

石油钻井科技发展规划与 科技进步评价研究

王同良 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书通过研究国内外石油钻井科技的发展趋势、发展目标及要素关系，建立了一整套科学的石油钻井科技进步作用的定量评价方法和评价体系，为制定石油钻井科技发展规划提供了科学依据。

本书可供对石油钻井科技发展研究与科技进步评价有兴趣的人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

石油钻井科技发展规划与科技进步评价研究/王同良著.
北京:石油工业出版社,2000.12

ISBN 7 - 5021 - 3215 - 5

. 石...
. 王...
. 油气钻井 - 技术发展 - 规划 - 研究
 油气钻井 - 技术进步 - 评价 - 研究
. TE2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 78836 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

河北省徐水县印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787 × 1092 毫米 16 开本 13.75 印张 350 千字 印 1—1000

2000 年 12 月北京第 1 版 2000 年 12 月河北第 1 次印刷

ISBN 7 - 5021 - 3215 - 5 TE·2438

定价: 25.00 元

个人简介

王同良，男，1963年2月25日出生湖北麻城的贫困农村，1983年7月毕业于江汉石油学院开发系钻井专业，2000年6月取得石油大学（北京）博士学位。

王同良现任中国石油天然气集团公司（CNPC）石油经济与信息研究中心主任助理、副总工程师兼业务处处长、教授级高级工程师、中国石油学会第四届石油工程委员会和科普委员会委员、国际石油工程师学会（SPE）会员、API钻井液材料委员会委员和北京石油学会理事等职。

工作17年来，王同良先后在中国石油天然气总公司信息研究所、中原油田中美合作钻井队（一年）和中央讲师团（在新疆兵团教育学院教英语一年）等不同单位工作过，并多次去美国和欧洲进修、考察和谈判，其中1991年在美国进修钻井工程半年；曾先后在原中国石油天然气总公司信息研究所的钻井信息监测报道、翻译、编辑、情报研究、咨询服务、数据库建设和科技管理等不同岗位上工作过，独立或作为主要参加人完成的重要情报研究课题和数据库建设课题12个以上，已经发表了40多篇关于钻井的文章和研究报告，翻译了80多万字的钻井技术论文资料，编辑出版了10本钻井方面的资料和书籍，在国内和国际性技术会议上作钻井技术报告20次以上，经常在各种钻井学术交流会上作翻译。王同良的研究领域已经拓展到石油经济、科技规划、科技管理和计算机应用等多个方面。

王同良的主要研究成果有《八十年代国内外深井钻井成套技术研究》、《我国陆上石油中长期科技发展战略研究》、《国外石油工业综合数据库》和英汉、汉英石油科技文献计算机翻译系统。

王同良先后11次作为主要贡献者得到国家科委、原中国石油天然气总公司和原中国石油天然气总公司信息研究所的科技成果奖励，其中部级二等奖3次、部级三等奖3次；作为参加人，曾获国家科技进步二等奖1次。

王同良曾先后获得首届中国石油天然气总公司机关暨直属单位“十杰青年”称号和首届“中国青年科技信息奖”。

前 言

知识经济时代已经到来。现在发达国家的科技进步对经济增长的贡献已取代了资本和劳动力而上升到首要位置，贡献率达到 60% ~ 80%。而我国科技进步对经济增长的贡献率大约只有 30%，知识经济的发展水平在整体上比美国要落后 40 多年。因此，科教兴国成为我国政府的一项重要发展战略。

从国际上来讲，世界石油工业近几年来一直处于低油价状态，油价由 20 世纪 80 年代初的每桶约 38 美元左右一直降到 1999 年初的每桶约 12 美元左右。由于钻井费用占了石油工业勘探开发费用的 50% ~ 80%，所以研究和发展先进适用的钻井技术是国外大石油公司降低勘探开发成本的主要着力点，是确保在低油价下生存和发展的一个重要战略措施。

中国石油钻井科学技术已经有了很大的发展，但与国际先进水平相比，仍有相当大的差距。中国石油天然气集团公司（简称 CNPC，下同）正面临着许多新的形势，如国内油价与国际油价接轨，东南亚金融危机，后备资源向着低、深、难领域发展，国内已形成了多家石油公司竞争的格局，争取参与国际竞争和重组上市等。

正是在这样的形势下，CNPC 开始着手制定《CNPC“十五”及 2010 年科技发展规划》。如何才能科学地制定出 CNPC 的石油钻井科技规划呢？如何科学、客观、定量地评价和描述石油钻井科技进步的作用？本研究试图改变过去那种单纯的定性方法，通过建立一整套定量与定性相结合的方法来进行石油钻井科技规划和科技进步的评价工作。通过研究，主要取得如下创新成果：

(1) 首次把特尔斐法用于石油科技规划和石油钻井科技规划中，并用 VC 语言编制了计算分析程序。

(2) 首次把层次分析法用于石油科技和石油钻井科技规划中，建立了 CNPC 石油钻井科技规划层次分析模型，并用 VC 语言编制了层次分析法软件。

(3) 首次对石油钻井科技进步贡献率问题进行了初步探讨，建立了钻井科技进步贡献率模型，并对 CNPC 和美国陆上的石油钻井科技进步贡献率进行了测算。

(4) 首次应用数理统计的方法对宏观石油钻井技术经济指标进行回归分析，研究了各指标之间的相互关系和规律。对 CNPC 和美国的钻井技术经济指标进行了回归分析研究，建立了 62 个回归方程。同时根据石油工业产储量和油价等因素，建立了动用钻机数和钻井工作量的预测模型。

