

机操作与维修、安全管理等专业人员外,吸纳岩土工程、地质勘探、机电一体化等专业人才,确保救援队伍在面对不同类型事故时都能发挥专业优势;设立了应急监测组,配备先进的监测设备,实时监测盾构施工过程中的各项参数,如土压力、推进速度、注浆量等,及时发现潜在险情,确保在紧急情况下能够迅速开展救援行动。

为保障体系有效运行,需配套建设资源保障体系与制度支撑框架。在物质资源方面,应建立分类分级的应急物资储备制度,针对透水、坍塌、设备故障等典型风险场景,储备专用抢险设备、救援物资及专业工具,并通过数字化台账实现动态管理。

### 3.4 应急预案制定

排水盾构工程应急管理方案的制定需以风险评估为基础,结合工程地质条件、施工技术特点及周边环境等因素,系统构建分级分类的应急预案体系。应急预案的科学性与可操作性直接影响应急响应效率与灾害后果控制效果。在制定过程中,应首先建立风险识别与评估机制,通过专家论证、历史案例分析及数值模拟等方法,对盾构施工过程中可能遭遇的涌水涌砂、地面沉降、设备故障、突发性地质异常等风险进行定性与定量分析,明确风险发生的概率、潜在危害程度及影响范围。

在此基础上,依据风险等级划分原则、盾构施工的特点和可能出现的风险,针对不同级别制定差异化的应急响应预案。预案应涵盖隧道涌水、坍塌、盾构机故障、火灾、人员伤亡等突发事件的应对措施,配套制定《现场应急处置图》操作性规范文件,明确各部门和人员的职责分工、应急响应流程、救援处置方法以及后期恢复重建工作要求等。例如,针对隧道涌水事故,预案规定一旦发生涌水,应立即停止掘进,启动排水设备,同时组织人员对涌水点进行封堵,必要时进行地层加固。

### 3.5 地下地面应急信息联动

建立全方位的地下地面应急联动机制:一是设置通讯联络系统,在操作室、监控中心安装应急电话,井口和电瓶车配备警示闪光灯和警铃;二是实行24小时双岗值守制度,每小时至少与洞内带班员联络一次;三是建立实时数据共享平台,将监测数据同步传输至盾构智慧监控中心,为应急指挥中心提供实时的现场画面,指挥人员做出准确的判断和决策,合理调配救援力量和资源,依规执行“吹哨”预警机制,保证人员安全。

除此之外,还应与属地政府联动,建立多部门数据共享机制,打通公安、交通、气象等部门的数据壁垒,为资源调配决策提供实时信息支持。

### 3.6 应急培训与演练

定期组织全体施工人员参加应急培训,将应急管理培训纳入员工教育培训体系,明确培训内容、标准和方式。加强应急管理机构和应急救援队伍安全知识、处置技能和操作规程的培训。大力宣传普及应急知识,充分运用各种手段,

开展有关应急防护知识教育,深入宣传各类应急预案,开展现场宣传等活动,全面普及预防、避险、自救、互救、减灾等知识和技能,扩大应急管理科普宣教工作覆盖面。

按照计划开展应急演练,如结合盾构掘进穿越透水性强的粉砂及粘土层,洞门密封失效易引发涌水涌砂风险,开展盾构掘进洞门涌水涌砂应急救援实战演练。演练可模拟盾构在破除洞门过程中发生涌水涌砂,经过各应急救援小组的密切配合,演练达到预期效果。通过实战演练提升应急处置能力及装备建设水平,增强多队伍协同作战能力。

### 3.7 应急资源配置

在资源调配方法层面,需构建分类分级的资源储备体系,对物资、设备、技术、人员等资源进行类型划分和等级标识。针对排水盾构工程特点,设立标准化应急仓库,重点储备防水堵漏材料、应急排水设备、生命探测仪、地质监测仪器等专业装备,并建立标准化的物资存储管理制度。

