

明挖法地铁车站结构设计研究

许昆

中铁第一勘察设计院集团有限公司

摘要:随着经济的发展和社会的进步,越来越多城市开始大力兴建地铁工程,希望能够凭借此举为居民出行提供便利。调查发现,现有地铁车站多为明挖车站,为解决车站钢筋砼箱型结构明挖施工难度大的问题,本文以陕西省某新建地铁工程为例,对设计地铁车站结构的工作进行研究,分析设计车站结构的重难点,从了解结构受力情况、确定截面高度、优化结构形状、结构节点削峰等环节出发,分别提出了切实可行的方案,最终结构设计难点迎刃而解,项目投入使用至今未出现异常情况。

关键词:地铁车站;明挖施工;钢筋砼箱型结构;受力分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.18.048

一、项目概况

陕西省某地铁站位于城市主干道交叉口,车站的地下室位置为高层住宅区,车站主体与住宅区地下室位置距离约10.2m,车站附属建筑与住宅区地下室距离约6.8m。车站南侧为高压走廊带,其线路与车站主体位置相距约10m左右。地层结构的分布由地表向下依次为杂填土层、素填土层、黏土层、全风化泥质、强风化泥质砂岩、中风化泥质砂岩。地铁站结构为地下两层的岛式站台车站,高度12m,全长和标准段宽分比为210.2m和19.8m。从地铁站设计的主体结构来看,普遍为单柱双跨结构,局部位置为双柱三跨箱型结构。本工程主要应用明挖法进行施工,在整体规划设计中,为保证基本出行条件,地铁车站内部设计4个出口和两个风亭组,结构为单层结构。根据构件尺寸部分的设计,顶板厚度、中板厚度和底板厚度分别设计为1.1m、0.7m、1.1m,底纵梁宽和高度分别涉及为1.3m和2.4m。为保证结构稳定,在底板中部位置设计抗拔桩,桩径1.2m。针对荷载的设计,永久荷载部分钢筋混凝土容重取值设计为25kN/m³,顶板吊顶荷载1kPa,容重18kN/m³。可变荷载部分中侧墙超载压力11.6kPa,人群荷载4kPa。顶板荷载中包括装修荷载、隔板荷载、轨顶风道荷载以及底板荷载,分别为4kPa、1.5kPa、3.5kPa和186.5kPa。

二、地铁车站钢筋砼箱型结构设计重难点

钢筋砼箱型结构是地铁车站常见的结构形式,具有理想的承载能力和稳定性。该结构通常由以下几部分组成:一是,基础。结构基础多为深基础,例如,承台基础、桩基础。设计结构基础时,应考虑土层性质,确保结构安全。二是,地下墙体。作为结构主体的地下墙

体,主要负责传递荷载、抗侧向力,正常情况下,地下墙体均采用整体偏厚的钢筋砼,以保证刚度、强度符合要求^[1]。三是,屋面结构。车站屋面结构往往由现浇构件或是预制构件组装而成,设计屋面结构时,应考虑抗震、防水以及荷载等因素,确保结构可靠且稳定,使用寿命能够满足要求。四是,梁柱结构。在地铁车站中,梁柱结构主要负责支撑屋面和地下墙体,一般采用钢筋砼构件或是钢结构,不同构件通过恰当的连接件连接,从而形成具备足够强度和刚度的梁柱。设计箱型结构时,要考虑受力、荷载等因素,以确保结构安全可靠。

分析结构受力情况时,设计方可能会面临以下难题:(1)地铁车站承受着动态和静态的多种载荷,包括但不限于列车荷载、人流荷载、风荷载。这些载荷的大小、方向和分布都是随着时间和位置变化的,受力分析的难度、复杂程度不言而喻。(2)箱型结构在不同方向上会受到多种受力,例如,竖向荷载、横向荷载、剪力,由此而造成的问题,便是结构各部位所产生应力、变形有所不同,需要分别分析。(3)地铁车站一般位于地下,周围土体会对结构施加一定的荷载,进而增加结构受力分析难度。(4)车站施工和使用阶段的受力条件也有所不同。施工期间,要考虑浇筑砼产生的荷载、施工荷载,车站投入使用后,要考虑列车运行荷载、人流荷载。在设计箱型结构时,设计方应对以上难点引起重视,通过科学分析、计算结构受力,确保所设计结构稳定且安全。

