

问
题
讨
论

轨道车辆用空气弹簧标准修订建议

程海涛, 刘建勋, 陈灿辉, 王 进

(株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)



作者简介:程海涛(1968-),男,高级工程师(教授级),主要从事轨道车辆减振降噪和悬挂系统研究。

摘 要:根据我国轨道车辆情况和运用特点,从试验项点、试验方法和判断准则等方面进行了分析,以满足轨道车辆的运行性能和安全需要为目的,指出了国内轨道车辆空气弹簧标准应具有的原则;通过对比分析国内外轨道车辆用空气弹簧主要标准,包括TB/T2841—2005《铁道车辆空气弹簧》、EN 13597—2003《铁道车辆用橡胶悬挂部件——空气弹簧胶囊》和JIS E 4206—1989《铁道车辆用弹簧装置》,在试验项点、试验方法和判断准则等方面给出了建议。

关键词:轨道车辆;空气弹簧;标准修订;试验项点;试验方法

中图分类号:U260.6*1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-128X(2011)04-0058-04

Proposal on Updating the Air Spring Standard for Rail Vehicle

CHENG Hai-tao, LIU Jian-xun, CHEN Can-hui, WANG Jin

(Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China)

Abstract: Testing items, testing methods and criterion for air spring were analyzed according to domestic rail vehicle service condition. Rules for domestic rail vehicle air spring were provided to comply with the running performance and safety. Comments on the testing items, testing methods and criterion were proposed through comparing and analyzing domestic and oversea standards, including TB/T2841-2005 *Air spring for rail vehicle*, EN 13597-2003 *Rail applications-Rubber suspension components-Rubber diaphragms for pneumatic suspension springs* and JIS E 4206-1989 *Spring device for rail vehicle*.

Key words: rail vehicle; air spring; standard updating; testing item; testing method

0 引言

空气弹簧是轨道车辆二系悬挂的重要组成部分,起承担载荷、提供刚度、适应车体转向架之间的位移和保持车辆高度稳定的功能,具有承载能力大、自振频率不变和变形能力强的优点。为保证空气弹簧的功能及运用可靠性,需要规范试验项点、试验方法和判断准则。中国标准为TB/T2841—2005《铁道车辆空气弹簧》^[1],欧洲既有标准为EN 13597—2003《铁道车辆用橡胶悬挂部件——空气弹簧胶囊》^[2],日本轨道车辆采用JIS E 4206—1989《铁道车辆用弹簧装置》^[3]。近几年的运用表明,TB/T2841—2005有较多需要完善的内容,可操作性不强,应该在对EN13597—2003、TB/T2841—2005、JIS E 4206—1989充分理解的基础上,采纳各个标准中的合理内容,对不合理的部分予以摒弃,考虑重

新修订适合国内轨道车辆当前运营需要的新空气弹簧标准。

1 轨道车辆用空气弹簧运用情况简介

轨道车辆包括铁路干线及城轨地铁车辆。铁路干线车辆包括25型客车和动车组,城轨地铁列车包括地铁A型车和B型车。

25型客车的最高运行速度在160~170 km/h,相应的转向架有CW-2型、206KP型、SW-160型、209HS型等转向架^[4],空气弹簧最大径向位移为40~60 mm,供风压力小于6.5 bar,寿命为6年或240万km;与25T型提速客车相对应的转向架有CW-200K型、SW-220K型、AM96型,空气弹簧最大径向位移为120~125 mm,供风压力也小于6.5 bar,寿命为6~8年或240万km。

200~250 km/h动车组对应的列车有CRH₁、CRH₂、CRH₅这3个系列,300 km/h以上速度级对应的列车有BST-380、CRH-380A、CRH-380B 3个系列,空气弹簧最

收稿日期:2010-05-29;收修改稿日期:2011-01-04
基金项目:2009年铁道部科技司标准项目计划(09T021)

大径向位移为115~130 mm, 供风压力7~9 bar, 寿命为8~12年。

地铁B型车对应的转向架有DK系列、SDB、ZMB80、ZMA120等, 地铁A型车相对应的转向架包括ZMA100、Metropolis等; 2种车型空气弹簧最大径向位移在85~125 mm之间, 供风压力7~9 bar, 寿命至少为10年。

