

加拿大常规油气资源

R.M.普罗克特 李沛然 D.N.斯基博

(加拿大地质调查局)

R.M.普罗克特博士等是加拿大著名石油地质学家和油气资源评价专家。1980年10月来我国访问期间,普罗克特博士和李沛然博士等做了多次油气资源预测专题报告。本文是作者在来华报告的基础上,经修改充实后投寄本刊的。文章对加拿大油气资源预测作了较全面的论述,可供参考,特译载于此。

——编者——

前 言

1973年以来,加拿大地质调查局对加拿大的所有盆地进行了石油资源的估算^[2]。这项活动的目的是为政府部门的能源规划提供一个制作石油资源量的系统的方法^[1]。本文共分三章,第一章概略地叙述石油资源评价的方法学;第二章提供当前加拿大石油资源的估算结果;第三章是预测八十年代可能发现的资源。

(一) 石油资源评价的方法学

所应用的方法通常称为概率法^[5]。本文仅对该方法的主要部分略加说明。

估算石油资源是为了解决:(1)可能会有多少个油气藏?(2)油气藏的储层特性如何?(3)油气藏的地理位置?(4)估算结果的可靠程度如何?

任何估算工作首先要对勘探层的概念加以定义。所谓勘探层是指地质学家和地球物理学家认为其中可能存在烃类的场所。它们可以是实际的勘探层或是尚未钻探的假设勘探层。

油气资源评价的基本步骤是:(1)输入数据;(2)求出油气藏大小分布曲线;(3)评价勘探层潜在量;(4)预测发现率。

应用的数据有:闭合面积、储层厚度、有效孔隙度、有效勘探层、圈闭中油气充满程度、采收率、水饱和度、收缩率、天然气所占的比例以及烃类所占的比例和深度等。这一方法对每一勘探层的评价要求应用两方面的资料,即钻井和地震等客观的资料和地质学家、地球物理学家、地球化学家以及其他科学家的主观判断,以填补我们知识之不足。全部资料都表达为一个变化范围或一个频率分布曲线。

第二步是求出一个油气藏大小分布曲线。它是综合所有的输入数据,通过蒙特一

卡洛法得到的(图1)[4]。

这个分布曲线说明给定的输入数据时,某一勘探层内可能存在的油气藏大小的变化范围。图中的曲线表明90%的气藏预计将大于0.4万亿立方英尺(TCF)*,而仅有5%的气藏预计将大于2.9TCF。

第三步骤是评价勘探层的潜在量。假如已知油气藏的大小,那么,要估算出总的资源量可能会有多少,只须估算油气藏的数目就够了。油气藏的数目是从所考虑的适当地估计了风险的潜在目标的数目中推算出来。实际估算时,这个油气藏数目的估计值与油气藏大小的变化范围结合在一起,提供了一个预期可望得到的总潜在量估算值(图2)。

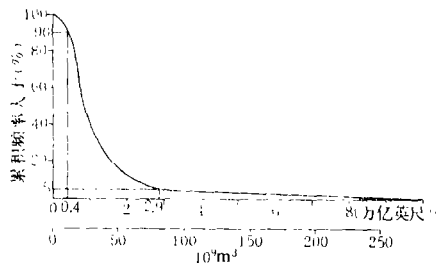


图1 某一勘探层条件气藏大小分布累积频率曲线图

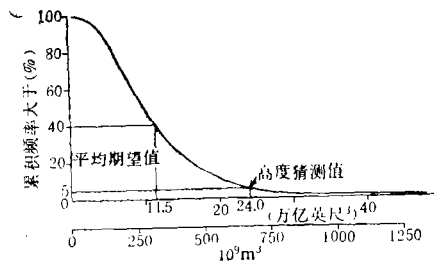


图2 某一勘探层考虑了风险的油气资源潜在量的累积频率曲线图

潜在量曲线的陡度指示了估算的可靠程度。为便于理解,本文中40%概率的潜在量作为平均期望值,而5%的概率可认为是高度猜测性的潜在量。此时尚未考虑经济上可行性因素。为了对各个勘探层作经济分析,下一步要假设出一系列油气藏,它们是受勘探层的油气藏大小分布控制的。这些假设的油气藏可以根据其大小排列成一个序列,从而组成一个资源总体(图3)。