(5) 利用特尔菲法和层次分析方法的基本原理，在专家调查和大量文献资料调查的基础上，将定性分析与定量计算相结合，提出了 CNPC“十五”钻井科技规划的主要研究内容（5 个层次、5 大目标、9 大推广应用技术和重大攻关技术、5 个科研领域和 26 项具体技术），并对石油钻井科研课题进行了优先排序，为 CNPC 制定石油钻井科技发展规划提供了科学依据。

著 者

2000 年 10 月

目 录

第一章 绪 论.....	(1)
第一节 研究的目的和意义.....	(1)
第二节 国内外研究现状.....	(2)
第三节 主要研究内容和技术路线.....	(5)
第二章 特尔斐法研究与软件开发.....	(6)
第一节 特尔斐法的特点与应用.....	(6)
第二节 特尔斐法预测的四个阶段.....	(6)
第三节 特尔斐法 (项目优先顺序) 软件开发	(13)
第三章 层次分析法研究与软件开发	(16)
第一节 层次分析法概论	(16)
第二节 层次分析法的基本原理	(19)
第三节 层次分析法的基本步骤	(23)
第四节 层次分析法软件开发	(29)
第四章 石油钻井科技进步贡献率研究	(33)
第一节 科技进步与经济增长	(33)
第二节 科技进步作用测算的有关概念	(34)
第三节 科技进步作用测算的理论方法	(36)
第四节 CNPC 石油科技进步贡献率测算研究	(44)
第五节 石油钻井科技进步贡献率研究	(46)
第五章 中美钻井技术经济指标的发展规律与对比研究	(56)
第一节 数据采集与处理方法	(56)
第二节 CNPC 钻井技术经济指标分析与规律研究	(66)
第三节 美国钻井技术经济指标分析与规律研究	(89)
第四节 中国、美国和世界钻井技术发展水平及规律的比较研究.....	(107)
第六章 世界石油钻井科技发展水平与展望.....	(115)
第一节 国外主要钻井技术发展水平.....	(115)
第二节 未来石油钻井技术发展展望.....	(120)
第七章 CNPC “十五” 钻井科技发展规划研究	(124)
第一节 CNPC “十五” 钻井科技发展规划专家咨询表	(124)
第二节 CNPC “十五” 钻井科技发展规划被调查专家的基本情况	(129)
第三节 CNPC “十五” 钻井科技发展规划专家调查结果统计	(132)
第四节 CNPC “十五” 钻井科技发展规划层次分析模型	(157)
第五节 CNPC “十五” 钻井科技发展规划判断矩阵及排序计算	(160)
第六节 CNPC “十五” 钻井科技发展规划主要研究项目及优先顺序	(168)

附录 1 特尔斐法（项目优先顺序）软件的源程序代码	(176)
附录 2 层次分析法软件源程序代码	(190)
参考文献.....	(211)
致谢.....	(214)

第一章 绪 论

第一节 研究的目的和意义

一、题目来源

本书所研究的题目来源于中国石油天然气集团公司（简称 CNPC，下同）制定“十五”科技发展计划和 2010 年远景规划的需要。

二、立题的目的和意义

当代科学技术发展更新速度越来越快，科技物化周期越来越短、规模越来越大，对经济的作用也越来越大，以至于人们认为知识经济时代已经到来。90% 的人类现有知识是在“二战”后的 30 多年或 40 多年间获得的。20 世纪 80 年代，科学技术的发明与发现比过去 2000 年的总和还要多，而 90 年代比 80 年代又将翻 6 番。人类知识在 19 世纪每 10 年增加 1 倍，20 世纪 70 年代每 5 年增加 1 倍，而 80 年代大约每 3 年增加 1 倍。现在，科学信息每年增长 40% 以上。按照过去的增长理论，经济的增长主要取决于资本和劳动力增加的数量，但现在发达国家的科技进步对经济增长的贡献已取代了资本和劳动力而上升到首要位置，达到 60% ~ 80%。据测算，我国科技进步对经济增长的贡献率大约是 30%。根据知识的生产、投入、激励、存量、流通等指标在内的综合指标来看，如果把美国现有的知识经济水平看作是 1 的话，我国的仅有 0.26。我国知识经济的发展水平在整体上比美国要落后 40 多年。因此，进入 20 世纪 90 年代以来，科技立国已成为许多国家的基本国策，科教兴国既是我国政府的一项重要发展战略，也引起专家学者的广泛关注。

从国际上来讲，世界石油工业近几年来一直处于低油价状态，油价由 20 世纪 80 年代初的每桶 38 美元左右一直降到 1999 年初的每桶约 12 美元左右。1999 年初，有的人预计油价甚至会降至 5 ~ 10 美元/桶。为了确保在低油价下能够生存下去，各大石油公司纷纷制定和调整发展战略，千方百计降低成本来获取利润。国外石油公司采取的主要措施有：调整投资决策、改变经营机制、依靠科技进步和加强内部管理。

