

# 第 1 章 轨道交通消防概述

## 1.1 轨道交通火灾的分类及特点

近年来，随着城市化进程的不断加快，发达经济地区城市的客流量不断增大，城市轨道交通以其方便、安全、舒适和快捷等特点得到青睐。

截至 2017 年 1 月，北京、上海、台北、高雄、香港、广州、深圳、天津、重庆、南京、杭州、成都、武汉、哈尔滨、长春、沈阳、西安、苏州、宁波、无锡、郑州、长沙、福州、大连、东莞、昆明、南昌、青岛、合肥、南宁、贵阳等 31 座城市投入轨道交通建设，线路数量达到 137 条，总里程约 4 238.09 km。“十三五”时期，是社会经济得到平稳、快速增长的时期，是城市化进程继续加快、产业结构深入调整的重要时期，也是城市轨道交通产业结构调整、产业升级的关键时期。因此，未来 10 年仍是城市轨道交通的大发展时期。表 1-1 所列是我国部分城市轨道交通通车里程。

表 1-1 我国一些城市轨道交通通车里程

排名	城市	通车里程 (km)	开通线路数量 (条)	首条线路开通时间
1	上海	617.00	14	1995 年 4 月 10 日
2	北京	574.00	19	1969 年 1 月 15 日
3	广州	316.50	10	1997 年 6 月 28 日
4	深圳	286.20	8	2004 年 12 月 28 日
5	南京	258.90	7	2005 年 4 月 10 日
6	香港	230.80	9	1979 年 10 月 1 日
7	重庆	212	5	2004 年 11 月 6 日
8	武汉	181	5	2004 年 7 月 28 日
9	天津	168	5	1984 年 12 月 28 日
10	大连	145	5	2002 年 10 月 1 日
11	苏州	121	4	2012 年 4 月 28 日
12	台北	115	9	1996 年 3 月 28 日
13	成都	108	4	2010 年 9 月 27 日
14	郑州	95	3	2013 年 12 月 28 日

15	西安	91	3	2011年9月16日
16	杭州	82	3	2012年11月24日

续表

排名	城市	通车里程 (km)	开通线路数量 (条)	首条线路开通时间
17	昆明	78	4	2012年6月28日
18	宁波	75	2	2014年5月30日
19	长沙	69	3	2014年5月1日
20	无锡	56	2	2014年7月1日
21	沈阳	55	2	2010年9月27日
22	长春	48	2	2002年10月30日
23	高雄	43	1	2008年3月9日
24	东莞	37.75	1	2016年5月27日
25	南宁	32.10	1	2016年6月28日
26	南昌	28.70	1	2015年12月26日
27	福州	24.90	1	2016年5月18日
28	青岛	24.80	1	2015年9月1日
29	合肥	24.60	1	2016年12月26日
30	佛山	21.50	1	2010年11月3日
31	哈尔滨	17.80	1	2013年9月1日

数据来源：中商产业研究院整理。

### 1.1.1 国内外城市轨道交通重大火灾情况

城市轨道交通具有运量大、运行舒适、准时、能耗低和污染少等优点，是城市的首选交通工具，但是，随着城市轨道交通线路长度增长和客运量的不断增大，技术要求更高，管理节点更多，火灾事故也在不断增多，造成了巨大的人员伤亡和财产损失。表 1-2 所列是国外城市轨道交通发生的一些重大火灾。

表 1-2 国外城市轨道交通重大火灾情况

时间	地点	起火原因	伤亡情况
1991年4月	瑞士苏黎世	地铁机车电线短路起火	重伤 58 人
1995年3月	日本东京地铁	投放沙林毒气	死亡 12 人，受伤 5512 人
1995年4月	韩国大邱地铁	煤气泄漏	死亡 103 人，受伤 200 人
1995年10月	阿塞拜疆巴库地铁	电气设备老化	死亡 558 人，受伤 269 人

