



使用可再生能源进行电气化：

马利



© IRENA 2025 版权所有

除另有说明外，本出版物中的材料可自由使用、共享、复制、再制作、印刷和/或存储，前提是需注明IRENA为来源和版权所有。本出版物中归第三方所有的材料可能受单独的使用条款和限制，并在使用此类材料前需获得这些第三方的适当许可。

ISBN: 978-92-9260-673-2

引用：国际可再生能源机构（IRENA）和SELCO基金会（2025），国际 使用可再生能源进行电气化：提升马里的医疗服务水平
阿布扎比可再生能源署

关于IRENA

国际可再生能源机构（IRENA）是一个政府间组织，支持各国向可持续能源未来过渡，并作为国际合作的主要平台、卓越中心以及可再生能源政策、技术、资源和金融知识的宝库。IRENA促进各种形式的可再生能源的广泛采用和可持续利用，以实现可持续发展、能源获取、能源安全、低碳经济增长和繁荣。 www.irena.org

关于SELCO基金会

成立于2010年，作为一个非营利组织，SELCO基金会旨在通过改善向服务不足的社区提供可持续能源的方式，激发和实施解决方法，以减轻贫困并为气候行动做出贡献，同时确保社会、财务和环境可持续性。该基金会的工作围绕三个关键支柱展开：生态建设、创新与规模化，以及企业孵化。SELCO基金会展示了清洁能源和能效提升在增强福祉、生计、健康和教育方面的作用。 www.selcofoundation.org

致谢

这份报告在古尔布兹·戈努尔（国际 renewable energy署国家参与与合作司司长）和卡维塔·拉伊的指导下，由巴巴卡尔·比特亚耶（国际 renewable energy署）、辛林·查希和维迪亚·文卡塔什（SELCO基金会）、瓦莱里娅·甘比诺和西蒙内·保罗阿西（EnGreen SRL）撰写。报告由马马杜·贡迪亚姆和恩塞波·塞佩兰（国际 renewable energy署）审阅。报告受益于马马杜·亚罗·西迪贝（马里能源水利部）、阿达马·库利巴利（AN ERB）和阿马杜·西迪贝（AMADER）提供的反馈。

对医疗设施进行的实地调查由伊布拉希姆·萨马萨（代表恩格林·SRL）领导，并由马里的可再生能源署（AER-Mali）和卫生部及社会发展部共同促进。团队表示，愿向已故的苏莱曼娜·贝尔特博士（AER-Mali总干事）表示追思，他的支持和贡献对此项工作至关重要。

这份报告是瓦隆政府自愿捐赠而得以完成的。

出版物和编辑支持由弗朗西斯·菲尔德和斯蒂芬妮·克拉克提供。技术审查由保罗·科莫尔提供。报告由史蒂文·B·肯尼迪编辑，并由埃尔卡诺数据设计。

如有更多信息或提供反馈，请访问：publications@irena.org

从 www.irena.org/publications 下载

免责声明

本出版物及其中的材料均按“现状”提供。国际可再生资源机构已采取一切合理措施核实本出版物中材料的可靠性。然而，国际可再生资源机构及其官员、代理人、数据或其他第三方内容提供者均不提供任何明示或暗示的担保，且对使用本出版物或其中材料所造成的任何后果概不负责。

此处包含的信息不一定代表IRENA所有成员的观点。提及特定公司或某些项目或产品，并不意味着IRENA优先认可或推荐它们，而非提及的其他类似性质的公司、项目或产品也不被认可或推荐。此处采用的名称及材料的呈现方式，并不表明IRENA对各区域、国家、领地、城市或地区的法律地位，或其当局，或对其边界或界限的划定，有任何意见的表达。

目录

	缩写。	5
	执行摘要。	6
	1. 引论	10
	1.1 为健康提供能源。	10
	1.2 研究范围。	12
	2. 马里卫生部门概述。	13
	2.1 人口和地理特征。	13
	2.2 公共卫生优先事项。	13
	2.3 系统结构。	15
	2.4 医疗设施的电力接入。	17
	2.5 医疗卫生筹资。	18
	3. 电力行业的概况	19
	3.1 能源可及性差距对卫生服务的影响。	20
	3.2 可再生能源资源。	21
	4. 方法论、分析和调研结果。	22
	4.1 被调查医疗卫生机构的地理分布。	22
	4.2 被调查医疗卫生机构的主要特征。	23
	4.3 医疗卫生机构电力可及性概述。	26
	4.4 其他主要特征。	29
	5. 推荐的太阳能光伏系统设计和其成本.....	31
	5.1 太阳能光伏系统设计类别。	31
	5.2 职工宿舍设计选项。	33
	5.3 成本假设。	34
	5.4 成本效益分析：从柴油到太阳能光伏的燃料转换。	38
	6. 马里的健康-能源计划设计建议。	40
	6.1 合适技术的选择。	40
	6.2 项目设计方法。	41
	6.3 运营、维护、培训和融资以实现可持续性。	41
	参考文献.....	44
	附件。	
	附件 A. 研究中调查的健康设施。	46
	附件 B. 太阳能系统设计假设与注意事项。	49

图示

图1 去中心化的可再生能源和改善卫生服务中的能源获取的理由。.....	11
图2 区域卫生设施能源获取情况。 17	
图3 按来源划分的电力结构演变，2013-2023年。 19	
图4 太阳能（左）和风能（右）资源。 21	
图5 按人口统计群体划分，CSCOMs、CSREFs和医院的患者分布情况。	25
图6 被调查的CSCOMs和CSREFs的电力来源。	26

表格

表1 建议光伏系统的规格。	7
表2 推荐太阳能光伏系统的估算成本。	8
表3 关键健康指标和挑战。	13
表4 按类型划分的医疗设施分布。	15
表5 健康体系结构的概述。	16
表6 并网可再生能源目标，2010-2030。	20
表7 离网可再生能源目标，2010-2030年。	
表8 研究阶段。	22
表9 评估的医疗设施地理分布	23
表10 卫生设施年度运营成本。 25	
表11 按医疗设施类型计算的每周柴油消耗量。	28
表12 按卫生设施类型划分的平均电力消耗率和费用。 28	
表13 典型月份中各类卫生设施停工频率。	
表14 调查中医疗机构中房间数量，按用途和机构类型划分。	30
表15 推荐DRE系统设计的规格。	32
表16 员工宿舍的太阳能光伏设计选项。	33
表17 员工宿舍太阳能光伏系统方案参数。	33
表18 1628个CSCOM的成本估算.....	35
表19 61 CSREFs的成本估算.....	36
表20 六个地区医院成本估算。	36
表21 员工宿舍成本估算。	37

箱子

框1 关于在医疗保健领域成功实施DRE系统的建议。.....	9
框2 世界卫生组织对医疗机构电力供应的多层次测量。	27
框3 成本效益分析（CBA）的假设。	38

缩写符号

AC	空调
AER-Mali	马里的可再生能源机构 (<i>马里的可再生能源机构</i>)
阿马德	马利国内能源和农村电气化机构(<i>马里的代理机构</i> <i>能源与农村电气化发展</i>)
ASACO	社区卫生协会 (<i>社区卫生协会</i>)
CBA	成本效益分析
CFA	西非金融 cooperation Franc – 马里当地货币
CMIE	公司间医疗中心 (<i>企业间医疗中心</i>)
CREDD	经济复苏与可持续发展战略框架 (<i>经济复苏与可持续发展战略</i>) <i>干部</i>
CREE	电力与水资源监管委员会(<i>监管委员会</i> <i>l'Eau</i>)
CSCOM	社区卫生服务中心 (<i>社区卫生中心</i>)
CSREF	转诊医疗中心 (<i>参考健康中心</i>)
DNS	国家卫生健康委员会(<i>国家卫生方向</i>)
DRE	去中心化可再生能源
DRS	区域卫生署(<i>区域卫生局</i>)
EDM	马里的国家电网公司 (<i>马里的能源 – SA</i>)
IRENA	国际可再生能源署
km	千米
kVA	千伏安
kWh	千瓦时
kWp	千瓦峰值
MEE	能源与水利部 (<i>能源与水务部</i>)
MSDS	卫生部和社会发展部(<i>卫生部和社会发展部</i>)
MW	兆瓦
兆瓦时	兆瓦时
运维	运行与维护
面向对象编程	自付
PRODESS	健康与社会发展计划 (<i>卫生发展项目</i> <i>社交</i>)
PV	光伏
RE	可再生能源
RMS	远程监控系统
可持续发展目标	可持续性发展目标
UHC	全民健康覆盖
美元	美元
W	瓦特
WASH	供水、卫生和健康
Wh	瓦时
WHO	世界卫生组织

执行摘要

R

可靠的、负担得起的电力获取是马利提供高质量医疗保健的关键瓶颈，特别是在农村和偏远地区。获取不足限制了必要医疗设备的运行、疫苗冷链的维护以及重症监护的充足照明。这些挑战因气候变化而进一步加剧：干旱和洪水等极端天气事件扰乱了医疗服务提供、损害了基础设施并增加了需要立即关注的疾病发病率。健康和社会发展计划（项目

，PRODESS），该国主要的卫生发展计划 *卫生和社会发展部*

优先考虑扩大初级保健服务范围、改善母婴健康以及整合可再生能源以提高卫生设施的抗灾能力。然而，频繁的停电持续阻碍基本服务并降低医疗保健的整体质量。

去中心化可再生能源(DRE)系统为这些挑战提供了一种有效的解决方案，构成了卫生部门所需的基础设施的重要组成部分，并为满足马里医疗保健能源需求提供了一条可持续的途径。特别是，太阳能光伏(PV)系统可以为照明、冷藏和医疗设备提供稳定可靠的能源。例如，太阳能疫苗冷藏箱对于在偏远地区维护冷链至关重要。此外，太阳能促进了远程医疗、诊断和母婴护理，确保即使在停电期间也能提供不间断的服务。

本报告评估了使用DRE解决方案为马里的医疗设施供电的效益，并提出了技术设计方案以及估计的投资成本。该研究主要关注第一级和第二级医疗机构，即社区卫生中心(，cscoms) *社区卫生中心*

和区级转诊卫生中心(，csrefs) that form the backbone of the *参考健康中心*

马里的公共卫生系统。社区卫生综合服务站(CSCOMs)在社区层面提供初级医疗服务，而社区卫生综合 referral 中心(CSREFs)作为CSCOMs的第一级 referral 和技术支持，处理需要额外专业知识或资源的病例。医院代表马里的医疗保健系统的顶峰，提供通常在CSCOM和CSREF层面无法获得的服务。

基于对60家医疗设施的综合评估¹在马里的以下发现：

- 医疗卫生设施的所有权和管理。CSCOMs主要归当地社区所有，并由社区卫生协会运营(，Asacos), with *社区卫生协会* 90%由当地控制。相比之下，CSREFs和医院主要由政府所有和管理。

¹ 四十八个CSCOMs，十个CSREFs和两个区域性医院（详情见附件A）。

- 医疗设施能源。马里的大多数医疗设施依赖多种能源组合，主要是配备电池的太阳能光伏板、并网太阳能发电和柴油发电机。在54%的受调查CSCOM中，配备电池的太阳能光伏系统是主要的能源来源，而约95%的CSREF和医院依赖于电网和太阳能的组合，并由柴油发电机补充。各设施的停电现象频繁；CSCOM因太阳能光伏安装不足经历了最多的中断，而CSREF和医院最受电网相关问题的影响。这些中断对患者和员工都构成了重大挑战，尤其是在母婴保健和疫苗储存方面。令人震惊的是，93%的设施报告服务受损，96.7%报告员工不适，81%指出冷链问题。

基于原始数据收集、利益相关方咨询和二次文件复习，已经开发了定制化系统设计，以满足各类设施独特的能源需求。这些设计通过太阳能提供了一个框架，以满足医疗设施的多样化能源需求，并提供针对特定卫生服务环境和能源需求的多种系统选项。推荐的太阳能光伏系统规模范围如下：农村CSCOM为4.2千瓦峰(kWp)（关键负荷）至7.8 kWp（全部负荷）；城市CSCOM为4.2 kWp（关键负荷）至10.8 kWp（全部负荷，包括空调）；CSREF为10.8 kWp（关键负荷）至42 kWp（全部负荷，包括空调）；区域医院为26.4 kWp（关键负荷）至90 kWp（全部负荷）（表1）。

表1 推荐的太阳能光伏系统规格

设施类型	载荷类型	太阳能电池板 (kWp)	电池 (kWh)	逆变器 (kVA)	设施数量
农村CSCOM	全部负载	7.8	48	8	1 058
	临界载荷	4.2	24	6	
城市CSCOM	全部负载	10.8	60	12.5	570
	临界载荷	4.2	24	6	
CSREF	全部负载	42	240	45	61
	临界载荷	10.8	60	15	
地区医院	全部负载	90	600	100	6
	临界载荷	26.4	192	32	

注意： CSCOM = 社区卫生中心；CSREF = 指定医疗中心；kVA = 千伏安；kWh = 千瓦时；kWp = 千瓦峰值。

所提出的方案建议投资42125346美元，利用太阳能光伏系统为所有医疗基础设施（包括所有常规服务，不包括空调备用）以及员工宿舍供电。仅使用太阳能光伏为初级医疗设施的关键负载供电的成本估计为18413105美元。投资于卫生设施的太阳能电力获取不仅对健康结果至关重要，而且是更广泛农村发展和韧性的关键驱动力（表2）。

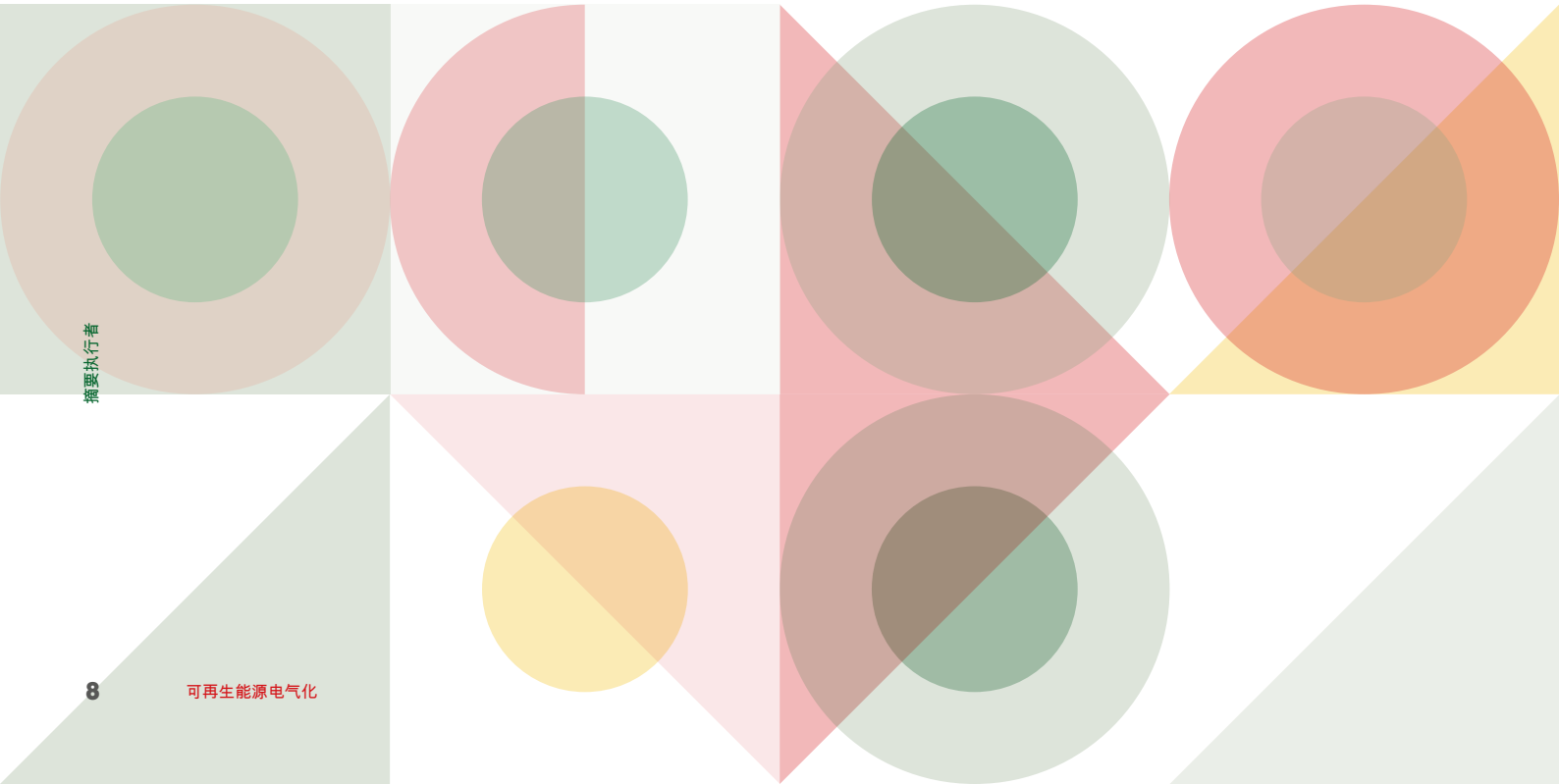
表2 推荐太阳能光伏系统的估算成本

设施类型	载荷类型	系统成本 (美元)	运维 (美元)	远程 监控 系统 (美元)	单位成本 (美元)	总成本为 所有设施 (美元)
农村CSCOM (1058)	全部负载	17 246	1 437	353	19 036	20 140 088
	临界载荷	9 006	750	353	10 109	10 695 322
城市CSCOM (570)	全部负载	18 974	1 581	353	20 908	11 917 560
	临界载荷	9 006	750	353	10 109	5 762 130
CSREF (61)	全部负载	54 889	4 574	353	59 816	3 648 776
	临界载荷	22 627	1 886	353	24 865	1 516 765
区域 医院 (6)	全部负载	126 625	10 552	353	137 530	825 180
	临界载荷	67 195	5 600	353	73 148	438 888

