



数据中心能效案例及节能运行

娄洁良

(中国电信股份有限公司上海分公司, 上海 200120)

摘要: PUE 值是衡量数据中心能源使用效率的关键指标。分析对比了两个数据中心案例的制冷效率、输冷效率、电能转换效率以及输能效率, 找出了两个数据中心 PUE 差异的原因。研究了数据中心节能运行的策略, 提出了控制制冷主机运行台数、降低冷却塔出水温度和提升冷冻水水温的 3 项措施。最后提出了在建设和运营数据中心时对于节能方面的建议。

关键词: PUE; 能效; 基础设施; 节能策略

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019036

Data center energy efficiency case and energy saving operation

LOU Jieliang

Shanghai Branch of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200120, China

Abstract: PUE value is the key indicator of energy efficiency in data center. Through the comparative analysis of refrigeration efficiency, cooling efficiency, energy conversion efficiency and energy transmission efficiency, the reasons for difference in PUE between two data center cases were found. Three measures on the strategy of energy-saving operation of data center were put forward, as to control the number of refrigerators, to reduce the temperature of cooling water and to raise the temperature of chilled water. Some inspirations on energy saving in the construction and operation of the data center were raised.

Key words: PUE, energy efficiency, infrastructure, energy saving strategy

1 引言

数据中心总用电由两部分组成, 分别为服务器等 IT 设备的用电和为保障其正常运行而消耗的基础设施用电。如果 IT 设备的用电恒定, 那么降低基础设施用电就可以提升数据中心电能的使用效率。因此当 PUE 被定义为数据中心总用电和 IT

设备用电的比值后, 就一直被业界用来衡量数据中心基础设施能效高低的关键指标。

上海地区 A 数据中心于 2016 年投产后服务器逐步上架, 2017 年起服务器负载趋于稳定。经过一年的测试, 2017 年 A 数据中心的平均 PUE (power usage effectiveness) 为 1.31, 明显低于同地区其他数据中心。本文试图通过与上海地区另一建设规模



相仿的 B 数据中心进行对比分析,找出 A 数据中心高能效的原因,并研究其节能运行策略,最终为数据中心的建设及运营提供节能方面的建议。

2 A 数据中心能效统计

上海地区 A 数据中心为地面两层建筑结构,建筑面积为 11 976 m²,按模块化模式建设,即在数据机房里安装若干个标准配置的模块化单元,模块化单元数量视数据中心规模而定。每个模块化单元包含服务器机柜、不间断电源供电机柜、制冷机柜、综合布线、监控管理单元,并组成封闭的冷热隔离通道。在机楼基础设施方面,建设统一的变配电、油机、冷冻站等,为模块化单元提供共享电源及冷源。A 数据中心共安装有 I 型模块化单元 42 个,II 型模块化单元 20 个,共计 996 个服务器机柜。每个模块化单元含有 240 V 直流供电系统一套,冷冻水列间空调 6 台(I 型模块化单元)/4 台(II 型模块化单元),服务器机柜 18 台(I 型模块化单元)/12 台(II 型模块化单元),监控管理单元一套以及综合布线系统。服务器机柜功率按 6 kW/架设计,采用“一路 240 V 直流+一路市电直供”的互为备份供电方式,制冷则采用本单元内封闭冷通道进行正面送风,背面出风方式。

为了给 62 个模块化单元供电供冷,A 数据中心配置了相应规模的变配电系统、油机系统、冷冻水冷源系统,配置情况见表 1。

经统计,2017 年每月的机楼总用电及服务器用电、PUE 值以及月平均气温见表 2。

从表 2 看出,2017 年机楼服务器用电功率基本稳定在 4 900~5 300 kW,机楼总用电功率则随气温的变化而变化,在夏季高温天达到最大,为 7 292 kW,全年机楼 PUE 为 1.31。为了进一步分析 PUE 的构成,表 3、表 4 分别将各类设备用电对机楼 PUE 的贡献度做了细分。

