

浙江省地方标准

DB33/T 1386—2024

装配式挡土墙设计与施工技术规范

Specifications for design and construction of fabricated retaining  
walls

2024 - 06 - 05 发布

2024 - 07 - 05 实施

浙江省市场监督管理局 发布



目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语与定义 ..... 2

4 基本规定 ..... 2

5 材料 ..... 3

    5.1 一般规定 ..... 3

    5.2 预制构件 ..... 3

    5.3 连接件 ..... 3

    5.4 吊环及预埋件 ..... 3

    5.5 土工合成材料 ..... 3

    5.6 墙背填料 ..... 3

6 设计 ..... 4

    6.1 一般规定 ..... 4

    6.2 荷载 ..... 6

    6.3 整体设计 ..... 6

    6.4 悬臂式挡土墙装配设计 ..... 10

    6.5 扶壁式挡土墙装配设计 ..... 17

    6.6 柱板式挡土墙装配设计 ..... 24

    6.7 筋板式挡土墙装配设计 ..... 26

    6.8 重力式挡土墙装配设计 ..... 27

7 施工 ..... 28

    7.1 一般规定 ..... 28

    7.2 施工准备 ..... 28

    7.3 构件预制 ..... 29

    7.4 基础工程 ..... 31

    7.5 安装施工 ..... 31

    7.6 墙背填筑 ..... 32

    7.7 墙面、排水及附属工程 ..... 32

    7.8 施工监测 ..... 33

8 质量检验 ..... 33

    8.1 一般规定 ..... 33

    8.2 基本要求 ..... 33

    8.3 实测项目 ..... 33

    8.4 外观鉴定 ..... 35

附录 A（规范性）挡土墙土压力计算 ..... 36

附录 B（资料性）装配式挡土墙设计计算案例 ..... 40

附录 C（资料性）装配式挡土墙施工应用案例 ..... 46

## 前 言

本标准按照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。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由浙江省交通运输厅提出并组织实施。

本标准由浙江省公路工程标准技术委员会归口。

本标准起草单位：浙江数智交院科技股份有限公司、浙大城市学院、浙江交工路桥建设有限公司、浙江交工国际工程有限公司、浙江交工集团股份有限公司、浙江交投高速公路建设管理有限公司、湖南科技大学、绍兴市上虞区交通投资有限公司、绍兴市柯桥区交通投资建设集团有限公司。

本标准主要起草人：陈建荣、王新泉、茅建波、方勇刚、刘泽、黄夏明、谭林、楼华锋、舒亚明、宁英杰、曹强凤、叶敏、缪国波、丁献英、黄天元、张林海、刁红国、汪剑祥、晏江驰、何泽波、杨俊华、向俊、陈秀平、祝文澜、孙新康、翟骥腾、马哲、许子彦、杨昌能、金小平、李梹、俞想锋、林晨、龚干、徐阳光、何国华、王瑜晗、徐琨、项启浩、水小清、姚晓华。



# 装配式挡土墙设计与施工技术规范

## 1 范围

本标准规定了装配式挡土墙的材料、设计、施工及质量检验等技术要求。  
本标准适用于新建、改扩建公路的装配式挡土墙设计、施工和质量检验。

## 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标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 175 通用硅酸盐水泥  
GB/T 700 碳素结构钢  
GB/T 799 地脚螺栓  
GB/T 1229 钢结构用高强度大六角螺母  
GB/T 1230 钢结构用高强度垫圈  
GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件  
GB/T 1499.1 钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋  
GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋  
GB/T 1499.3 钢筋混凝土用钢 第3部分：钢筋焊接网  
GB/T 1591 低合金高强度结构钢  
GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱  
GB 6067.5 起重机械安全规程 第5部分：桥式和门式起重机  
GB 50010 混凝土结构设计规范  
GB 50017 钢结构设计规范  
GB/T 50214 组合钢模板技术规范  
GB 50661 钢结构焊接规范  
JG/T 398 钢筋连接用灌浆套筒  
JG/T 408 钢筋连接用套筒灌浆料  
JGJ 63 混凝土用水标准  
JGJ 107 钢筋机械连接技术规程  
JGJ 256 钢筋锚固板应用技术规程  
JTG/T 3310—2019 公路工程混凝土结构耐久性设计规范  
JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范  
JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范  
JTG/T 3365—05—2022 公路装配式混凝土桥梁设计规范  
JTG 3430 公路土工试验规程  
JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范  
JTG C10 公路勘测规范  
JTG C20 公路工程地质勘察规范  
JTG B02 公路工程抗震规范  
JTG D30—2015 公路路基设计规范  
JTG/T D32 公路土工合成材料应用技术规范  
JTG D60 公路桥涵设计通用规范  
JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范  
JTG E42 公路工程集料试验规程  
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准第一册 土建工程  
JTG F90 公路工程施工安全技术规范  
DB33/T 988—2022 柔性生态加筋挡土墙设计与施工技术规范

### 3 术语与定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

**预制构件** precast concrete members

在工厂或现场预先制作的混凝土或钢筋混凝土构件。

#### 3.2

**装配式挡土墙** prefabricated retaining wall

由预制构件或部件通过各种可靠的连接方式装配而成，用于抵抗土压力保持墙背土体和结构物稳定性的支挡结构。

#### 3.3

**焊接连接** welding connection

采用电焊将预制件外露的预留钢筋、钢板等连接件焊接在一起的连接方式。

#### 3.4

**锚栓连接** anchor bolt connection

采用螺母、垫片等将混凝土构件上的预埋锚栓、金属套筒等连接件连接在一起的机械连接方式。

#### 3.5

**螺栓角钢连接** bolt angle connection

由预埋螺栓、预留金属套筒螺栓孔和带肋角钢组成的机械连接方式。

### 4 基本规定

4.1 装配式挡土墙选用应遵循“安全耐久、技术先进、资源节约、经济合理”的原则，综合考虑地形地质特点、工程环境条件、现有施工技术、工程造价、工期与环保要求等因素，经技术经济比选后确定。

4.2 装配式挡土墙设计与施工应结合技术发展现状、工程建设条件、营运与养护要求等进行标准化设计、工厂化制造、装配化施工和信息化管理。

4.3 装配式挡土墙设置路段的工程勘测与勘察、工程环境和筑路材料调查以及相关材料试验等工作，应符合 JTG C10、JTG C20 和 DB33/T 988 的规定。

4.4 装配式挡土墙应从挡土墙的墙型选择、构件拆分与组装、材料选择、地基与基础、防排水系统、



施工技术、建管养设施、挡土墙稳定与安全等方面进行综合设计，并应符合 JTG D30 和 JTG 3362 的规定。

4.5 装配式挡土墙的构件预制与安装应执行首件工程制。

4.6 应加强原材料与成品材料在采购、运输、储存、施工各环节中的质量管理。

4.7 施工前应建立健全质量管理、安全生产管理和环境保护体系，制定相关技术措施，执行安全操作规程。

4.8 应结合建管养的要求设置检修设施和观测点。

## 5 材料

### 5.1 一般规定

5.1.1 装配式挡土墙所用材料主要包括预制构件、连接件、吊环及预埋件、土工合成材料和墙背填料。

5.1.2 装配式挡土墙采用的材料应对其物理化学性能、力学性能和耐久性等指标进行检验和测试。

### 5.2 预制构件

5.2.1 预制构件的混凝土、钢筋和钢材的力学性能应符合 JTG 3362 和 JTG D64 的规定，耐久性要求应符合 JTG/T 3310 的规定。

5.2.2 混凝土预制构件的强度等级不宜低于 C25；钢筋混凝土预制构件的强度等级不宜低于 C30；预制构件主要材料应符合以下要求：

- a) 钢筋宜采用 HPB300、HRB400 钢筋，其质量应符合 GB/T 1499.1 和 GB/T 1499.2 的规定；普通钢筋采用套筒灌浆连接和浆锚搭接连接时，钢筋应采用热轧带肋钢筋，质量应符合 GB/T 1499.2 的规定；
- b) 钢材宜采用钢材牌号为 Q235、Q345，质量等级为 C、D 的钢材，质量应符合 GB/T 700 和 GB/T 1591 的规定；
- c) 钢筋焊接网应符合 GB/T 1499.3 的规定；
- d) 水泥宜采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，质量应符合 GB175 的规定；
- e) 细集料宜采用河砂或机制砂，不应采用海砂；粗集料宜采用质地坚硬、洁净、级配合理、粒形良好、吸水率小的碎石或卵石；集料的检验方法应符合 JTG E42 的规定，质量应符合 JTG/T 3650 的规定；
- f) 水宜采用饮用水；当采用其他水源时，水质应符合 JGJ63 的规定。

### 5.3 连接件

5.3.1 钢筋套筒灌浆连接接头采用的套筒和灌浆料应符合 JG/T398 和 JG/T408 的规定。

5.3.2 连接用焊接材料、螺栓、锚栓和铆钉等材料应符合 GB 50017 和 GB 50661 的规定。

### 5.4 吊环及预埋件

5.4.1 预制构件的吊环可采用预埋钢筋吊环和预埋钢绞线吊环；预埋钢筋吊环应采用未经冷加工的 HPB300 钢筋制作，预埋钢绞线吊环宜采用公称直径为 15.2 mm 的高强度低松弛钢绞线。

5.4.2 受力预埋件的锚板及锚筋等材料应符合 GB 50010 的规定，钢筋锚固板的材料应符合 JGJ 256 的规定。

### 5.5 土工合成材料

- 5.5.1 用于加筋的土工合成材料（以下简称“筋材”）宜采用整体性强、耐久性好、强度高、蠕变小、耐老化的土工格栅、土工织物和土工格室等，质量应符合 DB33/T 988—2022 附录 A 的规定。
- 5.5.2 用于排水的土工合成材料宜采用排水板（带）、透水软（硬）管和长丝热粘排水体等，质量应符合 JTG/T D32 的规定。

5.6 墙背填料

- 5.6.1 墙背填料应因地制宜、合理选择，性能应满足 JTG D30 的规定和设计的要求。
- 5.6.2 墙背填料应选择易于填筑和压实、水稳定性良好的填料，应优先选用具有一定级配、渗水性强的中粗砂、砂砾和碎（砾）石等材料；浸水部分填料应采用透水性强的粒状填料；墙体总高超过 12 m 时，应对填料进行特殊设计。
- 5.6.3 墙背设有筋材时，应选择能与筋材产生良好摩擦与咬合作用、对筋材无腐蚀作用和水稳定性良好的填料；与筋材直接接触的填料不应含有尖锐棱角的块体，填料的粒径不应大于 0.10 m。

6 设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 装配式挡土墙设计应采用以分项系数表达的极限状态设计法为主的设计方法，宜取一个标准挡土墙单元长度或一延米长度进行计算。挡土墙构件承载能力极限状态设计的基本条件为结构抗力设计值应大于或等于计入结构重要性系数的荷载效应组合的设计值，按式（1）和式（2）计算。

$$\gamma_0 S \leq R(\cdot) \cdots \cdots (1)$$

$$R(\cdot) = R\left(\frac{R_k}{\gamma_f}, \alpha_d\right) \cdots \cdots (2)$$

式中：

- $\gamma_0$  ——结构重要性系数，按表1采用；
- $S$  ——荷载效应的组合设计值；
- $R(\cdot)$ ——挡土墙结构抗力函数；
- $R_k$  ——抗力材料的强度标准值；
- $\gamma_f$  ——结构材料、岩土性能的分项系数；
- $\alpha_d$  ——结构或结构构件几何参数的设计值，当无可靠数据时可采用几何参数标准值。

表1 结构重要性系数

墙高（m）	结构重要性系数 $\gamma_0$	
	高速公路、一级公路	二级及以下公路
$\leq 5.0$	1.0	0.95
$> 5.0$	1.05	1.0

- 6.1.2 装配式挡土墙宜适用于直线段或平曲线半径不小于 400 m 的路段，常用类型与适用条件见表 2，采用多级挡土墙时，上下级墙体之间宜设置宽度不小于 2 m 的平台。当墙高超过以上规定的高度或基本地震动峰值加速度大于等于 0.1 g 地区时，应按照 JTG B02 和 JTG D30 的要求进行特殊设计。装配式挡土墙的类型选择应综合考虑地形、地质、水文条件、公路总体布置、路基横断面、地基承载能力、施工条件、工程造价、土地占用和景观协调性等因素，经技术经济比较后确定。

表2 装配式挡土墙常用类型与适用条件

结构形式	结构特点	适用范围
悬臂式	由预制立壁、预制或现浇底板等构件通过合适的连接节点装配而成	适用于墙高不宜大于 5 m 的填方路段
扶壁式	由预制立壁、预制扶壁、预制或现浇底板等构件通过合适的连接节点装配而成	适用于墙高不宜大于 10 m 的填方路段
柱板式	由预制立柱、挡土板和现浇底板等构件组成，挡土板宜以倾斜向下的方式设置在相邻立柱之间，并对墙面进行植生绿化	适用于路堤墙高不宜大于 5 m 填方和路堑墙高不宜大于 8 m 的挖方路段
筋板式	由预制墙面模块、筋材和填料等组成	适用单级墙高不宜大于 10 m 的填方路段
重力式	由预制砌块、内部可充填石料的预制箱体以搭接或拼接方式组成	适用于墙高不宜大于 8 m 的填方和挖方路段

6.1.3 装配式挡土墙设计应根据拟设挡土墙处的勘测与勘察成果、选定的挡土墙类型和施工技术进行整体设计和装配设计。

6.1.4 整体设计包括挡土墙平立面位置确定、结构形式、几何尺寸拟定，挡土墙稳定性、沉降和地基承载力验算以及挡土墙基础、填筑材料、排水、防护、附属设施及监测等内容，设计要求应满足 JTG D30 和本标准的规定。

6.1.5 装配设计包括挡土墙标准单元划分、单元拆分若干构件、构造、结构、配筋和连接等设计内容，设计应符合以下要求：

- a) 挡土墙标准单元应结合挡土墙结构形式与平立面布置特点，先沿长度方向进行划分，挡土墙单元的纵向长度宜不超过 3 m，并应考虑台阶的长度；构件应按照单元特性进行拆分，应考虑构件预制、运输和安装要求，遵循“形状简单、规格少、连接少、重量轻”的原则；单个构件的重量宜不超过 30 t，最大方向尺寸宜不超过 10 m；
- b) 构件设计应符合 JTG 3362 的要求，包括承载能力极限状态计算、正常使用极限状态验算及构造要求等；
- c) 挡土墙单元之间、构件之间宜采用榫接、搭接、锚栓连接和预留钢筋等连接方式；其应受力明确、构造可靠，并满足承载力和耐久性的要求；
- d) 预制构件与现浇混凝土、灌浆料、座浆材料的结合界面应设置成粗糙面。

6.1.6 装配式挡土墙的结构耐久性设计应根据结构的设计使用年限、结构所处环境类别与作用等级，按 JTG/T 3310 的规定执行，并符合以下要求：

- a) 装配式挡土墙设计时应应对构件正截面的受力裂缝宽度进行验算，最大裂缝宽度限值 0.2 mm；装配筋板式和重力式挡土墙的预制模块和砌块可不验算构件裂缝宽度；
- b) 连接部位的钢筋、螺栓应通过浇筑混凝土进行保护，保护层厚度可按 JTG/T 3310—2019 附录 A 的规定计算。

6.1.7 浸水地区采用装配式挡土墙时，材料与结构设计应有可靠的防腐和防排水措施。

6.1.8 装配式挡土墙伸缩缝和沉降缝设置应符合以下要求：

- a) 沿墙长度方向在墙身断面变化处、与其他构造物相接处应设置伸缩缝；在软基路段、挡土墙按折线布置时的转折处以及地基地质、水文情况突变处宜设置沉降缝；伸缩缝和沉降缝可合并设置；
- b) 装配悬臂式和扶壁式挡土墙伸缩缝间距宜为10 m～20 m；装配筋板式挡土墙伸缩缝间距宜为10 m～20 m，应不大于25 m；装配重力式挡土墙伸缩缝间距为10 m～15 m；装配柱板式挡土墙可不

设伸缩缝、沉降缝；

- c) 伸缩缝的宽度宜为20 mm~30 mm，缝内沿墙内、外、顶三面填塞泡沫板、沥青麻絮或沥青木板，塞入深度不小于0.15 m。

6.1.9 装配式挡土墙与相邻构造物或周边自然环境应相协调，并符合以下要求：

- a) 挡土墙工程的建设宜减少对周边环境的破坏，满足生态保护的要求；
- b) 挡土墙墙端伸入路堤内应不小于0.75 m，可采用锥坡与路堤相连；路堑挡土墙向两端延伸布设时，应逐渐降低墙高；
- c) 挡土墙与相邻构造物相连接时，应采用与相邻构筑物、自然生态环境协调美观的构造措施；对有景观要求的路段，预制构件的外立面宜选用与景观协调的颜色、造型或图案；挡土墙宜采用直线与圆弧(椭圆弧)等型式平顺衔接。

6.2 荷载

6.2.1 装配式挡土墙结构设计的荷载类型应按 JTG D30—2015 中表 H.0.1-2 采用。

6.2.2 荷载效应组合应符合以下规定：

- a) 装配式挡土墙设计时，应相应于各种荷载状态，对可能同时出现的荷载，取其最不利情况，选择JTG D30—2015中表H.0.1-3所列的组合；
- b) 一般情况下作用在装配式挡土墙上的力，可只计算永久荷载和基本可变荷载；
- c) 对挡土墙进行施工阶段验算时，应根据可能出现的施工荷载进行组合。

6.2.3 装配式挡土墙按承载能力极限状态设计时，除另有规定外，荷载分项系数可按表 3 采用。

表3 承载能力极限状态荷载分项系数

情况  组合	荷载增大对挡土墙结构 起有利作用时		荷载增大对挡土墙结构 起不利作用时	
	I，II	III	I，II	III
$\gamma_G$ （竖向恒载分项系数）	0.90		1.20	
$\gamma_{Q1}$ （恒载或车辆荷载、人群荷载的主动土压力分项系数）	1.00	0.95	1.40	1.30
$\gamma_{Q2}$ （被动土压力分项系数）	0.30		0.50	
$\gamma_{Q3}$ （水浮力分项系数）	0.95		1.10	
$\gamma_{Q4}$ （静水压力分项系数）	0.95		1.05	
$\gamma_{Q5}$ （动水压力分项系数）	0.95		1.20	

6.2.4 常用荷载计算除符合 JTG D30 的规定外，还应符合以下要求：

- a) 作用在装配式挡土墙墙背的主动土压力按库仑理论计算；当墙后填土破坏棱体符合不出现第二破裂面的条件，可将立壁或立柱顶面后缘与后踵板板端下缘的连线作为假想墙背计算土压力；当符合出现第二破裂面的条件时，以第二破裂面为计算墙背进行土压力计算；
- b) 当基础埋置较深且地层稳定、不受水流冲刷和扰动破坏时，可计入墙前被动土压力，并按表3的要求计入被动土压力分项系数；其它情况的墙前被动土压力可不计；
- c) 基底压应力验算时采用低水位的浮力或不考虑浮力；装配式挡土墙的滑动稳定验算、倾覆稳定验算采用设计水位的浮力；其他情况采用最不利水位的浮力；
- d) 装配式挡土墙墙身所受浮力应根据地基地层浸水岩土情况确定：对于砂类土、碎石类土和节理很发育的岩石地基，按计算水位的浮力100%计算；对于岩石地基按计算水位的浮力50%计算；

e) 浸水装配式挡土墙墙背填料为岩块和粗粒土（粉砂除外）时，可不计墙身两侧静水压力和墙背动水压力。

6.2.5 装配式挡土墙受地震力作用时的设计，应符合 JTG B02 的规定。

6.2.6 装配式挡土墙的土压力计算应符合附录 A 的规定。

6.3 整体设计

6.3.1 挡土墙结构类型选择

6.3.1.1 应结合沿线地形地质条件、路基横断面布设、挡土墙的结构特点和适用条件，进行路基支挡方案的比选，初步确定挡土墙结构类型、形式和基本尺寸。

6.3.1.2 应在初步确定方案的基础上，确定挡土墙设置位置、墙高、断面型式、起讫桩号及两端衔接方式，开展挡土墙结构设计计算与稳定性、地基承载力和沉降验算，以及工点设计和监测设计。

