

关于铁路车站的安全标线的研究

李德伦, 田喜亮, 殷川俊, 张允飞

沈阳航空航天大学理学院, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2024年12月9日; 录用日期: 2025年1月2日; 发布日期: 2025年1月13日

摘要

本文针对铁路车站的安全标线相关的问题, 讨论在不同情况下应采取的不同安全标线距离。首先, 本文分别在理想情况和非理想情况下建立了关于流体推力的数学模型。根据伯努利方程以及气体流速方程, 应用MATLAB等软件, 对影响因素进行定量分析, 构造出推(引)力与人质量、体积、安全距离的关系函数。其次, 依据《铁路技术管理规程》, 通过曲线拟合的方法验证所得结论的可靠性。最后, 本文运用了MATLAB、VISIO等软件作图, 对数据进行定性分析, 发现列车行驶速度与推(引)力, 人的横截面积, 空气温度成正相关的关系。

关键词

伯努利原理, 流体力学, 曲线拟合, MATLAB

Research on Safety Markings of Railway Stations

Delun Li, Xiliang Tian, Chuanjun Yin, Yunfei Zhang

School of Science, Shenyang Aerospace University, Shenyang Liaoning

Received: Dec. 9th, 2024; accepted: Jan. 2nd, 2025; published: Jan. 13th, 2025

Abstract

This paper focuses on the problems related to safety markings in railway stations, and discusses the different safety marking distances that should be taken in different situations. Firstly, a mathematical model of fluid thrust is established in ideal and non-ideal conditions. According to Bernoulli's equation and gas velocity equation, MATLAB and other software were used to quantitatively analyze the influencing factors, and the relationship function between thrust (gravitational) force and human mass, volume and safety distance was constructed. Secondly, according to the Railway Technical Management Regulations, the reliability of the conclusions obtained is verified by the method of curve

fitting. Finally, this paper uses MATLAB, VISIO and other software to make a qualitative analysis of the data, and finds that the train speed is positively correlated with the thrust (gravitational) force, the cross-sectional area of people, and the air temperature.

Keywords

Bernoulli Principle, Fluid Mechanics, Curve Fitting, MATLAB

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国铁路事业的快速发展, 铁路车站作为铁路运输系统的重要组成部分, 其安全问题日益引起广泛关注。高铁或地铁在高速行驶进站时会带动附近的空气发生高速运动, 导致人面向列车一侧的空气流速很大使气压减小, 而背后一侧空气流速小使气压相对较大[1] [2]。因此, 在人的前后侧会形成压差, 人会受到从高压区向低压区推的作用力, 有可能发生安全隐患[3]。因此, 研究高铁或动车全速经过时对站台上的人的“引力”或“推力”的影响因素尤为重要。

2. 预备知识

1) 伯努利效应: 伯努利现象是指在流体运动中, 当流体通过管道或者狭窄的通道时, 流速增加, 压力降低的现象[4]。伯努利效应对应的伯努利方程[4]:

$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = C$$

其中 C 为伯努利常量, ρ 为空气密度, P 为大气压强, g 为重力加速度。

2) 空气粘度: 是指流体对流动所表现的阻力。当流体(气体或液体)流动时, 一部分在另一部分上面流动时, 就受到阻力, 这是流体的内摩擦力。要使流体流动就需在流体流动方向上加一切线力以对抗阻力作用。下表(表 1)为温度与空气粘度的关系:

Table 1. Temperature-viscosity chart

表 1. 温度粘度对照表

温度(°C)	粘度 w (m ² /s)
10	26.62 * 10 ⁻⁶
15	28.61 * 10 ⁻⁶
20	30.66 * 10 ⁻⁶
25	32.76 * 10 ⁻⁶
30	34.92 * 10 ⁻⁶
35	37.14 * 10 ⁻⁶
40	39.41 * 10 ⁻⁶

