

第五章 航道疏浚工程

- 第一节 疏浚工程的任务与特点
- 第二节 疏浚工程机械的选择
- 第三节 内河挖槽设计及水力计算
- 第四节 潮汐河口挖槽设计
- 第五节 挖槽土石方的计算
- 第六节 疏浚对环境的影响与控制

第五章 航道疏浚工程

- 第一节 疏浚工程的任务与特点

一、疏浚工程的任务

疏浚工程：采用挖泥船或其他机具以及人工进行水下挖掘土石方的工程。

(1) 对于沙质和沙卵石河床：

采用挖泥船挖除碍航的泥沙堆积物，增加航道水深。

(2) 对于石质河床：

采用爆破的方法（常称炸礁）炸除碍航的石嘴、石梁、孤石、岩盘等。



长江最大清淤船“海翔号”挖泥船(8m³)

一、疏浚工程的任务

在航道和港口工程中，疏浚的主要任务

1. 开挖新的航道、港池、运河；
2. 改善航道的航行条件，维护航道尺度，消除对船舶有影响的流态；
3. 开挖码头、船坞、船闸及其他水上建筑物的基槽；
4. 与开挖相结合的吹填及疏浚物综合利用工程。

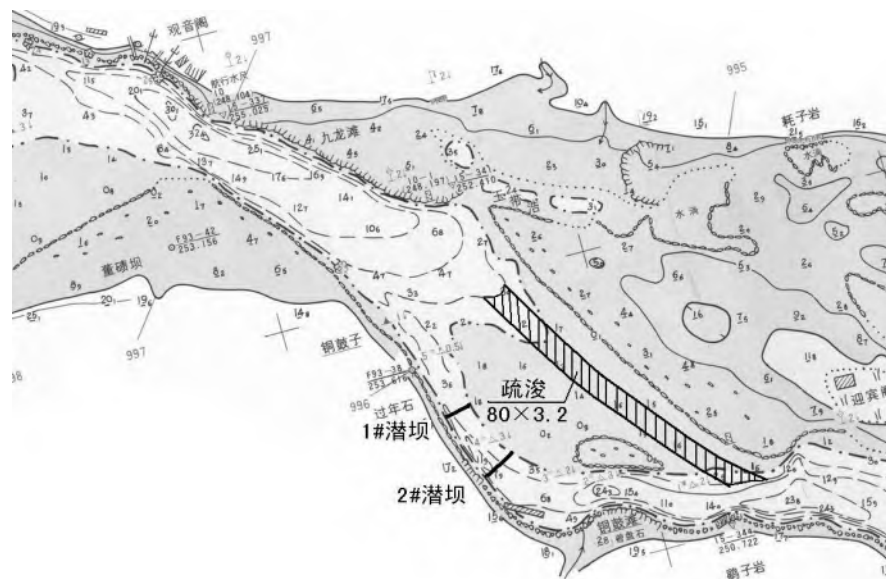
二、疏浚的特点

1. 优点

- (1) 通过疏浚，通航条件即可改善，不需要大量的工程材料和人力；
- (2) 挖槽尺度与河床的尺度相比常常很小，不会引起引起河床水流条件产生很大变化。
- (3) 疏浚方法不但常常被单独使用，而且能与利用整治建筑物改善航道的方法结合。

2. 疏浚工程的主要问题

挖槽内的泥沙淤积(?)



