



中国天然气地质学进展 编年研究

魏国齐 钱 凯 李 剑 编著



石油工业出版社

中国天然气地质学进展 编 年 研 究

魏国齐 钱 凯 李 剑 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书论述了从公元前 11 世纪到公元 21 世纪初,时间跨度达 3000 年的漫长历史过程中,中国人关于天然气的认知、开发、应用与对天然气地质学发展的贡献。主要包括中国本土天然气地质学的萌生、发展与应用的光辉成就,西方油气地质学的早期影响与中国学者对油气地质学发展做出的努力、中国现代天然气地质学体系的形成、发展及其对中国天然气工业的巨大基础性贡献。在资料选取上,把时势放到历史中去观察,把群众的贡献作为构筑历史长河的岸基,把大家名人的贡献作为书写长河历程的丰碑。在介绍名家贡献的同时,更多编入了广大劳动者和科技工作者似属平凡的作为和论述。因此,既丰富了内容,又增加了可读性。

该书可供科研院所学者、高等院校师生,以及生产单位工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国天然气地质学进展编年研究/魏国齐,钱凯,李剑编著.
北京:石油工业出版社,2008.12

ISBN 978-7-5021-6911-4

I. 中…

II. ①魏…②钱…③李…

III. 石油天然气地质-编年史-研究-中国-公元前 11 世纪~2005

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 188085 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

889×1194 毫米 开本:1/16 印张:28.5

字数:830 千字 印数:1—1000 册

定价:118.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

从公元前 11 世纪到本世纪初,中国关于天然气的认知、应用及对天然气地质学的诞生、发展做出自己的努力,经历了 3000 多年的漫长历史,经历了世界他国都不曾有过的辉煌与暗淡、进取与曲折,终于得以顺利发展。总结历史进程中丰富的经验教训,必将有益于中国天然气地质学及中国天然气工业的发展。

中国天然气地质学发展大体经历了本土天然气地质学的萌生发展和应用、现代油气地质学的引进与应用、天然气地质学独立成长、现代天然气地质学理论体系的形成与发展四大阶段。每个阶段都有自己的特点。首先,第一阶段,中国本土天然气地质学的萌生、发展和应用是依附于 13 世纪开始的制盐业的需要而进行并在 17 世纪形成天然气勘探开发配套技术的,并且是世界油气勘探开发历史上最光辉灿烂的一页,在那个时代,是世界上独一无二的,甚至西方现代石油勘探的早期钻井也是仿效于此。而国外天然气地质学则是从 19 世纪初开始,依附石油业及石油地质学而产生、发展起来的。而第二阶段,引进与应用之所以在中国现代油气地质学的发展上具有重要意义,则是因为 1840 年鸦片战争开始的半封建半殖民地统治,中国民族工业和科学事业受到严重阻遏,而西方则由于包括侵略他国在内的种种因素积累了资本,石油天然气工业迅速发展,油气地质学也随之迅速发展而起。该阶段中国天然气地质学经历了中国历史上半封建半殖民地社会时期艰难曲折的历程,所幸 1949 年新中国成立,政府对油气资源及指导油气资源勘探的地质理论与技术方法十分重视,经过三年恢复,开始为正常发展做出积极努力,通过成立石油院校、大力培养石油地质人才、请外国专家来华考察传经、派领导干部和专家学者赴国外考察学习等途径积极引进应用国外理论技术,大力加强国内地质、地球物理的综合研究与油气勘探开发。从油气地质学全局看,陆相成油理论、油气分布源控论是该阶段的辉煌成果,也是中国人对世界油气地质理论的宝贵贡献,单从天然气地质学看,四川天然气地质研究也颇堪称道,特别是对裂缝性碳酸盐岩气藏的认识逐步加深,确立了气田的概念,勘探成效得到提高。可惜,如此好的形势,又遭遇了“文化大革命”的十年破坏。中国天然气地质学的顺利发展是从第三阶段开始的。这里我们再一次看到国家在领导、组织、支持科技发展上巨大的决定性作用。中国天然气地质学能够独立发展就是从国家组织的“六五”天然气科技攻关开始的,并得益于国家重点实施的四川、鄂尔多斯、柴达木、塔里木等盆地的天然气勘探开发实践。在科技攻关和勘探开发实践的推动下,煤层气理论经由戴金星等被引入国内,这是中国天然气地质学独立于石油地质学而发展的标志。陈荣书于 1986 年出版的《天然气地质学》,包茨于 1988 年主编的《天然气地质学》,以及戴金星、戚厚发、郝石生于 1990 年出版的《天然气地质学概论》则是中国天然气地质学独立发展并渐趋成熟的标志。这一阶段中国天然气地质学研究进展主要体现在煤成气理论的发展创新、鉴别指标的建立、含煤盆地有利于形成大中型气田和克拉通盆地古隆起控气等天然气富集规律的认识等方面,有力地影响、带动了相关学科的发展,有效地指导了勘探实践,在整体上提高了天然气地质学的理论水平和学术社会地位。由于国家方针政策和组织领导的一贯性、连续性,在石油天然气系统广大职工和科技人员的努力下,天然气地质学一经独立,便迅速得到深化完善,如台地边缘相沉积相与储层特征分布规律的研究开拓了川东及川东北上二叠统生物礁和下三叠统飞仙关组鲕滩气藏的勘探新局面;内陆湖相层序地层学的研究与储层分布预测为鄂尔多斯盆地上古生界河流三角洲相砂岩隐蔽气藏的勘探提供了指导;前陆盆地天然气地质条件认识的提高及断层相关褶皱理论的引进和攻关,加快了中西部、新生界复杂构造

