

JTJ

中华人民共和国行业标准

JTJ 303—2003

港口工程地下连续墙结构与施工规程

Design and Construction Technical Code for
Diaphragm Wall Structure of Port Engineering

2003 - 11 - 18 发布

2004 - 04 - 01 实施

中华人民共和国交通部发布

中华人民共和国行业标准

港口工程地下连续墙结构与施工规程

JTJ 303—2003

主编单位:中交第一航务工程勘察设计院

批准部门:中华人民共和国交通部

施行日期:2004年4月1日

关于发布《港口工程地下连续墙结构设计 与施工规程》(JTJ 303—2003)的通知

交水发[2003]495号

各省、自治区、直辖市交通厅(局、委),长江、珠江航务管理局及有关企事业单位:

由我部组织中交第一航务工程勘察设计院等单位制定的《港口工程地下连续墙结构设计施工规程》,业经审查通过,现批准为强制性行业标准,编号为 JTJ 303—2003,自 2004 年 4 月 1 日起施行。

本规程由交通部水运司负责管理和解释,由人民交通出版社出版发行。

中华人民共和国交通部
二〇〇三年十一月十八日

制 定 说 明

本规程是在广泛调查研究的基础上,总结了我国港口工程地下连续墙结构设计与施工的经验,吸收了港口工程地下连续墙结构设计与施工的新技术和新成果,借鉴了其他行业的相关标准,并经广泛征求意见、反复修改而成。主要包括码头和护岸地下连续墙结构设计、支护地下连续墙结构设计、地下连续墙施工、支撑结构和锚拉系统施工等技术内容。

本规程的主编单位为中交第一航务工程勘察设计院,参加单位为天津大学。

本规程根据交通部交水发[1999]725号文“关于下达1999年度水运工程建设标准定额编制计划的通知”和交通部水运司水运技术字[2000]391号文“关于对《港口工程地下连续墙结构设计与施工规程》制定工作大纲的批复”的要求,重点对港口工程地下连续墙的结构设计与施工部分进行了规定。本规程的码头和护岸地下连续墙结构设计与施工部分应与现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)配套使用。

本规程第3.1.3条、第3.1.5条、第3.1.13条、第3.2.14条、第3.2.15条、第3.2.16条、第3.2.17条、第3.3.1条、第3.3.4条、第3.3.7条、第3.4.1条、第3.4.2条、第4.1.3条、第4.2.4条、第4.2.5条、第4.2.6条、第4.2.7条、第4.3.1条、第4.3.2条、第4.4.2条、第4.4.3条、第5.1.3条、第5.2.3条、第6.1.2条、第6.1.3条和第6.3.3条中的黑体字部分为强制性条文,与建设部建标[2002]273号文发布的《工程建设标准强制性条文》(水运工程部分)具有同等效力,必须严格执行。

本规程共分6章14节和4个附录,并附条文说明。本规程编

写人员分工如下:

1 总则:孙家明

2 术语:孙家明

3 码头和护岸地下连续墙结构设计:李秀英 别社安 孙家明

4 支护地下连续墙结构设计:杨丽民 王保兴 别社安
李秀英 孙家明

5 地下连续墙施工:温广泰 邸有政 舒 宁

6 支撑结构和锚拉系统施工:邸有政 温广泰 舒 宁

附录 A:李秀英 别社安

附录 B:别社安

附录 C:别社安

附录 D:李秀英

本规程 2003 年 4 月 18 日通过部审,于 2003 年 11 月 18 日发布,2004 年 4 月 1 日起实施。

本规程由交通部水运司负责管理和解释。请各有关单位在使用本规程过程中,将发现的问题和意见及时函告交通部水运司和本规程管理组,以便今后修订时参考。

目 次

1 总则	(1)
2 术语	(2)
3 码头和护岸地下连续墙结构设计	(3)
3.1 构造	(3)
3.2 作用和作用效应组合	(5)
3.3 计算	(9)
3.4 构件设计	(12)
4 支护地下连续墙结构设计	(15)
4.1 一般规定	(15)
4.2 作用和作用效应组合	(15)
4.3 直线形支护地下连续墙结构设计	(16)
4.4 圆形支护地下连续墙结构设计	(19)
5 地下连续墙施工	(22)
5.1 一般规定	(22)
5.2 现浇地下连续墙施工	(22)
5.3 预制地下连续墙施工	(28)
6 支撑结构和锚拉系统施工	(30)
6.1 一般规定	(30)
6.2 支撑结构施工	(31)
6.3 土层锚杆施工	(32)
附录 A 水平地基反力系数计算	(35)
附录 B 直线形支护地下连续墙的土压力、内力和 变位计算	(36)
附录 C 环梁和墙体的等效弹性支撑系数计算	(39)

附录 D 本规程用词用语说明	(41)
附加说明 本规程主编单位、参加单位、主要起草人、 总校人员和管理组人员名单	(42)
附 条文说明	(45)

1 总 则

1.0.1 为统一港口工程地下连续墙结构设计与施工的技术规定,做到技术先进、经济合理和安全适用,有效控制工程质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于港口工程码头和护岸地下连续墙结构及基坑支护地下连续墙结构的设计与施工。

1.0.3 本规程码头和护岸地下连续墙结构设计与施工部分应与现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)配套使用。

1.0.4 港口工程地下连续墙结构的设计与施工,除应符合本规程的规定外,尚应符合国家现行标准的有关规定。

2 术 语

2.0.1 地下连续墙

采用专用机械施工成槽或成孔后,浇筑混凝土或插入预制混凝土构件所形成的连续地下墙体。

2.0.2 前墙

码头和护岸工程中临水面的地下连续墙。

2.0.3 锚碇地下连续墙

作为前墙锚碇结构的地下连续墙。

2.0.4 帽梁

设在地下连续墙顶部的混凝土连系梁。

2.0.5 导梁

设在拉杆端部使前墙整体受力的连续梁。

2.0.6 胸墙

设在前墙顶部将帽梁和导梁合一的现浇混凝土构件。

2.0.7 拉杆

前墙与锚碇构件之间的连系杆件。

2.0.8 土层锚杆

在稳定土层内部的钻孔中,用水泥砂浆将钢筋或钢绞线与土体粘结成一体锚拉结构。

2.0.9 腰梁

设在支撑或土层锚杆端部使墙体整体受力的连续梁。

2.0.10 环梁

设在圆形地下连续墙墙体上,起连接和支撑作用的环形梁。

2.0.11 竖肋

圆形地下连续墙结构中连接相邻环梁的竖向连系梁。

3 码头和护岸地下连续墙结构设计

3.1 构 造

3.1.1 地下连续墙可采用现浇或预制钢筋混凝土结构。现浇地下连续墙的截面可采用矩形、T形或钻孔排桩形,如图 3.1.1 所示。预制地下连续墙的截面宜采用矩形。

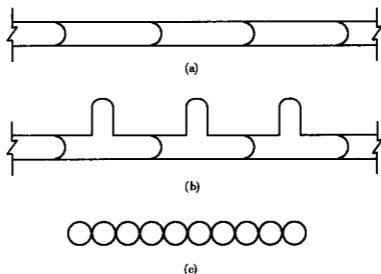


图 3.1.1 地下连续墙截面形式示意图

(a)矩形;(b)T形;(c)钻孔排桩形

3.1.2 地下连续墙墙体的截面形式和分段长度应根据墙体的受力情况、施工条件和环境条件等确定。现浇地下连续墙的单元槽段长度可取 4~8m。

3.1.3 码头和护岸前墙各施工单元段间应采用防漏土的接头形式或采取防漏土措施。

3.1.4 地下连续墙的厚度或排桩直径应由强度和裂缝宽度计算

确定。当采用现浇地下连续墙作为前墙时,其厚度宜为 600 ~ 1300mm;当采用现浇地下连续墙作为锚碇结构时,其厚度宜为 600 ~ 1000mm。排桩桩径不宜小于 550mm。预制地下连续墙的厚度宜为 400 ~ 800mm。

3.1.5 地下连续墙钢筋混凝土的设计应符合下列规定。

3.1.5.1 混凝土强度等级不应低于 C25。

3.1.5.2 主筋保护层厚度不得小于 70mm。

3.1.5.3 受力钢筋宜采用 II 级或 III 级钢筋,其直径不得小于 16mm。

3.1.5.4 构造钢筋可采用 I 级钢筋。矩形和梯形现浇地下连续墙的构造钢筋直径不得小于 12mm;钻孔排桩形地下连续墙和预制地下连续墙的构造钢筋直径不得小于 8mm。

3.1.5.5 现浇地下连续墙钢筋笼的分幅长度应根据单元槽段的长度、接头形式和起重设备能力等因素确定。钢筋笼的底部在厚度方向宜适当缩窄,钢筋笼与墙底之间宜留 100 ~ 200mm 的空隙,钢筋笼的主筋应伸出墙顶并留有足够的锚固长度。当采用接头管接头时,其侧端与接头管之间宜留 150 ~ 200mm 的空隙。

3.1.5.6 现浇地下连续墙钢筋笼的钢筋配置除应满足设计状况结构受力要求外,尚应满足吊装要求。

3.1.6 前墙为有锚结构时,应设置导梁、帽梁或胸墙。

3.1.7 前墙为无锚结构时,其顶部应设帽梁。

3.1.8 锚碇地下连续墙顶部宜设帽梁,其变形缝的位置应与胸墙一致。

3.1.9 胸墙的截面可采用矩形、梯形、L 形或工字形,如图 3.1.9 所示。

3.1.10 胸墙或帽梁的前后两侧应各宽于地下连续墙墙体 150mm 以上。

3.1.11 地下连续墙墙体应嵌入胸墙或帽梁,其深度不得小于 50mm。

3.1.12 地下连续墙码头系船块体宜与胸墙或帽梁整体浇筑。

3.1.13 胸墙和帽梁必须设变形缝。变形缝间距应根据当地气温

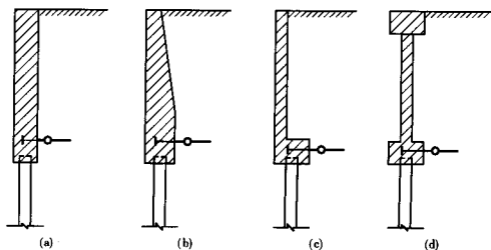


图 3.1.9 胸墙截面形式示意图

(a)矩形;(b)梯形;(c)L形;(d)工字形

变化情况、地下连续墙的结构型式和地基情况等因素确定,可采用 15~30m。在结构型式或水深变化较大处、地基土质差别较大处和新旧结构的衔接处,必须设置变形缝。

3.1.14 胸墙和帽梁的变形缝宽度宜为 20~30mm。

3.1.15 前墙应预留排水孔。排水孔的位置不宜高于设计低水位,并在施工条件允许的情况下应接近极端低水位。孔径和孔距应根据墙前水位变化幅度和墙后土质情况确定。排水孔后应设置倒滤设施。

3.2 作用和作用效应组合

3.2.1 当地面为水平面、墙背为垂直面时,由土体自重产生的主动土压力水平强度标准值和由地面均布荷载产生的主动土压力水平强度标准值可按下列公式计算:

$$e_{ax} = (\sum \gamma_i h_i) K_a \cos \delta - 2c \frac{\cos \varphi \cos \delta}{1 + \sin(\varphi + \delta)} \quad (3.2.1-1)$$

$$e_{aqx} = q K_a \cos \delta \quad (3.2.1-2)$$

$$K_a = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos \delta \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin \varphi}{\cos \delta}} \right]^2} \quad (3.2.1-3)$$

式中 e_{ax} ——由土体自重产生的主动土压力水平强度标准值(kN/m²),
当 $e_{ax} < 0$ 时,取 $e_{ax} = 0$;

γ_i ——计算面以上第 i 层土的重度标准值(kN/m³);

h_i ——计算面以上第 i 层土的厚度(m);

K_a ——计算土层土体的主动土压力系数;

δ ——计算土层土体与墙面间的摩擦角标准值(°);

c ——计算土层土体的粘聚力标准值(kN/m²);

φ ——计算土层土体的内摩擦角标准值(°);

e_{aqx} ——由地面均布荷载产生的主动土压力水平强度标准值(kN/m²);

q ——地面上的均布荷载标准值(kN/m²)。

3.2.2 当计算泥面为水平面、墙面为垂直面时,由土体自重产生的被动土压力水平强度标准值,可按下列公式计算:

$$e_{px} = (\sum \gamma_i h_i) K_p \cos \delta + 2c \frac{\cos \varphi \cos \delta}{1 - \sin(\varphi + \delta)} \quad (3.2.2-1)$$

$$K_p = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos \delta \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin \varphi}{\cos \delta}} \right]^2} \quad (3.2.2-2)$$

