

典型电子类工业建筑能耗调查及关键节能技术研究

以苏州市一批典型电子类工业建筑的能耗调查数据为基础,从外墙、门窗和屋面等围护结构以及耗能设备所需电、蒸汽及燃油等方面进行能耗分析。同时对建筑围护结构情况、耗能设备(空调系统、照明系统及其他系统)及其运行使用情况进行检查统计。分别从围护结构、耗能设备和节能经营管理方面进行节能技术分析,提出关键节能技术,对电子类工业建筑和其他工业建筑的节能改造,具有一定的参考价值。

陈尚秋 赵书杰/苏州科技学院环境科学与工程学院

0 引言

电子类工业建筑与其他工业建筑具有相似的能耗特点:

1) 建筑能耗大,由于建筑体形系数较大,满足环境要求时能量消耗大。同时需要较大的窗墙比来满足采光、通风的要求。

2) 环境参数要求高,对室内温湿度等环境参数的要求比较高,采用恒温恒湿的空调系统。

3) 设备发热量多,建筑中存在一些发热量大的设备,其产生的热量加大了空调设备的能耗。

4) 影响能耗因素多,不仅包括建筑物的围护结构由于室内外温差传热所形成的能耗,其室内照明、机械设备和人员的散热量以及生产工艺流程和操作特点也对建筑能耗具有较大的影响^[1]。除以上特点外,电子类工业建筑有独特的能耗特点。电子类工业属于劳动密集型的

产业,工艺设备24 h运行,实行三班倒的工作制度,因其厂房对生产环境的温湿度和洁净度比其他工业建筑有更严格的要求,电子厂房多为无窗,并且都具有洁净厂房,为满足生产环境的要求,相应的附属设备(尤为空调系统和照明系统)会产生相当高的能耗,使其成为高能耗建筑。因此,在电子类工业建筑中,节能技术应被充分重视。

1 调查概况

1.1 能耗概况

笔者对苏州地区16个典型的电子类工业建筑能耗进行了调研。通过本次能耗分析结果可以得出,电子类工业建筑能耗主要以电耗为主,占总能耗的72%。如图1所示。电子类工业建筑全年耗电量主要集中在272.1~2 640.9 kW·h/(m²·a)之间,如图2所示。这是因为电子类工业建筑耗电设备较多,生产环境对温湿度和洁净度要求高,电子元件的生产和制备产生大量的热,空调系统需全年供冷,空调系统设备容量大且运行时间长。本文以调查中的苏州某计算机公司6[#]厂房为对象,进行具体的能耗和节能技术分析。

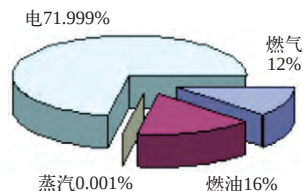


图1 电子类工业建筑能耗构成(热值)



陈尚秋/硕士研究生

关键词/Keywords

电子类·
工业建筑·
能耗分析·
节能技术·

江苏高校优势学科建设工程资助项目苏政办发[2014]37号。

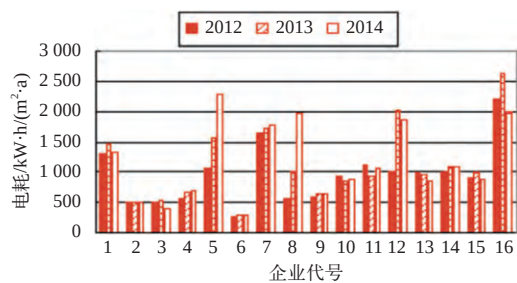


图2 2012~2014年电子类工业建筑电耗统计

2 概况

2.1 建筑概况

该电子厂房位于高新区金枫路，2002年9月竣工投入使用，建筑为东西朝向，地上6层，建筑面积82 400 m²；建筑采用框架结构，外墙材料为240 mm多空粘土砖，外窗为铝合金单框窗（普通玻璃），采用内遮阳，建造时未考虑节能措施，同时未进行过节能改造。

2.2 建筑设备概况

冬夏季空调系统的室内设计工况相同，温湿度控制在25±1℃和55%±5%范围内。供冷系统由4台约克牌水冷式机组，设定供冷温度24℃，该系统为整个6[#]厂房提供服务。机组运行台数随季节发生变化。为维持室内空气高洁净度，设有9台新风机组，机组位于专门的新风机房内，额定风量30 000 m³/h，每台功率15 kW。送风机组共24台，其中18台额定风量为12 000 m³/h，每台功率37 kW；6台额定风量为10 000 m³/h，单台功率30 kW。

