

氢能源有轨电车地下车站的设计探索

刘 阳¹ 周俊仙²

(1. 北京市市政工程设计研究总院有限公司, 100082, 北京;
2. 北京市建筑设计研究院有限公司, 100045, 北京// 第一作者, 工程师)

摘 要 以佛山市南海区有轨电车里水示范段工程地下车站为例,分析氢能源有轨电车地下车站的设计方法。从常规设计方面,阐明了氢能源有轨电车地下车站的平面布置、空间布局、造型设计及过轨方式。通过对氢能源特性的分析,提出了氢能源有轨电车地下车站的通风设计、氢气探测、消防疏散和火灾报警等方面的防爆及消防特殊设计。

关键词 城市轨道交通; 有轨电车; 氢能源; 地下车站

中图分类号 TU921; U482.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.03.024

Design Exploration of Hydrogen-powered Tram Underground Station

LIU Yang, ZHOU Junxian

Abstract Taking the underground station of Lishui tram demonstration section in Foshan Nanhai district as an example, the design method of hydrogen-powered tram underground station is explored. From the aspect of conventional design, the plane layout, spatial arrangement, appearance design and rail-crossing mode of hydrogen-powered tram underground station are expounded. Through the analysis of hydrogen power characteristics, the special design considerations of explosion-proof and fire protection in hydrogen-powered tram underground station ventilation design, hydrogen detection, fire evacuation and fire alarm are put forward.

Key words urban rail transit; tram; hydrogen power; underground station

First-author's address Beijing General Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., 100082, Beijing, China

1 项目背景

继我国首列商业运营的氢能源有轨电车在佛山市高明区投入使用后,南海区有轨电车里水示范段工程也将采用氢能源动力为有轨电车供电。佛山市南海区有轨电车里水示范段工程线路始于里

水镇里湖新城景观中轴,设起点里湖新城站,出站后经里湖新城中轴西街、环镇北路、草场工业大道和里广路沿线敷设,止于临近广州市界的里横路站。线路全长 9.834 km,其中地下段长为 1.240 km。全线共设车站 13 座,其中地下站 1 座(里官路站)。南海区有轨电车里水示范段工程线路图如图 1 所示。由于有轨电车需穿越里湖新城的景观中轴,为避免破坏景观中轴的环境风貌,故设置了下穿景观中轴的地下隧道,并根据客源情况设置了 1 座地下车站——里官路站。



图 1 南海区有轨电车里水示范段工程线路图
Fig. 1 Project route diagram of Lishui tram line demonstration in Nanhai District

2 氢能源特点及其应用

2.1 氢能源特点

与传统能源相比,氢能源具有其他化石能源所无法比拟的优点:

- 1) 综合能效高、能量密度大。由于氢物质与氧在燃料电池的化学反应中能够直接生成电能,故其发电效率与综合效能远高于传统化石能源。氢燃料每千克释放的热量约为普通汽油的 3 倍。
- 2) 零排放、零污染。氢的化学反应只生成水并放出热量,由于不与其他可燃物反应,所以不产生常规的温室气体,如碳、氮、硫等化合物和粉尘颗粒

等污染物,可实现使用全过程的零排放与零污染。

3) 储量丰富、来源广泛。氢是宇宙中最丰富的元素,氢燃料来源多样化,可取自煤、沼气、电解水、天然气、丙烷甲醇及其他再生能源等。

4) 适用性强、应用广泛。氢能与燃料电池的组合适用范围较广。

氢燃料的缺点有制氢工艺复杂、氢燃料贮存困难、生产成本居高不下等。但随着科学技术的发展,困扰氢燃料电池发展的诸多技术问题已有望逐步被攻克并完善。

2.2 氢能源列车的动力原理

目前,氢能源列车的动力可分为两种:① 燃烧氢气产生动力推动列车;② 氢燃料电池+电动机组合,氢或含氢物质与空气中的氧在燃料电池中反应产生电能后,由电动机驱动列车行驶。其基本原理为电解水的逆反应,把氢和氧分别供给阳极和阴极,氢通过阳极向外扩散,和电解质发生反应后放出电子,通过外部负载到达阴极,进而实现源源不断发电的目的。由于氢燃料电池是将氢气和氧气的化学能直接转换成电能的发电装置,考虑到能源转换的安全性,氢能源列车大多采用氢燃料电池技术。据估算,如果佛山市的机动车全部替换为氢能源车辆,每年可减排有毒有害物质约 460 t,节省汽柴油约 160 万 t^[1]。

