

## 一种市域铁路站台门防护风险场景的安全分析及防护措施研究

付文佳, 向楠楠, 焦婷, 王薇

### Safety analysis and protective measures for platform screen door protection risk scenario of suburban railway

FU Wenjia, XIANG Nannan, JIAO Ting, and WANG Wei

引用本文:

付文佳, 向楠楠, 焦婷, 等. 一种市域铁路站台门防护风险场景的安全分析及防护措施研究[J]. 铁路计算机应用, 2025, 34(9): 79–83.

FU Wenjia, XIANG Nannan, JIAO Ting, et al. Safety analysis and protective measures for platform screen door protection risk scenario of suburban railway[J]. *Railway Computer Application*, 2025, 34(9): 79–83.

在线阅读 View online: <http://tljsjyy.xml-journal.net/2025/19/79>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 基于FTA的城际铁路站台门控制系统风险分析及故障诊断研究

Risk analysis and fault diagnosis of platform door control system for intercity railway based on FTA

铁路计算机应用. 2020, 29(10): 69–73

#### 铁路网络数据安全风险分析及应对措施

Risk analysis and countermeasures of railway network data security

铁路计算机应用. 2022, 31(11): 33–36

#### 城市轨道交通站台门可靠性模型研究与计算工具设计

Reliability model and calculation tool for platform screen doors of urban rail transit

铁路计算机应用. 2025, 34(6): 95–99

#### ATO模式下车地联动时序分析与站台门延时控制系统设计

Time sequence analysis of vehicle-ground linkage and design of platform doortime delay control system in ATO mode

铁路计算机应用. 2020, 29(11): 36–39

#### 城际铁路及高速铁路站台门系统无线监控设计

Wireless monitoring design of platform door system for intercity railway and high-speed railway

铁路计算机应用. 2020, 29(11): 58–61

#### 基于保护层分析法的铁路安全风险量化评价模型

Quantitative evaluation model of railway safety risk based on layers of protection analysis

铁路计算机应用. 2021, 30(9): 6–10



关注微信公众号, 获得更多资讯信息



# 一种市域铁路站台门防护风险场景的安全分析及防护措施研究

付文佳, 向楠楠, 焦 婷, 王 薇

(卡斯柯信号有限公司 系统安全部, 北京 100070)

**摘 要:** 针对市域铁路站台乘客多、发车频次高、对站台门安全防护要求高等特点, 文章分析了一种站台门未正常关闭情况下列车可能异常发车的风险场景, 采用 EN50126 标准进行了安全分析, 得出安全评估结论, 并提出具体安全防护措施。利用车载系统、列车控制中心系统和临时限速服务器系统对站台门状态、轨道电路低频码状态进行交互, 综合判断发车逻辑, 使列车在站台门故障状态时保持为安全态。现场验证结果表明, 采用的安全防护措施提升了站台门系统的安全性与可用性, 保障了乘客换乘过程中的安全, 为采用相似制式的市域铁路信号控制系统提供参考。

**关键词:** 市域铁路; 安全分析; 站台门防护; CTCS2+ATO; 风险分析

**中图分类号:** U239.5 : U284 : TP39 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1005-8451.2025.09.15

## Safety analysis and protective measures for platform screen door protection risk scenario of suburban railway

FU Wenjia, XIANG Nannan, JIAO Ting, WANG Wei

(System Safety Department, CASCO Signal Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** In response to the characteristics of high passenger volume, high departure frequency, and high requirements for platform screen door safety protection on suburban railway platforms, this paper analyzed a risk scenario where trains might depart abnormally when platform screen doors were not closed properly, used the EN50126 standard for safety analysis, and drew safety assessment conclusions, proposed specific safety protection measures, and utilized the onboard system, train control center system, and temporary speed limit server system to interact the platform screen door status and track circuit low-frequency code status, and comprehensively judged the departure logic to keep the train in a safe state when the platform screen door was in a fault state. Verification results show that the safety protection measures adopted have improved the safety and usability of the platform door system, ensure the safety of passengers during the transfer process, and provide reference for the adoption of similar standard suburban railway signal control systems.