从表 3 和表 4 看出,冷源设备对机楼 PUE 的贡献度最大,并且随着季节的变化波动相对较大,而其他设备对机楼 PUE 的贡献度相对较小且几乎全年不变。

3 B 数据中心能效统计

B 数据中心为地面三层地下一层建筑结构,建筑面积 13 235 m²,4 个数据机房内安装有 1 600 个服务器机柜,2 个电力室内安装有 44 台 400 kVA UPS,负责对服务器机柜供电,数据机房两侧的空调室内安装有 74 台冷冻水型精密空调,负责对服务器进行制冷。服务器机柜功率按 4 kW/架设计,采用双路 UPS 供电方式,制冷方式为封闭冷通道,冷风通过架空地板下送风进入冷池后对服务器正面送风,背面出风。

在机楼供电及冷源的基础设施方面,B 数据中心的配置情况见表 5。

2017 年每月的机楼总用电及服务器用电、PUE 值统计结果见表 6。

表 1 A 数据中心基础设施配置情况

基础设施设备	单台设备规格	数量	备注
变压器	2 500 kVA	8	成对,互为备用
油机	2 000 kW	5	
制冷主机	800 冷吨	共 6 台,每 2 台冷机组成 1 个独立冷源,3 个冷源用 2 备 1	离心变频控制,冷源一、冷源二分别供冷区域一、区域二,冷源三可供冷区域一和区域二
冷冻泵/冷却泵/冷却塔		4 主 2 备/4 主 2 备/6 台	变频控制

表2 2017年A数据中心每月用电量及PUE统计

月份	机楼总用电量/ kW·h	机楼总功率/kW	服务器用电量/ kW·h	服务器用电功率/kW	机楼平均 PUE	平均气温/℃
1 月	4 554 689	6 326	3 609 401	5 013	1.262	7.5
2 月	4 746 577	6 592	3 664 101	5 089	1.295	7.5
3 月	4 287 052	5 954	3 315 649	4 605	1.293	11.0
4 月	4 641 619	6 446	3 578 638	4 970	1.297	18.0
5 月	4 639 236	6 443	3 506 020	4 869	1.323	22.8
6 月	5 108 207	7 094	3 930 300	5 458	1.300	24.5
7 月	4 868 556	6 761	3 605 462	5 007	1.350	32.5
8 月	5 250 540	7 292	3 825 635	5 313	1.373	30.5
9 月	5 062 284	7 030	3 772 552	5 239	1.342	25.5
10 月	4 774 281	6 630	3 651 601	5 071	1.307	19.5
11 月	4 743 216	6 587	3 662 755	5 087	1.295	14.2
12 月	4 858 240	6 747	3 811 706	5 294	1.275	7.9
全年	57 534 497	—	43 933 820	—	1.310	

表3 2017年1—6月A数据中心各设备用电对机楼PUE贡献度

序号	用电设备	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
1	服务器	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	冷源	0.143	0.152	0.183	0.173	0.190	0.193
2.1	制冷主机及辅助设备	0.104	0.117	0.148	0.140	0.150	0.145
2.2	冷冻泵	0.019	0.018	0.019	0.017	0.020	0.020
2.3	冷却泵	0.012	0.011	0.011	0.010	0.011	0.013
2.4	冷却塔	0.008	0.006	0.005	0.006	0.009	0.015
3	240 V 直流设备	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
4	列间空调	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
5	变压器损耗	0.022	0.026	0.025	0.028	0.020	0.018
6	照明线损等杂项	0.030	0.050	0.018	0.028	0.046	0.021



