



第十七届中国IDC产业年度大典
The 17th China IDC Industry Annual Ceremony

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE [解码] 可持续发展
DECODING
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT

第十七届中国IDC产业年度大典
The 17th China IDC Industry Annual Ceremony

双碳背景下数据中心 冷却技术发展路线探讨

邵双全

华中科技大学



学习工作经历

- 1994/9~2005/7 清华大学 热能工程系/建筑学院 学士/博士
- 2005/9~2009/3 LG DAC-Lab Senior Research Engineer/研发部长
- 2009/4~2019/6 中科院理化所 博士后/副研究员/项目研究员
- 2019/7~今 华中科技大学能动学院/中欧能源学院 教授/博导

学术兼职

- 国家家用电器标准化委员会智能家电分技术委员会，委员
- 中国电子学会绿色数据中心专家工作委员会，委员
- 中国制冷学会学术工作委员会，委员
- 中国制冷学会科技评估工作委员会，副秘书长
- 中国制冷学会节能环保技术与信息化工作委员会，委员
- 中国制冷学会数据中心冷却工作组技术委员会，委员
- 中国制冷学会团体标准工作委员会，委员
- 暖通空调产业技术创新联盟数据中心专业委员会，理事
- 中国机械工程学会包装与食品工程分会，委员
- 中国水产学会渔业制冷分会委员会，委员

学术成果

- 承担国家自然科学基金、科技支撑计划、重点研发计划等国家级项目及企业合作项目30余项
- 获得国家科技进步二等奖、北京市科学技术二等奖、广东省科学技术三等奖等奖励10余项
- 在Renew Sust Energy Rev, Applied Energy, Energy, Solar Energy 等杂志发表论文150余篇
- 申报发明专利60余项，参与出版专著10部，获得软件著作权2项



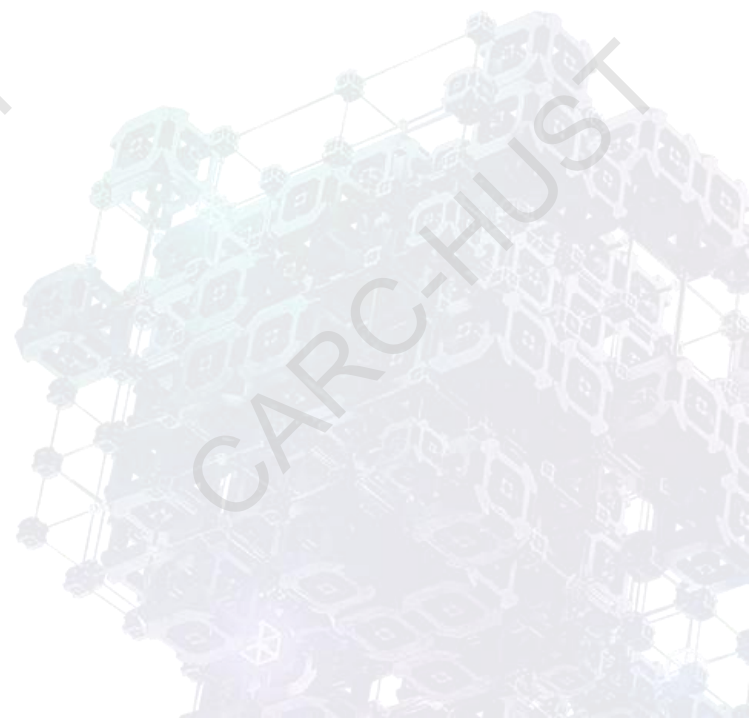
shaoshq@hust.edu.cn
13051252727

1 数据中心发展趋势

2 冷却技术发展路线

- 系统架构
- 取热侧
- 输配侧
- 冷源侧
- 智能运维

3 总结与展望



新基建：数据中心建设是新型基础设施建设的核心内容

- 是人工智能、工业互联网等其他“新基建”的基石
- 是我国数字经济发展的引擎和载体（2020年达到39.2万亿，增速是GDP的3.2倍）



大数据中心



人工智能



工业互联网



5G基站



城际高铁与城市轨道交通

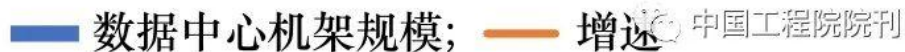


特高压



新能源汽车充电桩

数据中心产业发展现状与趋势



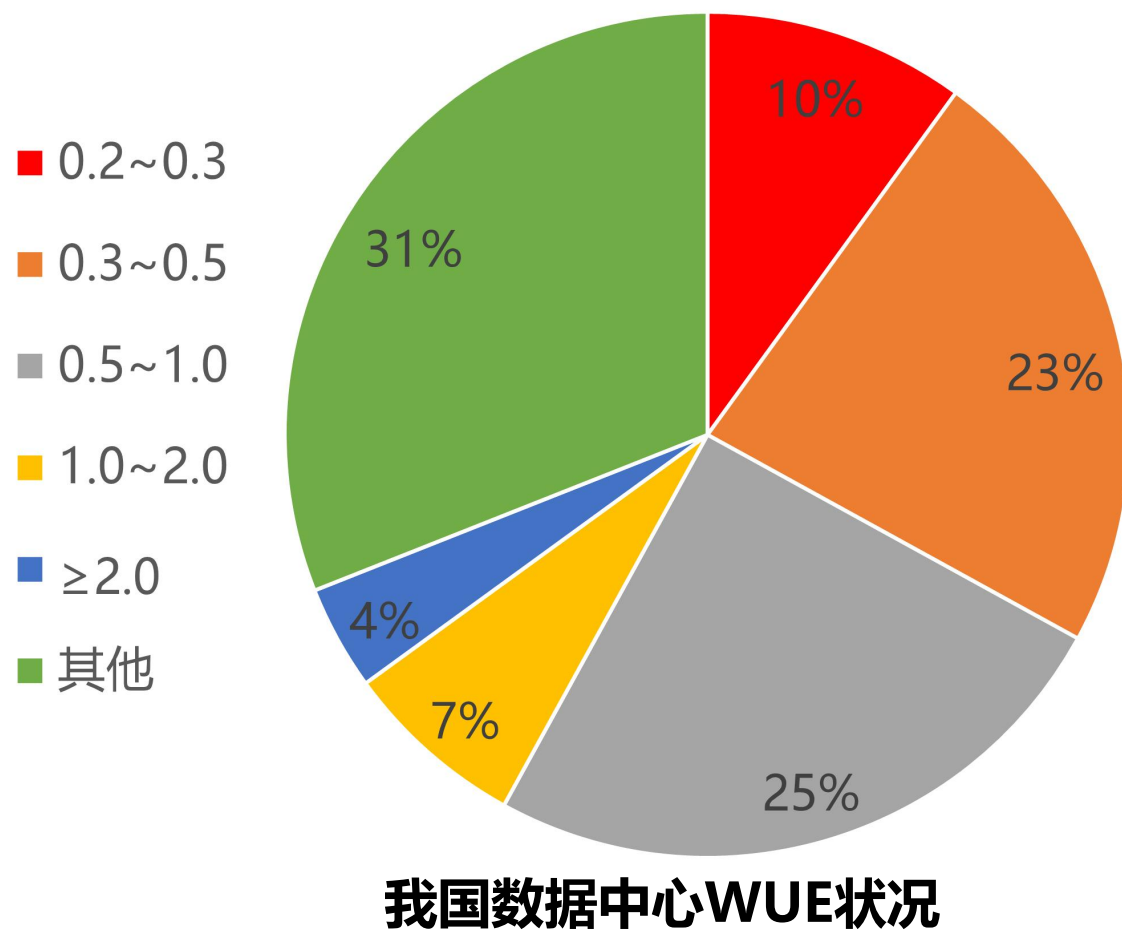
数据中心被列入了高耗能行业之一

时间/年	人数	增速/%
2017	1222	11%
2018	1500	23%
2019	1740	16%
2020	2045	18%

— 数据中心用电量; — 增速

数据中心能耗

我国数据中心耗水率

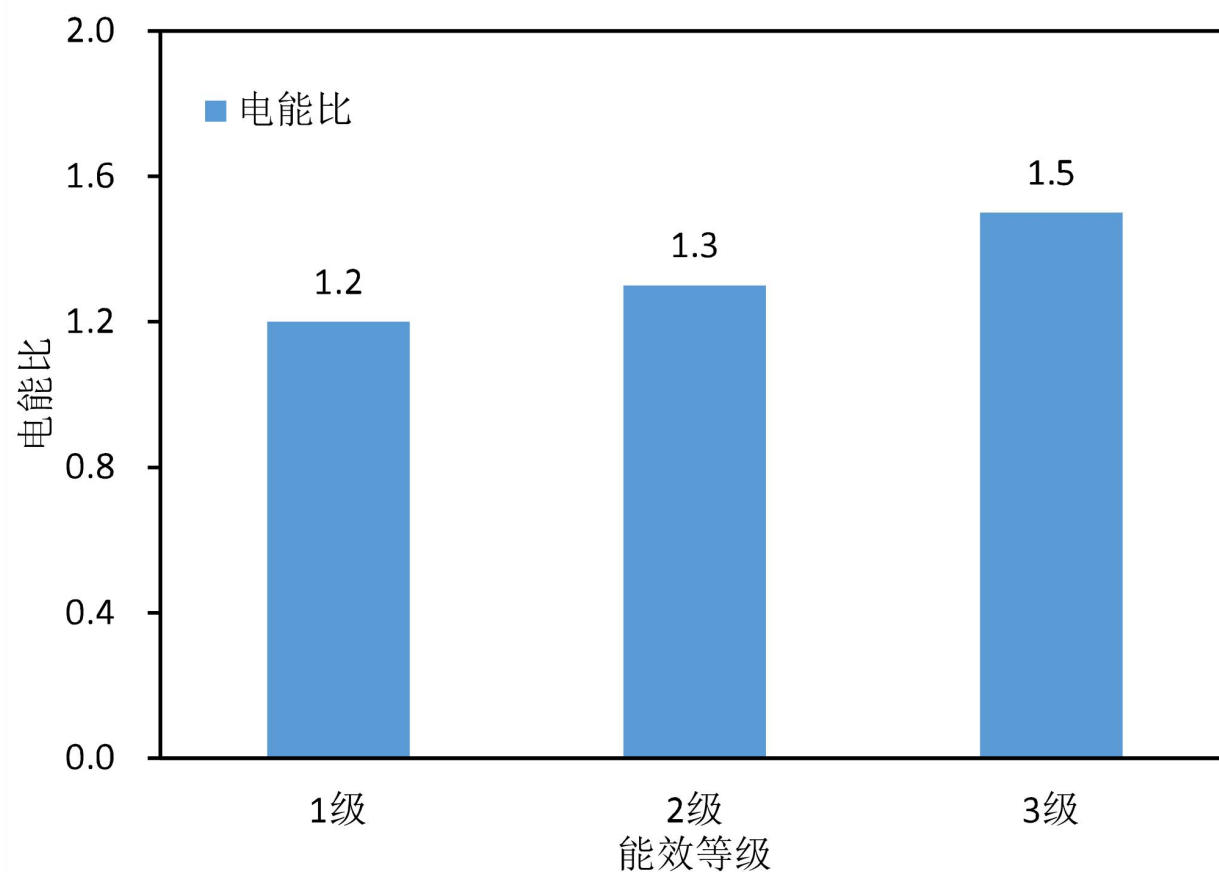


工业和信息化部、水利部公布了新的《国家鼓励的工业节水工艺、技术和装备目录（2021年）》

内蒙古乌兰察布市集宁区人民政府出台了《关于禁止集宁区大数据企业使用地下水冷却降温的通知》

数据中心能效要求越来越高

- 工信部印发《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》
 - ◆ 年均数据中心机架规模增速20%；
 - ◆ 2023年底，新建大型数据中心PUE降低到1.3以下，严寒和寒冷地区力争降低到1.25以下。
- 2021年7月，北京市《关于进一步加强数据中心项目节能审查的若干规定》
 - ◆ 根据数据中心建设规模，PUE 准入水平分别设定为1.3、1.25、1.2和1.15
 - ◆ 差别电价：+0.2元/度(1.4~1.8)，+0.5元/度(>1.8)



数据中心能效要求

GB40879-2021 《数据中心能效限定值及能效等级》

1、数据中心发展趋势

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

“东数西算” 实施方案

- 到2025年，**全国新建大型、超大型数据中心平均电能利用效率（PUE）降到1.3以下**，国家枢纽节点进一步降到1.25以下，绿色低碳等级达到4A级以上。
- **8个算力网络枢纽、10个数据中心集群**的PUE要求并不相同。
- 张家口集群、韶关集群、长三角生态绿色一体化发展示范区集群、芜湖集群、天府集群、重庆集群的**PUE水平要控制在1.25以内**。和林格尔集群、贵安集群、中卫集群、庆阳集群的**PUE水平要控制在1.2以下**。



冷却系统是数据中心节能减排的突破口

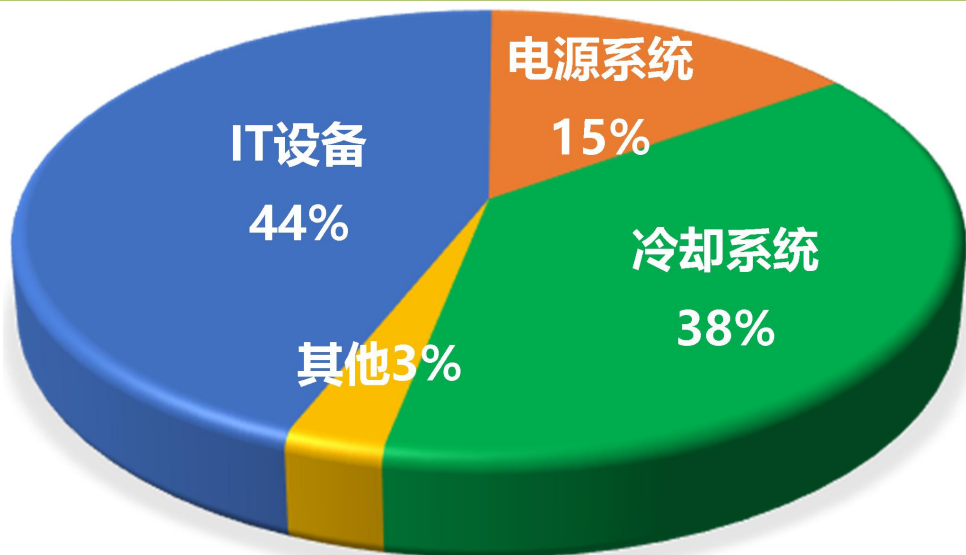
年份	目录名称	具体组成
2016	绿色数据中心先进适用技术目录（第一批）	共5类17项技术：含 制冷冷却6项、模块化4项、运维管理2项。
2018	绿色数据中心先进适用技术产品目录（第二批）	共4个领域28项技术产品：含 制冷冷却12项、优化控制4项、运维管理2项。
2019	绿色数据中心先进适用技术产品目录（2019年）	共4个领域50项技术产品：含 高效制冷和冷却技术产品26项，系统集成技术产品5项，绿色运维管理技术产品5项
2020	绿色数据中心先进适用技术产品目录（2020年）	共4个领域62项技术产品： 高效系统集成技术产品4项，高效制冷/冷却技术产品32项，绿色运维管理技术产品6项。
2021	《国家通信业节能技术产品推荐目录（2021）》	共3个领域74项技术产品：其中数据中心领域62项技术产品，5G网络11项，其他1项。
2022	《国家工业和信息化领域节能技术装备推荐目录（2022年版）》	共3个领域52项信息化领域节能技术：涵盖数据中心18项、通信网络23项、数字化绿色化协同转型11项节能提效技术。
总计	283项，冷却相关技术占2/3以上	

1、数据中心发展趋势

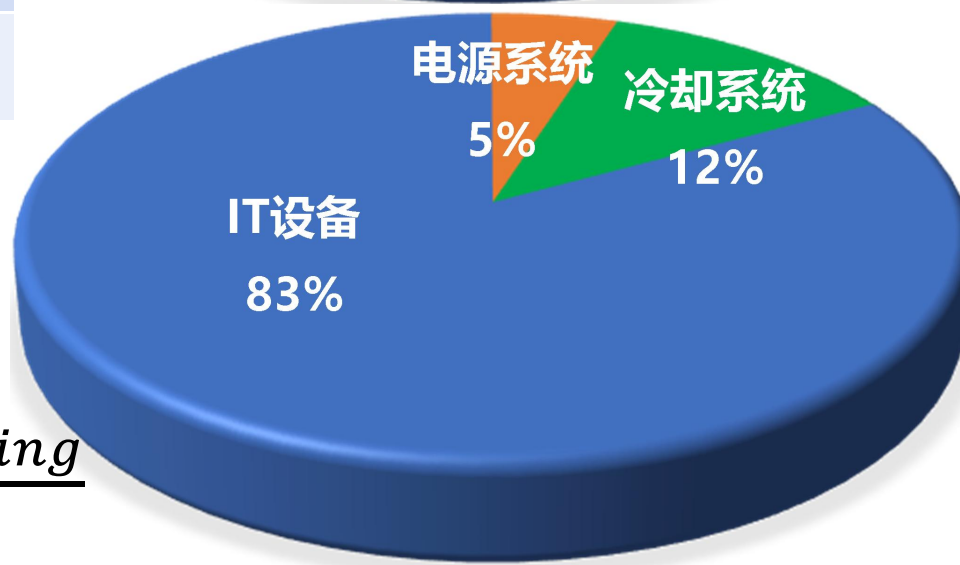
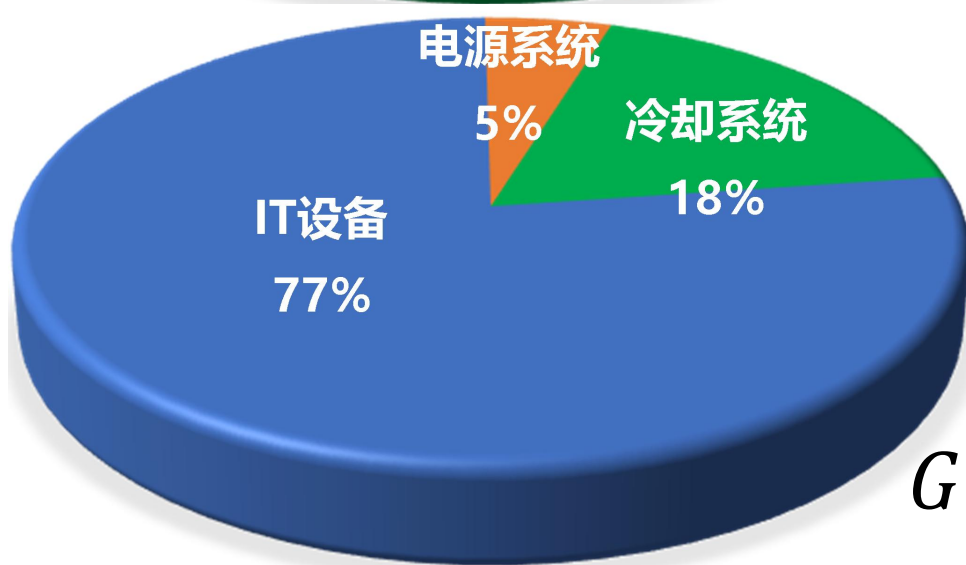
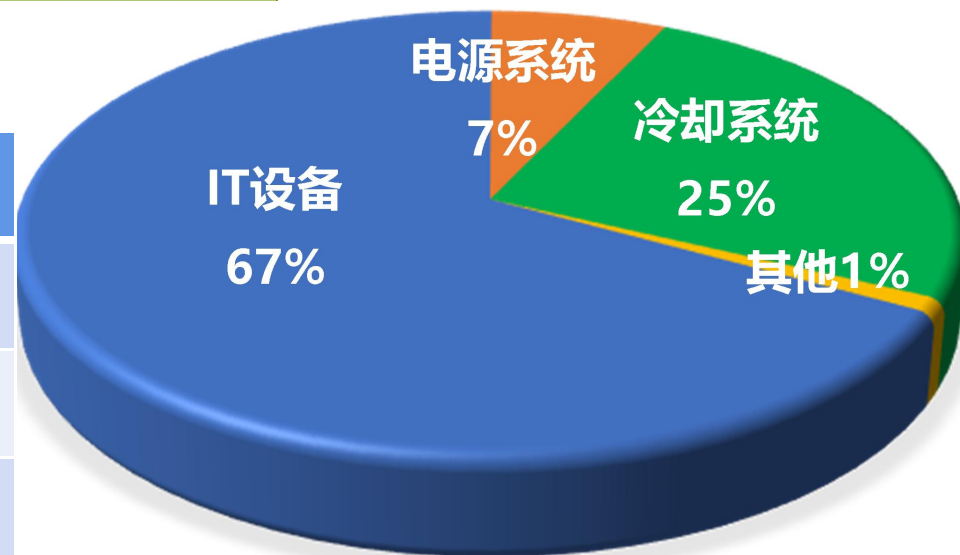
IDCC 2022

INTERNET DATA CENTER CONFERENCE 解码 [DECODING] 可持续发展

冷却系统是数据中心节能减排的突破口



PUE	GCOP
2.3	1.6
1.5	3.0
1.3	4.6
1.2	7.3



$$PUE = \frac{E_{total}}{E_{IT}}$$

$$GCOP = \frac{E_{total} - E_{cooling}}{E_{cooling}}$$

中国制冷学会：“碳中和”制冷技术发展路线



江亿 院士
清华大学 教授
中国制冷学会 理事长

- 一、制冷剂
- 二、关键部件
- 三、空调系统及运行调节
- 四、热泵技术与装备
- 五、冷链物流技术与装备
- 六、数据中心冷却技术与装备
- 七、电动汽车热管理技术与装备