三、明挖法地铁车站钢筋砼箱型结构设计方案

(一)分析结构受力情况

设计钢筋砼箱型结构时,先要分析其受力情况。一般来说,设计方应当重点分析以下因素:首先,墙体受力。车站墙体主要承受来自土压力、水压力的作用,需要具有足够的强度和刚度来抵抗土压力、水压力的作用,保证结构的稳定性。其次,车站作为公共设施,要具备良好的抗震能力。在地震发生时,车站结构要能够承受地震力的作用,保证地铁内乘客、工作人员的安全,因此,设计方同样要考虑地震荷载的作用。再次,车站屋面和地板需要能够承受人员、设备和行车载荷的作用。最后,车站还会受到环境荷载的影响,如风荷载和温度变化引起的收缩与膨胀,设计时需要考虑这些荷载的作用,确保结构安全性和稳定性。

本项目中,箱型结构用到了纯弯构件、压弯构件,对梁板、侧墙配筋进行计算时,应重点分析轴力。另外,考虑到车站建在地下,土压力、水压力同样会影响

结构,因此,还要分析施工现场的土压力、水压力。其中,轴力主要源自底板、顶板的荷载,如果车站底板、顶板受力稳定,则不需要考虑轴力的变化,设计方可以参考计算轴力配筋的方法,对侧墙配筋进行计算,在此基础上,根据轴力计算值,对配筋加以控制,使结构可靠性、安全性得到保障^[2]。随后,通过水土分算法,对结构侧压力加以计算。先基于有效重度确定土压力,再根据静压力确定水压力,二者之和即为结构侧压力,计算公式如下:

$$P_a = \gamma H K_a' - 2c' \sqrt{K_a'} + \gamma_w h_w$$

$$P_a = \gamma H K_a' + \gamma_w h_w$$

上述公式中, P_a 是指土压力。 γ' 是指土有效重度。 K_a' 是指主动土对应压力系数。 H 是指挡土墙整体高度。 c' 是指有效黏聚力。 γ_w 是指水有效重度。 h_w 是指地下水高度。确定土压力后,再根据以下公式计算水土压力:

$$P_a = \gamma_{sat} H K_a - 2c' \sqrt{K_a}$$

其中, γ_{sat} 是指土饱和重度。

(二) 确定截面高度

结构截面高度与设计要求、结构功能密切相关,确定截面高度时,要考虑以下几个因素:首先是荷载要求。只有结构截面高度足够高,才能够长时间承受地铁、乘客和其他荷载的作用,因此,设计时,应当根据设计标准、荷载分析结果,确定结构设计荷载。其次是空间限制。车站一般被设置在有限的地下空间中,鉴于此,在确定截面高度时,要考虑空间限制,并保证其具备出入口、站台、通道等功能。再次是刚度与稳定性。实践经验表明,结构截面高度对于其刚度、整体稳定性具有重要影响,较大的高度可以提高结构刚度,保证结构即使长时间受到荷载作用,仍然能够做到稳定且可靠。最后是施工可行性。截面高度过高可能增加施工难度和成本,因此,还要考虑施工可行性。综上,确定截面高度需要考虑设计荷载、空间限制等因素,设计方应根据具体项目的要求、施工现场的条件加以设计,从而做出合理的决策。

本项目的情况较为特殊,要对梁板、侧墙做加腋处理,考虑到腋角会影响结构截面高度,为保证设计方案科学、合理,设计方决定以现场情况为依据,根据不同的受剪、受弯情况,对截面高度加以调整。明挖车站的梁板、侧墙存在区别,不满足使用箍筋抗剪的条件,如果设计方仍采用常规方法,极易导致抗剪计算结果不具有实际意义。要想避免该问题出现,关键是要明确两点,一是轴力会影响侧墙整体抗剪强度,二是钢筋分布是否科学,同样会影响抗剪强度。实际工作中,将轴力可能带来的影响作为落脚点,对钢筋进行科学、合理的分布,由此保证抗剪强度满足要求。