式中 e_{px} ——被动土压力水平强度标准值(kN/m²);

γ_i ——计算面以上第 i 层土的重度标准值(kN/m³);

h_i ——计算面以上第 i 层土的厚度(m);

K_p ——计算土层土体的被动土压力系数;

δ ——计算土层土体与墙面间的摩擦角标准值(°);

c ——计算土层土体的粘聚力标准值(kN/m²);

φ ——计算土层土体的内摩擦角标准值(°)。

3.2.3 土的重度、内摩擦角和粘聚力标准值应根据工程地质钻探土样试验资料确定。当地基土固结程度较高时,可采用固结快剪指标计算土压力。粘性填料的指标可通过试验确定,当无条件进行试验时,可根据当地经验确定。无粘性填料的指标可按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTJ 290)的有关规定采用。

3.2.4 作用在墙体上的土压力和剩余水压力宜按水土分算的原则计算。

3.2.5 当采用水土分算方法计算时,土和填料的重度标准值应按下列规定采用:

(1)粘性土的重度标准值,剩余水位以下取浮重度,剩余水位与设计高水位之间取饱和重度,设计高水位以上取天然重度;

(2)无粘性土的重度标准值,剩余水位以下取浮重度,剩余水位以上取天然重度。

3.2.6 土与墙面摩擦角的取值应符合下列规定。

3.2.6.1 计算墙后主动土压力时,可取 $(1/3 \sim 1/2)\varphi$ 。

3.2.6.2 计算墙前被动土压力时,可取 $(2/3 \sim 3/4)\varphi$,当计算值大于 20° 时,应取 20° 。

3.2.6.3 计算墙后被动土压力时,可取 $(-2/3)\varphi$,当计算值小于 -20° 时,应取 -20° 。

3.2.7 前墙的结构计算应考虑码头前沿挖泥超深和扰动的影响。挖泥超深宜采用 $0.3 \sim 0.5\text{m}$;粘性土泥面处土的粘聚力应取 0 ,泥面 1m 以下土的粘聚力应取全值,两者之间可按直线过渡。

3.2.8 计算剩余水压力所采用的剩余水头,应根据现场调查或观测资料确定。当缺乏资料时,海港工程前墙的剩余水头的确定应符合下列规定。

3.2.8.1 当墙后回填粗于细砂颗粒的材料时,可不考虑排水孔以上的剩余水头。

3.2.8.2 当墙后回填细砂或粉细砂时,排水孔以上的剩余水头可采用 $1/3 \sim 1/2$ 平均潮差。

3.2.9 剩余水压力可按图 3.2.9 所示的分布情况计算。

3.2.10 波浪力标准值应按现行行业标准《海港水文规范》(JTJ 213)有关规定计算。

3.2.11 船舶荷载标准值应按现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTJ 215)有关规定计算。

3.2.12 作用于码头和护岸地下连续墙上的荷载可分为下列三类:

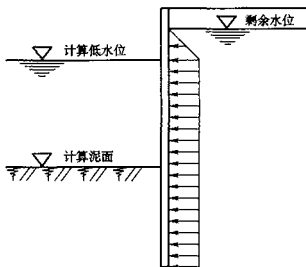


图 3.2.9 剩余水压力分布示意图

(1)永久作用,包括土体自重产生的主动土压力和墙后剩余水压力等;

(2)可变作用,包括地面可变荷载产生的主动土压力、船舶荷载和波浪力等;

(3)偶然作用,包括地震力等。

3.2.13 码头和护岸地下连续墙设计应考虑下列设计状况极限状况:

(1)持久状况,为使用期的作用效应组合情况,分别按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计;

(2)短暂状况,为施工期和检修期的作用效应组合情况,按承载能力极限状态设计,必要时,同时按正常使用极限状态设计;

(3)偶然状况,为使用期遭受地震力等偶然作用时的作用效应组合情况,按承载能力极限状态设计。

3.2.14 地下连续墙按承载能力极限状态设计时的计算水位,应符合下列规定。

3.2.14.1 持久组合,前墙的计算水位应分别采用设计高水位、设计低水位和极端低水位;锚碇地下连续墙的计算水位应分别采用设计高水位和设计低水位。

3.2.14.2 短暂组合,计算水位应分别采用设计高水位、设计低水位或施工水位。

3.2.14.3 偶然组合,计算水位应按现行行业标准《水运工程抗震设计规范》(JTJ 225)的有关规定执行。

3.2.15 地下连续墙在承载能力极限状态设计时的作用效应组合应符合下列规定。

3.2.15.1 持久组合,应取对应于持久状况下的永久作用、主导可变作用和非主导可变作用的效应组合。

3.2.15.2 短暂组合,应取对应于短暂状况下的永久作用与可变作用的效应组合。

3.2.15.3 偶然组合应按现行行业标准《水运工程抗震设计规范》(JTJ 225)的有关规定执行。

3.2.16 前墙的“踢脚”稳定性、锚碇地下连续墙结构的稳定性和构件强度等应按承载能力极限状态设计。

3.2.17 钢筋混凝土构件的裂缝宽度和抗裂验算应按正常使用极限状态设计。

3.3 计 算

3.3.1 单锚前墙的结构计算应包括下列内容:

- (1)地下连续墙的入土深度;
- (2)地下连续墙的内力和变位;
- (3)拉杆拉力。

3.3.2 单锚前墙的入土深度应满足下式要求:

$$\gamma_0[\sum \gamma_G M_G + \gamma_{Q1} M_{Q1} + \psi(\gamma_{Q2} M_{Q2} + \gamma_{Q3} M_{Q3} + \cdots)] \leq \frac{M_R}{\gamma_d} \quad (3.3.2)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,取 1.0;

γ_G ——永久作用分项系数,按表 3.3.2 取用;

M_G ——永久作用标准值产生的力矩标准值(kN·m),为墙后土体自重产生的主动土压力标准值和剩余

水压力标准值对拉杆锚着点的“踢脚”力矩；

$\gamma_{Q1}, \gamma_{Q2}, \gamma_{Q3} \dots$ ——可变作用分项系数,按表 3.3.2 取用；

M_{Q1} ——主导可变作用标准值产生的力矩标准值 ($\text{kN}\cdot\text{m}$),为地面可变作用产生的主动土压力标准值或墙前波吸力标准值对拉杆锚着点的“踢脚”力矩；

ϕ ——组合系数,取 0.7；

$M_{Q2}, M_{Q3} \dots$ ——非主导可变作用标准值产生的对拉杆锚着点的“踢脚”力矩标准值 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)；

M_R ——墙前被动土压力标准值对拉杆锚着点的稳定力矩标准值 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)；

γ_d ——结构系数,根据地基土质情况分别取 1.0 或 1.15,当地基土质较差时取小值。

作用分项系数 表 3.3.2

组合情况	永久作用		可变作用	
	土压力	剩余水压力	土压力	波吸力
持久组合	1.35	1.05	1.35(1.25)	1.30(1.20)
短暂组合	1.35	1.05	1.25	1.20

注:当计算水位采用极端低水位时,取括号内数值。

3.3.3 单锚前墙的弯矩标准值、拉杆拉力标准值和变位,可采用竖向弹性地基梁的 m 法计算,并应符合下列规定。

3.3.3.1 当采用杆系有限元法计算地下连续墙的内力和变位时,应按图 3.3.3 的图示计算,其入土段墙后的主动土压力只考虑由计算泥面以上土体自重和地面荷载产生的土压力。

3.3.3.2 锚着点位移应考虑拉杆变形和锚碇结构变位两部分。当假定锚着点位移为零时,计算的跨中最大弯矩应乘以折减系数,折减系数可取 0.7~0.8,土质较差时取大值。

3.3.3.3 弹性杆的弹性系数应按下式计算:

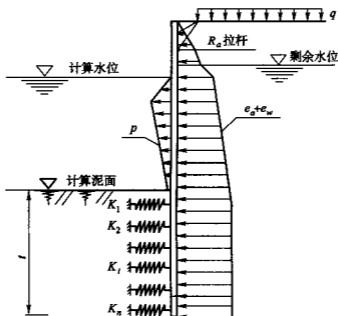


图 3.3.3 单锚前墙计算图式

q —地面荷载； e_a —土压力； e_w —剩余水压力； p —波吸力； $K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n$ —弹性杆的弹性系数； t —入土深度； R_a —拉杆拉力

$$K_i = KL_i \quad (3.3.3)$$

式中 K_i ——第 i 个弹性杆的弹性系数(kN/m^2)；

K ——计算点水平地基反力系数(kN/m^3)，可按附录 A 计算；

L_i ——弹性杆的竖向间距(m)。

3.3.4 无锚前墙的结构计算应包括下列内容：

- (1) 地下连续墙的入土深度；
- (2) 地下连续墙的内力和变位。

3.3.5 无锚前墙的入土深度可按式(3.3.2)计算，式中 M_G 、 M_{Q1} 、 M_{Q2} 、 M_{Q3} 和 M_R 为相应作用对墙底端的力矩标准值。

3.3.6 无锚前墙入土段的内力和计算泥面处的变位可按竖向弹性地基梁的 m 法计算，计算图式如图 3.3.6 所示，入土段墙后的主动土压力应按第 3.3.3 条的规定计算。

3.3.7 锚碇地下连续墙的结构计算应包括下列内容：

- (1) 锚碇地下连续墙的竖向尺度；

(2)锚碇地下连续墙的内力和变位。

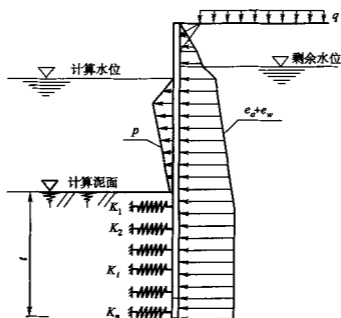


图 3.3.6 无锚前墙计算图式

q -地面荷载; e_a -土压力; e_w -剩余水压力; p -波吸力; $K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n$ -弹性杆的弹性系数; t -入土深度

3.3.8 锚碇地下连续墙可按受拉杆拉力作用的无锚地下连续墙计算,其主导可变作用应为拉杆拉力水平分力标准值,分项系数为 1.35。锚着点的水平位移不宜大于 50mm。

3.4 构件设计

3.4.1 墙体设计应符合下列规定。

3.4.1.1 墙体可按钢筋混凝土受弯构件设计,当轴向力较大时,应按偏心受压构件设计。

3.4.1.2 墙体应按强度计算进行配筋,并应验算裂缝宽度。

3.4.1.3 墙体构件强度应按承载力极限状态进行设计。作用效应设计值可按相关作用标准值计算的作用效应乘综合分项系数确定。综合分项系数应采用 1.40。

3.4.1.4 墙体构件的裂缝宽度应按正常使用极限状态验算。综合效应组合系数应采用 0.85。

3.4.2 导梁、帽梁和胸墙设计应符合下列规定。

3.4.2.1 导梁的弯矩可按刚性支承连续梁采用下列公式计算。

$$M_{\max} = \frac{R_a l_a^2}{10} \quad (3.4.2-1)$$

$$M_b = \frac{R_a l_b^2}{2} \quad (3.4.2-2)$$

式中 M_{\max} ——拉杆拉力标准值产生的导梁最大弯矩标准值(kN·m);
 R_a ——每米宽地下连续墙的拉杆拉力标准值(kN/m);
 l_a ——杆拉间距(m);
 M_b ——拉杆拉力标准值产生的导梁悬臂段最大弯矩标准值(kN·m);
 l_b ——导梁悬臂段长度(m)。

3.4.2.2 混凝土帽梁可不进行强度计算,可按构造配筋。仅当系船块体与帽梁整体浇筑且不设单独锚碇系统时,帽梁的内力可按受船舶系缆力水平分力作用的水平放置的弹性地基梁计算,且应按强度进行配筋并验算裂缝宽度。弹性地基梁计算中宜采用基床系数法,基床系数可按式确定:

$$K = \frac{3EI}{l^3 bh} \quad (3.4.2-3)$$

式中 K ——基床系数(kN/m³);
 E ——地下连续墙的弹性模量(kN/m²);
 J ——宽度为 b 时地下连续墙的截面惯性矩(m⁴);
 l ——地下连续墙在拉杆以上的悬臂长度(m);
 b ——地下连续墙的计算宽度(m);
 h ——帽梁的高度(m)。

3.4.2.3 胸墙的竖向可按悬臂梁计算,取拉杆处为固端,水平向可按刚性支承连续梁计算。当系船块体与胸墙整体浇筑且不设单独锚碇系统时,尚应考虑系缆力的作用,可按悬臂弹性地基板计算,或采用其他简化方法计算。

