

JTS

中华人民共和国行业标准

JTS 154-1-2011

防波堤设计与施工规范

Code of Design and Construction of Breakwaters

2011-08-29 发布

2012-01-01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业标准

防波堤设计与施工规范

JTS 154—1—2011

主编单位：中交第一航务工程勘察设计院有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

施行日期：2012 年 1 月 1 日

人民交通出版社

2011 · 北京

关于发布《防波堤设计与施工规范》 (JTS 154—1—2011)的公告

2011 年第 49 号

现发布《防波堤设计与施工规范》(以下简称《规范》)。本《规范》为强制性行业标准,编号为 JTS 154—1—2011,自 2012 年 1 月 1 日起施行。《防波堤设计与施工规范》(JTJ 298—98)同时废止。

本《规范》第 3.1.6 条、第 3.1.8 条和第 3.2.3 条中的黑体字部分为强制性条文,必须严格执行。

本《规范》由交通运输部组织中交第一航务工程勘察设计院有限公司等单位编制完成,由交通运输部水运局负责管理和解释,由人民交通出版社出版发行。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部

二〇一一年八月二十九日

修 订 说 明

本规范是在《防波堤设计与施工规范》(JTJ 298—98)的基础上,经深入调查研究、试验研究、计算分析,总结我国近年来防波堤设计、施工的实践经验,广泛征求有关单位和专家意见,并结合我国港口工程特点和发展需要修订而成。本规范主要包括斜坡式防波堤设计与施工、直立式防波堤设计与施工和其他型式防波堤设计与施工等技术内容。

本规范的主编单位为中交第一航务工程勘察设计院有限公司,参加单位为中交第一航务工程局有限公司和天津港(集团)有限公司。

《防波堤设计与施工规范》(JTJ 298—98)自发布实施以来,对促进我国港口建设技术进步,保证工程安全,提高水运工程建设质量发挥了重要作用。随着港口工程建设技术的发展和新技术、新工艺、新材料在防波堤工程中的应用,原规范中的部分内容已不能适应我国防波堤的设计和施工的发展需要。为此,交通运输部水运局组织中交第一航务工程勘察设计院有限公司等单位对《防波堤设计与施工规范》(JTJ 298—98)进行修订。

本规范的第3.1.6条、第3.1.8条和第3.2.3条中的黑体字部分为强制性条文,必须严格执行。

本规范共分9章和10个附录,并附条文说明。本规范编写人员分工如下:

- 1 总则:谢世楞 李 伟
- 2 术语:谢世楞 王美茹
- 3 基本规定:王美茹 杨丽民 李 伟
- 4 斜坡式防波堤设计:王美茹 刘进生 杨丽民 舒 宁 谢善文
- 5 直立式防波堤设计:舒 宁 刘进生 杨丽民 王美茹
- 6 其他型式防波堤设计:谢善文 谢世楞 吴 进 李元音 王玉红
- 7 斜坡式防波堤施工:张树仁 潘 伟 李 伟
- 8 直立式防波堤施工:张树仁 潘 伟 李 伟
- 9 其他型式防波堤施工:张树仁 潘 伟 李 伟

附录A~K:谢善文 李元音 吴 进 王玉红 刘进生 杨丽民

本次规范于2010年3月26日通过部审,2011年8月29日发布,自2012年1月1日起实施。

本规范由交通运输部水运局负责管理和解释。请各有关单位在执行过程中,将发现的问题和意见及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街11号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规范管理组(地址:天津市河西区大沽南路1472号,中交第一航务工程勘察设计院有限公司,邮政编码:300222),以便再修订时参考。

目次

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(4)
3.1	一般规定	(4)
3.2	防波堤设计	(5)
3.3	防波堤施工	(5)
4	斜坡式防波堤设计	(7)
4.1	断面型式与尺度	(7)
4.2	斜坡堤计算	(10)
4.3	斜坡堤构造	(18)
4.4	抛石潜堤设计	(19)
5	直立式防波堤设计	(21)
5.1	断面型式及尺度	(21)
5.2	直立堤计算	(23)
5.3	直立堤构造	(28)
5.4	削角直立堤	(30)
5.5	开孔沉箱直立堤	(30)
5.6	坐床式圆筒直立堤	(31)
5.7	桩式直立堤	(32)
6	其他型式防波堤设计	(33)
6.1	半圆型防波堤	(33)
6.2	透空式防波堤	(37)
7	斜坡式防波堤施工	(39)
7.1	垫层与地基处理	(39)
7.2	堤身填筑	(40)
7.3	护面	(41)
7.4	上部结构	(43)
7.5	竣工尺度	(44)
8	直立式防波堤施工	(45)
8.1	基础施工	(45)
8.2	堤身	(46)
8.3	上部结构	(47)

8.4 竣工尺度	(48)
9 其他型式防波堤施工	(49)
9.1 半圆型防波堤	(49)
9.2 透空式防波堤	(50)
附录 A 斜向波作用的计算	(52)
附录 B 常用护面块体形状尺寸图	(53)
附录 C 护面块体的稳定重量、人工块体个数和混凝土量计算图	(58)
附录 D 斜坡堤前的海底冲刷计算	(65)
附录 E 明基床基肩和坡面块体稳定重量计算图	(68)
附录 F 直立堤前的海底冲刷计算	(70)
附录 G 削角直立堤波压力计算	(73)
附录 H 矩形开孔沉箱波浪力计算	(74)
附录 J 半圆型防波堤波压力计算	(83)
附录 K 本规范用词用语说明	(86)
附加说明 本规范主编单位、参加单位、主要起草人、总校人员和管理组 人员名单	(87)
附 条文说明	(89)

1 总 则

1.0.1 为统一防波堤工程的设计与施工技术要求,保证防波堤的安全性、适用性和耐久性,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于港口工程中防波堤的设计与施工,其他承受波浪作用的水工建筑物可参照执行。

1.0.3 防波堤的平面布置、设计水位、波浪条件的确定,应按现行行业标准《海港总平面设计规范》(JTJ 211)和《海港水文规范》(JTJ 213)的有关规定执行。

1.0.4 防波堤的设计与施工除应符合本规范的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 肩台 berm

斜坡堤坡面上的平台,或称戗台。

2.0.2 护面块体 armor block

用于斜坡堤护面的块石或混凝土人工块体。

2.0.3 块体容许失稳率 allowable ratio of instability of block

计算水位上、下各 1.0 倍设计波高的护面范围内,在波浪作用下允许移动或滚落的块体个数所占的百分率。

2.0.4 宽肩台斜坡堤 wide-berm rubble mound breakwater

肩台尺度较宽,在波浪作用下允许肩台和坡面产生一定变形并形成动态平衡剖面的块石护面斜坡堤。

2.0.5 正砌方块直立堤 vertical breakwater of normal placed blocks

堤身由预制混凝土方块逐层砌筑而成的重力式直立堤。

2.0.6 沉箱直立堤 vertical breakwater of caissons

堤身由钢筋混凝土沉箱构成的重力式直立堤。

2.0.7 水平混合式直立堤 horizontal composite breakwater

外侧抛填与堤身高度相近的块石或人工块体的直立堤。

2.0.8 削角直立堤 chamfered vertical breakwater

上部结构外侧为削角斜面的直立堤。

2.0.9 开孔沉箱直立堤 vertical breakwater of perforated caissons

外壁开孔,内设消浪室的沉箱直立堤。

2.0.10 坐床式圆筒直立堤 seated-cylinder vertical breakwater

堤身由大直径圆筒构成并置于抛石基床上的直立堤。

2.0.11 桩式直立堤 piled vertical breakwater

由排桩构成的直立堤。

2.0.12 半圆型防波堤 semi-circular breakwater

堤身由半圆形拱圈和底板组成的钢筋混凝土构件或半圆形沉箱构成,置于抛石基床上的防波堤。

2.0.13 透空式防波堤 open type breakwater

上部挡浪,下部透空的防波堤。

2.0.14 越浪 overtopping

防波堤顶部有成层水体越过。

2.0.15 越浪量 overtopping volume

波浪越过堤顶的水量,以每延米的平均越浪流量表示。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 防波堤纵轴线不宜向外侧拐折形成凹角,当堤轴线需向外拐折时外夹角不宜小于 150°。

3.1.2 防波堤结构型式的选择和断面尺度的确定应符合下列规定。

3.1.2.1 防波堤的结构选型,应根据使用要求、自然条件、材料来源和施工条件等,经技术经济综合比较后确定。需要时可结合现场条件和当地文化背景,考虑采用具有亲水性或景观效果的结构型式。

3.1.2.2 对于地基较差或石料来源丰富的情况可选择斜坡堤;对于水深较深和地基较好的情况可选择方块、沉箱、坐床式圆筒等重力式直立堤或水平混合式直立堤;对于石料缺乏或有特殊要求的情况可选择桩式、透空式、半圆型等防波堤结构型式。

3.1.2.3 根据水深、波浪和地质条件的变化,宜对防波堤进行分段,可采用不同的结构型式或断面尺度。

3.1.3 防波堤所用石料应符合下列规定。

3.1.3.1 石料应不成片状,无严重风化和裂纹。

3.1.3.2 单轴饱和极限抗压强度,对于护面块石和需要进行夯实的基床块石应不低于 50MPa,对于垫层块石和不进行夯实的基床块石应不低于 30MPa。对堤心石和填料,可根据具体情况适当降低要求。

3.1.4 防波堤混凝土构件的混凝土强度等级应根据现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 267)的规定确定,且不应低于表 3.1.4 的限值;有防腐蚀要求的钢筋混凝土构件,尚应满足现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)的规定。在水位变动区有抗冻要求的钢筋混凝土构件,应按现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269)的规定确定混凝土抗冻等级。

混凝土强度等级限值 表 3.1.4

混凝土构件	钢筋混凝土构件
C20	C25

3.1.5 浆砌块石结构,其石料单轴饱和极限抗压强度不应低于 50MPa;水泥砂浆的强度等级不应低于 M15,当有抗冻要求时不应低于 M20;勾缝水泥砂浆的强度等级不应低于 M20。

3.1.6 防波堤结构应进行波浪模型试验验证。

3.1.7 沿防波堤纵轴线应设置一定数量的永久观测点。在施工和使用期间,应对防波堤的沉降、位移和倾斜定期进行观测。有条件时,可进行波浪爬高、越浪和波浪力等原型观测。

3.1.8 施工过程中未成型的防波堤段,应根据实际情况采取必要的防浪措施。

3.2 防波堤设计

3.2.1 防波堤设计应包括下列主要内容:

- (1) 确定建筑物的安全等级及设计标准;
- (2) 选择合理、可行的设计方案;
- (3) 计算结构各部位的强度与稳定性、地基整体稳定性及地基沉降;
- (4) 必要的模型试验验证。

3.2.2 防波堤的设计水位、设计波浪的标准应根据建筑物的安全等级,按现行行业标准《海港水文规范》(JTJ 213)的有关规定确定。

3.2.3 防波堤设计应考虑下列设计状况:

- (1) 持久状况,在使用期分别按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计;
 - (2) 短暂状况,施工期按承载能力极限状态设计,必要时按正常使用极限状态设计;
 - (3) 地震状况,使用期遭受地震作用时,仅按承载能力极限状态设计;
 - (4) 偶然状况,有特殊要求时按承载能力极限状态设计。
- 3.2.4** 防波堤结构的模型试验验证应按不规则波作用为主的原则进行,主要验证结构各部位的稳定性、量测波压力分布、越浪情况及堤后再生波的波高等。对防护要求高的防波堤,应测试波浪爬高及越浪量,必要时应考虑风的影响。

3.3 防波堤施工

3.3.1 防波堤施工前应对水文、气象、地质等现场条件进行调查,并应对风、波浪、潮流和雾等主要影响因素进行分析。

3.3.2 防波堤施工应根据结构特点、现场条件和施工能力,合理确定施工区段、施工顺序及工序搭接长度。

3.3.3 施工作业船舶应具有足够的抗风浪性能。对于远离陆域的工程,现场作业船组应具有相对独立的海上施工能力和生存能力。

3.3.4 防波堤施工的测量控制网和施工测量、竣工测量应符合现行行业标准《水运工程测量规范》(JTJ 203)的规定。

3.3.5 防波堤的混凝土施工及质量控制应符合现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)和《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的规定。

3.3.6 工程所用土工合成材料的品种、规格和性能应满足设计要求,并应符合现行行业标准《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239)的规定。

3.3.7 防波堤常用石料的分类和加工要求可按表 3.3.7 确定。

石料的分类和加工要求 表 3.3.7

序号	类别名称	形 状	加 工 要 求	规 格 尺 寸	用 途
1	抛填块石	形状不规则的块状	用爆破法直接开采,不加挑选	单块质量约为 10 ~ 100kg 或 800kg 以下混合级配	抛填
2	二片石	形状不规则的块状小粒径	用爆破法直接开采出,经筛选	粒径约为 80 ~ 150mm	整平
3	砌筑块石	至少具有一个平面的块状石	用爆破法或裂劈法直接开采出,对外露面或四周稍加修凿	大致方正,厚度不小于 250mm,宽度约为厚度的 1.0 ~ 1.5 倍,长度约为厚度的 1.5 ~ 4.0 倍	护坡或一般砌筑物
4	锥形块石	具有平底,形似截头锥形	采用块石按设计要求经粗琢加工	底部平面面积不小于 100mm × 100mm,顶部尺寸不限,但不可为尖形,高度与底面积之比不宜相差过大,且不得呈斜锥形	
5	条石	近似长方六面体	由岩体或大块石料按设计要求开劈并经粗琢加工	表面平整,长度方向顺直,各面相互垂直,长度不小于宽度的 3.0 ~ 5.0 倍	
6	粗料石	形状规则的六面体	由岩体或大块石料开劈,并经粗略修凿或经粗加工	外形方正,表面不允许凸出,凹入深度不大于 20mm,厚度不小于 200mm,宽度不小于厚度,长度不小于厚度的 1.5 倍	
7	半细料石	形状规则的六面体,或按设计要求	按设计要求经细加工	表面不允许凸出,凹入深度不大于 10mm,尺寸同粗料石	有景观等特殊要求的砌筑物
8	细料石		按设计要求经细加工	表面不允许凸出,凹入深度不大于 2mm,尺寸同粗料石	

4 斜坡式防波堤设计

4.1 断面型式与尺度

4.1.1 斜坡式防波堤的主要断面型式应按下列原则选定。

4.1.1.1 当护面采用抛填块石、安放块石或混凝土人工块体时,断面可采用如图 4.1.1a)所示的型式,外侧坡脚宜设置水下抛石棱体。对随机安放的人工块体护面,也可不设抛石棱体。

4.1.1.2 当水上部分的护面采用干砌块石、干砌条石或浆砌块石时,断面可采用如图 4.1.1b)所示的型式,在施工水位附近应设置肩台,肩台部分可安放大块石或混凝土方块。

4.1.1.3 当施工期波浪经常较大、石料缺乏,且有足够起重能力时,可采用抛填混凝土人工块体的断面,如图 4.1.1c)所示。

4.1.1.4 当堤顶作通道、铺设管线或堤内侧兼作码头时,宜在堤顶设置胸墙,如图 4.1.1d)所示。胸墙的型式可采用 L 形、反 L 形和弧形等。

4.1.1.5 当石料来源丰富,利用块石作护坡,且采用陆上推进法施工时,可采用宽肩台抛石斜坡堤,如图 4.1.1e)所示。

4.1.1.6 深水斜坡堤外侧采用扭王字块体护面时,若坡面较长或护面块体的个数超过 18 块,应在外坡适当位置设置肩台,如图 4.1.1f)所示。

4.1.2 在确定斜坡堤断面尺度时,除特殊要求外,设计波高应采用重现期为 50 年或 25 年,波高累积频率为 13%,但不超过浅水极限波高的波高。

4.1.3 斜坡式防波堤的堤顶高程应根据使用要求,结合总体布置综合考虑确定,并应符合下列规定。

4.1.3.1 对允许越浪的斜坡堤,堤顶高程宜定在设计高水位以上不小于 0.6 倍设计波高值处。

4.1.3.2 对基本不越浪的斜坡堤和宽肩台抛石斜坡堤,堤顶高程宜定在设计高水位以上不小于 1.0 倍设计波高值处。

4.1.3.3 对堤顶设胸墙的斜坡堤,胸墙顶高程宜定在设计高水位以上不小于 1.0 倍设计波高值处。

4.1.3.4 对防护要求高的斜坡堤,应按波浪爬高计算确定其堤顶高程,并宜控制越浪量。

4.1.3.5 对块石、四脚空心方块、栅栏板护面的斜坡堤堤顶高程,宜取设计高水位以上不小于 0.7 倍的设计波高值处。

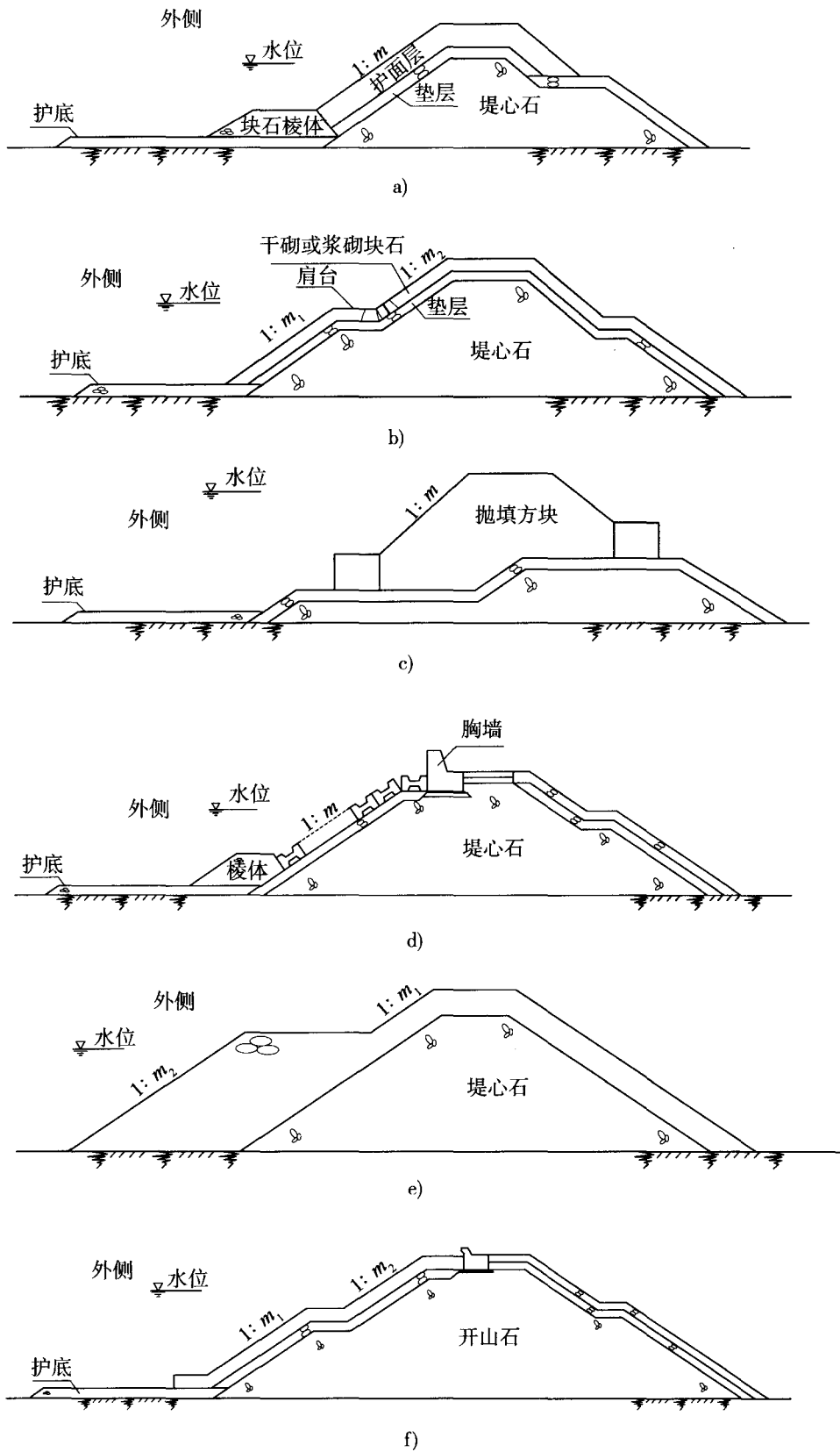


图 4.1.1 斜坡堤断面型式

a) 人工块体护面斜坡堤; b) 砌石护面斜坡堤; c) 抛填方块斜坡堤; d) 堤顶设胸墙的斜坡堤; e) 宽肩台斜坡堤; f) 深水斜坡堤

4.1.4 斜坡堤的堤顶宽度,可取 1.10 ~ 1.25 倍设计波高值,且在构造上应至少能并列安放两排或随机安放三块人工块体。当有使用要求时应根据使用要求确定。对采用陆上推进法施工的斜坡堤,应考虑施工机械对顶宽的要求。

4.1.5 外侧坡脚设置水下抛石棱体的斜坡堤,棱体的顶面高程不宜高于设计低水位以下 1.0 倍设计波高值;棱体的顶面宽度和厚度,可根据堤前水深和断面尺度确定,其宽度不宜小于 2m,厚度不宜小于 1m;对深水堤其宽度不宜小于 5m,厚度不宜小于 3m。

4.1.6 斜坡堤肩台的位置和宽度应符合下列规定。

4.1.6.1 对因施工需要而设置肩台的斜坡堤,肩台的位置应根据施工条件来确定,肩台的宽度不宜小于 2m。

4.1.6.2 对有肩台的深水斜坡堤,肩台位置宜定在设计低水位以下不小于 0.5 倍设计波高值处,肩台的宽度应至少满足随机安放 3 块人工块体。

4.1.6.3 对为减少波浪爬高而设置肩台的斜坡堤,肩台位置宜设在设计高水位上、下 0.5 倍设计波高范围以内,宽度宜为 0.5 ~ 2.0 倍设计波高。

4.1.7 抛填混凝土块体的斜坡堤在设计高水位处的堤身宽度不宜小于 3 倍设计波高值。

4.1.8 堤顶设置胸墙的斜坡堤,其坡顶高程和坡肩宽度应符合下列规定。

4.1.8.1 当胸墙前的护面为块石、规则摆放单层四脚空心方块或栅栏板时,见图 4.1.1d),其坡顶高程宜定在设计高水位以上不小于 0.6 倍设计波高值处;墙前坡肩宽度不应小于 1.0m,且在构造上至少应能安放 1 排护面块体。

4.1.8.2 当胸墙前护面为随机安放的人工块体(扭工字块体、扭王字块体等)时,其坡顶高程不宜低于胸墙顶高程,且墙前坡肩范围内至少应能安放 2 排人工块体,如图 4.1.8a)和图 4.1.8b)所示。

4.1.8.3 对采用弧形胸墙的斜坡堤,见图 4.1.8c),胸墙弧面可顺坡自然转向外侧坡面,其在坡面上的长度不宜小于 1m,厚度不宜小于护坡面层。

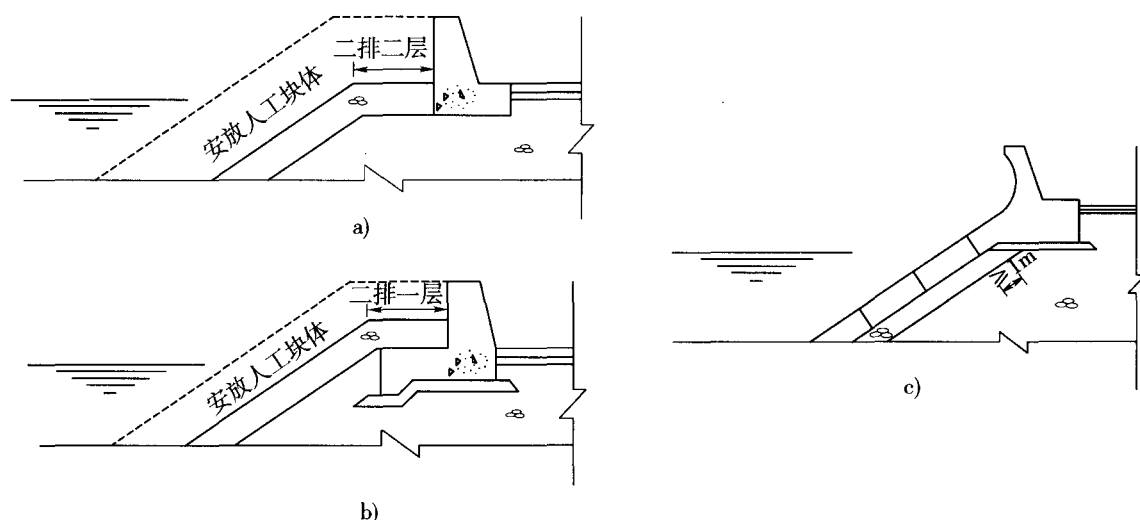


图 4.1.8 堤顶胸墙

a) L 形胸墙; b) 反 L 形胸墙; c) 弧形胸墙

4.1.9 宽肩台斜坡堤的肩台顶高程,可定在设计高水位以上 1.0 ~ 3.0m 处,肩台宽度宜取 2.3 ~ 2.9 倍设计波高值,且不宜小于 6.0m。

4.1.10 斜坡堤的边坡坡度可按表 4.1.10 采用。

斜坡堤边坡坡度 表 4.1.10

护面型式	坡度	护面型式	坡度
抛填或安放块石	1:1.5 ~ 1:3.0	安放人工块体	1:1.25 ~ 1:2.00
干砌或浆砌块石	1:1.5 ~ 1:2.0	抛填方块	1:1.00 ~ 1:1.25
干砌条石	1:0.8 ~ 1:2.0		

注:对宽肩台抛石斜坡堤,肩台以上和以下的边坡坡度可分别取 1:1.5 ~ 1:3.0 和 1:1.0 ~ 1:1.5。

4.2 斜坡堤计算

4.2.1 斜坡堤计算应包括下列主要内容:

- (1)护面块体的稳定重量和护面层厚度;
- (2)栅栏板的强度;
- (3)堤前护底块石的稳定重量;
- (4)胸墙的强度和抗滑、抗倾稳定性;
- (5)整体稳定性;
- (6)地基沉降。

4.2.2 斜坡堤承载能力和正常使用极限状态设计时,应以设计波高及对应的波长确定的波浪力作为标准值,设计状况及相应的组合应符合下列规定。

4.2.2.1 持久状况的设计波高应考虑下列持久组合:

- (1)设计高水位时,波高采用相应的设计波高;
- (2)设计低水位时,当有推算的外海设计波浪时,按设计低水位进行波浪浅水变形分析,求出设计波高;当只有建筑物附近不分水位统计的设计波浪时,取与设计高水位时相同的设计波高但不超过低水位时的浅水极限波高;
- (3)极端高水位时,波高采用相应的设计波高;极端低水位时,不考虑波浪的作用。

4.2.2.2 短暂状况,对未成型的斜坡堤进行施工期复核时,计算水位可采用设计高水位和设计低水位,波高的重现期可采用 2 ~ 5 年。

4.2.2.3 地震状况,在进行斜坡堤整体稳定性计算时,应考虑地震作用的组合,计算水位应采用设计低水位,不考虑波浪对堤体的作用。其计算方法应符合现行行业标准《水运工程抗震设计规范》(JTJ 225)的有关规定。

4.2.2.4 偶然状况,有特殊要求时应按承载能力极限状态设计。

4.2.3 计算堤顶胸墙抗滑和抗倾稳定性应符合下列规定。

4.2.3.1 沿墙底抗滑稳定性的承载能力极限状态设计可按下式计算:

$$\gamma_0 \gamma_P P \leq (\gamma_G G - \gamma_u P_u) f + \gamma_E E_b \tag{4.2.3-1}$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定;
 γ_P ——水平波浪力分项系数,按表 4.2.3-2 确定;

- P ——作用在胸墙海侧面上的水平波浪力标准值(kN)；
 γ_G ——自重力分项系数,取 1.0；
 G ——胸墙自重力标准值(kN)；
 γ_u ——波浪浮托力分项系数,按表 4.2.3-2 确定；
 P_u ——作用在胸墙底面上的波浪浮托力标准值(kN)；
 f ——胸墙底面摩擦系数设计值,按表 4.2.3-3 确定；
 γ_E ——土压力分项系数,取 1.0；
 E_b ——胸墙底面埋深大于等于 1m 时,内侧面地基土或填石的被动土压力(kN),可按有关公式计算并乘以折减系数 0.3 作为标准值。

结构重要性系数 γ_0 表 4.2.3-1

安全等级	一级	二级	三级
γ_0	1.1	1.0	0.9

分 项 系 数 表 4.2.3-2

组 合 情 况	稳 定 情 况	水平波浪力分项系数 γ_P	波浪浮托力分项系数 γ_u
持久组合	抗滑	1.3	1.1
	抗倾	1.3	1.1
短暂组合	抗滑	1.2	1.0
	抗倾	1.2	1.0

摩擦系数设计值 表 4.2.3-3

材 料		摩擦系数 f
混凝土与混凝土		0.55
浆砌块石与浆砌块石		0.65
堤底与抛石基床	堤身为预制混凝土或钢筋混凝土结构	0.60
	堤身为浆砌块石结构	0.65
抛石基床与地基土	地基为细砂~粗砂	0.50~0.60
	地基为粉砂	0.40
	地基为砂质粉土	0.35~0.50
	地基为粘土、粉质粘土	0.30~0.45

注:混凝土胸墙与有伸出钢筋的预制件之间的摩擦系数 f 可采用 1.0。

4.2.3.2 沿墙底抗倾稳定性的承载能力极限状态设计可按式计算：

$$\gamma_0(\gamma_P M_P + \gamma_u M_u) \leq \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G M_G + \gamma_E M_E)$$

(4.2.3-2)

- 式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定；
 γ_P ——水平波浪力分项系数,按表 4.2.3-2 确定；
 M_P ——水平波浪力的标准值对胸墙后趾的倾覆力矩(kN·m)；
 γ_u ——波浪浮托力分项系数,按表 4.2.3-2 确定；

- M_u ——波浪浮托力的标准值对胸墙后趾的倾覆力矩(kN·m)；
- γ_d ——结构系数,取 1.25；
- γ_G ——自重力分项系数,取 1.0；
- M_G ——胸墙自重力标准值对胸墙后趾的稳定力矩(kN·m)；
- γ_E ——土压力分项系数,取 1.0；
- M_E ——土压力的标准值对胸墙后趾的稳定力矩(kN·m)。

4.2.3.3 在抗滑、抗倾稳定性的承载能力极限状态设计表达式中,对持久状况中的极端高水位组合情况,其分项系数可采用短暂组合时的数值。

4.2.4 当波向线与斜坡堤纵轴线法线的夹角小于 22.5°,且堤前波浪不破碎,斜坡堤堤身在计算水位上、下 1.0 倍设计波高之间的护面块体,单个块体的稳定重量可按式(4.2.4-1)和式(4.2.4-2)计算。对于设计波浪平均周期大于 10s 或设计波高与设计波长之比小于 1/30 的坦波,块体重量应进行模型试验验证。

$$W=0.1 \frac{\gamma_b H^3}{K_D (S_b - 1)^3 \cot \alpha} \tag{4.2.4-1}$$

$$S_b = \frac{\gamma_b}{\gamma} \tag{4.2.4-2}$$

- 式中 W ——单个块体的稳定重量(t)；
- γ_b ——块体材料的重度(kN/m³)；
- H ——设计波高(m)；
- K_D ——块体稳定系数,可按表 4.2.4 确定；
- α ——斜坡与水平面的夹角(°)；
- γ ——水的重度(kN/m³)。

稳定系数 K_D 表 4.2.4

护面型式		护面块体容许失稳率 n (%)	K_D
护面块体	构造型式		
块石	抛填 2 层	1 ~ 2	4.0
	安放 1 层	0 ~ 1	5.5
方块	抛填 2 层	1 ~ 2	5.0
四脚锥体	安放 2 层	0 ~ 1	8.5
四脚空心方块	安放 1 层	0	14
扭工字块体	安放 2 层	0	18
扭王字块体	安放 1 层	0	18

4.2.5 宽肩台斜坡堤护面块石的重量,可取抛填块石稳定重量的 1/20 ~ 1/5,粒径级配 D_{85}/D_{15} 可取 1.25 ~ 2.25。

4.2.6 当波浪斜向作用时,护面块体的稳定重量可按附录 A 确定。

4.2.7 四脚锥体、四脚空心方块、扭工字块体和扭王字块体的形状和尺寸可按附录 B 确定。

4.2.8 各种护面块体的稳定重量、人工块体的个数和混凝土量可按附录 C 确定。护面块体的种类和规格应尽可能少,同一种类块体重量的级差不宜小于 1t;采用扭工字和扭王字块体的最小重量不宜小于 2t。当设计波高大于 4m 时,不宜选用四脚空心方块护面型式。

4.2.9 斜坡堤干砌块石、浆砌块石和干砌条石护面层应按厚度控制,其厚度可按下列规定确定。

4.2.9.1 干砌块石、浆砌块石护面层的厚度可按下列公式计算:

$$h = 1.3 \frac{\gamma}{\gamma_b - \gamma} H (K_{md} + K_\delta) \frac{\sqrt{m^2 + 1}}{m} \quad (4.2.9-1)$$

$$m = \cot \alpha \quad (4.2.9-2)$$

式中 h ——护面层厚度(m);

γ ——水的重度(kN/m^3);

γ_b ——护面块石的重度(kN/m^3);

H ——设计波高(m), $d/L \geq 0.125$ 时采用 $H_{5\%}$, $d/L < 0.125$ 时采用 $H_{13\%}$, d 和 L 分别为堤前水深(m)和设计波长(m);

K_{md} ——与 m 值和 d/H 值有关的系数,按表 4.2.9-1 确定;

K_δ ——波坦系数,按表 4.2.9-2 确定;

m ——坡度系数;

α ——斜坡角度($^\circ$)。

系 数 K_{md}

表 4.2.9-1

d/H	M		
	1.5	2.0	3.0
1.5	0.311	0.238	0.130
2.0	0.258	0.180	0.087
2.5	0.242	0.164	0.076
3.0	0.235	0.156	0.070
3.5	0.229	0.151	0.067
4.0	0.226	0.147	0.065

系 数 K_δ

表 4.2.9-2

L/H	10	15	20	25
K_δ	0.081	0.122	0.162	0.202

4.2.9.2 对 $d/H = 1.7 \sim 3.3$ 和 $L/H = 12 \sim 25$ 的情况,干砌条石护面层厚度可按式计算:

$$h = 0.744 \frac{\gamma}{\gamma_b - \gamma} \frac{\sqrt{m^2 + 1}}{m + A} (0.476 + 0.157d/H) H \quad (4.2.9-3)$$

