

ICS 93.160  
CCS P 55

# 团体标准

T/GDHES 00X—2024

## 预应力混凝土 U 形板桩应用技术规程

Technical specification for application of prestressed concrete  
U-shaped sheet piles

(报批稿)

2024 - XX - XX 发布

2024 - XX - XX 实施

广东省水利学会 发布

## 目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基本规定.....	2
5 设计.....	2
5.1 一般规定.....	2
5.2 结构选型.....	3
5.3 荷载及组合.....	4
5.4 稳定性计算.....	4
5.5 结构内力与变形计算.....	5
5.6 冲刷计算.....	5
5.7 安全监测.....	5
5.8 生态设计.....	5
6 施工.....	6
6.1 一般规定.....	6
6.2 机械臂液压振入法沉桩.....	7
6.3 振动锤振入法沉桩.....	7
6.4 锤击法沉桩.....	8
6.5 植桩法沉桩.....	10
6.6 引孔辅助沉桩.....	10
6.7 高压射水辅助沉桩.....	10
6.8 冠梁施工.....	10
6.9 回填土施工.....	11
6.10 生态施工.....	11
7 质量检测与工程验收.....	11
7.1 一般规定.....	11
7.2 进场检验.....	11
7.3 施工质量检验.....	12
7.4 工程验收.....	13
附录 A（资料性） 预应力混凝土 U 形板桩截面形式.....	14
附录 B（资料性） 预应力混凝土 U 形板桩结构形式.....	15
附录 C（资料性） 竖向弹性地基梁法计算模型.....	18
附录 D（资料性） 预应力混凝土 U 形板桩挡墙抗倾覆稳定性计算.....	19
附录 E（资料性） 预应力混凝土 U 形板桩挡墙渗透稳定性验算.....	21
附录 F（资料性） 预应力混凝土 U 形板桩挡墙结构内力及变形、结构强度计算.....	22
附录 G（资料性） 河岸冲刷计算.....	24
附录 H（资料性） 预应力混凝土 U 形板桩生态布置形式.....	25
附录 I（资料性） 预应力混凝土 U 形板桩挡墙施工质量验收评定.....	26

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省水利水电科学研究院提出并负责具体技术内容的解释。

本文件由广东省水利学会归口。

本文件起草单位：广东省水利水电科学研究院、广东省水利水电技术中心、中山市大禹混凝土有限公司、珠海市规划设计研究院、江门市科禹水利规划设计咨询有限公司、内蒙古自治区水利科学研究院。

本文件主要起草人：黄锦林、张伟东、叶合欣、罗日洪、潘运方、付传雄、苏海涛、张建、谈维汉、蔡荣、何民辉、徐小飞、张新和、刘乐吟、刘鹏、涂强、谭庆俭、杨小康、刘诗坤、赖穗斌、冯仲明、贾飏、何国柱、李兆恒、余心韵。

# 预应力混凝土 U 形板桩应用技术规程

## 1 范围

本文件规定了广东省水利工程建设中预应力混凝土U形板桩应用的设计、施工、质量检测和工程验收技术要求。

本文件适用于广东省内水利行业采用预应力混凝土U形板桩的支挡工程，其他行业采用预应力混凝土U形板桩或类似桩型的支挡工程可参照使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- JC/T 2602 预应力混凝土U形板桩
- JGJ/T 23 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程
- JGJ 106 建筑基桩检测技术规范
- JGJ 120 建筑基坑支护技术规程
- SL 176 水利水电工程施工质量检验与评定规程
- SL 191 水工混凝土结构设计规范
- SL 252 水利水电工程等级划分及洪水标准
- SL 377 水利水电工程锚喷支护技术规范
- SL 379 水工挡土墙设计规范
- SL 386 水利水电工程边坡设计规范
- SL 654 水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范
- SL 725 水利水电工程安全监测设计规范
- SL 744 水工建筑物荷载设计规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**预应力混凝土 U 形板桩** prestressed concrete U-shaped sheet piles

采用先张法预应力技术制作的结构截面为U形的混凝土桩，以下简称“板桩”。

### 3.2

**预应力混凝土 U 形板桩挡墙** retaining wall of prestressed concrete U-shaped sheet piles

将预应力混凝土U形板桩打入地基内，作为抵抗水平方向土压力及水压力的支挡结构，以下简称“板桩挡墙”。

### 3.3

**入土点** burial point

板桩挡墙与墙前设计泥面交接点。

### 3.4

**机械臂液压振入法沉桩** pile driving by mechanical arm pressing and vibrating

采用履带行走挖掘机配上专用的高频液压振动锤进行沉桩的施工方法。

### 3.5

**振动锤振入法沉桩** pile driving by vibrating hammer

用起重设备吊起振动锤，振动锤的钳口夹住板桩头部，利用振动锤的激振力和重量，把板桩压入土中的沉桩方法。

### 3.6

#### 锤击法沉桩 pile driving by hammering

利用桩锤自由落下的冲击力克服土对板桩的阻力，使板桩沉到预定深度或达到持力层的沉桩方法。

### 3.7

#### 植桩法沉桩 pile driving by planting

先采用桩机在板桩位置造孔（孔径不小于桩外形尺寸）并注浆，然后用机械臂液压振入法或振动锤振入法将板桩插入充满水泥浆的孔内，使板桩牢固植入土层的沉桩方法。

### 3.8

#### 引孔辅助沉桩 pilot hole assisted pile driving

板桩沉桩前先用特制钢钎在板桩位置插拔，带出部分泥土成孔，或采用螺旋钻等方式成孔，再用机械臂压入法或振动锤振入法将板桩沿预先形成的孔沉入相应位置的沉桩方法。

### 3.9

#### 高压射水辅助沉桩 high pressure water injection assisted pile driving

在砂层或砂土层中沉桩时，采用高压水冲射砂土，以减少沉桩阻力的辅助沉桩方法。

## 4 基本规定

- 4.1 板桩应用时应遵循技术先进、经济合理、安全适用、生态环保的原则。
- 4.2 板桩的规格型号及产品质量应符合 JC/T 2602 的规定。
- 4.3 板桩的平面布置应结合规划条件、自然地形及水流条件、景观要求等进行确定，宜平直整齐，避免出现不规则的转角，转折处宜采用平缓曲线过渡衔接，局部折线衔接可采用现浇式挡墙进行过渡衔接。
- 4.4 板桩作为永久建筑物时，应满足自身防腐蚀要求。
- 4.5 板桩应用时宜增设桩身生态孔、桩间凹槽、冠梁花槽等生态化措施。
- 4.6 板桩应用时宜采取防止墙后土体从墙体接缝中流失的措施。
- 4.7 板桩适用于土质地基，坚硬土层宜采用引孔措施沉桩。
- 4.8 板桩应用时入土点以上悬臂高度宜小于 5m，如超过 5m，宜增设锚杆（索）措施。
- 4.9 板桩应用除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 5 设计

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 板桩在具体工程中的适用性，应通过技术、经济等多方面综合比选确定。
- 5.1.2 板桩挡墙设计前需收集以下基础资料：
  - a) 涉及用地、防洪标准等相关规划资料；
  - b) 工程地质、水文、地形资料；
  - c) 场地周边现状地下管线、暗涵、桩基等物探资料；
  - d) 场地周边地表现状建（构）筑物资料；
  - e) 场地周边交通运输条件；
  - f) 现状场地的地基处理资料。
- 5.1.3 板桩挡墙设计主要包括以下内容：
  - a) 结构选型；
  - b) 荷载及组合；
  - c) 稳定性计算；
  - d) 结构内力及变形计算；
  - e) 冲刷计算；
  - f) 安全监测。
- 5.1.4 板桩挡墙抗渗稳定性、整体稳定性、抗倾覆稳定性及锚碇墙抗滑稳定性等安全系数，应根据构筑物级别确定。板桩挡墙的构筑物级别应根据用途要求，按 SL 252、SL 379、SL 386 等确定。

- 5.1.5 板桩挡墙结构计算应采用承载力极限状态设计法，变形验算应采用正常使用极限状态设计法。
- 5.1.6 预应力混凝土 U 形板桩宜优先采用符合 JC/T 2602 要求的预制品，且其材料强度、保护层厚度、耐久性等应符合 SL 191、SL 654 等相关要求。
- 5.1.7 板桩挡墙结构受力及稳定性计算所采用地基土物理力学指标，应通过土工试验确定。
- 5.1.8 锚碇墙式板桩挡墙宜设置导梁和冠梁，导梁与冠梁可合为胸墙。
- 5.1.9 冠梁应设置于板桩挡墙顶部，可采用现浇或预制。
- 5.1.10 现浇冠梁应通过预留钢筋或剥离板桩头混凝土保留主受力筋的形式，使冠梁与板桩主受力筋紧密衔接。其构造要求宜符合以下规定：
- 冠梁外缘距离板桩不宜小于 50mm，板桩顶伸入冠梁内不宜小于 50mm，高度宜为  $0.5H\sim 0.8H$ （ $H$  为板桩截面高度）；
  - 板桩顶伸入冠梁内的锚固筋长度不宜小于  $30d$ （ $d$  为锚固钢筋直径）；
  - 板桩挡墙冠梁顶部一般不设横撑，不考虑冠梁与板桩共同作用，冠梁可按 SL 191 进行构造配筋；
  - 冠梁应设置变形缝，变形缝宽度宜为 20mm~30mm，变形缝内可采用沥青麻絮等柔性材料填充。变形缝间距宜为 15m~30m，变形缝的位置应与下部板桩的接缝保持一致，具体可根据地质条件、拉杆间距或设计条件变化适当调整。在地质条件、挡土净高变化较大或板桩截面尺寸变化等情况宜按实际情况设置分缝；对于锚碇墙式板桩挡墙，分缝位置宜设于相邻拉杆中间处。
- 5.1.11 预制冠梁可采用“倒置 U 形槽”形式，与板桩进行嵌套连接。U 形槽侧壁厚度不宜小于 100mm，套入板桩的深度不宜小于 250mm，槽口尺寸宜大于板桩外轮廓宽度 20mm，槽底构造要求参考现浇冠梁。
- 5.1.12 预制冠梁安装完成之后，每块板桩与槽壁之间应采用满足耐久性要求的楔形树脂或橡胶块塞紧，塞填物宜完全嵌入槽壁，最大厚度不宜小于 25mm，平面尺寸不宜小于 50mm×100mm。
- 5.1.13 板桩挡墙排水设计应符合 SL 379 的规定，有排水设计要求的，墙身排水构造要求应符合以下规定：
- 排水孔沿高度方向分排布置；
  - 排水孔间距不大于 2m，排水孔直径为 50mm~80mm；
  - 排水孔应做好反滤设施。
- 5.1.14 墙后填土地面宜采取设置地面排水沟、地表硬化等排水设施。
- 5.1.15 锚碇墙式板桩挡墙中所采用的拉杆、锚碇墙、导梁等具体结构，应结合受力要求进行设计且应符合 SL 191、SL 379 等相关要求，其构造要求应符合以下规定：
- 拉杆中部应设置可施加预紧力的装置，拉杆及预紧装置宜采用高强度耐腐蚀性钢材，拉杆钢构件尺寸应考虑使用期间可能发生的腐蚀量；
  - 场地运行期可能发生较大沉降情况时，应针对拉杆及锚碇墙区域按控沉要求进行地基处理；
  - 拉杆与锚碇墙、板桩的连接处均应设置导梁进行连接，导梁宜采用钢筋混凝土结构形式。板桩处导梁可结合冠梁进行设置或单独设置于墙后，导梁分缝位置宜与冠梁保持一致。板桩处单独设置的导梁宜通过植筋或预留筋等方式与板桩紧密连接；
  - 锚碇墙宜采用现浇钢筋混凝土墙或预制钢筋混凝土板嵌入土体形成的连续墙形式，锚碇墙可采用 L 型、矩形或梯形。
- 5.1.16 对撑结构式板桩挡墙底部的横撑结构，应结合横撑受力要求进行设计，且应符合 SL 191 相关要求。当地基土在运行期内可能出现较大沉降时，应针对横撑位置按控沉要求进行地基处理，或者采用植筋等形式使横撑与板桩紧密连接。

