/

中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

城市轨道交通车辆 电空制动系统

Urban rail transit vehicles-Electro-pneumatic brake system

|  |
| --- |
| （征求意见稿） |
| （本稿完成日期：2022年3月24日） |

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

ICS 45.060

CCS S 33



目 次

[前言 II](#_Toc91593476)

[1 范围 3](#_Toc91593477)

[2 规范性引用文件 3](#_Toc91593478)

[3 术语和定义 3](#_Toc91593479)

[4 使用条件 6](#_Toc91593480)

[5 通用要求 6](#_Toc91593481)

[6 技术要求 8](#_Toc91593484)

[7 试验方法 10](#_Toc91593487)

[8 检验规则 17](#_Toc91593499)

[9 标志、包装、运输和储存 18](#_Toc91593500)

[参考文献 20](#_Toc91593504)

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国住房和城乡建设部提出。

本文件由全国城市轨道交通标准化技术委员会（SAC/TC 290）归口。

本文件起草单位：中车青岛四方车辆研究所有限公司、中国中车股份有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、中车株洲电力机车有限公司、南京中车浦镇海泰制动设备有限公司、北京纵横机电科技有限公司、同济大学、西南交通大学、北京市地铁运营有限公司、广州地铁集团有限公司、深圳地铁建设集团有限公司、成都轨道交通集团有限公司、中铁检验认证（青岛）车辆检验站有限公司、克诺尔车辆设备(苏州)有限公司。

本文件主要起草人：李培署、冯勇、朱建春、闫磊、石喆文、安震、王林美、王正、王晓东、孟繁辉、任得鹏、刘元清、樊贵新、田春、王俊勇、李莉、龙静、梁锦发、陈英、孙峰、赵建飞。

城市轨道交通车辆 电空制动系统

1. 范围

本文件规定了城市轨道交通车辆电空制动系统的使用环境条件、通用要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和储存。

本文件适用于地铁、市域快速轨道车辆用电空制动系统，轻轨、单轨、有轨电车、自导向轨道等城市轨道交通车辆用电空制动系统可参照执行。

1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4208—2017 外壳防护等级(IP代码)(IEC 60529：2013，IDT)

GB/T 21562 轨道交通可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例（IEC 62278:2002,IDT）

ISO 2151 声学 压缩机和真空泵的噪声试验规程 工程法（2级）（Acoustics - Noise test code for compressors and vacuum pumps - Engineering method （Grade 2)）

ISO 3744 声学 声压法测定噪声源的声功率 反射面上近似自由场的工程法（Acoustics- Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane）

ISO 8573-1：2010 压缩空气 第1部分：污染物和清洁度等级（Compressed air-Part 1: Contaminants and purity classes）

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1  
空气制动 pneumatic brake；air brake

通过压缩空气控制，并以压缩空气作为产生闸瓦或闸片压力的原动力的制动方式。

3.2  
电空制动系统 electro-pneumatic brake system；EP brake system

电气控制的空气制动系统，分为车控制动系统和架控制动系统。

3.3  
车控制动系统 vehicle controlled brake system

以单节车辆为单元进行空气制动力控制的系统。

3.4  
架控制动系统 bogie controlled brake system

以一台转向架为单元进行空气制动力控制的系统。

3.5  
常用制动 service brake

调节列车运行速度或使列车在预定地点停车的制动。

[来源：GB/T 4549.3—2004，2.7]

3.6  
紧急制动 emergency brake

使列车迅速减速并达到在最短距离内紧急停车的制动。

[来源：GB/T 4549.3—2004，2.8]

3.7  
快速制动 fast brake

与常用制动采用相同控制方式的使列车迅速减速的一种制动。

3.8  
停放制动 parking brake

在规定坡道和载荷的条件下，保持列车长期处于停止状态的制动。

3.9  
保持制动 holding brake

列车停车后和牵引启动的一定时间内防止列车溜逸所施加的空气制动。

3.10  
电制动 electro-dynamic brake(ED brake)

牵引电机在列车制动时作为发电机使用，将列车动能转化为电能的制动。

当电能被反馈至电阻器时，称为电阻制动。

当电能被反馈至供电电网时，称为再生制动。

3.11  
电空混合制动 blending brake of EP brake and ED brake

电制动和空气制动相互配合实现制动作用的方式。

3.12  
空车载荷 vehicle empty load

车辆在装备完整且无乘客时的重量，简称AW0。空车载荷等于车辆自重。

3.13  
超员载荷 vehicle overload

车辆在超员状态时的重量，简称AW3。超员载荷等于空车载荷与超员载客的重量之和。

3.14  
延迟时间 delay time

从制动指令发出开始，至列车达到规定减速度的10%所需要的时间。

3.15  
建立时间 build-up time

从延迟时间结束开始，至达到规定减速度的90%所需要的时间。

3.16  
响应时间 response time

从制动指令发出开始，至列车达到规定减速度的90%所需要的时间。

响应时间为延迟时间与建立时间之和。

3.17  
等效响应时间 equivalent response time

用于计算制动距离的理论响应时间。

式中:

——等效响应时间，单位为秒(s)；

——延迟时间，单位为秒（s）；

——响应时间，单位为秒（s）。

3.18  
制动距离 stopping distance

从制动指令发出开始直至停车，列车所经过的距离。

3.19  
瞬时减速度 instantaneous deceleration

制动期间速度对时间的一阶导数的绝对值。

3.20  
平均减速度 average deceleration

从制动指令发出直至列车速度为零整个过程中，列车制动初速的平方与2倍的制动距离之比。

式中:

——平均减速度，单位为米/秒2(m/s2)；

——制动初速度，单位为千米/小时（km/h）；

——制动距离，单位为米（m）。

3.21  
等效减速度 equivalent deceleration

用于计算制动距离的理论恒定减速度。

式中:

——等效减速度，单位为米/秒2(m/s2)。

3.22  
制动冲击率 brake jerk

制动力变化过程中瞬时减速度在规定时间内的变化率。

3.23  
干燥轨面 dry rail

在没有轴的滑移率超过2%的情况下可施加100%车辆制动力的状态。

3.24  
低黏着 low adhesion

轮轨黏着系数为0.05～0.08的状态。

3.25  
极低黏着 very low adhesion

轮轨黏着系数为0.03～0.05的状态。

3.26  
轮周速度 circumferential speed

车轮的转动角速度与车轮半径的乘积。

3.27  
滑行速度 absolute wheel slide

实际列车速度与轮周速度的差值。

3.28  
滑移率 relative wheel slide

滑行速度与实际列车速度的比率。

3.29  
车轮抱死 wheel lock

在制动过程中车辆仍在运动而车轮已停止转动的极端滑行情况。

1. 使用环境条件

电空制动系统在下列使用环境条件下应能正常工作：

* 1. 正常工作海拔不超过1400m；
  2. 使用环境温度在-25℃至45℃之间，允许在不低于-40℃的环境温度下存放；
  3. 最湿月月平均最大相对湿度不大于95%（该月月平均最低温度为25℃）；
  4. 应能承受风、沙、雨、雪的侵袭及车辆清洗时清洗剂的作用；
  5. 因所处地区不同而存在气候条件的差异，可另外规定使用环境条件。

1. 通用要求

5.1 一般要求

1. 单节车辆采用动力转向架和非动力转向架配置或者牵引系统采用架控方式进行牵引控制的列车宜采用架控制动系统。
2. 电空制动系统应按一列车或一个单元进行系统设计，车辆及相关系统之间接口、功能应匹配，且应避免相互干扰。整个系统设计应具有完整性并符合故障导向安全原则。
3. 电空制动系统应采用模块化设计，零部件应尽量集中布置，并应具有互换性，主要部件之间应留有维护空间。
4. 电空制动系统的紧急制动的安全性应按GB/T 21562的SIL4等级进行设计，常用制动和防滑控制功能的安全性应按GB/T 21562的SIL2等级进行设计。
5. 电空制动系统管路及其配套的管接头等部件宜采用不锈钢材质，风缸应进行防锈、防腐处理。
6. 电空制动系统不应产生或含有对人体有毒有害的物质。
7. 车体外部安装的制动设备，电气连接器防护等级应满足GB/T 4208—2017中IP65的要求，风源系统电机防护等级应满足IP54的要求，速度传感器防护等级应满足IP68的要求，连接器应满足IP67要求，其它部件防护等级应至少满足IP55的要求。
8. 电空制动系统应设有与列车总线通信的多功能车辆总线（MVB）、控制器局域网（CAN）或以太网等的网络接口。
9. 电空制动系统应能连续调节和控制制动力。
10. 电空制动系统应具有保证运行的列车减速或停车的能力，应满足列车在规定条件下的制动减速度和制动距离要求。
11. 电空制动系统应具有保证静止列车不溜逸的能力。
12. 电空制动系统应能与牵引系统的电制动相互配合实现电空混合制动。
13. 电空制动系统应能充分利用车轮与轨道之间的黏着条件，应能充分发挥制动能力。
14. 电空制动系统应能在司机控制器、ATO或ATP等的操纵下对列车进行阶段或一次性的制动与缓解控制。
15. 电空制动系统正常工作压力范围宜为750kPa～900kPa或800kPa～950kPa，最高工作压力不应大于1000kPa。
16. 当电空制动系统总风管（缸）空气压力降到低于某一压力值时，列车应自动采取导向安全的措施保障列车运行安全。
17. 电空制动系统可根据线路条件及运营需求设置撒砂等增黏装置。
18. 电空制动系统采用的橡胶密封件应满足不少于6年的使用要求。
19. 电空制动系统应满足不少于6年进行拆解检修的使用要求。

