

# 立足科学前沿 找准科研突破口<sup>\*</sup>

刘广志

(国土资源部 咨询研究中心, 北京 100812)

**摘 要:**叙述了笔者艰难的求学历程及其在逆境中不断进取、勇于创新的精神。详细介绍了笔者在推广小口径金刚石钻探技术、创造控制地面沉降“上海模式”, 实施中国大陆科学钻探工程等工作中所发挥的重要作用。

**关键词:**小口径金刚石钻探;人造金刚石;地面沉降控制;大陆科学钻探

**中图分类号:**P634;P633 **文献标识码:**C **文章编号:**1000-3746(2001)S1-0001-04

## 1 思维形成背景

我出生在北平一个教师家庭里。身为教师的父亲对儿辈们的学习抓得很紧,经常教导我们“人生一世瞬间即逝,浪费时间和荒废学业是最大的浪费”。在父亲的影响下,家庭里学习气氛非常浓厚,我自幼养成了嗜读新书的良好习惯。1931年“九·一八”事件爆发,当天夜里,父亲把我们兄弟4个召集在一起摊开地图说,日本的国土那么小,它为什么敢欺负我们中国呢?因为咱们穷,工业落后,国力太弱。

1942年,我抱着工业救国的思想,考入了国立西北工学院(原北洋大学),选择了航空专业,想学习制造飞机的本领,造出性能优良的战斗机打击日本鬼子。读到二年级时我遇到困难,因为家境清贫,每月仅靠12元贷金生活,除了伙食和零用,口袋里分文没有。而专业课程要求必须购置24件的绘图仪和进口的大号计算尺,因买不起“这两大件”,我无法绘制繁复的图纸,也无法完成艰难冗长的计算。我整日心慌意乱。在困境中我想到了一个办法,即利用选修课的机会,把一些基础课程,如空气动力学、内燃机、机械学、材料学等先学完,我想无论如何,这些知识都是通用的。第二年快结束时,我忽然想到了一个念头,我既然“上不了天”,读不了航天系,我还“入不了地”吗?我决定转读采矿系。

插班就读采矿系后,要补习的课程特别多,有地史学、地质学、金属采矿学、采煤学等等。另外,还要学排水、通风、运输、爆破等技术知识,这时我才领悟到庄子说出“吾生也有涯,而知也无涯,以有涯逐无涯,殆矣!”时的焦虑与无奈。我找到了适合自己特点的高效率的读书方法:新书到手,先看提要、序言、

前言,熟悉的内容就一带而过,新的观点、新的理论一定要弄明白,对于重点细嚼慢咽,吸收其精华。同学们说我读书图快,我是取其精华地读,说实话,我从未从头到尾读过一本书,但我考试的成绩不比别人差,有的同学说我有“天赋”,其实是言过其实了,“天赋”来自勤奋,我不过是掌握了学习的方法而已。

在大学里的学习经历是曲折的,但却培养了我逆境中奋起的精神,更重要的是我学会了找到突破口、摆脱困境的方法,这对于我以后开展科研工作是有裨益的。

在众多的采矿书籍中,有一本书对我的影响十分深远,它是采矿专家李善堂先生写的《石油钻采工艺学》。他在书中不但讲了石油钻采技术,还讲了我国石油工业的落后状况,当时只有甘肃玉门一家油田,并介绍了老一辈石油专家不畏艰难险阻,在荒漠勘探油矿的事迹。这本书使我终生与钻探事业结下了不解之缘。大学毕业后我立即西出阳关到了玉门油田,当上了钻井工程师。

解放前夕我回到了北平。刚一解放,即由华北人民政府企业部指派到北京地质调查所负责筹建新中国的地质钻探工作。我的人生之路又面临着重大的转折和严峻的考验,孑然一人如何开展工作?我感受到了肩上的压力,由于有党组织的大力支持,我决心勇往直前,大干一番。当然,困难是客观存在的:第一,我虽然研习石油钻探有几个年头了,但地质钻探从来没有搞过;第二,地质钻探对象是诸如花岗岩等一类坚硬岩石,旧中国没有自己的大规模钻探工业,勘探的矿种仅有煤、铁、铜等,50年钻探工作总量不过12000m。要在这样的烂摊子上创业,