2 对空气弹簧标准的要求

由前述可知, 国内轨道车辆及转向架种类较多, 速度范围跨度大, 供风压力波动大, 空气弹簧径向位移和运用寿命也各不相同, 空气弹簧种类也有大曲囊式、小曲囊式、腰带式等多种形式, 在试验项点、试验方法和判定准则方面应统一标准, 以方便设计、运用和检修。

2.1 标准应具有广泛的适用性

考虑中国轨道车辆众多的车型及客观运用条件的差异, 建议从以下5个方面考虑空气弹簧标准的广泛适用性:

①标准要能够既适用于25B、25G、25K、25T型客车, 也适用于动车组和高速列车, 同时兼顾地铁车辆运行特点; 转向架形式包括有摇动台、有摇枕和无摇枕等主要类型。试验内容、试验方法和判定标准要兼顾既有的小曲囊式、大曲囊式和腰带式空气弹簧, 涵盖主要的空气弹簧形式。

②国内既有提速客车中有摇动台的车辆占近2/3, 而有摇动台转向架空气弹簧工作状态主要承受垂向动态载荷, 基本上不承受径向或扭转载荷, 在考察空气弹簧耐疲劳特性时应主要考虑其垂向的工作特性。

③国内既有提速客车空气弹簧中近90%装有节流阻尼阀, 以代替垂向液压减振器, 为知道准确的垂向阻尼系数, 需要制定阻尼系数试验方法。

④由于我国地区温度差别较大, 最冷地区温度可达-45℃, 而空气弹簧低温时的密封性能有所下降, 为保证密封性能, 需要制定低温气密性试验方法及胶料的耐低温性能试验。

⑤目前CRH系列动车组的运行速度在200~380 km/h范围, 使用的空气弹簧类型既有小曲囊+平板橡胶堆结构, 也有大曲囊+锥形橡胶堆结构; 前者依据JIS E 4206—1989进行性能验证, 后者所占比例较大, 技术引进时是依据EN13597—2003进行校核的。综合考虑上述情况, 空气弹簧标准应当适用于上述2种结构的特性试验方法。

2.2 标准应具有较明显的先进性

新标准应更能适应车辆的运行需要, 促进该产品的技术进步, 提高运行可靠性, 减少运用过程中的风险。

①外形尺寸: 车体与转向架间的安装空间是有限的, 加上空气弹簧动态变形, 易出现气囊与转向架或车体上其他部件干涉而磨破的情况, 故有必要校核充气状态下空气弹簧的外形尺寸。

②辅助弹簧高度: 车辆落车后的调试及正常运营

过程中, 难免会出现空气弹簧无气运行的情况, 此种情况下辅助弹簧的高度如果偏差太大, 会造成车辆三点支撑及通过曲线时安全性降低, 应当制定辅助弹簧无气状态高度的试验要求及方法。

③辅助弹簧垂向刚度: 当空气弹簧无气通过小半径曲线时, 如果辅助弹簧的垂向刚度过大, 则车辆有脱轨的风险。标准应当对此项点进行强化, 要求在型式试验和例行试验都应进行测试。

④空气间隙及辅助弹簧垂向冲击: 空气弹簧上盖到支撑座的距离以及支撑座到橡胶堆硬止挡的距离影响整车的运行性能, 无论是否有气, 前者都会影响车辆通过曲线时的性能和空气弹簧可靠性, 后者影响空气弹簧无气状态下车辆的振动和冲击, 需要在标准中加入对空气弹簧上盖到支撑座的距离以及支撑座到橡胶堆硬止挡的距离的测量。

⑤气囊褶皱试验方法: 当车辆通过曲线时, 由于轨道线路超高和离心力的作用, 会导致一侧载荷明显降低, 最不利的情况是空车通过小曲线, 一侧载荷会明显低于空车时的载荷, 加上大的径向位移, 气囊易出现褶皱。气囊出现褶皱会明显降低使用寿命, 且载荷越低、径向位移越大, 越容易出现褶皱。因此用低的载荷和最大径向位移检验气囊是否出现褶皱是合理的。

⑥垂向承载能力稳定性: 车辆运行时, 车体与转向架间的垂向空间是变化的, 也就是空气弹簧的实际高度动态变化, 不同的结构设计方式, 其承载能力随高度的变化情况会不同, 而车辆一般需要空气弹簧有相对稳定的承载能力, 因此需要对压力载荷稳定性进行校核。

