

松辽盆地长岭断陷 火山岩复式成油气系统

ONGLIAO PENDI CHANGLING DUANXIAN
HUOSHANYAN FUSHI CHENGYOUQI XITONG

周荔青 金之钧 著

地质出版社

松辽盆地长岭断陷 火山岩复式成油气系统

周荔青 金之钧 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

松辽盆地是我国特大型含油气盆地,也是我国最早发现油气的沉积盆地之一。几十年来,广大地质调查工作者和石油地质研究人员,从不同角度发表了各自的观点,加深了对松辽盆地的认识,并推动了该盆地油气勘探开发不断有新的发现。

本书作者结合松辽盆地长岭断陷油气勘探实际,以火山岩岩石学、储层地质学、含油气盆地地质学、石油与天然气地质学理论为指导,充分利用岩心样品、地震、测井及相关的测试资料,以火山岩储层评价与预测、天然气成藏为主线,采用岩石地球化学测试鉴定、ESR 测年、火山岩储层预测、含油气盆地分析等技术与方法,重点研究了涉及松辽盆地断陷深层油气勘探效果的关键问题:即优质高效烃源岩、火山岩优质储层、有效成藏组合的形成分布规律,无机成因天然气与有机成因天然气的相互作用,复杂的油气运移汇聚系统和油气运移充注方式及过程,非常规圈闭体的控制因素、圈闭类型及描述与识别技术,大中型火山岩油气藏形成的控制因素,油气富集带的形成及分布规律等,并据此论证提出了长岭断陷的重点勘探方向和目标。

本书内容丰富,资料翔实,理论与实践紧密结合,可供从事石油天然气地质勘探科研和生产工作者参考,也可作为高校师生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

松辽盆地长岭断陷火山岩复式成油气系统/周荔青,
金之钧著. —北京:地质出版社, 2011.8
ISBN 978-7-116-07255-8

I. ①松… II. ①周… ②金… III. ①松辽盆地—断
陷盆地—火山岩—岩性油气藏—石油生成—研究 IV.
①P618.130.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第130134号

责任编辑:郑长胜 付庆云
责任校对:王素荣
出版发行:地质出版社
社址邮编:北京海淀区学院路31号, 100083
咨询电话:(010) 82324575 (编辑室)
网 址: <http://www.gph.com.cn>
电子邮箱: zbs@gph.com.cn
传 真: (010) 82310749
印 刷:北京天成印务有限责任公司
开 本: 889mm × 1194mm 1/16
印 张: 19.25
字 数: 500千字
版 次: 2011年8月北京第1版
印 次: 2011年8月北京第1次印刷
定 价: 180.00元
书 号: ISBN 978-7-116-07255-8

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

序

PREFACE

随着油气地质理论的创新和石油工程技术的飞速发展,为油气勘探工作走进更加复杂、更加困难的地区和领域创造了条件,使石油与天然气的勘探、开发领域不断扩展。以往认为没有油气聚集价值的火山岩,伴随着火山岩油气藏发现的日益增多,受到油气勘探界的广泛重视,成为寻找油气不可忽视的领域之一。特别是夹于生油岩系中的火山岩,与沉积岩一样,同样有利于油气聚集和保存。早在19世纪末20世纪初,古巴、日本、阿根廷、美国、印度尼西亚、格鲁吉亚、俄罗斯、德国等国家均先后发现火山岩油气藏;截至2005年,国外火山岩油气藏在美国、日本、印度尼西亚、古巴、墨西哥、阿根廷、俄罗斯、乌克兰、加纳及巴基斯坦等国均有发现。特别是日本的新泻盆地已发现30多个油气田,最大的吉井—东柏崎气田原始可采储量为 $118 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。日本新泻地区的东新泻气田和颈城油气田、新近系“绿色凝灰岩”油藏是火山岩组成的古地理锥状隆起后继承性发展为背斜而捕集油气的。美国得克萨斯州沿岸平原油田,白垩系的玄武岩油藏是呈火山锥的熔岩继承发展为穹窿而捕集油气的。阿塞拜疆穆拉德汉雷油田位于阿塞拜疆油气区的中库拉盆地东部,发育潜山侵蚀面上的粗面玄武岩及安山岩油藏,储集岩为白垩系到古近—新近系的凝灰质砾岩、安山岩,岩心分析资料表明,喷发岩的孔隙度为10%~16%,基质渗透率实际上接近于零,油井获得较高产量与裂缝有关,单井产量最高达500t/d。

