
吉林省多场景人机协同的智能化胸腹腔微创
手术机器人技术专利导航项目报告

吉林大学

2024 年 6 月

目录

1 研究背景	7
1.1 多场景人机协同的智能化胸腹腔微创手术机器人概念	7
1.1.1 胸腹腔镜手术机器人概念	7
1.1.2 胸腹腔镜手术机器人多场景应用	10
1.2 产业发展环境	11
1.2.1 政策环境	11
1.2.2 发展趋势	14
1.2.3 产业链结构	19
1.2.4 市场需求	22
1.3 国内外发展情况	25
1.3.1 国外发展情况	25
1.3.2 国内发展情况	35
1.4 技术分解及关键技术	42
1.4.1 技术分解表	42
1.4.2 关键技术	43
2 专利检索	49
2.1 检索范围及数据库	49
2.2 检索策略	50
2.3 检索要素	52

2.3.1 报告主要采用的中文关键词.....	52
2.3.2 报告主要使用的 IPC 分类号.....	53
2.3.3 报告主要使用的 CPC 分类号.....	54
2.3.4 报告检索中使用的其它分类.....	55
2.3.5 报告检索中主要使用的申请人.....	55
2.4 查全查准情况	57
2.4.1 查全率评估.....	57
2.4.2 查准率评估.....	58
2.5 检索结果	58
3 专利态势分析.....	60
3.1 专利申请和授权趋势	60
3.2 专利申请地域分析	65
3.3 专利申请技术功效趋势分析	69
3.4 专利申请人分析	70
3.5 专利发明人分析	73
3.6 技术生命周期分析	78
4. 腹腔镜手术机器人技术分支构成分析	80
4.1 机械臂数量领域各技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析	80
4.1.1 机械臂数量各技术分支专利权人申请量分析	80
4.1.2 机械臂数量各技术分支申请趋势分析.....	81

4.2 远心机构技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析	82
4.2.1 远心机构技术分支专利权人申请量分析 ...	82
4.2.2 远心机构各技术分支申请趋势分析	83
4.3 末端执行器解耦方式各技术分支申请量和技术申请趋势分析	84
4.3.1 末端执行器解耦方式技术分支专利权人申请量分析	84
4.3.2 末端执行器解耦方式各技术分支申请趋势分析	85
4.4 机械臂独立性技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析	86
4.4.1 机械臂独立性技术分支专利权人申请量分析	86
4.4.2 机械臂独立性技术分支申请趋势分析	87
4.5 机械臂协同方式技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析	88
4.5.1 机械臂协同方式技术分支专利权人申请量分析	88
4.5.2 机械臂协同方式技术分支申请趋势分析 ...	89
4.6 快换器械技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析	90

4.6.1 快换器械技术分支专利权人申请量分析....	90
4.6.2 快换器械技术分支申请趋势分析.....	91
4.7 技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析 ...	91
4.7.1 力反馈技术分支专利权人申请量分析.....	91
4.7.2 力反馈技术分支申请趋势分析.....	92
4.8 技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析...	93
4.8.1 器械类型技术分支专利权人申请量分析....	93
4.8.2 器械类型技术分支申请趋势分析	94
4.9 技术分支重点核心专利	95
4.10 技术壁垒	97
5. 项目组技术储备及竞争实力	99
5.1 技术储备.....	99
5.2 主要研究成果	107
5.3 研发技术路线.....	112
5.4 主研人员情况.....	114
6. 必要性及可行性结论	116
6.1 产业发展环境	116
6.2 技术发展态势	117
6.3 技术壁垒	119
6.4 市场竞争实力	121
6.5 技术储备及技术竞争实力	122

7 技术方案优化与专利风险防控.....	124
7.1 技术路线或技术方案优化建议	124
7.2 风险规避设计建议	127
8 专利布局优化策略.....	129
8.1 核心技术强化策略	129
8.2 技术空白填补策略	130
8.3 竞争对手应对策略	130
8.4 市场政策导向策略	131

1 研究背景

医疗装备是医疗卫生和健康事业重要的物质基础，直接关系到人民群众的身体健康和生命安全，是人民群众对美好生活的重要需求。手术机器人作为高端医疗装备的标志性产品，不仅对诊断、手术、康复、医疗服务等有革命性的影响，也将引领精准医疗、远程医疗、智慧医疗的发展。国家高度重视医疗装备产业发展，强调要加快补齐我国高端医疗装备短板，加快突破医疗器械、医用设备、疫苗等领域的关键核心技术；全面贯彻党的二十大提出的健康中国建设要求，把保障人民健康放在优先发展的战略位置，这为胸腹腔镜手术机器人等医疗装备的发展指明了前进方向。

1.1 多场景人机协同的智能化胸腹腔微创手术机器人概念

1.1.1 胸腹腔镜手术机器人概念

胸腹腔镜手术机器人，通常也称为腹腔镜手术机器人，是一种集临床医学、生物力学、机械学、计算机科学、微电子学等诸多学科为一体的新型医疗器械，为“主从(主仆)控制式”内镜显微手术系统，其主要由医生控制台、床旁手术机械臂系统以及成像系统三部分组成(见图 1)。

(1) 控制台：由两个主控制器和脚踏板组成，控制台以及计

算系统将医生的动作解析为机械臂的动作。较为重要的技术参数包括，主控制器的力反馈、机械臂与控制器间的动作延迟，以及防止误操作的安全性等。

(2) 成像系统：包括三维内窥镜、摄像机、处理器、显示系统等，其中三维内窥镜位于机械臂的持镜臂上，显示屏幕位于医生控制台上。主要技术要点包括成像清晰度、定位系统、术中荧光显影等。医生团队亦可通过成像系统实时观察到手术进程，增加安全性。

(3) 机械臂：是手术机器人最为重要的部分，一般由 4 个固定于可移动基座上的机械臂组成，通常为持镜臂、左右手、以及能量器械臂组成。通过加装不同的手术器械，例如抓持钳，吻合器，以及能量平台，可以完成几乎所有的腔镜手术操作。单孔机器人则使用一条高度集成的机械臂，机械臂上集成 4 个机械手，对应多孔机器人的 4 臂设计。



图 1 腔镜机器人主要系统和器械

在手术过程中，外科医生通过操作医生控制台来驱动床旁手术机械臂系统，机械臂可以灵活地进行各种手术操作，如组织的游离、分割，血管的解剖、暴露，出血点的缝合、结扎等。清晰的成像系统则负责为医生提供清晰的 3D 手术视野，帮助医生更准确地判断和操作。



图 2 胸腹腔镜手术机器人临床手术场景

胸腹腔镜手术机器人具有许多优势，例如它可以进行微创手术，减少患者的创伤和恢复时间；同时，由于机械臂的操作比人手更加稳定、灵活，可以实现更精细的手术操作，提高手术成功率。此外，手术机器人还可以减少医生在手术过程中的疲劳感，提高手术效率。

目前，胸腹腔镜手术机器人已经在越来越多的领域得到应用，包括普胸外科、泌尿外科、妇科、小儿外科等多个科室。随着技术

的不断发展和完善，相信未来会有更多的患者受益于这项技术。

1.1.2 胸腹腔镜手术机器人多场景应用

胸腹腔镜手术机器人一般具有 1-4 个机械臂，可以实现更复杂的手术操作，多个机械臂可以同时工作，提高了手术效率，并允许医生在手术过程中进行更多的操作和调整，可以适用于更高精度和更大操作范围的手术(见图 2)。国产术锐是一种单臂腹腔镜手术机器人，具有单臂单孔占用空间小、手术臂之间不存在干涉、减少了术前摆位的难度等优势。这种机器人适用于需要较小手术空间或特殊角度的手术操作。医生可以通过操作单臂机器人，实现精细的手术操作，同时减少对患者身体的创伤。

一般来说，多臂腹腔镜机器人只能进行人机多臂同时协同应用，不能单独进行独臂手术操作。项目团队研发出四臂腹腔镜微创手术机器人(见图 3)，可以根据患者患病部位或医生操作习惯不同，进行独立单臂或多臂协同应用，满足不同应用场景需要。

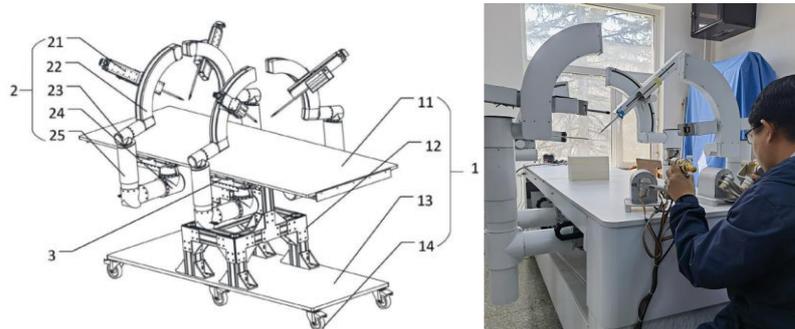


图 3 项目组研发腹腔镜手术机器人

1.2 产业发展环境

1.2.1 政策环境

在国家政策一路绿灯的大背景下，国产腹腔镜手术机器人产业将迎来重大机遇。2023年1月，工信部等十七部门联合发布了《“机器人+”应用行动实施方案的通知》。在医疗健康领域提出，“鼓励有条件有需求的医院使用机器人实施精准微创手术，建设机器人应用标准化手术室，研究手术机器人临床应用标准规范。”从表1国家政策汇总不完全统计来看，从2015年开始，国家在手术机器人及相关内容发布系列政策(见表1)，在审批、配置、医保、技术、应用等方面均给予了大力鼓励和支持。内容如下：

表1 腹腔镜手术机器人国家政策汇总

发布日期	发布部门	政策名称	核心内容
2015-5	国务院	《中国制造2025》	重点发展包括医用机器人在内的高性能诊疗设备
2016-3	国务院	《关于促进医药产业健康发展的指导意见》	提高核心竞争力，明确提出发展医用机器人等高端医疗器械，实现进口替代
2016-3	国家发改委	《机器人产业发展规划(2016-2020年)》	重点发展消防救援机器人、手术机器人、智能型公共服务机器人、智能护理机器人等四种标志性产品，推进专业服务机器人实现系列化，个人/家庭服务机器人实现商品化
2016-4	工信部、国家发改委、财政部	《机器人产业发展规划(2016-2020年)》	开展手术机器人在三甲医院智能手术中心的试点示范
2016-7	国务院	《“十三五”国家科技创新规划》	以早期、精准、微创诊疗为方向，重点推进多模态分子成像、新型磁共振成像系统、手术机器人等产品研发，加快推进数字诊疗装备国产化、高端化、品牌化
2017-1	工信部	《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018-2020)》	支持手术机器人操作系统研发、推动手术机器人在临床医疗中的应用
2017-5	科技部	《“十三五”医疗器械科	重点开发具国际先进水平的高精度手术

发布日期	发布部门	政策名称	核心内容
		技创新专项规划》	规划、导航、定位的智能医疗机器人系统，包括腹部微创治疗腹腔镜手术，骨科、心脑血管、神经、口腔、眼等智能手术机器人系统
2017-11	国家发改委	《增强制造业核心竞争力三年行动计划（2018-2020年）》	重点支持超声内窥镜、手术机器人等创新医疗器械产业化
2017-12	国家发改委	《高端医疗器械和药品关键技术产业化实施方案（2018-2020年）》	鼓励腹腔镜和神经外科手术机器人等创新设备产业化，推动骨科手术机器人等产品升级换代和质量性能提升
2018-12	国家药监局	《创新医疗器械特别审批程序》	规定创新医疗器械特别审批申请的审批通道，对于受理注册申报的创新医疗器械，将优先进行审评、审批
2019-8	国务院	《关于印发6个新设自由贸易试验区总体方案的通知》	加快质子放射治疗系统、手术机器人等大型创新医疗设备和创新药物审批
2019-11	国家发改委	《关于推动先进制造业和现代服务业深度融合发展的实施意见（发改产业）》	重点发展手术机器人、医学影像、远程诊疗等高端医疗设备，逐步实现设备智能化、生活智慧化
2021-6	国务院办公厅	《关于推动公立医院高质量发展的意见》	推动手术机器人等智能医疗设备和智能辅助诊疗系统的研发与应用
2021-10	国家卫健委	《“十四五”国家临床专科能力建设规划》	国家层面的关键领域技术创新方向包括：人工智能辅助手术（手术机器人研发及应用）、微创手术等
2021-11	国家卫健委	《关于进一步完善预约诊疗制度加强智慧医院建设的通知》	推广手术机器人、手术导航定位等智能医疗设备研制与应用，推动疾病诊断、治疗、康复和照护等智能辅助系统应用，提高医疗服务效率
2021-12	工信部、国家卫健委等	《“十四五”医疗装备产业发展规划》	攻关智能手术机器人，加快突破快速图像配准、高精度定位、智能人机交互、多自由度精准控制等关键技术；提升腹腔镜手术机器人、骨科手术机器人、口腔数字化种植机器人等智能手术机器人性能水平
2021-12	工信部、国家卫健委	《关于面向医疗领域征集机器人典型应用场景的函》	面向医疗领域，征集一批具有较高技术水平、成熟应用模式和显著应用成效的机器人典型场景。场景包括但不限于外科手术、辅助移位、护理辅助、远程问诊、辅助诊疗等方面
2022-1	国家卫健委	《关于进一步完善预约诊疗制度加强智慧医院建设的通知》	推广手术机器人、手术导航定位等智能医疗设备研制与应用，推动疾病诊断、治疗、康复和照护等智能辅助系统应用，提高医疗服务效率
2022-12	财政部	《中华人民共和国进出口	从2023年1月起，即按照最惠国进口零

发布日期	发布部门	政策名称	核心内容
		《口税则(2023)》	税率执行，鼓励国外手术机器人产品和技术进入中国市场
2023-1	工信部、教育部、公安部等十七部门	"机器人+"应用行动实施方案	鼓励有条件有需求的医院使用机器人实施精准微创手术，建设机器人应用标准化手术室，研究手术机器人临床应用标准规范。加强机器人在患者院前管理、院内诊疗及院后康复追踪整体病程服务体系中的应用，助力智慧医疗建设
2023-3	国家卫健委	《大型医用设备配置许可管理目录(2023年)》	2018年版目录相比，管理品目由10个调整为6个，其中，甲类由4个调减为2个，乙类由6个调减为4个。将甲类大型医用设备兜底条款设置的单台(套)价格限额由3000万元调增为5000万元人民币，乙类由1000-3000万元调增为3000-5000万元人民币
2023-4	国家药监局医疗器械技术审评中心	《腹腔镜内窥镜手术系统技术审评要点(征求意见稿)》	在医院综合实力方面，改为“外科综合实力强，相关专业开展腔镜手术时间不少于3年”
2023-6	国家卫健委	《十四五大型医用设备配置规划》	全国规划配置大型医用设备3645台，甲类117台，乙类3528台，其中腹腔镜内窥镜手术系统新增559台。

国家政策支持主要体现在四方面特点：

(1) 审批加速：国家创新医疗器械审批“绿色通道”，为腹腔镜在内的手术机器人亮了“绿灯”，已有多款国产产品通过特别审查申请，进入“绿色通道”，比原先上市申报流程压缩半年左右。

(2) 配置扩容：配置上对腹腔镜手术机器人进一步扩容。据《“十四五”大型医用设备配置规划》，腹腔镜内窥镜手术系统新增559台（此前存量260台，+215%），兜底价格从过去的1000万~3000万元调整为3000万~5000万元。

(3) 医保助力：2021年4月，上海使用了“达芬奇手术机器人”进行前列腺癌根治术、肾部分切除术、子宫全切术和直肠癌根治术，并将术费纳入医保报销范围。2021年8月，北京将“机器人辅助骨

科手术”（医保甲类）作为辅助操作获得政府定价，并与“一次性机器人专用器械”共同纳入北京医保支付目录。另外，湖南、广东、江西等多个省市也陆续跟进，手术机器人及相关耗材等项目都被纳入医保。2023年，上海进一步将“达芬奇”等76个新增医疗服务项目及新医疗器械（耗材）条目纳入医保。

(4) 收费标准化：2022年9月，湖南省医保局出台了《关于规范手术机器人辅助操作系统使用和收费行为的通知》，后有省市不断效仿，手术机器人的收费逐步进入标准化。

胸腹腔镜手术机器人相关行业政策趋于宽松化，十四五期间手术机器人配置数量有望进一步放开。相信不久的将来，在政策支持、技术革新、市场需求增大、资本助力等因素的推动下，新兴的手术机器人产业焕发强劲的生命力，未来市场空间广阔，行业将高速增长。此外，随着达芬奇机器人专利逐渐到期，机器人赛道入场者将拥有更多的发展机遇。

1.2.2 发展趋势

目前，手术机器人主要分为胸腹腔镜机器人、骨科机器人、经自然腔道机器人、泛血管机器人及经皮穿刺机器人五个赛道，以达芬奇为代表胸腹腔镜机器人发展趋势呈现出积极而显著的态势，市场规模最大，商业化发展最成熟。相信随着医疗技术的不断进步和人们对微创手术需求的增加，胸腹腔镜手术机器人市场正在迅速扩大。

(1) 竞争激烈 手术机器人市场白热化

在国外，一些知名的手术机器人生产企业，如达芬奇手术机器人系统制造商直观外科，以及史赛克、美敦力等医疗科技公司，都在不断推出新的手术机器人产品和技术，以满足市场需求。这些企业凭借其在技术、品牌、市场渠道等方面的优势，占据了全球手术机器人市场的主要份额。

2021 年，可以看作是中国腔镜手术机器人元年，微创机器人作为腔镜手术机器人第一股上市且产品已申报注册，上海市把四种腔镜机器人手术纳入医保，威高手术机器人作为国产第一家率先拿证，精锋、康多、术锐手术机器人正在临床试验，中国进入国产手术机器人大时代。2023 年度，腔镜机器人领域中标数量为 57 台。受近年国产品牌批量落地影响，达芬奇市场份额有所减少，但依然拥有近 65% 的市占率，中标数量达 36 台；随后分别是图迈中标 11 台、精锋中标 5 台、康多中标 5 台。在 2022 年，多家医疗机构认为，直观外科生产的达芬奇手术机器人设备是唯一能同时满足泌尿外科手术、普通外科腹腔镜手术、妇产科腹腔镜外科手术、胸外科胸腔镜手术、胸腔镜辅助心脏切开术等预期用途的手术机器人产品，国内可替代产品较少。但从目前招采数据来看，国内仅能依靠进口达芬奇机器人的僵局已被打破。国产厂商作为后发者，想挤进达芬奇等进口高端产品的根据地非常困难，需要投入大量销售费用，仅微创机器人 2022 年营销开支 1.84 亿元，同比增长 132.4%；而天

智航 2022 年销售费用为 0.9 亿元，同比增长 27.14%。费用越堆越高，收入却没见多大起色，竞争愈加激烈。

(2) 政策支持 国产企业喜迎发展机遇

即使商业化的手术机器人在美国虽有 20 多年的发展历史，目前该行业仍是一片蓝海。胸腹腔镜机器人国产化率低，国产企业迎来发展机遇：目前直觉外科的达芬奇是首个在我国获批的 4 臂手术机器人，除此之外精锋医疗的 4 臂腹腔镜机器人（适应症为 4 个主要的科室）也已于 2023 年获批，微创机器人的泌尿适应症的 4 臂腹腔镜机器人也已获批。尽管达芬奇早在 2010 年左右就进入中国，但是截至 2023 年第二季度末，我国仅有约 350 台腹腔镜手术机器人，这意味着在配置证限制下，直觉外科并未在中国大批量装机，一定程度限制了直觉外科在国内市场的增长，我国市场还有大批空白医院尚未触及。随着国产企业的陆续上市，及今年新一轮配置证的放开，国产企业有望迎来发展机遇。达芬奇手术机器人虽有绝对优势，但是国产单孔腹腔镜手术机器人依旧有产品获批。

国外品牌不管是史赛克还是美敦力，最终都想在耗材上盈利，集采背景下其利润点被削弱，捆绑下的商业模式就没有设想的好，如此，中国的企业或能在这样的土壤中成长。目前，胸腹腔镜手术机器人在国内是“一超多强”的局面，达芬奇在全球基本处于垄断的地位，随着国内企业的大力投入，国产腹腔镜机器人在技术和产品形态上摸索创新，实现多样化。目前国内获 NMPA 批准（境内）的

腹腔镜手术机器人共 8 家(见表 2),整体获批在数量上实现逐年突破。

表 2: 国内获 NMPA 批准(境内)的腹腔镜手术机器人列表

序号	注册编号	注册人名称	产品名称
1	国械注准 20213010848	山东威高手术机器人有限公司	腹腔内窥镜手术设备
2	国械注准 20223010108	上海微创医疗机器人(集团)股份有限公司	胸腹腔内窥镜手术系统
3	国械注准 20223010762	苏州康多机器人有限公司	腹腔内窥镜手术系统
4	国械注准 20223011623	深圳市精锋医疗科技股份有限公司	腹腔内窥镜手术系统
5	国械注准 20233010800	直观复星医疗器械技术(上海)有限公司	胸腹腔内窥镜手术控制系统
6	国械注准 20233010833	北京术锐机器人股份有限公司	腹腔内窥镜单孔手术系统
7	国械注准 20233011753	深圳市精锋医疗科技股份有限公司	腹腔内窥镜单孔手术系统
8	国械注准 20243010767	哈尔滨思哲睿智能医疗设备股份有限公司	腹腔内窥镜手术系统

(3) 商业模式 行业先行者更多获利空间

设备+耗材+服务的商业模式造就行业领先企业先发优势,由于设备价格昂贵,且耗材与设备锁定。直觉外科 2022 年耗材及服务营收占比已高达 73%,已经证明了这种商业模式的优越性,前期设备销售贡献主要收入,当装机量达到一定数量时,耗材及服务保障持续发展。虽然国产手术机器人公司均可采取“设备+耗材+服务”的商业模式,但各公司通过耗材和服务创收的能力存在较大差异,达芬奇的机械臂是高值耗材,使用 10 次后就会强制锁定,更换一次就要数万元;而国产公司的耗材多数为价值量相对低的保护罩、镊子等。在产业链下游,设备进院之后被竞争者替换的可能性较低(除非设备本身存在严重质量问题),所以研发进度靠前或者已经

有产品获批的企业有望抢占窗口期。

(4) 迭代创新 向轻小化、模块化和智能化方向发展

研发机构核心技术的不断创新和突破，力触觉反馈、精准定位导航、术中配准是迭代方向，胸腹腔镜手术机器人正朝着微创、精准、轻小化、模块化和智能化的方向发展。国内腹腔镜手术机器人起步较晚，但得益于国家政策的鼓励和支持，以及人工智能技术和互联网技术的不断突破，本土企业的手术机器人正在快速发展。随着医疗行业的数字化转型和智能化升级，胸腹腔镜手术机器人将与更多的医疗设备和系统进行整合，形成更加智能化、自动化的手术流程，这将进一步提高手术效率和安全性，为患者提供更好的医疗服务。现阶段，手术机器人多不具备自动化，部分实现了1级和2级自动化(见图4)，未来，手术机器人将在“眼”、“手”、“脑”、“体”上都有进化(见图5)，并迈向自动化和智能化。

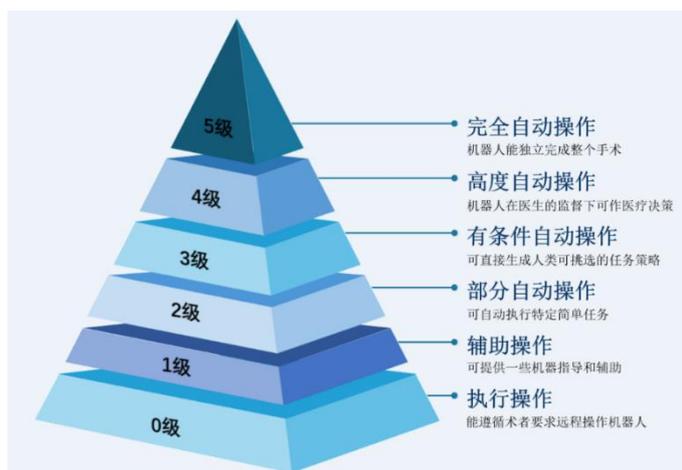


图4 腹腔镜机器人自动化等级

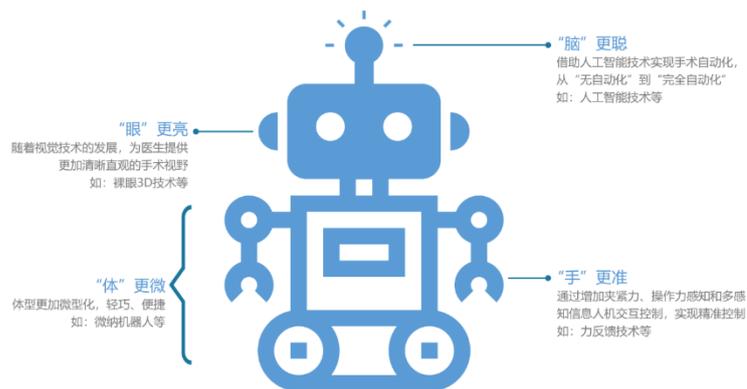


图 5 腹腔镜手术机器人进化趋势图

1.2.3 产业链结构

胸腹腔镜手术机器人产业链涉及上游核心零部件生产、中游设备制造和下游设备应用三个环节。近年来，机器人行业发展迅速，医疗机器人行业也蓬勃发展，涌现了多家优质国产企业。随着上游零部件和材料的国产替代趋势增强，医疗机器人企业在国产化、数字化等方面规划布局。胸腹腔镜手术机器人行业上游为关键零部件供应商(见表 3)，国内企业有赛微电子、苏奥传感、捷昌驱动等；中游为手术机器人服务商，包括哈工智能、威高骨科、天智航、微创机器人、键嘉医疗、机器人等；下游为消费市场。

(1) 上游企业

表 3 腹腔镜机器人上游企业

上游产业链产品	公司名称	简介
传感器	赛微电子	国内半导体行业领先企业
	苏奥传感	长三角传感器龙头企业之一
	森霸传感	国内光学传感器领先企业
电机	卧龙电驱	全球专业电机与驱动制造商
	捷昌驱动	国内线性驱动领先制造商
功能零部件	心脉医疗	血管类医疗器械制造领先企业

