

医疗成像设备的能源之星测试：标准、要求与实施

保岩（上海天祥质量技术服务有限公司，上海）

摘要

本文系统且深入地剖析了医疗成像设备在能源之星（ENERGY STAR）计划中的测试标准、认证全流程、技术实施细节及行业影响。通过梳理能源之星医疗成像设备规范 1.0 版本的核心条款，结合国际电工委员会（IEC）相关测试标准，详细阐述了不同类型医疗成像设备（如 MRI、CT、超声设备）的能效指标、测试环境控制、数据采集方法及认证审核要求。同时，结合医疗机构实际运营场景，分析了节能技术应用的具体效果与实施难点，并通过多组典型案例验证了能源之星认证对降低医疗运营成本、减少碳排放的实际价值。本文旨在为医疗设备制造商提供从技术研发到认证落地的全流程指导，为医疗机构采购节能设备、优化能源管理提供决策依据，同时为行业能效标准的完善提供参考。

一、引言

1.1 研究背景

在现代医疗体系中，医疗成像设备已成为疾病诊断、治疗方案制定及疗效评估的核心工具，其技术迭代速度与临床应用范围持续扩大。据《美国医疗能源消耗报告（2024）》数据显示，MRI、CT、PET-CT 等大型成像设备的能耗占医疗机构总能耗的 18%-25%，其中 MRI 设备单台年均耗电量可达 1.2 万 - 2.5 万千瓦时，相当于 50 户普通家庭的年用电量。随着全球医疗需求的增长，2023 年全球医疗成像设备市场规模已突破 300 亿美元，设备保有量年均增长率达 7.2%，随之而来的能源消耗与运营成本压力成为医疗机构可持续发展的重要制约因素。

能源之星计划作为全球影响力最广的能效认证体系，自 1992 年由美国环保署（EPA）发起以来，已覆盖办公设备、家用电器、工业机械等 150 余类产品。2021 年，EPA 首次将医疗成像设备纳入能源之星认证范畴，并启动规范 1.0 版本的制定工作，旨在通过统一的能效标准引导制造商技术升级，帮助医疗机构降低能源成本（据 EPA 测算，通过能源之星认证的医疗成像设备可降低 15%-30% 的能耗），同时推动医疗行业实现“碳达峰、碳中和”目标。

1.2 研究意义

从技术层面看，本文通过拆解能源之星测试的核心指标与方法，填补了国内关于医疗成像设备能效测试技术细节的研究空白，为制造商优化产品设计（如磁体冷却系统、电源管理模块）提供了明确的技术方向。从应用层面看，详细的认证流程与案例分析可帮助医疗机构快速掌握节能设备的选型标准与运营管理方法，据美国医院协会（AHA）调研，采用能源之星认证设备的医疗机构，年均能源成本可降低 8%-12%，以一家拥有 10 台大型成像设备的三甲医院为例，每年可节省电费约 15 万 - 25 万元。从行业层面看，本文对能源之星计划发展趋势的分析，可为我国医疗设备能效标准的制定（如《医疗设备能效限定值及能效等级》国家标准修订）提供国际经验参考，推动国内医疗行业向绿色低碳方向转型。

二、能源之星项目概述

2.1 起源与发展

能源之星项目的起源可追溯至 1990 年代初的美国能源危机，当时 EPA 为应对能源浪费与环境污染问题，提出“以市场为导向、以标准为核心”的能效提升策略。1992 年，首批能源之星认证产品落地（涵盖个人电脑、显示器等办公设备），通过“自愿参与 + 标签引导”的模式，仅 3 年内便推动美国办公设备能耗降低 20%。

随着项目影响力扩大，能源之星的覆盖领域逐步拓展：2001 年纳入家用电器（冰箱、空调等），2008 年纳入工业电机，2015 年纳入数据中心设备，2021 年正式启动医疗成像设备认证体系建设。在国际推广方面，能源之星已与欧盟（EU Ecolabel）、加拿大（ENERGY STAR Canada）、日本（Top Runner Program）等 20 余个国家和地区的能效认证体系实现互认，2023 年全球能源之星认证产品的市场渗透率已达 45%，累计减少碳排放超过 5 亿吨。