运用先进技术大幅度降低勘探开发成本是国外大石油公司降低成本的重要措施。以全世界 50 家大石油公司中的 11 家美国石油公司的油气成本情况为例，从 1986 年到 1995 年，发现成本（包括勘探成本和开发成本）由 7.93 美元/桶油当量下降到 4.59 美元/桶油当量，降幅为 42.1%；生产成本从 4.71 美元/桶油当量下降到 4.09 美元/桶油当量，降幅为 13.2%；总成本从 12.64 美元/桶油当量下降到 8.68 美元/桶油当量，降幅为 31.3%。

由于钻井费用占了石油工业勘探开发费用的 50% ~ 80%，所以研究和发​​展先进适用的钻井技术、减少井数、提高钻井成功率和降低单井费用是国外大石油公司降低勘探开发成本的主要着力点。

从国内来看，中国石油科学技术已经有了很大的发展，对中国石油工业的发展起到了积极的推动作用。但是，CNPC 现面临着以下一些新的形势：

(1) 由于自 1998 年起国内原油价格与国际油价接轨，以及东南亚金融危机的影响，国内石油工业面临着资金短缺和赢利困难的巨大压力，在国际油价低到每桶约 12 美元的情况下，只有大庆油田能够赢利。

(2) 资源丰富，但勘探开发向着低、深、难领域发展，难度加大，成本上升。目前，

CNPC 拥有的国内石油资源量约为 581×10^8 t, 其中探明 140×10^8 t, 探明程度 24.1%; 拥有天然气资源量 26×10^{12} m³, 其中探明 1.14×10^{12} m³, 探明程度 4.38%。据 D&M 公司评估, 截止 1999 年 9 月, CNPC 拥有石油探明剩余开采储量 14.56×10^8 t, 天然气探明剩余开采储量 6903×10^8 m³。近几年, CNPC 每年的探明可采储量几乎难以填补采出量, 老油田含水率增大, 西部油层深。

(3) 由于 1998 年国务院机构改革方案的出台, 国内目前已形成了 3 大石油公司竞争的格局。CNPC 的经营目标已从“产量”转向“利润”。

(4) 按照中央“两种资源、两个市场”的战略方针, CNPC 面临着参与国际竞争的局面, CNPC 的钻井工作已开始进入泰国、苏丹、中东和独联体等国家和地区。

(5) 与国外大石油公司相比, CNPC 的人均效益太低, 亟待提高。减员增效是国外石油工业 20 年来一直实行的一个重要战略。美国《石油情报周刊》1996 年对世界 50 家大石油公司按油气储量、产量、炼制能力和销量等指标进行综合排名, CNPC 居第 15 位。但 CNPC 1996 年销售总收入只有 175.6 亿美元, 大概在世界石油行业中位居第 20 位 (在世界 500 强中, 大概排在第 212 位), 与总收入排在第 10 位的法国道达尔公司 (340 亿美元) 相差近一半。而道达尔公司的人均收入是 60 万美元, 我们只有 1.1 万美元, 相差近 60 倍。与世界石油公司中总收入排名第一的壳牌公司 (1717 亿美元) 相比, 我们的差距更大。壳牌公司产量略小于 CNPC, 而 CNPC 的人数是其 16 倍, CNPC 的 40 多万专业技术干部是其总人数的 4 倍。而壳牌公司人均总收入是我们 CNPC 的 170 倍。

正是在这样的形势下, CNPC 开始着手制定 CNPC 的《“十五”及 2010 年科技发展规划》。那么如何才能科学地制定出 CNPC 的科技规划呢? 以前, 我们基本上都是采用“专家讨论、领导拍板”的定性方法, 这种方法具有现实的可操作性, 曾在实践中发挥过重要作用。但是, 人们对事物的认识往往是从不同的角度来进行的, 不会完全一致。当专家们的意见不一致时, 如何取舍和决断呢? 如何真正实现决策的民主化和科学化? 如何作出符合客观实际的决策? 尤其对于石油中长期科技发展规划这样复杂而重大的决策活动, 单靠个别领导专家“拍板”显然是不科学的。因此, 我们迫切需要建立一整套定量与定性相结合的方法。这种方法既要体现人们对石油钻井科技发展的主观分析和认识, 也要对这样的分析和认识进行量化, 通过建立数学模型进行计算, 然后得出比较科学的结论。因此, 石油钻井科技规划定量方法的研究对于科学合理制定“十五”石油钻井科技规划具有重要的现实意义和理论意义, 而且还可以用于其他专业领域的规划制定工作。

在制定“十五”石油科技规划时, 我们同时面临着一个问题, 即如何科学、客观、定量地评价和描述石油科技和石油钻井科技进步的作用? 尤其是在当前市场经济的形势下, 尽管 CNPC 的科技投入在不断增加, 人们也认为我们的石油科技水平在不断提高, 但事实上, CNPC 的石油钻井成本也在不断增加 (我国钻井成本由 1980 年的 400.37 元/m 增加到 1996 年的 1428.13 元/m, 增长 256.7%), 这就影响了人们对发展石油科技的信心和投入。因此, 建立一整套科学的石油钻井科技进步作用的定量评价方法和评价体系, 对于石油钻井科学技术的发展具有重要的现实意义和指导作用。

