

格栅式连续墙在沉管隧道护岸工程支护中的应用

张玉成^{1, 2}, 杨光华^{1, 2, 3, 4}, 胡海英⁵, 姚捷³, 姚丽娜⁴, 刘鹏³

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510610; 2. 广东省岩土工程技术研究中心, 广东 广州 510610; 3. 武汉大学, 湖北 武汉 430072;
4. 华南理工大学土木与交通学院, 广东 广州 510640; 5. 珠江水利科学研究院, 广东 广州 510611)

摘要: 在介绍常用沉管隧道基槽开挖护岸结构形式基础上, 结合具体工程项目, 对格栅连续墙支护结构的土压力和护岸支护结构设计进行了探讨, 提出了格栅连续墙的简化计算方法, 并采用简化计算法和有限元法进行了对比计算分析。对比两种方法的计算结果可知, 与有限元方法相比, 简化计算方法计算的弯矩偏大, 位移偏小, 主要是由于简化计算方法没有考虑格栅连续墙的空间效应导致弯矩偏大, 且等效刚度偏大导致位移偏小; 格栅连续墙由于其自身的几何形状, 其墙身弯矩分布具有典型的特性。其中, 内墙承受较大的水平弯矩, 外纵墙弯矩均较小, 通过对格栅连续墙弯矩分布规律的分析, 可以对格栅连续墙结构的配筋进行优化设计。由于目前对格栅连续墙的受力特点和设计计算方法对其空间效应考虑较少, 因此格栅连续墙结构的变形计算模式还有待进一步研究和探讨。本文对格栅式连续墙基坑的计算设计具有一定的参考和借鉴作用。

关键词: 格栅连续墙; 基坑支护; 沉管隧道; 空间效应

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2012)S0-0440-07

作者简介: 张玉成(1975-), 男, 内蒙古武川县人, 博士后, 副研究员/高级工程师, 从事岩土工程方面的科研、咨询和设计。E-mail: 125340752@qq.com。

Application of grillage shaped diaphragm wall in support of revetment project of immersed tube tunnel

ZHANG Yu-cheng^{1, 2}, YANG Guang-hua^{1, 2, 3, 4}, HU Hai-ying⁵, YAO Jie³, YAO Li-na⁴, LIU Peng³

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510610, China; 2. The Geotechnical Engineering Technology Center of Guangdong Province, Guangzhou 510610, China; 3. School of Civil and Architectural Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 4. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 5. Pearl River Water Resources Scientific Research Institute, Guangzhou 510611, China)

Abstract: Based on introducing the commonly used revetment retaining structures of excavated foundation trench of the immersed tube tunnel and combined with a specific project, the earth pressure and structural design of grillage shaped diaphragm wall (GSDW) are studied. A simplified method for the GSDW is proposed and it is compared with the finite element method (FEM). From the comparison, the moment calculated by the simplified method is larger than that by the FEM, and the displacement is on the contrary. The causes are the ignorance of the spatial effects of the GSDW and the relatively larger equivalent stiffness respectively. Due to the geometry of the GSDW, the distribution of the diaphragm walls has typical spatial characteristics. For example, the inner vertical wall bears a greater level of moment while the outer vertical wall bears a less one. So we can optimize the reinforcement of the GSDW through the analysis of the moment distribution laws. As for the stress characteristics and design calculation method of the GSDW, the spatial effects are seldom taken into consideration. Further discussions and more researches of the deformation method are needed. This study may provide reference for the design of the GSDW.

Key words: grillage shaped diaphragm wall; excavation support; immersed tube tunnel; spatial effect

0 引言

随着城市建设的飞速发展, 处于建筑物、道路、地下管线和河道两岸等位置的深基坑工程也日益增多, 且基坑工程现在已不是一个孤立支护结构强度控

制问题, 现在已经逐渐把基坑工程与周围环境作为一个整体来考虑, 对基坑工程的设计和施工都提出了更

基金项目: 水利部公益性行业科研专项基金项目 (201301028)

收稿日期: 2012-08-21

高的要求^[1-2]。

随着地下空间的不断开发,近几年出现了大量的新型支护结构,如长短桩复合支护结构、格栅连续墙支护、逆作法、双排桩支护等,对于复杂深基坑常规的支护结构有时已不适用于这些地下工程。格栅式地下连续墙支护结构是近年来应用到基坑工程的一种新型支护结构^[3-4],由于其特殊的几何结构,结构本身可以自立,且能够较好地控制基坑的变形,主要可用于无法做内支撑且对变形要求较高的基坑工程中,并可以作为永久结构来使用。广州近几年已在大学城—生物岛、生物岛—仑头和佛山汾江路沉管隧道护岸支护中应用,并且取得了较好的效果。

