



双清论坛操作手册

(2020 年版)

政策局

2020 年 3 月

目 录

国家自然科学基金委员会双清论坛管理办法.....	1
国家自然科学基金委员会会议费管理办法（试行）	7
中央和国家机关会议费管理办法.....	14
双清论坛操作流程与要求	26
一、会前 1-2 个月：确定论坛执行主席、组建学术秘书组、遴选会议代表、发布会议预通知.....	26
二、会前 2 周：确定与会专家名单、初步拟定论坛议程安排、发送正式邀请函	29
三、会前 1 周：完成论坛筹备、报送会议预算	29
四、会议期间：建议召开筹备会、落实论坛相关要求	30
五、会后：完成会议成果文件、做好论坛成果传播	31
六、会后：尽快完成财务结算.....	32
七、双清论坛组织举办的相关要求.....	32
双清论坛成果格式要求.....	34
（一）会议纪要提纲及要求	34
（二）学术综述提纲及要求	34
附件：双清论坛相关参考材料	36
附件一：预通知和正式通知样稿.....	37

1、预通知	38
2、正式通知	45
附件二：会议手册模板	48
（一）设分会场的会议日程模板	49
（二）不设分会场的会议日程模板	61
附件三：会议纪要和学术综述样稿	72
1、双清论坛会议纪要样稿（一）	73
2、双清论坛会议纪要样稿（二）	82
3、学术综述样稿（一）（刊载《中国科学基金》）	93
4、学术综述样稿（二）（刊载《学科政策动态》）	119
附件四：新闻稿样稿	141
第 248 期双清论坛“复合材料构件制造关键基础科学问题” 在京召开	141
附件五：财务报销材料样稿	143
1、发票（请填写单位名称和纳税人识别号）	143
2、会议支出详细清单	144
3、政府采购电子结算单	147
附件六：简报样稿	148

国家自然科学基金委员会双清论坛管理办法

（2008年11月4日国家自然科学基金委员会委务会议通过；
2020年1月20日国家自然科学基金委员会委务会议修订通过）

第一条 为了规范和加强国家自然科学基金委员会（以下简称自然科学基金委）双清论坛的管理，制定本办法。

第二条 双清论坛是指自然科学基金委立足国家自然科学基金资助工作，推动学科发展战略研究，促进学科交叉与融合，完善科学基金发展规划和管理运行机制，提高科学基金卓越管理水平而设立的战略性学术研讨会议。

第三条 双清论坛深入贯彻落实科学基金深化改革的重大决策部署，贯彻“鼓励探索、突出原创，聚焦前沿、独辟蹊径，需求牵引、突破瓶颈，共性导向、交叉融通”的新时代科学基金资助导向，主要研讨面向世界科学前沿和面向国家重大需求的前瞻性、综合性和交叉性科学问题，以及科学基金资助管理的重大政策问题，为构建理念先进、制度规范、公正高效的新时代科学基金体系服务。

第四条 双清论坛应当贯彻百花齐放、百家争鸣的方针，坚持学术民主和严谨求实的原则，激发和保护创新思想，营造宽松和谐的学术交流氛围。

第五条 政策局归口管理双清论坛的组织和管理工作，主要职责包括：

- （一）编制双清论坛年度计划；
- （二）编制和执行双清论坛预算；
- （三）受理议题申请与组织审议；
- （四）协调双清论坛筹备的相关事项；
- （五）汇集和发布双清论坛研讨成果；
- （六）负责年度管理工作总结。

第六条 自然科学基金委各部门可以根据工作需要申请举办双清论坛。提出论坛议题申请并获得批准的部门为双清论坛主办部门，主要职责包括：

- （一）按照批准的计划组织实施双清论坛；
- （二）确定执行主席，遴选参会代表，组建学术秘书组；
- （三）确定双清论坛的日程安排；
- （四）组织撰写双清论坛会议纪要、学术综述或者战略研究报告；
- （五）负责双清论坛研讨成果的宣传和运用。

根据工作需要，主办部门可以委托有关单位作为双清论坛承办部门，协助开展论坛筹备和组织实施工作。

第七条 政策局应当于每年年底前发布下一年度申请举办双清论坛的通知。

第八条 申请举办部门应当按照通知要求在规定的时

内向政策局提交双清论坛申请书。

申请举办部门在提交双清论坛申请书前应当充分听取有关专家的意见。申请主题涉及到自然科学基金委相关部门的，应当做好有关部门的协调工作。

第九条 政策局负责收集双清论坛申请，并提议召开主任（秘书长）办公会议，将本年度双清论坛管理工作总结和下一年度的申请议题提请会议审议。

申请举办部门应当到会对下一年度申请议题的必要性等进行报告。本年度的主办部门还应当总结汇报该年度双清论坛取得的成效。

第十条 政策局根据主任（秘书长）办公会议决议制定双清论坛年度计划并在委内发布。

对于未列入双清论坛年度计划，但是因国家社会、经济和科技发展需要，或者因科学基金资助管理工作需要，并且符合双清论坛定位和要求的主题，经分管政策局委领导批准后可以及时举办双清论坛。

第十一条 主办部门应当认真执行双清论坛年度计划，需要调整举办时间的，应当及时同政策局协商。主办部门不得随意调整已获批的双清论坛主题。确需调整或者因故取消的，主办部门应当向政策局提交书面说明，由政策局报分管委领导审批。

第十二条 双清论坛实行执行主席负责制，主办部门应

当邀请不超过 3 名学术水平高、战略意识强和组织经验丰富的科学家或者管理专家担任执行主席。

执行主席的职责包括：

- （一）审核双清论坛议题建议；
- （二）审核双清论坛专家名单及主题报告、专题报告人选建议；
- （三）主持双清论坛；
- （四）指导学术秘书组工作。

第十三条 双清论坛设立学术秘书组。组长由主办部门工作人员担任，成员包括相关科学家、主办部门和政策局工作人员。

学术秘书组的职责包括：

- （一）向执行主席提出双清论坛代表及主题报告、专题报告人选建议；
- （二）征集专家报告和论文摘要；
- （三）编辑双清论坛会议手册；
- （四）撰写双清论坛纪要、学术综述或者战略研究报告。

第十四条 主办部门应当在考虑主题所涉及的研究领域和研究机构的多样性与平衡的基础上，结合学科交叉研究需求和管理工作需要，邀请相关领域具有较高学术造诣的科学家、具有丰富科研管理经验的管理专家作为双清论坛代表。双清论坛代表总数一般不超过 50 人。

主办部门应当根据工作需要通知自然科学基金委相关部门工作人员出席会议。

第十五条 主办部门应当在双清论坛召开 30 日前，将执行主席、学术秘书组、双清论坛代表和工作人员名单、召开双清论坛的通知送政策局审核。

主办部门应当强化责任意识，做好联系论坛执行主席和学术秘书组等相关准备工作，确保论坛研讨效果。

第十六条 双清论坛以主题报告、专题报告和自由讨论为基本形式，讨论时间原则上不少于报告时间。

双清论坛的主题报告或者专题报告主要包括议题的战略意义、发展状况、拟关注和解决的关键科学问题及政策建议等内容。

第十七条 学术秘书组在双清论坛结束后应当及时形成双清论坛纪要。双清论坛纪要应当包括研讨的主要问题、双清论坛代表的主要观点及政策建议等内容。主办部门应当于双清论坛结束后 20 日内将正式的双清论坛纪要送政策局。

第十八条 学术秘书组应当及时形成学术综述或者战略研究报告。学术综述或者战略研究报告应当征求执行主席意见，必要时还可以通过各种途径征求双清论坛代表的意见。

学术综述应当全面、客观地反映双清论坛代表的学术观点；战略研究报告应当包括研讨主题的战略意义、国内外研究状况、优先发展领域及保障措施等内容。主办部门应当于

双清论坛结束后 30 日内形成学术综述或者战略研究报告，提交政策局备案。

第十九条 主办部门和政策局应当积极宣传双清论坛，及时发表论坛成果，扩大双清论坛影响。双清论坛承办部门的宣传材料应当经主办部门和政策局审核同意后发布。

对于双清论坛中提出的有关科学基金工作或者国家科学技术发展的重要政策建议，主办部门应当会同政策局及时报送有关领导和部门。

第二十条 双清论坛经费纳入自然科学基金委项目组织实施费预算管理，由政策局按照有关规定和程序编报，经费支出按照《国家自然科学基金委员会会议费管理办法（试行）》执行。

第二十一条 本办法自印发之日起施行。2009 年 1 月 1 日起施行的《国家自然科学基金委员会双清论坛管理办法》同时废止。

国家自然科学基金委员会会议费管理办法（试行）

（2017年4月11日委务会议审议通过）

第一章 总则

第一条 为进一步加强和规范国家自然科学基金委员会（简称“自然科学基金委”）会议费管理，精简会议，改进会风，提高会议效率和质量，节约会议经费开支，提高经费的使用效率，根据《中共中央办公厅、国务院办公厅关于进一步完善中央财政科研项目资金管理等政策的若干意见》（中办发〔2016〕50号）精神，结合自然科学基金委工作实际，参照《中央和国家机关会议费管理办法》（财行〔2016〕214号）制定本办法。

第二条 本办法适用于自然科学基金委举办（含主办、承办）的各类会议，包括业务会议和政务会议。

业务会议是指按照《国家自然科学基金条例》和各类项目管理规定的规定，在基金项目组织规划、申请、评审、监督与管理等业务工作中召开的各种会议。包括项目评审会议、中期检查会议、结题审查会议、咨询会议、监督审计会议、交流研讨会议、管理与培训会议等。

政务会议是指以内部行政和管理工作为主要内容的会议。包括党组会议、全体委员会议、委务会议、委主任办公会议以

及其他与行政管理相关的会议。

第三条 各部门召开会议应坚持厉行节约、反对浪费、规范简朴、务实高效的原则，严格控制会议数量、规模和会期，规范会议费管理。

第四条 各部门召开的会议实行计划管理。会议计划管理按《国家自然科学基金委员会会议管理办法》（国科金发办〔2012〕85号）的有关规定执行。

第五条 各部门召开的会议实行严格的预算管理。会议预算应据实编报，一经核定，执行中原则上不得突破。

第二章 会议费的审批和管理

第六条 各部门举办会议应预先编制会议费预算。会议费预算包括会议名称、主要内容、时间地点、代表人数、工作人员人数、会议举办部门、所需经费等。会议费预算应于会议召开前5个工作日内交财务局审核。

第七条 各部门应当严格控制会议规模。业务会议会期和参会人数按照业务活动实际需要确定；政务会议会期一般不得超过2天。工作人员控制在会议代表人数的10%以内，会议报到和离开时间合计不得超过1天。

第八条 各部门召开会议应当改进会议形式，充分运用电视电话、网络视频等现代信息技术手段，降低会议成本，提高会议效率。

第九条 各部门会议原则上应当到定点会议场所召开，按照协议价格结算费用。未纳入定点范围，价格低于会议综合定额标准的单位内部会议室、礼堂、宾馆、招待所、培训中心，可优先作为本单位或本系统会议场所。

第十条 无外地代表且会议规模能够在委内会议室安排的会议，原则上在委内会议室召开。参会人员以在京单位为主（超过50%为在京单位人员）的会议原则上不得到京外召开。不得到党中央、国务院明令禁止的风景区召开会议。

第三章 会议费开支范围、标准和报销支付

第十一条 会议费开支范围包括会议住宿费、伙食费、会议场地租金、交通费、文件资料印刷费、办公文具、医药费等。

前款所称交通费是指用于会议代表接送站，以及会议统一组织的代表考察、调研等发生的交通支出。

第十二条 会议费开支实行综合定额控制，各项费用之间可以调剂使用。会议费综合定额标准如下：

单位：元/人·天

会议类别	住宿费	伙食费	其他费用	合 计
业务会议	340	130	230	700
政务会议	340	130	80	550

（一）综合定额标准是会议费开支的上限。各部门应根据工作需要，从严控制会议支出，在综合定额标准以内结算报销，

超支部分不予报销。

（二）综合定额里的其他费用包括会议场地租金、交通费、文件资料印刷费、办公文具、医药费等。

（三）不安排住宿的会议，综合定额按照扣除住宿费后的定额标准执行，住宿费不能调剂使用；不安排就餐的会议，综合定额按照扣除伙食费后的定额标准执行，伙食费不能调剂使用。

第十三条 下列费用纳入会议费预算，但不计入会议费综合控制定额，在相应的支出科目中据实列支。

（一）会议代表城市间交通费。会议代表参加会议发生的城市间交通费，原则上由所在单位报销。因工作需要，对聘请专家的城市间交通费，可按照国家差旅费管理规定，由会议据实报销。

（二）参会专家人员费用。根据工作需要和国家有关规定，向邀请参会专家发放评审费、咨询费、讲课费等劳务费用。

（三）设备租赁费用。根据工作需要，租赁会议相关设备，如电脑、投影仪等发生的费用。

第十四条 会议费支出由会议主办部门主要负责人审签后，办理报销手续。

各部门应在会议结束后 15 个工作日内办理报销手续。报销时应当提供经审批的会议费预算表、会议费结算表、会议通知（含会议议程）、实际参会人员签到表及会议服务单位提供的费

用发票、原始明细单据、电子结算单等凭证。

第十五条 会议费报销应按会议费预算执行。如业务会议实际支出超出预算，须在会议费结算表的特殊事项中予以说明，经所在部门主要负责人审批同意后方可报销。必要时，应报部门分管委领导审批。

第十六条 除符合现金支付规定的情形外，会议费支出应以银行转账或公务卡方式结算，禁止以现金方式结算。

第四章 监督与问责

第十七条 会议费管理按照分工负责的原则，实行各司其职、各负其责、相互监督制约的管理制度。

会议主办部门应加强会议费管理，严格遵守会议费管理制度和有关财经法律法规，依法、据实报销会议费，并对会议费使用的合规性、合理性、真实性和相关性负责。

会议承办部门应确保会议费各项开支符合会议费管理制度和有关财经法律法规的要求，并努力提高服务水平，保障会议顺利召开。

财务部门应严格按照规定审核会议预算，依法依规办理会议费的会计核算，加强财务管理和监督。

纪检监察部门和审计部门应加强对会议费使用的管理和监督，对违规违纪行为按有关规定处理。

第十八条 严禁各部门借会议名义组织会餐或安排宴请；严

禁套取会议费设立“小金库”；严禁在会议费中列支公务接待费。

第十九条 各部门应严格执行会议用房标准，不得安排高档套房；会议用餐严格控制菜品种类、数量和份量，安排自助餐，严禁提供高档菜肴，不安排宴请，不上烟酒；会议会场一律不摆花草，不制作背景板，不提供水果。

不得使用会议费购置电脑、复印机、打印机、传真机等固定资产以及开支与本次会议无关的其他费用；不得组织会议代表旅游和与会议无关的参观；严禁组织高消费娱乐、健身活动；严禁以任何名义发放纪念品；不得额外配发洗漱用品。

第二十条 会议费的公示和信息公开工作，按照国家和自然科学基金委相关规定执行。

第二十一条 各部门应当加强对本部门会议举办活动和经费报销的内控管理，对违反会议费管理制度的人员进行严肃处理，自觉接受有关部门对会议举办活动及相关经费支出的监督检查。

第二十二条 纪检监察、审计、财务等部门对各部门会议费管理和使用情况进行监督检查。主要包括：

- （一）会议计划的编报、审批是否符合规定；
- （二）会议费开支范围和开支标准是否符合规定；
- （三）会议费报销和支付是否符合规定；
- （四）会议会期、规模是否符合规定，会议是否在规定的地点和场所召开；

（五）是否向其他企事业单位或地方转嫁、摊派会议费；

（六）会议费管理和使用的其他情况。

第二十三条 违反本办法规定，有下列行为之一的，依法依规追究会议举办部门和相关人员的责任：

（一）计划外召开会议；

（二）以虚报、冒领手段骗取会议费的；

（三）虚报会议人数、天数等进行报销的；

（四）违规扩大会议费开支范围，擅自提高会议费开支标准的；

（五）违规报销与会议无关费用的；

（六）其他违反本办法行为的。

有前款所列行为之一的，由纪检监察、审计、财务等部门责令改正，追回资金，并经报批后予以通报。对直接负责的主管人员和相关负责人，按规定给予行政处分。如行为涉嫌违法的，移交司法机关处理。

第五章 附则

第二十四条 本办法由财务局负责解释。

第二十五条 本办法自发布之日起实施。

中央和国家机关会议费管理办法

第一章 总则

第一条 为进一步加强和规范中央和国家机关会议费管理，精简会议，改进会风，提高会议效率和质量，节约会议经费开支，制定本办法。

第二条 中央和国家机关会议的分类、审批和会议费管理等，适用本办法。

本办法所称中央和国家机关，是指党中央各部门，国务院各部委、各直属机构，全国人大常委会办公厅，全国政协办公厅，最高人民法院，最高人民检察院，各人民团体、各民主党派中央和全国工商联（以下简称各单位）。

第三条 各单位召开会议应当坚持厉行节约、反对浪费、规范简朴、务实高效的原则，严格控制会议数量和规模，规范会议费管理。

第四条 各单位召开的会议实行分类管理、分级审批。

第五条 各单位应当严格会议费预算管理，控制会议费预算规模。会议费预算应当细化到具体会议项目，执行中不得突破。会议费应当纳入部门预算，并单独列示。

第二章 会议分类和审批

第六条 中央和国家机关会议分类如下：

一类会议。是以党中央和国务院名义召开的，要求省、自治区、直辖市、计划单列市或中央部门负责同志参加的会议。

二类会议。是党中央和国务院各部委、各直属机构，最高人民法院，最高人民检察院，各人民团体召开的，要求省、自治区、直辖市、计划单列市有关厅（局）或本系统、直属机构负责同志参加的会议。

三类会议。是党中央和国务院各部委、各直属机构，最高人民法院，最高人民检察院，各人民团体及其所属内设机构召开的，要求省、自治区、直辖市、计划单列市有关厅（局）或本系统机构有关人员参加的会议。

四类会议。是指除上述一、二、三类会议以外的其他业务性会议，包括小型研讨会、座谈会、评审会等。

第七条 中央和国家机关会议按以下程序和要求进行审批：

一类会议。应当由主办单位报经党中央和国务院批准。会议总务、经费预算及费用结算等工作分别由中共中央直属机关事务管理局（以下简称中直管理局）和国家机关事务管理局（以下简称国管局）负责。

二类会议。党中央和国务院各部委、各直属机构，各人民团体应当于每年 12 月底前，将下一年度会议计划（包括会议名称、召开的理由、主要内容、时间地点、代表人数、工作人员数、所需经费及列支渠道等）送财政部审核会签，按程序经中央办公厅、国务院办公厅审核后报批。各单位召开二类会议原则上每年不超过 1 次。

三类会议。各单位应当建立会议计划编报和审批制度，年度会议计划（包括会议数量、会议名称、召开的理由、主要内容、时间地点、代表人数、工作人员数、所需经费及列支渠道等）经单位领导办公会或党组（党委）会审批后执行。

四类会议。由单位分管领导审核后列入单位年度会议计划。

年度会议计划一经批准，原则上不得调整。对党中央、国务院交办等确需临时增加的会议，按规定程序报批。

第八条 一类会议会期按照批准文件，根据工作需要从严控制；二、三、四类会议会期均不得超过 2 天；传达、布置类会议会期不得超过 1 天。

会议报到和离开时间，一、二、三类会议合计不得超过 2 天，四类会议合计不得超过 1 天。

第九条 各单位应当严格控制会议规模。

一类会议参会人员按照批准文件，根据会议性质和主要内容确定，严格限定会议代表和工作人员数量。

二类会议参会人员不得超过 300 人，其中，工作人员控制在会议代表人数的 15%以内；不请省、自治区、直辖市和中央部门主要负责同志、分管负责同志出席。

三类会议参会人员不得超过 150 人，其中，工作人员控制在会议代表人数的 10%以内。

四类会议参会人员视内容而定，一般不得超过 50 人。

第十条 全国人大常委会办公厅、全国政协办公厅、各民主党派中央和全国工商联的会议分类、审批事项、会期及参会人员等，由上述部门依据法律法规、章程规定，参照第六条至第九条作出规定，并报财政部备案。

第十一条 各单位召开会议应当改进会议形式，充分运用电视电话、网络视频等现代信息技术手段，降低会议成本，提高会议效率。

传达、布置类会议优先采取电视电话、网络视频会议方式召开。电视电话、网络视频会议的主会场和分会场应当控制规模，节约费用支出。

第十二条 不能够采用电视电话、网络视频召开的会议实行定点管理。各单位会议应当到定点会议场所召开，按照协议价格结算费用。未纳入定点范围，价格低于会议综合定额标准的单位内部会议室、礼堂、宾馆、招待所、培训中心，可优先作为本单位或本系统会议场所。

无外地代表且会议规模能够在单位内部会议室安排的会议，原则上在单位内部会议室召开，不安排住宿。

第十三条 参会人员以在京单位为主的会议不得到京外召开。各单位不得到党中央、国务院明令禁止的风景区召开会议。

第三章 会议费开支范围、标准和报销支付

第十四条 会议费开支范围包括会议住宿费、伙食费、会议场地租金、交通费、文件印刷费、医药费等。

前款所称交通费是指用于会议代表接送站，以及会议统一组织的代表考察、调研等发生的交通支出。

会议代表参加会议发生的城市间交通费，按照差旅费管理办法的规定回单位报销。

第十五条 会议费开支实行综合定额控制，各项费用之间可以调剂使用。

会议费综合定额标准如下：

单位：元／人天

会议类别	住宿费	伙食费	其他费用	合 计
一类会议	500	150	110	760
二类会议	400	150	100	650
三、四类会议	340	130	80	550

综合定额标准是会议费开支的上限。各单位应在综合定额标准以内结算报销。

第十六条 一类会议费在部门预算专项经费中列支，二、三、四类会议费原则上在部门预算公用经费中列支。

会议费由会议召开单位承担，不得向参会人员收取，不得以任何方式向下属机构、企事业单位、地方转嫁或摊派。

第十七条 各单位在会议结束后应当及时办理报销手续。会议费报销时应当提供会议审批文件、会议通知及实际参会人员签到表、定点会议场所等会议服务单位提供的费用原始明细单据、电子结算单等凭证。财务部门要严格按照规定审核会议费开支，对未列入年度会议计划，以及超范围、超标准开支的经费不予报销。

