

11 m 宽岛式站台明挖无柱拱形地铁车站的设计

杨成蛟 王 晶 张喜桥

(辽宁省交通规划设计院有限责任公司, 110166, 沈阳//第一作者, 高级工程师)

摘 要 为实现大跨度无柱地铁车站结构, 提高车站服务水平, 在对已建无柱地铁车站结构分析的基础上, 以沈阳地铁 3 号线为依托, 拟定了 11 m 宽岛式站台的明挖无柱拱形地铁车站结构, 并进行了力学性能、建筑空间、管线综合等方面的研究。结果表明: 新拟定的无柱拱形结构和改造的三角形轨顶风道受力性能良好, 不用设置抗拔桩, 不用考虑围护结构联合受力, 有利于保证防水质量和结构耐久性, 可适用于多种地质条件; 该无柱结构的车站建筑空间效果好, 客流组织顺畅, 利于管线综合布置, 可提高车站服务水平与效率; 通过调整顶、底板拱的矢跨比, 并联合中板斜撑结构, 可应用于岛式站台宽度大于 11 m 的无柱车站。

关键词 地铁车站; 岛式站台; 明挖; 大跨度; 无柱拱形结构中图分类号 U231.4 : TU93¹

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.06.013

Design of Open-cut Non-column Arch Metro Station with 11 m Wide Island platform

YANG Chengjiao, WANG Jing, ZHANG Xiqiao

Abstract In order to realize the large-span non-column metro station structure and improve the station service level, through an analysis of the existing non-column metro station structure relying on Shenyang metro Line 3, an 11 m wide open-cut non-column arch metro station structure is drawn up, the mechanical property, building space and pipeline synthesis of which are studied. The research results show that: the newly proposed non-column arch structure and the modified triangular rail top air duct have good stress performance, and can ensure the waterproof quality and durable structure in various geological conditions, neither the anti-pulling piles nor the combined force of the enclosure structure need to be considered. This non-column station structure has good space effect, leading to smooth passenger flow organization and comprehensive arrangement of the pipeline, therefore can improve the service level and operation efficiency of the station. The adjusted rise-span ratio of the top and bottom arch with the inclined supporting structure of the middle plate can be applied to the non-column station with platform wider than 11 m.

Key words metro station; island platform; open-cut method;

large span; non-column arch structure

Author's address Liaoning Provincial Transportation Planning and Design Institute Co., Ltd., 110166, Shenyang, China

大跨度无柱地铁车站具有视野开阔、客流通畅等优点, 目前已在上海、广州、深圳、南京等地应用, 但仅限于应用在站台宽度不大于 9 m 的无柱车站, 且多数是因为周边环境恶劣而不得不降低车站总宽度的情况下而应用^[1]。为进一步增加车站空间, 满足更大客流要求, 提高地铁车站的舒适性, 有必要对更宽站台的无柱车站进行研究。目前广州地铁 11 号线计划修建多座顶板加腋式大跨无柱地铁车站, 且广州地铁设计研究院有限公司希望依托《新型车站综合技术研究》项目, 设计出既满足安全要求又能提高空间利用率的新型地铁车站^[1]。基于此, 本文结合沈阳地铁 3 号线一期工程, 在满足客流要求的前提下, 为与 12 m 宽岛式站台有柱车站标准相匹配, 拟对 11 m 宽岛式站台的明挖无柱车站进行了分析、研究。

1 已建无柱车站结构形式及优缺点分析

目前, 已知国内最早应用的无柱车站是上海轨道交通 1 号线衡山路站。该车站站台宽 8 m, 顶板为折线拱, 中板厚 650 mm, 底板厚 1 050 mm。为消除水浮力对结构的影响, 在底板下设置了盲沟倒滤层。其侧墙为地下连续墙叠合墙结构^[2]。