以火山岩为储层的油气田,在国内不同类型的沉积盆地浅、中、深部地层中广泛分布。我国已经陆续发现一批具有一定储量、一定产量、以火山岩为主要储层的油气田,并以分布范围广、地质时代长、储集类型多、有一定的规模为特征。自20世纪70年代以来,先后在渤海湾盆地、内蒙古二连盆地、黄骅拗陷、准噶尔和塔里木盆地、松辽盆地及苏北盆地等地发现了火山岩油气储层。比较知名的有胜利油区的商741辉绿岩气藏、大港油田东35断块玄武岩、辽河盆地黄沙坨粗面岩、克拉玛依玄武岩及二连阿北安山岩油气藏及松辽盆地松南、庆深等流纹岩、流纹质凝灰岩气藏等。

由于火山岩油气藏具有分布范围广但规模小、初始产量高但递减快、储集类型和成藏条件复杂等特点,目前,对该类油气藏的系统研究相对缺乏,勘探开发技术也不够完善。

本书作者以勘探程度较高、火山岩油气藏规模大、分布广泛且具有普遍代表意义的松辽盆地长岭断陷流纹岩、流纹质凝灰岩气藏为例,利用最新的勘探成果,应用含油气盆地系统分析思想,结合松辽盆地徐家围子等断陷流纹岩、流纹质凝灰岩气藏勘探评价及研究成果,深入研究了松辽盆地长岭断陷深层火山岩油气成藏的特殊性,研究长岭断陷火山岩油气藏的形成分布规律,形成油气勘探评价体系。这对丰富完善我国陆相火山岩断陷盆地油气地质理论,深化我国陆相火山岩断陷盆地油气勘探,指导我国含油气盆地深层油气勘探、火山岩断陷盆地无机成因天然气勘探有着十分重要的意义。

通过本项研究,取得了以下八个方面创新性理论成果认识:

1. 首次系统概括了火山岩复式油气成藏系统的特点,强化了火山作用在油气成藏中的综合作用,表征了火山岩复式成油气系统的特征

火山岩体与常规碎屑岩的油气成藏有大量的相似之处,都要有主力烃源岩,良好的油气运移供给条件,有利的封盖层系,有利的圈闭条件等。火山岩体油气成藏过程中,与常规碎屑岩的作用密不可分,如通过常规碎屑岩输送油气,与常规碎屑岩岩性体构成复合圈闭等。而火山岩体与常规碎屑岩的油气成藏系统的区别主要表现在以下方面:①火山机构与复合叠加对油气成藏单元的分割和沟通相结合;②火山机构内部复杂多变造成含油气性变化大;③火山岩体的成油气条件存在巨大差异;④火山岩自身相变构成复合圈闭体;⑤火山岩自身构成油气垂向运移汇聚的通道。火山岩体与常规碎屑岩的油气成藏系统的区别,决定了在勘探火山岩体时,要加强火山岩油气成藏系统特殊性研究,形成各区块的火山岩体油气成藏系统评价体系。

2. 首次提出火山岩油气成藏系统含油气性的主要控制因素

火山岩油气成藏系统含油气性的主要控制因素包括:①发育于具有形成深层大规模原生气藏的区带;②发育于大规模油气垂向运移的区带;③发育于晚期反转隆升区带;④发育于无机与有机气源相互作用成藏的有利区;⑤发育大型有效的火山岩复合圈闭体;⑥发育有效的火山岩储集体。

3. 首次提出火山岩油气成藏发育于具有形成深层大规模原生气藏的区带

在长岭凹陷的深部断陷层系,其烃源主要来自于沙河子组、火石岭组二段及营城组下部。在处于火石岭组、沙河子组等主力烃源岩油气优势聚集区,具有深部发育原生气藏,才能通过断裂或火山岩体、不整合面等油气运移通道,把原生气导向上部不具有生烃能力的火山岩之中。在火山岩体成油气单元封堵性极强的情况下,进入火山岩体中的油气只能在一个比较小的范围内发生横向运移,是否在火山岩体附近有原生气藏,是火山岩体能否含油气的关键。

火山岩体的烃源供给条件如此苛刻,使每个火山岩体的成油气条件存在巨大差异,决定其含油气性存在显著差别。是否发育深层大规模原生气藏的主要决

定因素包括：①火山岩体的构造带条件，处于深、浅叠合的构造背景、陆源碎屑补偿适中、烃源岩较发育；②深层油气汇聚条件包括：其一，火山岩体所处的构造带是否处于靠近生烃中心、油气源十分充裕的区带；其二，继承性发育的碎屑岩储集体与火山岩体所处构造高带的配合，为油气由深洼陷向构造高带高效运移奠定了基础；其三，火石岭组、沙河子组等主力烃源岩发育层段向构造高带是否存在明显超覆尖灭，对构造高带能否有效捕获深凹带的油气至关重要，如构造高带缺少火石岭组、沙河子组，则深凹带的油气难以抵达构造高带；其四，火山岩体与侧向接触的碎屑岩的相互配套关系，如营城组上部火山岩与营城组下部烃源岩的接触关系，对营城组上部火山岩体含油气性有重要影响。

