

文章编号: 1671-6612 (2021) 01-082-06

兰州地区某地铁建筑冷负荷模拟计算研究

韩福成 李 炎 赵 珀 黄帅帅

(兰州交通大学环境与市政工程学院 兰州 730070)

【摘 要】 针对兰州某地区地铁站冷负荷的计算进行研究,这对降低地铁站环控设备容量和减少运行成本有较大意义。与国内相同规模地铁车站的冷负荷相比较,模拟所得结果(最不利工况下)均在合理区间——公共区负荷 549.20kW(参考值:420~570kW);设备区负荷 545.19kW(参考值:404kW~581kW),表明计算方法、参数设定合理,计算结果正确。经过 DeST-C 模拟计算及数据分析得出以下结论:车站整体冷负荷模拟结果达到设计计算冷负荷±2%的累计时段仅占空调季(6、7、8月份)总时长的 0.42%;空调季车站公共区平均冷指标模拟值为 87.27W/m²,约占设计冷指标的 73.0%;设备区平均冷指标模拟值为 293.89W/m²,约占设计冷指标的 94.7%。以上结论可作为兰州地区未来地铁车站环控设备选型、台套数匹配以及后期环控调节方案设计提供数据参考。

【关键词】 兰州地区; 地铁车站; 负荷模拟; DeST-C

中图分类号 TU96+2 文献标识码 A

Study on the Simulation Calculation of a Subway Building Load in Lanzhou Area

Han Fucheng Li Yan Zhao Po Huang Shuaishuai

(School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, 730070)

【Abstract】 This paper studies the calculation of cooling load of a subway station in Lanzhou, which is of great significance to reduce the capacity of environmental control equipment and reduce the operating cost of the subway station. Compared with the cooling load of subway stations of the same size in China, the simulation results obtained in this paper (under the most adverse working conditions) are all within a reasonable range - the load in the public area is 549.20kW (reference value: 420~570kW). The load of the equipment area is 545.19kW (reference value: 404kW~581kW), which indicates that the calculation method and reasonable calculation result of parameter setting in this paper are correct. After DeST-C simulation calculation and data analysis, the following conclusions are drawn: the cumulative period of the station's overall cooling load simulation results reaching design calculated cooling load ±2% only accounts for 0.42% of the total time of the air conditioning season (June, July and August); The simulated value of the average cooling index in the public area of the station in the air conditioning season is 87.27w /m², accounting for about 73.0% of the designed cooling index. The simulated value of the average cold index in the equipment area is 293.89w /m², accounting for about 94.7% of the designed cold index. The above conclusions can be used as data reference for the selection of environmental control equipment, the matching of the number of sets and the design of the later environmental control regulation scheme in Lanzhou metro stations in the future.

【Keywords】 Lanzhou area; subway station; Load simulation; DeST-C

0 引言

目前我国对地铁站冷负荷的设计计算研究仍处于探索和发展阶段, 相关设计参数的确定仍是参照地上建筑, 投入运行的各地铁站环控系统已经基本满足地铁车站日常运营需求; 另一方面, 根据国际地铁协会研究: 亚洲区域地铁运营的能耗费用占总运营成本的比例约为 15%~30%, 高于欧洲的 5% 和北美的 10%^[1]。目前国内地铁环控系统投资大, 能耗高 (约占车站总能耗的 45%~60%)^[2], 环控系统建设、运营成本很大程度上取决于系统设计, 而系统设计中最核心的内容是确定空调负荷。根据地铁车站运营情况, 合理确定空调冷负荷, 在满足室内温湿度控制条件下, 对降低运营成本意义重大。

1 兰州地区地理及气候条件

兰州属温带大陆性气候, 降水少, 日照多, 年平均蒸发量 1446.4mm, 气候干燥, 昼夜温差大, 年平均气温 10.2℃ 左右, 年平均降水量约 287.6mm, 主要集中在 6~9 月, 市区海拔平均高度 1518 米。总的来说, 兰州干旱少雨、海拔较高, 地理、气候

环境与我国其他已开通地铁的城市大不相同, 因此对兰州地铁环控系统进行研究有一定实用价值。兰州地铁环控系统的室外设计气象参数见表 1 内所示数值, 参数采用兰州地区近 20 年夏季晚高峰负荷时段, 平均每年同时不保证 30h 的干、湿球温度的平均值确定^[3]。

