

文章编号: 1671-6612 (2025) 06-917-05

国内外防烟排烟系统设计规范对比分析

曾甫海

(中铁二院工程集团有限责任公司 成都 610031)

【摘要】 对防排烟系统设计相关的中国标准与 ICC、NFPA 标准体系进行简要介绍,并基于“一带一路”海外铁路客站设计实践,探讨中外规范在防排烟系统设置场所、设计方法和系统控制等方面的核心差异,有助于海外项目设计人员精准定位中外标准主要技术差异点,提供的案例可为海外类似项目设计提供技术参考。

【关键词】 防烟排烟; 中国规范; ICC; NFPA; 对比分析; 一带一路
中图分类号 TU892 文献标志码 A

Comparative Analysis of Codes for Design of Smoke Management Systems in China and Abroad Zeng Fuhai

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd, Chengdu, 610031)

【Abstract】 This paper briefly introduces the Chinese codes related to the design of smoke management systems, as well as the ICC and NFPA code systems. Based on the design practice of overseas railway passenger stations under the “Belt and Road” initiative, it discusses the core differences between Chinese and foreign codes in aspects such as the locations where smoke management systems are set, design methods, and system control, this is helpful for designers of overseas projects to accurately identify the main technical differences between Chinese and foreign codes, and the provided cases can offer technical references for the design of similar overseas projects.

【Keywords】 Smoke management systems; Chinese codes; ICC; NFPA; Comparative analysis; The belt and road

0 引言

随着“一带一路”倡议深入推进,中国铁路工程企业已参与建设约 30 个境外铁路项目。然而,在项目实施过程中,因欧美国家标准的国际主导地位及对中国消防标准体系的认知不足,业主普遍要求消防设计采用国际规范委员会标准(ICC 标准)和美国消防协会标准(NFPA 标准),而非《建筑设计防火规范》等中国标准,这就导致基于中国规范的设计成果难以被审核通过,不仅会造成设计返工,更增加了项目的合规风险,同时也给设计人员带来了巨大的困难与挑战。

铁路客站属于人员密集公共场所,其防排烟系统设计直接关系到火灾情况下的人员安全疏散与

救援,是事关建筑消防安全的重要环节,因此对中国标准与 ICC、NFPA 标准进行梳理对比,对从事海外工程设计具有重要现实意义。本文基于“一带一路”海外铁路客站设计实践,从防排烟设置场所、设计参数、设计方法、系统控制等方面进行对比分析,有助于海外项目设计人员了解国外标准要求,精准定位中外标准主要技术差异点,以提升海外项目设计合规性,提供的案例可为同类工程设计提供参考。

1 中国标准与 ICC、NFPA 标准概述

1.1 中国标准体系

中国铁路客站防排烟系统设计以《建筑防火通

用规范》^[1]《消防设施通用规范》^[2]《建筑设计防火规范（2018 年版）》^[3]和《建筑防烟排烟系统技术标准》^[4]等国家标准为核心标准，以行标《铁路工程设计防火规范》、各省（区、市）地标、以及住房和城乡建设主管部门有关文件为补充，形成国标主导、行标地标补充的标准体系。《建筑防火通用规范》第 8 章规定了防排烟设置场所，第 9 章明确了通风空调系统防火和性能要求；《消防设施通用规范》第 11 章规定了防排烟系统的功能、性能要求及技术措施。《建筑防烟排烟系统技术标准》作为我国首个防排烟专项国家标准，涵盖设计、系统控制、施工、调试、验收和维护管理全流程，以确保防排烟系统全生命周期的可靠性和有效性。

《铁路工程设计防火规范》^[5]作为行业综合性技术规范，针对铁路工程特有场景，如排烟设置场所与通风空调系统防火防爆等要求做出了明确补充规定，填补了《建筑设计防火规范》在铁道行业下的应用空白。