**Keywords:** suburban railway; safety analysis; platform screen door protection; CTCS2+ATO; risk analysis

市域铁路是连接都市圈中心城市城区和周边城镇组团, 为通勤客流提供大运量、公交化运输服务的轨道交通系统。市域铁路一般采用中国列车控制(简称: 列控)系统2级(CTCS2, China Train Control System2)+列车自动运行(ATO, Automatic Train Operation)控制模式。为满足公交化运营需求, 市域铁路设置站台门, 以防站台乘客坠入轨道。站台门系统连接列控中心(TCC, Train Control Center), 列

控中心与车载、临时限速服务器(TSRs, Temporary Speed Restriction Server)共同配合, 完成站台门与车门联动, 以保证接发车作业时的乘客换乘安全。

目前, 已有学者对站台门相关信号系统开展了研究, 张银龙<sup>[1]</sup>、葛学仁<sup>[2]</sup>、梁树栋<sup>[3]</sup>提出了站台门安全防护的必要性; 王爱武等人<sup>[4]</sup>提出了站台门与车门的车地联控方案; 叶建斌<sup>[5]</sup>分析了站台门联动常见故障问题; 严伟<sup>[6]</sup>指出了导致站台门联动故障的深层次原因; 文小伟<sup>[7]</sup>提出了站台门联动的一些难点问题解决方案。然而, 这些研究主要针对如何避免故障,

收稿日期: 2025-01-06

基金项目: 上海申铁投资有限公司课题(4RTHLS075)

作者简介: 付文佳, 高级工程师; 向楠楠, 工程师。

对于站台门出现故障后，应如何进行防护，相关研究及 CTCS 标准中也未明确防护方法。

为此，本文针对车载列车自动防护（ATP，Automatic Train Protection）系统发出关门命令后，车门处于关闭状态，但站台门仍处于打开状态异常场景，进行安全分析，并提出针对性缓解措施，以规避站台门未正常关闭时乘客换乘可能带来的风险。

1 站台门车地联控防护

1.1 联控流程

参考高速铁路 ATO 系统总体暂行技术规范<sup>[8]</sup>，对于站台门系统，其开关门车地联控流程如图 1 所示。

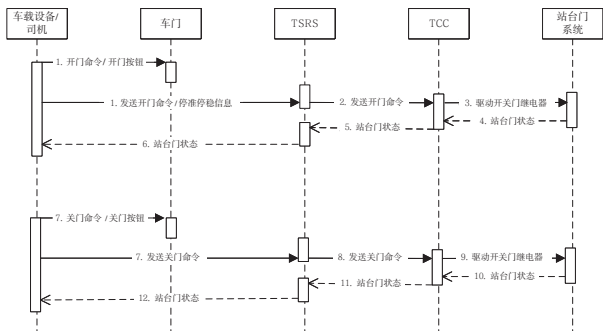


图1 站台门开关门车地联控流程

- (1) 车载设备或司机向车辆发送开门指令时，向 TSRS 发送站台门开门命令；
- (2) TSRS 收到列车停稳停准信息后将开门命令转发给 TCC；
- (3) TCC 驱动开门继电器，站台门系统进行开门动作；
- (4) TCC 采集站台门动作后的开门状态；
- (5) TCC 将站台门状态发送给 TSRS；
- (6) TSRS 再将该状态转发给车载设备；
- (7) 乘客上下车结束后，车载设备或司机向车辆发送关门指令时，向 TSRS 发送站台门关门命令；
- (8) TSRS 将关门命令转发给 TCC；
- (9) TCC 驱动关门继电器，站台门系统进行关门动作；
- (10) TCC 采集站台门动作后的关门状态；
- (11) TCC 将站台门状态发送给 TSRS；
- (12) TSRS 再将该状态转发给车载设备。

1.2 TCC 对站台门状态的编码防护功能

根据列控中心技术条件<sup>[9]</sup>，TCC 对站台门状态的编码防护规则为：

- (1) 当 TCC 向站台门发送开门命令且检测到站台门处于打开状态时，TCC 控制对应的股道发 HU 码；
- (2) TCC 向站台门发送关门命令但检测到站台门仍为打开状态时，TCC 仍控制对应的股道发 HU 码；
- (3) 当检测到站台门处于关闭且锁闭状态后，TCC 不再控制对应的股道发 HU 码，改为根据出站信号机状态等条件发码。

1.3 车载系统停车防护功能

根据文献<sup>[8]</sup>，当列车处于自动模式（AM，Automatic Mode）时，输出保持制动，令列车停稳不动。当 ATP 检测到车门处于关闭且锁闭状态时，上述制动自动缓解。