<sup>\*</sup> 本文曾刊登于2001年4月中国工程院委托安徽教育出版社出版的、由卢嘉锡院士主编的《院士思维》上,此次刊载作了若干修改

收稿日期:2001-08-29

作者简介:刘广志(1923-),男(汉族),广东番禺人,国土资源部咨询研究中心咨询委员,中国工程院院士,《探矿工程(岩土钻掘工程)》杂志顾问,北京市海淀区大慧寺20号(100081)。

前程充满了艰难险阻。

面临挑战和困难,我对比了新旧社会两重天,看清了历尽艰辛是坦途,为新中国钻探事业开创新局面的大好时机已经到来,时不我待,我何以能退缩不前呢?1950年,我组织起几支由新老工人组成的新中国钻探工程队,带领队伍奋战在祖国各地,开始了我人生道路上的新的征程。

作为一个科技工作者,多年来的工作实践使我悟出了这样一个道理:科技工作者不但要有知难而进的大无畏的精神,更要有找到克服困难的途径和方法的智慧与谋略。在科学探索的征途中,善于找到解放疑难问题的突破口,是科技工作者必备的素质。新中国的钻探事业之所以能在较短的时期里取得长足的进步,是与全体钻探科技工作者积极开展科学思维,敢于创新,勇于突破分不开的。在此,我想结合亲身的工作经历,谈谈自己在科技探索过程中,是怎样找到突破口的。

## 2 思维重点

### 2.1 抓主要矛盾,促使钻探技术发生革命

进入第一个五年计划末期(1959年),我国地质工作实现了多工种综合勘探,钻探业发展迅猛,工作量大增,应用领域更加广阔,勘探矿种更多,但钻探工程的效率低,工程质量差,成本高。

当时钻探中软岩层主要使用各种不同镶嵌式的硬质合金钻头。钻探硬岩层主要使用铁砂,后改用钢丝切制的钢粒,钻进低,钢材耗费十分惊人。我国地质钻探主要是为地质找矿服务的,钻探对象又主要以固体矿产为主,落后的钻探工艺使我国的地质钻探面临2大难题:第一,硬~坚硬岩矿层(可钻性7~12级)占70%,钻进速度低,有的甚至用常规方法钻不动。第二,矿层矿化得越好,蚀变程度越高,构成矿层和顶底板的“硬脆碎”的特征就越明显。取矿心十分困难,取心率不足,品质不好。人为贫化或富集现象严重;岩矿心纯洁性差,代表性不足,钻孔完全满足地质要求的比例只达到50%左右,严重影响了矿床的评价速度、质量和准确性。

从何处着手改变这种落后的局面呢?什么是主要矛盾呢?我们的主攻方向在哪里?我觉得,要解决这些难题,还得从改革钻探磨料着手——以钻头为突破口。方向就是用金刚石作为钻头磨料。理由很简单,因为地球上再没有比金刚石更硬更耐磨的材料了。我当时查阅了大量的国外资料,西方国家使用金刚石做钻头已有100多年的历史了,多年的

实践证明它是成功的。但在中国,天然金刚石资源十分稀缺,它的价值比金子还要贵重。针对中国的实际情况,我建议从2方面着手:一是自主研制人造金刚石,二是缩小现有钻探管材的系列口径,使钻头缩小,以减少金刚石的用量。建议得到地质部领导的重视,地质部随即提出了“两年打基础,三年大发展,十年基本小口径化(即金刚石化)”的奋斗目标,1960年地质部部长会议颁布了《关于推行小口径金刚石钻探方法的几项规定》(草案)。

