

# 中国科学院 2002 年资源环境科学研究重大成果(进展)

中国科学院资源环境科学与技术局\*

(北京 100864)

关键词 中国科学院,资源环境科学研究,重大成果(进展)

## 油气勘探二次创业的前导研究

完成单位:地质与地球物理研究所

主要完成人:李幼铭,杨长春,刘洪,王真理,高静怀

我国东部主力油田对国民经济建设起着巨大的支撑作用,但是开采 40 余年来皆已步入中晚期;其可持续发展的关键是寻找新的油气储量:(1)寻找大庆油田的接替基地;(2)大庆油田外围和深层的油气藏勘探;(3)胜利油田的古潜山油气藏勘探。

为实现上述目标,必须攻克一系列油气勘探科技难题。该项目由地质与地球物理研究所和大庆油田及胜利油田合作,分别由刘洪研究员和杨长春研究员组织实施。项目执行过程中,数学与系统科学研究院科学与工程计算数学研究所、西安交通大学、吉林大学、成都理工大学、兰州大学及分属于大庆油田和胜利油田的研究单位,共同承担了解决复杂地质体地震波传播、地质构造与岩性精细刻画和高精度地震成像的核心研究工作。其中,刘洪、刘礼农、张剑锋等在波动方程叠前深度偏移微分型算法研究中,与国际各单位同步,都在 2000 年国际勘探年会(SEG)上提出成果报告;高静怀教授在“广义 S 变换”、结构边缘检测和图像处理上都取得引人注目的理论研究进展,并获得突出的油田现场实际效果;潘葆芝教授则针对火山岩岩性的测井定量识别的理论方法研究获得重大突破。该项目产生的研究成果都已生成具有自主知识产权的工业技术流程及相关软件系统。大庆油田的勘探实践证明,其应

用效果明显优于国外软件。该成果已应用于大庆油田外围 5 000 万吨石油储量探查和 609 亿立方米天然气储量的勘探(其中仅探明储量就达 174.68 亿立方米),并参与了大庆徐深 1 井的发现(地质储量已超过 300 亿立方米)。

杨长春的三维叠前深度偏移积分型算法,成功地应用于胜利油田古潜山油气藏勘探,在车古 201 井获日产 300 吨以上高产工业油气流,并在其周围发现共计 3 000 万吨以上石油储量,2001 年建成富台油田,2002 年又发现多个潜山油气藏。

该成果在油田的应用中已产生巨大效益,为大庆油田接替基地的发现和能源类型转换提供了重要的技术保障;该项目在技术储备和人才培养方面也为油田的可持续发展做出重要贡献。

## 絮凝理论与高效絮凝技术

完成单位:生态环境研究中心

主要完成人:汤鸿霄,曲久辉,栾兆坤,王东升,

刘会娟

絮凝是水处理最重要、最关键过程,高效絮凝剂在城市与工业及给水与废水处理中用量最大,且适用范围广,是水处理高新技术发展的核心技术。关于高效絮凝技术的研究,既是国家的重大需求,也是国际理论研究的前沿。两年来,生态环境研究中心,对水处理絮凝的基础理论、技术创新和产业化应用的全过程开展了系统研究,取得了以下重要成果:

(1) 发展和完善了高效絮凝理论。形成了絮凝剂

的形态表征方法学体系,进而完善了无机高分子絮凝剂及其最佳凝聚絮凝形态的生成机制,从不同角度证明了无机高分子絮凝剂聚合氯化铝中  $Al_3$  的存在,提出了无机高分子絮凝剂的团簇结构、分形态理论、吸附络合模式以及凝聚絮凝动力学,创建了絮凝集成化理论。

(2) 发明了产生系列高效絮凝技术。以高效絮凝理论为指导,发明了纯化  $Al_3$  分离的化学方法和高含量  $Al_3$  聚合铝的电化学制备技术,高稳定性、高效能聚合氯化铁合成的生产工艺技术,以及高效聚合铝硅复合絮凝剂制备技术。使絮凝剂在品质和作用效能上产生了质的飞跃。根据无机高分子絮凝剂的形态结构特性和凝聚絮凝机制,建立了 3 套高效絮凝集成化系统,在絮凝技术的系统化方面取得了突破。

