

不同气候区铁路客站自然通风使用策略研究

中建国际设计顾问有限公司 毛红卫[☆]

同济大学 刘东

铁道部工程设计鉴定中心 赵奕

摘要 确定了铁路客站自然通风的热舒适标准;结合实地调研,分别采用 DeST 和 CFD 软件模拟研究了自然通风在不同气候区铁路客站中的应用;分析了利用自然通风提高铁路客站的热舒适性并降低空调系统能耗的可能性;重点给出了不同气候区铁路客站利用自然通风时应采取的策略,为今后铁路客站的自然通风设计提供参考和依据。

关键词 铁路客站 自然通风 模拟分析 使用策略 热舒适

Natural ventilation application strategies of railway stations in different climatic regions

By Mao Hongwei[★], Liu Dong and Zhao Yi

Abstract Determines thermal comfort standards suitable for natural ventilation of railway stations. Simulates the application of natural ventilation to railway stations in different climatic regions using the DeST and CFD software with input data from field investigation. Analyses the practicability of using natural ventilation to improve the indoor thermal comfort of railway stations and reduce the energy consumption of air conditioning systems. Emphasizes the natural ventilation strategies which should be adopted in these regions, providing a reference and basis for future natural ventilation design of railway stations.

Keywords railway station, natural ventilation, simulation analysis, application strategy, thermal comfort

★ CCDI, Shanghai, China

①

0 引言

自 2003 年以来,中国高速铁路建设以史无前例的速度向前推进。作为高速铁路的重要组成部分,高铁客站迎来了快速建设的难得机遇。预计至 2012 年年底,全国 1.3 万 km 的高速铁路线上将建成 804 座现代化铁路客站,总面积达 2 400 万 m²。其中,特大型铁路客站 51 座,总面积达 945 万 m²[1]。现代化铁路客站建筑空间高大、人员密度和人员流动性大、使用时间长,其暖通空调系统具有高能耗的特点。在建设资源节约型社会的大背景下,铁路客站的节能减排已经引起各界的重视。为实现铁路客站的可持续发展,达到资源节约和环境友好的目的,建造更多更好的可持续发展的绿色铁路客站建筑迫在眉睫。

目前铁路客站建筑中常用的节能技术有建筑

光伏一体化、自然通风、地源热泵和自然采光,其中自然通风不需要动力设备,不消耗任何能源,是一种被动式绿色节能技术。

然而,目前针对铁路客站建筑自然通风的研究较少。李传成等人以高架铁路客站为研究对象,分析了高架铁路客站的空间结构特点和热环境特点,通过 CFD 模拟验证了自然通风节能策略的适用性[2]。於仲义等人应用零方程湍流模型对鄂尔多斯站高大空间连通体的热环境进行了模拟和分析[3]。文献[4-6]与以上研究相似,多采用实验和

①[☆] 毛红卫,男,1966 年 10 月生,硕士研究生,教授级高级工程师
200433 上海市杨浦区四平路 1758 号 CCDI 大厦
(0) 13701358211

E-mail:mao.hongwei@ccdi.com.cn

收稿日期:2012-05-15

修回日期:2012-07-30

CFD方法对特定气候区的铁路客站进行了分析。本文将重点研究不同气候区铁路客站自然通风的适用性,力图为今后铁路客站的自然通风设计提供参考和依据。

1 铁路客站自然通风条件下的热舒适标准

目前国际上公认的热舒适评价指标是 Fanger 教授提出的 $PMV-PPD$ 指标,但有研究表明, $PMV-PPD$ 指标对于自然通风建筑的热舒适性评价不太准确,偏差较大^[7]。因此,可参考的自然通风热舒适标准有 ASHRAE 标准和欧洲标准。

1.1 ASHRAE 标准

ASHRAE Standard 55-2004 中关于自然通风热舒适性方面推荐的评价标准是适应性热舒适标准 (adaptive comfort standard),该标准是以 Richard 等人的研究为基础优化得到的。

ASHRAE Standard 55-2004 中指出,在一定的温度范围内,室内舒适温度与室外温度线性相关(如图 1 所示),计算公式如下:

$$t_o = 0.31t_{a,out} \pm 17.8 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10 \text{ } ^\circ\text{C} < t_{a,out} < 33 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (1)$$