5.2 主要部件要求

1. 风源系统应采用两套或两套以上独立的电动空气压缩机组，空气压缩机组的运行管理应满足列车中所有空气压缩机组工作时间均衡的要求。当一套空气压缩机组故障时，其余的空气压缩机组性能应满足列车的用风要求。
2. 风源系统应为全列车制动系统、空气弹簧等使用压缩空气的装置提供清洁干燥的压缩空气。压缩空气在送入储风缸前应将其中的颗粒物、水、油去除。风源系统最终出口空气的质量不应低于ISO 8573-1：2010中3-3-3等级的要求或满足用户的特殊使用要求。
3. 风源系统的噪声应符合ISO 2151或ISO 3744的要求，距离风源系统1m处声压级噪声值不应大于78dB（A）。
4. 列车正常运营过程中，除无油空气压缩机组外，风源系统空气压缩机组工作率不应低于30%。
5. 每辆车应至少配置一套制动控制装置，任何一套制动控制装置故障不应影响其它制动控制装置的正常功能。
6. 基础制动应采用踏面制动或盘形制动形式。
7. 踏面单元制动器和盘形制动夹钳单元应具有自动调整闸瓦与车轮踏面/闸片与制动盘之间间隙的功能，并应具备手动调整功能。
8. 具有停放制动功能的踏面单元制动器和制动夹钳单元应具备手动缓解停放制动的功能。
9. 技术要求

6.1 功能要求

1. 电空制动系统应具有常用制动、紧急制动、停放制动功能，可设有快速制动、保持制动等功能。
2. 电空制动系统应能根据车辆载荷变化自动调整制动力（停放制动力除外）的大小，且车辆等效减速度从空车到超员应基本不变。
3. 电空制动系统应具有防滑控制功能。防滑控制时应能对滑行轴的制动力进行控制，并应能充分利用黏着。当电空混合制动时，应优先发挥电制动防滑控制的能力。
4. 常用制动和快速制动应具有冲动限制功能，紧急制动不应受冲动限制。
5. 紧急制动应由紧急制动环路直接控制，应采用失电制动的控制方式，紧急制动施加后在列车停止前不应缓解。
6. 停放制动力应通过机械方式产生并传递，应通过充风的方式进行缓解。电空制动系统应具有防止停放制动力和空气制动力叠加起作用的功能。
7. 保持制动应使列车在正常运营线路上停车后和牵引启动的一定时间内不溜逸。
8. 电空制动系统应具有隔离单辆车或单台转向架空气制动的功能。
9. 电空制动系统应具有制动不缓解检测、制动力不足检测等功能。
10. 电空制动系统应通过回送装置或设有回送功能实现列车由机车回送时的制动施加和缓解。
11. 电空制动系统应具有自检、实时诊断及故障记录功能。

