

科学基金资助下中国西部地表过程研究重要进展

冷疏影, 宋长青

(国家自然科学基金委员会地球科学部, 北京 100085)

摘 要:地球表层组成要素的演化过程及相互作用关系研究是当前国际学术界关注的前沿研究领域。中国西部地区既是开展地表过程研究的理想场所, 又处于经济欠发达地区, 稳定高端基础研究队伍对学科建设及区域可持续发展均至关重要。本文着重回顾分析了在国家自然科学基金资助下, 中国西部地表过程研究在干旱气候与环境变化、冰冻圈变化及其与其他圈层的相互作用、沙漠化及其防治、生态水文过程与生态恢复等方向基础研究队伍的稳定发展、领军人才的不断成长以及所取得的具有国内外重要影响的研究成果。

关 键 词:中国西部; 地表过程研究; 科学基金资助; 进展

地球表层的物质组成、迁移和转化具有明显的地域差异, 对地球表层水、土、气、生、人的演化过程与相互作用关系研究具有地域特色。中国西部地区以干旱、半干旱气候为特征, 分布着广袤的沙漠、高原、山地, 是开展地表过程研究的理想场所。但是, 中国西部地区又是人类生存环境相对恶劣、经济欠发达地区, 因此, 稳定高端基础研究队伍无论对学科建设还是区域可持续发展均至关重要。为此, 对西部地表过程基础研究给予持续稳定支持, 不断培养西部地表过程基础研究高端人才和研究队伍成为科学基金人才战略的重要组成部分。

中国西部地表过程研究主要包含以下几个方面: 干旱气候与环境变化, 冰冻圈变化及其与其他圈层相互作用, 风沙物理、风沙地貌与沙漠化, 生态水文过程与生态恢复等。开展上述研究的主体力量分布在兰州大学、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、中国科学院新疆生态与地理研究所、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所等单位。多年来在国家自然科学基金持续稳定资助下, 中国西部地表过程研究在上述几个方面基础研究队伍稳定发展, 领军人才不断成长, 取得了具有国内外重要影响的研究成果, 极大地提升了中国地表过程的研究水平。

1 科学基金对西部地表过程研究的资助概况

自 1987 年资助第一个面上项目以来, 截至

2009 年底, 科学基金共资助兰州大学干旱、半干旱区气候与环境变化研究方向项目 110 项, 经费 4530 余万元, 47 位项目负责人得到资助。其中, 青年基金 26 项, 经费 541 万元; 面上项目 46 项, 经费 1521.3 万元; 重点项目 6 项, 经费 746.5 万元; 重大研究计划项目 2 项, 经费 135 万元; 杰出青年基金 5 项, 经费 640 万元; 创新研究群体 1 项(2 期), 经费 840 万元; 国际合作 19 项, 经费 50.13 万元; 海外合作基金 1 项, 经费 40 万元; 主任基金 3 项, 经费 20 万元。

自 1986 年资助第一个面上项目以来, 截至 2009 年底, 科学基金共资助以中国西部冰冻圈研究为主的项目近 300 项, 经费 12000 余万元。全国共有 46 个依托单位近 200 位项目负责人得到资助。依托单位在西部地区的中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所等 17 个依托单位的 136 位负责人共获得近 200 项资助, 经费 8350 余万元。其中, 青年基金 56 项, 经费 1265.2 万元; 地区基金 6 项, 经费 112 万元; 面上项目 92 项, 经费 2173.4 万元; 重点项目 10 项, 经费 1358.5 万元; 重大研究计划项目 8 项, 经费 643 万元; 杰出青年基金 7 项, 经费 1140 万元; 创新研究群体 2 项(2 期), 经费 1250 万元; 国际合作 5 项, 经费 23.8 万元; 主任基金 5 项, 经费 37 万元; 专项基金 7 项, 经费 357 万元。

20 世纪 90 年代初—2009 年底, 科学基金共资助中国科学院寒区旱区环境与工程研究所关于风沙物理、风沙地貌、沙漠化及其防治等方面项目 80

收稿日期: 2010-08; 修订日期: 2010-10.

作者简介: 冷疏影(1965-), 女, 黑龙江人, 博士, 研究员, 主要从事国家自然科学基金地理学项目管理及土地科学研究工作。

E-mail: lengsy@nsfc.gov.cn

余项,经费3230余万元。共有57位项目负责人得到资助。其中青年基金33项,经费671.7万元;面上项目37项,经费1115.5万元;重点项目5项,经费830万元;重大研究计划项目1项,经费100万元;重大项目课题1项,经费80万元;杰出青年基金3项,经费500万元。在3位杰出青年基金获得者中,有2人由沙漠化及其防治研究逐渐转向侧重干旱区生态水文过程与生态恢复研究。

生态水文学是一门交叉性很强的新兴学科,从土壤—植物—大气系统SPAC、坡面尺度、流域尺度均可以进行研究。20多年来,中国生态水文学基础研究在科学基金资助下从无到有,逐渐发展壮大。2000—2009年底,科学基金累计资助生态水文学各类项目146项,资助金额约6700万元。全国有20余个依托单位的约80位项目负责人获得资助。其中获得资助项数排在前5位的单位中有4位分布在中国西部,分别是中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、中国科学院新疆生态与地理研究所、西北农林科技大学和中国科学院水利部水土保持研究所。上述4个单位获得的项目数和经费均接近生态水文学资助总量的65%。7位杰出青年基金获得者有6位依托上述4个单位。

2 西部地表过程研究队伍稳定发展,领军人才不断成长

自科学基金成立以来,中国西部地表过程基础研究队伍一直受到科学基金持续稳定资助,基础研究高端领军人才不断成长,形成研究方向明确、研究成果具有国内外广泛影响的几支重要力量。

2.1 干旱气候与环境变化研究领域杰出青年基金获得者不断涌现

干旱、半干旱区气候与环境变化研究是具有中国季风气候特色的环境变化研究的重要方面。兰州大学干旱、半干旱区气候与环境变化研究是在李吉均院士的带领下不断发展的(表1)。科学基金资助李吉均第一个面上项目是在1988年,并先后于1991、1993和1997年资助重点项目和面上