4. 首次提出长岭断陷具有形成有机与无机成藏共生组合的区域构造背景，探讨了无机与有机油气共生藏组合类型及分布规律

长岭断陷具有形成有机与无机成藏共生组合的区域构造背景，无机与有机成因天然气富集区域均发育于两组岩石圈断裂交会的区域。一方面，两组岩石圈深大断裂控制下形成深大断陷，成为深湖、湖沼相烃源岩充分发育、发育多套有利成藏组合的有机成因油气富集区。同时，两组岩石圈深大断裂又是深部火山活动最活跃、深部无机成因气流体供给最丰富、发育多套无机成因天然气成藏组合的无机成因气富集区。

富含 CO_2 等无机气的成矿流体对断陷层油气富集成藏起着十分重要的作用，是深层发现高产、高丰度气藏的关键。无机与有机成因天然气气藏均有相同的流体运移通道，如不同级别的断裂、不整合面、砂砾岩体及火山岩体，尤其是大型的断裂、不整合面、砂砾岩体及火山岩体。同时，无机与有机成因天然气气藏均有相似的聚集带，均发育于断隆带、坡折带与坡垒带上的 NEE-EW 向鼻状隆起带。在共同的运聚成藏中，两类来源不同的流体，相互作用、相互促进。无机成矿流体对油气运移聚集起到改善运聚通道、提高运聚效率、提供运移动力等多种极为重要的作用，促进了深层油气富集。

由于富含 CO_2 热液流体具有很强的溶蚀作用，并伴生强烈的构造裂缝作用。在一个时期内构成了深部流体较为通畅的运移汇聚系统，从而对分散有机质的富集起重要作用。无机成矿流体充注为高演化烃源岩及储层中的分散烃源物质提供了重要的油气运移动力，并增加了在储层中参加油气运移的连续流体数量，大大增加了克服运移阻力的能力，形成油气的高压充注。

无机与有机成因天然气气藏均有相同的流体运移通道，相似的聚集带，使得在富含 CO_2 等无机成矿流体作用下，发生一系列特殊的深部储层溶蚀和重结晶作用，从而发育多类优质储层，为深层油气高产、高丰度起到重要作用。由于 CO_2 等酸性溶剂进入酸性、中酸性火山岩后，产生大规模长石及晶屑的淋溶溶蚀作用，发育大量次生粒内孔，形成优质的块状流纹岩、流纹质凝灰岩储层。深部的

流纹岩、流纹质凝灰岩发育晶间孔、溶蚀孔、裂缝等储集空间和连通通道,往往有很好的储气性。在埋深3000~4000m的情况下,孔隙度达到4%~12%,平均7%,渗透率达到了 $(5\sim 100)\times 10^{-3}\mu\text{m}$ 。长岭断陷的松南、达北等营城组火成岩主力气藏,都以此类优质储层为主,由此形成高产气田,常规试气即可达到日产 $(10\sim 30)\times 10^4\text{m}^3$ 。

在长岭断陷无机成因天然气与有机成因烃类供给均较充裕的总体背景下,由于各区带无机、有机物供给量存在明显差异,从而形成了不同的有机与无机成藏混合类型,平面上呈规律性展布:①无机与有机混合成藏有利区带,主要分布在无机成因及有机成因烃类供给均十分充裕的区带,主要是营城组沉积末期以来火山活动强烈,且靠近深断陷的生烃中心,或处于烃类油气优势运移通道上的有利区带,主要包括长岭断陷东北部及西部的中段与南段;②有机成藏组合为主的区带,主要分布在无机成因天然气供给量极少,有机成因油气供给比较充裕的区带,如长岭断陷的东南部地区;③无机成藏组合为主区带,主要分布在无机成因天然气供给十分充裕,但又远离生烃中心的区带,如远离生烃中心的隆起带、凸起带,有机成因烃类供给较少的区带。无机成因 CO_2 气田主要分布在营城组末期以来火山活动强烈,而远离生烃中心或不在油气主运移通道的区带。

