基于气压提升的 12 m 纯电客车的储气筒容积校核与对比

罗丙荷^{1,3}, 熊伟平², 刘伟^{1,3}, 冯秀将^{1,3}

(1. 江西凯马百路佳客车有限公司, 南昌 330013; 2. 江西南昌公共交通运输集团有限责任公司, 南昌 330013;

3. 江西省新能源客车工程技术研究中心, 南昌 330013)

摘要:根据气压系统额定压力提升要求,对比某 12 m 纯电动城市客车车型与常规柴油车型在储气筒容积、剩余气压和布置上的差异,为同类设计提供参考。

关键词:纯电客车; 储气筒容积; 额定压力; 底盘布置

中图分类号:U462.3⁺2

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2024)03-0050-04

Check and Comparison for Air Reservoirs Volumes of a 12 m

Pure Electric Bus Based on Air Pressure Increase

LUO Binghe^{1,3}, XIONG Weiping², LIU Wei^{1,3}, FENG Xiujiang^{1,3}

(1. Jiangxi Kama Business Bus Co., Ltd., Nanchang 330013, China;

2. Jiangxi Nanchang Public Transportation Group Co., Ltd., Nanchang 330013, China;

3. Jiangxi New Energy Bus Engineering Technology Research Center, Nanchang 330013, China)

Abstract: According to the requirement of rated pressure increase of the air pressure system, this paper compares the differences in air reservoir volumes, residual pressure, and layout between a 12 m pure electric city bus model and its conventional diesel model, which provides references for similar designs.

Key words: pure electric bus; air reservoir volume; rated pressure; chassis layout

随着 GB 7258—2017^[1] (下称 GB 7258) 和 JT/T 1094—2016^[2] (下称 JT/T 1094) 的颁布实施,相关车辆的气制动系统储气筒的额定工作压力(原额定工作压力为 800 kPa)有了很大变化。GB 7258 的 7.8.1 条要求:车长大于 9 m 的客车、总质量大于或等于 12 000 kg 的货车和货车底盘改装的专项作业车,采用气压制动时,储气筒的额定工作压力应大于或等于 850 kPa,且装备有空气悬架或盘式制动器时还应大于或等于 1 000 kPa。JT/T 1094 的 4.3.6 条要求:采用气压制动系统的营运客车制动储气筒内工作压力应大于或等于 1 000 kPa。

针对这两项要求,国内主流客车厂的做法是既不区分是板簧还是气簧悬架,也不区分是鼓式还是盘式制动器,将气压制动系统的额定压力统一提升至 $\geq 1 000$ kPa。这种做法带来的问题是:部分车型实际

用气量并未改变,而额定气压提升后,如储气筒容积不变就会使总的储气量大幅增加(储气量=压力 $\times$ 容积),占用了较大的布置空间,整车建立压力的时间也较长,同时造成打气能耗增加。因此在总用气量和校核储气筒容量的标准未改变的情况下,有必要将储气筒总容积减小来保持总储气量不变。

另外,随着新能源汽车及含有 EBS 的高级制动系统^[3]的普及,制动系统用气量呈减少的趋势,一是新能源汽车取消了部分用气设备(如缓速器助力器、离合器助力器、换挡器助力器等),二是 EBS 电控制动、电机缓速制动^[4]等本身就能减少用气量。因此,对于当前采用气压制动的纯电动汽车,有必要重新校核储气筒的容积,避免因容积过大而增加泵气时间,影响出车速度^[5-8]。同时,相应减小储气筒容积也有利于当前车辆对更大车内空间的需求。本文以一款

收稿日期:2023-12-12。

第一作者:罗丙荷(1981—),男,工程师;主要从事汽车电气及控制系统设计工作。E-mail:blkjslbh@163.com。

12 m 纯电客车为例,介绍其储气筒容量的校核与布置,为同类设计提供参考。

1 储气筒容量校核要求

储气筒容量的校核主要执行以下标准要求:

1) GB 7258 中 7.8.3 条要求:储气筒的容量应保证在额定工作气压且不继续充气的情况下,机动车在连续 5 次踩到底的全行程制动后,气压不低于起步气压。

2) GB 12676—2014^[9](下称 GB 12676)附录 C 中 C.1.1.2.1 条要求:机动车辆的储能装置(储气筒)应确保对行车制动系统控制装置进行 8 次全行程促动后,储能装置中剩余的压力不应低于达到规定的应急制动性能所需的压力。