除此之外,还应包括盾构机备件、管片、注浆材料、砂袋、水泵、通风设备、灭火器、急救药品等,以确保在紧急情况下能够及时修复或替换受损的设备或材料,有效控制事故发展。定期对应急物资进行检查和更新,确保其质量和适用性。建立应急救援设备的定期维护和保养制度,保证设备随时处于良好运行状态。此外,可以与当地医院建立合作关系,确保在人员受伤时能够及时获得专业的医疗救助。

## 4 结论

火电厂循环水排水盾构工程应急管理需构建多维度、系统化的评估体系,通过量化与定性分析相结合的方式,全面反映应急预案在风险识别、响应处置、资源调度及后期恢复等环节的实际效能。

本文针对火电厂循环水排水盾构工程应急管理机制与策略展开系统性探索,通过理论分析、案例研究与实践分析相结合的方法,构建了适用于复杂地质与环境条件下的应急管理体系。排水盾构工程应急管理未来还需引入成本-效益分析和生命周期评价方法,量化应急管理投入与工程安全、工期保障之间的关系,为决策者提供更全面的决策支持。同时,随着人工智能和机器人技术的快速发展,无人化应急救援装备的研发与应用将成为提升工程应急能力的重要方向,未来排水盾构工程应急管理机制向智能化、协同化和韧性化方向发展,为地下空间开发提供更可靠的保障。

### 参考文献

- [1] GB/T51438-2021, 盾构隧道工程设计标准(国家标准)
- [2] GB50446-2017, 盾构法隧道施工与验收规范(国家标准)
- [3] DL/T 1921-2018, 电力建设企业应急能力建设评估规范(行业标准)
- [4] DL/T 5783-2019, 水电水利地下工程地质超前预报技术规程(行业标准)
- [5] 住房和城乡建设部令第37号令, 危险性较大的分部分项工程安全管理规定(行政规章)

# Aerodynamic effect of high speed train in strong side wind

Xinjie Wang<sup>1</sup> Weijuan Wang<sup>2</sup> Yaguang Yan<sup>1\*</sup>

1. Civil Engineering College, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei, 056000, China

2. Shougang Jingtang United Iron & Steel Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 063210, China

## Abstract

With the development of high-speed rail, the aerodynamic effects of strong crosswinds on high-speed trains have become a critical factor affecting their safe operation. This study analyzes fundamental concepts such as aerodynamic resistance, aerodynamic forces, lateral forces, and airflow distribution under strong crosswinds. By examining the impact mechanisms of strong crosswinds on high-speed trains, the paper proposes optimization and control strategies for aerodynamic effects. The results demonstrate that effective countermeasures include train shape optimization, installation of crosswind protection devices, and coordinated design between the train body and tracks. Analyzing aerodynamic impacts under strong crosswind conditions and formulating corresponding optimization and control schemes are crucial for ensuring both the safety of high-speed trains and their efficient operation.

## Keywords

high-speed train; strong side wind; aerodynamic effect

# 强侧风环境下高速列车气动效应研究

王新杰<sup>1</sup> 王伟娟<sup>2</sup> 闫亚光<sup>1\*</sup>

1. 河北工程大学土木工程学院, 中国·河北 邯郸 056000

2. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司, 中国·河北 唐山 063210

## 摘 要

随着高速铁路的发展, 高速列车的强侧风空气动力学效应是影响其安全运行的重要原因之一。本文通过高速列车强侧风气动效应分析高速列车的气动阻力、气动力、侧向力及气流分布等基本概念, 分析强侧风对高速列车的影响机理, 提出气动效应优化与控制策略, 结果表明: 列车外形优化、增加侧风防护装置、车体与轨道的协同设计是有效的控制对策。分析高速列车在强侧风工况下的气动影响, 制定相关优化及控制方案对保障高速列车的安全以及列车运行的高效运行具有十分重要的意义。