3. 流体推力模型

3.1. 理想情况分析

在理想状况下(即忽略空气阻力), 对站台上的人:

$$F = \Delta PS - F_f$$

人的受力面积的数值可以近似为人的体积的数值:

$$S = V$$

根据伯努利效应, 因为空气流速的增大, 人前后产生的压强差:

$$\Delta P = P_0 - P$$

人对地面的摩擦力:

$$F_f = \mu mg$$

其中 ΔP 为人所受空气压强差, S 为人的受力面积, F_f 为空气摩擦力。

总方程确定之后, 接下来具体计算各个物理量。根据伯努利方程, 计算因空气流速增大产生的压强:

$$P = C - \frac{1}{2}\rho V^2 - \rho gh$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{dh}$$

其中 Q 为空气流量, h 为人的高度。

综合上述公式, 可以得到:

$$F = \left(P_0 - C + \frac{1}{2}\rho \frac{Q^2}{d^2 h^2} + \rho gh \right) V - \mu mg$$

其中自变量为 d 、 m 、 V , 因变量为 F 。

运用控制变量法, 对 d 、 m 、 V 三个变量分别进行定量分析。当 m 一定时, 建立 d 、 V 与 F 的三维图像; 当 d 一定时, 建立 m 、 V 与 F 的三维图像; 当 V 一定时, 建立 m 、 d 与 F 的三维图像[5] [6]:

由图 1 分析可得, 当人的体重一定时, 人受到的力与人的体积成正比例关系, 与人的距离成反比例关系。

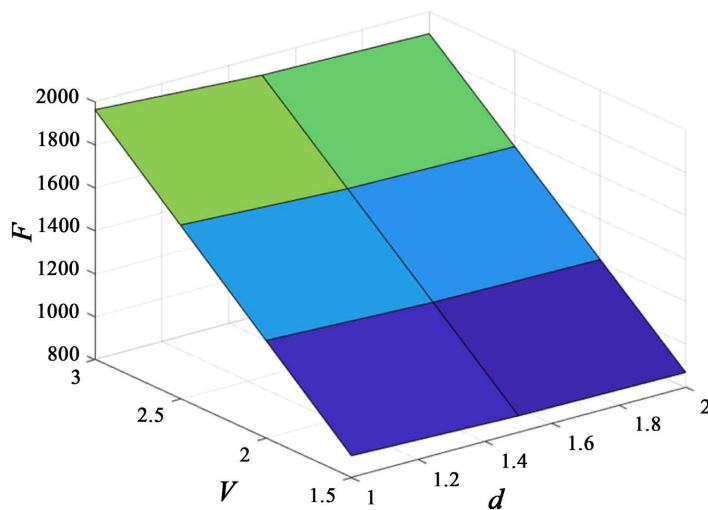


Figure 1. 3D image of d , V and F
图 1. d 、 V 与 F 的三维图像

由图2分析可得, 当人的距离一定时, 人受到的力与人的体积成正比例关系, 与人的体重成反比例关系。由图3分析可得, 当人的体积一定时, 人受到的力与人的距离成反比例关系, 与人的体重成反比例关系。

