

# 严寒地区教学楼新风供给与值班温度供暖的负荷研究

冯国会, 强小倩, 田川, 刘铭

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

**摘要** 目的 研究不同使用状况、不同时间阶段下教学楼负荷的变化趋势, 分析其变化原因, 优化负荷计算方法, 以降低能耗, 挖掘教学楼冬季供暖的节能潜力. 方法 针对该类建筑的使用特点, 采用 Dest 软件模拟冬季室内在新风条件下的逐时负荷变化, 将人均新风量换算为换气次数, 解决 Dest 软件运算中新风无法根据作息调节的问题, 并与采用了值班温度供暖模式下负荷的变化情况相对比. 结果 教学楼内人员密度较大导致新风负荷占比较大, 通过根据作息调节通风后负荷可以降低 50.49%; 教学楼在非使用时段采用值班温度供暖负荷可以降低 28.13%. 整个采暖季平均热负荷指标为  $31.11 \text{ W/m}^2$ . 结论 教学楼冬季供暖和新风供给设计中引入调节通风作息和值班温度供暖模式可极大改善室内环境并降低建筑能耗.

**关键词** 教学楼; 通风作息; 值班温度供暖; 热负荷

中图分类号 TU391

文献标志码 A

## Research on Calculation Method of Thermal Load at University Buildings in Severe Cold Region

FENG Guohui, QIANG Xiaoqian, TIAN Chuan, LIU Ming

(School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

**Abstract:** The load change trend of the teaching building under different use conditions and different time periods was studied to analyze the reasons for the change, optimize the load calculation method, reduce the energy consumption and realize the energy saving potential. In this paper, Dest software is used to simulate the time-dependent load changes of indoors under fresh air conditions in winter. The problem that the fresh air cannot be adjusted according to the work schedule in the Dest software calculation was solved by converting the per capita fresh air volume into the number of air changes. The calculated results by Dest software was compared with the change of load under the duty temperature heating mode. The results show that the high density of staff in the teaching building leads to a relatively large fresh air load. By adjusting the ventilation according to the work schedule, the load can be reduced by 50.49%, and the load can be reduced by 28.13% use

收稿日期: 2018-09-04

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFB0604000)

作者简介: 冯国会(1964—), 男, 教授, 博士研究生导师, 主要从事建筑节能技术方面研究.

duty temperature heating during non-use hours. The average heating load index for the entire heating season is  $31.11\text{ W/m}^2$ . The introduction of adjustable ventilation and duty temperature heating mode in the design of winter heating and fresh air supply in the teaching building can greatly improve the indoor environment and reduce building energy consumption.

**Key words:** teaching building; ventilation adjustment; duty temperature heating; heat load

教学楼为人员密度较高建筑,供暖和新风负荷的高低峰值差别巨大.室内空气质量直接影响人们的身体健康.学生作为一个特殊的群体,在校期间教室是使用时间最长的房间类型,大学生约有40%以上的时间在教室内度过.恶劣的室内空气质量往往会增加学生疾病感染的概率,降低学习效率<sup>[1]</sup>.北方地区冬季气温低且持续时间长,而教学楼在设计中往往未考虑人员所需新风问题,冬季人员在感觉到气闷时才会选择开窗换气,但开窗引起的低温冷空气吹入又会极大影响室内热舒适环境.在无人员新风设计的情况下,冬季教室内紧闭门窗满员上课,室内CO<sub>2</sub>含量过高,超过国家标准3倍还多,对室内环境影响巨大.实验室内除人员密度较大外还可能存在实验造成的污染物.为改善教学楼无供应新风这一问题<sup>[2-12]</sup>,笔者在考虑人员

所需新风情况下,通过建筑热环境动态模拟软件Dest对典型学校类建筑在整个采暖季的负荷情况进行模拟,将人均新风量与换气次数进行换算,通过调节室内通风作息以解决软件内新风系统作息无法调节的问题,探究教学楼采用引入新风后变化情况,为进一步降低采暖季热负荷,减少不必要的能源浪费,分析在建筑非使用时段采用值班温度供暖的节能潜力.