注释：CSCOM = 社区卫生服务中心；CSREF = 指定医疗机构；O&M = 运营维护。

推荐

根据评估结果，本报告概述了若干关于在马里的医疗保健服务中成功实施DRE系统的建议（框1）。拟议的DRE项目应结合该国的当前背景进行定制，并设计以确保长期可持续性。



框1 在医疗保健领域成功实施DRE系统的建议

- 根据需求、效率和品质选择技术，重点关注高品质光伏系统、电池、逆变器和医疗设备，所有这些都由高效且具有成本效益的供应链提供支持。
- 确保基础设施具备气候适应能力，太阳能设计包含冷却系统以减轻极端高温以及干旱和洪水带来的运营挑战。
- 分阶段为设施供电，从基础设施良好且人员充足的地点开始鼓励认同和拥有。
- 利用现有政府结构支持医疗保健的分散化，从而社区更近的健康服务。
- 为确保对技术规范、系统质量以及监控和维护的有效监督在卫生部和社会发展部内设立专门的太阳能计划部门 (部健康与社会发展, msds), 获得能源和水利部的技术支持 (能源与水务部, MEE)
- 定义分布式可再生能源设备的质量标准，优先考虑本地供应商鼓励当地企业之间的合作。为所有利益相关者提供定期和持续的培训包含在项目预算中的培训成本。运营和维护 (O&M) 应该持续超越年度合同；设施人员应接受基本维护和报告方面的培训，指导通过明确的标准操作程序。不同级别的维修维护责任应在设施人员和当地技术人员中澄清。
- 在合同中包含长期运维条款，并将运维成本纳入卫生部门预算。在局势不稳定的地区，可利用第三方账户来保障资金安全，太阳能计划部门应定期审查资金分配指南，以确保项目有效和可持续实施。
- 制定支持医疗设施中分布式可再生能源可持续整合的政策。这些政策将促进跨部门合作，优先考虑现有设施的维护，并尽量减少行政障碍。
- 最后，研究创新的配送模式，包括公共、非营利和私营部门的方法。在马里，公共和非营利模式最为普遍，但资产维护和高前期成本等挑战可以通过支持性政策环境得到缓解。可以探索私营实体与公共医疗设施之间的合作，以平衡公共卫生优先事项与财务可持续性。

1. 简介

P

社区卫生服务中心是许多农村和未充分服务地区医疗服务提供的中坚力量。然而，由于能源供应不可靠和基础设施不足，这些设施往往会面临重大挑战。缺乏稳定的能源获取会严重限制其提供紧急产科护理、新生儿护理、免疫接种等基本服务的能力。

1.1 为健康提供能源

可靠的能源对于医疗设施的有效运行至关重要，特别是对于照明、疫苗冷藏和医疗设备运行等关键服务。它使卫生工作者能够安全高效地执行关键任务，尤其是在紧急情况下。稳定的能源供应支持卫生工作者的工作满意度，延长设施运行时间，并提高患者护理质量。在电力获取受限的地区，分布式清洁能源系统提供了一个经济高效且富有弹性的解决方案，促进了负担得起、不间断的医疗服务和改善的健康结果。获取负担得起且清洁的能源（可持续发展目标[SDG]7）可以通过支持基本且往往是救命的健康服务（图1），从而促进良好健康与福祉（SDG 3）。能源获取与健康结果之间的关系对初级卫生保健体系尤其重要，特别是在资源受限、设施资金不足和基础设施不足的发展中国家。

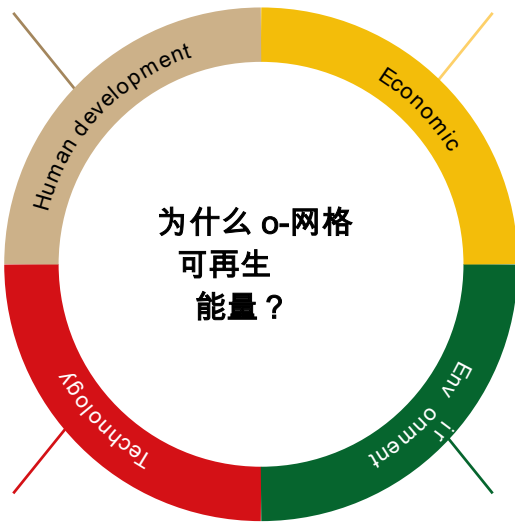
分布式可再生能源(DRE)技术，例如太阳能驱动的技术，为这些挑战提供了一种实用且日益经济的解决方案。太阳能可以通过提供稳定且具有成本效益的电源，显著提高医疗设施的经营效率。这在传统能源基础设施缺乏或过高的地区尤为重要。太阳能可以支持基本医疗设备的使用，保持疫苗的冷链，促进远程医疗等通信技术（将农村医疗设施与专家连接起来），从而扩大医疗保健的覆盖范围。图1说明了离网型可再生能源解决方案的案例。

2030年可持续发展目标3与7之间的联系突显了发展综合方法的必要性。在2030年可持续发展目标3下实现全民健康覆盖（UHC）和其他健康相关目标，与可持续能源的可获得性密切相关。如果没有可靠的电力供应，医疗保健设施无法满负荷运行，导致服务交付减少，护理质量下降，最终导致健康状况恶化。同时，能源获取支持了改善边缘化社区服务交付的现代医疗保健创新（世界卫生组织），2023）。等

因此，将DRE整合到医疗保健系统中有可能显著增强医疗基础设施，优化服务提供并促进医疗保健创新。DRE解决方案能够应对眼前的能源挑战，同时与全球可持续发展目标保持一致，为改善健康结果和更具韧性的医疗保健系统提供途径。通过弥合能源与健康之间的差距，马利能够实现更好的健康结果和更具韧性的医疗保健系统。

图1 分散式可再生能源和改善医疗服务中能源获取的案例

- 社区赋权
- 整体幸福感
- 可持续生计
- 公共服务获取

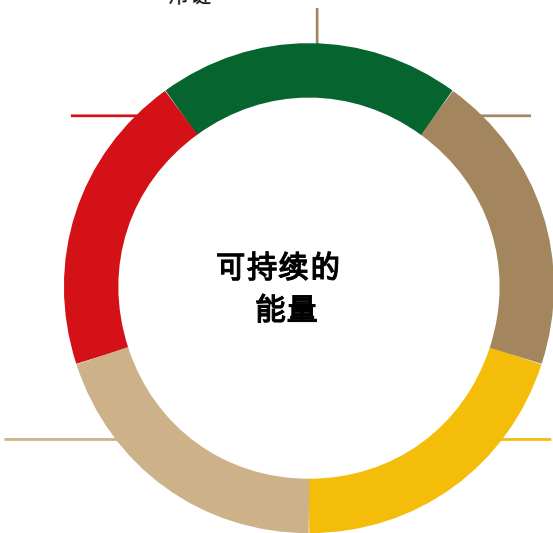


- 成本竞争力
- 本地就业创造
- 技能发展
- 现代诱导收益
- 能源获取
- 环境可持续
- 减少污染和相关利益
- 低碳
- 气候韧性

- 成熟的技术解决方案
- 适应性强
- 可扩展的
- 递送方面的创新和融资模式

提供的服务类型

- 实验室诊断
- 新生儿重症监护
- 医疗设备的功能
- 外科手术
- 冷链



服务可用性

- 延长营业时间
- 更广泛的服务范围提供
- 电子健康和/或远程医疗

招聘和留用

- 招聘与培训
- 继续医学教育
- 更好的士气

行政与后勤

- 更好的沟通
- 记录已改进管理

健康与安全

- 一般卫生改善
- 提升了安全性
- 维持和患者的感觉安全以及安全

来源：(IRENA, 2019a)。

1.2 研究范围

国际可再生能源机构（IRENA），与可再生能源署（RE）合作，（AER-Mali）马里的可再生能源机构²在能源水利部的支持下（MEE）和卫生部及社会发展部能源与水务部（msds）评估了DRE解决方案的集成，卫生部和社会发展部并利用节能技术来提升该国的医疗保健领域。认识到现有综合能源计划的框架，国际可再生能源机构（IRENA）正与马里政府合作，共同开发符合医疗保健设施需求的健康能源系统，特别是在偏远地区。这项合作旨在通过制定设计和资助具有弹性的分布式可再生能源（DRE）解决方案的路线图，来支持决策制定并改善医疗保健服务。

研究范围主要集中在第一和第二类医疗卫生机构，即社区卫生服务中心（cscoms）和转诊中心（社区卫生中心健康中心，csrefs）。这些设施构成了马里公共卫生系统的骨干：cscoms 参考提供初级卫生保健，而CSREFs作为CSCOMs的第一级转诊和技术支持，管理需要额外专业知识或资源的案件。该报告介绍了评估结果，并概述了一个框架以及针对马里卫生部和能源部的量身定制的建议，以加速和维持一个由国家主导的健康-能源联系项目。

2. 马里卫生部门概览

2.1 人口与地理特征

马利是西非第二大国，面积达124万平方公里。该国为内陆国，西邻塞内加尔和毛里塔尼亚；南接几内亚、布基纳法索和科特迪瓦；东连尼日尔；北靠阿尔及利亚。该国地形多样，北部为撒哈拉沙漠，中部为半干旱萨赫勒地带，南部为热带草原。因此，马利的气候差异很大，从北部的干旱撒哈拉地区到南部的更热带环境。马利有三个主要季节：3月至6月的炎热干燥期，6月至9月的雨季，以及10月至2月的凉爽干燥期，常伴有哈马丹风。气温通常在1月的24°C和5月的35°C之间波动。近几十年来，平均气温从28.5°C上升到29.5°C，2021年是记录中最热的一年（世界数据，2023）。该国的六个农业生态区，从沙漠到草原不等，经历着不同的温度和湿度条件，这对农业和牧业实践产生了重大影响。气温升高和降雨波动加剧了气候敏感行业的挑战，如农业、水利、卫生和基础设施（波茨坦气候影响研究所，2023）。

截至2024年，马里的总人口估计为2400万，年增长率约为3.1%（世界银行，2024a）。人口以年轻人为主：45%的人年龄在15岁以下。大约70%的人口居住在农村地区，尼日尔河沿岸地区人口集中显著（INSTAT，2024）。

2.2 公共卫生优先事项

政府部门在卫生领域的优先事项包括农村和城市周边地区的服务获取、疾病预防、社会健康促进和家庭福祉，以及实施确保全面照护和服务整合的政策和策略。

表3 关键健康指标和挑战

健康指标	马利	全球
孕产妇死亡率（每10万活产婴儿死亡数），截至2023年	367	197
由熟练卫生人员接生的活产数，2004-2020	67%	87%
全民健康覆盖（UHC）服务覆盖指数，2021	41	68

来源：（美国国际发展署，2023年；世界银行，2024b）

表3中的指标突出了医疗保健服务中的系统性差距，例如基础设施不足、专业人员获取有限和资源差异，这些都直接影响了全国的健康成果。此外，能源供应不足阻碍了医疗设施的正常运行，包括疫苗的储存。

迈向全民健康覆盖

马利正通过若干关键举措，朝着全民健康覆盖目标迈进显著步伐。政府正借助社区卫生工作者之力，强化公共医疗体系并下放服务至村级水平，同时亦在扩大其全民健康保险计划。为提升医疗服务质量与可及性，增加资金投入、现代化基础设施并采用数字技术至关重要。契合这些优先事项，马利近期推出了2024-2028年国家数字健康战略计划（*国家战略计划* ,psnsmn)项目预算为3500万美元，旨在整合数字工具和 *马里的数字健康* 在全国范围内提升医疗保健服务交付水平（马利政府，2024年）。

马里的卫生系统分为三个护理层级：初级、二级和三级。这些层级为满足人口的健康需求提供不同程度的服务。该国致力于通过为所有公民改善获得高质量医疗保健服务的途径来实现全民健康覆盖。卫生与社会发展计划（*公共卫生发展计划* , PRODESS) 是马里的关键性社会和健康发展计划，启动的目的是为了改善 *et社交* 全国范围内的医疗保健服务、社会保障和家庭福利。该项目始于20世纪90年代末，经历了多个阶段，每个阶段都专注于加强卫生系统、解决社会经济差距和促进性别平等。最近的阶段是PRODESS IV（2020-2023年），它与马里的更广泛发展目标相一致，包括2019-2023年经济复苏和可持续发展战略框架。 *战略骨干计划 促进经济复苏和* , cred)。关键优先事项包括改善卫生基础设施、扩大社会 *可持续发展* 保护机制和赋权弱势群体，同时通过在卫生设施中开展可再生能源倡议来应对能源挑战。

城乡差距

城乡医疗服务可及性的差距十分显著。像巴马科这样的城市中心受益于完善的设施、专业的医疗人员以及充足的医疗资源。相比之下，农村地区面临诸多挑战，包括医疗设施不足、医疗物资短缺以及医务人员匮乏。农村居民往往需要行驶5公里到35公里才能到达医疗服务机构，这给妇女、儿童和老人带来了沉重的负担。2022年，58.6%的马里人口居住在距医疗中心5公里范围内，而88.9%的人口居住在距医疗中心15公里范围内。基达尔（5公里范围内33.8%）和陶德尼特（5公里范围内15.5%）等地区的医疗可及性惊人地低。步行或乘坐马车，尤其是在农村地区，对病人来说构成了显著挑战，尤其是孕妇。在雨季，道路变得无法通行时，这一挑战会更加严重。此外，许多医疗服务人员迁移到城市寻求更好的机会，导致农村诊所人手短缺。国家卫生政策通过下放医疗服务、建设新的卫生哨站和部署流动医疗单位来解决这些差异。

医疗基础设施

根据世界卫生组织（WHO）卫生资源与服务可用性监测系统（HeRAMS）的一份报告，在评估的3139个马里医疗设施中，有3086个处于运行状态（表4），

53个停用，196个为计划性关闭或永久关闭（世界卫生组织，2023年）。在400多个此类设施中，设备由于完全或部分损坏而无法正常工作。这些基础设施挑战加上能源短缺，直接影响医疗服务的质量和可及性，尤其是在农村地区。

表4 按类型划分的医疗设施分布

区	主要				二次			三次		
	CSCOM	内阁	诊所	医务室	CSREF	CMIE	多边形 诊所	医院 (central 和 区域)	其他	总数
马科	64	365	150	6	5	7	12	9	8	626
高	110	11	5	3	3	1	-	2	-	135
凯斯	274	121	16	2	10	3	1	4	7	438
奇达尔	17	2	2	-	1	-	-	-	1	23
库里科罗	293	293	44	4	10	2	2	1	4	653
门卡	61	-	-	-	1	-	-	-	-	62
莫普蒂	180	29	-	2	8	1	-	1	5	226
西卡索	275	130	13	-	10	3	2	2	4	439
塞古	226	66	13	6	8	5	-	2	12	338
塔武德尼特	17	-	-	-	-	-	-	-	-	17
廷巴克图	111	6	4	2	5	-	-	1	-	129
总计	1628	1023	247	25	61	22	17	22	41	3 086

来源：
(who, 2024).
注意：CMIE = 公司间医疗中心；CSCOM = 社区健康中心；CSREF = 会诊医疗中心。

2.3 系统结构

马里卫生系统基于提供的服务和区域，在三个层面运作（表5）：中央（国家级）、区域和次区域（区级和社区级）（马里政府，2019年）。

1. 在中央（国家）层面，大学教学医院和专业机构提供三级护理并管理需要专科干预的复杂病例。
2. 在地区层面，六家地区医院提供二级护理。这个级别还包括私有的非营利医院，例如在班吉的卢森堡“母婴医院”。
3. 在次区域层面（区和服务站），由1628个CSCOM提供初级卫生服务。这些设施由其他私立、宗教组织以及由非政府组织运营的设施补充。此外，61个区级CSREF提供二级护理并管理从第一级转诊。

表5 健康体系结构概述

等级		医疗设施类型	示例提供的服务	主管部门
国家（中央） (第三级推荐) 三级护理		大学医院 中心 (CHU)	普通外科； 创伤学	卫生部 社会发展 (MSDS)；国家健康 司令部 (DNS)；国家 社区联盟 健康协会 (FENASCOM)
区域 (二级推荐级) 三级护理		地区医院； 综合医院；诊所	普通医学； 特色药品 (眼科， 皮肤科等； 手术	区域健康署 (DRS)；区域联盟 社区卫生 协会 (FERASCOM)
次区域	区 (首次推荐 等级) 二级护理	转诊卫生中心 (CSREF)；公司间 医疗中心 (CMIEs)	普通医学； 剖腹产	区域卫生管理 团队；本地联盟 社区卫生 协会 (FELASCOM)
	社区 (初级保健)	社区卫生 中心 (CSCOM)； 药房；护理 练习	分娩； 疫苗接种； 护理	社区卫生 协会 (ASACO)； 社区健康工作者 (ASC)；村庄卫生 委员会