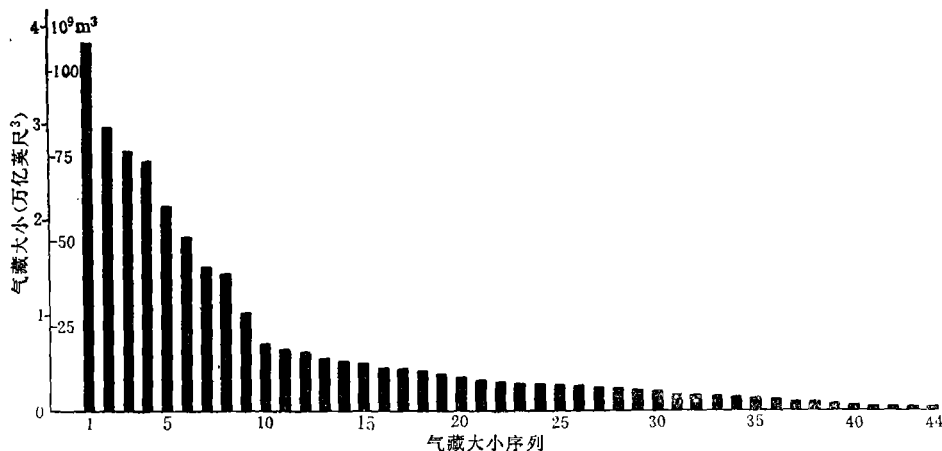
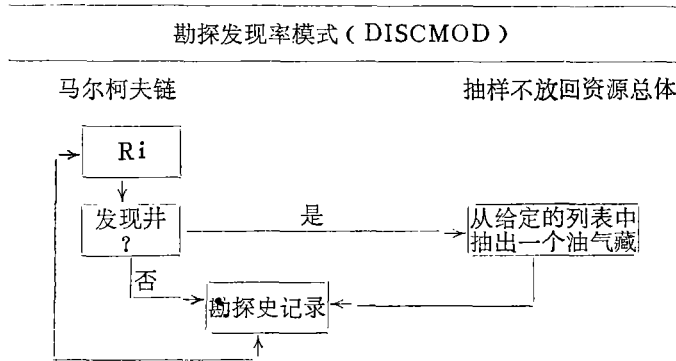


图3 根据条件气藏大小分布得到假设的油气藏大小分布图

* 1 TCF = 1万亿立方英尺

在获得了可能存在的资源及其油气藏大小的资料后，最后的步骤是预测未来的发现率。其发现率模仿方法反映了到目前为止钻探的成功率和风险率以及未来勘探中可能发现的数量（Lee 1980）〔3〕。这一模仿采用了从假设的油气藏资源总体中抽样不放回总体的马尔柯夫链的方法（表1）。

作经济分析用的预测未来发现率模式法表 表1



以拉布拉多大陆架 (Labrador Shelf) 为例，假如以往的勘探结果用D代表干井和G表示发现井，并按时间先后顺序排列，可获得这样一个序列：D—G—G—D—D—G—D—D—D—D—G—D。这个序列的顺序不仅表明了发现井的数目，而且也说明了由上一口是干井，接着下一口是发现井的次数。把这个数据转换成一个矩阵（表2），从而表明了勘探史中从干井—干井的现象有四次，从气发现井—气发现井有二次，从气发现井—干井有三次。此矩阵用来确定下一个勘探井是成功还是失败的概率。当一个勘探井获得成功时，立即提出的问题是：发现的油气藏有多大？采用抽样不放回总体的方法，从资源总体里抽出一个油气藏就能获得其答案（图3）。抽样得到油气藏的概率取决于三个因素的控制（表3）。

根据勘探记录排列的勘探史矩阵表 表2

	干井	气井
干井	4	3
气井	3	2

发现率的模式采用马尔柯夫链，以及抽样不放回总体的方法直至所有的油气藏都被发现为止。

根据发现模式程序从资源总体中进行抽样的概率表 表3

控制油气藏发现的因素	
(1) 油气藏大小	(X_i)
(2) 勘探层的风险程度	(P_R)
(3) 勘探工作量	(E_E)
$P_i = X_i \times P_R \times E_E$	

图4表明以往的勘探历史和未来模拟的发现率。纵坐标为天然气体积，横坐标为发现井数目，说明在勘探早期阶段可发现较多的储量。图5是同样的资料以累积形式表示拉布拉多大陆架未来发现率预期变化。显然由于模拟法本身的性质使重复模拟所得的结