2.3 氢能源在城市轨道交通中的应用

依托氢能源全产业链的发展,氢能源有轨电车在我国陆续投入使用。2017 年 11 月,唐山市首列氢能源有轨电车在唐胥铁路首次投入运营。2019 年 12 月,佛山市首列商业运营的氢能源有轨电车在高明区投入运营。预计未来几年我国将有更多的城市开始兴建氢能源有轨电车项目^[2]。

3 氢能源有轨电车地下车站的常规设计

3.1 地下车站总平面图布局

里官路地下车站位于里湖新城轴西街与环镇北路交叉路口东侧,沿环镇北路中央绿化带内及其地下敷设,呈东西走向。里官路站总平面图如图 2 所示。环镇北路为城市快速路,路宽为 50 m。车站东北、东南侧各设 1 个乘客进出站口与 1 个无障碍垂直电梯,西北侧设 1 个安全出口。在车站主体上方绿化带内设置 1 个矩形采光井,兼有通风排烟功能。为了简化车站地下布局,车站所属的设备用房主要布置于地面,与地面亭合建。为了保障乘客过轨的绝对安全及方便周边群众过街的需求,车站地下二层设置 1 条与进站通道上下平行的过轨通道,并配有无障碍设施,便于行动不便者过轨换乘与过街。

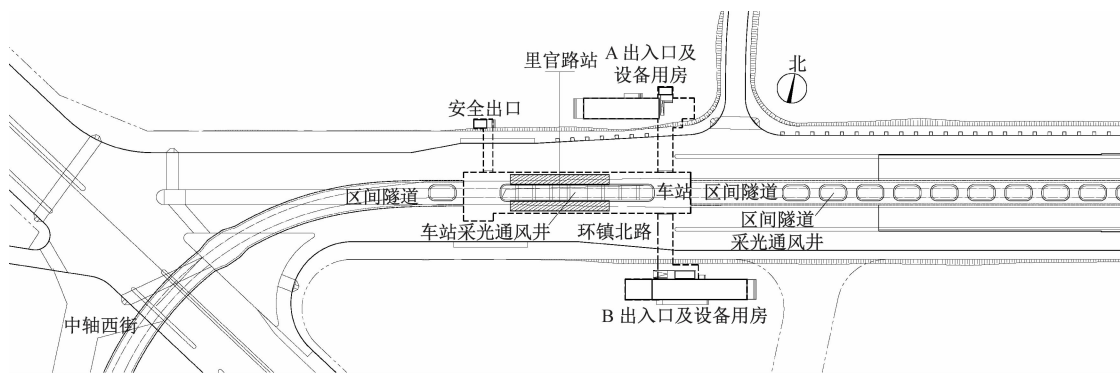


图2 里官路站总平面图

Fig. 2 General plan of Liguan Road Station

3.2 地下车站的空间布置

里官路地下车站主体设置为地下一层侧式车站,局部二层为过轨通道与楼电梯设施。里官路地下车站建筑平面示意图如图 3 所示。站台有效长度为 40 m,单侧站台净宽为 4 m。由于车站采用氢能源动力,车体上方无接触网,所以车站在满足道路覆土厚度及上方各类管线埋深需求的前提下应尽

量浅埋,轨面至车站结构顶板底净高为 5.83 m。进出站通道地面与轨面平齐,有效站台与轨面高差为 0.3 m,在进出站通道与有效站台之间设置无障碍坡道(长度为 6 m)与进出站闸机区(长度为 13 m)。进出站通道南北两端均设有 2 部上下行扶梯,1 部无障碍垂直电梯,供乘客进出站、过轨及过街。考虑到车站采用无人值守模式,且为了保障乘客过轨

