

DK-1 型制动机在电力机车中的制动力分配优化研究

汝志洋

国能新朔铁路有限责任公司机务分公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i1.8684

[摘要] 电力机车作为现代铁路运输体系中的核心动力设备，其制动系统的性能直接关系到列车运行的安全与效率。制动系统犹如机车的刹车，在列车启动、行驶、停靠等各个环节中扮演着关键角色，是保障铁路运输安全的重要防线。DK-1 型机车电空制动机作为我国电力机车主型制动机，自 20 世纪 80 年代投入使用以来，凭借其积木式结构和多重安全设计，在铁路运输中发挥了重要作用。然而，随着电力机车向高速、重载方向发展，传统 DK-1 型制动机在制动力分配的精确性、与动力制动的协同性等方面逐渐暴露出不足，制约了列车运行安全性与经济性的提升。本文基于 DK-1 型制动机的工作原理与结构特性，分析其制动力分配现存问题，并为 DK-1 型制动机在现代电力机车中的适配改进提供技术参考。

[关键词] DK-1 型制动机；制动力分配；优化策略

Research on Optimization of Braking Force Distribution of DK-1 Brake in Electric Locomotive

Ru Zhiyang

Guoneng Xinshuo Railway Co., Ltd. Locomotive Branch

[Abstract] As the core power equipment in modern railway transportation system, the performance of the braking system of electric locomotives directly affects the safety and efficiency of train operation. The braking system is like the brakes of a locomotive, playing a key role in various aspects such as train starting, running, and stopping, and is an important defense line to ensure railway transportation safety. The DK-1 locomotive electric air brake, as the main type of brake for electric locomotives in China, has played an important role in railway transportation since its introduction in the 1980s, thanks to its modular structure and multiple safety designs. However, with the development of electric locomotives towards high speed and heavy load, the traditional DK-1 brake has gradually exposed shortcomings in the accuracy of braking force distribution and the coordination with power braking, which restricts the improvement of train operation safety and economy. This article analyzes the existing problems in brake force distribution based on the working principle and structural characteristics of DK-1 brake, and provides technical references for the adaptation and improvement of DK-1 brake in modern electric locomotives.

[Key words] DK-1 type brake; Braking force distribution; optimization strategy

引言：

我国铁路运输正朝着高速化、重载化方向快速推进，对电力机车制动系统的性能提出了更高要求。但其设计初衷适配中低速机车需求，在现代重载列车制动冲击控制、动力制动与空气制动协同、制动压力精确调节等方面存在短板，易出现制动缸压力线性度差、制动力分配不均、机械磨损严重等问题。随着交流传动、微机控制技术在机车上的广泛应用，传统 DK-1 型制动机的纯电气逻辑控制模式已难以满足智能化制动需求。因此，开展 DK-1 型制动机制动力分配优化研究，对保障高速

重载列车运行安全、降低运维成本具有重要现实意义。

一、DK-1 型制动机结构与制动力分配原理

(一) 系统组成

DK-1 型制动机采用积木式结构，主要由控制单元、执行单元及辅助装置三部分组成：控制单元包括电空制动控制器即俗称的大闸、空气制动阀即俗称的小闸与电空逻辑控制单元 (DKL)，负责制动指令的生成、传输与逻辑运算；执行单元包含电空阀、中继阀、分配阀、紧急阀等核心部件，通过气路通断实现制动压力的调节；辅助装置涵盖空气制动柜、各类风

缸、压力开关及安全保护装置，保障系统稳定运行。其中，大闸用于操纵全列车制动与缓解，设过充、运转、中立、制动、重联、紧急六个位置；小闸负责单独操纵机车制动，可通过电空转换拨杆切换至空气位实现纯空气制动备用。分配阀作为核心执行部件，根据制动主管压力变化向制动缸充排气，配合小闸实现机车制动力的单独控制。

（二）制动力分配机制

DK-1型制动机的制动力分配主要通过气路压力调节实现，分为电空位与空气位两种控制模式。电空位下，制动指令经大闸发出后，由DKL控制电空阀动作，调节均衡风缸压力，通过中继阀控制制动主管压力变化，进而驱动分配阀调节机车制动缸压力，同时传递至车辆制动机实现全列车制动力分配；空气位下，通过小闸直接控制均衡风缸压力，采用纯空气制动方式保障列车应急运行。

制动系统具备动力制动与空气制动的初步协同功能，在动力制动初始阶段自动投入40~50kPa减压量的空气制动，保持25秒后自动消除；当制动缸压力超过150kPa时，通过风压继电器切断动力制动励磁电源，避免制动力过大导致滑行。但这种协同模式为固定逻辑控制，无法根据列车速度、载重等工况动态调整制动力分配比例。

