



河海大学



重力式码头的基本计算

主讲人

陈 达



河海大学

港口海岸与近海工程学院

重力式码头的基本计算

设计状态

重力式码头的设计状况

持久状况

正常条件下，结构使用过程中的状况。
在结构使用期按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

短暂状况

结构施工和安装等持续时间较短的状况。
施工期或使用期可能临时承受某种特殊荷载时按承载能力极限状态设计，必要时也需按正常使用极限状态设计。

地震状况

结构承受设防地震等持续时间很短的状况。
在使用期遭受偶然荷载时仅按承载能力极限状态设计。

重力式码头的基本计算

设计状态

序号	计算和验算内容	采用的极限状态	采用的效应组合
1	对墙底面、墙身各水平缝、齿缝计算面前趾的抗倾稳定性	承载能力极限状态	持久组合
2	沿墙底面、墙身各水平缝、基床底面的抗滑稳定性	承载能力极限状态	持久组合
3	基床和地基承载力	承载能力极限状态	持久组合
4	整体稳定性	承载能力极限状态	持久组合
5	墙底面合力作用点位置	承载能力极限状态	持久组合
6	构件(卸荷板、沉箱、扶壁、空心块体和大圆筒)的承载力	承载能力极限状态	持久组合
7	码头施工期稳定性和构件承载力验算	承载能力极限状态	短暂组合
8	构件(卸荷板、沉箱、扶壁、空心块体和大圆筒)裂缝宽度验算	正常使用极限状态	长期效应 (准永久)组合
9	地基沉降验算	正常使用极限状态	长期效应 (准永久)组合

