰岩为矿子石,东岳庙石灰岩为灰黑色,是浅气层之一),即在浅气层的构造顶部布井¹⁾。1955年以来,四川石油和盐业部门对自流井气田的传统工艺技术及其原始录井资料,进行过大量的调查整理和研究,查明这个气田主气层嘉陵江组第三段的勘探过程是:1850年前后主要集中在气田顶部之珍珠冲、杨家冲一带,发现了上述磨子井等高产井;1850—1890年由火井沱转向气田顶部偏西南之郭家坳高产区;其后再转向西南翼之土地坡一带。现已查明这三个地区均为嘉三气藏的裂缝发育区(图3),而近百年来的钻开此气藏之198口旧气井,绝大多数分布在构造的长轴部位²⁾。可见这些井管事选定井位的本领是相当高明的。

1) 四川石油管理局川南研究大队,1985,《自流井嘉三气藏研究初步总结》。

2) 参见本页脚注1)及187页脚注1)。

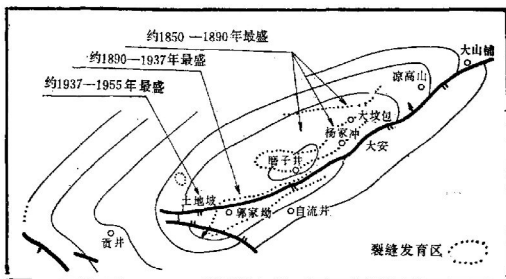


图3 自流井气田裂缝发育区及开发过程示意图

岩口簿与扇泥筒 明末一些著作已提及“井浅者五六十丈而淡(白水)出,深者百丈而咸出”^[30]。有的还载有录井资料:“及二三丈许,泉蒙四出”,“至二三十丈许,见红石岩,……随议下竹(木竹套管)”,“小窍……凿至二十丈中,见白沙,数丈有咸水数担,名曰腰脉水”^[28]。此时已不仅记录井深,且注意辨识岩性,掌握下套管位置,区分卤水含盐量的多少。清代更形成凿井中最重要的制度:“凡凿井须审地中之岩”^[24],“日下几尺或几寸,皆簿记焉”^[31],“凡打一井,从下铎之日起,必立一纪事簿。一井有一井之簿册,凡地层之种类,土色之形状,深一寸记一寸,深一尺记一尺”^[32]。此种钻井地质资料的原始记录,称为岩口簿(图4)。

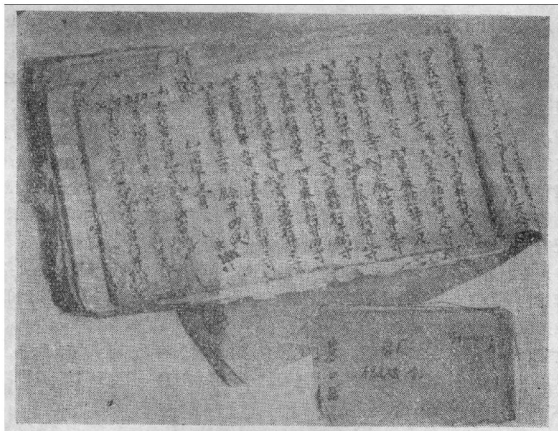


图4 旧盐井岩口簿实物

井管事对岩性有一套习用名称。四川石油管理局110队(1956)和川南研究大队(1965)曾两次对数千口旧井录井资料进行整理¹⁾,发现这些资料精确到寸,岩层划分比较准确,气卤层位、裂缝性地质描述清晰,并可与解放后的钻井资料互相对比,是我国钻探史上的珍贵资料。

捞取岩屑的工具是扇泥筒,由北宋汲取卤水的“筒井水轳”演变而来,已沿用九百多

1) 四川石油管理局110队,1956,《自流井专题研究报告》及其附件《盐井调查原始资料》,并参见186页脚注1)。

年¹⁾。钻进时，“……钎（即钻头）触处俱为泥水。每凿一二尺，匠氏命起钎。用筒竹一根，约丈余，通节，以绳系其梢，筒末为皮钱（即圆形牛皮，起凡尔作用）掩其底，至泥水所在，匠氏探绳伸缩，皮欹水入，汨满旋出，泥水渐尽，复下钎凿焉”^[28]。其结构是颇为巧妙简易的。