6.2 性能要求

1. 电空制动系统的气密性应满足下列要求：
2. 在列车各风缸、气路和塞门处于正常工作状态、总风处于最高正常工作压力、所有供风装置不工作、紧急制动状态下，5min总风压力下降不应大于20kPa；
3. 当切除制动储风缸供风风源时，3min制动储风缸压力下降不应大于10kPa。
4. 风源系统供风能力应满足下列要求：
5. 对于不超过6辆车编组的列车，总风压力从零充风至最高工作压力的充风时间不宜超过20min；
6. 对于超过6辆车编组的列车，充风时间不宜超过25min。
7. 风源系统的空气压缩机组启动、停机时的总风压力值，总风安全阀的开启、关闭压力值，配置两套及以上空气压缩机组的风源系统的空气压缩机组启动顺序，应满足设计要求。
8. 常用制动和快速制动压力应采用闭环控制，实际输出的制动缸压力与电空制动系统计算的目标值偏差应为±15kPa。
9. 紧急制动不应受常用制动控制部分的影响，实际输出的制动缸压力与对应实际空气弹簧压力计算的目标值偏差应为±20kPa。
10. 紧急制动的响应时间不应超过1.6s。
11. 保持制动时实际输出的制动缸压力与电空制动系统计算的目标值偏差应为±15kPa。
12. 在AW3载荷状态下，当风源系统停止工作且总风缸处于最小正常工作压力时，储风缸的储风量应满足列车实施至少3次紧急制动的用风量。
13. 通过操纵设在司机室的停放制动控制按钮或开关，应能实现停放制动的施加与缓解。停放制动施加后，通过操纵踏面单元制动器或制动夹钳单元的手动缓解装置，应能缓解相应踏面单元制动器或制动夹钳单元的停放制动作用。
14. 停放制动应能使AW3载荷状态的列车安全停放在运营正线的最大坡道上不溜逸，并应满足AW0载荷状态的列车安全停放在车场出入线最大坡道上不溜逸的要求。
15. 常用制动和快速制动应采用电制动与空气制动实时协调配合的混合制动方式，应优先并充分发挥电制动能力；如果电制动能力不能满足制动力需求，则应由空气制动自动补足。电制动和空气制动配合时应能平稳转换。
16. 在AW0及AW3载荷情况下，在平直干燥轨道上，列车从最高运行速度到停车，制动减速度应满足下列要求：
17. 对于最高运行速度不大于120km/h的城轨列车：
18. 最大常用制动平均减速度不应低于1.0m/s2；
19. 快速制动等效减速度不应低于1.2m/s2；
20. 紧急制动平均减速度不应低于1.2m/s2。
21. 对于最高运行速度大于120km/h且不大于200km/h的城轨列车：
22. 最大常用制动平均减速度不应低于0.8m/s2；
23. 快速制动等效减速度不应低于1.0m/s2；
24. 紧急制动平均减速度不应低于1.0m/s2。
25. 列车常用制动和快速制动的制动冲击率不应大于0.75m/s3，特殊要求下不应大于1.0m/s3。防滑控制时不应受制动冲击率限制。
26. 电空制动系统防滑性能应满足：
27. 低黏着状态下：
28. 当列车速度大于120km/h时，不应出现持续3s以上滑移率大于25%的情况；当列车速度在80km/h～120km/h时，车速与轮周速度之差大于30km/h以上的持续滑行时间不应大于3s；当列车速度在30km/h～80km/h之间时，车速与轮周速度之差大于20km/h以上的持续滑行时间不应大于3s；
29. 当列车速度在5km/h～30km/h时，车轮抱死的持续时间不应大于0.4s；高于30km/h时所有车轮均不应抱死；
30. 在规定试验条件下，当列车车轴数量为2～7轴时，列车紧急制动距离不应大于相应速度等级下干燥轨面的1.3倍；当列车车轴数量为8～15轴时，列车紧急制动距离不应大于相应速度等级下干燥轨面的1.25倍；当列车车轴数量大于16轴时，列车紧急制动距离不应大于相应速度等级下干燥轨面的1.2倍；
31. 在所有速度下车轮均不应出现影响车辆运营的踏面擦伤。
32. 极低黏着状态下：
33. 当列车速度大于5km/h时，轮对抱死的时间每次不应大于0.4s；
34. 列车各轴轮周速度中出现低于列车速度50%的滑行时间不应大于0.4s。
35. 在所有动车电制动停止工作的情况下，电空制动系统应满足AW3载荷状态下车辆按基础制动热容量允许的速度完成一个往返运行的要求，电空制动系统及所有空气驱动的部件的设计应能满足要求运行条件下的列车正常制动性能要求。
36. AW3载荷状态下，列车在纯空气制动工况下按基础制动热容量允许的速度运行一个往返以及在最高运行速度下连续施加两次紧急制动时，对于采用合成闸瓦、闸片的基础制动装置，车轮踏面及闸瓦表面温度不应超过300℃，制动盘及闸片的表面温度不应超过400℃；对于采用粉末冶金闸片的基础制动装置，制动盘及闸片的表面温度不应超过550℃。
37. 试验方法

7.1 静置试验

7.1.1 一般要求

试验前，应完成电空制动系统在列车上的安装和调试工作，完成车辆载荷参数和制动性能参数等的调整，电空制动系统各零部件均应处于正常状态。

7.1.2 试验内容

静置试验项目应包括：

1. 气密性试验；
2. 风源系统试验；
3. 制动静态性能试验；
4. 停放制动试验。

7.1.3 气密性试验

7.1.3.1 一般要求

试验前列车应停放在平直线路上，并应做好列车防溜措施，常排风装置（若有）应处于隔离状态。

7.1.3.2 试验方法

试验时，列车各风缸、气路和塞门处于正常工作状态，施加紧急制动，待总风充至最高正常工作压力后，停止所有供风装置工作，5min后进行测试，测试5min总风压力的下降值是否满足6.2.1的要求。切除制动储风缸供风风源，测试3min制动储风缸压力下降值是否满足6.2.1的要求。

7.1.4 风源系统试验

7.1.4.1 一般要求

试验前列车应停放在平直线路上，并应做好列车防溜措施；被试风源系统应连续运转20min以上，干燥器工作状态应正常。

7.1.4.2 试验方法

7.1.4.2.1 供风能力试验

停止所有空气压缩机组工作，排尽除升弓风缸外列车压力容器内的压缩空气。启动所有空气压缩机组，测试总风压力从零升至最高正常工作压力的时间是否满足6.2.2要求。

7.1.4.2.2 总风压力设定值试验

所有空气压缩机组处于正常工作状态，使总风压力缓慢下降，测试各空气压缩机组启动时的总风压力值是否满足6.2.3的要求；空气压缩机组工作后，测试各空气压缩机组停机时的总风压力值是否满足6.2.3的要求。

