

海底隧道火灾危害及防范对策

王 忠

(山东省消防总队, 山东 济南 250102)

摘 要:分析了海底隧道的火灾原因、特点及危害性,并结合青岛胶州湾海底隧道的消防安全设计,提出了海底隧道的火灾防范措施,如隧道承重及衬砌结构耐火等级要高、应急避难及疏散设施要可靠、火灾自动报警及灭火系统要先进等。

关键词:海底隧道; 火灾危险性; 消防设计; 人员疏散

中图分类号:X913.4, U459.5 **文献标志码:**B

文章编号:1009-0029(2012)06-0608-03

1 海底隧道的火灾原因

由于隧道本身的可燃物较少,大多数火灾是由于穿行隧道的车辆引起的。从国内外隧道火灾事故案例来看,造成火灾事故的原因主要有以下几个方面。

(1)车辆本身故障引起火灾。如车辆电气线路老化短路、化油器失灵回火、车辆漏油、载重汽车气动系统故障、机件摩擦等均能引发汽车火灾。1998年5月,上海延安东路隧道由于车辆发动机故障和油管爆裂引起火灾。1999年3月,法国和意大利交界处的勃朗峰隧道内,由于汽车上装载的人造黄油流进排气管引发火灾,几分钟后整个隧道就变成了一片火海,火灾后消防救援人员在隧道内找到41具尸体,大火烧毁汽车36辆,隧道大面积垮塌。

(2)车辆交通事故起火。由于隧道内道路狭窄,能见度较低,再加上有些车辆超速行驶,极易发生车辆之间、车辆与隧道设施之间相撞或挂擦,发生交通事故引起火灾。1976年3月,上海市打浦路隧道由于大客车油箱与地面露出的钢筋相撞造成漏油起火,死亡5人,重伤2人。2001年10月,两辆载重卡车在瑞士圣哥达隧道南端相撞并起火,死亡11人,失踪128人。大火使隧道内的温度达到1000℃,致使出事地段顶部局部塌陷。

(3)车上的货物起火。由于隧道内有各种车辆通过,车上所载的货物有易燃可燃物品,甚至还有危险物品,遇明火或热源易发生燃烧或自燃,甚至爆炸而引发火灾。如美国纽约的“荷兰”隧道火灾就是由于装载二硫化碳的卡车起火而引起高挥发性的二硫化碳爆炸,大火造成66人死亡,48人受伤,9辆卡车被烧毁,交通中断56h。

(4)其他。隧道内的电气设施设备故障、线路短路等引起的火灾。

2 海底隧道的火灾危害

由于隧道本身的特点,一旦发生火灾,往往会造成惨痛的人员伤亡和重大的经济损失,后果难以预料。其危

害性主要表现在以下几个方面。

(1)损失大,伤亡大。世界上多起隧道火灾事故已经证明了这一点,不仅直接经济损失大,间接修复费用更高。如1979年日本大阪隧道火灾造成2人受伤,7人死亡,174辆车焚毁。修复隧道的费用加上停运损失高达67亿日元。2000年11月,奥地利山地列车隧道发生火灾,造成18人受伤,155人死亡。

(2)蔓延速度快。由于地下工程密闭条件好,热量不易散出,火势发展较快,猛烈阶段温度可达1000℃以上。海底隧道的各种管道、风道以及斜洞本身的结构特性都十分有利于火灾的蔓延,如果在火灾初期不能及时控制通风设备,也会加快火灾的蔓延。

(3)人员疏散困难。海底隧道出入口较少,火灾发生后烟气难以排出,会造成人员缺氧和能见度降低。烟雾的浓度增加,光的强度降低,人的视觉减弱,行进速度减慢,疏散所需的时间大大增加。在浓烟笼罩的地下空间,还会对人的生理、心理造成强烈的刺激,往往会使人员失去理智,造成混乱拥挤。人员的平均疏散速度会降低到0.5 m/s以下,逃生极为困难。

(4)烟气不易排出。海底隧道是封闭空间,自然排烟能力有限。火灾时受条件限制,也不可能实施破拆排烟,因此主要依靠机械排烟,但要达到设计的排烟效果很难。如果操作不当,会导致烟气和火势扩大,影响人员疏散和消防人员的灭火救援。特别是在停电或机械排烟系统发生故障的情况下,排烟更为困难。