## 5.2 结构选型

5.2.1 板桩的外形详见附录 A。板桩挡墙常用于土质地基，其具体的结构型式应结合地质条件、挡土高度、环境限制条件、河岸宽度等因素进行确定，常用结构型式包括单排板桩、双排板桩、锚碇墙式板桩、锚杆（索）板桩、对撑板桩等（详见附录 B），其适用条件见表 1。

表1 板桩挡墙常用形式及适用条件

结构形式	适用条件
单排板桩	适用于地质较好，挡土高度较小，对位移控制要求不高的板桩挡墙。

双排板桩	适用于地质较好，挡土高度适中，对位移控制要求较高的板桩挡墙。
锚碇墙式板桩	适用于各种地质情况，挡土高度较大，对位移控制要求较高的板桩挡墙。
锚杆（索）式板桩	适用于地质较好，挡土高度较大，对位移控制要求较高的板桩挡墙。
对撑板桩	适用于各种地质情况，河道宽度较窄，挡土高度适中，对位移控制要求较高的板桩挡墙。

### 5.3 荷载及组合

5.3.1 作用在板桩挡墙上的荷载可分为基本荷载和特殊荷载，具体包括以下内容：

- a) 基本荷载：
- 1) 墙后填土破裂角范围内的地面车辆、人群等附加荷载；
  - 2) 墙前常水位、设计洪水位、墙后正常地下水位情况下的土压力；
  - 3) 墙前常水位、设计洪水位、墙后正常地下水位情况下的静水压力；
  - 4) 墙前常水位、设计洪水位、墙后正常地下水位情况下的风浪压力；
  - 5) 淤积泥沙压力等。
- b) 特殊荷载：
- 1) 校核洪水位、墙后地下高水位情况下的土压力；
  - 2) 校核洪水位、墙后地下高水位情况下的静水压力；
  - 3) 校核洪水位、墙后地下高水位情况下的风浪压力；
  - 4) 地震荷载；
  - 5) 临时施工荷载等。

5.3.2 荷载组合分为基本组合与特殊组合。应根据实际情况选择可能同时出现的荷载，按基本组合与特殊组合分别进行计算，并按最不利的组合进行设计。

5.3.3 作用在板桩挡墙上的荷载计算及组合应符合 SL 379 相关规定。

### 5.4 稳定性计算

5.4.1 整体稳定性计算

- a) 板桩挡墙整体稳定性可采用瑞典圆弧滑动法进行计算，当下卧持力层内含有软弱夹层时应采用折线滑动法（复合圆弧滑动法）进行计算；
- b) 整体稳定性应按基本组合与特殊组合中的多种工况进行计算，安全系数应符合 SL 379 相关要求；
- c) 整体稳定性计算中圆弧的滑动可不考虑切断板桩和拉杆的情况，当河岸较窄时滑弧的出口可不考虑超出河道宽度范围内的情况；
- d) 土层抗剪强度的指标应根据具体运用情况进行选用，并符合 SL 379 相关要求；

5.4.2 抗倾覆稳定性计算

- a) 单排板桩、双排板桩、对撑板桩挡墙抗倾覆稳定性验算，应计算以板桩桩底为支点，墙前被动土压力与墙后主动土压力产生的弯矩比值，具体计算公式详见附录 B；
- b) 锚碇墙、锚杆（索）式板桩挡墙抗倾覆稳定性验算，应计算以拉杆为支点，墙前被动土压力与墙后主动土压力产生的弯矩比值，具体计算公式详见附录 D；
- c) 锚杆（索）相关要求及计算方法，可参照 GB 50330 相关规定。其中关于锚杆杆体抗拉安全系数、锚固体抗拔安全系数的取值见表 2。

表2 锚杆杆体抗拉安全系数、锚固体抗拔安全系数

挡墙级别	锚杆杆体抗拉安全系数	锚杆锚固体抗拔安全系数
1	2.2	2.6
2	2.0	2.4
3、4	1.8	2.2

- d) 抗倾覆稳定性计算应按基本组合与特殊组合中的多种工况进行计算，安全系数应符合 SL 379 相关要求。

5.4.3 抗渗稳定性计算

- a) 板桩挡墙有防渗要求时,板桩间接缝应采用止水胶条、灌浆、止水帷幕等可靠防渗措施,防止墙后土体从接缝间流失;防渗深度应通过抗渗稳定性计算要求确定。
- b) 止水胶条需与板桩凹槽之间压紧,确保止水效果。
- c) 板桩之间无止水胶条时,板桩间缝隙宽度不宜大于 10mm;每间隔不超过 3m 在常水位 0.5m 之上可留 1 道缝隙并设置反滤层作为排水孔,其余缝隙需采用砂浆、灌浆、止水帷幕等形式进行封堵。
- d) 板桩挡墙桩底若位于无粘性土透水层时,桩身防渗深度计算公式详见附录 E。

## 5.5 结构内力与变形计算

5.5.1 板桩挡墙结构内力计算应采用承载力极限状态设计法,根据基本组合和特殊组合中最不利的结果取值。

5.5.2 板桩挡墙结构强度计算应在规定的材料强度和荷载取值条件下,在采用多系数分析基础上,以安全系数表达式的方式进行设计,承载力安全系数及荷载分项系数可按照 SL 744 相关规定进行取值,并符合 SL 191 相关要求。

5.5.3 板桩挡墙变形计算应采用正常使用极限状态设计法,荷载宜取用标准值。

5.5.4 土质地基上板桩挡墙应根据有锚碇墙(锚杆)和无锚碇墙(锚杆)情况分别计算。无锚碇墙(锚杆)应按悬臂结构计算;有锚碇墙(锚杆)应按板桩挡墙施工顺序,在拉杆未受力前按悬臂结构计算,拉杆受力之后按有锚碇墙(锚杆)结构计算。锚碇墙可按立置的弹性基础板计算。

5.5.5 板桩挡墙还应验算板桩顶的水平位移,并控制入土点的变位值不宜大于 20mm。当采用单排悬臂板桩结构计算变形过大时,应考虑换用双排板桩、锚碇墙式板桩、锚杆式板桩、对撑板桩等结构型式控制变形。

5.5.6 板桩挡墙结构内力及变形计算可参照 JGJ 120 相关规定,详见附录 F。

## 5.6 冲刷计算

5.6.1 板桩挡墙前入土点位于水位以下时,应考虑水流冲刷的影响。冲刷影响一般分为顺河岸方向水流冲刷和垂直河岸方向水位降落冲刷,河岸冲刷计算公式详见附录 G。

5.6.2 当河岸计算冲刷深度影响板桩挡墙稳定性或结构安全时,应在水流冲刷影响范围内考虑抛石、砌石等防冲措施。

## 5.7 安全监测

5.7.1 板桩挡墙顶部宜设置水平位移、垂直位移等安全监测项目。

5.7.2 板桩挡墙顶部监测点的布置及要求应符合 SL 725 的有关规定。

## 5.8 生态设计

5.8.1 对于有生态性要求的板桩挡墙,可通过 U 形板桩间凹槽或冠梁顶设置花槽、墙顶设置生态护坡、桩身预留生态孔等形式,详见附录 H,提高其生态性。

5.8.2 生态植物的选择应综合考虑项目区种植规划、生态绿化效果、气候条件和土壤特性进行植物设计,以草本绿化为主、藤灌结合为辅,营造生物多样性和季相变幻多彩的生态景观。

5.8.3 生态设计植物选择宜符合以下要求:

- a) 选择具有良好水土保持功能的植物,以乡土物种为主、引种植种为辅;
- b) 引种植物要适应当地气候、抗旱性强、耐贫瘠、耐粗放管理;
- c) 选择种源容易获取、商品化程度高、种子质量好、播种时期长的植物;
- d) 选择不会在当地恶性生长,造成生态危害的植物种类;
- e) 选择绿期长、景观优美、与周边景观协调性好的植物;
- f) 选择根系固土能力强、枝叶茂密的植物种类。

5.8.4 地被植物可参考表 3 进行选择。

表3 地被植物选择参考表

草本及花卉	灌木及藤本
黑麦草、百喜草、狗牙根、香根草、画眉草、爬墙	双穗雀稗、紫穗槐、丁香、小冠花、干香

虎、白三叶、知风草、苇状羊茅、结缕草、葡茎翦股颖、双穗雀稗、假俭草、虻蜞菊、吉祥草、草决明、芒草	柏、苦刺花、蔓荆、豇豆、双花木、竹柏、木兰、五叶地锦、鸡血藤、金银花
--------------------------------------------------	------------------------------------

5.8.5 墙顶地面排水系统可与墙顶生态植被浇灌系统相结合，以提高植被存活率，降低管养成本。

5.8.6 城市区域建设对景观要求较高的板桩挡墙，可根据特殊要求进行定制，对低水位以上的板桩通过喷射混凝土、大理石漆等形成一体化面层，设置与景观要求相协调的颜色、花纹或造型。

