

北京地铁 1,2 号线区间疏散与排烟模式研究

北京城建设计研究总院有限责任公司 戴钧[☆] 郭爱东 武丽华 唐世娟

摘要 介绍了北京地铁 1,2 号线设备消隐改造工程的项目背景和改造条件,以模拟计算和现场实测为手段检验了既有通风排烟系统的排烟能力。通过分析北京地铁 1,2 号线区间隧道的特点,提出了增加区间联络通道数量、火灾时列车侧向疏散乘客的疏散和排烟模式。

关键词 隧道排烟 风速 疏散 模拟计算 实测 联通孔洞

Passenger evacuation and smoke extraction in underground railway Line 1 and Line 2 tunnels in Beijing

By Dai Jun[★], Guo Aidong, Wu Lihua and Tang Shijuan

Abstract Presents the background and conditions of equipment safety retrofit for the two lines. Verifies the smoke extraction capacity of the existing ventilation and smoke extraction system by means of simulation and calculation and field test. Analyses the construction characteristics of the underground railway tunnels, presents an evacuation and smoke extraction mode that the quantity of the connecting holes from a tunnel to the adjacent one between two stations are to be increased and passengers escape from the holes in the case of fire.

Keywords tunnel smoke extraction, air velocity, evacuation, simulation and calculation, field test, connecting hole

① [★] Beijing Urban Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing, China



戴 钧

主要设计项目

- 广州地铁 2 号线琶洲站
- 南京地铁 1 号线三山街站
- 北京地铁 1, 2 号线设备改造工程
- 北京地铁 5 号线天坛东门、磁器口站
- 北京地铁 10 号线芍药居站
- 合肥地铁 1 号线

1 项目概况

北京地铁 1,2 号线工程始建于 20 世纪六七十年代,全线共 41 座地下车站(含非运营和换乘站),全部是地下线路,共长 54 km。其中 1 号线是东西向贯通北京市的大动脉,是客流最繁忙的线路之一,客流高峰满载率远远超过设计值。2 号线经过市中心最繁华的地段,线路呈环状,是与 1 号线、4 号线、5 号线及 6 号线、8 号线等规划线路的换乘联络线,担负着多条线路的客流联络、换乘任务。

北京地铁 1,2 号线工程在建设初期的指导思

想是以战备疏散为主,兼顾城市交通。地下车站和区间内没有设置排烟系统。经历了 30 多年的发展,北京地铁的功能逐渐由以城市战备为主向以城市公共交通为主转变,迫切需要从全线(包括车站和区间)全方位进行改造,以提高全线地下防灾、救灾能力。确保火灾情况下的人员疏散、设备安全,是本次地铁改造项目中一项十分重要的指标和任务。

2 改造条件

2.1 改造前车站及区间的通风系统

北京地铁 1,2 号线车站为浅埋结构,车站型式基本相同,站台为单层结构,车站两端为双层结构。车站没有新线车站意义上的站厅,只是车站站端部

①[☆] 戴钧,男,1972 年 7 月生,大学,高级工程师
100037 北京市西城区阜成门北大街 5 号北京城建设计研究
总院有限责任公司第五设计所

(010) 88336681

E-mail: dai7777@163.com

收稿日期:2011-03-29

分的楼板高于车站站台,形成车站端头厅。车站公共区面积(包括站台、端头厅)只有 2 000~3 000 m²,车站的规模较小,车站站台没有安装屏蔽门或安全门,列车进出车站而引起的活塞风也较明显。

与国内其他地铁车站不同,北京地铁 1,2 号线车站风道设置在全线各车站的一端,风道内设 2 台大型可逆轴流风机和与之相联动的电动组合风阀及消声器等设备,2 台风机并联运行。在各区间的中部设置了一处区间风道和区间风亭,风道内同样设置了 2 台大型可逆轴流风机和与之相联动的电动组合风阀及消声器等设备。全线风机是按照车站排风、区间送风的运行模式安装的,车站风机风量为 55 m³/s 左右,风压 500~800 Pa(每个站不同),反转流量为正转流量的 70%。区间风机的参数与车站风机相同。车站与区间风道布置风机图见图 1。