带天然气勘探的突破步伐；重视非常规天然气——煤层气的研究，培育出新的天然气储量增长点。发现了晋城大型煤层气田，为天然气储量的增长开辟了一个新领域，并通过开发试验，于2003年在中国首次实现煤层气的商业化生产，开始了中国煤层气产业化的进程。“十五”以来，中国天然气地质学更得以向系统化方向迅速发展。所谓天然气地质学体系就是包括成盆、成气、成藏三个根本环节并延伸至天然气分布规律、评价预测乃至天然气勘探有关问题认识的学科系列。到20世纪末这样的系列已基本形成，包括：天然气生成理论的系统发展；天然气有机地球化学技术体系的建立；天然气成藏理论的系统化研究；天然气勘探领域的拓展；天然气富集规律与勘探有利区带认识与评选；天然气发展战略的制定；勘探技术的全面发展等。也就是说，经过20多年的持续努力，中国天然气地质学理论体系终于在20世纪末建立了，因而也就站到了世界天然气地质科学的前列，并在2000年以后沿着这个方向继续胜利前进。同时，在天然气地质学独立成长到现代天然气地质学理论体系形成并发展完善阶段，基于地质认识发展起来的科技进步即时解决了油气勘探中的关键问题，如：山地复杂构造地震资料采集、处理、精细解释技术的应用，促进了库车前陆盆地复杂的构造带天然气勘探的大发展；欠平衡钻井技术的实施，及时而有效地保护了油气层，从而使地层压力较低、非均质性较强油气层得以被发现。正是由于独立成长近30年来，理论体系与相应勘探开发技术方法的这种发展、创新与完善，中国天然气地质学为中国天然气工业快速发展做出了重大基础性贡献，使中国天然气产、储量分别增加到7至135倍。由此可见，研究历史，通过促进理论技术发展，将可服务现实，取得重大经济社会效益。因此，总结、认识中国天然气地质学发展过程，为中国天然气工业及中国天然气地质学的发展提供参考，是我们编写本书的初衷，也是选择本书内容的主要着眼点。而当我们研究中国天然气地质学发展的历史进程时，在从中受到教益的同时，也感受到一种激励和责任，回顾过去，展望未来，不得不承认，从我们作为一个天然气工作者投入中国天然气工业起，我们也就自然承担起推动中国天然气地质学和中国天然气工业发展的历史责任了。这也是我们顺次寄希望于读者的。

《中国天然气地质学进展编年研究》（以下简称《编年》）一书分为八章。从新中国成立起，逐年编写，这是“编年”得名的原因。第一章绪论中，除概述全书轮廓外，重点论述了中国本土天然气地质学的萌生、发展与应用。在古代史及部分近代史部分，主要是综合前人的成果，但也有自己的见解。前人分歧较大的皆取多数人的意见。如，多数论述认为，公元前11世纪周易中“泽中有火”指的是天然气苗，但也有个别学者提出了质疑，却没有给出定论，“编年”就仍以大多数人的解释为准，但不同的观点也予以简介。接下来第六章是《编年》的主体，论述了现代油气地质学的引进与应用、中国现代天然气地质学的诞生、中国天然气地质学理论的发展和现代天然气地质学理论体系的形成。每章大体按阶段背景、阶段进展纪要、年度进展纪实展开。年度进展的论述，从20世纪80年代起，各年力求按成盆、成气、成藏的主线进行，但是，由于富气盆地的综合研究并不适宜逐年列项论述，所以，大多是将其作为控制因素放在分布规律中了。非常规天然气的进展本来也是按年编写的，但内容分散，故后来将其从各年中剥离出来，集中论述。另外将编著者完成的“中国煤层气产业化的坚实基础与发展要务”一文以附录的形式列于书后供参考，以便给读者一个完整的概念。但为了更好地了解天然气学科整体，个别年份有极少保留。科学技术的发展也有一个量变到质变的飞跃过程，紧紧相随的一些年份里，常常看不到大的变化，但当审视一个阶段时，便会看到较大的进步甚至飞跃。因此，《编年》中对年度论述纪实比阶段进展纪要更为重视，以便给读者客观分析进展提供第一性资料。最后一章论述了21世纪初期中国天然气地质学理论的丰富、完善与探索。编辑过程中，时势、历史、功臣、百姓，名家权威、芸芸众生，是我们常常需要面对的问题。我们资料选取的出发点是，把时势放到历史中去观察，把群众的贡献作为构筑历史长河的岸基。把大家名人的贡献作为书写长河历程的丰

碑。在介绍名家贡献的同时,更多编入了广大劳动者和科技工作者似属平凡的作为和论述。而油气储层的论著,可谓“汗牛充栋”,但《编年》所选不及“九牛之一毛”。不是这些著述不重要,而是本书所用仅涉及从天然气成藏与评价角度出发对储层进行的研究成果。我国广大油气地质工作者和专家学者绝大多数都是油气全才,有大量综合性研究成果、论文和专著都涉及天然气领域,甚至占有很份量或涉及天然气地质学发展的基础问题,但因作者能力和时间限制,未能将其包括进来,这是本书的一大不足之处,也是编者的一大憾事。

《编年》除第六章第二节及第三节由李本亮同志执笔,第四节由王红岩、赵群同志完成外,其余章节均由魏国齐、钱凯、李剑编写。

书中,在条件许可的情况下,均采用最新的地层时代,如下第三系、上第三系改为古近系、新近系。

本书编写过程中,宋建国、杨威、汪泽成、王宏军、沈珏红、李继亮、王凯怡、施振生、许惠中、杨春梅、杜隰华等同志在资料收集、工作运行等诸多方面给予支持与方便,在此一并热忱致谢!