重力式码头的基本计算—码头上的作用

根据时间的变异划分

永久作用

在设计基准期内，其量值随时间的变化与平均值相比可忽略不计

结构自重力

固定设备自重力

墙后填料土压力

剩余水压力

可变作用

在设计基准期内，其量值随时间变化与平均值相比不可忽略

堆货荷载

流动起重运输机械荷载

船舶荷载、水流波浪力

可变作用引起的土压力

偶然作用

在设计基准期内，不一定出现，但一旦出现其量值很大且持续时间很短

地震作用等

重力式码头的基本计算—码头上的作用

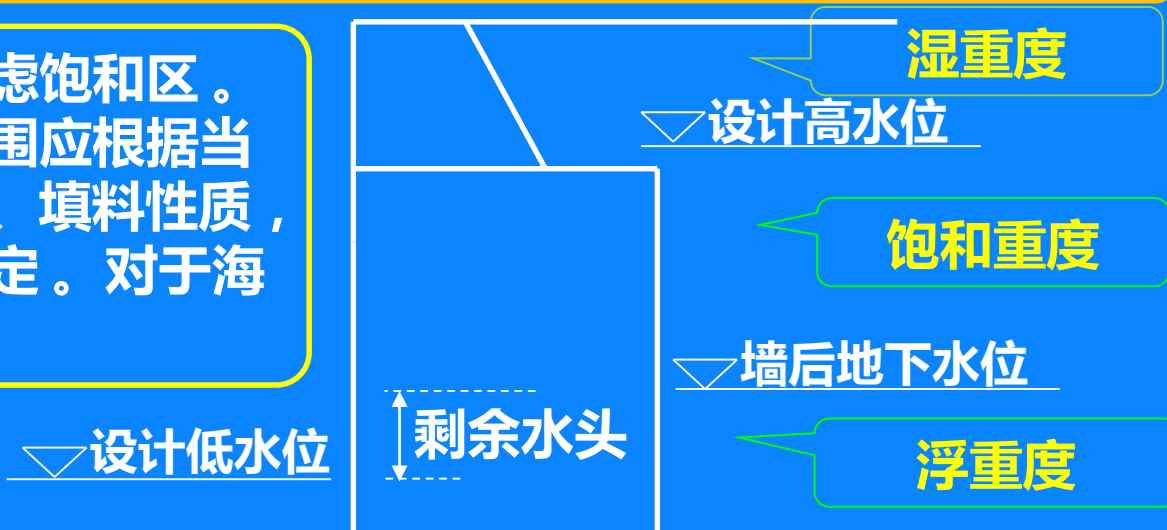
建筑物自重

包括构件本身的重力及其上的填料重力，按体积乘重度计算。重度的标准值宜通过试验确定，无实测资料时，按规范取值。

材料重度：水上采用天然容重，水下采用浮容重。

无粘性填料重度：以墙后地下水位为界，地下水位以上采用天然容重，以下采用浮容重。

粘性填料重度：应考虑饱和区。对于河港，饱和区范围应根据当地地下水位变化情况、填料性质，根据经验或经勘探确定。对于海港，根据潮位确定：



重力式码头的基本计算—码头上的作用

剩余水压力

定义：墙后地下水位高于墙前计算低水位时产生的水压力差值，一般按静水压力考虑。

确定原则：根据码头排水的好坏和后方填料的透水性来确定。

剩余水压力的确定

墙后为抛石棱体或粗于中砂的填料

可不考虑剩余水压力

墙后为中砂或细于中砂的填料（包括粘性土）

潮汐港：剩余水头取 $1/5 \sim 1/3$ 的平均潮差

河港：取决于排水措施和墙前、墙后地下水位情况

重力式码头的基本计算—码头上的作用

土压力

计算理论

朗肯理论

考虑土的粘性、地面均布荷载、土体水平分层；假定墙背垂直、地面水平和墙背光滑。

库仑理论

考虑墙背倾斜、地面倾斜和土与墙背摩擦力；假定土是均质和无粘性。

索科洛夫斯基

计算较复杂，工程中用的较少。

(1) 朗肯和库仑土理论都是由墙后填土处于极限平衡状态的条件得到的。但朗肯理论求的是墙背各点土压力强度分布；而库仑理论求得的是墙背上的总土压力。

(2) 朗肯理论在其推导过程中忽视了墙背与填土之间的摩擦力，计算的主动土压力误差偏大，被动土压力误差较小；而库仑理论考虑了这一点，其主动土压力接近于实际值，但被动土压力因为假定滑动面是平面误差较大，因此，一般不用库仑理论计算被动土压力。

(3) 朗肯理论适用于填土表面水平的无粘性土或粘性土；而库仑理论适用于填土表面为水平或倾斜的无粘性土。

重力式码头的基本计算—码头上的作用

墙后主动土压力-库仑理论

无粘性填料的墙背 $-15^\circ \leq \alpha \leq \theta'$

永久作用

$$E_{Hn} = 0.5 \times \left(2 \sum_{i=1}^{n-1} \gamma_i h_i + \gamma_n h_n \right) h_n K_{an} \cos(a + \delta_n)$$

可变作用

$$E_{qHn} = q K_q K_{an} h_n \cos(a + \delta_n)$$

E_{Hn}, E_{qHn} —第n层填料的土压力合力的水平分力标准值 (kN)

θ' —第2破裂角 (°)

α —墙背与铅垂线的夹角 (°), 仰斜为正, 俯斜为负

q —地面上的均布荷载标准值, 地面倾斜时为单位斜面积上的重力 (kPa)

γ_i, γ_n —分别为第i层和第n层填料重度标准值 (kN/m³)

h_i, h_n —分别为第i层和第n层填料厚度标准值 (m)

K_q —地面荷载系数 δ_n —第n层填料与墙背的摩擦角

K_{an} —第n层填料的主动土压力系数

重力式码头的基本计算—码头上的作用

墙后主动土压力-朗肯理论

粘性土的墙背

粘性土的土压力可按图解法确定；当有经验时，也可采用等代内摩擦角，按无粘性填料考虑。

当地面水平，在铅直墙背或计算垂面上可按式计算：

永久作用

$$e_{aH} = \gamma h K_a - 2c\sqrt{K_a} \geq 0$$

可变作用

$$e_{aqH} = qK_a$$

e_{aH}, e_{aqH} —土压力强度 (kPa)

K_a —主动土压力系数

c —土的粘聚力标准值 (kPa)