⑦扭转疲劳试验: 车辆通过曲线时车体与转向架之间的扭转及径向位移对无摇枕转向架空气弹簧破坏性较大, 其中径向位移与车辆定距、转向架横向跨距、线路曲线半径直接相关。

关于疲劳试验次数, 根据中国既有线路和车辆运行情况, 铁道车辆每年通过道岔和小半径曲线的循环次数最少为20万次, 地铁车辆每年通过道岔和小半径曲线的循环次数最少为10万次, 按照6~10年寿命计算, 则寿命周期的总循环次数应为104万次; 考虑不同的道岔和小半径曲线产生的振幅不同, 另一方面为避免过长的试验时间, 可以进行适当的简化等效。

⑧疲劳试验结束后的试验项点: 疲劳试验结束后的产品, 仍然要保持其功能特性。对任何产品均有此要求。

⑨出厂前检验项点: 出厂前的例行试验能明显减少运用风险, 应该增加空气弹簧极限垂向工作载荷下的外观检查、辅助弹簧空载时的刚度、高度、粘结强度试验。

3 TB/T2841—2005空气弹簧标准存在的问题

TB/T2841—2005空气弹簧标准自2005年发布以来, 在指导设计、生产、运用及检修方面发挥了较大作用,

但随着动车组开行和城轨地铁车辆的大量投入运用,已不适应大曲囊式等类型空气弹簧的要求,存在的主要问题如下:

①外形尺寸:过去由于对空气弹簧的外形及产生位移后的尺寸认识不足,在既往的标准中没有加入对外形尺寸的测量方法和要求,导致部分型号的空气弹簧装车运用后产生限界干涉,给运用带来较大的麻烦。

②辅助弹簧高度:没有对辅助弹簧的高度进行测量,供应商和用户没有检查依据,无气时车辆会出现三点支撑的情况。

③辅助弹簧垂向刚度:没有规定测试辅助弹簧的刚度,导致该参数不被控制,用户无法直接根据空气弹簧标准核对辅助弹簧刚度是否符合要求。

④空气间隙及辅助弹簧垂向冲击:没有对该项点进行要求,检测上盖到支撑座的距离以及支撑座到橡胶堆硬止挡的距离没有依据。

⑤刚度试验方法:在标准TB/T2841—2005和标准JIS E 4206的静刚度试验方法中,前者规定刚度的测试振幅为 $\pm 30\text{ mm}$,由测试曲线确定空气弹簧的刚度。根据多次线路动力学试验测试结果,空气弹簧正常振动的振幅一般在 $\pm 10\text{ mm}$ 左右,极少有达到 $\pm 30\text{ mm}$ 的情况,用极少达到的条件评价经常出现的运行状态是不合适的。JIS E 4206—1989规定的振幅为 $\pm 10\text{ mm}$,但当测试达到规定的振幅时,要停留 30 s 然后再读数,这也是不合理的,因为实际车辆运行时,不会按照期望的那样在 $\pm 10\text{ mm}$ 停留 30 s 然后再返回。

⑥气囊褶皱试验方法:标准TB/T2841—2005和标准JIS E 4206规定的是用 500 kPa 和 $\pm 110\text{ mm}$ 来进行试验,对于大部分既有小曲囊式空气弹簧, 500 kPa 的气压对应的载荷比重车载荷都要大,且有的无摇枕转向架通过小半径曲线时产生的最大径向位移大于 $\pm 110\text{ mm}$,这样不利于检查出气囊是否会出现褶皱。

⑦垂向承载能力稳定性:标准TB/T2841—2005和标准JIS E 4206没有此项规定。

⑧扭转疲劳试验:TB/T2841—2005标准规定了扭转疲劳试验方法,以模拟车辆通过曲线时车体与转向架之间的相对运动,检验空气弹簧的疲劳可靠性,振幅为 $\pm 80\text{ mm}$,循环次数为20万次。但对于不同的车辆结构和运行线路情况,振幅也不相同,难以做到接近实际运用,且疲劳试验次数与实际运营循环次数相差较大。考虑通过曲线和道岔,空气弹簧承受较大振幅的扭转疲劳试验次数大约为80万次~120万次。