项目,潘宝田、陈发虎等均参加了李吉均1988年主持的面上项目。通过科学基金青年基金、面上项目的培养,几位青年学术骨干迅速成长,脱颖而出,先后有4人获得国家杰出青年基金资助(方小敏、冯兆东、陈发虎、潘宝田)。2004年以陈发虎为学术带头人的群体获得科学基金创新研究群体资助,2007年得到延续资助。该群体还主持多项科学基金重点项目和重大研究计划项目。方小敏调入中国科学院青藏高原研究所以后,依托该单位继续主持2项科学基金面上项目,1项重大国际合作项目及2010年创新研究群体项目。

在科学基金项目研究过程中,一批30~40岁的青年学术骨干逐渐加入研究团队,并开始独立主持青年基金和面上项目。其中,赵艳、勾晓华、张家武等均获得2项以上的科学基金项目资助。他们的研究方向更多的侧重从树轮、孢粉、介形虫等生物指标现代过程的研究反演古环境变化记录,逐渐实现了该群体研究方向的转变,即从第四纪黄土和湖泊环境记录研究,到环境变化与古气候模式研究,再到环境变化记录的现代过程研究。

2.2 冰冻圈科学在3位年轻院士带领下发展壮大

冰冻圈科学研究包含冰川、冻土、冰冻圈变化及其与其他圈层相互作用等几个主要方面。多年来,科学基金对以中国科学院寒区旱区环境与工程研究所为主体研究力量的冰冻圈科学研究给予长期支持,稳定了基础研究队伍,不断培育青年学术骨干和带头人。在冰冻圈科学不断发展的同时,主要学术带头人程国栋、秦大河、姚檀栋先后当选中国科学院院士,时年分别为50岁、56岁和53岁。

中国冰冻圈变化研究是在施雅风先生的率领和指导下开展起来的。冰冻圈变化研究包含冰冻圈形成与演化规律、年代学资料与古环境资料、冰期与间冰期序列、冰进成因等几个方面。1991年科学基金以重点项目形式资助施雅风开展了“青藏高原北部第四纪晚期自然环境演变研究”,2002年又以出版基金形式资助了《Glaciers and Their Environments in China》专著的编写和出版。上述2个项目为培育中国冰冻圈变化主要研究队伍,系统总结

表1 群体主要学术带头人依托兰州大学主持的科学基金项目(截至2009年)

Tab.1 The NSFC supported projects taken by the academic leaders in Lanzhou University (up to 2009)

负责人	面上项目数	青年基金项目数	重点项目数	面上项目经费/万元	青年基金经费/万元	重点项目经费/万元
李吉均	2		2	17		141.5
陈发虎	4	1		115	4.5	
潘宝田	4	1		87.3	4	
冯兆东	1		2	50		320
方小敏	1	1	1	18	8	120

中国第四纪冰冻圈变化成果发挥了重要作用。在中国第四纪冰川与环境变化研究中包含冰川地貌学和冰芯记录与寒区气候2支主要力量。他们的学术带头人北京大学崔之久和中国科学院寒区旱区环境与工程研究所姚檀栋(现在中国科学院青藏高原研究所工作)均是1991年施雅风主持的科学基金重点项目的参加者。

姚檀栋是1994年中国首批杰出青年基金获得者,此前曾于1989年获得科学基金面上项目资助,并于1991年作为骨干参加施雅风主持的重点项目,当时还是中国科学院寒区旱区环境与工程研究所(前身之一中国科学院冰川冻土研究所)的副研究员。姚檀栋依托中国科学院寒区旱区环境与工程研究所于1996和2001年分别获得面上项目“青藏高原冰芯中甲烷气体与全球变化研究”和重大研究计划项目“2000年来高分辨率气候环境记录研究”资助。2001年以姚檀栋为学术带头人,依托中国科学院寒区旱区环境与工程研究所申报的“冰芯与寒区环境”获得科学基金创新研究群体资助。2003年中国科学院成立青藏高原研究所,本部设在北京,并在拉萨和昆明设立分部,姚檀栋任所长。依托中国科学院青藏高原研究所,姚檀栋继续在科学基金资助下开展冰冻圈变化研究,更加侧重近现代冰冻圈变化与水文水资源方面。他先后主持科学基金面上项目、重大国际合作项目和重点项目(“东亚季风系统与降水中稳定同位素研究”,“青藏高原南部冰川与冰川补给湖泊变化的集成研究”,“中国河水与降水稳定同位素观测研究(CNIRP)”),推动了中国稳定同位素观测实验网络研究,于2007年当选为中国科学院院士。多年来,科学基金对姚檀栋研究团队主要成员王宁练、田立德、徐柏青、邬光剑等从青年基金、面上项目、重点项目也给予大力支持,该团队主要成员获得的科学基金资助经费总额超过2000万元。王宁练、田立德先后成为杰出青年基金获得者,徐柏青在PNAS发表封面文章,国内外影响正在扩大。

1989年国家南极考察委员会选派中国科学院兰州冰川冻土研究所(现中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的前身之一)副研究员秦大河,参加由中国、法国、美国、前苏联、英国、日本等6国6名队员组成的国际徒步横穿南极科学考察队,国家自然科学基金以委主任基金的形式资助秦大河8万元人民币开展横穿南极和冰川学研究(“国际横穿南极考察队冰川学研究”)。1992、1995和1998年秦