三、航道疏浚工程的分类

- **分类：** 基建性疏浚； 维护性疏浚； 临时性疏浚。

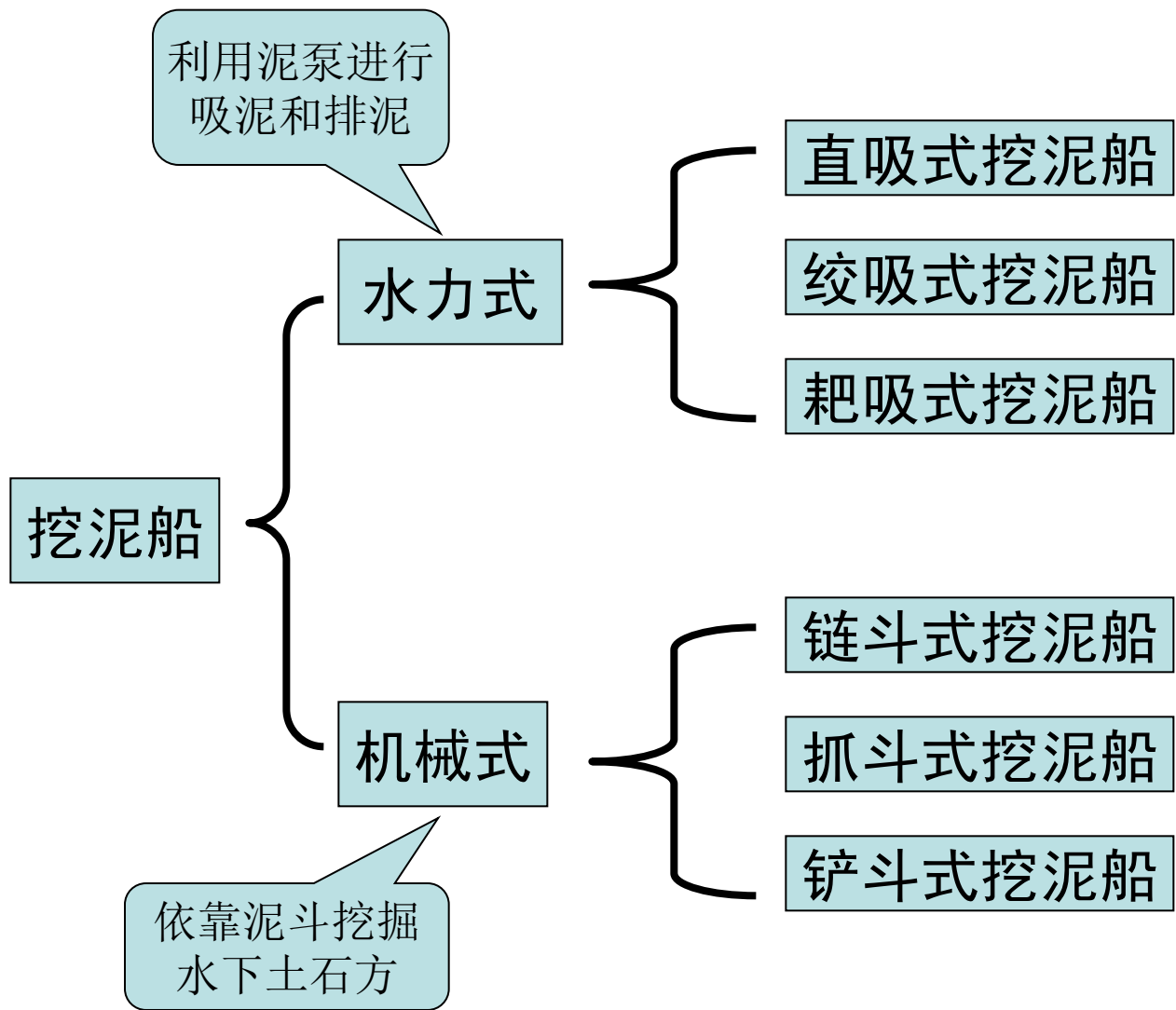
基建性疏浚： 为开辟航道、港口等或为提高它们的尺度，改善通航条件，具有新建、改建、扩建性质的疏浚。工程量一般较大，技术要求也较高。