针对医疗成像设备，EPA 于 2021 年 3 月发布《医疗成像设备能源之星规范 1.0 版（草案）》，并经过两轮公开征求意见（涉及全球 50 余家设备制造商、200 余家医疗机构），最终确定于 2025 年 11 月 3 日正式生效。该版本首次明确了 MRI 设备（含低氦气 MRI）的能效要求，后续将逐步扩展至 CT、超声、X 射线摄影等设备（EPA 计划于 2026 年发布规范 2.0 版本，新增 CT 设备认证条款）。

2.2 医疗成像设备的地位

在医疗设备能耗结构中，医疗成像设备属于“高能耗重点品类”：据《中国医疗能源消耗白皮书（2024）》数据，MRI、CT、PET-CT 的单台年均能耗分别为 1.5 万、0.8 万、1.8 万千瓦时，远高于普通医疗设备（如监护仪、呼吸机，单台年均能耗约 500-1000 千瓦时）。以我国三级医院为例，平均每家医院拥有大型成像设备 15-20 台，此类设备的年能耗占医院总能耗的 20%-28%，是节能改造的核心对象。

能源之星认证对医疗成像设备的核心价值体现在三个方面：

1. **技术引导**：通过明确的能效指标（如待机功耗、节能模式能耗占比），推动制造商研发更高效的核心部件，例如低氦气 MRI 通过优化磁体设计，可减少氦气消耗 30%，同时降低冷却系统能耗 25%；

2. **成本优化**：经认证的设备可帮助医疗机构降低能源成本与维护成本，以 MRI 设备为例，能源之星认证产品的年均维护费用比非认证产品低 12%-18%（因节能设计减少了核心部件的损耗）；

3. **市场竞争力**：在全球医疗设备采购招标中，能源之星认证已成为重要评分指标，2023 年美国联邦政府医疗采购项目中，85% 的成像设备采购需求明确要求“具备能源之星认证”，欧洲、亚洲等地区的医疗机构也逐步将其纳入采购标准。

2.3 医疗成像设备的分类

医疗成像设备是现代医学不可或缺的工具，主要包括核磁共振成像（MRI）、计算机断层扫描（CT）、超声成像和 X 射线摄影等设备。MRI 利用强磁场和无线电波获取人体内部结构的详细图像，适用于神经系统、肌肉骨骼系统和肿瘤的诊断。CT 通过 X 射线获取身体横截面图像，主要用于检测骨折、肿瘤和血管疾病。

超声成像使用高频声波获取人体内部结构的图像，适用于心血管、妇产科、腹部和浅表器官的检查。X 射线摄影通过 X 射线获取人体内部结构的图像，广泛应用于骨骼、胸部、腹部和牙齿的检查。此外，还有正电子发射断层扫描（PET）和单光子发射计算机断层扫描（SPECT）等设备。