果不同。图6是十次模拟所得的结果，粗线为十次模拟结果的平均值。本文中所有的勘探模拟都是重复模拟十次的平均曲线。

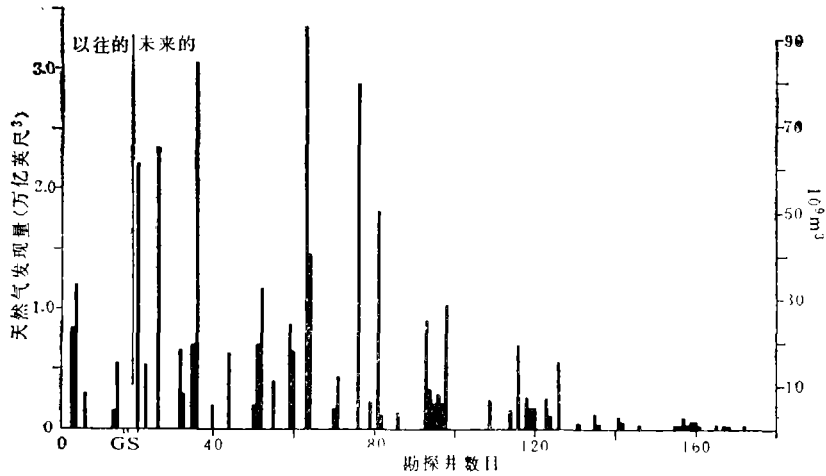


图4 油气藏大小的发现率与勘探井数目之间关系的发现率模式图（拉布拉多大陆架模拟勘探史）

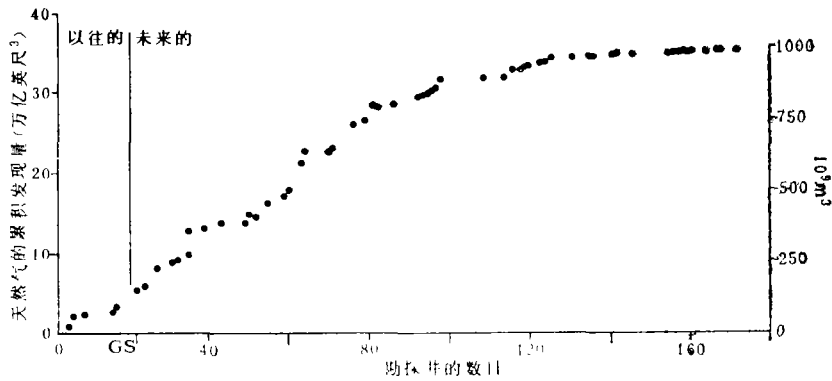


图5 勘探井数目与所发现的累积储量之间关系的发现率模式图（拉布拉多大陆架模拟发现量曲线）

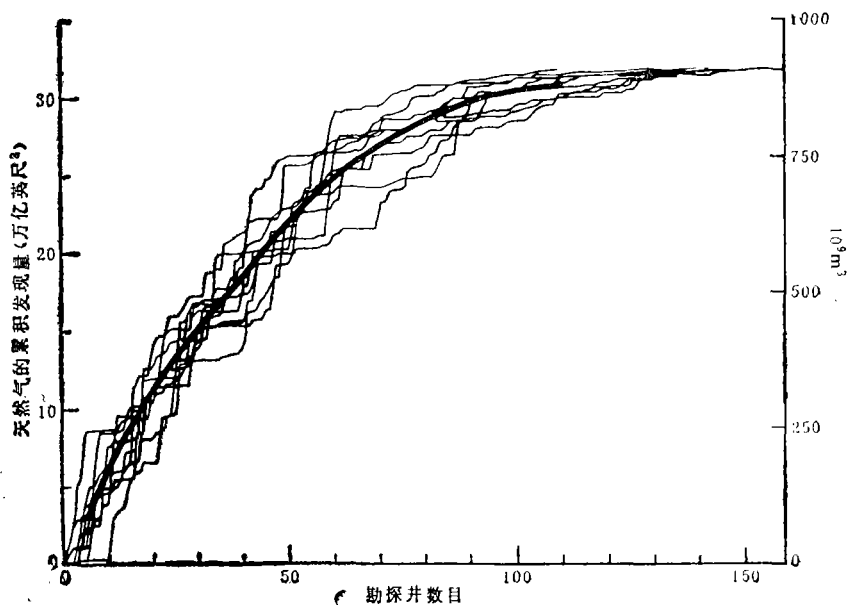


图6 拉布拉多大陆架地区未来发现率的十次模拟曲线图
(粗线表示平均值)

