

文章编号: 1674—8247(2020)03—0042—04  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.03.009

## 桩基托梁扶壁式托盘支挡结构设计

赵青海 薛海洋 胡会星

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**随着我国高速铁路的飞速发展,线路不可避免地以路基穿越城镇及生态环境敏感区,常规的支挡结构难以适应局促的施工场地及满足环保要求,亟需一种新型结构来解决面临的难题。本文创新性地提出了一种桩基托梁扶壁式托盘支挡结构,并详细介绍了其结构设计方法。桩基托梁扶壁式托盘支挡结构主体由扶壁式托盘挡土墙、托梁和桩基三部分组成,上部扶壁式托盘挡土墙可有效对路基进行收坡,中部托梁可将上部荷载传递至下部桩基,再由下部桩基将荷载传递至持力层。该结构在国内外高速铁路、公路领域尚属首次提出,具有结构新颖、安全可靠、施工简单等特点。可有效节约工程用地,减少工程投资,降低对生态环境的影响。

**关键词:**高速铁路;桩基托梁扶壁式托盘;路基支挡结构;设计方法

**中图分类号:**U213.1+52.2 **文献标志码:**A

42

## Design of Pile Foundation Joist Buttress Tray Retaining Structure

ZHAO Qinghai XUE Haiyang HU Huixing

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

**Abstract:** With the rapid development of high-speed railway in China, when the route inevitably passes through the towns and the environmental environment sensitive areas by the subgrade, for the conventional retaining structure, it is difficult to adapt to the limited construction site and meet the environmental protection requirements, so a new structure is urgently needed to solve the above problems. In this paper, an innovative pile foundation joist buttress tray retaining structure is proposed and its structural design method is introduced in detail. The main body of pile foundation joist buttress tray retaining structure consists of buttress tray retaining wall, joist and pile foundation. The upper buttress tray retaining wall can effectively reduce the slope of the subgrade, and the middle joist can transfer the upper load to the lower pile foundation and the lower pile foundation can transfer the load to the bearing layer. This structure is first proposed in the field of high-speed railway and highway at home and abroad. It is characterized by novel structure, safety and reliability, and simple construction. It can effectively save project land, reduce project investment and reduce the impact on the ecological environment.

**Key words:** high-speed railway; pile foundation joist buttress tray; subgrade retaining wall; design method

近20年来,我国高速铁路飞速发展,岩土工程支挡技术也发展迅速,支挡结构形式已从单纯依靠墙身自重平衡边坡土压力和滑坡下滑力的重力式挡土墙,

发展为采用支撑、锚固等技术的多种新型、轻型支挡结构<sup>[1]</sup>。但在岩土工程技术不断更新的同时,生态环境及施工条件对岩土工程也提出了更高的要求,特别是

收稿日期:2019-09-10

作者简介:赵青海(1980-),男,高级工程师。

引文格式:赵青海,薛海洋,胡会星. 桩基托梁扶壁式托盘支挡结构设计[J]. 高速铁路技术,2020,11(2): 42-45.

ZHAO Qinghai, XUE Haiyang, HU Huixing. Design of Pile Foundation Joist Buttress Tray Retaining Structure[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2): 42-45.

对生态环境敏感区的半填半挖、顺河、滨河及跨河段工程。受地质、水文等因素的控制,高速铁路若以桥梁或隧道工程通过,极易导致工程投资大幅增加;若以路基通过,又极易因常规支挡工程收坡困难造成路基用地范围明显增大、对自然环境扰动过大或因地质、水文情况对工程安全性造成影响<sup>[2-3]</sup>,从而导致后期运营维护要求过高。在常规支挡结构(技术)难以满足工程相关要求的地段,亟需一种新型结构来解决面临的问题,本文创新性地提出了一种桩基托梁扶壁式托盘支挡结构<sup>[4]</sup>,并详细介绍了其结构设计方法。

