

## 绪 论

目前含油气系统(Petroleum System)是石油地质研究中的一个新热点,它是介于含油气盆地(或含油气区)与油气聚集带(或成藏组合)之间的油气地质新概念。综合了油气藏形成的一系列要素和作用,因此,它为油气藏形成研究提供了新思路和新观点。含油气系统自20世纪70年代提出以后之所以受到广泛关注和应用,首先,是因为用系统论的观点将油气藏形成的各要素和作用有机地结合起来,而不是孤立地研究。含油气系统研究把它们作为一个整体综合分析油气藏的形成过程,体现了系统论的思想在石油地质中的应用。第二,把盆地和构造演化历史与油气藏形成历史结合起来,使油气藏形成条件的生、储、盖、运、圈、保等从静态研究转到动态分析油气藏的形成过程。含油气系统研究就是在分析盆地演化历史的基础上,动态地研究烃源岩的演化史、圈闭的形成期以及油气运聚过程。第三,运用石油地质学综合分析方法和逻辑思维方式,使油气勘探的重心从地质学向油气等流体转移,建立了“地质、石油、时间”为主的思维模式(李贤庆等,1999),寻找新的圈闭或油气藏。因此,含油气系统概念的提出无疑大大推动了石油地质学的发展,丰富了石油地质学的理论体系,对油气勘探有重要的指导意义。

### 一、含油气系统概念的由来和研究现状

含油气系统的雏形石油系统(Oil System)的概念于1972年首先由美国石油地质家Dow在丹佛召开的AAPG年会上提出,历经诸多学者补充、修改而完善。Perrdon于1980年首次提出含油气系统这一术语,他认为,控制油气藏分布的地质因素,尤其是烃源岩、储层和盖层组合,通常局限于一定的地理范围,这个地理范围通过一组油气藏,即一个含油气系统的形成来反映。含油气系统就是同类或具有相同功能的自然要素按一定结构的组合。1984年Demaison提出了生烃盆地(Generative Basin)的概念,将下伏有成熟烃源岩的区域称作“生烃凹陷”或“烃厨”,含有一个或多个生烃凹陷的盆地定义为“生烃盆地”。生烃凹陷可以通过有关成熟作用和有机相的地球化学资料与来自地震和深井的构造地层信息综合绘出。Meissner等提出了烃类机器(Hydrocarbon machine)的概念,其定义为:含有油气生成、运移和聚集过程中所有要素的层序构成了可以称为天然地质烃类机器的东西。这种概念格架的应用将有助于预测油气生成、运移、聚集单元,即烃类机器。这种烃类机器在一定地层范围内起作用。当与烃源岩区域分布图共同使用时,可解释已发现油气藏的分布并进一步圈定远景区。1986年Ulmishek提出独立含油气系统(Independent Petroliferous System)的概念,这一术语被用于描述“油气资源评价的地层情况”。他指出,独立含油气系统“……可以理解为一岩体,该岩体被阻止包括油气在内的流体作侧向和垂向运移,由区域性隔挡与周围岩石分开。从地层上看,一个独立的含油气系统基本上是均一的。它包括烃源岩、储集岩、圈闭和区域性盖层,因此它是这些因素对比分析和油气成因研究的合适单元。对于了解程度较差的油气资源评价来说,把独立含油气系统作为一个评价单元比盆地或成藏组合具有一定的优越性。独立含油气系统的概念也可以用于资源评价的统计方法中,并且可能提高这些结果的可靠性。”Magoon(1987)首次应用“要素”(Element)这一术语来指烃源岩、运移路径、储集岩、盖层和圈闭,并明示这些要素“必须

在时空上定位，以致于油气矿床可能出现”。

目前应用的含油气系统概念是由 Magoon 和 Dow 根据前人的工作综合提炼而得 (Magoon 和 Dow, 1994)，他们将含油气系统定义为包含一个有效烃源岩体和所有有关油气的天然系统，包括油气藏存在所必需的一切地质要素和作用。这里的“油气”(Petroleum)包括：在常规储层或天然气水合物、致密储层、裂缝性页岩和煤层中发现的热成因或生物成因的天然气；

自然界中发现的凝析油、原油和沥青。“系统”(System)描述了互相关联的要素和作用 这些要素和作用构成了形成油气藏的功能单元。“基本要素”包括油气源岩、储集岩、盖层和上覆岩层，“作用”为圈闭的形成以及油气的生成—运移—聚集。这些基本要素和作用必须在时空上匹配，以致于烃源岩中所含的有机质可以转化成油气藏。

我国引入含油气系统的概念始于 80 年代末期。实际上，早在 1963 年胡朝元等在总结松辽盆地陆相大油气田形成和分布规律的内部报告中就提出过成油系统这一思想，即“必须将油气藏形成的静止条件(生、储、盖)和发展过程(生、运、聚)综合分析比较符合实际”。朱夏等曾强调“各种地质要素之间有着紧密的联系，必须在油气系统整体中予以考虑”。这些都显示了我国学者对含油气系统研究的早期思想，只是在国际上未引起关注和应用。

90 年代初，含油气系统研究成为石油地质领域的热门话题。我国学者于 1992 年全文翻译并公开出版了 Magoon 主编的《含油气系统——研究现状与方法》一书 随后 国内不少刊物陆续登载了有关含油气系统的文章。海洋石油总公司曾于 1994 年 9 月和 1996 年 6 月组织召开了石油体系应用学术研讨会。“八五”、“九五”攻关期间也设立了与之有关的研究专题或将含油气系统列为重要研究内容。1996 年 11 月，在贵州省安顺市召开了“中国含油气系统及其在油气勘探中的应用”学术研讨会 就含油气系统定义、研究内容、研究方法、应用范围等方面展开了热烈的讨论，强调在研究和实践中去理解和发展含油气系统。近几年，含油气系统理论正在被广泛地应用于实践中，各油田、各研究单位和油气勘探公司在这方面已作了大量的研究工作，发表文献数量急剧增加，显示出国内对这一领域的重视。此外，我国学者还公开出版了有关含油气系统的著作和论文集，如《中国含油气系统的应用与进展》、《成油体系分析与模拟》以及 1998 年由张刚等主译出版了 Magoon 主编的《含油气系统——从源岩到圈闭》一书。由此可见，在含油气系统研究和应用方面已取得了较大的进展，含油气系统思想已在我国石油地质领域引起了足够的关注。

## 二、含油气系统概念的内涵

### 1. 含油气系统是一种综合研究方法

尽管含油气系统概念的提出，大大推动了石油地质学的发展，但含油气系统概念的提出并没有改变原有石油地质学基本理论，也没有提出新的理论体系。含油气系统所涉及的内容都是以往石油地质研究所讨论的，这可能就是国内有人认为含油气系统没有什么价值，只不过是“新瓶装旧酒”的原因。当然这种认识是片面的，他们并没有真正认识到含油气系统的价值所在。含油气系统的价值在于它为我们进行油气调查和勘探研究提供了一个新思路和新方法。国外学者基本上把含油气系统作为一项新方法或工具，而非新理论，因此，还是把含油气系统作为一种研究方法更合理。

