



## 基于自研设备的高校实验室建设路径研究

冉栋刚<sup>1</sup>, 王文君<sup>1\*</sup>, 林春金<sup>2</sup>, 焦丽媛<sup>1</sup>

(1. 山东大学 资产与实验室管理部, 济南 250000; 2. 山东大学 岩土与结构工程研究中心, 济南 250000)

**摘要:** 重大仪器设备的自研自制, 对于补齐我国科研仪器研制短板、提升科技创新能力有重要的作用。山东大学将大型地质力学模型试验系统研发与实验室建设工作相融合, 在基于实验设备自研自制的基础上进行实验室建设, 为我国重大交通基础设施的建设提供了可靠的新手段。实践表明, 将仪器设备的自研自制与实验室建设相融合的方式, 不仅可以取得显著的科研成果, 还能够为解决社会问题、支持国家战略提供有力支持, 为推动我国高校实验室现代化建设贡献了有益的经验。

**关键词:** 自研仪器; 学科交叉; 实验室建设; 地下结构; 模型试验

中图分类号: S969.1

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20220392

## Research on the Path of University Laboratory Construction Based on Self-research Equipment

RAN Donggang<sup>1</sup>, WANG Wenjun<sup>1\*</sup>, LIN Chunjin<sup>2</sup>, JIAO Liyuan<sup>1</sup>

(1. Department of Assets and Laboratory Management, Shandong University, Jinan 250000, China;  
2. Geotechnical and Structural Engineering Research Center, Shandong University, Jinan 250000, China)

**Abstract:** The indigenous development and fabrication of significant scientific instruments play a crucial role in rectifying deficiencies in China's research instrument manufacturing capabilities and enhancing technological innovation. Shandong University has seamlessly integrated the research and development of a large-scale geological mechanics model testing system with laboratory construction. Building upon the foundation of autonomously developed experimental equipment, this approach has introduced a dependable new avenue for the construction of vital transportation infrastructure for our country. Empirical evidence underscores that the integration of indigenous instrument development and laboratory establishment not only yields remarkable scientific research outcomes but also furnishes robust support for addressing societal challenges and advancing national strategies. This harmonious fusion of efforts contributes valuable insights to the advancement of modernization in Chinese university laboratories.

**Key words:** self-developed instrumentation; interdisciplinary intersection; laboratory construction; underground structures; model test

通过创新构建新发展格局, 推动提高发展质量, 在我国现代化建设的全局中处于核心地位<sup>[1]</sup>。党的十八大以来, “创新”成为我国各类发展规划里的高频词、关键词<sup>[2-3]</sup>。目前我国在不同领域中都存在一些容易被“卡脖子”的技术问题, 尤其是一些关键的零部件和仪器装备都依赖国外。一个国家的科研仪器研发水平, 不仅是科研实力的体现, 更在很大程度上决定基础科学研究的广度和深度。当前, 我国科研仪器依赖进口的局面

尚未得到根本改观, 科研仪器研制短板亟待补齐<sup>[4-5]</sup>。高校是科技文化创新的重镇, 因此在日常工作中必须将发展科技、培养人才、策动创新进行统筹结合, 发挥人才摇篮和创新高地的角色, 更好为社会主义现代化建设服务<sup>[6]</sup>。

实验室为科研和教学提供场所, 为学生和教师提供实验和探索的环境, 而科研仪器是实验室的核心工具, 支持各种实验和研究活动的开展。良好的实验室设施和先进的科研仪器可以提供更

收稿日期: 2022-06-23; 修回日期: 2022-07-22

基金项目: 山东大学 2022 年度教育教学改革研究一般项目(2022Y177); 山东大学实验室建设与管理研究项目(sy20201302)。

作者简介: 冉栋刚(1980-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事高校资产与实验室管理研究。

\* 通信作者: 王文君(1987-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事资产管理与信息化平台建设研究。E-mail: 261462173@qq.com

广阔的研究空间和更精确的数据, 促进科研水平的提升。此外, 高水平的实验室建设还能吸引优秀的教师和学生, 提高高校的竞争力, 促进学科间的交叉合作和创新, 推动科学知识的传播和应用。但是当前高校实验室建设普遍面临仪器设备老化与更新成本高、低水平重复建设、经费投入受到限制以及利用率不高等问题, 限制了高校实验室水平的提升。通过仪器设备的自研自制, 能够针对学校的具体科研方向和重点进行定制开发, 减少对外部厂商和供应商的依赖, 降低设备采购和维护成本, 满足特定教学需求, 对于解决当前高校实验室建设方面的问题有重要意义。本文对于如何依托自研自制设备, 将高校实验室建设成为先进的科学研究基地, 推动一流大学和一流学科的建设的有效路径进行了探索和总结。

