

国际隧道及地下工程发展动向

——“2002 年世界隧道及地下工程博览会暨学术交流会”情况报导

傅冰骏

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100101)

摘 要 简要介绍 2002 年 5 月 16—19 日在意大利 Modena 召开的“2002 年世界隧道及地下工程博览会暨学术交流会”的情况及中国代表团在意大利期间的主要学术活动,分析了国际隧道及地下工程的发展动向。

关键词 隧道 地下工程 博览会 发展动向 隧道掘进机 非明挖(非开挖) 定向钻探

中图分类号 U45 **文献标识码** C **文章编号** 1000-3746(2002)05-0054-04

1 概况

“2002 年世界隧道及地下工程博览会暨学术交流会”于 2002 年 5 月 16—19 日在意大利 Modena 召开。会议由意大利隧道学会(SIG)、意大利地球资源与环境协会(GEAM)、德国地下运输设备研究组织(STUVA)等 6 个单位主办,意大利 Progetto M 国际公司承办。

会议主题是:“隧道与隧道工程”,副题为:“世界隧道掘进技术及地下空间开发”。内容涉及隧道工程、采矿工程、钻探工程、隧道施工新设备、新材料、新工艺等。参加会议的有来自世界各国的代表 300 余人,参加展览的有国际著名承包商、制造商、出版商、咨询公司等。

博览会包括以下内容:隧道轨道运输设备及出渣系统;隧道施工隔音设备、劳动保护专用设备、隧道供电系统、通风系统、钻爆设备、隧道防火及其它安全器材、隧道超前勘探系统、隧道掘进机(TBM)及后配套系统、定向钻探设备、微型隧道工程、隧道通风、排水系统、围岩锚固与注浆技术、大型地下工程设计、施工图片展、澳大利亚昆士兰地区在建大型隧道科技展。

来自不同国家及地区的近 80 位专家就有关问题做了学术报告。

应国际会议科学技术委员会主席 S. Pelizza 教授及组织委员会主席 S. Montaguti 先生邀请,经中国科学技术协会批准,中国岩石力学与工程学会组成了以学会副理事长、中国工程院钱七虎院士为团长的代表团参加了该会议。代表团成员有:中国工程院施仲衡院士,中国岩石力学与工程学会顾问傅冰骏研究员,黄河水利委员会设计院院长沈凤生教授。国家电液控制工程技术研究中心主任、浙江大学杨华勇教授参加了部分活动。

中国代表团在意大利期间(5 月 15—25 日)受到热情隆重的接待,5 月 19 日大会特意为“中国隧道工程与地下空间开发——过去、现在和未来”为主题组织了一次研讨会。在

研讨会上,依次就以下问题做了学术报告:

钱七虎院士:“隧道掘进机在中国地下工程中的应用现状及发展前景”;

施仲衡院士:“中国地铁建设的现状和展望”;

傅冰骏研究员:“中国水工地下结构建设及隧道掘进机技术”;

沈凤生教授:“中国南水北调西线第 1 期工程的深埋长隧道”。

意大利 CMC 公司远东地区经理 L. Girardi 先生及 CMC 公司海外建设部技术处处长 I. Andreis 先生在会上也就该公司在中国用隧道掘进机法从引大入秦到昆明引水工程进行快速开挖的 14 年业绩进行了报告。

专题讨论会前,大会组织了由 Modena 市长 Ennio Cottafavi 博士主持的招待会,应邀出席会议的有中国驻米兰总领事馆总领事高树茂先生、领事刘志明先生以及有关政府官员、专家、记者。E. Cottafavi 市长及高树茂总领事就中国隧道地下工程的发展及国际合作等发表了热情洋溢的讲话,为中国专题报告会奠定了良好的基础。

会议期间及会后,在东道主的精心组织安排下,代表团还进行了其它一些活动:

(1) 5 月 17 日在 Ravenna 考察访问了世界著名工程承包商 CMQ Cooperativa Muratori Cementisti,1901—)公司,公司总经理 V. Morigi 先生等亲自出面接待;

(2) 5 月 21 日在罗马考察了城市地下铁路工程 Quattro Venti 隧道施工现场,与工程项目经理 C. Eusebio、隧道掘进机制造商 Herrenknecht 公司项目经理 M. Marchionni 进行了技术交流;

