破界与协同

AI驱动 数字化协同重塑远程医疗生态

应用白皮书

浙江大学医学院附属第二医院
华为技术有限公司

序言

王建安

中国科学院院士、浙江大学医学院附属第二医院院长

在“健康中国”战略的宏伟蓝图下，人工智能正以空前的深度与广度，重塑医疗健康服务的形态与边界。面对人口老龄化加剧与优质医疗资源分布不均的双重挑战，人工智能既是打破时空壁垒的“破局之刃”，也是检验医疗公平与人文底色的“试金之石”。如何将新质生产力的势能转化为医院高质量发展的动能，同时守住安全、隐私与公平的底线，是每一家公立医院必须回答的时代命题。

浙江大学医学院附属第二医院始终秉承“患者与服务对象至上”的核心价值观，敢为人先、勇立潮头。作为全国“互联网+医疗”的探路者，自2007年起，我们首创了连通海内外的“国际—浙二—县域—乡镇”的四级远程医学协作网，迄今已链接300余家医疗机构，累计完成国内外远程会诊近6万例。近年来，我们紧抓数智改革机遇，打造“数智山海”医疗协作应用，将顶尖诊疗能力、人才培养体系与雄厚科研资源精准下沉至偏远地区，让优质医疗跨越山海、惠及万家。

从起步到深耕，浙大二院远程医疗已步入第二十个年头。这二十年间，我们见证、参与并引领了技术变革与远程医疗的深度融合进程。通过构建“5G数智急救指挥体系”，我们将急救的“黄金时间”大幅前置，实现了“上车即入院”的生命接力；完成国内首例5G远程神经外科手术，意味着我们打破了200公里的地理阻隔，让顶级专家的手术刀跨越空间，实现精准施治；AI重症监护“超级大脑”与百万级切片的“数字病理云平台”，让数据价值充分释放，为临床决策提供了精准支撑。这些AI赋能下的创新不仅提升了救治效率，更通过减少重复检查与资源消耗，为医疗服务的绿色可持续发展提供了有效路径。

在拥抱技术的同时，我们也需直面由此带来的深层挑战。当前，以大语言模型（Large Language Models，LLMs）为代表的生成式人工智能正在重构医疗知识的交互方式，为远程医疗注入了前所未有的活力。我们清醒地认识到，技术的高度必须与伦理的厚度相匹配。大模型再强大，也无法替代医者的共情与决断。远程医疗的“可信”，不仅在于连接的稳定、数据的准确，更在于算法透明、公平可及、责任清晰。未来的远程医疗，必将是“人类智慧+机器智能”的深度耦合，也必然是一条兼顾效率与公平、创新与可持续的长期演进之路。

这本白皮书是浙大二院的临床洞察与华为技术积淀深度融合的结晶，系统梳理了远程医疗从“连接可用”到“服务可信”的演进路径，提出了以“AI驱动、数字化协同”为核心的破界理念与技术架构。希望通过分享我院在5G急救、远程手术、AI辅助诊断、跨区域帮扶等领域的真实案例，为全国同行提供一份可参考、可复制的行动指南。

百年薪火相传，浙大二院始终护佑人民健康，为患者减轻病痛，带去慰藉与希望。未来，我们将以人工智能为引擎，以伦理治理为准绳，以可持续发展为航标，让这份百年赓续的仁心与不断精进的技术一同惠及更广大的人民群众。我们期待，这份白皮书能够成为一粒火种，点燃更多医疗机构探索AI医疗革新的热情，推动“科技向善”的集体思考，为构建更公平、更安全、更有温度的医疗服务贡献“中国方案”。

编委

主编：

浙江大学医学院附属第二医院、华为技术有限公司

编委会成员：

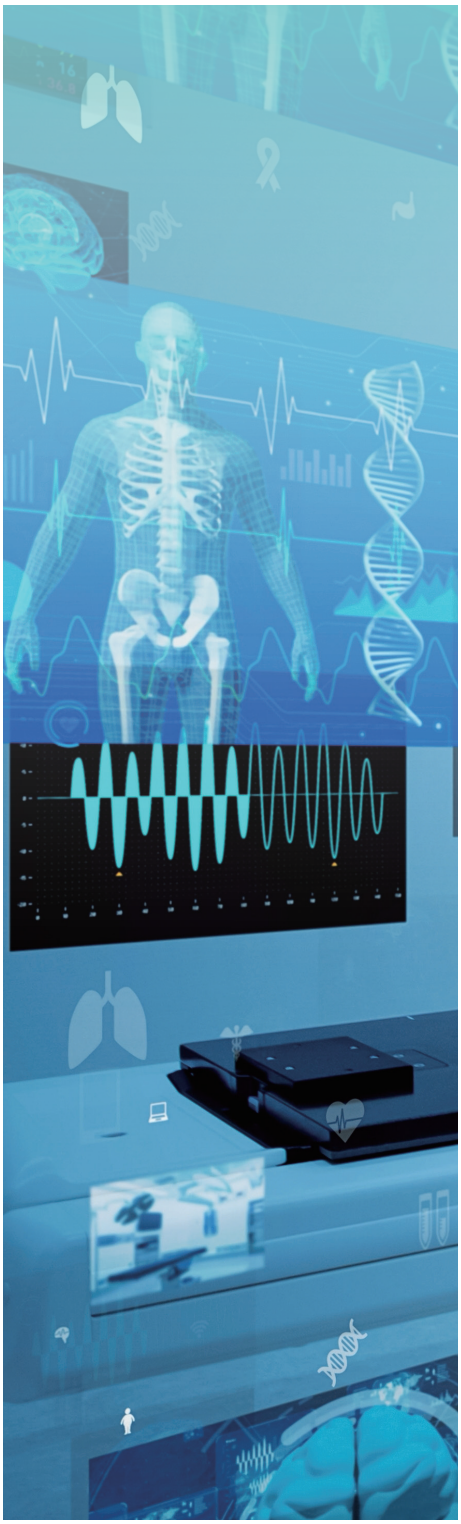
浙江大学医学院附属第二医院	张茂、葛芳民
复旦大学附属中山医院	史颖弘
四川大学华西医院	赵颖
华中科技大学同济医学院附属同济医院	李刚
中山大学附属第一医院	余俊蓉
中南大学湘雅二医院	詹俊鲲
北京大学第三医院	王旖旎
复旦大学附属肿瘤医院	董枫
南京鼓楼医院	屈峰
吉林大学第一医院	马云
天津医科大学肿瘤医院	徐彦杰
山东大学齐鲁第二医院	陈民
川北医学院附属医院	段涛
四川省妇幼保健院	王滨
济宁医学院附属医院	庄宇
青海省海西州人民医院	张海强
浙江大学管理学院	童昱
华为技术有限公司	韩振兴
浙江智慧网络医院管理有限公司	曹漪洁

专家团队（排名不分先后）：

黄曼、兰美娟、陈高、徐善祥、邹泓、于慧敏、刘凤强、李强

参编人员（排名不分先后）：

钱　欢、张茂成、刘昭漪、陈　冬、潘雨婷、林　斌、倪亦琪、沈　雯、李　倩、李祚阳、寿琳佩、李　荣、朱道建、何雨今、刘　璐、赵　倩、郭　欣、徐雪芹、何紫玉、刘　琴、赵小波、裴江浩、尹苏凡、徐雄军、郑其然、刘立波、荣晔晖、毛雷音



摘要

当全球健康需求向全周期、普惠化、高精度升级，医疗资源分布不均与人口老龄化加剧之间的矛盾日益尖锐，远程医疗已不再是传统医疗的辅助手段，而是重构医疗服务体系、实现全民健康覆盖的关键支柱。从偏远山区牧民的家门口完成影像筛查，到极地科考队的紧急远程会诊，再到跨国肿瘤患者的多中心联合诊疗，远程医疗正以前所未有的广度与深度，打破地域、资源、时间的限制，让优质医疗服务触达每一个有需要的角落。

这一转变的背后，人工智能（AI）正从简单的效率工具跃升为远程医疗系统性变革的核心驱动力。大语言模型与生成式AI的规模化落地，正在重塑医疗的全链路价值：在患者端，自然语言交互降低了就医门槛，个性化健康管理从理想走向现实；在临床端，智能分诊、影像辅助诊断、实时风险预警和个性化干预，显著提升了诊疗精度与服务效能；在机构端，自动化排程、智能质控与资源调度，构建起数据驱动的精细化运营体系。AI的深度嵌入，使远程医疗从传统的“单向连接”走向“双向赋能”，让“普惠而精准”的医疗愿景成为可能。

然而，在规模化落地和实践推进中，多重“看不见的边界”始终制约着远程医疗潜力的充分释放——跨国协作中网络链接的频繁中断、偏远地区信号覆盖的结构性空白、多品牌设备的数据孤岛与协议壁垒、基层医护的效率瓶颈、AI应用的责任归属模糊与患者隐私的安全风险，这些问题并非单一技术能够解决，需要系统性破界方案。人工智能（AI）、第五代移动通信（5G）、物联网（IoT）等数字化技术的成熟，为破界提供了全新路径：AI的决策能力可优化资源配置，5G的低时延可保障实时交互，IoT的感知能力可获取全场景数据，三者与云计算算力支撑深度融合，成为突破远程医疗边界的核心引擎。

本白皮书聚焦远程医疗破界与AI数字化协同两大主线，系统梳理全球发展格局与结构性瓶颈，深入解析地域、数据、服务三重边界的冲突表现与协同缺口，并提出技术协同、机制协同、AI场景落地相结合的破界路径，以云化部署、统一互联、智能赋能、服务全球四大维度构建技术架构，以政策完善、标准整合、架构共生搭建制度保障，以覆盖远程会诊、急救、手术、监护、示教等全场景的AI应用图谱验证实践价值。旨在为政府部门、医疗机构、科技企业提供兼具战略前瞻性与落地可操作性的参考框架，共同推动远程医疗从“可以服务”向“优质服务”跨越。

展望未来，远程医疗将不再只是“看得见医生”的连接工具，而是“看得准病情、管得住健康、防得了风险”的无界医疗新生态——一个由数字技术与智能算法共同驱动，以患者为中心，贯穿预防、诊断、治疗、康复的全周期医疗价值体系。“医疗无界、健康普惠”这一愿景，终将从理想照进现实。

关键词：远程医疗、人工智能、数字化协同、医疗普惠、优质服务

目录 CONTENTS

1 全球远程医疗现状：边界挑战与协同探索 01

1.1 各国数字化实践案例：人工智能应用约束与跨区域医疗协同落地路径 03

1.1.1 欧洲：构建“健康数据空间”，打破“数据与安全之界” 04

1.1.2 亚太：依托“智能互联技术”，破解“老龄化服务之界” 05

1.1.3 美国：依托“市场竞争机制”，打破“效率与覆盖之界” 05

1.1.4 全球实践的经验与共性挑战 06

1.2 中国远程医疗发展全景：市场规模、政策演进、技术赋能与结构性瓶颈 07

1.2.1 市场规模与政策演进 07

1.2.2 网络发展与技术协作 08

1.2.3 结构性瓶颈：医疗体系重构的四大挑战 09

1.3 边界即起点，协同即未来 12

2 远程医疗核心边界解析：冲突表现和数字化协同缺口 13

2.1 地域界：网络覆盖不均与跨域实时协同失效 13

2.2 数据界：多源异构割裂与安全合规治理失衡 14

2.3 服务界：优质医疗资源普惠协同与效能释放受阻 17

2.4 边界融合：边界冲突与AI数字化协同的交汇 18

3 数字化协同破界路径：AI 驱动的技术与机制创新 19

3.1 技术协同是“破界基础”：远程医疗系统关键技术 20

3.1.1 远程音视频协作：高保真、低时延与智能韧性技术 22

3.1.2 多云会议： 打造开放互通、全球协同、安全可信的远程会诊底座 24

3.1.3 医院物联网：构建一体化智慧服务新范式 26

3.1.4 智能算力底座：构建面向医疗场景的AI全栈赋能体系 26

3.1.5 医疗智慧应用：AI赋能医-患-管三方协同场景 29

3.1.6 数据安全和隐私保护：合规架构与防泄露机制 30

3.2 机制协同是“破界保障”：从技术割裂到架构共生的顶层设计 32
3.2.1 政策体系持续完善，奠定远程医疗制度基础 32
3.2.2 标准整合破解割裂困局，构建统一技术生态 33
3.2.3 标准驱动实现架构共生，释放资源协同服务 34
3.3 AI协同的远程场景应用图谱：从单点诊疗到全周期贯通的远程实践 34
3.3.1 远程诊断与协作类 34
3.3.2 远程急救与监护类 40
3.3.3 远程治疗与操作类 46
3.3.4 远程教学与质控类 48

4 数字化协同破界实践：AI赋能的场景与价值验证 51
4.1 地域无界，网络共生：构建全球可达的远程医疗生命线 51
4.1.1 构建5G“数智急救”指挥体系——将优质医疗资源前移到“黄金救治时间” 51
4.1.2 实现神外远程手术突破——建立5G精准神经外科远程操作新范式 53
4.2 数据无界，智能共生：构建提速增质的医疗AI新基建 55
4.2.1 打造AI重症监护“超级大脑”——建立数据驱动的精准临床决策路径 55
4.2.2 病理诊断进入数字化阅片时代——AI让百万级切片“开口说话” 58
4.3 服务无界，价值共生：实现优质医疗资源的普惠同质 60
4.3.1 构建常态化远程帮扶体系——通过远程会诊实现优质医疗资源精准下沉 60
4.3.2 跨区域赋能基层医疗——构建“省－市－县－乡－村”五级协同远程医疗网络 62

5 未来生态展望：数字化协同驱动的远程医疗无界图景 65

远程医疗全球现状：AI与数字化基建重塑产业格局

01

全球远程医疗所涉行业持续扩张，据权威机构Grand View Research数据显示[1]，2025年世界范围内远程医疗（Telehealth）规模835亿美元，具体包括Telehealth市场包含远程硬件、网络问诊、家庭慢病观察乃至全球数字医疗各种形式。2030年全球远程医疗的市场规模预计将超2190亿美元，2025-2030年所涉复合年增长率（CAGR）是21.3%。从核心临床远程诊疗视角评估，Markets and Markets对相关市场分析显示[2]，到2030年全球远程医疗应能取得1808.6亿美元的规模，2024-2030年增长率（CAGR）即11.5%。

这一增长趋势不仅体现了技术与医疗深度融合的历史必然，更预示着未来医疗体系正朝着智能化、个性化、去中心化的方向深刻转型，有望重塑全球公共卫生服务格局，构建更加公平、高效、可持续的健康生态。然而，目前的增长并非依靠某项技术促成，而是医疗资源供给改革、远程技术革命升级以及支付体系转型三者共同推进。

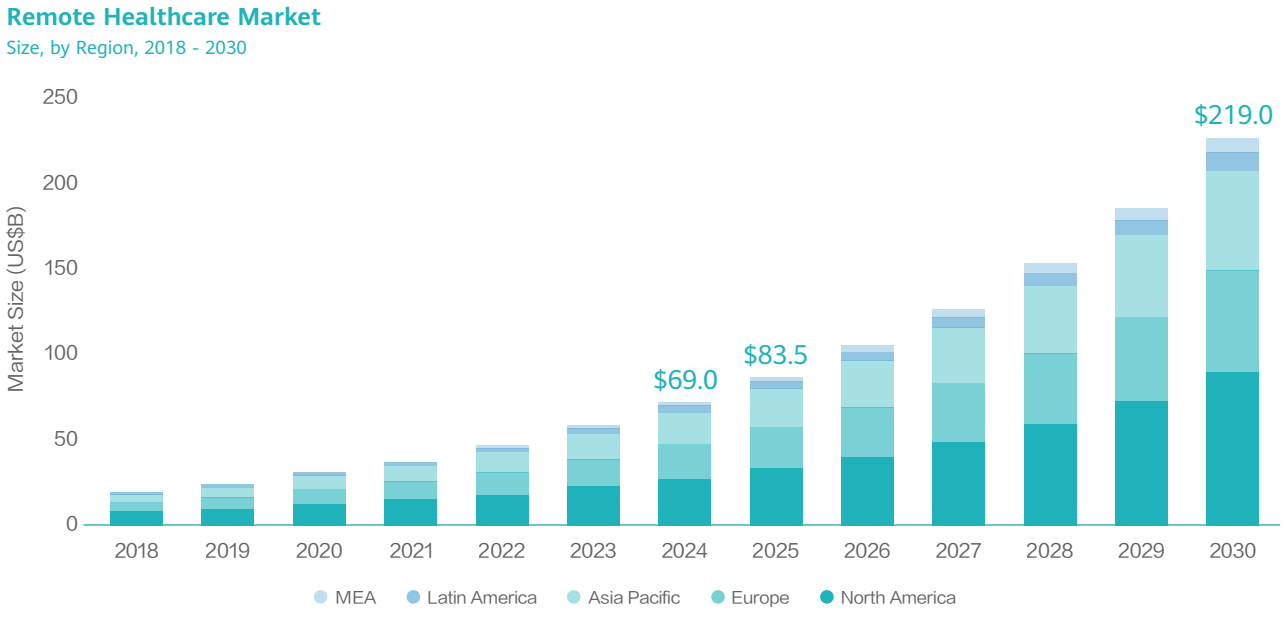


表1：2018-2030 年全球远程医疗市场预测

（一）医疗供给侧结构性改革：资源分布失衡倒逼服务模式转型

医疗供给侧所遇的结构性矛盾是远程医疗发展的基本驱动力[3]。国内医疗体系中诸多结构性矛盾，导致远程医疗有其底层发展刚需，主要包括四项现实困境：第一是医疗资源在空间上分布不均，优质医疗资源基本集中在中心区域，县域基层缺少基本的影像或全科医生[4]；第二是基层专业人才数量有限，不能完全满足边远地区、乡镇的诊疗需要[5]；第三是人口老龄化正形成巨大照护压力，2020年中国65岁及以上老年人已有1.91亿人，所占比例是13.5%，2050年预期会达到29.8%（全球平均值为16.4%），国内对多病共存老人的家庭健康照料开始爆发式增长；第四是慢性病仍是沉重的疾病负担，目前其死亡占全部死亡的90%左右，要靠大量居家连续监测等服务予以保障，但传统医院服务的容量尚存重大缺口[6]。国家卫健委规划中，远程医疗是带动优质医疗资源下沉、落实分级诊疗的关键手段，从供给侧角度促成医疗体系的长期、稳定发展[7]。

就常见慢性病具体分析可知：近年来，国内慢病患者已达到4.6-4.7亿人，相关医疗费用占全部医疗开销的70%以上，医疗资源相当大比例用于处理慢病及其并发症。虽然中国每千人口的医生数量每年都在增长，但目前仍有约70万医生的短缺现象[8]。从老龄化趋势看，国内正经历深度老龄化的快速到来，由此，对常规以医院为重心的医疗结构，逐渐形成“需求端爆发而供给端刚性短缺”的结构性困难。种种矛盾，促使医疗服务体系由“以医院为中心”转到“以患者为中心”上，远程医疗因而成为资源对接的关键、战略性的新工具。

（二）远程医疗与LLMs规模化落地：生成式AI重塑患者-临床-机构全链路价值

近年来，技术基础设施的革命升级，促使远程医疗由概念走向应用层面大规模发展[9]。以5G通信、分布式云、边缘计算、AI辅助诊疗设备和物联网（IoT）为基本要素的新一代信息通信手段，发展迅速、趋于成熟，不断优化解决跨区实时诊疗的技术问题。目前全国各主要城市5G网络覆盖比例已经接近95%，在工信部连同卫健委联手开展一百余项农村远程医疗项目中，纳入实时会诊、5G指导手术，为急救、移动诊疗这类时效依赖的场景提供可靠的传输保障。

得益于大语言模型（Large language models,LLMs）与生成式人工智能技术的迅猛发展，远程医疗在服务能级、决策支持及系统运行效率层面呈现出结构性跃迁，其多维受益效应已显著辐射至患者群体、临床工作者、医疗机构及社会环境等关键利益相关方。

从患者层面观之，LLMs赋能的自然语言交互界面有效降低了医疗沟通中的文化、语言及健康素养壁垒，使偏远地区或行动受限人群获得即时、平等的专业照护；同时，基于个体健康数据的动态推理，生成式AI可输出个性化的预防建议与科普内容，并在心理、牙科、老年护理等专科远程场景中提供连续性的情感支持与健康监测，显著缓解患者的孤独感与疾病管理负担。对临床工作者而言，LLMs通过自动完成病历摘要、文献筛选和常规分诊等低阶认知任务，实现了工作负荷的实质卸载，使医务人员得以将专业精力集中于复杂病例的临床判断；其循证推荐与多模态影像辅助功能，则提升了诊断的准确性与一致性，尤其在远程会诊中，模型可迅速整合既往病史、检验结果及影像信息，形成结构化决策建议，有力促进跨学科协同诊疗。在机构与系统层面，LLMs驱动的自动化排程、智能分诊及健康提醒功能，显著优化了医疗资源配置与流程管理，在扩大服务容量的同时降低运营成本，推动医疗服务模式从“以疾病为中心”向“以健康为中心”的价值导向转型。

更宏观层面，远程医疗与AI的深度融合通过减少患者及医护人员的非必要出行，有效降低交通相关碳排放，同时配合无纸化记录与智能能耗管理，进一步强化了医疗体系的生态可持续性；此外，低成本、广覆盖的AI辅助远程服务有助于弥合城乡及经济差异导致的健康鸿沟，促进医疗公平。综上，LLMs与生成式AI在远程医疗中的规模化应用正系统性地重塑医疗服务生态，其综合社会效益涵盖微观个体福祉、中观机构效能与宏观公共健康与可持续发展目标，惟需在后续发展中持续关注算法可解释性、数据隐私与责任归属等治理议题，以保障技术红利的稳健释放。

（三）支付与政策制度系统性变革：可持续支付机制成为产业商业化成败的关键

医疗行业所用的商业化逻辑不同于一般互联网消费场景：主要限制不在于技术是否可行，而是“谁支付”这类制度性问题[10]。远程医疗由“技术可行”到“商业可持续”的发展，必须依托医保支付方式革新、商业保险介入、患者自费及医院运行费用诸项的平衡发展。

全球数字医疗产业目前已有基本共识：对远程医疗是否能按计划、大规模开展起核心作用的是有关支付的可持续性。医保、商业保险、患者自费及医疗成本补偿、服务价格改革是激励其发展的关键要素。此外，国务院、国家卫健委就远程医疗的合法执业做出多方面说明；支付上国家医保局发布指导文件，把“互联网+”类的医疗服务划入医保可付范畴即以医保方式结算远程会诊、复诊、慢病观察、影像会诊所涉费用，若线上服务内容同线下服务一致（按公立医院现行价格计算），备案之后可依规支付。2026年初国家医保局又以“远程手术辅助操作费”为标准设立远程医疗价格项目，将有偿服务纳入制度轨道，对远程手术机器人等应用作了收费上的制度性预设[11]。多种支付手段互相补充，商业健康险处理高阶诊疗问题，自费满足特殊需要，医共体又分担部分成本，基层运行不再过分负担，由此真正缓解医疗机构和患者两方面的动力缺失。

各项政策对覆盖范围已作较大拓展，但从支付激励的基本逻辑来考察，目前线上医保支付基本是将线下额度作简单迁移，尚不能建立远程医疗“增量价值”对应的独立支付形式。这一现状提示：要使支付具有长期可行性，既应有政策允许的入口，又须把健康结果纳入考虑，用总额预算、按人头或按效的思路设计机制，才有可能促成远程医疗有关行为的常规化、持续性发展。

1.1 各国数字化实践案例：人工智能应用约束与跨区域医疗协同落地路径

在全球范围内，多国家及地区正以技术创新为支点，积极探索远程医疗在政策、技术与伦理层面的“破界”路径。其中，欧洲、亚太和美国分别代表了制度驱动型、社会需求导向型和市场驱动型的典型发展模式，为全球提供了可复制、可推广的实践经验。

1.1.1 欧洲：构建“健康数据空间”，打破“数据与安全之界”

欧盟远程医疗实践验证“技术服务医疗体系优化”的核心逻辑，仅依靠跨境数据传输技术难以消解跨成员国医疗数据流通壁垒，其正在通过建立欧洲健康数据空间（European Health Data Space, EHDS）[12]推动医疗数字化转型。该计划核心目标是：统一医疗数据法规、患者授权制度（完善医疗制度要素），搭建起覆盖处方、病历、影像的跨境服务闭环，配套安全治理机制平衡隐私与诊疗需求，最终实现可长期运行的跨境远程医疗服务模式。

