

数字孪生智慧医院白皮书

Digital Twin Hospital of the Future White Paper

迈向美好未来医院



主编单位

复旦大学附属中山医院

参编单位

(排名不分先后)

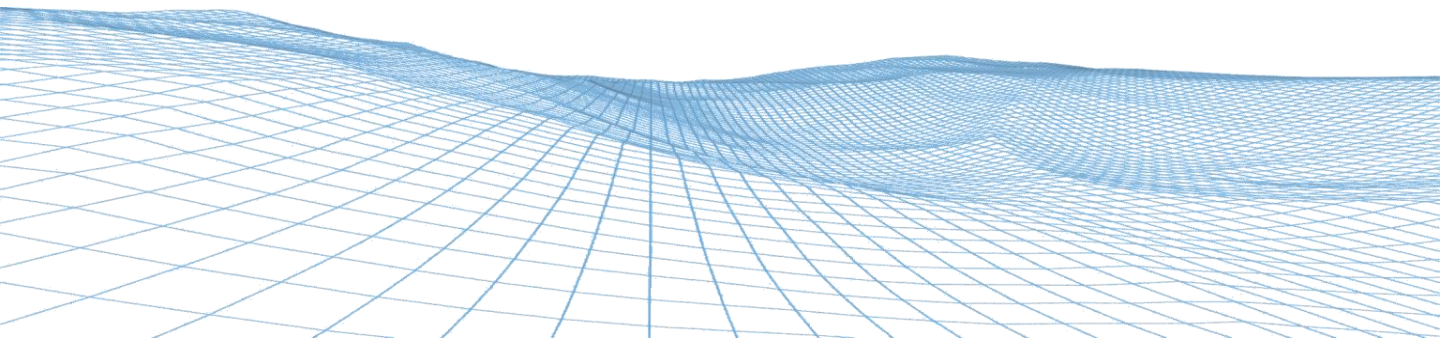
德勤管理咨询(上海)有限公司

中国电信股份有限公司上海分公司

阿里云计算有限公司

华为技术有限公司

熙牛医疗科技(浙江)有限公司



特别顾问

樊 嘉 汪 昕 葛均波

编写指导 (排名不分先后)

顾建英 周 俭 吴 涛 王戈红 张群仁 钱 琨
宋元林 王利新 孙 湛 锁 涛 宋振举 李佳明
马炯琳 潘 峰 冯 浣 胡伟良 韩 飞 刘正宝
墙 辉

编写人员 (按姓氏笔画排序, 排名不分先后)

丁 昉 丁 浩 于 鹏 于佳婕 万炜钦 马 宁
王 灏 王任杰 王治勋 王学理 王春灵 方 贤
计海婴 白 璐 朱 骞 朱小丹 朱延军 朱振华
华 静 江孙芳 许 纲 花 艳 苏金龙 李 君
李 昊 李晓宇 杨 春 杨 震 杨后亮 吴 靓
吴思萌 邱网妹 何 萍 何 亮 何辅成 邹 健
汪 智 沈 松 沈璐旸 张 伟 张 静 张宇翀
张纪阳 张俊钦 张捷青 张曼曼 陈 丹 陈 刚
陈 军 陈志炜 陈学越 金 磊 周驰彪 周宸彬
练文俊 胡译心 胡莉娟 段静雯 俞梅蓉 秦 薇
耿 妍 原 野 徐安达 徐思萌 郭立超 黄 颖
崔明广 符伟国 鸿 毅 彭 昊 董静波 蒋文海
谢晓凤 裘兴俊 虞正红 虞嘉伟 蔡 敏 潘伟东

序言

以人工智能、5G、大数据、云计算、物联网等为代表的新一代数字技术与医疗行业加速融合，推动智慧医院建设理念、构建模式持续迭代和演进。同时，随着数据要素成为我国基础性、战略性资源，激活健康医疗“沉睡”数据、释放健康医疗数据价值已成为行业重要议题。在此背景下，以科技之“智”赋能医疗之“治”，构建“数实共融、同生共长”的数字孪生未来医院，已成为重塑医疗服务及运营管理模式、打造健康医疗产业聚能生态的关键战略路径。

当前，在国家发改委的大力支持下，中山医院联合智慧医疗行业顶尖合作伙伴率先开展数字孪生“元医院”探索，围绕“患者孪生、医生孪生、管理孪生、院区孪生”开展一系列智慧医院应用场景建设，致力于通过构建“数字孪生智慧医疗生态圈”进一步发挥国家医学中心的引领辐射作用。

本白皮书编制团队基于中山医院及其行业合作伙伴在智慧医院领域的实践经验和解决方案，提出了“数字孪生智慧医院”新蓝图，并围绕新基建、新中台、新场景、新路径等方面对智慧医院建设进行了系统性阐述，希望对国内智慧医院建设和智慧医疗行业发展提供一定参考和借鉴。



中国科学院院士
复旦大学附属中山医院院长
2023年7月

目录

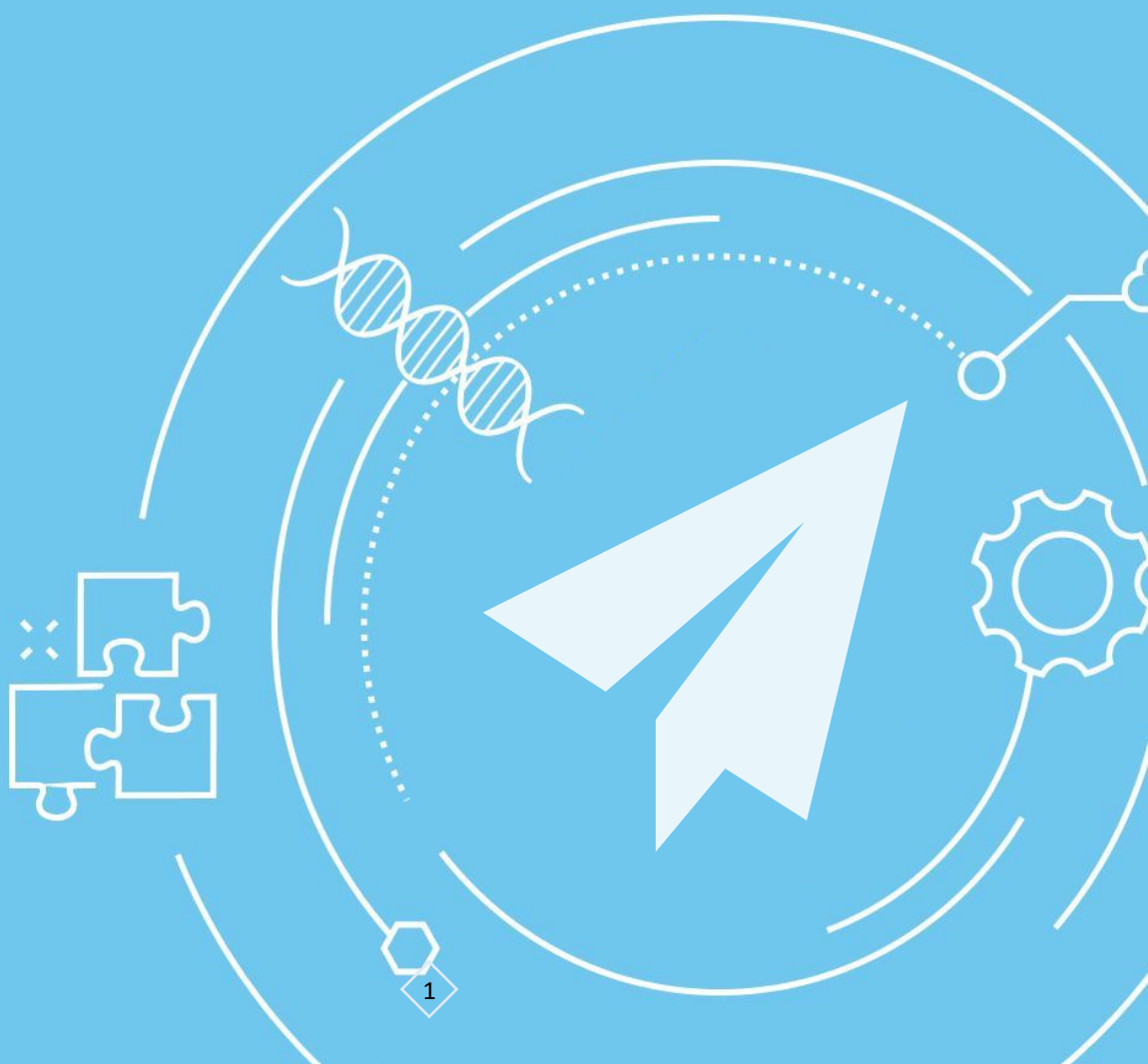
| | |
|-----------------------------|-----------|
| 第一章 洞悉未来：把握“数实融合”新态势 | 01 |
| 1.1 八大趋势引领，智慧医疗蓬勃发展 | 02 |
| 1.2 五维诉求驱动，数字升级提速换挡 | 06 |
| 1.3 五重挑战制约，创新转型迫在眉睫 | 07 |
| 第二章 谋篇布局：擘画“十全十美”新蓝图 | 09 |
| 2.1 数字孪生智慧医院的价值愿景 | 10 |
| 2.2 数字孪生智慧医院的建设蓝图 | 11 |
| 2.3 数字孪生智慧医院的聚能生态 | 12 |
| 第三章 强基固本：构筑“顶天立地”新基建 | 14 |
| 3.1 多优势融合，提升智慧医院能级 | 15 |
| 3.2 多模式部署，强化运营管理安全 | 17 |
| 3.3 多维度演进，拓展通感融合边界 | 21 |
| 第四章 开放链接：重塑“一体双生”新中台 | 24 |
| 4.1 数据联动：创造医疗数据多元价值 | 26 |
| 4.2 业务融通：激活医疗业务协同效能 | 29 |

目录

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 第五章 多元赋能：解锁“全心全意”新场景 | 33 |
| 5.1 智慧门诊：流程重塑，体验升级 | 35 |
| 5.2 智慧住院：全面感知，多重呵护 | 37 |
| 5.3 数字化手术室：全程追溯，提质增效 | 40 |
| 5.4 云诊疗：主动导引，远程交互 | 42 |
| 5.5 智慧教研：临床模拟，资源共享 | 44 |
| 5.6 柔性物流：无人配送，闭环管控 | 46 |
| 5.7 多院区协同：云端交互，能力辐射 | 47 |
| 5.8 智慧运营管理：全局掌控，智慧决策 | 49 |
| 第六章 按图索骥：探寻“自我生长”新路径 | 51 |
| 6.1 战略赋能：打造创新引领的“智高点” | 53 |
| 6.2 规划赋能：绘制应用导向的“作战图” | 53 |
| 6.3 实施赋能：组建价值共创的“联盟军” | 53 |
| 6.4 运营赋能：塑造数据驱动的“新战力” | 54 |

第一章

洞悉未来 —— 把握“数实融合”新态势



随着5G、人工智能、云计算等新一代数字技术的快速发展，全球数字经济发展持续提速，数字技术正加快与实体经济融合，推动传统行业焕发新活力，新应用、新场景、新业态持续涌现。在数字化浪潮下，作为保障民生、增进民生福祉的核心行业之一，医疗行业也被赋予了新的发展使命，开启未来智慧医疗新篇章。

1.1 八大趋势引领，智慧医疗蓬勃发展

智慧医疗是指将新一代数字技术与现代医疗行业深度融合的新兴领域。后疫情时代，智慧医疗服务类需求高速增长，全球智慧医疗市场在远程医疗、移动医疗、互联网医疗等医疗新模式的带动下蓬勃发展，市场规模预计将从2021年的1,784亿美元增长到2026年的3,730亿美元,年复合增长率为15.9%^a。纵观全球市场现状，智慧医疗行业发展具有八大核心趋势。



图1-1 智慧医疗行业八大趋势

趋势一 患者素养全面提升

患者对自身健康越发关注，自发通过智慧技术辅助其饮食控制、规律运动、睡眠监测等行为。以睡眠监测为例，全球家用睡眠筛查设备行业市场规模不断扩大，总体呈稳步增长态势。患者健康素养的提升有利于疾病早期干预，能更好地实现“早预防，早发现，早治疗”，推动全球医疗产业从专注疾病治疗向智慧赋能的“预防-治疗-康复”的全流程运营模式转型。

医疗数据互联互通 趋势二

全球医疗系统致力于打破“孤岛”状态，实现医疗数据的互联互通，进一步促进医疗资源的均质化分布，赋能医疗产业全方位发展。近10年来，美国已经划拨了270亿美元用于电子病历的建立与推广，通过构建电子病历奖惩制度、电子病历认证标准、病历系统技术标准与提供财政补贴、税收优惠、技术支持等多重措施，打造统一标准的电子病历系统，促进临床数据的交换与共享。

趋势三 数字技术深度融合

深度融合新一代数字技术与传统医疗手段，为临床诊疗决策提供重要支撑，有效提升医疗服务质量与决策效率。作为医疗科技强国，美国率先利用人工智能技术辅助病理诊断。2021年9月，美国研发公司Paige开发的辅助诊断软件Paige Prostate成为首个获得美国FDA批准的AI病理学产品。该软件被允许用于体外诊断（IVD），在诊断癌症方面的正确率、敏感性成功提升了7%^a。

