

光伏电池生产工厂中高效机房建设的意义、 重难点及管控思路分析

曾涛¹ 周健¹ 朱心翔¹ 徐业龙² 李允¹ 王鼎¹

1 金华市国有资本运营有限公司；

2 润马光能科技（金华）有限公司

DOI:10.12238/jpm.v5i9.7214

[摘要] 目前世界光伏行业的体量是巨大的，未来必然会持续发展，成为可再生能源的主力军和人类越来越赖以生存的主要能源供应形式。而光伏电池生产工厂能耗是极高的，根据行业估算，平均 1GW 电池生产工厂综合耗电大约为 0.8 亿 kW·h/年，其中，集中空调机房能耗占比高达约 15%。实践高效机房，探索节能降耗的优秀思路，降低光伏行业生产成本，实践节能减排的重要策略，推动“碳达峰、碳中和”伟大目标的实现，有着重要意义。本文通过研究高效机房建设重难点，分析行业典型项目的运用数据，结合其他优秀企业的管理经验，总结出做好光伏电池生产工厂中高效机房建设的优秀管控思路：进行全盘的项目用冷规划，从机房建设、运维的全周期、全链条的各个环节精细管理，科学的规划系统、选择高效适配的设备、设计优异的控制逻辑，再通过精细的施工、调试管理，最后进行后期科学的运维。

[关键词] 碳达峰碳中和；高效机房；节能降耗；光伏行业；光伏电池

Analysis of the significance, difficulties and control ideas of high-efficiency computer room construction in photovoltaic cell production plants

ZENG Tao¹, ZHOU Jian¹, ZHU Xinxiang¹, XU Yelong², LI Yun¹, WANG Ding¹

1. Jinhua State-owned Capital Operation Co., Ltd.

2. Runma Solar Technology (Jinhua) Co., Ltd.

[Abstract] At present, the volume of the world's photovoltaic industry is huge, and it will inevitably continue to develop in the future, becoming the main force of renewable energy and the main form of energy supply on which human beings increasingly depend. According to industry estimates, the comprehensive power consumption of an average 1GW cell production plant is about 80 million kW·h/year, of which the energy consumption of centralized air-conditioning rooms accounts for about 15%. It is of great significance to practice high-efficiency computer rooms, explore excellent ideas for energy conservation and consumption reduction, reduce production costs in the photovoltaic industry, practice important strategies for energy conservation and emission reduction, and promote the realization of the great goal of "carbon peak and carbon neutrality". By studying the major difficulties in the construction of high-efficiency computer rooms, analyzing the application data of typical projects in the industry, and combining the management experience of other excellent enterprises, this paper summarizes the excellent management and control ideas for the construction of high-efficiency computer rooms in photovoltaic cell production plants: carry out overall project cooling planning, from the whole cycle of computer room construction, operation and maintenance, and fine management of all links of the whole chain, scientific planning system, selection of efficient and adapted equipment, design of excellent control logic, and then through fine construction and commissioning management, and finally carry out scientific operation and maintenance in the later stage.

[Keywords] carbon peaking and carbon neutrality; High-efficiency computer room; energy saving and consumption reduction; photovoltaic industry; Photovoltaic cells

引言

太阳能是 21 世纪最具发展潜力的可再生能源，据估算，假如把地球表面 0.1% 的太阳能转为电能，转化率 5%，每年发电量可达 5.6×10^{12} 千瓦小时，相当于世界上能耗的 40 倍。根据预测，到 2060 年，人类通过太阳能获得的能源占人均总

能耗的 70% 左右。光伏发电必然会成为未来可再生能源的主力军，目前，世界光伏装机容量已经超过 1000GW，而且仍在迅猛的发展，巨大的市场需求势必催生更多光伏电池生产工厂陆续建成并投产。

然而，光伏电池生产工厂是一种高能耗项目。以当下最主

流的 TOPCON 电池生产工厂为例，数据表明，平均 1GW 电池片生产工厂综合耗电大约为 0.8 亿 kW·h/年，能耗之高是其他传统行业少见的。而在行业大量管理人员及工程师对于光伏项目生产成本优化的不断探索中，发现 TOPCon 电池项目总运营成本中能耗成本约占 15%，HJT 电池项目总运营成本中能耗成本约占 7%，所有能耗中集中空调机房能耗占比较高，可以节能的空间很大。能够实现系统高效运行的空调机房称为高效机房，研究高效机房的建设、管理办法，探索其能耗的构成，找出实现耗能大幅优化的方法，意义重大。