(5)灭火救援难度大。海底隧道深埋于地下,空间封闭、通道狭窄、出入口较少,大型救援设备难以进入,消防队员无法进行外攻。加上浓烟高温、视线不清、通信不良等原因,灭火、救援难度都大大增加,处置极为艰难。

3 海底隧道的火灾防范对策

青岛胶州湾海底隧道(含接线隧道)全长约7800m,分设两条主隧道和一条服务隧道,隧道总长6170m,其中穿越海域段长约3950m,接线隧道长约1620m,路基段长约950m,是一条以城市道路功能为主兼有公路功能的隧道。主行车隧道为左右线设置,双向6车道,隧道断面为椭圆形,内净空高10.39m,宽14.426m,在左右线中间平行设置了服务隧道。

GB 50016-2006《建筑设计防火规范》在修订时增加了“城市交通隧道”的有关条文,提出了原则性的消防设计要求,但在具体实施过程中仍存在诸多实际问题。考

考虑到隧道工程的特殊性,青岛海底隧道的消防设计首先进行了消防性能化评估。对火灾危险源进行了初步分析,设计了若干火灾场景并分析其火灾发展特性,以此作为进一步研究烟气控制和人员安全疏散的依据。根据消防安全和人员疏散需要,提出对危险区域采取重点消防、保护等措施的建议,并依托现行规范对隧道结构防火、人员安全疏散、火灾自动报警、通风和烟气控制、灭火系统等方面提出了消防设计对策。

主要包括以下几个方面。

3.1 隧道承重及衬砌结构耐火等级要高

隧道火灾往往持续时间较长,高温作用对隧道拱顶结构造成的影响较大。混凝土结构表面受热后会产生爆裂,且在混凝土底层冷却之后会出现深度裂纹,结构的荷载越大、混凝土的含水率越大,发生爆裂的可能性越大,这也是造成隧道垮塌的主要原因。对海底隧道来说,其结构性破坏将难以修复。因此,隧道结构的耐火设计应考虑其内部可能达到的最高温度、温升特性以及结构体的火灾特性变化。火灾时的最高温度一般在拱顶,会对拱顶衬砌造成极大的损害,隧道拱部应适当加厚衬砌和增加拱部钢筋保护层厚度,或者增加其耐火等级,保证隧道结构在规定火灾类型条件下的完整性与稳定性。

该隧道封闭段长度约为 7 800 m,要求“仅限通行非危险化学用品等机动车”,根据规范确定该隧道为一类隧道,耐火极限采用 RABT 标准升温曲线测试,隧道内承重结构体的耐火极限不低于 2.00 h,要求受火后 2 h 内距离混凝土底表面 25 mm 处钢筋的温度不超过 300 ℃,或者混凝土底表面温度不超过 380 ℃。隧道内装修材料除嵌缝材料外,全部采用不燃材料。主隧道侧壁采用防火性能优良的装饰板材。材料应具有防潮性、耐各种腐蚀;高温下不产生有毒气体及烟雾;应具有良好的耐久性且平整、光滑、易清洁,维修保养方便。

主隧道、服务隧道边墙及拱顶涂刷防火涂料。防火涂料采用厚涂型无机涂料,采用 BSEN 1363-2 碳氢化合物升温曲线标准测试,耐火极限不小于 2 h;毒性试验指标达到 AQ1(安全一级),高温下不释放有害气体;厚型涂料与混凝土的粘结强度大于 0.4 MPa,在长期潮湿的条件下不会脱落且能达到修饰隧道内壁的效果。

3.2 应急避难及疏散设施要可靠

根据相关规范要求,结合该隧道的实际状况,为满足紧急情况下隧道内车辆可由一条隧道转入另一条隧道的要求,以尽量减少灾害时的损失,并有利于实施救援,在上下行隧道之间横向设行车横洞,设置间距为 750~1 000 m,车行横通道界宽 4.5 m,界高 5.0 m。断面采用曲墙接圆拱型结构,平时车行横通道采用防火卷帘门封闭,灾害时由设备监控系统控制自动打开,也可手动开启。

为满足紧急情况下人员的逃生与救援,上、下行隧道之间纵向每隔 250~300 m 设人行消防横通道。横通道界宽 2.0 m、界高 2.5 m,断面采用直墙接圆拱型结构。人行横通道两侧设甲级防火门,防火门可双向开启,平时防火门关闭,灾害时由现场人员手动开启。

