

a. 求出散热量:

$$Q = \eta \cdot b \cdot N \cdot H_u \quad (3)$$

式中 Q ——散热量, J/s

η ——冷却损失系数, $0.2 \sim 0.3$

b ——耗油率, $kg/kw \cdot s$

N ——额定功率, kw

H_u ——燃料的发热量, J/kg

b. 利用热平衡式求发动机循环水进口温度, 和换热器冷却出水温度:

$$T_2' = T_1' - \frac{G_h \cdot C_h}{Q} \quad (4)$$

$$T_1'' = T_2'' + \frac{G_c \cdot C_c}{Q} \quad (5)$$

式中 T_2' ——进口温度, $^{\circ}C$

T_1' ——循环水出口温度, 正常范围

$85 \sim 95^{\circ}C$

G_h ——循环水质量流量, (发动机水泵流量) kg/s

C_h ——循环水的定压比热, $J/kg \cdot ^{\circ}C$

Q ——散热量, J/s

T_1'' ——冷却水出口温度, $^{\circ}C$

T_2'' ——冷却水进口温度, $^{\circ}C$ (正常温度 $15 \sim 25^{\circ}C$)

G_c ——冷却水质量流量(根据发动机发热量选择), kg/s

C_c ——冷却水的定压比热, $J/kg \cdot ^{\circ}C$

c. 选定换热器的形式;

d. 计算平均温差 Q_m ;

e. 推定传热系数 K ;

f. 计算传热面积 A ;

g. 决定主要尺寸;

当主要尺寸决定后, 传热面形状和流体流速等也确定了, 因此, 对传热系数的推定值须重新加以修正计算。

伦敦地铁

君王十字车站

重大火灾情况

及其主要教训

公安部消防局战训处

孟正夫 任运费

1987年11月18日, 英国伦敦地铁君王十字(又译金·罗斯)车站, 发生了一起31人(含1名消防中队长)死亡、大量人员(含6名消防人员)受伤的重大火灾。这是世界地铁史上继1903年巴黎地铁发生死亡84人的大火之后又一起罕见的灾难性事故, 震惊了英伦三岛内外的公众, 引起了各国消防、地铁管理等部门的关注。

1 君王十字车站火灾概况

伦敦地铁公司经营世界上最老、最复杂的地下铁路系统。自1863年以来, 已有9条独立的线路, 总长度为418km, 共有270个车站, 其中130个车站在地下。君王十字车站是英国最大的地下交通枢纽之一, 共有5条地铁线路在站内交会, 并与英国铁路系统

衔接。地铁线路分别建于地下的五层，由人行通道、楼梯和自动扶梯连通。据统计，1987年该站是伦敦地铁网络中最繁忙的车站，平均每天有25万余名乘客通过，在每个高峰期间(7:30—10:00和16:00—18:30)站内约有10万名乘客。

1987年11月18日，君王十字车站在下午的高峰期间发生了重大火灾。从发现起火到扑灭经过6h17min，大体上可分为以下几个阶段：

发现和报警

19时29分乘客发现4号自动扶梯上部右侧一踏步下面起火，随即在该扶梯的顶部按下紧急停止开关，并报告售票员和铁路警官。警官通知铁路警察总部，铁路警察总部通过电信将这一信息传到伦敦消防总队。伦敦消防总队又将火情通报了伦敦地铁总部。与此同时，车站检查员试图用二氧化碳灭火器灭火，但无法接近火源，也没有启动该自动扶梯上的水喷雾灭火设备。

人员疏散和报警出动

起火后10min，铁路警官决定疏散售票厅内的乘客，并通过电话要求有关方面命令起火附近线路的列车不要在君王十字车站停靠。车站售票员停止售票。

伦敦消防总队调出4辆泵浦消防车，一辆云梯车和其他两辆车赶赴火场。第一辆消防车到达现场后，命令票房内全体职工撤离(但未将火警通告到站内所有职工)。带队的消防站站长(中队长)汤斯利进入地铁侦察火情。此时，仍有列车进站，并让乘客上、下车。地铁总部下令各线列车不准在该站停靠，汤斯利下令消防车和消防队员待命。这时售票厅内已酷热难熬并充满了浓浓的黑烟。

轰燃和扑救

19时45分即第一辆消防车到场后不到

2min并且尚未来得及出水时，4号自动扶梯上端和售票厅内发生轰燃。消防队员带领部分乘客跑出售票厅，其他乘客和铁路警察、地铁职工们各自逃离现场，有些人被严重烧伤。迷失方向的30名乘客当场死亡。消防站长汤斯利在搀扶一名被严重烧伤的乘客接近安全出口时，被浓烈的烟气夺去了生命。