维护性疏浚： 为维持现有航道尺度而进行的经常性疏浚。

临时性疏浚： 通常为计划外临时安排的疏浚，如航道中因沙丘下移出浅而临时挖掘等

第五章 航道疏浚工程

- 第二节 疏浚工程机械的选择



一、耙吸式挖泥船

施工时利用耙头将泥耙松，然后由泥泵吸泥，通过泥管输入泥舱。当船徐徐向前航行时，其耙头沿着河底进行耙吸挖泥。

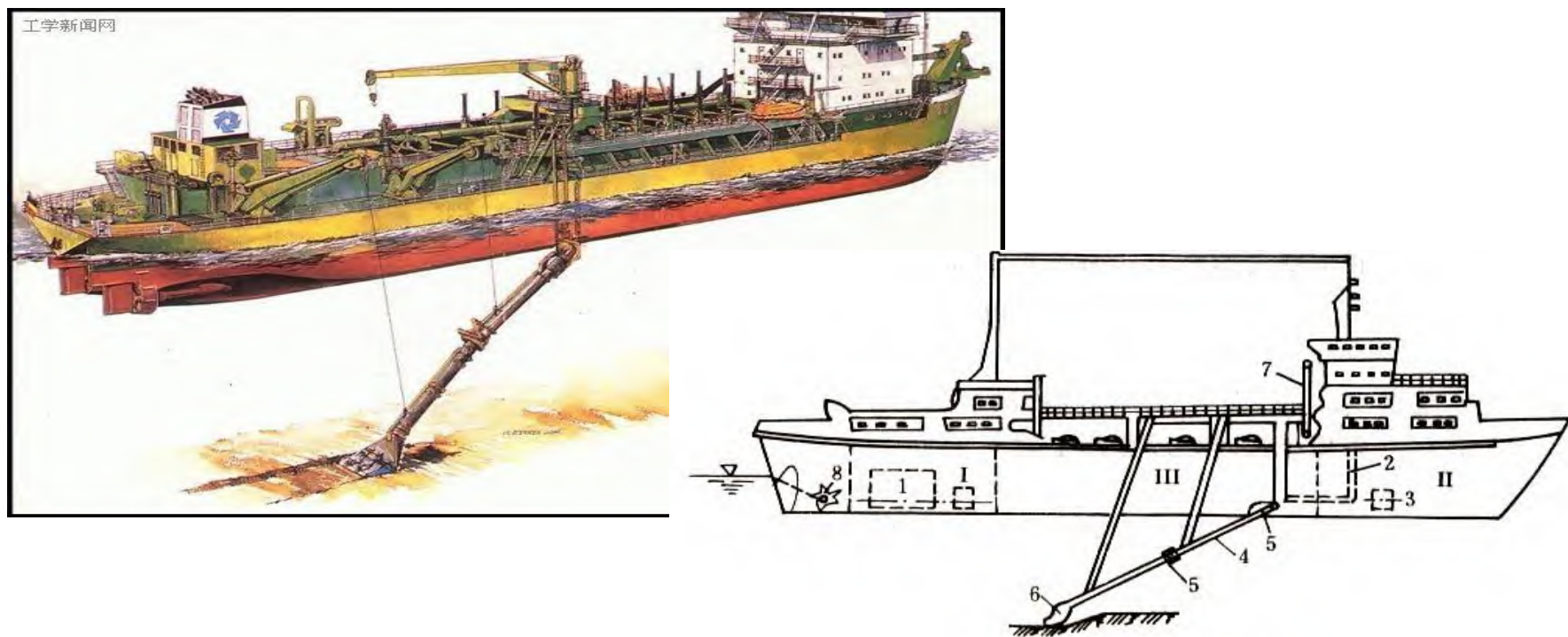


图 4-3 自航耙吸式挖泥船示意图

I-主机舱；II-泥泵舱；III-泥舱

1-主机；2-泥泵；3-电动机；4-吸泥管；5-挠性接头；6-耙头；7-排泥管；8-推进器

一、耙吸式挖泥船

耙吸式挖泥船的特点及施工性能

- 1) 自带泥舱，具有自挖、自装、自运、自抛的施工性能；
- 2) 抗风浪能力强，有自航能力，调遣方便，能迅速转移工作场地；
- 3) 最适合挖各类软土、松散沙挖泥；
- 4) 较难适应转角部位和狭隘水域，挖槽平整度差；