重力式码头的基本计算—码头上的作用

码头前被动土压力-朗肯理论（地面水平）

无粘性填料

$$e_p = (q_p + \gamma h) K_p$$

粘性土

$$e_p = (q_p + \gamma h) K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

e_p —被动土压力强度（kPa）

q_p —墙前床面上均布荷载标准值（kPa）

K_p —被动土压力系数

重力式码头的基本计算—码头上的作用

墙后有抛石棱体

当破裂面通过两种填料时，出坡点P以上和以下分别按两种填料的指标计算土压力。

$$\bar{\theta} = \frac{h_1 \theta_1 + h_2 \theta_2}{h_1 + h_2}$$

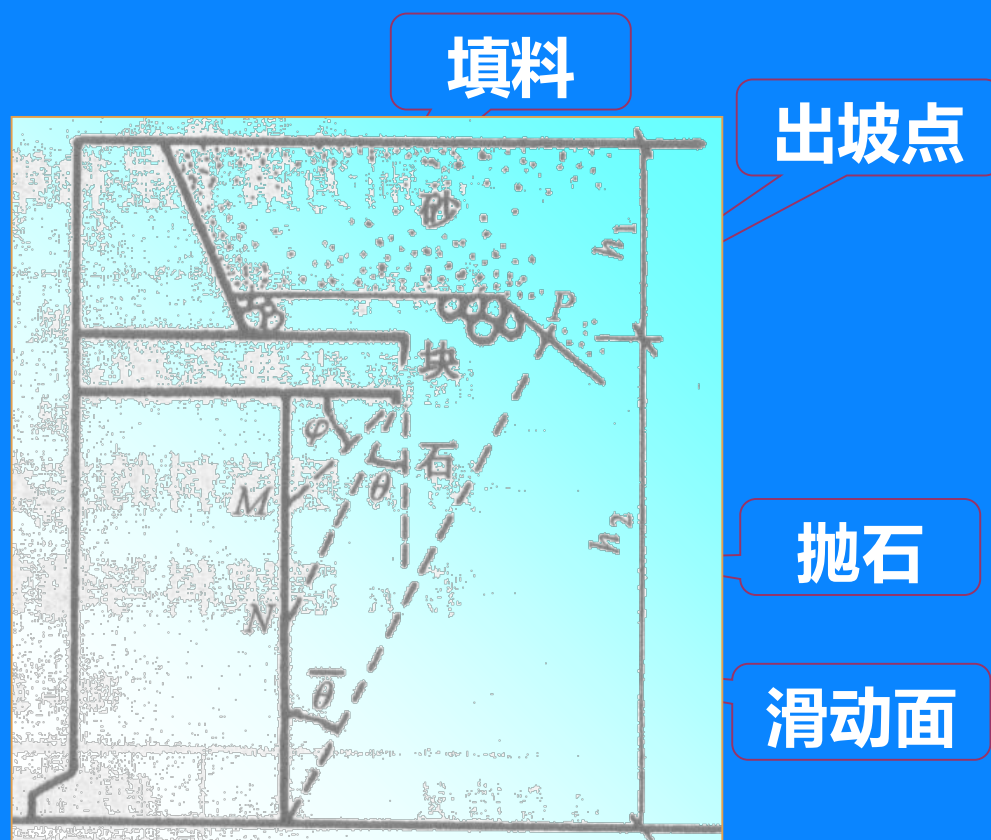
θ_1 、 θ_2 — 分别为两种填料破裂角 ($^{\circ}$)

有卸荷板

M点以上的土压力不计卸荷板底面以上重力的影响；N点以下的土压力按无卸荷板的情况计算，M、N之间按直线过渡

φ — 填料内摩擦角标准值 ($^{\circ}$)

θ — 主动土压力破裂角 ($^{\circ}$)

