

· 综 合 ·



[技术讲座] 从护面块体稳定性论深水防波堤

李贺青, 柳玉良

(海军工程设计研究院, 北京 100070)

摘要: 通过对次护面块体稳定性的研究, 探讨深水防波堤的含义, 提出可将 \bar{H}/d 作为区分深水防波堤和一般浅水防波堤的参数, 初步确定 $\bar{H}/d < 0.3$ 且水深 ≥ 20 m 时为深水防波堤, $\bar{H}/d \geq 0.3$ 时为一般浅水防波堤。讨论新修订规范相关规定的合理性, 并提出分别针对一般浅水防波堤和深水防波堤的修改建议。给出 2 个工程实例, 其护面块体质量与本文研究成果基本一致。

关键词: 深水防波堤; 斜坡式防波堤; 护面块体稳定性; 次护面块体; 安全度

中图分类号: U 656.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)06-0001-05

Study on deepwater breakwater from stability of armor blocks

LI He-qing, LIU Yu-liang

(The Navy Engineering Design and Research Institute, Beijing 100070, China)

Abstract: The concept of “deepwater breakwater” is discussed based on the experimental studies of stability of minor armor blocks. The primary conclusion is that a breakwater can be called deepwater breakwater while its $\bar{H}/d < 0.3$ and the water depth ≥ 20 m, and be called shallow water breakwater while $\bar{H}/d \geq 0.3$. The rationality of the regulations on the stable weights for minor armor blocks in the current code is discussed, and some suggestions are put forward to improve the regulations. Two engineering examples are given, in which weights of minor armor blocks coincide with the research results.

Key words: deepwater breakwater; rubble mound breakwater; stability of armor blocks; minor armor blocks; safety factor

1 前文回顾

在“斜坡堤次护面块体的稳定性研究 I”^[1]中, 通过次护面块体分别位于静水面下 1 倍和 1.5 倍设计波高处的 2 个断面模型试验, 利用护面块体安全度的概念^[2], 得到次护面块体的安全度分别为 2.43 和 2.46 以上, 都大于 2.2。安全度的值是以次护面块体质量为主护面块体质量的 1/5 为前提得到的。试验说明, 在 $\bar{H}/d \geq 0.3$ 时, 原规范关于“外坡在设计低水位以下 1~1.5 倍设计波高之间的护面块体质量, 取计算水位上下 1 倍波高间护面块体计算质量的 1/5”的规定是合理的。另一方面, 文中给出的工程实例说明, 这一规定在

$\bar{H}/d = 0.16$ 时失效, 说明这一规定有其适用范围。

“斜坡堤次护面块体的稳定性研究 II”^[3]通过 $\bar{H}/d = 0.09 \sim 0.14$ 的 2 个斜坡式防波堤断面模型次护面块体稳定性试验得出结论: 1) 位于水面下 1.5 倍波高处及以下坡面的护面块体, 其稳定重力为主护面块体稳定重力的 1/3; 2) 位于水面下 1.5 倍波高肩台处的护面块体, 其稳定重力为主护面块体稳定重力的 0.9 倍。

2 深水防波堤的含义

通过一系列模型试验研究, 文献[1]中提出的问题基本得到了答案。从试验结果可知, 原规范

收稿日期: 2013-09-30

作者简介: 李贺青 (1963—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事港口工程设计和研究。

关于外坡设计低水位以下 1 ~ 1.5 倍设计波高之间的护面块体质量的规定在一定条件下是合理的。试验得到, 这一规定在 $\bar{H}/d \geq 0.3$ 时适用, 在 $\bar{H}/d < 0.16$ 时不适用。在此意义上探讨深水防波堤的含义。

\bar{H}/d 的比值既反映了波浪相对水深的大小, 也反映了水深自身的大小。从实际工程的波浪要素与水深关系看, \bar{H}/d 较大时, 水深一般较小; \bar{H}/d 较小时, 水深一般较大。表 1 列出了部分防波堤工程的波浪和水深^[4]。从表 1 可见: 水深 10 m 以下的防波堤工程, \bar{H}/d 的比值都在 0.3 以上; 随着水深增大, \bar{H}/d 的比值逐渐减小。对这一问题, 也可以从波浪的传播来解释。波浪从外海向岸传播过程中, 水深逐渐变小, 波高相对水深是逐渐增大的, 当波高增大到一定程度时将会发生波浪破碎现象。因此, 水深较大时波高相对水深较小, 水深较小时波高相对水深较大。