由于沉管隧道施工时不能破坏堤岸完整的防汛体系,需确保防汛安全,因此沉管隧道堤岸需重新构筑一道可靠的岸壁保护结构,并兼做临时防汛墙。本文以佛山市汾江南延线工程沉管隧道护岸支护工程为背景,分析了格栅式连续墙在沉管隧道护岸工程支护中的应用,可以为类似基坑工程提供借鉴。

1 常用沉管隧道基槽开挖护岸结构形式

自 1894 年美国在波斯顿修建世界第一座沉管隧道以来,到现在世界上已经修建了 100 多座沉管隧道。一般沉管管段基槽开挖宽度大、深度深,原有堤岸结构不能满足施工阶段稳定性要求。因此护岸结构保护也就成为世界各国沉管隧道设计关键技术难点之一,且其难度随管段断面尺寸、埋深增大而增大^[5]。以下是几个典型沉管隧道的护岸结构型式介绍:

(1) 英国梅德韦隧道

英国第一座沉管隧道,管段高 9.5 m,宽 25.8 m,隧道埋深 18.65 m。堤岸部分由复合墙构成,内部填充砂。复合墙由重型钢管构成,呈“T”形布置,钢管桩直径达 1.4 m,桩中心间距 2.6 m,桩与桩之间用双层拉森板桩嵌实。

(2) 荷兰玛格丽特公主隧道

沉管隧道段高 8.0 m,宽 28.5 m,隧道埋深 14.35 m,沿河堤岸采用钢板桩与钢板桩相接的方式制作围护。

(3) 日本东京港隧道

沉管段高 8.8 m,宽 37.4 m,隧道埋深 23 m。北侧护岸主要采用钢管桩加地锚的形式;在西侧护岸主要采用双排钢板桩的形式;在南侧护岸,钢板桩围护形结构。

(4) 宁波常洪隧道

沉管段高 8.45 m,宽 22.8 m,隧道埋深 23 m。隧道江中段由 4 节管段构成,在江北连接井两侧各 65 m

范围内根据不同的浚挖深度,分别选用了双排灌注桩加搅拌桩隔水帷幕的支护结构和水泥搅拌桩重力式挡墙两种不同护岸结构。

(5) 广州仑头—生物岛沉管隧道

沉管段高 8.55 m,宽 23.0 m,基槽最大开挖深度约为 18 m,护岸结构采用格栅式地下连续墙和单墙加锚碇的结构形式,格栅墙格大小为 5 m×9 m,最大墙深为 40 m。

(6) 广州大学城—生物岛沉管隧道

沉管段高 8.55 m,宽 23.0 m,基槽最大开挖深度为 22.6 m,护岸结构采用地下 0.8~1.2 m 厚连续墙结合预应力锚索的结构形式。

沉管隧道的护岸工程对于设计和施工均是主要的重点和难点,同时具有相当的工程风险^[6]。不同的沉管隧道,因各自工程条件和周围环境的不同,选择的处理方法也不同,主要有:钢板桩(单排或多排)、钢管桩(单排或多排)、钻孔灌注桩(单排或双排)、水泥土重力式挡墙、连续墙及格栅(格构)连续墙等支护形式。

2 格栅连续墙的土压力

土压力问题一直是岩土工程中的关键问题之一,经典的库仑和朗肯土压力理论为极限状态下的土压力计算理论。对于基坑工程,设计时要控制基坑的变形,一般基坑内外土压力很难达到极限状态,因此采用经典土压力理论计算的结果往往与试验及实测的结果差异较大。

文献[7]采用现场原位试验研究了格栅连续墙的土压力,研究表明,基坑开挖过程中格栅连续墙格栅结构内部土体由于是整体移动,因此其土压力变化不大,测试值接近静止土压力。内墙(靠近基坑侧的墙)开挖侧土体并未达到破坏状态,内墙侧土压力远小于朗肯被动土压力。外墙外侧土压力随基坑开挖深度增大逐渐减小,基本达到主动土压力状态。

文献[8]提出了一种增量算法,增量法计算过程如图 1 所示,把每一步基坑开挖过程中所增加的荷载作为外荷载,称为增量荷载,作用于支护结构上,每一施工过程的支护结构由于支撑及土弹簧均发生了变化,因而其计算体系是不同的。增量荷载一般包括两部分,土压力增量和本次施工挖除的土弹簧。本次施工挖除的土弹簧,应将其上一过程所受的力作为本次的荷载增量反向作用于结构上。每一施工过程支护结构的受力和变形量为前面增量计算结果的迭加。本文计算时考虑施工过程的影响,用增量法来进行计算。