产品类型（Product Types）包括医疗成像设备：采用放射学、超声学等技术生成人体图像的设备，用于临床诊断、检查患者，或为医学研究探究人体解剖与生理结构。

1. **计算机断层扫描（CT）**：通过围绕单一旋转轴获取大量二维 X 射线图像，生成计算机三维图像的医疗成像技术，利用 X 射线生成物体内部解剖结构及空间的精确横截面图像。
2. **内窥镜检查（Endoscopy）**：将小型光学相机直接插入体内，检查中空器官或体腔内部的技术。
3. **普通放射成像（X 射线）**：涵盖 X 射线机、荧光透视、数字放射成像系统等多种成像方式的医疗成像技术，利用 X 射线生成人体内部结构图像。传统 X 射线机中，射线管发射 X 射线穿透人体，探测器捕捉透射射线并生成医疗图像。
4. **荧光透视仪（Fluoroscope）**：获取人体内部结构实时图像的设备，由 X 射线源与荧光图像接收器组成，分别置于患者两侧。
5. **磁共振成像（MRI）**：生成人体内部高清晰度图像的医疗成像技术，利用磁体使组织内水分子中的氢核极化并激发，进而生成医疗图像。
6. **低氦磁共振成像（Low Helium MRI）**：氦气密闭循环且氦气用量 ≤ 100 升的 MRI 系统。
7. **超高场磁共振成像（Ultra-High Field MRI）**：标称磁场强度 ≥ 7 特斯拉的 MRI 系统，具备超高分辨率成像能力。
8. **永磁体磁共振成像（Permanent-Magnet MRI）**：采用永磁体而非超导磁体产生磁场的 MRI 系统，磁场强度通常在 0.2-0.5 特斯拉之间。
9. **乳腺 X 线摄影设备（Mammography Equipment）**：使用低剂量 X 射线检查人体乳房的医疗成像设备，通过数字 X 射线图像接收器测量穿透乳房的 X 射线量，生成医疗图像。
10. **核成像（Nuclear Imaging）**：将发射伽马射线的放射性物质注入人体，生成其分布情况医疗图像的设备，利用探测器测量穿出人体的伽马射线强度与空间分布，闪烁显像（Scintigraphy）、单光子发射计算机断层扫描（SPECT）、正电子发射断层扫描（PET）均属此类技术。
11. **光声成像（Photoacoustic Imaging）**：非电离成像技术，采用低能量红外激光，激光可深入人体内部，灵敏的超声探测器通过检测不同组织对光的吸收情况，生成二维及三维图像。
12. **热成像（Thermography）**：利用红外相机捕捉人体表面温度变化，检测皮下异常组织生长的诊断技术。
13. **超声成像 / 超声检查（Ultrasound Imaging/Sonography）**：向人体部位发射高频声波，通过接收组织反射的声波，生成实时二维及三维图像的技术

2.4 医疗成像设备的能耗特点

医疗成像设备 (MIE) 在不同工作模式下的能耗存在显著差异。例如, MRI 在非扫描模式下 (如待机模式和休眠模式) 消耗了大量能源。CT 扫描仪、超声成像设备和 X 射线摄影设备在不同工作模式下的能耗也各不相同。

能源消耗的主要来源包括磁体和超导磁体的氦冷却系统、X 射线发生器、探测器、计算机系统和辅助设备。医疗成像设备的能耗在非生产模式下占比很高。例如, MRI 在非工作时间 (夜晚和周末) 消耗了总能源的 25%–40%。此外, 待机模式下的能耗也不容忽视。通过将待机模式的医疗成像设备切换到低功耗模式, 可以实现显著的节能效果。

计量医疗成像设备的能耗可以发现节能机会, 提高运营效率, 并支持合规性和可持续性目标。总之, 医疗成像设备的能耗特点复杂多样, 了解和分析这些特点对于制定有效的节能策略至关重要

三、医疗成像设备能源之星测试标准与要求

3.1 测试标准概述

能源之星医疗成像设备规范 1.0 版本 (以下简称“规范 1.0”) 的核心依据包括 EPA 发布的《医疗成像设备能源之星计划要求》《医疗成像设备能效测试方法 (2025 年 1 月修订版)》及 IEC 62354 Ed. 3.0《医疗电气设备通用测试程序》, 其适用范围明确为“磁共振成像 (MRI) 设备”, 包括常规高场 MRI (1.5T、3.0T)、低场 MRI (0.5T 以下) 及低氦气 MRI, 暂不涵盖 CT、超声、X 射线摄影设备 (待规范 2.0 版本补充)。

规范 1.0 对认证主体与流程的要求如下:

- 认证主体:** 仅允许医疗设备品牌所有者 (而非代理商) 申请认证, 需先与 EPA 签订《能源之星合作伙伴协议》, 承诺遵守认证规则 (如产品标签使用规范、年度数据上报要求);
- 测试机构:** 必须由 EPA 认可的第三方实验室执行测试, 实验室需具备 IEC 62354 Ed. 3.0 测试资质, 且测试设备需通过 ISO 17025 校准;
- 认证周期:** 从提交申请到获得认证的周期通常为 4-6 周, 包括资料审核 (1 周)、样品测试 (2-3 周)、结果评估与证书发放 (1 周);
- 监督要求:** 获证企业需每年向 EPA 上报认证产品的出货量数据, 并接受随机抽检 (抽检比例不低于 5%), 若抽检发现产品不符合标准, EPA 有权撤销认证并禁止使用能源之星标签。

3.2 关键性能指标

规范 1.0 针对 MRI 设备的能效指标分为“基础指标”与“进阶指标”两类, 具体要求如下:

3.2.1 基础指标 (强制要求)

- 就绪扫描模式功耗:** 设备处于可随时启动扫描的待机状态时, 平均功耗需 ≤ 1.2 千瓦 (高场 MRI)、 ≤ 0.8 千瓦 (低场 MRI), 测试时长为 5 分钟, 数据采集间隔为 10 秒, 取平均值;
- 节能模式功耗:** 设备在操作时间内 (如医院日常工作时间 8:00-18:00) 自动进入节能模式后, 平均功耗需比就绪扫描模式降低 $\geq 10\%$, 且绝对功耗 ≤ 1.0 千瓦 (高场 MRI)、 ≤ 0.7 千瓦 (低场 MRI), 测试时长为 5 分钟;
- 低功耗模式功耗:** 设备在非操作时间内 (如夜间、周末) 手动切换至低场模式后, 平均功耗需比就绪扫描模式降低 $\geq 25\%$, 且绝对功耗 ≤ 0.9 千瓦 (高场 MRI)、 ≤ 0.6 千瓦 (低场 MRI), 测试时长需覆盖至少 3 个电源管理周期 (如设备自动唤醒 - 休眠的周期, 若周期 ≤ 5 分钟则测试 5 分钟, 若周期 > 5 分钟则测试 1 个完整周期);

3.2.2 进阶指标 (自愿申报, 可作为市场推广亮点)

- 动态功耗调节能力:** 设备在扫描不同部位 (如头部、腹部) 时, 能根据扫描参数自动调整功耗, 且功耗变化幅度与扫描负荷的匹配度 $\geq 80\%$;
- 能源回收效率:** 设备的电源模块需具备能量回收功能 (如制动能量反馈), 回收效率 $\geq 15\%$ (即回收的电能占总消耗电能的比例 $\geq 15\%$);
- 低温冷却系统能效:** 磁体冷却系统的 COP (性能系数, 即制冷量与功耗的比值) 需 ≥ 3.5 (在环境温度 25°C 时测试)。
- 氦气消耗率 (仅针对低氦气 MRI):** 年均氦气消耗量需 ≤ 50 升, 测试方法为连续监测 72 小时的氦气压力变化, 计算日均消耗率后折算为年消耗量。

3.3 测试方法与程序

规范 1.0 结合 IEC 62354 Ed. 3.0, 对 MRI 设备的测试环境、设备准备、数据采集流程进行了严格规定, 具体步骤如下:

3.3.1 测试环境准备

1. **温湿度控制**：测试环境温度需保持在 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $45\%\pm 10\%$ ，气流速度 ≤ 0.5 米 / 秒，避免阳光直射或其他热源干扰；
2. **电源条件**：输入电压为 AC $220\text{V}\pm 1\%$ (50Hz) 或 AC $110\text{V}\pm 1\%$ (60Hz)，电压波动范围 $\leq \pm 0.5\%$ ，谐波失真率 $\leq 5\%$ ；
3. **测试设备校准**：使用的功率分析仪（精度等级 0.5 级及以上）、温湿度计（精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}/\pm 2\%$ RH）、氦气压力表（精度 $\pm 0.1\text{kPa}$ ）需在有效期内校准，校准证书需提交至 EPA 备案。