(二) 油气资源的估算结果

加拿大地质调查局对加拿大油气资源最近的估算结果划分四个区域：加拿大东海岸、北极群岛、马更些三角洲—波弗特海域与西加盆地。

加拿大东海岸

地质条件

本区的油气资源估算结果包括从斯科舍大陆架 (Scotia Shelf) 延伸到巴芬湾 (Baffin Bay) 盆地的地区 (图7)。从1966年以来, 已钻探125口以上勘探井, 发现在

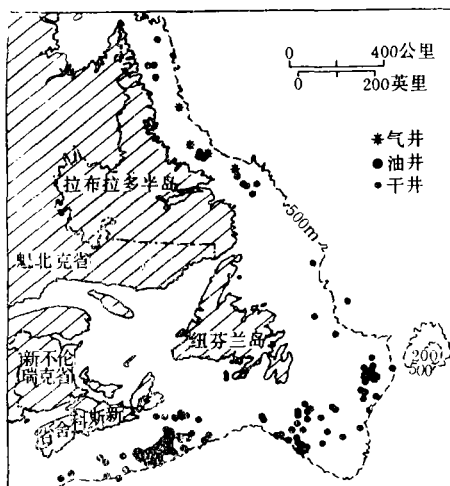


图7 加拿大东海岸油气井分布图

塞布尔岛 (Sable Island) 附近是一个较大的含气区。围绕希伯尼亚, 是当前令人注意的油区。从拉布拉多大陆架延伸到巴芬湾的狭窄带, 主要是一个含气区。这些估算值主要根据第三纪和中生代沉积楔状体的32个勘探层的分析得出的。这个楔状体往大陆架方向逐渐增厚。重要的圈闭类型有: 盐丘底辟构造、大型滚动断层、上覆地层和两侧都有砂岩组成的断块以及一些包括碳酸盐岩与碎屑岩尖灭带和侵蚀面在内的地层圈闭。除了希伯尼亚地区外, 碎屑沉积物一般是三角洲相, 并含有主要由陆源植物碎屑所组成的有机质。这些特点以及地球化学的相对不成熟

性,因而东海岸主要是一个以气为主的地区。
潜在量估算

图8表明东海岸地区天然气期望值大约为72TCF,高度猜测的潜在量为125TCF。石油可采储量平均期望值为74亿桶,而高度猜测值几乎达130亿桶。目前尚无已探明的储量估算值,但是一般认为希伯尼亚已发现的油气藏可能至少有5亿桶可采石油储量。在文秋尔(Venture)已发现的工业气流可能超过1万亿立方英尺。沿拉布拉多海岸所发现的单井油气藏虽然令人鼓舞,但目前尚无经济价值。

未来发现率

东海岸近五年来的勘探史是发现率模拟的主要依据。

发现率模拟成果(图9、图10)反映了未来勘探预测。油气预测量以平均期望值和高度猜测期望值两条曲线为界。当勘探工作量一定时,例如150口勘探井就可求出所能发现的天然气将是20—31TCF,油24—36亿桶。须指出的是,对最初的200口探井来说,曲线还是比较陡的,而到了勘探成熟阶段就逐渐变缓。本区预计未来发现率见表5。

