

国外含油气盆地勘探开发丛书



东内部含油气区

国外含油气盆地勘探开发丛书编委会 编

王致中 王崇镐 编译

北京)

12

石油工业出版社

登录号	087361
分类号	TE177.12 (2)
种次号	001

国外含油气盆地勘探开发丛书

东 内 部 含 油 气 区

国外含油气盆地勘探开发丛书编委会编

王致中 王崇镐 编译



200431032



石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

东内部含油气区是美国的含油气地区之一,其范围在北美陆台的东北部。在本地区中,密执安盆地和伊利诺斯盆地是两个重要的产油气盆地。此外,还包括辛辛纳提隆起。

密执安盆地面积为 $31.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,已知产油层集中在泥盆系,占全盆地的 74%,其中碳酸盐岩中的储量占全盆地的 70%。盆地古生界各系都产油气,但产量和储量不多。证实的总储量为 $1.43 \times 10^8 \text{ t}$ 。

伊利诺斯盆地面积有 $2.65 \times 10^5 \text{ km}^2$,已知产油气层集中于上泥盆统至宾夕法尼亚系中,石油储量占全盆地的 95%以上。储油层主要是海陆交互相的砂岩,其次为碳酸盐岩。已知储量为 $5.86 \times 10^8 \text{ t}$ 。

东内部含油气地区的勘探开发工作,在上世纪 80 年代,除盆地中部产油气外,辛辛纳提隆起也有少量油气,产层是中奥陶统的碳酸盐岩。所以东内部含油气地区对我国的借鉴之处,在于古生界碳酸盐岩和碎屑岩含油气分布规律,以及这里油、气田开发的经验。

国外含油气盆地勘探开发丛书

东 内 部 含 油 气 区

国外含油气盆地勘探开发丛书编委会编

王致中 王崇镐 编译

*

石油工业出版社出版

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开本 9 印张 1 插页 233 千字 印 1—1000

1994 年 2 月北京第 1 版 1994 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0946-3 / TE · 884

定价: 6.40 元

前 言

石油地质学是地球科学中的一个分支。就地球科学来说，其特点是具有全球性，即对于任何地区地质学的研究和了解，都有全球意义。石油地质学同样如此。不了解世界，特别是与本地区相类似的油气盆地，就不可能更经济、迅速、有效地开展该地区的油气勘探开发工作。追溯百余年来油气勘探开发史，每当有一个新地区、新层带或新远景圈闭的发现，无不给其他类似地区、类似层带和类似远景圈闭的勘探带来活力，从而导致一系列新的发现。

石油工业部从成立以来，始终重视了解世界，借鉴国外的勘探开发经验，并于 1963 年组织专门的研究小组，从事收集、整理、研究和编写《世界含油气盆地资料》。这项工作虽然后来因历史原因没有能够坚持下去，但还是完成了波斯湾、墨西哥湾、墨西哥东部沿岸、西德北部、马拉开波等 8 个专集。这套资料对于石油地质勘探人员了解世界和增长知识，起了积极的作用，至今还具有一定的参考价值。

到了 70 年代后期，我们希望恢复这项工作，但由于工作量太大，任务艰巨，人力不足而无法开展。征求各单位有关石油地质勘探开发方面的专家和学者的意见，都认为搞这样一套丛书，有利于开阔眼界，提高水平，不但对当代，甚至对今后的勘探开发工作，都有参考意义。特别是国家实行开放政策以来，与外国各类石油公司的交往多了，国外的地质开发专家在讨论中，往往能够提出世界各地的多种油气地质模式，而国内专家比较局限于自己工作地区的特点。相比之下，显得更需要给广大石油地质勘探开发人员提供系统且较详细的世界性资料的必要性。