的绝对安全,地下一层站台的过轨通道仅在紧急情况下打开使用,日常均使用地下二层的专用通道过

轨与过街。

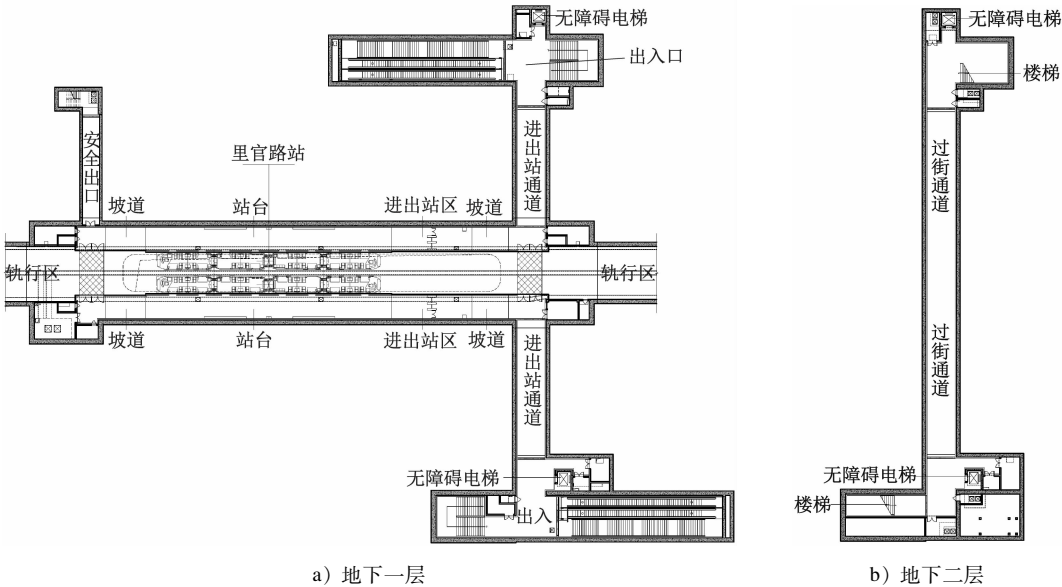


图3 里官路站建筑平面示意图

3.3 地下车站的站内造型设计

地下车站采用闭合框架结构,车站范围内不设结构柱,结构梁上翻于结构顶板。整个站台和轨行区空间规整、视线通透,轨行区顶部上方设置1个通长的采光通风井,在结构与地面景观条件允许的情况下,应尽量扩大洞口面积。在该种结构下,车站主体建筑内不需设置机械送排风系统,不仅节省了车站运营维护成本,且其对于氢能源车辆的行驶安全至关重要。同时,在满足通风要求的前提下,采光通风井引入了自然光线,既节约了电能又弱化了地下车站的压抑感,再结合通风井道本身由结构梁之间的空隙带来的光影变化,能够营造出一种有别于地下封闭车站独特的景观特征。

3.4 地下车站的地下通道设计

地下车站采用开放的无人值守模式,相较于视野开阔的地面车站,地下车站的平交过轨存在一定的安全隐患。由于地下车站连通地下区间隧道,行人的视野容易被地下结构所遮挡,行人在过轨时,即使进站车辆已提前减速,也无法确保行人与驾驶员均可及时发现对方并采取避让措施。此外,地下车站距离地面十字路口尚有一段距离,车站的地下通道将不可避免地作为地面行人的过街通道,随时可能出现的过街行人必将导致车辆紧急避让。为了确保行人与车上乘客的绝对安全,以及有轨电车

的运行时效,地下车站设置了专用的过轨通道。里官路地下车站过轨通道示意图如图4所示。

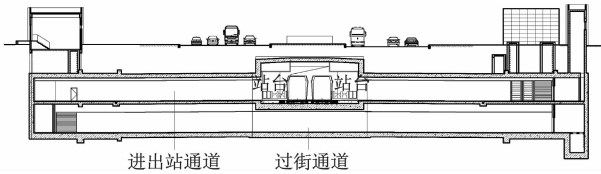


图4 里官路站过轨通道示意图

Fig. 4 Diagram of Liguan Road Station rail-crossing passage

4 氢能源有轨电车地下车站的特殊考虑

4.1 地下车站的防爆考虑

4.1.1 设计标准和方法

氢气是一种比空气还轻的气体(分子量为2),当氢气在空气中的体积分数达到4.0%~74.2%时,遇火源就会发生爆炸;当氢气体积分数小于4.0%或大于74.2%时,即使遇到火源,也不会发生爆炸。对比目前在道路上行驶的各类内燃机车,与氢气的物理化学性能最为接近的当属车辆所携带的CNG(压缩天然气),天然气的主要成分为甲烷(CH₄),分子量为16,爆炸极限为5.0%~15.4%。甲烷与氢气同样轻于空气,二者的爆炸下限也极为接近,因此对比CNG车辆行驶的封闭隧道环境对氢能源地下车站的设计有一定的参考价值。

查阅 GB 50016—2014《建筑设计防火规范》(2018 年版)》中的城市交通隧道部分,并未有专门针对可燃气体车辆的特别要求,故可以理解为封闭隧道并未有专门针对可燃气体的特殊要求。目前,我国与氢能源相关的地下车站设计规范虽然近乎空白,但在参考 GB 50157—2013《地铁设计规范》的同时,可以利用氢气轻于空气的特性,尽量使封闭的地下车站敞开,使可能泄露的氢气快速排出车站,并在大气中稀释至爆炸下限之下,同时可结合有效的探测预警手段,使地下车站达到比封闭隧道更优的安全行驶环境。

