

公路隧道防火技术及火灾防控

欧阳光 鲁成勃 杨 涛

中电建路桥集团有限公司 北京 100160

【摘要】公路隧道的建设缩短了两点的距离，减少了路程，为人们提供了便利。隧道作为一种相对封闭的空间，存在着火灾发生的风险，这对我们的生命和财产安全构成了威胁。隧道火灾发生后，逃生条件和热烟排出口受限，导致隧道内温度迅速升高并持续时间较长。此外，火势的蔓延范围通常较大，给消防扑救和救援人员的疏散行动带来困难，极大增加了他们的生命危险。同时，隧道衬砌和结构也会受到严重破坏。当前，我国公路隧道的防火安全标准和消防设计要求尚不完善，这导致公路隧道防火设计面临多项问题，不仅导致直接损失，还引发了巨大的间接损失。首先本文概述了公路隧道火灾发生的原因、火灾的危害性以及公路隧道火灾的特点。同时，还对现有的公路隧道防火设计存在的问题进行了指出。最后介绍公路隧道防火的措施建议，以期减少公路隧道带来的危害。

【关键词】公路隧道；防火技术；工程施工

我国地理资源在不同地区分布不均，山区拥有丰富的能源资源，而东南沿海地区的经济发展相对较为发达。为了实现区域经济的平衡发展，我国在道路建设方面进行了大量的基础建设工作，这使得我国公路隧道事业在过去的20年间得到了前所未有的快速发展和巨大规模的建设。

公路隧道作为给人们生产和生活带来便利的基础设施，在火灾风险方面也存在潜在的威胁。公路隧道的火灾危险性与其空间结构密切相关。尽管公路隧道方便人们的交通出行，但却给消防工作带来了巨大挑战。由于公路隧道相对封闭且频繁发生车祸，其火灾发生率较高，因此，对于公路隧道的防火工作显得尤为重要。对公路隧道火灾的分析是一项必要的研究，它需要大量的研究资源和投入。因此，目前亟需进行火灾原因的探究，并制定相应的消防策略以消除公路隧道火灾风险。

1 公路隧道火灾发生的原因

1.1 内部原因

公路隧道存在较高的火灾风险，主要由于其封闭的特性和内部结构的隐蔽性。这些固有因素使得隧道成为潜在的安全隐患，特别是在山地地形中，隧道的数量增多，因此火灾发生的可能性也随之增加。此外，西北地区干燥的气候和高海拔位置进一步增加了公路隧道的危险系数。为了应对这些固有因素，我们需要采取一系列措施来降低隧道火灾的风险。

1.2 外部原因

公路隧道火灾是一个复杂的问题，火灾频发的主要因素之一是外部因素。考虑到外部因素的不可控性，我们需

要重点关注并对其进行防控。公路隧道主要是供汽车通行的，因此汽车交通事故是导致公路隧道火灾的主要原因。随着经济社会的迅猛发展，货运车辆和私家车数量的持续增加导致了汽车交通事故的概率上升，也进一步增加了公路隧道火灾的频率。在火灾的诱因方面，常见原因包括汽车相撞、追尾造成的火灾，汽车与隧道洞壁碰撞造成的火灾，汽车机电设备故障引发的火灾，以及刹车时制动器起火和载运易燃品的汽车着火等。此外，隧道电气线路或电器设备的短路也可能引发火灾。

2 公路隧道火灾的危害

2.1 气体的危害

在过去的研究中已经明确指出，空气中的有毒气体和氧含量会对人体造成巨大危害。以高温烟气为例，其在运动过程中不断向周围散发热量，对人员和结构造成损伤。此外，火风压也会扰乱隧道内的通风系统。另外，浓烟会导致隧道内的能见度急剧降低，甚至可能破坏逃生通道和信号引导灯，使人们难以辨识路径与方向。由此带来的巨大心理压力会削弱人们的分析能力。

2.2 对隧道内部的破坏

在火烧和高温作用下，混凝土经历了一系列变化。首先，其中的含水硅酸钙发生脱水，同时骨料发生膨胀。此外，混凝土中各种材料的热应力也发生了变化。这些因素导致了混凝土的破坏和强度下降。防排水体系也可能受到破坏，从而导致不同程度的渗水。这对隧道的正常运输和功能发挥产生了不良影响。

2.3 温度对人体的影响

根据对热荷载值的评估,发现其与隧道内纵向气流速度相关。在温度小于等于80℃时生存的可能性较大,当环境温度超过80℃时,人体面临潜在危险;而当温度高达180℃以上时,人体无法存活。在面对隧道火灾时,隧道中的人可能会出现瞳孔反应和声音干扰引起的情绪激动或紧张,导致短时间内不知所措,大多数人在这种情况下会失去平衡,但并没有失去理智和处理能力。

