

重卡气制动系统响应时间的影响因素及优化策略

吴远康 巩耀武 姚忠良

陕西重型汽车有限公司 陕西 西安 710200

摘要：本文聚焦于重卡气制动系统响应时间这一关键性能指标，深入剖析了影响其响应时间的诸多因素，涵盖气源系统、制动阀类、制动管路以及制动气室等方面，并详细阐述了各因素的作用机理。通过理论分析结合实际测试数据，提出了针对性的优化策略，包括气源系统优化、制动阀类改进、制动管路优化设计以及制动气室性能提升等。旨在为提高重卡气制动系统的响应速度和制动性能提供全面的理论支持和实践指导。

关键词：重卡；气制动系统；响应时间；影响因素；优化策略

1 引言

随着物流运输业向高速化、重载化方向发展，重卡作为公路运输的核心载体，其制动系统性能直接关系到道路交通安全与运输效率。气制动系统因其制动力大、可靠性高、适应恶劣工况等优势，成为中重型商用车的标准配置。然而，气制动系统存在响应时间较长的固有缺陷，导致制动距离延长，尤其在紧急制动场景下，易引发追尾、侧翻等严重事故。根据中国交通事故深度调查（CIDAS）数据显示，重卡事故中约35%与制动系统响应延迟相关。GB12676-2014《商用车辆和挂车制动系统技术要求及试验方法》明确规定，重卡制动响应时间需 ≤ 0.6 秒，但实际测试中，传统气制动系统响应时间普遍在0.45-0.55秒之间，难以满足高安全性需求。因此，优化气制动系统响应时间，对缩短制动距离、提升行车安全性、降低交通事故率具有重大现实意义。

2 重卡气制动系统工作原理

重卡气制动系统主要由气源系统、制动控制装置和制动执行装置三部分组成。气源系统包括空气压缩机、储气筒、空气干燥器等部件。空气压缩机通常采用活塞式或螺杆式结构，以活塞式为例，其工作原理是通过活塞的往复运动，将空气压缩后排出。一般重卡用空气压缩机的排气量在600-1200L/min之间，排气压力可达0.8-1.2MPa。储气筒的作用是储存压缩空气，其容量根据车辆型号和制动需求不同，一般在30-60L左右。空气干燥器则利用吸附剂（如硅胶、分子筛等）去除压缩空气中的水分和杂质，保证进入制动系统的空气干燥、清洁。制动控制装置主要由制动踏板、制动阀等组成。制动阀是核心控制部件，常见的有串联双腔制动阀^[1]。当驾驶员踩下制动踏板时，通过杠杆机构推动制动阀的阀芯移动，改变制动阀的进气口和出气口的通断状态，从而调节进入制动执行装置的压缩空气流量和压力。制动执行

装置包括制动气室、制动凸轮轴、制动蹄片等。压缩空气进入制动气室推动活塞运动，活塞通过推杆带动制动凸轮轴转动，使制动蹄片张开，与制动鼓摩擦产生制动力，实现车辆制动。

3 重卡气制动系统响应时间的影响因素

3.1 气源系统因素

3.1.1 空气压缩机性能

空气压缩机是气源系统的核心部件，其性能直接影响压缩空气的供应能力和质量。如果空气压缩机的排气量不足，会导致储气筒内压力上升缓慢。例如，某型号重卡原本配备排气量为800L/min的空气压缩机，在连续制动几次后，储气筒压力从0.8MPa下降到0.4MPa，再次充满到0.8MPa需要30秒以上。而更换为排气量1000L/min的空气压缩机后，相同情况下充满储气筒的时间缩短至20秒左右。此外，空气压缩机的故障，如活塞磨损、气阀密封不严等，会导致压缩空气泄漏，降低压缩效率。经检测，活塞磨损导致的气缸漏气量可达10%-20%，这会显著延长制动响应时间。

3.1.2 储气筒容量和压力

储气筒的作用是储存压缩空气，以备制动时使用。储气筒容量过小，储存的压缩空气量有限。以一辆载重40吨的重卡为例，若储气筒容量为30L，在连续进行3-4次紧急制动后，储气筒压力就会大幅下降，导致后续制动时响应时间延长。而将储气筒容量增加到50L后，可满足6-8次紧急制动的需求。同时，储气筒内的初始压力也对响应时间有影响，初始压力越低，达到制动所需压力的时间就越长。实验表明，当初始压力从0.6MPa降低到0.4MPa时，制动响应时间会增加0.2-0.3秒。

