·医学工程·

GE Voluson E10 超声诊断系统结构原理分析与故障维修

李大益[1] 何世乔[1*] 李建南[2]

（1.灵山县人民医院医疗器械科，钦州 535400；2.南宁市信亦昱电子产品有限公司，南宁 530000）

【摘要】 GE Voluson E10作为妇产及胎儿超声领域的旗舰级诊断设备，凭借其卓越的图像质量、先进的四维成像技术和强大的数据处理能力，在三级甲等医院中得到广泛应用。本文深入剖析Voluson E10系统的硬件系统架构与信号处理流程，从4个方向阐述了该设备在信号处理流程方面的性能优化表现，并结合医院设备多年的运行维护记录，系统性地归纳其常见故障类型及其核心排查思路。通过对电源系统故障、探头识别与图像伪影、四维成像卡顿3大典型维修案例的详细分析，总结了一套从故障现象判断、根源分析到分步排查与解决的标准化流程，旨在为超声设备高效运维和服务连续性提升提供理论和实操参考。

【关键词】 GE Voluson E10；设备结构；信号处理；故障维修；医疗设备管理

【中图分类号】 TH789; R197.39 【文献标识码】 A 【DOI】 10.11876/mimt202506016

Analysis of the structural principles and fault repair of GE Voluson E10 ultrasound diagnostic system

Li Dayi[1], *He Shiqiao*[1*], *Li Jiannan*[2]

(*1.Medical Device Department, Lingshan County People's Hospital, Qinzhou 535400, China; 2.Nanning Xinyiyu Electronic Products Co., Ltd., Nanning 530000, China*)

【Abstract】 As a flagship diagnostic device in the field of obstetrics and gynecology and fetal ultrasound, the GE Voluson E10 has been widely adopted in tertiary grade-A hospitals due to its outstanding image quality, advanced four-dimensional imaging technology, and powerful data processing capabilities. This article delves into the hardware system architecture and signal processing flow of the Voluson E10 system, elaborating on its performance optimization in the signal processing flow from four perspectives. It also systematically summarizes the common fault types and core troubleshooting ideas based on the operation and maintenance records of the equipment in hospitals over many years. Through detailed analysis of three typical maintenance cases including power system faults, probe recognition and image artifacts, and four-dimensional imaging lag, a standardized process from fault phenomenon judgment, root cause analysis to step-by-step troubleshooting and resolution is summarized. This article aims to provide theoretical and practical references for the efficient operation and maintenance of ultrasound equipment and the improvement of service continuity.

【Key words】 GE Voluson E10; Equipment structure; Signal processing; Fault repair; Medical equipment management

通用电气（GE）的Voluson系列超声诊断仪，特别是其高端型号Voluson E10，已成为现代妇产科学、胎儿心脏病学和生殖医学等领域不可或缺的影像学检查工具[1]。Voluson E10集成了创新的Radiance系统架构，采用了先进的电子矩阵四维探头技术，并支持高清实时血流成像（HDlive Flow）和定量应变弹性成像（quantitative strain elastography）等功能[2]。这些技术的融合，使其在胎儿结构异常筛查、胎儿心脏功能评估[3]以及组织硬度量化分析等方面展现出重要的临床价值。

第一作者：李大益，男，大专，助理工程师，研究方向：医学工程

通信作者：何世乔，男，本科，高级工程师，研究方向：信息系统项目管理、医学工程

然而，Voluson E10系统的高度集成化和复杂性也给医院医疗工程部门带来了新的挑战。其精密的光、电、声学组件，以及高负荷运行的图像处理单元，在长期使用过程中不可避免地会出现各类软硬件故障[4]。对于三级甲等医院而言，此类高端设备的任何非计划停机都可能直接影响临床工作流程，甚至延误危重患者的诊断。因此，建立一套科学、高效的Voluson E10维护与维修体系，对于保障医院核心诊疗业务的顺利开展至关重要。

本研究基于某三级甲等医院医疗器械科数年来对多台GE Voluson E10设备的运维实践，从设备结构原理出发，梳理常见故障类型及其排查思路，并提供典型故障的分析和维修案例，以期建立一套科学、系统、高效的GE Voluson E10维修体系，以保障医院核心诊疗业务的连续、安全与高质量开展。

1 GE Voluson E10系统结构与性能优化

尽管制造商出于商业保密原因，并未公开Voluson E10详尽的内部硬件原理图，但依据超声系统设计的通用原则和该设备的公开性能参数，我们可以构建其系统架构的通用模型。Voluson E10的卓越性能得益于其高度协同的硬件系统架构和先进的信号处理流程。

