

城市盾构隧道工作井建筑消防设计优化研究

文 / 陈雨行 中铁第四勘察设计院集团有限公司

摘要: 城市盾构隧道因其空间特性,火灾危害性极大,因而其消防安全问题也备受关注,消防疏散设计尤为重要。而隧道工作井作为盾构隧道消防疏散设计的核心,却缺少相应消防规范条文依据,导致在隧道消防设计、实施和验收中均存在不少问题与争议。本文基于现有建筑消防规范,结合实际工程经验,对盾构隧道工作井消防设计的主要争议难题进行分析研究,以求得出安全、合规、合理的建筑消防设计方案。

关键词: 城市盾构隧道;工作井;建筑消防;疏散设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.109

引言

本文基于浙江多个盾构隧道工作井消防验收经验;阐述了工作井消防设计中的争议性问题;并依据现有规范,研究得出经济可行的设计优化方案,作为后续工作井消防设计的思路参考。

一、盾构隧道工作井消防设计内容

工作井是整个盾构隧道工程的重要组成部分,在工程施工阶段,其作为盾构区间的始发及接收井,布置在区间两端;在运营使用阶段,则作为隧道主要设备用房的载体。

在盾构隧道消防设计中,工作井更是不可或缺的一环。除工作井本身作为深层地下空间,需满足地下设备用房相关规定外,其疏散楼梯还是区间疏散人流出地面的唯一路径,隧道工作井的消防,需结合隧道区间消防疏散整体考虑,统一设计。

二、盾构隧道工作井建筑消防设计的现状与研究目的

目前盾构隧道建筑消防设计并无相应行业标准和专用规范,《建筑防火通用规范》(后文简称《通规》)中也无隧道防火设计专项内容。其建筑消防设计主要依据为《建筑设计防火规范》GB50016-2014(2018版)(后文简称《建规》)第12章,城市交通隧道的相关规定。具体到隧道工作井,专用的条文规范仅12.1.4、12.1.10数条。其他只能参照地下设备用房的规范实行。

但实际设计中,因隧道工作井的、功能空间特殊性,存在无法满足《建规》的相关条文要求的内容。在

传统隧道设计中,遇到此类问题,多以借鉴已有项目经验为主,结合设计师自身理解开展设计,消防验收中也多参考已建成项目做法。

而随着国家消防验收职责明确化、规范化,隧道项目消防验收任务由地方住建委接手。在缺乏明确规范依据的前提下,消防验收专家和设计者对于规范条文的不同理解,导致盾构隧道项目在验收中暴露出大量具有争议性的消防问题,导致项目出现大量消防整改。

本文基于浙江杭州多个城市盾构隧道项目经验,对于建筑消防类的争议性问题进行整理。并在方案安全可行的前提下,以《建规》相关规定为依据,从消防疏散逻辑出发,从严设计,针对此类问题进行设计优化,以求作为后续项目设计的参考。

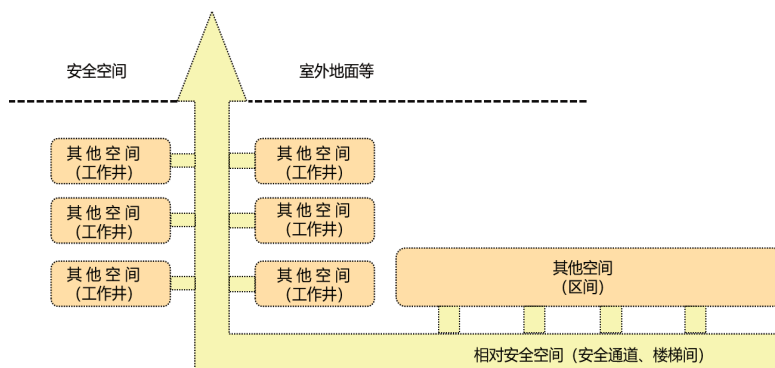
三、盾构隧道工作井不同功能空间的安全性等级

为方便分析隧道的疏散逻辑,本文引入空间安全性等级的概念,将整个隧道空间按照火灾工况下的安全性分为三个等级,提出隧道疏散的整体原则,作为后续分析消防疏散问题前提。

1. 火灾工况下安全的区域:室外地面,满足规范要求下沉广场等,是安全疏散的终点。

2. 火灾工况下相对安全的区域:防烟楼梯间、避难走道、安全疏散通道等。发生火灾后可保证一定安全时间,以便人员疏散,其他空间通过前室与其连接。是衔接其他空间与绝对安全空间的通道。