2 场景风险识别

站台门防护风险场景如图 2 所示。

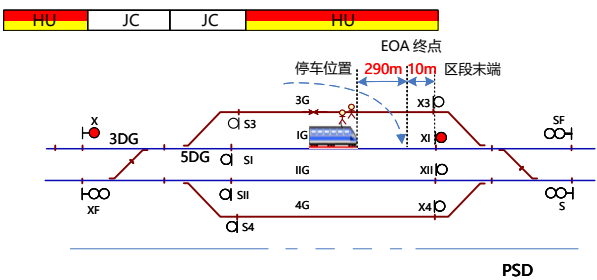


图2 站台门防护风险场景

- (1) 列车进站停车后，车载设备或司机发送开门命令，车门与站台门正常打开，车载设备输出 ATP 开门防护制动（SB7，Service brake 7），TCC 控制轨道电路发送 HU 码；
- (2) 待乘客上下车活动结束，车载设备或司机发送关门命令，车门正常关闭，SB7 自动缓解，但站台门因故未关闭，TCC 继续控制轨道电路发送 HU 码；
- (3) 当车载设备收到 HU 码时，其移动授权的终点为区段末端。以上海市域项目为例，站台停车

点距离区段末端最远约 300 m。若 ATO 失效或司机误操作，导致车辆收到牵引命令，列车将启动运行并向前移动，移动距离最远可达 290 m（紧急制动干预曲线计算对前方目标点监控预留 10 m 安全距离）；

（4）站台乘客可能因拥挤掉入列车与站台之间的缝隙，被移动的列车挤压，导致其有受伤或死亡的安全风险<sup>[10]</sup>。

3 风险评估

3.1 风险评估方法

本文采用 EN50126 标准中的风险评估方法进行分析<sup>[11]</sup>，风险可接受矩阵如表 1 所示。

表1 风险可接受矩阵

事故频率等级	描述	事故严酷度等级			
		S1灾难性的	S2重大的	S3次要的	S4无关紧要的
A	频繁	不可容忍的	不可容忍的	不可容忍的	不希望的
B	可能	不可容忍的	不可容忍的	不希望的	可容忍的
C	偶尔	不可容忍的	不希望的	不希望的	可容忍的
D	很少	不希望的	不希望的	可容忍的	可忽略的
E	不可能	不希望的	可容忍的	可忽略的	可忽略的
F	高度不可能	可容忍的	可忽略的	可忽略的	可忽略的

事故严酷度等级如表 2 所示，根据某一事故可能造成的人员伤亡的严重程度划分为 4 个等级。

表2 事故严酷度等级

严酷度等级编号	事故严酷度等级	定义
S1	灾难性的	影响大量人员且导致多人死亡
S2	重大的	影响非常少的人员且导致至少1人死亡
S3	次要的	无死亡，只有严重或者轻微伤害
S4	无关紧要的	可能会造成轻微伤害

表 3 为事故发生频率，根据事故发生的概率大小分为不同的 6 个等级。

根据事故发生频率及事故严酷度等级这 2 个维度，即可得出当前风险所在区间，进而得出相关风险是否可接受。例如，对于某一事故，发生后可能导致 1 人死亡，则根据表 2，该事故严酷度等级为 S2（重大的）。该事故经评估可能每 10 年发生一次，则根据表 3，该事故发生频率等级为 D。根据表 1，S2 与 D 的组合为“不希望的”，则该事故对应风险结论为“不希望的”，需

表3 事故发生频率

事故频率等级	描述	定义	频率范围示例，基于单一项目运行24小时/天	参考频率
A	频繁	频繁地出现，事件将连续发生	约6周内发生一次或者更多	$10^{-3} \leq f$
B	可能	发生多次，事件可以预期经常出现	约每6周发生一次到每年发生一次	$10^{-4} \leq f < 10^{-3}$
C	偶然	可能发生几次，事件预期有几次出现	约每年发生一次到每10年发生一次	$10^{-5} \leq f < 10^{-4}$
D	很少	在系统生命周期的某个时期可能发生，事件能合理地预期出现	约每10年发生一次到每1 000年发生一次	$10^{-7} \leq f < 10^{-5}$
E	不可能	不太可能发生但可能存在，假定事件极少出现	约每1 000年发生一次到每100 000年发生一次	$10^{-9} \leq f < 10^{-7}$
F	高度不可能	几乎不可能发生，可假定事件不会发生	约100 000年或者更多时间内发生一次	$f < 10^{-9}$

要采取相关措施进行规避。

3.2 危害发生频率

利用故障树分析方法对危害发生频率进行估计，通过不同的事件进行“与”“或”组合计算，可得出最终事件发生频率。

与门概率计算相关的公式为

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$
(1)

式（1）中， $P(A)$  代表  $A$  事件发生的概率； $P(B)$  代表  $B$  事件发生的概率； $P(A \cap B)$  代表  $A$  事件与  $B$  事件同时发生的概率。