### 2. 含油气系统是一个天然的油气地质系统单元

含油气系统的概念之所以优于通常的“生储盖组合”，就在于它是研究烃源岩与油气聚集之间的成因联系，更注重将静态分析与动态过程相结合，并特别强调这些要素及过程在时空格

架中的协调关系，是一个天然的油气地质系统。地质系统是由控制油气生成、运移、聚集和保存等所有地质因素在时间和空间上有机组合而形成的完整体系，油气地质系统包括油气域、含油气区、含油气盆地和含油气系统。油气域是具有相同地球动力学或大地构造背景油气区的组合，油气域受大地构造控制。全球有4大油气域，即特提斯油气域、北方油气域、南方冈瓦纳油气域和太平洋油气域；含油气区由一个或几个具有相同地质特征和类似地质发展史的含油气盆地组成；含油气盆地是石油地质研究和油气勘探的重要对象，一个含油气盆地通常具有一个或多个含油气系统。含油气系统是油气地质系统中的最基本单元，它代表了一个独立烃源岩的油气生成、运移和聚集过程。

### 3. 含油气系统理论与源控论

我国的石油地质学家在长期的找油实践中建立了中国的陆相石油地质理论，对陆相盆地中控制油气藏形成和分布的地质因素进行了不懈的探索。我国学者在50年代末60年代初，针对中国东部含油气盆地的地质特点（陆相地层、断块构造、分割性强）总结出了生油区基本控制油气分布的规律，提出油气运移距离短、油源区控制油气田分布的理论（简称源控论）。三十多年的勘探实践证明了这个理论的正确性。

源控论强调“油气田环绕生油中心分布，并受生油区的严格控制”，并指出只要有一个生烃中心，就应在其边部或周围注意各种类型的圈闭，以期以较高的成功率发现油气田。也有人认为“油气田环绕生油凹陷都自成一个独立的沉积单元和生油中心，一个生油中心就是一个油气富集中心，即油气生成、运移、聚集完全受油气生成中心控制，油气藏分布围绕生油中心呈环带状分布”。因此，“源控论”与含油气系统有类似思想基础。

### 4. 含油气系统理论与油气聚集带

从目前世界上诸多盆地中所发现的油气田来看，成群成带分布是其共同特点。40年代中期乌斯宾斯卡娅在研究俄罗斯地台及北美地台上油气田分布特点的基础上，划分了几类油气聚集带。50年代初期巴基洛夫正式提出油气聚集带的概念，并将其定义为地质构造相似且位置相邻的一些油气田的总和，这些油气田属于互相有成因联系的局部构造群或一些岩性地层圈闭。

80年代中后期，我国学者在系统总结了断陷盆地油气聚集和分布规律的基础上又提出了复式油气聚集带的概念。这一概念指出，在含油气断陷盆地中，由于断块活动强烈、断层十分发育、岩性岩相变化大、地层超覆和沉积间断多，在二级构造带的背景上有利于多种类型圈闭的形成，不仅发育背斜和断块圈闭，还在不同层系中广泛发育多种类型的地层岩性圈闭。这些储油圈闭具有一定的地质成因联系，有相同的油气运移和聚集过程，形成了以一种油气藏类型为主，以其他类型为辅的多种类型油气藏群，且具有成群成带分布的特点，它们在平面上构成了不同层系、不同类型油气藏叠置连片的含油气带。复式油气聚集带的形成受二级构造带的控制，尽管多种因素对复式油气聚集带的形成起控制作用，但其中某一种因素在油气聚集过程中起主导作用。

含油气系统与油气聚集带之间存在着较大的差异。首先，二者分析问题的着眼点和研究内容不同，含油气系统着眼于烃源岩及演化，其主要研究内容是含油气系统诸石油地质条件的有机组合；而油气聚集带着眼于圈闭和油气藏类型及它们之间的时一空组合，着眼于圈闭发育史分析，其主要研究内容是区带油气聚集与油气藏的形成与分布。其次，含油气系统是介于含油气盆地与油气聚集带之间的一个油气地质单元。在一个含油气盆地或含油气区内，可有若干个含油气系统重叠分布；在平面上，不同时代、不同类型的含油气系统则可展现在一个或若

干个油气聚集带中。

## 5. 含油气系统与有机地球化学

有机地球化学的基本原理及研究方法是认识和划分含油气系统的不可取代的基础，把握油气从烃源岩到圈闭的每个环节都依赖于油气地球化学研究提供的信息，而含油气系统的概念也为油气地球化学的研究注入了新的活力。以往的有机地球化学研究常常着眼于烃源岩以及油气的孤立研究，而忽略含油气盆地生烃、运移和聚集的统一过程。含油气系统概念的应用为其提供了新的思路，开拓了应用的领域并提高了勘探价值。

烃源岩是含油气系统形成的物质基础，烃源岩是含油气系统中 4 个成藏要素的核心，一个含油气系统至少必须包含一套有效的烃源岩。烃源岩不仅提供了油气，而且提供了排烃的动力，烃源岩的演化决定了生排烃的时间，也就决定了成藏的时间。因此，烃源岩是生烃作用的根本。烃源岩的性质决定了生成油气的性质及数量，直接影响系统中油气的运聚过程。含油气盆地中的不同部位烃源岩的成熟度可以有较大的差别，这不仅影响系统中由它们生成的油气性质，而且，也决定了系统的关键时刻。此外，烃源岩的演化过程决定了系统的时间跨度。

## 6 关于复合含油气系统

复合含油气系统指的是在含油气盆地中含油气系统的复合叠加。含油气盆地或坳陷、凹陷中发育多套烃源岩，并在随后的演化过程中出现多期生烃、多期运聚、成藏与调整改造的变化，从而导致多个含油气系统的交叉与窜通叠置，使含油气系统的油气来源变得复杂。其内涵至少包括了以下几个方面：

组成复合含油气系统的生烃灶至少有一个，而烃源岩层系至少是两套以上，且在平面上存在重叠和交叉；

两套以上的生烃层系或两个以上生烃灶中的油气藏形成往往表现出多期次，并共享部分石油地质条件，如同一套盖层、同一个油气聚集区带与油气有同一的运移输导体系；

每一个生烃或每一套生烃层系都有各自独立的油气运聚过程发生，但相互间又有部分流体的交换，如油气通过不整合面或断裂带运移，在两个烃灶中间的隆起部位混合聚集，使得两个或两个以上的系统既有独立性，又有联系；

复合含油气系统的形成往往有多个关键时刻，包括各生烃层系与各烃灶大规模生烃和排烃的时间，也包括已经形成的油气藏被破坏或被调整到新圈闭中再聚集的时间。

同一复合含油气系统含有多套有效烃源岩体，每一套有效烃源岩体都形成一个含油气系统，但同一复合含油气系统内的不同含油气系统不是相互独立的，它们往往具有相同的储层和盖层形成的油气藏多为多源混合的结果。显然对于复合含油气系统多源、多灶、多期成藏为其主要特点，出现多关键时刻的作用，因此，尤其应加强成藏期的研究。

## 7. 含油气系统与运聚单元

所谓油气运聚单元，就是含油气系统或复合含油气系统内部由有效烃源岩最大生排烃期油气运移分割槽所围限的具有相似油气运移聚集特征的独立的和完整的三维石油地质单元。油气运聚单元以油气聚集带包含二级构造带、岩性带、地层尖灭带、超覆带等为核心并包含为该油气聚集带提供油气源的有效烃源岩体。运聚单元边界的划分是在含油气系统研究的基础上实现的。首先作出有效烃源岩大量生排烃期有效烃源岩层系顶面的流体势图，研究油气输导体系的分布；然后在流体势图上根据高势面的分布划出油气运移分割槽；最后以分割槽为边界并考虑油气输导体系的分布确定出油气运聚单元的边界。

运聚单元的划分是含油气系统的进一步细化，目的就是使含油气系统的评价和勘探目标

的选择更具体。

### 三、油气成藏研究现状

含油气系统要素分析的核心是烃源岩 事件研究的核心是关键时刻。“关键时刻”是指研究人员选择出能够最有效地描述一个含油气系统中极大多数油气生成、运移、聚集的时间。简言之，关键时刻就是含油气系统油气主要成藏期的代表点，只有把握油气成藏期才能确定关键时刻。因此，油气成藏的研究是含油气系统分析的重要问题。