## 1 基于自研设备建设实验室的意义

### 1.1 促进多学科融合创新, 优化人才培养方式

目前科学前沿取得的重大突破以及重大科技创新成果, 往往离不开不同学科之间的交叉、融合, 多学科交叉融合已经成为学科发展的必然趋势<sup>[7]</sup>。但当前高校内还普遍存在阻碍学科交叉发展的问题, 学科之间壁垒重重、科学研究资源共享不足、体制机制尚未建立和完善。同时, 交叉学科能够突破人才培养的界限, 因此应改变单一学科为导向的培养模式, 整合教师队伍, 促进学科交叉融合和学科竞争力持续提升<sup>[8-9]</sup>。科学仪器, 尤其是先进仪器和复杂装备的研发过程, 具有超越其他一般工业品的复杂性, 尤其需要掌握多学科知识的复合型人才。因此, 基于自研自制设备进行实验室建设, 是促进多不同学科之间融合创新, 优化人才培养方式的有力抓手。

### 1.2 支撑一流高校建设和学科建设

“双一流”建设是我国高等教育的重大发展战略<sup>[10]</sup>。对于世界一流大学和一流学科, 并没有准确的量化标准, 但能够确定的是, 一流大学除了完成大学的基本职能外, 还应该形成自己的办学特色<sup>[11]</sup>。一流高校的实验室除了实验实践教学任务外, 还应该兼具研究创新和服务社会发展的重要职能, 同时高水平的实验室也是培养创新人才、推进学科建设的基础<sup>[12-13]</sup>。实验室的建设和日常运营离不开各类科研设备和仪器, 但是我国的科研仪器, 尤其是高端设备非常依赖于国外厂

商<sup>[14]</sup>, 这不仅抬高了实验室建设运营的成本, 在一些关键领域更是受制于人。通过实验设备自研自制, 不仅能够满足“双一流”高校实验室建设需要的硬件基础, 更能借此机会建立健全先进实验室所需要的制度保障体系, 探索适合交叉学科背景下的应用型创新型人才培养模式, 有力地支撑一流高校和一流学科的建设。

### 1.3 服务国家社会重大发展战略

办好世界一流大学, 必须有中国特色。我们的高校是社会主义的高校, 必须坚持社会主义办学方向, 面向国家和社会发展的重大需求, 科技创新工作也要致力于服务社会发展和广大人民群众。2013年习近平主席提出了“一带一路”倡议<sup>[15]</sup>, 提出建设交通强国, 打造“一带一路”现代综合交通运输体系。在现代综合交通运输体系的建设中, 需要通过不断地攻关创新, 形成引领行业发展的新一代交通技术, 并形成现代综合交通运输体系的技术链条, 形成并保持在国际上的竞争优势。除交通基建等传统行业的创新升级外, 我国还提出了面向可持续发展的“双碳计划”、推动产业升级的“中国制造2025计划”、解决卡脖子问题的芯片等关键部件国产化的替代等, 这些计划的实施都离不开科技创新的支撑。关键核心技术是买不到的, 因此必须依靠自身力量进行研发, 着力提升自主创新能力, 才能在激烈的国际竞争中占据优势地位。

## 2 基于自研设备的实验室建设成果

### 2.1 自研大型物理模拟试验系统

我国是目前世界上地下工程修建规模最大、难度最高的国家<sup>[16]</sup>, 地下工程逐步向千米以深发展。在地下工程的施工过程中, 环境复杂, 面临着大埋深、高水压、富含气等极端威胁, 非常容易产生塌方、突水、瓦斯突出等灾害, 且一旦出现灾害往往会产生重大人身安全损害, 造成重大经济和社会损失。为了控制上述问题, 首要的方法是深入了解灾变及其防控机理。然而, 由于地下岩土工程问题的独特性和复杂性, 采用理论计算或计算机仿真的手段解决这类问题十分困难, 计算结果往往与实际情况存在一定差异。因此, 在地下工程安全控制中, 需要进行物理模型试验, 结合实验结果与计算结果行综合评估。

物理模型试验, 就是基于缩尺模型, 在实验

室内模拟工程地质条件和施工过程的实验，能够充分考虑工程岩体和尺寸效应。目前国内许多单位都具有成型的模型试验系统，但在实际应用中大多效果不佳，主要是因为存在以下突出问题。

