

水工抗震 坝工中国

——科学精神指引我的抗震科研生涯

陈厚群



陈厚群带领团队开展的水工抗震研究为三峡工程等国家重点工程提供了理论和技术支撑。图为三峡工程航拍图。

近期，四川马尔康和新疆喀什等地接连发生地震灾害，给人们的生命财产造成损失。这再次警示我们，作为饱受震灾的国家，我国必须进一步加强抗震救灾减灾工作，特别是深入推进抗震科技创新，最大可能减少震害直接损失，切实防止产生诸如溃坝等由地震引发的重大次生灾害，以更丰硕的创新成果为人民生命财产安全提供更可靠的保障。

边干边学 专注研究超过60年

作为水工建筑物抗震科研工作者，我从事相关领域的工作始于60多年前。那时，我26岁，刚从莫斯科动力学院水电专业毕业回国，被分配到新组建的水利水电科学研究院。参加工作不久，1961年，广东省河源县新丰江大坝蓄水后发生地震，大坝需要抗震加固。我奉命牵头组建大坝抗震组，进行水工抗震研究。工程抗震是一门涉及多领域的交叉边缘学科，我所学的专业知识是水电，虽然与水工、大坝等有关，但是从未学过与抗震或者与抗震有关的课程，甚至连一些最基本的相关概念都不甚了了，用“一窍不通”来形容，毫不为过。

接到任务后，我虽十分苦恼、焦虑，但既然是国家需要、工作需要、职责所在，我唯有排除万难，奋力向前。于是，我便与同事们一起边干边学，所谓“从战争中学习战争”。经过紧张奋战，我们撰写了题为《新丰江水库地震及其对大坝的影响》的论文，为相关工作的开展提供了科学依据。该论文在1973年召开的国际大坝会议上获得了国际同行的关注和好评。

新丰江水库地震研究对于我个人而言，是科研方向上的调整，从此我便走上了水工抗震科研之路并向上攀登超过一个甲子，努力不负所望，倾力取得了一些聊以自慰的成绩，其中包括主编了首部水工抗震国家标准，牵头建成了国内首座三向六自由度宽频域振动台，领衔研发了高性能并行“云计算”大坝抗震分析软件……

新丰江水库地震研究对国家科研事业来说，开启了我国系统研究大坝抗震安全的先河，中国水工抗震科研由此发轫，不断发展进步，实现从萌芽到追赶，从跟跑到并跑并在某些方面挺进到国际先进水平的跨越，为刘家峡工程、小浪底工程、龙羊峡工程、三峡工程等国家重点水利基础设施的工程抗震提供了理论和技术支撑。



作者陈厚群肖像画。

张武昌绘

高扬科学精神 在继承中取得突破

在60余年科研生涯的崎岖征途中，我感悟良多，其中最深的：必须始终高扬科学精神。既要保持探索新知的热情，又要敢于质疑，不迷信权威、不墨守成规；既要高度重视实证研究，又要坚持理性原则。只有切实统筹兼顾这四个方面，才可能有所创新、有所突破。

刻苦虚心从书本和向别人学习固然是从事科研的基础，因为攀登离不开前人的托举，所谓“站在前人的肩膀上”，但创新必须是在继承中突破传统和既有认知。诺贝尔物理学奖得主李政道先生说，要创新，须学问，只学答，非学问。他强调的是要善于发问，而不是满足于已有的答案；要敢于质疑，而不是未经深刻思考就接受已有的结果。对此，我的体会是，知识能否学以致用，能否转化为自己解决实际问题的智慧，

关键在于是否进行思考、发问和质疑。科学总是在知识不断更新中发展进步，而善于发问、敢于质疑是实现创新的必要条件。

沙牌拱坝强震后无恙 催生新理念新方法

5月12日是我国“防灾减灾日”，14年前这一天，汶川大地震发生，造成严重损失。地震发生后，国家有关部门要求对全国重大工程在极端地震下可能导致的库水失控下泄的严重次生灾害，进行校核和防御，位于此次强震区汶川县境内岷江支流上的沙牌拱坝无疑是重中之重。对其震害进行检验的过程充分诠释了敢于质疑、勇于突破传统认识的束缚，发扬科学精神，对形成新知的重大意义。

引发汶川8级大地震的龙门山断层，虽然震中在汶川，但破裂延伸达300千米、历时超100秒，灾情最重的是位于震中东北的北川地区。对邻近断裂的紫坪铺、沙牌等100米以上高坝的地震影响，充分显示了极端地震具有的“近场大震”的“面源”发震机制和波动特征。但目前大坝的抗震设计中，坝址地震动输入的确定都是限于传统的“点源”发震机制和振动特征。