综合地质录井剖面 《自流井记》记叙自流井构造井下地质情况说：“井铤初下，为红岩；次瓦灰岩，次黄姜岩，见油；次草白岩，次黄沙岩，见草皮火；次白砂岩，见黄水；次煤炭岩，次麻箍岩，次黑烟岩，次绿豆岩，见黑水。红岩者，红土石也；瓦灰、黄姜、麻箍、绿豆，象其形色也。炭岩之炭，可燃；火烟岩之烟，如细面。——凡井，诸岩不备见，惟黄姜、绿豆必有之。间有通绵岩者，凿最艰。绵岩者，一丈可凿一年。”“井及七八十丈而得咸者，谓之草皮水，量水一桶²⁾，可烧盐四五钱，……井及百二三十丈而得咸者，为黄水，桶烧盐一两零，……井及二百六七十丈而得咸者，为黑水，桶烧盐二两零。”“草皮水者，咸之轻者也；井至二百六七十丈而咸极。草皮火者，火之弱者也，井至二百六七十丈而火旺。凡火井见功时，气隆隆然自井底出，视之如釜蒸，闻之如卤臭，扪之如冰冷”。“井之精液为油，凡四色：米汤油，色白；绿豆油，色青；梔子油，色黄；黑漆油，色黑。青、黄、黑三者，气薰人，如硫黄；白者气较轻，光较明。”

经与现代钻探的自1井对比，可以看出：（1）虽然地层命名不同，但岩性描述一致，分层大体相当。如红岩即为侏罗系自流井群马鞍山组之暗紫红色泥岩，草白岩至黑烟岩相当于上三叠统香溪群之砂岩和煤系地层。（2）油气卤三者的产层产状的描述基本相符，分级相似，深度一致，含盐量测定数据相近。如其所记“一百二十丈”³⁾（折合954.2—990.9米）之“黑水、旺火”，即为自1井914.6—1084米之嘉陵江组第三段主要气卤层，卤水含多量硫化铁（FeS），久置成黑色。“一桶烧盐二两零”，即256.5克/公升，与今测含盐180克/公升以上相近⁴⁾。（3）李榕显系对各井地层作过综合对比，故能得出“诸岩不备见”之结论；现已查明本构造存在黄葛坡等大小几条断层，导致某些井地层有缺失或重复。（4）李氏已明确指出“黄姜、绿豆必有之”，意识到此二标准层的存在。黄姜即东岳庙石灰岩，以其下部含有姜黄色之灰质结核得名。绿豆，即雷口坡组第一层之灰绿色页岩，以其中夹绿豆色之砂锡礞石而得名。此二层现仍定为侏罗系、三叠系之区域性标准层。

以上说明，《自流井记》实际上是用文字表述的准确度较高的一幅近代井下地质资料综合剖面图，为清代地质史料中的珍品。

判断裂缝和水层位置 自流井旧盐厂历来重视裂缝，意识到气卤两者均出自裂缝，“有水有火必有缝”。岩口簿上常有“立缝”、“横缝”、“骑马缝”、“水缝”、“火缝”及其长宽之记载⁵⁾，反映对裂缝已有性与量的概念。

在钻进中，主要是通过观察钻头、钻杆的磨损痕迹，岩砂泥水的沉淀状况，钻具晃动倾斜，以及跳钻卡钻等异常情况，来判断是否钻遇裂缝。从钻具出现擦痕的这段进尺，推知裂缝的长度，从磨损的宽度又可推知裂缝的宽度。

钻具陡然变轻、钻杆出井后表面颜色的变化、有无附着物、有无“收汗”现象等，是判断水层、气层、黄卤、黑卤、盐岩的重要依据。同时，还可通过“考水”这一工艺⁶⁾判断是否钻遇裂缝及井内存在何种流体^[33]。

1) 宋·苏轼《东坡先生志林》卷四，“又以竹之差小者，出入井中，为桶而穿其上，蒸热皮数寸，出入水中，自呼吸而启闭之，一筒致水数斗。”

