

编者按:在举国喜迎新中国成立 70 周年之际,我国著名钻探专家王达领衔,多位钻探界专家学者参与,历时 3 个多月,查阅了大量的文献和史记资料,完成了这篇回顾新中国探矿工程 70 年发展历史的文章。文章在总结取得的历史成就和宝贵经验的主线上,还从宏观层面对基本规律进行归纳,把各个历史时期的经验贯通起来,同时放在全球的视野中进行评述,从探矿工程这个行业的侧面,体现了我们国家已经从国际体系的旁观者转变为全球治理的参与者、建设者和贡献者。但作为 70 年来一个行业发展的总体回顾,限于篇幅和作者亲历及掌握的资料有限,肯定有不少遗漏,欢迎广大同仁提出补充或修改意见。这部探矿行业的发展史,有每一位探矿人的贡献,期望同仁们能写一些回忆文章,本刊将在相关平台上给予展示和发布。

地质钻探工程的发展历程与展望

——回顾探矿工程事业 70 年

王 达^{1,4}, 赵国隆², 左汝强², 孙建华³, 周红军^{3,4}, 张林霞^{3,5}, 李 艺^{3,4}

(1.中国地质调查局,北京 100037; 2.自然资源部,北京 100812;
3.中国地质科学院勘探技术研究所,河北 廊坊 065000; 4.《探矿工程(岩土钻掘工程)》编辑部,北京 100037;
5.中国地质学会探矿工程专业委员会,河北 廊坊 065000)

摘要:伴随着新中国的建立和发展壮大,我国的探矿工程事业从无到有,从小到大,从弱到强。70 年来,通过几代探矿人的坚持不懈和努力奋斗,目前我国地质钻探技术水平基本与世界同步,在许多方面达到世界先进水平,有些钻探技术、装备已处于世界领先地位。在庆祝新中国成立 70 周年之际,从整个地质行业乃至整个国家工业发展的维度上回顾我国探矿工程 70 年的发展历程,大致划分为 4 个阶段:新中国成立初期探矿工程创建起步阶段(20 世纪 50—60 年代);探矿工程技术稳步快速发展阶段(20 世纪 70—80 年代);探矿工程扩大服务领域阶段(大致为 20 世纪最后 15 年);钻探工程技术全面、深入发展,逐步进入世界一流的阶段(21 世纪以来)。分别对这 4 个阶段所发生的重大事件以及取得的主要技术成果进行了回顾和总结,阐明了 70 年来探矿工程为国家经济建设、为我国成为至今世界上唯一制造业体系最完整的国家做出的重要贡献。展望了在深地探测、大洋钻探、极地钻探、水合物及干热岩等新型资源勘查、环境工程等领域以及智能化等方面钻探工程的发展前景。

关键词:探矿工程;地质钻探;发展历程;庆祝新中国成立 70 周年

中图分类号:P634;P633 **文献标识码:**C **文章编号:**1672-7428(2019)09-0001-031

The development and outlook of geological drilling engineering —To review the 70th anniversary of exploration engineering

WANG Da^{1,4}, ZHAO Guolong², ZUO Ruqiang², SUN Jianhua³,
ZHOU Hongjun^{3,4}, ZHANG Linxia^{3,5}, LI Yi^{3,4}

(1.China Geological Survey, Beijing 100037, China;
2.Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, Beijing 100812, China;
3.Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;
4.Editorial Board of Exploration Engineering, Beijing 100037, China;
5.Mineral Engineering Committee, Geological Society of China, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: With the establishment and development of New China, China's exploration engineering has grown from nothing, from small to large, from weak to strong. Through the persistence and hard work of several generations of prospectors, the geological drilling technological level in China has basically kept pace with the world, reaching the world advanced level in many aspects in the past 70 years. And some drilling technology and equipment are in the

收稿日期:2019-09-04 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.09.001

作者简介:王达,男,汉族,1943 年生,中国地质调查局原副局长,探矿工程(岩土钻掘工程)杂志顾问、名誉主编,教授级高级工程师,博士生导师。

引用格式:王达,赵国隆,左汝强,等.地质钻探工程的发展历程与展望——回顾探矿工程事业 70 年[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):1-31.

WANG Da, ZHAO Guolong, ZUO Ruqiang, et al. The development and outlook of geological drilling engineering—To review the 70th anniversary of exploration engineering[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(9):1-31.

leading position in the world. During the celebration of the 70th anniversary of New China founding, the development of exploration engineering in China is summarized from the perspective of the whole geological industry and even the whole national industrial development in the past 70 years, which can be roughly divided into four periods: The initial period of the exploration engineering in the early founding days of New China (1950s to 1960s); The steady and rapid development period of exploration engineering (1970s to 1980s); Expanding service area period of exploration engineering (roughly the last 15 years of the 20th century); Comprehensive and in-depth development period of exploration engineering, gradually entering the world-class stage (since the 21st century). The paper review and summarize the major events and main technical achievements in these four stages respectively, and illuminate the important contributions made by exploration engineering to national economic construction and China's being the unique country with the most complete manufacturing system in the world up to now. Looking forward to developing prospects of drilling engineering in deep earth detection, ocean drilling, polar drilling, exploration of hydrate and dry hot rock new energy, environment engineering etc, as well as drilling intellectualization, etc.

Key words: exploration engineering; geological drilling; development; to commemorate the 70 anniversary of the New China founding

0 前言

70年前,当中华人民共和国正在紧张筹建之时,新中国的第一台钻机在北京西山巍巍竖起。刘广志院士生前回忆:“1949年7月,在北京门头沟煤田开始了新中国第一个实验钻孔,工人们发挥了当家作主的积极性,9月中旬就高质量地完成了500m的取心钻探任务,全体光荣地参加了十月一日中华人民共和国成立大典”^[1]。由此开启了我国钻探工程新的一页。

地质钻探工程是地质工作多工种合成作战的重要方面军,是地质调查、矿产勘探、工程地质勘察、地球与地外行星科学研究、验证地质认识、直接获取地下实物的唯一技术方法,也是各种工程基础、隧涵洞、环境保护和地质灾害防治等工程施工的重要技术方法,同时钻孔(井)为获取地下地质体信息、探测深部地壳、开采矿产资源、建设地下实验室或观测站等提供通道。

70年来,我国探矿工程事业从无到有、从小到大、从弱到强。最辉煌时,全国开动地质岩心钻机达到5600多台,专业研究单位10多所,有相关专业的大中专院校近10家,生产钻探装备的企业几十家,年度地质钻探工作量最高达到2000多万m。探矿工程学科(目前改称为地质工程^①)也逐步丰富完善,有了以钻探为主体的坑探、掘机三大分支专业,形成了完整的探矿工业技术体系。

截至2017年底,我国已发现矿产173种^[2],其中绝大部分矿产的储量是通过探矿工程技术取得的,矿业已成为国民经济建设的重要基础产业。

我国是世界钻探技术的发源地,渊源于远古时代掘凿井技术。早在四五千年以前的史前期,就有

“黄帝穿井”等传说,战国末期已开始用简单器械凿井,秦国李冰指导民众开凿大口盐井,宋代时代已由大口浅井向小口深井过渡,发明了竹篾绳索式冲击钻进法——卓筒井,并于1835年在四川自贡钻成世界第一口超千米深井——1001.42m的燊海井,这是世界钻探史上的一座丰碑。

今天,当国家踏入新的征程,全国上下正在努力建设普惠包容的幸福社会,致力构建人与自然和谐共处的美丽家园之际,我们探矿界全体同仁也要抢抓科技创新的制高点,为建设世界科技强国,实现“两个一百年”奋斗目标,实现中华民族伟大复兴中国梦的远大目标做出自己的贡献。

“相对于微观领域的历史经验研究,我们更需要从整个国家的全局性、整体性、宏观性角度,来总结贯穿于各领域各行业的基本规律和共性经验^[3]”。在庆祝新中国成立70周年之际,将70年探矿工程的历史放在整个地质行业乃至整个国家工业发展的维度上总结,据此,我们将70年历程大致划分为4个阶段,每个阶段既是国家发展的台阶,更是钻探技术发展阶段划分的标志。用今天的视角去讲述70年探矿工程的发展历程,总结不同时期的经验,把各个历史时期的经验贯通起来,意在使较年轻的探矿人,随同老一辈重返那跌宕起伏、艰苦奋斗的岁月,

^① “地质工程”是“地质资源与地质工程”一级学科下属的二级学科,在以原二级学科“探矿工程”和“水文地质与工程地质”为主体的基础上相互交叉渗透发展起来的。它以现代钻、掘工程技术、现代测试和计算机技术为手段,以工程涉及的地质体及工程所在的地质环境为研究对象,服务于矿产资源勘查与开发,土木、水利工程的规划、设计、施工,水文工程、环境地质的评价、监测与保护,地质灾害预测与防治和地下深部探测等领域。(百度用语)

以了解、认识和追忆 70 年探矿工程技术发展的变化轨迹和持续进步,坚定发展钻探专业技术、不断创新信心。

限于篇幅,本文重点回顾地质钻探工程的发展历程。作者力求全面公正地展示 70 年钻探工程所取得的成就,但限于水平及掌握的资料有限,难免挂一漏万。

1 新中国成立初期探矿工程创建起步阶段(20 世纪 50—60 年代)

19 世纪中叶,鸦片战争和甲午战争失败后,帝国主义列强大举入侵,纷纷在中国开矿办厂,掠夺资源。英国、意大利和美国等国家的企业先后运来了钻机,后来日本帝国主义侵华时期在中国境内进行了大量的钻探施工。在这种背景下,20 世纪初开始出现第一代中国机械岩心钻探工人。从此时到 1949 年的 40 多年中,中国在 10 多个省进行 12 个矿种的钻探施工,多是为外国掠夺我国资源而投入的工程。国民政府资源委员会矿产勘测处时期使用动力机械岩心钻只有 3 年多,钻探工作量 12 万余 m。20 世纪初到 1949 年,全国当时年产钢仅 15 万 t,原油 12 万 t,煤炭 3200 万 t,有色金属 1.3 万 t,水泥 66 万 t^[4]。全国钻探总工作量累计约 17 万 m。国民政府留下 14 台美日旧钻机,加上全国各地的各种型号的钻机仅 100 余台,这就是留给新中国的微薄的家底。

地质工作是中国现代化建设的一个重要的基础工作,新中国的诞生,为地质事业发展开辟了广阔的道路。当时全国地质人员约有 300 人^[5],不仅力量弱、底子薄,更缺乏地质与坑探、物探、化探、实验测试等多工种联合勘探的能力,不能为新矿山设计、老矿山复苏提供矿产储量。于是从组建队伍、培训人员、科学研究、制造设备、制度建设等方面,全面展开了探矿工程的基础建设工作,并取得了可喜的成绩,为后期持续发展奠定了良好的基础。

1.1 创建探矿工程队伍

1949 年 6 月,按照华北人民政府企业部的指示,北平地质调查所刘广志负责筹建钻探队,随即招收培训工人,调入钻机,检修设备。7 月在北京门头沟耿王坟工地开钻,这是地质部门在北平树立的第一座钻塔(图 1)。用了 3 个月的时间,克服了种种困难,钻达 500 m 的设计孔深,取得了门头沟煤田

地质资料,实现了向新中国建国大典献礼的心愿。



图 1 1949 年 7 月地质部门解放后第一台钻塔耸立在北京门头沟矿
Fig.1 The first derrick of geology industry of the New China erected in Beijing Mentougou Mine after liberation in July 1949

1950 年,华东军政委员会工业部南京矿产勘测处使用美制金刚石钻机钻探栖霞山铅锌矿、淮南煤矿和铜官山铜矿。北京地质调查所则用 4 台钻机,在大同煤田和白云鄂博铁矿进行钻探。

随着地质工作的大发展、大转变,探矿工作也迅速发展,设备、人员也相应增加。1952 年,地质部先后组建了白云鄂博、铜官山、大冶、庞家堡、白银厂、渭北等 6 个大型综合勘探队,从苏联进口 100 台套 KA-2M-300、KAM-500 型手把式钻机及辅助设备,年底开动 54 台钻机;1953 年底开动 100 多台钻机。随着各大区地质局的建立,陆续建立了数十个拥有三四台以至十几台钻机的大、中型地质勘探队,分布在攀枝花、大河边、水城、茶陵、永新、平顶山以及贺兰山、大青山、锡盟等地^[6]。钻探工作如燎原之火,遍布祖国大地。

中国发展国民经济的第一个五年计划于 1953 年执行。当时,重点勘探项目多是国家建设的命脉,如鞍山、包头、大冶等钢铁基地所需矿产资源;大同、开滦、抚顺、平顶山等重要煤田;还有东川、白银厂、中条山、铜官山、寿王坟等处的铜;桃林、水口山、泗顶厂的铅锌;个旧的锡,赣南的钨,昆阳的磷矿等。通过开展地质勘查工作,查清了地下资源,满足了当时急需的矿产资源的工业设计要求。在这些国家重点勘探工作中,钻探、坑探工作发挥了主力军的作用,不仅锻炼了队伍,还学会了包括地质、钻探、坑探、物探、化探、实验测试等多工种的联合作战。

经过地质勘查队伍大量组建和迅猛扩展后,中

国地质工作走上了健康发展的道路。到1954年底,鞍山、包头、大冶三大钢铁基地所需的矿产资源,还有铜官山、个旧等处的有色金属矿的详细勘查报告提交了出来;建设煤矿的资源已得到保证;还获得一定数量的磷矿储量。“一五”期间,计划勘查19种矿产,实际勘查了74种矿产,其中63种取得了可供工业设计使用的储量^[5]。探矿工程工作发挥了重要作用。

这一阶段前期,以引进技术和装备为主,逐步转入自力更生为主,钻探技术水平不断提高。钻探工艺是铁砂、钢粒及硬质合金钻进,钻进规程由轻压慢转向因地制宜地推广快速钻进规范过渡。在硬质合金钻进范畴内,提倡按岩性和可钻性级别选用不同的硬质合金片,镶制不同型式的钻头100余种(密集式、飞机式、团结式等),各类岩层钻进效率显著提高。此后,又推广钢粒钻进以逐步取代铁砂钻进,在提高7级以上硬岩钻进效率方面取得了良好的效果。还大力推广泥浆护孔,对克服坍塌、漏水、流沙等事故顺利钻进深孔、斜孔和复杂地层起到了良好的作用。这些经验被创造性地推广运用,取得了更大发展。1956年3月和4月地质部中南地质局四〇五队王国骥机组在广西泗顶厂铅锌矿,创造了连续2个月月进尺超过1000m的纪录,成为全国第一个月进千米的机台^[6]。此后,钻探台月进尺超千米的钻机大量涌现,如1958年前7个月中就出现了53台,并且达到77台次。

这期间部分钻孔不取岩心钻进试点工作取得成功,并积极扩大推广工作。1959年9月23日,地质部颁发“关于部分钻孔不取岩心钻进暂行规定”的通知^[7],提出1959年全年钻探进尺达到1070万m,其中有35%以上为部分钻孔不取岩心钻进。在地质条件允许、物探测井能密切配合的情况下,推广不取岩心钻进,提高钻进效率,加快勘探速度。

为了改变大口径铁砂、钢粒、硬质合金钻进的落后面貌,1960年12月,地质部出台“关于推广小口径钻进方法的几项规定”(以硬质合金钻进为主,口径为75、58.5和52mm)^[7]。20世纪60年代初,在湖北、安徽、四川、新疆、河北等地进行75mm口径为主的钢粒、硬质合金钻进试验。1960年开始研究金刚石钻头制造工艺,1963年研制成功天然表镶金刚石钻头,同时筹备管材工具研究等,1965年被国家经委列为“国家重大技术革新项目”,1966年在河

南舞阳地质九队开动了第一台金刚石钻机。由勘探技术研究所、部第六专题队、地质九队组成试验组,使用勘探技术研究所与冶金部601厂研制的钻头,第六专题队设计的钻具、工具等,张家口探矿机械厂改装的XU-600型高速钻机、水泵以及郑州探矿机械厂加工的各种管材和相应的工具,另外从日本利根公司进口了可供4台钻机用的金刚石钻头、扩孔器、卡簧、D-10型金刚石双管取心钻具。地质九队1966-1969年共进尺6000m有余。1968年河南地质三队从地质九队调拨一半设备和物资,在小秦岭金矿进行生产性试验,取得了良好的效果。

1954年后,钻探工程为我国大型工程项目做出了贡献,积累了丰富的适合我国国情的钻探经验。在武汉长江大桥基础选线钻探中,成功地创造了利用双体趸船安装4台钻机的施工经验,解决了抛锚定位、水中下管、套管固定、升沉补偿、钻进工艺、灌浆止水以及水上安全等问题;在三门峡水电站钻探工程中,钻船处于狭窄的黄河航道“中流砥柱”中心,用500型钻机大口径钻进,取得了直径1m的闪长岩岩心的记录,该岩心至今还在中国地质博物馆中展示;在长江三峡水利枢纽工程地质钻探中,钻工在悬崖陡壁上凿山开路不畏艰险进行钻探,受到了周恩来总理的表扬^[5]。

1954年春天,地质部召开首届钻探职工代表大会,周恩来总理在怀仁堂接见了全体代表,鼓励大家努力做好艰苦而又光荣的地质探矿工作。

1957年末,钻探工程已经广泛应用于固体矿产、油气矿藏、水利水电工程、工程勘察、农业灌溉及国防工程等多个领域。

1958年后钻探工程发展迅速,工作量大增。

这一时期,是探矿工程起步发展的时期,机械岩心钻探开动的钻机、完成的工作量及台月效率、单位成本等情况见表1。

伴随新中国的诞生,地质工作的大发展,坑探工程得到了快速发展。地质坑探工程(当年也称山地工程)与采矿工程的差别主要是短浅和小断面,需要发展与之相应的掘进技术和技术装备等。

初期勘探掘进仍然是手工作业,凿岩是手打锤,出渣用人背肩挑或手推矿车,个别矿区用上了手持式凿岩机,但无除尘装置。后来地质部成立了机掘队,也仅在凿岩方面配备了从苏联引进的OM-506型湿式风动凿岩机、英国的一套干式吸尘凿岩机、瑞

表 1 1950—1970 年机械岩心钻探主要技术经济指标
Table 1 Main tech-economic index of mechanical core drilling
from 1950 to 1970