社区卫生服务中心提供初级保健，它是大多数人口的首个接触点，提供包括母婴保健、疫苗接种和治疗常见疾病等基本医疗服务。其他初级保健提供者包括诊所、诊所和军营医院。诊所和诊所提供公共卫生系统外的初级保健服务，而与军队相关的医院提供半公共初级医疗保健。

二级护理由转诊医疗中心（CSREFs）和区域性医院提供，它们提供更专业的服务，包括急症护理和手术干预。公司间医疗中心（，为特定人群服务的CMIEs），也属于此类。企业间医疗中心他们主要关注为各企业员工提供职业健康服务，强调工作场所健康、预防保健和基本医疗服务。

区域性及国家级医院提供三级护理，它们提供最复杂和专业的医疗服务。

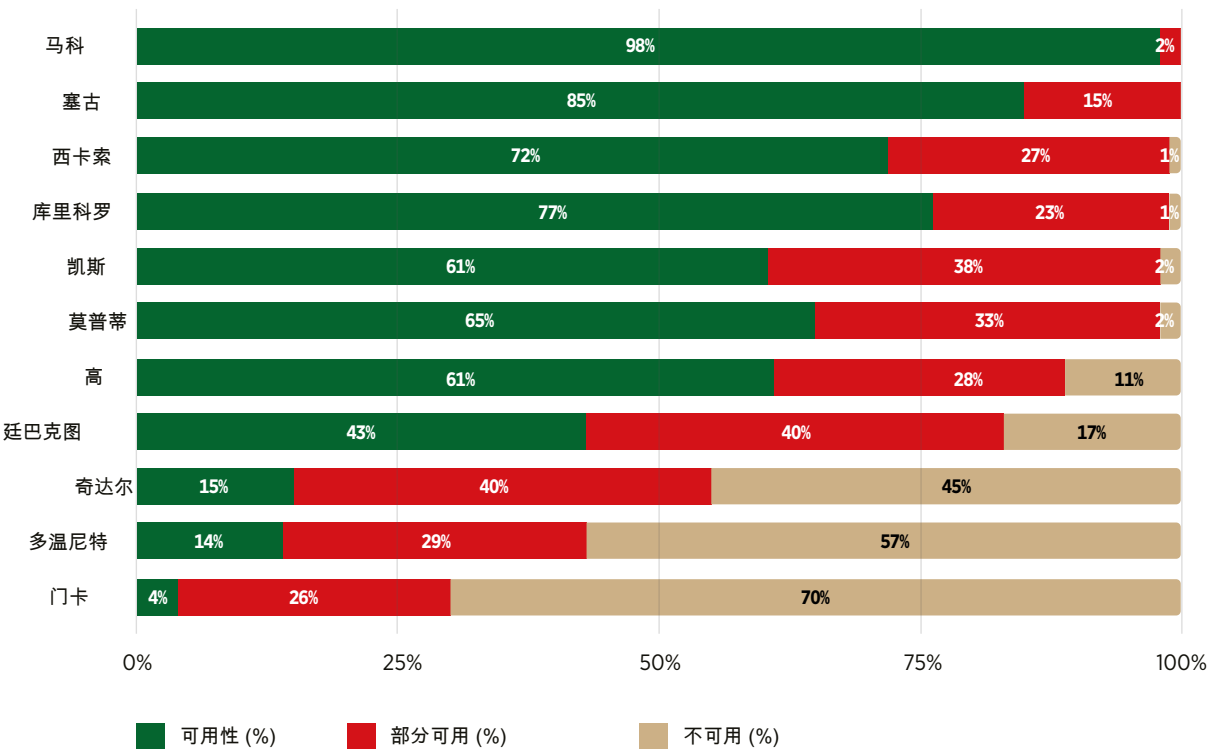
跨 CSCOM、CSREF 及医院的常见服务包括生殖健康（孕产妇保健、计划生育）、儿科、疾病管理（哮喘、糖尿病、高血压）、心理健康、创伤和损伤护理、残疾服务、产前保健、基础放射学、实验室诊断和药学服务。高级诊断和研究实验室主要位于 CSREF 和医院，提供包括急症和重症监护在内的专科服务，以满足复杂的健康需求，这与 CSCOM 的初级保健重点形成对比。医院提供更密集的护理、高级放射学、血液透析、手术手术室、专科部门和高级心理健康服务。私营部门、宗教组织和国防医疗服务补充公共医疗保健。

尽管私营医疗部门已扩张，尤其是在城市地区，但这些设施的数据并未很好地整合到国家健康记录中。传统医学继续得到广泛实践，许多中心在农村地区提供护理（马利政府，2014年）。

2.4 医疗设施的电力接入

马里医疗卫生设施的能源可及性在国家层面和区域层面都存在显著差异。2024年，世界卫生组织评估了2943个运营中的医疗卫生设施，其中75%拥有可靠电力供应，20%遭遇电力供应不稳定，4%则完全没有电力接入（世界卫生组织，2023）。然而，这些全国平均水平掩盖了区域间的巨大差异。在首都巴马科地区，98%的医疗卫生设施实现了电气化，主要通过电网连接。类似地，南部和中部的医疗卫生设施——如塞古（85%）、科利科罗（77%）和西卡索（72%）——的电气化率也相对较高。相比之下，北部和东北部的地区，包括高、廷布图、基达尔、陶德尼特和门纳卡，则面临严峻挑战。例如，在陶德尼特和门纳卡，有57%至70%的医疗卫生设施没有电力接入，凸显了城乡间明显的差距（图2）。

图2 各地区医疗卫生机构的能源获取情况



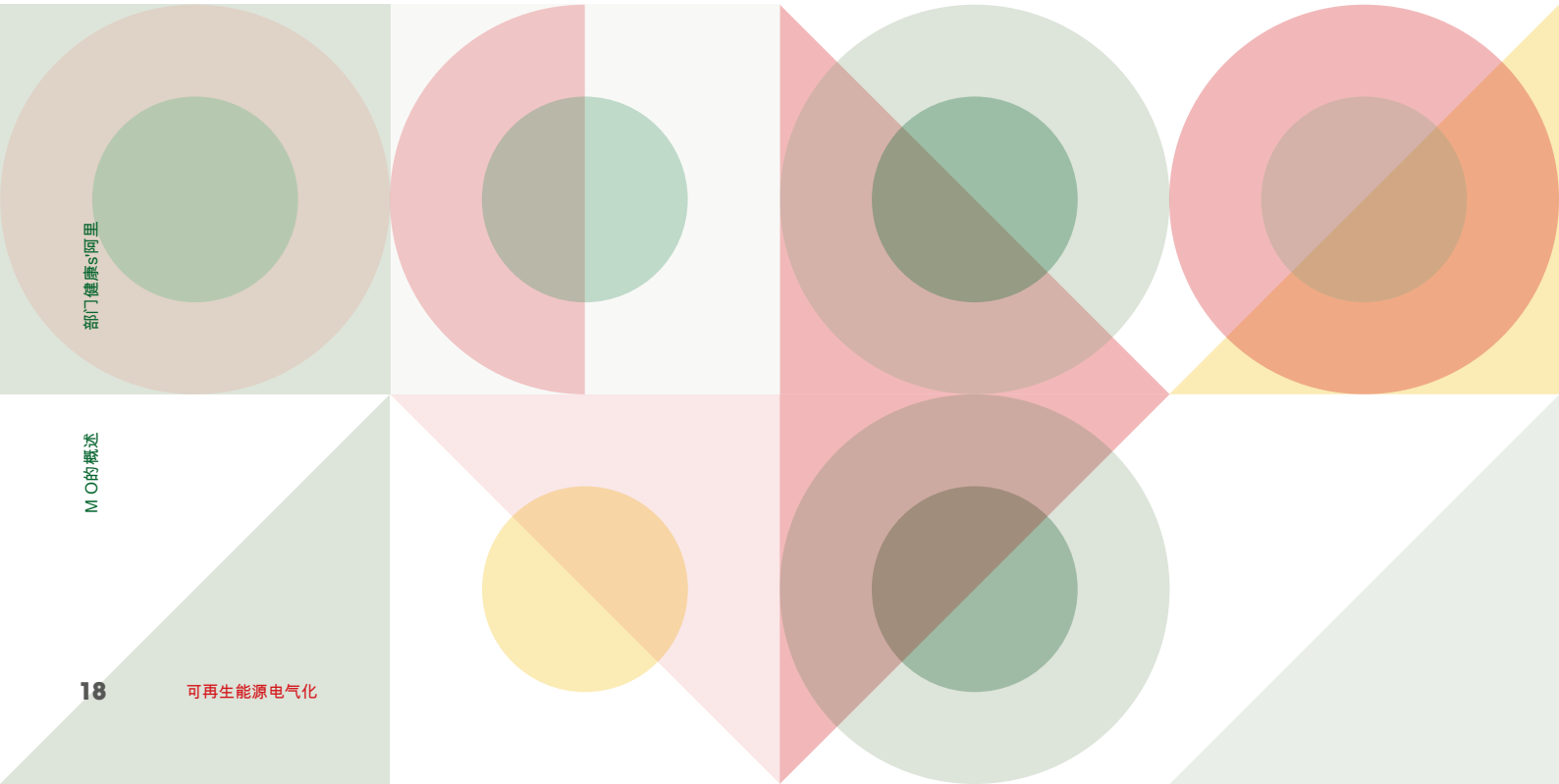
来源：（WHO，2024）。

部门健康'sail'概述 MO

能源获取的主要系统性障碍包括设备短缺（影响80%的设施）和财务限制（53%），加上物资不足（10%）、培训不足（7%）和人员有限（5%）。太阳能光伏（PV）系统正成为马里的卫生设施能源解决方案的基石，反映了该国的太阳能潜力以及电网的局限性。在能够获取能源的设施中，59%依赖太阳能，49%依赖公共电网，10%依赖柴油发电机。

2.5 医疗卫生融资

马里的卫生系统依赖于国内和国外资金来源。2020年，公共卫生支出占国内生产总值（GDP）的4%，人均16.2美元，较2000年的8.9美元有所增加（世界银行，2023年）。其中不到一半的支出来自公共来源，55%来自国内资金，45%来自外部资金，包括外国援助。人均年卫生总支出约为35美元，自付费用（OOP）支出占29%。这一数字低于低收入和撒哈拉以南非洲国家的平均水平。尽管2000年至2020年公共卫生支出增长了六倍，并通过国家卫生账户等机制持续努力提升公平性，马里的实现全民健康覆盖方面仍面临重大障碍。这些障碍包括对较贫困地区资源分配不足和高自付费用。该国的战略旨在将医疗服务在国家预算中的占比提高到15%，同时改善地方资金；然而，外部援助对于维持进展仍然至关重要（世界银行，2024c）。在服务提供体系存在系统性差距的情况下，解决医疗融资挑战需要可持续且公平的资金机制。增加医疗部门的国家支出份额，同时鼓励地方资金，对于维持向全民健康覆盖迈进的关键进展至关重要。

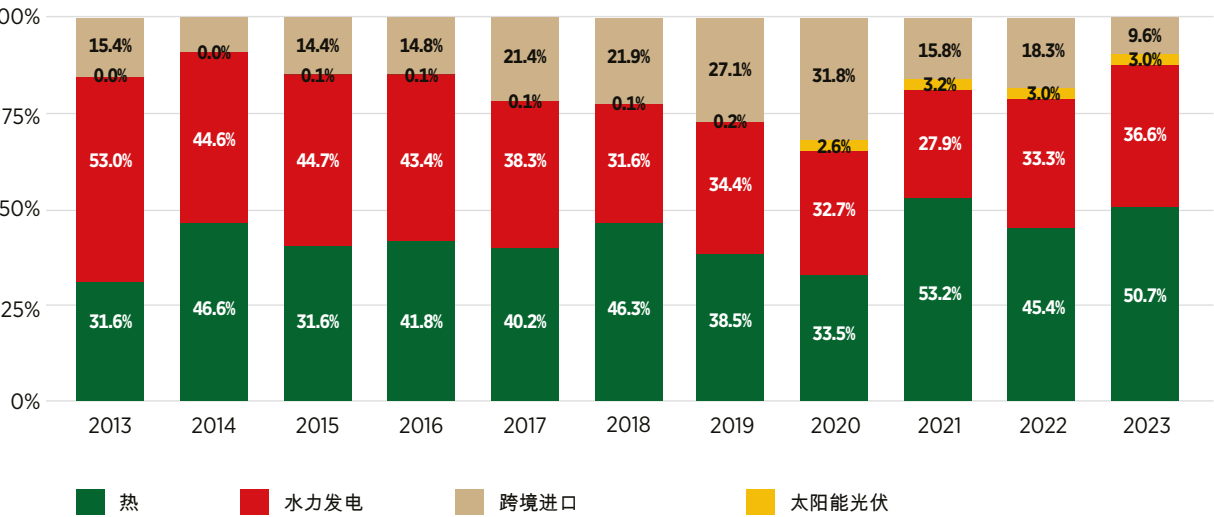


3. 电力行业概览

马里的电力行业由少数几个关键参与者和机构实体组织。国家电力公司 (EDM) 在发电、输电和配电中起着核心作用。与独立电力生产者一起。在机构层面，主要参与者包括能源水利部 (MEE)、电力水利监管委员会 (Cree) 和马里 domestic energy and rural electrification 机构 (AMADER)。EDM 是负责在包括马里主要城市中心的特许经营区域内提供电力服务，而 AMADER 负责农村电气化，这已委托给在指定地理区域内的私营特许经营者。

2023 年，发电量达到 2838 吉瓦时：其中 50.7% 来自热力发电，36.6% 来自水力发电，9.6% 来自跨境进口（来自科特迪瓦），3% 来自太阳能光伏发电（见图 3）。同年，整体电力普及率为 54.5%，农村普及率为 18.3%，城市普及率为 99.7%（IEA，2024；世界银行，2024d）。政府旨在通过等将现有的燃煤电厂与太阳能光伏发电相结合。

图3 按来源划分的电力结构演变，2013-2023年



来源：(EDM, 2025)
注意：PV = 光伏。

马利 拥有巨大的可再生能源潜力；其2%的太阳能资源即可满足全国电力需求。国家可再生能源行动计划旨在到2030年实现1416兆瓦的并网可再生能源装机容量，比2010年增加了九倍。重点将放在并网和离网可再生能源解决方案（表6和表7）上，特别强调分布式光伏和生物质（IRENA, 2019b）。尽管该国在为生活和公用事业服务提供太阳能计划方面有着悠久的历史，但为卫生服务提供可靠能源接入仍然是一个重大挑战。

表6 并网可再生能源目标，2010-2030

	2010	2020	2030
非水电可再生能源装机容量（兆瓦）	6.3	150.7	201.8
非水电装机容量占比（%）	2.3	13.8	8.3
所有可再生能源目标（包括水电）的装机容量（兆瓦）	156.5	660.4	1 416
re目标，包括水电占总装机容量的百分比（%）	57.71	61.44	58.25
非水电力结构中非水电力占比（%）	3.12	12.11	8.63
再生能源目标，包括水电发电在电力结构中的占比（%）	65.09	49.35	36.88

来源：
(国际可再生能源署，2019b)
注意： *可再生能源目标，不包括小中型水电（>30兆瓦）；**可再生能源目标，包括小中型水电；MW=兆瓦；RE=可再生能源。

表7 离网可再生能源目标，2010-2030

	2010	2020	2030
微型电网，可再生能源和混合（MW）	0.094	8.063	8.063
所有其他系统的总装机容量(MW)	20.27	234.72	605.01
从可再生能源获取电力的农村人口（微型电网和孤立系统）（%）	1.7	36.9	66.64

来源：
(irena, 2019b).
注意： mw = 兆瓦.