JIS E 4206—1989没有规定扭转疲劳试验,但规定了横向疲劳试验。由于横向疲劳试验产生扭转非常小,无法代表无摇枕空气弹簧的运行情况。

⑨疲劳试验结束后的试验项点:TB/T2841—2005、JIS E 4206—1989疲劳试验结束后的功能验证仅包括气密性检验,EN13597中没有关于辅助弹簧疲劳试验结束

后的功能验证。应当增加空气弹簧疲劳试验后的最大外形测试、承载能力测试、刚度测试、爆破试验、帘布层间粘合强度测试,增加辅助弹簧垂向疲劳后的刚度测试。

4 主要参数建议

国内空气弹簧标准应当吸取既有空气弹簧标准中合理的内容,结合中国轨道车辆运行情况和运行条件,重新制定。鉴于EN13597更多地考虑了车辆的实际情况,建议尽量采用EN13597标准。但在耐油性指标、扭转疲劳试验次数、刚度公差、垂向压力载荷稳定性公差方面还应有所差异。

4.1 耐油性指标

EN13597中胶料的耐油性标准为单位面积重量变化量 Δm_A 应不超过 170 g/m^2 ,该标准有些苛刻,在修订国内既有空气弹簧标准时,建议有所放宽条件。原因如下:①胶料的耐油性与耐低温性能是互相影响的,耐低温性能好的橡胶一般耐油性能降低,而耐油性能好的橡胶一般耐低温性能较差。EN13597规定的耐低温性能为 $-35\text{ }^\circ\text{C}$,而我国寒冷地区温度可达到 $-45\text{ }^\circ\text{C}$,兼顾耐低温性能,这样就会损失一部分耐油性能。②运用过程中,空气弹簧接触油液的机会并不多,偶尔会有一些油液飞溅到上面。③既有运用的空气弹簧产品,耐油性能一般在 230 g/m^2 以上,但没有出现过因为耐油液问题而造成的破坏。④综合以上因素,建议耐油性指标为不超过 230 g/m^2 。

4.2 扭转疲劳试验

EN13597、TB/T2841—2005中扭转疲劳试验次数为至少20万次循环,建议增加到60万次循环,相比EN13597和TB/T2841—2005明显增加了试验次数。

①欧洲车辆一般年运行里程为10万~20万km,空气弹簧寿命周期内运行里程为100万~200万km;我国车辆一般年运行里程为30万~70万km,空气弹簧寿命周期内运行里程为240万~500万km。我国空气弹簧寿命周期内的运行里程数明显大于欧洲产品。

②扭转疲劳试验主要模拟车辆通过曲线道岔时的工作状态。根据我国铁路线路谱,曲线占总运行里程的30%~40%,假设车辆每运行100 km停靠一个车站,每个车站进站和出站大约经过8个道岔,仅考虑半径在 $R800$ 以内的曲线和小于18#的道岔,按照 $R800$ 以内的曲线个数占有所有曲线的75%,小于18#的道岔占有所有道岔的90%考虑,则车辆每天经过曲线和道岔的总数为700,按照每年运行300天和6年使用寿命计算,则车辆寿命周期内的总扭转疲劳循环次数为120万次循环,考虑振幅因素和试验时间,建议定为60万次循环。

③该项试验对空气弹簧水平加载,使其产生循环往复运动,以模拟车辆在曲线轨道上运行时,空气弹簧在车体与转向架之间的相对运动。试验原理见图1。

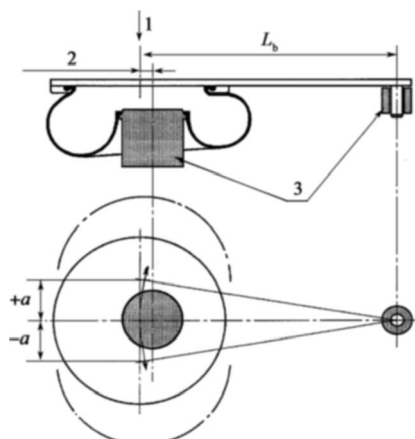


图1 空气弹簧扭转疲劳试验原理

1 ——垂向加载；2 ——横向偏移量；3 ——试验工装

空气弹簧往复运动的振幅按照下式计算：

$$\pm(L_b \times L_b) / R_c \quad (1)$$

式中： L_b ——车辆定距的一半，m； L_b ——空气弹簧中心到转向架中心销或牵引拉杆中心的距离，m； R_c ——线路曲线半径，根据技术规范要求确定，如果技术规范没有明确要求，取180 m；