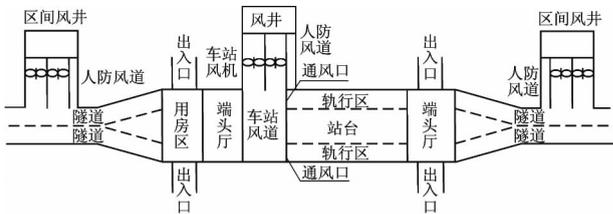


图 1 区间和车站风道的位置示意图

在北京地铁 1,2 号线的建设时期,由于当时历史原因及设计条件受限,全线通风系统的作用主要是排除隧道内的余热和余湿,满足乘客和工作人员新风量的需要。全线的通风系统通过设置在车站和区间风道内的大型可逆轴流风机联运而产生的地面与地下车站和隧道的空气对流,形成全线纵向通风,以保证车站及隧道的温度、湿度等指标满足要求。

2.2 改造实施条件

通风空调系统改造的目标是使老线车站或区间一旦发生火灾,能进行有效通风与排烟,保证乘客及工作人员安全疏散和设备安全。但由于北京地铁 1,2 号线的特殊性,在改造中需要考虑以下诸多因素。

1) 1995—1997 年,北京地铁运营有限公司更换了车站和区间风道内的风机。为节约成本起见,系统改造工程中不再更换此部分设备,充分利用既有设备、设施以及土建条件,实现通风空调系统的应有功能,尤其是排烟、送风功能。

2) 由于北京地铁 1,2 号线在北京公共交通中

不可替代的作用,在改造期间不能影响线路的正常运营,这就意味着设备改造难以通过改变车站及区间土建结构和规模的方法实现。

3) 北京地铁 1,2 号线车站规模较小,地下车站和区间内也没有空间安装增强通风和排烟效果的设备。

4) 车站及区间内的通风排烟设备的用电量来自各车站的变电降压所。在改造中,由于地下空间的限制,在供电系统改造过程中只能实现有限扩容,车站和相邻区间内所有设备系统所能利用的电功率平均每站只有 500 kW,这也决定了在通风排烟系统改造中,只能尽量利用既有设备达到改造目标。

3 区间通风排烟能力现状研究

为了能在车站和区间的主要通风设备不更换的条件下,实现通风排烟系统的合理运行,保障在区间发生火灾事故时乘客能安全疏散,笔者对全线车站和区间的通风排烟系统的排烟能力进行了模拟计算,并在区间内进行了现场测试。

3.1 模拟计算

根据一线及环线的车站与区间情况,建立了地铁 2 号线雍和宫站至朝阳门站的 4 个车站和 3 个区间的通风网络模型,利用 STESS 软件计算发生事故时的排烟风量,并以东直门—雍和宫区间为计算典型区间,见图 2。其中雍和宫—东直门区间长度 1 800 m,区间隧道断面尺寸为 18.27 m²,区间隧道为带中隔墙的双线隧道,中隔墙上设有连通孔洞,孔洞尺寸为 1.5 m×2.3 m,孔洞之间的间距为 30 m。

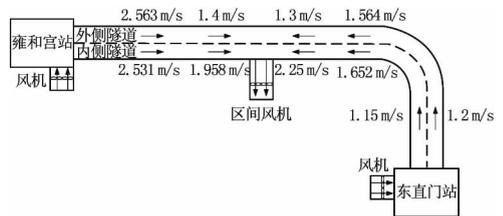


图 2 东直门—雍和宫区间排烟模拟工况

车站和区间风机的参数为风量 60 m³/s(设定值),风机余压 1 100 Pa(设定值)。

计算模型的设定为该区间内只有一列列车,列车发生火灾且停在该区间内,区间火灾运行模式为雍和宫—东直门区间风道内 2 台风机排烟,东直门、雍和宫车站风道内的风机送风。