从 1981 年起，石油天然气总公司科学技术情报研究所领导

的石油地质勘探情报协作组组成编委会，致力于动员社会力量，着手编写国外含油气盆地丛书。这项工作虽然困难重重，但在中国石油天然气总公司勘探开发科学研究院、地质矿产部石油地质研究所和各有关单位，特别是情报信息工作人员的共同支持下，终于与广大读者见面了。考虑到我国油气勘探开发的发展前景，我们首先组织了有关古生界油气目的层的含油气盆地、中新生界的克拉通内裂谷型含油气盆地、块断的弧后盆地和某些被动大陆边缘盆地的丛书。如果条件允许，希望最后能把世界上的各个重要产油气盆地的全套资料提供我国的广大油气勘探开发工作者。

本书的编译工作中，王致中负责密执安盆地，王崇镐负责伊利诺斯盆地。两盆地资料的调整和充实统编工作，由安作相同志负责。

王雪吾和谭柳芳同志分别担任编写过程中的有关业务工作和图幅清绘工作。

国外含油气盆地勘探开发丛书编委会

顾问: 朱夏 李德生

主编: 甘克文

副主编: 安作相

委员: (按姓氏笔画为序)

龙祥符、史训知、李昭仁、李国玉、张万选、张亮成、陈发景、林天骐、易大同、胡文海、赵重远、徐旺、黄希陶、韩跃文

目 录

第一篇 总论	(1)
第一章 概述	(1)
第一节 含油气区简况	(1)
第二节 区域地质构造	(3)
第二章 油气勘探开发简史和生产简况	(6)
第一节 油气勘探开发简史	(6)
第二节 生产简况	(17)
第三节 勘探经验	(32)
第二篇 密执安盆地	(41)
第三章 油气地质背景	(41)
第一节 地层和岩相	(41)
第二节 构造特征	(96)
第三节 区域地质发展史	(114)
第四章 油气的形成和分布规律	(122)
第一节 油气层	(122)
第二节 生油层	(139)
第三节 油气聚集带的控制因素	(161)
第四节 区域水文地质	(164)
第五章 原油地球化学特点	(168)
第一节 概述	(168)
第二节 原油类型和生油岩	(175)
第三节 原油的成熟度及其对热历史和 运移史的关系	(176)
第六章 油、气田各论	(180)
第一节 油、气田分布	(180)

第二节	贝尔河米尔斯礁气田·····	(180)
第三节	阿雷利奥斯-35 礁油田 ·····	(191)
第四节	阿尔比恩-锡比翁-珀拉斯凯油田 ·····	(194)
第五节	巴克艾油田·····	(196)
第六节	亚当斯和深河油田·····	(200)
第七节	拉金和威廉斯油田·····	(202)
第八节	霍厄尔-诺斯维尔油气田 ·····	(205)
第九节	马斯基根油田·····	(205)
第十节	萨吉诺油田·····	(205)
第十一节	结束语·····	(207)
第三篇	伊利诺斯盆地·····	(210)
第七章	油气地质背景·····	(210)
第一节	地层和古地理·····	(210)
第二节	区域构造发展·····	(236)
第八章	油气形成和分布规律·····	(247)
第一节	油气层·····	(247)
第二节	生油层·····	(249)
第三节	油气储层·····	(250)
第九章	油气田各论·····	(254)
第一节	伊利诺斯盆地油田的开发概况·····	(254)
第二节	塞勒姆灰岩产油层和油田 (Stevenson, 1977)·····	(257)
第三节	盆地油田(Lynn · K · Lee, 1939) ·····	(259)
第四节	沃尔特斯堡砂岩油层·····	(262)
第五节	塞勒姆油田·····	(265)
第六节	结束语·····	(269)
参考文献	·····	(269)

第一篇 总 论

第一章 概 述

第一节 含油气区简况

东部含油气区位于美国中部平原的东部，其地理范围包括密执安、威斯康星、伊利诺斯、印第安纳等州，以及俄亥俄、肯塔基及田纳西等州的一部分，面积约 $7.46 \times 10^5 \text{km}^2$ 。其东北分布有美国著名的五大淡水湖。区内海拔一般在 500m 以下。