2002 年广州地铁 2 号线琶洲—三元里区段有 5 座车站采用了无柱结构, 分别为赤岗站、鹭江站、中大站、市二宫站和纪念堂站。其中除赤岗站站台宽度为 9 m 外, 其余车站的站台宽度均为 8 m。鹭江站、中大站、市二宫站和纪念堂站的顶板采用密肋梁结构, 赤岗站顶板采用变截面板结构。5 座车站的中板厚均为 650 mm, 底板为单排抗拔桩+底纵梁体系。市二宫站、纪念堂站人工挖孔桩与主体结构组成复合式结构型式, 鹭江站、中大站人工挖孔桩与主体结构组成重合式结构型式^[3-4]。

此后,上海轨道交通7号线的上海大学站和南陈路站^[5],以及深圳地铁9号线的人民南站^[6]、深圳地铁2号线东沿线的新秀站^[7]等无柱车站相继建成运营,其顶板均采用变截面板,中板为厚板,侧墙为地下连续墙叠合墙。新秀站底板为单排抗拔桩+底纵梁体系,其他站底板为厚板,其中人民南站的底板厚度达1.8 m。

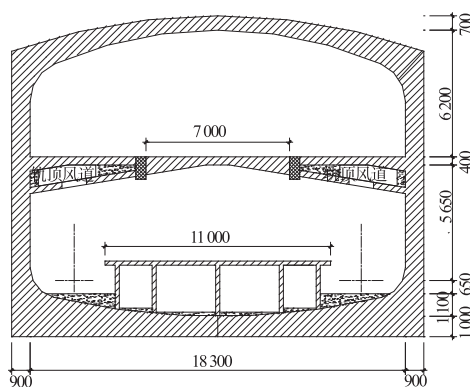
以上无柱车站结构均为箱型框架结构,通过加厚构件截面、设抗拔桩、采用叠合墙等技术措施,可满足站台跨度小于9 m无柱车站的结构要求,具有结构方案简单、整体结构传力路径明确、结构断面规整便于施工等优点。但是,这些无柱车站同时也存在下列问题:①侧墙必须考虑围护结构联合受力,而围护结构施工质量不易保证,难以达到百年工程要求;②侧墙的叠合墙结构中的地下连续墙施工质量不易保证,通过钢筋连接内衬墙后易渗漏水;③底板设抗拔桩不利于保证车站防水质量,当应用于砂、土质地层时桩长将很长,且间距较小,与底板连接接头增多,从而增加了渗漏水隐患;④底板采用纯厚板,加深了车站基坑深度,增加了开挖量和围护结构的危险,相应增加了工程造价;⑤目前9 m宽岛式站台的无柱车站中板厚度已达到650 mm,虽然加大截面是提高梁、板承载力的有效措施,但对超大跨结构通常不宜采取无限加厚截面这种方式。此外,中板楼梯处洞口长度大于9 m,洞口两侧中板形成约6.5 m的独立悬臂结构,结构布置略显不合理,安全风险较高;⑥密肋梁结构可实现更大的跨度,但施工过于繁琐,且不太适合应用在中板层。

2 11 m宽岛式站台明挖无柱拱形地铁车站结构设计

2.1 结构横断面拟定

通常解决大跨度的结构方案有桁(网)架、预应力、拱结构、钢结构、索膜结构等,但地下结构具有覆土荷载大、操作空间小、耐久性要求高等特点,桁(网)架、预应力、钢结构、索膜结构等都不适用。拱结构一般只应用在暗挖地铁车站中。2014年青岛地铁3号线保儿站首次采用明挖顶板拱结构^[8],长春地铁2号线袁家店站^[9]明挖装配式顶板也采用了拱结构,为拱结构在明挖车站顶板中的应用提供了新的思路。

根据上述工程经验,本文对11 m宽岛式站台无柱车站拟定了拱-撑结构方案,见图1。



尺寸单位:mm

图1 拱-撑结构标准横断面

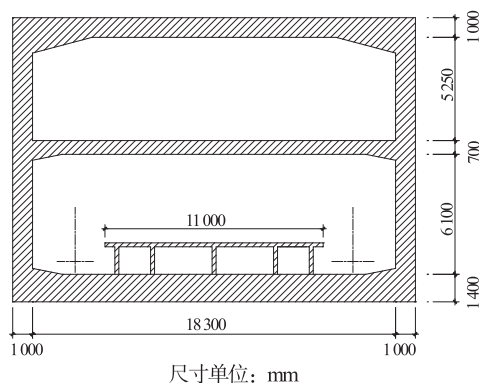
(1) 顶板:采用内半径20 m、外半径30 m的拱结构,拱顶板厚700 mm,内拱与侧墙采用半径2 m圆弧过渡。

