

研
究
开
发运行工况和环境对高速列车
设备通风的影响分析

梁建英

(南车青岛四方机车车辆股份有限公司 高速列车系统集成国家工程实验室,
山东 青岛 266111)

作者简介：梁建英（1972-），女，硕士，高级工程师，长期从事高速动车组、地铁列车的研发工作。

摘 要：对不同速度、不同运行环境对高速列车设备通风的影响因素进行了研究分析。研究结果表明，车速和环境温度的变化对设备通风的影响不明显；隧道运行时设备的通风量略有降低；湿度对通风设备的压头和功率等有一定的影响。

关键词：高速列车；运行环境；运行工况；通风；环境温度；湿度；试验分析

中图分类号：U292.91+.4；U260.4+.3 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-128X(2011)04-0011-03

Effect Analysis of Operation Condition and Environment
on High-speed Train Device Ventilation

LIANG Jian-ying

(National Engineering Laboratory of High-speed Train System Integration, CSR Qingdao Sifang Locomotive
and Rolling Stock Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266111, China)

Abstract: Impact factors of different speed, operation environment to high-speed train device ventilation were studied and analyzed. The result shows that speed and environment temperature have few effects to device ventilation. Operation in tunnel causes device ventilation rate slight decreasing, and humidity influences pressure head and power of ventilation.

Key words: high-speed train; operation environment; operation condition; ventilation; environment temperature; humidity; test analysis

0 引言

我国“四横四纵”铁路网的地理区域跨度大，运行环境（隧道、温度、湿度等）以及运行速度等的差异明显，这种差异对高速列车各设备的通风冷却性能有着重要的影响。本文在总结大量试验数据的基础上，结合流体力学理论，针对高速列车不同的运行速度工况和环境，对CRH₂型高速列车设备通风的影响进行了分析，以期对今后CRH₂型高速列车通风冷却设备的研制有所助益。

CRH₂型高速列车的通风冷却设备主要布置在车体下部，其冷却风的流向路径特点是：冷却风从车体侧面进风和排风，进风口设置在车体侧表面，因此冷却风的风向与行车方向垂直相交。在进行高速列车各设备的冷却分析时，在结合CRH₂型高速列车设备的通风特点基础上，需要综合考虑不同的列车运行速度、

隧道和明线、环境温度和湿度等的影响。

1 列车运行速度的影响

1.1 理论分析

一般情况下，与对应环境条件下的音速相比，高速列车的运行速度仍相对较低。根据工程流体力学的定义和经验，低速时环境空气的压强变化一般不大，空气密度的变化也很小，因此空气密度的变化对流动的影响可以略去不计，即认为密度为常数，进行流体分析时可采用不可压流动假设，按不可压缩粘性流体考虑。

据此，结合CRH₂型车下通风设备的布置特点，其通风模型可简化为图1所示。

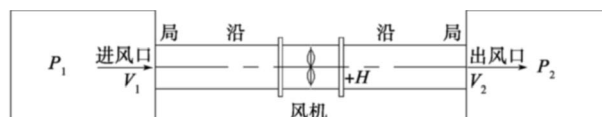


图1 车下设备通风简化模型

根据理想不可压缩流体总流的伯努利方程：

收稿日期：2011-04-08

$$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 \pm H = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \quad (1)$$

式中: $+H$ ——单位重量流体流过设备冷却风机时获得的能量; $-H$ ——单位重量流体经过设备冷却风机等所失去的能量;

以下各项为除了风机外的系统损失:

p_1 ——进风口静压; p_2 ——出风口静压;

v_1 ——进风口风速; v_2 ——出风口风速;

z_1 ——进风口高度; z_2 ——出风口高度。

从上式可见, H 与 $(v_2^2 - v_1^2)$ 、 $(p_2 - p_1)$ 、 $(z_2 - z_1)$ 有关。其中, 高度差 $(z_2 - z_1)$ 为定值, 其影响可忽略; $(v_2^2 - v_1^2)$ 为冷却空气的动压变化; p_2 、 p_1 均可分为风道部分或舱内部分阻力 (裙板进风滤网以内) 与车体表面负压 (高速行驶引起的车体表面负压) 两部分。因高速列车横断面的外形结构是对称的, 因此无论列车运行速度的高或低, 其车体两侧 (分别为设备进风口和排风口) 的车体表面负压 (静压) 是相同的, 所以 p_2 与 p_1 的差消除了其对系统阻力的影响, 即消除了其各设备冷却风机压头的影响。而车体表面的负压是由列车运动引起的, 所以列车速度的影响被抵消了, 影响风机工作性能的只有系统本身的流通特性。风机的工作点性能是由其负载 (系统的阻力特性) 决定的。当系统结构确定后, 其流通特性即被确定, 风机工作点也将被确定。