世界范围内油气的发现和利用具有 3000 多年的历史 但人们真正从科学角度认识油气还是近一个多世纪的事情。从远古到 19 世纪 40 年代以前，人们对于油气的发现纯属偶然现象，缺乏正确的科学理论为指导，在对石油和天然气的认识上，也带有神秘的宗教色彩。即使在 19 世纪 40 年代前后，找油气仍具有很大的盲目性，很少用或根本没用地质学知识。随着人们对石油和天然气需求和寻找范围的日益扩大，随着科学技术的不断发展，人们在寻找油气的实践活动中，逐渐认识到石油和天然气一般都储存在背斜构造里。1859 年，宾夕法尼亚州一背斜上钻出了石油之后，人们进一步认识到了背斜能够聚集油气。1885 年 美国人 I. C. White 根据地质知识提出了“背斜学说”。这一认识的出现是油气勘探史上的重大转折，是从假想到科学的转折。它对油气的调查与勘探起到了巨大的指导作用，直到今天，仍然在起着重要作用。在这一理论的指导下，一百多年来，全世界发现了无数大大小小的油气田。

从油气成藏的各个方面来看，其研究的最终目的都是要弄清一个沉积盆地或一个构造带的油气藏形成模式，然后，依据油气藏形成模式进行油气藏分布规律的研究，进而搞清含油气系统油气藏的分布规律。油气成藏模式的研究内容广泛，涉及油气藏的类型与基本地质特征、油气生成、运移距离、方向及通道、构造活动期、圈闭形成时期、油气运移聚集过程与期次、油气藏保存条件等等。有关油气藏形成模式的研究，已经开展了大量的工作。在此过程中，油气成藏期一直为人们所关注，它是油气成藏模式研究中非常重要的内容。在一个盆地，尤其是大型叠合盆地中 油气成藏往往不是一次完成的 而是多次、多期成藏的结果 成藏模式多种多样。

#### 1. 依据构造分析确定油气藏形成时间

油气藏的形成是油气在圈闭中聚集的结果 只有先形成了圈闭 油气才能在圈闭中聚集形成油气藏。因此，构造运动形成圈闭的时间只能是油气藏形成的最早时间。因为圈闭的形成并不意味着立刻就有油气在其中聚集，所以，该法确定的油气藏形成时间只是最早时间，油气藏只能形成于这一时间之后。然而，这种方法对于早期构造运动产生的圈闭和圈闭容积继承性增大且充满度高的油气藏形成期研究往往是有效的；但对那些早期圈闭容积就大于现今油气藏规模的圈闭而言，就显得无济于事。况且这种方法是以待圈闭等待油源为前提的，将圈闭形成和油气聚集割裂，建立在压实和成岩破裂排烃的续流模式基础上，对于那些依靠活动断裂沟通烃源岩和圈闭，以垂向运移为主的油气藏的形成期巧合程度较高；而对于靠侧向油气运移和聚集成藏的圈闭则找不到合适的参照系。

很多学者十分强调构造分析的重要性，认为形成的主要时期或含油气系统的关键时刻应定位于断褶构造活动期(燕烈灿等,2000)，因为相对于含油气系统形成演化漫长的地质历史，发生在烃源岩具备生排烃潜力之后的断褶构造活动期是短暂的，并且可以通过简单的构造分析予以确认。每一期次断褶构造运动又包括延时不一、规模不等、强度有别的阶段构造运动，而每一阶段构造运动又可进一步细分为多个周期性的构造应力积累、释放、再积累、再释放……的间歇活动幕。断褶构造的间歇活动幕则是可以通过新构造运动丰富的研究成果“将今

论古”的，这就为客观地把握含油气系统关键时刻提供了依据。含油气系统中只有那些发生在烃源岩有潜力提供油气阶段的断褶构造活动期，才最可能促成有效的油气运聚成藏。断褶构造运动以不同级别、周期性活动的地震为主要的应力释放方式，提供了地层流体运移的主要动力；发生在烃源岩供烃阶段的断褶构造运动是含油气系统内油气形成规模运移、聚集的主要因素。

对于断陷盆地，后期的构造活动性质和规模对原生气藏的改革和破坏，以及次生气藏的形成是十分重要的，这在确定油气成藏期和复合含油气系统的形成时应该考虑的。

#### 2. 依据烃源岩主要生排烃期确定油气藏形成时间

油气藏的形成是油气生成、运移、聚集的结果。只有油气生成并排出了，油气藏才可能形成。因此，烃源岩中油气生成和排出的主要时期可作为油气藏形成的最早时间。而烃源岩的主要生排油期的确定要涉及到多方面的资料 包括盆地或地区的沉积史、埋藏史、古地温史、烃源岩热演化史、烃源岩孔隙度随深度的演化、烃源岩厚度与分布、生油气定量模型等。通过盆地模拟计算出烃源岩的主要生油气时期和排油气时期，从而大致确定油气藏形成时间。由于生排油气后并不一定立刻就会形成油气藏，因为油气排出后，还得经过一定距离甚至是较长距离的运移、调整，最终才能形成油气藏。所以，该法确定的油气藏形成时间也只能代表其最早形成时间。与圈闭形成时间法相比，该法确定的时间总体应更接近油气藏的形成时间。

#### 3. 依据油气藏饱和压力确定油气藏形成时间

该方法的基本依据是：原油自烃源岩中生成排出后就饱和和天然气。饱和天然气的石油与饱和轻质油的凝析气沿运移通道运移，当遇到合适的圈闭时便聚集起来形成油气藏。此时，原油和凝析气的溶解作用在当时温压条件下处于饱和状态。所以其饱和压力反映了形成时的温、压条件。如果在油气藏形成之后 沉积、构造等作用相对比较稳定 那么 油气藏的饱和压力就基本不会发生太大变化。这样就可根据油气藏的饱和压力推算出油气藏的埋藏深度，并判定出相应深度的地质时代，结合地层埋藏史就可确定油气藏的形成时期。但一般情况下，油气藏形成后不可能不受到各种因素的影响 如构造运动升降、气体的散失、油气的多期运移、聚集等都可能改变油气藏的饱和压力，致使由饱和压力确定的油气藏形成时间失真。该方法已得到了广泛应用，但在应用时应对应油气藏的地质演化过程进行充分的研究，以确保油气藏在形成后其气油比没有太明显的变化，否则该方法确定的成藏期会严重偏离地质事实。

#### 4. 依据露点压力确定凝析气藏成藏期

根据上露点压力计算凝析气藏的形成时间，其基本原理在于凝析气藏形成时，其地层压力高于现今气藏温度所对应的上露点压力，当地层压力低于对应的上露点压力时，气相中液态烃将发生反凝析作用，反凝析出来的液态烃可形成油环或底油。此后若地层压力升高，反凝析出来的液态烃一般不可能再发生大量的逆蒸发而回归为气态烃。因此，根据现今气藏的上露点压力可以计算出成藏时期的埋深，与地层埋藏史结合确定凝析气藏成藏期。李绍基等（1994）认为，由此得到的成藏时埋深为最小埋深，所确定的成藏期为最早成藏时间。但赵靖舟等（2000）认为，由上露点压力所确定的成藏期应代表凝析气藏形成后最近一次调整的时间或其现今  $pVT$  相态特征最终定型的时间。这主要是由于凝析气藏形成后多经历了多期构造作用的结果。