第二节 国内外研究现状

一、关于石油钻井科技发展规划定量方法研究

当代科学技术已经越来越广泛地深入到经济、社会生活的各个领域, 成为发展社会生产

力的关键因素。这就促使人们纷纷对未来的技术发展趋势（包括石油技术、石油钻井技术）作出预测，以便更好地适应未来。

在这样的历史条件下，作为自然科学、社会科学与工程技术等多学科结合与交叉产物的软科学，国内外自 20 世纪 80 年代中期开始得到迅速发展。软科学研究借助于多种自然科学的方法，把定量分析与定性分析结合起来，研究和论证科技、经济与社会协调发展中的有关战略、政策、规划管理等各种重大问题，为各级各类决策的科学化与管理的现代化提供可靠的依据。

软科学的研究方法很多，从大类上，可以分为系统学方法、规划与优化方法、预测与评价方法、管理与决策方法、仿真方法、计量经济方法等，具体方法多达 60 多种。层次分析方法就是其中之一。

层次分析法（The Analytic Hierarchy Process）是美国著名运筹学家 T.L. 萨蒂（Saaty）在 20 世纪 70 年代提出来的。层次分析法是一种定性分析和定量分析相结合的决策分析方法，它首先要把复杂的问题分解成若干层次，建立起有序的梯阶层次结构（即层次结构模型），从而使人的经验和判断能用数量形式加以表达和处理。层次分析法体现了辩证的系统思维原则，把所研究的决策问题通过定性定量的良好结合，使人们的决策思维趋于条理化、科学化。由于它在解决多目标决策问题方面具有比其他方法简便实用的优点，因而被广泛采用。

目前世界上关于“科技发展战略研究”的方法主要有以下三种类型：

(1) 定量综合分析法：如前苏联的“全苏 20 年综合远景纲要”，该方法虽然较全面，但缺少对重点发展项目的比较和优选，缺乏重心，造成若干战略重点的失误。

(2) 单项技术预测：如日本科技厅委托三菱综合研究所进行的大规模技术预测（1980 ~ 2010 年）。这类预测，较少注意各单项技术之间的相互关联和作用，对科技发展的总体论证不足。

(3) 优选科技发展重点评价方法：如联合国教科文组织提出的科技优先权评价决定法（Evaluation of Priority Determination Methods in Science and Technology）。该方法侧重于各项技术之间的关系，但在对社会经济发展的作用影响进行深刻的分析方面还存在较大差距。

在国外，美国国家石油委员会（NPC）1995 年 7 月在发表“石油工业研究、开发和示范技术需求”调查报告和确定“20 世纪末和 21 世纪初石油工业优先需求的 35 项技术”时，主要采用了调查统计和优先权决定方法。美国国家科学院（The National Academy of Sciences）1994 年出版了由美国国家研究委员会（National Research Council）下设的先进钻井技术委员会完成的《未来的钻井和掘进技术》研究报告，这个研究项目是由美国能源部和天然气研究所资助的。1999 年 2 月，美国能源部天然气与石油技术办公室公布了《石油天然气研究开发与推广计划》，包括了钻井完井系统的 7 个方面 20 个项目。据了解，这些研究工作和计划都主要是通过邀请各方面的专家，根据大量的文献和丰富的经验进行理论分析（定性分析），然后进行讨论确定的。

在国内的某些领域中，已经应用了一些软科学研究方法，并取得了很好的效果。如著名数学家华罗庚先生积极倡导的统筹方法，从 20 世纪 60 年代中期就开始在大庆油田的开发方案规划中得到了很好的应用；在著名科学家钱学森的大力推动下，系统思想、系统分析和系统工程的方法在我国国防和航天领域得到了很好的应用，对我国卫星、导弹等尖端技术大规模的科技活动与社会劳动力发挥了重要的协调指导作用。国内自 20 世纪 80 年代中期以来，

在科技、经济、工业能源、交通农业等诸多领域应用软科学方法研究，并取得丰硕的成果。上海市在 1982 ~ 1984 年制定“2000 年上海科学技术发展战略”时就应用了系统工程等科学方法。

沈阳市科技发展战略研究中心曾利用层次分析法对沈阳市 2000 年新技术发展进行过研究，机械电子工业部兵器工业情报所曾利用层次分析法对我国地面武器装备发展目标进行了研究，都取得了较好的效果，说明这种方法有其科学性和适用性。

但是，各种软科学的研究方法在我国石油工业发展规划和石油科技发展规划的制定过程中并没有得到很好的应用，或者说我国石油工业基本上没有应用任何定量的规划研究方法。软科学方法研究在国内石油工业界处于非常落后的地位。

根据文献调查和专家咨询，目前国内外还没有人把层次分析法用于石油科技和石油钻井科技规划中来。本文将利用层次分析方法的原理，建立石油钻井科技规划的层次结构模型和数学模型，首次形成一套制定石油钻井科技规划的定量研究方法，为科学制定 CNPC “十五”石油钻井科技规划提供科学依据。