6.3.2 稳定性计算

6.3.2.1 挡土墙抗滑稳定验算应符合以下规定：

a) 挡土墙的滑动稳定方程应满足式（3）的验算要求：

$$\left[1.1G + \gamma_{Q1}(E_y + E_x \tan \alpha_0) - \gamma_{Q2}E_p \tan \alpha_0\right]\mu + (1.1G + \gamma_{Q1}E_y) \tan \alpha_0 - \gamma_{Q1}E_x + \gamma_{Q2}E_p > 0 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$G$  ——作用于基底以上的重力，浸水挡土墙的浸水部分应计入浮力，单位为千牛（kN）；

$\gamma_{Q1}$  ——墙后主动土压力荷载分项系数，可按表3采用；

$E_y$  ——墙后主动土压力的竖向分量，单位为千牛（kN）；

$E_x$  ——墙后主动土压力的水平分量，单位为千牛（kN）；

$\gamma_{Q2}$  ——墙前被动土压力荷载分项系数，可按表3采用；

$E_p$  ——墙前被动土压力的水平分量，浸水挡土墙时  $E_p = 0$ ，单位为千牛（kN）；

$\alpha_0$  ——基底倾斜角，基底为水平时  $\alpha_0 = 0$ ，单位为度（°）；

$\mu$  ——基底与基底土间的摩擦系数；当缺乏可靠试验资料时，可按表4采用。

表4 基底与基底土间的摩擦系数

地基土的分类	摩擦系数 $\mu$
软塑粘土	0.25
硬塑粘土	0.30
砂类土、粘砂土、半干硬的粘土	0.30~0.40
砂类土	0.40
碎石类土	0.50
软质岩石	0.40~0.60
硬质岩石	0.60~0.70

b) 挡土墙的抗滑动稳定系数 $K_c$ 按式（4）计算，并应不小于表5的规定：

$$K_c = \frac{[N + (E_x - E'_p) \tan \alpha_0] \mu + E'_p}{E_x - N \tan \alpha_0} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$K_c$  ——抗滑动稳定系数，见表5；

$N$  ——作用于基底上的竖向力总和，浸水挡土墙应计浸水部分的浮力，单位为千牛（kN）；

$E_x$  ——墙后主动土压力的水平分量，单位为千牛（kN）；

$E'_p$  ——墙前被动土压力水平分量的0.3倍，单位为千牛（kN）；

$\alpha_0$  ——基底倾斜角，基底为水平时 $\alpha_0 = 0$ ，单位为度（°）；

$\mu$  ——基底与基底土间的摩擦系数；当缺乏可靠试验资料时，可按表4采用。

c) 在本规范限定的墙高范围内，验算装配式挡土墙抗滑动稳定时，稳定系数应不小于表5的规定。

表5 抗滑动的稳定系数

荷载情况	荷载组合 I、II	荷载组合 III	施工阶段验算
抗滑动稳定系数 $K_c$	1.3	1.3	1.2

6.3.2.2 挡土墙抗倾覆稳定验算应符合以下规定：

a) 挡土墙的倾覆稳定方程应满足式（5）的验算要求：

$$0.8GZ_G + \gamma_{Q1}(E_yZ_x - E_xZ_y) + \gamma_{Q2}E_pZ_p > 0 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$G$  ——作用于基底以上的重力，浸水挡土墙的浸水部分应计入浮力，单位为千牛（kN）；

$Z_G$  ——墙身重力、基础重力、面墙重力、基础上填土的重力及作用于墙顶的其它荷载的竖向力合力重心到墙趾的距离，单位为米（m）；

$\gamma_{Q1}$  ——墙后主动土压力荷载分项系数，可按表3采用；

$E_y$  ——墙后主动土压力的竖向分量，单位为千牛（kN）；

$Z_x$  ——墙后主动土压力的竖向分量到墙趾的距离，单位为米（m）；

$E_x$  ——墙后主动土压力的水平分量，单位为千牛（kN）；

$Z_y$  ——墙后主动土压力的水平分量到墙趾的距离，单位为米（m）；

$\gamma_{Q2}$  ——墙前被动土压力荷载分项系数，可按表3采用；

$E_p$  ——墙前被动土压力的水平分量，浸水挡土墙时 $E_p = 0$ ，单位为千牛（kN）；

$Z_p$  ——墙前被动土压力的水平分量到墙趾的距离，单位为米（m）。

b) 抗倾覆稳定系数  $K_0$  按式（6）计算，并应不小于表6的规定：

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_yZ_x + E'_pZ_p}{E_xZ_y} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$K_0$  ——抗倾覆稳定系数，见表6；

$G$  ——作用于基底以上的重力，浸水挡土墙的浸水部分应计入浮力，单位为千牛（kN）；

$Z_G$  ——墙身重力、基础重力、面墙重力、基础上填土的重力及作用于墙顶的其它荷载的竖向力合力重心到墙趾的距离，单位为米（m）；

$E_y$  ——墙后主动土压力的竖向分量，单位为千牛（kN）；

$Z_x$  ——墙后主动土压力的竖向分量到墙趾的距离，单位为米（m）；

$E'_p$  ——墙前被动土压力水平分量的0.3倍，单位为千牛（kN）；

$Z_p$  ——墙前被动土压力的水平分量到墙趾的距离，单位为米（m）；

$E_x$  ——墙后主动土压力的水平分量，单位为千牛（kN）；

$Z_y$  ——墙后主动土压力的水平分量到墙趾的距离，单位为米（m）。

表6 抗倾覆的稳定系数

荷载情况	荷载组合 I、II	荷载组合 III	施工阶段验算
抗倾覆稳定系数 $K_0$	1.5	1.3	1.2

6.3.3 基础设计计算

- 6.3.3.1 挡土墙宜采用明挖基础，基础的埋置深度应符合 JTG D30 的规定；当挡土墙的稳定性和地基承载力不满足设计要求时，可采用就地浅层固化、换填、强夯、复合地基或桩基础等方法进行处理。
- 6.3.3.2 挡土墙纵向基底应做成水平或台阶状，每个台阶长度应不小于 2.0 m 且不小于一个挡土墙标准单元长度，相邻台阶高差宜不大于 2.0 m。
- 6.3.3.3 斜坡上的挡土墙，基础前趾埋入地面的深度和距地表的水平距离应符合 JTG D30 的规定。
- 6.3.3.4 挡土墙地基承载力计算应符合以下规定：
- a) 挡土墙地基承载力计算时，传至基础底面上的荷载效应，应按正常使用极限状态下荷载效应标准组合，相应的抗力采用地基承载力特征值；
  - b) 计算挡土墙基底压应力  $\sigma$  时，各类荷载组合下，作用效应组合设计值计算式中的作用分项系数，除被动土压力分项系数  $\gamma_{Q2} = 0.3$  外，其余荷载的分项系数规定均等于 1；
  - c) 基底合力的偏心距  $e$  可按式 (7) 计算；当挡土墙位于土质地基上时，偏心距  $e$  应不大于基底宽度  $B/6$ ；当挡土墙位于岩质地基上时，偏心距  $e$  应不大于基底宽度  $B/4$ ；当按式 (7) 计算的偏心距  $e < 0$  时，取  $e = 0$ 。

$$e = \frac{\sum M}{\sum N} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- $e$  ——基底合力的偏心距，单位为米（m）；
  - $\sum M$  ——作用于基底形心的弯矩总和，单位为千牛米（kN·m）；
  - $\sum N$  ——作用于基底上的竖向力总和，单位为千牛（kN）。
- d) 挡土墙基底压应力满足地基承载力要求，按式 (8) 计算：

$$\sigma = \frac{\sum N}{B - 2e} \leq k f'_a \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- $\sigma$  ——挡土墙基底压应力，单位为千帕（kPa）；
- $\sum N$  ——作用于基底上的竖向力总和，单位为千牛（kN）；
- $B$  ——基底宽度，倾斜基底时为其斜宽，单位为米（m）；
- $e$  ——基底合力的偏心距，单位为米（m）；
- $k$  ——地基承载力特征值提高系数；当为荷载组合 I、II 时，取  $k=1.0$ ；当为荷载组合 III 及施工荷载时，且  $f'_a > 150$  kPa 时，可取  $k=1.25$ ；
- $f'_a$  ——经基础埋深修正后的地基承载力特征值，单位为千帕（kPa），可按 JTG 3363 的要求采用。

6.3.3.5 挡土墙地基沉降计算应符合以下规定：

- a) 位于土质地基上的挡土墙，若地基为软土或存在软弱下卧层或基底压应力接近地基允许承载力时，应进行地基沉降计算；
- b) 当地基最大沉降量计算值大于设计规定的允许值时，应调整挡土墙的结构形式、断面尺寸、

埋置深度或或对地基采取有效处理措施；

c) 地基沉降应按 JTG D30 进行计算。

6.3.4 墙背填料要求

6.3.4.1 填料的设计参数应选择有代表性的料样按 JTG 3430 的要求进行土质试验，并结合现场情况确定；初步设计缺乏可靠试验数据时，填料的设计参数可按表 7 选用；墙体总高大于 12 m 的挡土墙，表 7 中的综合内摩擦角或内摩擦角取低值。

表7 填料设计参数表

填料种类			综合内摩擦角 $\varphi_0$ (°)	内摩擦角 $\varphi$ (°)	填料重度 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
细粒土	黏性土	墙高H≤6 m	35~40	—	17~18
		墙高H>6 m	30~35	—	
粗粒土（砂类土）	中砂、细砂		—	30~35	18~19
	砂砾、粗砂、角砾、圆砾		—	35~40	19~21
巨粒土（碎石土）	碎石、卵石		—	45~50	19~21

6.3.4.2 填料应分层铺筑，均匀压实，压实度应符合表 8 的规定，对于筋板式挡土墙，墙面板内侧 1 m 范围内填土的压实度可适当降低，但不应低于 90%。

表8 填料压实度表

填土范围		路面底面以下深度 (m)	压实度 (%)	
			高速、一级公路	二级及以下公路
上路床		0~0.3	≥96	≥95
下路床	轻、中等及重交通	0.3~0.8	≥96	≥95
	特重、极重交通	0.3~1.2	≥96	≥95
上路堤	轻、中等及重交通	0.8~1.5	≥94	≥94
	特重、极重交通	1.2~1.9	≥94	≥94
下路堤	轻、中等及重交通	1.5 以下	≥93	≥92
	特重、极重交通	1.9 以下	≥93	≥92

6.3.5 墙面、排水及附属设施设计

6.3.5.1 墙面设计应符合以下要求：

- a) 应在对沿线历史文化、生态环境和景观特色进行调查的基础上，对装配式挡土墙进行生态景观防护设计；
- b) 悬臂式挡土墙、扶壁式挡土墙、重力式挡土墙的外立面可选用与景观协调的颜色、装饰图形等方法进行美化设计；柱板式挡土墙宜采用生态袋回填土后插枝灌木、喷播草灌乔或喷混植生等方法进行植物防护；筋板式挡土墙宜采用种植草灌或插枝灌木等方法进行植物防护；
- c) 挡土墙墙面植物防护应选择易成活、生长快、根系发达、固土护坡能力强、耐干旱、耐瘠薄、抗风耐寒能力强的乡土或适生的草灌乔类植物。

6.3.5.2 排水设计应符合以下要求：

- a) 装配式挡土墙的表面和内部防排水应进行综合设计；

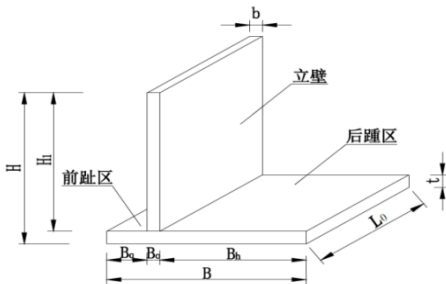


- b) 悬臂式挡土墙、扶壁式挡土墙的立壁上应设置倾向墙外、坡度不小于 4%的泄水孔；泄水孔的间排距宜为 2 m~3 m，最底层距地面（设计水位）高度应大于 0.30 m；立壁内侧应设置反滤层；
  - c) 筋板式挡土墙、柱板式挡土墙和重力式挡土墙可不设泄水孔，墙背宜设置土工布反滤层；
  - d) 当墙后水量较大时，可在排水层底部加设纵向渗沟；在有泉水、渗水等地段，应设纵、横向暗沟；
  - e) 挡土墙墙顶处宜设置排水设施，路表水宜集中排至边沟或排水沟。
- 6.3.5.3 附属设施设计应符合以下要求：
- a) 应综合考虑安全设施、机电设施及智慧道路的建设需要，对相关设施基础进行预留预埋设计；
  - b) 当装配式挡土墙长度大于 100 m、墙高大于 6 m 时，宜根据养护和维修及监测的需要，设置检修台阶或检修梯。

6.4 悬臂式挡土墙装配设计

6.4.1 构造设计

6.4.1.1 悬臂式挡土墙由立壁和底板组成，见图 1；装配设计时，宜先沿长度方向将挡土墙划分为长度为  $L_0=2\text{ m}\sim 3\text{ m}$  挡土墙单元，再将挡土墙单元拆分为立壁、底板预制构件，见图 2。



标引序号说明：

H——挡土墙的高度； $H_1$ ——立壁的高度；b——立壁的厚度；B——底板的宽度； $B_q$ ——前趾区的宽度； $B_h$ ——后踵区的宽度； $B_o$ ——立壁与底板连接区的宽度；t——底板的厚度； $L_0$ ——挡土墙的单位长度。

图1 悬臂式挡土墙单元示意图

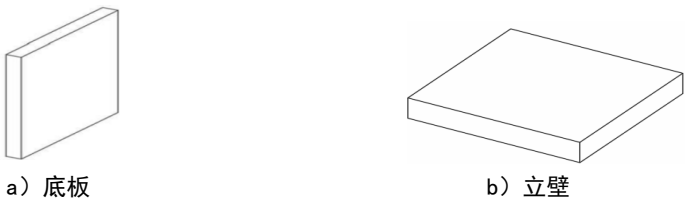


图2 悬臂式挡土墙装配构件示意图

- 6.4.1.2 悬臂式挡土墙的底板和立壁尺寸应满足下列要求：
- a) 立壁高度根据支挡高度确定；
  - b) 底板由前趾板、后踵板和连接区三部分组成；后踵板横向长度宜为墙高的  $1/4\sim 1/2$ ，且应不小于 0.5 m；前趾板长度宜为墙高的  $1/20\sim 1/5$ ；连接区长度与立壁底部厚度相同；底板底面可设置凸榫，凸榫高度不宜小于 0.3 m；底板厚度应不小于 0.3 m；
  - c) 立壁纵向长度和底板纵向长度宜相等，应结合运输条件确定。

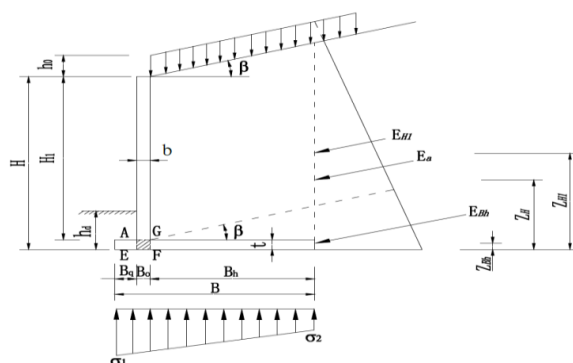
## 6.4.2 结构计算

6.4.2.1 悬臂式挡土墙设计宜按地基承载力和稳定性验算确定前趾板和后踵板的宽度，根据构件正截面抗弯承载力、构件变形及裂缝宽度验算，确定立壁、底板的厚度及钢筋配置。

6.4.2.2 悬臂式挡土墙墙身验算时，控制截面应符合以下要求：

- 立壁：底部、壁板与连接区相交处、2/3 立壁高与 1/3 立壁高处四个截面；
- 墙踵板：根部与 1/2 墙踵板宽度处两个截面；
- 墙趾板：根部与 1/2 墙趾板宽度处两个截面。

6.4.2.3 悬臂式挡土墙设计时可取单位墙长进行内力计算，并将立壁、前趾板和后踵板均视为固支在中间块 AEFG 上的悬臂梁，内力计算模型见图 3，按式（9）～式（14）计算相应的剪力和弯矩。



标引序号说明：

- H——挡土墙高度； $H_1$ ——立壁高度； $h_0$ ——墙顶填土与附加荷载换算的等代土层厚度；  
 $\beta$ ——墙顶填土坡面与水平面的夹角； $h_d$ ——基底埋深； $b$ ——立壁的厚度； $B$ ——底板的宽度；  
 $B_q$ ——前趾区的宽度； $B_h$ ——后踵区的宽度； $B_o$ ——立壁与底板连接区的宽度； $t$ ——底板的厚度；  
 $E_a$ 、 $E_{a1}$ 、 $E_{a2}$ ——分别为挡土墙全高、立壁高度和底板厚度范围内的主动土压力；  
 $Z_{a1}$ 、 $Z_{a2}$ 、 $Z_{a3}$ ——分别为主动土压力  $E_a$ 、 $E_{a1}$ 、 $E_{a2}$  的作用点距底板底面的垂直距离；  
 $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ ——墙趾和墙踵处的基底压应力。

图3 悬臂式挡土墙内力计算模型

a) 立壁上任一截面的剪力和弯矩：

$$Q_{Li} = \gamma_s h_i \cos \varphi (0.5 h_i + h_0) K_a \cdots \cdots \cdots (9)$$

$$M_{Li} = \frac{1}{6} \gamma_s h_i^2 \cos \varphi (h_i + 3 h_0) K_a \cdots \cdots \cdots (10)$$

式中：

- $Q_{Li}$ ——立壁计算截面处的剪力，单位为千牛（kN）；  
 $\gamma_s$ ——土的重度，单位为千牛每立方米（kN/m<sup>3</sup>）；  
 $h_i$ ——立壁计算长度（墙顶至计算截面的距离），单位为米（m）；  
 $\varphi$ ——填土的内摩擦角，单位为度（°）；  
 $h_0$ ——墙顶填土和附加荷载换算的等代土层厚度，单位为米（m）；  
 $K_a$ ——主动土压力系数；  
 $M_{Li}$ ——立壁计算截面处的弯矩，单位为千牛米（kN·m）。

b) 前趾板上任一截面的剪力和弯矩：

$$Q_{qi} = B_{qi} \left[ \sigma_1 - (\sigma_1 - \sigma_2) \frac{B_{qi}}{2B} - \gamma_c t - \gamma_s (h_d - t) \right] \cdots \cdots \cdots (11)$$

$$M_{qi} = \frac{B_{qi}^2}{6} \left[ 3(\sigma_1 - \gamma_c t - \gamma_s h_d + \gamma_s t) - (\sigma_1 - \sigma_2) \frac{B_{qi}}{B} \right] \dots \dots \dots (12)$$

式中:

$Q_{qi}$ ——前趾板计算截面处的剪力, 单位为千牛 (kN);  
 $B_{qi}$ ——前趾板计算截面距根部 AE 的距离, 单位为米 (m);  
 $\sigma_1$ ——墙趾处的基底压应力, 单位为千帕 (kPa);  
 $\sigma_2$ ——墙踵处的基底压应力, 单位为千帕 (kPa);  
 $B$ ——底板的宽度, 单位为米 (m);  
 $\gamma_c$ ——钢筋混凝土的重度, 单位为千牛每立方米 (kN/m<sup>3</sup>);  
 $t$ ——底板的厚度, 单位为米 (m);  
 $\gamma_s$ ——土的重度, 单位为千牛每立方米 (kN/m<sup>3</sup>);  
 $h_d$ ——基底埋深, 单位为米 (m);  
 $M_{qi}$ ——前趾板计算截面处的弯矩, 单位为千牛米 (kN·m)。

c) 后踵板上任一截面的剪力和弯矩:

$$Q_{hi} = B_{hi} \left[ \gamma_s (H_1 + h_0) + \gamma_c t - \sigma_2 - \frac{1}{2} B_{hi} \left( \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{B} - \gamma_s \tan \beta \right) \right] + E_{Bh} \sin \beta \dots \dots \dots (13)$$

$$M_{hi} = \frac{B_{hi}}{6} \left[ 3\gamma_s (H_1 + h_0) + 3\gamma_c t - 3\sigma_2 - B_{hi} \left( \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{B} - 2\gamma_s \tan \beta \right) \right] + E_{Bh} Z_{EBh} \sin \beta \dots \dots \dots (14)$$

