

地铁车辆频繁开关门对空调能耗的影响

沙文兵 龚继如

(中车南京浦镇车辆有限公司,210031,南京//第一作者,高级工程师)

摘 要 因客户对实际运营时的空调能耗值进行了明确的限定,促使车辆制造商去对空调能耗估算进行深入研究。通过对地铁车辆车门常关和频繁开关门条件下空调能耗测试数据对比,找到一些能够用于能耗估算的基准数据,用以进行较准确的能耗估算。

关键词 地铁车辆;空调能耗;频繁开关门

中图分类号 U231.5;U270.38⁺3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.07.013

Influence of Frequent Door Opening and Closing on the Energy Consumption of Metro Vehicle Air Conditioning

SHA Wenbing, GONG Jiru

Abstract Since customers have clearly defined the limit value of energy consumption of metro air conditioning in practical service, vehicle manufacturers are forced to conduct in-depth research work on the energy consumption estimation of air conditioning. Through comparing the test data of air conditioning energy consumption under the conditions of door closing all the time, door opening and closing frequently, some benchmark data for energy consumption evaluation are obtained, which can be used for accurate air conditioning energy consumption estimation.

Key words metro vehicle; energy consumption of air conditioning; frequent door opening and closing

Author's address CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China

随着地铁技术的发展,客户对地铁车辆性能的要求越来越高。在空调系统方面,一些项目已对列车实际运行时仅空调产生的能耗进行了数值上的限定,即在指定车外温湿度、车内乘客载荷、列车在指定线路上运行以及模拟列车实际运行时频繁开关门等条件下,仅空调产生的能耗不得超过限定值。因此在投标阶段,需要尽量准确地对能耗进行估算。地铁实际运行时的能耗估算需要基准数据,但目前这方面的数据是缺乏的。本文通过研究地铁车辆频繁开关门对空调能耗的影响,旨在找到一些能够用于地铁实际运行

时空调能耗估算的基准数据。

1 地铁车辆空调能耗的研究方法

在相同的工况和条件(乘客载荷、车内设定温度、新/回风阀开度、滤网脏堵程度等)下,全程车门关闭,测量一次车辆空调机组消耗的平均功率,该测量定义为 M1;然后,模拟地铁实际运营时车门的开关频次,再测量一次该辆车空调机组全程消耗的平均功率,该测量定义为 M2。试验完成后,基于这两组试验数据进行对比分析。

试验发现,在额定工况(车外温度 44 ℃、车外湿度 33%,下同)下对一辆车做频繁开关门空调能耗试验过程中,该车所有压缩机都在运行。但无法看出不同数量压缩机运行所占全程时间的比例及变化。故选取外部空气温度相对较低的工况(35 ℃、65%)来做该试验。在工况(35 ℃、65%)下,因车外温度较额定工况温度低,空调制冷量有一定的提升,这样空调系统可以有较大的制冷余量来抵消因开关门而进入车内的热量,以维持车内温度在允许的波动范围内。

2 试验车辆和空调机组的相关参数

试验车辆装有 2 台额定制冷量为 48 kW 的顶置单元式空调机组,即整车额定制冷量为 96 kW。在试验工况(35 ℃、65%)下,实测整车制冷量为 105.41 kW,相对于额定工况(44 ℃、33%),制冷能力提升了约 10%。试验车辆的相关参数见表 1。

表 1 试验车辆相关参数

参数	取值
额定制冷量/kW	96
实测制冷量/kW	105.41
4 台压缩机时整车空调功耗/kW	约 34.0
3 台压缩机时整车空调功耗/kW	约 27.5
实测车体传热系数/(W/(m ² ·K))	1.72
车体传热面积/m ²	225.571
整车新风量/(m ³ /h)	2 170

空调机组的详细信息如下:压缩机为 2 台,每台功耗约为 6.5 kW;通风机为 1 台,每台实测功耗为 1.9 kW;整机功耗约为 17 kW;额定制冷量为 48 kW;整机功耗为 17 kW。

3 测试结果

3.1 M1 试验

M1 试验持续 1 h,车内设定温度为 25 ℃,车外实测平均温度为 35.27 ℃,车外实测平均湿度为 71.94%,车外空气密度为 1.127 kg/m³。查表[1]可得,车外空气焓值为 102.83 kJ/kg。实测车内模拟乘客散热散湿、太阳辐射得热及机电设备散热的电加热器和电加湿器的总输入功率为 40.862 kW。图 1 为车内温度随时间变化曲线。经计算,全程车内平均温度为 26.07 ℃。