1) 系统通用性差：模型尺寸固定，不能做到灵活调节，因此只能做到专门应用，利用效率低下，模拟范围窄。

2) 模拟加载精度低：只能实现平面和准三维的应力加载方式，并且加水注气系统落后，导致加载精度低。

3) 测试手段落后：实验过程对人力要求高，自动化程度低，且缺乏多样化的测试手段，因此测试过程可视化程度低，多个多物理量信息获取困难。

针对以上模型实验中存在的突出问题，自 2004 年起，山东大学依托自身在岩土方面的积累的成果，联合校内机械、控制等学科，开展了地下工程大型成套模拟实验系统研发与应用专项研究。

### 2.2 基于自研设备的实验室建设成果

在本项研究中，本单位实验技术人员与学校的仪器设备管理人员联合，建立相关制度，提升了多学科交叉融合对于自研自制仪器设备中发挥的作用。整合了新开发的多元瞬态精确检测、水气智能加载系统、地应力智能加载系统等 6 项关键核心技术，开发出了能够自由组合、尺寸自由调节的模型实验台架，以及能够实现三维实验的大型地质力学模型实验系统，如图 1 所示，依托模型实验系统装置，成功模拟了隧道开挖过程中失稳突水机制。

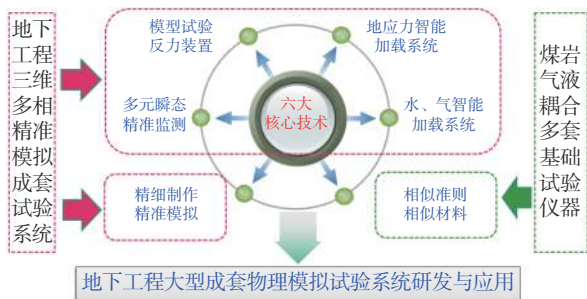


图 1 大型地质力学模型实验系统构成

基于学科交叉的自研大型地质力学模型试验系统，为不同的工程提供了技术支持，不仅解决了实际问题，并在实际应用中不断地检验和提升。以保康—宜昌高速公路尚家湾隧道突涌水段工程为例，通过自研的大型可视化固—液耦合试验平台，配以水压加载控制系统，开展了三维流固

耦合模型试验，如图 2 和图 3 所示。并对深长隧道充填型岩溶管道的位移规律进行分析，揭示填充物渗透失稳突水过程的灾变演化机制<sup>[17]</sup>。



图 2 大型地质力学模型试验装置

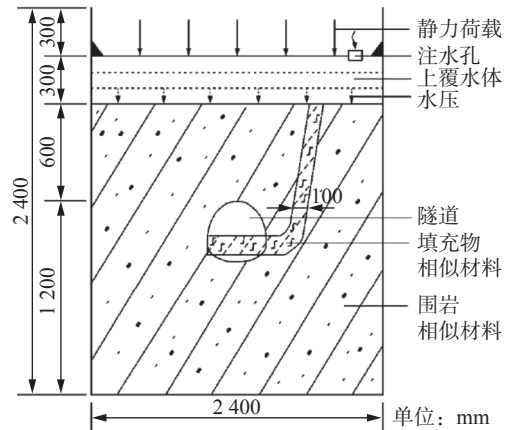


图 3 模型试验设计

根据试验系统中位移计(测点布置如图 4(a)和图 4(b)所示)的监测结果，可以发现以下规律。

1) 开挖过程对 2 倍洞径以内的围岩位移有影响，并且填充物的位移较大，岩溶管道弯曲部位较小，仅为洞壁附近的 30%，如图 4(c)所示。

2) 填充物的密实度差强度低，因此其变形量比相同埋深处的围岩大 20%~25%，且变形的过程持续的更长，开挖推进到监测断面前 3 个循环时，填充物的变形就开始发展，如图 4(d)所示。

基于学科交叉的自研大型地质力学模型试验系统开发及应用过程，对于实验技术和管理人才的培养、更新实验教学内容、节约资金等诸多方面都起到了推动作用。并且自研大型地质力学模型试验系统及技术，已经成功为全国 24 个省市的 230 余项工程提供了地质预报服务，期间未遗漏任何一个重大灾害源，并已经为国家能源集团、马兰核基地、武汉大学等 20 家单位研发 24 套不同