与常规支挡结构<sup>[5]</sup>相比,在对路基边坡进行收坡及加固时,桩基托梁扶壁式托盘支挡结构受地形、地质等条件的影响较小,能有效地解决由地面横坡较陡、地表承载力较低等因素造成的收坡困难或支挡结构高度过大等问题。另外,在受河水冲刷较大的滨河路基和水环境敏感区的跨河和顺河路基地段,常规路基支挡结构的工程实施风险较大,且难以满足环保要求,而本

结构则可有效节约工程用地,减少工程投资,降低工程对环境的影响。

## 1 结构形式和适用范围

本文所述桩基托梁扶壁式托盘支挡结构主要由上部扶壁式托盘挡土墙、中部托梁和下部桩基三部分组成。上部扶壁式托盘挡土墙结构综合了扶壁式挡墙<sup>[1]</sup>、卸荷板-托盘式挡墙<sup>[6]</sup>的特点,在保证上部结构宽度和结构自身强度的前提下,最大程度地节约用地面积,减小土方开挖和回填的范围,有效降低支挡结构高度;中部托梁结构结合了桩基托梁的特点,在传递上部荷载的同时,可为上部结构提供抗滑移的作用;下部桩基将上部荷载传递至持力层。桩基托梁扶壁式托盘结构形式如图1所示。半幅式桩基托梁扶壁式托盘结构主要应用于陡坡路基、滨河路基;整幅式桩基托梁扶壁式托盘结构主要应用于陡坡路基、滨河路基、顺河路基、跨河路基。

