



# 曹建猷：中国铁路电气化的开路先锋

□王菊谢瑜



曹建猷（1917.5.19—1997.9.19），湖南长沙人，铁路电气化专家，中国科学院院士，铁路牵引电气化与自动化学科的创始人。1940年毕业于上海交通大学，1950年获美国麻省理工学院博士学位。1951年8月回国，在北方交通大学唐山工学院（今西南交通大学）从事教学和科研工作。历任电机系主任、副校长等职。1980年当选为中国科学院学部委员（院士）。第六、七届全国人大代表。

截至2023年底，中国高速铁路营业里程达4.5万公里，占全球高铁总里程的70%以上，技术领先世界。这一成就的背后，电气化牵引供电系统是关键技术之一，而中国铁路电气化的奠基人和开拓者就是曹建猷院士。

## 放弃美国优渥条件，辗转万里终归来

1936年，曹建猷考取上海交通大学电机系，其间加入了以发展实业、改善民生为主旨的建设事业励进社。毕业后进入西南联合大学任教。1945年11月考入美国麻省理工学院电机工程系攻读研究生。学习期间，曹建猷因成绩优异被校方破例批准直接攻读博士学位，师从年轻有为的A.A.Getting教授。导师对他十分器重，为他配备了两名助手，还按照讲师待遇每年给他发放3500美元薪水。

1950年9月，曹建猷顺利完成博士论文《MIT同步回旋加速器的电子感应加速器特性》并获得博士学位。此时其导师A.A.Getting已转任美国空军做研究，继任的Thomas教授极力挽留曹建猷留校任教，并承诺优厚待遇。同时，曹建猷还兼任纽约市立大学外聘讲师，年薪高达6000美元。可谓教职尊贵，薪资优厚，科研设施顶尖，生活十分惬意。

新中国成立后，爱国知识分子的热切之心与祖国的召唤相汇，促使海外留学学子回国的工作有序进行。曹建猷早就心向新中国，收到国内亲人来信后，更是迫不及待想回国，将所学贡献给祖国的建设事业。此时，他看到唐山工学院发布的《求贤榜——新唐院近景》，被文中描绘的新中国铁路发展前景深深吸引。尽管上海交通大学、清华大学和中国科学院都向他发出邀请，曹建猷还是毅然选择加入唐山工学院，致力于祖国的铁路建设事业。

1950年抗美援朝开始后，美国加大了对中国优秀留学人员回国的阻挠力度。曹建猷的研究方向——同步加速器涉及核技术，在当时极为敏感，导致他的回国手续迟迟未办妥。心急如焚的曹建猷得知，因广东和福建赴美华侨众多，美国对这两地华侨回国管制较松。于是，他自制了一封来自福建的信，自称要回乡探病。幸运的是，当时办理手续的是一位缺乏经验的年轻人，未察觉信件破绽，曹建猷一家因此顺利取得出关证件。

（上接1版）

新时代以来，中国文联坚持把思想政治引领、价值引领、道德引领和行风建设结合起来，健全中国文联职业道德建设委员会和各全国文艺家协会行风建设委员会工作机制，完善各艺术门类行业标准、行业规范、行为守则和自律公约，积极参加文娱领域综合治理行动，引导广大文艺工作者自觉提高学养、涵养、修养，努力追求真才学、好德行、高品位。深刻把握作品和人的辩证关系，深化文艺评奖改革，聚焦作品和艺术家本身，加强评奖科学化规范化建设，有效发挥评奖对创作和人才的引导激励和示范作用。分层分级加强文艺人才培养和梯队建设，加强会员联络服务管理，加大对基层一线、青年文艺工作者和新文艺群体吸纳力度。广泛开展新时代文明实践文艺志愿服务，注重在文艺志愿服务中发现和培育艺术人才，在树立和弘扬行业新风中锻炼和发展文艺骨干，努力营造精品力作背后站着名家大师、名家大师支撑着精品力作的良好局面。

党的二十届三中全会对“培育形成规模宏大的优秀文化人才队伍”作出战略部署，为新时代培育壮大引领新风正气的文艺队伍指明了前进方向。新时代新征程，中国文联将进一步强化人才是文艺事业“第一资源”的意识，充分发挥组织优势和专业优势，以更加强烈的历史主动精神，完善文艺人才战略布局，深化文艺人才发展体制机制改革，

1951年6月15日，曹建猷携夫人以及在美国出生的女儿坐火车到达旧金山，后又搭乘轮船，途经洛杉矶、檀香山、横滨、马尼拉到达香港。到香港后，曹建猷一家乘小船到达九龙，再换火车到深圳，几经辗转，终于回到了魂牵梦绕的祖国。