1.2 试验分析

为深入了解列车速度的变化对设备通风的影响, 对各种车速下的通风量进行了测试, 图2是在线路上运行时所测得的高速列车设备冷却风量随列车运行速度的变化趋势。

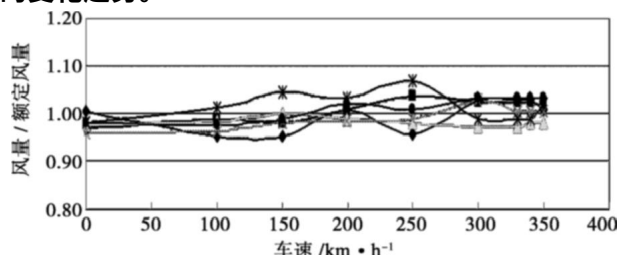


图2 设备通风量随车速变化的关系

从试验结果可见: 设备通风量随运行速度的变化不明显, 各种车速下测得的通风量均在额定值附近, 即使在高速运行状态下也满足设备冷却通风量的要求。

2 明线与隧道的影响

2.1 冷却设备通风系统的匹配原理

冷却设备风机的工作点 (风量、压头、转速、功率等) 性能是由其负载 (即系统的阻力特性) 决定的, 冷却风机与系统的匹配关系如图3所示。系统结构确定后, 其流通特性即被确定 (如图3中的系统阻力曲线1)。在风机性能确定后, 风机与系统的匹配工作点也相应确定 (图中的系统阻力曲线1与风机性能曲线交点A), 此时系统损失与风机压头在 P_1 达到平衡, 风机对应的

工作点风量为 Q_1 。

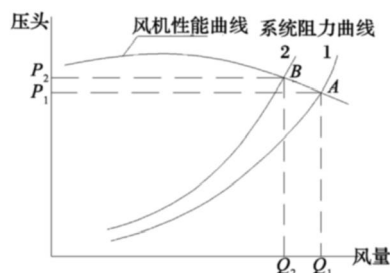


图3 通风系统的匹配原理示意图

当因各种原因 (如存在障碍物等) 系统阻力增大为曲线2时, 风机与系统的匹配点变为B, 此时风量为 Q_2 。阻力从 P_1 增大到 P_2 后, 系统风量从 Q_1 减小到 Q_2 。

由以上匹配关系可知, 若要保证系统匹配后的风量, 首先须保证系统的阻力不超过该风量对应的风机压头。

如上所述, 风机的工作点是由其负载决定的, 系统的阻力特性 P_2 、 P_1 均可分为风道部分或舱内部分阻力 (裙板进风滤网以内) 与车体表面负压 (高速行驶引起的车体表面负压) 两部分。根据前面分析, 因CRH₂型高速列车的设计特点, 车体表面负压的影响被抵消, 所以其主要影响的是风道部分即舱内部分的阻力 (裙板进风滤网以内)。该部分阻力包括了除了风机以外的风道、滤网、障碍物等的阻力。

2.2 理论分析

无论列车在明线还是在隧道内运行, 在不考虑隧道内压力波传播和反射的情况下, 中间车车体表面与隧道壁之间的流场模型均可简化为有相对运动的两平板之间的流场, 如图4所示。对于明线运行, 可认为列车表面与隧道壁之间的距离 L 为无穷大。对于隧道环境, 则认为 L 在有限范围内。

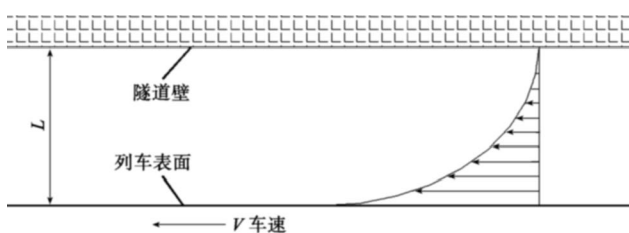


图4 列车表面与隧道间的流场模型

从上文1.1的分析模型同样可知明线运行环境对列车设备的通风影响不明显, 因此以下仅对隧道运行环境下的状态进行分析。

列车进入隧道后, 隧道内的空气只能沿着隧道或通过列车与隧道壁之间的环状空间向前流动, 据此分析, 列车表面与隧道壁面之间的气流和列车、隧道壁的摩擦力使其沿着有限的环状空间形成压力梯度, 即列车表面到隧道壁面之间的有限空间内是一个非均匀流场, 这是影响设备通风性能的一个因素。

列车在隧道内运行时, 列车设备通风模型可简化为图5所示。从图中可见, 设备通风气流方向与列车风

形成的流场相互垂交耦合,隧道壁面成为限制通风气流的障碍。通风机运行时,一般要求障碍物距离通风机进出口须在5倍的风道水力直径(当量直径)以上。根据前述2.1条,隧道壁作为额外的障碍物,增大了系统的通风阻力,这是在隧道运行时设备通风性能发生变化的主要原因。