使用金刚石的方向定了,如何确定切合实际的技术方针呢?于是又提出了“立足国内,协同攻关”的设想。因为当时资本主义国家对我们搞封锁,连金刚石的产品都拒绝出售给我们,在不得已的情况下,只能走“自力更生”的道路。研制人造金刚石是一个复杂的系统工程,它涉及到固体物理学、高温高压物理学、粉末冶金学、材料学等多门学科,并涉及到粉末冶金、触媒材料、高纯炭精粉等合成材料的工艺,以及高温高压设备等,因此必须发挥社会主义制度的优越性,实现学科交叉,院所协作,研究和生产联合,在有关部门的牵头和协调下,我们组织了有关的院所和行业的专家,实行分工大协作:若干重要的金刚石钻头钻进理论问题由大学探矿工程系的教授们去潜心研究;金刚石钻头研制由勘探技术研究所负责;硬质合金顶锤压缸由钻探工具厂负责;金刚石压机由探矿机械厂研制;金刚石生长的载体请吉林工业大学、沈阳冶金所等单位研制。

人造金刚石的研制工程终于顺利地开展起来。1963年我国成功地制造出第一颗人造金刚石,1965年转入中试,1969年即能大批生产。1964年已开始小批量生产人造孕镶金刚石钻头,1966年特地进口了一批日本天然表镶金刚石钻头,我同赵尔信、袁培仪等同志将2种钻头在河南钻探九队作了对比试验,结果表明:(1)人造金刚石钻头的性能并不比天然金刚石钻头逊色。(2)国产钻头的钻进效果不比从日本进口的差。1970年,地质部正式确立了“立足于国内,立足于人造”的推广方针。

大规模推广后,仅到1988年,全国金刚石钻头总进尺就达到1313万m,完成钻孔44000个,完全满足地质设计要求的钻孔比例高达93.5%;每年至少可为国家节约投资2000万元,钢材6000余吨;仅在1984年获地矿部奖励的50个地质找矿项目中,就有28项用了人造金刚石钻探方法进行普查勘探,其潜在资源价值达7500亿元。

国外用了100多年才得以普及的小口径金刚石

钻探技术,中国只用了 20 年就取得丰硕的成果。一个以研制人造金刚石制品为主的体系已经形成,人造金刚石钻头制造工艺学已经形成,即方法齐全,品种、口径、管材等已形成系列,并实现了标准化,金刚石钻探有充足的钻头资源,完全不依赖从国外进口。

## 2.2 联想思维出新路,创立控制沉降“上海模式”

我国的城市和国外许多城市一样,面临着一个共同的难题——地面沉降。我国最大的工业城市上海自 1921 年起就发现了地面沉降现象。由于地面沉降,造成了沿江地区潮水上涨,地面积水,房屋倾裂。到解放前夕,上海市区累计平均沉降量为 0.639 m,有的地区沉降竟达 1.1 m。解放以后,地面沉降的范围不断扩大,并以市区为中心形成蝶形的沉降洼地。到 20 世纪 60 年代初,这个沉降中心区的最大累计沉降量达到 2 m 以上。由于长期持续的沉降,地面平均高程约 2.3 m,市中心平均高程约 2 m。这一高程与防汛墙一墙之隔的黄浦江水位相比,黄浦江已成为地上河,黄浦江水位一年有 480 多次高于 3 m,每当台风和暴雨袭来时,甚至可达 5 m 以上,黄浦江最高潮位几乎与防汛墙持平,一旦防汛墙被冲决,洪水越墙而过,后果不堪设想。

上海的发展面临着严峻的考验,要消除地面沉降造成的隐患,必须首先查明造成沉降的原因。1960 年春,上海举行专家研讨会,寻找地面沉降原因和对策,我应约出席了会议。在会上,各方面专家众说纷纭,对地面沉降提出了种种猜测,大家的看法都集中在所谓的海平面上升、新构造运动、江底沉砂等方面,这些看法尽管似乎有道理,但经过仔细推敲后,都一一排除了。为此,与会者都深感困惑。

我也陷入了苦思之中,究竟沉降原因何在?经过几天的思索,我联想到油田开采时也会发生地面沉降现象,为了防止地面沉降,采取边开采边向钻井注水的方法,能有效地控制住沉降。上海地面沉降,会不会是过度开采地下水的缘故?我把自己的想法带到会议上,查阅了上海地下水开采记录,从用水的数据分析,发现工业区地下水的过度开采,使含水层压密,造成地面沉降。于是我建议设立观测标孔,进行以余山为基准的精密监测,以判明各含水层的变形量,从而确认开采地下水地面沉降的影响。我的建议得到了专家们的赞同。