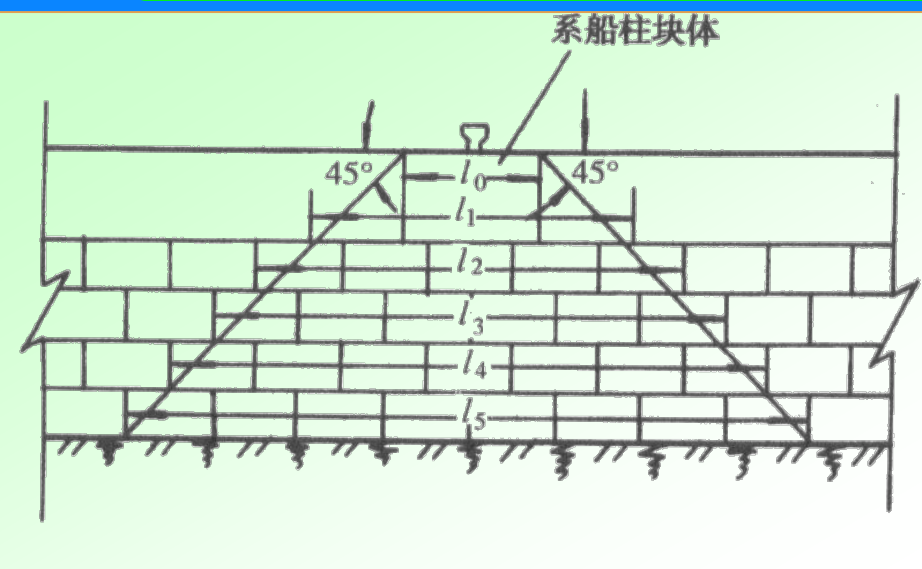


重力式码头的基本计算—码头上的作用

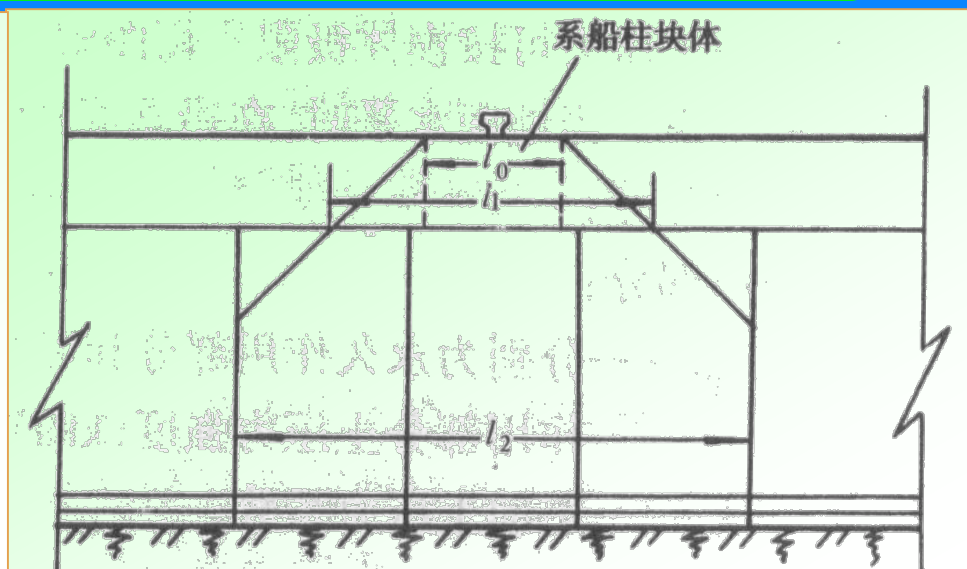
系统力沿码头方向分布（垂直码头线的分力）

系统力沿码头线方向的分布长度，按沿墙高以 45° 角向下扩散的原则确定。当扩散线遇到竖缝就截止，然后从缝底端向下继续扩散。

对于分段长度内为一个整体结构的码头（如沉箱码头、现浇混凝土和浆砌石码头等），验算沿墙底的稳定性时，系统力的分布长度等于一个分段的长度。



方块码头



扶壁码头

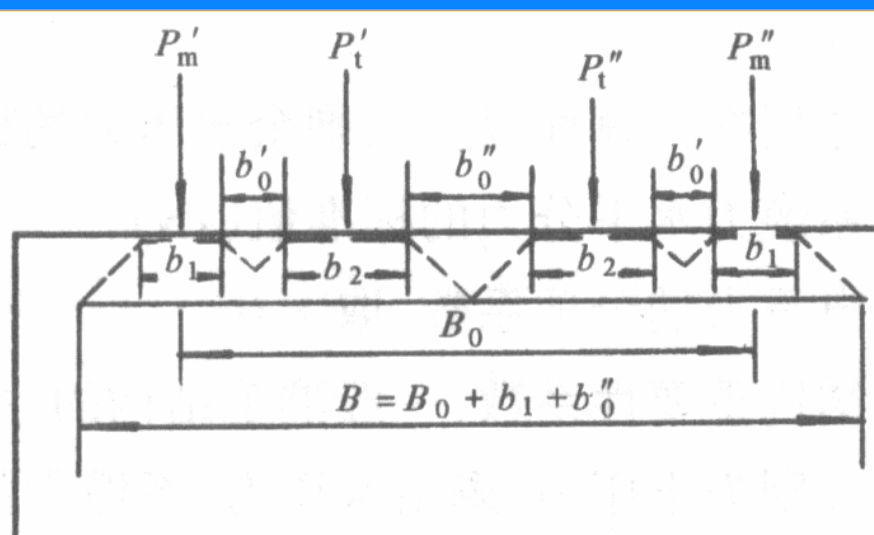
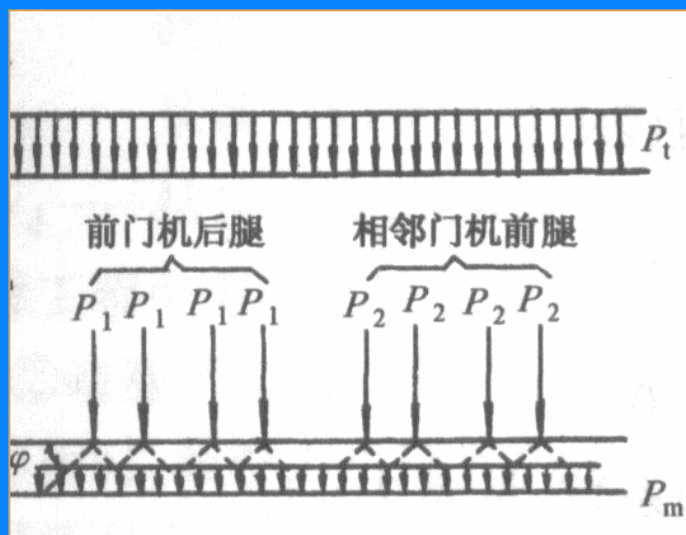
重力式码头的基本计算—码头上的作用

地面使用荷载



设计重力式码头，地面使用荷载一般只考虑堆货荷载、门机荷载和铁路荷载。对于重件码头，当地面设置重型固定起重机和大型平板车运行时，还应考虑这些设备产生的集中荷载和局部均布荷载。

门机和铁路荷载以轮压力形式作用在轨道上，然后通过轨枕或基础梁沿码头的纵横方向向上传播。工程中常采用等代均布荷载的方式处理：沿钢轨长度方向将轮压力化为线荷载，再将这些荷载通过轨枕、道渣等沿码头横向传布，达到一定深度后成均布荷载，并移至地面。



