
摘 要

专利导航产业创新发展规划以专利信息分析为基础，将专利信息与技术、产品、企业、市场等产业要素深度融合，揭示产业技术发展趋势，产品创新和市场竞争态势等，从而为产业有针对性地转型和升级提供思路和方法，引导和支撑产业科学规划和合理运行。本报告按照专利导航产业创新发展规划的指引，以中机试验装备股份有限公司（以下简称中机试验）为研究对象，在专利导航分析基础上，制定企业发展建议，指导企业以加强专利资产管理为手段，实现专利运用目标，提升核心竞争力。

目 录

第一章 概论	1
1.1 项目研究背景	1
1.2 项目研究目标	2
1.3 数据检索与处理	2
1.4 相关术语和说明	6
第二章 中机试验发展现状分析	7
2.1 产业环境分析	7
2.1.1 政策环境	7
2.1.2 市场环境	7
2.2 公司现状分析	8
2.2.1 发展历程	8
2.2.2 企业规模	9
2.2.3 业务板块	9
2.2.4 产品情况	10
2.3 发展定位分析	14
2.3.1 产业定位	14
2.3.2 企业定位	15
2.3.3 产品定位	15
第三章 液压振动台专利导航分析	17
3.1 国内外研究现状	17
3.1.1 国外研究情况	17
3.1.2 国内研究情况	18
3.2 液压振动台涉及的关键技术	19
3.2.1 振动试验系统	20
3.2.2 伺服控制技术	21
3.2.3 振动控制技术	23
3.3 液压振动台全球态势分析	24
3.3.1 总体趋势分析	24
3.3.2 申请地域分布	25
3.3.3 技术构成分析	27
3.3.4 专利技术活跃度分析	28
3.3.5 技术功效矩阵分析	30
3.3.6 重点专利分析	30

3.4 竞争对手识别.....	40
3.4.1 申请人排名分析.....	40
3.4.2 申请人申请趋势分析.....	40
3.4.3 申请人研发方向分析.....	41
3.4.4 新进入者技术方向分析.....	42
3.4.5 协同创新方向分析.....	43
3.4.6 专利运营活动分析.....	44
3.5 国外竞争对手.....	44
3.5.1 美国 MTS 公司.....	44
3.5.2 美国英斯特朗公司.....	46
3.5.3 三菱重工业株式会社.....	51
3.5.4 日立株式会社.....	54
3.6 国内竞争对手.....	56
3.6.1 苏试试验公司.....	56
3.6.2 济南试金公司.....	59
3.6.3 富力通达公司.....	61
3.6.4 杭州亿恒公司.....	64
3.6.5 航天 702 所.....	68
3.7 侵权风险分析.....	70
3.7.1 国内专利壁垒分析.....	70
3.7.2 专利侵权风险分析.....	70
3.7.2.1 技术方案分析.....	71
3.7.2.2 检索.....	73
3.7.2.3 相关专利简介.....	74
3.7.2.4 侵权分析.....	75
3.7.3 专利可规避性分析.....	76
第四章 中机试验液压振动台开发策略分析.....	78
4.1 液压振动台产品开发策略.....	78
4.1.1 专利布局总体情况.....	78
4.1.1.1 申请趋势.....	78
4.1.1.2 申请类型.....	79
4.1.1.3 法律状态.....	79
4.1.1.4 技术分布.....	80
4.1.1.5 研发团队.....	81

4.1.2 自主研发策略.....	82
4.1.3 合作研发策略.....	82
4.1.4 技术引进策略.....	83
4.2 专利布局策略.....	85
4.2.1 领先式布局.....	86
4.2.2 追赶式布局.....	88
4.2.3 储备式布局.....	90
4.4 专利布局规划.....	91
4.5 运营方案规划.....	92
4.5.1 现有专利分类评级.....	92
4.5.2 专利资产管理方案.....	92
4.5.3 专利资本化运营方案.....	95
第五章 专利导航项目成果应用.....	97
5.1 成果应用原则.....	97
5.2 完善相关发展规划.....	97
5.2.1 战略规划.....	97
5.2.2 产品规划.....	99
5.2.3 技术规划.....	101
5.3 保障相关资源投入.....	103
附件清单.....	104
1. 全球液压振动台相关专利文献清单. XLSX.....	104
2. 中国液压振动台相关专利文献清单. XLSX.....	104
3. 中机试验集团全部专利文献清单. XLSX.....	104
4. 国外竞争对手专利文献清单. XLSX.....	104
5. 国内竞争对手专利文献清单. XLSX.....	104
6. 值得借鉴的重要相关专利文献清单及全文. ZIP.....	104
7. 相关科技文献全文. RAR.....	104
8. 中机试验现有专利分类评级清单. XLSX.....	104

第一章 概论

专利导航试点工程是以专利信息资源利用和专利分析为基础，把专利运用嵌入产业技术创新、产品创新、组织创新和商业模式创新，引导和支撑产业科学发展的探索性工作。其主要目的是探索建立专利信息分析与产业运行决策深度融合、专利创造与产业创新能力高度匹配、专利布局对产业竞争地位保障有力、专利价值实现对产业运行效益支撑有效的工作机制，推动重点产业的专利协同运用，培育形成专利导航产业发展新模式。

1.1 项目研究背景

专利导航试点工程，面向产业集聚区，建设了一批专利导航产业发展实验区。通过实验区建设，基本建立专利分析与产业运行决策深度融合和专利运用对产业运行效益高度支撑的工作机制的运行模式。

《长春市 2020-2023 年知识产权运用服务体系建设实施方案》的主要任务“高价值支撑优势特色产业创新发展”中指出“建立专利导航产业决策机制：建立知识产权引领产业发展的工作机制，将专利导航作为产业规划、人才管理政策制定的重要依据。通过产业数据和专利数据融合分析，围绕汽车制造、现代化农业、先进装备制造、生物医药、光电信息五大特色优势产业实施 5 组专利导航示范项目，以 1 个产业导航带 5 个产业龙头骨干企业导航，最终形成 5 组专利导航组合”。

本项目以市场需求、企业产品现状为出发点，选取中机试验的核心技术和产品——液压振动台及其伺服控制系统领域实施专利导航分析工作，分析技术升级、专利布局、企业内部经营管理等的具体实现路径，最终依托专利运用逐步提高企业技术、专利的市场匹配度，实现产品线升级和拓展，反作用于市场需求，形成从市场出发并最终通过专利运用回归市场的闭环反馈机制，持续、渐进实现专利运用目标和企业发展规划，是推动知识产权建设实施方案落地和企业知识产权创造、保护、运用和管理的关键举措。

1.2 项目研究目标

本项目主要围绕液压振动台及其关键技术开展专利导航分析，以期达到如下研究目标：

（1）理清公司液压振动台产品的发展现状和行业地位，指明产品发展的技术升级路径和市场趋势；

（2）掌握企业主要产品及相关技术在国内外的技术发展和知识产权保护现状，对产品相关技术的专利分布、发展方向、研究重点等形成可靠结论，为重点技术研发、技术引进、人才引进、专利布局指明方向，提供科学决策依据；

（3）围绕液压振动台产品，确定企业当前的优势技术（核心技术）、劣势技术、行业热点技术、行业空白技术、竞争对手、专利侵权风险等，为未来产品的知识产权规避、专利保护薄弱的技术领域进行专利布局提供重要参考和指导；

（4）结合液压振动台产品研发过程和现有专利集群，规划出企业各型号产品和各技术路线上的技术升级方向和建议，展开科学的专利储备和布局，为企业构建全覆盖的专利池，挖掘出一批创新性和市场价值高的专利。

1.3 数据检索与处理

本项目在智慧芽和 Derwent 数据库中开展专利检索，采取中英文关键词主题检索和重点申请人补充检索的策略，在检索中不断优化检索要素和组合方式，并通过人工筛选去噪获得最终的专利数据。

表 1-1 专利检索情况表

检索数据库	■智慧芽 ■德温特数据库 ■CNIPR ■SIPO ■欧洲专利数据库 ■日本专利数据库 ■美国授权专利数据库 ■美国公开专利数据库
检索包含的国家和地区	■中国 ■美国 ■日本 ■英国 ■德国 ■法国 ■瑞士 ■韩国 ■俄罗斯（含前苏联） ■印度 ■EPO ■WIPO ■台湾 ■欧洲其他国家
检索时间跨度	至 2021-6-18

关键词	振动台 or 激振器 or 振动试验 (shake adj2 table) or shaketable or (shaking adj2 table) or (vibration table) or shaker or vibrator or "E-Defense" or (shock ADJ excitation) 电液 or 液压 (electro hydraulic) or hydraulic 伺服系统 or 伺服控制 (servo control) 三参量控制 or 三变量控制 or 三状态控制 (three adj1 variable adj3 control*) or ("TVC" near3 (control* or algorithm)) or (three adj1 parameters adj3 control*) or (three adj1 state adj3 control*) 振动控制 (vibration control) 数字控制 (digitally control) 结构动力学 structural dynamics 激振器 or 作动器 actuator 参数整定 parameter tuning 超调修正 overshoot modification 地震模拟 or 地震波重建 (seismic analog) or (seismic wave reproduction) or (seismic ADJ simulation) or (seismic waveform repetition) 加速度波形重建 (acceleration waveform replication) or (acceleration feedback control)
关键分类号	G01M7/00 结构部件的振动测试; 结构部件的冲击测试 G01M7/02 • 振动测试 G01M7/04 •• 单向测试台 G01M7/06 •• 多向测试台 G01N3/00 用机械应力测试固体材料的强度特性 G01N3/32 • 施加重复力或脉动力 G01N3/36 •• 由气动或液压装置产生的 G05B11/00 自动控制器 G05B11/60 • 仅是液压的
主要专利检索式	(AIC=(G01M000702 or G01M000704 or G01M000706 or G01M009900) AND TAB=((shake adj2 table) or shaketable or (shaking adj2 table) or (vibration ADJ table) or shaker or "E-Defense")) AND TAB=((electro adj2 hydraulic) or hydraulic); (AIC=(G01M000702 or G01M000704 or G01M000706 or G01M009900 or G01N000332 or G01N000336 or G05B001160) or TAB=((shake adj2 table) or shaketable or (shaking adj2 table) or (vibration ADJ table) or shaker or vibrator or "E-Defense" or (shock ADJ excitation) or (seismic ADJ analog) or (seismic ADJ simulation) or (seismic ADJ wave ADJ reproduction))) AND TAB=((three or triple) adj1 variable adj3 control*) or ((three or triple) adj1 state adj3 control*) or ((three or triple) adj1 parameter adj3 control*) or ("TVC" adj1 (control* or algorithm or simulation)))); AIC=(G01M000702 or G01M000704 or G01M000706 or G01M009900) AND TAB=((electro ADJ hydraulic) or hydraulic) same ((shake adj2 table) or shaketable or (shaking adj2 table) or (vibration ADJ table) or shaker or "E-Defense" or (shock ADJ excitation) or (seismic ADJ analog) or (seismic ADJ simulation) or (seismic ADJ wave ADJ reproduction))) AIC=(G01M000702 or G01M000704 or G01M000706 or G01M009900) AND

	TAB=((electro ADJ hydraulic) or hydraulic) near5 ((shake adj2 table) or shaketable or (shaking adj2 table) or (vibration ADJ table) or shaker or "E-Defense" or (shock ADJ excitation) or (seismic ADJ analog) or (seismic ADJ simulation) or (seismic ADJ wave ADJ reproduction)); TAB=((electro ADJ hydraulic) or hydraulic) same ((shake adj2 table) or shaketable or (shaking adj2 table) or (vibration ADJ table) or shaker or "E-Defense" or (shock ADJ excitation) or (seismic ADJ analog) or (seismic ADJ simulation) or (seismic ADJ wave ADJ reproduction))) AND TAB=((parameter or variable) adj2 tuning) or (overshoot adj2 modification)); TAB=((shake adj2 table) or shaketable or (shaking adj2 table) or (vibration ADJ table) or shaker or "E-Defense" or (shock ADJ excitation) or (seismic ADJ analog) or (seismic ADJ simulation) or (seismic ADJ wave ADJ reproduction))) AND PA=(california) AND (AIC=(G01M000702 or G01M000704 or G01M000706 or G01M009900 or G01N000332 or G01N000336 or G05B001160)) TAB=((shake adj2 table) or shaketable or (shaking adj2 table) or (vibration ADJ table) or shaker or vibrator or "E-Defense" or (shock ADJ excitation)) AND TAB=((servo near2 control) or (vibration near2 control)) near5 ((electro ADJ hydraulic) or hydraulic)) AND AIC=(G01M0007* or G01N0003* or G05B0011*); DSC=((seismic ADJ analog) or (seismic ADJ wave ADJ reproduction) or (seismic ADJ simulation) or (seismic ADJ waveform ADJ repetition) or (acceleration ADJ waveform ADJ replication) or (acceleration ADJ feedback ADJ control)) AND TAB=((three adj1 variable adj3 control*) or ("TVC" near3 (control* or algorithm)) or (three adj1 parameters adj3 control*)); TAB=((parameter tuning) or (overshoot modification) or (vibration control) or (servo control) or (structural dynamics)) AND TAB=((three adj1 variable adj3 control*) or ("TVC" near3 (control* or algorithm)) or (three adj1 parameters adj3 control*)); TAB=((shake adj2 table) or shaketable or (shaking adj2 table) or (vibration ADJ table) or shaker or vibrator or "E-Defense" or (shock ADJ excitation)) AND PA=(MTS or Team or Wyle or IST or ServoTest or DTE) AND AIC=(G01M0007* or G01N0003* or G05B0011*); TAB=((seismic ADJ analog) or (seismic ADJ wave ADJ reproduction) or (seismic ADJ simulation) or (seismic ADJ waveform ADJ repetition) or (acceleration ADJ waveform ADJ replication) or (acceleration ADJ feedback ADJ control) or (three adj1 variable adj3 control*) or ("TVC" near3 (control* or algorithm)) or (three adj1 parameters adj3 control*) or (vibration near3 control) or (hydraulic ADJ servo))) AND PA=(MTS or Team or Wyle or IST or ServoTest or DTE) AND AIC=(G01M0007* or G01N0003* or G05B0011*); TAB=((vibration near3 control) or (vibration near3 simulation) or (vibration near3 analys*)) AND PA=(SD or LMS or IMV or "M+P"); ALL_AN:(((中机试验 OR 中机检测 OR 中机思美迪 OR 儒拉玛特自动化 OR 华隆兴机械工程) \$pre5 有限公司) OR 长春试验机研究所); TA_ALL:(振动台 OR 激振器 OR 振动试验台); TACD_ALL:(三参量控制 OR 三变量控制 or 三变量伺服 or 三参量模型); TA_ALL:(地震模拟 OR 地震波重建 OR 振动台 OR 激振器 OR 振动试验台) AND (伺服控制 OR 振动控制) AND (电液 OR 液压)); TA_ALL:(电液伺服 OR 液压伺服) AND (参数整定 OR 超调修正 OR 加速度波形重建)); TA_ALL:(地震模拟 OR 地震波重建 OR 振动台 OR 激振器 OR 振动试验
--	--

	台)) AND ALL_AN:(兰州理工大学 OR 吉林大学 OR 哈尔滨工业大学 OR 浙江大学 OR 河北工业大学 OR 北京工业大学) AND TA_ALL:(电液伺服 OR 液压控制 OR 伺服控制 OR 振动控制 OR 参数整定 OR 超调修正); TA_ALL:(振动控制 OR 振动分析) AND ALL_AN:(北京卫星环境工程研究所 OR 北京强度环境研究所 OR 浙江大学 OR 北京航空航天大学 OR 哈尔滨工业大学 OR 南京航空航天大学) AND TA_ALL:(液压 OR 电液); TA_ALL:((伺服控制 OR 电液伺服 OR 液压伺服 OR 电液振动 OR 液压振动) AND (参数整定 OR 超调修正)); TA_ALL:(振动台 OR 激振器 OR 振动试验) AND ALL_AN:(北京卫星环境工程研究所 OR 北京强度环境研究所 OR 浙江大学 OR 北京航空航天大学 OR 哈尔滨工业大学 OR 南京航空航天大学) AND TA_ALL:(液压 OR 电液); TA_ALL:(振动台 OR 激振器 OR 振动试验) AND ALL_AN:(杭州亿恒科技有限公司) AND (DESC:(液压 OR 电液) OR TA_ALL:(液压 OR 电液)); TA_ALL:(振动台 OR 激振器 OR 振动试验 OR 振动模拟) AND ALL_AN:(中国地震局工程力学研究所 OR 中国水利水电科学研究院 OR 北京自动化所 OR 浙江大学 OR 哈尔滨工业大学 OR 北京航空航天大学 OR 西安交通大学 OR 南京航空航天大学 OR 同济大学 OR 武汉理工大学) AND (TA_ALL:(液压 OR 电液)); TA_ALL:(振动台 OR 激振器 OR 振动试验 OR (shake \$pre2 table) OR shaketable OR (shaking \$pre2 table) OR (vibration \$pre2 table) OR shaker OR vibrator OR "E-Defense" OR (shock \$pre2 excitation)) AND TA_ALL:(电液 OR 液压 OR (electro \$pre2 hydraulic) OR hydraulic) AND TA_ALL:(伺服控制 OR 振动控制 OR (servo \$pre2 control) OR (vibration \$W3 control)); TA_ALL:(振动台 OR 激振器 OR 振动试验 OR (shake \$pre2 table) OR shaketable OR (shaking \$pre2 table) OR (vibration \$pre2 table) OR shaker OR vibrator OR "E-Defense" OR (shock \$pre2 excitation)) AND TA_ALL:(电液 OR 液压 OR (electro \$pre2 hydraulic) OR hydraulic) AND TA_ALL:(数字控制 OR (digital \$pre3 control)); TA_ALL:(振动台 OR 激振器 OR 振动试验 OR (shake \$pre2 table) OR shaketable OR (shaking \$pre2 table) OR (vibration \$pre2 table) OR shaker OR vibrator OR "E-Defense" OR (shock \$pre2 excitation)) AND TA_ALL:((electro \$pre2 hydraulic) OR hydraulic) AND TA_ALL:((电液 OR 液压) \$pre3 (伺服阀 OR 伺服控制阀 OR 液压缸 OR 作动器)) AND IPC:(G01M7* OR G01N3* OR G05B11*); TA_ALL:(振动台 OR 激振器 OR 振动试验 OR (shake \$pre2 table) OR shaketable OR (shaking \$pre2 table) OR (vibration \$pre2 table) OR shaker OR vibrator OR "E-Defense" OR (shock \$pre2 excitation)) AND TA_ALL:(电液 OR 液压 OR (electro \$pre2 hydraulic) OR hydraulic) AND TA_ALL:(三参量 OR 三变量 OR 振动控制 OR (three \$pre2 parameters) OR (three \$W3 variables)); TA_ALL:(Hydraulic \$pre3 (actuator OR servo OR pump OR motor OR cylinder)) AND ALL_AN:(MTS \$pre2 system); TA_ALL:(Hydraulic \$pre3 (actuator OR servo OR pump OR motor OR cylinder OR control)) AND ALL_AN:(Rexroth OR Mitsubishi) AND TA_ALL:((((shake \$pre2 table) OR shaketable OR (shaking \$pre2 table) OR (vibration \$pre1 table) OR shaker OR "E-Defense" OR (shock \$pre1 excitation) OR (seismic \$pre1 analog) OR (seismic \$pre1 simulation) OR (seismic \$pre1 wave
--	--

	\$pre1 reproduction)))).
检索结果	检索获得 INPADOC 专利同族 549 项，经筛选去噪后获得相关专利同族 460 项（对应 577 件专利申请）

1.4 相关术语和说明

同族专利：同一发明创造在多个国家申请专利而产生的一组内容相同或基本相同的专利文献称为一个专利同族。同一专利族的多件专利申请可视为同一项技术。

项：同一项发明在多个国家或地区提出申请，将这些相关的多件申请作为一条记录进行收录。一般情况下，专利申请的项目对应于技术的数目。

件：在进行专利申请数量统计时，为了分析申请人在不同国家、地区或组织所提出的专利申请的分布情况，将同族专利申请分开进行统计，所得到的结果对应于申请的件数。

第二章 中机试验发展现状分析

本章主要分析中机试验装备股份有限公司（简称中机试验）的整体发展定位，结合外部发展环境和自身能力水平，立足现状，面向未来，找准定位，为后续的分析提供基础和依据。

2.1 产业环境分析

2.1.1 政策环境

试验设备行业属于知识和技术密集型产业，产品对新技术敏感，更新换代快，是多学科的综合体。近年国内试验机产品技术含量不断提升，电子万能试验机、液压万能试验机等典型试验机产品的测量、控制技术实现了重大突破，国产动态力学性能测试仪器的关键技术也有了较大提高。但国内试验机企业在高端试验设备领域仍存在一定的差距，部分高精度零部件的生产仍需依靠国外厂商的设备或技术协助。这些技术上的差距，导致试验机生产企业在高端设备上的竞争力较弱，制约了国内生产企业对高端试验设备市场的扩展。

2.1.2 市场环境

我国已形成长春、济南、上海和深圳四个试验机生产商集聚区。2017年中国试验机产值规模 113.6 亿元，同比增长 14.2%；2018 年中国试验机产值规模 122.7 亿元，同比增长 8.0%；2019 年中国试验机产值规模 137.1 亿元，同比增长 11.7%；2020 年中国试验机产值规模达 133.5 亿元，同比增长-2.6%；2021 年上半年中国试验机产值规模达 80.6 亿元，同比增长 20.8%。

2017 年中国试验机产量 17.45 万台，同比增长 13.9%；2018 年中国试验机产量 18.72 万台，同比增长 7.3%；2019 年中国试验机产量 20.86 万台，同比增长 11.4%；2020 年中国试验机产量 20.55 万台，同比增长-1.5%；2021 年上半年中国试验机产量 12.54 万台，同比增长 22.0%。

随着国家基础战略产业、十大振兴产业、新兴产业和现代制造服务业的发

展，新材料、零部件、结构件、整机整车和各类工程项目领域对检测试验提出了新的更多、更高、更复杂化的需求，为试验机行业的发展带来了新的机遇。

2.2 公司现状分析

2.2.1 发展历程

中机试验，原名机械工业部长春试验机研究所，曾用名长春机械科学研究院有限公司，是世界 500 强中国机械工业集团有限公司旗下子公司，是国家试验机质量监督检验中心和国家试验机标准化委员会支撑单位，被誉为“中国试验机技术的摇篮”。

1959 年至 2021 年间，中机试验先后经历了四个不同的发展阶段（图 2-1），由一家机械工业部所属事业单位起步，经历了国有企业和股权多样化的公司制企业，而后于 2018 年进入新三板资本市场，开展股权并购和直接融资，实现了从事业单位到国有企业再到股份制公司的华丽转身。



图 2-1 中机试验的发展历程

十三五期间，公司设立北京研发中心，重组江苏华隆兴公司，成立中机试验江苏公司，2019 年 8 月，伴随着无锡金山北工业园试验装备定型产品生产基地正式揭牌开始运用，中机试验完成了“一个中心，两个基地”的战略布局。当前中机试验拥有 3 家全资子公司和 3 家合资公司，其中全资子公司包括中机试验装备（江苏）有限公司、中机检测有限公司和长春中机试验设备有限公司（原长春试验机研究所）；合资公司包括中机思美迪（长春）科技有限公司、儒拉玛特自动化技术（长春）有限公司和江苏华隆兴机械工程有限公司，前两个

为中德合资。在 2021 年 8 月 24 日召开的董事会会议上，审议通过了注销长春中机试验设备有限公司的议案。

2.2.2 企业规模

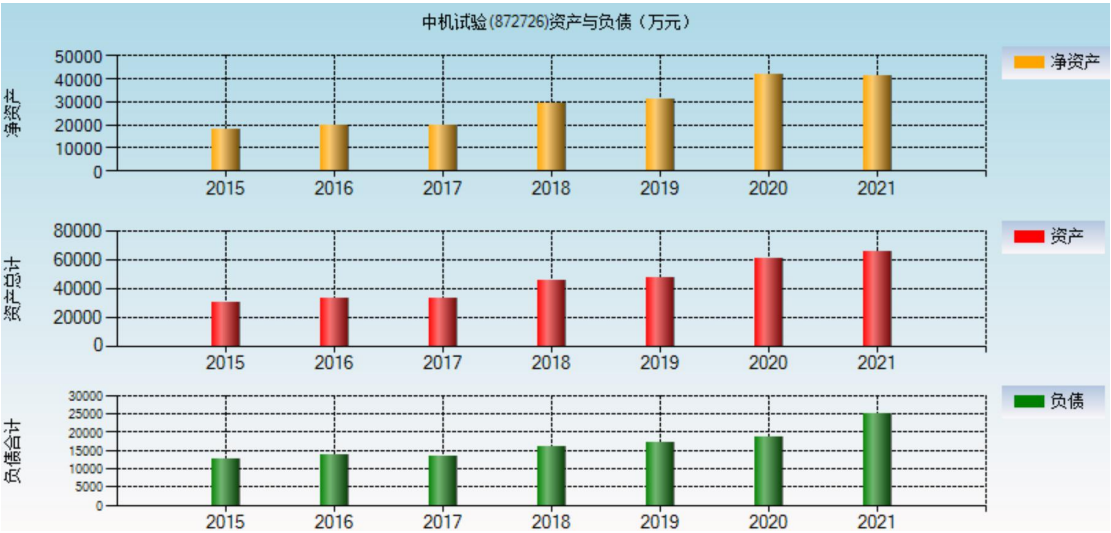


图 2-2 中机试验的资产与负债情况



图 2-3 中机试验的净利润情况

2.2.3 业务板块

中机试验作为以“试验装备”研发制造为主业的国家级科技创新型企业，是行业唯一产品服务覆盖单元部件开发、定型产品制造、个性化专机产品开发定制的全产业链高端解决方案提供商，主要经营和从事试验装备、智能自动

化、军工保障装备、检测服务、进出口服务等五大业务板块。

在试验装备方面，中机试验的具体装备类型如图 2-4 所示，包括了材料力学试验设备、岩石岩土土木建筑试验设备、汽车零部件测试设备、轨道交通航空航天试验装备、单元部件、微观原位测试仪等。



图 2-4 中机试验的试验装备

在智能自动化方面，包括了校正自动化装备和装配自动化装备两大类，其中校正自动化装备又包括校直机、校圆机等专用或特殊校正设备，以及自动上下料装置、AE 裂纹检测装置、顶尖研磨装置等附件产品。

在检测服务方面，既包括校准、检测、材料及零部件试验、技术培训等业务，又包括试验机的维修保养、升级改造、附件订制及开发、实验室技术咨询等服务。

在进出口服务方面，中机试验担任德国 DOLI 控制器、海德汉光栅、RTSS 视频引伸计、喷涂机等进口设备的代理，还开展实验室规划设计、设备选型购置、信息化和认证认可等方面的建设服务工作。

2.2.4 产品情况

中机试验的硬件产品主要集中在材料力学试验设备、岩石岩土土木建筑试验设备、汽车零部件测试设备、轨道交通航空航天试验装备、单元部件、微观原位测试仪、校正自动化装备和汽车自动化装备。其中，材料力学试验设备又

包括电子万能试验机、持久蠕变试验机、伺服动静试验机、高频疲劳试验机、扭转试验机和液压万能试验机。汽车零部件测试设备又包括减震系统测试、传动系统测试、底盘悬架测试系统、车身附件测试设备、转向系统测试装备和动力系统测试设备。轨道交通航空航天试验系统又包括轨道交通测试系统、轴承相关测试系统和航空航天测试设备。单元部件包括传感器、引伸计、伺服作动器、数字控制器、油源、子站、管路、配套环境装置等。各个产品子类下分别有一些具体的产品型号和热销产品。

表 2- 1 中机试验的主要装备产品列表

产品大类	产品子类	产品型号和热销产品
材料力学 试验设备	电子万能试验机	D 系列电子万能试验机
	持久蠕变试验机	R 系列-电子弯曲蠕变试验机 R 系列-多头高温电子松弛蠕变试验机 R 系列-双向拉伸蠕变试验机 R 系列-高温腐蚀试验机 R 系列-高温盐雾腐蚀试验机（湿热、盐雾、霉菌） R 系列-橡胶持久蠕变试验机 R 系列-小冲孔试验机 R 系列-压缩持久蠕变试验机 R 系列-海水腐蚀持久蠕变试验机 R 系列-C 环应力腐蚀试验机 持久蠕变试验机群 M 系列慢拉伸预裂纹应力腐蚀试验机 R 系列电子式高温蠕变持久试验机
	伺服动静试验机	S 系列-多轴伺服动静材料试验机（双轴四缸伺服动静试验机） S 系列-电液伺服管材疲劳试验机 S 系列-电液伺服悬臂梁疲劳试验机 S 系列-电液伺服压缩疲劳试验机 S 系列-电液伺服大吨位卧式疲劳试验机
	高频疲劳试验机	G 系列电磁谐振式高频疲劳试验机 高频疲劳试验机
	扭转试验机	N 系列微机控制扭转试验机 N 系列微机控制扭转试验机（2000-3000N.m） N 系列扭转试验机(500-1000N.m)
	液压万能试验机	Y 系列液压万能试验机 大吨位卧式液压伺服拉力试验机

岩石岩土 土木建筑 试验设备	岩石岩土测试设备	岩石三轴高温高压蠕变试验机 岩土压缩流变试验机 微观三轴试验系统 采动煤岩体动力显现试验系统（真三轴） Y 系列-电液伺服单剪试验机 T 系列-土体三轴流变试验机
	土木建筑测试设备	抗震支吊架疲劳试验系统 大吨位卧式液压伺服拉力试验机 微机控制钢绞线松弛试验机（卧式） 钢绞线拉伸试验机 Z 系列-电液伺服压剪试验机 Z 系列-混凝土双轴双向徐变试验机 Y 系列-电液伺服压力试验机
	核、石化工程测试设备	钻屑输送微循环单元试验单元 电动钻具工况模拟试验台 ITER 磁体 TF 支撑半原型件测试系统 核工程材料压摆及摩擦磨损疲劳试验机 举升缸（矿用车）试验系统 大吨位卧式液压伺服拉力试验机 钻头动载冲击磨损试验机 石油管道深海环境模拟综合疲劳试验台 高强度宽板卧式电液伺服拉伸试验机
汽车零部 件测试设 备	减震系统测试	弹簧疲劳寿命试验台 减震器综合性能试验台 减震器综合测试试验台 减震器模拟工况试验机 汽车减震器双激振耐久试验台 减震器噪声试验台 汽车减震器焊口疲劳试验机 减震器静载试验机 弹性体性能动静刚度试验机 汽车减震器耐久试验机 汽车减震器性能试验机
	传动系统测试	传动轴总成综合性能试验台 传动轴总成寿命试验台 传动轴临界转速试验台 万向节总成扭转疲劳寿命试验机 万向节总成扭转试验台 万向节总成扭转寿命试验台（四方机）
	底盘悬架测试系统	汽车多通道台架试验系统 汽车稳定杆多自由度试验台 汽车悬架多自由度试验系统 汽车底盘寿命试验机 车桥、板簧疲劳试验台
	车身附件测试设备	弹簧疲劳寿命试验台 薄板成型试验台 汽车踏板试验台 方向盘疲劳试验机