在线段隧道内每间隔 250 m 左右设置一个紧急人员疏散通道,与地面连通。隧道设置智能消防应急照明疏散指示系统,与火灾自动报警系统联动。火灾时可加强消防疏散指挥引导系统,以缩短人员响应时间,并及时地对疏散活动进行诱导,充分利用有限的疏散资源,最大限度地避免人群的骚乱现象。火灾发生时的疏散策略是,根据火灾发生位置,前方车辆可直接开出隧道,后方车辆停止,隧道内人员下车通过最近的疏散出口疏散至另一条隧道或者隧道外部。

隧道内设置了应急电源供电系统,供电范围包括:隧道内应急照明、疏散指示、安全门标志、监控设备等。采用分散式成套不间断 EPS 电源装置作为应急电源,时间为 3 h,确保隧道在事故情况下的安全疏散及应急救援工作顺利进行。

3.3 火灾自动报警及灭火系统要先进

火灾探测与报警监控系统是隧道中非常有效的消防设施,对发现初期火灾起着重要作用。目前,在隧道中应用较广的火灾自动报警系统主要有分布式光纤温度传感器(简称“DTS”)、光纤光栅感温火灾探测系统(简称“光纤光栅”)、双波长火焰探测系统和三波长火焰探测系统(简称“火焰探测器”)三种。该隧道在确定系统选型中,通过性能化评估和模拟隧道火灾试验,分析了光纤、光纤光栅和火焰探测器的报警响应时间、响应速度及火源定位反馈,考虑到隧道实际通风条件下风速的影响和目前国产光纤光栅系统在公路隧道的应用较多,最终确定了光纤光栅系统与视频监控系统的组合。

隧道灭火系统的设计主要包括:传统的灭火器和消火栓系统;适用于扑救油类火灾的固定式水成膜泡沫灭火装置;控制初期火灾和防护冷却火场区域的水喷雾灭火系统;用于控制和扑灭初期火灾的泡沫-水喷雾联用系统。其中泡沫-水喷雾联用系统是目前国际上应用在隧道中比较先进的灭火系统,如日本东京湾隧道、上海翔殷路隧道等均采用了该系统。

该隧道设计了完整的闭路电视监控系统,主要用于对整条隧道、引道、匝道及道口的交通运行状况进行全范围、全断面实时监视。采用无盲区设计,隧道内每隔 150 m 设一台摄像机,系统图像信号和控制信号均采用光缆传输,对火灾报警进行辅助确认及火灾事故现场监控,及时了解现场灾害和乘客疏散情况,调度指挥灭火救援,并对事故情况进行录像。系统通过中央计算机工作站对各

监视点实施监视,并与中央监控计算机系统联网,接受消防报警系统、交通监控系统、紧急电话报警系统等的各种联动信息并作出反应。

此外,还在隧道管理中心设置了消防控制中心,对隧道消防供水系统、安全疏散系统、通风排烟系统、防火卷帘等消防设施实行联动控制。

3.4 防排烟设计要切实可行

隧道发生火灾后,有效的通风、烟气控制方式在控制火灾规模方面起着至关重要的作用,是保护人们生命财产安全的重要手段。隧道通风主要有自然、横向、半横向和纵向通风四种基本方式。通常,短隧道可以利用隧道内的“活塞风”纵向通风,长隧道需要采用横向和半横向通风。在实际工程中具体采用何种类型的通风方式,目前的隧道消防规范、标准均没有给出明确的要求,设计中一般需要针对特定隧道的特性参数,如长度、横截面、分级、主导风、交通流向与流量、货物类型、设定火灾参数等,通过工程分析方法进行设计,并由多种场模型或区域模型对隧道内的烟气运动进行计算模拟。

本工程通过改变半横向通风方式下的排烟口数量、排烟量以及隧道内纵向风速等参数,使用 FDS 软件进行数值模拟,并对数据结果进行了分析对比,根据隧道在不同情况下的排烟效果,建议采用纵向通风与半横向通风相结合的模式。火灾时通过射流风机和轴流风机的联合运行,在隧道内形成不小于临界风速的风流,使烟气顺车流方向流动,为上游人员疏散和灭火救援提供可靠保障。通过开启隧道顶部的排烟口,启动排烟风机将火灾产生的热烟气排出隧道,在排烟量合适的条件下也能够有效抑制隧道内热烟气层的下降,为隧道内人员疏散提供安全的环境。