健康管理全程服务 趋势四

各国医疗系统致力于通过数字技术缓解医疗资源分配不均问题，更好地满足消费者多层次多样化医疗需求，打造覆盖全生命周期的医疗健康管理服务。对此，日本政府依托大型医疗器械公司，推广“高质生活”的家庭移动医疗护理概念。从家庭日常体征数据的采集保存和健康指导，到通过移动医疗APP实现症状疾病随时随地可自查，再到构建云端个人的医疗数据库，提升整体医疗护理能力。

趋势五 医疗教育体系完善

智慧化、交互式医疗教培新模式持续演进，帮助医生、医学生将理论知识快速转化为临床实践操作能力和临床思维能力，虚拟医学教育平台、AI知识图谱、虚拟手术示教等数字化工具持续涌现。2022年底，新加坡国立神经科学研究所（NNI）与VR医疗内容平台Kyalio共同开发神经外科手术培训系统，通过此系统可熟悉外科手术基本步骤、观察真实解剖结构，从而有效提升专业医疗能力。

药物研发技术升级 趋势六

前沿技术为医药研发注入新的技术驱动力，药物研发管线呈现加速增长态势。全球AI制药投资总额在过去九年内翻了25倍，在2023年3月已高达602亿美元^a。通过AI深度学习算法与药物研发全流程的深度融合，有效缩短研发周期、降低试错成本、提高研发成功率。证据表明，利用人工智能技术，英国AI制药领域研发公司Exscientia将项目立项推进到临床前候选化合物的时间，由平均4年半缩短至13.7个月，缩短约75%^b的时间。

趋势七 临床试验数智发展

在维护患者安全、数据质量和研究连续性的前提下与合规可行的范围内，临床试验数智化发展的需求与日俱增。去中心化临床试验（DCT）依托临床试验管理平台及远程通讯，大幅降低受试者临床试验的负担，赋能临床研究增效降本，实现全方位数字监管。位于美国加州的DCT提供商Medable为全球超过100万患者和研究参与者提供服务，并于2022年宣布与美国最大连锁药店CVS合作，凭借其患者资源优势提升临床试验参与度。

医疗开支精细管理 趋势八

应对日益增长的全球医疗支出，各国政府致力于通过多样化智慧控费手段实现精细化管理。日本作为高度老龄化国家之一，全民医保给国民带来医疗保障的同时，也给政府财政带来了巨大压力。为此，日本政府通过每年一次的药品降价政策、医药分家制度、DPC住院支付改革等措施，严格执行医保控费。在这些制度的背后需要依靠完善的电子病历体系和海量的医疗大数据支撑，带动智慧医疗产业快速发展。

在上述趋势影响下，各国均积极布局智慧医疗领域。美国是智慧医疗头号强国，率先在国内多家医院应用医疗机器人、远程诊断设备等辅助临床诊疗，并将虚拟门诊、移动医疗等智慧医疗服务纳入联邦医保覆盖范围，推动智慧医院加速建设。此外，新加坡政府也推出了一系列利好政策，支持医院打造全生命周期智慧健康管理服务，通过远程医疗加强对抑郁症、糖尿病等慢性病的分析预测和干预等。与此同时，日本政府为解决医疗资源不均、医疗支出持续增长等问题，积极推动人工智能技术应用，计划建设十所人工智能样板医院，利用AI技术实时记录临床数据、提高影像诊断精准性及制定治疗方案等。

中国智慧医疗行业也在加速发展，已成为仅次于美国、日本的全球第三大智慧医疗市场，行业进入智能化、高效化、规模化扩张期。2023年中国智慧医疗行业投资规模将达到1,896亿元，2020-2023年复合增长率约22%^a。与此同时，二十大也提出促进数字经济和实体经济深度融合，打造具有国际竞争力的数字产业集群，为国内医疗行业从提供医疗保障到提供数字化普惠服务提供了重大转型机遇，加速了智慧医疗行业发展步伐。此外，在政策引导端，国家不断出台相关指导性政策支持现代医疗行业数智化转型，智慧医疗、智慧服务和智慧管理三位一体的“智慧医院”相关政策持续深化细化。

表1-1 中国智慧医疗领域部分政策概览

| | | | |
|----------|----------------|-----------------------------|--|
| 2021年12月 | 国家发改委等 | 《“十四五”公共服务规划》 | 积极发展智慧医疗，鼓励医疗机构提升信息化、智能化水平，支持健康医疗大数据资源开发应用。 |
| 2021年9月 | 国家卫健委、国家中医药管理局 | 《公立医院高质量发展促进行动(2021-2025年)》 | 建设“三位一体”智慧医院，到2025年，建成一批发挥示范引领作用的智慧医院，线上线下一体化医疗服务模式形成，医疗服务区域均衡性进一步增强。 |
| 2020年10月 | 国家卫健委 | 《关于加强全民健康信息标准化体系建设的意见》 | 加强全民健康信息标准化体系建设，更好地发挥标准的规范、引领和支撑作用，推进互联网、大数据、人工智能、区块链、5G等新兴技术与医疗健康行业的创新融合发展。 |
| 2018年4月 | 国务院办公厅 | 《关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见》 | 健全“互联网+医疗健康”服务体系，完善“互联网+医疗健康”支撑体系，推动医疗健康与互联网深度融合和创新发展。 |

数据来源：a) 中商情报网预测数据，《2023年中国智慧医疗市场前景及投资研究预测报告》

1.2 五维诉求驱动，数字升级提速换挡

现代医院在信息互联资源共享、数据赋能辅助决策、模式转变重塑体验、教研融合实力提升与运营优化降本增效等领域存在数字化升级诉求，持续驱动智慧医院建设迭代升级。

信息互联，资源共享

通过搭建统一的集成化平台，打破不同信息系统之间的壁垒，实现医疗数据的有效整合与互联互通。从而实现院内全线业务流程的上下贯通以及患者信息的交互共享，全面提升医院管理效能和医疗服务质量。此外，医疗数据的互联互通将有助于医联体机构之间打破信息孤岛，促进区域内优质医疗资源的下沉与共享。

数据赋能，辅助决策

新一代信息技术在医疗领域的广泛应用，将有效辅助临床诊断与决策，推动智慧医疗逐步迈向精准医疗时代。以临床医疗大数据为基础，超级算力为支撑、AI算法为核心，打造AI临床辅助决策支持系统。通过人工智能深度学习，快速识别潜在的病灶和风险，并根据智能推理辅助临床形成精准化、个性化的治疗方案，帮助医生更准确地进行疾病诊断和治疗决策。

模式转变，重塑体验

数字化升级引领传统医疗服务模式实现全新转变，赋能诊前、诊中、诊后全流程线上线下一体化医疗服务，全方位提升医护患体验。通过虚拟诊室、互联网医院等前端应用提前采集患者信息并实时推送至医生端，全面提升就诊效率。应用患者数字孪生体，精准了解患者就诊需求，实现医患双方的精准匹配。同时，借助H2H（Hospital To Home）模式，将院内优质医疗延续至家庭，保障患者“离院不离服务”。

教研融合，实力提升

深化医教研融合，打造科学化、现代化医疗教育科研环境，促进临床转化与创新，推动医院高质量发展。借助智慧教育平台，提供优质教学资源 and 远程学习交流场景，实现医护人员的高水平、均质化管理，打造高质量医疗人才团队。通过临床试验一体化平台，融合数字技术和创新服务赋能临床试验全流程，为院内科研项目管理与数据质量提供标准化体系化的系统支持，智能驱动临床试验开展，有效提升医院科研及创新转化水平。

运营优化，降本增效

驱动医院从粗放管理转向精细化管理，进一步优化运营模式，实现降本增效。通过推行DRGs、DIP等新型医保支付制度，与药品、耗材集采新模式形成一套组合拳，严格控制医疗成本。此外，借助医院智慧运营中心全方位监管医疗业务运营、院区管理情况，应用智能机器人替代高重复机械化岗位，在满足临床需求的同时最大程度地降低运营管理成本。

1.3 五重挑战制约，创新转型迫在眉睫

在迈向未来智慧医院的过程中，现代医院主要面临五大关键挑战。

数据管理标准不够健全

由于我国医院医疗数据还存在数据完整性不高、标准不统一与整合性不佳等问题，如何对这些数据进行完整的收集、质控和处理，真正意义上实现互联互通，是亟待攻克的难题之一。同时，鉴于医疗服务的特殊性，每个科室的业务与需求均存在一定差异性，采用相同的标准和体系进行管理存在一定难度，这对医院的数字化转型能力提出了更高的要求。

信息安全保障亟待提升

虽然我国医疗数字化转型政策在不断完善，但是个人隐私泄露、医疗数据外流等问题仍未彻底杜绝。长久以来，我国医院的信息数据一直处于封闭状态。如今，在集成多系统实现数据互联互通的过程中，如何在有效监管数据安全、保障基础设施安全与网络安全可控的前提下兼顾效率，是各大医院数字化转型过程中必须要面临的关键挑战之一。

医疗升级深度参差不齐

如何全面推动从三甲医院到基层医疗机构的数字化升级，建设区域医联体并推进分级诊疗，实现对医疗资源的合理分配，是现代医疗行业面对的重点挑战之一。在医院数字化升级的推进过程中，资金投入与技术应用规模有较大差异，知名三甲医院能更快速地响应号召推动数字化转型建设，然而其他基层医疗机构的数字化升级仍处于滞后状态。

专业复合人才供给不足

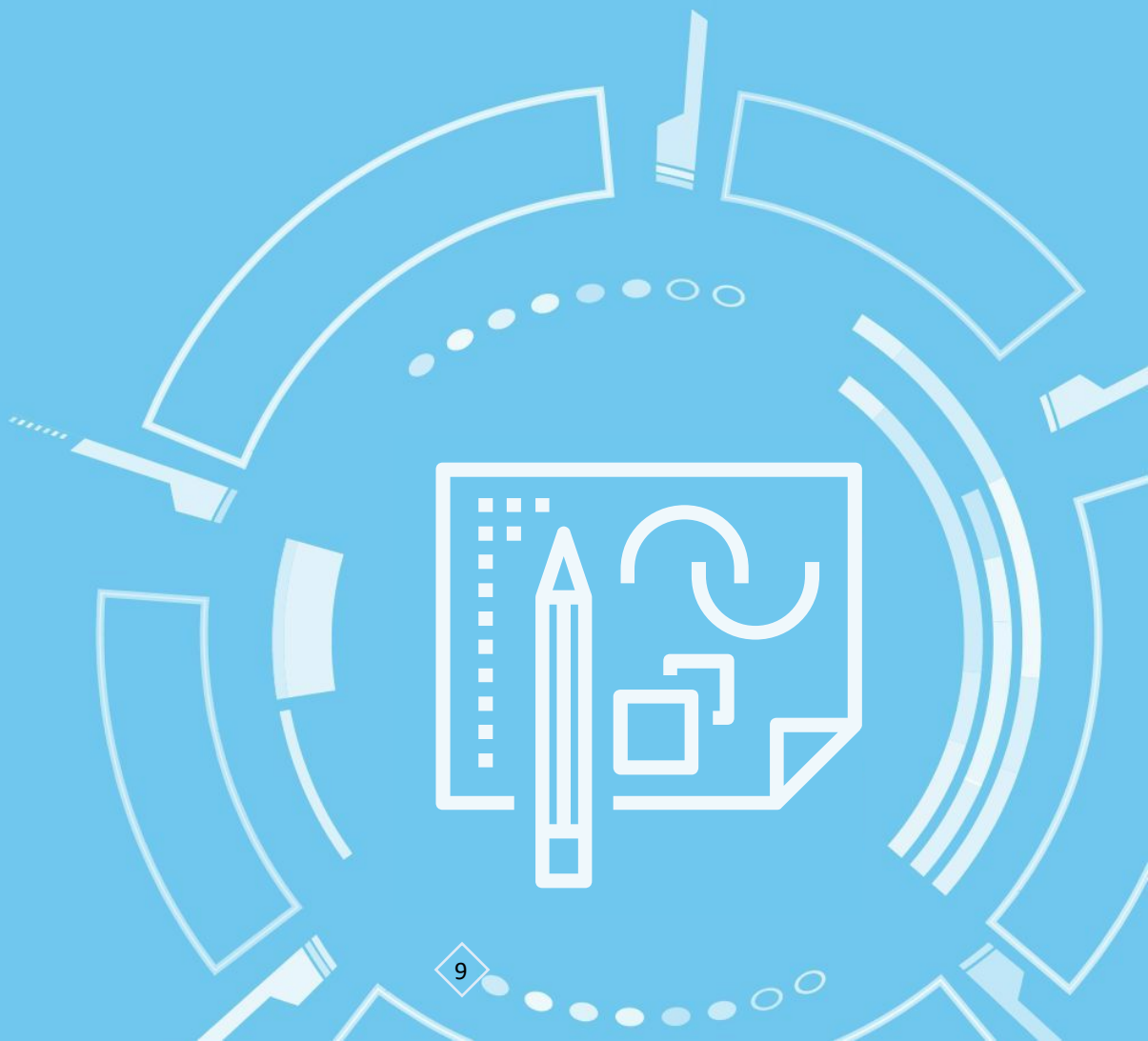
复合型医疗人才短缺是制约智慧医院建设发展的关键因素之一。在数字化浪潮下，新兴技术与医疗产业深度融合，产生了相应的交叉领域，如互联网医疗、医疗人工智能、医疗大数据等，也产生了相应的专业岗位。但是，数字化医疗人才的短缺，使医院无法将信息技术与医疗服务、核心用户需求与院方特点真正结合，因此在数字化转型过程中频频遇到困难。