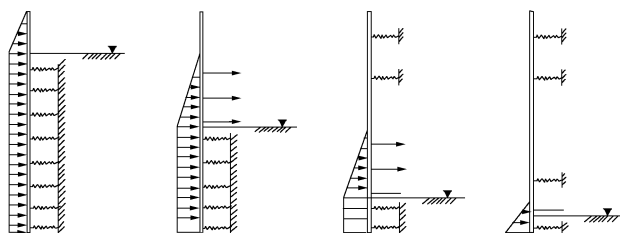


图1 增量法计算过程

Fig. 1 Calculation process of incremental method

3 格栅连续墙的简化计算方法

目前的计算通常是把其作为一重力挡土结构来验算其抗滑和抗倾稳定, 缺乏实用的计算方法, 且目前的计算通常是把稳定计算和变形计算分离开的, 把稳定和变形统一起来进行计算的方法目前还较少见到。本文采用文献[8~9]中提出的简化计算方法, 其计算原理如下:

把支护结构看作为一竖放的弹性地基梁, 土体的弹簧刚度按以上所叙述的 Boussinesq 解确定, 并同时考虑墙重和墙底土的抗剪及抗弯作用, 而对桩前土体的屈服, 则用以上的应力转移方法, 通过迭代来计算桩前土体的屈服范围, 由此而可以同时得到桩前土体的屈服范围和墙体的位移及内力, 由桩前土体的屈服范围则可判别墙体的稳定性。

计算简图如图 2 所示, 挡土桩受桩后(挡土侧)主动土压力 p_a 的作用, 桩前(开挖侧)在开挖面以下土体对桩起支承作用, 其支承作用可用一系列土弹簧来代替, 土弹簧的刚度为 K_i , W 为桩身自重, 当桩底绕墙底某点转动时, W 将产生一个有利的弯矩, Q 为桩底土对桩的抗剪力, K_θ 为桩底转动时桩底土所产生的转角刚度。

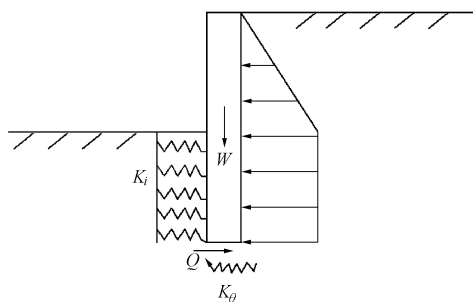


图2 计算模型简图

Fig. 2 Calculation model

因此, 可把挡土桩作为一竖放的弹性地基梁来计算, 土体弹簧刚度 K_i 的确定有多种方法, 这里按弹簧刚度的定义, 由 Boussinesq 解通过土体的变形模量 E_0 来近似确定。任一土弹簧的力为 x_i , 面积为 $A_i = b_i \times d_i$, b_i 为土弹簧间距, d_i 为地基梁宽度。土弹簧集中力 x

变成分布力 $q_i = \frac{x_i}{b_i \times d_i}$, 则土弹簧刚度 $K_i = \frac{b_i E_0}{(1 - \mu^2) \omega}$, μ 为土的泊松比, ω 为与 d_i/b_i 有关的形状系数。 K_θ 可由桩底土的变形模量来确定, 设桩底转角 θ 的正切为 $\tan \theta$, 则 K_θ 定义为 $K_\theta = M / \tan \theta$, $\tan \theta = \frac{4(1 - \mu^2) M}{E_0 \pi a^2}$,

a 为墙宽, 则 $K_\theta = \frac{\pi E_0 \cdot a^2}{4(1 - \mu^2)}$ 。

土弹簧可近似为由土的变形模量 E_s 和泊松比 μ_s 来计算, b 、 w 为几何参数, 而 E_s 、 μ_s 参数的物理和力学意义明确, 可通过压板试验等确定, 比 m 法中地基参数要采用桩的水平载荷试验来确定更方便。

另外利用有限元的荷载结构法和地层结构法也可以计算格栅连续墙的受力。

4 工程概况

广东某过江段隧道采用沉管法施工, 由于管段基槽开挖深、宽度大, 原有护岸结构不能满足施工阶段堤岸稳定性要求, 需对护岸进行支护设计, 北岸堤顶高程 8.0 m, 护岸处现地面高程为 +5.1 m, 开挖最大深度底面高程为 -19.3 m, 开挖最大深度 24.4 m。南岸堤顶高程 8.5 m, 护岸处现地面高程为 +5.5 m, 开挖最大深度底面高程为 -20.2 m, 开挖最大深度 25.7 m。