3.3.2 被测设备 (UUT) 准备

1. **设备配置**：需按照制造商提供的“代表性配置”进行安装，即包含设备正常运行所需的所有核心部件（如磁体、梯度线圈、射频系统、控制台），且软件版本为最新商用版本；
2. **预处理**：设备需在测试环境中静置 24 小时，确保内部温度与环境温度一致；随后开机预热 15 分钟，期间不执行任何扫描操作，仅让设备进入就绪状态；
3. **数据记录**：记录设备制造商名称、型号、序列号、系统配置清单（如磁体类型、梯度场强度）、软件版本号等信息，作为测试报告的必备内容。

3.3.3 具体测试步骤

3.3.3.1 就绪扫描模式测试

1. **操作**：将设备设置为“就绪扫描模式”（即控制台显示“可扫描”状态，梯度线圈、射频系统处于待激活状态），不执行任何扫描序列；
2. **数据采集**：使用功率分析仪连续采集 5 分钟的功耗数据，采样间隔为 10 秒，共采集 30 个数据点；
3. **数据处理**：剔除最大值与最小值后，计算剩余 28 个数据点的平均值，即为就绪扫描模式平均功耗。

3.3.3.2 节能模式测试

1. **操作**：若设备具备自动节能功能，需设置触发条件（如无操作 30 分钟后自动进入节能模式），等待设备自动切换；若仅支持手动切换，则手动将设备调整至节能模式；
2. **数据采集**：切换完成后，稳定 10 分钟（确保设备进入稳定节能状态），再连续采集 5 分钟的功耗数据，采样间隔 10 秒；
3. **数据处理**：计算 5 分钟内的平均功耗，并与就绪扫描模式平均功耗对比，验证是否满足“降低 $\geq 10\%$ ”的要求。

3.3.3.3 低功耗模式测试

1. **操作**：手动将设备切换至低功耗模式（部分设备称为“休眠模式”“关机备用模式”），确保设备仅保留必要的监控功能（如磁体温度监控），关闭梯度线圈、射频系统等非必要部件；
2. **数据采集**：切换完成后，稳定 15 分钟，再根据电源管理周期确定测试时长（若周期为 10 分钟，则测试 10 分钟；若周期 ≤ 5 分钟，则测试 5 分钟），采样间隔 10 秒；
3. **数据处理**：计算测试期间的平均功耗，与就绪扫描模式平均功耗对比，验证是否满足“降低 $\geq 25\%$ ”的要求。

3.3.3.4 (仅低氦气 MRI)

1. **操作**：在设备进入就绪扫描模式后，记录氦气储罐的初始压力 (P1) 与初始时间 (T1)；连续运行 72 小时后，记录最终压力 (P2) 与最终时间 (T2)；
2. **数据处理**：根据理想气体状态方程 ($PV=nRT$)，计算 72 小时内的氦气消耗量，再折算为年均消耗量（假设设备全年运行 8760 小时）。

3.3.4 数据有效性判定

若出现以下情况，测试数据无效，需重新测试：

1. 测试期间电压波动超过 $\pm 1\%$ ；
2. 温湿度超出规定范围；
3. 设备出现故障报警（如磁体温度异常、氦气泄漏）；
4. 数据采集间隔超过 10 秒或存在数据缺失；
5. 计算结果与制造商声明的功耗偏差超过 10%（需先排查设备配置是否一致）。

3.3.4. 运行模式与时段 (Operating Modes and Periods)