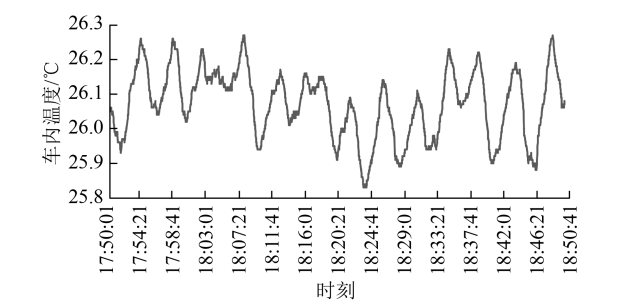


图 1 车内温度随时间变化曲线

根据车体隔热壁传热量计算方法^[2],通过车体隔热壁进入车内的热量为 $1.72\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \times 225.571\text{ m}^2 \times (35.27\text{ }^\circ\text{C} - 26.07\text{ }^\circ\text{C}) = 3.57\text{ kW}$ 。

图 2 为车内湿度随时间变化曲线。经计算,全程车内平均湿度为 53.27%。查表[1]得,车内空气焓值为 54.89 kJ/kg。根据计算公式^[3],新风带进车内的热量为 $2\text{ }170\text{ m}^3/\text{h} \times 1.127\text{ kg}/\text{m}^3 \times (102.83\text{ kJ}/\text{kg} - 54.89\text{ kJ}/\text{kg}) = 32.567\text{ kW}$,车辆总共得热量为 $40.862\text{ kW} + 3.57\text{ kW} + 32.567\text{ kW} + 1.9\text{ kW} \times 2\text{ 台} = 80.799\text{ kW}$ 。车辆总共得热量占整车实测制冷量的

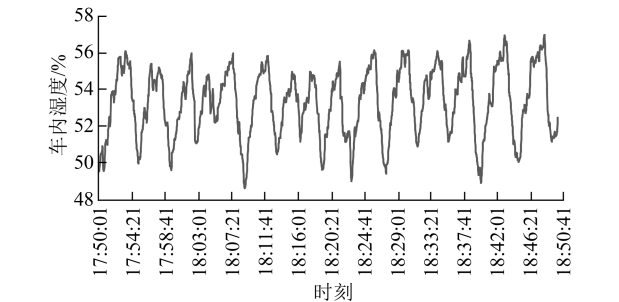


图 2 车内湿度随时间变化曲线

比例为 76.65%。

图 3 为整车空调功率随时间变化曲线。经计算,全程整车空调平均功率为 29.503 kW。由图 3 可以看出,在整个试验过程中,有时 4 个压缩机运行,有时 3 个压缩机运行,二者在不断互相切换。

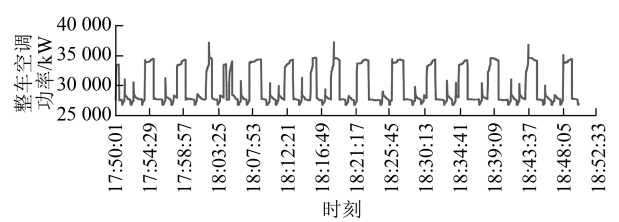


图 3 整车空调功率随时间变化曲线

经统计,试验全程中 4 个压缩机运行的总时间为 1 062 s,占全程时间的比例为 29.5%;3 个压缩机运行的总时间为 2 538 s,占全程时间的比例为 70.5%。

3.2 M2 试验

M2 试验持续 44 min 46 s,设定车内温度为 25 ℃、车外平均温度为 35.32 ℃、车外平均湿度为 72.29%。

表 2 为站站间运行时间和每站驻留时间。由表 3 可得:关门运行的总时间占全程时间的比例为 77.7%,开门驻留的时间占全程时间的比例为 22.3%。

表 2 站站间运行时间和每站驻留时间

站名	运行时间/s	驻留时间/s
车站 01		
车站 02	79	30
车站 03	95	30
车站 04	110	30
车站 05	98	30
车站 06	84	30
车站 07	185	30
车站 08	114	30
车站 09	107	30
车站 10	115	30
车站 11	94	30
车站 12	98	30
车站 13	85	30
车站 14	124	30
车站 15	109	30
车站 16	92	30
车站 17	146	30
车站 18	78	30
车站 19	89	30
车站 20	80	30
车站 21	105	30
总计	2 086	600