表 1 防波堤设计波浪和水深

工程名称	$H_{13\%}/m$	\bar{H}/m	\bar{T}/s	d/m	\bar{H}/d
长江口南导堤	2.9	2.0	7.5	7.0	0.29
汕头广澳东防波堤	4.5	3.2	9.9	7.3	0.45
京唐港挡沙潜堤	3.6	2.5	7.9	9.1	0.27
广东岭澳核电站	6.4	4.8	11.9	9.9	0.48
大连益远船坞防波堤	4.1	2.7	9.5	12.9	0.21
大连北良防波堤	4.2	2.7	7.8	17.5	0.16
某防波堤工程 I	4.4	2.8	8.3	26.0	0.10
某防波堤工程 II	7.6	4.9	10.9	32.0	0.15

上述分析说明, \bar{H}/d 的值也反映了水深的大小。联系到不同的 \bar{H}/d 值反映了护面块体在波浪作用下稳定性的不同, 可以利用 \bar{H}/d 来探讨深水防波堤的含义。深水防波堤是水深较大、波高相对水深较小的防波堤; 与深水防波堤对应的, 是一般浅水防波堤。深水防波堤和一般浅水防波堤的区分应当考虑水深和 \bar{H}/d 两个因素。根据护面块体稳定性的试验研究成果, 可以认为, 原防波堤规范对次护面块体质量的规定对一般浅水防波堤是适用的, 但对深水防波堤则不适用。

区分深水防波堤和一般浅水防波堤的 \bar{H}/d 值理论上存在的, 但实际上很难明确。从护面块

体稳定性来说, 由于波浪自身的随机性和波浪对护面块体稳定性影响的随机性, 确定护面块体的临界状态比较困难, 确定主护面块体和次护面块体稳定重力的比值和 \bar{H}/d 之间的关系自然同样困难, 因此也就难以找到 \bar{H}/d 具体的值来区分深水防波堤和一般浅水防波堤。从前面一系列模型试验得到, 原防波堤规范关于次护面块体质量的规定在 $\bar{H}/d \geq 0.3$ 时适用, 在 $\bar{H}/d < 0.16$ 时不适用, 分界应当在 0.16 ~ 0.3 之间, 但限于模型试验的范围, 还不能明确这个分界值。从偏于安全角度可以初步判断, 原规范相关规定适用的范围为 $\bar{H}/d \geq 0.3$ 。从这个意义上说, 可以将区分深水防波堤和一般浅水防波堤的界限初步定为 $\bar{H}/d = 0.3$, $\bar{H}/d < 0.3$ 时为深水防波堤, $\bar{H}/d \geq 0.3$ 时为一般浅水防波堤。至于水深, 考虑到工程施工因素, 20 m 的界限也许是合适的。深水防波堤和一般浅水防波堤的界限在哪里更为合适, 尚待进一步探讨。

这里得到 $\bar{H}/d < 0.3$ 时为深水防波堤, JTS 145-2—2013《海港水文规范》^[5] 规定验算护面块体稳定性采用 $H_{13\%}$, 但 $\bar{H}/d < 0.3$ 时采用 $H_{5\%}$ 。二者同样的 \bar{H}/d 值是巧合还是有必然联系, 也有待研究。

3 深水防波堤护面块体的稳定性

新修订的防波堤规范^[6] 将相关规定修改为“对外坡有肩台的深水防波堤, 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质量不应小于肩台以上护面块体质量的 0.5 倍”。修订规范的条文说明中, 将设计低水位以下超过 20 m 的防波堤定义为深水防波堤, 并指出其设计原则、方法和构造要求等与一般浅水堤有所不同。从护面块体稳定性的试验分析看, 其规定有可商榷之处:

1) 深水防波堤的定义有局限性。如前所述, 波浪对护面块体稳定性的影响随的不同而表现出不同的特性, 按水深和相对水深的波高 2 个因素来定义深水防波堤才是合理的。

2) 仅对深水防波堤肩台以下坡面的护面块体质量做出规定, 没有针对一般浅水防波堤的类似规定。根据模型试验成果, 当 $\bar{H}/d \geq 0.3$ 时原规范的相关规定是合理的, 仍可继续沿用。

3) 一方面规定肩台上下坡面采用同一护面块体, 另一方面又规定肩台在设计低水位以下 1.0 倍设计波高值时, 肩台以下坡面的护面块体质量不应小于肩台以上护面块体质量的 0.5 倍, 二者存在不协调之处。如果将“肩台上下坡面采用同一护面块体”的肩台理解为在设计低水位以下 1.0 倍设计波高值处以上的位置, 因规范 4.2.4 条已规定了计算水位上下 1.0 倍设计波高之间护面块体的质量, 则二者存在重复之处; 如果将其中的肩台位置理解为没有限制, 则又与后面的规定有冲突。