3) GB 12676 附录 D 中 D.2.4 条要求:对机动车辆,在弹簧压缩腔的初始压力等于最大设计压力的情况下,弹簧制动系统的设计应保证至少能够进行 3 次“制动-解除制动”操作。

2 校核计算

2.1 计算公式

上述第 1)、3) 条要求的校核主要通过计算连续多次制动后的剩余压力是否满足要求,压力下限值分别为厂定起步压力和驻车解除最小压力(计算公式见式(1));第 2) 条规定的 8 次全行程促动后储能装置中剩余的压力未直接给出,需通过式(4)计算给定速度下的应急制动距离限值,再通过式(2)反算出减速度,然后取其与式(5)中较的大值,通过式(3)算出制动器需发挥出的最小制动力,再通过制动力反算出气室压力(计算公式见式(6)、式(7)),此气室压力为应急制动性能所需的最小压力,即 8 次全行程促动后储能装置中剩余的最小压力限值;最后再通过式(1)计算出储气筒容量与压力是否匹配合理,理论计算公式如下:

1) 制动次数 n ^[10]:

$$n = \frac{\lg(p_{\text{cmax}}/p_{\text{cmin}})}{\lg[1 + (\sum V_s + \sum V_g)/V_c]} \quad (1)$$

式中: p_{cmax} 、 p_{cmin} 为储气筒内最高和最低绝对气压;

$\sum V_s$ 为所有制动气室压力腔总容积; $\sum V_g$ 为所有制动管路总容积; V_c 为所有储气筒和供气管路总容积。

2) 制动距离 S (单位 m) 及减速度 d_m (单位 m/s^2)^[11]:

$$S = \frac{v}{3.6} \left(t_1 + \frac{t_2}{2} \right) + \frac{v^2}{2 \times 3.6^2 \times d_m} \quad (2)$$

$$d_m = M_B / r / m \quad (3)$$

式中: v 为制动初速度,60 km/h; t_1 为制动反应时间,0.2 s; t_2 为制动力上升时间,0.18 s; M_B 为制动力矩(单位 $\text{N}\cdot\text{m}$); r 为轮胎半径,0.465 m; m 为车辆总质量,18 000 kg。

另根据 GB 12676 中 5.2.2.1 条要求:

$$\text{应急制动距离 } S \leq 0.15v + (2v^2/130) \quad (4)$$

$$\text{制动减速度 } d_m \geq 2.5 \text{ m/s}^2 \quad (5)$$

3) 制动力矩 M_B 及气室制动力 F_Z ^[7](单位 N):

$$M_B = c \cdot i \cdot F_Z \cdot \eta_m \cdot R_m \quad (6)$$

$$F_Z = \rho \cdot S_c \quad (7)$$

式中: c 为摩擦系数,0.66; i 为杠杆比,15.6; η_m 为制动效率,0.95; R_m 为摩擦半径,0.172 6 m; ρ 为气室压力(单位 Pa); S_c 为气室有效面积,0.014 m^2 。

2.2 校核过程

某 12 m 空气悬架纯电客车前轴载荷为 6 000 kg,后轴载荷为 12 000 kg,4 个制动气室的容积均为 0.95 L。促动管路容积分别为前制动 0.13 L、后制动 0.28 L、驻车制动 0.28 L,供气管路容积分别对应 0.35 L、0.86 L、0.51 L。原车型(传统柴油车)所匹配的储气筒容积为:前储气筒 30 L,后储气筒 40 L,驻车储气筒 20 L,辅助储气筒 60 L,制动系统额定气压为 8 bar,起步气压和驻车解除最小压力为 5.5 bar,校核过程如下。

2.2.1 额定压力为 8 bar(相对气压值)时

1) 对于行车制动。5 次全行程制动后的剩余气压根据式(1)

$$5 = \frac{\lg[(8+1)/p_{\text{cmin}}]}{\lg[1 + (0.95 \times 4 + 0.41 + 1.22)/(70 + 1.22)]}$$