患者就医观念保守滞后

目前，我国已有一批标杆医院积极响应国家战略规划，推动数字化建设，提供如线上挂号、在线问诊、院内导航等智慧医疗服务，但普及范围仍然有限。由于心理及习惯的持久性影响，多数患者对于人工服务和线下就医的依赖性较强。因此，深度理解患者就医需求，引导患者改变传统就医理念，真正实现数字化医疗服务模式在广大人群中的普及，是未来智慧医院转型升级中亟待解决的关键问题之一。

第二章

谋篇布局—— 擘画“十全十美”新蓝图



智慧医院的发展历经了“信息化1.0、数字化2.0”时代，正在从“数智化3.0”逐渐步入“数制化4.0”全新时代。在此背景下，“数字孪生智慧医院”应运而生，已成为重塑医疗服务体验、升级医院运营管理制度、打造健康医疗产业生态的核心主体。

2.1 数字孪生智慧医院的价值愿景

“数字孪生智慧医院”是顺应医疗数字化、精准化、智能化发展趋势，以打造能够镜像反映真实医院并与现实世界有互通性、互操作性的数字化医疗健康世界为核心目标的“未来医院”，不仅涵盖了完整的医疗产业生态，也是一个具备自我生长能力、持续进化的有机生命体。

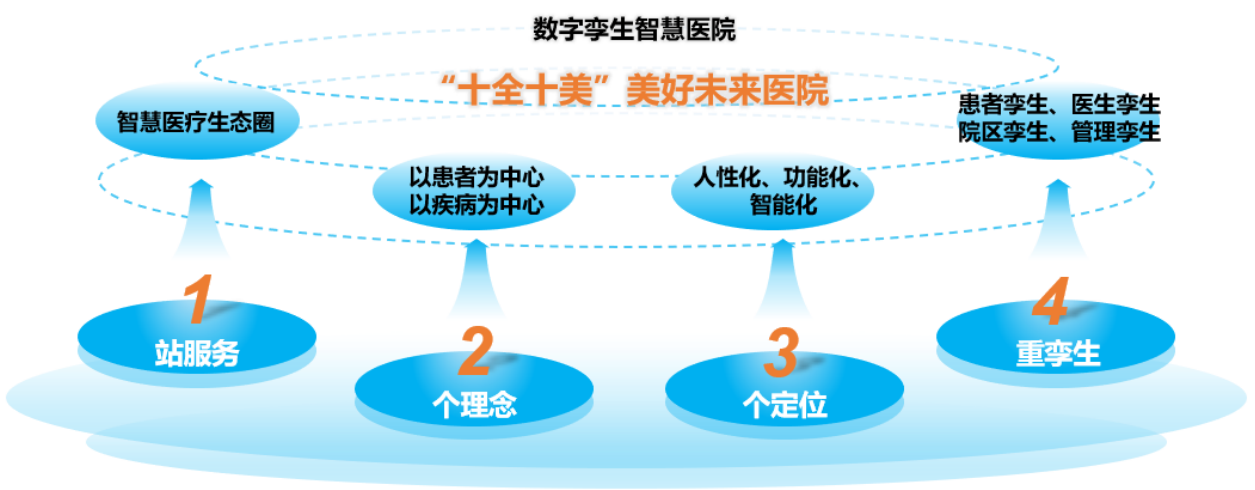


图2-1 数字孪生智慧医院“十全十美”价值愿景

以智慧医疗、智慧服务、智慧管理“三位一体”的发展理念为引导，数字孪生智慧医院将围绕“1+2+3+4”发展战略，通过打造“1”站式智慧医疗生态圈、树立“以患者为中心、以疾病为中心”的“2”大理念、明确“人性化、功能化、智能化”的“3”个定位、构建“患者孪生、医生孪生、院区孪生、管理孪生”的“4”重孪生，打造“十全十美”的美好未来医院。

数字孪生智慧医院特征分析

以“十全十美”的发展战略为驱动，“数字孪生智慧医院”将具备五大特征：

全场景覆盖：站在医护患与管理层的视角，实现智能化在医疗业务中的全场景覆盖；

全方位协同：打破时空限制，破除院内外信息隔阂，实现数据互联互通与医疗资源共享；

全流程重塑：以患者为中心，打造更高效、便捷、个性化的全流程医疗服务体验；

无边界衍生：打破局限性，构建虚实融合、自由生长、无限衍生的未来医院新生态；

多维度驱动：前沿技术赋能，提供运营管理决策支持，多维度驱动医院高质量发展。

2.2 数字孪生智慧医院的建设蓝图

以中山医院领先实践为蓝本，按照“数字孪生、泛化联接、全面感知、无限衍生、智能进化”的整体思路，构建以“云网融合、顶天立地”的数字底座，“开放链接、一体双生”的中枢平台，“无线物联、场景覆盖”的交互终端，“医护患管、四位一体”的转型主体，“多级协同、相互交织”的参与机制为主要内容的“未来医院”建设整体架构，最终实现医疗-服务-管理全局转变、数据要素全域赋能、理念规则全面重塑。



图2-2 数字孪生智慧医院建设蓝图

整体建设蓝图围绕“新基建、新中台、新场景”三大功能模块，形成“1+1+8”的核心架构。其中，“新基建”依托以5G技术为核心支撑的医疗专网，打造多网融合的一体化云脑基础设施；“新中台”依托以集团化理念为宗旨的数据中台、业务中台，构建“数据业务化、业务数据化”的协同平台；“新场景”依托以应用需求为导向的智能终端，建设面向医护患管的智慧医院八大场景集群。

2.3 数字孪生智慧医院的聚能生态

数字孪生技术为医院提供了一个将现实世界建模成数字化世界的新路径，围绕“真实体验数字化、数字体验真实化”打造未来医院新标杆。通过构建以数字孪生智慧医院为核心的“生态聚能圈”，联动医疗健康领域相关主体，打通产业链上中下游，带动区域优质医疗资源共享下沉和医疗健康产业产值提升，实现社会效益、经济效益双提升。

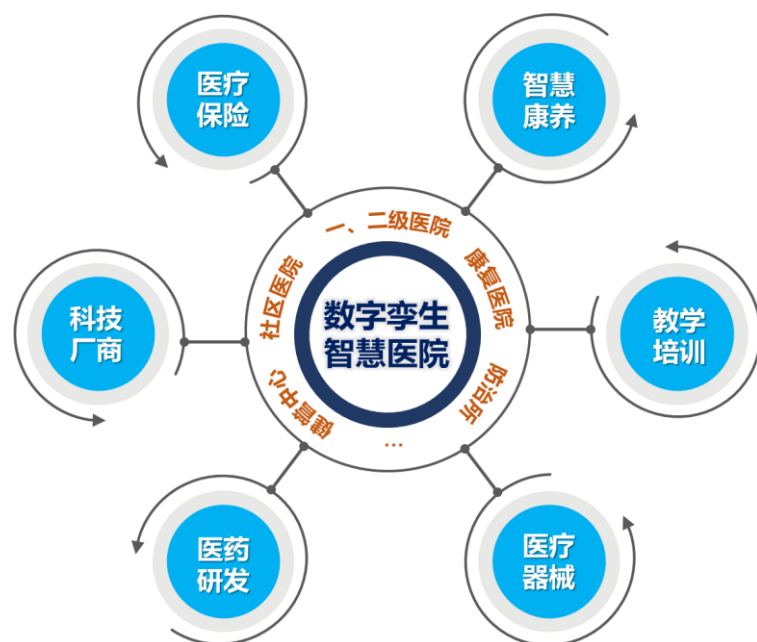


图2-3 数字孪生智慧医院聚能生态

各地政府可以重点依托国家医学中心或区域医疗中心建设数字孪生智慧医院，整合区域医疗资源，统筹管理区域医疗机构，促进优质医疗资源的快速下沉以及数字化转型模式的复制推广。此外，通过与医疗保险、科技厂商、医药研发、医疗器械、教学培训、智慧康养等行业领域的相关主体协同发力，打造区域医疗健康“全融合产业生态”。例如：

- **医疗保险：**与医疗保险机构开展深度合作，提升商业健康保险在整体医疗支出中的覆盖率，并通过共享脱敏医疗数据助力医疗保险机构开发专属保险服务产品；
- **科技厂商：**通过部署智能医疗产品提升医疗应用场景的智能化程度，同时，数字孪生智慧医院也可作为智能终端设备的“试验场”，促进产品更新迭代以满足更多人性化需求；
- **医疗器械与医药研发：**针对关键卡脖子技术，在AI+药物研发、智能医疗设备等领域开展创新探索，以临床资源赋能相关创新成果的快速转化。

第三章

强基固本—— 构筑“顶天立地”新基建



作为数字化发展的核心技术底座，5G技术将结合云计算、物联网、人工智能、大数据等新一代数字技术，为数字孪生智慧医院构建“顶天立地”的云网融合支撑体系。其中，以5G技术为承载布设医疗专网（“地”）、以云技术为核心部署云端资源（“天”），共同打造支撑数字孪生智慧医院的云脑底座，实现全国“一张网、一朵云”。

3.1 多优势融合，重塑医疗服务模式

5G在无线空口技术、承载网传输技术和核心网技术等多方面实现了关键突破和快速发展，具备海量连接、精准匹配、超高速率、超低时延等特征，使得5G医疗应用逐渐渗透到院内、院外的各类场景。此外，结合云技术的应用，打造“云上医院”管理平台，大大提高了医疗服务的整体效能，推动医疗机构体系整合和模式重构。

1 海量连接，实现数据实时采集

5G网络技术具有“海量连接”的优势，可以通过在医院内构建医疗物联网，实现海量医疗设备和非医疗类资产的有机连接，在固定资产管理、医务人员管理、病房呼叫联动、院内智能导诊、柔性物流等方面发挥效能，从而有效提升医院的管理效率以及患者的就医体验。

2 超高速率，深化远程服务能力

5G网络技术具有“超高传输速率”的优势，通过高清画面的实时传输，能够实现4K甚至8K的高清远程会诊，支持大量高画质的医学影像资料实时采集与上传，赋能专家医生随时随地开展远程会诊及指导，通过提升诊断准确率和指导效率进一步深化远程服务能力。

3 超低延时，保障远程精准操控

5G网络技术具有“超低时延”的优势，该优势能够完美匹配远程手术中的触觉即时反馈操作，有效保证了远程操控得到及时、精准响应。此外，5G技术结合传感、机器人技术，让远程诊疗在增加可视度的同时，还能有效降低延迟风险，从而提高远程诊断准确性，为患者的生命健康保驾护航。

4 精准匹配，拓展智慧医疗应用

5G网络具有与医疗服务场景的全方位“精准匹配”优势。依托5G医疗专网及多样化智能终端设备，将现有医疗设备、医护服务无线化，实现任意时间、空间内的联网可能。例如，在院内，医护人员可以利用手持5G医护终端，实现体征数据和医疗影像的移动化采集和高速上传；在院外，可依托智能穿戴设备将智慧健康管理场景拓展至家庭、社区，为患者提供高品质、延续性的智慧健康管理服务。

5 云网融合，支撑信息高效流通

5G网络技术可以与物联网、大数据、云计算、人工智能、传感技术融合与共生，打造“云网一体化平台”，实现院内、多院区以及不同医疗机构之间独立系统的有效整合，从而真正实现医疗信息在医院间、区域间的互联互通，为患者、医护以及管理者提供安全的、即时的医疗信息获取通道，显著提高工作效率。

3.2 多模式部署，夯实运营管理底座

在数字孪生医院中，5G云脑技术底座的部署主要包括医疗专网部署、混合云基础设施部署、统一运营管理体系建设以及安全管理体系的建立。

专网连接，保障医疗数据“不出院”

目前，运营商在提供5G智慧医院行业专网服务时主要包含基于公网的混合专网、基于部分独享的混合专网两种模式。

- **基于公网的混合专网：**直接基于运营商的5G公网，利用网络切片、DNN+QoS等技术提供高可靠的网络服务。部署过程中，该模式无需改变现有网络拓扑，利用在医院内已部署的5G基站（5G智慧急救等场景还可以直接借用城市的5G广域公众网络），以及部署在汇聚/核心节点机房内的UPF，作为多个医疗行业客户专网共享使用。其特点是部署成本相对较低、方案成熟简单、时延要求不高。在拓扑结构层面，该模式中5G无线接入网络设备与公网共享部署在院内，不同的医院共享UPF、MEP、算力、5GC。