大河3次获得科学基金面上项目资助(“ITASE中国冰川学研究”,“乌鲁木齐河源1号冰川雪冰内环境气候记录形成过程研究”,“珠穆朗玛峰地区冰川物理特征及近期环境气候变化”),在冰川物理学、冰川与环境方面继续开展深入研究。秦大河于2003年当选为中国科学院院士。可以说在秦大河早期科研活动中,科学基金起到了非常重要的作用。在秦大河院士不断参与、积极倡导和不懈推动下,冰冻圈变化及其与其他圈层的相互作用研究正在成为冰冻圈科学研究的核心方向。科学基金顺应国际冰冻圈科学发展的趋势,从定位观测研究、空间遥感信息及数据同化研究、模型模拟研究等多方面从不同项目类型上给予资助,培育了杰出青年基金获得者李新,重点项目负责人丁永建、李忠勤、刘时银、赵林、叶柏生、康世昌等一批青年学术带头人。陈仁升、明镜、马丽娟、李慧玲等一批青年学术骨干正在成长(陈仁升“内陆河高寒山区多年冻土活动层产流机制观测试验研究”青年基金、“黑河寒区水文过程小流域综合观测与模拟”重大研究计划项目,明镜“纳木错地区积雪中所含杂质对积雪反照率影响的敏感性研究”青年基金,马丽娟“未来50年欧亚大陆积雪的预估研究”青年基金)。

自科学基金成立之初,中国冻土学研究的主要学术带头人程国栋、吴紫汪就得到基金的支持。(程国栋1986年“青藏高原原火山及邻近区地下冰成因组构及对环境的作用”,吴紫汪1987年“人工冻结地下工程中的冻土强度与蠕变研究”),程国栋于1993年当选为中国科学院院士。其后,他于1997和2002年两次主持科学基金重点项目,由关注和研究冰川、冻土问题,转为关注干旱区内陆河流域水资源形成、变化、利用与管理问题。多年来,科学基金对他所带领的冻土学研究团队给予了持续稳定地支持。科学基金自1999年起连续5年采用专项基金形式共投入350万元资助冰川学与冻土学学科建设。2005—2009年间,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所共获得关于冻土工程、冻土环境、冻土与气候变化等方面研究的面上项目和青年基金27项,经费821万元。冻土研究群体的主要青年学术带头人马巍、赖远明、吴青柏等均获得过科学基金青年基金或面上项目资助(表2),逐渐成长为杰出青年基金获得者(赖远明、吴青柏)和创新研究群体学术带头人(马巍)。青年学术骨干牛富俊在执行了青年基金和面上项目之后,2010年开始主持重点项目。

2.3 沙漠化研究青年学术带头人担当重任

沙漠化是干旱气候条件下地表过程的重要组成部分,包括风沙物理、风沙地貌、沙漠化及其防治等几个方面。科学基金对中国科学院寒区旱区环境与工程研究所风沙物理、风沙地貌、沙漠化及其防治研究进行了长期资助。其中沙漠化防治研究涉及干旱区生态水文学过程研究及生态恢复研究。在这一研究方向中产生了2名杰出青年基金获得者(冯起和李新荣)。相关研究队伍和资助情况参见本文的生态水文学部分。在此部分仅阐述科学基金对风沙物理、风沙地貌、沙漠化及其防治其他方面研究的资助。

科学基金对中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠化研究的资助始于20世纪90年代初。老一辈科学家董光荣在科学基金面上项目“巴丹吉林沙漠的形成、演变与季风进退变化”和重大项目课题“荒漠化过程的动力学机制”的支持下,主要从地貌学对沙漠形成和演化规律进行了研究。随着沙漠化研究的不断深入,不仅需要从沙漠发展形态和年代学方面阐述沙漠化发展规律,更需要从风沙运动和地表下垫面变化的角度阐述沙漠化发展的机制,试验和寻找防治沙漠化的途径。因此,年轻一代学术骨干在专业知识结构方面的优势越来越显现出来。在时间尺度上他们的研究更加侧重历史时期以及近现代沙漠化发生、发展规律研究,在形成机制及沙漠化发展过程上更加重视风洞实验和野外观测实验研究。目前国内沙漠化研究的领军人物均为近20余年内成长起来的青年科学家,包括王涛、董治宝、屈建军、邹学勇、刘连友、哈斯额尔敦、拓万全、王训明等。在这批青年科学家成长过程中,科学基金给予了持续稳定的支持。

侧重风沙物理学研究的董治宝于2000年获得青年基金项目资助(“近地表风沙与风速廓线的互馈机制”),于2002年36岁时获得杰出青年基金资助,2006年获得重点项目资助(“江河源区土地沙漠化过程及其与冰冻圈的互馈关系”)。董治宝具有良好的风沙物理学基础,因此更善于从动力机制上研究风沙地貌及沙漠化形成规律。2006年董治宝获得第九届中国青年科技奖,已成为国内最具影响力的风沙物理与风沙地貌学研究的青年科学家,目前担任中国科学院“沙漠与沙漠化重点实验室”常务副主任。他在国际该领域重要学术期刊(如《Journal of Geophysical Research》、《Geophysical Research Letters》、《Earth Surface Processes and

表2 冻土研究群体主要成员获得的科学基金项目资助
Tab.2 The NSFC supported projects taken by the members in the research group on the frozen soil

项目类别	项目 名称	资助金 额/万元	负责人
青年基金 面上项目	高围压下冻土强度及蠕变特性的研究	6	马巍
	深部冻土力学特性的研究	17	
	冻土环境对青藏铁路工程建设的影响及工程的环境效应	100	
	创新群体	500	
	冻土与寒区工程	23	
面上项目	杰青	100	赖远明
面上项目	西部寒区隧道工程的计算理论研究	100	
重点项目	冰雪、冻土学	180	吴青柏
青年基金	高温多年冻土区宽幅高等级公路热力学稳定性研究	7	
面上项目	青藏公路黑色沥青路面下水热运输预报模型研究	35	
面上项目	青藏高原多年冻土区天然气水合物的形成条件探讨	200	
青年基金	杰青	19	
面上项目	冰雪、冻土学	36	牛富俊
面上项目	青藏高原多年冻土区斜坡稳定性问题研究	185	
重点项目	多年冻土地区斜坡湿地与路基工程相互影响研究		
重点项目	气候变化及工程影响下青藏高原多年冻土区热融灾害评估预测研究		