1. **关机模式 (Off mode)**：依据用户手册，系统关闭且交流电源切断，不消耗能源，该模式不适用于 MRI 产品。

- 低功耗模式 (Low power mode) : 适用于非工作时段, 由用户手动或自动激活, 是用户可根据手册选择的最低能耗状态, 功耗低于就绪扫描模式、高于关机模式。
- 节能模式 (Power save mode) : 适用于工作时段, 产品在待机状态下自动激活, 能耗低于就绪扫描模式, 且能快速恢复至就绪扫描模式。
- 就绪扫描模式 (Ready-to-scan mode) : 系统在两次扫描之间的状态, 未预设扫描任务 (如患者转运、数据归档、检查规划、造影剂注射期间), 且未启用任何节能功能。
- 扫描模式 (Scan mode) : 系统主动扫描患者以生成图像, 计算机对数据进行解析并生成图像。
- 非工作时段 (Non-operating Hours) : 终端用户定义的工作时段之外的每日时间。
- 工作时段 (Operating Hours) : 机构提供预约及 walk-in 就诊 (含急诊) 的每日时间, 此时段内可能需要使用医疗成像设备。

3.3.4 产品系列 (Product Family)

指满足以下条件的一组产品型号: ①由同一制造商生产; ②具备相同扫描硬件。

可配置特性 (Configurability Characteristics) : 包括诊断计算硬件、传感器及其他探头特性差异、其他可选配件等。

外观特性 (Aesthetic Characteristics) : 包括外部涂层、颜色、空间布局 (如适用) 等。

四、能源之星测试的实施与挑战

4.1 测试实施流程

能源之星医疗成像设备认证的全流程分为“申请 - 测试 - 审核 - 认证 - 监督”五个阶段, 每个阶段的具体操作与要求如下:

4.1.1 申请阶段 (1 周)

- 产品信息提交:** 填写《能源之星医疗成像设备认证申请表》, 包含产品型号、技术参数 (如磁体类型、功耗声明)、目标市场等信息, 并附上产品说明书 (需明确标注电源管理功能);
- 协议签订:** 与 EPA 签订《能源之星合作伙伴协议》, 承诺遵守以下条款: ①仅在认证通过的产品上使用能源之星标签; ②每年 3 月 31 日前上报上一年度认证产品的出货量; ③配合 EPA 的抽检工作。

4.1.2 测试阶段 (2-3 周)

- 样品寄送:** 品牌所有者需向 EPA 认可的第三方实验室寄送 1 台“代表性配置”的样品, 同时提供产品安装手册、校准证书 (如磁体校准报告);
- 测试执行:** 实验室按照规范 1.0 与 IEC 62354 Ed. 3.0 的要求执行测试, 生成《医疗成像设备能源之星测试报告》, 报告需包含以下内容: ①测试环境参数; ②设备配置清单; ③各模式下的原始功耗数据 (含采样时间、数值); ④数据计算过程; ⑤测试结论 (是否符合标准);
- 报告提交:** 实验室将测试报告 (需加盖 CNAS 或 ILAC 认可章) 提交至 EPA, 同时抄送品牌所有者。

4.1.3 审核阶段 (1 周)

- 资料审核:** EPA 审核测试报告的完整性与规范性, 重点核查以下内容: ①测试设备是否校准; ②数据采集方法是否符合标准; ③计算过程是否正确; ④结论是否明确;
- 技术问询:** 若审核发现疑问 (如功耗数据异常), EPA 会向实验室或品牌所有者发出《问询函》, 要求在 3 个工作日内回复;
- 审核结论:** 若资料无问题, 进入认证阶段; 若存在问题, 需补充测试或修改资料, 重新审核。

4.1.4 认证阶段 (1 周)

证书发放: 美国环保署 (EPA) 向品牌所有者颁发《能源之星医疗成像设备认证证书》, 若产品设计或技术参数出现变更应该及时报备变更

第五章 医疗成像设备的节能技术与展望

5.1 节能技术的应用

在医疗成像设备领域, 节能技术的应用已成为行业的重要课题。这些技术不仅有助于降低能耗, 还能提升设备性能和延长使用寿命。磁体冷却优化是医疗成像设备节能的关键技术之一。MRI 设备的冷却系统需要大量能源来维持超导磁体的低温状态。为减少能耗, 研究人员正在探索更高效的冷却技术, 如使用低温制冷剂和改进冷却系统布局。此外, 电源管理技术也至关重要。通过智能电源管理系统, 设备可以在不同工作状态下自动调整电源输入, 从而减少能源浪费。这些系统还可以监控设备的实时能耗, 并提供数据支持, 帮助医疗机构更好地管理设备能耗。