二、绞吸式挖泥船

利用吸泥管前端装设的绞刀绞松河底土壤，与水混合成泥浆，通过泥泵作用，泥浆经吸泥管吸入泵体并经排泥管输送至排泥区。

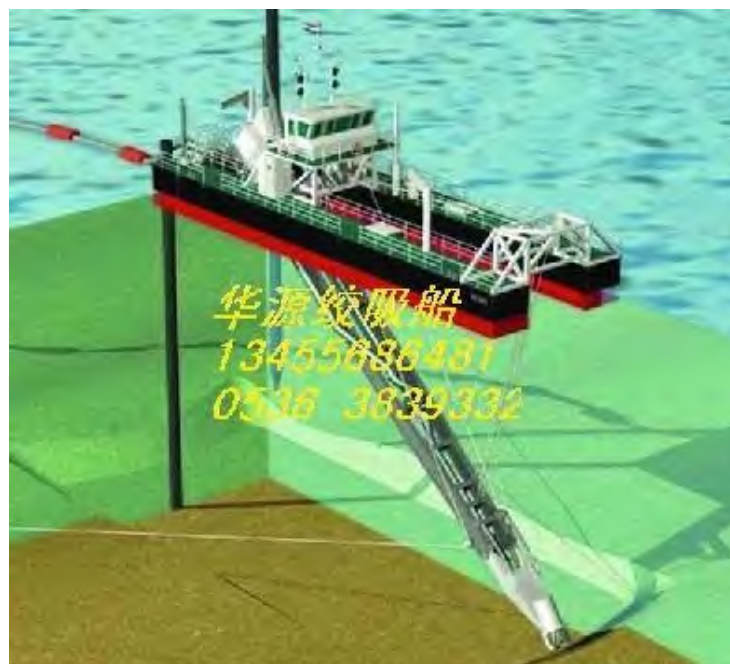


绞吸式挖泥船

二、绞吸式挖泥船

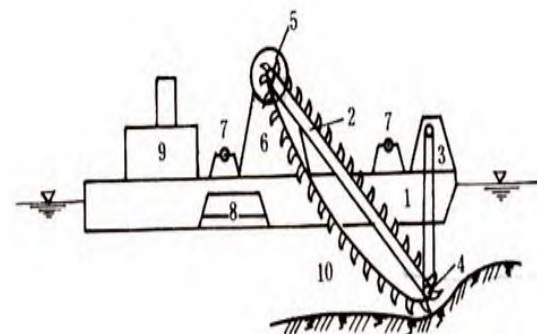
绞吸式挖泥船的特点及施工性能

- 1) 能自挖、自吹，可以连续吸排作业；
- 2) 效率高，成本低；
- 3) 比其他挖泥船更能广泛有效地挖掘各类沙、粘土和淤泥；
- 4) 挖硬质土时，效率较低；
- 5) 受自然条件影响较大。多用在港池、内河航道等较隐蔽水域（风浪较小）的疏浚工程。



三、链斗式挖泥船

运用斗链将几十个泥斗组成一串，连续地挖泥。分非自航和自航链斗挖泥船。



三、链斗式挖泥船

链斗式挖泥船的特点及施工性能

- 1) 疏浚挖槽平整，适合较大范围的疏浚工程；
- 2) 施工不受排泥距离限制（采用泥驳输泥）；
- 3) 挖泥船施工时，锚缆碍航，且需配备辅助船舶，调遣工作较麻烦；
- 4) 易挖淤泥、沙、粘土乃至碎石；
- 5) 挖掘流态淤泥、极细的低粘土质时，挖效差，易流失；
- 6) 挖掘坚硬粘土困难，强粘性土会粘附在泥斗上，增加卸泥难度。挖掘大块石和密实碎石难度更大。

四、抓斗式挖泥船

利用抓斗抓取泥土。有**自航式与非自航式**，船体为箱形，在甲板上设置可旋转360°的抓斗机。自航式抓斗挖泥船本身设有泥舱，非自航式的另配泥驳。



抓取石块的抓斗

四、抓斗式挖泥船

抓斗式挖泥船的特点及施工性能

- 1) 浚挖水深大，最大挖深可达30~50m或更深；
- 2) 可兼做起重船清除水下障碍物；
- 3) 可浚挖各种土质（流态淤泥除外）；
- 4) 能较好地适应转角挖泥；
- 5) 抓斗式挖泥船施工的挖槽平整度稍差，生产效率较前述挖泥船低。

五、铲斗式挖泥船

利用铲斗挖泥。挖泥时，利用吊臂上伸出的长柄铲斗铲入水底挖掘泥石，然后用绞机提升铲斗，将土石方卸于泥驳。



反铲挖泥船施工

五、铲斗式挖泥船

铲斗式挖泥船的特点及施工性能

- 优点是全部功率集中使用在一个铲斗上，可以进行特硬土挖掘。
- 可用于挖掘各种重粘土和石质土壤，也适用于其他挖泥船不能承担的特殊挖掘任务，如清理围堰、拆毁旧堤、打捞沉物和清除水下障碍物等。
- 还可装置重锤进行碎石施工。