	转向系统测试装备	转向器疲劳寿命试验台 汽车转向管柱拉扭试验台 汽车转向器性能试验台
	动力系统测试设备	曲轴疲劳试验机 发动机双质量飞轮低频耐久试验台
轨道交通 航空航天 试验装备	轨道交通测试系统	轨道交通转向架多通道协调加载试验系统 轨道交通橡塑制品多通道疲劳试验台 铁路钢轨电液伺服疲劳试验台 橡塑制品高频疲劳试验机
	轴承相关测试系统	飞机起落架轴承试验机 汽车轮毂轴承试验机 圆锥滚子轴承试验机 轴承高频疲劳试验机 航空轴承疲劳试验机 火车轮毂疲劳试验台 车轮疲劳试验台
	航空航天测试设备	航天精密对中电子压力试验机 轴承高频疲劳试验机 航空轴承疲劳试验机
单元部件	传感器、引伸计	MF 高温引伸计 高温引伸计 S 型拉、压力传感器 单排孔式拉、压力传感器 扭矩传感器 轮辐式拉、压力传感器 径向引伸计 轴向引伸计 圆周引伸计 全自动引伸计 大变形引伸计
	伺服作动器	普通伺服作动器 MR 系列静压支撑摆动伺服作动器 ML 系列静压支撑轴向伺服作动器
	数字控制器	TMC 动态控制器 TMC 数字控制器 CMCT 多通道控制器
	油源、子站、管路	台架结构 蓄能器站 子站 硬质管路 油源
	配套环境装置	3000℃通电加热高温真空（充气）环境装置 2500℃辐射加热高温真空（充气）环境试验装置 2000℃辐射加热高温真空（充气）环境试验装置 1000℃辐射加热高温真空（充气）环境 1500℃辐射加热高温环境装置
微观原位 测试仪	原位仪	微观力学原位测试仪（高温） 微观力学原位测试仪

	纳米压痕仪	原位纳米压痕
校正自动化装备	液压式自动校直机	JE 系列自动校直群 JE 系列自动校直机 JES 系列大吨位校直设备 JES 系列 1000 吨校直设备 JE 系列液压式自动校直机 JES 系列大吨位液压式手/自动一体校直机
	机械式自动校直机	JJM 机械式自动校正机 JJ 系列机械式自动校直机
	校圆机	YW10-J 系列全自动校圆机
	专用校正设备	活塞杆专业校直设备 卧式长杆校直设备 800℃ 火车轴热校设备 车桥自动校直设备 石油钻杆自动校直设备
	校正设备附件产品	自动校直生产线系统 智能化自动校正生产线 AE 声发射裂纹检测装置 中心孔研磨清理机构
汽车自动化装备	自动化装配装备	转向器自动化装配线 传动轴自动化装配线
	伺服压装机	智能伺服压装机

2.3 发展定位分析

2.3.1 产业定位

为促进中西部和东北地区积极有序承接国内外产业转移，加强重点地区承接产业转移平台建设，国家发展改革委下达了《国家发展改革委关于下达重点地区转型发展专项（重点地区承接产业转移平台建设）国家级新区方向 2021 年中央预算内投资计划的通知》（发改投资〔2021〕597 号）和《国家发展改革委关于印发中西部和东北重点地区承接产业转移平台建设中央预算内投资专项管理暂行办法的通知》（发改地区规〔2020〕382 号），重点支持中西部、东北地区国家级新区范围内的重点园区以及国务院或国家发展改革委批复设立的承接产业转移示范区范围内的重点园区基础设施项目、公共服务平台项目建设，提高重点地区承接产业转移能力，提升产业发展水平。

2021 年 5 月，吉林省发展改革委下发了《吉林省发展改革委关于转发下达重点地区转型发展专项（重点地区承接产业转移平台建设）国家级新区方向

2021 年中央预算内投资计划的通知》（吉发改投资〔2021〕349 号），中机试验装备股份有限公司国家材料试验机检验中心扩建项目（2020-220179-40-03-002866）获得中央预算内支持资金 3500 万元。

2.3.2 企业定位

从技术状况来看，中机试验作为国内实验装备领域规模最大最具竞争力和影响力的高科技产业公司之一，秉承“锻造国机所长，服务国家所需”的使命感和责任感，持续不断创新，掌握了试验装备行业多项国际前沿核心技术，解决了多项国家“卡脖子”技术难题，其中静压支撑技术和测量传感器技术等一批关键技术已经处于国际领先地位。

从市场规模来看，从同省范围不同资金规模的企业分布情况来看，如图 2-5 所示，注册资金在 5000 万元以上和 1000-5000 万规模的企业共 38 家，合计 114987 万元，其中中机试验为 72478 万元，占比 64%，属于行业龙头地位。

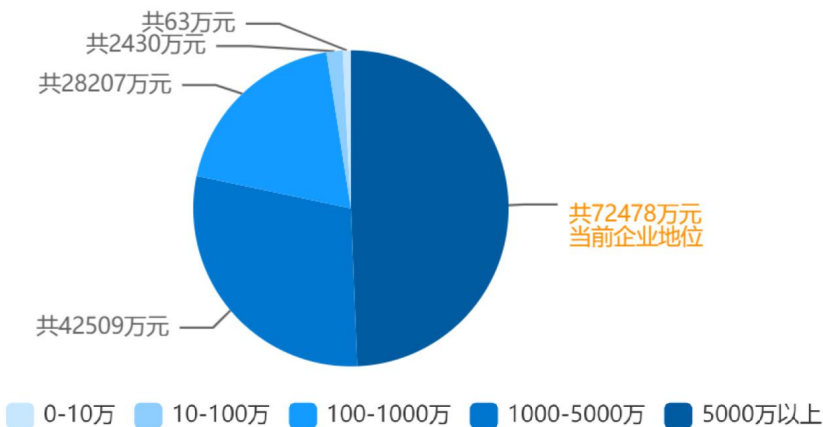


图 2-5 中机试验的同业地位

2.3.3 产品定位

中机试验是行业唯一产品服务覆盖单元部件开发、定型产品制造、个性化专机产品开发定制的全产业链高端解决方案提供商，未来将紧紧围绕“12356”的战略发展思路（见图 2-6），在试验装备产品领域，力争建设成为中

国试验机产业门类最全、影响力最大的试验装备中国第一品牌。



图 2-6 中机试验的战略规划

第三章 液压振动台专利导航分析

3.1 国内外研究现状

随着我国高端装备制造业的快速发展，亟需提高装备的可靠性，为此需要模拟产品在运行、存储等过程中受到的振动激励，因此需要研制振动设备。现代工业上绝大多数的振动设备就是振动台，振动台按驱动方式可分为机械式、电动式、液压式、电磁式、压电式和磁致伸缩式等。其中，液压振动台的作用力大，既可以在较低频、较长行程下工作，也可以在较高频、较短行程下工作，而且配合计算机进行控制，能任意改变其试验波形而方便的实现自动化控制，在需要很大作用力的时候，由于体积较小、结构紧凑，还可以用几个液压缸并联进行工作，在振动试验中发挥着重要作用，常用于汽车行业各种零部件疲劳振动测试，土木工程中的建筑结构抗振测试，以及船舶、航空航天产品的抗振、减振、避振测试等领域。

3.1.1 国外研究情况

国外在振动台的研究起步较早，无论在算法上还是在硬件上技术已经成熟，产品性能优良。目前制造液压振动台的公司主要有美国的 MTS、Team、Wyle 和 IST 等公司，德国的力士乐公司 Rexroth 和 Shenck 公司，日本的三菱 Mitsubishi 和 IMV 公司，英国的 ServoTest 公司等。

美国的 Wyle 公司在 20 世纪 50 年代中期就开始大力研发液压式振动台。20 世纪 60 年代末，美国加州大学伯克利分校建成第一台水平和垂直方向可以同时工作的双向地震模拟振动台。到了 20 世纪 70 年代 Wyle 公司成功研制了一套三轴液压振动试验系统。MTS 公司于 1975 年在鹿岛建设研究所建成了 4m*4m 水平和垂直双向同动地震模拟振动台，实现了功率谱密度控制。Team 公司采用自己研制的动圈式高频响两级伺服阀，使公司的三轴六自由度液压振动试验系统的频率范围得到很大提升，振动频率高达 500Hz。该公司研制的高压油膜球铰支撑（供油压力为 20.7Mpa）取代了传统的自润滑球形关节轴承，提高了连接

器的使用寿命并改善了振动台系统的高频波形失真度。

日本对振动台的研究也起步较早，20 世纪 70 年代，日立公司和三菱公司分别开展了三向六自由度地震模拟振动台的开发工作。1970 年，三菱公司为日本国家防灾中心研制了当时世界上最大的 15m*15m 水平或垂直单向大型地震台。1984 年，三菱公司研制成功了 6m*6m 的三向六自由度大型地震模拟台，采用三参量控制方法实现了振动台的加速度控制。2000 年，日本防灾科学技術研究所开始建造当时堪称世界上最大的地震试验台 E-Defense，水平方向有 5 个激振器，垂直方向有 14 个激振器，系统主要技术参数为：最大承载质量为 12000t；最大振动位移幅值为水平向 2000mm，垂直向 1000mm（峰峰值）；最大速度为垂直向 0.7m/s，水平向 2m/s；最大加速度为水平向 1.5g，垂直向 0.9g；频率范围为 0.1-15Hz。

3.1.2 国内研究情况

国内对液压振动台的研究起步较晚。1966 年开始，机械部和电子部合作研制我国第一台国防系统专用的 2000kN 电液振动台。上海同济大学从 MTS 公司引进了 4m*4m 的双向水平地震模拟振动台，随后将其改造为三向六自由度。80 年代，我国在电液振动台的发展相对较快，但主要集中在单轴振动台的研究。1983 年，中国建筑科学研究院研制出 3m*3m 单水平向双激振器推动的三参量控制电液伺服地震模拟振动台。1986 年，原机械部自动化所华瑞霞等人研制成功了我国第一套双水平向同动液压振动台。进入 90 年代后，国内在多轴振动实验台方面加大了研究力度。1997 年，哈尔滨工业大学韩俊伟等人研制了三向六自由度地震模拟试验台，填补了我国三向六自由度大型振动台研制的空白。2006 年底，哈尔滨工业大学研制完成国内第一个拥有自主知识产权的多轴液压振动试验系统，台面尺寸为 6.1m*6.1m，频率范围为 0.5-80Hz，从此结束了我国振动台全靠引进的历史。

目前，国内对于液压振动试验系统的研究主要集中在一些高校和科研院所，包括中国地震局工程力学研究所、中国水利水电科学研究院、北京自动化所、浙江大学、哈尔滨工业大学、北京航空航天大学、西安交通大学、南京航空航天大学、同济大学、武汉理工大学、吉林大学等。国内目前开展液压振动

试验系统研究的企业较少，主要包括杭州亿恒科技有限公司、天水红山试验机有限公司、北京富力通达科技有限公司等。在振动控制方法方面，主要有哈尔滨工业大学和西北工业大学等单位开展研究，其中哈工大的伺服仿真技术处于国内领先水平。

3.2 液压振动台涉及的关键技术

本报告将液压振动台涉及的关键技术分为四个一级技术分支：总体设计技术、重要部组件、控制技术、应用技术，如图 3-1 所示。其中总体设计技术主要研究振动台和振动试验系统的总体方案，以提高系统的振动试验频率、可靠性等性能指标为目的，不涉及具体的应用场景，涵盖单轴振动台和多轴振动台的优化设计；重要部组件主要包括激振器、联轴器、台架、伺服阀、液压缸和装夹工装等；控制技术包括伺服控制和振动控制两个方面，伺服控制旨在将外部指令信号转换为对伺服油缸的运动控制，振动控制则主要完成系统辨识、传递函数迭代控制、复杂振动控制等功能；应用技术主要是针对车辆零部件疲劳测试，船舶、航空航天产品的抗振测试，土木建筑结构振动测试和地震模拟振动测试等领域的应用场景所专门设计的设备或系统。

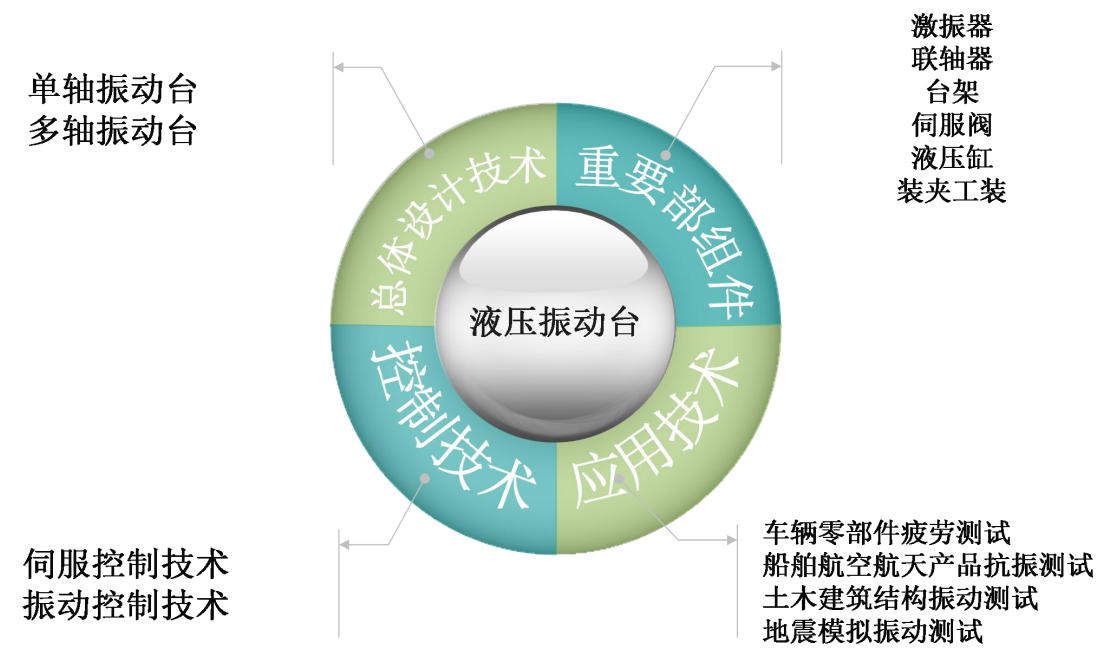


图 3-1 液压振动台涉及的关键技术

3.2.1 振动试验系统

液压振动试验系统主要由振动台体、伺服阀、伺服放大器、液压泵站和振动测量控制装置组成。

其中，振动台体一般由振动台面、伺服油缸、位移传感器、导向机构及各类密封圈组成。振动台面通常由钢材料或铝合金制成。伺服油缸（激振器）是液压振动台的主要执行元件，带动台面完成复杂的振动试验。油缸的有效面积决定了流量的大小，进而决定振动台激振力的大小，同时它的结构与材料选择也决定着油缸的整体刚度和可动系统的重量。位移传感器是一个换能器，把振动台的位移转换成电信号供测量与控制。因为液压台负载较重，尺寸较大、且具有较大的偏心矩和抗倾覆力矩，所以一般用直线轴承、铜套或者静压轴承进行导向。此外，密封圈的使用也很必要，它能有效防止泄漏导致的激振力下降和环境污染。

伺服阀是电液转换元件，它将电气部分与液压部分连接起来，实现电信号的转换和放大，是液压振动台的核心部件。通过控制伺服阀开口的大小和方向实现伺服油缸运动速度和方向的控制。液压振动台常用的伺服阀包括各类二级电液伺服阀和三级电液伺服阀等组成。其中三级阀是在二级阀的基础上，通过添加一功率滑阀实现液压振动试验系统的大流量控制。

伺服放大器是指液压振动台的电气控制部分，常由加法器、功率放大器、位移解调器、载波信号发生器和抖动信号发生器等部分组成。液压泵站是指振动台的油源系统，一般由高压油泵（高压泵和低压泵）、油泵电机、高精度滤波器、溢流阀、蓄能器、冷却器、油箱以及必要的指示仪表、保护环节组成。测量控制装置一般是一台控制仪，对液压振动台而言，其对控制频率下限的要求较高，一般要达到 1Hz 以下。

振动试验系统根据激振器激振方向的不同分为多台单轴振动试验系统和多台多轴振动试验系统两大类。其中，多台单轴试验系统可以实现多激振器单个轴向上的振动环境模拟，可以通过采用多台激振器实现试验系统的大推力，适用于一些重型、体积较大试件的振动试验，同时适用于一类具有特殊形状的试件的振动试验；多台多轴振动试验系统可以实现多个激振器沿多个轴向上的振动环境模拟，可以模拟多维的振动环境，有效提高试件对实际振动环境的适应

性和抗振性。

3.2.2 伺服控制技术

液压振动台作为一个典型的机电液一体化控制系统，其控制部分主要由两部分组成：内层伺服控制系统和外层振动控制系统。其中，内层伺服控制系统是液压振动台的底层控制环节，将外部指令信号转换为对伺服油缸的运动控制，具有信号放大、电压/电流转换、系统传递特性校正等功能，直接决定了液压振动试验台的工作性能。外层振动控制系统是液压振动台的上层控制环节，主要完成系统辨识、传递函数迭代控制、复杂振动控制等功能，其中复杂振动控制包括时域波形复现（如地震试验）、正弦振动试验（如道路谱仿真）、功率谱复现（如随机试验）等。

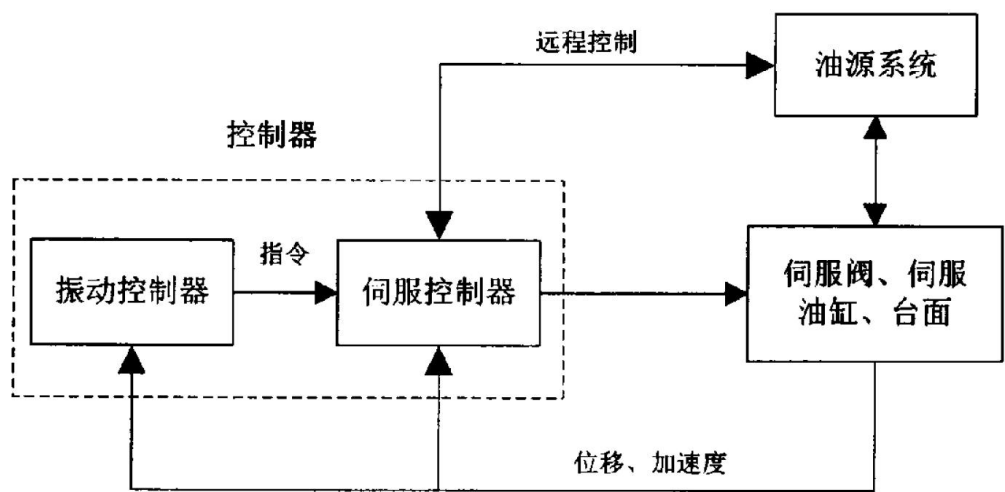


图 3-2 液压振动台的基本控制原理示意

传统的伺服控制技术主要采用基于位移单参量反馈的 PID 控制法，该方法由于控制率简单和易于实现，在工程界被广泛接受。但随着人们对控制性能和波形再现精度的要求越来越高，仅靠位移反馈的 PID 控制法逐渐难以满足控制精度要求。由于在振动分量中，高频带以加速度分量为主，中频带以速度分量为主，低频带以位移分量为主，于是美国和日本的学者提出了同时运用加速度、速度和位移三个变量对振动台进行控制的三参量伺服控制法（也称为三状态控制法）。1984 年，三菱公司在其研制的 6m*6m 地震模拟振动台上成功实现了三参量控制。

三参量伺服控制法主要由三参量反馈控制器和前馈控制器两部分组成。其

中，三参量反馈控制器是通过实时采集振动台的位移、速度和加速度三状态的反馈信号，并将反馈信号传递给伺服控制器计算下一步驱动命令。引入速度反馈和加速度反馈的好处是，在保持控制系统稳定的基础上，提高了系统共振频率和阻尼比，从而达到扩展系统位移工作频率带宽、降低油液共振峰值的目的。前馈控制器则是通过消除闭环传递函数中距离虚轴较近的极点，增强系统的稳定性，并与新增的速度反馈和加速度反馈外环控制进行协调，使系统的工作频宽进一步扩展，并且可通过前馈控制中的速度前馈对位移命令进行补偿，从而减小位移时滞。

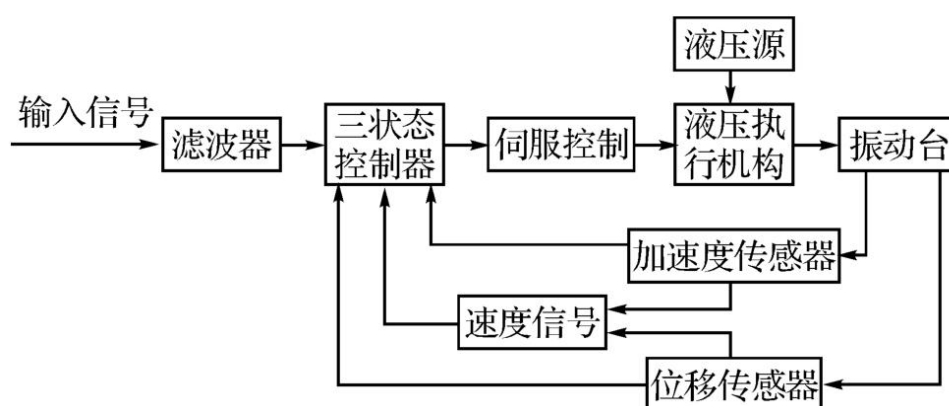


图 3-3 三参量伺服控制法原理示意图

三参量伺服控制法内部需要进行频繁的信号处理，包括了多处滤波，如三参量反馈速度合成滤波、三参量前馈高通滤波、三参量前馈速度合成滤波、三参量前馈位移合成滤波等。因此，数字滤波器的设计是三参量控制法数字系统实现的关键。

此外，三参量控制法涉及的参数较多，包括系统前馈增益及反馈增益参数等，合适的参数能使系统工作稳定、工作频宽得到最大展宽，反之不合理的参数设置不仅不能达到要求的控制指标，还有可能使系统失控，造成设备损坏。实践中，参数设置通常采用试凑法，通过逐个调整三参量控制参数，从中选择对系统控制效果较好的一组参数，但这种方法工作量大，而且很难保证控制参数的最优。因此，需要研究三参量控制参数的整定方法，针对不同的受控系统能快速计算出合适的参数组合，使控制系统发挥出最佳的性能。

美国 MTS 公司从 1990 年开始先后设计了 FlexTest 和 TestStar 系列伺服控制器，目前国内市场大多采用这类产品。除了 MTS 公司，国外的先进伺服控制器

厂家还有 ServoTest、DTE 等。国内的杭州亿恒科技有限公司也针对液压振动台伺服控制器开展了研究。但相比国外成熟的伺服控制器产品，国内在软硬件方面还存在一些差距。

3.2.3 振动控制技术

早在 20 世纪 60 年代，人们就开始振动控制技术的研究。早期的液压振动台振动控制系统主要采用模拟器件实现，通过手工调节补偿进行振动台之间的动力解耦，仅是位移反馈闭环，可实现较低频（20Hz 以内）振动，如地面的低频地震模拟振动台等。随着数字控制技术和试验技术的进步，从 90 年代中后期开始除了伺服阀的阀控器采用模拟信号进行控制外，其他部分全部采用数字信号来控制。数字控制技术可以消除模拟控制中电子元件受温度、湿度等环境变化影响等缺陷，可进一步提高系统的稳定性和可靠性，而且易于操作，便于实现一些复杂的控制算法，从而实现对液压振动试验系统的高效、精确控制。

对于三参量伺服控制器，浙江大学提出了其数字化的软硬件实现方案。其中，硬件系统由传感器模块、前端数据采集及控制模块、DSP 数据处理模块和电源模块组成。参考指令信号由外部信号源产生，伺服控制器用一个 A/D 输入通道接受指令信号；同时 A/D 模块分配两个输入通道用于接收由传感器检测到的试验台的位移和加速度信号；三个信号经 DSP 实时算法处理后，由 D/A 模块转换为控制电流输出给伺服阀。软件系统由运行于 PC 系统的上位机软件和基于 DSP/BIOS 的下位机软件组成。上位机软件用于与用户交互并实时监测试验的运行；下位机软件控制信号的采集、传输、处理与输出，并装载控制算法实现控制功能。二者通过 USB 接口进行通信。

在产品方面，美国的 SD 公司、比利时的 LMS 公司、德国的 M+P 公司和日本的 IMV 公司均设计出了相应的振动控制系统。国内的北京卫星环境工程研究所、航天 702 所（北京强度环境研究所）、浙江大学、北京航空航天大学、哈尔滨工业大学、南京航空航天大学等也在开展振动试验系统控制研究，但主要集中在控制理论方面，成熟的市场化产品较少。浙江大学与杭州亿恒科技有限公司联合开发了 Premax 系列多轴振动控制系统，采用分布式系统结构，在 PXI 总

线基础上采用多 DSP 并行处理，保证多个通道在数据传输过程中的同步性，可实现多种类型的振动试验控制功能。

3.3 液压振动台全球态势分析

本部分主要对获得的 460 项液压振动台关键技术领域的全球专利进行态势分析，包括专利申请趋势、申请地域分析、技术构成分析和主要创新主体分析。

3.3.1 总体趋势分析

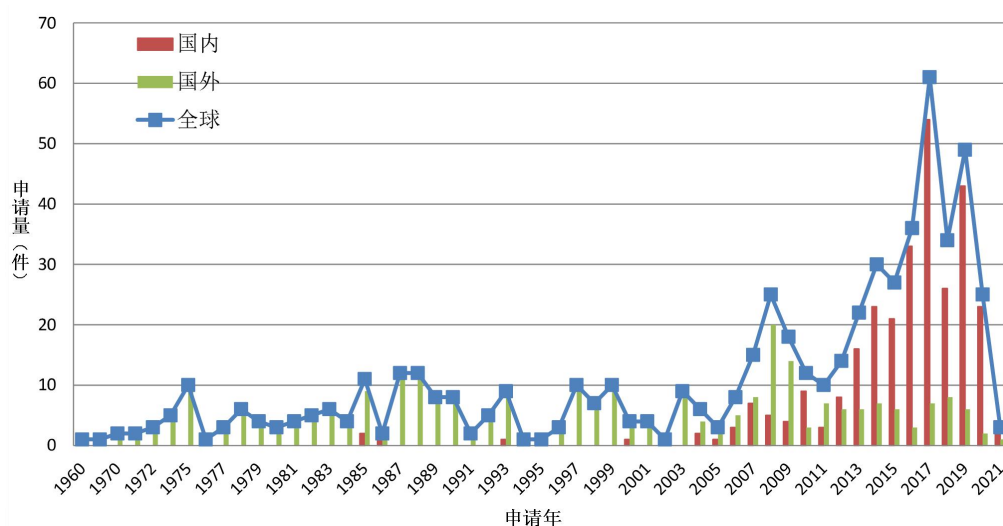


图 3-4 液压振动台全球申请趋势

图 3-4 是液压振动台领域的历年专利申请情况，从图中可以看出，国外的相关专利申请从 20 世纪 60 年代初就开始出现，前十年属于技术萌芽和起步期。70 年代中后期到 21 世纪初是技术积累和发展期，整个领域在小幅波动中稳定发展，尤其是 80 年代末期，国外的技术创新相对较多，这一时期日本和美国先后采用三参量控制方法实现了振动台的加速度控制，使得振动台的性能得到很大提升。进入 21 世纪以后，国外在液压振动台方面的专利申请量有所回落，但在 2009-2010 年，基于控制技术的研究和进展，该领域的专利申请量再次出现小高峰。近十年，国外的申请处于平稳发展阶段，年均申请量保持在 5 项上下的水平。相比而言，中国的申请起步较晚，从 20 世纪 80 年代中期开始零星出现，21 世纪初开始连续出现，近十年呈现直线式上升趋势，说明目前国

内在该领域处于快速发展期，技术创新热情高涨，预计后期还会有更多的专利产出及技术进步。

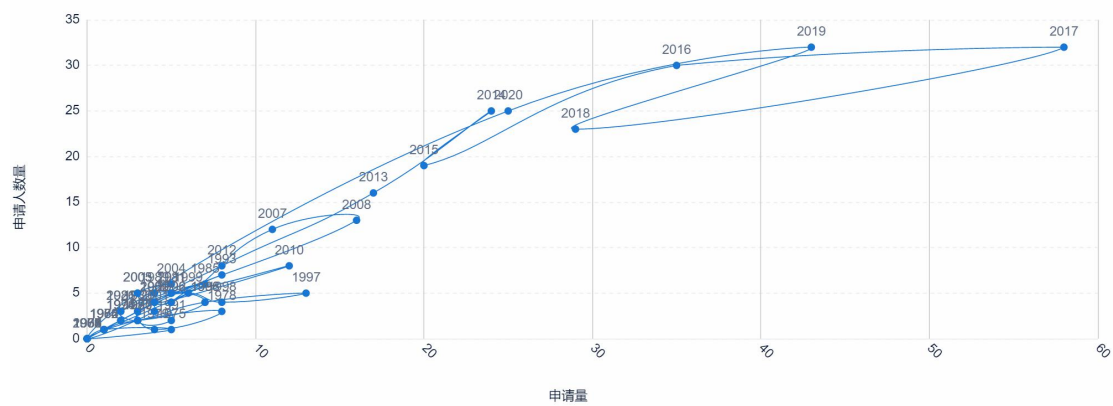


图 3-5 液压振动台技术生命周期图

图 3-5 是液压振动台的技术生命周期图，结合该图可以进一步看出，20 世纪 90 年代以前，全球专利申请量和专利申请人的数量增长都非常缓慢，年申请量不超过 10 项，年度申请人不超过 5 项，专利技术发展比较缓慢。90 年代中后期开始，专利申请量和申请人的数量均开始增长，尤其是 2010 年以后，技术生命周期曲线呈现直线式上升趋势，说明该领域进入快速发展的阶段。2019 年以后的数据由于公开延迟的原因，不能反映实际情况，因此之后的曲线尚不具有分析意义。