1、数据中心发展趋势

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
[解码] 解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

中国数据中心冷却技术 年度发展研究报告 2021

◎中国制冷学会数据中心冷却工作组 组织编写

中国建筑工业出版社

中国数据中心冷却技术 年度发展研究报告 2020

◎中国制冷学会数据中心冷却工作组 组织编写

中国建筑工业出版社

中国数据中心冷却技术 年度发展研究报告 2019

◎中国制冷学会数据中心冷却工作组 组织编写

中国建筑工业出版社

中国数据中心冷却技术 年度发展研究报告 2018

◎中国制冷学会数据中心冷却工作组 组织编写

中国建筑工业出版社

中国数据中心冷却技术 年度发展研究报告 2017

◎中国制冷学会数据中心冷却工作组 组织编写

中国建筑工业出版社

中国数据中心冷却技术 年度发展研究报告 2016

版社

1 数据中心发展趋势

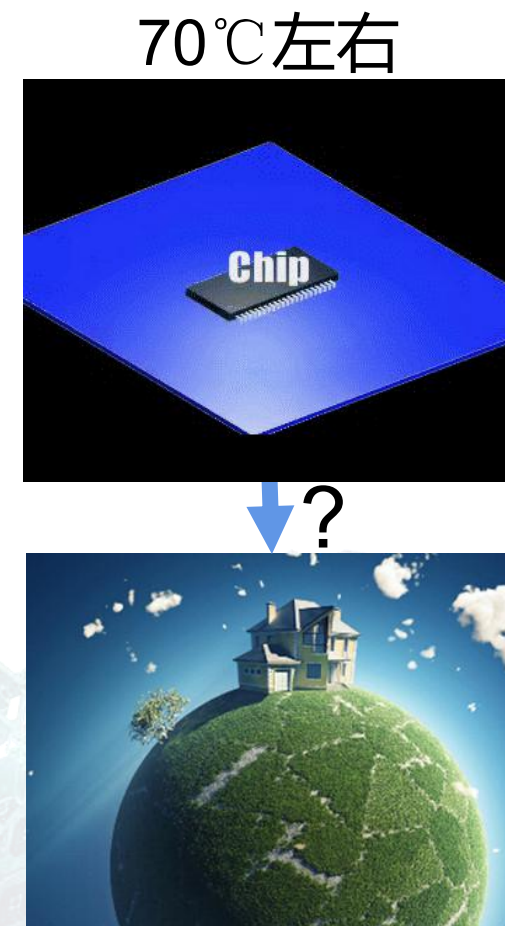
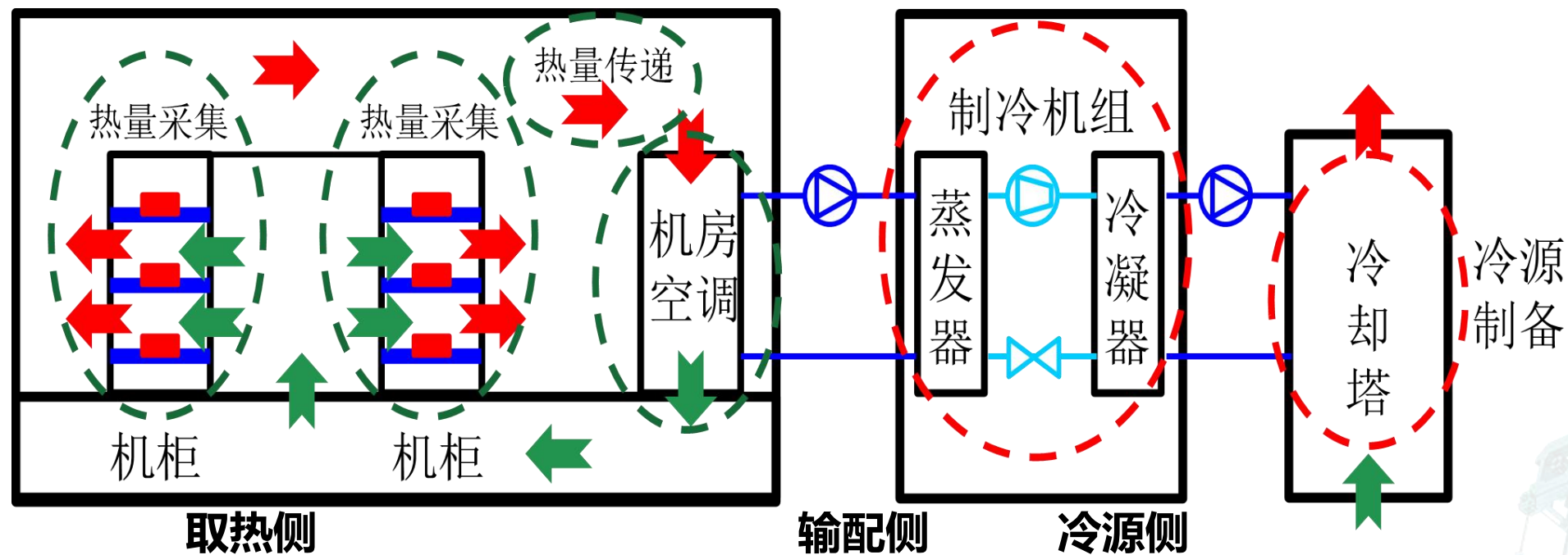
2 冷却技术发展路线

- 系统架构
- 取热侧
- 输配侧
- 冷源侧
- 智能运维

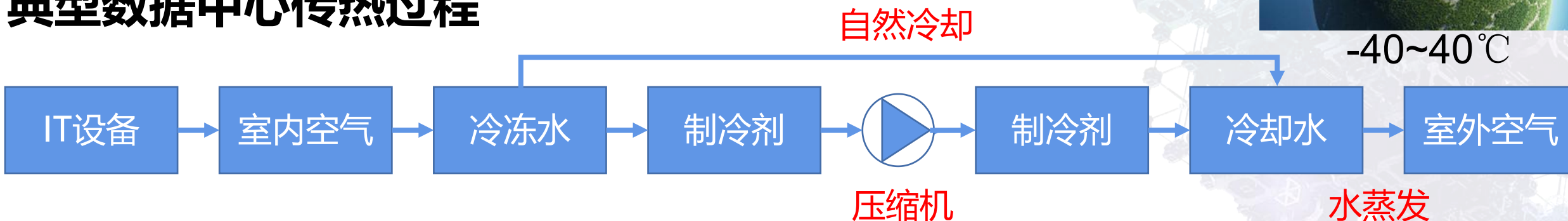
3 总结与展望



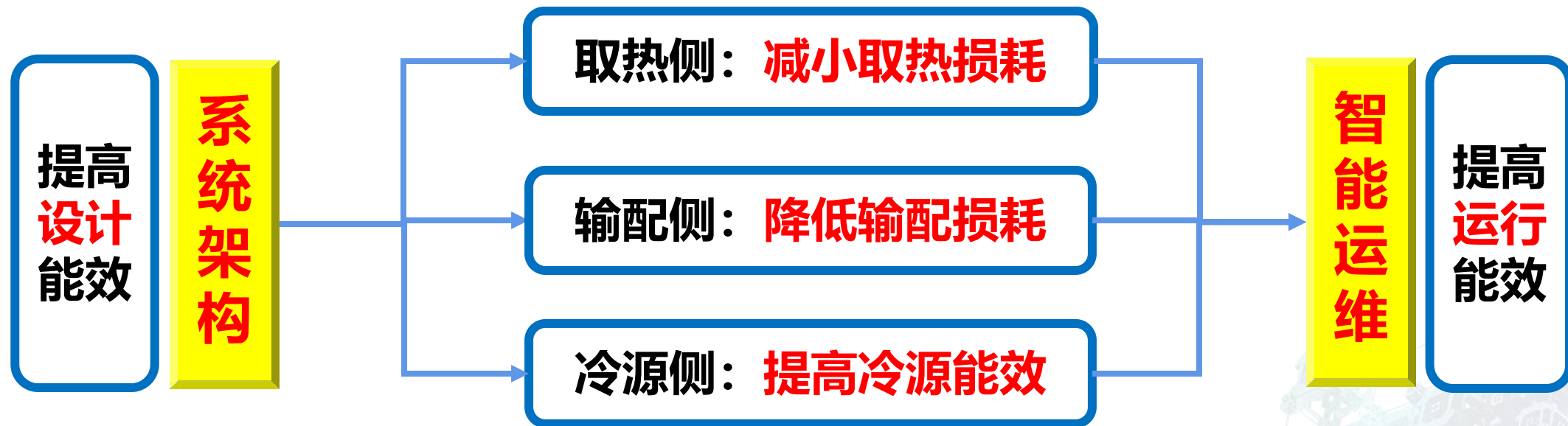
数据中心冷却系统典型形式与能耗分配



典型数据中心传热过程

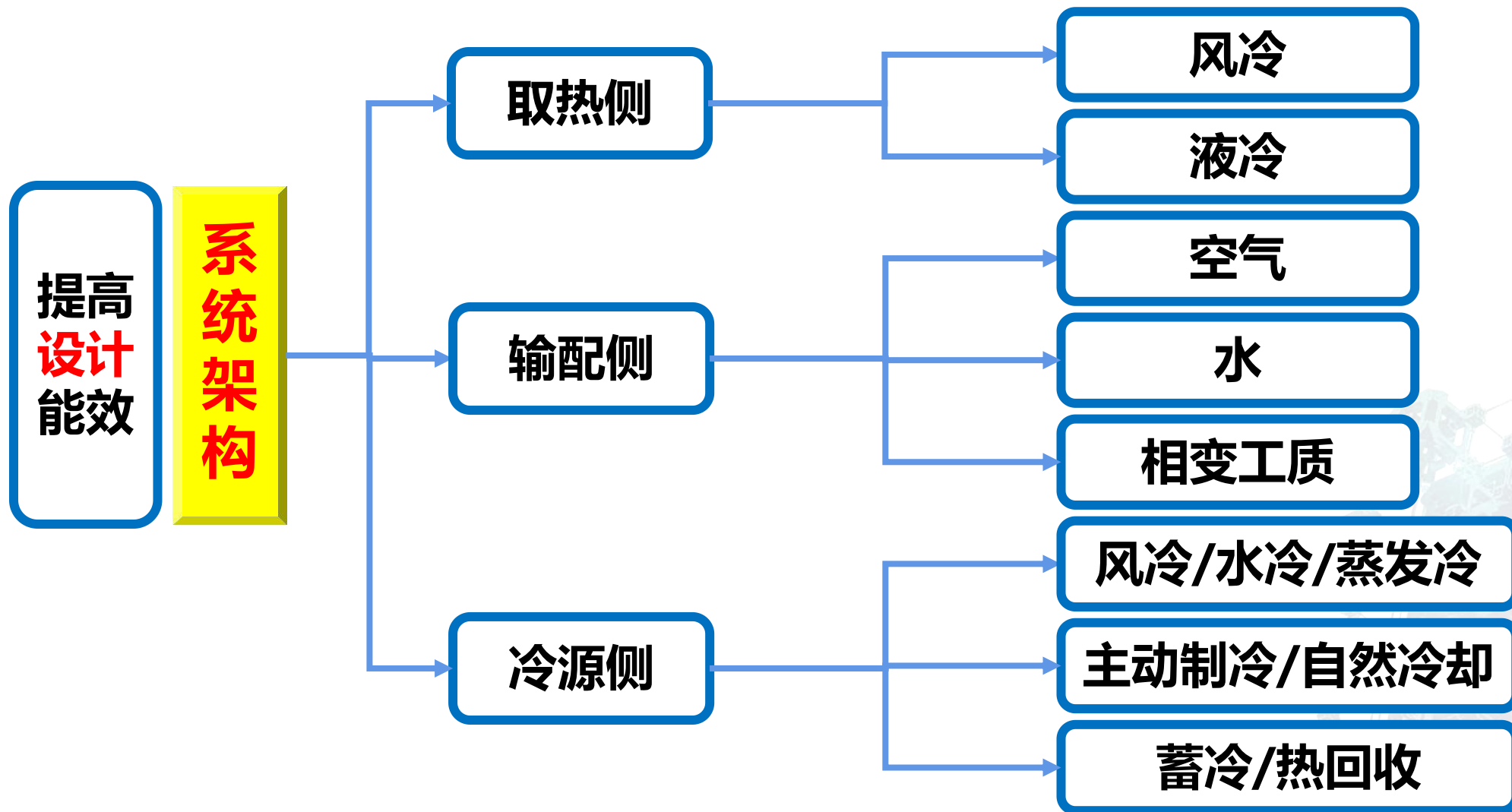


数据中心冷却系统节能减排技术路线

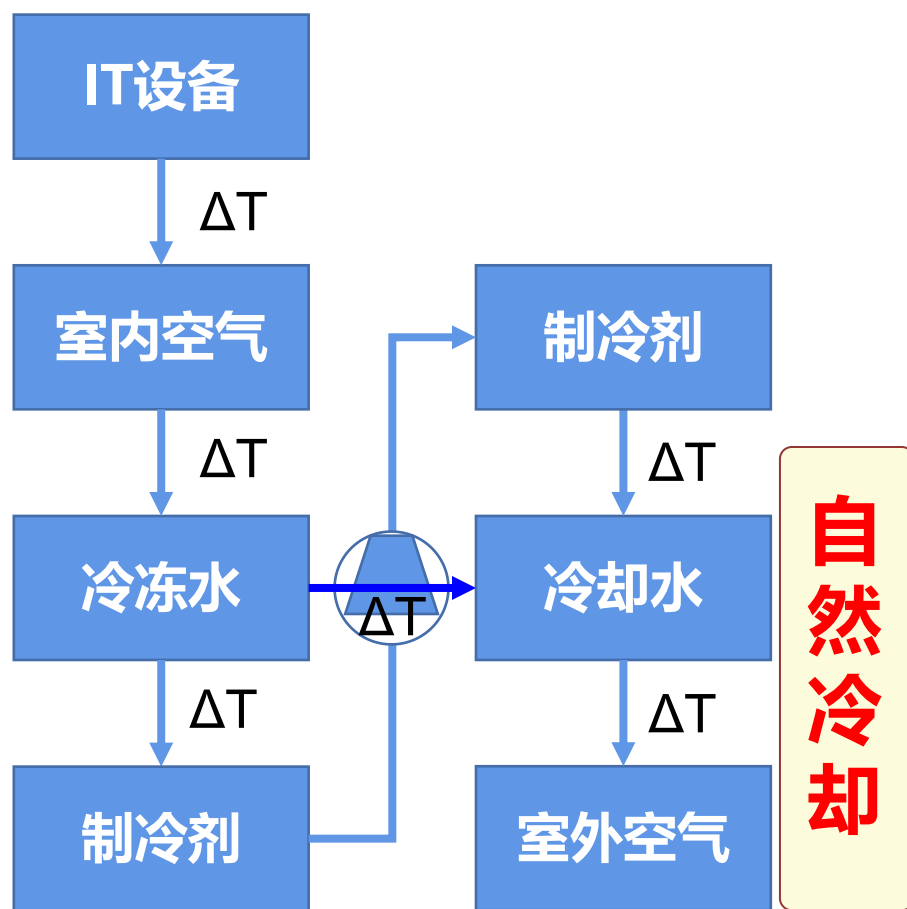


→ 延长高效自然冷源利用时间
→ 提高取热/输配/冷源的综合效率

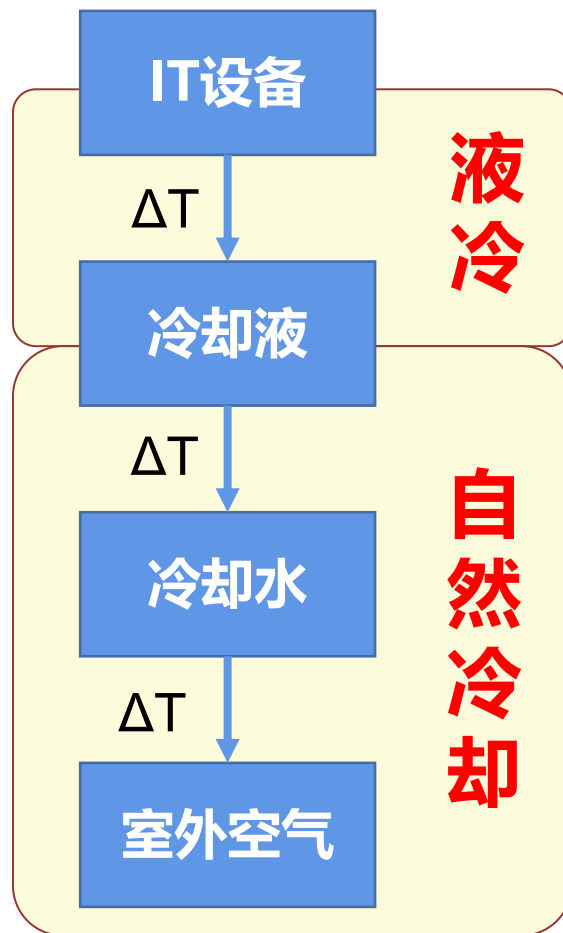
数据中心冷却系统节能减排技术路线



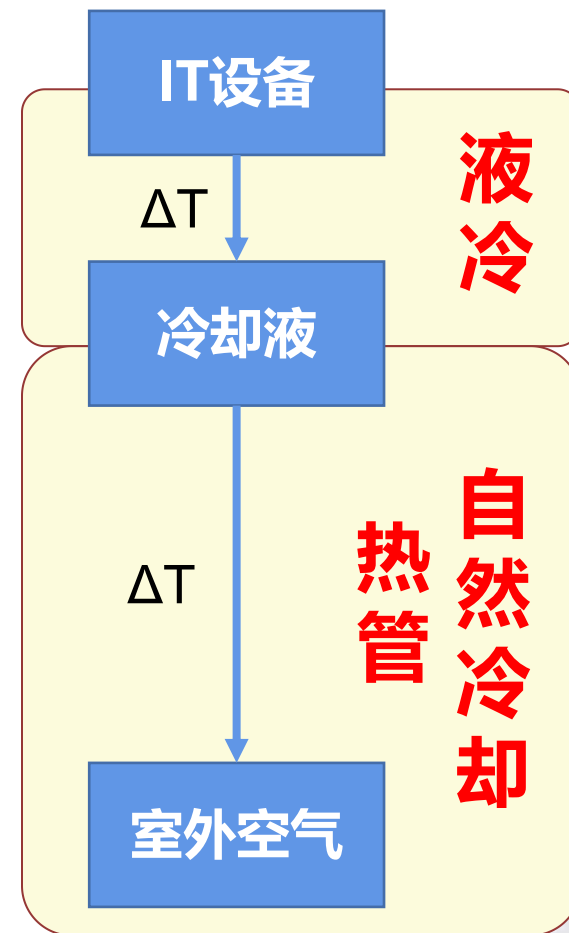
数据中心冷却系统演变



传统冷却系统



典型液冷系统



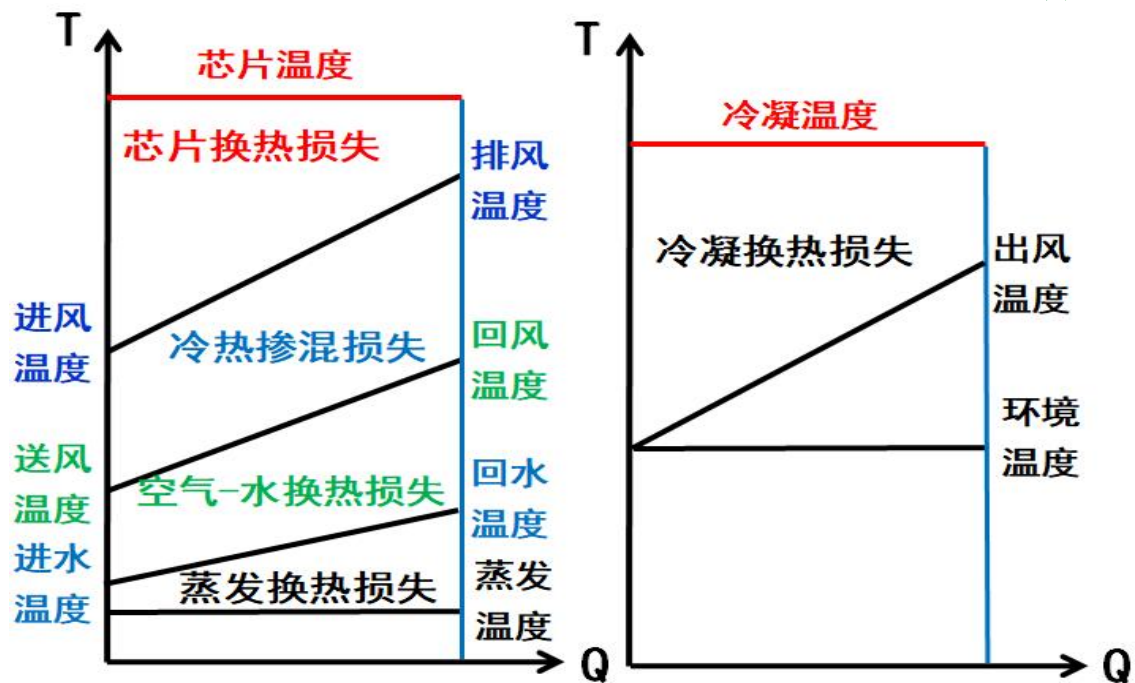
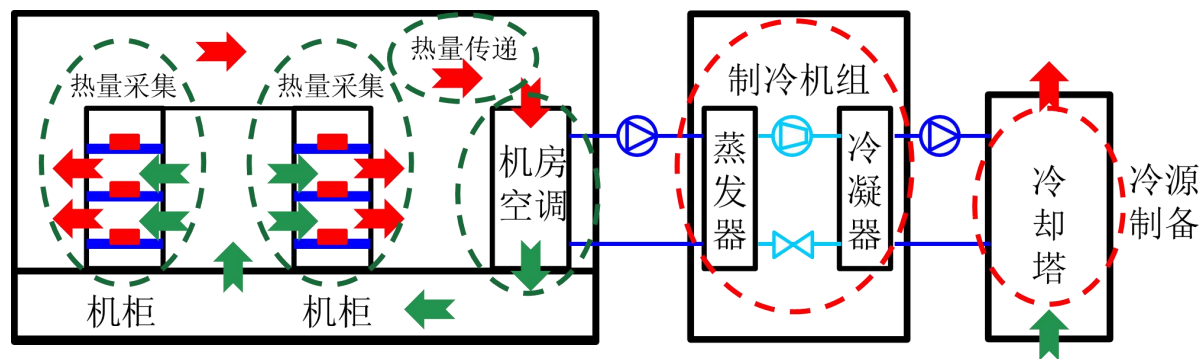
极简液冷系统