(2) 中板:板厚400 mm,斜撑厚300 mm,斜撑角度约9°,中板两端加腋,斜撑和中板之间的空间兼做轨顶风道,面积约2 m²。斜撑与中板交点设纵梁(500 mm × 1 100 mm),两纵梁之间可用于楼梯开洞。洞边横梁两端锚固于纵梁内。

(3) 底板:采用内半径35 m的拱结构,拱底板厚1 000 mm,内拱与侧墙采用半径1.5 m圆弧过渡。

(4) 侧墙:墙厚900 mm。

为了与传统无柱车站结构进行对比,参照文献[1,10-11]等的研究,拟定宽11 m的岛式站台变截面面板结构方案,如图2所示。



尺寸单位:mm

图2 变截面面板结构标准横断面

2.2 荷载及计算参数

由于地铁车站多位于市内或郊区,既有或规划的地下市政管线众多,为保证车站施工后重力流市政管线具备实施条件,研究的车站拱顶覆土按3 m计算。计算参数参照沈阳地铁9号线地质资料,详见表1。

表1 计算采用的土层物理力学参数

地层	水平基床系数/ (MPa/m)	竖直基床系数/ (MPa/m)	侧压力系数
杂填土			0.50
细砂	12	15	0.42
中粗砂	23	25	0.42
砾砂	32	35	0.35

2.3 计算结果分析

表2和图3、图4为两种结构的弯矩对比和弯矩计算结果。对比表2中拱-撑结构和变截面板结构的顶板弯矩、底板弯矩可以看到,拱-撑结构的顶、底板弯矩较变截面板结构已大为减小,其中顶板负弯矩减小得最多,仅为变截面板结构弯矩的41.5%,底板负弯矩减小为变截面板结构弯矩的76.3%。这说明了拱将顶、底板的竖向力部分转化为拱内的轴力,对顶、底板的弯矩优化作用显著,而且矢跨比越大优化作用越大。

表2 拱-撑结构和变截面板结构的弯矩对比表

部位	拱-撑结构/ (kN·m)	变截面板结构/ (kN·m)	弯矩比值/%
顶板负弯矩	1 614	3 888	41.5
顶板正弯矩	1 093	2 297	47.6
中板负弯矩	462	1 410	32.8
中板正弯矩	135	743	18.2
底板负弯矩	2 625	3 441	76.3
底板正弯矩	2 189	3 746	58.4

对于中板层,本文考虑结合轨顶风道的设置,将轨顶风道的断面形状改造为三角形,利用风道板给中板加一道斜撑,减小中板跨度。此时中板的最大正、负弯矩分别为厚板结构的32.8%和18.2%,受力性能改善显著。其次,中板由于风道板的支撑作用,可承受较大的荷载,故在设备区同样可以适用,而且该结构与厚板结构相比混凝土和钢筋用量较少,具有经济优势。再次,在中板楼扶梯开洞处,洞口两侧的中板为三角形斜撑结构,与变截面板结构中的独立悬挑结构相比,结构布置更合理。

根据计算结果及上述分析,本文拟定的拱-撑结构受力性能要优于变截面板结构。此外,拱-撑结构还具有以下优点:①不需设置抗拔桩,围护结构不参与主体结构受力,利于全包防水处理,降低渗漏水的隐患;②计算选用的地质参数为常规砂土地层,地质条件一般,故该结构可适用于多种地质条件;③若维持中板斜撑结构不变,加大斜撑交点间的距离,同时修改顶、底板的拱参数,可应用于岛式站台宽度大于11 m的无柱车站;④中板斜撑结构