五种挖泥船疏浚特性综合比较

一般根据疏浚地区的土质及施工条件，选择最适宜的挖泥船型

- 1) 挖掘土质广泛性方面：绞吸、链斗、抓斗和铲斗式较广，耙吸式仅适用于软土质
- 2) 挖掘水深尺度方面：抓斗式最大，铲斗式最小；
- 3) 挖掘边角性能方面：抓斗、铲斗式最佳，耙吸式最差；
- 4) 挖掘平整度方面：绞吸、链斗式最好，抓斗和铲斗式较差，耙吸式最差；
- 5) 用于填地、筑坝方面：绞吸式最适用，铲斗式最差。

第五章 航道疏浚工程

- 第三节 内河挖槽设计及水力计算

一、挖槽定线的基本原则

- 总原则：利于船舶安全航行、经济合理、易于施工、水力最佳
- 1、**挖槽方向常以与主流的夹角来表示**，挖槽的方向与中枯水主流方向一致，交角不应超过 15° 。
- 2、在浅滩脊上设计挖槽时，挖槽应通过浅滩鞍凹。
- 3、挖槽在平面上常设计成直线，挖槽不可避免出现折线时，其转弯半径应满足要求，并适当加宽。
- 4、在满足航道尺度的条件下，挖槽宜窄而深，不宜宽而浅。
- 5、挖槽应选择最短线路。
- 6、挖槽与上、下游深槽必须平顺相接，在交接处可将挖槽逐渐放宽成喇叭口形；

二、抛泥区选择

➤ 疏浚土的处理:

① 陆上吹填

② 水下抛泥

③ 边抛法

旁通，溢流，长悬臂架等。



✓ 用边抛法抛泥，应慎重研究水流的流速、流向能否将边抛的泥土带出挖槽及航道之外，尽量减少对挖槽及附近航道产生淤积。

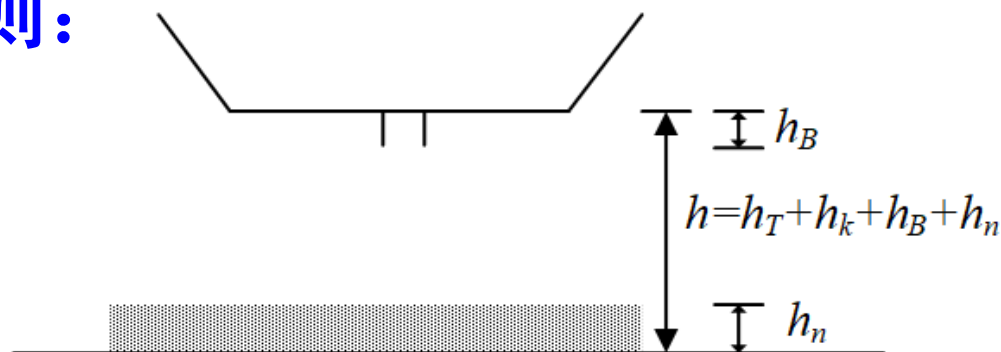
二、抛泥区选择

➤ 抛泥区选择一般原则：

- 1、航行要求：**抛泥区应选择在不碍航处，通常选在凸岸边滩下部。
- 2、航道稳定性要求：**疏浚泥土抛置后，应不回淤至挖槽或附近的航道。
 - (1) 下深槽沱口
 - (2) 抬高边滩
 - (3) 不通航汊道

