

文章编号: 1007-2993(2021)05-0323-04

# 空箱减载型挡土墙在深厚填土地基中的应用

葛帆<sup>1,2</sup>

(1. 深圳市地质局, 广东深圳 518023; 2. 深圳地质建设工程公司, 广东深圳 518023)

**【摘要】** 常规箱型挡土墙多为箱型混凝土结构内填料形成重力式挡土墙, 用于道路工程中; 空箱型挡土墙多用于水工结构中。针对建设项目地基承载力低、空间有限的条件, 设计空箱型挡土墙解决项目的工程需求, 既满足了地下室覆土和挡土的需要, 也满足了地基承载力要求, 经济效应明显。对这一非常规结构需要选用合理的计算方法。采用常规重力式挡土墙稳定性验算方法验算挡土墙的抗滑移稳定性、抗倾覆稳定性及地基承载力, 再采用有限元建模模拟结构建造及填土过程, 分析复杂箱型结构最不利内力工况, 进行配筋计算。计算原理清晰, 结果准确, 可以作为复杂挡土结构计算方法的参考。

**【关键词】** 挡土墙; 空箱型挡土墙; 填土地基; 有限元

**【中图分类号】** TU 476

**【文献标识码】** A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2021.05.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Application of Empty Box Load-reducing Retaining Wall in Deep Filled Foundation

Ge Fan<sup>1,2</sup>

(1. Shenzhen Geological Bureau, Shenzhen 518023, Guangdong, China; 2. Shenzhen Geological Construction Engineering Company, Shenzhen 518023, Guangdong, China)

**【Abstract】** The normal box-type retaining walls are mostly gravity retaining walls formed by filling in the box-type concrete structure, used in road engineering; while the empty box-type retaining walls are mostly used in hydraulic structures. According to the conditions of low foundation bearing capacity and limited space, the design of empty box-type retaining wall can meet the engineering requirements of the project, which not only meets the needs of basement covering and retaining soil, but also meets the requirements of foundation bearing capacity. The economic effect is obvious. A reasonable calculation method is chosen for this unconventional structure. The conventional gravity retaining wall stability checking method is used to check the anti-sliding stability, anti-overturning stability and foundation bearing capacity of the retaining wall, and then the finite element modeling is used to simulate the process of structure construction and filling, analyze the most unfavorable internal force condition of complex box structure, and carry out reinforcement calculation. The calculation principle is clear and the results are accurate, which can be used as a reference for the calculation method of complex retaining structure.

**【Key words】** retaining wall; empty box retaining wall; fill foundation; finite element method

### 0 引言

1776 年, 库伦提出了库伦土压力理论, 促进了挡土墙的广泛应用。在原有重力式挡土墙基础上, 衍生出各种新型挡土墙结构, 箱型挡土墙就是其中的一种。现有箱型结构挡土墙主要用于道路工程和水工结构。道路工程中的箱型挡土墙实质上仍然是重力式挡土墙, 通过在混凝土箱型结构内填料, 可以节省圬工, 提高稳定性, 优化设计<sup>[1-2]</sup>。张实斌<sup>[3]</sup>通过混凝土箱型

结构内部填土, 应用于高度 15~20 m 高的挡土墙。邹文辉等<sup>[4]</sup>、孙可君<sup>[5]</sup>设计应用了预制式箱形重力式挡土墙。宾敬林<sup>[6]</sup>采用箱型结构挡土墙对引桥护坡进行改造。空箱型挡土墙结构多用于水工结构中。许正松等<sup>[7]</sup>、石明宇等<sup>[8]</sup>采用空箱挡土墙结构用于水闸的改造加固。于桂云等<sup>[9]</sup>、唐杰<sup>[10]</sup>均通过增加卸荷平台调整空箱式挡土墙的土压力, 进行了优化设计。童新国<sup>[11]</sup>设计了一种浆砌块石的连拱空箱式挡

作者简介: 葛帆, 男, 1980 年生, 湖北仙桃人, 硕士, 高级工程师, 注册土木工程师(岩土), 从事岩土工程设计、地质灾害防治等工作。E-mail: gefan99@139.com