3.4.2.4 胸墙采用简化方法计算时,工字形截面的胸墙,可取

下翼板为导梁;L形截面的胸墙,可取底板为导梁;矩形和梯形截面的胸墙,可取拉杆附近高度为0.5 ~ 0.7m 范围内的胸墙为导梁。

3.4.2.5 钢筋混凝土导梁和胸墙应按强度计算进行配筋,并验算裂缝宽度。

4 支护地下连续墙结构设计

4.1 一般规定

4.1.1 支护地下连续墙结构设计应满足施工工艺和环境保护要求。

4.1.2 支护地下连续墙结构宜设置支撑或锚拉系统。当单层支撑或单层锚拉不能满足结构的受力要求时,应采用多层支撑或多层锚拉系统。

4.1.3 支护地下连续墙结构的设计应包括下列内容:

- (1)支护结构的强度、稳定和变形计算;
- (2)基坑内外土体稳定性计算;
- (3)渗流稳定性计算;
- (4)降水要求和岩土开挖要求等。

4.2 作用和作用效应组合

4.2.1 支护结构墙体的侧向荷载应包括土压力、水压力、基坑周围建筑物及施工荷载引起的侧向压力等。

4.2.2 作用于支护地下连续墙的土压力应根据土体的侧向变形条件确定。

4.2.3 作用于支护地下连续墙的土压力和水压力,砂性土宜按水土分算的原则计算;粘性土宜按水土合算的原则计算。

4.2.4 支护地下连续墙结构设计应按不同设计状况,分别按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

4.2.5 承载能力极限状态应包括下列计算内容:

- (1)土体稳定性计算;

(2)墙体结构强度和稳定性计算;

(3)支撑或锚拉系统承载力和稳定性计算。

4.2.6 正常使用极限状态应包括结构变形、裂缝宽度和抗裂验算。支护地下连续墙结构的变形不得影响基坑内建筑物正常施工和相邻建筑物、道路、管线等的正常使用。

4.2.7 支护地下连续墙结构设计应根据不同设计状态,按施工过程的不同工况分别进行作用效应组合。

4.3 直线形支护地下连续墙结构设计

4.3.1 支护地下连续墙结构构造设计应符合下列规定。

4.3.1.1 地下连续墙墙体的截面形式和分段长度应根据墙体的受力情况、施工条件和环境条件等确定。现浇地下连续墙的单元槽段长度可取 4~8m。

4.3.1.2 地下连续墙的厚度应由计算确定,并与成槽机械的能力相适应。现浇矩形地下连续墙的厚度可取 600~1300mm,排桩桩径不宜小于 550mm,预制地下连续墙厚度可取 200~800mm。

4.3.1.3 现浇地下连续墙的混凝土强度等级不应低于 C25。

4.3.1.4 现浇地下连续墙主筋保护层厚度不得小于 70mm。

4.3.1.5 现浇地下连续墙的受力钢筋宜采用 II 级或 III 级钢筋,其直径不得小于 16mm。

4.3.1.6 现浇地下连续墙的构造钢筋可采用 I 级钢筋。矩形地下连续墙的构造钢筋直径不得小于 12mm;钻孔排桩形地下连续墙和预制地下连续墙的构造钢筋直径不得小于 8mm。

4.3.1.7 现浇地下连续墙钢筋笼的分幅长度应根据单元槽段的长度、接头形式和起重设备能力等因素确定。钢筋笼的底部在厚度方向宜适当缩窄,钢筋笼与墙底之间宜留 100~200mm 的空隙,钢筋笼的主筋应伸出墙顶并留有足够的锚固长度。当采用接头管接头时,其侧端与接头管之间宜留 150~200mm 的空隙。

4.3.1.8 现浇地下连续墙钢筋笼的钢筋配置除应满足设计状况结构受力要求外,尚应满足吊装要求。

4.3.1.9 现浇矩形地下连续墙单元槽段间可采用接头管接头。当整体性和抗渗性要求较高时,宜采用接头箱或隔板等接头形式。排桩和预制地下连续墙的接头应采取防漏土措施。

4.3.1.10 支护地下连续墙墙体顶部应设置混凝土帽梁,帽梁前后两侧应各宽于墙体 150mm 以上。

4.3.1.11 地下连续墙墙体可采用钢结构或混凝土结构支撑,也可采用土层锚杆拉结。

4.3.1.12 支撑结构可由腰梁、水平支撑和立柱组成。水平支撑可采用对撑、斜角撑和八字撑等形式。

4.3.1.13 支撑必须采用稳定的结构体系和连接构造,刚度应满足变形要求。

4.3.1.14 钢支撑构件的拼接宜采用高强螺栓连接或焊接,拼接点的强度不应低于构件的截面强度。

4.3.1.15 钢支撑端头应采用厚度不小于 10mm 的钢板作为封头端板,端板与支撑杆件应满焊,必要时应增设加劲板。

4.3.1.16 现浇混凝土支撑体系应在同一平面内浇筑。

4.3.1.17 现浇混凝土支撑截面的竖向高度不应小于其竖向平面计算跨度的 $1/20$ 。

4.3.1.18 钢腰梁可采用 H 型钢、工字钢、槽钢或组合型钢。钢腰梁与地下连续墙间应设不小于 60mm 的水平向通长空隙,其间宜采用强度不低于 C30 的细石混凝土充填。

4.3.1.19 现浇混凝土腰梁与地下连续墙墙体间不得留有空隙。

4.3.1.20 现浇混凝土腰梁截面的水平向尺寸不应小于其水平向计算跨度的 $1/8$,腰梁截面的竖向尺寸不应小于支撑的截面高度。

4.3.1.21 立柱在开挖面以上宜采用格构式钢柱、钢管或 H 型钢柱,在开挖面以下可采用直径不小于 600mm 的灌注桩,也可采用与开挖面以上截面相同的钢管或 H 型钢桩。

4.3.1.22 土层锚杆的锚固体根据土质类型、工程特性和使用

要求,可采用圆柱型、端部扩大头型或连续球体型。锚固于砂质土、硬粘土层并要求较高承载力的锚杆,宜采用端部扩大头型;锚固于淤泥、淤泥质土层并要求较高承载力的锚杆,宜采用连续球体型。

4.3.1.23 锚杆锚固体竖向间距不宜小于 2.5m,水平向间距不宜小于 1.5m。锚杆锚固体上覆土层厚度不宜小于 4.0m。倾斜锚杆的倾角宜采用 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

4.3.1.24 锚杆锚固段长度应通过计算确定并不应小于 4.0m,锚杆自由段长度不宜小于 5.0m,并应超过潜在破裂面 1.0m 以上。

4.3.1.25 锚杆定位架宜沿锚杆轴线方向每隔 1.0~2.0m 设置一个,锚杆杆体的保护层厚不得小于 20mm。

4.3.2 支护地下连续墙结构计算应符合下列规定。

4.3.2.1 支护地下连续墙结构应进行抗倾覆稳定、抗滑稳定、整体抗滑稳定、坑底抗隆起稳定和坑底抗渗稳定验算,其验算方法应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)的有关规定执行。

4.3.2.2 当按变形控制原则设计支护结构时,作用在支护地下连续墙上的土压力可按墙体与土体相互作用原理确定,地下连续墙的内力和变位可按竖向弹性地基梁法计算,地下连续墙的土压力、内力和变位计算方法应符合附录 B 的有关规定。

4.3.2.3 支撑设计应包括结构体系的布置、结构的内力和变形计算、构件的强度和稳定性验算、构件结点设计及构件安装和拆除程序设计。

4.3.2.4 土层锚杆设计应包括下列内容:

- (1)轴向承载力验算;
- (2)锚杆布置及安设角度;
- (3)必要的土体稳定性验算;
- (4)试验和监测要求。

4.3.3 支护地下连续墙结构构件设计应符合下列规定。

4.3.3.1 支护地下连续墙墙体按受弯构件计算,当轴向力较大

时应按偏心受压构件计算。

4.3.3.2 腰梁可按水平方向的受弯构件计算。当腰梁与水平支撑斜交或腰梁作为边桁架的弦杆时,应按偏心受压构件进行验算。

4.3.3.3 支撑应按偏心受压构件计算,其弯矩应考虑竖向荷载产生的弯矩和轴向力对构件初始偏心距的附加弯矩。

4.3.3.4 立柱应按偏心受压构件计算。开挖面以下立柱的竖向和水平向承载力可按单柱承载力验算。

4.3.3.5 土层锚杆的杆体应按轴心受拉构件计算。自由段和锚固段长度、锚固体直径、锚固体形状和浆体强度,应根据锚杆轴向设计拉力、土层抗拔力及握裹力确定。外锚头和腰梁应根据锁定荷载值进行设计。

4.4 圆形支护地下连续墙结构设计

4.4.1 圆形支护地下连续墙构造设计,应符合下列规定。

4.4.1.1 圆形支护地下连续墙墙体的构造设计,应符合第 4.3.1.1~第 4.3.1.10 款的有关规定。

4.4.1.2 圆形支护地下连续墙墙体内壁宜设置现浇混凝土环梁和竖肋,并与墙体相连。环梁和竖肋混凝土强度等级不应低于 C25,其断面尺寸、间距,应根据基坑直径和开挖深度等因素确定。

4.4.2 圆形支护地下连续墙结构计算应符合下列规定。

4.4.2.1 基坑开挖与支护应进行稳定性验算,其验算的内容和方法应符合第 4.3.2.1 款的有关规定。

4.4.2.2 圆形支护地下连续墙应进行土压力和水压力作用下的结构失稳验算,结构失稳的临界荷载宜按空间结构计算,也可简化为圆环按下列公式进行验算。

$$q_p = \frac{3EI}{R_0^3 h} \quad (4.4.2-1)$$

$$q_t \leq \frac{1}{\gamma_p} q_p \quad (4.4.2-2)$$

式中 q_p ——沿环向分布的临界荷载标准值(kN/m^2);
 E ——混凝土的弹性模量(kN/m^2);
 I ——在截取高度范围内包含环梁在内的截面惯性矩(m^4);
 R_0 ——墙体中心线半径(m);
 h ——截取的圆环高度(m);
 q_t ——设计荷载标准值(kN/m^2);
 γ_p ——抗力分项系数,取 1.2~1.5。

4.4.2.3 圆形支护地下连续墙结构宜按空间结构计算,也可按轴对称结构取单位宽度的墙体作为竖向弹性地基梁计算。墙体和环梁的环向效应,可按轴对称结构简化为等效弹性支撑。

4.4.2.4 采用竖向弹性地基梁法计算时,墙体的内力和变位可采用杆系有限元法计算,其计算简图如图 4.4.2 所示。

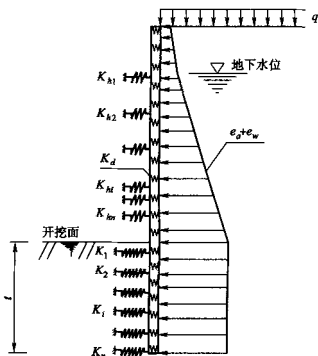


图 4.4.2 竖向弹性地基梁法计算图式

q —地面荷载; e_a —土压力; e_w —剩余水压力; t —入土深度; K_d —墙体的等效分布弹性支撑系数; $K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n$ —地基土弹性杆的弹性系数; $K_{h1}, K_{h2}, \dots, K_{hi}, \dots, K_{hn}$ —环梁的等效弹性支撑系数

4.4.2.5 圆形支护地下连续墙的等效弹性支撑系数,可按下列方法确定:

(1)将环梁作为弹性支撑,环梁的等效弹性支撑系数按附录 C 计算;

(2)圆形墙体的环向效应用沿深度方向分布的支撑弹簧来代替,墙体的等效分布弹性支撑系数按附录 C 计算;

(3)圆形支护地下连续墙基坑开挖面以下地基土弹性杆的弹性系数可按式(3.3.3)计算。

4.4.2.6 环梁内力可按下列公式计算:

$$N_{\theta} = \frac{E_h A_h \Delta R_{h0}}{R_{h0}} \quad (4.4.2-3)$$

$$M_{\theta} = \frac{1}{6} M_Z \quad (4.4.2-4)$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{N_{\theta}}{A_h} \pm \frac{M_{\theta}}{W_h} \quad (4.4.2-5)$$

式中 N_{θ} ——环向压力标准值(kN);

E_h ——环梁混凝土弹性模量(kN/m²);

A_h ——环梁截面面积(m²);

ΔR_{h0} ——环梁中心线的半径变形量(m);

R_{h0} ——环梁中心线初始半径(m);

M_{θ} ——环向弯矩标准值(kN·m);