## 从争论到共识：为中国铁路电气化定调供电系统方案

1953年，铁道部作出在宝成线建设一段电气化铁路的决定。消息一时在业界引起轰动，人们意识到中国铁路追赶世界先进技术迈出了重要一步。但是短暂的兴奋之后，大家很快陷入了直流制和交流制之争，这一问题在当时的欧美国家也没有定论。

此时的唐山工学院已经改名为唐山铁道学院，属铁道部直接领导，曹建猷任系主任的电机系就设置了电气运输专业。曹建猷意识到宝成线电气化制式的选择是我国铁路电气化发展方向的关键技术决策，这一决策关系到今后使用的电力机车的形制、供电系统的制式和结构以及铁路的运能和经济效益，任何建议都一定要建立在全面审慎论证的基础上。当时，苏联采用3千伏直流制技术，而西欧一些国家采用15千伏低频交流制，法国则正在试验25千伏工频交流制。曹建猷对两种制式的电气化技术进行了研究，虽然苏联对直流制有多年运营经验，苏联专家也倡导我国采用直流制，但是曹建猷敏锐地发现直流制不适合宝成线。首先，由于直流制电压较低，为了保持运力，每隔二十几公里就要建一座牵引变电所。对于宝成铁路这种典型的山区铁路，仅变电所一项的建造和维护成本就是难以承受的。其次，宝成线具有长大坡道和多隧道的特点，火车运行需要较大的牵引力，工频交流制的25千伏与直流制的3千伏几乎相差一个数量级，向列车供电的输送功率和输送距离都不可同日而语。经过缜密思考和科学论证，曹建猷高瞻远瞩地提出采用25千伏单相工频交流制供电系统方案。在当时提出这一创新方案不但需要深厚的专业知识，同时也冒着一定的政治风险，但是曹建猷以科学家的实事求是精神坚持了自己的论断。

1956年，曹建猷在《人民日报》上发表了《我国铁路电气化的途径》的文章。该文阐述了世界铁路电气牵引发展

趋势、两种制式在技术和经济上的优劣对比，最后提出“我国铁路电气化应采用单相工频频率交流制”。文章发表后，面对质疑，曹建猷组织课题组进行进一步研究，结果支持了他的论断。

1957年，铁道部决定采用25千伏单相工频交流制，并停止了与苏联专家的合作，由天津第三设计院进行中国第一条电气化铁路——宝成铁路宝凤段的设计，并将单相工频交流制确定为部颁标准。曹建猷的论断为铁路电气化确定了方向，减少了大量试错成本。20世纪70年代，单相工频交流制被确立为国家标准，沿用至今。

时至今日，中国高铁列车凭借交流制电力牵引供电系统，已跑出350公里/小时的世界第一运营速度。多数曾采用直流制的国家为提升运能和速度已转为交流制，欧洲所有时速300公里的高速铁路均采用交流制。在宝成线电气化铁路建设时，曹建猷不辞辛苦在现场常住，主持铁路开通，并带领全系学生赴宝鸡供电段学习。这批学生后来成为电气化铁路建设的中坚力量，遍布全国各地。

## 从边缘到前沿：携手打造国内首个牵引动力国家重点实验室

1988年，国家计委启动了第二批国家重点实验室的建设申报，西南交大的申报工作由时任主管科研副校长的曹建猷负责组织。基础部力学教研室沈志云教授刚从欧洲讲学归来，他结合德国慕尼黑黑研究所的情况提出建设时速400公里机车车辆滚动振动试验台的方案，为今后高速铁路的发展铺路。沈志云虽然提交了方案，但不抱太大期望，主要是因为校内竞争非常激烈，当时机械和电机两个大系已经提交了18个方案，而基础部属于比较边缘的部门。

曹建猷基于发展高速铁路的长远考虑，在众多方案中选择了沈志云的。面对质疑，他说：“国家投资有限，什么都建，什么都建不成。发展高速铁路是世界的趋势，建设机车车辆滚动振动试验台是关键设备，国外只有德国慕尼黑有这样的台子。我们瞄准它，建成超过它的设备，就有望达到世界领先水平，为我国自主研发高速列车掌握最有力的手段。”

当时全国仅有50个重点实验室名额，而申报项目多达180个。为确保成

功，曹建猷亲自组织答辩准备工作，建议沈志云与电机系教授合作以增强答辩组实力，并为实验室取名“牵引动力”。赴京前，他组织了4次试讲，全面预设问题，确保答辩顺利进行。最终，答辩评分很高，实验室以总分第27名顺利通过评审。在很长一段时间内，铁路系统仅此一国家重点实验室，直至2005年，北京交通大学才成功申报到第二个。