3.3.2 申请地域分布

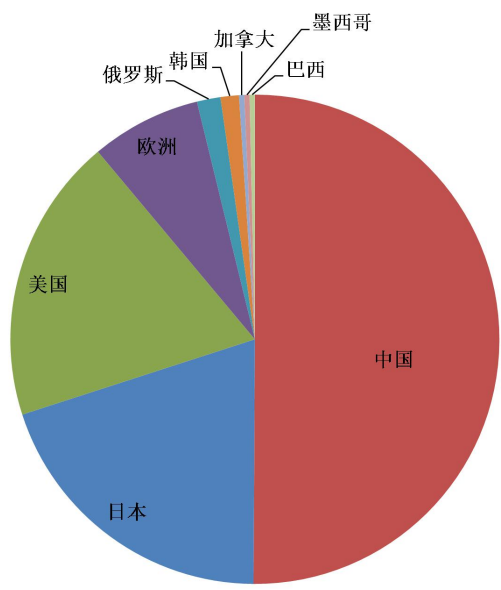


图 3-6 液压振动台专利申请地域分布

通过专利优先权国的统计分析可以反映全球各国家的专利技术实力。图 3-6 是液压振动台的专利申请地域分布。结合该图可知，在液压振动台技术领域，中国的专利申请数量最多，有 289 件，占全球专利申请量的一半；日本和美国的专利申请分别有 115 件和 109 件，占全球专利申请量的五分之一。其次是欧洲的专利申请，有 42 项，占全球专利申请量的 7%，具体又包括法国、瑞典、德国、英国和意大利等国家。此外，还有个别申请来自俄罗斯、韩国、加拿大和墨西哥。

表 3-1 液压振动台领域的专利技术流入流出情况

首次申请国家/地区	流向国家/地区									
	中国	日本	美国	德国	WIP O	欧专 局	韩国	俄罗斯	英国	其他
中国	283		1		2	1	1			1
日本	1	98	6	1	4	1	1		1	2
美国	3	10	56	10	9	8	1		3	9
欧洲	1	3	3	10	2	4	0	2	4	13
俄罗斯								7		
韩国							7			

结合上表 3-1 可知，中国的 289 件专利申请绝大部分布局在本土，仅有 2 件向世界知识产权组织 WIPO 提交的 PCT 申请，1 件向欧专局提出的申请，1 件在美国提出的申请。日本的 115 件专利也大部分布局在其国内，其余个别专利在美国、WIPO、中国等进行了布局。相比而言，美国的 109 件专利在全球的布局最为广泛，除了有一半在其本土申请之外，另一半专利分布在日本、德国、WIPO、欧专局、英国、中国等国家和地区，可见美国在该领域拥有广泛的技术合作和产品市场。而在欧洲各国中，德国在液压振动台领域的技术实力最强，所以德国布局的专利相对较多。此外，俄罗斯和韩国也各自在本国进行了少量的专利布局。

3.3.3 技术构成分析

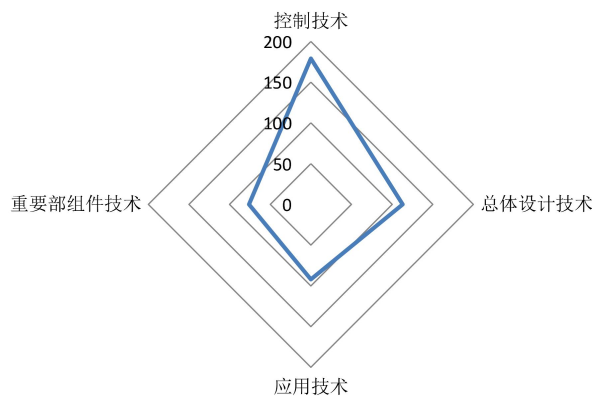


图 3-7 液压振动器的专利技术分布

申请量可以直观地反应出技术的热点，通常来说，专利申请量密集的技术，也是行业内关注的热点技术。结合图 3-7 可知，控制技术和总体设计技术是液压振动台领域的创新热点和研究重点，分别有 179 项和 113 项 INPADOC 同族专利，相比而言，应用技术和重要部组件技术的相关专利少于上述两个方向，分别有 92 项和 76 项 INPADOC 同族专利。在控制技术的相关专利申请中，关于伺服控制的有 94 项，涉及振动控制的有 85 项。而在重要部组件中涉及激振器的相关专利相对最多，其次为联轴器、作动器、夹具工装、台架等的相关专利。

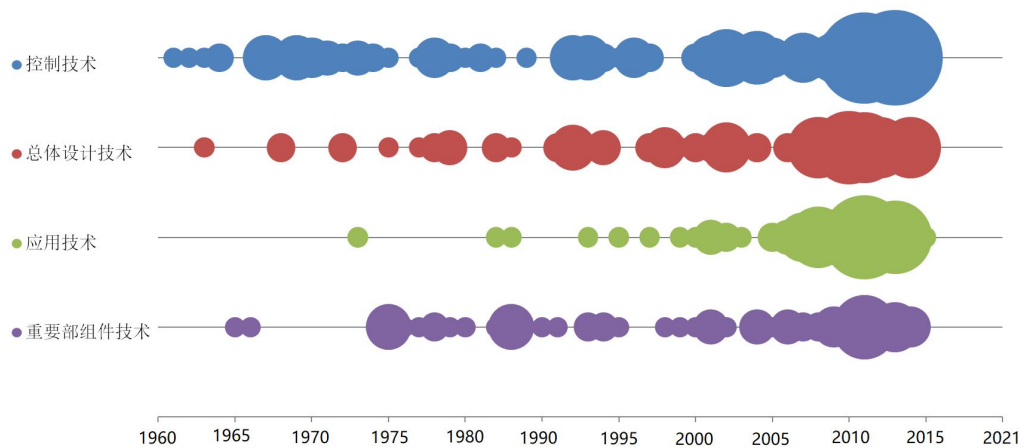


图 3-8 各技术分支专利申请趋势

结合图 3-8 可知，在液压振动台技术领域，控制技术和应用技术是当前的创新热点，其中控制技术从 20 世纪 60 年代至今一直是该领域的重点和难点技术，相关的专利成果持续出现，始终保持较高的热度，近年来随着数字控制和各种新型控制算法的出现，更是呈现出快速增长的趋势。而应用技术涉及土木

结构测量、地震试验测试和模拟、车/船/飞行器零部件的疲劳和抗振测试等多个方面，从 20 世纪 90 年代中后期才逐渐成为人们关注和研究的焦点。此外，对振动台和振动试验系统的总体设计技术近年来在众多国内创新主体的参与和推动下也保持在较高的申请水平。

3.3.4 专利技术活跃度分析

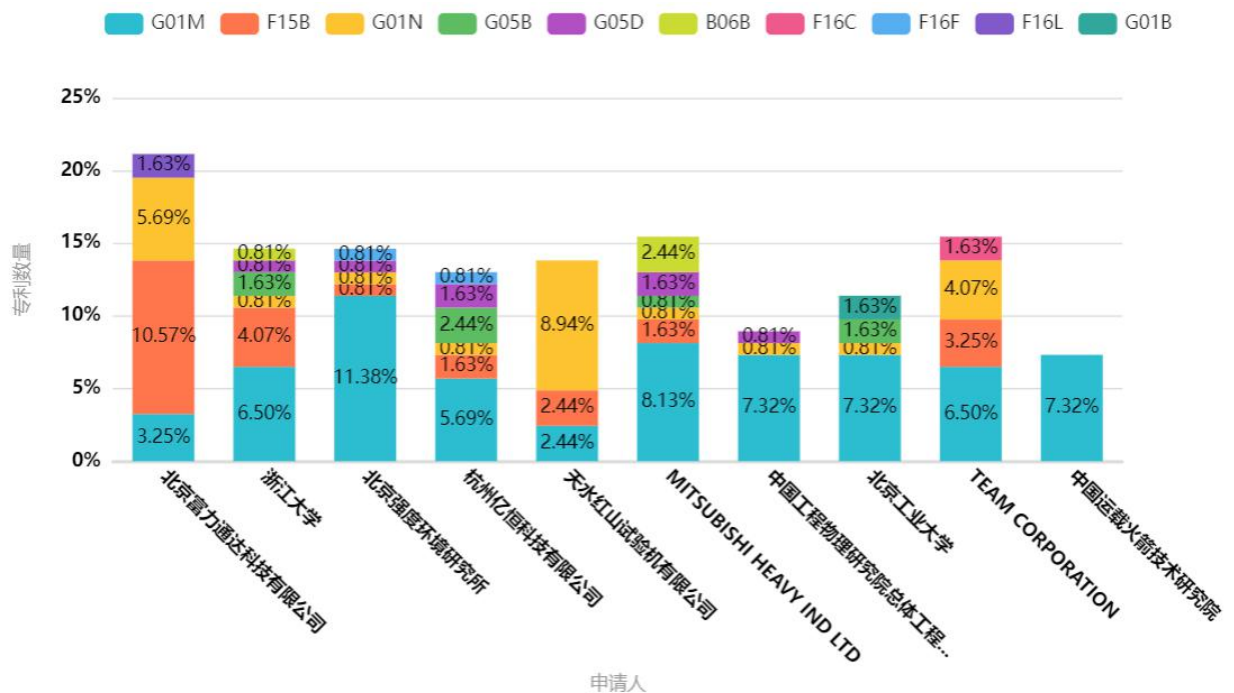


图 3-9 液压振动台领域的专利技术活跃度

表 3-2 液压振动台领域的专利技术活跃度情况

	北京富力通达科技有限公司	浙江大学	北京强度环境研究所	杭州亿恒科技有限公司	天水红山试验机有限公司	MITSUBISHI HEAVY IND LTD	中国工程物理研究院总体工程研究所	北京工业大学	TEAM CORPORATION	中国运载火箭技术研究院
G01M(机器或结构部件的静或动平衡的测试；其他类目中不包括的结构部件或设备的测试)	4	8	14	7	3	10	9	9	8	9
F15B(一般流体工作系统；流体压力执行机构，如同服马达；不包含在其他类目中的流体压力系统的零	13	5	1	2	3	2	0	0	4	0

部件)										
G01N(借助于测定材料的化学或物理性质来测试或分析材料)	7	1	1	1	11	1	1	1	5	0
G05B(一般的控制或调节系统; 这种系统的功能单元; 用于这种系统或单元的监视或测试装置)	0	2	0	3	0	1	0	2	0	0
G05D(非电变量的控制或调节系统)	0	1	1	2	0	2	1	0	0	0
B06B(一般的机械振动的发生或传递)	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0
F16C(轴; 软轴; 在挠性护套中传递运动的机械装置; 曲轴机构的元件; 枢轴; 枢轴连接; 除传动装置、联轴器、离合器或制动器元件以外的转动工程元件; 轴承〔5〕)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
F16F(弹簧; 减震器; 减振装置)	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
F16L(管子; 管接头或管件; 管子、电缆或护管的支撑; 一般的绝热方法)	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G01B(长度、厚度或类似线性尺寸的计量; 角度的计量; 面积的计量; 不规则的表面或轮廓的计量)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0

图 3-9 为液压振动台领域的专利技术活跃度分析图，表 3-2 具体示出了专利技术活跃度的申请量排名前十的申请人在不同技术领域的专利数量。结合该图和表可知，21 世纪以来液压振动台领域的主要申请人在 G01M、F15B、G01N 领域持有专利的数量比重最多，而 G01M、F15B、G01N 分类号所代表的领域分别为：G01M(机器或结构部件的静或动平衡的测试；其他类目中不包括的结构部件或设备的测试)；F15B(一般流体工作系统；流体压力执行机构，如伺服马达；不包含在其他类目中的流体压力系统的零部件)；G01N(借助于测定材料的化学或物理性质来测试或分析材料)。结合到液压振动台的具体技术领域，分别代表了液压振动试验系统、液压振动马达、材料测试或分析系统。可见，该领域的主要申请人主要集中在上述技术领域内，反映上述领域的竞争激烈和垄断性。

3.3.5 技术功效矩阵分析

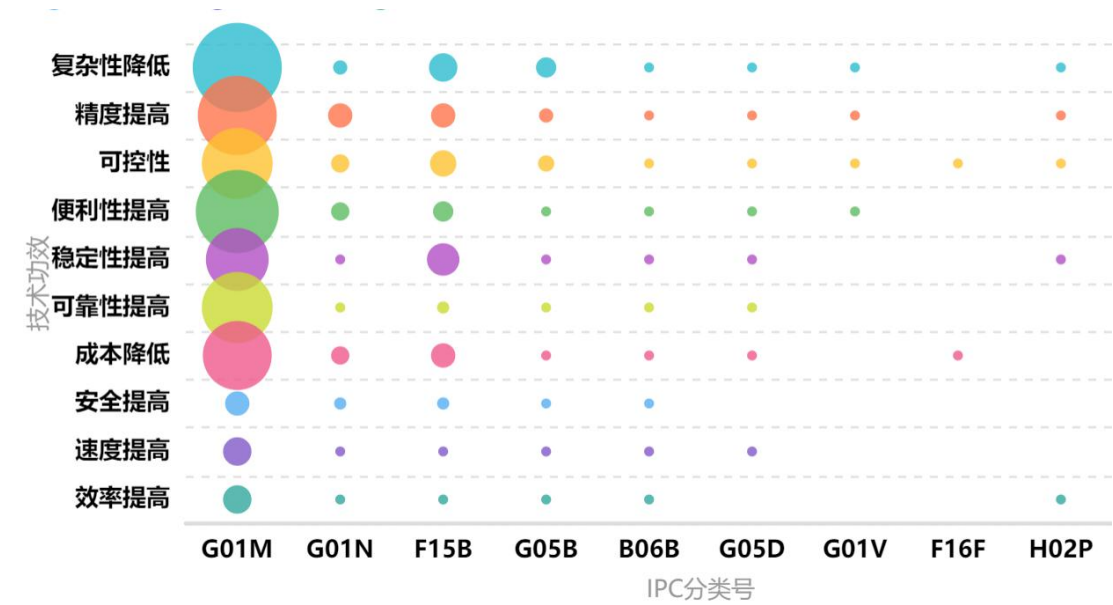


图 3-10 各技术分支技术功效矩阵分析

图 3-10 为液压振动台领域的技术功效矩阵分析图，结合该图可知，液压振动台在机器或结构部件的静或动平衡的测试方向的应用属于技术布局的热点，尤其是涉及降低设备复杂性和成本，以及提高精度、可控性、便利性、稳定性和可靠性等方面。这些技术方向的申请量增幅较大且占据份额较大，为申请人所普遍关注。此外，液压振动台作为减震装置、或者电动机、发电机或机电变换器的控制或调节装置等方向，专利申请量较少，技术空白点相对较多。

3.3.6 重点专利分析

根据技术领域分支、权利要求的数量、印证与被引证次数、专利同族数量、发生异议（或无效、诉讼及许可转让）等情况进行综合考量筛选重点专利，篇幅所限，以下列出代表性的 10 项专利进行分析解读说明。

重点专利分析表 1

发明名称	振动试验装置的多轴控制系统
公开号和申请人	US3800588A；MTS 系统公司
申请时间和法律状态	1971-04-30；期限届满

权利要求特征	该申请有 10 项三组权利要求，其中独立权利要求 1 的特征如下： 振动试验装置包括用于赋予刚性结构的振动运动的多个致动装置,首先提供表示由所述致动装置产生的所需平均位移的命令信号,该致动装置产生第二装置,其提供表示所述实际平均位移的信号结构,第三装置用于区分所述实际平均位移信号,以提供代表平均结构位移速率的信号,第四装置提供表示施加到所述结构的平均力的信号,第五表示提供信号代表的信号通过所述致动装置施加到所述结构的平均力量不等式量,其第六装置连接到所述第一,第二,第三,第四和第五条装置,用于从所述信号导出用于每个所述致动装置的控制信号。
发明技术解读	技术问题： 当需要多个致动器以单个自由度移动振动平台或工作台或任何刚性结构时，主要的控制问题是迫使所有致动器一起工作以产生所需的运动而不会出现令人不快的信号保真度损失或效率。 主要发明点： 四个垂直设置的液压致动器作用在刚性结构的下侧上的间隔开的驱动点处，以便向其施加振动。系统采用表示位移和负载的信号，并为每个致动器提供单独的控制信号，使得致动器全部一起工作以产生由程序或命令信号所要求的所需运动。除了校正垂直运动误差之外，系统还专门校正滚动误差。还考虑了水平方向误差的校正以及相对于节距的误差。 技术效果： 本发明提供一种具有可观数量的多功能性的控制系统，为被测试的刚性结构提供适当量的垂直运动，并且还补偿滚动误差。

重点专利分析表 2

发明名称	宽频率范围的强力振动测试
公开号和申请人	US8408066B1; Sandia 公司
申请时间和法律状态	2010-10-25; 授权有效
权利要求特征	本发明包含 20 项两组权利要求，其中独立权利要求 1 的特征如下： 用于振动测试的装置,包括: 包括第一和第二振动器的振动器组件,所述振动器组件被配置为通过两个所述振动器支撑在其上用于振动测试对象的测试对象,所述第一振动器包括用于产生振动的压电材料,并且所述第二振动器刚性紧固对于所述第一振动筛并配置为在不使用压电材料的情况下产生振动;和一个控制系统,耦合到所述振动器,用于控制测试对象的振动。

发明技术解读	技术问题： 常规的压电(PE)致动器能够在相对较高的振动频率下产生足够高的输出力,但是在相对较低的振动频率(例如,小于约 200Hz)下产生相同水平的力的能力有限。 主要发明点： 本发明提供一种比常规技术所允许的宽的振动频率范围内施加高输出振动力的振动器组件,包括两个振动器,PE 振动器作为高频振动器,常规的液压或电动振动器作为低频振动器。实验中,将被测试单元(测试对象)安装到连接到 PE 振动器的测试平台上,并将带有 PE 振动器的测试平台安装到另一个振动器的头部,从而向被测试单元提供组合激励。另外的振动器,例如液压或电动振动器,在相对较低的频率范围(例如 5-400 Hz)内产生受控振动,而 PE 振动器在相对较高的频率范围(例如 400-2000)内产生受控振动(赫兹)。 技术效果： 本发明的低频和高频振动器可协作以在各种频率范围内振动各种重量的物体。
--------	--

重点专利分析表 3

发明名称	高速动车组车轮振动试验台
公开号和申请人	CN106353058B; 浙江理工大学
申请时间和法律状态	2016-08-25; 授权有效
权利要求特征	本发明共包含 2 个权利要求,其中独立权利要求 1 的特征如下: 高速动车组车轮振动试验台,包括 Z 向夹紧机构、Y 向夹紧机构、X 向夹紧机构和振动台,其特征在于:两个 Y 向夹紧机构和两个 X 向夹紧机构沿圆周均布,且 Y 向夹紧机构与 X 向夹紧机构交错布置; 所述的振动台由振动台底座、振动平板、振动台支柱、空气弹簧、空气弹簧安装座、X 向振动电机、电机安装板、Y 向振动电机和 Z 向振动电机组成;所述的振动台支柱顶端与振动平板底面固定;空气弹簧安装在空气弹簧安装座中;空气弹簧安装座一端与振动台支柱底端固定,另一端与振动台底座固定;X 向振动电机和 Y 向振动电机固定在各自的电机安装板上;电机安装板固定在振动平板底面;Z 向振动电机通过螺钉固定在振动平板上;所述 X 向振动电机和 Y 向振动电机的转子轴竖直设置,Z 向振动电机转子轴水平设置;初始位置时,两个 X 向振动电机的转子轴轴心指向各自偏心块中心的方向相同,均为 X 向正向或负向;初始位置时,两个 Y 向振动电机的转子轴轴心指向各自偏心块中心的方向相同,均为 Y 向正向或负向;X 向与 Y 向相互垂直,且均位于水平面内;初始位置时,两个 Z 向振动电机的转子轴轴心指向各自偏心块中心的方向相同,均为 Z 向正向或负向;Z 向垂直于水平面;两个 X 向振动电机转向相反,转速相同;两个 Y 向振动电机转向相反,转速相同;两个 Z 向振动电机转向相反,转速相同; 所述的 Z 向夹紧机构由缸体安装板、垂向液压缸、连接套、V 型连接杆、连接板、短连接杆、长连接杆和压紧头组成;所述的缸体安装板固定在振动台的振动平板上;所述垂向液压缸的缸体与缸体安装板铰接,垂向液压缸的活塞杆与连接套通过螺纹连接;所述的连接套与 V 型连接杆的一个臂顶端铰接;连接板焊接在缸体安装板

	上；V型连接杆的底端及长连接杆的一端均与连接板铰接；V型连接杆的另一臂顶端与短连接杆的一端铰接；短连接杆的另一端与长连接杆中部铰接；长连接杆的另一端与压紧头铰接； 所述的Y向夹紧机构由夹紧爪、水平液压缸和液压缸安装座组成；所述夹紧爪的头部为圆弧面；夹紧爪的尾部与水平液压缸的活塞杆通过螺纹连接；水平液压缸的缸体固定在液压缸安装座中；液压缸安装座固定在振动平板上；X向夹紧机构与Y向夹紧机构的结构和安装方式相同。
发明技术解读	技术问题： 针对高速动车组车轮试验平台的缺乏，提供一种高速动车组车轮振动试验台。 主要发明点： 本发明包括Z向夹紧机构、Y向夹紧机构、X向夹紧机构和振动台；X向夹紧机构、Y向夹紧机构和Z向夹紧机构用于夹紧高速动车组车轮，将高速动车组车轮固定在振动平板上；振动台用于提供振动激励、振动频率和振动幅值。该试验台可以有效夹紧高速动车组车轮，通过调节振动电机的振动频率、振动激励和振动幅值，来模拟高速动车组车轮在运行过程中受到的振动，以此检验车轮在振动工况下的结构强度是否满足要求及长期振动工况下车轮是否可靠等。 技术效果： 本发明可用于验证高速动车组车轮在振动工况下的结构强度是否满足要求，验证高速动车组车轮在长期振动工况下可靠性是否达到要求，测试高速动车组车轮在长期振动工况下的使用寿命，且成本低廉、占据空间小、拆卸容易、易于维修。

重点专利分析表 4

发明名称	一种宽频带大位移角振动台
公开号和申请人	CN104180842B；浙江大学
申请时间和法律状态	2014-09-02；授权有效
权利要求特征	本发明包含 10 个一组权利要求，其中权利要求 1 的特征如下： 一种宽频带大位移角振动台，包括外壳、工作台面、带动工作台面旋转的主轴、动圈组件、磁路组件、抱闸组件、带动磁路组件旋转的电机及其闭环控制组件、电粘弹性反馈控制组件、空气轴承和角位移传感器； 其特征在于：主轴与动圈组件固定连接，磁路组件通过连接件与电机转子固定连接； 动圈组件包括与主轴连接的动圈基体和缠绕在动圈基体上的线圈，动圈基体与主轴固定连接； 磁路组件包括导磁环、中心磁极以及磁钢，并由导磁环、中心磁极、磁钢和气隙形成闭合磁回路；中心磁极位于导磁环内，导磁环与中心磁极同轴，磁钢位于导磁环与中心磁极之间，磁钢吸附于中心磁极上；动圈组件位于磁钢和导磁环之间，动圈组件与导磁环同轴； 外壳上设有使磁路组件制动的抱闸组件，抱闸组件包括制动衬套、配油套和带活塞的油缸，制动衬套包括环形的薄壁形变部和分别位于薄壁形变部两端的上连接部和下连接部，上连接部和下连接部凸

	出于薄壁形变部，上连接部和下连接部分别与配油套通过密封圈进行密封连接，制动衬套和配油套围成液压油容腔，配油套设有连通油缸与液压油容腔的连接通道，配油套与油缸之间设置有密封圈；液压油从油缸压入液压油容腔时，磁路组件制动；液压油回流到油缸时，磁路组件随电机转子转动。
发明技术解读	技术问题： 为了克服现有的角振动台只能输出低频振动和波形失真度大的缺点和不足，本发明提供了一种能够输出波形失真度低的宽频带大位移角振动台。 主要发明点： 一种宽频带大位移角振动台包括外壳、工作台面、主轴、动圈组件、磁路组件、抱闸组件、电机及其闭环控制组件、电粘弹性反馈控制组件、空气轴承和角位移传感器；动圈组件包括动圈基体和线圈，动圈基体与主轴固定；磁路组件包括导磁环、中心磁极以及磁钢，由导磁环、中心磁极、磁钢和气隙形成闭合磁回路；中心磁极位于导磁环内，磁钢位于导磁环与中心磁极之间，磁钢吸附于中心磁极上；外壳有抱闸组件，抱闸组件包括制动衬套、配油套和带活塞的油缸，制动衬套和配油套围成液压油容腔，液压油从油缸压入液压油容腔时，磁路组件制动；液压油回流到油缸时，磁路组件随电机转子转动。 技术效果： 1、本发明通过设置抱闸组件和电机实现了宽频带大位移角振动，当抱闸组件使磁路组件制动且电机处于非工作状态时，系统的动态特性仅取决于角振动台中以动圈为主体的旋转运动组件，具有较高的工作频率，角振动台处于小位移高频工作状态；当抱闸组件与磁路组件之间有间隙且电机处于工作状态时，角振动台的旋转运动组件可输出大位移，角振动台处于大位移低频工作状态。 2、本发明当台面输出的角位移量（峰峰值）与动圈有效导线所占角度之和大于磁钢扇形角时，使角振动台处于大位移低频工作状态，采用电机带动磁路组件转动，保证磁路组件与动圈组件同步转动，且响应快、定位准、性能好；角振动台输出角位移量（单峰值）可达到 180° 以上，满足了低频大角位移角振动传感器标定的需求。 3、本发明当台面输出的角位移量（峰峰值）与动圈有效导线所占角度之和小于或等于磁钢扇形角时，使角振动台处于小位移高频工作状态，导磁环通过抱闸组件锁紧，采用气缸作为动力源，气源与空气轴承气源为同一支路，具有锁紧平稳、结构简单、操作方便等优点。 4、本发明采用永磁式磁路结构，省去了励磁线圈，减小励磁系统的损耗，提高能量转换效率，磁路结构简单、紧凑、运行可靠。 5、本发明采用空气轴承支撑，形成的上止推部气膜、下止推部气膜、轴颈部气膜完成对动圈转动部件的轴向和径向支撑，转动部件和静止零件通过气膜实现无接触支撑，无摩擦或摩擦力小，运行平稳，提高转动部件的回转精度，改善角振动台输出波形失真度以及减小横向摆动量的优点。 6、动圈组件的线圈绕组通过线切割或雕刻形成，布线均匀，受力均匀，同时降低了线圈绕组的绕线难度，简化绕线工艺。 7、本发明采用电粘弹簧反馈控制转动部件的平衡位置，传统的机械弹簧具有非线性、时变、迟滞等缺陷，影响角振动台输出运动量波形的失真度，而电粘弹簧反馈控制可控性好，具有线性、非时变、无迟滞的优点，降低输出运动量波形的失真度。

重点专利分析表 5

发明名称	用于振动工作台的控制设备
公开号和申请人	CN106102959B; 丹尼利机械厂联合股票公司
申请时间和法律状态	2014-02-14; 授权有效
权利要求特征	本发明包含 17 个两组权利要求, 其中权利要求 1 的特征如下: 一种用于振动工作台(6)的控制设备(1), 所述控制设备(1)能够用于调节所述振动工作台(6)的移动部分的振动, 所述控制设备(1)包括: -液压回路(20), -液压致动器(21), 其连接到所述液压回路(20)并且适合于连接到所述振动工作台(6)的所述移动部分以调节所述振动工作台的所述移动部分的位置, 其中所述液压致动器(21)是双作用缸, 所述双作用缸具有通过滑动活塞(22)相对于彼此限定的第一室(21a)和第二室(21b), 所述滑动活塞(22)刚性地连接到至少一个杆(31a), 所述至少一个杆是刚性地可约束到所述移动部分的, 其中所述液压回路(20)是封闭的回路并且在高于大气压力的压力下被加压, 并且所述液压回路(20)包括至少一个可逆液压泵(9、9a、9b), 所述至少一个可逆液压泵通过马达(19)起动, 并且利用一个或多个管道直接地连接到所述第一室(21a)和所述第二室(21b)中的至少一个, 而不插入伺服阀, 因此液压流量的控制由至少一个可逆液压泵(9、9a、9b)直接地执行。
发明技术解读	技术问题: 提供一种液压控制设备, 该液压控制设备允许在反应度和准确度方面达到良好的性能水平, 同时确保最小的体积。 主要发明点: 一种用于振动工作台(6)的控制设备(1), 包括: -封闭且加压的液压回路(20), -液压致动器(21), 其连接到所述液压回路(20)并且适合于连接到振动工作台(6)的移动部分以调节振动工作台的移动部分的位置, 其中所述液压致动器(21)是双作用缸, 该双作用缸具有通过滑动活塞(22)相对于彼此限定的第一室(21a)和第二室(21b), 该滑动活塞(22)刚性地连接到第一杆(31a), 该第一杆刚性地可约束到所述移动部分, 其中所述液压回路(20)包括至少一个可逆液压泵(9), 该至少一个可逆液压泵直接地连接到所述第一室(21a)和所述第二室(21b)中的至少一个。 技术效果: 液压控制设备是守恒类型的, 仅消耗使工作台运动严格地需要的量的能量, 该振动工作台允许结晶器以最合适的频率和振幅振动。

重点专利分析表 6

发明名称	高频率多自由度振动测试机
公开号和申请人	CN100520333C; 提姆公司

申请时间和法律状态	2002-04-26; 授权有效
权利要求特征	本发明包含 14 个六组权利要求, 其中权利要求 1 的特征如下: 一种振动测试机, 其包括: 固定的外部框架; 坚硬结构形式的振动平台, 振动能量从所述外部框架的内部被传送到该振动平台; 驱动预载活塞, 其可在被所述外部框架牢固支撑的第一腔室内滑动, 并且被连接到所述振动平台的一个面上; 被动预载活塞, 其可在被所述外部框架牢固支撑的第二腔室内滑动, 并且被连接到所述振动平台的与所述驱动预载活塞相对的一面上; 以及外部力发生器, 其位于所述外部框架的外部, 并且被连接到所述驱动活塞, 以将力施加到所述驱动预载活塞上, 而将振动能量引导到所述驱动活塞, 该驱动活塞再将该振动能量传送到所述振动平台; 而且其中: 所述被动预载活塞对于所述振动平台施加一力, 该力与所述驱动预载活塞所施加的力相反; 所述第一腔室包含可控级别的液体压力, 该液体压力被施加到所述可滑动驱动预载活塞上; 所述第二腔室包含可控级别的液体压力, 该液体压力被施加到所述可滑动被动预载活塞上。
发明技术解读	技术问题: 本发明提供一种改进的振动测试机, 该振动测试机模拟在很高振动频率下具有多自由度的振动环境。 主要发明点: 一种振动测试机包括: 固定的外部框架; 块状形式的振动平台, 振动的能量从外部框架的里面被传送到该平台; 由外部框架支撑的驱动预载活塞, 它被连接到振动平台的一个面上; 由外部框架支撑的被动预载活塞, 它被连接到振动平台与驱动预载活塞相对的那一面上; 以及位于外部框架外面的外部力发生器, 它被连接到驱动活塞以导引高频率的振动能量到达驱动活塞, 再将该振动能量传送到振动平台。 技术效果: 本发明允许多种外部力产生装置, 它们各自产生单一一个自由度的运动(沿一条直线的推拉力), 能够连接一个电动振荡器或一个电动液压振荡器, 从而让推力和拉力有效地被传送到振动平台。特别是, 本发明允许力产生装置例如电动液压振荡器, 它们一般仅仅从一端接到移动元件(电枢), 被有效地连接到多自由度振动平台。本发明还使机械装置之间的交叉连接达到最少, 这些交叉连接将单一自由度的力发生器连接到以多个自由度运动的振动平台。