(三) 优化结构形状

优化结构形状所能产生的积极影响包括:第一,通过较小的截面尺寸和适当的材料分布来减少材料的使用量,在提高材料利用率的同时保证结构安全。第二,有效减少结构的自重,提高结构整体的轻量化程度。例如,采用空心或中空部分替代原有的实心部分,减少结构的体积和重量。第三,适当增加构件的截面尺寸,增强结构刚度,提高结构整体稳定性。

优化结构形状前,先要使用等代框架法计算平面的受力情况,得出等代构件实际内力后,再详细分析纵梁对各层梁板施加的纵向支撑力,如果各层支撑力不同,则需要划分跨中板、柱上板带,根据实际情况分配板带系数、计算弯矩,从而确定板带实际内力^[3]。其中,设计方使用等代框架法的特点是通过把结构模型转化成等效的框架结构,降低结构的计算和设计难度。原理如下:先将结构自带的构件等效为相应的框架构件(假设所有构件在弯曲和剪切中都服从弹性理论),再基于框架结构所具有的连续性和平衡性特征,完成结构的力学分析和设计^[4]。该方法需要输入结构边界条件、荷载等参数,优点是通过简化分析、设计步骤,减少计算量,提高了设计速度,不足在于精确度不理想,无法体现结构细节、非线性以及二阶效应,通常需要搭配其他方法使用,在保证计算结果准确的前提下,加快计算速度,为后续工作预留更加充足的时间。

确定板带内力后,设计方出于避免结构的拓扑关系出现变化的考虑,决定对结构角度、长度等参数加以调整,通过优化结构位置、外形,保证结构内力得到有效传递,使结构强度达到应有水平。在此期间,需要对以下两方面内容引起重视:一是仅改变钢筋构件的尺寸或是形状,并不能够达到优化结构的目的,要想使结构强度得到提高,还要对构件截面尺寸进行优化。二是计算模型会随着结构形状的改变而改变,因此,设计方应依托不断更新的有限元网格完成分析、优化结构的工作,确保最终所得出结论具有实际意义。

(四) 结构削峰

在箱型结构中,节点不仅是连接不同构件的重要部分,还是承受荷载传递和力学性能的关键区域。对节点做削峰处理,可以提高结构的整体性能,解决应力过于集中的问题,使结构具有更加理想的抗震和抗荷能力。节点削峰的常规方法包括:第一种,通过增加节点区域的截面尺寸、加固梁柱之间连接处的钢筋布置,增加节点的刚度和强度,有效地减少节点的应力集中现象,提高其承载能力。第二种,在节点区域引入合适的缓冲部材料,包括但不限于橡胶垫、弹性材料,改善应力分布和阻尼能力,降低应力峰值,减少节点在荷载作用下的变形和损伤。第三种,在节点区域使用特殊的耗能装置,常用的装置有阻尼器、高强度螺栓,以上装置能够

吸收和分散地震等荷载的能量，减小节点的应力峰值，提高结构的抗震性能。第四种，采用预制节点，这样做不仅可以提高施工质量和一致性，还能够使节点构造更

加简单，减少现场变量和不确定性，使节点区域更加稳定和可靠。实际工作中，如果需要对结构节点进行削峰，则应严格遵循表1所示的原则：

表1 结构节点削峰原则

结构	削峰原则	计算弯矩	腋角作用
如果计算主体结构时，不考虑连续墙，此时，土压力、水压力全部作用于主体结构，竖向、侧向地层压力同样作用于主体结构，通过弹簧模拟分析主体结构、底部地层之间存在的作用	支点弯矩-支点剪力×1/3支座宽度	不设置刚域 根据中轴线计算横断面	不考虑腋角的作用 无需对腋角抗剪进行计算
如果车站围护结构需要参与抗浮，且其刚度降低约60%，此时，静止土压力作用于围护结构，静水压力作用于主体结构，可通过弹簧模拟分析主体结构和底板下地层、维护结构的作用	{墙板边缘弯矩值、85%端弯矩值} _{max}	不设置刚域 根据中轴线计算横断面	按照腋角厚度的2/3计算其剪力
如果车站围护结构需要参与抗浮，且其刚度降低约50%，则静止土压力、静水压力分别作用于围护结构、主体结构，可以通过弹簧模拟分析三者之间存在的作用	不需要削峰	按照支座宽度的50%和0.25倍板厚的差值设置刚域 根据中轴线计算断面	无需考虑腋角厚度的折减比例，根据实际厚度对腋角作用进行计算即可