## 6 施工

### 6.1 一般规定

6.1.1 板桩的沉桩施工方法选用宜符合表4的规定。

表4 板桩施工方法及适用岩土层

施工方法	适用的岩土层	可选辅助工法
机械臂液压振入法	淤泥、淤泥质土、可塑状粘土、粉土、砂土、细砂、中砂、粗砂、砾砂、粘土	引孔辅助沉桩
振动锤振入法		
锤击法	淤泥、淤泥质土、粉土、砂土、细砂、厚度 $\leq 3\text{m}$ 的中粗砂、粘土	
植桩法	硬粘土、密实砂土或卵石层、强风化岩	螺旋钻引孔

6.1.2 板桩沉桩施工前，应进行下列准备工作：

- a) 收集地勘报告、施工图纸等相关资料；
- b) 调查现场的地质、地形、水文、气象、道路通行等情况；
- c) 调查场地及毗邻区域内的地下及地上管线、建筑物及障碍物对沉桩施工影响；
- d) 处理或清除施工区域内影响沉桩的高空及地下障碍物；
- e) 满足施工设备操作空间、运输车辆通行或船舶的水深要求；
- f) 在不受施工影响的位置设置坐标、高程控制点及轴线定位点；
- g) 制订工艺试验方案、施工方案；
- h) 供电、供水、排水、道路、照明、通信、临设工房等的安设。
- i) 施工位置临近河流、斜坡、基坑等时，应有足够的安全措施和必要的应急预案，在临水施工面工作的人员必须穿救生衣、佩戴安全帽和安全带。

6.1.3 当板桩施工影响邻近建筑物、地下管线的正常使用和安全时，应调整施工方法或施工顺序，并宜采用下列一种或多种辅助措施：

- a) 控制沉桩速率、优化沉桩流程；
- b) 对被保护建筑物进行加固处理；
- c) 在施工场地与被保护对象之间开挖缓冲隔断沟槽；
- d) 采用高压射水、引孔等辅助工法。

6.1.4 施工时应应对前面已达到设计要求标高的板桩进行桩顶位移监测，发现浮桩及偏移应实施复打或纠正。

6.1.5 板桩施工可采用定位板桩和导向架等定位导向装置辅助施工（见图5），保证板桩的入土位置符合设计要求。

6.1.6 同一施工段内的板桩宜采用单根依次插入的方法施工，板桩尖的斜角朝着施工的行进方向，宜配套拉紧装置，把正在施工的板桩向已沉入的相邻板桩靠紧。

6.1.7 沉桩时，当板桩身垂直度偏差超过7.3.2规定的限值时应进行纠正，但不得用强行反向扳折的方法纠偏。

6.1.8 出现下列情况之一时，应暂停沉桩作业，并分析原因，采取相应措施：

- a) 板桩难以穿越密实土层，且没有达到设计桩长或嵌固深度；
- b) 出现异常响声，沉桩机械工作状态出现异常；
- c) 桩身出现明显裂缝和桩头混凝土出现剥落等异常现象；

- d) 板桩下沉突然加速、桩身倾斜脱榫或移位等异常现象;
  - e) 夹取板桩的夹持钳口打滑;
  - f) 沉桩机械下陷不能保证桩身垂直度。
- 6.1.9 板桩在沉桩过程中要注意保护预埋止水胶条,造成破损的,在沉桩后应采取适当的补漏措施,防止板桩后土体流失。
- 6.1.10 板桩榫槽内的预埋胶条应完好,出现损坏或脱落时,应按设计要求进行处理。当无设计要求时,可采用砂浆灌填,砂浆强度不宜低于 20MPa,灌填前应清理空腔中的泥土和杂物,并在两侧封模。
- 6.1.11 施工中遇到桩尖无法到达设计深度时,应及时向设计及监理单位报告,并查明原因,确定处理方案。经设计单位确认可截桩的,应采用专用锯桩器。
- 6.1.12 沉桩完成后应按照设计要求浇筑冠梁,也可以安装预制冠梁及生态构件。
- 6.1.13 有生态设计的,沉桩时应考虑后期生态构件的安装条件,保护好板桩身的预埋件、预留孔、凹凸槽口等。
- ## 6.2 机械臂液压振入法沉桩
- 6.2.1 机械臂桩机可采用重量分别为 20T~30T、30T~40T、40T~50T 的机型,其选型应符合下列要求:
- a) 桩机具备足够的举升高度,满足设计桩长的施工要求;
  - b) 桩机的总重量配合机械臂上的振动激振力应满足沉桩需要;
  - c) 桩机的起吊能力应大于最长板桩自重和外伸就位要求;
  - d) 桩机应能够在工程场地通行及展开施工。
- 6.2.2 机械臂的夹具应符合下列要求:
- a) 夹具应具有足够的强度及刚度;
  - b) 钳口应具有足够的夹持力;
  - c) 夹具外形应与板桩外形紧密贴合;
  - d) 夹具与板桩接触点设置缓冲垫,防止造成桩头破损。
- 6.2.3 沉桩施工质量控制应符合下列要求:
- a) 取板桩时夹具的钳口要对准板桩桩头平直段;
  - b) 桩机持桩行走时,应挂上安全链条,防止板桩松脱掉落;
  - c) 持板桩插入就位后,应松开钳口,调整好垂直度和机械臂的角度后再夹紧,振动压入沉桩;
  - d) 桩机转向及行走时应注意周边情况及人员,避免碰撞;
  - e) 当在密实的土层中板桩无法下沉时,可采取其他辅助沉桩措施。
- 6.2.4 水上施工可采用浮台或趸船等浮在水上的移动平台搭载机械臂桩机来实施,应有专项的施工组织方案和必要的安全措施:
- a) 水上移动平台应有足够的承载力和面积,满足机械臂桩机在平台上操作的要求;
  - b) 水上移动平台应有临时固定措施及装置,保证施工时平台不会发生移位和大幅度的摇摆;
  - c) 水上施工现场的所有人员必须穿戴救生衣和安全帽等防护用品,平台上应配备必要的救生用具;
  - d) 板桩可以均匀摆放在运输船或浮动平台上,距离足够时也可以摆放在陆地岸上。
- ## 6.3 振动锤振入法沉桩
- 6.3.1 振动锤有电动驱动式或者液压式,起重设备可采用履带式起重机或轮式汽车吊等其他专用设备,振动锤及起吊设备选型应符合下列要求:
- a) 振动锤的激振力应大于板桩与土的侧摩阻力;
  - b) 振动锤系统的总重量应大于板桩的端阻力;
  - c) 振动锤系统的工作振幅应大于板桩沉入到要求深度所需的最小振幅;
  - d) 振动锤钳口的夹持摩擦力应大于板桩的自重;
  - e) 起重机的起吊能力、高度、外伸距离等应满足振动锤和最长板桩的重量和施工要求;
  - f) 起重机应能够在工程场地通行及展开施工;
  - g) 常用桩锤型号和施工参数应考虑地质条件、板桩外形、板桩尖到达土层等因素,参考表 5 选用。

表 5 电动振动锤参考选用型号

桩锤型号	DZP120	DZP150	DZP180	DZP200	DZP240
电机功率 (kW)	120	150	180	200	240
激振力 (kN)	780	1000	1220	1270	1580
板桩规格 (mm)	300~450	450~550	550~600	600~700	800~1000
板桩长度 (m)	6~15	8~18	10~25	12~25	12~30
板桩尖到达土层	可塑~硬塑粘土、砂层、全风化岩				

注：表中型号仅作参考，选用时应根据设备厂家的实际功率和激振力指标进行选用，必要时宜通过试桩确定。

#### 6.3.2 振动锤夹具应符合下列要求：

- 夹具应具有足够的强度及刚度；
- 钳口应具有足够的夹持力；
- 夹具外形应与板桩外形紧密贴合；
- 夹具与板桩接触点设置缓冲垫，防止施工时造成桩头破损。

#### 6.3.3 沉桩施工的质量控制应符合下列要求：

- 宜采用起重机吊取板桩就位，或靠在牢固的物体上（如：定位板桩、岸墙等），以便振动锤的夹具夹持桩头；
- 沉桩前，桩身中心线应与振动锤中心线重合，利用振动锤的自重把板桩部分压入土中，然后再调整板桩的垂直度；
- 振入沉桩应连续作业，特别是穿过砂层时应避免长时间停歇；
- 起重机的操作手应按照主机手的指挥进行操作，配合振动锤和板桩入土的高度和速度，控制好起重机吊钩的位置和升降；
- 当在密实的土层中板桩无法下沉时，可采取其他辅助沉桩措施。

#### 6.3.4 水上施工可以采用浮台或趸船等浮在水上的移动平台搭载起重机和振动锤来实施，要有专项的施工组织方案和必要的安全措施：

- 水上移动平台应有足够的承载力和面积，满足起重机在平台上操作的要求；
- 水上移动平台应有临时固定措施及装置，保证施工时平台不会发生移位和大幅度的摇摆；
- 水上施工现场的所有人员必须穿戴救生衣和安全帽等防护用品，平台上应配备必要的救生用具；
- 板桩可以均匀摆放在运输船或浮动平台上，距离足够时也可以摆放在陆地岸上。

### 6.4 锤击法沉桩

#### 6.4.1 锤击法施工可以采用柴油锤或液压锤，打桩机和桩锤的选用应符合下列要求：

- 可选择陆上打桩机（履带式或滚筒式）、打桩船或打桩平台；
- 打桩机或打桩船应具备平稳、运转灵活、能够精确调整插入角度的功能，打桩机的底盘和桩架的型号应与桩锤、桩型相匹配；
- 常用桩锤型号和施工参数应考虑地质条件、板桩外形、板桩尖到达土层等因素，参考表 6 或表 7 选用。

表 6 柴油锤桩机参考选用型号

桩锤型号	40~50#	60~62#	72~80#	100~125#	160#
锤芯重量 (kN)	40, 45 46, 50	60, 62	72, 80	100, 125	160
常用冲程 (m)	1.5~2.5	1.5~2.8	1.8~2.8	1.8~2.5	1.8~3.2
板桩规格 (mm)	300~450	450~550	550~600	600~700	800~1000
板桩长度 (m)	6~15	8~18	10~25	12~25	12~30

板桩尖到达土层	可塑~硬塑粘土、砂层、全风化岩	
常用贯入度 (mm/10 击)	40~70	40~80

注：选用设备时应根据板桩的用途、入土深度、有效嵌固段的长度等综合考虑，贯入度仅作为支护桩施工的参考参数，必要时宜通过试桩确定。

表 7 液压锤桩机参考选用型号

桩锤型号	HHP14	HHP16	HHP20
锤芯重量 (kN)	140	160	200
提锤高度 (m)	0.2~0.5	0.2~0.7	0.2~0.9
板桩规格 (mm)	300~500	500~700	700~1000
板桩长度 (m)	6~20	10~25	10~32
板桩尖到达土层	可塑~硬塑粘土、砂层、全风化岩		
常用贯入度 (mm/10 击)	40~60	40~70	40~80