2) 桶、盐场习用之竹筒量器，约合353立方厘米。

3) 丈，即盐场习用之井丈，约合3.67米。

4) 参见李说言，1944，《四川盐矿志》及187页脚注1）。

5) 四川石油管理局科研所，1965，《中国传统式钻系工艺的几点经验》，未刊。

6) 将捞出的砂样与泥水，倾入一圆形木盆（考水盆），让其自行沉淀，根据沉淀物的表面状况进行分析判断，称为考水。

裂缝与流体层位的准确确定,需用“泥孩儿”测试。“如此并甲日已缝下三十丈,乙日又下二尺,晚扇泥犹燥,则簿记无尤。及丙日,又下二尺,晚扇泥而湿,则知三十丈有四尺必定岩(垮塌)。然走岩在何方,以及白水之多寡不知也,于是以此试之”。“削木为杵,长可三四尺,半缚泥,外束以麻,大与井眼相若而稍缩。度悬绁(即丈量钻具长度)而下(如三十丈有四尺,绁亦如之)至定岩处顿许时取出,视其湿即知其方,湿宽者即知其腔口大,湿深者即知其水力劲”^[31]。这种具有吸水性能、可以紧贴井壁和井底的泥杵,既便于判断水层状况,又可从印痕测知裂缝性状、宽窄和方向,已沿用二百多年。

四、天然气钻采工艺的发展简况

我国钻井工艺溯源于远古农耕时代先民所凿的原始古水井^[34]。战国后期以来,四川地质钻井经历了几个发展阶段,在工艺技术、机械设施、打捞修井等方面,都有许多突出的成就,是十二世纪以前传入欧洲的我国古代重大发明之一^[35]。此处只略述其梗概,其详情当另文介绍。

李冰凿广都盐井,为发展盐业和油气勘探提供了重要手段。

秦至五代,均属大口径浅井。成都等地出土的东汉盐井煮盐画像砖,其上已有木竹井架、两层操作台和天车定滑轮提升装置(图2)。此类井在唐代已达640口,分布于四川的21个州^[36]。

陵井的大修,反映了大口径浅井向小口径深井过渡。此井因井径过大,“石脉淤塞”,于宋太祖乾德五年(公元967年)^[14]及宋仁宗明道、景祐初(公元1033—1035年)^[37]两次大修后,井径由前述之井口周围四丈缩小至中段仅如“杖鼓腰”^[38]、“小罍口”^[14],特别是下入了上出井口、下及卤层、深二十余丈、“四面锁叠、用障其土”的硬木技术套管^[14,38,39],解决了防止井壁坍塌的技术关键,并有了绞车汲卤设施^[38],具备了小口径深井的某些特点。

宋仁宗庆历、皇祐年间(公元1041—1054年)出现的卓筒井,是钻井工艺的重大革新,标志着我国钻井技术进入小口径钻井阶段。据苏轼^[40]及目睹者文同^[41]、陆游^[42]的记载,这种新型井的特点:一是井口小“如碗大”,“仅容一竹筒”,“深者数十丈”;二是陵井大修后所用“木干”发展成“牝牡相衔”(即用公母扣组装)可逐根下入井内的木竹技术套管,“以隔横入淡水”(即封堵水层);三是创制出圆刃形钻头,可能已采用某种碓凿机具;四是使用能“自呼吸而启闭”的活塞式提卤筒,如与陵井绞车组合,即成联动提升装置;五是只需“役工匠四五十人至三二十人”操作,省力省工。二十多年中,仅陵州所辖四县“已及数百井”,嘉州简州一带“连溪接谷,灶居鳞次”,其后,“忠、万、戎、泸间夷界,小井尤多”^[43]。南宋时,四川三十州中有小井者达十七州。由宋仁宗至高宗的百余年间,四川井数由604口陡增至4900口^[44],卓筒井的出现是其重要原因之一。