重力式码头的基本计算—码头上的作用

堆货荷载

垂直力最大+水平力最大

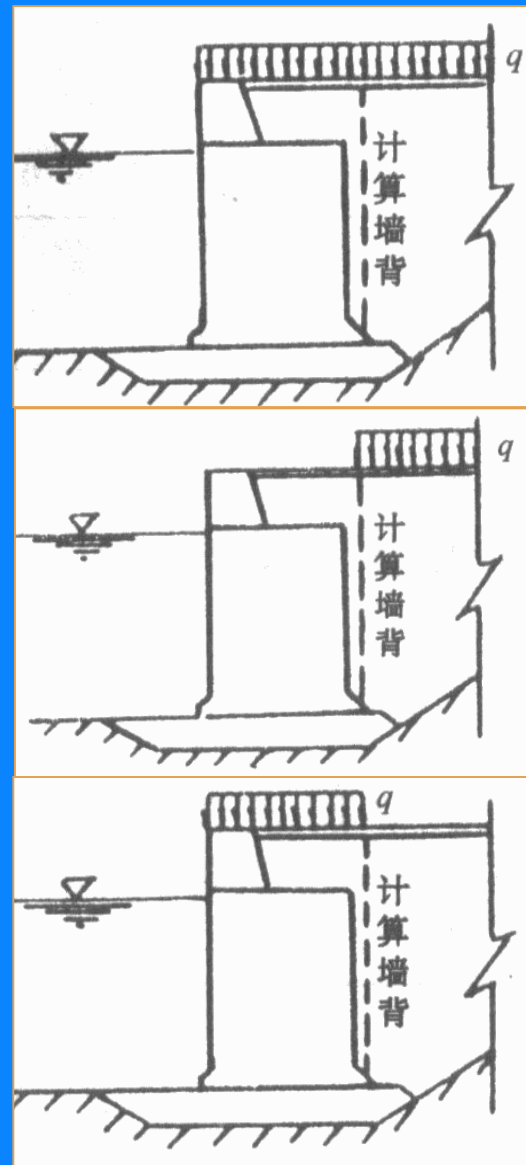
用于验算基床和地基承载力及计算建筑物的沉降和验算整体滑动稳定性。

垂直力最小+水平力最大

用于验算建筑物的滑动和倾覆稳定性

垂直力最大+水平力最小

用于验算基底面后踵应力



重力式码头的基本计算

抗滑稳定性验算（以岸壁式码头为例）

验算内容包括沿墙底面、墙身各水平缝和基床底面的抗滑稳定性。

组合一：不考虑波浪力作用，可变作用产生的土压力为主导可变作用

组合二：不考虑波浪力作用，沿胸墙底面的抗滑稳定性，系缆力为主导可变作用

组合三：考虑波浪力作用，波浪力为主导可变作用

组合四：考虑波浪力作用，堆载土压力为主导可变作用

此为一种水位情况，若将水位作为一个组合条件，则可得十几种组合情况。

重力式码头的基本计算

抗滑稳定性验算（以岸壁式码头为例）

计算时候按平面问题取单宽计算。

组合一：不考虑波浪力作用，可变作用产生的土压力为主导可变作用：

$$\gamma_0 (\gamma_E E_H + \gamma_E E_{qH} + \gamma_{pw} P_w + \varphi \gamma_{PR} P_{RH}) \leq \frac{1}{\gamma_d} (\gamma_G G + \gamma_E E_V + \gamma_E E_{qV}) f$$

G —作用在计算面以上的结构自重力标准值（kN）

E_H 、 E_V —计算面以上永久作用总主动土压力的水平和垂直分力标准值（kN）

E_{qH} 、 E_{qV} —计算面以上可变作用总主动土压力的水平和垂直分力标准值（kN）

P_w —计算面以上的剩余水压力标准值（kN）

P_{RH} —系缆力水平分力标准值（kN）

f —沿计算面的摩擦系数设计值

γ_G —自重力的分项系数，取1.0

γ_d —结构系数，无波浪作用取1.0，有波浪作用取1.1

γ_0 —结构重要性系数，一般港工结构取1.0

γ_E 、 γ_{pw} 、 γ_{PR} —土压力、剩余水压力、系缆力的分项系数

φ —作用效应组合系数，持久组合取0.7，短暂组合取1.0

重力式码头的基本计算

抗倾稳定性验算（以岸壁式码头为例）

对墙底面和墙身各水平缝及齿缝计算面前趾的抗倾稳定性。

组合一：不考虑波浪力作用，可变作用产生的土压力为主导可变作用

组合二：不考虑波浪力作用，对胸墙底面前趾的抗倾稳定性，系缆力产生的倾覆力矩为主导可变作用

组合三：考虑波浪力作用，波浪力为主导可变作用

组合四：考虑波浪力作用，堆载土压力为主导可变作用

此为一种水位情况，若将水位作为一个组合条件，则可得十几种组合情况。

重力式码头的基本计算

抗倾稳定性验算（以岸壁式码头为例）

计算时候按平面问题取单宽计算。

组合一：不考虑波浪力作用，可变作用产生的土压力为主导可变作用：

$$\gamma_0(\gamma_E M_{EH} + \gamma_{PW} M_{PW} + \gamma_E M_{EqH} + \varphi \gamma_{PR} M_{PR}) \leq \frac{1}{\gamma_d} (\gamma_G M_G + \gamma_E M_{EV} + \gamma_E M_{EqV})$$