上游产业链产品	公司名称	简介
	澳华内镜	内窥镜制造领先企业
	东星医疗	吻合器制造领先企业
机械臂	埃斯顿	国产工业机器人龙头企业之一
减速机	昊志机电	高端数控机床、机器人减速机
	绿的谐波	国内精密减速器龙头企业之一
末端执行器	金雨滴精密	持针钳、弯剪刀、窗式钳头、马里兰钳头、单极电钩、电铲等

腔镜机器人上游三大核心零部件伺服电机、减速机、控制器，占机器人成本的 70%。伺服系统主要为机器人的运动提供动力，“伺服”含义为跟随，指按照指令信号做出位置、速度或转矩的跟随控制。伺服电机主要布置于机器人运动关节之中，目前应用于腔镜手术机器人的伺服电机仍然以外国品牌为主，包括日本松下，德国西门子，瑞士 Maxon Motor，美国科尔摩根等，我国的伺服电机仍与国际品牌存在差距，主要表现在缺乏大功率产品、不够小型化、信号接插件不稳定、编码器精度不足。

减速机，由于提供动力的伺服电机转速很高，通常与手术机器人的应用场景不匹配，这就需要减速机来使输出转速降下来，增大扭矩，在每一个电机处都要配套使用一个减速机。手术机器人中主要需要以 RV 减速器和谐波减速器为代表的精密减速器。该类减速器具有结构紧凑、传递功率大、噪声低、传动平稳等特征，在制造上有着很高的壁垒，精密减速器技术一直被欧美和日本等发达国家高度垄断，世界 75%的精密减速器市场被日系品牌 Nabtesco 和 Harmonica Drive 占领，因此手术机器人对减速机环节议价能力很弱。

控制器作为手术机器人最为核心的零部件，相当于机器人的“大脑”，用来接收信号，发布和传递动作指令。手术机器人厂商的一般自行开发控制器，和进口差距较小。

(2) 中游企业

表 4 腔镜机器人中游企业

中游产业链产品	公司名称	简介
胸腹腔手术机器人	直觉外科	全球手术机器人领先者
	哈工智能	聚焦于高端智能装备制造和人工智能机器人
	天智航	国内骨科机器人领先企业
	上海微创机器人	覆盖腔镜、骨科、泛血管、经自然腔道全科机器人
	杭州键嘉医疗科技股份有限公司	国内手术机器人领先企业
	沈阳新松	机器人全产业链企业
	苏州康多	开放式医生控制台三臂腔镜手术机器人
	深圳精锋医疗	腹腔内窥镜单孔手术系统

(3) 下游应用

下游产品应用上，一般是各大医院和医疗机构。在国际方面，达芬奇手术机器人的装机量和使用情况相对更为广泛。根据直觉外科的财报数据，截至 2024 年 3 月 31 日，公司的达芬奇手术系统总安装量达到 8887 台，同比增长 14%。这些手术机器人分布在全球 67 个国家，有超过 55000 名外科医生接受过达芬奇系统的培训。这意味着，在全球范围内，有相当数量的医院正在使用达芬奇手术机器人进行各种手术。在国内，哈工智能先后与中国人民解放军总医院、上海交通大学附属瑞金医院、上海第一人民医院、上海六院、

上海九院、复旦大学附属华山医院、中山医院、海军军医大学第一附属医院等国内十余家知名医院进行交流合作。苏州康多机器人有限公司的产品康多机器人®腹腔内窥镜手术系统是国内首个获得NMPA 批准上市的开放式医生控制台三臂腹腔镜手术机器人，已完成在黑龙江中医药大学附属第一医院的装机。微创机器人的图迈四臂腹腔镜手术机器人已在全国 20 个省份的 40 多家医院泌尿外科、肝胆外科、胃肠外科、胸外科、妇产科、甲乳外科等科室累计完成辅助临床验证手术量突破 1000 例。吉林大学中日联谊医院于 2020 年 3 月 5 日,该院引进了吉林省内第一台第四代达芬奇手术机器人 Xi, 手术涵盖了肝胆胰外科、减重代谢外科、甲状腺外科、妇科、泌尿外科、胃肠结直肠外科等多个学科领域。2022 年 12 月 2 日, 吉林大学第一医院达芬奇手术机器人中国泌尿外科临床手术教学示范中心正式在该院挂牌, 该中心对从事手术机器人操作的医务人员进行培训, 传授手术方法与技巧, 推进机器人手术技术的普及。

1.2.4 市场需求

近些年来,随着应用技术的成熟,产品的稳定性和可靠性提升,胸腹腔镜手术机器人的市场需求情况呈现出强劲的增长势头。据沙利文数据披露,2020 年,国内手术机器人市场规模达到 4.3 亿美元,复合增速为 35.7%。美股直觉外科(Intuitive Surgical)自 2000 年上市以来涨幅达 175 倍,其涨幅位列美股医药板块第二位(见图 6),2021 年 11 月 16 日市值达 1263 亿美元。截至 2024 年

3月31日，全世界达芬奇手术机器人总安装量超过8887台。2023年度有220多万例手术使用该系统，手术总量超过1400万次。

表1 截止2021-11-15 直觉外科 (ISRG.US) 涨幅达175倍，位居美股医药行业第二名。

证券代码	证券简称	涨跌幅 (倍)	总市值 (亿美元)
MASI.O	麦斯莫医疗(MASIMO)	229	165
ISRG.O	直觉外科(INTUITIVE)	175	1,263
IDXX.O	IDEXX 实验室	153	525
BIO_B.N	BIO RAD 实验室-B	128	225
EW.N	爱德华兹生命科学(EDWARDS)	84	729
RGEN.O	雷普里根(REPLIGEN)	83	145
UNH.N	联合健康集团(UNITEDHEALTH)	81	4,246
WST.N	WEST PHARMACEUTICAL SERVICES	75	313
ICLR.O	ICON	65	149
NVO.N	诺和诺德	62	2,667

注：至2021-11-15，只选取总市值100亿美元以上公司
资料来源：Wind、HTI

图6 直觉外科涨幅情况

估计到2026年全球规模将达到38.4亿美元，2020-2026年复合增速预计为26.2%，国内为44.3%，超过全球18.1%，国内市场潜力巨大，预计到2026年，腔镜手术机器人市场规模将达23.2亿美元。随着医疗技术的不断进步和人们对医疗服务需求的增加，微创手术的需求也日益增长。

(1) 国内市场空间大 增长速度加快

2030年前胸腹腔镜手术机器人主要在三甲医院渗透，预计2025年我国内镜手术机器人整体市场空间将达到93.9亿元，2030年将达到243.1亿元。此外，在乐观、中性和谨慎情景下重新计算市场规模，预计2025年国内胸腹腔镜手术机器人整体市场规模将达到78.3亿元，2030年将达到202.9亿元，整体市场空间仍然较大。

(2) 患者微创手术需求意愿强烈 促进术量增加

随着人们对医疗保健的可支配收入和认识的增加，患者期望减

少疤痕、缩短住院时间和提高生活质量，人们对微创手术好处的认识不断提高，这在一定程度上促进了胸腹腔镜手术机器人市场的增长。由于手术创伤小、术后恢复快、学习时间曲线短、操作过程中体验好等优点，给患者和医生工作带来很多好处，另外可以最大限度地减少对周围组织、血管和神经的损伤，减少手术中的失血量，缩短器官功能恢复所需的时间，有利于患者的快速恢复。

(3) 二级医疗机构引进意愿强烈 手术机器人持续下沉

目前，内窥镜手术机器人主要渗透到一流医院。从地域分布来看，全国已采购内镜手术机器人的三甲医院分布在至少 30 个省（自治区、直辖市），从床位规模和专业人员配备来看，各数量区间均有分布。

未来手术的需求不会只集中在三甲医院和少数地区。从对医生经验的要求来看，传统的内镜手术在二级医院已经普及，可以满足他们对医生经验的要求。机器人辅助内镜手术方式对于除三甲医院外的其他三甲医院和二甲医院的外科临床医生工作来说并不难，学习时间曲线短。除了国产内窥镜手术机器人的性价比优势外，其他医院都有采购内窥镜手术机器人的要求。从患者分布来看，由内镜手术机器人辅助的泌尿外科、妇科、普外科、胸外科等患者广泛分布于全国各地，配备外科手术机器人的医院没有明显的地域集中性，而且越来越多的病人主要是外科手术病人，对胸腹腔镜外科手术机器人的临床需求越来越大。

(4) 终端手术成本持续降低 国产产品竞争力增强

达芬奇手术机器人在中国单台售价达 350 万美元左右，平均每台手术费用 3-5 万人民币，高昂的手术费用让许多患者望而却步。据估计，国产内窥镜手术机器人的终端操作成本约为达芬奇手术机器人的 50%-60%，可大大减轻患者负担，具有很高的性价比优势和竞争力。目前，已有 14 个省份就机器人手术自主定价原则达成一致，6 个省/直辖市明确了定价范围。国产腹腔镜机器人有望在终末期手术费用方面满足这些区域性定价原则。此外，虽然湖南省医保局和海南省医保局已经可以出台了腹腔镜手术机器人限价政策，但预计不会对我国国产企业产品发展产生一个重大问题影响，腹腔镜手术机器人术量必将持续增长。

总的来说，腹腔镜手术机器人的市场需求情况非常乐观，具有广阔的发展前景。

1.3 国内外发展情况

1.3.1 国外发展情况

20 世纪 80 年代中后期，为了解决外科手术中存在的精度不足、切口较大、操作容易疲劳等问题，机器人技术渐渐开始进入外科领域。1985 年，加拿大 Kwoh 教授在世界上第 1 次采用 PUMA560 型工业机器人来完成脑肿瘤活检手术，他将固定装置稳定保持在患者头部附近以便于神经外科手术的钻孔和将组织取样针插入指定位置，

完成了脑部肿物活组织穿刺中探针的导向定位，结果显示机器人操作不仅明显快于手动调试操作，且穿刺定位精确度得以明显提高。技术已历经多代，演化出了腔镜手术机器人、骨科手术机器人、泛血管手术机器人、经自然腔道手术机器人、经皮穿刺手术机器人等五大类产品(见图7)，广泛应用在骨科、泌尿外科、妇科、胸外科、普外科等临床领域。

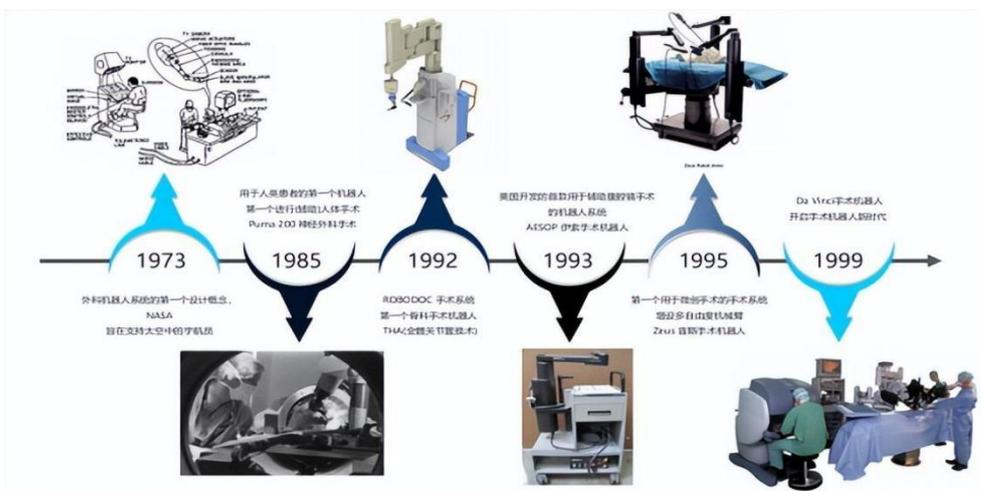


图7 腔镜手术机器人的进化发展史

20世纪90年代腹腔镜手术越来越盛行，由于手术中医师需要用手来扶镜，长时间扶镜所带来的生理疲劳容易造成镜头位置的不稳，从而严重影响手术效率。为了解决这个问题，美国 Computer Motion 公司于1994年推出了 AESOP 机器人手术辅助系统，该系统具有一个可以模仿人手臂功能的机械臂，通过手术医师的声音或者脚踏来控制机械臂操作腹腔镜镜头来完成摄像以及视角变换的功能，提供比人为控制更精确、更一致的镜头运动，这就让医师的手空出来轻松地进行手术，并且为医师提供直接、稳定的手术视野。AESOP

是美国食品药品监督管理局 (FDA) 批准使用的第一款可以用于辅助手术的机器人。但是由于功能单一，该系统未得到广泛应用。1996 年，Computer Motion 公司在 AESOP 系统的基础上又推出了 ZEUS 手术机器人系统，该系统采用主—从遥控操作技术，有独立的外科操作平台以及手术操作用的机械臂。ZEUS 手术机器人具备了现代机器人手术操作系统的特点，从操作手的每个机械臂都具有 6+1 个自由度。该系统最有名的临床应用是 2001 年，法国的 Jacques Marescaux 教授利用 ZEUS 系统在美国的纽约与法国的斯特拉斯堡之间成功完成了世界首台远程机器人辅助胆囊切除术，两地相距 4000km，手术耗时 54rain。手术机器人延伸了医师的手臂，让医师在相隔几千千米之外为患者进行手术成为可能。然而，尽管 ZEUS 机器人系统安全性高，术前机器人安装准备时间少，但是其从操作手的布局方式占用空间较大，操作空间较小，灵活性相对较低，成为制约其继续发展的关键因素。另外，该系统不具备力信息反馈功能。

2000 年，达芬奇手术机器人正式成为第一个受 FDA 批准用于临床手术的机器人辅助腹腔镜手术系统。通过二十余年的创新发展，达芬奇平台开创了手术室的新功能，改变了微创手术领域，通过超千万次手术，Intuitive 已成为手术机器人领域公认的领导者。

达芬奇手术机器人至今已经研制了 4 代，2014 年上市的第四代系统 Da Vinci Xi，能够完成从减肥手术和疝气修复到心脏搭桥和前列腺切除多种手术；2017 年上市的第四代系统 Da Vinci X 保

持了 Da Vinci Xi 基本功能,进行了相应简化,设备价格明显降低,利用通用模块可进行功能扩展;2018 年上市的 Da Vinci SP 可实现从单一的端口或切口进入。Hugo 手术机器人采用模块化的设计,每个机械臂都安装在单独的手术车上,末端执行器可兼容多种现有器械的组合,使用更加灵活,可明显缩短操作者的学习周期。Ottava 手术机器人搭载 6 个与手术台结合的机器手臂,手臂集成于手术台上,可明显提高手术操作的灵活性,并采用零占用空间的设计,优化手术工作流程。Dexter 手术机器人称为“按需机器人”。该机器人通过两个铰链式连接的精准机械臂辅助医生完成手术操作,可集成到现有的腹腔镜设置和工作流程中;可兼容所有腹腔镜设备、发生器和 3D 成像系统;可快速安装和拆卸,实现在手术室之间快速移动,具有较强的灵活性和兼容性。Dominik Bhlen 于 2022 年 6 月使用 Dexter 成功完成了首批泌尿外科手术。2022 年 1 月 Science 子刊报道了 STAR 智能组织自主机器人。无需医生的指导,STAR 机器人对猪的软组织进行了腹腔镜手术,自主完成肠道两端的重新连接。该机器人通过机器人手臂上的 3D 摄像头获取图像,可感知机器人在体内的深度,并绘制患者腹部内部变化的情况,缝合的过程中使用定制软件控制机器人完成自动缝合操作。

国外胸腹腔镜机器人研发机构情况如下:

(1) 直觉外科 (Intuitive Surgical)

直觉外科一家全球领先的机器人辅助微创手术技术公司,成立

于 1995 年，总部位于美国加利福尼亚州桑尼维尔，致力于开发新的手术机器人技术。公司产品包括达芬奇手术系统和 Ion 微创肺癌活检系统。达芬奇外科机器人系统(见图 8)，是市场上最受欢迎和最广泛使用的外科机器人系统之一。该系统可以让外科医生通过微小的切口进行各种手术，提高手术效率和安全性，减少患者并发症和恢复时间。

作为腹腔镜手术机器人行业开创者，达芬奇手术机器人目前全球装机量已经突破 7500 台，累计完成机器人手术 1100 万余例。尤其是在泌尿外科手术上，机器人前列腺癌根治术（RARP）渗透率已超过 85%。

2023 年 6 月 14 日，直观复星医疗器械技术（上海）有限公司旗下的“国产 Xi 手术机器人”获得国家药品监督管理局（NMPA）的上市批准（注册证号：国械注准 20233010800），可应用于泌尿外科、普通外科、妇产科、胸外科等腹腔镜手术。这意味着本土化生产的达芬奇手术机器人正式获批上市。2024 年 3 月 14 日，直觉外科宣布，其下一代多孔手术机器人系统达芬奇 5（da Vinci 5），获得了美国食品和药物管理局（FDA）的 510(k) 许可。

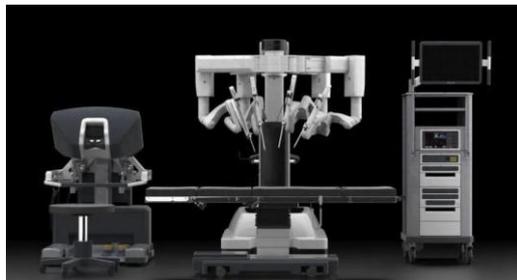


图 8 达芬奇机器人

(2) Asensus Surgical

美国腹腔镜公司 Asensus Surgical 成立于 1988 年 8 月 19 日，其开发的 Senhance 系统是第一款也是目前唯一一个获得 FDA 批准的数字腹腔镜平台(见图 9)，被认为其能成为终结达芬奇制霸市场 20 年的传奇设备。

Senhance 系统采用多端口设计，最多允许四个手臂控制机器人仪器和一个摄像头，属于控制腹腔镜器械，可用于组织的可视化和内窥镜操作；除了具备传统外科机器人系统的功能以外，该设备搭载了触觉反馈、眼球追踪摄像头控制、手臂稳定和 3D 高清图像等先进功能，能够助力外科医生执行更复杂的操作，增加手术的多样性。

公司即将推出的“Luna 手术机器人平台”，这是一款一体化数字手术解决方案，预计将于 2025 年获得 FDA 批准。Asensus 还与新加坡制造商 Flex 署了一项设计和生产协议，根据协议内容，Flex 将为 LUNA 系统的生产制造提供一系列服务，让 Asensus 能够更快地大规模交付该手术机器人平台。



图 9 Asensus Surgical 的 Senhance 手术机器人

(3) CMR Surgical

CMR Surgical 前身是成立于 2014 年的剑桥医疗机器人，是一家全球医疗设备公司。其首款手术机器人产品 Versius 于 2017 年研发成功(见图 10)，是全球最小的手术机器人，可用于 130 多种手术，如进行结肠切除术、疝修补术、肺叶切除术等，涵盖七个外科专科。CMR Surgical 将推出对视觉技术、仪器和数字产品的增强，以进一步加强 Versius 的价值。

Versius 仅有达芬奇机器人的三分之一大小，易于转移及运送，这直接提升了它的实用性，并且可以根据使用情况而选择给定手术所需的手臂数量，使其在世界各地的医院和外科医生中非常受欢迎。2023 年，CMR Surgical 的全球保有量增长了 50%，达到 160 台，年手术数量增长了 60%，达到 17,000 例。



图 10 CMR Surgical 的 Versius 手术机器人

(4) 美敦力

美国美敦力公司 (Medtronic, Inc.) 成立于 1949 年，总部位于美国明尼苏达州明尼阿波利斯市。2019 年 9 月，美敦力发布首台

HUGO 手术机器人(见图 11),正式加入软组织手术机器人领域竞争,被认为是达芬奇“最危险”的竞争者。美敦力获得 FDA 允许启动 Hugo 机器人辅助腹股沟疝手术的关键试验,并继续进行其用于前列腺切除手术的 Expand URO 关键试验。2023 年,该公司继续在美国以外的地区扩大其 Hugo 软组织手术机器人系统的应用。

Hugo RAS 系统是一个模块化的多象限平台,专为广泛的软组织手术而设计。系统使用模块化的解决方案,重点克服手术机器人成本和应用的障碍。Hugo RAS 系统包括手术塔、控制台、手术手臂和机械手推车。



图 11 美敦力 HUGO 手术机器人

(5) Johnson & Johnson

2019 年 2 月 13 日, Johnson & Johnson (强生科技) 宣布以 57.5 亿美元收购 Auris Health, 正式杀入手术机器人赛道。2020 年 11 月强生公布了 Ottawa 手术机器人, 与达芬奇一样, 该系统将用于软组织机器人手术。

2023 年 11 月, 强生宣布计划在 2024 年下半年向美国 FDA 递

交临床申请，开始对其 Ottawa 系统进行美国临床研究(见图 12)。相较以往的设计，Ottava 系统化繁为简，将六只机械臂缩减到了四只，实现了更紧凑的统一结构。此外，这四只机械臂能够整合到标准大小的手术台中，实现机械臂&手术台的“二合一”结构设计，在需要时随时可以使用，不需要时在手术台下方收藏。

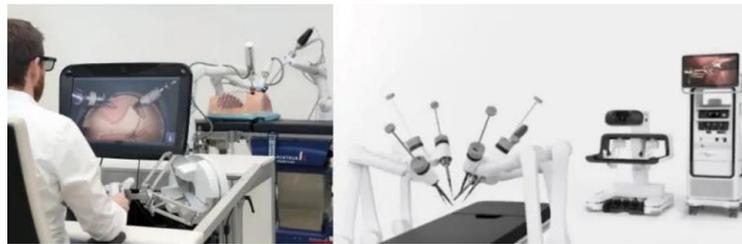


图 12 强生科技 Ottawa 手术机器人

(6) Moon Surgical

Moon Surgical 是一家总部位于巴黎的早期医疗设备公司，专注于开发用于腹腔镜辅助的手术机器人。其商业版本的 Maestro 机器人在去年 9 月刚刚获得了 CE 标志。

基于独特的核心技术，Moon Surgical 开发了一款小型、适应性强的手术机器人系统 Maestro 系统(见图 13)。该系统是一种双臂手术机器人协作平台，能够替代手术助理协助主刀医生进行手术。也是一款“模块化手术机器人”，放置在医生对面，医生能够方便地移动手臂、固定软组织。得益于磁耦合技术，该机器人可以兼容任何现成的腹腔镜和医疗器械，降低了手术成本。Maestro 系统的设计特别旨在提高腹腔镜手术的精锐度以及控制力；从而支持大容量外科医生进行胆囊切除术和腹外疝修补术等手术，以及更为复杂

的多重手术。



图 13 Moon Surgical 的 Maestro 手术机器人

(6) 迪斯透莫森公司 (Distalmotion)

Distalmotion 是一家瑞士手术机器人制造商，致力于通过可视化和数字化来增强手术室。该公司为妇科、泌尿外科领域的腹腔镜手术设计了 Dexter 系统(见图 14),这是一种分体式手术机器人，由医生操控台、两个独立台车的器械臂，以及一个内窥镜控制臂构成，该控制臂可以安装在台车上，也可以直接夹在患者手术床上。

Dexter 机器人系统旨在提供更高的精度和可视性，以及更简单的工作流程。该系统具有简单的用户界面，可以通过手势和触摸进行操控，同时集成了先进的视觉技术，以便外科医生更好地监控手术过程。



图 14 迪斯透莫森公司的 Dexter 手术机器人

1.3.2 国内发展情况

在中国市场,手术机器人虽然起步较晚,但在政策、市场需求、技术突破等多种因素的推动下,国产手术机器人集中落地,多款产品获得国家药监局的注册批准。

妙手手术机器人通过 7 个自由度的机械臂和可实现 540° 末端旋转的手术器械,可以精准地复现医生的手术动作,并实现远程操作。青岛大学附属医院于 2020 年 9 月使用妙手腹腔镜手术机器人完成了世界首台 5G 远程机器人辅助人体腹腔镜手术。图迈手术机器人搭载全球首个腹腔镜手术机器人力觉感知组件沉浸式防护,施术医生头部离开时自动锁定多层安全防护架构,可保障系统安全;搭载 4 臂悬吊式,适用于多种术式体位和单孔腹腔镜手术。上海东方医院团队于 2019 年使用图迈机器人完成了首例国产机器人前列腺癌根治手术。苏州康多机器人有限公司的腹腔镜手术机器人的机械手臂有 11 个自由度,末端可以装配多种手术器械,快速提升我国机器人手术临床应用水平。北京大学第一医院于 2022 年 4 月使用该腹腔镜手术机器人完成了世界首次跨运营商、跨网域的“5G+固网专线”多点协同远程临床实时交互教学手术。目前国产多款腹腔镜手术机器人获我国 NMPA 批准,发展迅速,并具备了一定自主研发能力。腹腔镜手术机器人主要优势集中在具备并提高医生的“手”功能。国内妙手、图迈和康多腹腔镜手术机器人的基本结构借鉴了 Da Vinci 手术机器人,四者结构类似。

国内胸腹腔镜手术机器人主要研发机构如下：

(1) 精锋医疗

精锋医疗成立于 2017 年，旨在推动外科手术进步为使命，致力于智能手术机器人平台的开发及普及。现今，已发展成为中国首家、全球第二家掌握多孔和单孔腹腔镜机器人核心技术，且两款产品都已获批上市的公司，不仅拥有自主研发的多孔、单孔腹腔镜手术机器人，还开发了远程手术系统，实现了超远程手术的技术突破。



图 15 精锋医疗单孔 SP1000 手术机器人

旗下精锋®单孔腹腔镜手术机器人 SP1000(见图 15)，于 11 月 24 日获得国家药品监督管理局（NMPA）上市批准（注册证编号：国械注准 20233011753）。具备全球领先的功能：单一切口、器械内镜高灵活性、设备集成度高、手术区域可调、沉浸式三维高清图像、多种专有扩展器械，可以增强外科医生的手术能力并改善患者的治疗结果。鉴于 SP1000 的众多创新性能，2021 年 4 月，获得国家药监局有关创新医疗器械的快速审查资格（绿色通道）。

(2) 术锐医疗

术锐医疗是一家致力于完全自主研发和生产单孔通用型微创腹腔镜手术机器人系统的高新技术企业。自 2016 年成立以来术锐着手打造核心自主知识产权和全链条关键技术，旗下主打产品为单孔腹腔镜手术系统。