式中:

$Q_{hi}$ ——后踵板计算截面处的剪力, 单位为千牛 (kN);  
 $B_{hi}$ ——墙踵板计算长度 (墙踵至计算截面的距离), 单位为米 (m);  
 $\gamma_s$ ——土的重度, 单位为千牛每立方米 (kN/m<sup>3</sup>);  
 $H_1$ ——立壁的高度, 单位为米 (m);  
 $h_0$ ——墙顶附加荷载的等效土层厚度, 单位为米 (m);  
 $\gamma_c$ ——钢筋混凝土的重度, 单位为千牛每立方米 (kN/m<sup>3</sup>);  
 $t$ ——底板的厚度, 单位为米 (m);  
 $\sigma_1$ ——墙趾处的基底压应力, 单位为千帕 (kPa);  
 $\sigma_2$ ——墙踵处的基底压应力, 单位为千帕 (kPa);  
 $B$ ——底板的宽度, 单位为米 (m);  
 $\beta$ ——墙顶填土坡面与水平面的夹角, 单位为度 (°);  
 $E_{Bh}$ ——作用在墙踵板上的主动土压力, 单位为千牛 (kN);  
 $M_{hi}$ ——后踵板计算截面处的弯矩, 单位为千牛米 (kN·m);  
 $Z_{EBh}$ ——作用在墙踵板上的主动土压力的竖向分力对计算截面的力臂 (m), 按式 (15) 计算。

$$Z_{EBh} = \frac{B}{3} \left[ 1 + \frac{(H_1 + h_0) + 2B_{hi} \tan \beta}{2(H_1 + h_0) + B_{hi} \tan \beta} \right] \dots \dots \dots (15)$$

式中:

$B$ 、 $H_1$ 、 $h_0$ 、 $B_{hi}$ 、 $\beta$  符号意义与式 (14) 相同。

#### 6.4.2.4 构件截面厚度应满足配筋率和裂缝宽度控制的要求, 可按下列方法确定:

a) 按配筋率控制要求, 截面厚度按式 (16) 计算:

$$t_e \geq \sqrt{\frac{M_j \gamma_e}{\xi(1-0.5\xi)LR_a}} \dots \dots \dots (16)$$

式中:

$t_e$ ——计算截面的有效厚度，它是立壁高度范围内或墙趾板和墙踵板宽度范围内的任一截面，单位为米（m）；

$M_j$ ——计算弯矩，单位为千牛米（kN·m）；

$\gamma_e$ ——混凝土安全系数，取 1.25；

$L$ ——矩形截面长度，单位为米（m）；

$\xi$ ——计算系数， $\xi = \frac{\mu R_g}{R_a}$ ；

$\mu$ ——配筋率， $\mu = 0.3\% \sim 0.8\%$ ；

$R_g$ ——纵向受拉钢筋设计强度，单位为千帕（kPa）；

$R_a$ ——混凝土抗压设计强度，单位为千帕（kPa）。

b) 按裂缝宽度控制要求，截面厚度按式（17）计算：

$$t_e \geq \frac{Q_j}{0.05\sqrt{R_a L}} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$t_e$ ——计算截面的有效厚度，单位为米（m）；

$Q_j$ ——计算剪力，单位为千牛（kN）；

$R_a$ ——混凝土抗压设计强度，单位为千帕（kPa）；

$L$ ——矩形截面长度，单位为米（m）。

c) 构件的最大裂缝宽度不应大于 0.2 mm。构件裂缝宽可按式（18）验算：

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_{\max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} (1.9C + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}}) \leq 0.2 \\ \rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}} \\ \sigma_{sk} = \frac{M_k}{0.87h_e A_s} \\ \psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{sk}} \end{array} \right. \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$\omega_{\max}$ ——构件裂缝宽度，单位为毫米（mm）；

$\alpha_{cr}$ ——构件受力特征系数， $\alpha_{cr}=2.1$ ；

$\psi$ ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数，当  $\psi < 0.2$  时，取  $\psi = 0.2$ ；当  $\psi > 1$  时，取  $\psi = 1$ ；

$\sigma_{sk}$ ——按荷载效应标准组合计算的钢筋混凝土构件受拉钢筋的应力，单位为帕（Pa）；

$E_s$ ——钢筋的弹性模量，单位为帕（Pa）；

$C$ ——最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区底边的距离，单位为毫米（mm）；

$d_{eq}$ ——受拉区纵向钢筋的直径，单位为毫米（mm）；

$\rho_{te}$ ——按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率；当  $\rho_{te} < 0.01$  时，取  $\rho_{te} = 0.01$ ；

$A_s$ ——受拉区纵向钢筋截面面积，单位为平方毫米（mm<sup>2</sup>）；

$A_{te}$ ——有效受拉混凝土截面面积，单位为平方毫米（mm<sup>2</sup>）；

$M_k$ ——按荷载效应标准组合计算的弯矩，单位为牛毫米（N·mm）；

$f_{tk}$ ——混凝土轴心抗拉强度标准值，单位为帕（Pa）；

$h_e$ ——截面的有效高度，单位为毫米（mm）。

6.4.2.5 当悬臂式挡土墙沿立壁和底板连接处拆分和连接时，挡土墙单元连接处的剪力和弯矩可按式

(19)、式 (20) 计算。

$$Q_c = \gamma_s H_1 \cos \varphi (0.5 h_1 + h_0) K_a L_0 \cdots \cdots \cdots (19)$$

$$M_c = \frac{1}{6} K_a \gamma_s H_1^2 (H_1 + 3 h_0) L_0 \cos \varphi \cdots \cdots \cdots (20)$$

式中：  
 $Q_c$ ——连接处的剪力，单位为千帕（kN）；  
 $M_c$ ——连接处的弯矩，单位为千牛米（kN·m）；  
 $\gamma_s$ ——土的重度，单位为千牛每立方米（kN/m<sup>3</sup>）；  
 $H_1$ ——立壁的高度，单位为米（m）；  
 $\varphi$ ——土的内摩擦角，单位为度（°）；  
 $h_0$ ——墙顶附加荷载的等效土层厚度，单位为米（m）；  
 $K_a$ ——主动土压力系数；  
 $L_0$ ——挡土墙单元的长度，单位为米（m）。

6.4.3 配筋设计

- 6.4.3.1 主钢筋应配置在立壁内侧、后踵板上缘、前趾板下缘；主钢筋直径宜不小于 12 mm，间距应不大于 0.2 m。
- 6.4.3.2 前趾板上缘、后踵板下缘应配置不小于 50%主钢筋面积的构造钢筋；立壁外侧的分布钢筋直径应不小于 8 mm。
- 6.4.3.3 每延米墙长沿墙高方向的钢筋总面积宜不小于 500 mm<sup>2</sup>。
- 6.4.3.4 应根据构件截面剪力配置箍筋。

6.4.4 连接设计

6.4.4.1 悬臂式挡土墙单元之间应通过纵向连接构造相互连接，预制立壁间可采用凹凸式搭接构造，预制底板间可采用台阶式搭接构造，见图 4。

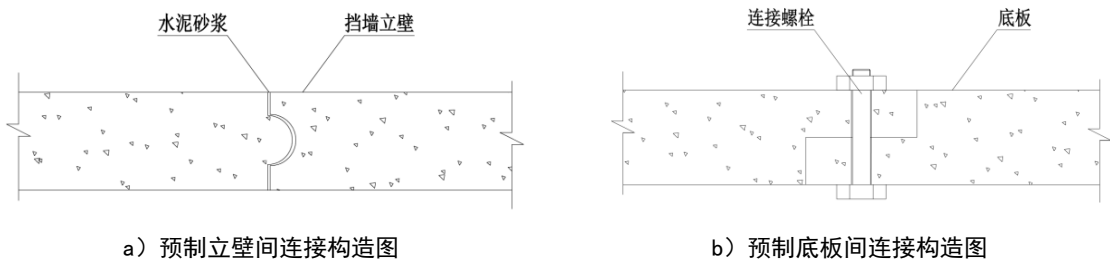


图4 预制构件纵向连接构造示意图

- 6.4.4.2 悬臂式挡土墙的立壁和底板间宜采用锚栓连接、预留钢筋连接等方式进行连接。
- 6.4.4.3 构件采用锚栓连接应符合以下要求：
  - a) 将立壁连接区扩大成楔形体，在楔形体内用钢套筒形成预留连接孔；在底板的连接区预留连接槽并在连接槽内等间距预埋锚栓；拼装时先将锚栓插入连接孔内并灌入高强无收缩砂浆，再用螺母和厚垫圈紧固，然后通过浇筑混凝土将锚栓外露部分封闭，见图 5；

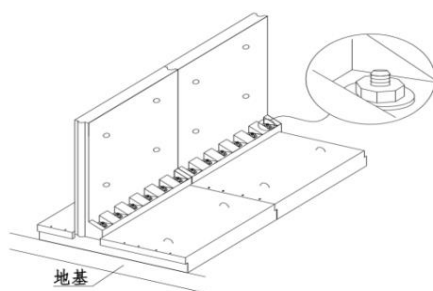


图5 悬臂式挡土墙锚栓连接示意图

b) 锚栓宜采用高强度螺栓、螺母和垫圈构成；螺栓、螺母和垫圈应符合 GB/T 1231、GB/T 1229、GB/T 1230 和 GB/T 3098.1 的要求；当采用地脚螺栓时，应符合 GB/T 799 的要求；锚栓连接应满足以下要求：

- 1) 锚栓连接宜采用高强度螺栓、螺母和垫圈构成；螺栓、螺母和垫圈应符合 GB/T 1231、GB/T 1229、GB/T 1230 和 GB/T 3098.1 的要求；当采用地脚螺栓时，应符合 GB/T 799 的要求；
- 2) 锚栓间距为锚栓孔径的3倍~8倍，最外侧锚栓至边缘距离为锚栓孔径的2倍~4倍；
- 3) 每一个装配单元的连接结构中锚栓数量应不少于3个。

c) 锚栓设计和验算时，宜取单元长度进行分析；锚栓拉力计算时，以图 3 中的 A 点为支点，将作用在连接处的弯矩换算为锚栓总拉力，再将其平均分配到该连接处受拉侧锚栓上；锚栓剪力计算时，可将作用连接处的总剪力平均分配到该连接处的每个锚栓上；锚栓应按以下规定进行设计和验算：

1) 螺栓的预拉力设计值  $P$  按式 (21) 计算：

$$P = \frac{0.9 \times 0.9 \times 0.9}{1.2} A_e f_u \dots\dots\dots (21)$$

式中：

$P$ ——螺栓的预拉力设计值，单位为千牛 (kN)；

$A_e$ ——螺栓螺纹处的有效截面面积，单位为平方毫米 (mm<sup>2</sup>)；

$f_u$ ——螺纹材料经热处理后的最低抗拉强度，单位为兆帕 (MPa)；其中 8.8 级为 830 MPa；10.9 级为 1 040 MPa。

2) 单个螺栓的抗剪承载力设计值  $N_v^b$  按式 (22) 计算：

$$N_v^b = 0.9 n_f \mu P \dots\dots\dots (22)$$

式中：

$N_v^b$ ——单个螺栓的抗剪承载力设计值，单位为千牛 (kN)；

$n_f$ ——螺栓的传力摩擦面数目，单剪时为 1，双剪时为 2，单位为个；

$\mu$ ——摩擦面抗滑移系数。

3) 单个螺栓的抗拉承载力设计值  $N_t^b$  按式 (23) 计算：

$$N_t^b = 0.8 P \dots\dots\dots (23)$$

式中：

$N_t^b$ ——单个螺栓的抗拉承载力设计值，单位为千牛 (kN)；

$P$ ——螺栓的预拉力设计值，单位为千牛（kN）。

4) 单个螺栓同时承受拉力和剪力时承载力设计值按式（24）计算：

$$\frac{N_v}{N_v^b} + \frac{N_t}{N_t^b} \leq 1 \quad (24)$$

式中：

$N_v$  ——单个螺栓所承受的剪力，单位为千牛（kN）；

$N_t$  ——单个螺栓所承受的拉力，单位为千牛（kN）；

$N_v^b$  ——单个螺栓的抗剪设计值，单位为千牛（kN）；

$N_t^b$  ——单个螺栓的拉承载力设计值，单位为千牛（kN）。

5) 螺栓群轴心受剪时所需螺栓数目 $n$ 按式（25）计算：

$$n \geq \frac{N_v}{N_v^b} \quad (25)$$

式中：

$N$  ——螺栓群轴心受剪时所需螺栓数目，单位为个；

$N_v$  ——螺栓群所承受的剪力，单位为千牛（kN）；

$N_v^b$  ——单个螺栓的抗剪承载力设计值，单位为千牛（kN）。

6) 螺栓群轴心受拉时所需螺栓数目 $n$ 按式（26）计算：

$$n \geq \frac{N_t}{N_t^b} \quad (26)$$

式中：

$N$  ——螺栓群轴心受拉时所需螺栓数目，单位为个；

$N_t$  ——螺栓群所承受的拉力，单位为千牛（kN）；

$N_t^b$  ——单个螺栓的抗拉承载力设计值，单位为千牛（kN）。

6.4.4.4 构件采用预留钢筋连接时，宜采用焊接连接，也可以采用灌浆套筒、浆锚搭接、现浇混凝土内直线锚固等方式连接，并应符合以下要求：

- a) 预留钢筋采用焊接连接时，宜在立壁下端和底板连接区顶面预留位置相互对应的钢筋，外露钢筋宜呈三角形，预留钢筋间距宜根据纵向钢筋间距确定；拼装时先将来自立壁和底板上的相邻预留钢筋焊接在一起，再浇筑混凝土形成连接结构，见图 6；焊接应符合 GB 50661 的规定，当焊缝只承受与钢筋方向相同的轴心力时，切应力 $\tau_f$ 和有效厚度 $h_e$ 按式（27）和式（28）进行验算。

$$\tau_f = \frac{N}{h_e \sum l_w} \leq f_f^w \quad (27)$$

式中：

$\tau_f$  ——焊缝的切应力，单位为千牛（kN）；

$N$  ——钢筋承受的轴心力，单位为千牛（kN）；

$h_e$  ——焊缝的有效厚度，单位为毫米（mm）；

$\sum l_w$  ——两焊件间焊缝的计算长度总和，单位为毫米（mm）；

$f_f^w$  ——焊缝强度设计值，单位为兆帕（MPa）。

$$h_e = 0.1(d_1 + 2d_2) - a \quad (28)$$

式中：

$h_e$  ——焊缝的有效厚度，单位为毫米（mm）；

$d_1$ 、 $d_2$ ——圆钢直径，单位为毫米（mm）；  
 $a$ ——焊缝表面到两圆公切线的距离，单位为毫米（mm）。

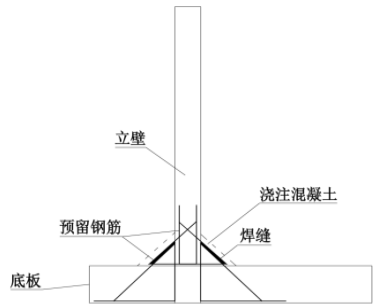


图6 悬臂式挡土墙焊接连接示意图

- b) 预留钢筋采用灌浆套筒连接时，接头应满足 JGJ 107 中 I 级接头的性能要求；套筒外侧钢筋的混凝土保护层厚度应不小于 20 mm；套筒之间的净距应不小于 25 mm；
- c) 预留钢筋采用浆锚搭接连接时，对预留孔成孔工艺、孔道形状和长度、构造要求、灌浆料和被连接钢筋，应进行力学性能以及适用性的试验验证；直径大于 20 mm 的钢筋不宜采用浆锚搭接连接；
- d) 预留钢筋采用后浇混凝土内直线锚固时，应有足够的锚固长度，并应符合 GB 50010 和 JGJ 256 的规定。

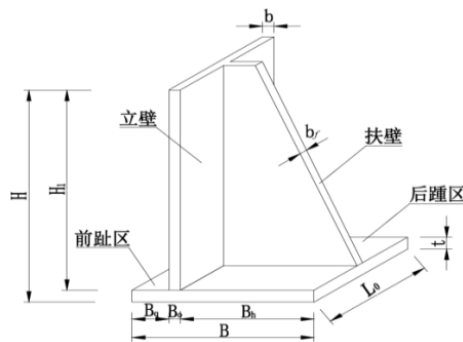
6.4.5 设计案例

装配悬臂式挡土墙设计计算案例见附录 B。

6.5 扶壁式挡土墙装配设计

6.5.1 构造设计

6.5.1.1 扶壁式挡土墙由立壁、扶壁、底板组成，见图 7。装配设计时，宜先沿长度方向将挡土墙划分为标准长度的挡土墙单元，再将挡土墙单元拆分为立壁、底板、扶壁预制构件，底板可采用现浇结构，然后通过合适的方式将预制立壁、底板和扶壁连接在一起，见图 8。



标引序号说明：  
H——挡土墙的高度； $H_l$ ——立壁的高度； $b$ ——立壁的厚度； $B$ ——底板的宽度； $B_q$ ——前趾区的宽度； $B_h$ ——后踵区的宽度； $B_o$ ——立壁与底板连接区的宽度； $t$ ——底板的厚度； $L_o$ ——挡土墙的单位长度。

图7 扶壁式挡土墙单元示意图



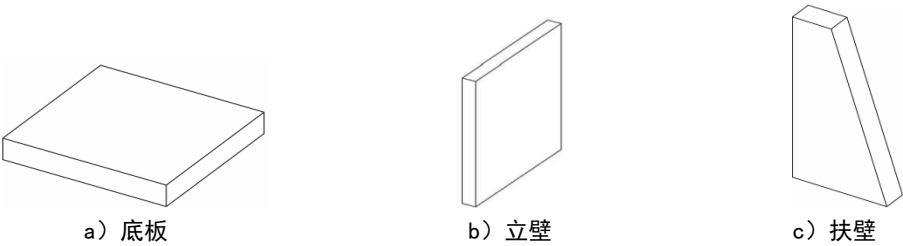
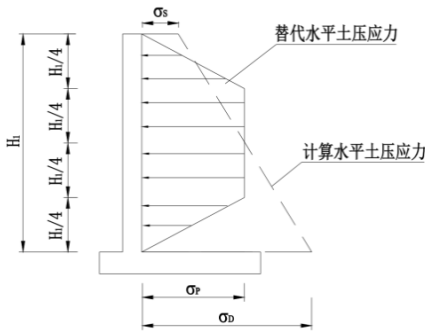


图8 扶壁式挡土墙装配构件示意图

- 6.5.1.2 扶壁式挡土墙的构件应满足下列要求：
- a) 每个扶壁式挡土墙单元宜包含立壁、底板和扶壁等预制构件各一块；
  - b) 立壁、底板和扶壁均宜采用等厚板，立壁厚度应不小于 0.2 m，扶壁间距宜为墙高的 1/3～1/2，底板和扶壁的厚度应不小于 0.3 m，扶壁宜随高度变化逐渐向墙后加宽；
  - c) 立壁和底板的长度宜相等，并考虑构件吊装与运输条件的影响；立壁高度应根据工程段落要求确定，底板宽度应根据挡土墙的稳定性验算确定。

6.5.2 结构计算

- 6.5.2.1 立壁可视为固结在扶壁和底板上的三向固结板，分墙长方向和墙高方向按下述简化方法进行计算：
- a) 立壁上的荷载仅计入墙后主动土压力的水平向分量，可不计立壁自重、土压力的竖向分量和墙前被动土压力等；
  - b) 作用在立壁上的水平土压力可简化梯形分布，见图 9，H/4～3H/4 区段的简化水平土压力按式（29）计算；



