

面向未来高能效绿色楼宇的电气系统设计

作者: Mathew Losey

摘要

本文旨在为电气设计工程师提供最新、最重要的标准和技术指导，帮助他们理解并设计面向未来的，且能够在楼宇的全楼宇生命周期发挥最佳能效水平的电气系统。纵观全球，楼宇随着为应对气候变化而制定的国际公约、各个国家相关标准和法规的不断趋严，以及楼宇业主需求的持续增长，绿色节能的楼宇设计理念和运营方式被更多关注，并正在日益普及。对此，电气设计工程师们唯有做好万全的准备，才能设计出符合最新楼宇规范的电气系统方案，从而助力楼宇获得绿色认证，并为符合全球最佳实践的“主动式”能源管理计划提供支持。

引言

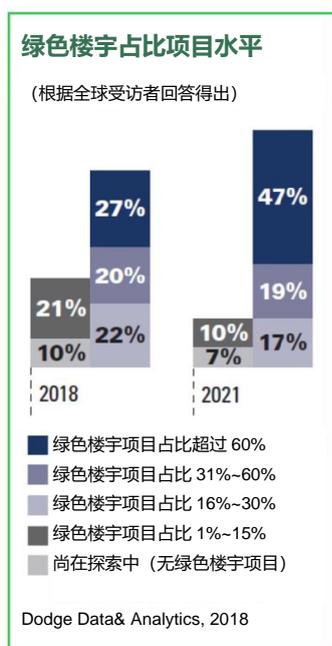


图 1

绿色楼宇已不再“小众”，而正在成为一种被更广泛接受的概念。而高效楼宇设计正在迅速成为建筑设计师和工程师为达成此目标所普遍采用的方法，而对于楼宇运营和维保团队来说，“主动式”能源管理也楼宇正在成为他们更经常采用的方式。这种演变趋势的背后交织着多重影响因素：

- 全球性指令。**《巴黎协定》旨在通过减少全球温室气体排放、增加可再生能源利用和提高能源使用效率，以工业化之前的世界气温为基准，将全球平均温度升幅控制在 1.5% 以内。在第 21 届联合国气候变化大会上，各缔约国政府纷纷表态将出台并落实“国家自主贡献 (NDC)”合作模式，以共同应对全球气候问题。
- 政府行动。**目前，部分国家正在积极采取行动，旨在达成各自的自主贡献目标。例如，欧盟承诺到 2050 年之前将二氧化碳排放量减少 80%，而荷兰的二氧化碳减排目标是 95%。²绿色环保趋势也正在影响城市的发展。从 2024 年开始，纽约市内楼宇面积超过 2.5 万平方英尺（约合 2323 平方米）的楼宇必须接受升级改造，从而推动达到到 2030 年减少 40% 温室气体排放量的目标。³对于新建楼宇项目，纽约市政府正在通过一系列激励措施和指导方针楼宇并对现有的相关规范、法规和许可进行升级，以鼓励高效能的方案设计。
- 能效投资回报率 (ROI)。**无论是否需要满足最新的环保法规要求，绿色楼宇都是一项具有高回报率的投资选择。应用绿色楼宇方案，不但能够降低楼宇使用的能源成本，而且一经获得绿色楼宇认证，更可以提升资产的价值。高效能同时，高效能的设计还可以优化楼宇内部供热、制冷、通风和照明系统的运行，从而改善使用者的舒适度、健康水平和生产力。此外，绿色环保的企业形象有助于企业吸引更多优秀人才，同时也会让消费者产生偏好。得益于这些好处许多公司也更加积极地制定和实施可持续发展目标。

图 2

鉴于全球各个国家对降低碳排放和企业对业务的更高目标，对绿色楼宇的实践和发展正在不断加强新的设计方案不但能够助力减缓全球变暖势头，还能削减能源成本，改善使用者的健康水平、舒适度和生产力，已获得 [LEED 金级认证的施耐德电气南非办公大楼](#)便是一个很好的例证（如图 1）。



² “Nederland zet zelf stok achter de deur ...”, de Volkskrant, 2018

³ “New York City Passes Sweeping Climate Legislation”, CityLab, 2019

定义：主动式能源管理

在本文中，“主动 (active)”一词的含义不应与电气术语相混淆，在电气术语中，“active (有源)”指负载的电阻性元件所消耗的“有效或实际 (true or real)”功率。

本文多次提及“主动式能源管理”和“主动式能效”，这与楼宇设施团队期待主动并持续提高能源使用效率紧密相关。

在监管压力、财务回报、更高资产价值和有益于健康等多重因素的共同作用下，绿色楼宇正在逐渐成为业界主流趋势。

为迈向更加绿色环保的未来蓄力

电气设计公司和工程师需要提前做好准备，以满足行业对于绿色楼宇日益增长的需求。由于楼宇可持续性是一项贯穿楼宇生命周期的考量因素，设计师必须确保电气系统能够在全楼宇生命周期内对提升能源效率提供有效助力：

- 遵循最新的绿色楼宇规范和实践标准
- 助力满足能源管理和绿色楼宇认证要求，包括绿色认证下的各项条款
- 支持编写合规性报告
- 在楼宇后期长时间的运营和维护期间，满足主动式能源管理标准和最佳实践要求，最大程度地降低能耗和运营成本。

目前，很多全球性和地方性的能效标准正在被重新制定，并提高了相应的标准，包括以下这些已经发布的标准：

- [ISO 50001-2018 能源管理系统](#)
- [IEC 60364-8-1:2019 低压电气装置——能源效率](#)

本文为电气设计师介绍了绿色楼宇及相关重要标准、指导方针和法规的演变。此外，本文还简要介绍了一些相关的能源管理技术，这些技术不但可以帮助业主让资产满足绿色楼宇要求，还能助其实现可持续发展目标。

将政策付诸行动

“楼宇、直接或间接产生的二氧化碳占总排放量的40%。随着楼宇面积的快速增长，能源需求正以接近3%的年增幅持续增长。”

[国际能源署](#)

以下是各国政府、行业组织和当地电力公司在全球主要市场上，规范或鼓励绿色楼宇实践方式的一些实例。

区域和国家层面的激励因素

欧盟委员会颁布的《能源效率指令》要求，到2030年，欧盟的能源效率必须提高32.5%。⁶欧盟还要求各成员国在2018年底前就如何达成这一目标制定相应的计划。此外，欧盟还通过了最新的《楼宇能源性能指令》，⁷其中包括但不限于以下规定：

- 能源性能的考量范围要包括楼宇**所有相关元素和技术系统**的能源性能，包括楼宇供热、制冷、照明、通风等子系统。
- 提高能源性能认证的透明度，并统一应用**所有必要的计算参数**。
- 楼宇**创新成果和技术**也使楼宇在支持经济全面脱碳化过程中发挥作用。