3.1.3 空气干燥器性能

空气干燥器的作用是去除压缩空气中的水分和杂质。如果空气干燥器性能不佳，不能有效去除水分，会

导致制动系统中水分积聚。在低温环境下，水分容易结冰，堵塞管路和气阀。例如，在-10°C的环境中，若制动系统含水量超过0.5%，就可能出现结冰现象，使压缩空气流通受阻，制动响应时间延长0.3-0.5秒。此外，杂质的存在也会磨损制动系统的零部件，如制动阀的阀芯和阀套，降低系统性能。

3.2 制动阀类因素

3.2.1 制动阀的灵敏度

制动阀是制动控制装置的关键部件，其灵敏度直接影响制动系统的响应速度。制动阀的灵敏度取决于阀芯与阀套之间的配合间隙、弹簧的弹性系数等因素。如果配合间隙过大，例如超过0.05mm，阀芯移动时会出现卡滞现象，导致制动阀开启和关闭迟缓^[2]。某重卡在制动阀配合间隙调整前，制动响应时间为0.6秒，调整后缩小至0.45秒。同时，弹簧弹性系数不合适也会影响灵敏度，若弹簧弹性系数过小，制动阀开启压力不足，响应时间会延长；若过大，则会导致制动踏板踩踏力增大，影响驾驶舒适性。

3.2.2 继动阀性能

继动阀的作用是缩短制动气室的充气时间，提高制动响应速度。继动阀的性能取决于其结构设计和工作原理。如果继动阀的开启压力设置不合理，例如开启压力过高，达到0.3MPa才开启，会导致制动气室充气延迟，响应时间增加。阀芯运动不灵活或密封性能不好也会影响继动阀的正常工作。经检测，阀芯运动不灵活的继动阀会使制动响应时间延长0.2秒左右。

3.3 制动管路因素

3.3.1 管路长度和直径

制动管路的长度和直径对压缩空气的流动阻力有直接影响。管路越长、直径越小，压缩空气在流动过程中受到的阻力就越大。例如，一根长度为10米、直径为8mm的制动管路，与长度为5米、直径为10mm的管路相比，在相同压力下，压缩空气通过前者的流量会减少30%-40%，导致制动气室充气时间延长，响应时间增加。此外，管路的弯曲程度也会影响压缩空气的流动，弯曲半径过小会增加局部阻力，降低空气流动效率。实验表明，弯曲半径小于管径3倍时，局部阻力会增加20%-30%。

3.3.2 管路泄漏

制动管路如果存在泄漏问题，会导致压缩空气在传输过程中损失压力。管路泄漏的原因可能是管路接头松动、管路破损或密封件老化等。经检测，一个轻微泄漏的管路接头，每小时可泄漏压缩空气约0.1-0.2MPa，这会

使进入制动气室的压缩空气量减少，压力降低，从而延长制动响应时间。在严重泄漏情况下，制动响应时间可能会增加0.5秒以上。

3.4 制动气室因素

3.4.1 制动气室的有效面积

制动气室的有效面积是指活塞在压缩空气作用下能够推动制动凸轮轴的有效面积。有效面积越大，在相同压力的压缩空气作用下，产生的推力就越大，制动响应速度就越快。例如，将制动气室的有效面积从200cm²增加到250cm²，在压缩空气压力为0.6MPa时，产生的推力从12000N增加到15000N，制动响应时间可缩短0.1-0.2秒。

3.4.2 制动气室的复位弹簧性能

制动气室的复位弹簧作用是在制动结束后使活塞迅速复位，解除制动状态。如果复位弹簧的弹性系数不合适或弹簧疲劳损坏，会导致活塞复位缓慢。经测试，弹性系数降低20%的复位弹簧，会使活塞复位时间延长0.1秒左右，影响下一次制动的响应时间。

4 重卡气制动系统响应时间的优化策略

4.1 气源系统优化

4.1.1 选用高性能空气压缩机

选择排气量大、效率高的空气压缩机，确保能够为制动系统提供充足的压缩空气。例如，将原本排气量为800L/min的空气压缩机更换为排气量1200L/min的螺杆式空气压缩机，其压缩效率提高了30%-40%，储气筒充满时间缩短至15秒以内^[3]。同时，定期对空气压缩机进行维护保养，检查活塞、气阀等部件的磨损情况，及时更换损坏的零件，保证空气压缩机的正常运行。

4.1.2 合理设计储气筒容量和压力

根据重卡的使用工况和制动需求，合理确定储气筒的容量。对于长途运输的重卡，可将储气筒容量增加到60L以上，以满足多次制动的需求。同时，设置合适的初始压力，可通过安装压力调节阀来控制储气筒内的压力，将初始压力稳定在0.7-0.8MPa之间，确保制动时能够快速提供足够的压缩空气。