M_G — 结构自重力标准值对计算面前趾的稳定力矩（kN·m）

M_{EH} 、 M_{Ev} — 永久作用总土压力的水平和垂直分力标准值对计算面前趾的倾覆力矩和稳定力矩（kN·m）

M_{PW} — 剩余水压力标准值对计算面前趾的倾覆力矩（kN·m）

M_{EqH} 、 M_{EqV} — 可变作用总土压力的水平和垂直分力标准值对计算面前趾的倾覆力矩和稳定力矩（kN·m）

M_{PR} — 系缆力标准值对计算面前趾的倾覆力矩（kN·m）

γ_d — 结构系数，无波浪时取1.25

重力式码头的基本计算

承载力验算

基床承载力

$$\gamma_0 \gamma_\sigma \sigma_{\max} \leq \sigma_\gamma$$

γ_0 — 结构重要性系数，一般取1.0

γ_σ — 基床顶面最大应力分项系数，可取1.0

σ_γ — 基床承载力设计值，一般取600kPa，不得大于800kPa

$\sigma_{\max}$ — 基床顶面最大应力标准值 (kPa)

重力式码头的基本计算

承载力验算

基床顶面应力

按刚性墙计算，基床顶面应力呈直线分布，按偏心受压公式计算，对矩形墙底：

当 $\xi \geq B/3$ 时，

$$\sigma_{\max}^{\min} = \frac{V_K}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

$$e = \frac{B}{2} - \xi$$

$$\xi = \frac{M_R - M_0}{V_K}$$

当 $\xi < B/3$ 时，

$$\sigma_{\max} = 2V_K / 3\xi$$

$$\sigma_{\min} = 0$$

$\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$ — 基床顶面的最大和最小应力标准值 (kPa)

B — 墙底宽度 (m)

V_K — 作用在基床顶面的竖向合力标准值 (kN/m)

e — 墙底面合力标准值作用点的偏心距 (m)

ξ — 合力作用点与墙前趾的距离 (m)

M_R 、 M_0 — 竖向合力标准值和倾覆力标准值对墙底面前趾的稳定力矩和倾覆力矩 (kN·m)

重力式码头的基本计算

承载力验算

基床底面应力

基床顶面应力通过基床向下扩散，扩散宽度为 $B_1 + 2d_1$ ，呈直线分布。

$$\sigma'_{\max} = \frac{B_1 \sigma_{\max}}{B_1 + 2d_1} + \gamma d_1$$

$$\sigma'_{\min} = \frac{B_1 \sigma_{\min}}{B_1 + 2d_1} + \gamma d_1$$

$$e' = \frac{(B_1 + 2d_1)}{6} \cdot \frac{(\sigma'_{\max} - \sigma'_{\min})}{(\sigma'_{\max} + \sigma'_{\min})}$$

$\sigma'_{\max}$ 、 $\sigma'_{\min}$ — 基床底面的最大和最小应力标准值 (kPa)

γ — 块石的水下重度标准值 (kN/m³)

d_1 — 抛石基床厚度 (m)

B_1 — 墙底面的实际受压宽度 (m)

e' — 抛石基床底面合力作用点的偏心距 (m)