表 4 2017 年 7—12 月 A 数据中心各设备用电对机楼 PUE 贡献度

序号	用电设备	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
1	服务器	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	冷源	0.248	0.262	0.234	0.200	0.167	0.150	0.191
2.1	制冷主机及辅助设备	0.198	0.201	0.170	0.146	0.128	0.114	0.147
2.2	冷冻泵	0.020	0.022	0.022	0.021	0.018	0.017	0.019
2.3	冷却泵	0.017	0.019	0.019	0.019	0.016	0.015	0.014
2.4	冷却塔	0.013	0.020	0.023	0.014	0.005	0.004	0.011
3	240 V 直流设备	0.033	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
4	列间空调	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.034
5	变压器损耗	0.017	0.025	0.026	0.026	0.024	0.022	0.023
6	照明线损等杂项	0.020	0.020	0.016	0.015	0.037	0.035	0.028

表 5 B 数据中心基础设施配置情况

基础设施设备	单台设备规格	数量	备注
变压器	2 500 kVA/2 000 kVA	2 台/8 台	成对，互为备用
油机	1 800 kW	6 台	
制冷主机	1 200 冷吨	2 主 1 备，组成一个冷源	离心变频控制
冷冻泵/冷却泵/冷却塔		2 主 1 备/2 主 1 备/8 台	定频控制
UPS	400 kVA	44 台	
机房空调		66 主 8 备	

表 6 2017 年 B 数据中心每月用电量及 PUE 统计

月份	机楼总用电量/kW·h	机楼总功率/kW	服务器用电量/kW·h	服务器用电功率/kW	机楼平均 PUE
1 月	4 884 375	6 783	3 212 643	4 462	1.520
2 月	4 925 745	6 841	3 242 685	4 503	1.519
3 月	4 693 367	6 518	3 082 655	4 281	1.523
4 月	5 228 326	7 261	3 400 439	4 722	1.538
5 月	5 032 815	6 990	3 199 561	4 443	1.573
6 月	5 266 356	7 314	3 366 601	4 675	1.564
7 月	5 006 836	6 953	3 156 563	4 384	1.586
8 月	5 432 717	7 545	3 366 042	4 675	1.614
9 月	5 284 888	7 340	3 450 096	4 791	1.532
10 月	5 093 168	7 073	3 316 602	4 606	1.536
11 月	5 251 915	7 294	3 453 631	4 796	1.521
12 月	5 221 247	7 251	3 449 074	4 790	1.514
全年	61 321 755		39 696 592		1.545

从表 6 看出, 2017 年 B 数据中心的服务器用电功率基本稳定在 4 400~4 700 kW, 机楼总用电功率在夏季高温天达到最大, 为 7 545 kW, 全年机楼 PUE 为 1.545。

对了与 A 数据中心进行对比, 表 7、表 8 将 2017 年各类设备用电对机楼 PUE 的贡献度也做了细分统计。

4 两个数据中心案例能效差异分析

A、B 两个数据中心的建筑面积相当, 服务器功率相近, 且都采用了冷冻水制冷方式, 但 2017 年每月及全年的 PUE 却有一定的差异, 从

表 9、表 10 列出的对比数据看, A 数据中心每月 PUE 都比 B 数据中心低 0.2~0.3, 全年 PUE 比 B 数据中心低 0.235, 这意味着若要维持相同功率的服务器正常工作, A 数据中心基础设施耗电比 B 数据中心少 43%, 本案例中 A 数据中心全年因此节省 1 032 万度电。

是什么原因造成 A 和 B 数据中心 PUE 的差异?从表 11 显示的两个数据中心 PUE 组成结构的对比情况看, 造成 A 和 B 数据中心 PUE 差异的原因在于冷源、不间断电源(高压直流/UPS)、末端空调(列间空调/机房空调)的能效存在差异, 而变压器及机楼的照明线损杂项用电对 PUE 影响