土墙结构,可以降低地基承载力,减少圬工量。李文斌<sup>[12]</sup>利用箱形结构刚度好的优势,采用箱形挡土墙解决高度超过12 m的挡土墙变形过大的问题。

本文所述箱型结构挡土墙是空箱型钢筋混凝土结构,箱内不填土,该结构在满足挡土功能的基础上,能降低地基承载力要求,可以解决场地地基承载力不足的问题,在交通水利之外的建筑工程中此类应用并不多见。基于项目的实际条件限制,创新性地提出采用空箱型挡土墙结构,解决了实际工程问题,节省了造价。本文论述了设计思路的提出及计算过程,对该空箱型挡土墙进行了常规挡土墙稳定性验算,并应用有限元软件进行内力计算,得到较为准确的计算结果。

## 1 项目概况

某地产项目位于惠州大亚湾,场地地貌类型为丘陵地貌及局部夹山前冲沟地貌,后经人工改造(含山体平整),局部加填厚度不一的填土,场地地势起伏较大,总体地势呈南低北高势态。项目南侧边界上设计标高与场外地面存在6.5 m高差,需要挡土墙支挡。

### 1.1 工程地质条件

场地进行的勘察探明,拟建场地地层主要为第四系全新世素填土( $Q^{ml}$ )、残积土( $Q^{el}$ ),下伏白垩系岩层(K)。按其岩性及其工程特性,自上而下依次划分为①素填土、②粉质黏土、③<sub>1</sub>全风化砂砾岩、③<sub>2</sub>强风化砂砾岩、③<sub>3</sub>中等风化砂砾岩(破碎)、③<sub>4</sub>中等风化砂砾岩。

位于南侧挡土墙位置地质剖面揭露,该段地基土均为填土,东西两端浅,中间深,填土厚度最小6.5 m,最大20.9 m。

素填土①( $Q^{ml}$ ):杂色,松散,稍湿,主要成分为黏性土、砂砾岩碎块,回填时间超过10年。勘察报告提供的填土层地基承载力为80 kPa。

### 1.2 场地条件

场地南侧原为混凝土搅拌站堆料场,原始地形标高约19.0 m,场地设计标高25.5 m,高差6.5 m,挡土墙长度约141 m。地下室退线6 m,一层地下室,地下室标高20.3 m。地下室结构为桩基础。受地下室限制,挡土墙允许建设宽度不到6 m。

## 2 挡土墙设计

### 2.1 问题的提出

该处挡土墙最初设计为扶壁式挡土墙,墙体总高度7.5 m,埋深1 m,墙趾外挑1.5 m,立板厚度0.4 m,底板宽度4.0 m,厚度0.5 m,扶壁厚度0.4 m,

间距3.5 m,地基承载力要求140 kPa。考虑到现有地基承载力不足,需要进行地基处理。地基为多年回填的深厚填土,选用强夯法对地基进行加固。设计为两遍点夯一遍满夯,点夯夯击能5000 kN·m,满夯夯击能1000 kN·m。在现有场地条件下,强夯为最合适且最经济的方案。

然而项目施工过程中,因主体结构工期紧,项目桩基及地下室先行施工,导致原设计的强夯处理方案无法实施,挡土墙地基承载力无法满足要求,扶壁式挡土墙结合地基强夯处理的设计方案需要调整。

因地质条件限制,填土厚度大且含块石,搅拌桩及注浆加固方案均难以实施;增加桩基础的方案因填土深度太大而非常不经济,CFG桩地基处理同样存在这个问题。加筋土挡土墙方案对地基承载力要求低,但场地受已完工地下室限制,墙后空间只有6 m,无法保证6.5 m高加筋土墙的稳定。根据建筑设计的要求,此处必须采用挡土结构将地下室围护,而不能直接外露。因此需要寻求一种现有空间下地基承载力要求低且经济性好的支挡方案。