为此，欧盟制定了专门的EHDS法规，旨在融通不同国家之间的法律壁垒。同时，欧盟建立了完善的网络安全保护、患者同意管理机制和统一的数据管理规则，确保健康数据能够安全地跨境流动，从而打破地理与信息壁垒，提升医疗服务的连续性与质量。

目前，EHDS的核心实施载体——跨境电子处方（Cross-border ePrescription）依托欧盟MyHealth @EU基础设施已取得初步落地。2024年统计显示，有13个成员国完成双边或区域性处方数据的互联互通。需特别说明的是，EHDS对全域医疗数据的治理尚不能视为整体制度的完全实现，目前跨境电子处方诸项应用只属于区域试点的早期状态，未将全欧盟纳入服务范围，亦未规定法规上强制性全覆盖。从欧盟健康及食品安全总司（DG SANTE）所发布的《欧洲健康数据空间（EHDS）分阶段实施路线图》看，EHDS主体法规在2025年3月即开始生效，跨境电子处方及患者诊疗摘要的全域强制互通有过渡期设计，到2029年3月才作最终落实；2025-2029年各成员国只是可选试点对象，不构成统一强制互通的现实状态。

该模式基本价值不依赖于5G或有关数据传输的技术本身，而是在标准化制度下，对医疗服务做长期规划、对患者行为及所处区域（用户要素）作统一界定、对诊疗作整体设计。促使边民、季节性旅居者等跨境就医患者，能按电子处方的要求，在不同国家的药房买到所需药物。按此思路推演，欧盟正在将远程医疗从地理与信息孤立中解放出来，向“欧洲数字健康”靠拢。一个成员国的临床医生可以安全地访问另一个成员国的旅行者记录；研究人员可以分析去标识化的欧洲健康数据，以发现疾病的早期信号；患有多种疾病的人可以通过整合的线上线下服务获得协调一致的支持。

这一健康数据空间提供了一个高安全性、高互操作性的跨境医疗服务平台，对技术手段应用于远程医疗有积极意义。例如人工智能（AI）可以用于辅助医学影像诊断、自动校验处方的合理性、预警潜在健康风险等。欧洲的成功实践表明，通过统一的法规与互操作性标准，在保障公民隐私与数据安全的前提下，推动医疗数据的共享与利用，为区域性健康信息交换平台提供了可借鉴的范式，构建可信、可控、可持续的数字医疗治理体系。

1.1.2 亚太：依托“智能互联技术”，破解“老龄化服务之界”

面对全球最严峻的人口老龄化挑战（日本65岁以上人口占比近30%），日本以“AI+物联网”为思路来融合各项资源，发展智慧健康体系，以解医疗资源不足或失衡之困。基本方式依托区域性健康监护框架，将智能穿戴（包括语音式血压计、血糖仪及心率手环）和居家终端同AI云端加以结合，构成“感知-分析-干预-反馈”类闭环机制。针对老年人的认知习惯分析对设备定制改造，使其有语音说明和一键使用方式。有关生命体征的数据经由5G技术即时传到云中，又由AI决策模型协助做动态观察及初步的健康风险提示。系统按既定指标阈值给出异常信号，不替代医生对实际状况的判断；提示内容同时发给患者与医生，由“远程会诊+上门巡诊”机制促成高危情况的迅速处理。

依托5G技术，日本智慧养老系统的预警响应流程显著缩短（如神奈川县等试点区域报告显示响应时间在5-10分钟范围）。截至2024年，该体系已在多个都道府县试点推广，覆盖超百万老年人口。根据厚生劳动省《2024年数字健康推进报告》，系统实施后：试点区域老年人急诊就诊率下降约15%，家庭护理支出减少近一成，老年人对健康检测工具的接受度提升至65%以上。这不仅体现了技术赋能带来的直接健康收益，更反映出一种深层次的服务理念转变：适老化智慧健康服务并非通用数字化设备的简单移植，而需基于老年群体生理特征、使用习惯完成服务全流程适配设计。

在日本实践中，“预防优于治疗”的公共卫生理念通过AI与物联网结合的智能互联技术得以落地和具象化。系统从被动响应转向主动预警，从疾病治疗延伸至健康促进，构建“精准干预+主动健康”的可持续发展模式。该体系为全球深度老龄化区域提供具备可复制性的数字化慢病管理实践框架，体现出技术应用与制度适配协同推进的重要性。

1.1.3 美国：依托“市场竞争机制”，打破“效率与覆盖之界”

美国目前所称的远程医疗不是由单一市场因素促成的，而是联邦医保由支付改革、大型医疗集团数字化转型与市场化商业模式创新三者共同推进的发展格局。代表机构，如梅奥诊所、凯撒医疗到退伍军人健康管理局（Veterans Health Administration，VHA）等，均按各自特点设计远程医疗服务方案，重点突破传统医疗中“高成本、低可及性、碎片化服务”的难题。

在支付政策层面，联邦医保（Medicare）的临时豁免与永久性改革构成了远程医疗规模化发展的核心制度支撑[13]。例如，美国卫生与公众服务部及医疗保险和医疗补助服务中心（CMS）通过临时豁免政策，可取消Medicare远程医疗服务的地理限制、扩大了服务场所与执业者范围；而近期通过的税改方案，则永久恢复了高免赔额健康计划（HDHP）与健康储蓄账户（HSA）参保者的远程医疗“第一美元报销”政策，为数千万参保者消除了费用门槛。在州级层面，支付平等（payment parity）立法的推进同样发挥了关键作用：实证研究表明，在实施支付平价的州，社区卫生中心的远程医疗就诊占比显著高于未实施州（42% vs 29%），调整后的比值比（aOR）达1.74（95% CI:1.49-2.03）。然而，这一政策工具的效应并非单向积极——运

营管理研究表明[14]，若远程诊疗后续需转为线下就诊的概率处于中等水平，支付平价可能导致供给端过度配置远程医疗产能，反而降低整体患者可及性。由此可见，美国远程医疗支付政策的演进，本质上是在“扩大覆盖面”与“优化资源效率”之间持续调试的制度过程。

在联邦医疗体系层面，VHA作为美国最大的整合式公立医疗系统，是远程医疗的早期采用者与规模化推行的典范[15]。VHA通过“中心-辐射”（hub-and-spoke）模式，将肿瘤、精神科等优质专科资源向偏远地区延伸，形成了覆盖全美的远程服务网络[16]。研究数据显示，2015至2023年间，VHA累计完成超过3600万次远程医疗就诊，其中居家视频问诊（Provider-to-Home）在2020年后期占比已超过90%。VHA的成功实践表明，在非市场化的公共医疗体系中，远程医疗同样可作为解决区域资源不均、提升服务可及性的核心工具。

在市场层面，多元保险覆盖与医疗集团数字化战略共同构建了可持续运营闭环。凯撒医疗利用其整合式医疗（Integrated Care）优势，将远程问诊、电子处方、实验室结果查询与健康管理深度嵌入其会员系统，通过患者门户（如KP Online）实现“线上初筛—线下诊疗—慢病追踪”的无缝衔接，有效降低了急诊使用率与住院成本。而VHA作为美国最大的公立医疗系统，针对退伍军人群体普遍存在的居住分散、行动不便等问题，大规模部署远程患者监测（RPM）设备与移动医疗车，使患有糖尿病、高血压等慢性病的退伍军人能够在家中完成体征数据上传，由远程护理团队实时监控并干预。这些实践表明，美国远程医疗的规模化发展，本质上是支付端政策松绑、供给侧集团转型与市场需求三方协同演进的产物，而非简单的市场竞争自发秩序。

1.1.4 全球实践的经验与共性挑战

远程医疗的“破界”，不仅仅是技术的突破，更是制度设计、社会共识的共同演进。

- 欧盟重点化解医疗数据共享与隐私安全平衡的治理矛盾，形成制度规范优先的建设路径；
- 日本围绕老年群体健康需求搭建数字化服务框架，形成需求导向的适老化服务设计模式；
- 美国利用市场化办法对医疗资源做较有效的配置，把多种保险纳入支付的协调系统。

欧洲、日本及美国所走过的实践道路各有侧重，但都以“医疗体系重构”作为基本命题来理解远程医疗跨区域协作的现实：数字医疗服务要真正落地，不能只靠技术进步，也须有制度安排和公众对数字健康的合理认知配合。这是医疗体系整体性的重构，不是通信、AI技术简单地更新，三者都借由改善医疗制度、支付手段、临床操作、用户适应四项配套要素把数字资源转化为服务闭环或可验证疗效的方案，从而促成可持续发展。欧盟从制度角度处理跨境数据问题，用制度创新释放数据潜力；日本就慢病及老年人医疗做流程优化、作用户适配设计，满足社会需要；美国以市场思维解决效率瓶颈，建立商业化支付体系。三者各自扫清体系重构的主要障碍，所持路径虽异却指向一致的实践逻辑，即用安全与可及性结合的方式激发数字医疗的公共卫生价值，给世界以应对医疗资源、人口结构难题的制度和技术协同参考。若仅以技术迭代思考问题，不能得到长期可行的答案，应让医疗、技术、支付、流程、用户五者协同发生作用。

1.2 中国远程医疗发展全景：市场规模、政策演进、技术赋能与结构性瓶颈

1.2.1 市场规模与政策演进

目前由国内合规医疗机构所引导的互联网+远程医疗领域正以高速度扩张，国内数字医疗行业数据显示，2023年市场规模已超445亿元人民币，比2019年约200亿元增长近120%；就中长期前景而论，2030年相关市场或可取得1450亿元的成果，2024-2030年年复合增长率基本是14.7%的高位。

远程医疗是互联网医疗生态中不可缺少的一环，是把优质医疗资源下沉、落实分级诊疗制度所依赖的主要手段。就目前医疗资源分布的实际情况而论，远程医疗以技术方式加以运用，能较好地解决城乡或地区间服务不足的问题，对“基层首诊、双向转诊、急慢分治、上下联动”类的分级诊疗作比较有力的补充。

表2：2018-2030 年中国远程医疗市场（百万美元）-来源：Grand View Research

我国远程医疗政策体系经历了从试点探索、规范发展到数字化融合的阶段性演进[17]。2014年国家卫生计生委发布《关于推进医疗机构远程医疗服务的意见》中，明确了远程医疗概念和服务范围以及相关监管，并推出了远程影像诊断、远程会诊、远程病理等相关规范性服务，同时明确各省市要在卫生发展规划中加入远程医疗的内容，在政策上开始以机制探索为主的试点工作。2018年，国务院办公厅发布《关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见》，首次提出“允许依托医疗机构发展互联网医院”，明确要求推动远程医疗实现对全国所有医联体和县级医院的全面覆盖，并将互联网诊疗服务纳入医保支付范围加以统筹考虑，同时结合《远程医疗服务管理规范（试行）》强化与细化监管措施，使政策重心由此前的“验证技术可行性”转向“构建系统化服务体系”，远程医疗的应用场景也由医疗机构之间的会诊，进一步拓展面向患者家庭。2021年以来，远程医疗上升为国家医疗卫生战略基础设施，《关于推动公立医院高质量发展的意见》将其纳入优质医疗资源扩容下沉的战略规划，国务院相继出台《“十四五”数字经济发展规划》《“互联网+医疗健康”

高质量发展行动方案》等，在医保支付、5G应用、AI辅助决策、全民健康信息互联等领域形成系统性配套，工作侧重点由“鼓励发展、扩大覆盖”向“规范引导、提质增效”转变，工作定位由“搭起远程网”转向了“建全服务链、落地慢病管理临床价值、健全可持续支付机制”，行业步入了体系重构以及高质量发展时期，“远程医疗成为分级诊疗和优质资源下沉基本战略”。

1.2.2 网络发展与技术协作

近年来，中国在远程医疗关键技术应用方面取得实质性突破，为医疗服务的智能化、可及性与连续性提供了坚实支撑。

（一）5G网络构筑高速通道

5G网络基础设施持续向医疗临床场景深度适配，依托医疗专用5G专网、网络切片与边缘计算（MEC）架构[18]，为远程会诊、远程超声、远程影像、跨区域手术指导、院前移动急救等高实时性诊疗场景搭建专属传输底座。据工业和信息化部数据，截至2026年3月底，全国5G基站总数已达495.8万个，实现“县县通千兆、乡乡通5G”，5G应用已融入91个国民经济大类，在医疗领域的应用已实现院前急救、院内急诊、住院治疗、康复出院全流程覆盖，在500多家三甲医院落地推广。其高带宽、低时延特性为远程会诊、移动急救、远程超声等对实时性要求较高的应用场景提供了可靠保障。在新疆、西藏等边远地区，内地三甲医院专家可通过5G网络实时指导基层医生完成复杂诊疗过程，极大拓展了优质医疗资源的空间辐射范围。

在“5G+医疗健康”应用试点工作中，有90%以上的试点已经部署完毕5G虚拟专网，医联体相关单位对网络建设作了较完整的配合[19]；5G急救车及远程超声类机器人等医疗终端正分阶段进入各医院的实际使用环节。工信部《5G规模化应用“扬帆”行动升级方案》首次提到“打造一批5G智慧医院”，把5G对医疗的促进由单点应用引向流程整体的深化。

图 1-1 5G网络构筑高速通道

（二）AI赋能基层诊疗能力

现在所称的医疗AI是以临床决策支持为目标的系统（CDSS），在做临床应用时可以将辅助定位作为前提，就肺结节或糖尿病视网膜病变这类影像判断已有较多实践的领域来说，已有初步资料说明其能提高基层首诊的正确率。AI向基层的延伸，对医疗机构“缺人少技”有较大缓解，亦对首诊质量的改进有实际帮助。

（三）物联网延伸服务触角

便携式生命体征监护仪、智能手环、家用血糖仪等可穿戴设备加速普及，实现对血压、血糖、心率、血氧等关键指标的自动化采集与动态监测。这些技术使慢性病患者能够在日常生活中获得持续的健康管理服务，推动医疗服务从医院向家庭延伸。

截至2024年中期，全国已有超过70%的乡镇卫生院与上级医院建立了稳定的远程医疗协作关系，累计开展远程服务超200万例（含影像诊断、远程会诊等）[20]。远程医疗对高血压、糖尿病这类慢病、对老年人的定期检查都有明显助益，是基层首诊的有力补充，能减少病人多头就医之苦，现阶段基本形成“小病在基层、大病不出县”的服务方式。上述发展事实说明中国远程医疗已经由“连接可用”过渡到“服务闭环、能力提升”阶段。

1.2.3 结构性瓶颈：医疗体系重构的四大挑战

尽管中国远程医疗在5G、AI、物联网硬件覆盖广度上取得阶段性突破，但行业模式本质上仅是“设备连通、人次增长”类的浅层扩展，要达到线上线下统一、有实证支持的临床价值体系这样的发展目标仍有大量深层机制障碍。结合数字卫生政策和实际临床观察，远程医疗要达到“体系重构”目标，目前尚存在四大结构性瓶颈：医保支付、医疗数据全域联通、数据安全与AI诊疗权责规范、临床评价体系适配，这四者彼此关联、互相牵制，共同限制远程医疗以普惠方式持续发展。

（一）远程医疗数据标准化滞阻，平台互联存在壁垒

全国范围内医疗数据标准统一难度巨大，按《紧密型县域医共体信息化功能指引（2025）》要求，应将检验及病历、影像资料的格式做统一安排，否则各医院系统间的数据依然是不能互通的孤岛，有关转诊或慢病连续治疗的规范就难以真正实行。

虽然国家已着手建立统一的健康信息共享平台，所涉各省的全民健康信息平台大体上都得到联通，但区域及层级之间有关医疗数据的流动依旧受到制度和科技双重阻碍，远程医疗无法在分级诊疗中担当枢纽角色。单靠高速传输手段不能根本解决数据碎片的问题，所得的临床效益和目前业界追求服务完整性、连续性思路并不完全契合。

（二）数字医疗信任危机，数据治理与AI责任制度滞后

远程医疗所依赖的身份类别及健康数据种类正迅速增多，而相关法律规范的发展相对滞后。目前尚无针对远程医疗数据作完整分类或按级管理的制度，特别在AI使用中，患者知情同意的落实仍有缺位现象，平台接入、第三方使用环节未完全闭合，有关责任归属尚不明朗，由此造成公众对线上健康观察、远程影像判断的怀疑，实际服务使用难以可持续发展。单靠隐私计算、加密一类的技术手段，并不能解决制度性信任缺口。技术转型期间配套治理滞后，医疗资源供给方合规难度加大，民众对数字医疗的信赖感存疑，进而影响其采用数字健康方式（用户行为要素）的情形。除此之外，基层医护人员工作负荷、绩效考核激励机制，同样是制约远程医疗常态化运行的现实约束，需要在制度设计层面统筹考量。

此外，受限于AI所涉模型泛化弱、多中心验证少、算法边界含糊、训练数据人群偏倚等基本缺陷，配合知情同意制度的不完善，技术安全落地和规模应用进展缓慢。从《医学与哲学》2026年数字医疗分析来看，我国至今没有制定AI诊疗争议分层处理办法，由算法黑箱引起的误诊、漏诊责任缺少统一判定标准，特别是当AI介入诊断时，技术安全落地或推广尚有较大困难。

（三）医保支付体系尚未健全，可持续运营机制缺失

医保支付体系目前尚不完整，是远程运营体系重构所遇到的主要限制。就现状而言，只有部分省份已尝试把部分远程问诊及影像会诊列入医保报销范围，全国多数省份没有建立起经常性、整体性的医保支付制。国家医保局已提出要各省落实“互联网+”有关的价格政策，但现实上线上医保只把线下额度作迁移，远程医疗本身的价值未获额外补偿。

目前所遇的状况使医疗机构缺少足够动力去发展远程医疗服务，有关平台的盈利方式尚不明确、收入有较大不确定性，患者也因自费而未必愿用。按此趋势看，远程医疗将较难避免“政策鼓励、市场冷遇”一类的问题，不能顺利走向规模、常态运行。长此以往，若没有把健康结果纳入支付考虑，那么远程医疗就很难由“降本增效”所用的手段发展为“价值创造”的重点[21]。已有学者指出对慢性病而言，“总额预算包干＋按人头付费＋绩效奖励”这类支付方式可资利用，应让医保和实际疗效同时得到体现。

（四）临床评价体系的结构性转型：从“过程统计”到“临床价值评估”

目前我国远程医疗行业所用的评估逻辑主要考虑服务人次或会诊数、有关设备的使用点这类过程性指标，尚不能对医疗效果、患者远期健康、治疗全过程的成本及人群整体健康做标准化、循证式归纳分析。从评价体系角度说，这种结构性不足恰好对应了医保新增支付、支付制度更精细安排及远程医疗大规模推广在基础层面所遇困境。

世界卫生组织（WHO）给出的远程医疗评估方法（MAST）把临床效果、病人满意感、经济因素、机构运行及社会文化伦理作为综合判断维度[22]。2025年数字健康干预所用的评价框架中补充说明，“证据”在数字健康软件质量的评估上是最基本的要素，其中“临床结局清晰定义”对各有关方（医疗机构、资金提供者、开发者）来说都是首要标准。系统综述研究显示，远程医疗确有可计算的健康益处及成本节约[23]。从39个随机对照试验（RCT）角度分析、涉及近1.4万病人的Meta研究已指出：远程医疗对慢性心衰的干预使全

因再入院率减少37%（OR=0.63），死亡率因心衰而下降31%（OR=0.69），而且对病人实际生活及自我管理都有明显促进作用。就老年人使用远程医疗的情况作系统考察时，所见单次干预的成本节省是223-3846美元之间的事，患者满意感又和面对面就诊基本一致[24]。由此可知，现在的学界和产业界对于数字健康的基本评价已由“能否连接”转为“能否产出可验证的临床价值”。该海外循证证据可为我国远程慢病管理提供重要参考，但面向国内人群的本土大样本、多中心随机对照证据仍然较为缺乏，亟待构建本土化临床证据库。

国内相关研究目前仍处于起步状态，有学者在远程肿瘤消融临床评估方案中报道，“技术赋能”和“患者安全”属于主要维度，财务类或健康结果类指标所占权重较小，这种状况在新式技术初兴期可视为“重技术、轻结局”的阶段性特征[25]。就新疆地区对1446名使用远程医疗服务的住院患者调查研究显示，94.16%的患者基本满意，93.50%的患者因而较有信心继续治疗，85.96%的患者确信疗效有较大提高[26]。但所用资料也指明远程医疗的能力与个体满意感未必完全一致，不能把主观感受当作医疗质量改善的充分证明。这里所说的“满意度与能力脱节”现象，一定程度上反映了现有评价方式过分倚重主观印象、缺少客观临床数据的系统性缺陷。

此外，以健康公平性为出发点来思考问题时，数字健康技术的价值不能只按正面意义予以判断，还应考察它是否促进或加重已知的健康不平等[27]。已有研究说明数字健康手段在社会各阶层、各年龄、各地域、各受教育程度的人身上未必同样有效，如无整体性的公平分析，远程医疗或许会间接造成“数字鸿沟”。就目前所用的评价方法来说，对老年人、农民及贫困慢病患者的远程医疗受益分析尚不够充分。在评估体系中应当纳入弱势群体可及性指标，防范技术迭代进一步拉大老年人、低教育水平、偏远人群的健康不平等。

综上，目前远程医疗评价对医疗质量、结果、成本效益及远期健康价值考量还在起步阶段，纵然已有较多技术使远程医疗获得现实支撑，但若制度上不同时取得进展，就难有真正的系统性协同，远程医疗无法由“连接可用”跃进到“服务可信、运行可持续”的成熟状态。基于我国实际，建议尽快建立有关临床疗效、患者安全、成本-效果乃至健康公平、使用便利性的综合价值判断标准，把现在各环节的障碍逐一打通，让医保按效支付、服务流程、资源安排有据可依，充分发挥远程医疗对配置优化、服务普及及健康中国建设的推动作用。

图 1-2 医疗体系重构的挑战

1.3 边界即起点，协同即未来

全球远程医疗的发展在起始期，围绕通信、AI及物联网相关技术做重点探索，把“异地能否连通”当作技术上要处理的问题；现在已整体处于医疗制度作系统性改造的时期，诊疗过程完整性、临床效果可测量性、支付链各环节的持续性都比单纯连接更受重视，是产业能否成功的关键性竞争优势。对现代数字卫生来说已有共识，远程医疗价值依托“技术创新×医疗制度×支付体系×临床流程×用户行为”来耦合，只靠某一方面进步不能促成行业长期而普遍的发展。

从欧盟将统一数据治理引入跨境服务流程、用制度手段带动数据安全共享开始；到日本重新安排老年临床步骤及长期照护资金使用、满足老龄化现实；又或者美国借市场保险促进远程医疗的稳定发展、解决效率或覆盖率问题；乃至中国以大规模实践探求质量提升，全球远程医疗所走的道路都已出现某种共同走向：数字技术只是医疗生态变革的辅助性工具，要达到公平、智慧、强韧的健康状态，应同时有治理顶层的设计、支付机制的持久性、临床各阶段配合及对用户有利的服务形态，不拘于地理、数据、制度、支付的限制，而由多种主体合作形成协同治理体系。“AI+数字化协同”发展，对远程医疗体系的更新及行业增量具有明显推动意义，是线上复诊、慢病家庭照护、复杂疾病多学科会诊的各类临床辅助流程可以依托的可行技术手段[28]。

未来的远程医疗，不仅是“看得见医生的”连接工具、实现异地问诊的技术工具，更是重构医疗价值链、重塑医患关系、重建公共卫生体系的战略支点。其核心竞争力将不仅取决于连接的广度与速度，更取决于服务闭环的完整性、临床价值的可验证性以及支付模式的可持续性。综合全球实践与中国现状，远程医疗的发展需超越单一技术视角，在技术创新、医疗制度、支付体系、临床流程与用户行为五要素的协同框架下推进系统性建设。唯有打破地理、制度、数据与信任的边界，推动多方主体共建共治共享，才能迎来一个更加包容、智能、韧性的全球健康新时代。

方法学说明：

目前两大国际产业咨询机构已就赛道统计的边界作正式说明：Grand View Research所述Telehealth市场，包含远程硬件、网络问诊、家庭慢病观察乃至全球数字医疗等各种形式；Markets and Markets只把临床诊疗用Telemedicine看作核心内容，将设备及培训、学术继续教育排除在统计外，又因所用预测年份、调查对象标准有别而无法完全比照，故2030年远期市场规模估计出现较大分野（Grand View Research，2024；MarketsandMarkets，2024）。本白皮书是用多种权威来源的资料做交叉分析，不对某类机构给出的市场规模做孤立接受，而是以两机构增速或区域分项来考察行业走势，把单一统计所限的结论可能性排除于判断之外。