式中 h ——干砌条石护面层厚度,即条石长度(m);

γ ——水的重度(kN/m^3);

γ_b ——护面条石的重度(kN/m^3);

m ——坡度系数,取 0.8~1.5;

A ——系数,斜缝干砌可取 1.2,平缝干砌可取 0.85;

d ——堤前水深(m);

H 、 L ——分别为设计波高(m)和设计波长(m)。

4.2.9.3 对满足第 4.2.9.2 款,且坡度系数为 2~3 的加糙干砌条石护面,其厚度也可按式(4.2.9-1)计算,但应乘以折减系数。当平面加糙度为 25% 时,条石凸起高度宜取条石计算厚度的 1/3,折减系数可取为 0.85。

4.2.10 当水下抛石棱体的顶面高程在设计低水位以下 1.0 倍设计波高值时,棱体的块石重量可取按式(4.2.4-1)计算的块石重量的 0.3~0.4 倍。

4.2.11 对外坡有肩台的深水斜坡堤,外侧肩台上下的护坡宜采用同一类型和同一规格的人工块体,当肩台顶面高程在设计低水位以下 1.0 倍设计波高值时,肩台以下坡面的护面块体重量不应小于肩台以上护面块体重量的 0.5 倍。

4.2.12 外坡护面垫层块石的重量可取按式(4.2.4-1)确定的块体重量的 1/20~1/10,但最小重量不得小于 1/40。对于四脚空心方块和栅栏板护面,其垫层块石规格应按不小于护面空隙尺度确定。

4.2.13 内坡护面块体的重量应符合下列规定。

4.2.13.1 当堤顶高程按第 4.1.3.1 款确定时,从堤顶到设计低水位以下 0.5~1.0 倍设计波高之间的内坡护面块体重量,应与外坡护面的块体重量相同;其下的内坡护面块体,宜采用与外坡护面垫层相同重量的块石,但不应小于 150kg,且应按堤内侧波浪进行复核。

4.2.13.2 当堤顶高程按第 4.1.3.4 款确定时,内坡护面应按堤内侧波浪进行计算,且不宜小于外坡护面垫层块石的重量。

4.2.14 堤顶块体的重量宜与外坡块体相同。当堤顶高程在设计高水位以上不足 0.2 倍设计波高值时,其重量不应小于外坡护面块体重量的 1.5 倍。

4.2.15 斜坡堤堤头部分的块体重量,可按式(4.2.4-1)计算的结果增加 20%~30%。位于波浪破碎区的堤身和堤头的块体重量,均应相应再增加 10%~25%,必要时可通过模型试验确定。

4.2.16 当斜坡堤采用栅栏板护面时,栅栏板的平面尺度、厚度及波压强度设计值应符合下列规定。

4.2.16.1 栅栏板的平面形状宜采用长方形(图 4.2.16),其长边沿斜坡方向布置,短边沿堤轴线方向布置。栅栏板的平面尺度与设计波高的关系可按下列公式计算:

$$a_0 = 1.25H \quad (4.2.16-1)$$

$$b_0 = 1.0H \quad (4.2.16-2)$$

式中 a_0 ——栅栏板长边尺度(m);

H ——设计波高(m)；

b_0 ——栅栏板短边尺度(m)。

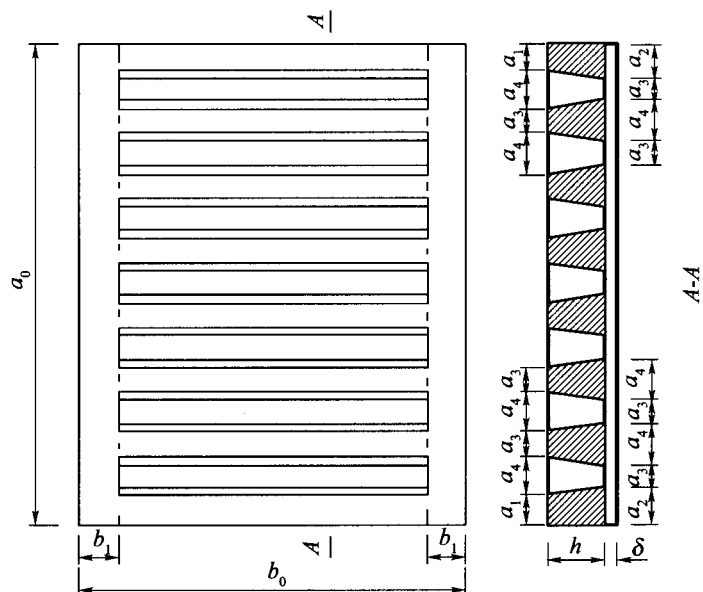


图 4.2.16 栅栏板结构图

4.2.16.2 栅栏板的细部尺度可按下列公式计算：

$$a_1 = \frac{a_0}{15} - \frac{h}{16} \quad (4.2.16-3)$$

$$a_2 = \frac{a_0}{15} + \frac{h}{16} \quad (4.2.16-4)$$

$$a_3 = \frac{a_0}{15} - \frac{h}{8} \quad (4.2.16-5)$$

$$a_4 = \frac{a_0}{15} + \frac{h}{8} \quad (4.2.16-6)$$

$$b_1 = 0.1b_0 \quad (4.2.16-7)$$

$$\delta \geq 0.1 \quad (4.2.16-8)$$

式中 $a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, \delta$ ——栅栏板细部尺度(m)；

a_0 ——栅栏板长边尺度(m)；

h ——栅栏板的厚度(m)；

b_0 ——栅栏板短边尺度(m)。

4.2.16.3 当需调整栅栏板的平面尺度时,长边与短边的比值保持不变,当短边增加或减少 1m 时,厚度可相应减少或增加 0.05m。

4.2.16.4 当斜坡堤的坡度系数为 1.5 ~ 2.5 时,栅栏板的厚度可按下式计算：

$$h = 0.235 \frac{\gamma}{\gamma_b - \gamma} \frac{0.61 + 0.13d/H}{m^{0.27}} H \quad (4.2.16-9)$$

式中 h ——栅栏板的厚度(m)；

γ ——水的重度 (kN/m^3) ;
 γ_b ——栅栏板的重度 (kN/m^3) ;
 d ——堤前水深 (m) ;
 H ——设计波高 (m) ;
 m ——坡度系数。

4.2.16.5 作用于栅栏板面上的最大正向波压强度设计值可按下式计算:

$$p_M = 0.85\gamma H \quad (4.2.16-10)$$

式中 p_M ——作用于栅栏板面上的最大正向波压强度 (kPa) ;

γ ——水的重度 (kN/m^3) ;
 H ——设计波高 (m) 。

4.2.16.6 当设计波高大于 4m 时,不宜选用栅栏板护面型式。

4.2.17 斜坡堤护面层厚度、人工块体个数、混凝土量可按下列公式计算:

(1) 护面层厚度:

$$h = n'c \left(\frac{W}{0.1\gamma_b} \right)^{1/3} \quad (4.2.17-1)$$

式中 h ——护面层厚度 (m) ;

n' ——护面块体层数;

c ——块体形状系数,按表 4.2.17 确定;

W ——单个块体的稳定重量 (t) ;

γ_b ——护面块体的重度 (kN/m^3) 。

(2) 人工块体个数:

$$N = An'c(1 - P') \left(\frac{0.1\gamma_b}{W} \right)^{2/3} \quad (4.2.17-2)$$

式中 N ——人工块体个数;

A ——垂直于厚度的护面层平均面积;

n' ——护面块体层数;

c ——块体形状系数,按表 4.2.17 确定;

P' ——护面层的空隙率 (%),按表 4.2.17 确定;

γ_b ——护面块体的重度 (kN/m^3) ;

W ——单个块体的稳定重量 (t) 。

(3) 人工块体混凝土量:

$$Q = N \frac{W}{0.1\gamma_b} \quad (4.2.17-3)$$

式中 Q ——人工块体混凝土量 (m^3) ;

N ——人工块体个数;

W ——单个块体的稳定重量 (t) ;

γ_b ——护面块体的重量(kN/m^3)。

块体形状系数 c 和护面块体空隙率 P'

表 4.2.17

护面块体	构造型式	c	$P'(\%)$	说 明
块石	抛填 2 层	1.0	40	—
	立放 1 层	1.3~1.4	—	—
四脚锥体	安放 2 层	1.0	50	—
扭工字块体	安放 2 层	1.2	60	随机安放
		1.1	60	规则安放
扭王字块体	安放 1 层	1.3	50	随机安放

4.2.18 斜坡堤护面的块石垫层厚度不应小于按式(4.2.17-1)计算的两层块石的厚度。

4.2.19 斜坡堤前波浪底流速可按式计算：

$$V = \frac{\pi H}{\sqrt{\frac{\pi L}{g} \sinh \frac{4\pi d}{L}}}$$

(4.2.19)

式中 V ——斜坡堤前波浪底流速(m/s)。

H ——设计波高(m)；

L ——计算波长(m)；

g ——重力加速度,取 9.81m/s^2 ；

d ——堤前水深(m)。

4.2.20 护底块石的稳定重量,可根据堤前波浪底流速按表 4.2.20 确定。

堤前护底块石的稳定重量

表 4.2.20

堤前波浪底流速 $V(\text{m/s})$	护底块石稳定重量 $W(\text{kg})$	堤前波浪底流速 $V(\text{m/s})$	护底块石稳定重量 $W(\text{kg})$
2.0	60	4.0	400
3.0	150	5.0	800

注:破碎波区的堤前护底块石的重量宜适当加大。

4.2.21 斜坡堤顶部胸墙稳定性的验算应符合下列规定。

4.2.21.1 当胸墙前有块体掩护且掩护的宽度为 2 排和高度为 2 层时(图 4.1.8a),作用在胸墙上的水平波浪力和波浪浮托力可乘以折减系数 0.6~0.7。

4.2.21.2 当胸墙埋入堤顶的深度大于 1m 时,可计入填石的有利作用。

4.2.22 斜坡堤整体稳定和地基沉降计算应按现行行业标准《港口工程地基规范》(JTS 147—1)的有关规定执行;整体稳定性计算时,可不计波浪的作用。预留沉降量可根据地基沉降计算结果、工程经验和实际情况确定。

4.2.23 斜坡堤的软基处理应符合下列规定。

4.2.23.1 当地基表层为淤泥且厚度较小时,可采用抛石挤淤法。

4.2.23.2 当淤泥厚度小于 5m 时,可采用开挖换填、铺设水平排水砂垫层或土工织物加筋垫层等方法进行处理。排水砂垫层的厚度可取 1~2m,宽度应大于堤底宽度。

4.2.23.3 当软土层较厚时,可采用排水固结法、置换法或爆炸排淤法等进行处理。

4.3 斜坡堤构造

4.3.1 斜坡堤堤心材料应符合下列规定。

4.3.1.1 斜坡堤堤心的填料,应根据现场条件因地制宜选用。斜坡堤的堤心石,可采用 10~100kg 块石。对工程量较大,石料缺乏的地区,也可采用开山石、石碴或袋装砂土等代用材料。代用材料与垫层块石间宜设置一定厚度的 10~100kg 块石。

4.3.1.2 开山石填料的最大颗粒重量可采用 300kg,对深水斜坡堤可采用 800kg,开山石应有适当的级配。开山石和石碴的含泥量宜小于 10%。

4.3.2 建于可冲刷地基上的斜坡堤,堤前护底结构的确定应符合下列规定。

4.3.2.1 护底结构根据堤前波浪产生底流速度和沿堤流速,可采用抛石或土工织物软体排等护底型式。

4.3.2.2 护底块石层的宽度,堤身段不应小于 5m,堤头段不应小于 10m,流速和水深较大时宜适当加大,堤身段不宜小于 10m,堤头段不宜小于 15m。

4.3.2.3 护底块石可采用 2 层,厚度不宜小于 0.5m。对砂质海底,在护底块石层下宜设置厚度不小于 0.3m 的碎石层或土工织物滤层。

4.3.2.4 斜坡堤前沙质海底的防护范围,可根据波浪作用下的冲刷形态和冲刷深度按附录 D 确定。

4.3.3 可冲刷地基上的斜坡堤,护面块体或水下棱体的大块石均应抛置于厚度不小于 0.5m 的小块石垫层或土工织物软体排上。

4.3.4 对采用随机安放人工块体护面的斜坡堤,其外侧的构造应符合下列规定。

4.3.4.1 当采用随机安放 2 层扭工字块体时,在波浪作用范围内的上层块体应有 60% 以上保持垂直杆件在堤坡下方,水平杆件在堤坡上方的形式见图 4.3.4。

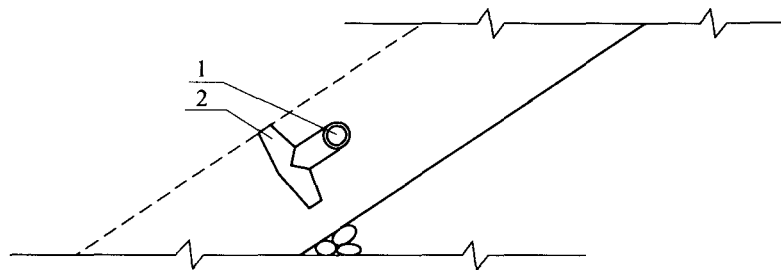


图 4.3.4 扭工字块体安放示意图

1-水平杆件;2-垂直杆件

4.3.4.2 当采用规则安放扭工字块体时,应使全部块体保持垂直杆件在堤坡下方,水平杆件在堤坡上方。

4.3.4.3 当采用随机安放 1 层扭王字块体时,相邻块体的摆向不宜相同。

4.3.5 当扭工字块体重量大于 20t、扭王字块体和四脚锥体重量大于 40t 时,应采取配置钢筋或其他加强措施。

4.3.6 浆砌块石护面层应设置纵、横变形缝和排水孔。变形缝的纵向间距可取 5~10m,横向间距可取 5m。排水孔的纵、横向间距可取 2m,孔径不宜小于 100mm。

4.3.7 斜坡堤堤头段的构造应符合下列规定。

4.3.7.1 堤头段的长度可采用 15 ~ 30m, 深水斜坡堤应适当加长。

4.3.7.2 当有缩窄口门宽度的要求时, 斜坡堤的堤头段可采用直立结构。

4.3.7.3 堤头段护面块体的重量应大于堤身外坡护面块体重量, 也可将堤头段两侧的坡度适当放缓。

4.3.7.4 堤头段的护底块石重量应适当加大。

4.3.8 斜坡堤与直立堤段的连接处, 结构应采取加强措施。

4.3.9 当堤根段出现波能集中时, 堤根段和相邻的海岸段应采取加强措施。

4.3.10 当堤轴线向外拐折形成凹角造成波能集中, 或堤轴线向内拐折形成尖凸角时, 应采取加强措施。

4.4 抛石潜堤设计

4.4.1 抛石潜堤的传递波高可按下式计算:

$$H_t = K_t H \quad (4.4.1)$$

式中 H_t ——堤后的传递波高(m);

K_t ——传递波高系数, 可按表 4.4.1 采用;

H ——堤前设计波高(m)。

潜堤传递波高系数

表 4.4.1

h_c/H	K_t
$-2.0 < h_c/H < -1.13$	0.80
$-1.13 < h_c/H < 1.2$	$0.46 \sim 0.3(h_c/H)$
$1.2 < h_c/H < 2.0$	0.10

注: h_c 为堤顶在计算水位以上的高度(m), 潜堤时 h_c 为负值。

4.4.2 抛石潜堤护面块石的稳定重量宜由模型试验确定。当潜堤外坡的坡度系数为 1.5 ~ 2.0 时, 可按下列公式计算:

$$W' = 0.1 \gamma_b \left(\frac{\gamma}{\gamma_b - \gamma} \right)^3 \frac{H^2 L_p}{N_D^3} \quad (4.4.2-1)$$

$$T_p = 1.21 \bar{T} \quad (4.4.2-2)$$

$$L_p = \frac{g T_p^2}{2\pi} \operatorname{th} \frac{2\pi d}{L_p} \quad (4.4.2-3)$$

$$N_D = 5.95 - \frac{1}{0.14} \ln \left(\frac{d + h_c}{d} \right) \quad (4.4.2-4)$$

式中 W' ——潜堤护面块石的稳定重量(t);

γ_b ——块石的重度(kN/m³);

γ ——水的重度(kN/m³);

H ——堤前设计波高(m);

L_p ——与谱峰周期相应的波长(m);

N_d ——潜堤护面块石的稳定系数；

T_p ——谱峰周期(s)；

\bar{T} ——波浪平均周期(s)；

d ——堤前水深(m)；

h_c ——堤顶在计算水位以上的高度(m)。

4.4.3 当潜堤顶部位于计算水位下 0.5 倍波高以内时,护面块石稳定重量不宜小于相同条件下出水堤的护面块石稳定重量。

5 直立式防波堤设计

5.1 断面型式及尺度

5.1.1 直立式防波堤的主要断面型式的选定原则应符合下列规定。

5.1.1.1 钢筋混凝土矩形沉箱和正砌混凝土方块直立堤,其墙身结构可采用钢筋混凝土沉箱、混凝土方块或空心方块;上部结构可采用现浇或装配整体式混凝土结构,其外侧可采用直立、削角斜面或弧面;抛石基床可采用暗基床、明基床或混合基床,如图 5.1.1 所示。

5.1.1.2 堤前破碎波浪较大产生巨大的破碎波冲击压力,或需对已有直立堤加固修复时,可采用水平混合式直立堤,如图 5.1.1d) 所示。

5.1.1.3 对深水直立堤,堤身宜采用钢筋混凝土沉箱,明基床护肩、护坡宜采用随机安放的人工块体,如图 5.1.1e) 所示。

5.1.2 直立式防波堤的堤顶高程应符合下列规定。

5.1.2.1 对允许越浪的直立堤,宜定在设计高水位以上不小于 0.6 倍设计波高值处;上部结构为削角型式的直立堤,宜定在设计高水位以上不小于 0.7 倍设计波高值处。

5.1.2.2 对基本不越浪的直立堤,宜定在设计高水位以上不小于 1.0 倍设计波高值处;上部结构为削角型式的直立堤,宜定在设计高水位以上不小于 1.25 倍设计波高值处。

5.1.3 除特殊要求外,直立堤设计波高应采用重现期为 50 年,波高累积频率应为 1%,但不应超过浅水极限波高。

5.1.4 沉箱或最上层方块的顶高程,宜高出施工水位 0.3 ~ 0.5m。

5.1.5 直立堤明基床外肩和内肩的宽度,可分别取墙身计算宽度的 0.6 倍和 0.4 倍。对于高基床直立堤,其外肩宽度通过模型试验验证可适当减少。明基床的边坡坡度,外侧可采用 1:2 ~ 1:3,内侧可采用 1:1.5 ~ 1:2.0。暗基床底宽不宜小于直立堤墙底宽度加 2 倍的基床厚度。

5.1.6 深水直立堤宜避免墙前产生近破波。

5.1.7 在非岩石地基上的抛石基床厚度应由计算确定;对一般直立堤,粘土地基时抛石基床厚度不应小于 1.5m,砂土地基时抛石基床厚度不应小于 0.7m 并应在抛石基床下设置 0.3m 的碎石垫层。岩石地基的抛石基床厚度不应小于 0.5m。对深水直立堤,抛石基床的厚度应适当加大。

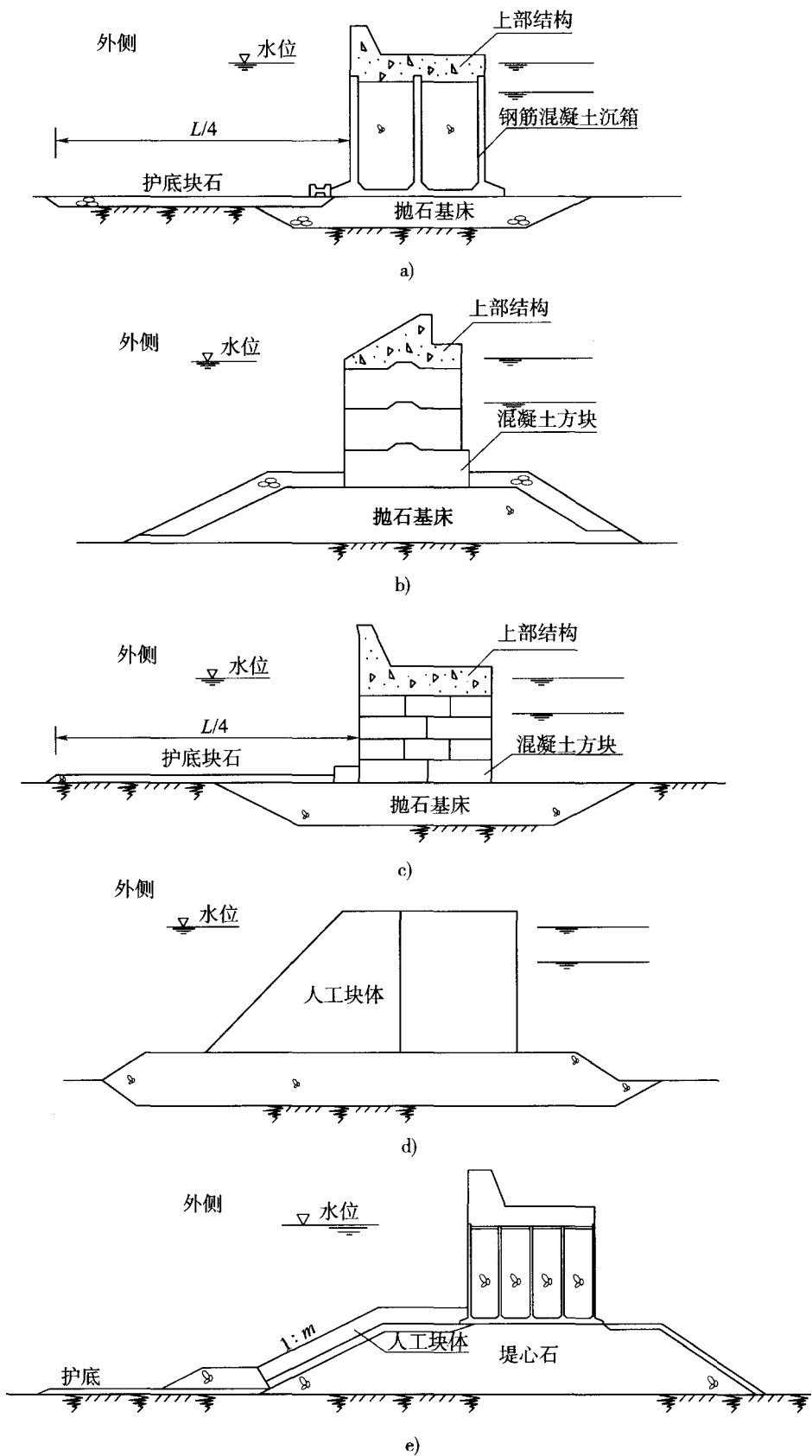


图 5.1.1 重力式直立堤断面图

a) 沉箱式直立堤; b) 削角方块直立堤; c) 正砌方块直立堤; d) 水平混合式直立堤; e) 深水直立堤

5.2 直立堤计算

5.2.1 重力式直立堤承载能力和正常使用极限状态设计应以设计波高及对应的波长确定的波浪力作为标准值。

5.2.2 对重力式直立堤,承载能力和正常使用极限状态的设计状况及相应组合应符合下列规定。

5.2.2.1 持久状况应按承载能力和正常使用极限状态设计,并应考虑以下的持久组合:

(1)设计高水位时,波高采用相应的设计波高;

(2)设计低水位时,当有推算的外海设计波浪时,按设计低水位进行波浪浅水变形分析,求出堤前的设计波高;当只有建筑物附近不分水位统计的设计波浪时,取与设计高水位时相同的设计波高,但不超过低水位时的浅水极限波高;

(3)设计高水位堤前波态为立波,而在设计低水位已为破碎波时,对设计低水位至设计高水位之间可能产生最大波浪力的水位情况进行计算;

(4)极端高水位时,波高采用相应的设计波高;极端低水位时,不考虑波浪的作用;

(5)直立堤的稳定性计算,不考虑堤内侧波浪与堤外侧波浪相组合。

5.2.2.2 短暂状况应按承载能力极限状态设计,必要时尚应按正常使用极限状态设计。对未成型的重力式直立堤进行施工期复核时,水位可采用设计高水位和设计低水位,波高的重现期可采用5~10年。

5.2.2.3 地震状况应按承载能力极限状态设计,水位可采用设计低水位,不考虑波浪与地震作用的组合,其计算方法应符合现行行业标准《水运工程抗震设计规范》(JTJ 225)的有关规定。

5.2.2.4 偶然状况,有特殊要求时应按承载能力极限状态设计。

5.2.3 当波浪斜向作用时,直立堤上的波压力可按附录A确定。

5.2.4 重力式直立堤设计应计算下列内容:

(1)沿堤底和堤身各水平缝及齿缝的抗倾稳定性;

(2)沿堤底和堤身各水平缝的抗滑稳定性;

(3)沿基床底面的抗滑稳定性;

(4)基床和地基承载力;

(5)整体稳定性;

(6)地基沉降;

(7)明基床的护肩块石和堤前护底块石的稳定重量。

5.2.5 沉箱直立堤除应按第5.2.4条进行计算外,沉箱结构尚应进行下列计算:

(1)按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTS 167—2)的有关规定计算沉箱的吃水、干舷高度和浮游稳定性;

(2)按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTS 167—2)的有关规定计算沉箱外壁、隔墙、底板和底板悬臂的承载力和裂缝宽度。

5.2.6 沿堤底和堤身各个水平缝及齿缝(图 5.2.6 中的 *abcd* 缝)的抗倾稳定性可按下式验算:

$$\gamma_0(\gamma_P M_P + \gamma_u M_u) \leq \frac{1}{\gamma_d} \gamma_G M_G$$

(5.2.6)

式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定;
 γ_P ——水平波浪力的分项系数,按表 5.2.6 确定;
 M_P ——水平波浪力的标准值波峰作用时对计算面后踵或波谷作用时对计算面前趾的倾覆力矩(kN·m);
 γ_u ——浮托力的分项系数,按表 5.2.6 确定;
 M_u ——波浪浮托力的标准值波峰作用时对计算面后踵或波谷作用时对计算面前趾的倾覆力矩(kN·m);
 γ_d ——结构系数,取 1.25;
 γ_G ——自重力分项系数,取 1.0;
 M_G ——堤身自重力的标准值波峰作用时对计算面后踵或波谷作用时对计算面前趾的稳定力矩(kN·m)。

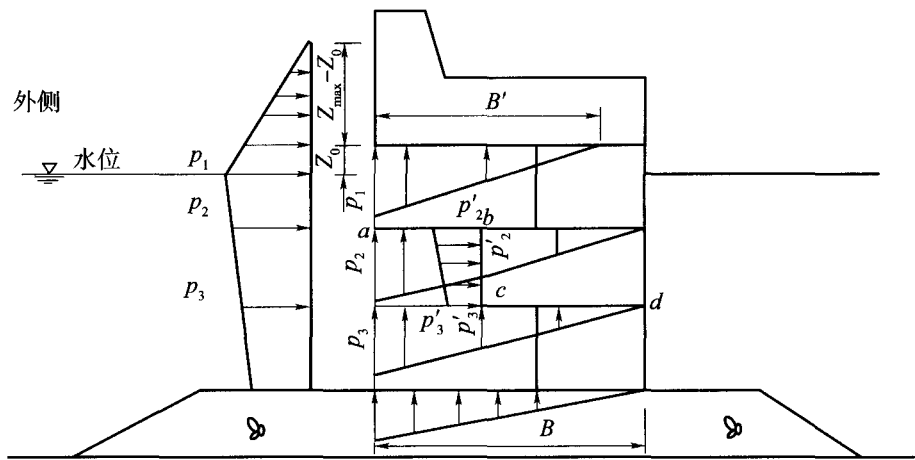


图 5.2.6 方块堤身齿缝计算示意图

B' -有效作用宽度(m); B -堤身宽度(m); $Z_{\max} - Z_0$ -波峰在上部结构底面以上的高度(m); Z_0 -上部结构底面在静水面以上的高度(m); $p_1, p_2, p_3, p'_1, p'_2, p'_3$ -波压强标准值(kN/m²)

波浪力的分项系数 γ_P 和 γ_u		表 5.2.6
组合情况	γ_P	γ_u
持久组合	1.3	1.3
短暂组合	1.2	1.2

注:对持久组合中的极端高水位情况,其抗倾稳定性极限状态设计表达式中的各分项系数,可采用短暂组合时的分项系数值。

5.2.7 沿堤底和堤身各水平缝及齿缝的波浪压力分布(图 5.2.6)可按下列方法确定:
(1)作用在整体式或装配整体式上部结构底面波浪浮托力的有效作用宽度,按下式计算:

$$B' = B \frac{Z_{\max} - Z_0}{Z_{\max}} \quad (5.2.7)$$

式中 B' ——有效作用宽度(m);

B ——堤身宽度(m);

Z_{\max} ——波峰在静水面以上的高度(m);

Z_0 ——上部结构底面在静水面以上的高度(m);

(2) 波浪浮托压力标准值沿有效作用宽度作为三角形分布,其最大压强等于同一高程处的水平波浪压力标准值;

(3) 波峰作用时水下部分方块缝中的波浪浮托压力标准值,沿堤身宽度作为三角形分布,其最大压强等于同一高程处的水平波浪压力标准值;图 5.2.6 中作用在 bc 缝上的水平波浪压力标准值,对 b 、 c 点分别采用同一点的浮托压力标准值, b 、 c 两点间作为直线分布;

(4) 波谷作用时水下部分方块缝中的波浪浮托力,按波峰作用时相同的原则进行计算;

(5) 堤底面上的波浪浮托力,根据堤前波浪形态,按现行行业标准《海港水文规范》(JTJ 213)中的有关公式计算。

5.2.8 沿堤底和堤身各水平缝的抗滑稳定性可按下式验算:

$$\gamma_0 \gamma_P P \leq (\gamma_G G - \gamma_u P_u) f \quad (5.2.8)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定;

γ_P ——水平波浪力的分项系数,按表 5.2.6 确定;

P ——计算面以上的水平波浪力标准值(kN);

γ_G ——自重力分项系数,取 1.0;

G ——作用在计算面上的堤身自重力标准值(kN);

γ_u ——浮托力的分项系数,按表 5.2.6 确定;

P_u ——作用在计算面上的波浪浮托力标准值(kN);

f ——沿计算面的摩擦系数设计值,按表 4.2.3-3 确定。

5.2.9 沿基床底面的抗滑稳定性验算,应按下列方法确定。

5.2.9.1 对明基床(图 5.2.9-1),沿滑动面 ABD 的抗滑稳定性可按式(5.2.9-1)验算。当基床宽度较大时,尚应考虑在基床内部滑动(图 5.2.9-1 中 AD 面)的可能性。

$$\gamma_0 \gamma_P P \leq [\gamma_G (G + g_1) - \gamma_u P_u] f \quad (5.2.9-1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定;

γ_P ——水平波浪力的分项系数,按表 5.2.6 确定;

P ——堤底面以上的水平波浪力标准值(kN);

γ_G ——自重力分项系数,取 1.0;

G ——作用在堤底面上的堤身自重力标准值(kN);

g_1 —— $ABDC$ 间基床的水下自重力标准值(kN);

γ_u ——浮托力的分项系数,按表 5.2.6 确定;

P_u ——作用在堤底面上的波浪浮托力标准值(kN);

f ——抛石基床与地基土间的摩擦系数设计值,按表 4.2.3-3 确定。

5.2.9.2 对暗基床(图 5.2.9-2),沿滑动面 $ABDE$ 的抗滑稳定性可按下式验算:

$$\gamma_0 \gamma_P P \leq [\gamma_G (G + g_2) - \gamma_u P_u] f + \gamma_E E_b \quad (5.2.9-2)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定;

γ_P ——水平波浪力的分项系数,按表 5.2.6 确定;

P ——堤底面以上的水平波浪力标准值(kN);

γ_G ——自重力分项系数,取 1.0;

G ——作用在堤底面上的堤身自重力标准值(kN);

g_2 —— $ABDK$ 间基床的水下自重力标准值(kN);

γ_u ——浮托力的分项系数,按表 5.2.6 确定;

P_u ——作用在堤底面上的波浪浮托力标准值(kN);

f ——抛石基床与地基土间的摩擦系数设计值,按表 4.2.3-3 确定;

γ_E ——土压力的分项系数,取 1.0;

E_b —— KD 面地基土的被动土压力(kN),可按有关公式计算并乘以折减系数 0.3 作为标准值,当基床较薄或地基土层较弱时,可忽略不计。

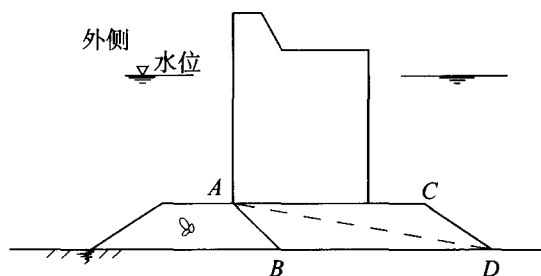


图 5.2.9-1 明基床滑动面示意图

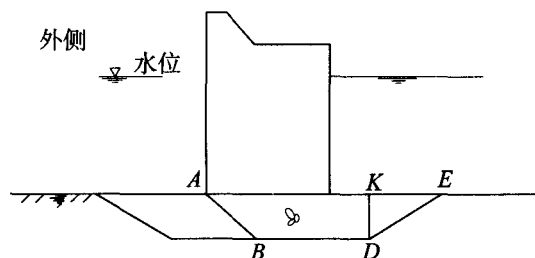


图 5.2.9-2 暗基床滑动面示意图

5.2.10 直立堤基床承载力计算应符合下列规定。

5.2.10.1 基床承载力验算应满足下式要求:

$$\gamma_0 \gamma_\sigma \sigma_{\max} \leq \sigma_r \quad (5.2.10-1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定;

γ_σ ——基床顶面最大应力分项系数,取 1.0;

σ_{\max} ——基床顶面最大应力标准值;

σ_r ——基床承载力设计值,可取 600kPa,有充分论证时可适当提高,但不应大于 800 kPa。

5.2.10.2 基床顶面应力标准值可按下列公式计算:

(1) 当 $\xi \geq B/3$ 时

$$\sigma_{\max} \quad \text{或} \quad \sigma_{\min} = \frac{G'}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (5.2.10-2)$$

$$G' = G - P_u \quad (5.2.10-3)$$

$$e = \frac{B}{2} - \xi \quad (5.2.10-4)$$

$$\xi = \frac{M_G - (M_P + M_u)}{G'} \quad (5.2.10-5)$$

(2) 当 $\xi < B/3$ 时

$$\sigma_{\max} = \frac{2G'}{3\xi} \quad (5.2.10-6)$$

$$\sigma_{\min} = 0 \quad (5.2.10-7)$$

式中 σ_{\max} 、 σ_{\min} ——分别为基床顶面的最大、最小应力(kPa);