第十八条 各单位会议费支付，应当严格按照国库集中支付制度和公务卡管理制度的有关规定执行，以银行转账或公务卡方式结算，禁止以现金方式结算。

具备条件的，会议费应当由单位财务部门直接结算。

第四章 会议费公示和年度报告制度

第十九条 各单位应当将非涉密会议的名称、主要内容、参会人数、经费开支等情况在单位内部公示或提供查询，具备条件的应当向社会公开。

第二十条 一级预算单位应当于每年3月底前，将本级和下属预算单位上年度会议计划和执行情况（包括会议名称、主要内容、时间地点、代表人数、工作人员数、经费开支及列支渠道等）汇总后报财政部。党中央各部门同时抄送中直管理局，国务院各部门同时抄送国管局。

第二十一条 财政部对各单位报送的会议年度报告进行汇总分析，针对执行中存在的问题，及时完善相关制度。

第五章 管理职责

第二十二条 财政部的主要职责是：

（一）会同国管局、中直管理局等部门制定或修订中央本级会议费管理办法，并对执行情况进行监督检查；

（二）按规定对各单位报送的二类会议计划进行审核会签；

（三）对会议费支付结算实施动态监控；

（四）对各单位报送的会议年度报告进行汇总分析，提出加强管理的措施。

第二十三条 国管局的主要职责是：

（一）配合财政部制定或修订中央和国家机关会议费管理办法；

（二）负责国务院召开的一类会议的总务工作；

（三）配合财政部对国务院各部委、各直属机构会议费执行情况进行监督检查。

第二十四条 中直管理局的主要职责是：

（一）配合财政部制定或修订中央和国家机关会议费管理办法；

（二）负责党中央召开的一类会议的总务工作；

（三）配合财政部对中央各部门会议费执行情况进行监督检查。

第二十五条 各单位的主要职责是：

（一）负责制定本单位会议费管理的实施细则；

（二）负责单位年度会议计划编制和三类、四类会议的审批管理；

（三）负责安排会议预算并按规定管理、使用会议费，做好相应的财务管理和会计核算工作，对内部会议费报销进行审核把关，确保票据来源合法，内容真实、完整、合规；

（四）按规定报送会议年度报告，加强对本单位会议费使用的内控管理。

第六章 监督检查和责任追究

第二十六条 财政部、国管局、中直管理局会同有关部门对各单位会议费管理和使用情况进行监督检查。主要内容包括：

（一）会议计划的编报、审批是否符合规定；

（二）会议费开支范围和开支标准是否符合规定；

（三）会议费报销和支付是否符合规定；

（四）会议会期、规模是否符合规定，会议是否在规定的地点和场所召开；

（五）是否向下属机构、企事业单位或地方转嫁、摊派会议费；

（六）会议费管理和使用的其他情况。

第二十七条 严禁各单位借会议名义组织会餐或安排宴请；严禁套取会议费设立“小金库”；严禁在会议费中列支公务接待费。

各单位应严格执行会议用房标准，不得安排高档套房；会议用餐严格控制菜品种类、数量和份量，安排自助餐，严禁提供高档菜肴，不安排宴请，不上烟酒；会议会场一律不摆花草，不制作背景板，不提供水果。

不得使用会议费购置电脑、复印机、打印机、传真机等固定资产以及开支与本次会议无关的其他费用；不得组织会议代表旅游和与会议无关的参观；严禁组织高消费娱乐、健身活动；严禁以任何名义发放纪念品；不得额外配发洗漱用品。

第二十八条 违反本办法规定，有下列行为之一的，依法依规追究会议举办单位和相关人员的责任：

（一）计划外召开会议；

（二）以虚报、冒领手段骗取会议费的；

（三）虚报会议人数、天数等进行报销的；

（四）违规扩大会议费开支范围，擅自提高会议费开支标准的；

（五）违规报销与会议无关费用的；

（六）其他违反本办法行为的。

有前款所列行为之一的，由财政部会同有关部门责令改正，追回资金，并经报批后予以通报。对直接负责的主管人员和相关负责人，报请其所在单位按规定给予行政处分。如行为涉嫌违法的，移交司法机关处理。

定点会议场所或单位内部宾馆、招待所、培训中心有关工作人员违反规定的，按照财政部定点会议场所管理的有关规定处理。

第七章 附则

第二十九条 各单位应当按照本办法规定，结合本单位业务特点和工作需要，制定会议费管理具体规定。

第三十条 党中央、国务院直属事业单位的会议费管理参照本办法执行。中央和国家机关各部门所属事业单位的会议费管理由各部门依据从严从紧原则参照本办法作出具体规定。

第三十一条 本办法由财政部负责解释，自 2016 年 7 月 1 日起施行。《中央和国家机关会议费管理办法》（财行〔2013〕286 号）同时废止。

双清论坛操作流程与要求

根据国家自然科学基金委员会双清论坛管理办法（2020年1月20日委务会议修订通过）及我委相关会议费管理规定，为更好地组织实施双清论坛年度计划，政策局编制了双清论坛操作流程与要求，供各部门在组织筹备双清论坛时参考。

双清论坛年度计划经主任办公会议批准后，各论坛主办部门应当强化责任意识，主动与相关参与部门和政策局沟通，确保将论坛组织管理工作要求落到实处，按照要求完成年度论坛计划，实现论坛预期成效。双清论坛组织过程中的主要进程节点和注意事项如下。

一、会前1-2个月：确定论坛执行主席、组建学术秘书组、遴选会议代表、发布会议预通知

（一）论坛组织筹备。

主办部门、相关参与部门和政策局积极沟通，就论坛时间、论坛举办地点、论坛执行主席人选、学术秘书组成员等事项达成初步意向，在此基础上确定论坛正式代表名单，并发布预通知（见附件一）。论坛预通知由主办部门和政策局协商草拟，内容包括：论坛主题和议题、对参会专家代表的要求和期望、以及会议初步安排。

1.确定论坛执行主席。双清论坛实行执行主席负责制，确定执行主席是双清论坛组织过程中最重要的环节之一。主

办部门会同相关参与部门邀请不超 3 名学术水平高、战略意识强、组织经验丰富的科学家或管理专家担任执行主席。执行主席的职责包括：（1）审核双清论坛议题建议；（2）审核双清论坛代表名单及主题报告、专题报告人选建议；（3）主持双清论坛（会议主持人原则上由大会主席轮流担任）；（4）指导学术秘书组工作。

2.组建学术秘书组。学术秘书组组长由主办部门工作人员担任，成员包括科学家代表、相关参与部门代表和政策局代表。其中，科学家代表应能覆盖论坛主题相关的各研究领域。学术秘书组的职责包括：（1）向执行主席提出双清论坛代表人选及专题报告、专题报告人选建议；（2）征集专家报告和论文摘要；（3）编辑双清论坛会议手册；（4）撰写双清论坛纪要、学术综述或战略研究报告。

3.遴选专家代表。双清论坛正式参会代表总数一般不超过 50 人。主办部门、学术秘书组和论坛执行主席应当在考虑主题所涉及的研究领域和研究机构的多样性与平衡的基础上，结合学科交叉研究需求和管理工作需要，邀请相关领域具有较高学术造诣的科学家或具有丰富科研管理经验的管理专家，并要求参会代表提供发言摘要，作报告的专家应按照相关要求提前准备好 PPT。

（二）论坛会务筹备。

在京外召开的双清论坛，主办部门可以委托有关单位作为双清论坛承办部门，协助开展论坛筹备和组织实施工作。在确定承办部门之后，应将承办部门的会务负责人的联系方

式及时告知政策局。政策局将与对方就会议预算、结算要求、会务要求及论坛筹备等事宜进行沟通说明。

在京内召开的双清论坛，主办部门将论坛举办日期和举办地点基本确定后，及时联系告知政策局。政策局将与我委机关服务中心就预定会议地点、会议预算、会务要求等事宜进行沟通，做好相关会务筹备工作。

根据《中央和国家机关会议费管理办法》中央和我委会会议费管理要求，论坛时间、举办地点和参会人数有明确限定：

1、会议时间不超过 3 天（其中，会期不得超过 2 天，报到和离会合计不得超过 1 天）；

2、论坛举办地点原则上必须选在四星及四星以下的政府采购定点单位。若个别论坛在选择举办地点时，因客观情况确实不能满足政采要求的，遇不符主办部门应在确定会议地点前向政策局书面报告缘由，由政策局报财务局审批同意后方可执行；

3.参会代表人数视论坛内容而定，总人数一般不得超过 50 人。各部门应严格限定委外专家代表人数，根据工作需要通知自然科学基金委相关部门工作人员出席会议。

另外，依据中央关于精简会议活动的要求，一般不邀请当地政府参加开幕式；会场一般不摆放花草，不设布景墙；不得安排宴请、参观游览等。

二、会前 2 周：确定与会专家名单、初步拟定论坛议程安排、发送正式邀请函

主办部门应在论坛正式召开 2 周前，协商相关参与部门和政策局确定参会专家名单和论坛正式举办时间和地点。主办部门根据初步确定的会议议程安排，拟定正式邀请函报政策局统一审核后发文（函号由政策局提供，政策局和主办部门盖章，见附件一）。

审核作报告专家的 PPT：主办部门根据专家摘要和 PPT 核校是否符合论坛要求，并就有关情况与专家及时沟通。

政策局根据专家名单、论坛日程安排，做好会议预算和会务安排。

三、会前 1 周：完成论坛筹备、报送会议预算

根据论坛日程安排，主办部门和政策局共同编制会议手册，要确保在论坛召开前 1 周定稿会议手册（详见附件二），政策局负责印制会议手册和专家代表证。

（一）关于开幕式。开幕式安排应考虑会议连续性，一般为 30 分钟左右。

（二）关于主题报告和专题报告。双清论坛主题报告、专题报告主要包括报告议题的战略意义、发展状况、关键科学问题等内容。主题报告应起到引导性和概述性作用。围绕论坛主题和议题安排，建议每个议题可以安排 1 个主题报告，但应根据论坛议题和会期安排，合理确定主题报告总数。

根据论坛议题安排相关专题报告，应控制专题报告数

量，确保论坛的整体讨论时间不少于报告时间。

（三）关于讨论形式。目前论坛一般采用三种讨论形式：一是每个报告结束后，预留有 5-10 分钟的提问和讨论时间，主要为活跃气氛，引发思考。二是在一个阶段的报告结束后，集中进行提问和研讨，目的是激发思想碰撞，形成有价值的学术思想和科学问题。三是大会集中研讨，主要围绕秘书组针对主题报告、专题报告和发言凝练和概述的研究方向及关键科学问题进行集中讨论。

（四）预算编制及申请。政策局根据参会代表名单和人数规模制定预算，编制《会议预算表》，由政策局负责人审批后，递交机关财务处审批。机关服务中心根据该预算落实会务筹备和安排等事项。

四、会议期间：建议召开筹备会、落实论坛相关要求

（一）建议召开筹备会。建议会前一天下午或晚上召集论坛主席、组委会成员、秘书组成员等召开筹备会。在会上主办部门负责人再次将筹办当期论坛的目的、会中要求和会后要形成的文件（会议纪要、学术综述或战略研究报告）告知论坛执行主席和学术秘书组。论坛执行主席简要介绍会议筹备情况及对论坛进程控制的预期，并就如何实现论坛目的、形成会议文件对学术秘书组成员进行任务分工。筹备会议可以就实际参会和日程安排情况，对部分环节进行调整。

（二）关于会议代表替换。如果受邀会议代表不能参会，代替其参加论坛的人员应征求主办部门和论坛执行主席同

意。我们建议，如果原受邀会议代表没有做报告的安排，原则上不再邀请其提出的其他替代人选；如果替代的人员所做报告不是原受邀代表的想法和观点，一般建议取消其报告安排，将相应的报告时间调整为讨论时间。

（三）密切与论坛执行主席沟通。在论坛召开期间，论坛执行主席应密切沟通，引导专家报告和发言围绕论坛的设计目标；学术秘书组应及时与执行主席进行沟通，力求将专家报告和发言中的好观点、好想法吸收到会议总结，凝练出关键的科学问题供大会集中研讨。

五、会后：完成会议成果文件、做好论坛成果传播

论坛主办部门应向政策局提交双清论坛会议纪要（详见附件三）、学术综述或战略研究报告（详见附件四）。根据 2020 年最新印发的《双清论坛管理办法》要求，双清论坛会议纪要应全面、客观地反映双清论坛代表的学术观点，应当于论坛结束后 20 日内提交政策局（模板见附件三）。学术综述或战略研究报告应体现研讨主题的战略意义、国内外研究现状、本次论坛凝练的科学问题，建议优先发展领域及保障措施内容，应当于论坛结束后 30 日内提交政策局（模板见附件四）。

各主办部门要充分发挥论坛主席和学术秘书组的作用，引导专家提出创新观点，凝练关键科学问题。主办部门和负责宣传的部门要重视双清论坛研讨成果的集成和传播，通过在中英文刊物发表论坛成果、设置双清论坛专栏、组织提炼

重要政策建议并以《内参》、《简报》向上级报送等方式，加强论坛成果的推送和传播力度。各部门应注意信息公开的内容，严格审核上网公布的论坛材料和相关信息。双清论坛承办部门的宣传材料应当经主办部门和政策局审核同意后发布。

六、会后：尽快完成财务结算

双清论坛结束后，论坛举办各方需协助提供以下财务报销材料（见附件六）：会议签到表、发票（抬头：国家自然科学基金委员会机关服务中心）、支出清单、政府采购电子结算单。机关服务中心根据会议财务支出的相关材料编制《会议结算表》，由政策局负责人审核后，完成财务报销程序。

七、双清论坛组织举办的相关要求

（一）坚持双清论坛定位，深入落实科学基金改革部署。主办部门应坚持将新时代科学基金资助导向全面贯彻到双清论坛研讨和关键科学问题凝练中，将论坛研讨与科学基金中长期发展规划等工作相结合，确保双清论坛为完善面向世界科学前沿的科学问题凝练机制和面向国家重大需求的科学问题凝练机制，以及原创探索计划等项目的组织实施发挥积极作用。

（二）重视跨部门合作和交叉主题研讨，促进学科交叉。

主办部门要重视科研范式变革带来的机遇与挑战，设定的双清论坛研讨主题要充分体现学科交叉特征。要聚焦当前国内国际面临的重大挑战，注重遴选具有全局和前瞻意识的科学家参会，坚持营造科学民主的交流氛围，着力激发科学家创新思想，广泛收集各领域各层次科学家的意见建议。要充分体现双清论坛的学术、战略性和引领性，避免参会专家仅报告和研讨自己感兴趣的议题，不能将论坛变成为项目立项而组织的研讨会。

（三）严格执行我委会议费管理规定，坚持节俭办会。

各部门应按照精简高效、厉行节约的原则举办论坛，会议地点必须选择政府采购定点单位，严格按照《办法》和我委会议费管理规定确定参会人数和会议天数。京外召开的双清论坛，主办部门可以委托承办部门协助，并将《国家自然科学基金委员会工作人员公务活动八项规定》、《国家自然科学基金委员会工作人员职业道德与行为规范》、《国家自然科学基金委员会工作人员外出从事讲学咨询等活动取酬的若干规定（试行）》、《中共国家自然科学基金委员会党组贯彻落实中央八项规定精神实施细则》等文件和论坛组办的相关要求告知承办部门，严格依规依纪组织召开论坛。

双清论坛成果格式要求

（一）会议纪要提纲及要求

双清论坛会议纪要应包括以下内容：

1. 论坛主题，举办时间和地点、主办单位与承办单位，论坛主席，参会代表的单位（数）、总人数及特点。
2. 摘要开幕式简述领导讲话及致辞。着重提炼讲话中观点和想法，尤其是有新表述、新思路、新见解等。
3. 简介主题内容及意义
4. 概述会议的主要报告内容及讨论情况，重点是报告中的创新性观点和思想，以及研讨过程中聚焦的热点问题和共识。
5. 提出的科学问题及资助部署建议，其中第 4 点和第 5 点是纪要重要的组成部分，也是论坛的主要成果。
6. 简述会议总结情况。
7. 双清论坛纪要为 4000 字左右。

（二）学术综述提纲及要求

双清论坛学术综述应包括以下内容：

1. 主题领域的背景、研究现状和发展情况
2. 本次论坛凝练的关键科学问题
3. 学术综述为 8000 字左右。

学术秘书组在会后 2 周内将会议纪要提交学科处，3 个

周内将学术综述或战略研究报告提交学科处，学科处负责人
审阅修改后提交政策局局秘书处，电子邮箱为：
zhcj@nsfc.gov.cn。

附件：双清论坛相关参考材料

附件一：预通知和正式通知样稿

附件二：会议手册模板（区分是否设分会场）

附件三：会议纪要和学术综述样稿

附件四：新闻稿样稿

附件五：财务报销材料

附件六：简报样稿

附件一：预通知和正式通知样稿

1、预通知

关于邀请参加第 235 期双清论坛 “科学基金深化改革的政策与举措”的函

_____教授:

您好!

国家自然科学基金委员会政策局、计划局、管理科学部和人事局定于 2019 年 5 月 23 日至 24 日在北京联合举办第 235 期双清论坛，主题为“科学基金深化改革的政策与举措”，特邀请您参加并作报告。您与会期间的食宿费由会议负担，其它费用请自理。

“双清论坛”是国家自然科学基金委员会组织的高层次学术性战略研讨会议。本次论坛立足国家自然科学基金委员会党组关于深化科学基金改革的重大决策部署，重点围绕“明确资助导向，完善评审机制，优化学科布局”三大核心改革任务，探讨进一步深化科学基金改革的具体政策建议和对策，为未来 5 到 10 年建成理念先进、制度规范、公正高效的新时代科学基金体系，打造“原创导向突出、评审机制先进、学科布局优化、前沿需求统一、交叉特征明显、开放合作深化”的卓越科学资助机构，增强源头创新能力，夯实世界科技强国建设的根基作出积极贡献。

论坛拟采用报告和专家研讨相结合，力求凝聚共识，探讨丰富和完善新时期科学基金深化改革的政策及具体措

施，提出有针对性、创新性的意见或建议。报告时间为 15 分钟，研讨期间每人每次发言不超过 5 分钟，可以多次发言。

会议议题：

1. 新时代基础研究发展趋势和资助管理改革需求；
2. 我国创新驱动发展背景下的基础研究资助导向；
3. 多元资助格局下的基础研究绩效与管理；
4. 促进学科交叉与优化学科布局的政策与管理；
5. 完善科学基金项目评审制度及机制的政策与管理。

日程安排：5 月 23 日大会报告；24 日上午集中研讨改革政策与举措，凝练形成政策建议；24 日下午离会。

会议时间：2019 年 5 月 23 日至 24 日

会议地点：北京会议中心 6 号楼第一会议室

报到时间：2019 年 5 月 22 日下午

联系人：张兴伟（政策局） 电话：010-62323912

刘益宏（计划局） 电话：010-62328287

李 璐（人事局） 电话：010-62326459

吴 刚（管理科学部） 电话：010-62327152

任之光（管理科学部） 电话：010-62326972

联系电邮：zhcj@nsfc.gov.cn

请于 2019 年 5 月 5 日前，确认是否参加会议，并将回执发至上述电邮信箱；如确认参会，请于 5 月 12 日前将您的报告或发言摘要（字数 800 字以内）和主要供参考文献发至上述电邮信箱。（为增进专家之间的深入了解及广泛交流，邀请每位专家提供一份摘要，摘要模板请见附件。）

- 附件： 1. 双清论坛回执
2. 摘要模版与摘要样本
3. PPT 内容要求

国家自然科学基金委员会
政策局 计划局 人事局 管理科学部
2019 年 4 月 26 日

附件 1：双清论坛回执

第 235 期双清论坛
“科学基金深化改革的政策与举措”
会议回执

姓名		性别		民族	
单位		地址			
电话	办公室： 手 机：			邮编	
传真		Email			
能否参加会议					
是否住宿（日期）			5 月 22 日晚	5 月 23 日晚	

注：请务必将此回执于 2019 年 5 月 5 日前返回，谢谢！

附件 2：摘要模板与摘要样本

摘要题目（黑体，三号）

作者 1*，作者 2，作者 3（楷体，四号）

单位，城市 邮编（宋体，五号）

关键词：关键词 1，关键词 2，关键词 3（最多 5 个关键词，宋体，小四号）

正文内容（中文字体使用宋体，小四号；英文字体使用 Time New Roman，小四号；1.5 倍行间距。字数不超过 300 字。

（摘要和个人简介全部内容请不要超过 1 页）

参考文献

Author A. 1, AuthorB. 2, *Title of a book*, Year, Vol. X, p. XX (Publisher).

AuthorA. 1, Author B. 2, *Title of a journal*.Year, Vol. X, page.

（中文字体使用宋体，五号；英文字体使用 Time New Roman，五号；单倍行间距）

个人简介

（照片）

个人简介文字，宋体，小四号。

*作者信息：

资助信息：

摘要样本

面向化工过程调控与强化的智能膜研究

谢锐*, 褚良银

四川大学化学工程学院, 四川成都 610065

关键词: 膜材料, 膜过程, 智能膜, 传质与分离, 过程强化

环境响应型智能膜是受具有选择透过性生物膜启发而发展起来的一类新型膜材料, 在化学分离、生物分离、水处理、组织工程、化学传感器、化学物质和药物的控制释放等领域有着重要的应用前景。智能膜目前处于基础研究阶段, 仍需要从智能膜材料入手进行设计和创新、以及对智能膜过程进行调控和强化。本人及课题组运用化学工程中材料化工、流体流动、传质与分离、反应等方面的知识, 着重研究智能膜材料的设计与可控构建、智能膜响应性能调控与强化、以及智能膜用于传质与分离以及反应过程的调控规律等。研究结果为设计和构建性能优良稳定的智能膜以及高效可控的传质、分离与反应过程提供了新思路和新途径, 为开发面向化工、环境、生物、医药等领域的绿色、高效过程提供了重要指导。

参考文献

- Liu Z., Wang W., Xie R., Ju X.J., Chu L.Y., *Chem. Soc. Rev.*, 2016, 45: 460-475.
Luo F., Xie R., Liu Z., Ju X.J., Wang W., Lin S., Chu L.Y., *Sci. Rep.*, 2015, 5: 14708.
Xia L.W., Xie R., Ju X.J., Wang W., Chen Q.M., Chu L.Y., *Nature Commun.*, 2013, 4: 2226.
Xie R., Zhang S.B., Wang H.D., Yang M., Li P.F., Zhu X.L., Chu L.Y., *J. Membr. Sci.*, 2009, 326: 618-626.
Xie R., Chu L.Y., Deng J.G., *Chem. Soc. Rev.*, 2008, 37: 1243-1263.

