

# 科学新闻

SCIENCE NEWS

2014/10·下

科学新闻

## 入地中国梦

“深部探测技术与实验研究”专项特刊

Science 专供

2014年10月25日出版 总第490期  
刊号: CN11-5553/C ISSN1671-6582  
定价: 人民币20元 港币30元

ISSN 1671-6582

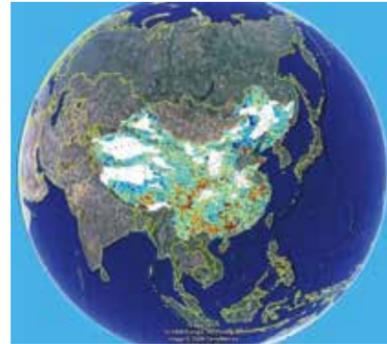
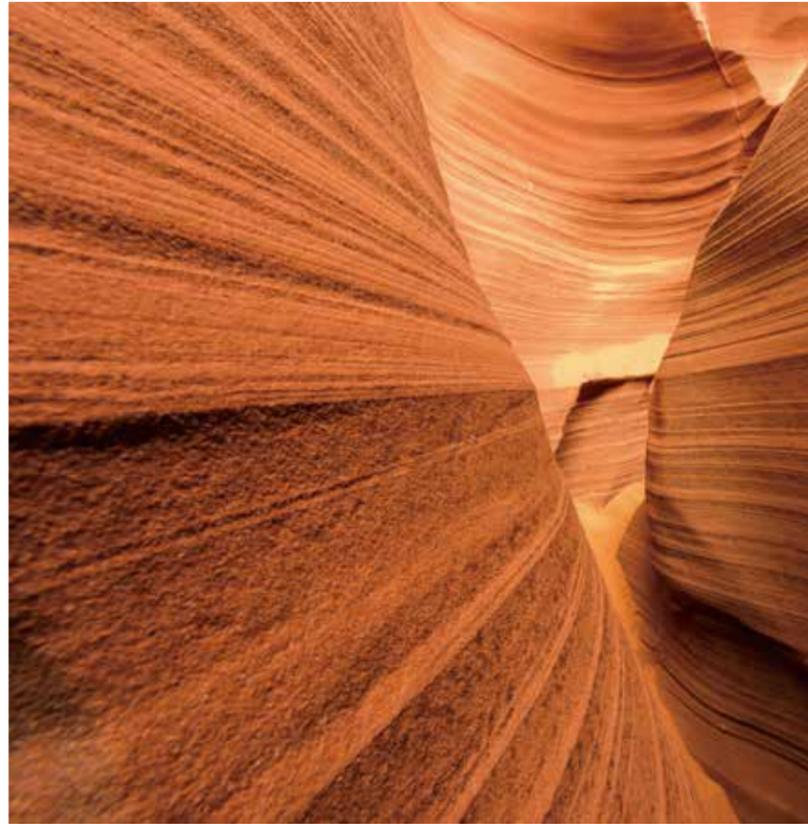


9 771671 658142

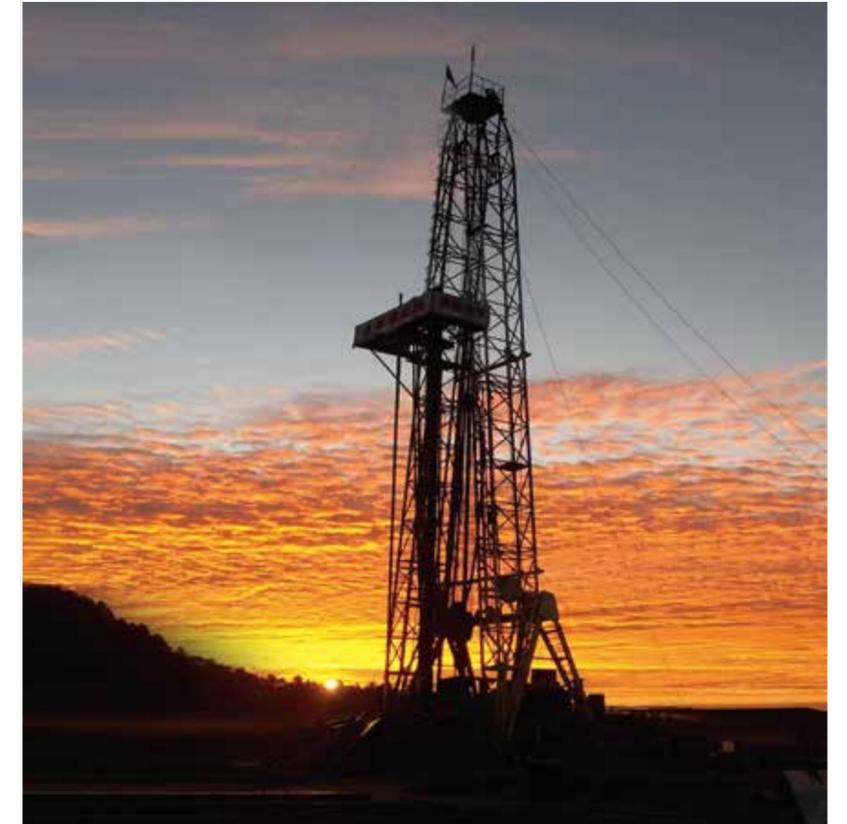
中国科学院主管 中国科学报社主办



2014年10月25日出版



2014年10月25日出版



### 管窥

08 前进，地下的未知

### 匠心

16 独具匠心的 SinoProbe

### 硕果

- 22 用高精度探测“地下”导电性参数
- 26 探寻青藏高原腹地的奥秘
- 30 深部矿产：资源持续供给的保障
- 34 化学地球：解读地球的全新窗口
- 38 科学钻探 实干护航

- 42 “把脉”地壳 造福人类
- 46 综合集成创新 夯实国家竞争优势
- 50 SinoProbe 年内释放第一批数据
- 54 用自主研发彰显大国实力

### 现场

- 60 罗布莎：探索藏地深部奥秘
- 62 阿里：藏区矿产“新星”
- 64 金川：向地下 2500 米进发
- 66 南岭：寻找“宝藏”密码
- 68 腾冲：奇妙的火山热海
- 70 庐枞：三维立体探测让矿集区变“透明”
- 72 铜陵：“攻深找盲”开辟第二找矿空间

### 关注

- 76 中国入地精细探测赢得高度评价
- 78 论文成果展示

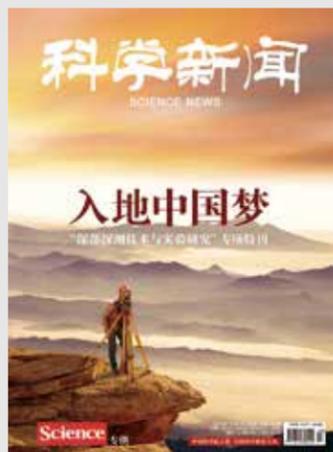
### 声音

- 82 朱日祥：SinoProbe，挑战世界级难题
- 83 石耀霖：SinoProbe，集成深探首屈一指
- 84 孙枢：SinoProbe 引领中国向地质强国跨越
- 85 李廷栋：坚持深部探测，让中国走在前列
- 86 裴荣富：SinoProbe，创新中国专属
- 87 Walter D. Mooney：期待 SinoProbe 伟大旅程的延续
- 88 Ron Clowes：SinoProbe，全球深部探测领军者

### 展望

- 92 深部探测，从“追赶者”到“同行者”  
——专访 SinoProbe 首席科学家董树文





刊名由中国科学院院长白春礼题写

# 科学新闻 SCIENCE NEWS

本期截稿日期  
2014年10月25日

主管 中国科学院  
 主办 中国科学报社  
 出版 科学新闻杂志社  
 社长 林瑀  
 总编辑 张明伟  
 副社长 刘越山  
 副总编辑 吴昊  
 卢锡灸

编辑部 唐琳 倪伟波 姜天海 崔雪芹 李倩 段歆沔  
 袁一雪 张文静 王晨绯 郝俊  
 视觉设计 北京和润信博品牌文化传播有限公司  
 印务总监 王超  
 招聘主管 王建军  
 发行经理 张京  
 法律顾问 郝建平 北京灏礼默律师事务所  
 地址 北京市海淀区中关村南一条乙3号  
 邮编 100190  
 网址 www.science-weekly.cn

编辑部 010-62580822  
 E-mail scienceweekly@stimes.cn  
 发行 010-62580707  
 E-mail sale@stimes.cn  
 广告 010-62580824  
 E-mail weekly-ad@stimes.cn  
 出版许可证 京期出证字第3958号  
 开户行 北京市工商行海淀支行营业部  
 户名 中国科学报社  
 账号 0200049609046215517  
 广告许可证 京海工商广字第8037号  
 印刷 北京工商事务印刷有限公司  
 每期定价 人民币20元 港币30元  
 出版日期 每月25日

国内统一连续出版物号 CN11-5553/C  
 国际标准连续出版物号 ISSN1671-6582

合作媒体



声明

《科学新闻》所有作品，未经许可，一律不得转载、摘编。

## 学术顾问

- 何毓琦 (数理科学)  
美国工程院院士
- 曾毅 (医学)  
中国科学院院士
- 翟虎渠 (农业科学)  
中国农业科学院研究员
- 饶毅 (生物学)  
北京大学教授
- 贺福初 (生物学)  
中国科学院院士
- 陈十一 (工程科技)  
中国科学院院士
- 王鸿飞 (化学)  
美国能源部西北太平洋国家实验室研究员
- 曹聪 (科学政策)  
美国纽约州立大学研究员
- 金碧辉 (文献情报)  
中国科学院国家科学图书馆研究员
- 周兴江 (物理学)  
中国科学院物理研究所研究员
- 张称意 (大气科学)  
中国气象局研究员

# 带给世界科学的深度新闻

《科学新闻》是中科院主管、中国科学报社主办、服务于职业科学家的中国最高层次的科学类新闻杂志。目前，读者覆盖全部两院院士、部委科技管理者、大学校长等教育科研管理者、部分“千人计划”入选者、主流科学家在内的万余人。

2013年5月，《科学新闻》与美国《科学》杂志进行战略合作，成为《科学》在中国的内容特供伙伴。

《科学新闻》杂志电子版最大程度保留了纸媒杂志的优势：精美的排版、高质量的文章和图片，能够带给读者熟悉的阅读体验。

《科学新闻》以其高端性、权威性和科学性受到科研工作者和科技政策制定者的广泛认可与喜爱。



# 深窥

SINO PROBE

5年来，SinoProbe 获得了海量的全国物性数据和地球化学基准数据，5年的成绩已经超过了过去的50年，深部探测能力也已达到国际领先水平，局部处于国际领先地位。中国正式进入“深地时代”。

# 前进，地下的未知

早在解放初期就曾有人建议进行中国自己的深部探测，但直到 50 年后，这片空白才在 SinoProbe 的带领下，厚积薄发，创造出一项项辉煌的成绩。中国正式进入深地时代。

► 见习记者 袁一雪 张文静

10 月 18 日，星期六，中国地质科学院深部探测研究中心会议室没有被周末的慵懒淹没，反而聚集了十几个人，正在热烈地讨论着。

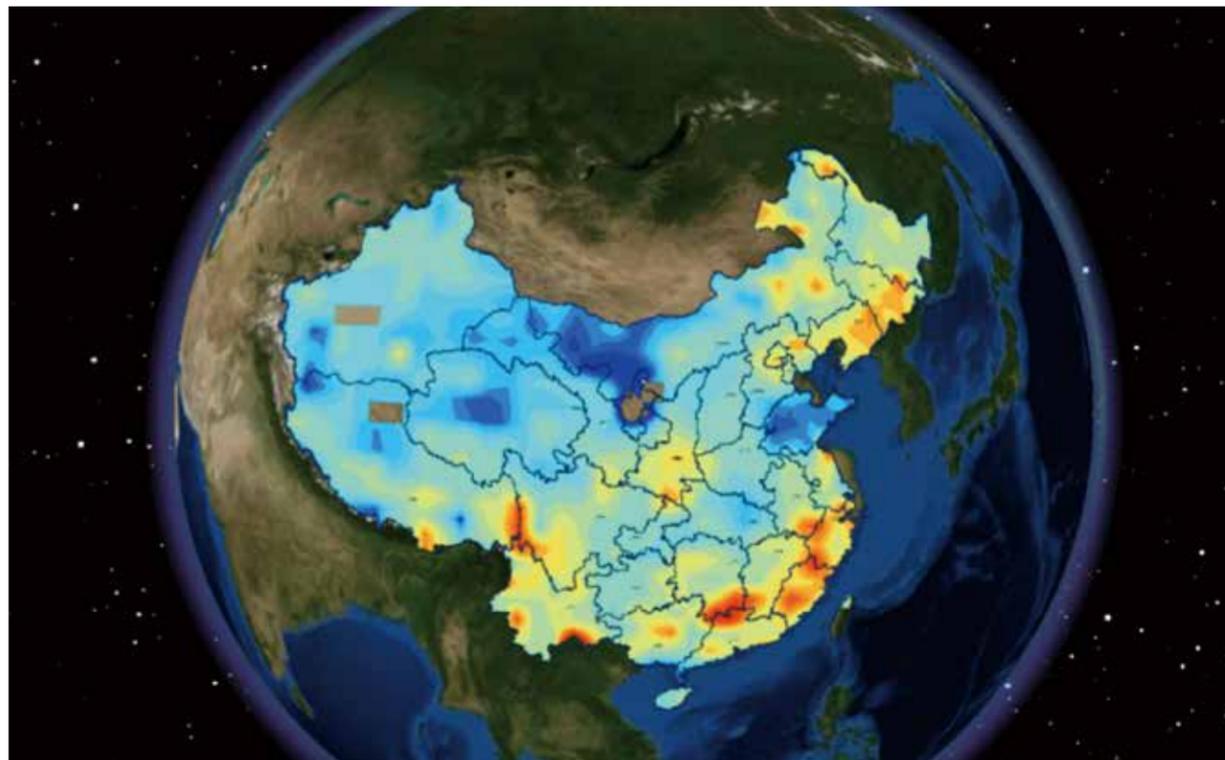
他们都是“深部探测技术与实验研究”专项（SinoProbe）各项目的负责人，进行的讨论则是为了

10 月 20 日中国地球科学联合学术年会中的深部探测交流工作做准备。

计算时间、修改幻灯片内容、安排演讲顺序……本来应该半天就完成的演讲，在修修改改下，几乎进行了一天。

在讨论的间歇，SinoProbe 首席

科学家、中国地质科学院副院长董树文向各项目负责人讲述了未来一年的安排。尽管目前 SinoProbe 正处于第一阶段工作尚在总结、第二阶段工作资金正在申请的阶段，但是他依然希望项目组负责人可以保持在 SinoProbe 上的时间和精力，为下



SinoProbe-04 项目研发的“化学地球”软件为解读地球提供新窗口。



SinoProbe 项目负责人在 2009 年年会上的合影。

一阶段工作做好充足准备。

5 年多的时间，近 2000 个日日夜夜，SinoProbe 项目组克服了重重困难，以常人难以企及的毅力，为中国的“深地”计划，贡献着自己的力量。

## 每个发现都是新的

6156 公里长的深反射地震剖面，这一数字超越了过去 50 年中国深部探测剖面长度的总和，而这才是 SinoProbe 管中窥豹的一斑。

“项目组第一阶段的工作收获远远超过了预期。”中国科学院院士李廷栋在接受《科学新闻》记者采访时说。

其实，这些“出人意料”的发现，都在“意料之中”，因为中国的深部探测曾经那样的空白。

“所以，我们进行的每一项探测，对于中国乃至世界来说都是新的。”董树文说。

事实上，“深部探测技术实验与

集成”（SinoProbe-02）项目组，在寒冬季节深入青藏高原，就首次获得了青藏高原腹地的莫霍面和下地壳反射。

仅这一项发现就已经发表了 180 多篇科学论文，获得发明专利 52 个，并正在开展国际合作。

不仅 SinoProbe-02 项目组缔造了“首次”二字，其他项目组也都有了属于自己领域的“第一次”。

“地壳全元素探测技术与试验示范”（SinoProbe-04）项目组就通过部署 1 个网、3 条带、10 个矿区的地球化学探测项目，创新性地发展了地壳全元素精确分析系统，首次实现对 81 个指标（含 78 个元素）的高精度分析。它成为未来我国描绘化学地球的最大依据。

“化学地球就是将元素周期表绘制在地球上。”SinoProbe-04 项目负责人、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所研究员王学求曾对媒体介绍说。

地壳物质成分包含元素周期表中

的 90 个元素，它们被称为地球的基因。矿产资源是由这些元素组成的，生态环境是受这些元素及其化合物影响的。

对地壳全部元素进行探测，建立化学地球是解决资源与环境可持续发展的必然选择。

而作为 SinoProbe “设备保障”的“深部探测关键仪器装备研制与实验”（SinoProbe-09）项目组，通过突破和掌握核心技术，研发出大功率、高效率、高精度和高性能的地震勘探系统、电磁勘探系统、无人机探测系统、超深钻探装备和深探软件平台等大型探测仪器装备……成就令人称赞。

新发现让专业人士欣喜，也为中国未来的发展提供了依据。

“地质灾害、气候影响，很多现象从地表很难找到原因，这就需要我们进行深部探测，从地下找原因。”李廷栋说。

十八大陈述提出政府要建造“美丽中国”，深部探测就是要为建造“美丽中国”给政府提供深部基础的支持。

寻找矿产、解决生态环境问题、解除地质灾害危害，SinoProbe 的每一步都让中国向物产丰富、环境优美、经济富强大国的目标稳步迈进。

### 跨越 50 年的深地项目

深地项目如此重要，早在解放初期就有人建议进行，但是由于种种原因，进行得断断续续。直到 50 年后才厚积薄发，正式进入中国的深地时代。

故事要从 1958 年讲起。

彼时新中国刚刚成立，百废待兴。时年 34 岁的科学工作者曾融生带领地质工作队，首先在柴达木盆地进行了低频地震探测的试验工作，目的在于探测该盆地埋藏很深的（大于 10 公里）结晶基底和沉积建造的界面。

随着工作的深入，这支地质工作队又陆续得出了地壳速度分层和中国不同地区的地壳厚度。

可惜的是，正当深部探测工作刚刚有了起色，一场“文革”浩劫打乱了一切。

历史的指针无法回拨，任科学家如何痛心疾首，也无法弥补 10 年的空缺。

但是，粉碎“四人帮”后，当时的中国地质学院院长李廷栋，在参与中法喜马拉雅地质构造合作研究项目的组织协调和领导工作后，意识到地球深部探测工作的开展刻不容缓，随即着手成立了岩石圈研究中心，并在上世纪 80 年代中期，完成了对 14 条地学断面（GGT）的探测。

接下来，迎接李廷栋的不是资



金的全面支持，而是全球地矿工作大萧条的余波。国内也响起“地质工作不重要，矿产可以靠进口”的呼声。

这一次，深部探测乃至地质工作又被迫停滞了 10 年。

时间再次证明，矿产资源根本无法依靠国外，自给自足才是正途。

2006 年，国务院做出了《关于加强地质工作的决定》。

犹如一夜春风来，地球深部探测被再次提上日程。董树文等准备了 5 年的“地壳探测工程”的计划得到了李廷栋、孙枢等一批院士的鼎力支持。

然而，SinoProbe 立项之初就曾经历几番波折。

“首先争论的焦点就是哪个部门来牵头的问题。”董树文说。

面对一旦实施就会得到大量数据的“深地”项目，相关的部门都希望将其归于己处。要知道，有了这些基础数据，任何研究都可以事半功倍，甚至得到前人从未有过的结论。

最终，花落国土资源部。

“项目成立分配资金时，虽然地科院是牵头单位，但是地科院的科研经费所占比例不到全部经费的 1/3，所以很多人愿意跟我们合作。”董树文说。

牵头的问题解决了，“就是要解决由哪个领域的专家来领导的问题”。

几乎所有人理解的深部探测都属于地球物理的范畴，但最后领导 SinoProbe 项目的重任却落在了地质专业出身的董树文身上。

面对质疑，李廷栋力排众议：“论



SinoProbe2009 年年会现场。

专业和领导力相结合，没人比得上董树文。”

就这样，董树文肩负起团队负责人的重任，做起了 SinoProbe 的“大管家”。

之后，以探寻地球深部为科学目标的 SinoProbe，获得了多个学科目标的认可，吸引了地球物理学、地球化学、地质学等学科的参与。

但是在资金申请上，原本打算要来几十亿预算的 SinoProbe，却只分得 12 亿的资金，摊派到 9 大项目、几十个课题中。

5 年来，地质专业出身的董树文科学有效的管理，对资金的调配，让这个上千人的团队心服口服。

### “SinoProbe”的起源

SinoProbe 开始了万里长征的第一步。

为了更好地管理这个团队，董树文结合国外的经验，自创了一套大科学管理体系，将其称为“大科学计划（Big Science）”。

“我们将中国深部探测的英文定为 SinoProbe，‘Sino’指的是中国，‘Probe’则是来自加拿大地球探测计划——LITHOPROBE。”董树文说。

LITHOPROBE 就是一个多学科融合的探测计划，这样做的好处就是一个地点的深部探测，往往可以惠及多个学科，节省时间、资金、人力。

LITHOPROBE 首席科学家 Ron Clowes 也曾表示，Probe 带有探索的含义。

相比之下，美国的地球透镜计划（EarthScope）则只是从地球物理学的角度出发，充分发挥“透镜（Scope）”作用。

“那是我们下一步要完成的目标。”董树文解释道。

于是，董树文在他的团队中，不仅安排了地球物理、地球化学的专家，也设置了地应力项目。

“我们适度调整结构，将灾害、找矿、环境都联系起来，这就是属于中国自己的 SinoProbe 的不同之处。”



SinoProbe2010年年会现场。

董树文说。

多学科融合，自然也就意味着庞大的团队，“我们人数最多的时候，算上施工队达到了9000人”。

“在大科学计划中，有凝聚力的团队是首要条件，合作是唯一的途径。其次，要寻找共同的兴趣和科学目标。第三，是要有共同利益。利益包括两部分，权利和资金。”董树文说。

在SinoProbe申请之初，董树文就走了一条“自上而下”的道路，即先围绕国家目标，将国家的需求放在首位。当资金批下来之后，再分解目标到项目，最后到每个课题。

“至于谁来承担，需要竞争上岗。”董树文充分发挥多学科作用，让每个人都能发挥所长，让其在专项中占有一席之地，再择优合作。

这样做的好处，首先保证了国家目标能有效实现，项目课题层层有人负责。

事实证明，这种管理办法是行之有效的。

“下一步就要保证共同利益。”

接下来，董树文的打算公开一部分SinoProbe已经获取的数据，将原始数据分享给没有机会参与专项的人，“数据共享会让大家感觉到我们是个开发的团队，这样也会吸引更多人加入，共同推动”。

### “地心争夺战”早已打响

从今年到明年年底，整个项目组都处于整理数据、发表论文的忙碌中。

9个项目、9部著作，是项目开始之初就定好的出版目标；探测数据公开，要公开哪些，如何进行，也是接下来马上提上日程的安排。

更让人欢欣鼓舞的是，SinoProbe挺进大庆油田的万米科学钻在4月开始工作，按照计划继续向地心进发，预计明年年底能够到达6000米以下。

6000米，并非终点，只是个起点。在那之前，多国都已经启动了探测地下的项目。

早在1961年，美国就开始实施了“莫霍计划”，在加利福尼亚湾附近地区钻井。

仅仅一年后，前苏联地质部和前苏联科学院也提出了本国的“莫霍钻探计划”，目标直指莫霍面和地下贵重矿石的形成过程。至今仍颇具神秘色彩的科拉超深钻井就是该计划的重要一环。

上世纪70年代，前苏联“科拉超级钻”正式开始钻进，直到前苏联解体时，它已经深入地下1.2万米，这个纪录至今未能打破。

科拉超深钻井带来的很多发现在几十年后仍独一无二。

比如，当深度超过9500米后，其获得的地层岩芯金含量居然高达每吨80克，而当时在地球表层很少能找到含金量超过10克/吨的金矿层。

在此期间，美国在海洋深部探测上也取得了重大进展。

1968年，美国启动实施了“深海钻探计划”，其中的核心装备“格洛玛·挑战者”号探测船扬帆起航。

1975年，由于联邦德国、日本、英国、前苏联和法国的加入，该计划变成了一个国际范围的项目。

继美苏的“地心争夺战”后，世界各国纷纷加入了地球深部探测的队伍，重大深部探测计划时代到来了。

这一阶段的“排头兵”仍然是美国。

其开始于上世纪70年代末期的大陆反射地震探测计划(COCORP)，在美国30个州采集了11000公里长的反射剖面，不仅首次揭示了北美地壳的精细结构，还在落基山等造山

带下发现了一系列油田。

其他国家也不甘落后。

1994年，德国大陆深钻计划完成了主孔9101米的下探工作。

2000年，在其此前实施的四维地球动力学计划(AGCRC)的基础上，澳大利亚联邦科学与工业研究院提出了新的“玻璃地球(GlassEarth)”计划，目标是使澳大利亚大陆1公里内的地壳变得“透明”。

在此期间，其他欧洲国家也各自实施了深地震反射探测计划，包括法国(ECORP、3D France)、英国(BIRPS)、瑞士(NRP20)和意大利(CROP)等。

2003年，美国国家科学基金会(NSF)设立了地球透镜计划(EarthScope)，开启了继COCORP后的第二轮地球探测。在东亚，日本已经于2007年启动了自己的海洋钻探船“地球号”，并于2012年在青森县八户市近海钻探到海底以下2132米处，一举创造了全球最深海底钻探纪录。



SinoProbe在2010年美国地球物理年会上成功举办了专题学术会议。

### 中国的“深地”梦

联合国将2008年命名为“行星地球年”，呼吁全世界重视地球科学、保障资源供应、保护生态环境、支持脆弱的生命系统。

为此，国际地质科学联合会(IUGS)和联合国教科文组织(UNESCO)正式提出，要进军我们最后的前沿——地下的物质与结构，呼吁强化对地球深部的探测和认识。

足可见，对人类赖以生存的地球进行深入了解的重要性，已经越来越成为全世界的共识。

COCORP首席科学家Larry Brown充满信心地表示，地球物理的相关研究将会在资源勘探、研究地质灾害发生的内部机制以及建立灾害预警系统中发挥重要作用。

“我认为‘深地’项目早做早主动，晚做就比较被动。特别是弄清地下构造，对于我国今后的发展也能起到参考作用。”李廷栋如是说。

如今，SinoProbe的实施将世界

的目光聚焦中国。

“深部探测将揭示地下精细结构与组成，科学深井的实施将大大提高对深部地层、沉积、烃原岩的认识，有利于更全面、客观地探索地球深层油气勘探潜力，为开辟深层能源与重要矿产资源远景提供科学依据。”董树文和李廷栋在2009年7月发表在《地质学报》上的一篇文章中，明确指出了实施深部探测对开辟资源空间的意义。

“中国地形地貌复杂，意味着我们探寻地下有困难，也意味着一旦成功，将为世界做出更大的贡献。”李廷栋表示。

在地壳结构尤其复杂的中国所获取的数据和信息，不仅对本国地壳结构的认知、资源开发和地质灾害预测具有重要意义，更有利于加深国际学界对整个地球地壳结构的理解。

如今看来，他们的预期已经到了。

“我对SinoProbe心怀钦佩和敬意，我真诚地希望在未来的几十年中，中国科学家对地球深部的探索能够继续坚持下去，甚至有所拓展。”美国地质调查局地震科学中心教授Walter Mooney表示，“未来，新一代的地球科学家，无论是中国的还是国际的，其科学发现都会基于今天SinoProbe所获得的基础数据。”