二、DK-1型制动机现有制动力分配存在的问题及挑战

（一）制动压力控制精度不足

传统制动力分配通过制动电空阀与排风缩孔调节均衡风缸压力，控制逻辑相对简单，缺乏精准的压力调节模块，在制动过程中难以根据机车负载、运行速度等参数动态调整各制动缸的压力分配。在一些情况下，会出现各车轮制动力不一致的现象，导致部分车轮的制动力过大或过小。尤其当机车处于重联运行状态时，制动力分配精度不足的问题更为显著，易出现部分机车制动过强、部分机车制动不足的现象，影响列车整体制动稳定性。

（二）协同机制不完善

DK-1型制动机在重联机车运行场景下，制动力分配的协同控制存在明显短板，受操作逻辑与部件适配性限制较大。重联机车的制动力传递主要依赖列车主管与重联阀协同运作，要求操纵端与非操纵端重联阀需准确置于“本机位”与“补机位”，否则会导致制动机控制逻辑混乱、制动指令传递失灵，引发非操纵端机车制动不缓解，造成制动力分配严重失衡。此外，重联状态下大闸置于重联位时，中继阀处于自锁状态，制动操作完全依赖司机手动控制，缺乏自动协同调节机制，当多台机车重联运行时，极易因操作时序差异或指令传递延迟，导致各机车制动力响应不同步，出现制动力分配不均的问题。

（三）控制方式智能化水平低

当前铁路机车制动系统正朝着电子化、智能化方向发展，

新型制动控制系统普遍配备BCU（制动控制单元）、智能化传感器及网络控制模块，能够实现制动力的精准调控与状态实时监测。而DK-1型制动机的控制电路与接口设计较为老旧，缺乏标准化的网络通信接口，难以与新型制动控制系统实现无缝对接，导致其制动力分配无法纳入列车整体智能调控体系。同时，该制动机的故障诊断能力薄弱，仅能通过人工排查或简单自检判断故障，无法实时监测制动力分配状态、部件磨损程度等关键参数，与新型制动系统的状态自诊断、故障预警功能脱节，增加了制动力分配故障的排查难度与停机时间，难以适配现代铁路运输的高效运维需求。

三、制动力分配优化的技术与方法

（一）智能控制算法在制动力分配中的应用

随着科技的飞速发展，智能控制算法在电力机车制动力分配领域展现出了巨大的潜力。模糊控制作为一种基于模糊逻辑的智能控制方法，在制动力分配优化中发挥着重要作用。其基本原理是将人类的经验和知识转化为模糊规则，通过模糊推理来实现对系统的控制。在DK-1型制动机的制动力分配中，模糊控制可以根据列车的运行速度、载重、轮轨粘着系数等多个因素，建立模糊控制规则库。其优势在于其不依赖于精确的数学模型，能够适应复杂多变的运行工况。另外神经网络也是一种强大的智能控制算法，它模拟人类大脑神经元的工作方式，通过大量的数据训练来学习系统的输入输出关系。在制动力分配优化中，神经网络可以构建制动力分配模型，通过对大量实际运行数据的学习，自动提取数据中的特征和规律，从而实现制动力精确预测和分配。与传统的控制方法相比，神经网络大大提高了制动力分配的智能化水平。神经网络还具有良好的容错性，即使部分传感器数据出现异常，也能通过其自身的学习和推理能力，给出相对合理的制动力分配方案。

（二）传感器技术与数据采集处理

传感器技术是实现制动力分配优化的关键支撑，它能够实时获取列车运行过程中的各种制动参数，为智能控制算法提供准确的数据基础。在电力机车制动系统中，常用的传感器包括速度传感器、压力传感器、轮轨粘着系数传感器等。速度传感器用于监测列车的运行速度，它是制动力分配中一个重要的参数。压力传感器主要用于测量制动系统中各个部位的压力，这些压力数据直接反映了制动力的大小和变化情况。轮轨粘着系数传感器用于实时监测轮轨之间的粘着系数，这是影响制动力分配的关键因素之一。轮轨粘着系数会随着轨道表面状态、天气条件等因素的变化而变化，准确测量轮轨粘着系数对于实现制动力的合理分配至关重要。而数据采集系统则负责收集各个传感器的信号，并将其传输给数据处理单元，数据处理单元接收到数据后，首先对数据进行预处理，包括数据清洗、滤波、归一化等操作。经过预处理后的数据，再通过智能算法进行分析和处理，提取出有用的信息，如列车的运行状态、制动力的

需求等,为制动力分配优化提供决策依据。

(三) 系统集成

电力机车的制动系统并非孤立存在,而是与多个其他系统紧密关联,实现系统集成与协同控制对于提升制动力分配效果和列车整体运行性能意义重大。制动机与列车的牵引系统集成是其中关键一环。在列车运行过程中,牵引系统负责提供动力使列车前进,而制动系统则在需要时使列车减速或停车。两者之间需要实现良好的协调配合。通过这种集成方式,能够使列车在不同运行工况下,牵引系统和制动系统都能根据实际需求,相互配合,有效提高列车的运行效率和安全性。同时,制动系统与列车的通信网络集成也是必不可少的。随着铁路技术的发展,列车上的各个系统越来越依赖通信网络进行数据传输和信息交互。制动机需要通过通信网络与列车的其他系统,如列车监控系统、车载信号系统等进行实时通信。通过与通信网络的集成,制动机能够与其他系统实现信息共享和协同工作,提高整个列车系统的智能化水平。