注：选用设备时应根据板桩的用途、入土深度、有效嵌固段的长度等综合考虑，贯入度仅作为支护板桩施工的参考参数，必要时宜通过试桩确定。

#### 6.4.2 桩帽及锤垫、桩垫的选择宜符合下列要求：

- 桩帽应与板桩截面相匹配；
- 桩帽的上部与桩锤之间应设置锤垫，锤垫宜选用橡胶垫、棕绳等弹性较好的材料，厚度宜为 150mm~200mm。锤垫应均匀平整，弹性锤垫上、下钢压板的厚度不宜小于 40mm，锤垫失去弹性、钢压板发生倾斜或呈锅底形时应更换；
- 桩帽套筒与桩头之间应设置桩垫，桩垫宜选用橡胶垫、纸皮、木板等弹性材料，形状与桩头相同，压实厚度不宜小于 120mm。

#### 6.4.3 施工时最大锤击压应力不应超过混凝土轴心抗压强度设计值，最大锤击拉应力不应超过混凝土轴心抗拉强度设计值。

#### 6.4.4 送桩器与桩垫宜符合下列要求：

- 送桩器宜选用 Q235 或 Q355 钢材制作，两端面的焊接钢板厚度不宜小于 30mm；
- 送桩器截面应与板桩截面相匹配，长度应满足送桩深度要求；
- 送桩器下端的套筒形状与板桩相同，内尺寸宜比板桩截面大 20mm~25mm，套筒深宜为 200mm~300mm；
- 送桩时送桩器与桩头间应设置桩垫，桩垫宜选用橡胶垫、纸皮、木板等弹性材料，形状与桩头相同，压实厚度不宜小于 50mm；
- 送桩器应上下端面应平整，且与送桩器中轴线垂直。

#### 6.4.5 沉桩施工的质量控制应符合下列要求：

- 板桩起吊点应符合设计要求，不得采用钢丝绳在地面拖拉；
- 板桩沉桩施工时，桩锤上下运动轨迹应与桩身中心线重合；
- 锤击法施工应连续作业，避免在硬粘土或砂层中长时间停歇；
- 锤击法施工宜采用重锤低击的方式，应根据桩的规格以及锤型控制桩锤的起落高度和沉桩锤击数。

#### 6.4.6 水上锤击施工宜采用专用的打桩船，采用移动锤击桩机时应架设稳固的施工平台，且有专项的施工组织方案和必要的安全措施：

- 打桩船应有足够的装载容量和甲板面积，满足施工的要求；
- 打桩船应有足够的锚定装置或临时的固定措施，保证施工时船体不会发生移位和大幅度的摇摆；

- c) 临时架设的施工平台应足够坚固，满足锤击桩机在平台上移动和施工的要求；
- d) 水上施工现场的所有人员必须穿戴救生衣和安全帽等防护用品，平台上应配备必要的救生用具；
- e) 板桩可以均匀摆放在施工的打桩船或其他运输船上，距离足够时也可以摆放在陆地岸上。

## 6.5 植桩法沉桩

6.5.1 植桩法施工应先采用搅拌桩机或旋喷桩机在设计桩位处施工搅拌桩或旋喷桩，后采用机械臂液压振入法或振动锤振入法将板桩沉入预先施工的孔位。

6.5.2 采用植桩法沉桩时，施工前应进行沉桩试验，确定施工工艺和施工参数。

6.5.3 冬季施工时宜在水泥土搅拌桩或旋喷桩施工后 6 小时内完成植桩，夏季施工时宜在 4 小时内完成植桩。

6.5.4 植桩法施工时，应符合下列要求：

- a) 搅拌桩或旋喷桩的直径宜比板桩外形尺寸大 30mm~100mm；
- b) 对于连续密排的板桩，搅拌桩或旋喷桩应连续搭接，搭接处最小宽度应大于板桩的桩身厚度；
- c) 搅拌桩或旋喷桩施工深度宜比板桩桩尖深 0.3m~0.5m；
- d) 施工前应对施工区域的地下障碍物进行探查，如有障碍物应对其进行清理并回填素土，分层夯实；
- e) 搅拌桩或旋喷桩应连续施工，对于超过 24 小时未植桩的桩孔，应进行复搅或复喷；
- f) 植入板桩前应将桩孔附近的返浆处理干净；
- g) 宜采用 PO 42.5 水泥，水泥掺量及配合比应根据地基土的性质和地下水情况现场试配确定。

6.5.5 植桩法沉桩时应采取导桩和导向架等定位导向装置辅助施工。

## 6.6 引孔辅助沉桩

6.6.1 引孔机的选型应满足下列要求：

- a) 钻（挖）孔深度应满足桩长的设计要求；
- b) 钻（挖）能力应满足土层的钻挖要求。

6.6.2 引孔辅助施工应满足下列要求：

- a) 引孔前应进行测量放线，确保引孔位置符合板桩施工要求；
- b) 引孔后应尽快进行板桩沉桩施工，一般引孔机比桩机沿施工水平轴线方向先行施工不小于 10m，引孔后沉桩的间隔时间不宜超过 12 小时；
- c) 钻孔直径或开槽宽度应根据板桩的高度和土层的密实度来调整，可以连续引孔，也可以间隔引孔；
- d) 为保证板桩沉桩后的锚固效果，引孔时可采用引水或冲水淹没孔位，成孔后留下的沟槽和空洞应采取必要的安全防护措施，防止跌落。

## 6.7 高压射水辅助沉桩

6.7.1 当遇到较密实的砂土、较厚的砂层，采用机械臂液压振入法、振动锤振入法、锤击法等施工方法沉桩困难时，可以采用高压射水措施辅助沉桩。高压射水可分为内置射水及外置射水两种方式。

6.7.2 内置射水要在板桩生产时预埋射水管，管道纵向贯通整根板桩，桩尖开口，桩顶管口预留内牙螺母。施工时高压水泵的出水管与预埋射水管连接，高压水从桩顶通过桩内预埋管道直达桩尖出水口，冲切桩尖附近的砂土。

6.7.3 外置射水可以在板桩施工时，用两头开口的钢制水管沿板桩的边沿插入土中，水管上部连接高压水泵出水口，随着板桩的下沉把射水管往下插入，高压水冲切桩尖附近的砂土。

6.7.4 采用高压射水辅助沉桩时，附近应有足够的水源，且有合适的排水措施。

6.7.5 使用高压水泵的流量和水压应满足施工要求。

## 6.8 冠梁施工

6.8.1 冠梁的尺寸和板桩钢筋伸入长度应满足设计要求。

6.8.2 冠梁应分段设置伸缩缝，分段长度应满足设计要求。

6.8.3 在受水位影响条件下施工时，应在低水位施工，并保持混凝土的浇筑面在混凝土初凝前不被

水淹没。

6.8.4 冠梁受施工条件影响时，可采用预制冠梁。安装预制冠梁时应先将局部高出设计标高的桩头截除找平，预制冠梁与板桩的嵌入深度应满足设计要求；预制冠梁安装时应注意避免预制块损伤。

6.8.5 一般情况下，冠梁应在墙后回填土施工前完成。

## 6.9 回填土施工

6.9.1 回填的时间、顺序和速度应满足设计要求。当采用锚碇墙式板桩挡墙时，宜按先回填锚碇墙土体，再回填板桩挡墙后土体，最后进行上部回填的顺序进行施工。

6.9.2 回填土宜按压实度控制，压实度应与所属水工建筑物的级别、所在部位相协调。填土应分层压实，分层厚度不宜大于 300mm。

6.9.3 回填应符合下列规定：

- a) 回填应与拉杆的安装和张紧度施工相协调；
- b) 沿轴线方向的回填应均匀，并应按照从前墙纵轴线向后方呈扇形推进的原则进行；
- c) 墙后反滤层施工应与后方回填施工协调安排，宜采取分段施工、平行推进的方法；
- d) 回填时不得损坏拉杆和外敷包裹层；
- e) 回填及压实应沿着与拉杆平行的方向进行；当采用碾压法回填拉杆上部土时，覆土厚度不宜小于 500mm。

6.9.4 墙前挖土宜在墙后填土完成后分层进行。

## 6.10 生态施工

6.10.1 板桩的生态施工包括板桩身预留生态孔、生态冠梁施工，以及安装外置花槽构件、生态种植袋等，宜在板桩沉桩施工完成后实施。

6.10.2 板桩桩身预留生态孔应避免纵向预应力主筋，且不得影响板桩桩身强度。

6.10.3 桩身预留生态孔的板桩，在沉桩完成时宜在孔内填充素土，放置花草种苗，并用水浸润。

6.10.4 生态冠梁包含现浇和预制两种方式。生态冠梁应按设计要求预留连接钢筋，且保证板桩顶完全套进冠梁底部，完成后按种植要求填充种植土，再按景观设计要求进行绿化种植。

6.10.5 板桩外安装花槽构件宜在冠梁浇筑或安装后进行。当安装用到螺栓或钢筋等金属制品时，应采用相应的防腐措施，确保构件的耐久性。

6.10.6 板桩外花槽安装后应按照种植要求填充种植土，再按照景观设计要求进行绿化种植。

6.10.7 当采用外挂种植袋时，应注意种植袋与板桩的挂靠方式，确保种植袋牢固附着在板桩外面不脱落。

6.10.8 进行景观设计时，种植土及植物种类应满足当地的气候和所在地的水文条件。

## 7 质量检测与工程验收

### 7.1 一般规定

7.1.1 板桩挡墙应进行质量检测及工程验收，其中质量检测包括板桩进场检验及板桩挡墙的施工质量检测。

7.1.2 进场提供的检验资料应完整，其主要内容包括混凝土、钢材及受力埋件质量证明文件、主要材料进场复验报告、构件生产过程的质量检验记录、结构试验记录及其必要的试验检验记录。

7.1.3 合格的板桩应作出标识，标识内容包括构件型号、生产日期、生产单位、合格标识、参照标准等。

7.1.4 对于腐蚀环境下的板桩，应对其原材料、混凝土配合比和生产工艺等相关技术进行控制，并按设计要求对混凝土保护层等采取相应措施。

7.1.5 板桩施工项目划分宜以 20 根板桩划分为一个单元。

### 7.2 进场检验

7.2.1 板桩进场后应采用回弹法检测板桩桩身混凝土强度，检测数量不少于同一检验批预应力混凝土 U 形板桩总数的 2%，且不少于 3 根，回弹法检测应按照 JGJ/T 23 的相关规定执行。