二、抛泥区选择

➤ 抛泥区选择一般原则：



3、施工要求：

- (1) 抛泥区应有足够水深，使抛泥船能打开泥门正常抛泥。
- (2) 挖槽至抛泥区应有安全航道可通。在条件许可下挖槽至抛泥区的距离尽可能缩短，以提高工效。

4、环保要求：

应避免在养殖场、取水口等工、农、渔生产地区选择泥区，防止对环境产生污染。

三、典型浅滩挖槽布置

1-挖槽;2-抛泥区;3-深槽;4-边滩;5-航道中心线。

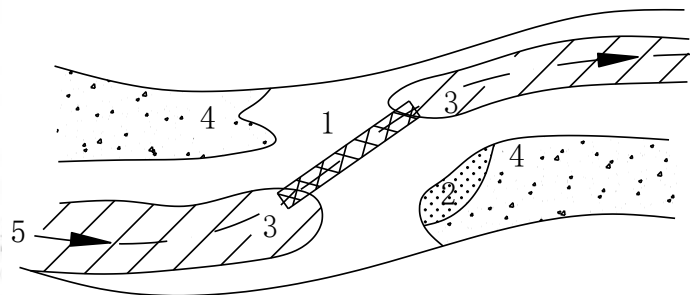


图 5-1 正常浅滩挖槽布置

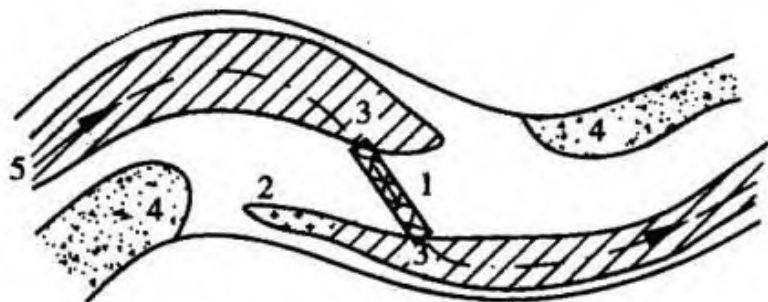


图 5-2 交错浅滩挖槽布置

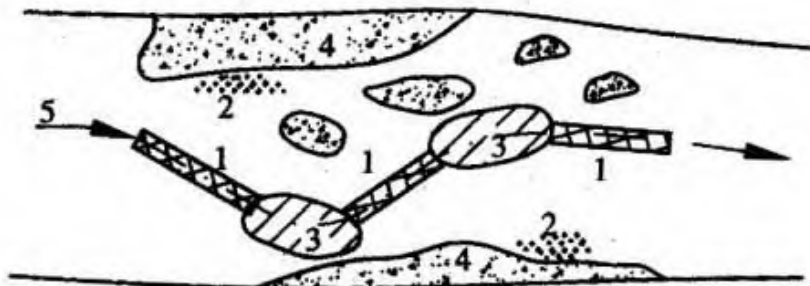


图 5-3 散乱浅滩挖槽布置

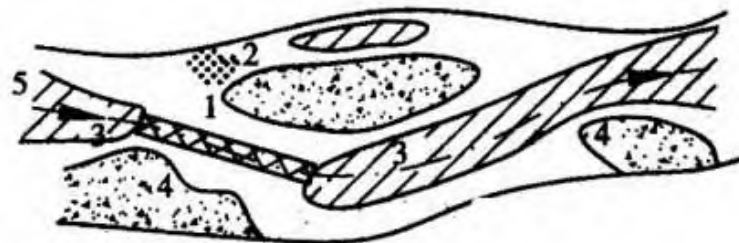


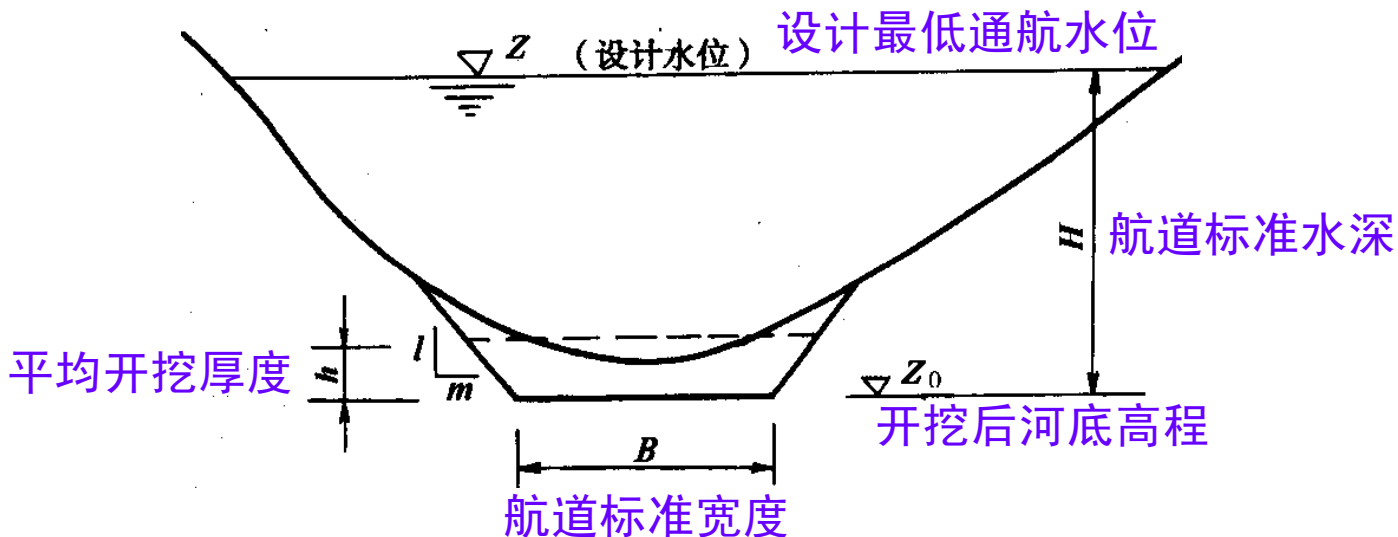