### 2.2 空箱型挡土墙设计思路

在不进行地基处理的条件下如何满足地基承载力要求是此处挡土墙设计的难点。因建筑地下室的存在,挡土墙后填土为有限填土,土压力较一般挡土墙要小,有利于本设计。

基于此设计条件,采用空箱型挡土墙的设计思路,在原有扶壁挡土墙基础上,设法减少土方回填量,进而减少挡土墙基底压力。采用空箱结构可以实现这一目的。

空箱结构设计需要考虑:(1)空箱尺寸够大,保证混凝土结构的空箱比原扶壁挡土墙的重力大大降低,满足地基承载力要求;(2)空箱与地下室之间存在一定宽度的填土,满足地下室覆土要求,同时能满足挡土的要求;(3)空箱顶部需保留一部分填土,满足小区内绿化及管线布设要求;(4)空箱不能太轻,需要保证适当的质量,满足抗浮要求;(5)需要给挡土墙结构本身预留足够的施工空间。

在考虑以上几点的基础上,调整空箱的尺寸,如空箱的宽、高,墙趾、墙踵尺寸,结构的厚度则根据结构受力确定,最终满足建筑要求、满足地基承载力要求。考虑到拟建挡土墙位置填土回填时间较长,且经多年车辆碾压,填土本身已完成自重固结,变形能够满足要求。

### 2.3 计算方法选择

空箱型挡土墙的计算,需考虑稳定性以及结构

内力等计算内容。箱型结构的受力比较复杂,尤其是本次设计中箱型结构并非简单的四边形。常规箱型结构计算将结构的四边当作简支梁或连续梁计算<sup>[1]</sup>,结果偏于保守,并不准确。设计首先考虑采用有限元计算来解决,这也是挡土墙计算的趋势<sup>[13-14]</sup>。但有限元不能有效解决稳定性参数结果的问题,因此计算方法选择上,将两种计算结合,对挡土墙的稳定性验算采用常规挡土墙的计算方法,而对结构内力的计算则采用有限元分析方法,弥补两者的不足。

#### 2.4 稳定性验算

空箱型挡土墙的稳定性验算同重力式挡土墙一样,需要验算其抗滑移稳定性系数  $F_s$ 、抗倾覆稳定性系数  $F_t$  及地基承载力要求<sup>[15]</sup>。

$$\text{抗滑移稳定性: } F_s = \frac{(G_n + E_{an})\mu}{E_{at} - G_t} \geq 1.3$$

$$\text{抗倾覆稳定性: } F_t = \frac{Gx_0 + E_{az}x_f}{E_{ax}z_f} \geq 1.6$$

挡土墙稳定性验算过程中需要注意的事项:

(1)在墙后填土施工时,挡墙顶部的土尚未回填,对挡土墙稳定性不起作用,因此需要计算两个工况,工况一是墙背填土至箱型结构顶部时,工况二是顶部全部填土完成。对工况一的计算按临时工况考虑,各稳定性参数允许值可降低要求。

(2)土压力的计算,因为地下室的存在,挡土墙背填土为有限范围填土,对有限范围的填土,规范中按倾斜的岩石坡面进行计算,但本项目中填土外为直立的地下室结构,为简化计算,按挡土墙坡脚至中点对应处拉一条斜线为计算面,计算偏于保守。

因为需要调整空箱尺寸以满足其承载力要求,因此验算过程中根据计算结果调整箱型结构尺寸,以得到满意的结果。图1为经试算调整后最终采用的设计参数。

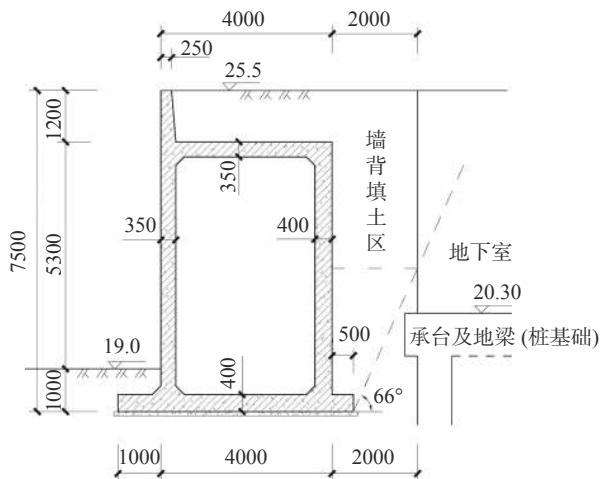


图1 空箱型挡土墙结构示意图(单位:m,mm)