远程医疗核心边界解析：冲突表现和数字化协同缺口

02

远程医疗的愿景是实现山海跨越和普惠可及，但在实际落地过程中，面临地域、数据、服务三重结构性壁垒。三者相互关联、逐级放大。地域界表现于物理空间，导致跨国协作与偏远地区连接不稳；数据界表现于系统底层，造成多源医疗信息流通不畅且安全风险加重；服务界表现于应用深层，使得优质资源难以真正下沉并转化为有效的诊疗能力。地理连接的中断直接导致数据无法实时汇聚，数据标准的割裂又从根本上削弱了AI算法与服务协同的效能，三者环环相扣，最终共同演化为远程医疗服务质量的巨大落差。本章将逐一剖析每一边界的冲突表现及其背后的数字化协同缺口，为后续“破界”方案的提出提供精准的问题锚点。

2.1 地域界：网络覆盖不均与跨域实时协同失效

地理距离与网络基础设施的差异，构成了远程医疗服务不可逾越的物理边界。在跨国协作与偏远地区支援与极端环境救援场景中，网络连接的稳定性与质量直接决定了医疗服务的可及性、可靠性和实时性。

跨国远程网络中断率高

- 在跨洲际的远程医疗协作中，网络中断是影响服务连续性的主要障碍之一。某跨国试点调研显示，局部网络中断、网络攻击以及网络不稳定等因素，会显著影响远程医疗方案的可用性。研究者同时提出，在大规模网络中断的情形下，往往需要转向短信、邮件或语音等低数据量通道作为应急替代，但此类方式仅能维持基础沟通，无法支撑影像传输、实时会诊等核心医疗业务的正常开展。

- **协同缺口：**

  虽然学术界已提出基于人工智能的网络流量预测与优化算法，但在实际跨国远程医疗网络中尚未规模化部署应用。网络链路缺乏感知能力，无法根据视频流、影像数据传输等不同业务的实时优先级，进行动态、智能的带宽分配与路由调整，导致有限网络资源难以向关键医疗业务倾斜。

偏远地区5G信号覆盖率低

- 尽管地面移动网络高速发展，但在山地、乡村等地区，信号覆盖仍存在显著空白。疫情期间某国农村地区的远程就诊数据显示，在3,962次远程就诊中，746次（18.8%）被评为“差”或“无法接受的质量”，其中116次（5.8%）会诊完全无法建立视频连接，并被迫改为电话会诊，诊疗信息的完整性与准确性因此大幅折损。

- **协同缺口：**

  当前技术体系下，地面5G高速网络与卫星广域覆盖网络之间衔接不足，且缺乏无缝切换与智能融合机制。当用户从城市5G覆盖区移动至偏远地区时，无法实现业务无感过渡，导致服务频繁中断，远程医疗的连续性保障存在系统性的技术短板。

极端救援视听联动模糊

- 在极端灾难救援等场景中（如地震、洪灾等），地面通信基础设施遭到破坏时，需依赖卫星链路维持基本通信。然而，卫星通信的带宽资源极为有限，图像/视频分辨率普遍低于720P；且传输延迟较高，使得视听传输质量难以保证。这些因素严重制约了后方专家对伤情细节的准确判断，使得远程精准指导难以实施。同时，原有通信系统的快速重构能力也同样面临严峻考验。

- **协同缺口：**

  当运营商网络中断后，现场通信系统需重新建立。卫星链路切换过程涉及设备重新配置、网络认证和协议转换，耗时较长且存在较高的失败风险。原有应用会话（如视频会诊）在此过程中往往被迫中断，前后端协同出现明显断层，难以实现“无感”切换与业务连续保障。

2.2 数据界：多源异构割裂与安全合规治理失衡

随着远程医疗从单一服务模式向全流程数据协同转变，物联网设备、医院内部系统及外部终端共同构成了复杂的数据生态系统。然而，数据标准的缺失、接口协议的碎片化以及安全防护的薄弱，正成为制约远程医疗智能化、平台化发展的关键阻碍。

物联网设备数据协议壁垒

- **设备接口多样化：**

  医疗物联网设备所采用的通信协议类型较为多样，包括RS232、RJ45、蓝牙、Wi-Fi、RFID等多种接口形式，在实践中容易形成彼此独立的“烟囱式”的网络架构。当前，生命体征监测设备主要依赖有线连接，而可穿戴设备和传感器则采用各类无线标准。这种多制式并存的现状显著增加了网络架构的复杂性，也为统一运维管理带来沉重负担。

- **协同缺口：**

  部分传统医疗设备在设计之初较少考虑联网需求，难以直接接入现有网络，其数据需要依靠手工录入电子病历系统，这一环节往往是信息丢失与人为差错的高发节点。同时，不同厂商、设备间的私有通信协议互不兼容，导致设备与应用间的互联互通面临根本性障碍，跨系统的数据协同难以实现。

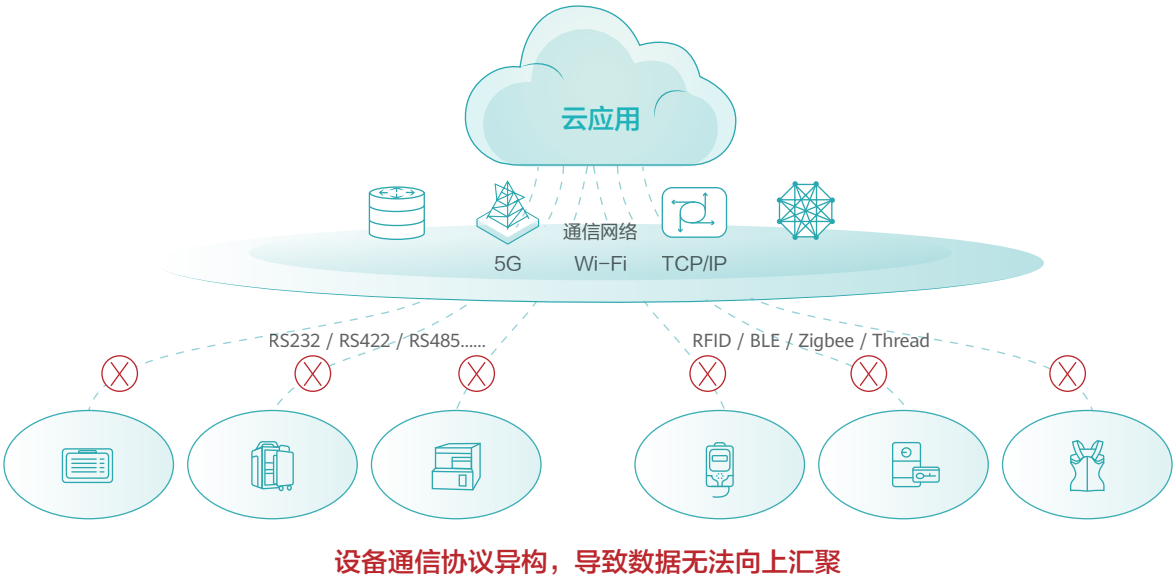


图2-1 海量医疗终端联网难

数据协议异构

- **协议不兼容与数据采集难题：**

  数据采集过程中，协议的异构性是一个较为突出的挑战。许多设备需通过特定指令交互获取数据，不同厂商的私有协议之间缺乏互通性，使得数据标准化工作难以推进。现有的采集方案多依赖独立的服务器或前置机，在移动性、安全性和统一管理上存在一定局限，难以支撑全院级乃至区域级的数据整合需求。

- **协同缺口：**

  设备掉线直接影响业务稳定性，特别是在手术室、ICU等高优先级场景中，任何通信中断都可能延误关键决策。面对复杂的射频环境，确保设备的稳定性和实时性对接入通道提出了更高的要求。此外，缺乏统一的物联接口标准，不同设备使用的API或私有协议（如HL7、Benelink、MEDIBUS等）差异巨大，未经语义解析的原始数据直接汇入数据中心，不仅难以被上层应用有效利用，还可能引入额外的安全风险。

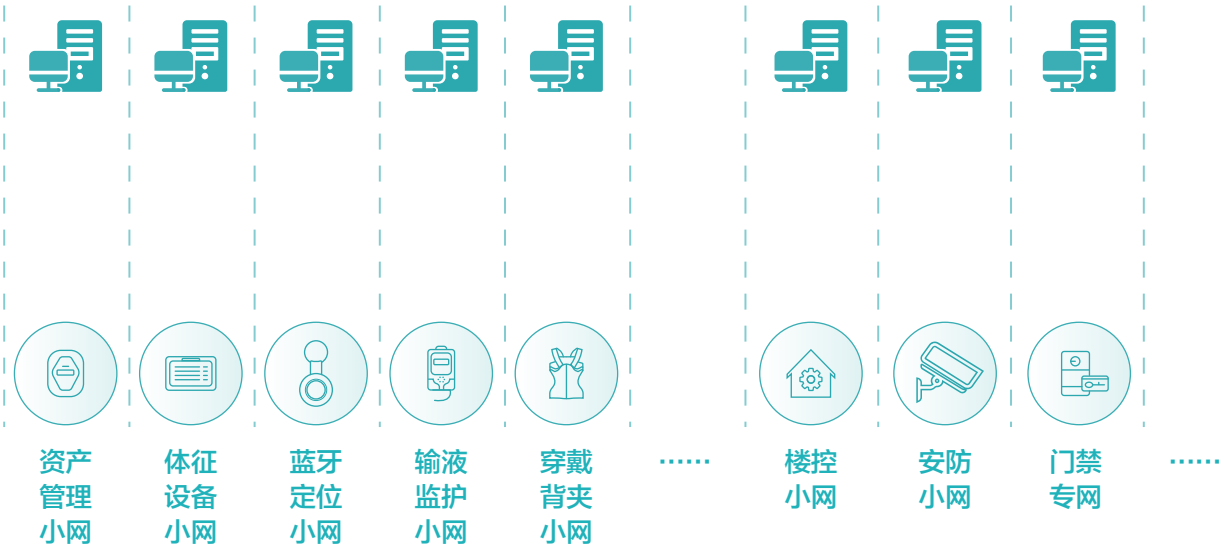
安全认证薄弱

- **网络安全防护不足：**

  传统的MAC地址准入控制已不足以应对现代医疗数据的安全需求，亟需引入“零信任”架构的纵深防御策略。同时，数据传输与存储过程中的加密强度不足、访问控制粒度粗糙，患者敏感信息面临泄露与滥用的双重风险，且数据溯源与隔离机制尚不健全。面对海量动态接入的物联网终端，传统人工运维模式已无法满足需求。医疗物联网系统承载着实时生命体征监测等关键任务，对网络的稳定性要求远超消费级物联网，因此需要实现智能化和自动化运维，以保证系统的安全和稳定。

- **协同缺口：**

  各协议接口安全认证能力参差不齐，缺乏针对远程医疗场景的数据分类分级标准。另外，应用过程中的患者知情同意机制不够健全，第三方平台接入的责任边界尚不清晰。上述问题不仅推高了医疗机构的合规成本，也持续影响公众对数字医疗服务的信任基础。



烟囱式系统 数据互通难

图2-2 烟囱系统导致设备数据互通难

2.3 服务界：优质医疗资源普惠协同与效能释放受阻

跨越地域的物理阻隔与数据的流通障碍后，远程医疗面临着更深层的问题，即“连得上、传得通”是否等同于“看得好、信得过”。当前，优质医疗资源的跨区域、跨层级共享仍面临协同机制不健全、帮扶模式不可持续、智能化应用受制于基础条件等多重困境，医疗服务能力尚未实现同质化供给，远程医疗的价值释放仍然任重道远。

常态化远程帮扶难以持续

- **常态化远程帮扶难以持续：**

  基层医疗机构对远程会诊、远程教学、远程查房等服务需求持续增长，但当前优质医疗资源下沉仍以阶段性帮扶和项目驱动为主，专家资源供给缺乏连续性，远程医疗服务难以形成常态化、长效化运行机制。

- **协同缺口：**

  现有远程医疗体系已具备基础互联能力，但跨机构医疗服务协同能力仍存在不足，专家资源智能调度、业务流程协同及服务闭环管理尚未形成统一机制，智能协同能力未能贯穿诊疗、教学、反馈等全流程，难以支撑优质医疗资源持续下沉和基层能力长效提升。

优质医疗资源普惠覆盖不足

- 跨区域医疗协同需求持续增长，但优质医疗资源在不同地区、不同层级医疗机构间分布仍不均衡，基层医疗机构在专科诊疗、疑难病例会诊及人才培养等方面资源获取受限，医疗服务可及性和均衡性仍有提升空间。

- **协同缺口：**

  现有远程医疗平台在跨区域资源共享方面，医疗资源普惠覆盖能力仍存在不足，多机构业务协同、多模态医疗数据共享及跨层级服务联动能力尚未充分建立，优质医疗资源难以实现精准配置、持续共享和规模化覆盖。

智能医疗应用受基础条件制约

- 随着智能辅助诊疗、远程带教、多模态融合分析等应用场景不断拓展，远程医疗对医疗数据质量、网络环境及终端设备提出了更高要求。不同地区医疗机构基础设施建设水平存在差异，导致智能医疗服务能力和应用效果参差不齐。

- **协同缺口：**

  现有远程医疗体系在技术支撑能力方面仍存在不足，医疗数据标准化与完整性有待提升，网络连接、终端设备及多源数据协同能力存在差异，制约了智能分析、多模态融合及沉浸式交互等能力的充分发挥，难以支撑远程医疗服务的规模化推广与同质化供给。

2.4 边界融合：边界冲突与AI数字化协同的交汇

当前，远程医疗已基本解决“有没有”的问题——网络覆盖与基础连接能力显著提升，但尚未解决“好不好”“稳不稳”“可持续”的核心瓶颈。正如世界卫生组织在《Recommendations on digital interventions for health system strengthening》中所指出的，数字健康干预措施的有效性不仅取决于技术本身的部署，更依赖于其与卫生系统现有流程、人力资源和治理结构的深度融合。单纯的技术叠加无法转化为服务质量的提升，反而可能因数据割裂、标准缺失和协同不足而加剧系统碎片化。

回顾前三节所剖析的边界冲突，可以发现其本质是同一问题的不同侧面：地域界暴露了物理距离对服务可及性的刚性约束；数据界揭示了信息孤岛与隐私保护之间的深层张力；服务界则凸显了AI应用不均衡所导致的服务质量分化。这三重边界并非孤立存在，而是相互交织、彼此强化。地域连接的不畅限制了数据的流动，数据割裂又阻碍了AI模型的训练与优化，而AI能力的不足反过来又制约了远程服务的提升。由此形成了一个“边界锁定”的恶性循环：技术越不协同，边界越难突破；边界越固化，协同成本越高。

打破这一循环的关键，在于从“单点突破”转向“系统协同”。AI数字化协同并非简单的技术叠加，而是一种全新的服务范式：它以数据为纽带，以算法为引擎，以机制为保障，将分散的医疗资源、割裂的信息系统和异构的服务场景整合为一个有机整体。世界卫生组织的建议框架同样强调，数字健康干预应遵循“系统性设计”原则，即在技术选型、数据治理、人力培训和监管适配等多个维度同步推进，而非孤立部署单一工具。这一理念为远程医疗的下一阶段发展指明了方向：核心瓶颈已由网络覆盖逐渐转向智能协同能力，AI因此成为破局的重要变量。

AI数字化协同的使命，在于打通三重边界之间的逻辑闭环，并以此为牵引，构建一套系统化的破界路径。

- 通过云化部署与灵活接入，实现智能路由与动态调度，突破地域限制，确保偏远与跨国场景下的服务可及性；
- 通过统一互联与协同监管，构建标准化数据治理体系，为联邦学习与隐私计算提供制度与架构支撑，弥合数据鸿沟；
- 通过智能赋能与精准服务，依托AI辅助诊断、质控模型与大数据分析，缩小服务的差距，提升基层诊疗决策能力；
- 通过服务全球与开放互联，将远程医疗平台打造为“健康丝绸之路”的关键数字基础设施，推动中国方案高质量“走出去”。

唯有如此，远程医疗才能从“可及”走向“可信”，从“可用”走向“好用”，真正实现与线下服务同质化的终极目标。这也正是下一章将要系统阐述的核心议题：第三章“数字化协同破界路径：AI驱动的技术与机制创新”，将围绕云化部署、统一互联、智能赋能、服务全球四大维度，构建一套可落地、可复制的远程医疗数字化协同体系，从而跨越“同质化边界”，迈向高质量、可持续的远程医疗服务新阶段。

数字化协同破界路径：AI驱动的技术与机制创新

03

为深入贯彻落实国家关于“健康中国2030”和“数字中国”建设的战略部署，远程医疗平台应严格遵循国家统一的规范与标准，高效整合并共享国家及地方优质医疗资源，构建信息互通、系统互联、服务协同、跨域融合的远程医疗综合服务体系。将有效推动边远地区和农村基层医疗卫生服务能力与质量的整体提升，切实缓解群众“看病难、看病远”问题，助力实现优质医疗资源的普惠可及。

基于上述目标，本白皮书提出的远程医疗平台应围绕以下四大核心维度开展建设：

1.云化部署，灵活接入

平台应采用统一的云原生视频会议架构，具备弹性扩容、智能负载均衡与高可用性能力，支持按需动态调配计算与网络资源。顶层平台为跨省互联互通设计，全面兼容H.323、SIP等国际主流通信协议，确保与各市、县现有远程医疗二级平台无缝对接。同时，平台应支持移动软终端、Web端视音频等多种新型接入方式，以满足多场景、多终端下的远程会诊、教学与协作需求，并为未来业务拓展预留充分的技术接口。

2.统一互联，协同监管

平台应着力打通省、市、县、乡、村五级远程医疗网络，实现与全国各级既有远程医疗系统的标准化互联，构建覆盖全域、上下贯通的分级诊疗支撑体系。系统设计需充分考虑多厂商异构环境下的互联互通，实现资源可视化调度、服务质量监测、运行状态监管等一体化管理。平台须采用高可用、高安全、高可靠的技术方案，确保提供7×24小时不间断、稳定、合规的远程医疗服务。

3.智能赋能，精准服务

平台应深度融合人工智能、大数据等先进技术，构建智能化远程医疗服务体系。支持AI辅助诊断、智能分诊导诊、病历结构化提取、医学影像智能分析等功能，以提升基层医务人员的诊疗决策能力；如通过AI大模型技术实现会诊记录、电子病历的自动生成与归档，减轻医务人员事务性负担，另借助大数据技术实现对区域疾病谱、会诊需求趋势进行科学预测分析，优化专家资源供给。平台应具备持续学习与迭代升级能力，推动远程医疗服务向更高水平的智能化、精准化方向持续演进。

4.服务全球，开放互联

平台建设应积极响应国家“一带一路”倡议，将远程医疗平台打造为“健康丝绸之路”的关键数字基础设施。面向海外提供跨国远程医学交流、国际会诊、远程培训等多元化服务。国外医疗机构可通过符合安全规范的国际互联网通道接入远程医疗平台，平台应兼容主流国际视讯设备厂商的标准，具备海量用户并发接入能力，并开放标准化API接口，以支持各级平台在预约管理、资源调度、业务集成等方面的统一协同，助力我国远程医疗能力高质量“走出去”。

3.1 技术协同是“破界基础”：远程医疗系统关键技术

图 3-1 远程医疗平台逻辑架构

远程医疗平台的逻辑架构如上图所示，自下而上依次为基础设施层、网络层、业务平台层、应用层和场景层，各层协同支撑平台整体能力的实现。

基础设施层：构建“端－边－云”协同的智能底座

基础设施层应采用“端－边－云”协同的设计理念。端侧设备作为数据采集的触角，包括各类医疗专业采集设备、物联网终端、音视频会议终端等，确保提供高质量的数据来源；边缘侧在区域中心或医疗机构本地部署计算节点，承担影像分析、远程会诊等低时延、高实时性业务的本地化处理，保障关键服务的响应确定性；云侧提供弹性可扩展的算力、存储与AI训练资源，支撑大规模数据汇聚、模型迭代与全局资源调度。

三者深度融合，形成“端侧感知、边缘决策、云端进化”的协同机制，为远程医疗提供高可靠、低时延、强智能的基础设施支撑。

网络层：打造“公专互补、天地一体”的融合网络

网络层应构建运营商移动网络与医疗专用网络互补、空天通信融合的一体化连接体系。运营商移动网络（5G/5.5G）作为广域调度的高速通道，支撑跨区域专家协同、移动急救等灵活业务，提供高带宽与广覆盖能力；医疗专网通过网络切片、端到端加密与服务质量（QoS）保障，确保远程手术、重症监护等核心业务的数据隔离、传输安全及操作稳定性；此外，建议将卫星通信等空天链路纳入整体网络规划，作为地面网络在偏远地区、应急响应或特殊场景下的有效补充。通过多网融合，实现全域无缝覆盖、高可用性与低时延的通信能力，彻底消除远程医疗的通信盲区。

业务平台层：打造集约化、开放化的能力中枢

业务平台层是整个架构的核心，须具备良好的开放性与可扩展性，支持第三方能力的快速集成。建议将音视频协作、数据协作、安全管控和AI能力进行平台化整合，通过统一接口打破系统间的数据壁垒，促进信息共享与业务协同，并依托数据安全与AI服务能力，全面提升体系的运营效率与安全标准。

应用层：面向多角色提供场景化工具

应用层应聚焦医生、患者、管理人员等不同用户角色的实际需求，开发一系列轻量化、易用性强、贴合业务流程的场景化应用工具，例如互联网医院、AI辅助诊疗工具等，以提升远程医疗服务的整体效率与质量。作为平台价值的直接体现，应用层的设计需紧密围绕“提升效率、优化体验”的核心目标。

场景层：高价值场景驱动技术与业务深度融合

建议优先聚焦远程会诊、移动急救、手术示教、慢病管理、基层培训等高频、高价值应用场景。通过在真实场景中的部署与验证，不仅可检验架构的合理性与适应性，更能直观展现远程医疗在打破地域限制、优化资源配置、提升基层能力等方面的综合效益。同时，场景层作为直接的反馈来源，可以驱动平台持续迭代与优化升级。

综上，本参考架构提出的五层逻辑体系，旨在为远程医疗平台建设提供一个清晰、可扩展、可演进的技术框架。该架构强调系统性整合与开放协同，通过基础设施融合、网络泛在连接、平台能力沉淀、应用敏捷创新与

价值场景落地，逐步构建一个资源可协同、数据可流动、服务可智能、体验可优化的智慧医疗新生态，有效支撑医疗服务模式向“以患者为中心”的范式转变。

3.1.1 远程音视频协作：高保真、低时延与智能韧性技术

视频技术：从“看得清”到“看得真”的维度拓展

远程医疗对视频技术的核心要求，是在跨越空间的同时，实现临床视觉信息的高保真还原。这一目标正经历从基础清晰度向真实感知能力的系统性跃升，体现为三个递进层次：

- **超高清画质与高效传输的融合**

  依托H.265/HEVC等先进编码标准，结合 AI 超分辨率图像增强等技术，平台可在有限带宽下稳定传输4K超高清影像，并显著提升边缘锐度与色彩还原度，满足病理、皮肤科等对微细结构高度敏感的远程诊断需求。

图 3-2 AI超分技术

- **医学影像动态范围的真实还原**

  通过高动态范围（HDR）技术，突破传统影像在亮部过曝或暗部欠曝的局限，精准呈现X光、MRI等影像中的关键细节，有效降低因视觉信息缺失导致的误诊风险，提升远程阅片的准确性与可信度。

- **从二维平面到三维空间的感知升维**

  借助裸眼3D显示、多视角采集与AI深度重建技术，结合空间音频，构建具有真实深度感与方位感的沉浸式交互环境。为远程手术指导、康复评估等依赖立体视觉的专科场景，提供从“平面”到“空间”的转变提供支撑，极大增强远程诊疗的临场感与操作可靠性。

音频技术：筑牢临床沟通的“高保真生命线”

在远程医疗中，音频的连续性与清晰度直接关乎诊疗安全，是远程协作最核心的技术根基。任何语音中断或失真都可能影响诊断判断或操作指令传达，因此需构建覆盖采集、传输到应用的全链路高可靠音频体系：