2000年11月	奥地利地铁	电暖空调过热	死亡155人, 受伤18人
2003年1月	英国伦敦地铁	列车与隧道相撞	受伤32人
2003年2月	韩国大邱地铁	纵火	死亡198人, 受伤146人
2004年2月	俄罗斯莫斯科地铁	爆炸	死亡40人, 受伤120人

续表

时间	地点	起火原因	伤亡情况
2006年7月	美国芝加哥地铁	列车出轨	受伤100人
1961年11月	中国北京地铁	电动机短路诱发火灾	6人死亡, 200多人受伤
2004年1月	中国香港地铁	人为纵火	14人不送院
2005年8月	中国北京地铁2号线	车厢顶部风扇线路短路	无人员伤亡, 2号线停运 37 min
2006年2月	中国北京地铁13号线	用于防盗的电缆槽着火	无人员伤亡, 列车停运1h
2011年1月	中国广州地铁5号线	车厢突然出现明火	无人员伤亡

### 1.1.2 火灾发生原因

城市轨道交通在运营期间可能发生的灾害分为自然灾害和人为灾害两大类。从世界城市轨道交通一百多年的历史教训来看,城市轨道交通灾害中发生频率最高、造成损失最大的是火灾事故。在城市轨道交通系统的众多可能发生的灾害里,火灾的危险度是最高的,火灾对地铁来说可谓“第一天敌”。所以,对以地铁为主的城市轨道交通系统来说,消防安全非常重要。

火灾发生的主要原因有电气故障和人为因素两大类,此外,环境因素也是引起火灾的重要原因。

#### 1. 电气故障

城市轨道交通系统电力和电气设备很多,系统的用电量也很大,导致电气火灾约占城市轨道交通火灾的50%。电气设备故障引起的火灾具有一定的隐蔽性,通常漏电与短路都发生在电气设备及电缆电线的内部,着火时一般看不到起火点,普通的烟感和温感探测器很难实现对电气火灾实施早期报警,只有当火灾已形成并发展成大火后才能被发现,而此时扑救已十分困难,且不能用水来扑救。因此,电气故障是日常工作中需要重点排查和防范的因素。

#### 2. 人为因素

引发火灾的人为因素包括:工作人员违章操作、行车隧道施工维修中进行焊接切割作业、生产生活中用火用电不慎引燃可燃物,个别乘客违反规定携带易燃易爆危险品、乘客在地铁内吸烟用火,以及近年来恐怖分子活动猖獗或由于社会压力普遍增大造成的一些人的极端行

为、人为纵火等。

### 3. 环境因素

引发火灾的环境因素主要包括城市轨道交通内部潮湿、高温、粉尘大、鼠害等：城市轨道交通内部通风不畅、隧道散热不良等原因导致温度过高；隧道内漏水情况比较普遍，地下湿气不易排出，导致地下空间湿度大；老鼠等小动物啃咬电缆电线。上述环境因素可能造成电气设备、线路绝缘性能下降，导致电气设备因短路引起火灾。

### 1.1.3 火灾发生的危险性

城市轨道交通系统是由车站、地下隧道区间、设备用房、控制中心、主变电站和车辆段等部分组成的，其中，控制中心、主变电站和车辆段一般位于地上，车站站厅、站台、车站控制室、车站变电所等设备用房和地下隧道区间都位于地下。由于大部分工程处于地下，只有室内空间，且空间连续性强，防火分隔困难。地铁内人员密集，空间相对狭小，地铁工程出入口少，在火灾发生的混乱时刻，其各项功能必受影响和牵制。

由于车站位于地下，通风不畅，氧气供应量不足，火灾发生时不完全燃烧会产生大量浓烟，并致使一氧化碳、二氧化硫、二氧化碳等有毒、有害气体的浓度迅速升高，高温烟气迅速扩散，使地铁内环境迅速恶化，能见度降低，给人员的逃生造成巨大障碍。而人员逃生的唯一出路就是地铁的各个出入口，但出入口在火灾时却会成为喷烟口。由于高温浓烟的流动方向与人员逃生的方向一致，都是自下而上，且烟气的扩散速度比人的逃生速度要快得多，所以人长时间笼罩在高温浓烟中，会造成更多伤亡。

