

地铁车站防排烟设计及现行国家规范相关内容重点剖析

马春旺

华设设计集团股份有限公司 江苏 南京 603018

【摘要】地铁车站作为人员密集场所，一旦发生火灾事故，乘客及工作人员需要在短时间内紧急有序撤离。疏散作为火灾第一要务，合理合规的防排烟设计方案为人员撤离提供宝贵的时间，为消防人员进入灭火提供有效保证，同时也为设计人员执行国家政策应对消防审查及验收提供重要的理论依据。针对目前防排烟规范执行力度的差异，结合实际相关工程案例，就重点内容的理解进行分析总结。

【关键词】地铁车站；防烟；排烟；规范条文

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2020.02.757

引言

地铁防排烟设计的初衷首先是为了满足人员安全疏散，利用合理的控烟措施将烟气有效组织在一定的范围内，保证人员在火灾发展到威胁人身安全之前到达安全区域，为人员逃生创造条件；同时尽快排除火灾释放的热量，控制烟气温度，阻断火灾蔓延通路，减少经济损失。

GB50016-2014《建筑设计防火规范》（2018年版）^[1]（以下简称《火规》）为我国建筑防排烟采用的指令性设计体系^[7]，其规定了防排烟的设计范围和指标计算方法。2017年发布的GB51251-2017《建筑防排烟系统技术标准》^[2]（以下简称《烟标》）作为防排烟系统的专项技术标准与现行国家标准相协调，同时对不同类型的建筑如何进行防排烟设计做出规定，具有适用性与针对性。2018年颁布的GB51298-2018《地铁设计防火标准》^[3]（以下简称《火标》）更是针对地铁建筑的特点，着重对地下车站、地下区间的防火分区、防火分隔、安全疏散、建筑构造及想配套的设施进行了规范，以提高火灾时乘客的生还率和最大限度减少财产损失。此外，地铁防排烟设计尚应遵循GB 50157-2013《地铁设计规范》^[4]（以下简称《地规》），另外地铁地下车站作为重要的战时隐蔽场所，其防排烟设计应满足GB 50098-2009《人民防空工程设计防火规范》^[5]（以下简称《人防规》）。以上规范在防排烟系统设计的各方面给出了相应的条文，在进行地铁车站防排烟设计时，难免遇到有针对性的条文相左之处，取舍之间给设计人员带来困惑。本文主要从性能化设计方面对相关规范条文的执行力度上进行阐述。

1 车站防排烟设计范围

车站防烟设计以《火规》中规定的范围为准，具体不再具体阐述。

车站排烟设置部位

1) 连续长度大于一列列车长度的地下区间和全封闭车站。此部分内容结合《地规》28.4.4及《火标》中相关条文及说明执行。

2) 车站公共区 依据《火标》中相关规定，地下车站或地上封闭车站的站厅、站台公共区均需要设置排烟措施。地面站、高架站优先采用自然排烟，在设计中要结合建筑的平面和立面布局综合考量。地下车站通常无法满足自然排烟条件，应设置机械排烟措施。

3) 长度大于60米的地下换乘通道、连接通道、出入口通道 《火标》将以上通道排烟长度定义为60米主要考虑换乘通道和车站公共区通向其他区域的通道较宽、较顺直，出入口还有一端直通室外。高架站的连廊应满足自然排烟条件。

4) 同一防火分区内总建筑面积大于200m²的地下车站设备管理区，地下单个建筑面积大于50m²且经常有人停留或可

燃物较多的房间。本条内容源自《火规》8.5.4，但其描述与火规不完全一致，执行上存在分歧，或可理解为《火标》在编制过程中将相应标准提高。根据2013版《地规》28.4.3条文说明不超200m²空调机房、冷冻机房因其内部平时无人经常停留，其面积不计入需要排烟总面积中，因此，地下车站的小端设备区在《火标》颁布以前，一直以《火规》中规定的范围设置排烟措施，《火标》“问世”后，有过争议，但最终工程的执行上还是从严对待。