5. 首次提出锥柱状火山岩体天然气成藏系统是长岭断陷形成高丰度、高产、大中型气田的主控因素,研究了与锥柱状火山岩体相关气藏的形成分布规律

锥柱状火山岩捕获、收集各套高效烃源岩生成的油气,并通过各种方向的裂缝系统沟通,形成统一的天然气汇聚系统;锥柱状岩体可捕获各烃源岩层生成的油气,在裂缝系统作用下,形成统一含气系统。火山岩体向地表或近地表喷发运动的冷却过程中,产生收缩缝、破裂构造及流动构造,且火山岩体顺深大断裂喷发,受后期断裂构造作用而产生大量构造缝。无机成矿流体中富含 CO_2 等介质,形成酸性流体,在火山岩体中产生溶蚀裂缝,对保持裂缝的良好通畅性起十分重要的作用。根据钻井取心及成像测井证实,在锥柱状火山岩体中,广泛发育水平、纵向、大角度等各种方向的裂缝,构成裂缝网络。裂缝的密度达到3~10条/m,尤其在局部构造高点与火山岩体叠合部位,是构造裂缝极为发育的部位。地下裂缝宽度达到 $50\mu\text{m}$,远远大于甲烷分子的直径,使得这些裂缝成为良好的天然气渗流通道。其中的大角度缝和直立缝成为天然气垂向运移的主要通道。大量钻井证实,长岭断陷的锥柱状火山岩体的顶部发育块状气层,而下部火山岩体基本不含气,即使是上下两套火山岩体之间有数十米的泥质岩,碎屑岩下部的火山岩体也基本无法成藏。反映刚脆性火山岩体中发育大量贯通性的粗大裂缝,使其成为统一的裂缝网络体系。

与火山活动相伴的富含 CO_2 成矿流体对有机烃类的集中富集起到作用,并对形成深部酸性火山岩体的溶蚀性孔洞、粗大的晶间孔洞和碎屑岩溶蚀孔洞等起到

作用,从而形成储集性良好的深部储层。火山岩体顺局部鼻状隆起构造高点发育形成构造—火山岩体岩性复合圈闭;锥柱状火山岩对深层油气富集的多重作用,从而形成锥柱状火山岩体油气成藏系统。

各区块火山岩活动期次与类型存在明显差异,使得各区块火山岩体油气成藏特征存在显著差异:①中东部、西南部锥柱状火山岩体为无机、有机混合成藏区;②西北部锥柱状火山岩体为无机成藏区;③东南部层状火山岩体为有机成藏区。

6. 首次提出晚期反转隆升对天然气成藏有利区带产生重要的影响

通过包裹体、碳同位素等大量分析化验资料,论证本区油气具有连续充注的特征,存在两个高峰,其中前峰代表液态烃,成藏时间大约为青山口早期到嫩江早期;后峰代表气态烃,成藏时间大约为68~82Ma,相当四方台末期到古近纪早期。 CO_2 聚集时间相对较晚,约为新近纪之后。

研究表明,长岭断陷的主力成藏期较晚,为晚白垩世的青山口组—嫩江组沉积期以来。结合盆地构造演化,推演发生在嫩江组、明水组沉积末期的反转构造作用,使东部区带相对周边区带抬升了500~1000m,断陷整体向东倾翘掀斜增加 $2^\circ \sim 3^\circ$,大大增加了油气运移所需要的浮力,同时,东部区带整体剥蚀抬升600~1000m,使地层压力明显下降,致使天然气产生水溶脱气作用,一方面有利于体积较大的连续气相的运移,另一方面在有利圈闭区,有利于气水分异;剥蚀抬升还有利于原来大量溶解在火山岩孔隙中的 CO_2 解析,产生大量游离 CO_2 ,为长岭断陷油气成藏提供了动力,控制了天然气成藏期次的主要因素。

7. 首次研究提出了火山岩体复合圈闭的四个控制因素,进行了火山岩体复合圈闭分类

应用控制火山岩复合圈闭的四个主要因素:不同形态火山岩体的圈闭要素,主要包括锥柱状、板状、层状火山岩体;控制火山岩复合圈闭的构造要素,主要包括断层、继承性背斜或断鼻构造;控制火山岩复合圈闭的地层要素,主要包括火山岩体上倾超覆尖灭圈闭,火山岩体—砂砾岩体上倾超覆尖灭复合圈闭、火山岩体—基岩复合圈闭等类型;控制火山岩复合圈闭的岩性要素,主要是火山岩体的四面通过地层超覆或通过断层与火山岩体相接的地层,是决定岩性圈闭的要素。当火山岩体相接的层位为湖相砂砾岩时,为最有利于形成火山岩复合圈闭的岩性要素。

据此,将火山岩复合圈闭类型分为:①锥柱状火山岩岩性圈闭;②板(层)状火山岩岩体圈闭;③板(层)状火山岩超覆尖灭圈闭;④反向断层—锥柱状火山岩岩性复合圈闭;⑤盆倾断层—板(层)状火山岩岩性复合圈闭;⑥反向断层—断鼻—锥柱状火山岩岩性复合圈闭;⑦盆倾断层—断鼻—锥柱状火山岩岩性复合圈闭;⑧背斜—锥柱状火山岩岩性复合圈闭;⑨背斜—板(层)状火山岩岩性复合圈闭;⑩断鼻状—超覆尖灭—火山岩岩性复合圈闭;⑪断鼻隆起—锥