相信当SinoProbe第二阶段结束后，世界上更多的目光将聚焦SinoProbe，期待它为世界提供更多的参考数据。■

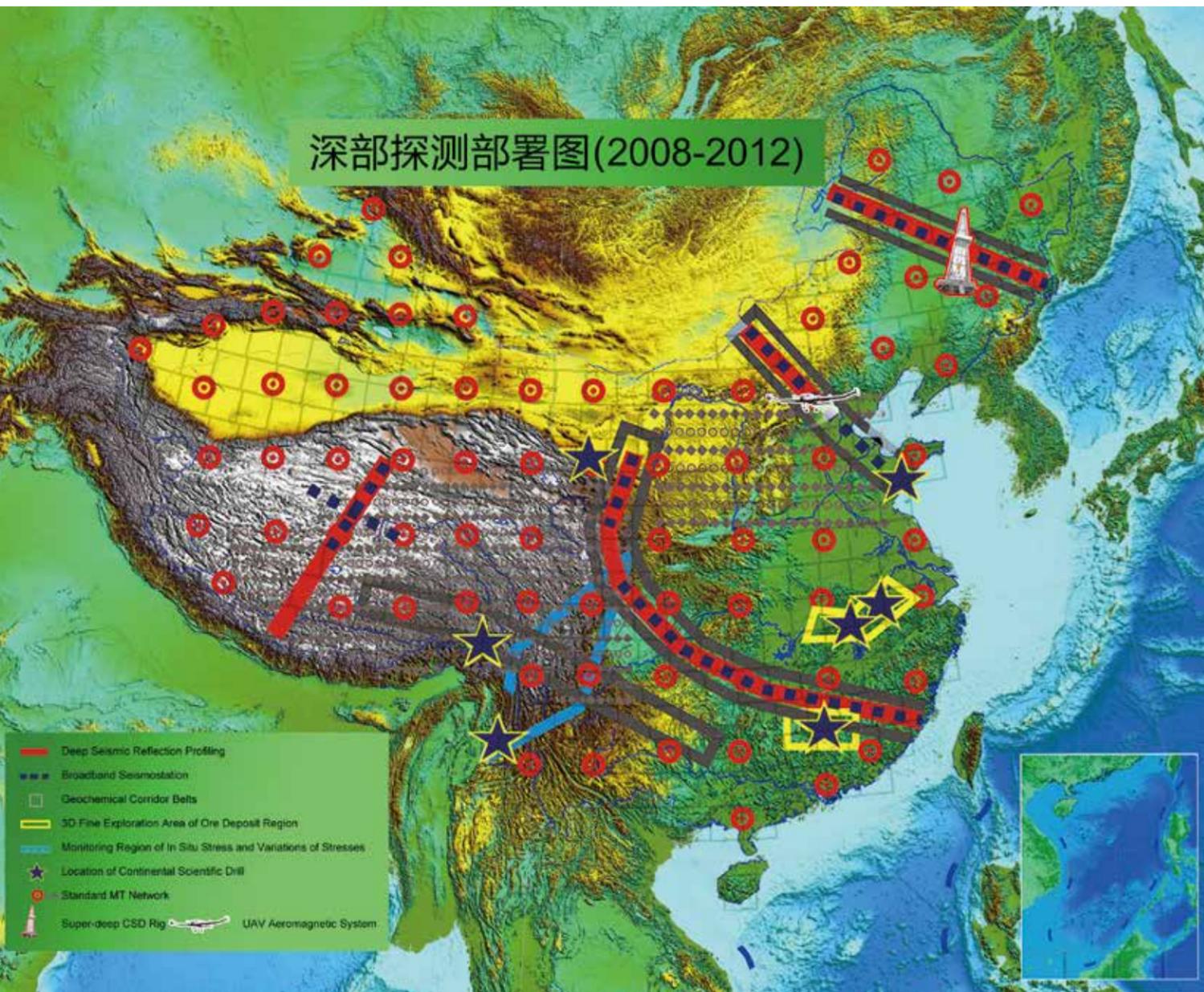
(责编：姜天海)

# 匠心

SINO PROBE

40年前，中国在国际深部探测领域还只是一个追赶者；40年后，中国已然迎头赶上，正逐渐与国际同行并行。这与我国开展的 SinoProbe 充分发挥的后发优势是分不开的。他们不仅利用了多学科联合探测的集成效应，也探索出了独具特色的“大科学计划”管理运行模式。





深部探测部署图(2008-2012)

## 独具匠心的 SinoProbe

在诸多的“第一次”中，SinoProbe 凭借其独特的优势，建立了中国地球科学深部探测的新标杆。

► 见习记者 倪伟波

“SinoProbe 已经实施 5 年了。5 年来，来自国内 118 家科研机构的 1600 多名科学家和专家参与到深部探测技术与实验研究。我们获得了海量的全国物性数据和地球化学基准数据；完成了 6160 公里深反射地震剖面……”

“SinoProbe 5 年的成绩已经超过了过去的 50 年，深部探测能力已与国际同行，达到国际水准，局部处于国际领先地位。”

2014 年 10 月 20 日下午，在北京国际会议中心举行的“中国地球科学联合学术年会”深部探测专项分会场上，“深部探测技术与实验研究”专项（SinoProbe）首席科学家、中国地质科学院副院长董树文的专项汇报，让与会的数百名科技工作者倍感振奋。

### 5 年超过 50 年

2008 年，在财政部、科技部支持下，国土资源部组织实施了我国“地壳探测工程”的培育性启动计划——“深部探测技术与实验研究”专项。

在短短的 5 年间，中国地学界戮力同心，围绕深部探测实验和示范，在全国部署了“两网、两区、四带、多点”的深部探测技术与实验研究工作。

成千上万的 SinoProbe 科研人员不辞辛苦地奔波在青藏高原、沙漠戈壁、森林泥沼，他们不断摸索前进，攻坚克难，在中国地学界的“集结号”上开创了深部探测领域一个又一个的“第一次”：

——第一次打破国外垄断，自主

“与国际上的其他深部探测计划相比，SinoProbe 不仅综合了地球物理、地球化学、地质学等多学科，还融合了深部结构探测、物质组分探测、地球活动性探测、大陆科学钻探和地球动力学模拟等多种技术方法，多方面的结合和综合研究，是 SinoProbe 的一个重要特色。”

——中国科学院院士孙枢

研制了一批深部探测地震、地面电磁、无人机航磁等关键仪器和万米科学钻机；自主研发了深部探测移动数据处理系统软件；申请专利近百项，获发明专利 51 项、实用新型专利 18 项，获软件著作权 21 项。

——第一次系统建立了适应我国大陆复杂岩石圈、地壳的深部立体探测技术体系。

——第一次建立了 4° × 4° 覆盖全国大陆范围的大地电磁标准网，华北和青藏高原 1° × 1° 大地电磁观测网达到世界密度最大，获得一批高质量的全国物性基础数据。

——第一次按照国际标准，建立了一个覆盖全国大陆的地球化学基准网（160 公里 × 160 公里），分析测试水平达到世界领先，获得一批高质量的全国地球化学基础数据；第一次利用类似于 GoogleEarth 软件技术，建立了化学地球的数字表达。

——第一次系统建立了大型矿集区立体探测技术方法体系和示范区，形成了成矿区带深部控制因素、矿集区富集条件和矿床定位的数据采集与处理解释的技术流程，矿集

区“透明化”技术日臻完善。

——第一次系统建立了青藏高原东南缘（包括龙门山断裂和汶川地震带）和北京周边首都圈现今深孔地应力监测区域网，自主研发了新型地应力监测装备，取得了高质量的深井地应力测试数据与原地应力随深度变化规律，探索实验地壳现今活动性监测取得重要进展。

——第一次建立了亚洲最大规模的地球动力学数值模拟平台，实现全球、区域、局部尺度的三维地球模拟的跨越，为我国地壳活动性监测和地震预警提供了新的技术路线。

——SinoProbe 完成了 6160 公里“穿透地壳”的深反射地震剖面，大幅度提升了我国深部探测技术能力，我国已跻身世界深部探测大国行列。

——科学钻探在西藏、安徽、江西和甘肃等省区打下了一个又一个的“金柱子”，创造了多个区域深度第一的记录，实施了全国最大深度之一的金属矿科学钻探，实现了钻探技术的多项原始创新。

这一系列的重大发现，引起全球对中国的关注。

美国大陆反射地震探测计划（COCORP）首席科学家 Larry Brown 十分关注中国的进展，他曾在接受采访时表示：“SinoProbe 的技术和成果远超出了过去的美国 COCORP 计划的水平。”

20 世纪 70 年代，美国、欧洲、加拿大先后发起了 COCORP、欧洲地球探测计划（EUROPROBE）和岩石圈探测计划（LITHOPROBE）。40 年后的中国，正迎头赶上，并逐步与国际同行。

### 多学科联合探测 集成效应凸显

“其实地球深部探测大部分属于地球物理学范畴，但是受到加拿大 LITHOPROBE 计划的启发，在专项立项之初便构建了多学科联合探测的模式。”董树文告诉《科学新闻》。

解决地球问题需要多学科共同参与。

因此，SinoProbe 在设立之初，便以探测地壳的物性、结构及活动性为目标，设置了 9 大项目。每个项目都与经济和社会发展需求，与矿产资源勘查、自然灾害预警紧密结合。

SinoProbe 不仅要研究地球物质的组成和结构，还要涉及到深部科学、矿产勘探、地球活动性等问题，这样就将深部探测与矿产资源、灾害环境紧密结合，对全面推动地球科学各学科共同发展至关重要。

中国科学院院士孙枢非常欣赏这种多学科联合探测模式的应用。

他对《科学新闻》说：“与国际上的其他深部探测计划相比，SinoProbe 不仅综合了地球物理、地球化学、地质学等多学科，还融合了深部结构探测、物质组分探测、地球活动性探测、大陆科学钻探和地球动力学模拟等多种技术方法，多方面的结合和综合研究，是 SinoProbe 的一个重要的特色。”

### 后发优势 一触即发

与世界其他国家相比，中国的深部探测起步较晚。但这丝毫不影响中国在地心争夺战中的力量角逐。

40 年前，中国在深部探测领域还只是一个追赶者；40 年后，中国已然迎头赶上，正逐渐与国际同行并行。

谈到中国在深部探测领域的角色转变，董树文不无感慨地说：“这与我们充分发挥后发优势是分不开的。”

他解释说，中国在深部探测方面与国外的差距明显，工作空白很多，因此在 SinoProbe 第一阶段主要是补空白。

作为一个多学科的计划，为了加快进度，SinoProbe 不能走弯路，这就要把国外先进的技术、成果等直接吸收过来，充分发挥后发的优势。

比如在仪器研发上，中国多年以来一直在走仪器研发的道路，最后还是放弃了。

“此次，我们集中购买了一批国际领先的仪器，保证高质量探测数据获得的同时，SinoProbe 设立了自主研发关键设备课题，SinoProbe

总经费的 30% 用于支持核心技术研发。”他说。

正是在这种思路的引领下，SinoProbe 通过自主研发仪器设备，采用了“红蓝军”的技术路线，形成了包括万米大陆科学钻探装备、超大深度大功率电磁仪、无人机航磁探测系统和无缆地震仪、以及一大批自主知识产权的移动平台探测数据处理软件系统等，部分已占据国际领先地位。

“后发优势虽然有很多的好处，但我们要时刻保持清醒，因为我们是站在别人的肩膀上起步的，需要长期艰苦的努力。”董树文说。

### 大科学管理模式 且行且进

作为中国“入地”计划的国家队，SinoProbe 集结了一支 1600 多人的大团队，在专项管理上，逐渐探索出了“大科学计划”的管理运行模式。董树文告诉《科学新闻》：“在大科学（Big Science）计划中，有凝聚力的团队是首要条件，合作是唯一的途径。而保证共同兴趣和共同利益则是大科学计划成功运行机制的核心。”

据此，SinoProbe 集中了国内深部探测领域的优势力量，坚守国家目标为先的“顶层设计、高端综合”部署原则，坚持“自上而下、逐层分解”的目标落实路线，将国家的需求放在首位。

同时坚持“技术先导、多学科合作”的技术途径，坚持“国家专项、部门合作”的合作原则，实施了“目标责任、分级管理”的运行模式。这



2012 年，SinoProbe 参加第十四届中国国际矿业大会深部展览。

样就可以让每个参与项目的人都能充分发挥各自的专长，凸显集成优势，有效地保证国家目标的实现。

此外，SinoProbe 还实施了“集中探测、数据共享”的共享原则以及“国内平台、国际合作”的开放模式。

“从目前实施的效果来看，这一系列的管理模式都取得了不错的反响，是行之有效的。”董树文表示。

### 走向公众的科普

通常，在其他国家专项结题验收时只需要提交一份科学报告即可，但是 SinoProbe 却不同，它的验收需要两份报告：一是科学报告，二是科普报告。

“科普成果是各项目验收的必要条件。我们坚持要在科研的同时

走科普化道路。”董树文说，“要让公众感受到科学行动、科学计划的目标与每个纳税人息息相关。”

所以，SinoProbe 自实施以来，十分重视科普与公众宣传，主动向社会宣传、普及相关地球科学知识。

SinoProbe 不仅在官网上设置科普专题、制作科普资料、与中央电视台科普频道合作制作了《中国度—中国深度》、《深部矿脉》等系列科普宣传片，在国土资源总工培训班、中科院研究生院、中国地质学会等开办了多期专业讲座，而且还将科普成果考核作为专项每个项目结题验收时的必要标准之一。

另外，SinoProbe 将最新探测成果结合国际深部探测前沿技术，在国内深部探测领域内开办了多期国际专业短训班；在地球日和公众休息日接

待中小学生对公众的访问，向他们讲解深部探测工作的内容和意义。

在孙枢看来，“把 SinoProbe 的成果及时、经常地向社会传播，这是科学家应该做的重要事情”。

作为“地壳探测工程”的先导研究计划，SinoProbe 的验收意味着下一阶段立项申报和全面实施的开始。随着国家科技投入的不断加大和 SinoProbe 等重要科研计划的实施，各国地球科学家所向往的“玻璃地球”或将不再遥远。

“通过六年来 SinoProbe 的实施，我们已经具备了启动‘地壳探测工程’的基础和条件。下一步希望通过我们的努力能够推动科学创新与发展，实现我国从地质大国到地质强国的跨越。”董树文对深部探测的前景充满期冀。■

（责编：姜天海）

# 硕果

SINO PROBE

1600人，5年。这支名副其实的中国“入地计划”国家队，以SinoProbe之名，取得了国外足足花费半个世纪才完成的深部探测成绩。如今，9个项目、49个课题陆续通过验收，国内外好评如潮。

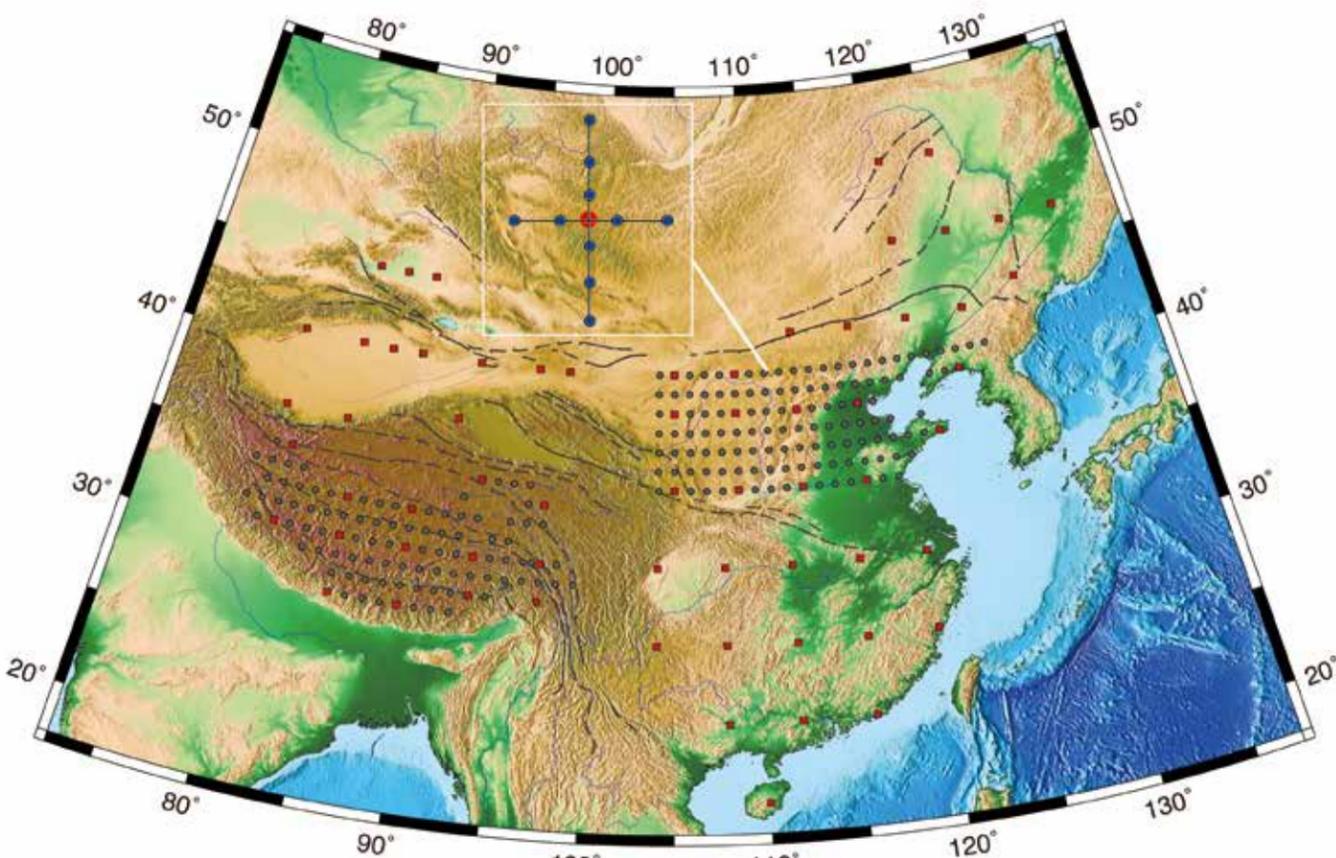


硕果之 01 大陆电磁参数标准网实验研究

# 用高精度探测“地下”导电性参数

SinoProbe-01 的科学目标即是为获取高精度的地球内部导电性参数服务，研究相应的方法技术和先导电性的大地电磁测深“标准点”阵列网观测实验。如今，在此领域，项目组已取得了不凡的成绩。

► 见习记者 张文静



中国大陆电磁参数标准网实验观测点布置图。

号称世界屋脊的青藏高原，一直是国内外地球科学界研究大陆动力学的科学“圣地”。然而，这里空气稀薄、冰川雪峰林立、风沙雨雪交加、气候瞬息万变，自然条件十分恶劣。

但是，从2009年开始，有一支队伍，不惧高原的极端条件，克服重重困难，用5年时间踏遍了数十万平方公里地区，布设起1000多个大地电磁测深高精度观测台网。他们，就是参与中国“深部探

测技术与实验研究”专项(SinoProbe)“大陆电磁参数标准网实验研究”(SinoProbe-01)的中国地质大学(北京)的师生们。

在他们的努力下，在青藏高原，相距大约20公里、大致整齐排列的

一台台大地电磁场接收器，不分昼夜地记录下地球的电磁场波动，它的名字叫做青藏实验区 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 网度的“大地电磁测深标准网”。

现在，对于SinoProbe-01项目组负责人、中国地质大学(北京)教授魏文博来说，这样的情景还犹如在眼前。不仅仅在青藏高原，5年来，他们携带着同样的仪器走过了我国东北、西北、华北和华南……

在SinoProbe专项中，SinoProbe-01承担的是偏向“基础性”的研究任务。“实现地球深部探测，首先要解决基础资料的问题，要对地壳或岩石圈的物性结构有所了解，包括电性、密度、磁性等。”魏文博告诉《科学新闻》记者。

建立大陆电磁参数标准网，就

是在向“地下”要第一手导电性数据。而如今，他们做到了。

## 精度领先

广袤的中国大地集聚着丰富的矿产、能源和水资源，也伴生了地震、滑坡和泥石流等令人畏惧的地质灾害。这一切无不蕴含了地球内部物质运动与变迁的奥秘。

为了科学地解释地球内部的奥秘，人们首先需要了解地球内部物质各种物理性质结构变化的规律，“导电性”就是其中最重要的物理性质之一，而高精度的导电性参数便是地球深部探测的基础资料。

SinoProbe-01 的科学目标即是为获取高精度的地球内部导电性参

数服务，研究相应的方法技术和先导电性的大地电磁测深“标准点”阵列网观测实验。如今，在此领域，项目组已取得了不凡的成绩。

从2009年项目正式启动到今年5月，项目组首次在中国大陆完成了覆盖全国的 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ 大地电磁测深标准网试验，同时完成了覆盖华北和青藏的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 标准网，建立了具有开创性的探测技术和工作模式。

在青藏高原、华北地区，项目团队布置了232个 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ “标准点”、2469个宽频测深点和232个长周期测深点。沿着东西方向，测点之间的距离已达到20公里。如此密集的观测网度和高精度大地电磁场观测数据，足以得到地壳和上地幔可靠的导电性探测结果。



为了取得可靠的大地电测数据，工作人员冒着严寒，在不毛之地的青藏高原检查数据的采集情况。

因此，在这些数字背后，研究人员获得的是青藏高原和华北岩石圈、地壳尺度三维导电性结构模型，并对东北地区造山带、盆地、火山活动区等不同类型岩石圈电性结构特征进行了分析和研究。此外，他们还取得了南海海域深部结构、区域构造、磁条带识别与海盆扩张模式的新认识。

SinoProbe 首席科学家、中国地质科学院副院长董树文曾评价说，SinoProbe-01 团队获得了海量的高质量数据并进行了大规模三维处理，加深了人们对岩石圈结构和过程的认识，“第一次给出了青藏高原和华北岩石圈、地壳尺度的三维导电性结构模型，其精度处于世界上领先地位”。

## 野外作业

项目的研究目标是，为将来“地壳探测工程”所包含的中国大陆地

壳及上地幔物性三维结构探测解决大地电磁场“标准化”探测的技术问题。5年里，项目团队一直为这个目标努力着。

项目获取的全部观测数据和探测、研究成果都是项目组成员亲手完成的，凝结了他们5年的心血与智慧，这并不容易。

大地电磁场的主体是自然界来自宇宙空间的、天然的电磁波场，它在地面上的信号非常微弱，并且有很强的随机性。因此，要观测到准确的大地电磁场信号，对仪器和野外观测技术的要求都非常高，是一项相当有难度的高技术工作。

此外，在室内还需要经过很复杂的数据处理和反复多次、大运算量的三维计算，才可能获得可靠的、高水平的研究成果。

在这5年里，项目组大部分成员长期在野外工作，每天常常有十几辆汽车同时在外作业，国际最先进的大地电磁仪器就要用到几十套。

每到新的工作地区，研究团队首先要进行仪器检测，随后开始布设观测站，即把仪器和设备严格按照技术规范布置在选定的地点，并设置好采集参数、进行试验性观测。在完成所有的技术准备之后才能开始正式观测。

一般来说，宽频测深点要观测20多个小时，大概一昼夜。而长周期测深点需要的时间则更长，在信号较好的情况下也至少要观测一周。

每到一个工作地区，项目团队成员即分成几个野外组，每个野外小组负责布一个宽频带的测深点，同时在某些地方布上长周期测深点。等到第二天，

把宽频测深点仪器收起来，再去布下一个点。一个小组每天只能布一个点。

研究人员的野外作业往往意味着要在路上不停地奔波。尤其在青藏高原，点与点之间看起来似乎只有几十公里，但由于道路蜿蜒曲折，真正走起来却得有一二百公里。最开始没有地方住，团队成员就只能睡在卡车里。

提到研究团队的野外作业，魏文博用“艰苦”二字来形容。但如今，项目取得了这样的成绩，他们觉得再艰苦也是值得的。

## 不断创新

在项目实施过程中，一定会遇到各种各样的问题。而对于魏文博负责的大陆电磁参数标准网实验研究项目组来说，解决问题的有效方式就是创新。

在长期的大地电磁测深研究和应用中，项目组成员都已经认识到，从提高应用效果的角度考虑，当然希望地下各个深度的探测结果尽可能接近真实的岩石电阻率（电导率）参数。但是，大量理论计算研究和实测资料的处理、解释都说明，地下介质的导电性受许多因素的影响，电性参数本身就是个最复杂的物性参数，并不是一个“单值”的参数，而是有一定变化范围的。

按目前大地电磁测深区域性探测常规的“单站”观测方式，即使在最简单的环境条件下，大地电磁测深的探测结果与地下真实的电性参数差异也很大。当测点之间的距离太大时，也影响探测结果的真实性。



昆仑山上，SinoProbe-01 项目组成员“笑傲风雪中”。

怎么办？

项目组经过理论研究和野外实验，提出大地电磁测深“标准点”阵列观测技术，即把地面上每个“标准点”之下的岩石，都看成地球内部的小体积单元，围绕地面“标准点”布设大地电磁中心测站和多个辅助测站，采用大地电磁场“多站面元”观测方式，获取“标准点”地下柱状体单元各个深度的岩石电性参数的“中值”与“偏差”，构成地壳各个深度更接近岩石真实电性参数的“标准值”。

和欧美等西方发达国家同类的研究工作相比，他们并没有考虑岩石导电性参数的“标准化”问题，而 SinoProbe-01 项目组却考虑了，并研究了具体实施方法技术。

另一方面，项目组所创造的以中心测站上超宽频带大地电磁场观测，结合了中心测站的短“十”字剖面上辅助测站的宽频带大地电磁场观测，构成超长周期和宽频带相结合的大地电磁测深“标准点”阵列观测技术。这既能兼顾地壳尺度

的探测精度，又能保证岩石圈尺度探测结果的可靠性。

为了确保长周期大地电磁场数据的观测质量，项目组改进了长周期不极化电极的结构和填充物配方，使用于接收长周期大地电磁场的不极化电极的极差很小，而且能保持长时间稳定。同时，还改进了野外测站的电极埋置方法。

对于 SinoProbe-01，国际著名电磁探测领域专家、欧洲科学院院士、爱尔兰皇家科学院院士 Alan G.Jones 教授曾表示：“这是一个了不起的规划！你们在数据采集、处理、分析及建模等多方面处于世界前列。”

在魏文博看来，“获得科学研究的基础数据”，是 SinoProbe-01 最重要的意义。“随着数据处理等技术的持续进步，基于这些数据，以后可能会有更好的结果做出来。我们希望，项目组取得的这些成果，能使我们原来对地学一些重要科学问题的认识更深入一步。”

（责编：唐琳）



项目组工作人员在西藏措麦野外。

# 探寻青藏高原腹地的奥秘

通过 5 年多的努力，SinoProbe-02 项目组利用深反射地震剖面、宽角反射与折射地震剖面、宽频地震观测，以及大地电磁剖面等现代地球物理的探测方法，逐渐揭开了地壳的“面纱”，让世人一睹真容。

► 见习记者 袁一雪

冬季的藏北羌塘高原，万物肃杀，天寒地冻的环境令这里人迹罕至。然而，“轰”的一声巨响，打破了原有的宁静。

这是 SinoProbe-02 项目即“深部探测技术实验与集成”项目组在地下钻孔，放下炸药爆炸的声音。

仅一次爆炸后的成像，就清晰地捕捉到地壳与地幔之间莫霍面的存在。用 SinoProbe-02 项目组负责人高锐的话说，“这张图非常清晰。”