3. 火灾工况下其他空间:发生火灾且需要疏散的区域,火灾工况下相对危险的空间,主要为隧道车道层,工作井设备用房等空间。



隧道疏散原则示意图

隧道疏散原则：其他空间（始）——相对安全空间——安全空间（终）。

四、盾构隧道工作井建筑消防设计争议性问题及优化方案

1. 疏散楼梯无法直达地面的问题

1) 相关条文：

依据《建规》6.4.4条规定，除通向避难层错位的疏散楼梯外，建筑内的疏散楼梯间在各层的平面位置不应改变。

2) 实际情况分析：

在盾构隧道项目中，工作井多位于市政道路红线内，并不能确保每一个疏散楼梯都设置在地面道路红线外。在这种情况下，疏散楼梯必须经工作井内走道转折后出地面。工作井走道属于其他空间，该疏散逻辑违背了隧道疏散原则。

3) 优化方案：

确实无法直出地面的疏散楼梯，可在工作井内设置楼梯转折安全通道，经转折后出地面。转折安全通道需与楼梯间直接连接，为相对安全区域，安全等级等同楼梯间，与其他空间通过前室连接，详附图二；且通道内需加设明显疏散标识，减少连通口，加强引导，避免错乱。

2. 隧道风机房疏散距离超规的问题

1) 相关条文：

依据《建规》5.5.17.3条，房间内任一点至房间直通疏散走道的疏散门的直线距离不应大于20m。（加喷淋条件下可增加25%）

2) 实际情况分析：

盾构隧道排烟量大，往往采用大型风机设备，整体尺寸大，且为了保证通风效果，隧道风机房多结合隧道排烟孔和风道设置，导致风机房位于工作井一端，且面积高达数百平，难以两端均设置疏散通道，风机房最不利点距离最近疏散走道距离极易超出规范要求。

3) 优化方案：

建筑消防设计中需对风机房功能进行细化区分，以墙体分隔风机房与风道，将隧道风道单独计算疏散，不纳入设备用房范围，仅考虑风机房消防疏散。

3. 区间疏散通道与工作井连接不满足隧道消防疏散原则的问题

1) 实际情况分析：

隧道车道火灾工况下，区间人流需先经区间垂直疏散通道进入安全疏散通道，进入工作井后经楼梯疏散出地面。传统隧道设计中，区间疏散和工作井疏散是单独设计的，二者通过一扇防火门分隔。区间人流疏散至工作井既视为安全，无法直接连通工作井疏散楼梯间。

按照火灾工况下安全性等级的设定，疏散路线为车道层（其他区域）——区间安全疏散通道（相对安全区域）——工作井（其他区域）——工作井疏散楼梯（相对安全区域）——地面（绝对安全区域），不满足隧道消防设计的原则。

2) 优化方案：

隧道区间与工作井应按照一个整体考虑消防疏散，

区间疏散通道与工作井楼梯间直接连接，一体化设计，工作井其他区域经前室与其连通，详附图一。

4. 工作井疏散楼梯疏散宽度计算问题

1) 相关条文：

5.5.21.2地下或半地下人员密集的厅、室和歌舞娱乐放映游艺场所，其房间疏散门、安全出口、疏散走道和疏散楼梯的各自总净宽度，应根据疏散人数按每100人不小于1.00m计算确定；

