

# 城市轨道交通线路平面曲线半径对运营安全的影响分析

胡 鹏

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 401120

**【摘要】**：城市轨道交通的平面曲线半径对运营安全具有重要影响。曲线半径的设计直接决定了列车通过曲线时的稳定性与安全性。较小的曲线半径可能导致过大的侧向离心力，增加列车脱轨风险，影响乘客舒适度。通过对不同半径的平面曲线进行分析，列车由直线进入曲线时所产生的离心力的大小，取决于列车前进的速度和曲线半径。速度越高，半径越小，则离心力就越大，作用在外轨的力也越大，外轨磨耗加剧，钢轨外挤。为了克服离心力对车辆的影响，应该有一个与离心力相反、大小相等的向心力。这就需要将曲线外轨抬高(即设置超高),使车体内倾产生一个向心力，来平衡这个离心力，提升列车的平稳性与安全性。此外，结合轨道设计、列车性能和运营管理，优化曲线半径能有效提高轨道交通系统的安全性和运行效率。针对城市轨道交通中的特殊情况，提出了适合的曲线半径优化方案，并对提高运营安全的综合对策进行了探讨，为轨道交通系统的安全运行提供了理论依据和实践指导。

**【关键词】**：平面曲线；曲线半径；运营安全；稳定性；轨道设计

DOI:10.12417/2811-0528.26.06.016

在城市轨道交通中，平面曲线的设计是确保列车稳定、安全运行的关键因素之一。随着城市轨道交通网络的不断扩展和列车运行速度的提升，平面曲线半径对轨道交通安全的影响愈加明显。尤其在高速列车通过曲线时，曲线半径的大小直接决定了列车的侧向加速度，进而影响车体稳定性和乘客安全。研究表明，过小的曲线半径不仅可能导致列车通过时的不稳定，还可能增加系统的维护难度和运营成本。为了提高轨道交通系统的安全性和稳定性，必须对曲线半径进行合理设计和优化，以降低运营风险并提升系统效率。因此，合理的平面曲线半径设计已成为轨道交通系统中亟待解决的重要课题。

## 1 平面曲线半径对列车稳定性的影响

平面曲线半径对列车稳定性的影响主要体现在列车行驶过程中的离心力和侧向加速度。轨道曲线的半径过小时，列车在通过曲线时产生的离心力增大，这不仅影响列车本身的稳定性，还对乘客的舒适度造成显著影响。较小的曲线半径要求列车以更低的速度行驶，以减小离心力的作用，然而低速行驶可能导致列车运营效率降低，同时也增加了系统的能耗。另一方面，较大的曲线半径虽然可以提供更好的稳定性，但在城市轨道交通的规划中，空间限制和成本因素往往难以实现过大的半径设计。平面曲线半径的设计必须综合考虑列车的速度、轨道的设计要求以及乘客的舒适性。

对于高速列车，平面曲线半径的设计尤为重要<sup>[1]</sup>。高速列车通过曲线时，侧向加速度的增大会导致列车的车体发生倾斜，严重时甚至可能引发脱轨等事故。为了保障列车在曲线中的稳定性，平面曲线半径需要根据列车的设计速度进行合理配比。曲线半径过小时，列车过弯时的离心力将直接作用于车体

和轨道，造成车体不稳定的状态，增加脱轨的风险。列车通过弯道时产生的横向力还会影响到轨道的磨损程度，长期来看可能导致轨道质量下降，进而影响整个轨道交通系统的安全运行。在实际轨道交通设计中，工程师通常通过对列车的运行参数进行精确计算，结合轨道的设计规范，来确定合理的平面曲线半径，以确保列车在通过曲线时的稳定性和安全性。

## 2 优化曲线半径设计的方案与方法

优化曲线半径设计的关键在于精确平衡轨道设计、列车性能以及运行安全性。在城市轨道交通中，平面曲线半径的优化需要综合考虑线路的地形特点、轨道工程建设成本以及列车的行驶速度等多方面因素。设计者通常通过动态分析来研究列车在不同半径曲线中的运行表现，确保列车能够在保持稳定性的同时提高运行效率。通过对轨道和车辆的相互作用进行建模，优化方案能够针对不同列车类型和运行环境，提供最佳的曲线半径设计。