7.2.2 板桩进场后应进行外观质量和尺寸偏差检测，同一检验批预应力混凝土 U 形板桩随机选取 10 根进行检测，总量少于 10 根的应全部检测，外观质量和尺寸偏差应分别满足表 8 和表 9 的相关规定。

7.2.3 检验批的合格标准：受检板桩中每批外观质量和尺寸偏差，S1 类项目应全部合格；S2 类项目的超差不超过 2 根，且同根板桩的 S2 类项目的超差不超过 2 项。

表 8 板桩外观质量要求

序号	项目	类别	外观质量要求
1	露筋	S1	不允许
2	孔洞、蜂窝		不允许
3	板桩端头混凝土疏松		不允许
4	混凝土裂缝		不允许、但龟裂和水纹不在此列
5	板桩端部平整度		预应力钢筋不应高出板桩端面混凝土
6	板桩表面麻面、粘皮、气孔等	S2	局部粘皮、麻面、气孔等面积应不大于板桩总外表面的 0.5%，每处粘皮、麻面、气孔的深度应不大于 5 mm。
7	板桩身合缝漏浆		漏浆深度应不大于 5mm，每处漏浆长度应不大于 300m，累计漏浆长度应不大于板桩长度的 10%，且应修补。
8	混凝土局部磕损		局部磕损深度应不大于 15mm，每处面积应不大于 5000mm <sup>2</sup> 。
注:根据外观质量的检验重要性程度，受检项目分为 S1 类、S2 类			

表 9 板桩尺寸偏差要求

序号	项目	类别	允许偏差	
1	板桩桩身弯曲度	S1	$L \leq 15m$	$\leq L/500mm$
2			$15m < L \leq 30m$	$\leq L/1000mm$
3			$L > 30m$	$\leq L/1200mm$
4	板桩端面倾斜	S1		$\leq 1\%Hmm$
5	钢筋保护层厚度			$\pm 5mm$
6	板桩长度		S2	
7	截面高度			$\pm 5mm$
8	截面宽度			$\pm 5mm$
9	板壁厚度			$\pm 5mm$
注:根据尺寸偏差的检验重要性程度，受检项目分为 S1 类、S2 类				

### 7.3 施工质量检验

7.3.1 板桩现场施工完成后，可采用低应变法进行桩身完整性检测，必要时可采用开挖法检测，检测数量不宜少于总桩数的 5%，且不应少于 3 根。采用低应变法检测桩身完整的仪器设备要求、现场检测要求和结果评价参照 JGJ 106 的相关标准执行。

7.3.2 板桩现场施工完成后，应检验桩顶高程和桩身垂直度，其允许偏差应满足表 10 要求。

表 10 板桩施工质量技术要求

序号	检验项目	允许偏差
1	施工后桩顶高程	±100 mm
2	施工后桩身垂直度	≤1/100

7.3.3 对于有水平承载力要求的板桩挡墙，其水平承载力检验要求和结果评价可按照 JGJ 106 的相关标准执行。

7.3.4 对于锚碇墙式板桩的钢拉杆及锚杆（索）的板桩锚杆质量检测，可按照 SL 377 执行。

7.3.5 对于达不到设计要求的板桩，应采取适宜的补救措施。

#### 7.4 工程验收

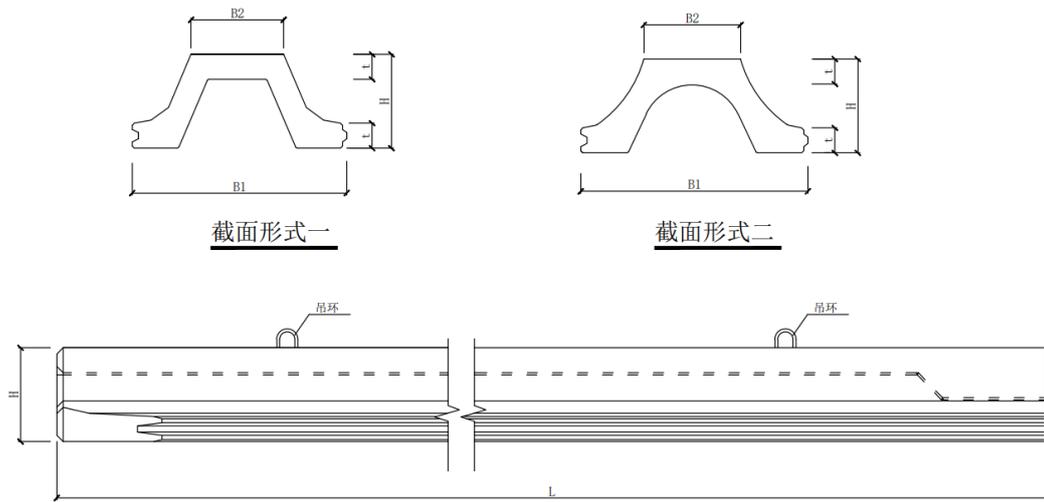
7.4.1 板桩工程施工完成后应进行工程验收，验收具备以下资料：

- a) 板桩施工质量评定；
- b) 合格证明；
- c) 桩位竣工图；
- d) 设计变更、技术文件；
- e) 检验与检测报告；
- f) 其他应提供的文件和记录。

7.4.2 板桩挡墙施工质量可按附录 I 进行检验评定。

附录 A  
(资料性)  
预应力混凝土 U 形板桩外形

A.0.1 预应力混凝土 U 形板桩外形详见图 A.0.1。



H——截面高度；t——板壁厚度；B1——截面宽度；B2——顶板宽度；L——长度。

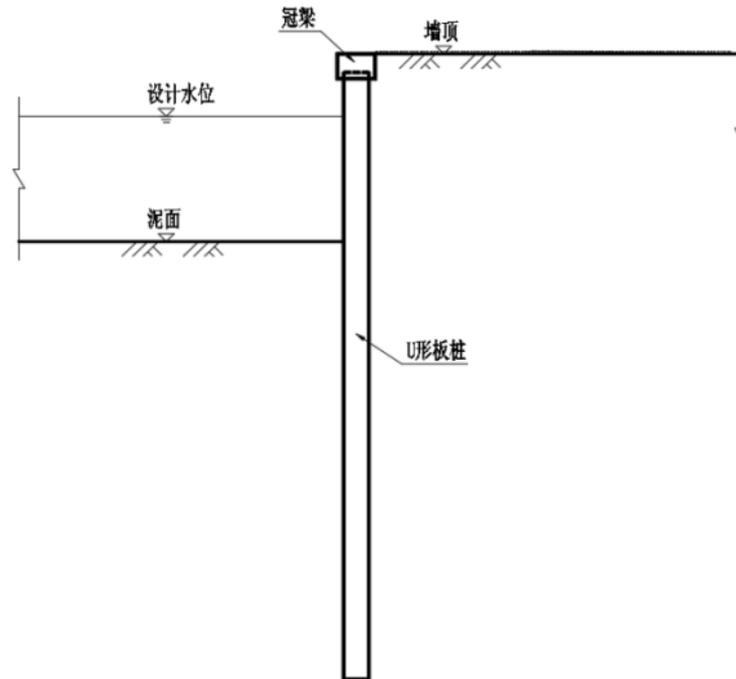
图 A.0.1 预应力混凝土 U 形板桩外形示意图

## 附录 B

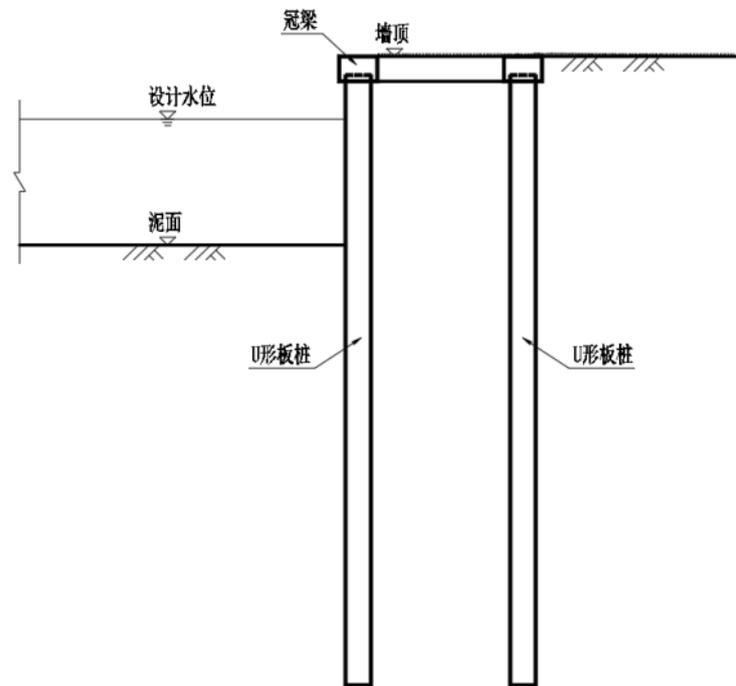
(资料性)