护岸结构平面布置见图 3, 纵剖面图见图 4。

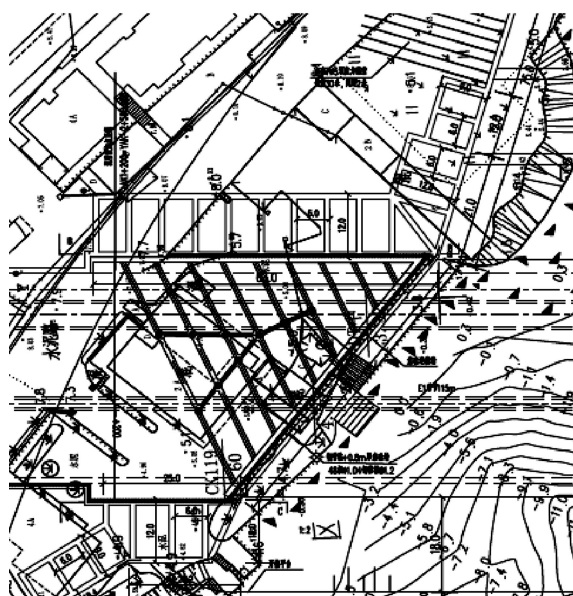


图3 护岸结构平面布置图

Fig. 3 Layout of revetment structures

4.1 场区地层条件

根据钻探揭露, 场地内分布的主要地层由上至下共分为 9 层, 上部土层由第四系人工填土层(Q_{ml}^4)、海陆交互相全新统灯笼沙组(Q_{mc}^4)、第三系始新统宝月组(E_{2by})等地层组成。

①杂、素填土: 层厚 1.2~8.6 m, 平均厚度为 3.42 m, 标贯平均 11.4 击/30 cm; ②_{1a} 淤泥: 平均厚度 4.24 m; ②_{1b} 淤泥质亚黏土: 平均层厚 4.11 m; ②₂ 淤泥质粉细砂: 平均厚度 6.58 m; ②₂ 粉细砂: 以透镜体状夹于淤泥质粉细砂层中; ②₃ 淤泥质中粗砂: 平均厚度 9.50 m; ②₄ 亚黏土: 平均厚度 5.41 m; ⑤₁ 残积可塑状亚黏土、松散—稍密状粉土: 平均厚度为 3.11 m; ⑤₂ 残积硬塑状亚黏土、稍密—中密状粉土: 平均层厚为 4.27 m; ⑥岩石全风化带(E_{2by}): 平均层厚 2.93 m; ⑦岩石强风化带(E_{2by}): 层顶底标高为-0.62~-27.62 m; ⑧岩石弱风化带(E_{2by}): 红褐色, 灰白色夹黄色; ⑨岩石微风化带(E_{2by}): 红褐色, 灰白色。典型地质剖面图见图 4。

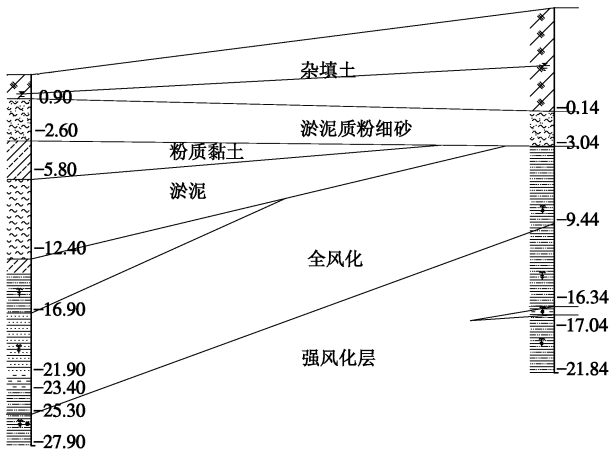


图 4 典型地质剖面图

Fig. 4 Typical geological section

4.2 分析计算时岩土体强度参数取值

岩土体参数取值见表 1。

表 1 岩土体参数取值表

Table 1 Parameters of rock and soils

岩土层名称	天然重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	凝聚力 c /kPa	摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	变形模 量 E/kPa	泊松比 ν
素填土	18.5	15.0	15.0	5.0	0.35
淤泥	15.2	6.0	5.0	1.0	0.40
淤泥质亚黏土	16.6	8.0	6.5	2.0	0.39
淤泥质粉细砂	19.5	2.0	16.0	7	0.35
淤泥质中粗砂	19.5	2.0	18.0	12.0	0.33
粉质黏土	19.0	9.0	6.5	8.0	0.38
可塑粉质黏土	19.5	28.0	15.0	12.0	0.32
硬塑粉质黏土	19.8	35.0	18.0	22.0	0.30
全风化	20.0	40.0	20.0	35.0	0.26
强风化	22.5	50.0	27.0	60.0	0.25
中风化	23.0	200.0	28.0	800	0.23
微风化	23.5	400.0	32.0	8000	0.18

针对该场地的地质条件和工程附近的构筑物情况、环境要求、开挖深度等, 护岸结构应分区设计, 开挖深度大的部分采用格栅式连续墙方案, 对于地质条件较好或开挖深度相对较浅的地方可采用单排连续墙+预应力锚索(1 排) 支护方案, 局部开挖深度小于 3 m 的范围采用单排连续墙悬臂支护方案。

格栅式连续墙根据开挖深度分为两种型式。开挖深度大于 20 m 坡段采用 6 m×12 m 的格栅连续墙支护, 锚固深度 18 m; 开挖深度 12~20 m 范围内坡段采用 6 m×9 m 的格栅连续墙支护, 锚固深度不小于 15 m; 开挖深度 3~12 m 坡段采用单排连续墙+预应力锚索支护方案, 锚固深度不小于 6 m; 开挖深度小于 3 m 的坡段采用悬臂式单排连续墙支护方案, 锚固深度不小于 6 m。连续墙厚度均为 1 m。本文重点分析格栅连续墙的计算。格栅墙的纵剖面图和横剖面见图 5 和图 6。