被困在车站内的人们在撤离过程中发现疏散通道上的两扇折叠门被锁着。20min后，门才都被打开。

轰燃后，伦敦消防总队的助理支队长到场指挥，要求增派消防力量，并命令连接12号泵浦消防车和4号救护车投入行动。随后，伦敦消防总队的支队长、助理总队长邦和助理总队长先后到场接管指挥权。再次要求增援，现场消防车总数达30辆。到21点48分火势被控制。直至19日1点46分火灾被扑灭。搜索和抢险工作一直进行到黎明。

2 起火原因

对于这起重大的火灾的发生原因，经过长时间进行大量的调查工作(包括询问目击的乘客和有关人员，召开听证会，进行技术检查和模拟试验等)，逐渐排除了纵火和电气设备故障等其他方面可能存在的原因，最后认定为吸烟乘客将点燃的柴梗扔到当时正在运行的4号自动扶梯上，穿过右侧踏步和踢脚板之间的缝隙，掉入自动扶梯运行导轨上的润滑油、碎屑、踏板背面的油脂以及扶梯下积聚的可燃性脏物，从而使自动扶梯首先起火，尔后蔓延到售票厅内。该自动扶梯(MH型)是1939年安装的，倾斜30°，升高17.2m，运行速度每分钟30余米。扶梯的扶手、铺面和踏板均采用胶合板，其他零部件还使用塑料和橡胶。这种使用可燃材料的自动扶梯自安装以来，由于同样的原因曾经多次引起火灾和阴燃。从伦敦地铁自动扶梯过去发生的火灾情况来看，尽管有些事故曾

使乘客中毒窒息，但从未形成过轰燃并造成人员死亡。

“沟槽效应”——引起轰燃的火灾动力学原因。

在这起火灾中为什么发生了“轰燃”，以致凶猛的火舌席卷了售票厅呢，这个问题成为火灾调查的重点之一。调查的结果，是火灾动力学上的“沟槽效应”，这是科学家根据火场上的气流、温度参数利用计算机进行数学模拟所发现的。它说明了木质自动扶梯火灾发展的机理，经过十分之一规模的自动扶梯火试得到验证之后，又在君王十字车站火灾现场经过了两次三分之一规模的自动扶梯模型火试，进一步得到了证实。所谓“沟槽效应”，是木质自动扶梯的一种燃烧现象，即在自动扶梯栏杆和踏步形成的沟槽中的火焰所产生的沟气流，并不是垂直上升到天花板的顶点，而是沿着沟槽斜向向上流动。在沟槽的上部热气流开始分流，上层气流流出沟槽，以顺时针方向作螺旋状流动（朝上看）到达装饰板并沿着天花板流动，下层气流仍留在沟槽内，沿着自动扶梯继续上升并流入售票厅。在11月18日发生的火灾中，由于消防人员和其他人员未来得及用水或灭火器抑制火势的发展，燃烧范围已扩展到自动扶梯两侧的栏杆和踏步上，因而由于“沟槽效应”的作用形成了轰燃。这同火场目击者在证词中所反映的现象也是一致的。这一新发现的木质自动扶梯火灾发展的机理，说明必须用金属构件取代自动扶梯上的一切可燃构件，同时要改善自动扶梯的清洁工作，严禁在车站的各个地下区域吸烟，并应广泛安装感烟报警器，以防止此类灾难的重演。

3 主要教训

君王十字车站发生的重大火灾，暴露出

伦敦地铁中的许多问题，的确有不少教训。这些教训是地铁管理、消防及其他有关部门值得认真吸取和借鉴的。有些教训是上述情况就能说明的，这里再强调和补充几点。

3.1 地铁管理部门缺乏应有的防火安全意识。伦敦地铁公司及其主管部门没有把以往多次发生的火灾看成异常事件，而文过饰非地称为“阴燃”。地铁公司的最高层领导对地铁乘客的安全没有给予高度重视。以致这个世界上最老的地铁系统的防火措施一直没能得到改进。

3.2 地铁系统防火安全管理不善。伦敦地铁公司没有专门负责安全的董事和明确有效的防火安全管理制度。长期以来，在如何对付木质自动扶梯火灾方面是一个“盲点”，以致这种自动扶梯的火险隐患严重。据统计，伦敦地铁45%火灾和阴燃发生在MH型自动扶梯上。对此，伦敦地铁公司迟迟没有通过技术改造加以整改，对自动扶梯的清洁制度也未落实。这次起火的4号自动扶梯从未进行过彻底清洗，脏物的积聚形成火灾的温床。地铁内的许多消火栓年久失修，有的被圈住或阻隔而不能使用。在地铁车站内禁止吸烟的制度也没有贯彻落实，因而自动扶梯上发生过的多起火灾通常是由于烟蒂和火柴梗所引起的。