#### 5. 依据储层矿物同位素特征确定油气藏形成时间

储层成岩作用过程中会形成多种自生矿物，其中存在多种放射性同位素。自生矿物形成以后，放射性同位素组成会不断发生变化，形成自然的衰变体系。利用自生成岩矿物的同位素

衰变特征可确定成岩矿物的形成时间。

目前利用储层中同位素年代学分析确定矿物形成时间的矿物主要是伊利石, 该方法是国际上 80 年代后期逐步发展起来的新技术, 并成功地应用于分析北海等地区烃类成藏时间。方法的主要原理与矿床学中利用与成矿同时而又适合年龄测定的岩石或矿物的同位素地质年代学分析确定成矿年龄相似。其主要的理论依据是石油侵入影响储层的成岩演化, 控制自生矿物的形成和演化, 即认为石油饱和度一旦达到一定值时, 伊利石的成岩作用就会停止 (Thomas, 1986)。许多人都成功地应用油气包裹体和自生矿物同位素 ( $K/Ar$  研究油气运聚史。周兴熙等 1995) 用次生伊利石测年技术对塔里木盆地的几个油气田成藏历史进行过研究。王飞宇 (1999, 2000) 利用储层自生伊利石  $K-Ar$  同位素定年技术对塔里木盆地、准噶尔盆地及大港油田部分油气藏的成藏史进行了研究。这种方法在吐哈盆地得到良好应用 (黄志龙, 1998) 也在四川盆地平落坝气田、八角场气田、库车坳陷克拉 2 气田、依南 2 气田的成藏史分析中采用了这种技术和方法, 但效果不一 (黄志龙、高岗, 2000)。

储层中自生伊利石仅形成于流动的富钾水介质环境中, 油气进入储层后伊利石形成过程便会终止。所以, 可利用砂岩储层中自生伊利石的同位素年龄来判断油气藏的形成时间, 即烃类充填储层的时间应略晚于自生伊利石的形成年龄。根据平面和剖面上自生伊利石的同位素年龄的分布可以判断成藏速度和烃类运移的方向。但该方法也有其不足之处, 目前能分离出来的小于  $0.1\mu m$  粒径的自生伊利石的同位素年龄并不一定能代表成岩粘土矿物形成作用终止前的最晚时间。在亲水性的粘土矿物颗粒和油之间有活性更高的水膜存在, 使得以颗粒包膜形式存在的粘土矿物还不乏继续堆积生长的成岩环境, 因此, 用自生伊利石  $K-Ar$  同位素年龄来判断成藏期有时偏差较大, 必须引起足够的重视。

## 6. 储层有机岩石学法

该方法包括流体包裹体和固态沥青的研究。

### (1) 流体包裹体分析法

在沉积盆地演化过程中, 尤其是构造沉降、地下水活动和运移时期, 都伴随着流体包裹体的形成和捕获作用, 并在其中记录了烃类流体和孔隙水的性质、组分、物化条件和地球力学条件。因此, 在研究区水平和垂直方向上规律取样, 对储集岩成岩矿物中流体包裹体进行颜色、大小、分布、类型、丰度、均一温度、压力和组合等的研究, 就可大致了解盆地深部流体的运移时间、方向、通道体系及水动力状况 (Karlsen, 1993; Nedkvitne, 1993; Roger K. Mclimans, 1987)。

详细描述包裹体特征是十分重要的。包裹体的物理性质包括丰度、颜色、大小、气液比、盐度、状态、均一温度和类型等。将这些特征与盆地模拟相结合可研究沉积盆地的流体运移、聚集时期。Eadington (1991) 将对岩石矿物包裹体特征的直接观测与数值模拟技术相结合, 应用于沉积中流体运移的研究, 首次提出了地层的流体历史分析技术。单一有机包裹体的物理特征分析 (卢焕章, 1990) 是在冷热台—荧光显微镜—显微光度计系统中进行的, 可分析流体包裹体期次、相态、组成和均一化温度及固体沥青反射率, 以冷冻—回温法区分均相和非均相捕获流体包裹体, 流体包裹体均一化温度主要测自与烃类包裹体共生的均相捕获的盐水包裹体。施继镫 (1987) 认为, 由液相组成的包裹体出现在烃源岩成熟度较低的地区, 而由气态烃或固态沥青组成的包裹体则出现于演化程度较高的地区。研究表明, 有机包裹体的颜色与有机质的组成有关, 也与有机质的演化程度相关, 演化程度越高, 颜色越深。储层含油流体包裹体丰度作为古含油饱和度标志, 识别古油层、确定油水界面的变迁史, 从包裹体均一化温度、相态、成

分可认识化石流体性质，特别是识别古代热流体的存在和活动时间（George 等，1997）。利用储层流体包裹体均一化温度，结合埋藏史和热演化史特征，确定油气运移时间和成藏期次是目前应用广泛的方法。朱扬明（1999）认为利用包裹体的产状、颜色可查明原油运移的时间、温度、通道，揭示成藏演化史。

## （2）储层固体沥青分析技术

储层固体沥青可视为一类特殊的“成岩矿物”，它是油藏中石油蚀变的产物，记录了油藏被改造、破坏的信息。固体沥青反射率反映了烃类流体转变为固体沥青后所经历的热历史，从储层固体沥青反射率、沥青反射率化学反应动力学，结合储层埋藏史和热演化史定量分析，可确定油藏破坏时间。对固体烃类有机岩石学和有机地球化学的分析可提供油气藏被改造、破坏的信息。王廷栋等（2000）根据固体沥青的形成条件，认为固体沥青主要有三种成因：沥青质沉淀、气侵作用形成。由于地质历史中油、气的生成和运移呈多期性，沥青质固体沥青的产出和聚集也可出现多期性。在井下岩心的溶洞中常见到第一期形成的沥青在溶洞的边缘，后被方解石晶簇覆盖，紧接着是第二期的固体沥青覆盖在方解石晶簇上，结构呈类微晶质，可以看出有多期的沥青聚集。焦沥青。高温、高压下油裂解成气后的残留物，常伴随超压。由于温度、压力条件的不同，形成不同压力条件下的沥青。高压条件下的固体沥青组成类微晶质或类结晶质沥青结构的颗粒发生变形，呈椭圆状至长条状，而正常压力下形成的沥青颗粒未发生变形呈圆形粒状。降解沥青。油藏原油受到严重生物降解作用、水洗作用，形成富含杂原子的重质沥青，多形成于埋藏较浅的储层中。Stasuk（1997）曾发现沉淀沥青质的反射率比普通的油裂解而成的焦沥青低数倍。

储层固体沥青分析技术在叠合盆地油气成藏的研究中是十分有用的，特别是研究古油藏的演化效果明显。

## 7. 油藏地球化学方法

该方法是根据油气藏地球化学描述认识油藏非均质性，从油藏非均质性推断储层烃类流体充注史，判断烃类注入方向和时间。分析油水界面的位置及其变迁史，阐明油气藏的演化史。油藏内部存在的石油组成的变化，一般认为是由于生物降解和水洗等地球化学作用或重力分异作用所致。近年来，国外许多学者认为，除上述因素外，油藏中石油组成的非均质性可能是烃源岩有机相和成熟度不同而造成的（Lagthaeuser 等，1989；Hwong 等，1994）。由于储层中不同原油之间的混合过程缓慢，其组成的不同性可被保存下来，通过油藏剖面上原油宏观和分子组成非均质性的系统研究，可确定原油运移途径和成藏机制，并以此判断原油区及烃源岩有机质的类型和成熟度。

