

超大型数据中心园区 “零碳化”改造的探索与实践

湖南移动

2024.08.28

一 // 鉴往知来，数据中心园区节能降碳思路

二 // 敢为人先，株洲数据中心零碳改造方案

应对气候变化《巴黎协定》代表了全球绿色低碳转型的大方向，是保护地球家园需要采取的最低限度行动，各国必须迈出决定性步伐。



- ◆ 2020年9月22日，国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话，他郑重宣示，“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。
- ◆ 习近平总书记关于“碳达峰碳中和”系列重要部署为推动气候环境治理和可持续发展擘画出宏伟蓝图、指明了道路方向，彰显了我国坚持绿色低碳发展的战略定力和积极应对气候变化、推动构建人类命运共同体的大国担当。

- 作为全球最大的发展中国家和碳排放国，我国需要在推进经济发展、实现快速减排的同时确保能源体系实现安全平稳转型，任务艰巨、使命光荣。
- 如何立足国情，准确把握现阶段能源转型的主要矛盾，提出切实可行的能源低碳转型发展实施路径，是“双碳”目标下能源转型发展的关键。

积极落实习总书记的战略决策，顶层设计加快推动能源绿色低碳转型

“十四五”

《“十四五”规划和2035年远景目标纲要》明确提出，需加快建设数字经济、数字社会、数字政府，以数字化转型驱动生产方式、生活方式和治理方式变革，园区作为人员生产生活的载体，是实现国家战略的主要落脚点。实施以碳强度控制为主、碳排放总量控制为辅的制度，支持有条件的地方和重点行业、重点企业率先达到碳排放峰值。广泛形成绿色生产生活方式，碳排放达峰后稳中有降……

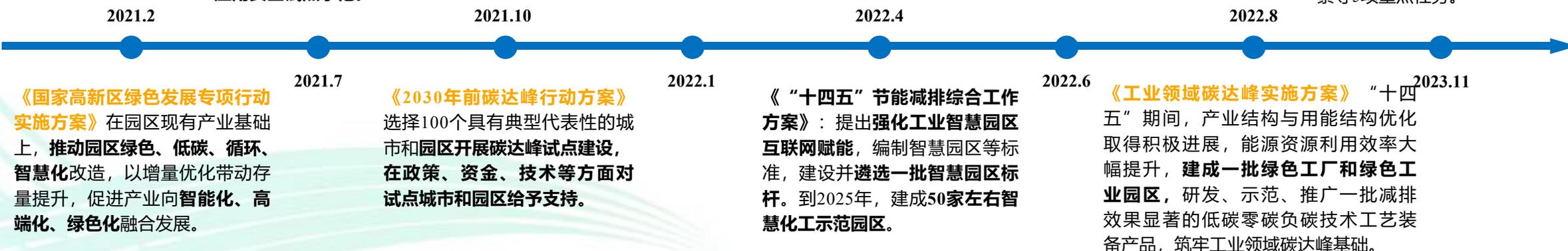
国家持续加强对低碳智慧园区建设的各项政策引导

《5G应用“扬帆”行动计划（2021-2023年）》加快推进5G+智慧城市建设，以社区、园区等为基本单元加快数字化改造，并支持有条件的产业园区集中开展5G应用安全试点示范。

《“十四五”数字经济发展规划》提出推动产业园区和产业集群数字化转型，积极探索平台企业与产业园区联合运营模式。

《工业能效提升行动计划》提出强化工业智慧园区用能管理，支持智慧园区利用工业互联网实现节能提效与绿色转型，实施智慧园区数字化降碳改造。

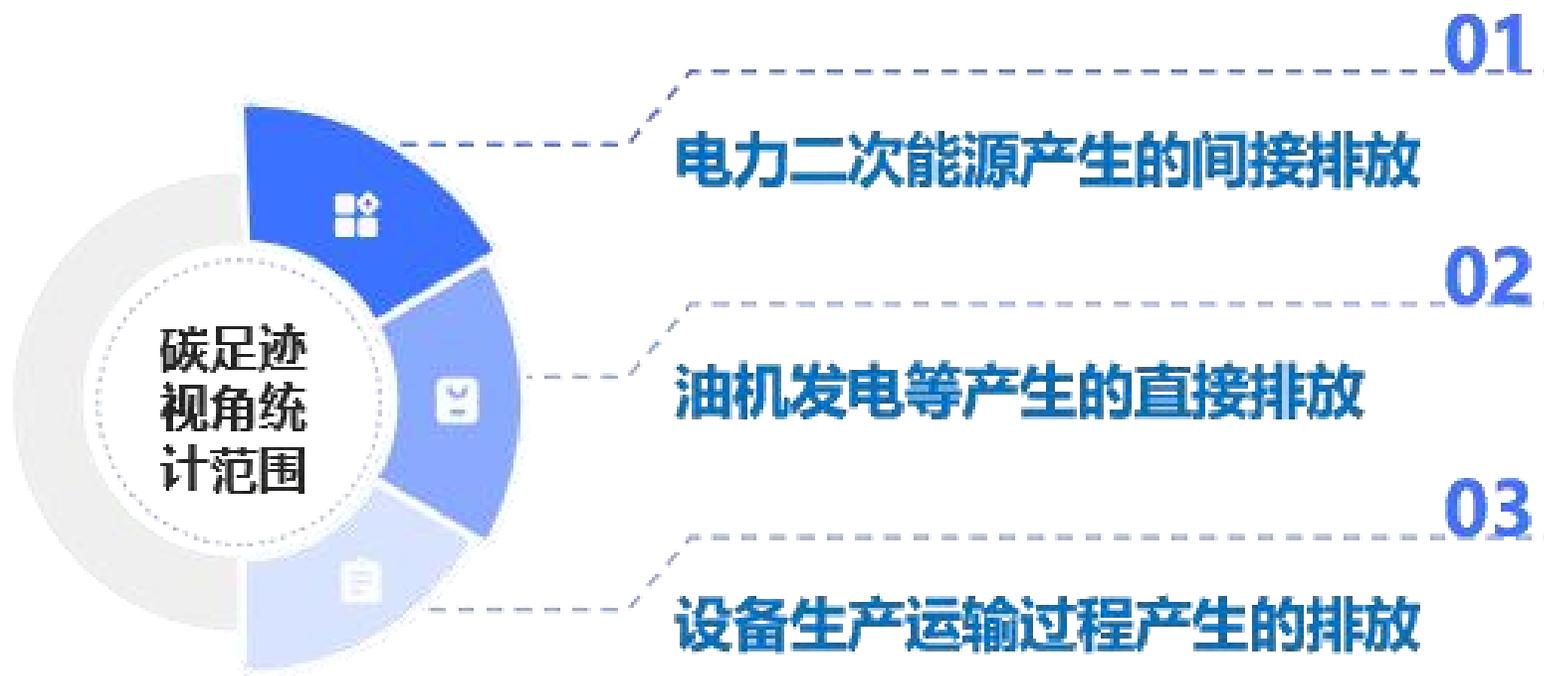
《关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见》提出到2025年、2030年分别出台50个和200个左右重点产品碳足迹核算规则和标准等目标；部署制定产品碳足迹核算规则标准、建设碳足迹背景数据库、丰富产品碳足迹应用场景等5项重点任务。