5 护岸支护结构设计

5.1 护岸结构方案的选择

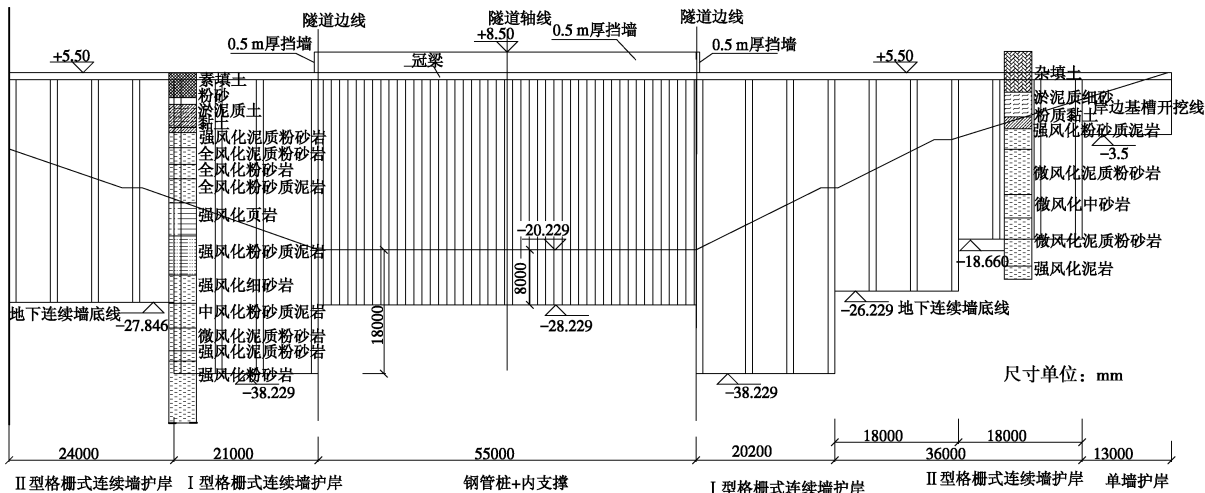


图 5 格栅连续墙纵剖面图

Fig. 5 Vertical section of diaphragm wall

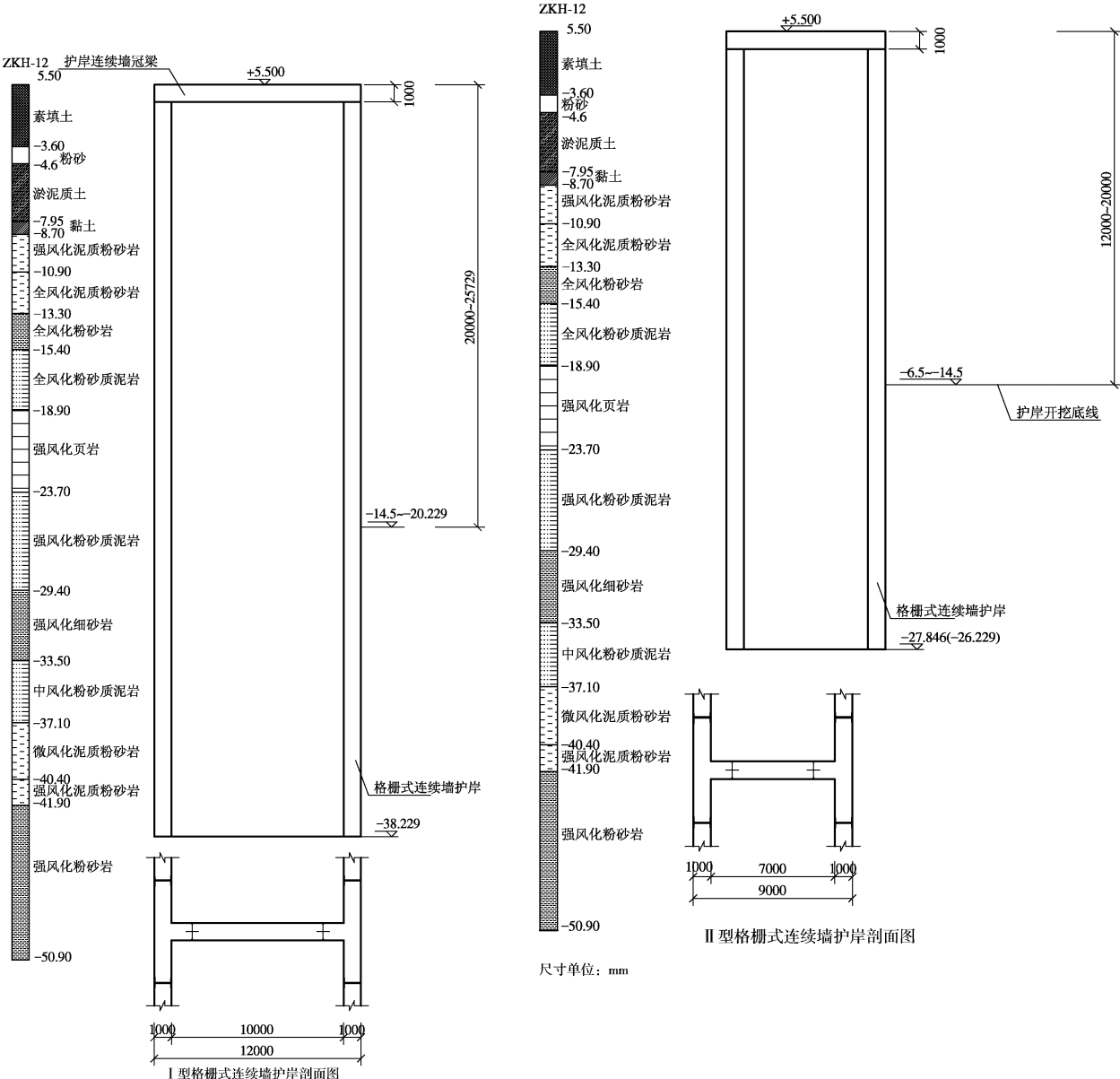


图 6 连续墙横剖面图
Fig. 6 Transverse section of diaphragm wall

5.2 护岸结构计算

对于格栅式护岸结构，分别用简化计算方法和有限元方法进行了结构内力和位移计算。

简化计算方法和原理见第 3 节。有限元软件采用 ANSYS，用荷载结构法来建模，开挖面以下地基土水平抗力系数的比例系数 m ，按文献[10]中公式取值，结构基底竖向弹簧刚度按弹性半无限体公式计算，水压力按附加荷载加入，连续墙为 C30 混凝土。