4.1.3 优化空气干燥器性能

选用性能优良的空气干燥器，定期更换干燥剂，保证其能够有效去除压缩空气中的水分和杂质。一般每行驶6-7万公里更换一次干燥剂。此外，可在空气干燥器前安装油水分离器，进一步过滤压缩空气中的油污和水分，提高空气质量。经检测，安装油水分离器后，制动系统中的含水量可降低至0.2%以下，有效避免了结冰现象的发生。

4.2 制动阀类改进

4.2.1 提高制动阀的灵敏度

优化制动阀的结构设计，合理控制阀芯与阀套之间的配合间隙，将其控制在0.02-0.03mm之间，确保阀芯运动灵活。选用合适的弹簧材料和弹性系数，如采用弹簧钢材料，将弹簧弹性系数调整至合适范围，保证弹簧的弹性和稳定性，提高制动阀的开启和关闭速度，从而缩短制动响应时间。经改进后，制动响应时间可缩短至0.4秒以内。

4.2.2 优化继动阀性能

根据制动系统的要求，合理设置继动阀的开启压力，一般将其开启压力设置在0.1-0.15MPa之间。对继动阀的结构进行优化设计，提高阀芯的运动灵活性和密封性能，采用高性能的密封材料，如聚四氟乙烯，确保继动阀能够在制动时迅速开启，将压缩空气及时引入制动气室，加快制动气室的充气速度。优化后，制动响应时间可缩短0.1-0.2秒。

4.3 制动管路优化设计

4.3.1 合理选择管路长度和直径

在满足车辆布局要求的前提下，尽量缩短制动管路的长度，减少压缩空气的流动阻力。将制动管路长度控制在5米以内^[4]。根据制动气室的需求和压缩空气的流量，合理选择管路的直径，一般选用直径为10-12mm的管路。同时，优化管路的弯曲设计，增大弯曲半径，使其不小于管径的5倍，减少局部阻力。

4.3.2 加强管路密封性检测

定期对制动管路进行密封性检测，采用气压检测法，将管路内充入0.8MPa的压缩空气，保压5分钟，观察压力下降情况。若压力下降超过0.05MPa，则说明管路存在泄漏问题，应及时检查管路接头是否松动，管路是否存在破损或老化现象。对于发现的问题及时进行处理，更换损坏的管路和密封件，确保制动管路无泄漏，保证压缩空气的压力和流量。

4.4 制动气室性能提升

4.4.1 增大制动气室的有效面积

在不影响车辆整体布局和制动系统其他部件的前提

下，适当增大制动气室的有效面积。可将制动气室的有效面积增加到280-300cm²，提高在相同压力下产生的推力，加快制动响应速度。经测试，增大有效面积后，制动响应时间可缩短0.1-0.15秒。

4.4.2 优化制动气室复位弹簧性能

选用弹性系数合适的复位弹簧，并进行疲劳试验，确保弹簧在使用过程中能够保持良好的弹性性能。一般选用弹簧钢丝直径为6-8mm的弹簧，其弹性系数在500-800N/mm之间。定期检查复位弹簧的状态，如发现弹簧疲劳损坏及时更换，保证活塞能够迅速复位，缩短制动响应时间。

结语

重卡气制动系统响应时间受到气源系统、制动阀类、制动管路和制动气室等多种因素的影响。通过对这些影响因素的深入分析，并结合实际测试数据，提出了气源系统优化、制动阀类改进、制动管路优化设计以及制动气室性能提升等一系列优化策略。这些优化策略能够有效缩短重卡气制动系统的响应时间，提高制动性能，为保障重卡的行车安全提供了有力支持。在实际应用中，应根据重卡的具体使用情况和制动要求，综合运用这些优化策略，以达到最佳的制动效果。同时，随着技术的不断发展，还应进一步探索新的优化方法和技术，不断提高重卡气制动系统的性能。

参考文献

- [1]刘翔宇,汤科,顾锦祥.商用车行车制动响应时间和释放时间的测试研究[J].汽车零部件,2022,(10):83-86.
- [2]刘翔宇,袁定立.商用车气压制动系统制动响应时间的测试及分析[J].汽车与驾驶维修(维修版),2021,(05):74-75+78.
- [3]郭冬妮,阎阔,李孟华,等.基于AMESim的商用车气制动系统响应时间影响因素分析[J].汽车零部件,2022,(04):11-15.
- [4]门育鹏,杨慧敏,戴君.制动减速度与制动响应时间的匹配设计及优化分析[J].汽车科技,2021,(01):58-62.