1 模型的建立

1.1 模拟建筑简介

研究对象选择沈阳某高校教学楼,建筑共5层,总面积4760 m<sup>2</sup>.一层主要为实验室,层高5.85 m;二层至五层为办公室和教室,层高3.9 m.教学楼围护结构参数如表1所示.

表1 建筑围护结构参数

Table 1 Building envelope structure parameters

构件名称	围护结构描述	传热系数/(W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> )	热惰性指标 D
外墙	49 砖墙 + 石灰砂浆	1.275	6.044
外窗	标准外窗 2.50~0.75	2.5	—
屋顶	加气混凝土保温屋面	0.812	4.281

1.2 主要房间模拟参数设置

建筑主要功能房间为实验室、教室、办公室3类,其中实验室为8间,共848 m<sup>2</sup>;办公室3间,共288 m<sup>2</sup>;教室23间,共2784 m<sup>2</sup>.实验室与教室冬季采暖室内设计温度设定为18℃,办公室设定为20℃.实验室、教室和办公室人员密度分别设置为0.4人/m<sup>2</sup>、0.6人/m<sup>2</sup>和0.15人/m<sup>2</sup>,照明散热密度均为

11 W/m<sup>2</sup>,设备散热密度分别为15 W/m<sup>2</sup>、10 W/m<sup>2</sup>和20 W/m<sup>2</sup>.各房间人员密度情况如表2所示,实验室使用时间设置为7:00—19:00,教室为7:00—21:00,办公室为7:00—18:00,人员作息密度按照学生实际活动规律确定,寒假时间为一月份第3周至三月份第1周,室内无人员活动.

表2 各房间人员密度

Table 2 Personnel density in each room

时间	实际人员密度与标准人员密度比					
	实验室		教室		办公室	
	工作日	周末休息日	工作日	周末休息日	工作日	周末休息日
0:00—6:00	0	0	0	0	0	0
7:00	0.3	0	0.3	0.3	0.2	0
8:00—11:00	0.9	0	0.9	0.3	0.9	0
12:00	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0
13:00	0.3	0	0.3	0.1	0.1	0
14:00—17:00	0.9	0	0.9	0.3	0.9	0
18:00—20:00	0.3	0	0.5	0.1	0.1	0
21:00—23:00	0	0	0	0	0	0

2 采用人均新风量与换气次数计算下负荷对比

教学楼内教室占比例较高,教室属于人员密度较大的建筑类型,在这样的环境中,新风负荷占总负荷的比重很大,教学楼内夜间和寒假期间室内无人员活动,不计算该时段内的新风负荷.针对 Dest 软件在按照人均新风量计算新风负荷的过程中,软件默认在空调系统开启时间内按照最大人员密度对应的新风量计算新风负荷,因无法调节新风系统作息而导致计算结果较现实情况相比偏大,室内外换气次数可以设置作息,故将房间内人均新风量与换气次数进行换算,通过计算通风负荷的方法以使得计算结果更加合理,各房间参数设置如表 3 所示<sup>[13]</sup>.

表3 各房间新风、通风模式参数设置

Table 3 Fresh air and ventilation parameter for each room

房间类型	新风模式人均新风量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$ )	通风模式换气次数/ ( $\text{次} \cdot \text{h}^{-1}$ )
实验室	20	1.39
教室	17	2.6
办公室	30	1.2

2.1 建筑负荷模拟对比分析

利用 Dest - C 进行模拟计算,室内温度维持设计温度,在以人均新风量与室内外换气次数计算新风负荷两种计算方法中对比,比较二者的差值,在差值合理的前提下,利用通风模式的计算结果替代新风模式,以达到调节新风作息的目的,两种模式下采暖季逐时热负荷与单位面积热负荷如图 1 所示.