4.1.2 实例分析

4.1.2.1 通风设计

根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》,区间隧道和全封闭车道采用自然排烟时,排烟口应设置在上部,其有效排烟面积不应小于顶部投影面积的 5%,排烟口的位置与最远排烟点的水平距离不应超过 30 m。为此,里官路地下车站在轨行区上方设置了投影面积占车站主体面积 23% 的开敞洞口。巨大的开敞洞口在满足车站通风排烟功能的同时,也能够实现氢气的快速排放。里官路站纵剖面示意图如图 5 所示。

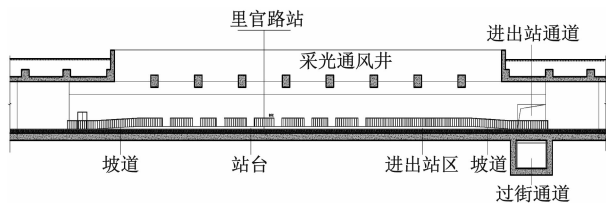


图 5 里官路站纵剖面示意图

Fig. 5 Diagram of Liguan Road Station vertical section

由于未有规范对氢能源地下车站的通风做出具体要求,所以在满足 GB 50157—2013《地铁设计规范》中排烟要求的前提下,还应满足:① 尽量扩大开敞洞口面积,以利于泄露的可燃气体尽快排放到车站外部;② 车站站台侧墙与顶板呈钝角而非直角,顶板由墙角向开敞洞口扬起一定角度,利用氢气比空气轻的特点,可防止氢气在结构直角处大量聚集;③ 有效站台顶部不安装常规的密闭吊顶,考虑到氢气可能通过吊顶板之间的空隙进入吊顶空腔内,站台顶部采用开敞的格栅式吊顶,既可以遮蔽顶部管线,又可以防止氢气滞留于吊顶内部。里官路站横剖面示意图,如图 6 所示。

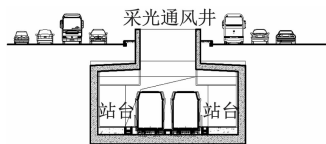


图 6 里官路站横剖面示意图

Fig. 6 Diagram of Liguan Road Station crosssection

4.1.2.2 氢气探测系统设置

除了尽可能快速排放泄露的氢气外,地下车站还设置了氢气探测器和声光报警器,共同组成了车站的主动预警系统。氢气探测系统独立于其他系统单独设置,在系统探测到气体泄漏到达报警阈值时发出报警信号,进而启动声光报警器。

4.2 地下车站的消防考虑

4.2.1 设计标准和方法

CJJ/T 295—2019《城市有轨电车工程设计标准》已于 2020 年 6 月 1 日正式施行,但其对地下车站设计中的消防设计等内容未有提及。此外,我国与氢能源相关的车站设计规范近乎空白,故经过多轮专家评审后决定,氢能源地下车站的消防设计需参考 GB 50157—2013《地铁设计规范》与 GB 51298—2018《地铁设计防火标准》的要求。

4.2.2 实例分析

4.2.2.1 消防疏散设计

GB 50157—2013《地铁设计规范》中涉及地下侧式车站的条款有:① 地下车站站台和站厅公共区应划分 1 个防火分区;② 车站每个站厅公共区应设置不少于 2 个直通地面的安全出口;③ 地下单层侧式站台车站每侧站台不应少于 2 个直通地面的安全出口;④ 站台和站厅公共区内任一点与安全出口疏散的距离不得大于 50 m。

里官路地下车站采用单层侧式车站,由于采用氢能源作为车辆的动力来源,出于安全考虑将设备房间置于地面,地下一层仅设站台、进出站通道、安全出口等。相较于地铁,有轨电车的客流较小,车站未区分站厅和站台,因此将车站主体区域视为 1 个防火分区。站台集合了坡道、进出站区、乘车区 3 个功能区域部分,总长度为 59 m。里官路地下车站设置了 3 处直通地面的安全出口:在站台大里程一端,站台通过两侧进出站通道直通室外地面;在小里程一端的北侧站台,设置了第 3 处安全出口。由于轨行区的硬化铺装与轨顶面平齐,且未设站台门,所以在事故工况下,两侧站台乘客可通过轨行区到达对侧站台的安全出口。采用此种疏散方式,