功能的大型物理模拟试验系统, 相关专利也成功向山东省工业技术研究院、山东智岩等单位转化, 创造了广泛的社会及经济效益。

### 3 基于自研设备的实验室建设经验与展望

#### 3.1 注重顶层设计, 发挥学科优势

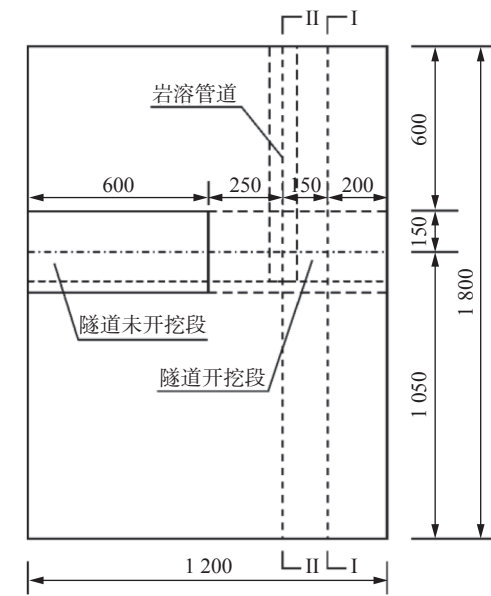
高校实验室不仅承担日常教学科研任务, 更应该有培养掌握多学科知识的人才的重任, 因此应该特别注重实验室建设过程中的规划工作, 注重顶层设计, 根据社会需求及人才培养目标, 一方面要充分发挥优势学科的引领和带动作用, 另一方面也要通过合理的规划促进学科交叉渗透, 培育新的创新生长点。在学科交叉融合的大背景下, 通过学科交叉, 推动创新人才培养机制的完善, 探索基于学科交叉的创新性实验平台建设与实施, 不但能够为交叉学科的实验教学与科学研究提供良好的平台支撑, 突破科研瓶颈, 而且有助于推动创新性人才培养机制和开放式一流学科体系建设的深入发展。

#### 3.2 促进对外交流, 坚持开放共享

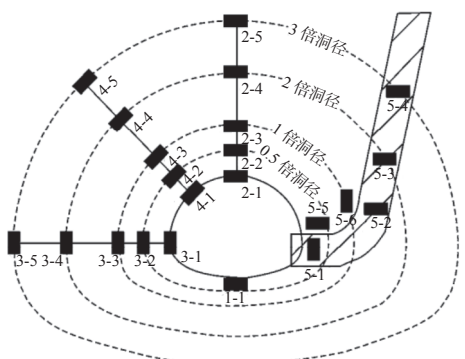
基于自研设备建设的实验室, 要特别注重对外交流, 坚持合理的对外共享。一方面, 对于社会来说, 对外开放实验室, 合理的对全社会开放共享自研科研仪器设备, 能够有效促进实验室内的科研仪器在全社会应用, 减少资源浪费。另一方面, 在自研仪器开放共享工作中, 可以提高仪器设备利用率, 并完善对各级实验室人员的共享观念, 并建立相应的自研设备的管理队伍, 促进高校大型仪器设备管理水平的提高, 使自研自制仪器设备及实验室的开放共享真正落到实处, 积累应用数据、拓宽应用场景, 检验其中存在的问题, 并反过来进一步促进学科交叉融合, 促进自研仪器的水平进一步提高, 形成良性发展循环。

#### 3.3 完善教研融合, 培养创新人才

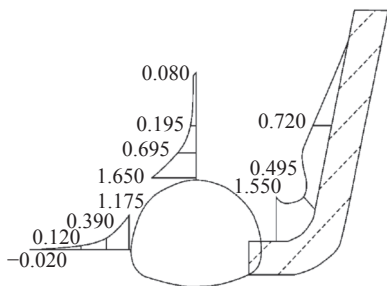
建设实验室的一个重要目的就是培养创新型人才, 高校实验室, 尤其是双一流高校的科研实验室, 平台层次和建设水平较高, 更应该承担起创新人才培养的任务。自研仪器设备, 往往都是面对实际的社会需求与工程问题, 因此基于自研仪器设备建设的实验室, 应该特别注重校企合作, 通过多种手段构建基于校企合作的实验实践教学体系。将实验教学任务与实际工程结合, 将科研过程与企业需求相结合, 充分结合高校和生产一线各自的优势, 让科研人员和学生能够了解行业前沿发展趋势, 培养应用理论知识和实践动手



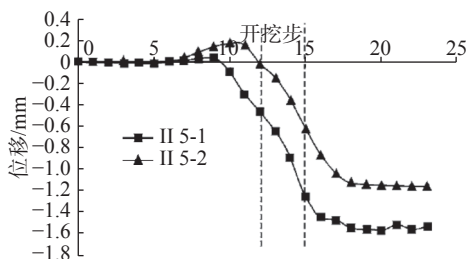
(a) 监测断面布置图(单位: mm)