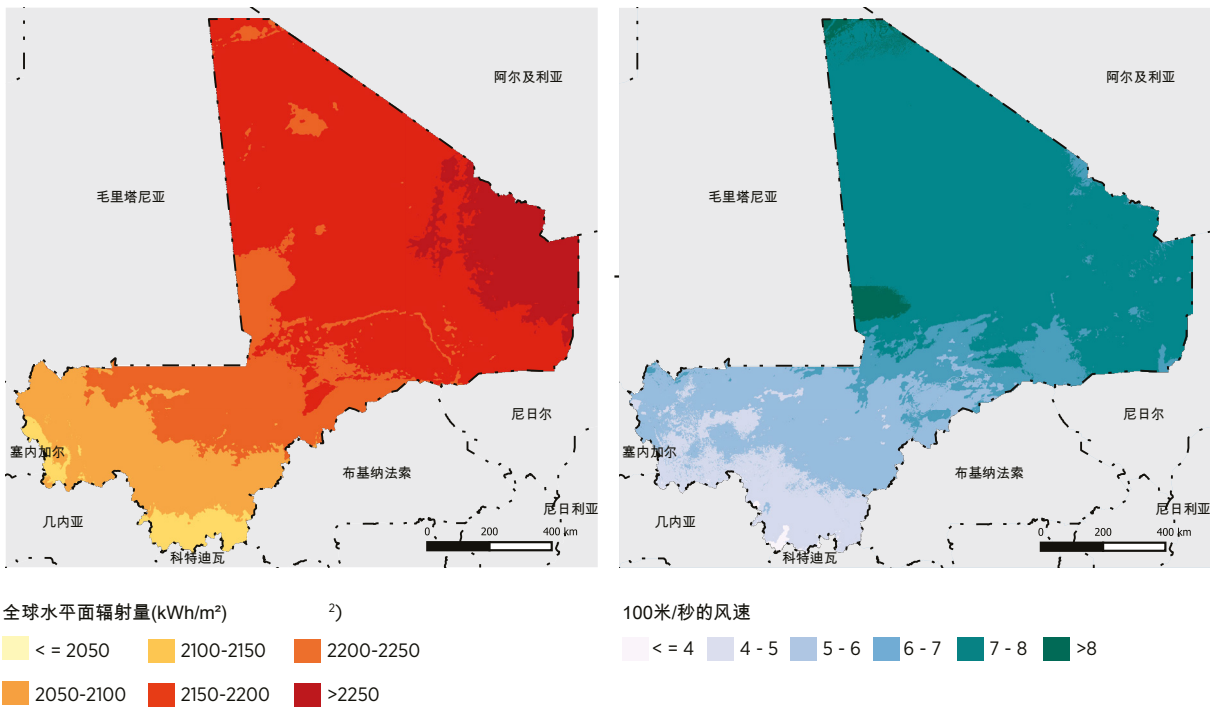
3.1 能源获取差距对健康服务的影响

能源获取受限不仅妨碍日常生活，也阻碍了依赖稳定电力供应的关键卫生服务。能源可用性是一个紧迫问题：仅75%的医疗设施拥有某种形式的电力，主要来自太阳能（57%）和电网（49%）。疫苗和医疗储存的冷链系统高度不可靠，只有57%的设施有电力支持这些系统（世界卫生组织，2023年）。由于电力供应不足导致的频繁停电，阻碍了疫苗冷藏和医疗设备运行等基本服务。重燃油发电的高成本——该国电力的主要来源之一——使得许多卫生设施无法负担电力，被迫依赖昂贵的柴油发电机（世界银行，2019年）。

3.2 可再生能源

马利每年平均直接正常辐照度为 4.8 千瓦时每平方米每天 (kWh/m²/day)，同时具有 5.5–6 kWh/m²/day 的平均全球水平辐照度 (GHI)，如图 4 所示。GHI 对于评估能源生产和平板光伏系统的效率至关重要。所提出的方案基于平均 5.5 个晴朗小时，这表明了马利的地理位置和热带气候。同时，6 米/秒 (m/s) 以上的风能资源在国家的北部更为普遍，特别是在纬度高于 16 度的地区。

图4 太阳能 (左) 和风能 (右) 资源



来源：
(国际可再生能源署，2025).
注意： km = 公里；kWh/m² = 每平方米千瓦时；m=米；s = 秒。
免责声明： 本地图仅用于说明目的。本地图上所示的边界和名称不表示IRENA对任何地区、国家、领土、城市或地区的状态，或其当局，或对其边界或边界的划定有任何意见的表达。

4 . 方法论，分析及调查结果

本研究旨在评估马里健康能源生态系统，以提供增强医疗保健服务和解决关键差距的解决方案。研究的每个阶段都针对健康服务交付、能源获取和基础设施需求等方面进行了调整，以揭示相关信息。本节将深入探讨研究方法、所使用的样本以及调查数据的分析。

采用混合方法进行数据收集和分析，包括对二手和一手数据的全面审查。从实地收集到的一手数据被组织成主题进行分析，并与二手数据进行三角测量，为马里DRE系统设计和健康-能源生态系统提供了可靠的见解。该研究分为三个阶段，详见表8。

表8 研究阶段

第一阶段	混合方法进行的案头研究。	制定了一种采样策略。
第二阶段	在60家医疗机构的访谈 (48个CSCOMs，10个CSREFs，2个区域医院； 详见附件A了解详情)	结构化访谈 问卷
第三阶段	服务交付，以及从4 DRE供应商到 理解能源企业生态系统)	定量分析：统计分析、预测分析，定性分析：访谈被编码为 规范性技术被用于提取用于分析的数值数据（包括输入） 有意义的模式与结论。医疗设施的工作人员理解健康

注释：CSCOM = 社区卫生中心；CSREF = 指导卫生中心；DRE = 分散式可再生能源。

4.1 已调查医疗卫生设施的地域分布

为改善医疗治理并向当地民众直接提供公共卫生服务，马利政府在2023年重组了其行政结构，将地区总数增至19个，此外还包括首都巴马科区。

本研究采用广泛抽样策略，以提供国家级的代表性结果。然而，由于该国中部和北部地区的安全问题，评估仅在马里的19个行政regions中的9个地区进行。表9显示了在这九个地区调查的60个卫生设施的地理分布。附件A提供了关于每个卫生设施的详细信息。

卫生设施根据设定的标准进行选择，以确保具有代表性的统计样本，重点关注电力接入、可靠性、地理分布以及提供医疗卫生服务的种类和级别。尽管所调查的设施都没有完全无电，但其中60个（53.3%）离网运行，依赖柴油发电机、太阳能电池板或混合系统等不可靠的电力来源，而28个（46.7%）则接入电网，尽管它们也经历了电力供应不稳定的情况。在地理覆盖范围方面，65%的社区卫生中心（CSCOM）位于农村地区，而大多数转诊卫生中心（CSREF）和区域医院则位于城市中心。选择过程还考虑了所提供医疗卫生服务的范围以及设施的服务水平，最终包括48个CSCOM、10个CSREF和2个区域医院，从而确保了初级和次级医疗卫生设施得到全面的代表性。

表9 评估的健康设施地理分布

区域	CSCOMs	CSREFs	区域医院
科利科罗	9	-	-
锡卡索	5	1	-
塞戈乌	6	1	-
凯斯	11	2	-
莫普蒂	8	2	1
山	1	1	-
布古尼	4	2	-
卡它	3	-	-
高	1	1	1
总数	48	10	2

注意： CSCOM = 社区卫生中心；CSREF = 推荐卫生中心。
免责声明： 本地图仅用于说明目的。本地图上所示的边界和名称不表示IRENA对任何地区、国家、领土、城市或地区的状态，或其当局，或对其边界或边界的划定有任何意见的表达。

4.2 调查的健康设施的关键特征

在全国九个地区进行的研究旨在评估可再生能源解决方案，特别是太阳能光伏系统，在目前缺乏可靠电力供应的医疗设施中部署的潜力。社区卫生中心主要服务于农村社区，65%的受调查设施位于农村地区。它们是马里的医疗体系的基础，为社区提供初级护理。相比之下，社区参考设施主要服务于城市人口，80%的受调查设施位于城市环境中。调查中包括的医院完全是城市医院（100%），并作为其各自地区的三级护理中心。

提升马里的医疗保健服务提供

无障碍性与自然灾害暴露

到达卫生中心的交通方式因当地情况而异。最常见的交通方式包括摩托车（98%）、步行（85%）、自行车（78%）、汽车（67%）和手推车（65%）。虽然95%的卫生设施未受重大自然灾害影响，但约5%因靠近水道而面临洪水风险。值得注意的是，92%位于易遭雷击区域，这对电力系统构成潜在危险，并凸显了在可再生能源设施中采取充分防雷措施的需要。

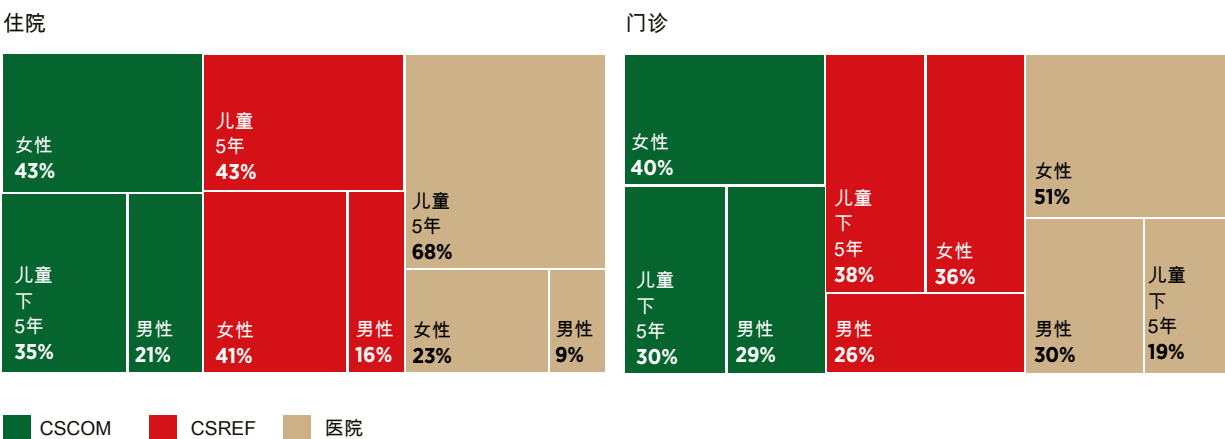
提供健康服务及目标人群

CSCOMs提供的主要医疗卫生服务包括生殖健康（孕产妇保健、计划生育、产前保健）；新生儿和儿科护理；慢性病、创伤和损伤的管理；残疾支持及基本重症监护。该研究强调，虽然CSCOMs和CSREFs的孕产妇及生殖健康服务普遍可得，但亟需改进。此外，药房和实验室服务，尽管在此设施层级上普及率不高，但也需要加强。在区域医院中，亟需改进的关键服务包括重症监护、放射学、新生儿护理和实验室服务。

在马里的医疗设施服务人口中，每个CSCOM至少覆盖2500人，根据CSCOM的类型（城市与乡村）及其位置，人数可上升到16000人。对于CSREF，这些数字呈指数增长，每个CSREF平均服务330000人，而医院则每个服务高达130万人。

平均而言，调查的CSCOM每天接收27名患者，而CSREF和医院分别每天容纳至少158名和1050名患者。不同医疗机构的住院患者和门诊患者分布有一个值得注意的模式，尤其是在性别和年龄结构方面。CSCOM的很大一部分患者是女性，其住院患者和门诊患者的比例非常均衡：门诊患者占40%，住院患者占43%（如图5所示）。总的来说，女性和儿童占住院患者的84%。这可能是由于CSCOM提供的助产服务所致。此外，很大一部分患者是五岁以下的儿童。在CSREF中也观察到类似趋势：五岁以下的儿童占住院患者的43%和门诊患者的38%，女性占住院患者的41%和门诊患者的36%。相比之下，医院环境中的住院患者和门诊患者分布（如图5所示）差异很大，突显了与其他医疗机构相比医院护理的独特性质。虽然五岁以下的儿童在医院占住院患者的大多数（68%），但女性占门诊患者的大部分（51%）。了解每个设施层面的患者人口结构有助于确定需要加强的服务，并相应地定制DRE解决方案。医疗技术的建议在第六章中阐述。

图 5 按人口统计群体划分的 CSCOMs、CSREFs 和医院的患者分布



注意：CSCOM=社区卫生中心；CSREF=转诊中心。

所有权、收入、运营成本和融资

社区卫生服务中心是大多数人口的主要接触点，并且是公共卫生体系的重要组成部分。大多数是社区所有的社区卫生服务站。同时，绝大多数的社区卫生监督员（90%）是政府所有的，所有地区医院也都是政府所有的。这种模式表明，随着设施级别的提高，呈现出向集中化发展的趋势，并突出了社区卫生服务中心存在的重要的社区所有权。在医疗体系的各个级别，咨询、实验室检查和药品的成本回收费都以补贴价格收取。

各级卫生机构的年度运营成本在不同CSCOMs、CSREFs和医院之间有所不同（见表10）。为了承担这些成本，CSCOMs主要依靠成本回收费（76%）、社区捐赠和捐赠者支持，政府补助的作用较小。相比之下，CSREFs主要通过用户费和政府补助获得资金。另一方面，医院主要依靠政府资助，偶尔获得捐赠者的援助。

表10 医疗机构年运营成本

	CSCOMs	CSREFs	医院
平均 (美元)	21 420	255 000	555 900
最大 (美元)	105 400	680 000	884 000
最小值 (美元)	3 400	28 900	229 500

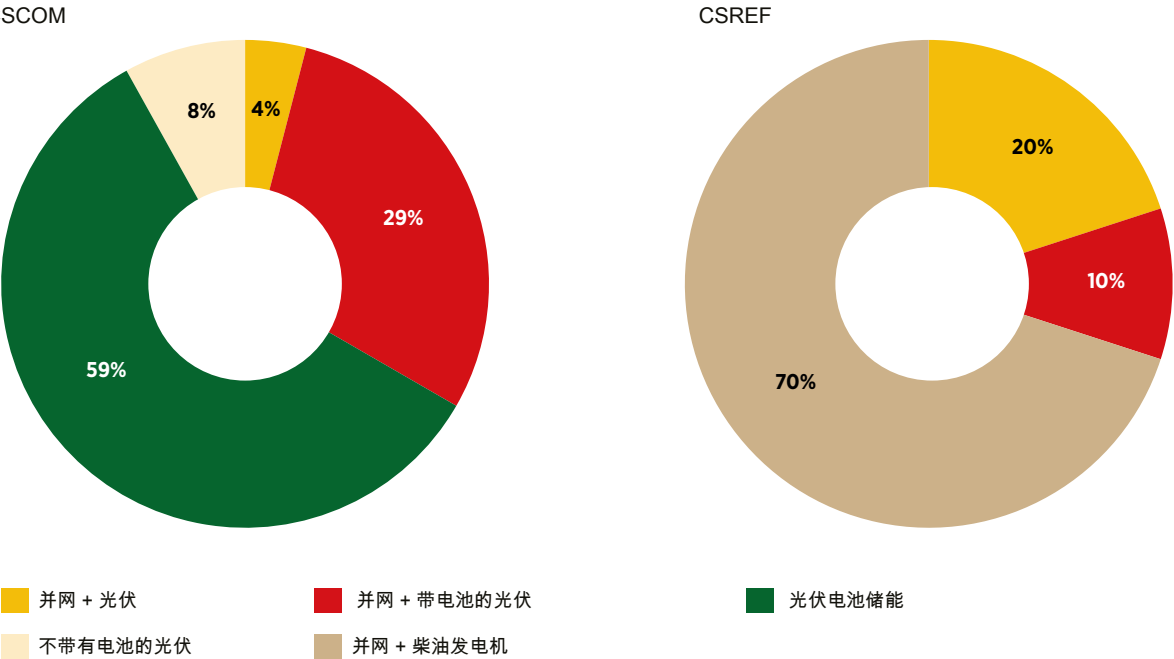
注释：CSCOM=社区卫生服务中心；CSREF=转诊医疗中心；USD=美元。

雨季期间（5月至11月），医疗服务的需求达到峰值。在此期间，社区卫生综合服务站（CSCOMs）平均从用户收费中获得2789美元（1640703中非金融库法郎）。对于社区综合康复中心（CSREFs），这一数字上升到11990美元（7052994中非金融库法郎），而医院获得的收入最高可达100876美元（59339094中非金融库法郎）。

4.3 医疗设施电力接入概述

所有级别的卫生设施都依赖多种电源组合来确保通电（图6）。对于CSCOMs，主要的电力来源是太阳能光伏板与蓄电池（58%）。三分之一受访的CSCOMs接入电网，而只有4%使用备用柴油发电机作为备用。在有电网的地方，电网供应往往不可靠且容易频繁停电。在受访的CSREFs中，100%接入电网，70%配备备用发电机。频繁停电会中断关键服务，现有基础设施往往难以支持现代医疗设备。同时，柴油发电机运行和维护成本很高。在许多情况下，设施通过独立的太阳能光伏系统补充电力供应，这些系统向特定区域如实验室提供电力。大多数卫生设施每天有超过12小时的电网电力，而20%的卫生设施只有4-8小时。不间断供电并不常见。尽管所有医院都接入电网，但仍然面临间歇性供应问题。虽然备用发电机是标准配置，但燃料供应和维护相关的问题仍然存在。目前太阳能系统的产能不足以满足不断增长的能源需求。依赖昂贵的柴油和汽油来弥补短缺会显著增加成本，突显了迫切需要更可靠和可持续的能源解决方案。框2概述了世界卫生组织针对初级（CSCOMs）和二级（CSREFs）卫生设施评估电力接入的多层框架。

图6 调查的CSCOMs和CSREFs的电力来源



注释：CSCOM = 社区卫生中心；CSREF = 转诊卫生中心；PV = 光伏。

盒2 世界卫生组织对医疗设施的电力接入进行多层级测量

0级（无访问权限）。 该医疗机构无电力供应，仅配备峰值功率容量小于5瓦(W)的干电池。因此，该机构依赖煤油灯、蜡烛以及干电池供电的照明。

一级（最低访问权限）。 该设施在白天至少有5W的峰值容量，持续时间为至少四小时，主要用于电力照明，但夜间供应不足。它也可能面临质量、可靠性和运营或环境可持续性的挑战。每日能源容量范围为20瓦时（Wh）至279Wh。