图 5-4 汊道浅滩挖槽布置

四、挖槽断面设计

1. 航道尺度要求： 挖槽宽度、深度、弯曲半径
根据《内河通航标准》规定取值

2. 稳定性要求：

- 应使挖槽内的流速大于开挖前挖槽区的流速；
- 且不小于挖槽上游河段的流速；
- 同时使挖槽内的流速沿程相等或有所增大。



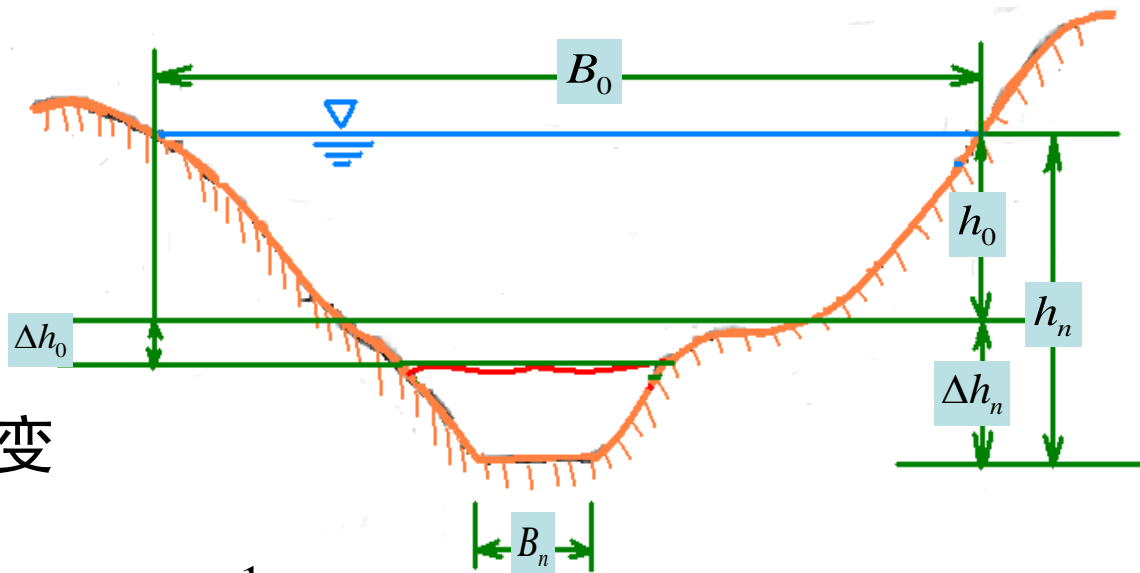
四、挖槽断面设计

3. 挖槽断面尺度计算

均匀流公式

$$U = \frac{1}{n} h^{2/3} J^{1/2}$$

假定挖槽前后糙率 n 不变



挖槽前：浅滩上平均流速 $U_0 = \frac{1}{n} h_0^{2/3} J_0^{1/2}$

挖槽后：

- 挖槽内平均流速 $U_n = \frac{1}{n} h_n^{2/3} J_n^{1/2}$
- 假定挖槽内外比降相同
- 挖槽外平均流速 $U_0' = \frac{1}{n} h_0^{2/3} J_n^{1/2}$