二、关于石油钻井科技进步作用的评价方法研究

1. 联合国关于世界各国各地区科技情况的比较

联合国教科文组织在《1996 年世界科学报告》中是从以下三方面对世界各国各地区科技情况进行比较的：

- (1) 在从事科学技术活动的力量方面，以各国从事科技活动的财力和人力来衡量。
- (2) 在科学成果方面，以科学书刊出版率衡量。
- (3) 在技术成果方面，以专利登记数衡量，因为专利能反映出工业领域的技术创新和创造水平。

2. 关于石油科技进步

石油工业是资金密集、技术密集和知识密集型的行业。在当前国际石油工业面临低油价困难的形势下，国际石油工业界非常重视对石油科技进步作用的评价工作。但国外大部分注重的是单项技术对降低成本的作用，缺乏综合性的评价和研究。

当前，国内各主力油田均进入开发中后期，勘探、开采难度加大，客观上要求中国石油工业要更加注重科技进步，走上向科技要效益、以科技兴油的轨道上来。因此，建立石油科技进步指标体系，对于全面、客观地评价科技进步对石油工业经济发展的作用，对于制定合理的科技政策，促使石油企业以科技进步为动力来增强素质，提高自主经营、自负盈亏、自我约束、自我发展的能力，促进经济结构的调整与完善以及经济效益的稳步增长，推动中国石油工业和 CNPC 的发展有着十分重要的意义。

广义的石油科技进步主要包括以下几方面的涵义：(1) 生产资料效能的提高。(2) 劳动者生产技能的进步、素质的提高。(3) 改善社会生产管理、组织决策的科学化等等。

根据原中国石油天然气集团公司《石油经济核算体系》的要求，石油科技进步指标体系设置三类指标群：一是反映石油行业科学技术发展总规模；二是反映中国石油天然气集团公司的科技实力和水平；三是合理评价、定量测算科学技术对经济增长的贡献和作用，即科技进步贡献率。

3. 关于石油钻井科技进步

在衡量石油钻井科技进步和进行国内外石油钻井科技水平比较时，常用的方法如下。

- (1) 单项技术经济指标比较法，如平均钻井台年井数、平均钻机台年进尺、总进尺、总

井数、平均建井周期和平均钻井成本等。

(2) 单项技术水平比较法，如水平井数、最大水平位移、最大井深、小井眼数量、MWD 和地质导向仪器的数量和水平、电驱动钻机数量、顶驱装置数量等。

在上述各种指标体系中，科技进步贡献率是国内外近年来比较流行的、用于反映宏观科技进步作用的一个指标，同时又是一个仍然存在很多争议、引起广泛讨论的指标。从文献资料上，没有见到国外任何人进行过石油科技进步贡献率的研究工作，在国内外也都没有人进行过石油钻井科技进步贡献率的研究工作，在国内外也没有人对这些钻井技术经济指标与产储量的关系、各种钻井技术经济指标之间的相互关系和规律进行过研究。

第三节 主要研究内容和技术路线

一、石油钻井科技发展规划方法和“十五”钻井科技规划研究

1. 主要研究内容

- (1) 特尔菲法研究。
- (2) 层次分析方法研究。
- (3) 国内外石油钻井科技发展水平和趋势研究。
- (4) 石油钻井科技发展规划的层次模型（目标层、准则层和方案层）研究。
- (5) 石油钻井科技发展规划的层次分析方法应用。

2. 技术路线

在特尔菲法和层次分析方法的理论研究基础上，利用大量的文献资料研究国内外石油钻井科技的发展趋势、发展目标及要素关系，构筑石油钻井科技发展规划的层次模型，并进行计算和分析，得出对 CNPC “十五”石油钻井科技发展规划的建议。

二、石油钻井科技进步评价研究

1. 主要研究内容

- (1) 研究科技进步贡献率理论及其在石油工业方面的应用。
- (2) 研究石油钻井科技进步贡献率的模型，并对中国和美国的情况进行测算和比较。
- (3) 研究储量、产量、动用钻机数、井数、进尺、平均井深、平均台年进尺、平均台年井数和平均每米成本等各种要素之间的关系，通过回归分析的方法建立若干个能反映钻井技术经济指标发展规律的数学模型，试图建立石油钻井工作量的预测模型。

2. 技术路线

首先借助于理论分析，明确原理和思路，然后利用国内外大量的历史数据进行绘图、拟合，建立数学模型，最后利用这些模型进行计算、评价和预测。

第二章 特尔斐法研究与软件开发

第一节 特尔斐法的特点与应用

特尔斐 (Delphi) 是古希腊传说中的神谕之地，城中有一座阿波罗神殿可以预卜未来。特尔斐法，又称规定程序专家调查法，是由调查组织者拟定调查表，按照规定程序，通过函件分别向专家组成员征询调查，专家组成员之间通过组织者的反馈材料匿名地交流意见，经过几轮征询和反馈，专家们的意见逐渐集中，最后获得有统计意义的专家集体判断结果。美国兰德公司于 1964 年首次用特尔斐法进行技术预测。

