

组合悬臂式挡土墙设计及有限元分析

王 旭

(辽宁省建筑设计研究院岩土工程有限责任公司, 辽宁 沈阳 100025)

摘 要: 受场地条件限制, 珲春某文旅项目新建的挡土墙需要与新建的泄洪管廊组合设计成一体组合悬臂式挡土墙。这种非常规挡土墙具备挡土和泄洪双重功能, 已不是单一悬臂式结构模型, 采用常规设计计算方法不适用, 故采用有限元数值分析方法, 计算该组合结构的整体稳定性, 分析结构的受力和变形特征, 并应用有限元计算结果进行钢筋混凝土设计。组合悬臂式挡土墙建成后的监测数据表明, 该组合悬臂式支挡结构稳定, 变形符合规范要求。

关键词: 泄洪管廊; 组合悬臂式挡土墙; 有限元

中图分类号: U416.1+1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)02-0317-05

Design and Finite Element Analysis of Combined Cantilever Retaining Wall

WANG Xu

(Geotechnical Engineering Co., Ltd., Liaoning Institute of Architectural Design, Shenyang 100025, China)

Abstract: Due to the site limitations, the newly built retaining wall of a cultural tourism project in Hunchun needs to be combined with the newly built flood discharge utility tunnel to form a combined cantilever retaining wall. This unconventional retaining wall has dual functions of retaining soil and flood discharge, and is no longer a single cantilever structural model. The conventional design and calculation methods are not applicable. Therefore, the finite element numerical analysis method is used to calculate the overall stability of the combined structure, and analyze the stress and deformation characteristics of the structure. And the finite element calculation results are used for the reinforced concrete design. The monitoring data after the construction of the combined cantilever retaining wall shows that this combined cantilever retaining structure is stable and its deformation meets the requirements of the specifications.

Keywords: flood discharge utility tunnel; combined cantilever retaining wall; finite element

0 引 言

钢筋混凝土挡土墙作为一种薄壁、轻型和柔性的挡土结构, 具有施工方便和承载能力大等优点^[1]。随着我国岩土工程技术水平的进步, 在钢筋混凝土挡土墙广泛应用的实践中, 出现了许多异形截面或者组合结构的新型挡土结构。对于这类新型挡土墙受力计算和稳定性分析, 采用解析计算方法已不适用, 需要采用有限元等数值计算方式进行分析。章宏生等^[2]采用有限元法, 分析研究了新型装配扶壁式挡土墙结构的应力、位移和变形特性及新老混凝土结合面参数对结构受力性态的影响。何昭宇等^[3]采用有限元数值模拟方法, 对一种新型组合扶壁式挡土墙结构的受力特征进行了分析研究。葛帆^[4]采

用有限元分析了复杂箱型结构挡土墙的最不利工况, 从而进行配筋计算。胡会星^[5]采用三维空间有限元模型, 分析了板椅式新型支挡结构内力分布及变形特性。陈亮^[6]采用有限元软件对倒Y形挡土墙进行了数值分析, 并与解析计算结果进行了对比, 探讨了倒Y形挡土墙的优越性。陈荣等^[7]采用有限元数值分析了双排桩和扶壁式挡土墙组合的新型支挡结构受力和变形情况。贺永强等^[8]采用有限元分析对桩基托梁挡土墙这种复合结构进行位移预估, 取得了较好的结果。徐书平等^[9]通过有限元数值模拟, 研究了抗拔锚杆与混凝土挡墙组合结构对减小土压力和控制土体位移的效果。

上述研究均在探索一种新的支挡结构类型, 每种类型的挡土墙在一定范围内具有“通用性”, 而在挡土墙实际应用过程中, 有时需要根据特殊场地条件要求, 挡土墙结构设计需要“量体裁衣”, 挡土墙结构形式具备“独特性”。例如珲春某文旅项目,

收稿日期: 2024-06-25

作者简介: 王旭(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事基坑、挡土墙和边坡设计工作。

在场地消防车道范围内,需要同时新建挡土墙和山区泄洪管廊,受场地条件限制,泄洪管廊与挡土墙只能设计成一种特殊的管廊与挡土墙组合的挡土结构,该支挡结构不仅具备挡土功能,同时还将承担泄洪功能。本文基于MIDAS GTS有限元分析软件,研究了管廊与悬臂式挡土墙组合结构的受力和变形特征,应用强度折减法计算挡土墙的整体稳定性系数,并通过数值计算结果进行混凝土结构配筋设计。