是的，在科学家眼中，那由地震反射波组成的图片不亚于一幅名画，而其背后的意义，更加深远。

## 世界屋脊腹地作业

作为世界平均海拔最高的高原，青藏高原一直都是科学家渴望探寻印度板块与欧亚板块碰撞奥秘的“圣地”。而作为特定地质构造条件的产物，青藏高原腹地被认为是两个

板块“握手”的地方，地壳结构是探索新生代以来青藏高原岩石圈物质组成、壳幔演化以及高原隆升机制的重要窗口。

SinoProbe 深部探测技术实验与集成项目立项前后，高锐多次带领团队来到这片荒无人烟的不毛之地，进行实验，渴望利用深地震反射剖面这项国际公认的探测地壳精细结构的先锋技术揭开地壳的“面纱”，一睹真容。

困难重重是意料之中的事。在这片平均海拔高于 4500 米的广袤区域，平均年气温在 10 度左右，原本打算夏季进驻完成作业，但是夏天的羌塘高原正值雨季，陷车经常发生，难以使用大型钻机打深井，进行深地震反射数据采集。

世界著名野生动物学家乔治·夏勒博士曾经这样评论羌塘：“这哪是野外巡护和考察，这就是一次陷车挖车之旅啊！”

庞大的仪器和重型车辆，一旦陷入泥地，等待他们的就是长时间的原地等候和挖车，而且每一次挖车的过程都有可能对仪器与车辆造成损

伤。更堪忧的是，为了获得更好的效果，项目组需要将钻井打得很深，放下的炸药才能充分发挥作用，获得高信噪比地震资料。雨季的羌塘，显然并不适合完成这件事。“所以，我们选择在 9 月份羌塘高原进入秋冬季后再进入。”高锐说。

冬季的羌塘高原最低温度可达零下 30~40 度，荒无人烟。SinoProbe-02 项目组却在如此艰苦的条件下，坚持了 7 个月，即使在春节，也没有间断放炮。

深部地震反射剖面作业开始时，项目组和施工地震队检查了作为震源爆破所用炸药的质量，发现已购置的炸药质量低下，尽管已经打了 15 口井，放下了炸药。但是为了保证工程质量，最终还是放弃所有已购炸药，重新在内地择优购置高质量炸药，重新打井下药。他们选择了深钻井爆破，把炸药放到 50 米深的地下。“我们还做了这样尝试，就是一次爆炸了 1000 公斤的炸药，单炮记录就得到了非常清晰的莫霍面反射数据，单次剖面，没有做叠

加。”高锐解释说。

钻孔、放炸药、爆炸、采集数据，看起来简单的过程，他们因坚持精细施工，一丝不苟。“我们采用多尺度药量累合深井激发，这是获得资料的基础，小炮药量几十公斤，获得浅层精细结构，类似石油地震普查；中炮药量 100~200 公斤，探测地壳深层结构，大炮药量 500~1000 公斤，甚至到 2000 公斤，探测莫霍面与地幔的结构。”

正是这样的精细实验工作，让 SinoProbe-02 项目组一举突破了青藏高原腹地难以得到地壳深部资料的技术瓶颈，拿到了巨厚地壳深至莫霍面的地震反射数据。经过数据处理后的剖面清晰地显示出莫霍面的位置。这项成果 2013 年在国际权威杂志发表后，1 年内被下载超过 1000 余次。

## 给青藏高原做 CT

现在很多媒体报道提到地球深部反射时，都会用到高锐常说的一个形象的比喻——“给地球照 CT”。“当时，有个记者采访我，问我什



高锐及其团队在羌塘盆地进行深地震反射剖面探测施工。

么是深反射，我用十几分钟的时间做了讲解，在最后我跟他讲，就像是给地球做了CT。但是人体比较苗条，可以被放进扫描区进行360度全方位扫描，但是地球太庞大了，我们只能一部分一部分地做。”

通过5年多的努力，SinoProbe-02项目组利用深反射地震剖面、宽角反射与折射地震剖面、宽频地震观测，以及大地电磁剖面等现代地球物理的探测方法，了解地球深部的物理性质和精细结构。为了更清晰地获得地球“CT”成像片，高锐带领项目组实验了深地震反射与折射相结合同时观测的技术。因为深地震反射剖面技术如

CT扫描一样获得地壳精细结构图像，地震折射技术获得地壳速度，有助于判断深部物质的属性，但其分辨尺度不甚精细。所以两者的结合就可以既获得结构直观信息，又获得判断介质性质的间接信息，这是地壳探测的一个技术进步。

“我们还总结了五步复杂条件下深反射地震数据处理流程：第一步是现场处理，第二步是初级处理，第三步是精细处理，第四步是特殊处理，第五步是解释性处理。除了第一步和最后一步是我们自己处理，其他步骤都通过招标选择技术先进、经验丰富的专业公司进行。”高锐解释说。

此外，项目组还研发了远程监控的宽频地震观测新技术——一项可探测地幔深部的技术。

高锐曾对媒体解释说，宽频地震观测好比医学的听诊器，是将地震计放入地下记录地球的活动信息，经过数据处理得到地下结构图像。它的观测深度可达670公里上地幔，但是观测持续时间一般较长，为1~2年。

通过一系列方法技术实验，Sinoprobe-02项目组科研人员成功地穿透我国大陆岩石圈（100~200公里）、地壳（30~70公里）不同层次，获取多重物性参数。从数据采集、



中国科学院院士滕吉文（中）在野外工作现场。

信号提取到成像技术流程，“地壳CT”探测结果被国际同行认可。几项重要认识摘要如下：

一是以羌塘中央隆起带为界，羌塘地体的基底结构南北存在显著差异。表明羌塘地体的基底并非铁板一块。这一认识可应用于羌塘油气资源远景评价研究；

二是羌塘地体的莫霍面出现在双程时间20s处，平均深度约在60公里，起伏不大近于平的，表明莫霍面是新形成的。这些发现为青藏高原地球动力学研究提供了新的约束。文章在TECTONOPHYSICS发表，1年来被国际学者下载超过1000余次；

三是横过分割拉萨地体和羌塘地体的怒江-班公湖缝合带，莫霍面错断了约10公里，表明了古老的怒江-班公湖缝合带的重新复活。

四是通过均衡重力研究并结合区域内多学科资料，推测藏北火山岩大面积喷发可能与向南俯冲在青藏高原

下的亚洲岩石圈地幔前缘断离有关。这些认识为研究藏北火山岩区下的壳幔相互作用提供了新的视野。

## 硕果累累

塔里木-天山、扬子克拉通-龙门山、松辽盆地-大兴安岭、松潘地块-昆仑山、喀喇昆仑-雅鲁藏布江-冈底斯山……造山运动活跃的地带都留下了SinoProbe-02项目组的身影。他们的收获也是巨大的。

“深部专项实施之前，我国深反射地震剖面总长约4800公里，仅相当于美国的1/12、英国的1/4、意大利的1/2。”董树文曾在接受媒体采访时表示。而在过去5年，我国完成了6160公里“穿透地壳”的深反射地震剖面，总长度达到11000公里，超过了此前50年完成的总和。

其中，Sinoprobe-02项目完成的5000公里深地震反射剖面横跨了我国不同类型的地质构造单元，穿

越了大山（喀喇昆仑山、昆仑山、祁连山、秦岭、龙门山、武陵山、井冈山、雪峰山、武夷山、大兴安岭等）、高原（青藏高原、黄土高原等）、大江大河（长江、黄河、松花江、嫩江、岷江、湘江、赣江等）等特殊地理单元，经过了茂密森林覆盖区、高原无人区、湖泊沼泽区、高山草地区等复杂地貌。在野外工作中，项目组克服重重困难，精心设计、认真施工，确保了野外数据采集的质量和施工的安全。

由于技术的突破创新，在华北北缘地震实验中，SinoProbe-02项目组使用三分量数据反演的速度结构与反射初至波层析反演结果吻合很好，且比反射初至波层析反演结果更为精细。而且，项目下子课题组的一个年轻女孩还发现了欧亚板块俯冲到台湾岛之下的地震学证据，“这个结果发表后获得了国际学者的赞赏”。高锐说。

据不完全统计，SinoProbe-02项目组已经发表论文180篇，其中SCI论文126篇。

如果资金申请顺利，SinoProbe下一阶段工作将于明年年底展开。中国科学院院士李廷栋在接受采访时表示：“接下来的工作还将是点与面相结合。”

也就是说，对中国大陆的“CT”扫描还将继续：潜入地表，查看地下，进而绘制一张属于中国人自己的深部探测图像，为国家进一步发展、勘查深处资源、减轻地质灾害等提供精确有效的信息。■

（责编：倪伟波）



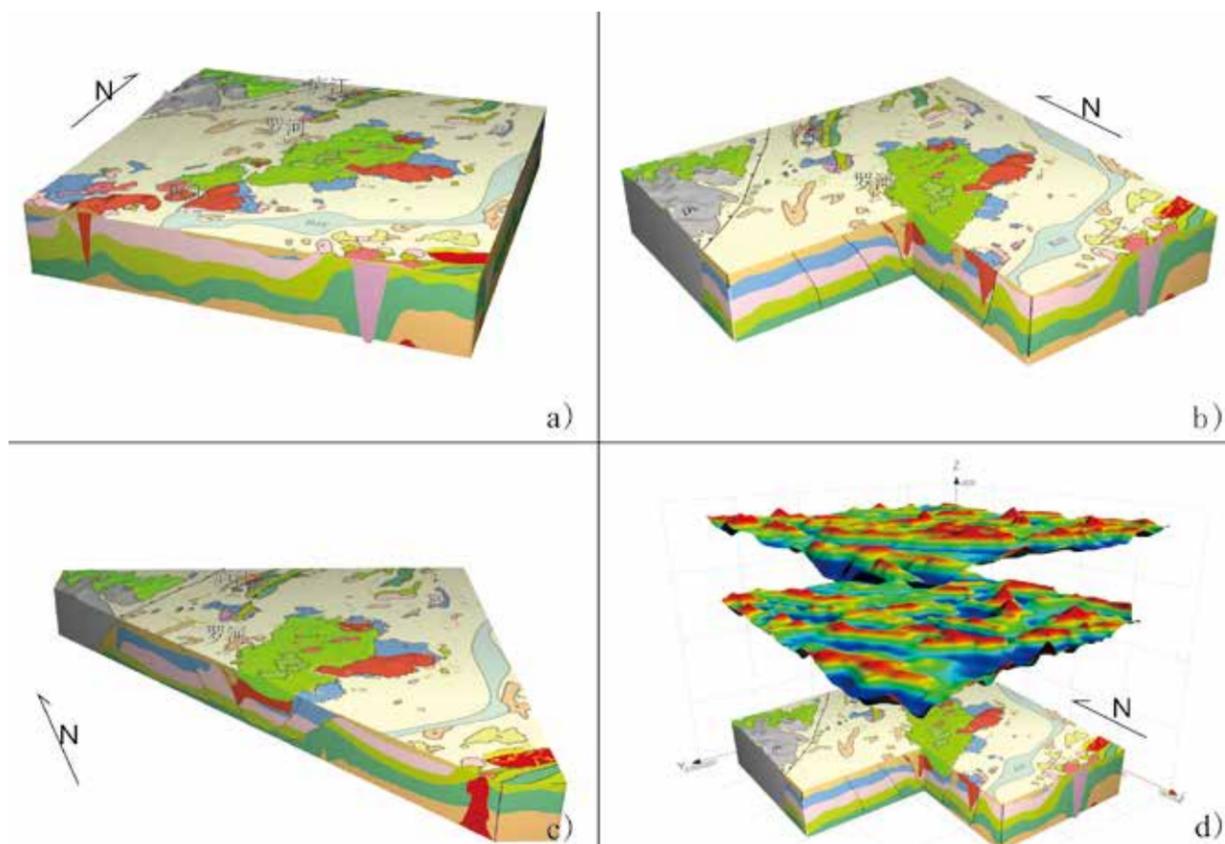
项目组在西藏神山冈仁波齐峰下的深地震反射剖面震源钻爆作业。

硕果之 03 深部矿产资源立体探测及实验研究

## 深部矿产：资源持续供给的保障

立足国内，实现资源自给，资源勘查必须走向深部。而如何“入地”更深，SinoProbe-03 项目给出了答卷。

见习记者 姜天海



庐江矿集区三维地质模型（a、b、c、d 不同视角下的立体地质图）。

两大因素促使地球科学家必须探测深部、认识深部。

其一，全球的矿产勘查正在向深部 500 米以下进军。拓展深部资源面临严峻挑战，如深部地质结构、物质性质不清，控矿要素不明确，

勘查深度难以突破。

其二，人们也逐渐意识到深部因素对成矿的控制作用，如幔源岩浆、新生地壳熔融、拆沉与底侵和深大断裂对金属类型和矿床分布的一级控制。

为此，SinoProbe-03 项目选择了我国东部长江中下游成矿带和南岭成矿带以及铜陵、庐枞、于都-赣县等典型矿集区，开展了三个层次的“入地”探测研究工作。

首先是成矿带岩石圈层次，部

署了覆盖整个成矿带的宽频地震探测台网和“廊带式”综合探测剖面，以阐明大型成矿带形成的大地构造背景、动力学过程和矿集区形成的控制因素，预测未发现的矿集区。

矿集区地壳结构层次，部署了若干骨干剖面的综合地球物理探测，再利用重磁全三维反演技术，实现矿集区的“透明化”，全方位展示控矿地质体的三维分布，预测深部找矿靶区，评价深部找矿潜力。

矿床（田）精细探测层次，部署了各种现代地球物理探测技术方法试验，以寻找针对不同类型的深部勘查技术方法。

“这个项目实际上是深部探测专项为解决国家资源、环境、灾害三大瓶颈问题中的资源问题而设的。”项目负责人、中国地质科学院矿产资源研究所研究员吕庆田告诉《科学新闻》，“要想立足国内，实现资源自给，资源勘查必须要往深走。”

### 成矿带岩石圈结构探测揭示板内成矿的奥秘

以往认为，成矿作用大都发生在板块边缘，与板块边缘造山密不可分，如洋-陆俯冲造山、陆-陆碰撞造山，对于大陆板块内部的成矿作用及深部动力学机制却鲜有了解。

此次，SinoProbe-03 项目在长江中下游成矿带进行的系统的岩石圈及上地幔深部探测研究，解开了大陆板块内部成矿的“深部奥秘”。

经过四年的不懈努力，项目组在长江中下游成矿带发现了岩石圈增厚、拆沉和软流圈隆起的关键证据，建立了陆内成矿的深部动力学模型。

在吕庆田研究员的带领下，项目组通过宽频地震、深地震反射等技术，获得了成矿带及相邻地区岩石圈及上地幔三维速度结构。发现了成矿带下方 150 公里深度的低速异常和 300 公里深度的高速异常，推测为岩石圈拆沉和软流圈物质上涌的遗迹；发现了下地壳和上地幔存在与成矿带走向方向平行的地震各向异性，表明沿该方向曾发生流动变形；发现了软流圈上隆及莫霍面隆起现象。更重要的是，发现了陆内下地壳和岩石圈地幔俯冲的清晰图像。

“我们认为，这些发现可以论

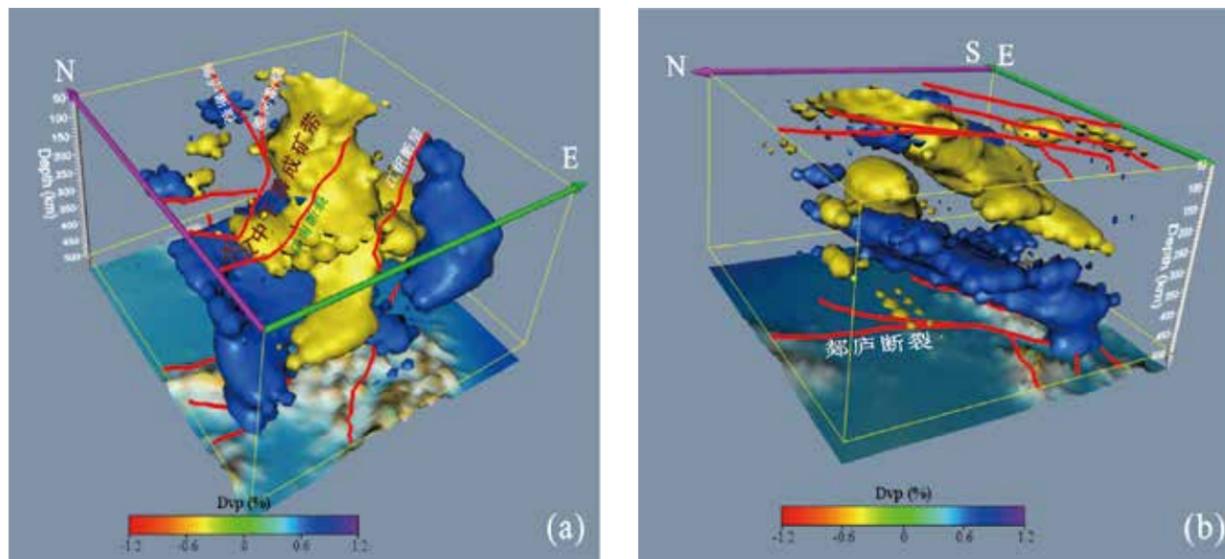
释为什么在长江中下游这个狭窄的带内，形成数百个金属矿床。与板块边缘成矿类似，大陆内部在远程应力的作用下，也可以发生大陆俯冲，俯冲导致壳幔强烈相互作用，最终沿俯冲带形成大陆内部的巨型成矿带。”吕庆田表示。

长江中下游成矿带深部探测试验，让 03 项目形成了一套针对大型成矿带岩石圈结构探测的技术解决方案，发展了多种地球物理数据处理与解释技术，为国家“地壳探测工程”实施提供了技术储备。

“我们的项目有很强的实验性质，希望我们在长江中下游成矿带、矿集区到矿田的探测模式和技术思路可以推广到其他成矿带去。”吕庆田如是表示。



吕庆田（右三）在庐江野外现场查看噪声来源。



长江中下游成矿带远震层析成像速度等值面透视图：(a)自西南方向观测；(b)自西北方向观测。蓝色和黄色分别代表高速体和低速体。底图为研究区地形图，红色曲线代表断层。

### 矿集区结构“透明化”助力深部找矿取得重大发现

03 项目的第二大成果，就是初步实现了矿集区三维结构、构造的“透明化”。

通过骨干剖面的反射地震探测和重磁数据的全三维反演，项目组揭示了庐枞、铜陵矿集区的地壳结构框架，发现了一批新的断裂，建立了该地区的三维地质模型，初步实现了矿集区的“透明化”，为认识该地区的成矿作用和助力深部找矿起到了关键作用。

然而，重大成果的取得往往不是一帆风顺的。

“庐枞、铜陵矿集区三维立体探测施工，困难重重。野外最大的困难不是吃和住，而是各种看不见的电磁和振动干扰，这些干扰来自各种电线、工厂、高速路和居民生活。”吕庆田苦笑着说，因为反射

地震的数据采集要记录地下几十公里反射上来的信号，需要绝对的安静。如何避开干扰是他们面临的重大难题。

为了获得高信噪比的数据，他们不得不在夜深人静的时候采集数据。记得 2009 年冬天进行反射地震数据采集时，偶遇罕见冰雹加大雪，工作人员为了获得一张高质量的记录，往往要一动不动地盯着监视屏幕数小时，查看噪声背景。有时候他们要去设置警戒，有时要去与周围的工厂协调让他们暂时停工，有时候甚至还要面临当地人的百般阻挠。

“技术上的难题，施工上的困难，与当地政府的协调等等，一路走来，大家都成了多面手。”吕庆田笑着回忆，就这样，他们一干就是 5 年。

艰辛与汗水让他们收获了大量的成果。

在探测技术方法方面，他们形成了适合火山岩地区反射地震数据采集的技术系列和数据处理技术流程。提出了 MT 数据强干扰背景下时间域形态滤波去噪技术、重、磁三维相关成像技术、基于重磁三维物性反演的三维岩性填图技术和地质—地球物理约束下的三维建模方法流程，为矿集区深部三维结构调查和整装勘查区深部找矿提供了技术借鉴。

在矿集区成矿基础地质方面，取得了一系列创新性认识。发现了壳/幔边界基性岩浆底侵的反射地震证据，提出了“多级岩浆系统”结构模型；发现了隐伏在庐枞火山岩之下的两个侏罗纪盆地；提出了“两拗一隆”的结构模型和“三横六竖”的断裂系统格架；提出了“沿江断裂带”为大型逆冲断裂系统的新认识。

在找矿方法技术方面，提出了

“玢岩型”铁矿、“斑岩型”铜矿和“热液脉型”多金属矿床的深部找矿方法技术组合，并建立了庐枞矿集区区域成矿模式，为该地区的深部找矿提供了理论和技术支撑。

前期扎实的探测研究工作，为钻探验证奠定了良好的基础。庐枞深部异常验证钻孔取得了深部重大找矿线索，发现了高强度的铀矿化，提出深部铀矿化为交代碱性岩复合型铀矿的新认识。这一发现对庐枞深部找铀具有重大的理论和实际意义。

### 南岭深部钻探开辟“第二找矿空间”

作为我国重要的钨锡钼铋资源基地，南岭成矿带也是 SinoProbe-03 项

目关注的重点。

自 2009 年起，中国工程院院士陈毓川带领另外一个团队，在南岭于都—赣县矿集区取得了重要的找矿突破，开辟了“第二找矿空间”，在综合地球化学、地球物理多方法找矿方面进行了有益尝试。

在陈毓川的带领下，南岭探测队伍综合多种技术方法，完成了大量的深部探测工作。

通过对银坑、盘古山示范区地质—地球物理的综合探测，项目初步建立了浅层（3~5 公里）地质构造及深部地壳结构，推测岩浆通道，为成功选定科钻预导孔和金属异常验证孔孔位提供了可靠依据。

在银坑示范区，经 3000 米科钻验证，确定了推覆构造的空间产状、形成时代以及控岩控矿机理，发现

了推覆体内多段铜多金属矿化(体)。并在推覆体之下获得了两类岩浆岩及相关矿化的钻孔信息，预示着深部岩体具有成矿远景，为华南花岗岩区资源更深科学钻探选址提供了科学依据。

在盘古山示范区，经 2000 米钻探验证，发现了新的矿化类型，获得了找矿重要突破，预计新增三氧化钨 ( $WO_3$ ) 资源量 1.4 万吨。并发现了盘古山岩体顶部 20 多米厚云英岩矿化带与辉钨矿石英脉、岩体内钨矿石英脉，这为老矿山今后找矿指明了方向。

他们还提出，燕山期华南不同类型矿床成矿系列在于都—赣县矿集区共存，并受南岭与武夷两大成矿带交汇地质构造环境的控制。与黑云母花岗岩有关的钨多金属矿床受网状断裂构造和壳源为主的成矿岩浆控制，呈面型分布；与花岗闪长岩有关的铜多金属金银矿床受深断裂和壳幔混源成矿岩浆控制，具线带型分布特征。

“我们还建立了矿集区区域矿床的成矿模式，进一步证实了深部存在的‘第二找矿空间’，显示了深、边部找矿的巨大潜力。”陈毓川表示，这对该矿集区和整个南岭成矿带的找矿工作都具有重要的指导意义。

该课题也是深部专项在找矿预测研究方面成果最显著的一个。课题尝试了在一个项目内完成研究、预测、验证的找矿研究模式，锻炼出了一支出色的深部探测队伍。■

(责编：倪伟波)



董树文等人在庐枞科学钻现场观察岩心。

# 化学地球：解读地球的全新窗口

SinoProbe-04 项目让以研究地球基因为特色的“化学地球”成为可能，也为人类认识 21 世纪的地球打开了一扇新的窗户。

► 见习记者 姜天海

## 如何认识 21 世纪的地球？

1998 年初，美国副总统艾伯特·戈尔在《数字地球——认识 21 世纪的地球》一文中提出“数字地球”

的概念。随后，谷歌在 2005 年向全球推出“谷歌地球”。2008 年，反映地球地质地貌的“同一个地质计划 (OneGeology)” 完成了世界规模最大的地质制图项目。

但无论是“谷歌地球”还是“同一个地质计划”，在某种意义上都只是表达数字地球的物理特征，描绘地球资源环境变化的化学特征仍然是一片空白。



王学求（右）及其团队在青藏高原采样。

2008 年，“深部探测技术与实验研究”专项 (SinoProbe) 启动 04 项目——“地壳全元素探测技术与试验示范”项目，让以研究地球基因为特色的“化学地球”成为可能。

## 强大的“化学地球”数据平台

地球物质成分包含元素周期表中 90 个元素，这 90 个元素被称为“地球的基因”。它们不仅形成了矿产资源，而且也影响着人类的生态环境。

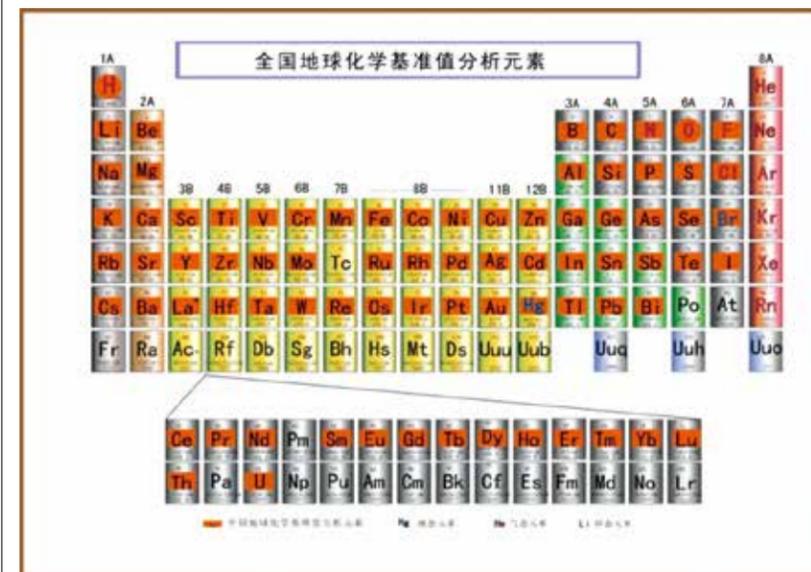
“建立‘化学地球’、对地壳全部元素进行探测是解决资源与环境可持续发展的必然选择。”中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所研究员、国土资源部地球化学探测技术重点实验室主任王学求对《科学新闻》记者表示。

通俗来讲，化学地球就是将元素周期表绘制在地球上。在王学求的带领下，SinoProbe 下属的 04 项目以对地壳所有化学元素的探测为基础，建立覆盖全国的地球化学基准网，研发了基于 ArcGlobe (三维视图) 的

化学地球软件，为全球海量地球化学数据与图形显示及管理提供了不同比例尺地球化学图的二维和三维制作和展示平台。

这一软件平台不仅为地球科学工作者提供了多分辨率、多时空和多种类的三维描述服务，而且也为地球的资源与环境评价提供了科学数据库，搭建了政府机构、管理人员和公众之间的化学地球知识科普

平台。  
2008 年项目启动之初，王学求对全国的地球化学探测进行了“一网、三带、十矿区”的部署。部署了一个覆盖全国的地球化学基准网、三条穿越不同大地构造单元和重要成矿区带的地球化学走廊带，以及十个矿区。这十个矿区都在盆地和盆山边缘的覆盖区，是过去用常规的地球化学方法或肉眼无法辨别的