(3) 应意大利圣保罗银行(Sanpaolo IMI Bank)邀请,施仲衡院士及傅冰骏研究员于 5 月 16 日下午在 Modena 与米兰地铁公司总经理、董事长 G. Burchi 先生,5 月 24 日在都灵圣保罗银行总部与开发业务部部长 A. Ermolli 先生、国外网络

收稿日期 2002-07-31

作者简介 傅冰骏(1930—)男(汉族)山东高密人,中国科学院地质与地球物理研究所研究员,中国岩石力学与工程学会常务理事、顾问,中国科学院工程地质力学开放实验室学术委员会委员,《岩石力学与工程动态》杂志主编,从事工程咨询工作,北京市朝阳区大屯路甲 11 号,010 64889055 万方数据

部部长 G. Cuccurese 先生就中国地铁工程市场需求及国际银行贷款交换了意见；

(4) 5月24~25日在都灵 Geodata 公司总部与公司总裁 P. Grasso 博士、技术总监徐书林博士、咨询专家 G. Arrigoni 博士等进行了较为详细的技术交流和座谈,进一步了解到一些国际发展动态,并就加强双方技术交流、合作进行了热烈的讨论；

(5) 傅冰骏研究员被聘任为大会科学技术委员会委员,在委员会主席 S. Pelizza 教授领导下,参加相应的活动；

(6) 先后访问了威尼斯、罗马、佛罗伦萨等历史名城,对石质文物保护工作进行了考察。

2 国际发展动向及对比分析

2.1 地下工程开发日益成为人们关注的热点

人口爆炸、资源短缺、环境恶化、土地衰退,当前人类赖以生存的地球表面已不堪重负。在这种情况下,各国除采取综合性的政治、经济措施以外,都日益注重地下空间和地下工程的开发利用。虽然有的科学家提出了 21 世纪在海上、空中建造大城市,但比较可靠的还是“入地”。国际上一种普遍的观点是:“19 世纪是桥的世纪,20 世纪是高层建筑的世纪,未来的 21 世纪则是人类开发地下空间的世纪”。号召人们“往深处想”(Think Deep),迎接岩石工程的“第四次浪潮”。当前,许多发达国家都把地下空间当成一种新型的国土资源,并在总体上称之为“地下产业”。为适应形势的发展,国际上成立了不少与地下工程有关的组织。其中比较著名的是:国际隧道协会(ITA, International Tunneling Association),国际城市地下空间联合研究中心(ACUUS, Associated Research Centers for Urban Underground Space),隧道工程与快速开挖会议(RETIC, Rapid Excavation and Tunneling Conference),美国地下工程协会(American Underground Construction Association),意大利隧道学会(SIG, Societa Italiana Gallerie),意大利隧道与地下空间中心(TUSC, Tunneling and Underground Space Center),日本隧道协会(JTA, Japan Tunneling Association)等。

近几十年来,随着地下电站(水电、火电、核电、地热电),地下城市,地下储能(热能、超导电能、石油、天然气、压缩空气),深部矿山及深海石油开采,地下铁道及轻轨建设,放射性核废料地下储存,国防人防工程的发展,岩石力学的研究重点日益转向地下,不但注意人工洞室的开挖,而且注意利用天然洞室或废旧矿井做地下工程。

近年来,城市地下空间利用日益成为众所关注的热点。大家普遍认识到,像“摊大饼”一样继续在地面上扩大城市规模,在市区过多的修建立交桥、高架桥已不符合时代潮流。因此,除要建立完整的地下铁道网络外,还要建设综合性的地下城市,如日本在新宿已建成一个地下城市的雏型,还计划在东京青山地区深 10、50、100 m 的地下分 3 层修建球型地下城,使地下同地上一样成为一个现代化的大城市。1996 年东京大学在地下 1000 m 深处利用废旧矿区建立起一个宇宙天文台,其直径为 39.3 m,高 41.4 m,用于观测宇宙超新星爆炸及基本粒子分裂现象。日本还计划在市中心区 50~100 m 深处建设地下飞机场,使其成为新的地下交通枢纽。

美国堪萨斯市利用矿山采空区建立了一个 30 万 ft^2 的商业、工业中心。明尼苏达、德克萨斯等地区约有 1 万多户中产者移居地下。在德国、意大利等国家也有类似举动。据估计,到 21 世纪末,人类约有 1/3 将重新“穴居地下”。

总之,当前世界上一些发达国家无不从人类可持续发展的战略高度去对待地下空间的开发利用。为取得最佳的经济效益、社会效益和环境效益,纷纷制订总体规划,颁布法律、法规,使这项工作有法可依,有章可循。

