

# 浅谈有限空间内扶壁式挡墙的特殊设计

周 言

中冶赛迪城建(重庆)有限公司 重庆 400014

**摘要:** 在工程建设过程中,因地形起伏以及建设项目建设需要,常需要采用边坡支挡结构进行不同地块标高的衔接,扶壁式挡墙因其施工简单,承载力要求低,断面尺寸小,在填方区及软土地区有着广泛的应用,但为了确保扶壁式挡墙稳定,底板设计往往宽度较宽,存在工程施工空间需求大的问题。本文以某车场内构筑物与挡墙近距离施工为例,通过采用底板预留开孔成功解决了构筑物与扶壁式挡墙空间冲突的问题。基于扶壁式挡墙的受力特点,设计过程中对挡墙支护结构采取了适当的加强措施,并运用大型有限元软件对其进行三维几何非线性分析,直观呈现挡墙应力分布以及位移变形情况,验证了扶壁式挡墙满足稳定性要求。目前该扶壁式挡墙已施工完成,可为相似工程提供相关参考及指导。

**关键词:** 扶壁式挡墙; 底板开孔; 应力分布; 有限元分析

## 前言

在工程建设过程中,因地形起伏以及建设项目建设需要,常需要采用边坡支挡结构进行不同地块标高的衔接,常用的传统支挡结构形式有重力式、悬臂式、扶壁式、桩板式、板肋式锚杆挡墙等,至于挡墙形式如何选择,应根据不同工程的需要进行比选,安全性、经济性、可靠性是支挡结构选择的重要标准<sup>[1]</sup>。

扶壁式挡墙因其施工简单,承载力要求低,断面尺寸小,在填方区及软土地区有着广泛的应用。扶壁式挡墙由立板、踵板、趾板和扶壁四部分组成。它主要依靠墙身自重和墙踵板以上填筑土体维持挡土墙的稳定。目前的研究主要集中在以下几个方面:桩基加扶壁式挡墙的受力分析<sup>[2]</sup>,新型扶壁式挡土墙的受力分析<sup>[3]</sup>,锚索与扶壁式挡墙联合受力<sup>[4]</sup>、多级扶壁式挡墙的受力分析以及扶壁式挡墙与轻型材料相连接的应用研究等。

本文基于某车场内扶壁式挡墙底板开孔施工的工程案例,结合扶壁式挡墙计算相关理论进行结构受力分析,采取了合理的挡墙支护加强措施,运用大型有限元软件midas对其进行三维非线性分析,验证扶壁式挡墙满足稳定性要求,并对扶壁式挡墙结构内力分布的进行理论分析,以期对扶壁式挡墙在相似工程中实际应用提供理论指导。

## 1 工程概况

重庆市区内某轨道车辆段按两级进行平场,平场标高分别为247m、236.5m。本次挡墙设计位于车场内咽喉过渡段,即墙顶标高为247.0mm,墙前标高为247~236.5m,挡墙支挡悬臂高度为8~10m。

因挡墙所在咽喉段场地狭窄,根据场区总图布置方

案构筑物布置较为紧骤,挡墙设计受到严重的空间限制,墙前布置有轨道桥梁,有一桥梁桥墩正位于挡墙施工范围,轨道桥墩采用四桩承台基础,承台与挡墙定位线水平距离为2~3m,承台先于挡墙施工,承台顶标高约为230m;在挡墙顶后方布置有工程车库,考虑到工程车库所受轨道荷载较大,采用桩基础,桩径为1~1.2m,间距为5m~10m,桩基础与挡墙定位线水平距离为3~4m。

## 2 地质条件

拟建场地位于市区范围内,场地原始地貌为构造剥蚀浅丘、沟谷地貌,原多为耕地或农田,后因内环快速路、厂区、房屋修建开挖、回填,地形起伏较大,边坡坡角 $5^{\circ}$ ~ $30^{\circ}$ 为主。

经地面地质调查和钻孔揭示,勘察区出露的地层由上而下依次为第四系全新统人工填土层( $Q_4^{ml}$ )、残积层( $Q_4^{el+dl}$ )及侏罗系中统上沙溪庙组( $J_2^s$ )沉积岩层。根据挡墙周边钻孔分析,本次挡墙结构下部原有老填土厚度3.9~9m,基础下新填土厚度约4~7.6m,挡墙悬臂高度为8~10m。

根据地勘报告拟建场地无滑坡、泥石流、危岩等不良地质作用。场地内特殊岩土为人工填土,其厚度差异较大,均匀性差,广泛分布于整个场区。主要由城区开发建设回填形成,主要为抛填,大部分未经夯实、碾压处理,主要由砂岩、泥岩块碎石及粘性土组成,骨架颗粒粒径20~600mm,含量约30%~50%,结构松散~稍密~中密,一般呈稍湿状,低洼地段的底部含地下水,呈湿润状,该层土厚度变化大,均匀性差,级配差。

