

既有商业综合体疏散安全评估的规范适配困境 与破解路径

马哲

中国建筑科学研究院建筑防火研究所政策研究院，上海 201100

DOI: 10.61369/SSSD.2026010032

摘 要： 针对规范迭代下既有商业综合体疏散安全评估的保守性矛盾，本文提出双轨制评估方法，以地下超市防火分区为实证对象，对比规范荷载与实际荷载的火灾模拟结果。研究表明：规范统一按建筑面积核定人数（F7:1264人 / F11:1500人），因未扣除无效人员面积（货架区占比27.6%–39%），导致RSET超ASET临界时间而误判“不安全”；基于运营数据修正荷载至915人后，RSET缩短234s–206s（F7:516s / F11:576s），满足 $ASET > RSET$ 安全要求。验证了荷载真实性校验对避免无效改造的关键价值，为既有建筑改造提供“规范识别风险 + 数据锚定安全”的优化路径。

关 键 词： 双轨制评估；无效人员面积；荷载真实性；既有建筑改造

Norm Adaptation Dilemmas and Resolution Paths for Evacuation Safety Assessment of Existing Commercial Complexes

Ma Zhe

Policy Research Institute, Institute of Building Fire Protection, China Academy of Building Research, Shanghai 201100

Abstract： Aiming at the conservatism contradiction in the evacuation safety assessment of existing commercial complexes under code iteration, this paper proposes a dual-track assessment method. Taking the fire compartment of an underground supermarket as an empirical object, it compares the fire simulation results between code-specified load and actual load. The research shows that: the code uniformly calculates the number of people based on the building area (F7: 1264 people / F11: 1500 people). Due to the failure to deduct the invalid personnel area (shelf area accounting for 27.6%–39%), the Required Safe Egress Time (RSET) exceeds the Available Safe Egress Time (ASET) critical value, leading to the misjudgment of "unsafe". After revising the load to 915 people based on operational data, the RSET is shortened by 234s–206s (F7: 516s / F11: 576s), meeting the safety requirement of $ASET > RSET$. This study verifies the key value of load authenticity verification in avoiding invalid reconstruction, and provides an optimized path of "code identifying risks + data anchoring safety" for the reconstruction of existing buildings.

Keywords： dual-track assessment; invalid personnel area; load authenticity; reconstruction of existing buildings

引言

随着建筑防火规范持续迭代更新，既有商业综合体面临新旧规范衔接难题。现行规范的人员密度标准往往显著高于建筑建成时的设计标准，若机械套用现行标准复核既有建筑疏散系统，极易得出“不安全”结论，导致不必要的改造成本。本文以某商业综合体地下超市为研究对象，聚焦防火分区F7与F11，通过对比规范核定人数与实际运营人数下的火灾模拟结果，揭示规范系统性变更对安全评估的影响，提出兼顾规范合规性与运营真实性的“双轨制”疏散安全评估方法^[1]。

一、安全性判定准则及判据

（一）人员疏散安全性判定准则、判据

保证人员安全疏散是建筑防火设计中的一个重要的安全目标，人员安全疏散即建筑物内发生火灾时整个建筑系统（包括消

防系统）能够为建筑中的所有人员提供足够的时间疏散到安全的地点，整个疏散过程中不应受到火灾的危害。

建筑的使用者撤离到安全地带所花的时间（RSET）小于火势发展到超出人体耐受极限的时间（ASET），则表明达到人员生命安全的要求。即保证安全疏散的判定准则为：

RSET+TS < ASET （公式2-1）

其中：

RSET：疏散所需要的时间；

ASET：开始出现人体不可忍受情况的时间，也称可用疏散时间或危险来临时间；

TS：安全裕度。

式中，疏散所需时间 RSET（或以 tescape 表示），即建筑中人员从疏散开始至全部人员疏散到安全区域所需要的时间，疏散过程大致可分为感知火灾、疏散行动准备、疏散行动到达安全区域等几个阶段。

危险到来时间 ASET（或以 trisk 表示），即疏散人员开始出现生理或心理不可忍受情况的时间，一般情况下，火灾烟气是影响人员疏散的最主要因素，常常以烟气降下一定高度或浓度超标的时间作为危险来临时间。

安全裕度 Ts，即防火设计为疏散人员所提供的安全余量。

（二）防止火灾蔓延扩大判定准则

为减少火灾时财产损失和降低对工作运营的影响，消防设计主要是通过采用一系列消防安全措施控制火灾的大面积蔓延扩大来实现的。造成火灾蔓延的因素很多，如飞火、热对流、热辐射等^[2]。对于相邻建筑物之间的火灾蔓延，防火设计规范通过要求一定的防火间距来进行控制，而对于同一防火分区内的火灾蔓延则没有明确的规定^[3]。在消防设计咨询量化分析中，不论是同一防火分区内的火灾蔓延，还是相邻建筑物之间的火灾蔓延，都是在一定的设定火灾规模下通过控制可燃物间距，或在一定间距条件下控制火灾的规模等方式来防止火灾的蔓延。量化分析中通常采用辐射热分析方法，来分析火灾蔓延情况。