人工碓凿工艺的出现,使我国古代钻井发展到高峰。明末生长于川北气卤区的马骥,已有详确图说。宋应星也绘有图件,记其操作与设施^[45]。到了清代,更发展成操作设施完备、工具齐全配套、打捞修井技术精巧的一整套工艺技术。除器材原料与动力不同外,其基本原理与近代顿钻大体一致。从开钻到完钻可分为六道工序:一是开井口、下石圈(石质表层套管);二是竖天车(木竹

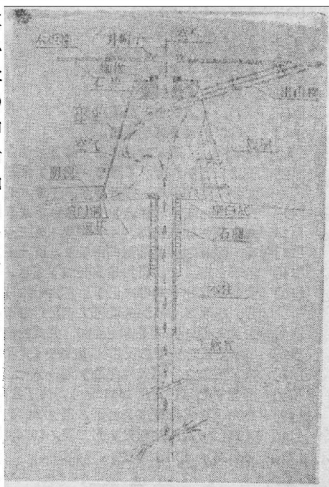


图5 廉盆结构及工作原理示意图

井架)。从开钻到完钻可分为六道工序:一是开井口、下石圈(石质表层套管);二是竖天车(木竹

井架)、绞车, 碓架(碓凿设施, 形如民间舂米架)、地滚等碓凿机具; 三是抽小眼、刮大口, 即先用小钻头钻石圈以下至技术套管之硬岩这段地层, 再扩大井径; 四是下木竹, 即下技术套管; 五是装井口, 由石臼、康盆(详下)和井帽子三者组成井口装置; 六是再钻小眼, 自技术套管钻到气卤层即可完钻投产^[21'22'24'28'31'45'46]。

钻井、打捞、修井等专用工具, 均以竹、木、铁、麻为材料, 设计精巧, 结构简易, 操作方便, 数达几十种。不同尺寸、不同用途的钻头即有六七种。各式打捞工具, 分别具有抱、抓、钩、衔、翻、扯、撕、割、拔、通等不同功能^[33'47]。堵漏补腔所用之桐油、胆水(制盐母液)、石灰等材料, 即可调制能抗硫、能对付微裂缝、大小水缝或严重坍塌的十一种油灰¹⁾。这些工具和技术, “询称绝技”^[48], “其器之机巧, 不能名状, 有时神明变通, 并不能拘成法也”^[24'49]。

开采上也形成一套裸井眼、敞井口、无阻开采的木竹开采集输技术和设施。由井中采出之天然气进入兼有减压、配风、混合和气水分离四项功能的康盆(图5), 然后沿出山视(外输管线)经各级分配桶输往用户。在极盛时期, “一井口接数十竹, 并每竹中间复横嵌竹以接之”^[20], “高者登山, 低者入地, 钩连支柱, 虽长虹之饮涧, 秋蛇之赴壑, 不能名状也”^[24]。据1966年调查, 靠这套采气装置采气百年以上的井尚存十口, 有的累计采气五亿立方米以上²⁾。

写作本文时, 承南海石油勘探指挥部高级工程师曹鼎乾指导, 四川石油管理局唐泽尧、赵景续和成都大学张粹然同志提供资料, 谨此致谢。

(收稿日期 1983年6月29日)

参 考 文 献

- [1] 班固, 《汉书·地理志》, 同书《郊祀志》。
- [2] 常璩: 《华阳国志》。
- [3] 李昉, 《太平御览》卷八六九。
- [4] 张华, 《博物志》卷九。
- [5] 欧阳询, 《艺文类聚》卷九。
- [6] 王羲之, 《盐井帖》。
- [7] 范曄, 《后汉书·郡国志》。
- [8] 刘敞叔, 《异苑》卷四。
- [9] 胡昭曦, 《唐宋时期邛州火井县治的今址》, 载《井盐史通讯》1980年第1期。
- [10] 《益州记》作者, 《隋书·经籍》仅署李氏撰, 《新唐书·艺文二》署李充。《蜀中广记》卷九十六则作梁太仆卿涪城李膺, 并云邈周、任豫, 刘欣期各有益州记, 散见类书。《说郛》收录此书时, 即署任豫。
- [11] 五代杜光庭《录异记》引唐元和年间李正卿《天师圣德碑》。
- [12] 北宋涪州知州文同, 《丹渊集》卷三十七, 《乞改涪州名状》。
- [13] 隋·郎蔚之, 《隋州郡图经》, 清·王谟《汉唐地理书钞》辑存。
- [14] 南宋李焘, 《续资治通鉴长编》卷八。
- [15] 参见曹学佺《蜀中广记》(卷六十六), 何宇度《益部谈资》(卷上), 杨慎《丹铅总录》(卷四), 杜应芳、胡承诏《补续全蜀艺文志》(卷四十六)及《明史·地理志》。
- [16] 东汉章帝时崔骃《博徒论》, 见虞世南《北堂书钞》卷一四六。
- [17] 《华阳国志》蜀志及唐·李吉甫《元和郡县图志》卷三三。
- [18] 宋·王象之, 《舆地纪胜》卷一六七。
- [19] 清光绪七年(公元1881年), 由丁宝楨主持编纂的《四川盐法志》卷五。
- [20] 范声山, 《花笑庵杂笔》, 道光24年(公元1844年)成书。
- [21] 吴炜, 《四川盐政史》第二编, 1932年。
- [22] 林振翰, 《川盐纪要》, 1915年。