⁴ [ISO 50001-2018, International Standards Organization](#)

⁵ [“IEC 60364-8-1:2019”, IEC Webstore](#)

⁶ [“2030 climate & energy framework”, European Commission](#)

⁷ [“Energy performance of buildings”, European Commission](#)

“目前，近五分之一（17%）的《财富》全球 500 强企业已承诺设定基于科学的减排目标。”⁸

基于科学的目标

欧盟要求各国必须在 2018 年 6 月最新指令发布后的 20 个月内，将最新指令的内容纳入到国家法律中。

新加坡的目标是到 2030 年，绿色楼宇覆盖率达到 80%。在“绿色楼宇标志计划（Green Mark）”认证体系的基础上，新加坡政府出台了一项总体规划，以此作为节能楼宇建设和改造的框架，以及环境可持续性的评估基准。其中，以下两项措施与电力基础设施直接相关：

- 每年强制提交楼宇信息和能源消耗数据
- 对楼宇制冷系统的效率和最低标准的遵守情况进行定期强制性审计

绿色评级是对楼宇和业主的奖励

近年来，可持续楼宇设计的评级和认证已成为一种主流趋势，各种标准和体系已经逐渐走向成熟，并得到业界高度认可。如果楼宇能够达到绿色楼宇评级要求或获得绿色楼宇认证，那么楼宇业主和经营者将获得诸多收益。美国绿色楼宇委员会（USGBC）在评价 LEED 绿色楼宇认证体系⁹的益处时提及了以下方面：

- 不但楼宇本身获得认可，还能提升企业品牌形象，进而成为绿色楼宇领域的领军企业
- 快速提升租赁率，提高转售价值
- 减少能源、水和其他资源的使用
- 营造更加健康的室内空间，使住户、社区和环境从中受益

在激励措施的推动下，对绿色楼宇领域的投资正在不断增加

虽然新的绿色楼宇或改造项目的长期回报可能远远超过绿色设计和建设的增量成本，但许多楼宇业主可能依然觉得初始投资是一项负担。幸运的是，随着绿色实践的增多和普及，前期成本正在持续下降，这也使得绿色楼宇设计和建造更易于接受。

此外，目前许多国家，联邦、州或市政府以及当地电力部门都相继出台了一系列形式各异的激励措施。根据美国绿色楼宇委员会（USGBC）的建议，⁹政府出台的激励措施可以包括：

- 抵免已实施的改善措施、已测得的能耗降幅或已实现的能源节约相关的税收
- 援助金（例如来自市政府的援助金）或低息贷款
- 加快审核或批准程序，减少或减免审批费用
- 开发密度和高度奖励
- 免费协助（例如规划或认证培训、市场推广等）

这其中，许多激励措施需要楼宇业主能够准确测量和报告运营期间的能耗和成本，并记录楼宇性能的改善情况才能享有。而针对楼宇改造项目，楼宇业主必须首先确定能耗基线，以便与改造后楼宇的实际性能进行比较。

案例研究 1：全球首个 ISO 50001 认证

2001 年，位于法国吕埃尔-马尔迈松的施耐德电气总部大楼通过了 ISO 50001 能源管理标准认证，成为全球首座获得该认证的楼宇。在此之前，这栋楼宇已经获得了 ISO 14001、HQE Exploitation 和 BREAM In-Use 绿色楼宇认证（6 星评级——“杰出”）。

那么，这栋大楼的实际表现如何呢？通过使用施耐德电气的解决方案，将所有楼宇内部系统集成到一个平台，大楼实现了 30% 的能源节约，能耗率降至每年 80 kWh/m²。此外，大楼还使用了现场可再生能源系统和用于控制泵、风扇、照明、暖通空调（HVAC）和百叶窗的系统。

⁸ “Green building leadership is LEED”, USGBC

⁹ “Encouraging building energy improvements through tax incentives”, USGBC

绿色楼宇指导方针和楼宇规范正在被广泛采纳，且日益呈现出本地化特色

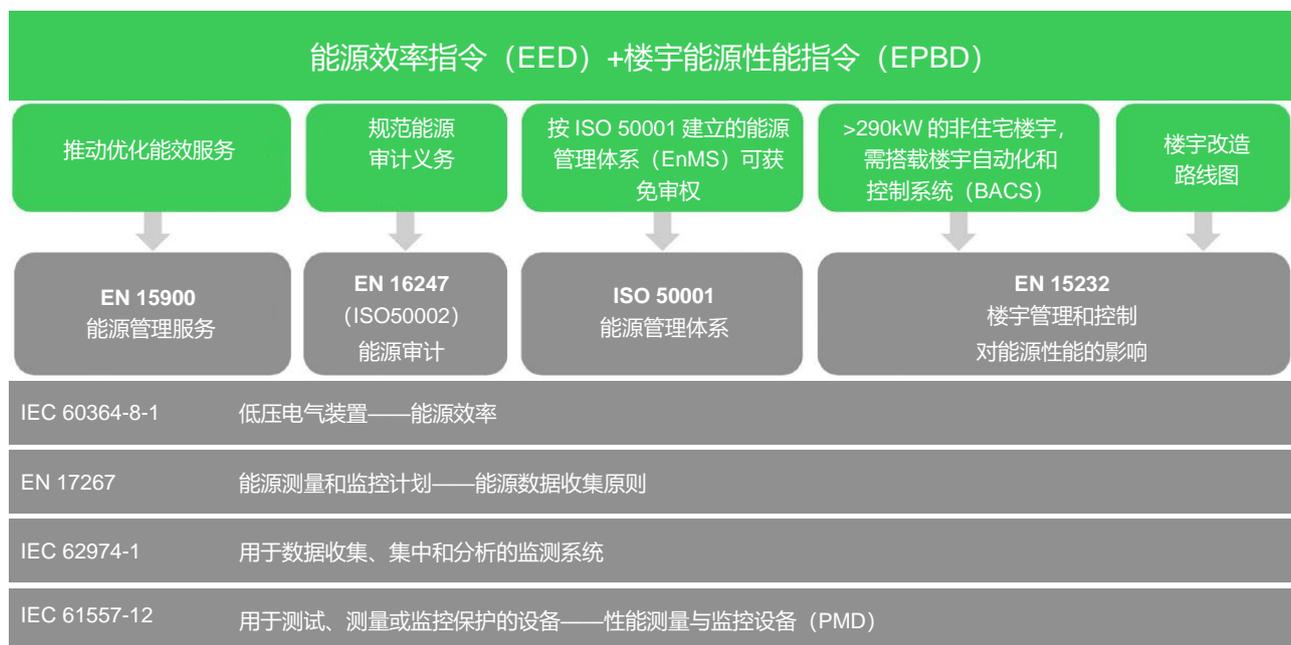
在各国政府致力于实现能源和环境可持续性目标的同时，全球主要标准组织也在持续更新或推出涵盖场地规划、楼宇设计、基础设施、材料和产品、运营和维护等楼宇方面的支持性指导方针和标准，一同推动绿色“高性能”楼宇的发展楼宇。