3.5 设置可靠的消防通信指挥系统

隧道内应设置可靠的消防通信系统,以满足隧道内日常工作需要(维修、安全、巡逻等)及在紧急情况下建立隧道内车辆与中控室人员、消防救援人员的快速、有效、可靠的通信联络。通过无线和有线相结合的方法,确保火灾时地下与地上、消防控制中心与隧道之间通信联络的畅通。通信系统包括广播子系统、有线程控电话子系统及无线通信子系统。

按照规范要求,在隧道出入口以及隧道内每隔 150 m 处设置了报警电话和应急广播。在两条主隧道(包括接线隧道)和匝道内沿单侧墙间隔 150 m 设置紧急电话。紧急电话主要用于隧道口附近及隧道内报警、抢险、救灾及各种特殊情况下的通信联络,可直通控制中心,为无键热线电话;紧急话务台允许多个操作员同时处理问题,当电话分机呼叫时,操作台具有声光报警功能,自动显示呼叫分机的位置,并通过中央计算机将分机呼叫信号传至

大屏幕系统显示,再传至电视监控系统控制器,控制呼叫地区摄像机工作并显示及录像。呼叫过程能自动录音、记录及打印。在两条主隧道(包括接线隧道)和匝道内沿单侧墙间隔 50 m 设置广播扬声器。将隧道按引道区、左线隧道区、右线隧道区等划分为若干音区。其中,隧道内音区为 150 m,与火灾报警分区相对应,每一音区由四只防水号角扬声器组成。

隧道通信系统具有有线和无线调频两种广播方式,其中无线调频广播音源来自有线广播,通过无线子系统实现信号传播。当隧道内发生火灾、交通事故、阻塞或车辆违章等紧急情况时,中控室可通过该系统对在隧道内任何区域的有关人员发布指令、通知,进行调度和组织疏散救援等工作。

3.6 应组建隧道抢险救援队伍

隧道内一旦发生火灾,应尽快将其控制在最小范围内,为此必须就近设置可靠的隧道抢险救援队伍,并配置有效的灭火救援设备,以便火灾时快速到达现场施救。应在隧道两侧最近区域分别建设特勤消防站,配备特勤消防装备。依托消防队伍组建海底隧道抢险救援队,制定应急救援预案并经常演练,救援人员可以在火灾发生第一时间携带专用灭火设备从服务隧道进入起火区域灭火。在隧道中部设置消防救援点,配备 2 辆消防摩托车,专人 24 h 值班。

地面特勤站要配齐隧道灭火救援任务所必需的特种消防装备,如:长时间空气呼吸器、消防防化服、紧急呼吸器等消防员个人防护装备;抢险救援车、大功率排烟车、防化车、洗消车等特种消防车辆;生物侦检、毒气探测、生命侦测、气动破拆等特种器材,以提高处置隧道灾害事故的科技水平。

4 结 论

青岛胶州湾海底隧道内可燃物主要为各类汽车,A、B 类火灾同时存在,以 B 类火灾为主,隧道内空间近似于封闭空间,一旦发生火灾,如不及时发现和控制,很容易造成火灾规模扩大,有毒烟气难以迅速排除,极易造成严重的财产损失和人员伤亡。根据该隧道工程的建筑功能及火灾特点,笔者参考国内外建筑防火规范、火灾科学与消防工程研究成果,提出了相应的隧道火灾防范对策,以达到确保人员安全疏散和保护财产安全的目标。

参考文献:

- [1] GB 50016—2006,建筑设计防火规范[S].
- [2] DBJ 53—14—2005,公路隧道消防技术规程[S].
- [3] 北京中科思孚公共安全科技发展有限公司. 青岛胶州湾隧道工程火灾风险评估及消防性能化设计[R]. 2009.
- [4] 王忠,陈兵. 胶州湾海底隧道防排烟设计探讨[J]. 消防科学与技术, 2011,30(10):899—903.