朱扬明、张敏等（1996）利用热解和热蒸发气相色谱分析技术，研究塔里木盆地轮南油田三叠系油藏剖面上储层的含油性和原油组成变化，发现低孔渗层段油砂的含油性低，原油的成熟度低，正烷烃呈前峰分布，高孔渗层段含油性高，原油成熟度高，正烷烃呈后峰分布，孔渗中等的油砂中含油性和原油组成性质介于上述两者之间。油藏中不同孔渗层段的这种原油组成非均质性反映了油藏的聚油史。England（1987）、王铁冠等（1997）利用油藏地球化学研究油气的充注史取得了重要进展。油藏地球化学是根据油气藏流体的组成特征及变化规律、流体岩石相互作用产生的自生矿物的成分及变化特征等，综合研究一个地区的构造发展史、油气运移的通道、方向和聚集成藏的时间。

## 8. 综合分析方法

尽管上述各种方法各有其优点，但都有一定局限性。每一种方法都主要从某一侧面入手

去解决成藏期次的问题 从各种方法的侧重点不同来看 若将各种方法相结合、相互渗透 从而做到相互补充,则可达到比较准确确定油气成藏期的目的。在各种实验分析、研究基础上,结合盆地构造发展史、埋藏史、烃源岩成熟史、油气演化史、成岩史等的研究 实现宏观和微观相结合,可实现分析油气藏的成藏期次、主要成藏期及其成藏过程。古构造的恢复在油气成藏研究中占有重要地位,以古构造演化研究为基础的多手段、多方法相结合的综合分析技术是今后成藏研究的主要方向。

#### 四、指导思想与思路

本书总体思路是以含油气系统为指导,以静态描述和动态分析为基础,以动为主,动静结合的分析方法 研究盆地形成机制、断裂系统和构造样式 从盆地整体和各凹陷对比出发 在烃源岩性质、油气地球化学特征、油气源对比、生储盖特征和油气藏形成机制研究基础上划分含油气系统,分析含油气系统的静态地质要素和动态地质过程;根据流体势分布对含油气系统进一步划分运聚单元,从含油气系统整体入手,分析各运聚单元的成藏条件,以期对有利区和勘探目标的评价和优选提供依据。

根据上述指导思想,采用地质、实验室分析和数值模拟相结合的研究方法,本书阐述了伊通地堑含油气系统的基本特征,解剖不同类型油气藏的形成机制,建立了油气成藏模式,在含油气系统划分的基础上,划分了运聚单元,并对主要运聚单元进行剖析,提出其勘探前景。

综合利用已有的地震、钻井、重、磁、电等资料 从盆地整体出发 运用构造解析技术和平衡剖面技术,在分析地堑性质和动力学成因机制的基础上,确定构造样式和分布规律及其与油气的关系。

采用地质地球化学分析方法,研究油气和烃源岩的地球化学特征,进行多指标的综合油气源对比,确定有效烃源岩分布。

在典型油气藏解剖的基础上,采用地质、物理化学方法和流体历史分析法研究油气藏的成藏期,分析油气藏形成过程和成藏机制,探讨温压系统与油气成藏的关系,建立成藏模式。

在前人大量研究工作的基础上,采用最新分析资料和研究成果划分含油气系统,对其静态特征进行详细描述,并分析含油气系统的形成条件和动态地质过程。

在含油气系统研究基础上,根据流体势的分布划分油气运聚单元,分析各运聚单元的成藏条件和勘探前景。

总之 含油气系统主要阐述含油气盆地中油气的生、储、盖、运、聚、保的时空配置关系及其演化规律,并将其作为一个有机统一的整体进行研究,以期解决油气地质勘探中的实际问题。然而,含油气系统不属新理论范畴,而是一种适用于研究油气藏的新思路和新方法。在引进和应用含油气系统的思想和方法时,不要盲目套用,应视我国盆地的具体地质情况而定。为此,本书利用含油气系统思想,整体认识伊通地堑,可为伊通地堑的勘探提供一些帮助,也为其他断陷盆地含油气系统的对比研究和认识提供有益的材料,丰富我国含油气系统研究成果。

# 第一章 区域地质特征及盆地动力学背景

伊通地堑位于吉林省东部 长春与吉林市之间 是吉林省境内的第三系断陷盆地 呈北东 45°~55°方向狭长展布 为佳伊盆地(地堑)的南段(图 1-1)。由南至北隶属于梨树、伊通、双阳、永吉等 4 县。

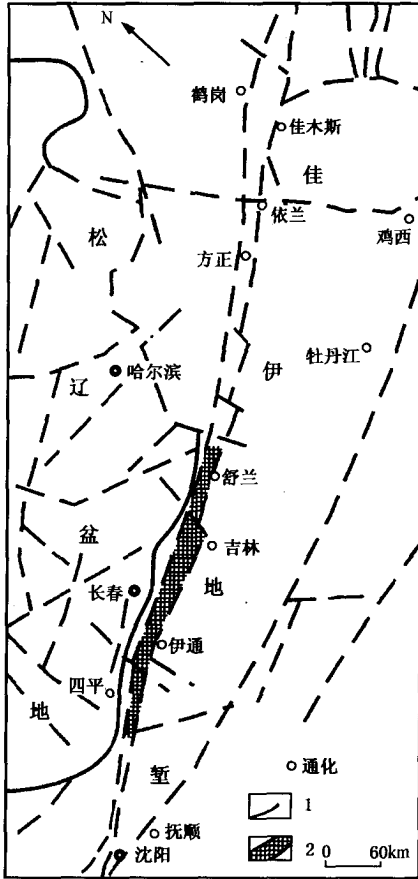


图 1-1 伊通地堑位置图  
1—断裂 2—伊通地堑位置

伊通地堑东南是广阔的那丹哈达岭，西北为大黑山山脉，西南以北西走向的东辽河断裂与叶赫断隆相接，东北以第二松花江断裂与舒兰断陷相连。盆地南北长 160km 东西宽 10~20km 面积约 2200km<sup>2</sup>。地貌上为明显负地形 海拔 180~240m 有东高西低趋势。伊通河、饮马河从本区流过。

50年代的航磁和重力测量，发现并确定了伊通地堑。在 80 年代初，煤炭部门于岔路河地区进行煤田勘探时曾钻遇氧化油砂。自 1985 年起，吉林油田对岔路河断陷进行了二维地震勘探，并于 1985 年完成了第一口钻井(昌 1 井)的钻探工作。1986—1987 年在岔路河、奢岭等地有 20 余口钻井完钻并获得工业油流。截止 2000 年底，整个盆地共完成二维数字地震 3709.12km 测网密度为 1×1~1×2km 局部为 2×2km 三维地震 1504.62km<sup>2</sup>，基本覆盖全区。完钻探井 121 口 进尺 30.2×10<sup>4</sup>m 取心井 112 口 进尺 3793.25m 心长 3645.8m 收获率 96.11%。见显示井 112 口 试油井 96 口 392 层，获工业油气流井 25 口 少量油气流井 36 口。并于鹿乡断陷探明长春油田，莫里青断陷探明莫里青油田。另外发现昌 2、昌 15、伊 6、伊 7、伊 12、伊 14、伊 18、伊 23、刘 3 等工业油流区或构造 产油层为双一、双二段、奢一段、永二段、万一段，预示伊通地堑仍存在巨大的勘探前景。

## 第一节 区域地质构造特征

### 一、区域构造位置

伊通地堑是佳伊盆地的南段，属于郯庐断裂带的北延部分(图 1-2)。

郯庐断裂系是亚洲东部规模宏大的走滑断裂系，与美国西部的圣安德列斯断裂相类似，是环太平洋带的一种重要地壳变动形式，它以 NNE 方向展布于中国东部，往北进入俄罗斯境