我国人口多、底子薄、生态环境非常脆弱,地下空间的开发利用对我们这样一个发展中的大国尤为重要。过去我们搞的主要是人防建设,改革开放以来,在其它方面虽然也取得了长足的进步,但在开发的深度、广度方面与国际先进水平相比还有不小差距。从长远的观点看问题,我们应该像重视地面工程建设一样地重视地下工程建设,建议有关部门及早采取措施,制定总体规划,建立、健全法律法规,以保证这项工作的顺利进行。

2.2 优先采用隧道掘进机(TBM, Tunnel Boring Machine)进行快速开挖已成为总的发展趋势

近代掘进机的最大特点是广泛使用电子、信息技术对全部作业进行制导和监控,使掘进过程始终处于最佳状态。其速度一般为常规钻爆法的 8~10 倍,最佳日进尺可达 150 m。除速度快以外,还有优质、安全、经济,有利于环境保护和劳动力保护的优点。微型掘进机的直径一般为 25~200 cm,巨型掘进机的直径近 15 m。从松散软土到极坚硬的岩石(抗压强度 280~400 MPa)都可应用。因此,国际上有“移动式掘进工厂”之称。在国外,使用掘进机建成的工程有英吉利海峡隧道(共 3 条,总长 156 km),日本东京湾海底公路隧道(共 2 条,总长 20 km),在建的有瑞士 Gotthard 铁路隧道(总长 57 km),南非 Lesotho 引水隧道(总长 200 余 km)等,拟建的有直布罗陀海峡隧道、白令海峡隧道等。近年来,掘进机向多用途、多工作面、不定形断面方向发展,不仅适用于长大隧道,而且可用于大型地铁车站、水工压力斜井的开挖。

掘进机的不足之处,在于对地质条件的适应程度不如钻爆法。应根据不同的水文地质、工程地质、岩体力学条件来研制、使用不同类型的掘进机。此外,一次性投资较大,对工作人员的素质要求较高,在使用过程中,不够灵活机动,如轴承太大,机身太重,只能在有限范围内变换刀盘以适应不同的洞径。但总的看来,在隧洞快速开挖中,优先采用掘进机,已成为国际发展趋势。

一般认为,当隧道长度 $>6 \text{ km}$,或隧道长度与直径之比 >600 时,宜首先采用掘进机方案。但近年来,这一传统观念已被工程实践所突破。例如,在西欧发达国家有不少长度 3 km 左右的隧道已采用掘进机开挖。再如,我国香港地区的葵青隧道(连接九龙半岛及新界西铁工程中的一部分)全长只有 1.8 km,同样采用掘进机开挖。该隧道穿越一段坚硬岩层和一段旧填海区的软土,开挖直径 8.75 m,衬砌后直径 7.62 m。原计划采用传统的钻爆法及明挖回填方案,经过全面的技术、经济比较之后,最终采用混合式隧道掘进机(Mixed TBM)方案,成功地完成了开挖支护任务。

近年来,微型隧道工程及与之有关的非明挖技术(TT, Trenchless Technology)发展极为迅速。所谓非明挖技术主要

是采用微型全断面隧道掘进机 (Micro-TBM) 来代替传统的明挖方法 (俗称对地表“开膛破肚”) 在地下直接进行开挖、铺设或修复、更换管道的一种先进施工方法。一般情况下, 每班进尺 10~30 m, 能够适用各种地质条件。迄今为止, 国际上采用这种技术修建的管道在 10000 km 以上。由于发展迅速, 在全球范围内成立了国际非明挖技术学会 (ISTT, International Society for Trenchless Technology) 与国际隧道学会平行, 同为国际一级学会。由于许多国际大城市通过立法, 不允许在市区采用明挖方法, 进一步促进了非明挖技术的发展, 微型隧道工程已经形成了一种蓬勃发展的新兴产业。在我国, 近年来微型隧道掘进机的发展也很迅速, 1998 年成立了中国非开挖技术学会 (CSTT, Chinese Society for Trenchless Technology)。嗣后, 正式出版学术刊物《非开挖技术》, 进一步促进了微型隧道工程的开发。但从总体上看, 尚处于初期阶段, 目前大多数工程采用的仍是劳动密集型的明挖方法。