### 1.1.4 城市轨道交通地下车站火灾的特点

#### 1. 城市地铁建筑工程与地面建筑不同，火灾防范难度大

车站出入口少、通道狭窄、疏散距离长、人员多，发生火灾时易发生挤、踩事故，造成的后果比在地面建筑物中发生同样的情况时严重得多。地铁建筑防火分区困难、出入口少，一旦发生火灾，出入口还必须具有排烟、散热、人员疏散以及作为消防队员扑救的入口等功能。整个地铁都使用人工采光，系统用电量很大，因此电气设备发生的火灾不容忽视。地铁空间湿度大，容易造成因电气设备受潮导致的火灾。地铁的鼠害也不容忽视，它们咬破电缆等很容易造成电气线路短路起火。

#### 2. 浓烟积聚不散，给人员逃生和火灾扑救带来很大障碍

地下车站内部封闭的环境使物质不易充分燃烧，火灾发生时可燃物的发烟量很大，形成浓烟和热浪，同时产生大量的有毒气体，烟雾的控制和排除都比较复杂。特别是机械通风系统发生故障时，很难依靠自然通风补救，这对于人员疏散和救援是十分不利的，具体体现在：

(1) 烟气对人的眼睛、喉咙、气管有刺激。

(2) 地铁火灾容易形成气浪。

(3) 浓烟使疏散指示器照明减弱，甚至失去指示功效。

(4) 烟气流动方向与疏散方向相同，疏散人员需要与烟气进行“你死我活”的赛跑。

(5) 地铁发生火灾后，新鲜空气补充较慢，易使气体“中性带”降低，导致底层烟量增大，有毒气体增多，致使疏散迟误者中毒身亡。

#### 3. 火灾发生后温度上升快，峰值高

地铁发生火灾之后，大量的热量积聚，无法散去，空间温度很快升高，火势猛烈阶段温度可达到 1 000 °C。高温有时会造成气流方向的变化，对逃生人员影响很大，而且会对车站结构造成很大破坏。

#### 4. 人员疏散难度大

人员从地下车站到地面开阔空间的疏散是一个垂直上行的过程，比下行要耗费体力，从而影响疏散速度。同时，自下而上的疏散路线与站内浓烟和热气流自然流动的方向一致，这就要求人员的疏散必须在浓烟和热气流的扩散速度超过步行速度之前完成。由于这一时间差很小，又难以控制，故给人员的疏散带来很大的困难。

#### 5. 扑救困难

由于地下空间的限制及浓烟、高温缺氧、有毒、视线不清、通信中断等原因，救援人员很难了解现场情况，大型灭火设备很难进入现场，进入火场的人员要进行特殊防护等，造成救人、灭火困难大，具体表现在：

(1) 浓烟或停电造成一片漆黑，使得火场指挥员无法迅速确定起火点。

(2) 地铁是长通道空间，而每个呼吸器使用时间有限，消防救护人员佩戴呼吸器进行一次性活动的范围受到限制。

(3) 在地铁内的消防队员，既要经受热辐射，又要经受高温气浪的冲击，接近火点相当困难。

(4) 灭火剂的使用。一般来说，干粉 CO<sub>2</sub> 的灭火效果是非常理想的，但是地下空间发生火灾时，不宜使用上述灭火剂。

(5) 地铁进口少，消防队员之间难以进行战术配合。

#### 6. 易发生电气设备火灾

轨道交通车站和区间是由车辆、信号、通信、供电、自动售票机、空调通风系统、给排水系统、调度等机电系统设施和设备组成的庞大复杂空间，具有数量多且复杂的各种强、弱电设备、电子设备、供电线路、数据通信线路、控制线路，而轨道区间存在迷流等危害，一旦绝缘不良就容易发生短路，从而引发电气火灾，并沿线路迅速蔓延。此外，绝缘层燃烧还会产生大量有毒有害气体，引起人员中毒、窒息。