计算得 p_{cmin} 为 6.7 bar,此为绝对气压值,则相对气压值为 5.7 bar(下同);同理,8 次行车制动后剩余气压

为 4.6 bar。

2) 对于驻车制动。驻车 3 次“制动-解除”后剩余气压根据式(1)

$$3 = \frac{\lg[(8+1)/p_{\text{cmin}}]}{\lg[1+(0.95 \times 2 + 0.28 + 0.51)/(20+0.51)]}$$

计算得剩余气压为 5.6 bar。

3) 确定应急制动的最小减速度值。应急制动距离限值根据式(4) $S \leq 0.15 \times 60 + (2 \times 60^2 / 130)$ 得到 $S \leq 64$ m, 再由式(2) $64 = 60 \times (0.2 + 0.18/2) / 3.6 + 60^2 / (2 \times 3.6^2 \times d_m)$ 计算得对应的减速度为 2.3 m/s^2 , 与式(5)比较得知应急制动的最小减速度应为 2.5 m/s^2 。

4) 计算最小制动力。由式(3)得 $2.5 = M_B / 0.465 / 18\ 000$, 计算得最小制动力矩为 $20\ 925 \text{ N} \cdot \text{m}$, 再根据公式(6)有 $20\ 925 = 0.66 \times 15.6 \times F_z \times 0.95 \times 0.172\ 69$, 计算得到单个气室制动力为 $3\ 098 \text{ N}$ 。

5) 根据式(7) $3\ 098 = \rho \times 0.014$ 计算得满足应急制动的制动气室最小压力限值应为 2.2 bar。此限值即为 12 676 附录 C 中 C.1.1.2.1 条所需的最小气压。

由计算结果可知,各项性能均满足标准(GB 7258 中 7.8.3 条、GB 12676 附录 C 中 C.1.1.2.1 条、GB 12676 附录 D 中 D.2.4 条)要求,且该配置车型已经过大量检验和应用验证,理论和实际均符合设计要求。

6) 辅助储气筒容量的计算。当前辅助储气筒容量的计算并无国家和行业标准要求,由各主机厂自定。本文辅助储气筒主要用于空气悬架的提升操作。车型变更时,一般以空气悬架同等提升次数作为计算基准,根据式(1)

$$n = \frac{\lg[(8+1)/(5.5+1)]}{\lg[1+(60+15.68+0.31+1.02)/(60+1.02)]}$$

式中,15.68(L)为提升容积,0.31(L)为提升促动管路容积,1.02(L)为提升供气管路容积。计算得 n 为 1.3。

2.2.2 额定压力为 10 bar 时

同理,当额定气压由 8 bar 提升至 10 bar 时,若仍保持储气筒容积不变,根据相应计算得到行车 5 次制动后剩余气压为 7.2 bar,行车 8 次制动后剩余气压

为 5.9 bar,驻车 3 次“制动-解除”后剩余气压为 7.1 bar,空气悬架提升次数为 2.2 次。通过对比可以看出,各项性能指标均有较大冗余(各项指标标准要求未变),而大的储气筒容量会造成车辆总布置上空间的浪费。因此,应在此基础上保持与传统车辆性能基本一致来调整相应储气筒容积。

2.2.3 调整储气筒容积分配

通过计算可知,在满足前述要求的条件下,将前、后、驻车、辅助储气筒容积分别调整为 22 L、22 L、15 L、辅助 35 L,即可满足 10 bar 额定压力下制动性能与原传统车型相近。其中行车 5 次制动后剩余气压为 5.9 bar,行车 8 次制动后剩余气压为 4.3 bar,驻车 3 次“制动-解除”后剩余气压为 6.4 bar(该处计算结果取值大于 6 bar 是因为起步压力因驻车气室制动力的提升相应提高至 6 bar),空气悬架提升次数为 1.3 次。

结合当前市场主流供应的储气筒直径和规格(20 L 单腔、直径 220 mm,30 L 双腔、直径 280 mm),选取直径 280 mm 的双腔 30 L 储气筒 2 个,分别为 25 L+5 L、15 L+15 L,和直径 220 mm 的单腔 20 L 储气筒 2 个。容积分配为前储 25 L、后储 $20+5=25$ (L)、驻车 15 L、辅助 $20+15=35$ (L)。根据最终选取的容积计算得行车 5 次制动后剩余气压为 6.4 bar,行车 8 次制动后剩余气压为 4.8 bar,驻车 3 次“制动-解除”后剩余气压为 6.4 bar,空气悬架可提升次数为 1.3 次。该计算结果满足法规要求且与传统原车型性能相近。