图 4 为车内温度随时间变化的曲线。经计算, 全程车内平均温度为 26.98℃。

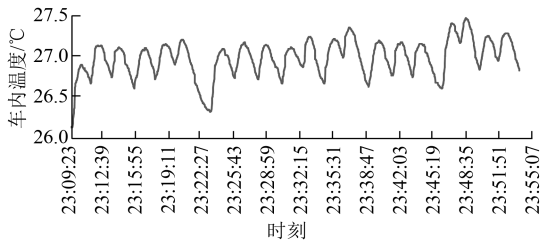


图 4 车内温度随时间变化曲线

图 5 为车内湿度随时间变化曲线。经计算, 全程车内平均湿度为 58.37%。

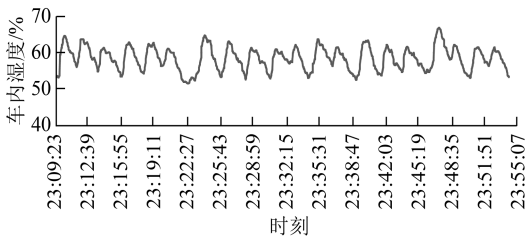


图 5 车内湿度随时间变化曲线

图 6 为整车空调功率随时间变化曲线。经计算, 全程整车空调平均功率为 31.43 kW。由图 6 可见, 在整个过程中, 有时 4 个压缩机运行, 有时 3 个压缩机运行, 二者在不断互相切换。经统计, 全程中 4 个压缩机运行的总时间为 1 541 s, 占全程时间的比例为 57.4%; 3 个压缩机运行的总时间为 1 145 s, 占全程时间的比例为 42.6%。

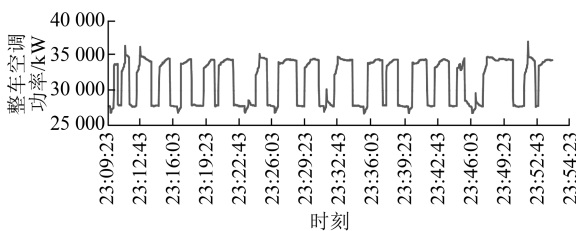


图 6 整车空调功率随时间变化曲线

M1 和 M2 试验结果对比见表 3。

4 结论

设定车内温度为 25℃, 车辆总共得热量占整车实测制冷量的比例为 76.65%, 关门运行时间占全程时间的比例为 77.7%。在这些条件下:

1) 频繁开关门时, 车内平均温度升高了 0.91℃, 车内平均湿度升高了 5.1%。

2) 不管是常关车门, 还是频繁开关门, 总会出

表 3 M1 和 M2 试验结果的对比

技术参数	M1 试验	M2 试验	差值
车外温度/℃	35.27	35.32	0.05
车外湿度/%	71.94	72.29	0.35
车内设定温度/℃	25	25	
关门运行时间占全程时间的比例/%	100	77.7	-22.3
开门驻留时间占全程时间的比例/%	0	22.3	+22.3
车内平均温度/℃	26.07	26.98	+0.91
车内平均湿度/%	53.27	58.37	+5.10
车辆总共得热量占整车实测制冷量的比例/%	76.65		
4 台压缩机运转总时间占全程时间比例/%	29.5	57.4	+27.9
3 台压缩机运转总时间占全程时间比例/%	70.5	42.6	-27.9
全程整车空调平均功率/kW	29.503	31.43	+1.927

现有时 4 台压缩机运转, 有时 3 台压缩机运转的情况。其区别在于频繁开关门的条件下, 4 台压缩机运转的总时间更长。

3) 频繁开关门条件下, 4 台压缩机运转的总时间占全程时间的比例, 相对于常关车门条件下 4 台压缩机运转总时间占全程时间比例, 提升了 27.9%。

4) 频繁开关门条件下全程整车空调平均功率, 相对于常关车门条件下全程整车空调平均功率, 提升了 6.53%。

上述数据可以作为地铁实际运行时空调能耗估算的基准数据。

参考文献

- [1] 滕兆武, 王刚. 车辆制冷与空气调节[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.
- [2] 中华人民共和国铁道部. 铁路空调客车热工计算方法: TB/T 1957[S]. 北京: 中国铁道出版社, 1991: 1.
- [3] 中华人民共和国铁道部. 铁路空调客车热工计算方法: TB/T 1957[S]. 北京: 中国铁道出版社, 1991: 4.
- [4] 章熙民, 任泽霖, 梅飞鸣. 传热学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [5] 赵荣义, 范存养, 薛殿华, 等. 空气调节[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [6] 王晓山. 地铁列车空调系统能耗计算方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- [7] 于文华. 高速列车空调系统能耗计算及预测分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
- [8] 贾杰青. 空调系统能耗诊断与故障诊断的(实用)方法研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2011.
- [9] 黄萍, 代秀秀. 广州地铁二号线 A5 型车空调能耗及客室舒适性调查与分析[J]. 机电信息, 2017(12): 145.
- [10] 吕峰, 楼锦华, 陈焕新, 等. 空调客车车内计算参数的优化与节能[J]. 制冷与空调(四川), 2003(1): 24.
- [11] 金翠辰, 冯琳. 轨道车辆空调的节能技术[J]. 科技风, 2017(11): 132.

(收稿日期: 2018-08-11)