二级（基本访问）。 该卫生设施每天至少可获取70W的峰值容量，持续至少四小时，必要情况下，夜落后至少持续两小时。该供应可支持除照明以外的其他应用，如血液分析仪、紫外线水净化器、黄疸灯、超高频接收器、发光二极管显微镜、空气循环器、打印机、超声波机和真空吸引器。该设施可能面临可靠性、电压问题和运营及环境可持续性方面的挑战。每日能量容量范围为280Wh至1,599Wh。

三级（中级访问）。 该设施白天至少有200 W峰值容量的电力供应，持续时间为至少八小时，晚上至少两小时。除了2级中提到的应用外，诊所可以利用大部分中容量设备，例如吸痰装置、涡轮混合器、CD4计数器和离心机。虽然该设施在供电质量或可靠性方面没有问题，但它可能会面临环境和运营可持续性挑战。日能量容量范围在1.6千瓦时（kWh）到32 kWh之间。

第四级（高级访问）。 这家医疗机构可接入至少2 000 W的电力供应，并能够运行大多数应用，尽管其同时运行众多高容量应用的能力（在一个大型诊所）可能会受到限制。该电力供应每天至少可使用16小时。例如包括所有夜间小时，电压充足且中断罕见。该设施有足够资金覆盖燃料和电力成本以及维护成本。此外，电力来源在周边地区没有负面环境或健康影响。日能量容量范围为32 kWh至220 kWh。

5级（完全访问权限）。 该医疗机构可全天候近乎无限制地获取电力，且供应无质量或可靠性缺陷。该机构还具备充足的资金用于燃料和电费以及维护费用。此外，电力来源不会对诊所周边地区的环境健康造成任何负面影响。每日能源容量超过220 kWh。

来源：(WHO, 2015)。

电耗和燃料消耗率

全天都有照明需求，在傍晚6点至午夜12点达到峰值。CSCOM和CSREF需要制定照明管理计划；在医院，照明全天持续使用，从午夜12点到中午12点达到峰值。

鉴于电网电力供应不可靠且不稳定，大多数医疗机构依赖柴油和汽油为必要医疗设备供电。表11展示了各层级设施每周的消耗量。柴油在所有类型设施中均被使用，导致年平均温室气体排放量估计为：CSCOMs为4.2吨，CSREFs为47.3吨，医院为752.3吨。为减少这些排放，向更清洁的能源来源转型至关重要，例如太阳能（有关各层级设施的建筑设计，请参阅第五章）。

表11 按医疗设施类型每周柴油消耗量

柴油	CSCOMs	CSREFs	医院
每周平均值（升/周）	30	339	5 404
最大值（升/周）	30	1120	7 000
最小值（升/周）	30	25	3 808

注意：CSCOM=社区卫生中心；CSREF=转诊中心。

根据设施每月的电力账单，已估算出照明和电气设备的当前电力消耗和支出。由于季节性活动波动引起的电力消耗变化在本分析中被视为可忽略不计。表12总结了每个设施级别的平均消耗和支出，揭示出电力成本最高的是最小且最偏远的设施。

表12 按卫生设施类型划分的平均电力消耗率和费用

客户群体	月均用电 每个设施的消耗量 (kWh)	月平均 每单位电力费用 设施（美元）	平均成本 电能单位 (美元/千瓦时)
CSCOMs	88.7	36.9	0.42
CSREFs	6 340.4	1652.9	0.26
医院	38 694.6	10 298.5	0.27

注释：CSCOM = 社区卫生中心；CSREF = 专科转诊中心；kWh = 千瓦时。

停电频率及对医疗保健服务的影响

停电频繁，所有设施级别（见表13）每天最多可达两次中断。这些停电的平均持续时间约为9小时，在某些地区，最短为2小时，最长可达24小时。在三分之二的评估医疗设施中，未发现电力中断频率与季节性（干季与雨季）之间的相关性，而31%的医疗设施报告称，大多数中断发生在雨季。

表13 典型月份按医疗设施类型划分的停工频率

	CSCOMs	CSREFs	医院
平均（每月停机次数）	12	27	45
月度最大停机次数	60	60	60
最小值（停机/月）	1	1	30

注意：CSCOM=社区卫生中心；CSREF=转诊中心。

在社区微电网中，电力中断主要由于光伏系统建设不当所致，占停电事件的67%。这凸显了社区层面对太阳能的严重依赖，并突显了与太阳能设计、安装及运维（O&M）不足相关的问题。相比之下，社区储能设施和医院主要面临因电网问题或因电力容量不足导致的减载停电。

超过90%的设施报告称，停电经常影响母婴护理服务。大多数卫生设施指出，在停电期间没有电风扇会让病人感到不适。一名CSCOM工作人员评论道，“几乎每个晚上，我们都经历停电，因为‘调查中绝大多数（96.7%）受访者认为健康’没有备份源。我们甚至无法连接冰箱。设施表明，电力不足阻碍了他们的工作环境，影响了员工提供护理的能力。大约60个设施中有51个需要更换或修理因电力波动损坏的设备。此外，这些设施中有81%经常遇到冷链问题，导致疫苗变质，并对免疫接种工作产生负面影响。在CSREF和医院层面，停电影响了实验室、手术室、药店和放射服务，以及产房和冷链。

4.4 其他关键特性

烹饪和供暖

绝大多数被调查的医疗设施（97%）表示需要做饭和供暖，卫生站除外。在为病人提供餐食的设施中，煤是做饭和供暖的主要能源，其次是柴火（67%）；太阳能、电力和其他能源（丁烷）很少被利用。例如

供水、卫生和健康

供水、卫生和健康（WASH）是医疗设施的关键组成部分，对个人患者结果和整体公共卫生产生重大影响。在马里的干旱风险增加会推高WASH成本，从而增加卫生设施的运营费用。充足的厕所设施对于预防感染、维护卫生和为患者和医疗人员提供安全环境至关重要。评估WASH基础设施有助于衡量其在提升患者护理和确保安全方面的作用。有效的卫生不仅能提高护理质量，还能提升患者尊严并有助于整体舒适感，突显了优先改进WASH的重要性。

医疗系统。在CSCOMs中，平均每月用水量为32000升，在CSREFs中为170000升，在医院中为560000升。大多数医疗设施依赖公共供水管网系统，部分设施依靠独立供水和处理（主要是CSCOMs）。这种情况强调了节约用水的必要性，以确保充足的水量供应，尤其是在干旱和旱季。

建筑特征

医疗设施中DRE系统的集成受到现有基础设施的严重影响，而基础设施在不同类型的设施之间差异很大。CSCOM主要使用铁皮进行屋顶覆盖（88%），以及未烧砖或水泥块混合用于墙面（各占48%）；它们的地面主要是混凝土（57%），并且几乎所有都装有铁质窗户遮盖（94%）。然而，24%的CSCOM缺乏电力线路，突显了能源获取的迫切需求。CSREFs在建筑质量上略优，屋顶由铁皮（60%）和混凝土（40%）制成。墙面主要由未烧砖与水泥（60%）或水泥块（30%）建造，而地面则使用各种材料。尽管它们的建筑质量更高，但仍有17%的CSREFs未通电，这是一个需要解决的重大基础设施差距。表14列出了调查中医疗设施按使用类型划分的房间数量。

表14 调查中的卫生设施按用途和设施类型分的房间数量

		CSCOMs	CSREFs	医院
房间数量为 医疗保健服务 (咨询室，病房， lab 等等)	平均值	12	135	262
	最大值	27	210	301
	最小值	4	17	223
员工房间数量 四分之一	平均值	3	12	11
	最大值	10	50	14
	最小值	0	0	7
其他用途的房间 (军官食堂)	平均值	1	3	8
	最大值	3	5	8
	最小值	0	0	8

注意：CSCOM=社区卫生中心；CSREF=转诊中心。

医院通常设备更完善，所有被调查的医院都通过三相线路布线和连接。这些医院还比CSCOMs和CSREFs使用更好的材料建造，屋顶使用铁皮和水泥，墙壁使用未烧砖或水泥块。

缺乏基本电气基础设施的CSCOMs与设备完善的医院相比，在采用可再生能源技术方面面临更大的挑战。鉴于全国高温，采用高效建筑材料和设计以给患者和员工提供凉爽和舒适，以及提高医疗设备和服务的效能，非常重要。

调查分析、调查数据、调查数据

5. 推荐的光伏系统设计方案及其成本

本章概述了设计太阳能系统所需的基础假设。为了创建一个有效的设计，理解能源框架要求、患者流入以及阳光在区域间的分布是必不可少的。类似地，所提出的设计的成本分析基于从当地供应商处获取的为建立和维护太阳能系统所需的各种组件和活动的报价。

5.1 太阳能光伏系统设计分类

设计假设和荷载考虑的详细情况在附件B中阐述。每个设施级别的设计分类如下：

- 全部负载。此类别包括医疗设备（包括CSCOMs和CSREFs的设备以及医院中的选定设备），行政任务的标准设备，照明和通风（包括空调（AC））。它还包括所有连接负载的电池备份。
- 全部负载，配备空调但不配备空调电池备份。该类别包括全部负载类别下所涵盖的所有负载，为除空调以外的所有负载提供电池备份。这假设空调仅在气温飙升的白天才需要，并且太阳能光伏板可以直接用来为它们供电。
- 不含空调的满载负荷。此类别考虑了全部负荷类别下的所有负荷，不包括空调。它包括所有其他负荷的备用电池。
- 临界负载。此类别重点关注对孕产妇护理、应急服务和疫苗存储至关重要的医疗设备，以及必要的照明和通风需求（风扇）。它还包括这些负载的备用电池。

根据评估结果和假设，每种卫生设施类型的各种选项的建议设计如表15所示。

表15 推荐DRE系统设计的规格

设施类型	载荷类型	太阳能 面板 (kWp)	电池 (kWh)	逆变器 (kVA)	数量 设施
农村CSCOM	全部负载不含空调*	8	48	8	1254
	临界载荷	4.2	24	6	
城市CSCOM	全部负载	11	60	12.5	374
	全部负载，带空调，不带电池 AC**的备份	11	48	12.5	
	不包含空调的总负载	7.8	48	8	
	临界载荷	4	24	6	
CSREF	全部负载	42	240	45	61
	全部负载，带空调，不带电池 AC的备份	42	120	45	
	不包含空调的总负载	18	120	25	
	临界载荷	10.8	60	15	
地区医院	全部负载	90	600	100	6
	全部负载，带空调，不带电池 AC的备份	90	288	100	
	不包含空调的总负载	48	288	50	
	临界载荷	26.4	192	32	

注意： AC = 空调；CSCOM = 社区卫生中心；CSREF = 推荐卫生中心；kVA = 千伏安；kWh = 千瓦时；kWp = 千瓦峰值；w/o = 无；* 根据国家指南提供的医疗服务，适用于农村CSCOM；**根据国家指南提供的医疗服务，适用于城市CSCOM。

城市CSCOM配备或要求配备交流基础设施，而农村CSCOM目前缺乏交流服务。这种差异影响了这两种类型设施太阳能系统的设计。如表15所示，10.8 kWp的系统规模适用于现有的、满负荷运行的、包括交流在内的城市CSCOM。相比之下，没有交流的农村CSCOM需要7.8 kWp的系统规模来支持其全部负荷。城市和农村CSCOM的关键负荷需要4.2 kWp的系统设计。为第一个医疗服务点提供关键负荷，需要4.2 kWp的系统容量，而最大的设施（医院）将需要90 kWp的系统容量来支持 *即* 整个负载带有交流电。

5.2 职工宿舍设计选项

目前，农村医疗卫生机构大多职工宿舍缺乏电力供应，导致职工不满。为提高他们的工作效率和舒适度，可根据职工宿舍数量，将以下DRE系统设计整合到现有和新医疗卫生机构中。职工宿舍的太阳能光伏设计考量分为两类：全部负荷（包括灯具、电视机、冰箱、风扇等）和基本负荷（包括灯具和手机充电）。等等。

为员工宿舍推荐的 设计方案参考了非洲大陆其他国家的数据。通常，卫生设施拥有 3 到 5 栋员工宿舍。最常见的住宅设计包括 3 间卧室、1 个厨房、1 个厕所和淋浴间、1 个洗衣区、1 个客厅和 1 个通道区。考虑到常规荷载和员工需求，为员工宿舍提出了两种设计方案（表 16）。

表16 工作人员宿舍太阳能光伏设计选项

选项A：全部负载 此选项涵盖了员工所需的所有负载成员时刻感到宾至如归。	房间：客厅和餐厅+厨房+洗衣房+主卧室+2个卧室+过道+淋浴w/c+室外 负载类型：吊扇/墙扇/落地扇（5）+ 冰箱（1）+ LED灯泡（10）+手机充电（4）+电视（1）+ 室外照明(1)
选项B：基础负载 此项涵盖了照明和通风需要确保员工基本舒适。	房间：厨房 + 主卧室 + 浴室 + 蹲式厕所 负载类型：吊扇/壁扇/落地扇（1）+LED灯泡(4) + 移动充电 (1)

注意：LED = 发光二极管；w/c = 厕所。

表17 员工宿舍太阳能光伏系统选项参数

负载类型	设计方法	太阳能电池板容量 (kWp)	移动电源 尺码 (kWh)	太阳能MPPT逆变器 额定功率（千伏安）；充电器
全部负载	1职工宿舍	0.96	7.2	1
	3职工宿舍	3	24	3
	5员工宿舍	4.8	36	5
基本负载	1职工宿舍	0.12	1.8	20 A; 12 V
	3职工宿舍	0.36	4.8	25 A ; 24 V
	5员工宿舍	0.72	8.64	1

注意：A = 安培；kVA = 千伏安；kWh = 千瓦时；kWp = 千瓦峰值；MPPT = 最大功率点跟踪；PV = 光伏；V = 伏特。

他们的成本和设计方案系统PV太阳能能推荐R

为整个负载供电。根据表17中所示的设计，使用DRE作为常规负载的主要系统来为单个卫生人员宿舍供电，需要0.96 kWp的配电板容量、7.2 kWh的电池容量以及每户1 千伏安 (kVA) 的逆变器。对于三个相邻的宿舍，为所有三个宿舍的常规负载供电的综合需求包括3 kWp的配电板容量、24 kWh的电池容量和3 kVA的逆变器。同样，如果五个宿舍位于同一个地点，需求将增加到4.8 kWp的配电板容量、36 kWh的电池容量和5 kVA的逆变器。需要注意的是，当为每个卫生人员宿舍安装独立的系统时，该系统的可靠性会得到增强。

为基本负载供电。为供电一个员工宿舍的基本负载，需要面板容量为0.12 kWp、电池容量为1.8 kWh和20 A、12 V的充电调节器。为三个员工宿舍，总需求上升到面板容量为0.36 kWp、电池容量为4.8 kWh和25 A、24 V的充电调节器。五个员工宿舍需要面板容量为0.72 kWp、电池容量为8.64 kWh和1 kVA的逆变器。

5.3 成本假设

一个DRE系统的成本包括面板、电池、逆变器和布线的供应，以及安装和维护费用。下面估计的成本来自三家本地供应商和一家国际供应商提供的信息，其中组件的平均成本以美元表示。假设基于在各类卫生设施安装系统的要求。

系统成本

该系统成本包括太阳能电池板、电池和逆变器，以及布线、模块安装结构和其他系统平衡组件。

除此之外，总成本的20%用于运输、安装、调试和人工。所有成本均根据区域可用的组件、对当地因素的仔细考虑以及使用锂离子电池来确定。

运营和维护成本

在维护合同下，技术人员计划每年访问两次，根据需要修理/更换组件。在估算运营和维护成本时，必须考虑纠正性和预防性维护活动、远程监控系统以及其他与协调相关的活动的成本。运营和维护成本的比例估计如下：

› 系统能耗的10%分配用于运维。这可以进一步细分为计划维护和纠正维护。此外，远程监控系统的成本设定为五年不变，为353美元，无论系统容量如何。

- 计划维护活动包括每年至少两次访问、部件更换、差旅、人工成本和相关税费。
- 纠正性维护处理保修期外的问题，包括替换和维修年度维护合同未涵盖的组件。它还涉及多次出行和访问，用于评估、诊断和维修活动，以及相关的劳动力成本和税费。

总项目成本

项目管理办法成本包括运营太阳能项目单元、数据监控平台、培训以及用于数据维护和通过与供应商和卫生设施互动促进系统性能所需人力资源的费用。该成本估计为总项目成本的18-20%。本章末尾进行陈述，以提供对总项目成本的全面了解，并不包含在每种设施类型之下。

表18 1628个CSCOM的成本估算

载荷类型	数量 设施*	系统 尺寸 (kWp)	锂离子 电池 (kWh)	系统 成本 (美元)	运维 (美元)	RMS (美元)	总计 成本 (美元)	总计 所有设施 (美元)
全部负载带空调 带备用电池 (对于交流电)	570	10.8	60	22 288	1857	353	24 498	13 963 860
全部负载带空调 不带有电池后备 (对于交流电) (标准设计 城市CSCOM)	570	10.8	48	18 974	1581	353	20 908	11 917 560
不包含空调的总负载 (标准设计 rural CSCOM)	1058	7.8	48	17 246	1437	353	19 036	20 140 088
不包含空调的总负载	1628	7.8	48	17 246	1437	353	19 036	30 990 608
临界载荷	1628	4.2	24	9 006	750	353	10 109	16 457 452