利用前面计算方法计算的 I 型 6 m×12 m 格栅连续墙支护计算结果分别如下。

(1) 简化计算方法

利用文献[8]中提出的简化增量法软件计算的结果见图 7~10，6 m×12 m 格栅连续墙截面计算的最大弯矩为 30839 kN·m，然后利用混凝土结构工字型截

面来进行配筋设计，计算的最大位移为 11 mm。

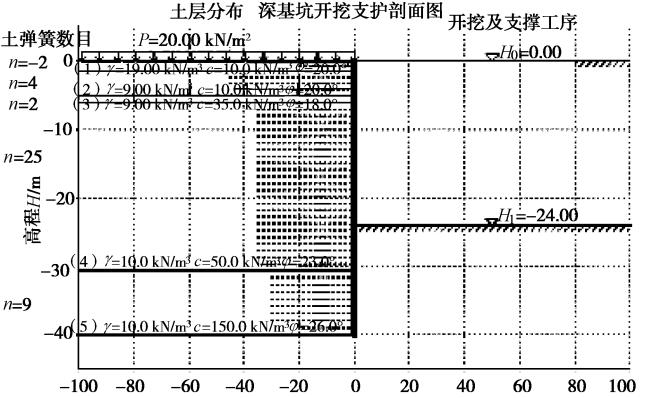


图 7 计算剖面图
Fig. 7 Calculation section

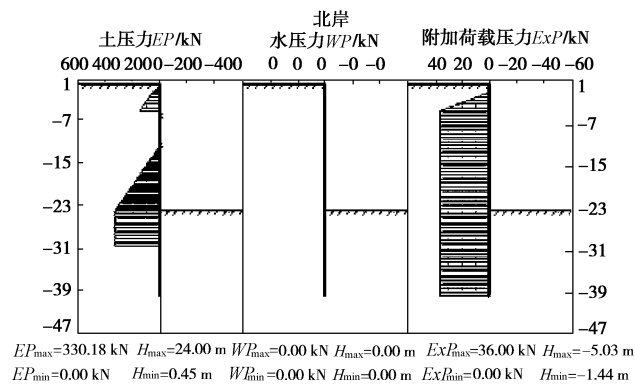


图 8 开挖最终工况土水压力

Fig. 8 Earth and water pressures under final working condition

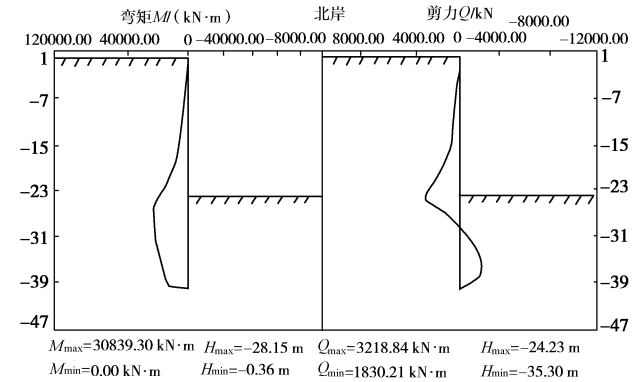


图 9 开挖最终工况弯矩、剪力计算结果

Fig. 9 Moment and shear force under final condition

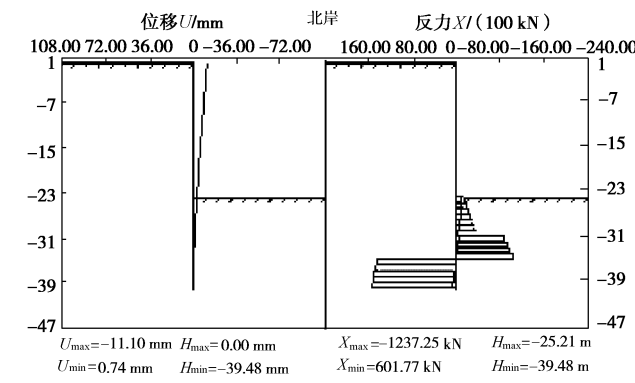


图 10 开挖最终工况位移、反力计算结果

Fig. 10 Displacement and reaction under final condition

(2) 有限元计算方法

有限元计算荷载简图见图 11, 计算结果见图 12~13, 计算的是单元的弯矩, 需要经过变换后转换成格栅连续墙截面上的弯矩, 转换方法为基于钢筋混凝土的平截面假定, 对 6 m 范围内同一 h 位置处的单元应力或者弯矩进行平均化处理, 通过应力反算各控制截面弯矩和轴力。