根据曹建猷的建议，沈志云担任实验室主任，电机系的钱清泉任副主任。1995年，实验室顺利通过国家验收，沈志云兴奋地骑着三轮车，载着曹建猷前往参观。此时，沈志云已是中国科学院学部委员和中国工程院院士。两位院士骑着三轮车悠然穿行于西南交大校园，却带起了中国高铁风驰电掣的速度。西南交大的牵引动力国家重点实验室一度成为铁路系统唯一的高铁实验验证平台，所有高铁车型上线前均须在此测试。

## 鞠躬尽瘁为理想，晚年入党

曹建猷历经军阀混战、国民党腐败统治，目睹上海沦陷、西南联大遭空袭，萌生“科学救国”“实业救国”之志。新中国成立后，他毅然回国，放弃大城市机会，投身铁路建设。随三线建设所高校内迁，他从唐山工学院搬到峨眉山，退休后定居成都，虽被表弟戏称从大城市到小城市，又变成山里人，但他从不言悔，一心扑在学术与铁路事业上。

1978年，全国科学大会召开，迎来科学春天。同年8月，61岁的曹建猷任西南交大副校长，致力于科研、学科建设、师资培养及研究生教育，总觉得时间不够用，总想为党和国家多做点事情。1987年3月，70岁的他加入中国共产党。他写道：“我知道，我能做的工作已很有限了，但我愿意努力去做，更自觉地去做。”

1997年9月19日，曹建猷因病在成都逝世。遵其遗愿，亲属将其骨灰撒于我国首条电气化铁路——宝成铁路宝凤段之上，让这位中国电气化铁路的奠基人永远守护着他深爱的铁路事业。



化文化服务和文化产品供给机制”，要求“完善公共文化服务体系，建立优质文化资源直达基层机制”。新时代新征程，中国文联将坚定不移持续推动全面深化改革，坚持问题导向，创新思维、转变观念，以改革创新赋能文联系统组织优势和专业优势的充分发挥，聚焦文艺创作、文艺服务基层群众、文艺行风建设、“文艺两新”团结引领、文联系统组织体系和人才队伍建设等关键环节，强弱项、补短板，切实用好具有牵引性、撬动性的工作抓手，不失时机推进重点领域改革，切实打通优质文艺资源直达基层的“最后一公里”。积极顺应互联网发展大势，强化互联网思维，不断创新服务管理方式，建立新的服务平台和工作机制，把文艺战线的力量发动起来，把蕴藏的创作能量激发出来，推出更多老百姓喜闻乐见的优秀作品，让人民的精神文化生活充盈饱满。

光辉旗帜指引前进方向，伟大思想引领伟大实践。新时代的文化使命赋予我们更大的责任，人民对美好精神文化生活的需求呼唤我们更大的作为。我们将用心用情团结凝聚广大文艺工作者，坚持不懈深入学习践行习近平文化思想，坚定文化自信，坚持文艺服务人民，坚持守正创新、秉持开放包容，传承中华优秀传统文化、弘扬社会主义核心价值观，在“深入生活、扎根人民”的艺术实践中，创作推出更多无愧于时代无愧于人民的精品力作，为强国建设、民族复兴伟业贡献力量。

生物医学影像技术是保障人类生命健康的重要基石之一。光学成像是其中的重要组成部分，已经在生物医学领域得到广泛应用，如病理组织免疫荧光检测，胃肠镜和膀胱镜等临床内镜检查，眼科和心血管造影，以及肿瘤荧光成像手术导航等。传统的荧光成像的波长大多集中在可见光（400—650nm）和近红外一区（650—900nm）范围，此波长范围存在严重的生物自发荧光干扰，并且活体组织（包括皮肤、血液、脂肪等）对该波段光子具有很强的吸收和散射作用，导致其极为有限的穿透深度和空间分辨率，无法满足深层组织下精准“可视化”的需求。这好比在雾霾天，光线被雾霾吸收和散射掉，使得人们无法看清远处的景象。而红外波段光往往具有更强的穿透性，如目前的红外热成像已被广泛应用于夜视和低能见度环境下的成像。研究表明生物活体组织对近红外二区（1000—1700nm）波段光的吸收和散射显著降低，因而近红外二区荧光具有更高的组织穿透深度和空间分辨率，这个成像窗口被誉为“活体光学透明窗口”，有望为疾病的诊疗提供更为精准的“活体光学成像”技术。

## 技术创新与突破

近红外二区荧光探针和成像设备是实现近红外二区荧光成像的必要条件。针对2009年国际上开始提出的近红外二区光学成像新技术，中国科学院苏州纳米所相关团队就在思考如何获得具有优异近红外二区荧光性质的探针，以解决这个新兴的光学窗口在应用中面临的重大挑战。2010年在国际上首次发现Ag<sub>2</sub>S量子点的近红外二区荧光性质，并根据半导体能带理论精准制备了Ag<sub>2</sub>Se、Ag<sub>2</sub>Te、AgAuSe等一系列近红外二区荧光量子点，建立了一种荧光波长可调谐、高量子产率、高生物相容性的银基近红外二区荧光量子点体系，为近红外二区荧光成像科学研究提供了一类理想的探针。