(3) 实现高效絮凝技术的产业化。成功地将高效絮凝专利技术进行了产业化应用,建成了世界上第一个以生产  $Al_3$  为目标的年产 1 000 吨聚合氯化铝生产厂,第一个年产 3 000 吨的稳定化聚合氯化铁生产厂和年产 3 000 吨的高品质聚合铝硅生产厂;2 套絮凝集成化技术系统获得规模化生产应用。

两年来,生态环境研究中心在絮凝理论、技术和产业化方面取得了系统性重大进展,在国内外高水平学术期刊上发表论文数十篇;获发明专利 10 余项。建成高品质无机高分子絮凝剂生产厂 5 个,年产值达 2.2 亿元,实现年利润 0.41 亿元;应用集成化技术建成日产 5 万吨净水工程,年利润达 520 万元。这些成果推动了絮凝理论、技术和产业的发展,研究成果总体上达到国际领先水平。

## 辽西热河脊椎动物群综合研究

完成单位:古脊椎动物与古人类研究所

主要完成人:周忠和,徐星,王元青,王筱琳,

张福成,王元,胡耀明,张弥漫,金帆,

张江永

该课题组立足于我国冀北、辽西地区,在中生代热河生物群脊椎动物以及地层学研究等方面做出了一系列重要贡献。近两年,发表论文 36 篇,其

中 SCI 收录 27 篇,在 *Nature* 和 *Science* 上发表 9 篇(其中第一作者 8 篇),在国际地学以及生物学界引起了极大的反响。

### (1) 鸟类的起源和早期演化

鸟类起源的研究是近年来国际古生物学研究的一个热点问题。我国带毛恐龙的发现为鸟类的恐龙起源学说提供了迄今最为重要的证据。特别是近两年来,通过对一系列小型兽脚类恐龙的深入研究,不仅发现了恐龙中真正羽毛的存在,而且还从系统学研究的角度提供了进一步支持这一学说的最新证据。此外,在对具有典型恐龙特征的原始鸟类热河鸟研究的基础上,首次从鸟类学的角度为这一假说提供了重要的佐证。

我国早期鸟类演化的研究也取得了重要的突破,特别是在早期鸟类生活习性和食性分化的研究方面,首次揭示了中生代吃种子鸟类的出现,并发现和现代鸟类起源关系密切的今鸟类主要生活在水边,以鱼类为食。在对早期鸟类研究的基础上,提出了现代鸟类类群的分化至少不会早于早白垩世的见解。

### (2) 鸟类飞行和羽毛的起源

在鸟类飞行起源研究方面,国际学术界存在两种主要观点:一是在鸟类恐龙起源说前提下的地栖起源说;另一是鸟类非恐龙起源的树栖起源说,是否定鸟类恐龙起源的学说。该课题组通过对恐龙脚的功能形态学和生活习性的研究,不仅首次提供了树栖恐龙的化石证据,而且在鸟类起源于恐龙学说的基础上提出了支持鸟类飞行树栖起源学说的重要证据。

在羽毛起源研究方面,在对恐龙原始羽毛研究的基础上,首次提出了关于羽毛起源演化的四阶段假说,并且指出羽毛的最早出现和鸟类的飞行没有直接关系,从而对传统的羽毛的飞行起源假说提出了挑战。

### (3) 恐龙的演化

在探讨白垩纪重要恐龙类群的起源分化研究方面,发现切齿龙是植食性的窃蛋龙类,从而加深了我们对兽脚类恐龙习性分化的了解。对最为原始的新角龙类辽宁角龙的研究表明,许多新角龙类特征的演化呈现镶嵌分布的特点。

#### (4) 哺乳动物的早期演化

哺乳动物与爬行动物的关键区别是前者中耳有三块听小骨,而后者仅有一块;而这在化石上一直无法得以证实。通过对辽西爬兽等首次发现的骨化石的麦氏软骨的研究,直接从化石角度验证了这一至关重要的演化过程的存在。鉴于爬兽的脑颅不大,同时说明了早期哺乳动物脑颅的扩大(如侏罗纪的巨颅兽)与中耳的形成没有直接的因果关系,而可能与取食和听觉器官自身的演化有关。