12.1.7双孔隧道应设置人行横通道或人行疏散通道，并应符合下列规定：人行横通道的间隔和隧道通向人行疏散通道入口的间隔，宜为250m~300m。

2) 实际情况分析：

对于能设置人行横通道的隧道，满足《建规》12.1.7条即可。而对于无条件设置人行横通道的盾构隧道，往往以设置通往安全通道的垂直疏散装置解决车道层疏散问题。

对于车道层疏散人数计算，疏散宽度要求均无相关规定，以往工作井设置中也选择规避该内容，仅考虑工作井本身疏散，从整个隧道疏散逻辑来说缺少说服力。

3) 优化方案：

实际使用中，考虑到盾构隧道火灾工况下疏散人流量较大，消防性质应等同地下公共聚集场所，相关要求参照地下人员密集场所，理论上应按照规范要求需计算疏散人数及宽度。

但因隧道特殊性，数千米的区间无法按照一个防火分区计算疏散人数，因此本文合理借鉴了暖通消防设计中消防单元的概念。在隧道火灾工况下，消防水喷雾是以着火点为中心，以两端一定范围内为一个消防单元喷射灭火；同理，火灾工况下，疏散人员就近选择垂直疏散口疏散，可以将两个相邻竖向疏散装置之间的空间视为一个疏散单元，详附图一。考虑到隧道线性疏散一定程度上类似高层建筑疏散，隧道疏散宽度计算宜以不小于疏散要求最高的消防单元为准。

每个单元疏散人数则在最不利因素条件（消防单元停满车，每辆车满员）下计算，可以得出具体计算公示：

$$K=L/6*R*5*\alpha$$

K：疏散人数

L：区间内最大防火单元长度（垂直疏散通道间距）

R：车道数

α ：计算系数

备注：为方便计算，仅考虑有小型车情况。每辆车占据空间长度为5m，每辆车满载人数为5人（参考小型车平均长度，载人数），系数 α 为考虑公交车、大巴车情况下的余量，定为1.1。区间疏散通道，工作井楼梯等的最小疏散宽度即为K/100。

依据日本东京湾隧道工程对逃生滑梯和楼梯疏散销量的验证实验，垂直楼梯和逃生滑梯疏散能力约为人行横通道的1/3，相邻竖向逃生装置的距离宜控制在100米以内，在杭州实际项目中，近些年区间垂直疏散口间距也控制在80米左右。

杭州部分隧道垂直疏散通道设置情况

隧道名称	盾构长度	垂直疏散 口间距	车道数	隧道功能	通车时间
庆春路隧道	1766米	100米	双车道	公路隧道	2010
望江路隧道	1830米	80米	双车道	公路隧道	2020
博奥隧道	1679米	80米	双车道	公路隧道	2021
下沙路隧道	1612米	80米	三车道	公路隧道	2022
大江东隧道	3210米	80米	三车道	公路隧道	2022
秦望隧道	1254米	75米	三车道	公铁合建 隧道	2024

以杭州为例，代入相关数据后，便可计算出相应隧道工作井最小疏散宽度。双车道隧道工作井疏散宽度不宜小于 $100/5*5*2/100*1.1=2.2m$ （庆春路隧道），三车道隧道工作井疏散宽度不宜小于 $80/5*5*3/100*1.1=2.64m$ （下沙路隧道）。

5. 工作井不满足双向疏散的问题

常规情况下，区间两端工作井均有至少两个安全出口直通地面，一个区间范围内有四个安全出口，满足规范要求。但在部分情况下，工作井仅有一个安全出入口直通地面。由于区间长度动辄数公里，相距数公里的两个安全出口是否能符合双向疏散的原则，存在一定争议。

本文基于从严设计的原则，认为相距数公里的安全出口无法满足互相备用的功能，要求区间疏散每端均需设置两个直通地面安全出口，且同时连接区间疏散安全通道。

(1) 工作井借用车道疏散

1) 相关条文：

依据《建规》12.1.10，每个防火分区的安全出口数量不应少于2个，与车道或其他防火分区相通的出口可作为第二安全出口，但至少设置1个直通室外的安全出口。

2) 实际情况分析：

部分设计人员认为，在每层仅有一个防火分区的前提下，工作井可只设置一个出地面安全出口，另一安全出口借用车道。在仅考虑工作井疏散时，逻辑合理。但整体考虑区间疏散时，在车道火灾工况下，区间一端仅有一个安全出口，无法满足双向疏散的原则。