- 伴随算力需求发展，未来对数据服务的需求将呈现出指数级增长，数据中心功率密度大幅度增长，当数据中心总用电量达到一定的体量时，很有可能受到政府碳排放配额分配管控，以及高能耗企业的区别电价。传统数据中心必然向零碳数据中心逐步演进。



- 对于超大型数据中心园区，其超高的用电量是实现零碳目标的最大难点。根据数据中心直接或间接用能情况，在碳足迹视角下可分为三大类排放范围。



- 传统数据中心向零碳数据中心演进过程中最为重要的一部分工作是能源优化，能源优化包括增大清洁能源的使用以及降低对高碳能源依赖等两部分主要内容。

增大清洁能源使用

减少外购电力：

自建分布式光伏，包括屋顶光伏以及光伏幕墙等

碳抵消：

通过绿证交易、碳排放交易实现外购电力绿色化
投资光伏、风电、水电项目
参与植树造林等汇碳项目

能源优化

降低对高碳能源依赖

数据中心选址：

选择清洁能源比例较高的区域，如青海清洁能源发电量比例超过90%

削峰填谷：

通过储能、蓄冷等削峰填谷手段可以降低对高碳能源依赖，对于部分省份谷时电源基本均为水电和风电，同时储能也减少了部分高排放调峰电源的使用

- **节能减排是零碳数据中心演进中另一部分重要的工作，随着技术的发展，电力、空调等配套设备的能耗将被压缩到极致，未来零碳数据中心节能减排的重点应在IT、CT设备本身。芯片和服务器的硬件优化，采用更高效的算法和资源调度策略都是有效降低能耗的手段。**
- PUE考核体系是针对配套设施能耗水平的考核，过去一段时间PUE体系成功的促进了配套设施能耗压降60%以上。算力时代配套设施的各个PUE能耗因子（PLF、CLF、OLF、ALF）之和已经压缩到0.3甚至0.2以内，其在总能耗占比小节能空间有限。继续采用PUE体系将得到一个仅针对配套设施的片面结果，以单位算力实际消耗的能源为基础重构数据中心能耗评价体系是未来能效评估的方向。

IT设备能耗管控

- IT设备的每W性能准入限值，促进全行业降低产品能耗。
- 算法消耗算力指标与能耗指标挂钩，强调算法效率。
- 高效的集群，算力网络资源调度策略与能耗挂钩。
- 液冷设备能同时降低IT设备和配套设备的能耗水平。

01

节能减排

02

配套设备能耗压降

- 冷却系统采用液冷、磁悬浮多联等技术，系统方案着力于自然冷源利用时长和效率。
- 电源系统向源网荷储微电网发展，电池独立不再由电源进行管理，实现储能化，优化调度策略。
- 管控平台通过AI学习历史数据制定优化运行策略，动态调整冷却系统和电源系统，实现能源流与信息流的融合。

一 // 鉴往知来，数据中心园区节能降碳思路

二 // 敢为人先，株洲数据中心零碳改造方案

中国移动（湖南株洲）数据中心园区现状



中国移动（湖南株洲）数据中心是中南地区建设规模最大、承载业务最全、服务辐射最广、技术创新最优的超大型数据中心园区。目前主要承载中国移动网络云、IT云、移动云和IDC业务。



1.智能控制系统:

部署先进的AI控制系统,实现对空调系统的实时监控和智能调节,根据数据中心的实时负载、环境温度、湿度等参数自动调整空调运行模式。

2.预测性维护:

利用AI算法对空调设备的运行数据进行分析,预测设备可能出现的故障,提前进行维护,减少突发故障对数据中心运行的影响。

3.能效优化:

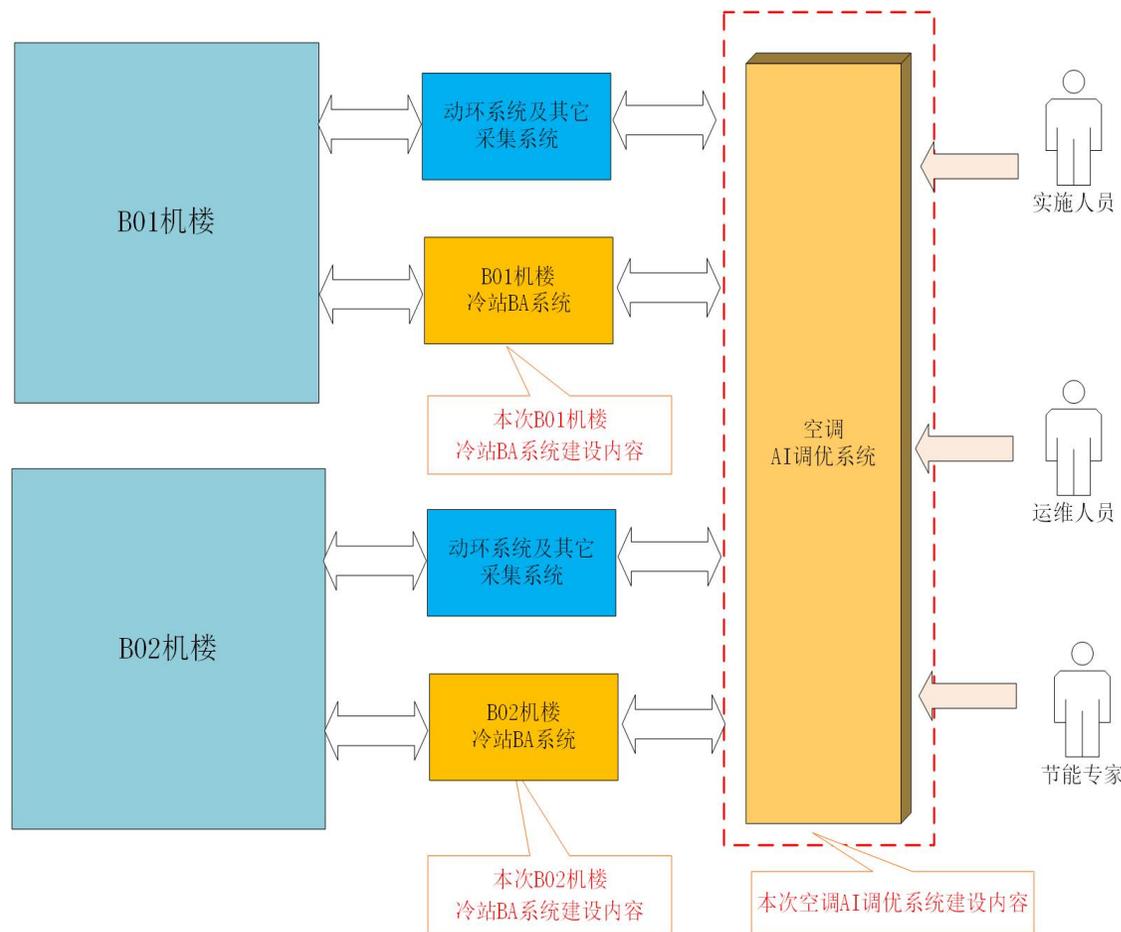
通过AI技术分析历史能耗数据,识别能耗高峰和低谷,优化空调运行策略,实现能效最大化。

4.动态负载平衡:

根据数据中心的实时负载情况, AI系统可以动态调整空调的制冷量,确保在满足制冷需求的同时,避免能源的浪费。

5.学习与自适应:

AI系统具备学习能力,能够根据历史运行数据和外部环境变化,不断调整优化策略,实现自适应管理。



数据中心空调AI调优系统项目建设内容

株洲数据中心零碳改造方案 - 数据中心空调AI调优系统



BA系统改造对接

1.系统集成:

对现有的楼宇自动化系统 (BA) 进行升级改造, 实现与空调系统的全面集成, 提高系统的整体控制能力和效率。

2.传感器升级:

安装或升级高精度的温度、湿度、压力等传感器, 确保BA能够获取准确的实时数据, 为智能控制提供基础。

3.控制策略优化:

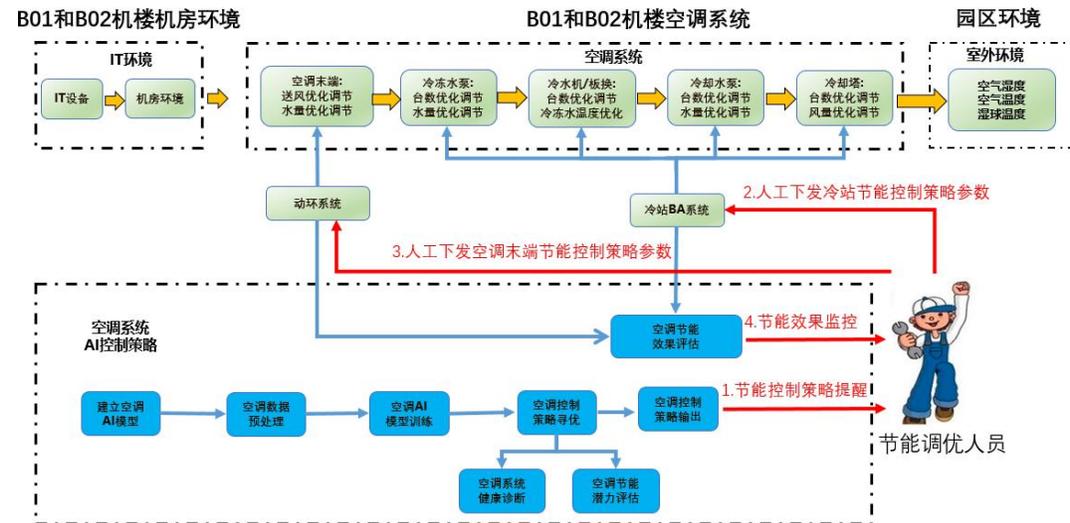
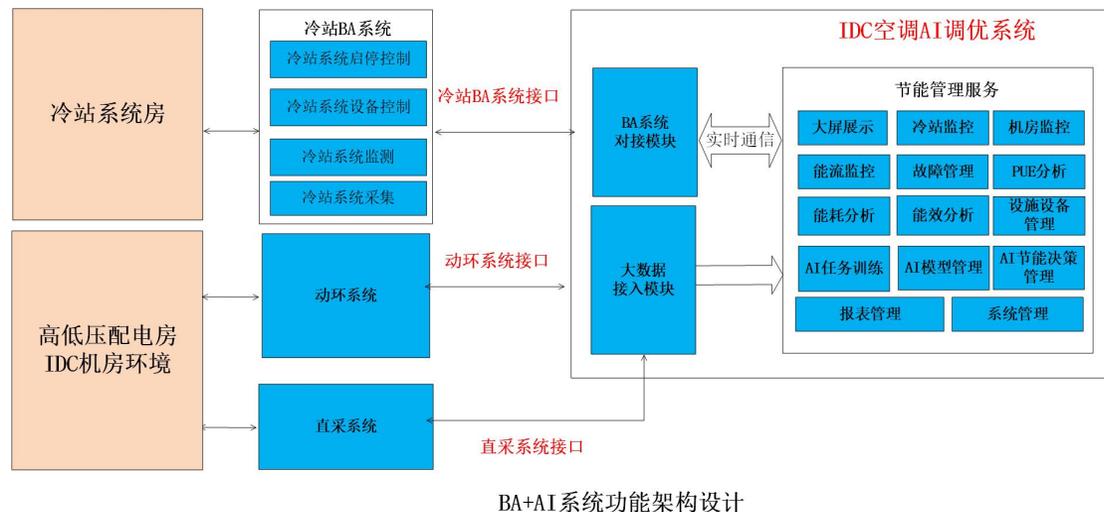
根据数据中心的实际运行情况, 优化BA的控制策略, 如时间表控制、事件驱动控制等, 提高控制的精准度和响应速度。