当前，国内外混凝土坝的地震响应分析，仍基于传统的线性结构力学的振动问题，对坝体结构的强度和抗滑稳定分别采用针对设计临界阈值的安全系数的校核，根本无法反映其在地震作用下损伤、破坏过程和判定其发生灾变的定量准则。

由于沙牌拱坝曾是世界最高的碾压混凝土拱坝，且汶川地震时，接近于满库蓄水，再加上位于地震烈度远超过其设计值的强震区，其抗震安全曾备受关注。但震后放空水库后，经国内外专家赴现场调研和考察，证实坝体完好无损。这样的结果是传统分析方法完全无法解释的。

要做到尊重实践，对客观结果做出合理的解释，必须敢于质疑并突破传统认识，必须改变“结构分析精细、输入和抗力粗放”的混凝土抗震研究的传统观念。工程的需要驱动我们团队着力于创建新理念和新方法，把坝址地震动输入、结构体系地震响应分析、混凝土材料动态抗力这3个不可或缺、相互配套的交叉学科进行综合研究。

正是本着对传统认识提出质疑和挑战，我们创建了一整套大坝抗震的新理论体系并接受实践检验。对沙牌拱坝体系在汶川强震作用下的地震响应分析表明，除了邻近坝址的地表岩体中，有局部向下的开裂外，坝体本身完好无损，完全验证了震害实际情况。

此外，我们还按这套理论和方法，对印度遭受1967年强震的震害进行了检验。对相关大坝的震后检查表明，坝体在下游坝面转折的部位，产生了贯穿上下游面的裂缝。但坝基的扬压力监测数据未见变化。通过对坝基钻孔取芯的分析发现，坝体和地基的接触面完好，显示坝体的坝踵部位并未开裂。在震后坝基渗流量有所增加，但随后渐趋于正常，反映了地震时，坝基岩体开裂及随后经淤砂充填的状况。我们根据坝基实测地震加速度的检验结果，也完全验证了该坝的震害情况。充分说明所创建的一整套大坝抗震的新理论体系是经得起实践检验的。

对肩负大坝工程抗震安全的科技人员来说，每次大地震，都是对我们认知的检验，需要在震情的启迪下，认真总结、敢于对成规和传统进行质疑和突破、勇于改革和创新。

抗震研究要快马加鞭 期待更多更大成果

坝工技术成就大型综合水利工程，造福全球。我国人均淡水资源短缺，时空分布又

科学家寄语



很不均匀，建设水库大坝等水利工程，尽可能调节利用汛期洪水，对抗旱防洪有着重大的意义。同时，作为水能资源最为丰富的国家，我国在水电开发方面潜力巨大，可以将其作为重要的可再生的清洁能源，绿化国家能源结构，助力实现“碳达峰”和“碳中和”目标。

我国大江大河的源头和水能资源多集中在西部高山崇岭的陡峻河谷中，地形地质条件适宜于修建移民淹没地相对较少而调节性能好的高坝大库。我国的高坝以混凝土坝为多，特别是西部在建和拟建的200米至300米级的高坝，绝大部分采取拱坝方案。西部地区是我国主要地震区，地震的强度和发震频率都很高，近代以来，我国超过八成的强震都发生在那里。水工混凝土结构中大坝的抗震安全，一直是我国水利水电建设中着力突破的关键技术。

鉴于高坝大库在遭遇各类灾害特别是震灾后的次生灾害后果不堪设想，关系到“人民至上”“生命至上”的重大原则，我们必须警钟长鸣，一刻也不能掉以轻心。工程抗震涉及诸多学科，尤为复杂。地震预报更是尚待解决的世界性难题。作为该领域内耕耘了60余年的老兵，我深感大坝抗震安全的研究仍要快马加鞭。

当前，无论从建设规模、设计经验、施工实践和科研进展看，我国已是大坝工程建设大国。我认为，我国的坝工科技界，应当也完全有能力担当起对大坝设计理念和方法进行突破传统、追踪前沿的改革重任，进一步确保工程安全。我希望与国内外同行进行更多更深入交流切磋，精诚合作，携手取得更多更大创新成果，进一步降低高坝大库的风险，提高安全保障能力，让“坝工中国”成为更闪亮的名片，让坝工技术更好造福中国和世界。