Landforms》、《Geomorphology》、《Journal of Arid Environments》等)上发表了大量成果。

在该方向研究团队中,科学基金对1970年出生的王训明进行了持续资助(2003年青年基金“灌丛沙丘的发育过程及其在沙漠化过程中的指征意义”,2008年面上项目“风沙运动中颗粒碰撞和磨蚀等的间接粉尘释放量及其物质组成的半定量研究”,2010年面上项目“中国北方干旱、半干旱区灌丛沙丘所记录的风沙环境演化历史”)。在科学基金的持续资助下,王训明在国际该领域重要学术期刊(如《Global and Planetary Change》、《Geomorphology》、《Global Environmental Change》、《Human Ecology》、《Journal of Soil and Water Conservation》、《Journal of Geophysical Research》、《Geophysical Research Letters》等)以第一作者和通讯作者发表论文20余篇,部分成果在2008年获得甘肃省自然科学二等奖(第一完成人)。

在该方向研究团队中,科学基金还资助了一批刚刚从事科学研究的青年学者,如刘小平(2003年青年基金“风沙两相流湍流边界层动力学数值模拟”)、姚正毅(2004年面上项目“化学固沙固结层的抗风蚀能力和力学性质关系研究”)、吕萍(2008年面上项目“隐蔽式格状沙障作用机理研究”)、钱广强(2008年青年基金“回涡沙丘形成与发育的动力过程”)和罗万银(2009年青年基金“灌丛绕流结构及其在灌丛沙丘形成与发育中的意义”)。科学基金持续稳定支持该团队的目的是促进研究成果更

加深入和系统,保持该团队的研究特色和优势。

侧重风沙地貌学研究的屈建军于1994年获得青年基金资助(“中国沙漠鸣沙发声的环境条件及形成机理”),并先后于1999和2006年2次获得面上项目资助(“库姆塔格沙漠羽毛状沙丘形成发育过程研究”、“罗布泊地区雅丹地貌形成发育过程研究”),2009年获得重点项目资助(“青藏铁路沙害形成机理及防治对策研究”)。他的专长在于从风沙地貌类型的实际出发,对中国西部典型风沙地貌类型进行了长期深入的研究,并取得了大量具有说服力的研究成果。他创建的“敦煌戈壁荒漠研究站”于2009年10月18日在敦煌开工建设。这是西北地区首个戈壁荒漠生态与环境研究站,他担任首任站长。科学基金对该方向青年学者也给予了资助,如俎瑞平(2005年青年基金“青藏高原沙漠化与多年冻土冻融过程相互作用机理”)、张克存(2007年青年基金“高原低气压风沙运动特征与青藏铁路路基沙害形成机理”)。

侧重沙漠化及其防治研究的青年学术带头人拓万全也多次受到科学基金青年基金和面上项目资助(表3)。1969年出生的拓万全于2010年成为国家重点基础研究发展计划(973计划)首席科学家。

2.4 生态水文学研究队伍在干旱、半干旱区蓬勃发展

生态水文学尽管有20余年的发展史,但在近10年科学基金加强资助以后才得到迅猛发展。最初,中国关于生态水文学的研究基本处于概念和理论的引进和探讨阶段。2001年科学基金“中国西部环境和生态”重大研究计划(简称“西部计划”)的实施推进了生态水文学系统、多尺度的观测实验和研究,促进了具有中国特色的生态水文学发展,即主要集中在干旱、半干旱区等缺水地区。科学基金资助的生态水文学研究的重点项目、重大研究计划项目、杰出青年基金和青年基金项目几乎均在2000年以后,面上项目77%为2000年以后资助。逐渐形成了以中国科学院寒区旱区环境与工程研究所(李新荣、冯起、赵文智、肖洪浪)、中国科学院新疆生态与地理研究所(李彦、陈亚宁、赵成义、陈曦)、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所(王根绪)等为代表的干旱、半干旱区生态水文学研究团队(表4)。除了对上述单位进行重点项目、重大研究计划项目

和杰出青年基金资助外,科学基金还通过面上项目和青年基金的资助不断培育研究梯队。上述3个单位获得的面上项目和青年基金数量占生态水文研究资助总量比例分别为47.1%和63.3%,资助经费所占的比例分别为50.6%和66.4%。

3 西部地表过程研究紧密围绕学科发展前沿,取得重要科学认识和研究进展

通过科学基金持续稳定的支持,中国西部地表过程研究不仅人才队伍稳定发展,青年学术骨干和领军人才不断成长,而且紧密围绕学科发展前沿,取得了大量科研成果。在干旱气候与环境变化,冰冻圈变化及其与其他圈层相互作用,风沙物理、风沙地貌与沙漠化,生态水文过程与生态恢复等方面加深了对西部地表过程的认识,取得了重要科学进展,同时努力服务于区域可持续发展和国家重大发展战略,起到了科技支撑作用。

3.1 发现干旱区全新世气候环境变化的区域差异,开始加强孢粉、树轮等古环境代用指标的现代过程研究

区域气候环境变化过程、影响和机制是过去全球环境变化研究的重要内容。在李吉均院士的总

表3 拓万全获得的科学基金资助项目

Tab.3 The projects granted to Ta Wanquan by the NSFC

项目类型	项目名称	资助金额 /万元	项目起止日期
青年基金	重点沙尘源区沙尘释放率的对比研究	28	2003.01—2005.12
面上项目	风沙对黄河内蒙古河道粗泥沙淤积的影响研究	36	2005.01—2007.12
面上项目	退化绿洲与沙漠之间粉尘内循环过程研究	45	2010.01—2012.12

表4 科学基金资助西部依托单位主要学术骨干开展生态水文学研究的项目(截至2009年)

Tab.4 The eco-hydrological projects granted to the key research members from western China by the NSFC (up to 2009)

依托单位	项目负责人	资助 总项数	资助金额 /万元
中国科学院寒区旱区环境与工程研究所	李新荣(杰青、重点、重大研究计划项目等)	5	566
	冯起(杰青、重点项目等)	3	274
	赵文智(重点项目等)	3	244
	肖洪浪(重大研究计划项目等)	2	301
	李彦(杰青等)	4	268
中国科学院新疆生态与地理研究所	陈亚宁(重大研究计划项目等)	7	235.6
	赵成义(重点项目等)	6	267.1
	陈曦(重点项目等)	4	238
中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所	王根绪(杰青、重点项目等)	5	459