方案也可用在目前普遍应用的暗挖法单拱车站中,实现站台层无柱,提高车站服务效率。

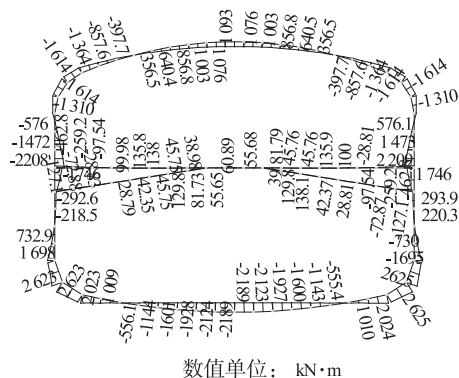


图3 拱-撑结构标准断面弯矩

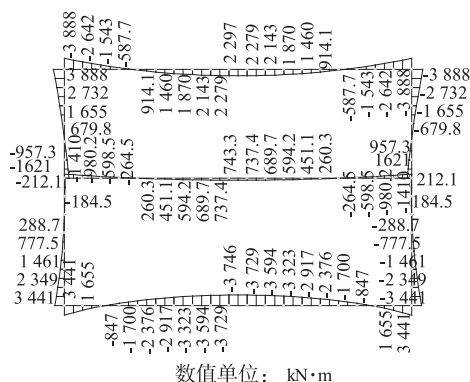


图4 变截面板结构标准断面弯矩

3 11 m宽岛式站台明挖无柱拱形地铁车站建筑设计

地铁车站建筑空间通常有两个组成部分,分别为公共空间和设备空间。公共空间的作用主要是以人为服务对象,供乘客集散、乘降、候车;设备空间主要是以环境为服务对象,满足车站场所对设备的各种需求^[12]。结构柱对车站公共区环境的影响较大,因此现阶段的无柱车站方案均在公共区采用无柱结构,以提高服务质量。设备区则采用常规的有柱结构和相应的建筑布置,以降低工程造价。

目前,已应用的无柱车站因岛式站台宽度小于9 m,公共区内两两并排布置上、下行扶梯和楼梯各2处,此时扶梯两侧的侧站台宽度 ≥ 2.5 m^[3-4],刚好满足规范中对最小宽度的要求。这类车站的楼、扶梯布置分散,占据站台层、站厅层大量面积,车站服务水平较差。

本文设定的岛式站台宽11 m的无柱车站,在公共区中部布置一组“T”型楼梯和一部无障碍电

梯,两侧各布置两组自动扶梯(见图5)。自动扶梯两侧的侧站台宽3.7 m,已超出一般14 m宽岛式双柱车站3.2 m的侧站台宽度,站台层非常宽敞。站台层、站厅层取消了结构柱,可将楼、扶梯集中布置,增加了付费区和非付费区的可利用面积,从而客流组织更流畅,车站空间更宽敞,服务水平与效率更高。

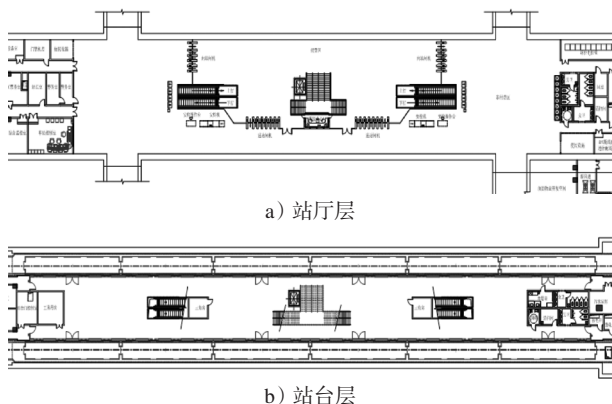


图5 车站公共区建筑平面布置

拱形的顶板结构给车站上部提供了更大的可利用空间,方便管线布置。站厅层装修可结合顶板形状做成拱顶,再利用模拟采光,结合拱形空间的造型设计,使地下车站空间视野更开阔,竖向比例更协调,降低了常规地铁车站地下空间具有的压抑感。