表 7 2017 年 1—6 月 B 数据中心各设备用电对机楼 PUE 贡献度

序号	用电设备	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
1	服务器	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	冷源	0.254	0.251	0.262	0.264	0.296	0.284
2.1	制冷主机及辅助设备	0.193	0.192	0.203	0.203	0.235	0.223
2.2	冷冻泵	0.032	0.031	0.031	0.032	0.032	0.032
2.3	冷却泵	0.023	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023
2.4	冷却塔	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
3	UPS 损耗	0.119	0.119	0.116	0.119	0.118	0.122
4	机房空调	0.110	0.106	0.108	0.105	0.108	0.110
5	变压器损耗	0.020	0.021	0.020	0.021	0.021	0.021
6	照明线损等杂项	0.018	0.021	0.017	0.029	0.030	0.026

表 8 2017 年 7—12 月 B 数据中心各设备用电对机楼 PUE 贡献度

序号	用电设备	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
1	服务器	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	冷源	0.323	0.336	0.296	0.280	0.276	0.248	0.281
2.1	制冷主机及辅助设备	0.264	0.277	0.238	0.222	0.218	0.192	0.222
2.2	冷冻泵	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.030	0.031
2.3	冷却泵	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.021	0.022
2.4	冷却塔	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006
3	UPS 损耗	0.117	0.132	0.101	0.117	0.111	0.115	0.117
4	机房空调	0.105	0.103	0.099	0.101	0.100	0.100	0.105
5	变压器损耗	0.021	0.021	0.019	0.018	0.020	0.018	0.020
6	照明线损等杂项	0.019	0.022	0.017	0.020	0.014	0.032	0.022



表 9 A、B 数据中心 1—6 月 PUE 对比

数据中心	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
A 数据中心	1.262	1.295	1.293	1.297	1.323	1.300
B 数据中心	1.520	1.519	1.523	1.538	1.573	1.564

表 10 A、B 数据中心 7—12 月及全年 PUE 对比

数据中心	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
A 数据中心	1.350	1.373	1.342	1.307	1.295	1.275	1.310
B 数据中心	1.586	1.614	1.532	1.536	1.521	1.514	1.545

表 11 A、B 数据中心 2017 年平均 PUE 构成对比

用电设备	A 数据中心	B 数据中心
服务器	1.000	1.000
冷源	0.191	0.281
高压直流/UPS 损耗	0.034	0.117
列间空调/机房空调	0.034	0.105
变压器损耗	0.023	0.020
照明线损等杂项	0.028	0.022
全年平均 PUE	1.310	1.545

差异不大。

以下对能效存在较大差异的 3 个方面逐一进行分析。

(1) 冷源能效差异的成因

表 12 显示了冷源设备用电对全年 PUE 贡献度的对比情况。

表 13 显示了冷源设备配置和运行状况的对比

情况。

综合表 12、表 13 的信息，由于两个数据中心的板式换热器开启时间都很少，笔者认为对冷源能效的影响可以忽略，造成 A 数据中心冷源的能效高于 B 数据中心的原因如下。

- A 数据中心安装的制冷主机为一级能效设备，根据制冷主机厂商提供的资料，在

表 12 冷源设备用电对 PUE 贡献度对比

冷源用电设备	A 数据中心	B 数据中心
制冷主机	0.147	0.222
冷冻泵	0.019	0.031
冷却泵	0.014	0.022
冷却塔	0.011	0.006
冷源总计	0.191	0.281

表 13 冷源设备配置及运行情况对比

数据中心	制冷主机	冷冻水出水温度	冷冻泵/冷却泵/冷却塔	板式换热器开启情况
A 数据中心	一级能效设备	9℃	变频控制	设备维修，全年只开启近 150 h
B 数据中心	二级能效设备	9℃	定频控制	换热量过小，全年只开启 200 h