空调系统为双管制，制冷设定温度：冷冻水取7/12℃，冷却水取32/37℃。空调主机为4台水冷式机组，额定制冷量3 610 kW/台，功率618 kW。空调系统配备使用的泵系数如表1所示。

表1 空调泵系统参数表

名称	数量/台	流量/(m ³ /h)	扬程/m	功率/kW
冷却水循环泵	5	715.5	20	55
冷冻水循环泵	5	605.6	23	45
区域循环泵	13	336.4	32	45
热水循环泵	3	253.2	23	22
软水加压泵	1	6	25	2.2
膨胀箱加压泵	1	12	20	2.2

空调机组运行台数随季节和室外气候有相应的调整。

照明系统：厂房采用4万支T8灯管，每天24 h处于开启状态。

电梯设备：电梯共23台，其中22台货梯，单台功率为22 kW，1台客梯，功率7.5 kW，控制方式为24 h运行。

3 能耗分析

3.1 空调系统能耗

空调系统能耗主要由制冷机组、泵系统、新风机组和风机盘管等设备能耗组成。表2为6[#]厂房2014年耗电量、蒸汽用量、耗水量及空调电耗的统计。

表2 2014年逐月能耗统计表

月份	电/万kW·h	水/×10 ³ m ³	蒸汽/m ³	空调能耗/万kW·h
1	311.568	12.85	3 054	93.47
2	261.555	11.65	2 381	73.235
3	398.252	14.07	2 076	99.563
4	441.712	17.08	1 845	119.262
5	500.202	27.68	1 004	140.057
6	535.531	23.44	875	160.659
7	591.064	27.49	701	206.872
8	651.402	42.12	709	247.533
9	543.922	37.29	759	203.971
10	479.327	30.15	847	132.294
11	443.479	25.74	1 763	115.305
12	425.937	27.36	2 395	109.381
合计	5 583.951	296.92	18 409	1 701.602

图3~图5为该建筑在2014年各月能源的消耗，由图3~图5可以得出：

1) 由图3可知建筑每月用电明显成季节性变化，空调系统电耗与总电耗趋势相同，7~9月为用电高峰，此时空调负荷占该月用电负荷的35%、38%和37.5%。本文采用DeST (DeST affilicate) 典型气象年数据，由图6、图7分析可知7~9月为苏州最热的季节，室外气温和含湿量都比较高。室外气温和湿度是影响围护结构的传热及空调系统新风负荷的主要因素，因此空调系统负荷和新风负荷都比较大，造成耗电量较高；11~3月气候寒冷