M_Z ——墙体竖向弯矩标准值(kN·m);

σ_{θ} ——环向应力标准值(kPa);

W_h ——环梁截面模量(m⁴)。

4.4.3 圆形支护地下连续墙构件设计应符合下列规定。

4.4.3.1 支护地下连续墙墙体及环梁应按强度计算进行配筋,并应验算裂缝宽度。

4.4.3.2 混凝土竖肋可按构造配筋。

5 地下连续墙施工

5.1 一般规定

5.1.1 地下连续墙施工应收集下列资料:

- (1)施工现场的地形、地质、气象和水文资料;
- (2)邻近建筑物和地下管线等相关资料;
- (3)测量基线和水准点资料;
- (4)当地防洪、防汛、防台和环境保护的有关规定等。

5.1.2 地下连续墙施工前宜先试成槽。

5.1.3 邻近水边的地下连续墙施工,应采取防止波浪和潮水越顶对地下连续墙造成损坏的措施。

5.2 现浇地下连续墙施工

5.2.1 现浇地下连续墙的主要施工工序可分为导墙设置、泥浆制备、开挖成槽、钢筋笼制作与吊放、混凝土浇筑和槽段间施工接头处理等。

5.2.2 地下连续墙施工应设置导墙。导墙设置应符合下列规定。

5.2.2.1 导墙宜采用现浇混凝土结构,也可采用钢制或预制混凝土装配式结构。导墙混凝土强度等级不宜低于 C20。

5.2.2.2 导墙应具备下列功能:

- (1)能准确标示地下连续墙墙体平面位置;
- (2)能作为高程测量的基准;
- (3)能为成槽机械和灌注混凝土机架导向;
- (4)能储存泥浆并稳定槽内液面。

5.2.2.3 导墙顶面应高出地面 50~100mm,并应保证槽内泥浆液面高出地下水位 0.5m 以上。水边施工时,导墙顶高程应高出施工高水位 0.5m 以上。

5.2.2.4 导墙应设置在较密实的土层上,其墙底应紧贴土面,不得漏浆。

5.2.2.5 导墙应具有足够的强度及稳定性,其截面尺寸应根据结构型式、地基条件和施工荷载等通过计算确定,内墙面应采用垂直面。

5.2.2.6 导墙内墙面间的净距应根据地下连续墙墙体设计厚度确定,并留有 40~60mm 的余量。

5.2.2.7 导墙应设变形缝,其间距可为 20~40m,两片导墙的变形缝不宜设置在同一断面。

5.2.2.8 现浇混凝土导墙拆模后或预制导墙安装后应在内墙面间及时加设临时支撑。

5.2.2.9 预制导墙的安装接缝不得漏浆。

5.2.2.10 导墙的允许偏差应符合表 5.2.2 的规定。

导 墙 允 许 偏 差 表 5.2.2

序 号	项 目	允许偏差(mm)
1	顶面高程	± 10
2	导墙面与纵轴线距离	± 10
3	两导墙墙面的净距	± 10
4	导墙墙面平整度	10

5.2.3 地下连续墙成槽应采用泥浆护壁,并应符合下列规定。

5.2.3.1 泥浆可用膨润土或粘土为主要成分进行配制。当采用粘土时,宜选用粘粒含量大于 50%、塑性指数大于 20 的粘土。泥浆前应进行配合比试验。

5.2.3.2 在软土中成槽时,泥浆的性能指标应符合表 5.2.3-1 的规定。

泥浆性能指标

表 5.2.3-1

序 号	项 目	指 标
1	重度(kN/m^3)	10.5 ~ 12.0
2	粘度(s)	18 ~ 25
3	失水量($\text{mg}/30\text{min}$)	< 30
4	泥皮厚度($\text{mm}/30\text{min}$)	1 ~ 3
5	稳定性(g/cm^3)	< 0.02
6	pH 值	7 ~ 9

5.2.3.3 在泥浆容易渗漏的土中成槽时,应适当提高泥浆的粘度,增加泥浆的储备量。

5.2.3.4 新配制的泥浆应存放 24h 以上或添加分散剂,并应在膨润土或粘土充分水化后使用。

5.2.3.5 在软土地基中成槽施工过程中,应对循环泥浆进行试验,其控制指标应符合表 5.2.3-2 的规定。

循环泥浆控制指标

表 5.2.3-2

序 号	项 目	指 标
1	重度(kN/m^3)	< 12.5
2	粘度(s)	19 ~ 25
3	失水量($\text{mg}/30\text{min}$)	< 20
4	pH 值	< 11

5.2.3.6 重复使用的泥浆应进行净化处理。

5.2.3.7 废弃泥浆和渣土的处理应符合环保要求。

5.2.4 地下连续墙成槽应符合下列规定。

5.2.4.1 成槽机械应根据地质条件、墙体尺寸和施工环境等选用。

5.2.4.2 成槽时宜按单元槽段逐段开挖。单元槽段的长度应

按设计要求划分。当设计无要求时,单元槽段的划分应根据现场地质条件、地面荷载、混凝土的供应能力、吊机的起重能力、作业场地和道路交通等因素确定。单元槽段的长度可为4~8m。

5.2.4.3 成槽时应加强观测并随时检查成槽的垂直度、宽度和泥浆的性能等,当发生泥浆大量漏失或槽段壁面严重坍塌时,应及时采取处理措施。

5.2.4.4 槽段开挖后应及时清槽和进行泥浆置换,并对相邻段混凝土的端面进行清刷。清槽和泥浆置换应符合下列规定:

(1)槽底沉积物的厚度不大于200mm;

(2)泥浆置换结束1h后,槽底以上200mm处的泥浆重度不大于 12.0kN/m^3 。

5.2.4.5 地下连续墙开挖成槽允许偏差应符合表5.2.4的规定。

开挖成槽允许偏差

表 5.2.4

序 号	项 目	允许偏差(mm)
1	轴线位置	50
2	深度	+200 0
3	宽(厚)度	+50 0
4	相邻槽段错位	30
5	垂直度	1/150

5.2.5 地下连续墙钢筋笼的制作与吊装除应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的有关规定外,尚应符合下列规定。

5.2.5.1 钢筋笼宜在平台上成型。

5.2.5.2 钢筋笼应加焊钢筋保护层垫板,垫板与墙面之间宜留20~30mm的空隙。垫板宜采用薄钢板制作。

5.2.5.3 钢筋笼吊点布置应根据吊装工艺确定,在吊装过程中钢筋笼不得产生不可恢复的变形。

5.2.5.4 钢筋笼应保持垂直入槽,缓慢下放,不得强行冲击下放。

5.2.5.5 钢筋笼入槽后宜悬挂在导墙上。

5.2.5.6 钢筋笼安装后应再次检查沉渣厚度,必要时应进行二次清槽。

5.2.5.7 钢筋笼的制作与吊装允许偏差应符合表 5.2.5 的规定。

钢筋笼制作与吊装允许偏差 表 5.2.5

序 号	项 目	允许偏差(mm)
1	长度	± 50
2	宽度	± 20
3	厚度	+ 5 - 10
4	主筋间距	± 10
5	分布筋间距	± 20
6	保护层垫板高度	+ 5 0
7	侧向弯曲矢高	$L/300$
8	预埋件中心位置	± 20
9	安装顶高程	± 50

注: L 为钢筋笼长度(mm)。

5.2.6 现浇地下连续墙混凝土的浇筑除应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的有关规定外,尚应符合下列规定。

5.2.6.1 混凝土的配制强度应比设计强度提高 40% ~ 50%,坍落度宜为 $200 \pm 30\text{mm}$ 。

5.2.6.2 混凝土浇筑应在钢筋笼就位或二次清槽后 4h 内进行。

5.2.6.3 混凝土宜采用导管法浇筑。开始浇筑时,导管底端距槽底不得大于 0.5m。在浇筑过程中,导管宜埋入混凝土中 2~4m,混凝土顶面的上升速度不应小于 2m/h。

5.2.6.4 在单元槽段内同时使用两根以上导管时,导管的间距不宜大于 3m,导管与槽段接头或与已浇筑地下连续墙端面间的距离不宜大于 1.5m。在浇筑过程中,各导管处的混凝土表面高差不宜大于 0.3m。

5.2.6.5 单元槽段混凝土必须连续浇筑。在浇筑过程中应随时检查混凝土的浇筑量、上升高度和导管下口埋入混凝土的深度,防止发生导管内进水。

5.2.6.6 混凝土宜浇筑至高出设计墙顶 0.5~0.8m,凿除浮浆后,墙顶高程应满足设计要求。单元槽段混凝土浇筑量不得小于计算量。

5.2.6.7 地下连续墙混凝土应留置抗压强度标准试件,试件留置数量为每 100m³ 不少于 2 组,且每槽段不少于 1 组。当有抗渗和抗冻要求时,尚应留置抗渗和抗冻试件。

5.2.7 现浇地下连续墙相邻两单元槽段间的接头应符合下列规定。

5.2.7.1 各单元槽段间的接头应能阻止混凝土从接头下端和接头与槽壁之间的空隙流出,且不得妨碍下一单元槽段的成槽。

5.2.7.2 接头应具有足够的强度和刚度,在混凝土的侧压力作用下不得产生较大变形。

5.2.7.3 当槽段较深需要将接头分段接长时,应采用适应性强、刚度大且吊装方便的接头形式。

5.2.7.4 接头管的吊装应垂直缓慢下放。在混凝土初凝时宜适度旋转或提拔接头管。吊出接头管时,应垂直起吊并不得损坏接头处的混凝土。

5.2.8 现浇地下连续墙允许偏差应符合表 5.2.8 的规定。

现浇地下连续墙允许偏差

表 5.2.8

序号	项 目	允许偏差(mm)	
		码 头	围 护
1	轴线位置	50	50
2	宽(厚)度	+ 50	+ 50
		0	0
3	深度	+ 200	+ 200
		0	0
4	相邻槽段错位	50	50
5	墙体垂直度	1/150	1/150
6	开挖侧表面平整度	100, 个别点不大于 200	150, 个别点不大于 250

5.3 预制地下连续墙施工

5.3.1 墙板的预制除应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的有关规定外,尚应符合下列规定。

5.3.1.1 预制墙板应一次浇筑。

5.3.1.2 预制墙板的凸榫不得存在破损等缺陷。

5.3.1.3 预制墙板允许偏差应符合表 5.3.1 的规定。

预制墙板允许偏差

表 5.3.1

序 号	项 目		允许偏差(mm)
1	长度		± 50
2	横截面边长	宽度	± 10
		厚度	+ 10 - 5
3	榫槽中心对墙板轴线偏移		7
4	榫槽表面错牙		3
5	抹面平整度		10
6	墙板侧向弯曲矢高		$L/1000$ 且不大于 20
7	墙板顶外伸钢筋长度		± 20
8	吊点或预留孔位置		± 50

注: L 为墙板长度(mm)。

5.3.1.4 预制墙板起吊时的混凝土强度应满足设计要求。当设计无要求时,起吊强度应大于设计强度的 70%。

5.3.2 预制地下连续墙的导墙、护壁泥浆和成槽的施工应符合第 5.2.2 条 ~ 第 5.2.4 条的有关规定。成槽宽度宜比墙板设计厚度富余 100 ~ 150mm。

5.3.3 安装墙板前,槽段内的护壁泥浆应采用自凝泥浆进行置换。置换量可按下式估算:

$$W_h = K_h W_{h1} - W_{h2} \quad (5.3.3)$$

式中 W_h ——自凝泥浆置换量(m^3);

K_h ——槽段的容积系数,粘性土成槽取 1.3,砂性土成槽取 1.5;

W_{h1} ——槽段的容积(m^3);

W_{h2} ——墙板插入泥浆部分的体积(m^3)。

5.3.4 自凝泥浆终凝后的无侧限抗压强度不应低于地下连续墙处原状土的无侧限抗压强度。

5.3.5 墙板安装允许偏差应符合表 5.3.5 的规定。

墙板安装允许偏差

表 5.3.5

序 号	项 目	允许偏差(mm)
1	顶面高程	+50 0
2	纵轴线位置	30
3	墙板间缝隙宽度	±25
4	相邻墙板间纵轴线相对偏差	25

5.3.6 墙板间的凹槽空腔宜采用模袋混凝土填塞,填塞前应清除凹槽中的泥土和杂物。

5.3.7 预制地下连续墙的前方挖泥和后方回填应在自凝泥浆达到设计强度后进行。

6 支撑结构和锚拉系统施工

6.1 一般规定

6.1.1 支护地下连续墙支撑结构和锚拉系统的安装和拆除顺序必须满足设计要求,并与土方开挖和降水密切配合。

6.1.2 基坑开挖和支护应严格遵守分层、分段开挖,先支锚、后开挖的原则,严禁超挖。

6.1.3 施工过程中应对基坑、支护结构和周围环境进行观察和监测,当出现异常情况时,应及时采取措施。

6.1.4 支护地下连续墙现浇混凝土帽梁、腰梁、环梁和竖肋的施工除应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的有关规定外,尚应符合下列规定。