重点专利分析表 7

发明名称	振动试验装置
公开号和申请人	JP5311549B2; 日立株式会社
申请时间和法律状态	2008-08-08; 授权有效

权利要求特征	本发明包含 5 个一组权利要求，其中权利要求 1 的特征如下： 一种液压振动器，包括安装有试件的振动台、通过活塞往复运动使振动台振动的液压激振器、向控制电路输出目标波形信号的波形发生器。测量装置的驱动状态并输出传感器信号的控制传感器，输出控制信号的控制电路，根据使用传感器信号的目标波形信号控制液压激振器，根据控制信号使液压激振器的活塞往复运动的伺服阀。 活塞加速度传感器检测至少两个液压激振器的活塞在振动台的至少一个方向上的振动方向的加速度并输出活塞加速度信号。提供了一种补偿电路，用于根据活塞加速度的差信号输出补偿信号，用于控制由液压缸的液压油压缩性引起的共振特性。控制电路包括加法处理单元，是一种振动测试装置，其特征在于将补偿信号与控制信号相加并输出至伺服阀。
发明技术解读	技术问题： 提供一种能够抑制振动台旋转振动的振动测试仪。 主要发明点： 测试仪包括一个安装有待测试样品的振动台，一个执行振动台激励的油压振动激励器，一个使用活塞位移作为任意目标波形进行伺服控制的控制器电路此外，还提供了一种补偿电路，该补偿电路利用油压振动激励器的活塞加速度信号控制在油压缸的工作油压缩性中引起的共振特性。 技术效果： 本发明能够控制并明显改变液压励磁机自身的油柱共振特性,以抑制旋转振动并以高精度进行单向振动测试。

重点专利分析表 8

发明名称	振动试验装置
公开号和申请人	JP5357447B2；三菱重工
申请时间和法律状态	2008-06-06；授权有效
权利要求特征	本发明共有 4 项一组权利要求，其中权利要求 1 的特征如下： 一种振动试验装置，其特点是装有第一振动装置和第一振动装置，具有通过第一振动装置在至少两个方向上振动的第二振动台。 第二振动装置通过安装在第一振动台上并由平行连杆机构构成的多个第二振动装置使第二振动台振动。 使第一振动台的振动与第二振动台的振动同步的振动控制装置。

发明技术解读	技术问题： 在通过组合多个振动台和激励装置形成的振动测试装置中，在两个或多个方向上将激励输入施加到测试对象。 主要发明点： 振动测试装置 1 配备有第一激励装置 10，第二激励装置 20 和振动控制装置 30。第一激励装置 10 具有通过第一激励装置至少在两个方向上激励的第一振动台 11。第二励磁装置 20 放置在第一振动台 11 上。第二励磁装置 20 通过由多个液压缸 23 构成平行连杆机构的第二励磁装置激励第二振动台 21。振动控制装置 30 驱动振动第一振动台 11 的振动和第二振动台 21 的振动彼此同步。 技术效果： 本发明能够在组合了多个振动台和振动装置的振动试验装置中对试验体施加两个以上方向的振动输入。
--------	---

重点专利分析表 9

发明名称	一种跳联式双台面水平液压振动台
公开号和申请人	CN104515663B；苏州苏试试验集团股份有限公司
申请时间和法律状态	2014-12-19；授权有效
权利要求特征	本发明共有 4 项一组权利要求，其中权利要求 1 的特征如下： 一种跳联式双台面水平液压振动台，包括底座（100）、伺服液压作动器（2）以及经导轨（3）滑动设于底座（100）上的台面，所述伺服液压作动器（2）包括液压作动筒（21）、电液伺服阀（22）以及传感器（23）；其特征在于： 所述液压作动筒（21）为双作用双杆式作动筒，且设于底座长底方向上的中间位置，其两出力杆（211、212）朝底座（100）的长度方向的两端伸出；所述台面为两个：第一台面（4）和第二台面（5），所述第一台面（4）和第二台面（5）在底座长度方向上分设于液压作动筒（21）的两侧，所述第一台面（4）与液压作动筒（21）的一出力杆（211）固定连接，所述第二台面（5）与液压作动筒（21）的另一出力杆（212）固定连接。
发明技术解读	技术问题： 本发明的目的在于提供一种跳联式双台面水平液压振动台，以满足一台液压振动台就能进行多种试件规格及试验指标的要求。 主要发明点： 一种跳联式双台面水平液压振动台，包括液压作动筒（21）为双作用双杆式作动筒，且设于底座长底方向上的中间位置，其两出力杆（211、212）朝底座（100）的长度方向的两端伸出；台面为两个：第一台面（4）和第二台面（5），所述第一台面（4）和第二台面（5）在底座长度方向上分设于液压作动筒（21）的两侧，所述第一台面（4）与液压作动筒（21）的一出力杆（211）固定连接，所述第二台面（5）与液压作动筒（21）的另一出力杆（212）固定连接。 技术效果： 本发明具有三种规格的工作模式，适用于多规格试件、多试验指标下的水平振动试验，结构简单，性能稳定，操作方便，使产品测试过程高效快捷。

重点专利分析表 10

发明名称	一种基于 PID 调节的双闭环电液伺服控制装置
公开号和申请人	CN103452967B; 浙江埃特斯力试验设备有限公司
申请时间和法律状态	2013-08-28; 授权有效
权利要求特征	本发明共有 4 项一组权利要求, 其中权利要求 1 的特征如下: 一种基于 PID 调节的双闭环电液伺服控制装置, 其特征在于: 包括外环 PID 调节模块、外环反馈调理电路、内环 PID 调节模块、内环反馈调理电路、功率放大电路, 外环 PID 调节模块分别与外环反馈调理电路、内环 PID 调节模块连接, 内环 PID 调节模块分别与内环反馈调理电路、功率放大电路连接, 外环 PID 调节模块包括外环零偏电路、外环偏差计算电路、外环 PID 调节单元、外环求和电路, 外环偏差计算电路分别与外环零偏电路、外环 PID 调节单元、外环反馈调理电路连接, 外环 PID 调节单元与外环求和电路连接, 内环 PID 调节模块包括内环零偏电路、内环偏差计算电路、内环 PID 调节单元、内环求和电路、颤振信号电路, 内环偏差计算电路分别与内环零偏电路、内环 PID 调节单元、内环反馈调理电路连接, 内环 PID 调节单元与内环求和电路连接, 内环求和电路分别与颤振信号电路、功率放大电路连接。
发明技术解读	技术问题: 现有的一些伺服控制装置(含伺服控制器)大多只对伺服阀这一级进行闭环控制, 对连接在伺服阀上面的缸体不做控制, 因此功能比较单一, 适用性不广。 主要发明点: 一种基于 PID 调节的双闭环电液伺服控制装置, 包括外环 PID 调节模块、外环反馈调理电路、内环 PID 调节模块、内环反馈调理电路、功率放大电路, 外环 PID 调节模块分别与外环反馈调理电路、内环 PID 调节模块连接, 内环 PID 调节模块分别与内环反馈调理电路、功率放大电路连接。 技术效果: 本发明设置一个双闭环控制结构, 在使用的时候外环反馈调理电路、内环反馈调理电路分别与外部传感部件连接, 利用两个闭环结构, 就可以实现三级伺服阀的控制需求, 同时又能兼容只需单环控制的二级伺服阀, 适用性变广, 而采用 PID 调节技术, 提高系统的动态响应和稳定性。

3.4 竞争对手识别

3.4.1 申请人排名分析

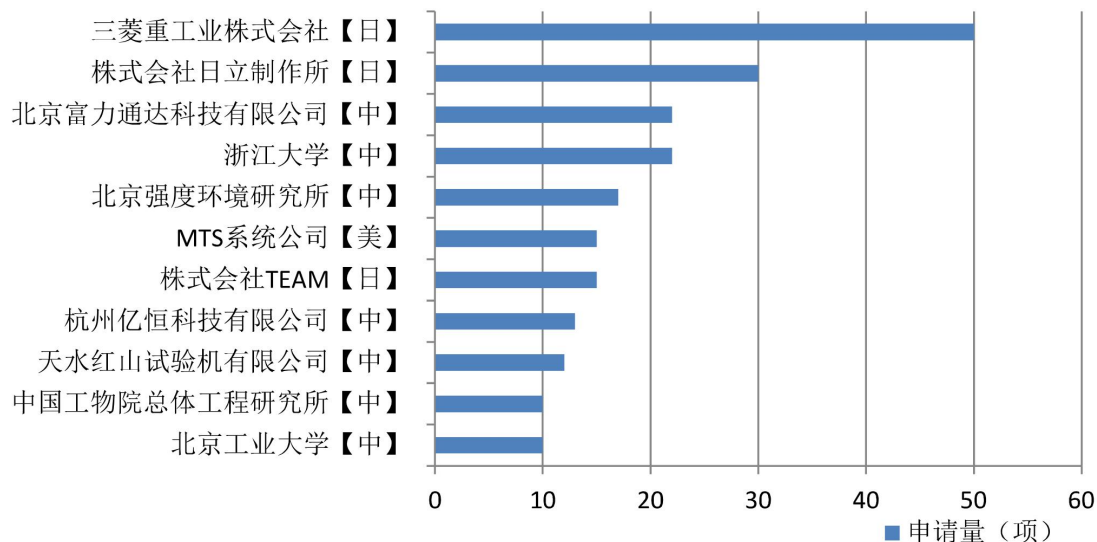


图 3-11 主要创新主体申请量排名

图 3-11 是液压振动台领域主要创新主体的专利申请量排名。结合该图可知，在全球排名前 11 位的主要创新主体中，日本的申请人有 3 位，分别是三菱重工业株式会社、株式会日立制作所和 TEAM 株式会社；中国的申请人有 7 位，包括北京富力通达科技有限公司、浙江大学、北京强度环境研究所、杭州亿恒科技有限公司、天水红山试验机有限公司、北京工业大学、中国工程物理研究院总体工程研究所。此外，还有 1 位美国的申请人，即 MTS 系统公司。

3.4.2 申请人申请趋势分析

表 3-3 主要申请人申请时间分布情况

时间段	三菱重工	日立	浙江大学	北京富力通达	北京强度环境研究所	株式会社TEAM	MTS系统公司	杭州亿恒科技有限公司	天水红山试验机有限公司	北工大	中国工程物理研究院总体工程研究所
1960-1969							1				
1970-1979	3	10					8				
1980-	11	8				4	4				

1989											
1990-1999	32	3				7					
2000-2009	3	7	2			2	2	1	4	2	
2010-2021	1	2	20	22	17	2		12	8	8	10

结合表 3-3 可知，国外的三菱重工、日立、TEAM 株式会社和 MTS 系统公司从 20 世纪六七十年代至今一直保持一定的技术活跃度，虽然近十年这些公司的技术已经基本成熟，只有零星的专利申请出现。国内的申请主体大多从 21 世纪以后才有相关申请，近十年的申请量明显增多。

3.4.3 申请人研发方向分析

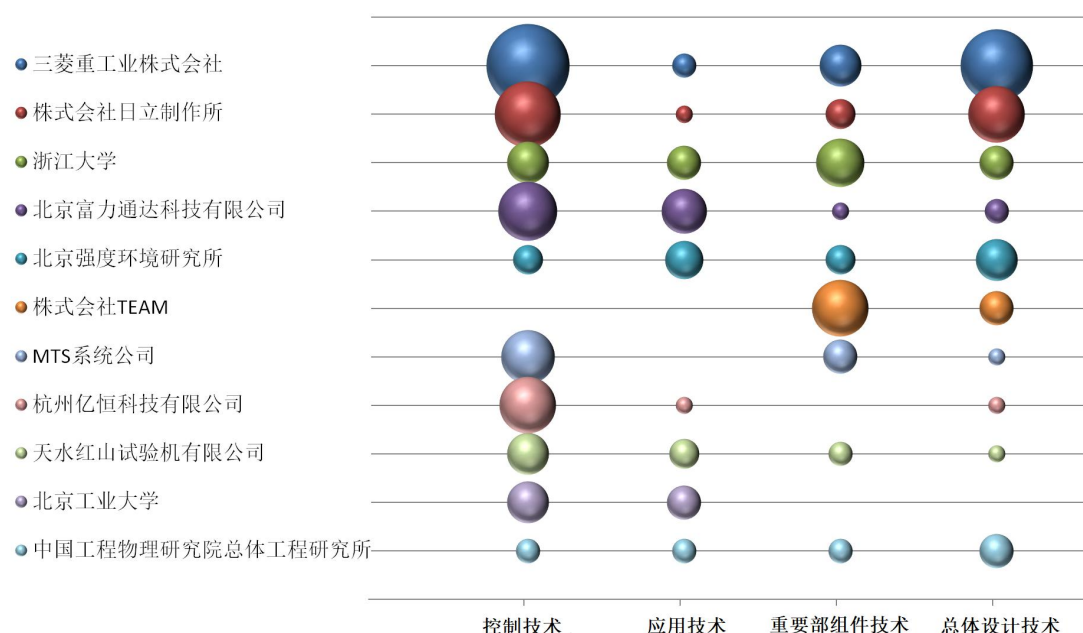


图 3-12 主要创新主体的专利技术分布

结合图 3-12 可知，从液压振动台的全球主要专利申请人来看，三菱重工和日立株式会社的主要专利布局方向为控制技术和总体设计技术。浙江大学在重要部组件和控制技术方向的专利申请量稍多于其他方向。富力通达公司主要布局在控制技术和应用技术两个方向。强度环境研究所在总体设计技术和应用技术方向的专利申请量相对其他两个方向略多。株式会社 TEAM 的优势技术方向为重要部组件技术，MTS 系统公司则在控制技术方面技术积累相对占优。国内的杭州亿恒科技有限公司和天水红山试验机有限公司在控制技术等方面也有一定的专利布局优势。此外，北京工业大学主要在控制技术和应用技术两个方

向开展专利布局。工程物理研究院总体工程研究所在四个方向均有少量的专利申请，相比而言，总体设计技术的专利申请量稍多于其他分支。

从技术方向来看，日本的三菱重工和株式会社日立，国内的富力通达科技有限公司和杭州亿恒科技有限公司，美国的 MTS 公司在控制技术方向均有一定的技术积累和专利布局优势；国内的富力通达科技有限公司和北京强度环境研究所在应用技术方向的布局专利量相对占优；在重要部组件技术方向，日本的株式会社 TEAM 和三菱重工、国内的浙江大学开展了较多的专利布局；在总体设计技术方向，日本的三菱重工和株式会社日立优势明显。

3.4.4 新进入者技术方向分析

分析 2017-2021 年五年以来液压振动台领域的新进入者，以反映该领域的新型竞争动向。与此同时，这些新兴公司可以被视为潜在的收购或合作机会。

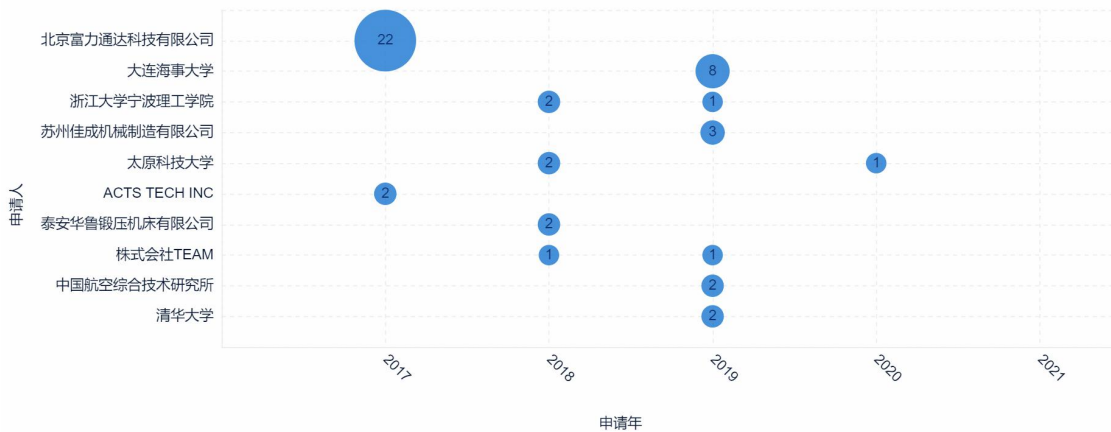


图 3- 13 近五年新进入者排名分析

新进入者	技术方向
	六自由度试验台、静音液压驱动、侧向导轨与垂向加载油缸的压剪试验机、大流量液压装置、伺服控制机构装置、液压软启动装置、液压伺服油缸同步加载的装置、能够抵消静态载荷的动态激振液压缸、大载荷试验机加载与测量的装置、提高大量程伺服油缸位移控制精度、伺服控制机构装置及并联同步的控制方法

3.4.5 协同创新方向分析

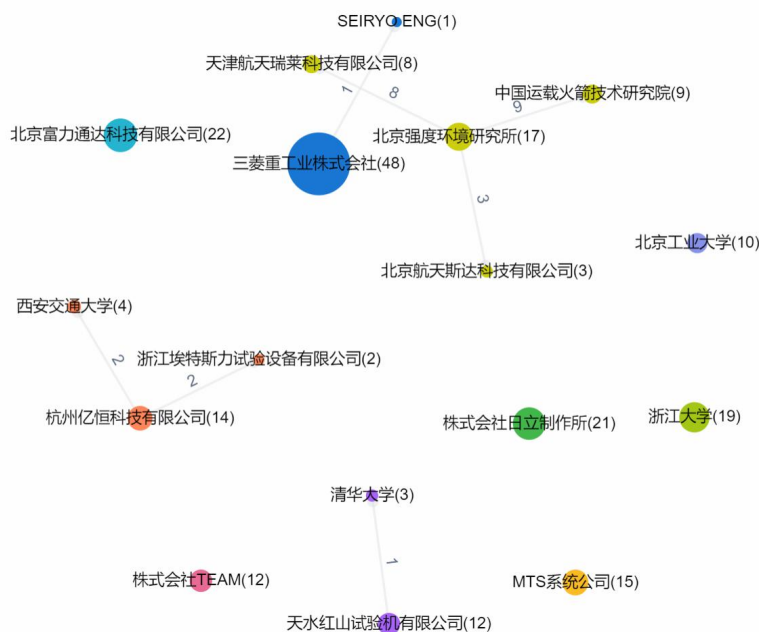


图 3-14 协同创新方向分析

在全部在华专利申请中，有 40 项专利属于 2 个以上的创新主体合作申请的专利，占比为 14%，主要涉及日本和国内的创新主体，并且发生在高校/科研院所与企业之间。

其中国内的协同创新包括：北京强度环境研究所与天津航天瑞莱科技有限公司合作申请了 8 项涉及液压试验装置及其试验控制方法的专利；杭州亿恒科技有限公司与西安交通大学、浙江埃特斯力试验设备有限公司联合申请了 2 项关于集成式振动监测试验装置及其试验方法的专利；哈尔滨工业大学分别与台达电子、国家地震局工程力学研究所合作申请了 1 项涉及伺服系统控制和电液伺服激振装置的专利等。

日本的协同创新包括 IMV 株式会社与东京工业大学、大阪产业技术研究所、北海道立综合研究机构和日本防震株式会社等联合申请了 5 项涉及非高斯和主动振动控制的专利；日立株式会社与名古屋大学联合申请了 2 项关于液压振动试验装置的专利；日产自动车株式会社和株式会社不二越联合申请了 2 项关于振动器的专利。

3.4.6 专利运营活动分析

专利运用主要包括转让和许可，发生转让和许可事件能够在一定程度上反映该专利的技术先进性和市场价值。在全部中国专利申请中，有 5 项发生了权利转移和许可的事宜，具体如表 3-4 所示。结合该表可知，国内在液压振动台领域的专利运用目前还很不活跃，仅在个别高校/科研院所与相关企业之间发生了少量的权利转让，这也说明国内的创新主体仍以高校/科研院所为主，科技企业亟需加大自主创新和技术引进的能力。

表 3-4 国内相关申请专利运用情况

公开号	当前状态	名称	权利变更情况
CN110572107A	在审	一种伺服系统免调试控制方法及装置	申请人由哈尔滨工业大学变更为哈尔滨工业大学和台达电子企业管理（上海）有限公司
CN106353058B	授权	高速动车组车轮振动试验台	浙江理工大学普通许可给浙江理工大学上虞工业技术研究院有限公司使用
CN104019967B	授权	一种测试直升机主桨大梁疲劳性能的试验系统	专利权人由北京航空航天大学变更为北京堂仁翔科技有限公司
CN103452967B	授权	一种基于 PID 调节的双闭环电液伺服控制装置	专利权人由杭州亿恒科技有限公司变更为浙江埃特斯力试验设备有限公司
CN103760806A	驳回	应用于汽车检测行业的高频电液伺服激振系统及控制方法	申请人由广州机械科学研究院有限公司变更为广州机械科学研究院有限公司和广州宝力特液压密封有限公司

3.5 国外竞争对手

3.5.1 美国 MTS 公司

（1）公司情况

MTS 系统公司是全球最大的力学性能测试及模拟系统供应商，是该领域的先驱和领导者。它的总部位于美国明尼苏达州的省府明尼阿波利斯市。MTS 系统公司是以高技术为基础的跨国企业，其产品主要包括：动静态材料试验系

统，汽车零部件及整车台架试验系统、飞机零部件及整机结构试验系统、生物结构测试及模拟系统、建筑结构测试及地震模拟系统、地质及土壤测试系统、纳米硬度表面分析系统、各种类型载荷、位移及应变传感器、线性伺服马达、液压作动缸和各类伺服控制设备等。在液压振动台方面，MTS 公司的产品具有高集成度、体积小等优点，但控制算法采用传统的 PID 算法组合，调试比较麻烦，对于不同的实验对象需要调整不同的控制参数，自适应性能较差。

（2）专利情况

在专利申请方面，MTS 公司的申请如表 3-5 所示。这些申请主要发生在 20 世纪 60 年代末到 80 年代中期，21 世纪以后申请的专利很少，而且目前已经全部失效。其中有 3 项专利一直维持到期限届满才失效，应用价值相对较高，在表 3-6 中对其技术方案进行了详细介绍。

表 3-5 MTS 公司的相关专利列表

序号	公开(公告)号	标题	申请年	INPADOC 同族成员数量	法律状态
1	US3800588A	多轴振动试验装置	1971	5	失效
2	DE2502256A1	伺服阀控制的液压节流压力	1975	4	失效
3	MX230220B	利用这种模型生成非线性模型和生成激活密封进行模拟试验。	2001	1	失效
4	DE2221964C2	振动台	1972	5	失效
5	DE2533480A1	振动台焦距补偿装置	1975	3	失效
6	EP0169899B1	工作台联轴器	1985	7	失效
7	DE2533478A1	刚性工作台多驱动控制中的倾摆扭矩补偿	1975	3	失效
8	DE2533479A1	多用驱动控制装置	1975	3	失效
9	US3921286A	压力平衡静压滑动轴承用于导向和约束系统	1974	2	失效
10	DE3571208D1	预装表联轴器	1985	7	失效
11	ES2627000T3	具有软反应结构的测试系统	2007	7	失效
12	US3442120A	伺服阀控制液压共振机	1966	1	失效
13	GB1491143A	液压伺服阀控制拔罐器	1975	4	失效
14	US4503888A	用于数字旋转伺服阀的伺服阀芯控制	1983	1	失效
15	DE3378929D1	伺服控制压力机的十字头和摇枕间距控制	1983	10	失效

表 3-6 重要相关专利解读表

公开号	名称	申请日	技术问题	技术手段
US3442120A	伺服阀控制液压共振机	1966-04-19	提供一种共振疲劳测试系统，使用共振液压流体来代替弹簧有效质量，并结合液压控制器来补偿系统中的能量损失。	一种用于测试弹性样本的疲劳测试机，包括：一个框架，在框架上支撑所述样本的装置；与所述样本连接的有效质量的装置，选择所述有效质量以使整个样本质量系统的固有频率在所需范围内；第一液压致动器可操作地连接到所述样本和质量，传送与所述样品上的负载成比例的信号的换能器；液压伺服阀，该液压伺服阀控制在压力下进出所述第一液压致动器的液压流体的流动；控制装置响应于来自换能器的信号，以基本上对应于所述样品质量系统的固有频率的频率周期性地致动所述伺服阀；第二液压致动器，其活塞可操作地连接至所述样本和质量，蓄能器打开至所述致动器之一，使所述致动器具有软弹簧的性能，并通过所述第二致动器保持所述样本上的负载的装置。
US3800588A	振动试验装置的多轴控制系统	1971-04-30	提供一种用于在沿多个轴振动时控制刚性结构的运动的系统。	振动测试装置，包括多个用于向刚性结构施加振动运动的致动装置，第一装置提供代表由所述致动装置产生的所述结构的所需平均位移的指令信号，第二装置提供代表所述结构的实际平均位移，第三装置用于区分所述实际平均位移信号以提供代表平均结构位移速率的信号，第四装置提供代表由所述致动装置施加到所述结构的平均力的信号，第五装置通过所述致动装置提供代表施加到所述结构的平均力不等式的信号，第六装置连接到所述第一，第二，第三，第四和第五装置，用于从所述信号导出用于每个所述致动的控制信号。
US3921286A	压力平衡静压滑动轴承	1974-05-16	提供一种用于引导和约束系统的压力平衡滑动轴承。	压力平衡流体静压滑动轴承用于引导和约束在纵向上振动以振动或摇动测试物体的测试台，并且还可以在垂直方向上摇动。滑动轴承在操作期间控制工作台的横向位置。第二滑动轴承将恒定的压缩预载力施加到工作台的一侧，而另一个压力平衡轴承是位于工作台的相对侧的恒定位移轴承，以对在操作期间施加在工作台上的侧向力作出反应。

3.5.2 美国英斯特朗公司

(1) 公司情况

英斯特朗（Instron）公司于 1946 年在美国马萨诸塞州波士顿市成立，是材料测试行业全球公认的市场领导者。

英斯特朗公司制造的试验机用于测试不同环境中各种材料、部件和结构的

物性特性和力学性能。从螺杆驱动的电子万能测试系统，到电液伺服疲劳测试系统，冲击测试系统，流变测试系统，生物组织工程检测，再到结构试验和碰撞模拟系统，各种系统及配件应有尽有，几乎覆盖全球所有市场及行业，包括航空航天，再生医学，能源，电力，重工业，电子和汽车制造等。

（2）主要产品

英斯特朗公司的产品线包括：万能材料试验系统，动态疲劳，冲击，流变学，热机械和扭转试验机等。此外还生产用于测试整体结构和部件（主要用于汽车制造业）的结构测试系统。

万能材料试验系统

万能材料试验机包括电子和液压系统，用于进行静态试验，如拉伸、压缩、弯曲、剥离、撕裂和其他力学试验。

系统类型	性能说明	产品系列
低力值万能材料试验机	单立柱和双立柱台式试验系统的试验载荷范围为 0.02 N (2 gf) 到 50 kN。低力值系统适用于拉伸、压缩、弯曲、剥离等试验。	3400 系列、6800 系列
高力值万能材料试验机	高力值落地式试验系统的试验载荷范围为 100 kN 到 2,000 kN。这些系统可以是电动机械或液压式，可用于拉伸、压缩和弯曲试验。	电子式 5980 系列、静态液压工业系列、电子式 3382A
定制的万能试验系统	对于那些需要超出标准尺寸的机架的测试应用，可以设计专门的系统以满足需求 - 包括更高或更宽的机架、定制安全功能、高速机架、自动化/机器人等。	——
EXTEND™ 系统升级	EXTEND 系统升级通过更换风险组件并使用 Instron 最新软件和附件，延长了试验系统的使用寿命。电子机械和静态液压系统均可选择此选项。	——

动态疲劳

英斯特朗提供范围广泛的完全集成的动态和疲劳测试系统，从 1000 N 到 5000 kN。这些测试仪器结合了伺服液压、伺服电动和直线电机技术，涵盖了广泛的疲劳、动态和静态测试应用。这些应用包括高周疲劳、低周疲劳、热机械疲劳、断裂力学、裂纹扩展和增长研究、断裂韧性、双轴、轴向扭转、多轴、高应变率、准静态、蠕变、应力松弛和其他类型的动态和静态测试。

冲击

英斯特朗的冲击试验产品包括落锤冲击试验系统和摆锤冲击试验机。其中，落锤冲击试验系统 9400 系列是研究塑料和复合材料的冲击性能和模拟现实生活中的冲击事件以提高产品设计的理想解决方案。摆锤冲击试验机为不断增

长的对大范围材料的精准、可重复性冲击测试需求而设计，用于判定金属、聚合物、复合材料和成品的力学及物理性能，以进行研究开发（R&D）和质量控制（QC）。摆锤冲击系列能够按国际标准进行夏比，悬臂梁和拉伸试验。作为非仪器化系统，它能提供吸收能量值。通过对摆锤系统进行各种不同的装配，可以对材料的冲击反应影响进行更全面的研究。结果信息用来对失效类型和动态冲击反应的评估。

流变学

Instron 系列 CEAST 流变仪用于测量热塑性塑料的流变性能，以表征实际加工条件下聚合物熔体的流动行为。流变测试可以通过多种流变系统实现，例如熔体流动速率测试仪和毛细管流变仪。

其中，熔体流动速率测试仪可为高精度测量流变学领域中热塑性塑料的质量控制提供所需的 MFR 和 MVR 等基本数据。台式毛细管流变仪适用于实验室的质量控制和研发工作，双立柱主机架结构的设计有助于达到最佳性能。其速度比为 1: 500,000，对应于 0.0024 至 1200 mm/min 的活塞速度，可以在恒定剪切速率或恒定速度下无限步进行测试。符合 ISO、ASTM 及其同等标准。

热机械

热机械测试系统用于表征塑料在高温下的行为，测量热变形温度（HDT）和维卡软化点温度（Vicat）。HDT 和 VICAT 测试仪适用范围广泛，既有适用于实验室质量控制的简单设备，也有适用于先进的自动化测试系统。

扭转试验机

英斯特朗为扭转试验领域提供多种选择——包括具有各种载荷容量的独立扭转试验机、可以将单轴系统转换成双轴系统的万能试验系统 torsion add-on 扭转附件，以及拥有轴向和扭转试验能力的动态疲劳试验机。

其中，MT 系列扭转试验机的载荷容量范围为 22.5 Nm 至 5,650 Nm。Torsion Add-On 3.0 扭转附件可以安装在万能试验系统上同时进行轴向和扭转试验。ElectroPuls 全电子动态疲劳试验系统采用专利的双轴电机，具备轴向和扭转功能，用于长期耐用性试验。