个人简介

(照片)

谢锐, 现任四川大学化学工程学院教授, 博士生导师。2002 年和 2007 年分别获四川大学学士和博士学位。2007 年毕业留校任教至今, 历任讲师、副教授和教授。。

研究方向: 膜材料, 膜技术, 智能膜, 传质与分离, 过程强化

*谢锐 (Tel: 028-85463380, E-mail: xierui@scu.edu.cn)

国家自然科学基金 (20806049, 21276009) 和教育部新世纪优秀人才支持计划 (NCET-11-0352)

附件 3：PPT 内容要求

报告模板

第 期双清论坛
报告题目
报告人
报告单位

报告内容

<ul style="list-style-type: none">□ 战略意义□ 发展现状、趋势、挑战□ 关键科学问题□ 我国研究基础和优势□ 政策建议

2、正式通知

国科金政函〔2019〕32号

关于邀请参加第235期双清论坛 “科学基金深化改革的政策与举措”的函

_____教授：您好！

国家自然科学基金委员会政策局、计划局、管理科学部和人事局定于2019年5月23日至24日在北京联合举办第235期双清论坛，主题为“科学基金深化改革的政策与举措”，特邀请您参加并作报告。

“双清论坛”是国家自然科学基金委员会组织的高层次学术性战略研讨会议。本次论坛立足国家自然科学基金委员会党组关于深化科学基金改革的重大决策部署，重点围绕“明确资助导向，完善评审机制，优化学科布局”三大核心改革任务，探讨进一步深化科学基金改革的具体政策建议和对策，为未来5到10年建成理念先进、制度规范、公正高效的新时代科学基金体系，打造“原创导向突出、评审机制先进、学科布局优化、前沿需求统一、交叉特征明显、开放合作深化”的卓越科学资助机构，增强源头创新能力，夯实世界科技强国建设的根基作出积极贡献。

会议议题：

1. 新时代基础研究发展趋势和资助管理改革需求；
2. 我国创新驱动发展背景下的基础研究资助导向；
3. 多元资助格局下的基础研究绩效与管理；

4. 促进学科交叉与优化学科布局的政策与管理；
5. 完善科学基金项目评审制度及机制的政策与管理。

日程安排：5 月 23 日大会报告；24 日上午集中研讨改革政策与举措，凝练形成政策建议；24 日下午离会。论坛拟采用报告和专家研讨相结合，力求凝聚共识，探讨丰富和完善新时期科学基金深化改革的政策及具体措施，提出有针对性、创新性的意见或建议。报告时间为 15 分钟，研讨期间每人每次发言不超过 5 分钟，可以多次发言。

会议时间：2019 年 5 月 23 日至 24 日

会议地点：北京会议中心 6 号楼第一会议室

报到时间：2019 年 5 月 22 日下午

联系人：张兴伟（政策局） 电话：010-62326912

刘益宏（计划局） 电话：010-62328287

李 璐（人事局） 电话：010-62326459

吴 刚（管理科学部） 电话：010-62327152

任之光（管理科学部） 电话：010-62326972

联系电邮：zhcj@nsfc.gov.cn

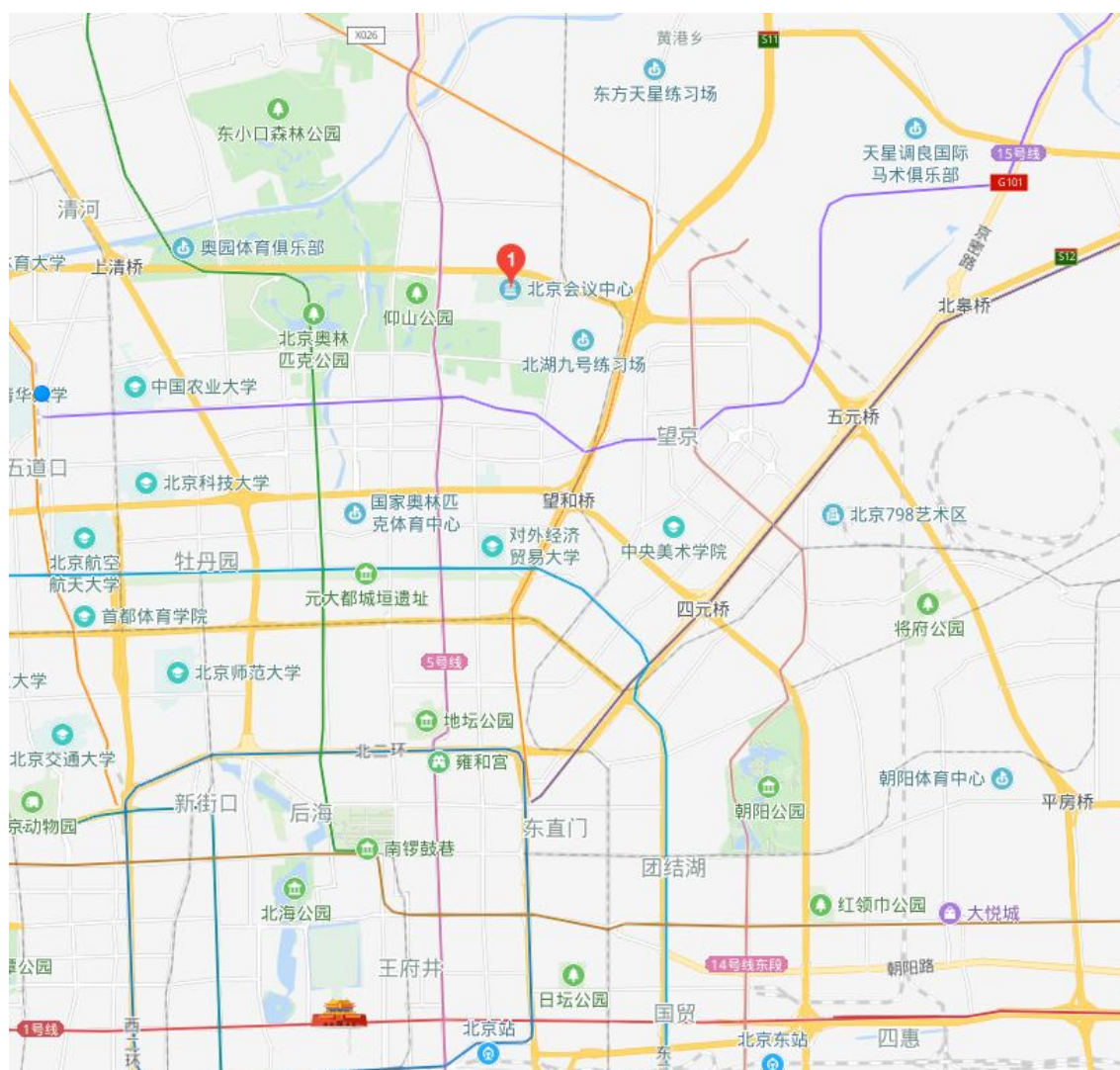
您与会期间食宿费由会议承担，其它费用请自理。

附件：北京会议中心路线图

国家自然科学基金委员会政策局

2019 年 5 月 6 日

附件：北京会议中心路线图



1. 北京南站：距北京会议中心约 23km，打车约 1 小时（85 元）。
2. 北京站：距北京会议中心约 18km，打车约 50 分钟（55 元）。
3. 首都国际机场：距北京会议中心约 25km，打车约 35 分钟（80 元）。

附件二：会议手册模板

（一）设分会场的会议手册模板

（二）不设分会场的会议手册模板

（一）设分会场的会议手册模板

（请根据实际情况填写修改）

论坛手册封面

第 235 期双清论坛

科学基金深化改革的政策与举措

会议手册

国家自然科学基金委员会

政策局 计划局 人事局 管理科学部

2019 年 5 月 23-24 日 中国·北京

论坛组织机构

论坛主席：不超过3人

组委会成员：主办部门负责人（学部常务副主任或者局长）

秘书组成员：学科处负责人、政策局局秘、中青年科学家

论坛工作组：政策局局秘、学科处负责人与其他工作人员

会务组成员：会议承办部门会务负责人与联系方式

论坛须知

- 1、本次论坛的意义（请补充）。
- 2、本论坛提倡学术民主，鼓励不同学术观点的碰撞和交流，希望与会者在宽松、活泼、和谐的研讨氛围中畅所欲言、各抒己见。
- 3、请与会者尽量全程出席会议，并积极参加研讨。
- 4、发言时突出重点、言简意赅，重在研讨，避免过多、过细地介绍个人研究工作。讨论时每人每次发言不超过 5 分钟，可多次发言；发言前请先介绍自己的姓名和工作单位。
- 5、请备有发言用 ppt 文件的专家提前将文件拷贝到会务组的计算机上，以提高论坛效率。
- 6、进入会场前请关闭手机，或设置为静音状态，以免影响会场秩序。
- 7、会后秘书组按论坛要求提交会议纪要和学术综述（或提交战略研究报告）。

就餐时间、地点：

早餐：7:00-8:30 午餐：12:00 晚餐：18:00

地点：

会议日程

*月*日	会议报到（地点）	
16:00-17:00	预备会议（参加人：论坛主席、组委会、秘书组、工作组） 会议室：**	
*月*日	活动内容	主持人
*:**~*:**	开幕式（地点） 承办单位领导致辞（根据实际需要可安排） 自然科学基金委领导讲话 论坛执行主席代表致辞	
时间	报告人及题目（每个报告含5分钟讨论时间）	主持人
	报告人：报告题目	
	休息	
	午餐	
会场1：地点		主持人
时间		
	休息	

	晚 餐	
会场2：地点		主持人
时间		
	休息	
	晚餐	
*月*日	活动内容	主持人
时间	分组讨论 讨论形式：专家自由发言，每人每次不超 5 分钟，可多次发言	

	讨论目的： 凝练主要科学问题、研讨资助模式，形成初步文稿	
	第一组：人员或讨论主题 会议室：地点 秘 书：	
	第二组：人员或讨论主题 会议室：地点 秘 书：	
时间	集中研讨交流（地点） 1. 秘书组汇报分会讨论情况 2. 与会专家讨论，凝练科学问题，提出政策建议 3. 论坛主席综述与总结	
*月*日	离会	

与会专家代表名单

序号	姓名	单位	职称
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			

20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

自然科学基金委参会代表名单

序号	姓名	单位	职务/职称
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

报告摘要目录

报告摘要

（注意：每位代表限于一页篇幅）

会议记录纸

(6 页)

（二）不设分会场的会议手册模板

（请根据实际情况填写修改）

论坛手册封面

第 235 期双清论坛

科学基金深化改革的政策与举措

会议手册

国家自然科学基金委员会

政策局 计划局 人事局 管理科学部

2019 年 5 月 23-24 日 中国·北京

论坛组织机构

论坛主席：不超过3人

组委会成员：主办部门负责人（学部常务副主任或者局长）

秘书组成员：学科处负责人、政策局局秘、中青年科学家

论坛工作组：政策局局秘、学科处负责人与其他工作人员

会务组成员：会议承办部门会务负责人与联系方式

论坛须知

- 1、本次论坛的意义（请补充）。
- 2、本论坛提倡学术民主，鼓励不同学术观点的碰撞和交流，希望与会者在宽松、活泼、和谐的研讨氛围中畅所欲言、各抒己见。
- 3、请与会者尽量全程出席会议，并积极参加研讨。
- 4、发言时突出重点、言简意赅，重在研讨，避免过多、过细地介绍个人研究工作。讨论时每人每次发言不超过 5 分钟，可多次发言；发言前请先介绍自己的姓名和工作单位。
- 5、请备有发言用 ppt 文件的专家提前将文件拷贝到会务组的计算机上，以提高论坛效率。
- 6、进入会场前请关闭手机，或设置为静音状态，以免影响会场秩序。
- 7、会后秘书组按论坛要求提交会议纪要和学术综述（或提交战略研究报告）。

就餐时间、地点：

早餐：7:00-8:30 午餐：12:00 晚餐：18:00

地点：

会议日程

*月*日	会议报到（地点）	
16:00-17:00	预备会议（参加人：论坛主席、组委会、秘书组、工作组） 会议室：**	
*月*日	活动内容	主持人
	开幕式（地点） 承办单位领导致辞（根据实际需要可安排） 自然科学基金委领导讲话 论坛执行主席代表致辞	
主题报告（报告**分钟，讨论**分钟）		
时间		
大会报告（报告**分钟，讨论**分钟）		
时间		
	午 餐	
时间		
	休 息	

	晚 餐	
*月*日	大会报告（报告**分钟，讨论**分钟）（地点）	主持人
时间		
	休 息	
	集中研讨讨论（地点）	
	讨论形式：专家自由发言，每人每次不超 5 分钟，可多次发言 讨论目的：凝练关键科学问题、研讨资助模式，形成初步文稿 论坛主席综述与总结	
*月*日	离会	

与会专家代表名单

序号	姓名	单位	职称
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			

20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

自然科学基金委参会代表名单

序号	姓名	单位	职务/职称
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

报告摘要目录

报告摘要

（注意：每位代表限于一页篇幅）

会议记录纸

(6 页)

附件三：会议纪要和学术综述样稿

1、双清论坛会议纪要样稿（一）

第 131 期双清论坛纪要 ——创伤修复与再生医学

国家自然科学基金委员会（以下简称基金委）第 131 期“双清论坛”于 2015 年 3 月 11-12 日在浙江杭州召开。本次论坛由国家自然科学基金委员会医学科学部、生命科学部、工程与材料科学部与政策局共同主办，主题为“创伤修复与再生医学”。论坛主席由中国人民解放军总医院生命科学院院长付小兵院士、中国人民解放军第二军医大学长海医院烧伤外科主任夏照帆院士与浙江大学基础医学院院长欧阳宏伟教授共同担任。与会专家主要是骨科，烧伤整形外科，口腔科，组织工程领域，生物材料领域，干细胞领域等多个学科的中青年“国家杰青或长江学者”、教授，总共有来自中国科学院、北京大学、南京大学和香港大学等国内外 27 个单位的 41 名专家学者应邀参加了论坛。

论坛开幕式由基金委医学科学部六处闫章才处长主持，基金委医学科学部常务副主任董尔丹、浙江大学党委副书记严建华、及中国人民解放军总医院生命科学院院长付小兵院士到会并分别致开幕辞。董尔丹主任介绍了双清论坛的历史和定位，强调基金委医学部不仅重视研究“病”，也非常重视研究“伤”，此次双清论坛集聚了“活跃在”多个学科的中青年专家，希望通过脑力风暴，凝练出“组织创伤与修复再生”的重要科学问题和研究策略，形成专家意见供基金委在制定战略规划或资助建议时参考。付小兵院士强调组织损伤与再生是基础

与临床医学的重大问题，临床上对组织损伤与再生有迫切的需求，希望专家通过此次论坛，在宏观和微观层面充分研讨，凝练出我国亟需关注和解决的重大基础科学问题。

一、论坛主要内容

器官组织的损伤一直是第二位的致残因素和重要健康问题，其中以皮肤和肌肉骨骼系统最为常见。近年来，随着室外活动的增加和社会老龄化趋势的呈现，生理、病理等各种因素造成的急性和慢性组织损伤越来越多，在全球范围内给病人、家庭以及社会造成了巨大的经济负担。由此，人们对于损伤快速修复和组织完美再生的需求也日益迫切。另外，人体组织快速修复也是应对军事战斗损伤和处理恐怖袭击灾害的重要战略手段，比如，美国国防部把“人体组织快速修复”列入 2003-2007 年六个重大基础研究内容之一。

组织修复，是损伤组织临近细胞顶替原有损伤部位，恢复组织完整性组织再生，就是使受伤的组织和器官通过某种自身或人为的干预，回复到损伤以前的解剖和功能状态。组织快速修复与完美再生是我们的终极目标，也一直是人类的梦想和追求，它自古以来就存在于中外神话故事当中，如：古希腊神话中普罗米修斯的肝脏再生以及中国的神话故事西游记中有关孙悟空的脑袋再生。在自然界中，低等动物如蝾螈和斑马鱼等的组织损伤以及人体组织在胚胎发育期的损伤可以完全再生的事实表明：在合适条件下损伤组织是可以获得快速修复与完美再生的。

促进组织修复与再生的方法很多，低等动物主要依靠损伤组织局部细胞的去分化、转分化和干细胞的再激活等机制。高等动物体内的机制更加复杂，影响因素也更多。对于不能完全再生组织的高等动物，

目前主要的研究现状是利用组织工程技术（种子细胞、细胞因子、生物材料），人为诱导组织的体外或体内再生，或辅助体内的自然修复，达到治疗损伤的效果。

虽然研究者已在创伤修复与组织再生领域做出了很多努力，但目前的组织修复还没有达到人类所期望的目标。一方面是由于损伤组织快速的瘢痕形成是高等动物的一种自我保护机制，另一方面是因为损伤部位涉及的组织种类多，而不同种类的组织由于遗传与发育等因素的影响，在修复与再生的启动过程、信号网络、调节机制与影响因素等许多方面并不完全相同，因而存在修复的不协调性和不一致性。再生医学领域的研究者对不同组织损伤的病理改变及其机制、生理和病理状态下组织再生的调控机制和发生过程都还不甚清楚，也因此缺乏有效的干预手段促进完整的组织功能再生。为了解决这些问题，需要医学、生物学、材料学等多学科交叉合作，从不同层面、不同角度研究阐明创伤修复与再生的基础科学问题，促进组织再生，最终惠及患者，造福人类。

本次论坛共有 41 位专家围绕“创伤修复与再生医学”主题作报告或发言，论坛在学术民主、宽松和谐的氛围中进行，与会专家畅所欲言、各抒己见，探讨了创伤修复与组织再生的研究现状、前沿科学问题和发展趋势；结合我国在该领域的研究现状和优势研究基础，分析和凝炼了我国在该研究方向上急需关注和解决的重要基础科学问题。会议重点就组织合成程序及调控机制；组织内及组织间各要素的相互作用；病理纠正和损伤组织快速修复与再生等三个方面进行了研讨。通过了解组织的合成程序和各要素间相互作用，提升损伤组织修复的速度和质量，将不断靠近蝾螈断肢再生和人类胎儿期无疤痕愈合

的境界。论坛凝聚了一个重要科学问题：“组织的合成和互作机制与人体损伤快速修复”。

（一）组织合成程序及调控机制

1. 发育过程中的组织合成

组织发育是机体细胞从生命开始不断成熟、自我构建及功能分配的过程，涉及复杂的时空特异性分化。在一定程度上，组织发育是组织再生的模板。目前的组织工程模仿了体内组织发育的过程，即运用有修复能力的种子细胞、适宜生长分化的细胞因子和生物材料等近似体内的力学环境，生产出健康或具有功能替代性的组织。然而目前的再生医学，并没能完全阐述清楚组织发育的全过程。目前的再生医学领域，运动系统组织发育的基础研究仍留有空白：1）组织发育过程中承担合成和分化任务的细胞种类，及其重要生物标志物 2）组织发育在分子水平的时空程序性调控机制 3）发育过程中细胞与细胞之间，细胞与微环境（物理力学环境、化学刺激、生物因素等）之间的相互作用机制。在日前不断发展的新兴技术手段的帮助下，再生医学领域的研究者可以运用新兴生物分子学手段，结合生物信息学建立组织发育的大数据库，描绘时空特异性分子图谱，填补组织发育基础知识的空白。

讨论中，与会专家提出该方面的问题包括：组织发育过程中承担合成与分化的细胞有哪些？其时空特异性生物标志物有哪些？细胞时空程序的合成与分化的分子调控机制是什么？细胞内外的微环境怎样影响细胞的分化发育？

2. 完美再生模型的组织合成

低等动物中的组织器官再生是完美再生的典范。例如蝾螈可以在失去尾巴、脊柱甚至大脑的情况下完全再生。就蝾螈肢体再生模型而言，再生过程涉及去分化（胚芽形成）及再分化的过程。人类只有胎儿期具有损伤组织完美再生能力。出生后的人体组织失去了完全再生能力，会在损伤部位会产生肉芽组织，用于遏止炎症，填补缺陷，重塑器官。在适者生存的环境中，这种机制有力减少了感染和功能缺失对整个机体的危害。

与会专家在该领域提出的重要问题包括：怎样利用蝾螈等低等动物肢体再生现象建立标准的完美再生模型？完美再生模型中再生的重要分子（与高等动物的差异）有哪些？其关键调控机制是什么？怎样通过人工诱导，达到高等动物的无障碍再生？大部分专家认为探究完美再生模型的组织合成机制是帮助人类获得再生能力的重要途径，包括：1）从基因、转录、蛋白、代谢等多层次探究完美再生模型的组织合成机制。2）机制研究结合生物信息学建立完美再生模型的大数据库 3）基于大数据库的分析，建立完美再生模型的标准程序。4）多层面解释高等动物不能完全再生的原因。

（二）组织内及组织间各要素的相互作用

1. 细胞与细胞外环境的相互作用

组织成分包括细胞和细胞外环境两个方面。在组织再生的过程中，细胞和细胞外环境都是不可或缺的因素。目前虽然对这两方面均有研究，但大多组织再生研究只单独关注细胞本身（如细胞分化、增殖与迁移、表形维持）或体外生物材料对细胞的影响，而对组织内细胞与细胞外环境（基质成分、拓扑结构、理化特性等）相互作用的研究还比较局限。与会专家认为，细胞与细胞外环境的相互作用对创伤

修复和组织再生的影响十分重要，细胞外环境如细胞外基质不仅提供组织的结构支撑，还会对细胞产生主动的生物学影响，甚至对细胞间也会产生影响，比如凋亡细胞对周围正常细胞的影响；干细胞外泌体对周围细胞和组织再生的影响等。相似的，当在组织工程修复创伤组织的过程中，植入生物材料也不仅仅是组织修复的“脚手架”，不同的材料对细胞的力学刺激不同，材料在植入和体内降解的过程中也会产生或释放不同的分子，从而影响细胞对环境的反应，甚至改变组织修复的结果；反过来，细胞或机体本身的环境也会对植入的材料产生影响，改变材料的性质。进一步考虑，既然材料不仅是支架，我们也可以通过支架材料对细胞和组织施加更多的影响因素，比如利用导电材料施加电刺激促进神经组织再生；利用一定的生物力学环境调动机体内源性的修复能力；又或是使材料主动释放一些分子、金属离子等，促进组织再生。为了达到这一目的，我们有必要深入了解细胞与细胞外环境（包括细胞外基质、生长因子等生物因素及声、光、电、温度、pH 等物理化学因素）相互作用对细胞再生能力和表型转换与维持的机制，为实现精准修复和完美再生打下基础。

2. 组织与组织之间的相互作用

由于受到损伤部位往往不只一种组织，不同种类的成分和特性就存在差异。相邻部位的不同组织在创伤和启动修复过程中的信号网络、调节机制与影响因素等方面不完全相同但又互相影响，因而需要修复时协同考虑。例如运动系统中常见的腓骨连接处损伤，就涉及到骨、软骨和肌腱三种组织；关节软骨的损伤也涉及软骨、软骨下骨以及周围的韧带、滑膜等组织。与会专家认为，在组织修复与再生时，不仅要考虑到各单一组织的再生，还应考虑不同组织间的相互影响。