2.1、系统架构

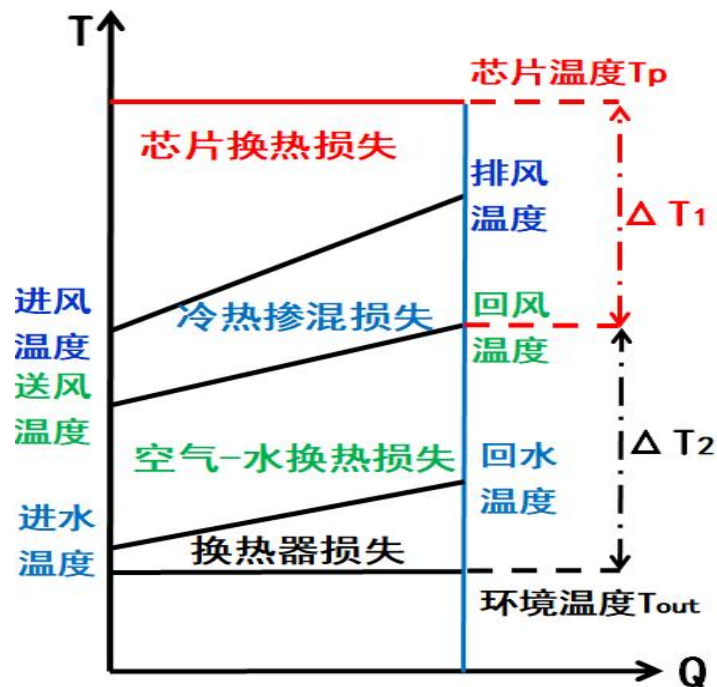
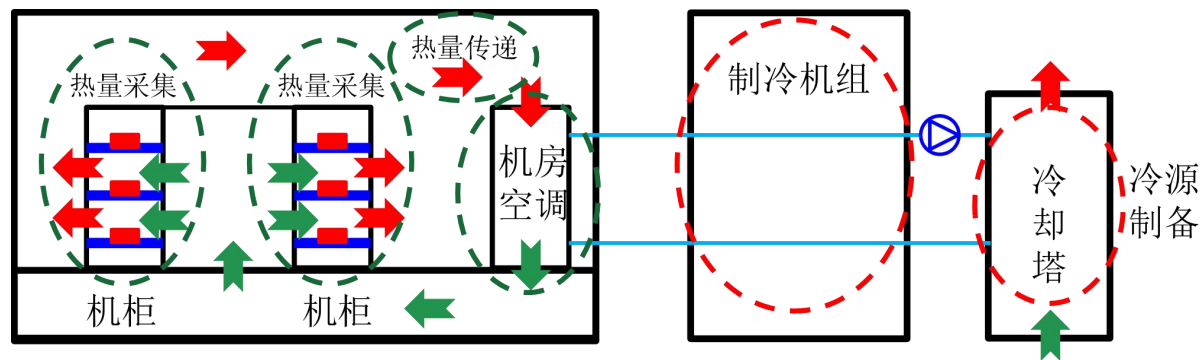
IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE
[解码]
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

(1) 冷冻水系统

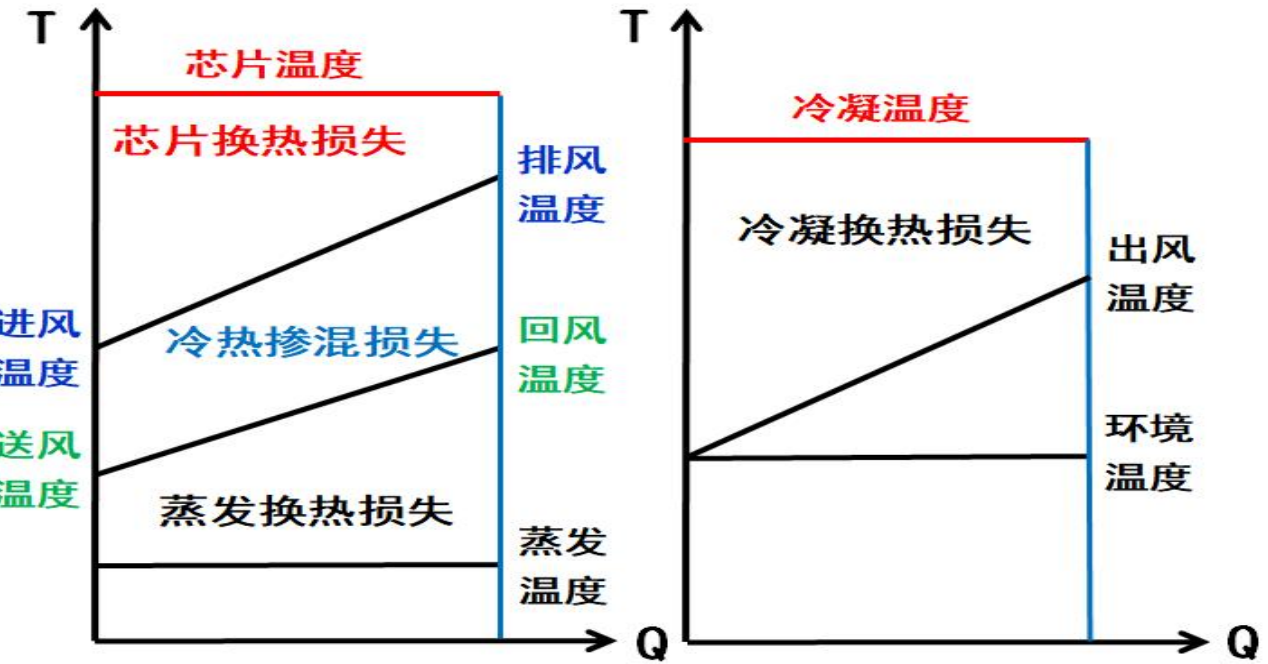
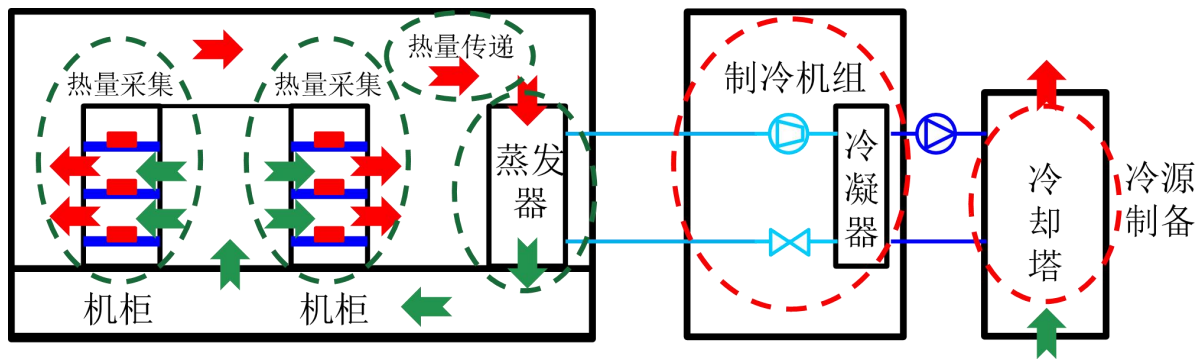


(2) 自然冷却系统—冷水系统

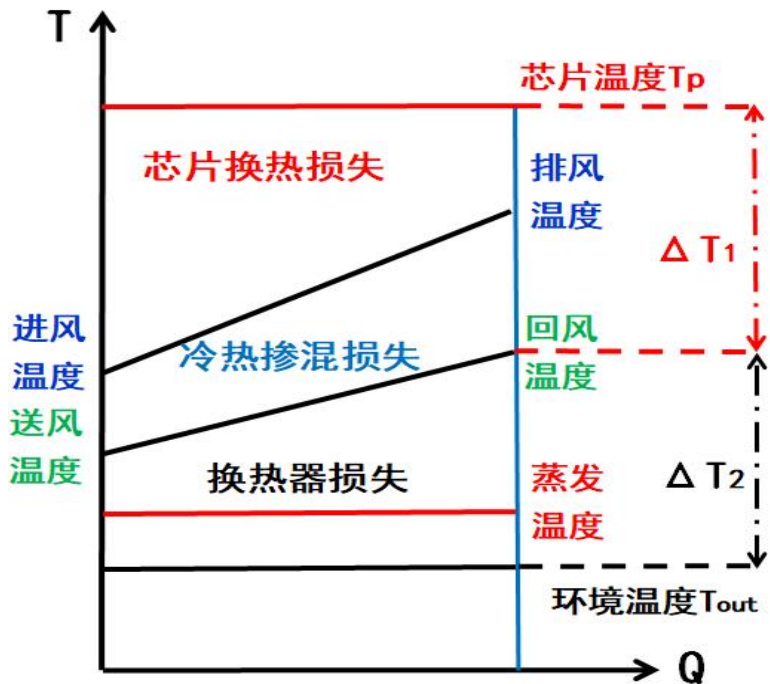
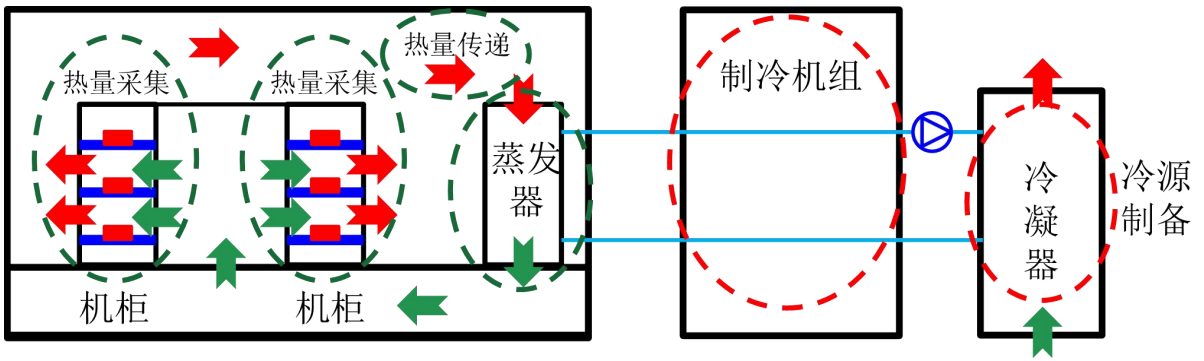


2.冷却系统节能减排技术发展路径：总体思路 IDCC 2022

(3) 氟利昂直供系统

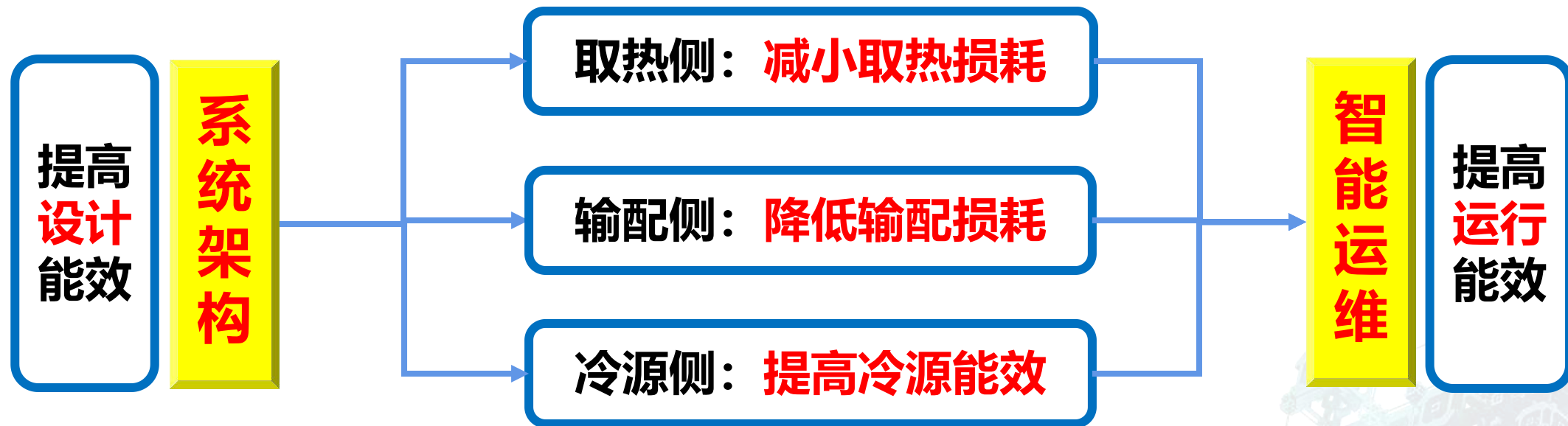


(4) 自然冷却系统—回路热管系统



通过系统架构的全局优化，达到设计节能

数据中心冷却系统节能减排技术路线



→ 延长高效自然冷源利用时间
→ 提高取热/输配/冷源的综合效率

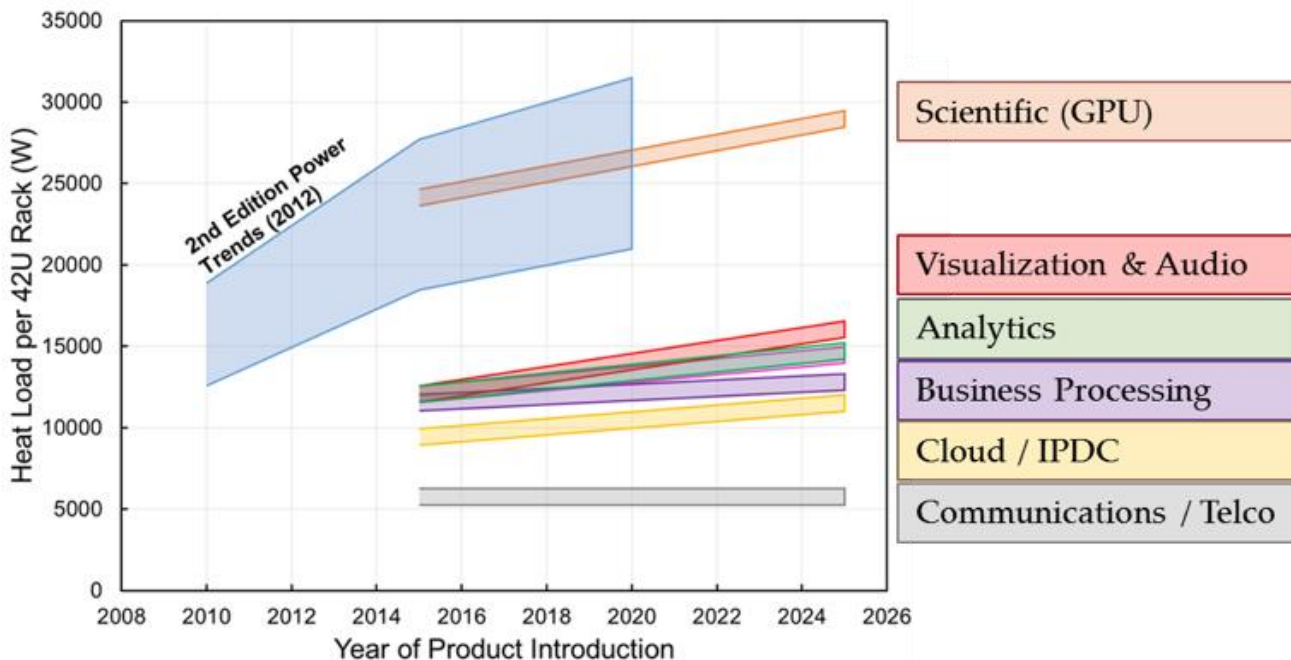
2.2、取热侧节能：取热方式

IDCC 2022

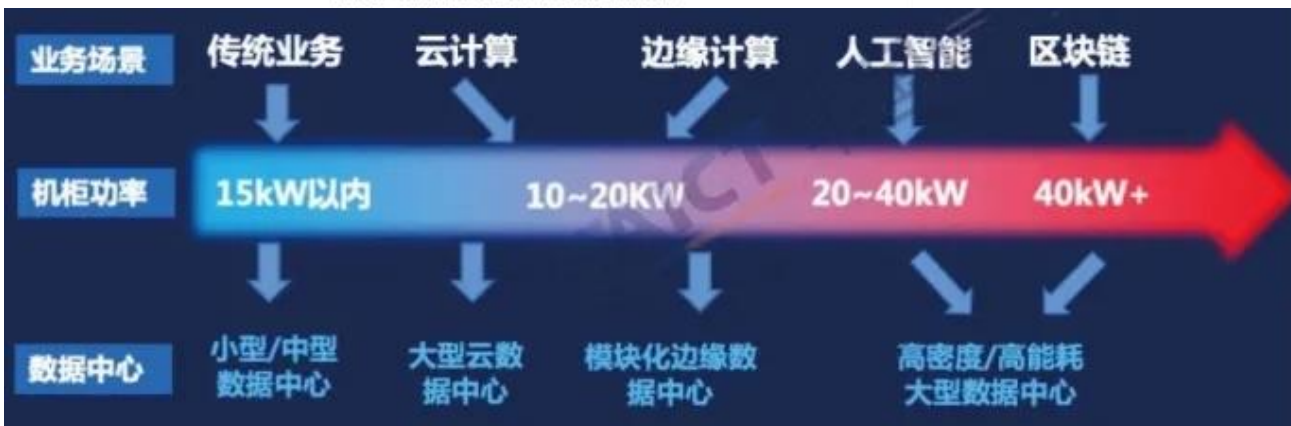
INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

数据中心功率密度不断提高

A
S
H
R
A
E



中
国
信
通
院



CPU

GPU

电池

UPS

.....