（3）专利情况

英斯特朗公司最先提出使用应变片式测量技术来测量材料力值，从 20 世纪

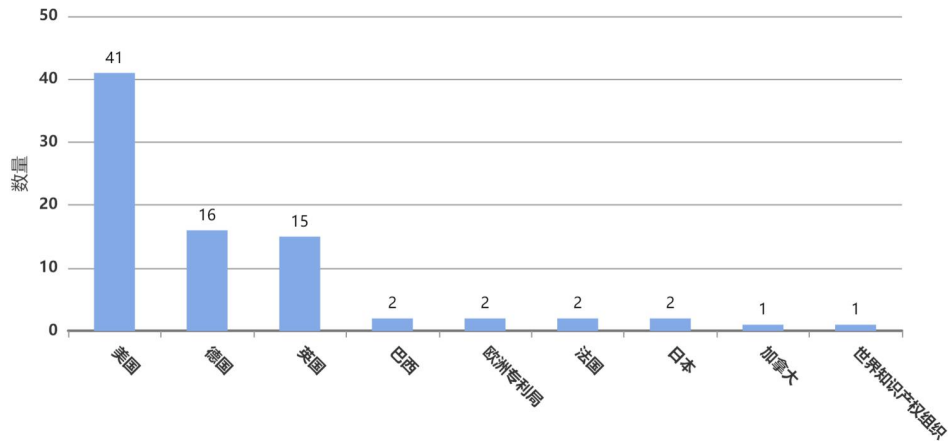


图 3-16 美国英斯特朗公司的专利布局地域分布

除了主要在美国本土申请专利之外，公司也在德国、英国、巴西、法国、日本和新加坡等国家布局了一些专利，还向欧洲专利局、世界知识产权组织递交了国际专利申请。但从法律状态来看，该公司当前处于授权后有效保护状态的专利仅有 3 项，大部分专利已经失效，可以直接借鉴使用。

该公司与液压振动台相关的专利如下表 3-7 所示。

表 3-7 Instron 公司的重要相关专利列表

公开号	名称	申请日	技术问题	技术手段
GB1442048A	试验机	1974-03-26	螺栓连接的可靠性与液压缸的按钮控制提供的操作简便性相结合，为液压振动台的使用提供了故障保护。	拉伸/压缩试验机包括称重传感器 22、液压试样夹持器 18、19（由按钮 20、21 操作）和液压马达 23（由杠杆 37 控制），并驱动链条和链轮 24 以移动立柱 12。压板 11 将立柱 12 引导至通过槽 25 连接至压板边缘的孔中，柱可以通过压紧螺栓 27 夹紧到位，压紧螺栓 27 拧紧到碟形弹簧 32 上，以缩小槽。可通过操作杆 36 和膨胀油缸 33 中的液压活塞 34 来释放每个立柱，使其移动，从而使零件 26 向外顶着弹簧 32 的作用。十字头 13 可配备类似的卡箍，每个槽中可配备两个或三个活塞。
GB1124195A	材料试验机	1967-01-27	本发明的主要目的是在这样一种机器中提供一种用于协调活塞和可移动部件位置的高度准确和可靠且简单的系统，该机器的可移动部件具有通过液压油缸连接到可移动手柄的可移	在材料试验机中，将要测试的试样 64 固定在夹具 28、30 之间。夹具 30 固定为由电磁阀 56 控制的液压油缸的活塞杆 36 上。称重传感器 62 产生负信号，以响应施加在试样上的负载，该信号与正期望负载信号相比较，从源 70，在比较器 68 中，放大输出操作阀 56，选择性地向活塞 34 的一侧或另一侧施加液压。在操作中，机器处于稳定状态，即比较器输出为零，要求增加负载（例如，通过手动调整源 70 中的电位计）时，比较器产生信号，活塞 34 向下移动。线性可变差动变压器感测活塞杆的向下移动，

			动部件。	并向放大器 78 发送正信号，以控制电机 26 的电压大小和极性，电机 26 通过齿轮 20、22、24 和螺钉 16、18，向下移动支撑柱塞油缸 32 的十字头 14，直到活塞再次位于油缸中心，此时差动变压器的输出为零。类似地，要求降低负载会导致活塞向上移动，随后横臂向上移动，使活塞再次居中。
--	--	--	------	--

3.5.3 三菱重工业株式会社

三菱重工业株式会社是日本较早从事液压振动台研究的单位之一，结合图 3-17 可知，从 20 世纪 70 年代末至今该公司一直在持续开展液压振动台的技术研发和专利申请工作。在 1978 年，该公司申请了 3 项涉及设计振动测试设备和控制装置的基础专利，一直维持到期限届满才失效。20 世纪 80 年代，公司围绕载荷加载装置、励磁装置、激励夹具、手动机构、伺服作动器和放大器等重要部组件布局专利。20 世纪 90 年代以后，随着计算机技术的发展，振动台试验设备和振动模拟试验研究进入新的发展阶段。三菱重工也加大了专利申请的力度，尤其是 90 年代中后期，公司针对振动试验机的液压驱动、油压控制、加速度波形畸变控制等申请了多项专利。进入 21 世纪后，三菱重工的振动台相关技术走向成熟，专利申请量明显降低。其中 2008 年三菱重工申请的专利 JP5357447B2 提出了组合多个振动台和振动装置以对样品施加更大的加速度的技术方案，至今维持有效。2017 年，该公司的专利申请 JP2019035645A 公开了一种能够提高工作效率的振动测试装置，通过调节可变节流阀的开度，调节第一压力室和第二压力室之间的压力差，可以调节作用在活塞上的压力，从而调整加速度。此外，由于振动阻尼比可以调节，可以避免在振动台谐振时第一压力室和第二压力室之间的压力差变得太大，易于进行振幅控制。

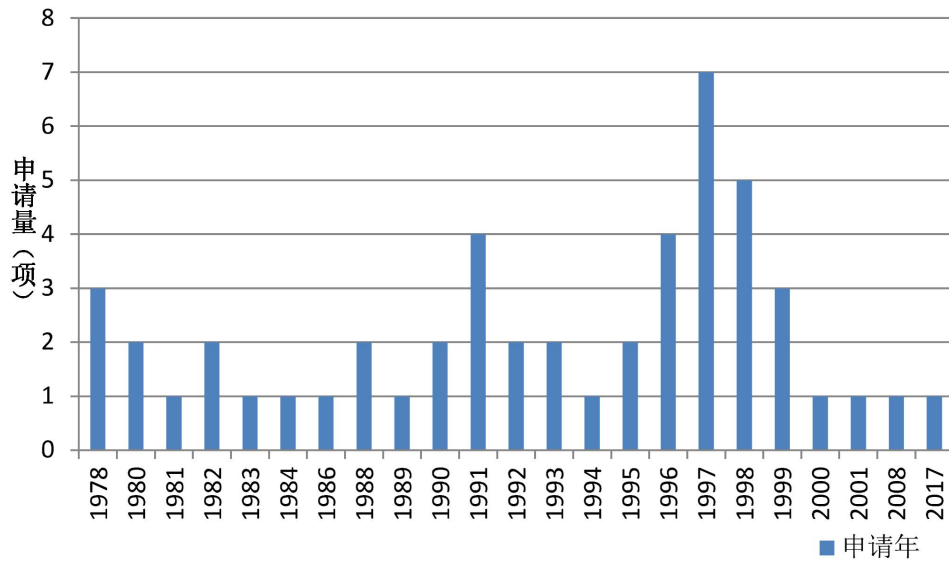


图 3-17 三菱重工相关专利申请趋势

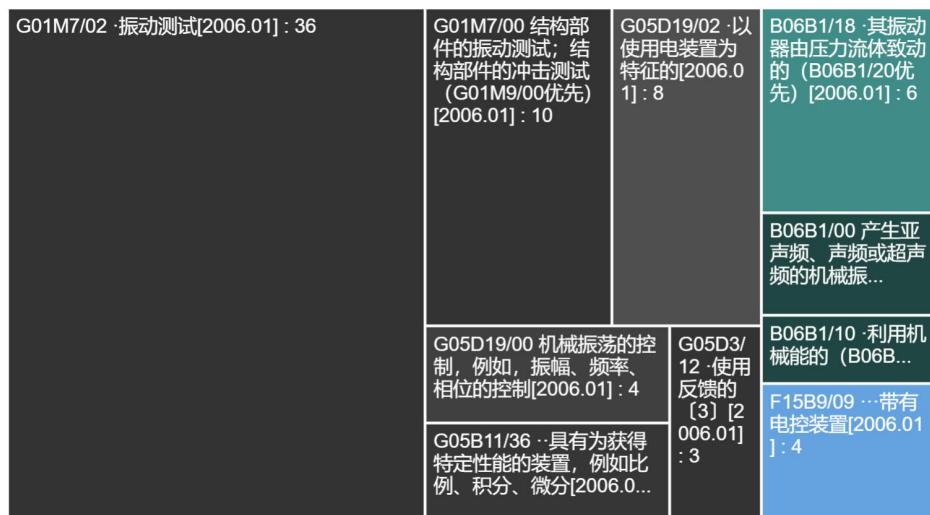


图 3-18 三菱重工的专利技术分布

结合图 3-18 可知，三菱重工的专利主要分布在结构部件的振动和冲击测试装置及其控制方面，其中包括了电控驱动、液压驱动和机械驱动等多种方式。

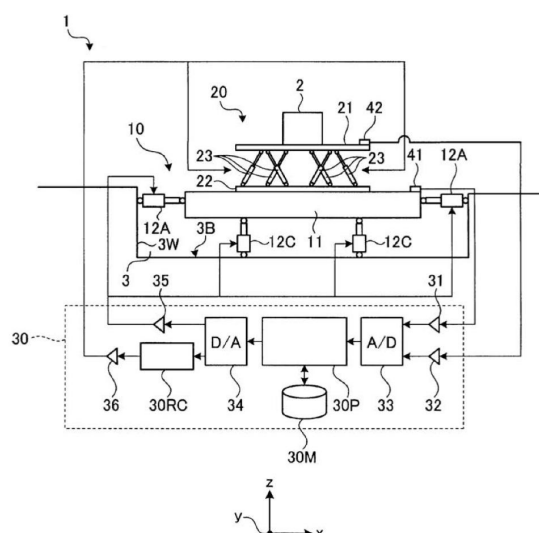


图 3-19 JP5357447B2 的摘要附图

从这些专利申请的法律状态来看，目前绝大多数的专利已经失效，仅有 1 件有效专利和 1 件审查中的专利。其中，目前处于授权有效的专利 JP5357447B2 提供了一种组合有多个振动台和振动装置的振动测试装置中向两个或多个方向的振动输入到测试体的技术方案。如图 3-19 所示，振动测试装置 1 配备有第一激励装置 10，第二激励装置 20 和振动控制装置 30。第一激励装置 10 具有通过第一激励装置至少在两个方向上激励的第一振动台 11。第二励磁装置 20 放置在第一振动台 11 上。第二励磁装置 20 通过由多个液压缸 23 构成平行连杆机构的第二励磁装置激励第二振动台 21。振动控制装置 30 驱动振动第一振动台 11 的振动和第二振动台 21 的振动彼此同步。当试件做出非线性响应时，这减小了控制目标值与试件的实际性能之间的差异。

3.5.4 日立株式会社

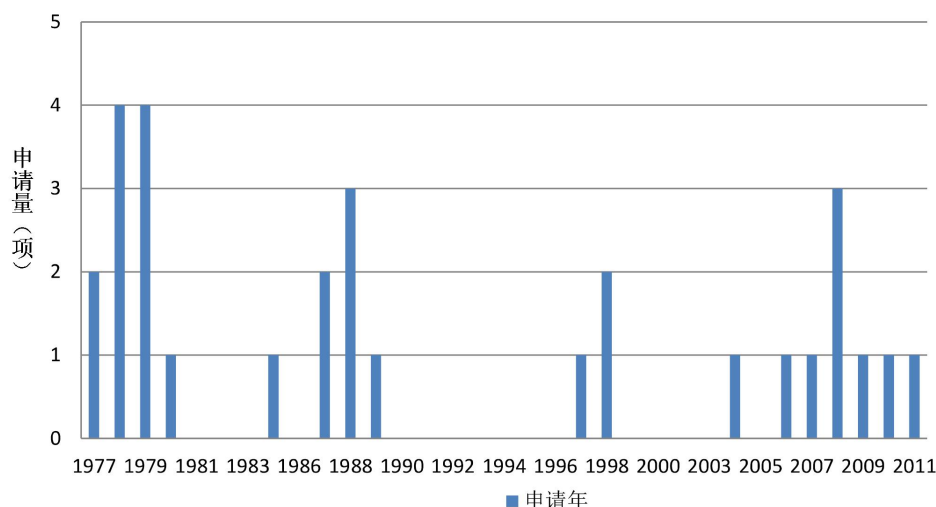


图 3-20 日立公司相关专利申请趋势

在日本的创新主体中，日立公司对振动台的研究起步较早，结合图 3-20 可知，日立公司在液压振动台领域的专利申请可以分为四个阶段：

第一阶段（20 世纪 70 年代末到 80 年代初），日立公司从 1977 年开始围绕液压振动测试仪及其振动控制技术布局专利，涉及振动测试仪的总体设计、控制单元以及输入保护电路等方面。其中专利 US4280083A 公开了一种用于包含加速度限制器电路的伺服系统，当检测到高于与输入信号有关设置的加速度信号时，该伺服系统能够缓慢地停止振动台的运动。从而避免异常输入信号对振动台的可动部分的影响。在该伺服系统中除了作为主反馈回路的位移反馈回路之外，还提供用于补偿目的的速度反馈回路和加速度反馈回路，以便增强控制系统的稳定性并改善控制系统的响应。该专利是三参量伺服控制技术的基础专利，在日本和美国均进行了申请，且一直维持到期限届满才失效。

第二阶段（20 世纪 80 年代中后期），这一阶段日立公司主要围绕振动台的支撑和激励结构、台架、启动控制装置、载荷补偿装置等申请专利。

第三阶段（20 世纪 90 年代中后期），这一时期日立公司主要围绕振动试验机的扰动补偿装置和加振装置申请了几项专利。

第四阶段（2004-2011 年），这一时期日立公司继续对振动测试装置及其控制技术进行优化，针对抑制振动台旋转振动的方法、在设置目标波形时减少驱动限制值的时间段和误差的方法，以及通过补偿从样品接收的特定频率成分的

反作用力来提高目标波形信号的再现性的方法等申请了多项专利。

在日立公司的上述专利申请中，只有 3 项目前仍处于有效状态，如下表 3-8 所示，其余都已经失效。公司近年来在振动台方面基本不再有相关专利申请，反映其可能已经转移了技术研发重心和方向。

表 3-8 日立公司当前有效的相关专利列表

公开号	名称	申请日	技术问题	技术手段
JP5311549B2	振动试验装置	2008-08-08	提供一种能够抑制振动台旋转振动的振动测试仪。	测试仪包括一个安装有待测试样品的振动台，一个执行振动台激励的油压振动激励器，一个使用活塞位移作为任意目标波形进行伺服控制的控制器电路。此外，还包含一个补偿电路，该补偿电路利用油压振动激励器的活塞加速度信号控制在油压缸的工作油压缩中引起的共振特性。
JP5650052B2	振动试验装置及其控制方法	2011-05-11	提供一种振动测试装置及其控制方法，便于控制最大位移的响应幅度和所述测试对象的目标值的最大加速度。	一种振动检测装置，配备有测试对象、液压振动器和用于控制液压振动激励器的伺服控制单元，以及用于检测从液压振动器施加的负荷的负载传感器。所述伺服控制单元的振动控制装置包括用于检测加速度的多个加速度传感器和响应波形计算处理单元，响应波形计算处理单元计算固有频率和测试对象相对于响应波形的最大幅值之间的关系。振动试验条件设定部用于设定固有频率和所述测试对象相对于所述响应波形产生的振动试验条件下的最大振幅之间的关系。
JP5202874B2	铁路车辆行走测试设备	2007-05-29	提供一种在实际行驶过程中短时间内低成本地获得铁路车辆装载设备的动态行为或性能评估的方法。	用于铁路车辆的运行测试装置配备有轨道轮、轨道轮电动机、轨道轮液压振动器、卡车液压振动器、车身液压振动器、液压系统、飞轮装置和控制装置。控制装置配备有行进控制装置，该行程控制装置能够使轨道轮电动机和铁路车辆两者产生轨道阻尼，并且通过铁路车辆装载装置控制与驱动或阻尼的实际车辆相当的负载；振动控制装置，用于控制液压振动器再现相当于实际车辆的振动。行驶控制装置以与实际车辆相同的速度执行铁路车辆的行驶控制，同时以相当于实际车辆的行驶阻力模拟轨道车轮电动机。振动控制装置再现动态相当于与里程相对应的实际车辆的振动。

3.6 国内竞争对手

3.6.1 苏试试验公司

苏试试验集团是一家国内领先、国际知名的环境与可靠性试验设备和试验服务及解决方案的提供商，是我国环境与可靠性试验领域的领导者之一。集团的前身是苏州试验仪器总厂，创建于1956年，2008年引入战略投资者，组建苏州苏试试验仪器有限公司，2011年整体变更为苏州苏试试验仪器股份有限公司。2015年1月22日，苏州苏试试验仪器股份有限公司在深圳证券交易所创业板上市，成为业内首家上市公司。2017年8月25日，正式成立苏州苏试试验集团，同时苏州苏试试验仪器股份有限公司更名为苏州苏试试验集团股份有限公司。2019年10月成功收购宜特（上海）检测技术有限公司，进军集成电路检测领域，为客户提供集成电路供应链验证分析解决方案，具备了从集成电路元器件级、产品部件级到系统级的全产业链可靠性试验、验证分析能力，成为行业的领军者之一。

在试验设备方面，苏试试验公司的产品主要涉及力学环境试验设备、综合环境试验设备、气候环境试验设备、分析测试系统及传感器制造等四大领域。其中力学环境试验设备又包括了Dc系列通用型电动振动台（风冷、水冷）、DL系列大位移电动振动试验系统、多激励多轴电动振动试验系统、三轴六自由度电动振动试验系统、冲击试验台、冲击响应谱、离心机加振动、Spider-8180X振动控制与动态信号分析系统、西门子LMS数字式集成的振动噪声、RC-3000系列数字式振动控制与动态等产品。

截至检索日，苏试试验集团共申请了388项国内外专利，其中，有2项PCT国际申请，3项美国申请，其余383项均为中国申请。这些申请的时间分布如图3-21所示。从中可以看出，苏试试验集团的专利申请有两个高峰期，一是2007-2008年，二是2019年-2020年，其余年份的申请量基本在10项上下波动。这些专利的主要技术分布如图3-22所示，从中可以看出，振动测试、冲击测试、多向测试台装置是该公司专利申请和布局的重点方向。

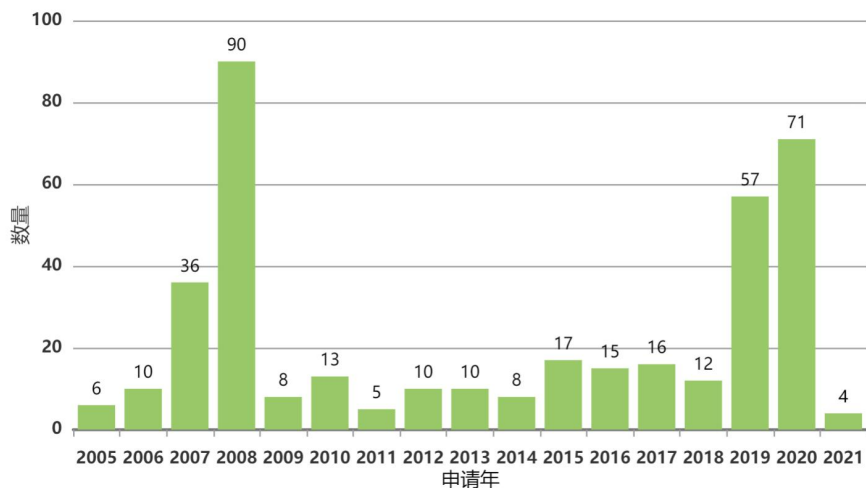


图 3-21 苏试试验公司的专利申请时间分布

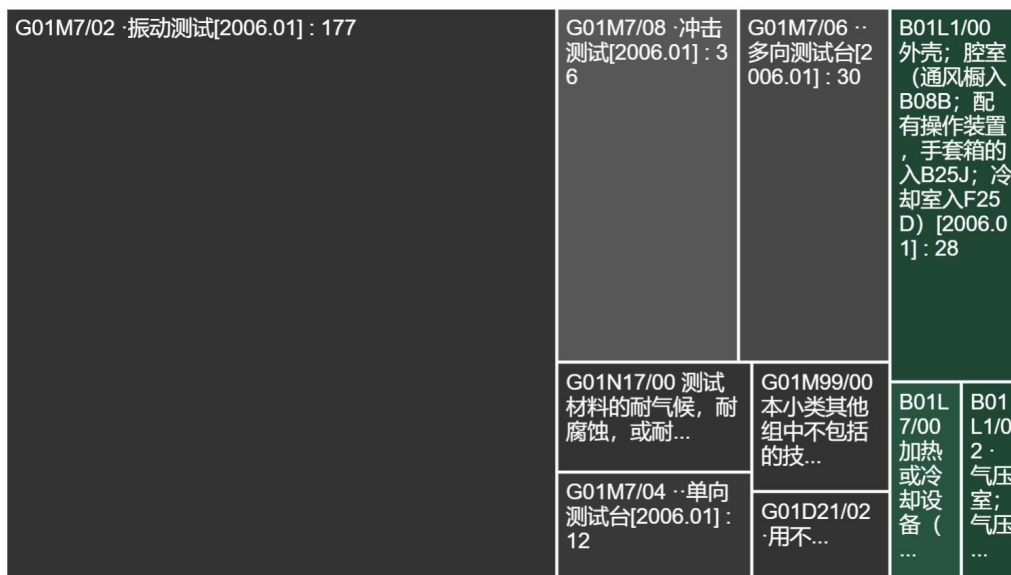


图 3-22 苏试试验公司的专利申请技术分布

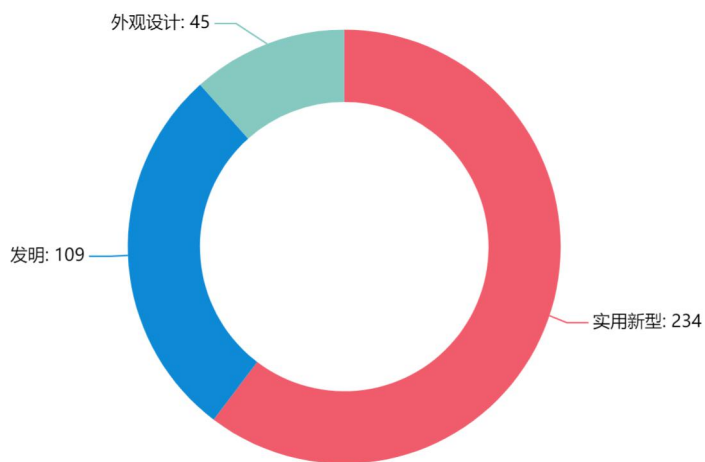


图 3-23 苏试试验公司的专利申请类型分布

从专利申请的类型来看，苏试试验公司的专利申请中 60%为实用新型专

利，28%为发明专利，12%为外观设计专利。

在液压振动台方面，公司从2007年起至今一共申请了24项相关专利，具体如下表3-9所示，其中有3项外观设计专利申请，13项实用新型专利申请，8项发明专利申请。

表 3-9 苏试试验集团的相关专利列表

序号	公开(公告)号	标题	申请年	发明人	法律状态
1	CN104515663B	一种跳联式双台面水平液压振动台	2014	胡新华 钟琼华	有效
2	CN109341996B	振动台水平滑台液压油回油流量的自动调节控制方法	2018	陈勇 姜健 聂长禄	有效
3	CN109341995A	振动台水平滑台液压油回油流量的自动调节系统	2018	陈勇 赵斌 丁赛菊	审中
4	CN209311031U	振动台水平滑台液压油回油流量的自动调节系统	2018	陈勇 赵斌 丁赛菊	有效
5	CN204330265U	一种跳联式双台面水平液压振动台	2014	胡新华 钟琼华	失效
6	CN107643155A	一种带有保持机构的液压球面连接器	2017	周津 钟琼华	审中
7	CN207379696U	带有弹性保持机构的液压球面连接器	2017	周津 钟琼华	有效
8	CN207379697U	一种带有保持机构的液压球面连接器	2017	周津 钟琼华	有效
9	CN201653671U	液压驱动冲击响应谱试验台	2010	胡新华 钟琼华	失效
10	CN207832415U	伺服油缸同步砧板升降装置	2017	丁赛菊 李二攀	有效
11	CN111595543A	一种复合式的振动试验装置	2020	葛鹏飞 王振洋	审中
12	CN212030867U	复合式的振动试验装置	2020	葛鹏飞 王振洋	有效
13	CN107748051A	一种摆锤式中型冲击机	2017	丁赛菊 李二攀	审中
14	CN207540758U	一种摆锤式中型冲击机	2017	丁赛菊 李二攀	有效
15	CN301134225D	液压振动台(垂直水平一体式)	2009	胡新华 钟琼华	失效
16	CN111749957A	一种大负载摇摆台用高压油源的控制装置及其控制方法	2020	聂长禄 史强	审中
17	CN201210106Y	垂直水平一体液压振动试验台	2008	胡新华 钟琼华	失效
18	CN201217640Y	油水分离装置	2008	李平 钟琼华	失效
19	CN300935576D	液压振动台控制仪(KE-2000)	2008	秦海琳 胡新华	失效

20	CN300909412D	垂直液压台台体	2008	胡新华 钟琼华	失效
21	CN100570308C	机械式同步异步一体的颠簸试验台	2008	胡新华 黄秀君 张雷雷	有效
22	CN201203511Y	机械式同步异步一体的颠簸试验台	2008	胡新华 黄秀君 张雷雷	失效
23	CN201130085Y	振动台水平滑台挡油装置	2007	陈齐民 郑建洲	失效
24	CN201122122Y	水平滑台辅助滤油结构	2007	陈齐民 郑建洲	失效

3.6.2 济南试金公司

济南时代试金试验机有限公司是由北京时代集团与济南试金集团共同创建的专业生产试验机的高新技术企业。时代集团成立于 1984 年，目前已发展成为一个拥有 15 亿元总资产，5 亿元净资产，下辖检测仪器、焊接设备、试验机、仪器设备、调味品等五大产业的高科技企业。济南时代试金试验机有限公司（济南试金集团有限公司）是时代集团具有独立法人的子公司，始建于 1952 年，主导产品为电子万能试验机、液压万能试验机、大型专用试验机、动态试验系统、摩擦磨损试验机、液压压力试验机。产品多次荣获国优、部优、省优称号。试金牌（SJ 牌）试验机被评为山东省名牌产品，公司连续 22 年处于行业排头兵地位，拥有国家级企业技术中心。

2010 年公司在济南经济技术开发区，投资 1.8 亿元，建成了试验机行业现代化企业。新公司占地 102 亩，建筑面积 46800 平方米，其中研发办公面积 11700 平方米，生产加工车间 35000 平方米，拥有铸造、热处理、喷涂、大件、附具、轴类、电气、油源、主机、调试等 10 条生产线，各类大型数控加工中心、专用机床设备 131 台（套）。

在产品方面，公司拥有包含液压万能试验机、电子万能试验机、压力试验机、压剪试验机、摩擦磨损试验机、卧式拉力试验机、电子式蠕变持久试验机、脉动疲劳试验机、液伺服动静万能试验机、钢绞线试验机、松弛试验机、锚固试验机、弯曲试验机、弹簧试验机、机控制弹簧拉压试验机、全自动弹簧拉压试验机、数显式弹簧拉压试验机、弹簧疲劳试验机、弹簧扭转试验机、弹簧专用试验机系列、扭转试验机、冲击机和硬度计等在内的二十多个门类产品。

在专利申请方面，截至检索日，济南试金公司共申请了 157 项专利，全部

分布在中国，其时间分布如下图 3-24 所示。可见，2013-2016 年该公司集中布局了一大批相关专利，其余年份公司的年申请量均小于 10 项。从技术分布来看，该公司的专利主要分布在试验机的零部件、夹具、测试装置和测试方法等方面。从专利申请的类型来看，苏试试验公司的专利申请中 48%左右为实用新型专利，29%为外观设计专利，23%为发明专利。

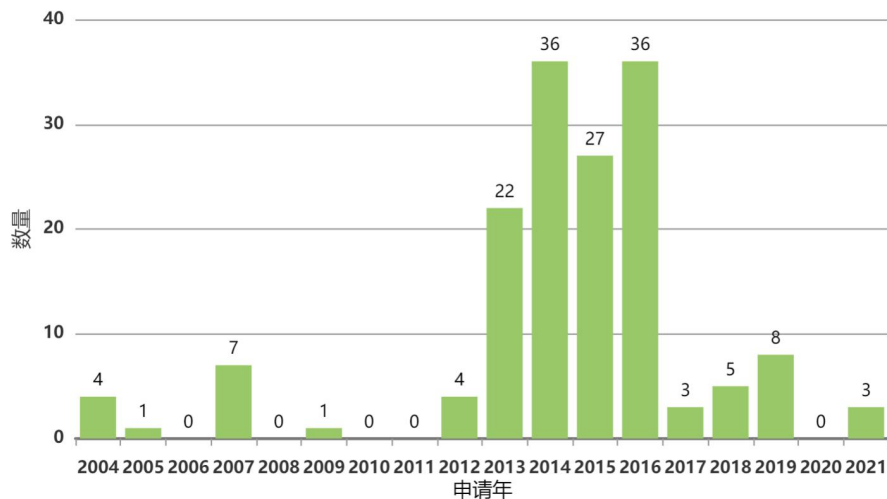


图 3-24 济南试金公司的专利申请时间分布

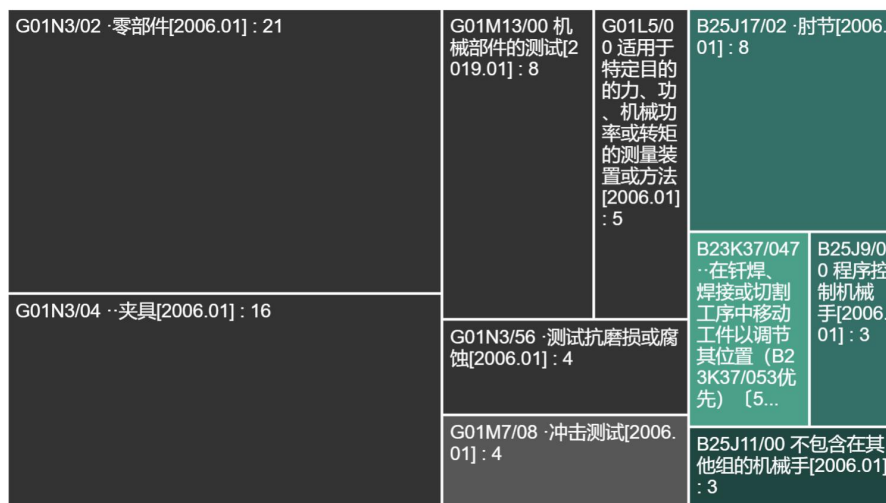


图 3-25 济南试金公司的专利技术分布图

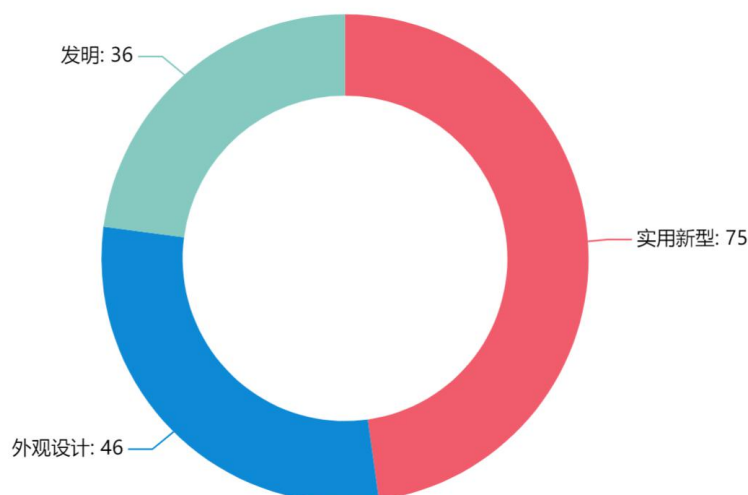


图 3-26 济南试金公司的专利申请类型分布

在液压振动台及电液伺服控制方面，目前没有检测到该公司的相关专利申请。

3.6.3 富力通达公司

北京富力通达科技有限公司(FTS)是一家专业的试验系统公司，致力于多通道协调加载试验系统和振动试验系统的研发。公司成立于 2001 年 8 月，由业界资深专家刘杰先生协同其他几位业界专家共同创办。