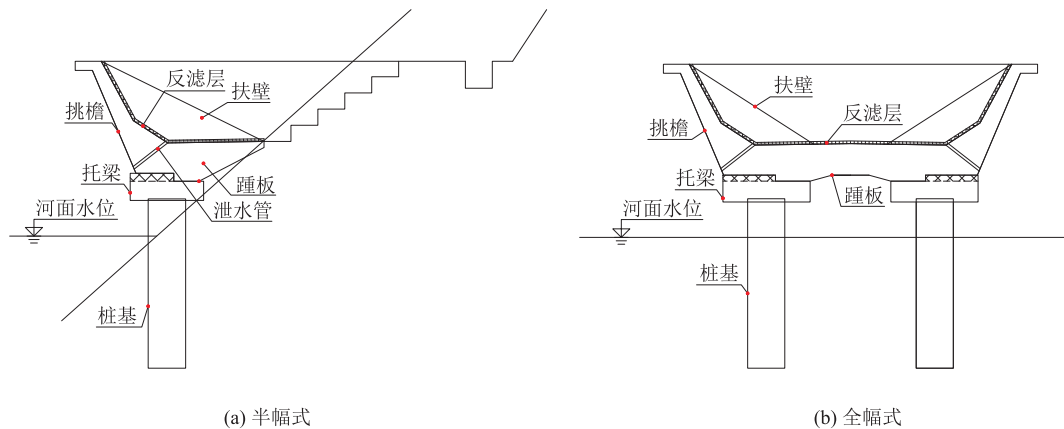


图1 桩基托梁扶壁式托盘结构图

## 2 结构设计流程及理论计算

### 2.1 设计流程

桩基托梁扶壁式托盘支挡结构设计流程如图2所示。

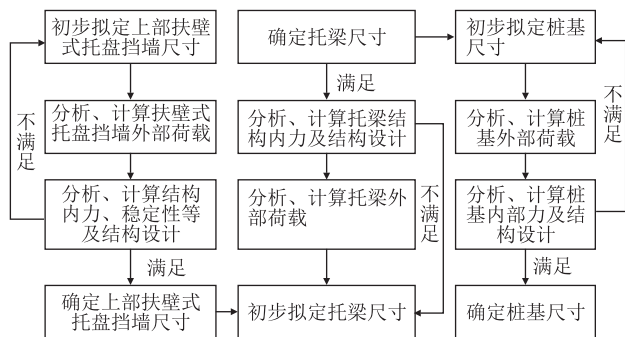


图2 桩基托梁扶壁式托盘支挡结构设计流程图

### 2.2 理论计算

#### (1) 初步拟定墙身截面尺寸

根据线路中线位置、路基面宽度、路基设计标高、水文情况确定墙高,挑檐结构厚度一般为0.2~0.5 m;墙面坡率采用1:0.2~1:0.5,墙背1/2H~2/3H处坡率与墙面坡率相同,墙背倒角坡率采用1:1~1:1.5,踵板设置2%横坡向线路外侧倾斜,整幅式托盘挡墙初步尺寸如图3所示。

#### (2) 扶壁式托盘挡墙荷载分析与计算

托盘挡墙结构受力特点与卸荷板-托盘式挡墙类似,主要受结构自重、车辆荷载、填土荷载、下部结构对其提供的承载力及其他结构物荷载等的作用。

外部荷载对托盘挑檐产生侧向压应力,对托盘踵板产生竖向压应力,此二者均可按弹性理论计算。填土产生的土压力可按库伦主动土压力计算;若不出现

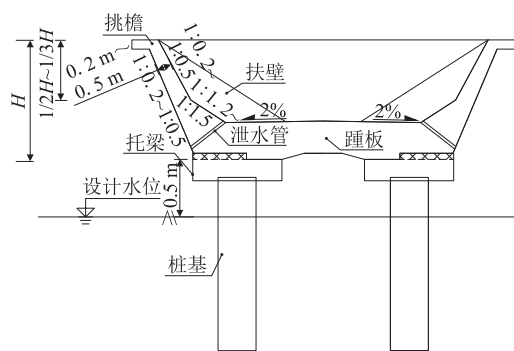


图3 整幅式托盘挡墙初拟尺寸图

第二破裂面,填土水平,用踵板下缘与挑檐上边缘连线作为假想墙背;若踵板下缘与挑檐上边缘连线的倾角大于临界角,出现第二破裂面,则按第二破裂面理论计算公式计算。稳定计算时应计入第二破裂面与墙背之间的土体作用<sup>[6-9]</sup>。

### (3) 扶壁式托盘挡墙内力计算

#### ①挑檐的内力

挑檐可考虑为固定在踵板上的悬臂梁。主要承受挑檐后部的主动土压力,不计墙背与土体的摩擦,且忽略挑檐自重,按受弯构件计算。不产生第二破裂面时,各截面的剪力、弯矩计算公式为:

$$Q_{1z} = \frac{\gamma z(2h_0 + z) \times K_a}{2\cos\rho} \quad (1)$$

$$M_{1z} = \frac{\gamma z^2(3h_0 + z + 2\sin\rho) \times K_a}{6\cos\rho} \quad (2)$$

产生第二破裂面时,计算公式为:

$$Q_{1z} = \frac{\gamma z(2h_0 + z) \times K}{2\cos\rho} \quad (3)$$

$$M_{1z} = \frac{\gamma z^2(3h_0 + z + 2\sin\rho) \times K}{6\cos\rho} \quad (4)$$

式中: $Q_{1z}$ ——距墙顶Z处挑檐的剪力;

$M_{1z}$ ——距墙顶Z处挑檐的弯矩;

Z——计算截面到墙顶的距离;

$\gamma$ ——填土重度;

$K_a$ ——主动土压力系数;

$\rho$ ——墙背倾角;