表 1 室外设计气象参数表

	室外计算干球温度/℃	室外计算湿球温度/℃
兰州	28.2	18.1

2 地铁站建筑基本概况

本次模拟对象为一座位于兰州市的明挖地下双层岛式地铁站, 2014 年 3 月开始建造, 2019 年 6 月完工并开始运营, 总建筑面积 17940m², 其中应用空调面积 6350m²。地下一层为站厅层, 主体长度 374.08m, 标准段宽度 21.60m; 地下二层为站台层, 有效站台长度 140m, 岛式站台宽度为 12.5m。该地铁车站建筑具体围护结构构造、尺寸及传热系数^[4]等参数数值见表 2。

表 2 围护结构构造、尺寸及传热系数表

Table 2 Concrete structure, size and heat transfer coefficient of envelope

围护结构	具体构造	结构尺寸/mm	传热系数 K/[W/(m ² ·K)]
外墙	水泥砂浆+钢筋混凝土+石灰砂浆	20+500+20	3.125
内墙	水泥砂浆+重砂浆黏土+水泥砂浆	20+240+20	2.959
站厅屋面	水泥砂浆+钢筋混凝土+水泥砂浆	20+800+20	1.946
站厅楼地	大理石+水泥砂浆+钢筋混凝土+水泥砂浆	20+20+500+20	3.067
站台楼地	大理石+水泥砂浆+钢筋混凝土+水泥砂浆	20+20+900+20	1.799
屏蔽门	玻璃幕墙	80	3.200
窗	普通中空玻璃	12	2.900
内门	单层木质内门	25	2.857

3 地铁站建筑模型的负荷模拟计算

3.1 地铁站建筑模型室内参数设置

DeST 模拟软件中, 按照建筑基本围护结构概况建立模型后, 还需设定建筑内部各类房间的室内

热扰参数、室内设计参数、人员及设备作息模式等具体工况^[5]。地铁站站内各类型房间室内空调设计相关参数^[6]详见表 3。

表 3 不同类型房间室内空调设计参数表

Table 3 Table of indoor air conditioning design parameters for different types of rooms

房间名称	冬季	夏季		小时换气次数	
	计算温度 (℃)	计算温度 (℃)	相对湿度 (%)	进风 (次)	排风 (次)
车站公共区	≥12	29	40~70	≥5	≥5

站长室、站务室、值班休息室、票务管理室、更衣室、警务室、会议室

18	27	<65	6	6
----	----	-----	---	---

续表 3 不同类型房间室内空调设计参数表

房间名称	冬季		夏季		小时换气次数	
	计算温度 (°C)	计算温度 (°C)	相对湿度 (%)	进风 (次)	排风 (次)	
车站控制室、控制室	18	27	40~60	6	5	
综合监控设备室、通信设备室、通信电源设备室、民用通信设备室、通风空调电控室、信号设备室、公安通信设备室、屏闭门设备及控制室	16	27	40~60	6	5	
牵引降压混合变电所、降压变电所	—	36	—	按排除余热计算风量		
照明配电室	16	36	—	4	4	
蓄电池室	16	30	—	6	6	

注：夏季室内空气允许波动范围为±1°C

地铁车站内部所用设备按照使用区域的不同，站模型内部设备散热量按照表 4 取值。分为公共区设备和设备区设备两类，所研究地铁车

表 4 地铁车站设备散热量表

Table 4 Heat dissipation meter for subway station equipment

名称		散热量	名称		散热量
地铁车站公共区	自动售票机	0.3 (kW/台)	照明	20 (W/m ²)	
	检票闸机	0.22 (kW/台)	资讯、广告屏幕	150 (W/m ²)	
	票房售票机	0.3 (kW/台)	通信设备	2.5 (kW/台)	
	自动扶梯	4.5 (kW/台)	无障碍电梯	6.5 (kW/台)	
地铁车站设备区	车站控制室	5kW	综合监控设备室	15kW	
	通信电源室	10kW	公安通信设备室	8kW	
	通信设备室	20kW	安全门设备室	5kW	
	AFC 票务室	2kW	1500V 直流开关柜	35kW	
	AFC 设备室	5kW	35kV 开关柜室	14kW	
	信号电源室	10kW	0.4kV 开关柜室	55kW	
	信号设备室	20kW	蓄电池室	5kW	
	环控电控室	19kW	整流变压器室	36kW	
	照明配电室	3kW	再生能源装置室	27kW	