挡土墙稳定性验算过程不详述,仅列出计算结果。稳定性计算结果为:工况一抗滑移稳定性系数  $F_s=1.315>1.30$ ,抗倾覆稳定性系数  $F_t=4.035>1.60$ ;工况二  $F_s=1.345>1.30$ ,  $F_t=3.462>1.60$ ;稳定性满足要求。地基承载力方面,挡墙基底压应力最大值 88.32 kPa,最小值 29.21 kPa,平均为 58.77 kPa,满足承载力要求。以上理论计算中,将上部结构和填土质量当作均质体处理,实际上填土主要分布于墙背后部,前部为空箱结构,故实际墙体的压应力最大值要小于上述计算值,最小值则大于计算值,前后压应力差值并不大。

从计算结果看,采用空箱型结构减载后,挡土墙整体上质量减轻,挡土墙基底压应力大幅降低,地基承载力能够满足要求。计算中控制性参数则是抗滑移稳定性,这是因为挡墙空箱结构整体重力下降导致的。

#### 2.5 结构内力计算

本项目为了得到较为精确的土压力及结构内力结果,采用有限元软件进行计算。根据设计参数建模,模拟挡土墙建造、填土过程,计算出结构的弯矩、轴力及剪力,再进行各截面的配筋计算。

有限元模型及得到的计算结果见图2—图5。

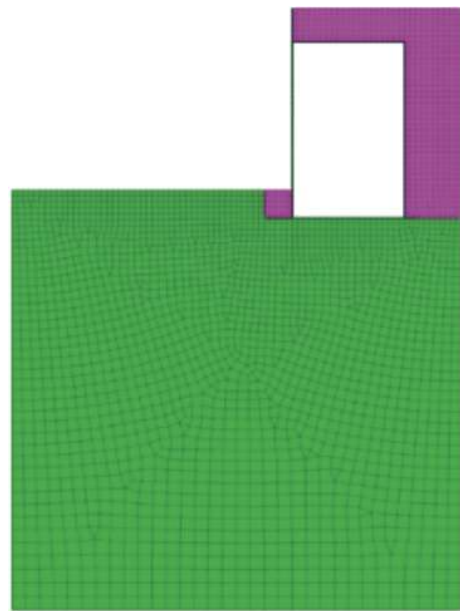


图2 有限元网格模型

### 3 应用效果讨论

本项目经设计变更后顺利施工,未影响主体结构工期,设计效果好,经济效应明显。挡土墙使用时间已超过两年,经过两个雨季的考验,未出现问题。

设计中挡墙仍需要设置泄水孔,泄水孔需穿过

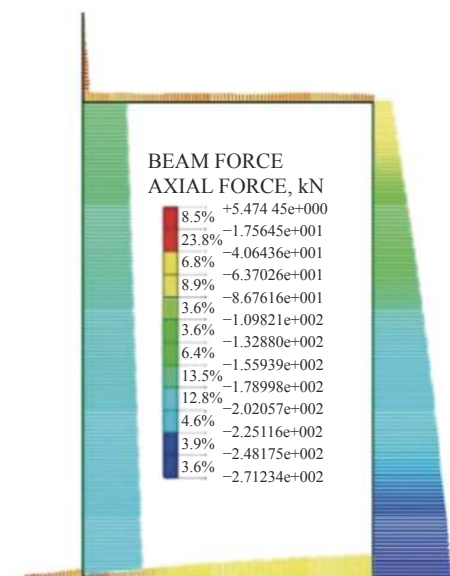


图3 单位宽度箱型结构轴力图

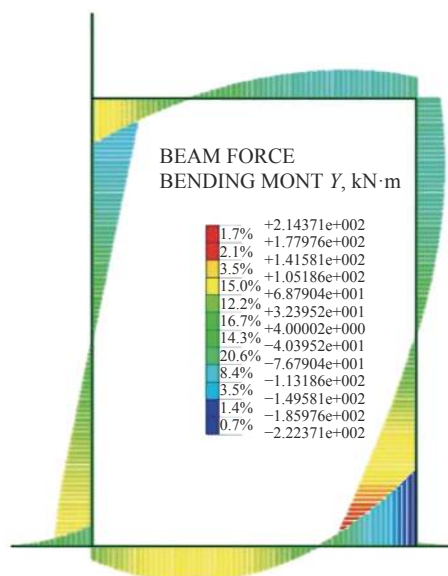


图5 单位宽度箱型结构弯矩图

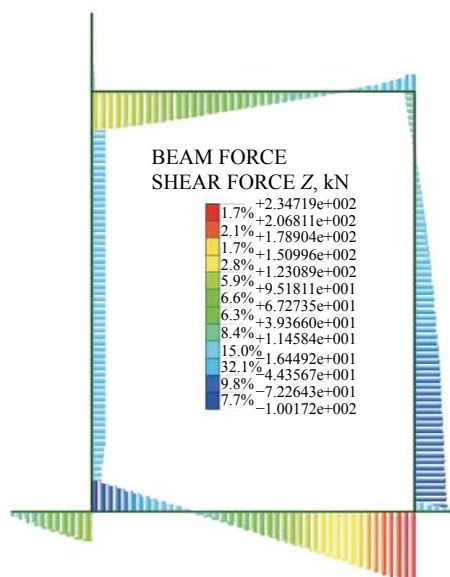


图4 单位宽度箱型结构剪力图

空箱结构,排水管较长,应予以注意。