目前中国规范为处方式条文，不能涵盖所有建设项目的消防设计、施工与验收工作。2020 年，《建设工程消防设计审查验收管理暂行规定》（住建部令第 51 号，2023 年修订为第 58 号）^[6,7]引入性能化设计方法，允许对国家标准没有规定、拟采用消防三新技术等特殊建设工程（如大型铁路客站），采用性能化分析手段开展消防设计，这标志着我国消防设计开始向“处方式+性能化”的混合模式转变。

1.2 ICC 与 NFPA 标准体系

美国建筑规范技术体系分为模式规范（Model Code）、共识标准（Consensus Standard）和资源文件（Resource Document）三级^[8,9]，其中模式规范级别最高，主要由 ICC 和 NFPA 两个标准组织制订。目前在国际建筑项目设计执行的标准中，ICC、NFPA 系列规范占有主导地位。

《国际建筑规范》（International Building Code, IBC）^[10]、《国际消防规范》（International Fire Code, IFC）^[11]是 ICC 制定的 I-Code 系列模式规范中、与建筑消防安全相关的二本。其中 IBC 是一本综合性建筑安全标准，根据建筑物主要用途和风险，将建筑划分为 10 类，并对各类建筑的防火、疏散及结构要求等做出了具体规定。如铁路客站，则属于 A-3 类集会建筑。IFC 针对可能出现的

火灾、爆炸和其他风险，提出了全面整体防控策略和最低安全要求，以便在紧急情况下为使用者和消防员提供合理水平的安全。IBC 对建筑构件耐火等级、室内装修、消防系统、出口通道、备用和应急电源等的要求与 IFC 条款联动。

NFPA 系列模式规范是消防与安全领域的权威技术标准，被美国各州及全球多个国家和地区广泛采用。其中《烟雾控制系统标准》（Standard for Smoke Control Systems, NFPA 92）^[12]作为烟气控制系统专项标准，涵盖了设计、安装、性能测试、运行和维护管理全流程，同时该规范要求设计提交包含设计报告、运行维护手册的系统文档，在设计报告中要求明确设计使用的程序、方法及分析结论，以证明设计采取的技术方案能满足预设的安全目标。这种设计方法为多样化建筑场景提供了更高的设计灵活性。

2 防排烟规范主要差异分析

国际规范 IFC、NFPA92 与中国标准在烟雾控制系统设计理念上存在显著差异。国际规范的核心目标是控制烟雾扩散，确保楼梯间、疏散通道、避难区及电梯井或类似区域在人员安全疏散和消防员救援期间保持适宜环境。相比之下，中国标准不仅关注人员安全疏散，还兼顾火场扑救的需求。这一理念差异也具体体现在防排烟设置场所、设计方法和系统控制等方面。

2.1 设置场所

（1）中国标准

《建筑防火通用规范》对防烟与排烟设施的设置场所进行了明确规定。第 8.2.1 条要求封闭楼梯间、防烟楼梯间及其前室、消防电梯前室或合用前室、避难层（间）、避难走道前室、地铁工程中的避难走道等部位设置防烟设施，这些部位主要是火灾时人员疏散与避难的关键区域。第 8.2.2 条至第 8.2.5 条则对工业和民用建筑中排烟设置场所进行了明确规定，如要求公共建筑内建筑面积 $>100\text{m}^2$ 且经常有人停留、或建筑面积 $>300\text{m}^2$ 且可燃物较多、或建筑面积 $>50\text{m}^2$ 经常有人停留或可燃物较多且无可开启外窗的房间、民用建筑内长度 $>20\text{m}$ 的疏散走道等部位应设置排烟设施；总的来讲，中国标准主要依据建筑性质（工建或民建）、面积、疏散走道长度等因素确定是否设置排烟设施，排烟