比如促进骨再生的治疗方案可能造成软骨或肌腱钙化；在腱骨愈合的过程中形成的瘢痕组织可以快速固定组织，却无法重建正常的腱骨连接梯度结构。多种组织修复的另一个挑战来自于时空特异性。研究发现成年期创伤后的愈合过程与胎儿期和新生儿期的愈合过程有着显著差异。胎儿期损伤后愈合快速而且缺少瘢痕形成，而成年期创伤往往通过疤痕愈合。因此，了解不同时间点上机体损伤修复与再生的机制，可以为临床组织再生提供理论依据，优化治疗方法，提高疗效。另外，由于上述组织间的差异，即使是成年期，在修复的不同时间点上组织间的相互作用可能是不同的，不同组织修复需要的环境条件也可能是不同的，如何时序性调控单一组织再生，协调组织与组织之间在不同时间点上的相互作用，是我们需要面对的难题。

与会专家对该领域提出的问题是：细胞与细胞外环境之间、组织与组织之间有哪些相互作用的因素？其作用特点和机制如何？我们如何通过干预这些相互作用的因素促进组织再生？

（三）病理纠正和人体损伤快速修复与再生

1. 病理微环境和病理修复的分子机制

多种组织（例如软骨、肌腱、韧带、神经等）其损伤后的再生修复能力非常有限，且其目前缺乏有效的治疗干预措施，导致机体残疾，疤痕修复，甚至功能丧失。机体损伤后病理机制改变与再生修复关系密切相关。而目前对损伤后各组织的分子病理机制尚不清晰。

近年来分子生物学和生物信息学技术飞速发展，特别是基因、蛋白表达谱分析技术，为处理大量分子病理过程提供了有效的工具。与会专家认为基于表达谱时序性全息化分析的结果，可以在组织损伤病理机制研究中进行有针对性和靶向性的干预研究。通过芯片

microarray 和同位素相对标记与绝对定量技术 itraq 表达谱分析技术, 进行多组织大样本量损伤病理组织及其病理微环境的时序性变化研究; 比对不同组织损伤后基因, 蛋白表达谱的变化, 以及正常组织与损伤组织的基因表达变化差异, 发现组织损伤后不同时期的相关关键基因和关键信号通路。系统开展从基因, 蛋白层面分析正常组织与组织损伤后的表达变化, 揭示组织损伤的分子病理机制。区分急性损伤与慢性损伤病理机制, 探索组织损伤的病理调控机制和程序性干预方案。

2. 人体快速修复与再生

人体组织创伤的快速修复和再生需要具备一个促进组织合成的要素和环境。参照临床损伤, 结合再生动物模型, 从细胞到组织, 组织到整体, 从分子机制到信号通路, 从体外到体内, 更宽阔的视野多个层面进行探索。

不同组织的精准合成要素包括组织特异性细胞的诱导和定向分化、组织微环境的构建和调节, 细胞与环境的相互作用等。损伤后病理微环境不利于细胞存活, 干细胞迁移修复, 因此微环境失衡是阻碍组织再生病理机制中的另一重要因素, 通过收集样本, 原位研究, 系统生物学鉴定, 体内外实验研究局部微环境的成份及作用, 比较微环境中成分表达变化(炎性介质, 细胞因子等), 物理微环境如力学、电刺激等对再生组织的影响。了解病理微环境对细胞分化调控的影响。靶向微环境的干预, 建立组织合成的有利环境。

组织合成的重要元素有细胞和材料。如何定义和找到合适的细胞? 如何诱导干细胞向指定的方向分化? 在外源性细胞具有免疫原性和获取不便的情况下, 如何调动自体的内源性细胞? 目前的组织工程材料研究中, 材料已经不仅仅是作为支架, 其本身也可能对组织再生过程产生主动的、积极的影响。材料基因组(包括材料的结构、成

分、降解产物等)与生物基因组及人体特定组织如何相互作用?材料如何才能主动适应组织的特定环境和诱导特定组织合成?

与会专家认为:通过系统研究发育过程和完美再生模型的组织合成机制以及组织创伤的分子病理机制,构建“逆转病理,启动再生”的生物程序,通过生物、物理和化学手段程序性干预可以实现人体组织创伤的快速修复与再生。

二、论坛讨论的主要成果

通过两天的大会发言和讨论,专家们于12日下午进行了总结性讨论,凝练出以下未来该领域亟需解决的科学问题“组织的合成和相互作用机制与人体创伤快速修复”,具体包括:

(一)组织合成程序及调控机制,内容包括:1.发育过程的组织合成(组织发生分化的细胞及调控机制,组织的特异性,程序性分化调控等);2.损伤完美再生模型的组织合成(低等-动物进化与人体组织发育过程中完美再生模型的调控机制,再生细胞与间质间相互作用,再生胚芽等,人-自然再生)。

(二)组织内及组织间各要素的相互作用,内容包括:1.细胞与细胞外环境的相互作用;2.相邻部位不同组织间的相互作用。

(三)人体损伤快速修复与再生,内容包括:1.分子病理机制和病理微环境纠正(分子病理和表达谱分析,大数据库分析,病理局部微环境的成份及作用);2.快速修复与再生(重要器官组织皮肤,骨,软骨,肌腱,神经,脊髓,椎间盘等精准修复的生物、物理和化学干预要素)。

本期纪要在OA网政策局“双清论坛”栏目刊发

2、双清论坛会议纪要样稿（二）

第 136 期双清论坛会议纪要 ——核数据关键基础科学问题

国家自然科学基金委员会（以下简称基金委）第 136 期双清论坛于 2015 年 5 月 8-9 日在北京召开。本次论坛由数学物理科学部、工程与材料科学部、国际合作局和政策局共同主办，中国核数据中心承办；论坛主题为“核数据关键基础科学问题”。论坛主席由中国人民解放军总装备部钱绍钧院士、中国原子能科学研究院王乃彦院士和中国科学院上海应用物理研究所沈文庆院士共同担任。来自国内相关领域 20 多所高校与科研院所的 90 余位专家学者，以及数学物理科学部、工程与材料科学部、国际合作局和政策局的相关人员参加了本次论坛。

论坛开幕式由基金委数学物理科学部孟庆国副主任主持。基金委数学物理科学部汲培文常务副主任致开幕辞，他介绍了双清论坛的起源、发展与宗旨，并充分肯定了我国核数据研究为国防建设与经济建设作出的重要贡献，希望本次论坛能够通过了解国内外核数据发展需求和研究现状，就我国核数据研究中关键基础科学问题与今后重点研究方向进行认真讨论，交流思想，凝炼出制约我国核数据发展的关键基础科学问题，为推动我国核数据工作的发展以及从国家层面开展这些科学问题研究提供决策参考。论坛主席钱绍钧院士在致辞中希望与会专家共同努力，开好这次论坛，为我国核数据基础研究的发展提供战略思考，为国家关于核数据基础研究的支持与决策提供科学依据。

论坛期间，与会专家围绕“核数据关键基础科学问题”主题，讨论了核数据关键基础科学问题的国内外研究现状，分析和初步凝炼了核数据基础研究领域的重大科学问题，提出今后 5-10 年的重点研究方向。论坛以大会报告与大会讨论相结合的形式开展研讨。现将大会研讨内容择要概括如下：

一、论坛主要内容

（一）核数据的发展迫切需要加强核数据基础研究

核数据是国家安全、核能开发和核科学技术研究的基础。中国工程物理研究院、西北核技术研究所和中国核动力研究设计院的代表分别从国家安全和核能发展两个领域阐述了禁核试后装备性能认证、新型核动力研发、核能发展对核数据的新需求。

当前的核数据需求重点可以概括为四个方面。第一，提高关键数据的精准度。在裂变核方面，重点关注的数据有： $^{235, 238}\text{U}$ 、 ^{239}Pu 等重要铀系核素 (n, f)、(n, γ)、(n, 2n)、(n, 3n) 和 (n, in1) 等主要反应道核数据；U、Pu 裂变瞬发中子谱、裂变平均中子数及几率分布； ^{239}Pu (n, 2n) 等关键核反应截面； ^{239}Pu 、 ^{235}U 和 ^{238}U 裂变重要产物核产额与诱发中子能量关系以及其部分短寿命裂变产物的产额。在裂变产物方面，重点关注活化指示剂 (n, γ)、(n, 2n) 和 (n, 3n) 反应道激发函数；U、Pu 裂变产物指示剂及相关核素的裂变产额、衰变数据和中子活化数据。在轻核方面，重点关注 ^3He 、 ^6Li 、 ^9Be 等轻核的主要中子反应截面。第二，填补重点核数据空白。如补充 ^{240}Pu 自发裂变气体裂变产物产额；补充、更新气体裂变产物、固体裂变产物、活化指示剂产物、铀系核素的核衰变数据；补充放射性裂变产物等非稳定核的中子反应数据。第三，补充核数据协方差、发展灵敏度分析技术

以支撑不确定度量化技术在国家安全、核能开发中的应用。第四，扩大核数据库规模，拓展核数据种类和能区。如中子评价核数据库规模向国际先进水平看齐；激发函数能区向 30 MeV 的高能端拓展；补充中高能、高能全套核反应数据。代表们指出我国评价核数据库仍存在精准度不足、基础数据不全、宏观检验有限、系统性不强、能区范围窄等问题，需要加强核数据测量和评价工作以提高我国评价核数据库的性能和适用性。

同时，与会代表从核数据产生的角度介绍了国际核数据研究发展趋势，比较了国内外核数据研究现状，阐述了我国核数据研究与国际先进水平的主要差距。在核数据实验测量方面，受制于缺乏具有高时间分辨的强流白光中子源，我国在主铀系核素截面测量、裂变参数高精度测量、共振截面测量等方面差距显著，特别是共振截面测量几乎空白，亟待加强相关中子源的建设与相关探测器、实验方法的研究。在核数据评价方面，我国在裂变物理、微观核反应理论、核结构理论、先进核反应模型程序、核数据评价方法学等方面与国际上存在较大差距，使得我们在铀系核素、放射性裂变产物、轻核与少体核反应数据、裂变产额、衰变数据等核数据及协方差的评价中缺乏有效的理论方法和评价手段。在核数据宏观检验方面，我国仍在基准实验规模和种类上与国际领先水平有较大差距，灵敏度分析方法、核数据调整方法研究刚刚起步。

因此，为了满足用户对高精度、大规模、系统化和支撑不确定度量化技术的核数据需求，需要围绕裂变相关核数据、裂变系统中不稳定过程核的核数据、轻核数据与少体反应核数据测量与评价中的基础科学问题，以及核数据实验测量、评价与宏观检验本身的基础科学

问题，开展目标型创新研究，充分利用核物理前沿研究与基础研究中取得的成果、方法与手段，开展核数据关键基础科学问题研究，提升核数据研究的水平。

（二）裂变相关核数据关键基础问题

裂变核数据是关系国家安全和核能技术发展最重要的基础数据，但相关核数据数量与质量远无法满足当前核工程高可靠性、安全性发展的需求，例如：目前国际上对产额能量关系还不清楚，在热能区到裂变谱能区规律比较复杂，6 MeV 至 14 MeV 之间缺少测量数据，重要产物核的产额测量精度一般只能达到 3-5%，而独立产额缺少测量数据，各家给出的评价数据均存在不同程度的分歧，无法满足核工程的需求。围绕裂变相关核数据关键基础问题，与会专家以产额及产额能量关系为主线作了题为“原子核裂变理论研究现状”等一系列报告，并对关键问题进行讨论。专家们认为：核裂变是核内所有核子平等参与的多维量子力学空间大振幅集体运动，人们希望从核子-核子相互作用的层次上统一理解裂变的各种现象，但是相关研究还做得远远不够，目前国内外依然没有任何一个理论模型可以把原子核裂变前后的现象统一起来描述。研究核裂变现象需要考虑包括断裂前过程、裂变后现象和激发碎片发射瞬发中子及瞬发 γ 三个过程。其中包括多维形变空间中位能曲面的研究和精确计算，进而需要开展原子核裂变动力学计算，才能获得有关原子核裂变的各种可观测量。基于以上认识，与会专家认为需要在以下关键问题上加强研究。

首先，多维位能曲面的研究与精确计算。裂变位能面是从裂变核基态经过鞍点到达断点的多维形变坐标空间中的包括超大形变的位能面，在核物理研究中具有自己独特的特色。大量研究证明，原子核

基态和低激发态裂变的性质,包括裂变位垒、裂变形状同质异能结构、裂变碎块的质量分布、电荷分布、动能分布以及裂变宽度等主要由位能曲面决定,因此在多维集体变形坐标空间中位能曲面的研究和精确计算是研究低激发能铀系核裂变问题的关键。

其次,裂变动力学的计算,包括断点物理及断点构型的研究。在精确计算位能曲面的基础上,需开展原子核裂变动力学计算,才能获得有关原子核裂变的各种可观测量,包括断点物理及断点构型。目前宏观动力学研究,主要建立在通过与实验数据比较确定模型参数的基础上,预言能力存在很大局限性。要改变这种状况,需要从三方面入手:(一)发展现有的计算质量张量和粘滞张量的模型;(二)建立在动力学基础上新的计算质量张量和粘滞张量的真实模型;(三)探索由流体力学模型给出质量张量和粘滞张量的平滑行为,而推转模型给出其涨落部分,然后统筹两部分贡献的方法。

第三,断点物理及断点构型的研究。断点形态和构型是核裂变研究中不可避免的特有的物理概念。它们在某种程度上决定了裂变后物理量。目前对断点的认识是断裂前两碎片各自的特性已基本形成,裂变是一个热平衡过程,但断点的物理本质是两个碎块温度相等还是体系达到熵极大态?断点是否是绝热过程的终点(或突然过程的起点)?质量分割的机制是什么?激发能在两碎块之间是如何分配的?对这一系列问题到目前为止并没有一个清晰统一的认识,仍需要继续研究。

第四,发展唯象模型理论。唯象模型既有物理思想,又能给出具有实际应用价值的核数据,同时结合新设备和新技术,开展实验方法研究和部分高精度产额测量实验,可以促进理论研究,可以有效解决

近期核工程对核数据的需求。

加强上述四个方面的研究，预期 5-10 年内将取得实质性的进展，将有助于对裂变规律的认识。同时，与会专家强调，为了鼓励创新，对提出的新概念、新思路也要予以重视。

（三）裂变系统中不稳定过程核的数据基础研究

当前国家安全与核能研究对裂变系统中不稳定过程核数据需求急剧增加，而国内外针对该类数据的研究基础非常薄弱，相关核数据大量缺乏，已有核数据差异很大，例如：国际五大中子评价数据库中针对重要裂变产物核 $^{147}\text{Nd}(n, 2n)$ 反应截面差异最大处可达 500 毫靶，大量存在差异的核数据严重影响了核燃料精确计算结果。与会专家以裂变系统中不确定过程核数据相关基础问题为主线，作了题为“核数据中的不稳定核问题”等一系列报告，并对该问题未来发展进行讨论，认为核工程所需的大量高可信不稳定过程核数据主要通过模型理论并结合系统学方法来解决，而开展相应的实验测量不仅是建立理论模型的重要基础，也是检验理论模型正确性的有效依据。

第一，理论模型方法研究。光学模型和核能级密度是核反应理论计算中最关键的两个物理量。全核区与能区范围内的唯象理论是研究 β -稳定线临近不稳定过程核光学势和能级密度的重要手段之一，但是由于常常受到所使用的实验数据范围有限，其外推的可靠性还需验证。另一方面，人们利用包括平均场、壳模型、超越平均场等核多体理论结合系统学方法研究中子与不稳定过程核反应的光学势与能级密度，得到理论基础更为可靠的预言结果，是当前国际不稳定核数据工作的重点和难点；同时，不稳定核反应过程是弱束缚体系，还需关注核破裂效应、耦合道效应和同位旋效应等对数据的影响；此外，由

于实验测量较少，理论数据的不确定度量化研究是核数据需要重点解决的问题，并且随着计算能力的大幅提升，已经成为当前国际核数据关注的重点。

第二，实验测量方法研究。裂变系统中涉及到的不稳定核数据非常广，由于核寿命有限，给精确测量带来了极大困难。除大力发展直接测量方法所需高强度中子束流、放射性靶制备以及高性能探测手段等，国际核数据还充分利用各种先进实验测量方法与技术（如：替代反应法、谱因子法等），对不稳定过程核反应物理量进行测量，填补重要不稳定过程核数据空白，并提高已有核数据精度；采用 $\beta-\gamma$ 或 $\beta-n(p)$ 符合方法对不稳定过程核衰变数据进行测量和研究，并且系统学对预言原子核衰变有重要意义；同时重视原子核质量数据测量在核数据的理论基础中的重要作用。

多年来，微观核多体理论方法在我国核物理基础研究中已经储备了丰富的技术手段，已经开始探索间接测量方法解决核数据问题等，都为解决不稳定过程核数据问题奠定基础。为了解决不稳定过程核的数据难题，需要核物理基础研究与核数据需求相结合，不仅关注小概率事件，同时也关注与核数据直接相关的大概率事件，为不稳定过程核数据研究提供先进的方法手段，有望在未来 5-10 年内取得实质性进展。

（四）轻核数据与少体反应基础研究

少体核反应研究是解决聚变装置与聚变能应用所需轻核数据评价的重要途径，但国内目前尚不具备成熟的轻核评价计算能力。与会专家以轻核数据与少体反应相关基础问题为主线，作了题为“三体核反应理论介绍”等一系列报告，并对重要问题进行了讨论。总结当前

三体、四体核反应的理论研究进展和国内外研究近况，如：运用法捷耶夫（Faddeev）方程开展 $n+^3\text{He}$ 微分截面数据研究，强调少体核反应研究对轻核数据的重要意义。专家们认为：R-矩阵方法是研究轻核两体核反应共振态的主要方法之一，并通过开展对三体、四体的连续态分离化耦合道理论（CDCC）研究可建立用于评价轻核反应数据的重要手段；在求解三体核反应的 Faddeev 方程与四体核反应的 Faddeev - Yakubovsky 方程面临的一些困难，有望利用国内对少体核反应的独特处理方法（矩阵反射法）完成三体核反应数据评价；开展关键轻核反应截面、角分布以及双微分截面的实验测量，如氘的 $(n, 2n)$ 双微分截面测量工作，为轻核数据的模型提供不可或缺的实验验证。

少体核反应研究对我国核数据的重要性是不言而喻，结合当前国内研究进展，有望在未来 5-10 年为我国核数据少体研究工作建立方法手段。但是同时我们也意识到，相比其他核数据问题，国内少体研究队伍断层问题非常突出，急需加强人才队伍的建设。

（五）核数据实验测量与评价基础研究

核数据工作包括实验测量、理论研究、数据评价和宏观参数制作等方面研究内容。高精度的实验数据不仅能够直接应用于国家安全、核能开发及核技术应用中，也是发展高水平核模型理论的基础。

第一，核数据实验测量研究。中子源、探测器和实验方法的升级是提高核数据测量能力必不可少的要素。我国的中子源水平仍处在第一代，应借助我国正在建设的散裂中子源发展第三代中子源，并发展相应的探测设备和测量技术。国内外各种新型探测器及相关的实验方法不断出现，如 TPC、SPIDER、DANCE 等探测器，替代反应法、渐进归一化系数法、质谱法等实验测量方法。部分新设备和方法在核物理

基础研究中已经得到应用，应进一步推广到核数据测量中。今后一个时期内应重点围绕利用新的中子源平台，发展精确测量技术与方法，开展高精度裂变核关键数据、共振区核反应截面及重要短寿命核中子反应与核结构数据的测量研究。

第二，核数据评价方法研究。需在核数据协方差评价、同时评价方法、反应截面系统学、模型参数系统学等方面开展研究，以支撑不确定度量化技术在国家安全和核能开发中的应用；同时需要进一步扩大 CENDL 库的数据种类、核素规模和能区范围，满足用户对核数据的基本需求。

第三，在核数据宏观参数研究。灵敏度与不确定度分析方法同样是支撑不确定度量化技术的重要基础之一，我国与国际先进水平的差距很大，亟待发展。核数据调整方法是实现宏观检验量化反馈、提高核数据精准度的重要手段，也是今后的重点研究方向之一。作为核数据与核工程应用的桥梁，群常数制作与宏观检验技术必须不断加强。

二、论坛讨论的主要成果

经过一天半的大会报告、发言和研讨，与会专家结合自己及所在研究团队的研究经历与经验，针对核数据发展中的关键基础科学问题，展开了激烈的讨论。大会主席针对各方面的讨论和总结，凝炼出了焦点问题和亟需解决的关键科学问题，取得了以下共识：

（一）未来一个时期内我国核数据基础研究的重点方向：

- 1) 锕系核性质、裂变过程中断点、裂变后现象研究；
- 2) 不稳定过程核反应与结构研究；
- 3) 基于少体反应与 R 矩阵理论的轻核数据评价方法研究；
- 4) 关键核数据精确测量与高可信度评价技术研究。

(二) 通过集中力量、协同攻关, 在未来 5-10 年时间里核数据基础研究有望在下述几方面有所突破:

- 1) 描述裂变现象的裂变势能曲面和裂变唯象模型;
- 2) 关键裂变核数据测量;
- 3) 不稳定过程核光学势、能级密度和反应截面系统学;
- 4) 不稳定过程核重点核数据的直接与间接测量方法研究;
- 5) R 矩阵方法应用于重要轻核数据的评价;
- 6) 法捷耶夫方程应用于轻核三体反应数据的评价;
- 7) 轻核双微分截面等的精确测量;
- 8) 高精核数据测量方法的建立;
- 9) 核数据评价可靠性分析及应用技术研究等。

论坛经过讨论提出以下建议:

1、 高度重视我国核数据工作研究现状与国家安全和核能发展对我国核数据工作提出的新要求; 根据我国核数据研究现状, 整合国内研究队伍, 发扬我国核数据工作大力协作、共同攻关的优良传统, 组织攻克关键难点问题, 为满足国家安全与国民经济建设对核数据不断增长的需求、提升我国核数据工作在国际地位奠定基础。

2、 根据核数据基础涵盖了核物理基础研究与应用研究的特点, 凝聚核数据需求方、核数据测量与评价以及核物理基础研究等方面的力量, 基金委从全局出发布置一些与核物理基础研究紧密相关的核数据基础关键难点问题进行攻关, 以期尽快获得一批突破性的成果, 为解决用户急需核数据提供基础支撑。