2 防烟分区划分

对于车站防烟分区的划分，《地规》及《烟标》中均有相应的内容，且关于防烟分区面积和尺寸规定存在差异，对于地铁工程应当以其行业规范为准，并以《烟标》作为《地规》补充内容进行设计。

例如，对于地下车站设备区走道及排烟房间，我们既要考虑其单个防烟分区面积不超750m²，同时防烟分区长边长度按《烟标》表4.2.4。对于环形走廊，根据对本条规定条文解释的理解，防烟分区的划分在考虑面积和长边长度的同时，尚应考虑人员疏散因素和烟气扩散时卷吸冷空气而下降的特点，故将环形走廊拆解，使其单个防烟分区烟气的扩散路由及最远点人员疏散长度也控制在合理范围内。此外，关于需考虑排烟的房间范围《火标》中已有相应的说明，总结一下就是走道及非气体灭火房间（除去有水房间如泵房、卫生间、茶水间等）。

对于地下车站公共区防烟分区划分，行业规范已明确具体面积要求，结合地铁大空间的特点及防烟分区大小对火灾控烟的影响，公共区不考虑防烟分区长度的要求。关于超长出入口或连通道是否需考虑防烟分区长度问题存在一定争议，笔者认为应从其划分定义、火灾规模、控烟效果等多方面考虑。

地面站或高架站采用自然排烟时，其防烟分区的划分除满足面积要求外，尚应考虑自然排烟窗开窗面积需求、间距要求和最远点的排烟距离等控制因素。

3 防排烟系统计算风量的确定

1) 防烟系统

满足自然通风条件的封闭楼梯间设置可开启外窗应满足规范相关要求，地下站仅用于设计地下、半地下一层疏散的封闭楼梯间首层设置有效面积不小于1.2m²可开启外窗或直通室外的疏散门情况下无需设置机械加压送风系统。

根据目前加压送风系统计算方法，主要采用“压差法”和“门洞风速法”，由于地铁工程层数不多的特点，楼梯间及其前室采用“压差法”风量计算结果远小于采用“门洞风速法”，故实际工程均采用“风速法”计算。同时也基本符合几本现行规范计算原则。

目前《烟标》中明确了分别针对楼梯间和前室均加压

送风、楼梯间送风前室不送风及仅对前室加压送风几种情况计算风量的确定,能够比较全面的应对地铁工程中的各种形式。此外对封闭避难层(间)、避难走道的机械加压送风量做了明确规定。

这里我们针对如下情况来具体分析防烟系统方案的设计。某地下两层防烟楼梯间,每层对应多个前室,每个前室均设置一个对立开启门,如下图所示:

首先我们判定本工程中前室中均只有一个门开向走道,满足楼梯间送风前室不送风的情况,结合地铁一次火灾仅考虑同时设计地下某一层内人员疏散,因此根据计算公式^[2](详见《烟标》3.4.5):

$$L_j=L_1+L_2$$

$$\text{其中 } L_1=A_k \cdot v \cdot N_1$$

$$L_2=0.827 \times A \times \Delta P^{1/n} \times 1.25 \times N_2$$

L_j —楼梯间机械加压送风量

L_1 —门开启时,达到规定风速值所需的送风量(m^3/s)

L_2 —门开启时,规定风速值下,其他门缝漏风总量(m^3/s)

A_k —一层内开启门的截面面积(m^2)

v —门洞断面风速(m/s)

N_1 —设计疏散门开启的楼层数量

A —每个疏散门的有效漏风面积(m^2)

ΔP —计算漏风量的平均压力差(Pa)

n —指数(一般取 $n=2$)

N_2 —漏风疏散门的数量

在判定式中 N_1 值(设计疏散门开启的楼层数量)时,笔者认为不能仅根据规范中给出的判定条件“当为地下楼梯间时,设计1层内的疏散门开启,取 $N_1=1$ ”确定,应结合本层(假定本层开启门数量最多)可能同时涉及疏散开启的前室门数量确定,如果本层3个前室中均可能在火灾工况下疏散人员,为保证门同时开启时楼梯间保证有足够的余压值, N_1 值应按最不利情况取值。同理对楼梯间地下某层向走道开启多个疏散门的情况一并适用。计算 N_2 值(漏风疏散门的数量)时,应采用楼梯间的总门数减去 N_1 楼层计算加压送风开启门的数量,不能机械的套用规范中的公式。