大
功
率
电
子
器
件

- IT设备散热密度高，CPU峰值逼近 $100\text{W}/\text{cm}^2$ ，相当于太阳表面热流密度
- 更大需求 $500\sim 1000\text{W}/\text{cm}^2$

2.2、取热侧节能：取热温度

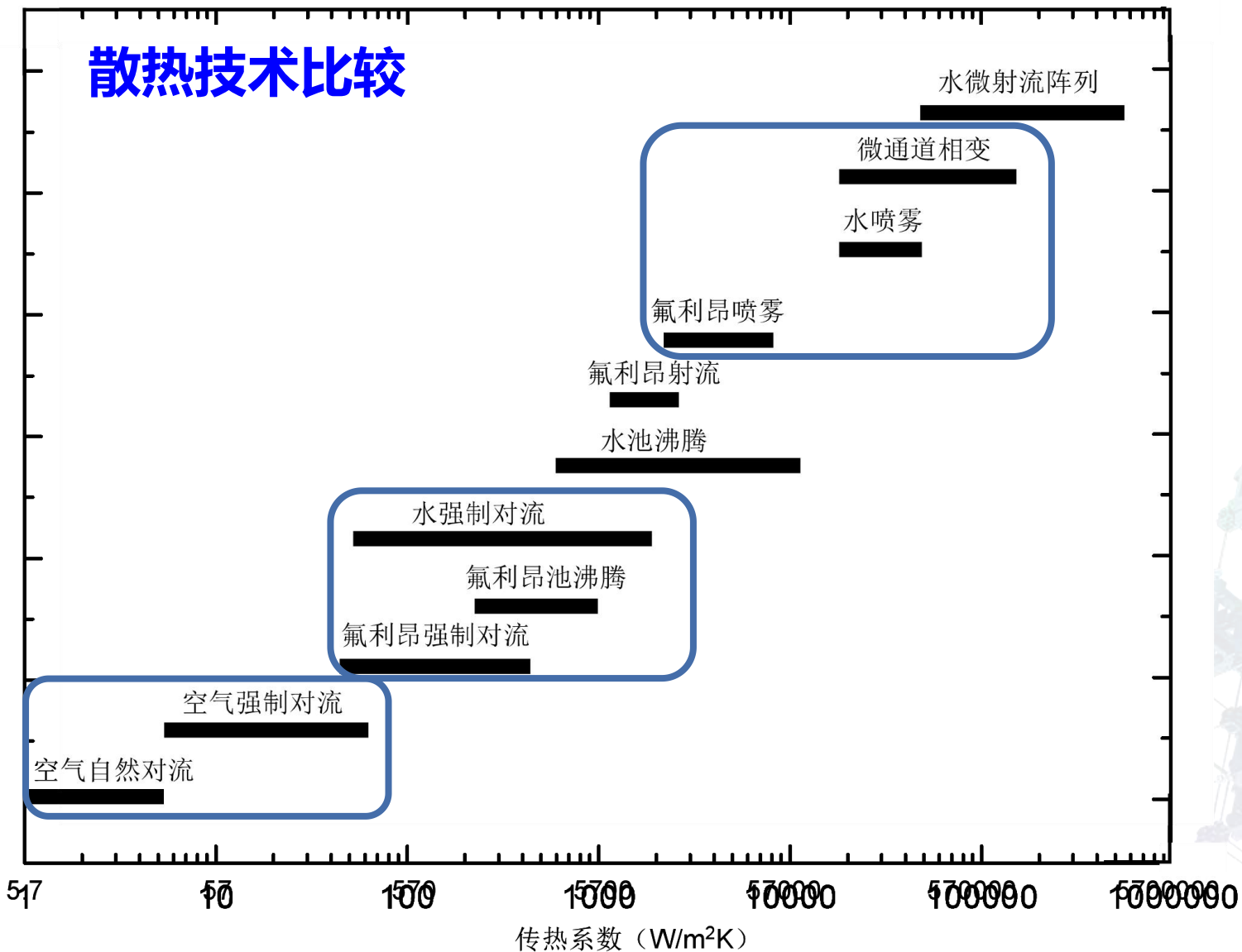
IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

数据中心冷却系统取热侧传热方式比较

强制对流液冷/相变液冷的传热系数比空气强制对流高100倍以上

散热技术比较



$$Q = KF\Delta T$$

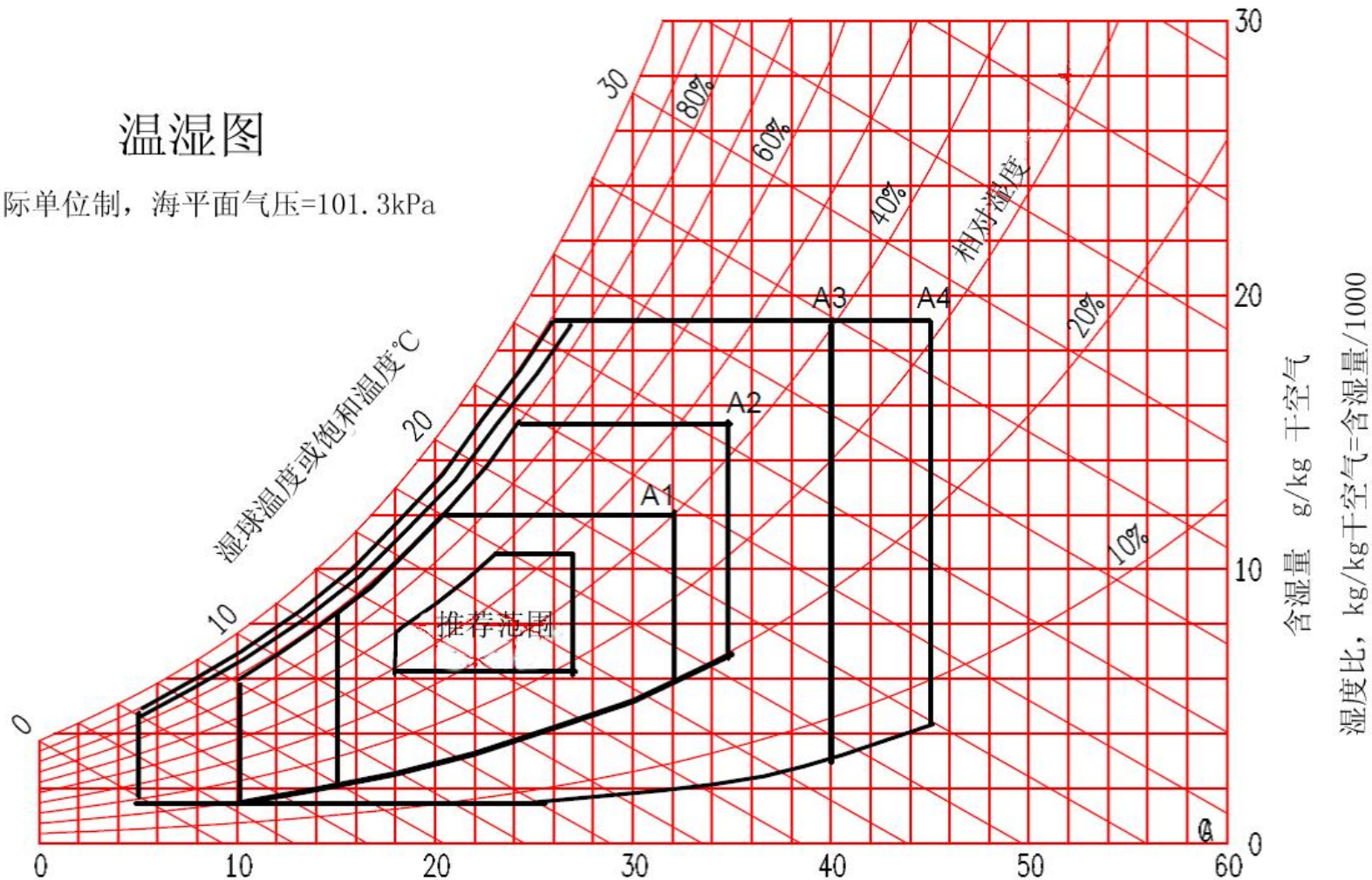
- 传热系数
- 传热温差
- 传热面积
- 介质流量

2.2、取热侧节能：房间级空调

数据中心取热侧环境要求

温湿图

国际单位制，海平面气压=101.3kPa



ASHRAE数据中心热环境标准

机房冷通道或机柜进风区域的温度推荐值扩大到 18°C - 27°C ，当IT设备对环境温度和相对湿度可以放宽要求时，机房冷通道或机柜进风区域的温度允许扩大到 15°C - 32°C

GB50174-2017
《数据中心设计规范》

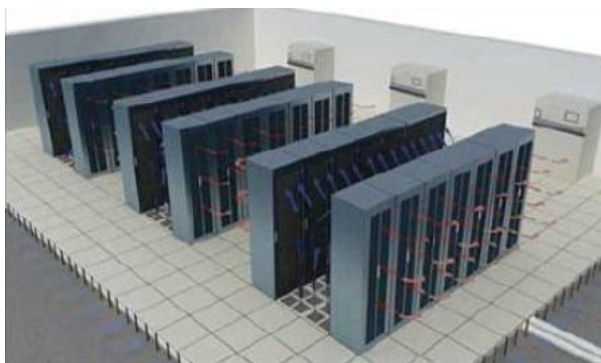
2.2、取热侧节能：列间级空调

IDCC 2022

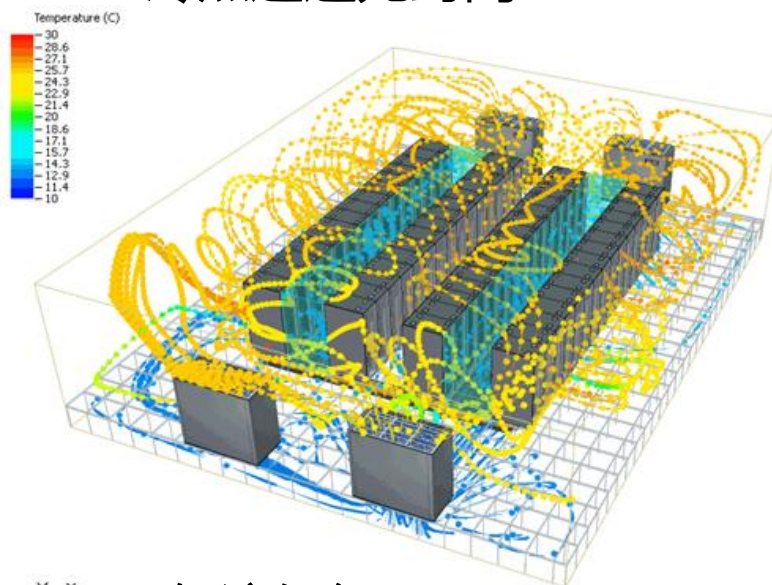
INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE [解码]
解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

房间级精密空调

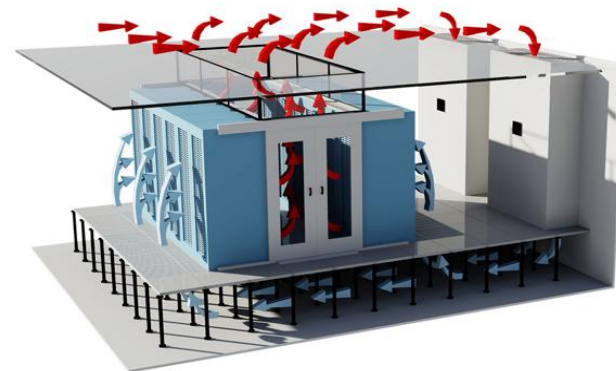
- 水冷型/直膨型
- 冷风短路/热风回流
→冷/热通道封闭
- 降低输配能耗
- 自然冷能利用



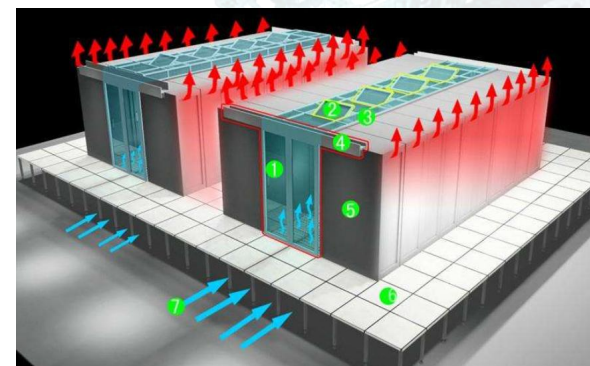
- 冷热通道无封闭



- 气流组织



- 地板下送风，热通道封闭



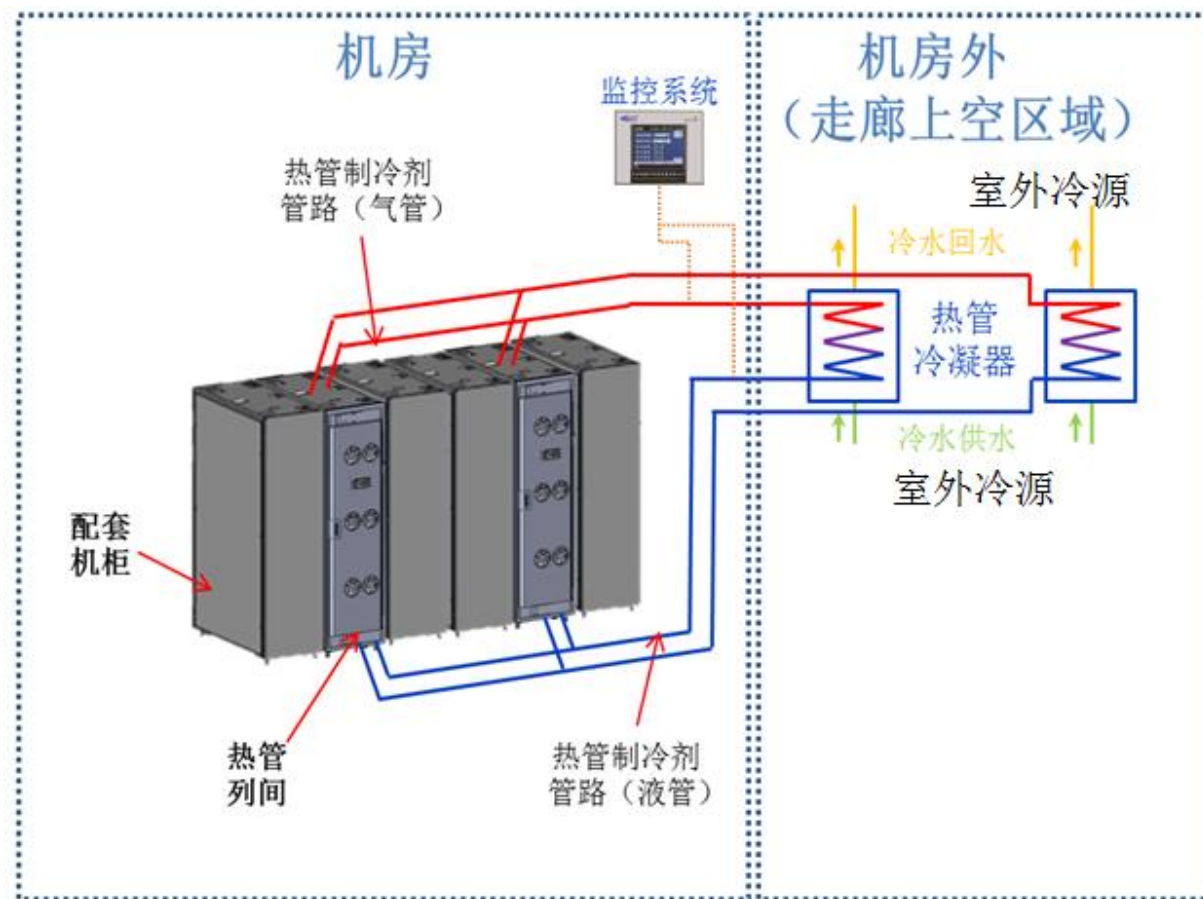
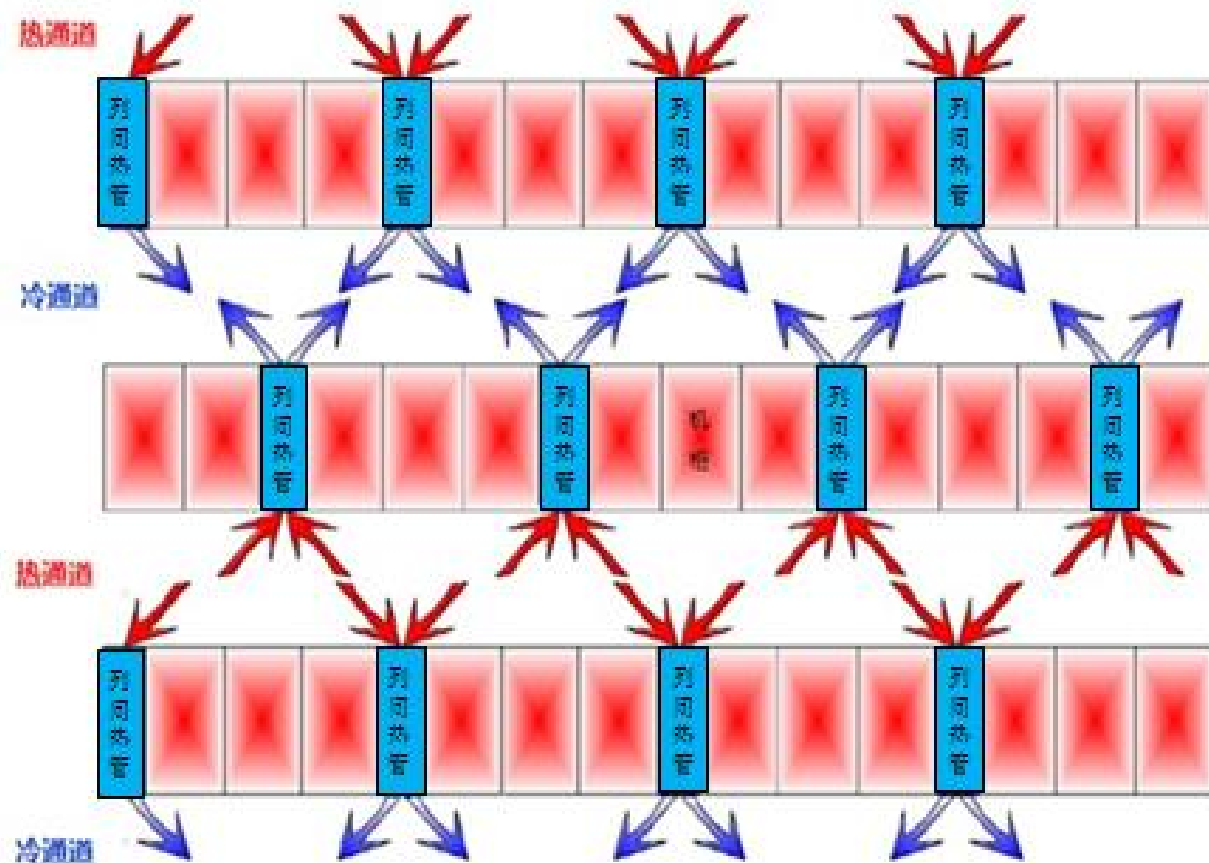
- 地板下送风，冷通道封闭

2.2、取热侧节能：机柜级空调

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE [解码]
DECODING
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

列间空调

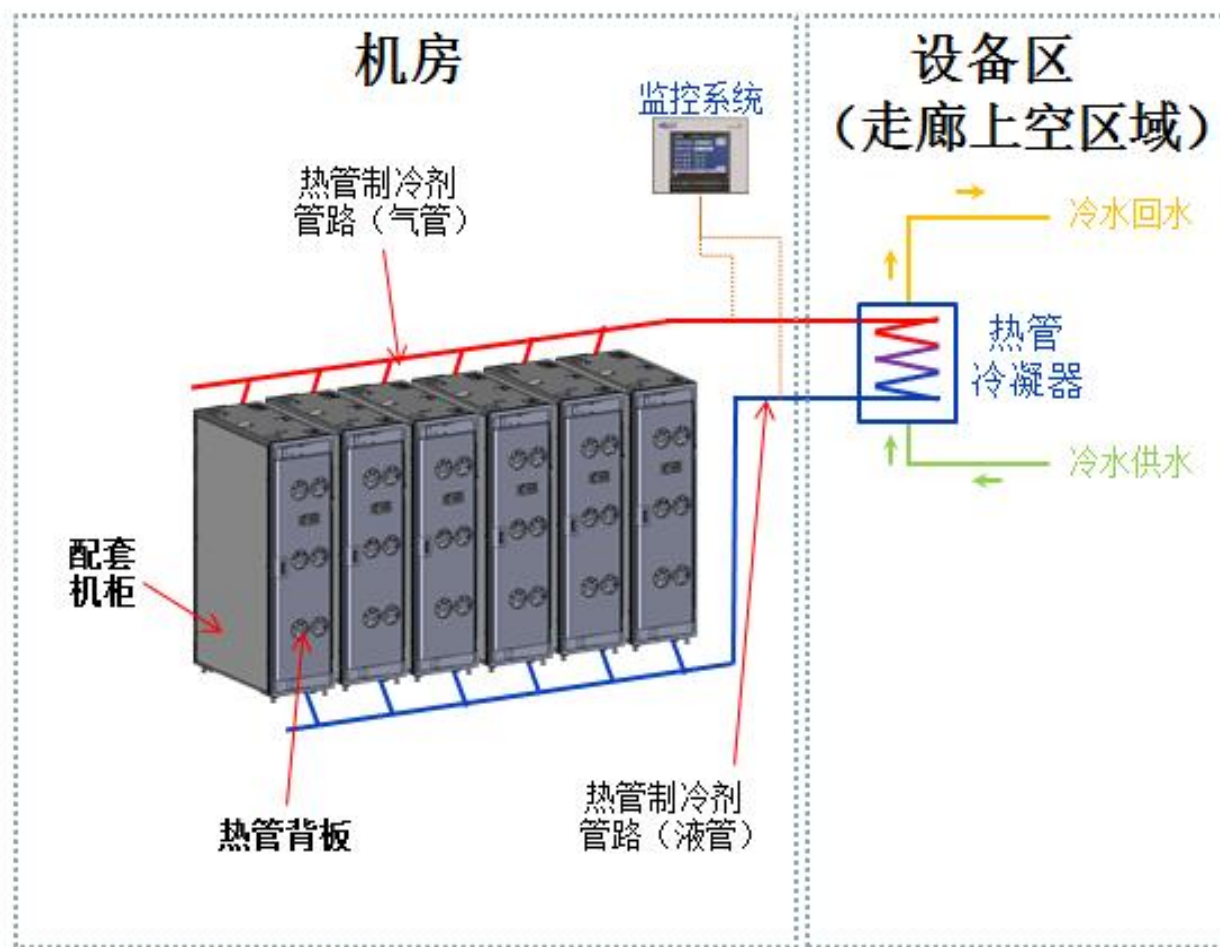
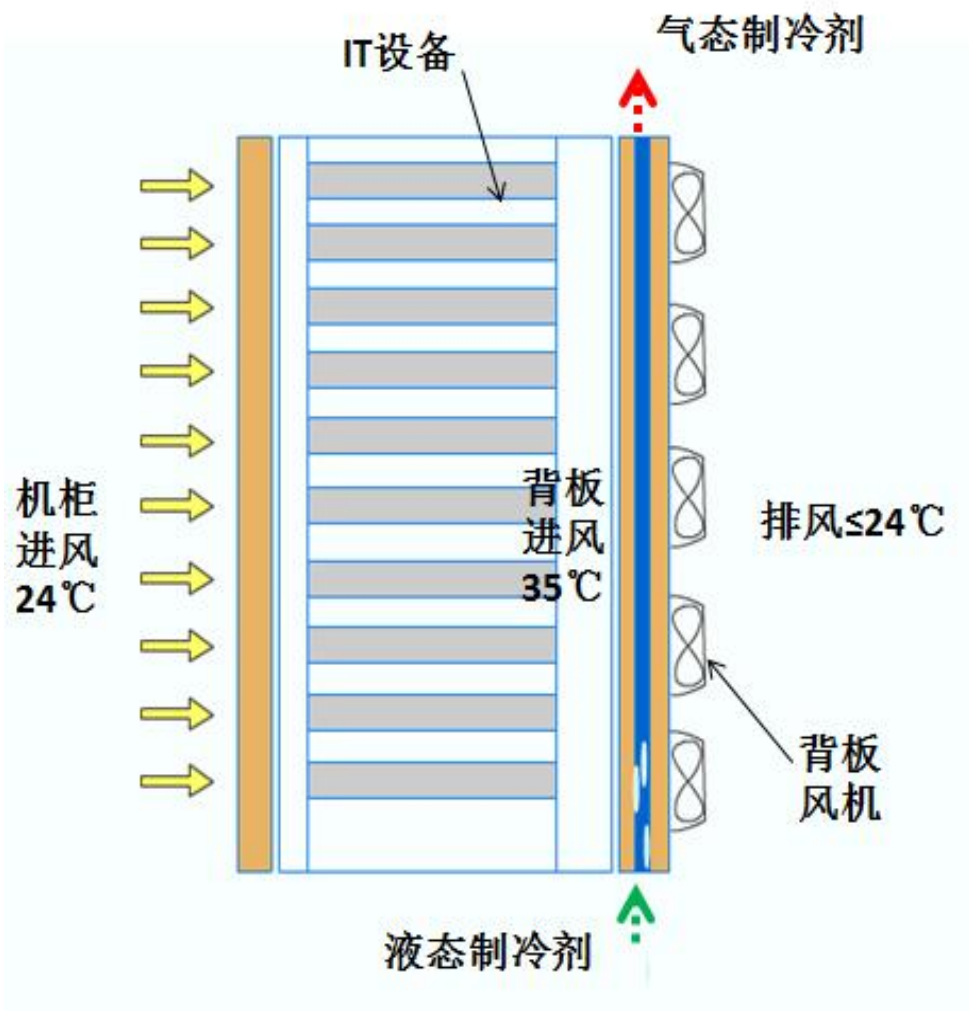