式中 t_o 为热中性时的作用温度(以月为单位变化), $^\circ\text{C}$; $t_{a,out}$ 为室外月平均温度, $^\circ\text{C}$ 。 $t_o \pm 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 为 90% 满意度对应的舒适区, $t_o \pm 3.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 为 80% 满意度对应的舒适区。

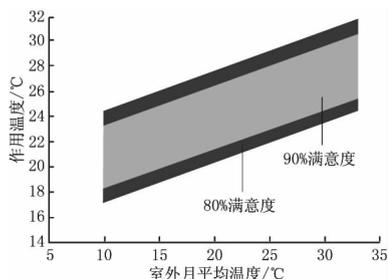


图 1 ASHRAE Standard 55-2004 非空调房间可接受的舒适温度范围

1.2 欧洲标准

欧洲标准委员会 (CEN) 制定的标准 EN 15251:2007(E) 针对非空调建筑也提出了相应的舒适性标准。在该标准中,室内舒适温度与室外温度线性相关(如图 2 所示),这点与 ASHRAE 标准相似。

计算公式如下:

$$\text{I 类上下限: } \theta_o = 0.33\theta_{m} + 18.8 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

$$\text{II 类上下限: } \theta_o = 0.33\theta_{m} + 18.8 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

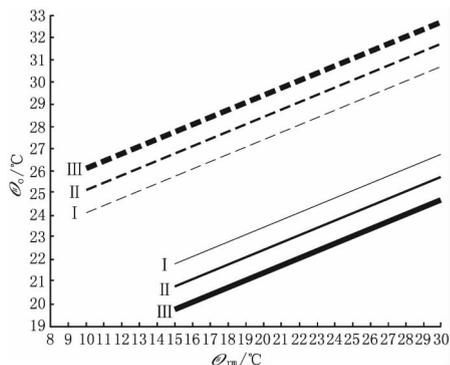


图 2 EN15251:2007(E) 中非空调房间可接受的舒适温度范围

III 类上下限: $\theta_o = 0.33\theta_{m} + 18.8 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 4 \text{ } ^\circ\text{C}$ (4)
式(2)~(4)中 θ_o 为室内作用温度的限值(以日为单位变化), $^\circ\text{C}$; θ_{m} 为室外日动态平均温度, $^\circ\text{C}$ 。

该标准中, I 类对应 90% 满意度, II 类对应 80% 满意度, III 类对应 65% 满意度。

1.3 标准之间的比较

为考察 ASHRAE 标准和欧洲标准之间的区别,分别应用 ASHRAE 标准和欧洲标准对不同城市的铁路客站在自然通风情况下的热舒适温度限值进行了计算,结果见表 1(其中总时间=全年 8 760 h—供暖期时间)。表中各城市室外逐时干球温度低于不同标准限值的时间表示各个城市潜在的自然通风可利用时间,并不是实际情况下的自然通风利用时间。

1.4 热舒适性标准的确定

针对不同气候区铁路客站所在的城市,考虑到自然通风条件下室外环境对人们心理的影响,及欧洲标准更接近国内实际情况,故采用欧洲标准的舒适温度上限作为本文自然通风情况下铁路客站室内舒适温度的上限。考虑到本文研究的对象铁路客站中人员是短期逗留,认为可将欧洲标准适当放宽,因此大型、中小型铁路客站自然通风条件下室内舒适温度上限分别参照欧洲标准 EN 15251:2007(E) 中非空调情况下 80% 和 65% 满意度对应的标准。

由于根据 ASHRAE 标准和欧洲标准计算得出的非空调情况下的舒适温度下限比 GB 50276—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》中短期逗留区域冬季空调舒适温度下限高出较多,出于实际操作的可行性及节能方面的考虑,本文将 GB 50276—2012《民用建筑供暖通风与空气调节

表1 室外逐时干球温度低于不同标准的时间(不包括供暖期)