时 期	年度	工作量/ 万 m	台月 效率/ m	开动钻机/ 台		台年进尺/ m		单位成 本/(元· m ⁻¹)
				最高	平均	最高	平均	
初 期	1950	0.7917		16		440		
	1951	1.0167		23		442		
	1952	2.4620	58	54	37	456	673	119
	小计	4.2704	58					
一 五	1953	16.7407	61	240	196	698	854	107
	1954	27.8903	90	370	2263	754	1059	103
	1955	48.2268	129	531	366	908	1317	69
	1956	126.1222	164	1026	706	1229	1786	66
	1957	141.6915	135	1186	750	1195	1890	63
	小计	360.6715	149					
二 五	1958	306.2162	216	2263	1426	1353	2148	50
	1959	359.3350	202	2465	1870	1456	1922	47
	1960	468.1483	218	2708	2289	1730	2046	47
	1961	236.0052	203	1873	1420	1260	1903	49
	1962	60.9122	201	681	367	894	1659	62
	小计	1430.6169	210					
调 整	1963	65.4304	264	545	740	1201	1721	51
	1964	86.2926	373	622	681	1387	2120	44
	1965	112.5312	306	769	464	1463	2377	
	小计	266.2542	297					
三 五	1966	163.1281	302	1885	740	1686	2475	
	1967	150.8825	293	1022	681	1476	2215	
	1968	92.1518	305	808	464	1140	1987	
	1969	173.5318	309	1238	802	1402	2166	
	1970	291.2903	313	1849	1246	1575	2338	
	小计	890.9845	306					
	总计	2952.7975						

典的高频凿岩机,但都未得到推广^[8]。当时百支坑探队伍基本上是体力劳动十分繁重的手工作业。

1957年后,为改变坑探工程落后面貌,掀起了坑探半机械化的热潮。以人力为动力的各式打眼机、出渣机、通风机、抽水机等掘进设备大量涌现,大多是自制自用,在生产中发挥了一定作用,也为 20 世纪 70 年代机械化阶段探索了道路。

1.2 专业技术人才培养

解放前,我国没有专门培养探矿工程专业技术人才的学科和院校,该领域的技术人才多来自采矿、机械或地质等学科。解放后,我国通常把钻探、坑探、勘探机械合称探矿工程,并采取多种形式和多渠道培养急需的探矿工程技术人才。

从 1949 年秋开始,北京地质调查所前后 2 次招收了七八十名中学生学习钻探,经过多年工作实践,他们中多半成为了技术骨干。

1950 年 2 月,在南京创立地质探矿专科学校,设置有地质探矿科,为探矿事业培养了首批具有大专以上学历的人才。

1952 年,地质部成立后,在南京和大冶分别招收和培养了 300 多名学员。在此之前,北京地质调查所与重工业部有色金属管理局还举办了多期训练班,采用讲课和机台师傅带徒弟的办法,培训了 4300 多名学员。

1952 年后,地质部举办了由苏联专家讲课的钻探训练班。

1953 年起先后设立了长春、武汉、北京、西安、昆明等 8 所中等专业地质学校。长春、武汉分别设立了钻探和机械专业,昆明设立了坑探与钻探专业。长春地质学校第一届 35 名毕业生在 1954 年走上工作岗位^[9],他们在生产第一线起到了承上启下的作用,成为工作中的骨干力量。

1954 年,北京地质学院由李世忠等负责组建了探矿工程系,开始招收五年制的本科大学生和两年制的研究生。1956 年我国第一批探矿工程专业研究生毕业,1959 年第一批探矿工程专业本科生毕业。成都地质学院 1959 年开始招收探矿工程本科生。后来,1974 年河北地质学院成立了探矿工程系,1976 年长春地质学院开始招收探矿工程专业本科生。

这些地质院校各层次的毕业生,逐年补充到全国各地地质部门的生产管理和科研机构、高等和中等院校以及基层生产单位,他们为探矿事业做出了积极贡献,促进了探矿工程技术的持续发展。

20 世纪 50—60 年代,国家先后派往苏联莫斯科地质勘探学院、列宁格勒矿业学院、斯维尔德洛夫斯克矿业学院等院校学习探矿工程专业,莫斯科石油学院学习钻井专业等批量留学生,毕业回国后献身到了探矿事业。

1.3 发展科学研究和科技情报工作

我国探矿工程的科学研究是随着 20 世纪 50 年代地质找矿勘探工作大发展和工艺技术中存在的难题需要而发展起来的。

1.3.1 科学研究工作

新中国成立初期,作为地质勘查重要技术方法的探矿工程虽然有所发展,但技术与装备十分落后,为加强探矿工程科学技术研究工作,1957 年,建立了地质部勘探技术研究所,在周口店筹建试验站^[9]。

第一任所长由地质部探矿司任子翔副司长兼任,周恩来总理签发了任命书。这是我国第一所从事地质钻探、坑探和探矿机械装备研究设计的研究所。当年在“全国十年科学规划”中,探矿工程学科正式列入12年远景规划,从此开始了有明确探矿工程课题的科研工作。

与此同时,各大专院校也组建了探矿工程科研组织,逐渐形成本领域科研工作的一个方面军。随着探矿工程的发展,许多省地质局和一些野外队,结合生产需要,也组建了各自的科研组织或开展了科研活动。到20世纪60年代中期,初步形成了不同类型、不同层次、各具特色、相互补充的科研体系,促进了探矿工程事业的成长和技术水平的不断提高。

勘探技术研究所从成立到20世纪60年代,在钻探工艺、器具、泥浆处理剂等方面取得的主要研究成果有:适应不同地层条件的各种硬质合金钻头、无岩心轻便刮刀钻头、打捞工具、隔水单动双层岩心管(荣获国家科委创造发明奖)、优质泥浆护孔;在研究岩石可钻性钻进机理的同时,研制了“摆球硬度仪”(荣获国家科委创造发明奖);各种钻探取心方法和配套取心工具、第一套地质岩心钻探用液动锤、全孔反循环取心试验成功。1963—1965年,勘探技术研究所与冶金部601厂合作研究金刚石钻头制造工艺,并利用粉末冶金技术(冷压浸渍法)研制了我国第一批天然金刚石表镶钻头,在新疆、北京、湖北等地进行了生产试验。60年代初,勘探技术研究所与牡丹江市红旗化工厂合作研制新型泥浆处理剂——铁铬木素磺酸盐,1968年投产。

这一时期,探矿工程在全国开展轰轰烈烈的技术革新和技术革命的“双革”运动中,创造了不少的新技术、新方法、新产品。在钻进操作上“两大(大压力、大泵量)、两快(快转速、快升降)、一小(小口径)、一好(高效率、高质量的钻头)”和“两扩大(扩大硬质合金钻进、扩大部分钻孔无岩心钻进)、一合理(清水、泥浆、套管合理使用)”的快速钻进工艺,收到了立竿见影的效果。

当时,探矿工程是地质系统“四化”、“双革”的重点。钻探主要操作虽然使用了机械,但是提引、给进、拧卸、安装、供水、搅拌、搬运等方面主要的仍然是手工操作。为此,开展钻探工程机械化半机械化、自动化半自动化的科研攻关活动。如四川永荣队将拧管机、提引器、自动卡盘、泵量计、手把改油压等配

成套,实现了升降、给进工序机械化。黄沙坪、彬县队更进一步创造成功了用电钮操作升降的全套装置。此外,还有取心工具、泥浆搅拌机、水力喷射装置、复杂地层护孔堵漏、预防钻孔弯曲、孔底反循环、无泵钻进、钻粒连续投砂器、自动卡盘、自动平衡器、手轮给进、拧管机、移管机、塔内活动工作台等累累硕果。

1960年,地质部和地质工会为了迅速、广泛、深入地推广在“双革”运动中的先进经验,组织了“地质部探矿工程观摩推先团”。推先团由内蒙古、贵州、河北、安徽、山西、湖南、浙江等七省(区)先进生产者组成,在浙江省地质局试点1个多月,取得了很大成绩。

1.3.2 科技情报工作

1.3.2.1 创办专业杂志

为了及时交流探矿工程的生产经验和科研成果,1957年,创办了《探矿工程》专业期刊。刊名由时任中国科学院院长郭沫若题写。这是全国探矿工程行业创刊最早、国内唯一专门报道探矿工程技术的国家级专业技术刊物。

这一时期,《探矿工程》经历了曲折。创刊不到4年,出刊了38期后,由于种种原因就停刊了。停刊后,勘探技术研究所情报资料室于1962年主办了内部刊物《探工零讯》,到1965年底出刊了34期。从1966年《探工零讯》第1期开始改名为《探矿工程》,但“文革”开始了,《探矿工程》勉强坚持到10月,出了9期就第二次停刊了,直至1973年用《勘探技术》的刊名出版专辑,由新华书店发行。

虽然这一时期《探矿工程》断断续续停刊复刊,几易主办单位和更换刊名,但在传播和交流新技术、新成果、新经验等方面起到积极作用。

1.3.2.2 创建学术组织

1964年4月1日,中国地质学会探矿工程专业委员会在北京诞生,并于4月12日在北京科学会堂宣告成立。地质部副部长何长工等领导和冶金、煤炭、建工部的领导莅临指导,在京各系统的探矿工程界人士240余人参加了大会。会上选举产生了由17位委员组成的首届探矿工程专业委员会,主任委员为苗禾丰,副主任委员有郑文才、杨春发、陶绍勤、刘广志、李世忠。中国地质学会探矿工程专业委员会是中国第一个成立的探矿工程专业委员会,是中国地质学会最早的专业委员会之一。

1965 年 7 月 6—16 日,在北京召开了第一届全国探矿工程学术会议,369 名代表出席了会议,论文 315 篇,出版了 4 册论文集。

探矿工程专业委员会充分体现了跨部门、跨地区的优势,发挥了桥梁和纽带作用,团结广大会员广泛深入地开展学术交流活动,对促进探矿工程学科的进步与发展有着重要作用。

1.3.2.3 国际科技交流与合作

20 世纪 50 年代,在国际交往中主要是与苏联往来,那时探矿科技工作基本仿效苏联模式,起到了借鉴和促进作用。

一方面是请进来。苏联派地质勘查专家组到地质部,深入到野外队、研究所(勘探技术研究所)、学校(北京地质学院)等指导工作。有的以讲课的方式传播技术、培训人员;有的写文章,以书面形式刊登在《探矿工程》杂志上,如地质部苏联专家组组长 A. B. 戈别尔柯在《探矿工程》1959 年第 4 期上发表了题为《提高地质勘探工作效率的途径》的文章,从机械岩心钻探、山地掘进工作、科学研究工作 3 个方面,全面阐述了如何正确制定地质勘探设计以及具体实施的意见,很有实用价值^[10]。苏联专家巴拉巴在彬县队召开的全国钻探、机械会议上的发言刊登在《探矿工程》1959 年第 2 期上^[11]。在 1957—1959 年的《探矿工程》杂志上,有 30 多位苏联专家发表了文章,内容涉及钻探工程的方方面面,极其丰富适用,起到了推动钻探工程技术发展的作用。1956 年 9 月,苏联地质保矿部副部长卡纳布良采夫率团来访,并检查在中国苏联专家的工作。1957 年 2 月,苏联地质保矿部部长安特罗波夫率团来访,并签订《中华人民共和国地质部和苏联地质保矿部关于共同进行地质研究的议定书》。

另一方面是走出去。1953 年 1 月,地质部副部长宋应率代表团赴苏联考察社会主义国家地质事业管理经验。1955 年,地质部副部长卓雄率团访问苏联。1958 年,以任子翔为首的考察团赴苏联学习考察金刚石钻头制造工艺。1959 年,任子翔率团出访全苏勘探技术研究所。

1.4 在引进的基础上研发国产钻探装备

新中国成立前没有自己的钻探工程装备制造,使用的钻机均购自国外,新中国成立后才从苏联、瑞典和匈牙利引进一批钻机,如苏联的 KAM(手把给进)、ЗИФ(液压给进立轴式)、УКС(钢丝绳

冲击水井钻机)系列钻机和瑞典的 XH-60、B-3 型(千米)钻机等。^[8]

钻探设备经历了 20 世纪 50 年代的引进、仿制,进入 60 年代,已开始自行设计制造液压钻机。

1953 年 4 月,铁道部张家口铁路工厂划归地质部领导,改名为地质部张家口探矿机械厂,生产地质勘探用钻机。它是地质部门的第一个探机工厂。当时没有地质专用设备的科研设计部门,技术人员又很少,不能独立设计产品,只能测绘、仿制苏联 KA-2M-300 型、KAM-500 型钻机,200/40 型泥浆泵和瑞典 B-3 型钻机等设备。

1956—1965 年,先后在北京、上海、天津、沈阳、衡阳、兰州、武汉、无锡等地建立了 14 个地质机械仪器制造骨干工厂和按省(区)建立了 23 个地质探矿机械厂或修配厂,各地质大队建立了修配间,在全国范围内开始形成地质专用设备的制造和维修体系。

1958 年,地质部机械司设计室自行设计了我国第一台跃进 600 型半液压式立轴钻机,1965 年定型为 XU-600 型,在全国范围内广泛应用,成为岩心钻机的的主力机型。

1960 年,由地质部勘探技术研究设计院设计,北京探矿机械厂制造了 XJ-100-1 型(XY-1 型)浅孔岩心钻机(图 2),1964 年投产,在全国第一次新产品展览会展出,获国家科委一等奖。这是我国自行研制成功的第一台岩心钻机,又是轻型钻机应用最广、生命力最强的一种机型,在地质勘查工作中立了大功。1965 年该院与上海探矿机械厂协作研制了 XU-300 型钻机。

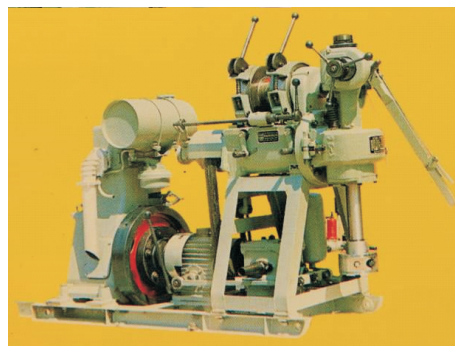


图 2 我国自行研制成功的第一台岩心钻机——XJ-100-1 型钻机

Fig.2 XJ-100-1 type drill—the first core drill developed successfully by Chinese engineers

从 50 年代至 60 年代,岩心钻机由手把(手轮)式过渡到液压式,水泵由双缸单作用过渡到双缸双

作用,钻塔由木质向角钢再向钢管式发展。

同期还设计制造了水文水井钻机(如1967年,SPJ-300型散装转盘钻机)、工程地质钻机(1966年,SH-30型)、砂矿钻机(1962年,在人力班加钻的基础上研制的冲击式黄铺钻;1965年,SZ-325型砂钻)、坑道钻机(1965年,KD-100型)、物探钻机(1964年,WT-2型)等。这些装备都发挥了应有的作用,是引进、消化、吸收、自行设计制造的丰硕成果。

这一时期,地质钻探设备,从无到有,从小到大,从浅到深,品种与性能日趋完备。

为了加强对工厂的领导和管理,1964年经国家经委批准,成立了中国地质机械仪器工业公司,成为全国试办12个托拉斯之一,同时还建立了自己的科研设计机构——地质机械仪器设计院,对地质机械仪器的科研和生产实行统一领导、统一规划、统一管理,从而使生产和技术开发工作走向突飞猛进的发展道路。在产品生产上由过去的仿制发展到自主开发、自主设计、自行制造,为地质全行业服务。

1.5 初步建立管理体系,建章立制

为了加强钻探生产管理,规范技术工作,提高人员素质,建国初期陆续制订、颁发了一些规章制度,有力地促进了钻探生产的发展和技术水平的提高。这些规章制度的建立,是实现科学管理的重要体现,管理也是生产力,为后续钻探事业的发展提供了有力支撑。

1.5.1 操作规程

1953年颁发了钻探操作规程^[12]。

1955年,地质部颁发了新中国成立后第一部《钻探技术操作规程》,与此同步,地质部探矿司印发了《钻探工程手册》,书内列举了苏联、日本、美国、瑞典四国各型钻机及配套设备的规格、性能等技术参数,还有各种野外钻探生产常用表。

1958年10月,地质部根据“一五”期间的钻探工程技术经验,制订、颁发了第二部《钻探操作规程》。

1961年10月,地质部颁发了《钻探技术操作安全规程》(试行草案)。

1963年,地质部根据建国14年的生产、技术经验,制订了符合国情的第三部《岩心钻探规程》(简称《规程》)。《规程》中明确规定:岩心钻探是地质勘探工作的重要方法之一,以多快好省地取得地质成果

为目的,必须按照地质设计要求进行施工。《规程》还规定了钻探工程质量的6项指标。

为了更好地贯彻执行《规程》,地质部探矿司于1964年颁印了《地质钻探钻头图谱》,列举了34种钻速高、寿命长、回次进尺多的钻头。同年,探矿司还印发了《钻探技术手册》第一册,列举了各型钻探机械设备的性能参数,公布了17种钻探用钻具、工具、钻头、仪器的技术标准和18种钻探工作常用表。这2本工具书配合《规程》执行,使钻探工作在提高工程质量和规范设备使用等方面起到了积极的作用。

1.5.2 管理办法

1954—1956年,先后颁发了《关于加强钻探生产管理和技术管理的几项规定》等管理制度。

为加强钻探机场管理,地质部探矿司于1961年起草了《钻探机场管理办法》(初稿),1962年调研修改,1963年正式颁发了《钻探机场管理办法》,对加强钻探机场建设起到了重要作用。

1.5.3 定额

为适应地质勘探事业迅速发展的要求,1955年,以地质部为主会同重工业部、燃料工业部组成地质定额委员会,根据苏联经验结合我国实际情况,制订颁发了《地质部地质勘探工作暂行统一生产定额钻探工程(机械岩心钻探部分)定额》(简称《暂行定额》)。《暂行定额》中公布了一个机械岩心钻探岩石分级表,供各地试用。

1958年3月,根据《暂行定额》颁发3年来技术水平的提高和生产管理的改进,地质部正式颁发了《中华人民共和国地质勘探工作统一生产定额,钻探工程》(以下简称《生产定额》),主要为机械岩心钻探、冲击回转钻探、砂钻的钻进定额和辅助工作定额等。这个《生产定额》中公布的岩石十二级分级表是我国第一个岩石可钻性分级表。

1958年,地质部还颁发了《钻探工程物资消耗定额》,内容包括机械岩心钻探、冲击回转钻探、砂钻材料消耗定额以及低值、易耗品定额。

1.5.4 技术标准

1962年,由勘探技术研究设计院起草的16项中华人民共和国地质部勘探机械专业标准(DJ1~DJ16),是地质钻探行业第一批技术标准。

1.6 小结

建一座高楼打好基础是关键。新中国探矿工程

的创建起步阶段就是打基础阶段,探矿工程随着地质工作的发展而壮大成长。20 世纪 50 年代以引进技术和装备为主,60 年代逐步转入以自力更生为主。这期间,探矿工程建立了管理体系、各项管理制度、技术标准、操作规程,创建了不同层次的科研体系、教育体系、专业技术刊物、学术团体,形成了装备设计、制造和维修体系等,初步形成了探矿工程技术学科,为探矿工程后续的持续健康发展奠定了坚实基础。