- **智能拾音，精准捕获核心语音**

  通过波束成形等麦克风阵列技术，在复杂临床环境中动态聚焦发言者声源，有效抑制医疗设备噪声、环境交谈等干扰，能够保障关键医患对话在嘈杂场景下仍被清晰、完整地采集。

- **抗损传输，保障语音连续可用**

  面对网络丢包、抖动等常见问题，系统应融合前向纠错（FEC）、丢包隐藏（PLC）等多重机制，在接收端智能恢复或补全受损语音，避免断续、爆音等影响沟通质量的现象，实现“听得清、连得上”的基础保障。

- **场景感知，实现声学空间智能管控**

  借助智能音幕技术，可自定义拾音区域，仅收录会诊区域内对话，自动屏蔽区域外敏感语音或背景噪音。不仅强化患者隐私保护，更实现对远程沟通环境的“声学净化”，提升专业性与专注度。

图 3-3 智能音幕示意图

网络技术：从“基础连通”迈向“智能韧性”

面对一院多区、跨域协同的新格局下，网络不仅是连接通道，更需成为具备感知、调度与自愈能力的智能基础设施：

- **网络智能感知与自动调度**

新一代医疗网络应具备“视网联动”能力，通过Wi-Fi 7、AI辅助识别等智能接入点动态识别远程会诊、手术示教等高优先级音视频流，自动分配带宽并抑制非关键业务（如文件下载、网页浏览），从源头避免卡顿；同时，结合IPCA等随流检测技术，实现对跨院区音视频质量的毫秒级监测与故障快速定位，确保服务连续可用。

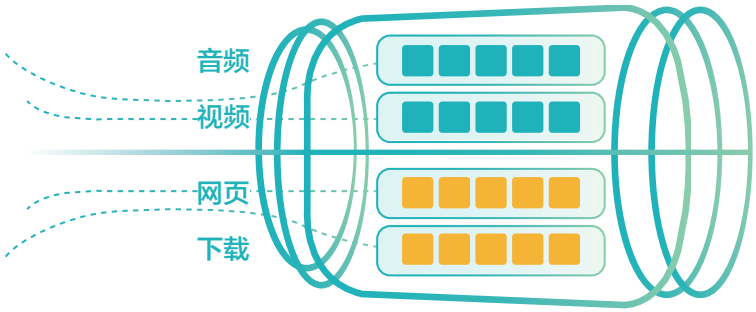


图 3-4 视网联动：音视频切片，VIP专属通道

- **端到端的韧性抗损能力**

针对IP网络固有的丢包、抖动与拥塞问题，需构建网络的韧性保障机制：在轻度丢包场景下启用ARQ重传，在高丢包或高抖动环境下则协同运用FEC前向纠错、智能降速与接收端图像修复（如SEC 3.0技术），即使在网络条件恶劣（如20%丢包率、1000ms抖动）时，仍能维持视频会议的基本连贯性与诊疗可用性。

- **跨网环境下的安全无缝互通**

在医疗专网与互联网并存的复杂架构中，通信常受防火墙、NAT等策略限制。通过H.460协议与会话边界控制器（SBC）的协同部署，可在网络边界实现信令与媒体的安全穿透与智能转发，打通私网与公网间的通信壁垒，支撑任意终端、任意地点间的安全、稳定、合规互联互通。

3.1.2 多云会议融合：打造开放互通、全球协同、安全可信的远程会诊底座

随着医学研究与临床实践的全球化深入，远程医疗的核心场景已从院内协作拓展至跨国专家会诊、国际医疗救援及面向基层的常态化技术帮扶。这些场景的核心诉求，是能够随时、随地、安全可靠地连接全球优质医疗资源。然而，各国技术标准差异、跨境网络质量波动、数据隐私法规严苛等挑战，构成了显著的协同壁垒。为此，亟需构建以“多云融合”为基石的新一代音视频协作体系，支撑高效、可信、无缝的全球医疗协同。

- **开放互通，打破系统异构壁垒**

  面对医疗机构广泛存在的多品牌、多云会议平台“孤岛”现状，应基于国际开放标准（如H.323/SIP），兼容主流音视频编解码（如H.265、Opus、AAC-LD），并通过协议网关与云间互联机制，实现跨厂商、跨云服务的信令互通与媒体转换。各机构可在保留现有系统的基础上，无缝接入全球协作网络，从根本上解决协同入口碎片化问题。

- **智能传输，保障跨国实时体验**

  跨国广域网普遍存在高延迟、高丢包等不确定性，应构建“云-边”协同的智能媒体网络，在边缘节点完成视频降噪、智能压缩等预处理；在云端依托SD-WAN与智能路由，动态选择最优传输路径。同时，借助端到端QoS感知能力，实现网络状态自适应调整分辨率与码率（如1080P→720P），优先保障语音清晰度与视频流畅性，确保关键诊疗信息连续传递。

- **纵深防御，筑牢跨境安全信任**

  跨境传输中的音视频流与病历数据面临泄露、篡改等合规风险。应实施覆盖“信令—媒体—存储”全链路的安全策略：信令采用TLS加密，媒体流使用SRTP保护，并根据区域监管要求，灵活融合国密算法（SM2/SM4）与国际加密标准。同时，通过网络切片技术，在共享物理网络上为远程医疗业务划分专用逻辑通道，实现从接入到核心的端到端隔离，构建高可信的安全屏障。

展望未来，多云会议融合架构将持续向智能化、自动化演进：AI驱动的网络质量预测可提前规避传输风险，算网一体技术将进一步降低调度时延，区块链技术能够进一步保障数据主权与患者隐私。医院在规划远程医疗体系时，应将多云会议融合能力纳入顶层设计，避免形成新的封闭生态，并将其视为提升国际影响力、构建开放式医联体的核心数字基础设施，进行长期投入与迭代。

图 3-5 远程医疗

3.1.3 医院物联网：构建一体化智慧服务新范式

医疗物联网（IoMT）作为支撑远程医疗连续性健康数据的关键桥梁，通过泛在感知、实时互联与智能协同，为远程医疗注入了数据深度与服务韧性。与AI技术的深度融合，不仅解决了传统远程诊疗中“数据缺失、响应滞后、基层能力不足”等核心痛点，更推动医疗服务向“主动预警、精准干预、全域协同”的新阶段跃升。

- **统一物联接入，夯实远程医疗的数据底座**

  当前院内外医疗终端通信协议高度碎片化——病房监护仪多采用RS232/RJ45有线接口，可穿戴设备依赖蓝牙或Wi-Fi，环境传感器则使用Zigbee或RFID，形成“七国八制”的接入困境。若为每类设备单独部署网关，将导致网络架构复杂、运维成本高企。为此，应构建以Wi-Fi 7多频融合AP为核心的“All-in-One”无线接入层，在单站点集成多种IoT射频模组，并支持通过CPE（客户终端设备）将传统有线设备（如输液泵、心电图机）无缝转接至统一IP网络。该架构实现全类型终端“一网承载、即插即用”，为远程医疗平台提供结构化、标准化、高时效的多源数据流，从根本上解决前端数据“采不到、传不稳、对不准”的问题。

- **无感智能感知，拓展远程监护的时空边界**

  传统远程监护依赖患者主动操作或接触式设备，易因依从性差、线缆束缚等问题造成数据中断，难以支撑术后康复、老年慢病、居家养老等连续性场景。以毫米波雷达、非接触式射频为代表的新型感知技术，可在不干扰患者休息、活动或睡眠的前提下，持续捕获呼吸、心率、体动、跌倒等关键生命体征。此类“无感监测”能力，特别适用于家庭、社区及偏远地区，医生即便不在现场，也能获得连续生理数据的实时监测。结合超高清视频与AI分析，显著提升远程诊断的可靠性与干预及时性。

- **业务智能闭环，驱动远程服务从“会诊”走向“照护”**

  物联网的价值不仅在于数据采集，更在于与临床流程的深度联动。例如，当智能输液泵监测到流速异常或药液即将耗尽，可自动触发告警并同步至护士站及远程专家端；可穿戴设备检测到房颤风险，系统可立即推送预警至家庭医生，并自动预约上级医院远程复诊。在此过程中，远程医疗不再是孤立的“一次会诊”，而是嵌入由物联网驱动的“监测—预警—干预—随访”全周期服务链。通过业务切片技术为不同物联应用分配专属带宽与QoS策略，确保急救设备、生命体征流等关键数据在跨域传输中低时延、高可靠，真正实现防患于未然。

3.1.4 智能算力底座：构建面向医疗场景的AI全栈赋能体系

AI算力在医院智能化转型的进程中已从辅助工具升级为核心基础设施，成为支撑医学影像分析、临床决策

支持、远程会诊辅助等关键技术核心。近年来，国家有关部门持续推进人工智能在医疗健康领域的创新应用，在政策指引下，医疗AI已在临床诊疗、医院管理、公共卫生、居民健康服务等多个维度形成众多典型应用场景。这些场景的规模化落地，对算力基础设施的可靠性、弹性扩展与智能调度能力提出了系统性要求。为此，医院亟需构建一个技术先进、架构开放、可持续演进的AI全栈使能架构，其能力演进体现为四个协同层级：

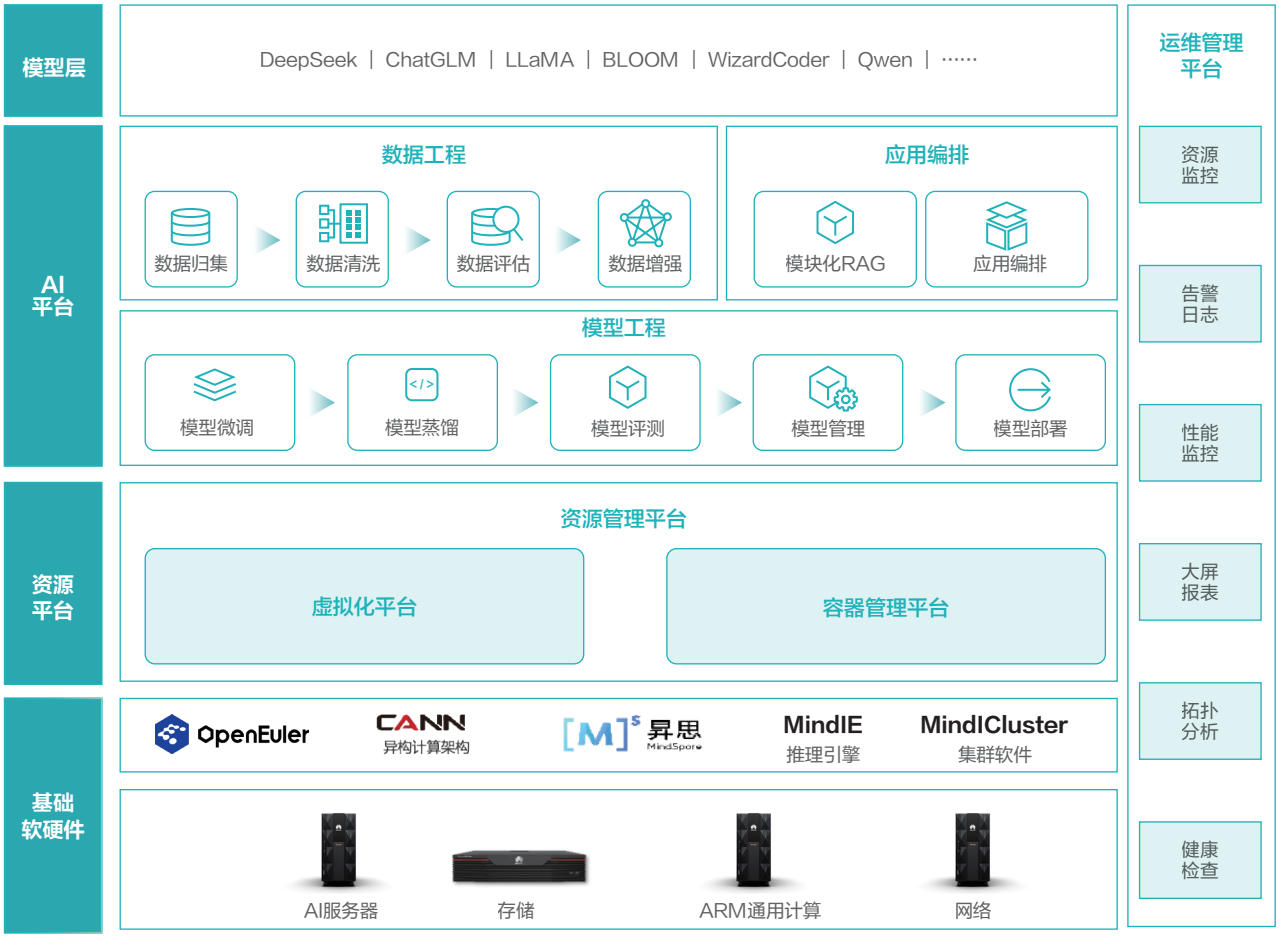


图 3-6 智慧医院物联网络架构

- **融合资源池化，夯实异构算力基础**

  基础软硬件层采用超融合架构，将通用计算（用于HIS、EMR等传统业务）、异构加速算力（GPU/NPU服务器，支撑模型训练与推理）、多协议统一存储（兼容块、文件、对象存储，实现DICOM影像、病理切片、音视频等多源数据池化）与智能网络（基于SDN与RDMA等技术保障低时延数据流通）深度融合，形成可按需分配、弹性伸缩的“算力+存储+网络”一体化资源池，为上层AI应用提供稳定、高效的物理承载。

- **智能调度使能，实现资源高效协同**

资源使能层需通过虚拟化与云原生技术，实现异构资源的统一纳管与动态调度：通用算力以虚拟机形式支撑稳态业务，AI算力则依托Kubernetes容器平台进行细粒度编排，满足模型训练高并发、推理低延迟等差异化需求。该层应支持跨节点资源池共享、GPU切分与QoS保障，确保在有限算力下优先保障远程会诊、急诊预警等关键AI任务的资源供给。

- **全周期工具链，加速医疗AI开发落地**

AI工具链层是连接数据与业务的核心枢纽，应覆盖“数据—训练—部署—集成”全生命周期：

数据工程环节

支持对DICOM影像、电子病历、会诊音视频等多模态医疗数据的自动化清洗、智能标注（如CT序列连续标注）、版本管理与质量监控；

模型工程环节

集成分布式训练、自动超参优化、模型压缩与评估能力，并内置医学预训练大模型，降低专科AI开发门槛；

应用编排环节

支持将训练完成的模型一键发布为高可用推理服务，并通过低代码方式嵌入远程会诊、报告生成、质控审核等业务流程，实现“模型即服务”（MaaS）的快速业务闭环。

- **场景化模型库，驱动业务智能升级**

模型层是AI价值落地的关键载体，应构建体系化的医疗AI模型仓库，涵盖三类核心能力：

  - 专科诊断模型（如肺结节CT识别、眼底病变筛查）；
  - 临床辅助模型（如基于NLP的病历质控、诊疗方案推荐）；
  - 运营优化模型（如急诊流量预测、药品库存预警）。

这些模型通过标准化API与医院核心系统深度集成：在远程诊疗平台中提供实时影像辅助，在医生工作站推送个性化决策建议，在药事系统中优化供应链管理等能力，不断提升诊断精准度、保障用药安全、优化资源配置的核心业务效率。

智能算力底座将持续向“端边云协同、训推一体、自治运维”方向演进。医院应在顶层设计中预留架构开放性与生态兼容性，支持与现有远程医疗平台、区域健康信息平台无缝对接，并通过统一智能运维平台实现全栈可观测、可治理、可进化。

3.1.5 医疗智慧应用：AI赋能医-患-管三方协同场景

医疗智慧应用是医院场景化落地的关键载体，基于3.1.4开放的AI技术架构，医院应围绕医生、患者、运维三大核心角色，构建深度融合业务流程的AI智慧应用体系。

赋能医生：打造辅助临床决策与协同诊疗的AI医学助手

以AI技术为核心引擎，AI医学助手应实现从“被动服务”到“主动赋能”的跃迁：

- 主动知识推荐：基于医生诊疗行为分析，自动推送相关指南、药品警示与典型病例，实现“知识找人”；
- 结构化报告解读：对影像报告、文献等非结构化内容，自动提取关键信息，支持结论溯源；
- 辅助诊断生成：结合患者主诉与检查结果，基于知识图谱推理生成鉴别诊断与治疗方案建议，深度融入临床决策流程。

在远程多学科会诊（MDT）、跨国医疗或上下级医院协作场景中，AI进一步强化协同服务：

- 支持多语种实时翻译与说话人分离，保障跨区域、跨方言沟通无障碍；
- 自动生成结构化会议纪要，并一键归档为标准化会诊病历，纳入患者电子健康档案；
- 基于讨论内容智能关联相似病例、最新指南与诊疗规范，将视频会诊升级为知识驱动的集体决策平台，显著提升基层诊疗能力。

在影像领域，AI辅助阅片应支持多病种、多模态（CT/MRI等DICOM数据）的高敏感初筛、病灶量化（如结节体积变化率）与结构化报告生成，显著提升放射科效率并降低漏诊风险。同时，AI电子病历工具应融合相关医学本体，通过语音转写与语义理解，自动生成术语规范、逻辑完整的病历，并实时核查内容合理性（如诊断与用药匹配性）。

图 3-7 AI辅助医疗

服务患者：构建覆盖全周期的主动健康助理

以患者为中心的AI健康助理，具备覆盖“预防—筛查—诊断—治疗—康复”的连续性健康管理闭环能力，同时支持上下文感知与多轮对话管理能力，确保交互自然、服务连贯：

- 诊前精准分诊：通过多轮对话理解患者口语化描述，智能匹配科室与医生；
- 诊中便捷引导：提供院内导航、候诊时长预测等无感服务；
- 诊后个性随访：基于个人健康档案与行为预测模型，为慢病患者自动推送康复计划、用药提醒与风险预警，推动服务从“被动治疗”向“主动健康”转型；
- 计划落实追踪：基于康复穿戴设备以及无感采集心率、血氧、运动轨迹及睡眠质量等核心体征数据，精准评估患者居家康复的依从性与实际效果，辅助医生远程介入并动态优化康复方案，彻底打通院内治疗与院外康复的数据与服务闭环。

支撑运维：实现从被动响应到主动预测的智能中枢

面对医院IT系统复杂度激增，智能运维（AIOps）平台应成为保障业务连续性的核心支撑，依托iPCA等随流检测技术，实现音视频等关键业务流的毫秒级质量监测与故障精准定界；基于无监督学习对日志、指标、链路数据进行异常检测；结合网络数字地图，对用户体验、应用性能、基础设施状态进行多维可视化与根因分析；进而实现潜在故障的预测性告警与部分场景的自动化自愈，将运维模式从被动响应升级为主动预测。

综上，新一代AI智慧医疗应用的本质，是技术能力与业务价值的深度融合。医院应统筹推进面向三类角色应用场景的能力建设，避免功能碎片化。该体系不仅是提升当前服务效率的利器，更是构建未来数字化核心竞争力的战略性资产，为高质量远程医疗与智慧医院发展提供持续动能。

3.1.6 数据安全和隐私保护：合规架构与防泄漏机制

数据安全与患者隐私保护是远程医疗高质量发展的核心基石，直接关乎医疗质量、机构声誉与法律合规。远程医疗平台需构建覆盖“设备-网络-业务-管理”四维一体的纵深防御体系，实现“攻不破、拿不到、可追溯”的目标。

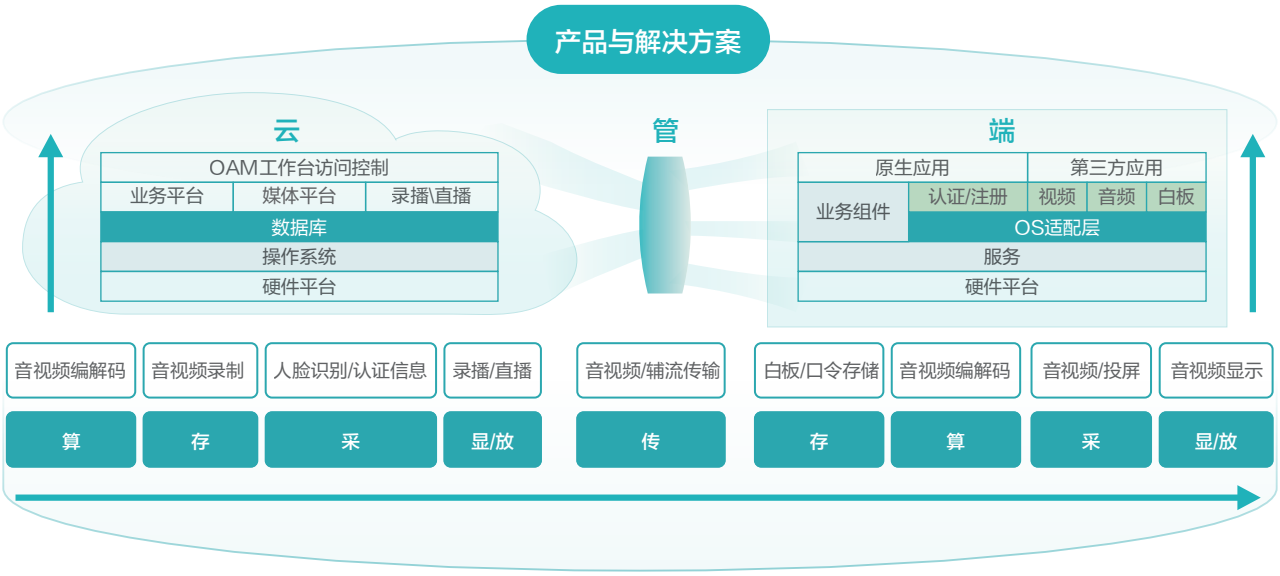


图 3-8 远程医疗平台建设安全逻辑架构

设备安全：守住纵深防御的初始关口

平台侧应支持多因素认证（如数字证书、动态令牌、生物识别），确保用户身份真实可信；终端侧需具备从硬件信任根（Root of Trust）出发的安全启动链，保障系统固件与软件完整性。对本地缓存的病历、通讯录等敏感数据，应实施加密存储与沙箱隔离；同时，对USB、Wi-Fi、蓝牙等外设接口进行策略化管控，防止数据非法导出或恶意注入，确保“终端可信、数据可控”。

网络安全：构建分层分区的弹性边界防线

系统应采用安全域分层设计，将核心业务服务器部署于受防火墙严格隔离的内部专用区域；在互联网边界及DMZ区，部署下一代防火墙（NGFW）、Web应用防火墙（WAF）及抗DDoS系统，有效识别并阻断外部攻击。对于终端接入，应通过802.1X与EAP-TLS协议实现网络准入控制（NAC），对设备身份与安全状态进行合规性验证，防止未授权或高风险终端接入核心网络。

业务安全：筑牢核心医疗数据的防护屏障

平台应对远程会诊中的音视频流实施端到端加密（如SRTP），信令通道采用TLS加密与双向数字证书认证，确保问诊过程防窃听、防篡改；对电子处方、诊断报告等静态与传输中数据，应基于国密算法或AES算法进行加密存储，并通过HTTPS安全传输。同时，集成数字水印技术（如音频隐形水印、视频显性水印），在不影响用户体验的前提下，为内容溯源、泄密追踪与司法举证提供技术支撑，强化业务数据的完整性与可审计性。

图 3-9 音频水印解决方案

管理安全：建立全生命周期的安全运维闭环

应遵循“事前认证、事中控制、事后审计”原则，构建体系化管控机制：事前实施强口令策略与防暴力破解措施；事中基于RBAC（基于角色的访问控制）模型实现细粒度权限管理，并配置操作超时自动注销；事后完整记录用户、时间、源IP及操作行为日志，支持合规审计与事件回溯。同时，参照CIS安全基线对服务器、数据库进行加固，并建立覆盖漏洞扫描、补丁管理、应急响应的闭环运维流程，确保平台持续处于安全基线之上。

通过上述四维协同、纵深联动，远程医疗平台可实现从网络边界到业务核心、从云端传输到终端存储的全链路安全保障。不仅满足国家相关政策法规要求，更能支撑跨国远程会诊、多云协同、物联终端接入等创新场景的安全合规落地。

3.2 机制协同是“破界保障”：从技术割裂到架构共生的顶层设计

3.2.1 政策体系持续完善，奠定远程医疗制度基础

远程医疗的高质量发展，离不开国家层面持续强化的顶层设计与制度供给。自2015年起，我国将“互联网+医疗健康”纳入国家战略，逐步构建起覆盖准入、服务、监管、支付全链条的政策框架。早期政策以鼓励探索为主，如2015年《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》首次提出发展在线医疗与跨医院数