（作者为中国水利水电科学研究院教授高级工程师、中国工程院院士、中国水工抗震学科奠基人和开拓者、全国地震标准化技术委员会副主任、南水北调工程专家委员会主任，获何梁何利基金科学与技术进步奖、国际大坝委员会终身成就奖）

科技名家笔谈

中国科协科学技术传播中心、科学出版社与本报合作推出

近日，2022东亚海洋合作平台青岛论坛在青岛西海岸新区开幕。论坛以“携手‘海洋十年’，合作共赢未来”为主题，来自全球多个国家和地区的海洋专家、经济学家、艺术家、企业家等400余位嘉宾，以“线上+线下”形式，深化海洋经济、科技、人文、环保等领域的交流合作。

论坛上，联合国“海洋十年”海洋与气候协作中心获批，“海洋十年”大科学计划对外发布。据了解，“联合国海洋科学促进可持续发展十年”（简称“海洋十年”）是联合国聚焦全球海洋可持续发展面临的严峻问题，在全球发起的变革性海洋科学运动，周期从2021年至2030年。开幕式上，联合国教科文组织政府间海洋学委员会执行秘书拉宾宁宣布，由自然资源部第一海洋研究所牵头，联合国内多家科研机构和国际机构共同举办的“海洋十年”海洋与气候协作中心获批，成为

2022东亚海洋合作平台青岛论坛开幕

本报记者 王沛

联合国在全球范围内首批批复的6个“海洋十年”协作中心之一，也是我国唯一获批的协作中心。

该中心将落户青岛西海岸新区，将在联合国框架下、在全球层面凝聚海洋与气候领域的国际共识和智慧，推动“海洋与气候无缝预报系统”（Ocean to climate Seamless Forecasting system，简称OSF）等系列大科学计划落地落实，为全球海洋治理提供中国智慧和方案。

据了解，OSF大科学计划由自然资源部第一海洋研究所联合全球25个国家34家海洋与气候研究机构和3个国际组织共同发起，是我国物理海洋领域在联合国框架下发起的首个大科学计划，标志着我国在海洋与气候预测领域从长期科学积累逐步走向国际科学引领，旨在跨越从7天预报到数日短期气候预测之间的预报“盲区”，将与国际合作伙伴共同推动海洋与气候预报能力的大幅提升，向国际社会特别是东亚提供高质量观测与预测产品和服务。

活动现场，国际涉海商协会联盟揭牌，秘书处设于青岛西海岸新区；《现代海洋城市研究报告（2021）》全球首发，提出“现代海洋城市评价体系”。

作为以“海洋经济发展”为主题的国家级新区，青岛西海岸新区已集聚国家级涉海重点实验室、工程研究中心17个，涉海科研院所11家，海洋人才总量达6.2万人，“十三五”期间，海洋生产总值年均增长14.4%，占青岛市海洋经济总量40%。下一步，西海岸新区将充分发挥东亚海洋合作平台的平台效应，协助各方推动联合国“海洋十年”落地落实，携手共建海洋命运共同体。

第五届南宁海（境）外人双创大赛启动

本报南宁电（记者郑壹）近日，2022年第五届中国·南宁海（境）外人创新创业大赛在南宁正式启动。启动仪式吸引了海内外2.5万余人次通过现场和线上网络直播参与。

据介绍，今年大赛赛道涵盖新能源汽车、新一代电子信息、先进装备制造、生物医药及大健康、新能源新材料、现代农业六大行业领域。赛事在区内设立北京、深圳、苏州三个预赛站点，采取“线上+线下”项目路演模式，组织评审专家对项目进行评审，遴选参加南宁决赛的晋级项目。

作为广西首个海（境）外人创新创业大赛，自2018年以来，中国·南宁海（境）外人创新创业大赛已成功举办四届，共征集来自美国、德国、英国等全球30余个国家和地区的1814个参赛项目，累计在波士顿、伦敦、法兰克福、北京、深圳等海内外创新资源集聚地区举办路演40多场，选拔197个项目入围复赛和决赛。截至目前，已有29个获奖项目在南宁市注册企业并落地发展。



近日，福建省莆田市公安局新度派出所开展反电信网络诈骗宣传和“全民禁毒宣传月”宣传活动。干警深入辖区的学校和社区，传播健康向上的生活理念和知识，增强大家自我防护的能力，共同营造良好的社会环境。图为民警向学生宣讲相关知识。许毅军摄



二〇一六年三月，陈厚群（左一）在南水北调工程中线工程调研发冰期输水情况。



二〇一三年九月，陈厚群（右一）在南水北调中线工程浙川第七标段进行质量检查。