或门概率计算相关的公式为

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$
(2)

式（2）中， $P(A+B)$  代表  $A$  事件或  $B$  事件发生的概率。

从站台门未关闭及列车错误施加牵引这 2 个因素来评估事故发生频率，分析过程如图 3 所示。

列车非正常移动由列车错误施加牵引与站台门

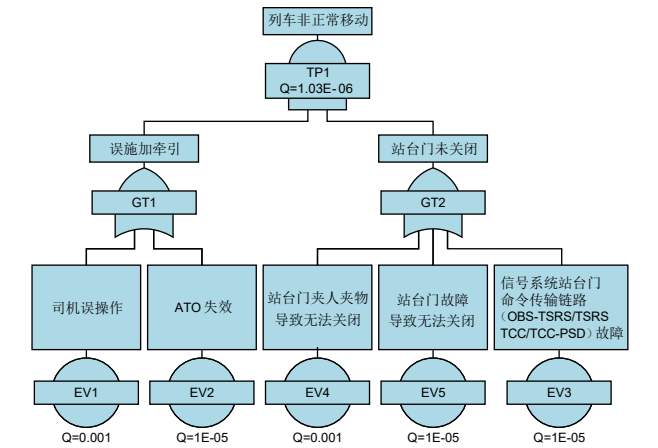


图3 事故发生频率分析过程



未关闭这2个因素造成。

(1) 造成列车误施加牵引的因素包括司机误操作(典型值为 $10^{-3}/\text{h}$ )与ATO失效( $10^{-6}/\text{h}$ ),两者为或逻辑,根据公式(1),误施加牵引概率为 $1.001 \times 10^{-3}/\text{h}$ ;

(2) 站台门未关闭可能包含站台门夹人夹物导致无法关闭、站台门故障导致无法关闭及信号系统站台门命令传输链路故障等,三者为“或”逻辑,根据公式(1),站台门未关闭概率为 $1.02 \times 10^{-3}/\text{h}$ ;

(3) 列车错误施加牵引与站台门未关闭,两者为“与”逻辑,根据公式(2),得出列车非正常移动概率为 $1.001 \times 10^{-3} \times 1.02 \times 10^{-3} = 1.021 \times 10^{-6}/\text{h}$ 。

根据估算结果,列车非正常移动的危害发生频率为 $1.021 \times 10^{-6}/\text{h}$ ,根据表3,该危害发生频率为C,“偶尔”。

### 3.3 事故严重等级评估

列车非正常移动,存在站台乘客掉入列车与站台之间缝隙被列车挤伤或碾压安全风险。可能导致一名乘客受伤或死亡,根据表2,该危害的严重等级为“重大的”。

### 3.4 风险等级评估

根据上述估算的危害发生频率和严重等级,结合表1,风险类别为“不希望的”,本风险不可接受,需要采取防护措施。

## 4 安全防护措施

为避免站台门未正常关闭错误发车问题,本文提出的安全防护措施是:车载ATP系统检测到车门状态为关闭且当前发码不为HU码或站台门状态为关闭并锁闭状态时,方可缓解车门防护制动,这样可避免站台门未正常关闭错误发车问题。TCC为SIL4(Safety Integrity Level 4)最高安全等级设备,可保证发码正确性,TSRS同为SIL4,且与TCC、车载的传输通道使用了安全协议,TSRS-TCC为RSSP-I,TSRS与车载为Subset037,可保证站台门状态传输安全性。TCC与TSRS、车载ATP共同实现此故障的安全防护。具体实施过程如图4~图6所示。