据共享；2016年《“健康中国2030”规划纲要》进一步强调建设人口健康信息服务体系，推动健康医疗大数据应用。

2018年成为制度化建设的关键节点。国务院办公厅印发《关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见》，明确二级以上医院需在2020年前实现线上服务全覆盖；国家卫健委同步出台《互联网诊疗管理办法（试行）》《互联网医院管理办法（试行）》《远程医疗服务管理规范（试行）》，首次系统界定互联网医院的法律地位、与实体医院的关系、诊疗准入程序及责任边界，为行业“合法化、规范化”扫清障碍。

进入“十四五”时期，政策重心从“建平台”转向“强协同、促普惠”。2022年《“十四五”全民健康信息化规划》明确提出推动远程医疗覆盖所有医联体和县域医共体；2023年新版《医疗卫生机构信息化建设基本标准与规范》对远程医疗系统的音视频质量、数据安全与互操作性提出强制性技术要求；2024年国家医保局启动“互联网+”医疗服务医保支付政策优化，探索将远程会诊、慢病管理等服务纳入医保报销范围，为可持续运营提供关键支撑。

这一系列政策层层递进，从鼓励创新到规范发展，再到系统集成与制度保障，为远程医疗从“应急补充”走向“常态服务”奠定了坚实基础。

3.2.2 标准整合破解割裂困局，构建统一技术生态

尽管政策框架日益完善，远程医疗在落地过程中仍面临“技术割裂”的现实挑战：不同厂商平台互不兼容、基层设备接入困难、医院间数据无法互通，导致服务碎片化、质量难评估、资源难共享。问题的根源在于标准体系的分散与滞后。要实现规模化、高质量发展，必须推动标准整合，构建覆盖服务、数据、接口、安全、评估全链条的统一技术生态。

当前，我国已在多个维度推进标准建设。在服务规范方面，《远程医疗服务管理规范（试行）》明确了服务范围、人员资质与责任划分；在数据标准方面，国家正加快推广HL7 FHIR、ICD-11、LOINC等国际通用术语体系，并制定《电子健康档案基本数据集》等国家标准，解决“同病不同码、同检不同名”的语义不一致问题；在技术接口方面，《医疗物联网设备接入技术要求》《远程医疗音视频通信技术规范》等文件为终端设备与平台的即插即用提供依据；在安全合规方面，依托《个人信息保护法》《数据安全法》及等保2.0要求，远程医疗系统需实施端到端加密与访问控制；在质量评估方面，《医院智慧服务分级评估标准》已将远程服务能力纳入医院评级体系，形成“建有标准、评有依据”的闭环机制。

3.2.3 标准驱动实现架构共生，释放资源协同效能

标准整合的价值，不仅在于技术互通，更在于推动服务模式协同的质变。这种由标准驱动的“架构共生”模式，显著降低系统对接成本，提升服务的一致性、可及性与可复制性，当数据语义统一、接口协议开放、服务流程规范，远程医疗便能真正实现跨机构、跨地域、跨场景的高效协同。

面向未来，远程医疗的深化发展亟需以标准整合为纽带，强化多部门协同治理机制，建立远程医疗标准统筹协调机制，加快制定覆盖远程会诊、远程监护、AI辅助诊断等全场景的服务质量评价、设备认证与数据治理国家标准。

唯有通过机制协同打破制度壁垒、技术壁垒与利益壁垒，以标准整合打通“制度—技术—服务”的任督二脉，才能真正实现从“技术可用”到“服务可信”、从“局部联通”到“全域协同”的跃迁，让远程医疗成为健康中国战略不可或缺的数字基座。

3.3 AI协同的远程场景应用图谱：从单点诊疗到全周期贯通的远程实践

3.3.1 远程诊断与协作类

1. 远程会诊

（1）现状分析：

- **前端标准缺失，数据质量不可控**

基层上传的影像、病历、报告等非结构化资料缺乏统一清洗与脱敏标准，导致省级专家接收的信息零散冗余、关键字段缺失，需耗费大量时间人工补全与整理。这不仅严重拉长诊断准备周期，更因缺乏规范的隐私处理机制，在流转环节埋下数据安全隐患。

- **多维数据孤立呈现，会诊协作效率低**

生命体征、动态影像、历史病历等多源数据存储在不同系统中，缺乏有效的整合与可视化呈现手段。专家在会诊中需在音视频沟通界面与各数据系统之间反复切换、自行比对，信息检索与整合占用了大量注意力，留给临床判断的空间被挤压，诊断效率难以提升。

- **工具支撑薄弱，诊疗闭环不完整**

病灶判读缺乏远程协同标注工具，上下级医师之间的沟通依赖口头描述，信息传递易出现偏差。会诊报告手工撰写，生成慢、格式乱；复杂治疗方案缺少面向基层的拆解指导，执行环节容易走样；随访依赖人工追踪，患者康复情况缺乏系统监控，会诊价值止步于结论给出，未能延伸至治疗落地与康复管理。

（2）建设方法：

AI赋能的多模态交互会诊技术正重塑远程医疗新范式，成为推动行业向智能化、精准化演进的核心引擎。其技术架构始终遵循人类监督与人类自主权原则——AI以增强者而非替代者的角色嵌入诊疗流程。通过在数据融合、智能交互及辅助决策领域的深度突破，AI不仅显著提升了优质医疗资源的可及性，更构建了高质量的远程诊疗服务新生态。

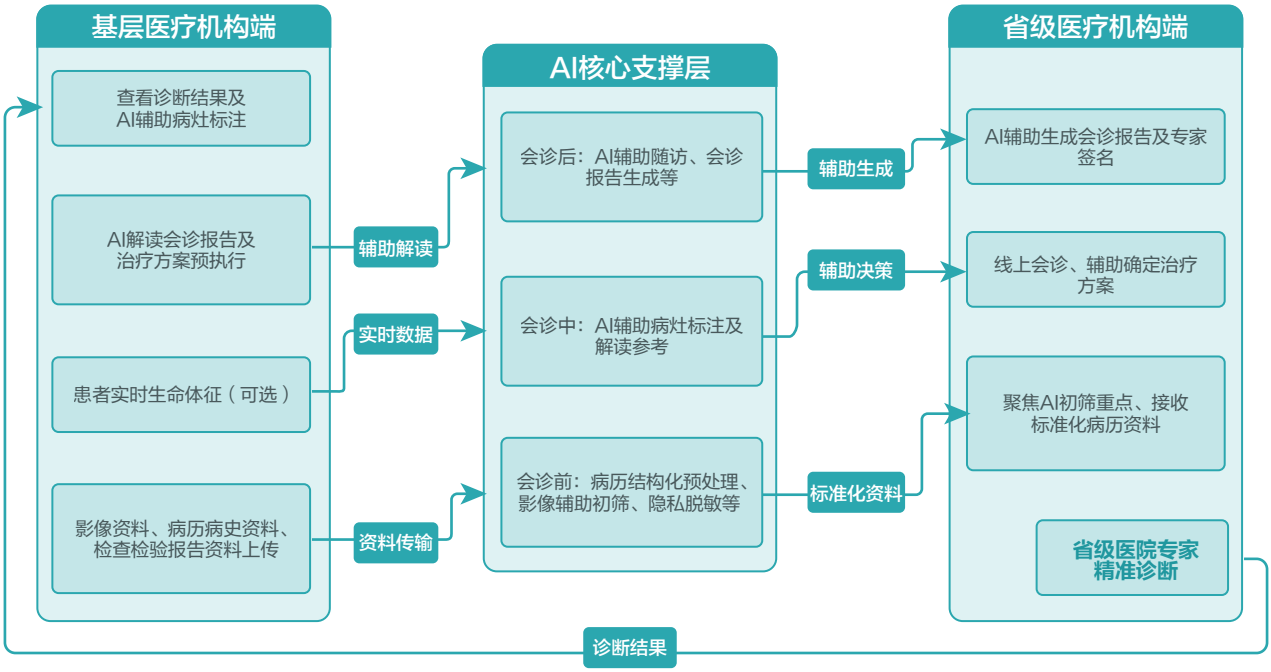


图 3-10 远程会诊流程示意图

- **诊前：数据标准化与智能预处理**

在会诊准备阶段，针对基层医疗机构上传的影像、病历及检查报告，依托自然语言处理与计算机视觉技术，能够自动完成非结构化病历的结构化清洗、影像的可疑病灶初筛及敏感信息的隐私脱敏。这一过程确保了省级医疗机构接收到的数据具备高标准与一致性，大幅缩短了人工整理时间，使专家能快速聚焦核心诊断问题，提升会诊准备效率。

- **诊中：多模态融合与辅助决策支持**

会诊实施过程中，系统实时融合基层上传的患者生命体征数据、动态影像与历史病历，通过自动标注关键病灶位置并提供辅助解读。省级专家依据AI输出的综合信息报告与基层医生进行实时音视频会诊，辅助制定精准的治疗方案。这种人机协同模式不仅强化了上下级医院的诊疗协同性，更有效降低了漏诊与误诊风险。

- **诊后：AI报告与智能随访跟踪**

会诊结束后，系统智能化整合会诊结论，生成标准化的会诊报告，供上级专家快速审核签发。对于基层医疗机构，AI不仅能对复杂的诊疗方案进行逻辑拆解与解读，辅助生成预执行诊疗路径，为后续的治疗实施提供精准指导。同时，随访管理系统可智能化持续追踪患者恢复情况，实现从会诊到康复的全流程闭环管理。

2. 远程诊断

（1）现状分析：

- **判读依赖人工，主观低效且风险高**

专家逐张浏览多模态影像，高强度视觉劳动易致疲劳，微小或早期病灶易漏诊；病灶识别、定位与良恶判断全凭个人经验，缺乏定量指标，主观性强、一致性差，结论难以互证追溯。报告手工录入耗时且格式不一，结构化初诊结论生成缓慢，大量精力消耗于低阶搜寻描述，无法聚焦高阶综合判断，直接威胁诊断可靠性与安全性。

- **协同机制缺失，资源错配且闭环难**

“基层拍片、上级阅片”模式缺乏智能预筛，大量阴性或常见病例挤占稀缺专家资源，疑难病例得不到及时处理，人类监督被海量读片稀释。复核后，基层缺少辅助工具精准理解治疗方案，患者常被迫跨区域转诊，增加负担与成本；公平性和包容性在城乡医疗鸿沟中难以落地，整体协同效率与可持续性严重不足。

（2）建设方法：

AI与医学影像的深度融合已成为医疗人工智能最成熟的赛道，依托“区域影像”云平台，构建覆盖省、市、县三级的互联互通体系，实现了CT、MRI等多模态影像的标准化采集、集中存储及加密传输，AI技术全流程赋能，重塑了影像诊断的工作流：

- **智能病灶识别与结构化分析**

针对不同模态医学影像，构建专项AI辅助诊断模型。AI能够自动提取高维影像特征，对疑似病灶区域（ROI）进行精准识别与定量分析。同时自动生成包含病灶定位、形态学特征及良恶性概率评估的结构化初诊报告，为临床专家提供高价值的辅助参考，显著减少漏诊并提升阅片效率。

- **云端协同与精准复核机制**

基于“区域影像”平台，建立了“基层拍片、AI初筛、专家复核”的高效协同机制。放射科专家实时调阅经AI标注的标准化影像，进行交互式复核与确诊。专家意见与治疗建议通过网络实时回传至基层，基层医生结合专家结论与 AI 分析结果落实具体治疗方案，大幅降低患者跨区域转诊需求。

图 3-11 AI辅助阅片

3. 远程B超

（1）现状分析：

- **操作依赖经验，图像获取质量堪忧**

基层医生难以精准获取复杂病例的标准切面与典型病灶，普遍存在“拍不到、看不清”问题，漏诊风险高；采集与诊断全凭个人经验，同质化水平低，优质超声资源无法有效下沉，患者仍被迫频繁往返上级医院。

- **传输缺乏优化，图像清晰度不足**

原始超声影像未经智能降噪与增强处理，信号质量差、伪影多，远端专家接收的图像清晰度不足，难以准确判读，直接影响诊断可靠性，且静态离线传输方式限制了动态信息的有效利用。

- **远程交互缺失，实时指导与反馈断裂**

缺乏实时音视频互动与智能导航，专家无法纠正基层操作手法或操控探头；触觉反馈缺失使扫查力度与组织阻力无法感知，严重制约诊断精准性，流程各环节高度依赖个人经验，协同效率和下沉效果难以提升。

（2）建设方法：

与CT、MRI 等标准化断层扫描技术不同，超声检查具有高度的“操作依赖性”。图像质量与诊断结果往往受限于操作医生的手法经验、探头角度及切面选取，导致基层医疗机构面临“拍不到标准切面、看不清微小病灶”的现实困境。AI技术与远程超声的深度融合，通过从图像优化、操作导航到远程遥控的全链路赋能，将依赖个人经验的主观操作转化为标准化、智能化的诊疗流程，重构了超声诊断的服务范式。

图 3-12 远程B超操作

- **图像智能增强与数据同质化**

依托AI赋能的智能分析技术，系统在保证准确性的前提下对原始超声信号进行降噪与伪影去除。这不仅实现了图像信噪比的显著提升，更有效增强了组织边界与细微结构的辨识度。这一过程确保了各类设备采集的影像，在传输至远端专家端时也能达到高清晰度的诊断标准，夯实了远程超声的数据基础。

- **智能操作导航与规范化采集**

通过计算机视觉技术，AI能够实时识别解剖结构与探头位置，为基层医生提供可视化的扫查导航与质控辅助。当扫描切面偏离标准位置时，系统会自动提示调整角度与深度，引导医生精准获取标准切面。同时，AI模型能自动抓取疑似病灶区域并进行实时标注与量化分析，这种辅助机制大幅降低了基层医生对经验的依赖，保障了超声影像采集的规范性与完整性，从源头减少了漏诊风险。

- **远程遥控诊疗与触觉反馈交互**

借助5G网络的高带宽与低时延特性，上级专家可本地远程操控基层的高自由度仿生机械臂，并结合高精度力反馈技术，实现了专家操作手法与触感的1:1复刻。配合云端AI的多切面同步分析与辅助判读，专家不仅能亲自完成精准扫查，还能实时出具权威诊断意见。这种“专家远程手眼协同+AI辅助决策”的新模式，打破了优质超声医疗资源的物理边界。

远程B超正从传统的“图像传输”模式升级为“智能协同诊疗”，弥补了基层操作能力不足的问题，构建起覆盖操作、诊断与质控的全流程闭环，有力推动优质超声服务向县域及社区纵深延伸。

4. 多院区协作

（1）现状分析：

- **信息孤岛严重，病情全景缺失**

远程查房仅靠音视频汇报，无法自动整合分散的病历、检验、生命体征数据，专家缺乏全景视图，决策依据片面，易遗漏关键病情变化，影响诊疗精准性。

- **交班沟通低效，风险识别滞后**

远程交班依赖口头或文本描述，异常指标与高危因素需人工识别，重点不突出，危重患者优先级不清，信息传递效率低，影响医疗连续性与安全。

- **MDT流程繁琐，闭环管理断裂**

多学科诊疗需人工整理影像、病理等多源资料并制作汇报材料，耗时易遗漏；会诊记录手工撰写，疗效追踪断裂，无法形成决策反馈闭环，跨院区协作整体碎片化，均质化与协同效率难以保障。

（2）建设方法：

AI技术在多院区协作场景中的应用，正从传统的“音视频连接”向“数据智能协同”方向演进，不仅实现了专家资源的数字化下沉，更在远程查房、远程交班及多学科诊疗（MDT）等核心场景中，建立了“AI 辅助 + 人工决策”的高效协同机制，确保了跨院区医疗质量的标准化与均质化。

- **多院区远程查房：全景视图构建与辅助诊断**

在远程查房场景中，借助AI技术，系统自动抓取并结构化提取分院患者的电子病历关键信息；深度融合物联网设备传输的实时生命体征数据。AI系统将静态病历与动态体征实时整合，构建出可视化的“患者病情全景视图”。此外，依托疾病诊断模型，系统能实时分析病情变化，为远程专家提供精准的辅助诊断依据，确保查房决策的全面性与准确性。

- **多院区远程交班：智能提炼与服务连续**

针对跨院区交班中信息传递效率低、重点不突出的痛点，AI能够自动将语音或文本形式的交班内容转化为标准化的数据模板，智能识别病程中的异常指标与高危因素，并对危重患者进行自动优先级排序与高亮预警。这种智能筛选机制，大幅缩短交班时间，确保接班团队能迅速锁定核心医疗风险，保障跨院区护理与治疗的连续性与安全性。

- **多院区远程 MDT：知识库赋能与决策闭环**

在多学科诊疗（MDT）场景下，会前，AI系统聚合影像、病理及检验等异构数据，预先生成综合病例分析报告；会中，快速调阅权威临床指南、最新研究成果及历史相似病例库，辅助专家团队进行多维度的方案比对与评估；会后，AI自动生成结构化的会议纪要与个性化诊疗建议，并持续追踪患者后续的治疗反馈，形成从“方案制定”到“疗效评估”的全流程闭环管理。

图 3-13 远程MDT

3.3.2 远程急救与监护类

1. 远程急救

（1）现状分析：

- **监测预警缺失，急救启动被动滞后**

高危人群缺乏智能化实时监测手段，健康数据仅依赖定期体检或突发症状触发，无法实现风险预警与主动干预，急救常始于意外发生之后，错失早期干预窗口。家庭、社区等前端节点与急救体系割裂，缺乏统一的数据联动，导致全流程协同失效，救治起点即陷入被动。

- **院前院内信息断层，黄金时间被压缩且流程碎片化**

救护车与医院之间生命体征、影像等数据无法实时同步，车内救治缺乏远端专家指导，院内对患者病情无法预知，无法提前调配资源预案，患者抵达后才开始检查评估，严重压缩“黄金时间窗”。加之家庭、社区、救护车、医院各节点孤立，急救流程碎片化，信息滞后、决策孤岛贯穿始终，救治效率低下，急危重症患者预后差，传统模式难以满足急救时效性需求。

（2）建设方法：

急救医学作为应对急性病变与创伤的综合性学科，强调在“黄金时间窗”内实施高效、精准的紧急干预。AI技术正成为重构远程急救服务范式的关键驱动力，通过赋能数据感知、智能预警、远程协同与资源调度，推动急救服务向“智能化、前置化、一体化”演进。

- **常态化监测与主动式风险预警**

在急救发生的前置环节，AI将服务半径延伸至家庭与社区。针对慢性病及高危人群，依托可穿戴医疗设备与家庭智能终端，AI系统持续采集血压、血糖及心率等时序生理数据，利用机器学习算法构建个性化风险预测模型。一旦监测指标触及高危阈值，系统即刻触发分级预警机制：一方面向患者及家属发送干预建议，另一方面自动同步数据至社区医疗中心或区域急救指挥平台。这种基于“家庭—社区—医院”三级联动的智能防护网，将被动急救转变为主动预防，显著降低了突发意外的风险。

- **车院协同救治与远程指导闭环**

在转运途中，AI与5G技术构建了“移动的重症监护室”。依托5G网络的高速率与低延迟特性，救护车内的生命体征监测数据、高清视频影像及车辆定位信息实时无损传输至远端医院。院内专家通过远程会诊系统，不仅能“面对面”指导车内医护人员进行关键操作，还能在患者抵达前提前掌握病情动态，完成急救预案制定与资源准备。这种院前急救与院内救治的无缝数据闭环，有效填补了现场救治能力的短板，极大提升了急危重症患者的生存率。

通过构建覆盖“家庭—社区—救护车—医院”的全链条智能急救网络，AI不仅将急救服务半径从传统医疗机构延伸至居民日常生活空间，更重塑了以患者为中心、以数据为驱动、以协同为核心的现代急救新生态，为提升区域急危重症救治能力提供了坚实技术支撑。

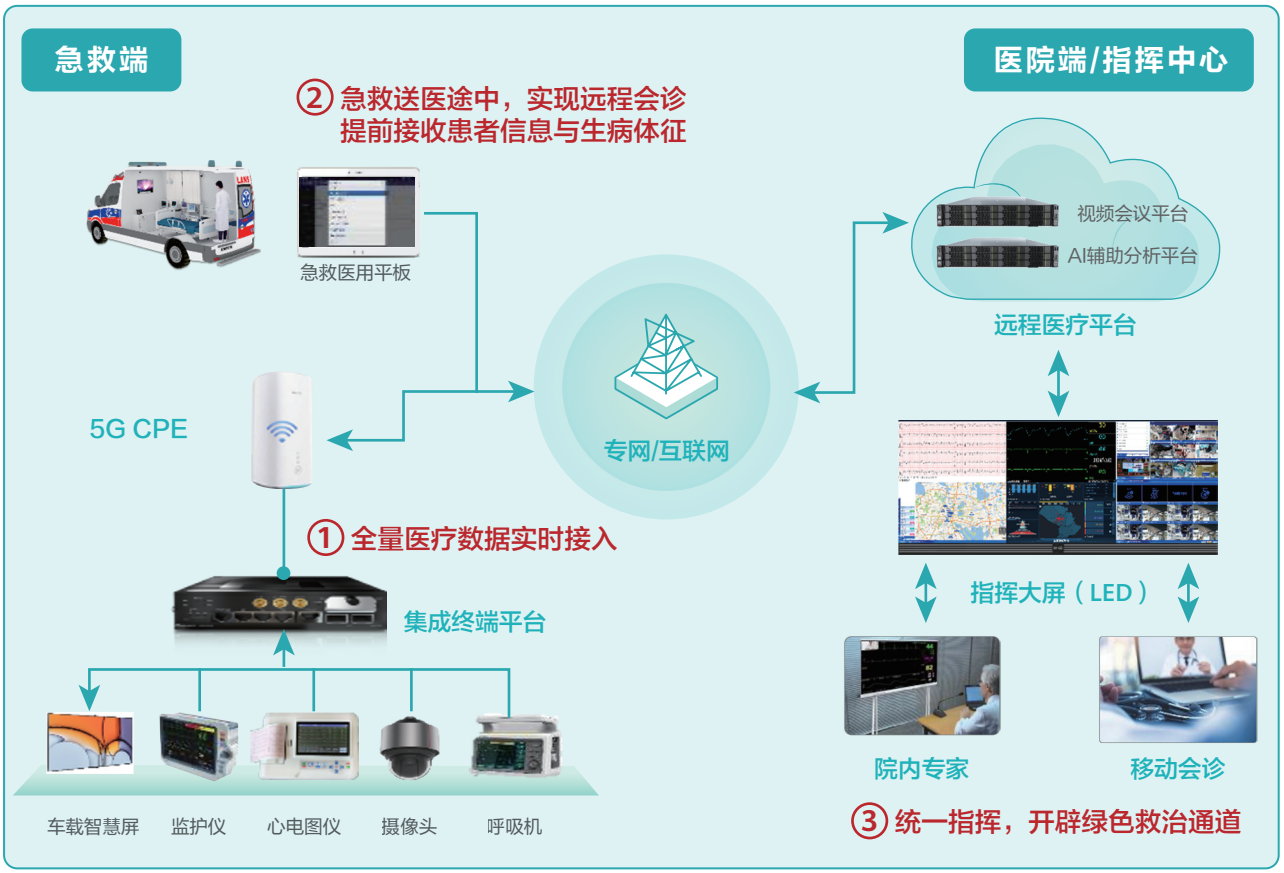


图 3-14 远程急救结构示意图

2. 跨国、跨区域紧急医学救援

（1）现状分析：

- **语言沟通障碍与临床误判风险**

救援指令、病史及操作反馈依赖人工翻译，医学术语歧义频发，极易导致误判与操作延误，直接影响救治安全与效率。同时，资源薄弱地区影像诊断能力不足，专家无法及时介入，进一步削弱诊断精准性，救治效果大打折扣。

- **资源调度低效与应急响应迟缓**

资源调度沿用传统统计和人工协调，无法动态整合专家、设备及物资等关键救援资源，应急响应严重滞后，常错失黄金救援窗口。加之缺乏实时信息共享机制，协同决策碎片化，难以形成统筹联动的指挥体系。

- **数据合规壁垒与信息孤岛严重**

严格的医疗数据跨境隐私法规限制原始数据流通，使得影像、病历等关键信息无法自由共享，各救援节点之间形成信息孤岛。数据壁垒不仅阻碍远程会诊与精准指导，也割裂了整体救援链条，严重制约跨境人道救援的时效性与有效性。