富力通达科技拥有一批在业界享有盛名的专家，在试验系统、计算机软硬件、自动控制、液压伺服控制、机械等领域有很深的理论研究和实践经验公司，同时具备全面的机械加工生产能力，并以自成体系的先进的管理系统使整个企业在高效能下运行。2002 年 3 月企业顺利通过 ISO 9001 2000 版质量体系认证，2002 年 7 月，公司获得北京市高新技术企业认证。

在振动试验产品方面，北京富力通达科技有限公司同青岛阿尔斯通公司合作研制出液压伺服油压减振器试验台，该试验台主要用于油压减振器的出厂、型式及疲劳试验，完成油压减振器的 F-S、F-V 曲线以及相应的曲线分析。具体参数如下：力传感器:±25KN(静态)、±20KN（动态）、采用 MTS 传感器，轮辐式结构。行程:0-±75mm，试验行程可调，采用 MTS 位移传感器。试验速度: 0.001-1m/s (常用速度:0.001-0.5m/s) 减振器安装尺寸范围:100-1200mm。



图 3-27 富力通达同青岛阿尔斯通合作研制出液压伺服油压减振器振动台

此外，富力通达还为中国汽车研究中心专门设计的 8 通道汽车安全带试验台，试验系统伺服作动器作动器最大加载能力为 30kN，行程 900mm，系统共有 8 个伺服作动器，根据试验的需要可以选定伺服作动器的数量进行试验，适用于各种车型的安全带试验，可以采用位移及载荷两种工作方式进行的试验，每个油缸的最大工作速度为 0.2m/s。



图 3-28 富力通达研制的汽车前桥试验台

在振动台控制器方面，富力通达科技有限公司研制了具有 3 级分布式控制结构的全数字伺服控制器系统，即管理级（PC 机），协调修正级（PC/104 模块）和实时控制级（通道级和伺服控制器等模块）。全数字电液伺服协调加载试验系统由四大部分组成：全数字电液伺服协调加载控制系统；静载推力分别为

30kN 的电液伺服作动器；液压伺服油源(额定流量 100L/min)；含有高低压蓄能器、滤油器、开关阀、压力表的分油器及液压管路系统。

在试验的过程中，用户可以随时干预试验，如调整 PID 参数，阀控参数、保持、加速、增幅、减幅、卸载等，以保证试验的精确性。



图 3-29 富力通达公司的全数字伺服控制器系统

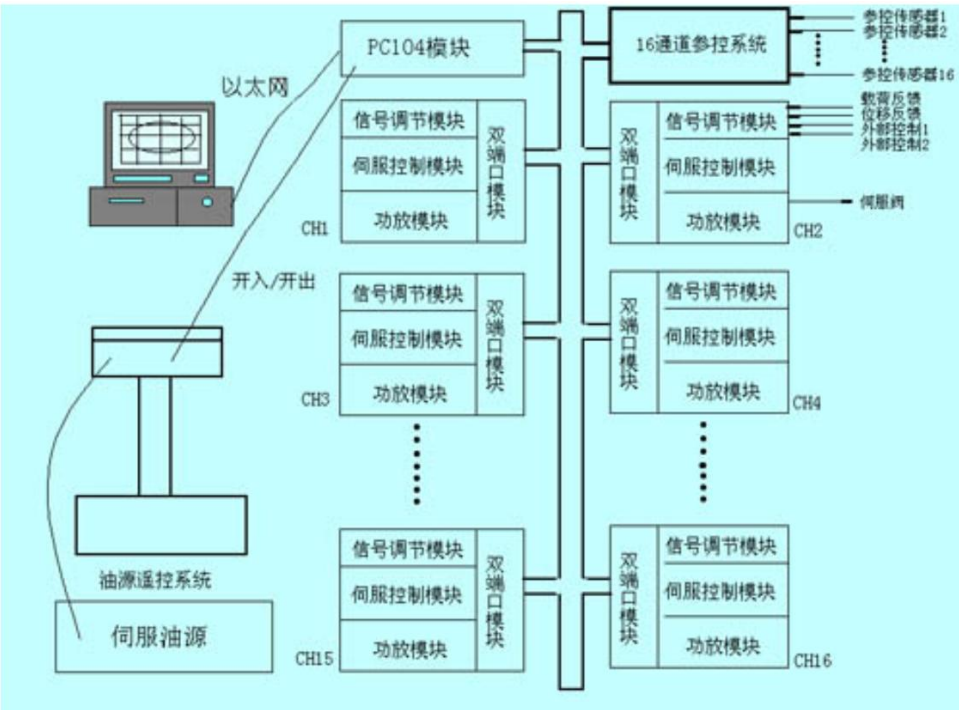


图 3-30 富力通达公司的多通道协调加载控制系统方框图

在专利申请方面，截至检索日，富力通达公司共申请了 27 项中国专利，均是在 2017 年提交的，如下表 3-10 所示，其中部分已经获得了授权。

表 3-10 富力通达公司的相关专利列表

序号	公开(公告)号	标题	申请年	发明人	法律状态
----	---------	----	-----	-----	------

1	CN107813961B	一种液压伺服油缸同步加载的装置及控制方法	2017	刘杰	有效
2	CN107560933A	一种能够抵消静态载荷的动态激振液压缸	2017	刘杰	审中
3	CN107630848A	一种大流量液压装置	2017	刘杰	审中
4	CN107621422A	一种液压软启动装置	2017	刘杰	审中
5	CN107576493A	一种液压伺服油缸同步加载的装置	2017	刘杰	审中
6	CN107605858A	一种伺服控制机构装置及并联同步的控制方法	2017	刘杰	审中
7	CN207396188U	一种静音液压驱动装置及驱动方法	2017	刘杰	有效
8	CN207396187U	一种大型压剪试验机横梁锁紧机构	2017	刘杰	有效
9	CN207650040U	垂向加载与水平运动导轨的压剪试验机	2017	刘杰	有效
10	CN107630839A	多通道协调加载系统相位和幅值的控制方法	2017	刘杰	审中
11	CN207406574U	垂向加载与水平运动导轨的压剪试验机	2017	刘杰	有效
12	CN107621421A	一种提高大量程伺服油缸位移控制精度的装置	2017	刘杰	审中
13	CN207570937U	一种静音液压驱动装置	2017	刘杰	有效
14	CN208091679U	一种液压伺服油缸同步加载的装置及控制方法	2017	刘杰	有效
15	CN107524649A	一种能够抵消静态载荷的动态激振液压缸	2017	刘杰	审中
16	CN207393627U	一种大流量液压装置	2017	刘杰	有效
17	CN207568964U	一种液压软启动装置	2017	刘杰	有效
18	CN207393592U	一种液压伺服油缸同步加载的装置	2017	刘杰	有效
19	CN207393607U	一种伺服控制机构装置及并联同步的控制方法	2017	刘杰	有效
20	CN107559266A	一种静音液压驱动装置及驱动方法	2017	刘杰	审中
21	CN107605866A	一种大型压剪试验机横梁锁紧机构	2017	刘杰	审中
22	CN207396212U	垂向加载与水平运动导轨的压剪试验机	2017	刘杰	有效
23	CN107607407A	多通道协调加载系统相位和幅值的控制方法	2017	刘杰	审中
24	CN107797452A	垂向加载与水平运动导轨的压剪试验机	2017	刘杰	审中
25	CN207396233U	一种提高大量程伺服油缸位移控制精度的装置	2017	刘杰	有效
26	CN207393632U	一种静音液压驱动装置	2017	刘杰	有效
27	CN207583750U	一种液压伺服油缸同步加载的装置及控制方法	2017	刘杰	有效

3.6.4 杭州亿恒公司

杭州亿恒科技有限公司成立于 2002 年，是一家集研发、生产、销售及服务于于一体的综合型技术企业，依托浙江大学流体动力与机电系统国家重点实验室

陈章位教授创新团队，从事振动台生产与制造等业务，其研制的液压振动系统具有双闭环液压振动控制器（图 3-31）、大推力（从几吨到几百吨）、低频率（频率可达到 0.1Hz-400Hz）、大位移（位移可达到±200mm）、多自由度（从垂直或水平的单自由度试验到三轴六自由度试验）等特点。

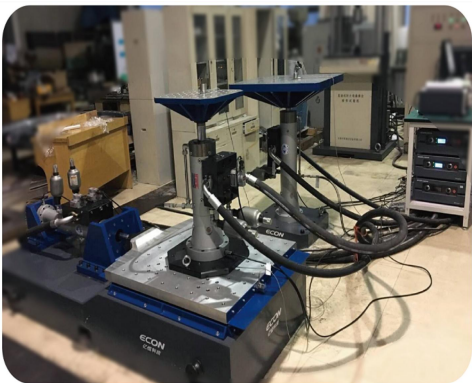


图 3-31 亿恒公司的双轴向液压振动试验系统

表 3-11 亿恒公司液压振动试验系统参数

设备型号	滑台型号	台面尺寸 (mm)	正弦推力 (kgf)	频率范围 (Hz)	最大位移 (mm)	最大速度 (m/s)	最大负载 (kg)	泵站型号	基础配置
HVS-25 水平液 压振动	HHT-800	800× 800	2500	0.1- 160	220	1	500	HPU- 120	混凝 土基 础
	HHT-1000	1000× 1000							
HVS-25 垂直液 压振动	HVT-800	800× 800	2500	0.1- 160	220	1	500	HPU- 120	混凝 土基 础
	HVT-1000	1000× 1000							
HVS-50 水平液 压振动	HHT-800	800× 800	5000	0.1- 160	220	1	1000	HPU- 200	混凝 土基 础
	HHT-1000	1000× 1000							
	HHT-1200	1200× 1200							
HVS-50 垂直液 压振动	HVT-800	800× 800	5000	0.1- 160	220	1	1000	HPU- 200	混凝 土基 础
	HVT-1000	1000× 1000							
	HVT-1200	1200× 1200							
	HVT-1400	1400× 1400							
HVS- 100 水	HHT-1000	1000× 1000	10000	0.1- 120	220	1	1500	HPU- 400	混凝 土基

平液压 振动	HHT-1200	1200× 1200							础
	HHT-1400	1400× 1400							
HVS- 100 垂 直液压 振动	HVT-1000	1000× 1000	10000	0.1- 120	220	1	1500	HPU- 400	混凝 土基 础
	HVT-1200	1200× 1200							
	HVT-1400	1400× 1400							
HVS- 150 水 平液压 振动	HHT-1200	1200× 1200	15000	0.1- 120	220	1	2000	HPU- 600	混凝 土基 础
	HHT-1400	1400× 1400							
	HHT-1600	1600× 1600							
HVS- 150 垂 直液压 振动	HVT-1200	1200× 1200	15000	0.1- 120	220	1	2000	HPU- 600	混凝 土基 础
	HVT-1400	1400× 1400							
	HVT-1600	1600× 1600							

亿恒科技基于液压振动台建立的地震模拟振动试验系统，在水平、垂直方向都可以灵活的布置作动缸，采用振动控制器和伺服控制器，实现双水平（X—Y 向）、三轴向、三轴六自由度振动控制，提供不同推力的振动台和承载台面，满足不同的地震模拟试验的要求，主要用于土木工程结构，电力、通信、核电等机电设备抗震能力的试验，该振动系统推力大，行程长，能模拟极低频率的地震波，从而可以评价土木结构的抗震能力。



图 3-32 亿恒公司的液压振动台

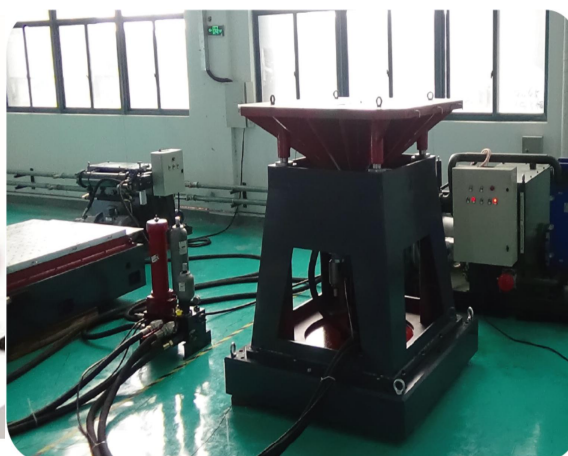


图 3-33 地震模拟液压振动试验系统

亿恒科技研发了先进的数字式振动控制器和三参量伺服控制器，采用分布

式结构体系，闭环控制由 DSP 处理器实现，PC 机独立于控制环之外，保证了控制系统的实时性、高效率，能及时、快速地响应试验系统的变化，有效保证了伺服控制精度，系统的稳定性、可靠性和准确性，并在非线性修正、改善控制频响特性等方面性能卓越。

Premax VT-6008伺服振动控制器

- 伺服与振动控制于一体
- 频率范围：0.1Hz-1,000Hz
- 集成PID控制
- 双闭环控制
- 数字显示屏
- 可靠的系统以及用户定制的系统设计



Premax MIMO振动控制器

- PXI总线结构，实时操作系统
- 单机16-64个输入通道
- 每个输入通道独立的24位ADC
- 多DSP并行处理技术
- 100/1000MB以太网接口
- 灵活丰富的软件模块



图 3-34 亿恒公司的振动控制器

在液压振动台方面，亿恒公司从 2010 年起至今一直在申请相关专利，具体如下表所示，其中有 4 项外观设计专利申请，3 项实用新型专利申请，7 项发明专利申请。

表 3-12 杭州亿恒公司的相关专利列表

序号	公开(公告)号	标题	申请年	公开(公告)日	法律状态
1	CN202058011U	一种基于 PXI 总线多轴向多点振动控制器	2010	2011-11-30	失效
2	CN302241309S	垂直液压振动台	2012	2012-12-19	失效
3	CN302298125S	垂直水平液压振动台	2012	2013-01-23	失效
4	CN302307419S	三轴向液压振动台	2012	2013-01-30	失效
5	CN203412834U	一种基于 DSP 的电液伺服控制器	2013	2014-01-29	有效
6	CN203722583U	一种伺服功率放大电路	2013	2014-07-16	有效

7	CN105043701A	一种具有零位自适应跟踪功能的振动控制系统	2015	2015-11-11	失效
8	CN106052994B	集成式振动监测试验装置及其试验方法	2016	2019-03-01	有效
9	CN106773705B	一种用于减振消噪的自适应主动控制方法及主动控制系统	2017	2017-05-31	有效
10	CN108692956A	双横梁汽车悬架振动试验装置及方法	2018	2018-10-23	失效
11	CN109406258B	基于多传感器的振动幅度加权控制方法	2018	2021-03-23	有效
12	CN111256927A	自适应调节双闭环时间正弦振动控制方法	2019	2020-06-09	审中
13	CN306148405S	振动测试与控制仪	2020	2020-06-12	授权
14	CN112098026A	一种噪声及环路检测加速方法及其系统	2020	2020-12-18	审中

3.6.5 航天 702 所

北京强度环境研究所建于 1956 年，是中国航天系统结构强度和环境可靠性工程的专业中心研究所（702 所），是国内建立最早、规模最大的结构强度与环境可靠性工程研究与试验中心之一，也是“可靠性与环境工程技术”国防科技重点实验室的依托单位，专业范围包括振动试验、冲击试验、结构模态试验、高温试验、低温试验、热强度试验、特种环境试验（微重力）等。

702 所从 2014 年起开始在液压振动台领域布局专利，内容涉及振动试验装置、时域波形再现系统、振动台翻转装置、多通道控制系统、振动控制方法、减振底座等方面。其中，当前授权有效的有 7 项，处于审查中状态的有 7 项，已经失效的有 3 项，具体如下表所示。

表 3-13 702 所的相关专利列表

序号	公开(公告)号	标题	申请年	公开(公告)日	法律状态
1	CN203657998U	一种联合振动试验装置	2014	2014-06-18	失效
2	CN104764575B	一种联合振动试验装置及方法	2014	2017-08-25	有效
3	CN203732226U	一种采用液压球头非刚性连接的推拉式水平滑台试验系统	2014	2014-07-23	有效
4	CN203858085U	平台三轴飞行振动时域波形再现系统	2014	2014-10-01	有效
5	CN204594649U	一种液压振动台翻转装置	2015	2015-08-26	失效
6	CN106153283B	一种液压振动台翻转装置	2015	2019-02-01	有效
7	CN106153280A	一种舱段级轴向双台同步振动试验系统	2015	2016-11-23	失效
8	CN106444884A	一种用于液压振动试验系统的多	2015	2017-02-22	审中

		通道控制装置			
9	CN106052992B	低交联耦合的运载火箭仪器舱角 振动试验台	2016	2018-11-06	有效
10	CN106523462B	一种高精度位移控制液压缸系统 及其控制方法	2016	2018-02-13	有效
11	CN106768771A	一种振动试验装置	2017	2017-05-31	审中
12	CN107941442A	振动试验装置以及对产品进行振 动试验的方法	2017	2018-04-20	审中
13	CN108709708A	一种飞机副翼作动器的振动试验 系统	2018	2018-10-26	审中
14	CN109323940A	基于液压振动台的母线疲劳试验 装置以及试验方法	2018	2019-02-12	审中
15	CN110243617A	一种综合环境模拟装置	2019	2019-09-17	审中
16	CN212300775U	一种电机直驱式液压振动台翻转 装置	2020	2021-01-05	有效
17	CN112268672A	一种带有减振底座的液压振动系 统	2020	2021-01-26	审中

3.7 侵权风险分析

3.7.1 国内专利壁垒分析

本部分主要对 285 项液压振动台技术领域的在华专利进行技术壁垒分析。

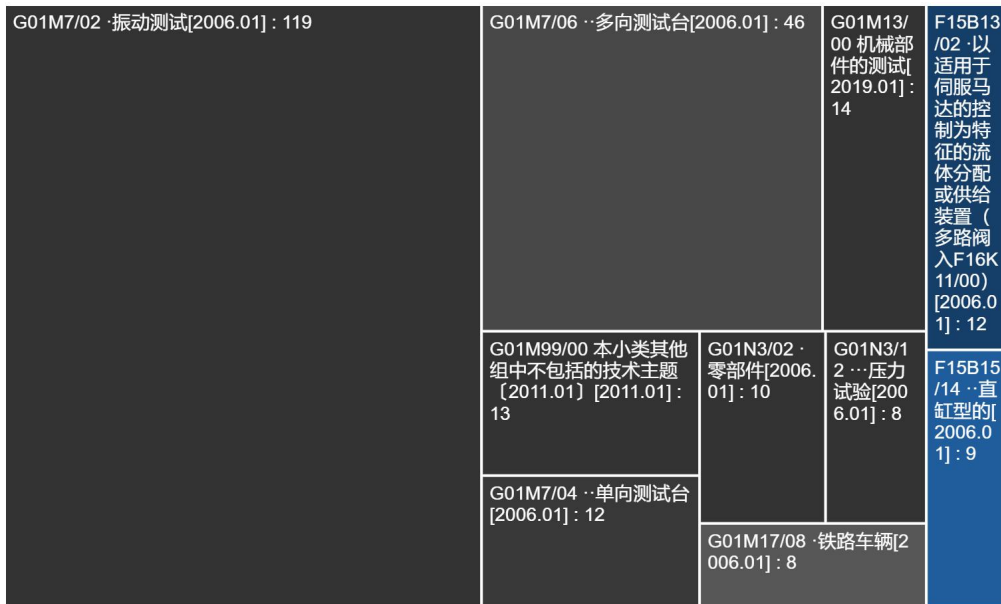


图 3-35 各技术方向的专利壁垒情况

结合图 3-35 可知，国内在液压振动台领域的专利主要分布在振动测试和多向振动台总体设计领域，这说明在这两个方向的专利分布较为密集，专利壁垒相对较多。在零部件测试、单向测试台设计以及伺服控制等领域的专利申请相对较少，技术壁垒和侵权风险相对较小。而在三参量伺服控制的全数字化软件和硬件实现方案等方向当前的国内专利很少，属于行业空白点，有待加强技术攻关和专利申请力度。

3.7.2 专利侵权风险分析

通过分析中机试验公司的全部专利申请内容得知，当前公司在液压振动台方面的专利布局还较少，仅有如下 4 项相关申请，其中 2006 年申请的 2 项专利已经失效，另 2 项专利分别涉及液压振动台的测试夹具和疲劳试验应用，并未涉及结构设计、伺服控制、振动控制等核心技术。

表 3-14 中机试验液压振动台相关专利

公开(公告)号	标题	申请(专利权)人	申请年	发明人	法律状态
CN208736668U	液压测试夹具	儒拉玛特自动化技术(苏州)有限公司 博格华纳联合传动系统有限公司	2018	包智喜 王利利	有效
CN204575309U	一种大型曲轴弯曲疲劳试验装置	中机试验装备股份有限公司	2015	赵洪昌 尹廷林 迟成芳	有效
CN100363732C	立式双轴四缸电液伺服试验机	清华大学 长春试验机研究所	2006	方岱宁 李跃光 鲍沛 董起顺 丁国龙 韩巍 裴永茂	失效
CN100363731C	卧式动静态电液伺服显微观测试试验机	清华大学 长春试验机研究所	2006	方岱宁 丁国龙 李跃光 鲍沛 裴永茂	失效

本节选取上述专利 CN204575309U 作为技术方案，进行该方案的侵权风险分析。旨在提供一种简洁有效的侵权分析方式，同时就这一技术方案开展更为细化的国内专利侵权风险的分析，从而为全面梳理相关的风险专利提供指引。

长春机械科学研究院有限公司（曾用名，后改名为中机试验装备股份有限公司）于 2015 年 4 月 18 日申请了一项申请号为 CN 201520233857.8、名称为“一种大型曲轴弯曲疲劳试验装置”的实用新型专利申请，并于 2015 年 8 月 19 日获得授权。

3.7.2.1 技术方案分析

权利要求 1 一种大型曲轴弯曲疲劳试验装置，其特征在于：悬挂吊具挂在移动天车的起重钩上，钢丝绳一端安装在悬挂吊具的卸扣上，钢丝绳的另一端连接液压夹具的吊环螺钉上，振动杆与液压夹具的振动臂固定连接，振动杆与激震器连接，安全绑带分别与吊环螺钉和底座连接，安全绑带上有校力装置，振动臂位于平台上，平台底部有地脚螺栓，夹具外圈装入振动臂大孔内，液压夹紧缸通过内六角螺钉与夹具外圈固定连接，锁紧螺套将圈弹簧卡头连接在液压夹紧缸上，夹具外圈内安装衬套。

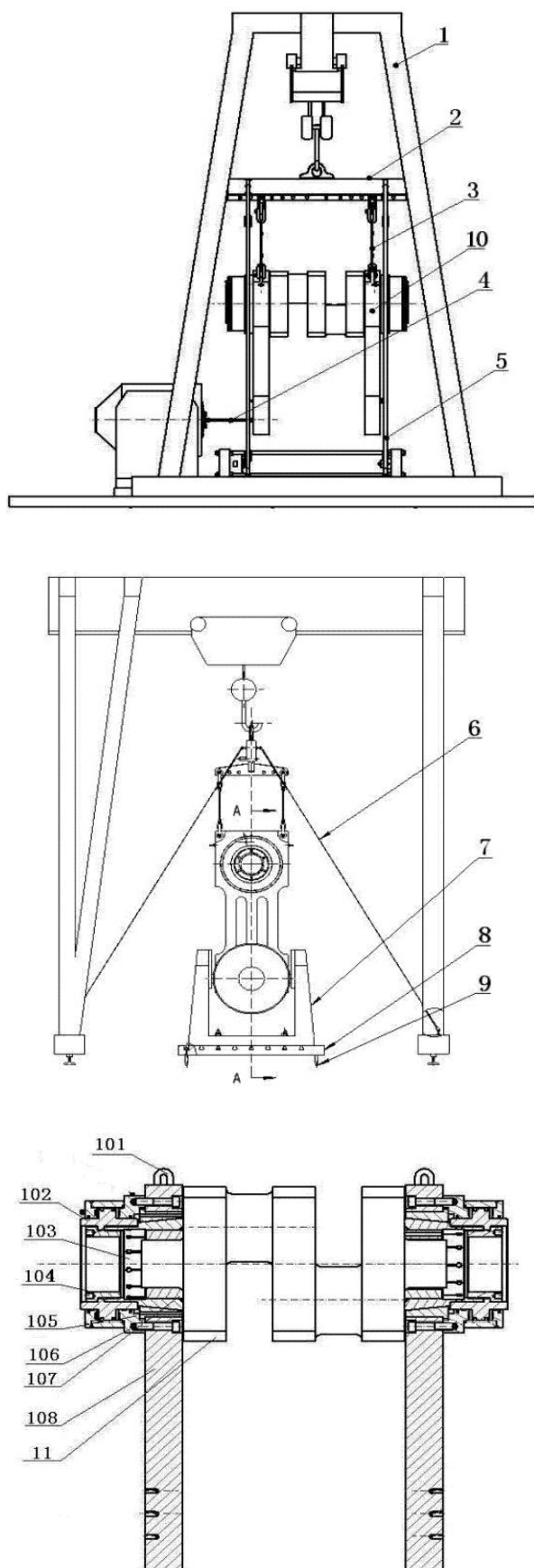


图 3-36 “大型曲轴弯曲疲劳试验装置”技术方案原理图

工作原理 高压泵站打出高压油进入液压夹紧缸内（液压夹紧缸最大轴向拉力为 2000KN<31MP>）,液压夹紧缸用锁紧螺套将内圈弹簧卡头固联在一起，当液压夹紧缸活塞向后移动时，带动内圈弹簧卡头也向后移动，内圈弹簧卡头与夹具外圈组成 12° 角的楔形夹具结构，通过计算当液压夹紧缸轴向拉力 Q=1100KN 时，可产生 W=4200KN 的夹紧力，作用于曲轴试样 11，从而可以保证足够的夹持力，满足对大型曲轴的弯曲疲劳试验需要。

3.7.2.2 检索

（检索截止日期为 2015 年 4 月 18 日）

检索数据库： 中国专利文献数据库（CNPAT）
中国专利文献全文数据库（CNTXT）

检索关键词： 发动机/马达/压缩机
曲轴
弯曲/弯/曲
疲劳
试验/实验
液压
震动/振动

表 3-15 相关专利文献列表

编号	文献号	授权公告日	申请日	申请人	主分类号	法律状态
1	CN201575899U	2010-09-08	2009-12-24	洛阳西苑车辆与动力检验所有限公司	G01M13/00	授权
2	CN104101534A	2014-07-16	2014-07-16	上汽通用五菱汽车股份有限公司	G01N3/04	审中

说明：文献号中的 U 表示该文献为实用新型授权公告专利，A 表示该文献为发明专利。

3.7.2.3 相关专利简介

专利 1——CN201575899U（授权）

一种基于应变控制原理的共振式曲轴弯曲疲劳试验机，包括机械主框架的固定底座、立柱支架、吊装支架；机械谐振系统的高度调节花兰、悬吊索具、被试曲拐、惯性摆臂和曲轴夹紧装置；闭环应变控制系统的电磁激振器、功率放大器、工控计算机、数据采集卡、应变测力传感器、信号放大器。固定底座和立柱支架组成试验机的机械主框架，在立柱支架上装有吊装支架；被试曲拐与惯性摆臂通过曲轴夹紧装置连接一体，由悬吊索具悬挂于高度调节花兰上，高度调节花兰通过安装在上端的轴和轴承吊装在吊装支架上。应变测力传感器粘贴在惯性摆臂上。采用本试验机可使试验精度大大提高，试验操作简单方便，试验易损件消耗大为降低，试验数据准确，试验软件智能化高。

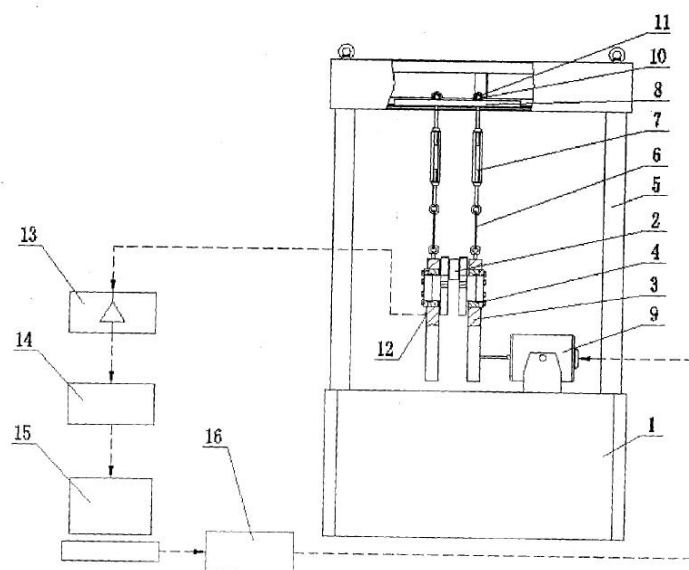


图 3-37 专利 1 的原理图

专利 2——CN104101534A（审中）

一种发动机曲轴疲劳试验夹具，包括支座与主夹具，主夹具通过螺栓固定在支座上，还包括加载夹块、曲拐样件、第一弹簧钢板、连接钢板、弹簧钢板连接支座、力传感器、振动头，所述加载夹块、第一弹簧钢板、连接钢板、第二弹簧钢板、弹簧钢板连接支座、力传感器、振动头两两硬连接且都在同一条直线上，所述曲拐样件与所述加载夹块相连，所述主轴颈盖和所述连杆盖固定