设施设置范围广,以确保这些人员较多或风险较高区域火灾时有毒烟气和热量能及时排出。

(2) ICC 与 NFPA 标准

国际标准 ICC、NFPA 在防排烟设置场所的要求上,与中国规范有相似之处,但差异也明显。如《生命安全守则》(Life Safety Code, NFPA 101)^[13]要求防烟封闭楼梯间(设有前室时,前室视为楼梯间的一部分)可采用自然通风、结合前室的机械通风或机械加压等防烟方式,确保火灾时能有效阻止烟气进入。在排烟设置场所的要求上,IBC 要求有顶棚商场建筑中连接三层及以上中庭、地下建筑、无窗的 I-3 类建筑等高风险区域设置烟雾控制系统;NFPA 101 要求缺乏紧急出口的建筑物和人员密集的地下建筑设置排烟设施。对于大空间、中庭等典型场所,NFPA 92 要求结合火灾模型计算排烟量,并基于疏散分析确定是否设置排烟设施。相比中国标准,国际标准对普通房间、疏散走道等常见部位未强制要求设置排烟设施。

2.2 设计方法

(1) 防烟系统设计

在防烟方式选择上,中外标准也有着不同要求。对于防烟楼梯间和前室,中国标准允许采用自然通风或机械加压送风,具体方式可根据建筑用途、高度等因素确定。对于类似场所的防烟,国际规范规定更为灵活,楼梯间可采用自然通风、结合前室的机械通风或机械加压等防烟方式,还可采用分区烟雾控制、电梯加压、门厅加压和避难区加压等防烟策略。

在加压送风系统压差控制要求上,中外标准对防烟封闭楼梯间、前室等部位的压差均有明确规定,但压差值却有所不同。相对于走道,中国规范要求楼梯间压差值为 40Pa~50Pa,前室、封闭避难层(间)压差值为 25Pa~30Pa。NFPA 92 规范则考虑了不同的天花板高度和建筑是否设有自喷等因素,压差值也有所不同:当设有自喷时,要求最小压差 12.5Pa;无自喷时,天花板高度不同,压差值也不一样,当天花板高度分别为 2.7m、4.6m、6.4m 时,要求最小压差值分别为 25Pa、35Pa、45Pa。从压差数值看,中国规范要求更高,而国际标准则考虑了净高与喷淋系统影响。

(2) 排烟系统设计

① 排烟量计算方法

对于净高 $\leq 6\text{m}$ 的场所,中国规范采用基于建筑面积的计算方法来确定排烟量,要求每个防烟分区排烟量 $\geq 60\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$,且走道或回廊机械排烟量 $\geq 13000\text{m}^3/\text{h}$,其他场所 $\geq 15000\text{m}^3/\text{h}$;对于净高 $> 6\text{m}$ 场所(中庭除外),要求根据烟羽流类型,并基于火灾热释放速率、清晰高度、烟羽流质量流量和温度等参数的代数方程来计算确定排烟量,相关的计算公式直接来源于 NFPA 92。

而国际标准允许通过手工计算、区域火灾模型或 CFD 模拟等方法来确定排烟量。对于人员密集的大空间场所,一般需采用火灾动力学模型,来分析烟雾层下降速度,进而确定最小有效排烟量,以确保在疏散时间内将烟雾控制在起火区内、将烟层界面保持在预定高度,保证室内人员能够安全逃生。

② 排烟口设置

中国规范对排烟口设置位置、排烟口风速、排烟半径、单个排烟口最大允许排烟量等有明确规定,如要求排烟口设在储烟仓内,机械排烟口与安全出口的水平距离应 $\geq 1.5\text{m}$,排烟口风速 $\leq 10\text{m/s}$ 等。国际规范要求排烟口设在储烟仓内,并限制单个排烟口排烟量,还强调排烟口间距,避免吸入过多冷空气导致“吸穿”现象,确保有效排烟。

(3) 补风系统设计

中外规范对需要设置补风系统的场所、补风量、补风方式、补风口位置、风速、风管道材及系统控制方式等均做出了明确规定。中国规范要求除地上走道或 $< 500\text{m}^2$ 的房间外,排烟场所需设补风系统,并要求补风应直接从室外引入、补风量 $\geq 50\%$ 排烟量、机械补风口风速 $\leq 10\text{m/s}$,自然补风口 $\leq 3\text{m/s}$ 。而 NFPA 92 要求所有排烟场所设补风系统;建议补风量为排烟量的 85%~95%,确保着火区微负压;在补风可能与烟羽接触的地方,要求补风风速 $\leq 1.02\text{m/s}$,防止烟羽偏离,避免增加烟雾产生量和破坏烟雾界面;要求自然排烟采用自然补风,避免着火区正压干扰。从上面的对比分析可以看出,相比中国标准,国际标准补风量更高,且对风速控制要求更为严格。

