

文章编号: 1674—8247(2021)06—0007—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.06.002

箱式挡土墙技术优化研究

姜 雷

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:箱式挡土墙多应用在特殊工点,通常墙体尺寸较大,需进行个别设计。小尺寸的箱式挡土墙受结构及配筋构造的限制,其经济性较差,推广应用有一定的局限性。本文对箱式挡土墙技术的应用和研究现状进行了梳理,并对其土压力计算、构造措施、结构尺寸、施工工艺等几个方面进行了优化研究:采用贮仓土压力理论优化土压力算法;采用箱体与底板分离式构造优化结构受力;采用错排钢筋布置减小结构尺寸;采用预制装配式施工提高施工效率。优化后,箱式挡土墙的技术优势显著提高,其壁厚更薄,钢筋用量更省,质量更易控制,施工更快捷、更环保,应用领域也得到了拓宽,小尺寸的箱式挡土墙可设计为薄壁结构,具有较好的经济优势。

关键词:箱式挡土墙;应用现状;技术优化;贮仓土压力;分离式构造;预制装配式施工

中图分类号:U213.1+52.2 **文献标志码:**A

A Study on Optimization of Box-type Retaining Wall Technology

JIANG Lei

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Box retaining walls are mostly used in special construction sites. Usually, the walls are large in size and need to be designed individually. Limited by the structure and reinforcement structure, the small-sized box retaining wall has a poor economy and certain limitations in its popularization and application. In this paper, the application and research status of box retaining wall technology is reviewed, and its earth pressure calculation, structural measures, structural dimensions, construction technology, and other aspects are optimized: the earth pressure algorithm is optimized by using the silo earth pressure theory; the structural stress is optimized by using the separated structure of box body and bottom plate; the structural size is reduced by using the staggered arrangement of reinforcing bars; construction efficiency is improved by using prefabricated assembly construction. After optimization, the technical advantages of box retaining walls are significantly improved, with thinner wall thickness, less steel consumption, easier quality control, faster and more environmentally friendly construction, and wider application fields. The small-sized box retaining wall can be designed as a thin-walled structure, which has better economic advantages.

Key words: box retaining wall; application status; optimization of technology; silo soil pressure; separate structure; prefabrication construction

1 现有技术分析

箱式挡土墙属于重力式挡土墙的范畴,主要由箱

体和箱体内填土组成,依靠箱体和箱体内填土自重共同抵抗墙背土压力,如图 1 所示。箱体为薄壁钢筋混凝土构件,箱底可设置底板,也可不设置底板。箱式挡

收稿日期:2020-09-10

作者简介:姜雷(1975-),男,工程师。

引文格式:姜雷. 箱式挡土墙技术优化研究[J]. 高速铁路技术,2021,12(6):7-11.

JIANG Lei. A Study on Optimization of Box-type Retaining Wall Technology[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(6):7-11.

土墙的抗滑稳定性由箱体与地基土之间的摩阻力来保证,抗倾覆稳定性由结构及填土自重来保证。

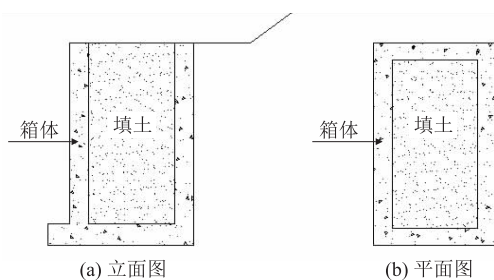


图1 箱式挡土墙典型图式

1.1 应用现状

早在上个世纪 70 年代,箱式挡土墙就有相关的应用实例。木兰县五一水库溢洪道岸^[1]边坡采用了钢筋混凝土箱式挡土墙,该工点地基为岩石,箱式挡土墙采用浅基础不封底,空箱内填满砂砾,砂浆封顶设计该工程于 1978 年修建,至今运用良好。