标引序号说明：

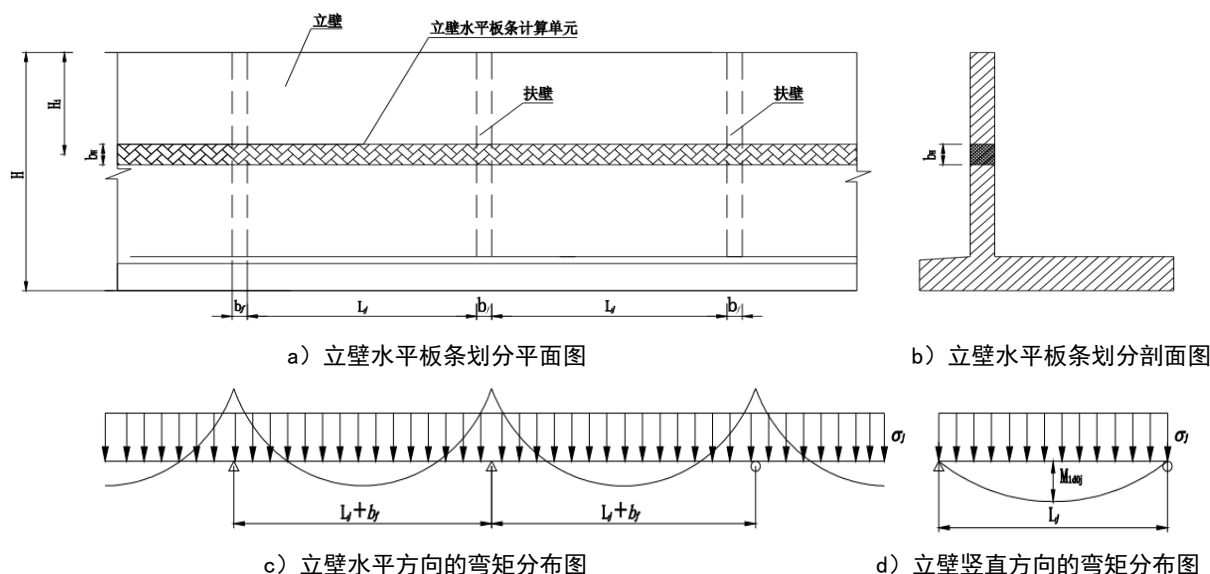
$H_i$ ——立壁的高度； $\sigma_p$ ——作用于立壁上的替代水平土压力； $\sigma_s$ 、 $\sigma_D$ ——作用于立壁顶面、底端的水平土压力。

图9 立壁上的简化水平土压力

$$\sigma_p = \frac{\sigma_s + \sigma_D}{2} \dots\dots\dots (29)$$

- 式中：
- $\sigma_p$ ——作用于立壁上的简化水平土压力，单位为千帕（kPa）；
  - $\sigma_s$ ——作用于立壁顶面的水平土压力，单位为千帕（kPa）；
  - $\sigma_D$ ——作用于立壁底端的水平土压力，单位为千帕（kPa）。
- c) 计算立壁沿墙长方向的内力时，可沿墙高方向分段截取单位立壁高度为板宽的水平板条进行

计算, 见图 10, 并将水平板条按支撑于扶壁上的连续梁进行计算, 荷载沿板条长度方向均匀分布, 其值等于该板条所在立壁高度处的水平土压应力; 单位宽度板条在支点处和跨中的内力组合设计值可按下列简化公式计算; 支点处的剪力组合设计值按式 (30) 计算, 支点处的负弯矩组合设计值按式 (31) 计算, 跨中正弯矩组合设计值按式 (32) 计算;



标引序号说明:

$L_j$ ——相邻扶壁间的净距;  $b_f$ ——扶壁的厚度;  $H$ ——挡土墙的高度;  $H_i$ ——第  $i$  个板条距立壁顶部的垂直距离;  
 $b_n$ ——计算板条的宽度;  $p_i$ ——作用在计算板条上的水平土压力。

图10 立壁水平内力计算简图

$$Q_{ld1i} = \frac{1}{2} \gamma_{Q1} \sigma_{pi} L_0 \dots\dots\dots (30)$$

$$M_{ld1i} = -\frac{1}{18} \sigma_{pi} L_0^2 \dots\dots\dots (31)$$

$$M_{ld2i} = \frac{1}{50} \sigma_{pi} L_0^2 \dots\dots\dots (32)$$

式中:

$Q_{ld1i}$  ——第  $i$  个板条所在高度支点的剪力组合设计值, 单位为千帕 (kN);

$\gamma_{Q1}$  ——主动土压力分项系数, 按表 7 的规定取值;

$\sigma_{pi}$  ——第  $i$  个板条所在高度的水平土压应力, 单位为千帕 (kPa);

$L_0$  ——跨长,  $L_0 = L_j + b_f$ , 单位为米 (m);

$M_{ld1i}$  ——第  $i$  个板条所在高度支点的负弯矩组合设计值, 单位为千牛米 (kN·m);

$M_{ld2i}$  ——第  $i$  个板条所在高度跨中的正弯矩组合设计值, 单位为千牛米 (kN·m)。

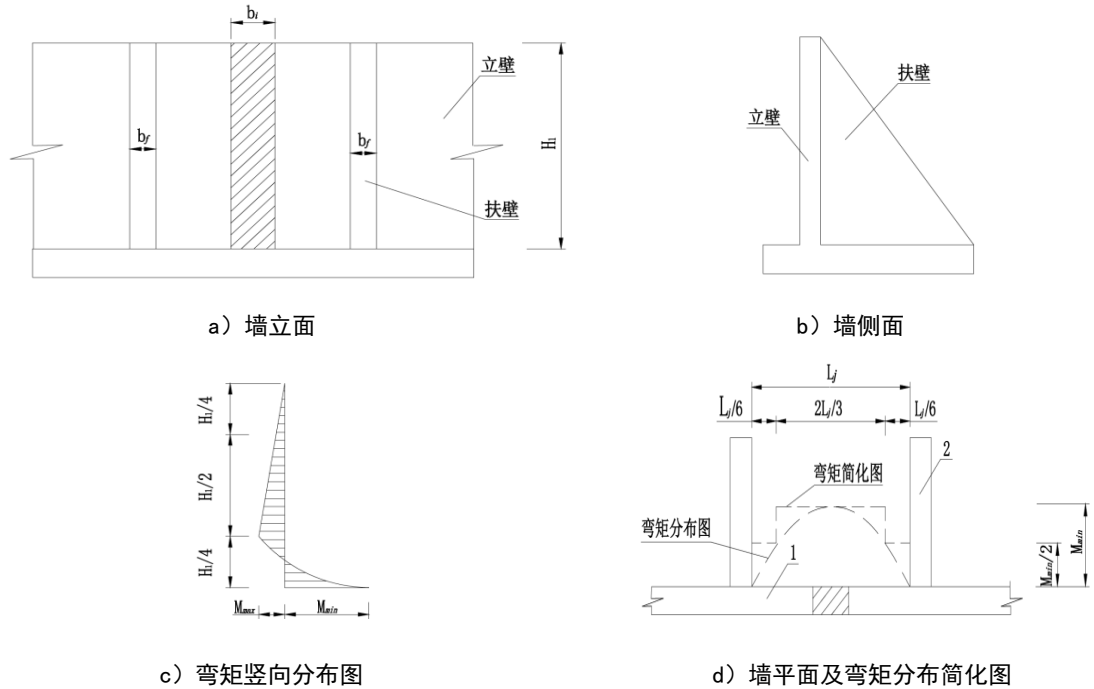
d) 计算立壁沿墙高方向的内力时, 可沿墙长方向分段截取单位墙长为宽度的竖直板条进行计算, 见图 11。单位宽度立壁竖直板条上的竖向弯矩沿墙高的分布见图 10c)、沿墙长呈台阶形分布见图 10d), 跨中  $2L_0/3$  区段内的墙底最小负弯矩可按式 (33) 计算, 最大正弯矩可按式 (34) 计算, 墙两端各  $L_0/6$  区段的墙底最小负弯矩与最大正弯矩为跨中的值的一半。

$$M_{\max} = 0.0075 \sigma_D H_1 L_j \dots\dots\dots (33)$$

$$M_{\min} = -4M_{\max} \dots\dots\dots (34)$$

式中：

- $M_{\max}$  ——立壁竖向最大正弯矩，单位为千牛米（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；
- $\sigma_D$  ——立壁底端的水平土压力，单位为千帕（ $\text{kPa}$ ）；
- $H_l$  ——立壁的高度，单位为米（ $\text{m}$ ）；
- $L_j$  ——相邻扶壁间的净距，单位为米（ $\text{m}$ ）；
- $M_{\min}$  ——立壁竖向最大负弯矩，单位为千牛米（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）。



标引序号说明：

- $b_r$ ——扶壁厚度； $b_l$ ——立壁竖向板条顺墙长方向的单位宽度； $H_l$ ——立壁的高度； $M_{\max}$ ——立壁竖向最大正弯矩；
- $M_{\min}$ ——立壁竖向最大负弯矩； $L_j$ ——相邻扶壁间的净距。

图11 立壁竖向弯矩计算简图

6.5.2.2 底板的前趾板可按固定在立壁和后踵板结合部的悬臂梁计算，其内力计算方法与悬臂式挡土墙前趾板内力计算方法相同，按照 6.4.2.3 执行。

6.5.2.3 底板的后踵板可按支承在扶壁上的连续板计算，计算时可不计立壁的约束，且后踵板与立壁按铰支连接计算。后踵板上的作用（或荷载）和效应计算可做以下简化：

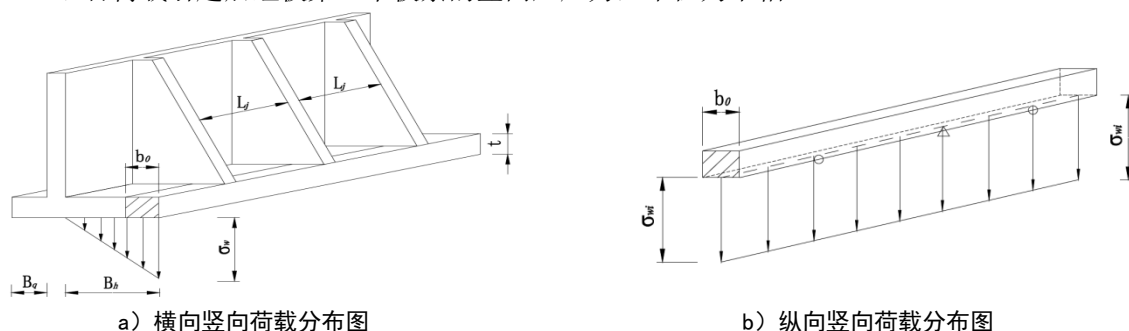
- a) 作用在后踵板上的荷载除计算上方的土压力及其底反力外，尚应计算由于墙趾板弯矩作用在墙踵板上产生的等代荷载；墙踵板横向荷载可不验算；
- b) 作用在后踵板上的计算荷载可简化为三角形分布，见图 12，每延米挡土墙上后踵处的竖直压应力及组合荷载综合分项系数可按式（35）和式（36）计算。

$$\sigma_w = \gamma_s (H_l + B_q \tan \beta + h_0) + \gamma_c t + \frac{\sin \beta}{B_q} (E_{BH} + 2E_t) + \frac{2.4M_1}{B_h^2} - p_2 \dots\dots\dots (35)$$

$$\gamma_{QC} = \left[ \gamma_s (H_l + B_q \tan \beta + h_0) + \gamma_c t + \frac{\sin \beta}{B_q} (E_{BH} + 2E_t) + \frac{2.4M_1}{B_h^2} - p_2 \right] / \sigma_w \dots\dots\dots (36)$$

式中：

- $\sigma_w$ ——后踵处的竖向压应力，单位为千帕（kPa）；  
 $\gamma_s$ ——墙后填土的重度，单位为千牛每立方米（kN/m<sup>3</sup>）；  
 $H_l$ ——立壁高度，单位为米（m）；  
 $B_q$ ——前趾板的长度，单位为米（m）；  
 $\beta$ ——墙顶填土与水平面的夹角，单位为度（°）；  
 $h_o$ ——墙顶附加荷载的等代土层厚度，单位为米（m）；  
 $\gamma_c$ ——钢筋混凝土的重度，单位为千牛每立方米（kN/m<sup>3</sup>）；  
 $t$ ——后踵板的厚度，单位为米（m）；  
 $E_{BF}$ ——作用在墙踵板上的主动土压力，单位为千牛（kN）；  
 $B_h$ ——后踵板的长度，单位为米（m）；  
 $M_1$ ——未计入荷载分项系数的每延米挡土墙前趾板与立壁连接处的悬臂梁固端弯矩（kN·m/m）；  
 $p_2$ ——墙踵处的基底应力，单位为千帕（kPa）；  
 $\gamma_{QC}$ ——组合荷载综合分项系数；  
 $\sigma_{wi}$ ——组合荷载引起后踵板第  $i$  个板条的竖向压应力，单位为千帕（kPa）。



标引序号说明：

- $B_h$ ——后踵板的长度； $B_q$ ——前趾板的长度； $t$ ——后踵板的厚度； $b_o$ ——后踵板板条单位宽度；  
 $L_j$ ——相邻扶壁间净距； $\sigma_w$ ——组合荷载引起后踵板端部的竖向压应力；  
 $\sigma_{wi}$ ——组合荷载引起后踵板第  $i$  个板条的竖向压应力。

图12 后踵板上组合竖向荷载分布示意图

- c) 在顺墙长方向，后踵板可作为支承于扶壁上的连续梁构件；计算时可以踵板宽度上取单位宽度为板，按水平板条进行计算，荷载沿板条长度方向均匀分布，计算点处的作用效应组合设计值可按式（37）～式（39）计算；其中支点负弯矩组合设计值按式（37）计算，支点剪力组合设计值按式（38）计算，跨中弯矩组合设计值按式（39）计算；

$$M_{2d1i} = -\frac{1}{18} \sigma_{wi} L_j^2 \dots\dots\dots (37)$$

$$Q_{2d1i} = \frac{1}{2} \gamma_{QC} \sigma_{wi} L_j \dots\dots\dots (38)$$

$$M_{2d2i} = \frac{1}{50} \sigma_{wi} L_j^2 \dots\dots\dots (39)$$

式中：

- $M_{2d1i}$ ——第  $i$  个板条所在位置支点处的弯矩组合设计值，单位为千牛米（kN·m）；  
 $\sigma_{wi}$ ——第  $i$  个板条所在位置的竖向压应力，单位为千帕（kPa）；  
 $L_j$ ——相邻扶壁间净距，单位为米（m）；  
 $Q_{2d1i}$ ——第  $i$  个板条所在位置支点处的剪力组合设计值，单位为千牛（kN）；

$\gamma_{QC}$ ——组合荷载综合分项系数，按式（36）计算；

$M_{2di}$ ——第  $i$  个板条所在位置跨中的弯矩组合设计值，单位为千牛米（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）。

d) 后踵板在垂直墙长方向的受力可不作计算，依据立壁竖直板条固结端的设计荷载配置后踵板在垂直墙长方向顶面所需的水平钢筋。

6.5.2.4 扶壁可视为锚固在后踵板上的 T 形变截面悬梁，将墙面板视为梁翼缘，且翼缘有效计算宽度由墙顶向下逐渐加宽，扶壁视为梁的腹板。作用在扶壁上的荷载可只考虑相邻扶壁跨中至跨中长度与立壁高度范围内的水平土压力，产生的剪力和弯矩可按式（40）和式（41）计算。

$$Q_{hi} = \gamma_s h_i L_0 (0.5h_i + h_0) K_a \cos \varphi \cdots \cdots \cdots (40)$$

$$M_{hi} = \frac{1}{6} \gamma_s h_i^2 L_0 (h_i + 3h_0) K_a \cos \varphi \cdots \cdots \cdots (41)$$

式中：

$Q_{hi}$ ——距墙顶  $h_i$  高度处的剪力，单位为千牛（ $\text{kN}$ ）；

$\gamma_s$ ——墙后填土的重度，单位为千牛每立方米（ $\text{kN}/\text{m}^3$ ）；

$h_i$ ——扶壁计算截面距墙顶的距离，单位为米（ $\text{m}$ ）；

$L_0$ ——跨长， $L_0 = L_j + b_f$ ，单位为米（ $\text{m}$ ）；

$h_0$ ——墙顶填土的换算土层厚度，单位为米（ $\text{m}$ ）；

$K_a$ ——主动土压力系数；

$\varphi$ ——墙后填土的内摩擦角，单位为度（ $^\circ$ ）；

$M_{hi}$ ——距墙顶  $h_i$  高度处的弯矩，单位为千牛米（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）。

6.5.2.5 当扶壁式挡土墙沿立壁、底板、扶壁相接处拆分和连接时，挡土墙单元长度内连接处的内力按式（42）～式（46）计算，其中立壁与底板连接处的弯矩和剪力按式（42）和式（43）计算，立壁与扶壁连接处的拉力按式（44）计算，扶壁与底板连接处的弯矩和剪力按式（45）和式（46）计算。

$$Q_{ld} = \frac{3}{4} \sigma_p H_1 (L_j - d) \cdots \cdots \cdots (42)$$

$$M_{ld} = -0.3 \sigma_D H_1 L_j^2 \cdots \cdots \cdots (43)$$

式中：

$Q_{ld}$ ——立壁与底板连接处的剪力，单位为千牛（ $\text{kN}$ ）；

$\sigma_p$ ——作用于立壁上的替代水平土压力，单位为千牛（ $\text{kPa}$ ）；

$H_1$ ——立壁的高度，单位为米（ $\text{m}$ ）；

$L_j$ ——相邻扶壁间净距，单位为米（ $\text{m}$ ）；

$d$ ——扶壁的厚度，单位为米（ $\text{m}$ ）；

$M_{ld}$ ——立壁与底板连接处的弯矩，单位为千牛米（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

$\sigma_D$ ——作用于立壁底端的水平土压力，单位为千牛（ $\text{kPa}$ ）。

$$N_{lf} = 0.75 \sigma_D H_1 (L_j - d_f) \cdots \cdots \cdots (44)$$

式中：

$N_{lf}$ ——立壁与底板连接处的拉力，单位为千牛（ $\text{kN}$ ）；

$\sigma_D$ ——作用于立壁底端的水平土压力，单位为千牛（ $\text{kPa}$ ）；

$H_1$ ——立壁的高度，单位为米（ $\text{m}$ ）；

$L_j$ ——相邻扶壁间净距，单位为米（ $\text{m}$ ）；

$d_f$ ——扶壁的厚度，单位为米（ $\text{m}$ ）。

$$Q_{fd} = \gamma_s H_1 L_j (0.5 H_1 + h_0) K_a \cos \varphi \cdots \cdots (45)$$

$$M_{fd} = \frac{1}{6} \gamma_s H_1^2 L_0 (H_1 + 3 h_0) K_a \cos \varphi \cdots \cdots (46)$$

式中：

$Q_{fd}$ ——扶壁与底板连接处的剪力，单位为千牛（kN）；

$\gamma_s$ ——墙后填土的重度，单位为千牛每立方米（kN/m<sup>3</sup>）；

$H_1$ ——立壁的高度，单位为米（m）；

$L_j$ ——相邻扶壁间净距，单位为米（m）；

$h_0$ ——墙顶填土的换算土层厚度，单位为米（m）；

$K_a$ ——主动土压力系数；

$\varphi$ ——墙后填土的内摩擦角，单位为度（°）；

$M_{fd}$ ——扶壁与底板连接处的弯矩，单位为千牛米（kN·m）；

$L_0$ ——扶壁的跨度，单位为米（m）。

### 6.5.3 配筋设计

6.5.3.1 扶壁式挡土墙的立壁、底板按矩形截面受弯构件配筋，扶壁按变截 T 形梁配筋。

6.5.3.2 主钢筋应配置在立壁内侧、后踵板上缘、前趾板下缘；主钢筋直径宜不小于 12 mm，间距应不大于 0.20 m。

6.5.3.3 前趾板上缘、后踵板下缘应配置大于 50% 主钢筋面积的构造钢筋，立壁外侧的分布钢筋直径应不小于 8 mm，每延米墙长沿墙高方向的钢筋总面积宜不小于 500 mm<sup>2</sup>，间距应不大于 0.30 m。