含油气区是一个古生代的克拉通内部沉降盆地区，包括北部的密执安盆地，西南部的伊利诺斯盆地及伊利诺斯盆地和阿巴拉契亚盆地间的辛辛纳提隆起。

全区沉积岩除宾夕法尼亚系为海陆交互相的煤层外，其余主要为海相地层。下古生界以碳酸盐岩为主，泥盆系和密西西比系一般为碳酸盐岩和碎屑岩的互层。从奥陶系至宾夕法尼亚系各层均有油气产出。基底埋藏较浅，一般不超过 2500m，在盆地中心处可达 4200m。油气田一般较小，在美国 300 多个较大的油气田中，东部含油气区只占 8 个；在美国的所有油气区中，本区的油气丰度最差。截至 1977 年，已证实的石油总储量为 $7.9 \times 10^8 \text{t}$ ($5.5 \times 10^9 \text{bbl}$)，天然气储量为 $1.75 \times 10^{12} \text{m}^3$ ($6.2 \times 10^{12} \text{ft}^3$)。其中伊利诺斯盆地的石油总储量为 $5.86 \times 10^8 \text{t}$ ($4.1 \times 10^9 \text{bbl}$)，在世界产油气盆地中占第 29 位。密执安盆地的石油证实的总储量只有 $1.43 \times 10^8 \text{t}$ ($1 \times 10^9 \text{bbl}$)。两盆地具明显的差异沉降特征。密执安盆地从志留纪开始差异沉降明显，出现礁相和

蒸发岩相。截止到 1967 年的累积产量中，泥盆系占 74%，而且碳酸盐岩储量占总储量的 70% 以上。伊利诺斯盆地的已知储量集中于上泥盆统至宾夕法尼亚系中，占已知储量的 95% 以上；下密西西比统以下以碳酸盐岩为主，占已知储量的 26.8%。上覆海陆交替相砂岩储集层，其储量占 73.2%。在辛辛那提隆起上，90% 以上的产层为中奥陶统碳酸盐岩。辛辛那提面积约 $1.65 \times 10^5 \text{km}^2$ ，古生代由于区域性的上升活动，使大部分地层在隆起轴部变薄，两翼加厚，顶部出露奥陶系。由隆起向东部至阿巴契亚盆地，上奥陶统的碎屑岩突然增厚，成为当时的沉积枢纽带。寒武系、奥陶系主要为碳酸盐岩，志留系、密西西比系为碳酸盐岩夹碎屑岩，各层系之间多为侵蚀不整合或假整合。中奥陶统石灰岩产层的石油储量占 88%，志留系—泥盆系石灰岩和砂岩的产油气层占储量的 10%。多为与不整合有关的地层圈闭油气藏。著名的莱马油田，生油层主要为奥陶系的页岩及石灰岩。油气层的埋藏深度平均为 375m (1.25ft)。油田开发较早，已进入枯竭期（甘克文等，1982 年）。石油可采储量为 $7.5 \times 10^7 \text{t}$ ，截至 1968 年底，累积产油 $7 \times 10^6 \text{t}$ (Halbouty, 1970)。

密执安盆地位于美国原大湖区的密执安和休伦两湖之间，包括密执安州南部半岛和北部半岛的东部、威斯康星州的东部、伊利诺斯州东北角、印第安纳州北部、俄亥俄州西北以及安大略附近的休伦湖，圣克莱尔湖及伊利湖西端几个部分。盆地呈圆形，面积 $3.16 \times 10^5 \text{km}^2$ 。海拔一般在 500m 以下，仅西南部较高，具低高原形态。本区冰川作用明显，大小湖盆多。

伊利诺斯盆地邻近美国大湖区的密执安湖，处于西经 $88 \sim 91^\circ$ ，北纬 $36 \sim 41^\circ$ ，它包括伊利诺斯州的大部，印第安纳州的西南部，及肯塔基州北部，面积 $2.65 \times 10^5 \text{km}^2$ ，美国著名的大城市芝加哥就在盆地的北东，并有多条铁路通往芝加哥，因此交通方便。