全国地球化学基准值分析元素表。

盲矿或覆盖矿。

为了达成这一部署，项目课题组首先针对三大层次的关键技术进行攻关。

针对地球表层，课题组创新性地发展了地壳全元素的精确分析系统，在全球首次实现对地壳 81 个指标的高精度分析，其中包括除惰性气体外的 78 种元素周期表元素，以及岩石结晶水、二价铁、二氧化碳、有机碳、土壤 pH 值等测试指标。

其次是在千米深度的层次寻找隐伏矿，打破地球化学勘测技术仅能探测地表浅覆盖矿产的“魔咒”。对此，课题组研发了纳米微粒分离技术、元素活动态提取技术等具有自主知识产权的探测技术，在隐伏矿深穿透地球化学探测的理论与技术上取得了原创性的成果。而在中下地壳物质层次，课题组则针对中国大陆的特点，发展了中下地壳物质成分识别方法体系。

## 覆盖全国的地球化学基准网

要实现地球基因的探测，除了解决探测技术之外，还要建立覆盖全国的地球化学基准网，作为了解过去地球化学演化和预测未来全球环境变化的定量参照标尺，同时为全球成矿物质背景研究和矿产资源评价提供基础数据。

“我国的地球化学基准网是以全球地球化学基准计划为基础的。”王学求向《科学新闻》介绍。

全球地球化学基准计划就是在地球上“画格子”，采样、检测并

绘制图件，系统获取地壳上所有元素的含量和分布。全球陆地共设置 5000 个基准网格，每个格子的大小为 160 公里 × 160 公里。近十几年，包括欧洲、美国、澳大利亚、印度及中国在内的国家及地区已经基本完成了全部样品的采集工作，覆盖了全球约 22% 的陆地面积。

“该全球计划在中国大约分布了 400 个网格。我们又根据国家尺度的基准网格数据密度要高于全球尺度的网格密度的要求，再将每个网格划分成 4 个子网格。即部署了约 1600 个子网格，每个子网格的大小相当于 1 个 120 万图幅。”王学求介绍说。

之后的 5 年内，王学求和他的团队足迹遍及大江南北，在每个基准网格内系统地采集不同时期沉积岩、火成岩、变质岩和疏松沉积物（土壤）的组合样品。

除喜马拉雅山脉东部等地，该课题组已经完成了 12371 件岩石样品、6617 件土壤样品的采集工作，精确分析了除惰性气体以外几乎所有已知元素的含量，建立了中国大陆的地球化学基准值，制作出了化学元素时空分布基准的地球化学图。

为了更加精确地了解地球的去、现在与未来，中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所高级工程师张必敏向记者介绍，课题组顶着增加采样成本的压力，在每个采样点采集了 0~25 公分的表层土壤样品和 1~2 米的深层土壤样品，用于反映在一定沉积时期前后元素含量变化的情况，并根据土壤和岩石

两种地球化学介质的优缺点进行组合采集。

地球化学基准网的建立，为了解化学元素在我国大陆的演化过程、当前资源环境评价以及未来的资源环境变化提供了量化的参照标尺。

“我们现在所做的工作，将人类对地球化学的探测能力和人类认识地球化学元素分布的进程向前推进了一大步。”王学求说。

## 资源环境评价的新视角

地球化学基准网的建立，对我国资源和环境的可持续发展具有重大的意义。

通过基准网的建立，课题组新发现了一批成矿元素的地球化学异常，不仅对应了已经发现的大型矿集区，而且也表明了铀、稀土、金、铜等重要矿井的找矿远景区。

王学求以钨矿举例：在分布图中显示钨元素大量集中在华南地区，而此处也恰恰是世界上最大的钨矿集中区，因此显示了元素聚集与成矿之间的直接对应关系。

同时，分布图也显示出青藏高原和河南地区有钨元素的聚集，这也与近年来在河南等地矿产的新发现相吻合。

而此次地球化学勘探也填补了过去区域化探扫面未分析到的稀土元素。由于稀土包括 16 种元素、结构十分复杂，因此在 1978 年开展的全国区域化探扫面工作中并没有对稀土元素进行探测。

但此次勘探利用深层样品，在

白云鄂博西边、拉萨南边等区域圈出了一大批找矿远景区。课题组还圈定了盆地砂岩型铀矿的找矿远景区，其中包括中俄边界、二连—东乌旗、鄂尔多斯盆地、伊犁盆地等地区。这些元素的地球化学异常对于矿产资源评价、找矿选区的优选都有重要意义。

此外，基准网的建立也为环境评价和变化研究提供了定量依据。

“我们建立了 8 个重金属元素的全国地球化学基准，重点研究了镉、砷、汞、锑等重金属的变化状况和污染评估。”王学求介绍说。

课题组在每个点位都采集了深层和表层土壤的样品。1 米以下的深层土壤样品基本没有受到人类活动的污染，代表着自然界的地球化学背景及变化，比如扬子地台的黑色岩系本身就含有大量的铬，西南的低温成矿域本身就汞含量高。

而地表到地表以下 25 公分的表层土壤样品，则反映了人类活动污染与自然地质背景、矿产资源的多重作用。

“比如说，环绕我国东部的人口密集区，汞含量和分布面积都比深层要大得多。”王学求用表层土壤含量减去反映自然地质背景的深层土壤含量，并用表层基准值与深层基准值校对后，得出了重金属元素污染分布图。

张必敏则以镉的地球化学基准与变化举例，2009~2012 年的采样相比 1995~1996 年的采样而言，反映了我国“珠三角、长三角、京津冀地区经济高速发展的负面影响”。



04 项目组成员在新疆罗布泊沙漠采样。

## 探知地球的历史与未来

对地球化学的进一步探索，也加深了人类对地球历史和未来的认识。

“岩石基准值的对比研究可以让人类了解地球过去，而对于土壤基准值的对比研究则可以帮助人类预测未来的地球变化。”王学求表示。

比如，课题组对 1994 年全国泛滥平原沉积物采样和 2009~2012 年华南地区泛滥平原沉积物和河漫滩采样的氧化钙分布进行了比较。通过对比，课题组发现由于酸雨的作用，15 年间华南地区氧化钙含量小于 1% 的面积由 80 万平方公里增加到 110 万平方公里。

“由于酸雨对碳酸钙的分解，不仅造成氧化钙大量淋失，也造成了自然界的二氧化碳向大气的释放，加剧了温室气体效应。”王学求解

释道，这对科研人员进一步了解我国气候变化的进程提供了定量指标。

同时，地球化学基准网的建立也可以帮助研究人员了解过去重大地质事件的地球化学响应。

2010 年，王学求等科研人员在云南禄丰龙灭绝的 K-T（白垩纪—古近纪）界面上发现了高含量的铂族元素异常。

“我们发现，禄丰龙的产地楚雄—兰坪盆地白垩系的石英长石砂岩和古近系紫红色泥岩的铂族元素背景值都比较低，但恐龙灭绝时期的白垩系—古近系界面的凝灰质灰岩和凝灰质泥岩铂族元素含量都很高，特别是铱的含量为上下地层的 20 倍。”王学求说，“尽管它的厚度不足 1 厘米，但这项证据却可能再次支持了行星撞击地球的全球性事件是导致恐龙灭绝的原因。”

（责编：倪伟波）

# 科学钻探 实干护航

SinoProbe-05 项目的与众不同，来自于它的实干。

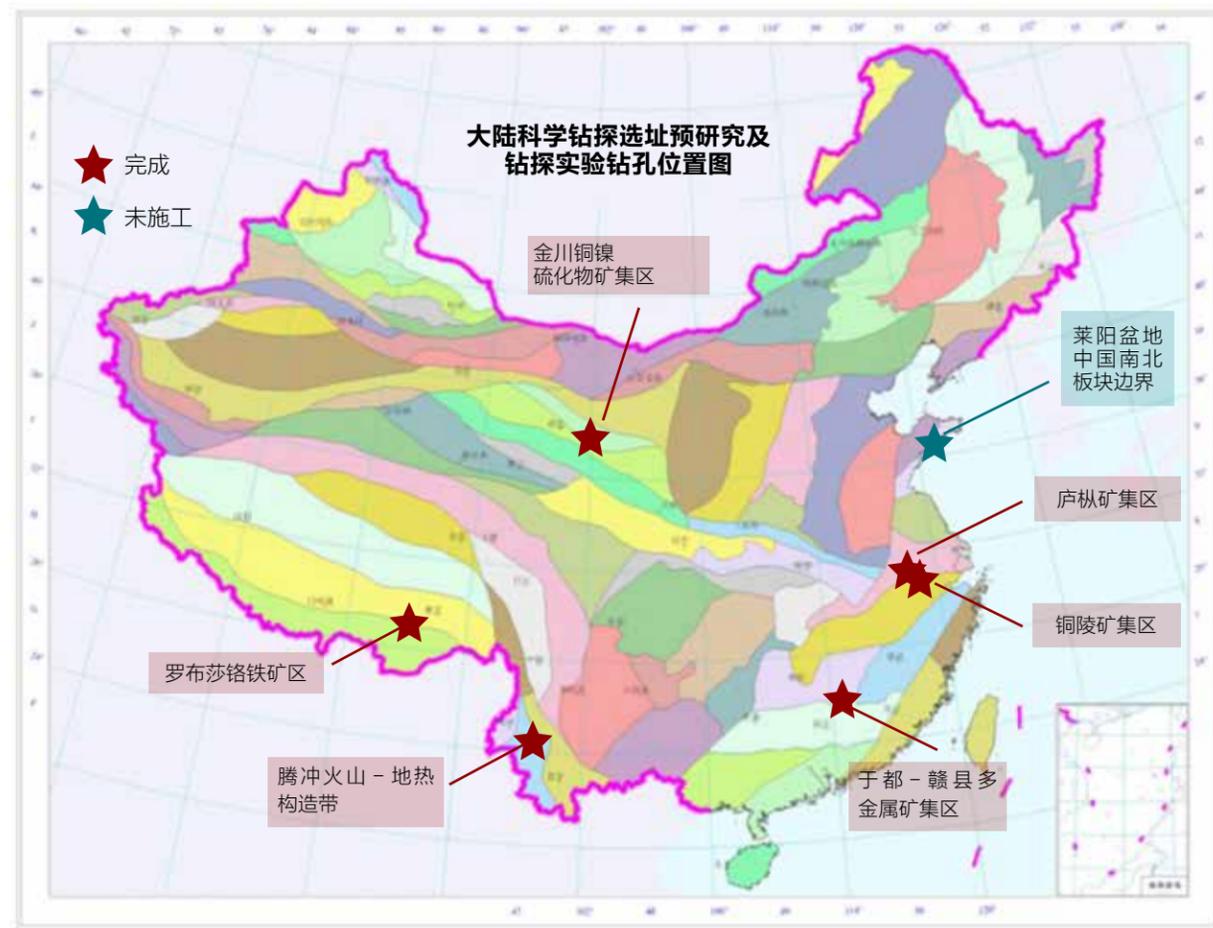
► 记者 唐琳

纵观“深部探测技术与实验研究”专项(SinoProbe)的9个项目，有一个项目显得格外与众不同，它就是“大陆科学钻探选址与钻探实

验”(SinoProbe-05)。而这份不同，来自于它的实干。

“从地球物理数据获得的认识往往有很多争议，需要验证，而钻探

是最好的验证手段。”SinoProbe-05项目负责人之一、中国地质科学院地质研究所研究员杨经绥一语中的。用科学钻探验证理论和研究地



下深部的地质现象，是SinoProbe-05项目的核心。然而，想要真正迈出实干扎实的一步，却要花费研究人员更多的心血。

实施一项成功的科学钻探，首先面临的是开展选址。

一个好的选址，首先要明确科学目标，然后要开展前期的地质工作，包括开展地球物理多种方法的测试，并在此基础上，确定最佳钻孔位置和最有效的钻探施工方案。

这个过程需要很大的前期投入，有时甚至需要花费一两年时间才能最终选定钻探地点。而钻探从开始施工到达到预期深度和科学目标，更是需要少则数月、多则数年的艰苦施工。

地面上的钻探技术人员，要凭经验驾驭千米之下钻头的钻进工作，其难度可想而知。当遇到复杂的地质条件，钻探还有可能失败，甚至无法达到预期深度和目的。

随着钻探进展和岩心的取得，研究工作也随之展开。但这时，距离项目结束和验收的时间已经屈指可数。谈及这些情况，身经百战的杨经绥也有些无奈。

正因如此，与其他专项相比，SinoProbe-05项目不仅准备时间漫长，且钻探结果也存在一定风险。可也正是因为SinoProbe-05项目的实施，项目组科学家和工程人员不畏艰难奋战在钻探一线，才使得其他项目组在西藏罗布莎、甘肃金川、云南腾冲、安徽庐枞、安徽铜陵、山东莱阳、西藏阿里等地的科学研

究有了起步的可能。

以杨经绥、中科院院士许志琴为项目负责人的SinoProbe-05项目组，围绕中国大陆动力学基础地质研究重大关键问题，实施6~7口先导孔的科学钻探，用扎扎实实的工作，为整个SinoProbe专项的开展保驾护航。

## 金川铜镍硫化物矿集区科学钻探选址预研究

由中国工程院院士汤中立带队的课题组，通过对金川铜镍硫化物矿床与世界同类岩浆矿床对比研究，发现金川矿床拥有世界上最大的镍矿体，提出了国内外所有具有经济意义的Ni-Cu矿床都寄生于

小岩体中并自成一个成矿系统的观点。

通过对金川超大型铜镍硫化物矿床岩浆质量平衡与成矿过程的研究，首次提出：金川与其附近的茅草泉岩体为同源岩浆演化而成，茅草泉小岩体群为金川矿床的形成贡献了亲铁元素与橄榄石成分。

通过对金川超大型铜镍硫化物矿床铂族元素分布规律及矿床成因的研究，发现矿床中从西到东铂族元素含量逐渐降低；提出富铜矿石是单硫化物固溶体结晶后的残余硫化物形成的；提出矿床形成的R值在300~1000之间，从而确定了岩浆通道侵位过程。

## 西藏罗布莎铬铁矿科学钻探选址预研究

以杨经绥为课题负责人的课题组，在完成罗布莎等三个超镁铁岩体的地球物理探测工作基础上，开展了罗布莎超镁铁岩体的钻探施工。

课题组在罗布莎矿区完成了两个钻孔的科学钻探，首次穿透了罗布莎



罗布莎、阿里等 6 个钻探点钻塔图。

蛇绿岩体，证明其为构造岩片，显示一个倒转的蛇绿岩层序。通过对岩石学和矿物学的研究，在罗布莎和普兰岩体中识别出两类纯橄岩，认为两者记录了地幔橄辉岩经历从大洋中脊到俯冲带构造背景的变化过程。

课题组还识别出两种成因豆荚状铬铁矿，找出铬铁矿早期深部地幔部分熔融成因以及浅部俯冲带环境熔体和岩石反应成因的证据。在东波和普兰的蛇绿岩中识别出洋岛玄武岩等基性岩，认为该蛇绿岩可能为地幔柱成因。

此外，课题组还在全球 5 个造山带蛇绿岩中发现金刚石等深部矿物。在西藏和乌拉尔的金刚石中发现许多含锰的特殊矿物包裹体和极低的 C 同位素比值，这完全不同于金伯利岩和超高压变质带类型的金刚石，因此课题组认为其是一种新的金刚石产出类型，并将其命名为“蛇绿岩型金刚石”。

### 腾冲火山—地热—构造带科学钻探选址预研究

由中国科学院院士刘嘉麟、中国地质科学院地质研究所研究员戚学祥牵头的课题组通过研究，在岩浆岩方面，初步构建了腾冲地区岩浆活动的年代学格架，探讨了新生代火山的活动规模和构造背景。

在构造地质学方面，确定了腾冲地块的构造轮廓与边界，提出新生代火山活动和地热活动主要分布于不同方向断裂带交汇处。

在地热学领域，开展了腾冲地下热水补给机制的初步研究，探讨了腾冲火山—地热区的源区与成因。

在地球物理方面，开展了可控源音频大地电磁探测。结果显示，距地表 500~800 米形成一条东西向低阻带，初步解释可能是地热，其下部的高阻体可能与火成岩体有关系，并开展了地震反射剖面研究。

基于上述对岩浆岩、地热、构造地质与地球物理研究的认识，课题组最终将钻孔位置确定在北线附近的腾冲县马站乡腾冲火山地热国家物质公园内。

### 山东莱阳盆地南 / 北板块边界科学钻探选址预研究

中国地质科学院地质研究所研究员张泽明、吴元宝带领课题组按设计开展了区域地质调查和综合研究工作，完成或超额完成了设计的工作量和设计书规定的工作任务，取得了预期的研究成果。

课题组野外地质调查 600 天，采集样品 500 块，制作各类岩石薄片 500 余片，获得全岩地球化学分析 300 件、无污染碎样 500 件、分选矿物 200 件等。

最终取得了一系列成果：查明莱阳盆地物质源区；提出胶北基底

具有华北板块亲缘性；确定了大陆俯冲带的流体活动时限；提出大陆深俯冲过程中的部分熔融与岩浆作用持续时间为 30~50 Ma；确定了高压、超高压蓝晶石石英岩成因及大陆深俯冲过程中的变质交代作用；确定了大陆俯冲带的壳—幔相互作用。最后，得出胶东地区是大陆超深钻最佳选区的结论。

### 东部矿集区科学钻探选址预研究

中国地质科学院地质研究所研究员吴才来、薛怀民出任课题负责人，分别在铜陵和庐枞两个矿集区开展科学钻选址预研究，以两个矿集区侵入岩、火山岩及相关的矿床研究为切入点，较系统地收集了庐

枞盆地内已有的钻孔资料。

课题组在铜陵矿集区开展中酸性侵入岩研究，确定了矿集区岩浆的活动次序；明确侵入岩系列划分及其成因；并发现石炭纪岩浆活动的证据。最终，确定舒家店地区为实施 3000 米科学钻的最佳地点。

在庐枞矿集区，课题组对庐枞盆地所处的长江中下游地区晚中生代发育的一系列火山岩盆地进行了对比研究，将它们分为橄榄玄粗岩系列火山岩盆地和高钾钙碱性系列火山岩盆地，修编了庐枞盆地的火山岩相—构造图，系统测定了盆地内火山岩、潜火山岩以及浅成侵入岩的形成年龄，并根据钻孔的目标任务，依据火山地质、地表蚀变矿化、地球物理等综合论证了预导孔孔位。

### 科学超深井钻探技术方案预研究

由中国地质科学院勘探技术研究所研究员张金昌担任课题负责人，课题组完成了一整套 13000 米以深科学超深井钻探技术方案总报告，及需要深入开展研究的主要关键技术问题分报告。

课题组开发了一套专用的科学钻探钻井设计软件，研发出一套适用于复杂地形及各种破碎坚硬底层、钻深能力 30~50 米的地震探测爆破孔快速钻进及成孔成套设备和工艺技术。

### 大陆科学钻探选址与钻探实验综合研究

许志琴带领课题组在甘肃金川、西藏罗布莎、云南腾冲、山东莱阳、西藏泽当等地区先后完成了一系列地球物理探测工作和科学钻探工作。

在地球物理探测方面，完成了全部野外实际工作量，在西藏东坡岩体、泽当岩体、莱阳盆地均超过原计划增加了大地电磁法和重磁法的探测。

在科学钻探方面，通过钻探技术方案设计、施工组织与随钻研究课题的实施，使罗布莎、金川、庐枞、铜陵和腾冲等科学预导孔的施工能按项目进度计划得到高效推进和有序运行。

同时，随钻研究取得重要成果，如研发深孔岩心钻探智能检测和监控设备、配套深钻的高性能拧管系统和智能取心提升装置，并申报多项专利，完成了多轮次的试验和测试。■

（责编：姜天海）

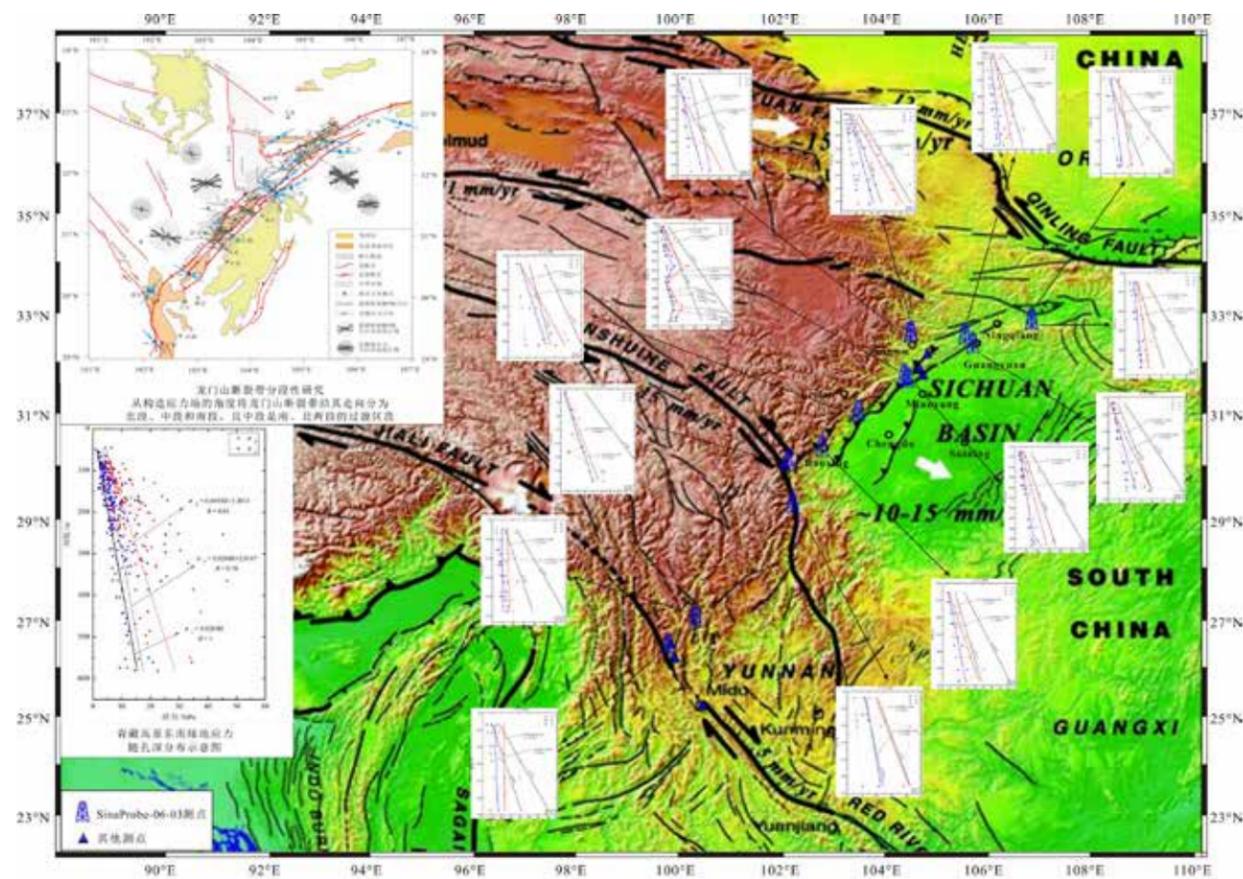


高原上的微笑（左为 SinoProbe 首席科学家董树文、右为杨经绥、中为许志琴）。

# “把脉”地壳 造福人类

SinoProbe-06 不仅可以服务各类岩体的工程建设，而且还能能为地球动力学、断裂活动性和地质灾害预警研究提供重要的科学依据。

见习记者 倪伟波



青藏高原东南缘地应力综合观测试验基地。

地应力是指客观赋存于地壳岩体内且未受工程扰动的一种自然力，亦称原岩应力。它是导致地壳岩体产生变形、断裂、褶皱乃至地震的根本作用力。

我国著名地质学家李四光曾指出，岩层中发生的种种变形或破裂，是应力活动的结果。

我国是世界上构造活动性最剧烈的大陆之一，地质灾害频发，地

球内部热动力和板块间作用力直接控制了火山喷发、地震、岩爆和群发性滑坡泥石流等重大灾害。

而进一步了解地球内部精细结构和地块活动规律、地壳应力集中

和释放的机理是地质灾害预警预报的基础。

李四光认为，大地震的孕育和发生是在一个大区域内地应力长期积累、集中、加强的过程和在地应力集中区最终导致应变能突然释放的结果。

可是，“要从根本上解决地震预测预报问题，现有的地壳应力观测研究的方法水平很不够”，中国地质科学院地质力学研究所研究员陈群策遗憾地表示。

一方面是目前缺乏系统的原地应力观测。现有的原地应力测量大部分是服务于工程设计的，这些离散的观测数据所能反映的区域应力场信息往往是很有局限的，因而严重制约了针对地震预测进行的高质量的地壳应力环境研究。

另一方面，已有的GPS观测网以及数字地震台网虽然对于地壳运动学的深入研究以及了解区域应力的方向具有重要的作用，但GPS的观测数据只给出点间位移情况，尚不能真实地反映应变情况特别是应变强度。由震源机制解也只能得到区域应力场方向，同样不能得到研究区域的应变特征。

再加上，随着国家经济社会的快速发展，采矿、隧道、水利水电、地热能开发、核废料处置等工程的持续增加，随之而来的地应力不断增大，深部岩体结构和构造更加复杂。近年来，我国大型矿山煤瓦斯突出、岩爆、巷道变形、高边坡失稳等一系列问题愈发严重。

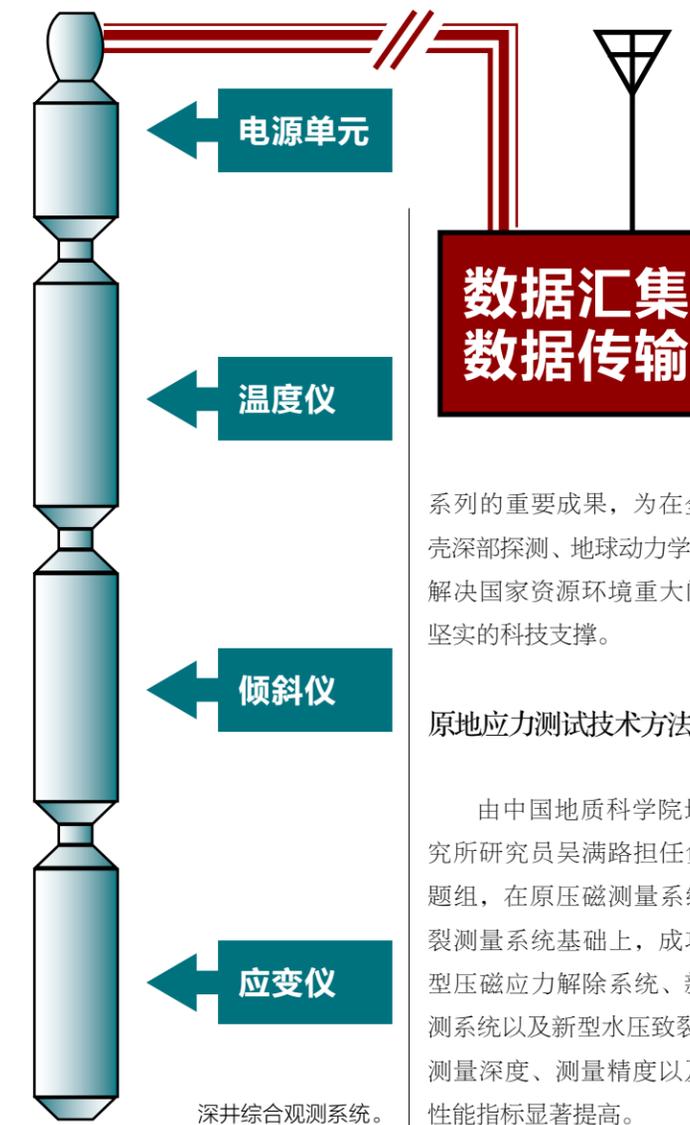
因此，开展地应力测量和监测，

在中国大陆范围内选择关键的构造地域，科学地布设观测网点，探知地壳应力分布状态和区域应力场的动态变化，不仅可以服务各类岩体的工程建设，而且还能能为地球动力学、断裂活动性和地质灾害预警研究提供重要的科学依据。