## 3 挡墙方案比选

由于场限制,地面下覆土厚度较厚,经分析采用桩

板式挡墙或扶壁式挡墙。若采用桩板挡墙桩径约2~3m, 满足施工空间要求, 可减少工程车库与挡墙之间的相互干挠, 但由于下部土层厚度较厚, 灌注桩长度增加, 投资会显著增加, 同时由于墙前局部存在轨道承台, 挡墙的力会传至承台, 可能对承台产生利影响, 且受力分析较为复杂, 也会增加桥墩的配筋。经综合分析, 采用扶壁式挡墙更为有利, 通过开孔详细设计, 为工程车库预留施工条件, 同开避开墙前承台, 本次设计采用扶壁式挡墙方案为最优方案。

#### 4 挡墙详细设计

##### 4.1 扶壁式挡墙设计

本次设计扶壁式挡墙悬臂高度为8~10m, 设计挡墙高度为10~12m, 该段挡墙按永久边坡设计, 边坡安全等级为一级, 原边坡坡面以下在勘察阶段发现地下水较深, 墙顶以下不考虑地下水。墙顶考虑人行及施工荷载10kPa。经计算墙趾处承载力约205.121Kpa, 墙踵处地基承载力163.842Kpa, 地基平均承载力184.481Kpa, 而原填土承载力约120kpa, 无法满足承载力要求, 故本次设计采用级配碎石换填基础。根据扶壁式挡墙的受力特点及经济性考虑, 扶壁式挡墙扶壁间距一般为1/3~1/2墙高, 故本次设计扶壁间距初步定为2~5米。如图1图2所示:

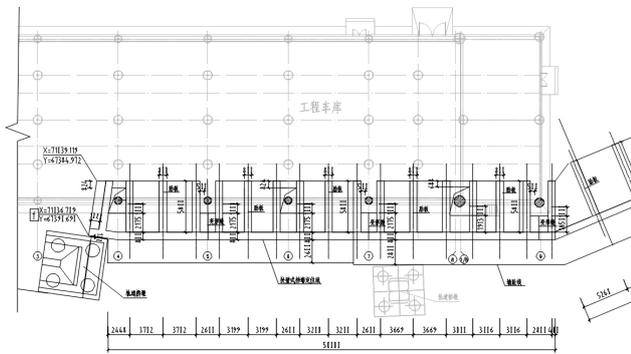


图1 挡墙布置平面详图

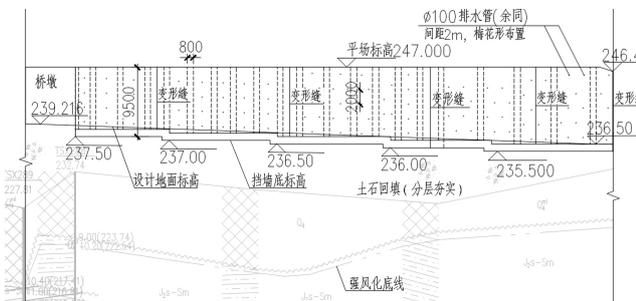


图2 挡墙布置立面图

##### 4.2 扶壁式挡墙的计算

目前国内外在土压力和条形荷载作用下的挡土墙稳定性和结构计算方法都较为成熟, 各种规范规范都有较

为明确的计算方法规定, 扶壁式挡墙计算主要包括抗滑移、抗倾覆稳定性和地基承载力验算、墙身材料强度验算以及一些设计中的构造要求和措施等<sup>[5]</sup>。

因扶壁式挡墙挡墙实际受力一个比较复杂的空间体系<sup>[6]</sup>, 在计算时通常简化为平面模型近似计算, 立板计算通常下部视为固支于扶壁及墙踵板上的三边固定, 一边自由的板, 属超静定结构, 立板上部和墙踵板视为以扶壁为支点的连续板, 墙踵板不计墙立板对它的约束, 而视其为铰支。墙趾板按固定在立板上的悬臂板计算。扶壁可视为固定在墙踵板上的“T”形变截面悬臂梁, 墙立板则作为该“T”形, 扶壁视为梁的腹板。

##### 4.3 底板开孔受力分析及补强措施

因工程车库桩基施工, 扶壁式挡墙须在踵板进行预留开孔, 为了减小挡墙与桩之间的相互干扰, 本次开孔在桩周横向预留1000mm间距, 纵向预留500mm间距, 开孔距离约6.8~8.2米, 因此踵板局部被严重削弱, 根据踵板按连续梁的简化模型, 梁截面有效截面积局部减小, 作用于踵板上的土压力因此减小, 即抗力减小, 而立板由于高度未发生变化, 所受土体侧压力未发生变化, 因此挡墙重心前移, 开孔后抗滑移能力、抗倾覆能力均减弱。另外由于踵板开孔后断面不规则, 存在应力集中现象。

为了提高扶壁式挡土墙的抗滑能力, 本次设计在墙底板设置凸榫。为使凸榫前的土体产生最大的被动土压力, 墙后的主动土压力不因设凸榫而增大, 通常将凸榫置于通过墙趾于水平面成(45°-φ/2)角线和通过墙踵与水平面成φ角线的三角形范围内<sup>[7]</sup>。本次设计凸榫距离墙趾2.3m, 尺寸为1.5×0.6m。