	低于ASHRAE标准 80%满意度上限		低于欧洲标准 80%满意度上限		低于欧洲标准65% 满意度上限		低于新版暖通规范 ¹⁾ 上限(30℃)		总时间(不含 供暖期)/h
	时间/h	比例/%	时间/h	比例/%	时间/h	比例/%	时间/h	比例/%	
哈尔滨	3 526	80.7	4 230	96.8	4 298	98.4	4 297	98.4	4 368
长春(吉林)	3 511	74.3	4 638	98.1	4 685	99.1	4 679	99.0	4 728
沈阳(抚顺)	4 853	94.5	4 984	97.0	5 067	98.7	5 010	97.5	5 136
乌鲁木齐	3 553	81.3	4 015	91.9	4 123	94.4	4 104	94.0	4 368
石家庄(保定)	4 529	77.3	5420	92.6	5 588	95.4	5 435	92.8	5 856
南京	5 151	74.5	6 443	93.2	6 610	95.6	6 318	91.4	6 912
厦门(泉州)	8 146	93.0	8 359	95.4	8 546	97.6	8 236	94.0	8 760
琼海(三亚)	7 685	87.7	8 019	91.5	8 344	95.3	7 741	88.4	8 760

1) 指 GB 50276—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》。设计规范》中短期逗留区域冬季空调舒适温度下限(16℃)作为非空调情况下的室内热舒适温度下限。

2 研究方法

2.1 现场调研

考虑到我国领土幅员辽阔,气候南北差异明显,笔者分别于2009年12月对哈尔滨西站,2010年7—9月对乌鲁木齐、抚顺、南京、泉州、海口及三亚车站的自然通风情况进行了调研,调研内容包括:1) 车站运行特点,包括人员密度、旅客发送密度、车站等候时间等;2) 应用自然通风的月份、时间、运行方式(何时开空调,何时采用自然通风),自然通风的实际效果;3) 可开启窗面积、建筑物形体、窗的开启方式、冬季防渗透的做法;4) 铁路客站通风路径、实际通风换气次数、自然通风条件下室内温湿度等;5) 利用机械通风装置降温的情况;6) 能耗记录。

其中,通风路径调研是为了研究铁路客站的通风情况,反映通风的类型,以辅助模拟研究来改善自然通风;实际换气次数调研是为了通过实测候车厅、售票大厅等空间各个通道口的进出风量,结合建筑面积,计算得到整个建筑的换气次数;而自然通风条件下的室内温湿度能够反映自然通风的效果,参考人员热舒适条件,可论证利用自然通风能否满足室内热舒适需求。此外,对空调设计、运行情况及能耗等也进行了调研。

2.2 计算机模拟分析

2.2.1 DeST 动态模拟

为了动态模拟铁路客站全年的自然通风状况,采用建筑能耗模拟分析软件 DeST 进行模拟分析,得出不同车站自然通风的应用时间及节能效果,并分析不同条件(例如开窗率、遮阳系数等)对自然通风的影

响。下面以保定东站为例建立 DeST 分析模型。

保定东站的围护结构参数参考建筑图纸设定,具体的客流量、候车大厅和集散厅的人员密度及作息模式按照实际调研结果设定。候车大厅 1,2 的人员密度为 0.910 人/m²,设备及灯光功率密度为 5 W/m²,全天 24 h 无变化。围护结构外墙和楼板热阻为 1.96 m²·K/W,屋顶热阻为 2.50 m²·K/W。外窗玻璃参数如表 2 所示。

表2 外窗玻璃参数

	东西向窗	南北向窗
传热系数/(W/(m ² ·K))	2.7	2.0
遮阳系数	0.5	0.7
得热系数	0.435	0.609
反射比/%	70	58
透射比/%	70	26
透过比/%	78	66

在建模过程中进行了适当的简化:1) 对模拟主体候车大厅尽量按照实际情况建模,其他功能区则划归为一个整体;2) 将 3 层挑高的候车大厅人为地分为 3 层,因为研究中更关注近地人员区域的温度场,若把 3 层挑高的候车大厅建模为一个整体,DeST 软件计算得出的是以整个候车大厅为一个节点的温度,不能真实反映靠近地面处的温度场;3) 侧墙上的外窗和屋顶的天窗合并为一个整体,但朝向等参数不变。图 3 为建立的 DeST 模型。

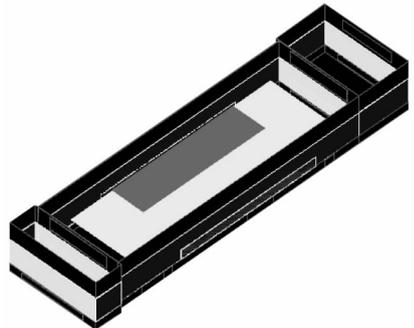


图3 保定东站模型侧视图

保定东站全年自然通风条件下的换气次数分布如图4所示。由于保定地处寒冷地区,冬季要加强密闭性并尽量减少室外风的渗入,因此分析自然通风的可行性时仅考虑过渡季和夏季的情况,冬季则不予考虑。