由于人力、能力、时间所限,《编年》中错误不足之处在所难免,诚恳希望读者给予指正,我们定当选择适当机会或方式予以改正。

“人事有代谢,来往成古今。”(唐·孟浩然)。我们有幸、也力图在历史发展的现阶段以自己的感受和认识记下历史的胜迹,除考虑前事后师效应外,还希望以此为对照,映衬出中国天然气事业更加灿烂辉煌的未来。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 中国本土天然气地质学的萌生、发展与应用(公元前 11 世纪至 1877 年)	(1)
一、中国本土天然气地质学的萌生	(1)
二、世界上第一个天然气田的成功开发——中国本土天然气地质学的应用	(8)
第二节 西方油气地质学的早期影响与中国学者的早期贡献(1878—1949 年)	(10)
一、背景资料	(10)
二、引进、影响与中国学者的贡献	(11)
第三节 中国现代天然气地质学体系的形成与发展(1950—2005 年)	(18)
一、引进发展与中国现代天然气地质学的初创期	(18)
二、中国现代天然气地质学的发展与理论体系形成期	(18)
三、中国天然气地质学理论的丰富与探索期	(18)
四、中国天然气地质学进展与产量、储量增长	(18)
第二章 现代油气地质学的引进与应用(1949—1977 年)	(20)
第一节 背景资料	(20)
一、国际学术动态	(20)
二、发现与出版提示	(20)
第二节 引进与应用	(20)
一、成立石油院校,大力培养石油地质人才	(21)
二、请苏联专家来华考察传经	(21)
三、派领导干部和专家学者赴国外考察学习	(21)
第三节 勘探纪事与学科进展	(22)
一、3 年恢复阶段,为正常发展作准备	(22)
二、逐步加强地质、地球物理的综合研究	(24)
三、对裂缝性碳酸盐岩气藏的认识逐步加深,勘探成效得到提高	(26)
四、从发现、研究到开辟孔隙性储集层勘探新领域	(27)
第三章 中国现代天然气地质学的诞生(1978—1985 年)	(30)
第一节 背景	(30)
第二节 阶段进展要览	(30)
一、介绍、引进阶段(1975—1982 年)	(31)
二、发展创新阶段(1983—1985 年)	(31)
第三节 1978 年状况纪实	(33)
一、黄汲清的报告	(33)
二、关于煤层气的报道	(33)
第四节 1979 年状况纪实	(34)
第五节 1980 年状况纪实	(36)

一、煤成气理论的应用与创新	(36)
二《石油与天然气地质》创刊	(36)
三、专家之见	(36)
四、有关学术活动	(37)
第六节 1981 年状况纪实	(38)
一、形势	(38)
二、研究进展	(38)
三、有利探区评价研究	(43)
四、有关学术会议	(44)
第七节 1982 年状况纪实	(46)
一、重要会议与重要见解	(46)
二、研究进展	(52)
第八节 1983 年状况纪实	(55)
一、天然气勘探	(55)
二、集成研究	(55)
三、盆地构造演化与含油气前景的理论研究	(55)
四、全国隐蔽油气藏形成理论与勘探技术有了实质性进展	(56)
五、综合或以地区性发现为实例,论及天然气成因或成藏条件普遍性意义	(57)
第九节 1984 年状况纪实	(59)
一、全国天然气资源评价座谈会	(59)
二、出了两项集成性研究成果	(59)
三、天然气学科研究进展	(59)
四、北京石油勘探开发科学研究院廊坊分院天然气所成立	(67)
第十节 1985 年状况纪实	(68)
一、天然气成因与地球化学研究	(68)
二、天然气运聚与气藏地质	(71)
三、天然气分布规律及前景评价	(72)
第四章 “八五”时期中国天然气地质学理论的发展	(77)
第一节 1986—1990 年(“八五”)阶段进展述要	(77)
一、两项重大科技攻关	(77)
二、实践方面的成果	(78)
第二节 1986 年状况纪实	(79)
一、背景资料	(79)
二、天然气成因与地球化学研究	(79)
三、天然气运聚与气藏地质	(80)
四、天然气分布规律与前景预测	(82)
第三节 1987 年状况纪实	(85)
一、天然气工业发展形势	(85)
二、天然气成因与地球化学研究	(86)