自 1962 年起,上海地矿局及所属单位对上海市区地面沉降进行了系统的监测和研究。为了使测得的含水层变形量绝对可靠,我参与设计了第一批高精度基岩标和分层标及标孔,这 2 种观测标点的钻

孔都要求垂直,分层标孔还要求精确地控制好层位;地质队施工过程中我还给予具体的支持,以确保施工质量。经过长期的观测和研究,在取得大量数据的基础之上,基本上摸清了地面沉降的规律,对地下水量、水位与地面沉降之间的关系作了定量分析,并在地下水开采、回灌、承压水头和地面沉降量之间建立了数学物理方程,初步掌握了四者之间的关系,得出了地下水的开采是导致上海地面沉降的主要原因这一正确结论。

上海市政府自 20 世纪 70 年代起明令限制地下水的开采,并且采取了“冬灌夏用”的措施,经过 10 多年的实践,到 80 年代中期,上海这个全国最大的工业城市基本上控制了自 20 代就开始的地面沉降问题,并形成了控制地面沉降的“上海模式”,这一模式自 90 年代起,为全国许多城市所效仿。

## 2.3 立足科学钻探前沿,重铸中国钻探业辉煌

中国的钻探技术有过辉煌的历史,钻探工程始于公元前 254~公元前 251 年。祖先们发明了冲击钻探工艺,用来勘探与开发卤水和天然气。公元 1041~1048 年(宋庆历年间)又发明了小口径冲击钻探工艺(当时称卓筒井),1835 年(清道光年间)凿成了世界上第一口 1001.42 m 的深井,至今仍生产卤水与天然气,持续达 160 多年之久。中国的钻凿工艺技术对人类社会能源的变革和开发起了巨大的作用。中国的钻井技术与指南针、火药、造纸、印刷术交相辉映,可以称得上是第五大发明。世界著名科技史专家李约瑟先生在他的巨著《中国科学技术史》中有详细的记载,并做了高度评价。

近 50 年来,中国的钻探事业取得了长足的进步,获得了一系列引人瞩目的成就。但是,与发达国家相比较,差距也是明显的。

我国的钻探业要有大的发展,其突破口在哪里?这是我一直在思考的问题。我密切关注世界钻探科技的发展新动向,立足学科发展的前沿。要把握学科发展的新动向和站在学科的前沿,就必须具有高度的思想敏锐性,及时收集和综合各种信息。1972 年,我在《科学美国人》(American Scientist)杂志上看到一篇题为《深海钻探 10 年》的文章,它讲述了深海钻探的来龙去脉,大胆预测了深海钻探的前景;在不久的将来,将钻穿地壳岩石圈到达上地幔,以研究大洋洋底的沉积和演化;科学钻探证实了大地扩张说、板块构造说等地质科学的最新理论。这篇文章给我的印象如此之深,以致我后来时时要关注深海和大陆钻探的动态与进展。

深海钻探,自 20 世纪 70 年代以来发展非常之快,1968~1983 年,世界发达国家用 96 个航次在 642 个钻区钻了 10926 个钻孔,取岩心 9500 m,最大水深达 6247 m,水下最大钻孔深 1412 m,钻入玄武岩 563 m。深海钻探获得了大量有关地壳中的地球物理场和流体,以及地壳动力的数据,为研究地壳深部岩石圈、生物圈、水圈的组织结构、物质成分、形成机理等提供了极其珍贵的信息,为解决一系列与人类的生存息息相关的地质问题,如能源、矿产资源、地质灾害、环境污染和治理等指明了途径,深海钻探因此也被称为“深海科学钻探”。一些国家还开展了大陆科学钻探,并取得了辉煌的成就。苏联于 1986 年在科拉半岛钻出了深达 12262 m 的第一口超深孔(CI-3),发现了不可思议的“不该出现的深部循环流体”,包含烷类、氢、氦等 8 种气体,它们在深达 11500 m 处均匀地、平稳地进行循环,还发现了有关地震、地磁方面的新现象。这些现象与传统理论是格格不入的,1984 年苏联人的发现一经公布,立即震动了全世界的科学家!美、德、法、日等数十个国家都纷纷制订科学钻探计划,科学钻探的热潮在世界范围内掀起。还发现了非生物原油气资源,为人类带来了无限的替代性能源前景。