柱状、板（层）状火山岩岩性—碎屑岩岩性复合圈闭；⑫复杂断块—锥柱状、板（层）状火山岩岩性—碎屑岩岩性圈闭；⑬板（层）状火山岩岩性—基岩复合圈闭；⑭火山岩体—披覆背斜复合圈闭。

8. 首次提出了提升火山岩油气藏勘探效果的两个关键问题

首先，在火山岩油气藏勘探中，要重视各火山岩的含油性气性差别巨大，必须全面研究其成藏性，细致开展圈闭识别、评价，优选勘探目标。其次，要重视用火山岩岩性—构造复合控藏的思路指导火山岩油气藏勘探。火山岩气藏的火山岩储层物性和储集空间类型、特征和变化主要受到火山岩亚相控制，同岩相的不同亚相储层特征可能差别很大。Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类火山岩储气层多为低渗透气层或非产气层，多有大量特细孔喉，含有很高的吸附水，常规试气多不产气或低产，压裂改造后，经常以气水同出为主。因此，勘探火山岩气藏中，必须根据火山岩体复合圈闭的特点，寻找由有利相带控制的纯气层区，在压裂改造中，一定要强化控制缝的延伸高度和长度。

总之，研究工作取得了重要的创新性理论成果认识，有重要的学术价值。在国家油气产业发展的关键时期，我们鼓励更多的中青年研究人员，从前人的研究成果中吸取养分，在扎实研究的基础上，大胆创新，大胆实践，从油气勘探实践的丰富成果资料中提炼出适合我国特色的油气地质理论，更好地推动油气勘探理论创新，促进油气勘探事业的发展。

中国科学院院士

田在艺

2011年3月16日

前言

松辽盆地是我国最重要的油气生产基地,大庆油田长期作为我国的第一大油田,为保障我国石油供给安全做出了巨大贡献。近年来,松辽盆地断陷深层的油气勘探成为热点,松辽盆地北部徐家围子断陷取得了令人瞩目的勘探成果,在徐家围子断陷的各区带连续实现突破,发现了多个大中型气田,初步实现了徐家围子断陷满盆含气,已探明天然气储量 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 以上,并正在建设 $(20 \sim 30) \times 10^8 \text{m}^3$ 的天然气生产基地。长岭断陷是松辽盆地南部规模及沉积层系厚度最大的最有利富天然气断陷之一,断陷深层天然气资源量达 $4.95 \times 10^8 \text{t}$,资源丰度为 $(5 \sim 30) \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$,具备形成大中型气田的物质基础,已相继发现了腰英台深层气田和东岭大中型油气田。目前,松辽盆地南部断陷深层正进入加速勘探的局面,中石化及吉林油田均将该区作为近期天然气快速增储上产的主攻目标区。

在加快勘探步伐中暴露出一系列问题,近期在松辽盆地南部断陷深层实施的一些深探井出现了频繁落空或发现仅有二氧化碳的情况,部分深探井仅获低产或薄油气层,勘探效果不理想。这显然是由于勘探程度低,地质结构复杂,对松辽盆地长岭断陷火成岩地质特征和天然气聚集规律的认识还不够深入。为了提升该区的勘探效果,诸多问题亟待解决:①由于断陷结构复杂,断陷内地层对比,尤其是火成岩的对比存在争议,地层空间分布尚不落实。②断陷结构复杂,对其构造几何学特征和动力学机制研究有待深入。对于结构复杂的断陷构造特征描述远远不够,直接影响了勘探部署和决策。③松辽盆地长岭断陷内火山机构描述不够清晰。长岭断陷火山岩埋藏深,不少钻井深度未达到火山岩,有些虽钻穿火山岩,但并没有采集火山岩样品或没有全部取样,导致火山岩样品奇缺。由于钻孔中缺乏火山岩岩心而无法提供火山岩的分布、期次、旋回、产状、岩相、构造等信息,致使火山岩系岩性与物性对应关系不全面,火山岩分布范围与岩相划分不明确,火山岩储集类型不清等,这些问题的存在,严重影响了断陷内火山岩天然气的勘探工作与远景评价,使深层火山岩储层预测及评价工作成为油气勘探中面临的主要难题。④虽然目前对火山岩储层有了一定认识,对火山岩气藏储层的预测与描述一直是制约深层天然气勘探开发的瓶颈技术,对有利储层特征和分布,以及次生孔隙、裂缝平面发育情况还不清楚。⑤天然气来源复杂,已发现的气藏及多口探井见二氧化碳和氦气,证实有深源无机气的存在,但对其成藏规律