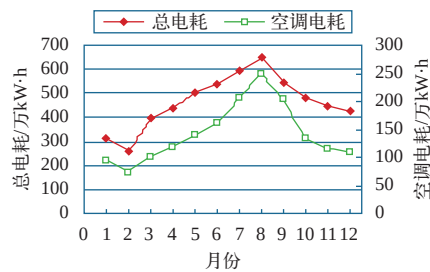


图3 2014年各月耗电量和空调耗电量

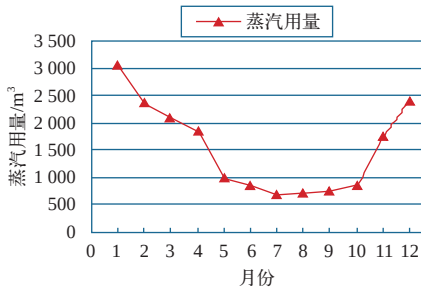


图4 2014年各月蒸汽消耗量

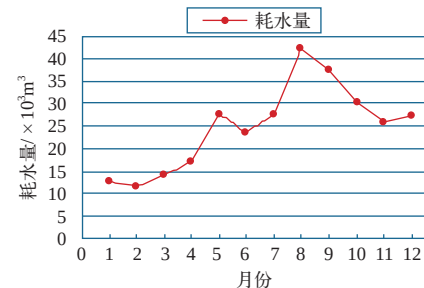


图5 2014年各月耗水量

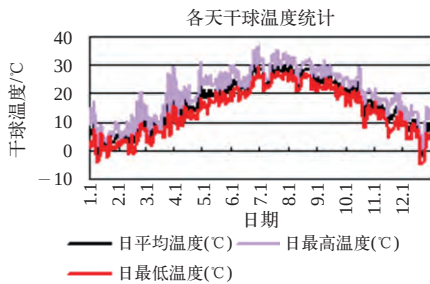


图6 苏州市典型气象年温度数据

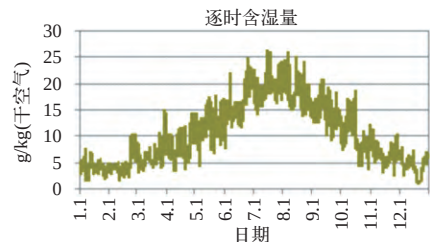


图7 苏州市典型气象年含湿量数据

干燥，厂房所需冷负荷降低，冬季耗电量明显下降。
2) 由图4可知蒸汽用量与空调系统耗电量趋

势相反，这是空调系统利用蒸汽来控制送风的温湿度的结果。苏州地区属于北亚热带湿润季风气候区，夏季气温较高，潮湿多雨，由图6、图7可得，在7~9月，温湿度都比较高，用来调节温湿度的蒸汽量消耗的比较少。冬季干燥寒冷，每年的11~3月，温湿度相对较低，为维持生产环境的温湿度，需要消耗大量蒸汽来提高送风的温湿度。

3) 由图5可知各月的耗水量1月最低，与空调系统能耗曲线走势相似。

3.2 照明系统能耗

厂房内有4万支灯管，灯具类型T8，功率45 W，全天处于开启状态，照明系统的全年耗电量约为1 544.2万kW·h。

3.3 电梯系统能耗

22台货梯，每台功率22 kW，1台客梯功率为7.5 kW，客梯平均每天运行11 h，货梯平均每天运行13 h，电梯年耗电量约为254.47万kW·h。

空调系统、照明系统和电梯系统的电耗统计如表3所示。

表3 2014年用电系统能耗统计

系统	耗电量/万kW·h	单位面积耗电量/(kW·h/m²)
空调系统	1 701.602	206.5
照明系统	1 544.214	187.4
电梯系统	254.47	30.9
生产设备	2 083.665	252.9

图8为各耗电系统耗电量的百分比，空调和照明系统分别占总能耗的30.47%和27.65%，所以应将空调系统和照明系统作为节约能源关键所在。

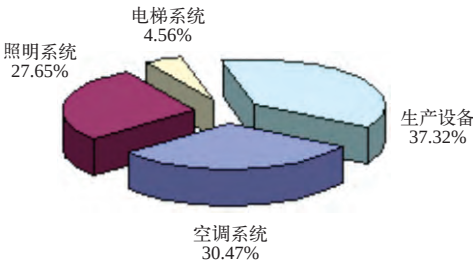


图8 2014年各系统耗电比例构成

3.4 建筑总能耗

2012~2014年该厂房能源消耗统计值如表4所示。

表4 2012~2014年能源消耗统计

年份	电/万kW·h	蒸汽/ $\times 10^3 \text{ m}^3$	水/ $\times 10^3 \text{ m}^3$
2012	4 909.825	22.37	190.6
2013	5 124.655	18.22	233.71
2014	5 583.951	18.41	296.92

该建筑能耗主要为电耗, 占到85%, 耗电系统以空调系统和照明系统为主。逐年耗电量如图9所示。逐年蒸汽用量如图10所示。逐年耗水量如图11所示。图9表示逐年耗电量, 最近几年呈上涨趋势。由图10知相比于2012年的蒸汽消耗量2013、2014年的蒸汽消耗量都有降低。图11耗水量也呈上升趋势。能耗的逐年上升说明了节能改造的必要性。

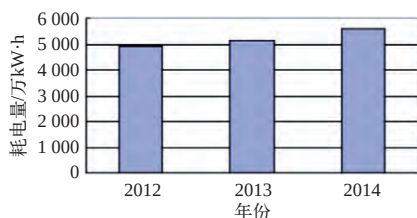


图9 2012~2014年逐年耗电量

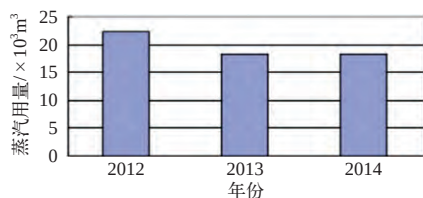


图10 2012~2014年逐年蒸汽用量



图11 2012~2014年逐年耗水量

4 运行能耗现状

此次能耗调查中发现诸多不合理的情况:

1) 围护结构不符合节能设计标准, 例如, 墙体未采用保温措施, 同时门窗等结构为普通结构, 密闭性差, 增加了空调系统负荷。

2) 耗能设备的选型存在偏差, 能源浪费和用能效率不高的情况较为普遍。

3) 泵和风机均定速运行, 无变频装置。

4) 企业管理不到位, 员工节能意识差等, 造成当空调系统开启时, 窗户仍打开的情况经常发生。

由以上分析可得, 厂房在能源节约方面具有很大改进空间, 应将建筑围护结构、耗能设备运行情况和员工行为管理等方面作为节能分析和改造的关键。

5 节能措施

5.1 围护结构节能技术分析

电子类工业建筑要求恒温恒湿和高洁净度的工作环境。围护结构的气密性和保温隔热性是影响到附属设备(空调系统较突出)的负荷的关键因素, 为减少相应设备的能耗, 外墙、门窗和外遮阳等围护结构应具备较高的保温隔热性。