第二节 区域地质构造

东内部含油气区位于北美地台东部，西北为加拿大地盾延伸的威斯康星隆起，东南与阿巴拉契亚盆地相邻，东北与加拿大的安大略隆起相接。区内可分为三个构造单元：以南北向的辛辛那提隆起为主体，向北分为两支；东北支为芬德利隆起，与加拿大的阿尔冈昆隆起相连，并构成与阿巴拉契亚盆地间的分界；西北支为坎卡基隆起，将伊利诺斯和密执安两盆地分隔开。区内的基底为前寒武系结晶岩，其上主要发育古生代地层。寒武纪时开始海侵，除底部沉积砂岩外，主要为碳酸盐岩和页岩。奥陶纪，辛辛那提隆起相对上升，因而沉积较薄，核部出露奥陶系。志留—泥盆纪继续隆起，表现为由坎卡基隆起将伊利诺斯和密执安两盆地分隔开。

密执安盆地的地质结构和特点是由盆地四周的巨大地质体形成的。盆地南缘为坎卡基—辛辛那提—芬德利穹隆，西部为威斯康星穹隆，北部和北东部与芬必利尔湖盆地及加拿大地盾接壤。东接安大略的阿尔冈昆隆起。坎卡基、芬德利及威斯康星等穹隆，均为前寒武纪的继承性隆起。

早期的研究者认为：密执安盆地为独立地槽的原型，这是一个较为宽广的稍为不对称的构造及沉积盆地。该盆地盆地形成于前寒武纪晚期，并认为该盆地与芬必利尔湖向斜的分离是在基维诺晚期前后，与弧形断裂带一起生成的。威斯康星穹隆与劳伦琴地块在前寒武纪晚期和早古生代均为正向单元。伊利诺斯和印第安纳的坎卡基穹隆为威斯康星隆起向东南倒转的延伸部分。威斯康星—坎卡基隆起通过“沃巴什”(Wabash)与东南走向的辛辛那提隆起相连，为前寒武纪晚期变形幕的一个部分。

近年来，某些地质学家对坎卡基隆起提出疑问，在对本区的河流沉积相进行研究后表明：在早古生代，这个地区即存在某种动力构造地形。地质学家们认为：坎卡基隆起形成于前寒武纪晚

期，辛辛纳提隆起在中或晚奥陶世时才成为正向地形。另一方面，密执安和伊利诺斯盆地在泥盆纪以前是连接在一起的，虽然在早奥陶世时，坎卡基一带曾先后发生过一些隆起和沉降，由此产生的寒武系和奥陶系削蚀曾厚达 180m。