4.能源管理:

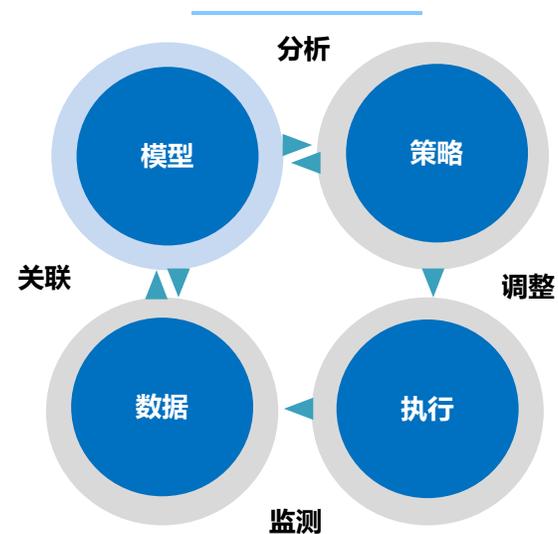
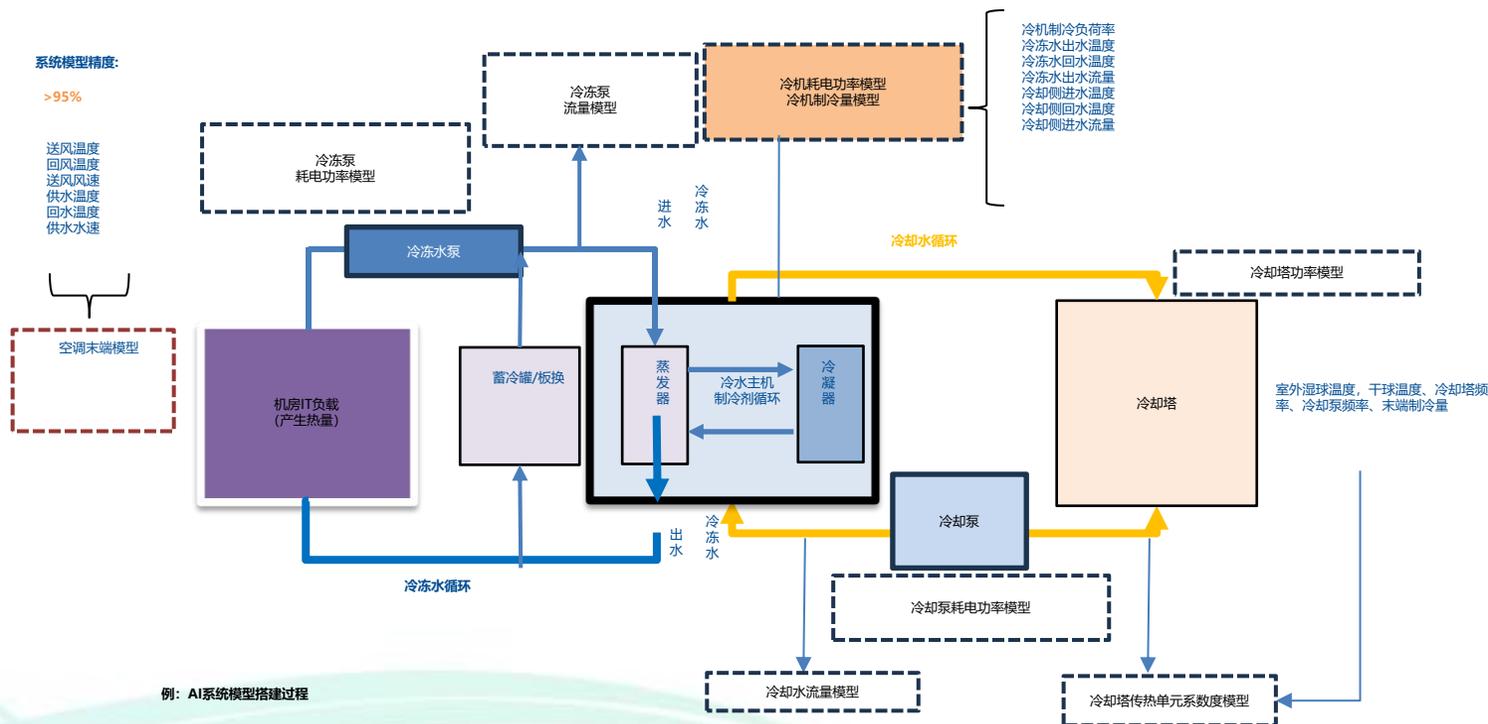
强化BA的能源管理功能, 实现对空调系统能耗的实时监控和分析, 为节能策略的制定和调整提供数据支持。