2023 年 6 月 20 日，术锐单孔腹腔镜手术机器人正式获得国家食品药品监督管理局的上市批准，成为全球除达芬奇 SP 以外唯一获批商业化的单孔腹腔镜手术机器人，同时也是全球首个开启商业化进程、准许上市的蛇形臂单孔腹腔镜手术机器人(见图 16)。

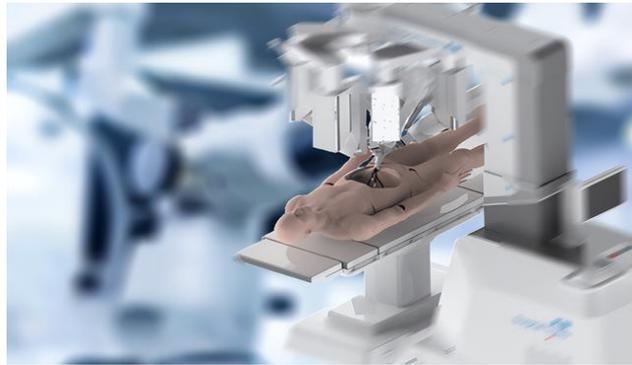


图 16 术锐医疗单孔手术机器人

据了解，该手术机器人具有单孔超微创、操作灵活有力、视野调整范围大、定位臂安全协动等优势。在实际手术中，其能够将 3 支手术器械和 1 支内窥镜通过一个外径仅为 2.5cm 的鞘管进入患者体内，使患者的创伤更小，实现微创的治疗效果；独有的蛇形手术臂兼顾力负载力和灵活性，既能牵拉腾挪，又能任意方向弯转，方便在狭窄空间操作；同时，3D 内窥镜的眼镜蛇姿态，其俯视角度利于深部解剖暴露；体外定位臂术中的间距固定，可免除术中碰撞的风险，定位臂整体协同运动，空间任意方位可达，可实现蛇形手

术臂轻松切换手术区域，增加术野覆盖范围。

(3) 微创机器人

微创医疗机器人是微创医疗科学有限公司旗下子公司，2015年成立，是全球唯一一家业务覆盖腔镜、骨科、泛血管、经自然腔道和经皮穿刺五大“黄金赛道”的手术机器人公司。在腔镜机器人领域，微创机器人的“图迈®四臂腹腔镜内窥镜手术系统（型号：MT-1000）”（见图 17）于 2022 年 1 月获 NMPA 批准上市，系国内首家获批上市的、应用于泌尿外科领域的国产腔镜手术机器人，填补了国内空白，打破了国外技术垄断。

所开发的图迈®单臂腔镜手术机器人曾于 2021 年 12 月 17 日完成了首例人体临床试验手术。2023 年 4 月，微创机器人在国内率先完成了国产单臂单孔腔镜手术机器人的妇科注册临床试验。该系统手术创伤更小、并发症概率更低，能满足患者康复及美容的双重需求。



图 17 微创医疗的图迈®手术机器人

(4) 思哲睿

思哲睿智能医疗设备股份有限公司成立于 2013 年，是国内率先开展腔镜手术机器人技术及系统研发、生产和销售的国家高新技术企业；在手术机器人领域形成了一系列核心技术和独创性成果，构建了腔镜手术机器人、经尿道柔性手术机器人、经口腔手术机器人、人工耳蜗手术机器人、脊柱内镜手术机器人等丰富的手术机器人产品矩阵。

其中核心产品康多机器人® SR1000(见图 18)于 2022 年 6 月通过国家药监局审批获得第三类医疗器械注册证，用于泌尿外科上尿路腔镜手术操作。是行业内首个在泌尿外科领域进入国家创新医疗器械特别审批程序（绿色通道）的腔镜手术机器人，可辅助医生在泌尿外科、妇科、普外科和胸外科等领域开展微创手术，具备精准智能的控制能力和流畅舒适的操作体验。



图 18 思哲睿 SR1000 手术机器人

(5) 威高

威高手术机器人公司研发生产的“威高妙手-S”（见图 19）于 2021 年年底获批 NMPA，是国内首家获批的腔镜手术机器人。其在

机器人系统机械设计、主从控制、立体图像与系统集成等关键技术均取得了重大突破，拥有多项优势：术前调试时间短；更大的器械末端自由度，其机械臂具有 7 个自由度并可实现 540° 末端旋转的手术器械，可以精准地复现医生的手术动作；节省手术环境空间；使用成本较低；配有 3D 立体图像系统，双 CMOS 传感器的相机，图像分辨率为 1920x1080p，操作医师有更立体直观的视觉感受。



图 19 威高妙手 S 手术机器人

通过运用机器人、智能控制、传感与信息领域的高精尖研究和产业集成，提供能够延长和重塑生命的机器人智能手术全解方案，建设一个全球化布局的医疗机器人全解方案创新平台。

(6) 瑞龙诺赋

瑞龙诺赋是中国腔镜手术机器人领域的创新先驱，致力为中国外科医生设计、开发匹配中国实际临床需求的创新型手术机器人。瑞龙诺赋于 2021 年开始研发的海山一[®] (见图 20)，是国内首个模块化手术机器人，而且海山一[®]已经在 2023 年通过型检/GLP 动物试

验。目前，这款产品正在加速推向医院和市场。海山一[®]腹腔镜机器人平台，针对中国腹腔镜医生的手术场景开发，采用模块化设计，单手术臂床旁台车分布手术床旁，台车占地面积更小，空间使用更高效，为术者和助手提供更灵活充足的空间。它具有高兼容性，既可以配套使用瑞龙诺赋首创的一次性腕转器械，还可兼容目前腹腔镜手术的主流器械。

影像方面，海山一[®]既可以兼容院内 3D 视觉系统，也支持瑞龙诺赋自主研发的 ICG 荧光成像系统，为医生提供医学判断提供有力保障。机械臂方面，瑞龙诺赋也优化了结构设计，在减少机体尺寸的同时，确保器械运动稳定。这一创新，使机械臂在支持多象限手术的基础上，缩小了手臂空间，并大幅减少了现有手术机器人在多象限手术中容易出现的机械臂碰撞的弊端。



图 20 瑞龙诺赋海山一[®]手术机器人

1.4 技术分解及关键技术

1.4.1 技术分解表

经过前期的技术和产业现状调查，结合项目团队中专家意见和建议，课题组制作出技术分解表(见表 5)。

表 5 技术分解表

一级技术分支	二级技术分支	三级技术分支
结构	机械臂数量	单臂
		双臂
		叁臂
		四臂
		六臂
	机械臂独立性	集成
		分体
		可集成可分体
运作控制	力反馈	力传感器
		扭矩传感器
		霍尔传感器
		负载传感器
		反馈芯片
		电磁传感器
		导纳控制
末端执行器	解耦方式	软件解耦
		机械解耦
	材料	柔性
		钢性
	更换方式	快速更换
	协同方式	机械臂夹持
		可持可夹
手持式		
远心机构	双平行四杆	

	双同步带型	
	球型机构型	
	三角型机构型	
	弧形结构	

1.4.2 关键技术

(1) 机械臂

胸腹腔镜手术机器人机械臂包括 2~3 只工作臂及 1 只持镜臂，通常由电机、齿轮和传感器组成。持镜臂用于术中握持腹腔镜物镜，可提供更加稳定的图像，避免传统腹腔镜术中助手疲劳致手部抖动出现视野不稳定的问题。工作臂用于完成术中各种操作，有 7 个自由度，包括臂关节上下、前后、左右运动与机械手的左右、旋转、开合、末端关节弯曲共 7 种动作，可作沿垂直轴 360 度和水平轴 270 度旋转，且每个关节活动度均 >90 度。外科医生通过操作手柄经计算机翻译和传送外科医师手部动作到机械臂器械末端，可进行上下、左右、旋转等连续动作，使其比人手有更大的灵活性。

机械臂的核心技术主要包括以下几个方面：

运动控制技术：确保机械臂能够精确、稳定地运动，实现各种手术操作。

图像处理技术：为医生提供高清晰、实时的手术视野，帮助医生更好地观察和操作。

力反馈技术：让医生在操作机械臂时能够感受到实际的力反馈，提高操作的准确性和安全性。

器械设计技术：特殊设计的手术器械，能够在狭窄的空间内完成复杂的手术操作。

这些核心专利技术使得腹腔镜机器人机械臂在手术中具有更高的精度、灵活性和稳定性，能够帮助医生更好地完成复杂的手术任务，同时减少手术风险和并发症的发生。

(2) 力反馈技术

力反馈技术是胸腹腔镜手术机器人中一项非常重要的技术，它主要通过传感器等装置，将手术器械在体内与组织相互作用时产生的力信息实时反馈给操作医生，这样医生能够更加真实地感受到器械所受到的阻力、压力等，就像在真实触摸组织一样。其意义在于，一方面可以帮助医生更精准地控制手术操作的力度和深度，避免因过度用力而对组织造成损伤；另一方面也有助于提高手术的安全性和操作的精准性，让医生能更精细地处理各种情况。力反馈技术的不断发展和完善，对于提升腹腔镜手术机器人的性能和手术效果具有重要推动作用。

多个不同类型的力传感器可以被布置在手术器械的不同部位，它们分别采集不同维度的力信息。多传感器融合技术在腹腔镜力反馈精准度提升中的应用主要体现在以下几个方面：

温度传感器可以与力传感器融合，因为温度变化可能会影响组织的力学特性和力反馈的感知。通过融合温度信息，可以对力反馈进行更精确的校正和调整。

位置传感器也能与力传感器结合，了解手术器械在空间中的具体位置和姿态，这有助于更精确地分析力的产生来源和影响因素，从而优化力反馈的表达。

图像传感器采集的实时图像信息可以与力传感器的数据融合，根据图像中组织的形态和特征来进一步细化力反馈的精度，比如判断接触的是何种组织类型进而调整反馈力度。

通过融合多种传感器的数据，并运用先进的算法进行分析和处理，能够有效减少单一传感器的局限性和误差，从而显著提高腹腔镜力反馈的精准度和可靠性，为手术操作提供更准确的辅助信息。

力反馈技术将是未来胸腹腔镜手术机器人研发的关键技术(见图 21)。

公司名称	机械臂数量	机器人设计	自由度	力反馈	3D	多孔机器人	单孔机器人
达芬奇机器人 Xi (四代)	4 臂 (1 镜 3 操作臂)	一体式设计	7	无	封闭 3D 显示	有	有
微创机器人	4 臂 (1 镜 3 操作臂)	一体式设计	7	无	封闭 3D 显示	有	布局中
苏州康多机器人	3 臂 (1 镜 2 操作臂)	一体式设计	NA	NA	开放 3D 显示 需要 3D 眼镜	有	/
山东威高“妙手”机器人	3 臂 (1 镜 2 操作臂)	一体式设计	NA	无	开放 3D 显示 需要 3D 眼镜	有	/
深圳精锋	4 臂 (1 镜 3 操作臂)	一体式设计	7	NA	封闭 3D 显示	有	布局中
	单臂 (内含 1 镜 3 操作臂)	一体式设计	7	NA	封闭 3D 显示		
北京术锐	4 个独立的手术执行系统 (1 镜 3 操作臂)	单多孔兼容	7	有	封闭 3D 显示	可组成为多孔	有

资料来源：微创机器人招股书、各公司官网资料、HTI 整理

表 9：微创机器人是最先完成泌尿外科临床试验的国产厂商，正在拓宽适应症范围

公司	产品名称	临床试验注册号	试验中心	适应症
微创	图迈	已完成	海军军医大学附属第一医院 (上海长海医院)、复旦大学附属中山医院、上海交通大学医学院附属仁济医院和浙江省人民医院	泌尿外科术式 (妇科、胸外科、普外科正在进行)
威高	腹腔镜内镜手术设备	已完成	中南大学湘雅三医院	普外科：胆囊切除术、腹腔镜疝手术、食道裂孔疝修补及胃底折叠术、肝囊肿开窗术、阑尾切除术和袖状胃切除术
精锋	MP-1000	ChiCTR2100045537	中山大学孙逸仙纪念医院、中国人民解放军总医院、中山大学肿瘤防治中心、郑州大学第一附属医院	泌尿外科术式、妇科
术锐	SURS	NA	NA	泌尿外科、妇科
康多	KD-SR-01	ChiCTR2100045983	北京大学第一医院、北京协和医院	泌尿外科术式

资料来源：ChiCTR、NMPA、HTI 整理

图 21 不同手术机器人关键技术

(3) 末端执行器

手术机器人末端执行器是安装在手术机器人手臂末端的设备，它的主要功能是模拟和增强医生在手术中的操作和感知能力。这种执行器通常具备高精度、高稳定性和高可靠性的特点，能够确保手术操作的准确性和安全性。具体来说，手术机器人末端执行器可以根据手术需求进行定制，设计用于执行各种复杂的手术任务，如切割、缝合、抓取等。达芬奇手术机器人末端执行器共 8 个类别，包括单极、双极、抓钳、持针器、超声刀等共计 32 种手术器械(见图 22)。缝合在执行手术时，执行器可以通过精确控制力度和位置，实现手术的精细操作。同时，它还可以搭载各种传感器和测量设备，对手术过程进行实时监测和反馈，帮助医生更好地掌握手术情况。

手术机器人末端执行器的应用，不仅提高了手术的精度和效率，还降低了医生的工作强度和手术风险。它已经成为现代医疗领域中的一项重要技术，为患者的健康和安​​全提供了更好的保障。

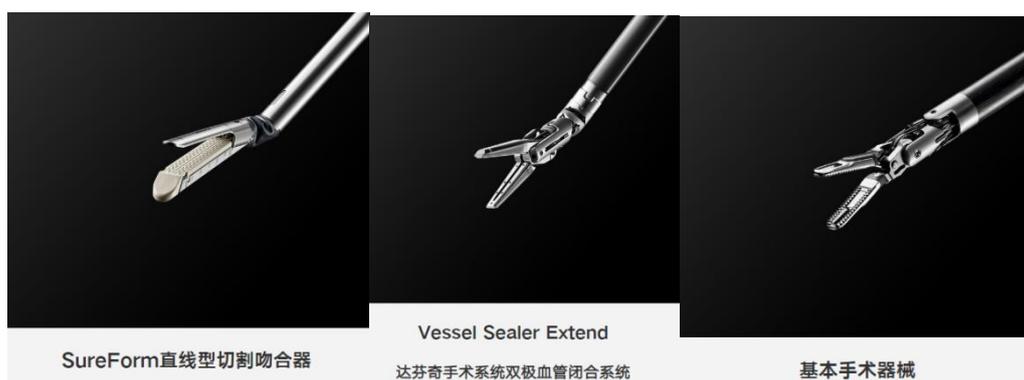


图 22 末端执行器

(4) 远心机构

远心机构是在腹腔镜手术中，用于实现手术器械末端在体内操作时具有类似“远心点”的运动机制。简单来说，就是通过特定的机械结构设计，实现手术器械末端在体内操作时具有类似于建立一个虚拟的旋转中心点。使得手术器械在进入患者体内后，可以绕着切口定点进行操作，而不是像传统的直线运动那样对组织产生不必要的张力和创伤。通过远心机构，器械可以模拟人类手动操作的自然运动轨迹，提供了更加精准、稳定和准确的器械操作方式，为医生进行复杂手术比如缝合、结扎等提供强大的支持和帮助。医生可以利用这个旋转中心进行精细控制，减少器械与组织的摩擦和损伤，同时能够更好地观察和处理手术目标区域。这种设计不仅提高了手术的精确度和效率，还有助于减少术中并发症的风险，为患者提供更安全、更可靠的手术治疗。

国内腹部腔镜机器人远心机构设计通常涉及以下几个关键方面：

机械结构设计：远心机构的机械结构需要满足精度、稳定性和可靠性的要求。设计中会考虑采用合适的材料、传动方式和连接结构，以确保机构在手术中的运动准确性和安全性。

运动学和动力学分析：对远心机构的运动学和动力学进行分析，以确定机构的运动范围、速度、加速度等参数，以及机构在不同载荷下的力学性能。

控制系统设计：设计合适的控制系统，实现对远心机构的精确

控制。这包括传感器的选择、控制器的设计和算法的开发，以确保机构能够按照预期的轨迹运动，并提供实时的力反馈。

可视化和人机交互：为了方便医生操作，远心机构通常会配备可视化系统，将手术区域的图像实时传输给医生。同时，人机交互界面的设计也需要考虑医生的操作习惯和需求，提高手术的效率和安全性。

安全性和可靠性：在设计中充分考虑安全性和可靠性因素，包括机构的强度、疲劳寿命、容错性等。此外，还需要进行严格的测试和验证，以确保远心机构在手术中的安全性和可靠性。

不同的设计团队可能会有不同的设计方法和侧重点，但总体来说，以上几个方面是国内腹部腔镜机器人远心机构设计中需要关注的关键问题。

2 专利检索

2.1 检索范围及数据库

微创手术机器人是多学科技术融合的结果，包括人工智能、机械工程、电子工程、计算机科学和生物医学工程等，代表了外科手术领域的革命性进步。过去 20 年中科技领域经历了前所未有的快速发展，尤其在 AI 大模型快速发展的今天，人工智能已经来到了第三次浪潮的新拐点，技术快速迭代，新的发明和创新不断涌现。因此，近 20 年的专利文献能够反映出该领域最新的技术趋势，分析近 20 年的专利文献更有利于深入了解快速迭代的技术。

基于以上原因，本项目确定的检索时间范围为：截至 2024 年 5 月 17 日近 20 年的全球相关专利。

专利数据检索：主要使用智慧芽专利检索分析平台，该平台截至检索日期，共计收录全球 170 个受理局，190,652,813 条专利数据。

行业信息检索：国家统计局官网、企查查、东方财富网、投资界、行业协会和产业联盟等。

包括中国医疗器械行业协会（全国性的行业组织，致力于推动医疗器械行业的发展，包括手术机器人在内的各类医疗器械产品）、国际机器人联合会 IFR（虽然不是专门针对手术机器人，但作为一个国际性的组织，IFR 在推动机器人技术的发展方面发挥着重要作用

用)、美国机器人学会 ARS (ARS 是一个专业组织, 致力于机器人技术的研究、开发和应用)、国际自动化与机器人协会 ISRA (ISRA 是一个国际性的组织, 专注于自动化和机器人技术的创新和发展)、国家机器人产业技术创新战略联盟 (一个国家级的产业联盟, 旨在推动机器人产业的技术创新和产业发展) 等。

科技文献检索: 中国知网 (CNKI) 全国期刊数据库、万方数据库等。

2.2 检索策略

为了快速全面地从专利数据库中检索到多场景人机协同的智能化胸腹腔微创手术机器人的相关专利, 本项目检索策略主要采用总分式。具体地根据技术分解表, 将检索对象分为: 结构、运作控制、末端执行器、远心机构 4 个一级技术分支及若干二级、三级技术分支 (详见技术分解表)。

在开展专利检索时, 分别针对各个二级技术分支分别构建专利检索式, 并获得该技术分支下的检索结果, 然后将各技术分支的检索结果进行合并, 得到上级技术分支的检索结果。对于不存在二级技术分支的一级技术分别构建专利检索式, 并将各技术分支的检索结果进行合并, 得到上级技术分支的检索结果。

对于各技术分支的专利检索, 采用关键词和 IPC/CPC 分类号联合检索的方式, 补充检索中主要用到研究背景和产业调研中关注到的领域内重要创新主体, 作为申请人开展检索, 同时结合智慧

芽专利数据库特色加工字段，例如技术主题分类、应用领域分类等检索途径，在数据库中进行全面检索。

每次进行检索之后，都对数据进行抽样人工查阅、筛选，确定准确检索要素和主要噪音源，并将相应文献的关键词和分类号进行提炼，同时基于检索过程，对检索策略进行反复调整、反馈，最终确定全面完善的检测策略。

具体检索步骤如下：

第一步：技术主题分析；

报告进行之初，项目组先对精密仪器技术进行了全面了解和分解，提炼基本技术要素，并针对检索要素确定分类号、关键词、主要申请人等信息。

第二步：确定关键词，进行初步检索；

根据初步确定的检索要素和分类号关键词，在数据库进行初步检索，人工抽验结果后，扩展、提炼准确的检索分类号和关键词。

第三步：再次检索，确认并进行初步查全查准；

利用上一步骤确定的分类号和关键词再次构建检索式进行检索，人工抽验后，确认检索策略是否出现偏差，选择个别申请人进行检索，发现缺漏的分类号和关键词后，重新构建检索式。

第四步：构建检索式，进行检索；

将修正后的检索式进行应用检索，获取结果后，进行查全查准验证。检验是否符合数据要求。

第五步：根据检索结果浏览文摘进行筛选和验证；构建去噪要素。人工抽样查验数据的准确性，通过分析这些文献及其提示的内容来验证初步选择的分类号及检索方式是否正确。此外，还可以根据专利文献的背景技术或著录项目重新获得新的检索信息，也可以再次删除另一些关系不大的专利文献。

在文摘浏览的过程中也会发现检索式的制定是否合理，若分类号选择正确，检索式组配适当，就会得到较好的检索结果；如果不符合检索主题的专利特别多，则要重新研究修改检索式进行重新检索。

第六步：去噪后，再次查全查准，终止检索。

利用二次筛选后获得的新信息再次进行查全查准。例如，通过背景技术中给出的参考文献或申请人等名字信息或者通过著录项目中的分类号、优先权及名字、国别等信息进行查全查准。数据合格后终止检索。

2.3 检索要素

2.3.1 报告主要采用的中文关键词

腹腔、胸腔、胸腹腔、机器人、机械臂、机械手、机器手、手术工具、腹腔镜、内窥镜、人工智能、多自由度、多关节、手持、柔性、刚性、快速更换、可更换、双平行四杆、双同步带、球型机构、三角型机构、弧形、力反馈、应变片、电枢电流、图像反馈、

气压反馈、触觉反馈、电容反馈、光学反馈、位移反馈、生物力学
图像融合、解耦、软件解耦、机械解耦、蛇形、夹头、剪刀、牵开
器、针头

AI、surgery、surgical、“Surgical tool*”、medical、
Coeliac、thorax、robot*、automatic*、arm*、joint*、forcep*、
flexible、cardan \$W2 type、handheld、jaw、multi-cluster
joint、smoothly articulating、manipulator、cutting
accessory、flexible shaft、force transmission、degrees of
freedom、DOF、vertebrae、snake-like、interchangeable、
endoscope、controlling arm、pincher、scissors、grasping
retractor、needle driver、distal end、SPA、LESS、SILS、OPUS、
SPICES、SASSE、NOTUS、haptic、feedback。

2.3.2 报告主要使用的 IPC 分类号

A61B34 计算机辅助外科学；专门适用于外科的操纵器或机器人

A61B17 外科器械、装置或方法

A61B19 在 A61B1/00 至 A61B18/00 各组中都不包含的手术或
诊断用的仪器、器械或附件

A61B1 用目视或照相检查人体的腔或管的仪器，例如内窥镜

A61B18 向人体或从人体传递非机械形式的能量的外科器械、
装置或方法

B25J9 程序控制机械手

A61B90 在 A61B1/00-A61B50/00 各组中都不包括的专用于外科或诊断的器械、工具或附件

B25J18 爪臂

B25J15 夹头

B25J13 机械手的控制装置

A61B10 用于诊断的其他方法或仪器

A61G13 手术台

B25J11 不包含在其他组的机械手

B25J3 主从型机械手，即兼有控制单元和被控制单元共同完成相应的空间运动

G01L1 力或应力的一般计量

G05B19 程序控制系统

G06F19 专门适用于特定应用的数字计算或数据处理的设备或方法

2.3.3 报告主要使用的 CPC 分类号

A61B34 计算机辅助手术；特别适用于外科手术的机械手或机器人

A61B34/30 . 外科机器人

A61B17 外科器械、装置或方法

A61B90 A61B1/00-A61B50/00 组中任一组不覆盖的特别适用于

外科手术或诊断的器械，器具或附件

A61B2090

B25J9 程控操纵器

A61B1 通过目视或摄影检查对体腔或体腔管内部进行医学检查的器械，例如内窥镜

A61B18 向人体或从人体传递非机械形式的能量的外科器械、装置或方法

Y10S901 机器人

B25J13 操纵器控制装置

G05B2219 程序控制系统

B25J15 夹持头

2.3.4 报告检索中使用的其它分类

技术主题分类："手术机器人"、"医疗机器人"、"计算机辅助机器人手术"、机械手；

应用领域分类：机器人、机械手。

2.3.5 报告检索中主要使用的申请人

TREE@"Intuitive Surgical Holdings LLC"

TREE@"CMR SURGICAL LTD"

TREE@"新希望投资公司" (Asensus Surgical)

TREE@"美敦力"

TREE@"STEREOTAXIS"
TREE@"奥瑞斯健康公司"
TREE@"STRYKER CORP"
TREE@"VANDERBILT UNIV"
TREE@"NOAH MEDICAL CORP"
TREE@"Ronovo Surgical Limited"
TREE@"北京术锐机器人股份有限公司"
TREE@"上海擎敏企业管理咨询中心（有限合伙）"
TREE@"哈尔滨思哲睿智能医疗设备股份有限公司"、思哲睿
TREE@"威海威高国际医疗投资控股有限公司"
TREE@"上海擎敏企业管理咨询中心（有限合伙）"
TREE@"海南远峰科技合伙企业（有限合伙）"
TREE@"直观复星医疗器械技术(上海)有限公司"
TREE@"北京术锐机器人股份有限公司"
TREE@"微创投资控股有限公司"
TREE@"MEERE CO INC"
TREE@"直观外科手术公司"
TREE@"avateramedical NV"
TREE@"CMR SURGICAL LTD"
TREE@"强生公司"
TREE@"MEDICAROID CORP"

TREE@"MEDROBOTICS"

TREE@"奥林巴斯株式会社"

TREE@"韩国三星电子株式会社"

TREE@"TITAN MEDICAL INC"等

2.4 查全查准情况

专利分析检索评估是专利检索的重要环节，对调整检索过程判断检索终止时机、规范检索质量、获得全面准确的检索结果发挥了重要作用。本报告的查全率和查准率采用如下方式实现。