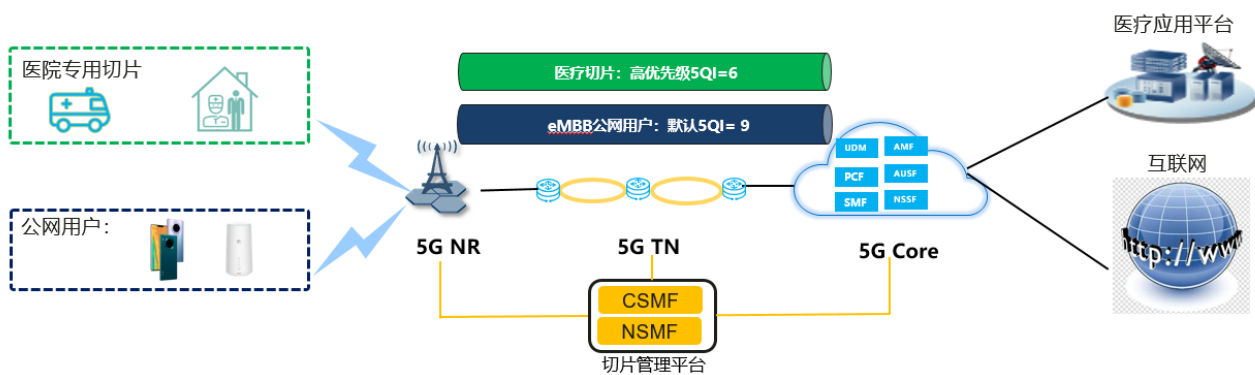


图3-1 基于公网的混合专网网络拓扑结构示意图

- 基于部分独享的混合专网：**复用部分运营商的公网资源，通过核心网用户面UPF下沉等方式将部分网络资源由医院专享，主要用于医院院区内部的5G智慧病房、5G院区管理等应用场景。部署过程中，该模式利用在医院内部署的5G基站，作为医院专网和公网共享使用，通过UPF下沉实现专网专用。此外，也可利用部署在边缘侧的UPF，实现多个专网共享同一硬件实体使用。其特点是保障患者数据的隐私与完全性、有效降低部署成本、低时延，满足医院数据不出院区的需求。网络拓扑层面，该模式中5G无线接入网络设备与公网以共享形式部署在医院内，UPF、MEP、算力按需下沉部署。

云端共享，实现全国部署“一朵云”

数字孪生医院数据中心以私有云为主、以多云结合为辅，包含专业DC/私有云为基础的独享资源和由云服务商医疗云专区为基础的共享资源，按需完成资源的弹性伸缩、业务的快速发布、用户的统一管理，实现全国多地部署“一朵云”。

一般来说，医院的核心应用系统，如HIS、LIS、EMR、集成平台通常部署在独享资源；数据库系统一部分部署在独享资源，部分部署在共享资源；医院非核心业务系统，如互联网医院、远程医疗平台、影像数据、AI辅助影像平台、数据备份等，通常部署在共享资源，少量部署在医院独享资源。

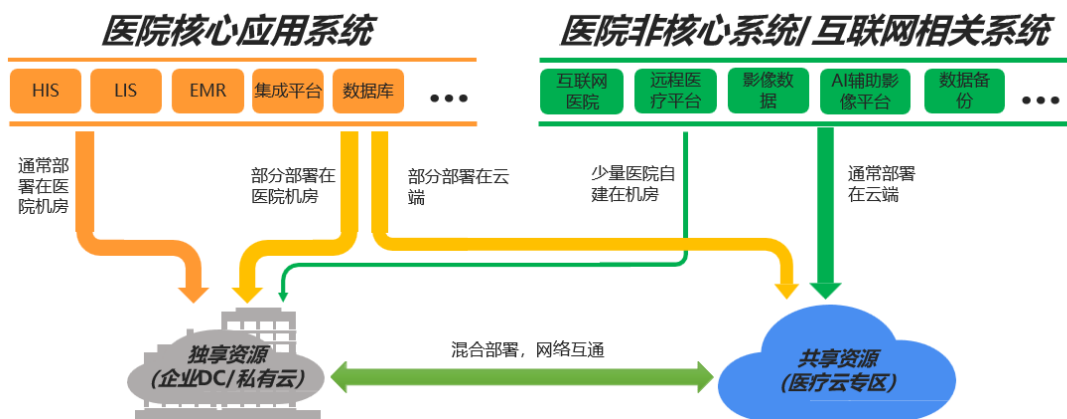


图3-2 数字孪生智慧医院云资源部署基本模式示意

平台集成，强化多院协同“一体化”

在现有医院管理体系基础上，数字孪生医院进一步优化云、网服务运营模式创新，促进服务运营能力转型升级，打造集应用服务、平台服务、数据服务、网络服务于一体的全新体系，支撑多院区协同一体化管理。

- **云资源管理侧：**完善多云异构平台建设。以“统一平台服务”为目标，构建集统一管理界面、统一服务目录、统一纳管、统一编排、统一运维保障、统一运营管理等为一体的六个统一服务能力；
- **5G专网侧：**完善专网运营部署能力，支撑业务在线开通、端到端溯源监控分析和告警能力，满足智慧医院的专网运营要求。

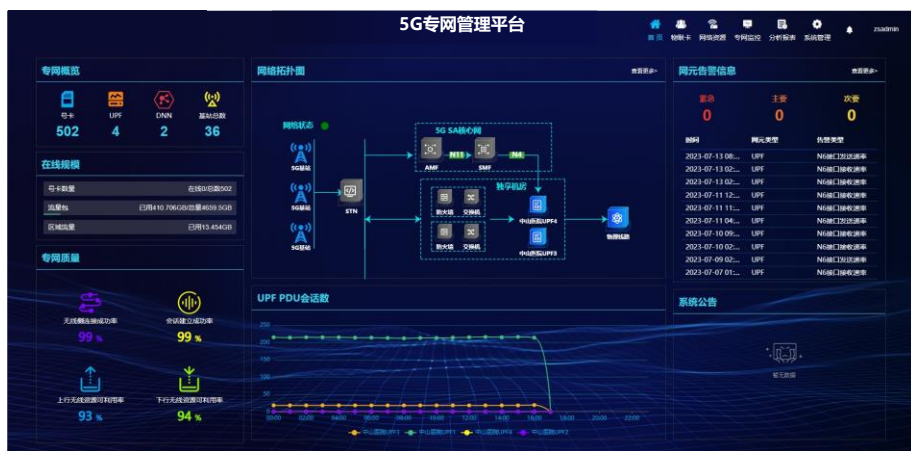


图3-3 数字孪生智慧医院5G专网统一管理平台示意

安全设防，筑牢院内院外“隔离带”

医疗数据高度敏感，需要通过数据安全防护措施对流经5G基站和MEC的医疗数据进行精准分流，对MEC平台的医疗数据进行保护。例如，5G虚拟专网同时连接医院内网络与院外互联网，需要通过严格的网络隔离措施防止非法数据流入院内网络。在数字孪生医院中，5G云脑必须具备安全能力集合，可以通过端到端网络切片隔离、增强的终端接入认证、边缘数据防护等方式实现5G+医疗院内院外网络隔离，并对医疗业务数据进行安全保护。

1 端到端网络切片隔离能力

5G RAN为应用业务流提供无线资源分配机制，包括不限于专用无线资源分配、基于SLA服务等级的无线资源调度、共享的无线资源调度等方式；5G核心网提供网络功能切片隔离机制，包括不限于完全专用切片（NF独享）、部分逻辑共享切片（共享部分NF）、共享切片（共享所有NF）。对于安全性和隔离性要求较高的切片，可单独部署vDC和主机组进行物理隔离；对于安全性和隔离性要求一般的切片，可规划单独的vDC，共用主机组进行逻辑隔离。

2 网络边界安全防护能力

5G网络数据面出口（如UPF与医院DN）之间部署边界防火墙和访问控制设备；运营商信任域内的UPF和MEP与边缘医院的内网之间通过物理防火墙进行隔离，边缘MEC云内部的运营商APP与医院APP之间通过虚拟防火墙进行隔离；MEC平台内部应为服务于不同行业应用APP具备逻辑隔离措置（如虚拟防火墙、边界访问控制机制等）。

3 增强的终端接入认证能力

5G网络提供3GPP定义的主认证机制，并支持EPS-AKA和5G-AKA认证机制对终端接入进行认证；5G网络支持二次认证机制，实现行业终端与外部AAA认证服务器的认证，二次认证信令中包含的用户身份认证信息，可通过MPLS VPN或IPSec专线进行保护；5G网络支持定制DNN及切片，终端号码签约行业定制DNN+切片，UPF仅支持该DNN及切片接入，实现仅允许授权用户接入用户网络功能；支持基于电子围栏的终端安全接入能力，通过对AMF进行院区TA和终端绑定配置，实现专网只允许合法授权终端接入。

4 服务于多租户的虚拟专网能力

5G网络支持多租户分权分域管理机制，能对客户进行不同级别的访问权限划分；通过配置网段、NAT支持多租户之间网络和流量隔离。支持IPSec over VxLAN隧道的建立，多客户网络之间可通过建立隧道进行数据传输隔离；5G网络支持DNN专线，采用专用APN。

5 边缘平台的数据安全防护能力

5G网络提供对边缘平台的访问控制、态势感知、边界隔离等安全防护措施，支持过滤链路层、网络层、传输层非法报文，防止边缘平台业务被非法访问；5G院区UPF应提供通过安全的传输链路与医院网络连接，例如专线、L2TP/IPSec隧道传输、VxLAN等；5G MEP采用微服务隔离、VLAN隔离、vFW等机制，MEC平台上部署vFW，实现行业APP间的按需安全隔离，提供MEC内部东西向流量的安全防护；5G边缘UPF应支持面向医院用户的独立部署，提供不同业务类别的流量控制和隔离能力，防止局部业务种类受到攻击影响所有业务。行业应用APP支持与MEP、UPF使用虚拟防火墙实施隔离；边缘MEP应提供对APP数据的安全存储，涉及行业5G用户的位置、标识等信息应在MEP中加密存储；5G RAN至边缘UPF通过IPSec传输通道保护行业本地数据传输安全。

6 面向行业应用的5G安全测评能力

依据国际和国内相关标准（包括ISO/IEC27005、SP-800等）和模型（如805.X、STRIDE等），对5G网络和应用安全风险情况进行评估，评估5G应用面临的安全风险；针对5G网络和应用业务特点，制定符合行业应用通信安全、网络隔离和数据安全需求的测试评估文档，常见的测评场景包括海量终端连接造成的信令风暴冲击、网络抗DDoS攻击、终端仿冒身份非法接入、信令面/用户面数据安全传输、UPF流量安全、切片隔离安全等。

3.3 多维度演进，拓展通感融合边界

随着通讯技术的不断发展和进步，下一个“智能互联”的时代——6G网络时代即将到来。相比之下，6G通信相对于5G在传输速度、频谱资源、网络延迟、连接数量 and 安全性等方面都有着更大的优势，通感算智深度融合、天地一体全域覆盖将为不同行业开拓全新领域。在数字孪生智慧医院中，未来6G技术也将通过全息通信等能力的持续演进和迭代，赋能医疗服务和运营管理端不断向外延伸。

全息通信，辅助临床决策

数字孪生医院场景下，一方面，全息通信技术能够通过实时全息医学图像的显示对病人进行临床诊断，辅助医生做出更为准确和全面的决策。另一方面，大量医疗设备的传感数据、用户数据、医疗影像等可以通过6G网络实时上传至服务器，基于快速的数据处理和分析，实现实时监控、风险预测和决策判断，以应对各种医疗场景下的变化和 demand，为医院提供更精准、更智能的医疗服务和决策支持。