1. 光伏电池生产工厂的高能耗问题

2023 年，超过 100 个国家在第二十八届联合国气候变化大会上达成一项重要协议：到 2030 年，全球可再生能源装机容量将增加三倍。其中光伏装机容量，将从 2022 年的 1055GW 增加到 5457GW。预计到 2024 年底，全球光伏累计装机量超过水电，2026 年，超过天然气，2027 年，超过煤炭，成为全球最大。2023 年我国累计光伏装机规模达到 609.5GW，预计到 2030 年，中国太阳能光伏累计装机量达到 1200GW。据预测，2030 年中国人均消费 3 吨标油当量、2050 年 3.8 吨标油当量、2060 年 4 吨标油当量。其中，太阳能提供的人均能源量分别将达到 0.286 吨标油当量（占比 9.5%）、2.52 吨标油当量（占比 66.3%）、2.8 吨标油当量（占比 70%）。可见，光伏行业不断壮大，未来将成为可再生能源主力军的趋势是必然的。

但光伏电池生产工厂是一种能耗极高的项目。目前世界上光伏电池类型众多，行业内技术较为成熟又批量生产的有 TOPCON 电池、PERC 电池、HJT 等类型，其中 TOPCON 电池是目前主流产品。各种类型的电池生产工厂的能耗水平差异不是很大，本文收集中国境内一些典型的生产工厂的能耗数据（中国是目前世界上光伏行业发展最前沿、体量最大的区域），分析发现，平均 1GW 电池片生产工厂综合耗电大约为 0.8 亿 kW·h/年（单 GW 能耗电池生产工厂的约为组件生产工厂的 5 倍）。以润马光能科技（金华）有限公司在浙江省金华市年产 8GW 高效光伏电池及 2GW 组件项目为例（以下简称润马项目，该项目体量中等，技术路线、厂区配置都很有代表性），该项目实际投产产能大约为 9GW 电池和 3GW 组件，该项目一年耗电预计 5 亿 kW·h（根据 7 个月实际运行耗能推算，该数据基本准确）。可以估算出，一个 1GW 电池+1GW 组件生产工厂，年平均耗电量约为 0.8 亿 kW·h（车间生产耗能、附属配套系统耗能、厂区人员办公及生活耗能等综合纳入计算），和行业总体估算数据一致。可见，光伏生产行业是一个高能耗行业。

光伏生产工厂的巨大能耗中，集中空调机房（也有动力站、能源站、空调机房等别名）的能耗占比非常高。一般来说，如果将工厂能耗分为工艺生产耗能和辅助系统（或称厂务系统）耗能两部分，前者主要由工艺生产如硅片处理、电极涂覆、背面处理等设备产生，后者主要由空调、给排水系统、污水处理等系统产生，它们在总能耗中的占比大约是 60%到 80%、20%到 40%，不同项目因具体情况和管理策略不同有所差别。其中，空调系统的能耗占比通常在 15%左右，因厂房的规模、温度控制需求、工艺路线、气候条件等不同而有些差异。本文针对润马项目也进行了测算，项目所有耗能中，工艺生产耗能约占 60%，其他厂务系统耗能约占 40%。而这 40%中，集中空调机房的能耗约占 26%（本项目机房除了一般冷水机组、冷却塔、冷却及冷冻水泵等设备，还有大型的纯净水处理系统），厂务其他系统只占 14% 左右，证实了光伏电池生产工厂中集中空调机房耗能占比较高的事实。

2. 光伏电池生产工厂中建设高效机房的意义

集中空调机房，又分为普通空调机房和高效机房。关于高

效机房的定义，《高效空调空调机房评价标准》（T/CECS 110-2022）明确如下：在满足末端需求的前提下，能综合考虑负荷匹配度、系统用能合理性等各方面因素，应用高效能设备，运用科学的控制方式与管理制度，合理地控制系统中各设备，调节系统运行参数，以实现系统高效运行的空调机房。

表 1 T/CECS 1100-2022 中全年能效比（AEER）评价指标

指标	能效等级			
冷源系统 全年能效比	气候地区	3 级	2 级	1 级
	严寒/寒冷地区	≥4.5	≥5.0	≥5.5
	夏热冬冷地区	≥4.6	≥5.1	≥5.6
	夏热冬暖地区	≥4.7	≥5.2	≥5.7

效机房的定义，最早是美国采暖、制冷与空调工程师学会（ASHRAE）提出的标准：采用“冷水机房全年综合能效”评价冷水机房是否高效，综合能效 0.85KW/Ton 以下的为高效能机房。