7.1.4.2.3 总风安全阀动作压力值试验

采取相应措施使空气压缩机组不受停机压力控制而持续工作，记录总风安全阀处的总风压力，测试总风安全阀的开启压力值和关闭压力值是否满足6.2.3的要求。

7.1.4.2.4 风源系统启动顺序试验

配置两套及以上空气压缩机组的风源系统应进行空气压缩机组启动顺序试验。

总风压力在正常工作压力范围内且空气压缩机组处于停机状态，使总风压力持续下降，测试各空气压缩机组的启动顺序是否满足6.2.3的要求。

7.1.5 制动静态性能试验

7.1.5.1 一般要求

试验前，列车应停放在平直线路上,应选取完整编组列车中的两辆车进行试验，其中至少应有一辆带动力转向架的车辆，测试参数至少应包括制动缸压力（测点处于防滑控制阀的下游气路）、空气弹簧压力、制动指令信号以及制动缸压力上升时间（从制动指令发出到达到目标制动缸压力的90%的时间，与制动响应时间相当）。

每次试验前电空制动系统应处于正常工作压力状态。试验次数不应少于3次，每次试验结果都应满足规定要求。型式检验应分别在AW0和AW3载荷状态下进行，出厂检验应在AW0载荷状态下进行。

7.1.5.2 试验方法

7.1.5.2.1 常用制动试验

施加常用制动，测试并记录常用制动响应时间（仅在型式检验时测试）和制动缸压力。

当列车制动力采用有级或有档控制时，应包含从最小至最大的所有常用制动级位；当列车制动力采用无级控制时，测试最大常用制动。

测试常用制动时的制动缸压力是否满足6.2.4的要求。

7.1.5.2.2 快速制动试验

施加快速制动，测试并记录快速制动响应时间（仅在型式检验时测试）和制动缸压力。

测试快速制动时的制动缸压力是否满足6.2.4的要求。

7.1.5.2.3 紧急制动试验

施加紧急制动，测试并记录紧急制动响应时间（仅在型式检验时测试）和制动缸压力。

测试紧急制动时的制动缸压力是否满足6.2.5的要求，紧急制动响应时间是否满足6.2.6的要求。

7.1.5.2.4 制动控制装置失电后紧急制动试验

断开任意1套制动控制装置电源，使该制动控制装置失电，进行紧急制动施加试验，检查列车紧急制动功能，测试并记录制动缸压力。

测试制动控制装置失电后，列车的紧急制动功能是否受到影响，紧急制动时的制动缸压力是否满足6.2.5的要求。

7.1.5.2.5 保持制动试验

施加保持制动，测试并记录保持制动的制动缸压力。

测试保持制动时的制动缸压力是否满足6.2.7的要求。

7.1.5.2.6 储风缸的储风量试验

采取措施隔离保持制动功能（若有）和总风欠压压力开关，停止风源系统工作，通过操纵总风缸排水塞门使总风缸处于最小正常工作压力，然后实施3次紧急制动和缓解操作，测试此过程中的储风缸和制动缸压力。

测试储风缸的储风量是否满足6.2.8的要求。

7.1.6 停放制动试验

7.1.6.1 一般要求

停放制动试验应满足下列要求：

1. 列车停放制动施加与缓解试验、停放制动手动缓解试验应在平直线路上进行，停放制动能力测试应在规定的坡道上进行。
2. 当实际最大坡道条件不满足规定的技术要求时，应在实际最大坡道上进行停放制动能力测试。
3. 列车为空车AW0载荷状态时，应将列车停放于规定坡道线路上或出入库线的最大坡道上进行试验；列车为超员AW3载荷状态时，应将列车停放于规定坡道线路上或运营正线的最大坡道上进行试验；如无特殊规定，试验时风速不应大于5m/s。
4. 可对列车坡道停放制动能力进行换算评估。

7.1.6.2 试验方法

7.1.6.2.1停放制动施加与缓解试验

列车停放在平直线路上，并做好防溜措施，通过操纵司机室停放制动施加与缓解按钮或开关，检查停放制动功能是否满足6.2.9的要求。

7.1.6.2.2停放制动手动缓解试验

列车停放在平直线路上，并做好防溜措施，施加停放制动后，隔离并缓解空气制动，操纵踏面单元制动器或制动夹钳单元的手动缓解装置，检查停放制动缓解功能是否满足6.2.9的要求。

7.1.6.2.3 停放制动能力测试

在规定载荷条件下，列车停放在要求的坡道上，缓解空气制动仅施加停放制动，10min后观察列车是否发生溜逸，停放制动能力是否满足6.2.10的要求。

7.1.6.2.4 停放制动能力换算评估

停放制动能力换算的评估宜采用下列方法：

a)方法一：至少选取列车中一辆停放制动功能完好的车辆进行试验。测试参数至少应包括选定被试车辆的停放制动缸空气压力、停放制动夹钳单元（踏面单元制动器）的闸片（闸瓦）推力。试验时应使用装有测力装置的闸片（闸瓦），换下原有的制动闸片（闸瓦），测试停放制动施加时作用在制动盘（车轮踏面）上的闸片（闸瓦）推力。通过测得的单车闸片（闸瓦）推力，按各停放制动夹钳单元（踏面单元制动器）的闸片（闸瓦）推力相同的原则，计算停放制动施加状态下整列车的安全停放坡度是否满足6.2.10的要求。对于采用盘形制动时的停放坡度按公式（1）计算：