AHRI 工况下, IPLV 接近 9.0, 明显比 B 数据中心配置的二级能效制冷主机节电。本案例中 A 数据中心的制冷主机全年用电可节省 330 万度电。

- 由于冷源各类设备规格均按数据中心夏季最高负载配置, 所以平时大部分时间这些设备都处于未满载运行状况。冷却塔风机、水泵可通过变频调速来调节风量流量以适应负载的变化, 而风机、水泵这类负载的功率与其转速的 3 次方成正比, 故采用变频控制技术可节省能耗。A 数据中心的冷冻泵、冷却泵、冷却塔风机均采用了变频控制技术, 而 B 数据中心配置的均为定频设备, 由此造成了两者能效的差异。本案例中 A 数据中心的水泵及冷却塔全年用电可节省 66 万度电。

(2) 不间断电源能效差异的成因

表 14 显示了 A 和 B 数据中心负责对服务器供电的不间断电源情况。根据现场实测, 240 V 直流供电设备的效率高于 UPS 设备, 而服务器采用“一路 240 V 直流供电+一路市电直供”又减少了供电设备的一半损耗, 最终导致两种供电模式对 PUE 贡献度的差异。本案例中 A 数据中心的不间断电源损耗全年可节省 365 万度电。

(3) 末端空调能效差异的成因

表 15 显示了 A 和 B 数据中心机房末端空调的情况。虽然两个数据中心的机房空调风机都采用了变频控制方式, 但 A 数据中心的列间空调因靠近热源安装, 送风距离短阻力小, 供冷效率明显高于 B 数据中心集中安装的房间级供冷设备。本案例中 A 数据中心列间空调全年用电可节省 312 万度电。

综上分析, A 数据中心综合能效高于 B 数据中心的原因在于: 冷源设备能效以及控制方式的不同导致了制冷效率的差异, 服务器供电方式不同导致了供电系统损耗的差异; 而机房气流组织的不同则导致了机房末端送冷效率的差异。

5 数据中心节能运行策略

A 数据中心供电制冷模式及设备选型为其高能效奠定了基础, 在实际运行中, 采取怎样的运行策略能进一步提升数据中心的能效? 通过分析表 16 和表 17 中 A 数据中心基础设施各设备的用电占比, 可以看到基础设施用电中有六成被用于冷源制冷, 冷源制冷用电中 3/4 则被用于制冷主机, 因此冷源及其制冷主机是基础设施中的用电大户。另外表 3 和图 1 也显示出, 相较于其他设备, 冷源及其制冷主机对 PUE 的贡献度在全年的

表 14 不间断电源设备配置及运行情况对比

数据中心	服务器供电方式	不间断电源安装位置	不间断电源实测效率	不间断电源对 PUE 贡献
A 数据中心	一路 240 V 直流, 一路市电直供, 互为冗余备份	模块化单元内	93%	0.034
B 数据中心	双路 UPS 供电, 互为冗余备份	电力室集中安装	88%	0.117

表 15 机房空调配置及运行情况对比

数据中心	末端空调安装位置	空调风机控制方式	气流组织及特点	空调对 PUE 贡献
A 数据中心	列间空调安装在模块化单元内	EC 风机, 变频控制	冷池内列间送风, 气流循环路径短, 不受限开孔地板, 能量就近转移	0.034
B 数据中心	空调集中安装在数据机房两侧	EC 风机, 变频控制	架空地板下送风至冷池, 送风距离长, 地板下存在气流紊流, 且地板不密封, 送风效率低	0.105