体指导下,在科学基金青年基金、面上项目、重点项目、重大研究计划项目、杰出青年基金、创新研究群体、国际合作等各种类型项目资助下,以陈发虎为青年学术带头人的兰州大学干旱、半干旱区晚第四纪气候与环境变化研究团队,利用黄土高原西部地区高分辨率的黄土记录、西北季风边缘区的湖泊记录和树轮记录优势,开展末次冰期旋回气候快速变化研究、全新世不同尺度的气候、环境和水文变化研究,认识季风区和西风区的气候环境变化差异,在气候变化的区域响应方面取得较大进展。发现末次冰期冬、夏季风均具有类似于格陵兰冰芯记录的气候不稳定性特征,而末次间冰期季风气候相对稳定;发现季风边缘区全新世气候存在显著的千-百年尺度的气候环境变化,表现为干旱事件,一些小湖泊干涸;西风环流显著影响区早全新世干旱,中全新世至晚全新世早期气候湿润,提出存在气候变化的“西风模式”的可能,而季风边缘不同区域全新世气候和植被变化具有复杂性。

这项研究持续近20年,在SCI刊物发表论文105篇,参与编辑第四纪进展(《Developments in Quaternary Science》, Vol.19, Elsevier 出版公司)1部。主要论文发表在国际重要地学刊物如《Quaternary Science Reviews》、《Quaternary Research》、《Journal of Geophysical Research》、《The Holocene》、《Earth Science Reviews》、《Global and Planetary Change》、《Quaternary International》、《Catena》、《Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology》、《Journal of Paleolimnology》,以及《Science》、《科学通报》、《中国科学》等综合刊物。论文被SCI刊物引用超过1000次,单篇论文最高被SCI刊物引用101次(陈发虎1997年发表在《Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology》)。研究成果在国际上产生了较大影响,国际第四纪联合会(INQUA)成立了“亚洲中部全新世气候快速变化”(RACHAD)工作组,陈发虎担任工作组主席。作为自然科学奖的重要组成部分,该项成果获2007年度国家自然科学奖二等奖(题目:中国西北季风边缘区晚第四纪气候变化研究;获奖人:陈发虎、李吉均、方小敏、张虎才、潘保田)。部分成果获2009年度甘肃省自然科学一等奖(题目:西北干旱半干旱区全新世植被与气候变化;获奖人:赵艳、安成邦、靳立亚、张家武、陈发虎)。团队成员赵艳等发表在《Global and Planetary Change》(2008年,62卷,1-2期)上关于孢粉指标现代过程的论文被Nature Chi-

na网站作为2008年的亮点文章推介。研究团队指导的博士生张平中在《Science》上发表的气候变化论文,在国际上迅速产生较大影响。

科学基金的持续资助,不仅使兰州大学干旱、半干旱区晚第四纪气候与环境变化研究团队的学术影响日益增强,同时使得该团队的研究方向从最初的第四纪黄土和湖泊环境记录研究,发展到环境变化与古气候模式研究,再到目前的环境变化记录的现代过程研究。这一转变体现了古环境研究的学科前沿,为古环境研究和现代地表过程研究建立了紧密联系,同时也为该群体后续发展,努力保持在该领域的学术地位提供了基础。

3.2 引领冰冻圈科学研究前沿,服务中国西部重大工程和生态建设

长期以来,中国冰冻圈科学研究紧密结合国际学科发展动态和中国西部资源环境实际,学科体系建设取得了显著成效,在第四纪冰川与环境变化、冰冻圈与其他圈层相互作用以及冻土与寒区工程方面形成了老、中、青相结合的研究队伍,取得了国内外瞩目的研究成果。

在施雅风院士组织下,中国第四纪冰川与环境变化研究队伍系统总结了几十年来、尤其是近10年来中国第四纪冰川与环境变化研究的成果,2002和2006年先后出版了《Glaciers and Their Environments in China》及《中国第四纪冰川与环境变化》等专著,相关研究成果获得2008年国家自然科学二等奖。在姚檀栋院士带领下,冰芯与寒区环境研究群体在青藏高原不同区域钻取了一系列冰芯,对青藏高原不同区域在过去2000年以来的气候环境变化过程获得了突破性的认识。冰芯记录显示近2000年来的气候变化特征是温度在波动中逐渐升高,20世纪是近2000年来最为温暖的时期;青藏高原南北气候变化的差异,在10年时间尺度上高原南北暖季气温出现反向变化趋势,冰芯所揭示的冰川积累量变化也表现出南北相反的趋势;从喜马拉雅中段钻取的达索普冰芯揭示了过去400年来的积累变化过程,在百年尺度上发现有4次气候突变,而且降水变化与气温变化存在着反相关趋势;20世纪上半叶,是冰川前进期或由前进期转为后退的时期。20世纪90年代以来,冰川退缩强于20世纪的任何一个时期,出现全面退缩和加速退缩的特征;首次从南极与北极之外的中低纬度地区获取了过去2000年以来大气甲烷浓度的变化序列。达索普冰芯甲烷浓度显示,工业革命前的平均浓度为

782 ppb, 1850 年以来由于人类活动导致大气甲烷含量出现急剧的上升,在过去 150 年内增长了 1000 ppb;对影响冰芯记录的现代过程研究也取得了突出的成果。特别是印度季风与西风带对青藏高原降水及冰芯记录影响的时空变化研究,发现南部冰芯中稳定同位素指示温度信号,而南部季风区冰芯中同位素记录反映“季风信号”。同时,发现冰芯中微生物含量的变化与冰川沉积的环境有关,气候变冷含量增加。上述这些新认识对于了解过去气候环境变化的大背景以及预测未来气候环境变化都提供了重要的基础。