国际标准或规范通常由各国政府和/或行业组织制定，并主要结合当地的实际情况，而区域性或国家级的政策以及相关指导方针和标准之间也可能存在直接关系。例如，节能电气规范可能会对电气基础设施的特定组成部分设计提出要求，以满足运营最佳实践和绿色楼宇认证要求。以下是一些示例：

- **欧洲。** IEC 60364-8-1 标准作为节能电气系统设计标准，被越来越多的欧盟国家广泛采用。正如后文详述的那样，符合这项标准对楼宇获得绿色楼宇认证评分将有帮助，同时还能帮助楼宇更好地遵循能源管理指导方针。在楼宇运营方面，欧盟《能源效率指令》要求员工数量超过 250 名的大型企业必须定期进行能源审计或部署永久性能源管理体系 (EnMS)。此外，欧盟《楼宇能源性能指令》要求，楼宇在进行能效升级前，业主必须提前制定“楼宇改造路线图”。为了满足这些要求，设施团队则必须严格遵循相关的 ISO 指导方针和欧洲标准。这些内容将在后文详细说明。

图 3

欧洲法规 (绿色) 与标准 (灰色) 的一致性



- **印度。**2007年，印度中央政府颁布并实施了适用于非住宅楼宇的《能源节约楼宇规范》(ECBC)。2017年，印度政府对这项规范进行了修订，将围护结构、机械、电气和管道系统等纳入到考量范畴。随后在2018年12月，印度政府制定并颁布了针对住宅楼宇的《能源节约楼宇规范》，目前仅涵盖针对围护结构、通风和采光方面要求的被动式设计措施，而针对机械、电气和管道系统方面的要求则将在未来几年内陆续出台。一般情况下，在印度，监管楼宇规范的实施属于地方市政机构和各邦政府的权限范围，因此，《能源节约楼宇规范》的实际执行情况仅在部分地区表现良好¹⁰。目前，印度29个邦和7个联邦属地中，仅15个邦发布了强制执行《能源节约楼宇规范》¹¹的通知（这只是实施和采用《能源节约楼宇规范》的第一个关键步骤），开始执行该规范的城市数量很少。总体而言，虽然目前将诸如 IEC 60364-8-1、ISO 50001 等标准纳入到本国标准体系中属于自愿行为，但印度标准局已经相继采纳了多个相关标准。

未来的高性能楼宇

出色的楼宇设计在诸多方面均有助于在运营阶段提升楼宇的整体能源效率。而在优化楼宇能源性能的过程中，则需要解决一系列的被动和主动因素。

被动式节能要素

被动式节能指有助于提升楼宇舒适度和能源效率的自然过程，通常与水、空气、蒸汽和热效应有关。这些要素包括：

- 楼宇位置与自然光线楼宇方向
- 楼宇围护结构，包括使用的材料（例如保温与隔热材料、窗户等）
- 自然通风（例如自然制冷）

由于被动式节能系统通常需要固定安装，因此优化这些系统的投资成本至关重要。这也意味着，这些系统的部署通常属于一次性投资，除了对楼宇维护结构进行改造之外，其他部分升级的潜力和方法有限，需要的维护成本也较低。

主动式节能要素

主动式节能是指利用自适应系统，来提升能效并降低成本，从而优化使用者舒适度、使用过程的便捷度及其他操作的体验。此类系统包括：

- 供暖、通风和空调 (HVAC) 系统
- 照明系统
- 楼宇和能源控制系统，包括楼宇管理系统 (BMS) 以及电能管理系统
- 可再生能源系统，包括微电网控制系统和分布式能源管理系统

案例研究 2：实现了碳中和目标的楼宇

位于新加坡加冷的施耐德电气东亚及日本区总部大楼，于2020年成为首座实现碳中和目标的楼宇。

这座可容纳1400名员工的综合性办公大楼和创新中心，在白天能够100%依靠太阳能满足电力需求，而这正是得益于其使用的，涵盖3000台互联互通的物联网设备的智能楼宇技术。

此外，这座经过改造的办公大楼也是首个获得“BCA 绿色楼宇标志铂金奖”的楼宇。

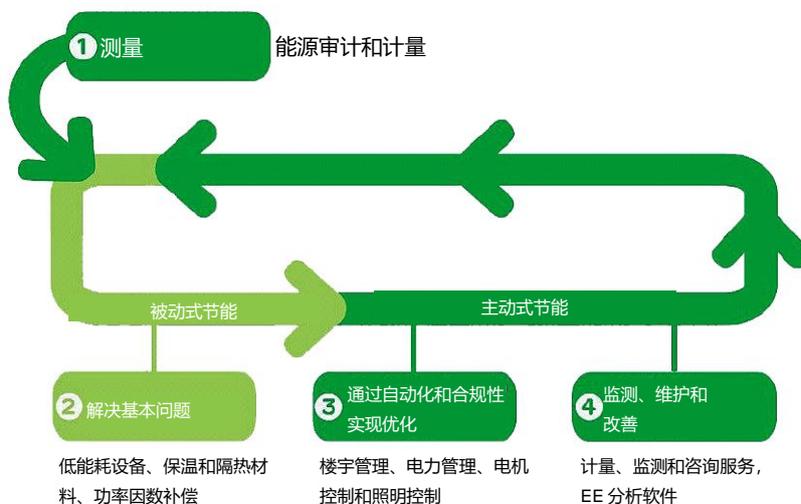
¹⁰ [“Roadmap to fast track adoption and implementation of Energy Conservation Building Code \(ECBC\) at the urban and local level”, NITI Aayog / BEE / AEEE, 2017](#)

¹¹ [“Handbook: ECBC Compliance in Indian Cities”, ICLEI South Asia and Shakti Sustainable Energy Foundation, 2018](#)

在主动式节能系统的帮助下，设施运营团队能够进行实时监控、专业分析（利用性能指标和关键性能指标）、高水平的控制和维护（图 4），从而提升运营绩效。

图 4

主动式节能系统能够持续优化楼宇能效。



这已经成为业界公认的、能够高效地在楼宇生命周期内将楼宇能源成本降到最低的最佳实践，这也是为什么这些措施能够完全符合 ISO 50001 等国际能源管理标准的重要原因。