从计算数据可看出,空箱型结构因本身自重小,计算中抗滑移稳定性最低,是控制性参数,墙背土压力大时并不适用。为比较设计效果,在前述稳定性验算中,将墙背填土改为无限填土,则抗滑移稳定系数小于1.3,不能满足规范要求。本项目因为临近地下室结构的存在,限制了挡土墙选型,但是因有限空间的存在,也减小了墙后填土的侧压力,使得空箱型结构得以采用。

#### 4 结论

(1)本项目在场地空间受限、地基承载力低,常规挡土墙方案均难以实施的情况下,充分利用土压力

不大的优势,采用空箱型挡土墙结构,减轻了挡土墙自重,降低了地基承载力要求,满足了项目的需要。在类似地产项目中,即项目的地下室及地面标高高于原设计地面,地下室需要支挡,地基承载力不足时,选用该空箱型挡土墙结构,可以节省大量地基处理或桩基础的费用,经济性好。

(2)空箱型挡土墙结构的优势在减轻挡土墙自重、降低地基承载力要求,但其正因为自重轻,抗滑移稳定性较低,计算及应用需要予以注意。

(3)设计计算中挡土墙的稳定性与内力计算是分开采用两种方法计算的,计算原理清晰,可以体现各计算方法的优点。但计算过程相对复杂,尤其是采用有限元建模进行结构计算。下一步可以通过研究有限元计算结果与原来简单的连续梁计算结果的差异性,找出规律性后建立简化的计算模型,方便应用。

#### 参考文献

- [1] 崇六喜. 箱型薄壁钢筋混凝土挡土墙的推广应用[J]. 路基工程, 1998, (2): 46-48.
- [2] 郑万勇, 张冠生, 赵毅来, 等. 箱型阶梯式挡土墙设计探讨—挡土墙设计的新思路[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 1999, 11(3): 27-31.
- [3] 张实斌. 浅析箱型重力式挡土墙的应用[J]. 辽宁科技学院学报, 2010, 12(3): 15-16.
- [4] 邹文辉, 卢建亮, 潘子文. 预制拼装式箱形重力式挡土墙的研发与工程应用[J]. 福建交通科技, 2019, (2): 1-5.
- [5] 孙可君. 预制拼装式箱形重力式挡土墙的应用分析[J]. 黑龙江交通科技, 2020, (2): 101-102.

(下转第331页)