三、天然运移与气藏地质	(89)
四、天然气分布规律与前景预测研究	(92)
第四节 1988 年状况纪实	(95)
一、形势与问题	(95)
二、天然气成因与地球化学研究	(96)
三、天然气运聚与气藏地质	(100)
四、分布规律与前景预测研究	(103)
第五节 1989 年状况纪实	(108)
一、形势	(108)
二、天然气成因与地球化学研究	(109)
三、天然气运移与气藏地质	(112)
四、天然气分布规律与前景预测	(115)
五、集成性综合研究进展	(117)
第六节 1990 年状况纪实	(118)
一、背景资料	(118)
二、天然气成因与地球化学研究	(119)
三、运移与成藏研究	(123)
四、分布规律与前景预测	(126)
第五章 “九五”时期中国天然气地质学理论的发展	(130)
第一节 1991—1995 年阶段发展要览	(130)
一、前阶段理论的应用与发展	(130)
二、开创性的研究进展	(130)
三、勘探上的突破	(131)
第二节 1991 年状况纪实	(131)
一、背景资料	(131)
二、天然气成因与地球化学研究	(132)
三、天然气储盖层研究	(133)
四、天然气运移与成藏	(135)
五、天然气分布规律与前景评价预测	(138)
第三节 1992 年状况纪实	(140)
一、背景资料	(140)
二、天然气成因与地球化学研究	(141)
三、天然气储盖层研究	(145)
四、天然气运移与成藏	(147)
五、天然气分布规律与前景分析	(150)
第四节 1993 年状况纪实	(153)
一、背景资料	(153)
二、天然气成因与地球化学研究	(153)
三、储盖层研究	(160)

四、天然气运移与成藏	(162)
五、天然气分布规律与前景预测	(162)
第五节 1994 年状况纪实	(164)
一、背景资料	(164)
二、天然气成因与地球化学研究	(164)
三、天然气储盖层研究	(168)
四、天然气运移	(170)
五、天然气成藏	(173)
六、天然气分布规律与勘探目标评价预测	(175)
第六节 1995 年状况纪实	(177)
一、背景资料	(177)
二、天然气成因与地球化学研究	(178)
三、天然气储盖层研究	(182)
四、天然气运移与成藏	(184)
五、分布规律与评价预测	(188)
第六章 中国现代天然气地质学基础学科进展概论	(192)
第一节 沉积学与储集层地质学进展	(192)
一、历史与现状	(192)
二、发展趋势与研究方向	(194)
三、社会需求与重点选择	(195)
第二节 构造地质学进展	(198)
一、造山带的构造地质学研究进展	(198)
二、沉积盆地的构造地质学研究进展	(199)
三、中国前陆盆地构造地质学研究进展	(200)
四、断层相关褶皱原理与盐构造理论指导下的前陆冲断带构造学研究	(201)
五、喜马拉雅构造运动与环青藏高原巨型盆—山体系	(202)
六、叠合复合沉积盆地	(203)
第三节 石油地质学进展	(204)
一、中国石油勘探的发展促进了石油地质学的不断进展	(204)
二、地质理论的发展和新认识	(205)
三、勘探评价技术的进步和应用	(207)
第四节 非常规天然气研究与开发进展	(209)
一、煤层气	(210)
二、水溶气	(216)
三、天然气水合物	(217)
第七章 中国现代天然气地质学体系的形成	(221)
第一节 1996—2000 年阶段进展纪要	(221)
一、天然气生成理论的系统发展	(221)
二、天然气有机地球化学技术体系的建立	(222)

三、天然气成藏研究	(223)
四、天然气勘探领域研究	(223)
五、天然气富集规律与勘探有利区带	(223)
六、天然气发展战略	(224)
七、勘探技术	(224)
第二节 1996 年状况纪实	(225)
一、背景资料	(225)
二、天然气成因与地球化学研究	(227)
三、天然气储盖层研究	(231)
四、天然气运移与成藏	(233)
五、分布规律与评价预测	(237)
第三节 1997 年状况纪实	(240)
一、背景资料	(240)
二、天然气成因与地球化学	(242)
三、天然气储盖层研究	(244)
四、天然气运移与成藏	(245)
五、分布规律与评价预测	(252)
六、集成性和(或)综合性研究成果	(254)
第四节 1998 年状况纪实	(254)
一、背景资料	(254)
二、天然气成因与地球化学	(257)
三、天然气储盖层研究	(259)
四、运移与成藏	(260)
五、分布规律与评价预测研究	(263)
第五节 1999 年状况纪实	(264)
一、背景资料	(264)
二、天然气成因与地球化学研究	(265)
三、天然气储盖层研究	(267)
四、天然气运移与成藏	(269)
五、分布规律与评价预测研究	(271)
第六节 2000 年状况纪实	(274)
一、背景资料和有关事项	(274)
二、天然气成因与地球化学研究	(276)
三、天然气储盖层研究	(278)
四、天然气运移与成藏	(279)
五、分布规律与评价预测研究	(283)
第八章 中国天然气地质学理论的丰富、完善与探索	(286)
第一节 2001—2005 年阶段进展纪要	(286)
一、现代天然气地质学理论发展与国民经济快速增长要求强化天然气勘探开发	(286)