本项目中，底板支座配件见图1：

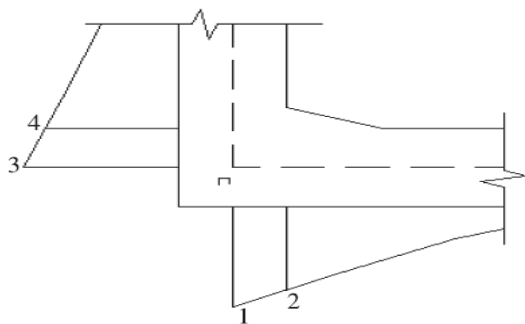


图1 底板边支座弯矩

图中，1的弯矩明显大于2、3、4。由于侧墙有一定宽度，因此，危险截面应当远离边墙中心，对1、2、3、4进行分析可知，2的弯矩值配筋可以最大程度满足要求。随后，设计方便可以根据DG/T J08-109-2017的要求，通过以下公式计算弯矩值：

$$M_1 = M_0 - \frac{1}{3} Q_0 B$$

该公式中， M_1 是指墙边弯矩配筋实际弯矩值。 M_0 是指侧墙中心的弯矩。 Q_0 是指侧墙中心的剪力值。 B 是指侧墙的厚度。计算结果和直接读取结果大致相同，经过削峰的弯矩值，约为中心弯矩值的75%~90%，出于保证结构安全的考虑，设计方要求减小幅度最大不超过15%。

（五）其他注意事项

在设计地铁车站的箱型结构时，设计方还要注意以下几点：第一，地铁车站是公共交通设施，必须具备足够的强度和刚度来承受人员、设备的荷载以及土压力、水压力。在设计中，需要合理确定结构的尺寸、墙体厚度和钢筋安装位置，以满足相关的强度和刚度要求。第二，地铁车站要具有理想的抗震性能，设计过程中，应

当考虑地震荷载的作用并采取相应的措施，例如，采用抗震构造、局部加固。第三，地铁车站要具备良好的耐火性能，以防止火灾发生以及蔓延扩散，威胁现场人员安全。选择材料和施工过程中，优先使用耐火材料。第四，由于车站位于地下，地下水对结构会产生一定的压力，因此，还要考虑防水措施，例如，使用防水性能突出的商品砼、添加防水层或屏蔽层，以防止地下水渗入结构内部。第五，车站正式投入使用后，要定期对箱型结构进行维护和检测，确保其安全和可靠运行。针对结构的各部分，例如，墙体、屋面和地板，应酌情制定相应的维护计划，保证结构检测、评估合理。

结论

本次结合实际的地铁车站工程展开研究，重点分析结构受力难点，总结问题并优化设计方案。综合来看，钢筋混凝土箱型地铁车站具有结构稳定、适应性高的优势，目前针对结构设计方面仍有部分问题需要完善，从而解决建设问题，推动地铁车站建设高质量发展，延长使用年限，立足于现代化社会建设需求和不同地质环境需求，把控设计要点，为后期运营顺利提供基础条件。

参考文献

[1] 杜维. 地铁车站工程中的明挖法和局部盖挖法的应用比较分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(4): 9-12.
 [2] 刘金波, 姜磊, 杨成蛟, 等. 明-暗挖结合地铁车站结构抗震分析[J]. 北方交通, 2022(10): 44-47.
 [3] 蒋盛钢, 麦家儿, 何冠鸿, 等. 预制装配式地铁车站结构连接节点模式对结构性能的影响研究[J]. 建筑结构, 2022, 52(S1): 1711-1718.
 [4] 赵欠南, 叶欣欣. 地铁车站主体结构明挖法施工技术分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(08): 108-109.