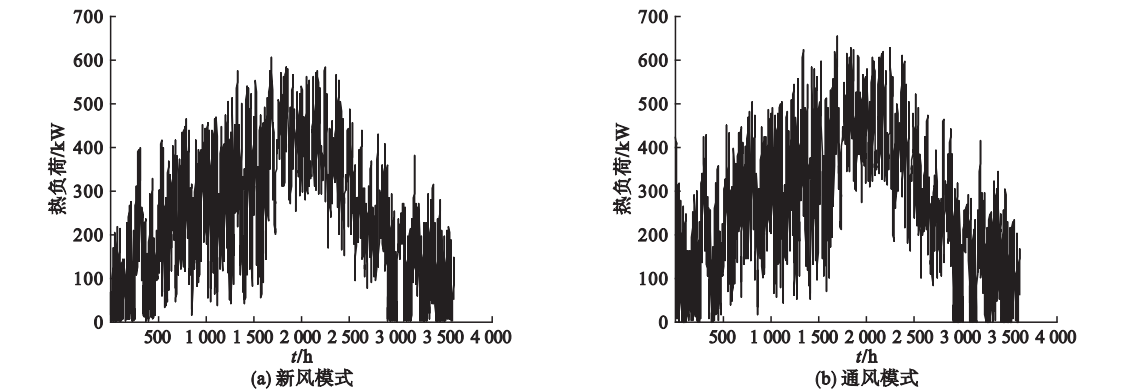


图1 新风与通风模式采暖季逐时热负荷

Fig. 1 Heat load of heating season in fresh air and ventilation mode

从图 1 中可以看出,新风与通风计算模式下建筑采暖季热负荷变化趋势基本一致,新风和通风模式下全年累计热负荷分别为 910 098.43 kW·h 和 1 011 022.69 kW·h,二者相差 100 924.26 kW·h,误差为 9.98%。最大热负荷分别为 603.84 kW 和 651.97 kW,相差 48.13 kW,误差为 7.38%。可以看出采用人均新风量和通风换气次数两种计算方法计算的采暖季热负荷相差不大,将人均新风

量换算为室内外换气次数是合理的。

2.2 通风模式典型房间负荷分析

有无人员活动的情况下教学楼的负荷分布特点是不同的,学生在校期间,建筑的使用时间为 7:00—21:00,室内负荷变化受人员和室外温度影响;假期则长时间内无人活动,负荷变化仅受室外温度影响。学生在校期间与学生放假期间某教室典型日的负荷分布如图 2 所示。

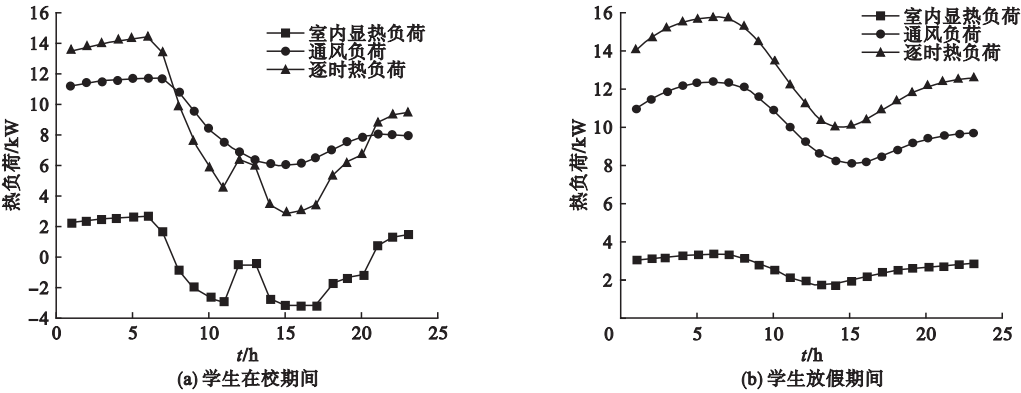


图 2 通风模式某教室典型日负荷波动

Fig. 2 load fluctuation of typical daily in ventilation mode

从图 2 中可以看出,从 7:00 开始随着室内人员、照明、设备密度上升,散热量增大,室内显热负荷开始下降,至午休期间(12:00—13:00)有所上升,而通风负荷则主要受室外温度影响,日间室外温度升高,通风负荷也有所下降。放假期间无人员在校,室内热扰极小,显热负荷只因室内外温差导致的围护结构传热产生微小变化,室内热负荷主要为通风负荷,而此时建筑不需要通风,导致计算结果与实际情况不符。因此有必要对学生在校期间的夜间和放假期间的通风作息进行调整,对比负荷变化情况。