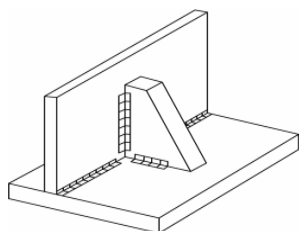
6.5.3.4 应根据构件截面剪力配置箍筋。

### 6.5.4 连接设计

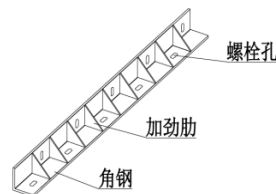
6.5.4.1 扶壁式挡土墙单元之间的连接应符合 6.4.4.1 的规定。

6.5.4.2 扶壁式挡土墙的立壁、扶壁和底板等构件间宜采用预留螺栓角钢方式连接；预留螺栓角钢方式连接应符合以下要求：

- a) 连接结构：在立壁和底板的连接区预埋等距并位置交错的螺栓，在扶壁上预留带钢套筒的孔，并预制连接用角钢；拼接时通过连接角钢、双头螺栓、螺母和厚垫圈等进行紧固连接，再对连接部位浇筑混凝土形成保护层，见图 13；



a) 构件拼装用螺栓角钢连接图



b) 构件连接用的带肋角钢图

图13 扶壁式挡土墙螺栓角钢连接示意图

b) 螺栓、螺母、垫圈应符合 6.4.4.3 的要求；

c) 连接角钢宜采用热轧等边角钢，肢宽宜大于 150 mm，相邻螺栓孔之间应设置一道加劲肋，加劲肋的厚度应与角钢厚度相同，连接角钢的强度应满足 GB 50017 的规定。

6.6 柱板式挡土墙装配设计

6.6.1 构造设计

6.6.1.1 柱板式挡土墙由预制立柱、挡土板、底板等组成，见图 14；挡土板宜以倾斜向下的方式设置在相邻立柱之间，并对墙面进行植生绿化。

6.6.1.2 柱板式挡土墙的构件应满足下列要求：

- a) 柱板式挡土墙的构件尺寸应标准化、系列化；
- b) 立柱宜采用预制空心结构，通过立柱单元拼接调整支挡高度，最大支挡高度不宜高于 5 m，柱间距不宜小于 2 m，也不宜大于 6 m；挡土板的宽度不宜大于 1 m、厚度不宜小于 0.06 m；底板厚度不宜小于 1.0 m；
- c) 柱板式挡土墙墙背应设置反滤层或排水板；
- d) 斜向设置的挡土板间可设置充填有营养土的生态袋。

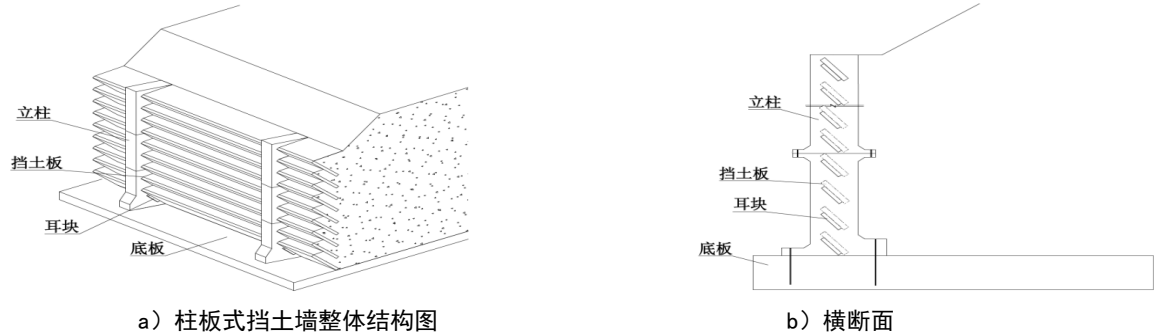


图14 柱板式挡土墙装配结构示意图

6.6.2 结构计算

6.6.2.1 结构计算时，柱板式挡土墙可简化为悬臂式挡土墙，以一根立柱和相邻一组挡土板的长度范围为计算单元，先按悬臂式挡土墙设计方法进行整体稳定性验算，再进行构件设计。

6.6.2.2 柱板式挡土墙的底板设计时，一般按地基承载力和稳定性验算确定前趾板和后踵板的宽度，再按 6.4.2 的规定计算底板的内力，并根据构件正截面抗弯承载力、构件变形及裂缝宽度验算，确定底板的几何尺寸及钢筋配置。

6.6.2.3 柱板式挡土墙的立柱设计时，可取计算单元墙长进行土压力计算，并将立柱视为固支在底板上的悬臂梁，任一截面的剪力和弯矩可按式（47）和式（48）计算。

$$Q_{lzi} = \gamma_s h_1 \cos \varphi (0.5 h_1 + h_0) K_a L_0 \dots\dots\dots (47)$$

$$M_{lzi} = \frac{1}{6} \gamma_s h_1^2 \cos \varphi (h_1 + 3 h_0) K_a L_0 \dots\dots\dots (48)$$

式中：

- $Q_{lzi}$ ——计算截面处的剪力，单位为千牛（kN）；
- $M_{lzi}$ ——计算截面处的弯矩，单位为千牛米（kN·m）；
- $\gamma_s$  ——墙后填土的重度，单位为千牛每立方米（kN/m<sup>3</sup>）；
- $h_1$  ——立柱计算截面至墙顶的距离，单位为米（m）；
- $\varphi$  ——墙后填土的内摩擦角，单位为度（°）；
- $h_0$  ——墙顶填土的换算土层厚度，单位为米（m）；
- $K_a$ ——主动土压力系数；

$L_0$ ——计算单元长度（一根立柱的宽度加一组挡土板的长度，m）。

6.6.2.4 柱板式挡土墙的挡土板设计时，可将挡土板简化为两端支承在耳块上的简支梁，荷载沿挡土板长度和宽度方向均匀分布，其值等于该挡土板所在立柱高度范围内的水平土压力平均值。挡土板两端的剪力可按式（49）计算，跨中的弯矩可按式（50）计算。

$$Q_{b0}=0.5\gamma_s\cos\varphi(h_i+h_0)K_aL_{db}B_{db}\cdots\cdots\cdots(49)$$

$$M_{bz}=\frac{1}{4}\gamma_s\cos\varphi(h_i+h_0)K_aL_{db}^2B_{db}\cdots\cdots\cdots(50)$$

式中：

$Q_{b0}$ ——挡土板两端的剪力，单位为千牛（kN）；

$M_{bz}$ ——挡土板跨中的弯矩，单位为千牛米（kN·m）；

$\gamma_s$ ——墙后填土的重度，单位为千牛每立方米（kN/m<sup>3</sup>）；

$\varphi$ ——墙后填土的内摩擦角，单位为度（°）；

$h_i$ ——挡土板中点距墙顶的距离（墙顶至计算截面的距离），单位为米（m）；

$h_0$ ——墙顶填土的换算土层厚度，单位为米（m）；

$K_a$ ——主动土压力系数；

$L_{db}$ ——挡土板的长度（沿挡土墙长度方向），单位为米（m）；

$B_{db}$ ——挡土板的宽度（沿立柱高度方向），单位为米（m）。

### 6.6.3 配筋设计

柱板式挡土墙的立柱、耳块、挡土板和底板等预制构件或现浇结构，应根据荷载计算结果进行配筋，配筋设计应符合JTG 3362的规定。

### 6.6.4 连接设计

6.6.4.1 柱板式挡土墙的立柱与底板间可采用锚栓连接，立柱单元之间可采用螺栓连接，立柱与挡土板之间可通过连接在立柱上耳块搭接，耳块与立柱间可采用锚栓连接。

6.6.4.2 构件连接用锚栓和螺栓应符合下列规定：

- a) 连接螺栓和锚栓设计时应按挡土墙单元长度进行荷载计算；
- b) 连接螺栓和锚栓的计算应符合 6.4.4 的规定；
- c) 构件预制时，预埋锚栓应与构件上的钢筋焊接在一起；
- d) 挡土墙安装后外露的连接件应设有可靠的防腐措施。

6.6.4.3 用于支承挡土板的耳块可采用预制钢筋混凝土构件，其长度不宜小于挡土板宽度的 3/4，其厚度应通过强度计算确定。

## 6.7 筋板式挡土墙装配设计

### 6.7.1 构造设计

6.7.1.1 筋板式挡土墙由预制墙面模块、筋材和填料组成，见图 15。预制墙面模块应采用标准尺寸的混凝土或钢筋混凝土结构，筋材宜采用强度高、耐久性好、蠕变小的平面网状加筋用土工合成材料；填料宜采用渗水性良好的中粗砂、砂砾或碎石等材料填筑，填料与筋材直接接触部分不应含有尖锐棱角的块体，填料最大粒径不应大于 100 mm。

6.7.1.2 筋板式挡土墙的墙面模块材料与尺寸应满足下列要求：

- a) 混凝土的强度等级宜不低于 C25，钢筋直径不小于 10 mm；



- b) 墙面模块应采用标准化模具预制而成的构件，预制模块质量和外形应满足坚固、美观、运输方便、易于安装、尺寸标准、无缺角掉块；
  - c) 模块的长度宜为 1 m，高度应根据加筋间距确定宜为 0.5 m~1.0 m，厚度不小于 0.08 m；
  - d) 预制墙面模块构件结构形状的选择宜考虑景观和生态绿化的需要。
- 6.7.1.3 筋板式挡土墙墙面宜设置混凝土基础，并应符合以下要求：
- a) 基础的宽度应超出墙面模块 0.2 m，厚度应不小于 0.2 m；
  - b) 斜坡上的筋板式挡土墙应设置宽度不小于 1.0 m 的护脚，基础埋置深度应从护脚顶面算起，埋置深度应不小于 0.6 m；
  - c) 基底宜不设置纵坡，应做成水平或结合地形做成台阶形。

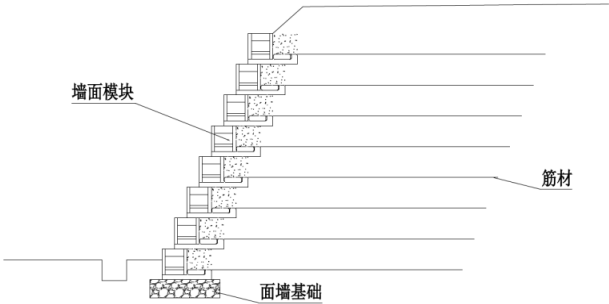


图15 筋板式挡土墙装配结构示意图

6.7.2 结构计算

- 6.7.2.1 筋板式挡土墙设计时应进行外部稳定验算和内部稳定验算。外部稳定验算的荷载及荷载组合和稳定应符合 6.2 和 6.3 的规定；建于软土地基上的加筋体应作地基沉降计算，地基下可能存在深层滑动时，应进行加筋体与地基整体滑动稳定性验算；内部稳定验算应符合 JTG D30 和 DB33/T 988 的要求。
- 6.7.2.2 预制模块设计应符合下列要求：
- a) 预制模块设计时宜取标准模块尺寸进行计算；作用在单块预制模块上的土压力视为均匀分布；
  - b) 当预制模块与筋材采用预埋式连接时，可将模块视为两端外伸的简支板；当预制模块与筋材间采用夹持式连接时，可将模块视为悬臂梁；
  - c) 其他未列内容应按 JTG 3362 的规定执行。
- 6.7.2.3 筋板式挡土墙应按式（51）进行连接强度验算。

$$T_{fi} \geq T_i \dots\dots\dots (51)$$

式中：

$T_i$  ——第  $i$  层筋材受到的拉力，单位为千牛每米（kN/m）；

$T_{fi}$  ——第  $i$  层模块与筋材间连接强度，单位为千牛每米（kN/m）。

6.7.3 配筋设计

钢筋混凝土预制模块可按矩形截面受弯构件配筋，配筋设计应符合 JTG 3362 的规定。

6.7.4 连接设计

- 6.7.4.1 筋板式挡土墙的墙面模块之间宜采用榫接、水泥砂浆砌筑等方式连接，墙面模块与筋材之间宜采用预埋件连接、摩擦式连接或卡扣式连接，见图 16。

6.7.4.2 预埋式连接应符合以下要求：

- a) 在模块内侧预埋一定长度的筋材，挡土墙施工时通过连接棒将筋材与墙面模块连接在一起，见图 16a)；
- b) 连接用筋材的网孔尺寸应不小于  $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ ，预埋在墙面模块内的长度应不小于  $0.15\text{ m}$ ，预留在外侧的长度宜不小于  $1\text{ m}$ ；连接棒的材质宜与筋材一致，当采用金属材质的连接棒时应做好防腐措施；
- c) 聚酯类土工格栅和土工布不应采用预埋式连接。

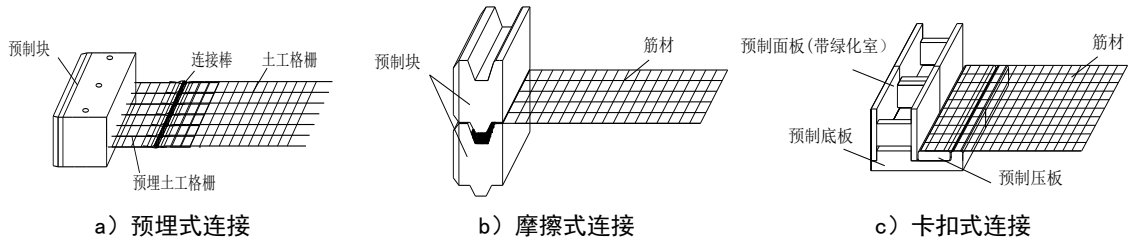


图16 墙面模块与筋材连接方式示意图

6.7.4.3 摩擦式连接应符合以下要求：

- a) 将筋材放置在上下两层预制模块之间进行连接，见图 16b)；
- b) 用于摩擦式连接的模块宜在接合侧预留楔口，并在垂直结合面的方向上设置销钉插孔和销钉。

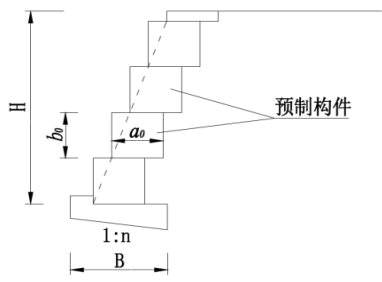
6.7.4.4 卡扣式连接应符合以下要求：

- a) 筋材包裹预制压板后嵌入 L 型预制墙面模块内侧的凹槽内，见图 16c)；
- b) 用于卡扣式连接的压板和 L 型预制墙面模块的内挡板阳角应设为圆角，圆角的半径尺寸应不小于  $50\text{ mm}$ 。

6.8 重力式挡土墙装配设计

6.8.1 构造设计

6.8.1.1 重力式挡土墙宜采用钢筋混凝土预制块或箱型预制构件组成；常用装配重力式挡土墙的结构见图 17。



标引序号说明：

H——挡土墙的高度，B——基础底面的宽度， $a_0$ ——预制构件的厚度， $b_0$ ——预制构件的高度。

图17 重力式挡土墙装配结构示意图

- 6.8.1.2 预制块、箱型预制构件间应设有连接用榫卯结构或现浇带（层）。
- 6.8.1.3 装配重力式挡土墙的预制块或箱形构件的尺寸应结合运输、安装条件确定。

6.8.2 结构计算

6.8.2.1 装配重力式挡土墙计算时的作用（或荷载）及作用（或荷载）组合和稳定性计算应符合 6.2 和 6.3 的规定。

6.8.2.2 装配重力式挡土墙应对预制块或构件结合面处的抗剪强度进行验算，验算应按 JTG D30 规定要求进行。

### 6.8.3 连接设计

6.8.3.1 装配重力式挡土墙宜采用榫卯、浆砌或现浇结构柱（带）等方式进行连接。

6.8.3.2 榫卯连接：在预制块或构件的垂直结合面上设置相互匹配的凹槽和凸榫；装配时按照一定顺序将构件组装成一个整体。

6.8.3.3 现浇结构柱（带）连接：每隔一定长度或高度在预制板侧面或顶面浇注一层混凝土。混凝土强度应不小于 C25，现浇结构柱的宽度应不小于 0.3 m、间距宜不大于 10 m；现浇结构带的厚度应不小于 0.05 m，间距宜小大于 2 m。

## 7 施工

### 7.1 一般规定

7.1.1 装配式挡土墙施工包括施工准备、构件预制、基础砌筑、构件安装、墙背填筑（回填）、防护、排水及附属工程等内容。

7.1.2 施工前应进行施工调查，根据设计要求、合同要求及现场条件等编制施工组织设计和专项施工方案，并报相关单位审查批准。

7.1.3 装配式挡土墙的构件预制与安装施工应实行首件制，预制构件试制数量不宜少于 3 件，且挡土墙安装长度不宜小于 10 m；首件工程经检验合格后，应编制首件工程报告并报监理单位批准。

7.1.4 预制构件宜采用标准化、机械化、工厂化方式进行生产，并对预制构件生产全过程进行信息化管理。

7.1.5 装配式挡土墙所用外购材料应具有出厂检验报告和产品合格证等质量证明材料，并加强材料在运输、储存、施工等各环节中的质量管理。

7.1.6 装配式挡土墙的基础工程、墙背填筑工程、防护、排水及附属工程的施工应符合 JTG/T 3610 的规定和设计要求。

7.1.7 预制构件在吊装、运输等短暂状况下的施工验算时，构件重力应乘以动力系数，动力系数选取应按 JTG D60 的规定；吊点设计可按 JTG/T 3365—05—2022 附录 A 执行。

7.1.8 施工过程中应按施工监测要求，对挡土墙进行监测，并根据监测数据，动态调整施工方法。

7.1.9 装配式挡土墙的施工应用案例见附录 C。

### 7.2 施工准备

7.2.1 施工前应熟悉设计文件，领会设计意图，核对装配式挡土墙预制构件尺寸、构件安装与连接方式和现场条件，并与设计单位做好衔接。

7.2.2 开工前应根据施工路段的地形、地质、水文、气象、设计要求和工期要求，做好施工组织设计，其内容一般包括编制说明、工程概况、施工总体规划（施工内容、预制场地、组织机构、人员、设备、工期等）、施工方案（构件预制、运输和堆放、吊运与安装等施工方法和施工工艺）和质量、安全、环境保护措施以及安全应急预案等。

7.2.3 装配式挡土墙预制与安装施工前，应根据批复的施工组织设计和专项施工方案，对主要技术人员、管理人员、施工人员进行技术交底；交底过程应形成书面记录。

7.2.4 施工设备的数量、规格应满足工程进度和质量要求；施工设备应定期维修保养，计量检测设备应定期标定或校准。

7.2.5 材料应符合设计文件和第 5 章的要求，并应委托具有相应资质的单位进行检测，合格后方可用于工程。

7.2.6 装配式挡土墙安装施工前应测定挡土墙的路基中心线、挡土墙面墙基线、基础主轴线、墙顶轴线和挡土墙起讫点与横断面桩号，每根轴线均应以四个桩点在基线两端延长线上予以固定（每端两点），并分别以素混凝土包封保护。

7.2.7 施工现场应设置醒目的安全警示标志和防护设施。

### 7.3 构件预制

#### 7.3.1 预制场建设

7.3.1.1 预制场址选择应遵循“合法用地、节能环保、安全生产、运输便捷”等原则，并应避开环境敏感区。

7.3.1.2 应结合预制构件数量、工期和运输需要，合理确定预制场的规模和布局，并对预制场进行功能分区，设置独立的道路、给排水、照明、供配电等系统；构件运输路线应有明显标识。

7.3.1.3 预制场的地基应根据地质条件和功能分区进行平整、硬化处理，并对构件浇筑区、构件存放区的地基承载力和变形控制进行验算，必要时应对地基进行处理。

7.3.1.4 构件预制台座宜采用强度等级不低于 C30 的钢筋混凝土结构或型钢结构，台座表面应光滑、平整。

7.3.1.5 预制场应按照原材料堆放区、钢筋加工区、钢筋骨架绑扎区、构件浇筑区、构件存放区依次布置。

#### 7.3.2 模板工程

7.3.2.1 模板制作应符合以下要求：

- a) 模板应有足够的承载力、刚度和整体稳定性，满足拆装和循环使用的要求，并满足预制构件预留孔洞、预埋件安装定位要求；
- b) 模板应根据预制构件设计要求进行专项设计并由专业厂商制作，模板设计应符合 GB/T 50214 的规定；
- c) 模板进场时应逐件检验，其制作质量应符合 JTG/T 3650 的规定；模板经检验合格后方可使用。

7.3.2.2 模板组装应满足以下要求：

- a) 模板组装后形状、位置准确，相邻构件连接紧密、接缝平整；
- b) 模板组装后，应对其平面位置、关键部位标高、纵横向稳定性等进行检查，并在内表面均匀喷涂脱模剂，经监理单位签认后方可浇筑混凝土。