1.1 硬件系统架构

Voluson E10的硬件系统可大致划分为探头、模拟/数字前端、数字波束形成器、图像处理与重建单元、主机系统几个核心模块，这些模块通过高速数据总线紧密耦合，协同完成从信号激发到图像呈现的全过程。见图1。

（1）探头：Voluson E10采用电子矩阵凸面探头，其集成了超过8 000个压电晶体。这些晶体阵元在电脉冲激励下产生超声波，并接收组织反射的回波信号，实现电能与声能的双向转换。

（2）模拟/数字前端：用于连接探头和数字处理核心，包括以下几个部分。①发射/接收开关，负责在高压发射和微弱回波接收两个通路之间进行高速切换，保护低噪声放大器免受高压冲击。②发射电路，产生精确可控的高压电脉冲，驱动探头晶体发出特定频率和焦距的声束。③接收通路，包括低噪声放大器（low–noise amplifier, LNA）、时间增益补偿（time gain compensation, TGC）和模数转换器（analog to digital converter, ADC）。LNA负责放大微伏级别的回波信号；TGC根据回波深度动态调整增益，补偿声衰减；ADC则将模拟回波信号高速采样，转换为数字信号。

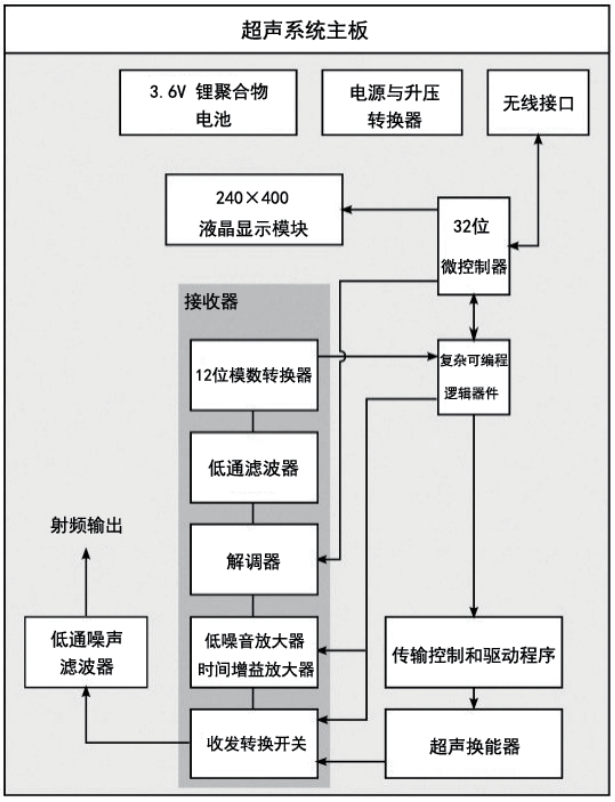


图1 高端超声系统通用硬件架构[5]

（3）数字波束形成器：这是超声成像的“大脑”，也是Voluson E10实现高速、高分辨率成像的关键。它对从各个晶体阵元采集的数字信号进行精确的延时和加权求和，并在空间中合成聚焦的发射声束和接收声束，从而决定了图像的横向分辨率和对比度。Voluson E10强大的并行处理能力使其能够实现极高的容积采集速度，为实时四维成像奠定基础。

（4）图像处理与重建单元：该单元通常由高性能的现场可编程门阵列（field–programmable gate array, FPGA）和图形处理器（graphics processing unit, GPU）构成。它接收来自波束形成器的数据，执行包括信号检波、对数压缩、扫查转换、组织谐波成像、斑点噪声抑制、彩色多普勒处理、三维/四维容积数据重建以及弹性成像数据计算在内的一系列复杂运算。

（5）主机系统：以PC架构为基础，包括中央处理器（central processing unit, CPU）、内存、硬

盘、电源模块以及在其上运行的操作系统和应用软件。它负责整个系统的任务调度、用户交互、图像显示、数据存储和网络通信。

1.2 信号处理流程

Voluson E10的信号处理流程是一个从物理声学到数字图像的转换过程。该流程的核心在于，系统通过精确控制发射序列，获取大量原始射频（radio frequency, RF）数据，再通过强大的后端并行计算能力，实时生成包括B模式、彩色多普勒、3D静态以及4D动态在内的多种高质量诊断图像[6]，其Radiance架构优化了从波束形成到图像渲染的每一个环节，特别是通过创新的透明模式，增强了对微小血管和复杂心脏结构的立体感知[7]。见图2。