1) 参见188页脚注5)。

2) 四川石油管理局110队, 1966, 《自流井专题研究报告》及其附件《盐井调查原始资料》, 并参见186页脚注1)。

- [23] 胡颖善,《四川盆地自流井构造天然气开采的研究》,石油工业出版社,1957年。
- [24] 李榕:《自流井记》,载《十三峰书屋全集》。李榕于光绪二年(公元1876年)署火井,成书当在其后。
- [25] 李芝:《盐井赋》、《火井赋》,乾隆《富顺县志》收录。
- [26] 温瑞柏:《盐井记》,道光六年(公元1826年)成书的《皇朝经世文编》卷五十收录。
- [27] 《舆地纪胜》卷一八二。
- [28] 明·马骥《盐井图说》。马,四川射洪县士人。曹学佺(公元1574-1647年)《蜀中广记》(卷六十六)及顾炎武(公元1613-1682年)《天下郡国利病书》(卷六十六)、光绪《射洪县志》(卷五)、《潼川府志》(卷十二)尚存几段引文。图佚。
- [29] 《富顺县志》,1931年续修本,又《四川盐法志》卷三。
- [30] 明万历(公元1573-1620年)郭子章为岳谕方《盐井图记》所写《序言》,光绪《射洪县志》(卷五)及《潼川府志》(卷十二)录存,文字略有不同。岳记已佚。
- [31] 《四川盐法志》卷三。
- [32] 《自流井第一集》,玉荷山樵甫著,1916年。
- [33] 吴洪霖《旧法凿井》及志征《泥盆考水》,载《井盐史通讯》1983年第1期及1982年第2期。
- [34] 徐中舒:《古井杂谈》,《四川大学学报》(社会科学版)1977年第3期。
- [35] 李约瑟(Joseph Needham),《中国科学技术史》第1卷第2分册546、548、555页,科学出版社译本,1978年。
- [36] 《新唐书·食货志》。
- [37] 胡道静:《〈梦溪笔谈〉补证》,载《中华文史资料》1979年第2期。
- [38] 宋·沈括:《梦溪笔谈·权智》。
- [39] 宋·释文莹:《玉壶清话》卷三。
- [40] 宋·苏轼:《东坡先生志林》卷四。
- [41] 《丹洲集》卷三十四,《奏为乞差京朝官知并研县事》。
- [42] 宋·陆游:《老学庵笔记》卷五。
- [43] 《续资治通鉴长编》卷二五五,又《宋史·食货志》。
- [44] 《文献通考》卷十五、十六。
- [45] 明·宋应星:《天工开物·井盐》,成书于明崇祯十年(公元1637年)。
- [46] 申力生主编:《中国石油工业发展史》第1卷,石油工业出版社,1980年。
- [47] 纪磊《铍井》及钟杰《取难》,载《井盐史通讯》1980年第1期及1982年第1期。
- [48] 清·严如煜:《三省边防备览》,清·嘉庆时成书。
- [49] 吴鼎立:《自流井风物名实说》,同治《富顺县志》收录。吴曾于同治十年(公元1871年)任富顺知县,记钻采工艺的见闻颇多。