注意：AC = 空调；CSCOM = 社区卫生中心；kWh = 千瓦时；kWp = 千瓦峰；Li-ion = 锂离子；O&M = 运维维护；RMS = 远程监控系统；w/o = 无；* 基于初步数据分析：65% (1,058个设施) 的CSCOM位于农村地区，35% (570个设施) 位于城市地区。这总计为 即 即 总共1,628个运行中的CSCOM。

表 18 展示了在马里 1628 个 CSCOM 中实施太阳能系统的成本分析，包含四种场景：全部负荷、全部负荷带交流（带电池备用和不含电池备用）、不含交流和关键负荷。

针对现有服务进行设计。根据源于国家指南的现行设计标准，对于城市CSCOM，最节能的方式是不使用交流备用电源来为全部负载供电；对于农村CSCOM，最节能的方式是为全部负载（不包括交流）供电。

由于能源效率问题，不建议为交流电配备电池备份，适用于城市CSCOM。在乡村CSCOM中，完全排除了交流电，因为这些设施根据国家指南不提供交流电服务。因此，需要32057648美元为所有CSCOM供电，其中包括65%的乡村设施（不包含交流电负载）和35%的城市设施（包含交流电负载）。

对于配备交流电源的城区CSCOM，若为交流负载配备电池备份，则每个CSCOM的成本将增加24498美元。或者，如果不配备备份的太阳能交流电源，每个CSCOM的成本为20908美元。该选项可根据项目优先级和融资情况考虑，并且如果服务扩展到农村地区，也可能适用于农村CSCOM。

仅供所有设施（不含空调）的紧急和 maternity 服务等关键服务供电，每个 CSCOM 的成本为 10109 美元。因此，为全国所有 CSCOM 供电所需的总支出范围在 16457452 美元（适用于关键负载）和 30990608 美元（适用于除空调以外的所有负载）之间。

表19 61个CSREF的成本估算

负载类型	系统 尺寸 (kWp)	锂离子 电池 (kWh)	系统 成本 (美元)	运维 (美元)	RMS (美元)	总成本 (美元)	总计 设施（美元）
全部负载带空调（带交流备用电池）	42.0	240	88 026	7 336	353	95 715	5 838 615
全部负载带空调（不含交流备用电池）	42.0	120	54 889	4 574	353	59 816	3 648 776
不包含空调的总负载	18.0	120	43 234	3 603	353	47 190	2 878 590
临界载荷	10.8	60	22 627	1 886	353	24 865	1 516 765

注意：= 空调；CSREF = 咨询健康中心；kWh = 千瓦时；kWp = 千瓦峰值；Li-ion = 锂离子；O&M = 运营和维护；RMS = 远程监控系统；w/o = 无。

表19展示了四种类型的CSREF负载及其相关成本。若不使用交流电驱动全部负载，成本将为47190美元。相比之下，若使用交流电驱动全部负载，成本将为95715美元。如果仅使用太阳能发电而不配备电池备份，成本将为59816美元。仅驱动关键负载（不包括交流电）的成本将为24865美元。因此，驱动全国所有城市CSREF的总成本将在1516765美元至5838615美元之间，具体取决于驱动全部负载还是仅驱动关键负载。

表20 6个区域医院的成本估算

载荷类型	系统 尺寸 (kWp)	锂离子 电池 (kWh)	系统 成本 (美元)	运维 (美元)	RMS (美元)	总成本 (美元)	总计 设施 (美元)
全部负载带空调（带交流备用电池）	90.0	600	212 781	17 732	353	230 866	1 385 196
全部负载带空调（不含备份AC）	90.0	288	126 625	10 552	353	137 530	825 180
不包含空调的总负载	48.0	288	104 195	8 683	353	113 231	679 386
临界载荷	26.4	192	67 195	5 600	353	73 148	438 888

注意：AC = 空调；kWh = 千瓦时；kWp = 千瓦峰；Li-ion = 锂离子；O&M = 运营和维护；RMS = 远程监控系统；w/o = 无。

表20展示了四个类型负载的区域级医院供电成本。除交流电外，所有负载的供电成本总计113231美元。相比之下，使用交流电为所有负载供电的成本为230866美元。如果仅使用太阳能为交流电供电且无电池备用，成本将为137530美元。仅对关键负载（除交流电外）供电的费用为73148美元。因此，为全国六个区域医院供电的总成本将范围在438888美元之间

取决于全部负载还是仅关键负载供电，电费为1385196美元。若为所有设施级别的所有能源系统供电（不包括农村CSCOMs的交流电），整个负载的总成本为36531604美元。然而，如果每个设施仅关键负载供电，成本则为18413105美元。

表21 职工宿舍成本估算

设计方法		系统规模 (kWp)	电池 容量 (kWh)	系统 成本 (美元)	运维 (美元)	RMS (美元)	总成本 (美元)
全部 加载	1职工宿舍	0.96	7.2	2 482	207	353	3 041
	3职工宿舍	3	24	8 152	679	353	9 184
	5员工宿舍	4.8	36	12 408	1 034	353	13 795
基础 加载	1职工宿舍	0.12	1.8	610	51	353	1 013
	3职工宿舍	0.36	4.8	1 527	127	353	2 008
	5员工宿舍	0.72	8.64	2 790	232	353	3 375

备注：kWh = 千瓦时；kWp = 千瓦峰值；O&M = 运营维护；RMS = 远程监控系统。

使用太阳能光伏发电为职工宿舍供电的成本在1013美元至13795美元之间，具体取决于其供电负荷和职工宿舍的数量（表21）。总成本考虑了CSCOMs的一个职工宿舍、CSREFs的三个职工宿舍以及区域医院的五个职工宿舍。对于所有设施的基本负荷，总投资将是1791902美元，而为一个完整供电负荷的所有职工宿舍供电将花费5593742美元。

为在各设施和员工宿舍确保有效服务交付而基于当前需求（包括所有地点的空调，不包括农村CSCOM）实施DRE系统的总项目成本为42125346美元。由于假定空调的使用时间有限（在白天），这些设计不包括太阳能备用空调，因此优先考虑能源效率。即

然而，如果将焦点转移到为关键负载供电——特别是 maternity and emergency services——以及为每个设施的工作人员宿舍提供基本负载支持，那么估计的投资支出将是20205007美元。

鉴于气候变化导致的热应激日益加剧，考虑向农村CSCOMs增加空调也是至关重要的。为项目活动（如建立技术部门以及在系统生命周期结束（超出标准维护合同范围）时管理保修期外维修和系统更换）应额外考虑20%。

5.4 成本效益分析：从柴油转向太阳能光伏发电

现有太阳能系统为医疗机构提供的能源一直不可靠。所提出的DRE系统计划通过分配资金进行长期维护来解决这一问题。此外，该计划旨在满足医疗机构最后一公里的全部能源需求，而不是依赖基于设备的单个太阳能系统。这种做法表明，DRE可以作为一种可靠且经济的解决方案，无论电网电力是否可用。为了说明过渡到为医疗机构提供按需分配的清洁能源系统的成本节约，对一家满足马里人口初级医疗需求的CSREF医疗机构进行了成本效益分析（CBA）（见方框3）。

框3 成本效益分析（CBA）的假设

总能量需求：120千瓦时/天（根据为参考医疗中心全面负荷提供动力的能源系统设计[CSREFs]）

电费成本：0.25美元/千瓦时

最低柴油消耗量：3升（L）/天

最大柴油消耗量：30 L/天

柴油成本：1.27美元/升（800中非金融合作基金/升）

安装太阳能容量：42千瓦峰值（根据系统设计为所有负载供电）

系统成本：95,715美元

注意： 这些假设基于对不同设施级别的能源消耗模式进行抽样现场调查的数据。收集到的数据足以对CSREF设施进行成本效益分析（CBA）。然而，对于CSCOMs和医院的CBA，需要从相关原始来源获取进一步的能源消耗信息。

cba提出了两种情景。案例1考察了基于医疗卫生机构受访者的初步估计，柴油消耗最低水平的情况。案例2考虑了最大柴油消耗量。两种情况都关注csref设施层面。

案例1：考虑每日柴油消耗量最少为3升

该发电机预计每天产生9.9kWh，在设施层面消耗，基于1升柴油产生3.3kWh电的假设。据报告，剩余的110.1kWh/天的能源需求通过电网满足。柴油和电网电力的年支出预计为14636美元。过渡到太阳能预计将使初始投资在约6.5年内收回。

案例2：考虑每日最大柴油消耗量为30升

发电机预计每天产生99 kWh，据报道在一家采样CSREF设施中消耗，也基于1升柴油产生3.3 kWh电的假设。剩余的21 kWh/天的能源需求通过电网满足。柴油和电网电力的年支出预计为47808美元。转向太阳能预计可以使初始投资在约2年内收回。

由于不可靠的电网会导致高柴油消耗，因此考虑柴油成本和转向太阳能的CBA至关重要。因此，上述分析表明，在马里，由于柴油成本高，DRE在各种柴油消耗水平上都能产生正向的投资回报。

6. 马里的健康能源项目设计建议

本章概述了为医疗设施进行太阳能供电而设计和实施可持续项目的关键建议。这些建议基于该地区观察到的现实经验和实践。重点在于创建具有气候韧性的建筑环境，利用解决国家疾病负担的医疗技术，确保有效服务交付，提供培训，规划运维，并参与利益相关者。这些建议分为三个领域：技术解决方案设计、项目设计考虑因素和可持续性方面（如下所述）。

落实这些建议需要多个部门（包括卫生、能源、金融和电信）的协调行动。通过优先保障医疗机构的能源获取、采用合适的技术、营造支持性的政策环境以及探索创新的交付模式，可以显著提高医疗服务的提供水平。将能源获取与医疗规划相结合，为加强卫生体系和改善患者健康结果提供了重要机遇，特别是在服务不足的社区。

6.1 合适技术的选择

基于需求、效率和质量的基准测试技术对于马里的医疗设施至关重要，特别是考虑到许多现有太阳能系统无法运行。正如第四章所强调的，不可靠电网的电压波动在所调查的85%的医疗设施中损坏了医疗设备，而设计不良和安装不当的光伏系统导致了频繁的故障。应制定国家指导方针，以标准化光伏板、逆变器和电池的技术规范，通过绘制当地和全球供应链并比对符合既定质量和价格标准的商品来开展基准测试。

气候韧性基础设施至关重要，因为马里旱涝灾害会增加运营成本并破坏基础设施。结合主动和被动冷却机制的光伏设计将有助于有效管理高温压力（高达50°C）。此外，节能电器和建筑设计可以优化能源使用并降低成本。

健康设施太阳能化项目必须包括对员工生活区的设计考虑。如前所述，超过95%的受访者报告说，由于缺乏电力导致身体不适（例如电扇无法运行）。印度和乌干达的项目已经证明，供电 *例如* 太阳能员工宿舍改善了身体健康舒适度，从而提高了工作效率（世界卫生组织），2023）。等

通过医疗技术提升服务交付至关重要，因为86%的受访卫生设施报告称设备短缺影响了通信、疫苗冷链和灭菌等服务。马里行动计划支持分级护理模式，包括远程医疗和远程诊断套件，以将优质护理扩展到偏远地区。基于DRE的冷链解决方案，例如太阳能动力疫苗运输器，对于提高免疫覆盖率至关重要，特别是在农村地区，并且可以与GAVI等组织合作开发。

6.2 程序设计方法

项目设计最好是分阶段的，从具备强大基础设施和充足人员能力的设施开始，以创建有效模型，培养对DRE解决方案的信任。然后第二阶段应专注于解决实施前的基础设施和人力资源挑战。利用现有的政府结构和优先事项将有助于将太阳能纳入国家健康目标。卫生中心的升级和移动卫生单位的引入应整合节能设计和太阳能解决方案，以提高成本效益和服务可靠性。

通过一个包括多边机构的工作组建立多方利益相关者参与至关重要，这有助于马里的零部件成本基准化、确保零部件质量并保障资本和运营维护成本的资金。由于缺乏所有权和充足的维护资金分配，许多来自捐赠者驱动型项目的资产在安装第一年后往往未得到利用且无法正常运转。工作组可以帮助筹集维护资金，以支持政府维护和修复现有设备的目标。

建议将太阳能项目单元设立为卫生部和社会发展部的第三方技术审计单元，并得到能源部和相关机构的支持。该单元将负责技术规范、系统质量、监测和维护，并确保利益相关者之间的协调。

为促进区域公平、缩小城乡差距，应优先考虑增加对马里北部和农村地区的设备、资金和专业人员的目标投资。该举措将促进由当地运营商管理、并得到AMADER支持的分散式电力化项目（例如微电网和太阳能家庭系统）。必须将更多国家和国际资金分配给这些服务不足的地区，同时辅以能力建设计划，以确保当地社区和运营商能够有效管理和维护新基础设施。

6.3 运行、维护、培训和可持续性融资

可持续性要求通过国家指南建立DRE设备的质量标准，这些标准应包括进口设备质量检查的规范和流程。标准化这些设备的技术参数以及促进国际供应商和本地企业之间的合作，对于持续的运维和能力建设至关重要。可以激励本地供应商提升其技术能力，并发展备件的供应链。

培训是确保任何太阳能电气化计划长期可持续性的重要组成部分。加强卫生和能源部门相关方的技能和知识，对于有效规划和实施能源与卫生基础设施以及运维至关重要。

在项目概念化阶段，需要向国家级、区域级和区级的关键健康和能源利益相关者展示DRE系统改善健康成果的潜力。这将有助于提高人们对益处的认识，并促进为项目长期可持续性所需的预算分配。安装前和安装后必须进行培训（并进行定期更新），并且应包含在项目预算中。

运维不仅仅是与供应商签订年度维护合同；它需要多方利益相关者的参与，以应对出现的问题，从而最大程度地减少服务中断。卫生设施人员必须接受培训，以操作能源系统、进行基本维护以及报告与太阳能系统相关的问题。应明确定义并本地化标准操作规程以供验证，资金分配应透明，所有相关利益相关者的角色和职责应明确界定。

各种运维职责必须明确界定。第一线维护包括设施人员，包括护士和保安，他们必须接受培训以识别和排除基本问题，并向更复杂的问题报告。第二线维护涉及当地技术人员，与当地服务提供商或非政府组织相关联，他们应接受培训以进行小修并识别需要更换组件的需要。第三线维护由受过良好培训的技术人员组成，他们能够进行重大维修和更换系统组件。

制定针对区域差异的计划至关重要，因为地理环境影响服务接入、系统设计、维护频率和运维成本。马里北部偏远、多尘的地区难以进入，而热带南部则降雨量更高，需要容量更大的面板、避雷针和坚固的安装结构。易受雷暴和沙尘暴影响的地区需要对系统功能进行额外监控，且道路基础设施质量不一致可能会导致周转时间延长。考虑到季节性，年度维护合同应鼓励承包商在季风前后安排活动。有效的远程监控可以跟踪电池容量和逆变器功能，且工作人员应接受培训，以便在恶劣天气条件下解决问题并遵循升级流程。

运维资金必须在项目启动之初就整合，并涉及所有相关利益相关者，包括财政、卫生和能源部。运维成本包括年度维护合同之外的支出，例如项目管理和非保修部件费用。应利用PRODESS IV对维护的重视来筹集运维资金，确保医疗机构层面拥有资产管理权。

强化地方能源生态系统至关重要，因为可再生能源部门很大程度上依赖于进口产品。大部分活动由捐助者推动或依赖国际伙伴，导致本地熟练技术人才短缺，并缺乏对基于DRE解决方案的信心。需要投入大量努力，通过技能培训计划，使DRE部门对社区具有吸引力，这需要多方利益相关者的合作，以促进孵化、培训和融资。

营造有利环境

医疗设施电气化应纳入整体能源行业战略。这些设施的能源需求需要纳入国家和地方电气化规划框架。制定支持具备分布式可再生能源的医疗卫生政策的必要性尤为突出，尤其是考虑到离网领域仍在发展。政府应通过激励能源支持型医疗卫生服务的政策来规范行业增长，旨在提升医疗卫生基础设施并改善初级卫生服务。这些政策将涉及运营与维护的融资、技术人员和卫生人员的培训框架以及采购流程。

为医疗设施提供动力的政策与规划需要跨部门更紧密的整合，以确保协调实施和高效的资源分配。这种整合方法既解决了当前需求，也实现了长期可持续性目标。投资重点应包括维护现有医疗设施，而不仅仅是新建。以维护为中心的方法有助于保护关键基础设施，并延长医疗设施的使用寿命。

中央政府机构应积极与地方社区协调，识别并利用多个项目之间的协同效应，包括医疗设施电气化、电信塔楼开发以及社区范围内的电气化倡议。通过简化医疗设施的许可证和授权流程来减少行政壁垒，这有助于更快地实施能源解决方案并减少官僚延误。