然而，这些系统也极其的复杂，往往需要融合多种新技术（例如，基于物联网的测量系统），还需要能够集成楼宇管理和照明控制等不同系统。也正因如此，在很多主动式节能系统的前期设计中，通常只会考虑起始投资成本对项目价值的影响，而很少会考虑到楼宇在后期运营阶段的表现对使用者产生的影响。这种做法通常也会在后期运维阶段产生额外的成本。

“初始投资成本仅占楼宇全生命周期楼宇总成本的 15%……【如果在楼宇开发过程中忽略了这一事实】……楼宇会使客户错过最大限度降低其余 85% 成本的宝贵机会。”

国家研究委员会

由于对楼宇进行改造的成本可能更高，因此对于楼宇商和设计师而言，在初始设计和调试过程中，对主动式节能系统的选择和优化非常重要。

电气设计师的重要作用

在前期设计过程中，为平衡楼宇中被动式和主动式节能系统使用的资本投入成本，需要考虑到诸多相关方的利益。而电气设计师的首要任务，正是设计出节能和成本最优化的电气系统。

电气系统设计是高效楼宇的核心，这一观点在 LEED 绿色楼宇认证中也有所体现，在这项认证 69 项评分项中，有两个必须项和多达 28 项评分项（占比超过 40%）与电气系统设计有关，¹²由此可见电气系统设计对于楼宇能效表现的重要性可见一斑。相关示例将在后文展示。

¹² “Sustainable Design for Electrical Engineers”, EC&M.2006

案例研究 3: 通过 SEP/ISO 标准认证实现 180 万美元的成本节约

到目前为止, 施耐德电气旗下已有 20 家制造工厂成功获得了美国能源部卓越能源绩效项目 (SEP) 认证, 该认证体系已将 ISO 50001 能源管理体系认证纳入其中。

施耐德电气采用了一种新颖的“三阶段”方案, 每一阶段以渐进式实现了卓越的执行成本节约目标。在公司能源与可持续发展服务 (ESS) 团队的支持下, 公司在旗下所有制造工厂推行了此方案, 并为相关部署提供支持。

美国、加拿大和墨西哥境内的多家工厂已实现年成本节约近 180 万美元, 其中电力成本节约近 80%, 天然气成本节约近 20%。

绿色楼宇标准和指导方针

电气设计师面临的挑战是如何平衡多个关联方的需求:

- 确保电气系统的设计符合现行的严苛电气规范和标准
- 需要思考如何通过优化设计和建造, 提高楼宇获得绿色楼宇认证的几率
- 无论运营商是自愿遵守, 还是遵循政府的强制指令 (例如欧盟《能源效率指令》), 或满足税收激励措施要求, 设计者都需要通过楼宇应用各项必要的技术, 使楼宇符合楼宇各项能源管理标准的规定 (例如 ISO 50001 或美国能源部卓越能源绩效 (SEP) 项目标准)。
- 优化项目成本

幸运的是, 最新的节能楼宇标准和指导方针为电气设计师提供了新的机遇, 使他们能够在技术创新的同时, 满足楼宇规范的各项要求。在行业迅速向绿色标准迈进的过程中, 此举有助于市场竞争优势的保持。正如引言中所指出的那样, 拥有众多公认的优势的节能设计, 其成本也应该经得起推敲。

绿色楼宇蕴含着巨大的机遇。由于各国楼宇存量市场规模巨大, 楼宇节能改造领域也有广阔的前景。最新的楼宇规范和标准也将能源效率纳入电气系统的主要规范之中, 助力企业紧跟客户需求的变化。这样一来, 企业将可以借助有限的人力更好地管理设计项目的工作量。

以下章节将为您介绍与电气设计师相关的, 最成熟、适用性更强的节能楼宇标准和指导方针。通过更好地了解这些标准和指导方针, 设计师可更好地为客户提供面向未来的高性能解决方案。

全球各地拥有许多由标准组织、各国政府、行业组织或实体协作组织制定的节能楼宇标准、指导方针和评级系统。如前所述, 其中部分标准主要针对当地 (例如国家、州或市) 的实际需要而制定或修改。本节将主要探讨在全球各国广泛应用潜力的国际标准。

虽然大多数标准仅适用于楼宇的设计或运营阶段, 但是也有一些标准或评级系统涵盖这两个阶段的所有要素。由于电气系统的设计对楼宇的被动式和主动式节能均有影响, 因此, 许多相关的设计和运营标准密切相关。

图 5 简要展示了本节所述的各项标准和指导方针, 展现了这些标准和指导方针之间的关联和相互作用。图片以时序方式, 呈现从设计到运营阶段, 楼宇所需遵循的标准和指导方针。在后续章节中, 我们将为您介绍详细介绍各项标准, 并将在附录中提供这些标准的超链接, 便于您了解其完整信息。