B ——堤底宽度(m);

e ——堤底面合力作用点的偏心距(m);

G ——作用在堤底面上的堤身自重力标准值(kN);

P_u ——作用在堤底面上的波浪浮托力标准值(kN);

ξ ——在堤底面上,波峰作用时合力作用点至后踵或波谷作用时合力作用点至前趾的距离(m);

M_G ——堤身自重力的标准值波峰作用时对计算面后踵或波谷作用时对计算面前趾的稳定力矩(kN·m);

M_P ——水平波浪力的标准值波峰作用时对计算面后踵或波谷作用时对计算面前趾的倾覆力矩(kN·m);

M_u ——波浪浮托力的标准值波峰作用时对计算面后踵或波谷作用时对计算面前趾的倾覆力矩(kN·m)。

5.2.11 在直立堤的堤底面上,波峰作用时合力作用点至后踵和波谷作用时合力作用点至前趾的距离,不应小于堤底宽度的 1/4。

5.2.12 计算地基承载力时,基床底面应力应按下列公式计算:

$$\sigma'_{\max} = \frac{B_1 \sigma_{\max}}{B_1 + 2t} + \gamma_b t \quad (5.2.12-1)$$

$$\sigma'_{\min} = \frac{B_1 \sigma_{\min}}{B_1 + 2t} + \gamma_b t \quad (5.2.12-2)$$

$$e' = \frac{(B_1 + 2t)(\sigma'_{\max} - \sigma'_{\min})}{6(\sigma'_{\max} + \sigma'_{\min})} \quad (5.2.12-3)$$

$$B_1 = \begin{cases} B, & \text{当 } \xi \geq \frac{B}{3} \text{ 时} \\ 3\xi, & \text{当 } \xi < \frac{B}{3} \text{ 时} \end{cases} \quad (5.2.12-4)$$

式中 σ'_{\max} 、 σ'_{\min} ——分别为基床底面的最大、最小应力(kPa);

σ_{\max} 、 σ_{\min} ——分别为基床顶面的最大、最小应力(kPa);

t ——基床厚度(m);

γ_b ——基床块石的重度(kN/m³);

e' ——抛石基床底面合力作用点的偏心距(m);

B ——堤底宽度(m);

ξ ——在堤底面上,波峰作用时合力作用点至后踵或波谷作用时合力作用点至前趾的距离(m)。

5.2.13 非岩基上的直立堤的整体稳定性计算应按现行行业标准《港口工程地基规范》(JTS 147—1)的有关规定执行。整体稳定性计算应计入波浪力的作用。

5.2.14 地基沉降计算应按现行行业标准《港口工程地基规范》(JTS 147—1)的有关规定执行,但可不考虑由于水平力引起的沉降值。

5.2.15 直立堤断面的平均沉降量,沉箱结构不宜超过 350mm,方块结构不宜超过 300mm;对深水直立堤,断面的平均沉降量可适当放宽。

5.2.16 明基床的基肩和坡面块体的稳定重量可按附录 E 确定。

5.2.17 直立堤前护底块石的稳定重量可根据堤前波浪底流速按表 4.2.20 确定。堤前波浪底流速计算应符合下列规定。

5.2.17.1 堤前波态为立波时,波浪底流速可按下式计算:

$$V = \frac{2\pi H}{\sqrt{\frac{\pi L}{g} \sinh \frac{4\pi d}{L}}} \quad (5.2.17-1)$$

式中 V ——波浪底流速(m/s);

H ——设计波高(m);

L ——波长(m);

g ——重力加速度,取 9.81m/s^2 ;

d ——堤前水深(m)。

5.2.17.2 堤前波态为远破波时,波浪底流速可按下式计算:

$$V = 0.33 \sqrt{g(H+d)} \quad (5.2.17-2)$$

式中 V ——波浪底流速(m/s);

g ——重力加速度,取 9.81m/s^2 ;

H ——设计波高(m);

d ——堤前水深(m)。

5.2.17.3 堤前波态为近破波时,波浪底流速可按式(4.2.19)计算,但波高应采用 $H_{5\%}$ 。

5.2.18 直立堤护底块石层的宽度不宜小于 0.25 倍设计波长,当有充分论证时,可按附录 F 计算。

5.3 直立堤构造

5.3.1 抛石基床可采用 10~100kg 的块石;基床厚度较大时,顶面 3m 以下可采用级配良好、含泥量小于 5% 的开山石。基床可采用重锤分层夯实,也可采用爆夯进行密实处理。

5.3.2 直立堤前护底块石可采用两层,其厚度不应小于 0.5m。当护底块石重量大于

100kg 或为砂质海底时,应在护底块石层下设置不小于 0.3m 厚的碎石垫层或土工织物垫层。

5.3.3 直立堤的上部结构应有足够的刚度和良好的整体性,并与墙身结构连结牢固。上部结构的厚度不宜小于 1.0m。沉箱堤身的上部结构宜嵌入沉箱,嵌入沉箱的深度不宜小于 0.3m。

5.3.4 混凝土方块的重量应满足稳定性要求,但不宜小于表 5.3.4 中的数值。当方块重量不能满足稳定性要求时,可在预留孔洞中间灌筑水下混凝土。

直立堤方块的最小重量

表 5.3.4

设计波高(m)	方块重量(t)	设计波高(m)	方块重量(t)
2.6~3.5	30	5.6~6.0	60
3.6~4.5	40	6.1~6.5	80
4.6~5.5	50	6.6~7.0	100

5.3.5 对于堤身混凝土方块,应减少其尺寸的种类。方块的长边尺寸与高度之比不应大于 3.0;短边尺寸与高度之比不宜小于 1.0,个别方块不应小于 0.8。

5.3.6 当上层方块的稳定性不足或当方块墙的层数超过 7 层时,应预留贯通孔洞并浇筑钢筋混凝土。

5.3.7 对有抗震要求的方块直立堤应采取整体加强措施。

5.3.8 方块间垂直缝的宽度可采用 20mm。方块间的垂直缝应互相错开,错缝的间距不应小于表 5.3.8 中的数值。特殊情况下,在纵剖面或每层平面上错缝间距可减少到 400mm,但其数量均不得超过相应总缝数的 10%。

方块错缝间距(mm)

表 5.3.8

错缝位置	方块重量	
	≤40t	>40t
在横断面上	800	900
在纵剖面或平面上	500	600

5.3.9 沉箱间垂直缝的宽度宜采用沉箱高度的 4‰,但不应小于 50mm。沉箱间可采用平接或对接。当采用对接时,其空腔宽度可采用 0.3~0.8m,腔内可抛填块石。

5.3.10 沿直立堤的长度方向应设置变形缝。变形缝应做成上下垂直通缝,其宽度可采用 25~50mm。变形缝的间距应根据气温情况、结构型式、地基条件和基床厚度等确定,方块结构可采用 10~30m,沉箱结构可利用沉箱间的垂直缝作为变形缝。

5.3.11 直立堤堤头段的构造应符合下列规定。

5.3.11.1 堤头段的长度可取堤身宽度的 1.5~2.0 倍。

5.3.11.2 堤头段明基床的边坡应比堤身段的边坡适当放缓。

5.3.11.3 根据堤前水深和波浪大小,堤头段的基肩可采用四脚空心方块等不同型式的人工块体予以加强。

5.3.11.4 堤头段的护底块石重量应比堤身适当加大。

5.4 削角直立堤

5.4.1 直立式堤身上部结构采用削角斜面型式时,削角斜面角度宜采用 $25^\circ \sim 30^\circ$ 。

5.4.2 削角直立堤墙身沿抛石基床顶面的抗滑稳定性可按下式验算:

$$\gamma_0(\gamma_P P_H - \gamma_V P_V f) \leq (\gamma_G G - \gamma_u P_u) f \quad (5.4.2)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定;

γ_P 、 γ_V 、 γ_u ——分别为水平、竖向波浪力和墙底浮托力分项系数,持久组合时均取 1.3,短暂组合时均取 1.2;

P_H ——作用于削角直立堤上的水平波浪力标准值(kN/m);

P_V ——作用于削角斜面上的竖向波浪力标准值(kN/m);

f ——沿计算面摩擦系数设计值,按表 4.2.3-3 确定;

γ_G ——自重力分项系数,取 1.0;

G ——作用在计算面上的堤身自重力标准值(kN);

P_u ——作用在削角直立堤底面上的波浪浮托力标准值(kN)。

5.4.3 削角直立堤沿明、暗基床底面的抗滑稳定性可按式(5.4.2)验算,但应将滑动面上相应基床部分的水下自重力标准值计入堤身自重力标准值。

5.4.4 削角直立堤对基床顶面的抗倾稳定性可按下式验算:

$$\gamma_0(\gamma_P M_P + \gamma_u M_u - \gamma_V M_V) \leq \frac{1}{\gamma_d} \gamma_G M_G \quad (5.4.4)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定;

γ_P 、 γ_V 、 γ_u ——分别为水平、竖向波浪力和墙底浮托力的分项系数,持久组合时均取 1.3,短暂组合时均取 1.2;

M_P ——水平波浪力标准值波峰作用时对计算面后踵或波谷作用时对计算面前趾的倾覆力矩(kN·m);

M_u ——波浪浮托力标准值波峰作用时对计算面后踵或波谷作用时对计算面前趾的倾覆力矩(kN·m);

M_V ——竖向波浪力标准值波峰作用时对计算面后踵或波谷作用时对计算面前趾的倾覆力矩(kN·m);

γ_d ——结构系数,取 1.25;

γ_G ——自重力分项系数,取 1.0;

M_G ——堤身自重力标准值波峰作用时对计算面后踵或波谷作用时对计算面前趾的稳定力矩(kN·m)。

5.4.5 削角直立堤波压力计算可按附录 G 确定。

5.5 开孔沉箱直立堤

5.5.1 开孔沉箱直立堤(图 5.5.1)可用于减少墙前反射波、冲击波压力和越浪引起的传递波等情况。

5.5.2 开孔沉箱消浪室的有效宽度与平均波长的比值可采用 $0.078 \sim 0.266$ 。当前仓格宽度较小时,可将前后仓格连通。

5.5.3 消浪室前墙和隔墙的开孔型式,可采用圆孔、方孔、横条孔和竖条孔。开孔的型式及尺寸应结构合理,并应便于施工。

5.5.4 开孔部位宜控制在设计高水位上、下 1.0 倍设计波高范围以内,下限不宜超过设计高水位以下 2.0 倍设计波高。开孔率应为开孔面积与最下排孔底边线以上沉箱面板全面积之比,可取 $20\% \sim 40\%$ 。当消浪室的顶板高程偏低时应开设泄压孔,见图 5.5.1。

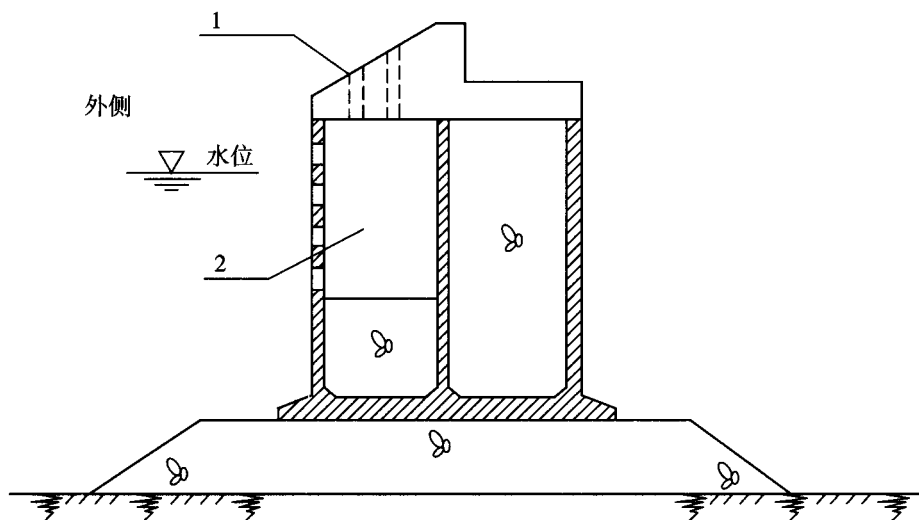


图 5.5.1 开孔沉箱直立堤

1-泄压孔;2-消浪室

5.5.5 开孔消浪沉箱波压力的计算可按附录 H 确定。

5.6 坐床式圆筒直立堤

5.6.1 坐床式圆筒直立堤(图 5.6.1)宜用于地基较好的情况。

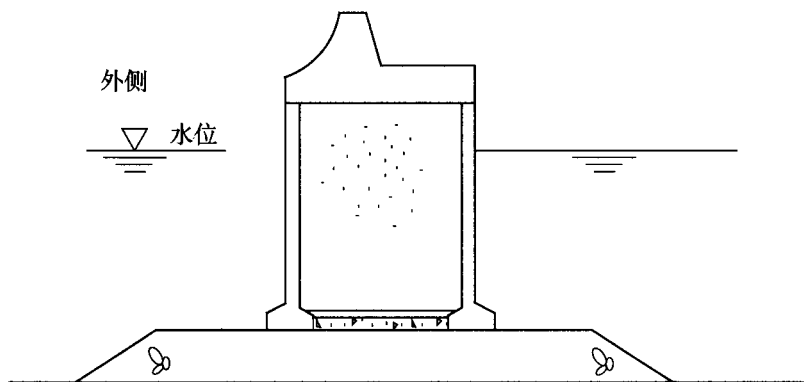


图 5.6.1 坐床式圆筒直立堤

5.6.2 圆筒可由钢或钢筋混凝土制成,直径宜大于 5m ,钢筋混凝土圆筒壁厚可取 $300 \sim 400\text{mm}$ 。圆筒筒身宜为整体,当必须分节预制时,分节高度不宜太小且应保证上、下两节接触良好。

5.6.3 对圆筒进行稳定性计算时,作用于圆筒上的波压力可近似取直墙波压力的 90%,圆筒底面可不考虑浮托力。

5.6.4 计算圆筒抗滑稳定性时,其墙底与抛石基床之间的综合摩擦系数设计值可取 0.65。

5.6.5 计算圆筒抗倾稳定性时,计入的筒内填料竖向力标准值可按下式计算:

$$G_R = W_0 - A_R \sigma_z \quad (5.6.5)$$

式中 G_R ——筒内起抗倾作用的填料重力标准值(kN);

W_0 ——筒内填料自重力标准值(kN);

A_R ——填料与基床直接接触面积(m^2);

σ_z ——填料作用于基床的接触应力标准值(kPa),可按贮仓压力公式计算。

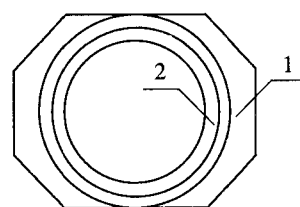
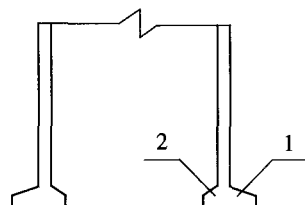


图 5.6.6 圆筒底部加强图
1-外趾;2-内趾

5.6.6 当圆筒顶部受力较大或在使用和施工中有特殊要求时,可采用圈梁等加强措施。圆筒构件底部可设内外趾(图 5.6.6)。

5.6.7 当有防漏沙要求时,相邻圆筒之间宜采用榫槽对接型式。

5.6.8 坐床式圆筒内部填料应密实。填料宜采用级配较好的石料、中粗砂或含泥量小于 10% 的石碴。对内部填砂的坐床式圆筒,应在圆筒底部设置倒滤层;对分节装配式圆筒,应在圆筒上、下节的接缝处设置倒滤层或采用其他防漏砂措施。

5.7 桩式直立堤

5.7.1 桩式直立堤可用于水深和波浪不大,地基较差或砂石料来源缺乏的情况。

5.7.2 桩直立堤(图 5.7.2)可由直桩、斜桩、帽梁和联结构件等组成。

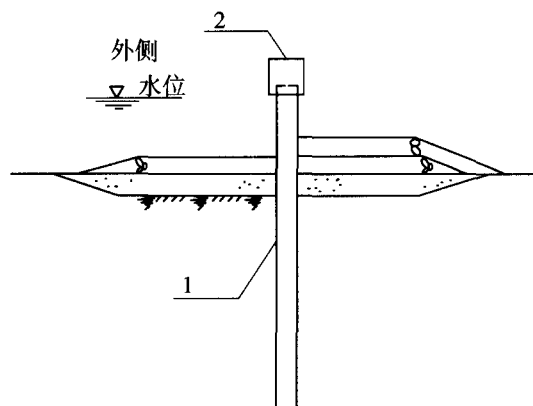


图 5.7.2 单排桩直立堤
1-桩;2-帽梁

5.7.3 桩直立堤桩的入土深度和桩的强度等计算,应符合现行行业标准《港口工程桩基规范》(JTJ 254)和《板桩码头设计与施工规范》(JTS 167—3)的有关规定。

6 其他型式防波堤设计

6.1 半圆型防波堤

6.1.1 半圆型防波堤堤身可采用半圆形构件或半圆形沉箱,如图 6.1.1 所示。半圆形构件或沉箱下部应设置抛石基床,圆心位置可在底板的顶面或底面附近,也可高于底板顶面,底板两侧可伸出拱圈形成悬臂底板,港外侧宜有护坡和护底块石。

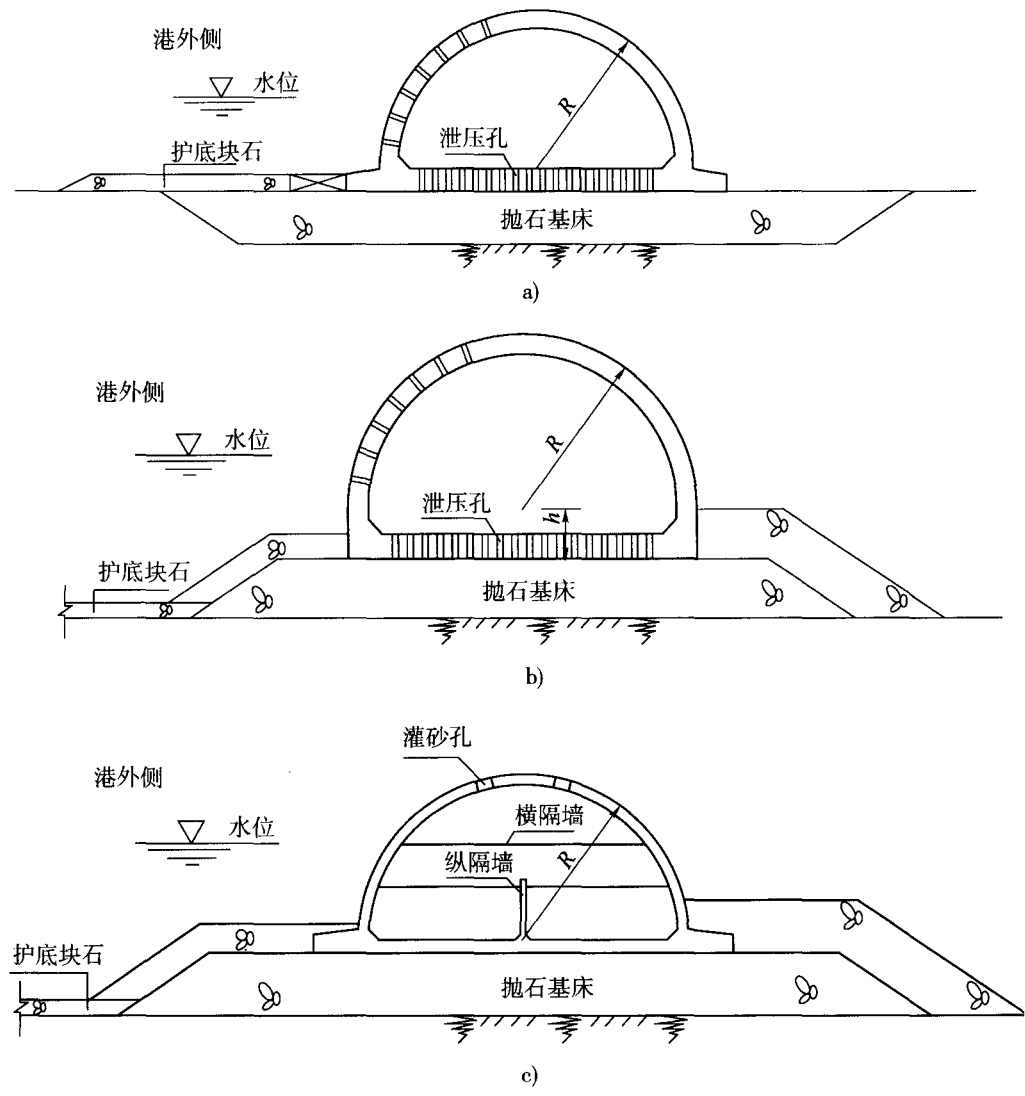


图 6.1.1 半圆型防波堤的断面型式

a) 半圆形构件(暗基床); b) 半圆形构件(明基床); c) 半圆形沉箱

6.1.2 半圆型防波堤的堤顶高程应符合下列规定。

6.1.2.1 对允许越浪的半圆型防波堤,堤顶高程宜定在设计高水位以上不小于 0.7 倍设计波高值处。

6.1.2.2 对基本不越浪的半圆型防波堤,堤顶高程宜定在设计高水位以上不小于 1.25 倍设计波高值处。

6.1.3 除特殊要求外,半圆型防波堤设计波高应采用重现期为 50 年或 25 年,波高累积频率应为 1%,但不应超过浅水极限波高。

6.1.4 半圆型防波堤设计应计算下列内容:

- (1) 沿堤底的抗倾稳定性;
- (2) 沿堤底的抗滑稳定性;
- (3) 沿基床底面的抗滑稳定性;
- (4) 地基承载力;
- (5) 整体稳定性;
- (6) 地基沉降;
- (7) 明基床的护肩块石和堤前护底块石的稳定重量。

6.1.5 半圆型防波堤设计计算应符合下列规定。

6.1.5.1 半圆型防波堤波压力可按附录 J 计算。

6.1.5.2 半圆形构件或沉箱沿底面的抗滑稳定性可按下式验算:

$$\gamma_0(\gamma_P P_H - \gamma_V P_V f) \leq (\gamma_G G - \gamma_u P_u) f + \gamma_E E_b \quad (6.1.5-1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定;

γ_P ——水平波浪力分项系数,按表 6.1.5 确定;

P_H ——半圆形构件或沉箱上的水平波浪力标准值(kN);

γ_V ——竖向波浪力分项系数,按表 6.1.5 确定;

P_V ——半圆形构件或沉箱上的竖向波浪力标准值(kN);

f ——沿计算面摩擦系数设计值,按表 4.2.3-3 确定;

γ_G ——自重力分项系数,取 1.0;

G ——半圆形构件或沉箱自重力标准值(kN);

γ_u ——波浪浮托力分项系数,按表 6.1.5 确定;

P_u ——波浪浮托力标准值(kN);

γ_E ——土压力分项系数,取 1.0;

E_b ——半圆形构件或沉箱内侧抛石压肩的被动土压力(kN),可按有关公式计算并乘以折减系数 0.3 作为标准值,当压肩厚度小于 1m 时,可不计。

6.1.5.3 半圆型防波堤沿基床底面的抗滑稳定性可按下列要求验算:

(1) 对于明基床(图 6.1.5-1),沿滑动面 ABD 的抗滑稳定性可按下式验算:

$$\gamma_0(\gamma_P P_H - \gamma_V P_V f) \leq [\gamma_G (G + g_1) - \gamma_u P_u] f \quad (6.1.5-2)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定;

γ_P ——水平波浪力分项系数,按表 6.1.5 确定;

- P_H ——半圆形构件或沉箱上的水平波浪力标准值(kN);
 γ_v ——竖向波浪力分项系数,按表 6.1.5 确定;
 P_v ——半圆形构件或沉箱上的竖向波浪力标准值(kN);
 f ——抛石基床与地基土之间的摩擦系数设计值,按表 4.2.3-3 确定;
 γ_G ——自重力分项系数,取 1.0;
 G ——半圆形构件或沉箱自重力标准值(kN);
 g_1 ——ABCD 间基床水下自重力标准值(kN);
 γ_u ——波浪浮托力分项系数,按表 6.1.5 确定;
 P_u ——波浪浮托力标准值(kN);

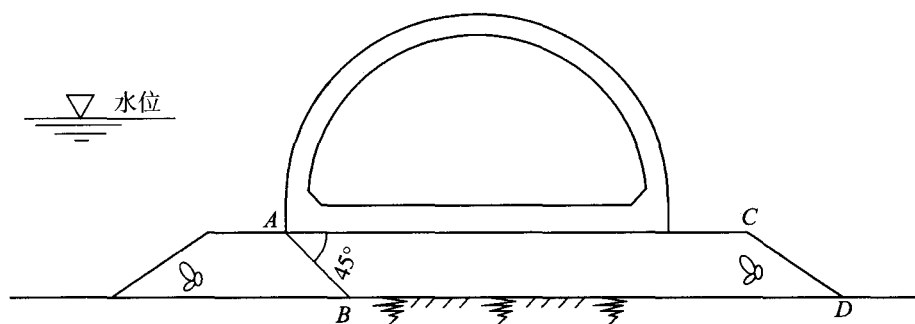


图 6.1.5-1 明基床滑动面示意图

(2) 对于暗基床(图 6.1.5-2),沿滑动面 ABDE 的抗滑稳定性可按式验算:

$$\gamma_0(\gamma_P P_H - \gamma_v P_v f) \leq [\gamma_G(G + g_2) - \gamma_u P_u]f + \gamma_E E_b \quad (6.1.5-3)$$

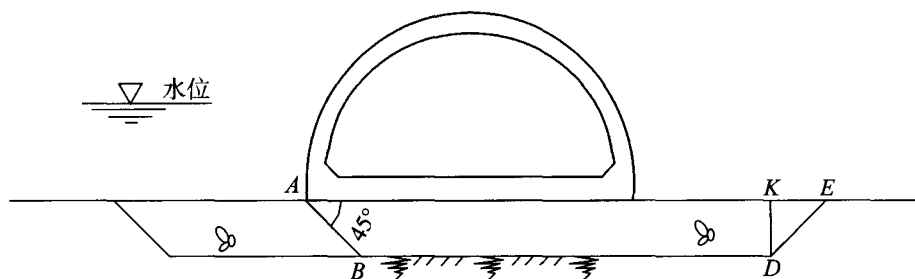


图 6.1.5-2 暗基床滑动面示意图

- 式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定;
 γ_P ——水平波浪力分项系数,按表 6.1.5 确定;
 P_H ——半圆形构件或沉箱上的水平波浪力标准值(kN);
 γ_v ——竖向波浪力分项系数,按表 6.1.5 确定;
 P_v ——半圆形构件或沉箱上的竖向波浪力标准值(kN);
 f ——沿计算面摩擦系数设计值,按表 4.2.3-3 确定;
 γ_G ——自重力分项系数,取 1.0;
 G ——半圆形构件或沉箱自重力标准值(kN);
 g_2 ——ABDK 间基床(包括其上的内侧压肩)的水下自重力标准值(kN);
 γ_u ——波浪浮托力分项系数,按表 6.1.5 确定;

- P_u ——波浪浮托力标准值(kN)；
 γ_E ——土压力分项系数,取 1.0；
 E_b ——KD 面地基土的被动土压力(kN),可按有关公式计算乘以 0.3 的折减系数作为标准值,当基床较薄或地基土层较弱时,可忽略不计。

波浪力的分项系数 γ_P 、 γ_V 和 γ_u 表 6.1.5

组合情况	稳定情况	水平波浪力分项系数 γ_P	竖向波浪力分项系数 γ_V	波浪浮托力分项系数 γ_u
持久组合	抗滑	1.25	1.25	1.25
	抗倾	1.25	1.25	1.25
短暂组合	抗滑	1.2	1.2	1.2
	抗倾	1.2	1.2	1.2

6.1.5.4 半圆型防波堤抗倾稳定性可按式验算：

$$\gamma_0(\gamma_P M_{PH} + \gamma_u M_u - \gamma_V M_{PV}) \leq \frac{1}{\gamma_d} \gamma_G M_G \tag{6.1.5-4}$$

- 式中 γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.2.3-1 确定；
 γ_P ——水平波浪力分项系数,按表 6.1.5 确定；
 M_{PH} ——半圆形构件或沉箱的水平波浪力标准值波峰作用时对计算面后踵的倾覆力矩(kN·m)；
 γ_u ——波浪浮托力分项系数,按表 6.1.5 确定；
 M_u ——波浪浮托力标准值波峰作用时对计算面后踵的倾覆力矩(kN·m)；
 γ_V ——竖向波浪力分项系数,按表 6.1.5 确定；
 M_{PV} ——半圆形构件或沉箱的竖向波浪力标准值波峰作用时对计算面后踵的倾覆力矩(kN·m)；
 γ_d ——结构系数,取 1.35；
 γ_G ——自重力分项系数,取 1.0；
 M_G ——半圆形构件或沉箱自重力标准值波峰作用时对设计面后踵的稳定力矩(kN·m)。

6.1.5.5 半圆型防波堤的地基承载力、整体稳定性和地基沉降计算应按现行行业标准《港口工程地基规范》(JTS 147—1)的有关规定执行。整体稳定性计算应计入波浪力的作用。

6.1.5.6 半圆形构件或沉箱在进行结构强度计算时,可将其作为弹性地基上的结构物进行整体有限元分析。

6.1.5.7 半圆型防波堤堤前的波浪底流速度,可按第 4 章的有关公式进行计算,但设计波高应采用 $H_{5\%}$ 。

6.1.6 半圆型防波堤构造应符合下列规定。

- 6.1.6.1 半圆型防波堤的抛石基床宜采用 10 ~ 100kg 块石,其厚度不应小于 1m。
6.1.6.2 半圆形构件的底板宜开设竖向泄压孔,拱圈宜开设排气孔。
6.1.6.3 半圆形构件的分段长度可根据起重设备能力确定,分段长度和高度之比不宜

小于0.5。

6.1.6.4 半圆形构件或沉箱的拱圈厚度不宜小于300mm,底板的厚度宜大于拱圈厚度。

6.1.6.5 当半圆形构件或沉箱的圆心位于底板底面以上时,圆心到底板底面的距离不宜大于构件总高度的1/3。

6.1.6.6 半圆形构件或沉箱间垂直缝的宽度可采用40~50mm。

6.1.6.7 当采用半圆形沉箱且箱内填砂时,半圆形沉箱的顶部可开设灌砂孔,在灌砂后应妥善封盖。

6.1.6.8 半圆型防波堤的堤头段采用斜坡式或直立式结构时,堤头段应与半圆型堤身平顺衔接。

6.2 透空式防波堤

6.2.1 桩基透空式防波堤宜用于水深较大、波高较小而波陡较大,且水流和泥沙对港内水域影响不大的情况。

6.2.2 桩基透空堤(图6.2.2)可由栈桥式高桩梁板结构和设在其单侧或两侧的挡浪结构组成。

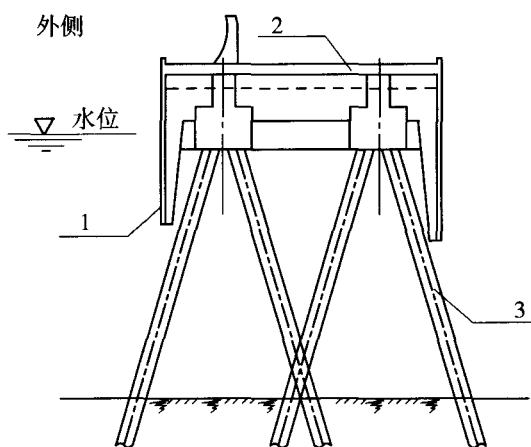


图6.2.2 桩基透空堤

1-挡浪板;2-上部结构;3-桩基

6.2.3 桩基透空堤的透浪系数可按下列公式近似计算:

$$K_t = \frac{H_t}{H} = \sqrt{\frac{(1 - \xi) \sinh \frac{2\pi}{L}(d - t_0) \sinh \frac{2\pi}{L}(2d - t_0)}{\sinh \frac{2\pi d}{L} \sinh \frac{4\pi d}{L}}} \quad (6.2.3-1)$$

$$\xi = \frac{H}{H + 0.5L} \exp \left[-\frac{t_0}{2(d - t_0)} \right] \quad (6.2.3-2)$$

式中 K_t ——透浪系数;

H_t ——透射波高(m);

H ——入射波高(m);

- ξ ——系数；
- L ——波长(m)；
- d ——堤前水深(m)；
- t_0 ——挡浪板的入水深度(m)。

- 6.2.4 当透空堤采用单侧挡浪结构时,堤宽与波长之比不宜小于 0.25,挡浪板入水深度与水深之比宜取 0.3 ~ 0.5。
- 6.2.5 桩基透空堤的透浪系数及其各部位的波压力应由模型试验确定;桩基透空堤的结构设计可按现行行业标准《高桩码头设计与施工规范》(JTS 167—1)的有关方法确定。
- 6.2.6 沉箱墩式透空堤可用于增强港内外水体交换或降低口门流速等情况。
- 6.2.7 沉箱墩式透空堤(图 6.2.7)可由间隔安放的沉箱墩、上部结构以及沉箱间的挡浪翼板等组成。