二、天然气勘探的开拓性进展,促进了天然气地质理论的发展应用	(286)
三、开始了理论和研究方法的新探索	(288)
第二节 2001 年状况纪实	(293)
一、背景资料	(293)
二、天然气成因与地球化学	(294)
三、天然气储盖层研究	(298)
四、运移与成藏	(299)
五、天然气分布规律与评价预测研究	(303)
第三节 2002 年状况纪实	(308)
一、背景资料	(308)
二、天然气成因与地球化学研究	(309)
三、天然气储盖层研究	(311)
四、天然气运移与成藏	(313)
五、分布规律与评价预测	(318)
第四节 2003 年状况纪实	(319)
一、背景资料	(319)
二、天然气成因与地球化学	(320)
三、天然气储盖层研究	(323)
四、天然气运移与成藏	(325)
五、分布规律与评价预测	(331)
第五节 2004 年状况纪实	(334)
一、背景资料	(334)
二、天然气成因与地球化学研究	(335)
三、天然气储盖层研究	(338)
四、天然气运移与成藏研究	(339)
五、分布规律与评价预测	(344)
第六节 2005 年状况纪实	(347)
一、背景资料	(347)
二、天然气成因与地球化学研究	(348)
三、天然气储盖层研究	(354)
四、天然气运移与成藏	(356)
五、天然气分布规律与评价预测	(364)
参考文献	(370)
附录 中国煤层气产业化的坚实基础与发展要务	(427)

第一章 绪 论

天然气地质学是研究地壳中天然气成因、蕴藏状态、形成过程及其分布规律的科学。中外天然气地质学产生的背景、历史进程差异甚大。天然气田的发现、开采是天然气工业开始的标志,也是天然气地质学产生的物质基础。中国是由于制盐业的需要而在 13 世纪开采天然气田的,并在 17 世纪形成勘探开发配套技术。因此,中国本土天然气地质学的萌生、发展和应用是依附于制盐业而进行的;而国外则是从 19 世纪初开始,依附石油业及石油地质学而产生、发展起来的。虽然中国天然气田的发现、开采比国外早 700 多年,但由于 1840 年鸦片战争开始的半封建半殖民地统治,中国民族工业和科学事业受到严重阻遏,天然气地质学发展有着困难曲折的历程。而西方则由于侵略他国积累了资本,石油天然气工业迅速发展,天然气地质学依附石油地质学也得以逐渐发展,并率先形成一门独立科学。所幸的是,从 20 世纪 80 年代起,在国家科技部组织下,中国广大科学技术和油气工业职工奋起进行天然气科技攻关和勘探开发,经过 20 多年的持续努力,终于在 20 世纪末建立了中国天然气地质学理论体系,站到了世界天然气地质科学的前列,并在继续前进中。

第一节 中国本土天然气地质学的萌生、发展与应用 (公元前 11 世纪至 1877 年)

一、中国本土天然气地质学的萌生

(一) 关于天然气燃烧现象的最早记载与普遍性的观察

中国天然气地质学的萌生由观察思考开始。由于中国天然气蕴藏较为丰富,分布也较普遍,所以我们的祖先很早便得以观察到天然气燃烧的现象。关于天然气显示现象普遍性的观察与记载,古代文献中就有很多。《中国石油工业发展史》(申力生,1984)对此作了很好的整理,本节也大量引用了该书资料。

“象日:泽中有火”与解释,见于多种著作(陈实,1984),并被普遍认为是中国在公元前 11 世纪《周易》中已有关于天然气自燃现象的记录,虽然程希荣对此提出了质疑,认为记录原始出处和解释有问题(程希荣,1984,1997),但并未给出定论。而且,对公元前 11 世纪的记录人们普遍还是持肯定态度的。

公元前 200 多年写成的《山海经》曾记载:“令丘之山无草木多火”,显然是天然气出露地面后发生的燃烧现象,班固“汉书郊祀志”有公元前 61 年陕西神木西南鸿门,挖掘水井出气燃烧并被称为火井的记载,这也是最早有记载的一口天然气井。生活在公元前 53 年至公元 18 年的西汉杨公原则在“蜀都赋”中描述了“蜀都之地……火井龙湫……”的盛景。三国时期《博物志》记述:甘肃酒泉寿县“影南山、名火泉、火山如炬”。根据现已发现的文字记载,在中国辽阔的大地上,北起长城内外,南到云贵高原,西至新疆,东临黄海之滨和台湾省,古代都曾发现天然气(申力生)。据《我国古代发现石油和天然气的地理分布》(戴金星,1981)一文统计,中国有 23 个省区在古代发现过油气显示或油气藏。

生活在公元 250—305 年的著名文学家左思和郭璞(公元 276—324 年)曾用“火井沉炎于幽泉,高焰飞燄于天垂。”“焰戍见于西邻,火井擅奇乎巴濮”的诗句赞美过四川地区的天然气。

公元 400 多年前的西晋时期,关于四川临邛一带的天然气井,就有详细的文字记载。《博物志》中说:“临邛县郡西南二百里,有火井夜时光映上昭。民欲其光,以家火投之,顷许如雷声,火焰出通耀

数十里。

南宋刘敞叔(？—公元468年)所著《异苑》记载:古代四川临邛一带有的天然气井燃烧,延续发展时间非常漫长,其燃烧的“炎赫弥炽”从西汉武帝兴盛时期(约公元前140—公元86年)算起,历经东汉的桓帝、灵帝,直到于景曜六年(公元263年)熄灭为止,竟然连续燃烧了将近400年之久。

秦汉以后,四川临邛一带的天然气,一直就以其照明效能和壮丽景色闻名于世。到了北周(公元557—581年),甚至将临邛县命名为火井镇。隋大业十二年(公元616年),又改为火井县。明何宇度《益部谈资》记载,邛州南还设有火井巡检司。一直到唐宋时期,临邛仍以其“火井”而出名,成为诗人们吟咏和记叙的对象。如著名诗人陆游就写下了《跋火井碑》:“予昔在征西幕府,尝得小校言,火山军地枯燥,不可耕,鉏犁入地不及尺,烈火随出。今江吴间穿地尺余则见水,北人闻之亦未必信也。夜读蜀彭君火井碑,乃知天地间何所不有,亦喜彭君之善记事也。”