持续进化，提升智慧感知

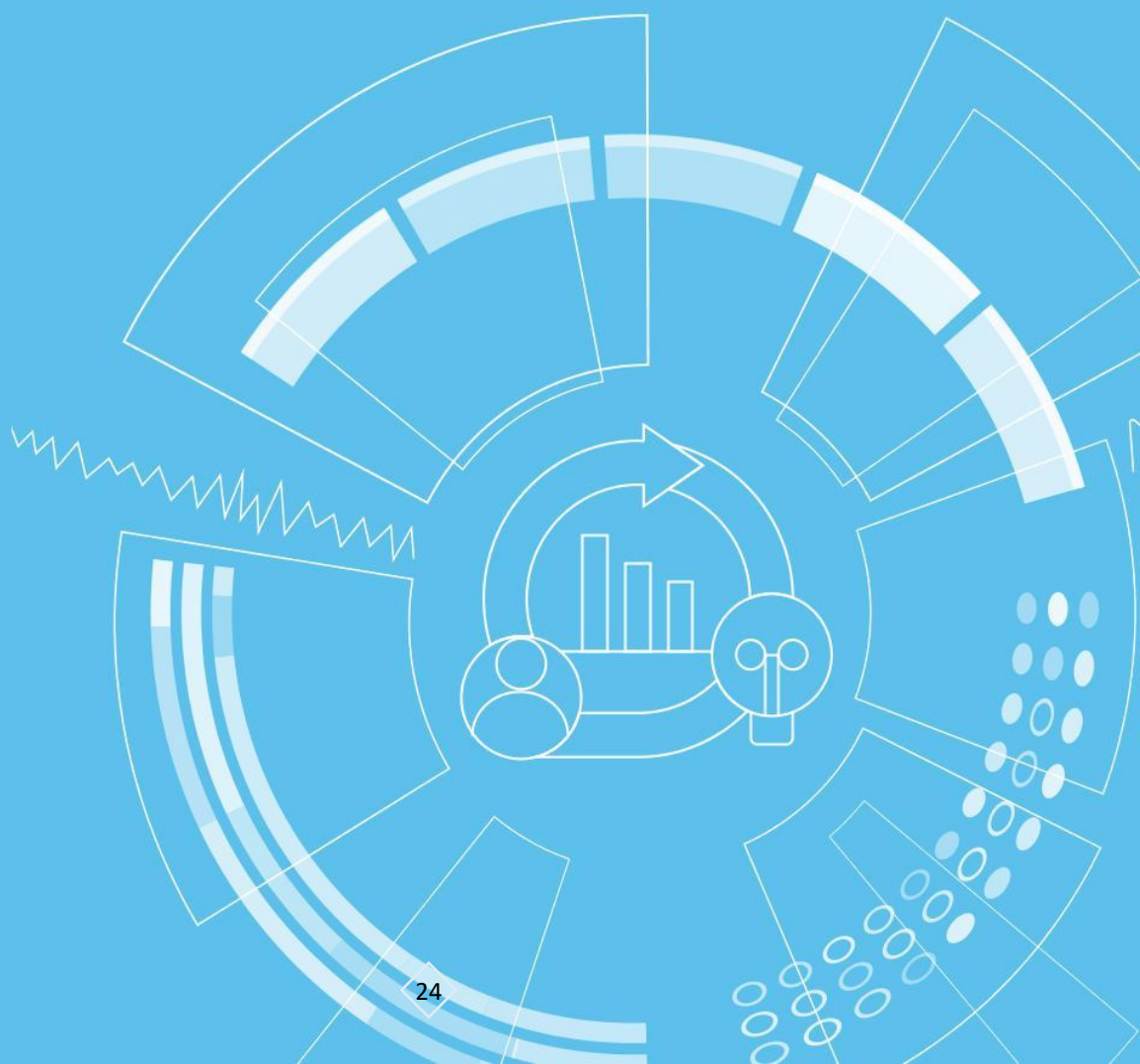
未来，随着5G向6G技术的演进，将为医院网络底座注入全新动能。通过智能算力网络能够整合更多的计算资源，从而为大规模数据处理和AI大模型训练任务提供强大的分布式计算和协同处理能力，拓展医院服务新边界，提高患者整体感知体验。例如，支持更高分辨率和更真实的虚拟和增强现实应用；推动生物传感器和植入式医疗设备在临床诊疗中的发展。

附：本章缩略名词解释

| 英文缩写 | 英文全称 | 中文名称 |
|-------|---|------------|
| 5GC | 5G Core | 5G 核心网 |
| AMF | Access and Mobility Management Function | 接入与移动性管理功能 |
| DDoS | Distributed Denial of Service | 分布式拒绝服务 |
| DNN | Data Network Name | 数据网络名称 |
| IPsec | Internet Protocol Security | IP网络安全性协议 |
| L2TP | Layer Two Tunnel Protocol | 虚拟隧道协议 |
| MEC | Multi-access Edge Computing | 多接入边缘计算 |
| MEP | Multi-access Edge Platform | 多接入边缘平台 |
| MPLS | Multi-Protocol Label Switching | 多协议标签交换 |
| NF | Network Function | 网络功能 |
| QoS | Quality of Service | 服务质量 |
| RAN | Radio Access Network | 无线接入网 |
| SLA | Service Level Agreement | 服务等级协议 |
| TA | Tracking Area | 跟踪区 |
| UPF | User Plane Function | 用户面功能 |
| VxLAN | Virtual Extensible Local Area Network | 虚拟扩展局域网 |

第四章

开放链接 —— 重塑“一体双生”新中台



以医院经营为出发点，以健康协作为中心，基于业务、数据双中台方法论，助力医院实现资产数字化、能力产品化、业务流程化、决策智慧化，打造全方位一体化的无边界智慧医院。通过建设统一的医疗资源数字资产、统一的业务能力中心，形成数字孪生智慧医院“一体双生”的“业务中台”和“数据中台”。

医疗业务的复杂性决定了信息服务既不能单纯使用定制化开发模式进行交付、也不能单纯使用标准产品化模式进行交付。尤其是当医院进入多院区、集团化、高质量发展阶段后，业务需求的复杂多变对信息服务的交付模式带来了新的巨大挑战。层出不穷的政策与监管要求、个性多样的专科专病业务需求、日益增长的业务与经济运行压力，都需要信息系统能快速响应业务变化、兼容业务个性差异，以及充分挖掘数据价值为业务赋能。因此，要在数字空间重建数字孪生医院，离不开基于云原生架构设计的支撑赋能平台，从业务和数据二个方面为上层应用提供支撑和赋能。

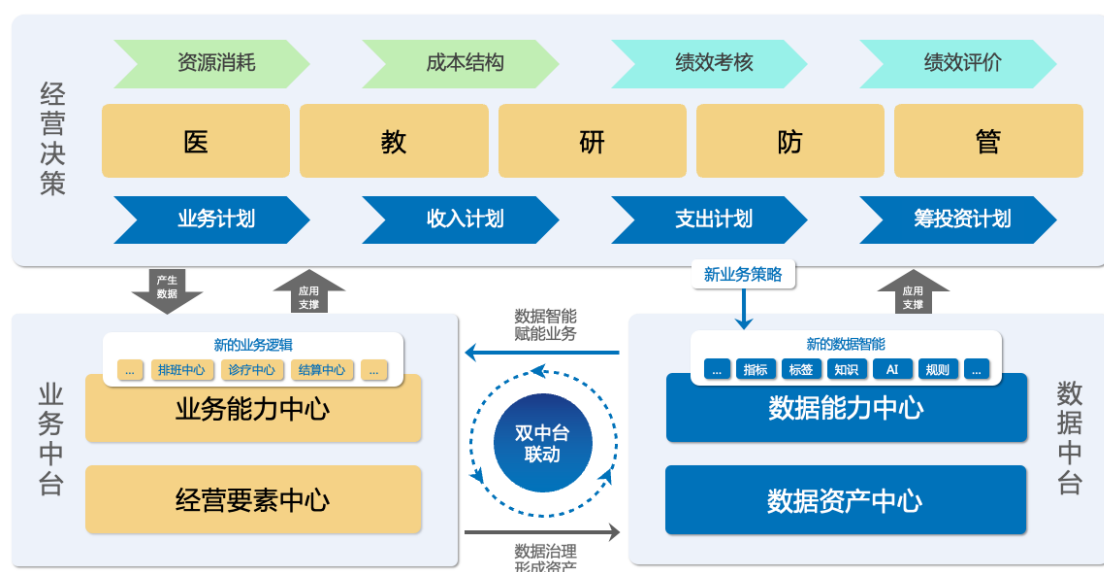


图4-1 数字孪生智慧医院“双中台”联动机制

而要重建数字孪生医院，必须先把医院的业务系统升级为可以接收外部指令的可编程体系，并输出详细的业务过程数据。这些业务过程数据让数据智能应用体系拥有了实时新鲜的原材料，通过对数据的加工和计算，生成业务系统的控制指令，实时对业务系统进行干预和调节，从而形成闭环。因此，数据智能的能力一定要为业务服务，融入到业务流程里去，而业务产生的数据，又会汇入数据中台产生新的数据智能能力，从而形成一个双向循环。这就是双中台建设方法论倡导的“一切业务数据化、一切数据业务化”的双中台联动理念。业务数据化和数据业务化双向循环建立起来之后，形成良性互动，智慧医院应用体系就会越用越聪明，越来越智能，才能真正称之为“智慧”医院。

4.1 业务融通：激活医疗业务协同效能

数字孪生医院需要把医院当作一个整体进行建模，必须抛开不断堆积功能的传统信息化建设思维，回归业务的本质，识别出业务可变与不变的部分，才有可能让信息系统有快速响应业务的需求变化的能力。首先，需要利用严谨规范的业务分析方法，分析和识别支撑医院业务运行的核心要素和关键过程（业务应用中会使用 and 调用的相对不变的部分）。然后，通过平台与业务分离机制，将可变的与不变的部分进行合理地拆分，将不变的部分沉淀到平台层（业务中台），将可变的纳入到业务层，并允许平台和业务层分别进行设计开发和迭代演进。因此，业务中台的设计和实现，首先需要遵循一套严谨规范的业务分析方法论，分析和产出医院业务概念模型，层层递进直至每一个业务操作、每一个业务凭证和每一个业务产出。



图4-2 数字孪生智慧医院“业务中台”功能模块示意

1 回归业务本质分析医院经营模型

医院为患者提供价值服务，价值服务以产品为载体。通常对医疗产品服务分为：门诊、急诊、住院、检查、检验、手术、治疗等服务，这些服务会有不同的业务流程来实现价值的传递。在不同组织（机构），因为产品服务的区分，机构的差异，地域与管理要求不一样，对产品服务会有不同的流程设计与实现。无论门诊、急诊、住院，还是检查、检验、手术、治疗，都会涉及到患者、机构、医护人员、服务项目、药品、设备、耗材、物资、病历等经营要素，也会涉及到预约、排班、诊疗、护理、计费、结算、收费等经营过程。而在医院的经营管理层面上，则通常都会包含战略规划制定，经营目标的拆解、度量和评价，以及经营计划的执行、跟踪和调整等关键经营决策过程。软件系统是现实世界的映射，所以业务中台需要具备与这些经营要素、经营过程以及经营决策对应的要素中心和能力中心。

2 引入业务单元实现复杂业务解耦

医疗业务的复杂性主要体现在不同机构、不同院区、不同专科对业务流程设计、质量控制、绩效考核等要求之间存在的差异，以及业务要求随着时间推移持续不断地演变。需要引入“业务单元”概念来解耦业务与经营要素和业务过程之间复杂的关联关系。业务单元是指医疗机构在经营过程中提供一种或者多种业务能力的单元，在一个空间范围（物理空间或者虚拟空间）里对生产资料（人员、材料、设备、药品、物资等）的有序使用和消耗，并通过一系列业务活动来实现对外提供一定业务价值的业务能力。实际上不论多么复杂的业务，都可以理解为是一个个业务单元的有机组合。比如门诊业务，可以被初步解构成咨询服务台、挂号收费处、门诊诊区、检验采样区、门诊药房、门诊治疗室等业务单元，门诊诊区又可以进一步细分为候诊签到区和门诊诊间，有的门诊诊区如生殖门诊还可以包含专用的检验标本采样、心电图检查和超声检查等医技业务单元，每个诊区都可以根据其业务特点设计不同的物理空间布局和业务流程。业务单元很好的实现了经营要素和关键业务过程与上层业务之间复杂多变的关联关系的解耦，业务管理人员通过对业务单元的灵活组合即可支持复杂而多样的业务形态，还能跟随医疗机构的业务发展随需应变。

3 灵活扩展机制满足业务个性需求

在业务单元灵活组合的基础上，还需要提供良好的扩展机制，满足更细颗粒度的业务个性化需求差异。当建设上层业务应用时，如门诊医生站、分诊服务台、挂号收费处、住院医生站、住院护士站以及药事服务等应用，可以直接调用业务中台能力中心提供的能力。同时，由于业务上的差异，例如门诊用药和住院用药流程不同，内科诊疗和外科诊疗过程中需要收集的患者关键信息也有所不同，业务中台在提供能力时必须同时考虑开放性，即能够允许上层业务应用定制个性化的业务逻辑、流程和界面。

因此需要提供分层开放的灵活扩展机制，在每一层都能根据业务需求实现灵活自定义扩展。这些扩展机制主要包括：业务流程自定义（流程扩展）、业务规则自定义（逻辑扩展）、交互界面自定义（前端扩展）及代码逻辑自定义（模型扩展+逻辑扩展）。

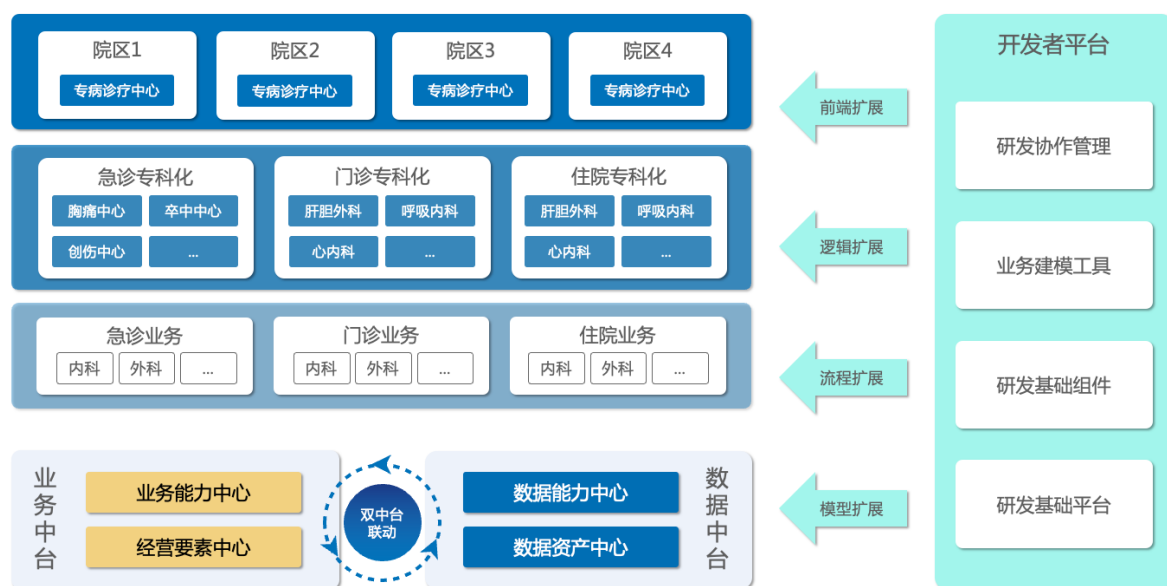


图4-3 数字孪生智慧医院“业务中台”灵活扩展机制示意

4.2 数据联动：创造医疗数据多元价值

医疗机构尤其是大型公立医疗机构/医疗集团在“医、教、研、防、管”等各个业务领域对数据驱动业务智能的能力需求越来越多，要求也越来越高。随着医院信息化建设的逐步深入，各个信息系统里沉淀的数据也越来越多。然而，在数据利用的过程中，现有的被业界广泛采用的集成平台+数据中心的建设模式通常站在技术视角解决数据汇集与集中管理，对数据资产化、赋能业务的能力建设以及数据治理与数据运营的流程和机制关注不足，往往会陷入“数据丰富、应用困难”的矛盾境地。