式中：

——停放坡度的千分数；

——列车停放制动夹钳单元推力总和，单位为千牛（kN）；

——盘形制动盘平均摩擦半径，单位为米（m）；

——新轮状态的轮径，单位为米（m）；

——静摩擦系数；

——列车超员载荷状态（AW3）总质量/列车空车载荷状态（AW0）总质量，单位为吨（t）；

——重力加速度，取9.81，单位为米/秒2（m/s2）。

对于采用踏面制动时的停放坡度按公式（2）计算：

b)方法二：列车在规定的最大坡度i的坡道上安全停放所需的制动力F按公式（3）计算：

式中：

——最大停放坡度的千分数。

列车停放在平直线路上，施加停放制动后缓解所有空气制动，由机车牵引列车，机车施加按式（3）计算的牵引力，观察列车是否发生移动。

7.2 运行试验

7.2.1 一般要求

试验前应完成电空制动系统静置试验。

7.2.2 试验内容

运行试验项目包括：

1. 制动动态性能试验；
2. 防滑性能试验；
3. 制动热容量试验。

7.2.3 制动动态性能试验

7.2.3.1 一般要求

制动动态性能试验应满足下列要求：

1. 制动动态性能试验应包括型式检验和出厂检验，型式检验应分别在空车载荷（AW0）和超员载荷（AW3）状态下进行，出厂检验应在空车载荷（AW0）状态下进行。
2. 型式检验宜在平直线路上进行，黏着状态应良好，风速不应大于5m/s；出厂检验应在自然的实际状态下进行，该状态应在试验结果中说明。试验时网压应满足列车牵引和电制动的要求。
3. 型式检验应在列车最高运行速度下进行，在列车最高运行速度之下至少应选取两个速度级进行试验并记录试验结果。出厂试验因试验线路条件限制无法达到列车最高运行速度时，则应在试验线路允许的最高速度下进行试验。
4. 制动盘（车轮踏面）应平整光滑，无明显犁沟；制动闸片（闸瓦）厚度应在规定范围内，闸片（闸瓦）应经过适当磨合，且接触面积不应小于80%（型式试验时）；每次试验前制动盘（车轮踏面）、闸片（闸瓦）温度不应超过60℃。
5. 型式检验项目至少应包括常用空气制动试验、常用电空混合制动试验、快速空气制动试验（若有）、快速电空混合制动试验（若有）、紧急制动试验、制动冲击率测试，出厂检验应进行最大常用制动和紧急制动试验。每项试验至少应进行3次。
6. 型式检验测试参数至少应包括制动初速度、列车瞬时速度、瞬时减速度、制动距离、制动时间、被试车辆的制动缸压力、空气弹簧压力、制动指令信号及电制动参数、制动冲击率等。出厂检验测试参数至少应包括制动初速度、被试车辆的制动缸压力等。
7. 如果制动距离测试不能在绝对平直的线路上进行，则所选的线路坡道应为±4‰；实际制动初速度与目标初速度之差应为±3km/h。如果实际线路坡度或实际制动初速度与要求线路坡度或目标初速度有任何不符，测得的制动距离应按公式（4）修正：

式中：

**——修正后的制动距离，单位为米（m）；

**——实测的制动距离，单位为米（m）；

——目标制动初速度，单位为千米/小时（km/h）；

**——实际制动初速度，单位为千米/小时（km/h）；

——等效响应时间，单位为秒(s)；

** ——试验地点坡度的千分数，“+”用于下坡，“-”用于上坡；

**——转动惯量系数，如果技术条件没有规定*R*0的数值，可使用0.08。

制动平均减速度应按公式（2）计算。

7.2.3.2 试验方法

7.2.3.2.1 列车按规定速度惰行进入试验区段后，按试验项目规定的制动方式实施制动直至列车停车，制动过程中连续记录各测试参数，检验常用制动和快速制动时电制动与空气制动协调配合功能是否满足6.2.11的要求，常用制动、快速制动、紧急制动减速度是否满足6.2.12的要求。