THE EXPLORATION AND EXPLOITATION OF NATURAL GAS IN SICHUAN BEFORE THE QING DYNASTY

Chen Shi

(Sichuan Petroleum Administration)

Abstract

China is one of the earliest countries in discovering and using natural gas resource in the world. The great achievements made by both the ancient and modern Sichuan people in natural gas geology, and technology in drilling, exploitation and transportation, etc, rather collectively show an outline of the historical development of the tremendous contributions of China. After studying a great deal of historical literatures from the Han Dynasty to the end of the Qing Dynasty, and the recent reports of geological exploration, the author tries hard to study systematically this long historic process. Namely, the writer has firstly collected and

analysed a lot of documents related to the first gas well—Linqiong gas well—in the world; secondly, introduced the situation of the early use of the natural gas in Sichuan; thirdly, expounded the exploration and exploitation courses of gas resources in Ziliujing saltfield from 16th to 19th century A.D. as well as the construction process of this earliest natural gas production base in the world; the fourth, emphasised discussion on the experience and working manner in locating wells, identifying lithology, making geological logging and tracing fractures of the pioneers who had properly treated the geological task of natural gas; and finally, the author gives a brief review of the three stages in the development of drilling technology and the characters of the technology about exploitation and transportation.

济阳坳陷又探明了新储量

1983年,济阳坳陷新探明了石油地质储量二亿吨。进入1984年,又传出喜讯,在孤北地区的奥陶系古潜山中,打出了一口会战以来最好的高产井,日产原油3600多吨和天然气36万立方米,令人鼓舞。新储量主要分布在以下三种地区:一是盆地的边缘,如革家寺—商店西—林樊家地区,从沙四段到东营—馆陶组多层含油,从内向外含油地层逐层抬高,不同层系在空间可以连片。二是在盆地的低洼部位也找到相当可观的石油,它们以梁家楼、牛庄、六户地区为代表,石油主要储藏在巨厚生油岩系内席状、带状或透镜状砂体中,油层的压力高、产量高。第三类发现于各二级构造带的端部和鞍部,以辛南、宁海、义东为代表,主要为沙一、二、三段含油,受构造和断层控制,断块高部位油层厚,有的区块每平方公里石油地质储量可达400—500万吨。

构造部位不同的三种地区实际上分布着不同类型的油气藏。盆地边缘主要是地层不整合油藏和地层超覆油藏。在块断盆地由于地层向盆地边缘变薄以致尖灭缺失,加上陆相沉积岩性多变,使岩性因素在形成地层油藏中增加了复杂性,有的地方含油范围甚至可以超出构造圈闭的界线,而在隆起顶部的局部低洼部位形成油层较厚的富集区。

盆地内部的低洼部位,一般因地层平缓下倾而缺少构造圈闭。但在地史中始终是汇聚各方来水,倾泻碎屑物质的处所,尽管一般砂体在沉积时均呈下倾,向洼陷尖灭,而浊流沉积物则可直达洼陷深处,在巨厚生油岩体中形成以岩性因素为主的圈闭,这种看起来成因条件复杂、分布零星的岩性油藏似乎难于驾驭,但是,72%的勘探成功率,说明在块断盆地的深洼陷的确具有广阔的前景。只要认真采用地震地层学方法,精细地进行地层和沉积学研究,增加石油地质储量是可能的。

在各二级构造带内新的发现仍以断块油藏为主,有意义的是尽管在构造带的端部或鞍部,只要把断层搞清楚,把断块的高部位卡准,就有可能打出百米厚油层的井,找到每平方公里拥有几百万吨石油地质储量的富集区块。

如果连同二级构造带早已发现的含油构造整体来看济阳坳陷的石油分布状况,那么成熟生油区控制油气成片分布,各类圈闭控制油气成带富集的规律,正通过二次勘探丰富它的内容。在区域勘探中正向二级构造带内已经发现了一系列大中型油田,现在注意地层圈闭带和岩性圈闭带的研究和勘探,不但大大缩小着勘探的禁区,而且开拓了发现新的油气资源的前景。

(王捷)