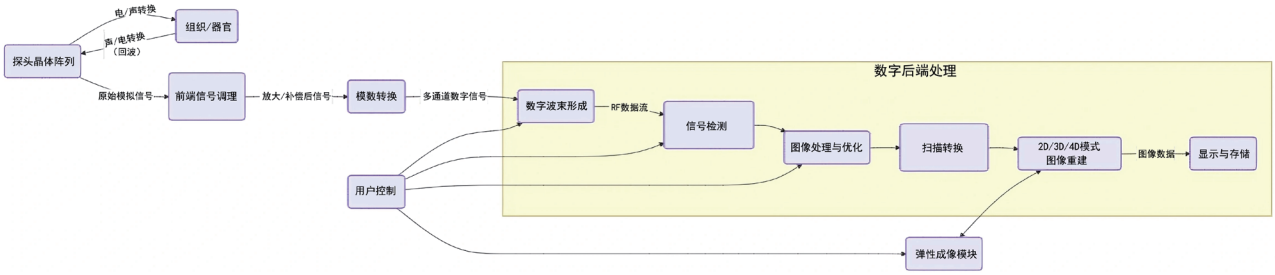


图2 Voluson E10信号处理与成像流程

1.3 性能优化

在信号处理系统中，性能优化是提升处理效率、降低资源消耗和提升实时性的关键。针对Voluson E10等高性能超声设备，其信号处理流程的性能优化主要体现在以下几个方面。

（1）内存访问优化：在信号处理中，内存访问的效率直接影响处理速度。例如，在等化器模块的实现中，通过优化内存访问模式可显著提升性能。类似地，在Voluson E10的信号处理中，通过优化数据缓存和内存访问路径，可减少数据传输延迟，提升处理速度。

（2）并行处理与并行性应用：并行处理是提升性能的重要手段。在信号处理流程中，通过并行计算可同时处理多个数据流。例如，在快速傅里叶变换（fast Fourier transform, FFT）等计算中，通过并行计算可显著降低处理时间。Voluson E10的数字波束形成器可以采用类似策略，通过并行处理多个探头信号，提升实时成像能力。

（3）算法优化与算法迭代：算法优化是提升性能的核心。在信号处理中，通过优化算法结构可提升效率。例如，在等化器模块中，通过优化算法迭代和参数调整，可提升信号恢复精度。Voluson E10的图像处理单元可以采用类似策略，通过优化图像重建算法提升处理速度。

（4）跨平台优化与硬件适配：在不同硬件平台如个人计算机（personal computer, PC）、数字信号处理器（digital signal processor, DSP）、FPGA上，信号处理流程的优化策略不同。例如，在FPGA环境中，通过硬件加速可提升性能。Voluson E10可以采用类似策略，通过硬件加速模块如FPGA优化信号处理流程，提升实时性。

2 常见故障类型与维修案例分析

基于本院对Voluson E10的长期维护记录，我们将其常见故障归纳为以下几类：电源系统故障、探头及接口相关故障、图像质量异常、系统软件及数据处理故障。各类故障的常见现象、可能原因和核心排查思路见表1。以下通过3个真实案例对典型故障的排查和维修过程进行深入分析。

2.1 案例一：设备无法开机，电源指示灯闪烁

2.1.1 故障描述

2024年8月，一台Voluson E10在晨间开机时无任何反应，主机前面板电源按钮的LED指示灯呈规律性闪烁，风扇不转，显示器不亮。

2.1.2 故障分析与排查

（1）初步判断：指示灯闪烁通常是电源系统自检未通过或进入保护模式的信号。故障范围初步锁定在外部供电、主机电源模块（power supply unit, PSU）及主板供电部分。

