

喷管采样法试制列车安全检测装置的研究^{*}

张应元 郭金基

(中山大学应用力学与工程系, 广州 510275)

摘 要 根据空气动力学原理阐述喷管采样系统和讨论如何构造列车运行安全检测装置, 并计算喷嘴尺寸和在管内超临界流动的空气流量, 最后给出应用算例.

关键词 喷管, 检测装置, 制动机构, 超临界流动

分类号 O 354.1

1 概 述

图 1 是列车的制动系统压缩空气管路示意图, 压缩空气进入总风缸并得到干燥与稳压, 总风缸气压保持在 $7.0 \times 10^5 \sim 9.0 \times 10^5$ Pa, 中继阀的作用在于维持主风管气压在 6.8×10^5 Pa, 在此管压下, 与主风管连接的各车厢副风缸的压缩空气将连动机构制动弹簧顶紧, 列车正常运行. 当司机操纵制动阀门使管压下降一定值时, 则制动弹簧松开, 弹簧力使刹车机构起作用而使列车减速制动. 每节车厢的对接处, 主风管是通过一个连接阀门 (称折角塞门) 连通, 该阀门上有一手动开关柄进行开闭操作^[1].

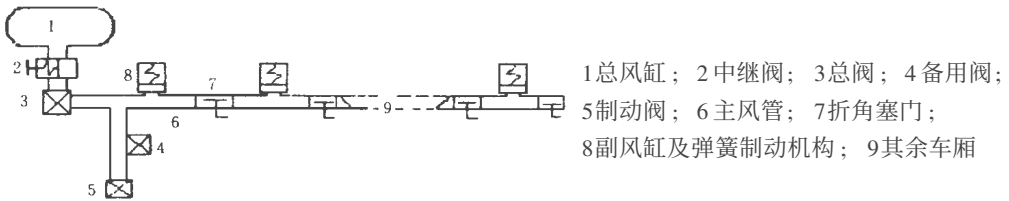


图 1 压缩空气管路示意图

Fig. 1 The signal figure of the tube of compress air

为了检测阀门的开闭状态,曾在折角塞门位置安装无线电发报装置或其它电器零件,但都由于各种不安全原因而难以成为成功的安全报警系统.

用空气动力学的喷管理论及压力检测方法,配以单片微机及其软件构造成检测仪,可以完全避免对各车厢的任何改动,只把检测系统安装在驾驶室中,就能连续对管路实行监控.一旦某一塞门被关,检测仪立即发出声光报警,并指明被关塞门在风管的大概位置,大大提高列车的运行安全性.

^{*} 收稿日期: 1997-08-20 张应元, 男, 55岁, 副教授

2 检测原理

2.1 压降法对折角塞门关闭的判断

若主风管满压力时气压值为 P , 则气密度 d , 由气体状态方程 $d = \frac{P}{RT}$ 决定, 其中, R 为气体常数, 主风管内气温为 T .

设列车主风管总长 L (包括联接各副风缸管路), 风管截面积 S . 被关闭某一折角塞门后, 风管前部长度 (称为有效长度) L_1 , 后部长度 L_2 , $L = L_1 + L_2$. 在微机控制下打开电磁阀让喷孔放气 (图 2), 使主风管压力下降一微小量 ΔP , ΔP 应不引起制动机构动作. 此时管内气体密度下降为 d_1 .

由状态方程, 密度变化量 $\Delta d = d - d_1 = \Delta P / (RT)$.

没有折角塞门被关闭时, 使管内气压下降 ΔP , 则放出气体质量为 $\Delta M = L \times S \times \Delta d$; 若有折角塞门被关闭, 下降同样压降 ΔP , 放出的气体质量为 $\Delta M_1 = L_1 \times S \times \Delta d$, 故 $W_r = \frac{\Delta M_1}{\Delta M} = \frac{L_1 \times S \times \Delta d}{L \times S \times \Delta d} = \frac{L_1}{L} = W$, 其中, W_r , W 分别为气体质量比和风管长度比.