调查中发现, 该公司6#厂房建造时未考虑外围护结构的保温, 墙、屋顶和门窗等保温隔热性一般, 加之围护结构均未进行过节能改造是其能耗较大的主要原因。通过分析该建筑具有很大的节能潜力。

在建筑原有的基础上, 外墙、门窗和屋面等围护结构可采取以下节能措施:

1) 墙体。外墙采用保温隔热技术, 提高其热阻, 限制外墙综合传热系数, 削弱墙体与外界的热传递, 减少多余的负荷, 可根据建筑选择保温系统, 如具有阻燃性的岩棉板、挤塑聚苯板和现场喷涂聚氨酯硬泡等外墙保温系统。

2) 门窗。可在保留原窗框和玻璃的情况下, 改为中空玻璃窗, 提高外窗保温隔热性; 将原有外窗整体更换为中空LOW-E玻璃窗、铝合金断桥中空玻璃窗等, 以提高外窗的隔热保温性能。外门设置门斗, 减少室外温度对室内冷热负荷的影响。

3) 屋面。屋面传热系数较大, 节能改造能提高其保温隔热性, 有利于建筑能耗的降低^[2]。当前保温防水性能较好的有挤塑聚苯保温系统、现场喷涂聚氨酯硬泡保温系统等。条件允许的情况下, 屋面可增设光导管, 增加对自然光的利用。

5.2 设备运行节能技术分析

5.2.1 空调系统

电子厂房空调系统的冷负荷主要包括新风负

荷、生产设备负荷、照明负荷、人员负荷和围护结构负荷。从图8分析可知,空调系统的耗电量在厂房总电耗中占非常大的比重。空调系统的电耗占总电耗的30.47%,几乎是其他几项耗电量的总和,而这部分电能主要是由空调系统的长时间运行引起的。

调查过程中了解到,为满足其工艺生产的要求,该厂房的空间和跨度都较大,同时由于其设备的产热量大,高级别的洁净度和大的送风量的要求,需要消耗大量的能量来满足生产环境所需的温湿度及洁净度的要求,即使在冬季仍需要大量的制冷量。同时,部分空调设备存在运行效率低以及选型与实际需要不匹配的情况。

由于空调系统中的冷冻水、冷却水循环泵的额定扬程和流量远大于实际所需,造成水泵性能与管路实际阻力不匹配,水泵长期处于低效率运行,另外所有水泵均无变频装置,工作时处于满负荷运行。因此可通过安装变频装置对冷冻水和冷却水泵系统进行节能改进,这是一种有效的节能措施^[3],这部分节能改造潜力可达20%。

该建筑依靠冷水机组供冷,机组的能耗很大。根据图12苏州地区年气温变化,在12~2月平均气温在10℃以下^[4-5],冷却塔可以替换制冷机组进行自然供冷,电子厂房对温度的要求多为 25 ± 1 ℃,所以,即使在过渡季节冷却塔仍具有很大的节能潜力。因此,建议在12~2月利用冷却塔进行自然供冷,减少制冷机组的能耗^[6]。

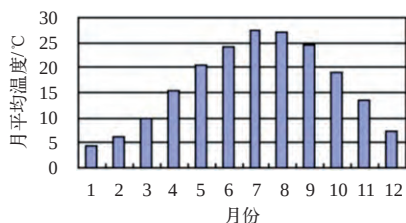


图12 苏州典型气象年每月平均温度

5.2.2 照明系统

照明最直接有效的节能措施是采用高效照明节能灯具^[7]。

在调查中发现厂区照明系统为40 000套T8灯。

厂区原有灯具数量较多,且已使用多年,建议将原有的T8日光灯更换为T5节能灯。

原有日光灯参数:T8日光灯,数量40 000套,功率36 W+9 W(镇流器)=45 W,价格12元/套。

节能改造后,T5节能灯的数量为40 000套,功率28 W,价格20元/套。

改造费用:(20元/套-12元/套)×40 000套=32万元。

改造前,T8灯的年均电费:40 000套×0.045 kW×24 h×360×0.75元/kW·h=1 166.4万元。

改造后,T5灯的年均电费:40 000套×0.028 kW×24 h×360×0.75元/kW·h=725.76万元。

改造后年节省用电费用:11 664 000元-7 257 600元=440.64万元。

由上述计算结果可知,选用T5灯后,具有显著的节能效果。

除选用高效节能灯具外,照明系统的优化也应作为一种节能方法。应优先考虑混合式照明。场所不同,备用照明的照度应不同,一般场所的照度应高于正常照明照度标准的10%。同时备用照明应作为正常照明的一部分,以减少灯具的重复设置和节约投资^[8-9]。