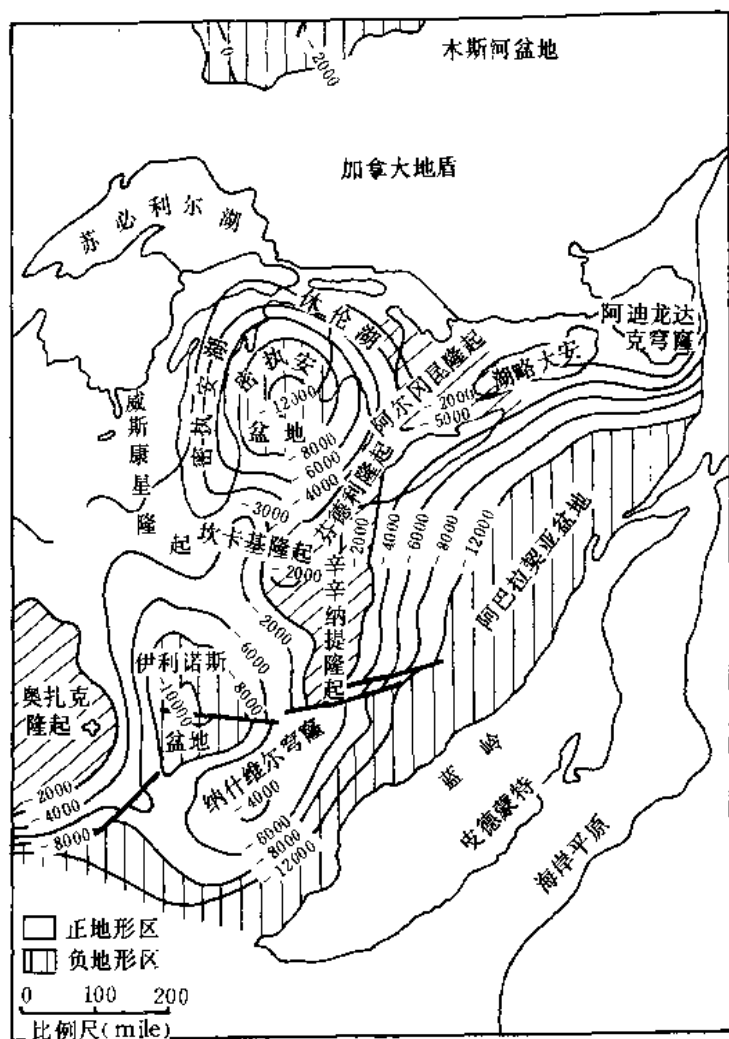


图 1 区域基底的构造等高线图，表示密执安盆地和伊利诺斯两的位置，等高线表示海平面以下英尺数

可以肯定的一点是：区内古生代的大多数构造格架，是由前寒武晚期继承下来的。

芬必利尔湖盆地的大部分地区为芬必利尔湖所复盖，这是一个复杂的寒武纪地层区。除前寒武系外，尚分布有寒武系的砂岩、页岩，以及沿褶皱断裂带广泛发育的变质沉积岩和火山岩。这些前寒武系地区并非油气区，但有意义的是在翁通那果县的白松铜矿的盖层中，曾发现少量的流体烃。另外在前寒武基维诺组的诺内芬奇页岩的底部附近，也发现过流体烃。

威斯康星隆起位于威斯康星州中部，相对于东部的密执安盆地为隆起。古生代的岩层可能已被威斯康星北面发生的剥蚀作用所剥蚀。因而出露大面积的前寒武纪火山岩和变质岩。隆起以南被称为威斯康星穹窿，寒武系和下奥陶系位于冰碛层之下，或沿穹窿的轴线分布。上奥陶统、志留系和泥盆系在隆起东翼，呈狭带分布，并延入密执安盆地。

虽然在威斯康星隆起上的一些水井中，曾发现少量油气显示，但却未发现油气田，威斯康星隆起，大概也不可能成为油气远景区。

对辛辛纳提-特伦顿西部与威斯康星东部相接的整个地带，由于不整合切割了大多数的古生代岩层，缺乏适当的储盖层，再加上淡水对古生代岩层的冲刷。因此，这个地区不可能产出油气。

辛辛纳提-特伦顿东部中、上奥陶统的接触带，有油气的可能性也不大。接触带以东的岩层则属密执安盆地的一个部分。

第二章 油气勘探开发简史和 生产简况

第一节 油气勘探开发简史

一、本世纪以前的简况

1648 年，早期的移民者在马尼图林岛东部，奥陶系的特伦顿灰岩中发现油苗，并用作照明和润滑剂。在底特律和圣克莱尔县发现气苗，在靠近安大略西南的彼得罗利亚发现沥青。