(b) 测点布置图



(c) 开挖过程围岩及充填物最终位移(单位: mm)



(d) 围岩及充填物位移随开挖步变化曲线

图4 开挖过程位移变化规律

能力。

基于自研设备建设实验室，要注重对实验技术人员和管理人员的培训。大型新型的复杂仪器设备，往往需要多学科多领域的技术人员联合开发，因此实验室的技术人员也需要掌握不同学科的知识才能管理好和使用好仪器设备，既需要深厚的理论基础，更需要丰富的实践经验。同时，还应该注意，自研仪器设备并不能一次研发就达到完美，实验技术人员和管理人员还应该注意收集仪器工作状态的数据和遇到的问题，并通过有计划的交流讲座和技术培训等形式，提升实验技术人员和管理人员的业务水平，解决遇到的问题，对仪器设备进行升级。

#### 4 结束语

重大仪器设备自主研发和制造，能够降低我国关键仪器设备对外依赖度，提高国家科技创新能力和核心竞争力。

针对现有物理模型试验系统通用性差、加载精度低、自动化和可视化程度不够的问题，山东大学依托自身在岩土工程学科方面的积累的成果，联合其他相关学科，成功开展了地下工程大型成套模拟试验系统研发与应用专项研究。模型系统的开发，不仅解决了保康—宜昌高速公路等实际重大工程中的问题，对于实验技术和管理人才的培养、推动实验室升级、节约资金等诸多方面也起到了有力的推动作用。

通过仪器设备的自研自制，能够直接面向发展需求，设计和制造更加符合实际需要的仪器设备，为社会和学校注入新的发展动能。基于自研设备进行实验室的建设，应该注重顶层设计、促进学科交叉，坚持对外交流、培养创新人才，助力高校和学科的发展，推动一流大学和一流学科的建设。

#### 参考文献

[1] 习近平. 在中国科学院第二十次院士大会、中国工程院第十五次院士大会、中国科协第十次全国代表大会上的讲话[N]. 人民日报, 2021-05-29(002).

- [2] 国务院. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[N]. 人民日报, 2021-03-13(001).
- [3] 习近平. 在科学家座谈会上的讲话[N]. 人民日报, 2020-09-12(002).
- [4] 陈劲, 阳镇, 朱子钦. “十四五”时期“卡脖子”技术的破解: 识别框架、战略转向与突破路径[J]. 改革, 2020(12): 5-15.
- [5] 陈劲, 朱子钦. 关键核心技术“卡脖子”问题突破路径研究[J]. 创新科技, 2020, 20(7): 1-8.
- [6] 刘献君. 学科交叉是建设世界一流学科的重要途径[J]. 高校教育管理, 2020, 14(1): 1-7.
- [7] 姚乐野. 以学科交叉融合赋能本科创新人才培养[J]. 四川大学学报(哲学社会科学版), 2021(6): 14-19.
- [8] 袁广林. 学科交叉、研究领域与原始创新——世界一流学科生成机理与建设路径分析[J]. 学位与研究生教育, 2022(1): 13-20.
- [9] 胡笑梅, 王梦洁. 多学科交叉融合人才培养的研究热点分析[J]. 安庆师范大学学报(自然科学版), 2021, 27(4): 37-42.
- [10] 刘小强, 蒋喜锋. 论世界一流大学建设的“学科模式”和“中心模式”——“双一流”首轮建设期满之际的反思[J]. 中国高教研究, 2020(10): 27-33.
- [11] 丁学良. 什么是世界一流大学[J]. 高等教育研究, 2001(3): 4-9.
- [12] 陈玥, 王灵菁, 田娇娇. 工业4.0时代世界一流大学的本科教育如何变革?——来自南洋理工大学的经验及启示[J]. 西南大学学报(社会科学版), 2022, 48(1): 152-160.
- [13] 徐剑波. “双一流”建设背景下高校实验技术人才队伍建设的价值意蕴与实践路径[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(11): 265-267.
- [14] 冯勇, 谢焕瑛, 刘容光, 等. 国家重大科研仪器设备研制专项立项及管理工作的若干思考[J]. 中国科学基金, 2012, 26(6): 369-371.
- [15] 庞坤缺. 习近平关于对外开放重要论述研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2021.
- [16] 狄胜同. 地下水开采导致地面沉降全过程宏细观演化机理及趋势预测研究[D]. 济南: 山东大学, 2020.
- [17] 周毅, 李术才, 李利平, 等. 隧道充填型岩溶管道渗透失稳突水机制三维流-固耦合模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(9): 1739-1749.

编辑 钟晓