$h_0$ ——列车活载的土柱换算高度。

#### ②踵板的内力

踵板可考虑为以挑檐底端为固定端的悬臂梁。踵板上作用有第二破裂面(或假想墙背)与墙背之间土体(含其上的列车,汽车等活载)的重量,在踵板自重、主动土压力的竖直分量和地基反力等荷载作用下,各截面的剪力、弯矩计算公式为:

$$Q_{2x} = B_x \left[ \sigma_{y2} + \gamma_k h_1 - \sigma_2 + \frac{(\gamma H_1 - \sigma_{y2} + \sigma_{y1}) B_x}{2B_3} - \frac{(\sigma_1 - \sigma_2) B_x}{2B} \right] \quad (5)$$

$$M_{2x} = B_x^2 \left[ 3(\sigma_{y2} + \gamma_k h_1 - \sigma_2) + \frac{(\gamma H_1 - \sigma_{y2} + \sigma_{y1}) B_x}{B_3} - \frac{(\sigma_1 - \sigma_2) B_x}{2B} \right] \quad (6)$$

式中: $Q_{2x}$ ——距踵板端部为 $B_x$ 截面的剪力;

$M_{2x}$ ——距踵板端部为 $B_x$ 截面的弯矩;

$B_x$ ——计算截面到墙踵的距离;

$h_1$ ——踵板厚度;

$H_1$ ——挑檐高度;

$\gamma_k$ ——钢筋混凝土重度;

$\sigma_{y1}, \sigma_{y2}$ ——墙趾、墙踵处的地基反力;

$\sigma_1, \sigma_2$ ——墙趾、墙踵处的地基反力;

$B_3$ ——墙踵板长度;

$B$ ——墙底板长度。

### (4) 扶壁式托盘挡墙外部稳定性验算

按扶壁式挡土墙的检算方法,检算结构的抗倾覆、抗滑移和基底承载力情况,计算公式为:

$$K_c = \frac{\sum N \times f}{\sum E_x} > 1.1 \quad (7)$$

$$K_0 = \frac{\sum M_0}{\sum M_x} > 1.6 \quad (8)$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_0 - \sum M_x}{\sum N} < \frac{B}{6} \quad (9)$$

$$\sigma_1 = \frac{\sum N}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) / L < [\sigma] \quad (10)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sum N}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) / L < [\sigma] \quad (11)$$

式中: $K_c$ ——抗滑移稳定系数;

$K_0$ ——抗倾覆稳定系数;

$\sum N$ ——作用与基底的总垂直应力;

$\sum E_x$ ——水平土压力;

$\sum M_x$ ——倾覆力系对墙趾的总力矩;

$\sum M_0$ ——稳定力系对墙趾的总力矩;

$f$ ——基底摩擦系数;

$L$ ——一幅扶壁式托盘长度;

$\sigma_1, \sigma_2$ ——分别为墙趾、墙踵处的应力;

$e$ ——墙底偏心距;

$B$ ——墙底长度。

#### (5) 扶壁式托盘挡墙结构设计

上部结构设计时,挑梁、踵板和扶壁的内力计算均按悬臂梁考虑,正截面承载力、裂缝宽度等应满足文献[10]的相关要求。

##### ①扶壁设计

扶壁按承受相邻两跨墙面板中点之间的全部水平土压力考虑,扶壁自重和作用于扶壁的竖直土压力可忽略不计,扶壁按悬臂T形梁计算<sup>[11]</sup>,将面板视为梁的翼缘,扶壁视为梁的腹板,计算公式为:

$$E_z = \frac{(2\sigma_0 + \sigma_z)H_z L}{4} \quad (12)$$

$$M_z = \left( \frac{1}{2}H_z^2\sigma_0 + \frac{1}{6}H_z^2\sigma_z \right) \frac{L}{2} \quad (13)$$

$$F_H = \frac{1}{2}\sigma_H L_1 \quad (14)$$

$$F_W = \frac{1}{2}\sigma_W L_1 \quad (15)$$

式中: $E_z$ ——计算截面水平力;

$M_z$ ——计算截面总弯矩;

$F_H$ ——肋板两侧水平拉力;

$F_W$ ——肋板两侧竖向拉力;

$\sigma_0$ ——列车、汽车活载的应力;

$\sigma_z$ ——计算截面土压力应力;

$\sigma_H$ ——肋板两侧水平应力;