## 预应力混凝土 U 形板桩结构形式

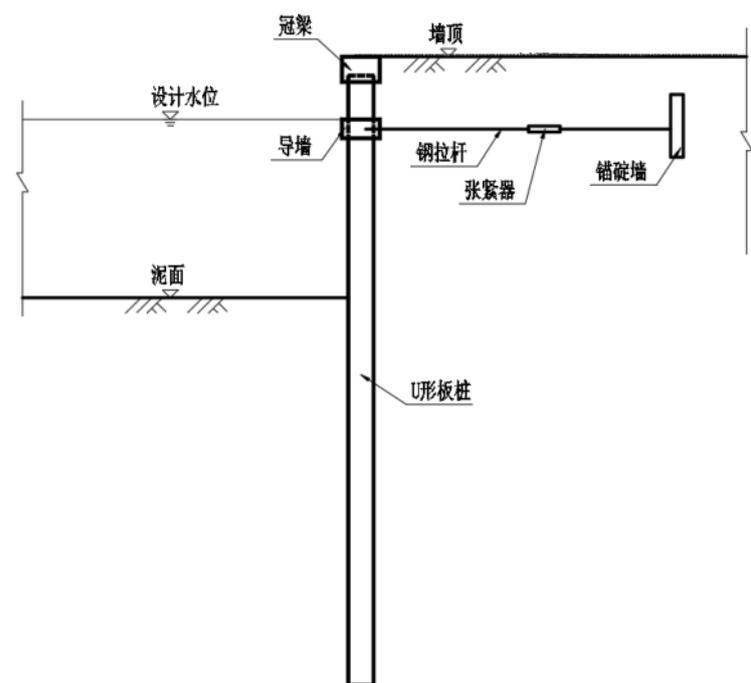
B.0.1 预应力混凝土 U 形板桩挡墙结构形式详见图 B.0.1。



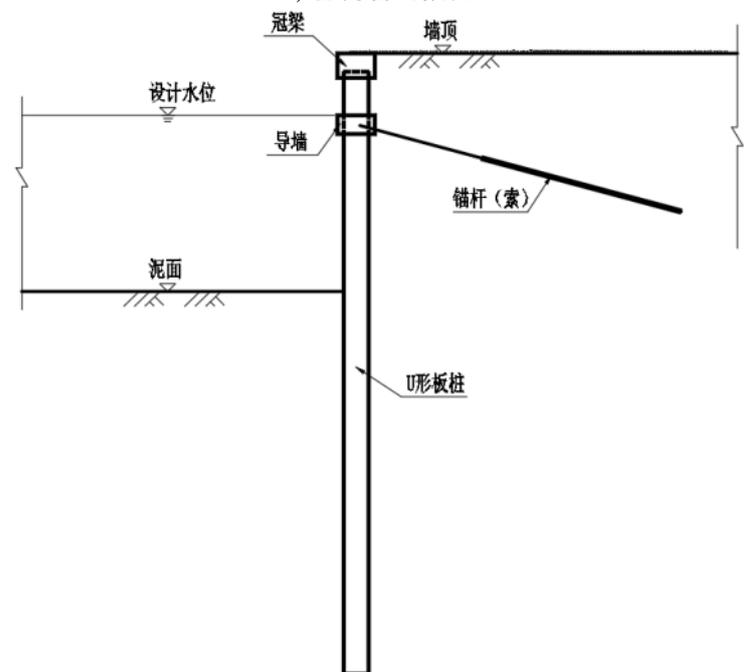
a) 单排板桩



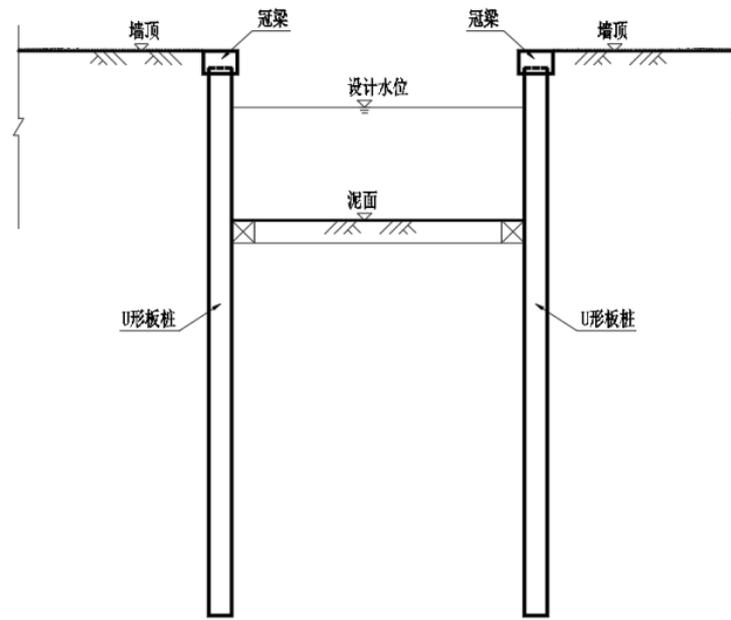
b) 双排板桩



c) 锚碇墙式板桩



d) 锚杆(索)板桩



e)对撑板桩

图 B.0.1 预应力混凝土 U 形板桩挡墙结构形式示意图

附录 C  
(资料性)  
竖向弹性地基梁法计算模型

C.0.1 竖向弹性地基梁法计算模型，详见图 C.0.1。

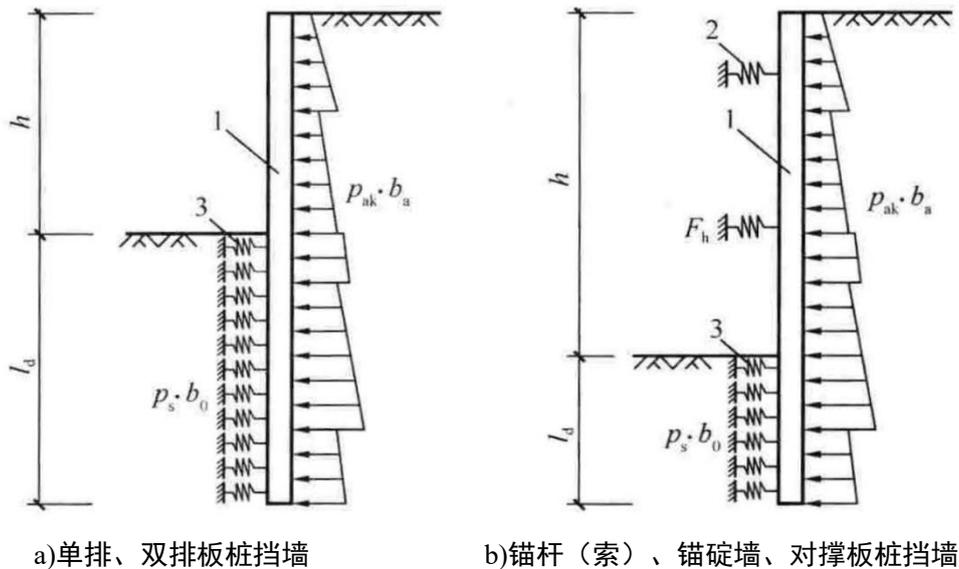


图 C.0.1 竖向弹性地基梁法计算模型示意图

C.0.2 地基土的水平反力系数可按式 (C.0.2) 进行计算：

$$k_s = m \cdot \Delta h$$

$$m = \frac{0.2\varphi^2 - \varphi + c}{v_b} \quad (\text{C.0.2})$$

式中： $k_s$ ——土的水平反力系数 ( $\text{kN/m}^3$ )；

$m$ ——土的水平反力系数的比例系数 ( $\text{MN/m}^4$ ) ( $m$ 宜通过板桩的水平荷载试验及地区经验取值，缺少试验和经验时，可按公式 (1) 进行计算)；

$\Delta h$ ——计算点至入土点以下的计算深度 (m)；

$c$ 、 $\varphi$ ——土的粘聚力 ( $\text{kPa}$ )、内摩擦角 ( $^\circ$ )；对多层土，按不同土层分别取值；

$v_b$ ——挡土构件在入土点处的水平位移量 (mm)；当此处的水平位移不大于 10mm 时，可取  $v_b = 10\text{mm}$ 。

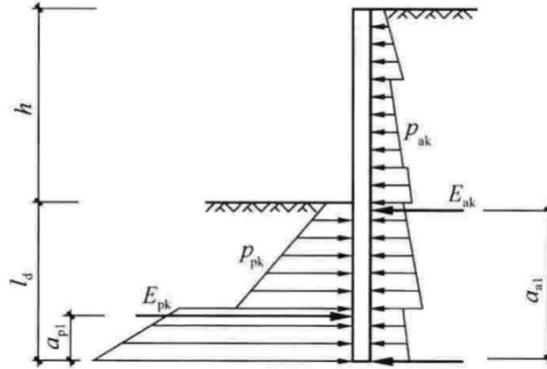
表 C.0.1 土的水平地基反力系数的比例系数  $m$  经验值

地基土质情况	$m$ ( $\text{MN/m}^4$ )
$I_L \geq 1$ 的黏性土、淤泥	1~2
$1 > I_L \geq 0.5$ 的黏性土、粉砂	2~4
$0.5 > I_L \geq 0$ 的黏性土、中细砂	4~6
$I_L < 0$ 的黏性土、粗砂	6~10
砾石、砾砂、碎石、卵石	10~20

## 附录 D (资料性)

### 预应力混凝土 U 形板桩挡墙抗倾覆稳定性计算

D.0.1 单排板桩、双排板桩、对撑板桩式板桩挡墙抗倾覆稳定性安全系数应符合图D.0.1要求。



图D.0.1 单排板桩、双排板桩、对撑板桩式板桩挡墙抗倾覆稳定性验算

$$\frac{E_{pk}a_{p1}}{E_{ak}a_{a1}} \geq K_0 \quad (\text{D.0.1})$$

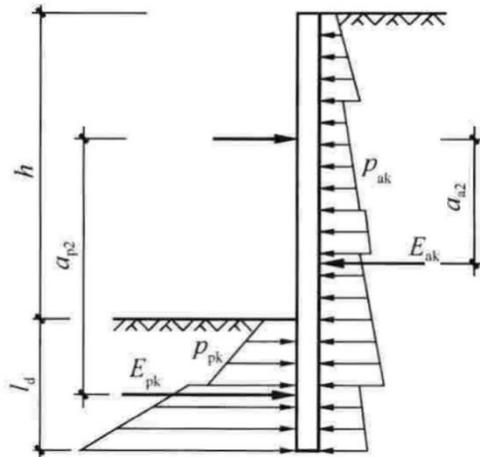
式中： $K_0$ ——板桩挡墙抗倾覆稳定安全系数；

$l_d$ ——为板桩进入墙前入土点以下的嵌固深度（m）；

$E_{ak}$ 、 $E_{pk}$ ——分别为墙后主动土压力、墙后被动土压力标准值（kN）；

$a_{p1}$ 、 $a_{a1}$ ——分别为墙后主动土压力、墙后被动土压力合力作用点至挡土构件底端的距离（m）。

D.0.2 锚碇墙、锚杆（索）式板桩挡墙抗倾覆稳定性安全系数应符合图D.0.2要求。



图D.0.2-1 锚碇墙式、锚杆（索）式板桩挡墙抗倾覆稳定性验算

$$\frac{E_{pk}a_{p2}}{E_{ak}a_{a2}} \geq K_0 \quad (\text{D.0.2})$$

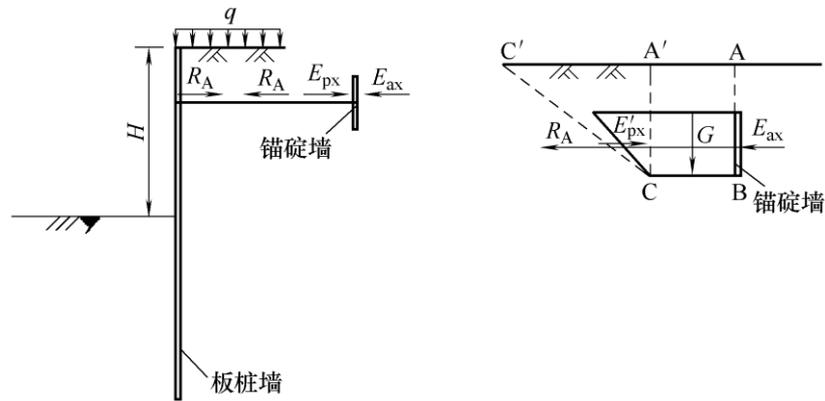
式中： $K_0$ ——板桩挡墙抗倾覆稳定安全系数；

$l_d$ ——为板桩进入墙前入土点以下的嵌固深度（m）；

$E_{ak}$ 、 $E_{pk}$ ——分别为墙后主动土压力、墙后被动土压力标准值（kN）；

$a_{p2}$ 、 $a_{a2}$ ——分别为墙后主动土压力、墙后被动土压力合力作用点至锚固点的距离（m）。

D.0.3 锚碇墙式板桩挡墙，其锚碇墙沿基底面的抗滑稳定安全系数应按公式（D.0.3-1）计算。当锚碇墙前采用其他填料置换时，除应按公式（D.0.3-1）计算外，尚应按公式（D.0.3-2）计算锚碇墙与填料一起沿滑动面BCC'的抗滑稳定性（图D.0.3）。