1 工程概况

珲春某文旅项目位于珲春市北环线北侧的山区坡地,场地北侧为低山区,需要将坡地整平后建设游客集散中心、民宿旅店和博物馆。建筑场地的室外标高为47.50 m,场地北侧修建一条环形消防车道,道路标高52.90 m,故建筑场地和消防车道有5.4 m的高差,该区域冻土深度1.6 m,故挡土墙高度达到7 m,按照《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)^[10]要求宜采用扶壁式挡土墙。根据本项目岩土工程勘察报告,场地内地层主要为填土和粉质黏土,填土厚度1.2~2.0 m,松散;粉质黏土为可塑状态,揭露的厚度为8~15 m。勘察深度范围内未见地下水。

建筑场地北侧的低山区有一条南北向冲沟,是该山区坡地的泄洪通道。由于旅游集散中心建设,该泄洪通道被阻断,只能改道沿着环形消防车道,修建一条钢筋混凝土管廊。按照泄洪水量要求,管廊设计高2.7 m,宽2.6 m。山区冲沟出口处的标高是49.00 m,低于消防车道路面高程,故泄洪管廊只能暗埋道路下方。由于消防车道北侧即为红线,且为山坡地,挡土墙后侧的开挖范围有限,泄洪管廊只能设置在墙后填土中,如图1所示。泄洪管廊总长度约300 m,其中埋置于挡土墙后侧的长度180 m。

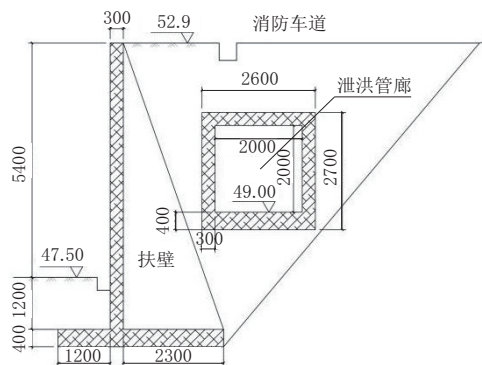


图1 挡土墙与泄洪管廊位置关系

在挡土墙背后填土中设置排水管廊,将存在以下问题:墙背后填土均匀性较差,管廊容易发生不均

匀沉降,导致接头错位后漏水,漏水对填土长期浸泡,不仅增加挡土墙背后的土压力,还降低填土的抗剪强度,不利于挡土墙的稳定。

如果将泄洪管廊与挡土墙组合,将泄洪管廊作为挡土结构的一部分,不仅可以降低填土中管廊因不均匀沉降而漏水的风险,还可以减少施工材料用量,节省工期和成本。

2 组合悬臂式挡土墙设计

泄洪管廊和挡土墙的组合形式有两种:(1)管廊与扶壁式挡土墙组合(A组合),如图2所示;(2)管廊和悬臂式挡土墙组合(B组合),如图3所示。

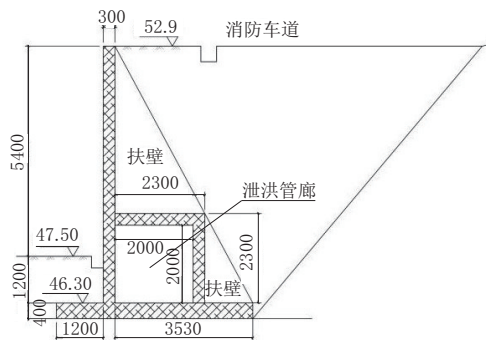


图2 泄洪管廊与扶壁式挡土墙组合(A组合)

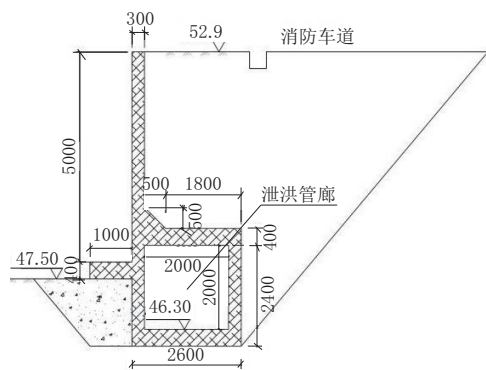


图3 泄洪管廊与悬臂式挡土墙组合(B组合)