某垃圾焚烧发电厂消防设计

刘鸿艳¹, 储志利²

(1. 天津市消防总队, 天津 300090; 2. 天津市静海区消防支队, 天津 301600)

摘要:针对垃圾焚烧发电厂消防设计方案展开分析研究, 结合功能性建筑的特点, 提出具体建筑消防设施、消防给水等方面的优化型消防设计方案, 实现细水雾灭火系统在使用中的可行性。

关键词:垃圾焚烧; 发电厂; 消防设计

中图分类号:X913.4, TU271.1, TU892 **文献标志码:**B

文章编号:1009-0029(2012)06-0611-04

随着城市化的发展, 居民生活产生的生活垃圾给城市的环境造成越来越大的压力, 而在我国生活垃圾无害化处理的比例仅为 10% 左右。为了缓解这种压力, 提高生活垃圾处理的无害化和资源化, 在城市周边兴建垃圾焚烧发电厂是比较先进和科学的方法。目前我国已经开始在大中城市陆续兴建垃圾焚烧发电厂。而对垃圾焚烧发电厂的消防设计, 虽然我国有《火力发电厂与变电所设计防火规范》和《火力发电厂生活、消防给水和排水设计技术规定》可作为设计指导和参考, 但焚烧垃圾发电和普通的火力发电在工艺上有很大区别, 这就意味着垃圾焚烧发电厂不能简单按照普通发电厂进行消防设计, 而应该结合国外先进的经验进行优化性消防设计。

Fire hazard and countermeasures of subbottom tunnel

WANG Zhong

(Shandong General Fire Brigade, Shandong Jinan 250102, China)

Abstract: Based on the analysis of fire cause, features and hazard, and combined with fire safety design of Jiaozhou Bay, Qingdao, some countermeasures were proposed such as higher fireproof level of load bearing and laying structure, reliable facilities for emergency evacuation and refuge, and advanced automatic fire alarm and firefighting system.

Key words: subbottom tunnel; fire hazard; fire design; people evacuation

作者简介:王 忠(1964—), 男, 山东省消防总队防火监督部副部长, 高级工程师, 主要从事建筑防火设计审查和火灾事故调查工作, 山东省济南市经十路东 2218 号, 250102。

收稿日期: 2012-01-12

1 工程概况

天津市某垃圾焚烧发电厂占地面积 5.98 hm², 总投资近 6 亿元。投入使用后, 利用焚烧垃圾产生的热能发电, 设计年上网电量 1.2 亿 kW·h, 供生产、生活用电, 相当于每年节约标准煤 4.8 万 t; 日处理生活垃圾 1 200 t, 居全国第一位。可使天津市 25% 的城市生活垃圾得到无害化处理。该发电厂东西长约 371.5 m, 南北长约 265.0 m。建筑物总占地面积为 10 644 m², 新建有主厂房和集控楼一栋(局部六层、高为 47.7 m)、汽机房一栋(局部三层、高为 24.2 m)、三层综合办公楼一栋(高为 11.8 m)、综合水泵房等。共安装 3 台垃圾焚烧炉和余热锅炉, 2 台 12 MW 凝汽式汽轮发电机组, 2 台变压器。

2 建筑消防工程设计依据及消防系统配备

该工程配置火灾自动报警系统、消火栓灭火系统、自动喷水灭火系统、细水雾灭火系统、消防水炮灭火系统、气体灭火系统、泡沫灭火系统等, 满足建筑灭火需要。

3 消防水源和消防水灭火系统设计

3.1 工程消防用水情况

整个厂区消防水炮系统和细水雾灭火系统所需消防用水压力最大。考虑到利用综合水泵房的消防主泵满足消防水炮和细水雾系统的水压要求, 则水泵的扬程太高, 管网的压力也较大, 运行不经济, 故该工程消防给水采用独立的低压给水管网系统。综合泵房内设有两台消防主泵, 其流量为 96 L/s, 扬程为 70 m, 功率为 110 kW。能够满足消火栓系统和喷淋系统的压力要求。消防水炮和细水雾系统分别增设管道加压泵来满足其对水压的要求。

在厂区东北侧设有一座消防水池和综合消防泵房。消防水池的水源取自海河地面水, 海河水经两根 DN150 钢管引至循环水处理间处理后进入消防水池。消防水池的有效容积为 1 000 m³。消防用水量为 692 m³, 能够满足规范要求。各灭火系统消防用水量如表 1 所示。

表 1 各灭火系统消防用水量

消防系统	消防用水量/L/s
主厂房室内消火栓	25
办公楼室内消火栓	15
室外消火栓	40
消防水炮	56
细水雾系统	12
喷淋系统	14
合 计	96
最不利情况下消防用水量	96