3.3 地铁职工及有关人员没有受过必要的消防培训。伦敦地铁公司的管理人员和职工缺乏防火、灭火、紧急疏散等方面的训练，许多人不会使用灭火器，不知道消火栓的位置，也不知道自动扶梯起火后应当启动水喷雾灭火系统。正如火灾调查报告中所指出的：“如果使用水喷雾设备的话，有理由认为，火灾的进程会延迟，伦敦消防总队可能能够对付它。事实上，伦敦地铁公司的职工没有向火应用一滴水，也没有使用任何灭火器。”至于在地铁中执行任务的英国铁路警察，在参与处置这起火灾事故中主动地发

挥了作用，但事先也缺乏必要的消防训练。

3.4 缺乏安全疏散和抢救人员的必要准备。从这次地铁火灾的情况看出，车站的安全疏散通道不畅，整个地铁系统未制定应急疏散计划，未能有效地使用地铁系统的通信设施，以便及时向乘客通报情况。在起火后传达和执行不准地铁列车停靠车站的命令时，出现了通信不灵和不可容忍的拖拉。出事的当天，车站的闭路电视系统由于管理不当也未能发挥应有的作用。从伦敦救护中心的有关情况来看，在这次火灾中积极地调集了14辆救护车，但缺乏用无线电话召集驾驶员的统一规定，急救指挥车到场晚，影响了现场急救工作的组织进行。

3.5 报警迟贻误灭火战机。在这次重大火灾中，如果地铁职工能在发现起火后立即向消防队报警，消防队就能提前4min赶到火场，从而可能避免火势进一步扩展而导致轰燃。然而，伦敦地铁公司规定其工作人员发现火警后，首先要自己去扑救，当自己无法控制火势时才向消防队报警。由于伦敦地铁系统采用这种两步程序的报警，因而这次起火后向消防总队报警迟，使消防队不能及早闻讯出动。

3.6 扑救工作中存在的失误。首先到场的消防指挥员没有按照伦敦消防总队防毒抢险勤务的有关规定组织二、三人以上的抢险组，未随身携带无线对讲机、有线电话和导向绳，以致一名消防站长（中队长）遇难牺牲，另一名副站长被困在地下的站台上，同地面失去联系，在发生轰燃后消防队一度失去指挥。到场的消防指挥员迟迟未能通过在场的地铁公司管理人员或通过消防总队调度室与地铁公司联系，了解车站的详细情况，直到后来才从现场上搞到车站的平面图。因而在灭火作战中没有形成明确的战术，当正面进攻受阻时，没有试图从火场的背面去寻找进入或接近地铁车站的入口。这是战术运

（上接28页）

充装比不能超过 $R = 0.6$ ，用 $R = 0.6$ ， $\theta =$

$$60^{\circ}\text{C} \text{ 代入公式: } K = \frac{1-R}{1-\frac{R}{1-\frac{\beta(\theta-20)}{\rho}}}$$

$$= \frac{1-0.6}{1-\frac{0.6}{1-\frac{0.0004 \times (60-20)}{1.83}}} = 1.01$$

可以看出，当温度 $20^{\circ}\text{C} < \theta \leq 60^{\circ}\text{C}$ 时，充装比 $R \leq 0.6$ 时，修正系数 $1 < K \leq 1.01$ 。若忽略不计1211比容变化时对气相总压的影响，将修正系数 K 看成1，公式（1）变为：

$$P_{oa} = (P_t - P_{va}) \frac{273 + \theta}{293} + 10^{0.088} - \frac{964.6}{243.3 + \theta} \quad (2)$$

也就是只考虑氮气分压及1211饱和蒸汽分压变化对气相总压的影响，其计算结果和公式

（1）相比较，二者相差小于百分之一，应该说这样的精确度完全能满足实际设计计算的需要，但比公式（1）要简便得多。实际设计计算时，可将不同温度下的1211饱和蒸汽压（即 $10^{0.088} - \frac{246.6}{243.3 + \theta}$ ）按每隔 5°C 计算好后列表成表格，实际使用时只要计算出在 $\theta^{\circ}\text{C}$ 温度下的氮气分压

$$\left[(P_t - P_{va}) \frac{273 + \theta}{293} \right]$$

再加上从表格中查出的1211在 $\theta^{\circ}\text{C}$ 温度下的饱和蒸汽压即可，计算快捷、简便、实用。从事1211灭火器设计及加工工艺的工程技术人员不妨一试。

用不当之处。虽然伦敦消防总队规定地铁发生任何火灾时都应有高级消防官员到场，但此次火灾扑救中支队以上指挥员似乎到场迟了一些，并且在组织消防队伍与铁路警察、地铁管理及医疗救护等部门的协调配合上也存在缺点，这同平时缺乏各有关方面参加的联合演练是分不开的。