排烟系统

关于地面站或高架站车站,采用自然排烟时有两种情况:一是净高小于等于6m采用高位排烟窗(口),其有效面积不应小于地面面积的2%;二是净高大于6m的场所,应根据热释放速率及《烟标》表4.6.3规定值计算确定。对于地上车站,若净高大于6m,结合表格中判定计算排烟量在 $15 \times 10^4 \sim 21.1 \times 10^4 \text{m}^3/\text{h}$ 范围内,根据给定的自然排烟窗的风速 $0.74 \sim 1.01 \text{m/s}$,计算排烟窗有效面积为 $41.25 \sim 79.20 \text{m}^2$ 之间,结合防烟分区划分、每组排烟窗长度、储烟仓厚度及最小清晰高度等要求,并配合建筑楼梯口挡烟垂壁、建筑装饰外立面要求等因素,地面及高架车站很难满足开窗面积需求。因此,配合建筑方案阶段应尽量避免净高大于6m或通过设置密闭吊顶等形式规避规范中比较难执行的条款。

地下车站公共区排烟量的计算《地规》和《火标》中都有比较明确的规定,应从其行业规范内容。笔者认为目前在工程应用中存在分歧的地方主要在于排烟设备的配置容量,对于车站公共区站厅和站台共用一套排烟系统,由于地铁站厅和站台公共区划为一个防火分区,对于防烟分区交界处(楼扶梯口部挡烟垂壁)发生火灾是否应执行《烟标》4.6.4条第1款内容,笔者认为两本行业规范中已规定地铁防火设计是按一条线同一时间同时发生一处火灾进行,对应的消防联动模式也是按此原则设计;另外《火标》中已明确,排烟风机的风量应按所负担的防烟分区中最大的一个防烟分区的排烟量、风管(道)的漏风量及其他防烟分区的排烟口或排烟阀的漏风量之和计算。不能在规范执行过程中仅选择计算风量大的条款执行。

此外对于站台公共区当防烟分区包含轨道区时,应按列车设计火灾规模计算排烟量。目前国内地铁列车的设计火灾规模通常取 $7.5 \text{MW} \sim 10.5 \text{MW}$,此值最初的起源及发展过程基本无法考证。对于列车的火灾热释放率,国内地铁设计界普遍存在一些误区,城市轨道交通以服务通勤客流为主,车辆内饰选用的可燃材料原本就极少,因此,符合上述任何标准要求的地铁车辆,即便发生火灾,其热释放率基本不可能达到 7.5MW 水平。以中车集团为某项目提供的列车为例,基于达根法(Dugganmethod)^[7]计算得出的列车火灾900s内平均热释