国际捐赠者可能会被鼓励更大规模地支持医疗设施电气化，认识到其在实现更广泛的健康和发展目标中的基本作用。监管框架和投资战略应权衡对新建设施的支持和对现有设施的升级，确保覆盖整个医疗系统。服务成本与收入之间的资金缺口对离网私营能源提供者构成重大风险。政策机制需要解决这一缺口，以促进私营部门参与偏远地区医疗设施的电气化。

创新配送模式

医疗设施电气化有三种主要的交付模式：公共交付模式（传统所有权模式）、非盈利交付模式和私营部门模式。在马里，公共和非盈利交付模式最为普遍。影响这些交付模式可行性的关键因素包括资产维护要求、高昂的前期投资成本以及医疗设施支付服务的能力（购电方风险）。这些挑战可以通过创建 *支持私营部门参与的政策环境，以及为健康和能源部门制定公私合作伙伴关系（PPP）框架。*

为有效实施私人或ppp交付模式，能源服务提供方而非医疗机构应保有能源资产以实现长期可持续性。应将新的创收活动与医疗机构相结合以增强财务可持续性并扩展服务内容。应在平衡公共卫生优先事项与财务可持续性的ppp模式下探索私营部门参与者与医疗机构之间的潜在合作。

参考文献

EDM (2025) , , 马里的能源, <https://www.edmsa.ml/sites/default/files/Actual-ites/2025-01/Rapport%20Annuel%20EDM-SA%202023.pdf>

马利政府 (2014) “十年卫生和社会发展计划 (PDDSS) 2014-2023” http://www.sante.gov.ml/docs/ PDDSS_2014-2023.pdf

马利政府 (2019年) “卫生方向法 : 2018年7月11日第2018-049号法律 [卫生方向法 : 2018年7月11日第2018-049号法律]” <https://sgg-mali.ml/autres-textes-consolides/ loi-orientation-sant.pdf>

马利政府 (2024) “马里的国家数字卫生战略计划 [National Digital Health Strategic Plan of Mali]” www.sante.gov.ml/index.php/2014-11-10-17-29-36/documents-sante/ item/9419-马里的国家数字卫生战略计划

IEA, 等 (2024) , , 世界银行, 华盛顿特区, <https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/sdg7报告2024-0611-v9高分辨率用于网页.pdf> (访问于2024年10月23日)。

INSTAT (2024) , C 第十一次全国人口和住房普查 (RGPH5) : 国家和人口结构 , 国家统计局, www.instat-mali.org/laravel-filemanager/ files/shares/rgph/报告-状态-结构人口-rgph5-rgph.pdf

国际 Renewable 能源机构 (IRENA) (2019a) , 离网可再生能源解决方案扩大电力普及 : 一个机遇 , 国际可再生能源署, 阿布扎比, www.irena.org/publications/2019/Jun/离网可再生能源解决方案将扩大电力接入-一个不容错过的机会

IRENA (2019b) , , 国际可再生能源机构, 阿布扎比 可再生能源准备情况评估 : 马里 达希 <http://irena.org/publications/2019/Sep/Renewables-Readiness-Assessment-Mali>

IRENA (2025) , “国际可再生能源署全球可再生能源地图集”, 国际可再生能源署, 阿布扎比, <https://globalatlas.irena.org>

波茨坦气候变化影响研究所。(2023) “气候风险概况马里” www.pik-potsdam.de/zh/institute/departments/climate-resilience/projects/project-pages/agrica/climate-risk-profile_mali_zh (访问于2024年9月23日)。

美国国际开发署 (2023) , , 美国国际开发署 孕产妇与儿童健康与营养 : 马里简报 区域发展 [www.usaid.gov/sites/default/files/2024-04/USAID_2023_MCHN_FactSheets_CountrySpecific-Mali_v08_508\(1\).pdf](http://www.usaid.gov/sites/default/files/2024-04/USAID_2023_MCHN_FactSheets_CountrySpecific-Mali_v08_508(1).pdf)

WHO (2015) , 为资源匮乏环境中的医疗机构提供现代能源服务 :
 , 世界卫生组织, https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/156847/9789241507646_zh.pdf?sequence=1

WHO, 等 (2023) , , 世界 激发健康 : 加速医疗设施用电普及
卫生组织, 国际可再生能源机构, 世界银行和SE4All, 日内瓦 www.irena.org/publications/2023/jan/Energizing-health-accelerating-electricity-access-in-health-care-facilities

世卫组织 (2023) , , 世界卫生组织, https://cdn.who.int/media/docs/default-source/HeRAMS/documents/emergencies/herams/herams_mali_status_update_summary_report_2024-10.pdf?s-fvrsn=6b068642_2&download=true

WHO (2024) , HeRAMS简要更新报告2024年10月 : 卫生设施配置、基本服务可用性及其提供障碍的详细地图[HeRAMS Abridged Update Report October 2024: Detailed mapping of health facilities, availability of essential services and barriers to service delivery]
 , 世界卫生组织, https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/emergencies/herams/herams_mali_status_update_summary_report_2024-10.pdf?s-fvrsn=6b068642_2&download=true

世界银行 (2019) , , <https://documents1.worldbank.org/curated/zh/477001578638072626/pdf/马里的电力公用事业改革：运营经验教训>

世界银行 (2023) , , <https://documents1.worldbank.org/curated/zh/099121423052033168/pdf/P172823001482d0808551031203d154719.pdf>

世界银行 (2024a) “, “马里的种群”, ” <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=ML>

世界银行 (2024b) “, “孕产妇死亡率 (估算值, 每10万活产) - 马里”
<https://data.worldbank.org/indicator/SH.STA.MMRT?locations=ML>

世界银行 (2024c) , 马里的公共支出审查 : 加强公共支出以支持人力资本建设
 , <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099121423052033168/pdf/P172823001482d0808551031203d154719.pdf>

世界银行 (2024d) “获得电力 (% 人口) - 马里” <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=ML>

世界数据(2023) , “马里气候”, www.worlddata.info/africa/mali/climate.vv附件

附件A。 研究中所调查的健康设施

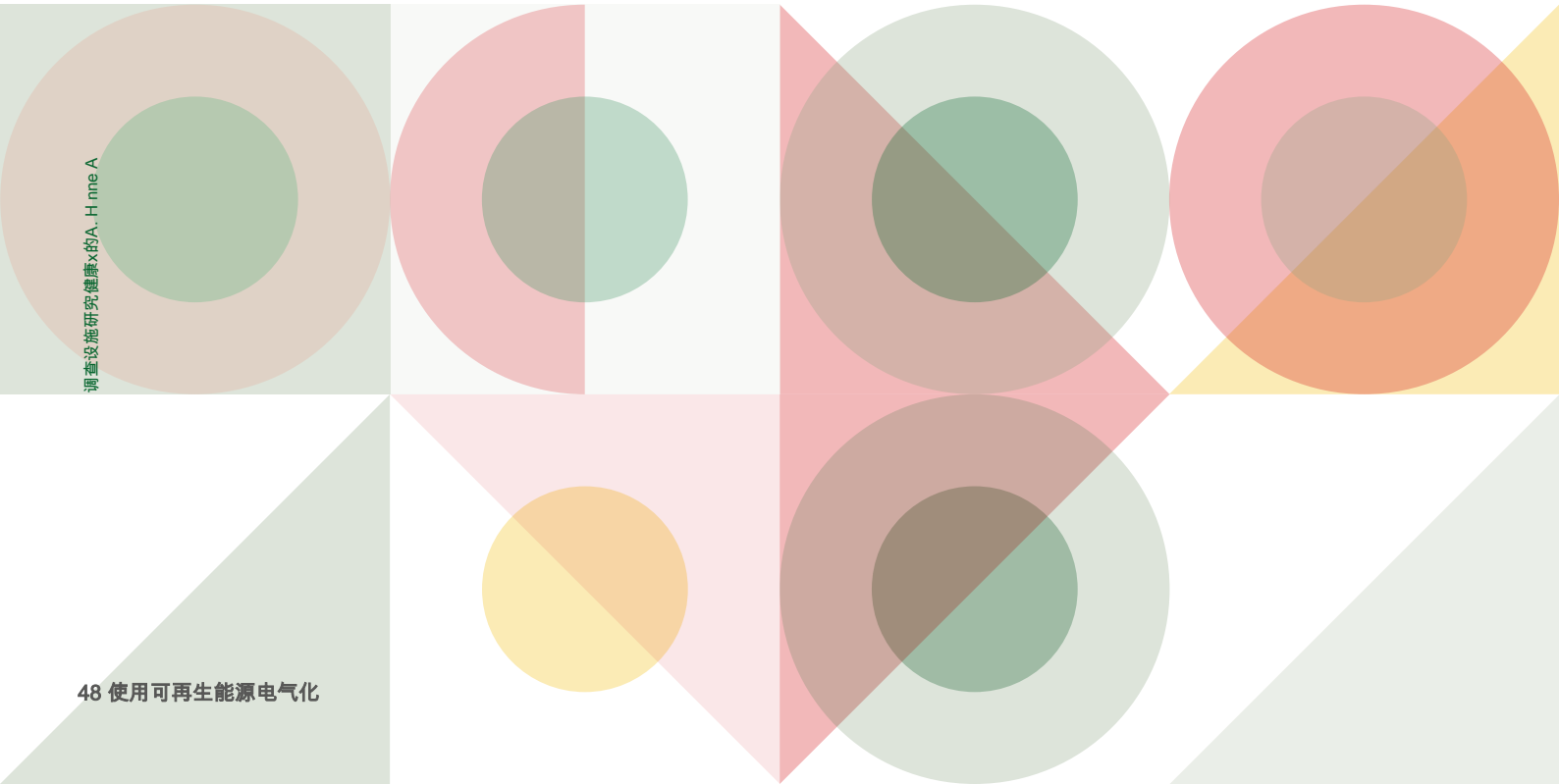
区域	健康名称 设施 (村庄)	区	纬度	经度	类型 设施	农村/ 城市	年份 建立
布古尼	卡迪安娜	科隆迪贝	10.744708	-6.503174	CSCOM	农村	1997
布古尼	中心医疗 社区式 马费莱	布古尼	10.557653	-7.530455	CSCOM	农村	2002
布古尼	中心卫生站 卡拉洛	布古尼	10.994490	-7.436884	CSCOM	农村	1997
布古尼	中心医疗 亚福拉利拉中央	亚富洛拉	11.179701	-8.155724	CSCOM	城市	2001
布古尼	CSRF de Kolondieba	科隆迪贝	11.079024	-6.876939	CSREF	农村	1994
布古尼	健康中心 布古尼	布古尼	11.429351	-7.472771	CSREF	城市	1999
高	CSCOM城堡	高	16.261768	-0.037634	CSCOM	城市	1996
高	CSREF de 高	高	16.283617	-0.046512	CSREF	城市	1996
高	区域医院 高	高	16.272474	-0.043247	医院	城市	2003
凯斯	健康区 拉菲博戈	凯斯	14.438820	-11.446521	CSCOM	城市	2004
凯斯	桑加法拉	Sadiola	14.083919	-11.681035	CSCOM	农村	2021
凯斯	健康区 Kersignan� Diafounou	伊莉玛尼	14.992243	-10.990960	CSCOM	城市	1996
凯斯	Aire de Sante Yelimani CSCOM	凯斯	15.114803	-10.576947	CSCOM	农村	2020
凯斯	健康区 巴富拉贝	巴富拉贝	13.809484	-10.831842	CSCOM	农村	2005
凯斯	CSCOM de Madalaya	乌苏比迪亚加纳	14.220836	-10.661632	CSCOM	农村	1998
凯斯	健康区 Godi	乌苏比迪亚加纳	14.243850	-10.645251	CSCOM	农村	2021
凯斯	健康区 卡玛加利马迪吉	巴富拉贝	12.883674	-10.549102	CSCOM	农村	2012
凯斯	Aire de Sant� Fal�a	肯尼巴	12.264065	-11.275912	CSCOM	农村	2005
凯斯	CSREF de Kaye	凯斯	14.451213	-11.438954	CSREF	城市	2001
凯斯	CSREF de Yelimani	伊莉玛尼	15.122968	-10.575145	CSREF	农村	1984

调查设施研究健康x的A. H nne A

区域	健康名称 设施 (村庄)	区	纬度	经度	类型 设施	农村/ 城市	年份 建立
凯斯	塞科托巴机场	肯尼巴	12.745694	-10.947887	CSCOM	农村	2023
凯斯	健康区达萨拉姆	Falea	12.118810	-11.297027	CSCOM	农村	2022
卡它	中心医疗 社区式 Namala	卡它	13.360152	-9.385905	CSCOM	城市	2015
卡它	Sagabari健康区	萨加巴利	12.589772	-9.804690	CSCOM	农村	2009
卡它	卫生区 Gakouroukoto	萨加巴利	12.670018	-9.776213	CSCOM	农村	2017
库里科罗	塞莱沃古	康加巴	11.742413	-8.334685	CSCOM	农村	2002
库里科罗	库雷马莱	康加巴	11.958172	-8.776295	CSCOM	农村	2011
库里科罗	卡拉富古	卡蒂	12.952183	-8.175769	CSCOM	农村	2002
库里科罗	多比拉	卡蒂	12.762714	-8.278221	CSCOM	农村	2005
库里科罗	托库罗巴	班南巴	13.610960	-7.040516	CSCOM	农村	1997
库里科罗	CSCOM de Boron	班纳马	14.005520	-7.514940	CSCOM	农村	1996
库里科罗	健康中心 斯里科罗巴	科洛卡尼	13.535343	-7.642770	CSCOM	农村	2005
库里科罗	奥沃洛多	索洛卡尼	13.204634	-7.931495	CSCOM	农村	1998
库里科罗	CSCOM de Tombougou	库里科罗	13.091733	-7.767938	CSCOM	农村	2002
莫普蒂	区域医院 Mopti (Sominé Dolo)	莫普蒂	14.539782	-4.084384	医院	城市	2012
莫普蒂	CSCOM de Soufroulaye	Soufroulaye	14.406430	-4.084097	CSCOM	农村	1996
莫普蒂	CSCOM塞维亚3	莫普蒂	14.517343	-4.095194	CSCOM	城市	2003
莫普蒂	马迪亚马	杰内	13.791981	-4.393260	CSCOM	农村	1995
莫普蒂	Fatoma	莫普蒂	14.616398	-4.046972	CSCOM	农村	1996
莫普蒂	健康区域 Bounguel Djenné		14.166004	-4.103998	CSCOM	农村	2010
莫普蒂	冻冻	杰内	13.850964	-4.307104	CSCOM	农村	2014
莫普蒂	CSCOM Djenne	杰内	13.904055	-4.556202	CSCOM	城市	1995
莫普蒂	CSCOM de Sophara	杰内	14.020118	-4.220351	CSCOM	农村	1996
莫普蒂	CSREF Джене	杰内	14.390588	-4.561562	CSREF	城市	1947
莫普蒂	CSREF de Mopti	莫普蒂	14.503972	-4.196668	CSREF	城市	1968
山	健康空间 莫尼斯奥	汤姆逊	13.351926	-4.476203	CSCOM	农村	2003
山	CSREF de San	SAN	13.307746	-4.893679	CSREF	城市	1968
塞古	CSCOM Cocody	Niono	14.337933	-6.020843	cscom	农村	1993
塞古	CSCOM 的 Diédala	Bla	12.990904	-5.616389	CSCOM	农村	2002
塞古	健康区 金帕拉纳	山	12.836685	-4.924002	CSCOM	农村	1999

区域	健康名称 设施（村庄）	区	纬度	经度	类型 设施	农村/ 城市	年份 建立
塞古	健康空间提吉	塞古	13.058840	-6.647118	CSCOM	农村	2006
塞古	CSCOM 苏马布古	马卡拉	13.604741	-6.102594	CSCOM	农村	2009
塞古	健康空气 Sido- 索宁库拉	塞古	13.428221	-6.245735	CSCOM	城市	2017
塞古	CSREF de Baraoueli	巴拉乌利	13.070598	-6.838362	CSREF	城市	1996
西卡索	班南科达	西卡索	11.317613	-5.753827	CSCOM	城市	2013
西卡索	中心卫生站 Wayerma II	Wayerma II	11.329709	-5.660801	CSCOM	城市	2001
西卡索	CSCOM de Zegoua	卡迪奥洛	10.488147	-5.654170	CSCOM	农村	1996
锡卡索	Foh健康区	锡卡索	11.794427	-5.776669	CSCOM	城市	2010
锡卡索	哈姆达利亚	西卡索	11.308822	-5.693697	CSCOM	农村	2001
锡卡索	CSREF de Sikasso	锡卡索	11.316782	-5.668592	CSREF	城市	1964

注意：CSCOM=社区卫生服务中心；CSREF=转诊医疗中心。



附件B。 太阳能系统设计假设与注意事项

根据通过初步磋商和次级数据识别的需求，以下参数被用于计算和提出适用于马利不同级别医疗卫生设施的定制化分布式可再生能源系统设计。

太阳能光伏系统设计参数

决定能量需求的因素	负载规格	系统设计考虑
医疗机构特异性	标准设计具有典型运营时间	日照峰值小时数
医疗机构水平		自主运行天数
房间数量	基于服务的定制化	放电深度
已提供的服务	关键和非关键设备 载荷	设备能效
未来发展需求		
安全和健康需求	气候灾害	每层加载需求