3、 充分考虑我国核物理基础研究与核数据研究的特点, 并结合核数据基础研究的重要性和长期性, 利用相关项目持续支持, 获取

一批高水平的研究成果、培养形成一支高水平的核数据研究团队，为我国核数据研究工作的持续发展奠定基础。

本期纪要在 OA 网政策局“双清论坛”栏目刊发

3、学术综述样稿（一）（刊载《中国科学基金》）

园艺学多学科交叉研究中的关键科学问题 ——第 148 期“双清论坛”学术综述

【摘要】基于第 148 期“双清论坛”，本文总结了我国园艺科学研究及产业发展所面临的国家重大需求，回顾了园艺学领域近年来通过园艺作物生物学与基础生物学等学科交叉所取得的主要进展和成就，凝炼了该领域未来 5-10 年的重大关键科学问题，探讨了前沿研究方向和科学基金资助战略。

【关键词】园艺学；基础生物学；多学科交叉；基础研究

随着我国国民经济发展和农业产业结构调整，以及人们生活水平提高和健康意识的不断增强，园艺产品生产与消费得到快速发展，园艺产品总产量达9.21亿吨，超过世界园艺产品总产量的一半；全国园艺产业产值已占种植业总产值的45%强。园艺产业为丰富和改善国民膳食结构以及促进农民脱贫致富奔小康发挥了重要作用。但与此同时，目前，我国园艺产业也面临种质资源开发利用不足、新品种培育仍然有限、产品品质有待提高、生产环境调控技术有待发展、贮藏物流损耗亟需控制等问题。

园艺产业的快速发展离不开园艺科技进步，其中应用基础研究功不可没。近年来，基础生物学，特别是植物生物学的研究成果为园艺科学研究的发展提供了良好借鉴，也在一定程度上带动了园艺作物生

物学基础研究的发展,在园艺作物基因组研究等领域取得了较好的成绩。但总体而言,这一借鉴与利用程度仍然有限,与模式植物生物学研究相比,园艺作物生物学研究与其差距又被再次拉大,这不利于现代园艺科学研究的持续发展,进而影响园艺产业技术提升和产业关键问题攻关的进程。

研讨园艺学和植物生物学的交叉,凝练科学问题,可以进一步推动园艺科技进步和产业发展。在此背景下,2015年11月12-13日,国家自然科学基金委员会生命科学部会同政策局联合召开了主题为“园艺学多学科交叉发展的关键科学问题与对策”的第148期双清论坛,来自国内20多所高校和科研院所的30名专家学者应邀参加了本次论坛。与会专家对园艺学多学科交叉发展现状与趋势、未来主要研究方向和科学问题进行了梳理,并提出了主题相关领域的国家自然科学基金资助战略。

1 园艺产业发展与科学研究面临的重大机遇与挑战

1.1 园艺产业发展现状、机遇与问题

园艺产业是我国农业的优势产业,建国以来,特别是改革开放以来,我国园艺产业得到了持续稳定发展,至2014年,全国水果栽培面积达1260万公顷,产量1.61亿吨;蔬菜栽培面积达2140万公顷,产量7.60亿吨;花卉栽培面积达127万公顷。园艺产业总产值达2万多亿元,约占种植业总产值的45%强。我国果品与蔬菜总产量均居世界首位,果蔬总量超过世界果蔬总量的一半。园艺产业在我国农业经济和社会发展中占据重要地位。园艺产业不仅是农业的重要组成部分,园

艺产品还直接关系人们的生活品质和膳食健康，已成为世界各国，特别是经济发达国家消费者重点关注的主题。因此，园艺产业发展备受各级政府的关注，迎来了良好的发展机遇。

但与此同时，园艺产业发展中也面临一些瓶颈问题或挑战。首先，随着园艺产品总量的上升以及国民生活水平的提高，园艺产品消费正处于数量型向质量型的转变过程，在经济发达省份与地区更加突出。消费者期待园艺产品的品质进一步提高（如果实果味更浓等）和全面提升（如在重视风味的同时也十分注重产品色泽等）、产品的多样性更加丰富、市场供应期进一步拉长等，这些都要求园艺科技工作者和生产者的观念和工作重心进行相应的调整，注重育种以及良种配套栽培技术研发。其次，环境调控园艺作物生长发育，对于产量及品质提高有着相当大的影响。近年来随着全球气候变暖，极端高温和低温、旱害和涝害等自然灾害以及病虫害频繁发生，园艺作物的设施生产在调节产品供应期以及抵御不良环境中起着重要作用，但与此同时也带来了弱光、CO₂不足以及连作障碍等问题。如何在非最优环境下实现稳产增质安全的生产目标是园艺产业面临的一大挑战。第三，我国园艺产品的采后损耗率高达30%左右，远高于发达国家的5-10%。对于一些特色园艺产品，损耗率更是高达50%以上。如何进一步降低园艺产品采后损耗率，使产品以更高的质量扩大销售半径，是园艺产业面临的一个巨大挑战。此外，园艺产业发展还面临劳动力紧缺、成本上升等问题，生产效率提高需要攻克，亟需适合轻简化栽培的新品种及其栽培配套措施。

1.2 园艺科学研究发展机遇与挑战

园艺产业的迅猛发展对园艺科技的进步提出了强烈需求，国家和地方有关部门也强加了相应的科技投入，这使得我国园艺科学研究迎来了良好的发展机遇。同时，生命科学研究的发展日新月异，相关知识、技术可在园艺学研究领域应用，来自模式植物和大田作物的成功实例也提供了良好的借鉴，这些都有力地推动着园艺科学研究进入一个快速发展阶段。

但园艺科学研究也面临一些挑战，这很大程度上是由于园艺作物有着不同于模式植物或大田作物的一些独特性，如食用器官多元化（特别是蔬菜）、遗传背景高度杂合（特别是果树）、多年生（特别是果树）、多胚性（如柑橘）、果实花粉直感、特殊营养器官的发育（特别是花卉和蔬菜类）、嫁接等无性繁殖、产品鲜活易腐易损特性等。这些特性使得园艺科学研究的问题也具有独特性，甚至唯一性。而且，研究的复杂性和难度大为增加。使得园艺科学研究水平与基础植物生物学的差距有加大的趋势。

就园艺作物而言，我国虽也有一些高精尖的研究成果，但总体而言研究水平尚不能居世界前列。根据刘彬和邓秀新^[1]对近年园艺学领域的SCI论文数和引用情况进行分析，近5年（2010-2014）我国园艺学SCI论文数量已居世界第一，但在生物学领域高影响因子期刊刊载的论文数量仅居世界第五，且大多论文集中于生物化学与分子生物学领域，与园艺科学与园艺产业应用相结合的研究论文相当匮乏。我国园艺科学研究的质量提升迫在眉睫。

1.3 多学科交叉是现代园艺科技进步的重要保障

近年来，学科交叉日益受关注，大数据时代进一步助力多学科交叉。具有典型意义的是化学、生物与数学的交叉，助推了基因组学、代谢组学、蛋白组学为核心的各种组学发展，进而为人类、动物、植物等领域的传统科学问题（疾病成因、生长发育和性状表现等）解析和新型挑战（新型流行病、极端气候等）的应对等方面提供支撑。同时，多学科交叉使机理与机制研究层次更加丰富和深入，如动植物研究已从基因序列与表达差异分析，延伸至转录调控、小RNA、非编码DNA和长非编码RNA、以及表观遗传机制等多层面解析。

园艺产业的发展离不开园艺科技的进步，而园艺科技进步离不开园艺学研究理学、工学、农学和医学等多门类学科的支撑，特别是离不开与基础生物学各相关学科（如遗传学、分子生物学、生物技术等）的密切交叉。近年来，得益于与基础生物学的密切交叉，园艺作物基因组研究、环境生物学、发育与采后生物学等方面取得了一些突出的成就。多学科交叉已成为现代园艺科技进步的重要保障之一。

2 园艺学多学科交叉研究主要进展和成就

2.1 园艺作物遗传与环境生物学

2.1.1 园艺作物基因组学的发展与应用

基因组作为一个物种遗传信息的总和，是生物学研究的重要工具和平台，随着测序技术的发展，园艺作物基因组学逐渐成为国际研究热点。应用第一代测序技术，2007年葡萄成为第一个完成基因组序列图谱的园艺作物，2008年番木瓜紧随其后。在高通量、低成本的

第二代测序技术出现后，2009 年黄瓜率先应用该技术完成了基因组序列图谱，在其成功经验的带动下，多种蔬菜（白菜、甘蓝、番茄、辣椒、甜瓜、西瓜、莲藕）、果树（甜橙、苹果、桃、梨、草莓、香蕉、猕猴桃）和花卉（梅花）作物的基因组完成解析。在园艺作物中占重要地位的葫芦科、茄科、十字花科、蔷薇科和芸香科等均已有了作物完成了基因组序列解析。园艺学科也已全面进入基因组学时代，组学对整个学科的发展具有重要的推动作用。

基于自然群体种质资源材料的变异组研究可揭示物种的起源、驯化、分化和群体结构等群体遗传学特征，且是研究重要基因功能的“加速器”。在蔬菜作物中，我国率先开展了黄瓜的变异组研究，通过测序 115 份核心种质资源，揭示了黄瓜的群体结构，阐明了 3 个栽培群体是如何形成的，并且鉴定了 100 多个驯化和 400 多个群体分化基因组区域，为研究驯化性状提供了重要的候选基因，并利用群体分化快速克隆果实积累 β -胡萝卜素的相关基因^[2]。紧随其后，我国在番茄上也开展了类似的工作，揭示了番茄果实由小变大的基因基础。在果树作物中，甜橙和桃也开展了部分变异组研究，比如，我国研究者通过甜橙、柚和宽皮柑橘等的变异组研究，揭示甜橙是由柚和宽皮柑橘杂交产生^[3]。变异组研究将成为园艺作物研究中的一个重要方向。

转录组、比较基因组和全基因组关联分析是加速挖掘重要功能基因的有效手段。在完成全基因组序列解析的园艺作物中均已有转录组研究，对研究基因功能具有重要的指导意义，但均是利用特定材料，且未涉及单细胞水平的转录组，限制了转录组的应用。比较基因组对

研究基因功能分化具有重要的意义，随着近缘物种基因组序列的获得，比较基因组将为研究基因功能演化提供更多的信息。全基因组关联分析已在黄瓜和番茄中发现了重要的功能基因，在更多园艺作物的功能基因研究中将发挥更加重要的作用。我国研究人员综合利用上述多种方法，快速鉴定了黄瓜中苦味物质生物合成和调控的基因集^[2]，对其它园艺作物重要农艺性状遗传基础解析具有重要的指导意义。

目前，完成基因组序列解析的园艺作物中有一半由我国研究人员主导或参与，可见我国在该领域已具备国际上的领先优势，同时，我国具有丰富的园艺作物种质资源材料，因此，应充分利用我国的基因组学和种质资源优势，进一步加强基因组学在推动园艺学科发展的作用。

2.1.2 园艺作物遗传规律与调控

种质资源是园艺作物遗传规律研究以及种质创新与利用的基础材料，各国均在发掘种质资源优势方面参与国际竞争。长时间的驯化和育种，导致园艺作物栽培种遗传变异减小。近年来广泛收集园艺作物具有优异品质性状和高抗性的野生资源，同时发掘自然突变体，为分子辅助育种发掘了多态性标记和候选基因。园艺作物基因组学研究进展迅速，黄瓜、白菜、番茄、苹果、甜橙、西瓜、梨、桃、甘蓝、猕猴桃、梅花等园艺作物基因组序列图谱相继绘制完成，为重要农艺性状遗传机理和调控机制研究奠定了基础。园艺作物具有不同于模式植物和大田作物的特殊性状，这些性状的解析为育种提供了理论基础，也对栽培具有指导意义。通过构建遗传分离群体，基因组重测序

结合 RNA 测序，现已实现对园艺作物性状控制基因的精细定位和克隆。而果树作物由于树体高大、童期长、自交不亲和，部分物种还具有多胚性，构建杂交分离群体难度大；通过构建植株矮小、早开花的模式果树作物可以有效解决以上问题。利用自然群体，结合全基因组关联分析（genome wide association study, GWAS）也能锁定关键基因（如葡萄香气、苹果果型等相关基因）^[4, 5]。利用代谢组学描绘了诸多园艺作物品质形成物质基础及发育过程中的变化规律，基于转录组、蛋白组、小 RNA 组学解析了特殊性状及其形成规律的调控网络（如柑橘果实成熟衰老规律与调控^[6]）。未来的热点将以优异种质资源发掘为核心，开展全基因组测序与评价，阐释物种驯化或进化历史，开发全基因组 SNP 标记进行关联分析，挖掘特异基因资源等研究。

种质创制是园艺作物遗传研究以及资源用于育种的一个关键环节。由于远缘物种间、种间有性杂交的生殖障碍，发掘利用野生种、近缘种的优异基因一直是园艺作物遗传改良的重大课题。种质创制的目的是产生可以利用的具有优异性状的育种新材料。性状改良方面，现代品种逐步从以产量提升为主的农艺性状改良转向营养品质、加工品质、外观品质以及与健康相关的功能性组分等性状的改良，同时更加注重抵抗生物和非生物胁迫以及农业资源有效利用的性状改良。因此，种质创制对亲本物种的选择范围更宽，涉及的生物多样性更复杂。资源创制的技术手段方面，由远缘杂交、系统选择、无性系选育等常规方法为主，向包括体细胞融合、以组学为基础的基因定向改良

等生物技术手段与常规技术相结合的途径转变。以原生质体融合为代表的细胞工程技术, 仍是柑橘等存在有性生殖障碍的园艺作物种质创制的重要手段^[7]。分子标记辅助育种及基因工程已逐步成为园艺作物性状定向改良的育种新技术。在不久将来, 基因组辅助育种也将应用于园艺作物品种改良。随着更多功能基因的发掘、新型分子标记的开发以及对主要性状遗传规律的深入解析, 分子设计育种将成为园艺作物遗传改良的主要方向。

2.1.3 园艺作物环境生物学

园艺作物性状表现由遗传与环境协同调控, 其中光照、温度、水分、营养等是最常见的环境因子, 也是大家关注和研究的重点。光是植物生长发育所必不可少的能量来源, 植物通过光合作用产生糖分, 糖不仅为植物的生长发育提供能量和代谢中间产物, 而且具有信号功能, 它通过与激素、氮素营养等其它信号相互作用, 调控园艺作物的生长发育。糖分积累是园艺生产中追求的一个重要目标, 生产栽培过程中, 一系列的栽培措施, 包括果园覆反光膜、合理密植等都是为了提高园艺作物对光的利用效率而进行的栽培管理方式。

温度不仅影响园艺作物的生长发育和品质形成, 也是园艺作物栽培区域的限制因子。近年来, 随着科技水平的提高与设施园艺栽培的广泛应用, 多种园艺作物实现了反季节栽培和全年供应。日光温室是我国设施蔬菜生产的主要基地, 针对设施园艺生产中相对封闭的环境, 易造成光照不足、CO₂含量偏低等, 可以通过补充光照和CO₂气肥等方式进行调节^[8]。对于多年生果树的设施栽培, 可以通过化学处

理打破休眠，改变果树的季节性采收模式，也可以实现部分果树的反季节生产。

随着我国经济的快速发展，水资源短缺的现象日益突出，我国的许多园艺作物（尤其是果树）主要种植在丘陵山地等缺水地带，因此，节水灌溉是目前园艺产业研究的一个重要方向，喷灌、滴灌等灌溉方式逐步替代大水漫灌，在节水上取得良好效果。研究园艺作物生长发育过程中的需水规律，提高水分利用效率，依然是园艺作物环境调控的重要研究方向。

营养元素对植物生长发育起着至关重要作用，尤其是生产中常用到的氮磷钾肥料，对园艺作物的产量和质量影响巨大。目前，人们为了追求高产，大量施用化肥，引起了一系列问题，如园艺产品中的硝态氮超标、病虫害加剧、土壤板结酸化、水体富营养化等，严重影响了农业可持续发展。我们已经初步了解了园艺作物对重要营养物质的吸收规律，同时，植物根系可以改变构型和吸收方式对营养环境作出响应，提高对营养元素的吸收；另外，局部施氮可以改善根系的冗余状况，实现对肥料的高效利用。

植物在自然界中不可避免地会遭遇生物（病害、虫害）及非生物胁迫（炎热、干燥、寒冷、潮湿、重金属等）。而全球气候变化又加剧了上述胁迫，尤其是非生物胁迫对植物的危害。为应对各类胁迫，结合当今快速发展的基因组学、功能基因组学及生物信息学，世界主要农业国家纷纷以提高作物的抗逆性为重点，评价了各种作物包括其野生种的抗逆性，研究了抗逆作物的分子遗传机制，并从育种和栽培

技术方面形成了一些应对措施等。在此背景下，园艺作物的抗逆生物学研究也取得一些进展，如已经系统评价了一些园艺作物种质资源如苹果的抗逆性（抗早期落叶病、干旱等），并分离了一些抗逆相关基因，其调控网络也逐渐清晰^[9]；已从一些园艺作物中鉴定了与抗逆有关的QTLs和小分子RNA，也形成了基于生长调节剂应用等提高园艺作物抗逆性的措施。

2.2 园艺作物发育与采后生物学

2.2.1 园艺作物发育生物学

园艺作物性状表现随发育阶段而发生变化，研究其规律及内在机制是园艺作物发育生物学的核心内容。园艺作物既有与其它植物共有的科学问题，如自交不亲和，也有不同于模式植物或大田作物的特性，如不少蔬菜作物的植株形态构成的基本器官（根、茎或叶）变态为营养贮藏器官，以及花卉的花期和花器官形成调控在很大程度上影响了花卉的观赏性。

自交不亲和性是植物界普遍现象，大约50%的显花植物有此特性，同时远缘物种杂交又存在生殖障碍，这些在保证物种的遗传稳定性、多样性和适应性方面发挥了重要作用，但也对农业生产的制种（如远缘杂交育种等）和栽培（如需要异花授粉不便于省力化栽培）等环节带来不便。近来，在植物自交不亲和与生殖隔离机制及其调控方面取得了较大进展，也展现了农业生产应用的良好前景。在番茄上，基于茄族物种间生殖隔离障碍规律与机制的阐明，通过转化带有生殖障碍因子*ShSLF*和*ShCUL1*基因的栽培番茄，中国科学院遗传与发育生物

学研究所薛勇彪研究组成功克服栽培番茄与秘鲁番茄之间的杂交障碍，使得远缘杂交育种成为可能；另一方面，英国科学家将虞美人的自交不亲和相关基因导入拟南芥，使得原本自交亲和的拟南芥获得了自交不亲和的特性^[10]。考虑到远缘杂交障碍的普遍性以及自交不亲和性在园艺作物（蔷薇科、茄科和车前科中的不少植物是园艺作物）上的广泛性，这一领域的深入研究和突破将有望带动产业技术的巨大变革。

园艺作物的根、茎、叶、花和果实除了发挥器官功能外，还是贮存多种与人类健康营养成分有关的产品器官。它们在大小、形状、表面特征和质地上的变化影响产量和品质。根、茎、叶、花和果实等基本器官变态为营养贮藏器官是园艺作物有别于模式植物和大田作物的特色科学问题，对其开展研究不仅可以丰富发育生物学理论，对于栽培调控园艺作物器官发育、产量和品质以及育种均具有重要意义。近年来，就蔬菜叶片变态的基因调控机制取得了较好进展，研究表明小分子RNA介导的表观遗传在大白菜叶球形成过程中有重要调控作用，其中mi319a、miR156和miR165/6分别调控叶球形状、形成时间和大小^[11]；控制羽衣甘蓝颜色、生菜颜色、株型、叶型、叶夹角、茎刺、叶缘卷曲、结球性等性状的相关基因已得到定位或分离。相对而言，花、茎和根等器官变态的研究进展仍然较少，有待进一步开展。

开花是植物个体发育最重要的事件，花期调控是花卉等园艺作物科学研究和产业发展的一个重要主题。一朵花的形成包括花芽诱导、花原基形成和花器官发育等阶段，而每个阶段均受诸多内外因子影

响，由一系列相关基因发挥调控作用。近年来研究鉴别了参与光周期调控植物开花的开关基因开花素以及对之起负调控作用的反开花素，鉴别了营养顶端分化为生殖顶端以及后者向前者逆转的相关基因，解析了调控网络，鉴别了开花素受体蛋白以及下游作用元件^[12]。研究还揭示了不同植物，如菊花与拟南芥的光周期途径存在差异^[13]，因而需要就具体园艺作物种类开展深入的研究。

2.2.2 园艺作物品质生物学

随着产业快速发展和园艺产品总产量的迅猛提高，发育期间的品质性状变化及机制得到了越来越密切的关注。品质包括外观和内质，其中色泽和风味分别是外观和内在品质的核心，风味包括由糖、有机酸和苦味物质等影响的口感以及香气物质所产生的香味。因此，品质生物学的核心是物质代谢及其调控，近年来随着组学等技术的应用，取得了较大的进展。

园艺产品色泽主要由花色苷、类胡萝卜素、甜菜色素和叶绿素等决定，其中尤以花色苷和类胡萝卜素是绝大多数园艺产品黄色、橙色、红色和蓝紫色等鲜艳色彩的来源，相关研究较多。在花色苷研究方面，负责花色苷代谢转录调控的MYB等转录因子成员已在多种园艺产品中得到分离；红叶桃、红叶李、红肉桃、血橙等突变体器官中积累花色苷以及绿皮梨、水晶杨梅等缺乏花色苷的机制得到阐明^[14]；^[15]；光和温度等环境因子调控花色苷合成的机制研究也取得进展，光调控因子CRY和COP等得到鉴别^[16]；近来，花色素合成调控因子的启动子的甲基化修饰和代谢产物糖基化和甲基化修饰以及液泡转运机

制等引起关注^[17]，但更多的细节与成因有待深入。在类胡萝卜素研究方面，*CCD4*和*PSY*等关键基因及其功能得到进一步鉴别，如桃和枇杷等的果肉色泽变异分别与*CCD4*和*PSY2A*发生突变相关^[18]；有色体发育，如红肉脐橙果肉新的有色体类型的形成以及白肉枇杷有色体发育障碍也直接关系类胡萝卜素积累^[19, 20]，但其更深层次的调控机制有待进一步研究。此外，与花色苷相比，类胡萝卜素的合成与代谢调控机制研究较为滞后。