6.1.4.1 预制地下连续墙的帽梁、腰梁、环梁和竖肋的混凝土浇筑应在墙板间凹槽空腔中的混凝土强度等级达到 C15 后进行。帽梁浇筑前应先凿除墙板顶部的混凝土至设计高程。

6.1.4.2 现浇帽梁、腰梁、环梁和竖肋的混凝土强度等级未达到 C10 前,在 30m 范围内不得进行锤击打桩施工。

6.1.4.3 直线形支护地下连续墙现浇混凝土帽梁和腰梁允许偏差应符合表 6.1.4-1 的规定。

现浇混凝土帽梁和腰梁允许偏差 表 6.1.4-1

序 号	项 目	允许偏差(mm)
1	轴线位置	20
2	顶面高程	± 15
3	截面尺寸	+ 10 - 5

续上表

序 号	项 目	允许偏差(mm)
4	顶面平整度	10
5	相邻段错牙	10
6	预留孔位置	± 20
7	预埋件	位置 ± 20
		与混凝土表面错牙 5

6.1.4.4 圆形支护地下连续墙现浇环梁和竖肋允许偏差应符合表 6.1.4-2 的规定。

现浇环梁和竖肋允许偏差 表 6.1.4-2

序 号	项 目	允许偏差(mm)
1	截面尺寸	+ 10
		- 5
2	环梁水平中心线高程	± 30
3	竖肋中心线偏差	50

6.2 支撑结构施工

6.2.1 钢支撑的制造应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205)的有关规定。现浇混凝土支撑的施工应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的有关规定。

6.2.2 钢支撑应设置预加顶力和测力装置。钢支撑安装后所施加的预顶力应满足设计要求。

6.2.3 现浇混凝土支撑以下的土方应在混凝土强度达到设计强度的 80% 以上后开挖。

6.2.4 当支撑体系的立柱穿过主体结构底板或支撑穿越主体结构外墙时,应采取防水措施。

6.2.5 支撑拆除前,应安装好替代支撑系统,替代支撑的截面和

布置应通过计算确定。当利用主体结构作为替代支撑时,主体结构的强度应达到设计强度,并应在主体结构与地下连续墙墙体间预设可靠的换撑传力设施。

6.2.6 支撑结构安装允许偏差应符合表 6.2.6 的规定。

支撑结构安装允许偏差 表 6.2.6

序 号	项 目	允许偏差 mm
1	钢筋混凝土支撑截面尺寸	+ 10 - 5
2	安装高程高差	± 30
3	支撑两端高差	$L/600$ 且不大于 20
4	支撑挠度	$L/1000$
5	立柱垂直度	$H/300$
6	支撑与立柱轴线偏差	50
7	支撑水平轴线偏差	30

注:① L 为支撑长度(mm);

② H 为立柱高度(mm)。

6.3 土层锚杆施工

6.3.1 锚杆钻孔机械应根据现场土质和地下水分布等条件选用。

6.3.2 锚杆钻孔质量应符合下列规定。

6.3.2.1 钻孔位置偏差不应大于 100mm,角度偏差不应大于 1° 。

6.3.2.2 孔壁应顺直,不得出现塌陷和松动。

6.3.2.3 钻孔时不得使用膨润土泥浆。

6.3.2.4 钻孔富余深度宜为 0.3~0.5m。

6.3.3 锚杆杆体制作和组装应符合下列规定。

6.3.3.1 杆体的材质和规格应满足设计要求。

6.3.3.2 当采用钢筋制作杆体时,钢筋接长宜采用套筒连接。

当采用双面搭接焊时,焊缝长度应大于 8 倍钢筋直径。杆体长度允许偏差应为 30mm。当杆体由两根以上钢筋组成时,应每隔 2~3m 将其点焊成束。

6.3.3.3 杆体使用前应除锈,并按设计要求进行防腐处理。当设计无要求时,钢筋杆体的自由段应涂二层防锈漆,并采用二层沥青纤维布缠裹;钢绞线可采用聚丙烯防护套防护。杆体的锚固段应无油污。

6.3.4 锚杆杆体的安装应在钻孔完成后立即进行,杆体插入时,应采用定位架保证杆体的顺直就位。

6.3.5 锚孔注浆应符合下列规定。

6.3.5.1 浆体材料和强度应满足设计要求,其配合比应通过试验确定。一次注浆宜选用灰砂比 1:1~1:2、水灰比不大于 0.45 的水泥砂浆,或水灰比不大于 0.5 的水泥浆,二次高压注浆宜使用水灰比不大于 0.55 的水泥浆。

6.3.5.2 一次注浆管宜与锚杆杆体一起插入孔内,注浆管底端距孔底宜为 0.5~1.0m。二次高压注浆管的出浆孔和端口应密封,一次注浆时的浆液不得进入二次注浆管内。

6.3.5.3 二次高压注浆应在一次注浆形成的锚固体强度达到 5.0MPa 时进行,注浆压力宜为 2.5~4.0MPa。二次高压注浆量不宜小于一次注浆量。

6.3.5.4 锚孔注浆应连续、密实、饱满。

6.3.6 土层锚杆的张拉和锁定应符合下列规定。

6.3.6.1 张拉前应对张拉设备进行标定。

6.3.6.2 锚杆张拉应在锚固体和外锚头强度均大于 15MPa,并达到设计强度的 75%后进行。

6.3.6.3 土层锚杆的张拉顺序应考虑对临近锚杆的影响。

6.3.6.4 张拉荷载应为设计荷载的 1.05~1.10 倍,并应在稳定 5~10min 后退至锁定荷载锁定。

6.3.7 锚杆的质量检验应符合下列规定。

6.3.7.1 锚杆除应进行常规材质检验外,尚应进行浆体强度检

验和锚杆验收试验。

6.3.7.2 浆体应留置抗压强度标准试件,试件留置数量为每 30 根锚杆不少于一组,每组为 6 块。

6.3.8 锚杆试验与监测应符合现行行业标准《建筑基坑工程技术规范》(YB 9258)的有关规定。

附录 A 水平地基反力系数计算

A.0.1 m 法的水平地基反力系数应按下式计算:

$$K = mZ \quad (\text{A.0.1})$$

式中 K ——水平地基反力系数(kN/m^3);

m ——水平地基反力系数随深度增大的比例系数(kN/m^4);

Z ——计算点距计算泥面或开挖面的深度(m)。

A.0.2 m 值可通过水平荷载试验确定。当无试验资料时,可按表 A.0.2 选用。

m 值 表 A.0.2

地基土质情况	m 值(kN/m^4)
$I_L \geq 1.0$ 的粘性土, 淤泥	1000 ~ 2000
$1.0 > I_L \geq 0.5$ 的粘性土, 粉砂	2000 ~ 4000
$0.5 > I_L \geq 0$ 的粘性土, 中、细砂	4000 ~ 6000
$I_L < 0$ 的粘性土, 粗砂	6000 ~ 10000
砾石、砾砂、碎石、卵石	10000 ~ 20000

注:① I_L 为粘性土的液性指数;

②地下连续墙在计算泥面或开挖面处的水平变位大于 10mm 时,取表中较小值。

附录 B 直线形支护地下连续墙的土压力、内力和变位计算

B.0.1 当墙体的水平变位较小,在墙后不足以产生极限主动或极限被动土压力时,可根据墙体的水平变位量计算墙后的水平土压力。

B.0.2 当考虑墙体水平变位对墙后水平土压力的影响时,水平土压力强度标准值可按下式计算:

$$p_1 = p_{01} - K_1 \delta \quad (\text{B.0.2})$$

式中 p_1 ——墙后水平土压力强度标准值(kPa),当 $p_1 < e_{ax1}$ 时,取 $p_1 = e_{ax1}$,当 $p_1 > e_{px1}$ 时,取 $p_1 = e_{px1}$; e_{ax1} 、 e_{px1} 分别为墙后极限水平主动土压力强度标准值和极限被动土压力强度标准值,包括土体自重和墙后地面荷载的作用效应,可按库仑或朗金土压力理论计算;

p_{01} ——墙后静止水平土压力强度标准值(kPa);

K_1 ——墙后土的水平地基反力系数(kN/m^3),可按附录 A 计算,其中 Z 为计算点距墙后地面的深度;

δ ——墙体的水平变位量(m),向墙前的变位为正,向墙后的变位为负。

B.0.3 墙后静止水平土压力强度标准值可按下式计算:

$$p_{01} = K_0 (q + \sum \gamma_i h_i) \quad (\text{B.0.3})$$

式中 p_{01} ——墙后静止水平土压力强度标准值(kPa);

K_0 ——静止土压力系数,对正常固结土, $K_0 = 1 - \sin \varphi'$;对超固结土, $K_0 = (1 - \sin \varphi')^{0.5}$; φ' 为计算点处土层的有效内摩擦角标准值($^\circ$);

q ——作用在地面上的竖向均布荷载标准值(kPa);
 γ_i ——计算面以上第 i 层土的重度标准值(kN/m³);
 h_i ——计算面以上第 i 层土的厚度(m)。

B.0.4 当支护地下连续墙的内力和变位采用竖向弹性地基梁法计算时,宜采用杆系有限元法,其计算图式见图 B.0.4。支护地下连续墙开挖面以下墙后的水平土压力强度标准值可按下列公式计算:

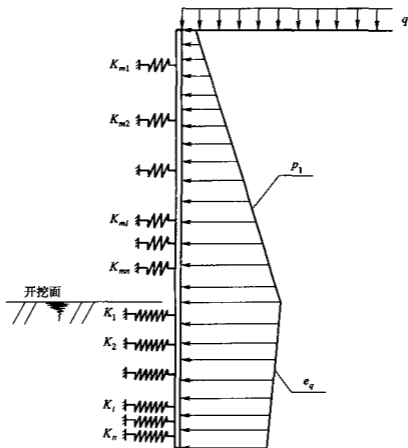


图 B.0.4 支护地下连续墙的土压力和内力计算图式

q -地面荷载; p_1 -水平土压力强度; e_q -开挖面以下墙后的水平土压力强度; $K_{m1}, K_{m2}, \dots, K_{mi}, \dots, K_{mn}$ -锚杆或支撑的弹性支撑系数; $K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n$ -土层弹性杆的弹性系数。

$$e_q = p_1 - p_{02} \quad (\text{B.0.4-1})$$

$$p_{02} \approx K_0 \sum \gamma_i h_i \quad (\text{B.0.4-2})$$

式中 e_q ——开挖面以下墙后的水平土压力强度标准值(kPa);

p_1 ——墙后水平土压力强度标准值(kPa);

p_{02} ——开挖面以下墙前静止水平土压力强度标准值(kPa);

K_0 ——静止土压力系数;

γ_i ——开挖面以下墙前第 i 层土的重度标准值(kN/m³);

h_i ——开挖面以下墙前第 i 层土的厚度(m)。

B.0.5 当采用竖向弹性地基梁法计算地下连续墙土压力、内力和变位时,宜按下列步骤进行迭代计算:

(1)初始状态假设墙体的水平变位为 0,按式(B.0.2)、式(B.0.4-1)和式(B.0.4-2)计算开挖面以上墙后水平土压力强度和开挖面以下墙后水平土压力强度;

(2)计算墙体的水平变位;

(3)用求得的墙体水平变位再按式(B.0.2)、式(B.0.4-1)和式(B.0.4-2)计算墙后水平土压力强度;

(4)用新求得的墙后水平土压力强度,再按上述步骤计算结构内力和变位;

(5)重复第(3)项和第(4)项的步骤进行计算,直至相邻两次计算变位的差值足够小时为止。

附录 C 环梁和墙体的等效弹性 支撑系数计算

C.0.1 当圆形支护地下连续墙结构利用环梁作支撑时,可将环梁的作用以等效支撑弹簧来替代,如图 C.0.1 所示。单位宽度墙体上环梁的等效弹性支撑系数可按式计算:

$$K_h = \frac{E_h A_h}{R_{h0}^2} \quad (\text{C.0.1})$$

式中 K_h ——环梁的等效弹性支撑系数(kN/m^2);

E_h ——环梁材料的弹性模量(kN/m^2);

A_h ——环梁截面面积(m^2);

