分子检验技术在感染性疾病中的应用

崔菲　龚倩　叶升红

（云南省保山市第二人民医院医学 检验科　678000）

【摘　要】分子检验技术快速发展，为感染性疾病精准诊断提供了关键支撑，但在西部边境地区推广应用时，仍受地理条件、资源配置、基层能力等现实因素制约。本文以云南省保山市为研究对象，系统分析 PCR 核酸扩增、高通量测序、分子即时检测（POCT）三类核心技术，在疟疾、结核病、艾滋病等重点感染性疾病防控中的应用现状、实践成效与优化方向。研究显示，保山市立足边境口岸区位特点，建成疟疾基因诊断参比网络实验室、实现结核病分子耐药筛查全覆盖、推动分子快速检测向基层与口岸前移，初步构建“精准识别 — 快速反馈 — 动态响应”的分子流行病学防控闭环。在此基础上，本文提出建设边境地区“分子哨点”监测网络，推动分子检验技术深度嵌入国门传染病防控体系，为我国西部同类边境地区提供可复制、可推广的实践参考。

【关键词】分子；检验技术；感染性疾病；边境防控；即时检测

Application of Molecular Diagnostic Technologies in Infectious Diseases

Cui Fei　Gong Qian　Ye Shenghong

（Department of Clinical Laboratory, Second People's Hospital of Baoshan City, Yunnan Province　678000）

[Abstract] The rapid development of molecular diagnostic technologies has provided critical support for the precise diagnosis of infectious diseases; however, their widespread adoption in western border regions remains constrained by practical factors such as geographical conditions, resource allocation, and local healthcare capacity. This paper takes Baoshan City, Yunnan Province, as a case study to systematically analyze the current application status, practical outcomes, and optimization directions of three core molecular diagnostic techniques—PCR-based nucleic acid amplification, high-throughput sequencing, and Point-of-Care Testing (POCT)—in the prevention and control of key infectious diseases such as malaria, tuberculosis, and AIDS. The study reveals that, leveraging its strategic location as a border port city, Baoshan has established a reference network laboratory for genetic diagnosis of malaria, achieved full coverage of molecular drug resistance screening for tuberculosis, and facilitated the migration of rapid molecular testing services to primary healthcare facilities and border checkpoints, thereby preliminarily establishing a closed-loop molecular epidemiological prevention and control system based on "precise identification – rapid feedback – dynamic response." Building upon this foundation, this paper proposes the establishment of a "molecular sentinel" surveillance network in border areas to deeply integrate molecular diagnostic technologies into the national infectious disease prevention and control system, thereby providing replicable and scalable practical references for similar border regions across western China.

[Key words] molecules; laboratory testing techniques; infectious diseases; border prevention and control; rapid testing

感染性疾病长期威胁全球公共卫生安全，世界卫生组织数据显示，下呼吸道感染位居全球死因第四位。在传统微生物培养、免疫学检测模式下，约 70% 的感染性疾病患者无法获得明确病原学诊断，导致治疗盲目、病程延误、疫情扩散风险上升。近年来，以 PCR 核酸扩增、高通量测序、分子即时检测为代表的分子检验技术快速迭代，推动病原检测从形态学观察迈入基因组学精准鉴定阶段。但技术可及性存在显著区域差异：中心城市大型医院已常规开展宏基因组测

序临床应用，而西部边境基层医疗机构仍以涂片镜检等传统方法为主，检测效率与准确性难以满足跨境防控需求。保山市地处云南省西部，与缅甸接壤，边境线长、人员往来频繁、物流通道密集，同时面临本土病例与境外输入病例双重防控压力，是观察分子检验技术基层落地效果的典型区域。本文以保山市实践为样本，探讨分子检验技术如何适配边境地区实际，在感染性疾病早发现、快处置、精准干预中发挥核心作用，实现从临床诊断工具到公共卫生防控体系的功能升级。

一、分子检验技术的应用逻辑

分子检验技术的核心优势，在于跳过病原培养周期，直接从核酸层面识别病原体、确定基因型、检出耐药突变，大幅缩短诊断时间。在边境地区，这一优势直接关系疫情阻断效率。保山市腾冲市为国家一类口岸，跨境务工、商贸往来人员密集。2023 年全市报告疟疾病例 55 例，均为境外输入，其中 92.7% 来自缅甸，腾冲市占比达 74.6%，较 2022 年的 5 例大幅上升。病例以青壮年农民为主，多为跨境务工返乡人员，呈现典型的输入性、流动性特征。传统镜检法操作简便，但对低密度虫血症、混合感染病例灵敏度不足，面对大量发热患者筛查时，漏检风险持续累积[1]。2023 年全市发热血检达 16271 例，传统方法已难以支撑高效筛查。分子检验技术可在当日完成采血、核酸提取、基因分型全流程，将疫点处置响应速度从 “天级” 压缩至 “小时级”，有效阻断输入性病例本地传播链。结核病防控同样印证分子检验的核心价值。保山市隆阳区推行 “防治管教四级联动” 模式，2025 年结核病报告发病率较 2007 年下降 32.48%，但耐药结核病治疗成功率仍需巩固提升。云南省数据显示，分子诊断技术全面推广后，全省结核病病原学阳性率从 2014 年 24.84% 升至 2024 年 70.15%，耐药筛查率从 21.49% 升至 97.27%[2]。传统痰涂片对菌阴结核病检出率极低，而分子检测可覆盖传统方法漏诊病例，耐药筛查结果直接指导治疗方案选择，避免无效用药、减少耐药传播。保山实践表明，诊断技术从 “能检出” 升级为 “查得准”，可推动防控模式从被动追踪转为主动发现，提升整体防控效能。