3 调节通风作息对负荷的影响

3.1 建筑负荷模拟对比分析

将在校期间的夜间与放假期间的通风次数调整为 0.5 次/h 建筑正常冷风渗透,以实现新风系统的作息设定,建筑采暖季的逐时热负荷如图 3 所示。

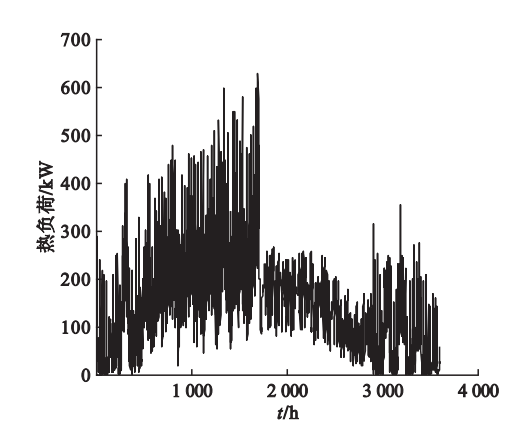


图 3 调节新风模式采暖季逐时热负荷

Fig. 3 Heat load in adjusting fresh air mode

从图 3 可以看出,关闭在校期间的夜间与放假期间向室内供应新风后,建筑负荷在夜间大幅减少,调节通风模式下建筑全年累计热负荷为 500 570.48 kW·h,与原通风模式下 1011022.69 kW·h 相比减少了 50.49%,最大热负荷为 624.46 kW,照原模式下 651.97 kW 减少 4.22%,并无太大的变动。

3.2 典型房间负荷分析

观察学生在校期间与放假期间教学楼内典型房间一天内各类负荷的变化情况,分析

通风作息对室内负荷的影响,负荷变化情况如图4所示。

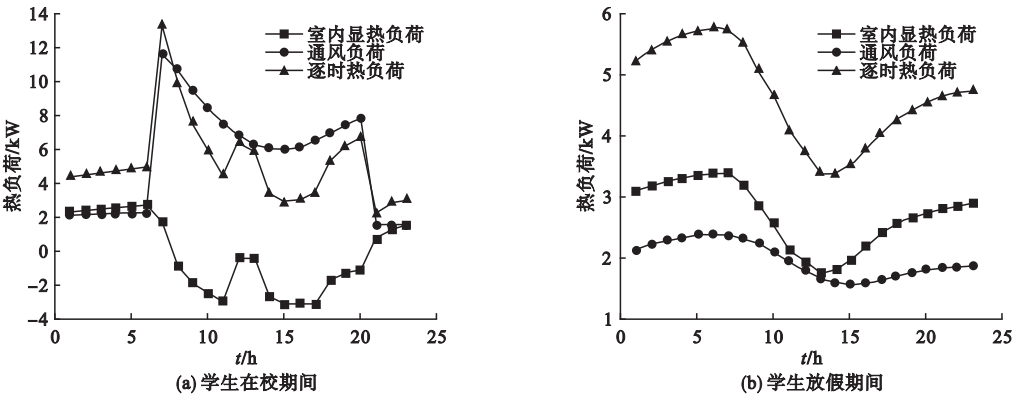


图4 调节通风模式某教室典型日负荷波动

Fig. 4 Load fluctuations of typical daily in adjusting ventilation mode

从图4中看出,调节通风作息后房间内学生在校期间的夜间负荷主要为围护结构传热与冷风渗透产生的热负荷,而放假期间室内显热负荷无明显变化,不供应新风而只考虑冷风渗透使得通风负荷明显降低,学生在校期间的夜间和放假期间通风负荷的大幅下降是整个供暖季热负荷显著减少的根本原因,在维持建筑使用时间段内良好空气环境的同时合理供应新风能有效减少能源浪费。