3) 优化方案：

设计中将工作井结合区间整体考虑消防疏散，避免借用车道解决工作井疏散。在满足区间疏散一端两个安全出口的前提下，工作井可借用车道层疏散。

(2) 公铁合建隧道工作井疏散

1) 实际情况分析：

在公铁合建隧道项目中，上公下铁的布置决定了地铁轨道会分隔两个区间安全通道，使其无法在工作井内连通。导致区间疏散在一端工作井实际仅有一个安全出口，无法满足双向疏散的原则。

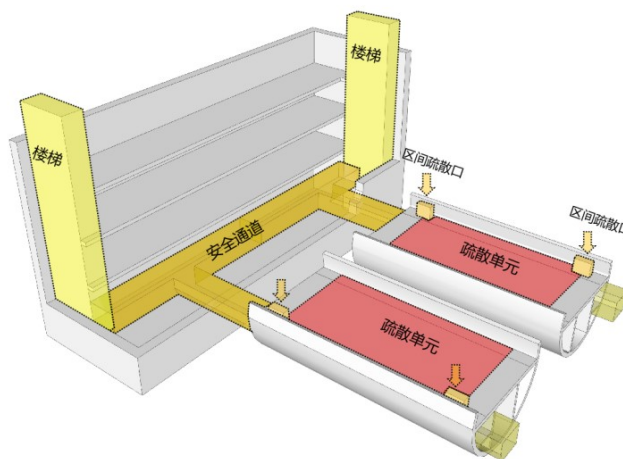
2) 优化方案：

设计中可利用工作井盾构下沉区域，增加跨轨夹层

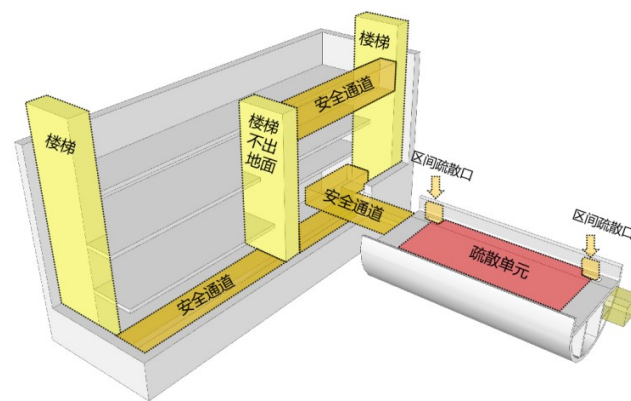
作为安全疏散通道，实现两个安全出口与区间疏散疏散通道的连通，满足双向疏散的设计原则，详附图二。

结语

本文以杭州城市隧道设计实践总结为契机，分析其消防设计的特殊性，整理出隧道工作井消防设计中的争议问题；并在《建规》和《通规》的指导下，梳理消防疏散逻辑，寻求更为安全可行的解决方案，以求从建筑设计角度，提升城市盾构隧道的消防安全性，为城市交通的发展提供更加可靠的保障。



附图一：标准盾构隧道区间疏散示意图



附图二：公铁合建盾构隧道区间疏散示意图

参考文献

[1] 《建筑设计防火规范》GB50016-2014（2018版）
 [2] 《建筑防火通用规范》GB55037-2022
 [3] 《城市地下道路工程设计规范》CJJ221-2015
 [4] 《城市地下联系隧道防火设计规范》DB11/T 1246-2015
 [5] 《公路盾构隧道竖向疏散逃生系统技术规程》征求意见稿
 [6] 对交通隧道消防技术标准应用的拓展思考[J]. 交通与港航. 2024. 1. 82-85