何昭宇等^[3]研究了一种碎石积水槽与扶壁式挡土墙组合结构,该结构可有效改变结构的受力状态,将原有的肋板受力转变成箱体受力,不仅更好地控制边坡的位移和变形,还提高了边坡的整体稳定性。A组合与何昭宇等^[3]研究的组合形式基本一致,不同的是何昭宇等^[3]研究中箱体内部设置碎石等充填材料,利用碎石自重增加挡土墙的抗倾覆反力。而A组合中,管廊箱体内部是空心结构,墙踵板上承受的竖向荷载减少,降低了挡土墙的抗倾覆反力,故A组合结构形式不适用于本工程。另外,A组合有扶壁,材料用量相对较大,且施工工序更为复杂,故采用B组合的结构形式。

B 组合将泄洪管廊设置在挡土墙下方,可看作是悬臂式挡土墙的箱型基础,为提高挡土墙的抗倾覆反力和抗滑移反力,在泄洪管廊外侧靠近顶板位置设置墙趾板。为了让墙趾板和墙踵板靠近,该墙趾板位于地面以上。外露的墙趾板可以景观设计为摆放花卉的平台。为防止墙趾板受冻胀影响,挡土墙前的回填土为非冻胀土——级配砂石。

3 组合悬臂式挡土墙结构有限元分析

3.1 模型建立

为分析组合悬臂式挡土墙的受力和变形情况,本文采用有限元软件 MIDAS GTS 对正常工况和雨季泄洪工况分别进行有限元分析。由于建设场地抗震设防烈度为 6 度,不考虑地震作用对挡土墙结构的影响。泄洪管廊与挡土墙结构计算采用二维模型,边坡各土层采用二维平面应变单元进行模拟,材料模型采用 Mohr-Coulomb 本构模型,材料参数见表 1。边坡模型范围长度 40 m,高度 17 m,场地地层主要为杂填土和粉质黏土,厚度分别为 2 m 和 15 m,挡土墙背后填土料为级配砂石,夯实后压实系数不小于 0.95。正常工况下,挡土墙附加荷载为墙顶消防道路超载:15 kPa/m²,计算模型如图 4 所示。雨季泄洪

工况下,泄洪管廊充满洪水时,底板承受均布水压力 20 kPa,侧壁承受三角形分布的水压力,其中板顶处水压力为 0,底板处水压力为 20 kPa。

表 1 材料参数

土层/材料	弹性模量/ MPa	泊松 比	重度/ (kN·m ⁻³)	黏聚力/ kPa	内摩擦 角/(°)
杂填土	25	0.34	18.0	12	12
粉质黏土	21	0.33	19.1	21.4	12
挡土墙回填土	50	0.32	20.0	0.5	30
挡土墙 C30	27 000	0.25	23.5	—	—

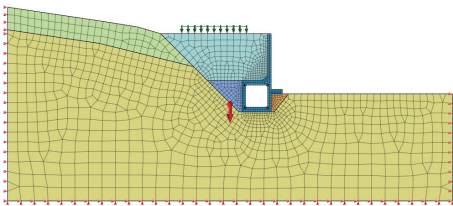


图 4 组合悬臂式挡土墙有限元模型

3.2 有限元结果分析

采用有限元强度折减法(SRM)对组合悬臂式挡土墙进行边坡整体稳定性分析,计算得出两种工况下,边坡的整体稳定性系数、组合挡土结构位移和应力结果见表 2。泄洪工况下,边坡的整体稳定性系数相对小一些,但仍属于稳定状态。

表 2 有限元计算结果图

工况	稳定性系数	水平位移 (max/min)/mm	竖向位移 (max/min)/mm	水平应力 (max/min)/MPa	竖向应力 (max/min)/MPa
正常工况	2.14	29.7 / 25.8	16.8 / 15.6	1.45 / -2.1	2.1 / -3.1
泄洪工况	2.00	30.5 / 25.8	18.4 / 16.9	1.57 / -1.89	2.3 / -2.9

正常工况下,挡土结构的位移如图 5 所示;雨季泄洪工况下,挡土结构的位移如图 6 所示。从挡土结构的水平位移计算结果可看出,两种工况下,挡土墙水平方向位移最大值在墙顶,挡土墙上部位移大于下部结构位移。雨季泄洪工况下,管廊内充满水,挡土墙水平位移最大值略有增加。

从挡土结构竖向位移计算结果可看出,两种工况下,组合挡土墙前侧的位移大于后侧的竖向位移,组合挡土墙的竖向位

移主要是挡土墙发生倾斜变形所致。可见,悬臂式挡土墙与管廊组合后,该组合结构的变形特征还与悬臂式挡土墙一致。对于这类组合挡土结构,管廊可以看作是悬臂式挡土墙的箱型基础,管廊内是否有水流,对结构稳定性和变形影响很小。