1829 年，在辛辛纳提隆起的浅部曾进行过人工采油。1836 年曾钻浅井采气。

1858 年，曾在密执安有油苗的地区钻过油井，并在基岩上面的砂砾岩中产出过石油。此后，勘探工作在密执安东部一度有很大发展。

1860 年 12 月，密执安州的地质家 W. 亚历山大发表了该州的一份油气勘探报告。同年，在许多地区开始地质调查和钻探。1880 年后，本区陆续发现油气田。

1885 年，在辛辛纳提隆起上发现较大的莱马油气田。这以后，又在莱马建立了炼油厂。

1886 年，发现休伦港油田，并于埋深 150~180m 的邓迪灰岩中日产油 0.3~0.7t 及少量天然气。

1891 年，在辛辛纳提隆起上共发现十余个油气田，产油 2.45×10^6 t，从而促进了两侧盆地的油气勘探工作。

1904 年，在伊利诺斯盆地拉萨尔背斜带上发现油田。至 1910 年，有 5 个油田投入生产，使全区产量增长到 6.19×10^6 t。

二、密执安盆地

1912年，在密执安盆地西缘开始对有油苗的马斯基根构造进行钻探。

1920年，在密执安盆地发现坎迪尔菲尔德油田，该油田最旺的时期为1939年，一口井曾日产油115t，截至1982年，共钻井47口，累积产油107000t。

1925年，在密执安东部发现萨吉诺油田。1927年在马斯基根构造上钻试验井，发现本州第一个商业性油气田，初产量为43t/d，产层为泥盆系的特拉弗斯灰岩。

1928年，在密执安盆地中央发现芒特普莱森特油田，这是密执安州重大发现的开始，产量为埋深777m的密西西比系贝雷砂岩，其次为邓迪灰岩和特拉弗斯灰岩。初期日产油1.4~540t。至1955年累计产油365万t。

在发现芒特普莱森特油田以后的十年期间，勘探工作主要在密执安盆地的周围进行。

1929~1930年，在密执安盆地中首先发现弗农、布鲁姆菲尔德和克莱尔商业性气田，从而在油区内同时发展了实质性的天然气工业。产气构造一般为低背斜或与石油出自同一构造。产气层主要为一些“零散砂岩”，砂层的成因为浅海滩上的滨岸砂坝，主要受背斜褶皱控制。

这段时间，密执安的天然气和石油一样，其规模和产能均属中等，没有发现大的油气田。

1935年，在利文斯顿县一个向西南陡倾的背斜圈闭上发现豪维尔气田，含气面积 6.4km^2 (640ha)，产气层为志留系的萨莱纳-尼亚加拉层 (Nary等, 1968)，最初的日畅流量为 $1.25 \times 10^5 \text{m}^3$ ；1946年打出第一口具有商业价值的井，日畅流量为 $1.83 \times 10^6 \text{m}^3$ 。该气田共钻气井69口，累积产气近 $6.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

1936年，发现了巴克艾油田。第一口具商业价值的油井在埋深640m处的奥陶系特伦顿灰岩中喷油，石油产自多孔灰岩两

侧宽 0.4km 的孔隙性白云岩带内。

1937 年,通过地球物理勘探,在伊利诺斯盆地发现克累城油田,另在密执安盆地中发现萨莱姆油田,石油产自中泥盆世的特拉弗斯灰岩,产油 143t。此后,勘探工作即转向密执安盆地的南西翼。

1938 年,发现波特油田,该油田至 1955 年累积产油 687 万 t。同年,在密执安盆地的大拉皮德-卡拉马祖地区有 8 个特拉弗斯期的油层投入生产,产层深 304~558m,1939 年共产油 1.5×10^6 t。此后,盆地的主要勘探工作即转向中心地区。

1928~1938 年期间,盆地中发现的绝大多数油田的产层埋深为 1030~1180m,少数油田产层可浅到 790m,石油大多产自泥盆系的邓迪灰岩。

1940 年,由于发现不断增多,生产区扩大到北部和西部,但浅层的开发工作一直在特拉弗斯层的南西部进行。这段时间,密执安盆地共发现 49 个油气田,使盆地 1939 年的石油产量达到一个高峰—— 3.36×10^6 t,成为当时美国的重要产油区之一。