在近红外二区光学成像研究之初，市场上没有开展下游生物医学应用研究的相关近红外二区荧光成像设备。为了解决这一难题，研究团队通过光机系统建模与仿真，自主设计关键光学元器件，解决了光学元件近红外二区像差大、成像系统光学传递函数低等关键技术问题，“从无到有”自主研制出了近红外二区激光共聚焦、倒置和正置等荧光显微镜、小动物活体成像设备，以及兼容传统荧光和X射线成像的系列宽光谱（400—1700nm）和多模态成像设备，建立了跨分子—细胞—组织—小动物活体尺度的原位、实时荧光影像平台，有力推动该领域的创新发展。

## 生物医学应用与成效

基于近红外二区“活体光学透明窗口”的优势，近红外二区荧光成像技术已经深刻改变了光学成像技术的发展及其生物医学应用，并被誉为“下一代荧光影像技术”。

在肿瘤诊疗领域。外科手术切除是肿瘤治疗最重要的策略。目前，外科医师在术中主要通过肉眼观察、超声等方法确定肿瘤边界、残余病灶以及微小转移病灶，然而，这些方式存在手术切缘肿瘤易残留、难以及时发现微小转移灶等问题，导致肿瘤术后复发、转移率高，严重影响病人的预后和远期生存。近红外二区荧光成像技术由于其高穿透深度和高时空分辨率等特点，可以在术中提供实时、动态影像导航，帮助外科医生准确地定位肿瘤边界，辅助术中精准切除肿瘤和发现隐匿微小转移灶，有效降低术后肿瘤复发，提高患者生存率。此外，在肿瘤快速病理检测方面，近红外二区荧光成像技术也已展现出巨大潜力。如通过发展荧光激活和信号放大等策略，开发了神经母细胞瘤“木旁”快速病理检测试剂，实现了快速（小于30分钟）、准确（大于95%）的病理诊断和微小隐匿肿瘤病灶（约0.2毫米直径）的高灵敏度检测。

# 近红外二区荧光成像技术

精准医疗的「透视眼」

□王强斌

在药物筛选和评估领域。据统计，目前每个新药从研发到上市平均历时7—12年，平均耗资1亿—1.2亿美元，并且临床I期通过率仅为8%左右。药物在开发初期都需要先借助动物模型对药物的活性、毒性及代谢动力学进行评估和分析。传统的活体动物药物筛选，其药物分析需在离体下进行，由于实验动物的个体差异性以及复杂操作导致的实验误差，使得数据可靠性差，难以真实反映药物在活体中的动态代谢过程和疗效。利用近红外二区荧光高穿透深度和高时空分辨率的特点，建立了活体动物原位、实时的化疗药物和蛋白药物等分布、药代、药动及疗效分析的新型药物评估技术，有效避免了因动物批次和个体差异带来的误差，同时极大减少了人力和物力成本，加快新药的研发速度；针对干细胞及免疫细胞等新兴的活细胞药物，开发了移植干细胞在体内迁移、存活、分化等的多通道荧光评估技术，可原位获取干细胞安全性及疗效相关信息，为临床级干细胞的安全性评估和新疗法开发提供了活体、原位“可视化”技术；建立了化疗和免疫治疗过程中化疗药物和免疫细胞的原位、实时监测与调控新方法，突破了传统离体、断点式评估方法的局限性，为肿瘤“可视化”精准诊疗开辟了一条新途径。

## 未来展望与挑战

尽管近红外二区荧光成像技术有诸多优点，但是受限于临床用探针和成像设备的限制，目前主要集中在临床前研究。未来随着符合临床要求的近红外二区荧光探针以及宽场手术导航、内窥镜、光治疗仪等近红外二区光学医疗设备的发展和进入临床，相信近红外二区荧光成像技术将在术中肿瘤手术导航以及相关疾病的诊疗中起着越来越重要的作用。

此外，随着人工智能技术的快速发展，未来近红外二区荧光成像技术有望结合深度学习和人工智能技术，进行自动化、智能化影像信息处理、分析及反馈控制，获取关键生理、病理信息，并结合数字孪生、虚拟现实、混合现实等显示技术以及智能手术机器人等治疗技术，培育出系列智慧医疗新范式，发展保障人民生命健康的新质生产力，为医疗技术带来新的变革。

（作者系中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所所长、研究员）