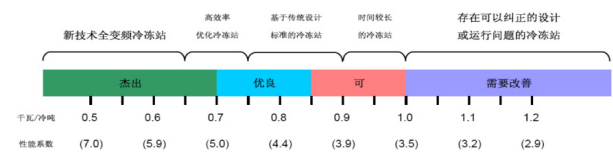


图 1 美国 ASHRAE 对于空调机房能效的划分

国家发改委等七部委于 2019 年印发的《绿色高效制冷行动方案》中提出：到 2030 年，大型公共建筑制冷能效提升 30%，制冷总体能效水平提升 25%以上，绿色高效制冷产品市场占有率提高 40%以上。2020 年 9 月，中华人民共和国国家主席习近平在第七十五届联合国大会上提出了中国“碳达峰、碳中和”的伟大战略目标，翻开了世界节能减排工作和绿色低碳发展的新篇章。双碳战略的重要举措之一，就是通过技术创新、工艺改进等手段，提高能源利用效率，降低单位产值的能耗。可见高效机房的建设目标，是双碳战略目标实现的重要组成部分。

以中国为例，很多建筑空调机房的能效是很差的，有着巨大的提升空间。清华大学建筑节能中心调研结果表明：以广东省为例，部分建筑空调机房 AEER 能效实测值全年平均在 2.0~3.0，一小部分建筑的空调机房 AEER 能效实测值甚至低于 1.5。光伏行业的很多工厂，还是沿用比较常规的普通机房系统，做过高效机房的很多项目，因为前期节约成本、实际实施过程不科学、运行维护不当等各种原因，效果也并不好。

中国高效机房领先企业广州施杰节能科技有限公司，设计实施过众多光伏电池生产工厂的高效机房，根据该公司近二十年众多高效机房项目模拟及实际统计数据估算，总装机冷量 20000RT 的光伏工厂集中空调机房（中等体量光伏生产工厂的常规冷量配置），如能效等级 AEER 在 4.0~7.0 区间，每提高 0.1，每年可节约电费约 100 万元。根据润马项目（总装机冷量大约 25000RT）实际运行的耗电数据进行分析，也得出了与上述数据接近的结论。

足见，光伏电池生产工厂中空调机房的能耗非常高，节能降耗的空间很大。实践高效机房，切实探索其中节能减排的关键和重点所在，降低生产成本，提高企业竞争力，有着显著的价值和突出的重要性。通过光伏电池生产工厂高效机房的运用研究，总结探索经验，再推广至其他行业如数据中心、蓄能项目等，进一步扩大节能降耗的效益，也是实践节能减排重要策略，推动“碳达峰、碳中和”伟大目标实现的方向之一。

3. 光伏电池生产工厂中建设高效机房的重难点及管控思路

在光伏电池生产工厂中建设高效机房相比普通机房，具有以下意义和优点：（一）节能节成本；（二）提高项目可靠性

和稳定性，保证光伏工厂产品质量和生产效率；（三）符合环保要求；（四）未来扩展和可持续性：高效机房的设计和建造考虑到未来的扩展和升级需求，具备较长的使用寿命和适应未来技术发展的能力。但也存在一些缺点需要建设者予以考虑，比如较高的初投资成本、设计和建造需要较高水平的专业知识和技术支持等。

结合空调机房的组成、建设过程及运行原理，可预见在高效机房管控中可能会面临以下几个重难点：（一）设备及技术

表2 江森自控提出的高效机房管控方案表

系统负荷动态分析	全负荷分析	能耗模拟计算	机房仿真工具
基于使用侧需求的高效设备选型和配置优化	冷水机组	水泵	冷却塔
	管道系统	阀门组件	——
低阻力管路系统优化设计	同程设计	水力计算	低阻系统
高效冷却系统的优化设计	优化冷却塔选型	并联计算	——
精准计量方案及机房群控方案设计	控制系统	近优算法	计量校准
基于 BIM 模型施工督导、全程管控	管路优化	设计理念落地	督导建设
	专家诊断服务	智能远程服务	——
机房制冷系统及自控系统的精细运行调试和能效验证	单机调试	系统调试	全自动高效运行
	能效管控平台	——	——
运营优化调整	需求分析	寻优运行	优化调整