2.3 系统控制

(1) 中国标准

中国规范要求防排烟系统必须与火灾自动报警系统联动,并具备以下控制功能:当火灾确认后,

火灾自动报警系统应能在 15s 内联动开启相应防烟分区内的加压送风口、加压送风机和排烟阀、排烟口、排烟风机、补风设施,并应在 30s 内自动关闭与排烟无关的通风、空调系统。同时,现场手动控制和消控室手动控制功能也必须具备,以确保在自动控制失效时,仍能通过手动操作启动系统。

(2) ICC 与 NFPA 标准

国际标准要求烟雾控制系统除了手动和由火灾自动报警系统联动启动外,还强调不同消防系统之间的信息共享和协同响应,设有自喷的场所,要求由自喷系统联动启动。对于系统响应时间,国际规范要求收到启动命令后 10s 内启动烟雾控制模式,并在烟雾层超过设计目标前达到全负荷运行状态,且应在 90s 内在消防控制面板上显示最终状态。国际标准还强调各组件的启动顺序,要求风阀、风机等分步顺序启动,以防止对风机、风阀、管道和其他设备造成物理损坏。

从上面的对照可以看出,在系统控制上,中外标准均要求与火灾自动报警系统联动,但国际标准还强调与自喷系统的协同运行;在启动时间上,中国规范要求 15s 内系统启动和 30s 内关停无关系统,而国际标准要求在 10s 内启动,还要求实现在“烟雾层超过设计条件前,系统达到全负荷运行状态”的性能目标;另外,国际标准还额外关注设备启动顺序,降低机械损伤风险。

3 某海外铁路客站烟雾控制系统设计

某海外铁路客站总建筑面积 4898m²,地上二层,为高架候车站型,站房整体呈 T 字型布局,侧站房一层两边为设备管理用房(防火分区 2/3),中部为进站集散厅,候车厅位于线路和站台上,且与集散厅连通,为同一个防火分区(防火分区 1)。为有效利用一层净高,两边的设备管理用房区还设有夹层(防火分区 2/4)。站房各层平面布局如图 1~图 3 所示,剖面如图 4 所示。