1954 年,与豪维尔油田处于同一褶皱带,二者相距 32km,并在其上倾方向发现了诺斯维尔油气田,产层为埋深 1200m 的特伦顿孔隙性白云岩。

截至 1956 年,盆地中 98.22% 的累积产量来自中泥盆统的邓迪灰岩、特拉弗斯和底特律河灰岩。密西西比砂岩和特伦顿灰岩中的产量仅占 0.77% (Melhorn, 1958)。

1957 年,发现密执安最大的阿尔比恩-锡皮翁-帕拉斯凯油田,油田靠近密执安南面的中心部分,为一北西-南东向的向斜构造,产油面积长约 40km,宽 4~24km。原油产自以灰岩为主的特伦顿-黑河层的白云岩孔隙带。

在整个东内部油气区,1940 年的高峰产量为 2.39×10^7 t,成为当时美国重要的产油区之一,此后产量迅速下降,1945 年为 1.404×10^7 t,后来开展油田注水和压裂酸化工作,并积极勘探开发志留-奥陶系油气层,1961 年石油产量为 1.67×10^7 t,天然气

产量为 $7.5 \times 10^8 \text{m}^3$ 。60 年代以来，主要发现气田，使 1970 年产气量增为 $1.33 \times 10^9 \text{m}^3$ ，石油产量则下降为 $9.8 \times 10^6 \text{t}$ 。70 年代着重勘探开发密执安盆地志留系礁相油气层，尤其是盆地北部。此外在田纳西州及印第安纳州南部，也找到了一些密西西比系的碳酸盐岩小油田。1978 年，整个东内部油气区的石油产量为 $9.08 \times 10^6 \text{t}$ ，天然气产量继续上升为 $4.37 \times 10^9 \text{m}^3$ 。

截至 1978 年，整个东内部含油气区累积产油 $7.37 \times 10^8 \text{t}$ ，产天然气 $1.188 \times 10^{11} \text{m}^3$ ；剩余储量原油为 $4.685 \times 10^7 \text{t}$ ，天然气凝析液 $3.88 \times 10^6 \text{t}$ ，天然气 $6.52 \times 10^8 \text{m}^3$ （上宋牡麟 1982）。

1980 年，在密执安的巴伊县发现贝雷油田（McCasin, 1981），产层为密西西比系的贝雷砂岩，埋深 720~727m，产层厚 15~18m，孔隙度和渗透率均较好，生产井日产油 3.6~4.3t。这个浅油带的发现说明：在密执安的其他地方，还可能发现新的油区。同年 10 月，在米索基县埋深 3140m 以下的奥陶系普雷里迪欣层中发现天然气，估计畅喷量为 $7.92 \times 10^5 \text{m}^3$ ，储量可达 $1.7 \times 10^9 \text{m}^3$ 。同年，爱德华兹县的 1-36 普查井，亦在埋深 3140m 以下的普雷里迪欣层中钻到无硫天然气，日产干气 $3.49 \times 10^6 \text{m}^3$ 。

1981 年，在米德兰县邓迪层之下埋深 1200m 的底特律河层中钻到石油，每小时喷油 7.2t，这是一个重大发现。

这段时间，奥陶系的普雷里迪欣层和特伦顿-黑河层受到很大重视，许多石油公司在盆地北部的格拉德温、阿雷纳斯、奥格马和洛斯科城等地以及盆地东北缘积极进行着勘探活动。

1984 年 11 月在巴克艾发现天然气，经测试日产天然气 $8.5 \times 10^4 \text{m}^3$ ，日产凝析油 12t；另在穆尼托尔、贝依等地的普雷里迪欣层中也发现了天然气，日产气 $2.27 \times 10^5 \text{m}^3$ ，凝析油 44t。因而，一些地质学家认为：普雷里迪欣层是密执安盆地获高产的远景目的层，应进一步进行勘探（McCasin, 1986）。

1985 年针对普雷里迪欣群打探井达 12 口，占本年盆地勘探井的第二位，第一位为志留系尼亚加拉岩礁，为 298 口。同年在