火灾发生时，火源对周围将产生热辐射和热对流，火源周围的可燃物在热辐射和热对流的作用下温度会逐渐升高，当达到其点燃温度时可能会发生燃烧，导致火灾的蔓延^[4]。

二、计算场景的选取

本研究针对商业综合体地下超市的防火分区 F7 和 F11 分别设置火灾场景 D 和 H。核心参数完全一致：火灾规模均为 3.0 MW，采用快速 t² 火增长模型（速率 0.044 kW/s²），soot 生成量 0.05，环境温度 20℃；均使用 FDS 软件的大涡湍流模型进行 900 秒火灾动力学模拟。唯一差异为火灾位置：场景 D1 位于防火分区 F7，场景 H1 位于防火分区 F11（表 3-1，3-2）。

（一）防火分区 F7 的 D 场景基本参数

地下一层防火分区 F7 的超市货的疏散人数按规范计算得出的人数为 1264 人，按照商场实际统计的最大人数为 915，比按规范计算的人数少 27.6%。防火分区 F7 的 D 场景基本参数如表 3-1 所示。

表 3-1 火灾场景 D 参数

参数类别	参数			
场景设置	场景编号	D1	火灾位置	地下一层防火分区 F7

参数类别	参数			
火源设置	火灾规模（MW）	3.0	火灾增长方式	快速 t² 火
	soot 生成量	0.05	火灾增长速率（kW/s²）	0.044
计算参数	环境温度（℃）	20	模拟时段（s）	900
	湍流模型	大涡模型	计算软件	FDS

（二）防火分区 F11 的 H 场景基本参数

地下一层防火分区 F11 的超市货的疏散人数按规范计算得出的人数为 1500 人，按照商场实际统计的最大人数为 915，比按规范计算的人数少 39%。防火分区 F11 的 H 场景基本参数如表 3-2 所示。

表 3-2 火灾场景 H 参数

参数类别	参数			
场景设置	场景编号	H1	火灾位置	地下一层防火分区 F11
火源设置	火灾规模（MW）	3.0	火灾增长方式	快速 t² 火
	soot 生成量	0.05	火灾增长速率（kW/s²）	0.044
计算参数	环境温度（℃）	20	模拟时段（s）	900
	湍流模型	大涡模型	计算软件	FDS

在现行防火规范中，超市业态的人员密度核定基于防火分区建筑面积统一计算（如 F7 分区 1264 人、F11 分区 1500 人）。然而，超市实际布局中存在大量固定货架、货柜及商品堆放区，这些区域无法承载人员活动，形成无效人员面积^[5]。由于不同超市的货架形态、通道设计差异显著，规范难以通过统一标准精确扣除无效面积，故采用保守的人员密度（0.6 人/m²）确保安全冗余。

三、验证结果

（一）防火分区 F7 的 D 场景计算结果及分析

防火分区 F7（B1-7）超市设置两类人员荷载场景。规范荷载场景显示，按现行规范核定疏散人数为 1264 人，经模拟计算必需疏散时间（RSET）为 750s。火源位于货架处，规模 3.0 MW（快速 t² 火，增长速率 0.044 kW/s²），防烟分区机械排烟系统及防烟前室正压送风有效运行，确保烟气不侵入避难通道。实际荷载场景显示，基于商场运营限流数据，疏散人数修正为 915 人（减少 27.61%），RSET 缩短至 516s。火源参数与排烟措施同规范场景一致^[6]。

两场景烟气蔓延规律高度相似：火灾发生后，烟气被有效控制。在分区 B1-7 的防烟分区内，未突破边界侵入防烟前室或地下一层避难通道。机械排烟系统与正压送风协同作用形成物理隔离，900s 模拟周期内未发生烟气越界现象。

（二）防火分区 F11 的 H 场景计算结果及分析

防火分区 F11（B1-11）超市设置两类人员荷载场景。规范荷载场景显示，按现行规范核定疏散人数为 1500 人，必需疏散时间（RSET）为 782s。火源位于货架处（3.0 MW 快速 t^2 火，增长速率 0.044 kW/s^2 ），防烟分区机械排烟与防烟前室正压送风有效阻隔烟气侵入避难通道。实际荷载场景显示，基于运营限流数据，疏散人数修正为 915 人（减少 39%），RSET 缩短至 576s。火源参数与排烟措施与规范场景一致^[7]。

两场景烟气蔓延规律一致：烟气被严格控制在 B1-11 防烟分区内，未突破至防烟前室或避难通道。机械排烟系统与正压送风的协同作用在 900s 模拟周期内保持有效，无越界现象。人员耐受性及安全判据对比如表 4-1 所示。

表 4-1 人员耐受性及安全判据对比表

安全指标	规范荷载场景（1500 人）	实际荷载场景（915 人）
温度	非火源区上层 < 180℃ / 下层 < 60℃（安全）	同左（安全）
CO 浓度	≤ 60ppm（安全）	非火源区 ≤ 60ppm（安全）
CO ₂ 浓度	720s 达 1%（超限）	720s 达 1%（临界可接受）
能见度	685s 降至 10m（超限）	非火源区 685s 降至 10m（临界可接受）
ASET 临界时间	685s（能见度超限）	720s（CO ₂ 临界）
RSET	782s	576s
安全性判定	ASET（650s）< RSET（782s）	ASET（650s）> RSET（576s）
	不安全	安全