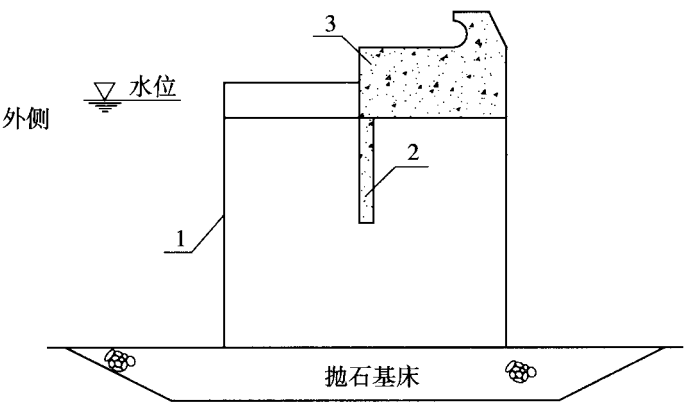


图 6.2.7 沉箱墩式透空堤
1-沉箱墩;2-挡浪翼板;3-胸墙

- 6.2.8 沉箱墩式透空堤的消浪效果、波浪和水流对沉箱及挡浪翼板的作用、波浪和水流对透水通道处基床的冲刷等,均应通过模型试验确定。

7 斜坡式防波堤施工

7.1 垫层与地基处理

7.1.1 砂垫层铺设应符合下列规定。

7.1.1.1 砂垫层砂宜采用中粗砂,砂的含泥量不宜大于5%。

7.1.1.2 水下抛砂应考虑水深、水流和波浪等对砂粒产生漂流的影响,并应采取相应的防止砂垫层流失的措施。

7.1.1.3 砂垫层抛填后,应及时进行上部覆盖层的施工。

7.1.1.4 水下砂垫层铺设的宽度和厚度应满足设计要求,顶面标高的允许偏差为+500mm和-300mm。

7.1.2 土工织物加筋垫层铺设应符合下列规定。

7.1.2.1 土工织物铺设前,应对砂垫层进行整平。整平后砂垫层顶面的高差,水下不应大于300mm,陆上不应大于100mm。

7.1.2.2 土工织物铺设后应压载稳定,并应及时进行上部覆盖层的施工。

7.1.2.3 土工织物加筋垫层铺设的允许偏差应符合表7.1.2的规定。

土工织物加筋垫层铺设允许偏差

表 7.1.2

序 号	项 目		允许偏差(mm)
1	轴线偏差	水下	1000
		陆上	500
2	相邻块搭接长度	水下	±500
		陆上	±100

7.1.3 当采用软体排作为加筋垫层并起护底作用时,软体排的施工应符合下列规定。

7.1.3.1 铺设前应清除铺设范围内对软体排铺放和使用有影响的障碍物。

7.1.3.2 水下软体排宜使用铺排船铺设,并宜采用全球卫星定位系统同步测量软体排铺设的轨迹和相邻排体间的搭接长度。

7.1.3.3 软体排的压载方式应满足设计要求。当采用砂肋或砂袋压载时,砂肋或砂袋应充填适当,充盈率宜为80%~85%,系结带和系结圈应连接牢固;当采用联锁块压载时,联锁块应均匀放置,并应与排体连接牢固。

7.1.3.4 软体排铺设的允许偏差应符合表7.1.3的规定。

软体排铺设允许偏差

表 7.1.3

序 号	项 目	允许偏差(mm)
1	软体排轴线位置	± 1000
2	搭接长度	$+1.0L$ $-0.5L$

注: L 为设计搭接长度, 单位 mm。

7.1.4 当采用塑料排水板进行地基加固时, 塑料排水板的施工应符合现行行业标准《水运工程塑料排水板应用技术规程》(JTS 206—1) 的规定。

7.1.5 当采用碎石桩或挤密砂桩对地基进行加固时, 碎石桩或挤密砂桩的施工应符合现行行业标准《港口工程碎石桩复合地基设计与施工规程》(JTJ 246) 的规定。

7.2 堤身填筑

7.2.1 软土地基上的填筑应符合下列规定。

7.2.1.1 当堤两侧有块石压载时, 应先抛压载块石, 后抛堤身。

7.2.1.2 当堤心抛石有挤淤要求时, 应从堤身断面中部逐渐向两侧抛填。

7.2.1.3 当在土工织物加筋垫层或软体排上抛石时, 应先抛填保护层, 再按照有利于拉紧土工织物的顺序进行抛填。

7.2.1.4 对于有加载速率和间隔时间要求的抛填, 应按设计要求控制加载速率和间隔时间。

7.2.2 水上抛填应考虑水深、水流和波浪等自然条件对块石产生漂流的影响, 宜通过试抛确定抛石船的驻位。当施工区域水深较深时, 水下部分宜采用开体驳抛填, 并应按照先粗抛、再细抛的原则施工。

7.2.3 当采用陆上推进法抛填时, 浅水区域可一次推填到顶, 深水区域应根据水深、地基土强度、波浪影响程度和设计要求, 一次或多次推填到顶。

7.2.4 当采用爆炸排淤法抛填时, 堤心石的抛填与爆炸排淤施工应符合现行行业标准《水运工程爆破技术规范》(JTS 204) 的规定。堤心两侧壅起的淤泥包, 在进行下一工序施工前应予以清除。

7.2.5 每段堤心石抛填后, 应及时理坡并覆盖垫层块石及护面层。堤心石的暴露长度不宜大于 50m。

7.2.6 块石抛填及理坡后的实际断面线与施工控制断面线间的允许偏差应符合表 7.2.6 的规定。

7.2.7 当堤身结构为随机安放的混凝土块体时, 抛填块体前应先安放堤底两侧的压边块体。压边块体的边线与设计边线的偏差不应大于 300mm。

7.2.8 当堤心为土工织物充填袋结构时, 土工织物充填袋及土工织物倒滤层的施工应符合现行行业标准《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239) 的有关规定。

抛石、理坡、安放和人工铺砌的允许偏差 表 7.2.6

序号	项 目		允许偏差 (mm)
1	抛石	10 ~ 100kg	± 400
		100 ~ 200kg	± 500
		200 ~ 300kg	± 600
		300 ~ 500kg	± 700
		500 ~ 700kg	± 800
		700 ~ 1000kg	± 900
2	理坡	10 ~ 100kg	± 200
		100 ~ 200kg	± 300
3	安放	200 ~ 300kg	± 400
		300 ~ 500kg	± 500
		500 ~ 700kg	± 600
		700 ~ 1000kg	± 700
4	人工铺砌垫层石	水上施工	± 100
		水下施工	± 150

7.3 护 面

7.3.1 人工护面块体的预制除应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定外,尚应符合下列规定。

7.3.1.1 采用半封闭式模板预制的块体,宜在混凝土初凝前用原浆压实抹光其外露部分。

7.3.1.2 预制护面块体的尺寸允许偏差应符合表 7.3.1 的规定。

人工护面块体的尺寸允许偏差 表 7.3.1

序号	块 体 种 类	项 目	允许偏差 (mm)
1	扭工字块、扭王字块、四脚锥体	各部位尺寸	± 10
		表面错牙	10
2	四脚空心块	各部位尺寸	± 10
		板厚度	± 10
		孔心位置	20
3	栅栏板	各部位尺寸	± 10
		板厚度	± 10
		空格位置	20

7.3.2 护面块体安放前,应对块石垫层进行检查和必要修整。护面块体应自下而上安放,底部块体应与水下棱体接触紧密。

7.3.3 扭工字块体的安放应符合下列规定。

7.3.3.1 当采用定点随机安放时,应先按设计块数的 95% 计算网点的位置,并进行分段安放。安放完成后,应对块体的疏密情况进行检查和及时补充安放。

7.3.3.2 当采用规则安放时,应使垂直杆件安放在坡面下方,并压在前排的横杆上,横杆置于垫层块石上,腰杆跨在相邻块的横杆上(图 7.3.3)。

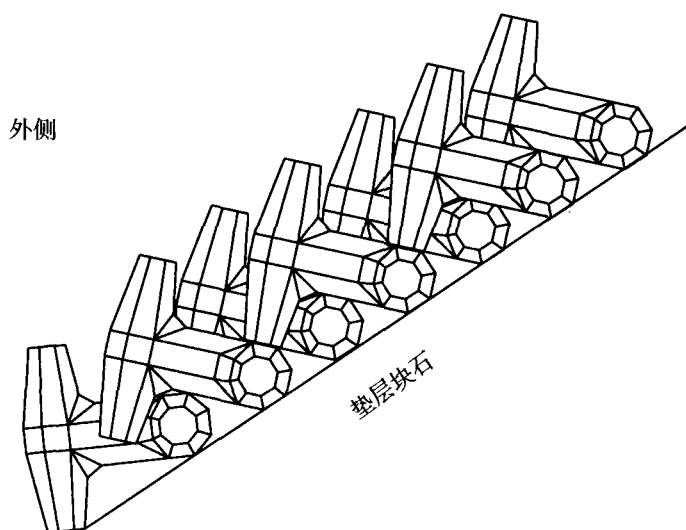


图 7.3.3 扭王字块体规则安放示意图

7.3.4 扭王字块体可采用定点随机安放或规则安放。当采用定点随机安放时,块体在坡面上可斜向放置,并使块体的一半杆件与垫层接触,但相邻块体的摆向不宜相同。

7.3.5 四脚空心方块和栅栏板安放应靠紧、稳固。当需采用二片石支垫时,支垫的数量不得超过 2 处,且不得用 2 块二片石叠垫。

7.3.6 人工护面块体安装数量和允许偏差应满足下列要求:

- (1) 扭王字块体的安放数量满足设计要求;
- (2) 扭王字块体和四脚锥体等护面块体的安放数量不小于设计安放数量的 95%;
- (3) 四脚空心方块和栅栏板等块体的相邻高差不大于 150mm,砌缝的最大宽度不大于 100mm。

7.3.7 安放大块石护面施工应符合下列规定。

7.3.7.1 块石的长边尺寸不宜小于护面层的设计厚度。

7.3.7.2 块石的重量不应小于设计重量。

7.3.7.3 对于安放 1 层块石的护面层,块石应互相靠紧,其最大缝隙宽度不大于垫层块石最小粒径的 2/3,坡面上不允许有连续 2 块块石以上垂直于护面层的通缝。

7.3.7.4 大块石护面的实际断面的允许高差应符合表 7.2.6 的有关规定。

7.3.8 干砌与浆砌块石护面层施工应符合下列规定。

7.3.8.1 块石长边的尺寸不宜小于护面层的厚度。砌筑时,块石的长边应垂直于坡面。

7.3.8.2 干砌块石宜采用 45°斜向自下而上分层砌筑或正向水平分层砌筑方式。干砌块石应紧密嵌固、相互错缝,块石与垫层相接处块石间的空隙应用二片石填满,不应从坡面外侧用二片石填塞块石间的缝隙。

7.3.8.3 浆砌块石应采用坐浆法砌筑,块石之间不宜直接接触。砌筑砂浆的强度应满足设计要求;砌缝砂浆应饱满,并应及时勾缝。

7.3.8.4 干砌与浆砌块石护面的允许偏差和砌缝最大允许值应分别符合表 7.3.8-1 和表 7.3.8-2 的规定。

干砌与浆砌块石护面层的允许偏差 表 7.3.8-1

序 号	项 目	允许偏差(mm)
1	表面平整度	40
2	相邻块石顶面高差	30

干砌与浆砌块石砌缝的最大允许值 表 7.3.8-2

序 号	项 目	允 许 值 (mm)	
		干砌	浆砌
1	砌缝最大宽度	30	40
2	通缝长度	1000	1000
3	三角缝宽度	70	80

注:①通缝是指块石错缝距离小于 80mm 的连续砌缝;
②当设计有特殊要求时,砌缝最大宽度按设计要求检查。

7.3.9 干砌条石护面层施工应符合下列规定。

7.3.9.1 条石的规格和加工质量应符合设计要求。当设计无规定时,条石长度的允许偏差值应为 ±50mm,横断面尺寸的允许偏差值应为 ±20mm。

7.3.9.2 砌筑的形式应符合设计要求。砌筑时,条石的长边应垂直于坡面。

7.3.9.3 砌筑应自下而上分层进行。条石与坡脚棱体应靠紧;条石间应相互错缝、紧密嵌固。条石底面及条石间的空隙可用二片石塞紧,但不应从外侧向内填塞。

7.3.10 干砌条石护面的允许偏差和砌缝最大允许值应分别符合表 7.3.10-1 和表 7.3.10-2 的规定。

干砌条石护面的允许偏差 表 7.3.10-1 干砌条石砌缝的最大允许值 表 7.3.10-2

序号	项 目	允许偏差(mm)	序号	项 目	允许值 (mm)
1	表面平整度	30	1	砌缝最大宽度	30
2	相邻块顶面高差	30	2	横向通缝长度	1000
3	加糙护面条石外伸长度	±30			

7.3.11 当采用模袋混凝土护面时,模袋混凝土护面的施工应符合现行行业标准《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239)的有关规定。

7.4 上部结构

7.4.1 斜坡堤的上部结构宜在抛石堤身和地基沉降基本稳定后施工,并应按设计要求和沉降观测资料预留后期沉降量。

7.4.2 现浇混凝土胸墙或压顶块的模板,应考虑施工期波浪作用。胸墙或压顶块与抛石

堤身接触处应防止漏浆。

7.4.3 浆砌块石胸墙或压顶块,宜采用分层坐浆砌筑。块石应上下错缝、内外搭砌,砌筑砂浆应饱满,勾缝应密实牢固。浆砌块石胸墙的施工缝,应留阶梯形接茬,其台阶高度不宜大于 1.2m。

7.4.4 胸墙或压顶块中设置减压孔的位置和数量应满足设计要求,并应通畅。

7.4.5 现浇混凝土与浆砌块石、浆砌粗料石胸墙和压顶块外形尺寸的允许偏差应符合表 7.4.5-1 和表 7.4.5-2 的规定。

现浇混凝土压顶块和胸墙外形尺寸的允许偏差 表 7.4.5-1

序号	项 目	允许偏差 (mm)	序号	项 目	允许偏差 (mm)
1	顶面标高	+ 50	3	相邻段错牙	20
		- 30	4	顶面和侧面平整度	20
2	临水面与准线	50	5	L 胸墙直立段截面宽度	± 10

注:表中顶面标高偏差为对施工控制标高的偏差。

浆砌块石和粗料石压顶块和胸墙外形尺寸的允许偏差 表 7.4.5-2

项 目	允 许 偏 差 (mm)	
	浆砌块石	浆砌粗料石
顶面标高	± 40	± 20
临水面与准线	± 30	± 30
正面平整度	40	20
L 胸墙直立段截面宽度	± 50	± 40
L 胸墙直立段竖向倾斜	$h/100$	

注:①表中顶面标高偏差为对施工控制标高的偏差;

②表中 h 为胸墙直立段高度,单位 mm。

7.5 竣 工 尺 度

7.5.1 斜坡堤竣工尺度的允许偏差应符合表 7.5.1 的规定。

斜坡堤竣工尺度允许偏差 表 7.5.1

序号	项 目		允 许 偏 差 (mm)
1	轴线位置		200
2	总长度		± 2000
3	顶标高与设计 控制标高偏差	胸墙、压顶块	- 50
		栅栏板、四脚块	- 100
		大块石护面	- 200

8 直立式防波堤施工

8.1 基础施工

8.1.1 直立堤水下基槽开挖应符合下列规定。

8.1.1.1 在易回淤的区段或基槽深度较大时,基槽开挖应分层、分段进行。其分段长度和每层开挖深度应根据土质和开挖方法确定。

8.1.1.2 基槽挖至设计标高时,应核对土质。当发现土质与设计情况不符时,应会同设计单位研究解决。

8.1.1.3 基槽开挖的尺寸应满足设计要求。对非岩石地基,其超深和超宽的允许偏差应符合表 8.1.1 的规定。

非岩石地基水下基槽开挖允许偏差 表 8.1.1

序号	项 目		允许偏差(m)	
1	平均超深	4m ³ 以下抓斗		0.5
		4 ~ 8m ³ 抓斗	I 、Ⅱ类土	0.8
			Ⅲ、Ⅳ类土	0.5
		8 ~ 13m ³ 抓斗	I 、Ⅱ类土	1.0
			Ⅲ、Ⅳ类土	0.8
		13 ~ 18m ³ 抓斗	I 、Ⅱ类土	1.5
Ⅲ、Ⅳ类土	1.0			
2	每边平均超宽	4m ³ 以下抓斗		1.5
		4 ~ 8m ³ 抓斗	I 、Ⅱ类土	2.0
			Ⅲ、Ⅳ类土	2.0
		8 ~ 13m ³ 抓斗	I 、Ⅱ类土	2.5
			Ⅲ、Ⅳ类土	2.2
		13 ~ 18m ³ 抓斗	I 、Ⅱ类土	3.0
Ⅲ、Ⅳ类土	2.5			

注:①当挖泥水深大于 20m 或采用抓斗容量大于 18m³ 时,其平均超宽、超深允许偏差值可根据实际情况适当加大;

②链斗式挖泥船挖泥的平均超深允许值为 400mm,平均超宽允许值为 1500mm。

8.1.1.4 每段基槽开挖后应及时检查验收,并应及时进行基床抛石施工。

8.1.2 基床抛石施工应符合下列规定。

8.1.2.1 抛石施工前应对基槽进行检查,基槽尺寸如有显著变动应及时研究处理。当基槽底部回淤沉积物的厚度大于 0.3m,且含水率小于 150% 或湿土重度大于 12.6kN/m³

时,应进行清淤。

8.1.2.2 基床抛石的标高应预留夯沉量,其数值可根据试夯资料或当地经验确定。基床最上一层抛石的标高不宜高于施工控制标高。

8.1.2.3 基床的宽度不应小于设计宽度。

8.1.3 基床夯实施工应符合下列规定。

8.1.3.1 当采用重锤夯实时,基床的抛石与夯实应符合现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTS 167—2)的有关规定。

8.1.3.2 当采用爆炸法夯实时,基床的抛石与夯实应符合现行行业标准《水运工程爆破技术规范》(JTS 204)的有关规定。

8.1.4 基床夯实的验收应符合现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的有关规定。

8.1.5 抛石基床整平施工应符合下列规定。

8.1.5.1 抛石基床的整平应进行粗平和细平,整平范围和允许偏差应符合表 8.1.5 的规定。

抛石基床整平范围和允许偏差

表 8.1.5

整平种类	适用部位	整平范围	标高允许偏差(mm)
细平	堤身构件或压肩方块下的基床	堤身构件或压肩方块底边外加宽 0.5m	± 50
粗平	基床的肩部	基床细平范围两侧的内外肩	± 150

8.1.5.2 基床整平时,块石间的不平整部分可用二片石填充,二片石间不平整部分可用碎石填充。

8.1.5.3 每段基床整平完成后应及时安装堤身构件。

8.1.6 堤前护底块石或人工块体应在墙身结构安装后及时抛填或安放。

8.2 堤身

8.2.1 堤身构件预制除应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定外,尚应符合下列规定。

8.2.1.1 当采用混凝土地坪做底模时,其表面平整度不应大于 10mm。底模表面应采用隔离剂或隔离层等脱模措施,但不得使用油毛毡等易导致降低预制构件底面摩擦系数的材料。

8.2.1.2 当沉箱、空心方块和圆筒等大型构件需要分层浇筑时,施工缝不宜设在水位变动区、底板与立墙的连接处、吊孔处和吊孔以下 1m 范围内。

8.2.1.3 方块、沉箱和圆筒构件主要尺寸的允许偏差应符合现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的有关规定。

8.2.2 沉箱、空心方块和圆筒等构件的吊运应符合下列规定。

8.2.2.1 构件起吊时,其混凝土强度应满足设计要求。

8.2.2.2 构件的起重吊架应进行专门设计,吊架应有足够的刚度和强度,吊点的合力

应与构件重心共线。

8.2.2.3 吊点可采用预留孔或预埋吊环。大型构件吊点附近的混凝土应用钢筋加强；预留孔与吊具接触面应用钢套管保护。吊点的实际位置与设计位置的允许偏差为 30mm。

8.2.3 沉箱构件的溜放、下水、浮运或半潜驳驳载出运,应符合现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTS 167—2)的有关规定。

8.2.4 施工现场的沉箱储存场应符合下列规定。

8.2.4.1 坐底储存场,应选择具有足够水深、便于起浮、水底面较为平坦、有足够承载力且受波浪和泥沙冲淤影响不大的区域。必要时应对存放场地进行抛砂换填处理。

8.2.4.2 漂浮储存场,应有可靠的系泊条件,且沉箱间、沉箱与其他建筑物间应有足够的距离。

8.2.5 墙身构件安装应符合下列规定。

8.2.5.1 墙身构件安装前,应对基床顶面进行检查。对不符合要求的部位应进行修整。

8.2.5.2 方块、沉箱和圆筒等构件的安装,应分段控制安装位置和堤的长度。

8.2.5.3 沉箱或圆筒安装后,应及时进行箱格内抛填。当抛填块石时,应采取防止构件边缘被块石砸坏的措施。

8.2.5.4 直立堤堤身构件安装的允许偏差和安装缝宽最大允许值应分别符合表 8.2.5-1和表 8.2.5-2 的规定。

直立堤堤身构件安装的允许偏差 表 8.2.5-1

序号	项 目	允 许 偏 差 (mm)		
		方块	沉箱与空心方块	坐床式圆筒
1	堤轴线	70	100	50
2	安装缝宽度	40	构件高度≤15m 时,为 50	—
			构件高度 > 15m 时,为 80	
3	相邻构件临水面错牙	30	80	30
4	相邻构件顶面高差	30	—	30

直立堤堤身构件安装的最大缝宽允许值 表 8.2.5-2

序号	项 目		允许值 (mm)
1	方块		100
2	沉箱和空心方块		150
3	坐床式圆筒	高度≤10m	80
		高度 > 10m	100

8.3 上部结构

8.3.1 直立堤上部结构的施工应在地基沉降基本稳定后进行。

8.3.2 带有胸墙及挡浪墙的上部结构分层施工时,其施工缝的位置宜留置在断面突变处以上 500 ~ 1000mm 处。

8.3.3 顶标高较低的胸墙趁低潮施工时,应保持在水位以上进行混凝土的浇筑和振捣,并应采取防止混凝土在初凝前被水淘刷的措施。

8.3.4 现浇胸墙和挡浪墙外形尺寸的允许偏差应符合表 8.3.4 的规定。

现浇胸墙和挡浪墙允许偏差 表 8.3.4

序号	项 目	允 许 偏 差 (mm)	
		胸墙	挡浪墙
1	前沿线位置	30	50
2	顶面标高	± 30	+ 50 - 30
3	断面尺寸	—	± 15
4	相邻段错牙	20	20
5	平整度	20	20
6	竖向倾斜	—	0.5% h
7	顶面平整度	10	10
8	预留孔洞位置	20	20

注:①表中顶面标高偏差为对施工控制标高的偏差;

②h 为挡浪墙高度,单位 mm。

8.3.5 当挡浪墙采用预制安装结构形式时,应对挡浪墙构件在施工期间的稳定性进行校核,当安装后的构件在施工期间波浪作用下不稳定时,应采取临时固定措施。挡浪墙安装的允许偏差应符合表 8.3.4 序号 1、2、4 和 6 项的规定。

8.4 竣 工 尺 度

8.4.1 直立堤竣工尺度允许偏差应符合表 8.4.1 的规定。

直立堤竣工尺度允许偏差 表 8.4.1

序号	项 目	允 许 偏 差 (mm)
1	轴线位置	100
2	总长度	± L/200,且不应超过 ± 2000
3	顶标高对设计控制标高偏差	± 30

注:L 为堤的总长度,单位 mm。

9 其他型式防波堤施工

9.1 半圆型防波堤

9.1.1 半圆型防波堤的地基处理和垫层与软体排的施工,应分别符合第 7.1 节、第 7.2 节和第 8.1 节的有关规定。

9.1.2 半圆型防波堤基床抛石及整平的允许偏差应符合表 9.1.2 的规定。

半圆型防波堤基床抛石及整平允许偏差 表 9.1.2

序号	项 目	允许偏差 (mm)
1	顶面标高	± 50
2	抛石边线	+ 500 0

9.1.3 半圆形构件的预制除应符合第 8.2.1 条和现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定外,尚应符合下列规定。

9.1.3.1 半圆形构件的混凝土可按底板和拱圈分层浇筑;半圆形沉箱的混凝土可按底板、拱圈、隔墙和端头侧墙,分层分步浇筑。底板与拱圈的施工缝宜留置在距底板不小于 500mm 的部位。

9.1.3.2 半圆形构件和半圆形沉箱的模板应进行专门设计。模板制作后应经试拼装检查验收。

9.1.3.3 半圆形构件的拱圈钢筋应采用辊压机辊压成形。钢筋绑扎应采用专用支架。对成型的钢筋骨架应采取防止变形、失稳的措施。

9.1.3.4 半圆形构件和半圆形沉箱的主要尺寸偏差应符合表 9.1.3 的规定。

半圆形构件和半圆形沉箱的主要尺寸偏差 表 9.1.3

序号	项 目	允 许 偏 差 (mm)	
		半圆形构件	半圆形沉箱
1	长度	± 20	± 50
2	宽度	± 20	± 2.5B/1000
3	高度	± 30	± 30
4	底板厚度	± 10	—
5	壁厚	± 10	± 10
6	外圆半径	± 20	± 30
7	圆弧顶纵向弯曲矢高	20	40

续表 9.1.3

序号	项 目	允许偏差 (mm)	
		半圆形构件	半圆形沉箱
8	侧面纵向弯曲矢高	20	25
9	端部全高竖向倾斜	$H/200$	$H/200$
10	分段浇注相邻段错牙	10	10
11	预留孔位置	50	50

注: H 为半圆形构件或半圆形沉箱高度, B 为半圆形构件或半圆形沉箱宽度,单位均为 mm。

9.1.4 半圆形构件的吊运和半圆形沉箱的溜放、下水、浮运或半潜驳出运应分别符合第 8.2.2 条、第 8.2.3 条和第 8.2.4 条的有关规定。

9.1.5 半圆形构件和半圆形沉箱的安装宜采用定位船辅助定位措施。

9.1.6 对于设计有充填压载要求的半圆形沉箱,构件安装后应及时进行箱内充填。充填应对称、均匀。充填完成后应立即对充填孔进行封堵,并确保封堵严密、牢固。

9.1.7 半圆形构件和半圆形沉箱安装的允许偏差和接缝宽度最大允许值应分别符合表 9.1.7-1 和表 9.1.7-2 的规定。

半圆形构件和半圆形沉箱安装的允许偏差 表 9.1.7-1

序号	项 目	允许偏差 (mm)	
		半圆形构件	半圆形沉箱
1	轴线	150	200
2	相邻构件错牙	80	100
3	接缝缝宽	30	50

半圆形构件和半圆形沉箱安装的接缝宽度最大允许值 表 9.1.7-2

序号	项 目	允许值 (mm)
1	半圆形构件	100
2	半圆形沉箱	150

9.2 透空式防波堤

9.2.1 桩基透空式防波堤的施工除应符合现行行业标准《高桩码头设计与施工规范》(JTS 167—1)的有关规定外,尚应符合下列规定。

9.2.1.1 沉桩及上部结构应按照能够及时形成结构断面的原则进行施工。单桩和斜桩沉桩后,应根据现场实际情况采取可靠的夹桩支护措施。

9.2.1.2 挡浪板安装后应采取可靠的加固措施,并应及时进行接头混凝土的施工。挡浪板安装的允许偏差应符合表 9.2.1 的规定。

挡浪板安装允许偏差 表 9.2.1

序 号	项 目	允 许 偏 差 (mm)
1	前沿线位置	30
2	迎水面竖向倾斜	$H/100$ 且不大于 30
3	相邻板块错牙	20

注: H 为挡浪板高度,单位 mm。

- 9.2.1.3 桩基透空式防波堤竣工尺度允许偏差可参照表 8.4.1 执行。
- 9.2.2 沉箱墩式透空防波堤的施工除应符合第 8 章的有关规定外,尚应符合下列规定。

9.2.2.1 对于两侧带有翼板的沉箱,在沉箱预制、浮运和安装过程中应采取防止翼板碰损的措施。

9.2.2.2 沉箱安装的允许偏差,可按表 8.2.5.2 中序号 1 和 2 项的规定进行控制。沉箱翼板间的最大缝宽偏差不宜大于 150mm。

9.2.2.3 沉箱间过水通道的底部基床,在沉箱安装后应按设计要求及时对基床表面进行防护。

9.2.2.4 沉箱墩式透空防波堤竣工尺度允许偏差可参照表 8.4.1 执行。

附录 A 斜向波作用的计算

A.0.1 当波浪斜向作用于斜坡式防波堤时,护面块体重量可按式(4.2.4-1)计算,除扭工字块体护面外,式中的 K_D 应以 $K_{D\beta}$ 代替, $K_{D\beta}$ 应按下式计算:

$$K_{D\beta} = \frac{K_D}{\cos^k(\beta - 22.5^\circ)} \tag{A.0.1}$$

式中 $K_{D\beta}$ ——斜向波作用时护面块体的稳定系数;
 K_D ——正向波作用时护面块体的稳定系数;
 k ——试验参数,按表 A.0.1 采用;
 β ——波向线与斜坡堤纵轴线法线的夹角($^\circ$),适用于 $22.5^\circ \sim 67.5^\circ$ 。

试验参数 k 表 A.0.1

护面型式	四脚空心方块	块石(抛填二层)	扭王字块体
k	1.47	1.95	2.30

A.0.2 当破碎波斜向作用于直立式防波堤时,可对正向波计算出的波浪力进行折减,折减系数可近似按下式计算:

$$k_p = \frac{1 + \cos(\beta - 22.5^\circ)}{2} \tag{A.0.2}$$

式中 k_p ——折减系数;
 β ——波向线与直立堤纵轴线法线的夹角($^\circ$),适用于 $22.5^\circ \sim 90^\circ$ 。

附录 B 常用护面块体形状尺寸图

B.0.1 四脚锥体、四脚空心方块、扭工字块体、扭王字块体的形状尺寸见图 B.0.1-1 ~ 图 B.0.1-4。

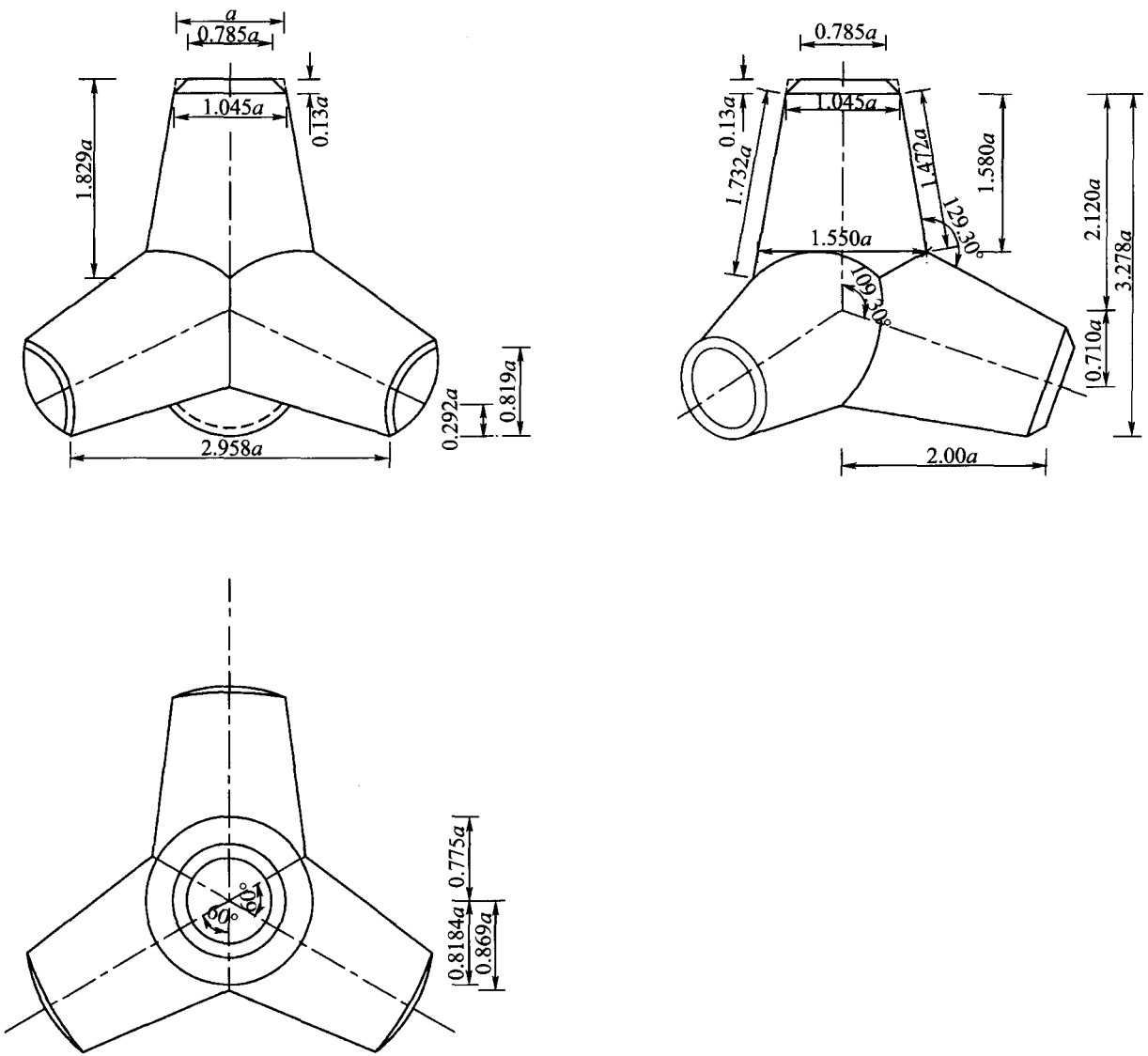


图 B.0.1-1 四脚锥体
 a -四角锥体基准尺寸

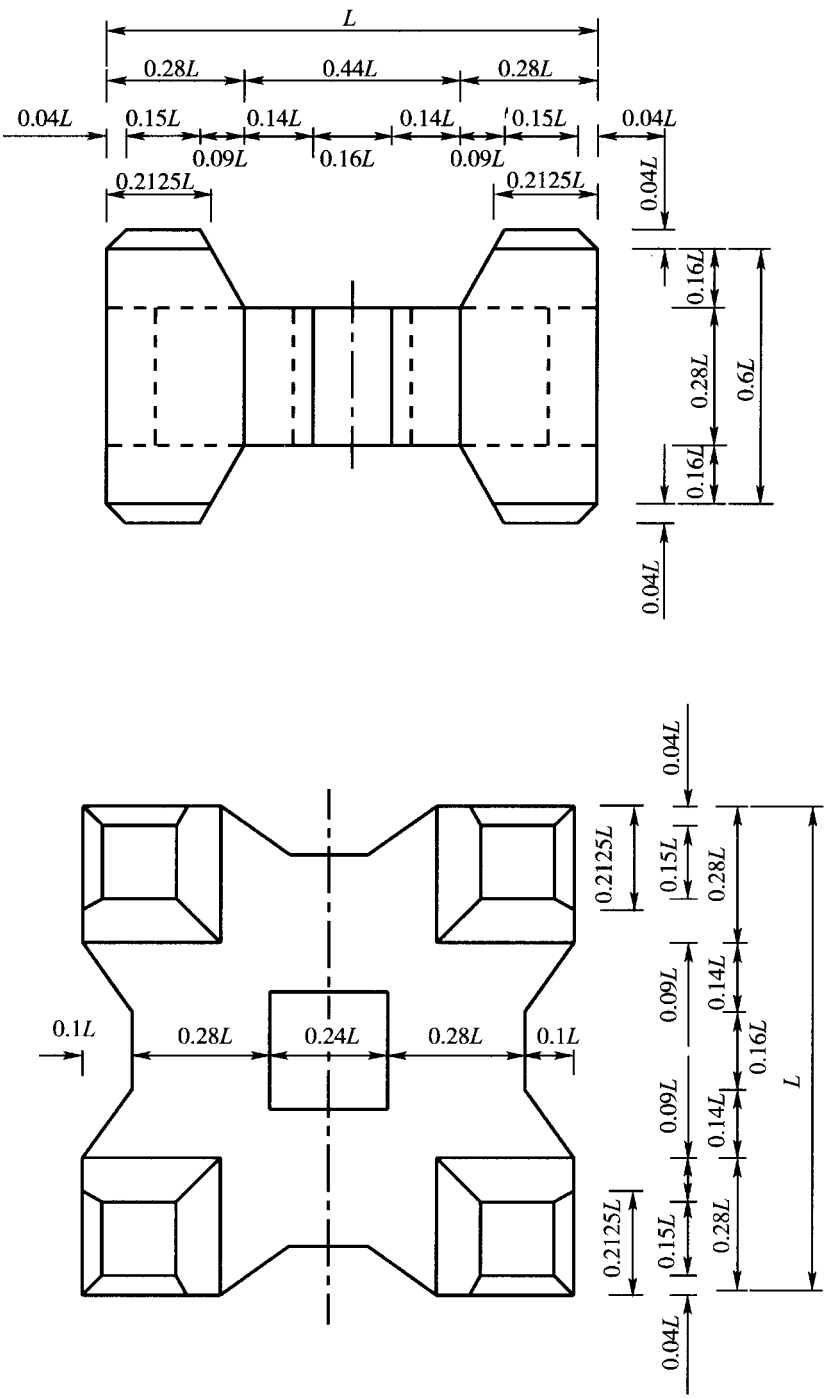
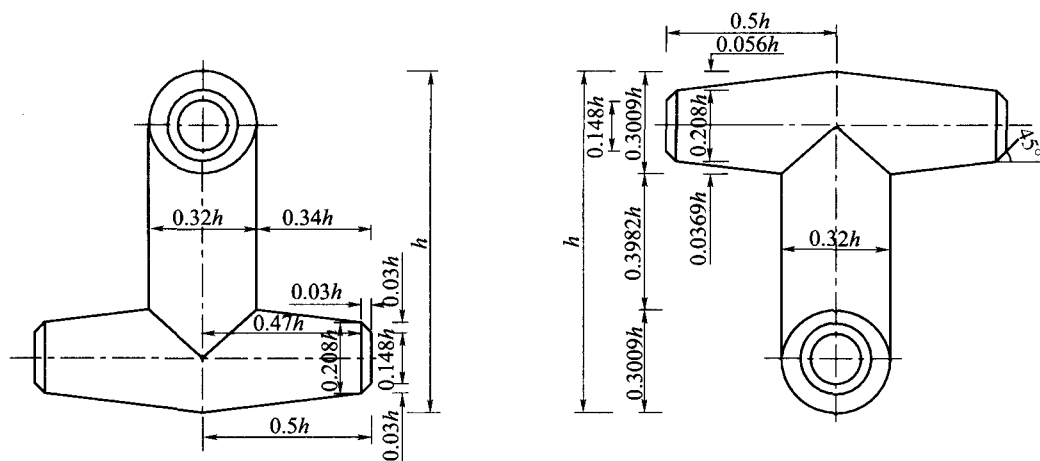
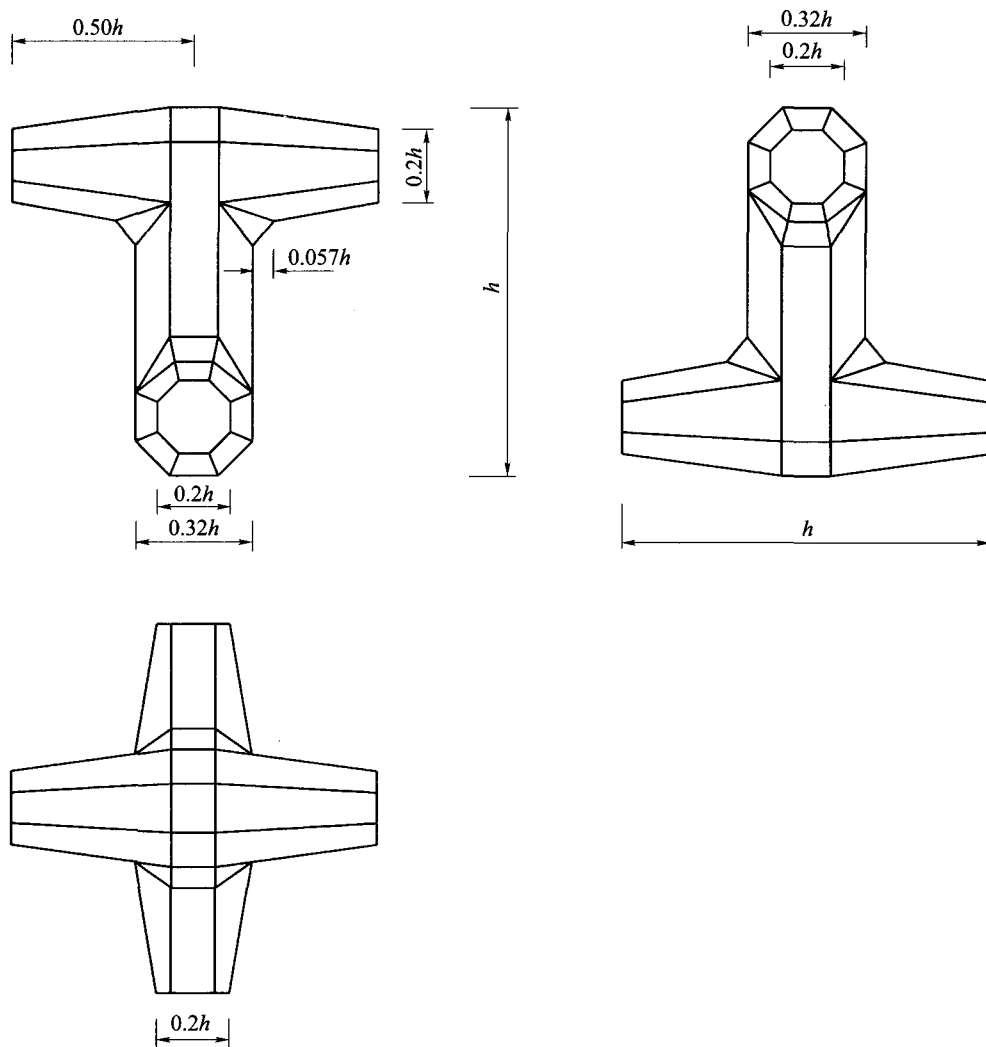


图 B.0.1-2 四脚空心方块
 L -四脚空心方块边长



a)



b)

图 B.0.1-3 扭工字块体

a) A 型扭工字块体; b) B 型扭工字块体

h -扭工字块体正向高度

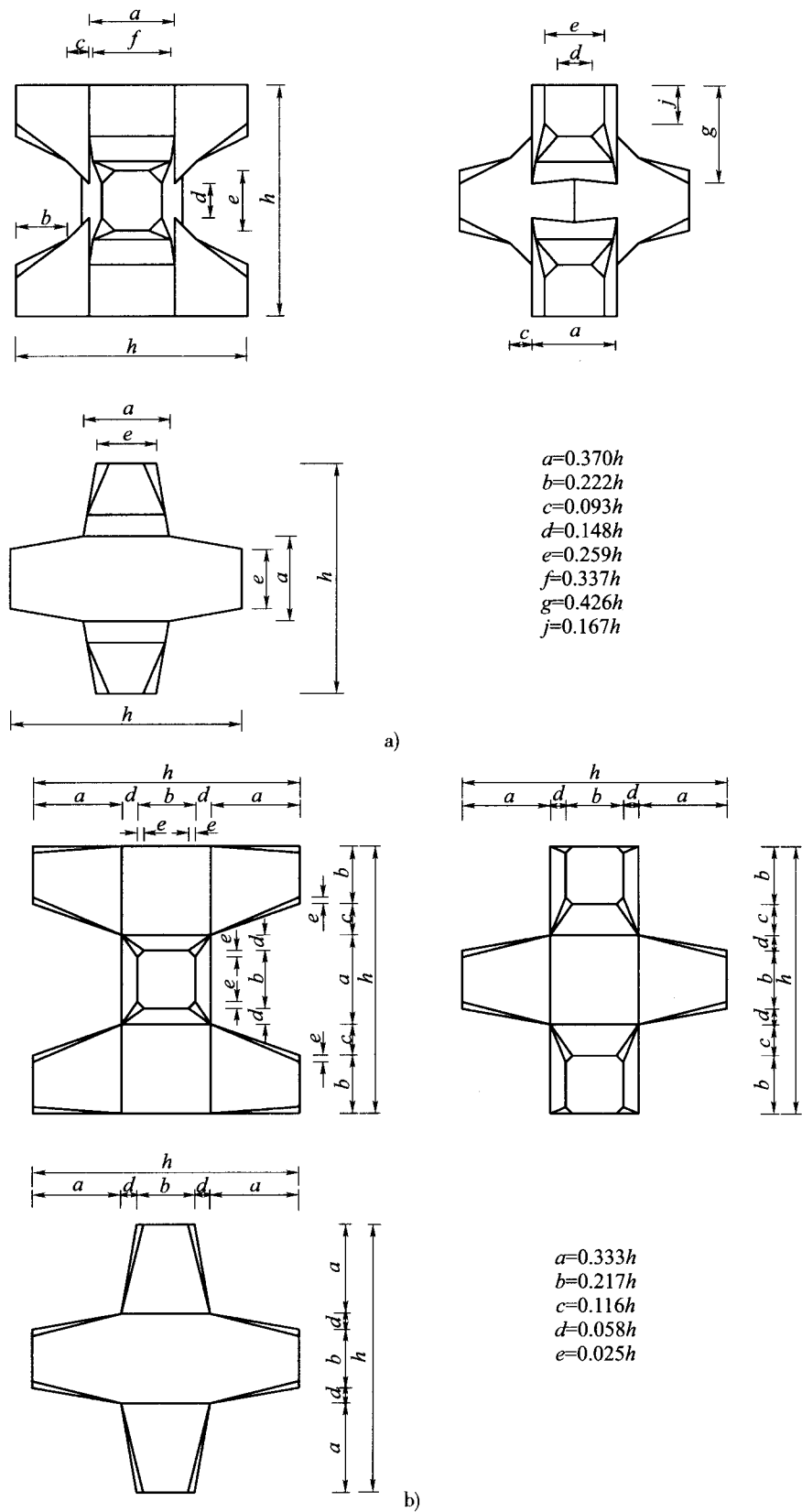


图 B.0.1-4 扭王字块体

a) A 型扭王字块体; b) B 型扭王字块体, 宜用于重量 10t 以内
 h -扭王字块体高度

B.0.2 常用护面块体的体积可按表 B.0.2 确定。

护面块体体积					表 B.0.2	
块体	四脚锥体	四脚空心方块	扭工字块体		扭王字块体	
			A 型	B 型	A 型	B 型
$V(\text{m}^3)$	$9.925a^3$	$0.299L^3$	$0.142h^3$	$0.160h^3$	$0.330h^3$	$0.265h^3$

附录 C 护面块体的稳定重量、人工块体个数和混凝土量计算图

C.0.1 抛填2层块石和安放1层块石的稳定重量可分别按图 C.0.1-1 和图 C.0.1-2 确定。

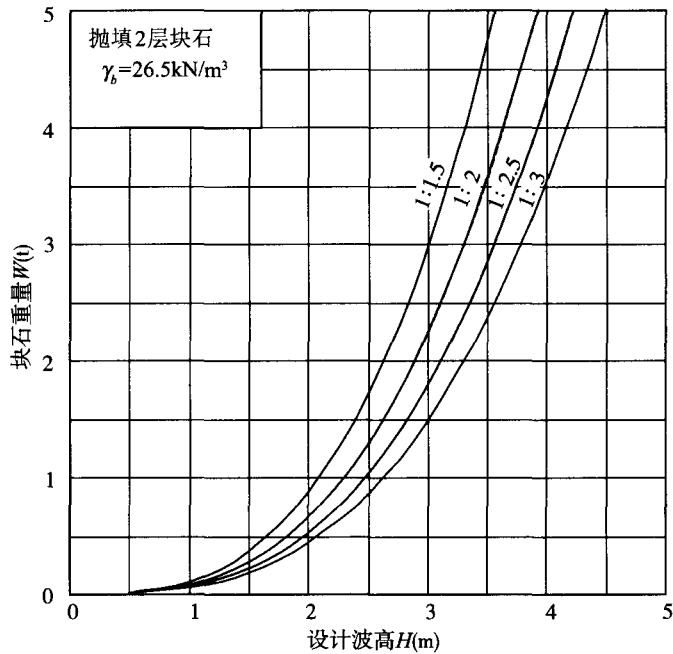


图 C.0.1-1 抛填2层块石的稳定重量 W

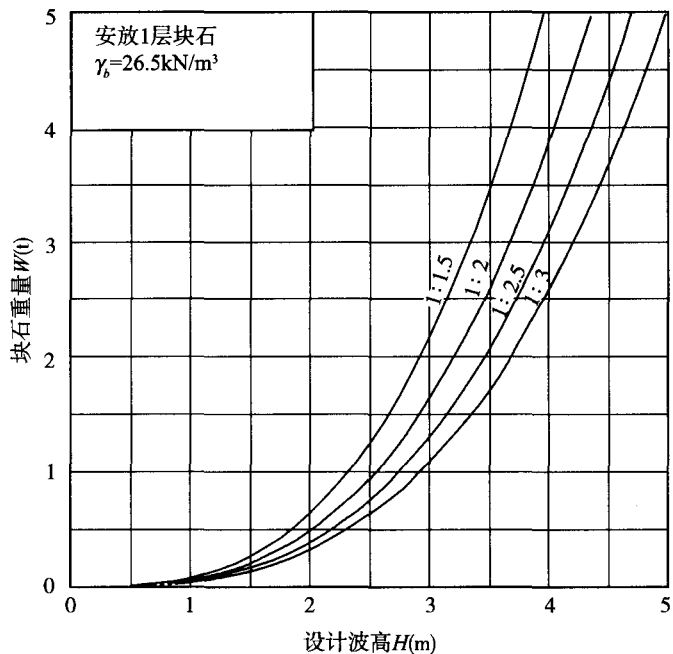


图 C.0.1-2 安放1层块石的稳定重量 W

C.0.2 四脚锥体的稳定重量、块体个数和混凝土量可分别按图 C.0.2-1、图 C.0.2-2 和图 C.0.2-3 确定。

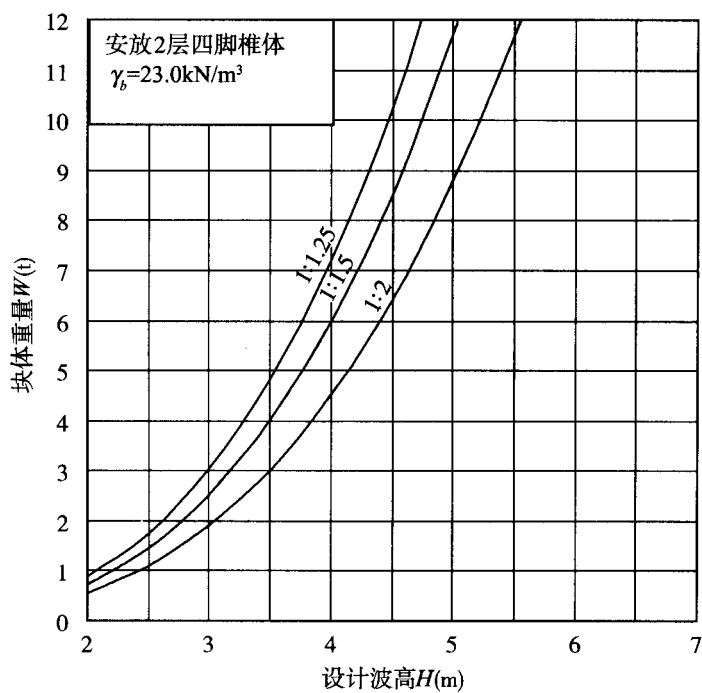


图 C.0.2-1 四脚锥体的稳定重量 W

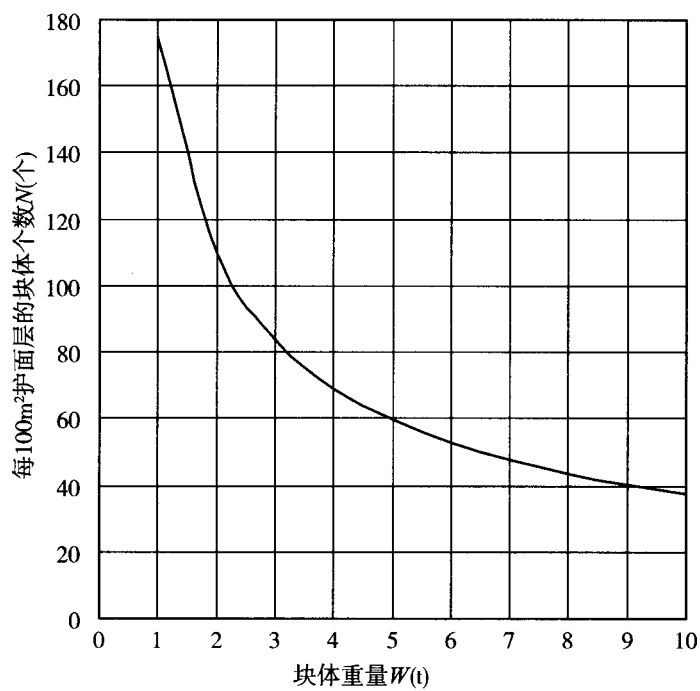


图 C.0.2-2 四脚锥体的块体个数 N

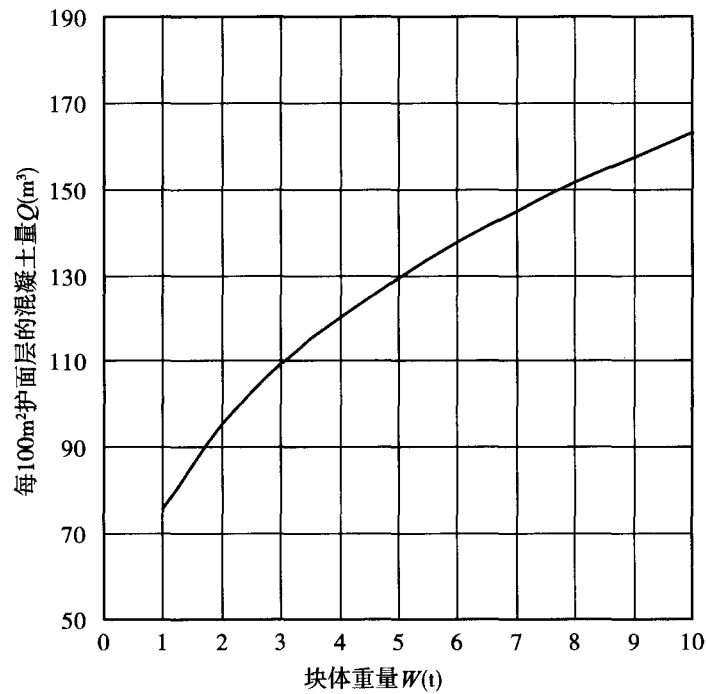


图 C.0.2-3 四脚锥体的混凝土量 Q

C.0.3 四脚空心方块的稳定重量、块体个数和混凝土量可分别按图 C.0.3-1、图 C.0.3-2 和图 C.0.3-3 确定。

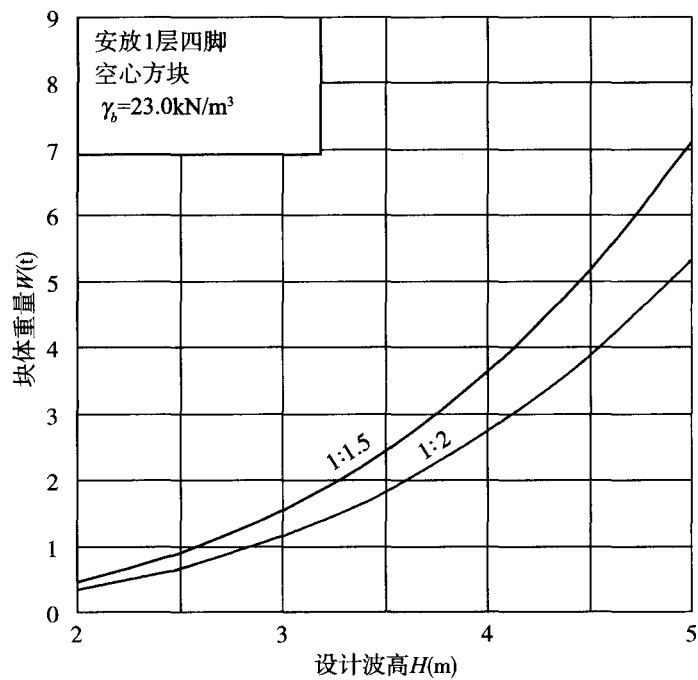


图 C.0.3-1 四脚空心方块的稳定重量 W

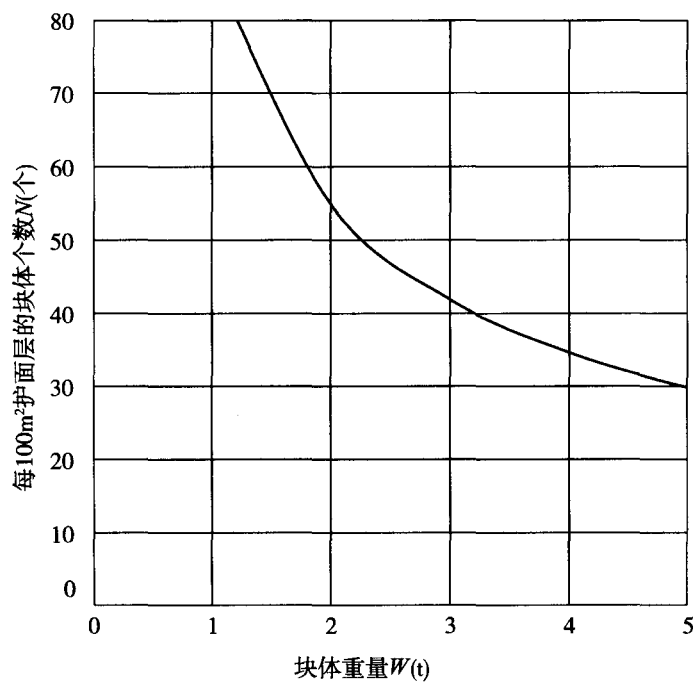


图 C.0.3-2 四脚空心方块块体个数 N

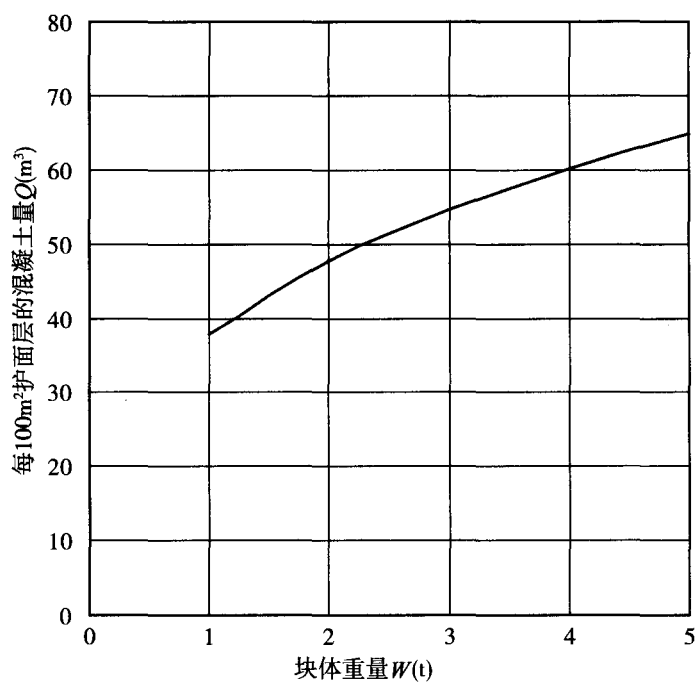


图 C.0.3-3 四脚空心方块混凝土量 Q

C.0.4 扭工字块体的稳定重量、块体个数和混凝土量可分别按图 C.0.4-1、图 C.0.4-2 和图 C.0.4-3 确定。

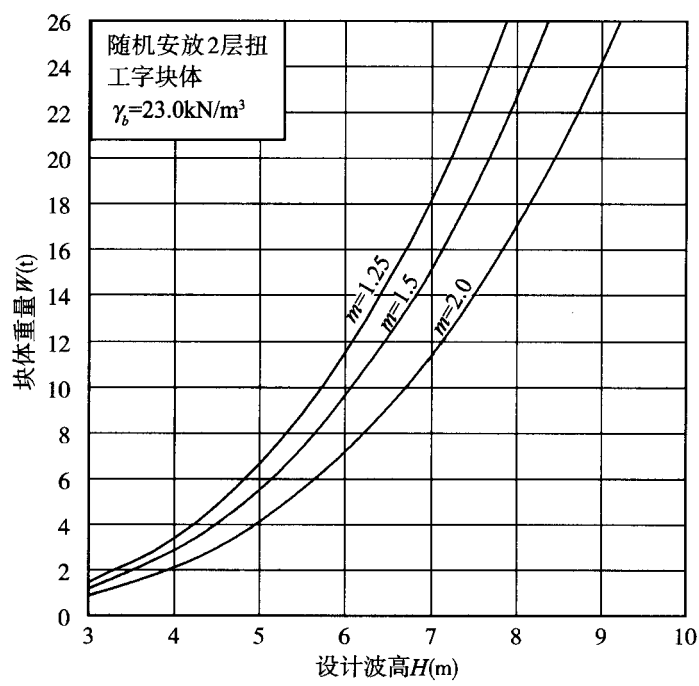


图 C.0.4-1 扭工字块体的稳定重量 W

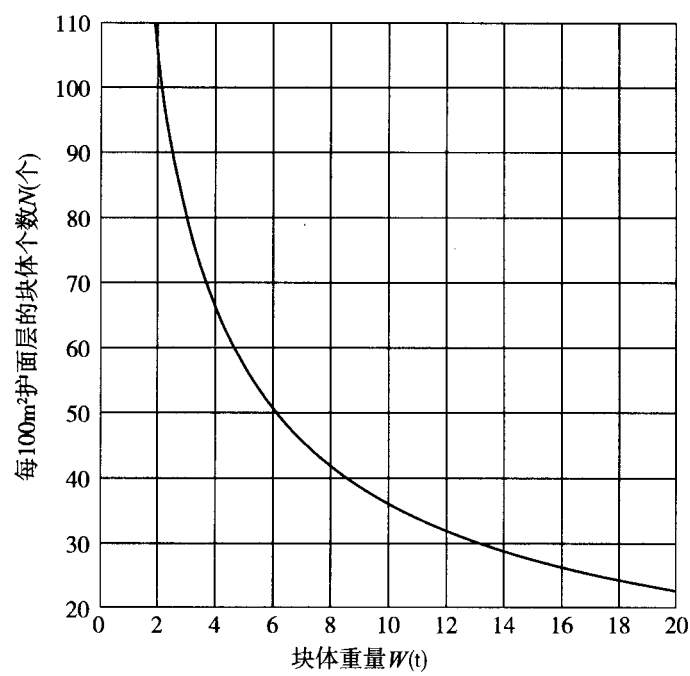


图 C.0.4-2 扭工字块体的个数 N

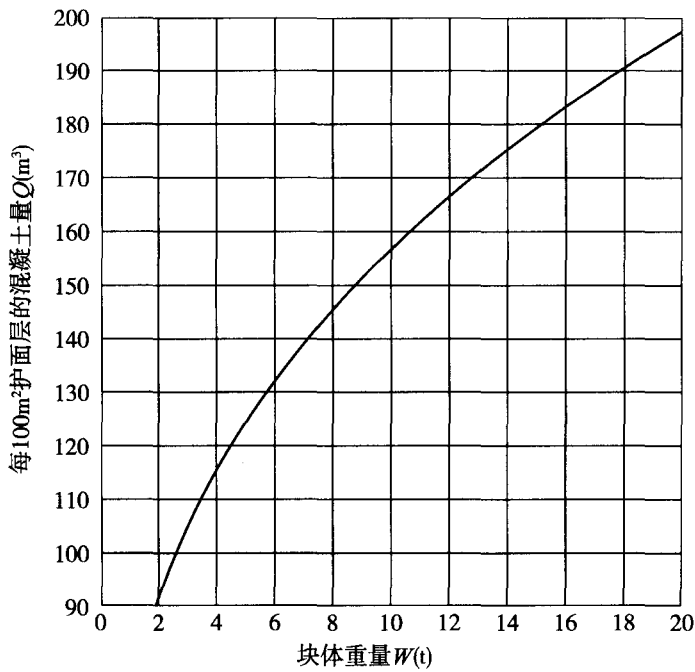


图 C.0.4-3 扭工字块体的混凝土量 Q

C.0.5 扭王字块体的稳定重量、块体个数和混凝土量可分别按图 C.0.5-1、图 C.0.5-2 和图 C.0.5-3 确定。

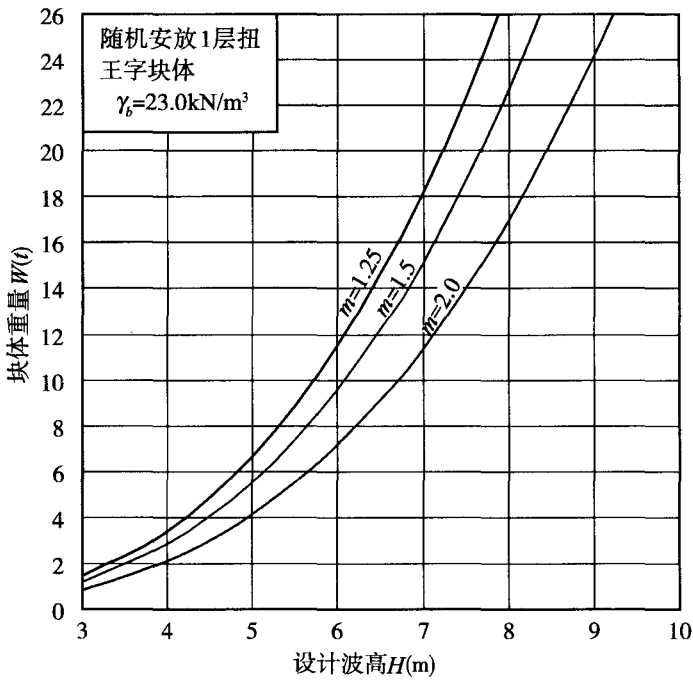


图 C.0.5-1 扭王字块体的稳定重量 W

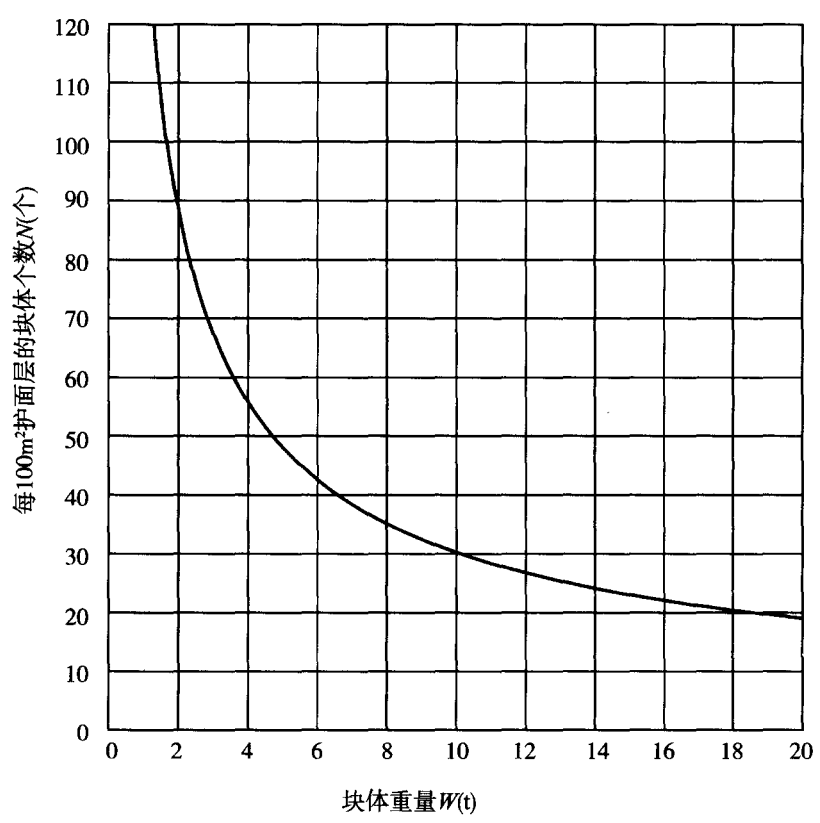


图 C.0.5-2 扭王字块体的个数 N

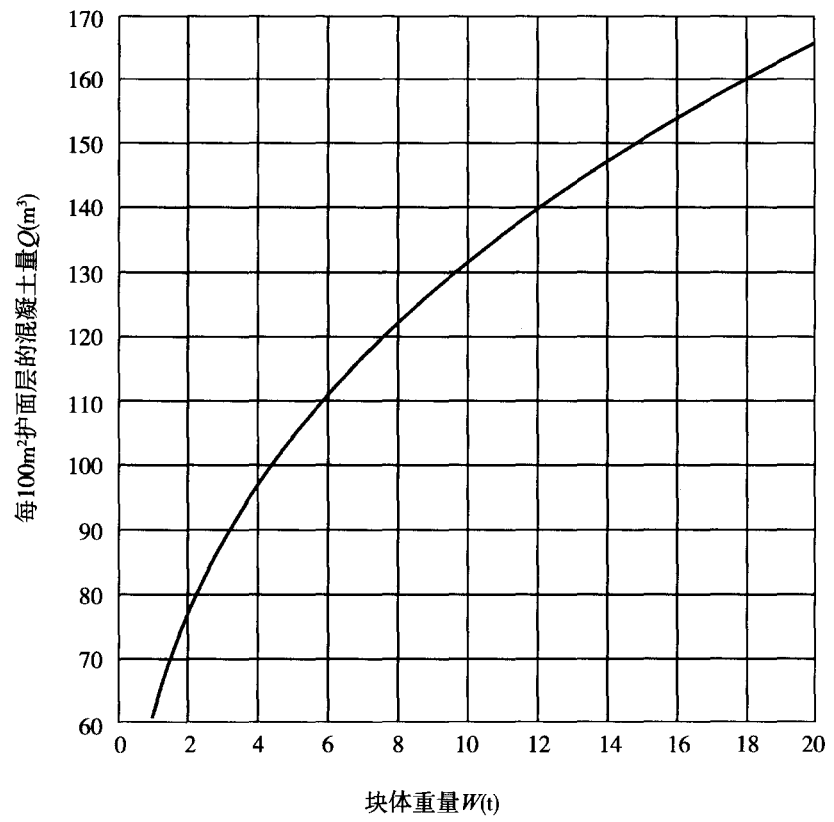


图 C.0.5-3 扭王字块体的混凝土量 Q

附录 D 斜坡堤前的海底冲刷计算

D.0.1 在部分立波作用下,斜坡堤前沙质海底冲刷形态可分为相对细沙型、过渡型和相对粗沙型(图 D.0.1),并应满足下列属性:

