

内燃机车运用中的能耗与排放综合控制技术研究

王志欣

天津枢纽环线铁路有限公司机务分公司 天津 300450

摘要：随着全球环境污染问题的日益严重，内燃机车作为现代交通运输的重要组成部分，其能耗与排放问题已成为全球关注的热点。本文旨在探讨内燃机车在运用过程中的能耗与排放综合控制技术，通过优化燃烧过程、采用先进的排放控制技术以及电子控制系统等手段，实现内燃机车能耗的降低和排放的减少，为环保型交通工具的发展提供技术支持。

关键词：内燃机车；能耗；排放；控制技术

引言

内燃机车作为铁路运输的主力军，其高效、灵活的特点使其在货物运输和旅客运输中发挥着重要作用。然而，内燃机车在运行过程中产生的能耗和排放物对环境造成了严重影响。因此，研究内燃机车运用中的能耗与排放综合控制技术，对于提高铁路运输的可持续性具有重要意义。

1 内燃机车能耗控制技术研究

1.1 优化燃烧过程

1.1.1 供气系统优化

在内燃机车的燃烧过程中，供气系统的优化是提升燃烧效率、降低能耗的关键环节。传统的机械喷油系统因其响应速度慢、喷油量控制不精确等缺点，正逐渐被电子控制喷油系统所取代。电子控制喷油系统通过高精度的传感器实时监测发动机的各种工况参数，如转速、负荷、进气温度等，并将这些数据实时传输给中央控制单元。中央控制单元根据内置的复杂算法和预设的映射关系，快速计算出当前工况下的最佳喷油量，并通过电磁阀精确控制喷油嘴的开启时间和喷油量，使混合气达到更加精确、均匀的分布状态。此外，直喷技术的应用也是供气系统优化的重要方向。直喷技术通过将燃料直接喷射到燃烧室内，实现了燃料的更充分雾化和更均匀的混合气分布，从而进一步提高了燃烧效率^[1]。同时，直喷技术还可以根据发动机的实时工况调整喷油策略，如在不同负荷和转速下采用不同的喷油模式和喷油定时，以实现更精细的燃烧控制，减少燃油的无效消耗和排放物的生成。通过这些优化措施，内燃机车的供气系统能够更好地适应不同的运行条件，提高燃料的利用率，从而降低整机的能耗水平。

1.1.2 点火系统改进

点火系统的性能直接影响到内燃机车的燃烧效率和

能耗水平。传统的点火系统往往存在点火能量不足、点火时机不准确等问题，导致燃料燃烧不充分，能耗增加。为此，高能电子点火系统应运而生。该系统通过采用先进的电子控制技术，能够精确控制点火时机和点火能量，使燃料在燃烧室内得到更充分、更均匀的燃烧，从而提高燃烧效率，降低能耗。除了点火系统的电子控制外，气缸进排气道的设计优化也是提高燃烧效率的关键。通过改进进排气道的形状和布局，可以减少气道阻力，提高进气效率，使更多的新鲜空气进入燃烧室，与燃料充分混合，形成高质量的混合气。同时，优化缸形和气门的布局也可以改善燃烧室内的气流运动，使混合气在燃烧室内得到更充分的分布和燃烧，进一步提高燃烧效率。此外，提高燃烧室的充填效率也是增强混合气形成和燃烧稳定性的重要手段。通过优化活塞形状、提高气缸密封性等措施，可以减少燃烧室内的残余废气量，使更多的新鲜空气和燃料进入燃烧室，形成更充分的混合气。这不仅可以提高燃烧效率，还可以减少排放物的生成，降低内燃机车的环境污染。

1.2 运行参数调整

1.2.1 机车牵引重量与速度管理

在内燃机车运行过程中，合理调整牵引重量和速度是实现能耗降低的关键策略。首先，考虑到列车运行时速固定的情况下，机车的单位油耗与牵引总重之间的关系，实践表明，随着牵引总重的增大，机车单位油耗呈现减小的趋势。这是因为，在相同的运行速度和时间，较重的列车需要更多的能量来维持其运动，但由于内燃机车的运行效率在较重负载时相对较高，因此单位重量的能耗实际上会降低。其次，根据线路条件，特别是坡度的变化，灵活调整运行速度是另一个重要的节能措施。在上坡段，由于重力分量的影响，机车需要消耗更多的能量来克服坡度阻力^[2]。因此，适当降低运行速度

可以减少上坡时的牵引力需求,进而降低能耗。相反,在下坡段,可以利用重力分量来辅助列车运动,此时可以适当增加速度,以充分利用这一自然能源,同时减少下坡时的制动能耗。