#### 7.3.3 钢筋工程

7.3.3.1 钢筋加工应符合以下要求：

- a) 钢筋宜采用数控机具完成切割、车丝、打磨、弯曲等加工；
- b) 钢筋加工后的尺寸、型号、数量、规格等应满足设计要求，表面应洁净、无损伤；加工质量应符合 JTG/T 3650 的要求；
- c) 加工后的钢筋应分类集中存放，并采取防雨、防锈措施。

7.3.3.2 钢筋笼制作应符合以下要求：

- a) 钢筋笼宜在胎架上制作成型；绑扎钢筋时，应保证钢筋位置准确，绑扎稳定牢固，绑丝头应

弯曲背向模板；钢筋连接宜采用搭接焊接或机械连接，施工质量应符合 JTG/T 3650 的要求；

- b) 混凝土保护层垫块强度应不低于构件混凝土强度，其布设应符合 JTG/T 3650 的要求，其位置尽量靠近钢筋交叉点；垫块数量应不少于 4 个/m<sup>2</sup>，垫块应在钢筋笼制作时同步安装，并进行专项验收；
- c) 预埋件、预留孔洞的位置偏差应符合 JTG/T 3650 和表 10 的规定。

### 7.3.4 混凝土拌制、运输、浇筑与养护

7.3.4.1 预制构件用混凝土应按首件工程批准的配合比进行拌制，并根据施工环境温度和原材料的变化，及时通过试验调整配合比；混凝土配合比试验应符合 JTG/T 3650 的规定。

7.3.4.2 混凝土拌制应符合以下要求：

- a) 混凝土搅拌站宜设有自动计量系统，并定期标定；搅拌机出料口宜设置温度传感器；
- b) 混凝土拌制时间应不小于 120 s；当搅拌高强混凝土时，搅拌时间宜适当延长 30 s~60 s；混凝土拌合物入模时的坍落度应不大于 120 mm；
- c) 混凝土拌制尚应符合 JTG/T 3650 的规定，并在浇注前对其性能和质量进行检验。

7.3.4.3 混凝土运输应符合以下要求：

- a) 在运输过程中，应控制混凝土不离析、不分层，性能应满足施工要求。冬季采用搅拌罐车运送混凝土时应有保温措施；
- b) 当采用泵送混凝土时，混凝土运输应满足连续泵送的要求，并应符合 JTG/T 3650 和 JGJ/T 10 的要求。

7.3.4.4 混凝土浇筑应符合以下要求：

- a) 混凝土浇筑前应对预制构件的隐蔽工程进行检查；
- b) 混凝土浇筑时，浇筑作业宜采用吊斗连续进行，并应分层浇筑，分层厚度不宜超过 300 mm；浇筑时应同步安装活动封堵构件；
- c) 入模混凝土应及时振捣密实，宜采用二次振捣工艺；采用插入式振捣器振捣时，振捣器不应碰撞侧模，与侧模的间距应保持在 50 mm~100 mm 之间，插入下层混凝土深度宜为 50 mm~100 mm，振捣应均匀，不应漏振和过振。

7.3.4.5 混凝土养护应符合以下要求：

- a) 宜采用智能养护系统进行预制构件养护，并根据环境温度、湿度实时调控养护参数；
- b) 预制构件采用蒸汽养护时，应控制蒸汽养护升温、降温速度，蒸汽养护时间应经试验确定；蒸汽养护结束进入自然养护阶段后的喷淋时间宜不小于 7 天；
- c) 预制构件采用自然养护时，喷淋养护时间不宜小于 14 天；
- d) 混凝土养护除满足上述要求外，还应符合 JTG/T 3650 的规定。

7.3.4.6 预制构件脱模应符合以下要求：

- a) 预制构件脱模时，非承重侧模板应在混凝土抗压强度达到 2.5 MPa，且能保证其表面及棱角不因拆模而损坏时方可拆除。承重模板拆除应满足设计要求，设计无要求时，混凝土强度不应低于设计强度的 75%；
- b) 预制构件脱模应按照顺序进行，预制构件与模具之间的连接部分完全拆除后方可进行脱模；不应使用振动方式拆模；
- c) 脱模和移动构件时，应防止预制构件棱角和接缝等部位出现损伤。

### 7.3.5 构件检验

7.3.5.1 预制构件的外观质量不应有严重缺陷，且不宜有一般缺陷；对已出现的一般缺陷，应按技术方案进行处理，并应重新检验。

7.3.5.2 预制构件的允许尺寸偏差及检验方法应符合表 10 的规定。

7.3.5.3 预制构件检验合格后，应在构件表面设置标识，标识内容宜包括构件编号、制作日期、合格状态、生产单位等信息。

### 7.3.6 场内运输与堆放

7.3.6.1 预制构件的场内吊装应按 GB 6067.5 和 JTG F90 的要求编制专项吊装作业方案，并符合以下要求：

- a) 脱模后需要移动的预制构件，混凝土强度应不小于设计强度的 75%；
- b) 预制构件的吊装应进行专项设计与验算，吊装前应进行试吊装；
- c) 构件起吊宜采用专用吊架；构件平吊时的吊点数量应不少于 4 个，立吊时的吊点数量应不少于 2 个；吊装过程应保持平稳。

7.3.6.2 预制构件的场内运输与堆放应符合以下要求：

- a) 运输车辆应满足构件尺寸和载重要求；
- b) 当采用靠放架堆放或运输构件时，靠放架应具有足够的承载力和刚度，与地面倾斜角度宜大于  $80^{\circ}$ ；构件宜对称靠放且外饰面朝外，构件上部宜采用木垫块隔离；运输时构件应采取固定措施；
- c) 当采用插放架直立堆放或运输构件时，插放架应有足够的承载力和刚度，并应支垫稳固；
- d) 当采用叠层平放方式堆放或运输构件时，应采取防止构件产生裂缝的措施。

## 7.4 基础工程

7.4.1 挡土墙基坑开挖应符合以下要求：

- a) 应根据挡土墙基础尺寸、形状以及埋置深度要求，测量划线后清除地表腐植土，并在基坑周围设置截水沟；
- b) 当开挖接近基底设计标高时，应保留 0.1 m~0.2 m 厚度，在基础施工前再人工挖除；基坑开挖时，如有涌水或雨水流入，应设置专门的排水设施；
- c) 松散软弱土质地段的基坑应跳槽开挖；
- d) 基坑开挖后应对坑底整平、压实，并及时进行基础施工，不应让基坑长时间暴露或受扰动、浸泡。

7.4.2 基坑开挖后，应对地基的地质条件和承载力进行检验；若基底土质与设计情况不符，施工单位应有文字和影像记录并取样分析，经设计单位动态设计变更或优化后，按工程建设程序批准后实施。

7.4.3 基坑开挖后，应对基底纵轴线、横断面位置与标高进行复验，确认无误并经监理单位签认后方可进行基础施工。

7.4.4 预制底板垫层施工时，垫层厚度和平整度应不小于设计要求；若设计无平整度要求时，平整度允许偏差应不大于 3 mm。

7.4.5 基础施工后，应对基坑进行回填；回填料宜采用小型压实机械分层压实，并在回填土表面设 3% 的向外斜坡。

## 7.5 安装施工

### 7.5.1 吊装与运输

7.5.1.1 装配式挡土墙安装施工前，应对预制构件型号、尺寸、数量进行确认。

7.5.1.2 应采用首件工程验证并批准的吊具、起重设备、吊装工艺与操作方法吊装构件；其他应符合 7.3.6.1 的要求。

7.5.1.3 预制构件运输时，预制构件混凝土的强度应符合设计要求；当设计未要求时，应不低于预制构件设计强度的 90%；其他应符合 7.3.6.2 的要求。

## 7.5.2 构件安装

7.5.2.1 应根据预制构件的形状、尺寸、重量和吊装作业半径等选择首件工程验证的吊具和起重设备。

7.5.2.2 预制构件安装时的吊装应采用慢起、快升、缓放的作业方式；构件吊装校正时，可采用起吊、静停、就位、初步校正、精细调整的作业方式。

7.5.2.3 立壁、扶壁、立柱、挡土板等预制构件安装时应根据需要设置临时支撑，临时支撑应符合以下要求：

- a) 临时支撑应有足够的强度和稳定性，并具有对预制构件位置和垂直度进行微调的能力；
- b) 支撑点距离板底的距离不宜小于柱、板高的  $2/3$ ，且不应小于立壁、扶壁高的  $1/2$ 。

7.5.2.4 预制构件的吊装工艺流程应按照施工方案的要求组织实施：

- a) 预制底板吊装工艺流程：底板起吊→预制底板就位→预制底板位置调整→相邻底板连接；
- b) 预制立壁吊装工艺流程：预制立壁起吊→预制立壁就位→安装临时支撑→预制立壁位置调整→连接件紧固；
- c) 预制扶壁吊装工艺流程：预制扶壁起吊→预制扶壁就位→安装临时支撑→预制扶壁位置调整→连接件紧固；
- d) 预制立柱吊装工艺流程：预制首节立柱起吊→预制首节立柱就位→预制首节立柱位置调整→立柱与底板间连接件锁紧→预制中间或顶部立柱起吊→预制中间或顶部立柱就位→预制中间或顶部立柱位置调整→连接件紧固；
- e) 预制挡土板吊装工艺流程：预制挡土板起吊→预制挡土板就位→预制挡土板位置调整。

7.5.2.5 预制构件就位紧固后，需要时应对连接部位进行混凝土浇注；浇筑混凝土前应对键槽、连接钢筋、预埋件等进行验收。

## 7.6 墙背填筑

7.6.1 施工前应通过试验测定待用填料的物理化学指标，其性能应符合设计和 6.3.4.1 的要求。

7.6.2 施工机具、松铺厚度、碾压遍数等应通过现场试验确定，并形成试验报告，经监理单位同意后方可指导施工。

7.6.3 填料应均匀回填、分层摊铺、压实平整，填料顶面横坡符合设计要求。

7.6.4 筋板式挡土墙的填料摊铺、碾压应先从筋材中部开始并平行于墙面进行，再向筋材尾部逐步摊铺、压实，然后向墙面方向进行；人工摊铺填料应顺筋材长度方向作业，分层厚度不宜大于 0.2 m；机械行驶方向应与墙面平行，不应在未覆盖填料的筋材上行驶，不应在未经压实的填料上急剧改变运行方向和急刹车。

7.6.5 距面墙 1.0 m 以内，应采用人工摊铺，分层厚度不应超过 0.2 m，并采用人工夯实或小型压实机械碾压密实，且应避免碰撞预制构件；该范围内不应采用大型和重型机械进行运料、摊铺、碾压作业。

7.6.6 每层填料摊铺后应及时碾压，不应让松填土延至次日再碾压。

7.6.7 雨天严禁进行填料摊铺和压实作业。

7.6.8 填料的压实度应符合表 8 的要求，填料的施工质量应符合 JTG/T 3610 的要求。

## 7.7 墙面、排水及附属工程

7.7.1 排水工程施工应符合以下要求：

- a) 挡土墙施工时，应按设计要求设置排水系统，并采取措施疏干填料中的水分；

- b) 反滤层、透水层、隔水层等材料应符合设计要求，并与墙体施工同步进行；
- c) 排水工程施工质量应符合 JTG/T 3610 的要求。

#### 7.7.2 墙面工程施工应符合以下要求：

- a) 挡土墙墙面经验收合格后，应根据设计要求及时进行防护；
- d) 墙面采用喷播草灌乔或喷混植生防护时，植物种子和基材配制应符合设计要求，喷播完成后应对墙面铺设无纺布或遮荫网；墙面采用插枝或种植方式防护时，应将植物的根或枝条末端插入到面墙后的填料内；
- b) 植物防护施工技术和质量应满足 JTG/T 3610 和 DB33/T 988 的要求。

#### 7.7.3 伸缩缝与沉降缝的侧壁应竖直、平齐，无搭叠；缝中防水材料应符合设计要求。

### 7.8 施工监测

#### 7.8.1 应按建管养要求，做好装配式挡土墙的施工监测；监测宜采用自动化设备和信息化管理。

#### 7.8.2 施工监测项目、内容和频率应满足设计要求，宜由专业机构实施。

#### 7.8.3 每段装配式挡土墙顶部应设置不少于 3 个监测点；地基条件差、地形变化大的部位应增设观测断面。

#### 7.8.4 工程施工初期，宜 1 天~3 天监测一次；对变形敏感路段、遇不利季节或灾害性天气时，应提高监测频率。

## 8 质量检验

### 8.1 一般规定

#### 8.1.1 装配式挡土墙的质量按路基工程的分部工程和分项工程进行检验。

#### 8.1.2 应按基本要求、实测项目、外观质量和质量技术资料等检验项目分别检查。

#### 8.1.3 原材料、构件、成品及施工工艺应符合基本要求的规定，且无严重的外观缺陷和质量保证资料真实齐全时，方可进行检验评定。

#### 8.1.4 各工序完成后，均应进行质量检查验收，并提供实测数据资料。凡不合格者应进行整修或返工处理直至合格；经验收合格后方可进行下一工序施工。

### 8.2 基本要求

#### 8.2.1 挡土墙基础的地基承载力、变形、稳定性和埋置深度应满足设计要求。

#### 8.2.2 预制构件材料、质量和规格应符合设计要求，且不应存在 JTG F80/1-2017 附录 P 所列限制缺陷。

#### 8.2.3 预制构件模板制作及安装、钢筋加工及安装、预埋件的设置和固定应满足设计要求，并符合 JTG/T 3650 等规定的要求。

#### 8.2.4 预制构件安装除应符合 JTG F80/1 的要求外，预制构件的连接还应满足以下要求：

- a) 连接节点混凝土浇筑前，应对预埋钢筋、预埋件等连接件的规格、数量及位置等进行隐蔽工程验收；
- b) 拼接粗糙面的质量和键槽的数量、质量应满足设计要求；
- c) 挡土墙单元组装、相邻单元之间的连接应符合设计要求；
- d) 预制构件之间连接可靠，节点保护层完整。

#### 8.2.5 沉降缝、伸缩缝、泄水孔的位置、尺寸和数量应满足设计要求；沉降缝及伸缩缝应竖直、贯通，并采用弹性材料填充密实，填充深度应满足设计要求。



8.2.6 填料、筋材、防护、排水、安全设施及管养等施工质量应满足设计和 JTG F80/1 的要求。

8.3 实测项目

8.3.1 基础工程实测项目见表 9。

表9 基础工程实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差值	检测方法 & 频度
1 <sup>△</sup>	混凝土强度（MPa）		符合设计要求	按 JTG F80/1 执行
2	轴线偏位（mm）		≤25	全站仪：沿纵、横轴线各测 2 点
3	平面尺寸（mm）		±50	尺量：长、宽各检查 3 处
4	顶面高程（mm）		±30	水准仪：测 5 处
5	基底高程 （mm）	土质	±50	水准仪：测 5 处
		石质	+50，-200	
注：△为实测关键项目。				

8.3.2 装配式挡土墙预制构件预制实测项目见表 10。

表10 预制构件预制实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频度
1 <sup>△</sup>	混凝土强度 (MPa )		在合格标准内	按 JTG F80/1-2017 附录 D 检查
2	构件尺寸	长度 (mm)	±5	尺量：每板各测 2 次，抽查 10%
		宽度或高度 (mm)	±5	
		厚度 (mm)	+5，－3	
3	两对角线差 (mm)		≤10	尺量：每板测两对角线，抽查 10%
4	表面平整度 (mm)		≤5	2m 直尺：每板长方向测 1 次，抽查 10%
5	预留孔	中心线位置 (mm)	10	尺量：抽查 10%
		孔尺寸 (mm)	±10	
6	预留钢筋	中心线位置 (mm)	5	
		外露长度 (mm)	+10，－5	
7	预埋板	中心线位置 (mm)	5	
		与混凝土面平面高差 (mm)	0，－5	
	预埋螺栓	中心线位置 (mm)	2	
		外露长度 (mm)	+10，－5	
	预埋套筒、螺母	中心线位置 (mm)	2	
		与混凝土面平面高差 (mm)	±5	
8	键槽	中心线位置 (mm)	5	
		长度、宽度 (mm)	±5	
		深度 (mm)	±10	
注： <sup>△</sup> 为实测关键项目				

8.3.3 装配式挡土墙预制构件安装实测项目见表 11。

表11 预制构件安装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频度
1	每层面板顶高程 (mm)	$\pm 10$	水准仪：长度不大于 30 m 时测 5 组，每增加 10 m 增加 1 组
2	轴线偏位 (mm)	$\leq 10$	挂线、尺量：长度不大于 30 m 时测 5 点，每增加 10 m 增加 1 点
3	面板垂直度或坡度 (%)	$+0, -0.5$	铅锤法：长度不大于 30 m 时测 5 处，每增加 10 m 增加 1 处
4	相邻面板错台 (mm)	$\leq 5$	尺量：长度不大于 30 m 时测 5 条缝最大处，每增加 10 m 增加 1 条
5	面板缝宽 (mm)	$\leq 10$	尺量：每 30 m 检查 5 条，每增加 10 m 增加 1 条
6	螺栓预紧力 (kN·m)	$\pm 5\%P$ 设计	扭力扳手：抽查 10%

8.3.4 装配式挡土墙总体实测项目见表 12～表 14

表12 装配悬臂式、扶壁式挡土墙总体实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频度
1	平面位置 (mm)	$\leq 30$	全站仪：长度不大于 30 m 时测 5 点，每增加 10 m 增加 1 点
2	顶面高程 (mm)	$\pm 20$	水准仪：长度不大于 30 m 时测 5 点，每增加 10 m 增加 1 点
3	墙面坡度 (%)	$\leq 0.3$	铅锤法：长度不大于 30 m 时测 5 点，每增加 10 m 增加 1 点
4	表面平整度 (mm)	$\leq 8$	2m 直尺：每 20 m 连续检查 3 处，每处检测竖直和墙长两个方向

表13 装配筋板式、板柱式挡土墙总体实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频度
1	墙顶和立柱	路堤式 $+50, -100$	全站仪：长度不大于 30 m 时测 5 点，每增加 10 m 增加 1 点
		路肩式 $\pm 50$	
2	墙顶和立柱	路堤式 $\pm 50$	水准仪：长度不大于 30 m 时测 5 点，每增加 10 m 增加 1 点
		路肩式 $\pm 30$	
3	立柱间距 (mm)	$\pm 15$	铅锤法：长度不大于 30 m 时测 5 点，每增加 10 m 增加 1 点
4	墙面平整度 (mm)	$\leq 15\text{mm}$	2m 直尺：每 20 m 检查 3 处，每处检测竖直和墙长两个方向
注：挡土墙平面位置“+”为外，“-”为内。			

表14 装配重力式挡土墙总体实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频度
1	平面位置 (mm)	$\leq 50$	全站仪：长度不大于 30 m 时测 5 点，每增加 10 m 增加 1 点
2	顶面高程 (mm)	$\pm 20$	水准仪：长度不大于 30 m 时测 5 点，每增加 10 m 增加 1 点
3	墙面坡度 (%)	$\leq 0.5$	铅锤法：长度不大于 30 m 时测 5 点，每增加 10 m 增加 1 点
4	表面平整度 (mm)	$\leq 10$	2m 直尺：每 20 m 检查 3 处，每处检测竖直和墙长两个方向