7.2.3.2.2 常用制动和快速制动过程中，进行制动冲击率的测试，检测目标减速度建立时间内列车瞬时减速度的变化率是否满足6.2.13的要求。

7.2.4 防滑性能试验

7.2.4.1 一般要求

防滑性能试验应满足下列要求：

1. 防滑试验前，被试列车应已完成干燥轨面条件下的制动试验，并应满足电空制动系统设计要求；
2. 防滑性能试验为型式检验。若被试列车装有非黏着制动装置或撒砂装置，试验时应停用。
3. 应利用空载（AW0）列车在最大坡度不超过4‰的平直线路上进行试验。
4. 若防滑装置为首次装车试验，试验环境温度宜为5℃～25℃，不应在下雨、下雪的天气情况下进行试验。
5. 应按最高运行速度进行试验，试验工况至少应包括紧急制动、最大常用空气制动、最大常用电空混合制动，每种工况应试验3次。
6. 测试参数应至少包括制动初速度、列车瞬时速度、制动瞬时减速度、车轮圆周速度、制动缸压力、制动时间、制动距离。

7.2.4.2 试验方法

7.2.4.2.1 在被试列车前进方向第一辆车上安装喷洒装置，其中第1轴的两个车轮纵向中心线处各安装一个喷嘴，喷嘴与车轮和轨道间距离均不应大于10cm。

7.2.4.2.2 试验过程中采用向轨面喷洒减摩液的办法降低黏着，形成低黏着状态，减摩液为含脂肪酸的、可降解的环保清洗液，试验时以一定压力由喷嘴喷洒至轨面上。减摩液的浓度可根据黏着需要兑水稀释，以便控制喷洒装置后面第一条滑行轮对初始滑行前后各0.2s内的平均减速度在0.5 m/s2～0.8m/s2范围内。

7.2.4.2.3 紧急制动工况下，应对被试列车喷洒装置后的6根轴（当车辆少于6根轴时按全部轴）进行滑行程度计算。从滑行开始时至车辆速度降至40km/h的时间间隔内，当制动初速度不大于120km/h时滑行程度计算轴中至少有一半轴的轮周速度低于车辆速度90%的时间之和与该间隔时间之比不小于35%，当制动初速度大于120km/h时为20%。

7.2.4.2.4 当被试列车加速到预定的试验速度后，开始向轨面喷洒减摩液。当喷有减摩液的湿轨面长度大于列车长度后，对被试列车实施制动直至停车，在制动过程中应继续向轨面喷洒减摩液，并采集、记录相关数据。检查试验结果是否满足6.2.14a)的要求。

7.2.4.2.5 紧急制动工况下防滑性能试验时，检测紧急制动距离是否满足6.2.14a)的要求。

7.2.4.2.6 当被试列车在运用过程中存在极低黏着轨面上行驶的情况时，可进行极低黏着防滑试验，试验时试验线路应有足够的安全停车距离，且应按下列方法：

1. 试验时，在以列车减速至试验速度时所在位置作为起始点的轨道上涂抹可降解、环保的纯减摩液，涂抹的轨道长度应至少为被试列车长加30m，也可采用在轨面上贴纤维纸胶带并喷撒清水的方法，控制第一辆车第一条滑行轮对初始滑行前后各0.2s内的平均减速度在0.3 m/s2～0.5m/s2范围内。
2. 被试列车从静止加速到预定的试验速度（对于最高运行速度大于100km/h的列车，则加速至100km/h）后，在制动施加点处施加紧急制动直至停车，在制动过程中采集并记录相关数据。检查试验结果是否满足6.2.14b)的要求。

7.2.5 制动热容量试验

7.2.5.1 一般要求

试验应在列车超员载荷（AW3）状态下进行。测试参数应至少包括列车速度、被试车辆的制动缸压力、空气弹簧压力、制动盘（车轮踏面）及闸片（闸瓦）表面温度、制动指令信号等。

7.2.5.2 试验方法

7.2.5.2.1 试验前切除列车电制动，列车按基础制动热容量允许的速度运行一个往返，测试制动盘（车轮踏面）/闸片（闸瓦）表面温度。检查试验结果是否满足6.2.15和6.2.16的要求。

7.2.5.2.2 列车在最高运行速度下连续施加两次紧急制动，测试制动盘（车轮踏面）/闸片（闸瓦）表面温度是否满足6.2.16的要求。

1. 检验规则
   1. 制动系统检验是指电空制动系统装车后进行的整车制动系统检验，分为型式检验和出厂检验。
   2. 有下列情况之一时，应进行型式检验：
2. 新型制动系统定型或首次生产时；
3. 制动系统的结构、软件等有重大改变，可能影响其性能及行车安全时，需对受影响的检验项目进行试验。
   1. 型式检验项目应按表1执行。型式检验过程中电空制动系统不应更换软件和调整相关参数，若型式检验过程中有必须更换软件或调整相关参数的情况时，制造商应提交相关书面文件，说明变更或调整内容及其对制动系统的影响，确认后与变更或调整内容相关的型式检验项目应重新进行。
   2. 每套电空制动系统装车后应进行出厂检验，出厂检验项目应按表1执行。