重力式码头的基本计算

整体滑动稳定性验算

整体稳定破坏的特征

码头结构顶面及其后一定范围的地面突然下沉，且下沉量超过计算地基沉降量。

在码头后方一定距离的地面出现裂缝和断裂，且这个地点比墙后主动破裂面的出坡点要远。

码头结构后倾，底部突出码头线很多，但前沿线基本无多大变化或稍后移。

码头前面水底泥面有明显的隆起。

计算方法—圆弧滑动法

$$M_{sd} \leq \frac{1}{\gamma_d} M_{rk}$$

M_{sd} 、 M_{rk}

—作用于危险滑弧面上的滑动力矩设计值和抗滑力矩的标准值（kN·m）

γ_d

—抗力分项系数

当地基浅层有软弱夹层和倾斜岩石情况，宜采用非圆弧滑动面计算。

重力式码头的基本计算

地基沉降计算

地基沉降计算

均匀沉降

不会引起建筑物破坏，但沉降量过大会影响使用，同时带来较大的不均匀沉降。

不均匀沉降

建筑物横
断面方向

引起码头倾斜

用在基床顶
面预留倒坡
的方法解决

沿码头长
度方向

破坏性较大，如
胸墙断裂，墙身
发生横向裂缝

用设置变形
缝的方法解
决

重力式码头的的基本计算



方块码头的计算

卸荷板计算

卸荷板的后倾稳定性

$$r_0 M_0 \leq \frac{1}{r_d} r_G M_G$$

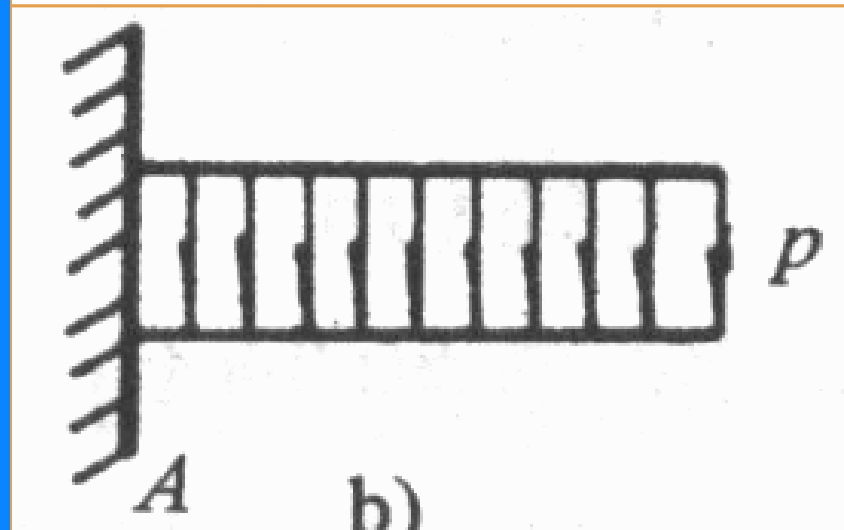
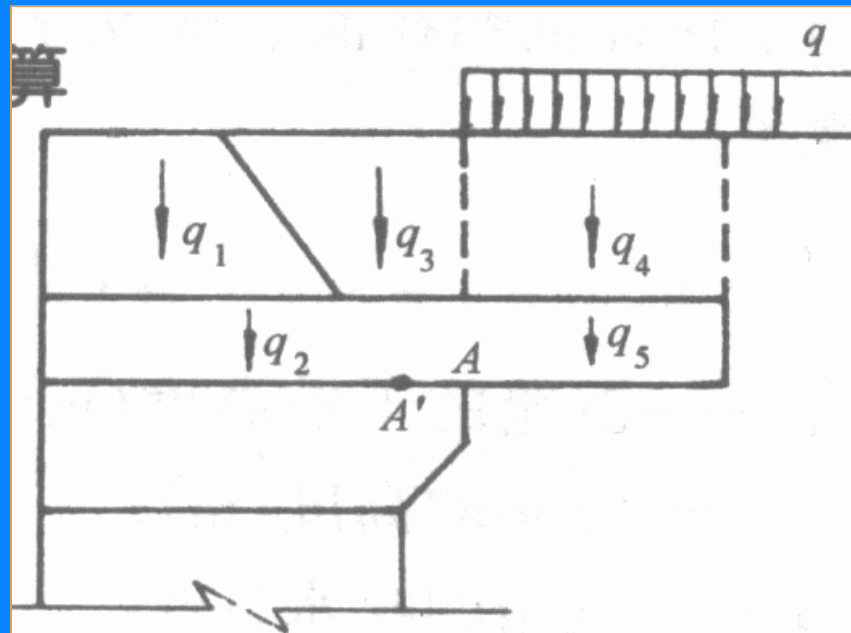
M_0 —A点右侧的卸荷板以上的结构自重和其上的均载自重产生的倾覆力矩 (kN·m)

M_G —A点左侧的卸荷板以上的结构自重产生的稳定力矩 (kN·m)

γ_d —结构系数

卸荷板的承载力和裂缝宽度

按悬臂板验算承载力和裂缝宽度。
注意计算时应将支撑点后移20 ~ 30cm, 至A'



方块码头的计算

无底板空心块体码头抗倾稳定性

对无底空心方块码头，由于空心块体的填料与块体壁之间的摩擦力存在，填料有一部分重量直接作用到基床上，而另一部分则是通过块体壁传到基床上（同储仓压力）。因此，在计算抗倾稳定性时，应将前者扣除，即将填料起抗倾作用的竖向力标准值按下式扣除：