根据选取的储气筒规格,12 m 空气悬架纯电城市客车储气筒的典型布置为:在驾驶员下方布置 2 个双腔 30 L 储气筒,而 2 个单腔 20 L 储气筒根据低地板或地入口车型后段地板高度不同,布置于后桥上方或电机后方。通过合理配置减小后的储气筒,充分利用了空间,且未占用中段乘客区域,预留了较大的车内空间。

3 结束语

本文基于典型的 12 m 空气悬架纯电动城市客车车型,根据气压系统额定压力的提升要求,重新校核其储气筒的容积和剩余压力。在法规和性能基本不变的前提下,合理匹配储气筒的容积和数量,节省了

布置空间,为整车总布置提供更优方案。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国公安部. 机动车运行安全技术条件;GB 7258—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017:4-46.
- [2] 全国汽车标准化技术委员会客车分技术委员会. 营运客车安全技术条件;JT/T 1094—2016[S]. 北京:人民交通出版社,2017:6.
- [3] 刘亚欧,魏仲文,陶仕佳. EBS 在商用车上的应用及性能研究[J]. 重型汽车,2020(1):25-26.
- [4] 郭志军,岳东东,聂彦鑫,等. 纯电动汽车再生制动控制策略研究[J]. 机械设计与制造,2018(1):173-176.
- [5] 樊一鸣. 铰接式城市客车空压机排量与贮气筒容积的匹配[J]. 江苏广播电视大学学报,2000(4):94-95.
- [6] 张伟,郝海生,王领. 客车底盘制动系储气筒容积的计算与选择[J]. 客车技术与研究,2012,34(2):25.
- [7] 唐瑜亮,杨晓云. 纯电动城市客车电动空压机与储气筒容积匹配分析[J]. 汽车电器,2020(10):6-10.
- [8] 梁会仁,王恩前,常颖,等. 电动城市客车制动系统气体容积匹配计算[J]. 客车技术与研究,2017,39(4):49-51.
- [9] 中华人民共和国工业和信息化部. 商用车辆和挂车制动系统技术要求及试验方法;GB 12676—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2015:12.
- [10] 刘惟信. 汽车制动系的结构分析与设计计算[M]. 北京:清华大学出版社,2004:125.
- [11] 王陆林,刘贵如. 汽车制动距离估算模型和安全车距控制算法[J]. 农业装备与车辆工程,2019,57(12):23-28.
- [2] 吴勘,胡鑫苑,门龙龙. 无人驾驶电动汽车人机交互界面设计探索[J]. 湖南包装,2021,36(3):100-104.
- [3] 支政. 基于 ROS 和 Qt 的七自由度机械臂人机交互界面的设计和实现[D]. 青岛:中国石油大学(华东),2019.
- [4] 邵刚,谢世琪,段国宁. 基于 Qt 编写的可配置的监控系统[J]. 工业控制计算机,2022,35(3):69-70.
- [5] 范志昊,程跃. 基于 Qt 平台的室内定位系统设计[J]. 长江信息通信,2023,36(8):207-209.
- [6] 李华君. 一种基于 Qt 的应用软件开发与集成方法[J]. 雷达与对抗,2022,42(4):46-52.
- [7] 胡双,吴瑜佳,王语瑛,等. 基于 ROS 的智能机器人可视化自主交互系统设计[J]. 实验室研究与探索,2023,42(4):54-59.
- [8] 廖熹,易克非. 基于嵌入式 Linux 系统下的 Qt 测试软件开发[J]. 兵工自动化,2013,32(8):94-96.
- [9] 吴连港. 基于 Qt 的嵌入式水质检测系统界面软件设计[J]. 农业装备与车辆工程,2021,59(11):140-142.
- [10] 秦艳丽. 试谈移动 UI 设计原则与方法[J]. 电脑编程技巧与维护,2018(5):64-65.
- [11] 黄艳芳. 基于 Qt4 的图形用户界面程序设计与游戏开发[J]. 电子设计工程,2011,19(17):49-53.
- [12] 张静,褚丽莉,陈佳. 浅谈智能家居 ROS 机器人语音控制实现[J]. 信息系统工程,2020(1):16-17.

(上接第 49 页)