$\sigma_W$ ——肋板两侧竖直应力;

$H_z$ ——计算截面到墙顶的距离;

$L$ ——1幅扶壁式托盘长度;

$L_1$ ——肋板净距。

##### ②凸樨设计

为提高上部结构的抗滑稳定性,于踵板底部设置凸樨。凸樨高度应根据凸樨所能提供的满足全墙抗滑移要求的抗力而定,厚度除满足文献[12-13]的相关要求外,为便于施工,应不小于30 cm。

#### (6) 托梁设计

上部结构设计完成后,计算作用于托梁上的各项荷载。托梁受力特点与桩基托梁相同<sup>[1]</sup>,一般可按连续梁设计或按支端悬出的简支梁设计。初步拟定托梁及桩基布置形式,确定计算模型后,计算托梁内部挠度、转角、弯矩和剪力情况。托梁钢筋混凝土结构设计应满足文献[10-11]的相关要求。

#### (7) 桩基设计

桩基设计荷载即为托梁传递至桩基的轴向力、剪力和弯矩。计算时不考虑托梁底的支撑和摩擦,可认为上部结构的水平推力、竖直力及弯矩通过托梁全部传至桩顶。计算荷载确定后,根据初步拟定的桩基尺寸,将桩基简化为平面钢架,桩身自由段按悬臂桩计算其长度和内力,锚固段按弹性地基梁计算,确定桩截面尺寸、长度及桩间距。桩基结构设计,应满足文献[12-14]的相关要求。

## 3 结束语

(1) 桩基托梁扶壁式托盘支挡结构主要包括扶壁式托盘挡墙、托梁和桩基三部分。

(2) 在局部地面横坡较陡、地表承载力较低或是在受河水冲刷较大的滨河路基、水环境敏感区域的跨河和顺河路基等地段,采用桩基托梁扶壁式挡墙,能有效节约工程用地,减少工程投资,降低工程对环境的影响。

(3) 本文提出的桩基托梁扶壁式托盘支挡结构设计流程和计算方法,可为今后工程设计提供参考。

## 参考文献:

- [1] 李海光. 新型支挡结构设计工程实例[M]. 北京:人民交通出版社,2011.  
LI Haiguang. Design and Project Cases of New Retaining Structures [M]. Beijing: China Communications Press, 2011.
- [2] 陈伟志, 李安洪, 蒋关鲁, 等. 铁路路基下膨胀土长短微型桩抗隆起研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38(2): 409-423.  
CHEN Weizhi, LI Anhong, JIANG Guanlu, et al. Study on Resisting Upheaval of Long-short Micropiles of Expansive Soils under Railway Subgrade [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2019, 38(2): 409-423.
- [3] 陈伟志, 蒋关鲁, 赵慧爽, 等. 铁路路基下膨胀土地基浸水响应现场试验[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(8): 1507-1514.  
CHEN Weizhi, JIANG Guanlu, ZHAO Huishuang, et al. Field Tests on Soaking Response of Expansive Soil Foundation under Railway Subgrade [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(8): 1507-1514.
- [4] 薛海洋, 赵青海, 胡会星, 等. 高速铁路、公路桩基托梁扶壁式托盘路基支挡结构: 中国, 200820248625.3 [P]. 2018-01-12.  
XUE Haiyang, ZHAO Qinghai, HU Huixing, et al. Retaining Structure of Pile Foundation Joist Buttress Tray Subgrade in High-speed Railway and Highway: China, 200820248625.3 [P]. 2018-01-12.
- [5] 池淑兰, 孔书祥, 梁明学. 路基及支挡结构[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.  
CHI Shulan, KONG Shuxiang, LIANG Mingxue. Subgrade and Retaining Structure [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001.