针对以上高效机房建设的重难点，很多领先的企业有着很丰富的解决经验值得借鉴，如江森自控（Johnson Controls）、特灵空调（Trane）、施耐德等。特灵空调提出：高效机房的基础是应用分析工具对项目进行全性能分析与优化，其中基于全年系统负荷与能耗分析是设备性能动态优化的关键，并建议每个项目建设过程确定专项工作组，牵头协调设计院、企业分析厂区内各用能单元的真实空调用冷情况及规划，保证空调供冷方案贴近工艺需求，满足生产用能习惯。上表2是江森自控总结的针对高效机房建设重难点的管控方案表。

可见，进行全盘的项目用冷规划，并从科学的系统规划、合理的设备的选型、优异的控制逻辑、专业的工程管控团队、精细的安装施工管理以及后期科学的智能数字化的运维，以上机房建设运维的全周期、全链条的各个环节逐一把控，精细管理，是做好光伏电池生产工厂高效机房建设的管控思路。

结语

全球光伏行业正在快速增长，预计到2027年，全球光伏累计装机量将超过煤炭成为全球最大，到2030年，全球光伏装机容量将增加到约5457GW。未来光伏发电必然会成为可再生能源的主力军和人类越来越赖以生存的主要能源供应形式。然而光伏电池生产工厂却是能耗极高的，平均1GW电池片生产工厂综合耗电大约为0.8亿kW·h/年，而其中集中空调机房能耗占比高达约15%。探索优秀的高效机房实践方法，对于降低光伏行业生产成本，提高企业竞争力，实践节能减排的重要策略，推动“碳达峰、碳中和”伟大目标的实现，都有着重要价值和引领性意义。

本文通过分析高效机房建设的优缺点、重难点，结合世界范围内领先企业的优秀经验的学习总结，发现对于做好光伏电池生产工厂中高效机房的建设，进行全盘的项目用冷规划，从机房建设运维的全周期、全链条的各个环节，逐一精细管理，科学的规划系统、选择高效适配的设备、设计优异的控制逻辑，再通过专业、精细的施工、调试，以及后期科学的智能数字化的运维，是优秀的管控思路。

参考文献

[1]朱玥，任佳玮. OBB, N型技术升级中的确定性方向之一. 中信建投证券研究报告(2023年08月09日行业动态)P5;

的择优：如适配而高效的冷机、冷却塔，先进的机房运维软件等；（二）运行逻辑的合理规划：确保各种高效技术和设备能够有效集成和协调运行；（三）智能能源管理：最大限度地提高能效并降低运营成本；（四）科学合理的工程设计与实施；（五）运营和维护：企业要有高效机房运营和维护技能的专业人员（或者外包给第三方），制定有效的运维计划，确保机房设施的长期、稳定、高效运行；（六）成本与回报：需要进行长期投资回报分析，确保其全周期经济的可行性。

[2]彭广春. 2023年SNEC光伏展览会观展汇报：N型技术多路线涌现，光储充一体化发展趋势显现. 德邦证券研究报告(2023年05月29日行业点评，电气设备)P1;

[3]2023年光伏行业发展回顾与2024年形势展望报告. 中国光伏行业协会;

[4]2023中国与全球光伏发展白皮书. 西南财经大学能源经济研究院;

[5]清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告2022(公共建筑专题)[M]. 中国建筑工业出版社. 2022.

[6]中国工程建设标准化协会标准. 高效空调空调机房评价标准. T/CECS 1100-2022.

[7]中国国家发展改革委. 《绿色高效制冷行动方案》. 发改环资〔2019〕1054号.

[8]江森自控. 高效机房系统建设方案交流文本. 2024.

[9]特灵空调. 特灵高效机房技术交流文本. 2024.

[10]广州施杰节能科技有限公司. 公司宣传文本(项目案例篇). 2024

作者简介：曾涛，男，硕士，1990年6月出生，户籍北京，金华市产业发展集团有限公司。研究方向：暖通空调，高效机房，保温，相变换热等。

周健，男，本科，1983年8月出生，户籍沈阳，金华市产业发展集团有限公司。研究方向：土木工程，高效机房，多联机。

朱心翔，男，本科，1987年8月出生，户籍上海，金华市国有资本运营有限公司。研究方向：工程造价、工程审计，高效机房等。

徐业龙，男，本科，1994年12月出生，户籍江西上饶，润马光能科技（金华）有限公司。研究方向：暖通空调、高效机房、智慧厂务等。

李允，女，本科，1987年9月出生，户籍浙江金华，金华市资产管理有限公司。研究方向：高效机房。

王鼎，男，硕士，1999年11月出生，户籍浙江金华，金华市产业发展集团有限公司，研究方向：高效机房。