图D.0.3 锚碇墙抗滑计算简图

$$K_m = \frac{E_{px}}{R_A + E_{ax}} \quad (\text{D.0.3-1})$$

$$\frac{Gf}{K_c} + \frac{E'_{px}}{K_m} \geq R_A + E_{ax} \quad (\text{D.0.3-2})$$

式中： $K_m$ —锚碇墙抗滑稳定安全系数，其计算值不应小于SL 379的允许值；

$R_A$ —钢拉杆拉力(kN/m)；

$E_{ax}$ —作用在锚碇墙的主动土压力(kN/m)；

$E_{px}$ —作用在锚碇墙的被动土压力；当锚碇墙墙前采用其他填料置换时，应以其他填料的物理力学性质指标计算(kN/m)；

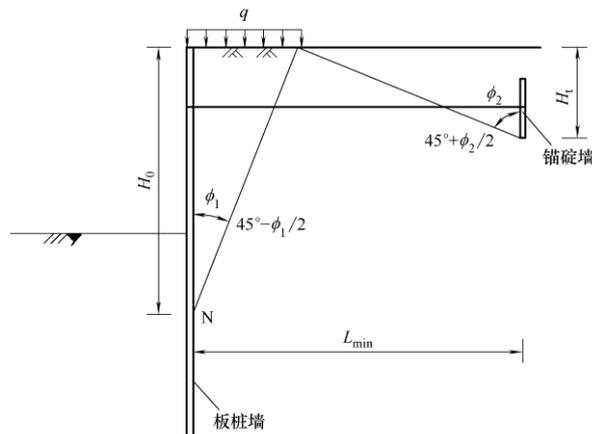
$E'_{px}$ —锚碇墙前作用面上的被动土压力(kN/m)；

$G$ —锚碇墙前基面BC以上填料的重力(kN/m)；

$f$ —沿滑动面的摩擦系数；

$K_c$ —沿滑动面的抗滑稳定安全系数，可按 SL 379选用。

D.0.4 有锚碇墙式板桩挡墙，其锚碇墙至板桩墙的最小水平距离(图D.0.4)可按公式 (D.0.4) 计算。



图D.0.4 锚碇墙至板桩墙最小距离计算简图

$$L_{min} = H_0 \tan \left( 45^\circ - \frac{\phi_1}{2} \right) + H_t \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi_2}{2} \right) \quad (\text{D.0.4})$$

式中： $L_{min}$ —锚碇墙至板桩墙的最小水平距离(m)；

$H_t$ —填土表面至锚碇墙墙底的深度(m)；

$H_0$ —板桩墙顶至理论转动点N的深度(m)；

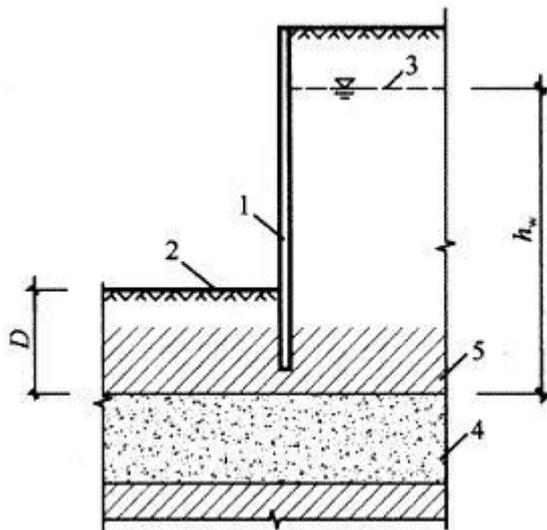
$\phi_1$ —板桩墙墙后土的内摩擦角(°)；

$\phi_2$ —锚碇墙墙前填料的内摩擦角(°)。

附录 E  
(资料性)

预应力混凝土 U 形板桩挡墙渗透稳定性验算

E.0.1 板桩挡墙前地面以下有水头高于地面的承压水含水层，且未用截水帷幕隔断其挡土墙内外的水力联系时，承压水作用下的墙前地面突涌稳定性应符合式 (E.0.1) 规定。



1- 截水帷幕；2-板桩挡墙前地面；3-承压水测管水位；4-承压含水层；5-隔水层

图E.0.1 板桩挡墙前地面土体的突涌稳定性验算

$$\frac{D\gamma}{h_w\gamma_w} \geq K_h \quad (\text{E.0.1})$$

式中： $K_h$ ——突涌定安全系数K不应小于1.2；

$D$ ——承压水含水层顶面至板桩挡墙前地面的土层厚度(m)；

$\gamma$ ——承压水含水层顶面至坑底土层的天然重度 (kN/m)；对多层土，取按土层厚度加权的平均天然重度；

$h_w$ ——承压水含水层顶面的力水头高度(m)；

$\gamma_w$ ——水的重度(kN/m<sup>3</sup>)。

## 附录 F (资料性)

### 预应力混凝土 U 形板桩挡墙结构内力及变形、结构强度计算

F.0.1 板桩挡墙结构内力及变形计算，可采用竖向弹性地基梁模型，通过杆系有限元法进行求解。

F.0.2 U形截面在进行结构力学性能计算时，采用结构等效原则，即截面面积、截面惯性矩、形心位置三等效，将结构等效为工字形截面。

F.0.3 U形板桩的抗裂弯矩可按公式(F.0.3)计算。

$$M_{cr} = [(\sigma_{ce} + \gamma f_{tk})W_0] \quad (\text{F.0.3})$$

式中： $M_{cr}$ ——桩身抗裂弯矩；

$\sigma_{ce}$ ——桩身截面混凝土有效预压应力；

$f_{tk}$ ——桩身混凝土抗拉强度标准值；

$\gamma$ ——混凝土截面抵抗矩塑性影响系数；

$W_0$ ——板桩换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩。

F.0.4 桩身结构正截面抗弯弯矩计算按对应的等效工字形截面计算。

(1) 当满足下列条件时

$$\sum \sigma_{pi} \cdot A_{pi} \leq \alpha_1 f_c B h_f' \quad (\text{F.0.4-1})$$

$$M_u = \sum \sigma_{pi} \cdot A_{pi} \cdot \left( h_i - \frac{x}{2} \right) \quad (\text{F.0.4-2})$$

混凝土受压区高度应按下式确定：

$$\alpha_1 f_c B x = \sum \sigma_{pi} \cdot A_{pi} \quad (\text{F.0.4-3})$$

(2) 当满足下列条件时：

$$\sum \sigma_{pi} \cdot A_{pi} > \alpha_1 f_c B h_f' \quad (\text{F.0.4-4})$$

$$M_u = \sum \sigma_{pi} \cdot A_{pi} \cdot \left( h_i - \frac{x_t}{2} \right) \quad (\text{F.0.4-5})$$

$$x_t = \frac{\frac{1}{2}(B-b)h_f'^2 + \frac{1}{2}bx^2}{(B-b)h_f' + bx} \quad (\text{F.0.4-6})$$

混凝土受压区高度应按下式确定：

$$\alpha_1 f_c [bx + (B-b)h_f'] = \sum \sigma_{pi} \cdot A_{pi} \quad (\text{F.0.4-7})$$

按上述公式计算时混凝土受压区高度尚应符合下列条件：

$$x \leq \xi_b h_0 \quad (\text{F.0.4-8})$$

$$x \geq 2a' \quad (\text{F.0.4-9})$$

当  $x < 2a'$  时，正截面抗弯弯矩应按下式计算：

$$M_u = f_{py} \sum A_{pi} (h_i - a') \quad (\text{F.0.4-10})$$

式中： $M_u$ ——桩身正截面抗弯弯矩；

$\alpha_1$ ——受压区混凝土矩形应力图的应力值与混凝土轴心抗压强度设计值比值，C60时取1.0，C80时取0.94，C60～C80间时按内插法确定；

$f_{py}$ ——预应力钢筋的抗拉强度设计值；

$f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值；

$\sigma_{pi}$ ——第*i*排预应力钢筋的实际应力值；

$A_{pi}$ ——第*i*排预应力钢筋的截面积；

$h_0$ ——截面有效高度：受拉区各层钢筋合力点至截面受压边缘的距离；

$h_i$ ——第*i*排受拉预应力钢筋距离混凝土受压区外边缘的距离；

$x$ ——等效矩形应力图的混凝土受压区高度；

$\xi_b$ ——相对界限受压区高度；

$a'$ ——受压区纵向钢筋合力点至截面受压边缘的距离；

$B$ ——板桩的换算底边长；

$b$ ——工字形截面的腹板宽度；

$h_f'$ ——字形截面受压区的翼缘高度。

F.0.5 板桩桩身轴心受压时，竖向抗压承载力可按公式(F.0.5)计算。

$$R_p = 0.7 \times (f_c - \sigma_{ce})A \quad (\text{F.0.5})$$

式中： $R_p$ ——桩身结构抗压承载力设计值；

$A$ ——板桩桩身横截面面积；

$f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值；

$\sigma_{ce}$ ——桩身混凝土有效预压应力；

F.0.6 板桩桩身轴心受拉时，桩身受拉承载力设计值 $T$ 可按公式(F.0.6)计算。

$$T \leq f_{py}A_p R_p = 0.7 \times (f_c - \sigma_{ce})A \quad (\text{F.0.6})$$

F.0.7 板桩桩身斜截面抗剪承载力可按下式计算。

$$Q_p = V_{cs} + V_p \quad (\text{F.0.7-1})$$

$$V_{cs} = \frac{1.75}{\lambda+1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (\text{F.0.7-2})$$

$$V_p = 0.05 N_{p0} \quad (\text{F.0.7-3})$$

式中： $Q_p$ ——板桩斜截面抗剪承载力设计值；

$V_{cs}$ ——板桩斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值；

$V_p$ ——由预加力所提高的构件受剪承载力设计值；

$\lambda$ ——计算截面的剪跨比，可取 $\lambda = a/h_0$ ， $a$ 为集中荷载作用点至支座边缘的距离，在抗剪试验中一般取 $a = 1.0B$ ，因此 $\lambda < 1.5$ ，取 $\lambda = 1.5$ 。