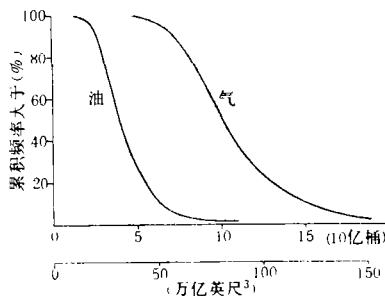


图8 加拿大东海岸油气资源潜在量估算曲线图

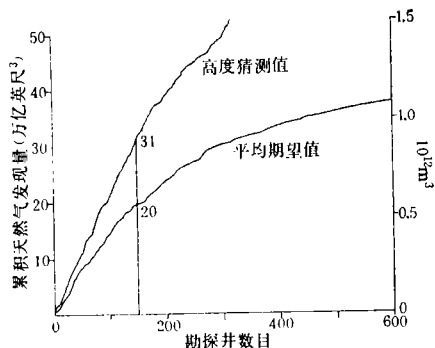


图9 加拿大东海岸预测的天然气发现率曲线图

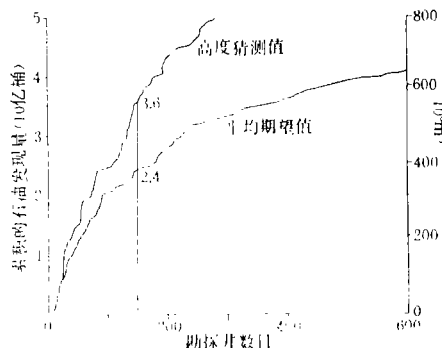


图10 加拿大东海岸预测的石油发现率曲线图

北 极 群 岛 区

地质条件

包括稳定的地台、褶皱带和斯维德鲁帕盆地(Sverdrup Basin)在内的北极群岛代表了一个含油情况完全不同的区域(图11)。从1961年起,对这一半被水面覆盖的大面积地区开始钻探。现已钻140口以上勘探井。虽然由前寒武系到中生界都有勘探成功的机会,但大多数工作量都集中在侏罗系。结果发现了2个,可能有3个大气田,以及其它一些储量为1万亿立方英尺级的天然气,其发现的气总量可超过15TCF。1974年在略

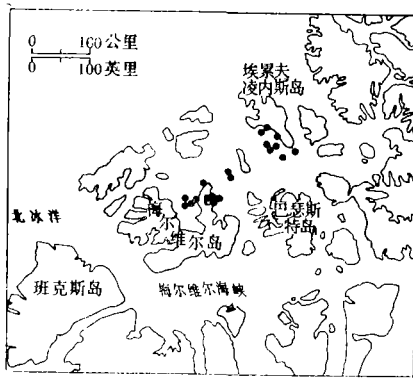


图11 北极群岛油气潜在量估算
区分布图

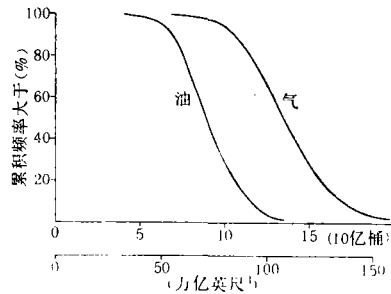


图12 北极群岛地区油气资源估
算曲线图

买伦岛 (Cameron Island) 发现了石油, 但要想扩展这一成果的尝试至今都失败了。虽然本区的其它地方以及在各种勘探层中也可能有迹象找到油, 但至今所得的资料表明北极群岛地区主要含气, 仅有少量油。这种状况反映了本区基本地球化学情况。本区中生界含大量未成熟的陆源有机物, 在已钻探过的下古生界中, 虽然含有更利于生油的母质, 但已超过了成熟的下限, 现在主要含气。液态烃类储集的最有利场所可能是盆地中的二叠系—宾夕法尼亚系的碳酸盐岩与中生界埋藏较深的部分。

潜在量估算

当前对这一地区资源的估算结果 (图12) 是: 天然气平均期望值为 87TCF, 石油可采储量43亿桶。高度猜测值是138TCF气, 76亿桶油。这些估算值包括已到手的储量至少12TCF, 如进行有效的查明边界的钻探工作, 可能会超过20TCF气储量。就目前而言, 石油储量相对地居于次要地位。这些估算曲线是27个勘探层的分析结果, 其中许多勘探层尚未钻探, 带来了许多不肯定性, 这在潜在量估计曲线上有反映。

马更些三角洲——波弗特海域

地质条件

本区 (图13) 包括马更些三角洲 (Mackenzie Delta) 的陆上部分和延伸到水深约为600英尺的大陆架边缘地区。这个地区也是从阿蒙森湾 (Amundson Gulf) 往西延伸到加拿大—阿拉斯加 (Alaska) 的边界。此区为中生代和第三纪的三角洲相砂岩和页岩所覆盖, 它们很快地向北增厚, 从现在的三角洲向海的方向延伸很短距离就增厚至40000英尺以上。中生代—第三纪碎屑岩盖在断层发育的较陡的阶梯状古生代陷落上。第三系是最重要的砂岩储集层, 但是白垩系和侏罗系也有一些砂岩储集层。主要的目标

