

# 超大直径深水盾构隧道人员安全疏散研究

彭佳湄

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

**摘要:**为研究超大直径深水盾构隧道内人员安全疏散方式,以南京和燕路过江通道工程(南段)为研究背景,提出了盾构段采用楼梯和滑梯相间布置的方式来疏散人群。通过分析人员安全疏散参数、疏散时间和模拟人员疏散工况,得到隧道内疏散设施的合理关键参数。结果表明,仅交替设置间距为 60 m 的疏散滑梯和楼梯时,人员必需安全疏散时间最小为 535 s,少于可用安全疏散时间 1 800 s,满足安全疏散的需要。研究可为同类型隧道的人员疏散方式提供参考。

**关键词:**盾构隧道;安全疏散;逃生滑梯;疏散楼梯

**中图分类号:**U45   **文献标志码:**A   **文章编号:**1671-1807(2020)06-0130-04

公路隧道火灾由于发生的不可预测性,无法完全杜绝。隧道内空间狭小,灾害的发生通常伴有交通阻塞,若防灾设计和疏散救援方式不合理,会造成严重的人员伤亡和财产损失<sup>[1]</sup>。

通过国内外隧道疏散通道设置情况的调研表明,隧道防灾疏散主要通过横向联络通道、纵向通道或上下层相互逃生的方式来实现<sup>[2-4]</sup>。

随着过江隧道往大直径、长距离、大水深等发展,隧道内人员安全问题日益突出。然而目前国内外对超大直径长距离隧道的安全疏散方案较少,为确保隧道的安全和正常运营,本文以南京和燕路过江通道工程(南段)为例,探讨长大公路盾构隧道的防灾救援设计。

## 1 工程概况

南京和燕路过江通道工程(南段)全长约 5.725 公里,采用隧道方式穿越长江主江,按双向六车道城市快速路标准建设,设计速度为 80 公里/小时。



图1 平面设计图

隧道地质条件复杂、水压高、建设环境敏感,过江段盾构管片外径 14.5 米,内径 13.3 米,系国内超大直径盾构首次一次穿越强透水砂层、土岩复合地层、全断面硬岩层、岩溶地层和区域断裂等多种复杂地质条件组合的水下隧道,且是国内水压最高的超大直径水下盾构隧道。

设计初步采用在行驶前进方向隧道左侧路缘带及防撞侧石处,纵向交叉设置楼梯和滑道的疏散方式。该种疏散口设计可同时解决人员疏散和消防救援需求,疏散滑道作为疏散楼梯在盖板压住情况下的补充,形成了人员快速、安全疏散和结构经济性的融合。

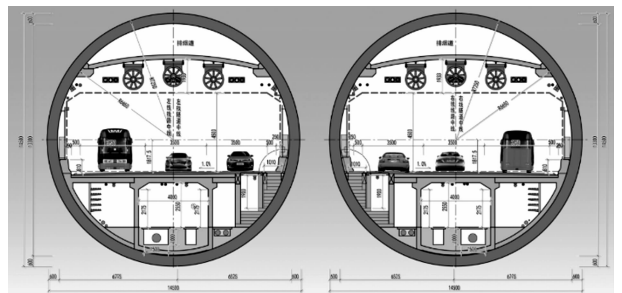


图2 盾构横断面设计图(逃生楼梯)

## 2 人员安全疏散参数

综合本项目工程可行性研究报告以及《中华人民共和国道路交通安全法》等法律法规要求,可知高峰时隧道内的人员载荷量计算如下式所示:

隧道内人员载荷=(货车比例×货车载容量+客

收稿日期:2020-02-28

**作者简介:**彭佳湄(1989—),女,湖南娄底人,中铁第四勘察设计院集团有限公司,工程师,建筑与土木工程硕士,研究方向:隧道及地下工程。

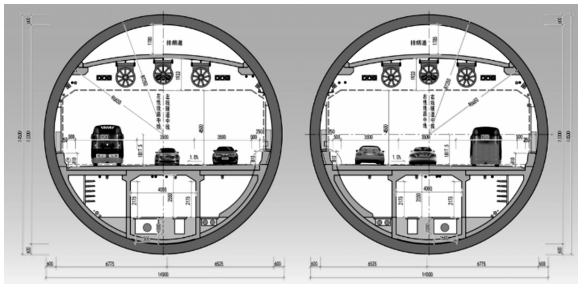


图3 盾构横断面设计图(逃生滑道)