2.2、取热侧节能：液冷

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
[解码]
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

背板式空调



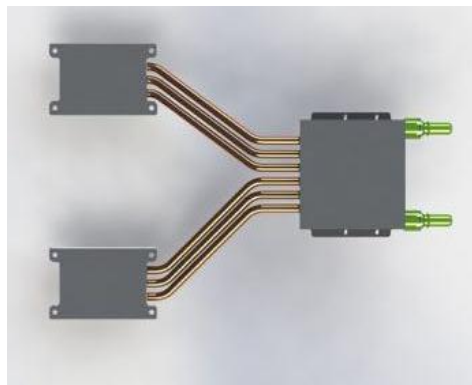
2.2、取热侧节能：液冷

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE [解码]
解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

冷板式液冷技术

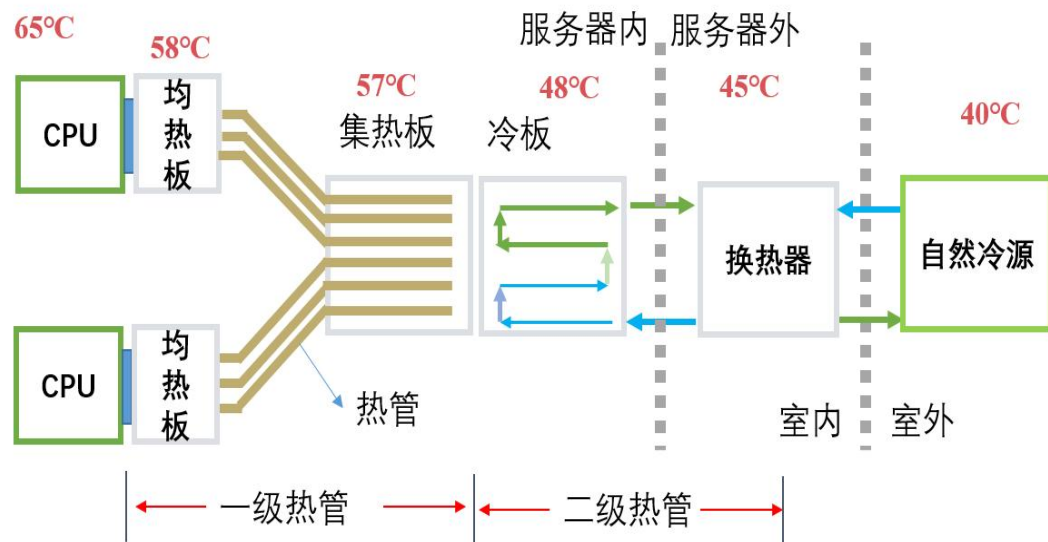
- “热点” 冷却
- 无/微动力传输
- 无水进机房
- 热电一体化设计



热管散热器



热管冷却服务器



基于液冷的双级回路热管自然冷却传热流程



机柜正面



机柜背面

2.2、取热侧节能：液冷

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE [解码] 解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT 可持续发展

单相浸没式液冷技术



- 传热效率高，流量小，输送能耗低
- 冷却温度提高，易于自然冷能利用
- 简化传热环节，可以不配冷机
- 有利于提升热回收温度

节能降耗



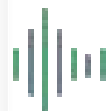
散热能耗降低80%-95%
IT设备能耗降低10%-20%

高功率密度



高功率密度适应未来的趋势
保护现有投资

静音低噪

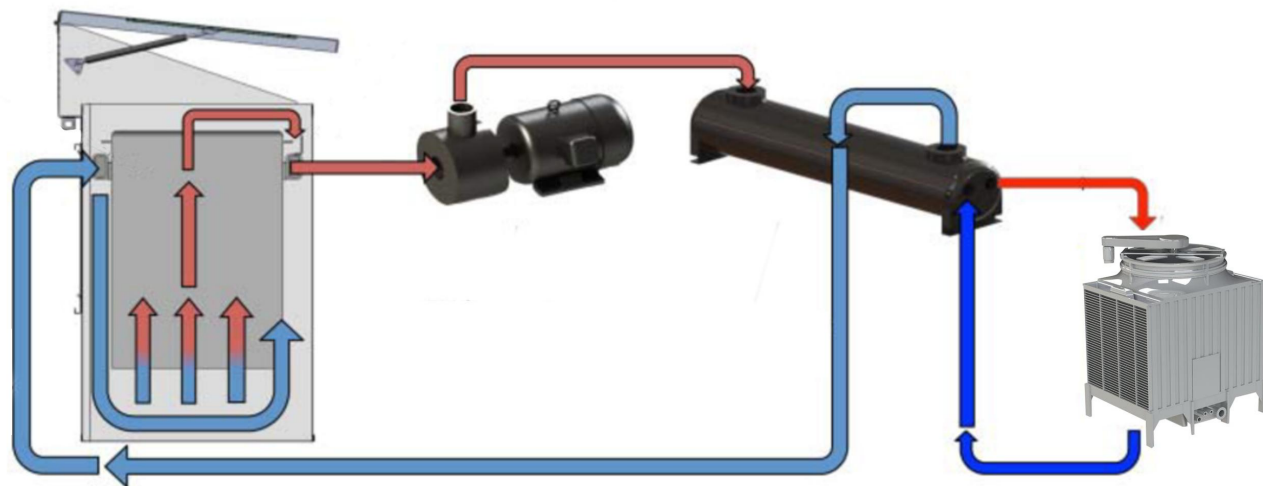


移除风扇减少最大噪音源
液冷机房音量测试<40dB

易于选址



机房选址要求低于传统机房
无需严寒气候可达到PUE1.1

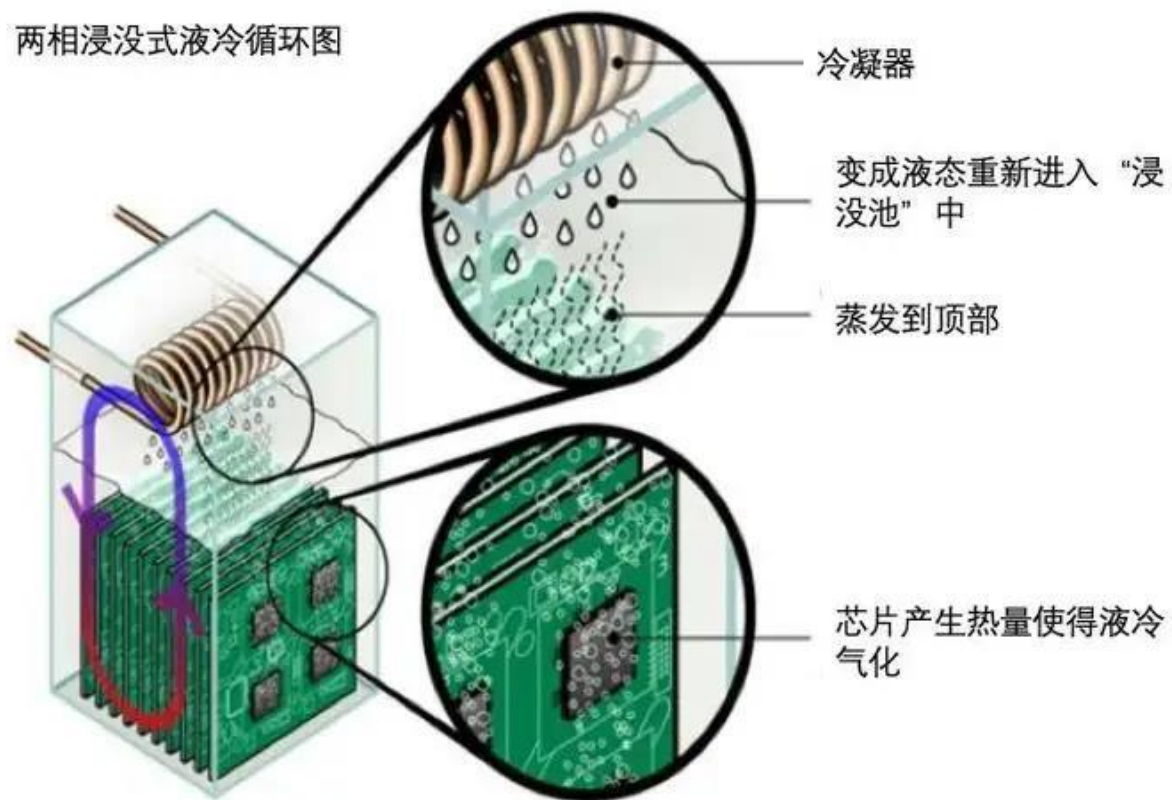
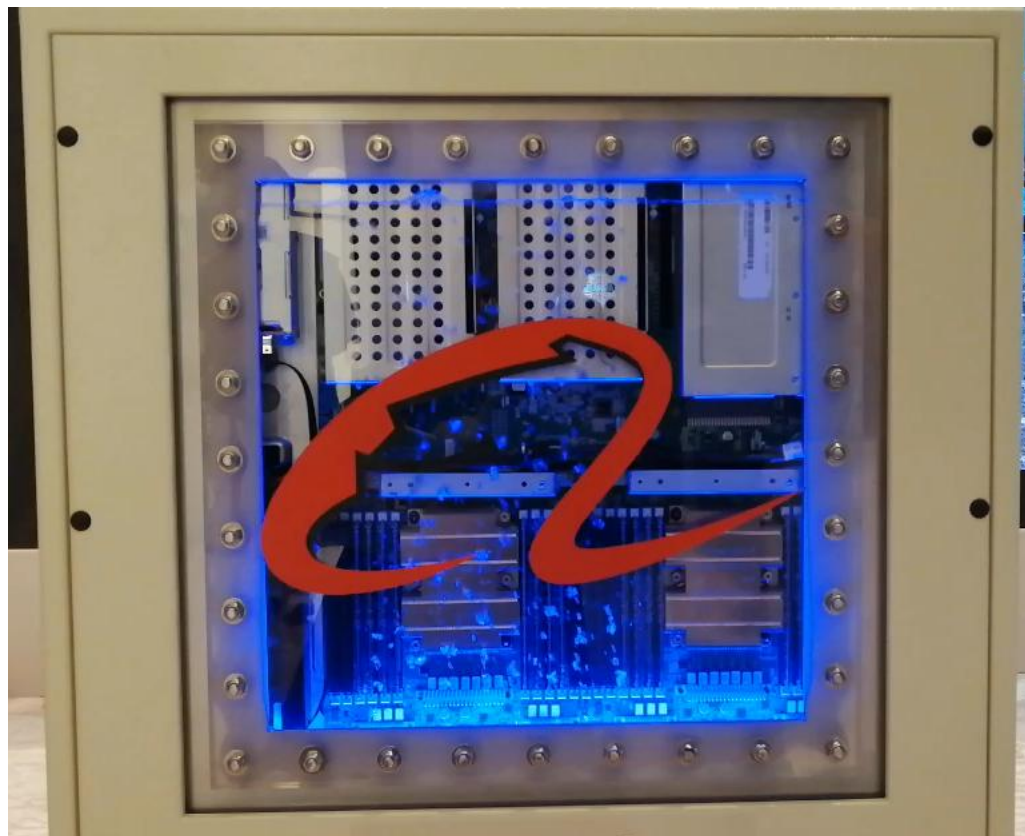


2.2、取热侧节能：液冷

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
[解码]
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

相变浸没式液冷技术



2.2、取热侧节能：液冷

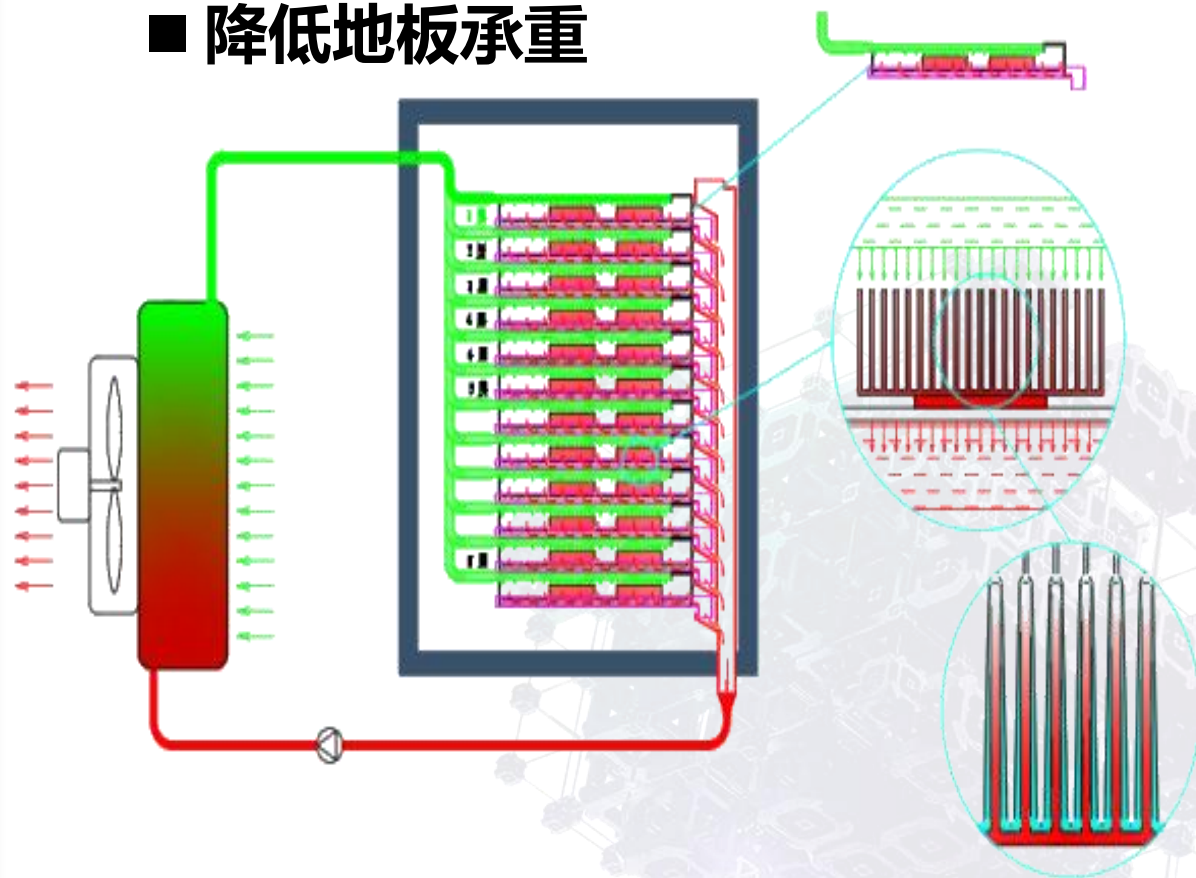
IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE [解码]
解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

喷淋式液冷技术



- 针对不同位置热流密度，精准喷淋
- 减少冷却液使用
- 降低地板承重

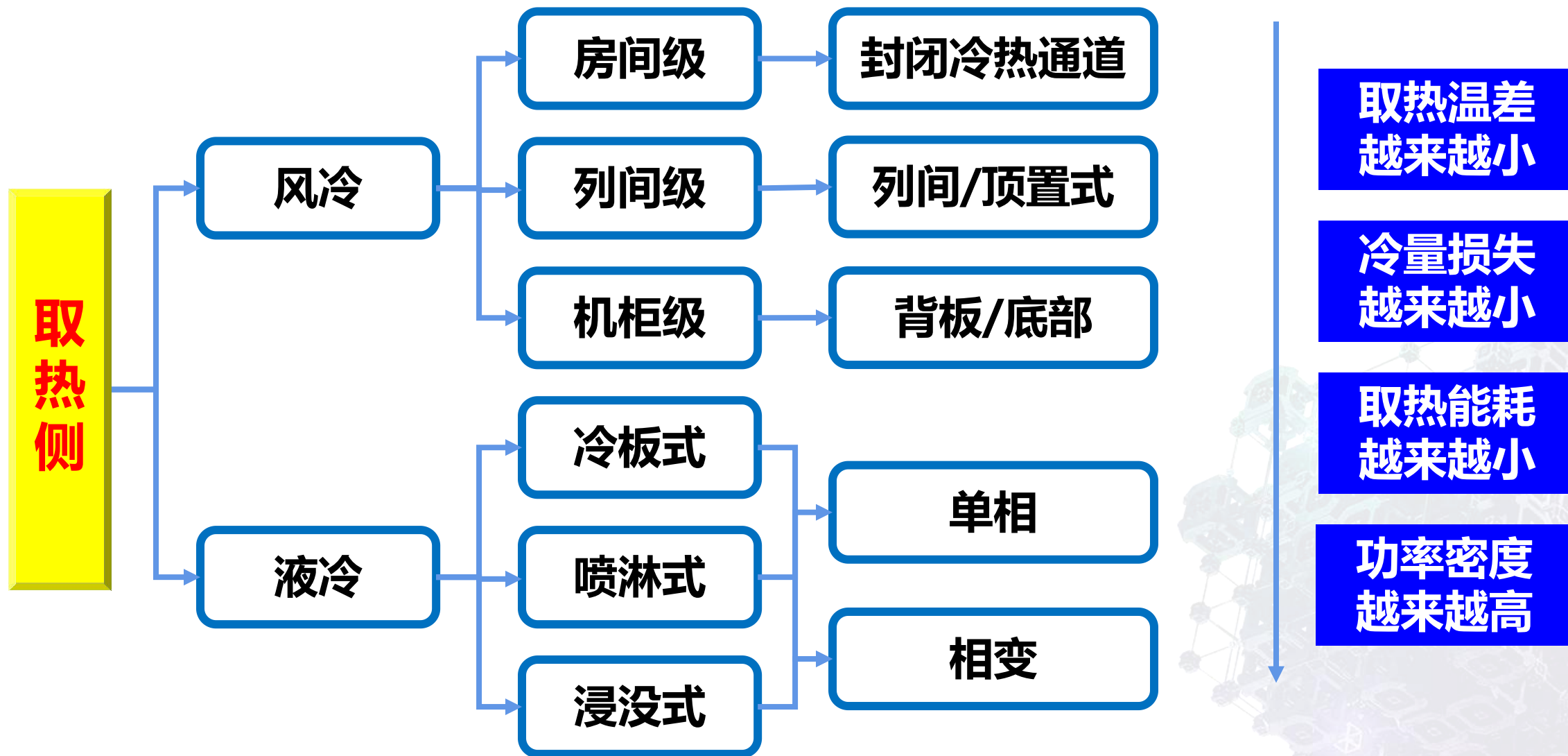


2.2、取热侧节能：液冷

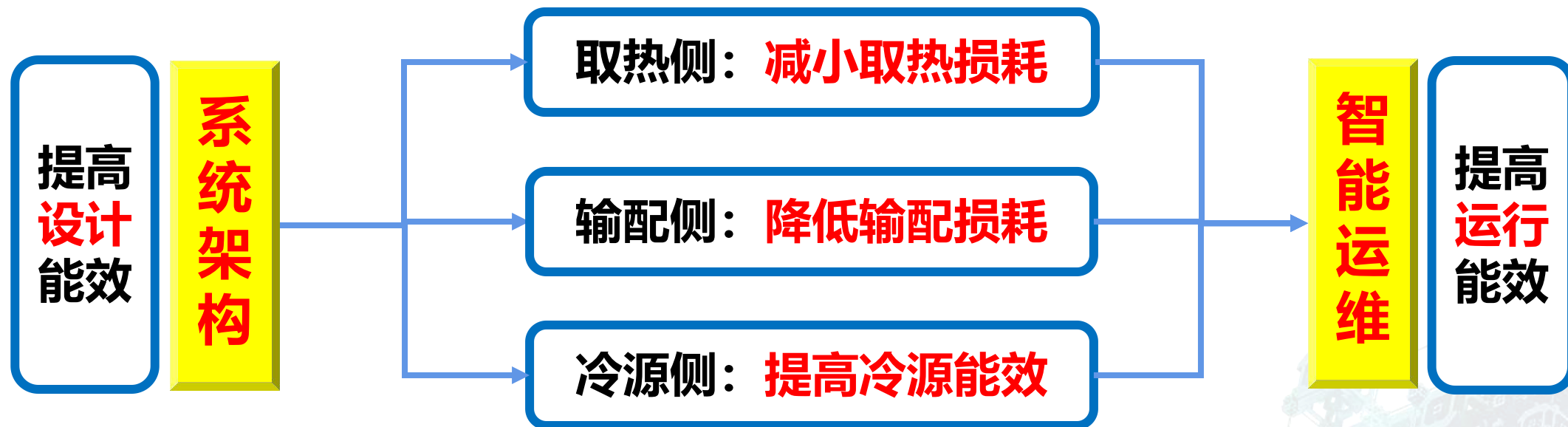
IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE [解码]
DECODING
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