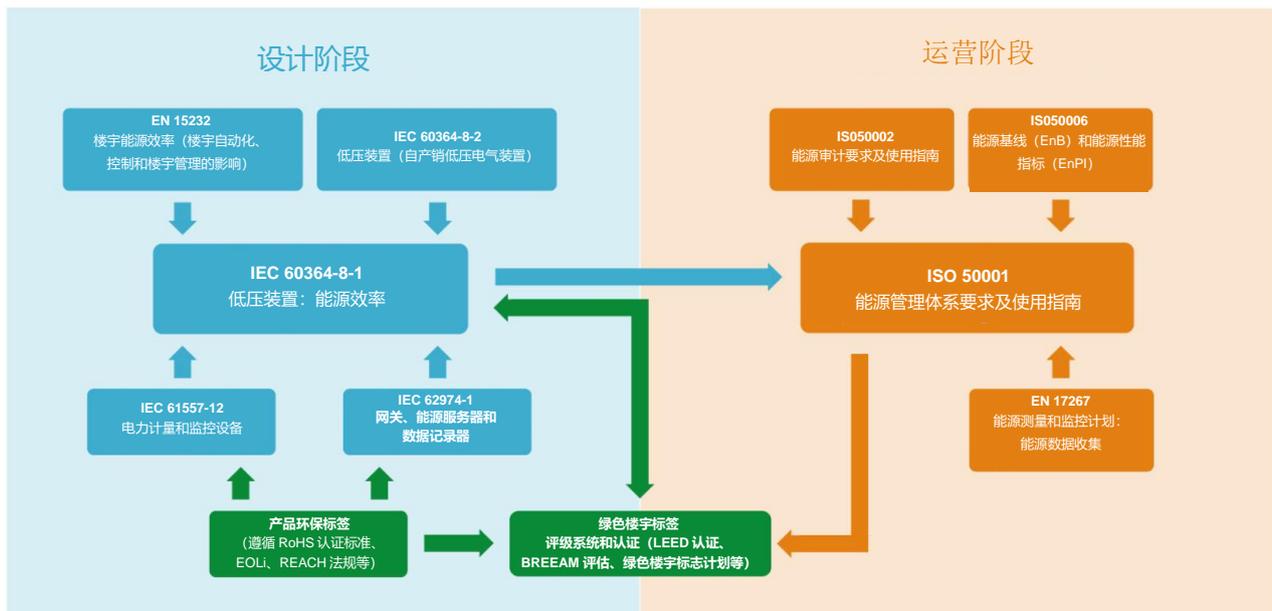


图 5

楼宇设计和运营阶段的选定标准和指导方针的关系

设计阶段的标准

IEC 60364-8-1: 低压电气装置——能源效率

这项标准旨在为住宅楼宇、商业楼宇、工业楼宇和基础设施，提供一种包含要求和建议框架，帮助设计和评估，全新和既有结构的高效低压配电系统。在提供相同水平服务和安全保障的同时，这项标准旨在永久性地降低电力损失，促进运营过程中电能的高效利用，并减少能源费用。

这项标准以三项主要原则为指导，这些原则中均包含相应的技术指南，以统性方法提升能源效率（见图 6）。

图 6

IEC 60364-8-1 标准的原则和技术指南汇总，重点介绍了三项指导原则。



支持绿色设计的工程工具

工程师可以借助许多软件应用，设计配电系统。一些主要供应商正在不断更新自己的设计软件，以便推动 IEC 60364 标准的本地化实施。施耐德电气的 [EcoStruxure Power Design - Ecodial software 软件](#)便是其中一例。该解决方案可以使工程师在遵循标准的同时，更轻松地将节能设计集成到工作流程当中。

图 7

IEC 60364-8-1 标准中基于分值体系方法判定的电气设计效率排名。



技术指南的各方面示例包括：

- 通过增加电缆的截面积以及功率因数补偿与谐波缓解，减少布线损耗
- 使用重心法对高压/低压变电站和配电盘的位置进行优化部署
- 确定拥有类似能源需求的设备、电力监控设备、通信设备和能源使用分析设备所在的网络或区域。亦可参见以下 IEC 61557-12 标准内容。
- 使用能源效率与负载管理系统（例如能源管理、楼宇自动化和控制）控制电力应用。亦可参见以下 EN 15232 标准内容。

此外，该标准还描述了一种全生命周期方法论，它代表着一种可以持续改进的节能计划（如主动式能源管理），以确保新建楼宇能够保持自身性能，并可随着时间的推移，帮助现有设施符合最新标准。

最后，这项标准提供了一种分值体系方法，基于标准中涵盖的各项措施的实施水平（例如初始安装、能源管理、性能维护、电力监控等），评估电气装置的能源效率。基于这样的方法可以获得效率的整体评估（见图 7），帮助设计师评估自身的设计方案，从而为客户提供更具竞争力的一流解决方案。反之，客户也可以更加方便地确定所需设计。

IEC 60364-8-1，是唯一可定义可直观呈现能源使用情况，确定节能措施的配电设计标准，能够为客户带来诸多收益：

- 能够帮助客户尽可能满足大量绿色楼宇认证标准。
- 助力确定相关测量和规划措施，为符合 ISO 50001 标准的能源管理体系提供支持。
- 满足楼宇信息管理（BIM）、楼宇能源管理（BEM）和楼宇能源模拟（SIM）系统的电力和能源数据需求，帮助进一步优化楼宇设计、施工和运营。

正因这项标准具有广泛的应用价值，一些国家将其纳入电气规范种，其中，德国是首个采用该标准的国家，一些其他国家计划在未来几年内采用该标准。

案例研究 4：3M 和施耐德电气实现高达 65% 的能效改进

在对部分制造工厂进行 ISO 50001 标准和卓越能源绩效 (SEP) 项目认证的过程中, 3M 和施耐德电气都证明了“与未获得认证的项目相比, 认证项目均获得了较好的能效改进。”

3M 旗下 23 家工厂通过了 ISO 50001 认证, 7 家通过了美国能源部 SEP 认证, 1 家通过了韩国 SEP 认证, 认证结果显示, 3M “这些经过认证的工厂可实现比同行的工厂平均高 62% 的成本节约。”

在旗下 20 家位于北美地区的工厂通过认证后, 施耐德电气在报告中称: “过去四年来, 与未获得认证的工厂相比, 这些工厂的节约能力提升了 65%。”

获得 ISO 50001 和 SEP 认证的工厂表现优于同行



美国能源效率与可再生能源办公室

IEC 61557-12:

电力计量和监控设备 (PMD)

无论计量和监控功能由一个独立装置提供还是内置于智能断路器等设备中, 本标准参照 IEC 60364-8-1 标准, 可以帮助设计师, 针对不同的电力成本管理应用程序, 选择合适的装置。

这项标准涵盖能源测量 (例如有功、无功、表观等), 以及其他关键的电气特性 (例如功率、电压、电流、功率因数、频率等) 和电能质量测试 (例如谐波、电压下降等)。这项标准还定义了额定操作范围和可使用的测量技巧。这项标准涵盖范围非常广, 这也是它与其他电力计量标准的最大不同之一。

电力计量和监控设备的运行情况, 通常以三种性能级别定义, 具体维度包括精度、测量范围、环境和电磁所处情况, 以及提供连续 (无间隙) 测量的能力。

IEC 62974-1:

网关、能源服务器和数据记录器

这项标准规定了对“用于数据收集、集合和分析的监控和测量系统”的要求。具体来说, 能源服务器、能源数据记录器、数据网关和 I/O 数据集中器用于传输能源、电力、温度或其他信息, 以实现提高能源效率的目的。

这些设备可以采用嵌入式安装, 也可以连接至软件应用程序, 用于数据整合和分析, 进而支持能源管理 (参照 ISO 50001 标准)、能源审计 (参照 ISO 50002 标准)、监控 (参照 IEC 60364-8-1 标准) 或认证 (例如 LEED 认证、BREEAM 评估)。

与电力计量和监控设备 (PMD) 类似, 这类设备的选择, 主要基于较为苛刻的商业和工业环境, 对稳健性的要求。此外, 电力计量和监控设备以及所有其他通信设备必须具备网络安全特性, 符合通信和系统集成领域的所有相关标准 (例如 IEC 62443 标准)。

EN 15232:

楼宇自动化、控制以及楼宇管理所产生的影响

这项标准旨在支持欧盟《楼宇能源性能指令》(EPBD), ¹³因此其中纳入了与节能电气系统设计的相关指南。

这项标准充分反映了楼宇自动化和控制系统 (BACS) 对楼宇和居住者产生的重大影响。标准中提供了所有可能影响能源性能的自动化功能列表, 能够对影响进行量化的程序, 以及为不同类型楼宇的楼宇管理系统定义最低标准的方法。

此外, 这项标准还给出了针对性建议, 用以执行楼宇能源审计、计算楼宇自动化和控制系统效率, 以及使用简单的回收期或详细的生命周期分析方法, 评估项目的财务情况。

¹³ [“Overview of EN 15232...”. Build Up](#)

IEC 60364-8-2 标准:

自产销低压电气装置

这项标准与 IEC 60364-8-1 相关，主要针对本地能源生产和/或储存。这项名为“自产销电气装置 (PEI)”的标准规定了将电气装置集成至智能电网时，所产生的可持续、高效、安全运行要求。这项标准适用于新建项目或改造项目。

运营阶段标准

ISO 50001:

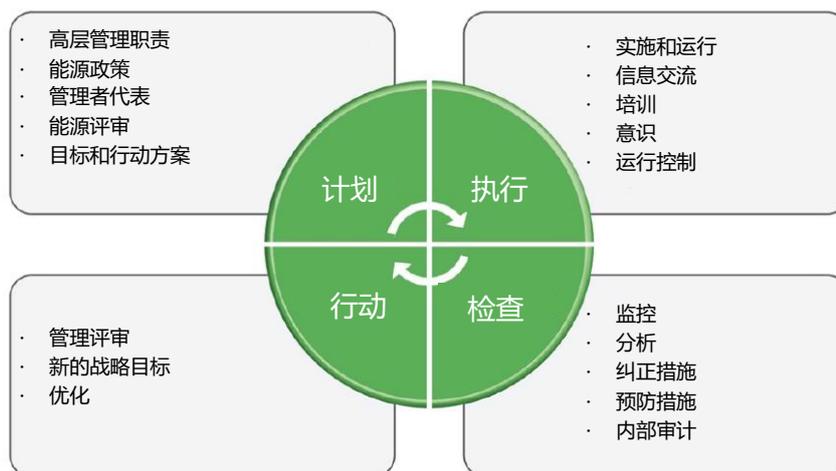
能源管理体系

2011 年，在联合国工业发展组织 (UNIDO) 的推动下，国际标准化组织携手各成员国及世界能源理事会 (WEC) 共同编写并颁布了 ISO 50001 标准。这项标准确立了一套系统性方法，旨在帮助各组织“持续提高与能源使用有关的性能表现和能源效率，并确定可能的节能减排机会。”因此，这项标准为包括管理层的决策、能源效率计划审查、改进、验证和进一步行动在内的综合流程提供了指导方针。与此同时，这项标准还涵盖包括水、空气、天然气、电和蒸汽在内的所有公用事业的管理。

虽然 ISO 50001 框架只是一项推荐性标准，但是目前许多国家已经纷纷采纳这项标准，将其作为制定政策和法规的依据。此外，这项标准也深受各大企业青睐，成为高效楼宇运营的主要依据。2017 年通过 ISO 50001 标准认证的企业数量已经达到 22000 家左右，¹⁴多数来自欧盟。美国能源部也推出卓越能源绩效 50001 计划，对第三方核验的绩效进行成果改进和额外认可。

图 8

ISO 50001 四步战略框架



ISO 50001 标准在某些方面类似于 LEED 等绿色楼宇标准，因为它可以提供从节能设计到设施运行与维护等全流程的整体规划建议。很多绿色楼宇体系仅被动地提出了设置能源管理体系的要求，而 ISO 50001 标准则定义了一个通过“计划-执行-检查-行动 (Plan-Do-Check-Act)”框架 (图 8) 持续改进的流程。

¹⁴ “ISO 调查”，国际标准化组织

2018年，国际标准化组织（ISO）对 ISO 50001 标准进行了修订，在第 2 版中新增了若干方面的要求，包括要求高层领导更多地参与进来、预先识别各项风险、尽早明确数据收集方案、数据收集来源等方面的改进。

能源管理体系的执行与实施，需要具备前文提及的计量、监控以及能源管理技术。有关测量计划的更多有用信息，敬请参见 EN 17267 标准，本文以下章节将展开详细论述。

ISO 50002:

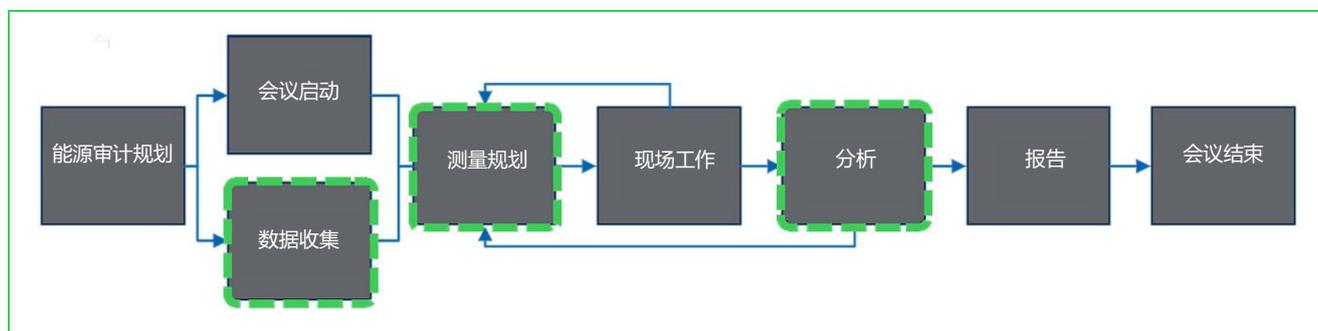
能源审计

这项标准确定了“发现能源性能改进最低标准所需要素”。虽然这项标准并非 ISO 50001 标准的要求，但是它描述了一种可信赖的能源审计方法，可以作为 ISO 50001 “能源评审”的输入项。

图 9

ISO 50002 标准所述的能源审计方法，重点突出了需要进行能源计量和分析的环节。

这种方法对设备的能源使用情况、使用效率和能源消耗进行了详细分析，有助于从中发掘可以减少废弃物和提高能源与财务绩效的机会，并优先加以利用（见图 9）。这种方法的实施，需要有精准的能源计量和数据分析系统做支撑。这种能源审计方法的一致使用有助于在不同站点之间形成准确的基准。



ISO 50006:

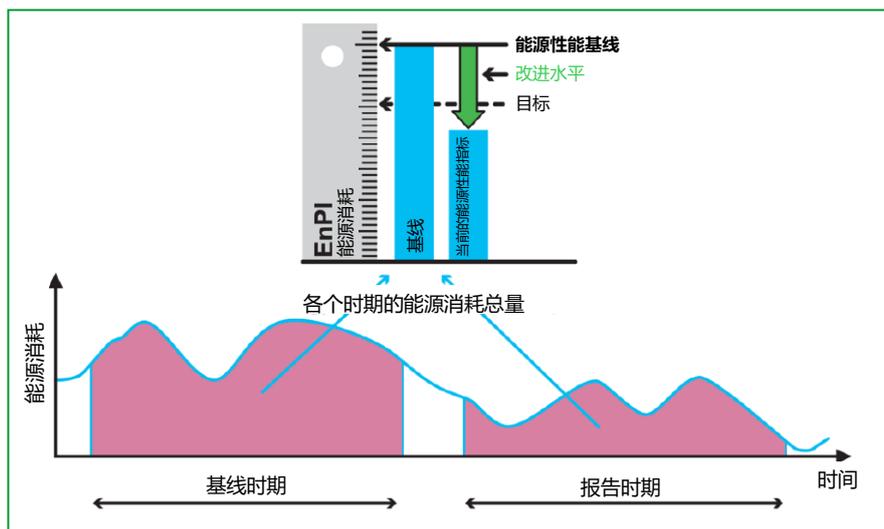
使用能源基线 (EnB) 和能源性能指标 (EnPI) 测量能源性能

这是 ISO 50001 的另一项配套标准，对能源性能基线 (EnB) 和能源性能指标 (EnPI) 的确立、使用和维护给出了更为详尽的要求。这项标准解释了能源性能如何适配于 ISO 50001 的“计划-执行-检查-行动”框架，定义了 4 种类型的能源性能指标，并使用能源性能指标和能源性能基线量化能源性能。

这项标准能够帮助组织机构确定能源性能目标，并以此作为其能源管理体系中能源规划流程的一部分。它还解释了如何使用规范化流程、如何计算能源性能改进水平（见图 10）并交流变化信息，以及如何在发生变化或需要调整时维护能源性能指标和能源性能基线。

图 10

基线时期和报告时期的概念，用于
量化与能源效率相关的结果



EN 17267:

能源测量和监控计划——能源数据收集

这项标准是 ISO 50001 标准的另一项补充标准，用于帮助组织机构制定数据收集计划。为了达到 ISO 50001、50002 或 50006 标准的要求，各家企业通常存在以下方面的需求：

- 测量内容
- 测量设备的数量、种类及安装位置
- 确保长期准确性和可重复性的方法
- 上传数据的频次
- 测量系统的预算方法

EN 17267 标准采用六个阶段的具体流程，帮助我们回答了上述问题。这项标准介绍了一种规定了三种合规性级别（即基础、中级和高级）的实用方法。

绿色楼宇和产品标签

绿色楼宇标签

绿色楼宇评级体系属于推荐性项目，出现的形式多种多样，以政府为主导的推广对于评级体系的应用极为有效。如上文所述，新加坡政府已采纳并在国内大力推广绿色楼宇标志 (Green Mark) 计划。目前，这项计划已经在亚洲 15 个国家和地区的约 71 个城市得到广泛采纳。

相比之下，全球使用范围最广的 LEED 绿色楼宇评级体系源自美国私营领域，但很快发展到其他业务领域。据 LEED 绿色楼宇评级体系的发起方——非营利性组织美国绿色楼宇委员会 (USGBC) 的报告显示，截至 2018 年底，LEED 评级体系“已经应用于 167 个国家和地区，共有 96275 个注册和认证项目。”¹⁵另一项私营领域认证计划——BREEAM 可持续评估体系由研究咨询公司英国楼宇研究院集团 (BRE Group) 发起，目前已经颁发 56.5 万张证书，通过评估的楼宇超过 220 万座，覆盖全球 83 个国家和地区。¹⁶

绿色楼宇评级体系示例

- BEAM (香港)
- BREEAM (国际)
- CASBEE (日本)
- DGNB, 被动方研究所 (德国)
- EDGE (新兴市场)
- Energy Star 能源之星 (美国、加拿大)
- Green Mark 绿色楼宇标志 (亚洲)
- Green Star 绿色之星 (南非、澳大利亚)
- Green Globes (美国、加拿大)
- HQE, E+C- (法国)
- LEED (国际)
- Pearl (阿联酋)

(来源: WBDG.org 及其他来源)

¹⁵“美国绿色楼宇委员会 (USGBC) 公布 LEED 十大市场榜单”，USGBC，2019 年

¹⁶ BREEAM，美国



这些评级项目在不同国家可能有所差异，在某些情况下也会出现重叠，但是这些评级项目都不约而同地给出了一个框架，其中涵盖设计、施工等诸多方面的要求，包括指导方针和检查清单等。评级和认证水平通常以计分制为依据，针对具体的特性和功能给出评分，通常包括能够用于测量和管理能耗方方面面的技术。表 1 对比了 LEED 和 BREEAM 评级体系的异同，具体列出了楼宇电气设计所占的分值。

虽然楼宇设计的评级或认证流程可能涉及对楼宇运营阶段的考量，但并未对实际性能验证提出硬性要求。澳大利亚 NABERS 等评级体系可以衡量绿色设计方案是否在设施使用周期内实现了预期效果。此外，如需维持（也就是再认证）绿色楼宇评级，则需要使用精准的能源测量体系为楼宇的持续能源消耗提供证明资料。

表 1

LEED 和 BREEAM 绿色楼宇评级中
电气设计相关分值的比较

评分	LEED	BREEAM
区域*	X	
用途*	X	X
DR	X	
网格	X	
按用途测量	X	X
占用率检测	X	
实施 EMS	X	X
暖通空调控制	X	X
照明控制	X	X
生命周期的实施办法*	X	X
性能验证频次	X	X
数据管理	X	X
是否对大型用能系统进行持续监测	X	X
可再生能源	X	X
电能存储	X	X

* 涵盖楼宇内所有技术系统，不仅限于电气系统

产品生态标签

正如《整栋楼宇设计指南》(WBDG) 所述，“绿色产品认证旨在描述并确定某一产品是否达到具有环境效益的特定标准。很多产品标签和认证项目依据使用周期参数对产品进行认证，使其成为多属性项目。此类参数包括能源使用、回收物质、以及生产、处置和使用过程中废气和废水排放量。其他项目则专注于产品的单一属性，例如可直接影响室内环境质量 (IEQ) 的水、能源或化学物质排放量。”¹⁷