4 11 m 宽岛式站台明挖无柱拱形地铁车站管线设计

管线综合设计的各专业管线中,暖通专业不仅管线数量多,而且管道断面大,占据了大部分的吊顶空间,其设计任务量约占管线综合设计总任务量的

一半^[13]。

11 m 宽岛式站台无柱车站仅在公共区与普通有柱车站结构不同,取消了中柱、纵梁等构件,有利于一般“小”管线的布置,故仅对暖通专业的风管进行重点研究。

4.1 站厅层大系统排风布置

为了充分利用站厅层拱形断面空间,将公共区及设备区“小端”的大系统风管集中布置在车站横向的中部;在设备区“大端”车站变为矩形断面后,为方便其他专业的管线布置,将风管移到靠近车站侧墙附近位置(见图6和图7)。

4.2 站台层大系统排风布置

为避免站台层大系统风管贯穿设备区占用大量空间,不利于站台层(特别是有柱结构变无柱结构处)的综合管线布置,故先布置该风管在站厅层设备区走行,再在站厅层中部与站台层设备房间上下重叠范围设置一处风室,通过风室将风管引至站台层与公共区直接相连,并紧贴楼扶梯开孔布置(如图6和图7所示)。

由于站厅层增加了引入站台层的大系统风管,该风管贯穿设备区部分房间,占据顶部空间较大,压低了设备用房内小系统风管与之相交部位的标高,故设备区层高相对于普通有柱车站需加高500 mm,以满足管线敷设需求,见图8。

由上可知,该拱形无柱车站可满足综合管线布置要求,并很好地规避了以往设计中大风管过多占用设备区走廊空间、造成综合管线布置困难等问题。此外,由于公共区底板拱的存在增加了站台板下的净高,也利于板下电缆桥架及轨底风道布置。

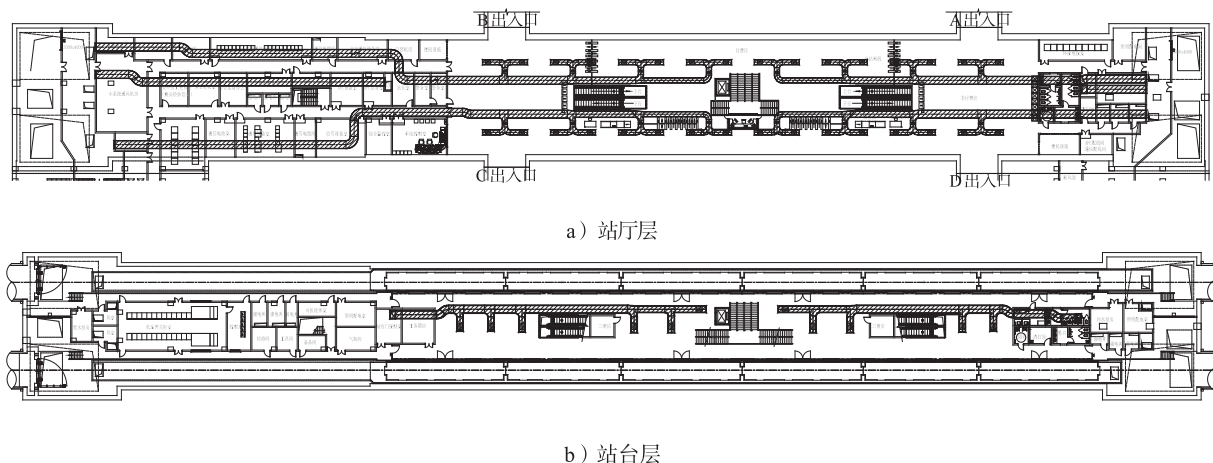
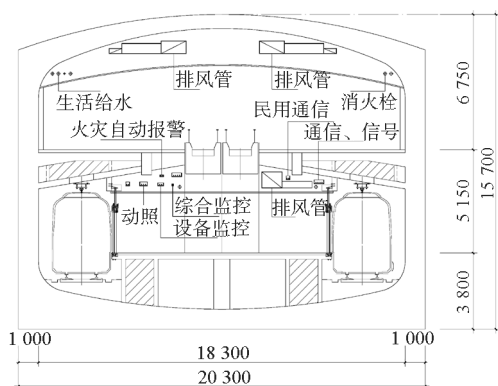
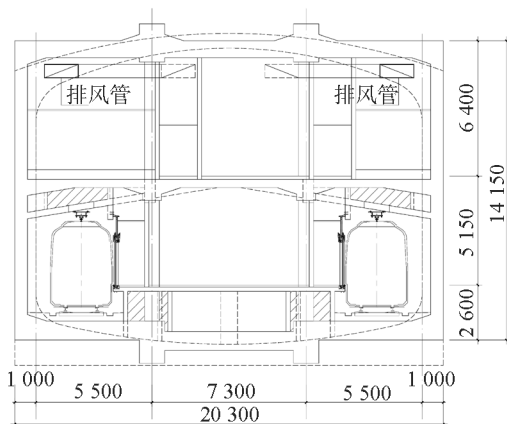