2.4.1 查全率评估

本课题的查全率采用的评估方法是：（1）选择一名重要申请人，一般为该技术领域申请量排名在前 10 位的申请人或者行业内普遍认可的重要申请人，以该申请人为入口检索其全部申请，通过人工确认其在本技术领域的申请文献量形成母样本。（2）在检索结果命中数据中将该申请人所有数据提取形成子样本。（3）子样本/母样本×100%=查准率。

表 6 查全率评估

样本	单独入口检索筛选的文献量/项	检索集命中文献量/项	查全率=检索命中文献量/单独入口检索筛选文献量
北京术锐机器人股份有限公司	76	76	100%

本报告中选择重点申请人北京术锐机器人股份有限公司的相

关专利为查全率的校核基础，具体校核过程如上表所示。

2.4.2 查准率评估

本报告查准率的评估方法：（1）在结果数据库中随机选择一段时间内的专利文献作为母样本（即检索集中文献量），对母样本的每篇专利文献进行阅读，确定与主题的相关性，与主题技术相关的样本形成子样本（即真实文献量）。（2）查准率计算公式为： $(\text{子样本}/\text{母样本}) \times 100\% = \text{查准率}$ 。具体查准过程如下表所示。

表 7 查准率评估

样本时间段	检索集中文献量 A/项	真实文献量 B/项	查准率 B/A
2013. 1. 1-2013. 3. 31	11	10	90. 9%
2020. 4. 1-2020. 6. 30	70	70	100%
2021. 5. 1-2021. 7. 31	103	102	99. 3%
综合查准率			96. 73%

2.5 检索结果

经检索，在全球专利数据库中共计获得 30354 件相关专利，经简单同族合并后共计 3327 项。

表 8 专利检索结果

一级技术分支	二级技术分支	三级技术分支	专利数量
结构	机械臂数量	单臂	756
		双臂	125
		叁臂	101
		四臂	196
		六臂	4
	机械臂独立性	集成	648

		分体	164
		可集成可分体	66
运作控制	力反馈	力传感器	22
		扭矩传感器	5
		霍尔传感器	3
		负载传感器	1
		反馈芯片	3
		电磁传感器	1
		导纳控制	1
		末端执行器	解耦方式
机械解耦	833		
材料	柔性		1224
	刚性		2044
更换方式	快速更换		418
协同方式	机械臂夹持		1695
	可持可夹		6
	手持式		276
远心机构	双平行四杆		423
	双同步带型		5
	球型机构型		14
	三角型机构型		10
	弧形结构		15

3 专利态势分析

下面将对根据检索式得到的简单同族后的 3327 项专利进行趋势分析。需要说明的是，由于 2023 年有部分专利申请尚未公开，不能代表该年的申请趋势。

3.1 专利申请和授权趋势

通过对机械臂结构中机械臂数量、机械臂独立性、末端执行器解耦方式、柔性结构、刚性结构、快速更换、末端执行器及力反馈方式在全球以及中国的专利申请的总体趋势进行分析和研究。在直观地了解各技术方面发展趋势的同时，同时对申请人在全球和中国的专利申请趋势进行对比分析，以了解技术领域的研发动态以及研发产品的市场投放方向。

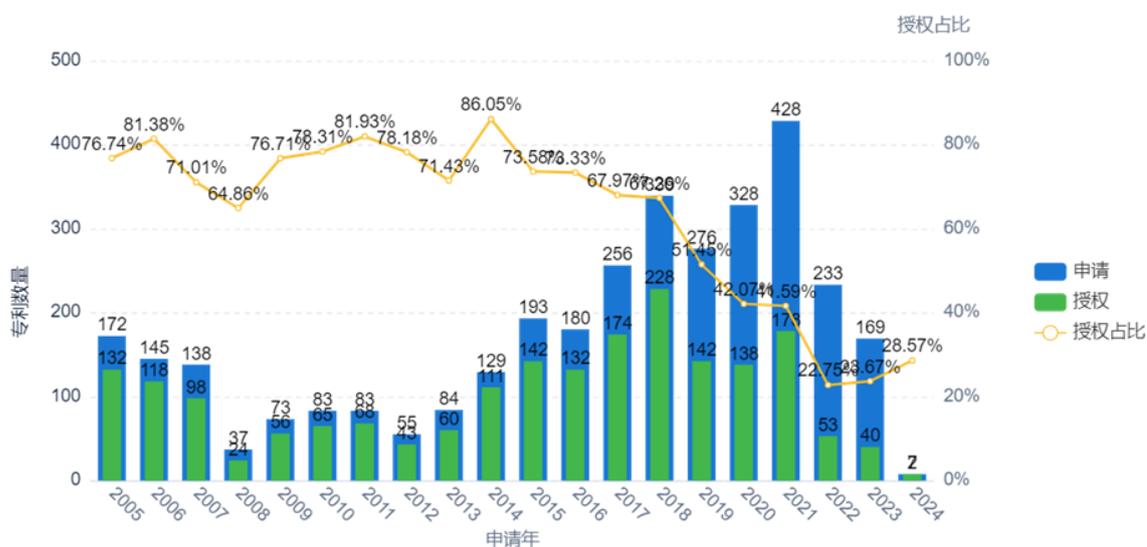


图 23 相关专利申请与授权趋势图

图 23 给出近 20 年来专利的申请和公开情况，专利申请和授权情况主要集中于 2005 年后，出现这种情况的出现也和达芬奇机器人的更新换代有着密切关系，结合下文中所提及的技术脉络，也进一步预示其初始专利已陆陆续续到期或即将到期，这也给部分机器人赛道入场者提供了部分机会和技术借鉴。

专利授权率表明申请的有效率以及最终获得授权的提交申请成功率。蓝色代表申请总量，绿色表示当前时间段申请专利的被授权量。如果 2012 年专利申请在 2014 年获得授权，授予的专利将在 2012 年专利申请中以绿色显示。

从专利数量的申请趋势来看，从 2008 年到 2014 年，专利申请数量保持在一个相对较低且稳定的水平，波动较小。从 2015 年开始，专利申请数量有显著增长。从 2021 年开始，专利申请数量开始下降。

从图 23 可以看出，近 20 年来，专利数量逐渐增多，萌芽期（2016 年之前）。在这一阶段，各技术分支的专利申请量均小于 200 件，技术发展处于萌芽期。

第一次快速发展期（2017 年至今）

自 2017 年起，手术机器人领域的专利申请量在机械臂及末端执行器方面首次超过 200 件，并在 2018 至 2021 年间经历了显著增长。这一增长特别受益于腔镜手术机器人技术的改进，这些技术进步不仅推动了其自身的发展，也带动了整个医疗手术机器人领域的

技术革新。

在手术机器人的控制系统方面，随着传感技术和力反馈技术的发展，呈现出与腔镜手术机器人相似的发展趋势。每一次在这些领域的技术突破，都为手术机器人的精准控制和操作提供了新的解决方案，进而推动了整个系统性能的提升。

可以认为，手术机器人的传感技术、力反馈技术以及机械臂的协调控制技术的每一项创新，都为机器人的智能化和自动化提出了新的挑战 and 机遇。随着这些技术的硬件和软件的不断进步，手术机器人的定位精度和操作灵活性得到了显著增强。

在专利申请数量方面，尽管 2022 年和 2023 年的申请量并未明显超过 2021 年，但考虑到可能存在的申请公开延迟，预计这两年的发展趋势将与 2015 至 2018 年的增长态势保持一致。

综合分析，自 2014 年起，手术机器人领域的机械臂设计、末端执行器技术、传感技术、力反馈技术以及控制系统等关键技术分支，依次迎来了快速发展期，并且目前仍然保持着这种积极的发展态势。这些技术的进步不仅提升了手术机器人的操作精度和可靠性，也为未来手术机器人技术的进一步发展和应用奠定了坚实的基础。

专利申请率呈上升趋势，对手术机器人领域的研发投入加大，协作机器人或多任务执行的需求正逐步上升，技术在提高机械臂的自主操作能力和协同效率方面取得了进展，逐步出现新的技术，使得机械臂能够更有效的切换不同末端执行器以适应不同的任务。

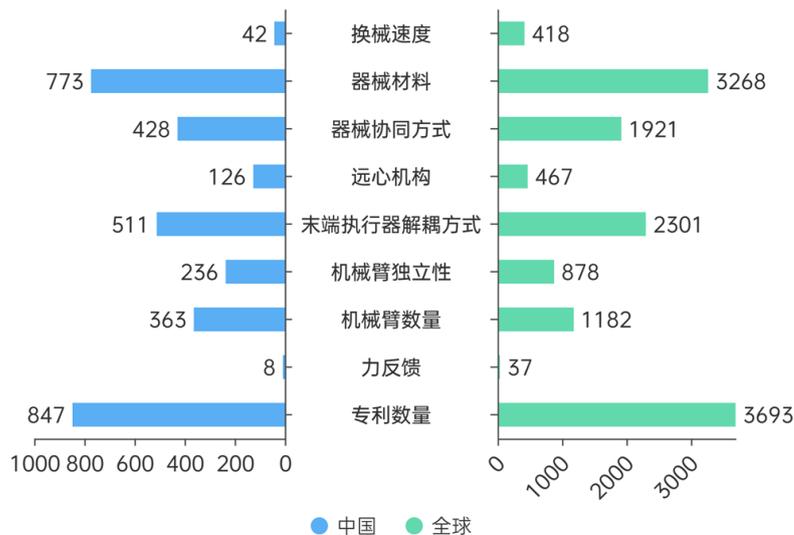


图 24 各技术分支全球和中国申请量分布

针对手术机器人的各技术分支专利申请情况(见图 24)，从数量上看，全球范围内的专利申请数量显著高于中国，尤其在器械材料、器械协同方式、末端执行器解耦方式等技术分支中表现尤为突出。器械材料和末端执行器解耦方式是申请数量最多的技术分支，分别在中国和全球范围内都表现出较高的关注度，研发活跃度较高。力反馈在中国和全球的申请数量均较少，可以认为这一技术分支的技术难度较高或应用尚未广泛普及。在换械速度、远心机构等其他技术分支中，中国的专利申请数量相对较少，需要进一步加强研发投入和创新力度。全球范围内，医疗手术机器人技术的研发相对均衡，各个技术分支都有相应的专利申请，可以认为针对医疗手术机器人进行了广泛的技术探索和应用。

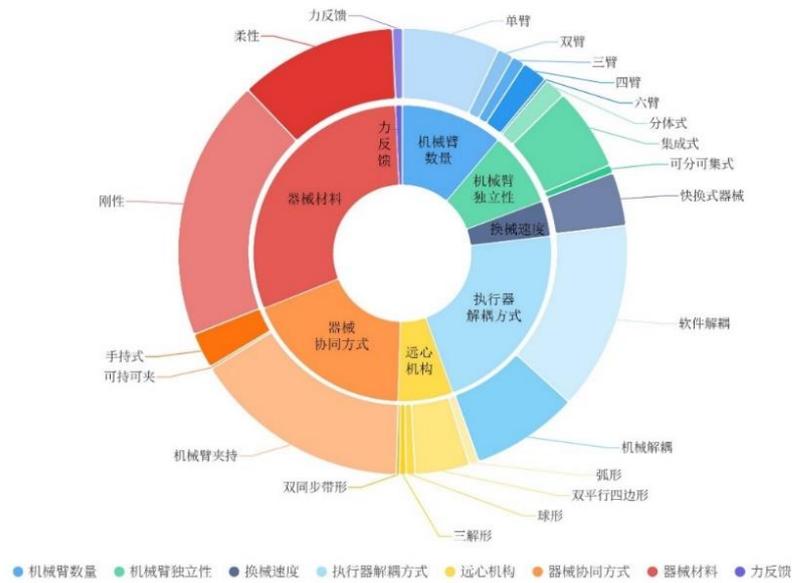


图 25 各分支技术专利申请量

机械臂数量					机械臂独立性			力反馈	换械速度	执行器解耦方式	
单臂	双臂	三臂	四臂	六臂	分体式	集成式	可分可集式	35	快换式器械	软件解耦	机械解耦
756	125	101	196	4	164	648	66			418	1468
远心机构					器械协同方式			器械材料			
弧形	双平行四边形		球形	三角形	双同步带形	机械臂夹持	可持可夹	手持式	刚性	柔性	
15	423		14	10	5	1695	6	276	2044	1224	

从图 25 可以看出，在医疗机器人领域，技术专利申请呈现出多样化的趋势，涵盖了从单臂到六臂的机械臂数量配置，显示出对不同复杂度手术操作的需求。力反馈技术的专利申请量较少，这表明了该技术的技术难度较高或应用尚未广泛普及，但是，也侧面反

映出将来对于力反馈技术方面的重视，揭示了当前的研究热点，也预示着未来医疗机器人技术可能的发展方向。此外，执行器解耦方式的创新，包括软件解耦和机械解耦，以及快换式器械和换械速度的优化，也是专利申请的热点，反映了行业对于提高手术效率的持续追求。在器械协同方式上，手持式、远心机构等的设计因其操作的灵活性和适应性而获得了较多的专利。结构方面，刚性和柔性的设计结合使用因其能够提供更好的耐用性和适应性而受到较多的专利申请。最后，机械臂设计的多样性，如弧形、双同步带形、双平行四边形、球形和三角形等结构，因其创新性和市场需求而拥有一定的专利申请。

3.2 专利申请地域分析



图 26 技术来源国/地区排名及趋势

从技术来源国/地区排名情况来看（基于专利受理局分析，按

每件申请显示一个公开文本的去重规则进行统计，并选择公开日最新的文本计算）（见图 26），美国是最主要的技术来源国家/地区，技术创新能力和活跃程度最高，另外，中国和英国也是持有该技术的公司主要分布国家/地区。

从美国和中国申请趋势来看，与美国不同，中国在 2014 年之前活跃度一直处于较低状态，2014 年的 24 件专利申请中，10 件来自于柯惠 LP 公司（国外来华），7 件来自苏州康多机器人有限公司，专利主题主要涉及用于微创手术的多自由度手术器械。美国专利申请的峰值出现于 2018 年，中国申请量则在 2021 年达到峰值，紧随美国，说明中国在该技术领域的活跃度也较高。

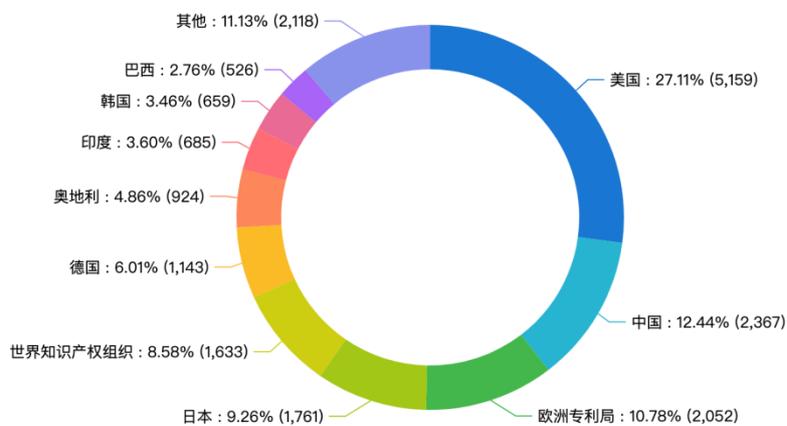


图 27 目标市场国/地区排名

从目标市场国/地区排名情况来看（基于专利受理局分析，按每件申请显示一个公开文本的去重规则进行统计，并选择公开日最新的文本计算）（见图 27），美国、中国、日本都是全球受欢迎的目

标市场，与技术来源国的排名情况相比，中国与美国的差距明显缩小，从一定程度上反映出中国市场的潜在实力。

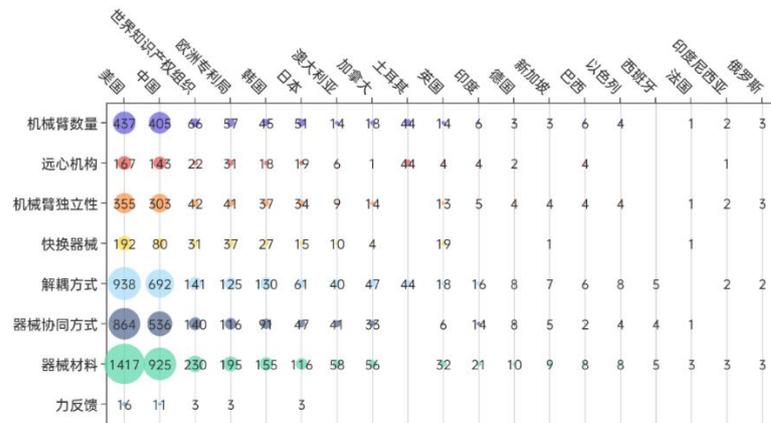


图 28 各技术分支优先权申请在各个国家或组织的分布 (来源)

手术机器人领域的技术分支专利申请在不同国家或组织的分布表现出明显的多样性和专长(见图 28)。例如，美国在机械臂数量方面的专利申请量较高，这反映了美国在多臂机器人系统设计和应用方面的技术实力。同时在远心机构技术上拥有较多的专利申请，显示出美国在提高手术机器人精确度和稳定性方面的创新能力。

中国在机械臂独立性方面拥有显著的专利申请量，这表明中国在推动手术机器人自主操作技术的发展上投入了大量的研发资源。日本专利局在快换器械技术上表现活跃，这与日本在精密机械和自动化工具更换系统方面的专业技能有关。

此外，某些国际组织或跨国公司在解耦方式和器械协同方式上拥有关键技术专利，这些专利推动了手术机器人在操作灵活性和多器械协同工作能力上的进步。在器械材料方面，有一些专注于生物材料和机器人耐用性研究的组织在全球范围内提交了大量专利申

请。

力反馈技术作为提升手术机器人操作精度的关键因素，在全球范围内都受到了重视，各国专利局都有一定数量的相关专利申请。整体来看，手术机器人领域的技术发展是全球多地科研机构和企业共同努力的结果，每个地区都在其擅长的技术分支上做出了显著的贡献。

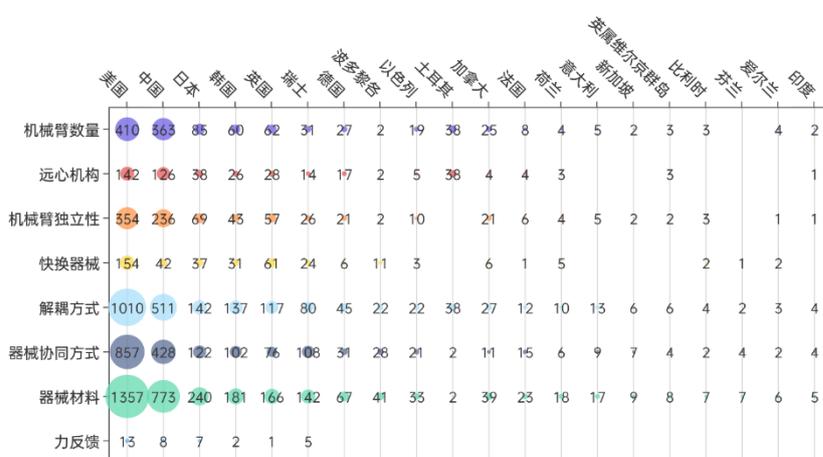


图 29 各技术分支专利申请在各个国家的数量分布（布局）

根据图 29 数据可以看出美国、中国和日本在手术机器人技术方面的专利数量最为显著，尤其是在关键技术分支“器械材料”和“解耦方式”上，这表明这些国家在研发能力和市场应用上具有显著的优势和潜力。相比之下，其他国家如印度、比利时、芬兰等在专利数量上相对较少，可能表明其技术依赖进口或国际合作。专利数量的集中反映了这些国家在全球手术机器人技术中的领导地位，以及国际竞争与合作的态势。这种专利分布也暗示未来技术的发展方向可能集中在材料创新和复杂机构控制上，推动手术机器人在微

创手术和高效协同操作中的应用。

3.3 专利申请技术功效趋势分析

根据图 30 数据可以看出，2018 年以后，手术机器人的研究重点正在发生改变，研究趋势逐渐向减少手术机器人器械复杂性、增加灵活性和可靠性方面倾斜。可以推断出此时开发者更加注重机器人系统的简化和优化，以提升手术效率和安全性。

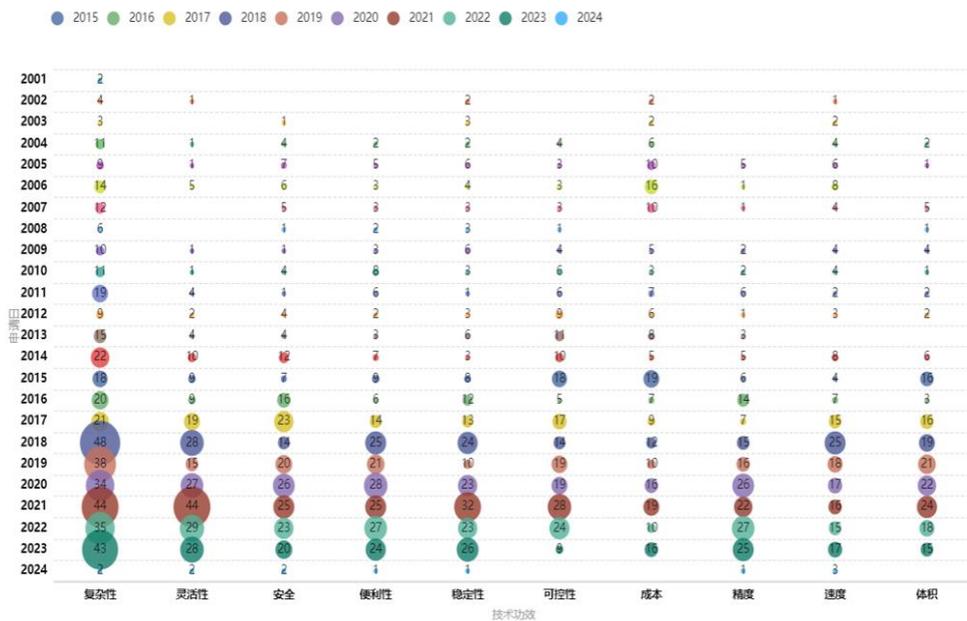


图 30 各技术分支专利申请技术功效趋势分析

尤其是在 2022 年和 2023 年，在降低器械复杂度以及提高器械灵活度方面的专利申请量显著增多。此时的技术发明注重采用较少的零件和更紧凑的结构设计，以实现对其精确控制。末端执行装置的径向尺寸越来越小，这有助于减少对手术区域的侵入，降低材料和装配成本，同时简化控制复杂性。对于灵活性方面，大部

分开发者通过改进手术器械的控制方式和结构类型如刚性、柔性，使设备能够在多自由度上运动，增加了手术器械的灵活性，提升了医生在手术中的操作精度。可靠性也得到增强，使得手术过程更加安全。

此外，近年来对“安全性”和“可靠性”的关注也在增加，通过优化器械结构、提高控制精度，来确保手术过程的稳定性和减少操作风险。大幅降低了制造和装配成本，提升了设备的便捷性和操作效率。

3.4 专利申请人分析

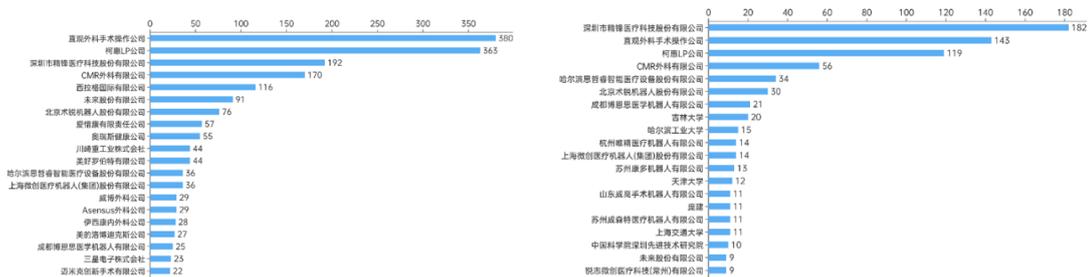


图 31 国内外申请人申请数量

图 31 显示了来自不同国家和地区的公司和机构，一些专利权人在手术机器人领域的专利申请量上表现突出，例如直观外科手术操作公司和深圳市精锋医疗科技股份有限公司等。反映出在手术机器人行业中具有较强的竞争力和影响力，在手术机器人领域的研发投入以及创新能力占据领先地位。除了企业之外，一些研究机构如中国科学院深圳先进技术研究院也参与了手术机器人的专利申请，

呈现产学研结合的趋势，图表中涉及的公司和机构来自不同的背景，包括医疗设备公司、机器人技术公司、大学和研究机构，表明手术机器人技术是一个多学科交叉融合的领域以及专利申请者的多样性。图表中的专利申请量可能集中在某些特定的技术分支，如机械臂设计、控制系统、手术工具等，这可以反映出当前手术机器人技术发展的热点领域。

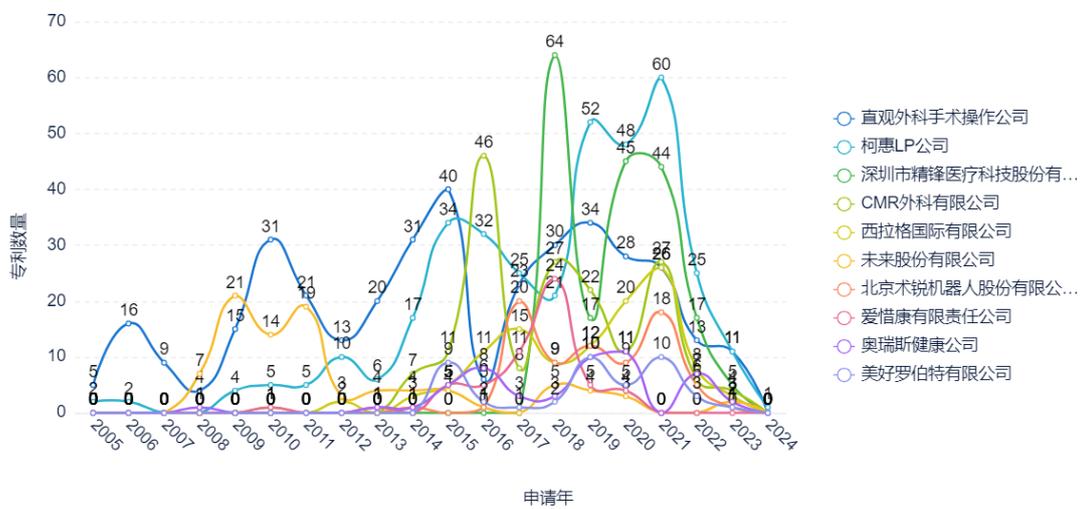


图 32 申请人的申请趋势

医疗机器人领域的专利申请趋势(见图 32)揭示了申请人在技术创新和市场布局方面的活跃程度。从图表中可以看出，一些申请人如“直观外科手术操作公司”和“柯惠 LP 公司”在专利申请数量上占据领先地位，这意味着他们在医疗机器人技术的研发和应用方面具有显著的先发优势和市场影响力。已经建立了强大的技术壁垒，通过持续的创新来巩固其在行业中的领导地位。