在古代,四川地区除临邛一带有天然气井外,其他地方也相继发现了天然气。

后蜀(公元934—965年)李昊写的《筑成都羊马城记》中说,当时在成都“有瞻火井之光”。在中国云南、贵州一带,古代人民也不断发现天然如明,朱国桢所著《涌潼小品》记载:“阿米州有火井,烟炎水出,投以竹木则焚……”。

公元16世纪初,中国东南沿海地区人民曾发现东海中天然气燃烧现象。《上海县志》记载,明武宗正德七年(公元1512年)“冬至,海上有火如列炬,西抵北蔡,且闻金革声……”。

(二) 从“阴气潜燃”,再到火从地出——关于天然气本质与来源的追索

天然气燃烧现象见得多了,人们不禁就会思索此为何物,从何而来,开始了由表及里、由现象到本质的思考认识,而在很多情况下,燃烧发生的过程地点也为人们认识的深入提供了依据。

清朝许赞曾在《东还纪程》中说:“滇洱海……冬月海水风面起,火高数丈,莫知其故……”。晋广州人棗则在《海赋》中云:“阴火潜燃,宣其事与欠?”清朝施鸿保更将福建中部海面见到的天然气苗燃烧现象与《周易》中“泽中有火”相比视为同类,并认为“亦阴火也”。

阴火从何而来?班固《汉书·郊祀志》就有陕西鸿门县天封苑火井祠“火从地出”的记载。《地理风俗记》也对封苑火井庙留下了“火从地中出”的同样记载。

台湾省也在很早就发现了天然气苗,且生动记录了裂缝出气的情景。如清朝范成所撰《台湾府志》记载:“玉案山后山之麓有小山,其下水石相错,石罅涌火出水中,有焰无烟,焰发高三四尺,昼夜不绝”。

火从地出的类似记载还有不少。如据北宋乐史所著《太平寰宇记》记载,陵州盐井中曾发生过天然气井喷现象:“陵上有井,名陵井……若以火坠井中,即雷吼沸涌,烟气上冲,溅泥漂石,甚可畏。”同书还记载,蓬池县“西南三十里,水涸之时以火投其中,焰从地中出,可以御寒,移时方灭,若掘深一二丈,颇有水出。”

在元马端临(公元1254—1323年)《文献通考》中,也记载了泸州盐井在宋朝初年发生天然气燃烧的现象:“宋太宗端拱元年(公元988年),泸州盐井竭,遣工人视,忽有声如雷,火焰突出,工被伤。”

据南宋王象之《舆地记胜》记载:“火井在长江县客馆镇之北二里伏龙山下,地洼若池,以火引之,则有声隐隐然,发火于地中,少顷炎炙。夏月积雨停水,则焰生水上,水为之沸而寒如故;冬月水涸则土上有焰,观者至焚其衣裾。”

(三) 裂缝、断岩和通腔——关于储集层与天然气通道的认识

约200多年前,人们在开发自流井气田时建立了科学的技术档案,用以记录和研究地下地层的变化情况,并把它们称之为“井口簿”。

在这些“井口簿”上留下了大量关于裂缝性储集层和水、气通道的记载,有的“井口簿”甚至还有“立缝见火”、“横缝见水”的明确记载。刘德林(1995)对先民的记载做了很好的归纳,并分为以下3种:

(1) 岩层裂缝。在自流井构造遗存下来的钻井原始记录中,有大量的岩层裂缝记录,如“裂缝卡钻”、“骑马裂缝”、“干裂缝”、“湿裂缝”、“横缝”及“立缝”等。并得出了一些规律性认识,如:硬岩(如白云岩、石灰岩等)裂缝发育,软岩(如页岩之类)作封隔层,对地下资源储集有利。而岩层裂缝发育,又成为气、卤源迁移的通道及富集的藏所。因此,硬岩、裂缝、资源三者往往是紧密结合在一起的。“有火、有水必有缝”,“大缝产大气,小缝产小气,老缝不产气”。可钻遇大裂缝而获大气,如自流井构造轴部裂缝发育带,西端黄葛坡、龙潮断裂带。

(2) “断岩”及“流沙”。在自流井构造上凿井,如钻遇地层大裂缝垮塌凶,岩石混杂,有的井钻进不仅无进度,因垮岩井底回填反涨高,井匠称这段岩层为“断岩和烂岩”。清《自流井风物名实说》云:“凡井之病四:有走岩、有崩陷、有流沙、有冒白”。根据地质研究:“流沙”一般出现在地下断层或断层带上,并伴随着地下水流出来的。因此,所以古人称的“断岩”,与现代地质命名的“断层”内涵相同。由此可证,至迟在清代,先辈们对构造断层已有认识和判断。同时,对在断层带上凿井出现的“井病”,亦有确切的描述。

(3) 通腔。地下断层多,裂缝发育,连通性好,导致新井和老井之间或者生产井之间连通非常明显,盐场把这种连通现象,称为“通腔”。就井而言,有气井之间的通腔;有黄黑卤井之间的通腔;有岩盐卤井之间的通腔。就构造部位而言,有在构造轴部裂缝发育地带的通腔;有在断层带上的通腔。就产层而言以自流井构造为例,有在气层中(如嘉3层)的通腔;有在卤层(如嘉5层)中的通腔;以及岩盐溶腔里的通道。其发育有一定规律。如:

断层带、构造轴部裂缝发育地带,气井之间的通道特别明显,如火井沱区一些气井钻成后东豆区的气井,就出现产气量减少的现象,而郭家沱区一些气井“见功”后,火井沱区的气井产气量立即大幅度下降。土地坡区一些新井完成,而郭家沱区的气井产气量就锐减,形成一个采区的气,强拉另一个采区的气。

当时,人们认识地下裂缝,主要是借助于一种称之为“泥孩儿”的测试工具(泥孩儿: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。度纆悬而下,至走岩处顿许时取出,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。)

利用“泥孩儿”可以了解井下地层的坍塌、出水情况。同时,因为“泥孩儿”可紧贴于井壁上,因此,在测试中如遇到出水的裂缝,在“泥孩儿”表面便可留下清晰的裂缝印痕。根据对印痕方向、形状大小的分析研究就可以了解裂缝的分布状况。就是这样,通过对地层的大量测试、分析、研究,当时人们发现并认识了地层的“横缝”与“立缝”,并且进而掌握了“立缝见火”、“横缝见水”的规律性。

通腔的发现、证实和应用是世界上注水开发规律的首创。

注水是油田开发过程中补充油层能量、夺取高产稳产的一条根本措施。但追溯注水的历史,还应当是中国古代人民在凿井采盐实践中的发明创造。早在晋朝时,便有“浚一井则众井水皆动”的记载(盛宏之:《荆州记》)。这就说明,当时人们早已知道地下地层是连通的。到了清代,这一认识便进入了实际应用阶段。如《川盐纪要》中说:“最初,有人凿井百数十丈,尚不见功,验其土质色泽,则与他井异,以水化之,则咸量较黑水尤重,由是知为盐崖之发现。日以淡水灌入井中,复以寻常汲卤之法汲而煎之。……未几甲井入水而水不见,乙井不必入水,水反源源而来,推而至于丙、丁,莫不如是。……一日,某井户以粗糠和水入井试之,果由他井汲出,因知盐崖融化,逐渐沟通。遂共同商议,于四十余眼盐崖井中,只以一、二井专司灌水……”。

这一记载表明,很早以前,四川自流井一带的人民就能够应用向井中灌“粗糠和水”的办法来验证各井之间裂缝的连通性(当时叫做“通腔”),并用人工注水的方法来开采岩盐。

当然,这种用人工注水的方法开采岩盐与现在的注水采油,在机理上是有所差别的,但它在注水的地质理论和实践上不愧为一个重大的创举。

(四)“黄姜”、“绿豆”标准层与产层——关于地层控制天然气分布的规律性认识

为了认识天然气的分布规律,古代找煤者就已注意观察地层和含气情况,对于露头及秦汉时期的

大口径井，人们可直接观察。而到了宋代中期（公元 11 世纪）钻井技术已能打出小口（卓筒井），古代人民则发明了“扇泥筒”（申力生，1984），把钻碎的岩屑捞出来，保证继续钻进和了解地下地质情况。特别是到了明、清时期，“扇泥”已经成为认识地下地层，划分标准层和寻找油气资源的不可缺少的重要手段。

（1）刘德林将地层划分技术的进步分为 3 个阶段：

①直观阶段：随人工挖掘大口盐井，亲临观察到地层与卤水之间的关系，有其上为土，下为石，咸水盐脉“自石而出”的记载。

②卓筒井阶段：从北宋初至清初，为卓筒井阶段。在这个阶段中，钻凿的是浅部地层，地层新，岩石单一，多为蓬莱镇组或遂宁组等大套泥岩及砂岩互层，地质构造简单，一般地层倾向平缓，断层少。

该阶段代表性分层主要分四层：一是浮土，即地表风化层；二是坚石，即含钙质砂岩层，产淡水；三是红石岩口，即红色泥岩层；四是白沙，即白色砂岩层，在此层中，含两层卤水，其上为腰脉水，下为咸水，是主要开采层，地层总厚度约 200m。

③小口深井地层划分阶段：清初至清后期，盐井钻凿已进入了小口深井阶段。通过“扇泥”从井底取出的岩屑，进行鉴定，直接观察和认识井下地层及其含卤气情况。1876 年，清人李榕亲临自贡熬场考察，在《自流井记》中，实录了自流井构造当时钻获的地层，从地面（自流井群）到地下（三叠系嘉五段以上）约 1000m 的地层、资源层及标准层，为今天去认识和划分清代小口深井地层提供了可靠依据。

（2）在地层的划分上。古人利用岩屑外观的颜色、形状、颗粒、硬度等特征，来划分深井地层，与现代地层分层基本是一致的，只不过是古今定名不同。根据《自流井记》，结合清咸丰七年（1857 年）开凿的双全井《岩口簿》等，运用现代地质方法，进行古今地层划分对比，可见当时地层划分之严谨与准确性。如：

①对侏罗系自流井群，先民们称之为红岩、黄姜岩、瓦灰岩，今地质命名则为红色泥岩、黄色砂岩、灰色泥岩等。对三叠系须家河组、雷口坡组、嘉陵江组嘉五、嘉四、嘉三段亦都有生动记录，并称嘉三段石灰岩为青矿石，为天然气主要层。