#### 7. 主动排烟、排热差

地下隧道空间狭小，热交换能力差。城市轨道交通建筑发生火灾时不能像地面建筑那样，有 80% 的烟可以通过窗户、门等渠道扩散到大气中，而是集聚在站内空间，无法扩散，空间温度骤升，较早出现爆燃。烟和有毒气体若不能控制或及时排除，会在通道和站台空间四处扩散，短时间内充满整个地下空间，给现场遇险人员和救援人员带来极大的生命威胁。

## 1.2 燃烧的基本条件与灭火方法

### 1.2.1 燃烧的基本条件

燃烧是可燃物质与氧化剂作用发生的一种放热发光的剧烈化学反应，通俗地说燃烧就是放热发光的化学反应过程。《消防词汇 第1部分通用术语》(GB/T 5907.1—2014)规定：燃烧是可燃物与氧化剂作用发生的放热反应，通常伴有火焰、发光或烟气的现象。可燃物在燃烧过程中，生成了与原来物质完全不同的新物质。

燃烧需要一定的条件，如果不具备一定的条件，燃烧就不会发生。任何物质要发生燃烧，必须具备下列三个基本条件（亦称三要素）：可燃物、氧化剂和温度（着火源）。

#### 1. 可燃物

凡能在空气、氧气或其他氧化剂中发生燃烧反应的物质，都称为可燃物，如木材、氢气、汽油、煤炭、纸张、硫等等。可燃物按其化学组成分类，可分为无机可燃物和有机可燃物两大类，从数量上讲，绝大部分可燃物为有机物，少部分为无机物。按其所处的状态，可燃物又可分为可燃固体、可燃液体和可燃气体三大类。对于这三种状态的可燃物来说，其燃烧难易程度是不同的，一般是气体比较容易燃烧，其次是液体，最后是固体。可燃物是燃烧不可缺少的一个首要条件，是燃烧的内因，没有可燃物，燃烧便不能发生。

#### 2. 助燃物（氧化剂）

凡是与可燃物质相结合并能帮助、支持和导致着火或爆炸的物质，称为助燃物。助燃物，实质上就是氧化剂，氧化剂是一种能使其他物质氧化而本身被还原的物质。氧化剂的种类很多，最常见的就是氧气。空气、氯、溴、氯酸钾、过氧化钠等都是氧化剂，都能帮助和支持燃烧。

人们通常所说的助燃物是指空气，因为空气中存在约五分之一（约21%）体积的氧，故一般可燃物在空气中遇到点火源都能燃烧。燃烧时，可燃物与氧化剂发生剧烈的氧化还原反应，在反应中，可燃物被氧化，氧化剂被还原。

#### 3. 点着火源

凡是能够使可燃物与助燃物发生燃烧反应的能量来源统称为点火源。这种能量既可以是热能、光能、电能、化学能，也可以是机械能。点火源温度越高，越容易引起可燃物燃烧。根据点火源产生能量的来源不同，点火源一般可分为直接火源和间接火源。地下车站可能产生的火源主要有：

- (1) 生产用火：如加热用火、维修用火。
- (2) 生活用火：暖炉、火柴、电炉、吸烟、加热用具。
- (3) 干燥装置：用电加热干燥装置、温度开关。
- (4) 电器设备：配电装置、开关、电路、变压器、电气设备的老化。

- (5) 机械设备：发动机的发热、机械摩擦。
- (6) 高温表面：不易散热的电气设备。
- (7) 自燃：乘客携带的化学用品、易燃易爆物品。
- (8) 其他不易发现的火源。

#### 4. 燃烧的充分条件

要发生燃烧必须同时具备燃烧的三个要素，缺一不可。但是在某些情况下，虽然具备了燃烧的三个要素，也不一定能发生燃烧，如可燃物的数量不够，氧气不足或点火源的热量不大，温度不够。所以，要发生燃烧，除了上述三个基本条件外，还必须具备以下充分条件。