此外，图 32 中的数据还可能表明了医疗机器人技术的快速发

展和市场需求的不断增长。随着医疗行业的数字化和智能化转型，医疗机器人作为关键技术之一，其专利申请量的增加反映了这一趋势。申请人的多样性，包括科技公司、医疗设备制造商以及研究机构，显示了医疗机器人技术的跨学科特性和广泛的应用前景。申请人来自不同地区，表明医疗机器人技术在全球范围内的普及和重视程度。不同地区的申请人可能在特定技术领域或应用场景上有所专长，这种地域性的技术优势有助于推动全球医疗机器人技术的交流和融合。

最后，专利申请的趋势还可以为未来的技术发展方向和市场趋势提供一定的预测。申请人在特定技术领域的集中申请可能揭示了医疗机器人技术发展的热点，如手术精确性、操作灵活性、患者安全性等。随着技术的不断进步和市场需求的不断变化，预计医疗机器人将继续朝着更智能、更精准、更个性化的方向发展。

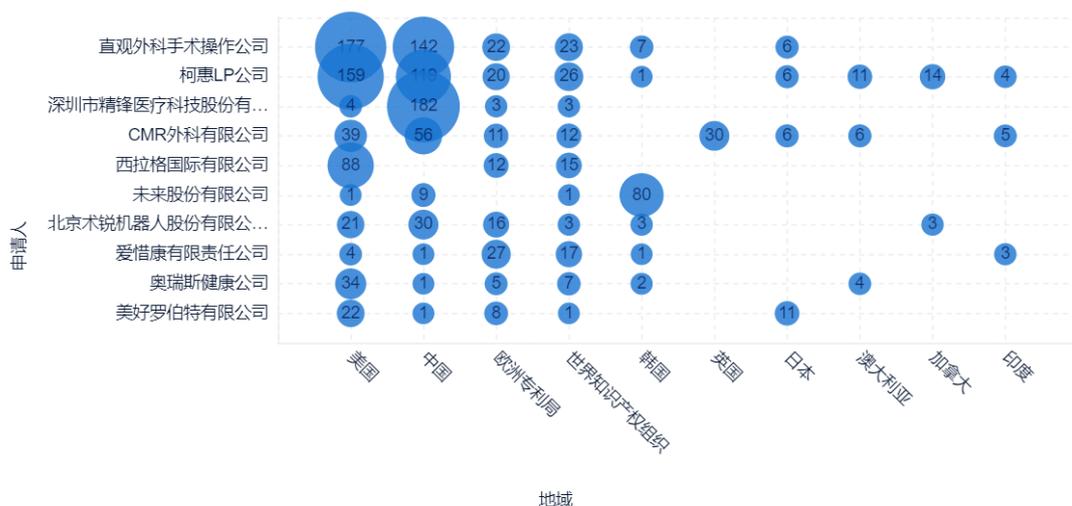


图 33 申请人的地域分布

医疗手术机器人领域的申请人地域布局显示了一个全球性的分布，其中北美和中国的申请人在专利申请量上表现尤为突出(见图 33)。例如，“直观外科手术操作公司”和“柯惠 LP 公司”等北美申请人在医疗机器人领域拥有显著的专利申请数量，这反映了北美地区在医疗技术创新和研发方面的领先地位。同时，“深圳市精择医疗科技股份有限公司”和“北京术悦机器人股份有限公司”等中国申请人的高专利申请量，展现了中国在这一领域的快速增长和技术创新能力。此外，像“CMR 外科有限公司”和“西拉格国际有限公司”这样的欧洲申请人也在图表中占据了一席之地，显示了欧洲在医疗机器人技术发展中的贡献。这种地域布局揭示了全球医疗机器人技术发展的多元化、国际化趋势，以及显示出一个由多方参与、竞争激烈的全球市场格局。

3.5 专利发明人分析

分析该技术领域内的主要发明人，有助于评估特定技术领域内的最佳人才并助力项目组招募发明人。

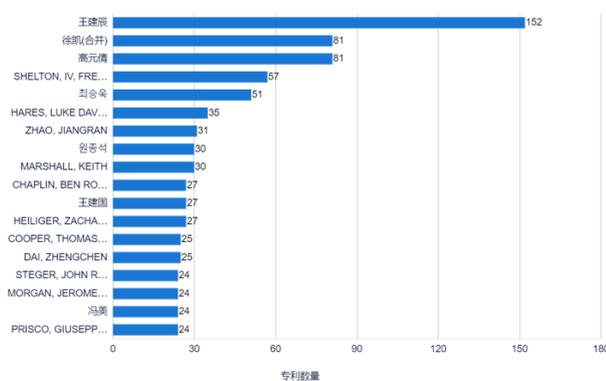


图 34 发明人专利数量排名

从图 34 的发明人专利发明数量看，王建辰以 152 项专利列首位；徐凯与高元倩以专利数量 81 项位居第二位，项目团队负责人冯美教授以 24 项专利榜上有名。

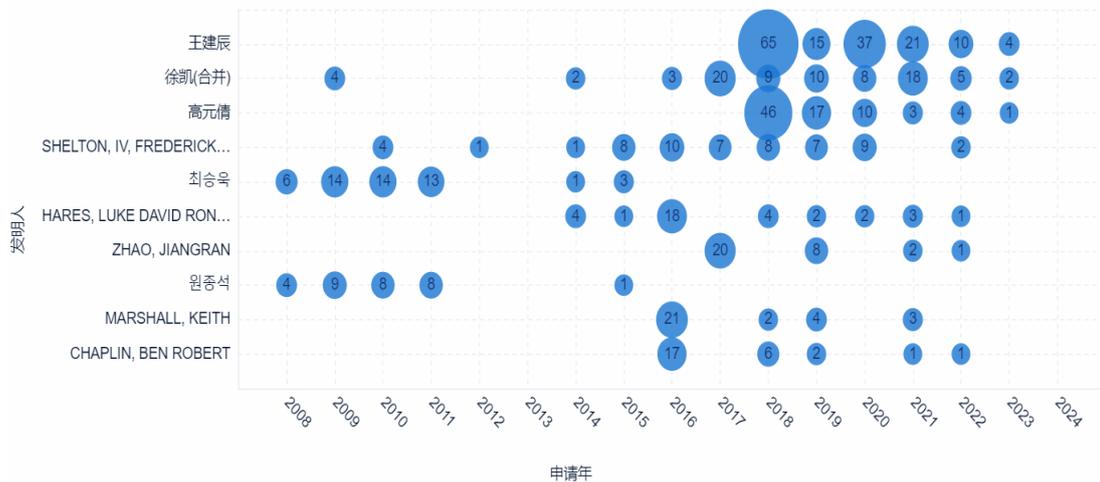


图 35 发明人专利申请趋势图

从图 35 发明专利申请趋势图可以看出王建辰与高元倩有关手术机器人的专利申请始于 2018 年之后，且数量惊人，显示出关键技术蓬勃而出。

下面主要介绍一下前几位发明人。

(1) 王建辰

深圳市精锋医疗科技股份有限公司总经理王建辰博士曾在国内外顶尖的实验室从事研究工作：2011 年进入天津大学手术机器人实验室，师从国内著名的机器人专家，天津大学副校长王树新教授。2015 年加入麻省理工学院生物仪器实验室，独立攻克世界先进单孔手术机器人相关技术。2017 年创办深圳市精锋医疗科技有限公司，带领一支高素质海归团队，经过两年的快速发展，已完成 2 款

国际领先的手术机器人产品的设计定型,使精锋医疗成为国内唯一的具有单孔手术机器人及多孔手术机器人研发能力及产品转化能力的公司,公司累计融资 6000 余万,估值数亿人民币。

(2) 徐凯

术锐医疗创始人徐凯还在哥伦比亚大学攻读博士学位,师从“医疗机器人之父” Russell Taylor 教授。其间,徐凯参与了哥伦比亚大学世界首台单孔腹腔镜微创手术机器人的研制。

在 2009 年的时候,徐凯团队就已经在实验室里做出了世界首台单孔机器人,比达芬奇推出单孔机器人的时间更早。只是当时有些关键的技术问题尚未解决,还不能真正走上临床使用。徐凯回国在上海交通大学担任机械与动力工程学院教授,并投身于研发,带领团队攻克了关键技术,推出“可变形对偶连续体机构”这一颠覆性设计。

与传统的多关节刚性机器人结构不同,“对偶连续体机构”(见图 36)克服了连续体机构技术原有的可靠性和性能障碍,具有负载能力更高、形变模态多样等优势,是门槛极高的系统化关键技术。

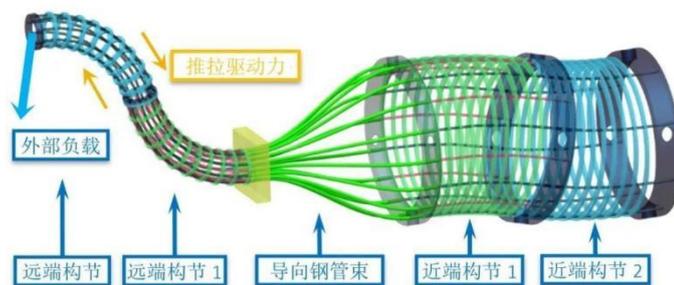


图 36 对偶连续体机构

2020 年底，术锐手术机器人通过了国家食药监器审中心“创新医疗器械特别审查程序”的审定，成为中国第一家进入创新医疗器械特别审查程序（绿色通道）的单孔腹腔镜手术机器人企业。

思哲睿智能医疗设备股份有限公司成立于 2013 年，是国内率先开展腹腔镜手术机器人技术及系统研发、生产和销售，致力于为医生打造智能手术工具，为患者提供综合诊疗方案，让各类外科手术更精准、更便捷。

该公司基于哈工大技术背景成果转化，核心技术团队是国内最早从事手术机器人研发工作的科研团队之一，汇聚了多位行业资深专家。2008 年，时任哈尔滨工业大学机器人研究所副所长的杜志江，联合多位哈工大的同事共同开展了针对手术机器人的研究。2013 杜志江教授正式创立了思哲睿公司，开始了对手术机器人的研发及样机开发。

(3) 高元倩

深圳市精锋医疗科技股份有限公司高元倩为王建辰研发团队主要成员，也是其合伙人。2017 年 5 月 4 日在深圳合伙创立精锋医疗。

(4) SHELTON IV FREDERICK E

弗莱德里克·谢尔顿(SHELTON IV FREDERICK E)是美国强生公司(Johnson & Johnson)下属医疗仪器公司爱惜康(Ethicon)的重要研发人员,其拥有 57 项手术机器人领域核心专利。

(5) 최승욱

韩国未来股份有限公司 (MEERE COMPANY INC.) 研发人员 최승욱, 其在拥有手术机器人相关专利 51 项。

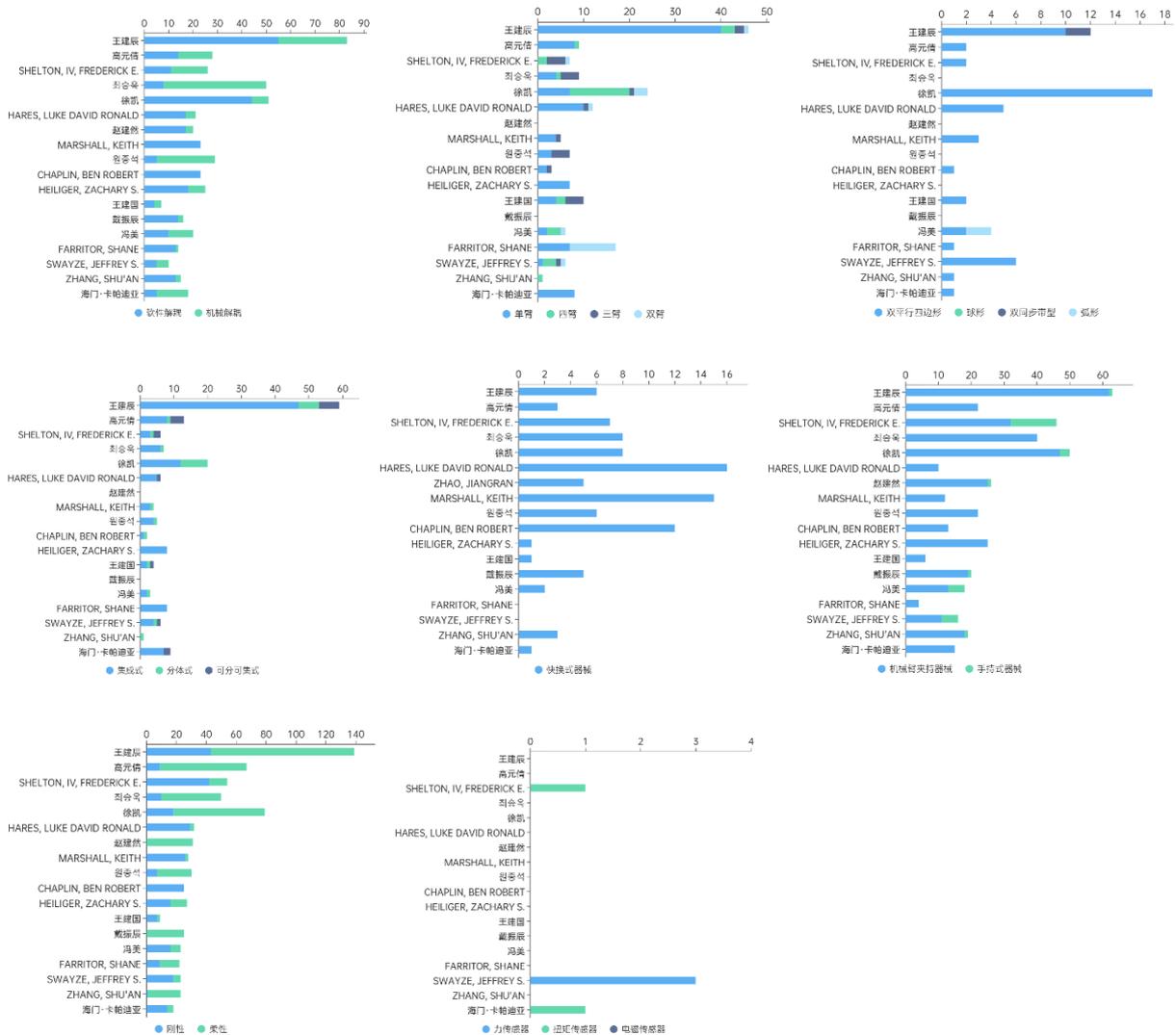


图 38 发明人专利技术分支分析

图 38 手术机器人领域的技术分支展现了多样化的创新路径。例如, 王建辰在力反馈技术方面表现出色, 拥有多项提升手术精确度和安全性的专利。SHELTON, IV, FREDERICK E. 则在机械臂的独立性方面有所突破, 其专利涵盖了从单臂到多臂的复杂机械结构设

计，增强了机器人的灵活性和协同工作能力。

徐凯在快换式器械方面拥有创新，这些专利提高了手术过程中更换工具的速度和便捷性，从而提升了手术效率。而赵建然则专注于软件解耦技术，其专利可能涉及到通过先进的算法来优化机械臂的独立运动，减少相互之间的干扰。此外，MARSHALL, KEITH 在传感器技术方面可能有所贡献，其专利包括力传感器、扭矩传感器和电磁传感器，这些技术的应用可能极大提升了手术机器人的感知能力和对手术环境的适应性。

项目负责人冯美，在集成式与分体式手术机器人的设计上拥有关键专利，这些创新推动了手术机器人模块化设计的发展，使得机器人能够根据特定手术需求快速调整配置。总体来说，发明人在手术机器人方面不同专利技术分析上的专利申请反映了手术机器人技术在多个方向上的深入发展，包括操作的精确性、机械结构的复杂性、以及智能化水平的提升。

3.6 技术生命周期分析

利用专利申请量与专利申请人数量随时间的推移而变化来帮助分析当前技术领域生命周期所处阶段。通过这个图可以帮助评估技术发展的阶段，用来判断是否需要进入当前技术领域。

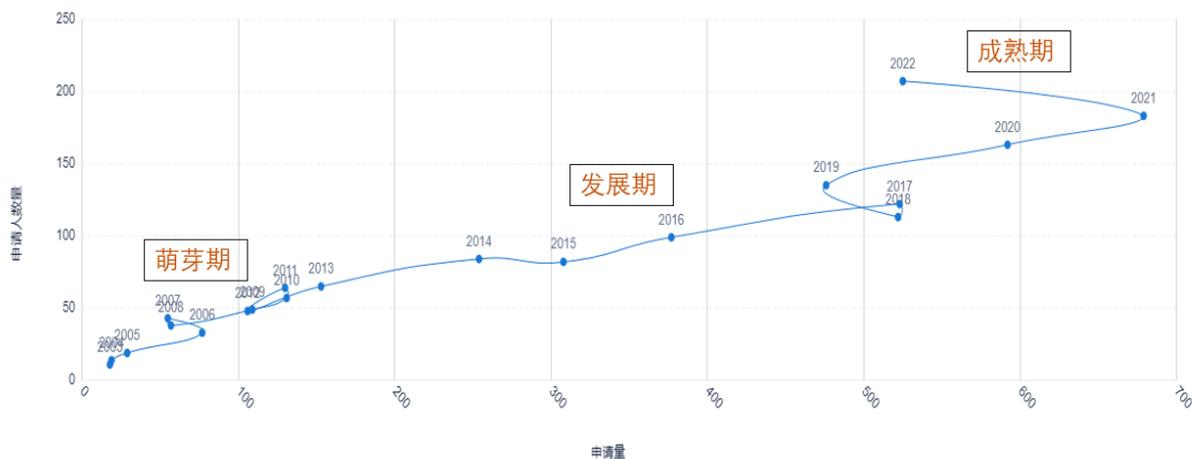


图 39 相关技术生命周期图

在专利技术发展的不同阶段，专利申请量与专利申请人的数量一般会呈现周期性规律。根据图 39 腹腔镜手术机器人相关技术发展来看，呈现出三个阶段：

(1) 萌芽期(2005 年-2013 年)：腹腔镜机器人产生于 90 年代，1997 年 7 月，美国直觉外科公司的第一代内窥镜手术控制系统 IS1000(da Vinci)上市，在该阶段，研究和开发主要集中在少数几个公司，专利申请量与专利申请人数量都不多，集中度较高。

(2) 成长期(2014 年-2020 年)：基本发明纵向发展和横向发展，应用发明专利逐渐出现。在该阶段，技术有了突破性的进展，市场扩大，介入的企业增多，专利申请量与专利申请人数量会急剧上升。

(3) 成熟期(2021 年-2022 年)：技术趋于成熟，除少量企业外，大多数企业已经不再投入研发力量，也没有新的企业愿意进入。专利数量继续增加，但专利增长的速度变慢，申请人数基本维持不变。

4. 腹腔镜手术机器人技术分支构成分析

本项目分析所用数据为检索结果经申请号合并得的的专利数量（项）。出于地域保护的目地，申请人会就同一技术方案通过要求优先权方式提交 PCT 专利申请，随后进入不同国家阶段的方式，在不同的国家或地区提交多个专利申请。也就是说，同一个技术方案可以对应多个专利申请。有鉴于此，将要求优先权的多个申请视为一件技术方案，可以更为准确地呈现腹腔镜手术机器人各个技术分支的研发创新能力。本分析项目中，凡与技术构成和技术分支相关的各项分析，如上所述的一件技术方案仅考虑一次，要求优先权的多个专利申请只被考虑一次，不被重复计数。不同于经申请号合并的专利数量以“项”为单位进行数量统计和描述。

4.1 机械臂数量领域各技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析

4.1.1 机械臂数量各技术分支专利权人申请量分析

如图 40 所示，各专利权人申请机械臂的数量有单臂、双臂、三臂、四臂和六臂。在单臂申请中，深圳市精锋医疗科技股份有限公司的专利申请量最大，占单臂申请总量的 16.5%左右，该公司的核心专利有精锋单孔腹腔镜手术机器人；在双臂申请中，奥瑞斯健康

公司的专利申请量最大，占双臂申请总量的 23%左右；在三臂申请中，直观外科手术操作公司的专利申请量最大，占三臂申请总量的 48.8%左右；在四臂申请中，直观外科手术操作公司的专利申请量最大，占四臂申请总量的 38.5%左右，直观外科手术操作公司在初期采用三个机械臂的数量，随后在发展过程中，从三臂变到了四臂的配置，其典型代表是达芬奇手术机器人；在六臂申请中，只有奥瑞斯健康公司申请了搭载六只机械臂的手术机器人。在机器人总申请量中，单臂和四臂机器人的专利申请分别占比 62.3%和 20.8%，由此可见，国内外的各专利权人的专利申请侧重在单臂和四臂手术机器人上。

直观外科手术操作公司	35	45	6	22	0
深圳市精锋医疗科技股份有限公司	58	12	1	2	0
柯惠LP公司	57	0	3	3	0
CMR外科有限公司	45	2	2	5	0
川崎重工株式会社	15	10	7	1	0
奥瑞斯健康公司	11	4	11	4	2
美好罗伯特有限公司	14	11	1	1	0
北京术锐机器人股份有限公司	4	14	3	1	0
威博外科公司	15	4	1	0	0
西拉格国际有限公司	4	7	2	6	0
ONER CELIK KAPI SANAYI VE TICARET LTD SIRKETI	17	0	0	0	0
未来股份有限公司	9	2	0	5	0
上海微创医疗机器人(集团)股份有限公司	10	2	0	2	0
哈尔滨思睿智能医疗设备股份有限公司	7	2	1	4	0
内布拉斯加大学董事会	9	0	4	0	0
麦克唐纳德特威勒联合公司	12	0	0	0	0
迈米克创新手术有限公司	7	0	4	0	0
MRC OTOMOTIV SANAYI & DIS TICARET ANONIM SIR...	10	0	0	0	0
中国科学院深圳先进技术研究院	8	0	0	0	0
三星电子株式会社	4	2	2	0	0
	单臂	四臂	双臂	三臂	六臂

图 40 机械臂不同数量的专利权人申请量分布

4.1.2 机械臂数量各技术分支申请趋势分析

由图 41 所示，单臂申请量在 2007 年达到峰值，2008 年至 2012 年有所下降，2012 年后进入快速增长阶段，在 2021 年达到申请量高峰；四臂申请量在 2006 年达到峰值，随后有所下降，至 2017 年

后进入增长阶段；双臂和三臂申请量在整个时间分布中较为平稳，在 2018 年申请量较多。2022 年至今的申请数据由于公开滞后的原因，因此申请量数据存在一定的统计误差。从时间分布可看出，专利申请的侧重点在单臂和四臂申请上，单臂机器人涵盖了单孔微创手术机器人和分体式微创手术机器人，四臂主要为整体式微创手术机器人。由图可见，近年来微创手术逐渐向单孔微创手术发展，但单孔微创手术机器人的技术更加复杂，所以多孔微创手术机器人的研究仍有必要，此外还可以看出，微创手术机器人的发展逐渐由整体式向分体式转变。

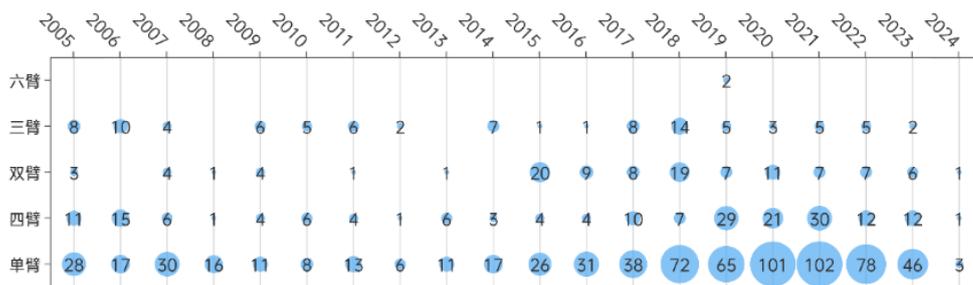


图 41 机械臂数量专利申请量的时间分布

4.2 远心机构技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析

4.2.1 远心机构技术分支专利权人申请量分析

如图 42 所示，远心机构的构型主要有双平行四边形机构、弧形机构、球形机构、三角形机构和双同步带型机构。双平行四边形机构在申请总量中占比为 91.6%左右，其中直观外科手术操作公司

和 CMR 外科有限公司申请量最大，弧形、球形、三角形和双同步带型机构占比较小。可见，国内外的手术机器人远心机构采用的主流构型为双平行四边形机构，其优点是刚度高，末端定位精度高。还可以看出，国内外对其他构型的远心机构有较少申请量，这说明各专利权人对其他构型有一定的尝试，增加了除双平行四边形机构外的其他构型的可行性。