总之,在我国探矿工程创建阶段的 10 余年内,取得最主要的进展是建立了我国独立的探矿工程体系,包括野外整套探矿工程施工方法和技术装备,以及探矿工程科学研究机构与高等专业学科等。那个时段正是西方国家孤立我国,实施“全面封锁”的时期,我国探矿工程体系的逐步建立,为我国独立自主,自力更生,依靠自身技术力量,开发矿业资源,提供足量物质材料基础,满足社会主义建设急需,供给全国数亿人民生活需要,以及满足国防军工对常规和特种材料的需求,是十分迫切、非常重要的。我国“两弹一星”首次试验成功正是在这个时期内完成的。钻探工程作为获取地下地质和矿产实物资料唯一的勘探方法,可对矿山开采设计提供真实可靠的关键数据,在那个我国“一穷二白”,同时外国封锁的十分困难条件下,我国能够逐步建立起独立的探矿工程体系,促进“开发矿业”,保障物资材料基本自给,是对国家做出了重要贡献的。

此阶段我国建立起独立探矿工程体系是与苏联的全面援助分不开的。那时期苏联派出许多探矿工程专家,帮助和指导我国建立探矿工程野外生产体制,提供技术和装备,培训人才,协助制定技术规程等;在大学协助建立探矿工程系,指导制定教学大纲和课程设置,培养师资等;协助创建探矿工程专业科研机构,指导制定科研规划、研究方向、科研项目设置,等等。时至今日,相隔 60 余载,当我国地质钻探技术已经达到世界先进水平之时,我国的探矿工作者不应忘记 20 世纪 50 年代苏联专家曾对我国的探矿工程事业给予过全面的、无私的、有效的帮助。

2 探矿工程技术稳步快速发展阶段(20 世纪 70—80 年代)

20 世纪 60 年代后期—70 年代,在探矿工程专业研究机构被迫疏散、研发工作难以正常进行的困

难条件下,探矿工程人员仍尽力争取条件坚守工作岗位,排除各种困难,做好本职工作,探矿工程取得了重要进展和系列成果。

1978 年,党的十一届三中全会召开、改革开放政策全面实施,我国迎来了科学的春天。探矿工程行业亦面临重大发展契机,从单一学习苏联等少数国家,向全面引进、吸收和借鉴西方发达国家钻探技术转变。小口径金刚石钻探技术从无到有、逐步成熟;绳索取心钻进技术快速发展和完善。高温地热钻井与成井技术、护壁堵漏技术等取得突破。坑探技术进入了较快的发展阶段^[13]。

70 年代后期,探矿工程研究机构、地勘单位、高等院校联合开展技术攻关,为 80 年代地质钻探技术的重大突破和广泛应用奠定了基础。80 年代,绳索取心钻进技术、定向钻进技术、多工艺空气钻进技术、反循环钻探技术、液动冲击回转钻进技术、无岩心钻探技术等得到推广应用;复杂地层钻进及冲洗液与护壁堵漏工艺不断发展,新型超硬材料和地质岩心钻探装备水平逐步提高;探矿工程学科已具成形,钻探工程技术标准体系初步确立;探矿工程服务领域不断扩展,钻探台月效率等生产指标创历史最好水平。至 80 年代后期,我国探矿工程技术发展形成了以绳索取心为主体的金刚石钻探技术体系,以反循环为主体的多工艺空气钻探技术体系,以低密度为主体的护孔、堵漏、保矿技术体系以及以坑道机械化为主体的掘进技术体系,整体技术水平基本接近国外发达国家水平。全国开动的地质岩心钻机数量和完成的钻探工作量也达到历史新高(见表 2)。

表 2 1971—1990 年全国开动的地质岩心钻机 and 完成的钻探工作量
Table 2 Geological core drilling rigs operated nationwide and the drilling workload from 1971 to 1990

年份	开动的地质岩心钻机/台	完成的钻探工作量/万 m	年份	开动的地质岩心钻机/台	完成的钻探工作量/万 m
1971	4311	1107.44	1981	3917	884.21
1972	4390	1198.83	1982	3773	935.97
1973	4207	1243.39	1983	3668	955.14
1974	4221	1166.91	1984	3831	1086.74
1975	4664	1626.19	1985	4214	1128.23
1976	4882	1203.62	1986	3262	869.60
1977	5391	1412.45	1987	2974	806.19
1978	5634	1569.70	1988	2841	779.19
1979	5564	1529.22	1989	2576	624.49
1980	4854	1255.29	1990	2979	690.80

2.1 以绳索取心为主体的多工艺钻探技术逐步完善

2.1.1 以金刚石钻探为代表的新技术开始起步

小口径金刚石钻探配套技术的研究和成功应用,使其成为我国机械岩心钻探的主要方法,带动了钻探全行业的发展,进而达到了国际先进水平。

1969年,冶金部和中国科学院物理所首先倡导并试验研究人造金刚石钻进;1970年4月,在河南舞阳召开的金刚石钻进座谈会上,总结了金刚石钻进的经验,会议提出了发展人造金刚石钻头要“立足于国内,立足于人造”、钻探设备要“改、造并举,逐步更新”等方针,同时对金刚石钻进设备、仪器、管材、工具等的全面改革提出了具体的安排意见。1975年国家地质总局成立了小口径钻探领导小组,下设的小口径办公室不定期发布“小口径钻探简报”。领导小组及时研究决定重大问题,各部门分工负责,实行以点带面、点面结合,科技攻关先行,抓好技术推广、技术培训,推广中实行经费补贴等措施。

这期间一批金刚石钻探科研成果及装备制造项目陆续完成,如1970年9月,根据(70)计地生字第105号文批准,我国在郑州探矿机械厂建立了金刚石钻头加工车间;1971年,为适应金刚石钻探的需要,勘探技术研究所与无锡探矿机械厂合作完成东风-71型千米金刚石钻机(JU-1000型高速液压钻机)的试制。同期,勘探技术研究所与上海砂轮厂、北京钻探工具厂合作先后研制成功了多种方法制造金刚石钻头,冷压浸渍、热压、无压浸渍、低温电镀等金刚石钻头制造方法先后研究成功(1974年热压法、1976年无压浸渍法、1977年电镀法先后通过技术鉴定)。

1974年,在河南省地质局第九地质队(舞阳铁矿)第一次进行了“小口径金刚石钻探配套试验”,包括人造金刚石孕镶钻头、高速金刚石钻机、金刚石钻探管材、钻孔润滑剂等;1974年11月,JXX-1型小口径测斜仪通过鉴定;1975年,北京探矿机械厂、北京市地质局101队、勘探技术研究所为适应小口径高速金刚石钻进需要,研制成功SNB-90型(变量)泥浆泵;1976年,勘探技术研究所、北京地质仪器厂研制的小口径JXT-1型陀螺测斜仪通过技术鉴定;张家口探矿机械厂、勘探技术研究所试制成功了YL-89型液动螺杆钻;1978年,探矿工艺研究所、上海地质仪器厂研制成功了KD-1型岩心钻定向

仪;1978年,勘探技术研究所与北京市地质局101队合作,完成了“特种国防工程金刚石钻探快速取样”项目(即对地下核爆炸后立即快速取样以检测爆炸强度和效果),该项目获国防科委颁发的集体三等功、地质矿产部部长嘉奖令。

2.1.2 以绳索取心钻进为主的小口径金刚石钻进技术成为地质岩心钻探主体

1974年,勘探技术研究所联合制造企业研制成功我国第一台小口径金刚石岩心钻探的 $\varnothing 56$ mm绳索取心钻具及附属工具;1975年,北京市地质局101队在密云进行了以绳索取心为主要内容的小口径金刚石配套试验。以人造金刚石钻头、液压立轴钻机、小口径钻探管材、绳索取心钻具、小口径陀螺测斜仪等集成的小口径金刚石钻探配套技术研究项目,于1976年1月8日在北京正式鉴定,于1978年获全国科学大会奖。此后相继研制成功了系列普通绳索取心钻具及附属工具,系列水平孔、仰孔用绳索取心钻具及附属工具,系列绳索取心冲击回转钻具,系列重型绳索取心钻具,水文水井用绳索取心钻具。先后获得了地矿部科技成果二等奖、国家经委技术开发奖等。

地质部门与核工业、有色、冶金等部门共同在全国积极组织金刚石钻探配套技术的推广应用,显著地推动了我国钻探工程的技术进步,取得了巨大的社会效益。1985年,刘广志、赵国隆等以“金刚石地质岩心钻探配套技术的推广应用”项目,代表地矿行业集体获得国家科技进步一等奖。与当时落后的钢粒-硬质合金混合钻进方法相比,金刚石钻进机械钻速和台月效率大幅提高,岩心采取质量得到保证,同时减少了孔斜,减轻了劳动强度,节省了大量管材,提高了我国矿产勘查效果,缩短了勘探周期,节约了找矿勘探投资,发现了更多、更大的矿产地,促进了工业的现代化,产生了巨大的经济效益和社会效益,为我国至今成为世界上唯一制造业体系最完整的国家做出了重要贡献,使我国探矿工程技术发生了根本性的变革,为新世纪赶超国际地质钻探先进水平打下了坚实的基础。据有关资料,1985年底全国已全面推广以绳索取心为主体的金刚石钻探技术。其中地质部门开动的金刚石钻机622台,已占同年固体矿产钻机总数1053台的59%。

2.1.3 液动冲击回转钻进技术得到推广应用

勘探技术研究所于20世纪50年代开始液动冲

击回转钻进的研究,进入 70 年代,长春地质学院、河北省地矿局、云南省地矿局、四川省地矿局等,先后开始不同系列液动冲击器的研制。液动冲击回转钻进技术是我国领先世界的先进地质钻探技术之一,在 20 世纪 80 年代得到快速发展,先后研发了正作用、双作用、复合作用、射流式、射吸式、液气两用式等多种结构原理的液动冲击器和绳索取心液动冲击回转钻具,以及岩土钻掘重型液动冲击器。1987 年 3 月,地质矿产部探矿工程装备工业公司专门下达了《关于全面推广液动冲击回转钻探技术的通知》,促进了冲击回转钻进技术的推广。地质钻探装备条件改善,冲洗液性能、质量和固相控制工作强化,有力支撑了该技术的推广应用,取得了良好的技术经济效益,成为有中国特色的先进钻探技术^[14]。先后获得地矿部科技进步二等奖、三等奖等多个奖项。

2.1.4 受控定向钻进技术研究应用成果斐然

受控定向钻进是现代先进钻探技术之一。1982 年,地矿部将定向钻探技术的研究列入“六五”重点技术攻关项目,由勘探技术研究所负责,无锡钻探工具厂、安徽省地质局 337 地质队、江西省地质局 912 地质队参加的螺杆钻随钻测量定向钻探配套器具及施工工艺研究课题于 1985 年 8 月通过地矿部技术鉴定,成果达国内领先水平,1986 年获地矿部科技成果一等奖;探矿工艺研究所承担的定向孔连续造斜器及其配套工具与施工工艺研究课题,1985 年 2 月通过地矿部技术鉴定,1988 年获部科技成果一等奖^[15-16]。

连续造斜器(主要有 LZ-54、LZ-73、CK-54 和 CK-73 等型号)、螺杆马达(主要有 YL-54、YL-65、YL-85 和 YL-100 等型号)和随钻测斜仪器(常用仪器有 BD-14、DD-1 和 GZ-18 等)的研发成功,为当时解决陡斜矿体勘探、易斜地层钻进技术难题和开展分支孔钻进创造了前提条件。受控定向钻进工艺在国内近千个钻孔中应用,施工单底定向孔、多底定向孔、集束孔、对接孔和特殊工程孔,或纠正钻孔弯曲、绕过事故钻具,节省了大量钻探进尺和费用。其中,螺杆钻深孔定向钻进技术先后在安徽冬瓜山铜矿床、安徽李楼镜铁矿床、青海锡铁山矿区、江苏迁里银铅锌矿区、安徽铜陵黄一马金矿床以及开滦矿务局东欢坨 2 号井、铜陵有色冬瓜山竖井应用,加快了勘探速度,实现了以往无法达到的地质和工程施工目的,取得了显著的地质、技术和经济效

果。如 1988 年 7 月,安徽省地质局 321 地质队首次在国内采用液动螺杆钻受控定向钻探技术,在一个主干孔中施工了 6 个分布在 3 条相邻的勘探线上的分支孔,最大造斜孔深 622 m,钻孔靶点深度 >800 m,全部达到中靶精度,各孔偏离靶点为 1.37~7.17 m。共完成工作量 3063.19 m,比从地表施工节约工作量 48%,节省费用 33%,节省时间 43%,地质效果十分显著^[15-16]。

2.2 以反循环为主体的多工艺空气钻探技术体系获推广应用

多工艺空气钻进是一项涉及面广、技术含量较高、应用领域广泛的现代钻探技术。1986—1990 年(“七五”计划时期),地矿部将多工艺空气钻进技术开发研究列为科技攻关项目,勘探技术研究所、探矿工艺研究所、水文地质工程地质技术方法研究所、成都水文地质工程地质中心、中国地质大学(武汉)、长春地质学院、成都地质学院等多家单位在充分吸收 70 年代成果、引进消化国外先进技术的基础上,共同完成了项目所属的 7 个课题和 24 个专题,成果包括空气潜孔锤钻进技术、空气反循环中心取样钻进技术(图 3)、气举反循环钻进技术、泡沫钻进和气液混合钻进技术、空气钻用设备与配套器具等。该成果提高了地质钻探行业整体技术水平,有利于利用优势钻探技术扩大服务领域,经济社会效益巨大。上述成果先后获部一等奖 2 项,省、部二等奖 10 项,三、四等奖 8 项,国家发明奖 1 项,国家专利 6 项,国家教委科技进步奖 2 项^[17]。



图 3 空气反循环连续取样钻进

Fig.3 Continuous sample drilling with aerial reverse-circulation

“七五”时期,气举反循环连续取样(心)水文水井钻进技术同时被列为地矿部重点攻关项目,主要技术成果有气举反循环钻用双壁钻杆、钻头、钻探设备及附属设备、基础理论和施工工艺等。采用这

项技术达到的最大孔深 1117.36 m, 施工的最大孔径 3.2 m。这项技术钻进效率高、实现连续取心和取样、判层及时准确、成井质量高、成本低等。1993 年获部科技成果一等奖^[17]。

2.3 以低密度为主体的护孔、堵漏、保矿技术体系形成

1978 年, 地矿部探矿司牵头, 组织上海洋泾水泥厂、同济大学、中南矿冶学院、成都地质学院、勘探技术研究所、上海地质处联合研究成功硫酸铝盐地质勘探专用水泥, 并在封孔、止水、处理孔内坍塌、掉块、涌水、漏水等不稳定地层钻进中广泛应用。1982 年获国家发明三等奖。还发展了惰性材料、堵漏丸、堵漏片、高失水堵漏剂、单向压力暂堵剂等多种堵漏材料和方法。

1980 年低固相泥浆列为地矿部十大技术之一, 1983 年复杂岩层护孔与堵漏技术列为地矿部重点攻关项目。80 年代, 探矿工程研究所等单位开发了多种优质冲洗液和护孔堵漏技术, 形成了低固相、无固相、低密度(空气泡沫、泡沫泥浆)等多种类型冲洗液, 可适应多种钻进工艺的需要; 研究了保护矿层、生产层、矿心的特殊钻井液, 适应各种复杂地层的需要; 发展了冲洗液流变学、压力平衡钻进、井眼稳定漏失层分类等理论, 促进了探矿生产和新工艺的发展, 基本达到国际先进水平。

还研制了符合 AIP 标准的泥浆仪器、多种泥浆净化设施及废浆处理设备, 并在全国推广应用。

2.4 以坑道机械化为主体的新奥法掘进技术体系得到推广应用

20 世纪 70 年代, 作为探矿工程重要组成的坑探技术得到了较大的发展。首先研制出了一批小型轻便以内燃和电为动力的坑探设备(如凿岩机、装岩机、潜水泵等), 形成了浅井和短浅坑道两条机械化作业线。其中 QT-100 型浅井提升机获国家发明奖。70 年代末研制定型的“三车一机”, 即双臂风动凿岩台车、电动梭式矿车、内燃牵引机车和电动装岩机组成的中深坑道机械化作业线, 在全国 20 多个省区进行了推广应用。这项综合配套技术装备获得了地矿部科技成果一等奖。坑内内燃机尾气净化装置和多种催化剂达国内领先水平^[18]。

80 年代, 我国先后引进、开发和应用了一批坑探新技术。其中, 引进先进掘进工艺——新奥法, 使掘进效率、工程质量上了一个大台阶, 造价下降。新

奥法应用研究及推广项目先后获地矿部科技进步一等奖(1994 年)和国家科技进步三等奖(1995 年)。另外, 还研制成功了大断面隧道掘进全液压双臂凿岩台车, 承建了大断面巷道的施工工程^[18]。

2.5 水文水井钻探、高温地热钻井技术体系初步形成

1977 年, 北京市地质局水文队试验成功液态二氧化碳(CO₂)洗井, 为提高水井、地热井成井质量提供了一种新方法, 该技术 1988 年获国家发明三等奖。1986 年, 山东探矿机械厂研制成功 LQ 系列桥式滤水管, 提高了成井质量, 延长了水井寿命。多工艺空气钻进技术、气举反循环钻进技术、空气潜孔锤钻进技术的应用, 提高了水文水井钻进速度和成井质量, 解决了干旱缺水、深井、基岩、卵砾石钻探的难题, 使我国水文水井钻探技术有了大幅度提高, 接近国际水平。

1977 年, 勘探技术研究所(周口店试验站)开展了西藏羊八井高温地热钻井与成井技术的研究与应用, 包括地层压力和压力梯度规律、平衡压力钻进技术、高温地热泥浆配方和工艺、水泥在高温下强度蜕化和预防等, 取得了 10 多项重大科研成果, 成功地解决了井喷、井漏和固井、成井技术难题。于 1983 年通过技术鉴定, 1984 年获部科技成果一等奖。图 4 为羊八井高温地热钻井现场。



图 4 西藏羊八井高温地热钻井(ZK4001 井)现场

Fig.4 Site of high temperature geothermal drilling (ZK4001 Well) in Yangba Well, Tibet