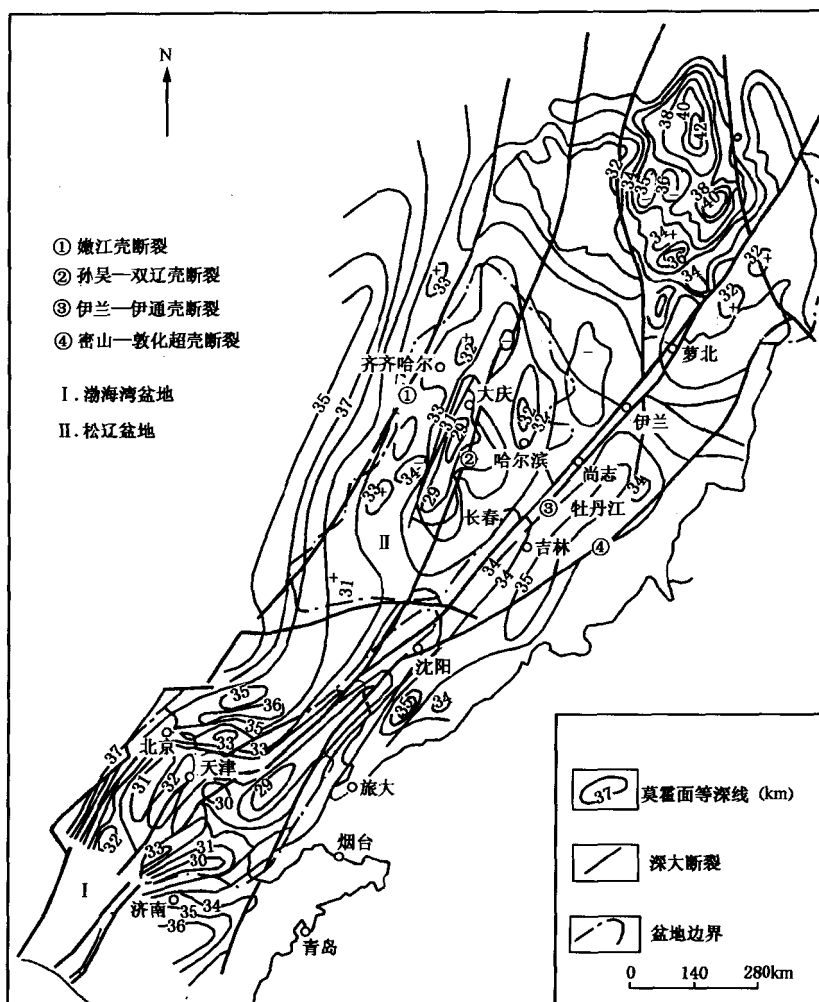


图 1-2 东北地区深大断裂及莫霍面深度图

内全长 5000 多公里 在中国境内约 2400km。郯庐断裂由数条近于平行的大断裂组成，这些断裂的活动主要受控于欧亚板块与西太平洋板块、菲律宾板块和印度板块的相对运动。中生代主要表现为左旋扭动 新生代早第三纪以右旋活动为主。郯庐断裂在北段分为两支（即抚顺—密山盆地和佳伊盆地地堑）

地壳测深资料表明，郯庐断裂切穿下地壳进入上地幔 是属于岩石圈断裂 吉林省地质志，1988），断裂带内晚第三纪和第四纪玄武岩包裹体中有上地幔物质（池际尚，1987）。由于断裂系两侧的相对活动 在断裂带内和断裂带附近有许多中、新生代的断陷盆地 其中有些断陷富含油气。

从黑龙江省萝北至辽宁省开源的佳伊盆地长约 810km，宽度各地不一。黑龙江省内鹤岗、尚志一带宽度可达 28km 吉林省岔路河一带宽度为 20km 其余地段为 5~20km 整体走向呈舒缓的 S 形（图 1-1）。佳伊盆地发育横向断裂，控制着盆地内断陷和断隆相间出现。自北向南可分为汤源断陷、伊兰断隆、方正断陷、尚志断隆、舒兰断陷、岔路河断陷、鹿乡断陷、莫里青断陷和叶赫断隆。伊通地堑包括其中的岔路河断陷、鹿乡断陷、莫里青断陷。

## 二、基底性质及深部背景

伊通地堑成盆前 本区经历了加里东、海西、印支、燕山等构造旋回 相应时期的地层及花岗岩类组成了盆地的基底。

基底岩性大面积分布的主要为海西、燕山期花岗岩，花岗岩年龄为 67~152Ma。古生代变质岩小面积分布，如万参 1 井钻遇安山角砾岩、凝灰岩基底 昌 6 井钻遇片岩、片理化大理岩等古生代变质岩基底。昌 7 井发现流纹质火山角砾岩、凝灰岩、火山角砾凝灰岩等中生代火山岩基底。可见，盆地基底岩性是不一致的。

盆地基底岩性有一定的分布规律。以西拉木伦褶皱系的北缘为界，其南侧主要为下古生界变质岩系（大体在大南镇以南），构造线近东西向展布，由于中生界花岗岩侵入活动的影响，使其残存不全。大南镇以北主要为上古生界浅变质岩系，同样也遭花岗岩体破坏，但其构造线是北东向展布。

古生代地层被花岗岩侵入破坏的现象在盆地两侧露头有清晰的显示（图 1-3）。在花岗岩大规模的侵入熔融作用下，古生界变质岩地层残存不全（图 1-3）。由于盆地宽度很窄，盆地基底和两侧露头岩石应具有很好的可对比性。

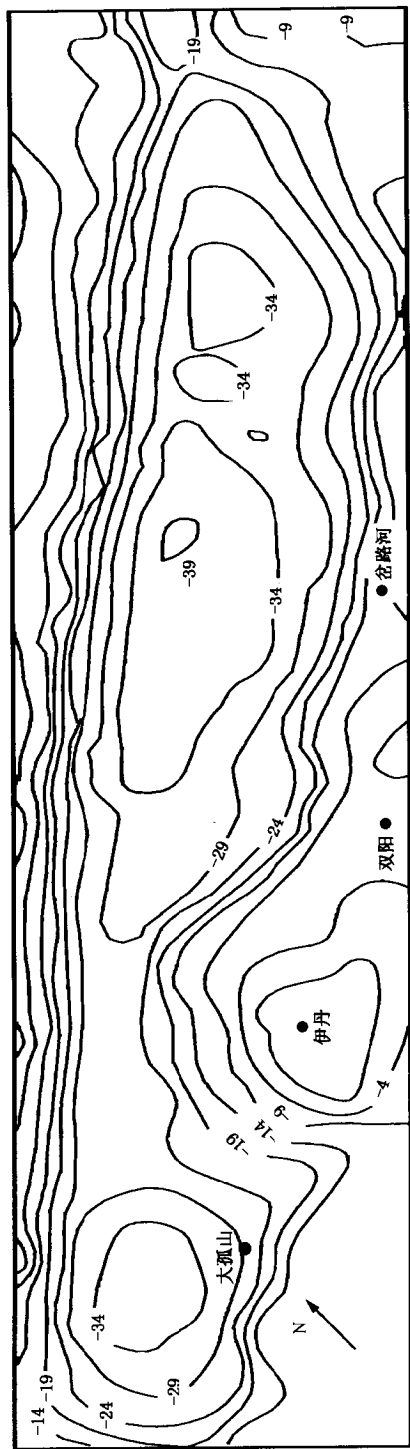


图 1-3 伊通地堑西北缘露头古生界浅变质岩地层  
被花岗岩侵入蚕食的现象

据吉林省地质局 1985 年编制的地质图简化

伊通地堑地球物理背景和深部结构比较复杂。盆地布格重力异常为明显负异常， $-35 \sim -15\text{mGal}$  等值线与盆地轮廓相当（图 1-4）。重力异常由南至北有大孤山、新安堡、太平屯、桦皮厂四个次一级异常与盆地内凹陷、次凹陷相符合 乌拉街与伊丹两个正异常与基底隆起符合。