4) 仅针对肩台以下坡面的护面块体, 没有区分肩台上和坡面上护面块体稳定性的不同。根据模型试验成果, 肩台上护面块体的稳定性比坡面上的护面块体稳定性要差, 取肩台以上护面块体质量的 0.5 倍偏于危险, 1.0 倍比较合适。对于坡面上的次护面块体, 试验得到其位于静水面以下 1.5 倍设计波高值的稳定重力为规范式 (4.2.4-1) 计算重力的 1/3, 位于静水面以下 1.0 倍设计波高值的稳定重力没有试验依据, 规范规定取 1/2 还是比较合适的。

根据护面块体稳定性试验研究成果, 建议明确深水防波堤的含义, 可暂将 $\bar{H}/d < 0.3$ 时为深水

防波堤, $\bar{H}/d \geq 0.3$ 时为一般浅水防波堤作为判别标准, 并对相关规定做以下修改:

1) 对于一般浅水防波堤, 外坡面位于设计低水位以下 1.0 ~ 1.5 倍设计波高值的护面块体, 质量仍可取按防波堤规范式 (4.2.4-1) 计算质量的 1/5;

2) 对于深水防波堤, 外坡护面块体位于设计低水位以下 1.0 ~ 1.5 倍设计波高值的坡面上时, 质量宜取按规范式 (4.2.4-1) 计算质量的 1/2 ~ 1/3; 外坡护面块体位于设计低水位以下 1.5 倍波高值处的肩台上时, 质量宜取按规范式 (4.2.4-1) 计算的质量。

4 工程应用

4.1 工程实例 1

某防波堤海底高程 -30.0 m, 按 50 a 一遇波浪作用设计, $H_{5\%} = 9.0$ m, $H_{13\%} = 7.6$ m, $\bar{H} = 4.9$ m。因 $\bar{H}/d < 0.3$, 故验算护面块体稳定性采用 $H_{5\%} = 9.0$ m。

外坡采用扭王字块体护面, 由于设计波高较大, -10.0 m 以上坡度 1:2, -10.0 m 以下坡度 1:1.5, -10.0 m 处设置戗台 (图 1)。-10.0 m 以上主护面块体采用扭王子块体, 稳定系数 K_D 取 18, 按规范公式 (4.2.4-1) 计算质量 24.2 t, 实际工程采用 25 t。根据模型试验结果, 实际工程中 -10.0 m 以下次护面块体采用 10 t 扭工字块体。

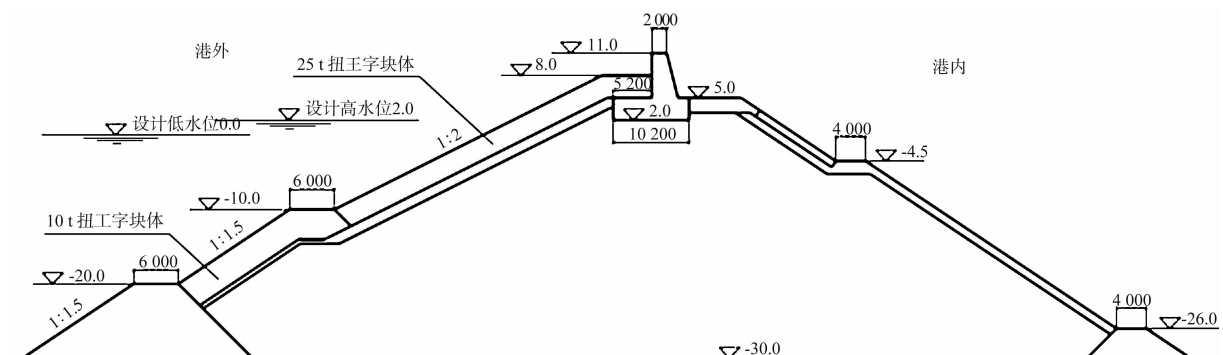


图 1 工程实例 1 断面

设计波高 $H_{5\%} = 9.0$ m、坡度 1:1.5 对应的主护面扭工字块体稳定重力 323 kN。高程 -10.0 m

相当于设计低水位下 1.5 倍波高 $H_{13\%}$, 如果按上面建议的主护面块体质量的 1/3 取值, 质量应当为

10.7 t, 实际工程采用 10 t 基本满足安全要求。

工程在 2001 年开工建设。同当时施行的 JTJ 298—1998 《防波堤设计与施工规范》比较, 有以下不同:

- 1) 次护面块体设置位置从规范要求的设计低水位下 1 ~ 1.5 倍设计波高降到 1.5 ~ 3.0 倍设计波高, 即从规范要求的 -7.6 ~ -10.0 m 降到 -10.0 ~ -20.0 m;
- 2) 次护面块体质量从规范要求 6.4 t 提高到 10 t;
- 3) 棱体位置从规范要求的设计低水位以下

1 ~ 1.5 倍设计波高降低到 3 倍设计波高, 即从 -7.6 ~ -10.0 m 降低到 -20.0 m。

4.2 工程实例 2

某防波堤工程海底高程 -24.0 m, 采用斜坡堤形式, 堤顶不设胸墙。防波堤按 50 a 一遇波浪作用设计, $H_{5\%} = 5.2$ m, $H_{13\%} = 4.4$ m, $\bar{H} = 2.8$ m。因 $\bar{H}/d < 0.3$, 验算护面块体稳定性采用 $H_{5\%} = 5.2$ m。

-6.0 m 以上主护面块体采用扭王字块体, 稳定系数 K_D 取 18, 坡度 1:1.5, 计算块体稳定重力 62 kN, 块体质量实际采用 10 t。根据模型试验, 高程 -6.0 ~ -12.0 m 采用 4 t 扭工字块体护面 (图 2)。

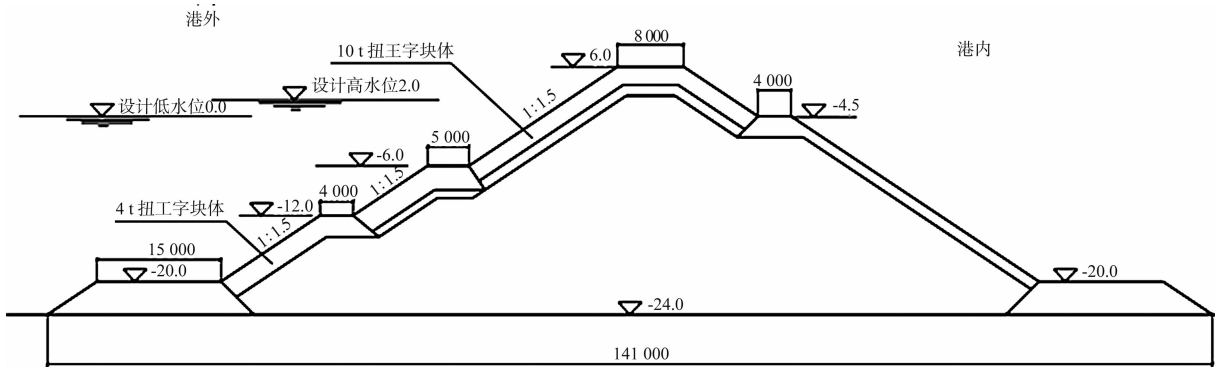


图 2 工程实例 2 断面

高程 -6.0 ~ -12.0 m 相当于设计低水位下 1.5 ~ 2.7 倍波高 $H_{13\%}$, 按主护面块体质量的 1/3 取值为 2.1 t, 而按原规范为 1.24 t。实际工程采用 4 t, 满足安全要求。

工程在 2002 年开工建设。同 JTJ 298—1998 《防波堤设计与施工规范》比较, 有以下同:

- 1) 次护面块体设置位置从规范要求的设计低水位下 1 ~ 1.5 倍设计波高降到 1.5 ~ 2.7 倍设计波高, 即从规范要求的 -4.4 ~ 6.6 m 降到 -6.0 ~ -12.0 m;
- 2) 次护面块体质量从规范要求的 1.24 t 提高到 4 t;
- 3) 棱体位置从规范要求的设计低水位以下 1 ~ 1.5 倍设计波高降低到 2.7 倍设计波高, 即从 -4.4 ~ 6.6 m 降低到 -12.0 m。

5 结论

- 1) 原防波堤规范关于“外坡在设计低水位以

下 1 ~ 1.5 倍设计波高之间的护面块体质量, 取计算水位上下 1 倍波高间护面块体计算质量的 1/5”的规定在 $\bar{H}/d \geq 0.30$ 时是合理的, $\bar{H}/d < 0.16$ 时上述规定不再适用。