#### (5) 热河群地层时代的研究

热河群的地层时代问题不仅关系到这一地区鸟类、带毛恐龙、原始哺乳动物的起源和系统发育的研究,而且对于解决我国陆相侏罗-白垩纪的界线这一重大地质学问题具有关键意义。近两年,他们在该地层的同位素年代测定和脊椎动物生物地层对比方面均取得显著进展。通过与国内外先进同位素实验室的多次合作,利用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等方法,获得了热河群义县组以及下伏土城子组的精确年代,从而确立了热河生物群的时代应属早白垩世。

此外,在对热河生物群各门类生物研究的基础上,他们还开始了对古地理、古生态的研究,基本否定了前人提出的热河生物群是中生代生物避难所的假说。他们发现,热河生物群尽管包含一些子遗分子,但却是许多重要生物门类的发祥地和辐射中心。

工和运营提供全面支持。目前,北麓河试验平台已基本完成,已开始正常的监测工作,并为青藏铁路设计提供了基础数据支持和科学依据。室内试验平台已开展大量实验研究工作;数据平台已启动,可为项目研究提供所需的部分地质基础数据、多年冻土数据、气候数据等;模型平台已完成通风管路结构设计模型;项目管理平台已开始试运行;多年冻土与青藏铁路工程间相互作用的长期监测网已基本形成,青藏铁路信息系统完成了项目系统设计、集成设计和数据库设计。

建成了青藏高原野外研究基地,为青藏铁路建设和未来运行提供了重要的试验示范场所。基地由生活科研区、气象-冻土综合观测场、试验路基等三部分组成。共布设变形和温度测试断面47个,布设测温探头7500多个,磁环沉降仪和冻胀板60个,路基变形点150个。目前,各项观测均已顺利开展,同时,路基新结构试验研究(抛、碎石护坡、通风管路基、保温材料路基)、桩基、涵洞试验研究、路基沉降、合理高度试验研究、路堑边坡稳定性研究、活动层过程试验研究等也已全面展开,已获得观测和试验数据300多万个。

从青藏高原历史气候变化的事实出发,紧密结合青藏铁路沿线气候变化仍然以自然变化为主的客观实际,大胆提出了青藏高原未来50年气温较上世纪90年代上升 $0.5^{\circ}\text{C}$ 左右,较1971—2000年30年平均值上升 $0.5^{\circ}\text{C}$ — $1.0^{\circ}\text{C}$ 的预测意见,这与IPCC第三次评估报告的结论不尽相同。

集40年冻土研究之积累,提出了“主动冷却路基”的思想。数值模拟结果显示,如果未来50年气温升高 $1^{\circ}\text{C}$ ,高温极不稳定型多年冻土(I区,地温为 $0^{\circ}\text{C}$ — $-0.5^{\circ}\text{C}$ )将会退化为季节冻土区(约9%),而如果气温升高 $2.6^{\circ}\text{C}$ ,则30年左右高温极不稳定型多年冻土区(I区)即可退化为季节冻土区(约27%)。冻土其它分区也将发生变化,II区(地温为 $-0.5^{\circ}\text{C}$ — $-1.0^{\circ}\text{C}$ )全部转为I区,甚至转为季节冻土,III区(地温为 $-1.0^{\circ}\text{C}$ — $-2.0^{\circ}\text{C}$ )中部分转为I区。因此,考虑升温因素,对于I区多年冻土,任何工程措施都不能从根本上保证多年冻土不退化;II区实际上也不能完全保证多年冻土不退化,采取措施仅为了延缓多年冻土变化;对于III区通过加强主动保护多年冻土的

### 青藏铁路工程与多年冻土相互作用 及其环境效应

完成单位:寒区旱区环境与工程研究所

主要完成人:程国栋,马巍,吴青柏,李述训,何平等

该项目设7个课题,30个专题,以全球气候变化背景下冻土的变化、工程作用下冻土的变化及两种因素叠加后冻土的变化和工程稳定性为前提,以主动冷却冻土路基为思路,结合冻土环境保护、含盐冻土的工程性质、列车动荷载、地震荷载、雷暴对铁路通讯信号系统的影响等问题开展研究。