8.3.5 墙背填土、防排水工程及其他附属工程实测项目均应符合设计要求，质量要求应按照 JTG F80/1 的要求执行。

#### 8.4 外观质量

8.4.1 装配式挡土墙预制构件不应有裂缝、破损。挡土墙的墙面外观上无外凸、破损等严重缺陷。

8.4.2 装配式挡土墙单元之间连接平顺；构件连接处无混凝土耐久性缺陷和有影响结构传力性能的缺陷。

8.4.3 检查排水工程是否齐全，沟底平整、排水畅通，坡面无冲刷。

8.4.4 装配式挡土墙应与其他砌石、混凝土工程、安全设施、路缘石板、桥台衔接部及搭板构造物等工程衔接平顺，与周围环境协调性好。

附 录 A  
(规范性)  
挡土墙土压力计算

### A.1 基于库仑理论的主动土压力计算

#### A.1.1 路肩墙

车辆与行人等附加荷载均匀布置在墙后填土顶面时(图 A.1), 顺行车方向单位长度主动土压力及其作用点位置可按式(A.1)和式(A.2)确定。

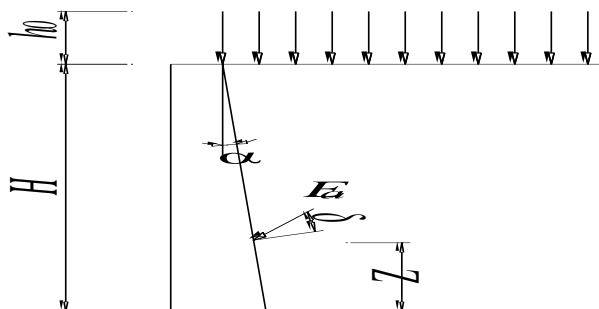


图 A.1 路肩墙土压力计算模型

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H(H+2h_0)K_a \dots\dots\dots (A.1)$$

$$Z = \frac{H}{3} \left(1 + \frac{h_0}{H+2h_0}\right) \dots\dots\dots (A.2)$$

$$h_0 = \frac{q}{\gamma(1+\tan\alpha)} \dots\dots\dots (A.3)$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2\alpha \cos(\alpha + \delta) [1 + \sqrt{\sin(\phi + \delta)\sin\phi / [\cos(\alpha + \delta)\cos\alpha]}]^2} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$E_a$ ——作用于挡土墙墙背的主动土压力, 单位为千牛(kN);

$\gamma$ ——墙后填料的重度, 单位为千牛每立方米(kN/m<sup>3</sup>);

$H$ ——挡土墙的墙高, 单位为米(m);

$h_0$ ——附加均布荷载 $q$ 换算为均布等代土层厚度, 单位为米(m), 按式(A.3)计算确定;

$K_a$ ——土压力系数, 按式(A.4)计算确定;

$Z$ ——土压力作用点至所计算土层底边的距离, 单位为米(m);

$\alpha$ ——过墙背顶点的竖直面与墙背的夹角, 竖直面位于墙背内为正, 竖直面在墙背外为负;

$\phi$ ——墙后填料的内摩擦角, 单位为度(°); 当墙后填土为黏性土时, 采用填料的综合内摩擦角 $\phi_0$ ;

$\delta$ ——墙背与填土间的摩擦角, 单位为度(°)。

#### A.1.2 路堤墙

挡土墙用作路堤墙时，墙后破裂面一般会交于墙后填土顶面（图 A.2）。顺行车方向单位长度挡土墙墙背受到的主动土压力及其作用点位置可按式（A.5）确定。

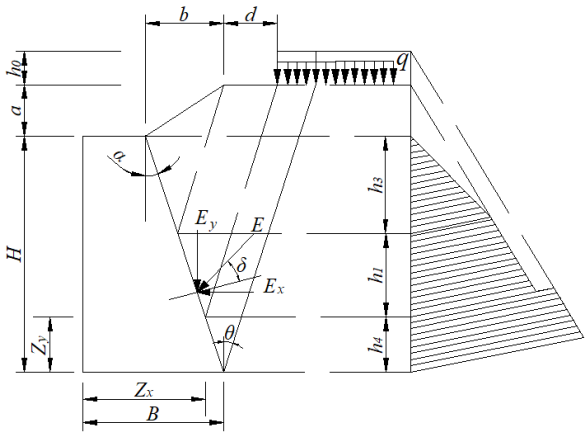


图 A.2 路堤墙的土压力计算模型

$$\left. \begin{aligned} \tan \theta &= -\tan \psi + \sqrt{(\tan \varphi + \tan \psi)(\tan \psi + A)} \\ \psi &= \alpha + \varphi + \delta \\ A &= \frac{ab + 2h_0(b+d) - H(H+2a+2h_0)\tan \alpha}{(H+a)(H+a+2h_0)} \\ E_a &= \frac{1}{2} \gamma H^2 K K_1 \\ K &= \frac{\cos(\theta + \varphi)}{\sin(\theta + \psi)} \tan \theta + \tan \alpha \\ K_1 &= 1 + \frac{2a}{H} \left( 1 - \frac{h_3}{2H} \right) + \frac{2h_0 h_4}{H^2} \\ h_1 &= \frac{d}{\tan \theta + \tan \alpha}, h_3 = \frac{b - a \tan \theta}{\tan \theta + \tan \alpha}, h_4 = H - h_1 - h_3 \\ Z_y &= \frac{H}{3} + \frac{\alpha(H-h_3)^2 + h_0 h_4(3h_4 - 2H)}{3H^2 K_1}, Z_x = B - Z_y \tan \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

$E_a$  ——作用于挡土墙墙背的主动土压力，单位为千牛(kN)；

$\gamma$  ——墙后填料的重度，单位为千牛每立方米(kN/m<sup>3</sup>)；

$H$  ——挡土墙的墙高，单位为米(m)；

$A$  ——挡土墙顶面填土高度，单位为米(m)；

$B$  ——墙顶后缘至路基边缘的水平投影长度，单位为米(m)；

$D$  ——墙顶附加荷载起点到路肩的距离，单位为米(m)；

$h_0$  ——附加均布荷载 $q$ 换算为均布等代土层厚度，单位为米(m)，按式（A.3）计算确定；

$K_a$  ——土压力系数，按式（A.4）计算确定；

$Z$  ——土压力作用点至所计算土层底边的距离，单位为米(m)；

$\alpha$  ——过墙背顶点的竖直面与墙背的夹角，竖直面位于墙背内为正，竖直面在墙背外为负；

$\varphi$  ——墙后填料的内摩擦角，单位为度(°)；

$\delta$  ——墙背与填土间的摩擦角，单位为度(°)。

## A.2 装配悬臂式、扶壁式和柱板式挡土墙的土压力计算

A.2.1 作用在装配悬臂式、扶壁式和柱板式挡土墙上的土压力可按库仑土压力理论或朗肯土压力理论计算。

A.2.2 当按库仑土压力理论计算时，应按以下步骤先确定是否会出现第二破裂面，再确定计算墙背位置后计算土压力。

- 连接立壁内侧顶点和墙踵板顶面内顶点得到假想墙背 AB，确定假想墙背 AB 的倾角  $\alpha$ ，如图 A.3 所示；
- 按式 (A.6) 和 (A.7) 计算第一破裂面和第二破裂面的位置；

$$\alpha_0 = \frac{1}{2}(90^\circ - \varphi) - \frac{1}{2}(\varepsilon - \beta) \dots\dots\dots (A.6)$$

$$\beta_0 = \frac{1}{2}(90^\circ - \varphi) + \frac{1}{2}(\varepsilon - \beta) \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

$\alpha_0$ ——第二破裂面与竖直线的夹角，单位为度(°)；

$\beta_0$ ——第一破裂面与竖直线的夹角，单位为度(°)；

$\varphi$ ——填土内摩擦角，单位为度(°)；

$\alpha$ ——墙背与竖直线的夹角，单位为度(°)；

$\beta$ ——墙后填土表面与水平线的夹角，单位为度(°)；

$\varepsilon$ ——与  $\alpha$ 、 $\beta$  有关的角度， $\varepsilon = \arcsin \frac{\sin \beta}{\sin \varphi}$ 。

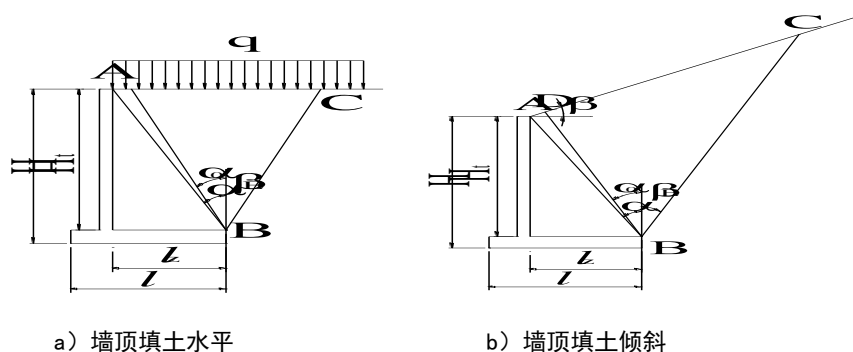


图 A.3 第二破裂面的确定方法

- 比较  $\alpha$  与  $\alpha_0$  的关系。当  $\alpha > \alpha_0$  时，墙后会出现第二破裂面且第二破裂面将与填土表面相交，以第二破裂面 DB 为计算墙背，否则就以假想墙背 AB 为计算墙背。作用在计算墙背的土压力按式 (A.1) 或 (A.5) 确定。

A.2.3 当按朗肯土压力理论计算挡土墙墙后主动土压力时，一般由墙踵板末端 BE 向上作竖向线，交墙顶填土于 F 点，以 EF 为计算墙背（此时墙高  $H_t$ ）（图 A.4）。作用在计算墙背 EF 上的主动土压力按式 (A.8) 和式 (A.9) 计算。

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H_t^2 K \left(1 + \frac{2h_0}{H_t}\right) \dots\dots\dots (A.8)$$

$$K_a = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi}} \dots\dots\dots (A.9)$$

式中：

$E_a$  ——作用于挡土墙计算墙背的主动土压力，单位为千牛 (kN)；

$\gamma$  ——墙后填料的重度，单位为千牛每立方米 (kN/m<sup>3</sup>)；

$H_t$  ——计算墙高，单位为米 (m)；

$h_0$  ——附加均布荷载 $q$ 换算为均布等代土层厚度，单位为米 (m)，按式 (A.3) 计算确定；

$\beta$  ——墙面填土表面与水平面的夹角，单位为度 (°)；

$\varphi$  ——墙后填料的内摩擦角，单位为度 (°)。

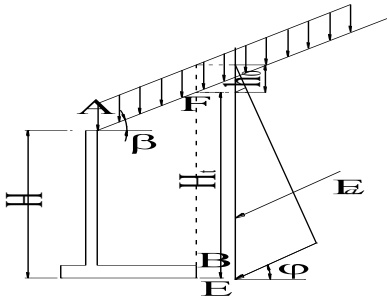


图 A.4 基于朗肯土压力理论的土压力计算

- A.3 装配筋板式挡土墙外部稳定性计算时，以筋材末端的连线为计算墙背；内部稳定性计算时以预制面板内侧下方角点的连线为计算墙背，再按式 (A.1) 或 (A.3) 计算土压力 $E_a$ 。
- A.4 装配重力式挡土墙稳定性计算时，以预制块内侧下方角点的连线为计算墙背，再再按式 (A.1) 或 (A.3) 计算土压力 $E_a$ 。

附录 B  
(资料性)  
装配式挡土墙设计计算案例

B.1 基本条件

为收缩坡脚，节约土地占用，某高速公路路基拟采用装配悬臂式挡土墙支挡（图 B.1），初定墙高  $H=4\text{m}$ ，墙后填料内摩擦角  $\phi = 30^\circ$ ，重度  $\gamma = 19\text{kN/m}^3$ ，基底与地基表面摩擦系数  $\mu = 0.5$ ，地基承载力特征值  $f_a = 150\text{kPa}$ ，混凝土等级为 C30，钢筋为 HRB400，钢筋混凝土重度  $\gamma_c = 25\text{kN/m}^3$ 。挡土墙上车辆荷载和人群荷载换算成土层厚度计算，等效土层厚度  $h_0=2\text{m}$ 。初定底板宽度  $B = 3.3\text{m}$ ，底板厚度  $t=0.5\text{m}$ ，立壁厚度  $b = 0.3\text{m}$ ，挡墙单元长  $L_0=2.5\text{m}$ 。

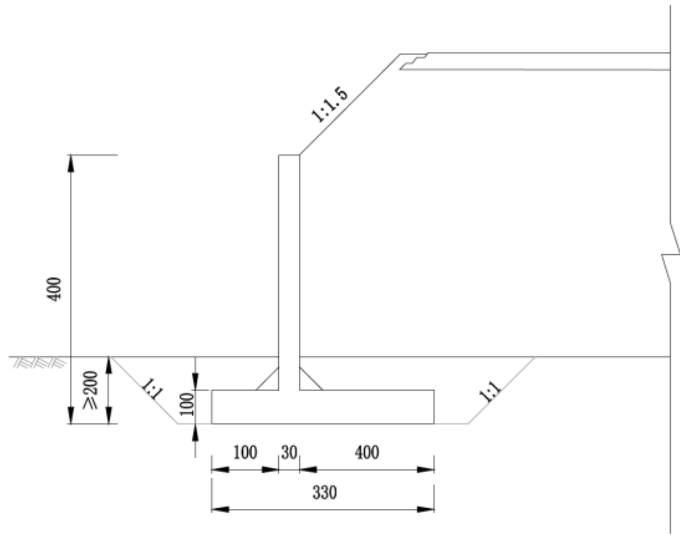


图 B.1 挡土墙布置图

B.2 荷载计算

沿挡土墙纵向取 1 延米进行荷载计算。计算简图见图 B.2。

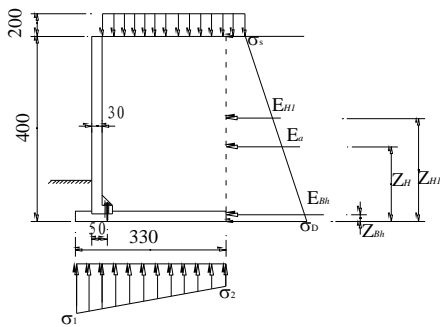


图 B.2 计算简图

(1) 土压力计算

由式 (A.7) 计算土压力系数： $K_a = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = 0.33$



由式 (A.6) 计算土压力和相应作用点距基底的距离:

$$E_a = \frac{1}{2} \times 19 \times 4^2 \times 0.33 \times \left(1 + \frac{2 \times 2}{4}\right) = 100.32 \text{ kN/m}, Z_H = 1.67 \text{ m}$$

$$E_{H1} = \frac{1}{2} \times 19 \times 3.5^2 \times 0.33 \times \left(1 + \frac{2 \times 2}{3.5}\right) = 82.29 \text{ kN/m}, Z_{H1} = 1.98 \text{ m}$$

$$E_{Bh} = E_a - E_{H1} = 100.32 - 82.29 = 18.03 \text{ kN/m}, Z_{Bh} = 0.25 \text{ m}$$

不计墙前被动土压力的作用。

## (2) 自重计算

1) 立壁自重  $G_L = 0.3 \times 3.5 \times 25 = 26.25 \text{ kN}$ , 立壁重心距墙趾的距离  $x_L = 1.15 \text{ m}$ ;

2) 底板自重  $G_D = 0.5 \times 3.3 \times 25 = 41.25 \text{ kN}$ , 底板重心距墙趾的距离  $x_D = 1.65 \text{ m}$ ;

3) 后踵板上方填土自重  $G_{sh} = 2 \times 3.5 \times 19 = 133 \text{ kN}$ , 后踵板上方填土重心距墙趾的距离  $x_{sh} = 2.3 \text{ m}$ ;

4) 前趾板上方填土自重  $G_{sq} = 0.5 \times 1 \times 19 = 9.5 \text{ kN}$ , 前趾板上方填土重心距墙趾的距离  $x_{sq} = 0.5 \text{ m}$ ;

5) 后踵板填土上方附加荷载 (等效土层厚度) 的合力  $F = 2 \times 2 \times 19 = 76 \text{ kN}$ , 后踵板填土上方附加荷载合力距墙趾的距离  $x_F = 2.3 \text{ m}$ 。

## B.3 稳定性验算

### B.3.1 抗滑动稳定验算

(1) 取  $\gamma_{Q1} = 1.1$ 、 $\mu = 0.5$ , 不考虑墙前被动土压力的影响, 由式 (3) 计算挡土墙的滑动稳定方程

$$[1.1G + \gamma_{Q1}E_y] \mu - \gamma_{Q1}E_x + \gamma_{Q2}E_p = [1.1 \times (26.25 + 41.25 + 133 + 9.5) + 0] \times 0.5 - 1.1 \times 100.32 = 5.15 \text{ kN} > 0$$

挡土墙的滑动稳定方程满足要求。

(2) 由式 (4) 计算挡土墙的抗滑动稳定系数

$$K_c = \frac{\mu \sum (N + E'_p)}{E_x} = \frac{(26.25 + 41.25 + 133 + 9.5 + 76) \times 0.5}{100.32} = 1.43 > 1.3$$

挡土墙的抗滑动稳定系数满足要求。

### B.3.2 抗倾覆稳定验算

(1) 由式 (5) 计算挡土墙的倾覆稳定方程

$$\begin{aligned} & 0.8GZ_G + \gamma_{Q1}(E_yZ_x - E_xZ_y) + \gamma_{Q2}E_pZ_p \\ &= 0.8 \times (26.25 \times 1.15 + 41.25 \times 1.65 + 133 \times 2.3 + 9.5 \times 0.5) - 1.1 \times 100.32 \times 1.67 \\ &= 220.87 > 0 \end{aligned}$$

挡土墙的倾覆稳定方程满足要求。

(2) 由式 (6) 计算挡土墙的抗倾覆稳定系数

$$\begin{aligned}
K_0 &= \frac{GZ_G + E_y Z_x + E'_p Z_p}{E_x Z_y} \\
&= \frac{26.25 \times 1.15 + 41.25 \times 1.65 + 133 \times 2.3 + 9.5 \times 0.5}{100.32 \times 1.67} \\
&= 2.44 > 1.5
\end{aligned}$$

挡土墙的抗倾覆稳定系数满足要求。

### B.3.3 地基承载力验算

(1) 由式 (7) 计算挡土墙偏心距

$$\begin{aligned}
e &= \frac{B}{2} - \frac{\sum M}{\sum N} = \frac{B}{2} - \frac{G_L x_L + G_D x_D + G_{sh} x_{sh} + G_{sq} x_{sq} + F x_F - E_a Z_a}{G_L + G_D + G_{sh} + G_{sq} + F} \\
&= \frac{3.3}{2} - \frac{26.25 \times 1.15 + 41.25 \times 1.65 + 133 \times 2.3 + 9.5 \times 0.5 + 76 \times 2.3 - 100.32 \times 1.67}{26.25 + 41.25 + 133 + 9.5 + 76} \\
&= 0.19m < \frac{B}{6} = 0.5m
\end{aligned}$$

挡土墙的偏心距满足要求。

(2) 由式 (8) 计算挡土墙基底应力偏心距

$$\begin{aligned}
\sigma_{1,2} &= \frac{\sum N}{B} \left( 1 \pm \frac{6e}{B} \right) \\
&= \frac{26.25 + 41.25 + 133 + 9.5 + 76}{3.3} \times \left( 1 \pm \frac{6 \times 0.19}{3.3} \right) \\
&= 117, 30.33 \text{ kPa}
\end{aligned}$$

挡土墙的基底应力满足要求。

## B.4 结构设计

立壁和底板均采用C30混凝土和HRB400钢筋，C30混凝土轴心抗拉强度 $f_c = 14.3 \text{ N/mm}^2$ ，HRB400钢筋抗拉强度 $f_y = 360 \text{ N/mm}^2$ 。钢筋的弹性模量 $E_s = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ，采用承载能力极限状态下荷载效应的基本组合，永久荷载效应起控制作用。

### B.4.1 立壁设计

(1) 立壁内力计算

由式 (8) 和式 (9) 计算立壁底部 ( $h_i = H_i = 3.5 \text{ m}$ ) 的剪力和弯矩

$$\begin{aligned}
Q_{LH_i} &= \gamma_s h_i \cos \varphi (0.5 h_i + h_0) K_a \\
&= 19 \times 3.3 \times 1 \times (0.5 \times 3.3 + 2) \times 0.33 \\
&= 75.52 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{LH_1} &= \frac{1}{6} \gamma_s h_i^2 \cos \varphi (h_i + 3h_0) K_a \\
&= \frac{1}{6} \times 19 \times 3.3^2 \times 1 \times (3.3 + 3 \times 2) \times 0.33 \\
&= 105.83 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

同理，可计算挡土墙2/3立壁高处（ $h_i=2H_1/3=2.33\text{m}$ ）和1/3立壁高处（ $h_i=H_1/3=1.17\text{m}$ ）处的剪力和弯矩分别为：

$$Q_{L\frac{2}{3}H_1} = 46.24 \text{ kN}, \quad M_{L\frac{2}{3}H_1} = 47.26 \text{ kN/m}$$

$$Q_{L\frac{1}{3}H_1} = 18.96 \text{ kN}, \quad M_{L\frac{1}{3}H_1} = 10.26 \text{ kN/m}$$