若喷孔喷气流量 Q 为恒定值, 则关与不关塞门时, 主风管有效长度放气时间之比 $W = \frac{\Delta M_1}{Q} \frac{Q}{\Delta M} = \frac{\Delta M_1}{\Delta M} = W$, 即喷孔放气时间正比于主风管有效长度, W 反映了风管有效长度的变化. 因此, 可以利用微机控制系统^[2], 监控这种放气时间变化值, 若 $W < 1$, 表明已有塞门被关闭, 仪器发出声光警报, 避免翻车事故的发生.

2.2 喷管的设计及喷气孔面积的计算

要使排出的气量只引起一微小压降 ΔP , 它不应使制动机构动作, 同时又必须使前方放气孔的压力下降有效地传递到列车尾端. 管内压力波是以声速 $c = \sqrt{kRT}$ 传递 (空气传导率 $k = 1.4$, $R = 287.06 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$). 因此, 要保证排气时间 $t \gg L/c$, 这必须对喷孔流量 Q 加以限制. 另一方面, 由于列车风管可能存在微小漏气, 喷孔流量必须远大于风管漏气量, 才不会引起较大误差.

图 2 是一个采样喷气管路示意图, 采样过程是一个等熵流动, 喷孔的喷气流速 $v_e =$

$\frac{2k}{k-1} R T_e^* \left[1 - \left(P_e / P_e^* \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$. 在本喷管中, $P_e = P_a$ (外界大气压), $P_e^* = P$ (主风管气压), $T_e^* = T$ (主风管气温).

亚声速流在收缩形管道中, 速度的增加是有限的, 在最小截面的孔口, 马赫数 M_{ac} 最大只能达到 1, 当时 $M_{ac} = 1$ 时, 临界压强比为: B_{cr} ^[3]为:

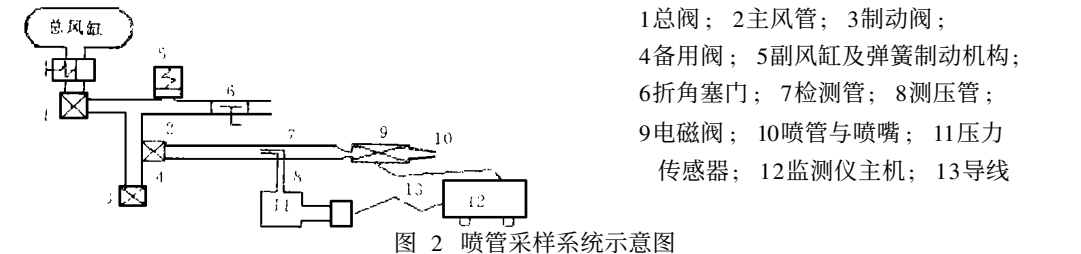


Fig. 2 The signal figure of the sampling system of the nozzle

$$B_{cr} = \frac{P_{cr}}{P_e^*} = \left[\frac{2}{k+1} \right]^{\frac{k}{k-1}} = 0.5283 \quad (P_{cr} \text{ 为临界压强})$$

通过喷管的流量 $Q = K^* \frac{P_e^*}{T_e} A_e q(\lambda)$, 其中, A_e 为喷孔面积.

$$\text{流量系数} \quad q(\lambda) = \left[\frac{k+1}{2} \right]^{\frac{1}{k-1}} \lambda \left[1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2 \right]^{\frac{1}{k-1}} = \lambda \left[\frac{k+1 - k\lambda^2 + \lambda^2}{2} \right]^{\frac{1}{k-1}}$$

在本采样管中, 压强比 $B = \frac{P_a}{P} \approx \frac{1.13 \times 10^5}{6 \times 10^5} = 0.1883 < B_{cr}$, 是超临界流动. 因此, 速度系数 $\lambda = \lambda_e = 1$, $q(\lambda) = q(\lambda_e) = 1$, 由此 $Q = K^* \frac{P}{T} A_e$. 因风管内是空气, 故

$$K^* = \frac{k}{R} \left[\frac{2}{k+1} \right]^{\frac{k+1}{k-1}} = 0.0404 \quad (\text{这里, } k = 1.4)$$

若预定全长采样时间为 t , 则 $\Delta M = Q = K^* \frac{P}{T} A_e$, 由此, 检测管放气孔面积

$$A_e = \frac{\Delta M}{K^* \times \frac{P}{T}} = \frac{L \times S \times \Delta d}{K^* \times P} = \frac{L \times S \times \Delta d}{K^* \times P \times R \times T}$$