处理方法为首先确定所要分析的截面, 然后获取该截面上的应力, 并在 EXCEL 表格中画出应力分布形式, 通过应力分布形式计算出其弯矩。由计算结果可知, I 型格栅式地下连续墙护岸结构的最大水平位移为 42 mm, 基槽开挖侧基坑底面附近最大弯矩为 2645 (kN·m)/m, 基槽非开挖侧基坑底面附近最大弯矩为 1823 (kN·m)/m。这样可以得出 6 m

$\times 12$ m 格栅连续墙截面计算的最大弯矩为 26808 (kN·m)。

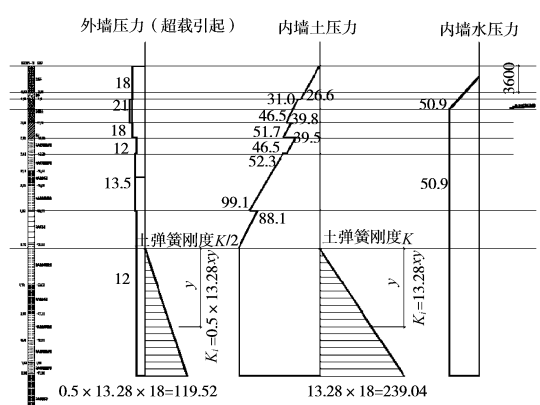


图 11 有限元计算荷载简图

Fig. 11 Diagram of load for finite element calculation

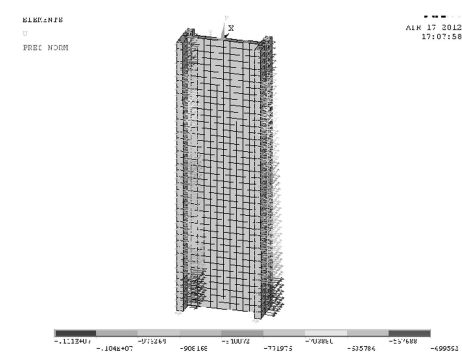


图 12 有限元计算模型

Fig. 12 Finite element model

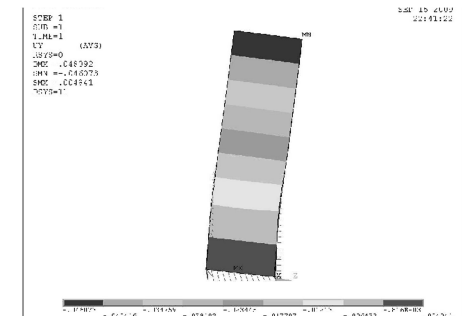


图 13 I 型格栅式地下连续墙水平位移云图

Fig. 13 Horizontal displacement contour of I-type grillage shaped diaphragm wall

5.3 计算结果比较分析

对比两种方法的计算结果可知, 与有限元方法相比, 简化计算方法计算的弯矩偏大, 位移偏小, 主要是由于简化计算方法没有考虑格栅连续墙的空间效应导致弯矩偏大, 且等效刚度偏大导致位移偏小。格形地下连续墙的围护结构, 自身具有明显的三维几何特征, 目前的基坑设计软件和平面应变有限元方法无法反映格形结构的空