在所述主夹具上。本发明简化了工装结构，使曲拐处的加载受力更直接，能方便，准确的根据样件加载力矩要求计算出加载力，提高了系统刚度，提高加载的频率，缩短了试验时间，提升了工作效率。

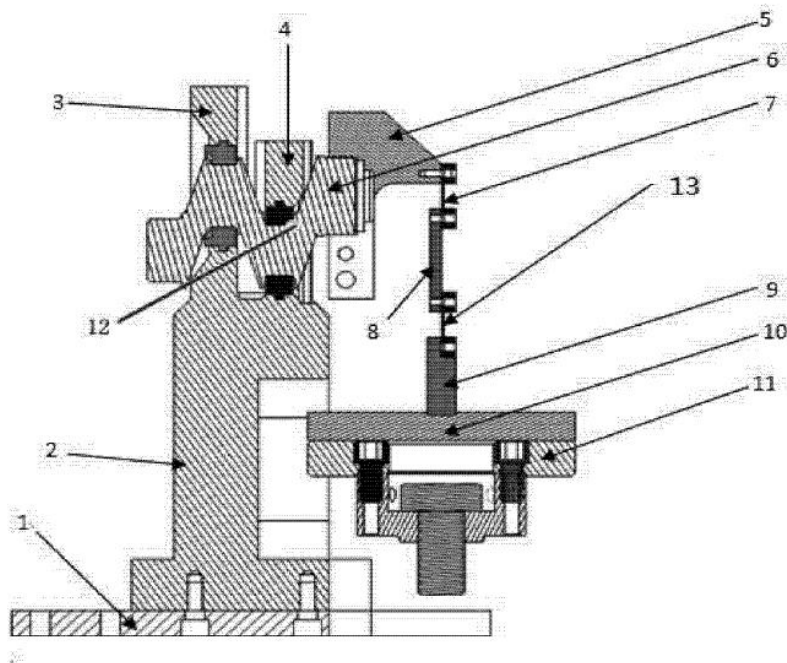


图 3-38 专利 2 的原理图

3.7.2.4 侵权分析

通过检索可知，中机试验装备股份有限公司的产品与上述专利 1-2 公开的技术方案最为接近。

以下以表格的方式将中机试验装备股份有限公司的技术方案的特征与上述专利相关的权利要求中的技术特征进行比较，并给出相应的分析评述、比较结果和侵权参考意见(说明：“√”表示中机试验装备股份有限公司的技术方案具备该技术特征、“×”表示上述方案不具备该技术特征、“？”表示上述方案是否具备该技术特征不确定)。

下面以表格的方式分别将专利 1-2 权利要求与中机试验装备股份有限公司的技术方案进行比较，参见表 3-16 至 3-17。

表 3-16 与专利 1—CN201575899U 的特征对比

	专利 1---CN201575899U	中机试验
权 1	机械主框架的固定底座(1)、立柱支架(5)、吊装支架(8)	√
	机械谐振系统的高度调节花兰(7)	×
	悬吊索具(6)、被试曲拐(2)、惯性摆臂(3)和曲轴夹紧装置(4)	√
	闭环应变控制系统的电磁激振器(9)	√
	功率放大器(16)、工控计算机(15)、数据采集卡(14)、应变测力传感器(12)、信号放大器(13)	×
	固定底座(1)和立柱支架(5)组成试验机安装基础的机械主框架	√
	在立柱支架(5)上装有吊装支架(8)	√
	机械谐振系统中被试曲拐(2)与惯性摆臂(3)通过曲轴夹紧装置(4)连接一体	√
	由悬吊索具(6)悬挂于高度调节花兰(7)上	×
	高度调节花兰(7)通过安装在上端的轴(10)和轴承(11)吊装在吊装支架(8)上	×
初步结论	中机试验的技术方案没有覆盖权利要求 1 的全部技术特征	

表 3-17 与专利 2—CN104101534A 的特征对比

	专利 2——CN104101534A	中机试验
权 1	发动机曲轴疲劳试验夹具	√
	支座与主夹具	√
	主夹具通过螺栓固定在支座上	√
	加载夹块	×
	曲拐样件	√
	第一弹簧钢板、连接钢板、弹簧钢板连接支座、力传感器、振动头	×
	加载夹块、第一弹簧钢板、连接钢板、第二弹簧钢板、弹簧钢板连接支座、力传感器、振动头两两硬连接且都在同一条直线上	×
	曲拐样件与所述加载夹块相连,所述主轴颈盖和所述连杆盖固定在所述主夹具上	×
初步结论	中机试验的技术方案没有覆盖权利要求 1 的全部技术特征	

从中机试验的上述技术方案与上述专利 1-2 的特征对比可以明确了解到:中机试验的上述技术方案没有全面覆盖专利 1-2 的独立权利要求 1 的技术特征,因此,中机试验的上述技术方案 1 没有落入专利 1-2 独立权利要求 1 保护的范围之内,不构成对该专利 1-2 的侵权。

3.7.3 专利可规避性分析

从上述侵权分析可以看出,中机试验涉及液压振动台领域的技术基本没有侵权风险。

液压振动台领域目前国内参与研发的单位虽多，但具体针对数字三参量控制伺服控制器设计及其控制算法方面，行业整体的专利申请量并不多，技术研发方向并不纷杂，尚没有某个单位在任一个技术点上形成专利聚类或专利壁垒。因此，中机试验公司可以抓住这一机会，以未来的技术发展和市场需求为导引，围绕企业重点研发和布局的技术和产品，有效利用现有技术资料和专利文献信息，开展液压振动台建模、伺服和振动控制系统建模仿真、参数整定以及控制算法设计求解等核心技术攻关；在加快自身技术研发的同时，保持对行业热点的关注和重要研发单位的跟踪，与专利工作者及时沟通，将创新想法及时记录，积极寻求技术成果专利化，通过项目需求和研发需求中的创新点挖掘、以及技术创新中的创新点相互关联挖掘等方式挖掘专利点，促进技术成果的全面专利保护。此外，也要学会运用专利武器做好防御工作，保障企业市场自由，了解竞争对手的专利布局动态，根据需要适时调整研发战略，及时规避侵权风险，必要时利用专利手段对竞争对手进行战略打击，迫使对方通过谈判、合作等方式化解纠纷，保障自身利益，努力构筑具有防御和进攻双重作用的高价值专利群和保护网。

第四章 中机试验液压振动台开发策略分析

4.1 液压振动台产品开发策略

4.1.1 专利布局总体情况

截至 2021 年 6 月 20 日，中机试验集团共拥有 423 项 INPADOC 同族专利申请，其中既包括以中机试验装备股份有限公司申请的专利，也包括以中机试验装备（江苏）有限公司、中机检测有限公司和长春中机试验设备有限公司（机械工业部长春试验机研究所）等全资子公司名义申请的专利，还包括以中机思美迪（长春）科技有限公司、儒拉玛特自动化技术（长春）有限公司和江苏华隆兴机械工程有限公司等合资公司名义申请的专利。以下对中机试验拥有 100% 知识产权的 118 项 INPADOC 同族专利申请进行统计分析，其中具体包括中机试验装备股份有限公司的 93 项申请，中机试验装备（江苏）有限公司的 32 项申请，中机检测有限公司的 9 项申请，机械工业部长春试验机研究所（含机电部长春试验机研究所）的 7 项申请和长春中机试验设备有限公司的 3 项申请。

4.1.1.1 申请趋势

从中机试验整体的专利申请趋势来看，中机试验从 2006 年开始申请专利，在 2015 年之前，年申请量都在 5 项以下波动，2015 年之后，专利申请量开始呈现显著增长的趋势，从 2020 年当前公开的专利数量来看，尽管因为公开延迟的原因，有部分专利的数据并未算入，但当前已经达到 23 项的申请高峰，可见其近年技术创新和专利申请的力度较大。

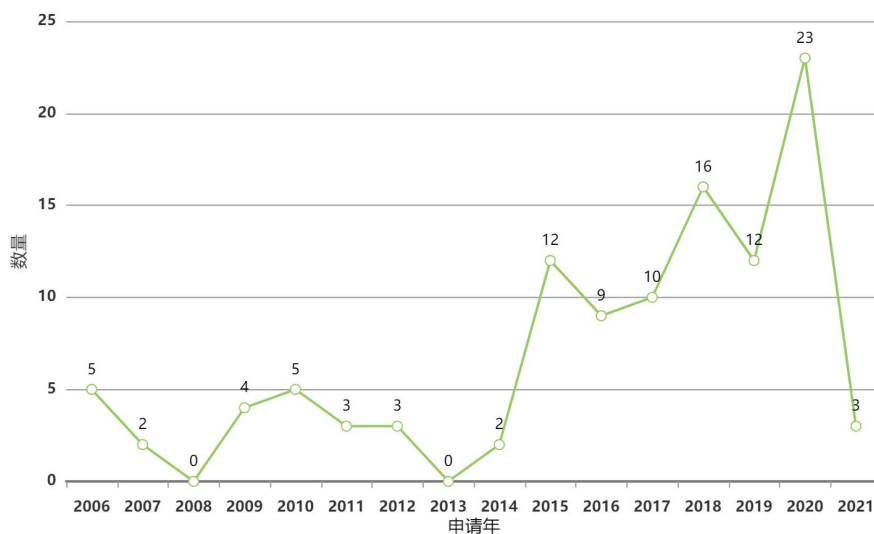


图 4- 1 中机试验全部专利申请趋势

4.1.1.2 申请类型

从专利类型的构成来看，中机试验的发明申请的数量比实用新型专利申请的数量略多一点，说明公司的技术创新性相对较好。

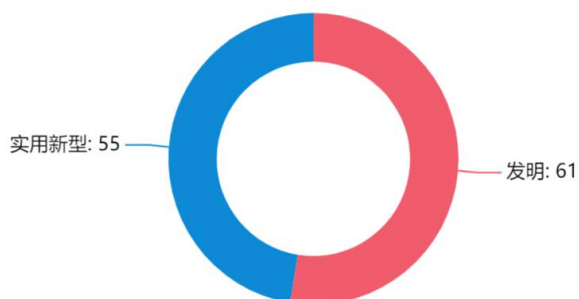


图 4- 2 中机试验专利类型分布

4.1.1.3 法律状态

从法律状态来看，中机试验当前的有效专利有 61 项，占全部专利申请的比例为 53%，说明其当前有近一半的专利不再维护，后续可以根据公司的产品和技术发展需要，优化专利申请的预评审，提高申请工作的有效性和性价比。

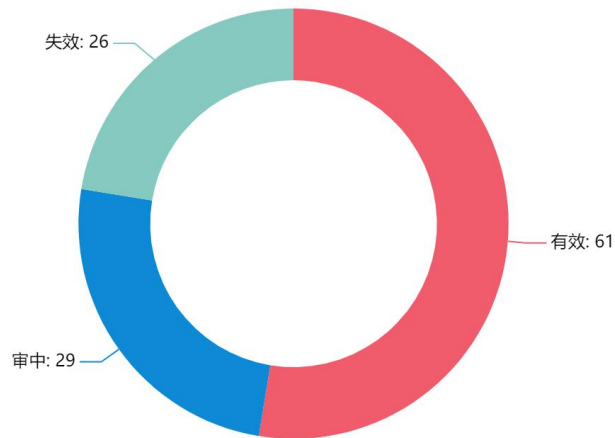


图 4-3 中机试验专利法律状态及类型分布

4.1.1.4 技术分布

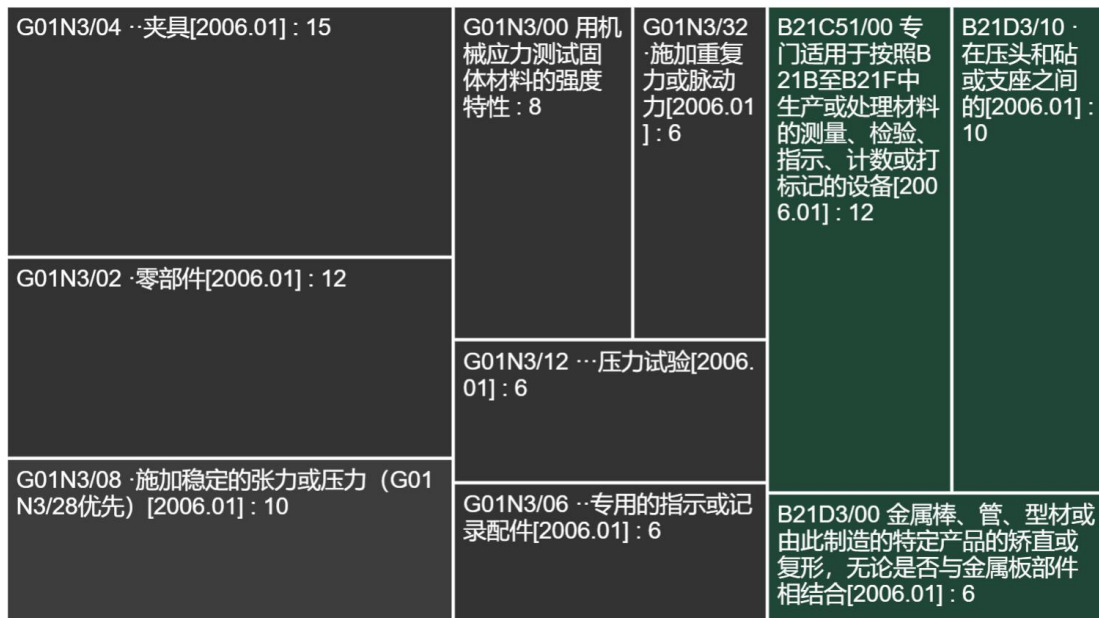


图 4-4 中机试验专利技术分布

从技术分布来看，目前中机试验的专利技术主要集中在试验装置的专用夹具和零部件，以及材料性能拉/压力测试装置等方面，这些领域的专利申请量占其全部相关专利的 48%。进一步地，在振动试验台或测试装置方面，中机试验大多是采用机械或电机驱动的方式，涉及液压或电液伺服驱动的相关专利还相对较少。此外，还有少部分专利涉及金属的机械加工和冲压工艺。

4.1.1.5 研发团队

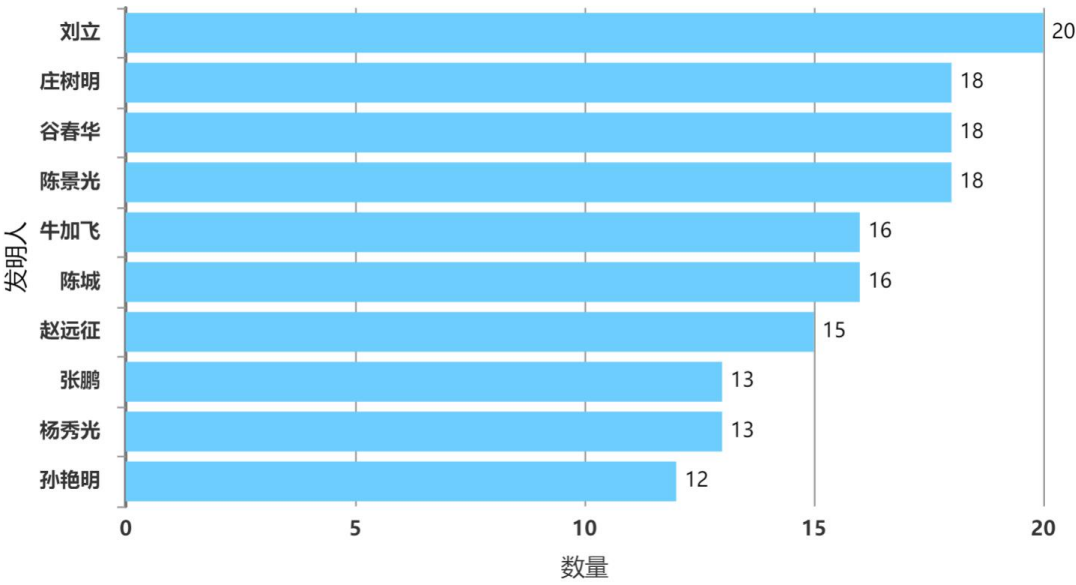


图 4- 5 中机试验的主要发明人排名

从上图可以看出，刘立、庄树明、谷春华、陈景光、牛加飞、陈城、赵远征、张鹏、杨秀光、孙艳明是中机试验主要的技术研发人员。

表 4- 1 主要发明人的专利技术分布

发明人/IPC 小类	刘 立	庄树 明	陈景 光	牛加 飞	陈 城	张 鹏	谷春 华	赵远 征	杨秀 光	孙艳 明
B21D	13	1	1	1	11	8		1		4
B21C	8	6	7	6	7	5		4		1
G01B	4	3	5	4	3	3		1		
B08B	1			1	1			1		1
B24B	1	1	1							
B65D	1	1	1							
B65G	1	3	1	2	1			2		2
B66F	1	1	1	1						
F16H	1	1	1	1		1				
H02K	1	1	1	1		1				
B23P		1	1		1			1		1
B25H		1								1
G01N							15		8	2
G01L						1	2			
G01M						1	2		6	

结合表 4-1 可知，刘立、庄树明、陈景光、牛加飞、陈城、张鹏等人的主要研发方向为金属材料的加工处理工艺；谷春华和杨秀光等人的主要研发方向

则是材料的性能测试、机器或结构部件的静/动平衡测试。中机试验的人才团队优势明显，应当予以保持和壮大。相比而言，在材料性能测试和试验装置方面，也可以进一步加大人才培养和引进力度。

基于以上对核心技术、主要竞争对手和专利风险的分析，中机试验在液压振动台产品领域的开发策略，具体包括：

4.1.2 自主研发策略

从上述中机试验的专利所涉及的技术分布分析中可以得到：中机试验的专利技术主要集中在试验装置的专用夹具和零部件，以及材料性能拉/压力测试装置等方面；在振动试验台或测试装置方面，中机试验大多是采用机械或电机驱动的方式，涉及液压或电液伺服驱动的相关专利还相对较少；此外，还有少部分专利涉及金属的机械加工和冲压工艺。

对于在试验装置、测试装置等具有一定研发优势的关键技术领域，中机试验可以进一步加强自主研发，通过专利信息指引，做好信息调查工作，研发前的技术调查能够有效的避免大量的金钱、时间与精力没浪费在重复研发上等这类事情的发生，并且能够优化研发创新方向，提高研发起点和效率。

4.1.3 合作研发策略

（1）与国内的合作

国内的液压振动台领域掌握核心技术的企业不多。在试验设备方面，苏试试验公司的产品主要涉及力学环境试验设备、综合环境试验设备、气候环境试验设备、分析测试系统及传感器制造等四大领域。其中力学环境试验设备又包括了 Dc 系列通用型电动振动台（风冷、水冷）、DL 系列大位移电动振动试验系统、多激励多轴电动振动试验系统、三轴六自由度电动振动试验系统、冲击试验台、冲击响应谱、离心机加振动、Spider-8180X 振动控制与动态信号分析系统、西门子 LMS 数字式集成的振动噪声、RC-3000 系列数字式振动控制与动态等产品，是一家值得关注的单位。济南时代试金试验机有限公司的主导产品

为电子万能试验机、液压万能试验机、大型专用试验机、动态试验系统、摩擦磨损试验机、液压压力试验机，中机试验在上述领域需要发展的情况下可以关注济南时代试金试验机有限公司；北京富力通达科技有限公司、杭州亿恒科技有限公司等都是可以关注的单位。

（2）与国际巨头合作

与国外领先企业的联姻，可以让中机试验以掌握市场需求的优势，来获取与核心技术拥有方更进一步的合作。除了引进材料测试技术较强的英斯特朗（Instron）公司，全产业链技术最全面的 MTS 系统公司也是可以考虑的。英斯特朗公司的产品线包括：万能材料试验系统，动态疲劳，冲击，流变学，热机械和扭转试验机等；MTS 系统公司的产品主要包括：动静态材料试验系统，汽车零部件及整车台架试验系统、飞机零部件及整机结构试验系统、生物结构测试及模拟系统、建筑结构测试及地震模拟系统、地质及土壤测试系统、纳米硬度表面分析系统、各种类型载荷、位移及应变传感器、线性伺服马达、液压作动缸和各类伺服控制设备等。日本三菱重工业株式会社和日立公司也值得关注。但是，如何引进，如何制衡，避免汽车产业“市场换技术”的悲剧，仍需探讨。

（3）企业并购

美国的模块式创新形式也使得技术的转移或者扩散更加的便捷，需要一项技术只需要收购一家公司即可。如果条件允许中机试验也可以通过这种方式快速的获得液压振动台技术的积累。

（4）新创企业培育

新创企业培育需要完善科技企业孵化育成体系，推广新型孵化模式，鼓励发展众创、众包、众扶、众筹空间等。所谓的“四众”就是要：众创，汇众智搞创新；众包，汇众力增就业；众扶，汇众能助创业；众筹，汇众资促发展。

4.1.4 技术引进策略

（1）国内团队引进

国内团队引进价值最高的就是技术相对先进成熟的中国地震局工程力学研

究所、中国水利水电科学研究院、北京自动化所、浙江大学、哈尔滨工业大学、北京航空航天大学、西安交通大学、南京航空航天大学、同济大学、武汉理工大学、吉林大学的团队。在振动控制方法方面，主要有哈尔滨工业大学和西北工业大学等单位开展研究，其中哈工大的伺服仿真技术处于国内领先水平。

(2) 人才引进

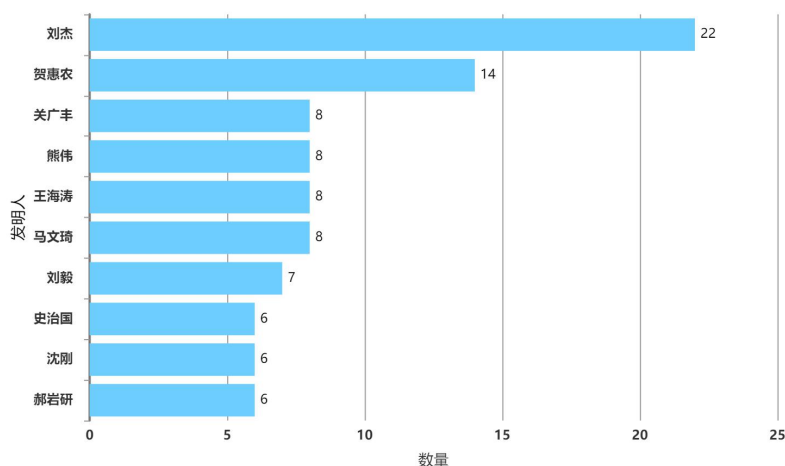


图 4-6 液压振动台领域主要发明人排名

人才储备是企业创新发展的重要因素，通过对国内专利发明人的统计分析可以找到该领域位于前列的研发人员以供企业需要人才引进时参考。结合图 4-6 可知，北京富力通达科技有限公司的刘杰是该领域的核心创新人才，其作为发明人申请了 22 项相关专利，涉及液压振动台的驱动、控制和应用等多个方面。浙江大学的贺惠农教授带领团队从事机械振动可靠性、振动测试与控制技术的研究，其作为发明人的专利数量排名第二，有 14 项。大连海事大学船舶与海洋工程学院的关广丰、熊伟、王海涛、马文琦等主要从事电液伺服控制、多轴电液振动台研究，他们作为发明人在多自由度双电液振动台的位姿控制、刚度控制和干扰补偿方面申请了 8 项相关专利。浙江大学的刘毅教授在电液控制式激振系统开展研究并申请了 7 项相关专利。浙江大学工业控制研究所的陈积明教授团队在 2019-2020 年间围绕地震模拟振动台的迭代控制、自适应幅相控制等申请了 6 项相关专利。中国矿业大学的沈刚教授在电液伺服系统方面也开展了研究，设计了大型水平单轴电液振动试验台及相关模拟系统并申请了 6 项专

利。此外，航天 702 所的郝岩研是该所的技术骨干，针对液压振动试验系统及其控制以及振动台翻转装置等申请了 6 项专利。

(3) 重点专利技术直接引进

根据技术领域分支、权利要求的数量、印证与被引证次数、专利同族数量、发生异议（或无效、诉讼及许可转让）等情况进行综合考量筛选重点专利 50 项，如附件“6.值得借鉴的重要相关专利文献清单及全文.ZIP”中所示。其主要涉及振动试验装置、测试方法、测试夹具、控制方法、试验方法等技术领域，对于中机试验缺乏研究基础的关键技术环节，可以结合上述重点专利技术，通过专利信息指引，寻找待引进或获得许可的专利技术，探索引进消化吸收再创新的研发思路。

4.2 专利布局策略

专利组合是专利布局所表现出来的一种专利之间的组织结构形态，也是指导专利布局规划的重要思想，而最终形成的专利组合是否能够达到企业预期的技术保护、专利防御等效果更是检验专利布局成效的重要手段。要使得企业的专利布局最终能够形成控制技术、保护产品、专利防御等的专利组合，就需要从专利组合一般所应具备的结构特征入手，结合企业所预期达到的效果，对布局过程进行规划和指引。

一般情况下，企业的创新技术成果是其形成专利组合的基础，其中创新技术成果的核心或基本方案又往往成为专利组合构建的源泉和中心。在专利组合中，基础性专利构成专利组合的核心部分，而根据不同的保护内容和保护目的，可以在其外围选择地设置若干的竞争性专利、互补性专利、支撑性专利和 / 或延伸性专利。

例如，某一基础性专利可能是企业在某个技术点上最为核心的专利，也可能是该技术点的某个应用或改进方向上的主要专利。另外，一件专利的具体所属类型，取决于其处的专利组合、在该组合中发挥的作用等因素，同一件专利在不同的组合中可以属于不同的类型。例如，在某一技术方案的竞争性专利、互补性专利、支撑性专利或延伸性专利中，也可能会出现一些创新程度较最

高、产业和市场应用价值较大的专利，这些专利可能会成为某个新组合中的基础性专利；以这些专利为中心，也可以继续构建相应地外围专利保护圈。

专利组合可以分为保护性专利组合、攻击性专利组合、储备性专利组合三类。在这些类型中，围绕不同的功效对组合中专利的数量和技术构成将有着不同的需求；组合中不同的专利彼此相互而协同、支撑，保证了其功效的实现。

①保护性专利组合。这种组合中的专利一般都和企业自身的技术或产品方案密切相关，一般包括围绕其技术创新成果所挖掘的基础性专利、互补性专利，以及部分竞争性专利和支撑性专利。这种类型的主要目标是对企业技术创新成果以及应用这些成果的产品提供充分的专利保护屏障，藉此确保企业在该成果上的技术控制和竞争优势，提高技术跟随者尤其是竞争对手的规避设计难度和研发成本。

②对抗性专利组合。这种专利组合的主要目的是为了预防和抵御其主要竞争对手针对企业发动专利攻击，这些专利方案未必和企业自己的技术或产品方案密切相关，而与竞争者的技术或产品发展方向相关度更大。对抗性专利组合的主要备选专利可以包括：行业中很难绕开的重要技术的基础性专利；围绕竞争者技术特点、产品方案的产业化实现或产品的升级设置的改进性专利、支撑性专利等；针对竞争者未来的技术发展方向和产品拓展方向预先铺设的专利等。

③储备性专利组合。在企业研发过程中，往往会有些技术方案，暂时未找到合适的应用产品或领域，暂不具备市场应用价值，或者该技术本身实施所依赖的相关技术暂未成熟等。此外，企业也可以有意针对某些未来可能会带来高附加值、成为研发热点、突破产品性能瓶颈、主导产业发展、引领市场需求等的技术发展方向而提前进行研发。以上这些技术的专利主要是为企业未来发展作为储备的，构成储备性专利组合。这种组合中的方案大多属于前瞻性技术方案和提前圈地性质的技术方案。

而为了实现上述专利组合，通常采用如下专利布局策略：

4.2.1 领先式布局

领先式布局是通过设置阻碍式、拦路虎、地雷式专利布局，给竞争对手设

置法律障碍，主要适用于我方的技术基础和专利布局领先于行业平均水平或主要竞争对手的情形，用于保持、巩固、扩大我方的领先优势，持续形成牢不可破的专利壁垒，具体可以采用如下专利布局方法：

(1) 阻碍式专利

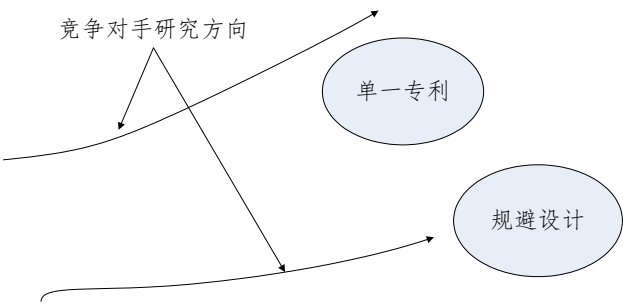


图 4-7 阻碍式专利布局示意图

仅用一个或少数几个专利来保护特定用途的发明，适用于数量少，且有特定用途的专利申请的情形，从而达到利用少量成本对特定用途的发明进行保护。

适用情形：数量少，且有特定用途的专利申请。

操作方法：抓住特定用途的发明点，申请一个或少数几个发明专利申请。

预期目标：利用少量成本对特定用途的发明进行保护。

优点：申请与维护成本较低。

缺点：竞争对手容易规避。

(2) 路障型专利

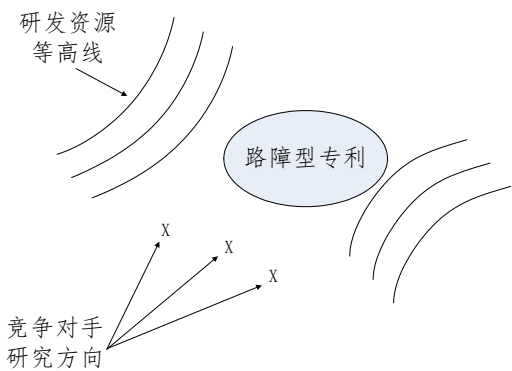


图 4-8 路障型专利布局示意图

某特定领域所必需的技术，俗称“拦路虎”专利，阻碍性高且使该领域的竞争对手无法进行规避。

特点：阻碍性高、无法规避。

适用情形：构成某领域发展瓶颈的技术。

操作方法：对应该瓶颈技术的申请。

预期目标：使该领域的竞争对手无法进行规避。

优点：对竞争对手的阻碍性强、精准性高，无法规避。

缺点：布局专利权覆盖面小，需要较高技术精准度，需要较高水平和前瞻性的技术研发和投入。

（3）专利围墙

将与发明相关的技术点及其外围应用和衍生技术都申请专利，利用系列式的专利形成竞争对手研发的阻碍，形成专利围墙，也称“隔离策略”。

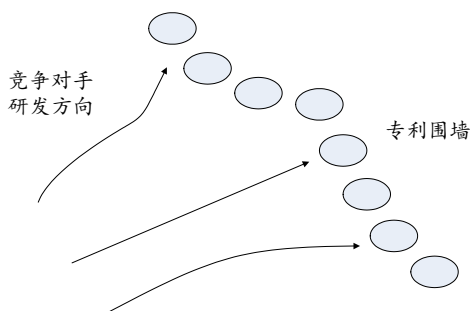


图 4-9 专利围墙布局示意图

适用情形：同一技术的可替代/选择方案，可达到类似功能的多种变型方案。

操作方法：将与发明相关的技术点及其应用都申请专利，形成专利围墙。

预期目标：通过系列式的专利围墙给竞争对手造成阻碍。

优点：针对性强，避免竞争对手对发明缝隙的刻意回避。

缺点：专利权覆盖面小，需要较高技术精准度。

例如：一项与化学相关的发明，将其化学方程式、分子设计、几何形状、温度等范围的变化都申请专利保护，形成一道围墙。

4.2.2 追赶式布局

主要适用于我方的技术基础和专利布局比较落后于行业平均水平或竞争对手，对手的技术、产品和专利布局明显领先，我方需要进行追踪式、规避式、包围式、跳跃式专利布局，逐渐追赶对手直至最终超越。追赶式布局策略又包