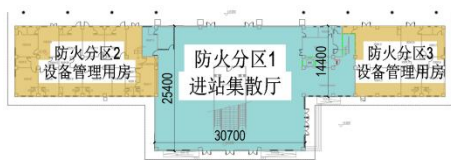


图 1 一层平面布置图

Fig.1 Plan layout of the first floor

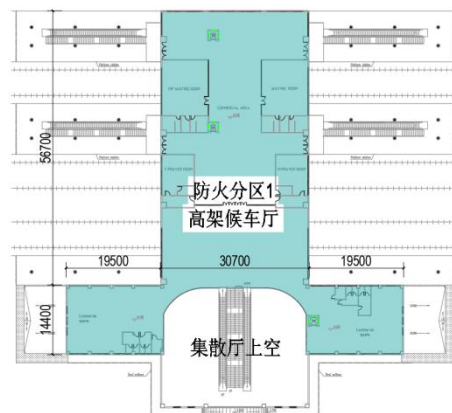


图 2 二层平面布置图

Fig.2 Plan layout of the second floor

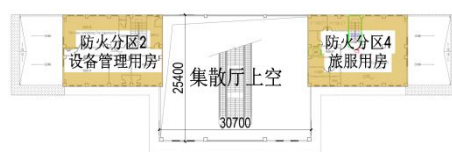


图 3 夹层平面布置图

Fig.3 Plan Layout of the mezzanine floor

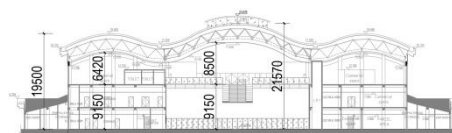


图 4 剖面图

Fig.4 Cross-section diagram

本项目消防系统按 ICC 及 NFPA 标准设计,配置有消火栓系统、自动喷水灭火系统、弱电机房气体灭火系统、灭火器,以及火灾探测、报警及控制系统等消防设施。烟雾控制系统则采用基于火灾动力学和人员疏散的性能化设计方法,经模拟分析,封闭楼梯间通过可开启外窗实现自然通风,集散厅、候车厅等大空间部位,可不设置排烟设施即可满足人员安全疏散时间要求。该方案在确保建筑消防安全底线的前提下,可减少排烟系统建设成本,实现安全标准与经济性的平衡。

4 结论

通过梳理中国规范与 ICC、NFPA 国际规范在防排烟设计方面的主要技术差异可以看出,一是中外消防标准体系不同,中国规范以国标为主导、行标地标为补充;国际标准采用“模式规范-共识标准-资源文件”分级;二是中国规范在结合国情和多年工程实践经验基础上,以处方方式条文为核心,

对各类建筑防排烟设计有全面和清晰的规定,适合大规模标准化建设,特殊场景可采用性能化设计方法,兼具了实用性、可操作性和灵活性;国际规范以性能目标为核心,大空间强调采用基于火灾动力学的排烟量计算、疏散分析等性能化设计手段,以适应建筑的灵活性需求,设计方法更为灵活;三是中外规范因防排烟设计理念不同,在设置场所要求、设计方法、系统控制等诸多方面存在一定差异;四是在海外铁路项目防排烟设计中,设计人员应在熟知中外标准技术差异的前提下,做好标准等效性沟通解释工作,推动中国标准得到业主认可,提高中国标准的国际影响力;一旦确定执行的标准,应严格按照相关标准要求开展设计,以避免出现设计不满足要求导致的工程合规风险。

参考文献:

- [1] GB 55037-2022,建筑防火通用规范[S].北京:中国计划出版社,2023.
- [2] GB 55036-2022,消防设施通用规范[S].北京:中国计划出版社,2022.
- [3] GB 50016-2014,建筑设计防火规范(2018年版)[S].北京:中国计划出版社,2018.
- [4] GB 51251-2017,建筑防烟排烟系统技术标准[S].北京:中国计划出版社,2018.
- [5] TB 10063-2016,铁路工程设计防火规范[S].北京:中国铁道出版社,2017.
- [6] 住房和城乡建设部.建设工程消防设计审查验收管理暂行规定[EB/OL]. 2020-04-01. https://www.gov.cn/gongbao/content/2020/content_5528183.htm.
- [7] 住房和城乡建设部.住房和城乡建设部关于修改《建设工程消防设计审查验收管理暂行规定》的决定[EB/OL]. 2023-08-21. https://www.gov.cn/gongbao/2023/issue_10766/202310/content_6909536.html.
- [8] 高迪,程志军,李小阳.美国建筑技术法规简介(上)[J].工程建设标准化,2015,(6):44-48.
- [9] 高迪,程志军,李小阳.美国建筑技术法规简介(下)[J].工程建设标准化,2015,(6):49-53.
- [10] 2021 International Building Code[S]. International Code Council, Inc. 2020.
- [11] 2021 International Fire Code[S]. International Code Council, Inc. 2020.
- [12] NFPA 92-2021 Standard for Smoke Control Systems [S]. Quincy: National Fire Protection Association, 2020.
- [13] NFPA 101-2021 Life Safety Code[S]. Quincy: National Fire Protection Association, 2020.
- [23] 梁志滔,张小英.自然通风条件下轻钢活动板房热环境计算研究[J].新型建筑材料,2009,36(9):44-48.
- [24] 王厚华,庄燕燕,吴伟伟,等.几种复合墙体构造的热工性能数值分析[J].重庆大学学报,2010,33(5):126-132.
- [25] 王登甲,王莹莹,刘艳峰,等.重质围护结构衰减延迟特性研究[C].2010年建筑环境科学与技术国际学术会议论文集,2010:465-469.