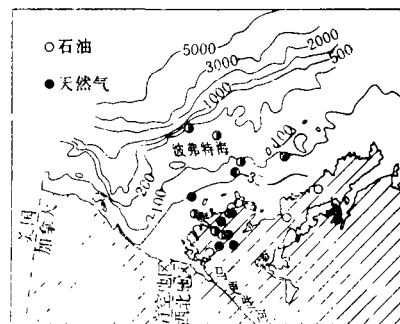


图13 马更些三角洲—波弗特海域
估算烃类储量区域分布图

是深部泥流所形成的变形底辟构造，其中某些构造较大，并在平面上呈线性排列。次要目标是由滚动和生长断层形成的圈闭，有时伴随深部的塑性变形。钻探的主要力量最初是在理查兹岛 (Richards Island)，然后通过营造人工岛延伸到近海地区——目前的和古代的马更些三角洲舌形地带。最近的勘探工作已经扩展到更深的波弗特海域，钻探船正在钻探的是位于古大陆架边棱之外的深水相沉积楔状体。另外，尚有部分地区，例如往西延伸到阿拉斯加边界的区域，虽然也有类似与波弗特海域所发现的构造，但至今投入的勘探工作量还很有限。

从地球化学角度来看，可以认为这一区域是未热成熟的产自含有陆源植物为主的油源岩的烃类。这些特点与所见到的液态烃和凝析油的产状不符合。目前想法是来自森林的树脂的异常富集以及它们能在相对低温下转变成液态烃来解释这一地球化学谜。如估算曲线所示，本区以气为主，但也可认为它比任何其它新区含有更多的石油。

潜在量估算

在准备资源估算中，对17个勘探层进行了估价。图14表明平均期望值气为112TCF，石油可采储量94亿桶。高度猜测值可达147TCF气和123亿桶油。其中已发现的与未发现的潜在量估算值都带有猜测性。然而，如不把道姆 (Dome) 公司在波弗特海最近的勘探活动计算在内，一般认为理查兹岛地区初步发现的天然气至少有6TCF，比较乐观的看法是10TCF的气。

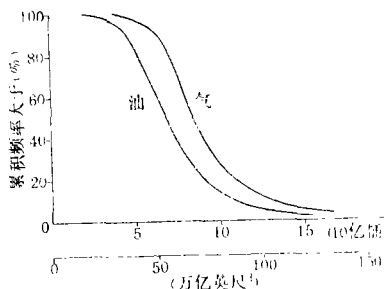


图14 马更些三角洲—波弗特海域 油气潜在量估算曲线图

西 加 盆 地

概述

本区由横跨曼尼托巴 (Manitoba)、萨斯喀彻温 (Saskatchewan)、阿尔伯达 (Alberta) 和不列颠哥伦比亚 (British Columbia) 等省的加拿大西部沉积盆地组成。东面从前寒武纪地盾起，往西延伸到落基山脉、纬度60°以南的地区，勘探程度已达到成熟阶段。为了侧重于常规油气，不包括Lloydminster地区的重油带，以及在渗透率异常低的岩石中和通常在开采前须要压裂的深部盆地中的天然气。然而，深部盆地天然气的常规部分的储量是包括在本文中的估算结果内，但未把通过强化采收方法所能获得的潜在的大量石油储量计算在内。

到目前为止的勘探活动中，已发现9000个气藏和3200个以上油藏。除了西部变形地带外，大多数油气藏受地层的控制，盆地中大约65个左右的勘探层的分析表明这种趋势可能还会继续下去。