相关研究结果在该领域国际重要刊物《Global Geobiochemistry Cycle》、《Journal of Geophysical Research》、《Arctic, Antarctic, and Alpine Research》、《Geophysical Research Letters》等上发表。在科学基金创新研究群体项目实施过程中凝练出的新研究方向与学科生长点,不断得到科学基金青年基金和面上项目资助,且已取得创新性研究成果,如冰芯微生物和黑碳记录等方面的研究成果在 PNAS、《FEMS Microbiol Ecol》及《Environmental Pollution》上发表,在国际学术界起到了引领作用;在水中稳定同位素现代过程研究方面也形成以我为主的国际合作局面。青藏高原冰芯与寒区气候研究成果得到了国际广泛关注。2003 年 11 月 17 日《自然》(Nature)文章“The long-range forecast”关注研究团队在青藏高原地区气候变化与冰川变化的研究,引用姚檀栋等的结果支持他的研究结论。2008 年 7 月 24 日,《自然》(Nature)第 454 期以“世界第三极”的标题(The Third Pole)大幅报道了该研究团队在青藏高原气候与环境研究的最新进展。这充分说明了中国青藏高原研究受到世界高度关注,也说明了该创新团队的研究能力及在国际科学研究中的地位得到快速提高。从最初只有 1 个科研领军人物带领研究生进行拼搏的

研究队伍,发展到今天由中科院院士、“国家杰出青年基金”获得者、“百人计划”为主体的强势团队,在国际学术界具有举足轻重的地位。

科学基金对冻土学基础研究的长期稳定支持,使得中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土研究团队稳定发展,不断壮大。从 20 世纪 80 年代末只有 1~2 个学术骨干的研究队伍,逐步发展到目前以程国栋院士为顾问,以马巍(创新群体负责人)、赖远明(杰出青年基金获得者)和吴青柏(杰出青年基金获得者)为学术带头人,以牛富俊(青年基金、面上项目、重点项目负责人)和赵淑萍(青年基金、面上项目负责人)等为青年学术骨干的创新研究群体。在青藏铁路等重大工程的促进下,在研究群体学术氛围影响下,一批有志于从事普通冻土学、工程冻土学、冻土与寒区环境研究的青年研究人员不断融入基础研究的队伍中,科学基金青年基金对此给予了大力支持(表 5)。该研究群体凭借长期的冻土学基础研究积累以及在国家相关部门支持下针对工程建设开展的有针对性研究,在青藏铁路和公路建设过程中发挥了重要科技支撑作用,获得一系列个人和集体奖项。

冰冻圈研究由过去单要素自身机理和过程研究正在向冰冻圈科学体系化方向迈进,其研究的内容不但包括冰冻圈各要素(冰川、冰盖、冻土、海冰、积雪等)本身的变化过程与机制,而且研究冰冻圈各要素与气候、水、生态和地表过程之间的互馈关

表 5 2005—2009 年中国科学院寒区旱区环境与工程研究所获得的冻土学青年基金项目
Tab.5 The projects of NSFC for the Youth implemented by the Cold and Arid Regions
Environmental and Engineering Research Institute, CAS, during 2005—2009

项目名称	资助金额 /万元	起止年月	负责人
冻土渐进破坏过程的理论研究	27	2006.01—2008.12	赵淑萍
多年冻土区块碎石类路基气块耦合传热模型研究	30	2007.01—2009.12	张明义
青藏高原多年冻土区高寒草甸覆盖变化对水文循环影响的实验研究	20	2008.01—2010.12	李元寿
马衔山岛状多年冻土退化机理的监测和模拟研究	20	2008.01—2010.12	谢昌卫
气候变化条件下青藏铁路冻土路基稳定性概率预报	20	2008.01—2010.12	杨成松
兴安岭型冻土与沼泽湿地生态系统的共生关系及退化机制研究	20	2008.01—2010.12	于少鹏
青藏高原多年冻土活动层冻融作用下碳氮迁移机理研究	20	2008.01—2010.12	赵拥华
青藏高原冻土活动层的主/被动微波遥感数据同化研究	19	2008.01—2010.12	晋锐
多年冻土区石油污染物迁移机理试验研究	23	2009.01—2011.12	李国玉
青藏高原多年冻土区热喀斯特过程研究:以北麓河盆地热喀斯特湖为例	26	2009.01—2011.12	孙志忠
基于水土势动态监测的正冻土中水分迁移机理研究	25	2009.01—2011.12	温智
压缩荷载做功导致的冻土温度变化及其对冻土强度和变形的影响	23	2009.01—2011.12	张淑娟
冻融循环对黄土状盐渍土强度影响的机理研究	26	2010.01—2012.12	郇慧
青藏高原多年冻土区高寒草地植物候对气候变暖的响应研究	22	2010.01—2012.12	陈生云
青藏高原南北界多年冻土对气候变化的响应研究	29	2010.01—2012.12	吴通华
中俄输油管道沿线冻土区泄漏油污的生物清除研究	26	2010.01—2012.12	杨思忠

系。在秦大河院士的积极倡导和推动下,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室正在引领着中国冰冻圈科学研究的新方向,在国家相关部门的支持下有计划地推动着冰冻圈与水、冰冻圈与生态、冰冻圈与气候及冰冻圈与社会经济可持续发展的研究。其中科学基金项目的资助起到了举足轻重的作用,许多前瞻性、探索性、基础性的项目源自于青年基金、面上项目甚至重点项目的支持。2008年在修订国家自然科学基金申请代码体系过程中,地球科学部一处已经将原代码体系中的“冰川、冻土学”修订为“冰冻圈科学”,以更好地引领和促进冰冻圈科学综合研究。10多年来,科学基金顺应冰冻圈科学发展趋势,一方面加强基于定位观测的冰川、冻土、积雪的变化过程和变化机理研究,同时也关注和支持基于空间遥感信息及数据同化的冰川、冻土、积雪模型模拟研究,充分利用国家冰冻圈野外观测平台和基础性工作所获取的新资料、新发现,鼓励不断凝练和提出新的科学问题和研究思路。在典型流域冰川融雪径流及多年冻土活动层产流的观测试验研究,典型山地冰川动力学模型研究,冰川、积雪、冻土遥感监测及特征参数反演研究等方面资助的项目取得了大量第一手资料,提出了可信的研究结果,提升了研究水平,加深了对冰冻圈变化过程、机理及其与其他圈层之间相互作用的理解。2005和2007年国家重点基础研究发展计划(973计划)分别资助了以姚檀栋和秦大河为首席科学家的冰冻圈研究项目,2010年科技部启动的全球变化研究国家重大科学研究计划首批项目首席科学家中有两人为杰出青年基金获得者(王宁练和马耀明)。这些重大项目的立项基础均与科学基金的研究积累有密切关系。最近由中国科学家主导的IGBP核心研究计划IGBP-Cryosphere(冰冻圈计划)已经进入最后审议阶段,而在前期的评审中能够打动国际专家的核心科学内容——冰冻圈与生态、水和可持续发展方面的研究基础主要来源于中国科学家依靠科学基金获得的研究积累和科学认识。可以肯定地说,科学基金在中国冰冻圈科学体系建设中的基础作用不可替代。