糖和有机酸是决定果蔬口味的关键，近年来，糖酸研究在番茄、苹果、柑橘、梨等园艺作物中广泛开展，主要包括结合产业实际和代谢组分析的不同栽培和采后贮藏过程、不同器官中物质组分及变化规律研究；基于基因组、转录组的合成和降解相关基因的挖掘与分析；少量研究开始涉及其他功能蛋白，包括行使运转功能的蛋白（转运蛋白、质子泵）和具有调控功能效应的蛋白（转录因子、酸性转化酶抑制蛋白等）^[21]。与此同时，近年来其它风味物质也逐渐受到重视，包括苦味（黄瓜、柑橘等）、涩味（柿、葡萄等）等^[2, 22]。利用色谱和质谱技术，苦味和涩味物质在不同果蔬中的分布及变化规律已初步明确；通过构建杂交群体、渐渗系等，结合GWAS、转录组、分子标记等技术，苦味和涩味形成与去除相关调控基因也有一些报道。上述研究结果进一步丰富了对果实风味品质形成的生物学机制的认识。但由于园艺植物转基因，特别是多年生果树转基因体系的缺乏以及获得转基因果实周期较长，果实糖酸相关基因鲜见功能验证的报道。同时，风味物质合成与降解相关结构基因仍是目前研究热点，而上游相关调

控因子有待于深入探究。

由于技术手段不足以及研究的复杂性等原因，以往植物芳香物质研究相对滞后。得益于各种组学技术的进步与应用，芳香品质的形成及调控正成为园艺植物发育与品质生物学研究的又一重要领域。芳香物质除了可使人产生愉悦的感觉，研究表明它还具有抑菌、抗氧化以及抗癌等重要生物活性，在植物授粉受精、种子传播和环境响应等生命活动中均起着重要作用。因此，就园艺植物芳香品质开展研究，一方面可以阐明这些植物重要次生代谢物质的代谢调控机制，另一方面也为全面提升园艺品质提供科学依据。现在已鉴别的芳香物质超过1000种，但不同园艺植物的特征芳香组分仍不清楚。简单地采用定量的化学分析，并依据含量与阈值计算的香气数值并不能满足特征芳香物质鉴别的要求，而且会导致不正确的判断。在国际上，现行的解决方案大多采取在大规模开展代谢组学研究的基础上，结合消费者的感官分析结果，建立芳香物质的“响应矩阵”，判别消费者对不同种类物质的喜好，从而明确对于芳香品质形成具有重要作用的次生代谢物质^[23]。尽管芳香物质与品质以及人们生活密切相关，但芳香物质生物合成关键基因鉴别仍非常有限，诸多研究有待深入开展。已有芳香物质生物合成关键基因鉴别的工作主要集中在番茄、草莓、牵牛花和玫瑰等园艺植物^[24-26]。大多数园艺产品的芳香物质合成与成熟阶段密切相关，因而受成熟相关的转录因子调控。利用*rin*和*nor*等突变体，已经从模式果实番茄中鉴别出了受乙烯转录调控的脂肪酸途径*LOX*、*HPL*和*ADH*等基因^[27]。基于成熟相关激素（如乙烯等）信号转导途径，开

展转录因子对园艺植物芳香物质生物合成的调控研究正处于起步阶段。

2.2.3 园艺产品成熟衰老规律与调控

品质劣变是园艺产品采后的核心问题，由此导致巨大的采后损失和安全问题。引起园艺产品采后品质（主要包括色、香、味和质地等）下降的因素主要有自身衰老造成的营养组分损耗和病原菌侵染引起的病害腐烂，且采后品质下降是一不可逆的生物学过程，已经成为采后损耗的主要因素。

近年来，园艺产品采后研究已由传统的保鲜规律分析与相应技术研发，转向涉及乙烯、质地、能量代谢、细胞程序性死亡、生物胁迫、温度胁迫、失水胁迫（主要是鲜切花和蔬菜）等较广泛的分子生物学机制解析。以园艺产品采后乙烯生物学研究为例，借鉴了模式植物的研究进展（乙烯信号转导、乙烯与其他激素互作等），是深入诠释园艺产品采后成熟衰老机制的重要路径；乙烯相关的RIN、AP2/ERF等一系列转录因子在番茄、香蕉、猕猴桃、苹果等重要果蔬中被陆续分离，且参与了采后后熟衰老调控^[28, 29]；基于乙烯及与其具有互作效应的其他植物激素的研究，鲜切花（月季和矮牵牛花等）花朵衰老的调节机制也初步得到明确。除乙烯相关转录因子外，还有大量的其他转录因子（NAC、SBP等）也在不同的园艺产品中被报道参与了成熟衰老调控^[30]。同时，模式植物中研究较为成熟的长链非编码RNA、染色质空间结构、DNA甲基化、组蛋白修饰、蛋白磷酸化/去磷酸化、RNA加工、基因沉默等，也在少量园艺产品有报道，为园艺产品衰老

生物学相关机制研究提供了新方向。

在理论研究的基础上，园艺产品成熟衰老调控相关技术手段得到也进一步的改进，并开展了产业示范推广应用。过去两个5年计划中国园艺产品采后研究进一步接轨国际，并从园艺产品的采后“静态贮藏”转向“动态物流”，进一步明确了园艺产品从田间到餐桌的全产业链科技需求，使产后的研究内容进一步扩展。园艺产品采后研究过程中，不仅需要传统的物料特性与生物学机制研究，同时拓展了园艺学与理（化学、数学等）、工（计算机、自动化、制冷、机械制造等）、医（产品安全）等不同门类、不同学科的交叉，探索适宜于园艺产品采后物流的工艺、装备和规范，有效丰富了园艺产业的产业链内涵。

同时，园艺产品采后生物学研究中也存在一些问题，有待于进一步解决，其中有一些与其他园艺学方向的共性问题，如一些园艺作物，特别是如果树等多年生园艺作物，由于是高度杂合作物，品质性状复杂，且存在品种间/单果间的遗传背景差异，因此难以直接套用模式植物的生物学技术手段，需要创建相适应技术体系和对原有技术的改进；也有部分问题与其他园艺学方向关联，如以采后研究结果反向支撑育种，进而利用育种体系获得贮藏性提升的新品种；加强采前管理，提升现有品种的采后贮藏性。同时，采后生物学具有更多的特异性科学问题，如品质劣变机制、后熟衰老启动与加速因子等，也需加以重点关注。

3 未来5-10年园艺学多学科交叉发展目标及资助重点

3.1 发展目标

如前所述,得益于生物学研究日新月异的发展,来自遗传学、分子生物学和生物信息学、植物化学等基础生物学及组学(特别是基因组学、转录组学、代谢组学和蛋白质组学)等研究策略和技术手段在园艺作物生物学区研究中开始得到应用,并已在园艺作物基因组测序、发育(含成熟衰老)与环境响应的分子基础解析、次生代谢及其调控的分子机制诠释等方面取得初步结果。但不可忽视的是,由于园艺作物的特殊性和复杂性,园艺学和基础生物学研究的差距仍然存在。因此,在未来5-10年,需针对园艺作物特殊性状和园艺产业重大问题,全面深入与基础生物学相关学科的交叉,提升园艺学研究水平,推动园艺产业发展。

3.2 资助重点

本次双清论坛与会专家经过深入研讨,凝练了园艺学科重大关键科学问题,并建议未来5-10年园艺学科应着重围绕以下7个领域,通过多学科交叉开展原创性研究。

3.2.1 基于组学等新方法的园艺作物优异种质发掘与创制

园艺作物起源与进化的基因组学基础以及不同群体结构和基因组特点的全基因组关联技术分析;基于组学的功能基因挖掘以及园艺作物重要与特殊性状的遗传与表观遗传解析;园艺作物种质资源评价与优异种质发掘与利用;园艺作物种质创新与分子辅助育种新理论与方法。

3.2.2 园艺作物轻简化生产的生物学基础

园艺作物适于轻简化生产的农艺性状(株型/树型、生长发育进程

一致性等)相关功能基因挖掘及性状形成机制解析;适于轻简化生产的资源筛选评价与新品种选育;园艺作物轻简栽培技术(修剪、采收等)的生物学基础。

3.2.3 设施条件下园艺作物可持续生产的生物学基础

园艺作物对设施特殊胁迫(如低温、弱光、高湿、高低 CO₂、土壤酸化和次生盐渍化等)响应与调控的生理与分子机制;设施园艺作物养分高效利用的生物学基础与调控机制;连作障碍形成中作物与土壤间的反馈调控机制;根域限制调控园艺作物生长发育的生物学原理。

3.2.4 园艺作物绿色生产的关键基础研究

园艺作物抗逆重要基因/QTLs 的挖掘与抗逆改良应用;园艺作物生长发育对多种胁迫的响应及其调控网络;园艺作物—有益有害生物—环境间的互作及其生态防控机制;园艺产品采后腐烂损耗发生的病理与生理基础及其控制途径。

3.2.5 园艺产品品质形成机制与调控

品质构成的主要物质(色素、糖、有机酸、芳香物质等)代谢途径及其关键位点和关键基因鉴别;物质代谢的转录及表观遗传调控关键基因鉴别以及品质形成机制解析;物质转运、贮存和修饰的分子与细胞生物学机制;多种代谢的交互作用及调控机制;内部信号和环境因子对园艺作物品质形成的调控机制。

3.2.6 园艺产品器官建成机制与调控

叶、花、茎和根形态发生、建成和变态的遗传与发育生物学基础;

果实大小和形状多样性的分子与细胞生物学基础; 园艺产品器官发育与产量形成的调控途径及其生物学机制。

3.2.7 园艺产品成熟衰老生物学机制

园艺产品成熟衰老关键基因的鉴别以及成熟衰老机制解析; 园艺产品采后质地等品质变化机制与调控路径; 物流微环境调控园艺产品成熟衰老的生物学基础; 基于植物激素的园艺产品成熟衰老的调控机制; 园艺产品采后冷害等生理失调的发生机制与调控。

4 结 语

园艺学是我国农业的重要组成部分, 在发展农业经济和改善国民生活水平方面起着重要作用。我国园艺产业面临着种质资源开发利用不足、新品种培育落后于需求、产品品质有待提高、生产环境调控技术有待发展、贮运损耗较大等瓶颈问题, 而这些问题的解决依赖园艺科技进步。同时, 园艺作物具有类型多样、多年生、无性繁殖、产品鲜活易腐烂等特点, 赋予了园艺学独特的研究内容。近年来, 得益于与基础生物学各相关学科的密切交叉, 已在园艺作物种质创新、基因组研究、环境生物学、发育与采后生物学等方面取得了突破性进展。今后需进一步加强多学科交叉开展研究, 以推动园艺科技进步, 促进园艺产业发展。针对园艺作物特殊性状和园艺产业重大问题, 提出了未来 5-10 年园艺学多学科交叉发展目标及资助重点。

参考文献

- [1] 刘彬, 邓秀新. 基于文献计量的园艺学基础研究发展状况分析. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3504-3514.
- [2] Shang Y, Ma YS, Zhou Y, et al. Biosynthesis, regulation, and domestication of bitterness in cucumber. Science, 2014, 346: 1084-1088.
- [3] Xu Q, Chen LL, Ruan XA, et al. The draft genome of sweet orange (*Citrus sinensis*). Nature Genetics, 45: 59-66.
- [4] Khan MA, Korban SS. Association mapping in forest trees and fruit crops. Journal of Experimental Botany, 2012, 63: 4045-4060.
- [5] Kumar S, Garrick DJ, Bink MC, et al. Novel genomic approaches unravel genetic architecture of complex traits in apple. BMC Genomics, 2013, 14: 393.
- [6] Ding YD, Chang JW, Ma QL, et al. Network analysis of postharvest senescence process in citrus fruits revealed by transcriptomic and metabolomic profiling. Plant Physiology, 2015, 168: 357-376.
- [7] Guo WW, Xiao SX, Deng XX. Somatic cybrid production via protoplast fusion for citrus improvement. Scientia Horticulturae, 2013, 163: 20-26.
- [8] 喻景权. “十一五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望. 中国蔬菜, 2011, (2): 11-23.
- [9] Zhou S, Li M, Guan Q, et al. Physiological and proteome analysis suggest critical roles for the photosynthetic system for high water-use

- efficiency under drought stress in *Malus*. *Plant Science*, 2015, 236: 44-60.
- [10] Lin ZC, Eaves DJ, Sanchez-Moran E, et al. The *Papaver rhoeas* *S* determinants confer self-incompatibility to *Arabidopsis thaliana* in planta. *Science*, 2015, 350: 684-687.
- [11] Mao YF, Wu FJ, Yu X, et al. microRNA319a-targeted *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* *TCP* genes modulate head shape in Chinese cabbage by differential cell division arrest in leaf regions. *Plant Physiology*, 2014, 164: 710-720.
- [12] Liu L, Zhu Y, Shen LS, et al. Emerging insights into florigen transport. *Current Opinion in Plant Biology*, 2013, 16: 607-613.
- [13] Yang YJ, Ma C, Xu YJ, et al. A zinc finger protein regulates flowering time and abiotic stress tolerance in chrysanthemum by modulating gibberellin biosynthesis. *The Plant Cell*, 2014, 26: 2038-2054.
- [14] 刘晓芬, 李 方, 殷学仁等. 花青苷生物合成转录调控研究进展. *园艺学报*, 2013, 40: 2295-2306.
- [15] Zhou H, Lin-Wang K, Wang HL, et al. Molecular genetics of blood-fleshed peach reveals activation of anthocyanin biosynthesis by NAC transcription factors. *The Plant Journal*, 2015, 82: 105-121.
- [16] Li YY, Mao K, Zhao C, et al. MdCOP1 ubiquitin E3 ligases interact

with MdMYB1 to regulate light-induced anthocyanin biosynthesis and red fruit coloration in apple. *Plant Physiology*, 2012, 160: 1011-1022.

[17] Cheng J, Wei GC, Zhou H, et al. Unraveling the mechanism underlying the glycosylation and methylation of anthocyanins in peach. *Plant Physiology*, 2014, 166: 1044-1058.

[18] Fu XM, Kong WB, Peng G, et al. Plastid structure and carotenogenic gene expression in red- and white-fleshed loquat (*Eriobotrya japonica*) fruits. *Journal of Experimental Botany*, 2012, 63: 341-354.

[19] Zeng YL, Du JB, Wang L, et al. A comprehensive analysis of chromoplast differentiation reveals complex protein changes associated with plastoglobule biogenesis and remodeling of protein systems in sweet orange flesh. *Plant Physiology*, 2015, 168: 1648-1665.

[20] Fu XM, Feng C, Wang CY, et al. Involvement of multiple phytoene synthase genes in tissue- and cultivar-specific accumulation of carotenoids in loquat. *Journal of Experimental Botany*, 2014, 65: 4679-4689.

[21] Li SJ, Yin XR, Xie XL, et al. The *Citrus* transcription factor, CitERF13, regulates citric acid accumulation *via* a protein-protein interaction with the vacuolar proton pump, CitVHA-c4. *Scientific Reports*, 2016, 6: 20151.

[22] Min T, Yin XR, Shi YN, et al. Ethylene-responsive transcription factors interact with promoters of *ADH* and *PDC* involved in persimmon

(*Diospyros kaki*) fruit de-astringency. Journal of Experimental Botany, 2012, 63: 6393-6405.

[23] Tieman D, Bliss P, McIntyre L, et al. The chemical interactions underlying tomato flavor preferences. Current Biology, 2012, 22: 1035-1039.

[24] Scalliet G, Piola F, Douady CJ, et al. Scent evolution in Chinese roses. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 2008, 105: 5927-5932.

[25] Goulet C, Mageroy MH, Lam NB, et al. Role of an esterase in flavour volatile variation within the tomato clade. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 2012, 109: 19009-19014.

[26] Aharoni A, Giri AP, Verstappen FWA, et al. Gain and loss of fruit flavor compounds produced by wild and cultivated strawberry species. The Plant Cell, 2004, 16: 3110-3131.

[27] Qin GZ, Wang YY, Cao BH, et al. Unraveling the regulatory network of the MADS box transcription factor RIN in fruit ripening. The Plant Journal, 2012, 70: 243-255.

[28] Liu MC, Gomes BL, Mila I, et al. Comprehensive profiling of ethylene response factor expression identifies ripening-associated ERF genes and their link to key regulators of fruit ripening in tomato. Plant Physiology, 2016, 170: 1732-1744.

[29] Yin XR, Allan AC, Chen KS, et al. Kiwifruit EIL and ERF genes

involved in regulating fruit ripening. *Plant Physiology*, 2010, 153: 1280-1292.

[30] Fischer AM. The Complex Regulation of Senescence. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2012, 31: 124-147.

Horticultural research by multidisciplinary crossing: main progresses, key scientific questions and developmental strategies

Abstract: This review is based on the presentations and discussions at the 148th “Shuangqing Forum” organized by the National Natural Science Foundation of China. The major current issues and challenges facing horticultural industry were summarized. The main recent progresses and achievements in multidisciplinary horticultural research areas through interactions with other biological sciences were reviewed. Finally, key scientific questions and focal areas for funding through Natural Science Foundation of China in the next 5-10 years were suggested.

Key words: Horticulture; general biology; multidisciplinary research; fundamental research

4、学术综述样稿（二）（刊载《学科政策动态》）

神经功能成像及其在重大脑疾病中的应用

——第 101 期双清论坛学术综述

编者按：脑研究是21世纪世界主要发达国家高度重视的前沿科学议题，也将对未来人类健康、高新技术、国家安全等诸多领域产生重大而深远的影响。近年来，美国、欧盟、日本等经济和科技发达的国家及地区陆续出台针对脑研究的重大研发计划，我国科学界也呼吁政府尽早设立相关研究计划，加强对脑科学的研究。成像技术是脑研究的重要手段，为了深入探讨神经功能成像技术在脑研究、特别是重大脑疾病研究中的作用及发展前景，2013年9月15-18日，医学科学部和政策局联合举办主题为“神经功能成像及其在重大脑疾病中的应用”的第101期双清论坛，来自全国27家科研院所和临床医院的39位专家学者应邀出席。与会专家通过充分而深入的研讨，凝炼了该领域的重大关键科学问题，探讨了前沿研究方向和科学基金资助战略。本期特刊登此次论坛学术综述。

21世纪被称作“脑的世纪”，是人类解读脑正常工作机制及重大脑疾病致病机理的关键历史阶段。当前，人类疾病谱发生了重大变化，神经精神疾病跃居人类疾病谱系首位，且其发病率随着人们所面临的日益增加的工作和生活压力不断升高。据世界卫生组织2004年统计，各类精神疾病约占人类疾病总负担的13.08%。在欧洲，约三分之一的人患有脑疾病，这几乎影响到了所有的家庭，使得相关医疗费用逐

年增高，近几年高达 8000 亿欧元/年。在我国，目前精神疾病约占疾病总负担的 20.8%，到 2020 年预计会增至到 25%，这可能与经济快速发展和社会急剧变迁所带来的精神负担增加有关。

与此同时，随着老龄化人群不断增加，导致中风、阿尔茨海默病、帕金森病等神经系统疾病的发病率也在逐步提高。这些重大脑疾病不仅导致患者的工作能力丧失、生活质量下降，更给家庭及社会带来极大的经济和精神负担。

此外，随着信息科学技术的日新月异，特别是神经回路测量相关工具和技术的更新以及网络平台建设的发展，使得脑细胞与环路活动图谱绘制已成为可能。鉴于揭秘人脑工作机制对拓展科学前沿、解决人类健康等领域的现实问题以及影响未来国防和国家安全等方面的重要性，近年来，在世界范围内已掀起一股脑科学研究的热潮。例如，2013 年 1 月 28 日，欧盟委员会宣布人脑工程（HBP）入选欧盟“未来新兴旗舰技术项目”。再如，2013 年 4 月 2 日，美国总统奥巴马宣布启动以技术创新为导向的“脑”计划（BRAIN），将在未来十年内投资 40 亿美元实施该计划，其规模可与“人类基因组计划”相媲美。

然而，对重大神经精神疾病的致病机理研究仍然是当今医学界的世界难题之一。其临床诊断既是医学上的难题，也是易于引发社会法律和伦理争议的焦点。究其原因，这是因为这些疾病的发病机制不清，且运用现有技术手段进行常规检查尚不能发现特异的结构、功能和代谢异常，这使得我们对这些疾病的诊治和评估缺乏客观生物学测试，而只能长期依赖于主观判断。

2009年6月,《柳叶刀》杂志发表了对中国四省精神障碍的流行病学调查结果,调查显示中国约有1.73亿人患有不同类型的精神障碍。这项迄今为止在中国进行的最大规模的精神疾病流行病学调查,得到的精神疾病总的患病率明显高于以往结果。另一方面,由于缺乏客观生物学证据和疾病界定的“金标准”,导致社会人群对这类疾病缺乏基本认知,延误了患者的诊治,带来社会歧视。特别是精神疾病患者,他们不敢求医,不愿让人知道;由于缺乏客观指标,许多患者怀疑精神卫生治疗的有效性,认为应该自行处理。其直接后果就是国内现有的1.73亿精神障碍患者中,1.58亿人从未接受过精神卫生专业治疗与干预。因此,对重大神经精神疾病发病机制的研究迫在眉睫。这不仅有利于促进对这类疾病早期而客观的诊治及评估,还将提高公众对疾病本身的认识,从而达到《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》所提出的“疾病防治重心前移,坚持预防为主、促进健康和防治疾病结合”的战略目标。《国家自然科学基金“十一五”发展规划》中就明确提出了“重点支持针对严重危害人类健康的神经性疾病、精神性疾病以及环境相关性重大疾病等的研究”,近十年来,科学基金也资助了多项有关研究课题。

在过去的数十年中,国内外学者应用多种研究手段发现重大神经精神疾病存在脑结构及功能异常,且与遗传及环境因素关系密切。在这些研究手段中,功能神经影像学方法有着突出的优势,这不仅是因为其可以无创(微创)观察活体脑结构及功能改变,更重要的是影像学作为中间桥梁可以整合分子、代谢、功能及结构等多方面的信息,

从而为研究疾病的发病机制、开发生物学测试、临床早期诊断以及抗精神药物的作用机理与疗效的评价提供客观的备选指标。

一、功能神经成像技术与方法的现状与发展趋势

（一）功能神经影像技术与方法

在技术方面,快速精准脑功能成像新技术的研发在神经科学和临床医学研究中起着至关重要的作用。其中成像速度的提高对功能成像,特别是功能磁共振成像研究的发展与应用尤其重要。目前的功能磁共振扫描的时间分辨率多在 1-2 秒,相对于毫秒级的神经元放电活动来说,其时间分辨率远远不够。近几年发展起来的并行成像技术可以通过减少采样数量从而缩短采集时间。