2.分子检验技术的临床定位

边境地区感染性疾病种类多、输入风险高、基层条件有限，需结合病原特点、临床场景、基层能力，分层选择适配的分子检验技术。当前主流技术可分为三个应用层级。

2.1 靶向快速：基层主力检测技术

实时荧光定量 PCR（qPCR）是分子检验的基础技术，灵敏度高、特异性强、检测耗时短，是基层最易推广的分子手段。多重 PCR 可实现单管多靶标同步检测，适用于呼吸道感染等多种病原快速筛查。在保山，结核病检测以 GeneXpert 等自动化核酸扩增平台为主，已实现全市覆盖。云南省 161 个结核病实验室通过国家分子诊断技术能力验证，通过率 99.38%，平均诊断时间从 2015 年 44 天缩短至 2024 年 28 天[3]。保山市作为全省网络关键节点，推动分子耐药筛查全覆盖，形成 “发现即筛查、确诊即精准治疗” 的结核病诊疗闭环。

2.2 复杂感染确诊工具

宏基因组二代测序（mNGS）无需预设病原，可无偏倚检出标本中所有微生物核酸，在罕见病原、新发传染病、混合感染诊断中具有不可替代优势。但该技术设备昂贵、操作复杂、对生物信息分析能力要求高，暂不适合基层全面铺开。保山市腾冲市建成全市首个县级疟疾诊断参比网络实验室，实现疟疾诊断从形态学镜检向基因精准鉴定转型，完成 “查虫体” 到 “查核酸” 的技术升级。随着成本下降与靶向测序（tNGS）普及，测序技术正从科研走向临床，为边境地区疑难感染病例提供确诊支撑[4]。

2.3 口岸与基层快检突破

分子 POCT 将核酸提取、扩增、检测集成于便携设备，可在村卫生室、口岸检疫点、工地筛查点现场开展检测，真正实现 “采样即测、即时出结果”。保山市昌宁县已在流动人口集中区域开展 HIV 免费筛查，若将传统免疫检测升级为分子 POCT，可检出窗口期感染者，大幅提升早期发现能力[5]。保山市疾控中心 2025 年艾滋病防治项目招标纳入多种分子检测试剂，反映出基层对快速、精准、便携检测技术

的迫切需求。

3.保山市分子检验技术应用创新实践

保山市立足边境区位、疾病谱特点与基层条件，推动分子检验技术与防控体系深度融合，形成多项可复制的实践经验。

腾冲市依托边境媒传热带病防控与科研中心，整合疾控、医疗、口岸资源，推动分子检验技术转化应用。在疟疾防控中，除虫种基因鉴定外，同步开展抗疟药物耐药基因监测，为跨境输入病例精准用药提供依据。在结核病防控中，将分子耐药筛查从 “可选项目” 转为 “必做项目”，建立县 — 乡 — 村三级标本快速送检网络，解决基层标本转运难题。保山市疾控中心 2026 年预算明确提出扩大疫苗接种与种类，推动分子检验数据与流行病学监测系统对接，构建 “检测 — 预警 — 处置” 实时响应机制。新冠疫情期间建立的多重 PCR 快速筛查能力，已逐步向流感、腺病毒等急性呼吸道传染病延伸，形成平战结合的技术储备。

上述实践逐步形成 “分子哨点” 防控理念：在口岸、重点乡镇、流动人口聚集区布设分子检测节点，以高灵敏度、快周转速度构筑境外病原输入第一道防线，将检测能力从医院下沉至国门一线，使分子检验从临床诊断工具升级为公共卫生基础防控设施。

4.现实挑战与发展展望

尽管保山市分子检验技术应用取得阶段性成效，但仍面临多重制约。一是高端测序平台本地化运行成本高、设备维护与生物信息分析人才短缺；二是跨境输入病原基因多样性监测不足，缺乏本地数据库支撑，难以开展深度分子流行病学分析；三是分子 POCT 尚未覆盖村级医疗机构，基层 “最后一公里” 仍未打通。

未来可从三方面优化：一是参照《成人呼吸道感染病原诊断核酸检测技术临床应用专家共识（2023）》分层策略，优先在口岸、村卫生室布局分子 POCT，补齐基层快检短板；二是建立境外输入疟疾、结核分枝杆菌耐药基因本地数据库，为精准用药与疫情研判提供支撑；三是推动分子检验数据接入区域性传染病监测平台，实现跨境病原信息共享、协同预警、联合处置，提升国门综合防控能力。

5.结语

保山市实践证明，分子检验技术在边境地区的应用，不仅是诊断技术升级，更是公共卫生治理模式的创新。以分子检验为核心构建 “精准识别 — 快速反馈 — 动态响应” 防控闭环，可在病原体入境第一时间完成鉴定与风险评估，实现从被动应对到主动防控的转变。这一路径适合我国西部陆地边境地区推广，对筑牢国门传染病防控屏障、保障边境群众健康具有重要现实意义。

参考文献：

[1]杨合仙，黄东升，聂凡刚. 云南省保山市 2023 年疟疾疫情及防控措施分析[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志，2024, (3): 418-420.

[2]陈鑫龙. 云南省 161 个结核病实验室通过全国结核病分子诊断技术能力验证[N]. 云南日报，2025-02-20.

[3]中华检验医学培训工程专家委员会，中华医学会呼吸病学分会. 成人呼吸道感染病原诊断核酸检测技术临床应用专家共识（2023）[J]. 协和医学杂志，2023.

[4]徐春英，瞿介明，等. 高通量测序技术将成为复杂感染诊断主流检测手段：成人呼吸道感染病原诊断核酸检测技术临床应用专家共识解读[J]. 2023.

[5]保山市疾病预防控制中心. 回望 “十四五” ——腾冲疾控：厚植根基守国门 精耕防控筑健康屏障[EB/OL]. 保山疾控，2026-03-25