R_{h0} ——环梁中心线初始半径(m)。

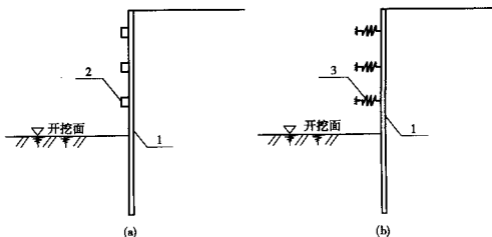


图 C.0.1 环梁等效支撑弹簧示意图

(a) 环梁支撑; (b) 等效支撑弹簧

1-地下连续墙墙体; 2-支撑环梁; 3-等效支撑弹簧

C.0.2 圆形支护墙体的环向效应可采用分布的支撑弹簧来替代,如图 C.0.2 所示。单位宽度地下连续墙墙体的等效分布弹性

支撑系数可按式计算：

$$K_d = \frac{E_d b}{R_0^2} \quad (\text{C.0.2})$$

式中 K_d ——墙体的等效分布弹性支撑系数(kN/m^3)；

E_d ——地下连续墙环向综合压缩模量(kN/m^2)， $E_d = \alpha E$ ， E 为地下连续墙混凝土弹性模量(kN/m^2)， $\alpha = 0.5 \sim 0.7$ ，当 R_0 较大，或槽段数较多时取小值；

b ——地下连续墙的墙体厚度(m)；

R_0 ——墙体中心线半径(m)。

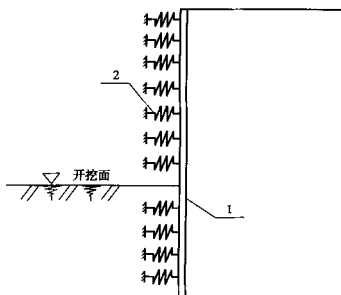


图 C.0.2 墙体环向效应的等效分布支撑弹簧示意图

1-地下连续墙墙体；2-等效分布支撑弹簧

附录 D 本规程用词用语说明

D.0.1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度的用词用语说明如下:

(1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

(3)对表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”或“可”;

反面词采用“不宜”。

D.0.2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的有关规定”或“应按……的有关规定执行”。

附加说明

本规程主编单位、参加单位、 主要起草人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:中交第一航务工程勘察设计院

参 加 单 位:天津大学

主要起草人:孙家明(中交第一航务工程勘察设计院)

李秀英(中交第一航务工程勘察设计院)

(以下按姓氏笔画为序)

王保兴(中交第一航务工程勘察设计院)

邱有政(中交第一航务工程勘察设计院)

别社安(天津大学)

杨丽氏(中交第一航务工程勘察设计院)

温广泰(中交第一航务工程勘察设计院)

舒 宁(中交第一航务工程勘察设计院)

总校人员名单:李永恒(交通部水运司)

何文辉(交通部水运司)

刘永绣(中交第一航务工程勘察设计院)

张树仁(中港第一航务工程局)

吴敦龙(中交水运规划设计院)

孙家明(中交第一航务工程勘察设计院)

李秀英(中交第一航务工程勘察设计院)

邱有政(中交第一航务工程勘察设计院)

刘进生(中交第一航务工程勘察设计院)

王芳萍(中交第一航务工程勘察设计院)

董 方(人民交通出版社)

管理组人员名单:孙家明(中交第一航务工程勘察设计院)

李秀英(中交第一航务工程勘察设计院)

刘进生(中交第一航务工程勘察设计院)

邱有政(中交第一航务工程勘察设计院)

杨丽民(中交第一航务工程勘察设计院)

中华人民共和国行业标准

港口工程地下连续墙结构与施工规程

JTJ 303—2003

条文说明

目 次

1 总则	(48)
3 码头和护岸地下连续墙结构设计	(49)
3.1 构造	(49)
3.2 作用和作用效应组合	(50)
3.3 计算	(51)
4 支护地下连续墙结构设计	(53)
4.1 一般规定	(53)
4.2 作用和作用效应组合	(53)
4.3 直线形支护地下连续墙结构设计	(54)
4.4 圆形支护地下连续墙结构设计	(55)
5 地下连续墙施工	(57)
5.1 一般规定	(57)
5.2 现浇地下连续墙施工	(58)
5.3 预制地下连续墙施工	(62)
6 支撑结构和锚拉系统施工	(64)
6.1 一般规定	(64)
6.2 支撑结构施工	(64)
6.3 土层锚杆施工	(65)
附录 A 水平地基反力系数计算	(66)
附录 B 直线形支护地下连续墙的土压力、内力和变位 计算	(67)
附录 C 环梁和墙体的等效弹性支撑系数计算	(68)

1 总 则

1.0.4 本条所指国家现行标准主要包括《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)、《建筑基坑工程技术规范》(YB 9258)和《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120)等。

3 码头和护岸地下连续墙结构设计

3.1 构 造

3.1.1 根据调查收集到的资料,我国港口工程现有采用地下连续墙式板桩码头和支护地下连续墙结构,矩形截面是常用的形式,它的形状简单、便于制作且接头处理比较方便。

3.1.3 码头和护岸地下连续墙结构设计,常采用接头管做成的接头,可以做到相邻墙段接头部位混凝土的良好接触。

钻孔排桩形地下连续墙墙体结构,根据目前国内施工条件一般采用一字形连续排列的形式。为防止桩间间隙的土体流失,墙后应设置防渗漏帷幕墙,在考虑墙后排水时,一般设置反滤井。

3.1.5.1、3.5.1.2 现浇地下连续墙的混凝土由于是在泥浆中采用竖管法浇注的,其强度低于空气中浇筑的混凝土强度,根据调查目前的施工能力混凝土强度等级一般可以作到 C25。另外,为保证工程耐久性其混凝土保护层厚度设计时要适当增大,施工才可以作到港口工程要求的保护层的厚度,根据多年的设计经验和施工经验提出了本条的主筋保护层构造规定。

3.1.6 导梁和帽梁合一的形式称为胸墙,这种形式已在我国多个地下连续墙式板桩码头中采用,如天津海河沿岸郑家台码头和京唐的码头等。

3.1.15 现浇混凝土前墙一般为整体连片式,墙体本身不透水,在设计低水位附近设排水孔能减少作用在前墙的水压力。本条规定在施工条件允许的情况下排水孔尽量接近极端低水位,目的是最大可能的减少墙后的剩余水头。

3.2 作用和作用效应组合

3.2.1、3.2.2 条文中主动土压力和被动土压力的计算的公式是基于库仑公式的原理,即平面滑动假定的极限平衡原理,在推导公式时比库仑公式多考虑了土的粘聚力 c 的作用因素,弥补了库仑公式只能适用于无粘性土的限制。所以公式能同时考虑填土表面有坡度、墙背倾斜、土与墙背摩擦角以及土的粘结力等因素,适用于无粘性土和粘性土。该公式与郎金公式相比能考虑土与墙背间的摩擦角的作用,所以无需再考虑被动土压力的增减系数,简化了计算。

3.2.3 现行行业标准《港口工程地基规范》(JTJ 250)中规定土的抗剪强度计算指标,应根据土质和工程实际情况确定,宜选用固结快剪,不宜采用直剪快剪。因此在实际工程中如墙后土不能满足固结要求时宜适当考虑未固结因素的影响,也就是对固结快剪指标可作折减,这样比较接近工程实际,其计算结果更趋合理。

3.2.6 地下连续墙变形时土与墙体之间将发生相对移动,其间就产生了摩擦力。在极限平衡状态时,墙前破裂土体向前移动而使墙对土体产生向下的摩擦力,此摩擦力阻挡破裂棱体的滑动,于是被动土压力则与此相反产生向上的摩擦力,这样被动土压力的数值将减小。所以计算时墙前外摩擦角应取正值;墙后外摩擦角应取负值。由经验可知摩擦角对主动土压力影响不大,但对被动土压力的影响甚大,所以摩擦角的合理选择十分重要。经计算比较后,本条规定了土与墙面摩擦角的取值范围。

3.2.7 地下连续墙码头墙前的超挖深度,现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)规定一般为 $0.3 \sim 0.5\text{m}$ 。对码头前沿表层粘性土,考虑到码头前沿开挖的扰动作用及挖深的卸荷作用,适当降低粘性土的粘聚力是有必要的,有资料建议在码头前沿开挖面以下 1m 深度内完全不计其粘聚力,但考虑到码头经长期使用后,土会恢复原来的设计状态,部分考虑粘聚力是经济合理的。所以条文规定泥面处 c 取 0 ,泥面 1m 以下取未扰动土的值,

两者之间可按线性过渡。

3.2.8 当墙前水位降落,墙后地下水不能及时排出时,便有剩余水头存在,产生剩余水压力。剩余水头的大小除取决于水位降落幅度和速率外,还与地下连续墙排水孔设置位置和回填土及地基土的渗透性大小有关,很难由计算确定。所以如有条件最好是在实际工程的现场进行观测或对附近类似工程进行调查,然后确定剩余水位。在不具备上述条件时,根据我国的实际情况对于海港在墙后回填细砂粉细砂时剩余水头一般采用 $1/3 \sim 1/2$ 平均潮差比较合适。

3.2.9 剩余水压力的分布严格说来是与土体的渗透性有关并非直线分布,本条规定按直线分布设计是偏于安全的。另外,从多年设计经验考虑,设计中可以不考虑渗流力的作用,仅考虑剩余水压力的作用即可满足结构安全性的要求。

3.2.12 本条系根据国家现行标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50158)和《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)采用以分项系数表达的概率极限状态设计法规定的作用分类。

3.2.13 结构在施工、使用期间环境条件均不同,受力类型和大小不同,破坏时影响大小不同,因此必须针对不同状况进行设计。国家现行标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50158)和《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)根据持续时间的长短和出现概率的高低,规定了持久、短暂和偶然三种设计状况。

3.2.14、3.2.15 承载能力极限状态设计所考虑的三种作用效应组合与国家现行标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50158)和《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)中的规定一致,并相应的规定了所采用的计算水位。

3.3 计 算

3.3.2 地下连续墙的人土深度应满足“踢脚”稳定的要求,采用以分项系数表达的极限状态设计法。不考虑波浪力时,可变作用效应是地面可变作用产生的主动土压力对拉杆锚着点产生的“踢脚”

力矩,考虑波浪力时,对于海港可变作用效应是墙前波吸力和地面可变作用产生的主动土压力对拉杆锚着点产生的“踢脚”力矩,两者中取大值作为主导可变作用。

3.3.3 竖向弹性地基梁法是多年来实际工程中较广泛使用的方法,能够考虑墙体的刚度利用计算机计算,其入土段墙后的主动土压力只考虑由计算泥面以上土体自重和地面荷载产生的土压力,不考虑土体本身产生的土压力,因为这部分土压力已反映在土抗力中。

杆系有限元法是把墙入土段的抗力用一系列弹性杆来代替,弹性杆的弹性系数等于水平地基反力系数乘以杆间距。

通过计算比较,前墙计算在给定位移时的弯矩,与设锚着点移为0时的弯矩折减0.7~0.8倍的计算结果是相近的。

3.3.8 根据现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)中的有关规定和设计经验,本条提出锚碇地下连续墙锚着点的位移不宜大于50mm时合适的。

4 支护地下连续墙结构设计

4.1 一般规定

4.1.3 本条列出了工程设计包括的计算内容,一定要注意避免“工况”和“计算项目”两方面可能的“漏项”,从而导致基坑失误。在施工过程中,认真研究挖土方法、过程及支撑与挖土的配合,实践证明,合理安排将会显著减少基坑变形。

4.2 作用和作用效应组合

4.2.2 作用于墙体上的土压力采用库仑或郎金理论计算。自然状态土体内水平向有效应力,可认为与静止土压力相等,随着基坑开挖,墙体变形增大,最终可呈现出主动极限平衡状态和被动极限平衡状态。当对支护结构水平位移有严格限制时,采用静止土压力计算。当按变形控制原则设计支护结构时,作用在支护结构上的土压力按变形条件,即支护结构与土体的相互作用原理确定土压力是比较合理的方法。

4.2.3 处于地下水位以下的水压力和土压力,按有效应力原理分析时,水压力和土压力是分开计算的。这种概念比较明确。但是粘性土在实际工程中孔隙水压力往往难以确定。因此,在许多情况下,往往采用水压力和土压力合算的办法。如现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)中规定“对粘性土应按水土合算的原则计算;也可按地区经验确定”;另外在现行行业标准《建筑基坑工程技术规范》(YB 9258)中规定“对粘性土作用在支护结构上的侧压力也可按水土合算原则计算”。然而,在这种方法中亦存在一些问题,如低估了水压力的作用,对这些复杂性必须有足够的认