日本铁路路基边坡工程中采用了一种钢板制成的箱式挡土墙^[2],该挡土墙用压波纹钢板制成的方形筒装配成连续体,其内填充现场砂土形成挡土墙。这是利用填充砂土的剪切抗力来抵抗外力,从而保持墙体稳定的一种钢制挡土墙。

近年来,国内陆续出现了一些箱式挡土墙的应用实例。湘江大桥北引桥改造工程^[3]采用了设置底板的箱式挡土墙;大连国际储备库北区工程填方采用了一种命名为网箱挡土墙的箱式挡土墙^[4],箱体采用钢筋网制成,箱内填充石料;渝西某公路路堑边坡采用了箱式阶梯式挡土墙^[5],墙体由多个无底板的混凝土箱体自下而上拼装而成;侯月铁路某填方路基工点采用了有底板的箱式挡土墙^[6],最大挡墙高度 8 m;中铁第四勘察设计院有限公司申请了分节式预制空腹挡墙砌块及挡墙结构专利^[7],该结构采用多个箱体组合拼装而成;建材建华(中国)有限公司申请了装配式混凝土空箱挡土结构专利^[8],该结构采用多个无底钢筋混凝土箱体自下而上装配而成。

总体来看,箱式挡土墙在轨道交通领域的应用不多,现有的研究资料多认为箱式挡土墙施工技术要求较高,施工周期长,且小尺寸的箱式挡土墙受结构及配筋构造限制,经济性较差。因此其推广应用有一定的局限性。

1.2 研究现状

目前,关于箱式挡土墙的研究资料较为有限,从已有的研究资料^[9-10]来看,其研究尚停留在初步阶段,且基本参照重力式挡土墙理论对箱式挡土墙进行设

计,这主要是因为箱式挡土墙与重力式挡土墙存在诸多相似之处。

箱式挡土墙的计算分为土压力计算和结构计算两部分。墙背土体及墙内填土土压力计算普遍采用库伦土压力或朗肯土压力,结构计算一般将前后板、侧板及底板分别拆分,简化为梁单元或板单元进行计算,计算简化模型多趋于保守。

箱式挡土墙设计分为整体稳定性设计(抗倾覆和抗滑移)和结构设计两个部分。整体稳定性设计方法步骤类同于传统重力式挡土墙,结构设计与传统重力式挡土墙的结构设计区别较大。传统重力式挡土墙为素混凝土结构,一般采用容许应力法进行设计,只需验算墙身截面剪应力和拉应力即可;箱式挡土墙为钢筋混凝土结构,采用极限状态法设计,且需进行抗弯、抗剪、最大裂缝宽度、挠度等验算。箱内填料一般采用分层填筑、分层碾压,压实系数一般不小于 0.90。

箱式挡土墙构造要求主要包括结构尺寸和配筋要求,组成箱体的钢筋混凝土板一般厚 20~30 cm,板内一般布置双层钢筋,钢筋保护层厚度、钢筋间距等均应满足混凝土结构设计有关要求。

2 优化研究

2.1 土压力算法优化

箱体内填土产生的土压力是控制箱体结构设计的主要荷载,目前箱式挡土墙箱体内填土土压力主要采用库伦或朗肯土压力计算,其计算结果偏于保守。考虑到箱体是有限空间,箱内填土为有限边界条件,这一点与贮仓相似,因此宜采用贮仓理论计算土压力。

$$\sigma_z = \frac{\gamma}{A}(1 - e^{-AZ}) + qe^{AC} \quad (1)$$

$$\sigma_x = \sigma_z K \quad (2)$$

$$A = \frac{KU \tan \delta}{S} \quad (3)$$

式中: σ_z ——竖向土压力(kPa);

γ ——腹内填土容重(kN/m³);

A ——系数(1/m);

Z ——计算点距离墙顶的距离(m);

σ_x ——水平土压力(kPa);

K ——静止土压力系数;

U ——空腹薄壁墙内敞口周长(m);

S ——空腹薄壁墙内敞口面积(m²);