鉴于此，作为“地壳探测工程”实施前的培育性计划，国家启动的“深部探测技术与实验研究”

专项(SinoProbe)下设了“地应力测量与监测技术实验研究”项目(SinoProbe-06)。

该项目是由陈群策和中国地震局地壳应力研究所研究员李宏担任首席科学家，中国地质科学院地质力学研究所、中国地震局地壳应力研究所、中国科学院研究生院等多个单位的近百名研究人员参与其中，历经5年多的攻关研究，取得了一



系列的重要成果，为在全国开展地壳深部探测、地球动力学基础研究、解决国家资源环境重大问题提供了坚实的科技支撑。

## 原地应力测试技术方法试验研究

由中国地质科学院地质力学研究所研究员吴满路担任负责人的课题组，在原压磁测量系统、水压致裂测量系统基础上，成功研制出新型压磁应力解除系统、新型压磁监测系统以及新型水压致裂测量系统，测量深度、测量精度以及仪器设备性能指标显著提高。



SinoProbe-06 项目组在组装水压致裂地应力测试系统。

课题组通过压磁应力解除法、水压致裂法系统野外对比测量，对这两种原地应力测试技术方法的可靠性和适用性进行了分析，为测量技术规范制定提供了依据。

目前，研制的压磁应力解除系统、压磁监测系统已成功应用于地应力绝对测量及地应力相对观测领域，并已取得了一系列的重要科研及应用成果。

### 深孔地应力监测仪器研制与观测技术方法试验研究

由李宏牵头的课题组，在北京建立了首座钻孔应力应变综合观测对比试验站；同时还首次系统地开展了现场标定试验。

课题组通过在青藏高原东南缘钻孔应变示范观测基地的换成实验，

形成了基于太阳能供电的钻孔应变观测无人值守技术系统。

同时还研制了深井综合观测系统，实现了水平应力应变、钻孔倾斜、水位、井温、孔隙压力等多测项的深井综合观测。

### 重要地区地应力测量与监测及构造应力场综合研究

以陈群策为负责人的课题组，以北京地区和青藏高原东南缘为课题的主要研究区域，利用先进、成熟和可靠的地应力测量与监测技术，首次建立了青藏高原东南缘深孔地应力监测区域网，取得高质量深井地应力测试数据与原地应力深度随变规律。

课题组在青藏高原东南缘（龙门山断裂带和滇西北地区）和北京地区完成了大量地应力测量，获取了丰富的地应力基础数据，深入研

究了青藏高原东南缘和北京地区现今地应力环境，并建立了一批长期应力监测站，初步构建了地应力监测网络平台。

基于实测数据，课题组重点研究了汶川地震后龙门山断裂带现今地应力环境。提出了汶川地震后沿龙门山断裂带地应力作用分段性特征，分析了断裂带不同段稳定性，进而探讨了汶川地震成因机制及其对该地区地应力调整的意义。

课题组还采用三维弹性球壳模型，以中国大陆基础数据库地应力资料和本课题实测地应力数据为主要约束条件，研究了青藏高原东南缘现今地应力场的分布规律，从应力场演化角度探讨了青藏高原隆升机制及其地球动力学意义。

此外，课题组采用三维黏弹性有限元计算模型，对华北地区的初始应力场进行了反演研究，给出了该地区浅表层应力作用方向和强度特征，讨论了柔性下地壳对应力随深度变化的影响，进而分析了华北动力环境及其对断裂活动性的影响。

### 构造应力分析方法研究与应力探测数据集成

由中国地震局地壳应力研究所研究员崔效峰带队的课题组完成了“地壳探测地应力专题数据库”的建设工作，以地理信息系统为基础平台，建立了开放性并具国际标准的地应力专题数据库，为实现深部探测数据的社会共享搭建了基础数据平台。

同时还完成了原地应力测量数据自动计算分析软件编制，震源机制解及断层滑动方向反演构造应力张量计算软件编制以及含原生裂隙压裂段水压致裂应力测量分析程序编制。

新的计算软件不仅提高了计算结果的精度，而且根据实际需要增加了相应功能，操作界面也更加友好。

对于下一步的研究工作，陈群策和李宏早已有了明确的方向，那就是地应力的测量深度在条件允许的情况下应该进一步加深，以期获得更深处的地应力信息，为应用于深部资源开发、地球动力学研究等提供“金钉子”式的地应力实测数据。■

（责编：姜天海）



陈群策（左）等人根据钻孔岩芯编录及超声测井等资料讨论选取压裂试验段。



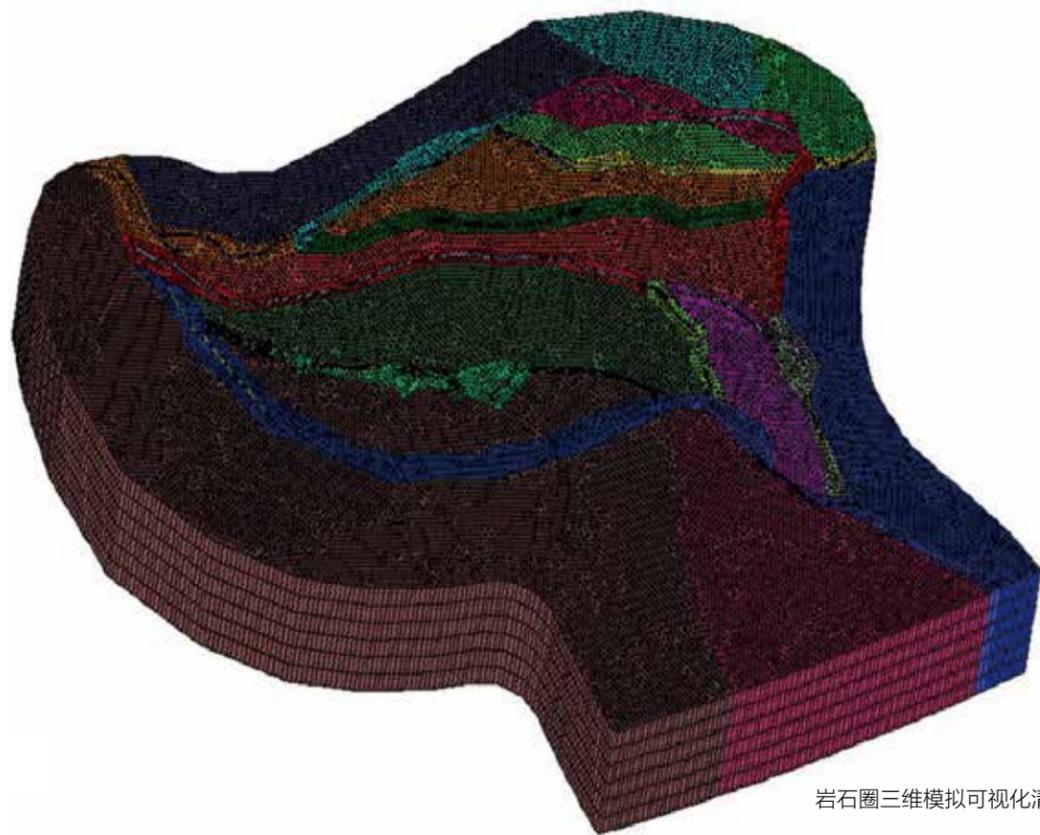
北京地应力测量与监测千米深孔钻探工程密云千米孔现场。

硕果之 07 岩石圈三维结构与动力学数值模拟

## 综合集成创新 夯实国家竞争优势

5年、5个方向上全面深入的研究，SinoProbe-07项目组为专项提供了计算模拟分析工具，满足了SinoProbe在数值模拟分析工具方面日益增长的需要。

► 见习记者 倪伟波



岩石圈三维模拟可视化清晰照片。

全球的地质灾害时常发生，如地震、火山、滑坡、泥石流等等，不仅对人类生命财产安全造成重大损失，也对国民经济造成极大危害。因此，减轻地质灾害是地球科学的一项重要任务。

以地震为例，实现地震预报一直是人类的梦想。虽然在科学工作者的艰苦努力下，我国成功预报了1975年辽宁海城地震，给我们带来了希望，但是紧接着1976年发生的唐山地震短临预报失败，又让这仅

有的希望灰飞烟灭。

上世纪60年代，我国就开展了有关地震预报的研究。可40多年过去，我们在地震预报问题上至今没有取得突破性进展。2008年汶川地震，中长期和短临依然没有能实现

预报。因此，地震预报成为科技界和广大公众十分关注的问题。

地震能否预报、地震预报中遇到的问题又如何克服？

“我们不妨借鉴气象预报的经验，让地震预报从基于前兆的经验预报发展为基于物理机制的数值预报。”中国科学院院士石耀霖一语中的，“因为物理预报的基本特点是要基于定量的物理规律进行数值预报。”

如果能够建立地下结构和物性的模型，应用连续介质力学、热力学方程，基于岩体破裂准则或断层本构关系，在了解区域边界条件和三维初始应力的条件下，就可以通过高性能计算，了解应力的演变，预测应力最可能超过岩体强度而发生地震的位置和破裂类型、高应力区域体积的大小和未来地震最大的可能震级，并根据现有的应力大小和计算的增长速率预测可能发生地震的时段。

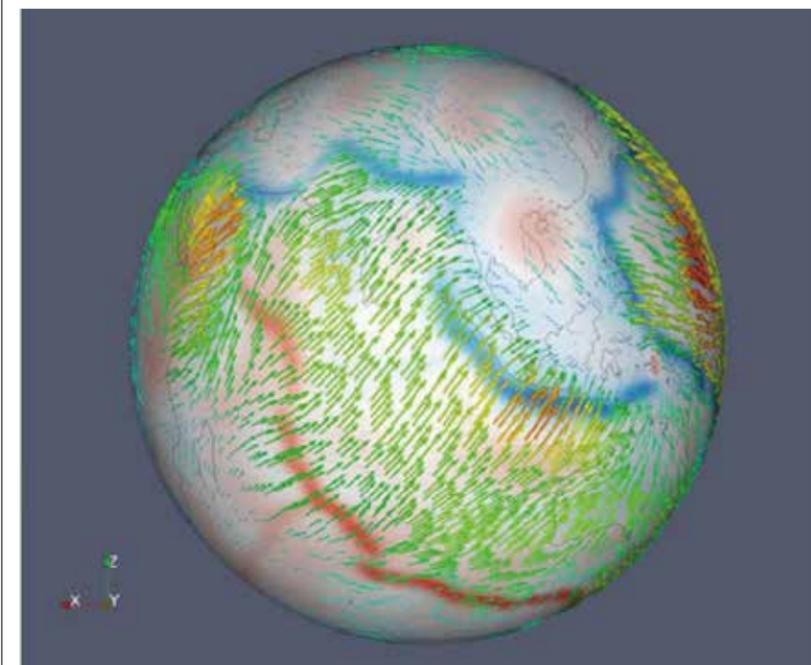
“现在，关键的难点在于难以获得深部三维的位移、应力、温度等量的测值，确定初始条件和边界

条件。”石耀霖说。

因此，要实现数值预报必须要突破5个关键环节：对物理机制的认识以及通过数学公式和数理方程对物理机制进行定量描述；解方程的计算能力；对于特定的预报，要了解该研究区域地下的结构、岩石的物性以建立模型；边界条件及其

随时间的变化；初始条件。

围绕这些关键问题，“深部探测技术与实验研究”专项(SinoProbe)9个项目之一——“岩石圈三维结构与动力学数值模拟”项目(SinoProbe-07)，以石耀霖、中国地质科学院地质力学所研究员龙长兴为首席科学家，进行了5年多



三维地幔对流计算结果图。

的攻关，在 5 个方向上展开全面深入的研究，取得了丰硕的成果，为 SinoProbe 提供了计算模拟分析工具，满足了 SinoProbe 在数值模拟分析工具方面日益增长的需要。

### 数值模拟平台建设

由中科院大学教授张怀担任课题负责人，联合清华大学计算机系、北京大学计算机系、中科院计算机网络信息中心超级计算机中心的专家，针对深部专项中科学问题的多尺度和高分辨率的主要需求，在（超）大规模并行算法和并行软件研制、并行通讯、并行软件平台各个模型的完善、海啸传播过程数值模拟计算程序以及全球和区域有限元网格生成新算法等方面，投入了坚实的研究力量，突破了一系列的技术难题。

课题组整合和开发了我国第一个大规模的地球动力学数值模拟平

台。该数值模拟平台网格计算能力达到千万网格级，能支持 Maxwell 模型、牛顿流体与非牛顿流体方程、线弹性模型、温度场（能量方程）以及各个模型之间的耦合。同时，为满足大规模数值模拟产生的海量数据实时可视化的需求，还建立了一个三维大规模可视化平台。

### 岩石物理性质测试与实验研究

由龙长兴担任课题负责人，课题组完成了各项典型岩石物理性质的实验测试及研究。特别是在对叶蛇纹石的速度测试，延长油田砂岩在干燥、饱水及饱油条件下纵波、横波速度的实验研究，大别-苏鲁造山带典型高压-超高压变质岩石地震波性质的研究方面取得新认识。

同时，课题组开展了中地壳条件下的高温高压流体与岩石反应动力学实验研究，组装运行了新的大

型水热实验体系，扩大了实验温度压力范围（大于 300 摄氏度），提出了中地壳高导低速层成因的新认识，即认为在 300~400 摄氏度期间，强烈的水岩相互作用进一步形成了新孔隙、促进了流体再迁移和硅酸盐骨架瓦解并进一步扩展，由此而形成了中地壳的高导-低速层。

### 中国大陆不同构造单元主要岩石类型物性参数测试与数据库构建

由中国地质科学院地质力学研究所研究员王红才牵头的课题组，为满足地球动力学数值模拟提供必需的岩石物理性质参数的需要，在我国典型区域（首都圈、西南三江等）对主要岩石类型进行了大量的岩石物理性质测试与实验研究，并以测试数据为基础，开发了数据挖掘算法模型，分析得到了地震波速、渗透率、磁性、电性、热物理等各类数据间的 34 种关系。

在此基础上，课题组进一步实验获取了 2300 余件岩石样品的物性参数，开发了物性数据库系统，收录岩石物性数据 4000 余条，开展了多项岩石物性研究，构建了中国大陆主要岩石类型物性参数测试与数据库。实现了岩石地震波、电导、磁性、变形性质等数据的综合管理、空间导航、资料查询应用和实验测试数据的处理和分析等功能，为查询中国大陆主要岩石类型的各种物性参数提供极大的便利。



SinoProbe-07 项目组成员正在进行讨论。



SinoProbe-07 项目组首席科学家之一石耀霖在西藏野外工作现场。

### 中国大陆岩石圈热状态和流变性质研究

由中科院研究生院副教授周元泽带队的课题组，在开发的地球动力学数值模拟平台上，采用中国大陆主要岩石类型物性参数测试与数据库的物性参数，反演了中国大陆岩石圈上地幔温度分布，计算了中国大陆及邻区岩石圈三维热结构，给出了包括强度和等效黏滞性系数在内的中国大陆及邻区岩石圈三维流变结构。

课题组还评估了温度、含水量、岩性等测量的不确定性对岩石圈热和流变结构反演的影响，以及由此引起的流变性质的不确定性。同时，利用随机有限元方法，从矿物高温高压下物理性质的实验结果，计算矿物组合成的岩石在高温高压下的物理性质，为数值模拟提供基础数据。

### 中、新生代华北克拉通的动力学过程以及青藏高原隆升过程动力学特征的数值模拟

由石耀霖带领的课题组，集中开展了与岩石圈动力学有关的模拟计算示范性工作。

课题组完成了对全球地幔对流的模拟计算，对全球、区域和局部进行多尺度的逼近；提出了印度板块在软流层运动驱动下与欧亚大陆的碰撞和太平洋俯冲带的后撤是影响中国大陆地球动力学基本格局的主要因素的认识。

课题组研究认为青藏高原下地壳可能存在绕东构造结的顺时针流动，影响了高原现今运动状态；研究了汶川地震的孕育机制，指出了纯弹性模型不能解释其孕震机制，而必须考虑高温高压下地壳岩石的柔性流变变形，就能够解读汶川

发震深度、位置、断层不同段落不同错动特征形成的原因。

通过对紫坪铺水库蓄水的孔隙弹性和渗过过程的模拟，课题组深化了对水库地震模拟的方法和关键参量影响的认识。

此外，课题组开展了区域应力场与地震活动性关系的研究，通过对日本 Mw9 级大地震对华北影响的数值模拟，提出了从应力角度对区域中期地震活动性预测的新思路。

总体看来，“岩石圈三维结构与动力学数值模拟”项目是在专项其他项目基础之上进行的综合集成研究，在各项目获取的数据资料基础和定性分析认识基础上，开展基于数学物理规律的定量计算模拟研究。

“有人说，地质学上的模拟好像捏泥人，需要什么结果通过变革模型和边界条件就可以获得。”但石耀霖却不这么认为，“做模拟必须要让结构、物性严格符合真实的条件，才能得到有意义的结果。”

所以，我们必须要了解地下结构，了解岩石圈应力、温度、流体等状态，了解高温高压下物性以及 GPS 等测量提供的边界条件，才能对地质问题有更加深入的理解，也才能对我国典型的构造特征对应的动力学过程进行数值模拟，有特色地、扎实地解决我国地球动力学模拟中的一些基础性问题，为我国的资源、环境、减灾等迫切关注的问题做出贡献。■

（责编：唐琳）

## SinoProbe 年内释放第一批数据

SinoProbe-08 项目自实施之初，就开始思索如何让社会各界最大程度地享受 SinoProbe 专项所带来的成果。今年底，专项将释放第一批数据，这对地球科学界的数据共享而言是一个极大的鼓励。

► 见习记者 姜天海



成果难以共享一直是在中国做科研的一大诟病。

10月20日，“深部探测技术与实验研究”专项（SinoProbe）首席科学家、中国地质科学院副院长董树文在2014年中国地球科学联合学

术年会上宣布，将面向社会公开第一批 SinoProbe 项目的数据，引发了在场听众的热议。

“我们要把国家投入所产生的

所有资源与整个地球科学界共享，加快全社会对地球深部的理解，加快地球科学的发展，也加快知识的传播。”董树文向《科学新闻》表示。

5年、12亿，来自118家科研机构的1600多名科研人员踏遍大江南北，完成了我国的深部探测技术与实验研究。现如今，这份“入地计划”所提供的数据又能否交上一份满意的答卷，这也是在座听众心中的一个问号。

### 覆盖全国的地球科学数据

成果难以共享一直是在中国做科研的一大诟病。

作为 SinoProbe 的第8个项目，董树文所带领的深部探测综合集成与数据管理课题组要将其他所有项目产生的数据进行整合分析，并在资源共享与数据公开上进行探索。

经过5年的工作部署和探测实践，这个拥有9大项目、49个课题，调动了上万名数据采集工作者、凝聚了众多科学家心血的庞大科学工程终于完成了覆盖全国的地球科学数据采集。

“我们现在探测到的数据，对

于我们重新认识地质科学重大问题至关重要，将修改、补充甚至颠覆原有的地质认识和理论。”董树文表示。

在全国的地球物理数据方面，SinoProbe 获得了海量的数据信息。其中在青藏高原、华南、东北、华北以及各个矿集区，共完成了6160公里长的深地震反射剖面数据的采集和处理实验。

在平行反射地震剖面，也就是平行切开的地球断面，专项部署了585台宽频地震台站，观测的长度达到7300公里。

其中，每条剖面都融入了多种探测技术及参数，共完成宽角反射与折射地震测深剖面5080公里、大地电磁测深点1229个，长度达3300公里。

“我们在所有施工的工程里面将尽可能地获取可以得到的数据，将资源的效益最大化。”董树文介绍，甚至在地震探测的放炮钻孔里，都采集地球化学的岩石化学组分。

### 两网设立地球科学基准标尺

SinoProbe 在开展之初就设立了“两网、两区、四带、多点”的总体部署。其中，“两网”为我国的地球物理和地球化学评估和研究设立了定量的标尺。

第一个就是覆盖中国大陆的大地电磁参数标准网。这项物性参数的成果将为科研人员今后了解地球本身的天然地磁背景，寻找矿产资源和局部异常提供非常详细的量化指标。

在中国大陆范围内，专项完成了 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ 电磁参数“标准网”的47个I级观测精度点。每个点共有9台仪器也就是9个物理点进行观测，共达到834个物理点。

“根据大地电磁的特点和分辨率，电磁参数标准网的建设至少要达到 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的精度。但由于经费所限，我们在覆盖全国的标准网上只能将有限的资源集中在局部地区。”董树文指出。

在华北和青藏高原地区，标准网的精度达到  $1^\circ \times 1^\circ$ ，符合电磁参数标准网的最终建设目标。其中，华北  $1^\circ \times 1^\circ$  电磁参数“标准网”共有 115 个大地电磁测深点、1386 个物理点，青藏高原  $1^\circ \times 1^\circ$  电磁“标准网”共有 88 个大地电磁测深点、874 个物理点。所有参数均已入库，获得了海量的三维岩石圈物性数据。

SinoProbe 还首次按照国际标准，建立了一个覆盖全国陆域的地球化学基准网。

根据全球地球化学基准计划的标准，专项在 500 多个 160 公里  $\times$  160 公里的基准网格内，共采集到了 18454 个地球化学基准值样品，完成了 12000 多份样品的 81 项指标（含 78 种元素）分

析，总体获得约 96 万条地球化学数据，达到世界领先水平。

在重要的矿集区和板块边界及火山断裂带，专项实施了 11 口大陆科学钻探和异常验证孔进行科学验证，累计深度超 2 万米。

在青藏高原东南缘和北京地区的重点地震活动带，专项部署 15 个深孔地应力测量和检测孔，形成了局域的监测网。另外，项目还完成了 2300 份岩石样品的物性测试和实验参数获取工作，目前入库的数据已经达到 2000 万兆字节（TB）。

通过数据的采集、初步分析和处理，SinoProbe 释放出了一大批成果。专项的论文发表总数达到 700 多篇，其中 SCI 论文达 200 多篇，

EI 论文达 60 多篇。专项共申请了 100 多项专利，获批 61 项发明专利，实用新型专利 30 多项，获准软件著作权 28 项。

### “会员制”数据共享，你加入了么？

项目自实施之初，就开始思索如何让社会各界最大程度地享受 SinoProbe 所带来的成果。

“我们在走两条路，一个是在科研的同时走科普化。”董树文介绍，专项的任何一个报告都有两个版本，一份是科学报告，一份是科普报告，并在网上设置科普专栏并拍摄科普宣传片。

另一条路，就是将专项所产生的数据与社会各界共享。

经过科学化和精确化的数据采集，专项以规范化的格式将数据存储至地壳探测数据管理中心，采集的技术和数据质量均达到甚至超越国际先进水平。

据董树文介绍，这些数据将会在今年年底开始向公众逐步释放。

但在他看来，仅仅共享 SinoProbe 的数据是不够的，他想得更远：“我们想要设立一个机制，将过去几十年全国的地壳、岩石圈探测、包括过去地矿部、地科院、中国科学院、国家地震局和高等院校的数据都吸纳进来，让这个数据库像滚雪球一样，越来越大。”

为此，董树文设计了“会员制（membership）”，只要做一个数据提交者，就可以享受到更多 SinoProbe 的数据，以此来鼓励地球科学界的数据共享。

参与共建深部探测数据库的所有单位和个人（包括非 SinoProbe 的数据汇交）将会成为深部探测数据中心的会员，享有使用数据 GPS 定点、时间等原始数据的权利。

地球物理学家探测到的数据都有多解性。因此，虽然很多单位和个人无法提供数据，但是 SinoProbe 仍将向他们开放成果数据和图件。

国内科研机构、高等院校和企业单位可以申请成为深部探测数据中心的机构会员，个人可以申请普通会员，享受不断释放的成果数据和图件。高校学生在校期间，可以

## 2014 年底第一批共享数据目录

- 高精度深反射地震剖面数据 2000 公里（数据量 1 TB）
- 宽角反射 / 折射地震剖面数据 2000 公里（数据量 20 TB）
- 天然地震宽频带接收数据（数据量 10 TB）
- 全国大地电磁标准网数据（ $4^\circ \times 4^\circ$ ）（数据量 500 MB）
- 全国地球化学基准网数据（76 种元素）
- 科学钻探岩心 5000 米
- 开放大型平行计算数值模拟平台
- 开放大型移动数据处理平台的使用
- 开放全国地应力数据库

随会员单位及其导师享用深部探测的数据。

“掌握的地质资料越多，得到的解释就越深入。我们希望让更多的地质学家有机会用 SinoProbe 的数据来修正、验证甚至创造自己的观点。这就是我们所讲的，数据必须向地球科学界所有人公开。”董树文笃定地说。

2013 年，在美国地球物理年会（2013 AGU）主办的 SinoProbe 新闻发布会上，美国新闻界记者提出的最多问题是 SinoProbe 的数据何时能够与国际社会共享。

对此，董树文的答案是肯定的。《科学》杂志 2013 年 7 月专门报道了 SinoProbe 的进展，采访了众多的国际知名专家和学者，其中法国学者同样提出中国数据如何国际共享的问题。

“科学数据从某种程度上来说

是人类的共同财富，要成为一流科学大国，就不能将科学数据都捂在自己口袋里。”董树文表示。

首先，深部探测专项数据库要向参与 SinoProbe 探测的国内外合作者共享相关的数据，如垂直反射与折射地震联合同缆探测实验，中美参与机构同时获得同样的数据。

并且，SinoProbe 会与国际组织与机构实现数据的对等交换，如将会与美国地震联合会（IRIS）、德国地学研究中心（GFZ）等机构交换数据。SinoProbe 会向国际社会逐步公开成果数据。

SinoProbe 数据将会在门户网站 [www.sinoprobe.org](http://www.sinoprobe.org) 陆续公布共享数据目录，并接受公众的监督。涉密数据按照国家规定不在共享目录之内，但有特殊需求的科研人员可以按照有关程序办理数据的使用手续。■

（责编：倪伟波）



2014 中国地球科学联合年会上，董树文首次发布 SinoProbe 数据共享草案。

# 用自主研发彰显大国实力

SinoProbe-09 项目实现了中国深部探测的仪器装备自主研发，取得了众多傲人的成果。

► 记者 唐琳



亚洲首台万米大陆科学钻探机平台“地壳一号”。

“深部探测关键仪器装备研制与实验(SinoProbe-09)”作为“深部探测技术与实验研究”专项(SinoProbe)的“压轴”项目，与前8个项目相比，足足“迟到”了两年。SinoProbe-09之所以“千呼万唤”才“始出来”，有其特殊原因。

在SinoProbe前8个项目开展过程中，所使用的仪器装备主要来自国外，尤以欧美制造为主，这些仪器在深部探测过程中立下了汗马功劳。

但是，工作人员在实际操作中却发现其不可规避的限制与弊端。首当其冲的是，我国将要实施的深探计划对仪器的需求数量巨大。国外仪器价格昂贵，因此有限的资金无法满足大批量的购买需要。