##### (1) 一定数量的可燃物。

首先，要发生燃烧，必须有足够数量的可燃物质。如果在空气中的可燃气体或蒸气的浓度不够，燃烧就不会发生。例如：在一般气温下用火柴去点汽油和柴油时，汽油立即燃烧起来，而柴油却不能燃烧。为什么柴油不能燃烧呢？这是因为柴油在一定气温下挥发到空气中的蒸气数量很少，还没有达到燃烧的浓度。也就是说，虽有可燃物质，但其浓度不够，即使有空气（氧）和引火源的接触，也不能发生燃烧。

##### (2) 一定比例的助燃物。

要使可燃物质燃烧，必须供给足够的助燃物，否则，燃烧就会逐渐减弱，直至熄灭。也就是说助燃物质的数量不够，也不能发生燃烧。例如：点燃的蜡烛用玻璃钟罩罩起来，不让周围的空气进入，经过较短的时间，蜡烛就会熄灭。对玻璃罩内的气体进行分析，发现这些气体中还含有 16% 的氧气，这说明蜡烛在空气中含氧量低于 16% 的条件下不能燃烧。

##### (3) 一定能量的点火源。

要发生燃烧，引火源必须有一定的温度和足够的热量，否则燃烧也不能发生。例如：从烟囱冒出来的火星温度约为 600 °C，如果这些火星落在易燃的干草或刨花上，就能引起燃烧，说明这些火星所具有的温度和热量能引燃这些物质；如果这些火星落在大块木材上，就会很快熄灭，不能引起燃烧，这说明落在大块木材上的火星虽有相当高的温度，但缺乏足够的热量，因此不能引起大块木材燃烧。

(4) 要发生燃烧，必须使燃烧的三个要素相结合、相互作用，否则燃烧就不能发生。譬如，在我们房间内有桌椅、窗等可燃物质，有充满空间的空气，有火源、电源，构成了燃烧的三个要素，可是并没有发生燃烧现象。这是因为这些条件没有互相作用，火源没有点燃桌椅板凳等可燃物质，火也就烧不起来。

在人们生活、生产中，可燃物和空气是客观存在的，绝大多数可燃物即使暴露在空气中，若没有点火源作用，也是不能着火或爆炸的。从这个意义上说，控制和消除点火源是防止火灾的关键。

根据不同情况，控制火源的产生和使用范围，采取严密的防范措施，严格执行动火用火制度，对于防火防爆十分重要。



## 1.2.2 灭火方法

火灾是指在时间和空间上失去控制的燃烧所造成的灾害。火灾具有极大的危害性，主要表现在两个方面：一是人员伤亡，二是财物损失。灭火的基本原理和一切防火措施都是为了破坏已经产生的燃烧条件或者使燃烧反应中的游离基消失，以迅速熄灭或阻止物质的燃烧，最大限度地减少火灾损失。火灾通常都有一个从小到大、逐步发展、直到熄灭的过程。火灾过程一般可以分为初起、发展、猛烈、下降和熄灭五个阶段，如图 1-1 所示。在火灾初起阶段（一般为着火后 5~7 min），燃烧面积不大，火焰不高，辐射热不强，是扑救的最好时机。根据燃烧条件和同火灾作斗争的实践经验，灭火的基本方法有四种，即主要采取隔离、窒息、冷却、抑制的办法，除掉造成燃烧的三个条件中的任何一个条件，使火熄灭。