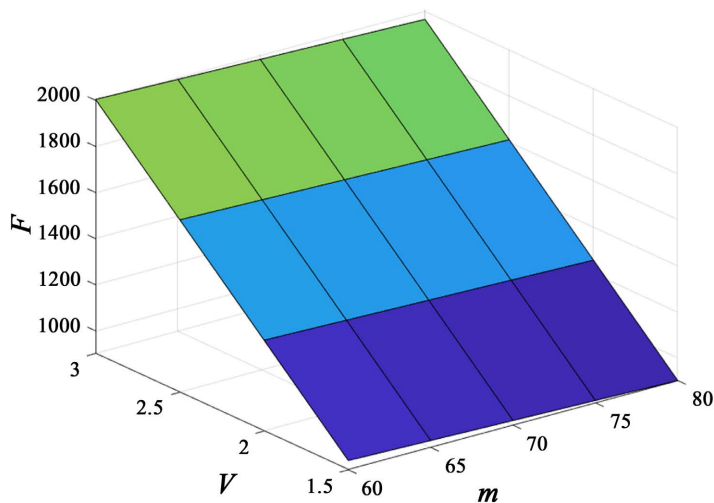


Figure 2. 3D image of m , V and F
图2. m 、 V 与 F 的三维图像

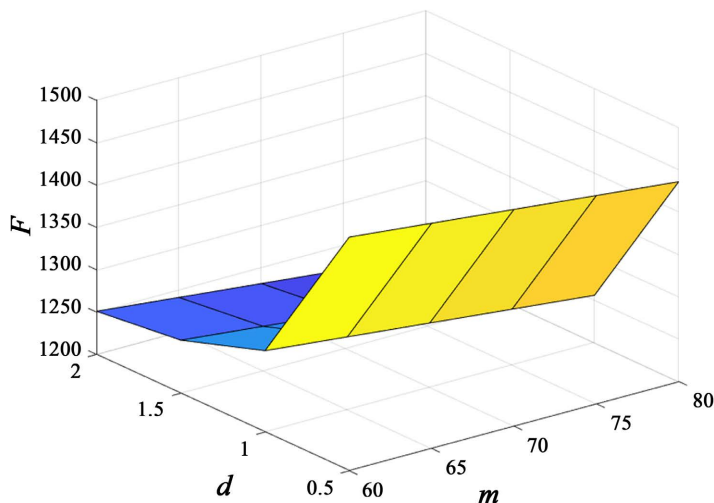


Figure 3. 3D image of m , d and F
图3. m 、 d 与 F 的三维图像

3.2. 非理想情况分析

在实际情况下(即考虑空气阻力), 对站台上的人:

$$F = \Delta PS - F_f - F_{\text{空}}$$

$$F_{\text{空}} = \frac{1}{2} C \rho S v_{\text{相}}^2$$

式中 C 为空气阻力系数, 该值通常是实验值, 和物体的特征面积(迎风面积), 物体光滑程度和整体形状有关; ρ 为空气密度, 正常的干燥空气可取 1.293 g/l , 特殊条件下可以实地监测; S 为物体迎风面积; $v_{\text{相}}$ 为物体与空气的相对运动速度。从上式可以得出, 考虑空气阻力后, 对比在理想情况下人受到的推力,

只有人的体积这一自变量发生了变化，所以我们针对人的体积这一变量，利用 MATLAB 做出考虑空气阻力后的图像。

当 d 一定时，建立 m 、 V 与 F 的三维图像；当 m 一定时，建立 d 、 V 与 F 的三维图像。

若考虑空气阻力，利用 MATLAB 分析，与理想状况下结论相似。我们通过比较图 4 与图 2，以及比较图 5 与图 1，可知由于空气阻力的影响，计算得出的 F 较理想状态下数值偏小。这里就不赘述。

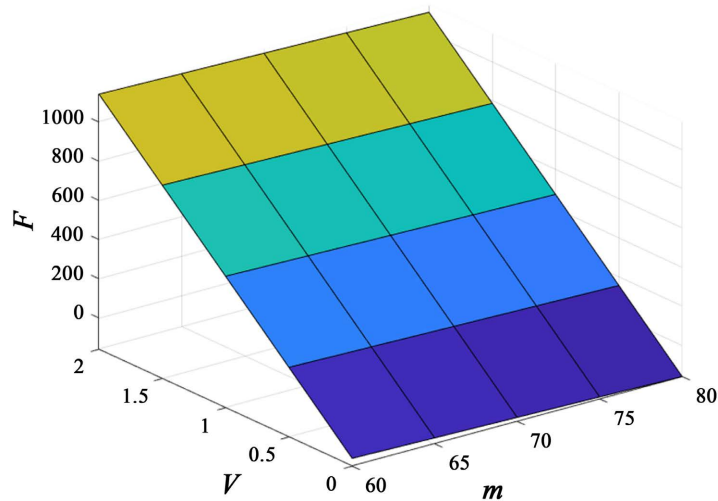


Figure 4. 3D image of m , V and F (consider air resistance)