在校期间的夜间与放假期间室内温度不低于5℃值班温度时室内的热负荷变化情况。

4 设置值班供暖温度对负荷的影响

4.1 建筑负荷模拟对比分析

严寒或寒冷地区设置供暖的公共建筑可采用值班供暖形式,在非使用的时间内设置值班供暖,保证室内温度5℃,防止水管冻裂<sup>[13]</sup>。教学楼并非全天使用,使用时间具有一定周期性、规律性,冬季最冷的供热高峰期与寒假交叉,因此适宜采用低温值班供暖的供热模式。而许多学校为24h维持设计温度供暖,并未采取这样的供暖形式进行调节,公共建筑在非使用时段无人员活动,对室温要求只需保证水系统不发生冻裂情况即可,使得耗能较大公共建筑存在巨大的节能空间<sup>[14-22]</sup>。图5为设置建筑在非使用时间学生

图5 值班温度供暖模式采暖季逐时热负荷

Fig. 5 Heat load of duty temperature heating mode

值班供暖模式下建筑在一天内负荷变化幅度明显增加,一天中存在负荷为零的时段,而峰值负荷却有所提高。采用值班供暖模式下全年累计热负荷为359 777.08 kW·h,较非值班供暖模式下500 570.48 kW·h减少了28.13%,节能空间巨大。最大热负荷增大到886.49 kW,出现在1月14日7时,照原模式最大负荷624.46 kW增大了29.55%。

4.2 典型房间负荷分析

学生在校期间与放假期间一天内典型房间的热负荷变化,分析设置值班温度供暖后教学楼整个供暖季累计热负荷降低、最大热负荷升高的原因,负荷变化如图6所示。



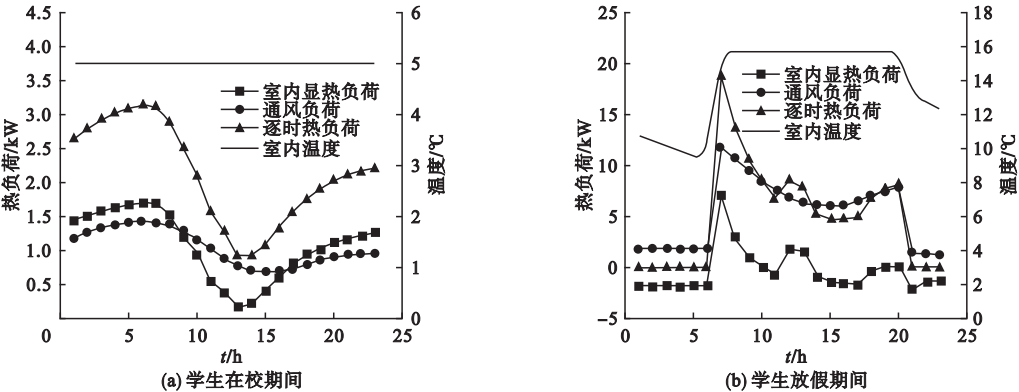


图 6 值班温度供暖模式某教室典型日负荷波动

Fig. 6 load fluctuations of typical daily in duty temperature heating mode

从图 6 中可以看出,室内负荷变化主要受通风负荷与室内显热负荷影响. 夜间的冷风渗透产生的热负荷抵消了部分建筑物在日间蓄存的热量,是室温降低的主要原因,室内无热负荷,不需要向室内供暖,室温自然下降,室内温度为 11.78℃并未衰减至设置最低温度. 随着建筑内人员开始活动,为了使室温从 11.78℃上升到设计值,需要向室内供应更多的热量,也是建筑每天峰值负荷出现的时间点. 放假期间房间内热负荷因室温只需维持 5℃的值班温度而明显降低.