数据中台是医院在数字化转型过程中，站在数据为业务赋能的视角而建立的一套完善的数据治理、管理与利用的顶层设计。通过对医院全局业务与数据的统一建模，构建包括大数据技术底座、数据资产中心、数据统一服务平台以及配套的数据治理流程与数据运营机制，向上支撑数据智能应用体系，从而真正实现数据赋能业务。医院数据中台各模块紧密相连，是一个有机的整体，需要从整体上考虑，需要配套相关流程和机制，充分调动全院相关部门，建设配套的工具。



图4-4 数字孪生智慧医院“数据中台”设计示意

1 自顶向下统一建模，构建全局数据资产中心

数据中台需要满足各类数据利用场景，因此在数据资产层面需要将医院当作一个整体自顶向下统一建模，而且这个数据资产模型还要随着医院业务的发展和变化持续更新和迭代，而不是只是机械地套用一套所谓标准的医疗业务数据模型。通过覆盖全院各个业务领域的的数据资产模型，能够充分对真实业务过程进行数字化还原。基于这套数据资产模型，将基础主数据、患者主索引、业务数据、运营数据、用户行为数据、运维监控数据以及外部的互联网数据进行全域统一管理，构建数据资产中心。

此外，数据资产模型在设计时还需要对多模态信息进行统一结构化建模与特征提取，整合形成统一的数据资产体系，增强对多模态数据的管理利用能力。

2 实时离线一体架构，打造坚实数据技术底座

随着数据智能赋能业务的创新场景越来越多，数据利用的实时性要求也越来越高。数据中台特别强调全链路实时数据治理能力，通过专为医疗业务特性设计的全链路增量实时调度技术，可以利用医院有限的计算和存储资源实现分钟级的准实时全链路数据治理，满足关键指标实时监测、门诊资源实时调度、患者风险实时预警等绝大部分实时数据应用场景的需要。而且实时和批量数据治理采用统一的数据模型，对上层数据应用而言是一体的、透明的，不再需要单独为实时数据抽取、加工和应用场景单独开发应用。

在多院区、集团化管理场景下，数据中台还须提供跨机构统一协同计算能力，在保障数据安全的前提下，实现主数据分发、主索引关联、指标口径统一等能力，提升面向不同机构条件差异环境下的数据综合利用水平。

3 统一数据服务平台，充分激活数据业务价值

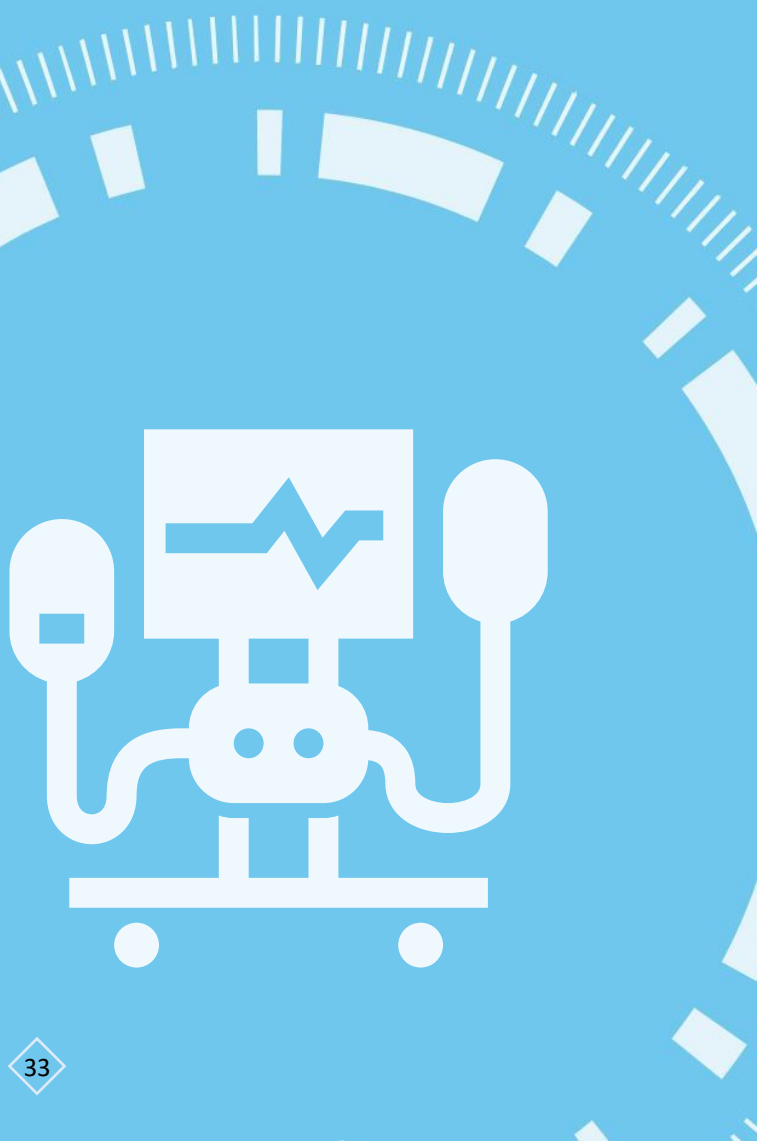
数据中台以数据赋能业务为核心价值目标，因此在构建医院数据资产中心的同时还要建立统一的数据服务平台，统一数据出口、统一权限管理、统一安全管理，实现数据服务的全过程监管。数据服务平台统一管理所有的数据API、数据上报和批量数据推送任务，通过数据服务将数据业务化、激活数据的业务价值、降低数据利用的难度。统一的数据服务平台一方面解耦了信息系统之间数据传输的复杂关系，同时还可缓解各类专科应用系统向核心业务系统获取数据对其数据库带来的压力，使核心业务系统可以专注于服务核心生产流程。

4 建立数据运营机制，业务人员参与数据管理

在数据利用阶段，数据中台通过提供一系列交互体验良好的软件工具降低数据利用的门槛，让业务部门直接参与到数据利用的流程中来，而不是仅向信息管理部门提出需求。以医院运营管理领域最重要的业务指标管理为例，业务指标是最重要的经营管理要素之一，需要将指标定义、指标计算生成以及指标应用场景分开。在指标定义场景下，需要能够将指标描述、逻辑口径做业务语义化管理，从而能够让业务部门人员更容易地参与到指标定义的管理过程中来。数据中台提供完善的指标体系能力，信息部门只需负责指标平台工具的搭建，业务部门深度参与指标体系的建设过程，可以自行负责每一个业务指标的灵活自主配置与利用，无需数据开发人员参与。各级业务和职能部门还可以基于业务指标自主实现对比分析、趋势分析、归因分析和目标管理等一系列智能化管理，面向全院、层层分解、责任到人。

第五章

多元赋能 —— 解锁“全心全意”新场景



围绕智慧医疗、智慧服务、智慧管理等方面的需求，以“重塑全场景体验、赋能多院区运营”为主要导向，数字孪生智慧医院将聚焦“8+N”应用场景，包括智慧门诊、智慧住院、数字化手术室、云诊疗、智慧教研、柔性物流、多院区协同、智慧运营管理等8大场景群，助力医院实现更便捷的流程、更高效的服务以及更精准的管理，支撑未来数字孪生智慧医院实现智能化、功能化、人性化升级。

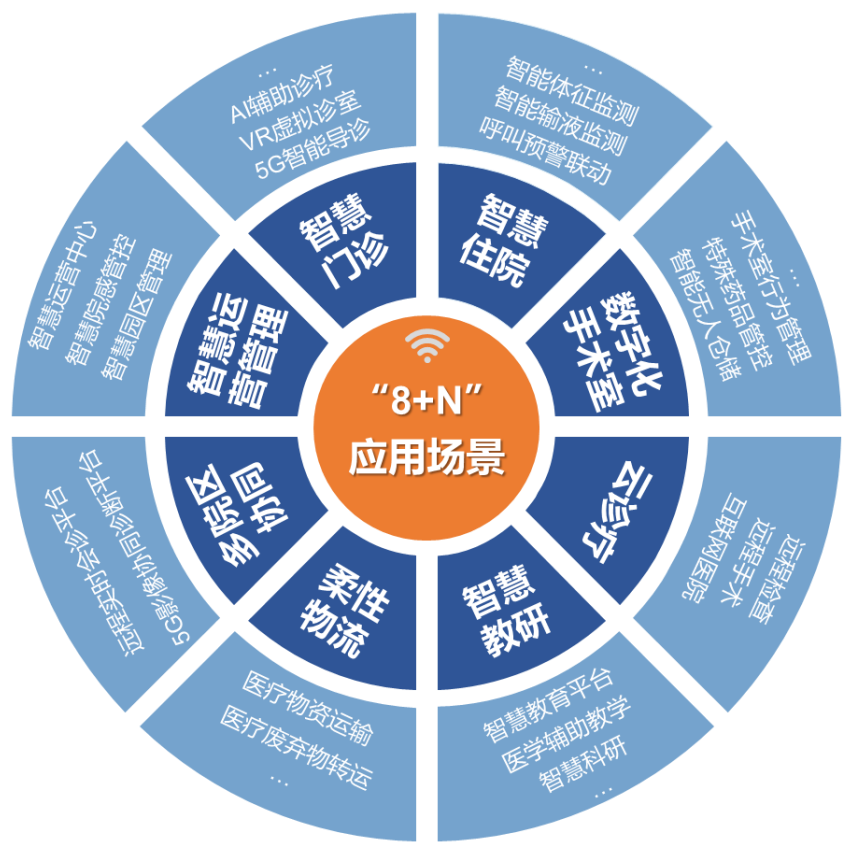


图5-1 数字孪生智慧医院“8+N”应用场景解决方案

5.1 智慧门诊：流程重塑，体验升级

围绕医院门诊功能，数字孪生智慧医院重点聚焦**5G+智能导诊**、**虚拟诊室**、**AI辅助诊疗**、**智慧健康管理**等重点医疗应用场景的建设，以5G网络高速稳定、低时延等优势特征为重要支撑，快速响应患者需求，为患者提供覆盖诊前、诊中、诊后的全闭环门诊服务。



1 5G+智能导诊：环节优化，精准分流

打通门诊环节，5G赋能全流程导引。数字孪生医院将利用5G高精度融合定位，建立院内、室内导航系统，通过5G智能手机、5G智能导引机器人等智能化终端为患者提供从挂号、缴费到药房、诊室、检验、病区等各场所的实景指引，规划最佳就诊流程与路线、分享实时位置，缩短患者寻路时间。例如，通过部署5G智能导引服务机器人，在人工智能、5G、人脸识别、人机交互等关键技术的保障下，对接医院患者信息系统，集成预约挂号、报告查询、智能导引、智慧宣教等功能，可实现对患者的精准分流、智能导诊。

2

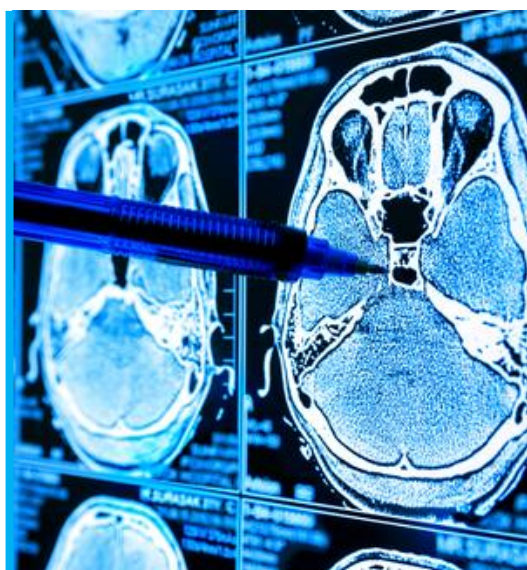
虚拟诊室：虚实共生，智能问诊

数字孪生智慧医院将基于专病数据库和专家知识图谱，结合计算机图形学、图形渲染、深度学习、语音合成等技术手段，为门诊专家医生量身定制“数字分身”，并通过虚拟现实技术集成于VR/AR设备，为门诊患者提供专属的虚拟诊室服务，有效节省患者就诊时间，真正实现“聊天即服务”。此外，基于生成式AI技术以及丰富医学知识数据库的保驾护航，新一代“数字医生”可以在科普宣传、患者教育、学术会议、付费课程、报告解读、患者招募、家庭医生等各大医学内容应用场景下实现高价值医学内容的生成与共享。