图 4. m 、 V 与 F 的三维图像(考虑空气阻力)

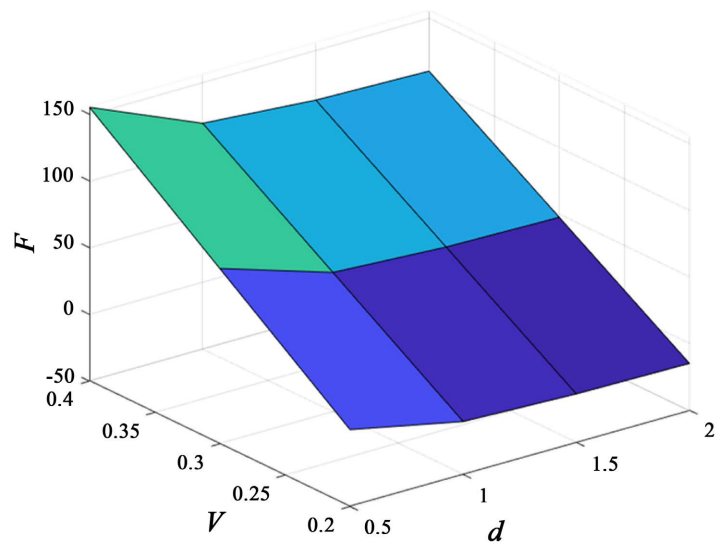


Figure 5. 3D image of d , V and F (considering air resistance)

图 5. d 、 V 与 F 的三维图像(考虑空气阻力)

4. 曲线拟合

我们通过控制变量法，利用 MATLAB 软件计算在不同高铁速度下的安全标线距离，做出的拟合曲线图与《铁路技术管理规程》第 157 条明确规定，旅客列车停靠的高站台边缘距线路中心线的距离为 1750 mm，安全标线距站台边缘 1000 mm。非高站台安全标线与站台边缘距离为：列车通过速度不大于 120

km/h 时, 1000 mm; 列车通过速度 120 km/h 以上至 160 km/h 时, 1500 mm; 列车通过速度 160 km/h 以上至 200 km/h 时, 2000 mm。做出的实际曲线图相似。

通过上面的分析和图 6, 可以看出随着高铁的速度增大, 所设置的安全距离也应该随之增大, 且安全距离的增大应呈现超越式增大。

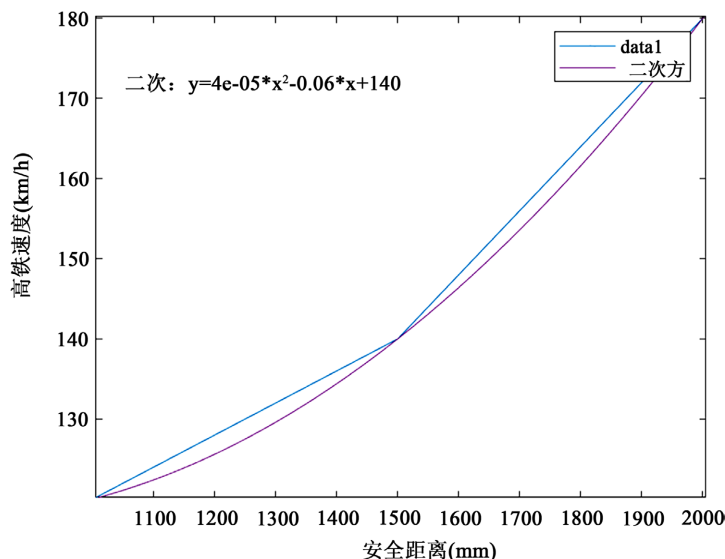


Figure 6. High-speed rail speed and safety distance map
图 6. 高铁速度与安全距离拟合图

5. 研究结果

为了研究不同因素对安全标线设置的影响, 采用控制变量法, 由研究可知, 对人所受“引力”大小的影响因素有: 列车行驶速度, 站台高度, 人体面积以及环境条件对空气流速的影响等[7]。