表 16 各基础设施设备用电占基础设施总用电比例

基础设施	冷源	240 V 直流设备	列间空调	变压器	照明线损杂项
用电占比	61.6%	11.0%	11.0%	7.4%	9%

表 17 各冷源设备用电占冷源总用电比例

冷源设备	制冷主机	冷冻泵	冷却泵	冷却塔
用电占比	77.0%	9.9%	7.3%	5.8%

波动幅度相对较大，且与 PUE 的波动正相关，由此笔者认为数据中心节能运行的策略应围绕冷源及其制冷主机展开。

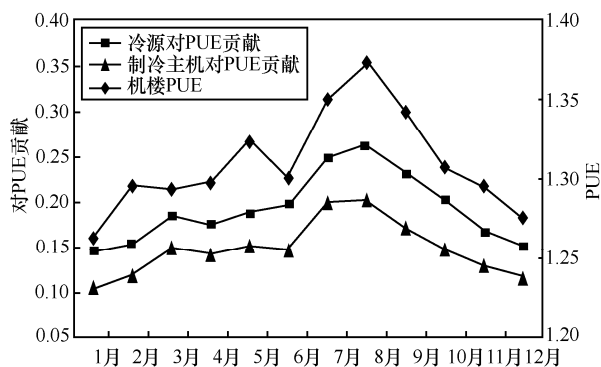


图 1 2017 年 A 数据中心 PUE 波动影响因素

5.1 策略一：减少制冷主机的运行台数

A 数据中心的冷源二由两台 800 冷吨的制冷主机组成，负责对机楼区域二进行供冷。2017 年 1 月份区域二只开启了一台制冷主机供冷，11 月份则开启两台冷机。表 18 显示了这两个月中冷源二的运行情况。可以看出，这两个月中制冷主机的冷冻水出水和冷却水进水温度相近，但由于单台制冷主机的负载率不同，导致了其能效比（energy efficiency ratio, EER）不同，表 3 中这两个月制冷主机对 PUE 的贡献度不同也反映了制冷主机 EER 值的高低。一般来说，变频离心制冷主机的

高效运行区位于 50%~80%负载率，当制冷系统处于部分负荷运行时，减少制冷主机的运行台数，不但可提升冷机的负载率及其能效，还可减少对应的水泵开启台数。

5.2 策略二：降低冷却水水温

对制冷主机来说，较低的冷却水进水温度可降低冷凝器的冷凝温度，相当于减少压缩机的压缩比，有利于提升制冷主机的 EER 值。

表 19 记录了在 2017 年 2 月和 7 月冷源一和冷源二内制冷主机的运行参数，其中 2 月冷源一开启了一台 800 冷吨制冷主机，7 月冷源二开启了两台 800 冷吨制冷主机，尽管两个冷源内的制冷主机冷冻水出水温度和负载率相近，但由于冷却水进水温度不同，导致了制冷主机 EER 值的高低。

在部分负荷工况下，按满负载配置的冷却塔换热面积就显得相对过剩，如果水流过冷却塔时和空气换热越充分，那么冷却塔出水温度就越低，所以通过多开启冷却塔，调节风机转速就可进一步降低冷却水出水温度，从而提升制冷主机的效率。由于冷却塔用电占比小，增加的风机损耗会远小于制冷主机耗电的减少量，冷源的整体用电量将下降。

5.3 策略三：提高制冷主机的冷冻水出水温度

较高的冷冻水出水温度可以提高制冷主机蒸发器的蒸发温度和蒸发压力，相当于减少了压缩

表 18 2017 年 1 月和 11 月冷源二制冷主机运行情况对比

月份	开启制冷主机台数	制冷主机总输入电功率/kW	总制冷量/kW	单台制冷主机负载率	冷却水进/出水温度/℃	冷冻水出/回水温度/℃	单台制冷主机 EER
1 月	1	377	2 800	80%	19.8/25.6	9.0/14.4	7.43
11 月	2	471	2 940	43%	19.9/23.5	9.0/12.8	6.24

表 19 2017 年 2 月和 7 月两个冷源内制冷主机运行情况对比

月份	开启制冷主机台数	制冷主机总输入电功率/kW	总制冷量/kW	单台制冷主机负载率	冷却水进/出水温度/℃	冷冻水进/出水温度/℃	单台制冷主机 EER	冷源系统
2 月	1	338	2 430	63%	20.4/26.2	9.0/13.5	7.19	冷源一
7 月	2	608	3 320	60%	30.1/34.0	9.0/13.0	5.46	冷源二