2.2.1 在微型隧道工程方面, 我国有 2 个问题值得注意

(1) 命名: 国际上通用的 Trenchless Technology 或 No-Dig 宜译为“非明挖技术”或“暗挖技术”。国内现译为“非开挖技术”不尽合理, 因为使用这种技术时, 并非不开挖, 而是用地下暗挖的方法来代替地表明挖方法。

(2) 适用范围: 非明挖技术是与微型隧道工程紧密相关的。微型隧道的最大直径一般控制在 2 m 左右, 国际非明挖技术学会制定的“非明挖技术简介”认为微型隧道工程的直径一般小于 1000 mm。令人遗憾的是, 迄今为止, 我国某些文献, 仍将直径大于 6 m 的隧道 (如北京地铁 5 号线直径 6.19 m 的隧道工程) 列入与非明挖技术有关的微型隧道工程, 这种提法不但与国际不接轨, 而且会将读者带入误区。

我国于 1964 年经周总理批准在国家科委领导下, 成立了掘进机攻关小组, 取得一定成果, 但在高新技术的应用方面尚存在较大差距。近年来, 在引大入秦、秦岭隧道及引黄入晋工程中应用的绝大部分是国外的掘进机。今后, 我国将面临一系列举世瞩目的地下工程建设, 如南水北调西线第一期工程输水线路总长 260.3 km, 其中隧洞长 244.1 km, 最大埋深 1150 m, 沿线海拔高度 3400~4800 m, 存在高寒缺氧、高地应力、高地温、多地震、多断层等一系列的问题。拟建的锦屏二级水电站、引水隧洞总长约 20 km, 最大埋深 2600 m, 比穿越阿尔卑斯山的勃朗峰 (Mont Blanc) 隧道埋深还要多 100 m, 开挖中遇到的困难也是不言而喻的。在地铁建设方面, 仅上海市一处每年就要开挖 40 km 的隧道。在上述工程中, 采用隧道掘进机进行快速开挖支护将是最优选择。在建的西气东输管道工程西起新疆轮台县南部 (简称轮南), 东至上海, 长约 4200 km, 管线之长, 管径之大, 在我国管道建设史中未有先例, 其中不少地段可选择非明挖技术进行铺设。

据不完全统计, 在 2001~2020 年间, 我国将完成近 6000 km 的隧道开挖, 平均 300 km, 其中不少是长大隧道。从 2001 年起的 10 年间, 我国的隧道掘进机需求量约为 181 台。如全部进口, 将耗资 10 亿美元。实现隧道掘进机本地化生产, 早日建成我国自己的掘进机工业体系已成为迫切需要解决的问题。

近年来, 为了推动我国掘进机产业的发展, 中国岩石力学与工程学会进行了不懈的努力, 成立了以副理事长钱七虎

院士为核心的“推动掘进机产业应用与产业化工作组”, 提出了“关于推广应用隧道掘进机及发展隧道掘进机产业的建议” (该项建议已刊登在中国科学技术协会《科技工作者建议》2002 年第 3 期), 同时钱七虎院士在全国政协会议上, 联合 10 余位委员提出了“实现隧道掘进机本地化生产”的提案。上述建议和提案已经引起有关方面重视。

2.2.2 在实施过程中, 值得我们借鉴的国外经验

(1) 在研制过程中, 没有必要采取“大而全”的方式; “万事不求人”的作法早已不适应国际形势的发展。国外某些著名掘进机制造厂家核心技术是自己的, 其余则采众家所长, 为我所用, 因此没有必要铺“大摊子”。我国香港地区在修建九广铁路西铁工程隧道时, 掘进机刀盘 (Cutter head) 为 Robbins 公司制造, 电动机为法国 ELIN 公司产品, 采用法国马通 (NFM, FRAMATOME) 和日本三菱重工 (Mitsubishi Heavy Industries) 合作开发的技术, 委托上海重型机器厂进行组装, 这种优化组合的方法, 很值得注意。

(2) 在掘进机产业开发中, 人才培养至关重要。一些发达国家的高等院校, 如美国卡罗拉多矿业学院 (Colorado School of Mines), 瑞士苏黎世工业大学 (ETH, Eidgenossische Technische Hochschule Zurich) 等都设置有关 TBM (包括微型 TBM) 的专业课程, 并进行研究生培养。国际上一些著名的学术团体也常与高等院校、咨询公司、生产厂家联合开办有关 TBM 人才培养方面的进修班或研讨班, 如意大利隧道与地下空间中心联合意大利都灵工业大学、Geodata 咨询公司及制造厂家德国 Herrenknecht、加拿大 Lovat 等开办 TBM 机械化施工进修班 (Master Course in Environmental Engineering with Specialization in Mechanized Tunnelling), 已取得许多成功的经验。我国在这方面差距较大, 建议采取有力措施迎头赶上。当务之急是首先在高等院校开设有关专业课程, 为进一步发展奠定强有力的基础。