¹⁷ “绿色楼宇标准和认证体系”，WBDG



符合标准的技术

由于 LEED 和 Green Globes 等很多楼宇评级体系都可以用于认证绿色产品，并且随着绿色产品需求的急剧上升，认证数量也在不断上涨。北美地区知名度最高的生态标签是由美国能源部主导“能源之星（Energy Star）”，主要关注能源效率。施耐德电气 II 类 ISO 14021 标准 **Green Premium** 是全生命周期多属性生态标签的一个生动示例，¹⁸具体包括

- 遵循相关法规（RoHS 指令、REACH 法规），在产品内部尽量减少使用有害物质
- 便于计算碳足迹的产品环境概况（PEP）
- 降低成本并优化回收的报废指示

随着新的能源效率标准和指南的不断涌现和完善，领先的技术提供商一直在不断强化自身解决方案，提升合规水平。电力和能源计量、监测、分析和控制能力可以作为单独或集成式的方案提供。但是，方案的各个部分应经过认真甄选，切实符合相关标准或指南要求，推动客户实现其能源性能和认证目标。

能源计量和电力监测

电气设计师应部署符合最新标准的电能表、电力监测装置和网络设备，此举有助于测量值的准确性和测量安全。举例来说：

- 能源计量和电力监控设备（PMD）应遵守 IEC 61557-12 标准，并纳入所有必要测量，以确保设施的各方面达到 ISO 50001 标准的要求。
- 网关和能源服务器应遵守 IEC 62974-1 标准。
- 关键电力设施应考虑引入高级电能质量（PQ）监控和分析功能。设计师在设计过程中应参考 IEC 61000-4-30 和 IEC 62586 标准，从中获取相关指导。
- 设计师应选择具备物联网功能的计量、监控、记录和通信设备，生产厂商应在产品研发阶段践行网络安全。此外，产品还应具备符合 IEC 62443-4-2 等国际网络安全标准相关要求的功能。

¹⁸ [“Green Premium：一个标签，多项优势”，施耐德电气](#)

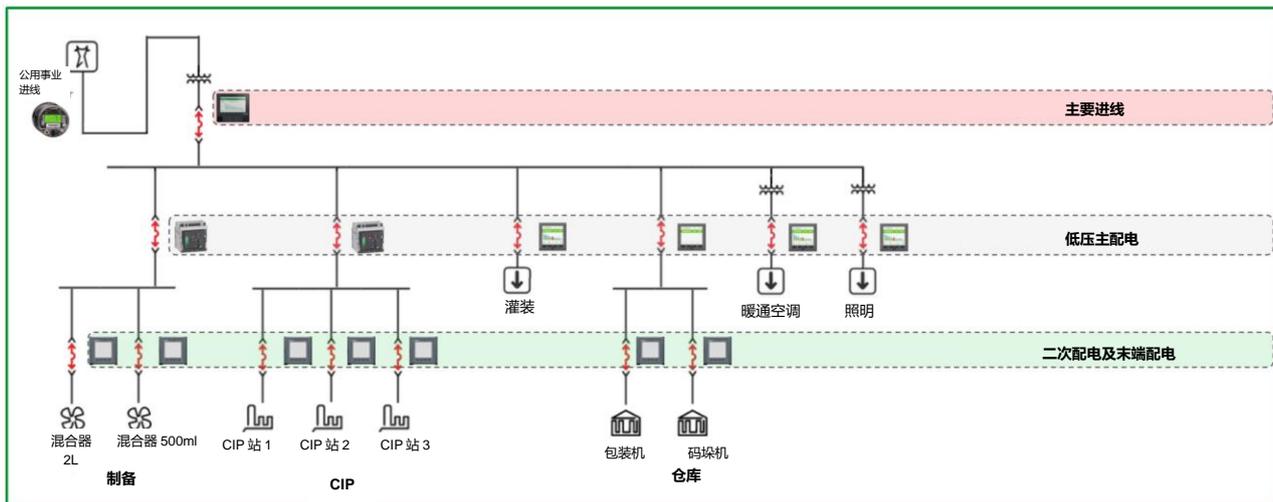


图 11

符合 IEC 61557-12 标准的数字能源
计量和电力监控设备示例

软件应用

为了能够达到 ISO 能源管理指导方针和绿色楼宇认证体系的操作要求，一些生产厂商提供的软件应用中包含所有相关的能源参数和关键性能指标。例如：

- 能源管理体系 (EnMS) —— 应依据 ISO 50001、ISO 50002、ISO 50006、EN 17267 和 IEC 60364-8-1 标准要求的功能和特性进行选择。部分厂商提供的软件应用已经通过了注册审计师的核验。
- 楼宇自动化与控制系统 (BACS) —— 又称为楼宇管理系统 (BMS) 或家用及楼宇电子系统 (HBES)：应依据 EN 15232 标准进行选择。

除了符合相关标准和评级体系，在选择解决方案的过程中还需要考虑到其他几项因素。举例来说：

- **基于云的应用和本地托管的应用。** 依据楼宇面积和内部设施管理与工程资源的可用性，相较于基于特定设施的软件，云端托管的应用和专家服务更为适宜。
- **快速告警和电能质量分析。** 大型或关键电力设施必须具有快速和可靠的报警功能，此外，此类设施必须支持完善的电力、电能质量和电源可用性分析功能，这点尤为重要。
- **微电网控制。** 如果设施中可能涵盖现场能源设备（例如可再生能源、能源储存等），则应考虑配备完整的微电网管理系统，且应严格遵循 IEC 60364-8-2 标准的各项规定。
- **应用集成。** EnMS、BACS、微电网控制和所有其他楼宇、电能及能源管理系统均应尽可能紧密地集成在一起，从设施层面提升安全性、可靠性和能源效率。
- **网络安全合规。** 能源管理解决方案的所有系统和产品必须充分确保网络安全。软件应遵守 IEC 62443-4-1 和 IEC 62443-4-2 部件安全级别 1。

图 12

符合 ISO 50001 标准的 EnMS 应用软件示例，呈现能源 KPI 报告值



结论

随着全球楼宇数量及相关排放量的持续增长，各国政府和行业组织正在不断引入各项标准和指导方针，促进绿色楼宇设计和运行。这一趋势为设计企业和工程师带来了良好的机遇，帮助他们更好地满足新建和改造项目客户对于节能电气系统的要求。

为了打造最高效、面向未来的电气系统，设计师需要熟悉当地各项标准和指导方针的最新版内容，明确这些标准与指导方针之间的关系。这些将有助于楼宇获得最佳能效和绿色楼宇认证。

在设计阶段集成必要的计量、监控和分析技术后，主动式的能源管理将可以在运行阶段得到有效实施。这将有助于客户遵守最新的标准和环保法规，并在楼宇的整个生命周期内不断优化能效、维护、电能质量及正常运行时间。