2.6 地质钻探装备水平不断提高

钻进技术工艺的发展和应用领域的拓展, 推动

了机械和仪器的发展,各种新型钻探设备、工具和仪器应运而生。钻探工程设备,不仅数量有了巨大的发展,而且技术更新速度也较快。

1970年,天津探矿机械厂、勘探技术研究所设计制造了争光-10型取样钻机,之后又研制了QJD-50型、QJD-2型取样钻机。

勘探技术研究所和地矿部属各探矿机械厂联合,研制了满足小口径金刚石钻探需要的钻孔深度100~2000m XY系列金刚石高速油压立轴式钻机,满足多工艺方法钻进需要的CD-3和FD-300型钻机。20世纪80年代,我国仅地矿部系统就有各种岩心钻机5800余台,常用钻机已更新了3次。我国设计制造的岩心钻机、水文地质水井钻机、取样钻机、工程地质钻机、地震爆破孔钻机、砂矿钻机、大口径工程施工钻机、坑道钻机等已形成或基本形成系列。钻机不仅向大动力强力钻进发展,而且趋向多类型、多规格、多样的装载运输,以及向多功能化方向发展^[13]。

管型钻塔逐步形成系列,包括直孔用和斜孔用,代替了角钢钻塔。泥浆泵、砂石泵、射流泵系列产品性能居国内领先水平。研制了高强度地质管材。

80年代,全国地质系统共有地质机械仪器制造厂和修配厂50余家。从业人员超过3万人,其中工程技术人员2000余人。1983年地质装备工业总产值达到1.59亿元,比“文革”前的1966年增长94.4%^[13]。

2.7 地质勘查宏观协调和行业管理得到加强

1974年5月,冶金部、一机部、燃化部和国家计委地质局在湖南锡矿山召开了坑道用人造金刚石钻头、钻机鉴定会和人造金刚石钻进技术经验交流会议,检阅了各系统人造金刚石钻探技术取得的成绩,展现了立足于国内发展人造金刚石钻探技术的强大生命力。同年7月,地质部门在河南许昌召开了小口径钻进工作会议,会议确定了金刚石钻探的发展规划,提出了“两年打基础,三年大发展,十年基本实现小口径化”的目标。

1975年3月,在河南许昌首次举办了钻探新科技短训班,学习效果和作用突出;1977年3月,在广西桂林召开了小口径钻探经验交流会,有7个工业地勘部门及国家地质总局各省(市、区)地质局、工厂、院校、科研单位代表共计567人参加了会议。会议总结交流了几年来取得的成绩和经验,探讨了发

展规划和实施措施,有力促进了实现岩心钻探小口径化的进程。

20世纪70年代,国家地质总局等主管部门组织协调全国钻探科研、设备制造、野外勘探单位的技术人员,相继编制、颁布了一批重要技术标准:1977年12月19日,国家地质总局首次颁发《金刚石岩心钻探规程》,之后陆续于1978年9月印发了《地质队探矿工程管理办法(试行)》,1978年12月印发了《地质队各级探矿技术人员职责权限(试行)》,1979年2月印发了《金刚石绳索取心钻进操作规程》、《金刚石钻进设备及钻具配套表》、《地质岩心钻探金刚石钻头、扩孔器标准》,1979年3月颁发了《小口径钻探管材螺纹(试行)标准》等。

1982年,地矿部颁布了《岩心钻探规程》(非标准形式发布)、《金刚石岩心钻探用无缝钢管》(国家标准);1987年全国地质矿产标准化技术委员会探矿工程分技委成立,组织了一批钻探技术标准的制订工作,1988年颁布了国家标准《水文水井钻探管材系列》、《钻探工程名词术语》;90年代陆续颁布了《水文地质钻探规程》、《工程地质钻探规程》、《液动冲击回转钻探技术规程》、《定向钻进技术规范》、《金刚石岩心钻探钻具设备》、《金刚石绳索取心钻探钻具设备》、《地质勘查坑探规程》、《钻孔灌注桩施工规程》等。

1991年,由刘广志院士主编的《金刚石钻探手册》出版。这是新中国成立以来首部全面论述金刚石钻探科学技术的权威性科技专著。1996年荣获国家图书奖,1997年获地矿部科技成果一等奖。

2.8 科研能力及国际交流得以加强

为进一步加强我国探矿工程研发能力,1978年以西南地质研究所七室(勘探工艺室)为基础在成都建立了探矿工艺研究所,在河北省三河市燕郊镇成立了地矿部经济研究中心,下设有探矿设备仪器研究室。1981年勘探技术研究所河北廊坊新建了科研基地。1985年1月,勘探技术研究所周口店试验站转成为独立的科研实体,10月批准更名为地矿部探矿工程研究所。

1985年11月5-16日,由地质矿产部和亚太经社理事会(ESCAP)共同组织,地矿部探矿工程装备工业公司和亚太地区矿产资源开发中心(RMRDC)共同主办的联合国亚太经社理事会钻探、取样、测井研讨会在江苏省无锡市湖滨饭店召开

(图5)。参加会议的亚太地区代表有来自孟加拉、斐济、印度、印度尼西亚、马来西亚、菲律宾、西萨摩亚、斯里兰卡、尼泊尔、泰国、越南和韩国的代表17人;来自美国、加拿大、澳大利亚和瑞典的国际钻探专家4人;主持会议的ESCAP和RMRDC的官员2人;国内各行业代表119人。这是新中国成立以来首次在我国举行的国际性钻探学术会议,以介绍和参观中国钻探成就为主。会议印刷了中英文论文集,全面展示了我国钻探技术的水平与实力,扩大了国际影响力,为中国钻探技术走向国际做了良好的前期铺垫。



图5 联合国亚太经社理事会钻探、取样、测井研讨会
Fig.5 UNESCAP drilling, sampling, logging workshop

2.9 小结

综上所述,在此阶段内所建立的以小口径金刚石钻探为代表的技术体系,使我国地质钻探工程取得重大的科技进步,是我国地质岩心钻探技术“质”的飞跃。其中,小口径金刚石钻探配套技术体系,使我国广泛实施的地质岩心钻探在钻探效率、钻进质量等方面有十分显著的提高,并大为改善劳动强度。这就进一步地加速了我国矿产勘查的步伐,从而满足改革开放后经济建设迅猛发展的需要。《金刚石钻探手册》的出版,是对我国金刚石钻进体系进行的理论总结,并进一步推动金刚石钻探技术广泛应用。由我国主办的“联合国亚太经社理事会钻探、取样、测井研讨会”则向世界展示:中国地质钻探技术已接近国际先进水平。

在此阶段建立的金刚石钻探为代表的钻探技术体系,还为我国进入21世纪后,固体矿产向深部钻探、地热开发、油气勘查,以及成功的实施深部科学钻探提供了技术和人才储备,打下了良好的基础。

3 探矿工程扩大服务领域阶段(大致为20世纪最后15年)

20世纪70年代以来,国拨地勘经费不足与地

质勘查队伍生产能力过剩的矛盾日渐突出。1979年,部分省地质局自发地开展了扩大服务领域的工作,是地质队伍走向社会的开始^[13]。为推动探矿工程扩大服务领域工作,自1983年开始,地矿部先后多次召开会议。1985年3月,地矿部首次提出了“一业为主,多种经营”的方针。7月在四川峨嵋召开的探矿工程扩大服务领域经验交流会上,总结了广东等省地矿局取得的成绩,看到了扩大服务领域的大好形势。根据这次会议的提议,1986年9月在北京召开了探矿工程工作会议,提出了“七五”探矿工程的工作方向,要认真执行这一年颁发的《地质矿产部加强探矿工程工作的若干规定》,进一步扩大服务领域。

“七五”以来,探矿工程计划内工作量骤减,探矿工程队伍充分发挥人才、装备、技术、科研四大优势,不断扩大服务领域,努力开拓工程勘察与施工市场。

3.1 贯彻地矿部“一业为主,多种经营”的方针,取得显著经济效益

自1983年开始,工程施工钻探边探索,边实践^[19]。广东地矿局针对基础施工中大部分采用施工效率比较低的冲孔桩的情况,率先将钻探工艺用于施工钻孔桩,提高了施工效率,并发明了轨道式多功能基础钻井平台,实现了钻孔、下笼、混凝土灌注一条龙作业^[20]。1985年收入突破了2000万元,在全国带了个好头。浙江地矿局创造性地改造小型钻探船,山东、江苏等省地矿局研制小型钻探平台,解决河流及近海水域的钻探施工问题。

1984年,江西省地矿局派人到广州学习调研钻孔灌注桩施工技术,并开始研究、开发、推广泵吸反循环技术。1985年成立江西省地质工程总公司,从最初的几十名职工在几年时间内达到了3200余人,21个工程处(公司),遍及全国17个省市。1985—1997年间完成产值12.2亿元^[21]。

1985年成立的武汉地质勘察基础工程总公司,在全国建立了10个分公司,施工范围辐射全国各地。于1995年开始在武汉进行钻孔灌注桩后压浆技术的研究和试验,并在全国推广应用。

1986年颁发的《地质矿产部加强探矿工程工作的若干规定》在各个省局逐步得到落实,对探矿工程计划外的市场工程进行了有效管理。为适应工程勘察施工业务蓬勃发展的管理需要,与建设部对口联系,地矿部于1994年成立了工程勘察施工管理办公

室,加强对地矿部三大支柱产业之一的工程勘察施工工业(即原探矿工程行业)的管理和服务,取得了斐然的成绩,为地矿经济的发展做出了积极的贡献^[22-23]。工程勘察施工管理办公室和勘探技术研究所主办了《工程勘察与施工信息》内部发行刊物,及时报道了国家、部委的有关工程勘察、工程施工等方面的法规、新技术、新方法、新设备、新经验等。至 1997 年底,地矿部有工程勘察单位 256 个,施工企业 289 个(其中一级总承包 1 个,二级总承包 19 个,地基与基础施工 249 个),从业人员超过 8 万人。成立了中地工程集团,20 多个省局组建了集团公司或总承包公司。

与此同时,中地公司及多个省局总公司不失时机地开辟国外市场,先后进入非洲、西亚、东南亚、南美洲等几十个国家的工程市场,以施工水井为主,同时涉及农田整治、市政工程、水利工程等多个领域,此外还带动了技术服务和对外经贸的发展。

探矿工程(或称工程勘察施工,或称岩土钻掘工程)服务领域广泛,主要包括工程勘察、钻孔灌注桩(墙)基础、基坑支护、地基加固、地质灾害治理、环境治理、非开挖管线铺设、水文水井、隧道与爆破,等等(如表 3 所示)^[8]。

综观整个过程,地矿部的工程勘察施工工业在拓宽服务领域、开拓地质市场中,经历了起步创业阶段(1979—1984 年),发展壮大阶段(1985—1992 年),蓬勃发展阶段(1993—1997 年),如图 6、图 7 所示(注:图中 1981—1994 年市场收入为整个地质市场收入,其中工程勘察与施工工业占 90%左右^[23];1995

—1997 年市场收入为工程勘察与施工工业的收入)。在 1984 年之前的起步创业阶段,工程勘察施工工业每年的市场收入仅有几千万元,占地矿部货币工作总

表 3 工程勘察施工服务领域

Table 3 Service field of engineering investigation and construction

岩土工程勘察	工程地质勘察	建筑市政工程勘察 公路铁路路基勘察 桥梁勘察 港口、水电、堤坝工程勘察
	水文地质勘察	
探矿工程 拓宽 服务 领域 (工程 勘察 施工 业)	工程钻探	钻孔灌注桩类 地下连续墙类 帷幕注浆类 锚杆工程 锚索工程 隧道、洞室掘进
	水井钻探	抽水井 地热井 集水井 采卤对接井
岩土工程 施工	地质灾害防治	泥石流 滑坡 锚固工程 地面沉降治理 坝址加固 山崩防治
	环境治理及 社会 服务	引水、改水隧道 提水泵站 曝气井、污水处理 定向爆破、静态爆破 交通安全隧道 非开挖管线铺设与修复 地源热泵 建筑装修钻孔 建筑结构改造与拆除

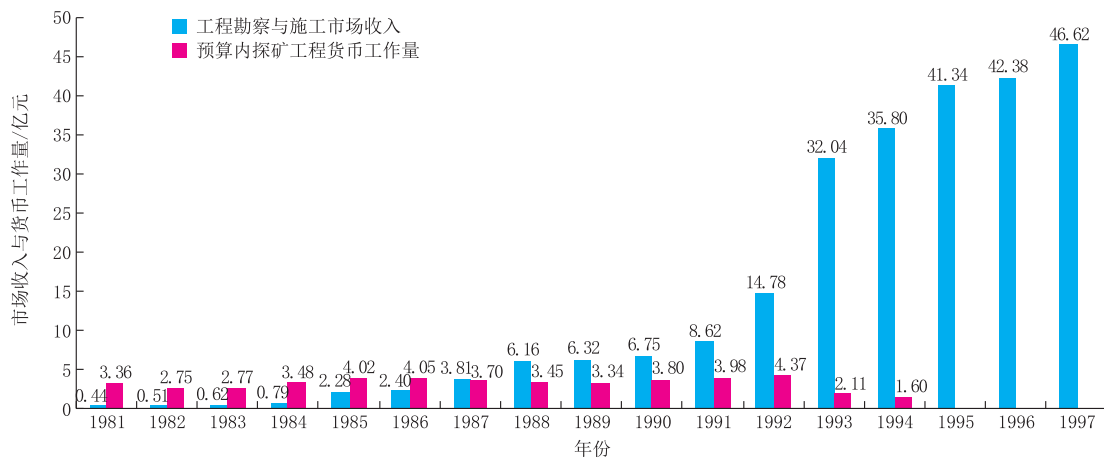


图 6 地矿部探矿工程市场收入与预算内货币工作量对比

Fig.6 Comparison of the market revenue and the budgetary monetary workload of exploration engineering in the Ministry of Geology and Minerals

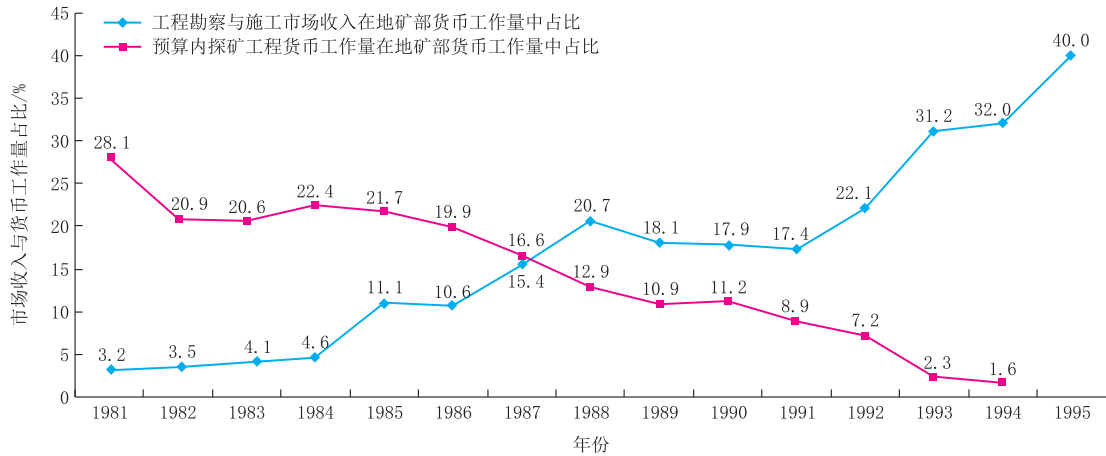


图7 探矿工程市场收入与预算内货币工作量在地矿部货币工作量中所占比例

Fig.7 The proportion of market revenue and budgetary monetary workload in the Ministry of Geology and Minerals

量的5%以下,与预算内探矿工程工作量相比数量也不大。自1985年起进入发展壮大阶段,市场收入猛增到2亿元以上,占地矿部货币工作量的10%以上,到了1987年市场收入与预算内货币工作量基本持平,并持续稳步增长。1993年后,进入蓬勃发展阶段,市场收入迅速增长至30多亿元,占整个地矿部货币工作量的30%以上,并保持持续增长势头,而计划内探矿工程货币工作量持续下滑。到1997年,市场收入超过了46亿元。1998年地质矿产部撤销,成立国土资源部,各地的地勘队伍相继属地化管理。

3.2 工程勘察钻探发挥不可或缺的作用

工程勘察钻探投资少,经济效益高,在开拓地质市场的初期,大量的施工队伍进入到工程勘察领域。据1997年的统计,地矿部系统拥有工程勘察单位250多个,其中甲级资质的40多个。施工范围遍布城市建筑、交通、桥梁、水电等领域。仅这一年就完成产值9.2亿元,虽然与基础工程施工相比产值不大,但因其投资少、经济效益高、市场工作量大,在地勘单位拓宽服务领域中发挥了重要的作用。

大量的施工队伍在工程勘察施工中缺乏合适的钻探设备和取样工具^[24]。为此,无锡探矿机械厂与勘探技术研究所从20世纪80年代初开始研制工程勘察钻机,相继研制成功了G1、G2、G3等G系列工程钻机,进入90年代,北京探矿机械厂、重庆探矿机械厂、长沙探矿机械厂等很多厂家又相继研制成功了多个系列的工程勘察钻机。

3.3 工程施工钻探技术与设备快速发展

3.3.1 钻孔灌注桩施工技术

在工程勘察施工中,钻孔灌注桩施工的工程量和市场收入占绝对优势。从事地质钻探的队伍,要想在钻孔灌注桩市场中立足,必须有过硬的技术与装备。在这一时期施工中不断研究创新,取得了一系列技术成果。

泵吸反循环钻孔灌注桩施工技术能提高排渣能力和钻效。江西地矿局从1984年开始研究、开发、推广该技术,用于在软土、砂土、软基岩、硬岩地层钻进,解决了松散层、卵砾石、漂砾、孤石、岩溶地层的钻进难题,提高了钻速和成孔质量。先后施工了大量国家及省市重点工程。施工最大桩径2.5 m。获得了地矿部科技成果二等奖。随后在全国推广应用,应用的钻孔深度越来越深,1997年在武汉白沙洲大桥孔深首次突破百米,达到102 m^[25];2003年,在温州世贸中心大厦工程中,钻孔深度达到了120 m^[26]。

采用桩底后压浆技术提高桩基承载力,在20世纪80年代就有应用,90年代很多地区进行了试验。武汉地质勘察基础工程总公司1995年开始在武汉地区进行钻孔灌注桩后压浆技术的研究和试验,用于持力层为卵石层或中粗砂层等渗透性较强的地层,并在应用中不断改进和完善施工工艺,几年间在十几个项目中应用,单桩承载力提高50%以上,荣获湖北省科技进步二等奖。1998年将此项技术引入上海,在外滩试验中桩基承载力提高85%左右^[27],之后在上海得到了广泛应用。江西、宁夏、安徽、浙江等全国大部分地区的施工单位也都相继在很多地区推广应用,并对后压浆技术的机理、设计、工艺参数控制等进行了试验研究。