车站人员负荷为动态负荷，数值随人流量的变化而发生改变，车站远期（2041 年）运营时段地铁车站公共区预测逐时客流量^[7]详见图 1。

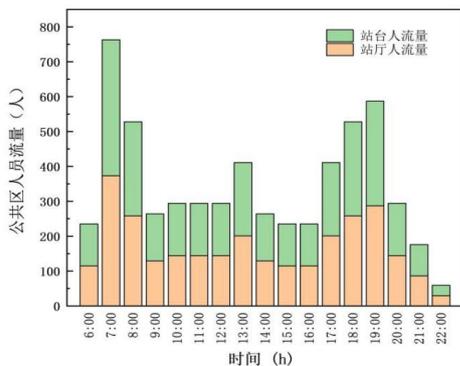


图 1 地铁车站公共区人员逐时流量图

Fig.1 Hourly flow of people in public areas of subway stations

3.2 地铁站建筑模型全年冷负荷模拟

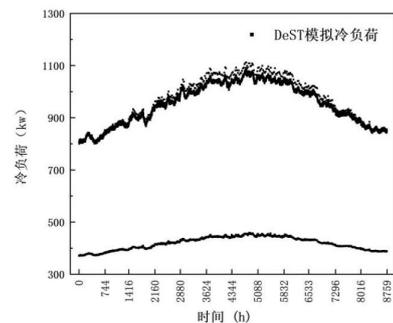


图 2 地铁车站全年冷负荷模拟结果图

Fig.2 Simulation results of annual cooling load in subway station

图 2 是 DeST 软件模拟所得的地铁车站全年逐时冷负荷散点图, 分析图中数据可得出以下结论:

(1) 可以看出负荷值主要分布在两部分: 第一部分, 在 300~500kW 区间的地铁站非运营时段的车站冷负荷; 第二部分, 在 800~1100kW 区间的地铁站运营时段的车站冷负荷。出现数值上的明显分化原因是一一车站公共区与设备区中人员管理用房部分在非运营时段环控系统关闭。此时, 地铁车站环控系统整体负荷仅包括设备区内弱电房和强电房两部分冷负荷;

(2) 虽然车站冷负荷值分布在两个区域, 但每一部分的变化趋势是相同的: 车站负荷值最高月份为 7 月份, 全站负荷值最低月份为 1 月份 1 至 7 月份大致逐月递增; 7 至 12 月份大致逐月递减。

3.3 地铁站公共区冷负荷模拟计算

所研究地铁车站公共区总面积为 4594m², 在原设计中采用直接蒸发冷却系统供冷^[8], 其负荷包括出入口负荷、屏蔽门负荷、围护结构负荷、人员负荷、设备负荷、照明负荷、新风负荷及其他负荷。

根据实际工程设计数据可知: 公共区设计冷负荷为 549.20kW, 设计冷指标为 119.55W/m²; 站厅层设计冷负荷为 224.18kW, 设计冷指标为 75.28W/m²; 站台层设计冷负荷为 325.02kW, 设计冷指标为 201.13W/m²。采用 DeST-C 软件所模拟的地铁车站公共区冷负荷及冷指标结果如图 3、4 所示。

公共区负荷相较于车站整体负荷与设备区负荷, 其特点较为明显: 公共区并非全天 24 小时连续运营, 因此在逐时负荷散点图(图 3)中会发现有明显间断; 因为影响因素较为稳定, 运营时段负

荷数值变化更加连贯, 基本与外部气候变化趋势一致。

结合图 4 与表 5 我们可以得出: 在平均温度最高的七月份(4344~5087h), 车站公共区运营时间累计 558 小时, 公共区冷指标大于设计冷指标时间累计 21 小时, 占七月总运营时间 3.41%, 不连续分布且差值较小(0.03~1.34W/m²)。因此, 并不会引起站内热湿环境的失衡。此外从表 5 来看, 在空调季(6 月~8 月)时段内公共区负荷波动并不明显, 基本维持在设计负荷的 95%~100%区间内。

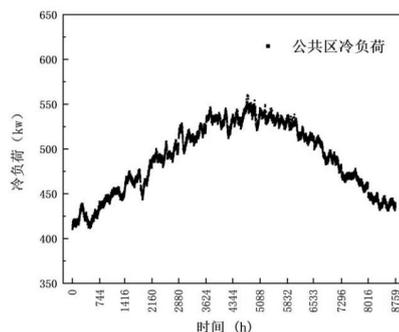


图 3 地铁车站公共区全年冷负荷模拟结果图

Fig.3 Simulation results of annual cooling load in public areas of subway stations