δ ——腹内填土与墙壁摩擦角,可取 1/2 填土内摩擦角。

分别采用库伦土压力和贮仓理论计算某工况箱式

挡土墙的箱内填土土压力分布,如图 2 所示。从图 2 可以看出,在填土 5 m 深度处,库伦土压力是贮仓土压力的 1.6 倍,这说明库伦土压力的计算结果偏保守,采用贮仓土压力对箱式挡土墙进行设计更为合理。

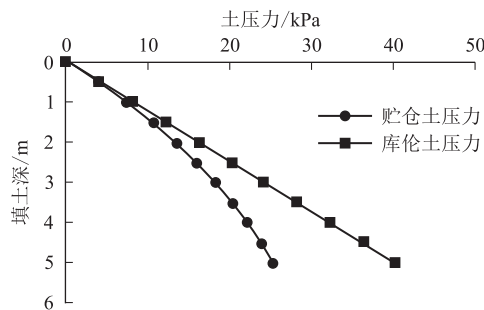


图 2 土压力分布图

2.2 构造措施优化

箱式挡土墙一般采用有底板设计,底板与箱体通常采用固定连接,此时组成箱体的钢筋混凝土板均为双向受力板,板体双向承受正负弯矩,需双向布置双层主筋,钢筋用量较大,导致其经济性较差。

箱式挡土墙的工作原理是通过箱体保持箱内填土稳定,并共同形成整体抵抗墙背土压力,设置底板的目的是为了增加结构的整体性,降低基底应力,提高挡墙自稳性,以满足地基承载力及稳定性要求。从底板的功能而言,其与箱体连接不必采用固定连接,可采用分离式设计,将底板设置为 L 型或 U 型(如图 3 所示)这样在箱体内填土土压力的作用下,组成箱体的钢筋混凝土板均为单向受力板。

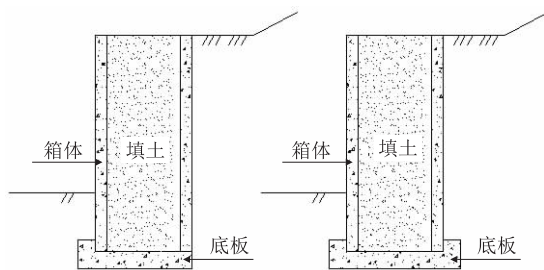


图 3 箱式挡土墙底板与箱体分离设计示意图

组成箱体的板体一般采用刚性连接,也可采用铰接连接。采用刚性连接时,可直接采用混凝土现浇成箱体;采用铰接连接时,应确保连接处抗拉力满足设计要求,必要时应采用相应的构造措施,以确保组成箱体的各构件始终保持箱体的状态,与填土构成可靠稳定的实体墙。

底板与箱体采用分离式设计,箱体的计算模型可简化为超静定框架结构。考虑箱体内填土土压力和墙

背土压力的作用,计算时可按单边受力、双边受力、三边受力和四边受力分别计算,计算模型如图 4 所示。此时只需沿水平方向布置主筋、沿竖向布置分布钢筋即可。

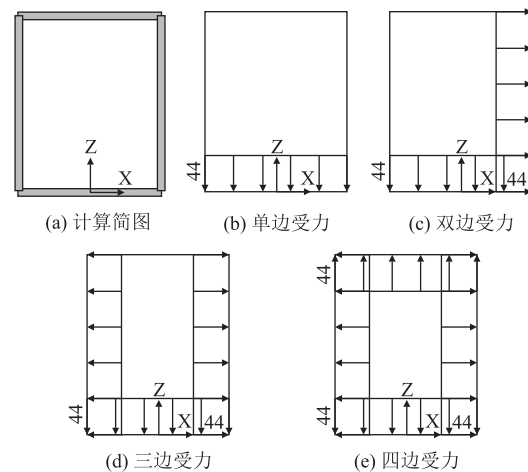


图 4 计算模型及受力工况示意图

底板与箱体采用分离式设计时,抗滑稳定性与整体式设计相同,将箱体、底板和填土看作一个整体结构进行计算;抗倾覆稳定性与整体式设计有所不同,在将箱体、底板和填土看作一个整体结构进行计算的同时,尚应将箱体与填土看作一个整体结构进行计算,两次计算结果均应满足抗倾覆稳定性要求。抗滑及抗倾覆稳定计算方法与传统重力式挡土墙相同。