为了解决大直径钻孔灌注桩的嵌岩施工难题,1993 年开始,勘探技术研究所、探矿工程研究所等单位以石油钻井用的牙轮钻头作为切削单元,研发了大直径组合式牙轮钻头,广泛应用于各种软硬基岩、砂卵石等地层,最大钻头直径达到了 2.8 m。在微一强风化花岗岩中钻进效率达 0.1~1.0 m/h。至 1997 年的几年间,仅勘探技术研究所就生产销售 2000 余只,累计钻进基岩几十万米^[28],2002 年获得国土资源部科学技术二等奖。勘探技术研究所还于 1991 年研制成功了经济型滚刀钻头,在微一强风化花岗岩中钻效达 0.1~0.4 m/h。之后又相继研发了镶齿滚刀及滚刀钻头,有效弥补了组合牙轮钻头硬岩钻进寿命短、效率低的缺陷。

地矿部系统各探矿机械厂从 20 世纪 80 年代初开始研制开发桩基施工钻机,进入 90 年代后,随着大量地勘队伍进入桩基施工市场,也加大了钻机的研发规模和速度,研发出了多种结构型式的系列大直径桩孔钻机^[21]。GPS 系列转盘式工程钻机,可正、反循环钻进,施工孔径 0.5~3.0 m,最大孔深可达 100 m,1985 年上海探矿机械厂、勘探技术研究所、中国地质大学(武汉)联合研制的 GPS-15 型是国内桩基施工中使用最多的一种钻机。1986 年勘探技术研究所和张家口探矿机械厂联合研制的 GJD-1500 型工程钻机,是国内第一台机械动力头式工程钻机,具有回转、冲击、回转冲击功能,能进行正、反循环钻进,钻进深度 80 m,最大孔径 2.0 m,1992 年获得地矿部科技进步一等奖。西北探矿机械厂生产的 GQ 系列短门架导向液压给进机械动力头回转式多功能轻型工程施工钻机,最大特点是与 XY-4 型岩心钻机通用化程度高。中国地质大学(北京)和张家口探矿机械厂共同研制的 GCF-1500 型、山东探矿机械厂研制的 CJF-20 型等冲击反循环工程钻机,可提高卵石、硬岩的钻进效率,后逐渐形成系列产品。1990 年勘探技术研究所开发的 XP-500 型转盘,可将立轴式岩心钻机改型为工程施工钻机,解决地质队伍缺少资金购置桩基施工专用设备又有大量闲置岩心钻机的现状,之后又改进成 LZ-500 型转盘。

20 世纪 80 年代开始,国外桩基施工中已广泛应用无循环旋挖钻进工艺。该工法可以减少环境污染,提高施工效率,是发展的趋势。1984 年天津探矿机械厂首次从国外引进旋挖钻机并进行消化吸

收,1996、1998 年黄海机械厂(原西北探矿机械厂)、上海金泰公司(原上海探矿机械厂)先后开始与国外厂商合资生产,并分别于 2002、2005 年开始自行生产旋挖钻机^[29]。勘探技术研究所、探矿工程研究所等单位于 1998 年开始进行与旋挖钻机配套的施工工艺及器具的研究,研发的旋挖钻头、钻斗、筒钻等系列产品,与国内外绝大多数型号的旋挖钻机配套使用,并制定了一套科学的旋挖钻进工艺,在青藏铁路、国家体育场、国家大剧院、京津城际铁路、京沪高速铁路等国家重点工程中发挥了重大作用,尤其是解决了青藏铁路多年冻土层的施工难题(图 8)。2005 年获得了国土资源部科技成果二等奖。



图 8 青藏铁路施工现场

Fig.8 Qinghai-Tibet railway construction site

除了常规的灌注桩施工技术及机具外,在提高钻进效率、保证成孔质量、异型桩施工等方面,也取得了一系列的成果。长春科技大学、上海探矿机械厂、勘探技术研究所等单位研制了大直径潜孔锤,比牙轮钻头钻进效率提高 10 倍;探矿工艺研究所研发的潜孔锤跟管钻进技术,在卵石层钻进比常规回转钻进提高钻效 5~20 倍;勘探技术研究所、探矿工程研究所研制了多种类型的扩底钻头,施工的扩底桩可大幅度提高桩端承载力,节约工程造价;黑龙江省桩基础公司试验成功的钻孔压浆成桩法,最高可提高桩侧和桩端阻力系数 2.4 倍;湖南省地质建筑基础工程公司研究完成的钻埋预应力空心桩施工技术,施工了直径 4.4 m、深 47.5 m 的超大直径桩,使桩基质量在地面得以控制^[30]。勘探技术研究所、广东省地质建设工程集团、山东省探矿机械厂等单位

联合研发的全套管施工设备及工艺,既可以独立完成全套管护壁成孔施工,同时又是城市拔桩施工的首选设备,还可与旋挖钻机配套使用。

3.3.2 基坑支护与地基处理设备

为了满足基坑支护以及边坡锚固中锚杆(索)施工的需求,勘探技术研究所、长春科技大学、无锡探矿机械厂、重庆探矿机械厂、西安探矿机械厂、山东探矿机械厂、无锡市双帆钻凿设备有限公司等单位研制了大量的锚杆钻机,包括 MGJ-30、MD-50、GZ-150、QDG-1、QDG-2-1 型等,获得了地矿部科技成果二、三等奖等多个科技奖项。广泛应用于边坡灾害治理,深基坑及地下工程支挡,以及路基、坝基加固等领域。

高压喷射注浆和深层喷射搅拌是应用较多的两种软弱地基加固技术,地矿部从 20 世纪 80 年代开始设备器具的研发和推广应用。1988 年上海探矿机械厂研制了 GPP-5 型深层粉体喷射搅拌钻机;1993 年北京探矿机械厂研制了 GD-2 型旋喷注浆钻机;1995—1999 年勘探技术研究所、西安探矿机械厂、衡阳探矿机械厂等研制了系列高压喷射注浆泵及高压喷射注浆钻具。上述产品广泛应用于建筑物软弱地基加固补强、旧建筑物不均匀沉降纠斜、地下构筑物工程防渗帷幕等领域。

3.3.3 非开挖管线铺设技术与设备

1993 年,勘探技术研究所率先研究导向钻进非开挖施工工艺,用小型水井钻机进行工艺试验,1994 年在河北省廊坊市利用改造的钻机,完成一个直径 108~219 mm 的燃气管线的铺设工程,开创了利用国产设备进行城市非开挖管线铺设的先河^[31]。中国地质矿产报、科技日报、廊坊日报、廊坊电视台等媒体争相报道,认为该项技术将使我国的马路“拉链”一去不复返。随后于 1995 年研制出国内第一台导向钻进非开挖铺管钻机——GBS-10 型钻机(图 9),最大回拉力 100 kN;在研制导向铺管钻机的同时,还研制了气动夯管锤。非开挖铺管设备广泛应用于全国各地的管线铺设,中央电视台也对此技术进行了报道。导向钻进非开挖铺管技术 1994—1998 年期间获得地矿部科技成果二等奖等多个奖项,1996 年被列入国家科委“九五”科技成果重点推广计划。

河北省地勘局于 1994 年研制成功了 GT-1 型非开挖导向孔探测仪,填补了国内空白,与勘探技术



图 9 GBS-10 型非开挖铺管钻机

Fig.9 GBS-10 trenchless pipeline installation rig

研究所研究的导向钻进非开挖铺管技术配套应用。该仪器获得了地矿部科技成果二等奖。

自 1994 年国内首条城市非开挖管线铺设完成之后,导向钻进非开挖铺管技术迅速推广。1998 年成立了中国非开挖技术协会。到 2000 年,全国从事非开挖设备研制与生产的单位达到 20 余家,从事非开挖铺管施工的单位约 40 家,拥有铺管钻机 100 台左右^[32]。之后逐步形成了勘探技术研究所的 GBS 系列、深圳钻通工程机械有限公司的 ZT 系列、北京土行孙非开挖技术有限公司的 DDW 系列等多个系列产品,最大回拉力从几十千牛到几千千牛。先后完成了北京首都机场信号电缆穿越飞机跑道、广州电力电缆穿越铁路、长春热力管道穿越公路、天津穿越海河等工程。

非开挖管线铺设技术的研究成功,为地勘行业扩大服务领域提供了一个新的方向,形成了一门新的产业。是由明挖转为暗挖的管线施工技术的一次革命。

3.3.4 其他特殊工程

继“七五”期间地矿部将多工艺空气钻进技术开发研究列为科技攻关项目后,进入 90 年代,在地矿部门以及国家科委的重视与支持下,多工艺空气钻进技术继续加大推广应用力度,不但大幅度提高了水文水井钻进速度和成井质量,给施工企业带来了巨大的经济效益,同时在全国各地的干旱缺水地区打成了许多丰产水井,解决了当地民众的用水问题,具有显著的社会效益^[33]。

1997 年初,长春科技大学完成了“引松入长”爆破孔施工。克服了低温严寒、地层复杂等难题,完成

了 1000 余个水下爆破孔的施工,使得随后进行的国内规模最大的松花江水下大爆破成功完成,在社会上引起了强烈的反响,人民日报、吉林日报、吉林电视台、长春电视台均作了报道。

上海市自 1966 年开始采用小口径钻探技术施工地面沉降监测标(基岩标和分层标),为了增加标杆的稳定性,施工口径不断增大,90 年代施工的一个大口径基岩标($\text{O}219\text{ mm}$ 保护管,管外灌注 $\text{O}1000\text{ mm}$ 混凝土),已可作为上海市区水准测量的基准点^[34]。

3.4 在地质灾害防治工程中初显神威

20 世纪 90 年代,具有影响力的地质灾害防治工程当属长江三峡链子崖危岩体锚固治理工程。1992 年,国务院批准了链子崖防治工程可行性研究报告,并批示由地矿部负责组织实施。1995 年,治理工程正式开工,危岩体体积为 26.5 万 m^3 ,地势陡峻,江面到顶高差 120 m 。1997 年治理工程结束。

其中“五万方”危岩体的治理是工程的重点,由探矿工艺研究所和四川 909 勘察施工公司承担。采用碗扣式脚手架解决绝壁(平均倾角 85°)施工问题,并创造了碗扣式排架在重载下的搭设高度和提升能力的最高纪录;采用气动潜孔锤冲击钻进工艺、扶正器和满眼钻具防止钻孔倾斜和顺利穿过大缝、钻孔电视和孔内声波测试判定裂缝位置和形态、破碎带以速凝水泥砂浆固结为主等措施,完成了危岩体 1000 、 2000 、 3000 kN 级预应力锚索 183 根,保证了三峡航道的安全通行^[21]。

此外,四川省地矿局开展了大量的地质灾害勘察和整治技术研究工作,形成了四川地区滑坡、泥石流、崩塌灾害的一套整治技术,包括:以变形体系论点指导滑坡治理工程设计与施工;采用钻孔注浆技术治理滑坡、泥石流;抗滑桩治理滑坡技术;柔性排水沟构筑技术;锚固治理危岩、边坡崩塌灾害技术;控制爆破危岩处理技术等。

3.5 坑探工程技术进步,服务领域拓宽

继 1985 年浙江省地矿局施工了西湖引水隧洞工程之后,1991 年,辽宁、河北、湖南等省地矿局的地质队与勘探技术研究所、探矿工程研究所、探矿工艺研究所联合,完成了“引青济秦”隧洞工程的施工^[35]。克服了工期紧、规模大、地质条件差等难题,采用特浅埋洞挖技术、锚喷(网)成巷技术、大塌方处理技术、复杂地层掘进技术等,按期完成 6.666 km

隧洞的施工任务,确保了秦皇岛市的城市供水。获得了地矿部科技成果二等奖。

1993 年,辽宁地矿井巷建筑工程公司施工了北京铁路枢纽改造工程之一——鹰山隧道工程。该隧道地处鹰山森林公园内,全长 221.5 m ,最大开挖宽度 19.82 m ,最大开挖高度 13.25 m ,最大开挖断面 223.47 m^2 ,是当时国内最大的三线电气化铁路隧道^[36]。该隧道属于特浅埋隧道,施工中攻克了特大断面隧道开挖技术、进洞技术、衬砌拱架、简易模喷技术、量测技术等难关。保证了鹰山森林公园近千种植物免遭破坏,保持了生态环境。

1990—1997 年,勘探技术研究所先后与相关厂家联合,研制成功了 HBT 系列混凝土泵,用于小断面地质勘探坑道衬砌、大断面公路铁路隧道衬砌、钻孔灌注桩、工业与民用建筑等混凝土输送。

1992—1997 年,探矿工艺研究所先后研制了 QS-1、KS-1 型收敛计, KJ-1 型多点位移计, DMY-1 型激光断面测量仪等 4 种仪器,推广应用于大量的隧道工程中,对围岩应力、应变和变形进行及时准确测量,解决隧道施工中经常发生冒顶、片帮等围岩失稳事故以及大断面隧道施工中的超欠挖现象。

中国地质大学(北京)根据力学、爆破理论和地质理论,研究完成岩体主结构面控制爆破技术:设计二组共轭型主结构面,确定抛掷方向,使破碎块度均匀,降低炸药消耗,提高延米爆破量。属国内首创,居国际领先水平。

3.6 对接井施工技术解决盐岩采矿技术难题

勘探技术研究所已在已有的螺杆钻受控定向钻进技术的基础上,1991 年开始进行采卤对接井技术的研究,采用螺杆钻受控定向钻进技术和水平井钻井技术,使地面相距数百米的两井在地下数百米甚至上千米的层处对接,从而实现连通水溶对流采卤。首先在湖南湘衡盐矿试验成功我国第一对采卤对接井,两井直接对接点在 607 和 597 m 处,对接点坐标值的误差为: $X=0.09\text{ m}$, $Y=0.40\text{ m}$, $Z=0.18\text{ m}$ 。1991—1993 年期间共施工了 3 对对接井。中央人民广播电台、中央电视台、人民日报(海外版)等 20 余家媒体对这一技术进行了报道^[37]。这一技术的研究,为野外地质队开辟了一个经济效益好的新市场。之后又将这一技术应用于可溶性较小的天然碱矿的开采中。

该技术攻克了我国探矿工程界和岩盐采矿系统

多年来亟待解决的一个技术难题,是一项重大科技成果,技术处于国际领先水平。1995年获得地矿部科技成果一等奖,1996年列为地矿部“九五”重点推广项目。之后在全国大量推广应用,并于2003年进入国际市场,创造了良好的经济效益和社会效益。

3.7 建筑装饰薄壁工程钻技术

用于建筑装饰的薄壁工程钻技术,可解决人敲锤凿和电锤打孔的尘土飞扬、噪声扰民、破坏墙体的弊端。探矿工程研究所自20世纪80年代初开始了金刚石薄壁工程钻机和钻头的研制,取得了多项专利,1987年获得地矿部科技成果一等奖。金刚石薄壁工程钻头形成了直径10~200 mm的系列产品。

薄壁钻在装修工程中的应用具有广泛的社会影响,在全国得以大量推广应用,全国大部分金刚石地质钻头的研究、生产单位也都相继研发、生产金刚石薄壁工程钻头。

在金刚石薄壁钻技术基础上发展起来的既有混凝土钻切技术,包括金刚石薄壁钻、金刚石圆盘锯、金刚石绳锯等施工方法。该技术2015年用于北京三元桥改造工程中对旧桥面的切割,为43 h就在大城市重要交通节点上一次性完成大型桥梁的整体置换架设发挥了重要作用。

3.8 地质钻探技术稳中求进

“八五”至“九五”期间(1991—2000年),探矿工程队伍大部分从事地质市场工作,地质钻探工程量比较少,但钻探工程技术仍然平稳发展,不断进步。

福建省地矿局完成了紫金山多金属矿钻探技术研究;黑龙江省地矿局等单位完成了多宝山—铜山陡斜矿体定向钻进工艺研究;探矿工程研究所研制成功广谱护壁剂及低软化点沥青防塌剂、全自动泥浆流变仪及Fann 50C HTHP流变仪监测系统;探矿工艺研究所研发成功并批量生产页岩抑制剂——DSSAS,研究成功了先进实用的无岩心钻探技术,研制了压电陀螺钻孔测斜仪、磁球定向测斜仪、光电多点连续测斜仪;勘探技术研究所研制了高精度随钻测斜仪,完善了绳索取心、液动锤钻具系列产品。

在这一时期,计算机技术的应用不断普及,在探矿工程中的应用也取得了一系列成果。探矿工程研究所等单位研发了金刚石钻头设计、制造的微机系统;中国地质大学(武汉)等研发了钻探微机智能监测系统、工程勘察和工程施工电子手册;勘探技术研究所研发了勘探机械计算机辅助设计系统,等等。

3.9 小结

从改革开放初始,我国地质队伍,由过去在荒僻山野的地质勘查找矿主业,转向繁华都市的工程勘察施工市场。他们以艰苦奋斗、顽强拼搏的精神,在20世纪末15年左右的时间内,在我国蓬勃发展的基本建设领域中发挥了重要作用,为地质队伍自身的生存和发展提供了有利条件,创造了巨大的社会效益,为贯彻改革开放和社会主义建设做出了重要贡献,并在市场竞争中积极有效地推动了钻探工程的技术进步。同时,这一阶段地质队伍进入工程勘察施工市场的奋勇精神与光辉业绩,表明他们是我国改革开放以来,大规模基本建设开始时期的先行者和主力军。我国目前基本建设领域在世界上处于遥遥领先的地位,是与我们地质队伍过去打下的良好基础、留下的优良作风和做出的光辉业绩分不开的。

4 钻探工程技术全面、深入发展,逐步进入世界一流的阶段(21世纪以来)

“渡尽低潮人安在,又迎高潮新技来”。从整个世界看,矿业的发展一直是起伏的。很多学者对全球矿业发展历史进行了阶段性划分,大致有“三周期论”和“四周期论”两种分法^[38]。不管何者,一定是快速发展期与衰退期交替出现的,这已经被我国矿业发展历程所证实,“在20世纪80、90年代的矿业萧条,即上一轮矿业衰退期间,曾一度出现‘矿业是一个夕阳产业’的叹息。”^[39]然而,曾几何时,进入21世纪后我国矿业以及与之相伴相生的地质勘查业一度回暖,2006年1月国务院颁发了《关于加强地质工作的决定》,国家加大了对地勘工作的投入,广大地勘和钻探队伍受到了极大的鼓舞,地质勘查工作飞速发展,2012年我国地勘资金投入一度达到高峰(图10)。