2.4 对隧道内设施的破坏

包括对通讯设施、供电设施、照明系统、交通标志、通风系统等的破坏,给隧道内通风、照明、供电等带来困难,导致无法正常引导车辆和人员的疏散。

3 公路隧道火灾的特点

3.1 烟雾大,升温快

相对于公路外部环境而言,公路隧道具有较高的密封性,隧道内的烟雾扩散速度较快。当发生火灾时,隧道内的温度会急剧上升,产生大量烟雾。由于隧道的通风条件较差,烟雾不易挥发,会导致隧道内氧气供应不足,并产生大量有害气体,如一氧化碳。即使洞内设置了通风设备,洞内空气流动也无法与洞外相比。如果隧道内没有良好的排烟设施,火灾产生的烟雾将会蔓延到整个公路隧道。同时,在隧道火灾时,地下通风系统会启动,加快空气流动,热量会迅速扩散并加热空气,进而将热量传递给任何易燃材料,且由于洞壁受到加热后的辐射热的影响,温度能够长时间保持。隧道内着火后其升温曲线如图1。

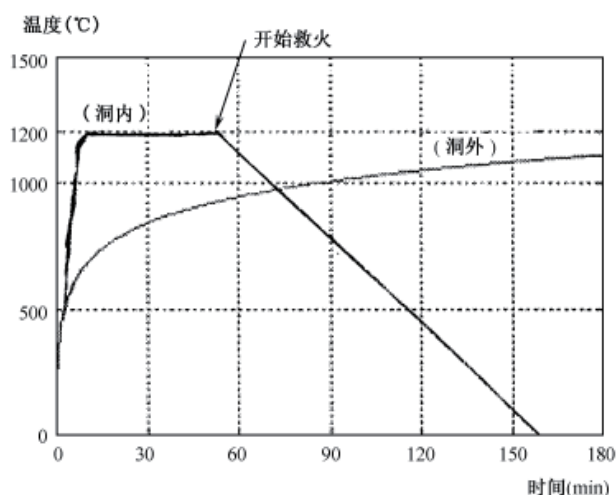


图1 升温曲线

3.2 灭火困难

发生火灾后,随着通风条件不佳、散热速度缓慢,隧道内温度异常上升,烟雾密集,能见度极低。未经过防火保护的承重结构混凝土在此情况下容易发生爆裂和崩落,

从而对救援工作带来严重阻碍。通常情况下,隧道位于市区以外,火灾发生时可能会导致交通瘫痪,进而影响消防车辆的迅速抵达。此外,隧道的进出口有限,导致消防人员到达现场时很可能无法及时发现火情,从而耽误救援时机。同时,公路系统周围缺乏充足的水源,因此水量和水压无法满足需求,这将极大地阻碍对火势的有效控制。

3.3 疏散困难

隧道火灾发生后,人员疏散至关重要,确保人群的安全和迅速撤离是当务之急。然而,由于隧道的横断面狭小且道路狭长,疏散任务变得异常艰难。此外,在火灾发生后,车辆的阻塞导致物资的疏散也变得十分困难。同时,每辆车所携带的油箱和可燃物以及车辆之间的火势蔓延速度极快,进一步加剧了火势的蔓延。隧道两侧大多设有电力基础设施,这也增加了火势扩大的风险。

3.4 燃烧的速度比较快

公路隧道是一种特殊的结构,一旦发生火灾,其破坏程度比其他路段更为迅速。隧道的封闭空间导致火灾产生的热量难以散发,空气流通受阻,从而使得隧道内的温度急剧上升,据测定可能超过1300℃。持续高温会导致隧道内的可燃物被加热,进而引发火焰蔓延的“跳跃”现象。据统计,这种“跳跃”现象的距离甚至可达到隧道直径的50倍。此外,公路隧道通常被土壤和岩石所包围,通风通道狭小,形成一种封闭空间。一旦火灾发生,受空间限制,火焰容易沿着隧道两侧蔓延,产生炙热烟气并在隧道内积累,从而进一步提高温度并引发轰燃现象。公路隧道火灾的快速发展给防火工作带来了极大的挑战,需要采取有效的防火措施。

3.5 救援困难

在公路隧道发生火灾时,必然需要组织抢救工作。然而,由于公路隧道的特殊性,隧道内燃烧产生的高温和烟雾增加了救援的困难,消防车辆很难进入现场进行抢救,因此公路隧道的救援任务相较于其他路段更为困难。如果再加上涉及危险品的车祸,将会使灭火工作更加艰难,也对救援人员的生命构成威胁。在进行抢救工作时,救援人员必须充分考虑到隧道火灾的特点,并合理利用救火装备,采取相应措施来降低困难程度,尽可能减少损失。

4 公路隧道防火对策

4.1 隧道内部的建筑结构和材料的使用

在隧道火灾救援中,确保工程主体结构的支撑能力一直是一个重要的挑战。研究表明,当水泥混凝土长时间暴露于高温环境时,可能发生爆裂现象。火灾初期的30分钟内,混凝土有可能发生爆裂,导致隧道更加危险。当外界温度达到