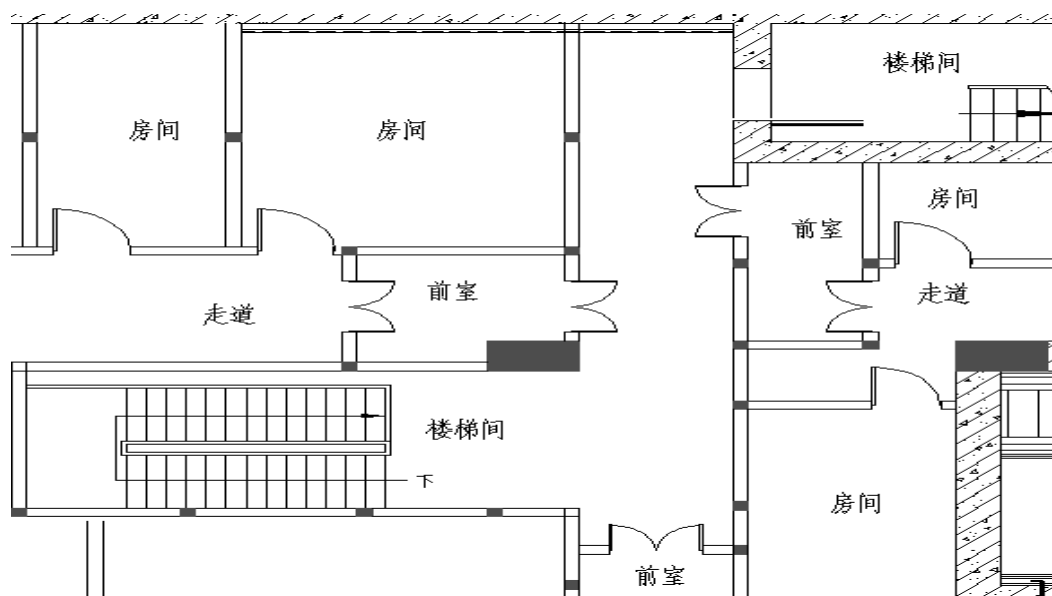


图1 地下某层楼梯间对应多个前室情况

放速率仅为2.8MW。此计算方法是基于车内所有可燃物同时被引燃的假设，将各可燃物试样在锥形量热仪中的燃烧热值的实验数据进行平滑处理而得出的。而可燃物事实上是均匀分布在车厢内的，即便发生火灾，初始火源的发展延烧需要一定的过程，不可能第一时间即引燃全部的可燃物。

另外将火灾热释放率的峰值与疏散时间对等，我国目前尚无列车火灾规模排烟量的具体计算公式，在参考日本《地铁火灾对策标准与解说》中规定的列车常规火灾计算公式：

$$C_s = 21 [1 - e^{-(V_e \cdot t / V)}] / V_e$$

$$V = 20 (A_0 - A_v)$$

$$C_s \leq 0.1$$

C_s — 空间内允许的烟气浓度 (1/m)

V_e — 火源区段排烟设备的排烟量 (m^3/min)

V — 火源区段的有效容积 (m^3)

t — 疏散结束的时间 (min)

A_0 — 垂直线路方向的有效面积 (扣除柱子、楼梯或扶梯等) (m^2)

A_v — 列车横段面积 (m^2)

根据1986年日本列车火灾试验研究结果，总结了列车常规火灾的烟气生成量与时间的关系，实际上常规火灾与大火源火灾时间与发热量的关系是不同的 (见下图^[7])

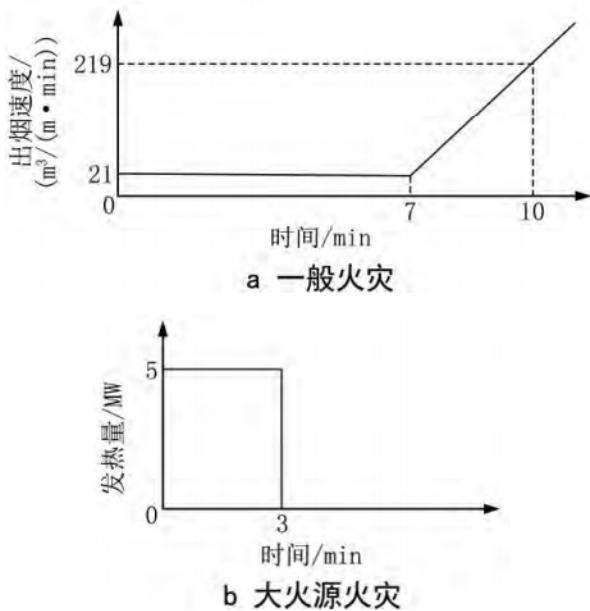


图2 不同规模火灾时间与发热量关系图

此外，火灾热释放率与车型有关的理论也存在争议，火灾热释放率与可燃物的物理参数、质量、空间位置、燃烧效率及初始火源的强度有关，无法判定A8编组车型一定比A6编组车型火灾热释放率就一定大。以上是笔者对列车火灾规模的理解，保留看法。