4.3 设置值班温度供暖模式下负荷分布分析

设置值班温度供暖后供暖季累计热负荷降低,使分布于低负荷区间的供暖时间增加,峰值负荷增大,未设置与设置值班温度供暖

负荷分布区间如图 7 所示.

从图 7 中可以看出,未设置值班温度供暖模式下建筑负荷主要在 300 kW 以下,占整个采暖季的 94.4%,负荷在 400 kW 以上的时间仅占 2% 左右,出现在温度较低的几日早晨;在采用值班温度供暖后,虽然建筑的最大负荷增大至 800 kW 左右,但负荷超过 600 kW 的时长仅占采暖季 1% 左右,在寒假前几日 7:00 后出现,此时临近放假,学校内人员活动已逐渐减少,而 67.9% 的时间建筑负荷都在 100 kW 以下,负荷在 100 kW 至 200 kW 的时段也仅为 11.5%. 设置值班温度采暖使得建筑在整个采暖季更长时间处在负荷消耗较低的状态,尽可能降低建筑在非使用时段内不必要的能耗,提高建筑在使用时段房间内的空气品质与热舒适度.

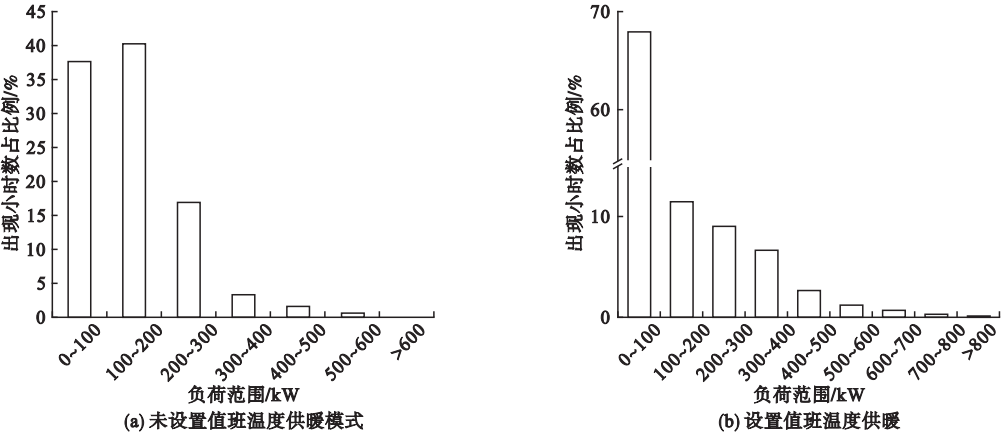


图 7 未设置与设置值班温度供暖模式负荷分布区间

Fig. 7 load distribution interval in unset and set duty temperature heating mode

## 5 各典型房间不同模式下热负荷指标分析

建筑各房间的热负荷指标受房间类型、

房间朝向、房间层数影响有所不同,称通风模式为模式一,调节通风模式为模式二,设置值班供暖温度为模式三.表4是3种模式下各典型房间热负荷指标对比.

表4 各典型房间采暖季平均热负荷指标

Table 4 Average heating load index for heating season in typical rooms

运行 模式	热负荷指标/(W·m <sup>-2</sup> )							
	实验室1	实验室7	办公室1	办公室2	教室 3-1	教室 3-4	教室 5-1	教室 5-4
一	66.54	89.14	46.25	38.84	66.61	80.9	80.78	97.12
二	40.22	62.46	31.55	24.2	25.18	39.11	39.12	55.42
三	25.01	39.75	20.02	16.44	19.75	29.56	26.88	35.87

3种房间类型受房间参数设置不同的影响,热负荷指标也有所差异.其中实验室1、办公室1、办公室2、教室3-1,教室5-4均朝南,其余房间朝北.同样的房间类型、同样的楼层,因朝南房间阳光较充足,平均热负荷指标荷较朝北方向的房间低20%~30%;办公室类房间较其余两种房间类型较少,建筑内只有朝南的房间,与教室和实验室的不同在于办公室内人员密度较低,因此围护结构传热对室内热负荷的影响较明显,办公室2与室外接触的维护结构面积大于办公室1,因此热负荷指标较大,由于实验室和教室的人员密度较大,新风负荷与室内显热负荷都受室内人员影响较大,维护结构与室外接触面积大小对热负荷的影响并不像办公室这样明显;顶层由于存在屋面的原因,教室的热负荷指标较其余楼层有所增大.