(1) 相对细沙型和相对粗沙型的冲刷剖面特性与立波作用下直立堤前相应的 2 种冲刷形态基本相同;

(2) 对过渡型的冲刷形态,其冲刷谷和堆积峰的位置均偏离于部分立波的节点和腹点;

(3) 对相对细沙型和过渡型的冲刷剖面,在斜坡堤坡面下将出现冲刷坑,采用护底块石层加以保护。

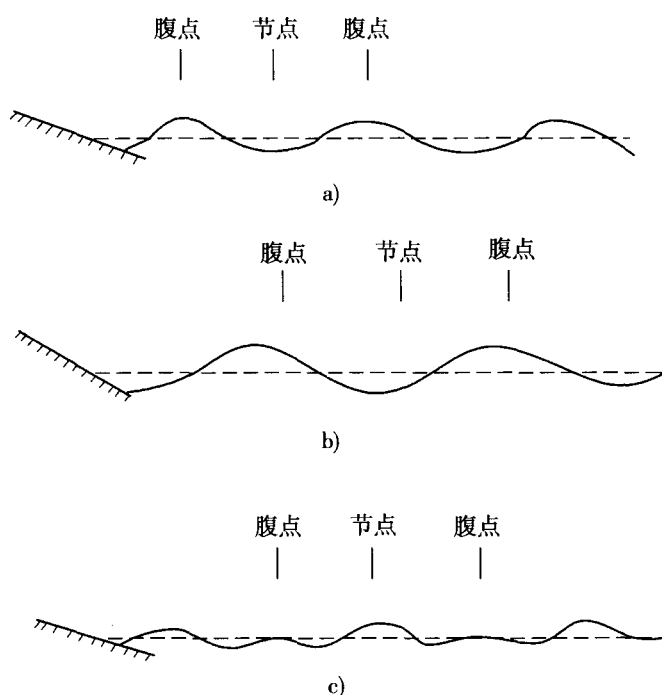


图 D.0.1 斜坡堤前的 3 种冲刷形态

a) 相对细沙型; b) 过渡型; c) 相对粗沙型

D.0.2 斜坡堤前沙质海底冲刷形态的判别参数可按下列公式计算:

$$\beta = \frac{V_{\max} - V_{cr}}{\omega} \quad (\text{D.0.2-1})$$

$$V_{\max} = \frac{2\pi H_{13\%}}{\sqrt{\frac{\pi L}{g} \sinh \frac{4\pi d}{L}}} \quad (\text{D.0.2-2})$$

$$V_{cr} = 2.4 \Delta^{\frac{2}{3}} D_{50}^{0.433} T^{\frac{1}{3}} \quad (\text{D.0.2-3})$$

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \quad (\text{D.0.2-4})$$

式中 β ——冲刷形态的判别参数;

V_{\max} ——立波节点处最大底流速(m/s);

V_{cr} ——底沙的起动流速(m/s);

ω ——沙粒的静水沉降速度(m/s);

$H_{13\%}$ ——累积频率为13%的波高(m);

L ——由平均周期 \bar{T} 计算得出的波长(m);

g ——重力加速度,取 9.81m/s^2 ;

d ——水深(m);

Δ ——沙粒的相对重度;

D_{50} ——沙粒的中值粒径(m);

T ——波浪的平均周期(s);

γ_s ——沙粒的重度(kN/m^3);

γ ——水的重度(kN/m^3)。

D.0.3 冲刷形态可作下列判定:

(1) 当 $\beta > 28$ 时,为相对细沙型;

(2) 当 $\beta < 10$ 时,为相对粗沙型;

(3) 当 $10 \leq \beta \leq 28$ 时,为过渡型。

D.0.4 斜坡堤前部分立波第一个腹点至斜坡坡面与静水面交点间的距离可按下列式计算:

$$l = \frac{L}{2} - \frac{L}{T \sin \alpha} \left(\frac{R_u}{g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{D.0.4})$$

式中 l ——堤前部分立波第一个腹点至斜坡坡面与静水面交点间的距离(m);

L ——由平均周期 T 计算得出的波长(m);

T ——波浪的平均周期(s);

α ——斜坡的坡角($^\circ$);

R_u ——波浪在斜坡面上的爬高(m);

g ——重力加速度,取 9.81m/s^2 。

D.0.5 当为相对细沙型或过渡型冲刷形态时,冲刷谷的最大深度可按下列公式计算:

$$Z_{mf} = \frac{0.2 H_{\max}}{\left(\sinh \frac{2\pi d}{L} \right)^{1.35}} \quad (\text{D.0.5-1})$$

$$H_{\max} = H_{13\%} + H_R \quad (\text{D.0.5-2})$$

式中 Z_{mf} ——冲刷谷的最大深度(m);

H_{\max} ——波腹点处的波高(m);

d ——水深(m)；

L ——由平均周期 T 计算得出的波长(m)；

$H_{13\%}$ ——累积频率为 13% 的波高(m)；

H_R ——反射波高(m)。

D.0.6 当为相对粗沙型冲刷形态时,冲刷谷的最大深度 Z_{mc} 可按图 D.0.6 确定。

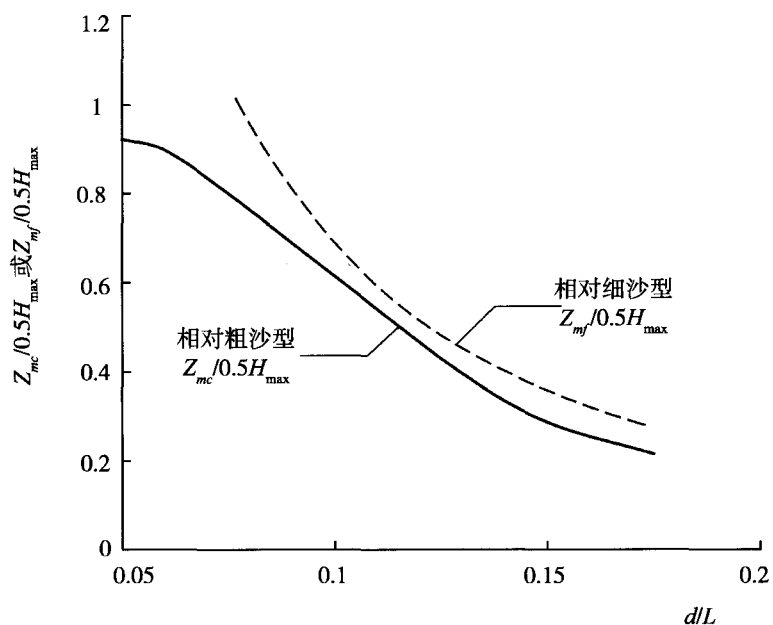


图 D.0.6 冲刷谷最大深度计算图

附录 E 明基床基肩和坡面块体稳定重量计算图

E.0.1 当明基床基肩和坡面块体采用抛填块石和单层四脚空心方块时,其稳定重量可由图 E.0.1 确定。

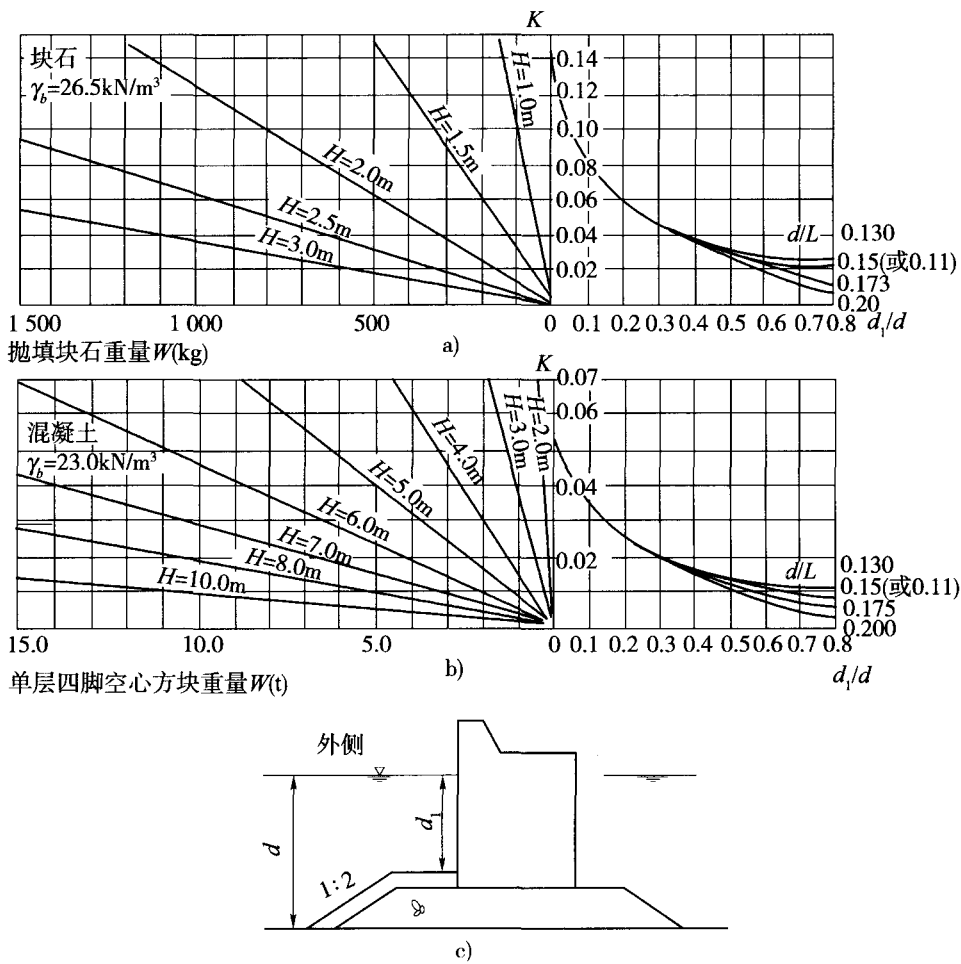


图 E.0.1 明基床基肩和坡面块体稳定重量计算图

- 注:① d_1 -基床顶面水深(m), d -堤前水深(m), H -设计波高(m),采用波高累积频率为5%的波高 $H_{5\%}$, L -计算波长(m);
- ②由右半图的 d_1/d 和 d/L 可查得系数 K ,块体稳定重量 $W = KH^3$ (t),也可由系数 K 和左半图中的波高 H 查得相应的块体稳定重量;
- ③若为安放块石,块体重量可近似采用抛填块石重量的0.6倍。当坡度为1:1.5时,块体重量可近似采用图中数值的1.33倍。

E.0.2 深水堤基床的基肩和坡面宜采用随机安放人工块体的型式;块体的重量可近似取与按图 E.0.1 查得四脚空心方块相同的重量。

E.0.3 当明基床基肩和坡面块体采用栅栏板时,应符合下列规定。

E.0.3.1 栅栏板的平面形状宜采用长方形,其长边与短边的比值可按下列公式计算:

$$\frac{a_0}{b_0} = 1.25 \quad (\text{E.0.3-1})$$

$$b_0 \geq 0.5H \quad (\text{E.0.3-2})$$

式中 a_0 ——栅栏板的长边,沿基床斜坡方向(m);
 b_0 ——栅栏板的短边,沿堤轴线方向(m);
 H ——累积频率为 5% 的波高(m)。

E.0.3.2 当明基床的边坡不陡于 1:2,栅栏板的稳定厚度可按下式计算:

$$h = 10^{-3} \frac{\gamma}{\gamma_b - \gamma} \left[140 - \left(39 + 8.6 \frac{d}{H} \right) \frac{d_1}{d} \right] H \quad (\text{E.0.3-3})$$

式中 h ——栅栏板的稳定厚度(m);
 H ——累积频率为 5% 的波高(m);
 γ ——水的重度(kN/m^3);
 γ_b ——栅栏板的重度(kN/m^3);
 d ——堤前水深(m);
 d_1 ——基床上水深(m)。

E.0.3.3 作用于基床护面栅栏板上的波浪力,其正向波压强度标准值可按表 E.0.3 确定。

栅栏板正向波压强度标准值 p_M (kPa) 表 E.0.3

$\frac{\bar{T} \sqrt{g/H}}{p_M/(\gamma H)}$					
受力部位		10	12	14	16
坡肩上		0.35	0.42	0.57	0.66
坡面上		0.21	0.25	0.36	0.46

注: γ -水的重度(kN/m^3), H -累积频率为 5% 的波高(m), \bar{T} -波浪的平均周期(s), g -重力加速度(m/s^2)。

附录 F 直立堤前的海底冲刷计算

F.0.1 立波作用下直立堤前沙质海底冲刷形态可分为相对细沙型和相对粗沙型,并应满足下列属性:

(1) 相对细沙型的冲刷形态,沙底在立波的节点处发生冲刷,在腹点附近发生堆积,见图 F.0.1a);

(2) 相对粗沙型的冲刷形态,沙底在节点与腹点的中部发生冲刷,在节点处发生堆积,见图 F.0.1b)。

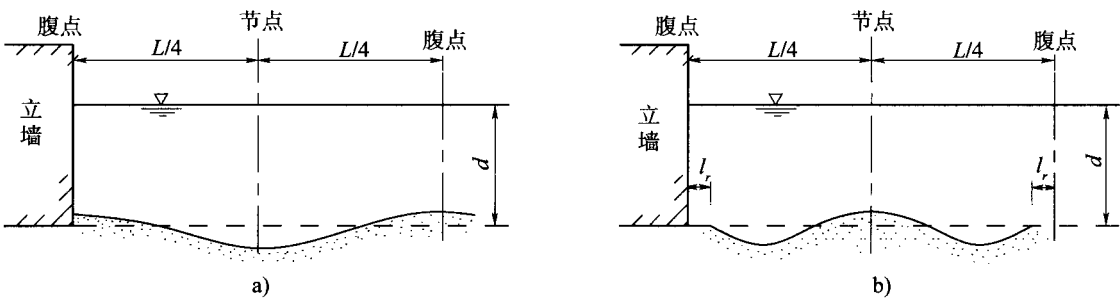


图 F.0.1 直立堤前海底冲刷形态

a) 相对细沙型; b) 相对粗沙型

l_r -冲刷剖面参数(m); L -计算波长(m); d -堤前水深(m)

F.0.2 直立堤前沙质海底冲刷形态的判别参数可按下列公式计算:

$$\beta = \frac{V_{\max} - V_{cr}}{\omega} \quad (\text{F.0.2-1})$$

$$V_{\max} = \frac{2\pi H_{13\%}}{\sqrt{\frac{\pi L}{g} \sinh \frac{4\pi d}{L}}} \quad (\text{F.0.2-2})$$

$$V_{cr} = 2.4 \Delta^{\frac{2}{3}} D_{50}^{0.433} T^{\frac{1}{3}} \quad (\text{F.0.2-3})$$

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \quad (\text{F.0.2-4})$$

式中 β ——冲刷形态判别参数;

V_{\max} ——立波节点处最大底流速(m/s);

V_{cr} ——底沙的起动流速(m/s);

ω ——沙粒的静水沉降速度(m/s);

$H_{13\%}$ ——有效波高(m);

L ——由平均周期 T 计算得出的波长(m);

g ——重力加速度,取 9.81m/s^2 ;

d ——堤前水深(m);

Δ ——沙粒的相对重度;

D_{50} ——沙粒的中值粒径(m);

T ——波浪的平均周期(s);

γ_s ——沙粒的重度(kN/m^3);

γ ——水的重度(kN/m^3)。

F.0.3 冲刷形态可作下列判定:

(1) 当 $\beta \geq 16.5$ 时,为相对细沙型;

(2) 当 $\beta < 16.5$ 时,为相对粗沙型。

F.0.4 相对细沙型的冲刷剖面可按下列公式计算:

$$x_f = \frac{L}{4\pi}\theta + R\sin\theta \quad (\text{F.0.4-1})$$

$$Z_f = -R\cos\theta \quad (\text{F.0.4-2})$$

$$R = \frac{1 - \left(1 - \frac{8\pi Z_{mf}}{L}\right)^{\frac{1}{2}}}{\frac{4\pi}{L}} \quad (\text{F.0.4-3})$$

$$Z_0 = R - Z_{mf} \quad (\text{F.0.4-4})$$

$$Z_{mf} = \frac{0.4H}{\left(\sinh \frac{2\pi d}{L}\right)^{1.35}} \quad (\text{F.0.4-5})$$

式中 x_f ——冲刷剖面曲线的水平坐标值(m),自节点量起;

L ——由平均周期 T 计算得出的波长(m);

θ ——计算角(弧度),取 $0 \sim 2\pi$;

R ——余摆线剖面参数(m);

Z_f ——冲刷剖面曲线的垂直坐标值(m),自海底面以上 Z_0 处量起,向上为正;

Z_{mf} ——冲刷谷的最大深度(m);

Z_0 ——冲刷剖面参数(m);

H ——有效波高(m);

d ——堤前水深(m)。

F.0.5 相对粗沙型的冲刷剖面可按下列公式计算:

$$Z_c = Z_{mc} (1 - 2.8x_c^2 - 14.7x_c^4 + 33x_c^6 - 16.5x_c^8) \quad (\text{F.0.5-1})$$

$$l_r = \frac{L}{2\pi} \cos^{-1} \left(\frac{V_{cr}}{V_{\max}} \right) \quad (\text{F.0.5-2})$$

式中 Z_c ——冲刷剖面曲线的垂直坐标值(m);由海底面量起,向上为正;

Z_{mc} ——冲刷谷的最大深度(m),可由图 F.0.5 查得;

x_c ——冲刷剖面曲线的水平坐标值(m),自节点量起, x_c 由 0 至 1.0, $x_c = 1.0$ 时相当于水平距离为 $L/4 - l_r$;

l_r ——冲刷剖面参数(m);

L ——计算波长(m);
 V_{cr} ——底沙的起动流速(m/s);
 V_{max} ——立波节点处最大底流速(m/s)。

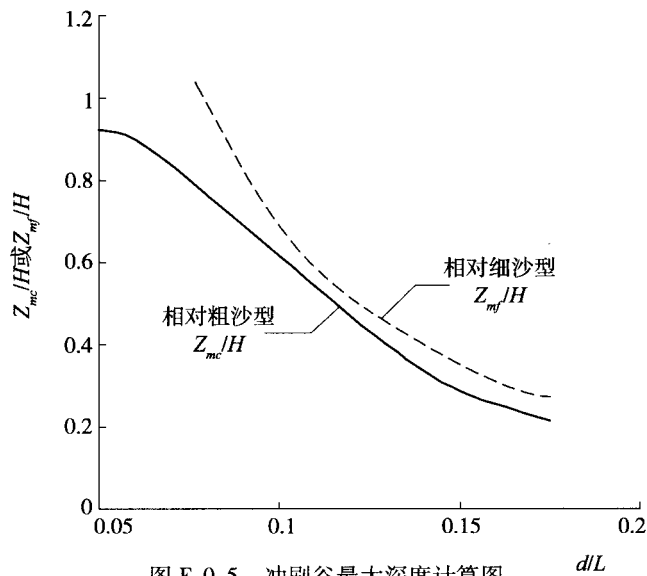


图 F.0.5 冲刷谷最大深度计算图

F.0.6 直立堤前护底块石层的宽度,可根据堤前冲刷剖面由整体稳定性验算确定(图 F.0.6),但不应小于5m。

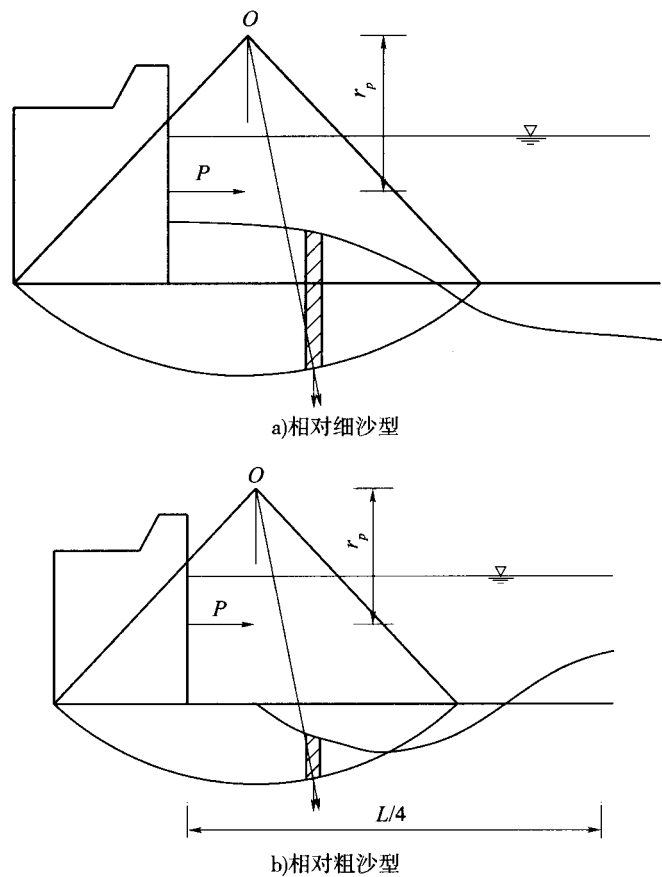


图 F.0.6 受冲刷影响的直立堤稳定分析图

O -最危险圆弧滑动圆心; P -波谷时水平波浪力的合力标准值(kN/m); r_p -波谷时水平波浪力的合力相对于圆心 O 的力臂(m)

附录 G 削角直立堤波压力计算

G.0.1 作用于削角直立堤上的波压力,可先按不削角直立堤计算波压力分布,再取作用于削角斜面上各点的波压强度标准值等于不削角直立堤在同一高程上的波压强度标准值(图 G.0.1)。

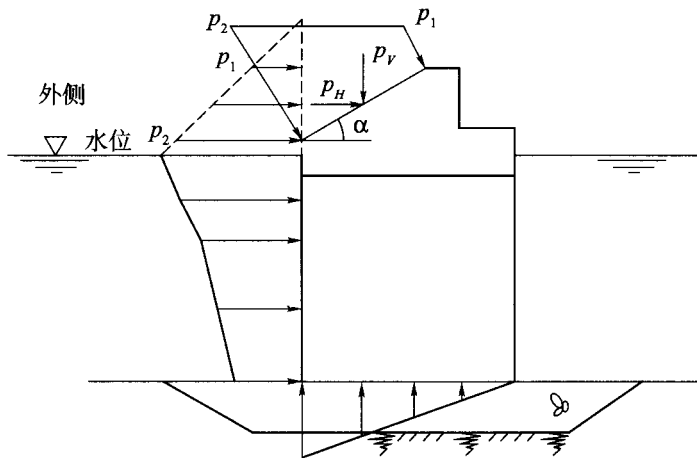


图 G.0.1 削角直立堤波压力图

α -削角斜面与水平面的夹角($^{\circ}$),可取 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$; p_1 -斜面顶波压强度标准值(kPa); p_2 -斜面底拐点处波压强度标准值(kPa); P_H -作用于削角斜面上的水平波浪力标准值(kN/m); P_V -作用于削角斜面上的竖向波浪力标准值(kN/m)

G.0.2 当有充分论证时,作用于削角直立堤上的波压力可适当减少。

附录 H 矩形开孔沉箱波浪力计算

H.0.1 对开孔矩形沉箱结构,应计算水平波浪力和垂直波浪力,水平波浪力应包括消浪室开孔前墙上的正向水平波浪力、反向水平波浪力和消浪室后墙上的水平波浪力;垂直波浪力应包括消浪室内顶板、底板上的垂直波浪力和消浪沉箱底面上的波浪浮托力。本附录的方法可用于消浪室前墙开孔率 $\mu = 20\% \sim 40\%$,消浪室相对宽度 $b_c/L = 0.078 \sim 0.266$,相对水深 $d/L = 0.207 \sim 0.355$ 和 $d/H_{1\%} \geq 2.0$,波浪不破碎、不越浪,低基床与暗基床工况。低基床的计算水深应取为基床上水深。

H.0.2 在正向不规则波波峰作用时,开孔矩形沉箱上的波浪力(图 H.0.2)可按下列规定计算:

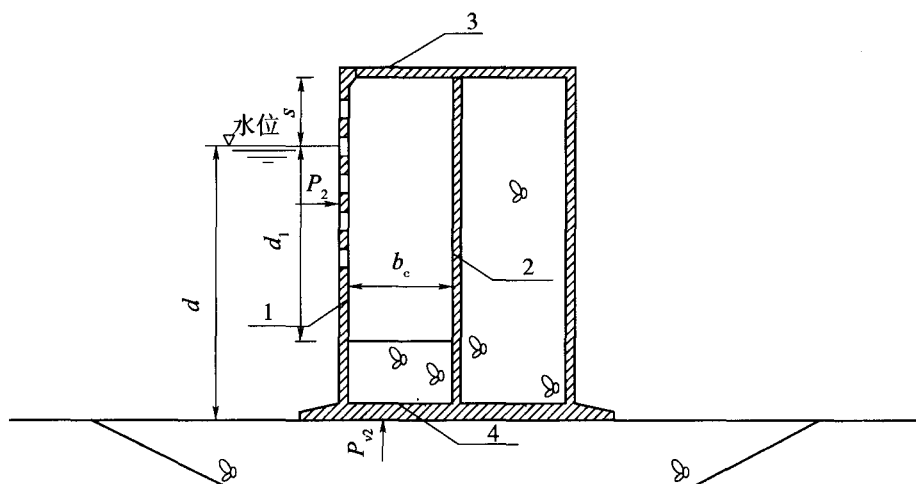


图 H.0.2 波峰作用时,有顶板开孔矩形沉箱结构上的波浪力

1-消浪室前墙; 2-消浪室后墙; 3-消浪室顶板; 4-消浪室底板

(1)作用在开孔沉箱上每延米的最大总水平波浪力及相应的力臂值按式(H.0.2-1)~式(H.0.2-4)计算。当 $s/H_{1/3} \geq 2.1$ 时,不考虑顶板影响:

$$\frac{P_1}{P_0} = 0.997 - 1.515 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right) - 0.804 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 1.312 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 0.25\mu \quad (\text{H.0.2-1})$$

$$\begin{aligned} \frac{P_2}{P_1} = & 1.247 + 0.648 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 0.573 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) - 0.349 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) + \\ & 0.082 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 + 0.215\mu \end{aligned} \quad (\text{H.0.2-2})$$

$$\begin{aligned} \frac{l_1}{l_0} = & 1.063 - 2.56 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right) + 1.019 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 0.88 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right)^2 - 1.432 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + \\ & 2.848 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right)^2 + 0.091\mu \end{aligned} \quad (\text{H.0.2-3})$$

$$\frac{l_2}{l_1} = 1.0 \quad (\text{H.0.2-4})$$

(2) 作用在开孔沉箱上每延米的最大垂向波浪力及相应的力臂值按式 (H.0.2-5) ~ 式 (H.0.2-8) 计算, 当 $s/H_{1/3} \geq 2.1$ 时, 不考虑顶板影响:

$$\frac{P_{v1}}{P_{v0}} = 0.088 + 11.154 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right) - 2.084 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) + 8.273 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) - 19.508 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right)^2 + 0.832\mu \quad (\text{H.0.2-5})$$

$$\frac{P_{v2}}{P_{v1}} = 2.134 - 0.811 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) + 0.184 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 - 7.056 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right) + 0.961 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 0.296 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 4.365 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right)^2 - 0.703\mu \quad (\text{H.0.2-6})$$

$$\frac{l_{v1}}{l_{v0}} = 1.01 - 1.917 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right) + 1.063 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 2.023 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 2.532 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right)^2 + 0.429\mu \quad (\text{H.0.2-7})$$

$$\frac{l_{v2}}{l_{v1}} = 1.0 \quad (\text{H.0.2-8})$$

(3) 当计算水位上方没有开孔或 $s/H_{1/3} < 0.5$ 时, 对式 (H.0.2.6) 计算的垂直力比值进行修正, 修正系数按下式计算:

$$\alpha = 1 + b_c/L_{1/3} \quad (\text{H.0.2-9})$$

(4) 最大垂直波浪力与最大水平波浪力的相对相位差 $\Delta t/T_s$ 按式 (H.0.2-10) ~ 式 (H.0.2-11) 计算, 当 $s/H_{1/3} \geq 1.7$ 时, 不考虑顶板的影响:

$$\frac{\Delta t_1}{T_s} = 0.009 + 0.477 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 0.099 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) + 0.324\mu \quad (\text{H.0.2-10})$$

$$\frac{\Delta t_2}{T_s} = -0.237 + 0.304 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 0.08 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) + 0.299 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) - 0.088 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 + 0.347\mu \quad (\text{H.0.2-11})$$

(5) 最大总垂直力出现时刻的总水平力值为最大水平力值乘以折减系数, 最大水平波浪力出现时刻的总垂直力值为最大总垂直力值乘以折减系数, 折减系数按式 (H.0.2-12) 计算, 力臂值不变。

$$\beta_1 = \cos \left(2\pi \frac{\Delta t}{T_s} \right) \quad (\text{H.0.2-12})$$

式中 P_1 ——无顶板开孔沉箱上的最大总水平波浪力 (kN/m), 方向与波向一致;

P_0 ——不开孔沉箱上的最大总水平波浪力 (kN/m), 方向与波向一致; 按现行行业标准《海港水文规范》(JTJ 213) 的方法计算, 波高采用 $H_{1\%}$, 波长采用平均周期对应的波长 L ;

$H_{1/3}$ ——即 $H_{13\%}$, 有效波高 (m);

$L_{1/3}$ ——有效波长 (m), 由有效周期 T_s 计算;

- d ——基床上水深(m);
 b_c ——消浪室净宽(m);
 μ ——开孔率,为开孔面积除以开孔部分上下沿之间的全部面积;
 P_2 ——有顶板开孔沉箱上的最大总水平波浪力(kN/m),方向与波向一致;
 s ——顶板底面离计算水位高度(m);
 l_1 ——无顶板开孔沉箱上的总水平波浪力对沉箱底的力臂(m);
 l_0 ——不开孔沉箱上的总水平波浪力对沉箱底的力臂(m);
 l_2 ——有顶板开孔沉箱上的总水平波浪力对沉箱底的力臂(m);
 P_{v1} ——无顶板开孔沉箱上的最大总垂直波浪力(kN/m),方向向上;
 P_{v0} ——不开孔沉箱上的最大总垂直波浪力(kN/m),方向向上,按现行行业标准《海港水文规范》(JTJ 213)的方法计算,波高采用 $H_{1\%}$,波长采用平均周期对应的波长 L ;
 P_{v2} ——有顶板开孔沉箱上的最大总垂直波浪力(kN/m),方向向上;
 l_{v1} ——无顶板开孔沉箱上的总垂直波浪力对沉箱后踵的力臂(m);
 l_{v0} ——不开孔沉箱上的总垂直波浪力对沉箱后踵的力臂(m);
 l_{v2} ——有顶板开孔沉箱上的总垂直波浪力对沉箱后踵的力臂(m);
 α ——修正系数。
 Δt_1 ——无顶板开孔沉箱最大垂直波浪力与出现最大水平波浪力的相位差(s);
 Δt_2 ——有顶板开孔沉箱最大垂直波浪力与出现最大水平波浪力的相位差(s);
 β_1 ——折减系数;
 Δt ——开孔沉箱最大垂直波浪力与出现最大水平波浪力的相位差(s),无顶板情况取 Δt_1 ,有顶板时情况取 Δt_2 ;
 T_s ——有效波周期(s)。

H.0.3 正向不规则波波谷作用时,开孔矩形沉箱结构上的波浪力(图 H.0.3)可按下列规定计算:

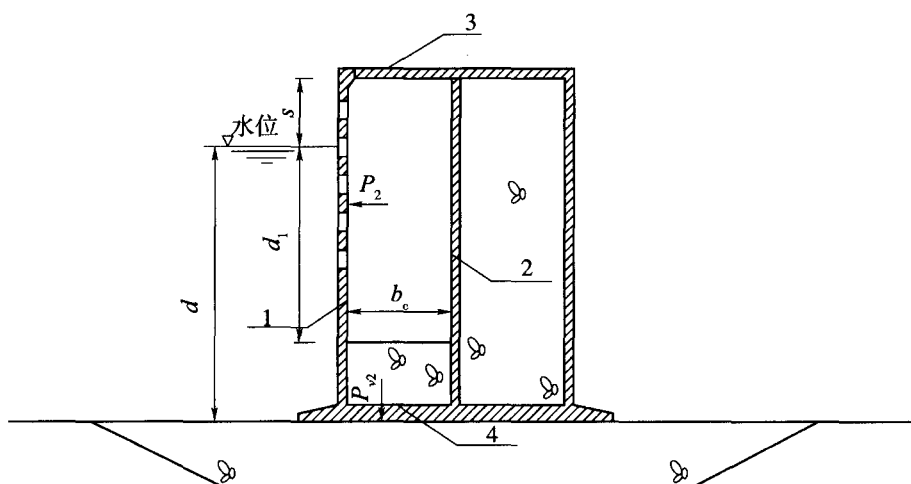


图 H.0.3 波谷作用时,有顶板开孔矩形沉箱结构上的波浪力

1-消浪室前墙;2-消浪室后墙;3-消浪室顶板;4-消浪室底板

(1)作用在开孔沉箱上每延米最大总水平波浪力及相应的力臂值按式(H.0.3-1)~式(H.0.3-4)计算,当 $s/H_{1/3} \geq 2.1$ 时,不考虑顶板影响:

$$\frac{P_1}{P_0} = 1.147 + 1.24 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right) - 2.147 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 0.844 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) - 0.41\mu \quad (\text{H.0.3-1})$$

$$\begin{aligned} \frac{P_2}{P_1} = & 1.247 + 0.648 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 0.573 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) - 0.349 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) + \\ & 0.082 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 + 0.215\mu \end{aligned} \quad (\text{H.0.3-2})$$

$$\begin{aligned} \frac{l_1}{l_0} = & 0.915 + 0.308 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right) - 0.19 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) + 0.452 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right)^2 + \\ & 2.449 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) - 6.473 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right)^2 + 0.189\mu \end{aligned} \quad (\text{H.0.3-3})$$

$$\frac{l_2}{l_1} = 1.0 \quad (\text{H.0.3-4})$$

(2)作用在开孔沉箱上每延米的最大总垂向波浪力及相应力臂值按式(H.0.3-5)~式(H.0.3-7)计算,当 $s/H_{1/3} \geq 2.1$ 时,不考虑顶板影响;无顶板开孔沉箱上的总垂直波浪力对沉箱前趾的力臂与不开孔沉箱上的总垂直波浪力对沉箱前趾的力臂的比值参照式(H.0.2-7)计算:

$$\begin{aligned} \frac{P_{v1}}{P_{v0}} = & 0.249 + 8.797 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) - 19.476 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right)^2 - 1.083 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right) - 1.034 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - \\ & 0.138\mu \end{aligned} \quad (\text{H.0.3-5})$$

$$\begin{aligned} \frac{P_{v2}}{P_{v1}} = & 0.61 + 0.535 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) - 0.125 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 + 2.424 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right) + 0.266 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - \\ & 3.618 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 7.246 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right)^2 + 0.103\mu \end{aligned} \quad (\text{H.0.3-6})$$

$$\frac{l_{v2}}{l_{v1}} = 1.0 \quad (\text{H.0.3-7})$$

(3)最大垂直波浪力与最大水平波浪力的相对相位差 $\Delta t/T_s$ 按式(H.0.3-8)~式(H.0.3-9)计算,当 $s/H_{1/3} \geq 1.7$ 时,不考虑顶板的影响:

$$\frac{\Delta t_1}{T_s} = -0.045 - 0.5 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 0.313 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) + 0.76\mu \quad (\text{H.0.3-8})$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta t_2}{T_s} = & -0.264 - 0.224 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 0.19 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) + 0.244 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) - \\ & 0.074 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 + 0.781\mu \end{aligned} \quad (\text{H.0.3-9})$$

