

基于温度和 CO 影响下的公路隧道火灾人员逃生研究

摘 要

在研究隧道防灾、救灾、以及人员逃生时，火灾的初始增长阶段对于确定隧道内的温度增长、烟雾扩散、人员逃生以及救援位置是非常重要的。在隧道火灾中，人员除了要遭受高温气体对呼吸道的伤害，还要受到火灾产生的有害气体的伤害。目前，国内外在研究失火隧道内温度、烟气生成等参数时，大多针对不同的火灾场景给出了恒定的热释放率，这样虽然能够简化计算，使结果偏于安全，但是无法模拟出火灾增长和衰减的实际过程。另外，在研究人员逃生时，不少文献只是采用了恒定的温度和 CO 浓度的逃生条件，显然也存在瑕疵。

本文首先参考了国内外相关文献，在分析目前国际上多种热释放函数的优缺点的基础上，以长安大学杨涛给出的火灾热释放函数为基础，采用数值模拟方法，研究了不同环境风速和不同火灾规模时公路隧道的火灾温度场和烟雾浓度场。

其次，在文献^[30]提出的修正克拉尼温度逃生条件的基础上，根据火灾烟雾中一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、氰化氢等对人体的伤害机理，将 FED 失能模型作为隧道火灾时有害气体逃生条件，首次将温度和烟雾对人员的共同伤害引入隧道火灾的逃生中。

再次，以厦门翔安海底公路隧道为对象，采用数值模拟方法，详细地研究了隧道火灾发生后，在不同入口风速、不同火灾规模、不同火源位置以及射流风机、横通道、竖井的开启时的隧道内的压力分布、流场分布、温度场分布以及烟雾浓度场分布，得出了火灾时隧道内不同区域温度和烟雾的传播分布规律。最后，根据人员极限忍受温度与忍受有害气体的时间，给出了不同隧道风速、不同火灾规模时隧道内人员逃生的区域和可安全逃生的距离。本文的主要成果有：

(1)首次同时考虑温度和有害气体对人体的伤害，并将其应用在隧道火灾的逃生研究中；

(2)选择包含时间变化的热释放函数，采用数值模拟方法研究不同情况时隧道内的温度场和烟雾场，得到如下结论：

①同一时刻各特征点的温度随火源距离的增加而降低，且降低的幅度是逐渐减小的。隧道内除火源处外，其他特征点的最高温度都出现在较晚的时刻，与火源处最高温度的出现时间相比，有一个时间延迟；

②火灾发生后，隧道内纵向温度分布呈三段式分布特征：在火区下游开始一小段距离范围内，温度明显低于分布在两侧的“两侧高温段”的温度。随后接下来的一段距离发展为中心区域温度比两侧温度稍高些的“中心高温段”。最后剩下的至出口范围温度分布才趋于均匀的“均匀段”；

③针对厦门翔安海底隧道而言，当火灾规模为 20MW 时，应取不小于 3m/s 的火灾控制风速，当火灾规模为 30MW 时，应取不小于 4m/s 的火灾控制风速；

④对于 5MW 的火灾，若人员从火灾发生后 3 分钟开始疏散时，则人员可以安全逃生；

⑤对于 30MW 的火灾，当人员从火灾发生后 3 分钟开始疏散时，在风速大于 1m/s 的情况下，火源上游的人员都可以安全从上游撤离，火源下游 50 米范围内的人员存在安全隐患，50 米外的人员可以安全撤离。

关键词：隧道工程，隧道火灾，火源热释放率，数值模拟，人员逃生