3.3 加强基础性和前沿性研究,不断提高中国沙漠化研究的理论水平

科学基金对中国科学院寒区旱区环境与工程研究所风沙物理、风沙地貌、沙漠化及其防治研究的持续稳定支持,使得以董治宝、屈建军、拓万全、

王训明等为代表的青年学术带头人脱颖而出。目前中科院寒旱所在沙漠化方面的整体研究实力居国内首位,统领着国内该领域研究,先后以第一主持单位和项目首席科学家组织了3项相关方向的国家重点基础研究发展计划(973计划)项目。

中国以往的沙漠研究主要集中在防沙治沙的应用研究方面,与国际上的研究相比,在理论上阐述不够。20世纪90年代以来,特别是近10年来,在国家杰出青年基金及一批青年基金、面上项目资助下,在风沙物理学、风沙地貌学及防沙措施的力学解释等基础性和前沿性方面均取得明显进展。针对风沙运动学与大气边界层交叉的风沙边界层开展研究,理论研究逐渐加强。通过引进高速数字摄影系统、激光粒度分析仪,自行研制风速廓线仪,将表面划痕技术与原理应用于地表磨蚀研究等多种途径,加强风洞实验和野外观测研究的高技术含量,不断提高实验模拟及计算结果的精度。这被认为是该领域最先进、最可靠的测量结果。在风沙颗粒运动学,风沙颗粒起动风速的计算方法,风沙颗粒空中碰撞的概率模型,固定沙质床面、戈壁风蚀面及直立植被覆盖地表等典型床面的空气动力学粗糙度等方面取得了创新性研究结果,在《Geomorphology》、《Earth Surface Processes and Landforms》、《Geophysical Research Letters》、《Journal of Geophysical Research》等期刊上发表,受到广泛关注。其中他们提出的“风沙颗粒气动起动学说”被国内外同行认为具有潜在的理论价值,动摇了目前建立在冲击启动学说基础上的若干理论模型;对固定沙质床面空气动力学粗糙度阈值的研究结果被国际同行认为是对Bagnold的 $1/30$ 经典定律的必要修正;发现高能沙粒冲击土壤表面引起的脆性破裂和地表团聚体的冲击分离是土壤表面风蚀过程的首要环节,指出目前基于水溶态土壤粒度分析的地表沙尘形成释放阈值模拟过程的局限性,有望对地表沙尘释放模拟过程中的地表粒谱分析重新进行修正。在风沙地貌动力学的实验和野外研究方面。对二维横向沙丘、灌丛沙丘以及垭涡沙丘的次生流场开展了模拟试验研究,为中国风沙地貌研究从定性描述向动力学定量模拟研究提供了重要科学积累,其中关于灌丛沙丘流场特征的研究被国内外同行认为是目前最完整的研究成果;基于野外观测研究,对塔克拉玛干沙漠、库姆塔格沙漠以及巴丹吉林沙漠中的特色沙丘的形成过程提出了新见解。其中在对不同尺度序级床面形态的空间斑图分析

基础上得到的“风是塑造巴丹吉林沙漠高大沙山的动力”的结论,为证明世界上最高大的沙山仍然是由风力塑造,而并非受下伏地形的控制提供了有力的证据,得到国际学术界的认可。在防沙措施作用原理的力学解释方面,应用粒子图像测速系统、高速数字摄影系统等先进的研究手段测量了固沙草方格、阻沙栅栏等常用防沙措施的气流场特征,分析了其作用的力学机理,改变了中国防沙研究中只注重应用,但原理阐释不清的局面。

有关沙漠化的基础研究是国内地表过程研究不可缺少的最具代表性的研究方向之一。科学基金的大力支持不仅为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所开展沙漠化研究培育了人才队伍,同时也带动了国内相关单位沙漠化研究的开展。从中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的前身之一(中国科学院沙漠研究所)走出的青年学者邹学勇、刘连友、哈斯额尔敦现已成为北京师范大学沙漠化研究方向的主要学术带头人。在科学基金重点项目、面上项目、青年基金项目资助下,在继承中国科学院寒区旱区环境与工程研究所风沙物理、风沙地貌、沙漠化及其防治研究成果的基础上,北京师范大学沙漠化研究更加注重土壤风蚀与沙漠化研究相结合,形成了一支具有实力、稳定发展、独具特色的研究队伍。

3.4 关注新的学科生长点,促进中国干旱、半干旱区生态水文学发展

科学基金对生态水文学的系统资助是从2001年启动的“中国西部环境和生态”重大研究计划开始的。在该研究计划2004年中期评估以后,针对研究计划顶层设计不足,研究项目涉及领域过宽的现象,基金委地学部地理学科精心设计讨论主题,仔细选择与会专家,相继组织召开了“流域生态—水文过程观测与研究”学术研讨会(2005)和“双清论坛”(2008)。2005年12月15—16日的学术研讨会与会海外代表4人,国内30余人,主要围绕下列议题展开讨论:①流域生态—水文过程研究观测体系与具体内容设计(地域、尺度、设施、共享……),②流域生态—水文过程观测已有资料的整合与开发,③流域水—生态—经济/社会耦合系统变化过程中的重要科学问题,④流域水—生态—经济/社会耦合系统集成研究的理论、方法与模型,⑤中国开展流域生态—水文过程观测与研究的基础、现状、优势及面临的挑战,⑥未来5~10年中国在流域科学研