识。由于粘性土渗透性弱,故宜采用饱和重度,水土合算,其计算结果已包含了水压力的作用。对渗透性强的粉土、砂土和碎石土等,地下水对土颗粒可形成浮力,故应采用水土分算。水压力可按静水压力计算。

4.2.5、4.2.6 本规程根据现行国家标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50158),以分项系数表达的概率极限状态设计法的要求,列出按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计时的设计内容,并给出了控制变形的标准。

4.3 直线形支护地下连续墙结构设计

4.3.1 由于港口工程支护地下连续墙结构和其他建筑行业的支护地下连续墙结构基本相同,设计中主要是执行国家现行标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)、《建筑基坑工程技术规范》(YB 9258)和《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120)等的有关规定。因此本条主要是对地下连续墙墙体部分的构造设计作了较详细的规定,其他部分只是简单列出了最主要的内容。

4.3.1.12 腰梁、水平支撑和立柱是平面支撑体系的基本构件。

(1)腰梁的作用是加强围护墙体的整体性,并将围护墙所受的水平力传递给支撑构件。

(2)水平支撑是平衡围护墙水平力作用的主体构件,要求具有较强的整体性和平面刚度,并能使围护墙体均匀传力。

(3)立柱的作用是保证水平支撑的纵向稳定,加强支撑体系的整体刚度,承受水平支撑的自重及其他垂直荷载。

4.3.1.13 支撑结构的作用是建立起足够的整体刚度,要求采用稳定的结构体系。连接构造要确保传力和变形协调的可靠性。

4.3.1.14 钢结构支撑构件的拼接应满足截面等强度的要求。常用的连接方式有焊接和螺栓连接。螺栓连接施工方便,但整体性不如焊接,为减少节点变形宜采用高强螺栓。构件在基坑内接长,由于焊接条件差,焊缝质量不易保证,通常采用螺栓连接。

4.3.1.18 由于地下连续墙表面通常不平整,为了使腰梁与地

下连续墙接合紧密均匀受力,防止腰梁截面产生扭曲,在腰梁与墙体之间采用细石混凝土填实。如空隙较大,为防止所填充的混凝土脱落,缝内可放置钢筋网。

4.3.1.21 立柱通常在基坑开挖面以上采用格构式钢柱,主要考虑主体工程底板钢筋施工方便。开挖面以下部分通常采用灌注桩,当主体工程不为灌注桩时,为方便沉桩,也可采用 H 型钢或钢管。

4.3.1.23 考虑锚杆的群锚效应规定了锚杆上下、水平锚固体的最小距离。这里指的是锚固体间距而不是锚杆布置的间距,当锚杆布置的间距较小时,可考虑调整锚杆角度等方法确保锚固体的最小间距。

4.3.1.24 保证锚杆自由长度是为了施加预应力并防止预应力过大损失的需要。潜在破裂面为从基坑底水平方向反向旋转 $45^\circ + \varphi/2$ 的假想破裂面。

4.3.2.1 基坑的稳定问题直接与支护地下连续墙结构墙体的变形、稳定及基坑的工程地质和水文条件有关。基坑失稳的形态和原因是多种多样的,本款列出了需要计算的内容。

4.3.2.2 当按变形控制原则设计支护地下连续墙时,经设计计算比较,本款提出了支护地下连续墙的土压力和内力的计算方法见附录 B。

4.3.2.3、4.3.2.4 在这两款中列出了需要计算的主要内容,具体计算应按照国家现行标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)和《建筑基坑工程技术规范》(YB 9258)中的有关规定执行。

4.4 圆形支护地下连续墙结构设计

4.4.1 圆形支护地下连续墙结构是支护地下连续墙的一种特例,在港口大型煤码头翻车机房施工中,往往采用圆形支护地下连续墙作为挡土和挡水的临时结构,先施工圆形地下连续墙墙体,然后进行基坑开挖,随着开挖深度的增加逐级加设环梁和竖肋,由于墙体部分是由多片墙段组成的,相邻墙段之间沿环向没有钢筋相连。

为增加其环向整体性并起到支撑墙体的作用,一般需要设置环梁,其设置道数视基坑开挖深度和圆形直径大小而定。各道环梁之间由竖肋相连,竖肋沿圆形支护地下连续墙均匀布置。本构造规定基本是在直线形支护地下连续墙构造规定的基础上,结合圆形支护地下连续墙结构的特点而制定的。

4.4.2.2 圆形支护地下连续墙采用环梁为其内支撑,墙体为一无底圆筒。本款规定的圆环稳定计算公式,单独计算每个圆环的稳定性忽略了整体性的有利影响,每个圆环断面均为T形构件,其构件的翼缘宽度近似认为满足混凝土构件的计算规定,这样截取的环梁高度一般取以环梁为中心,高度取相邻两道环梁中心线间距。该计算公式通过工程实践证明可参照使用,是一种偏于安全的简化方法。

4.4.2.3 圆形支护地下连续墙为一空间结构,按空间结构计算是合理的。本款提出可按轴对称结构取单位宽度按平面问题求解的近似计算方法,经多个工程实践证明是可行的。

4.4.2.4 本款给出了多道环梁的圆形支护地下连续墙结构的计算图式。结构内力计算时,注意按施工顺序分步计算,绘出内力包络图,避免漏项。

5 地下连续墙施工

5.1 一般规定

5.1.1 地下连续墙施工应收集的资料:

(1)施工现场的地形、地质和水文条件等是决定成槽方法、成槽效率、泥浆的配合比和循环出土工艺以及槽段长度等的重要依据。

(2)基坑开挖卸载引起的沉降和水平位移会影响邻近建筑物、道路、管线及其他地下设施,因此掌握邻近建筑物的高度和结构型式、基础类型和刚度、基础下的土质及其现状等,对制定相应的施工措施和控制标准具有重要意义。掌握地下管线相对位置、埋深、管径、使用年限和功能等,并对其承受变形的能力进行分析,以便在施工中采取相应措施。

(3)测量基线与水准点是工程施工定位的依据,因此要按交接手续进行交接,并进行现场复核。资料交接不清或不全往往是导致工程事故的原因之一,在以往工程施工中有过类似事故。

(4)掌握当地防洪、防汛和防台风的有关资料,并采取相应的防范措施,可以确保正在施工中的地下连续墙结构和施工现场人、机安全及合理安排施工计划。了解当地的环保要求,可以合理安排泥浆排放和渣土弃运等,防止环境污染。

5.1.2 泥浆配方或成槽机械选型与地质条件有关,常发生泥浆配方或成槽机械选型不当而产生槽壁坍塌事例。在地下连续墙正式施工前进行试成槽,可避免类似事故发生,确保工程顺利进行。

5.1.3 码头和护岸工程的施工期,靠近水边的地下连续墙墙背土体开挖后,墙体为一悬臂构件,在墙前水压力和土压力作用下,将

产生与使用条件下相反的位移,当位移较大时,可能对地下连续墙墙体造成损坏。所以在靠近水边施工码头或护岸地下连续墙时,通常要设置围埝等挡水设施,以免波浪和潮水越顶对地下连续墙造成损坏。

5.2 现浇地下连续墙施工

5.2.2.2 在地下连续墙的施工中,导墙起着多方面的作用,如确定墙体的水平轴线位置和作为深度测量的基准;进行成槽作业时起着导向作用;作为机械运行轨道的水平基准与承重支点;储存泥浆并稳定槽内泥浆液面,防止槽口坍塌和作为钢筋笼或接头管的临时搁置支承点等。此款规定了导墙的主要功能。

5.2.2.3 导墙顶面高出施工场地地面 50 ~ 100mm,是为防止地表水流入导槽。泥浆液面高出地下水位 0.5m 以上,可以保持泥浆对槽壁的压力,起到护壁作用。导墙顶面高出施工高水位 0.5m 以上,可以防止潮水或越浪流入导槽。

5.2.2.4 规定导墙设置在较密实土层上,而且其基底与土面紧贴,是为了避免导墙产生过大沉降或漏浆。

5.2.2.5 ~ 5.2.2.9 导墙在施工中具有多种功能,为了保证导墙具有足够的强度和稳定性,导墙断面要根据使用要求和地质条件等通过计算确定。此外,条文还对导墙的构造要求和施工注意事项等提出了具体要求。

5.2.2.10 根据现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)的有关规定和工程实践经验,并参照现行行业标准《港口工程质量检验评定标准》(JTJ 221)的有关规定,本款对导墙施工允许偏差作出规定。

5.2.3.2 泥浆的主要作用是护壁,此外泥浆还有携渣、冷却机具和切土润滑的功能。合理使用泥浆可保持槽壁的稳定性 and 提高成槽效率。本款所规定的泥浆性能指标为在一般软土中成槽时的基本要求,各项控制指标系根据现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)的有关规定制定。在其它地质条件下,要结合现

场土质对基本参数作适当调整。

5.2.3.3 在泥浆容易渗漏的土层中成槽时,适当提高泥浆的粘度,可以防止因泥浆很快流失而导致液面下降造成的槽壁坍塌。增加泥浆储备量,可以及时向导槽内补充泥浆,使液面维持在预定的高度,保持槽壁稳定。

5.2.3.4 新配制的泥浆存放 24h 以上或添加分散剂,可以使膨润土或粘土充分水化,保证泥浆具有足够浓度。

5.2.3.5 通过沟槽循环或混凝土置换而排出的泥浆由于膨润土和 CMC(羧甲基纤维素)等主要成分的消耗及土渣和电解质离子的混入,其质量比原泥浆质量显著恶化。恶化程度因成槽方法、地质条件和混凝土灌注方法等施工条件而异。根据以往施工经验,本款规定了循环使用的泥浆控制指标。

5.2.3.6 循环使用泥浆的净化效果将直接影响护壁泥浆重复使用的可能性,也影响到地下连续墙的施工成本和所需处理的废弃泥浆量。泥浆净化通常采用机械、重力沉降和化学处理的方法。

5.2.3.7 废弃泥浆通常进行泥水分离予处理,水可排入河海或下水道的,渣土可作填土,从而可以减少废弃泥浆的运输量和对环境的污染。

5.2.4.1 由于各地地质条件千变万化,地下连续墙深度、宽度、形状和技术要求也各不相同,目前尚没有一种能够适合各种情况的万能机械。此外在地下连续墙施工中,成槽占全部施工时间的一半左右,保证成槽效率是提高地下连续墙施工效率的关键。所以根据施工现场的地质条件、墙体尺寸及施工环境等选择适当的施工机械可以提高成槽效率,保证成槽质量。

5.2.4.2 本款规定了单元槽段的划分原则,并根据国内实践经验及现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)的有关规定,给出了单元槽段的长度范围。

5.2.4.3 由于槽壁形状基本决定墙体外形,成槽的精度基本决定了墙体的制作精度,所以在成槽过程中加强对其垂直度、宽度和泥浆性能指标等的观测,并随时加以修正才能保证成槽质量。如

果成槽过程中槽壁严重坍塌,不仅会埋住成槽机械、使工期延误并造成墙体缺陷,更严重的可能引起地面沉陷而使机械倾覆,对邻近建筑物和地下管线等造成损坏,甚至造成人员伤亡。因此,槽壁坍塌是地下连续墙施工的严重事故。在施工中通常要对是否有槽壁坍塌的危险进行研究,并采取相应措施,如选择合适的成槽工艺及设备、缩小槽段长度、改善泥浆质量、尽量减少施工中对土的扰动、保证泥浆安全液位和减少地面荷载等。施工中当观测到壁面有坍塌迹象,如泥浆大量漏失、排土量超出设计断面的土量、导墙及附近作业地面沉降和泥浆内有泡浆上冒时等,要迅速提出钻机,并在槽内及时回填好粘土等。

5.2.4.4 槽底沉渣很难被混凝土置换出来,沉渣残留在槽底不仅会使地下连续墙的承载力降低、沉降加大,而且还会影响墙体底部的截水防渗能力,成为产生管涌的隐患;沉渣混进浇筑的混凝土内还会降低混凝土的强度;如果在混凝土浇筑过程中,由于混凝土的流动将沉渣带至单元槽段接头处,则将严重影响接头部位的抗渗性;沉渣会降低混凝土的流动性及浇筑速度;沉渣还可能造成钢筋笼插不到位或上浮,以致使结构配筋发生变化;沉渣会加速泥浆的变质;沉渣还会使浇筑的混凝土外表疏松夹泥部分和上部浮浆增加。因此,清槽是地下连续墙施工的一项重要工作。接头处的土渣一方面是由于混凝土流动推挤到单元槽段接头处,另一方面是先施工的槽段接头面上附有的泥皮和土渣,因此为保证单元槽段接头部位的抗渗性能,在清槽过程中还要对先施工的墙体接头面上的土渣和泥皮用刷子刷除或用水枪喷射高压水冲洗。本款规定的清槽和泥浆置换质量标准系根据现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)的有关规定制定。