初步实现了以青藏铁路工程与多年冻土相互作用及其环境效应项目构建“试验平台、数据平台、模型平台和管理平台”的构想,为青藏铁路设计、施

工程措施,可保证多年冻土变化情况下的路基稳定状态。针对上述情况,根据该所多年在青藏公路、青康公路、东北铁路冻土工程研究中的科学积累,并参考俄罗斯冻土铁路中成功与失败的经验教训,提出了在青藏铁路建设中对冻土应采取积极保护、“主动冷却路基”的思想,所有的冻土工程应以此为依据施行。这一思想已得到铁路部门认可。

基于主动、积极保护冻土的思想,针对设计和施工中的具体冻土工程问题,通过实验分析、理论模拟计算和野外试验,在实验和理论上取得重要进展,从而为青藏铁路建设的设计和施工提供了重要依据,积极配合了青藏铁路建设。给出了冻土路基合理高度,明确了保温材料的适用范围,确认了通风管路基在青藏铁路建设中的作用,验证了抛、碎石护坡的冻土工程效果,明确了遮阳棚的防护功效等。目前,在高含冰量路段均采纳了我们的建议,已在全线高含冰量路段广泛使用抛石、碎石对流换热结构(抛石、碎石通风)路基,抛石、碎石护坡路基,保温护道,多种措施联合等积极的方法,在高温极不稳定区的高含冰量路段,采用旱桥通过。

配合铁道部门编制了《青藏铁路多年冻土区工程勘察暂行规定》和《青藏铁路多年冻土区工程设计暂行规定》,均已全面应用于青藏铁路工程实践。同时,参编了中华人民共和国国家标准《冻土工程地质勘察规范》(GB50324-2001)。

## 旱涝气候灾害预测及跨季度预测理论和预报系统

完成单位:大气物理研究所

主要完成人:曾庆存,王会军,林朝晖,周广庆,张庆云,朱江,陆日宇,李建平,薛峰,陈红,郎咸梅,游小宝,卫捷

短期气候预测研究是当今国际前沿研究领域,同时具有重大的应用。该研究紧密结合国家需求,于 20 世纪 80 年代末在国际上率先开展了短期气候预测研究,并逐步建立了一系列短期气候预测新理论、新方法,在此基础上完成了具有国际领先水平的跨季度数值气候预测系统,在国家的防灾减灾

灾、经济和社会发展以及军事气象保障中起了重要作用。

针对我国防洪抗旱而发布汛期降水距平预测的需要,完成了新一代 IAP 跨季度数值气候预测系统的定型,该系统包括 IAP ENSO 预测系统、距平耦合技术系统、集合预测技术系统、误差订正系统、预测产品和分析系统五大部分,是世界上最先进完善的短期数值气候预测系统之一。作为其中的一个重要部分,IAP ENSO 预测系统是建立在一个复杂的耦合动力模式基础之上的,其对 ENSO 预测的总体性能处于国际前沿,此外,其中的一套行之有效的预测误差订正理论和方法也独具特色,显著提高了预测准确度。

该预测系统的预测结果每年均参加国家汛期旱涝预测以及年度气候变化预测会商,其预测技巧的稳定性和可靠性远高于国内同类预测水平。如该系统成功地预测出了 2002 年夏季我国华北、东北的干旱少雨,长江下游及江南大部地区的多雨也与实况十分接近;对 2002/2003 冬季和春季气候异常的跨年度预测表明,我国今年不会出现暖冬现象,明春我国西北、华北、东北降水正常,其它地区略多。值得指出的是,该预测结果还多次上报国家领导和有关部门供决策参考。同时,先后在包括总参气象中心和国家气候中心等 7 家单位推广应用,取得了良好的社会和经济效益。此外,亦为国际上一些研究和业务部门所采用,并且是东亚国家夏季降水预测的主要参考之一。

在气候预测的理论和方法方面,提出了适用于短期气候预测的集合预测理论和方法以及一套有效的预测误差订正理论和方法;指出“南极涛动”是除 ENSO 之外另一个影响东亚夏季风降水年际变化的强信号;指出同期和前期中高纬大气环流异常对我国夏季气候的重要影响,揭示了前期陆面初始状况(如积雪、土壤湿度异常)对短期气候预测的重要性等。同时,还研制了国内惟一可供业务使用的海洋资料同化系统。

该项目在国内外核心期刊发表论文 174 篇,其中 SCI 论文 18 篇。

(相关图片请见彩插三)