2 内燃机车排放控制技术研究

2.1 尾气排放控制

2.1.1 燃料系统优化

在内燃机车排放控制技术的研究中,燃料系统的优化是降低尾气排放、提升环保性能的重要方向。通过改进燃料喷射系统,提高燃料的喷雾质量,可以实现更精细的燃料雾化,使得燃料在燃烧室内更加均匀地分布,从而减少局部过浓或过稀的混合气区域,有效控制氮氧化物(NO_x)和颗粒物(PM)的生成。同时,增加燃烧室内的混合气均匀度也是关键措施之一。这可以通过优化燃烧室设计和改进进气系统来实现,使得燃料和空气在燃烧室内更加充分地混合,提高燃烧效率,减少未完全燃烧的燃料和空气混合物,进而降低排放物的生成。此外,降低燃料雾化的时间和扩散角度也是有效控制排放的重要手段。通过精确控制燃料的喷射时机和喷射量,可以使得燃料在燃烧室内迅速雾化并均匀分布,减少燃料在燃烧过程中的局部富集现象,从而降低 NO_x 和PM的排放^[3]。除了上述技术措施外,采用低硫燃料和生物燃料等新型燃料也是减少内燃机车排放的有效途径。低硫燃料可以有效降低燃烧过程中硫氧化物的生成,而生物燃料则具有更高的燃烧效率和更低的排放特性,能够显著减少内燃机车的尾气排放,提升环保性能。

2.1.2 废气再循环技术(EGR)

废气再循环技术(EGR)是一种有效的内燃机车排放控制技术,其核心思想是将部分已燃烧的废气重新引入燃烧室,与新鲜空气和燃料混合后再次燃烧。这一技术的主要作用是降低燃烧室内的温度和压力,从而减少氮氧化物(NO_x)的生成。在高温和富氧环境下, NO_x 的生成量会显著增加,而EGR技术通过稀释燃烧室内的氧气浓度和降低燃烧温度,有效抑制了 NO_x 的生成。进一步地,水冷EGR技术是在传统EGR技术基础上的优化升级。该技术通过混合EGR废气和冷却水,进一步降低气缸内的温度,从而更大幅度地减少氮氧化物的排放。水冷EGR系统通常包括一个废气冷却器,用于将废气与冷却水进行热交换,降低废气的温度。冷却后的废气再被引入燃烧室,与新鲜空气和燃料混合燃烧。水冷EGR技术的应用不仅有助于减少 NO_x 的排放,还能提高内燃机车的整体热效率。通过降低燃烧温度,减少了冷却系统的热负荷,使得更多的热能可以转化为机械能,提高了机

车的燃油经济性。

2.2 后处理技术

2.2.1 选择性催化还原技术(SCR)

选择性催化还原技术(SCR)是一种高效的内燃机车废气后处理技术,其核心原理是在废气中注入尿素溶液,通过催化反应将氮氧化物(NO_x)转化为无害的氮气(N_2)和水(H_2O),从而显著降低废气中的氮氧化物含量。SCR系统主要由尿素喷射装置、催化剂和相关的控制单元组成。当废气通过SCR系统时,尿素溶液被精确地喷入废气中,并迅速分解为氨气(NH_3)和二氧化碳(CO_2)。随后,氨气在催化剂的作用下与废气中的氮氧化物发生选择性催化还原反应,生成氮气和水。该技术具有运行成本低廉、对环境污染较小的显著优点。尿素作为还原剂,其来源广泛且价格相对较低,使得SCR技术在实际应用中具有较高的经济性^[4]。同时,由于SCR技术仅使用尿素和水作为反应物,不产生二次污染,因此对环境的影响较小。此外,SCR技术还具有较高的转化效率和稳定的运行性能。在适当的操作条件下,SCR系统能够将废气中的氮氧化物转化率达到90%以上,从而满足严格的排放标准。同时,由于催化剂的使用,SCR系统对废气中的其他成分不敏感,能够在复杂的废气环境下稳定运行。

2.2.2 颗粒捕集器(DPF)

颗粒捕集器(DPF),作为内燃机车排放控制的关键后处理技术之一,通过其高效的滤网系统有效过滤废气中的颗粒物,显著降低废气中的PM(颗粒物)排放。该技术已在全球范围内广泛应用于汽车和工程机械领域,成为控制内燃机排放、提升环境质量的重要手段。DPF的核心在于其内部的过滤介质,通常由多孔陶瓷材料制成,这些材料具有极高的过滤效率和良好的耐热性能。当内燃机产生的废气通过DPF时,废气中的颗粒物被滤网捕捉并沉积在滤网上,而清洁的气体则通过滤网排出。随着颗粒物的不断沉积,DPF的过滤效率会逐渐提高,但同时也会增加排气阻力,影响发动机性能。为了保持DPF的持续高效运行,需要定期对其进行再生处理。再生过程主要分为两种类型:主动再生和被动再生。主动再生通过外部热源(如电加热器或燃烧器)提高DPF内部温度,使沉积的颗粒物燃烧成二氧化碳排出,从而实现再生。被动再生则利用催化剂降低颗粒物的着火温度,使其在正常的排气温度下自行燃烧再生。DPF技术的广泛应用得益于其显著的减排效果和经济性。通过安装DPF,内燃机车的颗粒物排放可大幅降低,满足日益严格的排放标准。