当列车分别停在雍和宫站至区间风井和区间

风井至东直门站区段内发生火灾,开启区间风机排烟和车站风机补风时,区段内风量模拟计算结果见表 1,2。

表 1 事故列车停在雍和宫站至区间风井之间的模拟结果 m^3/s

| | 风机风量 L | | 风量 L | | 事故段 | 事故段邻侧隧道 |
|------|----------|-------|--------|----|------|---------|
| | 雍和宫站 | 区间 | 东直门站 | 区间 | | |
| 工况 1 | 85.1 | -84.8 | 0 | 0 | 15.4 | 41.9 |
| 工况 2 | 85.1 | -84.6 | -121.0 | 0 | 17.1 | 51.5 |

注:1) 表中送风为+,排风为-,下同;

2) 工况 1:雍和宫站送风,雍和宫—东直门区间排风;

3) 工况 2:雍和宫站送风,雍和宫—东直门区间及东直门站排风。

表 2 事故列车停在区间风井至东直门站之间的模拟结果 m^3/s

| | 风机风量 L | | 风量 L | | 事故段 | 事故段邻侧隧道 |
|------|----------|-------|--------|-------|-----|---------|
| | 雍和宫站 | 区间 | 东直门站 | 区间 | | |
| 工况 1 | 0 | -84.9 | 85.1 | 0 | 4.8 | 21.4 |
| 工况 2 | -120.8 | -84.5 | 85.1 | 0 | 7.1 | 31.7 |
| 工况 3 | -120.9 | -84.6 | 84.7 | 120.8 | 8.4 | 37.5 |

注:1) 工况 1:东直门站送风,雍和宫—东直门区间排风;

2) 工况 2:东直门站送风,雍和宫—东直门区间及雍和宫站排风;

3) 工况 3:东直门站及东直门—朝阳区区间送风,雍和宫—东直门区间及雍和宫站排风。

GB 50157—2003《地铁设计规范》^[1]规定,发生事故时隧道断面风速应大于 $2 m/s$,那么事故隧道的风量应大于 $36.5 m^3/s$ 。而表 1,2 的计算结果表明,在隧道、风井结构和风机配置不变的条件下,事故隧道内的风量均达不到要求。

3.2 现场实测

为了进一步研究地铁车站通风排烟系统的通风排烟效果,2005 年 11 月笔者与北京地铁运营公司、北京交通大学等单位合作,在地铁 2 号线积水潭—鼓楼站区间模拟了当列车发生火灾并滞留在区间内时,乘客疏散和区间排烟的冷烟试验。

试验以积水潭—鼓楼区间为对象,测试当列车停在积水潭—鼓楼区间中,风道至积水潭站(方向为由鼓楼站至积水潭站)区段内发生火灾时,车站风机排烟(工况 1),车站风机排烟、区间风机补风(工况 2),车站风机排烟、区间风机补风、车站另一侧区间风机补风(工况 3),车站风机排烟、区间风机补风、车站另一侧区间风机辅助排烟(工况 4)4 种工况下区间内的气流分布。其中区间和车站风机的风量为 $60 m^3/s$,风机余压 $580 Pa$,风机功率 $55 kW$,风机转速 $985 r/min$ 。