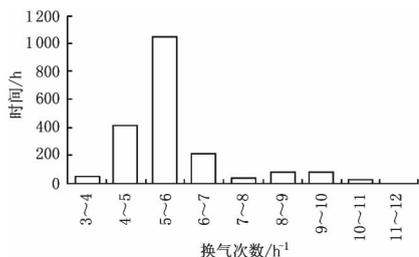


图4 保定东站全年自然通风条件下的通风换气次数分布

从模拟结果可以看出,保定车站全年通风换气次数超过 5 h^{-1} 的比例达到了76.3%。过渡季和夏季的平均换气次数为 6.14 h^{-1} 。将计算得到的逐时温度与舒适度标准进行比较得到图5,舒适度上限采用欧洲标准65%满意度对应的温度上限,由于保定冬天供暖,所以不考虑标准的下限,从而得出保定东站非供暖季采用自然通风能满足舒适度标准的时间为3413h,不满足时间为2443h,满足率为58.3%。

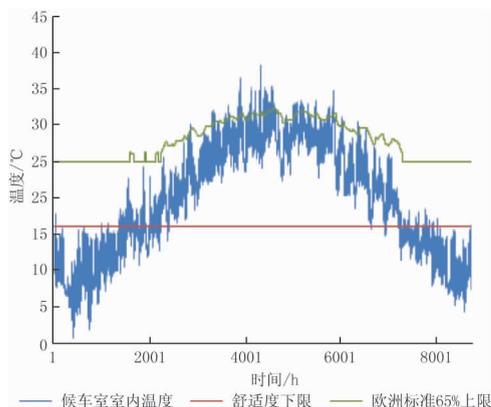


图5 保定东站候车大厅自然通风状态下的室内温度分布

使用DeST软件对保定车站进行负荷模拟,根据经验将空调系统平均COP取为3.0,其余参数采用软件中的缺省值,计算得到全年空调情况下的能耗。根据可利用自然通风的时间,将空调全年能耗扣除可利用自然通风时段内的能耗,可得到自然通风结合空调工况下的能耗。两种工况下的能耗对比如表3所示,引入自然通风可使制冷季能耗降低24%,折算为一次能源可节省标准煤37549kg,减少CO₂排放约94t。

表3 保定东站候车厅两种工况下年空调能耗对比

	累计冷负荷/ kW	累计耗电量/ (kW·h)	节能率/ %
全空调	790 808	263 603	
自然通风+空调	603 067	201 022	24

2.2.2 CFD静态模拟

采用DeST软件计算得出的候车区域室内温度是该区域的平均温度,当平均温度满足舒适度的要求时,并不代表室内各点的温度均能满足舒适度要求,所以为考察候车室的实际温度分布是否均匀,候车室各点的温度是否能满足热舒适要求,下面利用CFD(computational fluid dynamics)方法分析候车厅的自然通风情况。

仍以保定东站为例建模,为了提高计算效率,对实际建筑进行合理简化,去掉座椅等室内装饰物,建筑外形简化为长方体,共划分约240万四面体网格进行计算。围护结构属性及室内热源参数与DeST模型保持一致,室外参数结合保定市的气象参数和DeST模拟得出的自然通风计算结果确定,选取典型工作日(6月13日)09:00作为计算时刻。DeST模拟结果显示,该时刻采用自然通风能满足舒适性要求,且室内热舒适温度范围为 $16\sim 31.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。来流风向为东南向,平均风速为 1.6 m/s (气象站测量值)的梯度风,室外温度 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$,考虑太阳辐射的影响。

图6为候车厅人员活动区的风速分布,由于站台位置的影响,并未形成穿堂风,室外空气经由南北两侧外门进入室内。图7为整个候车大厅的气流组织分布,可以看出除了南北侧外门,南北侧窗也起到了引入室外空气的作用,而室内热空气主要通过热压作用由天窗排到室外。因此候车厅的自然通风模式为:由南北侧外门、窗引入室外新风,由天窗排走室内热空气。