航磁异常表现为两侧是一系列北东向正负相间串珠状异常（图 1-5）。西侧简单方向性明显，东侧复杂。总体上是以正值为背景，以负异常为特征的异常带，并略呈波状延伸。



(单位: mGal)

0 5 10km

图1-4 布格重力异常图 (据吉林省物探队, 1985 简化)

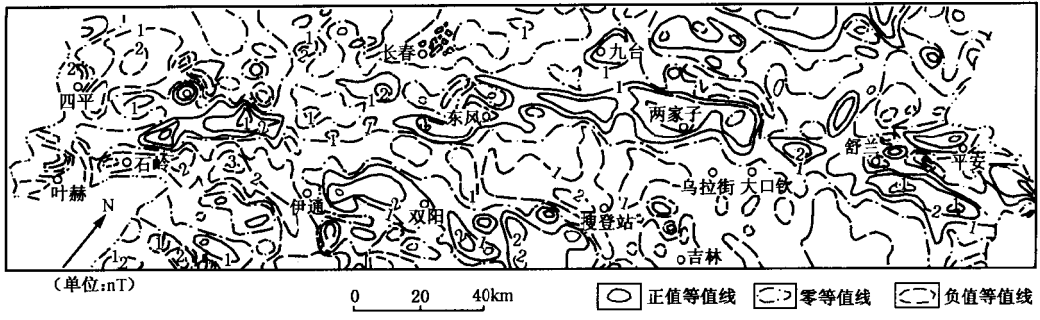


图 1-5 伊通地堑航磁异常图 (据吉林省物探队,1985)

盆地的莫霍面表现得比较明显,一般盆地内莫霍面深度为 33~34km 向东部张广才岭增厚到 35~37km 向西部松辽盆地变为 29~31km 图 1-2)。

从遥感图上还反映出自二龙水库至岔路河一带存在许多环形构造影象(图 1-6) 主要以不同色调和环形水系反映出来,其形态多为椭圆形。这些环形影象一部分反映基底隆起构造(如伊丹隆起)也可能由于地幔物质上涌岩浆分异发生地壳上拱造成。

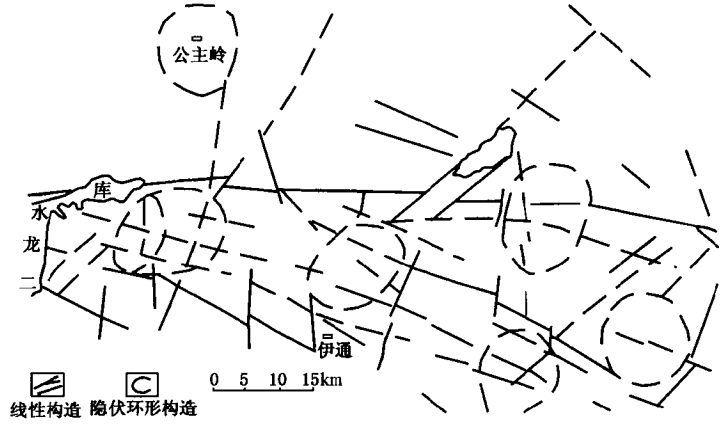


图 1-6 伊通盆地线性及环形构造解译图

### 三、构造单元的划分

根据吉林油田目前的方案,伊通地堑可分为岔路河断陷、鹿乡断陷和莫里青断陷三个二级构造单元(表 1-1) 根据第三系基底起伏、沉积物厚度和断裂活动情况 又可进一步划分出一些次一级构造单元(表 1-1、图 1-7)。

表 1-1 伊通地堑构造单元的划分

伊通地堑	岔路河断陷	孤店斜坡带
		波泥河—太平凹陷
		万昌隆起
	鹿乡断陷	新安堡凹陷
		梁家构造带
		五星构造带
	莫里青断陷	大南凹陷
		靠山凹陷
		马鞍山断阶带
		尖山隆起带

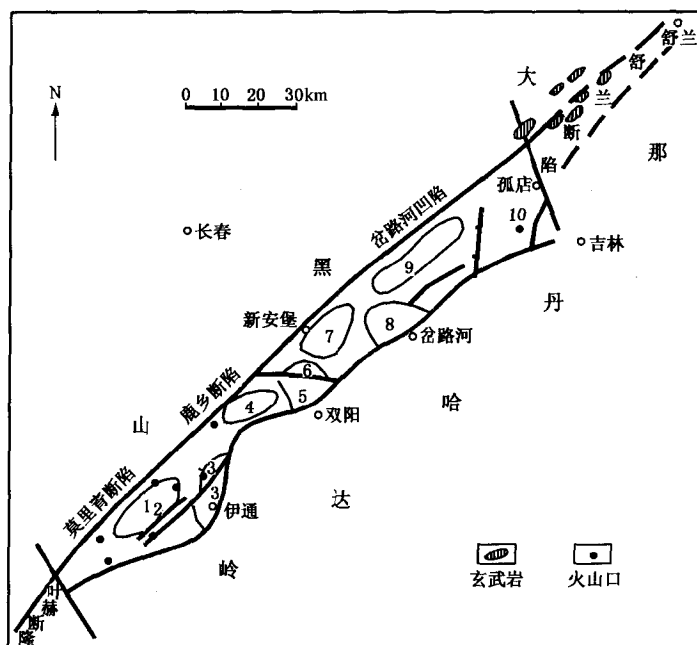


图 1-7 伊通地堑构造单元划分图

- 1—靠山凹陷 2—马鞍山断阶带 ;3—尖山隆起带 ;4—大南凹陷 ;  
 5—五星构造带 ;6—梁家构造带 ;7—新安堡凹陷 ;8—万昌构造带 ;  
 9—波泥河一大平凹陷 ;10—孤店斜坡带

通过伊通地堑三维地震剖面的构造解析，对不同构造单元第三系基底起伏、沉积物厚度展布规律，以及断层的分布和活动情况的细致研究，对构造单元的划分可以提出以下一些修改建议。

由于二号断层存在巨大的位移，鹿乡断陷和岔路河断陷的分隔作用非常显著，二号断层作为二级构造单元的分界线没有任何争议。而莫里青断陷和鹿乡断陷这两个二级构造单元之间的界线就没有那么显著，分隔这两个二级构造单元的是其中的伊丹凸起。因此，关键是对伊丹凸起如何认识。

伊丹凸起这一名称最早的提出，是因为伊丹镇附近在重力异常图上存在一局部重力异常高。后来的地震勘探揭示，这一局部重力异常高的区域是一基底隆起遭受剥蚀的区域，位于伊通地堑之外(可称之为伊丹隆起区)在后来的构造单元划分图(图 1-7)上就没有伊丹凸起这一局部构造了。