为了进一步提高成像速度,并同时减小现有技术手段的自身限制,除了多种技术的结合,还需要开发新的技术,这包括压缩传感、射频激励并行发射和复用加速等技术。压缩传感磁共振技术在时间和空间上提供了一种拍摄软组织图像的快速途径,采用随机地记录数据,进而绘制出一个稀疏的图像,这种不完整的图像在扫描后会由显示每个像素最简单的解决方案的算法进行填充;与并行加速成像类似,射频激励的并行发射可以通过多个射频发射通道与射频脉冲的组合实现多维激励,可以特征性地选择激励区域减小激励范围,并且可以有效避免卷褶伪影,避开局部磁场不均匀造成的伪影区域,提高激励速度;复用加速是通讯中将多个信号加合并共享传递介质以提高传递速度的方法,在磁共振成像中将多个片层同时激发采集,并结合平面回波、并行成像技术实现片层分离,能够实现在 100 毫秒内完成整

个人脑的磁共振成像，为整个人脑功能的实时研究提供了可能。

动态实时成像问题一直是磁共振成像技术的难题之一，采用并结合小倾角梯度回波成像序列、交错式径向 k 空间信号编码、主成分分析信道压缩合并及非线性反演法，以解决快速连续成像与辐射吸收率的安全问题、相位编码对运动和欠采样的敏感度问题以及图像重建失真度的问题，最终得以同时实现高画质（高空间分辨率和信噪比）、高帧频（高时间分辨率）、多对比度、多层面的动态实时成像。

与此同时，神经功能成像技术趋向于多模态脑功能神经影像信息获取、数据融合、联合分析及其交叉验证。脑电/脑磁（EEG/MEG）和功能磁共振成像是最常用的无创脑功能检测手段。脑电/脑磁是记录头表电/磁信号，具有高时间分辨率，但空间分辨率低，空间定位准确度有限。功能磁共振可以准确定位与记录颅内所有脑区的功能成像信号，空间分辨率高，但时间分辨率相对较低。磁敏感加权成像（SWI）是利用组织结构或功能的差异所导致的磁敏感变化得到图像反差，提供了一种新的诊断和研究手段。但较早采用的成像技术测量的是磁敏感变化所导致的空间综合效应，缺乏对信号源的定量定位。磁敏感定量成像通过攻克技术难关，实现了对磁敏感扰动源的定量定位，使得到的信号能够直接、准确地反映病变或功能。在实际应用和研究中，融合这几种成像手段能够互取所长，得到更准确与全面的人脑特性。例如，整合脑电/磁/功能磁共振成像对癫痫以及其他脑认知障碍进行研究，对获取的神经影像数据进行联合分析，能为临床应用转化研究提供系统的神经功能成像平台。

各种脑结构成像将为解释神经功能成像发现的脑结构基础提供手段。如磁共振弥散张量成像（DTI）是一种非侵入性的观察脑组织水分子微观运动的成像技术，可以活体显示脑白质纤维束且能够定量评估其结构的完整性；高角分辨率弥散成像（HARDI）是磁共振弥散张量成像的进一步发展，通过评估更多方向上水分子弥散信息，从而更加准确地探索大脑的微观结构。传统的弥散张量成像仅适合研究内部纤维走行方向一致的体素，而不能准确刻画存在纤维交叉、分叉的体素的扩散属性，进而限制了该技术的广泛应用。而弥散频谱成像（DSI）采用多方向多弥散强度的成像方式，可以更准确地描述一个体素内多方向扩散信息，具有较大的应用前景。

（二）多模态海量影像数据计算与分析

功能神经影像技术的飞速进步带来了各种方法学挑战。无论是获取时空精度提升还是多模态技术融合，都将直接导致获取的功能神经影像数据量剧增，研发大数据背景下的功能神经影像计算方法学体系成为未来方向之一。人脑是一个复杂网络系统，研究者一直在试图理解人脑的工作机理，特别是不同部位的脑区是如何整合起来行使脑功能，产生各种心理与日常行为并出现异常。最近几年，基于图论的复杂网络理论的方法学框架为大脑功能带来了新的理解。例如，与被广泛研究的规则网络和随机网络不同，人脑网络是介乎于这两类网络之间的小世界网络。人脑连接组学将是多模态海量影像数据计算分析的非常有前途的逻辑框架之一。

首先，利用多模态神经影像技术，连接组学在脑网络层面进行特

征信息集的多模态技术融合，根据磁共振扫描提供的脑功能和结构信息构建网络并进行融合，并利用信息技术和大尺度脑连接图论的计算方法，实现脑功能和结构在网络层面上的融合，为重大脑疾病的研究提供了新视角和手段。研究人员通过基于神经影像的人脑连接组研究，已经取得多个重要发现。例如，局部癫痫患者脑默认网络功能和结构连接降低，而全面癫痫患者因癫痫引起的脑功能和结构网络耦合程度的降低；阿尔兹海默病患者脑结构和功能网络效率下降；揭示了首发未用药抑郁症患者静息态功能连接的增强模式（REF）；未服药注意缺陷多动障碍患者额叶纹状体结构连接网络的异常模式。其次，连接组学也为融合与挖掘大数据，探索人类大脑功能提供了整合框架。例如，国际千人功能连接组计划（FCP）联合全世界 35 个成像中心，共享 1400 余人的功能成像数据，揭示了大样本数据对于认识人类功能连接组内在网络架构的贡献。在这项计划中，中国作为重要节点参与并共享了大量神经影像数据。最近的一项多中心、大样本神经影像研究则再一次展示了海量影像数据将会为精神疾病（自闭症）的脑功能异常机制带来新的认识。

基于多模态成像数据的多变量模式分类方法，以全脑连接特征为研究单元寻找特征与类别属性的关系，检测不同人群间脑功能和结构的差异，同时结合信息融合的方法，能为临床重大神经精神疾病的生物学测试提供备选生物标记，具有较高的临床应用价值。脑成像模式识别中的关键问题，包括脑功能活动模式识别、脑功能网络模式识别和利用多模态网络融合来探测脑功能和结构变化。各种功能神经成像

技术可以提供大脑结构与功能指标测量,可以通过计算全局连接组属性和局部脑区特性等参数检测到大脑的细微差异,通过模式识别的方法,研究人员已成功将阿尔茨海默病、抑郁症、创伤后应激障碍、孤独症、强迫症等患者与正常人群区分开来,为临床诊断提供客观影像学证据提供了初步研究证据。

此外,从原始扫描数据提取脑功能活动模式需要解决的关键问题是:如何可靠地识别脑功能活动所产生的微弱信号变化以及如何进行脑功能活动的时空模式分类?随着技术的发展,研究人员通过全新的脑功能活动时空测度,建立分级聚类脑功能网络分离方法,同时进行无先验信息条件下的脑功能活动定位和分类,提高脑功能活动弱信号模式识别能力。在现有探测到脑功能活动模式的基础上,该如何进一步探测不同脑区之间的功能信息传递,如何识别脑区之间信息的非线性传递关系,以及如何克服可能存在的伪因果关系?研究人员提出基于高斯核函数的非线性因果模型,用于探测不同脑区间信息的非线性传递关系,然后提出了非线性条件因果模型,克服了双变量导致的伪因果关系,探测 A 脑区到 C 脑区的真因果关系,排除 A 脑区通过 B 脑区到 C 脑区的伪因果关系。利用静息态功能磁共振成像的原始数据建立大尺度因果模型,并推广到脑网络模块水平,检测脑功能模块间的有效连接和信息转换关系。多模态时空信息的整合为解决这些关键问题提供了可能。

作为一个复杂动力系统,人脑包括海量的处理单元,具备自身的动力学特性处理单元互相之间协同支撑脑功能。脑结构是功能的物质

与产生基础，在计算神经科学领域，已经有许多数学模型试图建模从脑结构到脑功能的机制。各种功能神经成像技术使得我们可以观测到这个复杂动力系统的输出（即各种模态的时间序列信号）。脑连接组学为框架的计算神经科学模型正在初步探索这些输出产生的机制。从统计学理论出发，如何刻画海量的多模态脑成像数据的时空特性对于人脑功能建模至关重要。比如，目前已有计算方法大都忽略了各种功能神经影像数据的自相关特性，而这在时空采样精度提高以后将是非常严重的缺陷，如何开发相应的分析方法将是未来面临的挑战之一。

与此同时，传统的参数检验（如双样本 t 检验和方差分析）在涉及到病人纵向随访研究、生长发育曲线建模、家系分析以及单个病例统计等临床转化研究时就不再适用。比如，众所周知的生长曲线是一种重要的发育监测工具，在儿科临床实践和公共卫生领域有广泛的应用，可以用来辅助发育异常的早期识别与诊断。绘制包括身高、体重和头围等发育指标的生长曲线，能够辅助临床医生对患者的发育情况做出诊断。虽然大脑生长曲线的研究还处在初步阶段，但是其成功的绘制将为重大神经精神疾病的脑功能的病理生理机制研究提供正常参考（常模），进而有助于及时、准确地对其进行诊断、预警、干预和后期评价。对于诸如生长曲线建模这类神经影像学的纵向研究，需要对被试进行多次跟踪扫描，因此开发反映脑结构和功能信息动态变化的数学模型和统计方法（如线性混合模型），评估各种神经影像测量、认知功能和临床症状指标的信效度，进行多模态连接组疾病关联分析等都是将来重要的发展方向。

最后，随着数据量的不断积累，如何提高神经影像计算的效率成为从基础到临床转化研究中至关重要的因素。目前，中国已经在静息态功能磁共振计算软件开发方面走在了国际最前沿（如杭州师范大学臧玉峰教授实验室开发的 REST）。REST 具有简洁的图形界面，具备很好的可扩展能力，极大地推动了临床基础与转化研究。但是，针对非常庞大的数据量时，现有的软件就表现出效率受限的局限。像生物信息学一样，为提高计算效率，神经信息学研究人员应通过整合神经影像数据库和计算脚本，开发神经信息学计算平台，充分利用其在易于并行、质量控制灵活、远程网络计算任务调度、影像数据获取与计算一体化等方面的优势。

综上，大数据背景下的功能神经影像计算应同时发展数据和理论驱动方法，通过统计理论进行两类方法整合，建设神经信息学计算平台，促进临床转化研究。

二、基于脑成像技术的重要研究成果

（一）遗传与环境因素对脑疾病的影响

大量流行病学研究已证实神经精神疾病与遗传和环境因素相关。由于目前对这些神经精神疾病潜在的遗传、分子和细胞水平的发病机制以及大脑异常知之甚少，使得临床诊治面临巨大挑战。因此，我们需要从全新的视角，结合最新的技术工具和分析方法来探索神经精神疾病的发病机制。

大量的证据表明精神疾病具有较高的遗传度。例如，同卵双生子的精神疾病共病率较异卵双生子显著增高。就自闭症而言，多达 80%

的同卵双生子家庭中，若其中一个患病，另一个也有自闭症的相关临床表现。同卵双生子中精神分裂症的共病率约 50%，而在异卵双生子中共病率仅为 5-10%。而基因组学研究提示，成千上万的基因参与调节神经系统的发育和功能。一个或数个基因结构和功能的改变可能导致广泛而复杂的神经精神疾病表型。这种复杂性解释了神经精神疾病的高患病率，同时它也表明多基因突变、表观遗传改变以及其他的细胞和大脑形态改变可以会聚并引起特定脑环路的改变和共同的临床表现（例如，幻觉和妄想），而得出相同的临床诊断（如精神分裂症）。

近期研究也揭示了精神疾病病因学的多源性（**redundancy**）和多向性（**pleiotropism**）。多源性是指相同诊断的精神疾病可能是多种因素引起的，从生物、心理到社会因素，独立或相互作用的结果。而多向性则是指单一因素具有多种效应。例如基因的多向性表明单一基因可以导致不同的表型，这取决于基因—基因和基因—环境水平的相互作用。《柳叶刀》杂志发表的最新文章，研究了自闭症、注意缺陷多动障碍、双相情感障碍、精神分裂症和抑郁症 5 种精神疾病的全基因组学分析，结果提示精神疾病具有共同的易感性。因此，由于遗传和环境的异质性，从疾病诊断出发寻找所有某一特定精神疾病患者共同的遗传病因学基础，不太可能成功。那么，如何才能有效揭示精神疾病生物学发病机制呢？神经影像学为无创的活体研究大脑结构和功能提供了新手段。功能和结构影像学能证实疾病的神经及神经递质变化及其与认知和行为学变化的联系，但不能完全捕获疾病临床前的神经发育异常。影像遗传学可能是解决该问题的策略。

在《科学》杂志纪念人类基因组测序 10 周年的一篇文章中指出，在目前最有待进一步探索的基因组学领域中，最重要的问题是如何结合可靠精细的疾病表型信息来解读海量的遗传信息。表型组学的研究已经成为我们面临的挑战。近期《科学》杂志发表文章提出整合基因和神经环路分析（脑网络连接）或许是未来精神病学的研究方向。神经精神疾病，例如精神分裂症、情感障碍、自闭症等疾病的发生可能是神经环路破坏所造成的。神经环路是调节思维、情感和行为的脑细胞的功能总和。遗传、发育过程、解剖结构和功能整合以及神经环路动态发展的缺陷，均可以引起一系列症状继而导致神经精神疾病的发生。近期研究已经发现一些精神疾病的神经环路缺陷相关的大脑解剖位置。例如，抑郁症与大脑前额叶的膝部下前扣带皮质（**Brodmann 25** 区）的活动性增高有关，焦虑状态与杏仁核的活动性增高有关，而强迫症与纹状体的活动性异常有关。结合全基因组关联分析和精神疾病的神经环路分析，有望为我们提供可能的生物学标志物，阐明相关疾病的神经解剖学基础，并提供更加客观的疾病诊断和治疗疗效评价的方法。

另一研究思路是将基因表达与成像技术融合。近期美国艾伦脑科学研究所的科学家绘制出了人脑基因图谱（艾伦人脑图谱），与高性能、多功能的全球定位系统（**GPS**）一样，确定了人脑中的 1000 个解剖点，指明了每个点上特定的基因表达和基本的生物化学特性。该图谱显著标识出人类基因图谱中的每个基因在大脑表达的位置，并且还涵盖了大脑核磁共振成像和磁共振弥散张量成像提供的数据。人脑

基因图谱提供的数据将被广泛用于与帕金森症、精神分裂症、多发性硬化症甚至肥胖等与神经障碍和认知功能有关的疾病研究。科学家能借用艾伦人脑图谱探测人脑，理清人脑遭受的疾病和损伤（包括生理损伤和精神健康疾病）对大脑特定区域的影响。科学家有望借此准确定位出某种特定的药物靶向作用于大脑的哪个区域并最终更好地控制很多疗法的治疗结果。

（二）脑疾病症状及认知功能损害机制

不同的神经精神疾病具有不同的临床特征，即使同一种疾病的临床表现也具有多样性。以精神分裂症为例，阳性症状表现为妄想、幻觉及思维紊乱等；阴性症状表现为行为动机低下、情感反应淡漠以及兴奋能力降低等；而认知功能损害则以注意力、记忆力和执行功能损害最为常见。相同疾病的不同临床表型的发病机制、治疗方法及预后可能均不相同，通过疾病症状学研究有助于揭示病因，阐明发病机制，以提供有效的治疗方法。

功能影像技术的发展使得研究与不同临床表型相关的脑区成为可能，有助于对其生理学机制的进一步认识。通过对其神经病理学机制的了解，我们可以更精确发现临床症状发作前、发作中及发作后的特征性神经生物学变化。此外，有学者发现，从正常状态到精神疾病的发病可能是一个连续过程，而非临床确诊的人群出现幻觉及妄想等症状则可能是精神疾病的发病前兆之一。对于临床症状影像学客观表征的探索，将有助于在早期干预疾病的发生和发展，进而改善患者的预后。

幻觉和妄想均是精神病理学中最显著的症状，同时也是精神分裂症及其他精神性疾病的重要诊断标准之一。影像学技术，例如正电子放射断层造影术（PET）和功能磁共振成像（fMRI）的发展，可以从局部脑区、局部网络及全脑网络等多个层次，评价和这些临床症状相关的脑功能和结构改变。2008 年在《神经科学和行为学综述》上发表了关于幻听患者脑结构和功能改变的综述，该研究结果显示，包含初级听觉皮层在内的颞上回体积异常与幻觉相关，而语言区或初级听觉皮层的功能改变与幻听相关，次级视觉皮层的异常活动和幻觉相关。同时，多篇文献证实了额叶—颞叶系统及岛叶/屏状核的结构及功能异常改变与妄想相关。另外，除了对于精神疾病的相关研究，针对帕金森病及 AD 等神经系统疾病的研究也发现了具有幻觉症状的患者双侧前额叶及右侧颞上回的异常高灌注以及膝距束及其皮层下连接的异常。采用新型影像学技术，部分典型的临床表型已经具有一定的客观影像表征，尽管有多种假说及推论，幻听、妄想等临床症状的发作机制及病理基础尚不完全清楚。同时，目前针对非精神疾病的临床表现影像表征研究数量仍然较少且多数为小样本研究，大样本及长期的纵向研究较为缺乏。

精神及神经系统疾病的临床表现较为复杂，不同的精神疾病可能具有相似的临床症状，由此，给临床诊断带来了一定困难。对不同疾病特别是精神疾病的诊断和评估长期依赖于主观判断，一致性程度较低。2013 年精神疾病遗传研究联盟发表在《柳叶刀》上的研究结果显示，最常见的五种精神疾病，诸如自闭症、注意力缺陷多动障碍、

双相障碍、精神分裂症及抑郁症具有相似的异常基因位点。与此类似，不同的脑疾病的功能影像表现也存在相似性与特异性。对不同类型脑疾病的影像客观表征的探索将在很大程度上提高诊断准确率，指导并监测临床治疗。

以精神疾病为例，精神分裂症、分裂情感障碍、伴有精神病症状的情感障碍及未分类的精神障碍均可表现出相似的精神病症状，但其病理机制可能并不相同。较精神疾病而言，神经系统疾病具有较高特异性，但也存在一定的重叠和相似性。例如帕金森氏病与亨廷顿氏病、病毒性脑炎等在一定程度上具有相似的症状。美国国立精神卫生研究所已于 2007 年启动一项大型多中心研究计划，旨在探索精神分裂症、分裂情感障碍及双相障碍的易感基因、功能影像表征、人格及认知特点。该计划已经发现这些不同类型的精神疾病患者均存在大脑功能的相似及特异改变。PET、PET/MRI (CT) 显像技术的发展使得探测脑受体的功能与结构异常成为可能，为神经精神疾病的研究与诊断提供了崭新的手段。利用各类不同的放射性分子探针，可以通过图像直接显示相关疾病的细胞或分子水平的生理病理过程，能够发现不同疾病的相似及特异病理改变过程，从而明确不同疾病的关键神经系统靶点，在疾病早期予以正确诊断及靶向治疗。目前受体显像已从长期实验室基础研究进入临床应用研究阶段，国外已有较多报道，而国内的研究相对落后。

多种环境因素均可能造成认知功能的损害，例如颅脑损伤及神经、精神系统疾病。认知损害是多种脑疾病的核心症状及重要病理过

程之一，其损害涉及到语言理解、视觉思维、社会功能、多任务处理、执行功能等多方面，可能导致智能缺陷、学习障碍及失语症等，严重影响病人们的生活质量及社会功能。然而，不同的脑疾病可能导致不同表现的认知功能损害，而不同认知损害则可能具有各自的影像学表征。对于认知功能损害的脑功能影像客观表征的研究，将有助于明确其病理生理过程、指导治疗，甚至有望在临床症状出现前对疾病进行干预。

随着各种新型脑功能影像技术的发展，研究者发现不同的认知功能具有不同的脑结构和功能连接网络基础。而近年来功能影像与分子影像的结合，则能够进一步在高精度水平探索脑功能的改变。例如，利用 fMRI 及 PET，前期研究已经发现脑功能网络节点的连接强度与 IQ 及局部脑血流和葡萄糖代谢高度相关。而针对认知功能损害最为严重的疾病之一——阿尔茨海默病，也已采用脑功能连接异常模式建立了敏感性和特异性均较高的诊断标记。脑放射性药物（探针）的开发和应用迅速发展，在探索认知功能障碍的发生机制以及评价认知损害程度，预测预后等方面存在较广阔应用前景和研究价值。美国食品药品监督管理局（FDA）已批准一个以阿尔茨海默病患者脑内 A β 斑块为靶点的 PET 探针。同时，针对神经退行性疾病的靶向探针也已进入三期临床实验。相较国际而言，我国目前缺乏神经功能成像的中长期计划，针对大脑和行为障碍的病理生理分子影像的新型神经影像学分子探针仍较国际领先水平有一定差距。与此同时，随着深部脑刺激（DBS）及经颅磁刺激（TMS）越来越多地应用到各种精神及神经系

统的疾病治疗中，对这些治疗手段的神经机制及相关靶点脑区的功能精确定位变得更加急切和关键。

三、临床转化研究面临的挑战

如前所述，虽然各种脑功能影像技术，特别是功能磁共振技术在重大神经精神疾病中显示出广泛的临床应用潜力，但其临床转化仍面临诸多困难。首先，虽然多种脑成像指标被提出并广泛应用于研究个体之间脑功能的差异（如：脑功能与各种心理行为以及神经与精神疾病的关联），但是，它们所依据的影像数据及其分析的标准化，却未被充分重视。随着各种国际影像共享数据库的建立，如“千人功能连接组脑计划”、“自闭症脑成像数据交换计划”等，为神经科学及脑疾病研究提供了大样本数据。因此，数据采集与分析流程的标准化就成为有效利用大样本、多中心数据的关键。

一项国际合作研究系统地阐述了各种参数与非参数的数据标准化方法，考察了不同的标准化策略对各种连接组指标的影响，以及对具体应用的影响。这项研究指出：1.恰当的数据标准化可以降低不同“中心”之间的变异，并且降低“头动”、“年龄”对个体差异的影响；2.各种指标全脑平均值的标准化比其全脑方差的标准化的更为重要和有效；3.相较于个体水平的标准化方法，组水平上的标准化方法可以更好地避免连接组指标产生虚假效应；4.数据标准化还可以显著地提高低频振荡振幅的重测信度；5.全局信号与灰质平均信号几乎等同，因此去除全局信号可以增强脑组织特异性的说法需要谨慎对待。这项研究将为未来基于大型数据库的人脑功能连接组疾病关联研究及其临