括包绕式专利布局和组合式专利布局。

（1）包绕式专利布局

针对竞争对手在先的重要专利布局多个衍生专利，以多个小专利包绕竞争对手的重要专利。

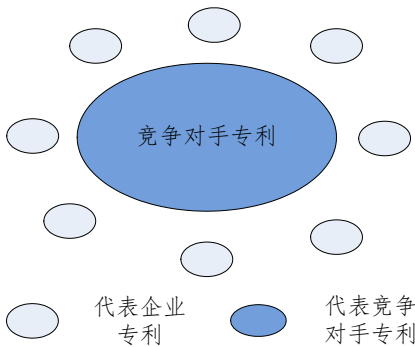


图 4-10 包绕式专利布局示意图

适用情形：我方企业/对手企业有重要的基础性专利，及时研发形成我方包绕式专利布局，实现包围基础专利的衍生专利包，增加交叉许可的谈判筹码，或避免为对手所用。

操作方法：针对在先的重要专利布局多个衍生专利，进行包围。

预期目标：增强我方基础专利的市场垄断性，或使对手无法规避和跳出衍生专利的包围圈。

优点：当对手有基础性专利时，可以通过包绕式专利作为交叉许可的筹码。

缺点：需要投入资源实时追踪对手的专利和技术，并进行性追踪式研发和专利布局可能受到对手迷惑性专利的误导。

（2）组合式专利布局

以一个重要专利包绕多个次要专利，或多个包绕式专利布局形成紧密的专利网络，在某个领域/产业内大面积阻绝竞争者的研发方向。使得竞争对手无法规避和跳出专利包围圈，以逐渐追赶对手直至超越。

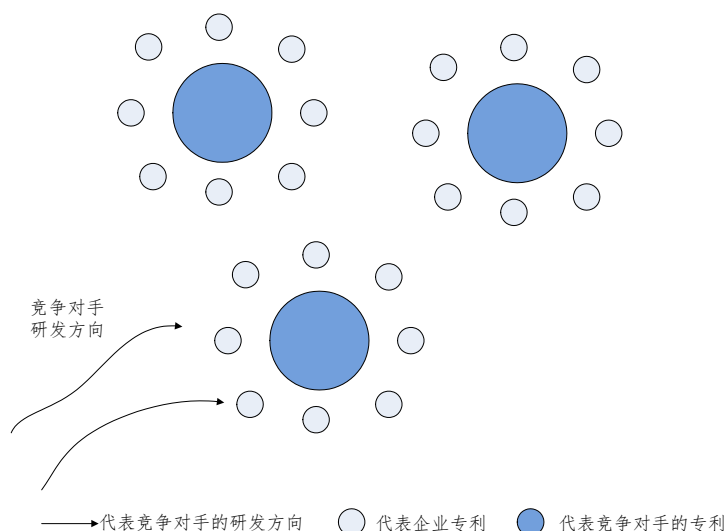


图 4-11 组合式专利布局示意图

适用情形：企业有多个重要专利，及时研发形成我方多个包绕式专利布局，形成多个包绕重要专利的次要专利包，增加交叉许可的谈判筹码，或避免为对手所用。

操作方法：针对在先的多个重要分别包围布局多个次要专利，形成包围圈。

预期目标：使得竞争对手无法规避和跳出专利包围圈，以逐渐追赶对手直至超越。

优点：当竞争对手有较多在先重要专利时，可以通过组合式专利包围圈占领市场，以及作为交叉许可的谈判筹码。

缺点：专利布局量大，精准度较高，需要实时追踪研究对手专利。

4.2.3 储备式布局

又称圈地式布局、抢占式布局，主要适用于整个行业的技术发展和专利布局整体薄弱或空白，存在大量的技术空白和专利空白，我方需要对行业未来的技术发展和市场走向进行预判，预先研究前瞻性技术方案，提前进行技术储备和专利圈地。

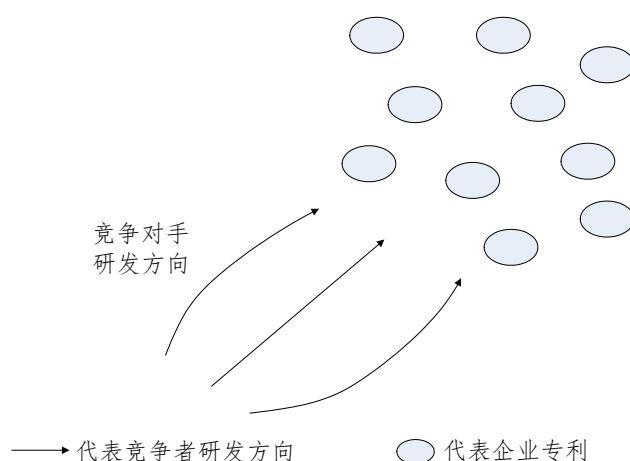


图 4-12 储备式专利布局示意图

在没有绝佳的专利布局策略时，有系统地在多个环节布置专利雷区，以阻断竞争者进入。需要研发人员与专利人员深度沟通，系统、密集的布局专利，减少专利布局的随意性，避免“乱枪打鸟”的布局。

适用情形：适用于不确定性高的新兴技术、各种研发方向都能产出结果，或专利的重要性尚未明朗化。

操作方法：研发人员与专利人员深度沟通，系统、密集的布局专利。

预期目标：阻断竞争者进入该领域。

优点：专利量大，覆盖面广，密闭性强。

缺点：需要足够的资金和研发能力的配合。

4.4 专利布局规划

结合前述分析可知，中机试验目前的专利申请呈现快速增长的趋势，这说明近年来企业的技术创新较为活跃，但从技术分布来看，目前的专利申请主要集中在试验装置的专用夹具和零部件以及材料性能拉/压力测试装置等方面，在未来重点发展的液压振动台及其控制技术方面的专利申请还有待开展和增强。鉴于液压振动台领域目前已有不少国内外的创新主体开展专利布局，建议我方尽快加大自主创新的力度，围绕核心技术开展专利申请，并根据市场发展和竞争对手的布局情况，在核心技术外围或者竞争对手的发展方向采取追赶式布局为主，储备式专利布局为辅的策略，既体现出自身的技术实力，也为未来的产品上市和市场竞争提供必要的筹码。

具体地，建议在目前行业专利申请的热门方向上，找到新的技术问题进行进一步改善，以形成自身的专利申请，一方面增强技术积累和优势，另一方面也可以为竞争对手的相关研发制造障碍，为未来的市场竞争和商业谈判积累筹码。也可以通过专利收购或许可等方式快速引进一些核心技术，提高研发速度和效率。

在一些行业的技术空白点上，申请若干基础性专利，以抢占先机，为日后的市场竞争做好铺垫，同时，也可以围绕基础性专利设置一些能够实现相同或相近技术效果的替代基础性专利技术方案竞争性专利，以阻止他人的规避设计，提高竞争对手的研发成本，这些竞争性专利有可能成为企业的储备性技术，未来随着技术和市场的发展而替代现在使用的方案。

4.5 运营方案规划

4.5.1 现有专利分类评级

（1）专利资产分类。

基于上述企业专利布局基础分析成果，从技术领域或产品应用等角度，对企业存量专利进行分类，并按照技术结构关系和专利保护范围等，对基础专利、核心专利、外围专利等进行分类。截至 2021 年 6 月 20 日，中机试验集团共拥有 423 项 INPADOC 同族专利申请，处于审中或有效状态的专利共有 317 项，发明专利（审查状态中）有 63 项、发明专利 34 项、实用新型授权 220 项。分类结果如附件列表“8. 中机试验现有专利分类评级清单”的“专利分类”一列所示。

（2）专利资产评级。按照专利价值分析指标，从法律、技术和经济三个维度，对专利或专利组合进行价值评级，评级结果如附件列表“8. 中机试验现有专利分类评级清单”的“价值度”一列所示。

4.5.2 专利资产管理方案

（1）系统化管理

对技术和专利的系统化管理由企业知识产权主管部门担当。系统化管理自

技术和专利产生的最早环节便同时开始，贯穿技术、专利的整个生命周期。所述专利，从资产的角度也包括企业所获得的专利许可。

系统化管理面向的单位为可商业运营的技术项目。可商业运营的技术项目可以以独立形态作为标的，以产品、服务的形式提供。通常，技术项目由一件或多件专利、技术秘密的组合而构成；一件专利或技术秘密可能被包含于多个技术项目；一个技术项目可能包括若干子技术项目。系统化管理一般面向最小技术项目。

专利是系统化管理之下的基本管理单元。专利面向应用和运营的分类和分级应从不同层次动态进行。相应的分类和分级信息应当以结构化数据的形式存留，应具备系统性并覆盖技术和专利全生命周期。

专利及相关技术资产应有统一管理。每件专利应有对应的技术部门和技术发明人负责提供支持。原技术部门和技术发明人出现变动时，应保证新的技术部门和技术发明人接管相应专利，确保技术支持的可靠延续。

对于收购、许可等方式获得的技术资产，也应指定适当的技术部门、技术人员提供类似支持，采用类似方式管理。

（2）面向运营的技术分类及标引

面向运营的技术分类由企业知识产权主管部门负责，技术部门和相应业务部门负责配合完成。

由于一项技术所属的类别可能随时间有所变化，所以对应基本分类进行动态重新核定，尤其应在重要时间节点上进行复核。在管理上尤其应当注意，技术公开可能导致该项技术丧失作为专利技术进行保护和运营的可能。

专利技术作为主要资产应纳入系统管理。自由技术在完成有效公开后除存档之外不必再进行实质性管理。放任技术不必进行实质性管理，但应当以类似企业纪律的形式禁止未经授权的泄露、公开。

在基本分类的基础上，纳入系统化管理和记录的信息，应对专利技术进行更详尽的面向应用和运营的分类和分级，包括属性标引、参数指标评定等等。相应信息应系统性进行动态修正和全周期留存。

对专利技术的分类标引在基本信息的基础上至少应覆盖以下方面：详细权属信息，相关技术项目（涉及的产品、具体应用技术和领域），与相关知识产权

（例如，应用于同一技术项目、产品的）的关联信息，与企业当前及未来商业计划的相关（企业自用）情况，与关键友商（技术项目、产品等）的相关（是否能够扼制友商）情况，对外运营策略（积极程度），运营策略特别要求，运营历史及情报（含涉及实质性运营机会的情报），商业价值。

（3）专利技术商业价值一般性评估

专利技术商业价值一般性评估由企业知识产权主管部门负责，技术部门和相应业务部门负责配合完成。

理想情形下，专利技术商业价值的一般性评估应在已经完成的所涉及之产品、技术项目之商业价值估值的基础上进一步完成。

企业为实现对知识产权的有效管理，需要对专利技术商业价值做出内部一般性评估。该一般性评估的专业性要求大大低于就具体项目实际对外达成运营时的要求，企业应当自行建立统一的标准和操作方法。一般性评估标准和操作方法的建立可以在适当外部专业机构的支持下完成。

对于企业，专利的根本商业价值在于能够扼制友商商业利益。一件专利能够扼制的商业利益越大，则专利价值越高。能够扼制友商商业利益但稳定性不好的专利仍然可以起到威慑作用，也具备一定商业价值。

一般性价值评估的标准和方法通常不应直接适用于出现实质运营机会的知识产权。当出现实质性运营机会时，相关知识产权的价值多会因不确定性减小而大幅上升，且应根据具体情况采用更为专业的方式重新评估。专利许可之价值评估或专利许可费率之确定即属此类情形。

专利许可之价值，忽略金融估值较为严格的操作标准时，实质相当于专利许可产生的许可费支出或收入总和。

通常，合理的许可费标准为使用被许可之技术而导致的利润增加额之四分之一。实际许可费须结合利益相关方对相关风险的认知加以权衡、调整。

依照金融估值原理和会计准则，一件专利给予许可之后，专利价值应根据许可价值做减值调整。

4.5.3 专利资本化运营方案

资本虚拟运营主要对应和依赖专利的资产属性，主要依靠虚拟经营或金融深化的方式创造专利资产的虚拟价值，本质上是以专利实现融资。资本运营面向虚拟性金融操作。

对于专利运营，实体运营是真正的价值源泉和健康发展的基础；虚拟运营是实体运营必要的补充，利于为实体企业提供资金支持。

典型的，专利资本化运作会基于专利资本虚拟价值给相关方直接带来收益，例如，通过专利质押取得现金；通过专利出资、证券化取得股份、证券，卖出股份、证券兑现收益。但如果相应的专利资产不能通过资产实体运营产生实际价值而支持专利资本的虚拟价值，将会出现虚拟价值的破灭，使相关方暴露在巨大风险之下。

专利资产价值的不确定性大，变现和评估的难度很大，其处理对专业性要求非常高，因而，在没有特别政策补贴或其他原因时，专利融资的成本通常大大高于其他传统融资方式，使专利融资或资本运营的可操作性通常较低。

专利融资或资本运营可能给企业带来较大的风险或损失。专利的不确定性也可能造成专利价值被极大的低估。专利融资或资本运营失措可能使企业仅获得少量的融资而丧失了对核心技术资产的控制，轻则损失巨额收益，重则对主营业务造成难以弥补的根本性损害。

企业对复杂的专利融资或资本运营应保持高度谨慎，在提高自身专业能力的同时，须聘请独立于融资相对方（即出资方）的专业顾问审核融资或运营方案，评估经济风险，而不应将风险评估仅局限于由律师完成法律风险评估，尤其当融资相对方是专利方面的专业机构时。例如，一些专利服务机构向企业提供以专业服务换取专利资产的服务，其从性质上属于专利资本运营：（部分）专利所有权、专利许可、专利收益分配权等均属于专利资产，企业以这些专利资产向服务机构换取专业服务时，相当于以专利资产为代价从服务机构取得融资，只是所融得的资金仅限用于向服务机构采购专业服务，从而达成了专利资本运营。

综上，对于资本虚拟运营应当进行积极发展，同时应适度控制，避免过度脱实就虚。此外，企业应谨慎控制专利资本运营因核心技术资产失控而可能带

来的潜在风险。

第五章 专利导航项目成果应用

5.1 成果应用原则

充分应用专利导航项目全面优化企业专利布局，提升企业专利运营效益和竞争力，要把握以下三个原则：

（1）融合性

专利运营涉及企业市场竞争策略、技术与产品开发、投资并购等方方面面，专利分析成果应当融合嵌入企业生产经营活动，服从保障于企业的市场目标，避免脱节。

（2）系统性

专利运营涉及的环节多、链条长，不同环节的着力点和切入点不同，在运用专利分析成果过程中，各项决策应当互为支撑、形成体系、发挥合力。

（3）可操作性

基于专利导航分析形成的专利运营总体方案或分项计划，要目标明确、分步有序、匹配资源，确保可实施、可落地。

5.2 完善相关发展规划

5.2.1 战略规划

（1）加强运营管理，提升资产价值

随着科技进步，科技创新在产业竞争中已处在越来越重要的地位。专利是实现科技研发向现实生产力转化的一个重要载体，是最贴近生产力的知识产权表现形式。有效发挥专利在产业结构调整中的作用，有利于提高企业技术创新能力和研发投入效率，增强企业市场竞争能力，实现产业的可持续发展。

实现专利的价值是开展专利工作的最终目的，通过专利的许可、转让、融资、作价入股、构建专利池等专利运营工作，已成为实现专利价值的必由之路。提高专利运营能力，充分实现技术创新价值，将专利这一无形财产有形

化，使企业从技术创新和专利运营中尝到甜头、得到实惠，是提高技术创新和专利申请积极性的重要途径。一方面，可以根据需要采取专利许可或者转让等形式引进专利，在短时间内迅速提升研发实力，增加技术储备。另一方面，可以将其拥有的专利通过向外转让和许可、以及交叉许可等运营方式来盘活专利资产、提高经济效益，降低专利储备费用。

在引进专利时应注意如下几点：一是对专利价值进行评估，降低风险；二是经济承受能力；三是专利技术要适用于企业本身的生产经营领域；四是要能对引进的专利技术进行消化、吸收、再创新。

在进行专利运营时，则应注意是否会形成对自身的竞争。比如，当进行专利许可时，应注意是否会为自身企业制造潜在的竞争对手，如果风险较大，可选择采取合资经营等方式代替专利许可。此外，对目标专利的选择也应慎重对待。通常而言，企业一般不会将其核心技术进行专利运营，用于专利运营的专利多为产品销售地区的非核心技术，或者为非产品销售地区的技术。企业需根据自身的情况确定运营目的，综合判断专利运营对自身企业的所带来的利润和不利方面，选择符合企业发展战略的运营策略。

（2）加大人才储备，蓄力发展后劲

人才是一种战略性资源，引进人才是一种战略投资。采取积极措施吸引和留住人才是壮大技术人才队伍的通行做法，也是在较短时间内突破技术瓶颈，提升科研水平的一条宝贵经验。公司要想在试验装备和液压振动产品方面形成更多、更好的具有自主知识产权的创新成果，就需要具有足够的创新技术人才储备。

具体地，企业可从内部培养和外部引进两种渠道开展工作，结合企业自身的现状，从短期发展来看，建议采取内部培养为主、外部引进为辅的方式。其中外部技术创新人才可以考虑聘请高校的科研团队人员，例如在液压振动台的控制技术方面，包括但不限于大连海事大学船舶与海洋工程学院的关广丰、熊伟、王海涛、马文琦团队，浙江大学的刘毅教授团队、陈积明教授团队、中国矿业大学的沈刚教授团队等。

（3）借鉴核心专利，寻找技术突破

根据中机试验的技术发展需求，筛选出近五年部分国内外申请人的重要专

利，可辅助我方寻求研发的突破口。

国外专利包括：JP5357447B2、JP5311549B2、JP5650052B2、JP5202874B2、W02020208925A1、JP6820514B2、RU2730881C1、RU2715348C1、RU2671928C1、EP3586020A4 等。

国内专利包括：CN111735596A、CN108918062A、CN107505149A、CN112268672A、CN111795791B、CN109323940A、CN108278233B、CN107524649A、CN107630848A、CN111366322A 等。

国外的一些维持到期限届满才失效的专利往往是本领域的基础专利，也值得学习和借鉴，包括 US4297888A、US4280083A、JP2001108570A、JP1983055836A、US3442120A、US5445030A、US4996881A、US4912980A、ES454945A1、US3921286A、DE2221964C2、US3691822A、MX230220B、JP1980011063A、SU1566252A1、SU1108343A1、GB2354054B、US5666328A、JP1992368518A、DE4000011A1、CA922014A、US3800588A、US3698508A、GB1015661A、US5665919A、US5544528A、US5343752A、JP1983057699B2、JP1983001807B2、JP1983001806B2、JP1983146943U、JP1984175154U、JP1994032601Y2、JP1994022195Y2、JP1993014879U、JP3281735B2、JP3468913B2、JP3468991B2、JP3600408B2、JP4101406B2、JP3901910B2、JP1992104550U、JP2572618Y2、JP1993012915U、JP3600360B2。

此外，还有一些已授权国内外专利存在专利许可或权力转移，这些专利往往有较大的市场价值或应用前景，也可以予以关注，包括 US10976216B2、US8408066B1、JP5357447B2、JP5311549B2、CN106353058B、CN103822796B、CN103712787B、US7267010B2、JP5650052B2、JP5202874B2、CN106788035B、CN104019967B、CN103452967B、CN104070009B。

我方可以根据上述专利申请公开的技术方案进行跟踪、分析、研究，利用其他申请人已公开的核心专利技术方案启示我方技术人员。

5.2.2 产品规划

在液压振动台领域，国外在 2010 年前后关键技术走向成熟，专利申请有所减少并趋于稳定，国内从 2011 年以后相关专利申请量呈现直线式上升趋势，处

于加速创新阶段。

美国和日本在该领域拥有广泛的技术合作和产品市场。德国在欧洲各国中技术实力最强。国内的专利申请数量虽多，但在高级伺服控制等核心技术方面与国外还有一定差距。

控制技术和总体设计技术是液压振动台领域近年的创新热点和研究重点，尤其是各种改进的 PID 控制、三参量伺服控制及其他新型控制技术的应用，极大地改进和拓展了液压振动台的产品性能和应用范围。

日本的三菱重工和日立在控制技术和总体设计技术方向优势明显，国内的富力通达、杭州亿恒和美国的 MTS 公司也在控制技术方向有一定的技术积累和专利布局；国内的富力通达和 702 所在应用技术方向布局较多；日本的株式会社 TEAM 和国内的浙江大学在重要部组件技术方向开展了较多的专利布局。

国内在材料振动测试和多向振动台总体设计领域专利分布较为密集，属于行业热点技术，专利壁垒相对较多。在三参量伺服控制的全数字化软件和硬件实现方面国内的相关专利还较少，属于行业空白点，有待加强技术攻关和申请力度。

目前，国内的创新主体以高校/科研院所为主，高校/科研院所与企业之间虽然存在少量产学研合作的申请，但协同创新的申请量占领域内总申请量的比例仅有 14%，未来有望进一步加强。此外，国内在液压振动台领域的专利运用也很不活跃，科技企业亟需加大自主创新和技术引进的能力。

国外的 MTS 系统公司、Instron 公司、三菱重工和日立株式会社是该领域的技术引领者，早期布局了较多的基础和核心专利，但目前这些创新主体的相关技术已经基本成熟，除了三菱重工近年还在申请少量专利之外，其余主体近年基本不再申请新的相关专利，其大部分相关专利也已经失效，可以挖掘学习。

国内的申请人中，苏试试验公司在液压振动台领域有一定的专利布局，既有外观设计申请，又有实用新型和发明专利申请，其 2020 年申请的专利 CN111749957A（一种大负载摇摆台用高压油源的控制装置及其控制方法）处于审查状态中，可以予以关注。富力通达公司在 2017 年集中申请了一批专利，但其中未见有涉及全数字伺服控制器系统的公开申请。杭州亿恒科技有限公司依托于浙江大学的科研团队也已研发出先进的数字式振动控制器和三参量伺服控

制器，其近年申请的相关专利 CN109406258B（基于多传感器的振动幅度加权控制方法）和 CN111256927A（自适应调节双闭环时间正弦振动控制方法）等可以借鉴学习，同时也需要关注其后续的专利申请和布局。

中机试验目前的专利申请呈现快速增长的趋势，这说明近年来企业的技术创新较为活跃，但从技术分布来看，目前的专利申请主要集中在材料性能拉/压力测试装置以及试验装置的专用夹具和零部件等方面，在未来重点发展的液压振动台及其全数字化伺服控制技术方面的专利申请还有待开展和增强。

5.2.3 技术规划

（1）宽频、长行程、多自由度电液振动台是热门应用需求

随着航天、航空和汽车工业的飞速发展，对振动试验的要求越来越高，在进行振动环境模拟试验时，很多产品的试验需要大激振力（1000kN 以上）、长行程（>250mm），而且由于试样较大，不方便移动，往往需要在一个振动台上完成整个频段的振动环境模拟实验，如何设计出宽频、长行程、多自由度的电液振动台是今后一段时间的重点需求。从近年的重要相关专利来看，美国桑迪亚国家实验室在能源部 DE-AC04-94AL85000 合同资助下申请的专利 US8408066B1 提供了一种宽频带高频振动测试系统。中国航空综合技术研究所的韩伟等人设计的三轴向六自由度振动试验装置（CN110243563B），能够实现包括三个平动、三个转动的三轴向六自由度振动控制，频率范围为 5~2000Hz。俄罗斯 2020 年申请的专利 RU2730881C1 公开了一种对大对象进行三个方向振动试验的装置。苏州东菱振动试验仪器有限公司和湖南科技大学 2020 年申请的专利 CN111735596A 涉及一种高速液压振动台，最大行程 300mm。清华大学的 PCT 专利申请 WO2021046985A1 提供了一种可实现长行程高频率加载的电液伺服作动器及控制方法。南京理工大学和扬州市江都永坚有限公司申请的专利 CN107367366B 公开了一种多自由度电液振动台，能够模拟包括竖直、水平、倾斜振动在内的多种工况。

（2）考虑非线性时变因素的智能伺服控制是当前的研究热点

基于线性控制理论提出的三状态控制法是液压振动台常用的控制方法，其

反馈部分用来抑制干扰和保证系统稳定，前馈部分用来拓展频宽和提高跟踪精度。然而，实际中液压振动台系统是一个复杂非线性系统，比如受到油温、油压、伺服阀死区等不确定因素影响，使用传统针对线性系统的控制方法，对于正弦输入期望信号，液压振动台系统响应输出存在一定程度上幅值衰减以及相位滞后。这种响应波形的失真，使振动试验结果的有效性和可信性受到极大影响，很难实现任意频率的正弦输入信号高精度跟踪。常用方法是对这些非线性因素进行设计一个非线性补偿器针对性补偿，这些方法往往针对某一种非线性进行补偿，参数整定复杂，而液压振动台系统是一个时变系统，针对性补偿往往没有考虑到时变因素，无法很好地对非线性补偿，消除响应信号中的幅值衰减以及相位滞后。

近年，电液伺服控制逐渐向智能控制方向发展，包括模型预测控制（CA2977057A1）、迭代学习控制（CN110657933B、CN110672290B）、自抗扰控制等非线性控制技术纷纷被提出（如 CN110220661B、CN110361150B、CN110955145A）。MTS 公司的 AdapTrac 控制器即在传统 PID 控制基础上具有前馈控制、频率反向补偿控制、幅度控制和压差等辅助控制特性，已成功应用于该公司的多轴仿真试验台 MAST 上。航空工业庆安集团有限公司的高长虹等人采用非线性逆模型动力学前馈方法，结合三状态反馈及内力镇定控制对具有 8 条液压缸驱动的冗余振动台进行加速度控制，实现了加速度信号跟踪复现，避免了采用传统自适应控制、离线迭代等方法在系统具有较强非线性因素时存在提前破坏试件、收敛速度慢及算法稳定性等问题。浙江大学的曾庆宏等人设计了一个由正弦信号发生器和自适应滤波器构成的自校正网络（CN111795791B），对液压振动台控制系统的输入期望信号进行校正补偿，实时地根据反馈误差利用改进的变步长 LMS 算法更新校正网络权值，兼顾算法失调量和收敛速度，整个过程无需手动调节参数，并且能够在线运行，保证了液压振动台控制的实时性，能够很好地消除系统响应信号中的幅值衰减和相位滞后，实现对任意频率点输入期望正弦信号高精度跟踪。另外，浙江大学的周华等人为了提高加速度伺服控制内环的加速度功率谱密度控制精度，减少电液随机振动系统的加速度功率谱密度再现过程时间，提出了一种加速度频域分段伺服控制方法及控制器（CN112947615A），将时域参考加速度通过频域分段处理

方法处理后，获得合成参考加速度，对合成参考加速度进行二次积分计算后获得参考位移，利用位移伺服控制方法将参考位移和振动系统硬件的状态反馈信号进行计算得到控制输出电压。控制器中初始状态采样比一般的给初始状态置零的方式减少了加速度伺服控制内环在启动时的时域响应误差。

（3）多模耦合的复合式振动台是今后的发展趋势

液压振动装置如液压振动台由于具有低频、大位移、易安装等优点被广泛应用于振动试验中，但传统的液压振动装置的上限工作频率大多较低(一般在1000Hz以下)、加速度波形失真度较大等先天性缺陷。而电磁振动装置如电磁振动台虽然具有生产工艺简单，制造成本较低，振动频率高等优点，但其缺点是位移较小，一般仅能实现100mmP-P的振幅。因此，无论上述液压振动装置还是电磁振动装置均无法满足对结构振动测试的多方面需求。因此，近年来出现了将不同模式的振动台进行耦合的技术方案。如宝能汽车集团有限公司2019年申请的专利CN211504584U中提出了一种耦合电磁驱动及液压驱动的振动测试设备，通过液压振动装置及电磁振动装置的耦合使用，解决了液压振动装置的上限工作频率低、加速度波形失真度较大及电磁振动装置位移较小的缺点，充分发挥液压振动台推动力大、位移大、频率低及电磁振动台清洁卫生、频率高、精度高的优势。又如，苏州苏试试验集团股份有限公司2020年申请的专利CN111595543A提出了一种复合式的振动试验装置，利用液压缸大推力、大位移来带动电动振动台一起进行振动，低频时，利用液压缸低频的优异性能，补偿电动振动台低频时的位移不足，高频时，利用电动振动台高频的优异性能补偿液压缸高频时的频率不足，其最大位移可达到200mm(峰峰值)以上，以此实现振动位移的扩展，满足更大位移范围的振动试验要求。

5.3 保障相关资源投入

一要加强科技经费统筹。按照部门联动、突出重点的原则，整合财政性科技资金，集中向重大项目、重点学科、重要产业倾斜，在此基础上助推中机试验完成重要技术和重要产品的升级。

二要进一步夯实人才基础，聚集高端人才，优化整合各类资源，提升区域影响力，通过人才引进或项目合作等形式为中机试验的创新发展奠定人才基

础。

三要加大知识产权保护力度。保护知识产权实际上是保护创新的火种，是激发创新的热情。对侵犯知识产权的案件处理依法进行，要让创新主体感到创新是有价值的。

四要积极主动地将企业科技创新方面的相关政策告知企业，让企业及时掌握相关信息，各相关部门与企业沟通、联系要形成常态化，加强深度合作。

附件清单

1. 全球液压振动台相关专利文献清单. xlsx
2. 中国液压振动台相关专利文献清单. xlsx
3. 中机试验集团全部专利文献清单. xlsx
4. 国外竞争对手专利文献清单. xlsx
5. 国内竞争对手专利文献清单. xlsx
6. 值得借鉴的重要相关专利文献清单及全文. ZIP
7. 相关科技文献全文. rar
8. 中机试验现有专利分类评级清单. xlsx