460℃时,一般具有较高强度的混凝土结构的抗压强度将减少约45%;当温度达到650℃时,隧道内部的抗压强度至少减少75%。因此,在火灾事故中,防止隧道内部坍塌对于防火建设工程至关重要。目前,喷涂材料保护和板材加固保护是常见的解决方案。喷涂材料保护可采用轻质硅酸钙类材料来覆盖隧道表面,该材料轻巧但强度较低。然而,喷涂工程繁琐,并且施工不慎可能导致板材裂纹产生,同时其耐水性较差,因此工程造价较高。另一种解决方案是在隧道衬体上喷涂防火涂料,该涂料的作用是在耐火极限内保护隧道的钢筋混凝土结构,以减少维修费用和工程修复时间。

4.2 灭火设施布设

在公路隧道中,火灾给救援工作带来很多问题。在偏远的隧道中,消防救援支持往往难以及时到达;而在车流量繁忙的城市要道隧道中,消防车也很难快速进入进行处置。因此,提高隧道的自助救援能力是预防特大火灾事故的关键。在灭火设施方面,常见的包括灭火器、灭火栓和自动喷水灭火系统。灭火器是供驾驶员和乘客使用的灭火工具,常见的类型有干粉灭火器、CO₂灭火器和泡沫灭火器。灭火器具有保质期长、安全无毒的特点,主要用于处理油类火灾。为了方便使用,灭火器的设置点应与消防栓箱相对应,并在箱体上设有灯光指示标志。灭火栓则是专业消防人员使用的设备。消防栓和自动喷水灭火系统的可靠性主要取决于消防水源的正常运行。根据国内相关的消防安全法规和标准,长距离公路隧道要建造消防蓄水池系统,并确保储水量满足最低消防救援使用要求,以保证最低安全消防救援水压。在长度大于300m的隧道中,应设置消防栓系统,消防用水可采用消防水池,管网管径不应小于100mm,出水量宜为40L/s。

4.3 火灾报警系统

在公路隧道发生火灾的情况下,隧道管理人员需要及时观察,向相关消防部门报警,并迅速采取灭火行动,以确保人员安全和防止财产损失。然而,过去的一些严重火灾事故常常由于火灾报警不及时、隧道内灭火报警系统不完善引发。因此,必须在公路隧道内安装有效的火灾报警设备。这样的设备能够快速检测到火灾,并采取适当的措施进行处理。然而,公路隧道的内部环境,如温度、通风速度、车辆尾气和粉尘排放等,以及各种电缆电路的电磁干扰,都可能对火灾探测系统产生不利影响。为了解决这些问题,在选择公路隧道火灾探测装置时,我们应该考虑其抗污染能力强、响应时间短、误报率低等技术要求,以确保及时准确的报警和有效的火灾扑救。

4.4 加强隧道的通风设计

隧道的火灾防护措施与其中的通风系统密切相关。为了提高火灾发生时的人员逃生可能性,通常会在隧道内安装通风设备。隧道的通风方式主要可以分为横向通风和纵向通风两种。横向通风通过侧向送风和排烟,或者上送风和排烟的方式来实现,这种通风方式能够有效支持消防工作,降低火势蔓延的速度,方便人员疏散。而纵向通风方式则利用隧道本身作为烟气排放通道,当火灾发生时,烟气会沿着车道迅速散布,对人员逃生产生不利影响。

4.5 防火救灾队伍建设

公路隧道火灾是一个普遍存在的问题。为了解决这个问题,消防部门不能完全依赖火警系统,而是需要建立专业的救火队伍,并储备与隧道相关的灭火器材。训练一支经验丰富、素质过硬的救火队伍,并定期加强防火知识的学习和灭火训练,显得尤为重要。此外,公路工作人员也应接受救火培训,以确保在发生火灾时能够充足的人手应对。救火设施需要定期检查,以确保其随时能够使用。据统计,有超过70%的隧道火灾发生与人类活动有关。因此,救火队伍不仅仅应在火灾发生后进行救援,更应在容易发生火灾的地点进行巡逻,提醒驶入隧道的车辆减速慢行。最为有效的灭火方式是预防火灾的发生,消除火灾的根源,减少损失。

5 结语

公路隧道的防火工作是一项严峻的任务。目前,公路隧道的建设如火如荼,然而随着工程的快速发展,消防安全隐患也逐渐凸显。在隧道的安全设计与管理、法律法规等方面,国内外存在各种不同意见和争议,这些问题迫切需要有针对性的解决方案。为了预防隧道火灾,我们需要充分研究火灾发生的原因,并采取及时有效的措施,最大程度地减小人员伤亡和财产损失。

参考文献:

- [1] 梁瑞,曹帆.公路隧道设计中对火灾安全疏散的考虑分析[J].公路交通科技(应用技术版),2014,10(11):138-140.
- [2] 石磊.公路隧道项目施工阶段质量管理对策分析[J].交通科技与管理,2023,4(10):159-161.
- [3] 宋战平,张泽坤,程昀等.既有公路隧道改扩建技术研究动态及展望[J].地下空间与工程学报,2023,19(04):1216-1234.

作者简介:

欧阳光(1976.05.20—),中电建路桥集团有限公司,主要负责市场开发、项目履约、生产经营等。