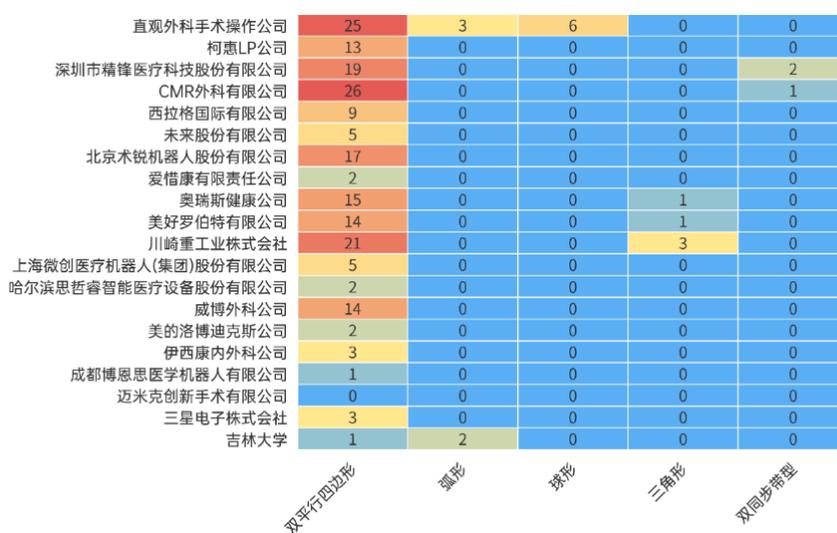


图 42 远心机构各构型的申请量分布

4.2.2 远心机构各技术分支申请趋势分析

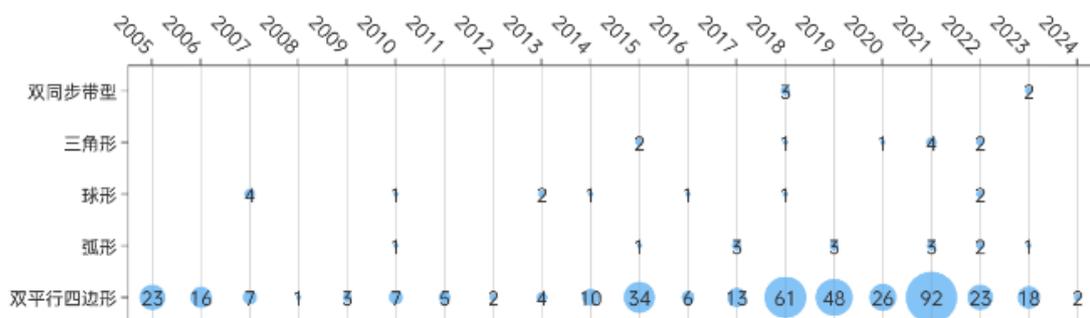


图 43 远心机构不同构型申请时间分布

从图 43 中可知，双平行四边形机构的申请量在 2014 年后进入快速增长阶段，2021 年达到申请高峰，2022 年后的申请数据由于公开滞后的原因，因此申请量数据存在统计误差。其双平行四边形机构的时间分布与单臂数量的时间分布类似，说明单臂的远心机构多采用双平行四边形机构。此外还可以看出，其他构型的申请量在近 10 年间有一定量的增加，说明国内外科研人员也在对其他远心机构的实现方式进行研究，但还没有找到合适的方式。

4.3 末端执行器解耦方式各技术分支申请量和技术申请趋势分析

4.3.1 末端执行器解耦方式技术分支专利权人申请量分析

如图 44 所示，末端执行器的解耦方式有软件解耦和机械解耦。在软件解耦的申请中，直观外科手术操作公司和柯惠 LP 公司的专利申请量最大，共占软件解耦申请总量的 39%左右，然后是深圳市精锋医疗科技股份有限公司和 CMR 外科有限公司，共占申请总量的 21.4%左右，其余公司申请量较少。在机械解耦的申请中，同样是直观外科手术操作公司和柯惠 LP 公司的专利申请量最大，以上两公司专利申请量与软件解耦的数量接近，共占机械解耦申请总量的 58.4%左右，还有未来股份有限公司占比为 13.1%左右，其余公司申请量较少。软件解耦的申请总量多于机械解耦的申请量，但在两个

申请量最多的公司中，两种解耦方式的数量接近，可见两种方式都是研究的重点，只是不同公司的侧重点有所不同。

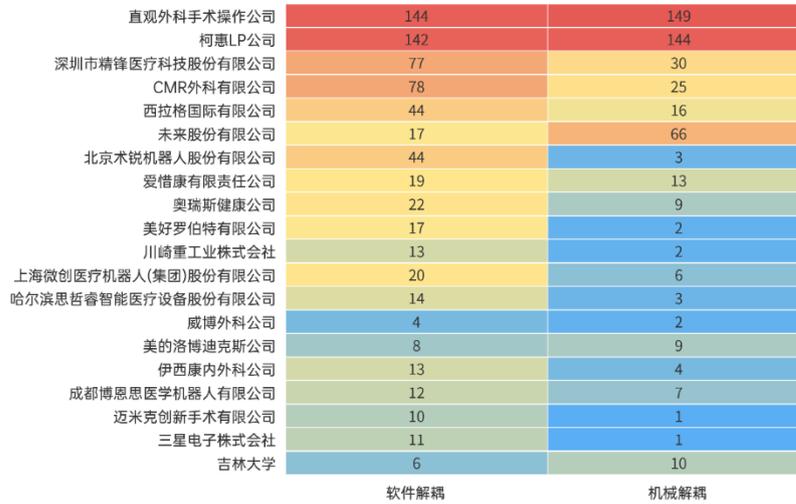


图 44 末端执行器解耦方式的申请量分布

4.3.2 末端执行器解耦方式各技术分支申请趋势分析

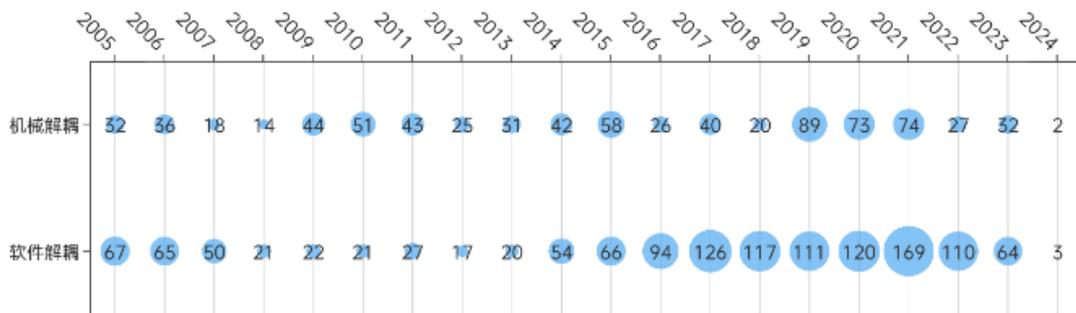


图 45 解耦方式专利申请量的时间分布

从图 45 可看出，机械解耦在近年来的申请量较为平均，在 2019 年达到申请量高峰，软件解耦的申请量从 2005 年到 2013 年呈下降态势，从 2013 年后进入快速增长阶段，至今还在持续增长，

数据量因其公开滞后而存在统计误差。由图可看出，机械解耦的方式一直是国内外研究人员关注的重点，而对于软件解耦是在近 10 年才有较多的申请量，由此可说明随着计算机行业的发展进一步促进了末端执行器解耦方式的多样化。此外还可以看出，在近些年里对于软件解耦的申请量要多于机械解耦，表明软件解耦的方式发展的更加迅速。

4.4 机械臂独立性技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析

4.4.1 机械臂独立性技术分支专利权人申请量分析

直观外科手术操作公司	86	10	13
柯惠LP公司	58	7	15
深圳市精锋医疗科技股份有限公司	57	7	8
CMR外科有限公司	38	7	5
西拉格国际有限公司	9	5	2
未来股份有限公司	11	1	0
北京术锐机器人股份有限公司	12	8	0
爱惜康有限责任公司	0	2	2
奥瑞斯健康公司	15	5	3
美好罗伯特有限公司	19	2	0
川崎重工业株式会社	29	0	0
上海微创医疗机器人(集团)股份有限公司	11	0	0
哈尔滨思睿智能医疗设备股份有限公司	3	4	0
威博外科公司	11	5	0
美的洛博迪克斯公司	1	0	0
伊西康内外科公司	5	0	0
成都博恩思医学机器人有限公司	2	1	0
迈米克创新手术有限公司	0	4	0
三星电子株式会社	5	0	0
吉林大学	1	0	0
	集成式	分体式	可分可集式

图 46 机械臂独立性的专利申请量分布

如图 46 所示，机械臂可分为集成式、分体式和可分可集式。在集成式的申请中，直观外科手术操作公司的专利申请量最大，占集成式手术机器人申请总量的 23%左右，柯惠 LP 公司和深圳市精

锋医疗科技股份有限公司专利申请量分别占申请总量的 15.6%和 15.3%左右，其他公司申请量较小。在分体式的申请中，各公司申请量不多，远少于集成式的申请总量，但申请公司数量较多。在可分可集式的申请中，公司数量更少，主要有直观外科手术操作公司和柯惠 LP 公司的申请，分别占申请总量的 27%和 31.3%左右。可见，集成式手术机器人是各公司申请的重点，分体式 and 可分可集式相对较少。还可以看出，有的公司研究了三种形式，如 CMR 外科有限公司，有的公司只研究两种形式，如威博外科公司，还有的公司只针对一种形式进行研究，如上海微创医疗机器人股份有限公司，说明三种形式的机械臂都有研究的必要性。

4.4.2 机械臂独立性技术分支申请趋势分析

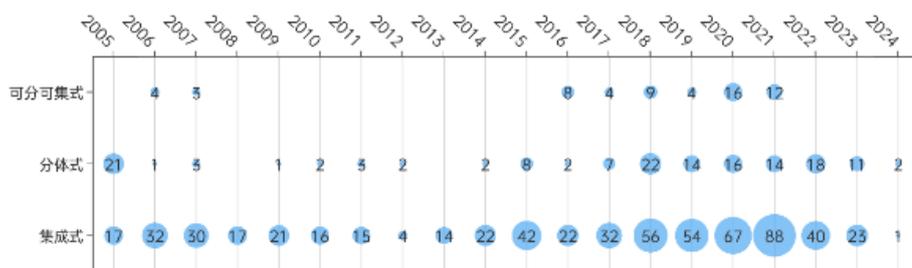


图 47 机械臂独立性的专利申请时间分布

由图 47 所示可知，集成式的申请量在 2006 年达到第一次申请量高峰，2007 年~2012 年有所下降，2013 年至今持续增长。分体式近些年一直有申请，在 2018 年进入快速增长阶段。可分可集式在 2006 年和 2007 年有不多的申请量，后面直到 2016 年才有其他的

申请，近几年的申请量数据由于公开滞后存在一定的数据统计误差。如图所示，分体式和可分可集式的申请量在 2016 年开始逐渐增多，说明集成式逐渐向分体式转变。同时集成式申请量也在逐年增加，可说明集成式在近几年的申请中仍为重点内容。

4.5 机械臂协同方式技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析

4.5.1 机械臂协同方式技术分支专利权人申请量分析

柯惠LP公司	248	20	4
直观外科手术操作公司	201	4	0
西拉格国际有限公司	75	13	0
深圳市精锋医疗科技股份有限公司	86	1	0
未来股份有限公司	66	0	0
CMR外科有限公司	59	1	0
北京术锐机器人股份有限公司	45	3	0
爱惜康有限责任公司	28	13	0
成都博恩思医学机器人有限公司	21	1	0
美的洛博迪克斯公司	9	11	0
伊西康内外科公司	13	7	0
奥瑞斯健康公司	17	1	0
得克萨斯大学体系董事会	18	0	0
美好罗伯特有限公司	16	0	0
吉林大学	11	5	0
上海微创医疗机器人(集团)股份有限公司	14	0	0
哈尔滨思睿睿智能医疗设备股份有限公司	14	0	0
TRANSENTERIX SURGICAL INC	12	2	0
奥林巴斯株式会社	11	1	0
天津大学	11	1	0
		机械臂夹持器械	手持式器械
			可手持可夹

图 48 机械臂协同方式的专利申请量分布

如图 48 所示，有三种机械臂的协同方式，一种是机械臂可夹持器械进行协同、另一种是医生手持器械进行机械臂协同、还有一种是机械臂夹持器械或者将器械取下后手持进行协同。在机械臂夹持器械的申请中，柯惠 LP 公司的专利申请量最大，占申请总量的 27.4%左右，其次是直观外科手术操作公司，占申请总量的 20.6%左

右，其他公司申请量较少。在手持式器械的申请中，柯惠 LP 公司占申请总量的 23.5%左右，其他公司申请量较少。可手持可夹持式的器械只有柯惠 LP 公司进行了申请。可见，用于机械臂夹持的器械目前是重点的研究对象，柯惠 LP 公司在此领域占有数量上的优势。还可以看出，国内外的公司更侧重于夹持器械和手持器械，对两种方式均可实现的器械研究较少。

4.5.2 机械臂协同方式技术分支申请趋势分析

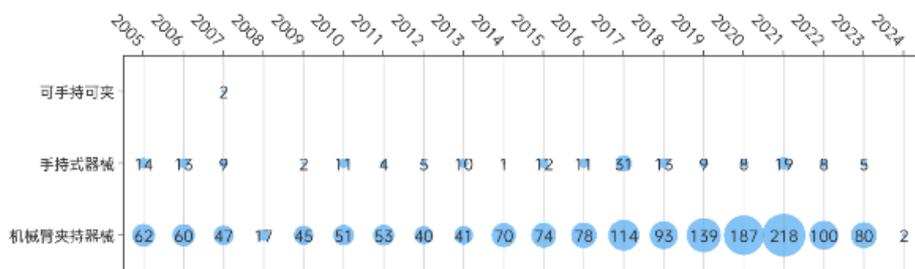


图 49 机械臂协同方式专利申请的时间分布

由图 49 可看出，可手持可夹式器械仅在 2007 年有申请，在近 10 年中未有申请，可看出此方式不是研究的主流。手持式器械在近 20 年的申请中较为平均，在 2017 年达到一个申请峰值。机械臂夹持器械一直是研究的热点，从 2014 年后进入快速增长阶段，2022 年后的专利申请量由于公开滞后的原因产生数据误差。从图中看出，机械臂夹持器械的申请在近几年呈现飞速增长的态势，表明研究人员对此的重视程度在逐年上涨。机械臂夹持器械申请的时间分布与远心机构双平行四边形机构申请的时间分布类似，表明机械臂夹持

的末端执行器械被应用在了双平行四边形机构的机械臂中。此外还可以看出，应用机械臂夹持器械去进行手术操作的方式在增加，表明了手术机器人辅助的微创手术在逐渐替代传统微创手术。

4.6 快换器械技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析

4.6.1 快换器械技术分支专利权人申请量分析



图 50 快换器械的专利申请量分布

如图 50 所示，直观外科公司和 CMR 外科有限公司的专利申请量最大，各占申请总量的 23.6%左右，其他公司申请量较少。可以看出，直观外科公司和 CMR 外科有限公司在快换式器械的领域进行了重点的研究，其他公司也都在此领域进行了不同程度的研究。还可以看出，哈尔滨思哲睿智能医疗设备股份有限公司和伊西康内外

科公司对快换式器械未有申请，说明以上公司未曾考虑快换方面的需求，或许有其他方式进行器械的更换。

4.6.2 快换器械技术分支申请趋势分析

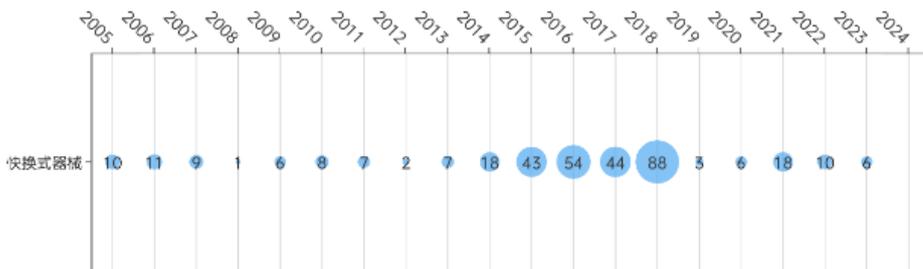


图 51 快换器械申请量的时间分布

由图 51 可看出，快换器械的申请量在 2014 年后进入到快速增长阶段，在 2018 年出现申请量峰值，随后开始下降。表明对于快换器械的研究在 2014~2018 年期间已逐渐发展成熟，将后续的研究重点转移至其他更需要的领域。

4.7 技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析

4.7.1 力反馈技术分支专利权人申请量分析

如图 52 所示，力反馈的方式有力传感器、扭矩传感器、反馈芯片、霍尔传感器、电磁传感器、导纳控制和负载传感器。由数据可看出，各公司对力反馈的申请量都较少，一方面说明力反馈难以实现，另一方面也说明还需要在此领域有更大的投入。目前各公司

得到力反馈的方式更倾向于力传感器实现，申请量最多的是美好罗伯特有限公司和川崎重工业株式会社。各公司对其余方式的研究更少，还有几家公司对此未有研究，更加说明了力反馈可实现的难度之大，表明未来在此领域还有更长的路要走。

直观外科手术操作公司	1	0	0	0	1	0	0
柯惠LP公司	1	2	3	0	0	0	0
深圳市精锋医疗科技股份有限公司	2	0	0	0	0	0	0
CMR外科有限公司	1	0	0	0	0	0	0
西拉格国际有限公司	3	1	0	0	0	0	0
未来股份有限公司	0	0	0	0	0	0	0
北京术锐机器人股份有限公司	0	0	0	0	0	0	0
爱惜康有限责任公司	0	0	0	0	0	0	0
奥瑞斯健康公司	2	0	0	0	0	0	0
美好罗伯特有限公司	6	0	0	0	0	0	0
川崎重工业株式会社	7	0	0	0	0	0	0
泗洪县正心医疗技术有限公司	0	0	0	1	0	0	0
华中科技大学同济医学院附属协和医院	0	0	0	0	0	1	0
德卡产品有限公司	0	0	0	0	0	0	1
	力传感器	扭矩传感器	反馈芯片	霍尔传感器	电磁传感器	导纳控制	负载传感器

图 52 力反馈的专利申请量分布

4.7.2 力反馈技术分支申请趋势分析

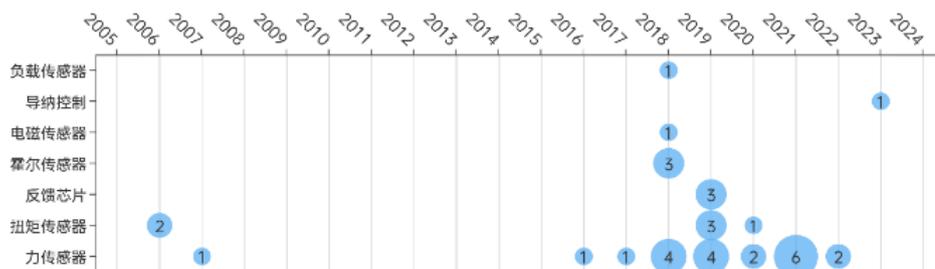


图 53 力反馈的专利申请量的时间分布

如图 53 所示，对各种方式的力反馈的申请主要在 2019 年前后，表明各公司在近几年才开始对力反馈进行研究，而力传感器方式的申请量的逐年增加也表明了力传感器方式能实现力反馈的可

能性更大，对于其他方式也有不同程度的研究，数据由于公开滞后的原因有一定的数据统计误差，在近几年的研究中，力传感器相对更多，未来也会继续对此方式进行更多的研究。

4.8 技术分支专利权人申请量和技术申请趋势分析

4.8.1 器械类型技术分支专利权人申请量分析

直观外科手术操作公司	159	176
柯惠LP公司	218	102
深圳市精锋医疗科技股份有限公司	67	100
CMR外科有限公司	128	13
西拉格国际有限公司	77	32
未来股份有限公司	23	61
北京术锐机器人股份有限公司	18	56
爱惜康有限责任公司	49	6
奥瑞斯健康公司	30	21
美好罗伯特有限公司	27	14
川崎重工业株式会社	27	15
上海微创医疗机器人(集团)股份有限公司	22	12
哈尔滨思睿睿智能医疗设备股份有限公司	21	0
TRANSENTERIX SURGICAL INC	9	4
威博外科公司	19	7
伊西康内外科公司	21	5
美的洛博迪克斯公司	13	13
成都博恩思医学机器人有限公司	24	1
三星电子株式会社	12	6
迈米克创新手术有限公司	2	15
	刚性	柔性

图 54 器械类型的专利申请量分布

如图 54 所示，器械类型分为刚性和柔性器械。刚性器械指器械前端仅有刚性操作杆，主要应用于多孔微创手术，柔性器械指器械前端有柔性关节用于到达环境更为复杂的区域，多用于单孔微创手术，柔性器械的实现难度要远大于刚性器械。在刚性器械的申请中，柯惠 LP 公司的专利申请量最大，占刚性器械申请总量的 22.6% 左右，其次是直观外科手术操作公司，占申请总量的 16.5% 左右，然后是 CMR 外科有限公司，占申请总量的 13.3% 左右，其他公司申

请较少。对于柔性器械的申请，直观外科手术操作公司的申请量最大，占柔性器械申请总量的 26.7%左右，柯惠 LP 公司和深圳市精锋医疗科技股份有限公司的申请量分别占申请总量的 15.5%和 15.2%左右，其他公司申请量较少。从图可以看出，对刚性器械的申请量略多于柔性器械，柯惠 LP 公司和 CMR 外科有限公司的研究重点主要在刚性器械上，表明对多孔手术机器人更为重视，但柯惠 LP 公司的柔性器械申请量要多于 CMR 外科有限公司的 13 个，说明柯惠 LP 公司在柔性器械方面也有一定量的研究，CMR 外科有限公司对柔性器械的研究就相对要少很多。直观外科手术操作公司对刚性器械和柔性器械的申请量相差不大，说明该公司对多孔和单孔手术机器人同样看重。深圳市精锋医疗科技股份有限公司、未来股份有限公司和北京术锐机器人股份有限公司对于柔性器械的申请量要多于刚性器械，说明以上几个公司的研究侧重点在单孔手术机器人上。哈尔滨思哲睿智能医疗设备股份有限公司对柔性器械的申请量为 0，表明该公司的产品多用于多孔微创手术中。

4.8.2 器械类型技术分支申请趋势分析

如图 55 所示，柔性器械在前 10 年中保持一个较为平稳的申请量，从 2014 年后进入到快速增长阶段，在 2018 年达到申请峰值，随后略有下降。对于刚性器械的申请，2005 年为第一个申请峰值，随后有所下降，到 2014 年后进入到快速增长阶段，到 2021 年达到第二个申请峰值，随后下降。由数据可看出，各公司对柔性器械的

研究在持续的进行着，直到 2018 年前后，由于深圳精锋医疗科技有限公司和北京术锐机器人股份有限公司的成立，才将柔性器械的申请量推到了一个峰值，也侧面表明了人们对单孔机器人的重视程度。对于刚性手术器械，随着科技的发展，在 2014 年后才成为各方研究的重点项目，一方面表明刚性器械的重要性，另一方面说明了人们对于机器人辅助微创手术的接受程度也在逐渐增加。

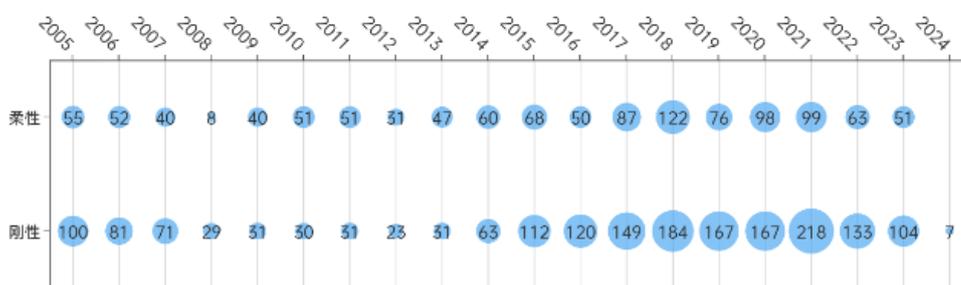


图 55 器械类型专利申请量的时间分布

4.9 技术分支重点核心专利

从企业角度上看，对该手术机器人分析，首先应熟悉行业理清发展历程行业状态技术迭代重要事项，再掌握技术方案标引重要专利形成技术脉络，随后研究过期重要专利以借鉴评判，最后在这些方面梳理国内重要专利技术对照和特征对比，以此来进行可能存在的专利风险预警。该手术机器人相关重要专利如下：

根据图 56 的专利数据，医疗机器人技术分支的核心专利主要由直觉外科、史赛克技术、哈密尔顿医疗等公司主导，涉及关键领域：多机械臂系统及独立操作，提升手术灵活性和精确度；快速器

械更换，优化手术流程；器械协同及交互方式，确保多工具高效协作；执行器解耦技术，增强操作稳定性；远心机构的设计，优化器械运动控制；创新材料应用，提升器械性能；以及力反馈机制，增强手术操作的精确度和用户体验。这些专利体现了在提高手术机器人系统的灵活性、效率和精确度方面的重要技术进展。

序号	专利	被引用	标题	公开(公告)日	当前申请专利权人
1	US20070135803A1	2826	Methods and apparatus for performing transluminal and other procedures	2007-06-14	直观外科手术操作公司
2	US7806891B2	2821	Repositioning and reorientation of master/slave relationship in minimally invasive telesurgery	2010-10-05	直观外科手术操作公司
3	US7824401B2	2291	Robotic tool with wristed monopolar electrosurgical end effectors	2010-11-02	直观外科手术操作公司
4	US8840003B2	1779	Surgical stapling instrument with compact articulation control arrangement	2014-09-23	伊西康内外科公司
5	US20110275901A1	1579	Laparoscopic devices with articulating end effectors	2011-11-10	西拉格国际有限公司
6	US9125662B2	1543	Multi-axis articulating and rotating surgical tools	2015-09-08	西拉格国际有限公司
7	US8220468B2	1543	Sterile drape interface for robotic surgical instrument	2012-07-17	直观外科手术操作公司
8	US9943309B2	1532	Surgical instruments with articulatable end effectors and movable firing beam support arrangements	2018-04-17	西拉格国际有限公司
9	US20050182298A1	1478	Cardiac tissue ablation instrument with flexible wrist	2005-08-18	直观外科手术公司
10	US7682307B2	1464	Articulating mechanism for remote manipulation of a surgical or diagnostic tool	2010-03-23	直观外科手术操作公司
11	US9283045B2	1370	Surgical instruments with fluid management system	2016-03-15	西拉格国际有限公司
12	US10178992B2	1343	Push/pull articulation drive systems for articulatable surgical instruments	2019-01-15	西拉格国际有限公司
13	US8245594B2	1227	Roll joint and method for a surgical apparatus	2012-08-21	直观外科手术操作公司
14	US8968355B2	1194	Articulating surgical device	2015-03-03	柯惠LP公司
15	US10335149B2	1126	Articulatable surgical instruments with composite firing beam structures with center firing support member...	2019-07-02	西拉格国际有限公司
16	US8876858B2	1122	Surgical instrument with elastically movable instrument head	2014-11-04	图宾根科学医疗股份有限公司
17	US10405863B2	1083	Movable firing beam support arrangements for articulatable surgical instruments	2019-09-10	西拉格国际有限公司
18	US8603077B2	1081	Force transmission for robotic surgical instrument	2013-12-10	直观外科手术操作公司
19	US8357161B2	943	Coaxial drive	2013-01-22	柯惠LP公司
20	US9333040B2	914	Mechanized multi-instrument surgical system	2016-05-10	GREAT BELIEF INT LTD