(下转第50页)

- XIAO Boxun. High Models Rayleigh Wave and Forward Modelling and Inversion of Its Dispersion Curves [D]. Changsha: Central South University, 2000.
- [3] HAYASHI K. Discontinuous-Grid Finite-Difference Seismic Modeling Including Surface Topography [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2001, 91(6): 1750–1764.
- [4] 刘云祯, 王振东. 瞬态面波法的数据采集处理系统及其应用实例 [J]. 物探与化探, 1996, 20(1): 28–34.
- LIU Yunzhen, WANG Zhendong. Data Collection and Processing System of Transient Surface Wave Method and Examples of its Application [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1996, 20(1): 28–34.
- [5] PARK C B, MILLER R D, XIA Jianghai. Multichannel Analysis of Surface Waves [J]. Geophysics, 1999, 64(3): 800–808.
- [6] XIA Jianghai, MILLER R D, PARK C B. Estimation of Near-surface Shear-wave Velocity by Inversion of Rayleigh Waves [J]. Geophysics, 1999, 64(3): 691–700.
- [7] PARK C B, MILLER R D, RYDEN N, et al. Combined Use of Active and Passive Surface Waves [J]. Journal of Environmental & Engineering Geophysics, 2005, 10(3): 323–334.
- [8] CAPON J. High-resolution Frequency-wavenumber Spectrum Analysis [J]. Proceedings of the IEEE, 1969, 57(8): 1408–1418.
- [9] XIA Jianghai, MILLER R D, PARK C B. Configuration of Near-Surface Shear-wave Velocity by Inverting Surface Wave [C]// Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 1999. Environment and Engineering Geophysical Society, 1999.
- [10] Saito M, Kabasawa H. Computation of Reflectivity and Surface Wave Dispersion Curves for Layered Media 2 Rayleigh Wave Calculations [J]. Butsuri-tansa, 1993, 46: 283–298.
- [11] XU Tong, MCMECHAN G A. Efficient 3-D Viscoelastic Modeling with Application to Near-surface Land Seismic Data [J]. Geophysics, 1998, 63(2): 601–612.
- [12] HAYASHI K, SUZUKI H. CMP Cross-correlation Analysis of Multichannel Surface-wave Data [J]. Exploration Geophysics, 2004, 35(1): 7–13.

(编辑:刘会娟 白雪)

(上接第45页)

- [6] 李安洪. 卸荷板-托盘路肩挡土墙 [J]. 铁道标准设计, 1996(3): 25–26.
- LI Anhong. Unloading Plate-Tray Shoulder Retaining Wall [J]. Railway Standard Design, 1996(3): 25–26.
- [7] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程设计技术手册-路基 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1992.
- The First Survey and Design Institute of the Ministry of Railways. Technical Manual of Railway Engineering Design: Subgrade [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1992.
- [8] 交通部第二公路勘察设计院. 公路设计手册-路基(第二版). 北京: 人民交通出版社, 2001.
- The Second Highway Survey and Design Institute of the Ministry of Communications. Highway Design Manual: Subgrade (The Second Edition). Beijing: China Communications Press, 2011.
- [9] 尉希成. 支挡结构设计手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- YU Xicheng. Design Manual of Retaining Structure [M]. Beijing: China Construction Industry Press, 1995.
- [10] GB 50010-2010 混凝土结构设计规范 [S].
- GB 50010-2010 Code for Design of Concrete Structures [S].
- [11] JTG 3362-2018 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范 [S].
- JTG 3362-2018 Code for Design of Highway Reinforced Concrete and Prestressed Concrete Bridges and Culverts [S].
- [12] TB 10025-2019 铁路路基支挡结构设计规范 [S].
- TB 10025-2019 Code for Design on Retaining Structures of Railway Subgrade [S].
- [13] JTG/D 30-2015 公路路基设计规范 [S].
- JTG/D 30-2015 Specifications for Design of Highway Subgrades [S].
- [14] JGJ 94-2008 建筑桩基技术规范 [S].
- JGJ 94-2008 Technical Code for Building Pile Foundations [S].

(编辑:刘会娟 张红英)