5.用户界面:

改进BA的用户界面, 使其更加直观易用, 便于运维人员进行操作和管理。



- 本系统对于数据中心制冷系统进行了设备级建模，同时引入专业物理约束，使得模型具备可解释性与准确性。设备级建模能够更清晰地构建能源流向，同时寻优结果也能够指导各个设备的精细调节。模型选取结合实际，根据实际的设备型号建立设备模型，整个系统的建立完全匹配实际情况。
- 寻优算法耦合不同层级的模型，考虑不同参数的安全运行区间，考虑多样的优化问题，最终输出结果能指导不同层级的参数调优、策略执行与模式切换等。在策略执行过程中，包含机器学习等先进算法，在负荷预测领域具有巨大优势。
- 整套流程逻辑充分发挥人工智能算法的卓越优势，将制冷系统的传统人工经验调参问题具体化为数学寻优问题，通过算法的自动计算与寻优，得到每个时间步长下的最佳安全参数匹配，使得系统高效运行，降低制冷能耗。



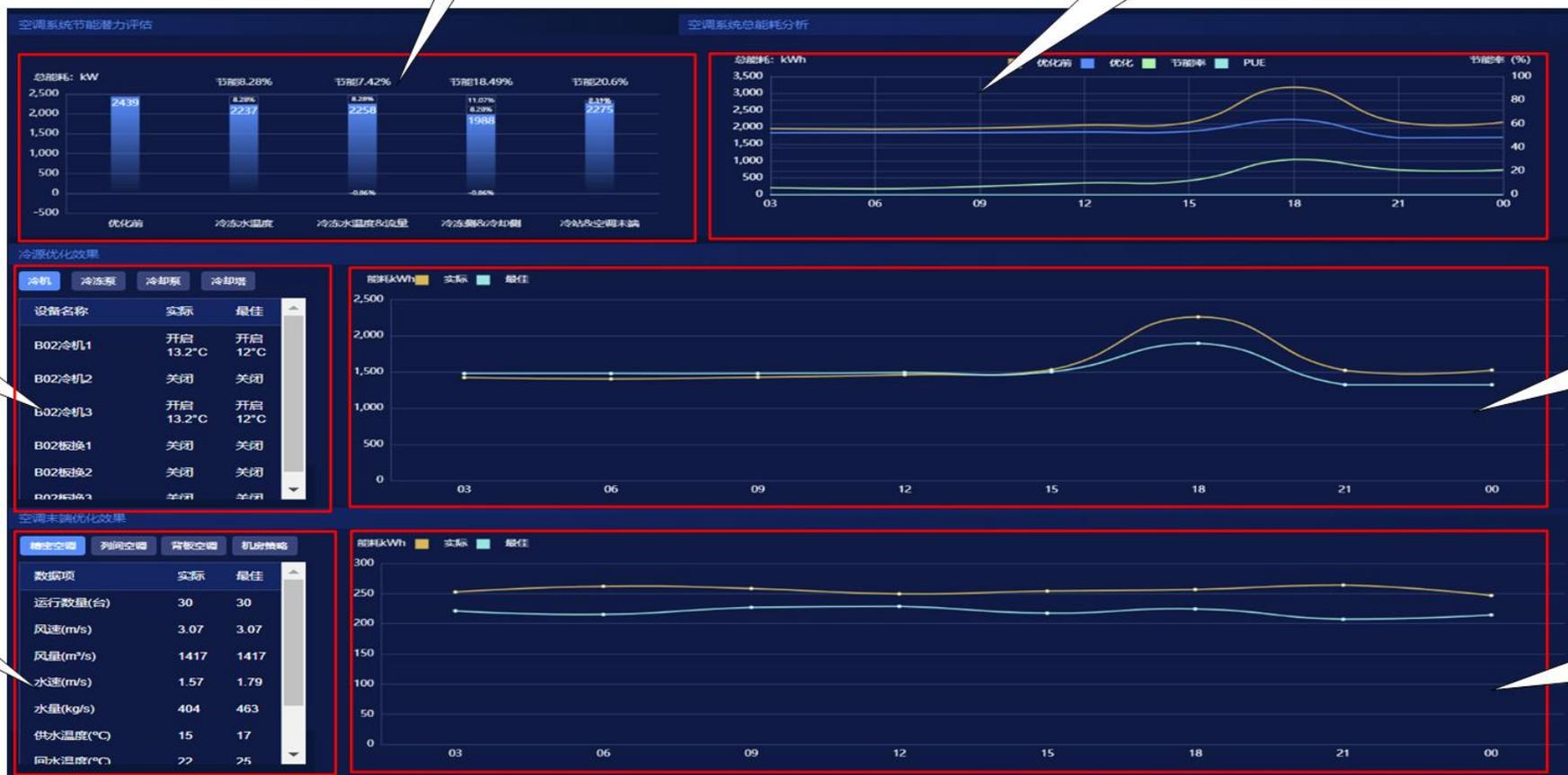
- 数据链路: 设备 → BA → AI → 处理结论 → BA → 设备

株洲数据中心零碳改造方案 - 数据中心空调AI调优系统

系统应用成效

空调系统节能潜力评估：
根据目前的冷机台数策略、冷冻侧策略、冷却侧策略和空调末端策略输出空调系统节能潜力

空调系统总能耗分析：
优化前总能耗
优化后总能耗



冷站设备策略显示：
实际冷站设备策略
最佳冷站设备策略

冷冻侧耗电功率显示：
实际冷冻侧电功率趋势
最佳冷冻侧电功率趋势

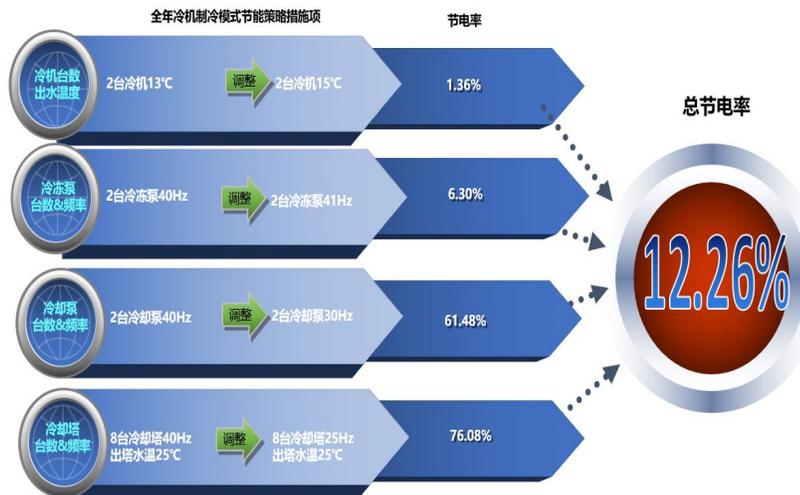
空调末端策略显示：
实际空调末端
最佳空调末端

冷却侧耗电功率显示：
实际冷却侧电功率趋势
最佳冷却侧电功率趋势

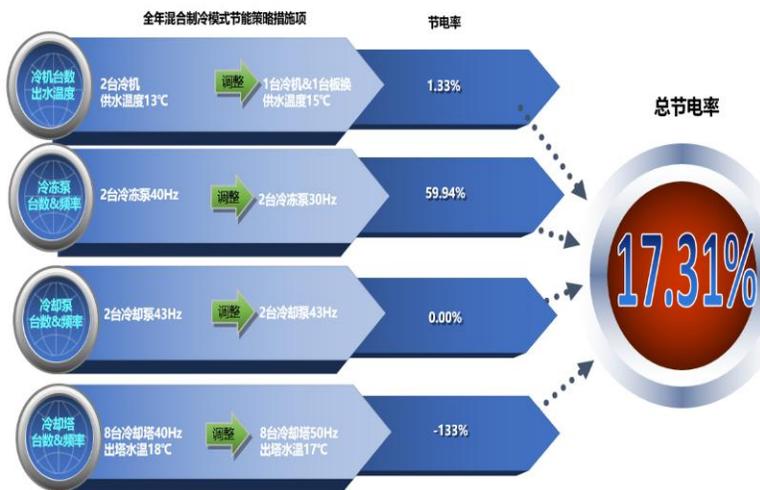
冷站系统&空调末端系统节能策略

节能效果实测

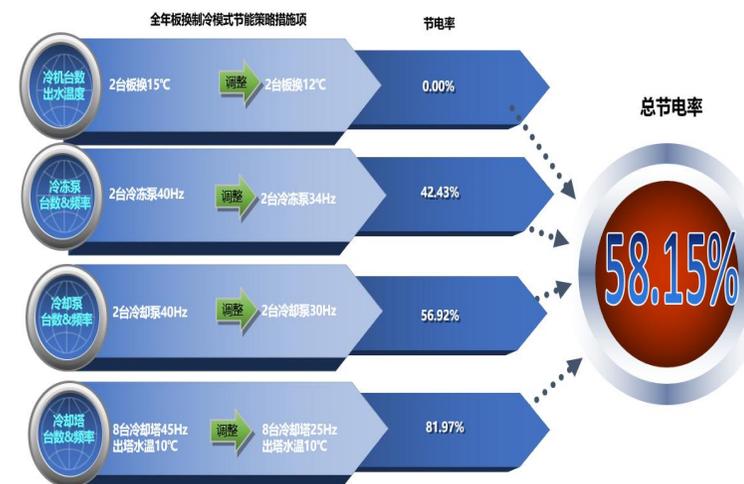
冷机模式



混合模式



自然冷却模式