利用上述参数，为每个设施提供技术设计方案。这些方案包括为常规负载提供太阳能（灯光、风扇、充电设备）以及为医疗设备提供 等等。
主要由太阳能系统提供。假设所产生的100%能量都来自太阳能（基于假设的运行小时数）。

常规医疗设备负载

指的是在CSCOM和CSREF处提供服务所需的最小基础设施和设备——这些设备被认为是常规负载，主要为照明设备和笔记本电脑及移动设备充电负载。

选项A

为城市CSCOMs中的全部负载供电，包括交流电

房间：入口、候诊区及接待处、2个诊室/咨询室、观察室、CPN室、药房/药品储藏室、医疗护理室、医师室、产房、实验室、员工/卧室（5间）、储藏室、卫生间、户外庭院

负载：交流电（1），风冷散热器（2），吊扇/壁扇/落地扇（20），离心机（1），台式电脑（3），便携式检影灯（1），冰箱（1），婴儿光疗仪（1），血红蛋白分析仪，笔记本电脑（2），LED灯泡（20），LED管灯（9），显微镜（1），移动充电（2），雾化器（1），针式剪（1），轨道式摇床（1），户外灯（1），打印机（3），辐射式暖箱/婴儿暖箱（1），吸引装置（1），聚光灯/检影灯，电视（1），超声波设备（1）

为CSREFs中的全部负载供电，包括交流电

房间：入口、候诊区和接待处、2个门诊/咨询室、2个观察室、CPN室、药房/药库、接种室、血库、医护/护士室、医官室、经理/行政室、眼科室、分娩室、产房、急诊室、小型手术室、影像室、牙科、实验室、服务器室、卫生间、员工/卧室（10间）、储藏室、户外庭院

负载：交流电（7），麻醉机（1），血库冰箱（1），吊扇/墙扇/落地扇（37），牙椅（1），牙椅压缩机（1），离心机（1），台式电脑（5），冰箱（3），便携式检查灯（1），培养箱（3），成像扫描仪（1），血红蛋白分析仪（1），GeneXpert（COVID/TB检测）（1），血常规分析仪（1），婴儿光疗单元（1），笔记本电脑（6），LED灯泡（31），LED管灯（39），显微镜（2），微型旋转振荡器（1），移动充电（20），雾化器（1），针线剪（2），手术室灯光（1），户外灯光（10），患者监护仪（1），制氧机（2），打印机（7），辐射保暖器/婴儿保暖器（2），吸引装置（5），聚光灯/检查灯（1），电视（1），超声波设备（1），X光（1），Wi-Fi调制解调器（1）

为地区医院提供包括交流电在内的全部负荷电力

房间：入口、候诊区和大厅、2个诊疗室/咨询室、2个观察室、男病房、女病房、CPN室、药房/药店室、接种室、血库、医护/护理室、医生办公室、经理/行政室、眼科室、分娩室、产房、急诊室、手术室、ICU、放射科/影像室、牙科、2个实验室、服务器室、员工/卧室（10个房间）、储藏室、洗手间、户外庭院

负载：交流电(12)，麻醉机(1)，注射泵(1)，全自动血细胞分析仪(2)，生化分析仪(2)，生化分析仪比色皿(2)，生化小冰箱(2)，血库冰箱(2)，血液采集监测仪(2)，血气分析仪(1)，心脏监护仪(2)，天花板/墙壁/脚凳风扇(82)，CELL-DYN血细胞分析仪(2)，牙科椅(1)，牙科椅压缩机(1)

台式机（6），通风机（1），便携式检影灯（1），免疫分析分析仪微量板（2），冰箱（6），GeneXpert（新冠/结核测试）（2），Hb分析仪（2），血常规分析仪（2），培养箱（3），影像扫描仪（1），婴儿光疗仪（2），电外科手术单元（1），实验室离心机（2），腹腔镜显示屏电视（1），笔记本电脑（7），LED灯泡（73），LED管形灯（79），Lisa扫描仪（2），微孔板读取仪（2），微孔板洗涤器（2），显微镜（4），显微镜打印机（2），微型旋转摇床（2），移动充电（50），雾化器（2），针头切割器（3），针头销毁器（2），手术台灯光（1），手术台（1），制氧机（6），病人监护仪（16），除颤器（1），血浆解冻槽（2），血小板搅拌器和培养箱（2），打印机（10），辐射加热器/婴儿加热器（2），全自动凝血分析仪（2），血清学水浴锅（2），聚光灯/检影灯（1），吸引器（6），电视（7），超声波设备（4），通风机（1），无线调制解调器（1），X光（1），户外灯（10）

考量和假设 能源系统设计 太阳能和风能 B. S mne A

选项B

为CSCOMs、CSREFs以及地区医院提供整个负载，交流电将在白天由太阳能供电，且交流电没有电池备份

选项C

为城市CSCOMs中的全部负载供电，除交流电和空气冷却器外

房间：入口、候诊区及前台、2个门诊/咨询室、2个观察室、CPN室、药房/药物储藏室、医疗护理室、医生办公室、产房、实验室、员工/卧室（5间）、储藏室、卫生间、户外庭院

负载：吊扇/壁扇/落地扇（20）、离心机（1）、台式机（3）、便携式检查灯（1）、冰箱（1）、婴儿光疗设备（1）、血色素分析仪（1）、笔记本电脑（2）、LED灯泡（20）、LED管灯（9）、显微镜（1）、手机充电（2）、雾化器（1）、针式剪（1）、轨道摇床（1）、户外灯（1）、打印机（3）、辐射式暖器/婴儿暖器（1）、吸引设备（1）、聚光灯/检查灯（1）、电视（1）、超声波设备（1）

在CSREFs中不使用交流电为整个负载供电

房间：入口，候诊区和大堂，2间门诊/诊室，2间观察室，CPN室，药房/药库，免疫接种室，血库，医护室/护士室，医师室，经理/行政室，眼科室，员工/卧室（10间），仓库，卫生间，分娩室，待产室，急诊室，小型手术室，影像室，牙科，实验室，服务器室，户外庭院

设备：麻醉机（1台）、血库冰箱（1台）、天花板/墙壁/底座风扇（37台）、牙科椅（1台）、牙科椅压缩机（1台）、离心机（1台）、台式电脑（5台）、冰箱（3台）、便携式检查灯（1台）、培养箱（3台）、影像扫描仪（1台）、血红蛋白分析仪（1台）、GeneXpert（COVID/结核病检测）（1台）、血常规分析仪（1台）、婴儿光疗仪（1台）、笔记本电脑（6台）、LED灯泡（31个）、LED管形灯（39个）、显微镜（2台）、小型旋转摇床（1台）、移动充电（20个）、雾化器（1台）、针线剪（2台）、手术室灯（1台）、室外灯（10个）、病人监护仪（1台）、制氧机（2台）、打印机（7台）、辐射式暖器/婴儿暖箱（2台）、吸引装置（5台）、聚光灯/检查灯（1台）、电视机（1台）、超声波设备（1台）、X射线（1台）、无线网卡（1台）

在区域医院中无交流供电全部负载

房间：入口、候诊区及接待处、2个门诊/咨询室、2个观察室、男病房、女病房、CPN室、药房/药店室、免疫接种室、血库、医疗护理室、医生办公室、经理/行政室、眼科室、分娩室、产房、急诊室、手术室、重症监护室、放射科/影像室、牙科、2个实验室、服务器室、员工/床位室（10间）、储藏室、卫生间、户外庭院

设备：麻醉机（1）、注射泵（1）、全自动血细胞分析仪（2）、生化分析仪（2）、生化分析仪比色皿（2）、生化小冰箱（2）、血库冰箱（2）、血液采集监控仪（2）、血气分析仪（1）、心电监护仪（2）、天花板/墙壁/落地扇（82）、CELL-DYN血细胞分析仪（2）、牙科椅（1）、牙科椅压缩机（1）、台式电脑（6）、呼吸机（1）、便携式检查灯（1）、免疫分析仪微量孔板（2）、冰箱（6）、GeneXpert（新冠/结核检测）（2）、血红蛋白分析仪（2）、血细胞分析仪（2）、培养箱（3）、影像扫描仪（1）、婴儿光疗仪（2）、电外科设备（1）、实验室离心机（2）、腹腔镜显示电视（1）、笔记本电脑（7）、LED灯泡（73）、LED灯管（79）、Lisa扫描仪（2）、微孔板读取仪（2）、微孔板洗涤仪（2）、显微镜（4）、显微镜打印机（2）、微型旋转振荡器（2）、移动充电（50）、雾化器（2）、针头切割器（3）、针头销毁器（2）、手术室灯光（1）、手术室手术台（1）、制氧机（6）、病人监护仪（16）、除颤器（1）、血浆解冻箱（2）、血小板振荡器和培养箱（2）、打印机（10）、辐射加热器/婴儿加热器（2）、半自动凝血分析仪（2）、血清学水浴箱（2）、聚光灯/检查灯（1）、吸引装置（6）、电视（7）、超声波设备（4）、呼吸机（1）、Wi-Fi调制解调器（1）、X光（1）、户外灯（10）

选项D

在CSCOMs中为关键+部分常规负载供电

房间：入口，2个门诊/咨询室，药房/药品储藏室，医疗/护理室，产房，实验室，卫生间，户外庭院

负载：吊扇/墙壁扇/柱式风扇（8）、离心机（1）、台式电脑（2）、便携式检影灯（1）、冰箱（1）、婴儿光疗仪（1）、血红蛋白分析仪（1）、笔记本电脑（1）、LED灯泡（12）、LED管灯（7）、显微镜（1）、雾化器（1）、针式剪（1）、轨道摇床（1）、户外灯（2）、打印机（2）、辐射式暖器/婴儿暖器（1）、吸引装置（1）、聚光灯/检影灯（1）、超声波设备（1）

为CSREFs中的关键负载供电

房间：入口，候诊区和大堂，2间门诊/诊室，2间观察室，CPN室，药房/药库，免疫接种室，血库，医护室/护士室，医师室，经理/行政室，眼科室，员工/卧室（10间），仓库，卫生间，分娩室，待产室，急诊室，小型手术室，影像室，牙科，实验室，服务器室，户外庭院

设备：麻醉机(1台), 血库冰箱(1台), 吊扇/壁扇/台扇(12台), 离心机(1台), 台式电脑(3台), 便携式检影灯(1台), 冰箱(3台), 婴儿培养箱(3台), 血红蛋白分析仪(1台), GeneXpert(新冠病毒/结核检测)(1台), 血液分析仪(1台), 婴儿光疗仪(1台), 笔记本电脑(4台), LED灯泡(19个), LED管形灯(16个), 显微镜(2台), 微型旋转摇床(1台), 雾化器(2台), 针头剪(2台), 手术室灯光(1台), 患者监护仪(1台), 氧气浓缩器(2台), 打印机(4台), 户外灯(10个), 辐射加温器/婴儿加温器(2台), 抽吸设备(5台), 聚光灯/检影灯(1台), 超声波设备(1台), 无线网络调制解调器(1台)

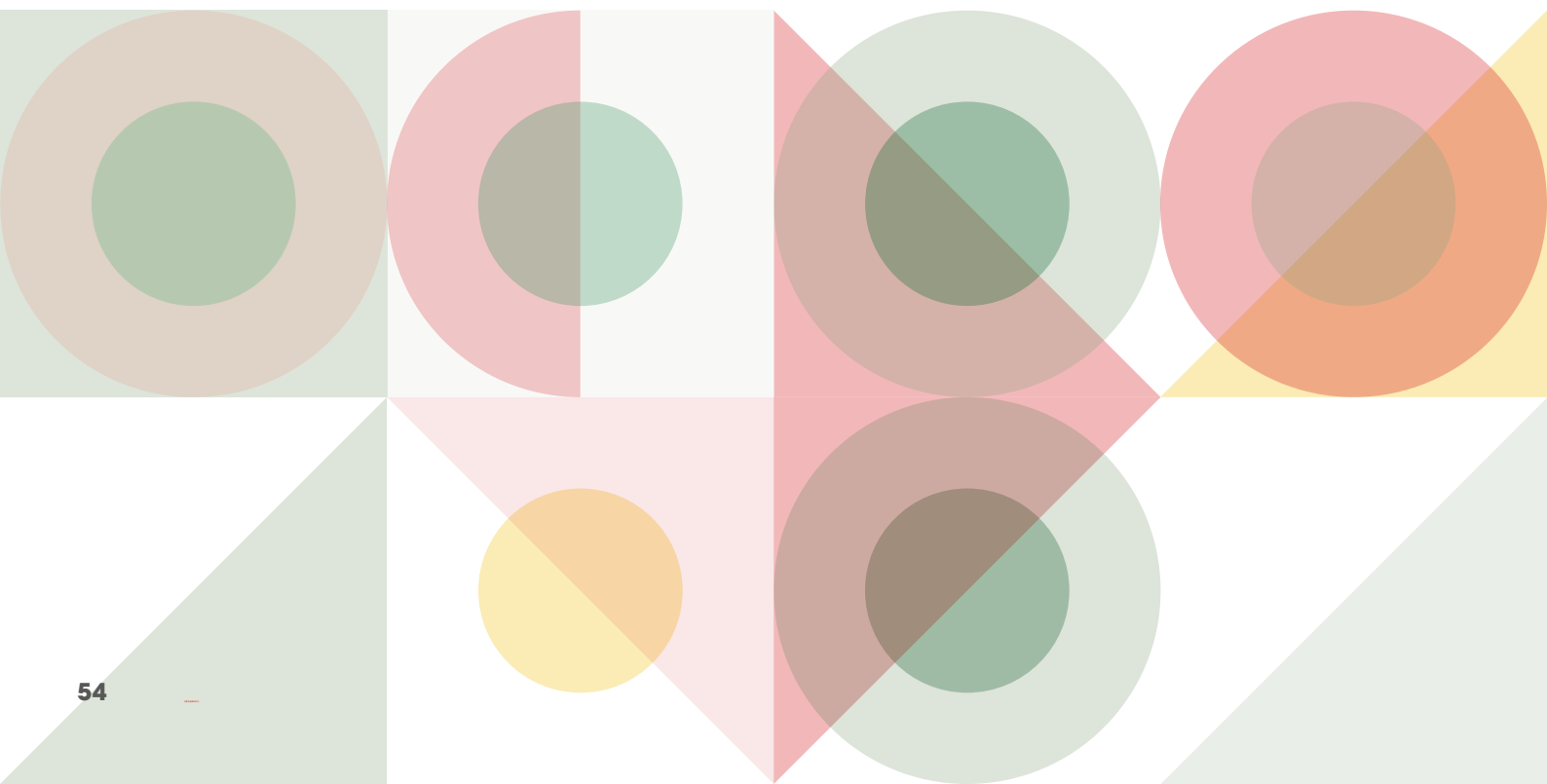
为区域医院的关键负载供电

房间：入口、候诊区及接待处、2个门诊/咨询室、2个观察室、男病房、女病房、CPN室、药房/药店室、免疫接种室、血库、医疗护理室、医生办公室、经理/行政室、眼科室、分娩室、产房、急诊室、手术室、重症监护室、放射科/影像室、牙科、2个实验室、服务器室、员工/床位室（10间）、储藏室、卫生间、户外庭院

载荷：注射泵（1）、麻醉机（1）、全自动血细胞分析仪（2）、生化分析仪（2）、生化分析比色皿（2）、生化小冰箱（2）、血库冰箱（2）、血液采集监测仪（2）、即时检测用血气分析仪（1）、心脏监护仪（2）、天花板/墙壁/落地扇（15）、CELL-DYN血细胞分析仪（2）、台式电脑（4）、呼吸机（1）、便携式检查灯（1）、免疫分析仪微量孔板（2）、冰箱（6）、GeneXpert（新冠/结核检测）（2）、血红蛋白分析仪（2）、血细胞分析仪（2）、婴儿光疗单元（2）、培养箱（1）、电外科手术设备（1）、实验室离心机（2）、液晶电视（1）、笔记本电脑（5）、LED灯泡（19）、LED管形灯（20）、Lisa扫描仪（2）、微孔板读取仪（2）、微孔板洗涤仪（2）、显微镜（4）、显微镜打印机（2）、迷你旋转振荡器（2）、雾化器（2）、针头切割器（3）、针头销毁器（2）、手术室灯光（1）、手术台（1）、制氧机（3）、患者监护仪（2）、除颤器（1）、血浆解冻箱（2）、血小板振荡器及培养箱（1）、打印机（7）、辐射保暖器/婴儿保暖器（2）、半自动凝血分析仪（2）、血清学水浴锅（2）、聚光灯/检查灯（1）、吸引器（6）、电视（2）、超声设备（3）、呼吸机（1）、无线调制解调器（1）、室外灯（10）

注意：AC = 空调；CPN = 复杂生理需求；CSCOM = 社区卫生中心；CSREF = 转诊卫生中心；Hb = 血红蛋白；ICU = 重症监护病房；LCD = 液晶显示器；LED = 发光二极管；OPD = 门诊部；OT = 手术室；TB = 结核病；TV = 电视。







© 国际可再生能源署
2025 www.irena.org