## 6 结 论

(1)在Dest中以通风换气次数换算人均新风量计算新风负荷与通风负荷二者误差均不大于10%,新风负荷占比较大且主要受室内外温差影响,在夜间大于日间,假期大于学生在校期间.调节通风作息能有效降低夜间与寒假的热负荷,整个采暖季负荷大幅减少,达到50.49%.

(2)针对教学楼使用特点,对其非使用

时段采用值班温度供暖,采暖季负荷降低28.13%,夜间室内温度并未衰减至设定值班温度5℃,因此夜间可暂停供暖,负荷附加率为29%,但负荷较高时段不足1%,而建筑在整个采暖季处在低负荷状态下的时段占80%左右.

(3)值班温度供暖模式下各功能房间热负荷指标在16~40W/m<sup>2</sup>,建筑热负荷指标为31.11W/m<sup>2</sup>,在有效改善了供暖季室内空气环境的同时节省建筑在非使用时段的能耗.负荷附加现象主要由晨间开始供暖时段室内温差导致,加强围护结构热惰性对这一现象会有极大改善.

### 参考文献

[1] 翟金霞,张前龙,胡琼.某地区高校教室室内空气污染状况的研究[J].安徽医科大学学报,2004,39(3):231-232.  
(ZHAI Jinxia,ZHANG Qianlong,HU Qiong. Study on air pollution in classrooms of colleges and universities in a certain area[J]. Acta universitatis medicinalis Anhui, 2004, 39(3): 231-232.)

[2] 朱卫兵,张小彬,陈威威.北方地区教室室内空气品质测试与分析[J].暖通空调,2007,37(5):112-114.  
(ZHU Weibing,ZHANG Xiaobin,CHEN Weiwei. Test and analysis of classroom air quality in northern area[J]. HV & AC,2007,37(5): 112-114.)

[3] KALIMERI K K, MISSIA D A, SARAGA D E, et al. Indoor air quality investigation of the school environment and estimated health risks: two-season measurements in primary schools in