究有望取得突破并站在国际前沿的重要地域、关键科学问题、研究方案及能力建设问题。2008年的“双清论坛”召集了国内10余家单位50位专家参加。上述研讨会凝聚了国内外相关领域研究队伍,更好地凝练了干旱区内陆河流域生态—水文过程研究的思路 and 主要科学问题,探索了更加合理、有效的项目资助方式及组织形式,推动了中国干旱、半干旱区生态水文学发展。在基金委的引导下,在国内外本领域专家的不断讨论、凝练的基础上,2007年基金委西部计划启动了针对黑河流域生态—水文过程研究的集成项目,2009年“黑河流域生态—水文过程集成研究”重大研究计划正式启动,2010年发布申请指南并开始受理项目。目前第一批项目已获准资助,从2011年开始启动研究。在重大研究计划实施的同时,科学基金面上、青年、地区、重点、杰青、国际合作等项目类型中关于生态水文学研究的申请和资助情况也发生了很大变化。截至2009年底,科学基金累计资助西部依托单位开展生态水文学研究各类项目100余项,资助金额4830余万元,分别占生态水文学资助项数和经费的68.5%和72.3%。

科学基金对生态水文学资助的特点是鼓励和支持地学和生物学学科交叉,支持具有重要特色、前沿和重要基础科学问题的研究。最重要的是资助了基于典型区域生态水文学基本平台的基础研究(例如在中科院沙坡头站、阜康站、策勒站、临泽站和阿拉善站建立的干旱区生态水文长期定位观测样地上的基金项目研究),从观测、实验、模拟、模型等方面都取得了显著进展,形成了相对稳定的研究团队,使从点、面到局地、局域等多尺度上的“联网研究”变为现实。

在科学基金的不断推动下,中国干旱、半干旱区生态水文学研究在干旱沙区水循环的植被调控机理、荒漠河岸林植物对环境胁迫的响应与适应、高寒冻土地区水热循环的植被作用机制、植物水分利用效率及其对水分胁迫的适应机制、流域尺度生态水循环研究、干旱荒漠区高效生态产业建设与绿洲生态安全等方面取得重要进展。这些创新研究成果已发表在水文学、生态学、环境学领域国际主流刊物(如《Plant and Soil》、《Plant, Cell and Environment》、《Conservation Biology》、《Hydrogeology Journal》、《Hydrological Processes》等),受到了国内外学术界的广泛关注。上述研究成果不仅具有重要科学意义,同时也为中国干旱区生态恢复和生态

建设提供了有力的科技支撑,获得多项国家科技进步二等奖。其中“植物水分利用效率及其对水分胁迫的适应机制”研究成果主要是在基金的资助下取得的,其中包括了来自地学和生命科学2个学部的资助,显示了生态水文学交叉学科的本质属性。尤其是地学部资助的非共识项目“干旱区植物根—土与叶—气界面水分传输协调性的实验研究”(李彦40471048),是在申请人最困难的时候雪中送炭,所起的作用远远超过了项目本身。该项目负责人其后获得国家杰出青年基金资助。他指导的学生许皓所完成的研究成果在《Plant and Soil》上发表。在发表该成果时,该杂志配发了封面照片,并在卷首配发了专题评论,高度评价并向读者推荐此项研究:“这种综合研究的一个很好例子是许和李(2006)对荒漠植物适应对策与用水策略的研究,他们综合运用了生理生态和形态学的方法……;这些结论为生态系统过程的模型建立者、政策制定者、土地管理者提供了重要的信息。”

到目前为止,科学基金是中国生态水文学基础研究的主要和稳定支持来源,其他方面(如国家重点基础研究发展计划(973计划)、国家重大专项和科技支撑项目等)尚无专门的项目支持。但是在自然基金的研究过程中凝练出的一些更深层次的问题也转化到973项目及中科院重要方向性项目的研究中。2010年,中国科学院新疆生态与地理研

究所陈亚宁作为首席科学家(第一主持单位)承担了国家重点基础研究发展计划(973计划)项目“气候变化对西北干旱区水循环影响机理与水资源安全研究”。该项目是在科学基金面上项目“干旱区内陆河流域水文过程对全球气候变化的响应”(2007—2009)研究的基础上,对一些关键科学问题继续研究与攻关。中科院重要方向性项目课题“西北干旱区内陆河流域生态需水模型研究”则是科学基金重大研究计划项目“塔里木河下游生态安全与生态需水量研究”(2006—2009)的后续滚动支持。

总之,通过科学基金20多年的持续支持,中国西部地区地表过程基础研究队伍得以稳定,研究能力不断增强,高端领军人才不断涌现,国际和地区影响日益扩大。他们在深入研究和解决地表过程核心科学问题的同时,努力服务于国家需求,为区域可持续发展正在作出重要贡献。

致谢:本文在搜集资料过程中得到中国科学院青藏高原研究所姚檀栋院士、田立德研究员,兰州大学陈发虎教授,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所董治宝研究员、李新荣研究员,中国科学院新疆生态与地理研究所李彦研究员、陈亚宁研究员,中国科学院成都山地灾害与环境研究所王根绪研究员的帮助,特此致谢!

Progress in the researches on the Earth Surface process in West China under the supports by National Natural Science Foundation of China

LENG Shuying, SONG Changqing

(Department of Earth Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)

Abstract: Studies on the evolutionary process and the inter-relations of the earth surface elements are a front field in the world. West China is an ideal area for conducting researches on the earth surface processes. This paper reviews the progresses in researches on the earth surface process in West China and the growth of the relevant research groups under the supports by National Natural Science Foundation of China.

Keywords: West China; researches on the Earth Surface processes; supported by National Natural Science Foundation; progress

本文引用格式:

冷疏影, 宋长青. 科学基金资助下中国西部地表过程研究重要进展. 地理科学进展, 2010, 29(11): 1283-1292.