$f_t$ ——混凝土抗拉强度设计值；

$f_{yv}$ ——箍筋抗拉强度设计值；

$A_{sv}$ ——螺旋箍筋的截面面积， $A_{sv} = nA_{sv1}$ ，此处， $n$ 为在同一截面内箍筋的支数， $A_{sv1}$ 为单支箍筋的截面面积；

$s$ ——沿长度方向的箍筋间距；

$N_{p0}$ ——计算截面上混凝土法向预应力等于零时纵向钢筋的合力， $N_{p0} = \sigma_{p0} \cdot A_p$ 。当 $N_{p0} > 0.3f_c A_0$ 时，取 $N_{p0} = 0.3f_c A_0$ ； $\sigma_{p0}$ ——预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力；

$A_0$ ——板桩的换算截面面积。

附录 G  
(资料性)  
河岸冲刷计算

G.0.1 河床的冲刷与淤积变化主要取决于水流挟沙力变化和泥沙起动流速。水流流速小于泥沙起动流速，河床将不会冲刷；水流流速大于泥沙起动流速，会引起河床的冲刷。输沙力增大将引起河道减淤或冲刷，输沙力减少将引起淤积或减冲；河道水动力条件的变化，会引起河床发生相应的调整。

G.0.2 顺坝及平顺护岸冲刷深度可按下列公式计算。

$$h_s = H_0 \left[ \left( \frac{U_{cp}}{U_c} \right)^n - 1 \right] \quad (\text{G.0.1-1})$$

$$U_{cp} = U \frac{2\eta}{1+\eta} \quad (\text{G.0.1-2})$$

式中： $h_s$ ——局部冲刷深度，m；

$H_0$ ——冲刷处的水深，m；

$U_{cp}$ ——近岸垂线流速，m/s；

$U_c$ ——泥沙启动流速，m/s；

$U$ ——行近流速，m/s；

$n$ ——与防护岸坡在平面上的形状有关，取 $n=1/4\sim 1/6$ ；

$\eta$ ——水流不均匀系数，根据水流流向与坡岸交角 $\alpha$ 查表G.0.1采用。

表G.0.1 水流流速不均匀系数

$\alpha$	$\leq 15^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$	$80^\circ$	$90^\circ$
$\eta$	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00

附录 H  
(资料性)

预应力混凝土 U 形板桩生态布置形式

H.0.1 预应力混凝土 U 形板桩挡墙生态布置形式详见图 H.0.1。

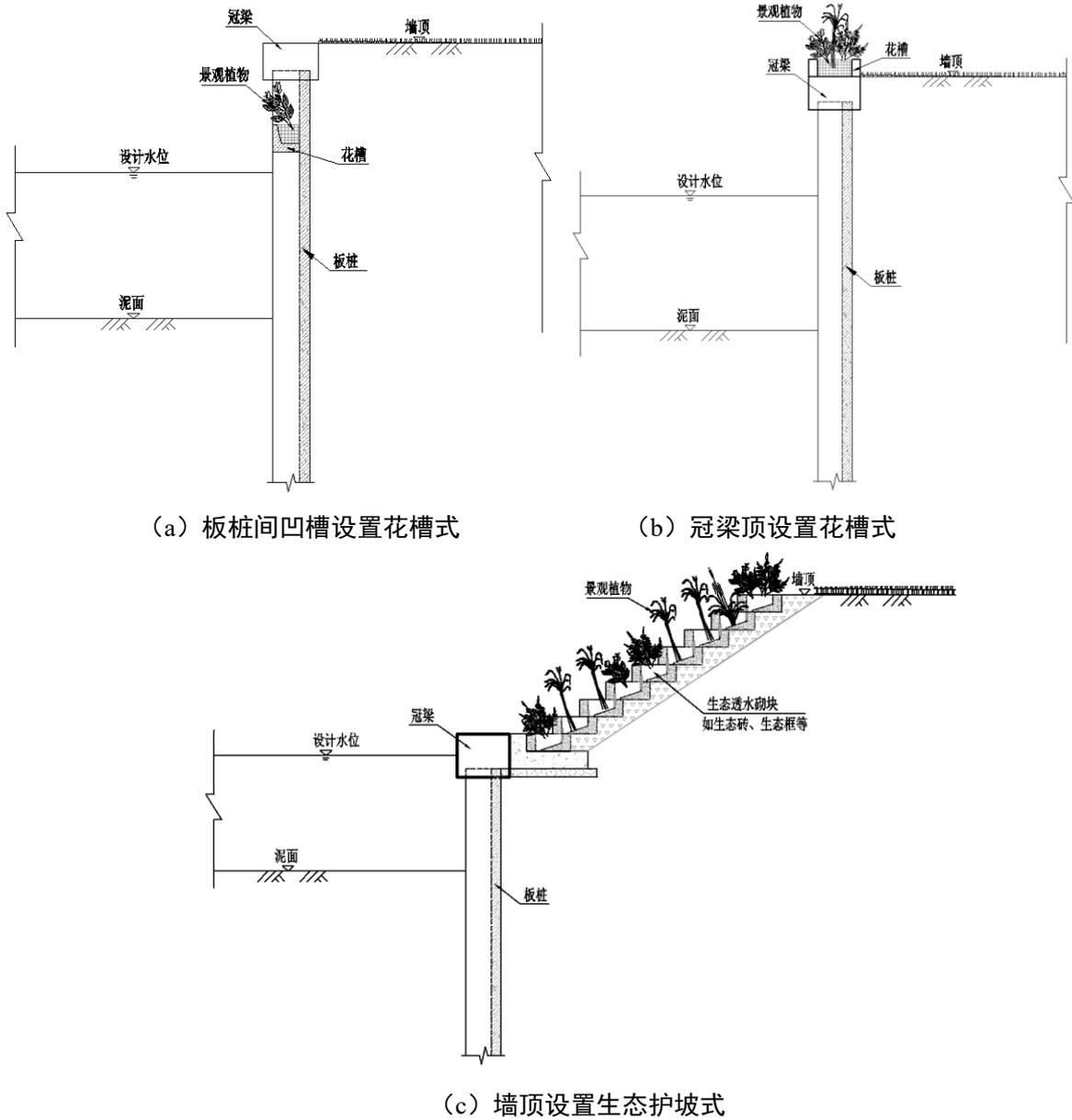


图 H.0.1 预应力混凝土 U 形板桩挡墙生态布置形式示意图

附 录 I  
(资料性)

预应力混凝土 U 形板桩挡墙施工质量验收评定

I.0.1 板桩挡墙施工质量评定可按照表I.0.1和I.0.2中规定的项目执行。

表I.0.1 预应力混凝土U形板桩挡墙单元工程质量评定表

单位工程名称												单元工程量	
分部工程名称												施工单位	
单元工程名称、部位												施工日期	年月日 -- 年月日
桩号	桩序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	桩编号												
单桩 质量 验收 评定 等级	施工单位 自评意见												
	监理单位 评定意见												
桩号	桩序号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	.....		
	桩编号												
单桩 质量 验收 评定 等级	施工单位 自评意见												
	监理单位 评定意见												
本单元工程内共有_____桩，其中优良_____桩，优良率_____%													
单元工程效果（或 实体质量）检查													
施工 单位 自评 意见	<p>单元工程效果（或实体质量）检查符合_____要求，_____桩100%合格，其中优良桩占_____%。</p> <p>单元工程质量等级评定为：_____。</p> <p style="text-align: right;">（加盖公章） 年 月 日</p>												
监理 单位 复核 意见	<p>经进行单元工程效果（或实体质量）检查，符合_____要求，_____桩100%合格，其中优良桩占_____%。</p> <p>单元工程质量等级评定为：_____。</p> <p style="text-align: center;">监理工程师签名：</p> <p style="text-align: right;">（加盖公章） 年 月 日</p>												
注：对关键部位单元工程和重要隐蔽单元工程的施工质量验收评定，应有设计、建设等单位的代表签字，具体要求应满足 SL 176 的规定。													

表I.0.2 预应力混凝土U形板桩挡墙工序质量评定表

单位工程名称		编号			
分部工程名称		施工单位			
单元工程名称、部位		施工日期 年 月 日 -- 年 月 日			
项次	检验项目	质量要求	检查(测)记录	合格数	合格率(%)
主控项目	1	桩长	不小于设计值		
	2	桩身弯曲度	$\leq 0.1\%L$ mm		
	3	桩身厚度	+100 mm		
	4	凹凸槽尺寸	$\pm 3$ mm		
	5	桩顶标高	$\pm 100$ mm		
一般项目	1	保护层厚度	$\pm 5$ mm		
	2	模截面相对两面之差	$\leq 5$ mm		
	3	桩尖对桩轴线的位移	$\leq 10$ mm		
	4	沉桩垂直度	$\leq 1/100$		
	5	轴线位置	$\leq 100$ mm		
	6	板缝间隙	$\leq 20$ mm		
施工单位自评意见	<p>主控项目检验点 100%合格，一般项目逐项检验点的合格率不低于_____%，且不合格点不集中分布。            工序质量等级评定为：_____。</p> <p style="text-align: right;">(加盖公章) 年 月 日</p>				
监理单位复核意见	<p>经复核，主控项目检验点 100%合格，一般项目逐项检验点的合格率不低于_____%，且不合格点不集中分布。            工序质量等级评定为：_____。</p> <p style="text-align: center;">监理工程师签名：</p> <p style="text-align: right;">(加盖公章) 年 月 日</p>				
<p>注：1.L 为预制 U 型混凝土板桩设计桩长 (mm)。            2.表中质量要求栏中的数据为允许值或允许偏差。            3.检查(测)记录栏的每项检测项目个数应与本单元的板桩根数相同。</p>					