1) 将列车行驶速度视为变量, 其他量视为常量, 研究列车行驶速度对人产生的“引力”大小的影响。针对这个问题, 本文应用伯努利方程建立了压强、流速、空气密度、重力加速度和高度之间的关系模型[8], 如下:

$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh = C \quad (1)$$

$$v = v_{\text{高}} w$$

其中, p 为流体中某点的压强, v 为流体该点的流速, ρ 为流体密度, 在此题中为空气密度, g 为重力加速度, h 为该点所在高度, C 为一个常量。显然(1)可以等价表示为

$$P = C - \frac{1}{2}\rho V^2 - \rho gh \quad (2)$$

由于 C , ρ , g , h 为常量, 因此假设固定 $C = 100$, ρ 为 1.2 千克每立方米, g 为重力加速度, 令其数值为 9.8, h 为站台高度, 假设为 1.5 米。利用 MATLAB, 对(2)进行求解, 绘制出列车行驶速度与流体压强的关系图, 见图 7。图 7 中横坐标表示列车行驶速度, 纵坐标表示流体压强。

由图 7 容易看出, 当列车行驶速度越大时, 流体压强越小, 因此人体前后产生的压强差越大, 由公式 $F = \Delta PS$ 得出, 则压强差越大, 对站台上人产生的“引力”越大。因此, 得出结论列车行驶速度增加会导致空气流速增加, 使压强差增大, 进而增加了人受到的引力。

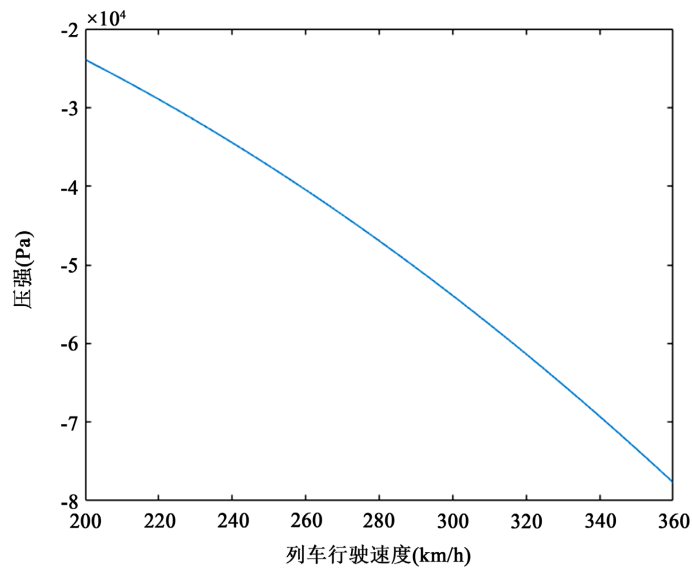


Figure 7. Diagram of train speed and fluid pressure

图 7. 列车行驶速度与流体压强图

2) 将人体横截面积视为变量，其他量视为常量，利用 MATLAB，对(1)进行求解，绘制出人体横截面积与引力的关系图，见图 8。图 8 中横坐标表示人体横截面积，纵坐标表示引力大小。