图 7(a)和图 7(b)分别是正常工况下,组合悬臂式挡土墙水平方向(X 轴方向)和竖直方向(Y 轴方

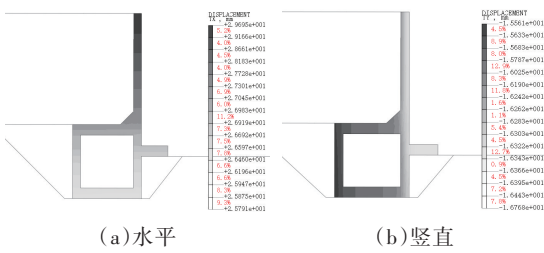


图 5 正常工况挡土墙位移

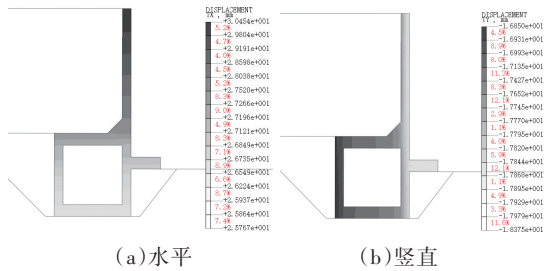


图 6 泄洪工况挡土墙位移

向)的应力分布图。从图 7(a)可以看出,组合悬臂式挡土墙腋角和墙踵即管廊顶板拉应力较小,只有

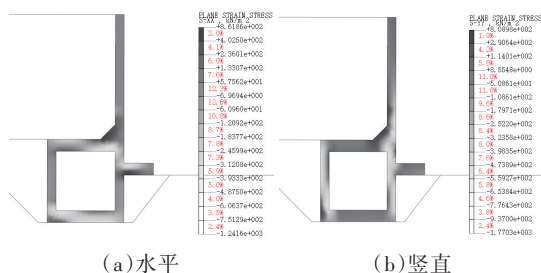


图7 正常工况挡土墙应力分布

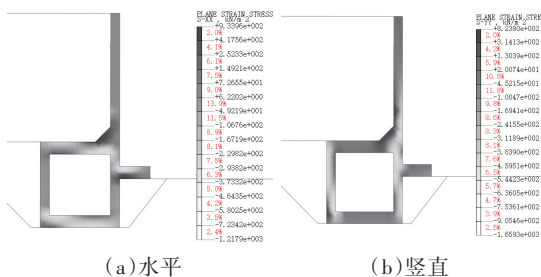


图8 泄洪工况挡土墙应力分布

0.77 MPa;墙趾板底面承受拉应力,最大值约1.45 MPa,而立面板在水平方向上的压应力和拉应力均很小。同样,管廊的侧墙拉应力和压应力很小。与单独泄洪管廊结构受力不同的是,管廊的顶板和底板均承受拉应力,但均小于1.45 MPa。在管廊顶板和混凝土底板横向配筋时,应将混凝土板按上部 and 下部均受拉考虑。

从图7(b)可以看出,组合悬臂式挡土墙的立面板主要是内侧受拉,拉应力最大值1.2 MPa在腋角处;管廊的侧面板内侧和外侧均分布有拉应力,其中拉应力和压应力极值均分布在承受填土主动土压力的一侧,拉应力最大值为2.1 MPa。

图8(a)和图8(b)分别是泄洪工况下,组合悬臂式挡土墙水平方向(X 轴方向)和竖直方向(Y 轴方向)的应力分布图。图8(a)和图8(b)表明,在泄洪工况下,组合挡土结构应力分布特征与正常工况下一致,应力大小略有增加。

通过对组合式挡土墙有限元计算,可分析得出,泄洪管廊组合悬臂式挡土墙,管廊的顶板、底板和两个侧板均为双面受拉的混凝土板,但承受的拉应力相对较小。悬臂式挡土墙由于在泄洪管廊上方,挡土的厚度较少,所承受的土压力较小,挡土墙立面板承受的拉应力相应也较小。泄洪工况下,洪水在该组合结构的基础内流动,产生的水压力对挡土墙变形和稳定性影响很小。故通过将泄洪管廊与悬臂式挡土墙组合,能有效地将土压力进行优化分配,即由箱形结构的管廊承受下部较大的土压力和洪水压力,相对单薄的悬臂结构承受上部较小的土压力,从