在优化设计过程中，轨道曲线的半径不仅仅是一个固定值，它与列车速度、轨道结构、曲线长短以及超高等因素密切相关。设计者通常会依据列车的最大运营速度、牵引性能以及乘客舒适度等要求，使用精确的数学模型计算出一个最佳曲线半径范围<sup>[2]</sup>。在高速列车运行中，设计者还需特别考虑曲线过渡段的设置，这一部分对平稳过弯至关重要。通过适当的过渡曲线，可以减缓列车进入曲线时的加速度变化，减少乘客的横向不适感，并有效避免由于速度骤变带来的运行不稳定。除了静态设计的优化，曲线半径的动态调整也成为提升轨道交通安全性的重要方法。通过动态调整方法，列车的速度与曲线半径相适应，在行驶过程中可以依据实际情况调整运行状态。利用

现代传感器和自动控制系统,轨道交通可以实现对车速与曲线半径之间关系的实时监控和调整,从而减少由于速度过快或过慢导致的安全隐患。此类动态优化方法能在实际运营中大幅提高运行的安全性和效率,尤其适用于复杂的轨道线路。

考虑到城市轨道交通线的空间局限性,许多区域无法通过增加曲线半径来优化设计。在这样的情况下,超高技术成为一种可行的优化手段。通过在曲线外侧设置适当的超高,能有效补偿列车在通过曲线时产生的侧向离心力,减轻列车与轨道之间的横向力,从而提升列车的稳定性。这种优化方法尤其适用于曲线半径受限的情况,使得轨道在有限的空间内依然能够达到较高的安全运行标准。轨道材料的选择也对曲线半径的优化设计有着重要影响。采用先进的轨道材料和弹性轨枕等技术手段,可以有效减小轨道的变形,增强轨道的稳定性。在平面曲线设计中,这些技术可以与曲线半径的优化结合,减少因轨道沉降或变形引发的安全隐患,从而进一步提升列车在弯道中的稳定性和舒适性。

### 3 提高轨道交通运营安全的综合对策

提高轨道交通运营安全的综合对策需要从多个方面入手,涵盖轨道设计、设备更新、技术监控和管理体系等多个领域。在轨道设计中,除了优化平面曲线半径外,还需要根据不同路段的地质和气候条件合理规划轨道的超高、曲线过渡段等技术措施,以确保列车能够在各种复杂环境中保持稳定运行。对于复杂路段,设计者可采用可调式曲线半径或者过渡段设计,减少列车通过曲线时的速度变化,降低侧向离心力对列车的影响,从而提升列车的安全性。

设备的定期维护和检测是保障轨道交通安全的另一重要环节。轨道系统、列车、信号系统等设备必须定期检查和维修,

及时发现潜在的故障隐患<sup>[1]</sup>。先进的检测技术,如轨道无损检测技术和在线监控系统,能够有效监测轨道的结构状态,及时识别出轨道沉降、裂纹等问题,并通过智能化管理系统进行反馈和处理。列车的牵引系统、刹车系统和电力设备也必须在正常运行条件下得到严格的检查,确保任何时候都能以最佳状态投入使用,避免因设备故障导致的安全事件。

现代信息技术在提高运营安全方面发挥着重要作用。通过大数据和人工智能技术,轨道交通能够实现对列车运行状态的实时监控,系统能够根据运行数据动态调整列车的速度与行驶轨迹,以减少可能的风险。智能信号控制系统能够对轨道和列车进行实时监控,及时作出反应,避免发生交通堵塞或冲突。通过这些智能化系统,可以有效提升整个轨道交通网络的运行效率与安全性。

管理制度的完善也是提高轨道交通运营安全的重要组成部分。建立健全的应急响应机制及事故预防机制,培养专业的操作人员和维修团队,定期进行安全演练,提升全员应对突发事件的能力,都是确保轨道交通系统安全的必要措施。管理层应加强与技术部门的合作,确保安全规范和技术标准的不断更新和优化,从而为轨道交通系统的高效安全运行提供有力保障。

### 4 结语

轨道交通的安全问题直接关系到城市的交通效率与人民群众的生命安全。通过对平面曲线半径、设备管理、技术监控以及综合管理的优化,能够有效提升轨道交通的安全性与稳定性。随着技术的不断进步和运营管理水平提升,轨道交通系统的安全性将得到更全面的保障,确保其在未来发展中继续发挥关键作用。

### 参考文献:

- [1] 刘英杰,何星博,邓奇敏,等.城市轨道交通客室电动塞拉门实训平台设计[J].科技视界,2025,15(30):105-107.
- [2] 范毅.城市轨道交通终点站配线设计研究[J].人民公交,2025,(20):158-160.
- [3] 董利军,赵阳,贾明星.城市生命线轨道交通场景安全及应急管理平台设计及实践[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(31):217-219.