一、特尔斐法的特点

1. 匿名性

为解除心理因素的影响，特尔斐法采取匿名函征询专家意见。应邀参加预测的专家互不了解，完全消除了心理因素的影响，可以充分发挥自己的智慧和经验作出独立的判断。同时也可参考前一轮的预测结果修改自己的意见，而无需作出公开说明。

2. 反馈性

特尔斐法不同于一般的民意测验，它需要达到交流的目的。但匿名调查又达不到相互交流的目的，它一般要经过 4~5 轮反馈来沟通情况。每轮预测，领导小组都对预测结果进行统计处理，把统计结果作为反馈材料发给每个专家，供它们作出下一轮预测时参考借鉴。

3. 统计性

一般情况下，集体讨论得出的结果只概括了大多数人的意见，不论怎样描述，也不可能表达专家集体中意见分歧的程度。特尔斐法采用统计方法对专家集体判断结果进行处理，使定性问题可以用定量方式来描述。这是特尔斐法的重要特点。

采用特尔斐法，可以比较精确地反映专家们个人的主观估计能力。对于一个具有严谨科学态度并具有广泛代表性的专家组，它们相对集中的意见应该说具有较大的可信度。

二、特尔斐法的应用

(1) 技术预测、经济预测、军事预测和社会预测。

(2) 短期预测和长期预测。

(3) 预测事物的量变过程和质变过程。

(4) 发展战略研究。

(5) 项目评估、决策和规划。

(6) 为决策提供多种方案和从备选方案中选优。

(7) 评价某一方案在全部方案中的相对重要性，对子系统（方案）在系统（总体方案）中所占的最佳比重作出概率估计。

自 1964 年以来，特尔斐法迅速普及世界各国。80 年代以来，我国很多单位也采用该法从事预测研究，但国内外还没有人把该方法用于石油科技预测和规划。

第二节 特尔斐法预测的四个阶段

一、确定预测主题，编制预测事件一览表

经典特尔斐法是从一张“白纸”开始，即第一轮向专家提供预测主题，而具体预测事件

则由专家提出。例如，1964年美国兰德公司首次用特尔斐法从事50年长远预测时，包括6个预测主题，具体为：科学的突破、人口的增长、自动化技术、航天技术、战争的可能和防止，以及新的武器系统。

应邀参加预测的专家围绕预测主题提出应预测事件，寄给预测领导小组。预测领导小组经筛选整理，排除重复的和次要的，形成一组预测事件。例如，经整理兰德公司的6个主题，一共包括49个事件，借此编制一个预测事件一览表供专家进行第二轮预测。

经典特尔斐法的优点在于，有益于充分发挥专家的个人才智和作用，但是某些专家由于对特尔斐法不甚了解或其他原因，不知从何下手，有时提供的预测事件也杂乱无章、无法归纳，同时也难以保证专家提出的预测事件符合预测要求。为了弥补这一缺陷，领导小组可根据已经掌握的资料或征求有关专家意见，预先编制一个预测事件一览表，要求专家就事件一览表作出预测。这就是一种派生特尔斐法。例如，国家科委1982年在制定长远科技发展规划时，就预先编制了一个预测事件一览表，其中包括10个主题72个事件。

根据预测要求，预测事件的内容有多种形式，主要有：

(1) 时间预测。预测某事件发生的时间，这是一种最常见的特尔斐预测。举例说，核反应堆维修机器人和智能机器人到哪一年能开发成功，到哪一年能为工业应用等。

(2) 比重预测。这是研究各部门的构成、行业结构、产品产量和品种构成的一种预测。

(3) 择优选择。在制定行业发展规划和产品开发计划时，可能有多种备选方案。如要求专家从中选择一个最佳方案，就叫作择优选择。

(4) 相对重要性预测。在实施科教兴国的战略中，我们要“有所为，有所不为”，我们应该把有限的资源和资金优先投放到什么地方？随着科学技术的发展，同一项任务有多种实现途径，同一课题和项目有多种方案可以实现，这就有一个比较各种途径和方案的相对重要性进行择优排队的问题。这就是相对重要性预测。这种方法无论对于制定宏观发展规划，还是研究方案选题，都具有重要的实用价值。

二、选择专家

特尔斐法是依靠专家就预测事件作出判断，因而选择专家是预测成败的重要一环。在选择专家时，有4个问题值得注意：

(1) 什么叫专家。特尔斐法选择的专家不仅仅局限于某些权威，因为权威人数是有限的。专家事实上是某个领域的专门人员，国外认为在一定领域连续工作10年以上的科技人员或管理人员都可称其为专家。

(2) 怎样选择专家。视预测问题的性质，可以从本部门选择应邀预测的专家，也可以从外部门选择；可以从国内选择，也可邀请国外专家参加预测。

(3) 选择什么样的专家。在从事技术预测时，选择该领域的技术专家是无可非议的，但是为了就预测事件从不同侧面、不同角度进行综合分析，求得集体效应最佳的方案，还应邀请相关学科的专家、边缘学科的专家、经济学家以及社会学家参加预测。选择专家时，还应考虑到不同学派、不同年龄、不同机构和不同地域等因素，以便专家组有广泛的代表性。