- 以湖南为例，2023年全年株洲数据中心总用电较高，110KV平均电价约0.759元/千瓦时，2024年前8个月湖南国网电价同比有不同程度的下降，峰谷电价差同时下降，但目前不管是电价还是峰谷电价差在全国都是居于前列。由于峰谷价差大，同时储能造价指标进一步下探，湖南地区数据中心储能经济效益明显，同时实现了部分高碳能源的低碳替代。
- 数据中心建设储能优势在于耗电量大，负荷稳定；劣势在于全天负荷平均，电网谷时充电会导致峰值负荷上升，引起需量电价提高。

湖南分时电价政策中午3小时峰，夜间5小时尖峰，其中1、7、8、9、12等5个月份夜间5小时尖峰时段的前4小时为尖，按20000KW负荷，周期20年（10年更换一次电芯，PCS与升压变压器等利旧），电价根据湖南国网近12个月110KV电价测算：

- 1.湖南分时电价政策下，3+4最为经济，数据中心储能应根据当地政策选择容量与策略；
- 2.电池容量保持率对储能收益影响最大，宜选择容量保持率更好的产品；
- 3.因储能导致的需量电费增加部分和充放电损耗极大的影响了收益，解决途径是争取政策减免需量电费，提高充放电效率；
- 4.争取用户侧响应补贴可以有效提高数据中心储能的经济效益。

时间	1、7、8、9、12月	其他月份
23:00-0:00	谷	
0:00-1:00		
1:00-2:00		
2:00-3:00		
3:00-4:00		
4:00-5:00		
5:00-6:00	平	
6:00-7:00		
7:00-8:00		
8:00-9:00		
9:00-10:00		
10:00-11:00	高峰	
11:00-12:00		
12:00-13:00		
13:00-14:00	平 (可考虑补电的时间)	
14:00-15:00		
15:00-16:00		
16:00-17:00		
17:00-18:00		
18:00-19:00	尖峰	高峰
19:00-20:00		
20:00-21:00		
21:00-22:00	高峰	
22:00-23:00		

株洲数据中心零碳改造方案 - 水蓄冷系统



■ 数据中心水蓄冷是一种比电储能更加经济的削峰填谷手段，没有容量保持率的影响，使用寿命长达20年，水蓄冷系统可以同时起到节能减排和提高应急制冷保障能力的作用，株洲数据中心建设水蓄冷系统。