2.3 结构尺寸优化

现行混凝土结构规范对于钢筋的净距和钢筋保护层均有严格要求,不能小于规定的限定值,其目的是确保骨料对钢筋形成有效的握箍力。采用双层钢筋通常需同时布置拉筋,以形成钢筋笼骨架,拉筋的弯钩长度既要满足长度要求又要满足最小保护层厚度要求。为满足上述构造要求,箱式挡土墙的钢筋混凝土板厚一般不小于 20 cm。而对于尺寸较小的箱体(高度不大于 6 m,1 节长约 2~4 m,宽 1~2 m),箱体内填土土压力较小,结构内力较少,从受力分析而言,板厚无需达到 20 cm,这导致小尺寸箱式挡土墙的经济性较差,限制了其推广应用。

为进一步优化结构尺寸,钢筋可采用错排布置,如图 5 所示。这样可在保证钢筋间距和净距满足设计要求的前提下,将小尺寸箱式挡土墙的混凝土板厚减小至 13 cm,混凝土用量可降低 25%~35%,钢筋用量可降低 30%~40%。

2.4 施工工艺优化

现有箱式挡土墙多采用现浇施工^[11],立模工序较

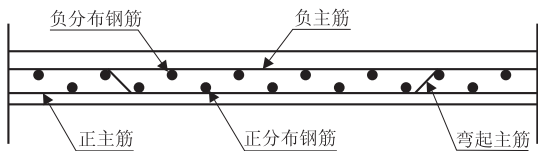


图5 错排钢筋布置图

为复杂,施工工期较长,且受外部环境因素干扰较大(如雨季、冬季),施工质量不易控制,对周边环境也会产生一定的污染。

近几年,装配式结构^[12]在建筑行业发展迅速,并取得了丰硕的技术成果。箱式挡土墙由钢筋混凝土板组合而成,具备装配施工的条件,混凝土板可设计为标准构件,以产品的形式厂内加工完成后,再运至现场装配成箱体。因此,箱式挡土墙可采用预制装配施工工艺,其工序简单,施工工期短,受外部环境因素干扰小,施工质量容易控制,特别是在长大铁路路堑点地段,可有效避免因路堑边坡长期放置而导致的边坡大变形、溜塌等。

2.5 优化前后对比分析

对现有箱式挡土墙进行优化研究后,其结构组成、设计理论、施工工艺等技术均有所创新,优化前后的对比分析如表1所示。

表1 箱式挡土墙优化前后对比分析表

项目	优化前	优化后
成果形式	个别设计	标准化设计
构造组成	箱体与底板整体设计	箱体与底板分离式设计
应用范围	特殊工点	常规工点
工作原理	重力式挡土墙	重力式挡土墙
土压力计算	库伦、朗肯土压力	贮仓土压力
材料	薄板混凝土及填土	薄壁混凝土及填土
受力模型	双向板	单向板
板(壁)厚	不小于20 cm	不小于13 cm
配筋	双向布置主筋	单向布置主筋
施工工艺	现浇施工,工期较长,质量不易控制,受外部环境因素干扰大	装配施工,工期较短,质量易控制,受外部环境因素干扰小

优化后,箱式挡土墙的技术优势显著提高,其壁厚更薄,钢筋用量更省,每立方混凝土钢筋用量约为60 kg左右,质量更易于控制,施工更快捷,更环保,其应用领域也得到了拓宽。小尺寸的箱式挡土墙可设计为薄壁结构,其造价可降为与传统重力式挡墙或悬臂式挡墙基本相当^[13],用于一般的铁路支挡工点时,又具有一定的技术优势,可用于替代现有的重力式挡土墙。

3 结论

本文对箱式挡土墙技术发展现状进行了梳理,并

对其土压力计算、构造措施、结构尺寸、施工工艺等几个方面进行了优化研究,得出主要研究结论如下:

(1)箱体内填土土压力计算宜采用贮仓土压力,其计算模型更符合有限填土的特性,计算结果更为合理。

(2)箱体与底板宜采用分离式设计,此时箱体可简化为超静定框架结构模型,均按单向受力板设计,底板按弹性地基板设计。

(3)对于小尺寸的箱式挡土墙,其钢筋布置可采用错排构造,以有效减小结构尺寸和钢筋用量。

(4)箱式挡土墙宜优先采用预制装配施工,小尺寸的箱式挡土墙可采用标准化设计,以产品的形式进行推广应用。

参考文献:

[1] 郝经国,徐建立,鲁萍,等. 箱式挡土墙在季节冻土区中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2001, 29(1): 86.
HAO Jingguo, XU Jianli, LU Ping, et al. Application of Box Retaining Wall in Seasonal Frozen Soil Areas [J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2001, 29(1): 86.

[2] 白敏华. 箱式挡土墙[J]. 铁道建筑, 1991(9): 10-11.
BAI Minhua. Box-Style Retaining Wall [J]. Railway Construction, 1991(9): 10-11.

[3] 宾敬林. “箱型”挡土墙在“湘江大桥”北引桥改造工程中的应用[J]. 湘潭矿业学院学报, 1998, 13(1): 65-68.
BIN Jinglin. Application of Box-Style Retaining Wall in Renovating the Northern Approach of Xiangtan Bridge [J]. Journal of Xiangtan Mining Institute, 1998, 13(1): 65-68.

[4] 刘建波,肖斌. 网箱挡土墙施工质量控制要点[J]. 石油工程建设, 2010, 36(5): 38-40.
LIU Jianbo, XIAO Bin. Key Points of Construction Quality Control of Cage Retaining Wall [J]. Petroleum Engineering Construction, 2010, 36(5): 38-40.

[5] 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.
ZHENG Wanyong, ZHANG Guansheng, ZHAO Yilai, et al. Probing into the Design of Box-Type Stepped Retaining Wall [J]. Journal of Yellow River Conservancy Technical Institute, 1999, 11(3): 27-31.

[6] 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.
CHONG Liuxi. Popularization and Application of Box-Type Thin-Walled Reinforced Concrete Retaining Wall [J]. Subgrade Engineering, 1998(2): 46-48.

[7] 韦随庆,姚洪锡,徐凯,等. 分节式预制空腹挡墙砌块及挡墙结构: 中国, CN105544600A [P]. 2016-05-04.
WEI Suiqing, YAO Hongxi, XU Kai, et al. Segmented Precast Open-Web Retaining Wall Building Block and Retaining Wall Structure: China, CN105544600A [P]. 2016-05-04.

[8] 马恒,朱红亮,王仙美,等. 一种装配式混凝土空箱挡土结构: 中

国, CN206655248U[P]. 2017-11-21.

MA Heng, ZHU Hongliang, WANG Xianmei, et al. A Prefabricated Concrete Empty Box Retaining Structure: China, CN206655248U[P]. 2017-11-21.

[9] 王颂. 箱型重力式混凝土挡土墙优化设计研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.

WANG Song. The Research of Optimal Design about the Gravity Retaining Wall with Box Type[D]. Xi'an: Changan University, 2012.

[10] 张小平. 填心式钢筋混凝土类重力式挡土墙设计理论研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.

ZHANG Xiaoping. Research on Design Theory of Class of Gravity Retaining Wall which is Filled Heart Type and RC Construction[D]. Xi'an: Changan University, 2011.

[11] 刘振生. 现浇混凝土施工过程中的质量控制[J]. 地产, 2019(15): 112.

LIU Zhensheng. A Study on Quality Control During Cast-in-situ Concrete Pouring[J]. Real Estate, 2019(15): 112.

[12] 严薇, 曹永红, 李国荣. 装配式结构体系的发展与建筑工业化[J]. 重庆建筑大学学报, 2004, 26(5): 131-136.