5.2.4.5 本款规定的槽段开挖质量标准系参照现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)的有关规定制定。

5.2.5.2 本款的目的是使墙体主筋有可靠的保护层,通常在钢筋笼上加焊钢垫板。

5.2.5.4 钢筋笼入槽时,如强行冲击下放,会引起钢筋笼变形

或槽壁坍塌,产生大量沉渣。当钢筋笼不能顺利插入槽内时,通常要重新吊出,查明原因并采取相应措施。

5.2.5.6 钢筋笼吊放入槽过程中往往会从槽壁刮落泥皮,此外在第一次清槽后也会有少部分悬浮在泥浆中的渣土逐渐下沉到槽底。因此,为保证施工质量,进行二次清槽非常必要。

5.2.5.7 本款系参照现行行业标准《港口工程质量检验评定标准》(JTJ 221)和交通部强制性专项标准《京唐港地下连续墙码头工程质量检验评定标准》(交水发[2001]560号)的有关规定制定。

5.2.6.1 现浇地下连续墙混凝土配合比设计要考虑采用导管法在泥浆中浇筑的特点。现浇混凝土的强度由于受施工因素的影响经常略低于陆上浇筑的混凝土强度,同时在整个墙面上混凝土强度的离散性也较大,因此现浇地下连续墙混凝土的配制强度比设计强度有所提高。根据现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的有关规定,确定水下混凝土陆上配制强度标准值为设计强度标准值的1.4~1.5倍。塌落度控制在200mm左右,主要是为了保证混凝土的流动性,满足水下施工要求。

5.2.6.2 本款规定在4h内浇筑混凝土主要是避免槽壁坍塌或降低钢筋握裹力。

5.2.6.3 采用导管法浇筑混凝土时,如果导管埋入深度太浅,可能使混凝土浇筑面上面的被泥浆污染的混凝土卷入墙体内,当埋入过深时,又会使混凝土在导管内流动不畅,在某些情况下还会产生钢筋笼上浮。根据以往施工经验,规定导管的埋入深度为2~4m。为了保证混凝土有较好的流动性,本款还规定了混凝土的浇筑速度。

5.2.6.4 导管间距过大或导管处混凝土表面高差太大易造成槽段端部和两根导管之间的混凝土面低下,泥浆易卷入墙体混凝土中。

5.2.6.5 在浇筑水下混凝土时,不能中断时间过长,一般可允许中断20~30min。中断时间过长,容易造成导管堵塞并影响混凝土的均匀性。随时掌握混凝土的浇筑量、上升高度和导管下口埋

入深度等,可以避免导管下口暴露在泥浆内,造成泥浆涌入导管。

5.2.6.6 在浇筑混凝土时,顶面往往存在一层浮浆,硬化后需要凿除。根据以往施工经验,混凝土需超浇 0.5~0.8m。

5.2.6.7 本款系参照现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的有关规定及地下连续墙施工特点制定。

5.2.7.1~5.2.7.3 现浇地下连续墙主要根据受力和防渗要求选择接头形式,目前常用的接头形式有接头管接头、接头箱接头和隔板式接头等。接头管接头因其施工简单,是目前应用最多的一种接头形式。接头管一般用钢制,大多采用圆型。接头箱接头可以使相邻槽段连接成整体,接头刚度较好,其施工方法与接头管相似。隔板式接头按隔板形状分为水平隔板、樁型隔板和 V 型隔板。由于隔板与槽壁之间难免有空隙,为防止新浇筑混凝土渗入,要在钢筋笼两边铺贴尼龙等化纤布。条文对接头的使用要求作了一般性的规定。

5.2.7.4 在混凝土初凝时适度转动或提拔接头管,可以防止混凝土与接头管粘连而造成提拔接头管困难。

5.2.8 本条规定系参照现行行业标准《港口工程质量检验评定标准》(JTJ 221)的有关规定制定。

5.3 预制地下连续墙施工

5.3.1.1~5.3.1.4 预制地下连续墙墙板的预制和吊运与钢筋混凝土板桩相同,故其要求按现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)有关规定执行。

5.3.2 预制地下连续墙成槽对导墙和泥浆的要求与现浇地下连续墙完全相同,故上述工序按现浇地下连续墙的要求执行。考虑到安插预制墙板的需要,本条还规定了挖槽宽度比预制墙板设计厚度富余范围。

5.3.3 将槽段中的泥浆用自凝泥浆置换,是为了使预制地下连续墙墙体能有效地承受墙体前后的土压力,且不致使墙体下部向外产生较大的位移和墙体背后土体不致产生滑动或位移。本条给出

了自凝泥浆置换量的估算公式。

5.3.4 本条规定是为了保证自凝泥浆能有效地传递作用于墙板前后的土压力。

5.3.5 本条规定系根据现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)的有关规定制定。

5.3.7 本条规定是为了使自凝泥浆能有效地发挥作用。

6 支撑结构和锚拉系统施工

6.1 一般规定

6.1.1 地下连续墙墙体与支撑结构或锚拉系统的设计是考虑了在土压力、水压力和地面荷载等的作用下,按照不同的设计状况和预定的施工顺序而进行的。改变设计工况,墙体与支撑结构或锚拉系统的受力状态也将会发生变化。

6.1.2 本条规定是基坑开挖的基本原则。它对控制基坑位移,防止意外事故至关重要。

6.1.4.1 凿除预制墙板顶部时,如果新浇筑的混凝土强度偏低,将会影响其终凝强度及其与空腔壁的粘着力。

6.1.4.3 本款规定系参照现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)的有关规定制定。

6.1.4.4 此款规定系根据国内施工经验制定。

6.2 支撑结构施工

6.2.2 本条规定是为了有效控制墙体变形而在钢支撑节点间设置千斤顶和压力计等预加轴力装置。

6.2.5 主体结构外墙与支护地下连续墙之间的换撑传力结构常使用现浇混凝土板块或短撑,其截面按传力大小由计算确定。对于排桩式支护地下连续墙,当每根桩都设置相应短撑时,一般不设腰梁。在港口工程中常常在支护地下连续墙墙体与主体结构外墙之间回填块石或夯实粘土,也能起到传力作用。

6.2.6 本条规定系参照现行行业标准《建筑基坑工程技术规范》(YB 9258)的有关规定制定。

6.3 土层锚杆施工

6.3.2.1 本款规定系参照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120)的有关规定制定。

6.3.2.3 使用膨润土泥浆会在孔壁上形成泥皮,降低土层锚杆的承载力。

6.3.5.3 试验表明土层锚杆施工技术的关键是二次注浆,二次注浆的浆液冲破一次注浆浆体向锚固体与土体接触面之间扩散,使锚固体扩大,增加径向压应力。由于挤压作用,使锚固体周围的土体受到压缩,孔隙比减小,含水量降低,提高了土的抗剪强度。因此二次注浆可显著提高土层锚杆的承载力。本款规定了二次注浆开始的时间、注浆压力和注浆量。

6.3.6 本条规定系参照现行行业标准《建筑基坑工程技术规范》(YB 9258)和《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120)的有关规定制定。

6.3.7.2 本款规定系根据现行行业标准《建筑基坑工程技术规范》(YB 9258)的有关规定制定。

附录 A 水平地基反力系数计算

A.0.2 表 A.0.2 中给出了目前国内工程中常用的地基土 m 值的经验性取值。对重要工程,水平地基反力系数及 m 值建议由试验确定,或按其他经论证的方法采用。

附录 B 直线形支护地下连续墙的土压力、内力和变位计算

B.0.1 对多锚地下连续墙结构,墙体的水平变位较小,特别是在锚着点或支撑点附近墙后土压力有可能达不到主动土压力的极限值,这种情况就需要根据墙体的水平变位计算墙后土压力。另外在一些情况中,当墙体底端出现负向变位时,负变位段墙后的土压力已远大于主动土压力,该段墙后土压力也应考虑水平变位的影响。

附录 C 环梁和墙体的等效弹性 支撑系数计算

圆形地下连续墙一般有环梁支撑,在墙后土压力作用下,支撑环梁和墙体本身均会有环向效应,该环向效应是一种空间作用。当墙体和支撑环梁是轴对称结构,且墙后的土压力作用也为轴对称时,可将墙体和支撑环梁简化成平面问题求解。在平面问题中,支撑环梁和墙体本身的空间环向效应可用支撑弹簧来模拟。计算中,每一道支撑环梁可用一道支撑弹簧来替代,墙体本身的空间环向效应则用沿墙体深度方向的分布弹簧来替代。支撑环梁的等效弹性支撑系数计算如下。

环梁的受力和变形如图 C.0.1 所示。环梁的轴压力按式 (C.0.1-1) 计算,环梁在轴压力作用下会沿圆周方向产生压缩变

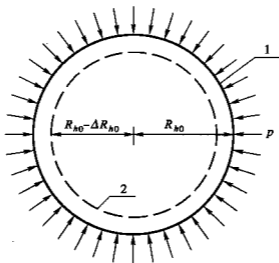


图 C.0.1 环梁的受力和变形

1-环梁初始中心线;2-环梁变形后的中心线;

R_{h0} -环梁初始中心线半径; ΔR_{h0} -环梁中心线半径的变形量; p -环梁的径向压力

形,使环梁中心线的周长变短,半径减小。环梁的压缩应变按式(C.0.1-2)计算,环梁中心线的周长缩短量按式(C.0.1-3)计算。环梁中心线周长的变化量与半径变化量之间的关系按式(C.0.1-4)计算,根据式(C.0.1-3)和式(C.0.1-4)可导得式(C.0.1-5)。式(C.0.1-5)中,环梁的径向压力即为环梁对环向单位长度墙体的支撑力,半径的变化量即为墙体的变位量,如果将环梁的支撑作用以等效支撑弹簧来替代,则式(C.0.1-5)所表述的就为单位长度墙体上环梁的等效弹性支撑系数,故得到式(C.0.1-6)即附录 C 中的式(C.0.1)。

$$N = R_{h0}p \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$\epsilon = \frac{N}{E_h A_h} = \frac{R_{h0}p}{E_h A_h} \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$\Delta l_h = l_h \epsilon = 2\pi R_{h0} \frac{R_{h0}p}{E_h A_h} = 2\pi \frac{R_{h0}^2}{E_h A_h} p \quad (\text{C.0.1-3})$$

$$\Delta l_h = 2\pi R_{h0} - 2\pi (R_{h0} - \Delta R_{h0}) = 2\pi \Delta R_{h0} \quad (\text{C.0.1-4})$$

$$\frac{p}{\Delta R_{h0}} = \frac{E_h A_h}{R_{h0}^2} \quad (\text{C.0.1-5})$$

$$K_h = \frac{E_h A_h}{R_{h0}^2} \quad (\text{C.0.1-6})$$

式中 N ——环梁的轴向压力(kN);

R_{h0} ——环梁初始中心线半径(m);

p ——环梁的径向压力(kN/m);

ϵ ——环梁的轴向压应变;

E_h ——环梁材料的弹性模量(kN/m²);

A_h ——环梁的横截面积(m²);

Δl_h ——环梁中心线周长的变化量(m);

ΔR_{h0} ——环梁中心线半径的变化量(m);

K_h ——环梁的等效弹性支撑系数(kN/m²)。

计算墙体本身空间环向效应的等效弹性支撑系数时,在计算

深度处,从圆形墙体中横向截取出单位高度的环形墙体,该环形墙体就相当于一个支撑环梁,按上述方法可求得附录 C 中的式 (C.0.2)。

圆形支护地下连续墙墙体本身的环向效应可用地基土的弹性嵌固效应描述。当墙体厚度为 1m,墙体混凝土强度等级为 C30,弹性模量为 $3.0 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$,墙体中心线半径为 10m 时, $K_d = 3.0 \times 10^5 \text{ kN/m}^3$,这种情况下墙体的环向作用效应相当于平直地下连续墙墙体在砾石、碎石地基中 10m 埋深处所受到的水平抗力作用;当墙体中心线半径为 31.6m 时, $K_d = 3.0 \times 10^4 \text{ kN/m}^3$,这种情况下墙体的环向作用效应相当于平直地下连续墙墙体在粉砂、硬粘土地基中 10m 埋深处所受到的水平抗力作用;当墙体中心线半径为 50m 时, $K_d = 1.2 \times 10^4 \text{ kN/m}^3$,这种情况下墙体的环向作用效应相当于平直地下连续墙墙体在粉砂和粘土地基中 4m 埋深处、或在淤泥地基中 10m 埋深处所受到的水平抗力作用。