数据中心散热（取热侧）发展进程



数据中心冷却系统节能减排技术路线



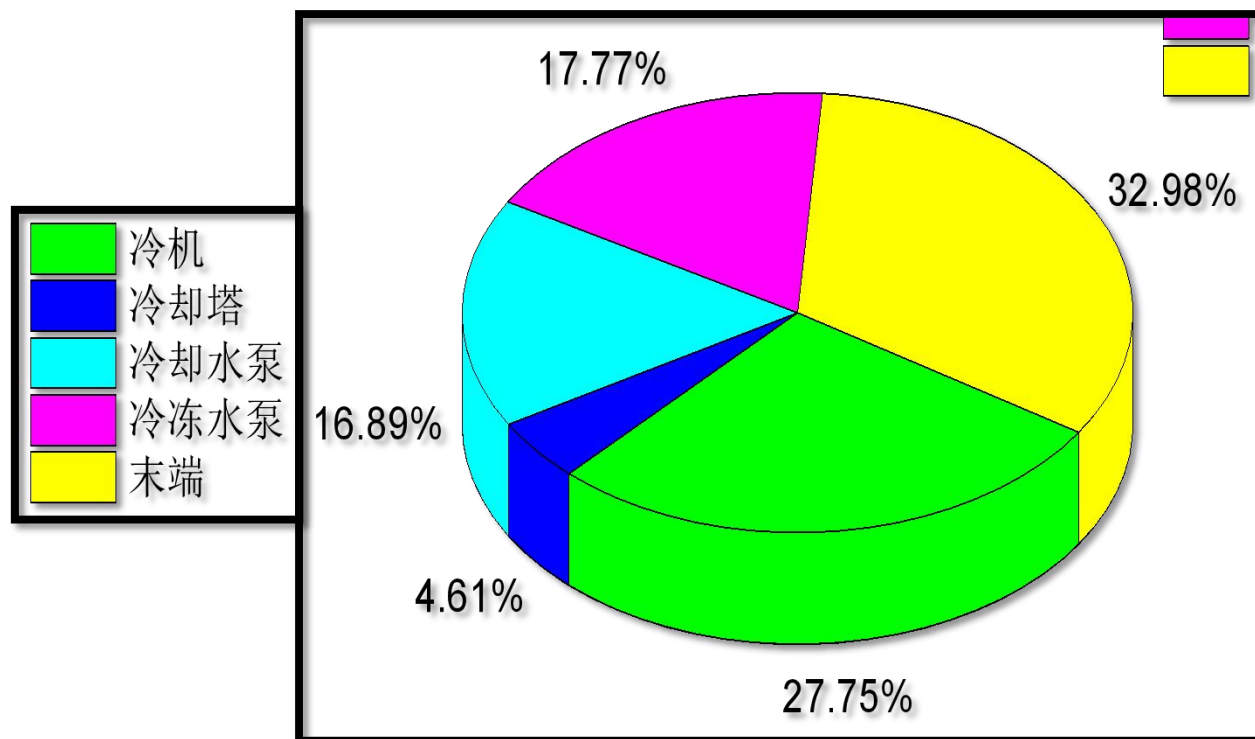
→ 延长高效自然冷源利用时间
→ 提高取热/输配/冷源的综合效率

2.3、输配侧节能

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE [解码]
DECODING
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

数据中心冷却系统能耗分布



输配系统能耗在数据中心全年能耗占比不断加大

2.3、输配侧节能:输配介质

传热介质

➤ 传热温差越大, 传热损失越大

➤ 流量越小, 输送能耗越小

$$Q = \dot{m}C_p(T_i - T_o)$$

$$Q = \dot{m}\Delta h$$

➤ 制冷剂粘度小于水, 并可利用
气液相密度差, 减小输送能耗 →
热管

$$P = \dot{m}\Delta H$$

➤ 密度越大, 需要管路直径越小,
节省空间

✓ 输运动力小

✓ 环保制冷剂替代

风、水、相变制冷剂

空气

→ 比热: $1.01\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$

→ 温差: 5°C

→ 冷量比: 5.05kJ/kg

水

→ 比热: $4.2\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$

→ 温差: 5°C

→ 冷量比: 21kJ/kg

制冷剂 (15°C 蒸发温度)

→ 温差: 0°C

→ R22: 192kJ/kg

→ R134a: 186kJ/kg

→ CO2: 176kJ/kg

制冷剂流量约为水的1/9

粘度

水:

→ 密度: 1000kg/m^3

→ 粘度: $1138\text{uPa} \cdot \text{s}$

R22:

→ 密度: 1229kg/m^3

→ 粘度: $183\text{uPa} \cdot \text{s}$

R134a:

→ 密度: 1243kg/m^3

→ 粘度: $221\text{uPa} \cdot \text{s}$

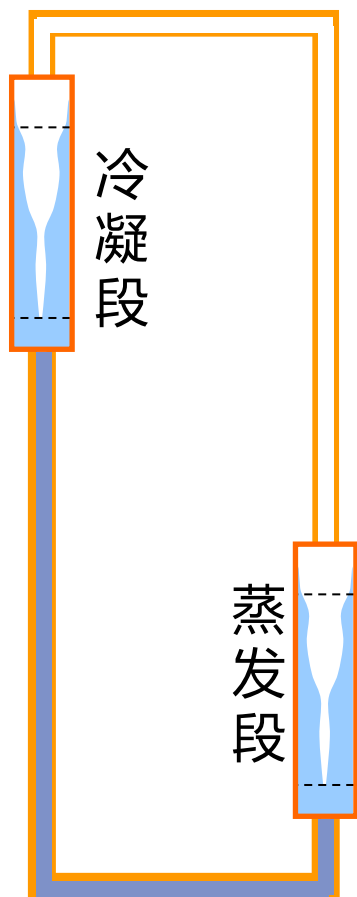
CO2:

→ 密度: 821kg/m^3

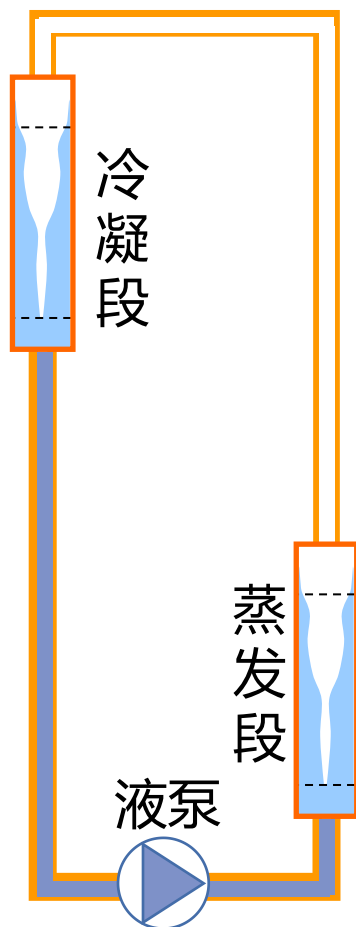
→ 粘度: $74\text{uPa} \cdot \text{s}$

制冷剂粘度远小于水

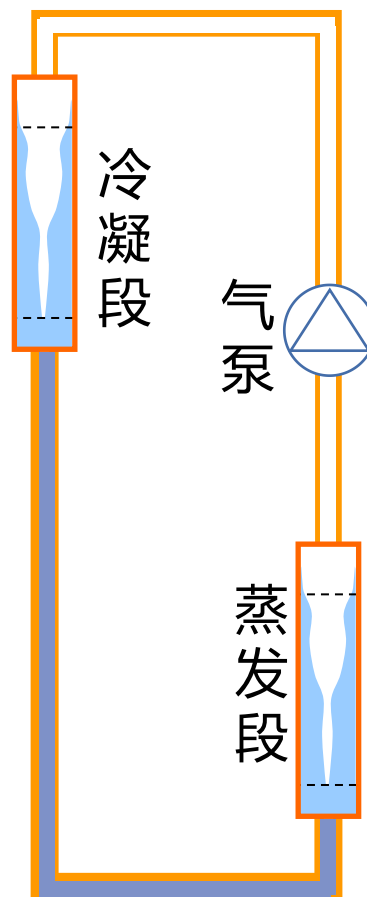
回路热管的三种方式



重力热管

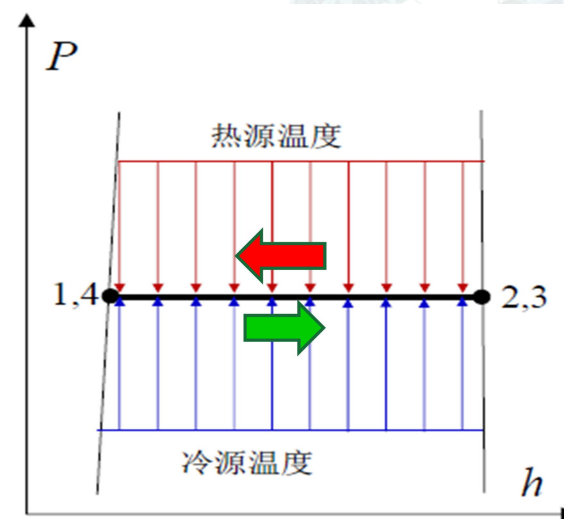


液泵热管



气泵热管

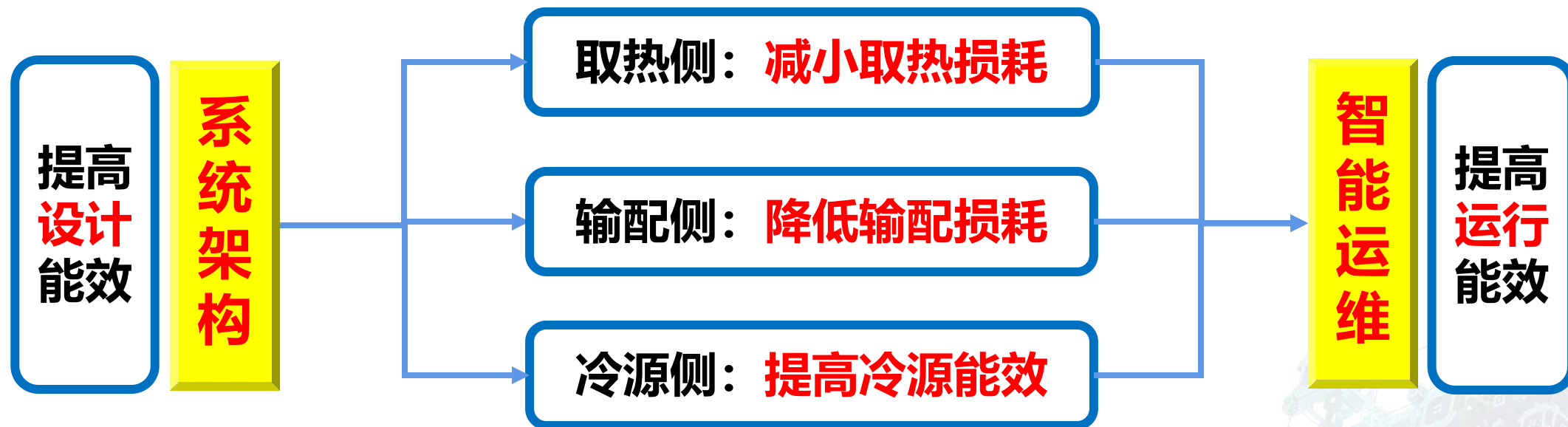
- 重力（自然循环）热管利用重力差以及密度差作为循环动力
- 液相（液泵驱动）热管利用液泵作为循环动力，需注意气蚀问题
- 气相（气泵驱动）热管利用气泵作为循环动力，需注意液击问题



✓ $T_e = T_c$

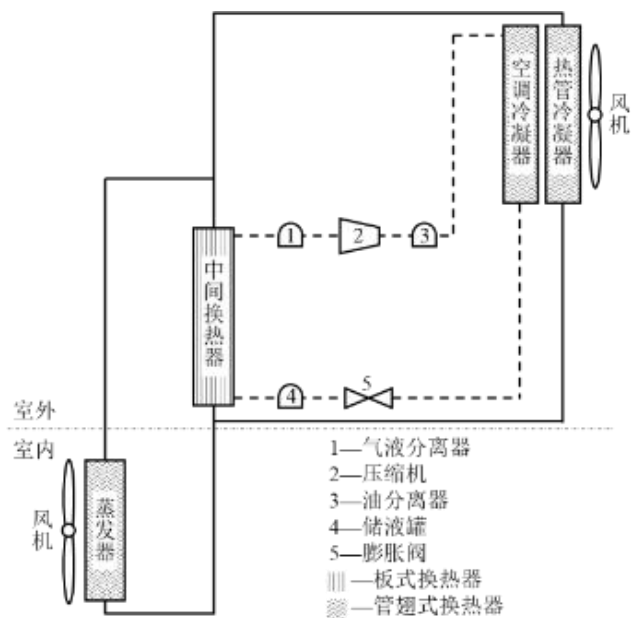
✓ 动力小

数据中心冷却系统节能减排技术路线

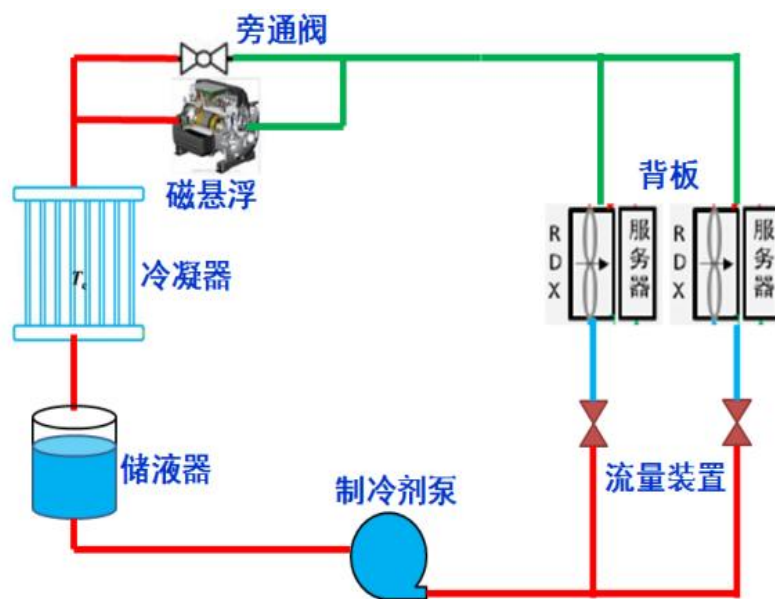


→ 延长高效自然冷源利用时间
→ 提高取热/输配/冷源的综合效率

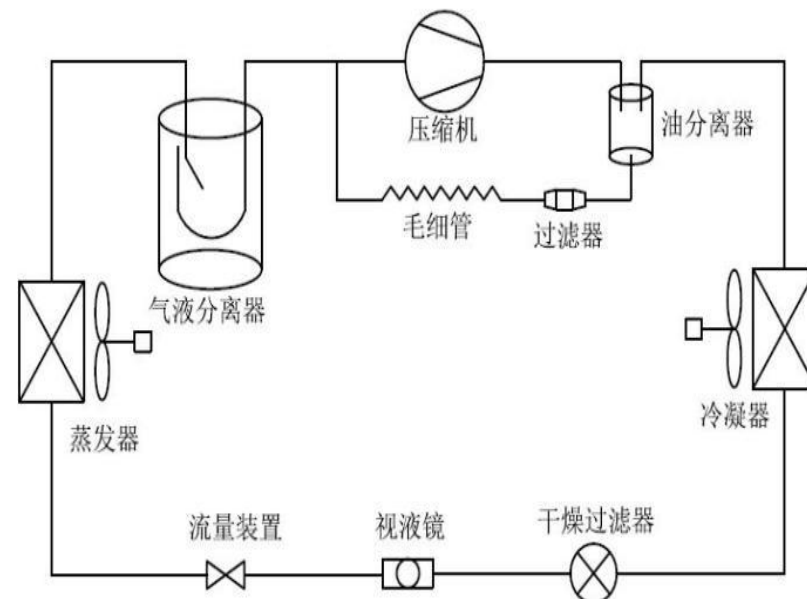
三种形式的一体化回路热管/制冷系统



重力热管



液泵热管



气泵热管

2.4、冷源侧节能:主动制冷+自然冷却

IDCC 2022

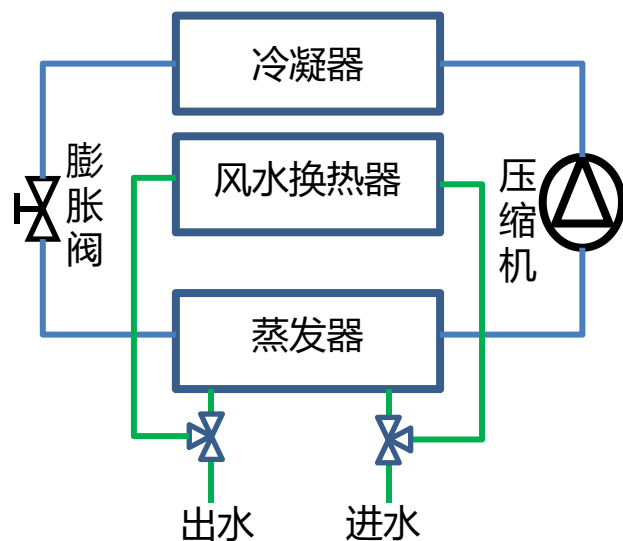
INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

风冷冷水机组
空气干球温度

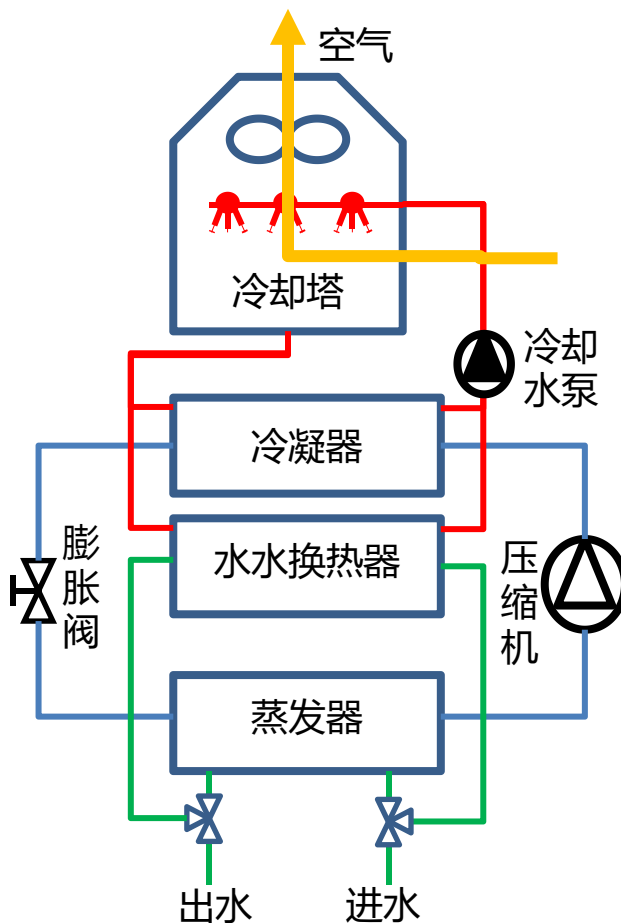
干球温度全年时长

湿球温度全年时长

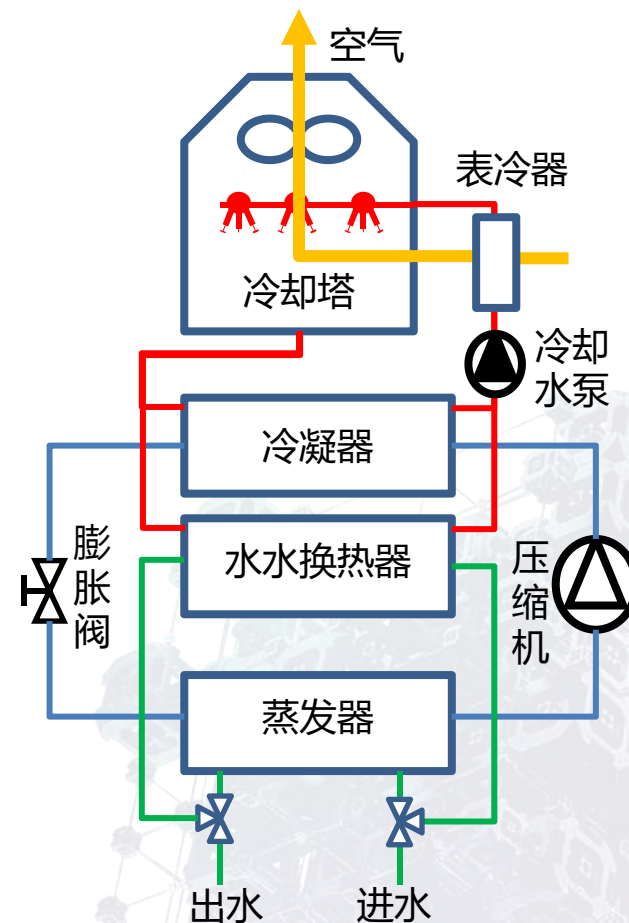
露点温度全年时长



冷机+直接蒸发冷却
空气湿球温度



冷机+间接蒸发冷却
空气露点温度



提高自然冷能利用率

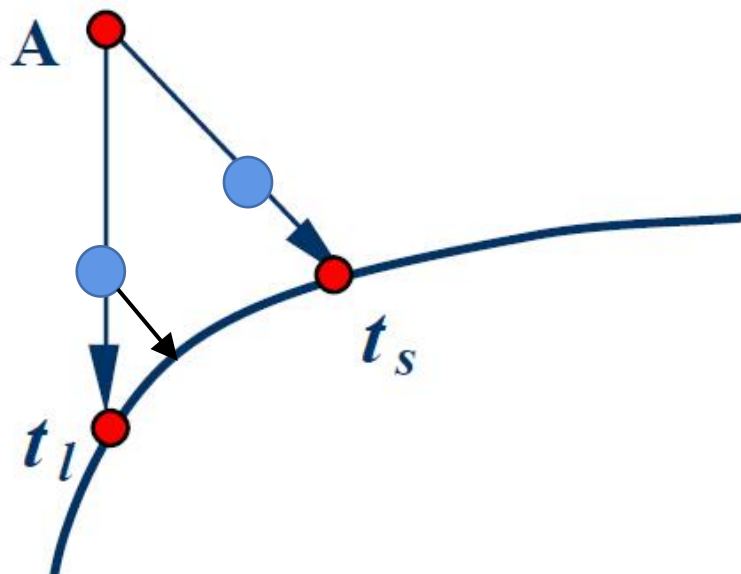
2.4、冷源侧节能:蒸发冷却

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE [解码]
DECODING
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