科学钻探无疑为中国钻探事业的大发展提供了一个契机!我清醒地认识到:科学钻探热的到来,预示着一场新的地质革命将要来临,它将使人们对于地球的认识提升到一个崭新的高度。它的意义不仅限于认识上的,对于我们今天社会主义现代化建设实践也起着至关重要的作用:科学钻探可以帮助我们寻找深部固体矿产资源,开发深部能源(常规与非生物源的碳化氢类和干热岩地热);进行地震与火山灾害有效地监测,寻找全球气候以及环境变化的原因;查明财富资源的分布状况;对核废料以及其他有害废料进行无公害处理,等等。总而言之,它与我们开发和合理利用资源,保护生态和生存环境,实现可持续发展是休戚相关的。科学钻探又将使我国的钻探技术出现新的飞跃,因为常规的钻探方法在坚硬的地层中进行取心钻进是难以奏效的,科学钻探必须采取特殊的、非常规的工艺方法,以适应难度极高的钻孔环境。它必须解决一系列的理论与实践问题,如高温高压下岩石破碎机理和冲洗液胶体化学和水力学原理;钻杆柱之弹性力学、断裂力学、震动力学性质;高温高压状态下新材料、新工具、新型钻头及钻进与成井工艺等等。

我把自己的想法告知了钻探界几位资深学者,

得到了他们热烈的响应,我们紧急行动起来,组织了多位钻探和探矿机械方面的教授、专家和翻译人员,编译科学钻探文集,到 1993 年,《陆壳科学钻探文集》已出版了 8 册,计 250 万字。我在多种场合下宣传在中国开展科学钻探的重要性和紧迫性,我的论文《关于迅速在我国开展大陆科学钻探的建议》、《中国开展科学钻探的重要性和可行性》引起了有关部门的高度重视,1989 年,中国正式组成“大陆科学钻探科研规划小组”,该小组经过 4 年的调查与论证,形成了中国大陆科学钻探计划实施方案。国家计委在“中国中长期重点科研规划”中已经规定,中国的科学钻探由浅到深,近期目标:5000 m 左右的中浅孔,优选地区为大别山-胶南地带;长远目标:10000 m 以上的超深井,优选地区可能在青藏高原。中国的科学钻探事业受到了国际钻探界的注意,已接纳中国参加国际岩石圈计划 CC-4 组(大陆钻探),我被选为该组织的正式成员。我国与美、德、日、俄等国已建立起联系,并准备合作进行大陆科学钻孔项目的研究和实施。加入了国际大陆科学钻探计划(ICDP)并获资助,1999~2000 年先后钻成预先导孔 2 口,孔深分别为 430 和 1000 m。2001 年 8 月 4 日,深 5000 m 的主孔已正式开钻。

### 3 学科前瞻

21 世纪,中国的钻探事业面临新的挑战,有着广阔的发展前景。探矿工程将发展成为一支多功能、转轨变型快的队伍,科研和工程技术方法将取得更大的进步,以攀登新的钻探科技的制高点。钻探科技工作者将在新一轮的国土资源大调查中大显身手,探明更多的矿藏资源;有望进入开发西北太平洋深海多金属结核矿产资源的新领域,并参与南极洲北极冰川、冻土带以及北极科学院考察的各项钻探活动;更多地参与大规模公路和铁路桥梁的建设工程;对预测地理自然灾害和地球气候变化提供更多、更可靠的信息资料和治理技术方法。

我十分看好中国的科学钻探事业,开始实施的江苏东海县第一口 5000 m 科学钻探主孔,将为我们反映超高压变质带的高地震波速、高电阻率层的信息,对研究矿化、壳-幔作用的地震起重要作用,并将为实施超深井的科学钻探打下良好基础。随着科学钻探事业的发展,具有中国特色的先进钻探技术,如人造金刚石钻探技术、全孔取岩心技术、绳索取心钻进技术、保持钻孔稳定技术,以及与之并行的计算机控制优化钻进技术都取得极大的发展。