连续墙自身的几何特征的荷载结构法有限元模型。

格栅连续墙由于其自身的几何形状,其墙身弯矩分布具有典型的空问特性。其中,内纵墙承受较大的水平弯矩,外纵墙弯矩均较小,内纵墙最大弯矩约为外纵墙相应位置的 1.2~1.6 倍。通过对格栅连续墙弯矩分布规律的分析,可以对格栅连续墙结构的配筋进行优化设计。

6 结 语

格栅式地下连续墙支护结构是近年来应用到基坑工程的一种新型支护结构,本文在介绍常用沉管隧道基槽开挖护岸结构形式基础上,结合具体工程项目,对格栅连续墙支护结构的土压力和受力计算进行了探讨,由于格栅连续墙特殊的空问结构,其空问效应明显,对弯矩较大和控制变形的基坑来说该支护非常有效。

由于目前对格栅连续墙的受力特点和设计计算方法对其空问效应考虑较少,因此格栅连续墙结构的变形计算模式还有待进一步研究和探讨。另外,如何进一步研究优化设计格栅连续墙围护结构中前后墙的间距、后墙深度、中间分隔地墙的深度与间距等,以及降低格栅连续墙围护的造价,也是需要进一步研究的课题。

本文对格栅式连续墙基坑的计算设计具有一定的参考和借鉴作用。

参考文献:

- [1] 张玉成, 杨光华, 姚 捷, 等. 基坑开挖卸荷对下方既有地铁隧道影响的数值仿真分析[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增刊 1): 109 - 115. (ZHANG Yu-cheng, YANG Guang-hua, YAO Jie, et al. Numerical simulation and analysis of effect of excavation of foundation pits on metro tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S1): 109 - 115. (in Chinese))
- [2] 曾进群. 支撑体系对基坑支护结构变形和内力的影响分析[J]. 工业建筑, 2004(增刊 2): 137 - 139. (ZENG Jin-qun. The influence on the displacement and internal force of retaining structure to the system of support[J]. Industry Construction, 2004(S2): 137 - 139. (in Chinese))
- [3] 刘加峰. 重力式格形地下连续墙的槽壁稳定方法[J]. 建筑施工, 2002, 24(4): 260 - 262. (LIU Jia-feng. Stabilization method for trough sheeting of gravity grillage shaped underground continuous wall[J]. Building Construction, 2002, 24(4): 260 - 262. (in Chinese))
- [4] 汪贵平, 李华梅, 费永成, 等. 格形地下墙结构在基坑工程中的应用[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(4): 584 - 586. (WANG Gui-ping, LI Hua-mei, FEI Yong-cheng. Application of gridding concrete retaining wall in trench engineering design and construction schemes of cellular diaphragm wall[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005, 1(4): 584 - 586. (in Chinese))
- [5] 朱建明, 肖 鹏, 李耀良, 等. 我国最大的船坞工程, 中船长兴造船基地施工报告—不良地质条件下的格形地下连续墙施工技术[J]. 建筑施工, 2008, 30(10): 845 - 847. (ZHU Jian-ming, XIAO Peng, LI Yao-liang. Construction report on Changxing Shipbuilding Base of China Shipbuilding Company, the largest dock engineering in China- construction technology for grid-type slurry wall under poor geological conditions[J]. Building Construction, 2008, 30(10): 845 - 847. (in Chinese))
- [6] 陈 越. 从广州地区沉管隧道建设谈沉管隧道的建造设想[J]. 现代隧道技术, 2008, 45(1): 10 - 15. (CHENG Yue. On the construction of immersed tube tunnels from the experience of immersed tube tunnel practice in Guangzhou region [J]. Modern Tunnelling Technology, 2008, 45(1): 10 - 15. (in Chinese))
- [7] 侯永茂. 软土地层中格形地下连续墙围护结构性状研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010 (HOU Yong-mao. Behavior of cellular diaphragm wall in soft deposit[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2010. (in Chinese))
- [8] 杨光华. 深基坑支护结构的实用计算方法及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 104 - 108. (YANG Gang-huang. The practical calculation method and appliance on the structure of retaining of building foundation excavation[M]. Beijing: The Geological Publishing House, 2004: 104 - 108. (in Chinese))
- [9] 杨光华, 陆培炎. 深基坑开挖中考虑施工过程的多撑或多锚地下连续墙的增量算法[J]. 建筑结构, 1994(8): 28 - 47. (YANG Guang-hua, LU Pei-yan. The incremental calculation method for the diaphragm wall with multi-brace or multi-anchor in deep excavation[J]. Building Structure, 1994(8): 28 - 47. (in Chinese))
- [10] GJB02—98 广州地区建筑基坑支护技术规定[S]. (GJB02—98 Technical specification for retaining and protection of building foundation excavation in Guangzhou area[S]. (in Chinese))

(本文责编 明经平)