3

AI辅助诊疗：技术创新，辅助决策

充分结合人工智能技术的优势，打造基于AI的智能临床辅助决策系统（AI-CDSS），应用AI技术实时预测疾病，辅助医生进行疾病诊断。例如，中山医院基于人工智能技术打造了AI医生“小未、小来”，通过建立同质化智能步态检测方案，为脑功能障碍类疾病提供了早期筛查、治疗及监测的有效方案，目前该方案已在60余家医疗机构得到推广应用，惠及十万以上患者人群。



4

智慧健康管理：数字孪生，云端监测

通过收集患者的过往就诊信息、病历资料、检验检查报告等，数字孪生智慧医院为每位患者建立一份专属数字健康档案。未来，通过链接患者健康档案，并对比历次就诊、体检数据，实现对患者的精准化健康管理。此外，基于智能可穿戴、便携式监测设备等，引导患者主动进行生命体征监测并上传健康数据，在院内、院外场景下均可对患者进行健康指导，并制定个性化的诊疗方案。

5.2 智慧住院：全面感知，多重呵护



基于5G网络高速稳定、海量连接、低时延等特性，融合病房物联网平台及5G终端设备，将能有效赋能数字孪生医院智慧病房的全方位升级。数字孪生智慧医院重点聚焦病区呼叫预警联动、智能输液监测、智能体征检测、移动护理以及床旁交互等应用场景，为患者提供全链接、全时空、全感知的智慧住院服务。

5 呼叫预警联动：终端物联，“一呼百应”

基于5G专网和物联网平台接入5G智能终端设备，实现病房、床旁、卫生间与护士站、走廊的全时空实时预警联动。智慧病房中，通过在电子床头卡中嵌入5G模组，将整个病房的智能终端整合进5G网络。在实际场景中，患者端触发呼叫会即时联动病区多终端设备，包括病房门口屏、病区走廊屏、护士站主机、护理白板、移动PDA、医呼通、智能手环等，实现多设备呼叫提醒、多终端呼叫信息显示，确保医护及时响应。



6 智能输液监测：集中监测，“滴滴守护”

集成智能输液监测器、物联网单元和智能输液管理平台，为患者提供输液实时监测和预警服务，保障患者输液安全。通过绑定床位号，智能输液监测器可以实时监测输液总重量、已输液重量、剩余重量、已输液时间和输液滴速等，并实时同步到输液监测管理平台。输液中止、输液量低于警戒值、滴速超过设定值时，系统会自动通过闪烁和语音播报的方式进行警示提醒，方便医护人员第一时间知晓并及时进行处理，实现了输液的集中监控、量化管理和规范服务，减轻了医护人员的工作强度、缓解患者输液过程中的焦虑情绪。

7 智能体征监测：实时呵护，“一碰一传”

“把时间还给护士，把护士还给患者”。智能体征监测系统能够有效优化病患住院照护体验，简化医护工作流程。通过智能体征监测设备（如智能可穿戴设备），对患者体温、心率、呼吸率、血氧饱和度、心电图等重要体征指标变化进行实时监测并实时上传至后台信息系统，医护人员可对患者体征数据进行实时可视化阅读、分流处理，并基于统计对比分析作出快速诊断，及时为生命体征异常的患者提供必要的治疗。

8 5G+移动护理：身份识别，“不错不漏”

借助移动护理PDA、5G护理小推车、智能查房机器人、5G医疗小推车等智能终端和设备，将护士站和医生办公室前移到患者床旁，智能化完成床旁身份核实、床旁护理评估、床旁医嘱执行、远程查房会诊等工作。一方面，通过床旁设备将各项数据实时回传到护士站生成护理文书，避免了繁琐的护理信息手动记录和录入工作。另一方面，移动护理端能够主动提醒护士对患者开展日常护理，医护人员即使在移动过程中也可以及时了解患者护理信息及状态，有效防止医护人员对患者护理的错漏。

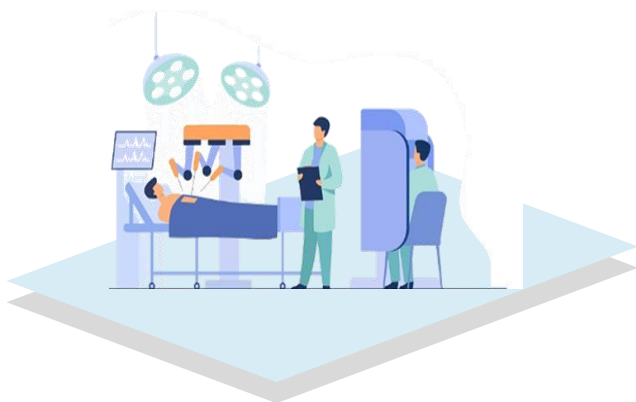


9 5G+床旁交互：多元服务，“一触即达”

基于“以患者为中心”的服务理念，以5G网络和床旁物联网为载体，将多种服务元素与康复资源汇集到患者的身边，为患者提供床旁抬手可得的便捷服务。床旁终端可以与医院医疗信息系统连接，医护人员可通过终端查看病人信息、医疗记录、生命体征记录、用药信息、医嘱查询与更新、交班报告、会诊记录、检验检查结果等；同时，患者可使用终端查看用药诊疗费用清单、管床医护信息、药品使用说明、健康宣教内容，进行押金缴纳、床旁结算、呼叫对讲、延续护理服务、满意度调查等操作。

5.3 数字化手术室：全程追溯，提质增效

为提升医院手术室运行效率、加强手术室人员行为管理、规范手术室毒麻药品使用，数字孪生智慧医院围绕智能无人仓储运输、智能手术室行为管理、智慧特殊药品管控等方向部署重点场景，打造数字化手术室应用新场景。



10 无人仓储运输：智能对接，使命必达

数字化手术室联合智能无人仓储系统和智能物资运输机器人，打造专属于手术室的智能无人仓储运输体系。智能无人仓储系统分别从垂直端和水平端打造无人库房，满足不同楼层手术室的物资共享以及单楼层手术室物资高效配送的需求。无人库配备了智能化的管理系统平台，安排专职管理人员进行手术室医疗物资批量入库、术前耗材配台、订单出库等操作；智能物资运输机器人包括开放式、封闭式以及货架式机器人，依托5G网络与无人库管理系统对接，实现同楼层手术室医疗物资的单一配送、多订单同时配送。

11 人员行为管理：标签认证，重塑规范

打造智能更衣更鞋系统、智能手卫生系统，将数字化技术引入手术室人员行为管理流程中，将手术衣鞋的发放和回收由传统人工模式变革为智能化模式，将手术人员的手卫生情况纳入智能监控，从源头实现手术室人员准入管控、医护人员行为规范。以中山医院为例，通过在手术室入口区域打造精细化的更衣更鞋空间布局，部署智能发鞋机、智能更鞋柜、智能发衣机、智能更衣柜等智能设备，实现自动发衣、发鞋和自动回收污衣、污鞋的自动化管理。基于术衣术鞋RFID标签与领取人员信息绑定，在智能更衣更鞋管理系统中可对使用信息进行实时记录、统计。



12

特殊药品管控：全程追踪，源头管控

数字化手术室通过打造特殊药品管控系统，联动特殊药品管控机器人，实现特殊药品从申领、出库、退药、配送等环节的全生命周期管理。特殊药品管控系统对特殊药品的申领进行严格的规范化约束，基于专人申领、专人使用的原则，通过身份匹配，实现对特殊药品使用的全流程可追溯管理。特殊药品管控机器人主要负责药品的配送、回收，优化取药、退药和空安瓿回收管控流程，实现特殊药品安全存储、库存效期管理及精准跟踪。进一步可对接手术室智能无人库系统，实现特殊药品取用配送规范化、管理闭环化、红处方填写信息化。

5.4 云诊疗：主动导引，远程交互

通过5G技术的持续赋能，重点布局**5G+远程检查**、**5G+远程手术**、**5G+互联网医院**等医疗应用场景，实现线上、线下诊疗环节的有机整合，为患者提供更加便捷化、智能化、人性化的医疗服务。



13

5G+远程检查：协同交互，异地听诊

基于5G云网融合一体化能力，将患者端与专家端相连，专家通过远程控制终端遥控检查设备实现真实检查场景操作，并通过可视化终端实时传输、展示近似一手的医学影像资料，从而为患者作出精准诊断。以远程超声检查为例，一方面，专家医生可以通过实时图像反馈远程指导基层医生进行超声检查的操作；另一方面，基于远程设备操控平台，专家医生可自行进行远程操作。

14

5G+远程手术：三维同步，精准指导

在基层医疗及专家资源欠缺的大背景下，高难度的外科手术往往需要在高能级的大型医院才能实现。然而，数字孪生医院借助5G技术和智能手术机器人，通过三维图像的同步传输和重现技术，最小化图像和操控的延时，即使专家医生远在万里，也能够通过远程指导和协作的形式参与基层医院的手术过程。

15

5G+互联网医院：流程整合，主动导引

打造“无院墙”线上线下一体化的全新互联网医院平台，为患者提供更全面、更互联、更精细的智慧医疗服务。患者端整合预约挂号、签到候诊、医嘱查询、检验检查、取药支付等环节，打造“主动式就诊导引”特色服务，通过移动端实时推送，为患者提供各类精准就诊指引，实现“服务找患者”。同时，基于与医联体机构的信息互联互通，5G互联网医院进一步实现跨院区极速配药、在线转诊等服务。

5.5 智慧教研：临床模拟、资源共享

大型综合医疗机构，尤其是国内三甲医院，除了为患者提供全方位的医疗服务之外，教育培训和临床科研工作也至关重要。数字孪生智慧医院围绕**虚拟示教**、**临床试验一体化平台**、**智慧教育平台**，打造智慧教研全新应用场景。



16

虚拟示教：虚拟现实，技能强化

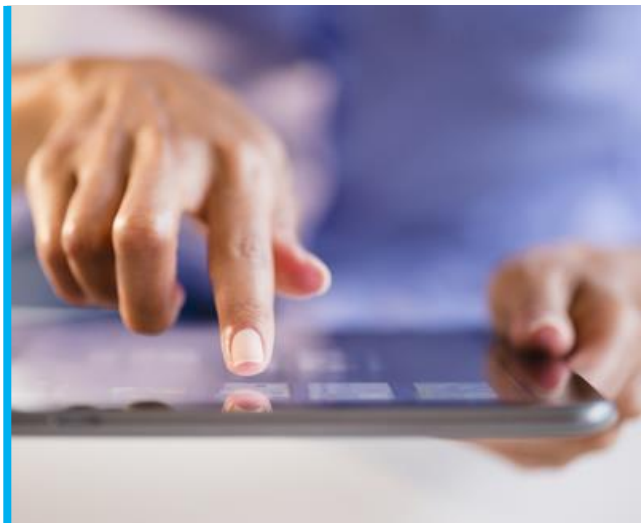
基于各学科领域的专家知识图谱，集成计算机图形技术、人机交互技术、传感技术、VR技术等元宇宙技术，构建模拟手术室场景。该场景下，培训人员只需佩戴VR头显设备，通过手持操控杆，即可在模拟手术室内完成一整套临床手术训练。针对较为复杂和难度较高的手术类型，培训人员可以在模拟手术室内开展多人协同手术训练，将有效强化手术规范、提高手术培训效率。以中山医院为例，基于临床试验标准操作规程（SOP），通过对临床手术流程的解构和重组，已经实现了颈动脉造影与介入手术的VR模拟，将很快应用到临床培训和实际教学中。

17 临床试验一体化：在线管理，提质增效

引入“临床试验一体化平台（CRIMS）”，搭建临床试验全流程管理服务体系。该平台同时配备了临床试验管理系统（eSite/CTMS）、伦理审查管理系统（ERMS）、GCP药物管理系统（IDS）以及临床研究诊疗管理系统（IHIS），实现了临床研究的全流程覆盖。基于药物临床试验质量管理规范（GCP）、药物临床试验伦理审查工作指导原则、伦理审查标准操作规范（SOP）、药物临床试验标准操作规范等一系列指导性规范和准则，对接医院信息管理系统，实现临床研究立项审批、进度查询、受试者随访、检查管理、数据统计与追踪等多流程、多环节的在线管理。

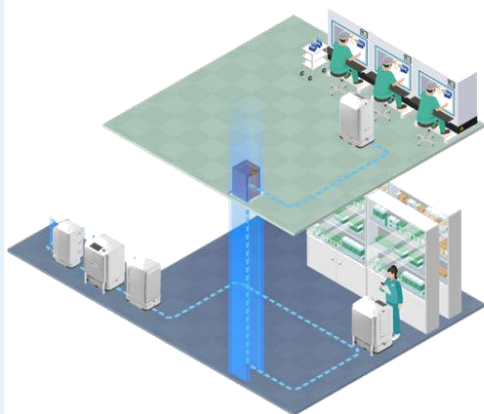
18 智慧教育平台：云上课堂，资源共享

以医护人员高质量、同质化管理为基本需求，数字孪生智慧医院将医学教育资源搬到云上，通过打造在线录直播、VR/AR示教、数字医学图书馆等一系列“云课堂”，为医护人员提供了多平台、多路径、多资源的教育内容。