(4)最大水平波浪力出现时刻的总垂直力值应为最大总垂直力值乘以折减系数,折减系数按式(H.0.3-10)计算,力臂值不变。

$$\beta_2 = \cos\left(1.2 \times 2\pi \frac{\Delta t}{T_s}\right) \quad (\text{H.0.3-10})$$

式中 P_1 ——无顶板开孔沉箱上的最大总水平波浪力(kN/m),方向与波向相反;

P_0 ——不开孔沉箱上的最大总水平波浪力(kN/m),方向与波向相反;按现行行业标准《海港水文规范》(JTJ 213)的方法计算,波高采用 $H_{1\%}$,波长采用平均周期对应的波长 L ;

$H_{1/3}$ ——即 $H_{13\%}$,有效波高(m);

$L_{1/3}$ ——有效波长(m),由有效周期 T_s 计算;

d ——基床上水深(m);

b_c ——消浪室净宽(m);

μ ——开孔率,为开孔面积除以开孔部分上下沿之间的全部面积;

P_2 ——有顶板开孔沉箱上的最大总水平波浪力(kN/m),方向与波向相反;

s ——顶板底面离计算水位高度(m);

l_1 ——无顶板开孔沉箱上的总水平波浪力对沉箱底的力臂(m);

l_0 ——不开孔沉箱上的总水平波浪力对沉箱底的力臂(m);

l_2 ——有顶板开孔沉箱上的总水平波浪力对沉箱底的力臂(m);

P_{v1} ——无顶板开孔沉箱上的最大总垂直波浪力(kN/m),方向向下;

P_{v0} ——不开孔沉箱上的最大总垂直波浪力(kN/m),方向向下,按现行行业标准《海港水文规范》(JTJ 213)的方法计算,波高采用 $H_{1\%}$,波长采用平均周期对应的波长 L ;

P_{v2} ——有顶板开孔沉箱上的最大总垂直波浪力(kN/m),方向向下;

l_{v1} ——无顶板开孔沉箱上的总垂直波浪力对沉箱前趾的力臂(m);

l_{v2} ——有顶板开孔沉箱上的总垂直波浪力对沉箱前趾的力臂(m);

Δt_1 ——无顶板开孔沉箱最大垂直波浪力与出现最大水平波浪力的相位差(s);

T_s ——有效波周期(s)。

Δt_2 ——有顶板开孔沉箱最大垂直波浪力与出现最大水平波浪力的相位差(s);

β_2 ——折减系数;

Δt ——开孔沉箱最大垂直波浪力与出现最大水平波浪力的相位差(s),无顶板情况取 Δt_1 ,有顶板时情况取 Δt_2 。

H.0.4 正向不规则波波峰作用时,开孔矩形沉箱结构上的波压力(图 H.0.4)可按下列规定计算:

(1)在计算水位以下,消浪室前墙分为计算水位附近、中部及底部三个区,压差分别按式(H.0.4-1)~式(H.0.4-3)计算:

$$\frac{\Delta p_s}{\gamma H_{1/3}} = -0.376 + 4.531\left(\frac{s}{H_{1/3}}\right) - 0.731\left(\frac{s}{H_{1/3}}\right)^2 - 24.317\left(\frac{d}{L_{1/3}}\right) + 80.137\left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}}\right) + 12.254\mu \quad (\text{H.0.4-1})$$

$$\frac{\Delta p}{\gamma H_{1/3}} = 2.56 + 2.534 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) - 0.393 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 - 5.946 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 8.534 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 6.505\mu \quad (\text{H.0.4-2})$$

$$\frac{\Delta p_d}{\gamma H_{1/3}} = 3.5 + 0.28 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) - 29.351 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right)^2 + 3.919 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 12.064 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 7.801\mu \quad (\text{H.0.4-3})$$

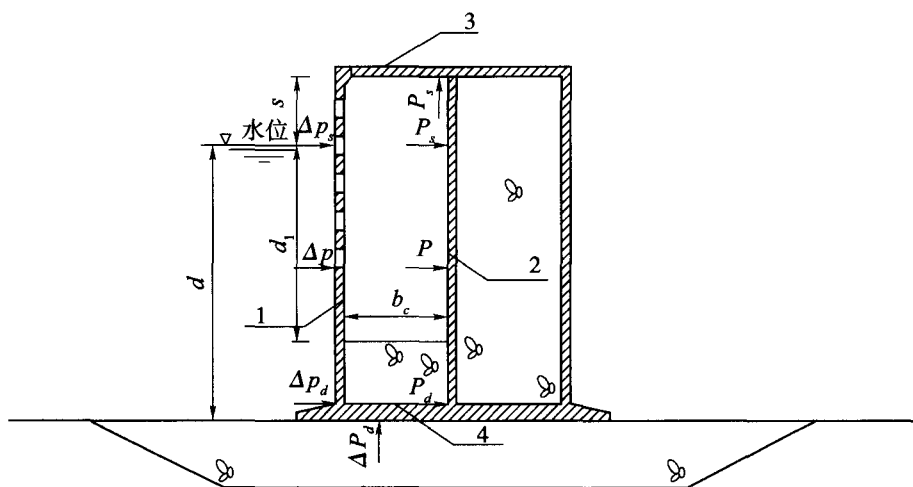


图 H.0.4 波峰作用时,有顶板开孔消浪矩形沉箱结构上的波压力和压差

1-消浪室前墙;2-消浪室后墙;3-消浪室顶板;4-消浪室底板

(2) 在计算水位以下,消浪室后墙分为计算水位附近、中部和底部三个区,压强分别按式(H.0.4-4)~式(H.0.4-6)计算:

$$\frac{p_s}{\gamma H_{1/3}} = 9.0 - 2.422 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) + 0.64 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 + 2.342 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 19.641 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 5.376\mu \quad (\text{H.0.4-4})$$

$$\frac{p}{\gamma H_{1/3}} = 6.8 - 2.991 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) + 0.618 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 - 6.685 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 2.932 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 7.197\mu \quad (\text{H.0.4-5})$$

$$\frac{p_d}{\gamma H_{1/3}} = 7.49 - 2.921 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) + 0.582 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 - 9.24 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) - 23.646 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right) + 4.14\mu \quad (\text{H.0.4-6})$$

式中 Δp_s ——计算水位附近,作用于消浪室前墙外侧与内侧的压强之差(kPa/m),方向与波向一致;

γ ——水的重度(KN/m^3);

$H_{1/3}$ ——即 $H_{13\%}$, 有效波高(m);

s ——顶板底面离计算水位高度(m);

d ——基床上水深(m);

$L_{1/3}$ ——有效波长(m), 由有效周期 T_1 计算;

μ ——开孔率, 为开孔面积除以开孔部分上下沿之间的全部面积;

Δp ——消浪室前墙的开孔孔口下沿, 作用于开孔外侧与内侧压强之差(kPa/m), 方向与波向一致;

b_c ——消浪室净宽(m);

Δp_d ——作用于消浪室前墙底部的外侧与内侧压强之差(kPa/m), 方向与波向一致;

p_s ——计算水位附近, 作用于消浪室后墙的压强(kPa/m), 方向与波向一致;

p ——作用于消浪室后墙上对应于消浪室前墙中部位置的压强(kPa/m), 方向与波向一致;

p_d ——消浪室后墙底部的压强(kPa/m), 方向与波向一致;

(3) 消浪室底板下侧的浮托力与上侧的渗透波浪力之间的压差按式(H.0.4-3)计算, 方向向上;

(4) 当计算水位上方没有开孔或 $s/H_{1/3} < 1.5$ 时, 有顶板开孔沉箱的顶板压强按式(H.0.4-4)计算。

H.0.5 在正向不规则波波谷作用时, 开孔矩形沉箱结构上的波压力(图 H.0.5)可按下列规定计算:

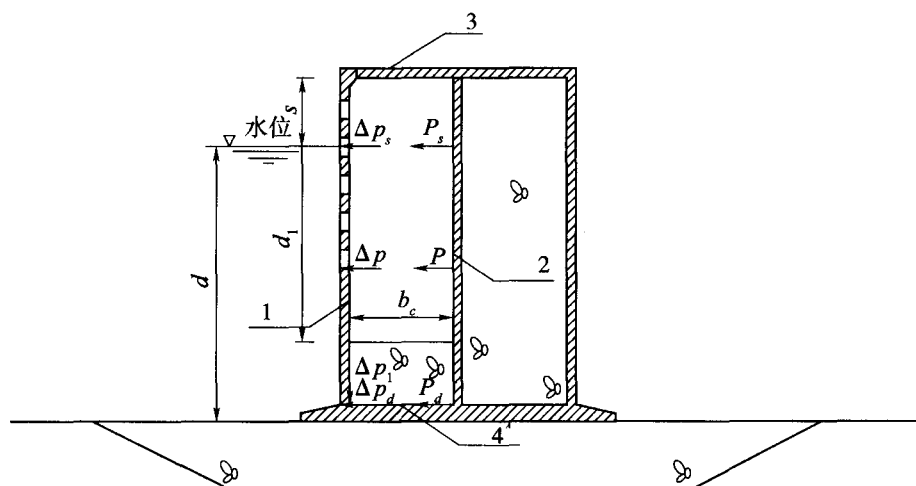


图 H.0.5 波谷作用时, 有顶板开孔消浪矩形沉箱结构上的波压力和压差

1-消浪室前墙; 2-消浪室后墙; 3-消浪室顶板; 4-消浪室底板

(1) 在计算水位以下, 消浪室前墙分为计算水位附近、中部及底部三个区, 墙外侧与内侧的压差分别按式(H.0.5-1)~式(H.0.5-3)计算:

$$\frac{\Delta p_s}{\gamma H_{1/3}} = 5.7 + 2.246 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) - 0.438 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 + 10.543 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) -$$

$$42.314\left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}}\right) - 4.959\mu \quad (\text{H.0.5-1})$$

$$\frac{\Delta p}{\gamma H_{1/3}} = 3.583 + 3.628\left(\frac{s}{H_{1/3}}\right) - 0.675\left(\frac{s}{H_{1/3}}\right)^2 - 14.29\left(\frac{d}{L_{1/3}}\right) +$$

$$42.64\left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}}\right) - 0.148\mu \quad (\text{H.0.5-2})$$

$$\frac{\Delta p_d}{\gamma H_{1/3}} = -6.6 + 0.435\left(\frac{s}{H_{1/3}}\right) + 94.841\left(\frac{d}{L_{1/3}}\right) - 237.48\left(\frac{d}{L_{1/3}}\right)^2 +$$

$$10.254\left(\frac{b_c}{L_{1/3}}\right) + 1.494\mu \quad (\text{H.0.5-3})$$

(2) 在计算水位以下,消浪室后墙分为计算水位附近、中部和底部三个区,压强分别按式(H.0.5-4)~式(H.0.5-6)计算:

$$\frac{p_s}{\gamma H_{1/3}} = 4.20 - 0.936\left(\frac{s}{H_{1/3}}\right) + 0.18\left(\frac{s}{H_{1/3}}\right)^2 - 16.272\left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}}\right) -$$

$$14.861\left(\frac{b_c}{L_{1/3}}\right) + 12.672\mu \quad (\text{H.0.5-4})$$

$$\frac{p}{\gamma H_{1/3}} = 3.3 - 0.538\left(\frac{s}{H_{1/3}}\right) + 0.101\left(\frac{s}{H_{1/3}}\right)^2 - 22.709\left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}}\right) -$$

$$12.344\left(\frac{b_c}{L_{1/3}}\right) + 12.141\mu \quad (\text{H.0.5-5})$$

$$\frac{p_d}{\gamma H_{1/3}} = 3.0 - 0.568\left(\frac{s}{H_{1/3}}\right) + 0.107\left(\frac{s}{H_{1/3}}\right)^2 - 11.328\left(\frac{b_c}{L_{1/3}}\right) -$$

$$24.589\left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}}\right) + 1.119\left(\frac{d}{L_{1/3}}\right) - 11.328\mu \quad (\text{H.0.5-6})$$

(3) 消浪室底板下侧的浮托力与上侧渗透波浪力之间的压差按下式计算:

$$\frac{\Delta p_1}{\gamma H_{1/3}} = 2.6 + 0.262\left(\frac{b_c}{H_{1/3}}\right) - 0.029\left(\frac{b_c}{H_{1/3}}\right)^2 - 4.463\left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}}\right) -$$

$$12.935\left(\frac{d}{L_{1/3}}\right) + 2.333\mu \quad (\text{H.0.5-7})$$

式中 Δp_s ——计算水位附近,作用于消浪室前墙外侧与内侧的压强之差(kPa/m),方向与波向相反;

γ ——水的重度(KN/m^3);

$H_{1/3}$ ——有效波高(m),即 $H_{13\%}$;

s ——顶板底面离计算水位高度(m);

b_c ——消浪室净宽(m);

$L_{1/3}$ ——有效波长(m),由有效波周期 T_s 计算;

μ ——开孔率,为开孔面积除以开孔部分上下沿之间的全部面积;

Δp ——消浪室前墙的开孔孔口下沿,作用于消浪室前墙外侧与内侧压强之差

(kPa/m), 方向与波向相反;

d ——基床上水深(m);

Δp_d ——作用于消浪室前墙底部的外侧与内侧压强之差(kPa/m), 方向与波向相反;

p_s ——计算水位附近, 作用于消浪室后墙的压强(kPa/m), 方向与波向相反;

p ——作用于消浪室后墙上对应于消浪室前墙中部位置的压强(kPa/m), 方向与波向相反;

p_d ——消浪室后墙底部的压强(kPa/m), 方向与波向相反;

Δp_1 ——消浪室底板下侧的浮托力与上侧的渗透波浪力之间的压差(kPa/m), 方向向下。

H.0.6 开孔矩形沉箱前波浪的反射率可按式(H.0.6-1)和式(H.0.6-2)计算, 当 $s/H_{1/3} \geq 1.7$ 时, 不考虑顶板影响。

$$K_{r1} = 0.913 - 8.422 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) + 23.581 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right)^2 + 0.18 \left(\frac{d}{L_{1/3}} \right) - 1.88 \left(\frac{H_{1/3}}{L_{1/3}} \right) + 0.504\mu \quad (\text{H.0.6-1})$$

$$\frac{K_{r2}}{K_{r1}} = 1.109 + 1.655 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right) - 5.735 \left(\frac{b_c}{L_{1/3}} \right)^2 - 0.142 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right) + 0.041 \left(\frac{s}{H_{1/3}} \right)^2 - 0.17\mu \quad (\text{H.0.6-2})$$

式中 K_{r1} ——无顶板开孔沉箱前的波浪反射系数;

b_c ——消浪室净宽(m);

$L_{1/3}$ ——有效波长(m), 由有效波周期 T_s 计算;

d ——基床上水深(m);

μ ——开孔率, 为开孔面积除以开孔部分上下沿之间的全部面积;

K_{r2} ——有顶板开孔沉箱前的波浪反射系数;

s ——顶板底面离计算水位高度(m)。

附录 J 半圆型防波堤波压力计算

J.0.1 当半圆型防波堤的堤顶高程高于计算水位 0.7 倍设计波高时,波峰作用下的波浪力可按下列规定确定。

J.0.1.1 波浪力强度可采用先按与半圆型堤相同水深、相同基床高度和相同堤顶高程的直立堤计算,再进行相位修正和角度修正的方法按下列步骤确定:

(1) 波峰作用时,直立堤上的波压力分布图形如图 J.0.1 所示,其中计算水位以上的高度、计算水位处的波压力强度以及直立墙底面处的波压力强度按下列公式计算:

$$\eta = 1.5H \quad (\text{J.0.1-1})$$

$$p_s = \alpha_s \gamma H \quad (\text{J.0.1-2})$$

$$p_b = p_u = \alpha_b p_s \quad (\text{J.0.1-3})$$

$$\alpha_s = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{\frac{4\pi d}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} \right]^2 \quad (\text{J.0.1-4})$$

$$\alpha_b = 1 - \frac{d_1}{d} \left[1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \right] \quad (\text{J.0.1-5})$$

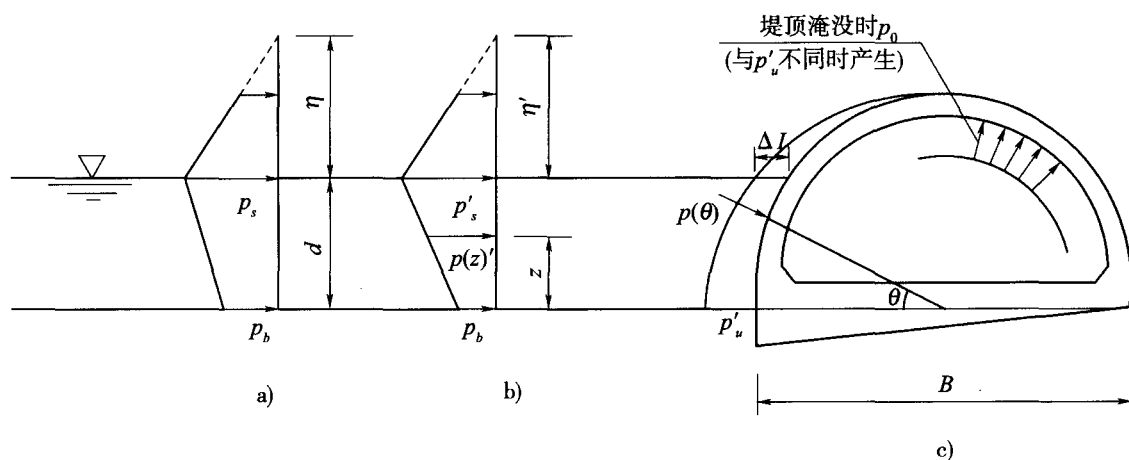


图 J.0.1 半圆型堤上的波压力

a) 直立墙波压; b) 相位修正后波压; c) 角度修正后波压

(2) 波峰作用于半圆型堤面上的波压力强度,按下列公式进行相位修正:

$$\eta' = \eta \quad (\text{J.0.1-6})$$

$$p'_s = p_s \quad (\text{J.0.1-7})$$

$$p'_b = \lambda_p p_b \quad (\text{J.0.1-8})$$

$$\lambda_p = \cos^4 \left(\frac{2\pi \Delta l}{L} \right) \quad (\text{J.0.1-9})$$

(3) 波峰作用于半圆型堤面上各点的波压力强度,其方向垂直于堤面,按下式进行角度修正:

$$p(\theta) = p(Z)' \cos \theta \quad (\text{J.0.1-10})$$

式中 η ——计算水位以上的高度(m);

H ——设计波高(m);

p_s ——计算水位处的波压力强度(kPa);

p_b ——直立墙底面处的波压力强度(kPa);

p_u ——直立墙底面海侧的波浪浮托力强度(kPa);

α_s 、 α_b ——计算系数;

d ——堤前水深(m);

L ——设计波长(m);

d_1 ——基床上水深(m);

η' ——半圆型堤上的波压力图形零点在计算水位以上的高度(m);

p'_s ——半圆型堤上的计算水位处的波压力强度(kPa);

p'_b ——半圆形构件底面处的波压力强度(kPa);

λ_p ——相位修正系数;

Δl ——半圆型堤面上的 p'_s 与 p'_b 作用点间的水平距离(m);

θ ——波压作用点的圆心角($^\circ$);

$p(\theta)$ ——经角度修正后的堤面波压力强度(kPa),即半圆型防波堤上的波压力强度;

$p(Z)'$ ——经相位修正后 Z 点的波压力强度(kPa), Z 为自半圆形构件底面起算的垂直高度,由 p'_s 和 p'_b 经内插求得。

J.0.1.2 作用于半圆型堤上总的水平波浪力和垂直波浪力可由半圆型堤面上各点波压力强度分解的水平波压力强度和竖向波压力强度分别求得。

J.0.1.3 半圆形构件底板泄压孔的开孔率小于 10% 时,作用于半圆形构件底板上的波浪浮托力强度,可按式(J.0.1-11)计算;作用于半圆形构件底板上的波浪浮托力可按式(J.0.1-12)计算。当开孔率等于或大于 10% 时,作用于底板上的波浪浮托压力强度可忽略不计。

$$p'_u = p'_b \quad (\text{J.0.1-11})$$

$$P_u = \frac{p'_u B}{2} \quad (\text{J.0.1-12})$$

式中 p'_u ——半圆形构件底面外边缘的波浪浮托力强度(kPa);

p'_b ——半圆形构件底面处的波压力强度(kPa);

P_u ——半圆形构件底面的波浪浮托力(kPa);

B ——半圆形构件的底宽(m)。

J.0.2 当半圆型防波堤的堤顶高程位于或低于计算水位,且半圆形构件的外半径与波长

之比不大于 0.085 时,波峰作用下的波浪力可按下列规定确定。

J.0.2.1 波浪力强度可采用先按与半圆型堤相同水深、相同基床高度和相同堤顶高程的直立堤按式(J.0.1-1)~式(J.0.1-5)计算,再进行相位修正和角度修正的方法按下列步骤确定:

(1)波峰作用于半圆型堤面上的波压力强度,按下列公式进行相位修正:

$$\eta' = \eta \quad (\text{J.0.2-1})$$

$$p'_s = p_s \quad (\text{J.0.2-2})$$

$$p'_b = \lambda'_p p_b \quad (\text{J.0.2-3})$$

$$\lambda'_p = \cos \left[\frac{2\pi(\Delta l)'}{L} \right] \quad (\text{J.0.2-4})$$

式中 η' ——半圆型堤上的波压力图形零点在计算水位以上的高度(m);

η ——计算水位以上的高度(m);

p'_s ——半圆型堤上的计算水位处的波压力强度(kPa);

p_s ——计算水位处的波压力强度(kPa);

p'_b ——半圆形构件底面处的波压力强度(kPa);

λ'_p ——堤顶淹没时的相位修正系数;

p_b ——直立墙底面处的波压力强度(kPa);

$(\Delta l)'$ —— p'_b 作用点与堤顶间的水平距离(m);

L ——设计波长(m)。

(2)波峰作用于半圆型堤面上各点的波压力强度,其方向垂直于堤面,按式(J.0.1-10)进行角度修正。

J.0.2.2 作用于半圆型堤上总的水平波浪力和垂直波浪力可由半圆型堤面上各点波压力强度分解的水平波压力强度和竖向波压力强度分别求得。

J.0.2.3 当半圆形构件底板泄压孔的开孔率等于或大于 10% 时,作用于底板上的波浪浮托压力强度可忽略不计,作用在半圆型拱圈里侧方向向外的波浪压力强度可按式计算:

$$p_0 = \frac{p'_b}{2} \quad (\text{J.0.2-5})$$

式中 p_0 ——作用在半圆型拱圈里侧方向向外的波浪压力强度(kPa);

p'_b ——半圆形构件底面处的波压力强度(kPa)。

附录 K 本规范用词用语说明

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

- (1) 表示很严格,非这样做不可的:
正面词采用“必须”;
反面词采用“严禁”。
 - (2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:
正面词采用“应”;
反面词采用“不应”或“不得”。
 - (3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:
正面词采用“宜”;
反面词采用“不宜”。
- 表示有选择,在一定条件下可以这样做的采用“可”。

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

附加说明

本规范主编单位、参加单位、 主要起草人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:中交第一航务工程勘察设计院有限公司

参 加 单 位:中交第一航务工程局有限公司

天津港(集团)有限公司

主 要 起 草 人:王美茹(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

谢善文(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

(以下以姓氏笔画为序)

王玉红(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

刘进生(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

李元音(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

李 伟(天津港(集团)有限公司)

吴 进(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

杨丽民(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

张树仁(中交第一航务工程局有限公司)

舒 宁(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

潘 伟(中交一航局第三工程有限公司)

总校人员名单:胡 明(交通运输部水运局)

李德春(交通运输部水运局)

张立国(交通运输部水运局)

王美茹(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

谢善文(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

刘进生(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

李元音(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

吴 进(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

张树仁(中交第一航务工程局有限公司)

章始红(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

韩瑞洁(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

管理组人员名单:谢善文(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

刘进生(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

章始红(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

潘 伟(中交一航局第三工程有限公司)

吴 进(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

中华人民共和国行业标准

防波堤设计与施工规范

JTS 154—1—2011

条文说明

目 次

1 总则	(93)
3 基本规定	(94)
3.1 一般规定	(94)
3.2 防波堤设计	(94)
3.3 防波堤施工	(94)
4 斜坡式防波堤设计	(95)
4.1 断面型式与尺度	(95)
4.2 斜坡堤计算	(96)
4.3 斜坡堤构造	(98)
4.4 抛石潜堤设计	(99)
5 直立式防波堤设计	(100)
5.1 断面型式及尺度	(100)
5.2 直立堤计算	(100)
5.3 直立堤构造	(101)
5.4 削角直立堤	(102)
5.5 开孔沉箱直立堤	(102)
5.6 坐床式圆筒直立堤	(103)
6 其他型式防波堤设计	(104)
6.1 半圆型防波堤	(104)
6.2 透空式防波堤	(104)
7 斜坡式防波堤施工	(105)
7.1 垫层与地基处理	(105)
7.2 堤身填筑	(105)
7.3 护面	(105)
7.4 上部结构	(106)
7.5 竣工尺度	(106)
8 直立式防波堤施工	(107)
8.1 基础施工	(107)
8.2 堤身	(107)

8.3 上部结构 (107)

8.4 竣工尺度 (108)

9 其他型式防波堤施工 (109)

9.1 半圆型防波堤 (109)

9.2 透空式防波堤 (109)

1 总 则

1.0.2 防波堤的结构型式,除常用的斜坡式和直立式(堤身为正砌方块、矩形沉箱,开孔沉箱,圆筒,桩式)以外,尚包括透空式,半圆型等其他型式的防波堤。近些年,半圆型防波堤在国内已有较成熟的实践经验,对透空式防波堤,虽已取得一些经验,但还处于试验研究阶段。

根据港工技术发展和国内使用经验,本规范主要对常用的斜坡堤(包括抛石潜堤)和直立堤作了具体的规定。对于开孔消浪沉箱和半圆型防波堤已在本规范附录中给出相关规定,而对圆筒式、桩式和透空式则给出原则性的规定。

条文中其他承受波浪作用的水工建筑物包括导流堤、防沙堤、围堤、护岸等。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 防波堤的轴线向港外拐折,则在凹角处将造成波浪能量的集中,该凹角处的堤身破坏最为严重。根据国外的实践经验,当外夹角大于 150° 时,波能集中的情况不显著。

3.1.2 随着科学技术的进步和社会经济的发展以及人们对物质文化的更高需求,越来越重视与环境的协调和对海洋环境的综合利用,海工建筑物的景观效果与亲水性已为更多的人所青睐,国内近些年已实施的景观防护性工程,已取得良好的技术经济和社会效益。

半圆型防波堤和墩式透空堤是根据已有的实践经验纳入本规范。

3.1.6 防波堤是边界条件复杂、风险性和重要性较高的工程,计算理论尚有不完善之处,所以规定需进行模型试验验证。

3.1.7 本条针对自然条件恶劣和建筑物重要性较高的情况规定应进行防波堤的沉降和位移等观测外,并建议有条件时可进行波浪爬高和波浪力等原体观测工作,以积累工程实际资料,总结经验,不断提高设计、施工水平。

3.2 防波堤设计

3.2.4 海浪是重力波,又是不规则的。目前的模型试验中,已经由不规则波替代了以往的规则波,这样更接近于实际。但有时也采用规则波观测直立式堤及斜坡堤胸墙波压力并验证其稳定性,以便于与不规则波作用时同步进行对比。

3.3 防波堤施工

3.3.1 防波堤处于开敞海域,施工受风、浪、流、冰、雾等的影响很大,常是增大工程造价,甚至招致工程损失的直接原因。因此,在施工前要进行现场调查,并对影响施工的主要因素进行分析,为科学合理地确定施工方案提供依据。

3.3.2 防波堤施工的施工区段、施工顺序及工序搭接长度对防波堤施工期间的安全很重要。为防止或减小因风浪特别是骤风所造成的工程损失,特做此规定。

3.3.7 现行行业标准中对水运工程所用的石料没有一个统一的定义或具体规定,近年有不少工程曾因对石料的认识和掌握存在差异而发生多次争议。故根据各地的要求,结合水运行业的习惯和相关行业标准的有关规定及解释,对防波堤常用的石料的分类、加工及规格进行了明确。

4 斜坡式防波堤设计

4.1 断面型式与尺度

4.1.1 条文中推荐的前四种断面型式主要是根据国内采用过的各种斜坡堤型式总结出来的。

宽肩台式抛石斜坡堤是上一轮规范修订中新增加的一种型式,它是一种与常规的抛石斜坡堤断面不同的斜坡堤型式。这种抛石堤的最大特点是容许堤身断面(外侧部分)在波浪作用下发生变形,直至外坡形成一个动力平衡剖面。由于构成宽肩台的护面块石空隙较大,因而当波浪通过宽肩台时,将产生较大的能量损失。

随着港口建设向水深、浪大,自然条件更为恶劣的地区发展,本次修订增加了一种大型深水斜坡堤的断面型式。一般将设计低水位以下超过 20m 的防波堤称为深水堤,其设计原则、方法和构造要求等与一般浅水堤有所不同。

4.1.3 斜坡堤的堤顶高程主要与它所掩护的港口水域要求的水面平稳程度有关。我国斜坡堤的顶高程一般说来是比较低的,一些老港口的防波堤顶通常高出设计高水位不到 1.0m。条文中推荐的堤顶高程的数值,主要是根据对我国港口的调查,并统计了近些年以来一些新建防波堤的堤顶高程而得出来的。

根据国外试验资料,当堤顶在设计高水位以上 $(0.6 \sim 0.7)H$ 时,越浪以后堤背后的波高约 $(0.15 \sim 0.2)H$ 。

胸墙顶高程根据使用要求一般按基本不越浪考虑,本条所推荐的数值主要是根据对国内一些新老防波堤设计情况的调查和统计并参考日本、荷兰等国外有关成果而得出来的。

4.1.4 斜坡堤的顶宽,除满足施工及使用要求外,还具有保证在波浪作用下堤顶结构的整体稳定性功能。

为稳定所需的堤顶宽度,主要取决于允许波浪越顶的程度。因此,它与堤顶高程密切相关。

堤顶宽度小于设计波高的斜坡堤断面是不稳定的,条文推荐的数值是综合分析国内外实际工程资料及有关模型试验成果而确定的。

4.1.5 一般在计算水位上、下约 1.0 倍设计波高范围内的护面块体受波浪的作用最剧烈,因此水下抛石棱体的顶面,设在设计低水位以下至少 $1.0H$ 处。棱体顶面的宽度与其高程、波高的大小、块石的尺度等都有关系,结合实际工程经验条文规定为不小于 2m。但对深水堤则偏小,本次修订针对深水堤棱体顶面的宽度和厚度有所增加。

4.1.7 抛填方块的断面,透浪较大,因此堤身宽度不能太窄,以免影响港内平稳。本条规

定的数值主要参考有关文献资料确定。

4.1.8 根据有关工程模型试验资料分析的结果,如胸墙前人工块体斜坡的高度较低,宽度较窄时,由于波浪在斜坡上激烈破碎等原因,作用在胸墙上的波压力有增大的趋势,对胸墙稳定不利,所以在条文中规定对此类断面的坡顶高程不宜低于胸墙顶高程,且在墙前坡肩范围内至少能安放2排2层护面块体,以形成掩护。

4.1.9 宽肩台斜坡堤的肩台顶面高程,一般在设计高水位以上1.0~3.0m处;肩台宽度则根据对国内外11座防波堤统计的结果,推荐采用2.3~2.9倍设计波高值。由于波高小时,一般无需采用宽肩台型式,另一方面若肩台太窄又不能起到宽肩台式的作用,因此控制最小为6.0m。

4.2 斜坡堤计算

4.2.2 一般来说,设计波高总是和较高水位同时出现的,因为我国沿海大的波浪主要由台风或寒潮所引起,而台风或寒潮同时也会产生较大的风增水。因此持久状况下设计波高与设计高水位或极端高水位组合的情况是比较合理的。

在设计低水位时,一般波高要比高水位时小,因此规定当有推算出来的外海设计波浪时,要对设计低水位另作波浪折射分析,而得出与之相应的设计波高。但若只有建筑物附近不分水位统计出来的重现期为50年的波浪,则只能与设计高水位采用相同的设计波高,而稍偏于安全。