序号	专利	专利家族规模	标题	公开(公告)日	当前申请专利权人
1	EP4137072A2	1649	Surgical instruments comprising a system for articulation and rotation compensation	2023-02-22	爱信康有限责任公司
2	US7864163B2	1225	Portable electronic device, method, and graphical user interface for displaying structured electronic documents	2011-01-04	苹果公司
3	US8840003B2	1147	Surgical stapling instrument with compact articulation control arrangement	2014-09-23	伊西康内外科公司
4	US6988662B2	752	System and method for carrying out information-related transactions using web documents embodying...	2006-01-24	计量仪器公司
5	US7041008B2	581	Golf ball with sulfur cured inner component	2006-05-09	拓高乐卡拉威品牌公司
6	US11583278B2	432	Surgical stapling system having multi-direction articulation	2023-02-21	西拉格国际有限公司
7	US20230249354A1	397	Synthetic representation of a surgical robot	2023-08-10	直观外科手术操作公司
8	US20190167369A1	396	Cable tensioning in a robotic surgical system	2019-06-06	直观外科手术操作公司
9	US6656939B2	360	Pyrazole compounds useful as protein kinase inhibitors	2003-12-02	沃泰克斯药物股份有限公司
10	CN105662508B	341	用于控制组织压缩的装置及方法	2019-01-08	柯惠LP公司
11	US20030086822A1	312	Apparatus and method of research for creating and testing novel catalysts, reactions and polymers	2003-05-08	西米克斯技术公司
12	US20240090884A1	258	Surgical robotic system with retractor	2024-03-21	格罗伯斯医疗有限公司
13	US20090110132A1	249	System and method for re-synchronization of a pss session to an MBMS session	2009-04-30	诺基亚公司
14	US20200155183A1	209	Articulating surgical tools and tool sheaths, and methods of deploying the same	2020-05-21	美的洛博迪克斯公司
15	US20170196588A1	208	Robotically-controlled end effector	2017-07-13	西拉格国际有限公司
16	EP3338682B1	202	Articulatable surgical instrument with independent pivotable linkage distal of an articulation lock	2020-04-29	爱信康有限责任公司
17	CN102988087B	193	例如用于机电手术设备的轴	2015-09-09	柯惠LP公司
18	US7053100B2	190	Therapeutic nucleosides	2006-05-30	埃默里大学
19	US20080069859A1	156	Method for treating neovascularization and intravitreal implants	2008-03-20	阿勒根公司
20	US9827054B2	152	Intelligent positioning system and methods therefore	2017-11-28	SYNAPTIVE MEDICAL INC

图 56 技术分支重点核心专利

4.10 技术壁垒

腹腔镜在机械臂的数量上多数为四个机械臂，一个机械臂把持内窥镜，其余机械臂用于把持手术器械进行组织提拉、切割等操作。在机械臂的独立性方面，其他人采用的方式多数为集成式，近年来对分体式也有一定的研究，项目组研发的胸腹腔微创手术机器人采用了可集成可分体式，将四个机械臂集成于手术平台上，当使用单个机械臂作为持镜臂时，机械臂属于分体式，当采用多个机械臂把持器械进行手术操作时，机械臂属于集成式。与其他专利的设计不同，在机械臂的独立性方面不会产生侵权的风险。

机械臂分为定位支撑机构和远心机构，目前国内外手术机器人远心机构的构型多数采用了双平行四边形机构，此构型设计较为成熟，如达芬奇手术机器人、精锋多孔腹腔镜手术机器人等。本机器人采用弧形机构的构型，实现方式简单，关节少，与主流构型不同。

在末端执行器械的设计中，柔性手术器械多用于单孔微创手术，刚性手术器械用于多孔微创手术。器械的动力传输多采用丝传动的方式，但本设计与其他设计在丝传动系统的导轮布置、电机布置、外壳形状及盒内传动件的设计均有不同。为方便不同器械末端的更换，采用了器械的快换机构，实现方式也与其他专利不同。如达芬奇手术器械采用扭簧复位按钮的方式实现快换，本设计采用弹簧挂钩的方式实现快换。器械有手持式、机械臂夹持式和可手持可夹持式，器械盒内的布置为研究的重点，本设计在结构方面与其他专利

不同，主要体现在动力传输结构件上，均为自研。器械末端小爪的开合和腕部的偏摆在运动时会产生耦合现象，末端的解耦方式有软件解耦和机械解耦，本设计在机械解耦中规定了钢丝绳的运动轨迹，使小爪的开合运动与腕部偏摆运动不会耦合。其他设计在器械盒内部或末端进行处理，增加轮系对腕部偏摆时驱动小爪的钢丝绳运动进行补偿。软件补偿受干扰及程序迁移困难等因素的影响使得研究难度增大。

末端执行器有手持式、机械臂夹持式和可手持可夹持式，手持式多用于医生把持进行手术操作，机械臂夹持式用于手术机器人进行操作，可手持可夹持式目前研究较少。机械臂夹持式器械的设计不具有普适性，都针对于相应的机器人进行的设计研究，结构及接口均不同。

手术机器人最难实现的是力反馈机制，如何在手术过程中得知或感知来自于器械末端夹持组织的力一直是各公司研究的重点，目前很多公司采用在器械末端安装力传感器的方式实现力反馈，还有的公司将末端的力反映到操纵机器人的主手上，使医生在控制机器人进行手术操作时手部能感受到末端的力，但这样的缺点是只有末端力较大时可以感受的到。本设计采用的方式是生物力学图像融合，研究不同组织的生物力学特性，得到可以代表不同组织的力学本构模型，将其融入程序中，通过检测图像中组织的变化得到末端的力，与其他采用传感器的方式不同。

5.项目组技术储备及竞争实力

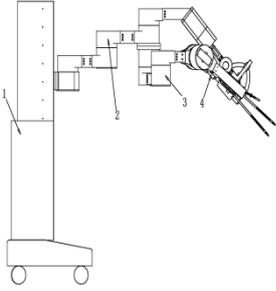
5.1 技术储备

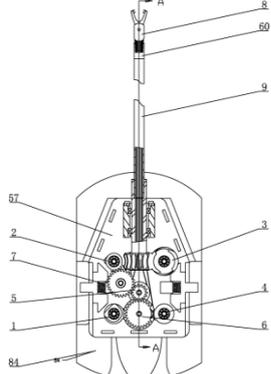
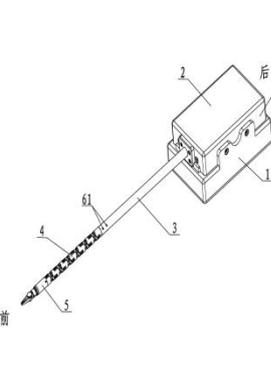
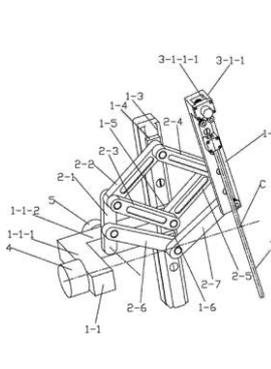
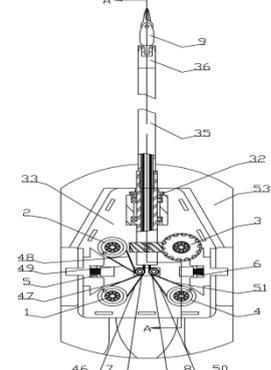
项目团队多场景人机协同的智能化胸腹腔微创手术机器人结合临床实际需求，自 2012 年以来共计研发四代手术机器人产品样机。

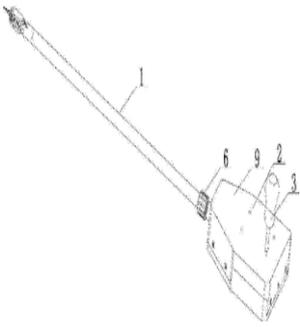
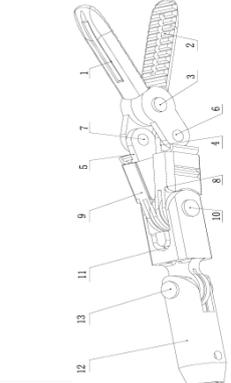
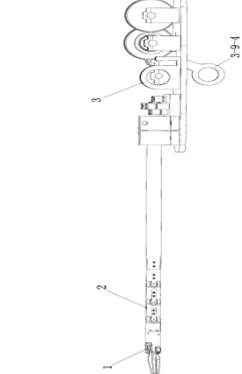
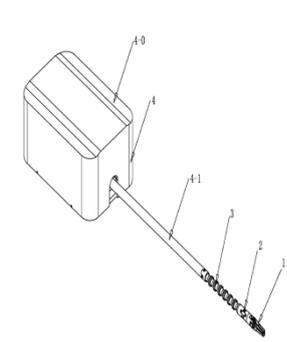
累计申请国家发明专利 36 项，授权专利 27 项，国际专利 1 项，专著 1 篇，论文 1 篇，实用新型 8 项，外观专利 5 项，获得软件著作权 11 项，转化专利 7 项。

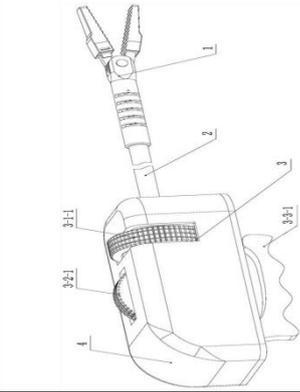
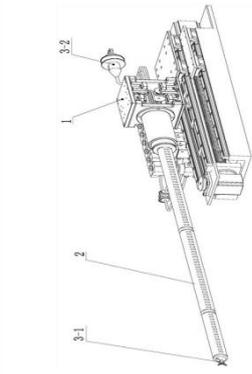
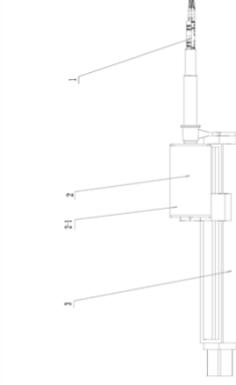
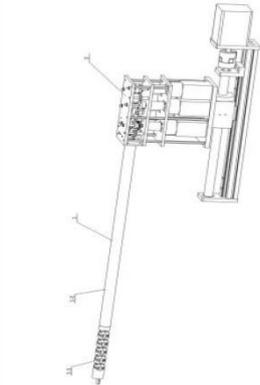
涉及腔镜手术机器人的专利成果详细信息列表如下：

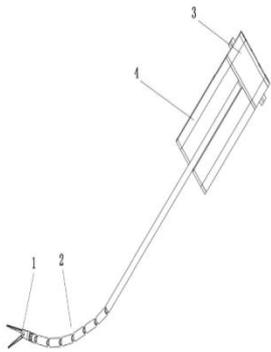
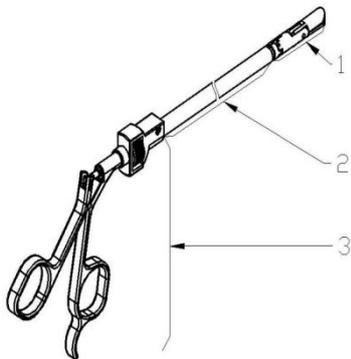
表 9 专利成果详细信息

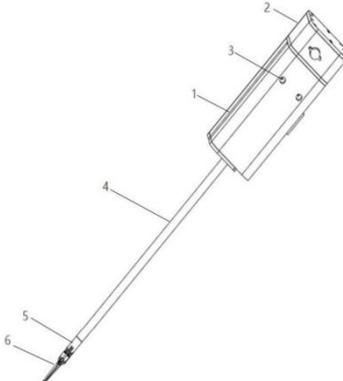
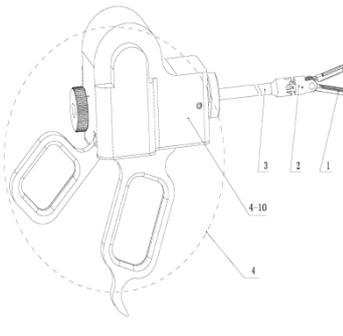
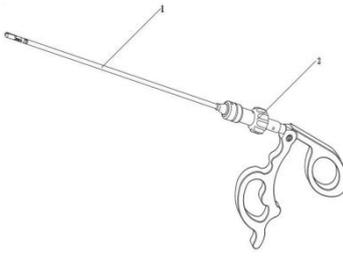
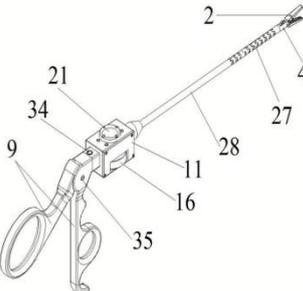
序号	技术构成	公开(公告)号	摘要附图	标题	当前专利权人	授权日
1	机械臂	CN107184275B		一种用于辅助胸腹腔微创手术的机器人	吉林省金博弘智能科技有限责任公司	2018-09-14

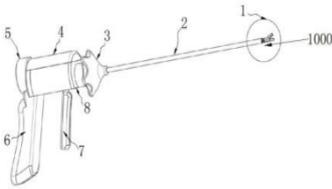
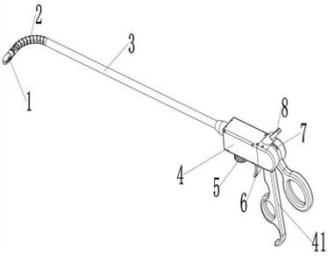
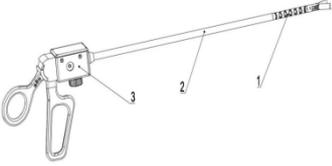
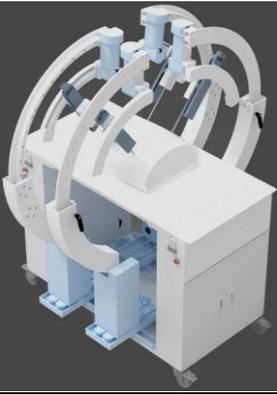
2	末端执行器	CN103892924B		<p>机器人 辅助手术 创用无耦 合式快换 钳式手术 装置</p>	<p>吉林省金 博弘智能 科技有限 责任公司</p>	<p>2016- 08-24</p>
3	末端执行器	CN105287002B		<p>一种机 器人辅 助手术 柔性关 节手术 器械</p>	<p>吉林省金 博弘智能 科技有限 责任公司</p>	<p>2017- 10-27</p>
4	末端执行器	CN105250025B		<p>一种辅 助手术 夹持内 窥镜的 执行器</p>	<p>吉林省金 博弘智能 科技有限 责任公司</p>	<p>2017- 06-13</p>
5	末端执行器	CN103340687B		<p>机器人 辅助手术 创用无耦 合式手 术装置</p>	<p>吉林省金 博弘智能 科技有限 责任公司</p>	<p>2015- 06-10</p>

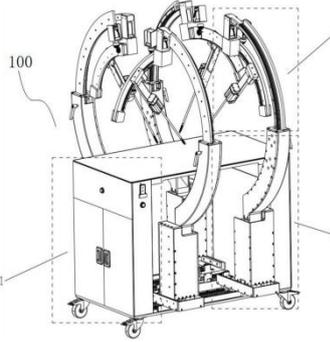
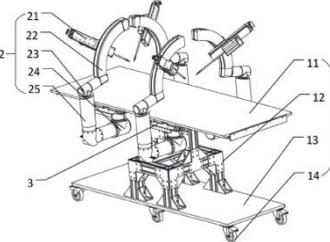
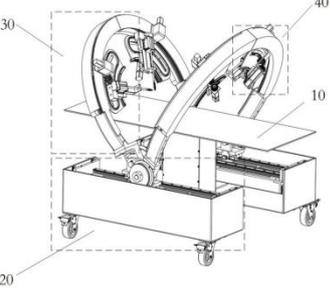
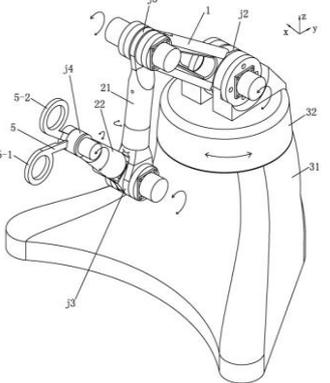
6	末端执行器	CN205866829U		一种用于机器人辅助微创手术的快换装置	吉林大学	2017-01-11
7	末端执行器	CN210521023U		一种具有快速更换功能的微创器械末端执行器	吉林大学	2020-05-15
8	末端执行器	CN107550541B		一种用于微创手术的腔式多关节手持式手术器械	吉林大学	2020-06-02
9	末端执行器	CN107468339B		一种机器人辅助微创手术用柔性多关节器械	吉林大学	2020-06-05

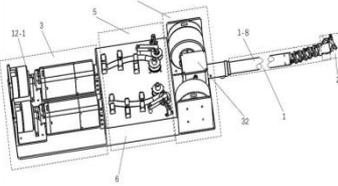
10	末端执行器	CN108175452B		一种具自锁快速功手柔创器 有与能换的式微性手术器械	吉林大学	2020-09-01
11	末端执行器	CN110464466B		一种用于微创外科手术的柔性机器人	吉林大学	2021-04-20
12	末端执行器	CN109770966B		一种多自由度集成的单孔腔镜手术器械	吉林大学	2021-11-09
13	末端执行器	CN114631891A		一种柔性手术机器人	吉林大学	-

14	末端执行器	CN307437918S		胸腹腔 微创单 孔手术 器械	吉林大学	2022-07-05
15	末端执行器	CN307471995S		腹腔微 创手术 机器人 刚性器 械	吉林大学	2022-07-26
16	末端执行器	CN114795481A		一种用 于腹腔 微创手 术的快 速更换 式柔性 器械	吉林大学	-
17	末端执行器	CN115708705A		一种刚 性微创 手术器 械	吉林大学	-

18	末端执行器	CN114983571B		一种用于胸腹部微创手术便捷更换式手术器械	吉林大学	2024-03-26
19	手持微创手术器械	CN107550526B		一种具有自锁性的手持式微创手术器械	吉林大学	2020-07-03
20	手持微创手术器械	CN110974353B		一种手持式手腹式手术器械	吉林大学	2021-03-09
21	手持微创手术器械	CN113440184B		一种可控式微创手术器械	吉林大学	2022-07-26

22	手持微创手术器械	CN115227339A		一种多自由度手控微创手术器械	吉林大学	-
23	手持微创手术器械	CN115590598A		一种微创手术器械	吉林大学	-
24	手持微创手术器械	CN219613970U		一种基于蜗轮的蜗杆柔性微创手术器械	吉林大学	2023-09-01
25	手术平台	CN307182507S		腹腔微创手术设备	吉林大学	2022-03-18

26	手术平台	CN113440262B		一种腹腔镜微创手术机器人	吉林大学	2023-02-17
27	手术平台	CN116585035A		一种新型腹腔镜手术平台	吉林大学 吉林省金博弘智能科技有限责任公司	-
28	手术平台	CN115089304B		一种多臂多自由度腹腔镜手术平台	吉林大学	2024-03-26
29	主操作手	CN106667583B		一种微创机器人七自由度主手	吉林省金博弘智能科技有限责任公司	2018-09-18

30	自然腔道机器人	CN114668432A		一种经自然腔道一体式手术机器人	吉林大学	-
----	---------	------------------------------	---	-----------------	------	---

5.2 主要研究成果

微创手术机器人系统自研发以来包含关键技术有机器人本体结构设计、主操作手开发、手术器械开发、丝传动动力学、主从控制技术、自主手术技术、主从力反馈技术及虚拟手术系统等。

累计技术成果如下：

1. 满足多场景人机协同的胸腹腔微创手术机器人多臂结构

在微创手术机器人的结构设计方面，项目突破性地提出了一体式和分体式多臂结构的设计概念。综合考虑了生物力学和人机协同操作的特征，开发了一款新型胸腹腔微创手术机器人，其核心特点在于多臂结构的先进性。系统将 4 条机械臂与手术床集成于一体，可根据手术需求设置机械臂的数量，实现医生-单机械臂、医生-双机械臂等多种人机协同操作模式。与目前市面上的手术机器人相比，具有更大的灵活性和适用性，可以根据专科手术需求进行机器人人机协作模式的灵活配置。此外，可显著减少术前手术准备时间和机械臂调整时间，有利于降低手术总时长，提高手术效果。通过实验室环境中的验证，确保了结构的稳定性和可靠性，不仅提高了机器

人在复杂手术环境中的操作灵活性，也使得机器人系统更适合多场景人机协同手术需求，微创手术更加智能化和高效化。

2. 新型轴驱圆弧复合型远心机构开发

研发了一种创新设计——轴驱和圆弧复合型远心机构，以满足微创手术中“定点”运动的需求。相比传统设计，机构具有模块化设计方案，成功解决了圆弧型机构驱动设计难题。新型机构具有平面式结构，能够有效降低机械臂之间的碰撞干涉，同时具备紧凑的结构、小巧的体积和轻量化的特点。此远心机构关节数量较少，装配要求相对较低，有效降低了机器人系统的整体体积和重量，保证了微创手术机器人系统的高运动精度、稳定性和灵活度。

3. 刚性化手术器械及手术器械快换技术

针对手术器械的手术操作要求，研发了胸腹腔微创手术机器人系统的刚性系列手术器械，使其能够兼容同一机器人系统的使用，即可以同时满足多孔微创手术机器人系统和单孔微创手术机器人的系统需求，手术器械还配有快速更换装置，使得医生可以在手术过程中快速安装和更换手术器械，以满足不同手术操作的需求，提高手术效率，此外可自主实现手术器械末端位姿的定位，减少了术者对手术器械初始位置的繁琐调整工作。

4. 多自由度手持式微创手术器械研制

项目研制了多自由度的手持式微创手术器械，采用了降低了医生的劳动强度的类人腕式运动和柔性多关节设计理念，末端小爪可

可以根据医生的操作需求进行角度调整，最大偏摆可达 90° ，使医生在复杂手术操作时不再需要大幅度摆动手臂，有效避免了医生与机器人以及与助手间的碰撞干涉。

该手持式微创手术器械可与多场景人机协同的智能化胸腹腔微创手术机器人配合使用。此时手持式器械通过其多自由度和可调整性使医生能够更好地控制手术过程。医生可以根据手术需求调整器械的角度和位置，实现更精细手术操作。同时，手持式器械的灵活性亦可适应不同手术场景和解剖结构，使得手术过程更加顺利和高效。手持式手术器械为医生与机器人的手术协同提供了条件保障，有效提升了手术方案的灵活性和可适应性，为医生和患者带来更好的手术体验和治疗效果。

5. 宜人性大空间高灵活度主操作手

本项目自主研发了串联异构型主手，通过人机工程学和机器人运动学优化指标，进行了主手结构设计，创新性设计了重力平衡机构，有效避免了医生的操作疲劳，使主手在保证人机操作舒适性的同时具备灵巧度和大操作空间，降低主从切换频率，提高手术操作的效率。与其他串联型主手相比，本项目的主手避免了重量大、操纵笨重等缺点；与其他异构型主手相比，本项目主手各关节的高精度位置反馈可实时求解主手末端位姿，便于主-从运动映射。在保证操作性能的同时兼顾了舒适性和灵活度。

6. 手术器械动力学建模与精准力/位动力传输

通过对钢丝绳柔性体动力学的深入研究，项目成功建立了手术器械丝传动的力/位模型。模型通过实验标定与模型拟合方式，以及精度补偿算法的实时应用，解决了钢丝绳材料的粘弹性和非线性接触对手术器械末端关节运动精确性的影响。显著提升了手术器械的运动精度和使用寿命，为微创手术的长时间运动提供了可行的技术保障。

7. 实时性高精度高效率柔性手术器械控制算法

比较目前柔性手术器械的运动学控制存在求解繁琐、易产生冗余解以及算法耗时等问题，本项目采用了一种利用空间几何法与牛顿迭代法相结合的新方法进行柔性关节运动学求解，经实验验证该方法具有计算准确、求解唯一、速度快等优点，且适用于不同结构尺寸的柔性手术器械运动学求解。

8. 智能多场景人机协同主从协调控制系统

项目构建了智能多场景主从协调控制系统，利用模块化思想进行软硬件系统搭建，并针对不同专科化临床需求建立了机器人运动学模型及手眼协调控制策略，通过手眼标定技术实现腔镜自动跟随，提升了医生手术操作的沉浸感，保证精准手术操作支持，实现了内窥镜对手术器械的实时跟踪，有效辅助手术顺利进行。

在胸腹腔微创手术机器人控制系统中，采用了面向多应用场景的位姿解耦相对增量式主-从控制策略，有效利用从手机器人的工作空间和灵活性，同时具备抖动滤除功能，解决医生手部抖动可能

引起的误操作问题，提高了系统的操作灵活性和舒适性以及手术资源的利用率，降低了手术风险，确保了操作的稳定性。在软硬件系统方面，实现了模块化可扩展的设计，并使用多轴运动控制卡实现主从低延迟，便于系统的维护、升级及功能扩展。

9. 基于生物力学的力/像融合胸腹腔微创手术机器人力反馈技术

项目以生物力学为切入点，突破了传统手术交互力获取的方法。通过研究软组织力学本构模型和应用高灵敏度仿生智能多维力/扭转传感器，实时采集手术操作力学信息，并借助力/像融合方法实现力反馈。

不同于传统微创手术机器人缺乏力反馈功能，医生无法感知手术操作力，只能依靠视觉图像来判断手术动作程度，导致操作力过大或过小的情况。新颖的生物力学角度通过实现真实手术操作交互力的准确获取能够实现手术交互力在机器人主手端动态地“放大”或“缩小”，并将其反映到具有力感知功能的主手上，从而提高医生手术操作的沉浸感，不影响手术操作的稳定性的前提下，有效地复现手术操作交互力，使医生能够更准确地感知手术操作的力度，帮助医生提高手术操作的质量和效率，为患者提供更安全、精准的治疗。