2) 试验得到, 外坡在设计低水位以下 1.5 倍设计波高值处, 位于坡面的护面块体质量为按规范式 (4.2.4-1) 计算的质量 1/3; 位于肩台的护面块体质量为按规范式 (4.2.4-1) 计算结果的 0.9 倍。

3) 从护面块体稳定性的角度, 探讨了深水防波堤的含义。从护面块体稳定性的角度, 可将作为区分深水防波堤和一般浅水防波堤的一个参数, 根据试验结果, 初步提出 $\bar{H}/d < 0.3$ 时为深水防波堤, $\bar{H}/d \geq 0.3$ 时为一般浅水防波堤。深水防波堤水深应当在 20 m 以上。

- 4) 本文对新修订防波堤规范关于外坡在设计低水位以下 1.0 倍设计波高值处护面块体质量的

规定的合理性进行了探讨, 并提出修改建议:

①对于一般浅水防波堤, 外坡面位于设计低水位以下 1.0~1.5 倍设计波高值的护面块体, 质量宜取按规范式 (4.2.4-1) 计算质量的 1/5。

②对于深水防波堤, 外坡护面块体位于设计低水位以下 1.0~1.5 倍设计波高值的坡面上时, 质量宜取按规范式 (4.2.4-1) 计算质量的 1/2~1/3; 外坡护面块体位于设计低水位以下 1.5 倍波高值处的肩台上时, 质量宜取按规范式 (4.2.4-1) 计算的质量。

本文给出了 2 个工程实例, 其采用的护面块体质量与本文研究成果基本一致。

参考文献:

- [1] 李贺青, 柳玉良, 夏运强. 斜坡堤次护面块体的稳定性研究 I [J]. 水运工程, 2014(4): 12-15.
- [2] 李贺青, 柳玉良. 斜坡堤护面块体的安全度[J]. 水运工程, 2014(3): 14-17.
- [3] 李贺青, 柳玉良, 夏运强. 斜坡堤次护面块体的稳定性研究 II [J]. 水运工程, 2014(5): 18-20.
- [4] 谢世楞. 90 年代我国防波堤设计进展[J]. 水运工程, 1999(10): 11-17.
- [5] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S].
- [6] JTS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范[S].
- [7] JTT 298—1998 防波堤设计与施工规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

太仓港口集疏运体系日益完善

为更好地服务港口发展, 江苏省太仓市着力打造港口“七横四纵两联”公路网和“四横一纵”航道网, 港口集疏运体系不断完善。

根据《苏州港太仓港区集疏运规划(2010—2030)》, 太仓港区集疏运网络将形成“七横四纵两联”的公路运输体系、“四横一纵”的航道运输体系以及太仓港区铁路支线的集疏运体系。2015年前, 太仓港区将建设浮桥作业区疏港高速、港外大道、杨林塘等交通项目。

按照“十二五”规划, 太仓港目标是建设成为上海国际航运中心的北翼集装箱干线港、江海联运中转枢纽港、江苏第一外贸大港, 跻身国内外现代化、国际化重大港口行列。太仓港的大力建设和快速发展, 对干线公路网疏港交通运输能力提出了新要求, 迫切需要一条为集装箱疏港交通服务的专用高速公路连到港区, 尽量减少大量集装箱重型车辆荷载对港区内部道路的破坏, 减轻路网压力。

全长 15.4 km 的太仓港疏港高速公路今年建成通车, 将成为港口集装箱疏港专用高速公路, 是太仓港今后的主要疏港公路动脉。同时, 这条公路将极大地改善太仓尤其是港区的交通环境, 有利于提升该地区运输能力, 优化运输结构, 提高整体效率, 对支撑太仓集装箱干线港建设和做大做强港口现代物流, 实现港、产、城联动发展, 促进全省沿江开发具有非常重要的意义。

随着太仓港口经济的快速发展, 建设高等级水上运输体系, 将有利于港区大宗货物江海河直运, 加快货物中转速度, 降低运输成本, 更有利于节能环保。在建的杨林塘航道整治工程及吴塘河配套工程将有效改变太仓港目前集疏运方式单一的现状, 为江苏沿江开发战略的顺利实施以及苏南地区经济发展和大宗货物的运输提供便捷、经济、可靠的内河水运条件。杨林船闸是杨林塘航道的入江咽喉, 不仅是一项重要的交通工程, 也是水利建设的重要环节。该船闸位于杨林节制闸北侧, 船闸上游引航道中心线与杨林塘航道中心线相连, 下游进入长江, 该船闸建成之后可通行 1 000 吨级船舶。

(摘编自《中国交通报》)