(四) 协同控制

实现协同控制的策略和方法多种多样。一种常见的策略是基于状态反馈的协同控制。通过传感器实时监测列车各个系统的运行状态,如速度、加速度、制动力等,并将这些状态信息反馈给中央控制单元。中央控制单元根据预设的控制策略和算法,对各个系统进行统一协调控制。此外模型预测控制也是一种有效的协同控制方法。它通过建立列车各个系统的数学模型,对系统的未来状态进行预测,并根据预测结果提前制定控制策略。这种方法能够充分考虑系统的动态特性和约束条件,实现更加优化的协同控制。还可以采用分布式协同控制策略。在这种策略下,各个系统不再依赖于中央控制单元进行集中控制,而是通过相互之间的通信和协调,自主地进行控制决策。这种分布式协同控制策略能够提高系统的可靠性和灵活性,在部分系统出现故障时,其他系统仍然能够继续工作,保证列车的安全运行。

四、优化后的性能提升与效益分析

(一) 制动性能提升

优化后的 DK-1 型制动机在制动距离方面展现出显著的改善。这一提升主要得益于优化算法对制动力的精准分配。基于模糊控制和神经网络的联合优化算法,能够实时根据列车的运行速度、坡度、载重等复杂工况,精确计算并分配各车轮所需的制动力。在制动平稳性上,优化后的制动机同样有质的飞跃。优化前,由于制动力分配不均,列车在制动过程中会出现明显的晃动和颠簸,不仅影响乘客的乘坐体验,也对列车的结构和设备造成额外的冲击。优化后,各车轮的制动力分配偏差控制在 5% 以内,有效减少了车轮之间制动力的差异。在实际运行中,列车制动时的晃动和颠簸大幅减轻,制动过程更加平稳顺滑。这不仅提高了列车运行的舒适性,也降低了因制动不平稳对列

车部件造成的损伤风险,延长了列车的使用寿命。

(二) 安全可靠性能增强

优化后的制动机在减少制动故障方面成效显著。通过对电空阀和中继阀等关键部件的升级,以及对中继阀结构优化并增加压力反馈装置,大大提高了制动机的可靠性,既减少了因电空阀故障导致的制动异常情况,又有效避免了因压力控制不当引发的制动故障。同时优化后的控制算法能实时监测列车运行状态,及时调整制动力分配,预防车轮打滑、抱死等危险情况的发生,进一步降低了制动故障的概率。另外,列车行车安全可靠性能得到了极大的提高。在复杂的铁路运输环境中,列车面临着各种突发情况和安全隐患。优化后的制动机凭借其精准的制动力分配和可靠的性能,能够在紧急情况下迅速、有效地实施制动,确保列车在安全距离内停车。为列车的行车安全提供了坚实的保障。

(三) 经济效益评估

从维修成本来看,优化后的制动机大大降低了维修费用。优化前,由于制动力分配不均,车轮和闸瓦磨损严重且不均匀,导致这些部件的更换频率较高。优化后,车轮和闸瓦的磨损均匀性得到显著改善,磨损量大幅降低。不仅如此,制动系统其他部件因制动平稳性提高,受到的冲击和磨损也相应减少,进一步降低了维修成本。此外运输效率的提高也带来了可观的经济效益。优化后的制动机缩短了制动距离,提高了制动响应速度,使得列车在区间运行时能够更加高效地控制速度,减少了因制动不及时或制动距离过长导致的晚点情况。高效的制动性能还使得列车在车站的停靠时间更加精准,提高了线路的利用率,能够增加列车的开行对数,从而提升了运输能力,进一步增加了经济效益。

综上,DK-1 型制动机在制动力分配方面存在的问题,本质上是技术设计时代性局限与运输需求升级之间的矛盾。面对重载高速运输的发展趋势、新型制动系统的技术迭代及运维保障的现实压力,该制动机的制动力分配系统亟需通过针对性技术改造、智能化升级及运维体系优化,突破现有瓶颈。未来需在保留其结构可靠性优势的基础上,融入精准控制、智能监测等技术,提升制动力分配的均匀性、协同性与适配性,才能持续满足现代铁路运输的安全与高效需求。

[参考文献]

- [1]王亚东.液压与气动技术发展趋势探讨[J].中国设备工程,2020(05)
- [2]殷晓飞.动车组电/空制动力协调分配及控制方法研究[J].湖南工业大学,2019(02)
- [3]张冬冬;梁建全;陈磊;陈玄圣.动车组制动力控制模式分析[J].铁道机车车辆,2017(06)
- [4]朱文良;吴萌岭.动车组制动计算方法研究[J].同济大学学报(自然科学版),2017(01)