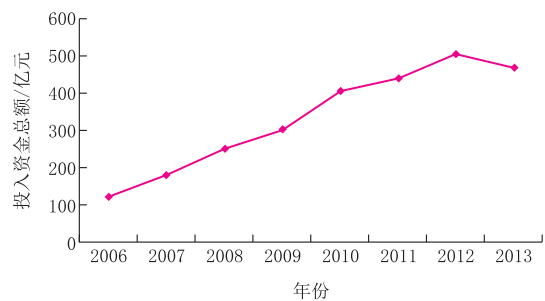


图10 2006—2013年全国地质勘查投入资金总额年度变化情况^[40]
Fig.10 Annual variance of total investment funds for geological exploration in China from 2006 to 2013

但是,“自 2013 年以来,全球矿业市场不断降温,结束了‘十年黄金期’,进入低谷期,中国矿业略有滞后,2014 年也全面进入低潮。这对中国矿业而

言是一段艰难时期”^[41]。

从 2012 年起资金投入与地勘指数逐年回落,到 2018 年地勘活动指数又回到 2006 年水平(图 11)。

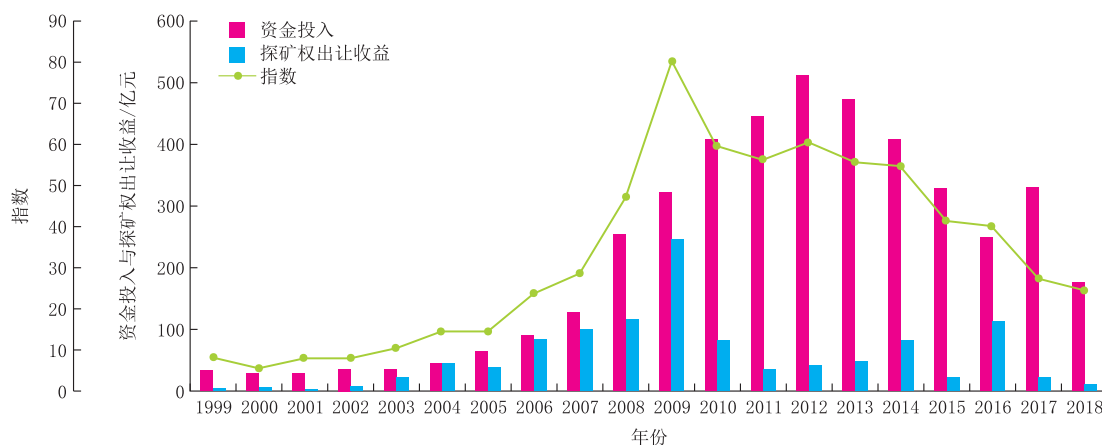


图 11 1999—2018 年我国地质勘查活动指数变化

Fig.11 Variance of index for geological exploration activities in China from 1999 to 2018

相应的地质钻探工作量也出现几乎相同的趋势(图 12),2006—2012 年钻探工作量平均增速达 20.4%,特别是 2012 年全国全年钻探工作量达到创

纪录的 2638 万 m。从 2012 年起又以 15%~30%左右的速率快速下降,至 2018 年跌至 625 万 m,只有不到 2012 年的 24%。

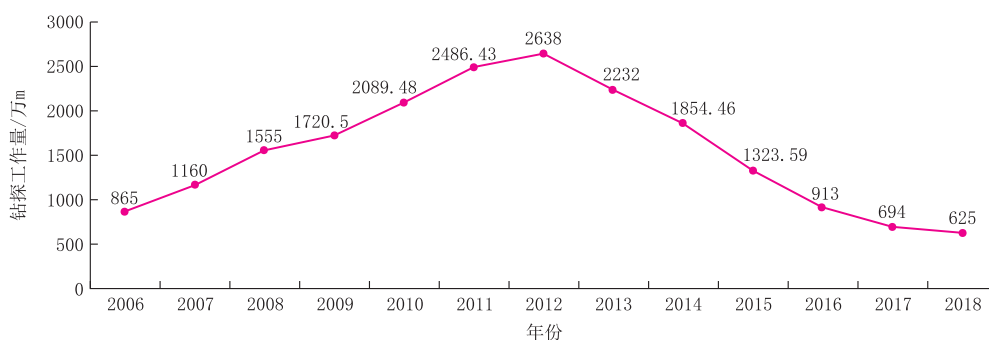


图 12 2006—2018 年非油气矿产勘查年度钻探工作量

Fig.12 Annual drilling workload for non-oil and gas mineral exploration from 2006 to 2018

近 20 年来,尽管从工作量看起伏伏,但是钻探技术的发展却是日新月异。大陆科学钻探工程的启动标志着我国钻探技术进入新篇章;金刚石绳索取心钻探技术在 20 世纪大规模应用的基础上,逐步向高水平发展;矿产资源深部钻探技术日趋成熟;对接井钻井技术的完善使我国定向钻探技术进入高级阶段;地质岩心钻探专用全液压动力头钻机系列型谱齐全、野外应用获普及;电驱动顶驱钻机在我国地质岩心钻机中首先取得成功;陆域及海域天然气水合物钻采取得突破,技术水平达到世界先进;页岩气勘探开采实现商业化;水井钻井技术与大型车装钻机获得推广应用等等。我国地质钻探工程技术走向成熟和高端,在许多方面达到世界先进水平,有些钻

探技术、装备已处于世界领先地位。

4.1 地质工作管理体制大变革

地质工作改革从 20 世纪 90 年代初就开始了探索,到 1998 年国务院机构改革产生了历史性的重大变革,政府职能转变有了重大进展,专业经济部门直接管理企业的体制结束,45 岁的地质部门与其他 9 个专业部门撤销,成立了国土资源部。转年,原地矿部及部分工业部门所属地勘队伍划归地方实行属地化管理。组建中国地质调查局(以下简称“地调局”),成为国土资源部所属的组织实施国家基础性、公益性、战略性地质和矿产勘查工作的“国家队”。构建了公益性与商业性地质工作分体运行、中央与地方分工合作的地质工作体系,形成了以保障能源

资源安全为核心,陆域与海洋统筹、境内与境外并举,服务各行各业的地质工作新格局,科技创新能力和国际影响力得到大幅提升,在经济社会发展、生态文明建设中的基础性和先行性作用不断增强。

历经 40 多年的全国性探矿工程管理机构已彻底消失,地调局仅仅保留一小部分以科研为主的单位,也面临着科技体制改革企业化的强烈冲击。原有的紧密的行政联系不复存在,行业协会——这一市场经济国家常有的行业组织在我国大多数专业领域还不被认可,中国地质学会探矿工程专业委员会是学术性团体,这一条学术型的管道松散地连接着中央、地方和部门间的联系。

4.2 全国各地积极开展深部钻探工程

随着我国经济、社会的持续快速发展和工业化、城镇化进程的加快,对地下矿产资源的需求和消耗逐年增加,使矿产资源紧缺的供需矛盾日益突出,矿产资源的供给和保障问题已成为制约国家建设和国民经济发展的“瓶颈”问题^[42]。为保证我国经济和社会全面协调可持续发展,国家加强了地质勘查工作,相继启动了国土资源大调查项目、西部大开发工程,颁布实施了《全国危机矿山接替资源找矿规划纲要》(2004—2010年)和《国务院关于加强地质工作的决定》等,掀起了新一轮地质找矿热潮。在新一轮地质找矿中,在有资源潜力和市场需求的矿山周边及深部开展地质找矿,即“攻深找盲”成为非常突出的重要工作^[43]。地质找矿的深度已从过去浅部、中深部转向深部勘探(1000 m 以深),寻找隐伏矿与深部矿的“第二找矿空间”为主要目标。2007年9月底国土资源部在安徽合肥召开了全国深部找矿工作研讨会,吹响了新一轮地质找矿的号角。

地调局通过地质矿产调查评价专项、国土资源部公益性行业科研专项和国家科技专项的支持,系统开展了深部地质钻探技术方法研究和装备研发,形成了一大批新成果。研发的各类地质钻探新装备、新方法、新技术得到广泛应用,是我国地质钻探施工领域新方法和新技术的主要来源,带动了地质钻探工程装备与技术的进步,提升了我国钻探工程技术的能力和水平。

在国家“863”计划支持下,通过“2000 m 以内全液压地质岩心钻探装备及关键器具”和“4000 m 地质岩心钻探成套技术装备”项目(图 13),建立了我国深部地质岩心钻探技术体系,研发了 YDX、CSD

两个系列 20 余个型号的全液压岩心钻机和 4000 m 地质岩心钻机(XD-40型),钻深能力 300~4000 m,可用于金刚石绳索取心等多种高效钻探工艺方法,占据我国全液压地质钻机 70% 的市场份额,出口到 6 大洲 20 多个国家,塑造了我国钻机的民族品牌,提升了国际市场地位和知名度。该系列成果获广泛应用,累计销售钻机近 800 台套、高钢级地质管材 3 万余吨、高强度绳索取心钻杆 120 余万米、液动锤 1600 余台套。整体达到国际先进水平,部分达到国际领先水平。项目获国土资源部科技一等奖、国家科技进步二等奖。

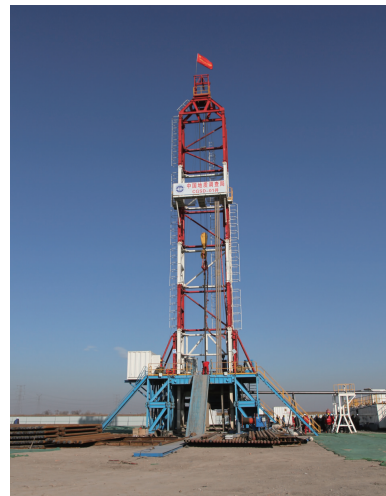


图 13 4000 m 地质岩心钻探成套技术装备
Fig.13 Whole set technical equipment for 4000m geological core drilling

我国对岩心钻机进行了重大的改进与创新,在施工效率、驱动方式、安全性、电气化程度、操作劳动强度和操控环境等方面取得了巨大的进步。近年来相继研发成功了“XD-20/30/40DB 系列电动变频顶驱钻机”、“新一代 3500 米永磁直驱顶驱地质钻机”、“XY-8DB/9 DB 型立轴式变频电驱动岩心钻机”等。这些钻机是以传统立轴钻机为原型,集成模块化交流变频电驱动及数据采集单元,采用 PLC 与现场总线进行电气系统配置的新型节能深孔岩心钻探成套装备。在地质岩心钻探领域这些新型驱动方式的装备和技术不仅是首创,而且技术水平居于世界领先。

在深部钻探技术方面更是硕果累累。进一步发展并提高了液动冲击回转钻探技术,研发了 YZX 系列液动锤,我国已成为液动冲击回转钻进技术应用普及程度和使用效果最好的国家,累计销售超过

2000 台套;借鉴油气井新技术,针对地质岩心钻探的特点,研发了小口径膨胀波纹管护壁技术,实现了钻孔事故井段的“支架”修复,对复杂地层安全钻进起到了良好的作用;此外复杂地层冲洗液关键技术、超高温高压钻井液流变仪研发应用、深部硬岩钻探金刚石钻头、海域天然气水合物保温保压取样器等都取得了重大的突破。

特别在定向钻探方面走向了更高级的阶段,攻克了高精度对接连通井关键技术,研发了具有独立知识产权的“慧磁”高精度中靶导向系统;研制的深孔高温磁中靶系统可满足 3000 m 井深、井温达 120℃ 的需求;以无线 MWD 取代有线测斜仪;加入伽马探管,实现了多钻孔地下矿层的精准贯通。新技术大量应用到实际工程,在河南安棚碱矿对接井工程、土耳其贝帕扎里与卡赞天然碱矿采集卤工程中施工了 130 余对连通井,使我国对接井钻进技术达到了世界先进水平的前列。

安徽省 313 地质队开展了“深部矿体勘探钻探技术方法及设备研究”,研制的分体式全液压力头钻机(FYD-2200 型)及高强度绳索取心钻杆在安徽省霍邱周集铁矿深部找矿中应用,2010 年终孔口径 $\varnothing 77$ mm 的 ZK1725 孔孔深达 2706.68 m,创当时中国小口径岩心钻探最深纪录。项目获国家科技进步二等奖。

我国地球深部找矿取得历史性突破,尤其是深部金矿勘查技术达到世界先进水平,山东是我国开展深部岩心钻探成果突出的省份。由山东黄金集团地勘公司设计、山东省地矿局第三地质矿产勘查院负责施工的“中国岩金勘查第一深钻”——山东莱州三山岛西岭金矿区 ZK96-5 孔历时 985 天于 2013 年 5 月顺利终孔,终孔孔深 4006.17 m,再创小口径岩心钻探最大孔深纪录^[44]。

由山东省第三地质矿产勘查院实施的莱州三山岛北部海域金矿床详查项目始于 2012 年,多数钻孔

设计在海域,水深 5~10 m,最深达 15 m,最大钻孔深度达 1973.46 m,探明金矿资源量 470.47 t,属超大型金矿。针对海域地质岩心钻探的特殊性,研制了具有自主知识产权的桩腿式简易海上钻探平台,填补了国内空白。海上钻探的成功实施,标志着我国地质工作已从大陆走向海洋,从地质大国向地质强国迈进。

河南省深部探矿工程技术研究中心承担了云南腾冲火山-地热-构造带科学钻探工程。在深部矿产钻探中采取“绳索取心钻进+液动潜孔锤”先进技术,解决了破碎地层中岩心堵塞内管、岩心采取率不足、漏失严重等问题,提高了钻进效率,保证了孔内安全和钻探施工的顺利进行。

江西省九一二地质大队在朱溪矿区自 2010 年实施第一个深孔以来,至今共完成钻孔 44 个,累计钻探工作量超 6 万 m,其中 1000~1500 m 钻孔 12 个,1500~2000 m 钻孔 16 个,2000 m 以上钻孔 6 个,最深钻孔超过 2200 m,深孔占矿区钻孔数的 77%。钻探工作连续 3 年创江西省固体矿产钻孔最深纪录。2017 年开始施工朱溪钨铜矿 ZK1814 孔,2019 年 4 月终孔孔深 2400 m,终孔口径 122 mm。

中煤科工集团西安研究院有限公司研制了煤矿井下大功率定向钻进装备,解决了井下超长定向孔、顶板岩层大直径定向长钻孔配套装备能力不足的问题;发明了煤矿井下防爆型随钻测量系统,完成了随钻测量信号传输由“有线”到“无线”的跨越,信号传输距离 ≥ 1500 m;研制了适用于中硬煤岩层定向钻进的高强度钻杆和长寿命钻头;研制出了 $\varnothing 73/89$ mm 深孔高强度钻杆,钻杆最大抗扭能力达到了 15983 N·m;开发了井下深孔高效定向钻进及钻孔事故处理技术与配套钻具。推广应用,综合钻进效率提高 40%,曾创造了煤矿井下顺煤层定向钻孔 2311 m 的世界纪录(图 14)。2019 年 1 月,采用复合定向钻进工艺技术,配套 ZDY12000LD 型大功率

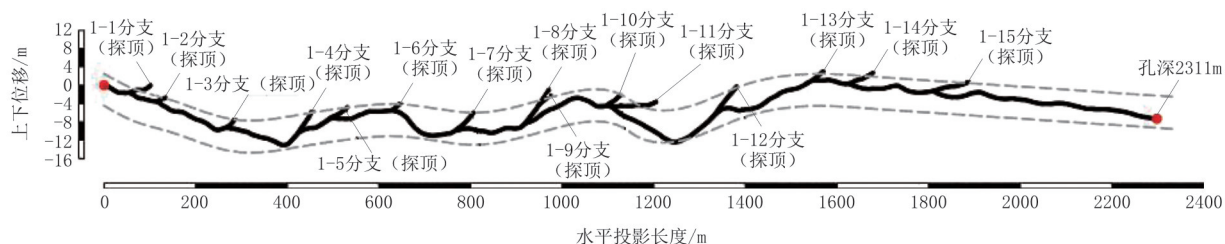


图 14 保德矿 2311 m 钻孔轨迹图

Fig.14 The 2311m borehole trajectory in Baode mine

定向钻机、泥浆脉冲无线随钻测量系统等装备,在神东保德煤矿又创造了煤矿井下顺煤层定向钻孔孔深 2570 m 的世界纪录^[45]。

4.3 钻探工程在地热、铀矿等新型能源资源勘探开发中一展身手

截止 2017 年,近 20 家项目承担单位 230 多名技术人员,历时近 5 年,先后攻克了高温钻井和深孔高温高压测温等关键技术,成功实现了我国干热岩勘查的一系列重大突破。在青海共和盆地成功施工 5 眼干热岩勘探孔,其中 GR1 干热岩勘探孔孔深 3705 m,孔底温度达 236 °C,孔内 3366 m 以深深度平均地温梯度为 8.8 °C/100 m,该钻孔是目前国内深度最深、温度最高的干热岩井。

2017 年,雄安新区首批 3 个 3500 m 深度地热勘探钻孔顺利开钻,标志着雄安新区深部地热勘查工作正式启动。

2018 年,我国海南岛第一口干热岩参数井圆满完钻,对我国干热岩地热能的开发利用具有里程碑式的意义。在琼北地区深度 4387 m 处钻获超过 185 °C 高温干热岩(非稳态测温)。

中国核工业集团公司 2013 年 7 月 17 日在江西抚州宣布,我国铀矿第一科学深钻以 2818.88 m 的钻深刷新此前 1200 多米的纪录。这一突破填补了我国铀矿深部找矿技术的空白,对提高国内天然铀保障程度、满足核电发展需要意义深远。该孔深创造了国内 P 口径(122 mm)绳索取心钻进最深纪录。

同时,针对深部地热资源勘探的需要,我国也开发了新型的装备,如“ZP-30DB 型转盘变频电传动水井钻机”、压裂泵、压裂液等。以河北永明地质工程机械有限公司为代表的一大批民营钻机制造企业,更是开发了从钻机、泥浆泵、钻杆、辅助工具、井控固控、地源热泵系统等各种系列的设备,为地热利用的普及做出了大量的贡献。

4.4 页岩气勘探开发依托钻井技术进步取得突破

由于水平井钻井技术和压裂设备与技术的进步,页岩气为人类打开了一扇新的能源大门。我国页岩气资源潜力大,分布面积广,发育层系多。页岩气开发是改变能源格局的大事,也是维护我国能源安全的一件大事。

涪陵页岩气田是中国第一个国家级页岩气示范区,累计探明储量达 6008 亿 m³,是全球除北美之外最大的页岩气田。截至 2017 年底,开钻井 401 口,

完钻井 348 口,投产井 260 口,2017 年产气量 60.4 × 10⁸ m³,2018 年产气量 60.2 × 10⁸ m³^[46]。其中 93-2HF 井的最大垂直深度达到了 4223 m,成为国内最深的页岩气井,气井压裂钻探技术已经成熟。