机的压缩比,有利于提升制冷主机的能效。为验证此结论,笔者在一周时间内将冷源一的冷冻水出水温度由原来的 9℃ 下调至 8℃,结果这周内冷源一的耗电较前一周增加了 6%。表 20 列出了相关测试数据。

6 对数据中心建设和运营的启示

通过以上的能效分析及节能策略的研究,对数据中心的建设和运营有以下的启示。

(1) 机房内对服务器的供电制冷模式是影响数据中心能效的重要因素。对服务器采取 240 V 直流和市电直供相结合的供电方式、就近制冷、冷热隔离、保持气流组织顺畅是机房内模块化单元高效运行的有效方法。

(2) 建设高效的冷源系统是大型数据中心节能的基础。由于冷源设备在全年大部分时间内都处于部分负荷工作状态,要使其持续高效运行,应当配置综合部分负荷性能系数(integrated part load value, IPLV)优秀、单台制冷量适中、多台联合运行的制冷主机以及变频控制的水泵、冷却塔风机和末端空调。为了尽可能降低冷却塔出水温度,冷却塔选型时宜考虑适当的富余量。

(3) 冷源的经济运行对提升数据中心能效至关重要,控制制冷主机和水泵的运行台数、充

分利用冷却塔散热面积降低出水温度、根据末端空调处理能力合理提升冷冻水水温等运行措施可以实现冷源的综合节能。冷源系统的周期性运维工作如定期清洗冷却塔填料、清洗制冷主机冷凝器等,因可以提升冷却塔降温效果降低出水温度、提升制冷主机的散热效果,也会有助于冷源节能。

7 结束语

数据中心的实际运行能效可被测量,也受多种因素所影响。如果能为数据中心基础设施设计合适的供电制冷架构、采用高能效的基础设施设备、辅以合理的运营策略,可以大幅提高数据中心的整体能效,降低电费运营成本,实现绿色节能。

参考文献:

- [1] 李永宁, 潘洪涛, 刘苗青. 数据中心节能技术应用方案研究[J]. 电信技术, 2016, 8(11): 18-20.
LI Y N, PAN H T, LIU M Q. Research on application scheme of energy saving technology in data center[J]. Telecommunications Technology, 2016, 8(11): 18-20.
- [2] 韩啸, 陈利荣. 数据中心机房空调建设方案分析及应用 [J]. 电信技术, 2017, 8(10): 60-63.
HAN X, CHEN L R. Analysis and application of air conditioning construction plan for data center [J]. Telecommunications Technology, 2017, 8(10): 60-63.
- [3] 龚志强. 高压直流供电系统应用[J]. 电信技术, 2018, 8(8):

表 20 冷源一冷冻水出水温度调整前后测试数据对比

时间	开启制冷主机台数	冷源一总用电/kW·h	冷源一制冷量/kW	制冷主机用电功率/kW	制冷主机 EER	冷冻水进/出水温度/℃
3 月 17—23 日	1	74 256	2 590	358	7.23	9.0/13.2
3 月 24—30 日	1	78 140	2 620	389	6.74	8.0/12.8



- 63-65.
GONG Z Q. Application of high voltage direct current power supply system[J]. Telecommunications Technology, 2018, 8(8): 63-65.
- [4] 赵亚伟. 空调水系统的优化分析与案例剖析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
ZHAO Y W. Optimization analysis and case analysis of air conditioning water system[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.
- [5] 胡燕, 姜洁良. 240 V 直流系统和模块化 UPS 在数据中心的应用对比分析[J]. 电信科学, 2014, 30(3): 134-139.
HU Y, LOU J L. Comparative analysis on the application of

240 V direct current power supply system and modular UPS in data center[J]. Telecommunications Science, 2014,30(3): 134-139.

[作者简介]



姜洁良（1969—），男，中国电信股份有限公司上海分公司高级专业工程师，主要研究方向为数据中心基础设施及节能减排技术。