床医学转化提供标准化基础。

联合多模态神经成像技术用于神经精神疾病的早期诊断，特别是神经变性疾病的早期诊断对于患者的预后具有极其重要的意义。但首先要区分哪些人会患病，哪些人不会。早期阿尔茨海默病的两个脑脊液标记物与静息态磁共振功能连接默认模式网络连接减低相关，证实了在默认网络与脑脊液 A β 42 和 ptau 变化的关系，发现脑脊液 A β 42 的减少及 ptau 的降低与默认网络完整性下降是独立相关的，在后扣带回及内侧颞叶的功能连接的降低最显著。近年来，遗忘型轻度认知障碍和恢复期老年抑郁症患者被认为是阿尔茨海默病的高危人群。患者可能会进一步发展成阿尔茨海默病，但也可能并无大碍。如果能在遗忘型轻度认知障碍或恢复期老年抑郁症阶段对症施治，对预防和治疗阿尔茨海默病来说就能事半功倍。因此，阐明遗忘型轻度认知障碍和恢复期老年抑郁症可能的“共病”机制，研究它们有哪些共同特征，有哪些差异，进而掌握它们共同的发病机理，为进一步研究两种疾病神经调节的环路，以及把握阿尔茨海默病高风险人群治疗时间窗研究提供依据。

研究表明，遗忘型轻度认知障碍和恢复期老年抑郁症这两组病人的脑白质纤维连接网络同正常人一样都表现出高效的“小世界”连接属性，但是他们的全脑网络连接强度和全局效率较正常对照显著降低，两种疾病患者之间无显著差异。在脑区的局部节点上，两组病人的节点效率在额叶脑区都降低，并且发现遗忘型轻度认知障碍组比恢复期老年抑郁症组在后扣带皮层的效率更为降低。该研究结果提示，

遗忘型轻度认知障碍和恢复期老年抑郁症患者的脑神经环路变化模式具有较多的共同点，可以发现哪些人的大脑网络可能会出现问题，有发展成老年痴呆的倾向，哪些人不会发展成老年痴呆，在治疗上就可以通过对白质纤维网络的干预，改善通路，或寻找替代通路进行治疗。对于阿尔茨海默病的随访研究指出，通过磁共振脑结构成像，可以发现轻度认知障碍患者大脑皮质萎缩情况，从而判断患阿尔茨海默病的风险。大脑皮质在记忆、注意力、思维和语言方面起着关键作用，而阿尔茨海默病的特点之一就是大脑皮质某些部位的细胞死亡，导致该部位发生萎缩。轻度认知障碍是指人出现轻度记忆或其他认知功能障碍，但未达到痴呆标准，其临床表现不仅有记忆障碍，而且还有注意力、词语流畅性、执行能力等其他认知功能方面的障碍。轻度认知障碍不一定会发展成阿尔茨海默病，但随着年龄增长，患者出现认知功能减退的情况要比正常人严重。

抑郁症是一种常见的精神疾病，严重者可出现自杀念头和行为，并对药物治疗的反应差。抑郁症已经成为中国疾病负担的第二大疾病。现有的结构和功能神经影像研究均强调，抑郁症的临床症状源于情绪和认知处理相关神经网络的破坏。研究人员应用定量脑血流分析技术，发现难治性抑郁症患者特征性脑区的脑血流异常，并且这种异常主要与特定脑区有密切关系；应用静息态磁共振功能连接发现难治性与非难治抑郁症患者所涉及的神经网络不同，难治性抑郁症患者在丘脑—皮层环路中的功能连接受损，而非难治性抑郁患者降低的功能连接主要存在与边缘系统—纹状体—苍白球—丘脑环路中。这些研究

成果使影像磁共振检查对抑郁症的病情监测和指导临床治疗成为可能，具有重要的临床应用前景。此外，通过将结构磁共振信息与核函数模式识别相结合，研究人员将重症抑郁患者根据治疗效果分为难治性与非难治性两组，发现治疗前的灰质和白质结构均对治疗效果有较好的预测效力，诊断准确度均高于 67%，对于早期诊断难治性抑郁患者和指导用药具有重要的作用。

运用无创的磁共振检查技术评估神经系统病变的发展及药物疗效，将对于临床治疗和新药的开发提供客观的影像学证据。在对精神分裂症患者进行二代抗精神病药物治疗六周后，对患者进行静息态功能磁共振的随访扫描，研究人员发现精神分裂症患者主要在双侧前额叶和顶叶的局部功能活动增强，而在较大范围内的功能连接强度下降，而这种影像学的发现与下降的临床症状评分具有相关性，提示了功能磁共振能够发现药物治疗的靶点脑区，并对疗效的监控能够起到及时准确的作用。针对较大样本精神分裂症患者的结构磁共振随访研究，对 200 多个发病初期的精神分裂症病人采用结构磁共振的扫描，并且对这些患者定期进行至少 15 年以上的磁共振随访扫描，发现一般情况下抗精神病药物剂量越高，患者额叶脑组织的体积缺失的越多。研究者还检测了患者旧病复发对其大脑组织的影响，包括是否长期的精神病对大脑具有毒性等，结果显示，旧病复发的时间和脑组织缺失的程度直接相关。这项研究或许可以改变医生们使用抗精神病药物来治疗精神分裂症的思路，也揭示出针对精神分裂症患者的新药研制开发的必要性。

四、主要研究方向和科学问题

随着生命科学、基础医学等学科的飞速发展，以磁共振成像为代表的神经功能影像技术也日新月异，如血氧水平依赖的功能磁共振成像、扩散张量成像等的出现，大大丰富了人类对自身脑结构和功能的认识。神经功能影像逐渐成为融合了多个学科（如物理、生物医学工程、数学，甚至遗传学等）的优势为一体的综合学科，甚至派生出一些亚学科，能从细胞、分子水平显示活体的生物过程，探求生命和人类认知活动的奥秘，定量评估人脑结构和功能状态。例如，从结构和功能影像中获得的灰质体积厚度、结构和功能连接强度、脑网络指标等客观指标（即功能影像客观表征）均从不同方面刻画人类脑的结构和功能信息，在疾病发病机制、诊断以及治疗随访等方面有巨大的应用潜力。

在神经影像学迅速发展的今天，如何将海量影像数据进行有效分析以获得包括脑结构、功能、代谢、分子水平的信息（内表型），并与分子遗传学等所检测的基因型、临床认知和行为等表征有机地联系起来以阐明神经精神疾病的脑机制，是当前脑科学研究中的前瞻性课题。与会专家一致认定，“脑疾病的功能影像客观表征”是未来神经影像学研究的重大核心科学问题。大会主席陈霖院士还特别强调，这些客观表征应是定量的，具有较高的敏感性和特异性、较好的一致性和稳定性，且有临床转化应用的潜力。与会专家认为，为了促进我国神经功能成像在重大脑疾病中的发展，未来应着重围绕上述核心科学问题，重点开展以下四个方向的研究：

（一）多模态成像技术与数据分析方法

发展快速精准脑功能成像新技术（如直接观测神经活动的在体成像技术）；多模态脑功能神经影像信息获取、数据融合、联合分析（如局部和网络特征的提取和分析）及其交叉验证；适用于多模态脑成像数据分析的统计学方法研究（如四维时空数据统计建模、纵向数据的统计分析方法）。

（二）遗传与环境因素对脑疾病功能影像客观表征的调控机制

遗传因素对脑疾病功能影像客观表征的调控机制；遗传与环境对脑疾病功能影像客观表征的交互影响；脑基因图谱成像技术。

（三）脑疾病功能影像客观表征与认知功能损害的关系

不同临床表型（如幻听、妄想等）的功能影像客观表征；不同类型脑疾病功能影像客观表征的一致性和特异性；脑疾病功能影像客观表征与认知功能损害的关系。

（四）脑疾病功能影像客观表征临床转化的关键问题

脑功能成像诊断信息的标准化；脑疾病功能影像客观表征的动态演变规律；脑疾病治疗的关键靶点定位。

附件四：新闻稿样稿

第 248 期双清论坛“复合材料构件制造关键基础科学问题”在京召开

2019 年 11 月 18-19 日，国家自然科学基金委员会（以下简称自然科学基金委）第 248 期双清论坛“复合材料构件制造关键基础科学问题”在北京召开。论坛由自然科学基金委工程与材料科学部、数学物理科学部和政策局联合主办，大连理工大学承办。论坛执行主席由杜善义院士、侯晓院士和贾振元教授共同担任。自然科学基金委党组成员、副主任陆建华院士出席论坛并致辞，来自机械、材料、力学等多个学科领域的 40 余位高校、航天航空行业代表参加了此次论坛。

复合材料构件的高性能、高效率、一致性制造对提升我国装备性能和制造技术水平以及维护国家安全具有重要战略意义。论坛围绕“面向构件设计性能的复合材料构件形性协同成型原理”“多材料体系下复合材料构件高质高效加工理论”“复合材料制造缺陷的快速精准检测原理”“复合材料构件服役性能的准确评估与分析方法”和“高性能、多功能的新型复合材料增材制造与应用”五个议题，安排了 6 个

主题报告和 28 个专题报告。与会专家对议题进行了深入研讨，梳理了复材构件制造基础与工程应用的现状、发展趋势及面临的挑战，凝练了亟需关注和解决的关键基础科学问题。

与会专家一致认为，超前部署复合材料构件成形、加工、缺陷检测与性能评估等方面的基础研究，加强技术自主创新及装备研发，对解决我国复材构件制造“卡脖子”难题意义重大。专家们一致表示，期待自然科学基金委在顶层设计和队伍组织方面能发挥更大的作用，建立多学科融合平台，助力实现我国复材构件制造技术的跨越式发展。

自然科学基金委工程与材料科学部黎明常务副主任，工程与材料科学部、数学物理科学部和政策局相关工作人员参加论坛。

附件五：财务报销材料样稿

1、发票（请填写单位名称和纳税人识别号）

3502174320 厦门增值税普通发票 No 09923594 3502174320 09923594 校验码 81677 27721 13297 45595 开票日期: 2018年10月09日

名称: 国家自然科学基金委员会机关服务中心 纳税人识别号: 密 116>8+<<>089+8<4*031//<4783
地址、电话: 码 -/33+957+423572>*96/<9<-/>
开户行及账号: 区 4-<0<938->-00084+863/12/5/7
45*-3>*3+957+423572>*9048/

货物或应税劳务、服务名称	规格型号	单位	数量	单价	金额	税率	税额
*会展服务*会议服务					20754.72	6%	1245.28
合 计					¥20754.72		¥1245.28
价税合计(大写)	贰万贰仟圆整				(小写) ¥22000.00		

名称: 厦门厦宾酒店有限公司 纳税人识别号: 91350200761702998E 备 注
地址、电话: 厦门市思明区虎园路16号 0592-2053333
开户行及账号: 中国银行厦门公园支行 431258381235

收款人: 复核: 开票人: 陈玉凤

第二联: 发票联 购买方记账凭证

单位名称：国家自然科学基金委员会机关服务中心

纳税人识别号：12100000400018023R

2、会议支出的详细清单



宾客账单 GUEST FOLIO 2018/10/09 14:31:20

客人姓名 GUEST NAME	双清论坛“大数据时代计量经济学前沿理论、方	房号 ROOM	No.
公司名称 COMPANY	国家自然科学基金委员会机关服务中心	账号 FOLIO	No. 8109471
抵店日期 ARRIVAL	2018/08/08 11:38:48	页次 PAGE	No. 1/1
离店日期 DEPARTURE	2018/08/11 13:52:59	收银 CASHIER	CHFO0045

日期 DATE	项目 DESCRIPTION	账单号 REF.NO.	时间 TIME	消费 CONSUMPTION	付款 PAYMENT
08/09	广益厅会场			4500.00	0.00
08/09	礼泉1厅会场			2500.00	0.00
08/09	礼泉2厅会场			2500.00	0.00
08/09	琼林听厅会场			3000.00	0.00
08/10	广益厅会场			4500.00	0.00
08/10	礼泉1厅会场			2500.00	0.00
08/10	礼泉2厅会场			2500.00	0.00
总额				22,000.00	0.00
余额				22,000.00	



本人确认以上账目正确并同意对该账单之总金额负全部责任。
 I hereby confirm the above charges are correct. I agree that my liability for this bill is not waived and agree to be held personally liable in the event that the indicated person, company or association fails to pay for any part of the full amount of the above charges incurred by me at the hotel.

 签署 SIGNATURE

地址: 中国福建省厦门虎园路16号
 ADD: 16, Huyuan Road Xiamen, China.
 电话 Tel: (86-592) 2053333 传真 Fax: (86-592) 2049960
 网址: website: www.cnhotels.com/cityhotel



感谢您下榻建发成员酒店
 欢迎您扫描左侧二维码, 对我们的酒店做出评价。
 Thanks for your stay in our hotel. We sincerely invite you to make evaluation to our hotel by scanning the QR code.



宾客账单 GUEST FOLIO

2018/10/09 14:29:18

客人姓名 GUEST NAME	双清论坛“大数据时代计量经济学前沿理论、方	房号 ROOM	No.
公司名称 COMPANY	国家自然科学基金委员会机关服务中心	账号 FOLIO	No. 8109471
抵店日期 ARRIVAL	2018/08/08 11:38:48	页次 PAGE	No. 1 / 1
离店日期 DEPARTURE	2018/08/11 13:52:59	收银 CASHIER	CHFO0045

日期 DATE	项目 DESCRIPTION	账单号 REF.NO.	时间 TIME	消费 CONSUMPTION	付款 PAYMENT
08/08	沁园厅自助晚餐 (100元/人*30人)			3000.00	0.00
08/09	沁园厅自助午餐 (70元/人*46人)			3220.00	0.00
08/09	沁园厅自助晚餐 (80元/人*46人)			3680.00	0.00
08/10	沁园厅自助午餐 (70元/人*45人)			3150.00	0.00
08/10	沁园厅自助晚餐 (80元/人*45人)			3600.00	0.00
总额				16,650.00	0.00
余额				16,650.00	



本人确认以上账目正确并同意对该账单之总金额负全部责任。

I hereby confirm the above charges are correct. I agree that my liability for this bill is not waived and agree to be held personally liable in the event that the indicated person, company or association fails to pay for any part of the full amount of the above charges incurred by me at the hotel.

签署 SIGNATURE

地址: 中国福建省厦门市虎园路16号

ADD: 16, Huyuan Road Xiamen, China.

电话 Tel: (86-592) 2053333

传真 Fax: (86-592) 2049960

网址 website: www.cnhotels.com/cityhotel



感谢您下榻建发成员酒店

欢迎您扫描左侧二维码, 对我们的酒店做出评价。

Thanks for your stay in our hotel. We sincerely invite you to make evaluation to our hotel by scanning the QR code.

206期双清论坛会议结算

项目	日期	住宿/天	房间数	金额	开票单位及费用结算情况
住宿费	8月8日	500	41	20500	厦门宾馆，转账，开政府接待单、清单
	8月9日	500	42	21000	
	8月10日	500	21	10500	
	小计			52000	
用餐	日期	用餐标准	人次	金额	
	8月8日	100/餐	30	3000	
	8月9日	150/天	46	6900	
	8月10日	150/天	45	6750	
	小计			16650	
会场	日期	会场	地点	费用	
	8月9日	大会主会场	广益厅	4500	
		大会分会场1	礼泉1	2500	
		大会分会场2	礼泉2	2500	
		大会分会场3	琼林	3000	
	8月10日	大会主会场及分会场1	广益厅	4500	
		大会分会场1	礼泉1	2500	
		大会分会场2	礼泉2	2500	
	小计			22000	
印刷	项目	印刷费单价	数量	费用	厦门吉玄广告，转账，开清单
	手册	12.5	50	625	
	挂牌	5	50	250	
	小计			875	
总计				91525	

3、政府采购电子结算单

党政机关会议定点场所电子结算单

结算单编号: 201810093516509

发票号: 09923592

会议定点场所基本信息	
会议定点场所名称	厦门厦宾酒店有限公司
发票开具单位名称	厦门厦宾酒店有限公司
是否单位或系统内部会议场所	否
地址	福建省厦门市思明区虎园路16号
填单人	曾秀兰
联系电话	0592-2053333

会议信息			
隶属关系代码	000000	隶属关系名称	中央
会议单位预算代码	28002		
会议单位名称	国家自然科学基金委员会机关服务中心		
会议名称	双清论坛（大数据时代计量经济学前沿理论 方法与应用）		
报到日期	2018-08-08	撤离日期	2018-08-11
会议单位联系人	张兴伟	联系电话	010-62326986
会议人数(人)	46	会议天数(天)	3.0
其中：正式代表	46	会议类别	四类会议
工作人员	0		

费用信息(元)			
住宿费	52000.00	伙食费	16650.00
会议室租金	22000.00	交通费	0.00
文件印刷费	0.00	医药费	0.00
其他	0.00		
总计			90650.00

会议定点场所盖章 会议单位联系人签字确认:



附件六：简报样稿

科学基金聚焦关键科学问题 推动环境污染影响健康前沿研究

本文提要：环境污染对健康的影响日益成为社会关注的热点。国家自然科学基金委员会（以下简称自然科学基金委）近期举办了主题为“环境污染的毒理与健康研究方法学”双清论坛，聚焦环境污染对健康影响的关键科学问题，组织化学、生命科学及医学等多个学科的专家进行战略研讨，建议设立“大气污染毒理学评价研究”重大研究计划推动环境污染影响健康前沿研究。

环境污染对健康影响极为复杂。数据显示，常见癌症（如泌尿系统肿瘤）和慢性疾病（如呼吸道疾病）的风险大约70%-90%来自环境暴露或环境暴露与基因的交互作用。环境污染对健康影响的研究不仅是环境科学的制高点，也是环境、生物和医学等多学科交叉的新增长点。美国已连续数十年投入大量经费，资助美国国家环境健康研究所等机构开展相关研究。我国的环境污染特点决定了其污染的毒理评价研究不能照搬国外模式，需要理论与方法创新。

一、我国当前环境污染与健康研究面临的挑战

我国正处于工业化中后期和城镇化加速发展的阶段，环境问题集中显现，环境总体恶化的趋势尚未根本改变，居民全方位暴露于严重的复合污染。从三次全国死因调查数据看，肺癌等受环境因素影响较

大的肿瘤发病率和死亡率在不断增高，肿瘤死亡率居世界前列。目前我国对污染引发代谢异常和肿瘤等疾病的分子机制仍不清楚，对环境污染的毒性及健康效应还缺乏深入的科学研究。环境污染与健康影响的研究工作仍处于起步阶段，面临诸多挑战。

一是环境混合物的健康效应研究有待深入。我国人群面临着传统与现代环境污染暴露的双重挑战。目前的暴露研究割裂了内外暴露关联，难以体现区域复合暴露与环境污染的全生命周期影响。例如，PM_{2.5}就是一种典型的环境污染混合物，不同国家和地区在不同经济发展阶段，其细颗粒物组成差异是极为显著的，影响真实环境的污染均以混合物形式暴露。针对这一情况，美国国家环境健康研究所将阐明环境混合物的健康效应作为其未来优先研究重点。

二是污染物与生物分子作用机理的认识亟待加强。探求污染物与生物分子交互作用及其对关键毒性作用通路的扰动机制已成为破解环境污染与健康因果奥秘的关键。环境污染物与生物分子作用是公认的污染致病起点，目前对这一连接污染与健康的关键环节缺乏深入认识，导致难以厘清污染导致机体损伤并与特定疾病表型相关联的机制。环境污染物与生物靶点化学结构的多样性决定了污染物对生物分子相关毒性通路扰动机制的复杂性，污染物的人体致癌/代谢干扰分子机制和通路研究仍存在诸多瓶颈问题，如污染物的生物靶点选择机制及共存组分与生物大分子作用的竞争机制；混合物组分间毒性作用机制等。

三是环境污染的健康危害机制研究亟需重视。与污染物相关的

DNA 损伤与修复研究一直是环境与健康领域研究前沿。DNA损伤和遗传变异并非所有健康结局的诱因。机体损伤过程中表观遗传变异与传统意义的遗传变异是共存的，且表观遗传的变化很可能是相关健康结局发生的早期事件并显著影响环境污染所致健康风险。同时，环境污染毒性剂量—反应关系研究的匮乏还致使难以确定其风险阈值。

四是科学运用大数据以探寻环境疾病的污染归因研究亟待攻坚。如何科学运用大数据，结合分子生物学、毒理学乃至流行病学等信息，以探寻环境疾病的污染归因是环境与健康领域亟待解决的方法瓶颈。环境污染的复杂性使得单纯依赖实验评价其毒理效应难以实现，以构效关系为核心的计算毒理是污染毒理评价的有力工具。目前亟需发展相应的计算毒理手段，以评估大气污染作用的关键生物靶并预测其对相关信号通路的可能扰动。

二、关键科学问题和重点研究方向

当前，环境污染与健康影响研究的方法学正处于一个全面革新的时期。专家建议抓住这一契机，立足于对机体损伤的污染归因新理论与新方法的探索，瞄准当前环境污染与健康研究存在的方法瓶颈，整合多学科研究力量攻关，逐步占领环境污染与健康影响科学研究战略制高点。重点开展以下四个方向的研究：

一是污染暴露组及其方法学研究。包括区域污染人群长期暴露的无偏评估方法；区域人群超痕量污染物溯源甄别；建立同时基于外暴露特征和内暴露效应指示的暴露组学研究方法；低剂量环境暴露方法学。

二是污染物与生物分子的交互作用。包括污染物引发的自由基产生与生物损伤；污染物诱发表观遗传的变化与调控机制；污染物诱发的DNA损伤、修复与基因突变的分子机制；典型污染物生物作用靶点及其效应的关联机制。

三是污染物毒性与健康危害机制。包括污染物的内分泌干扰效应与发育毒性机制；典型污染物引发机体糖和脂肪代谢紊乱的机制；污染物对肿瘤细胞增殖与转移的影响机制。

四是污染物影响健康计算毒理学评价方法与预测模型。包括发展相应的计算毒理手段以评估污染物作用的关键生物靶；建立污染物流行病学评估方法以解决广义估计模型的合理收敛问题；形成以构效关系为核心的计算毒理。

三、科学基金的政策措施和资助安排

目前，自然科学基金委有关部门正在依据论坛研讨形成的科学目标、科学问题和政策建议，在前期部分面上项目资助的基础上，结合国家《加强大气污染治理科技支撑工作方案》的整体安排和任务分工情况，进一步组织论证，争取设立“大气污染毒理学评价研究”重大研究计划支持大气污染对健康影响的研究。目前重点考虑的六个方向：

一是大气污染关键毒性组分的分离与鉴定方法；二是大气污染的环境暴露组学与人群暴露评价；三是大气污染物与生物分子的交互作用及其潜在健康风险；四是大气污染的毒理学效应及其剂量—反应关系；五是大气污染的健康危害机制；六是大气污染对健康影响的计算毒理学评价方法与预测模型等。

预期通过5年的连续资助，建立大气污染毒理学评价方法体系，制定我国大气污染的毒理学评价路线图；阐明我国特征大气污染健康危害的毒理学基础和剂量—反应关系，提出我国特征大气污染的人体健康影响阈值，为系统研究大气污染的健康影响及制定相应控制对策提供方法学和技术支撑。