3 电子控制系统在内燃机车能耗与排放控制中的应用

电子控制系统作为现代内燃机车的核心组成部分,通过集成先进的传感器、控制单元和执行器,实现了对发动机工作参数的实时监测和精确控制,从而在能耗与排放控制方面发挥了至关重要的作用。传感器作为电子控制系统的前端感知元件,能够实时监测发动机的各种工作参数,如转速、负荷、温度、进气压力等,并将这些信息以电信号的形式发送给控制单元。控制单元是电子控制系统的核心,它内置了复杂的算法和逻辑判断程序,能够对传感器发送的数据进行快速处理和分析,并根据预设的控制策略发出相应的指令。在执行阶段,电子控制系统通过精确调整喷油量、喷油时机、气门开启时间等关键参数,实现对燃烧过程的精确控制。例如,在发动机负荷较小时,电子控制系统可以减小喷油量,调整气门开启时间,以降低燃油消耗和排放;而在发动机需要高功率输出时,系统则可以增加喷油量,提前喷油时机,以确保发动机的动力性和响应性^[5]。此外,电子控制系统还具有自适应学习能力,能够根据发动机的实际运行情况和历史数据不断优化控制策略,以适应不同工况下的调整需求。这种灵活性和精确性使得电子控制系统在降低内燃机车能耗和排放方面具有显著优势。电子控制系统通过实时监测发动机工作参数、精确调整燃烧过程参数以及自适应学习优化控制策略等手段,为内燃机车的能耗与排放控制提供了更加灵活、精确的手段。这些技术的应用不仅有助于降低内燃机车的能耗和排放水平,还能提高发动机的整体性能和可靠性,推动内燃机车技术的持续发展。

4 挑战与展望

尽管内燃机车在能耗与排放控制方面已经取得了显著的进展,但仍然面临着诸多挑战。首先,随着全球环保意识的提高和政府对于环保法规的不断加强,内燃机车需要进一步提高燃烧效率和排放控制水平,以满足日益严格的排放标准。这要求对内燃机的燃烧过程进行更深入的研究,探索新的燃烧技术和控制策略,以实现更低的能耗和排放。其次,新型燃料的应用及燃烧机理的研

究也是未来的重要研究方向之一。传统燃料的燃烧产生的污染物较多,而新型燃料如氢气、生物燃料等具有更低的排放潜力。然而,新型燃料的应用还面临着诸多技术难题,如其燃烧机理、储存与运输等问题需要深入研究。此外,提高内燃机车的整车效率、降低车辆质量以及改善驾驶习惯等也是关键问题。整车效率的提高可以通过优化车辆设计、采用更高效的传动系统和轻量化材料等方式实现。降低车辆质量不仅可以减少能耗,还能降低排放。而改善驾驶习惯则可以通过智能驾驶辅助系统等技术手段来实现,以提高驾驶的经济性和环保性。展望未来,随着环保意识的不断提高和政府对于环保法规的持续加强,内燃机车能耗与排放综合控制技术将会得到进一步发展。技术创新将是推动内燃机车发展的关键力量,包括燃烧技术、后处理技术、电子控制技术等方面的不断创新和应用实践。同时,跨学科的研究合作也将为内燃机车的发展带来新的突破,如与材料科学、计算机科学等领域的交叉研究。

结语

内燃机车作为现代交通运输的重要组成部分,其能耗与排放问题不容忽视。通过优化燃烧过程、采用先进的排放控制技术以及电子控制系统等手段,可以有效降低内燃机车的能耗和排放。本文详细探讨了内燃机车在能耗与排放控制方面的技术研究现状和发展趋势,为未来的技术创新和应用实践提供了参考。

参考文献

- [1]张利坤,刘雪,赵晓东,等.地铁内燃机车能耗监测分析机制研究与实践[J].运输经理世界,2024,(17):4-6.
- [2]李茂林.内燃机车能耗影响因素研究[J].机电信息,2019,(17):150-151.
- [3]周鹏,张喜书,李宝成.内燃机车单机能耗系统的开发与应用[J].内燃机与配件,2022,(11):91-93.
- [4]宋清林,范圣波,林建华,等.内燃机车排放标准与技术研究[J].铁道机车与动车,2023,(12):27-31+6.
- [5]吴庆.铁路内燃机车不同工况下废气排放的影响分析[J].南方农机,2019,50(18):201.