测试结果见图 3~6。图中 JXQ 代表西直

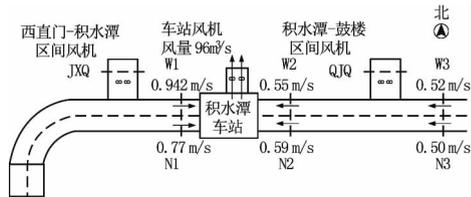


图 3 工况 1,积水潭站风机排烟

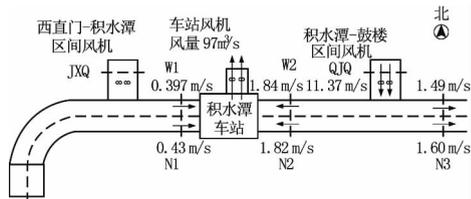


图 4 工况 2,积水潭站风机排烟,积水潭—鼓楼区间风机送风

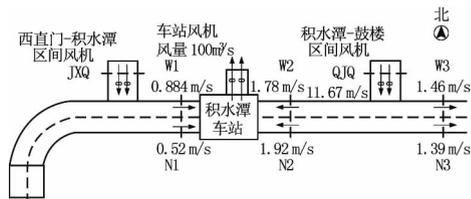


图 5 工况 3,西直门—积水潭区间风机送风,积水潭站风机排烟,积水潭—鼓楼区间风机送风

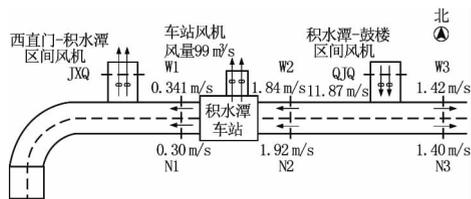


图 6 工况 4,西直门—积水潭区间风机排烟,积水潭站风机排烟,积水潭—鼓楼区间风机送风

门—积水潭区间,QJQ 代表积水潭—鼓楼区间,N,W 为各测点编号。

测试结果表明,当列车在隧道内发生火灾且不能运行时,利用车站和区间内的既有设备,不论采用何种工况,发生事故的隧道内排烟风速均小于 $2 m/s$,无法满足 GB 50157—2003《地铁设计规范》的要求。

3.3 常规解决方案存在的问题

通过模拟计算和现场实测,可以看到现有系统无法实现 GB 50157—2003《地铁设计规范》中控制烟气流向的要求。如果按照新建地铁项目常规的解决方案,结合现场及改造限制条件,则存在以下问题。

方案 1:车站内增设风道,并增设风机等设备,使车站两端通风系统实现对相邻区间通风、排烟,

原有风机需要更换,以增大风压。方案1存在的问题是,需要在车站侧壁上开挖风道,车站地面设置风亭。在车站不停运的条件下土建施工存在很大的风险,对列车的安全运行影响很大。最困难的是由于1号线位于长安街下方,2号线位于二环路下方,沿线地面建筑物密集,没有富余的空地,更难以及拆迁,无风亭设置位置。

方案2:在区间隧道内设置射流风机以增强通风排烟的效果,射流风机安装于隧道的上部或侧壁。该方案存在的问题是,北京地铁1,2号线采用了B型车及地面接触轨供电形式,隧道断面限界较小。列车顶到隧道壁面之间没有安装射流风机的条件。地铁1,2号线人防等级很高,属于战备工事,如开凿隧道顶部、侧面,势必降低人防等级,且必将影响全线的正常运营。

因此,改造方案如果简单地执行GB 50157—2003《地铁设计规范》中有关区间通风风速的规定,是难以符合消隐改造不影响运营、不扩大改造规模前提条件的。

4 全线通风排烟系统新模式技术

4.1 地铁1,2号线区间疏散模式分析

北京地铁1,2号线全线为明挖法施工,线路均为单层双线双洞隧道,中间以中隔墙分隔,中隔墙厚度约为0.5~1.0 m。地铁1,2号线区间内每隔30~50 m中隔墙上设有一个连通孔洞(洞口尺寸宽1.5 m、高2.3 m)。

当列车滞留在隧道内时,乘客可以从车厢的侧门及端部疏散门下车,通过连通孔洞进入另一紧邻的区间隧道,安全地向两端的车站方向疏散。由于隧道内中隔墙上的连通孔洞距离很短,乘客的疏散距离最长只有25 m,可以使人员尽快地撤离到无烟区,从而降低了乘客在撤离火灾现场时的危险。一般新建地铁项目两隧道间的联络通道为600 m,若列车在隧道内发生事故,乘客从列车端部下车后,需要走数百米才能到达车站或联络通道。可以说,与新建项目相比,地铁1,2号线的这种隧道结构为乘客侧向疏散到相邻区间提供了良好的条件。