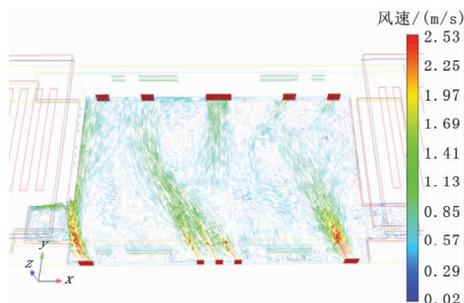


图6 1层候车大厅人员活动区风速分布

图8显示了1层候车厅人员活动区的温度分

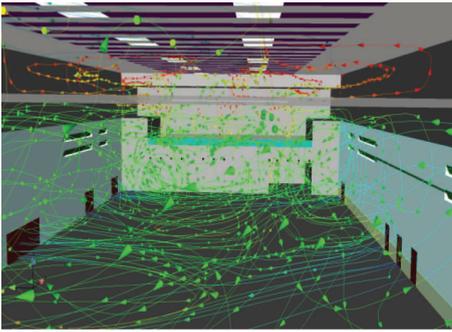


图7 候车大厅空间气流组织分布

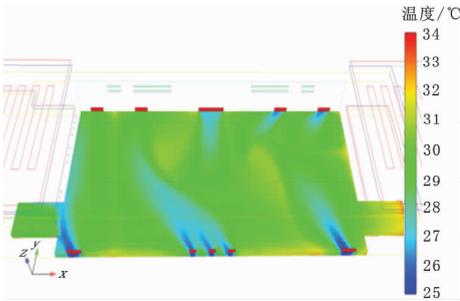


图8 1层候车大厅人员活动区温度分布

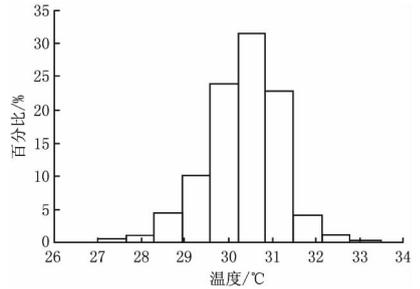


图9 1层候车大厅人员活动区温度分布比例

的区域温度低于 $31.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,而从图8可以发现温度高于 $31.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域主要集中在两侧非人员滞留区,对候车厅整体舒适性影响不大。

CFD 计算结果显示,自然通风能够满足候车厅内热舒适性要求,CFD 与 DeST 的分析结果相吻合。下面运用同样的分析方法,研究不同气候区铁路客站自然通风的适用性。

3 不同气候区铁路客站自然通风的使用策略

对寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区典型铁路客站全年逐时室内温湿度参数进行模拟,得出各车站的自然通风可利用时间及节能率,计算结果见表4。

表4 各车站的自然通风可利用时间与节能率汇总

	抚顺	保定	南京	泉州	三亚
自然通风可利用时间/h	4 984	3 413	3 487	4 967	7 617
占全年总时间的比例/%	56.9	39.0	39.8	56.7	87.0
占非供暖季总时间的比例/%	97.0	66.4	50.5	56.7	87.0
全空调工况能耗/(MW·h)	80.0	395.1	1 609.6	1 054.0	1 392.0
自然通风+空调工况能耗/(MW·h)	17.0	301.5	1 368.6	675.0	456.6
节能率/%	78.8	23.7	15.0	36.0	67.2
CO ₂ 减排/(t/a)	62.8	93.3	240.3	377.9	932.6

由表4可知,上述地区各车站均有利用自然通风的节能潜力,合理利用自然通风可以缩短车站夏季使用空调的时间,达到节能目的。特别是对于三亚新站,自然通风可利用时间所占比例高达87%,利用自然通风的节能潜力很大。

不同气候区的车站,自然通风使用策略也不相同。严寒地区的火车站,夏季炎热时间短,应尽可能利用自然通风,但同时也需考虑可能带来的冬季冷风渗透量过大的问题;夏热冬暖地区的火车站,在考虑利用自然通风时,需认真分析夏季室内舒适度问题,探讨取消空调系统的可能性等。