蒸发冷却：降低冷源温度

典型蒸发冷却传热过程



- 利用水的蒸发带走部分热量
- 直接蒸发冷却 (T_s) / 露点蒸发冷却 (T_l)
- 制取冷风、冷水或制冷剂(蒸发冷凝)



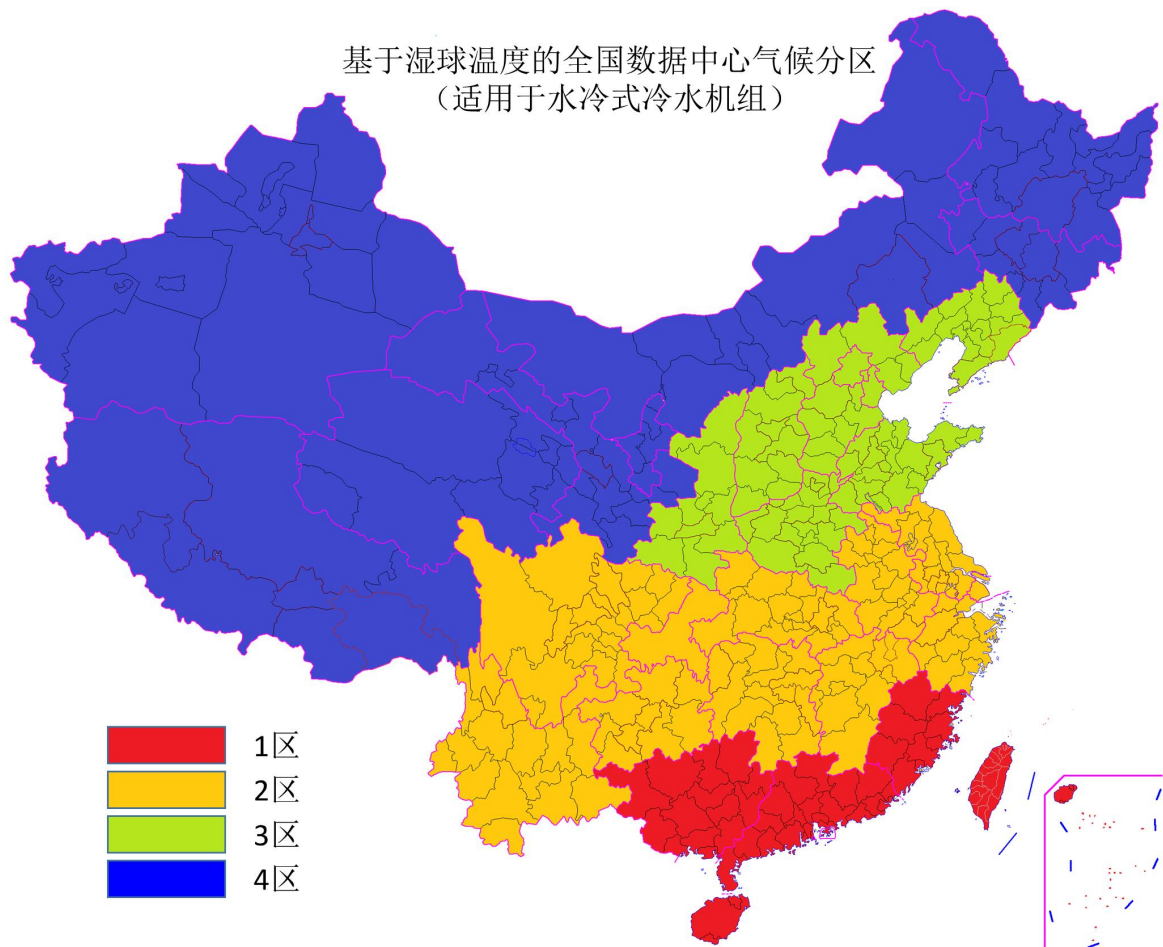
2.4、冷源侧节能:蒸发冷却

IDCC 2022

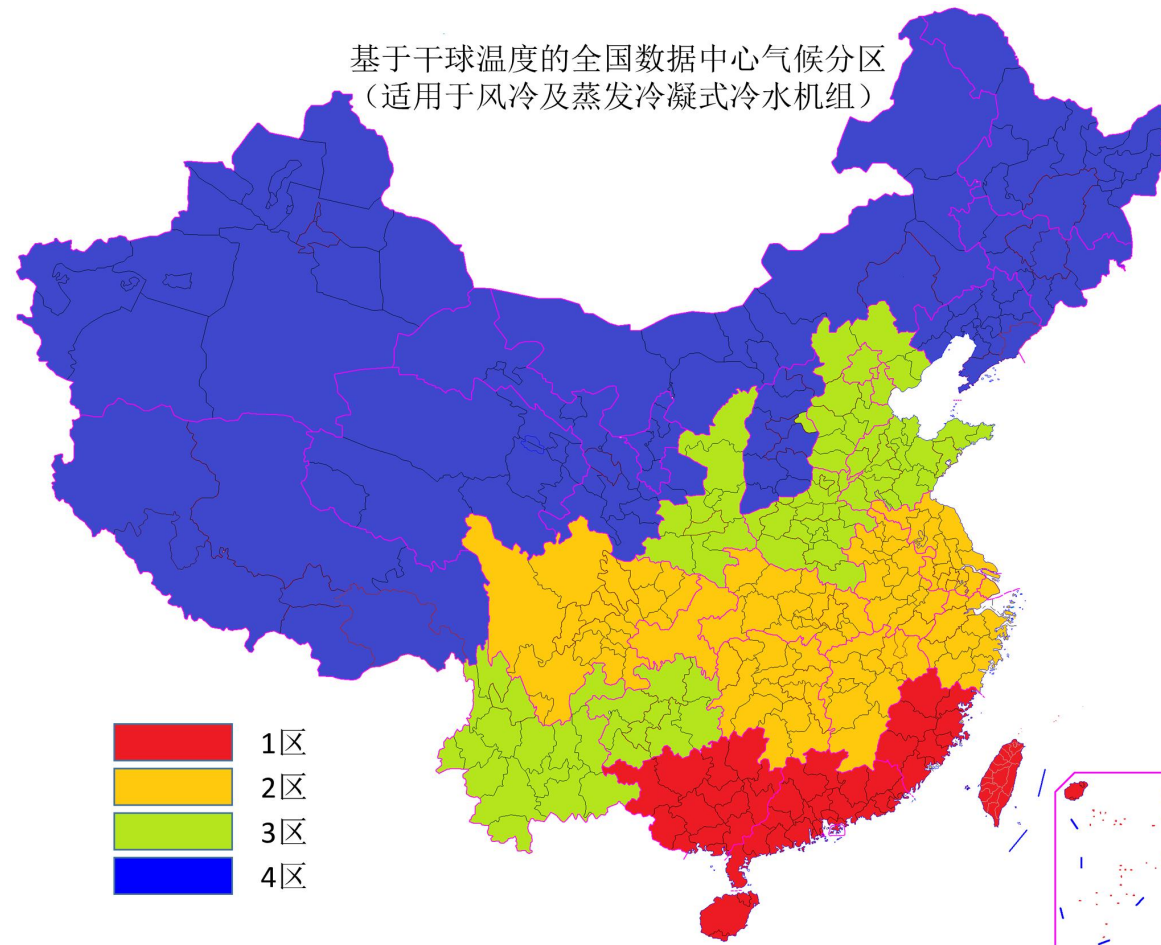
INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE [解码]
[DECODING]
[SUSTAINABLE
DEVELOPMENT]
可持续发展

蒸发冷却：降低冷源温度

基于湿球温度的全国数据中心气候分区
(适用于水冷式冷水机组)



基于干球温度的全国数据中心气候分区
(适用于风冷及蒸发冷凝式冷水机组)

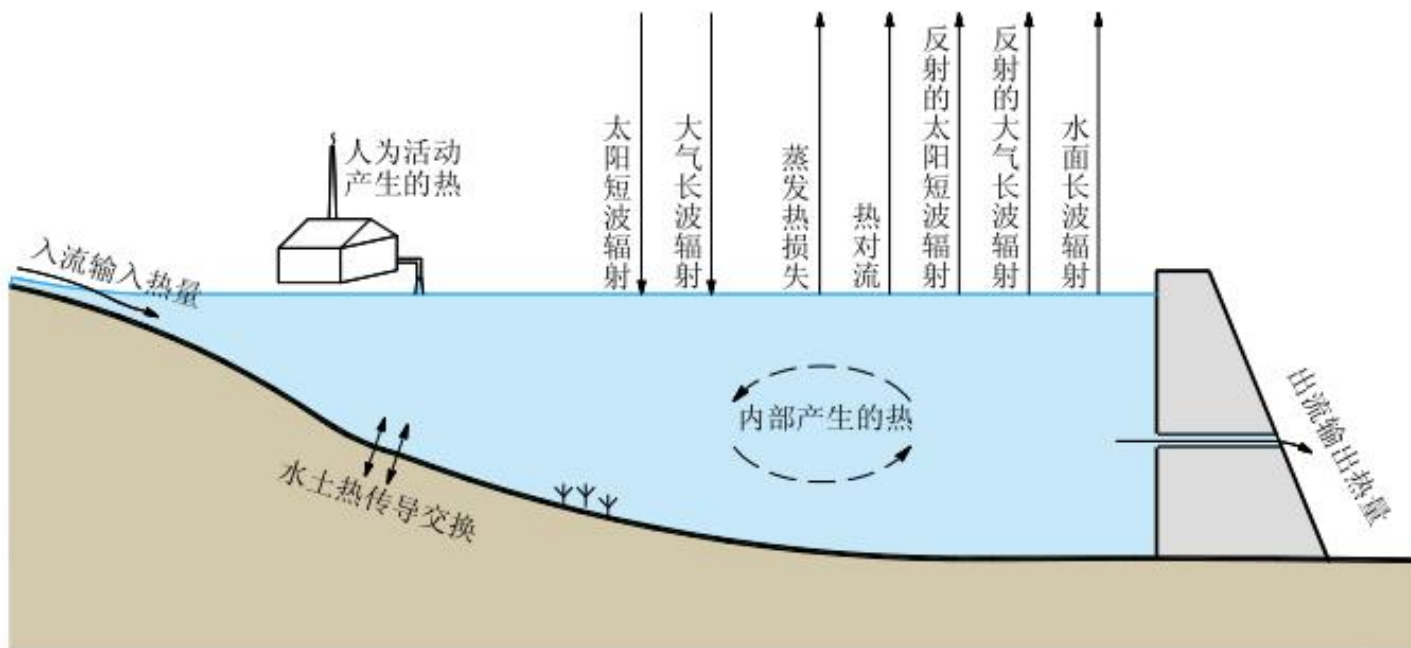


2.4、冷源侧节能:自然水源

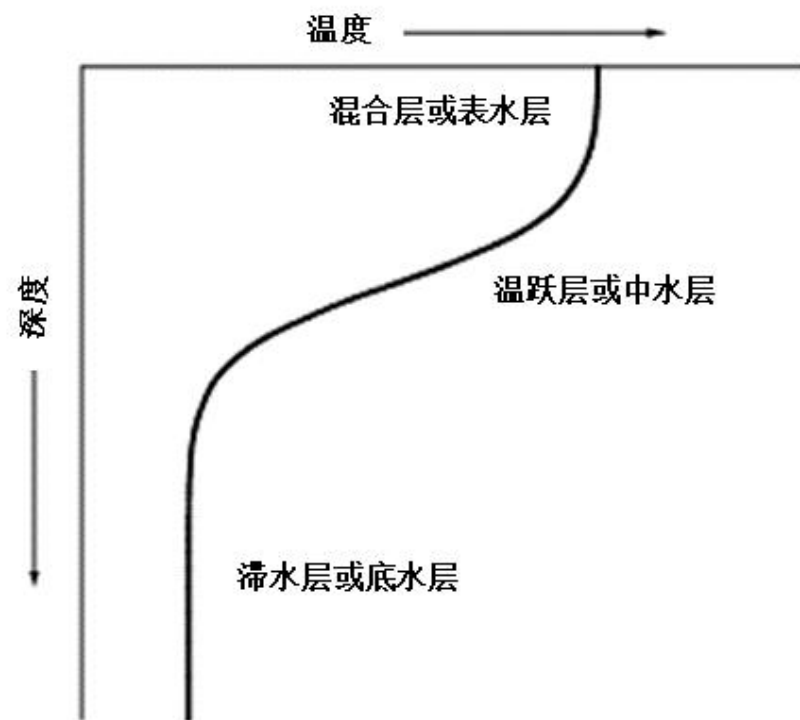
IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
DECODING
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

低温水源：降低冷源温度



水库水体与外界热量交换示意图



分层型水库垂向水温分布示意图

- 截至2005年年底，中国**30 m以上已建在建大坝共有 4860座**
- 截至2014年，我国已建和在建的大坝中**超过15 m的约23842座**

- 利用**低温自然水源**，实现数据中心冷却系统节能
- **接近水电站**，便于清洁能源利用，减少输电损失
- 接近人口密集区，**接近数据中心用户**
- 提升水库排水温度，有助于下游**生态修复**

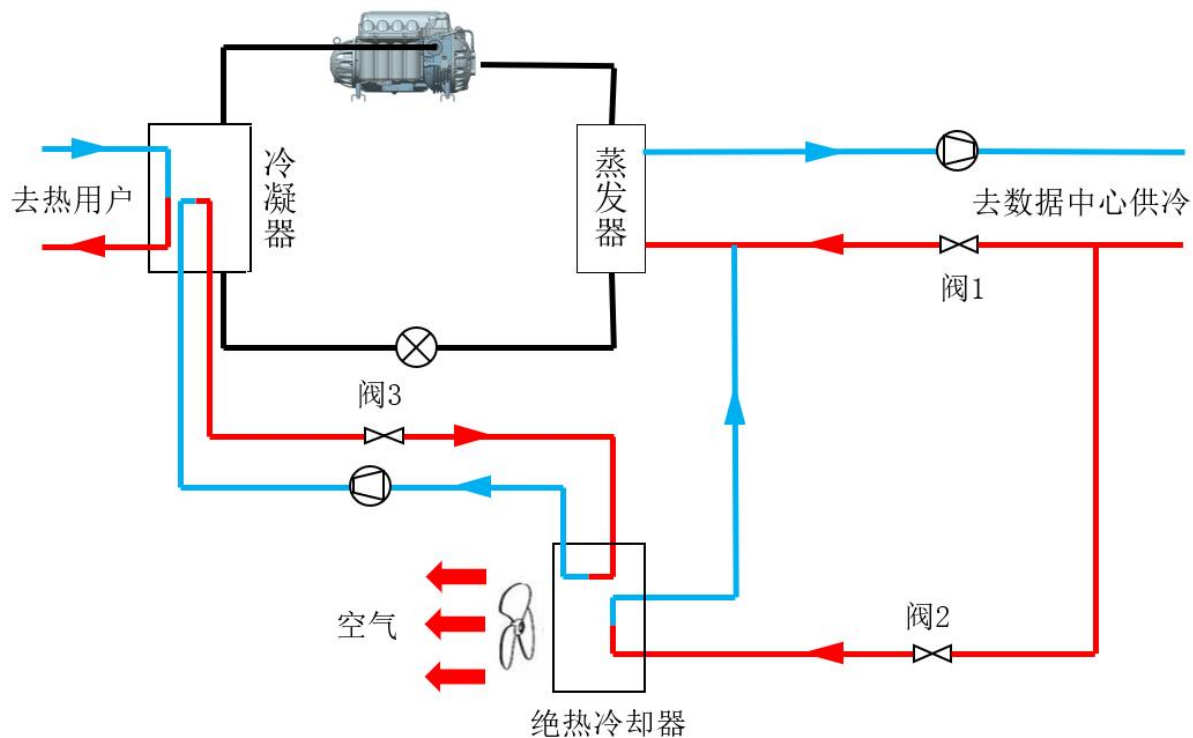
2.4、冷源侧节能:热回收

IDCC 2022

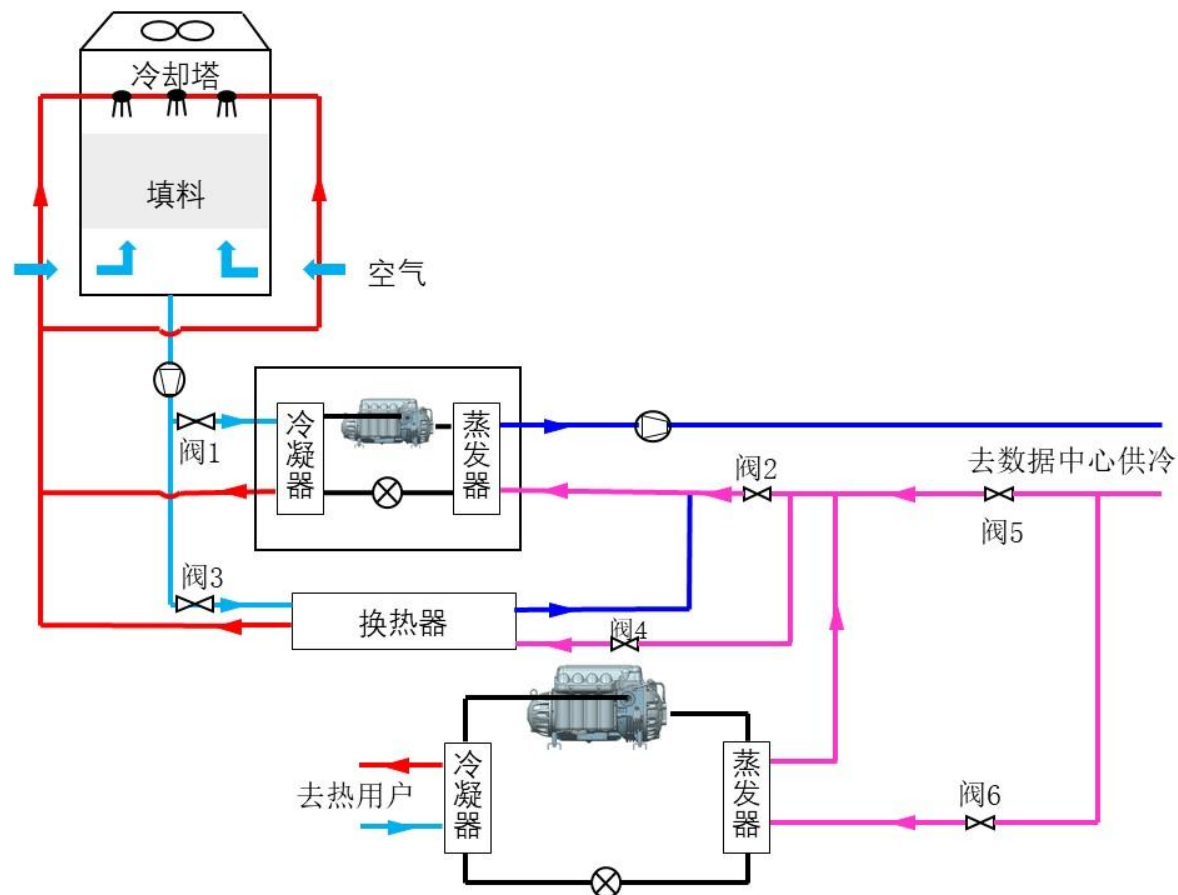
INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
[解码]
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