## 关键词

高速列车; 强侧风; 气动效应

## 1 引言

伴随着高速列车技术的不断进步, 高速列车运行速度提升, 其气动效应对列车的影响越发凸显, 强侧风工况下列车受风的影响更为复杂, 涉及气动阻力、气动力、侧向力等众多因素, 强侧风不仅会影响列车运行的稳定性, 更可能给乘员人身安全带来潜在威胁。

## 2 高速列车气动效应的基本概念

### 2.1 气动阻力与气动力

列车气动阻力是高速列车与空气发生相互作用, 空气

对列车车体表面产生的反作用力, 随着速度的提升, 空气对车体表面作用的冲击力增大, 产生气动阻力, 气动阻力不仅影响列车运行速度, 直接牵涉到列车能耗。列车气动力是指列车在气流中运动时受到的由空气动力学作用产生的力, 大小受制于列车外形、行车速度、空气密度以及风速大小影响, 高速列车在强侧风条件下, 气动力作用除了表现为典型的纵向阻力外, 可能还会转化为横向侧向的力, 干扰列车受力和行车安全。列车风速会随时变化, 气动力随之发生周期性波动, 造成列车气动性能的不确定性, 可能造成高速铁路危险行为<sup>[1]</sup>。

### 2.2 侧向力和气流分布

横风效应是指列车在侧风作用下产生的作用在列车车体上的水平推力, 强横风作用下将导致列车行车方向变化, 使得列车产生水平方向位移, 列车同时需要考虑受力方向的变化, 产生列车的水平偏移, 强横风还会导致列车在横向处受到较大的风压力, 从而造成列车发生对正方向的偏移,

【作者简介】王新杰 (1998-), 男, 中国河北唐山人, 硕士, 从事隧道空气动力学研究。

【通讯作者】闫亚光 (1978-), 男, 中国河北邯郸人, 博士, 副教授, 从事隧道空气动力学研究。

进而导致列车向轨心外侧倾斜,出现列车脱轨现象,而强横风作用使得列车所在处的气流环境发生剧烈改变,产生复杂的气流分布、气流紊流及涡流现象。当横风的速度较大时,产生较强的涡流,使得列车车体周围的气流方向发生剧烈变化,造成列车的气动效应存在较大变化,不仅将导致列车在强横风作用下其气动阻力发生较大变化,同时将会影响列车的牵引性能和列车的运行稳定性。

### 2.3 气动稳定性分析

**气动稳定性:** 高速列车在强侧风条件下抵抗侧向翻滚、滑移或脱轨的能力。高速列车在高速运行状态下受到空气动力的各种作用,特别是侧向风可使列车车体出现倾摆、侧摆或甚至倾覆的情况。分析列车气动稳定性常常是指列车车体风载荷、风与车之间的相互作用力及列车的侧向力等情况。稳定性较弱的列车,容易受到强侧向风的冲击而不能正常运行甚至出轨。例如,强侧风的作用可能造成进入列车车体表面的气流分布不均匀,从而增加列车车体侧向移动。此时,列车气动稳定性恶化,从而会造成高速列车运行不安全的情况。

## 3 强侧风对高速列车的影响机制

### 3.1 风力与列车车体的相互作用

强侧风影响高速列车首先体现在风流与高速列车车身之间的相互作用上,列车列车车身与强侧风相遇,列车车身受到风流的影响并与列车本身的行进方向以及列车车身形状进行相互作用,列车车身受到风流阻滞,风力除了与列车车身产生纵向阻力影响,还对列车车身产生一种侧向力,导致列车车身向一侧漂移。在强侧风的作用下,风流对列车车身产生的侧向力较大,导致列车车身向一侧移动或发生倾斜,风力导致列车车身稳定性差,以至于摇晃,严重会出现列车失控或脱轨现象,因此要保证列车的运行稳定性,需分析列车车身风流之间的相互作用,研究列车运行强侧风的稳定性处理方法<sup>[2]</sup>。