而实现挡土墙和泄洪管廊的优化设计。

根据泄洪工况下有限元应力分析结果,对组合悬臂式挡土墙进行了配筋设计,挡土墙的立面板内侧受力钢筋为 $\phi 14@200$,墙趾板受力钢筋为 $\phi 14@200$,墙趾板受力钢筋为 $\phi 16@160$,管廊侧面板受力钢筋为 $\phi 14@160$,管廊底板受力钢筋为 $\phi 16@200$ 。挡土墙施工完成后,按照规范要求进行变形监测。变形监测历时10个月。监测结果表明,墙顶的最大水平位移为12.3 mm,竖向位移为8.5 mm。挡土墙的变形较小,满足规范要求。

4 结 语

受场地条件限制,本文将珲春某文旅项目新建的泄洪管廊与悬臂式挡土墙组合设计成一体结构,并采用有限元对该组合结构进行受力和整体稳定性分析,得出如下结论。

(1)在正常工况和泄洪工况下,组合悬臂式挡土结构具有很好的整体稳定性,不仅可以解决泄洪沟在填土中沉降漏水问题,还能降低施工成本,缩短施工工期。

(2)组合悬臂式挡土结构受力和变形特征与悬臂式挡土墙相似,管廊结构作为箱形基础,承受大部分土压力,拉应力主要分布在管廊的顶板和侧面板。

(3)该组合悬臂式挡土墙在珲春某文旅项目中应用后,监测数据表明,挡土墙水平位移和竖向位移均满足规范要求,进一步验证了组合悬臂式挡土墙设计的合理性。

(4)对于山区填方道路,若新建的挡土墙和泄洪管廊相邻,可参考采用这种上下结构的组合悬臂式挡土墙。

参考文献:

- [1] 薛殿基,冯仲林.挡土墙设计实用手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 章宏生,沈振中,徐力群,等.新型装配扶壁式挡土墙结构特性有限元分析[J].南水北调与水利科技,2017,15(3):145-150.
- [3] 何昭宇,李翔,崔旭东,等.组合扶壁式挡土墙结构设计及稳定性分析[J].工程勘察,2024,52(4):31-37.
- [4] 葛帆.空箱减载型挡土墙在深厚填土地基中的应用[J].岩土工程技术,2021,35(5):323-331.
- [5] 胡会星.斜坡地段板桥式新型支挡结构受力机理与设计计算[D].成都:西南交通大学,2013.
- [6] 陈亮.新型支挡结构-倒Y型支挡结构力学性能与工程应用分析[D].重庆:重庆交通大学,2012.
- [7] 陈荣,杨仕教,李锐.高填土边坡中双排桩扶壁式挡墙设计方法研

[9] 徐书平,汪紫璇,柯芊芊,等.抗拔锚杆在超高挡土墙中的加筋作用研究[J].岩土工程技术,2024,38(2):156-162.

[10] GB 50330—2013,建筑边坡工程技术规范[S].

[8] 贺永强,杨仕教,陈荣.滑坡治理工程中桩基托梁挡土墙有限元模拟与分析[J].科技创新导报,2014(35):2-3.

[9] 徐书平,汪紫璇,柯芊芊,等.抗拔锚杆在超高挡土墙中的加筋作用研究[J].岩土工程技术,2024,38(2):156-162.

[10] GB 50330—2013,建筑边坡工程技术规范[S].

(上接第 310 页)

准为二级,建筑抗浮工程设计等级丙级,设计抗浮水位按路面下 1 m 考虑。

3 结 语

杉板桥路(二环—中环)缆线管廊是成都市建设的第一条 10 kV 电力缆线、通信缆线、交安、路灯、5G、天网等多杆合一缆线入廊的缆线管廊,具有示范效应,可为同类项目提供借鉴意义。

参考文献:

[1] 成都市规划和自然资源局.成都市公园城市街道一体化设计导则[M].成都:成都市规划和自然资源局,2020.

[2] 成都市规划和自然资源局.成都市地下综合管廊设计导则[M].成都:成都市规划和自然资源局,2018.

[3] 张腾臻,樊蓓蕾,刁成玉琢,等.公园城市街道一体化设计理念的应用实践——以成都杉板桥路市政管线改造设计为例[J].城市道桥与防洪,2020(10):196-199.

[4] GB 50838—2015,城市综合管廊工程技术规范[S].

[5] GB 55030—2022,建筑与市政工程防水通用规范[S].