数据中心和网络设备的能耗也不容忽视。通过虚拟化技术和高效电源管理系统，可以实现资源的动态分配和能耗的精确控制。为监控和管理设备能耗，医疗成像设备需要配备先进的能源监测系统。这些系统可以实时收集能耗数据，并进行分析，从而发现节能机会。此外，采用节能型建筑材料和设计也能显著提高建筑的能源效率，降低设备运行环境的能耗。

5.2 节能策略的实践

在医疗机构中实施节能策略是降低能耗、减少运营成本的重要途径。医疗成像设备在不同工作模式下的能耗差异显著，如 MRI 设备在非工作时间和系统关闭/低功耗模式下存在显著的节能潜力。通过优化设备使用，如非工作时间关闭设备、采用调度策略减少设备空闲时间、实施待机模式、使用节能模式以及进行定期维护保养等，可以实现显著的节能效果。

此外，医院还可以通过减少 HVAC 负载、加强能源管理、实施远程监控、推广节能文化以及利用政策激励等措施，进一步推动医疗成像设备的节能。这些节能策略不仅有助于降低设备能耗，还能提升医院的整体能效水平，为实现可持续发展目标做出贡献。

5.3 节能应用的展望

结合医疗成像设备 (MIE) 的能耗特点、Energy Star 测试的重要性及节能技术的应用。MIE 的能耗显著，MRI 和 CT 扫描机等在医疗机构总能耗中占比高达 5%。其能耗主要源于磁体和超导磁体的氦冷却系统，尤其是 MRI，在非工作时间能耗占比高达 25%-40%。因此，优化这些设备的能源管理具有极大潜力。

Energy Star 测试对提升 MIE 能效、降低医院运营成本至关重要。EPA 的严格要求促使制造商优化产品设计，减少能耗。测试结果有助于医疗机构选择高效设备，满足环保要求。此外，通过第三方认证测试，增强了设备的透明度和可信度。

节能技术在 MIE 中的应用广泛，包括磁体冷却优化、电源管理技术等。这些技术显著提升了设备的能效，如 MRI 在周末关闭模式下可节省高达 21.8% 的年能耗。进一步研究和开发新技术对实现更高能效和持续改进至关重要。

未来对此类研究可能会集中在以下几个方面：详细记录 MRI 等设备的负载剖面，优化负载管理；分析 MIE 组件的效率，探索改进潜力；研究 MIE 与储能系统的集成，提高能源利用效率；加强对 MRI 等设备的能源管理和监控，优化其运行状态；开发创新的节能技术和策略，降低 MIE 的能耗；通过政策和管理措施，推动医疗机构采取节能措施，提高整体能效。

能源之星计划为医疗成像设备设定了高标准的能源效率要求。制造商需要遵循这些标准，确保其产品能够获得能源之星认证，并在市场上获得竞争优势。通过提高设备的能效，医疗行业不仅能够减少能源消耗和环境影响，还能实现经济效益的提升。

参考文献

[1] ENERGY STAR. (n.d.). ENERGY STAR Program Requirements for Medical Imaging Equipment.

[2] ENERGY STAR. (n.d.). ENERGY STAR Program Requirements Product Specification for Medical Imaging Equipment.

[3] ENERGY STAR. (n.d.). Final Test Method For Determining Medical Imaging Equipment Energy Use Rev.- January 2025.

[4] IEC. (2014). IEC 62354 Ed. 3.0 - General testing procedures for medical electrical equipment.