潜在量估算

勘探的相对成熟性反映在图15所示的估算结果内。曲线的陡度表明能获得潜在量的余地已很有限。西加盆地估算曲线已包括了主要的储量和潜在量。天然气曲线的平均期

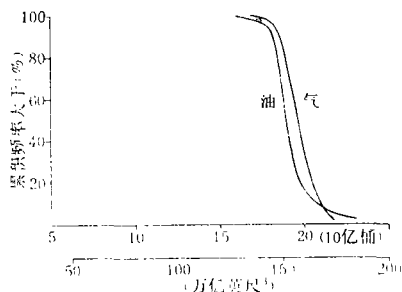


图15 西加盆地油气潜在量估算曲线图

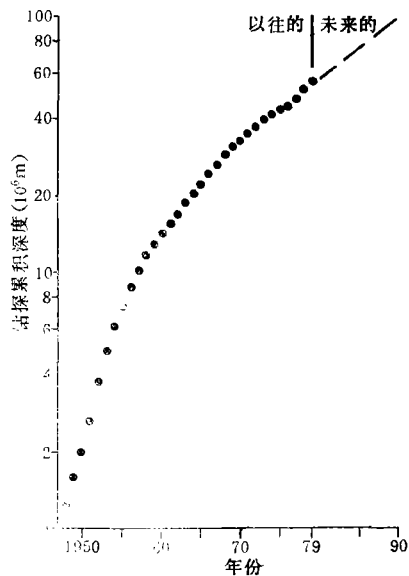


图16 根据加拿大石油协会资料画出的西加盆地年钻探统计图

望值159TCF，是由原来的储量加上62TCF的潜在量而得出的。高度猜测值中，未发现的天然气可高达100TCF，同样，192亿桶石油平均期望值是由原来的储量加上31亿桶的潜在量而得出的。未发现的油的高度猜测值几乎可达60亿桶。

未来发现率

由于勘探层的数目很多，并且西加盆地的勘探已达到成熟阶段，故采用不同方法预测发现率增加的程度与钻探工作量之间的关系。采用加拿大石油协会发表的年钻探统计数（图16）标绘在对数坐标图上以预测未来的趋势。以最后十年趋势作为预测1990年的基础，可以表明今后十年的钻探进尺大约为4500万米。然后，接近32年来已发现的天然气累计数量对钻探的累计进尺作图（图17），将曲线延伸到再增加4500万米进尺的地方，并由此得到一个1980—1990年期间的待发现的天然气估算量。这条曲线是由加拿大地质调查局根据天然气潜在量的估算设想出来的。

今后十年的石油发现率的估算也应采用同样的方法。

1980—1990年油气发现率的趋势

最后一章概述八十年代可能还会发现多少资源量。加拿大地质调查局对141个勘探层作了系统研究，得出了三个新区和西加盆地天然气资源的估算值。从整体来看，三个新区可期望有270TCF以上的气供应市场。高度猜测的估算值超过350TCF。西加盆地的未发现潜在量估计在62—100TCF之间（图18）。

为了预测今后十年的发现率，根据每一新区和西加盆地现有勘探工作作较大幅度的外推（表4）。根据表4所示的钻探工作情况，预计可发现马更些三角洲—波弗特海域的天然气有29—40TCF，北极群岛有19—32TCF，东海岸有20—31TCF。如果在西加盆地再打4500万米或22000个勘探井，可发现35—38TCF的天然气。

加拿大新区的石油资源的估算值(图19)表明可采石油储量的平均期望值大约为 210 亿桶, 高度猜测值可达约300亿桶以上。西加盆地未发现潜在量的平均期望值仅有 31 亿桶, 较高估计为60亿桶。

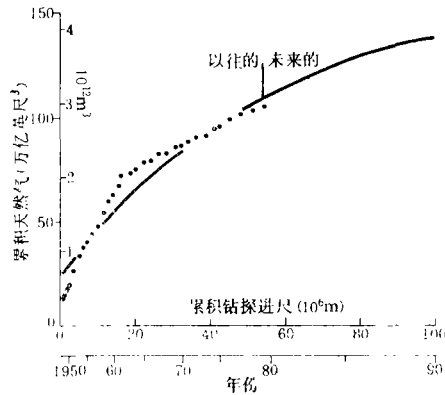


图17 西加盆地已发现的累积天然气数量及其到1990年待发现天然气估算值图(平均期望值 $4.45 \times 10^{12} \text{M}^3$)

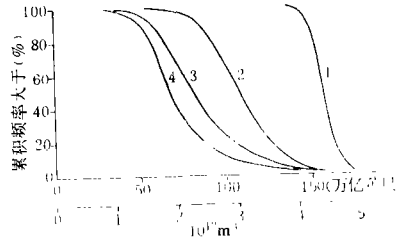


图18 西加盆地和三个新区天然气估计潜在量曲线比较图

1. 西加盆地 平均期望值159 高度猜测值171
2. 马更些三角洲—波弗特海 平均期望值112 高度猜测值147
3. 北极群岛 平均期望值87 高度猜测值138
4. 加拿大东海岸 平均期望值72 高度猜测值125