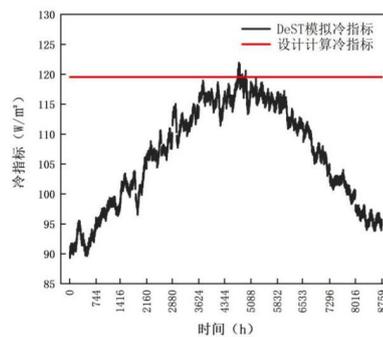


图 4 地铁车站公共区全年冷指标模拟结果图

Fig.4 Simulation results of annual cold index in public areas of subway stations

表 5 公共区模拟负荷与设计负荷对比

Table 5 Comparison of simulated load and design load in common area

累计小时数 (h)	模拟负荷占设计			
	负荷比重	(100%, 102%]	[95%, 100%]	[90%, 95%)
月份				
6 月		0	452	3
7 月		21	502	4
8 月		0	527	0

3.4 设备及管理用房负荷模拟计算

所研究地铁站模型中设备及管理用房位于公共区的两端，面积总计 5264.1m²，其中空调区面积占 33.37%，为 1756.58m²，在原设计中采用多联机供冷。其冷负荷包括人员负荷、设备负荷、新风负荷、照明负荷。

设备区设计冷负荷为 545.19kW，设计冷指标为 310.37W/m²。其中人员管理用房设计冷负荷为 55.90kW，设计冷指标为 137.23W/m²；弱电设备房间设计冷负荷为 219.81kW，设计冷指标为 276.10W/m²；强电设备房间设计冷负荷为 269.48kW，设计冷指标为 487.21W/m²。采用 DeST-C 软件所模拟的地铁车站设备区冷负荷及冷指标结果如图 5、6。

从设备区逐时冷负荷散点图(图 5)可以看出，设备区负荷数值明显分布有三层：

(1)上层负荷数值所属时段为每天的 6~8 时，分布较为松散，数量最少。其形成原因是：车站非空调区夜间累积负荷与早高峰人员负荷两不利因素叠加，使设备区周围的环境温度升高，设备区散热困难度增加，逐时冷负荷异常增大；

(2)中层负荷数值所属时段为每天的 9~23 时，分布较为集中，数量最多。因为车站设备区此时是正常运营时段，负荷为人员管理用房、弱电设备房与强电设备房的总和。

(3)下层负荷数值所属时段为每天的 23 时至次日 5 时，分布集中，数量较多。此时，车站设备区处于非运营时段，总负荷包括弱电房负荷和强电房负荷两部分，因此在空调季与正常负荷的差值与人员管理用房设计冷负荷(55.90kW)大致相等。

从图 6 以及表 6 结合来看，我们可以总结出：

(1)在车站设备区全年负荷高峰(7 月份)，空调开启时间累计 744 小时。公共区冷指标大于设计冷指标时间累计 20 小时，占七月总空调开启时间 2.69%，差值变动范围为 0.23~11.68W/m² 且不连续分布。因此，不会引起设备区内热湿环境的失衡。

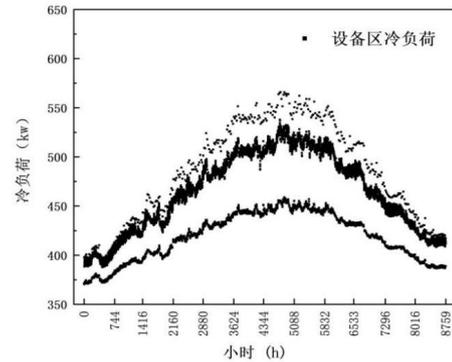


图 5 地铁车站设备区全年冷负荷模拟结果

Fig.5 Simulation results of annual cooling load in equipment area of subway station

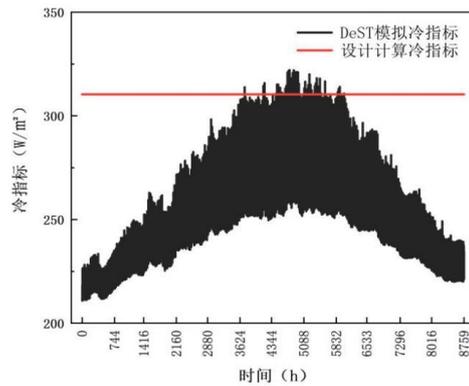


图 6 地铁车站设备区全年冷指标模拟结果

Fig.6 Simulation results of annual cold index in equipment area of subway station