（2）建设方法：

跨境紧急医学救援是国际人道主义协作与全球公共卫生治理的重要组成部分。面对突发公共卫生事件、重大灾害或偏远地区医疗资源匮乏等挑战，人工智能技术正成为突破时空限制、语言障碍与能力鸿沟的关键赋能工具，推动全球优质医疗资源实现高效、安全、合规的跨域协同。

图 3-15 跨区域紧急医学救援

- **语言智能消歧，保障跨文化沟通精准性**

依托覆盖多语种、多专科的医疗术语知识图谱与专业大语言模型，AI实时翻译并校准急救指令、病史描述与操作反馈，有效消除因语言差异导致的误判与延误，大幅降低语言沟通失误率。

- **影像智能协同，弥合区域诊断能力鸿沟**

结合影像分析模型，基层或资源薄弱地区上传的CT、X光等影像可由多国专家联合标注与复核，实现“本地采集、全球诊断”，缩小因设备与人力差异造成的诊疗差距。

- **智能资源调度，压缩应急响应时间窗**

跨境医疗资源调度平台，整合全球可用专家、移动方舱医院、药品库存等，基于灾情等级与患者需求动态生成最优救援方案，可大幅提升优质资源匹配成功率。

- **隐私计算护航，实现数据“可用不可见”**

采用多方安全计算、同态加密与可信执行环境等隐私增强技术，在不交换原始数据的前提下完成跨国联合建模与风险评估，确保医疗数据跨境流动符合法规要求，合规释放数据价值。

未来，随着全球数字健康治理框架的完善与AI技术的持续进化，跨境远程紧急医学救援将从“应急响应”走向“常态协同”。通过构建标准统一、技术可信、伦理合规的全球数字救援网络，真正践行“健康无国界”的人道主义精神。

3. 远程IoT监护

（1）现状分析：

- **数据缺乏智能预处理，临床排查低效易漏**

远程IoT监护持续采集海量生命体征数据，但原始信号冗余且噪音多，缺乏智能降噪、格式标准化及与电子健康档案自动关联的能力。临床医生需手动逐一排查碎片化信息，耗时费力，极易遗漏潜在危象信号，严重影响早期干预效率。

- **预警机制依赖固定阈值，误报漏报延误干预**

现有预警采用静态阈值规则，缺乏基于时序建模与异常检测的动态识别能力，导致误报、漏报频发。危急情况无法精准筛选并第一时间推送至家属与医院，干预常被延误，甚至错失抢救窗口，监护的实时性与安全性大打折扣。

- **缺乏AI辅助解读，院外闭环与风险管控薄弱**

监测数据缺少智能趋势分析与辅助解读，医生仅凭个人经验判断变化，随访管理依赖人工追踪，无法形成“监测—预警—干预—反馈”的闭环。院外患者风险管控能力不足，远程监护的实效性和安全保障难以真正落地。

（2）建设方法：

远程IoT监护是以物联网（IoT）与无线通信技术为基础，面向社区、居家及个人健康场景，实现对患者生命体征的实时、连续、无感化监测，并通过安全通道将关键数据与危急报警信息即时推送至医疗机构的智能化监护模式。该模式有效延伸了医疗服务边界，尤其为老年群体、慢病患者及术后康复人群提供“院外可管、风险可知、干预及时”的全周期健康保障。

- **居家场景**

低功耗居家监测手环支持长达数周续航，持续追踪心率、步态、睡眠结构等指标，并集成跌倒检测、用药提醒等主动干预功能，数据自动同步至家属端与医院平台，特别适用于独居老人与慢性病患者；

- **院内/康复场景**

毫米波雷达采用非接触式电磁波感知技术，无需佩戴即可实时监测呼吸频率、体动幅度、睡眠状态、离床行为及跌倒预警，有效覆盖术后卧床、意识障碍等无法耐受穿戴设备的特殊患者群体，显著提升监护舒适性与依从性。

- **数据流转全过程**

AI预处理模块自动完成冗余信息过滤、格式标准化、隐私脱敏，并与患者电子健康档案智能关联。基于时序建模与异常检测算法，系统可识别潜在危象（如心律失常、夜间低氧、呼吸暂停），触发分级预警机制，第一时间通知家属及院内监测平台。临床医生通过医院终端或移动应用查看实时生命体征曲线、历史趋势及 AI 辅助解读报告，紧急情况无需依赖线下复诊即可动态评估患者状态，实现“早发现、早干预、早治疗”。

远程IoT监护不仅打通了“家庭—社区—医院”的健康数据链路，更通过 AI 与物联网的深度融合，构建起覆盖监测、预警、响应与随访的闭环管理体系。

图 3-16 远程IoT监护

3.3.3 远程治疗与操作类

1. AI+5G远程手术

（1）现状分析：

- **术前规划依赖二维影像，缺乏三维精准评估**

专家仅凭二维CT/MRI影像判断病灶与解剖结构，缺少三维重建与手术模拟工具，难以量化评估手术难度、风险及个体化入路方案。决策依据片面，对关键结构如血管走向、肿瘤浸润边界的空间关系把握不足。

- **术中缺乏智能辅助与预警，远程操作风险高**

术中无法实时获得影像的智能分析与病灶自动标注，病变边界、血管走行等关键定位完全依赖专家视觉判断，缺乏实时风险预警机制。上述短板严重制约远程手术的安全性和临床推广可行性。

（2）建设方法：

远程手术是指医生利用5G无线通信技术与超清实时视音频通信技术对异地患者实施的远程手术。利用机器人与高清音视频交互系统，远端专家可以对基层医疗机构的患者进行及时的远程手术救治。结合5G无线通信技术提供的大带宽、低时延的特性，将显著降低远程手术操作的延迟，实现跨地域的远程精准手术操控和指导。

- **AI三维重建与手术模拟**

AI在三维重建与手术模拟方面展现了强大的能力，尤其在手术规划和实时监控中发挥了重要作用。例如，AI能够对冠状动脉及其周围结构进行精细的三维重建，并模拟手术过程，帮助医生评估手术难度和风险，从而制定更加个性化的手术方案。

- **术中影响分析与风险辅助预警**

在术中辅助方面，AI能够实时分析影像数据，提供精确病变位置和标注信息，辅助医生进行精准术中定位，提升手术的安全性和有效性。除此之外，AI 可依托全过程实时影像数据动态反馈，全程同步捕捉运行过程中的各类异常情况，一旦识别潜在风险状况便即刻推送预警提示，全方位降低过程中的安全隐患。

2. 远程中医

（1）现状分析：

- **四诊采集受限，主观性强且量化难**

传统中医诊疗高度依赖“望闻问切”，但线上场景难以突破物理空间限制，导致面色、舌苔等视觉信息易受光线干扰，脉象、气息等触觉与听觉信息难以精准传递；诊断过程严重依赖医师个人经验与直觉，缺乏客观量化指标与标准化数据支撑，主观性强、可复现性低，导致线上辨证结论一致性差，难以形成严谨的循证依据。

- **优质资源下沉受阻，基层服务能力弱**

名老中医与高水平专家资源高度集中于大城市，基层及偏远地区患者难以获得高质量中医服务；基层中医师受限于经验与水平，辨证施治能力不足，难以独立承担复杂病例的诊疗与康复管理；现有远程中医平台多停留在简单的图文问诊，缺乏标准化的四诊信息采集设备与智能辅助辨证工具，无法形成“基层采集、上级辨证、AI辅助”的有效协同闭环。

（2）建设方法：

依托物联网智能传感设备与多模态AI大模型，构建“云端四诊采集+AI辅助辨证+专家远程复核”的新型远程中医诊疗体系，实现中医诊断从“经验直觉”向“数据可证”的数智化转型：

- **多模态四诊数字化采集与智能辨证**

部署集成化AI中医四诊仪与物联网智能终端，通过高清视觉摄像头、仿生柔性脉诊传感器及高保真音频设备，标准化采集舌象、面诊、脉象及声音特征，将传统定性指标转化为可量化的客观数据；结合中医知识图谱与多模态推理大模型，系统自动进行“四诊合参”分析，生成包含证型判定、治则治法及经方建议的结构化辨证报告，为临床医师提供高价值的辅助决策支持。

- **云端协同与分级诊疗闭环机制**

基于远程中医云平台，建立“基层/居家采集、AI初筛辨证、专家复核开方”的高效协同机制。基层医疗机构或患者居家完成四诊信息上传后，AI系统快速生成初步辨证结果与风险提示；上级名老中医在线调阅标准化四诊数据与AI分析报告，进行精准复核与个性化调方。诊疗方案与康复计划实时回传至基层，指导后续随访与干预，有效打破地域限制，推动优质中医资源下沉，实现全周期的健康管理闭环。

3.3.4 远程教学与质控类

1. 远程示教

（1）现状分析：

- **现场观摩受限，多路信号未融合**

传统示教依赖实地观摩或封闭式录像，手术室物理空间和现场人数限制使基层医生鲜有机会实时参与；术野画面固定视角，缺乏腔镜、生命体征等多路信号融合接入，观看体验割裂，难以全面呈现操作细节，导致学习效果大打折扣。

- **复盘低效，专家指导与紧急介入缺位**

录像存储分散零散，术后复盘需耗时手动翻阅大量资料，快速定位关键步骤困难；远程专家指导几乎无法实现，会诊与教学分离，紧急时刻难以及时介入，延长了学习曲线，也影响了危急病例的协同处理。

- **示教手段单一，沉浸式交互匮乏**

教学依赖传统视频，缺乏AR/VR等沉浸式交互工具，抽象解剖结构和复杂术式难以直观展示，互动反馈弱；整体示教覆盖面窄、资源复用率低，严重制约了优质临床经验的规模化传承与基层能力提升。

（2）建设方法：

远程示教是依托高清音视频通信、智能影像采集与新兴交互技术，将临床诊疗、手术操作等高价值医学实践过程进行实时记录、远程传输与总结复现的智能化教学模式。其核心目标在于打破传统医学教育在时间、空间与资源上的限制，推动优质临床经验高效下沉，系统性提升基层及青年医师的诊疗思维与操作能力，主要构成场景如下：

- **远程医学教育培训已形成三大技术路径并行发展的产品体系：**
  - 基于音视频会议系统的轻量化平台：适用于病例讨论、病理分析、多学科会诊等非操作类教学场景，支持多方实时音视频互动与教学资料共享；
  - 基于真实临床场景的融合式平台：深度对接手术室、导管室、超声检查室等专业环境，集成腔镜、心电监护、B超等医疗设备信号，实现外科手术、介入操作、超声扫查等高精度过程的同步直播与交互指导；
  - 基于AR/VR的沉浸式虚拟教学平台：通过可穿戴设备构建三维解剖模型与虚拟手术环境，支持手势交互、步骤回放与错误反馈，具备强沉浸感、高复用性与较低边际使用成本，特别适用于术前演练与标准化技能培训。

- **手术示教作为远程示教的核心应用场景，主要面向普外科、心外科、神经外科、麻醉科等外科相关科室，聚焦手术操作规范、应急处置策略与团队协作能力的培养。**

高清实时远程手术直播

- 无缝接入各类微创腔镜、内窥镜及术野摄像设备，实现手术全过程的全高清、低延时、多视角直播。观摩人员可通过PC、移动终端或专用示教室终端随时随地接入，彻底突破传统示教在人数、场地与时间上的物理限制，显著提升教学覆盖面与参与效率。

结构化录像存储与智能检索

- 手术视频与配套数据（如生命体征、麻醉记录、关键时间节点标记）被自动归档至云端教学资源库，可以按术式、科室、主刀医师、并发症类型等多维度标签进行快速检索。术后结合AI辅助标注的关键操作片段，可用于复盘研讨、质控分析与教学素材沉淀，形成“实践—反思—提升”的良性循环。

关键操作即时抓拍与标注

- 通过对手术中关键步骤进行一键截图或短视频截取，并自动关联患者信息与操作说明。这些结构化图像资料可直接用于课件制作、考核评估或移动端学习，极大地丰富了教学资源的颗粒度与实用性。

专家远程协同与实时指导

- 在复杂或高风险手术中，上级医院专家通过高清观摩终端实时查看术野画面，并与术者进行双向语音或图文交互。必要时可发起多中心手术研讨会，调阅患者历史影像、检验结果及临床指南，实现“边手术、边会诊、边决策”的高效协同模式，既保障手术安全，又强化教学实效。

图 3-17 远程手术直播

2. 移动医护

（1）现状分析：

- **信息获取路径冗长，决策滞后且负荷过载**

传统医护查房与护理依赖纸质病历和口头核对，医生需往返护士站查阅分散于各系统的检验与影像结果，信息获取路径冗长、决策滞后，典型的数据孤岛与认知负荷过载，医生将大量精力耗费于信息搜寻而非床旁的临床判断。

- **身份核验与应急沟通依赖人工，存在安全隐患**

护士执行给药主要靠人工核对床号姓名，易发生身份误认与用药差错，直接挑战可靠性与安全性的底线。突发应急时沟通信息失真、传递延迟，延误抢救时机。

- **医嘱执行后依赖手工记录，工作量化难以追溯**

医嘱执行后全凭手工记录，工作负荷难以量化，关键环节缺乏自动化追溯手段；流程透明度低，可解释性严重不足，关键诊疗信息在各环节间的传递如同“黑箱”，无法将有限注意力集中于患者床旁的核心决策。

（2）建设方法：

移动医护是将医生和护士的诊疗护理服务延伸至患者床边，是基于移动音视频通信终端设备的便携性和腕带标签等物联网设备的智能识别，实现患者身份识别无差错、用药无差错、工作可量化，帮助病区医护人员在诊疗业务中实时获取患者临床信息、准确地确认执行医嘱，提高医生查房和护士护理服务的质量和效率。

- **物联网赋能精准护理，床旁业务高效闭环**

基于移动音视频终端与腕带标签等物联网设备，系统实现患者身份与用药双重智能核验，从源头杜绝差错。医护人员在床边即可实时调阅临床信息、精准确认医嘱，操作可量化追溯，显著提升查房与护理质量，使床旁服务从“依赖人工核对”转向“技术驱动精准执行”。

- **远程医疗模块集成，多学科协同与全流程闭环**

内置远程医疗模块支持多方高清视频会诊、AI辅助、数据调阅与实时标注，专家可随时参与床边查房和疑难病例讨论。系统打通预警、会诊、处置与随访各环节，形成决策—执行—反馈的闭环管理，既提升院内协同效率，也为紧急情况下的快速响应提供技术保障。

- **跨院区资源延伸，推动公平性与持续照护演进**

远程查房与监护功能将优质专家资源下沉至基层和跨院区，打破时空壁垒，使偏远患者无需转诊即可获得高水平诊疗。系统确保“正确患者在正确时间获得正确治疗”，从片段式干预转向以健康为中心的连续照护，真正将医疗公平性与包容性从理念转化为可及的现实实践，全面提升基层医疗安全与协同能力。

数字化协同破界实践：AI赋能的场景与价值验证

04

在远程医疗的探索领域，浙江大学医学院附属第二医院（以下简称“浙大二院”）一直走在行业前列，其发展历程体现了技术革新与医疗需求深度融合的轨迹。2007年5月，浙大二院成立可视远程医学中心，开创远程医疗协作网，通过可视会诊系统初步连接基层，实现了优质资源的初步辐射；2010年10月，浙大二院与UCLA成立联合诊断学术中心，打通国际与国内各级医疗机构之间的诊疗通道，形成“国际知名医疗机构—浙大二院—县级医院—乡镇卫生院”四级医疗机构互联互通的分诊与会诊机制；近年来，更是敏锐地融合5G、AI等前沿技术，创新性地打造出智慧急救、空中救援、远程手术等标杆场景，显著突破了医疗服务的时空限制。

4.1 地域无界，网络共生:构建全球可达的远程医疗生命线

在远程医疗场景下，地域与网络连接的限制直接影响医疗服务的可达性，是远程医疗实现的“基石”。倘若缺乏稳定可靠的连接保障，再先进的医疗技术与专家资源，也难以跨越空间的阻隔触达需求者。浙大二院在实践中深刻认识到这一关键要素，利用5G、物联网、智能终端等技术，构建了一张覆盖广泛、响应迅捷的医疗联接网络，成功支撑了包括移动急救协同、灾害应急救援、偏远山区诊疗及跨国专家会诊在内的多类复杂场景，实现了高清视频、生命体征数据与医学影像的实时、安全、高质量传输，为优质医疗资源的无障碍流动铺设了坚实的“数字桥梁”。

4.1.1 构建5G“数智急救”指挥体系——将优质医疗资源前移到“黄金救治时间”

院前急救是急危重症救治链条的起始环节，“黄金救治时间”的窗口极为有限。传统模式下，急救现场、转运途中与院内急诊之间存在严重的信息断层：救护车与医院沟通滞后、患者生命体征数据无法实时回传，院内专家难以提前介入，急救资源（如手术室、血库、专科团队等）直至患者到达医院后才开始调配，造成“患者到医院、资源再响应”的被动局面，既延误抢救时机，也导致医疗资源调度效率低下。

自2017年起，浙大二院启动5G急救项目规划，整合5G网络、远程超声、VR沉浸式全景诊疗等关键单元，打造全省覆盖的“数智急救”指挥平台，确保了救援信息流的实时稳定传输，构建了一个打通“现场－

途中－医院”的智慧急救生命线。5G救护车内配备便携式多参数生命体征监测设备、远程超声与VR眼镜，实现患者血压、心率、血氧饱和度等生理数据及现场影像的实时采集。依托5G高带宽、低时延特性，保障多路高清视频、医学影像与生命体征数据的同步稳定传输。在浙大二院5G远程急救指挥中心，专家可以远程接入并实时监控患者的病情变化， VR眼镜帮助远程专家获得仿佛“人在救护车内”的视觉体验，弥补了纯数据无法呈现的现场细节，为医疗指导和决策提供了至关重要的情境感知；即使专家不在医院，也可通过收集等5G终端随时接入系统进行远程指导。院内多学科团队基于实时回传的生命体征与影像数据，提前做好手术室、血库和专家团队的准备，确保在患者到达时无缝衔接。

截至2025年10月份， 浙大二院5G救护车累计出车337次，总行驶里程超3.4万公里，服务范围已覆盖浙江省全部11个地市。除此之外，在杭州亚运会大规模紧急医学救援演练中，浙大二院在道路救援的危急现场调遣5G救护车迅捷抵达，车内专家通过远程超声精准评估伤情，VR会诊实现“面对面”救治指导；无人机同步升空，一架疾驰送检血样，另一架从医院运来救命的O型RH阴性红细胞，充分诠释了“上车即入院”的科技内涵。该模式显著压缩了院前－院内的信息传递时延，为急危重症患者赢得了宝贵的抢救时间，也为数智急救的规模化推广提供了可复制样板。

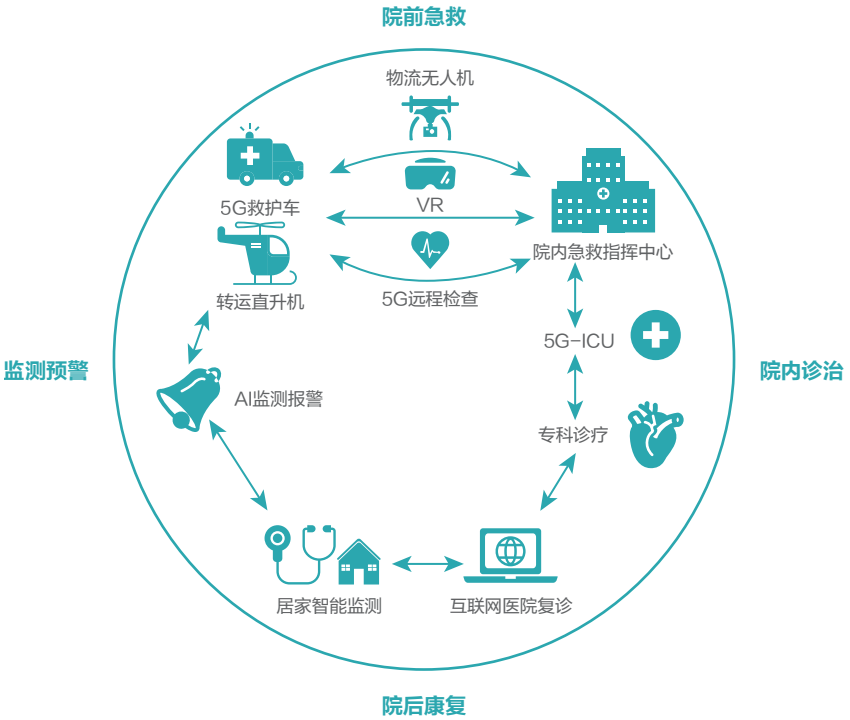


图 4-1 浙大二院5G智慧急救体系

急救场景的高风险性对技术可靠性与安全性有很高的要求。当前5G网络在城市区域覆盖较为完善，但在偏远地区、隧道、地下停车场等场景仍存在信号盲区，可能造成数据传输中断；多路高清视频与生命体征数据的同时传输需要充足的带宽保障，网络波动将直接影响远程指导的连续性。同时，远程专家的建议必须经由现场急救医生确认执行，系统需保留明确的人工闭环，避免远程指令替代现场即时处置权；此外，急救涉及大量敏感健康数据的实时采集与传输，须通过端到端加密与严格访问控制落实隐私保护。

未来应重点研究网络条件受限场景下的应急通信保障方案，如多网融合的无缝切换机制，以及网络拥塞条件下基于AI负载感知的数据优先级调度策略；同时明确远程指导专家、现场人员、平台运营方在医疗决策与数据安全中的责任边界。

技术模块	应用场景与价值
5G应急通信网	实现救护车、急诊中心与指挥平台的实时互联，保证高质量音视频与医学数据同步传输，支持远程会诊与指挥。
数智急救指挥平台	通过大数据算法与GIS定位，实现救护车智能调度、救援路径优化与跨区域资源统筹，提高急救响应速度与资源利用率。
一体化资源调度与准备	救护车实时传输患者生理与影像数据后，院内多学科团队可提前进行手术室、血库及专家团队准备，实现患者到院后的无缝衔接，显著缩短“黄金救治时间”。
物联网生命体征监测单元	多参数监测设备通过5G与平台联动，自动采集并上传患者实时数据，形成动态病情曲线，实现全程可视化监护。
远程超声与VR眼镜	救护车内配备远程超声设备，医生可实时查看影像数据；远程专家通过VR眼镜实时观察现场，指导诊疗。
机器人与机器狗的创新应用	配置医疗机器人与机器狗用于辅助医疗救治。机器人可执行基础生命支持、药物传递、设备搬运等任务；机器狗可在地形复杂区域快速穿越，实时采集并回传患者生命体征与环境视频，支持指挥中心远程决策，提高救援效率与安全性。

表1：数智急救指挥体系的核心技术与应用场景

4.1.2 实现神外远程手术突破——建立5G精准神经外科远程操作新范式

脑部手术对时间、精度及技术经验要求极高，尤其脑出血等急危重症，一念之差即可攸关性命。偏远地区医疗机构普遍缺乏高精设备和优质专家，危重患者常因长途转运风险大、时间损耗长而错失良机。远程协作可引入外地专家资源，但以往的网络条件，因传输不稳、指令延迟等问题，无法满足高风险手术对即刻响应和毫米级精细操作的要求。实现异地协同的神经外科手术，成为远程医疗领域的技术空白与难点。

新冠疫情期间，浙大二院联合相关单位，创立首个基于5G通讯的全系国产化“数字远程手术系统”，在相距200公里的杭州与松阳异地搭建“空中手术室”，突破了高精度复杂脑部手术对物理空间的刚性依赖。该系统由5G网络、国产“睿米”立体定向机器人和“红云视界远程操控系统”组成：5G网络提供小于20毫

秒的超低时延与高带宽传输能力，支撑远程“机器人操作界面共享、音视频互动、患者生命体征数据和操作指令传达”四路信号同步传输；机械臂在远程控制下，完成深部脑区毫米级精细操作。

2021年6月17日上午，浙大二院神经外科陈高教授等坐镇杭州本部的5G远程指挥中心，与团队核心成员刘凤强主任医师远程操控机器人，在丽水松阳分院的医生协同下，为一位72岁的脑出血患者成功施行脑内血肿清除，验证了5G网络可以满足神经外科远程手术的严苛要求，使“专家不动、技术下沉”成为现实。这是国内首例依托5G网络远程完成的脑内血肿精准清除手术，极大便利了偏远地区危重症患者的救治，让“生命线不再受地理空间阻隔”。