通过对已有铁路客站自然通风情况的现场调研,结合气象参数分析和模拟计算结果,得出不同气候区不同规模铁路客站应用自然通风的特点及自然通风的适用范围,见表5。

4 结论

4.1 铁路客站自然通风条件下,室内热舒适温度上限选取欧洲标准 EN 15251:2007(E)中非空调情况下65%满意度对应的温度上限,下限选取 GB 50276—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》中短期逗留区域冬季空调舒适温度下限($16\text{ }^{\circ}\text{C}$)较为合适。

4.2 采用 DeST 软件动态模拟铁路客站全年自然通风的可利用时间及节能效果,采用 CFD 软件静态模拟某时间节点铁路客站内的温度分布,二者相互结合可以更有效地分析不同气候区铁路客站的自然通风利用效果。

4.3 不同气候区应采用不同的自然通风策略:1)严寒地区可考虑取消空调,或尽可能缩短空调运行时间;2)寒冷地区尽可能优化自然通风条件,中小

表5 建筑气候区与自然通风适用范围

气候区	冬季	夏季	过渡季	建议
严寒地区	不适宜,要考虑冬季供暖时的气密性	在自然通风情况下,一些大型铁路客站室内温度超过 31℃ 的时间可以缩短至 10 h 以内,超过 28℃ 的时间不超过 200 h,最高温度不超过 31.2℃;中小型铁路客站最高温度不超过 31℃,超过 28℃ 的时间不超过 100 h	适宜	夏季尽可能缩短空调运行时间,中小型铁路客站要考虑充分利用自然通风取消空调
寒冷地区	不适宜,要考虑冬季供暖时的气密性	中小型铁路客站自然通风满足时间可达全年总时间(不含供暖时间)的 98%	适宜	优化自然通风条件,缩短空调运行时间,中小型铁路客站可考虑取消空调
夏热冬冷地区	不适宜,要考虑冬季供暖时的气密性	不能取消空调,铁路客站自然通风满足时间可占全年总时间(不含供暖季)的 50%,凉爽的夜晚可考虑夜间通风	适宜	考虑夜间通风或过渡季自然通风,缩短空调时间
夏热冬暖地区 除海南岛 海南岛	适宜	不能取消空调,铁路客站自然通风满足时间占全年总时间的 60% 全年自然通风满足率可达 90%	适宜	充分利用自然通风,缩短空调时间 室内舒适度要求不高的铁路客站可考虑取消空调,或加强遮阳,优化空调系统,以局部空调代替
温和地区	室内温度低于 16℃ 时,不进行大范围自然通风	以昆明为例,全年最高温度为 30℃,超过 28℃ 的时间仅 15 h,一年 80% 的时间室外温度在 10~28℃ 之间,有良好的自然通风条件		优化站房自然通风条件,使站房全年有良好的自然通风;在控制室内湿度的前提下,可考虑取消空调系统

型火车站应考虑取消空调,同时要考虑冬季供暖时的气密性;3) 温和地区重点应放在优化站房自然通风条件上,使站房全年有良好的自然通风,在控制室内湿度的前提下,可考虑取消空调系统;4) 夏热冬冷地区可考虑采用夜间通风或过渡季自然通风的运行模式;5) 夏热冬暖地区要充分利用自然通风,缩短空调运行时间,部分地区(如海南)要加强遮阳,可考虑自然通风辅以局部空调代替集中空调系统。

参考文献:

[1] 王维敏. 中国高速铁路客站建设进入加速[EB/OL]. [2011-04-02]. <http://project.newsccn.com/2010-12-13/26829.html>

[2] 李传成,李保峰,陈宏. 高架铁路客站整体自然通风节能策略研究[J]. 建筑学报,2011(1):105-109

[3] 於仲义,王疆,陈焰华. 鄂尔多斯火车站站房高大空间自然通风应用研究[J]. 建筑科学,2010,26(10):93-96

[4] 高宏. 某火车站房的自然通风效果模拟分析[J]. 建筑热能通风空调,2011,30(1):90-93

[5] 田利伟,于靖华. 新广州火车站自然通风潜力分析[J]. 暖通空调,2011,41(9):82-86

[6] 肖应潮. 新武汉火车站自然通风应用研究[J]. 暖通空调,2009,39(12):77-80

[7] 王新林,赵奕,毛红卫,等. 夏热冬冷地区某大型铁路客站自然通风适用性研究[J]. 暖通空调,2012,42(2):95-100