（2）外部检查：首先检查墙上插座、电源线以及设备连接的在线式UPS，均正常工作，排除了外部供电问题。

表1 GE Voluson E10常见故障分类与排查思路

故障类型	常见现象	可能原因	核心排查思路
电源系统故障	无法开机、开机后立即断电、运行中死机或重启	外部供电不稳、不间断电源（uninterruptible power supply, UPS）故障、主机电源模块（power supply unit, PSU）失效、主板供电电路损坏	1.检查外部电源与UPS；2.测量PSU各路输出电压；3.观察主板指示灯状态，最小化系统测试
探头及接口相关故障	系统不识别探头、探头图像出现规律性黑线/盲区、图像严重噪声	探头内部晶体损坏/脱胶、电缆断裂[8]、探头接口针脚接触不良/氧化、主机探头接口板故障	1.清洁并检查探头与主机接口；2.更换同一型号的正常探头并进行交叉测试；3.使用探头测试仪（若有）进行检测
图像质量异常	图像亮度不均、特定区域模糊、彩色血流不敏感、伪影严重	时间增益补偿（time gain compensation, TGC）控制电路异常、波束形成器故障、发射/接收通路参数漂移、软件参数设置错误	1.恢复出厂预设参数；2.使用标准体模进行图像质量检测[9]，评估均匀性、分辨率等指标；3.运行系统内置的硬件诊断程序
系统软件及数据处理故障	系统启动缓慢、操作卡顿、特定功能（如四维成像模式）下死机、数据无法保存	操作系统文件损坏、硬盘坏道、应用软件漏洞、图像处理板卡过热或损坏	1.检查系统日志文件，分析错误代码[10]；2.对硬盘进行健康度扫描；3.重新安装或升级系统软件；4.检查散热风扇，清理灰尘

（3）内部排查：断开市电，打开主机后盖，对内部进行目视检查，未发现明显的烧毁、电容鼓包等痕迹；将PSU与主板及其他负载的连接器断开，使用万用表对PSU的各路直流输出如+12 V、+5 V、+3.3 V、–12 V等进行单独加电测试。测试发现，主供+12 V的一路电压在加载模拟负载后迅速跌落至5 V以下，表明该PSU存在内部故障，无法提供额定功率。

2.1.3 故障定位与解决

故障根源确认为PSU内部功率器件老化或损坏，导致其输出能力不足，触发系统保护机制。随后联系GE官方工程师，更换了同型号的PSU备件。

2.1.4 验证与总结

更换PSU后，设备顺利开机，并通过了全部硬件自检，运行稳定。此案例表明，对于“无法开机”这类根本性故障，应遵循“由外到内，由简到繁”的原则，首先排除外部因素，再利用测量工具对核心供电单元进行诊断，是快速定位问题的有效方法。

2.2 案例二：RAB6–D探头图像出现规律性扇形黑区

2.2.1 故障描述

产科常用的一支RAB6–D四维容积探头，在二维模式下使用时，图像中心区域出现一个明显的扇形暗区，提示信号缺失，切换到四维模式下，重建的容积图像也存在相应的数据缺失。

2.2.2 故障分析与排查

（1）初步判断：规律性的图像缺失，特别是呈条状或扇形的伪影，初步判断与探头晶体阵元、内部连线或主机探头接口有关。

（2）交叉测试：将该故障探头连接到另一台工作正常的Voluson E10上，故障现象复现。同时，将一支正常的RAB6–D探头连接到原机器上，图像显示正常。通过此交叉测试，可以确定故障源于探头本身，而非主机。

（3）细节检查：仔细检查探头电缆，未发现明显的外伤、折痕或破损。检查探头与主机的连接器部分，针脚完整，无弯曲或氧化。

2.2.3 故障定位与解决

综合判断，故障最可能的原因是探头内部的部分晶体阵元失效，或与之相连的微同轴电缆发生断路。对于Voluson E10使用的电子矩阵探头，其内部结构极为复杂，维修难度极高，通常不具备院内修复条件。与厂商沟通后，确认是内部阵元损坏，最终采取了更换探头的方案。

2.2.4 验证与总结

新探头到货后图像正常。此案例强调了“交叉测试法”在判断故障部位时的决定性作用。对于昂贵的四维探头，日常使用中应严格遵守操作规范，避免磕碰、过度弯折电缆，以延长其使用寿命。

2.3 案例三：执行四维成像及HDlive功能时系统卡顿、偶发性死机

2.3.1 故障描述

一台使用超过5年的Voluson E10在进行复杂的实时四维成像，特别是开启HDlive渲染模式时，系统响应变得异常缓慢，帧率显著下降，并在一周内发生2次蓝屏死机，但在常规二维或彩色多普勒模式下，设备运行基本正常。

2.3.2 故障分析与排查

（1）初步判断：故障与高计算负荷的功能即

四维成像及HDlive强相关，说明问题很可能出在负责大数据量处理的后端单元，即图像处理与重建单元如图形处理器（graphics processing unit, GPU）和FPGA板卡，或相关的软件及散热系统。

（2）软件层面排查：首先尝试了最简单的软件解决方案。进入服务模式，清除了系统临时文件和错误日志。之后，对系统硬盘进行了全面扫描，未发现坏道。考虑到可能是软件版本与硬件老化之间的兼容性问题，我们备份了用户数据后，执行了系统软件的重装（Restore），恢复到纯净的出厂状态。重装后，卡顿现象有所缓解，但高负荷运行时帧率依然不理想，且死机风险未完全排除。