认识还比较肤浅；同时对主要有机烃源岩的分布、生烃史和生烃潜力的认识也不全面。⑥虽然总结了多种类型气藏成因模式，但对于天然气成藏规律和富集区带没有明确的结论。

研究工作重点讨论了以下涉及松辽盆地断陷深层油气勘探效果的关键技术问题：①松辽盆地断陷深层高效优质烃源岩的形成机理及分布规律研究；②松辽盆地断陷深层非常规储层的形成分布规律，包括火山岩储层、砂岩及砂砾岩储层、基岩储层的研究，重点回答深层火山岩优质储层的形成分布规律；③松辽盆地深层超压流体系统的形成机理及空间分布规律；④松辽盆地断陷深层的有效成藏组合及其分布规律；⑤松辽盆地深层无机成因天然气与有机成因天然气的相互作用；⑥松辽盆地深层复杂的油气运移汇聚系统和油气运移充注方式及过程研究；⑦大中型火山岩气藏的控制因素，如构造作用对火山活动、迁移的控制，各类成藏要素对火山岩成藏的控制作用；⑧松辽盆地深层非常规圈闭体的描述与识别，如大中型火山岩—构造圈闭、地层超覆尖灭—火山岩—构造圈闭、岩性—地层超覆尖灭等各类圈闭的识别和描述技术；⑨降低松辽盆地深层勘探风险的气藏预测技术；⑩松辽盆地深层油气富集带的形成及分布规律研究。

本书作者结合松辽盆地长岭断陷油气勘探实际，以火山岩岩石学、储层地质学、含油气盆地地质学、石油与天然气地质学理论为指导，充分利用岩心样品、地震、测井及相关的测试资料，以火山岩储层评价与预测、天然气成藏为主线，采用岩石地球化学测试鉴定、ESR 测年、火山岩储层预测、含油气盆地分析等技术与方法，从断陷构造形成演化入手，确定火山活动旋回和岩石类型，研究火山岩岩相、储集性，开展圈闭形成与预测研究。在此基础上，开展火山岩气藏成因分析、火山岩气藏的成藏规律及有利含气聚集带预测研究，论证重点勘探方向和目标。研究工作取得了八个方面创新性理论认识成果：①首次系统概括了火山岩复式油气成藏系统的特点，强化了火山作用在油气成藏中的综合作用；②首次提出火山岩油气成藏系统含油气性的主要控制因素；③火山岩油气成藏发育于具有形成深层大规模原生油气藏的区带；④首次提出长岭断陷具有形成有机与无机成藏共生组合的区域构造背景，探讨了无机与有机油气共生组合类型及分布规律；⑤首次提出锥柱状火山岩体天然气成藏系统是长岭断陷形成高丰度、高产、大中型气田的主控因素，研究了与锥柱状火山岩体相关气藏的形成分布规律；⑥首次提出晚期反转隆升对天然气成藏的控制作用，对油气成藏有利区带产生重要的影响；⑦首次研究了火山岩体复合圈闭的四个主要控制因素，并进行了火山岩体复合圈闭分类；⑧首次提出从火山岩油气成藏评价体系出发，提升火山岩油气藏勘探效果的两个关键问题。六个方面勘探评价认识成果：①在钻井地层对比的基础上，利用二、三维地震重新处理资料进行全区构造编图，对盆地基底、基底断裂展布、构造旋回性、内部构造区带、基底断裂对火山岩的分布等有了一系列认识；②利用二、三维地震重新处理资料，结合钻井对沉积相、测

井的标定,对长岭断陷断陷层系进行了系统的地震相分析研究。据此,研究了长岭断陷的烃源岩发育特征,重新计算了长岭断陷的资源量;③利用地质、测井和地震资料,在地层对比、火山岩相分布研究的基础上,结合精细合成地震记录层位标定、地震反射特征、地震层序分析和地震属性研究,描述了长岭断陷火山岩体的识别特征、分布规律、火山岩相类型、储集物性特征;④应用火山岩复式油气成藏系统评价体系进行了长岭断陷全区的区带评价,结果表明,老英台—达尔罕构造带油气成藏条件最好,其次是查干花次凹、长岭牧场次凹,再次为伏龙泉斜坡、东岭构造带、北正—龙凤山陡坡构造带,也具有较好的油气成藏条件,西南断隆带西段油气成藏条件相对最差;⑤应用火山岩复式油气成藏系统评价体系指导了长岭断陷 2006 ~ 2008 年度油气勘探,获得了一系列突破性油气成果;⑥研究提出了松辽盆地长岭断陷无机成因气藏的形成分布特征及勘探方向。