其次，SinoProbe所需仪器的技术多为军民两用，技术含量高。为了防止购买方将仪器应用于军事领域，国外厂商通常将敏感技术和相关性能予以截断甚至屏蔽。然而，深部探测的特定勘探目标，恰恰要用到这些敏感技术。因此，技术限制与封锁使SinoProbe在装备技术支撑整体布局上不得不另谋出路。

再者，行家都知道，没有一个地球物理仪器是万能的。在平原应用得好，在高原却不见得灵光；在干燥地区用得好，在潮湿地区未必显灵。这就需要不断对仪器进行针对性调整、甚至改型。但是，进口仪器装备对灵活调整参数和设置往往支持不到位，难以满足应用需求。

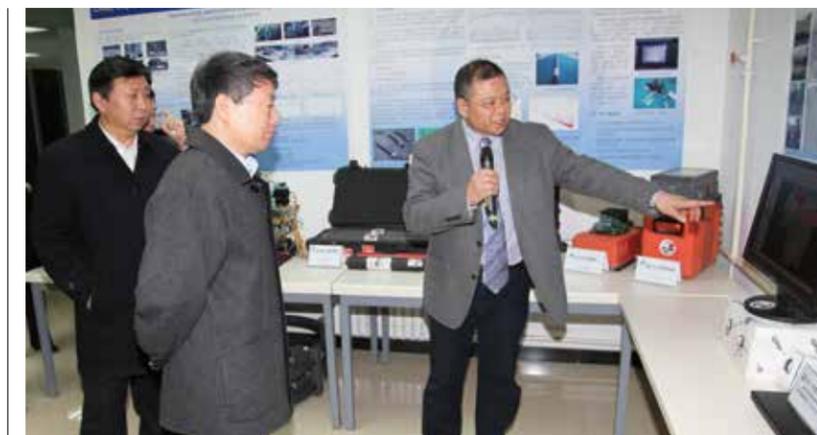
这些实际问题，进一步让专项的科学家意识到，必须通过技术突破，掌握核心技术，研发出中国自己的仪器装备。

“最重要的是，中国是一个大国，我们不可能总是通过购买别人的仪器来推进各项灵活多样的科学研究，尤其是大科学计划。形成仪器装备自主研发能力是体现大国实力的需要。”黄大年的话铿锵有力。

彼时，国家发展战略需要向深部找资源，战略性需求明确并且系统安排和统筹考虑细致到位，此乃“天时”；中国陆地和海洋面积幅员辽阔，地下蕴藏丰富资源，这是“地利”；国家近年来的高速发展为深部探测提供了充足资金，而大量高水平海外专家纷纷归国、国家对深部探测活动的高度重视，则是“人和”。



SinoProbe-09-03 课题组自主研发的无人机探测系统。



黄大年(右)向国土资源部前部长徐绍史(中)介绍项目进展。

当天时、地利、人和一应俱全，SinoProbe-09项目的启动自然水到渠成，攻关深部探测关键仪器装备研发的关键技术和科研瓶颈。

SinoProbe-09由英国引进回国的国家“千人计划”专家、吉林大学教授黄大年担任首席科学家，由吉林大学地球探测科学与技术学院、仪器科学与电气工程学院、建设工程学院等校内单位，中科院地质与地球物理研究所、遥感应用研究所、电子所、大气所等多个国内优势研发单位共同参与项目研究，形成了跨学科、跨行业和跨部门的联合攻关大型团队，可谓规模宏大。

围绕深部探测总体目标，设计研

发探测仪器装备，从中发现、解决、验证问题，由此构成整个项目的总格局。

然而，格局有了，却还需要研发思路和详细的技术路线图设计，尽可能发现问题并设计一系列攻关方向和节点。

黄大年带领下的项目组科学家与工程师，充分考虑到中国经历了长时间没有进行高端仪器研发的历史现状，经过反复讨论、探索，最终提出“跨代研究”的技术路线。

所谓“跨代研究”，整体思路就是“红蓝军路线”。

“蓝军路线”主要是通过引进国外最先进、最前沿的仪器，引进相关核心技术研发人员，完成二次开发并积累经验；然后，在所认识的巨人的肩膀上起步推进“红军路线”的自主研发技术发展，从而达到“用最好的仪器装备支撑我国目前需求”的目标。

以黄大年为代表的海外回国专家与国内专家达成共识，认为“红蓝军路线”确实能够加快整个自主研发过程。而事实也对这一路线进行了验证，得到多数专家的认可。经过研发产品

的试验和成果比对，项目组研发出的装备、仪器和软件操作管理规范、进展顺利、成果令人鼓舞，多数参数指标达到或接近世界一流水平。

来自于 30 多家单位近 500 名科学家与工程人员，经过 4 年多的艰辛努力，在 6 个大方向上全面展开深部探测关键仪器和软硬件装备攻关研究。

### 地球物理综合分析软件平台

黄大年带领的一支 200 多人组成的团队，历时 4 年多，针对地球深部探测领域的目标任务和数据特点，立足于自主研发并结合部分技术引进的“红蓝军路线”，研发出拥有自主知识产权的同类型平台产品，完成“重磁综合地球物理数据处理与集成软件系统”、“移动平台探测数据质量控制及目标发现率评估系统”、“移动探测数据质量控制系统”等一系列软件系统模块的开发。

课题组改变了过去常用的、基于单项技术开发的“碎块”软件概念，用一个软件平台将多类方法、多类参数以及数据处理、解释、建模等“碎块”软件通过面向需求对象的编程技术集

成在一起，有机地形成了一体化的处理过程和操作平台。

同时，课题组突破了一系列高难度技术，包括软件开发核心技术，约束反演技术等，并在人员培训、队伍建设、研发环境建立方面形成了诸多创新点，发挥了对整个项目所采集的数据实施质量和过程控制的“灵魂”作用。

### 地面电磁探测系统

由中科院地质与地球物理研究所研究员底青云担任负责人的课题组，针对深部科学探测和深部矿产资源探测的需求，重点攻关：电磁探测装备核心器件——磁传感器，分布式数据采集系统，大功率发射系统以及 3D 电磁反演和偏移成像软件系统。在此基础上，集成适用于三维电磁探测的一整套勘查系统，形成适于我国深部矿产资源勘探的电磁探测装备与技术，提升了我国电磁探测装备自主研发的能力和水平。

课题组的研发成果已率先通过专家鉴定验收，单项部件研发技术指标达到设计书规定要求，半数以上参数

指标超出预期。尤其是在集成设备研究方面，大功率发射机技术获得了突破性进展，达到国际同类产品技术指标；按照国际通用标准，完成了多通道分布式采集站建设；自主研发的预处理软件进入工程实用化阶段，并在实践中形成了不断获取经验、完善功能和软件升级的良性过程。

### 无人机探测系统

由中科院遥感与数字地球研究所研究员郭子祺带队的课题组，通过研发航空用氦气泵磁力仪和超导磁力仪样机，掌握了核心传感器研发技术。

研发的无人机自控飞行系统和低磁无人机探测集成系统，整机性能测试满足实用要求。同时，完成高、低空无人机航磁探测系统性能测试和超导无人机装配，性能指标接近国际前沿水平。

### 无缆地震勘探系统

由吉林大学教授林君牵头的课题组，针对地球深部目标探测需求，经过多年努力，自主研制出无缆定位地



SinoProbe-09 项目组主要成员合影。

震仪及其相应的配套系统，完成了实验标定，掌握并部分突破了低噪声地震数据采集技术、基于 GPS 的高精度自定位和授时技术、基于 WiFi 自组网和北斗的远程数据质量监测技术、海量数据存储和回收技术、系统低功耗设计技术等一系列核心技术。

目前，该系统已经完成大量的野外测试验证研究工作。在高原、平原、山区、丛林、戈壁等复杂地形区的测试表明，研发人员系统掌握了该系统研发的全套核心技术，具备了自主研发同代产品的基础和能力。

### 万米超深科学钻探装备

由吉林大学教授孙友宏带领的课题组基本完成了亚洲首台万米大陆科学钻探机平台“地壳一号”的研制工作，目前正在野外现场进行测试和调试。

该项具有极大挑战力的研制计划包括了多项复杂研究内容：高精度自动送钻研制、悬挂式自动摆排管机的研制以及井口自动拧卸装置和智能化

自动猫道等关键配套技术的设计与加工。同时，还完成了深部大陆科学钻探钻具系统、耐高温电磁随钻测量仪器、耐高温钻井液和固井材料、井壁稳定性评价系统等研究内容。技术集成名目繁多，研制项目和工程量巨大，人员合作以及技术集成度高。

研发人员在研发过程中掌握了核心技术和经验，具备了研究更深钻机的能力。通过跨学科、跨行业合作，形成了高标准科学设计与高标准制造加工的产学研一体化产品研制链条。

“地壳一号”钻井平台体形庞大，是名副其实的大陆勘探装备中的“巨无霸”，是整个专项令人瞩目的亮点工程。

### 海陆空探测实验示范基地

吉林大学教授徐学纯带领课题组在葫芦岛建立了一个多功能深部探测仪器装备野外实验与示范基地，完成了地震、大地电磁、重力、遥感和钻探等主要探测技术方法的野外实验研究，并发现了有价值的矿产资源目的层。

课题的下一目标是建立一个国际化、高标准、三维可视化的深部探测仪器装备野外检测和实验基地。

SinoProbe-09 项目虽然在整个专项中起步晚了两年，但后来者居上，以突飞猛进的态势，迅速取得众多傲人成果。

而对于下一步，黄大年已经充满信心，那就是对仪器的稳定性、适应性、使用效率进行大幅度提升。通过瞄准国际市场，参与竞争，协调与完善仪器装备的后续研发和投入，通过市场互补性良性互动与科研攻关投入相结合，形成下阶段仪器研发的资金来源和支持，进一步完善仪器制造、研发基础和人员技能的训练。

“世界上没有一种探测仪器是万能的，但是通过前期研发，我们有了研发高端仪器装备的信心和实力，我们的能力将会变成无所不能。这是中国人的智慧，也是自主研发的意义。”黄大年说。■

(责编：姜天海)



SinoProbe 自主研发的 SEP 大功率电磁仪。



SinoProbe 自主研发的地震仪。

# 现场

SINO PROBE

科学钻探被称为“通向地球深处的望远镜”。在不同自然景观、复杂矿集区、石油气盆地深层、重大地质灾害等关键地带进行试验、示范，形成若干深部探测实验基地，为今后认识地球深部、向地球深部要资源奠定了坚实的基础。



# 罗布莎：探索藏地深部奥秘

藏地深部有什么奥秘，SinoProbe 在罗布莎科学钻探点给出了满意的答案。

► 记者 唐琳

2012年10月9日，在深部勘探历史上注定是个要被铭记的日子。在青藏高原海拔4370米的罗布莎矿区，科学钻探塔迎风而立，迎来罗布莎科学钻探

LSD-02 钻孔的顺

利竣工。

作为“深部探测技术与实验研究”专项(SinoProbe)的7个钻探点之一，罗布莎科学钻探于2009年6月开钻，项目负责人为中科院院士许志琴和地科院地质研究所研究员杨经绥。罗布莎科学钻探先后完成了孔深1478米的1号孔和1854米的2号孔，从“特提斯喜马拉雅”穿过“雅鲁藏布江缝合带”，直达“冈底斯岩浆带”。

西藏从来都不缺乏话题，青藏高原上的罗布莎更是如此。选择在



罗布莎科学钻探竣工典礼现场。

这里钻探，在项目负责人杨经绥看来，是一箭双雕的事情。

首先，青藏高原的形成和演化历史一直都是全球地学界研究的前沿和热点。

罗布莎科学钻探之所以选择在印度板块与欧亚板块的汇聚边界，是因为这里曾是一个浩瀚的大洋，由于印度板块向北俯冲，不仅造成了大洋的消失，并且形成了世界屋脊——青藏高原。在这里进行科学钻探，将揭示印度板块的俯冲和碰撞过程，有利于探讨高原的形成和隆升历史，具有重大的科学意义。

另一方面，西藏罗布莎铬铁矿床是我国目前最大的铬铁矿床，是进一步开展深部找矿、解决我国急缺的铬铁矿资源匮乏、推动找矿重

大突破的首选靶区，也是研究铬铁矿资源成因的关键地区。

科学钻探将有可能查明铬铁矿赋矿的超镁铁矿岩体的岩性特征、成因和构造背景，有助于探寻铬铁矿的成矿条件和成矿机制，以及评价罗布莎超镁铁矿的深部资源潜力和潜在勘探靶区。

罗布莎科学深钻预导孔不仅首开高原科学钻探先河，而且创造了世界屋脊钻探孔深最新记录：累计完成钻探工作量4104多米，最大孔深达1853.79米，提交岩芯3488.8米，岩芯采取率达90.3%。项目组开展深部岩芯钻探随钻研究，完成了1号钻孔岩芯的岩石学、矿物学分析及细化分层岩芯剖面。

同时，沿雅鲁藏布江缝合带对

比研究泽当、普兰和东波等大型超镁铁岩体，提出蛇绿岩新类型和深源铬铁矿新成因模式，受到国际地学界高度关注。

值得一提的是，在罗布莎的钻探过程中还取得了显著的技术创新进展，包括成功研发智能化钻参仪、新一代绳索取心绞车、扭矩量化绳索取心钻杆拧卸装置和高效金刚石钻头。

同时，项目组发表了20余篇高水平的学术论文，申请发明专利3项，组织开展了10余次重要国际学术交流活动，培养了多名博士和硕士研究生。

可以说，罗布莎科学钻探工程取得累累硕果，成为SinoProbe一个耀眼的亮点。■

(责编：姜天海)

现场之

## 阿里：藏区矿产“新星”

阿里钻探点所发现的金刚石超镁铁岩体规模要远远大于罗布莎岩体，这为今后在西部岩体中寻找铬铁矿床奠定了重要的基础。

► 见习记者 姜天海

在诸多钻探项目中，SinoProbe-05 项目的首席科学家之一杨经绥记得最清楚的是西藏阿里钻探点的艰苦条件。白天翻山越岭烈日下无处可遁，夜间山风呼啸伴着大雨倾盆，

帐篷处处漏水无法入睡。

但正是在这片无人区 5 年多的坚持，使得他和队友获得了巨大的回报。

“我们发现，罗布莎并不是雅

鲁藏布江缝合带中唯一的含金刚石等特殊地幔矿物的超镁铁岩体，阿里地区新发现金刚石的超镁铁岩体的规模要远远大于罗布莎岩体，这为我国今后在西部岩体中寻找铬铁



阿里钻探工作收获颇丰。

矿床奠定了重要的基础。”杨经绥表示。

这一发现在当年的美国地球物理联合会（AGU）年会上受到了高度的关注和评价，也让一心寻找铬铁矿的中国地球科学家为之一振。

最初，SinoProbe 选择阿里主要是为了配合罗布莎的找矿需求，在亚洲缝合带的选区内寻找对应的岩体进行对比。让所有人欣喜的是，二者的比对结果吻合。

科研人员沿着雅鲁藏布江缝合带，相继调查了普兰和东波、当穷、日喀则、泽当，甚至缅甸的密支那等地超基性岩体。

他们在距离罗布莎 1000 公里以外的普兰蛇绿岩的地幔橄榄岩中，

发现了与罗布莎类似的金刚石和特殊地幔矿物群。该矿物群与罗布莎地幔橄榄岩和铬铁矿中发现的特殊矿物群十分相似，表明罗布莎的地幔橄榄岩不是雅鲁藏布江缝合带中的一个特例。

他们结合在俄罗斯乌拉尔 Ray-Iz 铬铁矿中发现的类似矿物群，以及世界其他地区有关阿尔卑斯型地幔橄榄岩中金刚石的报道，提出蛇绿岩地幔橄榄岩中可能普遍含有金刚石，并将蛇绿岩地幔橄榄岩中产出的金刚石归为一种新的金刚石产出类型——即蛇绿岩型金刚石。这有别于金伯利岩型金刚石和超高压变质带中产出的变质金刚石类型。

这为金刚石一直未被广泛承认的

第三种成因类型提供了有力的证据。

“西藏罗布莎、阿里等地地幔橄榄岩中发现的金刚石等相似的矿物组合，证实它们是一种高压型蛇绿岩，俄罗斯在这种类型蛇绿岩中发现了世界级的巨型铬铁矿，说明雅鲁藏布江缝合带存在发现铬铁矿大矿的可能性。”SinoProbe 首席科学家董树文向《科学新闻》表示。

同时，SinoProbe 也在阿里继续进行“深地震反射剖面探测”的实验，采用人工地下“放炮”来模拟“地震波”。亦即通过追踪岩石圈和断层对“震波”的反射信号，就能探明数十公里地下的结构，获得阿里地区地下的全貌图。■

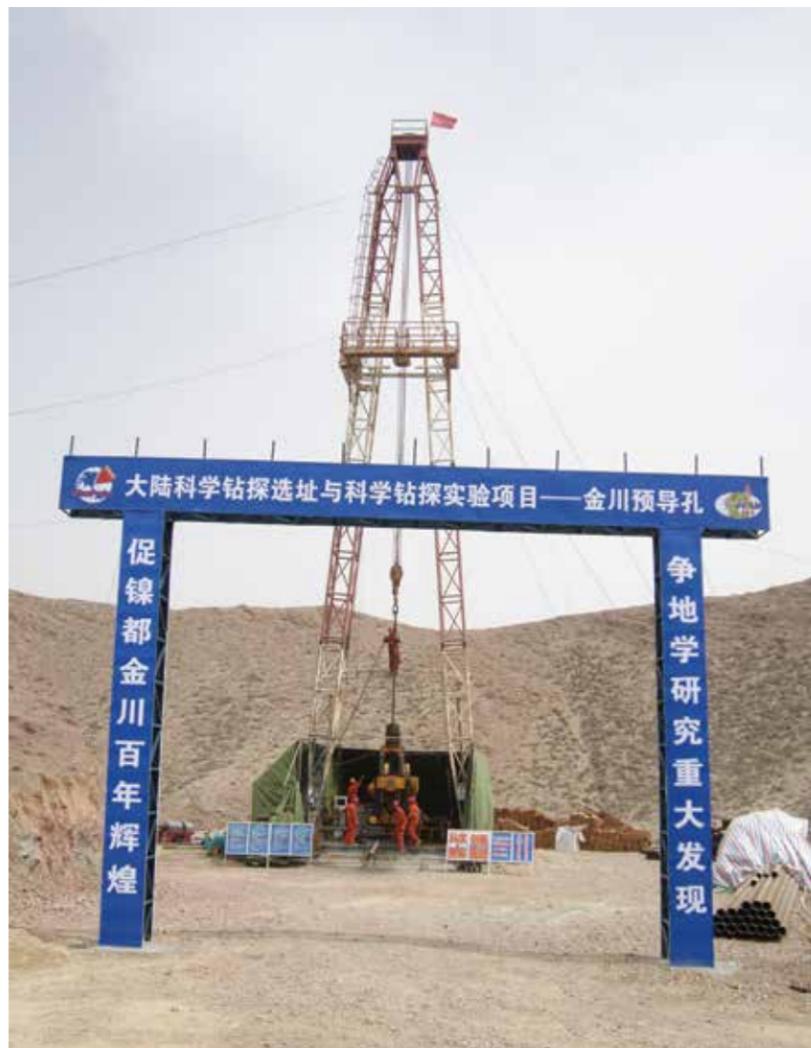
（责编：倪伟波）

现场之

# 金川：向地下 2500 米进发

2012 年 4 月 26 日，金川铜镍矿集区科学钻探项目正式启动，标志着这里开始向地下 2500 米的深处进发。

► 见习记者 张文静



高高耸立的金川科学钻塔。

2012 年 4 月 26 日，甘肃省金昌市金川铜镍矿集区二矿区龙首山深处，伴随着高耸钻机的隆隆声，金川铜镍矿集区科学钻探项目正式启动，开始向着地下 2500 米的深处进发。

金川科学钻探所属的 SinoProbe “大陆科学钻探选址与科学钻探实验”项目，要解决的关键问题之一就是重要矿产资源集聚区的成矿背景、成矿条件和成矿前景进行研究。从这个方面来看，金川无疑是最佳钻探地点之一。

作为中国三大多金属共生矿之一，金川铜镍矿集区以镍矿为主，其硫化镍储量居世界第三位，并伴生有铜、铂、钴等 18 种有色和稀有金属。金川的镍、钴、铂产量居全国第一，是中国铂金属的主要产地。

此外，金川铜镍硫化物矿集区具有特殊的大地构造位置和地质背景，这使其成为了地球科学深部钻探试验最佳的天然场所。同时，该地地质应力场集中，岩石类型种类繁多，也是科学深部钻探技术与钻



工作人员正在金川进行露天矿地表调研工作。

具试验的最佳场所。

从钻探项目正式启动前的 2009 年，大量工作就逐步展开，各合作机构各司其职。中国地质科学院负责开展地球物理工作，长安大学承担地质研究工作，而金川集团公司则负责浅部钻探。

在进行了大量研究之后，2011 年 4 月，金川铜镍矿集区科学钻探选址现场论证会在金川召开，确定将在二矿区 8 行上盘开孔，钻孔深度范围控制在 2000~2500 米。

金川钻探项目由山东省第三地质矿产勘查院承担施工。2014 年 8 月，项目顺利竣工并通过专家组的评审验收。钻探终孔孔深 2185.56 米，终孔顶角 8°，岩芯采取率为 96.29%。在 1910 米左右深处，研究人员发现了热液型黄铜矿、紫硫镍矿和磁黄

铁矿。

金川钻探项目的顺利实施，对探查金川铜镍硫化物矿床的成矿深度及其深部和外围的资源潜力，并通过科学深钻研究建立具有我国理

论知识体系和创新性的镁铁——超镁铁岩浆铜镍矿床的成矿机制、成矿过程以及成矿模式，具有重要的意义。■

（责编：唐琳）



金川钻探施工现场。

现场之

## 南岭：寻找“宝藏”密码

对南岭地区的“深入”了解，不仅为寻找矿藏的“第二空间”提供了依据，更为赣南革命老区“振兴苏区”的发展计划提供资源保障的技术支撑，具有重要的战略意义。

▶ 见习记者 袁一雪

在我国江西赣南地区，有一处风景独特的区域，因其喀斯特地貌与丹霞地貌而闻名，更因其丰富的矿藏储备令地质专家仰视。

它横跨扬子、华夏两个板块，位于中生代欧亚大陆板块构造岩浆活动带的华南陆块中部，多次的造山运动，让这里成矿地质条件优越，

是有色、稀有、稀土、放射性矿产的重要成矿远景区带。

它，就是南岭。

早在 1907 年，人们就在这里发



国土资源部前部长徐绍史(中)考察南岭科钻情况。

现了中国的第一个钨矿——西华山钨矿床。7年后，南岭让中国正式翻开了钨矿开采历史的扉页。

然而随着过度开发，和人们对南岭深部矿藏的认识不足，很快导致赣南乃至全国钨业面临着隐忧——赣南已探明的钨矿资源储量正在逐步枯竭。在位于南岭成矿带东段的大余县，曾有着“世界钨都”之称。然而，《大余县资源枯竭城市转型发展规划（2013-2020年）》中明确写道，现有钨矿可开采利用仅剩 6.16 万吨，开采年限不足 10 年。

怎么办？唯有继续探寻南岭深部，才有可能找到更多的矿脉。

2008 年，SinoProbe 项目组成立后，将南岭划归为矿集区探查的重点区域。SinoProbe-03-01 和 03 课题在中国工程院院士陈毓川的带领下，以南岭成矿带 4 个矿集区、3 个矿田、5 个典型矿床为重点，深入剖析了南岭东段、中段和西段不同地壳结构地区区域成矿构造背景、演化历史和成矿规律，开展了深部预测，对重点矿区和骑田岭大剖面开展了地质-地球物理-地球化学联合的多学科、多



南岭于都—赣县矿集区科学钻探(NLSD-1)开工典礼。

方法的深部探测试验工作。

2012 年 6 月，南岭矿集区在项目组的不懈努力下，刷新了自己钻探深度的纪录，深入地下 3000 米，了解矿集区的深部地质特征及成矿环境。

这次下探帮助课题组了解南岭成矿带不同地段区域成矿条件和地壳演化历史，为矿集区、矿田深部探测及找矿工作部署提供了依据，并将深部探测过程中获得的综合信

息和成矿规律相结合，圈定了 11 个找矿远景区。

更难能可贵的是，对南岭地区的“深入”了解，不仅为寻找矿藏的“第二空间”提供了依据，揭示了深部厚大钨钼铋矿体和新的矿化类型，验证了“五层楼+地下室”钨矿找矿模式，更为赣南革命老区“振兴苏区”的发展计划提供资源保障的技术支撑，具有重要的战略意义。■

(责编：倪伟波)

### 公示

为保障新闻采访活动开展，维护新闻记者的合法采访权益，加强新闻记者和新闻记者证件管理，按照国家新闻出版广电总局《关于 2014 年换发新闻记者证的通知》（新广出发〔2014〕59 号）文件要求，中国科学报社已对申领记者证人员的资格进行严格审核，现将《科学新闻》拟领取新闻记者证人员名单进行公示，举报电话：62580800。

刘越山 吴昊 李晨 唐琳

现场之

## 腾冲：奇妙的火山热海

这里独特的火山景观、丰富的地热资源和复杂的地质构造背景，吸引着国家科技专项“深部探测技术与实验”项目，希望能够一探成因。

► 见习记者 姜天海

云南腾冲位于青藏高原东南缘，辖新生代火山68座，也是西南著名的地震活动区，集大型走滑构造、岩浆活动、地热和大型有色

金属成矿作用于一体，地质条件极其复杂。

这里独特的火山景观、丰富的地热资源和复杂的地质构造背景吸

引了国家科技专项“深部探测技术与实验”项目在此设立云南腾冲火山-地热-构造带科学钻探工程，希望能够一探成因。



腾冲科学钻探现场。



董树文和中国科学院院士刘嘉麒（左）在腾冲科学钻探现场。

但是，腾冲特有的地质结构为专项出了一道难题。

腾冲的上部地层主要由气孔状玄武岩、安山岩、火山灰、砂层和粘土粉砂地层组成，在深部地层夹杂火山碎屑岩层、厚度不等的粉细砂层、薄层粘土层等，地层复杂，软硬互层频繁、漏失严重，使得钻探过程多次遭遇塌方的危险。

“在腾冲很令人头疼的一个问题就是火山灰堆积出来的地面不结实，一打钻就塌方。”专项的子课题“大陆科学钻探选址与钻探实验”首席研究员杨经绥在接受《科学新闻》记者采访时表示。

没有火山地区施工经验的课题组，只能一边摸索，一边钻探。通过反复的实践、论证，项目取得了一系列的阶段性进展。

在火山地质学研究方面，课题组初步构建了腾冲地区岩浆活动的年代学框架，探讨了新生代火山活动规模和构造背景。

在构造地质学的研究中，课题组得以确定腾冲地块的构造轮廓与边界，并提出新生代火山活动和地热活动主要分布于不同方向的断裂带交汇处。

课题组在地热学领域开展了腾冲地下热水补给机制的初步研究，探讨了腾冲火山-地热区的源区与

成因。

而在地球物理方面，课题组开展了可控源音频大地电磁的探测（3条剖面）。

结果显示，距地表500~800米的深度间，形成了一条东西向低阻带。初步的解释可能是地热，其下部的高阻体可能与火成岩体有关系。

“通过大地电磁探测，结果清楚地显示了腾冲火山构造区在浅部呈不甚连续的由玄武岩等形成的高阻层。”杨经绥介绍，“向下是低阻层可能含水的玄武岩过渡到玄武岩和花岗岩的高阻体。”