表 6 设备及管理用房模拟负荷与设计负荷对比表

Table 6 Equipment and management room simulation load and design load comparison table

月份	模拟负荷占设计 负荷比重	累计小时数 (h)			
		(100%, 102%]	[95%, 100%]	[90%, 95%)	[85%, 90%)
6 月		3	501	14	202
7 月		20	507	102	115
8 月		18	506	67	153

(2) 车站设备区在空调季(6月~8月)时段内, 负荷波动规律——夜间负荷占设计负荷的 85%~90%, 地铁正常运营时段负荷占设计负荷的 95%~100%。

4 结果验证

根据国内已建成且与本文研究对象面积相仿

表 7 地铁车站模型部分模拟结果表

Table 7 Table of simulation results of subway station model

设备区冷负荷	强(弱)电机房冷指标	人员管理用房冷指标	公共区冷负荷	公共区冷指标
545.19kW	362.64W/m ²	137.23W/m ²	549.20kW	119.55W/m ²

结合以上两部分数据可知: 本文模拟结果均在合理区间, 所得结论可靠。

5 结论

本文对兰州地区某地铁站建筑公共区及设备管理用房区, 应用 DeST-C 进行了全年负荷模拟计算。通过对模拟结果的分析与总结, 可以得出以下结论:

(1) 地铁车站总体设计计算满足最不利工况下设备选型的需要

地铁车站总体设计计算冷负荷结果与 DeST 冷负荷模拟结果的峰值基本一致, 模拟冷负荷超出部分仅占总运行时间的 1.86% (6、7、8 月份), 最大超出数值仅占设计计算冷负荷的 2.58%, 均在相关规范的容许范围内, 在设备选型过程中通过附加合理的安全系数即可消除不利影响。

(2) DeST 冷负荷模拟结果显示空调季在大部分时间未达到设计冷负荷

地铁车站 DeST 冷负荷模拟结果达到设计计算冷负荷±2%的累计时段占空调季(6、7、8月份)总时长的 0.42%。空调季车站公共区平均冷指标模拟值为 87.27W/m², 设计冷指标为 119.55W/m²; 设备区平均冷指标模拟值为 293.89W/m², 设计冷指标为 310.37W/m²。

(3) 车站运营时段负荷更容易受外界影响

车站公共区全年负荷总体标准偏差为 38.64, 设备区车站运营时段全年负荷总体标准偏差为 40.99, 而设备区车站非运营时段总体标准偏差仅

的地铁车站设计数据可知: 地铁车站设备管理用房区负荷大多在 404kW~581kW 区间内^[9-12], 其中强(弱)电机房冷指标指标通常在 300~400W/m²、人员管理用房冷指标多在 80~95W/m²^[11]; 公共区负荷 420~570kW, 冷指标通常在 104~141W/m²。本文经 DeST 模拟所得结果(最不利工况下)如表 7。

为 24.31。可见车站运营时段受人员流动、列车运行等动态变化因素影响较大, 使车站负荷数值产生波动。

参考文献:

- [1] 杨乐. 地铁站用能特征与节能策略研究[D]. 北京: 清华大学, 2017.
- [2] 蒲晓辉, 高润楠, 姬广凡. 地铁车站空调负荷的初步估算[J]. 建筑节能, 2019, 47(1): 45-50.
- [3] GB 50157-2013, 地铁设计规范(附条文说明)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [4] 李婧. 兰州地铁深基坑支护结构及开挖方案研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2014.
- [5] 张梅, 庄旻娟, 燕达, 等. 某地铁站负荷模拟计算案例分析[J]. 建筑热能通风空调, 2010, 29(1): 64-68.
- [6] 何绍明. 浅谈地铁车站空调负荷特性[J]. 暖通空调, 2007, (8): 125-127, 120.
- [7] 杨博. 兰州地铁 1 号线运输组织相关问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [8] 杨志团. 兰州轨道交通通风空调系统类型选择[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(10): 18-20, 78.
- [9] 任毅. 地铁弱电用房全空气系统与多联机系统投资及运营费用简要分析[J]. 机电信息, 2016, (30): 89-90.
- [10] 乔小博. 变风量多联空调在地铁设备管理用房应用的探讨[C]. 2016 年全国铁道与城轨暖通学术年会论文集, 2016: 126-129.
- [11] 刘晓华. 交通场站建筑热湿环境营造[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 201-204.