- Kozani, Greece [J]. Atmospheric pollution research, 2016, 7(6): 1128 - 1142.
- [4] LIN C, PENG, KUAN C. Characterization of indoor PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and ultrafine particles in elementary school classrooms: a review [J]. environmental engineering science, 2010, 27(11): 915 - 922.
  - [5] 周书涵, 郭森杰, 王雪羽, 等. 学校教室室内空气质量调查及成因分析 [J]. 建筑热能通风空调, 2017, 36(12): 35 - 37.  
(ZHOU Shuhan, GUO Senjie, WANG Xueyu, et al. Investigation on air quality of classroom and campus and its interaction analysis [J]. Building energy & environment, 2017, 36(12): 35 - 37.)
  - [6] BECKER R, GOLDBERGER I, PACIUK M. Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation [J]. Building & environment, 2007, 42(9): 3261 - 3276.
  - [7] 冉春雨, 贾正超. 长春市某高校间歇采暖节能潜力分析 [J]. 吉林建筑工程学院学报, 2010, 27(5): 41 - 44.  
(RAN Chunyu, JIA Zhengchao. A college saving potential of intermittent heating in Changchun [J]. Journal of Jilin institute of architecture & civil engineering, 2010, 27(5): 41 - 44.)
  - [8] 陈美娟, 周文和. 兰州交大教学楼供暖系统运行现状分析 [J]. 建筑热能通风空调, 2015, 34(4): 64 - 67.  
(CHEN Meijuan, ZHOU Wenhe. Analysis of the present running status of teaching building heating system in Lanzhou jiaotong university [J]. Building energy & environment, 2015, 34(4): 64 - 67.)
  - [9] 刘伟, 吕建. 分时供暖在高校类建筑中的节能率分析 [J]. 节能, 2012(6): 41 - 44.  
(LIU Wei, Lü Jian. Energy-saving rate analysis on time-division heating in university buildings [J]. Energy conservation, 2012(6): 41 - 44.)
  - [10] SEKKI, TIINA, AIRAKSINEN, et al. Impact of building usage and occupancy on energy consumption in finnish daycare and school buildings [J]. Energy and buildings, 2015, 105: 247 - 257.
  - [11] 徐树庆, 杨凯悦, 王文标, 等. 高校楼宇供暖节能控制系统的应用 [J]. 建筑节能, 2016, 44(3): 68 - 71.  
(XU Shuqing, YANG Kaiyue, WANG Wenbiao, et al. Research and application of heating energy saving control system for university building [J]. Building energy efficiency, 2016, 44(3): 68 - 71.)
  - [12] 张玉旗. 高等院校采暖节能问题研究 [J]. 山西建筑, 2007, 33(23): 182 - 183.  
(ZHANG Yuqi. Study on heating energy-saving in colleges and universities [J]. Shanxi architecture, 2007, 33(23): 182 - 183.)
  - [13] 中国建筑科学研究院. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范: GB50736—2012 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.  
(China Academy of Building Research. Design code for heating ventilation and air conditioning of civil buildings: GB50736—2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.)
  - [14] 袁丽婷, 钟珂, 袁浩波, 等. 间歇供暖房间有效能耗影响因素分析 [J]. 暖通空调, 2015, 45(10): 110 - 115.  
(YUAN Liting, ZHONG Ke, YUAN Haobo, et al. Influencing factors of effective energy consumption in intermittent heating rooms [J]. Heating ventilating & air conditioning, 2015, 45(10): 110 - 115.)
  - [15] XU B, ZHOU S, HU W. An intermittent heating strategy by predicting warm-up time for office buildings in Beijing [J]. Energy & buildings, 2017, 155: 35 - 42.
  - [16] FELLERS C, ÖSTLUND S, MÄKELÄ P, et al. Calculation method of intermittent heating load [J]. Heating ventilating & air conditioning, 2012, 27(2): 231 - 236.
  - [17] 陈玲, 董重成. 间歇供暖负荷计算方法研究 [J]. 暖通空调, 2012, 42(7): 42 - 48.  
(CHEN Ling, DONG Zhongcheng. Calculation method of intermittent heating load [J]. Heating ventilating & air conditioning, 2012, 42(7): 42 - 48.)
  - [18] 武雅琼, 刘艳峰, 马超. 办公建筑间歇采暖热负荷简化计算研究 [J]. 建筑热能通风空调, 2016, 35(6): 1 - 5.  
(WU Yaqiong, LIU Yanfeng, MA Chao. The simplified calculation of office building intermittent heating load [J]. Building energy & environment, 2016, 35(6): 1 - 5.)
  - [19] BADRAN A A, JARADAT A W, BAHBOUH M N. Comparative study of continuous versus intermittent heating for local residential building: case studies in Jordan [J]. Energy conversion & management, 2013, 65(1): 709 - 714.
  - [20] 尹亮亮. 基于能耗调研的天津某高校节能潜力分析和能耗预测 [D]. 天津: 天津大学, 2010.  
(YIN Liangliang. Energy-saving potential analysis of one university in Tianjin and the prediction of energy consumption based on the energy consumption investigating [D]. Tianjin: Tianjin University, 2010.)
  - [21] 杨黎黎. 间歇采暖室外计算温度的取值方法研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016.  
(YANG Lili. Study on the value methods of the outdoor calculated temperature for intermittent heating [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2016.)
  - [22] KATAFYGIOTOU M C, SERGHIDES D K. Analysis of structural elements and energy consumption of school building stock in Cyprus: energy simulations and upgrade scenarios of a typical school [J]. Energy and buildings, 2014, 72(1): 8 - 16.