数据中心热回收

热泵热回收机组



制冷机组+热泵热回收



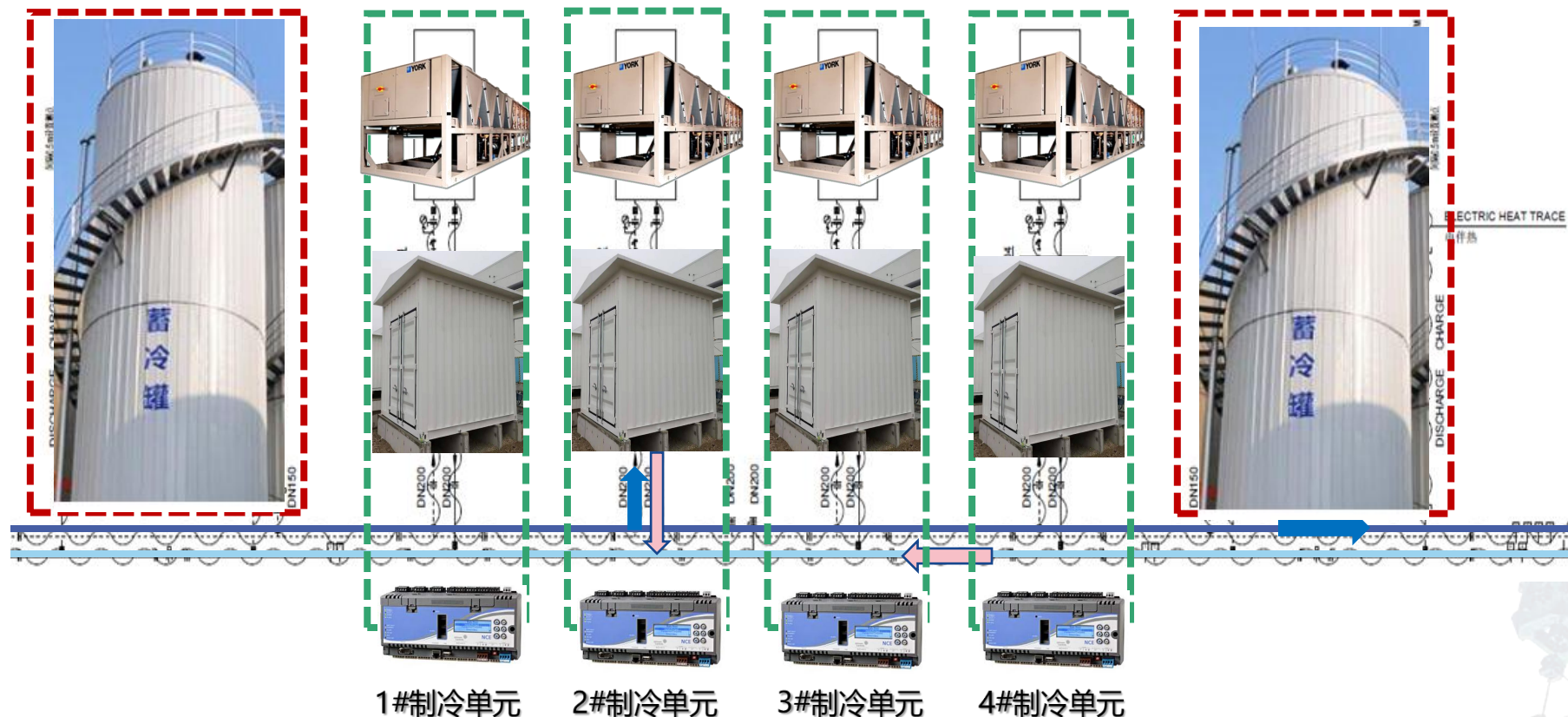
✓模式：主动制冷、自然冷却、热回收

2.4、冷源侧节能:蓄冷

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE [解码]
DECODING
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

数据中心蓄冷



- **增加蓄冷量**：提高数据中心冷却系统保障能力
- **用户侧蓄能**：提高电网可靠性、提高可再生能源利用率
- **分时电价**：降低运行成本

- ✓ 国家发展改革委印发《关于进一步完善分时电价机制的通知》，部署各地进一步完善分时电价机制
- ✓ 系统峰谷差率超过40%的地方，峰谷电价价差原则上不低于4:1，其他地方原则上不低于3:1

2.4、冷源侧节能:预制模块化

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE
解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

数据中心冷却系统预制模块化

冷源模块



冷冻模块



冷却模块



液冷模块



2.4、冷源侧节能

典型冷水机组/集成冷站全年性能

冷水机组/集成冷站	供水温度 ℃	ACOP			
		1区	2区	3区	4区
蒸发冷凝螺杆式冷水机组	16	6.14	6.95	7.47	8.76
风冷磁悬浮离心式冷水机组	12	4.67	6.05	6.83	9.20
水冷变频直驱离心式冷水机组	12	10.57	12.66	13.06	16.42
水冷磁悬浮离心式冷水机组	20	11.9	12.25	12.54	12.61
	16	10.23	10.85	11.21	11.88
	12	8.70	9.51	9.79	10.76
环保冷媒磁悬浮离心式冷水机组	20	11.93	12.61	13.08	14.07
	16	10.11	10.75	11.11	12.00
	12	8.43	9.04	9.20	9.84
极致安全系列磁悬浮冷水机组	20	11.09	11.86	12.34	13.93
	16	10.52	11.44	11.94	13.73
	12	9.00	10.05	10.29	11.66
模块化集成冷站1	15	7.38	10.00	12.28	16.94
模块化集成冷站2	17	8.01	10.53	12.55	16.00

2.4、冷源侧节能

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展



高效冷机

- 磁悬浮变频/水冷/风冷变频
- 快速启动
- 低冷却水温运行



高效的定制化末端

- EC风机
- 全新风/全回风
- 一体化控制系统



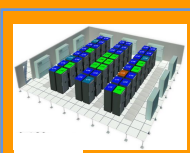
整装式冷站系统

- 预制化模块
- 一体式集成冷站
- 集成自控系统



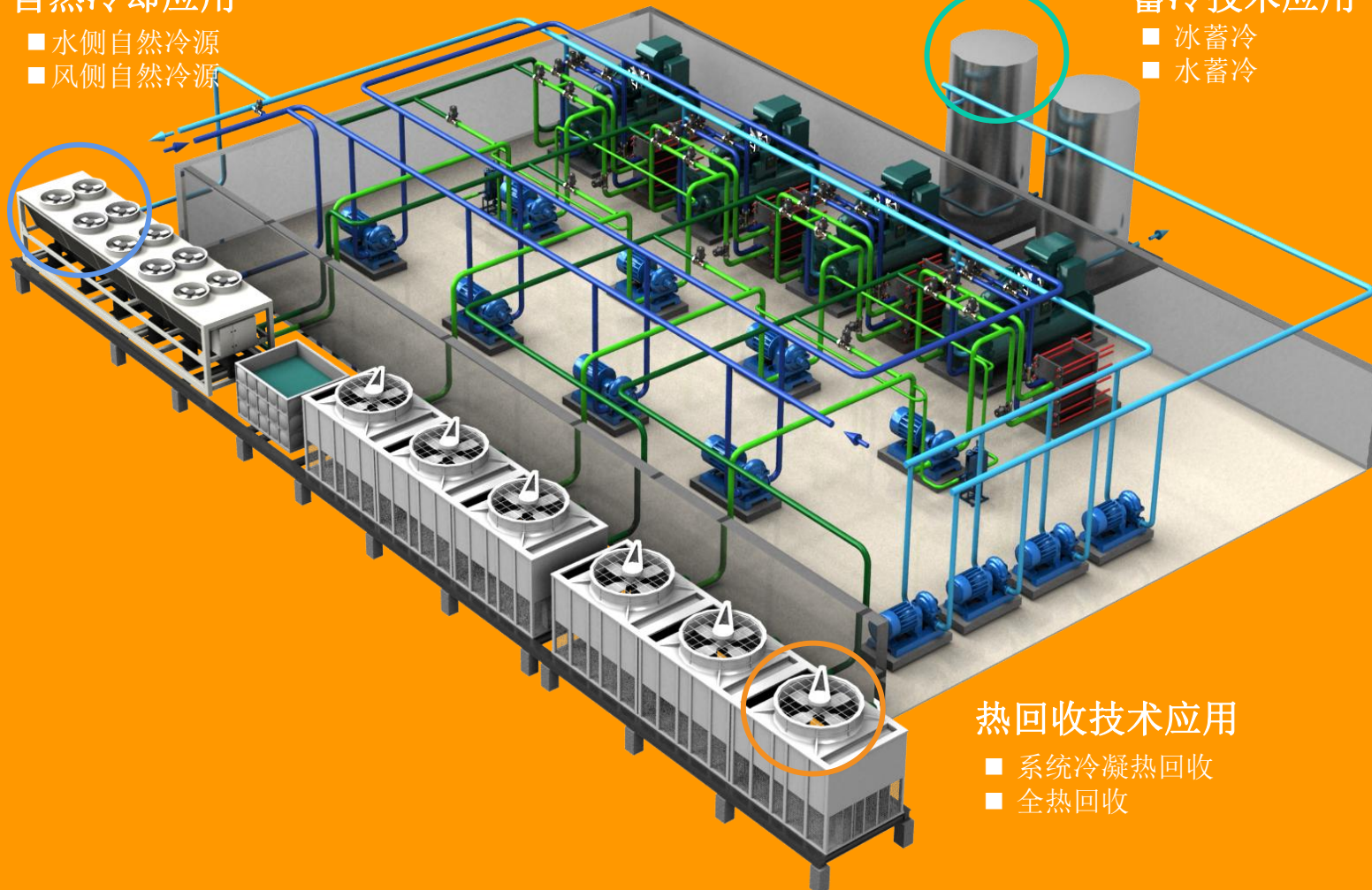
智能管理系统

- 全变频
- 自由冷却
- 冗余热备



自然冷却应用

- 水侧自然冷源
- 风侧自然冷源



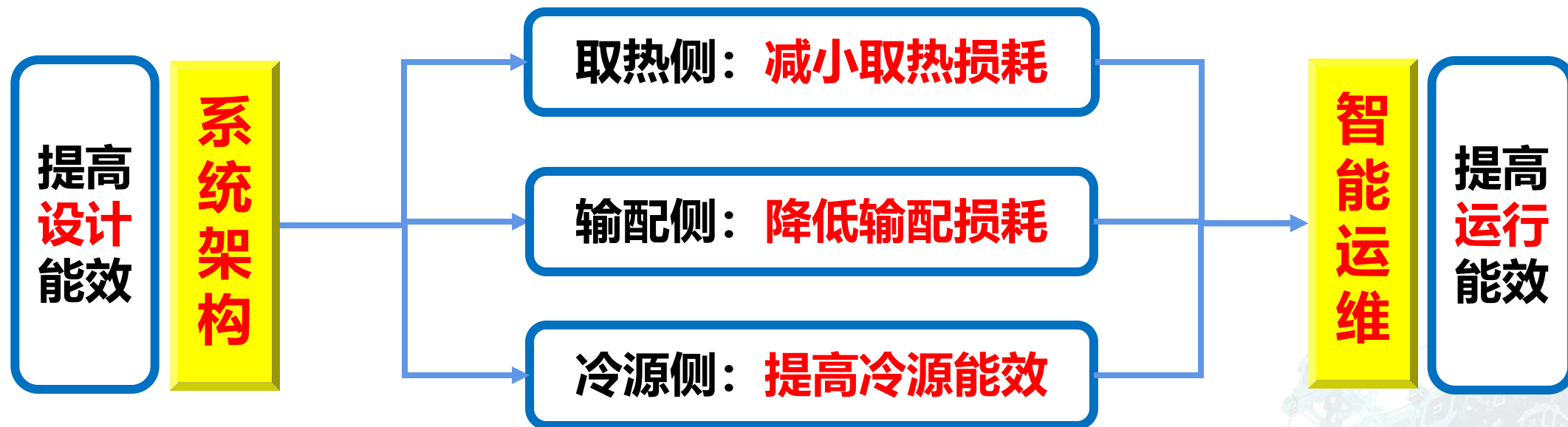
蓄冷技术应用

- 冰蓄冷
- 水蓄冷

热回收技术应用

- 系统冷凝热回收
- 全热回收

数据中心冷却系统节能减排技术路线



→ 延长高效自然冷源利用时间
→ 提高取热/输配/冷源的综合效率

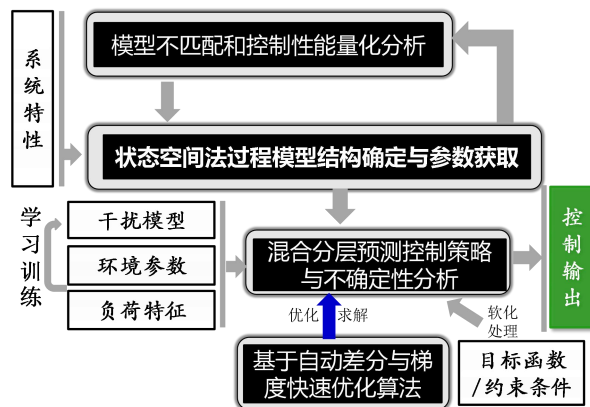
智能运维→运行节能

可靠

节能

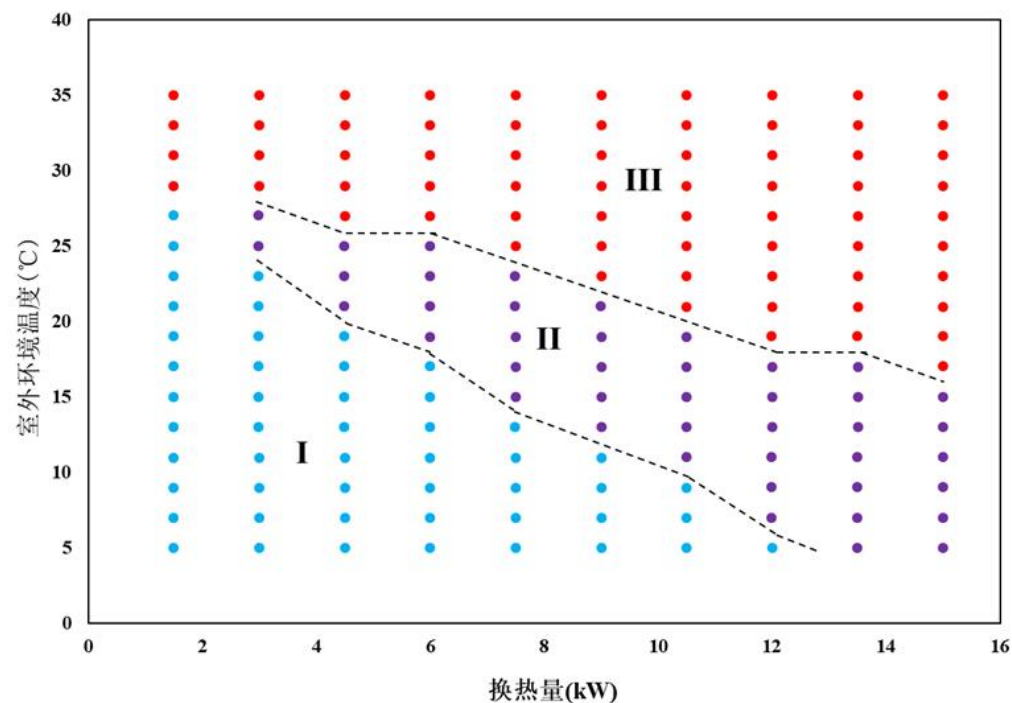


物联网数据监控

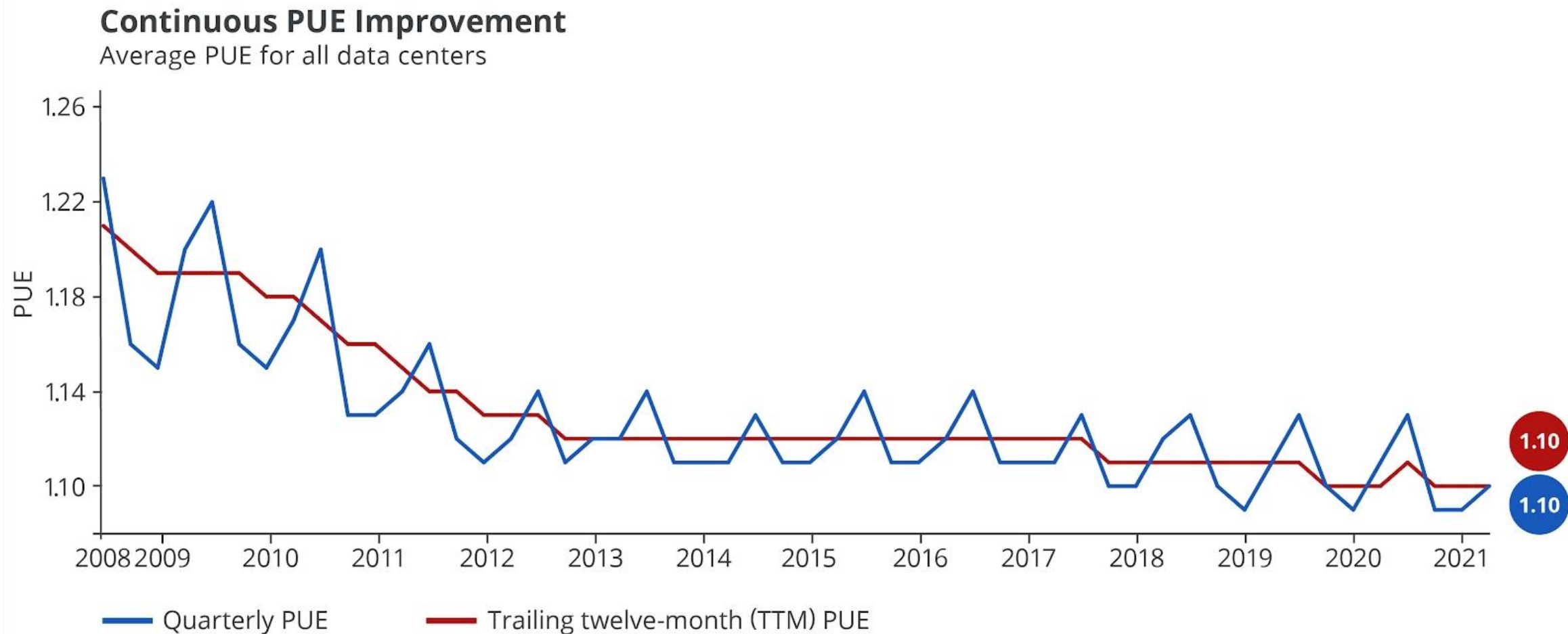


人工智能控制算法优化

- 全年运行模式控制
- 部分负荷节能策略
- 人工智能优化控制

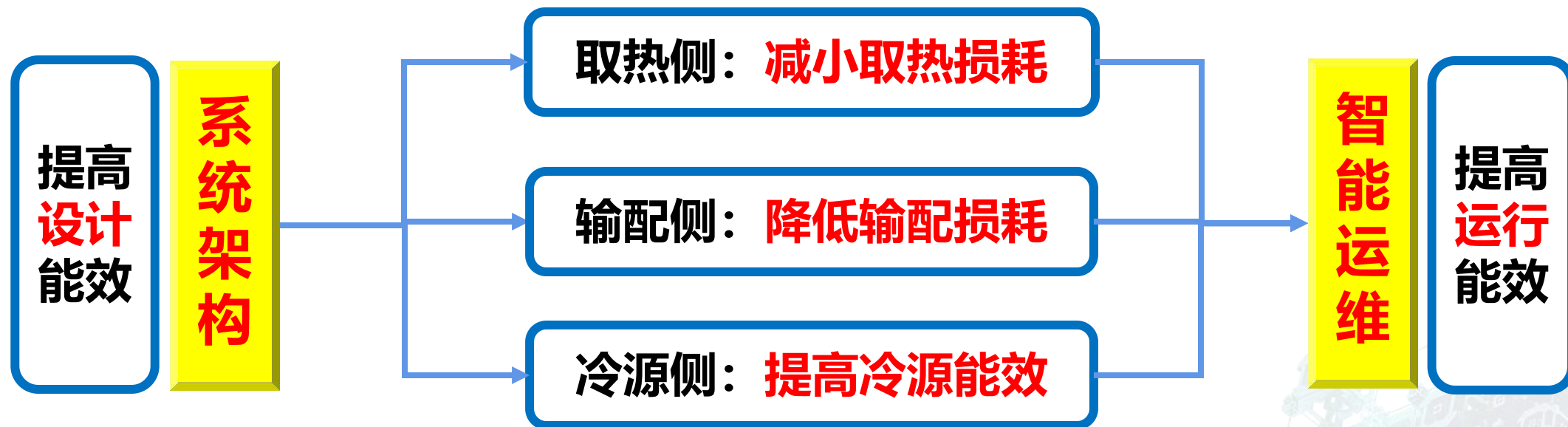


智能运维→运行节能



某公司所有大规模数据中心PUE变化

数据中心冷却系统节能减排技术路线



→ 延长高效自然冷源利用时间
→ 提高取热/输配/冷源的综合效率

3、总结与展望

液冷技术

- 高热流密度发展
- 冷却液研制
- 运行维护
- 流场与散热优化

智能运维

- 能效实时监测/评估
- 减少人工操作
- 自学习不断优化
- 设计节能→运行节能

热回收

- 低品位热源高效利用
- 与热用户匹配（输热损失）
- 跨季节蓄能
- 边缘计算（分布式供能）

预制模块化

- 集成冷站
- 微模块数据中心
- 集装箱数据中心
- 省时省地省电省钱

3、总结与展望

IDCC 2022

INTERNET
DATA
CENTER
CONFERENCE 解码
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
可持续发展

匹配需求的取热方式和取热温度提升

因地制宜的能源综合利用

基于全局优化的系统架构设计

基于人工智能的智慧运维



Thank you



邵双全
华中科技大学 教授
shaoshq@hust.edu.cn





第十七届中国IDC产业年度大典
The 17th China IDC Industry Annual Ceremony

IDCC 2022

INTERNET DATA CENTER CONFERENCE [解码] 可持续发展

DECODING
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT

第十七届中国IDC产业年度大典
The 17th China IDC Industry Annual Ceremony

THANKS

主办单位：中国IDC产业年度大典组委会

承办单位：中国IDC圈

支持单位：中国通信工业协会数据中心委员会、云计算发展与政策论坛用户委员会、
数字中国产业发展联盟、宁夏东数西算产融研究院