2.3 其它值得注意的问题

2.3.1 3S 系统发展迅速

目前, 信息革命的浪潮席卷全球, 已经给全社会, 包括地下工程领域带来巨大冲击, 作为数字地球 (Digital Earth) 大系统中的一个重要组成部分, 3S 系统越来越多地得到应用。所谓 3S 系统是指地理信息系统 (GIS, Geographic Information System)、遥感系统 (RSS, Remote Sensing System) 及全球定位系统 (GPS, Global Positioning System)。不但可用于宏观规划决策, 而且也可以解决一些具体技术问题。3S 系统与 Internet 结合在一起应用更加广泛, 如城市三维建模 (3-Dimensional City Model, 3DCM)、隧道掘进机施工中的遥测遥控等。我们在 Geodata 总部办公室所在地都可以直接从微机屏幕上获取远在葡萄牙 Porto 地下铁道运行的土压平衡盾构 (EBP TBM, Ø8.8 m) 的所有施工图像和参数, 据此可发出指令, 真正做到“运筹于帷幄之中, 决胜于千里之外”及无纸化操作。

2.3.2 管理科学日益受到重视

当前, 一些发达国家的管理信息系统 (MIS, Management Information System) 日趋完善。由于国际经济一体化的进程加速, 国际岩土工程界, 包括地下工程建设一般都遵循菲迪克条款 (FIDIC), 在发包承包过程中, 经常采用的是 BOT 方式 (Build-Operate-Transfer, 建设—运营—移交)。此外, 还

有其它方式,如 BOOT(Build - Own - Operate - Transfer,建设—拥有一运营—移交),BOM(Build - Operate - Maintain,建设—运营—管理),CM(Construction Management),DM(Design Management,设计管理),DB(Design - Build,设计—建设)与交钥匙(Turn - Key)方式等。在管理科学中,工程经济学(Value Engineering)普遍受到重视。为适应形势的发展,在发达国家专门成立了合同顾问工程师协会(Association of Contractual Consulting Engineers),注册仲裁工程师协会(Association for Chartered Institute of Arbitrators),从事与工程经济有关的活动。

在 Geodata 公司总部办公室,P. Grasso 博士专门为我们介绍了他们开发的地下工程风险评价管理系统或称风险管理策略(RMP,Risk Management Plan)。该系统将工程造价、完工期限、风险程度有机地结合在一起,用定量的形式加以表达,在领导层(政治家)和工程技术人员之间架起一座桥梁,对科学地进行宏观决策很有帮助。

我国在 FIDIC 条款、BOT 方式方面有一定的基础,在其它方面差距较大,为了尽快融入国际社会,应该全面掌握这些技能。

2.3.3 欧洲重新重视铁路建设

在高速公路系统经过它的鼎盛时期,并日趋饱和之后,为了减少汽车带来的严重污染,节约能源,改善环境,恢复交通系统的总体平衡,在欧洲重新重视高速铁路建设。更确切地说,欧洲的铁路建设正在经历第二次革命。各大都市除大力发展地铁轻轨系统(MTR,Mass Transit Railway)外,力求把从外地进入市区的铁路全部转入地下。更重要的是,各国正在联合实施一项铁路建设的总体规划(Master Plan),拟新建干线 9000 km,改建 15000 km,火车时速为 250~300 km。建成之后将把西欧、北欧,以至俄罗斯、土耳其的各大城市联成一片。它的兴建,尤其是通过阿尔卑斯山脉铁路隧道的兴建,进一步推动了地下工程的发展。最著名的 2 项穿越阿尔卑斯山的巨型工程是:

(1)瑞士 Gotthard 隧道工程,全长 57 km,最大覆盖厚度 2500 m,存在涌水、高温、高地应力等一系列复杂地质问题。

(2)法国里昂(Lyon)至意大利都灵(Turin)主隧道,从 Saint - Jean - Maurienne 开始至 Susa 止,全长 54 km,最大覆盖厚度超过 2000 m,地质情况与 Gotthard 相似,远较英吉利海峡隧道复杂。