由于设计波高通常是由向岸大风所产生的,而极端低水位则通常是离岸大风造成较大的风减水所致,故两者不能组合。

对未成型的斜坡堤进行施工期复核作为短暂组合,其计算水位采用设计高、低水位即可,波高的重现期根据实际工程的调查,一般采用2~5年。

4.2.3 斜坡堤顶部胸墙的稳定计算采用以分项系数表达的设计表达式,其分项系数的确定系依据对典型断面胸墙稳定性(抗滑和抗倾)的可靠度分析。在可靠度分析中,胸墙所受的波浪荷载(水平波浪力及波浪浮托力)仍采用《海港水文规范》(JTJ 213—98)给出的计算公式,波浪要素则取自秦皇岛港23年的波浪观测资料。对波浪力的统计分析结果表明,波浪荷载的年极值符合极值Ⅰ型分布,而由极值Ⅰ型得出的50年荷载极大值分布仍为极值Ⅰ型分布。对水平波浪力与波浪浮托力之间进行的相关分析,两者之间相关程度很高(相关系数 ρ 值接近于1)。所以,对所有胸墙的可靠度分析都考虑了水平波浪力与波浪浮托力间的相关性。

根据安全系数与可靠指标之间的关系确定目标可靠指标值,再根据可靠指标与分项系数之间的关系确定与目标可靠指标相对应的分项系数。由此可见,分项系数的确定基于可靠度分析,因此,以分项系数表达的胸墙设计表达式是合理的。

4.2.4 本条内容与《海港水文规范》(JTJ 213—98)中的有关条文规定是一致的。国内外确定护面块体重量的公式很多,本规范仍采用目前国内外常用的赫德逊(Hudson)公式。

(1)根据国内外的有关研究成果和我国实际工程的经验,对不同的护面块体和构造型式规定了不同的容许失稳率 n 。这种规定考虑了各种护面抵御波浪的能力,包括块体

间的嵌固作用、损坏后的影响和修复的难易程度等。

(2) 稳定系数 K_D 是根据国内外有关试验资料和工程实践经验而确定的,其中安放块石的 K_D 数值,国外试验时为安放 2 层,根据国内工程使用经验改为安放 1 层。本次修订对扭工字、扭王字块体的 K_D 值做了调整,考虑与国际接轨,且又不与原规范变化太大及水下施工的难度和不利因素,统一取 K_D 为 18, n 为 0%,对护面块体适当增加一些安全储备。

4.2.5 本条给出了宽肩台斜坡堤护面块石重量的取值标准,是根据国外有关资料得出的。但在实际工程中不一定取最小值,而可取当地能开采到的大块石。

4.2.6 本次修订补充了关于斜向波作用时的计算方法,采用大连理工大学单向不规则波作用时的试验成果,计算方法和公式考虑了波向的不稳定因素。但对扭工字块体护面而言,由于国内外试验成果在规律性方面尚有差异,因此暂不考虑斜向波作用时对其稳定系数的调整。

4.2.9 波浪作用下砌石护面的破坏特点是坡面的法线方向内外压力差使块石脱出失稳。确定砌石护面的稳定性,一般按护面层厚度控制。

(1) 干砌块石护面计算,根据工程实践,当 m 较小时,计算值偏大。根据实测波浪浮托力对原公式中的系数 K_{md} 作了修正。

(2) 干砌条石护面厚度的计算公式,原方法规定适用于 $m = 0.6 \sim 2.0$,经计算当 m 由 1.5 变至 2.0 时,砌石厚度需增大,但目前国内外较多的研究成果与此趋势不同,且试验资料中 2 种不同趋势都出现,因此,对 m 的适用范围限定为 $m = 0.8 \sim 1.5$ 。

4.2.10 本条文是在综合分析了国内外有关标准和国内近些年实际工程模型试验资料和专题试验研究成果后,将斜坡堤外侧水下抛石棱体的稳定重量增加了,即将原条文的 $1/5 \sim 1/10$,修订为 $0.3 \sim 0.4$ 。

4.2.11 通过国外考查和专题研究论证,并考虑到深水堤施工的难度和风险性,做出的规定。

4.2.13 当堤顶允许越浪时,越顶的水体将直接冲击到内坡坡肩附近的护面块体上。根据近年来有关工程及研究试验成果,原规范 4.2.14 条将外坡护面块体延伸至内坡设计低水位高程处常偏于危险,本次修订为将外坡护面块体延伸至 $0.5 \sim 1.0$ 倍设计波高处以维持稳定。

4.2.14 国内外试验表明,当堤顶约在设计高水位以上 $0.05 \sim 0.2$ 倍设计波高时,堤顶块体的稳定性最差。根据国内外有关试验成果,认为堤顶块体重量取为外坡块体重量的 1.5 倍以上为宜。

4.2.15 堤头部分的块体重量增大 $20\% \sim 30\%$,它与国外有关资料所得的结论基本一致。关于波浪处于破碎范围,参考有关文献的规定,要求堤身和堤头部分块体重量均相应再增加 $10\% \sim 25\%$ 。

4.2.16 栅栏板的面积较大,因此在波浪作用时,不是在板的所有位置都同时出现最大波浪力。一般沿堤的轴线方向,力的大小只随时间变化;而在沿斜坡的坡面方向,波浪力只在某一位置出现最大值,在其上下两侧则逐渐减小,所以对于同样面积的栅栏板,长边

(沿斜坡方向) a_0 取得大一些,短边(沿堤轴线方向) b_0 取得小一些,对板的稳定是有益的。

从栅栏板的稳定角度看,虽然总面积大些是有益的,但从栅栏板本身结构强度及施工吊装设备能力来考虑,板的平面尺度又不宜过大,条文中给出了 a_0 、 b_0 与堤前设计波高 H 的关系供设计选用。

栅栏板护面是以其条形空隙起消浪作用的。空隙大一些,对消浪是有益的,但从板的结构强度方面考虑,空隙率 P 又不宜过大。目前工程上根据强度计算得到的结果, P 为30%~40%,而试验中采用33%~39%。由实验观测得到的结果,在此范围内的空隙率变化,对板的稳定及波浪爬高无明显影响,本规范取 $P'=37\%$,据此得到相应的栅栏板细部尺度。

栅栏板护面是以其大面积的整体性来抵御波浪作用的,对板的稳定性有影响的特征值有 a_0 、 b_0 、 P' 和厚度 h ,但对板的稳定性和混凝土用量起主要作用的是 h ,因此取 h 为主要特征值。

栅栏板的厚度 h 的经验公式是通过对板的稳定受力分析、板块稳定的量纲分析以及模型试验资料分析得出的。

作用在栅栏板上的最大波浪压力强度设计值的经验公式是由模型试验得出的。

采用栅栏板护面时的设计波高,一般不超过4.0m,否则板的平面尺度或厚度较大,增加施工难度,且垫层块石大也难以理坡,对栅栏板的稳定不利。

4.2.17 根据实际情况,本条将扭王字块体个数及混凝土量计算公式中的形状系数 c 从1.36修订为1.30。对某些工程在肩台以上采用规则安放扭王字块体的型式虽然景观好一些,但相同情况下波浪爬高及越浪大,块体的数量和混凝土用量都相应增加了,因此,本规范未予推荐。

4.2.20 护底块石的稳定重量,主要根据模型试验验证及实际工程经验而得出的。但对处于破碎波区,堤前护底块石重量适当加大。

4.2.21 作用于斜坡堤顶部胸墙上波浪力的计算方法(有块体与无块体掩护)按《海港水文规范》(JTJ 213—98)中的方法进行计算。胸墙前有块石或人工块体形成全掩护时,其波浪力的折减系数,根据有关试验成果大致为0.6~0.7。

4.3 斜坡堤构造

4.3.1 当堤心石采用开山石或石碴等代用材料时,为防止在波浪、水流作用下填料的散失,按反滤的原则规定在代用材料与护面垫层间设置足够厚度的10~100kg块石。

根据国内外现有深水堤的工程实践,本条修订补充了开山石的规格在300kg以下,水深较大时放宽至800kg以下。

4.3.2 护底的作用是防止堤前的地基土壤被冲刷,造成护面层和抛石棱体的下滑或局部坍塌,从而影响堤的稳定性。条文中护底块石层的厚度和宽度,以及在护底块石层下铺设碎石层的厚度是实际工程中一般采用的数值。

4.3.3 本条的规定是根据实际工程经验而提出的。在模型试验中发现坡脚大块石下的

填沙被冲刷,而形成一个淘刷坑。在把坡脚前的护底块石层伸入水下棱体或护面大块石的底面时仍有淘刷。这说明坡脚大块石下的流速可大于堤前的底流速,所以在条文中规定坡脚大块石不得直接抛于可冲刷的地基上。

4.3.4 对随机安放扭工字块体,难以达到全部块体保持垂直杆件在堤坡下方,但至少应有 60% 以上的块体的垂直杆件在堤坡下方,这样块体的抗倾力矩较大,否则在波浪作用下将会有一些块体沿坡滚动。

4.3.5 混凝土护面块体一般不需配置钢筋。试验表明,空隙率大、消浪性能好的长细型混凝土块体,特别是扭工字块体,在设计波浪作用下,块体越大,其内应力就越大,因此,大块体比小块体更容易断裂。根据对国内外实际工程块体应用情况的综合分析,本规范规定 20t 以上的扭工字块体和 40t 以上的扭王字块体和四脚锥体采取配置钢筋或调整腰杆粗细等其他加强措施,以增加块体的抗拉能力。

4.3.6 浆砌块石护面层的破坏,主要由于堤身的不均匀沉降,而使护面层开裂;或由于在波浪作用下护面层后水位上升,而在退波时因泄水不畅,致使护面层在水压作用下局部掉落,并逐渐发展。因此浆砌块石护面层应设置变形缝和排水孔。条文中提出的数值要求是总结实际工程经验得出的。

4.3.7 国外一般斜坡堤的堤头仍为斜坡结构。但是由于两个斜坡堤堤头形成的口门,其通航的有效口门宽度为两堤头的坡脚间的距离,而在考虑港内波浪绕射时的口门宽度,却为两堤头的堤坡在设计水位处的距离,后者显然要大于前者。上述两种口门宽度一致时,采用直立式堤头对港内水面平稳程度而言比较有利。

国内外工程实例以及模型试验,均证明堤头段内外两侧的护面块体的稳定性要比堤身外坡差,这主要因为越过堤头的波浪破碎水流将直接把护面块体从堤坡上向外推,而比波浪对堤身护面块体的作用强,所以对堤头段进行加强处理。

4.3.8 ~ 4.3.10 一般在防波堤不同型式断面的连接处、轴线向外拐折的凹角处建堤的堤根部位均容易产生波能集中,因此规定采取加强措施。

4.4 抛石潜堤设计

4.4.1 通常将潜堤后的传递波高系数表示为参数 h_c/H 的函数,潜堤时 h_c 为负值。

潜堤的消浪效果取决于传递波高系数的大小,根据对国内外有关规则波与不规则波模型试验结果的分析 and 比较,条文中的传递波高系数是采用不规则波的方法得出的。

4.4.2 根据国外不规则波对潜堤作用的模型试验结果,潜堤抛石护面的稳定系数 N_D ,主要与参数 $\frac{d+h_c}{d}$ 以及表示损坏程度的参数 S 有关。 $S=2$ 表示护面开始损坏; $S=5$ 表示中等程度损坏; $S=8 \sim 12$ 表示严重损坏(露出垫层块石,不可接受)。虽然斜坡坡度对不越浪抛石堤的护面稳定性有很大影响,但对潜堤来说,由于波浪的打击集中于堤顶部位,对斜坡的作用较轻,因此在块石稳定重量计算公式中没有有关斜坡坡度的因子。

当 S 取为 2 时,即为条文中 N_D 的表达式。

5 直立式防波堤设计

5.1 断面型式及尺度

5.1.1 我国直立堤的墙身结构以矩形沉箱和正砌方块结构最为常见。削角直立堤上的水平波压力较全直立墙时小,且作用在斜面上的波压,其垂直分力还对堤的稳定有利,故其断面比较经济。弧面胸墙则可减少波浪的爬高。

当直立堤前产生的破碎波浪较大时,常采用在堤前堆放人工块体的办法以减少作用在直立堤上巨大的破波冲击压力,保持直立堤的稳定。

一般防波堤水深多在 20m 之内。目前国外建造超过 20m 水深的防波堤,以日本居多,最深的也在日本,如釜石湾 -63m 水深的梯型沉箱混合堤;国内已建的广东省某工程深水堤为 -30m 水深的矩形沉箱混合堤。现拟建的浙江省岱山深水堤为 -50m 水深的沉箱混合堤,后改为斜坡堤。深水堤的建造也顺应今后建港的发展趋势,本规范也将其予以补充。

5.1.2 我国建成较早的直立堤多为允许越浪的,其堤顶高程均较低。若按不越浪考虑时,则又很高(可达计算水位以上 1.2 ~ 1.5 倍波高)。高出设计水位所推荐的堤顶高程数值是根据我国新、老防波堤的现状统计而得出来的,尚能满足使用的要求,根据国外试验资料,直立堤堤顶在计算水位以上 $(0.6 \sim 0.7)H$ 时,越浪以后堤背后的波高约为 $(0.1 \sim 0.2)H$ 。

5.1.4 直立堤抛石基床外肩和内肩的宽度,是根据国外有关规范规定和国内明基床直立堤的统计结果给出的。

条文中墙身宽度是指“计算宽度”,也就是说若因使用上的要求或为减少基床应力而将墙身加宽,则基肩宽度一般不用作相应的增加。

5.1.6 根据经验,条文中对各类土地基上的抛石基床厚度的推荐值均为最小值,其值与国外有关规范的规定基本一致。

5.2 直立堤计算

5.2.1 按照本条规定,以设计波高(对持久状况,一般重现期为 50 年;施工期为 5 ~ 10 年)及其对应的波长确定的波浪力作为作用的标准值。

在确定以下各条中有关波浪力的分项系数时,均采用本条规定的波浪力标准值。本条补充了直立堤在波浪斜向作用时波浪力可以折减的规定,折减公式参考国内外的试验资料,给在附录 A 中。

5.2.6 本条给出直立堤抗倾稳定性极限状态的设计表达式。根据对实际工程以及典型

直立堤断面的核算结果,可以得出持久组合抗倾计算时水平波浪力和波浪浮托力的分项系数 γ_p 和 γ_u 。为与抗滑稳定计算时的 γ_p 和 γ_u 协调,在条文式(5.2.6)中又采用结构系数 γ_d 作调整。调整后 $\gamma_d = 1.25, \gamma_p = 1.3, \gamma_u = 1.3$ 。

施工期复核时,将采用与波高重现期为 5 ~ 10 年相应的倾覆力矩代表值。对于短暂组合时的 γ_p 和 γ_u 系比照 87 版规范中校核组合时 K 值的降低作相应的调整。

5.2.8 直立堤抗滑稳定性极限状态的设计表达式。根据对实际工程以及典型直立堤断面的核算结果,可以得出抗滑计算时水平波浪力和波浪浮托力的分项系数 γ_p 和 γ_u 分别为 1.3 和 1.6,与现有工程实例相接近,统一采用 $\gamma_p = 1.3, \gamma_u = 1.3$ 。

5.2.9 本条分别按明、暗基床的两种情况,给出了沿基床底面抗滑稳定性极限状态的设计表达式。当沿基床底面滑动时,与沿堤底滑动时相近,因此 γ_p 和 γ_u 等仍可用条文中表 5.2.6 中的数值。

5.2.14 地基沉降的计算,一般规定要考虑基底垂直附加压力,基底水平力和边载三部分荷载的作用。鉴于水平力对沉降的影响较小,作用在直立堤上的水平力主要是波浪力,不是长期荷载,且过去设计中也均不考虑,因此本条文中规定可不考虑水平力引起的沉降值。

5.2.16 附录 E 关于明基床基肩和坡面块体的稳定重量计算图是根据加拿大的试验结果绘制的。稳定系数 N 与 d_1/d 、 d/L 和 H/L 有关。该试验报告中认为波陡 H/L 的影响较小,可忽略;又认为在水深较大的情况下,相对水深 d/L 的影响也是次要的,但国内一些工程试验的结果表明,若不考虑 d/L 对 N 值的影响,有时计算结果明显偏大,因此在附录 E 的计算图中根据原试验数据考虑了 d/L 的影响。试验表明肩宽的变化对 N 值的影响不大。

实际工程中明基床护肩块石常采用安放的形式,参照斜坡堤护面块体稳定重量的计算公式,当失稳率 n 均为 0% ~ 1% 时,按安放与抛填块石重量的比值即可得到安放块石的稳定重量。

当明基床的基肩和坡面上采用安放四脚空心方块护面时,参考了一些试验数据,发现其规律与块石是一致的,只要在护肩块石稳定重量的计算公式中,把 γ_b 改为混凝土的重度,并乘上当斜坡护面块体失稳率 n 均为 0% ~ 1% 时,抛填块石与安放四脚空心方块 K_D 的比值,即可得到明基床安放一层四脚空心方块的稳定重量。

当坡度为 1:1.5 时,也是参照斜坡堤的计算公式,对于块体的稳定重量,近似乘上 $2.0/1.5 = 1.33$ 的改正系数。

对于直立堤前采用抛石棱体作为护脚的情况,与直立堤明基床的情况是不同的,因此不能套用附录 E 的计算图。

对于深水堤,由于水下条件恶劣,基肩和护坡已不再适宜规则摆放(如栅栏板、四脚空心方块)型式的人工块体;有关试验结果表明,如采用上述查图的方法,采用随机安放的块体取与四脚空心方块相同的重量,尚能够满足护肩和护坡稳定性要求。

5.3 直立堤构造

5.3.1 直立堤的抛石基床一般都用重锤进行夯实处理。近年我国北方逐渐推广爆夯工艺。

5.3.3 直立堤的上部结构应有足够的刚度和良好的整体性,否则易被波浪所击毁,对于方块墙身来说,还要依靠上部结构使整个堤身断面连成整体,因此上部结构的刚度和整体性就更为必要了。

近年来随着起重设备能力的增大,不少工程为减小现浇混凝土量,常把上部结构做成预制构件,在这种情况下,预制构件相互之间以及它们和墙身之间应有可靠的连接,即成为装配整体式。

5.3.4 由于在砌方块墙时不可能使得墙身中的每一块方块都被其上一层方块压住,当方块重量不足时,未被压住的方块有可能被波浪所吸出。因此条文规定了方块的最小重量。

实践证明空心方块中灌混凝土,对于保证堤身的整体性而言,是一种有效的构造措施。

根据经验,重力式方块结构的层数一般不超过 7~8 层。对于防波堤而言,受波浪的振动荷载的作用,层数太多更不易保持整体性,故建议超过 7 层时,也可采用空心方块中灌混凝土的型式。

5.3.9 目前国内直立堤沉箱间的接头型式大都采用平接,但在波浪经常较大或堤后兼做码头和靠泊的情况,一般采用对接的型式以减少缝隙间的透浪,并可增加相邻沉箱的整体稳定。

5.3.10 本条文所指变形缝既是温度缝又是沉降缝。对于沉箱结构,除非为岩基且基床较薄,否则若每两个沉箱设置一道变形缝,两沉箱间的上部结构极易出现裂缝,因此在条文中明确一般将沉箱间的垂直缝均作为变形缝。

5.3.11 堤头处的波浪、水流均较紊乱,而且波浪对直立堤堤头段明基床护面块体的作用,类似于波浪对斜坡堤堤头护面块体的作用,即比堤身段为恶劣,因此规定堤头段的基肩部位需加强,明基床内外侧的边坡需放缓,护底块石重量也应加大。

5.4 削角直立堤

5.4.1 模型试验中,比较了削角斜面的坡角 $\alpha = 40^\circ, 35^\circ, 30^\circ, 25^\circ$ 时的堤身抗滑稳定性和堤前反射波的情况,以 $\alpha = 25^\circ$ 和 30° 时的效果较好。

5.4.2 本条给出削角胸墙直立堤抗滑稳定性极限状态的设计表达式。式中的波浪水平、垂直和浮托力的分项系数($\gamma_P, \gamma_V, \gamma_u$)取值,采用《削角直立堤可靠度分析方法研究报告》中的有关成果。

5.4.3 本条给出削角胸墙直立堤抗倾稳定性极限状态的设计表达式。式中的 $\gamma_P, \gamma_V, \gamma_u$ 各分项系数取值已通过抗力分项系数进行了调整。

5.4.4 附录 G 关于削角直立堤波压力的计算方法是半经验半理论的,其结果稍偏于保守。有关研究结果表明,由于直立堤上部胸墙削了一个斜角,所以波压力比照不削角时的直立堤要减小一些,波压力折减系数大约为 0.9,但波浪爬高要大一些。

5.5 开孔沉箱直立堤

5.5.1 ~ 5.5.4 开孔沉箱为一种低反射率的新型防波堤结构。国内外的研究结果均表

明,开孔沉箱结构反射率的大小与沉箱内消浪室的大小(1个或多个)、开孔面积、开孔部位、上部结构及堤前水深和波浪要素等有关。开孔沉箱各部分的构造根据消浪目的和波浪条件确定。

一般说开孔率小则反射率大,消浪效果差。但开孔率如大于 50% 时则不但影响沉箱面板结构强度,且消浪效果也并不会增加,国内外工程所采用的开孔率多在 20% ~ 40% 左右。

试验证明在开孔部位和开孔率相似的情况下,开孔型式对消波效果并没有显著的影响,反射率的差值一般不大。

有关试验结果表明:当消浪室的相对宽度 $b_c/L = 0.078 \sim 0.266$,开孔率在 20% ~ 40% 时,消浪效果最佳,墙前反射率约为 20% ~ 60%。

5.5.5 附录 H 关于开孔沉箱波压力的计算方法,采用大连理工大学《开孔沉箱结构物波浪力计算方法确定》专题研究报告的主要成果。

5.6 坐床式圆筒直立堤

5.6.2 圆筒一般由钢筋混凝土制成。筒身为整体,当受起重能力限制须分节预制时,分节高度太小则筒圈纵向刚度小,容易开裂。圆筒的高度决定于建筑物的水深和地基条件。筒顶标高一般在施工水位以上(有上部结构时);圆筒的直径主要根据结构的稳定性、地基承载力和变形计算确定。目前工程上所采用的圆筒直径最小为 5m,一般 8 ~ 15m,最大已达 21.5m。圆筒直径与建筑物高度之比,原苏联有关文献资料中多采用 0.7 ~ 0.9;圆筒的壁厚从结构受力、耐久性、构造和施工条件等综合考虑,一般采用 300 ~ 400mm。

5.6.3 ~ 5.6.5 作用于圆筒墙面上波压力,目前尚未有统一的方法,它不同于平面直立墙,国内外有关试验成果多表明圆筒墙面上的总波浪力要比平面直墙小,当 $H/L = 1/10 \sim 1/30$ 时,其总波浪力约比直墙小 5% ~ 15%。为安全起见,确定作用于圆筒墙面上的波压力近似按平面直立墙但予以适当折减,圆筒底面不考虑浮托力。

坐床式圆筒结构的稳定性计算与重力式结构的不同之处在于:

(1) 抗滑计算中其基底的摩擦系数为圆筒混凝土与基床之间以及填料与基床之间摩擦系数的综合值。当填料为块石时一般为 0.65 ~ 0.70;

(2) 抗倾稳定计算时,其圆筒内部填料的重量需扣除从筒底漏出的那部分重量。

5.6.6 由于圆筒结构本身刚度较小,根据受力情况或施工需要,局部采取加强措施,如顶部加圈梁等。此外,对座落在基床顶面上的圆筒,为增加其抗倾稳定性和减少底脚下的基床应力,一般在圆筒底脚处增设内、外趾。

5.6.8 圆筒内部回填材料的特性和填料的密实度,将直接影响圆筒的抗倾稳定性。试验表明,当筒内填料密度减少时,则填料坍落拱高迅速增大,其抗倾稳定性也随之降低,因此,筒内填料的夯实极为重要。

6 其他型式防波堤设计

6.1 半圆型防波堤

6.1.1 半圆型防波堤是一种轻型结构,受力性能好,结构型式简单,施工方便,安放后即可维持自身稳定,后续工序少,对砂石料来源困难,软基深厚的地区具有较好的适用性。因此根据国内引进、研究和推广应用的实践经验,本次修订将半圆型防波堤的结构型式纳入本规范。

6.1.2 半圆型防波堤虽然受力性能优于其他型式的防波堤,但其波浪爬高相对较大,因此规定了相对较高的堤顶高程。

6.1.4 半圆型防波堤波压力的计算,目前研究比较多的是以合田良实计算直立堤的公式进行相位和角度修正,提出了计算出水堤时半圆形构件上的波浪力经验公式;在此基础上,国内进行了比较系统的数学模拟和试验研究工作,并提出了半圆型堤在淹没情况下的计算公式,对半圆型防波堤的波压力计算进一步完善和改进。

本次修订对半圆型防波堤可靠度还进行了专题研究,提出了波浪力的分项系数。

6.2 透空式防波堤

6.2.1 根据波浪理论研究和实验表明,波浪的能量约 90% 集中在水体表层水深等于 2 ~ 3 倍波高范围内,这样只有在水深较大、波浪较小且以风浪为主的短周期波的条件下,建造伸入水中一定深度的上部结构(挡浪板),其消波效果才较显著。条文中的“水深较大,波高较小而波陡较大”是指 $d/H \geq 2 \sim 3$ 、 $d/L \geq 0.25$ 。

6.2.3 条文中的公式为前苏联拉帕建议的经验公式,其结果与国内的试验验证结果较为符合。

利用上式计算外侧挡板透浪系数时,用原始波要素代入,计算内侧挡浪板时,波高值取用被外侧挡浪板消减后的值。

6.2.4 本条文是根据深水薄板式防波堤的理论分析给出的。

6.2.5 挡浪板入水深度确定以后,桩基透空堤各部位的波压力主要是指外侧挡浪板的内外侧波压力、内侧挡浪板的内外侧波压力以及内外侧挡浪板之间各梁、板的侧向力和上托力,这些部位的波压力目前尚未有成熟的计算公式,故需要采用模型试验确定。

6.2.6 ~ 6.2.8 沉箱墩式透空堤对强化港内外的水体交换、降低口门流速,减少堤前反射系数和改善周围环境、节省投资都具有比较好的效果。

但由于波浪水流对该种透空堤的作用较为复杂,实际工程较少,设计时,需通过模型试验进行相关论证。

7 斜坡式防波堤施工

7.1 垫层与地基处理

7.1.1 砂垫层用砂的粒径、级配、含泥量和砂垫层的铺设范围及厚度对砂垫层的排水效果影响较大。水下砂垫层的铺设受施工区域的水深、水流和波浪的影响很大。为保证垫层铺设的范围和厚度符合设计要求,减少施工损耗,防止已铺砂垫层的流失,条文根据现行行业标准《港口工程地基规范》(JTJ 250)的有关规定和工程施工的经验对水下砂垫层的施工控制要点提出了要求。

7.1.4 ~ 7.1.5 塑料排水板、振冲碎石桩和挤密砂桩等的施工要点和质量标准,在现行行业标准《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239)和《港口工程碎石桩复合地基设计与施工规程》(JTJ 246)中已有明确规定,因此条文指出,这些工程的施工应符合上述规范的有关规定。

7.2 堤身填筑

7.2.1 据调查,确有少数工程因抛填程序不当、加荷速率控制不严、观测不及时,而使堤身产生过大不均匀沉降或酿成滑坡事故。为避免类似问题发生,条文对软土地基上斜坡堤堤身抛填施工的顺序、加载速率及间隔时间等进行了原则规定。尤其是抛填施工的加载速率控制,在施工中要按照设计要求对堤身的沉降、位移进行观测或监测,并应根据观测结果指导施工。

7.2.5 条文中“堤心石暴露长度不宜大于 50m”是根据一些工程的经验教训规定的。在施工中应具体根据施工区域的自然条件、采用的船机设备及其施工效率来确定。

7.2.6 堤身抛石、理坡、安放和人工铺砌的允许偏差仍保留原规范的规定值。但是对这些偏差的检查基准进行了修改,明确地提出按“施工控制断面线”进行检查,其原因是:软土地基上的防波堤,在施工期及使用期均会产生较大的沉降量。为保证堤身的最终顶标高和断面满足设计要求,对于这些可能产生的沉降量,往往需要在施工过程通过预留沉降量来弥补。因此,在施工过程中应按施工控制断面来进行控制和验收。

7.3 护 面

7.3.2 条文中的“块体应与水下棱体接触紧密”是指护面块体应“蹬紧”水下棱体,以防止护面块体下滑而造成护面层“拔缝”。在施工中应先施工压脚棱体,再安护面块体,同时要坚持自下而上的安装方法,才能有效地保证块体与棱体接触紧密。

7.3.3 ~ 7.3.4 为对扭工字、扭王字块体安放的要求。从扭王字块体应用的实际效果看,

规则安放没有定点随机安放好,正向放置没有斜向放置好。因此本条规定扭王字块体宜采用定点随机安放。条文中“使块体的一半杆件与垫层接触”,是指块体肢杆中有一个肢杆和另一肢杆端同时“着地”,在吊放中辅以人工扶位,基本就可做到。

7.3.5 四脚空心块四个脚下不能用二片石同时支垫其两脚,或用二片石叠支其一脚,以保证护面块体安放后的稳固性。

7.3.7 原规范规定坡面上不允许有垂直护面的通缝,较为严格并难于做到。据调查,已完成的工程中个别地方存在有两块块石的通缝,并未给建筑物造成损坏,因此吸收部分单位的意见,对原规范进行了适当修正,规定不允许有连续两块块石以上垂直于护面的通缝。

7.3.8 总结多年干砌护坡的施工经验,采用 45° 斜向自下而上分层砌筑的优点较多,还可避免垂直坡面的通缝,故推荐采用。

浆砌块石护面层的质量,关键在砌缝中是否填满砂浆,从不少已损坏的浆砌块石护面看,砌缝往往是缺少砂浆或块石间直接接触,因此条文推荐并强调采用“坐浆法砌筑”,并规定块石不应直接接触,砌缝中应填满砂浆。

7.4 上部结构

7.4.1 条文规定的目的在于保证堤顶的设计标高,避免因抛石堤沉降不均匀而所造成的堤顶胸墙开裂,斜歪等问题。

7.4.2 本条是对斜坡式堤堤顶混凝土压顶或胸墙施工的一般要求。一是要防止水泥浆大量流入块石堤身。二是防止潮水或波浪对尚未凝固混凝土表面的冲刷。在施工中要根据现场的实际情况采取相应的预防措施。

7.4.4 新增加条文。斜坡堤堤顶压顶中的减压排水孔对压顶结构的稳定性很重要。在施工中应予保证。

7.4.5 条文根据部分工程的调查资料,将堤顶高程的偏差和临水面与准线偏差由原来的 $\pm 30\text{mm}$,分别修订为 $+50\text{mm}$ 、 -30mm 和 50mm 。

7.5 竣工尺度

7.5.1 斜坡堤竣工尺度的允许偏差是根据现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的规定一致的。表中的“设计控制标高”是指由设计、施工等单位在施工前或施工过程中,根据工程特点、地基条件、施工周期和沉降观测资料及类似工程经验所确定的包含了地基和抛石堤身尚未完成沉降量的堤顶控制标高。

8 直立式防波堤施工

8.1 基础施工

8.1.1 本条是对原规范有关条文的整合,并与现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTS 167—2)的修订同步,对基槽开挖超深、超宽值进行了调整。除增加了 $13 \sim 18\text{m}^3$ 抓斗挖泥允许偏差的标准外,还适应今后采用 18m^3 以上挖泥船施工的发展前景,对特大抓斗挖泥船的应用留有余地。

8.1.2 防波堤受海流、浪影响较大,基槽难免产生回淤。本着不影响工程质量的原则,根据现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTS 167—2)和《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的相关规定,对回淤沉积物的分别给出了厚度、含水率和重力密度等指标。

8.1.3 直立堤抛石基床的夯实工艺与重力式码头抛石基床一样。因此规定应按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTS 167—2)的有关规定进行。

爆炸法夯实基床以其施工简单、工期短、节省投资等优点在许多防波堤工程中得到了广泛的应用,其夯实质量是可以保证的。根据部分工程的经验,对于爆炸法夯实的基床,采用常规的重锤复夯时难于达到检验的效果的。因此,条文规定当采用爆炸法夯实时,可按设计提出的爆夯前后的基床沉降量来进行控制和验收。

8.2 堤身

8.2.1 由于采用油毡作为沉箱等大型构件底模的隔离材料将降低构件底板与基床间的摩擦系数。故规定不允许使用油毡等可导致降低摩擦系数的材料做隔离层。

沉箱等高度较大的构件多采用分层浇筑的方法预制。试验研究表明,混凝土施工缝的处理无论多么严格,施工缝处混凝土的抗拉、抗剪强度和抗渗性能均稍低于构件母体。因此条文对沉箱等大型构件施工缝的留置部位提出了指导性的意见。在实施时,一般根据工程特点和设计要求,在施工方案中明确。

8.2.2 对大型薄壁混凝土构件吊装注意要点的规定。强调了构件起重吊架的设计、吊点的布置及加强和索具配置,以保证起重安全,防止构件在吊运过程受到损伤。

8.3 上部结构

8.3.1 条文规定的目的在于保证堤顶的设计标高。

8.3.2 条文对上部结构分层施工缝位置的规定,旨在避免将施工缝留在应力最大处,以保证上部结构的抗浪性能。

8.3.4 本条是对直立堤上部现浇胸墙和挡浪墙主要尺寸偏差的规定。本次修订根据部

分单位意见,对胸墙和挡浪墙标高、前沿线和竖向倾斜偏差进行了适当调整,使规定值更加结合防波堤工程的实际。

8.4 竣工尺度

8.4.1 直立式防波堤竣工尺度的允许偏差是根据现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的规定一致的。表中的“设计控制标高”是指由设计、施工等单位在施工前或施工过程中,根据工程特点、地基条件、施工周期和沉降观测资料及类似工程经验所确定的包含了地基和抛石基床尚未完成沉降量的堤顶控制标高。

9 其他型式防波堤施工

9.1 半圆型防波堤

本节中的半圆型防波堤的基床抛石及整平、构件预制及安装施工控制要点和的允许偏差,是根据部分工程的资料、现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)和专项标准《长江口深水航道整治质量检验评定标准》的有关规定制定的。

9.2 透空式防波堤

9.2.1 桩基透空式防波堤施工的关键在于对尚未形成结构段的已经施工部分构件的保护。如桩、施工中的承台和尚未完成接头施工的挡浪板等。本条根据部分工程的施工经验对之进行了规定。挡浪挂板安装的允许偏差是参考靠船构件的安装标准制定的,经部分工程验证是可以做到的。

9.2.2 沉箱墩式透空防波堤与沉箱直立堤的施工基本相同。两者最大的差异是在于墩式防波堤所用的沉箱两侧带有宽度较大的钢筋混凝土翼板。在施工过程要对翼板进行保护,在沉箱安装时要控制相邻翼板的缝宽,以及安装后要对沉箱间的过水通道基床顶部进行防护,防止水流冲淘抛石基床。