### 1. 隔离

隔离就是将正在燃烧的物质与未燃烧的物质隔开或疏散到安全地点，使燃烧因缺乏可燃物而停止。这是扑灭火灾比较常用的方法，适用于扑救各种火灾。

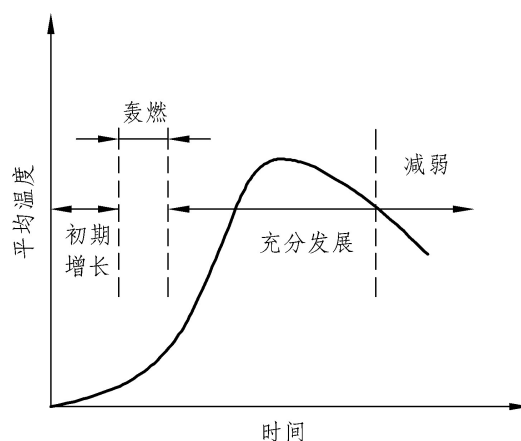


图 1-1 室内火灾发展过程平均温度与时间的关系

隔离灭火，根据不同情况，可具体采取下列方法：

关闭可燃气体、液体管道的阀门，以减少和阻止可燃物质进入燃烧区；将火源附近的可燃、易燃、易爆和助燃物品搬走；排除生产装置、容器内的可燃气体或液体；设法阻挡流散的液体；拆除与火源毗连的易燃建（构）筑物，形成阻止火势蔓延的空间地带；用高压密集射流封闭的方法扑救井喷火灾等。

### 2. 窒息

窒息就是隔绝空气或稀释燃烧区的空气含氧量，使可燃物得不到足够的氧气而停止燃烧。它适用于扑救容易封闭的容器设备、房间、洞室和工艺装置或船舱内的火灾。

窒息灭火，根据不同情况，可具体采取下列方法：

用干砂、石棉被、帆布等不燃或难燃物捂盖燃烧物，阻止空气流入燃烧区，使已燃烧的物质因得不到足够的氧气而熄灭；用水蒸气或惰性气体灌注容器设备稀释空气；条件允许时，也可用水淹没密闭起火的建筑、设备的孔洞和洞室的窒息方法灭火；用泡沫覆盖在燃烧物上使之得不到新鲜空气而窒息。

### 3. 冷却

冷却就是将灭火剂直接喷射到燃烧物上，使燃烧物的温度降到低于燃点，令燃烧停止；或者将灭火剂喷洒在火源附近的物体上，使其不受火焰辐射热的威胁，避免形成新的火点，迅速控制火灾并将其消灭。最常见的方法，就是用水来冷却灭火。比如，一般房屋、家具、木柴、棉花、布匹等可燃物质都可以用水来冷却灭火。二氧化碳灭火剂的冷却效果也很好，可以用来扑灭精密仪器、文书档案等贵重物品的初期火灾。还可用水冷却建（构）筑物、生产装置、设备容器，以减弱火焰辐射热的影响。但采用水冷却灭火时，要遵循“不见明火不射水”这个防止水渍损失的原则，即当明火焰熄灭后，应不再大量用水灭火，防止水渍损失。同时，对不能用水扑救的火灾，切忌用水灭火。

### 4. 抑制

这种方法基于燃烧是一种连锁反应的原理，使灭火剂参与燃烧的连锁反应，使燃烧过程中产生的游离基消失，从而使燃烧反应停止，达到灭火目的。采用这种方法的灭火剂，目前主要有 1211、1301 等卤代烷灭火剂和干粉。但卤代烷灭火剂对环境有一定污染，对大气臭氧层有破坏作用，已被明令禁止使用，各国正在研制灭火效果好且无污染的新型高效灭火剂来代替它。

在火场上究竟采用哪种灭火方法，应根据燃烧物质的性质、燃烧特点和火场的具体情况以及消防器材装备的性能进行选择。有些火场，往往需要同时使用几种灭火方法，比如采用干粉灭火时，还要采用必要的冷却降温措施，以防复燃。

## 1.3 轨道交通消防系统的分类和组成

轨道交通消防系统按照建筑形式和布置可分为：地下车站消防系统、地下区间消防系统、地面和高架车站消防系统、地面和高架区间消防系统、停车场消防系统、主变电站消防系统和控制中心消防系统。

轨道交通消防系统按消防对象可分为：公共区域消防系统、设备用房消防系统和管理用房消防系统。设备用房又分为一般设备用房和重要设备用房。

轨道交通消防系统包括消防报警系统（Fire Alarm System, FAS）、警报系统、机电设备监控系统（Electrical and Mechanical Control System/Building Automation System, EMCS/BAS）、固定灭火系统（消防栓系统、水喷淋系统、细水雾灭火系统和气体灭火系统）、移动灭火系统