既满足了规范中侧式站台每侧需设置 2 个直通地面安全出口的要求,又减少了地下车站的工程建设投资。

4.2.2.2 火灾报警系统设置

根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》,全封闭运行的城市轨道交通车站应设置火灾自动报警系统,但其对有轨电车地下车站并未做出明确要求。里官路站虽然属于半敞开式车站,且满足了自然通风及自然排烟的要求,但为了进一步提高氢能源有轨电车地下车站的安全性,仍然设置了火灾自动报警系统,结合火灾自动报警系统与氢气探测系统,共同构成了氢能源有轨电车地下车站的主动防御体系。

5 结语

氢能源推动了清洁能源的革命,重构了低碳产业的体系,是化石燃料理想的替代品。这一具有颠覆性技术的能源与现代交通工具的组合,为未来的城市轨道交通发展提供了一种更加完美的解决方案。作为未来氢能产业链一环中的配套建筑,对氢能源有轨电车地下车站的设计探索具有积极的社会效应。本文以佛山市南海区有轨电车里水示范

(上接第 127 页)

3) 优化视觉引导系统,基于乘客典型的换乘行为研究,在相应地点将乘客所需信息及时、清晰、易懂、形象地呈现出来。

4) 增加人性化设施,如无障碍卫生间、母婴室、数字超市、急救设备和休息座椅等,能够极大地改善乘客的换乘体验。

上述优化设计有利于改善复杂、封闭空间内的引导性,提升换乘效率和乘客满意度。

4 结语

城市轨道交通的换乘已经成为现代轨道交通系统的关键环节,而高架-地下站换乘是轨道交通换乘中的重要类型之一。以上海为例,根据 2020 年的统计数据,上海轨道交通共计有车站 414 座,换乘站 60 座,其中高架-地下站 19 座,约占换乘站数量的 31.7%。高架-地下换乘站换乘过程高落差、路径长、线路曲折等特点使得乘客乘坐体验不佳,因此对换乘空间的优化设计提出了更高的要求。上海

段工程地下车站的设计为例,在满足其地下车站常规功能的同时,针对氢能源特殊的物理、化学性质,分析了地下车站的通风设计、氢气探测系统设置、消防疏散和火灾报警系统设置等防爆、防火设计,力求该地下车站在合理的建筑布局下,确保安全的乘车环境。目前国内尚未有已建成运营的氢能源有轨电车地下车站,对氢能源有轨电车地下车站的设计仍处于探索阶段,各种针对氢能源的车站防护设计还需在实践中继续探索与改进。

参考文献

[1] 巩巧琴, 万年坊, 杜青峰, 等. 氢燃料电池轻轨的智慧交通运营研究: 以佛山高明世界首条商业运营氢能有轨电车为例[J]. 中国建设信息化, 2021(5): 76.
GONG Qiaoqin, WAN Nianfang, DU Qingfeng, et al. Research on intelligent transportation operation of hydrogen cell light rail—taking the first commercial hydrogen tram in Gaoming, Foshan as an example[J]. Informatization of China Construction, 2021(5): 76.
[2] 陈祥. 氢能源有轨电车的应用实践[J]. 现代城市轨道交通, 2021(5): 28.
CHEN Xiang. Application practice of hydrogen energy tram[J]. Modern Urban Rail Transit, 2021(5): 28.

(收稿日期:2022-03-01)

中山公园换乘站是此类车站中的代表性站点,值得深入研究。通过分析其换乘客流特点,总结换乘客流制约要素,形成系统性的整体设计策略,其中包括:强化竖向交通能力、优化路线适当分流和空间整体体验优化等。以上措施可以改善地铁换乘能力,提升乘客换乘体验,进而提高城市轨道交通系统的满意度。

参考文献

[1] 吴贤国, 刘梦洁, 张立茂, 等. 地铁车站人群集散能力瓶颈风险评价[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(2): 130.
WU Xianguo, LIU Mengjie, ZHANG Limao, et al. Risk analysis of bottleneck in gathering and distributing of subway station[J]. Railway Standard Design, 2016, 60(2): 130.
[2] 李玉书, 孙越, 万衡, 等. 城市轨道交通车站换乘通道客流压力的评估方法[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(1): 106.
LI Yushu, SUN Yue, WAN Heng, et al. Evaluation method of transfer passageway passenger flow pressure at urban rail transit station[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(1): 106.

(收稿日期:2020-12-30)