车比例×客车载客量+货车比例×货车载客量)×总车辆数

计算得出盾构段发生火灾时的人员载荷如表 1。

表 1 火灾工况的人员载荷

| 所处区段 | 堵塞长度/<br>(m) | 疏散口宽度/<br>(m) | 人员荷载/<br>(人) |
|------|--------------|---------------|--------------|
| 盾构段  | 1 000        | 0.8           | 2 172        |

针对不同人员在楼梯间的疏散速度<sup>[5-6]</sup>,考虑到中西方人员不同的差异,在取值时给予一定的保守估计,不同类型人员的疏散速度取值范围及形体特征尺寸如表 2 所示。

表 2 人员疏散速度和形体特征

| 人员类型 | 步行速度/(m·s <sup>-1</sup> ) | 形体尺寸/(肩宽 m) |
|------|---------------------------|-------------|
| 成年男士 | 1.2                       | 0.4         |
| 成年女士 | 1.0                       | 0.35        |
| 儿童   | 0.8                       | 0.3         |
| 老人   | 0.6                       | 0.4         |

3 人员疏散时间

火灾发生之后,除火源附近区域的人员外,其他人员一般情况下不会马上开始疏散。根据研究,人员的疏散时间一般包括几段离散的时间间隔,大致可简化为报警时间、响应时间和疏散行走时间三个阶段<sup>[7]</sup>,可用下式表示:

$$T_{RSET} = T_A + T_R + T_M \tag{1}$$

式(1)中: $T_A$ —报警时间(s),是指从火灾发生到火灾报警系统报警的这段时间。本隧道中设有火灾自动报警系统,能够及时发现火灾。本文将火灾报警时间保守的设为 60 s<sup>[8]</sup>。

$T_R$ —响应时间(s),是指从火灾自动报警系统报警到人员开始疏散为止的这段时间。本项目建筑内设有声音广播系统,火灾报警方式属于 W1 类型,按各种用途的建筑物采用不同火灾报警系统的人员响应时间,其时间应小于 2 min<sup>[9]</sup>。本文将人员响应时间保守的设为 120 s。

$T_M$ —疏散行走时间(s)。一般情况下, $T_M$  即为软件模拟所得时间。

4 盾构段人员安全疏散工况

本项目盾构段隧道内的人员在火灾场景下,采用疏散楼梯和疏散滑梯交叉布置的疏散方式,如图 4 所示。分别选取疏散滑梯与疏散楼梯间距为 60 m、80 m 两种布置方案,比较不同疏散间距对疏散时间的影响。疏散过程中人员不能跨火源进行疏散;在本项目中考虑疏散的最不利工况,即火源恰好发生在中心位置的情况。

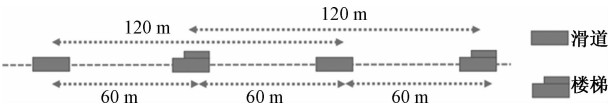


图 4 盾构段疏散楼梯和疏散滑梯交叉布置图

在隧道的疏散过程中,隧道坡度普遍较小,对于人员的影响较其他因素而言较小,故在进行人员疏散参数研究过程中,主要考虑隧道侧边的疏散滑梯和楼梯的设置间距、疏散滑梯或楼梯的通行率这两个因素。

根据《公路隧道交通工程设计规范》(JTG/T D71—2004)及研究资料,盾构段人员安全疏散的具体工况设置如表 3 所示。

表 3 盾构段人员安全疏散工况表

| 编号     | 布置间距/(m) |    | 通行率/(人·min <sup>-1</sup> ) |    | 疏散口宽度/(m) |     | 车行横通道<br>个数/(个) | 车行横通道<br>宽度/(m) |
|--------|----------|----|----------------------------|----|-----------|-----|-----------------|-----------------|
|        | 楼梯       | 滑梯 | 楼梯                         | 滑梯 | 楼梯        | 滑梯  |                 |                 |
| SS01-1 | 60       | 60 | —                          | 30 | 0.8       | 0.6 | —               | —               |
| SS01-2 | 80       | 80 | —                          | 30 | 0.8       | 0.6 | —               | —               |
| SS01-3 | 60       | 60 | —                          | 30 | 0.8       | 0.6 | 1               | 4.0             |
| SS01-4 | 80       | 80 | —                          | 30 | 0.8       | 0.6 | 1               | 4.0             |