（3）硬件层面排查：①散热检查。关机后打开机箱，发现负责为GPU和FPGA散热的多个风扇以及散热鳍片上积满了厚厚的灰尘和柳絮，严重影响了散热效率。②诊断程序。运行系统内置的硬件诊断程序，对GPU进行压力测试。在测试过程中，通过红外测温仪监测到GPU核心温度在短时间内飙升至95° C以上，远超正常工作范围，随即诊断程序报错。

2.3.3 故障定位与解决

故障根源是设备长期使用导致散热系统效能严重下降，使得GPU在执行四维成像等高负荷运算时因温度过高而自动降频导致卡顿，甚至触发过热保护导致系统崩溃。解决方案是对整个设备的散热系统进行彻底的清洁，包括所有风扇、散热片和通风道。

2.3.4 验证与总结

清洁工作完成后，重新开机进行压力测试，GPU满载温度稳定在75° C左右。临床医生反馈，四维成像及HDlive功能恢复流畅，卡顿和死机问题彻底解决。此案例充分说明，对于长时间运行的高性能计算设备，因散热不良引发的性能下降乃至硬件损坏是常见故障模式，将其纳入预防性维护计划至关重要。

3 结论与展望

GE Voluson E10作为一款技术领先的高端超声设备，其稳定的运行是保障高质量临床诊断服务的基础。本文通过对其硬件系统架构和信号处理流程的梳理，结合一线维修经验，系统总结了其常见故障类型和核心排查思路。案例分析表明，将“交叉测试”“由外到内”“软硬兼施”等经典维修思想与对设备特性的深入理解相结合，是解决复杂故障的关键。

展望未来，随着医疗设备集成度的逐渐提高，对医疗工程师的技能要求也从传统的“修理匠”向“系统分析师”转变。未来的设备维护将更加侧重以下几个方面。

（1）数据驱动的预测性维护[11]：通过长期监测设备运行日志和性能参数，利用算法预测潜在的故障点，实现从“被动维修”到“主动干预”的转变。

（2）远程诊断与支持：利用物联网技术，使制造商能够远程接入设备进行初步诊断，缩短维修响应时间。

（3）基于AI的故障诊断辅助系统[12]：开发能够根据故障代码和现象描述，智能推荐排查步骤的专家系统，赋能初级工程师。

[参 考 文 献]

[1] Thomsen C R, Leonhard A K, Jensen M S S, et al. Quantitative strain elastography of the uterine cervix assessed by the GE Voluson E10 system in combination with a force–measuring device [J]. The Journal of Maternal–Fetal & Neonatal Medicine, 2023, 36(1): 2213797.

[2] Panchal S. Voluson E 10 radiance: a volume ultrasound scanner–a scanner with a difference [J]. Journal of Obstetrics and Gynaecology of India, 2015, 65(6): 426–428.

[3] 张秋秋. 三维能量多普勒超声评价ICP患者胎盘血流灌注的研究 [D]. 南充: 川北医学院, 2022.

[4] 林兴映. GE E10彩超设备的常见故障及维修保养分析 [J]. 机电产品开发与创新, 2024, 37(3): 156–158.

[5] Pitre J J, Koziol L B, Kruger G H, et al. Design and testing of a single–element ultrasound viscoelastography system for point–of–care edema quantification [J]. Ultrasound in Medicine & Biology, 2016, 42(9): 2209–2219.

[6] 陆丽萍, 陈婷, 冯娟. 超声下胎儿髋关节影像学参数对胎儿发育评价的应用价值研究 [J]. 中国处方药, 2021, 19(1): 151–152.

[7] 杨晓慧. 解惑产筛：从超声筛查到母胎医学 [J]. 中国医院院长, 2015(13): 37.

[8] 沙德光. 超声探头常见故障及维修 [J]. 医疗装备, 2017, 30(7): 62.

[9] 赵坚. 超声诊断仪器的预防性维护与故障解决方案 [J]. 中国医药导报, 2015, 12(16): 165–168.

[10] 吴开霞, 陈雪. 免疫分析仪质控系统设计与实现 [J]. 软件导刊, 2017, 16(5): 103–105.

[11] 朱宗达, 张睿. 人工智能在超声设备维护管理中的应用前景 [C]//中国医学装备协会,《中国医学装备》杂志社. 2019中国医学装备大会论文集. 北京:《中国医学装备》杂志社, 2019: 14–17.

[12] 张光宇. 基于挖掘稀有类型日志的系统故障诊断方法 [D]. 武汉: 武汉大学, 2018.