### 3.2 风力的空间分布与气流变化

强侧风情况下的风力在空间分布上具有不均匀性的特点,而这一特点表现为列车在行驶时处于各个不同位置上的风力大小不同。由于列车车体各个部位的风压力大小、风速、风向不同,因此列车气动力作用分布不均,导致列车整体气动性能受到影响。除此之外,强侧风还会引发列车气流流动的剧烈变化,风速、风向不断变换。气流的强度越大,列车与气流的耦合效果越明显,此时列车与气流会发生涡旋现象,使得列车气流发生变化,对列车的稳定性、动力性与控制性造成严重危害,因此风力的分布情况及气流变化是导致列车运行不安全的重要原因。

### 3.3 不同风速和风向对气动效应的影响

风速及风向的不同组合对高速列车产生的气动效应也有差异。当高速列车迎风速度小的时候,气动效应趋于平静,

列车所受气动阻力及气动力较小,而当高速列车迎风速度快起来时,列车所受气动阻力和气动力将迅速增大,尤其在较大的横向风作用下,列车所受横向推力将更加猛烈,使列车出现横摆或者出轨的可能变大;当风向改变的时候,当风向与列车行驶方向成 $90^\circ$ 左右时,列车所受侧向压力更大。此时风力将不与列车的运行轨迹平行,而是从列车侧面施压,列车运行的稳定性将降低,风速及风向的变化对列车气动效应具有决定性影响,直接影响列车运行的气动安全。

## 4 高速列车气动效应的优化与控制策略

### 4.1 列车外形优化

列车外形的流线型优化是列车优化设计提高列车气动性能重要途径之一。列车通过过程中空气流动大都受到列车的形状影响,列车的形状设计决定列车所受气动阻力大小、车身的气动稳定性以及列车整体能量利用效率。气动阻力是阻碍列车高速运行的主要障碍因素,气动阻力大小和列车表面和流动空气产生的摩擦及车体表面与空气流动的接触面积大小、车外环境的风速、空气的密度有非常密切的关系。为此为了降低空气阻力,必须通过对列车外形流线型设计实现。列车的流线型外形设计可以降低气动流动空气在列车和列车各部位产生的阻力,尤其是列车头部、中部以及列车尾部的外形设计。列车的头部是外形流线型设计的重要组成部分之一,在列车外形流线型设计中,头部设计流线平滑过渡可以使空气对列车直接冲击力较小,减少列车运动列车产生的气流扰流和吸附力的出现,降低列车的气动阻力<sup>[3]</sup>,如图1设计。同样,列车的尾部设计也不容忽视,采用钝尾或流线型的车尾可以使列车减少车尾涡流的产生,减小列车背流阻力,使列车的气动阻力更加平稳。特别是在强侧风作用下,列车流线型列车外形设计可以让强侧风对列车的压力冲击小一些,还可使气流在列车表面平稳地流动,减小列车侧风阻力,提高列车的气动稳定性。列车外形流线型设计也考虑列车的侧车体的气动影响,通过列车车体两侧的流线外形设计可以使列车表面两侧的风压减小,进而提高列车的气动稳定性。

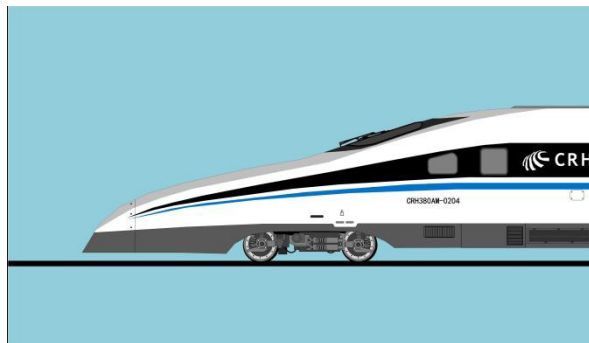


图1 列车车头设计示例图

### 4.2 增加侧风防护装置

以挡风屏为代表的侧风防护装置是有效降低强侧风对