国土资源部 2009 年在重庆市綦江启动了我国首个页岩气资源勘查项目。后又在川渝黔鄂开展了 5 个项目的先导性试验,在上扬子及滇黔桂区、中扬子及东南区、西北区、青藏区、华东—东北区 5 个大区继续开展资源潜力调查,同时开展了 5 个页岩气勘探开发相关工艺技术的攻关项目。

4.5 天然气水合物钻采迈入世界领先水平

我国陆域冻土天然气水合物试采取得突破性进展,继 2008 年国土资源部在青海省祁连山南缘永久冻土带成功钻获天然气水合物实物样品后,2012 年开始试验性钻探,在全孔取心钻探发现水合物层位的基础上,利用降压及降压并分别配合电磁加热、太阳能加热和水蒸气加热综合方法采出了所期望的甲烷气体。2016 年完成了三井地下水合物层水平定向对接施工,并成功进行了开采试验。采用水平定向对接钻进技术使得水合物层在地下连通,大大提高了冻土天然气水合物的开采效率,连续试采排空试燃 23 天,开采气量 1078 m³^[47]。

2017 年我国南海天然气水合物试采工程取得成功,连续试采 60 天,累计产气量超过 30 万 m³,产气时长和总量创造了世界纪录。这次试采成功是世界首次成功实现资源量占全球 90% 以上、开发难度最大的泥质粉砂型可燃冰安全可控开采。通过试验探索和科学研究,我国取得了一系列的新成果:防砂技术先进,方法可靠,保障产气通道状态良好;在举升方式等多方面实现创新,提高产量效果显著;调控产能平稳有效,气流稳定,持续时间达到生产性试采要求,为产业化发展奠定了坚实的基础;海水及周边大气等甲烷浓度无异常,环境无污染;井壁和地层稳定,未发生地质灾害,实现安全可持续生产;试采理论、技术、工程和装备领跑优势不断扩大。这不仅标志着我国深海进入、深海探测、深海开发等技术取得了重大的成果,也将对全球能源生产和消费革命产生深远的影响。

4.6 大陆科学钻探工程迈入世界先进行列

早在 20 世纪 70 年代,苏联就开启了大规模的超深井钻探。我国已故著名地质学家谢家荣先生生前也呼吁要重视深部地质研究和国际大洋钻探计

划。1979 年 11 月在北戴河举行的中国地质学会探矿工程专业委员会第二届委员会暨学术会议上,刘广志院士作了题为“钻探科技发展现状及其展望”的报告,向钻探界介绍了国外超深孔钻探和深海钻探的发展概况与前景,首次提出“我们也要钻第一口中国的超深钻孔,研究深部地质学”的倡议。

4.6.1 前期准备工作

自 1988 年起至 1993 年,刘广志主编,组织多位钻探专家全方位有计划地收集、翻译、编辑出版了《深部陆壳勘察系列丛书》,共八卷约 250 万字,对我国初期宣传和推动科学钻探工程起了关键的作用。

1989 年 6 月,国家计委、教委批准投资在中国地质大学(北京)探工系筹建“地质超深钻探技术专业实验室”。

1990 年德国 KTB 计划主孔开钻。1992 年地矿部“第一次中国大陆科学钻探(CCS D)研讨会”在北京举行,此次会议具有划时代的意义。

1996 年国际大陆科学钻探计划(ICDP)宣布正式成立,我国成为 ICDP 的创始国和第一批三个成员国之一。由中国、美国、德国、加拿大、法国等 5 国科学家组成的联合专家组,共同向 ICDP 总部提交了在我国苏北东海进行科学深钻的实施建议书,并得到批准。

4.6.2 中国大陆科学钻探工程“科钻一井”

1998 年是个重大的转折年,国土资源部刚组建完成就成立了“中国大陆科学钻探工程领导小组”。1999 年 9 月 27 日,国家计委正式批准下达了《关于中国大陆科学钻探工程项目建议书的批复》,原则同意所报建议书。项目的实施时间是 2000—2004 年。项目总投资 14960 万元。2000 年 1 月国土资源部调整了中国大陆科学钻探工程领导小组。

2001 年 3 月工程中心研究决定:中国大陆科学钻探工程的英文译名为:Chinese Continental Scientific Drilling,缩写为 CCS D;井的名称为“科钻一井(CCS D-1)”。当地老乡嫌叫着拗口,随喜称“亚洲第一井”。

中国大陆科学钻探工程还被批准列入了国家“九五”重大科学工程项目。经过工程可研报告和工程设计的评估论证、现场的建设、工程招投标、人员培训、关键技术研发。2001 年 6 月 25 日上午 9:30,中国大陆科学钻探工程“科钻一井”在江苏省东海县破土开钻。7 月 26 日,温家宝副总理对中国大陆科

学钻探工程开工仪式表示祝贺,对工程实施做出重要批示。8 月 4 日,在江苏省东海县施工现场隆重举行了中国大陆科学钻探第一井开钻典礼,全国政协副主席万国权,国家计委、科技部、江苏省、国土资源部领导以及国内外著名地学专家学者、国际组织代表等 300 多人出席了典礼仪式。这项历时 20 余年筹备的重大科学工程在全国人民的瞩目下终于起航了,这是我们钻探界一件具有划时代意义的重大事件,由此开启了新世纪钻探工程技术的大发展时期。图 15 为“科钻一井”现场鸟瞰图。



图 15 “科钻一井”现场鸟瞰图

Fig.15 Aerial view of the CCS D-1 Well site

“科钻一井”的施工历时 3 年另 258 天(2001.06.25—2005.03.08)取得圆满成功,艰难的施工历程全部浓缩在施工曲线图中,见图 16。

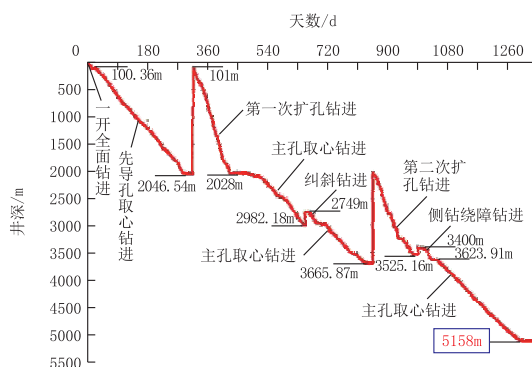


图 16 “科钻一井”施工进度曲线

Fig.16 Drilling operation progress of CCS D-1 Well

直接并长期参加过“科钻一井”工程各类人员达 200 多人,加上测井、固井、VSP、外围支援和短期工作的总人数估计达 400 余人;施工现场一度成为远近闻名的科普基地,参访人员络绎不绝;到过现场的各级领导和国内外专家也达到百十人。中国大陆科学钻探工程被评选为“2002 年公众关注的中国十大科技事件”和“2005 年中国十大科技进步新闻”。

“科钻一井”取得了丰硕的科技成果。“中国大

陆科学深钻的科技集成与创新”获国家科技进步二等奖;“硬岩深井取心钻探技术的研究与应用”和“中国大陆科学钻探工程新型钻井技术体系的研究与应用”两项获国土资源部科技成果一等奖;主要贡献有:创造性地将“组合式钻探技术”、“灵活的双孔方案”和“超前孔小直径取心钻进方法”有机地结合起来,形成了独具中国特色的科学钻探钻井技术体系并在“科钻一井”中得到了成功的运用,这套新型钻井技术体系主要由井底动力驱动的冲击回转取心钻探技术、硬岩大直径长井段扩孔钻进技术、强致斜地层井斜控制技术、LBM-SD 泥浆体系、小间隙固井及活动套管应用技术、孔内事故预防处理技术、钻探数据采集处理技术等组成。更为可喜的是,通过工程实施培养出一大批优秀的钻探工程专家,在后续的大陆科学钻探工程中发挥了重要作用。

2007年12月14日,国家发展和改革委员会在北京组织了工程的国家验收,验收委员会工程技术专家组认为:与国际同类大陆科学钻探工程相比,该工程高质量、高效率、低成本地完成了施工任务,圆满地实现了项目预定的工程技术目标;总体工程技术成果达到了国际先进水平,部分成果达到国际领先,是一项具有中国特色自主创新的重要科技成果。

2019年8月26日,地球物理综合观测系统在“科钻一井”成功下井,最深到达3499 m,是迄今为止我国最深的综合地球物理观测系统,中国大陆科学钻探工程建成了深井—浅井—地面物理观测网。

4.6.3 深部探测技术与实验研究专项

“十二五”期间我国执行了“深部探测技术与实验研究专项”(SinoProbe),其中第五项目“大陆科学钻探选址与钻探实验”(SinoProbe-05)的第七个课题是“大陆科学钻探选址与钻探实验综合研究”(SinoProbe-05-07)。围绕项目总目标,按照设计方案,组织实施了西藏罗布莎、东波及泽当等地,甘肃金川,安徽庐枞、铜陵,云南腾冲和江西于都—赣县等预导孔钻探施工与综合研究。设计钻探工作量14500 m,实际钻探总进尺16000 m。

SinoProbe-05项目的06课题——“科学超深井钻探技术方案预研究”由国内众多院校与科研单位几十名专家,历时5年,完成了预研究报告。最终提出13000 m超深钻总体设计方案和必须研究解决的近百项研究课题,为后来的“十三五”计划和国家重大科技项目的申请立项奠定了扎实的基础。

在SinoProbe-09项目中也有一个05课题——“深部大陆科学钻探装备研制”。通过项目研制成功了我国第一台万米科学钻探专用钻机“地壳一号”,后用在松辽盆地科学钻探“松科二井”的施工。

4.6.4 汶川地震断裂带科学钻探工程

2008年开始实施的汶川地震断裂带科学钻探工程历时5年,完成了5个钻孔,施工总进尺10387 m,其中取心钻进5883 m,获取岩心5378 m,平均岩心采取率91.4%,获取的岩心质量高、原状性好。所有的钻孔都穿过了主断层(目标层),完钻后建成长期观测孔。汶川地震断裂带科学钻探项目是科技部支撑计划的一个专项,由中国地质调查局汶川地震科学钻探工程中心组织实施,其钻探工程由中国地质科学院探矿工艺研究所负责实施。该项目针对龙门山断裂带极端恶劣的施工环境和复杂的地质条件,开展了大量的自主创新,研发了螺杆马达/液动锤/长半合管取心钻进工艺、破碎地层取心技术、强蠕变地层钻进技术、复杂地层小间隙固井工艺和高转速深孔取心顶驱钻机等钻探技术和装备。钻探工程的实施为地震研究和地震监测、预报提供了强有力的技术支撑。这些技术成果,除了对汶川地震科学钻探项目地学目标的实现起到了强有力的支撑作用,还将在我国的地质岩心深钻和科学钻探施工中发挥积极的作用^[48]。

4.6.5 松辽盆地科学钻探工程

松辽盆地科学钻探是我国又一个ICDP项目,“松辽盆地白垩纪大陆科学钻探计划”以获取松辽盆地白垩纪完整的地层岩心资料,建立全球首幅陆相白垩纪综合地质剖面,研究白垩纪气候变化与探索松辽盆地深部资源远景为主要科学目标。先后施工了松科一井(东孔与西孔)和松科二井,后者创造了完井井深7018 m的新纪录,是迄今为止亚洲国家实施最深的大陆科学钻探工程。图17为松科二井工程竣工现场。该工程取得了311 mm口径超千米同径取心钻进;216 mm口径长钻程取心钻进,单回次进尺超40 m;研制的耐高温泥浆体系循环工作温度达241℃;开展了311、216和152 mm口径的绳索取心可行性试验;研制了用于大口径绳索取心的中空螺杆钻、中空涡轮钻和中空液动锤等井底动力钻具样机,并部分进行了井下试验;全孔取心比率达61.62%,取心井段平均岩心采取率达

96.45%，在 50 m 厚第四系流沙层原状采样率 92%；研发了松软岩心水力出管方法、坚硬破碎岩心机械出管方法等系列钻探工艺成果。

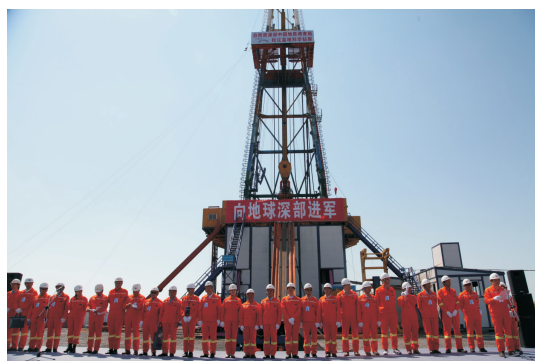


图 17 松科二井工程竣工现场

Fig.17 Completion site of SK-2 Well

通过上述大陆科学钻探工程,我国突破了硬岩深井连续取心和破碎地层原状取心等关键技术,提升了我国钻探工程的技术水平和学术地位,为今后国内外科学钻探和深部岩心钻探展示了良好的工程示范,为我国超万米科学钻探的技术研究和工程实施储备了人才梯队。工程项目获国内外专家高度赞誉,ICDP 执委会主席 Marco Bohnhoff 在“松科二井”竣工后研讨会上评价:“中国开展东海钻探和松辽盆地钻探的两个项目成为国际深部科学钻探的引领性项目”。

4.6.6 极地钻探工程

科学钻探又一个热点地区是极地。中国第 32 次南极科学考察队昆仑队在昆仑站的冰心房钻取出一支 3.55 m 的深冰心,这是本次考察队钻取出的第一支深冰心。在中国第 35 次南极科学考察任务中,由吉林大学历时 5 年自主研发的钻探装备成功钻穿近 200 m 厚的冰盖,获取连续冰心,并首次钻取冰下基岩岩心样品。为我国深入开展极地钻探工程、获取更多南极深冰下的岩心样品提供了强有力的技术支撑。为研究南极冰盖运动和演化以及东南极冰下地质学研究提供了重要的科学依据,为后续更好地进行南极冰盖考察与研究奠定基础。同时使我国成为世界第三个拥有冰下基岩钻探核心技术和装备的国家^[49]。极地钻探未来计划是研发新型及新一代钻探设备与系统,钻穿极地冰盖,获取深层冰芯,冰下基岩样品,以及获取冰下湖水及沉积物等,对极地冰盖形成演化机理、冰下地质构造、冰下环境、冰盖深层结构、可能存在的极端条件下新生命

(微生物)等进行研究,并对反演地球古气候变化,预测全球未来气候变化提供有力证据。课题主要是极地冰盖及冰下基岩,冰下湖钻探取样技术与装备的研发。

综上所述,我国已经建立了现代地质岩心钻探技术体系和一套具有国际先进水平的科学钻探技术体系,地质钻探技术水平基本与世界同步,科学钻探工程技术进入世界前列。

4.7 积极开展大洋钻探

从 20 世纪后半叶开始,人类实施的国际性海洋科学钻探计划,从深海钻探计划(DSDP)、大洋钻探计划(ODP)、综合大洋钻探计划(IODP)到大洋发现计划(新 IODP),历经几十年。我国于 1998 年正式加入 ODP,后陆续加入了 IODP,中国 IODP 办公室设在同济大学。2014 年 IODP349 航次开启了由我国科学家主导的中国南海科学钻探,2017 年由我国科学家主导的第三次南海大洋钻探 IODP 368 航次结束,科研人员首次获得了南海从陆地到浅海再到深海的完整沉积记录。他们发现,3400 万年前南海就已有深海环境。2023 年 IODP 新十年计划将结束,“决心号”钻探船不久也将退役,“地球号”费用过于昂贵,届时将面临无船可用的境地^[50]。可喜的是,在我国“十三五”科技计划中深海、深地科学研究被列为战略性前瞻性重大科学问题,正在积极筹建天然气水合物钻采船(大洋钻探船),其主要功能是开展海域天然气水合物试采和深海科学钻探,任务已经落在地调局广州海洋地质调查局的肩上,目前正在紧锣密鼓地筹建中,以我国为主要力量实施大洋钻探工程的任务已提上日程^[50]。

4.8 积极开展绿色勘查钻探技术研究

当前,勘查与环境之间的矛盾日渐突出,绿色勘查已经成为一种先进的勘查理念,基于绿色勘查的浅层钻探技术及应用得到了快速发展。北京探矿工程研究所开展了系列浅层取样钻机研制与开发,目前已形成了 5 个系列的取心(样)钻机。同时,对浅钻技术应用涉及的以钻代槽勘查方法、浅钻地球化学测量技术、浅钻地质填图技术、环境地质调查、地质灾害预警防治和工程勘查等领域进行了深入广泛的研究,形成了完备的浅覆盖区浅钻地质调查技术方法体系。浅层钻探技术作为最直观的进行定性定量分析研究的技术手段,不仅能加快工作速度,还能大量减少植被的破坏,保护环境,是浅层钻探技

术服务于地质调查绿色勘查的直接体现^[51]。山东黄金地勘公司等单位在施工中践行绿色勘查理论,通过勘查设备精细化、采用一基多孔、定向钻进等方法减少土地占用及生态扰动,通过技术革新和技术改造控制噪声、节能降耗、减少“三废”污染。

中国地质科学院探矿工艺研究所针对覆盖层钻孔易坍塌、岩心松散易被泥浆冲失和钻孔漏失等钻进技术难题,加强技术攻关,从保护孔壁和保护岩心入手,采用空气钻进原理,将常规的回转取心钻进方法与潜孔锤跟管钻进优化组合,形成了一种有效的覆盖层钻探新方法——空气潜孔锤取心跟管钻进技术,既有效提高了钻探效率,又大大提高了取心质量。

内蒙古、黑龙江、贵州、陕西、青海、新疆、西藏等地结合当地的地质调查项目,都有意识地利用了绿色钻探技术,为我国建立绿色勘查技术标准奠定了良好的基础。

4.9 探矿工程专业标准体系逐步成熟并完善

21世纪以来,我国加强了对技术标准的投入力度,经费保障逐步提高;依托标准化主管部门的支持和指导,钻探技术标准的研究和升级工作全面开展,尤其是2010年后,制修订了一批重要标准,形成了稳定的标准制修订专业团队,使钻探工程标准体系逐步成熟并完善。探矿工程行业共计发布标准12项,主要发布时间集中在2014—2017年。其中,《地质岩心钻探钻具》国家标准1项,《地质岩心钻探规程》、《地质岩心钻探金刚石钻头》、《定向钻探技术规程》等行业标准11项。在研技术标准12项,其中,通过地质勘查分技术委员会审查的标准9项(如《钻探工程术语》、《液压动力头岩心钻机》和《浅层取样钻探技术规程》等),完成并提交送审稿的标准3项(如《地质钻探护壁堵漏技术规程》和《陆域天然气水合物钻探技术规程》等)。