此外,联络通道洞口上方有约2 m高的隔墙,阻隔了两个隧道上部的空气流动,起到了挡烟垂壁的作用,防止烟气由着火隧道向另一侧隧道蔓延。

4.2 全线通风排烟系统新模式

上述疏散模式的实质就是使乘客在最短的时间内疏散到无烟区,由相邻隧道进入距发生事故区段最近的车站,通过车站站台、出入口到达站外。为保证乘客在发生事故时安全撤离,全线通风排烟系统模式也需要以此进行调整,使系统排烟时烟气远离车站空间。因此,在区间事故排烟时,将区间风机反转排烟,车站风机反转补风,利用区间中部的风道、风亭排出烟气,控制烟气流向。

调整后的排烟模式如下:

1) 站间距小于1.5 km的区间,将区间通风排烟的模式调整为当列车滞留在隧道内并发生火灾时,车站风道内的2台主风机同时送风,区间风道的2台主风机排烟。乘客通过联络通道进入另一未着火的区间隧道,并迎着新风方向向车站疏散。见图7。

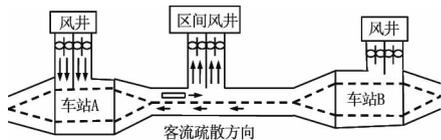


图7 车站送风、区间排烟示意图

2) 对于站间距超过1.5 km的区间,当列车滞留在隧道内并发生火灾时,除开启区间风道的2台主风机外,再开启相邻区间风道的两端车站风道内的2台主风机,加大排烟效果。见图8。

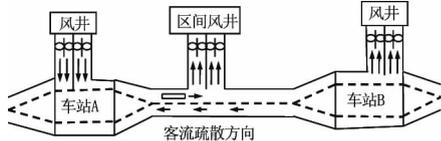


图8 区间及相邻车站送风/排烟示意图

3) 当列车滞留在隧道内并发生火灾时,车站及区间主风机按照列车滞留区间位置启动不同的运行模式。乘客从车厢的侧门或端部疏散门下车,通过中隔墙联络通道进入另一紧邻的区间隧道,安全地向两端的车站方向疏散。见图9。

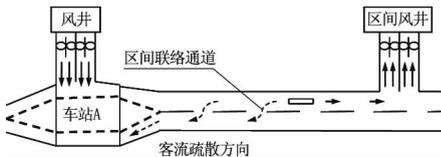


图9 乘客区间疏散路线示意图

4.3 分析结论

由区间火灾模拟计算和在积水潭—鼓楼区间内的现场实测可以看到,当列车在1,2号线隧道内发生事故且无法到达车站时,即使启动区间和车站

风机后,隧道内的风速也达不到规范要求的 2 m/s,但此时乘客通过隧道中隔墙连通孔洞进入另一紧邻隧道,继而疏散到相邻车站,同时利用既有通风设备,辅助以合理的排烟模式可以达到乘客安全撤离的目的。

5 研究成果启示

通过研究发现,地下区间采用加密区间联络通道数量、列车采用侧向疏散的方式可以大大缩短有烟区疏散的距离,大幅提高疏散效率,最大限度地降低次生灾害的危险程度,能有效避免列

车滞留在区间内并发生火灾事故时导致群死群伤的惨剧。

对于明挖区间,完全具备加密区间联络通道数量的条件。对于暗挖区间,涉及较大的结构施工风险,但问题并非不可解决,通过严谨的设计方案、施工质量监测及合理工期安排等手段,可以增加区间联络通道数量。

参考文献:

[1] 北京城建设计研究总院. GB 50157—2003 地铁设计规范[S]. 北京,中国计划出版社,2003



· 简讯 ·

2011 年个性化通风系统技术交流会

2011 年 5 月 23 日下午,中国勘察设计协会建筑环境与设备分会上海市委员会与上海市制冷学会空调热泵专业委员会在上海光大国际酒店联合举办了 2011 年个性化通风系统技术交流会,到会人数超过了 100 人。会议重点介绍了个性化通风的系统特点、基本原理及丹麦 EXHUASTO 公司的个性化通风系统产品及技术解决方案。

会议由上海市制冷学会空调热泵专业委员会主任、同济大学张旭教授主持。中国环境学会室内环境与健康分会常务副理事长兼秘书长、清华大学张寅平教授,丹麦技术大学室内环境与节能国际研究中心高级研究员房磊博士和来自丹麦 EXHUASTO 公司的 2 名专家分别在会议上作了学术报告。上海市的部分大学和设计院的暖通专业的专家学者、设计人员及研究生等参加了本次交流会。

会议首先由现代建筑设计集团上海院总工寿炜炜代表中国勘察设计协会建筑环境与设备分会上海市委员会及上海市制冷学会致欢迎辞,并指出“个性化通风是一种全新的通风理念,它使每个人都拥有了真正属于自己的洁净空气,它可以明显降低呼吸道疾病的传播”。张寅平教授,房磊博士分别从学会、行业、科研角度介绍了个性化通风这一全新的通风理念,房磊博士还作了个性化通风技术原理的专题报告,介绍了相关最新研究成果。来自 EXHUASTO 公司的 BATES 先生和 KORSAGER 先生分别介绍了丹麦个性化通风的最新系列技术及企业的最新产品、系统构成与安装方法。参会人员围绕个性化通风研究、设计及应用的相关问题进行认真而热烈的交流,表现出了浓厚的兴趣。

(张 旭)

中国勘察设计协会建筑环境与设备分会北京市委员会召开技术交流会

2011 年 5 月 18 日上午,中国勘察设计协会建筑环境与设备分会北京市委员会在中国建筑设计研究院多功能厅召开技术交流会。来自北京市委员会会员单位、浩辰软件公司、北京市各大设计院等单位的 200 余人参加了会议。

大会由北京市委员会名誉理事长魏占和主持。北京市首规委施工图审查专家委员会暖通组组长赵继豪首先为大家通报了建筑节能设计检查情况,明确指出全国节能大检查和北京市进行的节能设计专项检查的检查内容,不仅包括工程建设标准中的强制性条文和施工图审查中的审查要点的内容,还包括节能标准、规范中的一些非强制性条文。近年来检查组专家不仅对施工图纸检查得很仔细认真,而且对设计计算书查得也越来越仔细。然后,赵继豪组长又详细讲解了暖通专业施工图审查中的常见问题。如:自然排烟可开启外窗面积不满足规范规定;排烟口距最远点大

于 30 m;利用外门作为排烟口;机械排烟口距安全出口(沿走道方向)的距离小于 1.5 m;地上、地下共用防烟楼梯间时共用一个加压送风系统的问题;排烟系统的每个支管未设 280 ℃ 防火阀;内走道长度 20 m 或 40 m 的排烟要求;风管穿重要房间隔墙的防火阀;人防工程滤毒总风量的确定;锅炉房设在首层与地下、半地下室事故排风与平时排风量不同,锅炉房和控制室无送风;锅炉房应是微正压,还是微负压;供暖空调水系统管道热膨胀最大位移 40 mm 与 20 mm 的不同场合;经常有人无外窗房间的通风要求等等。赵继豪组长的讲解对工程师设计工作有很好的指导作用,受到了与会人员的欢迎和赞许。

浩辰软件公司的代表介绍了新版浩辰暖通设计软件 INT V7.0,并为大家演示了软件操作及绘图。介绍结束后还与参会的设计师进行了有奖互动问答。

(本刊特约通讯员 朱慧宾)