- ✓ **削峰填谷：**水蓄冷尖峰时段只有冷冻水泵在工作，释放蓄冷罐中的冷水，此时冷水机组、冷却塔、冷却水泵均不工作，这一部分电量转移到了低谷时段，转移尖峰时段冷源用电量约70%，实现了低碳能源对高碳能源的替代，并产生了削峰填谷经济收益。
- ✓ **节能减排：**一方面低谷时段室外温度比尖峰时段低，冷源系统工况较好，系统效率提高，自然冷源利用时间延长；另一方面蓄冷联合负载，调整冷机负载到最佳工况，冷机的制冷效率EER可以提升。

蓄冷节能减排分析

株洲数据中心2023年蓄冷削峰填谷收益统计表

月度	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	十三	日期时间		平均气温	温差	
														谷时	尖峰时	℃	℃	
	负载总电量 (KWH)	电费 (元)	冷机 (KWH)	冷却塔 (KWH)	冷却泵 (KWH)	冷冻泵 (KWH)	削峰电量 (KWH)	峰谷价差 (元/KWH)	峰谷价差 (元)	冷冻泵增加的电量 (KWH)	谷时电价 (元/KWH)	冷冻泵增加的电量 (KWH)	节约电费 (元)		2023年11月15日	10.0	12.0	2.0
							(三+四+五)/3	七八			购入蓄冷电价0.09元/KWH	十一	九十二		2023年10月15日	14.8	22.0	7.3
1	12506560	10979234	0	133920	275280	245520	136400	1.0188	138964	81840	0.36159	29593	109371		2023年9月15日	22.0	26.4	4.4
2	11281600	9276908	172800	129600	266400	237600	189600	0.87902	166662	79200	0.37589	29770	136892		2023年8月15日	26.9	31.1	4.3
3	13548480	9703850	864000	133920	275280	245520	424400	0.76224	323495	81840	0.36925	30219	293276		2023年7月15日	27.5	30.0	2.5
4	14028960	10178368	1748961	129600	266400	237600	714987	0.78288	559749	79200	0.33033	26162	533587		2023年6月15日	21.8	28.3	6.5
5	15188800	10782182	1758987	133920	275280	245520	722729	0.74612	539243	81840	0.33721	27597	511646		2023年5月15日	19.0	26.4	7.4
6	15447520	10553108	1765461	129600	266400	237600	720487	0.71152	512641	79200	0.32495	25736	486905		2023年4月15日	16.8	21.9	5.1
7	16658400	13318732	1768872	133920	275280	245520	726024	0.92589	672218	81840	0.31343	25651	646567		2023年3月15日	14.3	20.6	6.4
8	16959360	14012070	1785121	133920	275280	245520	731440	0.972905	711622	81840	0.34857	28527	683095		2023年2月15日	1.4	7.0	5.6
9	16412000	12666700	1796433	129600	266400	237600	730811	0.89699	655530	79200	0.34946	27677	627853		2023年1月16日	0.0	2.6	2.6
10	16660160	12578658	1748987	133920	275280	245520	719396	0.75288	541619	81840	0.34007	27831	513788		2022年12月15日	3.6	10.5	6.9
11	15752000	10966500	1712375	129600	266400	237600	702792	0.75222	528654	79200	0.32721	25915	502739					
12	14752000	10178880	0	133920	275280	245520	136400	0.97016	132330	81840	0.32699	26761	105569					
									5482727			331439	5151288					



负荷率	冷机制冷效率EER (冷冻水温15-21)									
	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
33	7.140	7.492	7.762	7.931	7.994	7.793	7.277	6.129	4.139	2.127
32	7.354	7.717	7.995	8.169	8.234	8.027	7.495	6.313	4.263	2.191
31	7.759	8.205	8.565	8.905	9.038	8.869	8.388	7.256	5.022	2.480
30	7.992	8.451	8.822	9.172	9.309	9.135	8.640	7.474	5.173	2.554
29	8.438	9.028	9.468	9.922	10.170	10.110	9.705	8.501	5.945	2.875
28	8.691	9.299	9.752	10.220	10.475	10.413	9.996	8.756	6.123	2.961
27	9.228	9.961	10.520	11.090	11.620	11.620	11.200	9.778	6.757	3.138
26	9.505	10.260	10.836	11.423	11.969	11.969	11.536	10.071	6.960	3.232
25	10.150	11.050	11.750	12.530	13.210	13.400	12.820	11.150	9.674	5.495
24	10.455	11.382	12.103	12.906	13.606	13.802	13.205	11.485	9.964	5.660
23	11.180	12.290	13.250	14.210	15.060	15.120	15.280	14.040	13.130	9.032
22	11.515	12.659	13.648	14.636	15.512	15.574	15.738	14.461	13.524	9.303
21	12.310	13.680	14.910	16.210	17.390	16.990	17.640	16.920	14.450	9.660
20	12.679	14.090	15.357	16.696	17.912	17.500	18.169	17.428	14.884	9.950
19	13.100	15.100	16.680	18.400	17.050	18.990	19.610	18.580	15.470	10.342
18	13.493	15.553	17.180	18.952	17.562	19.560	20.198	19.137	15.934	10.652
17	14.320	16.500	18.750	20.290	18.950	21.106	21.795	20.650	17.194	11.494
16	14.750	16.995	19.313	20.899	19.519	21.739	22.449	21.270	17.710	11.839
15	15.192	17.505	19.892	21.526	20.104	22.392	23.123	21.908	18.241	12.194

- 按近12个月每月取月中一日逐小时气温数据，计算谷时和尖峰时各8个小时逐小时平均气温，得出谷时平均温度低于尖峰时平均温度2~7.4℃，谷时冷却水温度低于尖峰时冷却水温度，年平均低5℃左右。
- 冷冻水供回水温度15/21℃的系统室外干球温度16℃以下就能部分利用自然冷源，干球温度10℃以下就能完全利用自然冷源，削峰填谷蓄冷系统部分季节可以在谷时利用自然冷源蓄冷，通过对历史气温数据分析，预计削峰填谷蓄冷系统比常规系统延长自然冷源利用时间约864小时，其中完全利用自然冷源时间为328小时。