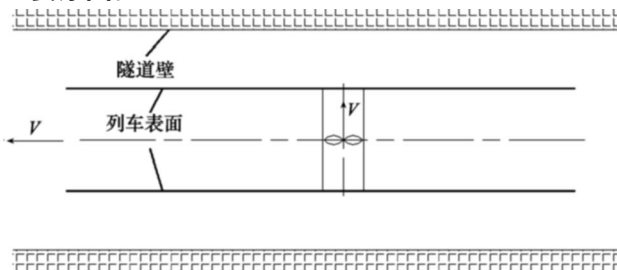


图5 列车在隧道内运行时的设备通风模型

综上所述,隧道内的有限空间、隧道和列车之间的非均质流场的存在,造成了列车在隧道运行时设备通风量有所降低。但因每个冷却通风设备的压头及余量不同,造成的影响将有所区别,在今后的工作中需进一步研究分析。

2.3 试验分析

图6是列车设备在隧道和明线运行时设备通风的对比。从图中统计数据进行分析,与明线相比,列车在隧道内运行时,该设备的冷却风量降低了约3.5%。其中某些测点的风速比明线高主要是因为测试瞬间隧道内的气流扰动造成的,但这不影响在隧道运行时通风量略有降低的趋势。

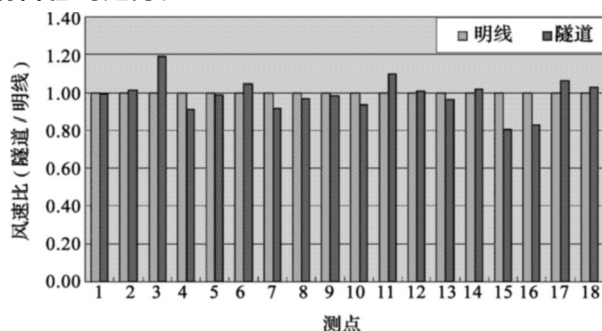


图6 列车在隧道和明线运行时设备通风量的对比

3 温度和湿度的影响

3.1 温度的影响分析

不同使用条件下冷却设备风机的特性曲线 $P-Q$ 及管网系统的管道阻力 $R-Q$ 曲线的交点即为风机运行的工况点。如图7所示。

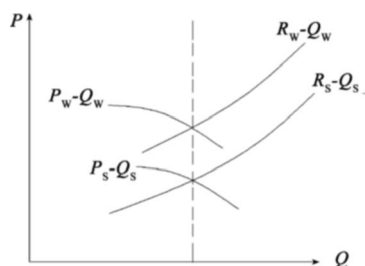


图7 设备通风机特性曲线与管道阻力曲线匹配

图中： R_w-Q_w , R_s-Q_s 分别为管道在冬季和夏季的阻力特性曲线； P_w-Q_w 为该风机在冬季运行时的特性曲线； P_s-Q_s 为该风机在夏季运行时的特性曲线。

从性能曲线可见,同一台设备的通风机,冬季运行时的流量与夏季运行时的流量相等,即环境温度的变化对设备通风量没有影响,但因环境温度与设备温度之间的温差变化,将对设备散热产生影响;另外,冬季运行时风压和轴功率比夏季的大,具体的差异量则需根据实际运用环境的温度差异确定。

3.2 湿度的影响分析

列车在隧道内或部分地区运行时,环境空气湿度相对较大,甚至达到了100%的湿度。

湿空气的全压 p 等于空气中水蒸汽的分压 p_k 和空气的分压 p_a 之和,相应湿空气的密度等于其中水蒸汽的密度和干空气的密度之和,即与其中水蒸汽的分压和相对湿度有关,可用式(2)表示:

$$\rho = \rho_k + \rho_a = 3.49 \frac{p - 0.378 \phi p_k}{T} \quad (2)$$

式中： p_k ——水蒸汽的分压； ϕ ——相对湿度； p ——湿空气的全压。

冷却设备通风机运行时,其工况取决于系统的压力损失,系统的压力损失可用式(3)表示:

$$p = \xi \frac{v^2 \rho}{2} = \xi \frac{v^2 (\rho_k + \rho_a)}{2} \quad (3)$$

由上式可见,空气的密度随着空气湿度的不同而变化,相应影响到系统的压力损失。如前所述,风机的工作点是由其负载决定的,即湿度的变化造成了密度的变化,进而将对风机的压头产生影响,而对冷却风的体积流量没有影响。一般设计时以标准的空气状态作为设计基准,对于有特殊要求的情况,则需要考虑湿度对风机压头、功率等的影响。

4 结语

根据理论分析和试验测试结果,CRH2型高速列车在明线、不同的环境温度和湿度以及不同的运行速度下,各冷却设备的通风量没有明显的变化。但在隧道环境下将对设备的通风有一定的影响,在今后的工作中,需对其进行深入的研究分析。

参考文献:

- [1] 禹华谦. 工程流体力学[M]. 成都:西南交通大学,1999.
- [2] 商景泰. 通风机实用技术手册[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [3] 张曙光. 高速列车设计方法研究[M]. 北京:中国铁道出版社,2009.
- [4] 琚娟,等. 高速列车通过隧道时隧道内压力变化的试验研究[J]. 铁道建筑技术,2003(3):22-24.
- [5] Gawthorpe R G. Aerodynamics in railway engineering[J]. Railway Engineer International,1978(7,8).
- [6] 续魁昌. 风机手册[M]. 北京:机械工业出版社,1999.