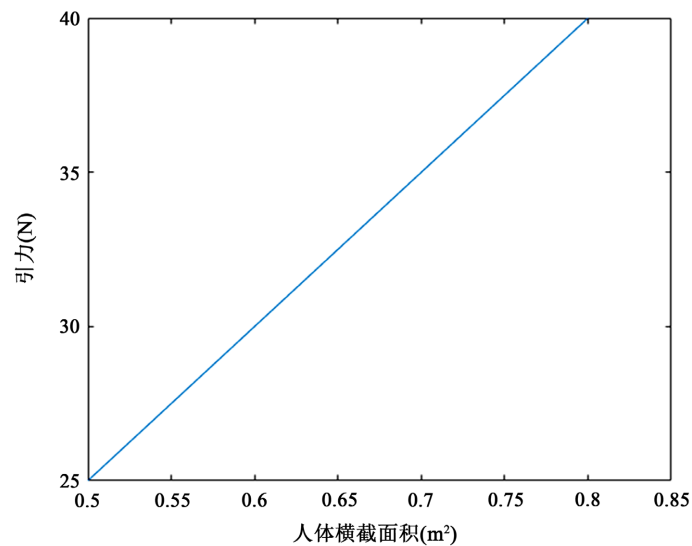


Figure 8. Graph of gravity versus cross-sectional area

图 8. 引力与横截面积关系图

其他量视为常量时，压强差为定值，令压强差数值为 50，则人受到的“引力”大小与人的横截面积成正相关。由函数图像可知，人的横截面积越大，受到的“引力”越大。

3) 环境条件对“引力”大小的影响。

由 $v = v_{\text{高}} w$ 知，空气流速和空气粘度大小有关系。温度与空气粘度大小的关系见表 1。当温度升高，空气粘度变大，导致空气流速变大，进而使压强差增大，“引力”变大。因此，当车站温度较高时，人应尽量站在与安全距离标线保持一定距离的位置。

4) 车站地板动摩擦因数的影响。

若车站地板粗糙程度增加,使得动摩擦因数 μ 变大,则在人的体重一定时,最大静摩擦力变大,从而减小了人被推力推向前的可能性。因此,建议在建造车站时使用动摩擦因数较大的地板。

6. 结论

人受到的吸力或推力随人的体重的增大而减小;人受到的吸力或推力随人的距离的增大而减小;人受到的吸力或推力随人的体积的增大而增大。

由以上结论我们可以得出,当列车以相对较高的行驶速度经过站台时,应设置距离较大的安全标线栅栏,使工作人员指挥旅客站在安全标线栅栏之后。在设置安全标线时,需要充分考虑特殊人群的需求,如儿童、老年人等,添加相应设施。体型较小的人群应站在相对靠前的位置,组织体型较大的人群站在相对靠后的位置。由于季节等因素,在温度较高时安全标线应相应设置地更远,温度低则反之。为增大动摩擦系数,车站地板应选择粗糙程度较大的材质。安全标线需要设立醒目的标识,以便于乘客和工作人员识别。同时,需要加强对安全标线的管理和维护,确保其完整性和有效性。

参考文献

- [1] 崔耀月, 闫亚光, 解会兵. 高铁运行经过地下站台的气动风场研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2023, 40(2): 84-90, 112.
- [2] 王文平. 关于伯努利方程的一种新解法[J]. 武汉船舶职业技术学院学报, 2021, 20(2): 112-114.
- [3] 冯瑞龙. 高速列车过站空气动力学仿真及试验研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2022.
- [4] 雷洪. 伯努利方程推导分析[J]. 中国冶金教育, 2021(4): 48-51, 55.
- [5] 郑婷婷. 二元函数的 MATLAB 作图[J]. 福建电脑, 2021, 37(3): 13-17.
- [6] 刘宣亮. MATLAB GUI 设计在几何作图中的应用[J]. 高等数学研究, 2016, 19(2): 58-62.
- [7] 刘冲清, 赵芸可. 伯努利方程对流体力学理论建立的历史贡献[J]. 力学与实践, 2020, 42(2): 258-264.
- [8] 董珊. 伯努利方程的应用及注意事项[J]. 百科知识, 2019(12): 48.