$$G_R = W_0 - A_R \sigma_z$$

G_R — 腔内起抗倾作用的填料重力标准值（kN）

W_0 — 腔内填料自重力标准值（kN）

σ_z — 直接作用在基床上的填料接触应力标准值（kPa）

A_R — 填料与基床直接接触面积（m²）

沉箱码头的计算

浮游稳定性验算

$$m = \rho - a > 0$$

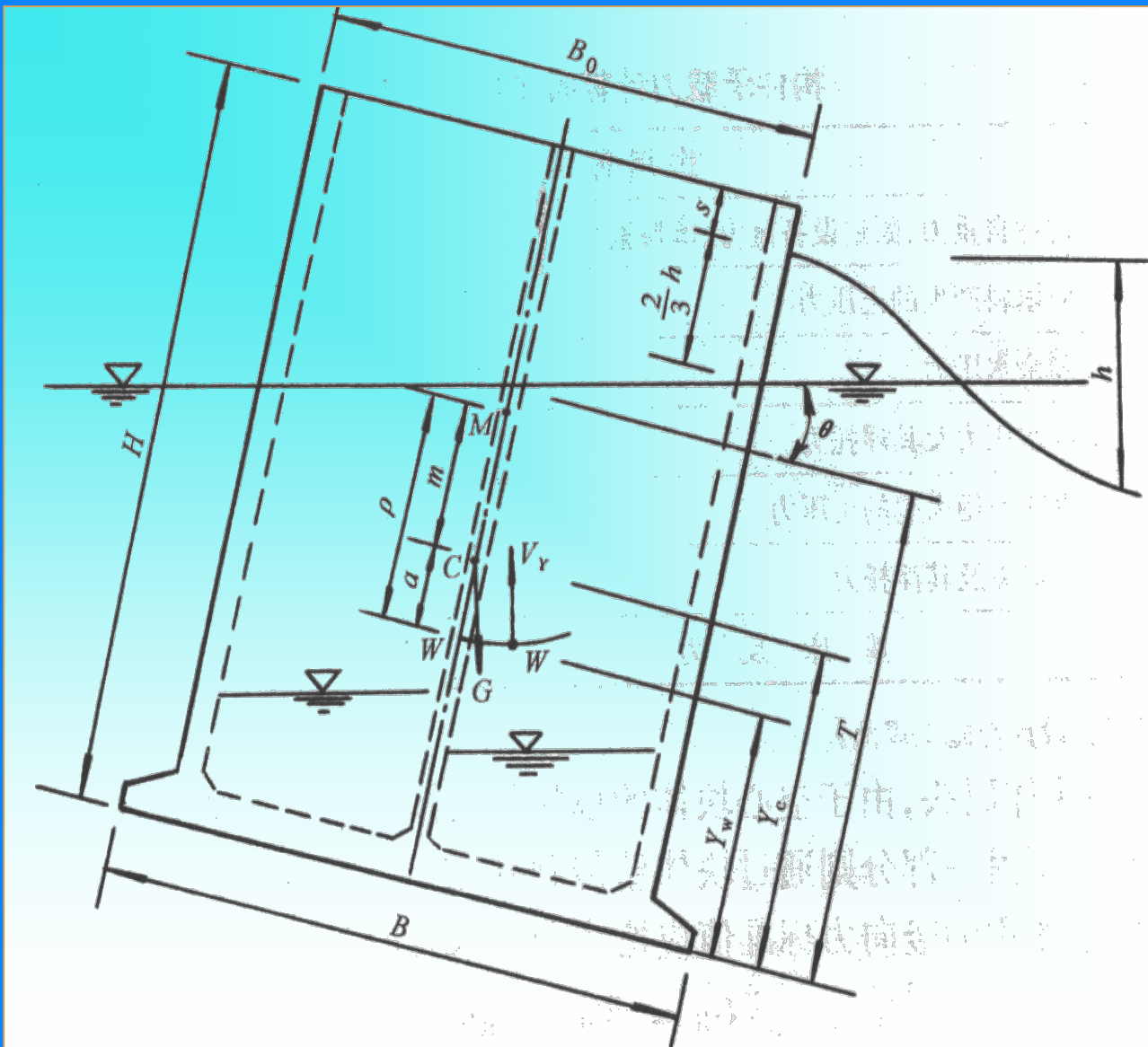
m — 定倾高度 (m)

ρ — 定倾半径 (m)

a — 沉箱重心到浮心的距离 (m)

C — 重心

G — 浮心



沉箱码头的计算

干舷高度计算

$$F = H - T \geq \frac{B_0}{2} \tan \theta + \frac{2h}{3} + S$$

F —沉箱的干舷高度(m)

H —沉箱的高度(m)

T —沉箱的吃水 (m)

B_0 —沉箱在水面处的宽度 (m)

h —波高 (m)

θ —沉箱的倾角，溜放时采用滑道末端的坡脚；浮运时采用6～8度

S —沉箱的干舷富余高度 (m)

沉箱码头的计算

沉箱外壁的计算

需
考
虑
的
作
用

吊运下水时可能承受的外力

沉箱用绞车控制在滑道上下水或坞内漂浮时的水压力，只考虑静水压力

密封舱顶的矩形沉箱在滑道上自由溜放时承受的水压力，假定水面与箱顶齐平，静水压力+动水压力

沉箱浮运时的水压力和波压力

沉箱沉放时的水压力

对箱格有抽水要求时的水压力

使用期的箱内填料侧压力、波浪力和冰荷载

沉箱码头的计算

沉箱底板的计算

需考虑的作用

基床反力

底板自重力

箱格内填料的垂直压力

浮托力（对无掩护的海港应考虑波浪的浮托力）

计算图式

底板按四边固定板计算，外趾按悬臂板计算



谢谢！

Thanks a Lot