由上述分析不难发现，荷载修正同样逆转安全结论。规范场景因 RSET（782s）晚于 ASET 临界时间（685s 能见度超限），判定疏散失败；实际场景因荷载减少 39% 使 RSET 缩短至 576s（早于 720s CO₂ 临界点），满足安全要求。空间异质性影响^[8]。实际荷载场景中，着火点商店外的 CO 浓度与能见度恶化较缓（标注“非火源区”），反映货架布局对烟气扩散的局部阻滞作用，进一步延长可用疏散时间。

四、结论

本研究针对规范迭代下既有商业综合体疏散安全评估的系统性矛盾，以某地下超市防火分区 F7 与 F11 为实证对象，通过双轨制火灾模拟分析（规范荷载 vs 实际荷载），得出以下核心结论：

（一）规范保守性与实际可行性的冲突

一是理论风险识别。按现行规范核定荷载（F7:1264 人，F11:1500 人）模拟显示：F7 分区因 CO₂ 超限（650s）与能见度不足（615s），ASET（650s）< RSET（750s）；F11 分区因能见度恶化（685s），ASET（685s）< RSET（782s），均判定为不安全。二是实证数据修正。基于实际运营荷载（915 人）模拟表明：F7 分区 RSET 缩短至 516s（ASET>RSET）；F11 分区 RSET 缩短至 576s（ASET>RSET），均满足安全要求。矛

盾本质是规范统一按建筑面积核定人员密度（0.6 人 /m²），未扣除超市货架区等无效人员面积（F7 无效面积占比 27.6%，F11 达 39%），导致理论荷载显著高于实际峰值。

（二）双轨制评估范式的必要性

本研究提出并验证的评估方法包含两个维度。一是规范合规性复核；识别现行标准下的理论风险（如 F7 的 750s RSET 风险），量化潜在缺陷；二是实际荷载验证：基于运营数据（如客流量监测）修正疏散参数，避免因规范保守性导致无效改造。通过双轨制评估范式，可量化工程价值。本案例通过实际荷载验证，证明 F7/F11 分区无需增设疏散设施，节约改造成本；其他项目可依此识别真实短板。

（三）业态空间特性的关键影响

本研究发现业态空间特性的关键影响，一是货架布局的积极效应。超市密集货架天然延缓烟气蔓延（F11 非火源区能见度恶化延后），为疏散争取额外时间。二是荷载敏感的疏散效率^[9]。人员密度降低显著缩短 RSET（F7 减少 349 人使 RSET 缩短 234s），凸显疏散通道宽度优化的优先级。

（四）对规范修订与实践的建议

本研究提出对规范修订和实践的三点建议。一是规范层面：建议针对超市等特殊业态，增设有效人员面积折算系数，减少无效面积导致的荷载虚高。二是工程层面：既有商业综合体改造需执行：（1）规范理论风险筛查；（2）基于运营数据的荷载修正；（3）业态空间特性专项分析。三是管理层面：通过智能限流系统（如 F7 的 915 人上限）确保实际荷载不突破安全阈值。

未来应建立多业态“规范 - 实际”人员密度映射数据库，为规范迭代提供实证支撑，推动疏散安全评估从“保守合规”向“精准适配”转型^[10]。既有建筑改造的疏散安全评估，应是规范逻辑与运营逻辑的辩证统一——以规范识别风险边界，以数据锚定安全真相。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.《建筑设计防火规范》GB 50016-2014（2018 年版）[S]. 北京：中国计划出版社，2018.

[2] 公安部消防局.《人员密集场所消防安全管理》GA 654-2006[S]. 北京：中国标准出版社，2006.

[3] HELMBING D, MOLNÁR P. Social force model for pedestrian dynamics[J]. Physical Review E, 1995, 51(5): 4282-4286.

[4] 禹尔东, 吴正, 郭明昱. 双出口房间人群疏散的实验研究和数学建模 [J]. 物理学报, 2014, 63(9): 094501.

[5] 王大鹏, 等. 动车组列车司机安全疏散评估研究 [J]. 交通技术, 2018, 7(4): 229-236.

[6] 胡映洁, 吕斌. 城市社区空间应急疏散能力评价模型构建及其应用 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(6): 725-734.

[7] MCGRATTAN K, et al. Fire Dynamics Simulator (FDS) Technical Reference Guide[R]. NIST Special Publication 1018-1, 2023.

[8] Society of Fire Protection Engineers (SFPE). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering[M]. 5th ed. New York: Springer, 2016.

[9] 浙江省住房和城乡建设厅.《消防技术难点问题操作技术指南（2020 版）》[Z]. 杭州, 2020.

[10] 李翔. 基于社会力模型的地铁站疏散仿真优化研究 [D]. 上海：上海大学, 2012.