在工作过程中,中石化股份公司高级副总裁王志刚、原高级副总裁牟书令对部分认识成果给予了充分肯定和鼓励,股份公司副总裁焦方正、集团公司总地质师蔡希源教授、副总地质师李阳教授、马永生院士、油田部副主任冯建辉、科技开发部副主任张永刚也对关键理论创新问题进行了指导。本项工作是在依托华东分公司研究院、胜利油田地质研究院、中国石化研究总院、原北方勘探公司研究院、石油大学张枝焕团队、西北大学蒲仁海团队、吉林大学王璞珺团队、南京大学林春明、邱检生团队为主体的科研攻关队伍的大量研究成果基础上,进一步上升总结、创新形成的。在此,对所有参加科研攻关的科研团队和学者表示衷心感谢。研究工作中得到了中石化股份公司华东分公司张淮、吴聿元、李建青及原勘探北方公司书记、副经理谢晓安、总地质师张玉明、勘探处处长王德喜、副处长赵德力、科技处副处长徐宏节等的大力支持和帮助,雷一心帮助完成了全文的录入、校对、文字检索、图件编录、文稿编辑等各项工作,在此一并表示衷心感谢!

目 录

CONTENTS

序

前 言

第一章 区域构造特征.....	01
第一节 区域大地构造背景.....	01
一、东北地区大地构造背景	01
二、松辽盆地构造特征	03
第二节 区域火山活动规律	11
一、东北地区中生代大地构造背景	11
二、东北地区火山活动规律	13
三、区域火山岩系列和类型	14
第二章 断陷构造作用与火山岩形成分布.....	17
第一节 构造特征.....	17
一、概况	17
二、断陷结构和构造样式	19
三、主控断裂与断裂系统	23
四、构造形态特征和地层展布	31
五、构造单元的划分及其构造变形特征	33
第二节 断陷构造演化及其动力学机制	35
一、盆地构造演化阶段	35
二、构造演化特征及强度变化	37
三、断层的活动期次及其对天然气成藏的控制作用	41
四、断陷的形成机制	42
第三节 断陷构造控制多火山岩类型与多旋回特征	43
一、走滑拉张裂陷盆地构造背景下发育多类火山岩	43
二、多旋回构造演化形成多火山岩喷发旋回	50
第四节 断裂与火山岩分布的关系	56
一、深大断裂为岩浆上涌提供通道	56
二、断裂开启性决定能否形成裂隙式火山喷发	56

三、火山口往往分布在断裂的薄弱点上	56
四、火山活动中心顺断裂规律性迁移	57
第五节 火山岩岩石学、地球化学特征及形成环境	58
一、火山岩的岩石学及地球化学特征	58
二、火山岩岩石系列类型及形成环境	60
第三章 复式火山岩油气田的油气来源	62
第一节 主力烃源岩及其分布特征	62
一、钻井揭示的烃源岩分布特征	62
二、烃源岩预测	63
第二节 烃源岩地球化学特征	68
一、烃源岩有机质丰度和类型	68
二、有机质演化程度	72
三、长岭断陷深层烃源岩地球化学特征	75
第三节 天然气地球化学特征及气源对比	79
一、天然气组成及分布特征	79
二、天然气成因类型划分及气源分析	84
三、长岭断陷断陷层天然气气源分析	91
第四节 CO ₂ 的主要来源与成藏特征	100
一、长岭断陷 CO ₂ 分布特征及地球化学成因指标	100
二、松辽盆地广泛发育无机气藏	102
三、松辽盆地无机成因气藏形成的深部控制因素	108
四、无机成因 CO ₂ 的主要来源与形成特征	111
第四章 复式含油气系统中的储集层特征	119
第一节 储层储集特征	119
一、储层岩性特征	119
二、储层物性特征及电性特征	122
三、岩性对储层物性的影响	125
四、火山岩岩相对火山岩储层物性的影响	128
五、埋深对储层物性的影响	139
六、成像测井资料分析火山岩储层裂缝	142
第二节 火山岩地球物理特征及期次划分	148
一、火山岩测井响应特征	148
二、火山岩地震响应特征及预测	157