4.10 钻探技术在矿山救援等特种工程中发挥巨大作用

2015年12月25日山东省临沂市石膏矿发生坍塌事故,4名矿工被困。在救援中钻探技术大显神威,根据救援的需要,采用大直径钻孔垂直救援方式,共施工了7个救援钻孔。先后采用了旋挖钻机进行开孔钻进,采用了 $\varnothing 711$ mm双壁钻具潜孔锤空气反循环钻进等技术,通过钻孔设计、施工工艺、钻具配置、临场解决施工中遇到的问题,最终在坍塌

事故发生36天后,成功救出被困井下的4名矿工。这是我国大口径钻孔救援成功的首例、也是世界上的第三例,创造了矿山事故救援的范例,在矿山救援史上具有里程碑意义。

此外,钻探技术还在地质灾害治理、地面沉降监测、大型隧道开挖中水平探测等工程中发挥了重要的作用。

5 展望

到2020年我国将全面建成小康社会,到2035年要基本实现社会主义现代化,这是中央确定的宏伟目标。当前及今后一段时期,我国经济将由高速增长阶段转向高质量发展阶段,对固体矿产资源的需求也将从持续快速增长转入低增长、微增长。但是,我国战略性矿产资源短缺的局面不会改变,铜、镍、铁、石油等资源的对外依存度仍会很高。在国际局势动荡加剧、不确定性因素较多的大背景下,为了维护国家战略资源安全,终会再次加强地质勘查和找矿工作力度,提升国内资源保障能力。未来,我国在四川盆地、渝东鄂西地区、黔湘地区、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地、东北松辽盆地等地都将开展页岩气的勘探调查,钻探工程一定大有用武之地。同时,深地探测、大洋钻探、极地钻探、水合物及干热岩等新型资源勘查、环境工程等为探矿工程事业创造了良好的技术发展空间和市场前景。

2018年11月,自然资源部印发《自然资源科技创新发展规划纲要》,其规划期为2018—2025年,展望至2035年。纲要提出:“以向地球深部进军、拓展蓝色经济空间为总要求,组织实施地球深部探测重大工程,研发深地资源能源探测勘查与评价技术,研发全海深资源调查观测装备,突破深地探测、深海探测、极地探测及其资源绿色开发利用的核心关键技术,拓展我国经济社会发展的资源空间。”主要任务有:推进实施地球深部探测重大工程,创新深地科学与动力学理论;建造天然气水合物钻采船;发展极地资源与环境调查监测技术;自主创新深海钻探系统与关键技术;攻克矿产资源和清洁能源绿色利用核心技术等,这也是钻探界的重要研发的方向。

2020年将是一个重要节点,人类在5G技术商用、AI技术掀起新工业革命、智能采矿与智慧矿山、新型高效节能材料等方面取得突破性进展,这些“使

能技术”^②同样要广泛应用在地质勘探产业上,作为地质调查技术方法中最接近世界先进水平的钻探工程技术,应该引入新的理念,实现创新和跨越式发展。

我国地质钻探工程事业经过70年4个阶段的发展,目前整体技术水平已处于世界前列。从技术层面发展阶段上看,我国地质钻探工程技术目前已开始进入自动化阶段,尤其是地表钻探设备施工作业正逐步实现自动化,孔下自动化也在积极研究开发。期待未来的10余年后,我国地质钻探工程的技术水平能够达到这个目标:进入智能化钻探阶段。也就是将地面和地下作为一个有机的整体,实现地面和孔下的大闭环控制,即全自动钻探,结合远程控制,将实现无人现场作业。

回顾新中国70年的科技发展道路,举国体制是贯穿其中的制度主线,发挥了我国社会主义制度集中力量办大事的优势。建议有关部门继续发挥政府的作用,加强地质科技创新的顶层设计。可以预见,未来探矿工程科研机制不断优化,产学研用深度融合,在深地、大洋等领域,在智能化钻进等方向钻探技术将有重要突破和发展。同时,在“一带一路”倡议(框架)下国际钻探技术合作不断深化,更多的中国钻探技术、产品走向世界。

70年探矿事业发展历程中取得的辉煌成绩是几代人坚持不懈、努力奋斗得来的。新一代探矿人将不忘初心、继往开来,在新形势和新条件下再学习、再认识、再出发,继续在新技术研发与应用上创造出更辉煌的业绩,共享新时代美好生活!

参考文献:

- [1] 编辑部.莘莘六十载,殷殷探矿情——访中国工程院资深院士刘广志[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(12):1-3.
Editorial Board. 60 years long journey with profound love to prospecting—interview with Liu Guangzhi, an experienced academician of Chinese Academy of Engineering[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007, 34(12):1-3.
- [2] 中华人民共和国自然资源部.2018中国矿产资源报告[M].北京:地质出版社,2018.
Ministry of Natural Resources, PRC. China mineral resources 2018[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2018.
- [3] 侯波.科学总结新中国70年历史经验的三个视角[J].红旗文稿,2019(5):29-30.
HOU Bo. Three perspectives of scientific summarization of the 70 year historical experience of New China[J]. Red Flag Manuscript, 2019(5):29-30.

- [4] 邹家华.艰苦奋斗 发展矿业——在毛主席“开发矿业”题词54周年纪念会上的讲话[J].中国地质教育,1995(1):3,26.
ZOU Jiahua. Hard work and development of mining industry—The speech at the 54th anniversary of Chairman Mao's "Development of Mining" inscription[J]. Chinese Geological Education, 1995(1):3,26.
- [5] 刘广志.中国钻探科学技术史[M].北京:地质出版社,1998.
LIU Guangzhi. History of drilling science and technology in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.
- [6] 夏国治,程裕淇.当代中国的地质事业[M].北京:中国社会科学出版社,1990.
XIA Guozhi, CHENG Yuqi. Geology cause in contemporary China[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 1990.
- [7] 中华人民共和国地质部.颁发“关于部分钻孔不取岩心钻进的暂行规定”的通知[J].探矿工程,1959(11):8.
Ministry of Geology, PRC. Issued "The Interim Regulations on partial borehole without core drilling"[J]. Exploration Engineering, 1959(11):8.
- [8] 赵国隆,刘广志,李常茂.勘探工程技术[M].上海:上海科学技术出版社,2003.
ZHAO Guolong, LIU Guangzhi, LI Changmao. Exploration engineering technology[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2003.
- [9] 赵国隆,刘广志.中国勘探工程技术发展史集[M].北京:中国物价出版社,2003.
ZHAO Guolong, LIU Guangzhi. History of exploration engineering technology in China[M]. Beijing: China Price Press, 2003.
- [10] 戈别尔柯.提高地质勘探工作效率的途径[J].探矿工程,1959(4):11-15
Gurbeco. Ways to improve the efficiency of geological exploration work[J]. Exploration Engineering, 1959(4):11-15.
- [11] 巴拉巴.在彬县队召开的全国钻探、机械会议上的发言[J].探矿工程,1959(2):7-9
Ballaba. Speech at national drilling machinery conference held by Bin County Team[J]. Exploration Engineering, 1959(2):7-9.
- [12] 任子翔.十年来我国的探矿工程工作[J].探矿工程,1959(10):2-5.
REN Zixiang. Exploration engineering work in China in the past ten years[J]. Exploration Engineering, 1959(10):2-5.
- [13] 朱训,陈洲其.中华人民共和国地质矿产史:1949-2000[M].北京:地质出版社,2003.
ZHU Xun, CHEN Zhouqi. History of geology and mineral resources of the People's Republic of China: 1949-2000 [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003.
- [14] 刘秀美,李小洋,孙建华.地质钻探液动冲击回转钻进技术再(新)认识[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):31-35.
LIU Xiumei, LI Xiaoyang, SUN Jianhua. New understanding

^② 使能技术(enabling technology)——使能技术处于基础研究和产品研发之间,属于应用研究的范畴,其使命是通过使能技术的创新,来推动创新链下游的产品开发、产业化等环节的实现。

- of hydraulic percussive-rotary drilling technology in geological drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(4):31-35.
- [15] 云南、四川、广东省地质局. 岩心钻探定向钻进[M]. 北京:地质出版社,1979.
Yunnan, Sichuan, Guangdong Geological Bureau. Directional drilling in core drilling[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979.
- [16] 江天寿,周铁芳. 受控定向钻进技术[M]. 北京:地质出版社,1994.
JIANG Tianshou, ZHOU Tiefang. Controlled directional drilling technology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994.
- [17] 耿瑞伦,陈星庆. 多工艺空气钻探[M]. 北京:地质出版社,1995.
GENG Ruilun, CHEN Xingqing. Multi-tech air drilling[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995.
- [18] 饶希践,李明祥. 地矿系统坑探工作的回顾与展望[J]. 探矿工程,1999(S1):207-211.
RAO Xijian, LI Mingxiang. Review and prospect of the tunnling work of the geology and mineral system[J]. Exploration Engineering, 1999(S1):207-211.
- [19] 刘广志. 工程施工钻探获重大发展——在地矿部工程施工钻探技术交流会议上的综合发言[J]. 探矿工程,1991(5):1-3.
LIU Guangzhi. The important progress acquired in engineering construction drilling[J]. Exploration Engineering, 1991(5):1-3.
- [20] 李浩林. 大口径工程钻探用于基础桩施工[J]. 探矿工程,1985(6):5-7.
LI Haolin. Large-diameter engineering drilling for foundation pile construction[J]. Exploration Engineering, 1985(6):5-7.
- [21] 地质矿产部科学技术司. 探矿工程科技进步100例[M]. 北京:地震出版社,1998.
Department of Science and Technology, Ministry of Geology and Mineral Resources. 100 cases of scientific and technological progress in prospecting engineering[M]. Beijing: Seismological Press, 1998.
- [22] 王达. 整体化推进产业化发展规模化经营科学化管理——谈工程勘察施工业的发展方向[J]. 探矿工程,1995(1):1-5.
WANG Da. Integrally promote the industrialization development, large-scale operation and scientific management—On the development direction of engineering exploration industry [J]. Exploration Engineering, 1995(1):1-5.
- [23] 王达. 地矿部工程勘察施工业进一步发展的关键问题[J]. 中国地质,1996(10):5-7.
WANG Da. Key issues for further development of engineering exploration industry in the Ministry of Geology and Minerals [J]. Geology in China, 1996(10):5-7.
- [24] 郑超. 工程勘察钻机的发展现状[J]. 地质与勘探,1986(11):61-64.
ZHENG Chao. Development status of engineering exploration drilling rig[J]. Geology and Exploration, 1986(11):61-64.
- [25] 廖光华. 泵吸反循环施工大口径灌注桩钻进深度的理论分析[J]. 探矿工程,2000(6):15-16.
LIAO Guanghua. Theoretical analysis on the drilling depth ability of suction reverse circulation used in large diameter grouting pile[J]. Exploration Engineering, 2000(6):15-16.
- [26] 詹龙和,谢秋明,张青平. 泵吸反循环在120 m超深钻孔灌注桩中的成功应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(10):4-5.
ZHAN Longhe, XIE Qiuming, ZHANG Qingping. Successful application of reverse circulation with pump sucking in 120m bored piles[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2004,31(10):4-5.
- [27] 陶兴文,吴礼生. 钻孔灌注桩后压浆技术在上海地区的试验[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),1999(6):4-5.
TAO Xingwen, WU Lisheng. Tests on post grouting into bored pile in Shanghai[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 1999(6):4-5.
- [28] 童品正. PZ系列组合牙轮钻头在基桩工程中的应用[J]. 探矿工程,1998(2):26.
TONG Pinzheng. Application of PZ series combined cone bit in foundation pile engineering[J]. Exploration Engineering, 1998(2):26.
- [29] 周红军,蒋国盛,张金昌. 国产旋挖钻机市场现状分析及发展建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8):6-9.
ZHOU Hongjun, JIANG Guosheng, ZHANG Jinchang. Analysis on present situation of homemade rotary drill rig market and suggestions on the development[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(8):6-9.
- [30] 冯宗才,范清明,陆祖安. 石龟山大桥直径3~4.4 m空心桩施工技术[J]. 探矿工程,1997(1):21-24.
FENG Zongcai, FAN Qingming, LU Zu'an. Construction technology of 3~4.4m hollow pile of Shiguishan Bridge[J]. Exploration Engineering, 1997(1):21-24.
- [31] 王鹏,王洪龄,周升凤,等. 导向钻进非开挖铺管技术[J]. 探矿工程,1996(6):16-18.
WANG Peng, WANG Honglin, ZHOU Shengfeng, et al. Trenchless pipeline installation technique using guided boring [J]. Exploration Engineering, 1996(6):16-18.
- [32] 耿瑞伦. 当今非开挖铺设管线技术的新进展——记第四届国际非开挖技术研讨会[J]. 探矿工程,2000(4):54-56.
GENG Ruilun. New development of present trenchless pipeline installation technique—The 4th ITTC[J]. Exploration Engineering, 2000(4):54-56.
- [33] 耿瑞伦,陈星庆,耿燕婷,等. 推广应用多工艺空气钻进技术成效显著[J]. 探矿工程,1998(3):3-6.
GENG Ruilun, CHEN Xingqing, GENG Yanting, et al. Multi-tech air drilling technology has achieved remarkable results[J]. Exploration Engineering, 1998(3):3-6.
- [34] 张阿根. 上海城市地质工作发展与展望[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):5-12.
ZHANG Agen. Advances and prospect of urban geologic work of Shanghai[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(1):5-12.
- [35] 张佳文. 引青济秦西线隧洞出口段工程掘进施工技术[J]. 探矿工程,1992(2):55-56.
ZHANG Jiawen. Construction technology of tunnel excava-

- tion in the exit section of the west water diversion from Qinglong River to Qinhuangdao[J]. Exploration Engineering, 1992(2):55-56.
- [36] 方德平, 陆国芳, 杨刚. 北京鹰山特大断面隧道开挖技术[J]. 探矿工程, 1994(2):11-13.
FANG Deping, LU Guofang, YANG Gang. Technology of excavating the Yingshan Mountain Tunnels in superlarge scale, Beijing[J]. Exploration Engineering, 1994(2):11-13.
- [37] 周铁芳, 赵建亚, 向军文, 等. 采卤对接井钻井技术的研究[J]. 探矿工程, 1995(1):6-10, 17.
ZHOU Tiefang, ZHAO Jianya, XIANG Junwen, et al. Study on directional drilling technique for subsurface intersected brine development wells[J]. Exploration Engineering, 1995(1):6-10, 17.
- [38] 陈其慎, 于汶加, 张艳飞, 等. 矿业发展周期理论与中国矿业发展趋势[J]. 资源科学, 2015, 37(5):891-899.
CHEN Qishen, YU Wenjia, ZHANG Yanfei, et al. Mining development cycle theory and development trends in Chinese mining[J]. Resources Science, 2015, 37(5):891-899.
- [39] 刘伯恩, 张所续. 矿业形势出现回暖 资源需求保持高位——2016年中国国际矿业大会“矿产开发利用”分论坛综述[J]. 中国国土资源经济, 2016, 29(11):16-19.
LIU Boen, ZHANG Suoxu. Some signs of revival in mining industry and high demand for natural resources—the forum of “Exploitation and Utilization of Mineral Resources” at 2016 China Mining Congress[J]. Natural Resource Economics of China, 2016, 29(11):16-19.
- [40] 王兆丰, 段君君, 王菁玉. 全国地质勘查行业形势分析[J]. 国土资源情报, 2014(9):33-37.
WANG Zhaofeng, DUAN Junjun, WANG Jingyu. Analysis of the situation of China's national geological exploration industry[J]. Land and Resources Information, 2014(9):33-37.
- [41] 崔荣国, 陈其慎, 郭娟, 等. 全球矿业发展阶段研究[J]. 中国矿业, 2017, 26(11):10-13, 22.
CUI Rongguo, CHEN Qishen, GUO Juan, et al. Development stages of global mining[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(11):13-16, 25.
- [42] 张伟. 地质钻探技术发展有关问题的思考[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(1):1-3.
ZHANG Wei. Consideration on relevant problems about development of geological drilling technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007, 34(1):1-3.
- [43] 孙丙伦, 孙友宏, 张敏, 等. 深部找矿钻探技术与实践[M]. 北京:地质出版社, 2013.
SUN Binglun, SUN Youhong, ZHANG Min, et al. Technology and practice of deep exploration drilling[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013.
- [44] 本刊编辑部. 2013年探矿工程十大新闻[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(1):1-2.
Editorial Board of Exploration Engineering. 2013 top 10 seitech news in exploration engineering[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(1):1-2.
- [45] 李泉新, 石智军, 田宏亮, 等. 我国煤矿区钻探技术装备研究进展[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(2):1-6, 12.
LI Quanxin, SHI Zhijun, TIAN Hongliang, et al. Progress in the research on drilling technology and equipment in coal mining areas of China[J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(2):1-6, 12.
- [46] 赵全民, 张金成, 刘劲歌. 中国页岩气革命现状与发展建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(8):1-9.
ZHAO Quanmin, ZHANG Jincheng, LIU Jingge. Status of Chinese shale gas revolution and development proposal[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(8):1-9.
- [47] 本刊编辑部. 2016年探矿工程十大新闻[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(1):1-3.
Editorial Board of Exploration Engineering. 2016 top 10 seitech news in exploration engineering[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(1):1-3.
- [48] 张伟, 胡时友, 贾军, 等. 汶川地震科学钻探项目钻探工程实施总结[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9):94-100.
ZHANG Wei, HU Shiyu, JIA Jun, et al. Implementation summary of drilling engineering of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9):94-100.
- [49] 探矿工程之梦再获突破, 成功钻取南极冰下岩心[DB/OL]. (2019-02-19). http://www.tkgc.net/index.php?s=/home/arc/arc_detail/arc_id/2745.html.
The dream of exploration engineering has been broken through again, successfully obtains Antarctic subglacial bedrock core sample[DB/OL]. (2019-02-19). http://www.tkgc.net/index.php?s=/home/arc/arc_detail/arc_id/2745.html.
- [50] 叶建良, 张伟, 谢文卫. 我国实施大洋钻探工程的初步设想[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(2):1-8.
YE Jianliang, ZHANG Wei, XIE Wenwei. Preliminary thoughts on implementation of the ocean drilling project in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(2):1-8.
- [51] 岳永东, 谭春亮, 宋殿兰, 等. 基于绿色勘查的浅钻技术在浅覆盖区填图中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(12):5-11.
YUE Yongdong, TAN Chunliang, SONG Dianlan, et al. Application of shallow drilling technology based on green exploration to geological mapping in thin overburden[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(12):5-11.

(编辑 王建华)