3 塞门被关闭与报警

在列车编组后, 仪器即控制电磁阀, 使放气小孔进行放气, 管内气压由压力传感器检测, 达到设定的压力下降值 ΔP 时, 电磁阀关闭, 总放气量为 ΔM . 仪器自动贮存该放气时间 (记为 t_0) 为标准时间. 称这过程为编组采样过程. 列车运行中, 在软件控制下, 每隔一定时间, 仪器自动按规定的压力下降值进行放气自检. 若无关闭塞门, 风管长度没发生变化, 放气时间等于标准时间 t_0 . 若某处塞门被关闭, 则缩短了主风管放气有效管长 L_1 , 使放气量 $\Delta M_1 < \Delta M$, 放气时间 t_1 缩短, $W = t_1/t_0 < 1$, 因此, 检测仪发出声光信号报警. 称此过程为监测采样过程.

4 算 例

设列车主风管全长 $L = 500$ m, 风管直径 $D = 0.05$ m, 气温为 20°C ($T = 293$ K), 预定检测降压量 $\Delta P = 10\,000$ Pa, 声速 $c = \sqrt{kRT} = 343.2$ m/s. 设定检测放气时间 $t_0 = 7$ s, 则气孔面积 $A_e = \frac{L \times \pi \times (D/2)^2 \times \Delta P}{t_0 \times K^* \times P \times R \times T}$, 因此放气孔孔径

$$d = \sqrt{A_e \times 4} = \sqrt{\frac{4 \times 500 \times 0.025^2 \times 1.0 \times 10^4}{7 \times 0.0404 \times 6.0 \times 10^5 \times 287.06 \times 293}} = 0.004 \text{ (m)}$$

由以上数据构成的检测系统, 当管路中有塞门被关闭, 则风管有效长度 $L_1 < L$, $W = W_1 = L_1/L < 1$, 放气时间小于 7 s.

例如, 假设在列车后部 $1/3$ 处的车厢塞门被关闭, 后部主风管被阻塞, $W = 2/3$, $W = 2/3$, $t_1 = t_0 \times W = 4.6$ s, 检测仪发出报警信号.

以上计算与实验基本相符.

5 采样部件安装及环境温度与泄漏问题的讨论

压力传感器通过测压细管感受从主风管旁路的检测管中心气流总压, 为避免转角处流

态对测点影响, 必须使测点与主风管轴线有一定距离; 由于两次编组采样间的时间间隔一般不长, 因此, 编组采样与检测采样的气温变化不大, 不会对时间的比值产生大的影响. 但若必要, 可安装气温传感器, 由计算机另一通道进行气温检测^[2], 软件上利用状态方程中密度与气温的关系计算气体密度, 从而对采样时间进行修正.

虽然管路中不可避免地存在微小泄漏, 但根据列车安全行车的情况, 也允许存在一定的检测误差. 由于编组采样得到标准时间 t_0 时到下次编组采样之前的监测采样过程中, 车厢及管路的联接状态是完全不改变的, 编组采样和监测采样都处在基本相同的泄漏状态下, 微小的泄漏量在其平均值处波动, 对检测结果有一定的影响, 但一般不会超出允许误差.

参 考 文 献

- 1 姜靖国, 于胜利. *JZ-7型空气制动机*. 第2版. 北京: 国防工业出版社, 1989. 70~ 115
- 2 孙育才, 苏学成. *单片微型计算机应用系统设计与实践*. 南京: 东南大学出版社, 1992. 193~ 214
- 3 潘锦珊. *气体动力学基础*. 北京: 国防工业出版社, 1989. 146~ 214

Studies of the Method of Sampling of Nozzle Concerning the Development of the Train Safety Test Equipment

Zhang Yingyuan^{*} Guo Jinji

Abstract Presents the sampling system of the nozzle and discusses how to structure the train safety test equipment according to the theory of the aerodynamics. The size of the nozzle and the rate of flow of supercritical fluid in the tube are calculated. Finally, an applied example is given.

Keywords nozzle, test equipment, brake device, supercritical flow

^{*} Department of Applied Mechanics and Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275