通过地震剖面的系统研究发现，伊丹隆起区以北连接鹿乡断陷的大南凹陷和莫里青断陷的靠山凹陷是狭窄的深槽这在二维测线 3352 剖面上表现得特别清晰，它们之间是完全相通的，不存在任何把它们进行分隔的局部构造，这在相关的三维剖面上也有清晰的反映(图 1-8)。因此，靠山凹陷和大南凹陷实际上应是相连通的一个凹陷，考虑到历史的原因及伊丹隆起北部深槽的特殊性，建议伊丹隆起以北的深槽单独命名，称之为伊丹深槽，大南凹陷和靠山凹陷名称不变。这样，鹿乡断陷和莫里青断陷实际上应是一个断陷，因此，可称之为莫里青—鹿乡断陷。这样伊通地堑构造单元划分新方案如表 1-2 所示。但本书仍以过去的方案阐述含油气系统。

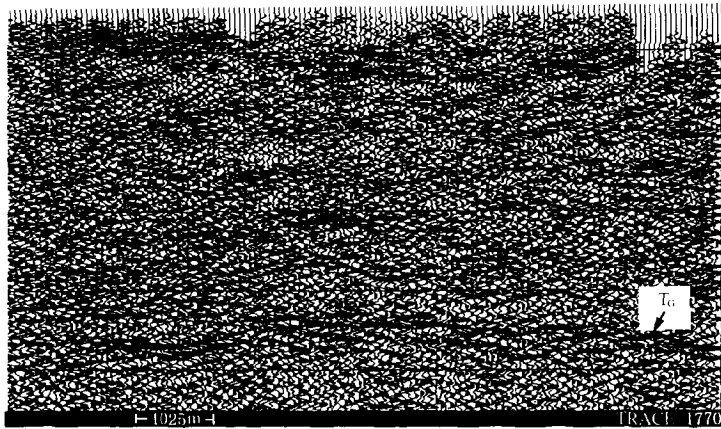


图 1-8 莫里青三维地震联络测线 1770 剖面  
图中显示向伊丹隆起区方向（右侧）基底有变深的趋势

表 1-2 伊通地堑构造单元划分新方案（建议）

伊 通 地 堑	岔 路 河 断 陷	孤店斜坡带
		波泥河—太平凹陷
		万昌隆起
		新安堡凹陷
		梁家构造带
		五星构造带
	莫 里 青— 鹿 乡 断 陷	大南凹陷
		伊丹新槽
		靠山凹陷
		马鞍山断阶带
		尖山隆起带

#### 四、盆地新生代火山活动及其构造信息

##### 1. 火山活动的期次

伊通地堑及其周边地区新生代火山活动，由碱性系列的玄武岩、橄榄玄武岩、玄武集块岩等组成，以裂隙式喷发为主，兼有中心式喷发，构成伊通—舒兰火山群本区火山活动与松辽盆地东部边界断裂及佳伊断裂带的活动和发展直接相关。根据地质大学（1997）的研究成果，把火山活动划分为四期。

##### (1) 第一期火山旋回

分布于范家屯至大屯间的四个火山群是晚白垩世至早第三纪古新世的产物，其 K—Ar 年龄值在 82~57Ma 间，总体上形成一个大的喷发旋回。在这个旋回中，由强至弱又有不同期次的喷发和间断。

这些火山位于四平—德惠断裂带上，岩石主要为致密块状橄榄玄武岩、气孔状玄武岩、玄武集块岩。喷发有裂隙式特点，表现为多期次，规模由大变小。化学分析资料表明，含氧元素和地壳物质较多。Fe<sup>3+</sup> 与 Fe<sup>2+</sup> 比值高，说明岩浆所处地下部位深度不大，来源于地壳的底部。

从火山群分布的方位统计分析，除小南山长轴方向为 NE10°外，其它的火山长轴方向均在 NE50°~60°。NW 向 N70°W 的构造节理最发育，属张扭性。

## (2) 第二期火山旋回

该期火山旋回活跃于始新世，如舒兰火山群中的前团山及后团山火山，它是沿伊舒断裂带最早的一期火山活动，主要沿北东向伊舒断裂带呈裂隙式喷发和溢流，呈透镜状夹于第三系煤系地层中。火山口处主要为玄武质砾岩，角砾成分复杂，含橄榄岩包体。

## (3) 第三期火山旋回

本期活动是在晚第三纪中新世。舒兰火山群的 27 座火山大都属此期，而伊通火山群的 16 座火山全部发生于此期。

舒兰火山群主要沿大断裂分布。前亮甲火山长轴为北北东向，火山颈内含橄榄岩包体，近火山口为玄武岩含集块角砾，喷溢相为橄榄玄武岩。大顶子火山长轴也为北北东向，由黑色致密块状橄榄玄武岩组成。柱状节理发育，据刘嘉麒测定，该火山 K—Ar 年龄为 11Ma。锅盔顶子火山 K—Ar 年龄为 4.3Ma(刘茂强等,1993)。看来，中新世火山活动一直持续到最晚期。

伊通火山群也主要沿大断裂分布。大孤山火山为橄榄玄武岩，由东尖山和西尖山组成。东尖山的 K—Ar 稀释法年龄为 8.7Ma(刘茂强等,1993) 小孤山火山为溢流爆发火山测定的 K—Ar 稀释法年龄为 11.5Ma。西尖山火山的长轴近东西向，不含橄榄岩包体。莫里青火山长轴为近南北向 马鞍山火山(图 1-9)的 K—Ar 稀释法年龄为 11.9Ma。

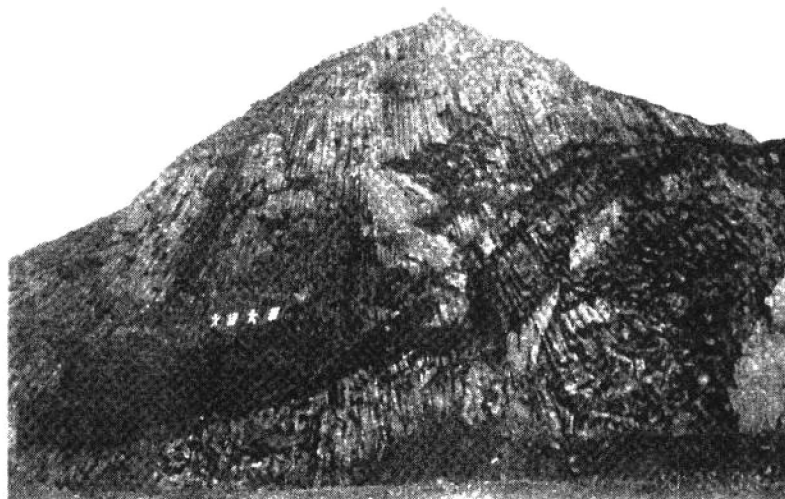


图 1-9 西尖山玄武岩的柱状节理

## (4) 第四期火山旋回

本期火山活动发生于第四纪早更新世晚期，见于舒兰地区的凤凰山火山，为层状玄武岩熔岩。这种玄武岩被各种剥蚀作用切割破坏而后抬升。在吉舒镇，火山为溢流熔岩，柱状节理发育 K—Ar 稀释法年龄为 1.2Ma(刘茂强等,1993)。

## 2. 火山岩的构造信息

为了研究伊通地堑裂陷作用不同阶段火山活动的特征及其所反映的岩石圈深部过程，中国地质大学按裂陷作用前、裂陷作用期间和裂陷作用之后的时间顺序采集了十个火山岩样品，并对其中的三个样品作了详细的分析。

样品 1 为气孔状伊丁橄榄玄武岩 样品采自伊舒盆地西侧的富峰山火山岩。发育时代为古新世 同位素年龄为 57Ma 左右 )。SiO<sub>2</sub> = 50.8%，K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O = 4.12%，K<sub>2</sub>O = 0.94%。为盆地裂陷作用发育前火山活动产物。