5.6 柔性物流：无人配送，闭环管控

数字孪生智慧医院从仓储和运输需求出发，通过搭建智能无人库、回转库，与**智能物资运输机器人**、**智能接驳机器人**联用，为医院各科室及病房的物资耗材需求提供了有效的解决方案。同时，通过引入**医疗废弃物转运机器人**，为医院日常医废转运和处理提供解决方案。



19

5G+物资运输：无人配送，管理闭环

建设智能无人仓储系统，包括智能无人库、智能回转库及其管理系统平台，并对门禁和梯控系统进行智能化改造，依托5G网络与智能物资运输机器人、智能接驳机器人对接，实现系统下单、物资自动分拣、机器人自动装载、自主感应开门和上下电梯等全自动化功能，显著提升医疗物资的配送时间和效率，从自动配送管理到信息融合，实现物资运输的闭环管理并且能够有效降低配送差错率。

引入医废转运机器人，实现院内医疗废弃物的定点回收，实现了医废转运的全流程追踪，有效避免了人力运输过程中的监管盲区，同时减少了人员与医废的直接接触。该场景下，医废转运机器人可通过两种主要模式运行。模式一，针对医废处理需求较小的科室，可以通过机器人管理平台预设定时任务，机器人可在指定时间达到指定的科室进行医废回收，并且支多科室连续性任务。模式二，通过对接医院管理系统，科室医院人员可通过PAD或者PC端下单，并指派空闲的医废转运机器人完成订单任务。



5.7 多院区协同：云端交互，能力辐射

数字孪生智慧医院将构建完善的云化平台与医疗体系，通过5G影像协同诊断平台、远程实时会诊平台等使得各分院和医联体机构的独立系统得到有效整合，真正实现互联互通。



21

5G影像协同诊断平台：云端影像，交互共享

通过影像存储整合、数据引擎、数据共享等服务，通过在各级医院配置影像前置等设备，进行影像设备的数据采集与传输服务，帮助各级医疗机构进行信息交互共享，保障影像云平台的服务质量与数据安全。此外，也可为各级医疗机构提供影像数据共享、云PACS服务、托管诊断服务、影像会诊、影像质控、影像教学、个人云健康档案、大数据监管平台等应用服务。



22

远程实时会诊平台：自上而下，能力辐射

数字孪生智慧医院依托多院区协同平台，打造“多网融合的远程会诊应用”，实现与各级医疗机构的远程连接，促进优质医疗资源的下沉与共享。该场景下，通过多屏显示终端，专家医生可以同步调阅患者病历信息、检验检查报告、高清医学影像资料，通过远程实时视频通话，为患者提供优质、可靠的远程会诊服务。此外，基于自由视角视频等技术，可进一步拓展“自由视角远程会诊”场景。

5.8 智慧运营管理：全局掌控、智慧决策

数字孪生智慧医院主要围绕智慧院区管理、智慧运营中心，整合各类医院数据，实现医院人、财、物统一管理，辅助管理层全面掌控医院运行态势，提升运营管理能力。



23

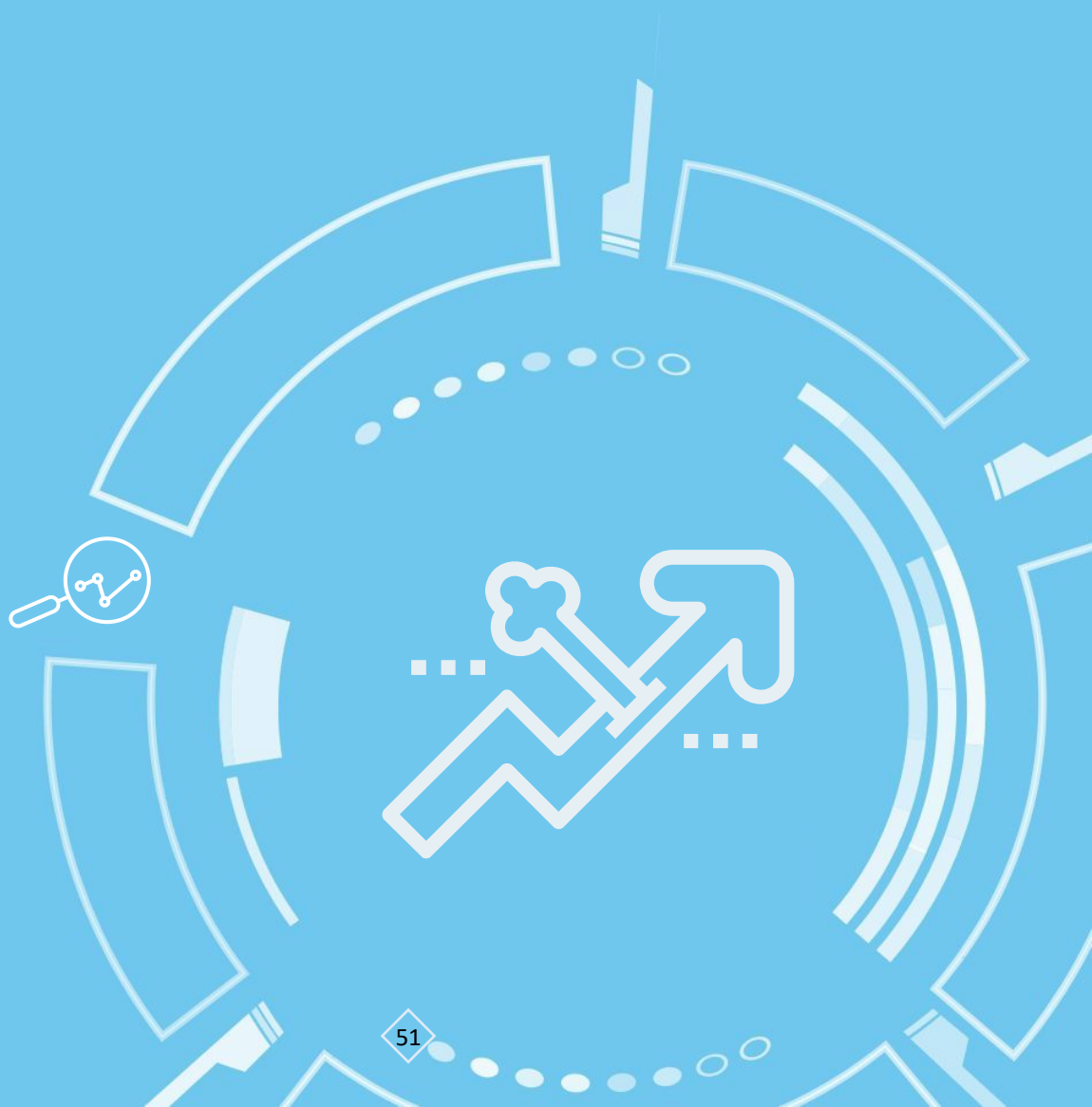
智慧院区管理：数字赋能，精细管理

搭建智慧院区管理系统，提高院区安保、消防、停车、能耗管理等多场景的安全监测水平，实现“安消一体、防患未然”。安保方面，通过视频监控、人脸识别摄像头，在医院出入口、主干道进行人车抓拍、信息提取，实现异常人员行为自动反馈监控中心弹窗报警。消防方面，基于智慧广播系统，实现全院区覆盖，及时进行消防救援信息播报。停车方面，在地面和地下停车场提供车位余量显示和余位方向引导，实现停车引导、反向寻车。能耗管理方面，基于能源管理系统模块，实现能源监测全覆盖，支持能源分类分项精确统计、综合分析、预测预警，支撑院区能源的高效利用。

打造医院智慧运营中心（IOC），实现对医院运营管理的整体感知，辅助管理者对医疗、医护、医技、科研、运营管理等资源进行合理调配。IOC核心功能模块包括但不限于：综合态势子模块，对医院的门诊、急诊、住院、手术等领域的关键指标进行综合监测与分析，实现对空间、环境、资源的全局掌控；就诊信息子模块，通过对院区、楼宇、楼层可视化场景的递进操作，结合指标内容的融入，实现对就诊业务数据的统计展示；柔性物流子模块，对物流机器人的运行状态、物资配送情况进行监测，可视化追踪机器人在空间位置中的运行情况，提升柔性物流运行管理能力。

第六章

按图索骥 —— 探寻“自我生长”新路径



数字孪生智慧医院是一个共建共享平台，围绕“新基建、新中台、新场景”等核心模块，通过联合行业合作伙伴，形成了具有无限物联、开放融合、生态共建等特色的智慧医疗生态圈；数字孪生智慧医院也是一个“生命体”，融合了前沿数字技术，实现了在物理边界的突破、虚拟边界的延伸，拥有无边界衍生、自我成长和持续进化的重要特征。

如何打造一座数字孪生的未来智慧医院？总结复旦大学附属中山医院的先行实践经验，需要聚焦“战略先行、顶层设计、逐步实施、长效运营”的基本模式，通过联合专业咨询、网络运营、系统开发、设备集成等领域的合作伙伴，探索数字孪生智慧医院的最佳建设路径。从医疗服务、管理运营等多方面输出智慧医院的优质资源、创新能力等，最终实现医院在服务升级、管理赋能、运营增值、产业融合等方面的全新突破。

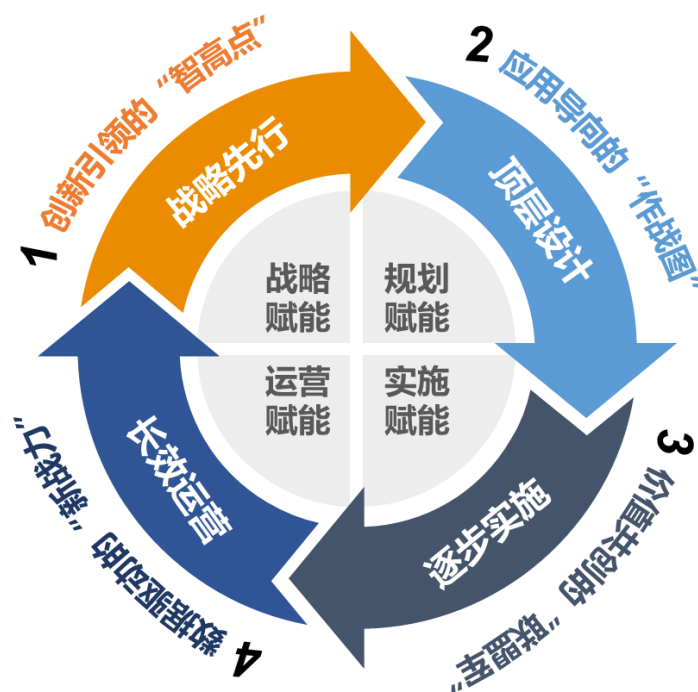


图6-1 数字孪生智慧医院“自我生长”新路径

战略赋能

打造创新引领的“智高点”

为有效构建数字孪生智慧医院，首先需要推进医院信息部门进行组织优化和功能升级，打造创新引领的“智高点”，在承担数字化建设等“基础”功能之外，还需要具备“统筹”和“创新”功能，以更好地应对大型复杂医疗数字化项目建设和数字化创新应用的新需求。以中山医院为例，于2020年成立国内第一家信息与智能发展部（简称信智部），下设规划与管理中心、大数据与人工智能中心、计算机网络中心，分别承担“统筹”、“创新”、“基础”职能。同时，信智部从海内外吸纳多元复合背景人才，共同推进中山医院智慧升级。

规划赋能

绘制应用导向的“作战图”

数字孪生智慧医院在建设过程中将产生复杂多样的各类需求，同时涉及诸多利益相关主体、多元应用场景、各类软硬件系统，需要以应用为导向前瞻谋划并形成统领性的“作战图”。“作战图”需要结合各医院自身特征和诉求，在新基建、新中台、新场景等层次形成指导性的顶层规划。同时，医院高层需要定期对“作战图”进行更新迭代，以更好地应对未来数字技术升级趋势和健康医疗消费新需求。

实施赋能

组建价值共创的“联盟军”

数字孪生医院在建设实施过程中，对资源部署、网络铺设、设备接入、信息互联等诸多方面都提出了高标准的要求，因此这是一项依靠“单兵作战”无法完成的任务。为此，需要以医院为主体，联合具备行业专业能力的认证合作伙伴，包括专业咨询服务机构、垂直领域软件集成商、智能终端设备制造商、网络服务提供商等，组建一支价值共创的“联盟军”。

运营赋能

塑造数据驱动的“新战力”

健康医疗数据将成为基础性、战略性资源，数字孪生智慧医院需要充分发挥数据资产在赋能区域医疗服务体系、健康医疗产业生态方面的内在价值，打造数据驱动的“新战力”。一方面，智慧医院需要优化传统决策模式，通过一系列底层数据支撑的关键业务指标对医院医疗服务和运营管理事项进行精准高效决策。另一方面，数字孪生智慧医院将通过脱敏数据与区域医疗机构、药械厂商、医疗保险机构等多元主体建立更紧密、更融合的合作生态，在赋能全产业链发展过程中发挥其“新价值”和“新战力”。



复旦大学附属
中山医院
ZHONGSHAN HOSPITAL

Deloitte.

 中国电信
CHINA TELECOM

 阿里云


HUAWEI

 熙牛医疗
SESNEW MEDICAL