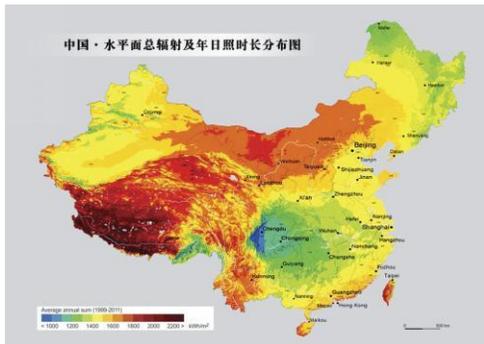
- 根据高压离心式冷水机组运行参数，冷水机组在冷却水温与负荷率不同的情况下运行效率不同，冷却水温越低效率越高，按5℃温差，各种负荷率下节能率能达到20%~40%。同时，可以采用AI调优制定策略，通过BA系统进行控制，使蓄冷联合负载，根据冷却水温度调整冷机负荷率，使其工作在EER较高的工况，达到节能的目的。
- 削峰填谷蓄冷系统和普通系统一方面多了一套冷冻水泵的能耗，能耗增加；另一方面冷却水温度的降低、自然冷源利用时间延长以及冷机负荷率的调优能够降低能耗，总体能耗降低。根据冷机全年能耗中尖峰时段节约30%计算，可以节约185万度，水泵能耗增加98万度，全年实际节能87万度。

注：1. 株洲数据中心冷源负荷约2903KW，季节性波动幅度较大；
2. 一月及十二月完全采用自然冷，冷机功耗为0。

注：1. 1月15日下雪数据失真取16日数据；
2. 表中统计的是干球温度，冷却水温度与湿球温度相关，湿球温度受干球温度和相对湿度的影响，估算年平均冷却水温低5℃；

株洲数据中心零碳改造方案 - 光伏系统

- 湖南地区属于太阳能资源4类地区，年平均日照小时数为1457小时，根据国家能源局湖南监管办公布的数据，2022年光伏利用小时数1008小时。日照不足但是电价高，峰谷价差大，降碳效益之外经济收益也颇为可观。
 - ✓ 建成的光伏发电在巴拿马电源系统上直流叠光，通过电压控制，优先光伏，简单高效。

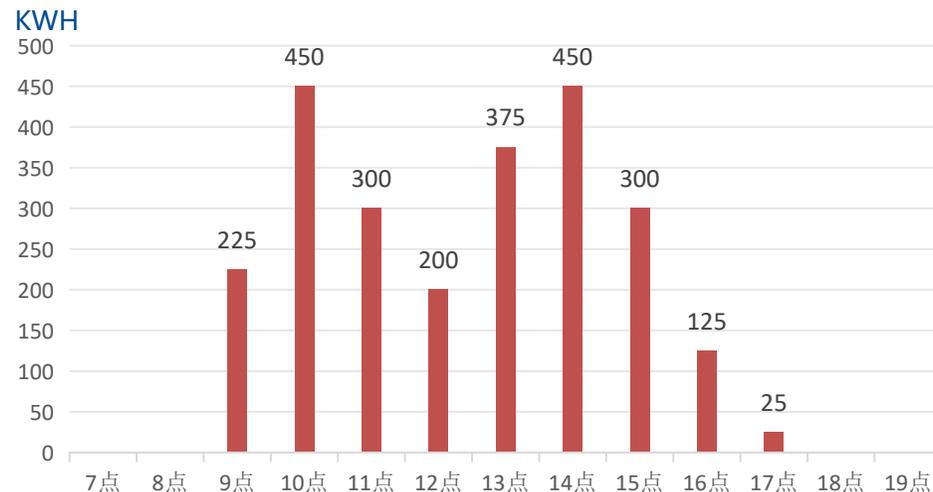


车棚

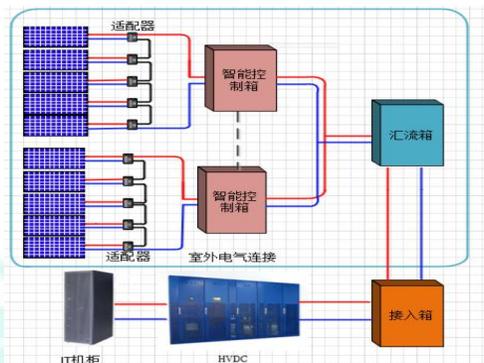


办公楼屋顶

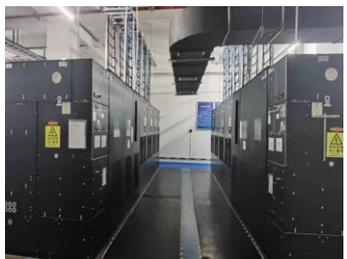
2023年12月某日光伏发电分布



240V巴拿马电源叠光系统



机楼屋顶



巴拿马电源

湖南11点~14点为峰时段，正好与太阳能发电高峰期重合，根据统计电网高峰时段光伏发电量占全天的54%，其余为平时段，因此湖南光伏利用小时数不长，但是叠加分时电价后收益可观。

株洲数据中心零碳改造方案 - 绿电交易

- 为了达到全面使用绿色电力的目标，湖南移动与湖南省能源集团、大唐华银电力签署战略合作协议，由其售电公司代理湖南移动的绿电交易相关事宜，在未来交易量将满足湖南株洲数据中心一年的用电量，向实现中国移动（湖南株洲）数据中心100%使用绿电的愿景不断努力前行。



征程万里风正劲，重任千钧再奋蹄。

**让我们携手抓住时代机遇，为实现数据中心园区零碳化
转型和双碳目标，铺设一条创新之路。**