5 安全疏散结果分析

综合工程特性及人员安全疏散参数等因素,建立

出各个疏散场景的 PathFinder 模型,如图 5—图 6 所示。

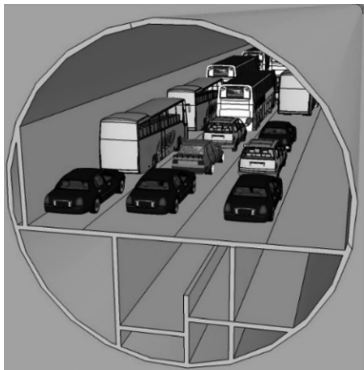


图 5 疏散模型效果图

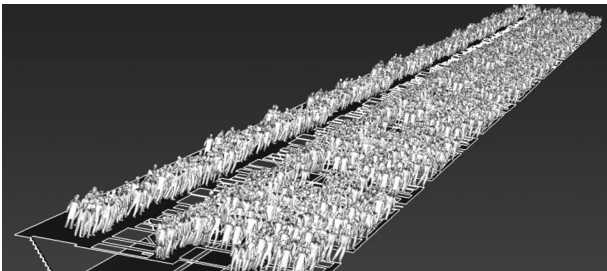


图 6 盾构隧道内人员疏散整体模型图

通过对隧道内人员安全疏散进行数值模拟计算，可以得出人员安全疏散行走时间，如表 4 所示。

从表 4 得出，逃生滑梯与楼梯在人员逃生方面功能相同，两者交叉布置时通行能力满足人员疏散的要求；滑梯和楼梯布置间距越小，人员疏散所用时间越短；当在此基础上增加车行横通道时，疏散时间略小于无横通道的情况，作用有限。

综合考虑火灾场景下的人员疏散行走时间、火灾报警时间以及火灾报警信号发出后的人员响应时间，最后可得到各场景的必需安全疏散时间，如表 5 所示。

在南京和燕路过江通道工程(南段)各位置处发生大型火灾时，若以合理的烟控方案进行烟气组织，都能保证隧道内火源上游 2 m 高处各参数的可用安全疏散时间都超过 1 800 s；通过隧道内可用安全疏散时间与必需安全疏散时间进行对比，可以得到隧道内疏散设施的合理关键参数。

盾构段可用安全疏散时间与必需安全疏散时间对比表具体如表 6 所示。

表 4 人员安全疏散行走时间

| 编号     | 布置间距/(m) |    | 通行率/(人·min <sup>-1</sup> ) |    | 疏散口宽度/(m) |     | 车行横通道个数/(个) | 车行横通道宽度/(m) | 行走时间/(s) |
|--------|----------|----|----------------------------|----|-----------|-----|-------------|-------------|----------|
|        | 楼梯       | 滑梯 | 楼梯                         | 滑梯 | 楼梯        | 滑梯  |             |             |          |
| SS01-1 | 60       | 60 | —                          | 30 | 0.8       | 0.6 | —           | —           | 355      |
| SS01-2 | 80       | 80 | —                          | 30 | 0.8       | 0.6 | —           | —           | 488      |
| SS01-3 | 60       | 60 | —                          | 30 | 0.8       | 0.6 | 1           | 4.0         | 341      |
| SS01-4 | 80       | 80 | —                          | 30 | 0.8       | 0.6 | 1           | 4.0         | 450      |

表 5 人员疏散必需安全疏散时间

| 编号     | 报警时间/(s) | 响应时间/(s) | 行走时间/(s) | 必需安全疏散时间 TRSET/(s) |
|--------|----------|----------|----------|--------------------|
| SS01-1 | 60       | 120      | 355      | 535                |
| SS01-2 | 60       | 120      | 488      | 668                |
| SS01-3 | 60       | 120      | 341      | 521                |
| SS01-4 | 60       | 120      | 450      | 630                |

表 6 隧道内可用安全疏散时间与必需安全疏散时间对比分析表

| 编号     | 楼梯及滑梯布置间距/(m) | 车行横通道个数/(个) | 必需安全疏散时间/(s) | 可用安全疏散时间/(s) | 安全性判定 |
|--------|---------------|-------------|--------------|--------------|-------|
| SS01-1 | 60            | —           | 535          | >1 800       | 安全    |
| SS01-2 | 80            | —           | 668          | >1 800       | 安全    |
| SS01-3 | 60            | 1           | 521          | >1 800       | 安全    |
| SS01-4 | 80            | 1           | 630          | >1 800       | 安全    |