此外,在条件允许的情况下,屋顶可增设光导管,增加对自然光的利用。

5.2.3 空压机系统

目前空压机运行发热未作热回收,浪费很大,可通过加装板式换热器进行热回收,在冬季利用余热对新风进行加热及加强管理实现节能。

5.2.4 电梯系统

调查发现由于电梯空载运行起停频繁造成极大的浪费,应加强管理,同时可加装发电设备。货梯应进行集中管理,集中使用,提高每次的货用率。根据不同的时间节点,改变电梯的运行台数。

5.2.5 车间办公设备

车间大部分的办公设备经常处于无功耗电状态,导致能源浪费,同时,设备种类较多,不便于人为管理,可利用智能控制系统对设备进行集中管理。

5.2.6 其他节能措施

可将电加热加湿更改为蒸汽加热加湿,预计年节约费用可达87万元。

5.3 行为管理方面的节能分析

节能技术的关键是考虑的综合性,不能单一考虑某一方面,应该注意各方面的互补、交叉和综合利用,树立节约经营管理理念也应作为能源节约当中不可或缺的一部分。调查中发现,造成高能耗的原因不只是出现在硬件设施上面,由于企业节约经营管理和能源节约宣传不到位、员工节约意识不强造成能源浪费的现象屡见不鲜。因此,完善的企业管理制度是促进节能的重要措施。

5.3.1 分项计量

企业缺少对环境能源的使用情况和分项逐时用能负荷变化的记录和分析。供电系统没有设计分项计量。分项计量能够提供详细的用能分配情况,有利于发现节能潜力和加强管理,同时能及时发现问题所在,并针对性地采取有效的节能措施,有利于节能策略的制定、实施和检验。

5.3.2 开窗

在夏天,空调设备和窗被同时开启的现象比较常见,而开窗引起的冷负荷的增加则造成能源的浪费。加强宣传和管理和提高工作人员的节能意识是解决该问题的关键。

5.3.3 照明

调查当中发现,员工相对较差的行为节能意识导致白天照明能耗较高,这需要加强管理和引导作用。同时,选用高效节能灯具和自然光的结合等,均是节能的有效手段。

5.3.4 自然通风的利用

在过渡季节和夜间有效利用自然通风,在办公区可加强对自然风的利用来降低能耗。

5.3.5 环境温度的合理控制

同功能区域应进行分区域控制,对温度要求不高或无人区域可降低温度标准,并对工作区域的温度进行监控避免过冷和过热,使空调系统在

规定的温度标准下运行。在满足生产和人员健康的条件下,空调系统厂房室内空气参数的调节具有明显的节能效果。

6 结束语

本文在对苏州地区一批具有代表性电子类工业建筑能耗进行调查的基础上,通过对采集数据的对比和分析,对典型电子类工业建筑在围护结构、耗能设备以及节能经营管理方面进行了能耗分析,并提出了一定的节能改造措施和节能关键技术。这对电子类工业建筑和其他工业建筑的节能改造具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 万红,李英达,杨晚生.东莞市工业建筑能耗状况及构成特点分析[J].山西建筑,2007,33(1):230-231.
- [2] 赵书杰.苏州市既有公共建筑运行能耗调查与分析[J].建筑技术,2010,42(13):1114-1117.
- [3] Fu-Jen Wang, Tong-Bou Chang, Ming-Tsung Chena. Energy conservation for chiller plants by implementation of variable speed driven approach in an industrial building [J]. Energy Procedia, 2014(61):2537-2540.
- [4] 张晴原, Joe Huang. 中国建筑用标准气象数据库[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [5] 中国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学建筑技术科学系.中国建筑热环境分析专用气象数据集[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [6] 何克青,晋欣桥,颜健,等.电子厂房空调系统自然供冷率及节能分析[J].建筑热能通风空调,2011,30(6):58-61.
- [7] 董洪钟.基于节能视角的工业厂房照明设计分析[J].城市建设理论研究:电子版,2012(21).
- [8] 中国建筑科学研究院.GB 50034—2004 建筑照明设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [9] 中国电子工程设计院.GB 50073—2001 洁净厂房设计规范[S].北京:中国计划出版社,2001.

(收稿日期:2015-11-18) EA