对于地下车站设备区，《地规》中“当排烟设备负担两个或两个以上防烟分区时，其设备能力应根据最大防烟分区的建筑面积按 $2m^3/m^2 \cdot min$ 计算的排烟量配置。”与《烟标》4.6.4条第1款内容中“对于净高6m一下的场所应按统一防火分区中任意两个相邻防烟分区的排烟量之和的最大值计算。”无本质区别，车站设备区走道相对公共区空间较小，防烟分区面积划分也比较容易接进，两中计算方法有差异但不大，均考虑能满足防烟分区边界发生火灾时的设备应对能力。需要注意的是《烟标》中增加了空间净高的判定条件，

对于净高大于6m的车站，其排烟量的计算与前述高架站内容一致，由《烟标》表4.6.3直接选定，对于设备机房配置、走道内风管安装空间也是很难满足表中规定数值，且不近合理，因此笔者认为按《地规》执行已能满足地铁设备管理区火灾排烟需求。

楼梯间泄压的风量为无组织风量，不考虑在补风的范畴。

4 其他相关规定

防排烟系统的控制要求中，我们要搞清楚联动和连锁两个概念，联动是通过报警主机，通过联动控制器来启动风机；连锁是需要接线到风机的控制箱，直接启动风机，这两种方式都是符合风机启动要求的。

对于“一条线路、一座换乘车站及其相邻区间的防火设计应按同一时间发生一次火灾设计”的理解，在工程设计中，部分人对火灾蔓延至其他区域二次启动排烟设备对相邻区域排烟违背同一时间一次火灾的设计原则持错误的理解观念。所谓一次火灾与火灾自动报警二次报警启动火灾控制模式是两个概念，二次报警不代表两次火灾，同时负担两个防烟分区的排烟系统无论是火灾位置位于挡烟垂壁附近情况还是其中一个防烟分区火灾烟气蔓延至另一个防烟分区，均应触发相应防烟分区内烟感，启动排烟模式^[8]。

排烟口风速标准，GB 51298和GB 51251分别给出了不同的标准，分别是7m/s和10m/s，我们在设计过程中针对地铁工程还是应当以行业标准为依据。其实二者给出的理由是一致的，排烟口风速越高，卷吸周围的冷空气的量越大，烟口下的烟气层被破坏，从而降低排烟口的有效排烟量。当排烟口风速过高时，底部烟层很容易被吸穿，形成排烟“风洞”^[2]，且风管容易产生啸叫和震动等现象，从而影响风管结构的完整性和稳定性，因此GB 51251中不但对排烟口风速有上限要求，同时对排烟口的最大允许排烟量做出相关规定，我们在执行过程中应结合此部分内容设置风口大小、数量以及挡烟垂壁高度。

结语

地铁车站形式多变，尤其大型地铁车站的防火设计更为复杂，疏散距离及时间更长，正确合理的防排烟设计才能为乘客及工作人员提供有力保障。

规范作为应用性指令体系，虽简单明了易于执行，但对规范的理解应源于设计初衷，灵活运用，合理合规，不能盲目执行。目前我国规范的编制及消防救援的理论体系尚不完善，更多是借鉴国外的相关经验，在符合我国国情的基础上加以完善。因此对防排烟设计的相关认知也是在逐渐变化的，不但要对现行规范有深入的理解，还应在现有的模式中推陈出新，应对各种设计条件都能做出正确的反映。

参考文献

- [1] GB50016-2014 建筑设计防火规范 (2018年版) .
- [2] GB51251-2017 建筑防烟排烟系统技术标准.
- [3] GB51298-2018 地铁设计防火标准.
- [4] GB50157-2013 地铁设计规范.
- [5] GB50098-2009 人民防空工程设计防火规范.
- [6] 实用供热空调设计手册, 北京: 中国建筑工业出版社 2008, 1716.
- [7] 陈雁涛、王晓闯, 地铁环控系统设计防排烟问题浅析, 建筑与装饰, 1673-0038 (2016) 04-0123-03.

作者简介:
马春旺 (1988年2月), 男, 汉族, 河北省邢台市, 本科, 华设设计集团股份有限公司, 工程师, 地铁暖通设计。