6 结论

针对超大直径深水盾构隧道，本文提出了盾构段采用楼梯和滑梯相间布置的方式来疏散人群。通过对人员的疏散模拟分析，并与火灾烟气模拟计算结果进行比较，可以得到如下结论：

1)在各个坡度下，在合理的烟控方案下，盾构段利用横通道、楼梯和滑梯交叉布置进行人员疏散，当楼梯及滑梯布置间距 60 m 时，人员必需安全疏散时间最小为 535 s，少于 1 800 s，仅从人员疏散时间方面考虑，均能够满足人员安全疏散的要求。

2)当楼梯及滑梯布置间距为 80 m 时，人员必需安全疏散时间最小为 668 s，相比 60 m 间距的方案必需疏散时间增加 24.8%。

3)盾构段增设一处车行横通道后，楼梯及滑梯间距 60 m 和 80 m 两种情况下，必须疏散时间分别为 521 s 和 630 s，与未设横通道相比疏散时间分别缩短 2.6% 和 5.7%，效果有限。

4)依据公路隧道相关设计规范,参考水下隧道设计标准,本隧道应进行人行横通道。但由于本隧道横通道采用暗挖法施工,施工空间较小,施工难度大,横通道处防水质量难以保证。而且本工程盾构穿越地层主要为粉细砂,且局部液化,横通道与主隧道连接处受力集中且刚度相差较大,当受到外部作用后(地震、不均匀沉降),容易引起结构开裂、漏水等风险。如参照以上两个规范在江底设置横向联络通道,施工条件恶劣,施工风险极大,稍有不慎就会造成灾难性后果。

综上所述,盾构段采用疏散楼梯和疏散滑梯交叉布置作为辅助疏散,当疏散滑梯和楼梯布置间距为60 m时,可以满足安全疏散的需要。

参考文献

[1] 付修华,杨其新,刘化冰. 对特长公路隧道火灾防灾救援安全策略的思考[J]. 公路交通科技,2004,21(3):56—59,63.  
[2] 刘文胜. 上海长江隧道人员疏散模拟分析及安全性评价[J].

地下工程与隧道,2011(2):6—9,17.  
[3] 张新,徐志胜,倪天晓,等. 水下公路隧道火灾时人员安全疏散方式研究[C]//2011 中国消防协会科学技术年会论文集. 北京:中国科学技术出版社,2011:237—242.  
[4] 方正,黄松涛,袁建平,等. 城市水底隧道人员疏散方式的比较[J]. 铁道工程学报,2008(11):82—86.  
[5] 蒋永琨. 中国消防工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社出版,1998.  
[6] PAULS J. The movement of people in buildings and design solutions for means of egress[J]. Fire Technology,1984,20(1):27—47.  
[7] HURLEY M J,GOTTUK D T,JR J R H,et al. SFPE handbook of fire protection engineering[M]. 5th ed. New York: Springer,2016.  
[8] JT/T 610—2004,公路隧道火灾报警系统技术条件[S]. 北京:人民交通出版社,2005.  
[9] BS 7974—2019,Application of fire safety engineering principles to the design of buildings-code of practice[S]. London: BSI Standards Limited,2020.

Research on the Safety Evacuation in Large Diameter Underwater Shield Tunnel

PENG Jia-mei

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. , Ltd. ,Wuhan 430063,China)

**Abstract:** In order to study the safety evacuation mode of people in a large diameter shield tunnel under deep water, Nanjing Heyan Road Crossing Channel (South Section) is taken as an example. The tunnel adopts the method of alternate arrangement of stairs and slides to evacuate the crowd for the first time. To obtain the reasonable key parameters of evacuation facilities in the tunnel, the evacuation parameters and evacuation time are analyzed, and the evacuation condition of shield section is simulated. The results show that when evacuation slides and stairs are set alternately at 60 m, the minimum evacuation time is 535 s, which is less than the safe evacuation time 1 800 s. This paper can provide a reference of the evacuation mode for other tunnels.

**Key words:** shield tunnel; safe evacuation; escape slide; evacuation stairs