②标准层—绿豆岩及黄姜岩的确立与应用，体现了当时地层认识的高度科学性。

（3）据清朝李榕《自流井记》一书记载：“凡凿井须审地中之岩，并铤初下为红岩，次瓦灰岩，次黄姜岩，见油。次草白岩，次黄砂岩，见草皮火（即小量天然气）。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……”将上述生动具体的描述、见解与现今自流井气田的地层研究成果进行对比，可以看出当时人们对地下地层的划分已相当准确。原来，一二百年之前人们称之为“黄姜岩”的，就是今天的“东岳庙组石灰岩”，它是白垩系的标准层；而当时的“绿豆岩”则是现在的“雷口坡组绿豆岩”，厚仅 2~3m，分布稳定，至今仍是三叠系里最好的区域性标准层（表 1-1）。

中国古代人民利用“扇泥”观察岩石的产状和成分，科学地划分地下的地层，以确定油、气、水的层位，而且还提出“水、火、油得其一者，谓之见功”。这一明确的钻井目的及其相应的描述，充分说明当时对油气地质学的认识和應用已有相当水平。

表 1-1 自流井气田地层古今对比示意表

地质时代		现代地层剖面		清代《自流井记》中记载的岩层
		层 组	岩 性	
侏罗系	自流井统	马鞍山黏土	红、紫色砂质页岩	红岩
		郭家湾砂岩	淡灰色砂岩	瓦灰岩
		东岳庙石灰岩	黄色结核灰质泥岩	黄姜岩（今天的重要标准层）

地质时代		现代地层剖面		清代《自流井记》 中记载的岩层
		层 组	岩 性	
三 叠 系	香 溪 统	二峨山砂岩	灰白色砂岩为主	草白岩
		香5组	巨厚黄砂岩	黄砂岩
		香4组	长石石英砂岩,有薄气层	草皮火
		尖山子砂岩	灰色砂岩夹灰黑色页岩	青砂岩
		香2组	灰白色砂岩	白沙岩
			含盐水层的砂岩	黄水(侏罗纪盐水)
		大岩洞页岩	黑色灰色页岩夹煤层	煤炭岩
		栗子沟页岩	黑页岩	麻藤岩
		香溪统砂岩	砂岩和暗色泥页岩夹煤层	黑烟岩
		雷口坡组	石灰岩、白云岩、石膏层,绿豆岩	绿豆岩(今天的重要标准层)
		嘉陵江组	灰、浅灰色石灰岩夹石膏和岩盐	黑水(嘉陵江石灰岩盐水)

(五) 从“识齐水脉”到“看榜样”、“寻找龙脉”定井位——关于构造控制天然气分布的规律性认识与应用

1. 新开井位的选定

现在采气采卤过程中十分重视对井位的选定,在不同阶段,对不同井类方法也不相同。

(1) 大口盐井开创期。蜀守李冰提出的布井方法是:“识齐水脉”所谓“识齐水脉”,就是识察地下卤(盐水)脉络的分布。然后,选定井位,四川广都盐井开凿成功,就是例证。

李冰还识察到了地下卤水,在地质条件适合的地方,自然涌出地表,形成盐泉。后来在盐泉的基础上及其附近,开凿盐井也应认识其水脉定井一类。

(2) 在卓筒井阶段。“相地凿井”,即是根据地形地貌的特点,选定井位。明马骥《盐井图说》:“凡匠氏‘相井地’。多于两河夹岸,山形险急得沙势处,鳩工立石圈,……凿大小窍焉”。又《续文獻通考》(卷19)云:“山谷之民,相地凿井”。在民间还有世代相传、有口皆碑的谚语:“嘴对嘴,长流水”,“湾对湾,打不干”,“山嘴对山嘴,必定有广水”,等等,如川北蓬溪县大英乡,现存卓筒井41眼。广水井的选定和开凿在地势低洼处;咸水井选定和开凿在地势较高的半坡上等。

2. 小口深井阶段新钻井位的选择

这个阶段选择井位更科学,一是“看榜样”,二是“寻龙脉”。

(1) “看榜样”择定井位。

据《四川盐法志》:开井宜择山四旁有井者,居中度焉,曰“看榜样”。《四川盐政史补》:“看榜样”就是跟踪别人。在几眼浓卤、烈火井中间布新井。

这符合现代地质科学推理的原则,在理论上是成立的,在实践上也是行之有效的。在地质科学水平所限及各种探测设施不完备的条件下,“看榜样”定井位,不失为减小风险、避免巨大经济损失的方法之一。

(2) 看“龙脉”确定井位。

先民对构造轴线的认识——俗称“寻龙脉”。自流井构造位于自流井凹地最北面,为一个北缓南陡不对称的梳状背斜,以下沙溪庙顶界计,长轴为33km,短轴6km,闭合面积为125km²。地表覆盖着侏罗系,地下断层多,裂缝和溶洞发育,有利于气卤资源的运移和聚集。同时,硬砂岩层交互,封闭条件好,为三叠系储集了极为丰富的天然气及卤盐资源。

自宋初到清末(包括卓筒井阶段及小口深井阶段),历时长达约900年。经过反复实践,不断探索,锻炼和造就了一代又一代井匠技师及精通地质的“土”专家,其中以余福和等家袭相承五代管事