目前,这 2 项工程正在建设中。及时、系统地吸收国外同行们的经验、教训,无疑是十分重要的。

2.3.4 定向钻探技术用于深埋长大隧道勘探

在深埋、长大隧道机械化施工过程中,由于隧道掘进机不能及时适应地质条件的变化,往往出现意想不到的事故。因为,及时查清地质条件至关重要。在这方面采取的主要措施是:空间技术(如 3S 技术),地球物理勘探技术(如三维地震 CT 成像),隧道地震预报(TSP,Tunnel Seismic Prediction),常规地质钻探技术等,近年来发展起来的定向岩心钻探技术也普遍受到人们的关注。

定向钻探技术是在水平定向钻探(HDD,Horizontal Directional Drilling)的基础上发展起来的,能够适应多个方向,并根据指令和数据,蜿蜒前进追踪岩层的变化。为促进

这项技术的发展,国际上成立了水平环境钻进协会(HEWA,Horizontal Environmental Wells Association)。

定向钻探原来主要用于深井石油勘探和微型隧道工程,近年来扩大到深埋长大隧道工程。意大利 Geodata 公司在阿尔卑斯山隧道勘探中,定向钻探长达 1700 m,取心长 6 m,节省了不少垂直深孔勘探工作量,这种做法很值得我们借鉴。

3 收获和体会

(1)我们在大会上重点介绍了中国隧道和地下工程的过去、现在和未来。我们的报告引起了各方面的重视。意大利 Modena 市长 E. Cottafavi 博士及中国驻米兰总领事馆高树茂领事亲自为中国专题报告举行招待会更为这次活动增光添彩。作为一个发展中的大国,在全球经济不景气的情况下,我国一枝独秀,欣欣向荣,地下工程建设规模举世瞩目,在这种情况下,国际同行将注意的焦点投向中国是必然的。

(2)大会科学技术委员会和组织委员会对中国代表团的到来极为重视,不但把中国专题报告会组织得非常出色,而且在一些具体细节上也做了细致周密的安排。所到之处都由主要领导人接见。通过这次活动,了解到国际最新科技信息,增加了与国际同行之间的了解和友谊,为进一步开展国际合作打下了良好的基础。

在与国际著名的圣保罗银行(该行成立于 1563 年,是欧洲第二大银行)领导人的会谈中,双方对利用国际贷款、支持我国地下工程建设等问题进行了有益的探索。

此行中国代表团成员全是特邀报告人,对方提供了经费支持。此次活动为国家节约了不少外汇。

(3)在隧道和地下工程建设方面,我国已经取得了长足进步,在今后相当长的时期内,也是全球市场的焦点,但从总体上看,在管理科学及高新技术的开发应用方面与国际先进水平相比还有不少差距。我国只能算是一个地下工程大国,而不能算是地下工程强国。为尽快缩小这些差距,进一步消化、吸收国际先进经验,加强国际合作和交流十分重要。

(4)在博览会上,我们初步浏览了出版商展出的一些国际著名的书刊:如《国际隧道和隧道工程》(T&T,Tunnel & Tunnelling International)《世界隧道》(World Tunnelling)《隧道和地下空间技术》(Tunnelling and Underground Space Technology)《国际非明挖技术》(No - Dig International)《岩土工程》(Felsbau,Rock and Soil Engineering)等。令人十分遗憾的是,中国作者的论文十分罕见,找到一篇有关介绍中国深圳地铁的报导还是由外国科技记者 Shani Wallis 写的(见《World Tunneling》,April 2002)。我国幅员辽阔、地质构造复杂,在地下工程中遇到许多国外难以遇到的难题,积累了丰富的经验。中国岩石力学与工程学会拥有 12000 余名会员,约为国际岩石力学学会(ISRM)会员的 2 倍,人才资源也很雄厚,应该提出更多的高水平论文在国际书刊上发表,但目前的情况远远不能令人满意。为尽快扭转这种被动局面,建议采取有力措施,例如制定一些鼓励政策,广泛发动中国的专家、学者向外投稿,在国际上占有一席之地。在这方面,进一步提高科技人员的外语水平是一个迫切需要解决的问题。

致谢:本文蒙钱七虎院士、施仲衡院士、沈凤生教授审阅,并提出宝贵意见,作者表示深切的感谢!