为了确保挡墙抗倾覆的能力, 本次趾板长度适当增长, 但考虑到桥墩存在, 本次趾板长度按2.8~3m。为了使挡墙整体性更好, 避免在孔洞周边发生应力集中现象, 在孔洞两侧增加扶壁, 且每隔一根桩设置后侧横梁进行连接。将孔洞周边应力有效传递至挡板, 使整体结构受力均匀, 防止底板发应力集中发生局部破坏, 同时由于扶壁较密, 形成连拱效应, 传递至立板的侧压力会一定程度上减小。

##### 4.4 有限元分析

为了验证扶壁式挡墙的稳定性及踵板开孔后的受力状态, 本次采用Midas gts NX有限元软件对挡墙进行计算分析。本次计算模型尺寸为50m×56m×47m, 岩土材料屈服条件采用Mohr-Coulomb屈服准则。计算考虑施工步序为: 天然应力状态计算、挡墙施工、墙后回填、桩基施工及施加荷载。荷载来源主要考虑人行荷载以及挡墙结构的整体自重; 位移边界条件为顶部自由, 四周及底部

限制法向位移,底边固定。

本次计算结合地勘报告物理力学参数取值如表1所示:

表1

材料性质	天然重度 (KN/m <sup>3</sup> )	弹性模量 (GPa)	泊松比	粘聚力 (MPa)	摩擦角 (°)
填土层	20.0	0.02	0.4	28	
中风化泥岩	25.6	1.305	0.37	0.699	32.8
混凝土	25	30	0.2	-	-
级配碎石换填	22	0.08	0.25	0.25	35

经计算,挡墙施工及桩基施工完成后,挡墙墙顶向临空面方向的位移约0.0385m,其水平变形不大于悬壁高度的1/100,其发生变形主要在挡墙施工过程中下部土体变形,后期及荷载施加对挡墙位移基本无影响。由于挡墙底板开孔与桩基之间净距较大,桩基受水平力影响也较小。因此通过开孔方式,工程车库与扶壁式挡墙施工实现了兼容,并通过采用凸榫构造,增长趾板,加密扶壁三个措施,使挡墙满足了抗滑移、抗倾覆的稳定性要求。

根据图2,挡墙应力主要集中分布为立板及扶壁下部、趾板与立板相接的位置,这与经典理论较为一致,扶壁弯矩最大值出现在扶壁底部,在H/2挡墙高度处扶壁弯矩较底部弯矩最大值显著减小,即扶壁弯矩较大的区域为0~H/2。对于H/2~H区域,扶壁弯矩较小。对于扶壁间距较大的区段,立板下部受力明显较大。由于孔洞周边增加了扶壁,未出现明显的应力集中现象,挡墙整体受力较为均匀。针对扶壁式的挡墙的应力分布,进行挡墙配筋时可对应力较大区域进行局部加强。

#### 结语

(1) 挡墙设计时应应对周边建筑物情况详细了解,明确挡墙荷载受力情况和施工条件,从而选择合理的支挡方式,甚至支挡工程与结构需结合设计。本文所涉及工程车库采用桩基施工,避免了较大轨道荷载直接传力至挡墙。另一方面,根据建筑结构的提资,精确定位了开孔位置,挡墙施工也为后期结构施工预留条件。

(2) 挡土墙设计受多种因素的影响,取决于挡土墙的高度,而墙后填土的物理参数、挡土墙断面尺寸是控制计算结果的主要参数。本项目中扶壁式挡墙方案能较

好地适用于覆土较厚区域,对地基承载力要求低,同时传至墙前承台的力主要为竖向附加应力,对轨道高架桥墩影响较小。

(3) 通过扶壁式挡墙的受力分析及有限元计算,验证了通过采用基底换填,凸榫构造,增长趾板,加密扶壁,对开孔后扶壁式挡墙稳定性进行加强,能够保证挡墙满足稳定性相关要求。

(4) 扶壁式挡墙应力主要集中分布为立板及扶壁下部、趾板与立板相接的位置,扶壁弯矩最大值出现在扶壁底部,进行结构配筋时可进行局部加强。目前本段挡墙及工程车库已顺利完工,对相似工程的实施具有指导和借鉴意义。

#### 参考文献

- [1]焦峰.扶壁式挡土墙结构的最优设计[D].兰州:兰州理工大学,2004.8-122
- [2]王多垠,吴友仁,周世良.高大扶壁式挡土墙墙后土压力特性有限元分析[J].中国港湾建设,2006,(02):14-17.
- [3]梁波,张青松,赵宁雨等.基于数值分析的仓扶式挡墙内力分布规律研究[C]//中国力学学会结构工程专业委员会,西安建筑科技大学,《工程力学》编委会.第27届全国结构工程学术会议论文集(第II册),2018:7.
- [4]龚福初,仇明.扶壁式挡墙结合桩锚复合支护结构的设计与分析[J].工程技术研究,2019,4(10):176-177.
- [5]卢卫锋,卢金栋.深中通道东人工岛扶壁段岛壁结构施工技术[J].四川建材,2023,49(02):145-147.
- [6]建筑边坡工程技术规范[S]. GB50330-2013.
- [7]铁路路基支挡结构设计规范[S]. TB10025-2019.