八十年代天然气发现率的趋势表* 表4

地 区	钻探进度 (勘探井数目)	预 测 值 (TCF)
西加盆地	22000	35—38
马更些三角 洲—波弗特海	75	29—40
北极群岛	100	19—32
加拿大东海岸	150	20—31

* 在一定的勘探工作量的情况下, 加拿大一些地区的1980—1990年天然气预计发现率的变化范围

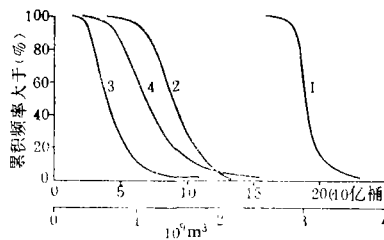


图19 西加盆地和三个新区的石油潜在量估算曲线比较图

1. 西加盆地 平均期望值19.2 高度猜测值21.8
2. 马更些三角洲—波弗特海 平均期望值9.4 高度猜测值12.3
3. 北极群岛 平均期望值4.3 高度猜测值7.6
4. 加拿大东海岸 平均期望值7.4 高度猜测值12.7

如果对油和气投入同样的钻探工作量的话，那么今后十年石油预期发现率马更些三角洲—波弗特海地区的期望值为24—26亿桶，北极群岛为4—5亿桶，东海岸为24—36亿桶，西加盆地26—33亿桶（表5）。

应该注意的是八十年代发现量的预测并未把经济分析考虑在内。实际上在新区的估算结果中，许多未发现的油气藏可能在经济分析上是不合算的，并且也许在较长时期内都是如此。新区的大多数资源都位于勘探工作极其困难的地区，有的地区很水深，或者处在被冰层所覆盖的或有严重开采问题的地区。这些因素将使我们付出比以往更高的代价取得气和油。在西加盆地要获得剩余的那部分潜在量所需的勘探工作，也要付出更高的代价。

八十年代石油预计发现率表* 表5

地 区	钻探进度 (勘探井数目)	预 测 值 (10亿桶)
西加盆地	22000	2.6—3.3
马更些三角 洲—波弗特海	75	2.4—2.6
北极群岛	100	0.4—0.5
加拿大东海岸	150	2.4—3.6

* 在一定的勘探工作量的情况下，加拿大一些地区1980—1990年石油预计发现率的变化范围

张文成译 张义纲校
(1981年10月29日)

参 考 文 献

- [1] Energy, Mines and Resources, Canada, 1973, An Energy Policy for Canada, Phase I, Vol. II, P. 31-56, Minister of Supply and Services, Canada.
- [2] Energy, Mines and Resources, Canada, 1977; oil and Natural Gas Resources of Canada, 1976; Minister of Supply and Services, Canada.
- [3] P. J. Lee, 1980, Discovery Model for Petroleum Exploration, Paper Presented Before the IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) Conferences on Conventional and Unconventional World Natural Gas Resources, Laxenburg, Austria, June 30 - July 4, 1980.
- [4] Roy, K. J., 1975, Hydrocarbon Assessment Using Subjective Probability and Monte Carlo Methods; First IIASA Conferences on Energy

Resources, May 20-21, 1975, Edited by Michael Grenon, Oxford, Pergamon Press, 1979, P. 279-290.

- [5] Roy, K. J., R. M. Procter and R. G. McCrossan, 1975, Hydrocarbon Assessment Using Subjective Probability in J. C. Davis, et al., Conveners; Probability Methods in Oil Exploration; AAPG Research Symposium, Stanford University, Notes, P. 56-60.

CANADA'S CONVENTIONAL OIL AND GAS RESOURCES (AND FUTURE DISCOVERIES—1980 TO 1990)

R. M. Procter, P. J. Lee and D. N. Skibo

(Geological Survey of Canada)

Introduction

The Geological Survey of Canada has been making estimates of Petroleum resources for all basins of Canada since 1973. The purpose of this activity was to provide a systematic approach to making an inventory of petroleum resources for departmental planning purposes. The present paper is divided into three sections. The first section briefly describes the methodology used in petroleum resources evaluation. The second section presents the current estimates of petroleum resources of Canada. The last section deals with the questions of how much of these resources may be discovered during the 1980's.