10. 胸腹腔微创手术机器人自主手术研究

通过对医生—机器人系统—手术环境的深入研究，项目建立了

具有环境自适应的机器人自主手术学习模型。实现了机器人的自主手术能力，最大程度地减轻了医生的手术负担，缩短了手术时间，实现了多场景下高精度和高质量的机器人自主手术。

通过研究机器人手术操作与手术环境的作用规律和利用术中手术图像技术确定机器人自主运动边界条件，使得机器人手术范围、实施位置和空间走向更加合理并符合实际手术要求；通过设计专家示范操作机器人实验以及采集其信息建立机器人自主手术学习模型，实现机器人手术操作对手术环境的自适应性，使得机器人不仅能够模仿医生操作，还要能够根据手术情况进行泛化、拓展以应对不可预期的意外情况；通过研究多场景手术操作下机器人辅助微创手术工作模式、结构特征与运动特点建立机器人多臂协作结构化准则，避免了机械臂协作过程中的碰撞干涉，且使得术中能快速建立机械臂的有效协作范式，实现满足实际要求的多场景下的机器人自主手术。

5.3 研发技术路线

由图 57 可以看出，研发主体在智能化胸腹腔微创手术机器人领域的发展历程可以归纳如下：

1. 技术积累与初步研发（2012 年-2015 年）：

从 2012 年开始，研发团队开始着手研发多场景人机协同的智能化胸腹腔微创手术机器人，包括机器人本体结构设计、主操作手开发、手术器械开发等，并积累了初步的技术基础。

这一时期，团队申请了与手术机器人相关的多项国家发明专利，涵盖了手术器械、传感器技术、操作主手等多个方面。

2. 技术突破与专利申请（2016年-2019年）：

随着技术的不断进步，研发团队在微创手术机器人领域取得了多项技术突破，包括生物软组织力学性能测试装置、无耦合快换式手术装置等。

这一阶段，团队累计申请了大量国家发明专利，包括用于辅助胸腹腔微创手术的机器人、微创手术机器人七自由度操作主手等，显示了其在该领域的深厚技术实力。

3. 技术转化与产品升级（2019年-2022年）：

在技术不断成熟的基础上，研发团队开始将部分专利技术转化为实际产品，并持续对手术机器人产品进行升级和改进。

这一时期，申请并授权了多项与手术机器人相关的专利，如一种用于腹腔微创外科手术的柔性机器人、一种圆柱式仿生多维力传感器等，进一步提升了产品的技术水平和市场竞争力。

4. 持续创新与国际拓展（2022年至今）：

团队在保持技术领先的同时，持续进行产品创新，并积极探索国际市场。

研发团队不仅继续申请和授权了多项国家发明专利和国际专利，还发布了与手术机器人相关的专著和论文，展示了其在该领域的全面创新实力。

此外，还申请了多项实用新型专利和外观专利，进一步丰富了产品线和知识产权保护体系。

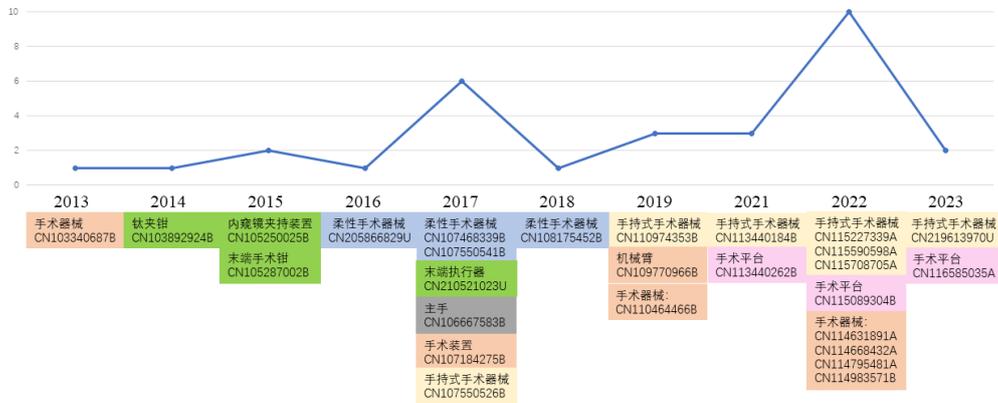


图 57 研发主体发展历程技术路线

5.4 主研人员情况

项目负责人冯美教授，主持国家级、省部级项目 20 余项，带领团队申请国家发明专利 110 余项，授权国家发明专利等知识产权 59 项，完成专利成果转化 8 项，发表高质量论文 60 余篇，主编《微创手术机器人技术》专著 1 部（“十三五”国家重点出版物出版规划项目），获吉林省科技进步二等奖（排名 1），全国专利创新创业大赛优秀奖（排名 1）及长春市高价值专利二等奖（排名 1）。

项目主要参加人：卢秀泉，男，教授，工学博士，研究方向为创新医疗器械。主持国家、省部级、军工及企业委托课题项目 15 项，已发表学术论文 21 篇，申报国家发明专利 22 项，获吉林省科学进步一等奖、中国机械工业科学技术二等奖、中国液压气动密封件工业协会特等奖等省部级奖项 6 项，获省级、校级教学成果奖 4 项，

主编教材 1 部，参编教材 3 部，参编专著 3 部。

表 10 主研人员情况

姓名	所在单位及部门	职务	现从事专业	在本项目中承担的主要工作
刘伟	吉林大学第一医院	教授	胸外科	医学实验指导
卢秀泉	吉林大学机械与航空航天工程学院	教授	机械设计	机器人运动模型规划
佟伟华	吉林大学第一医院	副教授	胃肠外科	机器人实验的医学评估
李鹏	吉林大学机械与航空航天工程学院	副教授	工程力学	实验数据采集
师亚龙	吉林大学机械与航空航天工程学院	研究生	机械制造	生物力学力反馈技术研究
李永康	吉林大学机械与航空航天工程学院	研究生	机械设计	机器人本体结构设计开发
王超	吉林大学机械与航空航天工程学院	研究生	机械设计	柔性手术器械研发
苏恒跃	吉林大学机械与航空航天工程学院	研究生	机械制造	手持手术器械研发
李金辉	吉林大学机械与航空航天工程学院	研究生	机械制造	机器人控制系统研发
杨鑫蕊	吉林大学机械与航空航天工程学院	研究生	机械制造	丝传动系统动力学研究和建模
任珈琦	吉林大学机械与航空航天工程学院	研究生	机械制造	机器人运动学模型研究
高超	吉林大学机械与航空航天工程学院	研究生	机械制造	自主手术技术研发

6.必要性及可行性结论

6.1 产业发展环境

腹腔镜手术机器人的产业发展环境可以从以下几个方面进行总结：

1. 政策环境支持方面，中国政府在政策上给予了腹腔镜手术机器人产业极大的支持，从 2015 年开始，陆续出台了一系列鼓励和支持手术机器人发展的政策，包括审批加速、配置扩容、医保助力和收费标准化等。

2. 市场需求增长方面，随着医疗技术的进步和人们对微创手术需求的增加，腹腔镜手术机器人市场正在迅速扩大。国内外市场需求强劲，尤其是中国市场潜力巨大。

3. 技术发展趋势方面，手术机器人技术正朝着微创、精准、轻小化、模块化和智能化的方向发展。国内外研发机构持续进行技术创新，推动产品迭代。

4. 产业链结构完善方面，胸腹腔镜手术机器人产业链包括上游核心零部件生产、中游设备制造和下游设备应用三个环节。国内企业在上游零部件和材料的国产替代趋势增强，中游服务商和下游应用市场也在不断发展。

5. 国内外竞争格局方面，国外手术机器人市场竞争激烈，主要市场份额被如达芬奇手术机器人系统制造商直观外科等企业占

据。国内手术机器人产业虽然起步较晚，但在政策和市场需求的推动下，国产手术机器人正在快速发展，部分产品已获得国家药监局的注册批准。

6. 商业模式创新方面，手术机器人行业的商业模式通常包括设备销售、耗材销售和增值服务等。国内外领先企业通过这种模式获得了持续的盈利和发展。

7. 技术突破与创新方面，国内外企业在力触觉反馈、精准定位导航、术中配准等方面不断创新，提高手术机器人的性能和应用范围。

在腹腔镜手术机器人领域开展科研工作至关重要，它不仅能够显著提升医疗手术的精度和安全性，缩短患者恢复时间，而且符合国家健康战略和政策支持方向。随着微创手术需求的日益增长，科研创新能够满足市场对高效治疗方案的迫切需求，同时促进医疗设备产业向高端化、智能化的转型升级。此外，持续的科研投入有助于加速技术迭代，培养专业人才，推动跨学科融合，增强自主创新能力，减少对外依赖，保障医疗技术的自主可控。改善患者体验和提升医疗服务质量也是科研工作的重要目标。最终，这些科研活动将带来显著的经济效益，推动整个产业链的发展，为社会创造更大的价值。

6.2 技术发展态势

通过分析，从以下几个方面展示出了腹腔镜手术机器人的技术

发展态势；

从专利申请与授权趋势来看，自 2005 年后，腹腔镜手术机器人的专利申请和授权情况显著增长，特别是从 2015 年开始，专利申请数量显著上升，尽管从 2021 年开始申请数量有所下降，但考虑到可能存在的申请公开延迟，预计 2022 年和 2023 年的发展趋势将与 2015 至 2018 年的增长态势保持一致。

从技术发展阶段分析，腹腔镜手术机器人技术经历了萌芽期（2016 年之前），在这一阶段，各技术分支的专利申请量均小于 200 件。随后进入快速发展期（2017 年至今），专利申请量在机械臂及末端执行器方面首次超过 200 件，并在 2018 至 2021 年间显著增长。

对于关键技术分支，手术机器人领域的机械臂设计、末端执行器技术、传感技术、力反馈技术以及控制系统等关键技术分支自 2014 年起迎来了快速发展期，并且目前仍然保持着积极的发展态势。技术专利申请呈现出多样化的趋势，包括不同数量的机械臂配置、力反馈技术、执行器解耦方式的创新、快换式器械和换械速度的优化等。

从专利地域布局分析来看，美国是最主要的技术来源国家，中国和英国也是持有该技术的公司主要分布国家。中国在 2014 年之前活跃度较低，但之后活跃度显著提高，尤其在 2014 年之后，中国在机械臂独立性方面的专利申请量显著。

再关注到专利申请人，经分析一些公司和机构如直观外科手术操作公司和深圳市精锋医疗科技股份有限公司在手术机器人领域的专利申请量上表现突出，反映出在手术机器人行业中具有较强的竞争力和影响力。

从过发明人分析可以精准定位行业内的技术精英及高水平的技术团队，经分析主要发明人在手术机器人领域的专利申请数量表现出色，如王建辰博士在力反馈技术方面拥有多项提升手术精确度和安全性的专利。

腹腔镜手术机器人技术从萌芽期到成长期，再到成熟期，呈现出周期性规律。目前，技术趋于成熟，专利数量继续增加，但增长速度变慢。近年来，研究重点逐渐向减少手术机器人器械复杂性、增加灵活性和可靠性方面倾斜，注重机器人系统的简化和优化，以提升手术效率和安全性。

通过市场和技术发展方向的分析，专利分布暗示未来技术的发展方向可能集中在材料创新和复杂机构控制上，推动手术机器人在微创手术和高效协同操作中的应用。

6.3 技术壁垒

基于本项目的研究分析，腹腔镜手术机器人领域在很多方面可能存在的技术壁垒。

首先，从专利集中度来看，核心专利主要集中在少数公司手中，如直觉外科、史赛克技术、哈密尔顿医疗等，这些公司拥有大量专

利，形成了较高的专利壁垒。其次，技术复杂性高，例如力反馈、快速器械更换、多机械臂系统及独立操作等关键技术具有较高的技术难度，需要深入的研发和专业知识，这对新进入者构成了技术壁垒。

从研发投入角度来看，高端医疗器械的研发需要大量的资金和时间投入，且风险较高，这对资金实力较弱的企业构成了进入壁垒。另外专业人才的缺乏也对该技术领域的发展带来了一定的难度，手术机器人的研发需要跨学科的专业人才，包括机械工程、电子工程、生物医学工程和临床医学等领域的专家，专业人才的稀缺也是技术壁垒之一。

近年来随着人工智能的飞速发展，手术机器人领域的技术迭代速度不断刷新，技术的快速迭代要求研发团队不断更新研发策略和产品，跟上最新的技术发展，这对企业的研发能力和市场适应性提出了非常高的挑战。加之手术机器人系统涉及多个技术分支的集成，包括机械臂协同、末端执行器解耦、力反馈机制等，系统集成的复杂性构成了技术壁垒。

从安全性和法规要求角度，医疗设备直接关系到患者安全，因此对产品的安全性和可靠性有严格的法规要求，需要通过复杂的认证过程，这对研发团队也是一大挑战。

综上所述，腹腔镜手术机器人领域的技术壁垒较高，研发团队需要克服专利集中度、技术复杂性、研发投入、专业人才缺乏等多

方面的挑战。

6.4 市场竞争实力

项目组在腔镜手术机器人领域的市场竞争实力体现在以下几个方面：

1. 具备扎实的技术积累与研发历程。项目组自 2012 年以来已研发四代手术机器人产品样机，显示出持续的技术积累和产品迭代能力。从技术积累初期到技术突破，再到技术转化与产品升级，以及持续创新与国际拓展，项目组展现了清晰的研发路线和战略规划。

2. 专利成果与知识产权丰厚。项目组累计申请国家发明专利 36 项，授权专利 27 项，国际专利 1 项，以及其他实用新型、外观专利和软件著作权等，构建了坚实的知识产权壁垒。专利成果覆盖了腔镜手术机器人的多个关键技术构成，如机械臂、末端执行器、手术平台、主操作手等，表明项目组在该领域的全面技术覆盖和专业深度。

3. 具有优质的研发团队与人才储备。项目负责人冯美教授拥有丰富的国家级、省部级项目主持经验，带领团队取得了显著的研究成果和专利成果转化。主要研发人员包括教授、副教授、研究生等不同层级的专业人士，涵盖了胸外科、机械设计、工程力学等多个相关领域，显示了项目组跨学科合作的强大研发实力。

4. 技术成果与创新能力较强。项目组在机器人本体结构设计、主操作手开发、手术器械开发等方面取得了关键技术突破，如多臂

结构设计、轴驱圆弧复合型远心机构、刚性化手术器械及快换技术等。同时，项目组研发的系统 and 器械在精度、灵活性、人机协同等方面具有显著优势，能够满足多场景手术需求。

5. 市场竞争力强。项目组的技术成果和产品已在一定程度上实现了市场转化，如授权专利的成果转化，表明项目组具备将研发成果转化为实际产品的能力。项目组在持续创新的同时积极探索国际市场，显示了其拓展国际竞争力的意图和潜力。

6. 具有一定的行业影响力与学术贡献。项目负责人及团队成员发表了多篇高质量论文，主编专著，参与教材和专著编写，为行业内外的学术交流和普及做出了贡献。获得的多个奖项和荣誉证明了项目组在学术界和行业内的认可度和影响力。

综上所述，项目组在腔镜手术机器人领域具有较强的市场竞争实力，这主要得益于其持续的研发投入、丰富的技术成果、专业的人才队伍、明确的市场转化策略以及积极的国际拓展规划。随着技术的不断成熟和市场认知度的提升，项目组有望在未来的市场竞争中占据有利地位。

6.5 技术储备及技术竞争实力

项目组自 2012 年起，经过多年的技术积累和研发，已成功研发出四代手术机器人产品样机，显示出项目组在腔镜手术机器人领域的深厚技术积累和持续创新能力。项目组在机器人本体结构设计、主操作手开发、手术器械开发等方面取得了多项技术成果，如多臂

结构设计、轴驱圆弧复合型远心机构、刚性化手术器械及快换技术、多自由度手持式微创手术器械等，这些成果不仅提升了手术机器人的性能，也增强了项目组的技术竞争优势。

项目组的技术成果在精度、灵活性、人机协同等方面具有显著优势，能够满足多场景手术需求，这些技术优势有助于项目组在市场中获得竞争优势，并推动产品的市场应用和推广。

项目组在机械臂独立性、远心机构构型、末端执行器械设计、力反馈机制等方面展现出与其他专利不同的设计和实现方式，这些差异化的技术特点有助于构建技术壁垒，保护项目组的技术优势和市场地位。

7 技术方案优化与专利风险防控

7.1 技术路线或技术方案优化建议

经分析，针对项目组腹腔手术机器人技术路线或技术方案给出以下优化建议。

1. 对于多臂协调控制技术，建议引入先进的算法，例如模型预测控制（MPC）或强化学习，以提升多臂协调性。例如，达芬奇手术机器人的多臂协调控制可以提供更流畅的手术操作。

2. 对于模块化设计，建议借鉴 CMR Surgical 的 Versius 机器人，采用模块化设计，使得机器人可以根据不同的手术需求快速更换组件，提高手术适应性和系统的升级灵活性。

3. 对于力反馈技术，可以参考直觉外科的专利，进一步攻关力反馈技术，使医生能够感受到手术过程中的触觉反馈，提高手术的安全性和精确性。

从力反馈的底层技术角度，可以继续研究和开发更高灵敏度和精确度的力传感器，如压电和压阻式传感器，并将它们以最小化的形式集成到手术机器人的机械臂和工具中。例如，直觉外科的达芬奇系统中就使用了高精度的力传感器来提供精细的力反馈；扭矩传感器的创新设计方面，扭矩传感器可以检测旋转力，对于需要精确旋转控制的手术操作至关重要。研发更小型化、高精度的扭矩传感器，可以提高手术机器人手腕部分的灵活性和控制精度。对于霍尔

传感器的位置反馈，可以提供关于机械臂和工具位置的精确信息。优化霍尔传感器的算法，可以提高力反馈系统的响应速度和准确性。

负载传感器的实时监测也是值得关注的技术方向，负载传感器可以监测手术工具施加在组织上的力量。通过实时监测负载变化，可以更好地控制手术过程中的力度，避免对患者造成损伤。另外，反馈芯片的数据处理能力虽然不是研究团队的研究方向，但对于手术机器人至关重要，研发高性能的反馈芯片，用于处理来自各种传感器的信号，并将其转换为医生可以感知的反馈信息。这种芯片需要具备低延迟和高数据处理能力。这方面的技术可以通过合作研究，或者直接购买获得。

电磁传感器的非接触式检测也是值得被关注的技术，利用电磁传感器进行非接触式力检测，可以减少机械部件之间的摩擦和磨损，提高系统的可靠性和耐用性。导纳控制的稳定性方面，导纳控制技术可以用于动态调整手术机器人的响应特性，根据手术环境和操作需求，实时调整系统的阻尼和刚度。

软件解耦与机械解耦技术方面，继续研究软件解耦算法，通过先进的控制策略减少机械臂之间的耦合效应，提高手术操作的独立性和精确性。同时，优化机械设计，减少物理上的耦合。

多传感器数据融合技术受关注度高，开发高级的数据融合算法，整合来自不同类型传感器的数据，提供更全面和准确的力反馈信息。

传感器材料的创新方面，研发人员从未停止探索新型传感器材

料，如压电聚合物和纳米材料，这些材料可以提供更好的灵敏度和耐久性。同时还需确保所有传感器材料和设计都符合医疗行业的生物兼容性和安全性标准。

无线传感器技术，可以有效减少电缆对手术机器人运动的限制，提高手术操作的灵活性。也是提升手术机器人的有效技术之一。。

4. 对于快速器械更换系统，可以参考直觉外科的快换式器械设计，开发一键式或弹簧挂钩式快速更换机制，减少手术中更换器械的时间，提高手术效率。

5. 针对高兼容性的手术器械，可以参考瑞龙诺赋的海山一，开发一次性腕转器械，兼容现有的主流腹腔镜手术器械，以适应不同手术需求。

6. 对于生物力学与图像融合的力反馈，建议结合项目组已有的生物力学图像融合技术，进一步研发能够根据组织特性调整力反馈参数的智能算法，以实现更自然的手术操作体验。

7. 人工智能辅助的手术规划和导航，可以利用人工智能技术，如机器学习和计算机视觉，开发智能手术规划系统，辅助医生进行手术路径规划和实时导航。

8. 远程手术能力方面，可以探索 5G 技术在远程手术中的应用，如青岛大学附属医院使用妙手机器人完成的 5G 远程手术，提高机器人的远程操作能力和稳定性。

9. 安全性和可靠性设计方面，可以参照 Asensus Surgical 的

Senhance 系统，集成眼球追踪和手臂稳定技术，提高手术的安全性和减少医生的操作疲劳。

10. 可穿戴式手术操作界面方面，可以研究和开发类似 VR/AR 技术的可穿戴式手术操作界面，提高医生对手术过程的沉浸感和精确控制。

11. 手术机器人的智能化技术方面，可以利用深度学习算法，如卷积神经网络（CNN），开发能够自动识别和适应不同手术场景的智能系统。

12. 患者定制化解决方案方面，可以借鉴 3D 打印技术，为患者定制个性化的手术器械和接口，提高手术的个性化和精准度。

通过这些具体的技术优化建议和实例，项目组可以在腔镜手术机器人领域进一步提升技术实力和市场竞争力。

7.2 风险规避设计建议

在手术机器人专利布局过程中，避免专利侵权风险是项目组需特别关注的内容，尤其是在多臂协同和力反馈等核心技术上，存在一些国外企业已获得专利的技术保护。项目组在推进技术开发和专利布局时，需要提前对潜在的专利风险进行评估，通过差异化设计和全景专利分析规避现有专利的覆盖范围，降低技术侵权的可能性。减少专利诉讼的风险，确保创新技术的合法性和市场竞争力。

建议项目组在产品开发的早期阶段，进行专利侵权风险评估，

确保项目组在产品设计和制造过程中不侵犯他人专利权。同时通过技术自由实施分析，对关键技术路径进行独立设计，规避现有专利的覆盖区域。对于难以规避的专利，可考虑通过法律途径对特定专利进行无效宣告，或者通过谈判获得使用许可，以降低法律风险。确保在合规的前提下继续推进技术创新，实现可持续专利布局发展。

8 专利布局优化策略

8.1 核心技术强化策略

报告对腔镜手术机器人领域的核心技术进行了详细的专利分析，发现项目组在多臂结构设计、远心机构构型、末端执行器设计、力反馈机制等方面具有一定的技术积累和创新优势。当前全球手术机器人领域的专利主要集中在美国和欧洲市场，尤其是直觉外科和美敦力等国际领先企业拥有较多核心专利。企业在末端执行器的精细化控制、多自由度设计等方向上已有密集的专利布局。相比之下，项目组的创新重点在于通过模块化设计以及圆弧远心机构的应用来满足多场景的手术需求，此差异化布局在国际市场上具有较高的竞争潜力。项目组应进一步强化在这些核心技术上的专利布局，通过加深对这些技术的开发和保护，提升技术壁垒并巩固市场地位。

为进一步巩固项目组的技术优势，建议增加专利申请数量，尤其是围绕核心技术点展开全面的专利布局。通过发明专利和实用新型专利的组合，构建多层次的专利保护体系。此外，项目组应注重专利质量，确保申请时描述清晰、权利要求合理，避免因专利文本的模糊性或广度不当而导致无效专利的出现。在此基础上，还需加速国际化布局，优先覆盖美国、欧洲等目标市场，以形成全球化的保护网络。通过这种系统化的专利策略，项目组可以在腔镜手术机器人领域建立起坚实的技术护城河，增强核心技术的竞争力。

8.2 技术空白填补策略

通过对腹腔镜手术机器人相关领域的专利检索和技术对比，识别出项目组在力反馈的动态调节、基于 AI 的实时路径规划等关键技术分支中的潜在创新机会。当前，国内外企业在此技术方向上的专利布局尚不完善，存在较多的技术空白。全球的技术布局相对滞后，尚未形成完整的专利网络。对于这些未被充分覆盖的领域，项目组可以加大研发投入，快速形成自主知识产权，从而在市场竞争中抢占先机。

为填补技术空白，建议项目组优先开展前瞻性研发，尤其在力反馈调节和 AI 智能导航等方面，通过自主研发形成技术储备，进而申请系列专利，建立保护屏障。同时，通过与高校及科研机构的产学研合作，整合资源共同开发未覆盖的技术方向，进一步提升专利的创新性和技术的先进性。此外，可对现有技术进行迭代升级，避免依赖即将到期的第三方专利，通过更新迭代构建新的技术壁垒。以此填补现有市场中的技术空白，持续引领行业技术发展。

8.3 竞争对手应对策略

在腹腔镜手术机器人市场中，达芬奇手术机器人等国际知名品牌已形成了稳固的专利保护体系，且其在多自由度设计核心技术上拥有大量专利。项目组应选择差异化的专利布局策略，避开竞争对手的专利范围并开辟新的应用方向。项目组的优势在于多场景应用的

模块化设计、圆弧远心机构的创新应用，以及自主规划手术能力以满足多场景的手术需求，为了实现差异化竞争。项目组可以在核心技术上保持独特性，避免与巨头的直接竞争，同时通过专利布局实现对市场的保护。

为应对竞争对手，项目组应积极申请防御性专利，以阻止竞争对手的潜在侵权，增强市场地位。同时建议探索交叉许可和合作机会，通过交叉许可与竞争对手形成良好的合作关系，以避免不必要的专利纠纷。此外，项目组应建立专利监控系统，定期更新竞争对手的专利动态，以便及时调整自身的专利策略。通过对竞争对手的专利布局进行动态监测，项目组可以有效防范技术侵权风险，并在必要时针对性地调整和优化自身的专利组合。

8.4 市场政策导向策略

国内政策鼓励创新医疗器械的研发和推广。项目组的专利布局应随着市场需求的提升和政策导向变化，确保技术在符合政策的前提下，快速进入市场。通过合理利用政策支持和市场需求的变化，在技术开发和专利布局上进行前瞻性规划，以增强市场适应性和商业潜力，从而为技术的推广和商业化创造有利条件。

建议在市场政策导向下，根据市场需求开发适应性强的创新技术，确保专利能够快速转化为实际产品，提升市场竞争力。同时，积极参与行业标准的制定，并在申请专利时借助政策优惠，加快审批和授权流程，确保关键技术能够尽早投入市场。对于具有商业潜

力的专利，可探索通过许可或转让的方式实现经济价值，扩大市场覆盖面。凭借灵活专利申请和市场导向研发规划，在政策支持的环境中迅速提升市场地位，形成行业竞争优势。