疲劳试验应进行共 6×10^5 次循环，频率在0.5~1.0 Hz范围内。

4.3 有气状态下刚度公差

EN13597中规定在有气状态下，垂向刚度严格公差为 $\pm 5\%$ 、一般公差为 $\pm 7\%$ ；水平刚度严格公差为 $\pm 10\%$ 、一般公差为 $\pm 15\%$ 。

对于新标准在有气状态下的建议公差为：垂向刚度严格公差为 $\pm 15\%$ 、一般公差为 $\pm 20\%$ ；水平刚度严格公差为 $\pm 15\%$ 、一般公差为 $\pm 20\%$ 。

从上述公差对比，建议公差有所放宽：

① EN13597标准主要是针对胶囊的，公差中没有考虑辅助弹簧的因素，而实际运用时，胶囊则是与辅助弹簧组合在一起工作的。

② 建议则是针对整套空气弹簧的，考虑了辅助弹簧的制造公差后，提出上述指标。

4.4 垂向压力载荷稳定性公差

EN13597垂向压力载荷稳定性严格公差为 $\pm 3\%$ 、一般公差为 $\pm 5\%$ 。

建议新标准中垂向压力载荷稳定性严格公差为 $\pm 5\%$ 、一般公差为 $\pm 8\%$ 。

从上述公差对比，建议有所放宽：

① EN13597标准主要是针对胶囊的，公差中没有考虑辅助弹簧垂向变形的因素，而实际运用时，胶囊则是与辅助弹簧组合在一起工作的。

② 本标准是针对整套空气弹簧的，考虑了辅助弹簧的垂向变形因素。

③ 结合我国车辆供风压力条件和空气弹簧承载力条件，制定上述指标。

5 建议

由于国内既有空气弹簧标准已不适应轨道车辆的运行需要，较多项点没有验证依据和试验方法，新的空气弹簧标准TB/T2841—2010已对TB/T2841—2005进行了修订，在修订时把握住标准的广泛适用性和先进性，采纳了既有国内外标准的合理内容，结合我国线路和车辆运营情况，能够满足我国轨道车辆对二系悬挂系统的需要，建议用户和主机厂尽可能了解并按照执行。

参考文献：

- [1] 孔 军, 王黎明. TB/T2841—2005 铁道车辆空气弹簧[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [2] EUOPENCOMMITTEE FOR STANDARDIZATION. BS EN 13597: 2003, Railway applications—Rubber suspension components—Rubber diaphragms for pneumatic suspension springs[S].
- [3] 日本工业标准委员会. JIS E 4206:1989, 铁道车辆用弹簧装置[S].
- [4] 傅小日, 李金森. 我国铁路客车转向架技术发展的概述[J]. 铁道车辆, 2005(8): 1-9.

(上接第57页) f. 主轴运转控制等。

② 控制检测诊断软件按照检测机工作运转流程图控制各个动作，界面简洁，操作简单，实现自动采样、诊断功能。检测一套轴承的平均时间约为2~3 min。

3 结语

单套机车轴承检测机通过运用广义共振/共振解调故障诊断技术和引用国内数控机床中成熟技术，使得设备操作简单、轴承装卸方便，并拓宽了检测轴承范围，提升了设备自动化程度，提高了设备运行稳定性、

可靠性等。该轴承检测机已经小批量投产，适用于各路局机务段检修车间和机车制造、修理厂以及非铁路行业的轴承检测，亦可用于轴承制造厂的产品质量检测。

参考文献：

- [1] 唐德尧, 李 辉, 宋辛晖, 黄贵发. 机车轴承若干故障的诊断与分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2004(4).
- [2] 唐德尧, 王定晓. 故障诊断系统的可靠性与容错操作设计[C]// 第一届全国诊断工程技术学术会议论文集. 武汉: 华中理工大学科学技术协会, 1998: 170-175.
- [3] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.