取混凝土保护层厚度为50 mm，截面有效高度为250 mm；纵向取单位长度进行计算，即截面宽度为1 000 mm，由GB 50010—2010，挡土墙立壁底部需配置的钢筋面积为

$$\begin{aligned}
A_{sL} &= \frac{f_c}{f_y} b h_0 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2M}{f_c b h_0^2}} \right) \\
&= \frac{14.3}{360} \times 1000 \times 350 \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 105.83 \times 10^6}{14.3 \times 1000 \times 350^2}} \right) \\
&= 866.95 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

选用 $\Phi 12@100$ ，则实际配筋面积为 $A_{sL}=1131\text{mm}^2$ 。

(2) 立壁裂缝宽度验算

取 $\alpha_{cr} = 2.1$ ， $c = 44\text{mm}$ ， $d_{eq} = 12\text{mm}$ ，由式（17）计算立壁的最大裂缝宽度

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}} = \frac{1131}{0.5 \times 1000 \times 300} = 0.00754$$

$$\sigma_{sk} = \frac{M_{LH_1}}{0.87 h_0 A_s} = \frac{105.83 \times 10^6}{0.87 \times 44 \times 1131} = 244.44 \text{ N/mm}^2$$

$$\psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{sk}} = 1.1 - 0.65 \times \frac{2.01}{0.00754 \times 244.44} = 0.3911$$

$$\begin{aligned}
w_{\max} &= \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} \left( 1.9 + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}} \right) \\
&= 2.1 \times 0.3911 \times \frac{244.44}{2 \times 10^5} \times \left( 1.9 + 0.08 \times \frac{12}{0.00754} \right) \\
&= 0.13 \text{ mm}
\end{aligned}$$

立壁最大裂缝宽度小于0.2 mm，满足要求。

#### B.4.2 底板设计

由式（11）计算前趾板根部截面的剪力和弯矩

$$\begin{aligned}
Q_q &= B_{qi} \left[ \sigma_1 - (\sigma_1 - \sigma_2) \frac{B_{qi}}{2B} - \gamma_c t - \gamma_s (h_d - t) \right] \\
&= 1 \times \left[ 117 - (117 - 30.33) \times \frac{1}{2 \times 3.3} - 25 \times 0.5 - 19 \times (1 - 0.5) \right] \\
&= 81.87 \text{ kN/m} \\
M_{qi} &= \frac{B_{qi}^2}{6} \left[ 3(\sigma_1 - \gamma_c t - \gamma_s h_d + \gamma_s t) - (\sigma_1 - \sigma_2) \frac{B_{qi}}{B} \right] \\
&= \frac{I^2}{6} \times \left[ 3 \times (117 - 25 \times 0.5 - 19 \times 1 + 19 \times 0.5) - (117 - 30.33) \times \frac{1}{3.3} \right] \\
&= 33.62 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

由式(12)和式(13)计算后踵板根部截面的剪力和弯矩

$$\begin{aligned}
Q_h &= B_{hi} \left[ \gamma_s (H_1 + h_0) + \gamma_c t_3 - \sigma_2 - \frac{1}{2} B_{hi} \left( \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{B} - \gamma_s \tan \beta \right) \right] + E_{Bh} \sin \beta \\
&= 2 \times \left[ 19 \times (3.5 + 2) + 25 \times 0.5 - 30.33 - \frac{1}{2} \times 2 \times \left( \frac{117 - 30.33}{3.3} - 19 \times \tan 0 \right) \right] + 18.03 \times \sin 0 \\
&= 120.82 \text{ kN} \\
M_h &= \frac{B_{hi}}{6} \left[ 3\gamma_s (H_1 + h_0) + 3\gamma_c t_3 - 3\sigma_2 - B_{hi} \left( \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{B} - 2\gamma_s \tan \beta \right) \right] + E_{Bh} \sin \beta Z_{EBh} \\
&= \frac{2}{6} \times \left[ 3 \times 19 \times (3.5 + 2) + 3 \times 25 \times 0.5 - 3 \times 30.33 - 2 \times \left( \frac{117 - 30.33}{3.3} - 2 \times 19 \times \tan 0 \right) \right] + 0 \\
&= 69.16 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

取混凝土保护层厚度为50 mm，截面有效高度为450 mm；纵向取单位长度进行计算，即截面宽度为1 000 mm，由GB 50010—2010，挡土墙立壁底部需配置的钢筋面积

$$\begin{aligned}
A_{sd} &= \frac{f_c}{f_y} b h_0 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2M}{f_c b h_0^2}} \right) \\
&= \frac{14.3}{360} \times 1000 \times 450 \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 69.16 \times 10^6}{14.3 \times 1000 \times 450^2}} \right) \\
&= 557.59 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

也选用 $\Phi 12@100$ ，则实际配筋面积为 $A_{sL}=1131 \text{ mm}^2$ 。

由立壁计算结果可知，底板的最大裂缝宽度可不再验算。

## B.5 连接设计

立壁和底板之间采用锚栓连接，锚栓采用 8.8 级 M36 高强螺栓，螺栓的有效截面面积  $A_e=817 \text{ mm}^2$ ，摩擦面抗滑移系数  $\mu=0.4$ 。连接设计以一个挡土墙单元( $L_0=2.5 \text{ m}$ )为计算单元。

一个挡土墙单元连接处剪力的合力

$$N_v = E_{H1} \times 2.5 = 82.29 \times 25 = 205.73 \text{ kN}$$

一个挡土墙单元锚栓拉力的合力

$$N_t = \frac{E_{H1} Z_{H1} L_0}{x_m} = \frac{82.29 \times 1.98 \times 2.5}{0.5} = 814.67 kN$$

由式（20）计算螺栓的预拉力设计值  $P$

$$P = \frac{0.9 \times 0.9 \times 0.9}{1.2} A_e f_u = \frac{0.9 \times 0.9 \times 0.9}{1.2} \times 817 \times 830 = 411.95 kN$$

由式（21）计算单个螺栓的抗剪承载力设计值  $N_v^b$

$$N_v^b = 0.63 n_f \mu P = 0.63 \times 1 \times 0.4 \times 411.95 = 103.81 kN$$

由式（22）计算单个螺栓的抗拉承载力设计值  $N_t^b$

$$N_t^b = 0.8P = 0.8 \times 411.95 = 329.56 kN$$

由式（24）计算螺栓群轴心受剪时所需螺栓数目  $n_v$

$$n_v \geq \frac{N_v}{N_v^b} = \frac{205.73}{103.81} = 1.98$$

由式（25）螺栓群轴心受拉时所需螺栓数目  $n_t$

$$n_t \geq \frac{N_t}{N_t^b} = \frac{814.67}{329.56} = 2.47$$

可得  $n=3$ 。考虑到连接处多为挡土墙的薄弱环节，取 1.5 倍安全系数，取螺栓数目  $n=5$ 。

附录 C  
(资料性)  
装配式挡土墙施工应用案例

C.1 装配悬臂式挡土墙

C.1.1 挡土墙结构

以悬臂式挡土墙为基本墙型，先将挡土墙拆分为立壁、底板等构件进行预制，并将立壁下部厚度增大为楔形，并在突出部位预留带钢套筒的螺栓孔；将底板与立壁相连接部位设计为凹槽形，并在连接后与立壁上螺栓孔相对应的位置预埋锚栓；立壁、底板等构件在预制场（厂）养护成型并运输到工点后进行安装，通过构件上预留的锚栓、锚栓孔及连接件（螺母、垫片等）进行连接并对连接部位浇注混凝土进行保护，随后既可以进行墙后土的回填与压实施工。挡土墙的结构如图 5 所示，主要特点如下：

- a) 预制构件间采用锚栓式节点连接。立壁下部厚度增大使之成为楔形，在其突出部位预留带钢套筒的锚栓孔；在底板上（与立壁上预留螺栓孔相对应的位置）预埋锚栓。底板和立壁装配时，通过锚栓、螺母、垫片等将两者连接并锁紧在一起，连接后对连接部位浇注混凝土保护。构件设计时要进行连接件计算与构件间接触应力计算；
- b) 底板上预留座浆槽，通过结合面座浆工艺消除节点内部间隙，减小结合面局部应力集中，并在吊装时发挥定位、导向作用，在挡土墙受荷后发挥抗剪作用；
- c) 挡土墙立壁、底板侧面（与相邻挡土墙单元）接触位置设有相互匹配的凸榫结构以传递单元之间作用力，保证其整体性。

C.1.2 工艺流程

锚栓连接装配式挡土墙施工包括构件预制和现场装配两项分工程。

- a) 构件预制一般要求采用钢模在预制场（厂）进行专业化预制养护，其工艺流程见图 C.1；
- b) 挡土墙现场安装的工艺流程见图 C.2。

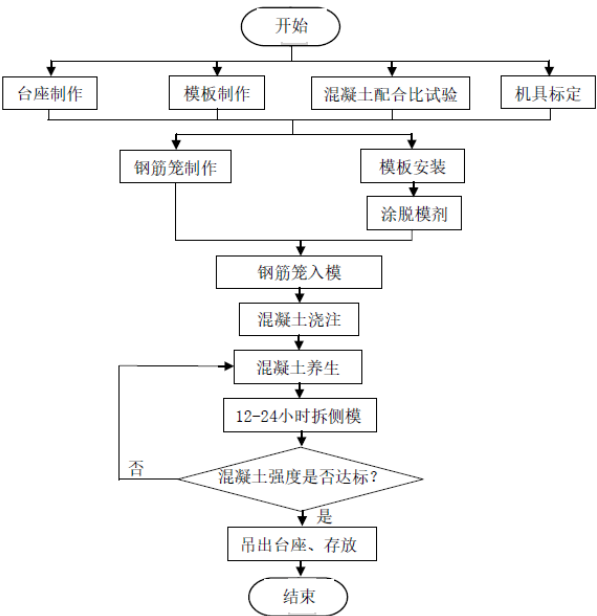


图 C.1 构件预制工艺流程图

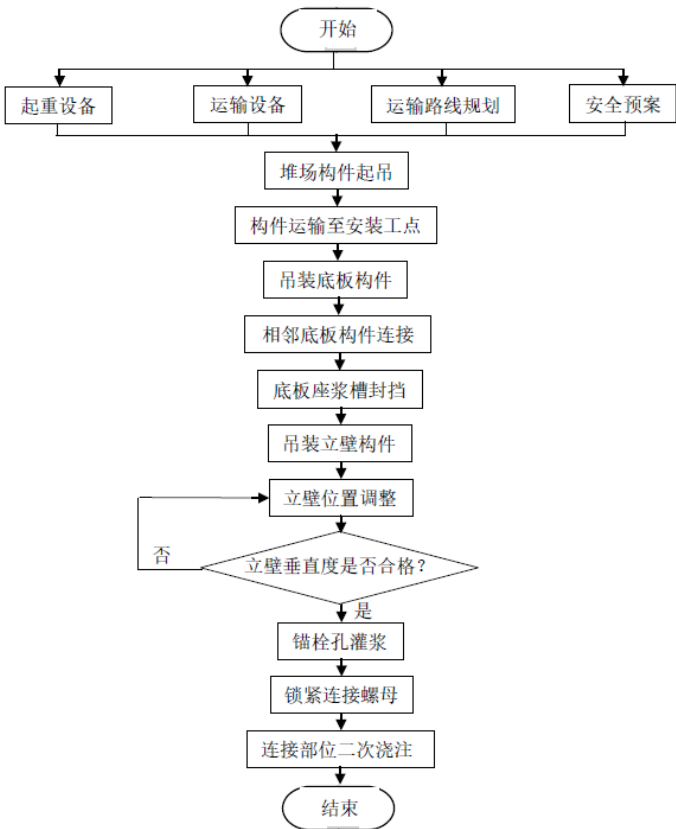


图 C.2 装配悬臂式挡土墙现场安装工艺流程

C.1.3 实施过程

锚栓连接悬臂式挡土墙的实施过程见图 C.3。





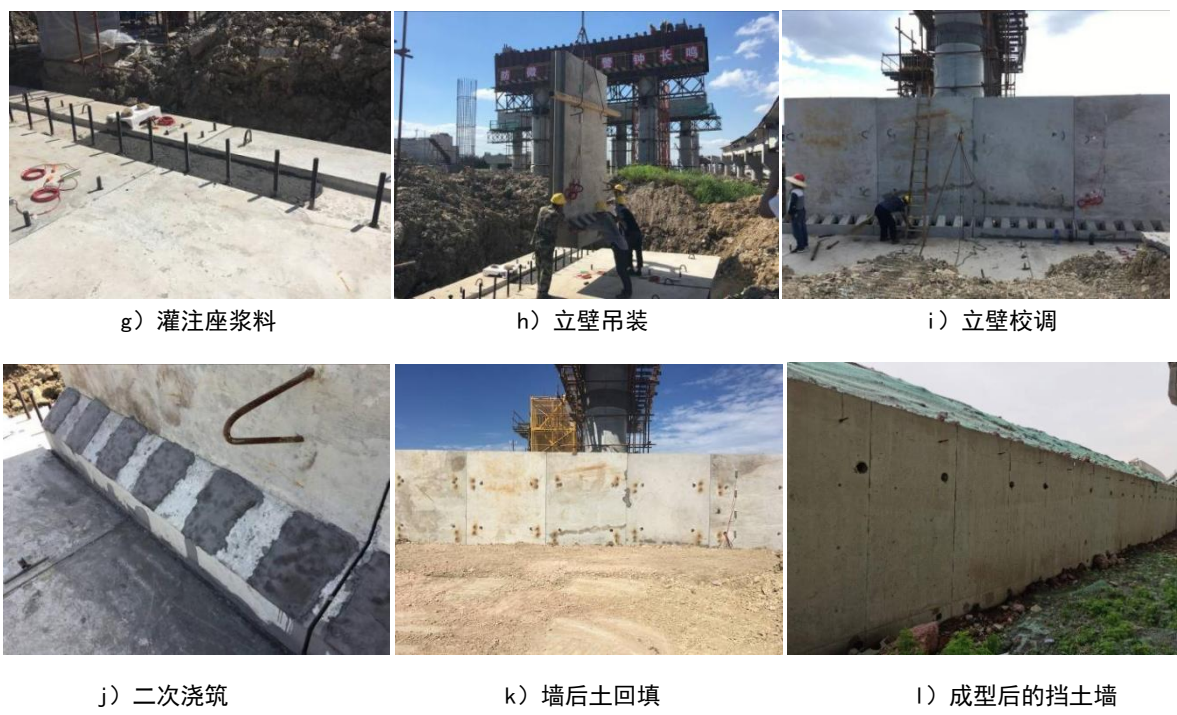


图 C.3 装配悬臂式挡土墙实施过程

C.2 装配扶壁式挡土墙

C.2.1 挡土墙结构

以扶壁式挡土墙为基础，先将挡土墙拆分为立壁、底板、扶壁等构件，并在立壁和扶壁上的构件连接处预埋有螺栓或预设有带钢套筒的螺栓孔，将底板顶上的构件连接件处设为凹槽形，并在凹槽内等间距预埋锚栓。立壁和扶壁采用预制构件，底板采用现浇结构。构件预制或浇注并养护成型后，将预制构件运输到施工现场，通过带肋连接角钢、螺母、垫片等连接件将立壁、底板和扶壁三者相互连接并锁紧在一起，连接后对连接部位浇注混凝土保护。随后既可以进行墙后土的回填与压实施工。挡土墙的结构如图C.4所示。

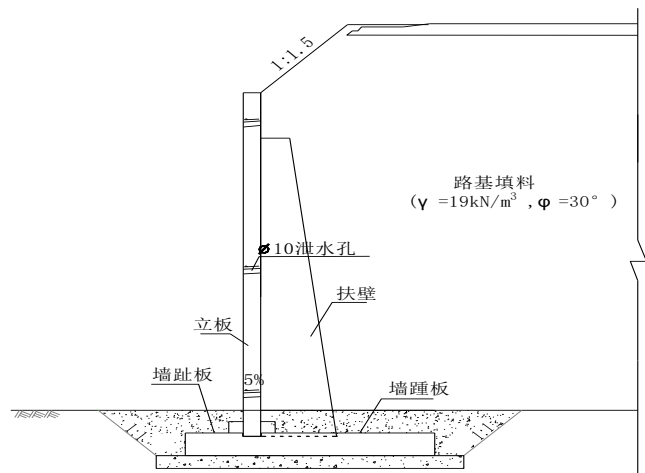


图 C.4 螺栓角钢连接扶壁式挡土墙结构示意图



C.2.2 实施过程

螺栓角钢连接装配扶壁式挡土墙的实施过程见图C.5。

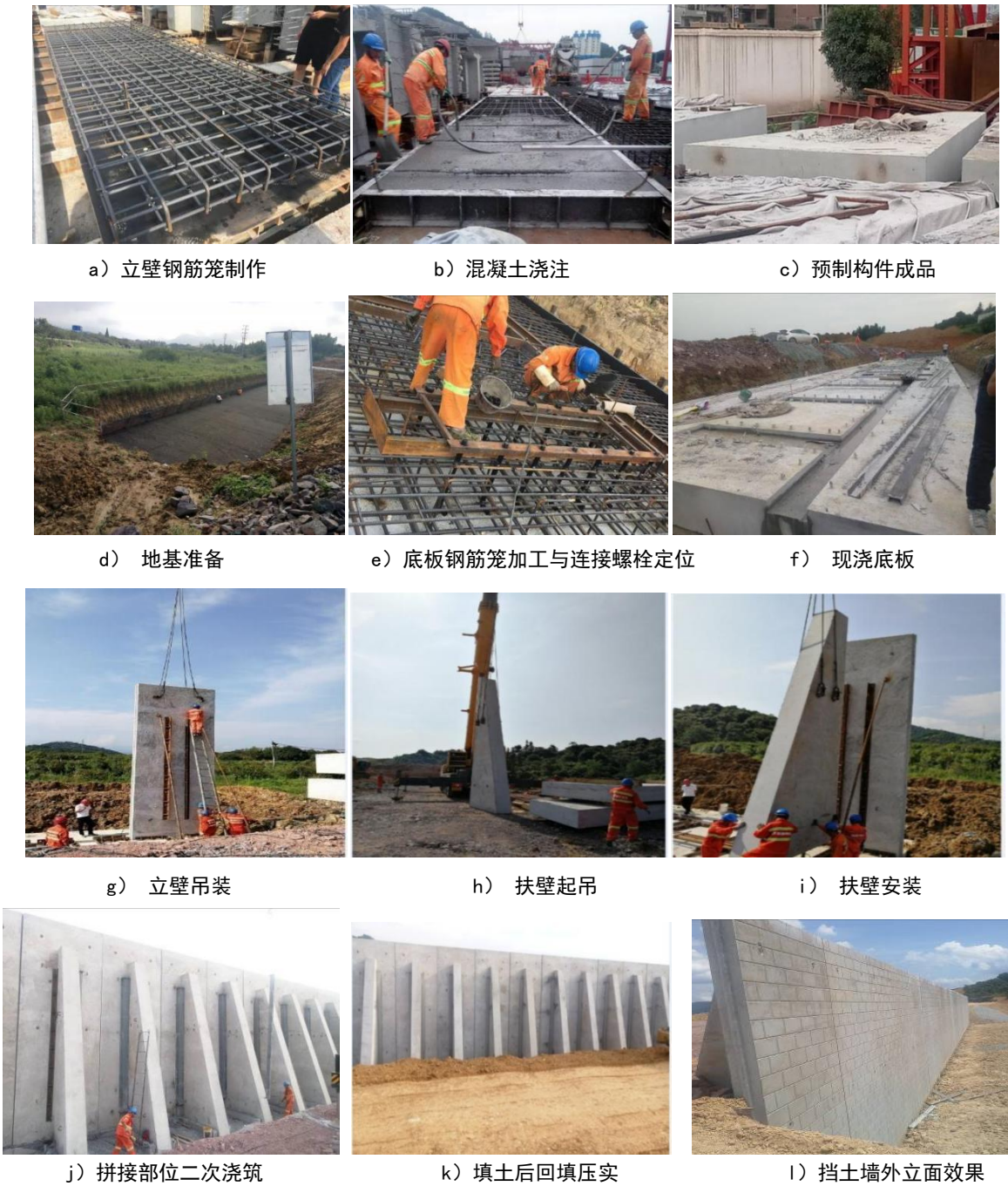


图 C.5 装配扶壁式挡土墙实施过程