图 4-2 浙大二院神经外科团队与松阳分院团队合影

远程手术对技术可靠性和安全性有严苛的要求。本模式在脑出血精准清除术的成功表现，为其他专业技术，如心血管介入、肿瘤微创治疗等更复杂更难手术的区域推广，提供了借鉴并夯实基础。目前，浙大二院借助增强现实、空间计算与虚实融合技术，正探索将AR技术融入手术场景，进一步提升远程操作的精准度与沉浸感，推动技术从“可以开展”迈向“熟练精通”。

值得关注的，远程手术相关的法律问题——当机器人系统在远程操作过程中发生异常，责任归属牵扯主刀医师、技术支持团队、设备生产厂商等多个主体，亟需相关法律法规对其予以明确和完善，尽早出台针对远程手术的专项管理规范，把责任归属纳入清晰的制度框架。

技术模块	应用场景与价值
5G超低时延远程操控系统	通过5G网络（延时<20ms），实现杭州主控端与200公里外松阳分院手术室的实时同步。远程主刀专家可精准操控机器人机械臂执行脑内血肿清除，操作无明显延迟或卡顿。
神经外科机器人（“睿米”系统）	具备亚毫米级定位精度，可进行三维路径规划、深部穿刺、血肿抽吸及组织活检等高难操作，实现手术入路最小化与出血控制最优化。
远程手术指挥与多信号同步系统	通过“红云视界远程操控系统”实现四路信号同步：手术视频画面、机器人界面、生命体征数据与术中影像，支持双向语音、高清视频互动及即时术中决策支持。
AR三维可视化与智能导航	依托AR/MR可视化技术，医生可在真实空间中直接操控由患者影像数据生成的三维大脑模型，实现颅骨虚拟剥离、病灶透明化与手术路径规划。通过手势、语音交互与5G实时协同，支持远程专家同步观察与规划，大幅提升神经外科术前精准度与可视化教学能力。
跨院远程手术协同平台	依托浙大二院与松阳分院的“山海协作”体系，建立术前规划、术中指导、术后康复全流程远程协同；疑难病例可通过云端病例中心实时共享多学科会诊结果

表2：神经外科远程手术核心技术与应用场景

4.2 数据无界，智能共生:构建提速增质的医疗AI新基建

当远程医疗跨越连接的物理壁垒，其面临的新核心挑战是如何在不牺牲隐私与安全的前提下，让分散于各处的医疗数据汇聚成流，并转化为可信赖的临床智能。打造一条安全、畅通的“数据能源管道”——既能汇聚和共享数据，又能保护患者隐私。如果缺乏一个安全可信的数据流通机制，即使网络再快、诊疗技术再先进，也难以实现真正的协同医疗和精准服务。针对这一趋势，浙大二院以数字化改革为牵引，搭建起集数据聚合、安全交互与智能应用于一体的医疗数据价值化平台，推动远程医疗从“信息互通”迈向“智慧协同”。

4.2.1 打造AI重症监护“超级大脑”——建立数据驱动的精准临床决策路径

重症监护室（ICU）是时间与信息双重密集的高风险场景。传统模式下，病情评估高度依赖医生的经验整合，而生命体征、检验结果、用药记录等数据通常分散在HIS、LIS、RIS等异构系统中，彼此割裂，关键预警信号极易被淹没。尤其在急性肾损伤、脓毒症等进展迅猛的病症面前，人工分析的滞后性往往错失最佳干预窗口。对于基层ICU而言，这种信息碎片化与专家资源匮乏的叠加，更使危重症救治面临严峻挑战。

历经十年临床积淀，浙大二院构建了覆盖3万例重症患者全维度生命体征的重症数据库，并以此为底座打造智能重症监测平台。打通院内异构信息系统，将患者从入院到出院的全周期数据整合为连续的“数字生命线”，并基于机器学习与深度学习算法赋予系统前瞻性的风险识别能力。系统可对心、肺、肝、肾等重要器官功能进行动态追踪，自动捕捉血清肌酐升降轨迹、尿量波动等关键前兆指标，提前触发预警。与此同时，远程多学科会诊系统深度嵌入平台，使上级专家可实时同步接收预警信号与全量数据，无论身在何处均可参与病情研判，形成“预警即响应”的远程协同监护闭环。

在实践中，这一超级大脑已展现出显著价值，系统通过整合实时生命体征与影像学数据，清晰勾勒出心肺功能动态变化并同步评估多脏器状态，为综合救治方案提供了关键依据；在另一例严重创伤患者的监护中，系统先于临床表现预测到脓毒症风险，指导临床团队提前加强抗感染治疗，有效遏制了病情恶化。医生反馈，系统将原本数小时的信息梳理工作压缩至分钟级，使救治关口从“被动抢救”前移至“主动预防”。通过远程协同网络，这种主动预防能力正从单点向区域辐射，逐步构建起覆盖城乡的危重症预警联防体系。

图 4-3 浙大二院智能重症检测系统被评价为医生们的“智慧助手”

在可靠性与可解释性尚未完全达标的领域，AI的价值最大化路径并非替代临床判断，而是通过数据融合增强人类决策的情境感知能力。浙大二院的实践表明，当AI退后一步成为“洞察引擎”而非“决策主体”时，反而能在最紧张的医疗前线赢得最深的信任。这要求系统必须保留明确的人工闭环，避免过度依赖自动化而削弱医护人员的临床自主性；同时，系统需向医生清晰呈现预警依据与推理路径，在增强信任的同时防止信息过载。此外，重症数据的高度敏感性决定了端到端加密与严格访问控制是不可逾越的底线。

未来，智能重症检测系统应从风险预警向智能诊疗方向深度演进。基于临床知识图谱和深度学习的AI模型可持续吸收专家反馈，不断优化建议的精准度与适应能力，将远程专家会诊意见与本地实时数据进行融合分析，动态生成个性化治疗建议，实现远端智慧与本地执行的无缝衔接。在惠民层面，可将该系统推广至基层医疗机构，借助云端AI辅助决策能力，帮助基层医院突破技术与设备限制，推动优质医疗资源向基层和偏远地区延伸。

图 4-4 智慧重症系统

技术模块	应用场景与价值
多参数集成与智能数据融合	将呼吸机、心电监护仪、输液泵等多设备参数与视频信号统一接入数据中台，实现一体化显示与管理，避免数据割裂，提升信息传递的完整性和实时性。
AI智能重症监护系统	AI融合多模态数据（生理参数、影像、视频），自动识别生命风险信号，提前生成预警；支持个体化评估与动态干预，显著提升危重症救治效率与成功率。
AI环境与安全监测系统	通过AI自动监测ICU环境（温度、湿度、亮度、噪音），并根据患者状态自动调节环境参数；当检测到突发异常（如坠床、管路脱落等），系统自动报警并推送警示信息至医护终端。
远程多学科（MDT）会诊系统	依托5G高清视频和数据共享平台，专家无需进入隔离区即可进行远程术前讨论、多学科讨论与手术指导，提高危重症救治决策效率，减少交叉感染风险。
无线可穿戴监测设备	患者佩戴无线传感器，实现移动状态下的实时生命体征监测，数据自动回传至监护中心，适用于重症转运、康复病区及远程随访。

表3：智能重症监护的核心技术和应用场景

4.2.2 病理诊断进入数字化阅片时代——AI让百万级切片“开口说话”

病理诊断是肿瘤精准诊疗的“金标准”，但传统模式在远程医疗场景下面临三大痛点：首先，基层医院病理医生严重短缺，远程会诊诊断质量高度依赖专家个人经验，存在主观判读风险；其次，病理样本跨区域物流传递耗时长达3—5天，无法满足远程急会诊的时效要求；最关键的是，病理数据与患者临床信息长期处于双重孤岛状态，难以在远程协作中实现有效共享和智能分析。尤其在夜间及多院区协同场景下，疑难病例的集中处理常常面临人力紧张、阅片周期长等瓶颈。

浙大二院以数字化与AI技术融合重塑远程病理的协作逻辑。医院将多院区标本通过高速扫描设备数字化，上传至百万级切片云平台，实现病理信息集中管理与实时调用。平台搭载深度学习算法，可自动识别宫颈癌、胃癌等异常细胞及0.1mm级病灶，生成热力图辅助判断病灶性质、免疫组化分型及肿瘤分级。这一技术体系突破了传统人工病理诊断的局限性，夜间智能系统可承担全天约60%的处理量，自动完成分类、归档与初筛，并生成预诊断报告，实现“夜间不打烊”，使诊断效率提升30%以上，将专家的认知资源从海量阴性切片的筛选中解放出来，使其专注于疑难病例的精准判断。数字切片与AI标注结果还可以在多院区同步共享，基层医疗机构只需具备数字化扫描能力，即可在数分钟内将完整切片上传云端，经AI初筛后推送至专家端进行复核确认，形成“基层扫描—云端智筛—专家终审”的远程闭环，让偏远地区患者足不出县即可获得三甲医院同质化的病理诊断服务。

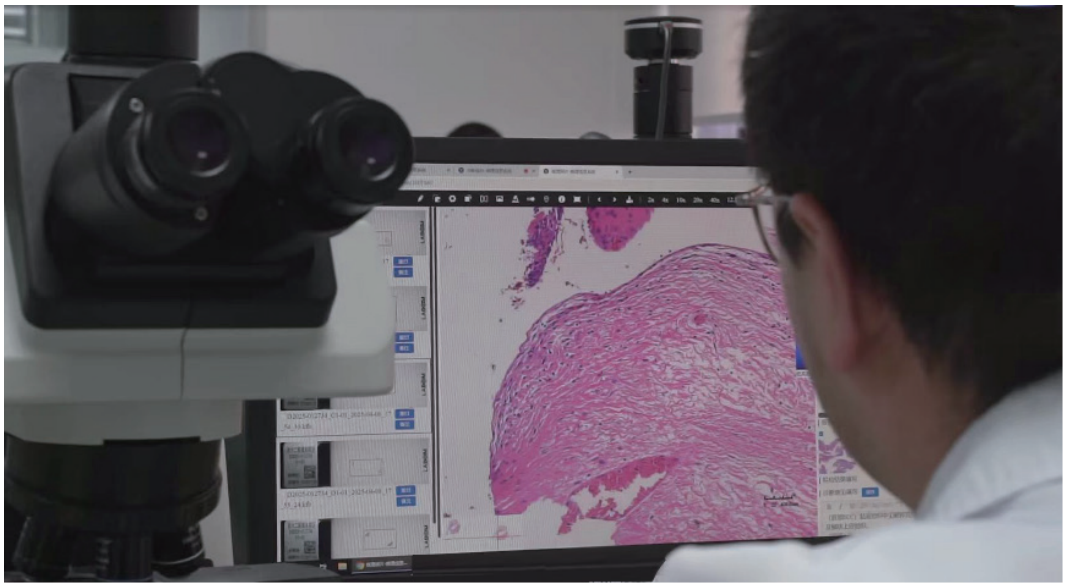


图 4-5 病理科医生进行数字化阅片

AI数字化病理阅片，正是推动病理诊断迈入“四维时代”的引擎。它构建的“云端病理大脑”的核心价值，在于让百万份历史切片中沉淀的知识与经验转化为可复用的诊断智能。于病理医生而言，诊断效率提升30%以上，部分病例实现“即扫即算”，极大缩短阅片与报告时间。夜间自动化处理占全天工作量的60%，释放大量医生精力，用于疑难病理判断；于患者而言，基层病理人才短缺困境得到有效缓解，让精准病理诊断服务能够高效覆盖更广阔区域，真正实现了优质病理资源的诊断同质化；于行业而言，AI可自动比对历年病理信息，辅助复杂病例原发灶判断，进一步实现诊断准确率的提升。多院区同步阅片、协同诊断可打破时空界限，形成安全高效的“智能病理网”。它不仅传递图像，更传递诊断逻辑与质控标准，通过统一的AI辅助工具和云端协作机制，使不同层级医院的病理诊断水平趋于一致，为分级诊疗和区域医疗协同提供了坚实的技术底座。

但是，AI的“幻觉”与随机行为使其在医疗决策中不可全信，须建立严格的人类监督机制。所有AI预诊断结果须经病理医生复核确认，系统应清晰标注病灶识别依据与置信度，使医生理解AI的推理逻辑，从而增强信任并促进知情决策，同时避免信息过载导致认知负担。在隐私方面，百万级切片数据的集中存储与跨院传输，必须实施脱敏、加密与全链条追溯，防止敏感健康数据泄露。此外，需关注AI模型在不同人群、不同病种中的泛化能力，避免训练数据偏差导致对某些群体的不公平诊断结果；同时应明确病理医生、AI开发者与平台运营方之间的责任边界，保障患者与医生对AI决策的质疑与申诉权利。

未来，应建立独立审查与争议解决机制，设立病理AI诊断复核通道，确保利益相关方有权质疑AI辅助做出的诊断决定。强化信息弹性与可靠性验证，持续监测模型输出的动态变化，防止因训练数据演变或随机行为导致的不可靠结果。构建主动隐私保护体系，加强远程病理数据安全与访问管控。在技术演进层面，推动病理影像与临床数据、基因组学信息的深度融合，同时优化AI决策过程的可视化呈现，使诊断逻辑更加透明可追溯。

技术模块	应用场景与价值
数字化病理基础设施与云平台	在无人值守数字病理室中，自动扫描每日1600余例标本并上传至“数字病理云平台”，实现多院区数据实时同步与云端存储，突破时间与地域限制。
AI智能识别与辅助诊断系统	AI自动识别宫颈癌、胃癌、前列腺癌等病灶区域，生成热力图标记异常细胞，部分病例可实现“即扫即算”，诊断效率提升30%以上。
多模态病理融合分析算法	将病理影像、免疫组化与临床数据进行融合分析，AI自动生成乳腺癌分子分型与靶向治疗建议，实现精准病理与个体化诊疗。
远程协同诊断与会诊平台	支持多院区同步阅片与实时会诊，专家可远程参与诊断讨论，实现疑难病例“多地同屏、实时共诊”。

技术模块	应用场景与价值
AI病例比对与知识溯源系统	自动匹配患者历史病理数据（如三年前肝穿刺记录），智能提示原发病灶溯源方向，为医生提供诊断决策参考。
数据安全与可信AI管理机制	对百万级切片数据进行脱敏、加密与全链条追溯，确保AI诊断结果可解释、可验证，构建安全可信的医疗AI新基建。

表4：病理AI数字化阅片的核心技术和应用场景

4.3 服务无界，价值共生：实现优质医疗资源的普惠同质

当技术突破数据与时空的边界，远程医疗的价值便回归于服务本身——如何让顶尖专家的诊疗能力沉淀为标准化、可复用的数字服务，推动“以医院为中心”向“以患者健康为中心”的全域生态转变。浙大二院通过构建跨域协同的医疗服务平台，将优质资源精准输送至基层一线，在专家资源延展，基层能力提升与患者普惠可及之间，形成紧密的“价值共生”关系。

4.3.1 构建常态化远程帮扶体系——通过远程会诊实现优质医疗资源精准下沉

贵州黔东南地区地处偏远，资源相对匮乏，台江县人民医院在疑难重症诊疗、病理影像判读和复杂手术等方面能力有限，患者跨省求医不仅耽误治疗时机，更加重家庭经济负担。同时，当地医护人员缺乏系统的培训渠道，缺少持续的学术支持和规范化的临床指导，传统帮扶模式依赖专家短期派驻，难以形成稳定、高效的支援机制，优质医疗资源无法常态化、实时地惠及基层。

为破解这一困局，浙大二院创新构建“远程+驻点+智能”三位一体的协作模式。首先依托5G高带宽、低延迟网络，当地疑难重症患者的病历、影像、生命体征等数据可实时回传至浙大二院，专家通过高清音视频开展远程多学科联合会诊，实现“病人不跑路，专家来坐诊”。其次，浙大二院为台江县人民医院的医护人员开展系统化、常态化的远程教育，通过云课堂、病例讨论、手术示教与VR沉浸式观摩，配合长期派驻专家团队进行学科共建，使基层医生能够身临其境地学习操作细节。最后，浙大二院将AI工具与现场指导有机结合，通过统一数据平台实现病例实时共享、教学资源持续更新与技术反馈闭环。

图 4-6 浙大二院黄曼主任与台江医院远程会诊

这一帮扶模式将传统对口支援与数字技术深度融合，形成了稳定、常态化、智能化的远程医疗协作机制，一方面，借助AI+5G技术，台江县人民医院对疑难重症的诊治能力显著增强，患者跨省转诊比例明显下降，更多重症病例得以及时在地救治；另一方面，通过持续的远程教学与现场指导，当地医护人员的专业技能和临床思维不断增强，从被动依赖上级医院转变为主动开展规范诊疗，真正实现从“输血式帮扶”向“造血式提升”的根本转变。该机制不仅为“互联网+健康扶贫”提供了成熟的可复制经验，也为优质医疗资源均衡化奠定了体系基础。

远程帮扶的可持续深化仍需应对多重挑战。远程会诊中的上级专家建议须经基层医生确认后执行，保留明确的人工闭环，避免远程指令替代现场处置权，切实保障基层医护的临床自主性。远程教学与AI辅助工具应向基层医生清晰呈现决策依据，帮助其理解技术逻辑、避免盲从。同时，帮扶模式需充分考虑基层的技术承载能力与人员数字素养差异，避免技术门槛造成新的数字鸿沟。此外，远程会诊涉及上级专家、基层医生与平台运营方等多元主体，需明确各方在诊疗行为与数据安全中的责任边界。

未来，应系统评估基层医生如何利用远程协作系统提升诊疗能力，确保技术真正转化为提升健康福祉的实效。明确AI辅助建议与专家最终决策的权责划分，建立独立审查机制。长远来看，应将远程培训与AI质控深度整合，通过持续的能力评估与反馈闭环，确保基层医疗水平实现长期自主提升，使帮扶成果可持续、可扎根。

技术模块	应用场景与价值
远程会诊与多学科联合诊疗（MDT）系统	通过远程高清会诊终端，台江县人民医院的疑难病例可实时接入浙大二院专家团队进行多学科联合会诊。患者不出县即可获得省级医院同质化诊疗方案，实现“优质资源下沉，服务无界共享”。
数字影像与远程病理诊断平台	建设跨区域云端数据库，支持远程阅片、病理会诊与质量控制，专家实时指导基层诊断，实现检验诊断周期缩短30%，减少患者转院次数，提升基层诊疗精准性。
常态化沉浸式远程教学平台	通过“云课堂+病例讨论+手术示教”，浙大二院专家定期在线授课；同时通过VR眼镜实现沉浸式远程观摩，台江医生可身临其境地观看浙大二院手术操作细节，帮助基层医生掌握最新诊疗技术，实现从“输血式帮扶”向“造血式提升”的转变。
5G移动会诊与巡诊系统	基于5G低时延传输，浙大二院专家可通过移动终端参与台江县医院的远程查房、手术指导和院前急救决策，确保偏远山区的医疗救治响应及时、连续可达。
AI赋能基层筛查与质控系统	应用AI算法对常见病影像（如肺结节、宫颈病变等）进行智能筛查与初步标注，辅助基层医生进行早期诊断；同时对诊断质量进行持续评估和反馈，构建智能质控机制。

表5：跨区域医疗帮扶核心技术与应用场景

4.3.2 跨区域赋能基层医疗——构建“省－市－县－乡－村”五级协同远程医疗网络

传统的省、市、县、乡、村五级医疗体系长期面临技术断档与信息壁垒：基层医院医疗能力不足、无法实时接入上级医疗资源，转诊流程复杂、诊疗标准不统一，远程会诊与下行指导难以常态化。在西藏那曲、云南景东等偏远或特殊地理区域，医疗设备、专科医生和救治能力长期短缺，使当地居民就医难、转诊难、危急重症救治滞后等问题尤为突出，基层医务人员亦缺乏系统培训与持续教育平台。

面对这些结构性困境，浙大二院创新构建了覆盖“省－市－县－乡－村”的五级数智医疗协同体系。该体系深度融合5G通信、AI辅助诊断、VR全景可视及无人机配送等关键技术，打造多级联动、实时交互的远程医疗网络。技术赋能层面，依托AI影像辅助诊断系统，基层医疗机构上传的CT、DR等影像资料可实现秒级云端共享与智能分析；通过5G+VR技术构建沉浸式教学场景，偏远地区医务人员可实时参与手术直播与专家带教。通信保障方面，运营商为项目量身打造的5G医疗专网实现栅格覆盖率100%、MR覆盖率

99.82%，确保急救网络稳定可靠运行。服务模式方面，以全科医生为核心节点，建立双向转诊与全病程管理平台，专家通过远程会诊开具转诊医嘱，系统自动完成床位预约与检查安排，患者出院后基层医生通过平台继续执行康复方案，形成完整的健康服务闭环。在区域协同布局上，于西藏那曲、云南景东等偏远地区建设远程医疗中心，配备便携式5G超声设备、移动会诊终端，通过卫星链路与总部保持连接，可实现危急重症患者的实时生命体征传输与远程指导抢救。

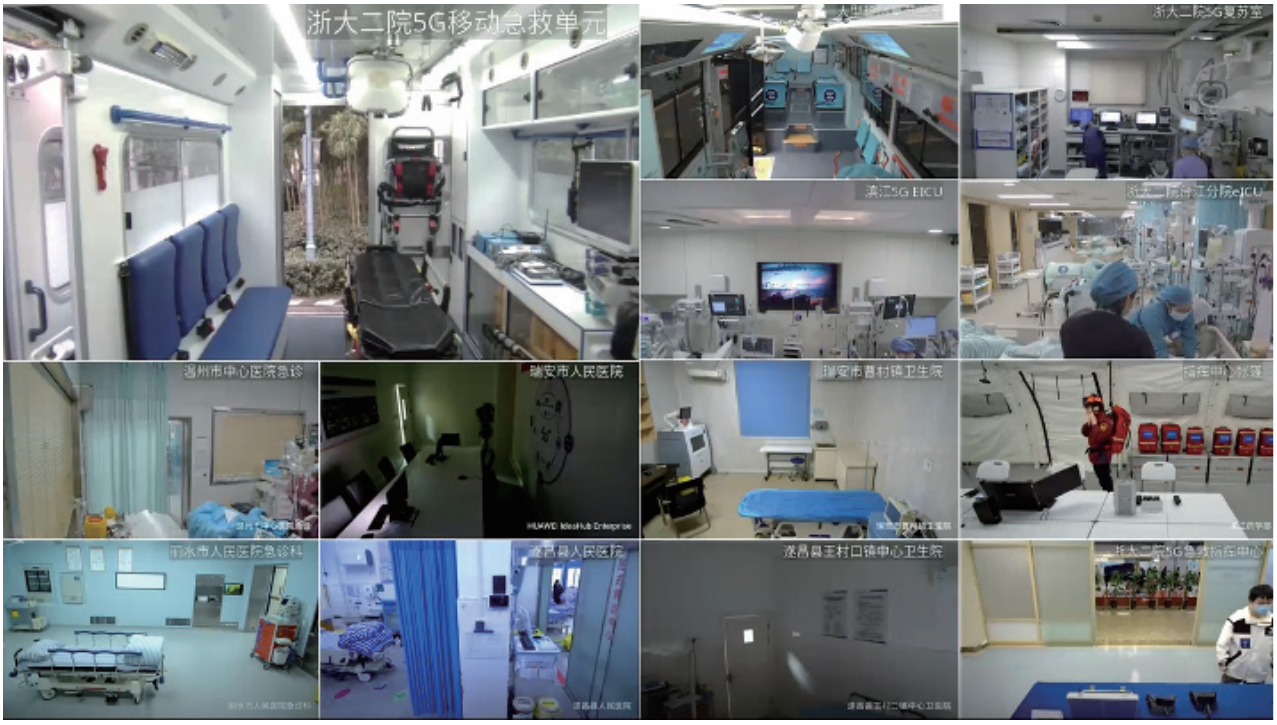


图 4 -7 浙大二院五级数智协同示范网

通过该五级远程协同网络，浙大二院创新性地将优质医疗资源延伸至偏远山区、沿海岛屿等传统医疗服务薄弱地区。现已稳定运行超3000次，覆盖150万群众，显著提升了基层急危重症救治成功率和县域就诊率，有效缓解了群众“看病难、看病远”的问题。双向转诊机制通过数字化平台实现无缝对接，患者就医等待时间显著缩短；依托该网络开展的远程培训已累计培养基层医护人员超45万人次，使基层诊疗水平与慢病管理能力显著增强。这一实践为构建科学有效的分级诊疗体系提供了可复制、可推广的示范样板，为全国分级诊疗体系建设与区域医疗协同提供了成熟的实践范例，对推进区域医疗协同发展具有重要借鉴意义。