（责编：倪伟波）

现场之

# 庐枞：三维立体探测 让矿集区变“透明”

庐枞矿集区因其所处的构造位置独特、岩石类型特殊以及产有丰富的黑色、有色、贵金属及非金属矿产，而备受地学界关注。

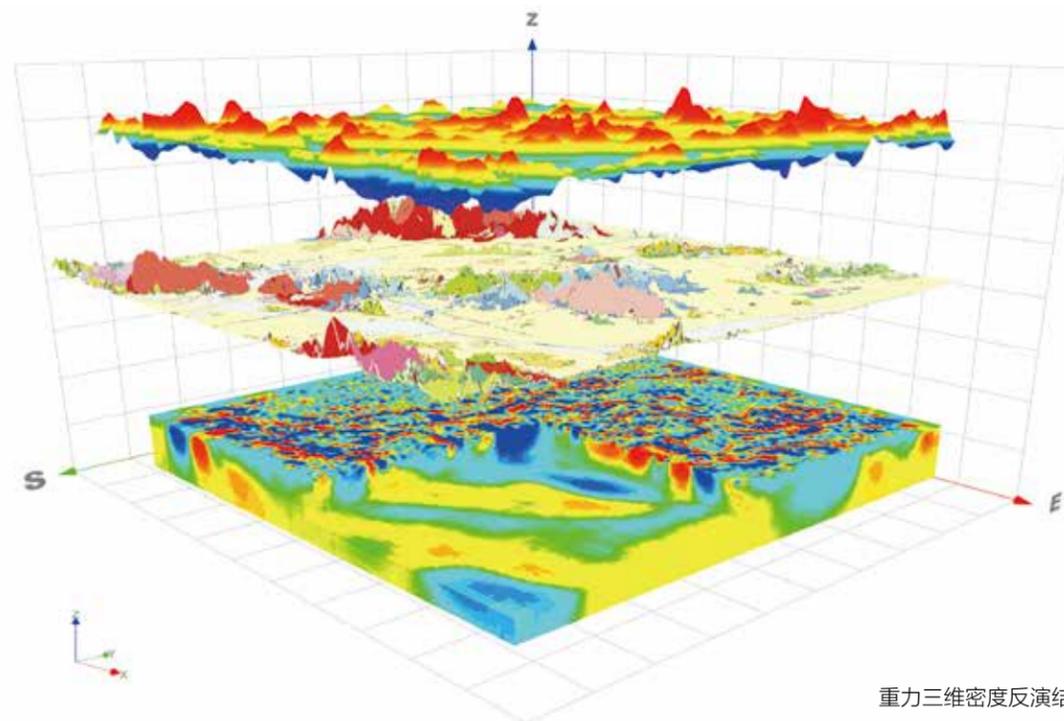
► 见习记者 倪伟波

长江中下游庐江—枞阳火山岩铁铜矿集区（下称庐枞矿集区），地处长江中下游构造—岩浆成矿带（安徽段）的中段，位于长江北岸，与东侧的铜陵矿集区隔江相望。因

其所处的构造位置独特、岩石类型特殊以及产有丰富的黑色、有色、贵金属及非金属矿产，而备受地学界关注。

庐枞地区的勘查工作始于上世纪50年代，之后陆续发现了一批大中型矿床，如罗河铁矿、沙溪铜金矿床、龙桥铁矿和新近发现的泥河铁矿。

为了进一步研究地壳精细结构和成矿的深部因素，近年来科研人员在庐枞地区开展了大量的深部探测实验与研究。



重力三维密度反演结果图。

与此同时，在原有1:50000航空磁测和重力测量基础上，新一轮重力、磁力、和大地电磁剖面测量工作也相继实施。

此外，项目组还在庐江、枞阳等地区选择深部成矿有利区，以具有代表性矿床的成矿环境为主要探测对象，分别部署了2000米和3000米科学钻，通过直接钻探，以获得矿集区深层信息。目前庐枞矿集区的科学钻探深度已达3008.29米，成为我国几个最深的固体矿产勘查钻孔之一。

围绕庐枞矿集区深部结构探测与成矿预测，经过4年多的攻关研究，项目组已发表论文44篇，申请专利2项、软件著作权2项。与此同时，项目组还在庐枞矿集区取得了一些重要进展和创新性认识：

在探测技术方法方面，形成了适合火山岩地区反射地震数据采集的技术系列和数据处理技术流程；提出了MT数据强干扰背景下时间域形态滤波去噪技术，重、磁三维相关成像技术，基于重磁三维物性反演的三维岩性填图技术和地质—地球物理约束下的三维建模方法流程，为矿集区深部三维结构调查和整装勘查区深部找矿提供了技术借鉴。

在探索庐枞矿集区地壳结构框架和区域变形特征方面，发现了壳/幔边界基性岩浆底侵的反射地震证据，深化了“多级岩浆系统”结构、动力学模型和矿集区深部地质过程的认识。

基本查明了庐枞矿集区上地壳结构组成和矿集区结构框架，创新

性地提出了“沿江断裂带”为大型逆冲断裂系统的认识；阐明了矿集区浅层结构组成。

提出了地震剖面、地质等信息约束的重、磁三维反演建模技术，初步实现了矿集区5公里的“透明”化，给出了主要岩体、地层、火山岩、沉积盆地的空间分布，深化了对该区浅层结构的了解，为深部成矿预测提供新的信息。

在找矿方法技术方面，提出了“玢岩型”、“斑岩型”矿床深部找矿方法技术组合。

ZK01钻孔取得重大找矿线索，发现高强度铀矿化，提出深部铀矿化为交代碱性岩复合型铀矿的新认识，该发现对庐枞深部找铀具有重大的理论和实际意义。■

（责编：唐琳）



庐枞矿集区开钻典礼现场。

# 铜陵：“攻深找盲” 开辟第二找矿空间

铜陵钻探项目，为在我国东部开辟“第二找矿空间”、实现地质找矿突破提供了有效的支撑。

► 记者 唐琳

中国安徽，铜陵。

有着中国古铜都之称的铜陵绝非浪得虚名：其位于长江中下游多金属成矿带的中部，是我国重要的有色金属基地，区内以生产铜矿而久负盛名。

而如今，铜陵再次承担了一项新的使命与任务：作为“深部探测技术与实验研究”专项（SinoProbe）的7个钻探点之一。

根据“大陆科学钻探选址与钻探实验项目”（SinoProbe-05）铜陵课题负责人、中国地质科学院地质研究所研究员吴才来介绍，将老矿集区铜陵选为资源科钻点，主要是因为铜陵矿集区的工作程度和研究程度都比较高。

虽然近年在铜陵实施了多个超过1000米的深孔，但总体而言，大多数钻孔的深度都小于1000米。因此，深部找矿的潜力很大。

另一方面，铜陵的科学钻探，对矿集区岩浆活动次序、侵入岩系列划分及其成因、区内岩浆作用的深部过程等研究至关重要。



铜陵矿集区 TLZK-01 钻孔采用了先进的绳索取芯钻进工艺。

而3000米的科学钻究竟选在铜陵何处，则经过了研究人员的层层论证。因为铜陵县舒家店具备较好的成矿条件，最终雀屏中选，成为3000米科学钻的首选之地。

在完成对项目原始资料和技术报告的检查后，专家组赴铜陵矿集区 TLZK-01 钻孔进行现场检查和验收。

通过对现场的原始记录、岩心进行抽查，并对岩心编录与实物之间进行对照检查，结果显示，铜陵矿集区重要异常验证孔 TLZK-01 钻孔采用了先进的绳索取芯钻进工艺施工，完成了2160.77米的钻探工作量，纯钻进台月效率为524.61米，终孔口径77毫米，岩心总长度2135.30米，岩心采取率达98.8%，现场原始记录规范，技术资料完整可靠，出色地完成了深部矿产资源探测的地质研究要求。

该孔的顺利验收，对推进深部矿产资源探测技术体系的建立，以及今后深部探测工程的实施奠定了坚实的装备及技术基础。同时，经钻探验证效果显著，也为在我国东部开辟“第二找矿空间”、实现地质找矿突破提供了有效的技术支撑。

在铜陵矿集区工作的 SinoProbe-05 项目组也斩获颇丰：系统地采集了各类岩芯样品；利用近些年取得的新资料，编制了1:5万铜陵矿集区岩浆岩地质图、构造纲要图；利用主要矿田内的钻孔资料，编制了地下深处矿体、岩体、地层空间展布的立体图；完成铜陵3000米科学钻孔的岩芯编录及钻孔柱状图编绘工作。■

（责编：姜天海）



吴才来（中）在现场介绍铜陵钻探的进展。



铜陵科学钻探点现场。

# 关注

SINO PROBE

5年来，SinoProbe 共发表论文 700 多篇，其中 SCI 论文 200 多篇，EI 论文 60 多篇；申请专利 100 多项，获批发明专利 61 项、实用新型专利 30 项，获批软件著作权 28 项。其成果赢得包括美国《科学》杂志在内的国际诸多权威科学媒体的高度关注。

# 中国入地精细探测赢得高度评价

在这个投资达2亿美元、历时5年的项目中，中国科学家通过人工震源深地震反射来对岩石圈进行成像。不得不说，这一项目令人印象深刻。

► Jane Qiu/文 见习记者 张文静/译

中国，成都。

在中国地质科学院副院长董树文看来，中国进行地球深部探测的决心，就如同探索太空和深海一样。对于地质学家来说，“这是最终的战线”。

与探索太空和深海一样，剥开地球表面的“皮肤”向下看，同样需要花费巨额资金。如今，中国政府正在酝酿一个15年的计划，预计拨款65亿美元来揭开地球的地壳及上地幔，即岩石圈的秘密。

这个宏大的计划有一个先导性实验项目，即中国深部探测技术与实验研究专项（SinoProbe），董树文是该项目的首席科学家。

近日，在成都召开的中美地质学会联合会议上，董树文及其团队披露了SinoProbe的早期成果。在这个投资达2亿美元、历时5年的项目中，中国科学家通过人工震源深地震反射来对岩石圈进行成像。

这一项目令人印象深刻。“这是一个卓越的成就。”美国地质学会主席、

康奈尔大学的 Suzanne Mahlburg Kay 评价道。她认为，SinoProbe “大大增进了我们对岩石圈诸多方面的了解”。但同时，也有一些科学家担心，由于SinoProbe关系到矿产勘测，这可能会影响项目数据的公开。

SinoProbe 与美国开展的地球透镜计划类似，但不同的是，地球透镜计划利用宽频地震仪接收天然地震波，以此对地球内部进行探测。而SinoProbe 主要依靠人工震源对岩石圈进行高分辨率成像。

SinoProbe 也同样注重应用性。



2013年7月5日，美国《科学》杂志刊载的原文。

2006年，由于对资源的渴求及认识地震灾害的需要，中国政府对SinoProbe进行支持，希望其在未来能对矿产资源开发起到勘测作用。

“在过去的几十年中，（中国的）矿产资源消耗量在成倍增长。”董树文说，“已知的国内资源储量在快速减少，所以我们越来越依赖进口。”迄今为止，中国的矿产资源开采大多限于500米的深度之内，但在其他一些国家，开采深度已经能达到5000米。“在地下，我们还有未开发的财富有待于挖掘。”董

树文说。

自SinoProbe项目启动以来，在整个中国，地质学家已经完成了近6000公里的深地震反射剖面。其成像分辨率已经精确到250米，这远比上世纪80年代在北美地区开展的类似项目所获得的图像更加精细。

“这些反射数据的质量非常出色。”美国奥克拉荷马大学地质学家G. Randy Keller评价说。

SinoProbe所取得的成就得益于地震仪敏感性和计算能力的进步。“这就像拥有了一架更好的望远镜。”加利福尼亚大学洛杉矶分校地质学家尹安（音译）说道，“那些曾经看起来模糊的东西现在能够被清晰聚焦。然后我们会发现，它们与我们此前认为的有所不同。”

比如，长期以来，许多研究人员都认为，由于青藏高原的巨大重力，其下部地壳是脆弱而柔软的，就像是冰箱中拿出一块黄油。这些研究者认为，一些软化的地壳自西向东流动，直到遇到坚硬的四川盆地。

然而，几十年来，一直有一个现象令地质学家迷惑不解，那就是：

这种流动所形成的青藏高原表面上并没有发生很大程度的变形。青藏高原是“解释陆陆碰撞谜团的关键线索”，美国康奈尔大学地质学家Larry Brown如是说。

而如今，据中国地质科学院地质学家高锐介绍，深地震反射数据对此给出了不同的说法。如果隧道流动模型是正确的，那么下部地壳和地幔之间的界限应当是平滑的。但事实恰恰相反。SinoProbe的数据显示，其边界上有断层，并有一些延伸到了中地壳。这个“有趣的”结论“挑战了隧道流动理论”，宾夕法尼亚州立大学伯克分校地质学家Eric Kirby说。而其他研究者则提醒说，深反射地震还需要更多的解释。

“伴随新的研究工具而来的是一种危险，那就是我们只看到了其分享出来的一小部分数据。”加利福尼亚大学洛杉矶分校地质学家Mark Harrison认为。

目前，SinoProbe已经探测到稀土金属，如镍、铬铁和钨的新储藏地。这种发现所带来的商业潜力，使得人们担心SinoProbe数据的公开性。

现在，SinoProbe的数据只开放给直接参与项目的科学家及其合作者。

“对这些数据进行交叉校验及核实结果是非常困难的。”法国斯特拉斯堡全球物理研究所地质学家Jérôme van der Woerd说，公开“是最大限度发挥SinoProbe作用的唯一途径”。对此，董树文回应称，在两年左右的时间之后，SinoProbe的部分数据会对全球科学家开放，而另一些数据则会根据双方协议进行分享。

在此期间，董树文和他的团队正在努力争取更宏伟的计划——SinoProbe第二阶段。他们计划完成2万公里的深反射剖面，对岩石圈进行三维成像，并进行大地电磁研究及地球化学勘探。

尽管不知道中国政府会于何时作出决定，但一旦其通过了对SinoProbe第二阶段的支持计划，那么中国地质学家所取得的成就“将无可限量”，董树文说。

（原文刊载于《科学》杂志2013年7月5日刊）

（责编：唐琳）

# 论文成果展示

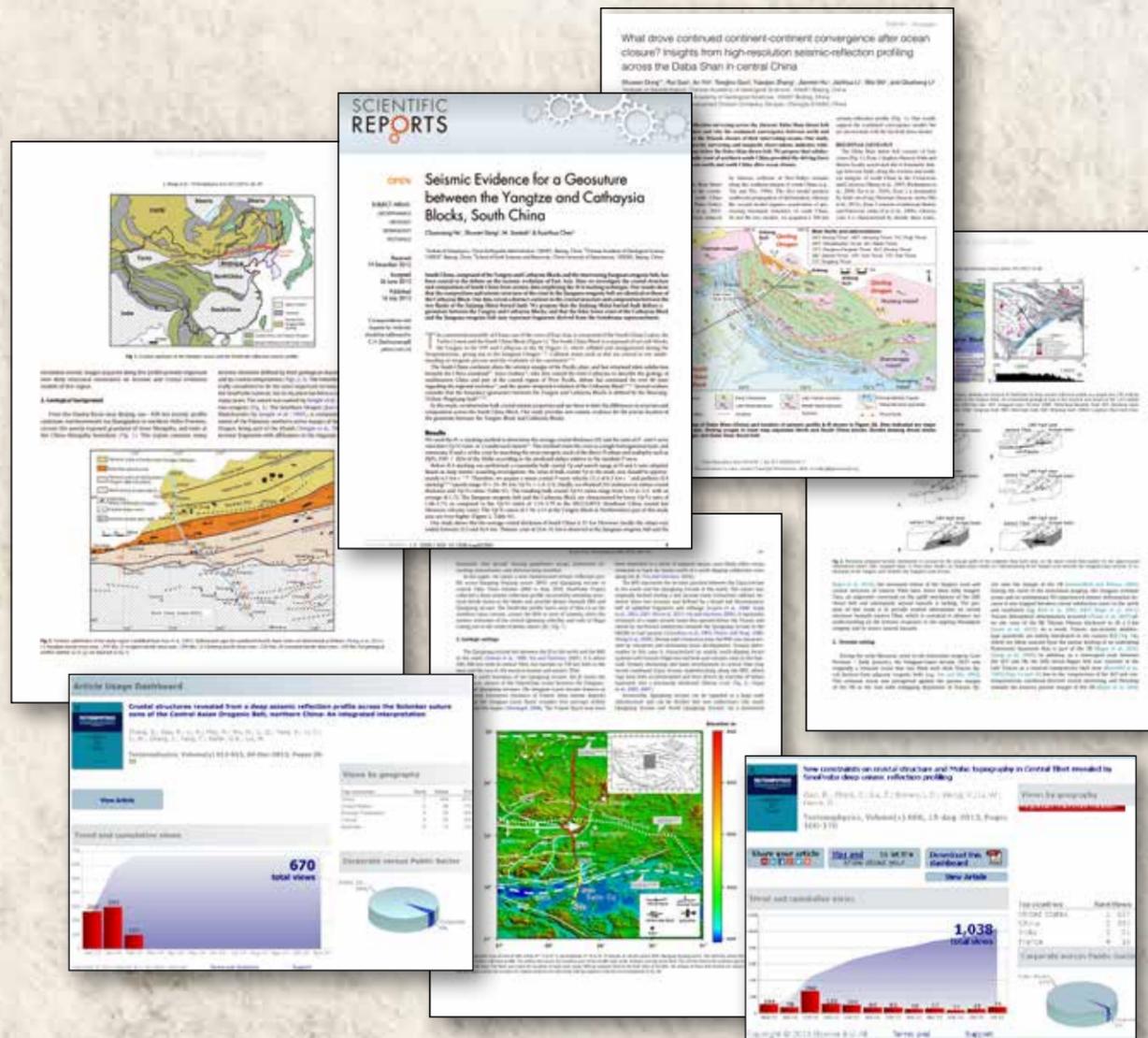
5年来, 专项共发表论文 700 多篇, 其中 SCI 论文 200 多篇, EI 论文 60 多篇; 专项申请专利 100 多项, 获发明专利 61 项、实用新型专利 30 项, 获软件著作权 28 项。

专项的多个创新成果, 解决了我国大陆地壳与岩石圈构造长期悬而未决的一些重大科学问题。

例如, 大地电磁观测发现鄂尔多斯岩石圈异常导电性结构, 为研究正在破坏的华北克拉通演化机理提供了重要依据; 西秦岭造山带下地壳和莫霍面叠置的缩短结构, 挑战了青藏高原东北缘物质逃逸的“下地壳隧道”模式……

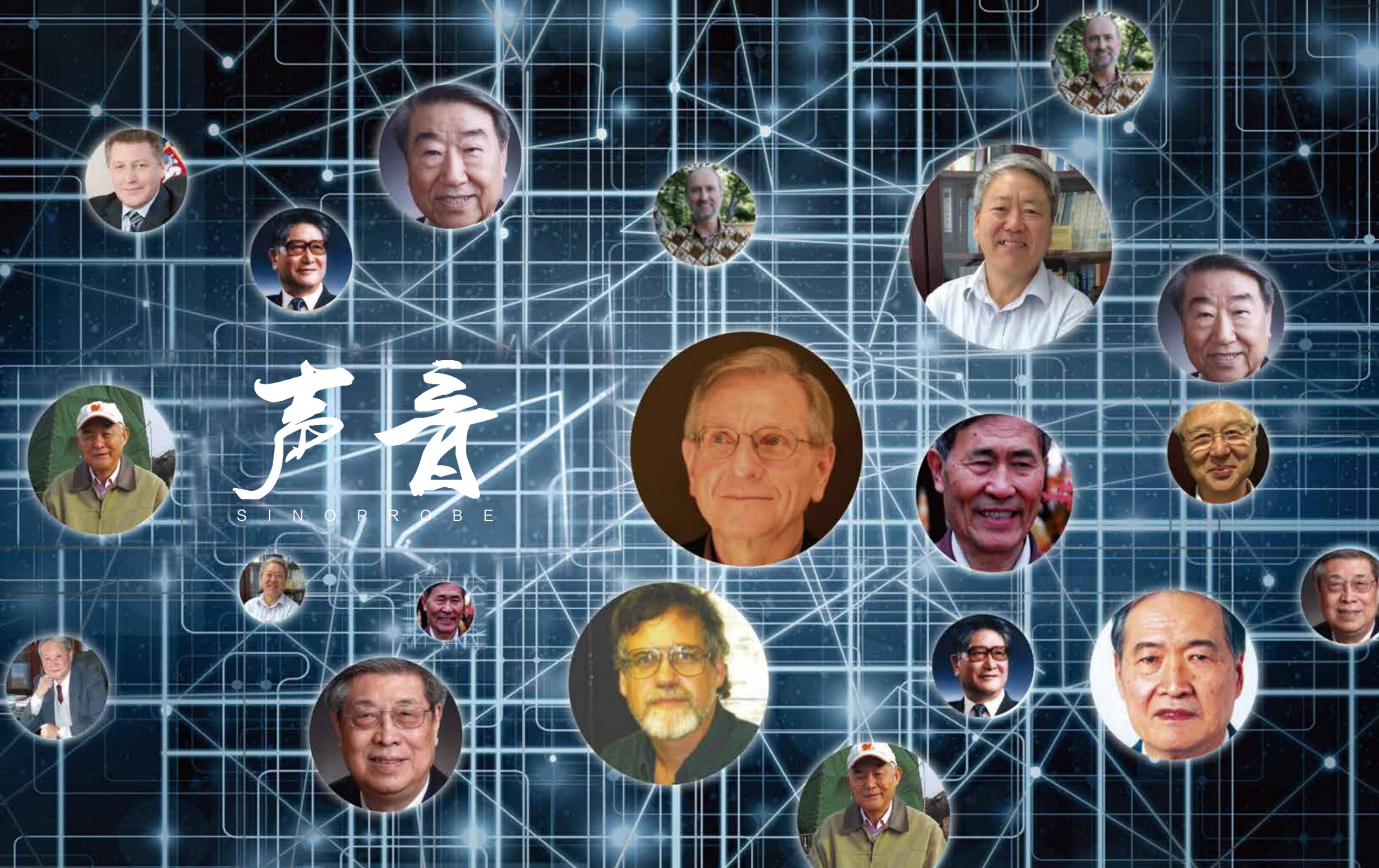
这些地球科学的重大发现和重要认识, 引起了世界地球科学界的轰动。

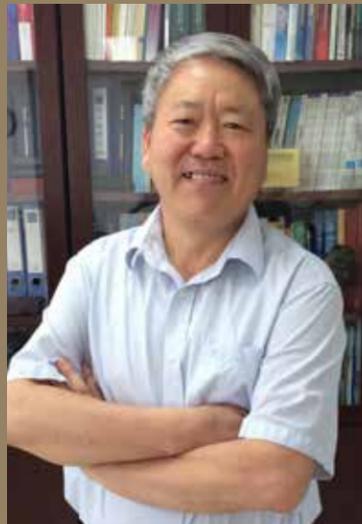
SinoProbe 的科研成果正在迅速地转化为生产力: 首次确认了含铬铁矿高压蛇绿岩套新类型, 为铬铁矿找矿突破提出新方向; 在庐枞火山岩铁硫矿集区发现深部正长岩铀元素富集带, 为深部找铀、重新认识火山岩型成矿体系和建立成矿模式提供重要线索; 穿透大庆盆地在含油的白垩纪盆地之下发现残存的沉积盆地, 为“大庆之下找大庆”提供战略依据……



# 声音

SINO PROBE





## 朱日祥： SinoProbe， 挑战世界级难题

SinoProbe 的启动虽然是基于一个世界级的难题，但却是非常值得的。

### 朱日祥

地球物理学家，中国科学院地质与地球物理研究所所长、中国科学院院士。长期从事地球科学基础理论和实验研究。

过去，地球深部探测是被很多人忽视的一个领域。

虽然与海洋相比，陆地面积只占地球表面的 30%，但毕竟人类生活中 90% 的资源都来自于陆地。因此，地球深部探测与深空探测、深海探测一样，都至关重要。

举例来说，如今社会上正在被广泛讨论的地震灾害预报问题。我们之所以无法进行地震预报，主要是由于人类对地球深部结构尚不清楚。为什么天气预报能如此普遍而准确？这正是因为高空有众多卫星和探测器时刻观察着大气运动变化的情况和过程。假如我们对地表之下 200 公里的地质结构非常清楚，知道其物理性质和运动过程，那么我们就有可能预报地震。当然，这不是件容易的事，甚至比了解地表以上 200 公里的物质成分、结构和运动状态还要困难。

我相信总有一天我们能对地球深部有比较清楚的认识，但这必须要首先进行深部探测。因此，SinoProbe 的启动虽然是基于一个世界级的难题，但却是非常值得的。

其次，从国家需求的角度来讲，我们也需要开展深部

探测。如果我们能将地表之下 1 万米深度的情况探索得比较清楚，那对整个国家的资源情况就会相当了解。而现在，实际上我们是不清楚的。很多人说中国的油气资源不能自给，主要的矿产资源不能自给，但我认为说这话还为时过早：因为我们对自己的家底尚不清楚。

所以从国家需求出发，也是特别需要进行深部探测。无论是从科学角度，还是国家安全的角度考虑，这个项目都非常重要，需要给予支持让其继续开展。

此外，SinoProbe 与国际上同类研究计划相比较，不仅科学上综合性强，而且特别注重将观测、仪器研发和解决科学问题相结合。

今天，中国不仅需要科学上的原创，也需要技术上的创新，因为我们不能所有技术都依赖进口。而且，要想做出原创性的科学成果，一定要有技术创新支撑。因此，在地学的大型项目中，SinoProbe 堪称一个典范。■

（记者 唐琳 / 整理）



## 石耀霖： SinoProbe， 集成深探首屈一指

SinoProbe 不仅借助了地球物理的手段，同时还是地球化学、钻探、地应力、计算模拟研究的综合。

### 石耀霖

地球物理学家，中国科学院院士、发展中国家科学院院士。主要从事地球动力学基础研究工作。

早期，国际上大的地球物理探测项目基本都是用单一的方法进行探测，如用地震反射的方法来勘探地壳结构。随后才逐步开始重视对科学问题的集成和综合，例如美国的 EarthScope 项目。

此次，中国的 SinoProbe 不仅借助了地球物理的手段，同时还是地球化学、钻探、地应力、计算模拟研究的综合。实际上，这个思路在国际上是第一个。在我们之后，澳大利亚也开始进行综合集成的深部探测，体现出从单一手段走向综合、集成研究过渡的趋势。

中国的深部探测起步比较晚，因此在技术上有很多进步，获得资料的可靠性也很好。通过 SinoProbe，中国深地震反射剖面 5 年的总量长度超过了过去 50 年的总和。同时 SinoProbe 在技术上形成一系列特色，数据质量高，有些甚至已经超过了美国之前取得的水平。

SinoProbe 在地应力钻孔分量应变测量上也有特色，比如在分量钻孔应变仪的研究上就获得了重大进

展，这对于我国地震预报从经验预报到实现物理预报具有重要意义。此外，项目在地球化学、科学钻探方面也都取得了出色的成绩。

但是，我们现在还没有达到地质强国的科研水平。因为在拥有同样资料的情况下，国际上很多科学家可以参透这些资料，做出有影响力的理论文章。虽然我们目前资料的质量不错，但理论影响力还不够。

因此，我们不能仅仅停留在获取资料上。在获得高质量数据后，我们还要解决如何进行深入的研究、形成让人信服的地质理论的问题，特别是需要解决项目集成的问题。各个项目组不能各做各的，要在项目完成之后进行思想的交流和碰撞。我们需要将地震、大地电磁、构造地质、地球化学等各个地球科学领域的人才汇集在一起，完备地解释资料反映的地球动力学过程，从而提出中国人自己的地质理论。■