(4) 专家人数。若专家人数太少，限制了学科的代表性，也缺乏权威性；若专家人数太多，又给结果处理带来很多困难。经大量分析研究发现，专家人数以10~50人为宜，当然大型项目的预测，专家人数也可超过100人。但若人数过多，最好再按一定要求进行分组，以减少计算工作量。根据试验研究，15人以上的专家组得出的评价结果具有足够的可信度。

三、进行专家调查

经典特尔斐法一般经过 4 轮调查反馈过程。

第一轮：只提供给专家 1 个或几个预测主题，专家围绕预测主题提出应预测事件。预测领导小组对专家提供的预测事件进行筛选整理，归并同类事件，排除次要事件，形成一个预测事件一览表。

第二轮：把预测事件一览表发给每个专家，要求专家作出判断，并阐明理由，预测领导小组对专家意见进行统计处理。

第三轮：把统计结果作为反馈材料发给每个专家，要求专家在参考第二轮统计结果的基础上重新作出判断。有时在第三轮要求持不同意见的专家充分陈述它们的判断依据。因为它们的依据常常是其他专家忽略的一些外部因素，或未曾研究过的一些问题。它们的论点对其他专家重新作出判断往往产生重要影响。

第四轮：把第三轮的统计结果作为反馈材料提给专家，要求它们重新作出判断。

通过几轮反馈，每一轮专家意见都有所收敛，协调程度提高。通过 4 轮之后，专家意见一般可以达到相当协调，持不同意见的一般仅占 20% 左右。

自从兰德公司开发经典特尔斐法以来，出现了很多派生的特尔斐法，如第一轮提供咨询事件一览表，向专家提供背景资料，减少调查轮数，对咨询事件给出多重数据，部分取消匿名性，部分取消反馈性等。

第一轮提供咨询事件一览表，是调查组织者根据已掌握的情报，预先拟定一个咨询事件初表，在第一轮征询时提供给每个专家，要求专家们对此事件表进行评价，同时对咨询事件初表提出补充或修正意见。这种方法的目的是避免专家们可能由于开始时茫无头绪而出现无从下手的情况，以便比较顺利地进入第二轮调查。

经典特尔斐法要经过 4 轮调查，有时甚至 5 轮。许多特尔斐法的实践表明，经过 3 轮征询，专家意见已相当协调，估计比较集中，论点比较一致，可以认为已取得预期的效果，不必进行第四轮调查。如果要在短期内作出评估，可以在第一轮提出咨询事件一览表，采用两轮调查也可以得到满意的结果。对于方案、成果的评估，通常采用减轮调查。国内完成的特尔斐调查，绝大多数是采用减轮调查方法。

四、调查结果的处理和表达

对应答结果进行处理和表达，是特尔斐法的最后一个阶段，也是最重要的一个阶段。根据大数定律和中心极限定理以及大量的实验表明，特尔斐法的专家意见概率分布服从或接近服从正态分布。这是我们对特尔斐法进行数据处理的数学基础。这里，作者着重讨论一下相对重要性预测的结果处理问题。

相对重要性预测主要是对多方案进行优选排队。专家们对方案相对重要性的评价结果，可以用专家意见的集中程度、专家意见的协调程度、协调程度的统计显著性、专家积极性系数和专家的权威程度等 5 项指标来进行评定。

在计算专家意见的集中程度和协调程度时，需要对方案进行等级排序。专家对每个方案经主观评定后，按其优劣程度或可能实现的概率定量地评分，评分值为 0~100，分值越高，表示方案越优或实现的概率越大。等级排序的方法是，用自然数按其分值大小表示各方案的等级，1 级表示等级最高，N 级最低，如表 2-1 所示。也有直接对方案采用自然数值排序的方法来确定优先顺序的。本次研究调查即采用了这种方法。

表 2 - 1 某专家对 N 个 (表示若干之意) 方案的评价排序 (无相同评分)

方案	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
评分值	70	65	80	95	75	60	90	55	100	85
等级	7	8	5	2	6	9	3	10	1	4

如果某个专家对 N 个方案中的某几个方案给了相同的评分, 显然, 这几个方案的等级应当相同, 它们的等级用这几个方案的自然数列的算术平均值表示。例如, 表 2 - 2 中有 2 个方案得 100 分, 3 个方案得 70 分。所以, 100 分的 2 个方案的等级为: $(1 + 2) / 2 = 1 \frac{1}{2}$; 70 分的 3 个方案的等级为: $(5 + 6 + 7) / 3 = 6$ 。

表 2 - 2 某专家对 N 个 (表示若干之意) 方案的评价排序 (有相同评分)

方 案	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
评 分 值	70	100	90	70	100	70	80	50	40	30
自然数列	5	1	3	6	2	7	4	8	9	10
等 级	6	$1 \frac{1}{2}$	3	6	$1 \frac{1}{2}$	6	4	8	9	10

1. 专家意见的集中程度

专家组对各方案相对重要性的意见集中程度, 一般以每一方案得分的算术平均值、满分频率、等级和 3 个指标表示。

(1) 方案算术平均值的计算。

表 2 - 3 中列有全部专家对各个方案的评分值 C_{ij} , 把表中的分值代入下面公式, 即可求出各方案评分的算术平均值为

$$X_j = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} C_{ij} \quad (2 - 1)$$