图6 车站大系统排风布置



尺寸单位: mm

图7 车站公共区横剖面图



尺寸单位: mm

图8 车站设备区横剖面图

5 结论

大跨度、大空间具有众多优点,已成为了地铁站发展的趋势。本文通过计算分析拟定了一个全新的无柱结构方案,将无柱车站的岛式站台宽度拓宽到 11 m,并进行了建筑与综合管线的相关研究,得到如下结论:

(1) 拟定的无柱结构受力合理,建筑布置灵活,空间开阔,利于综合管线布置,具备可实施性。

(2) 圆弧过度的拱结构可以有效优化顶、底板结构受力,实现顶、底板大跨度;拱顶利于管线布置,空间效果及装修效果好。

(3) 改造的三角形轨顶风道结构优化了中板受

力,实现中板大跨度,同时在中板楼扶梯开洞两侧形成独立的斜撑体系,结构布置合理。该结构也可用于在目前普遍应用的暗挖法单拱车站中,实现站台层无柱,以提高车站服务水平。

(4) 拟定的无柱结构不设抗拔桩,不考虑围护结构联合受力,利于全包防水处理,耐久性易保证,可适用于多种地质条件。

(5) 通过调整顶、底板拱的矢跨比等参数,可应用于岛式站台宽度大于 11 m 的无柱车站。

上述结论都是在静力计算与分析的基础上取得,建议今后应对这一全新的无柱结构方案进行抗震性能验算。

参考文献

- [1] 林伟波. 顶板加腋式大跨无柱地铁车站结构静动力性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [2] 陆忠良, 吴福海. 地铁一号线衡山路车站结构设计[J]. 上海建设科技, 1994(1): 5.
- [3] 农兴中. 大跨度无柱地铁车站设计[J]. 广东土木与建筑, 2002(11): 11.
- [4] 林作忠. 大跨度无柱地铁车站的建筑特点及结构选型[J]. 铁道勘测与设计, 2004(4): 89.
- [5] 王益群, 徐正良, 温玉君, 等. 上海市轨道交通 7 号线工程综合技术[J]. 城市轨道交通研究, 2010(增刊 1): 1.
- [6] 丁先立. 深圳地铁人民南站复杂环境下设计与施工[J]. 隧道建设, 2016(8): 960.
- [7] 王明敏. 深圳地铁 2 号线东延线新秀站结构设计[J]. 黑龙江水利科技, 2010(2): 44.
- [8] 张亚辉, 宋玉香, 郭唯伟. 大跨度拱形无柱地铁车站抗震性能分析[J]. 国防交通工程与技术, 2014(6): 53.
- [9] 苏会锋, 李习伟, 王臣. 全装配式地铁车站结构接头抗弯承载能力试验研究[J]. 铁道学报, 2016(9): 118.
- [10] 刘庭金, 郑月昱, 林伟波, 等. 有、无柱地铁地下车站地震响应对比分析[J]. 隧道建设, 2017(4): 421.
- [11] 刘庭金, 许炜星, 唐欣薇. 上软下硬地层大跨无柱地铁车站地震响应分析[J]. 隧道建设, 2017(增刊 2): 26.
- [12] 张博. 地铁地下车站建筑空间创造探讨[J]. 住宅与房地产, 2017(6): 271.
- [13] 华舟萍, 张帆. 地铁地下车站管线综合设计[J]. 建筑技术, 2017(11): 1211.

(收稿日期: 2018-09-30)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021-51030704