表1 检验项目

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检验项目 | | 试验方法对应条款 | 技术要求  对应条款 | 型式检验 | | 出厂检验 | |
| AW0 | AW3 | AW0 | AW3 |
| 1 | 气密性试验 | | 7.1.2.2 | 6.2.1 | √ | — | √ | — |
| 2 | 风源系统试验 | 供风能力试验 | 7.1.3.2.1 | 6.2.2 | √ | — | √ | — |
| 总风压力设定值试验 | 7.1.3.2.2 | 6.2.3 | √ | — | √ | — |
| 总风安全阀动作值试验 | 7.1.3.2.3 | 6.2.3 | √ | — | √ | — |
| 风源系统启动顺序试验 | 7.1.3.2.4 | 6.2.3 | √ | — | √ | — |
| 3 | 制动静态性能试验 | 常用制动试验 | 7.1.4.2.1 | 6.2.4 | √ | √ | √ | — |
| 快速制动试验 | 7.1.4.2.2 | 6.2.4 | √ | √ | √ | — |
| 紧急制动试验 | 7.1.4.2.3 | 6.2.5  6.2.6 | √ | √ | √ | — |
| 制动控制装置失电后紧急制动试验 | 7.1.4.2.4 | 6.2.5 | √ | √ | √ | — |
| 保持制动试验 | 7.1.4.2.5 | 6.2.7 | √ | — | √ | — |
| 储风缸的储风量试验 | 7.1.4.2.6 | 6.2.8 | — | √ | — | — |
| 4 | 停放制动试验 | 停放制动施加与缓解试验 | 7.1.5.2.1 | 6.2.9 | √ | — | √ | — |
| 停放制动手动缓解试验 | 7.1.5.2.2 | 6.2.9 | √ | — | √ | — |
| 停放制动能力测试 | 7.1.5.2.3 | 6.2.10 | √ | √ | — | — |
| 停放制动能力换算评估 | 7.1.5.2.4 | 6.2.10 | √ | √ | — | — |
| 5 | 制动动态性能试验 | 常用制动、快速制动、紧急制动试验 | 7.2.2.2.1 | 6.2.11  6.2.12 | √ | √ | √ | — |
| 制动冲击率测试 | 7.2.2.2.2 | 6.2.13 | √ | √ | √ | — |
| 6 | 防滑性能试验 | | 7.2.3.2 | 6.2.14 | √ | — | — | — |
| 7 | 制动热容量试验 | | 7.2.4.2 | 6.2.15  6.2.16 | — | √ | — | — |
| 注：“√”表示必做该项检验，“－”表示不做该项检验。 | | | | | | | | |

1. 标志、包装、运输和储存

9.1 标志

电空制动系统部件应有标志，标志应清晰、易读、不易磨损、具有可追溯性。且至少应包含下列内容：

1. 产品名称和型号；
2. 出厂编号；
3. 出厂年月；
4. 制造商名。

9.2 包装

电空制动系统部件应有包装，包装箱上应标有部件名称、型号、供应商等内容。箱内应采取防止挤压和互相碰撞的措施，且应有检验合格证，内容应包括：

1. 制造商名称或代号；
2. 产品名称及数量；
3. 产品编号；
4. 检验员印章。

9.3 运输和储存

电空制动系统在运输和储存中应保持清洁并进行防护，应避免阳光暴晒和雨淋，装卸时不应摔扔，防止破损和变形。

参 考 文 献

[1] GB/T 4549.3—2004 铁道车辆词汇 第3部分：制动装置

[2] GB/T 7928—2003 地下车辆通用技术条件

[3] GB/T 14894—2015 城市轨道交通车辆组装后的检查与试验规则（IEC 61133：1992，MOD）

[4] GB/T 23431—2009 城市轻轨交通铰接车辆通用技术条件

[5] GB/T 37532—2019 城市轨道交通市域快线120km/h～160km/h车辆通用技术条件

[6] GB 50157—2013 地铁设计规范

[7] GB 50490 城市轨道交通技术规范

[8] TB/T 3009—2019 机车车辆制动系统用防滑装置

[9] T/CAMET 04004.2—2018 城市轨道交通车辆制动系统 第2部分：电空制动系统装车后的试验规则

[10] T/CAMET 04004.3—2018 城市轨道交通车辆制动系统 第3部分：空气制动防滑系统技术规范

[11] IEC 61133：2016 铁路应用 机车车辆 机车车辆制成后投入运用前的整车试验（Railway applications–Rolling stock–Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service）

[12] UIC 541-05 制动机 各种制动机零部件的制造规范 车轮防滑装置（WSP）（Brakes-Specifications for the construction of various brake parts-Wheel Slide Protection device(WSP)）

[13] EN 13452-1-2003 铁路应用 制动 公共交通制动系统 第1部分：性能要求（Railway applications - Braking - Mass transit brake systems - Part 1:Performance requirements）

[14] EN 15595 铁路应用 制动 车轮防滑装置（Railway applications–Braking–Wheel slide protection）