在规模化推广中，技术与治理的挑战并存。5G网络在偏远地区、隧道等场景仍存在信号盲区，AI辅助诊断在关键场景下的可靠性有待持续验证，须建立对模型输出错误或不一致的快速纠正机制。跨区域数据流转须通过端到端加密与分级访问控制落实隐私保护，并对远程医疗参与者开展数据安全专项培训。同时，关注偏远地区老年患者及语言文化差异群体的可及性，通过包容性设计避免技术加剧健康不平等。另外，多级协同中责任主体多元，应厘清远程专家、现场医护、平台运营方及AI系统提供方在医疗决策与数据安全中的权责边界。

未来应着力构建社会技术结构保障体系，通过制度化规范明确可靠性、安全性、人类监督与问责边界，增强复杂环境下的通信韧性与数据安全防护，提升AI系统透明性与可解释性以保障基层医生知情决策权，设立独立审查与争议解决渠道确保“可争议性”原则落地，推动制度、技术与伦理协同进化，实现优质医疗资源普惠均质。

技术模块	应用场景与价值
五级远程医疗协同网络平台（省-市-县-乡-村）	建立统一网络与数据接口，打通多层级医院间的远程诊疗、双向转诊与信息互通。基层患者在当地即可获得省级专家诊疗，县域就诊率显著提升，分级诊疗更加高效顺畅。
区域影像/病理/超声共享云平台	建立双向影像与病理数据互通机制，当地CT、MRI及病理切片实时上传至浙大二院病理中心，由专家远程阅片并出具报告，提升基层诊断精准度和时效性。
数智化全病程管理系统	覆盖“村卫生室—乡镇—县级医院”，实现慢病随访、个性化诊疗与家庭医生协同。实现健康数据全周期管理，慢病管理效率提升40%，患者满意度超过95%。
5G VR 云端教学与实训系统	基层医生通过VR远程参与浙大二院手术示教与病例讨论，获得沉浸式学习体验。构建常态化远程培训体系，促进基层医生技能提升，实现“边学边练”闭环。
山海联动信息共享与互联互通平台	打通山区、海岛等区域医疗数据壁垒，实现影像、检验、病历、病程等实时共享。需要上转至浙大二院的患者，床位等待时间减少2天；需要下转至分院的患者，1天内即可完成流程；冠脉CT、PET/CT等特殊检查平均预约时间减少1天。偏远地区患者享受与省级医院同质化诊疗，真正实现“信息流带动服务流”。
一体化远程调度与救治协同系统	救护车、县级医院与省级专家通过5G实时联动，提前调度手术、血库与救治资源。实现院前与院内无缝衔接，急救响应时间大幅缩短，抢救成功率显著提升。

表6：五级远程医疗协同网络平台核心技术与应用场景

未来生态展望：数字化协同驱动的远程医疗无界图景

05

站在“健康中国2030”与全球数字文明变革的历史坐标上，远程医疗已成为撬动医疗体系系统性变革的战略支点，其核心目标是以技术革新、制度创新与资源整合，重塑覆盖全民、城乡均衡、智能高效的医疗服务新生态。面向未来，远程医疗将在突破时空限制的基础上，借由通用人工智能（AGI）、具身智能、数字孪生等前沿技术，引发一场更深层意义上的范式革命。届时，优质高效的医疗服务将从稀缺资源转变为可即时调度、全球流通、人人可及的公共产品，推动人类迈向“健康公平”的新纪元。

我们希望，这场变革将从地域、数据、服务三个维度持续“破界”，并在每一重突破中自觉嵌入伦理审慎与社会温度：

地域无界：打破资源集聚的物理枷锁。通过AI、5G、元宇宙等技术手段，彻底打破优质医疗资源集中在大城市的格局，顶级专家的诊疗能力得以数智分身的形式，深入偏远基层与移动场景，实现“资源主动寻人、服务随需而至”，消弭城乡资源鸿沟。同时，以虚拟流转替代物理迁徙，让优质照护的碳足迹大幅缩减，为医疗体系的可持续发展注入生态韧性。

数据无界：构筑公平共享的知识基座。通过健康数据平台的全面贯通与标准化治理，消融信息孤岛，基层医生得以实时调用AI知识库、跨域病例图谱与虚拟仿真训练系统，使高水平诊疗能力成为开放共享的公共财产。在此过程中，数据主权与隐私保护被置于核心伦理基线，确保个人健康信息的“可用不可见”，让数据共享的普惠红利始终在安全、知情与自主的框架下运行。

服务无界：重塑连续主动的健康守护。医疗服务的范畴从病后治疗延伸至全周期的健康管理，可穿戴感知、AI风险预测与数字孪生体共同构建出每位个体的“全天候健康管家”。服务场域从医院围墙内拓展至社区、家庭与日常工作生活场景，实现从治疗到预防，从被动到主动的根本性转变。

然而，上述愿景的落地，需要在技术与系统、人本与制度、价值与收益三重逻辑的张力中寻求动态平衡。AI驱动下的远程医疗能否释放持续而真实的社会福祉，取决于三个维度的协同演化：

- 发展层面，以AI技术底座夯实诊疗精度，以组织规则与监管机制保障系统运行的可靠性与可问责性；

- 人本层面，确保医患双方在算法辅助下享有平等的知情权、自主选择权与隐私保护权，尤其关注老年群体、数字弱势人群的服务可及性与数字素养适配，防止技术鸿沟演化为新的健康不公。
- 价值层面，建立可量化、可追溯的健康成效评价体系，以真实世界中的就医体验改善与长期健康产出为归宿，为远程医疗的持续迭代注入经济可行性与社会认同动力。

沿着这一三维框架，未来AI远程医疗将在临床可靠性、责任共治、数据公平、基层普惠、支付模式创新、绿色发展和伦理治理等七个关键议题上协同演进。唯有在此多重约束下寻求最优解，远程医疗实践方能突破既有路径的惯性依赖，真正完成从“有界”到“无界”的历史性跨越。

（一）临床可靠性：从模型幻觉走向临床可信

可靠性是智能诊疗赢得临床信任的基石。AI虽能大幅提升信息整合与病史采集效率，但也可能在医学场景中生成“幻觉”，这是临床诊断与用药安全的重大风险源。针对这一问题，可利用多模态校验、医学知识图谱约束与可解释推理路径，将AI从“黑盒输出”转向“证据可溯、置信可量”的透明体系；同时，全球协同的持续学习与动态监测体系将依托真实世界数据实现模型的实时校准与自我修正。届时，跨区域、跨专科的远程协同将在统一的安全基线上高效运行。这一进程将推动临床可靠性从技术命题上升为全球数字健康的通用信任基准，为无界医疗的规模化落地筑牢坚实根基。

（二）责任共治：从权责模糊走向多元共担

责任框架的清晰度，决定着AI诊疗能否在制度层面获得持久信任。大语言模型介入后，诊疗结果涉及模型开发者、平台运营者、临床医务人员、医疗机构和监管部门等多重主体，责任的识别与界定具有相当的复杂性[30]。未来的责任治理将遵循“谁控制、谁负责”的思路走向多元共担：开发者对模型安全性与可审计性负责，监管方制定准入门槛与动态合规标准，医疗机构对部署流程与使用边界负责，临床医务人员对最终诊疗判断行使自主裁量权，患者则纳入反馈与监督闭环。在这个框架中，医务人员不会因为模型底层缺陷或运维漏洞而承担连带责任，这能够释放临床应用活力，使AI真正成为医务人员“敢用、善用、常用”的辅助工具。同时，在模型开发和运营主体层面，技术方、平台方、医疗机构等主体风险共担、责权对等，监管方独立履行职责，在责任落实与创新激励之间保持平衡，避免过度问责抑制服务创新。医生敢于使用、机构敢于部署、患者放心托付，制度的确定性将转化为创新的加速度，远程医疗将在清晰的责权边界中稳健发展。

（三）数据公平：从偏倚局限走向普惠泛化

数据偏倚是制约AI医疗公平性的巨大瓶颈。当前许多医疗人工智能模型的训练和验证数据主要来自大型三甲医院和国外权威数据集，对基层患者、偏远地区居民、老年人、残障人士及不同语言和文化背景人群的覆盖不足，导致模型在非典型场景下性能衰减甚至失效，隐性放大而非弥合既有健康差距。破局之道在于构建多中心、跨地域、全人群的联合数据治理体系，辅以精细化场景验证与动态性能监测，从数据源头系统性消解AI医疗模型的结构性偏倚。这样，医疗AI大模型对常见病、地方病及基层多发病的识别精度将趋于准

确，方言交互、不典型体征、特殊人群症状等既往高误差场景亦将取得稳定表现。数据样本的多样性将成为衡量模型质量的刚性标尺，远程医疗的普惠价值由此摆脱地域与人群的选择性偏差，真正实现“医疗公平”。

（四）基层普惠：从数字鸿沟走向全域承载

除模型本身外，基层数字鸿沟同样限制着AI远程医疗的普惠性及落地性。网络覆盖不足、终端设备老旧、运维力量薄弱、人员数字素养较低等客观因素，以及老年群体对智能终端的有限接受度，共同构成了AI远程医疗落地的“最后一公里”障碍。未来，AI医疗模型需要主动适配带宽有限的环境，支持离线模式、低清流畅模式，即便在偏远海岛、山区或应急场景下，也可稳定完成AI影像判读、病史分析、远程协同指导等远程医疗核心功能。交互层面，需要深度融合本地语言与文化语境，支持方言识别、本地化表达，抹平数字弱势群体的就医鸿沟。与此同时，构建“远端指导 + 本地执行 + 全程跟进”的闭环服务模式，并将电话、上门服务等传统路径作为兜底保留，形成数字与人工互补的韧性体系[29]。

（五）支付模式创新：从探索试点走向 自我驱动闭环

稳定的支付机制是AI远程医疗规模化落地的关键保障。当前，远程医疗服务（尤其是AI辅助诊疗）与数字健康管理的定价机制，以及医保支付范围、商业保险覆盖等，仍处于探索阶段。未来，一套与医疗价值相匹配的多元支付体系有望在演进中逐步成型。医保或将把确有临床价值的远程医疗服务纳入支付范围，商业保险将开发更多围绕健康管理、疾病预防的精细化产品，而医疗机构则有望探索按效付费等新型结算方式。这一转变将有效避免“重建设、轻运营”的短视行为，有效抑制重复问诊、过度监测等低效服务现象，并推动自动化AI服务成为关系性照护的有力补充，在守住医疗公益性的前提下形成合理经济回报。当支付预期稳定、盈利模式清晰，技术创新将进入自我驱动的正向循环，为无界医疗生态注入生生不息的经济动能。

（六）绿色发展：从单一价值走向生态低碳长效共生

绿色低碳正成为评估远程医疗价值的重要维度。远程医疗通过减少不必要的物理转诊与出行，本身即具备显著的碳减排潜力；AI、物联网等技术的加入，更可在预约调度、医疗事务自动化、无纸化流程等环节持续削减环境负荷。然而，这一绿色红利须与技术能耗的现实形成审慎平衡。大语言模型的训练、推理及数据中心的运行本身消耗大量算力与电力资源，其净生态效应取决于医疗可及性提升、运营效率提高与环境负担之间的动态权衡。面向未来，应建立“健康福祉、有效使用与环境可持续性”三位一体的评价框架，将碳足迹、资源利用率等指标纳入远程医疗服务评估体系，引导绿色低碳的技术选型与服务优化，使远程医疗的发展既追求人类健康福祉，也尊重地球边界，实现健康、经济与生态协同共赢的长效格局。

（七）伦理治理：从治理补位走向价值可信

伦理治理是AI远程医疗行稳致远的价值坐标。过去，伦理考量往往滞后于技术部署，承担“补位”角色；面向未来，伦理必须前置为系统设计的内生维度，贯穿数据采集、模型训练、临床部署到事后监督全流程。随着数据隐私防护体系、AI医疗伦理规范、诊疗异议问责机制的全方位完善，患者和医疗机构将拥有质

疑、申诉AI结论的制度化规范渠道，伦理问题的解决将不断增强公众对远程医疗的信任，释放其规范化、可持续发展的空间。数据隐私的闭环保护能尽可能杜绝远程医疗中患者隐私泄露和非法滥用，保障患者对个人医疗数据的知情权、使用权与控制权。远程医疗链路中各方主体将通过标准化伦理评审、复核机制完成纠错优化，有效化解人机协同在远程诊断、远程会诊、远程急救等协作场景中的矛盾纠纷。透明、自主、可问责将成为AI远程医疗模型的内生属性，支撑数字化协同驱动的无界医疗生态行稳致远，让远程医疗既有大模型智能体的高效精准，又有人文医疗的温度关怀。

迈向无界医疗，不仅意味着技术能力的持续跃升，更意味着医疗服务模式、资源组织方式和治理体系的协同演进。人工智能为远程医疗突破资源和时空壁垒提供了重要工具，但其价值不能仅以技术先进程度或应用规模衡量。回顾远程医疗从突破地域限制到走向数字化协同的发展历程，其本质始终是医疗服务模式和资源组织方式的深度重构。未来，只有坚持以人民为中心的发展理念，将技术创新与伦理规范、制度治理和价值创造有机统一，才能推动远程医疗真正实现从“技术连接”走向“价值连接”。这一进程将消除各种传统的界限，促进生态融合创新，推动医疗、技术、保险、养老等各行业的深度融合，在统一的数据与智能底座上，汇聚各方协同创新，共同构建一个以患者为中心、价值共享的无界医疗的新生态。最终，人人可及、处处关怀、公平可享的前景将为全球树立“健康公平”的新标杆。

图 5-1 数字化协同驱动的远程医疗无界

参考文献

[1] GRAND VIEW RESEARCH. Telehealth market (2026-2033), remote healthcare market (2025-2030) [R/OL]. San Francisco: Grand View Research, 2025[2026-08-11]. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/remote-healthcare-market.

[2] MARKETSANDMARKETS. Telehealth and telemedicine market size, growth, share & trends analysis [R/OL]. Pune: MarketsandMarkets, 2025[2026-08-11]. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/telehealth-market-201868927.html.

[3] 闫硕. AI重塑慢病管理：效率提升、服务下沉，加速迈向普惠化[N/OL]. 21世纪经济报道,（2025-09-15）[2026-08-11]. https://www.21jingji.com/article/20250915/herald/46964a0b06163d0729735bd651e1decc.html.

[4] 国家卫生健康委员会. 关于政协第十四届全国委员会第三次会议第04709号(医疗卫生类386号)提案的答复[EB/OL]. (2025-07-18)[2026-08-11]. https://www.nhc.gov.cn/wjw/tia/202508/f2dba0ea23f5478ba332706cc3ce1f93.shtml.

[5] 国务院新闻办公室. 高质量完成“十四五”规划系列主题新闻发布会[EB/OL]. [2026-08-11]. http://www.scio.gov.cn/gxzt/dtzt/zt2025/gzlwcxwfbh/index.html.

[6] SHI X M, LYU Y B, FAN L, et al. Burden of non-communicable diseases due to population ageing in China: challenges to healthcare delivery and long term care services[J]. BMJ, 2026, 380(5): e072345.

[7] 国家卫生健康委员会. 对十四届全国人大三次会议第7909号建议的答复[EB/OL]. (2025-07-02)[2026-08-11]. https://www.nhc.gov.cn/wjw/jiany/202508/185bf6c6f83643f699b93ce0f18e8e63.shtml.

[8] 中国平安. 中國醫療健康市場規模預計由2019年人民幣6萬億元增長至2030年人民幣16萬億元[R/OL]. 深圳: 中国平安保险(集团)股份有限公司, 2025-12-01[2026-08-11]. https://www.pingan.com.

[9] 国家卫生健康委员会. 关于政协第十四届全国委员会第二次会议第02896号（医疗卫生类220号）提案答复的函[EB/OL]. (2024-07-08)[2026-08-11]. https://www.nhc.gov.cn/wjw/tia/202409/f021823578954d48a03e4f6b3498c1ab.shtml.

[10] 国家医疗保障局. 关于完善“互联网+”医疗服务价格和医保支付政策的指导意见[EB/OL]. (2019-08-30)[2026-08-11]. http://www.nhsa.gov.cn.

[11] 新政5年，医保不是线上医疗的付费方[EB/OL]. 动脉网, (2024-12-15)[2026-08-11]. https://www.vbdata.cn/1518963181.

[12] EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL. European Health Data Space Regulation (EHDS): Regulation (EU) 2025/327[S/OL]. Brussels: European Parliament and Council, 2024(2024-03-15) [2026-08-11]. https://eur-lex.europa.eu.

[13] Tanase A D , Popa M , Hoinoiu B ,et al.Does Paying the Same Sustain Telehealth? A Systematic Review of Payment Parity Laws[J].Healthcare (2227-9032), 2026, 14(2).DOI:10.3390/healthcare14020222.

[14] Cakici O , Mills A .Telehealth in Acute Care: Pay Parity and Patient Access[J].SSRN Electronic Journal, 2022.DOI:10.2139/ssrn.4045617.

[15] Dardashti, N., Ferguson, J.M., Nicholson, A. et al. Sociodemographic patterns of provider-to-home telehealth use within the Veterans Health Administration between 2015 and 2023[J]. Discov Health Systems 4, 80 (2025). https://doi.org/10.1007/s44250-025-00256-0

[16] Parikh D A , Rodgers T D , Passero V A ,et al.Teleoncology in the Veterans Health Administration: Models of Care and the Veteran Experience[J].American Society of Clinical Oncology Educational Book, 2024, 44(3).DOI:10.1200/edbk_100042.

[17] 国务院办公厅. 关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见：国办发〔2018〕26号[EB/OL]. (2018-04-28) [2026-08-11]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2018-04/28/content_5286645.htm.

[18] 5G基站达495.8万个！工信部将推动“双千兆”向“双万兆”演进[N/OL]. 中国工业新闻网, 2026-01-15 [2026-08-11]. https://www.cinn.cn.

[19] 5G + 医疗健康如何升级[EB/OL]. 健康报, (2025-01-14)[2026-08-11]. https://finance.sina.com.cn/jjxw/2025-01-14/doc-ineewwwi9016451.shtml.

[20] 远程医疗服务网络覆盖所有市县七成卫生院与上级医院建立远程医疗协作关系[EB/OL]. (2024-06-19) [2026-08-11]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202406/content_6958103.htm.

[21] 王俊. 加快智慧医疗应用落地[EB/OL]. 经济日报, (2026-04-06)[2026-08-11]. https://finance.sina.com.cn/jjxw/2026-04-06/doc-inhtpmeh4710480.shtml.

[22] Toll K, Jurat D, Andrew S, Williams A, Yeung J, Haywood Z, Cole A, Varhol R, Robinson S, Moullin JC. PROTOCOL: The Value of Rural Provider-to-Provider Telehealth for Emergency and Inpatient Care: An Evidence and Gap Map[J]. Campbell Syst Rev. 2026 Apr 4;22(2):18911803261438702. doi: 10.1177/18911803261438702.

[23] Goldsack J C , Holliday C , Sharma Y ,et al.Development of an evidence-based evaluation framework for digital health software products[J].Scientific Reports, 2025, 15(1).DOI:10.1038/s41598-025-21996-2.

参考文献

[24] 肖燕,尹心红,王志敏,等.远程医疗在高血压病人自我管理中应用 效果评价的Meta分析[J].Chinese Evidence-based Nursing, 2021, 7(3).DOI:10.12102/j.issn.2095-8668.2021.03.001.

[25] 杨武威,周凡渝,罗富良,等.远程肿瘤消融临床应用综合效能评估体系的构建[J].中国研究型医院（中英文）, 2025, 12(06):11-26.DOI:10.19450/j.cnki.jcrh.2025.06.002.

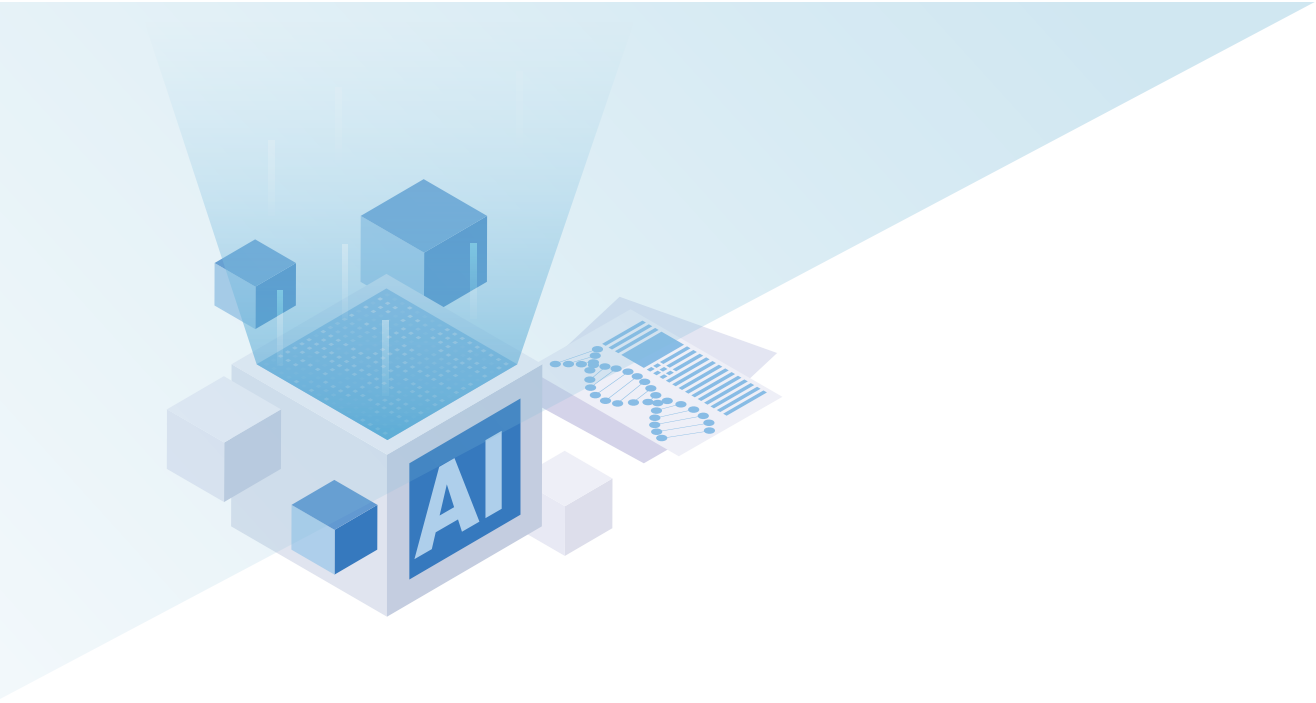
[26] 路阳,吴雪莹,武雨.新疆地区住院患者远程医疗服务满意度现状调查[J].现代医药卫生, 2024, 40(18):3168-3173.

[27] Candio P , Ooms T .A conceptual framework and umbrella review of digital health technology interventions and health equity[J].BMC Health Services Research, 2025, 26(1):1-13.DOI:10.1186/s12913-025-13696-4.

[28] 国家卫生健康委办公厅, 国家发展改革委办公厅, 工业和信息化部办公厅, 等. 关于促进和规范“人工智能+医疗卫生”应用发展的实施意见：国卫办规划发〔2025〕30号[EB/OL]. (2025-10-20)[2026-08-11]. https://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/c100133/202511/d1a42ae835c743b9b3e83ac0253c3e9f.shtml.

[29] Volandes A E , Davis A D , Goldstein N E . From Bandwidth to Bedside - Bringing AI-Enabled Care to Rural America[J]. The New England Journal of Medicine, 2025, 393(22): 2182-2185. DOI:10.1056/NEJMp2509491.

[30] POOL J, INDULSKA M, SADIQ S. Large language models and generative AI in telehealth: a responsible use lens[J]. Journal of the American Medical Informatics Association, 2024, 31(9): 2125-2136. DOI:10.1093/jamia/ocae035.



浙江大学医学院附属第二医院

地址：浙江省杭州市上城区解放路88号

邮编：310009

网址：https://www.z2hospital.com/

华为技术有限公司

地址：深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼

邮编：518129

网址：https://www.huawei.com

版权所有©浙江大学医学院附属第二医院 / 华为技术有限公司2026。保留一切权利。

本白皮书著作权属于浙江大学医学院附属第二医院、华为技术有限公司共同所有。转载、摘编或以其他任何方式使用本白皮书的全部或部分内容的，应注明来源，违反上述声明者，著作权方将追究其相关法律责任。