（见习记者 姜天海 / 整理）



## 孙枢： SinoProbe 引领中国 向地质强国跨越

SinoProbe 把我国地质科学和技术推向国际最前沿，加速了我国向地质强国跨越的进程。

### 孙枢

地质学家，中国科学院院士。从事沉积学、沉积大地学研究和地质综合考察。

我国是一个地质大国，已经拥有了一支颇具规模和实力的地质科研队伍，我们可以依靠自己的力量解决国家经济建设和社会发展的相关需求。

但我国并非地质强国。这不仅体现在各学科发展的不均衡、只有少数领域居国际领先水平，还体现在我们对地球深部知之甚少。

过去，我们更多的是关注地球表层和地壳，而对地球深部欠缺认识。但我们面临的挑战越来越严峻和复杂，因此必须要对地球深部进行探测，对地球各圈层之间的相互作用有一个全面的了解，从而为国家和人类福祉服务。

与国外的探测计划相比，SinoProbe 在时间上确实晚了一点。但发展深部探测需要投入一定量的资金，在国家经济有了很大的发展以后来推进深部探测计划，可以说是恰逢其时。

而且，现在地质科学已经发展到了地球系统科学的阶段，我们向地球深部进军正是体现了地球系统科学的思想 and 概念。通过对地球深部的探测和研究，获取关于地球的演化及地球动力学方面许多重要的科学新认识，更有利于

我们解决人类社会所面临的资源、环境、地质灾害等一系列重大问题。

目前，SinoProbe 第一阶段已经告一段落。在这一阶段取得了很多的重要突破和成果：例如 6000 多公里深地震反射测深，揭示了多个代表性地区的深部地质特征，为了解板块构造活动与山脉、盆地的形成演化提出诸多新观点；累计深度 2 万多米的大陆科学钻探，揭示了有关矿集区矿产的形成、展布规律和找矿方向，在西藏的铬铁矿体中发现包括金刚石在内的世界上独特的矿物组合等等。

这些进展受到国内外同行的高度关注与好评。SinoProbe 已制定了有关资料数据的共享原则和办法，我们可以预期今后若干年对这些数据的进一步开发和利用，将进一步扩大项目的科学价值、实际意义和影响。

总的来说，发展深部探测，为解决我国资源环境和地质灾害问题提供了坚实的科学基础，把我国地质科学和技术推向国际最前沿，加速了我国向地质强国跨越的进程。■

(见习记者 倪伟波 / 整理)



## 李廷栋： 坚持深部探测， 让中国走在前列

SinoProbe 的第一阶段已经结束了，项目得到的收获远远超过了大家的预期。

### 李廷栋

地质学家，中国科学院院士。长期从事区域地质调查研究和地质编图工作。

2009 年，我曾经在第 40 个世界地球日作为代表发言，我们的家园正在承受着日益严重的资源枯竭与环境恶化的双重压力，人地矛盾从来没有像今天这样如此尖锐地迸发。我们更加清晰地意识到：解决资源、环境、灾害问题只能立足地球，从深部寻找出路。已有的地球科学知识证明，揭开地球深部的奥秘，把视野延伸到深部，才能更加有效地寻找资源、优化环境、减轻灾害。

只有进行深部探测，才能穿透地表，帮助我们认识地球内部构造，全面提升我国深部探测技术方法，提高地质科学研究、深部资源勘查、地质环境评价和自然灾害预测的能力和水平，提高对地球的认知程度，从深层次推动我国从地质大国向地质强国的转变。

中国已经比世界其他国家起步晚，我认为这件事还是应该早做。

在 SinoProbe 成立之初，我们设定了“两网、两区、四带、多点”的总体部署。现在，深部探测第一阶段已经结束，项目得到的收获远远超过了预期。

我们完成了青藏高原、华南—中央造山带、华北和东

北等 4 条超长深地震反射剖面，在我国东部长江中下游和南岭成矿带开展的矿集区立体探测研究卓有成效。

我们自主研发的关键深部探测仪器设备获得重大突破，建立了若干各具地质特色的探测试验基地，为下一步开展地壳探测工程的组织实施奠定了必要的技术基础。

在探测方法上，除了传统地球物理的电法、磁法和重力以及爆破地震等方法外，我们还开展了科学钻探和地球化学探测等，获取了大量实物样品。

中国是一个地质大国，地质条件十分复杂，这既给我们的探测研究带来诸多困难，但是又为我们进行地质理论和技术方法上的创新带来机遇。

目前，我国地学界专家寄希望于我们，国外地学界的专家带着羡慕的眼光关注着我们。我相信，凭借我国特殊的地质条件和区位优势，在我国已获得的科技成果、工作经验和装备水平的基础上消化吸收国外成功经验，经过 5 年、8 年或者 10 年的坚持，我国地球深部探测一定能够后来居上，走在世界的前列！■

(见习记者 袁一雪 / 整理)



## 裴荣富： SinoProbe， 创新中国专属

浓绿万枝红一点，动人春色不需多。深部探测重创新，引导找矿指方向。

### 裴荣富

矿床学和矿产勘查地质学家，中国工程院院士。主要从事重要成矿区带的大量固体矿产资源普查勘探和综合研究工作。

深部探测是全球性的，国外很早就开始了这样的研究。本世纪初，澳大利亚甚至提出了“玻璃地球”计划。

“像玻璃一样透明”的提法是一个口号，但它却能让研究者们思维明朗：一定要把地球了解清楚。这种提法固然好，但是却不如 SinoProbe 来得实际，直接由口号落实到行动。

“同一个地球，同一个地质”。全球具有统一性，不同区域具有特殊性，特殊的地区又具有专属性。中国就具有专属性。

而且按照时间维造就空间维的理论，我国地质不仅有区域的转移，而且还应有时间由古 - 新的演化。中国的地质具有自己的特色。因此，提出 SinoProbe 正当时。

实际上，中国对深部的探讨有很悠久的历史。解放初期，我们学习前苏联，地质工作成了工业建设的尖兵。改革开放前，我们在技术装备上形成了一个“引进、跟踪，再引进、再跟踪”的怪圈。改革开放以后，我们就必须要用自主创新来打破这种怪圈。

现在国内部署的很多工作都瞄准了创新，虽然不一定

都能达成创新的目标，朝“创新的路”走早已形成了共识。SinoProbe 就是要求我们要创新。

现在，SinoProbe 项目已经做了大量的工作，取得了很多成果，并且引起了全球对中国的向往，希望项目日后能取得更大的创新，未来也能达到让外国引进、跟踪。

除了创新，SinoProbe 项目还要做我们自己的特色，那就是要促进中国矿业的发展，即要在一些综合的特殊的成矿区带中，做找矿突破的立项。

SinoProbe 项目第一阶段对南岭于都 - 赣县矿集区、长江中下游地区进行了立项，并展开了立体探测技术与深部成矿预测示范的研究，示范做得非常成功。下一步，我建议将华北地台北缘做成矿预测示范的试点。总而言之，中国深部探测的目标不是为探测而探测，而是要为引导找矿突破做贡献。

最后，我谨以四句话作为对 SinoProbe 的寄语：

浓绿万枝红一点，动人春色不需多。深部探测重创新，引导找矿指方向。■

(见习记者 倪伟波 / 整理)



## Walter D. Mooney： 期待 SinoProbe 伟大旅程的延续

国际科学界非常重视和尊重 SinoProbe，并衷心希望这些调查将会在接下来的几十年内继续开展和扩大。

### Walter D. Mooney

美国地质调查局地震科学中心教授

SinoProbe 科学项目拥有宏伟的蓝图。

它研究地球的地质演化，探索珍贵自然资源的起源，它对地表无法接触到的地球深部结构进行探索，而这一切将会改变人类对其所居住的世界的理解。SinoProbe 就像是一架瞄准地球内部的巨大望远镜，而不是高高悬在天空。

SinoProbe 的科学基础来源于早先的国际地球科学项目，尤其是在欧盟、英国、加拿大、美国和澳大利亚开展的项目。而其中，加拿大和中国两个国家拥有很多的相似之处，比如都有丰富的自然资源。

加拿大在 1984-2005 年间，凭借非常成功的 LITHOPROBE 项目，在地球深部探测的国际舞台上闪耀光芒。但是，现在中国复杂的 SinoProbe 已经开始崭露头角，可以说赶上甚至超越了加拿大 LITHOPROBE 项目所获得的成就。

SinoProbe 也是一项非常大胆、有冲劲儿的项目，它将所有领域的地球科学家汇聚在一起，揭示地球的深部结构和自然资源起源。

由于实地勘探的技术难度大，再加之各种复杂的科学问题，使得 SinoProbe 在完成目标的道路上面临着很多的挑战。

但是，值得欣慰的是，中国顶尖的科学家和世界各地的专家一道，积极地面对这些挑战，在国际科学界关注的地球深部探测领域获得了非常重要的发现。这些发现为我们认识人类所居住的地球的演化进程、理解人类生活所依靠的自然资源提供了重要的框架。

国际科学界非常重视和尊重 SinoProbe，并衷心希望这些调查将会在接下来的几十年内继续开展和扩大。

下一代的地球科学家，无论是在中国的还是国际的，都需要借助 SinoProbe 所提供的重要数据进行他们的科学研究，这就像是一艘出色的舰艇开始了他们在海上的发现之旅，而国际科学社会希望 SinoProbe 能够将这一伟大的旅程长久地延续下去，造福全人类。■

(见习记者 姜天海 / 整理)



## Ron Clowes: SinoProbe, 全球深部探测领军者

SinoProbe 的结果极大地解放了我们对于地球当前结构和历史演化的认识。全球的科学家都应该密切关注这个项目的成果。

### Ron Clowes

加拿大 LITHOPROBE 首席科学家

SinoProbe 是近年来在中国实施的地壳深部探测重大科研计划。在我看来，SinoProbe 是目前全球深部探测做得最好的项目，它不但继承了 LITHOSPROBE 成功的运行模式，集多学科于一体进行综合探测研究，而且比 LITHOSPROBE 计划内容增加了大陆科学钻探验证任务，这在 20 年前，是我们希望但却无资金来部署的。

无论是中国内部的地质环境还是中国之外，SinoProbe 的结果都将极大地解放我们对于地球当前结构和历史演化的认识。全球的科学家都应该密切关注这个项目的成果。

LITHOSPROBE 在科学上遇到最大的问题是无法跟进所有采集到的数据，如数据的处理、分析、解释和最后的发表。我预计 SinoProbe 项目也会遇到类似的问题——在短期内收集到大量的数据。但是，必须要将时间分配好，进行全面、让人信服的解释。

中国作为国土面积位居世界第三位的国家，应该对其脚下的地球深部构造和演化进行全面了解，这不仅有助于本国的发展和社会安全，也将会对全球地学的进步和人类社会的发展做出重要贡献。中国的地壳深部探测目前处于

实验阶段，根据我们几十年的经验，我建议：

**联合进行数据解释：**SinoProbe 取得诸多类型和数量的实验数据，特别是深地震反射、折射数据。这需要地球物理学家和实验的具体规划方、采集者、数据处理人员、熟悉采集区地质情况的地学家、构造学家等密切协作、会同解释。

**吸引多方合作：**应召集项目实施地区或在项目研究成果中有潜在利益的单位参与项目的实验、研究工作，特别是那些拥有一定实力的矿业开发和石油公司。

中国的各地学机构和国际地学界不是竞争对手，而应共同合作。这有助于提高对探测实验结果的认识，取得最佳研究效果，实现共赢。

SinoProbe 作为现今国内外重大而瞩目的地学项目，应继续保持国际合作，吸引更多优秀的专家、团队参与；同时作为重大科研、探测项目，公众教育和科普宣传工作非常重要，SinoProbe 有义务使社会在此过程中加深对地学的了解和对地学知识的使用，更广泛地服务于社会。■

(见习记者 姜天海 / 整理)



刘光鼎

地球物理学家，中国科学院院士

SinoProbe 已经取得了一系列重大技术突破与重要地学成果，这足以证明我国当代地球物理理论与方法技术已达到国际先进水平。



钟大赉

构造地质学家，中国科学院院士

SinoProbe 对我们进一步理解深部结构，深部构造与矿产、区域地质灾害的关系都起到了指导作用，是非常重要的国家基础性工作。



滕吉文

地球物理学家，中国科学院院士

SinoProbe 对探索地球深部的结构与构造、勘查和利用深部资源，进行较大规模深地震反射剖面实验研究、进一步提升深部探测技术可谓至关重要。



吴大明

美国纽约州立大学教授

现在 SinoProbe 已经取得了不小的成就，在国际上颇具知名度。据我了解，目前 SinoProbe 的项目进展得非常快。在众多有利条件之下，我相信，只要这个项目能够继续做下去，就会取得更可观的成绩。



Larry Brown

美国 COCORP 计划首席科学家

SinoProbe 的技术和成果远远超出了过去的 COCORP 计划的水平。地球物理的相关研究将会在资源勘探、研究地质灾害发生的内部机制以及建立灾害预警系统中发挥重要作用。



列多夫斯基

俄罗斯联邦地质矿产署署长

非常羡慕中国能够实施 SinoProbe 这样一项宏伟计划！我真心希望你们成功，并藉此造福全球！希望有机会与你们合作！

(责编：唐琳)

# 展望

SINO PROBE

“上天入地”一直是人类的两大梦想。SinoProbe让中国的深部探测从国际“追赶者”成为了国际“同行者”。未来，在“地壳探测工程”探测计划的引领下，中国要成为国际“领跑者”。

# 深部探测,从“追赶者”到“同行者”

## ——专访 SinoProbe 首席科学家董树文

SinoProbe 实施的 5 年,只是“地壳探测工程”的培育性阶段,未来 15 年将是我国深部探测进行赶超的关键时期。

► 记者 唐琳



初见董树文,很难将眼前这个儒雅的中年人与常年奔波在野外进行实地考察的地质学家联系在一起。

1600 人,5 年。董树文带领着这支名副其实的中国“入地计划”国家队,完成了国外足足花费半个世纪才完成的深部探测成绩。作为首席科学家的他,其中的酸甜苦辣可想而知。

如今,“深部探测技术与实验研究专项”(SinoProbe)的 9 个项目、49 个课题陆续通过验收,国内外好评如潮。但此时的董树文却一点儿都不显得轻松:忙验收、忙评估、忙总结……还要亲自撰写论文。这样的工作强度和工作状态在过去的 5 年里,日复一日。但尽管难掩疲惫,他却依然将繁杂的工作处理得行云流水。

谈及 SinoProbe 和这支“入地计划”国家队,他尽显欣慰;展望中国未来深部探测远景,他憧憬依然。

SinoProbe 让中国的深部探测从国际“追赶者”成为了国际“同行者”,但他却不满足。他说,希望未来新的深部探测计划,使我们成为“领跑者”。

《科学新闻》: SinoProbe 让中国在深部探测领域用 5 年的时间,追赶上国外先进水平,为什么我们能够做到?

董树文: 一是国家支持办大事。SinoProbe 的实施,集中了前所未有的资金、人力、技术和资源,因此得以在短时间内取得深部探测的重大进展。过去的深反射剖面都是各个部门自己实施的,国家没有一个大的项目对深部探测进行统一。我国的“上天”、“下海”都有突破,“入地”却起步甚晚。SinoProbe 是我国首个“入地”专项,在国家强有力的支持下,汇集了各个部门的精英,形成我国地球深部探测的“国家队”,体现了国家的实力和干大事的能力。

二是“后发优势”促成了跨越式发展。SinoProbe 不仅利用了国际最先进的探测技术和方法,使用了最先进的装备和仪器,而且借鉴了美国、加拿大、德国、澳大利亚等国的大科学计划管理的先进理念,使我们有可能在短期内追赶国际先进水平。在核心技术研发方面,我们站在巨人的肩膀上,采取“红蓝军路线”,自主研发了一批关键探测装置与仪器,力争在

“地壳探测工程”的计划正在准备和论证之中,何时能否实施主要在于:一是取决于对第一阶段目标、成果的总结和国家评价;二是取决于国家科技投入强度,科学家的愿望要和国家经济实力相协调。

硬件方面短期内缩小与先进水平的差距。

《科学新闻》: 目前, SinoProbe 的 49 个课题已经陆续通过结题验收,作为首席科学家的您,此刻的所感所想是什么?

董树文: 应该说感慨万千。中国深部探测的这一步跨出去了,虽然相较于国外晚了几十年,但我们毕竟跨出去了,而且这一步跨得很坚实,也很有力量。我们借助国家经济发展的硬实力,

充分利用国家的政策利好、国际合作的大好环境,以及全球深部探测的后发优势,大大缩短了与国际在深部探测上的差距,实现了几代人的“入地”夙愿。

《科学新闻》: SinoProbe 共有来自不同部门的约 1600 多名科学家、工程师以及研究生参加到研究工作中来。这是一个非常庞大的团队,您如何评价他们的总体表现?

董树文: 5 年来,专项集中了国内 118 个机构、1600 多位科学家和技



2011 年,董树文当选德国埃尔福特科学院院士。图为在北京举行的院士证书授予仪式。



董树文在芦山地震现场考察。

术专家联合攻关,其中包括12名院士、900名高级研究员、众多年轻科学家及超过600名研究员、一线施工人员共9000余人次,专业齐全,人员分工及年龄结构合理。可以说,这支队伍是我国“入地计划”或者“深地计划”名副其实的国家队,代表了国家最高水平,而这个水平不是我们自己说的,而是国外业内人士做出的普遍评价。目前,SinoProbe也是世界上地球深部探测领域规模最大的科学计划。

**《科学新闻》:**目前,SinoProbe第一阶段的工作基本结束,在您看来,其成果是否达到了预期目标?

**董树文:**专项不仅达到了最初设定的目标,获得了海量全国物性数据和地球化学基础数据,而且整体探测

能力还远远超出了预想。

比如,我们最初设计的是7000米钻机,然而在项目实施两年后,我们将其深度改成了1万米,成为世界上为数不多拥有万米科学钻探能力的几个国家之一;

在深地震反射探测方面,最初预计完成深地震反射剖面3500公里,但在过去5年中,专项通过合作和转让技术等,完成了6160公里“地壳CT”的深地震反射剖面,超过了此前50年完成的总和,使我国深地震反射剖面总长达到11000公里,我国从此步入全球深地震反射探测超万千米大国行列;

在地球化学基准网和深部资源探测方面,最初并没有直接找矿的任务,但如今全球精度最高的地球化学基准

网的结果圈出了若干紧缺资源的重大异常,为找矿战略突破提供了重大战略线索,矿集区立体探测和科学钻探工程发现了很多深部矿层,有的可以直接开采,缓解了国家的部分资源紧缺;

在地球科学理论方面,通过深部探测的最新认识,修改了许多传统的地质认识和理论,甚至颠覆了很多过去的权威观点。比如青藏高原东北部下地壳和莫霍面叠置的缩短结构、龙门山陡立的地壳岩片走滑结构,挑战了国际上的青藏高原东北缘物质逃逸的“下地壳隧道流”主流模式等等。这都是一些意想不到的重大成果。

**《科学新闻》:**SinoProbe第一阶段工作的顺利完成,对整个中国深部探测来说意味着什么?

**董树文:**首先,增强了赶超国际先进的信心和能力。专项的顺利实施,在深部探测技术方法上,使中国由“追赶者”逐步成为“并行者”,甚至在某些领域,我们已经成为“领跑者”,比如地球化学填图领域。

其次,成功组织了多学科联合探测模式。SinoProbe是一个典型的多学科联合探测的大项目,这与美国是不同的,美国基本是以地球物理学学科为主。我们借鉴加拿大岩石圈探测计划的经验,结合我国国情,选择了多目标、多学科和多手段的技术路线。今天看来应该是成功的,并且得到了国际同行的一致认可。

第三,探索了“大科学计划”的管理运行模式。多部门的1600多

名专家参与的科学计划,首先是要确定管理模式,从而保证计划顺利有效的执行。专项探讨了基于“以国家需求为共同兴趣、平等分享资源为共同利益”的管理理念;按照“顶层设计、高端综合”的管理思路;设计了“自上而下分解目标、自下而上成果集成”的反馈式管理程序;以及“引进先进技术,发展自主装备”的技术路线;采用“国内优势资源融合,国际全面深度合作”的开发方针;制定了“科研科普双报告”的成果验收制度;实现“阶段性成果释放,验收后成果共享”的政策等等一系列管理办法,保证了SinoProbe计划的顺利实施。

这样,我们才有信心、有能力继续我国地球深部探测计划。有可能在不久的将来,中国将会引领地球深部探测的全球科学计划。

**《科学新闻》:**目前,国内外对于SinoProbe的数据公开情况都格外关注,可否进行介绍?

**董树文:**根据SinoProbe的管理办法规定,探测专项验收后2年,数据对外公开。

目前,专项49个课题验收已近尾声,9个项目验收也拟定于2014年底结束,数据汇交年底结束。因此,国土资源部决定2014年底提前释放第一批深部数据,供地学界共享。同时,2014年底会出台《深部探测专项数据共享办法细则(试行)》。

按照《细则》,数据共享将会采用“会员制”。我们将会员分为4类:核心会员、普通会员、学生会员和国

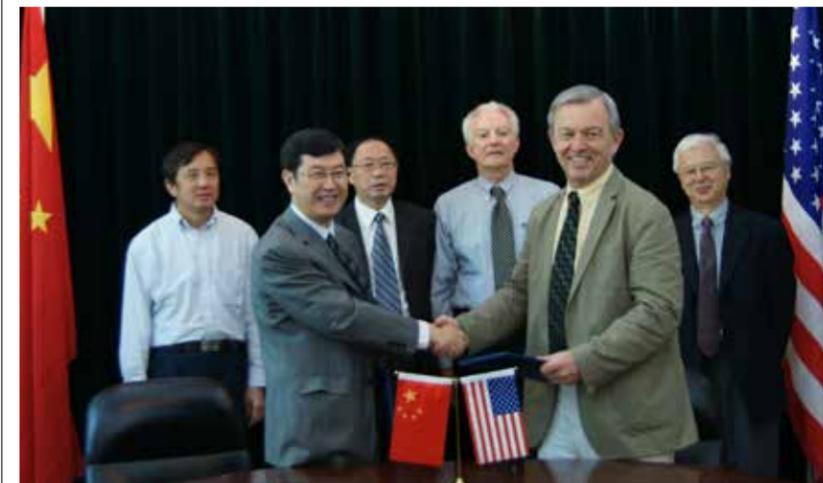
际会员,每一类别会员享受数据的范围和权利都有所区别。比如,核心会员包括参与共建深部探测数据库的单位和专家,将会享有使用原始数据的权利。

此外,涉密数据按照国家规定不在共享目录之内,特殊需要可按照有关程序办理数据使用手续。同时,深部探测数据将会在门户网站陆续公布共享数据目录,并接受公众监督。但所有共享数据发表和使用,需注明“深部探测数据(SinoProbe)”。

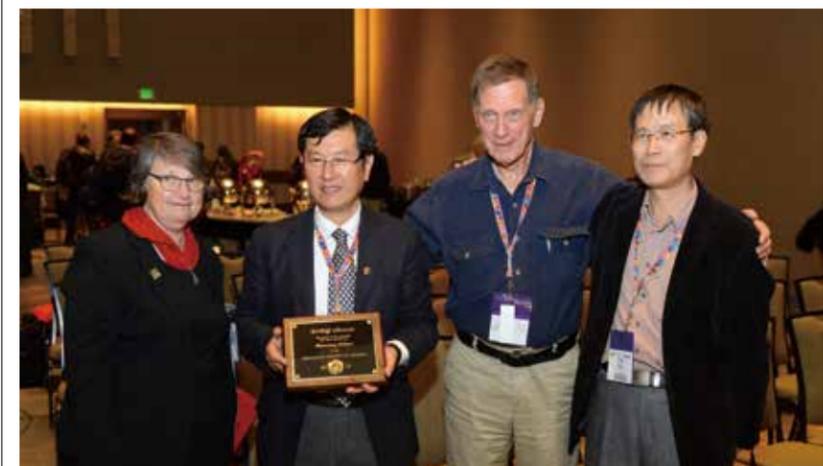
**《科学新闻》:**SinoProbe工作完成后,下一阶段计划是什么?

**董树文:**我们通过5年“深部探测技术与实验专项”的实施,启动“地壳探测工程”国家入地计划的基础和条件已经具备和成熟。

根据专项领导小组第四次会议决定,下一步计划是:组织申报国家重大科技专项或重点科技专项;在国家重大专项批准前,成熟探测技术方案将会向其他相关专项释放,包括国家地质矿产调查专项、行业科技专项等;



2011年, SinoProbe与美国IRIS在美国NSF见证下签订互惠合作协议。



获得美国地质学会2013年荣誉会士称号的董树文与美国地质学会主席Kan Susan(左一), Davis G.教授(左三)和赵越研究员(右一)合影。



2011年，董树文与深部探测代表团主要成员以及ICDP首席运营官Harms教授在德国GFZ门前合影。

同时与国家自然科学基金委合作申请重大项目，对深部探测数据进行科学研究和解释。

《科学新闻》：作为SinoProbe的进一步深化工作，您能否具体介绍一下“地壳探测工程”的内容？其实施的意义是什么？

董树文：我国入地计划——“地壳探测工程”预计包括11个子工程，由四大基础探测、三大应用领域、三大支撑系统和一个科学综合研究组成。

四大基础探测，包括地壳结构阵列观测、地壳结构剖面探测、地壳物质探测、科学钻探与观测系统；

三大应用领域，包括能源潜力探测、深部矿产资源立体探测、地壳活

动性与灾害监测；

三大支撑系统，包括深部地下实验室、探测装备与产业化、数字地壳与数据集成平台；

一个科学综合研究，即地壳演化与动力学。

地壳探测工程的实施，将会全面提升中国对地球科学的认知水平，推动地球科学创新与发展，实现我国从地质大国到地质强国的跨越；实现“国土资源”的空间延拓，从深部探索解决能源、重要矿产资源短缺和自然灾害机理新途径；发展陆基、空间和海域立体探测与实时监测技术方法体系，形成“入地工程”新产业；实现地质调查方式从二维走向三维的革新，将大幅度提高国土深部调查程度，形成新一代国家基础地质产品。

《科学新闻》：目前地壳探测工程的准备工作如何？距离实现其顺利实施的路还有多远？

董树文：第二阶段的计划正在准备和论证之中，何时能否实施主要在于：一是取决对第一阶段目标、成果的总结和国家评价；二是取决于国家科技投入强度，科学家的愿望要和国家经济实力相协调。

值得欣慰的是，我们为第二阶段项目做了非常好的前期准备工作，组织了一支非常好的队伍，在技术方法上的试验也很成功，并形成了一套有效的管理办法，取得了很好的国际反响。总的来说，我们对未来是很憧憬的。虽然第二阶段的工作依旧需要国家较大的资金支持，但与“上天”、“下海”一样，作为大国，“入地”项目是绕不过去的。■

（责编：倪伟波）

联系方式 Contact

- 新闻部: snnews@stimes.cn
- 博客互动: blog@stimes.cn
- 市场部: market@stimes.cn
- 广告部: sales@stimes.cn | +86-10-62580810
- 编辑部电话: +86-10-62580783
- 编辑部传真: +86-10-62580608
- 通讯地址: 北京市海淀区中关村一条乙三号中国科学报社4层科学网编辑部
- 邮编: 100190



科学网微信二维码

科学网

构建全球华人科学社区



ScienceNet.cn