三、火山岩期次及模式	161
四、火山岩储层预测	168
第三节 火山岩含气性的分频分析	175
一、高分辨率分频技术特点和优势	175
二、资料准备和预处理	175
三、地震资料高分辨率分频技术解释结果分析	180
四、主要认识	187
第五章 火山岩复式成油气系统特征	189
第一节 火山岩复式油气成藏系统的主要控制因素	189
一、火山岩复式油气成藏系统的特点	189
二、长岭断陷火山岩油气成藏系统的主要控制因素	190
第二节 晚期反转隆升对天然气成藏的控制作用	192
一、包裹体产状及分布特征	193
二、包裹体均一化温度与流体活动期次分析	194
三、反转构造期是油气规模成藏期	202
第三节 火山岩体的油气侧向运移汇聚系统特征	203
一、主要烃源岩中的砂砾岩体预测	204
二、主要烃源岩中的砂(砾)岩体油气运移汇聚系统特征	210
第四节 无机与有机油气共生成藏组合类型及分布规律	210
一、有机与无机油气成藏共生组合的形成条件	211
二、有机与无机成藏的异同点	211
三、无机成矿流体对断陷层油气成藏的重要作用	213
四、有机与无机成藏共生组合的类型与分布特征	215
第五节 锥柱状火山岩体天然气成藏系统及其空间展布	217
一、长岭断陷火山岩体分布规律	217
二、锥柱状火山岩体天然气成藏系统	217
三、不同期次锥柱状火山岩体对天然气成藏系统的影响	219
四、长岭断陷火山岩体类型与油气成藏分区的关系	220
第六节 火山岩复合圈闭及流体封存系统	221
一、火山岩复合圈闭的控制因素	221
二、火山岩复合圈闭类型	222
三、火山岩复合圈闭分布特征	223
四、流体封存系统及分布规律	225
第六章 火山岩复式油气田形成分布规律及勘探方向	226

第一节 长岭断陷油气分布特征	226
一、天然气区域构造上的分布特征	226
二、天然气层在层位上的分布特征	227
三、不同岩性、岩相储层中天然气分布特征	228
四、气层的物性分布特征	229
第二节 长岭断陷典型油气田的形成特征	231
一、腰英台深层气藏解剖	232
二、双龙油气田	236
三、达北气藏解剖	239
四、老英台凸起区 CO ₂ 气藏反馈	241
五、腰南含气构造反馈	244
第三节 长岭断陷大中型火山岩油气田形成分布特征	244
一、富烃断陷控制断陷层系大中型油气田分布	245
二、大中型天然气田主要分布于近烃源构造带	246
三、大中型油气田区发育多种类型的优质储集层	247
四、继承性隆起构造带与火山机构组成大型复合圈闭	248
五、发育复杂的油气运移汇聚系统	251
六、具有良好的油气聚集和保存条件	252
七、不同区带的天然气成藏模式	253
第四节 长岭断陷断陷层系大中型油气田形成条件	255
一、中央区域的深断陷具有良好的成油气地质条件	255
二、断陷层系大中型油气田的形成特征	258
第五节 长岭断陷油气资源潜力评价	262
一、利用 Trinity 计算资源量的基本原理	262
二、参数选择	263
三、模拟结果与讨论	264
第六节 长岭断陷有利区带及圈闭评价	267
一、成藏体系	267
二、成藏体系(区带)综合评价	268
三、圈闭评价与优选	271
第七节 长岭断陷大中型油气田勘探方向	273
一、大中型油气田勘探方向	273
二、勘探部署思路	275
三、重视大中型无机成因气藏勘探	275
参考文献	278

第一章 区域构造特征

中、新生代以来,中国东部进入印度板块和太平洋板块联合作用的环太平洋构造域发展阶段,在此作用下,东北地区主要发育晚侏罗世晚期至早白垩世、晚白垩世、古近纪至新近纪三个中、新生代成盆地。在松辽盆地发育一批晚侏罗世晚期至早白垩世断陷群,长岭断陷即是松辽盆地断陷群东南部的一个规模较大的火山岩沉积断陷。本章重点论述决定长岭断陷火山岩形成分布规律和火山岩复式含油气系统的区域大地构造背景及构造演化特征。

第一节 区域大地构造背景

一、东北地区大地构造背景

(一)东北地区中、新生代板块动力学环境

晚古生代至中生代早三叠世欧亚大陆全面拼接形成了统一的欧亚板块,自此以南北挤压为主的板块体制解体,板块作用来自于丹那哈达地体向西拼贴、太平洋板块向西北方向俯冲挤压和印度板块向北碰撞挤压。东北地区开始了新的大地构造演化阶段,进入环太平洋构造域发展阶段(图1-1)。

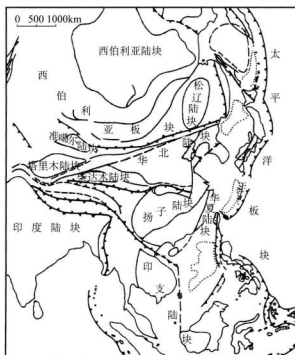


图1-1 中国周边地区主要大地构造单元
(据王涛等, 1997)