YAN Wei, CAO Yonghong, LI Guorong. Development of Assembly-Type RC Structure and Building Industrialization[J]. Journal of Chongqing Architecture University, 2004, 26(5): 131-136.

[13] 姜雷. 重力式组合装配挡土墙技术方案研究[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(4): 44-47.

JIANG Lei. Research on the Technical Scheme of Gravity Prefabricated Retaining Wall[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(4): 44-47.

(上接第6页)

[30] 李俊儒, 王李斌, 王雪来, 等. 季冻区既有隧道保温钢波纹板套衬保温效果分析[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(6): 45-48.

LI Junru, WANG Libin, WANG Xuelai, et al. Analysis of Thermal Insulation Effect of Corrugated Steel Plate Liner in Existing Tunnels in Seasonal Frozen Area[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(6): 45-48.

[31] TAN Xianjun, CHEN Weizhong, YANG Diansen, et al. Study on the Influence of Airflow on the Temperature of the Surrounding Rock in a Cold Region Tunnel and Its Application to Insulation Layer Design[J]. Applied Thermal Engineering, 2014, 67(1/2): 320-334.

[32] ZHANG Guozhu, XIA Caichu, YANG Yong, et al. Experimental Study on the Thermal Performance of Tunnel Lining Ground Heat Exchangers[J]. Energy and Buildings, 2014, 77: 149-157.

[33] 郭沛, 傅宇浩, 韩猛, 等. 寒区运营公路隧道保温材料优化设计[J]. 中国公路, 2019(13): 92-95.

GUO Pei, FU Yuhao, HAN Meng, et al. Optimization Design of Insulation Materials for Tunnels of the Highway Operating in Cold Areas[J]. China Highway, 2019(13): 92-95.

[34] 王李斌, 侯占鳌, 吕晓聪, 等. 季冻区隧道防冻胀技术研究进展[J]. 北方工业大学学报, 2019, 31(5): 119-125.

WANG Libin, HOU Zhan'ao, LV Xiaocong, et al. Research Progress of Anti-Frost Heave Technology for Tunnels in Seasonal Frozen Area[J]. Journal of North China University of Technology, 2019, 31(5): 119-125.

[35] 马启腾. 高海拔高寒公路隧道的抗防冻技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2018.

MA Qiteng. Research on Anti-Freeze Technology of High-Altitude and Cold Region Highway Tunnel[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2018.

[36] 姚红志, 张晓旭, 董长松, 等. 多年冻土区公路隧道保温隔热层铺设方式及材料性能对比分析[J]. 中国公路学报, 2015, 28(12): 106-113.

YAO Hongzhi, ZHANG Xiaoxu, DONG Changsong, et al. Comparison Analysis on Heat Insulating Material Property and Laying Way of Highway Tunnel in Permafrost Regions[J]. China Journal of Highway and Transport, 2015, 28(12): 106-113.

[37] 袁金秀, 王道远, 马海龙. 季节性冻土区隧道保温层御寒保温技术研究[J]. 铁道标准设计, 2018, 62(8): 100-105.

YUAN Jinxiu, WANG Daoyuan, MA Hailong. Study on Thermal Insulation Technology of Insulation Layer of Tunnels in Seasonal Frozen Soil Area[J]. Railway Standard Design, 2018, 62(8): 100-105.

[38] 范东方, 夏才初, 韩常领. 不同类型冻土中隧道隔热保温层铺设方式的选择[J]. 地下空间与工程学报, 2014, 10(2): 391-397.

FAN Dongfang, XIA Caichu, HAN Changling. Option of Laying Position of Insulation Layer for Tunnel in Frost Region[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2014, 10(2): 391-397.

[39] 邓刚, 郑金龙, 李海清. 寒区隧道离壁式衬砌结构的保温隔热原理研究[J]. 公路隧道, 2008(3): 6-11.

DENG Gang, ZHENG Jinlong, LI Haiqing. Study on the Thermal Insulation Principle of the Off-wall Lining Structure of Tunnels in Cold Areas[J]. Highway Tunnel, 2008(3): 6-11.