式中 X_j ——对 j 方案全部评分的算术平均值;

m_j ——参加 j 方案评价的专家人数;

C_{ij} —— i 专家对 j 方案的评分。

算术平均值 X_j 的数值在 0 ~ 100 之间, X_j 值越大, 表示该方案的相对重要性越大。

表 2 - 3 方案相对重要性评价表

专 家	方 案					
	1	2	...	j	...	n
1	C_{11}	C_{12}	...	C_{1j}	...	C_{1n}
2	C_{21}	C_{22}	...	C_{2j}	...	C_{2n}
...
i	C_{i1}	C_{i2}	...	C_{ij}	...	C_{in}
...
m	C_{m1}	C_{m2}	...	C_{mj}	...	C_{mn}

(2) 方案满分频率的计算。

方案的满分频率是指对某方案给了满分的专家人数与对该方案给了评分的专家总人数之比，所以有：

$$K_j = \frac{m_j}{m_j} \quad (2 - 2)$$

式中 K_j —— j 方案的满分频率；

m_j ——对 j 方案给满分的专家数；

m_j ——参加 j 方案评价的专家总人数。

K_j 值在 0~1 之间。 K_j 值越大，表示对该方案给满分的专家人数越多，它从另一角度说明该方案具有较大的相对重要性，可以作为 X_j 的补充指标。

(3) 方案等级和的计算。

某方案的等级和就是每个专家对该方案评价的等级相加的算术和。

首先将专家们对每个方案的评分列入评价排序表（表 2 - 4）中，按方案的评分进行等级排序，然后计算各个方案的等级和为：

$$S_j = \sum_{i=1}^{m_j} R_{ij} \quad (2 - 3)$$

式中 S_j ——对 j 方案评价的等级和；

R_{ij} —— i 专家对 j 方案的评价等级；

m_j ——参加 j 方案评价的专家总人数。

显然，方案的等级和 S_j 的数值越小，该方案的相对重要性就越大。

表 2 - 4 专家对方案评价的排序

专 家	方 案											
	1		2			j			n	
	分值	等级	分值	等级	分值	等级	分值	等级	分值	等级	分值	等级
1												
...												
m												
等级和 S_j												

2. 专家意见的协调程度

人们不仅需要了解专家对某方案的集中意见，同时还想掌握专家对某方案的意见是否比较一致，即专家意见的协调程度。例如， j 方案得 60 分，这里可能有两种极端情况，一种情况是所有专家都给 60 分，这时 j 方案的离差平方和为零，因为专家意见完全一致；另一种情况是一半专家给 20 分，另一半专家给 100 分，结果 j 方案的算术平均值也是 60 分，但这时， j 方案的离差平方和高达 9600。在这种情况下，第一个结果是可信的，而第二个结果就值得研究，因为专家意见离散太大。

变异系数和协调系数都是表示专家意见协调程度的指标，不同的是，变异系数是通过计

算评分值来表示 m_j 个专家对 j 方案评价意见的离散程度；协调系数是通过计算等级和来表示 m 个专家对全部 n 个方案评价意见的协调程度。

(1) 变异系数的计算。

变异系数又称离散系数，用 V_j 表示，它是全部专家对 j 方案相对重要性评分的标准差与算术平均值之比。变异系数的大小表示专家评价的波动程度，可以反映专家意见的一致性。 V_j 的计算步骤如下：

计算全部专家对 j 方案评分的方差 σ_j^2 。

方差代表专家评分的离散程度，其计算公式为：

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} (C_{ij} - X_j)^2 \quad (2 - 4)$$

式中 C_{ij} —— i 专家对 j 方案的评分；

X_j ——对 j 方案全部评分的算术平均值，由 (2 - 1) 式计算；

m_j ——参加 j 方案评价的专家人数。

计算对 j 方案评分的标准差 σ_j 。

标准差是方差的平方根，代表专家评分的变异程度，其计算公式为：

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_j^2} = \sqrt{\frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} (C_{ij} - X_j)^2} \quad (2 - 5)$$

计算变异系数 V_j 。

变异系数 V_j 的计算公式为：

$$V_j = \frac{\sigma_j}{X_j} \quad (2 - 6)$$

变异系数 V_j 的值越小，表明专家意见的协调程度越高。

(2) 协调系数的计算。

协调系数是衡量专家意见协调程度的另一个重要指标，用 W 表示，其计算步骤如下：

计算全部专家对 j 方案评价的等级和 S_j 。

将全部专家对 j 方案评价的等级相加得出的 S_j 列入评价排序表中，见表 2 - 4。

计算全部专家对全部方案评价等级总和的算术平均值 $X(S_j)$ 。

$$X(S_j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j \quad (2 - 7)$$

式中， n 为方案数， $j=1, 2, \dots, n$ 。

计算全部专家对 j 方案评价的等级和与全部专家对全部方案评价等级总和的算术平均值之差 d_j ，其公式为：

$$d_j = s_j - X(S_j) \quad (2 - 8)$$

计算协调系数 W ，其公式为：

$$W = \frac{\sum_{j=1}^n d_j^2}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n)} \quad (2 - 9)$$