(1) TCC 1G(第一股道)发HU码,列车到达

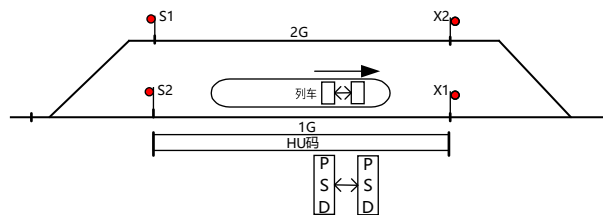


图4 列车停车,站台门打开

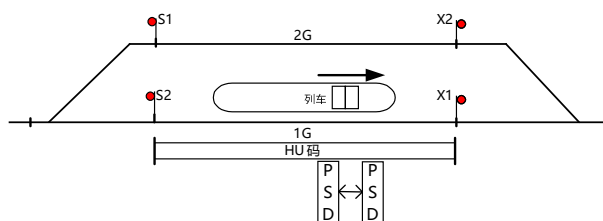


图5 列车停车,站台门未关闭

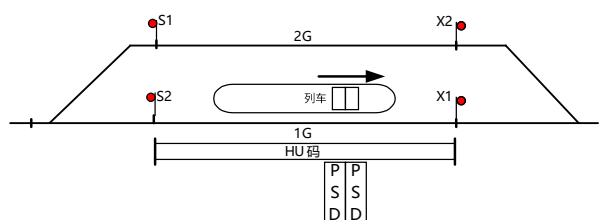


图6 车门及站台门正常关闭,列车可发车

股道停车,发送开门命令,车门打开,站台门打开,车载施加车门防护制动,乘客上下车,换乘完毕。

(2) 车载发送关门命令,车门关闭,但站台门因故未关闭。

(3) TCC仍发送HU码,由于车载ATP缓解车门防护制动条件增加了对码序的检查,此时为HU码的情况下无法缓解车门防护制动,因此列车无法发车,可保证乘客换乘安全。

(4) 当站台门关闭后,站台门关闭并锁紧信息经由TCC、TSRS到达车载ATP,此时危险状态已解除,车载ATP可缓解车门防护制动,列车可正常根据码序发车。

## 5 现场验证

本文提出的安全防护措施在上海市域项目现场进行了测试,列车根据运行计划以ATO模式运行至站台后,不办理发车进路,按压开门按钮,车门与站台门处于打开位置。在车控室IBP(Integrated Backup Panel)盘上,将站台门打至切除位置,此时车门与站台门无法联动。按压列车关门按钮,检查

车门关闭，站台门未关闭，检查 DMI 上显示已施加 SB7。在 IBP 盘上将站台门打至正常位，恢复列车门与站台门联动，再次按压关门按钮，列车可正常发车。该测试结果表明，车门关闭、站台门未正常关闭情况下列车无法发车，关闭站台门后列车可正常发车，本文提出的安全防护措施有效。

## 6 结束语

本文针对未正常关门这一场景进行了安全分析，并提出一种针对乘客换乘场景下站台门未正常关闭场景的安全防护措施，由 TCC、车载 ATP、TSRS 共同配合完成安全防护，车载 ATP 判断列车门状态及 TCC 发码逻辑，并增加 TSRS 提供站台门的状态判断，可有效规避 CTCS 标准中针对站台门防护场景未明确部分的风险，同时兼顾了站台门系统的可用性，有力保障了乘客换乘安全，提高站台门系统效率，可供其他采用 CTCS2+ATO 控制模式的市域、城际项目参考。未来将进一步研究优化车载方案，以减少判断逻辑的复杂性，由车载自身通过车门与站台门状态来完成故障情况下的安全防护。

## 参考文献

[1] 张银龙. 市域铁路智慧站台门系统关键技术 [J]. 中国机械工

程, 2021, 32 (4): 475-480.

[2] 葛学仁. 地铁站台安全防护系统设计简析 [J]. 现代城市轨道交通, 2010 (4): 65-66, 69.

[3] 梁树栋. 轨道交通站台门安全控制设计的分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (5): 58-61.

[4] 王爱武, 黄海宾, 周梅, 等. CTCS2+ATO 控制模式下的车地联动方案 [J]. 电子技术与软件工程, 2018 (22): 114.

[5] 叶建斌. CTCS2+ATO 系统列车门与站台门联动原理和优化方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (8): 5-8, 14.

[6] 严伟. CTCS2+ATO 系统车门与站台门联动问题 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (7): 34-39.

[7] 文小伟. 珠三角城际铁路 CTCS2+ATO 技术方案中难点问题的解决 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50 (2): 65-67.

[8] 原中国铁路总公司. 高速铁路 ATO 系统总体暂行技术规范: TJ/DW 202-2019 [S]. 北京: 原中国铁路总公司, 2018.

[9] 中国国家铁路集团有限公司. 列控中心技术条件: Q/CR 817-2021 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2021.

[10] 黄宏伟, 谢雄耀, 胡群芳, 等. 轨道交通工程建设风险管理及其应用 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2009.

[11] 欧洲电工标准化委员会欧洲标准化委员会. 铁路应用-可靠性、有效性、可维修性和安全性 (RAMS) 的规范和证明第 1 部分: 通用 RAMS 过程: EN 50126-1-2017 [S]. 布鲁塞尔: 欧洲电工标准化委员会欧洲标准化委员会, 2017.

责任编辑 宣秀彬