$U_0' = U_n \left(\frac{h_0}{h_n} \right)^{2/3}$

四、挖槽断面设计

3. 挖槽断面尺度计算

挖槽前后流量相等

$$U_0 B_0 h_0 = U_n B_n h_n + U_n' (B_0 - B_n) h_0$$

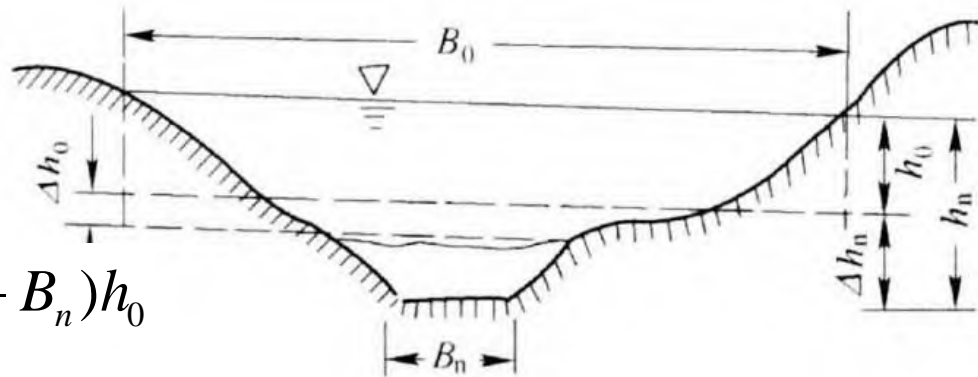
$$U_0 B_0 h_0 = U_n B_n h_n + U_n \left(\frac{h_0}{h_n} \right)^{2/3} (B_0 - B_n) h_0$$

$$\longrightarrow k_m = \frac{a^{2/3}}{1 - b + ba^{5/3}}$$

式中: $k_m = \frac{U_n}{U_0}$

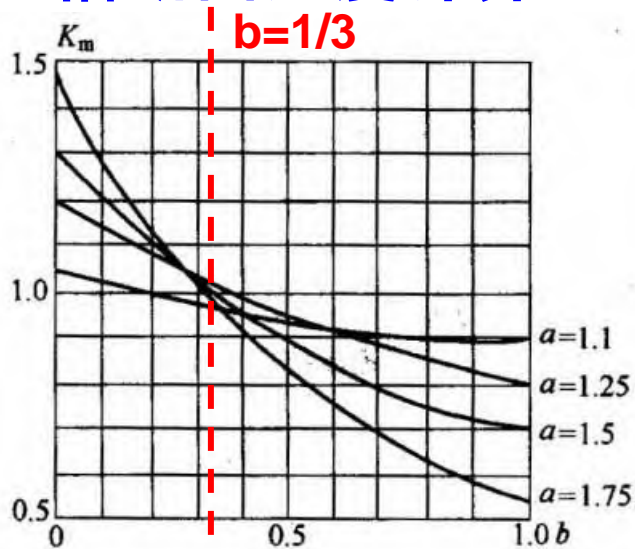
$a = \frac{h_n}{h_0}$, 相对挖槽深度

$b = \frac{B_n}{B_0}$, 相对挖槽宽度

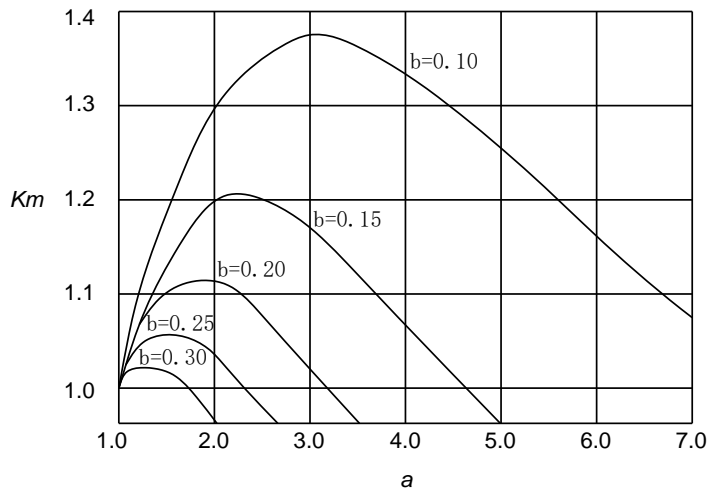


四、挖槽断面设计

3. 挖槽断面尺度计算



$k_m \sim b$ 曲线



$k_m \sim a$ 曲线

求 k_m 的极值，得挖槽内获得最大流速的条件为

$$\frac{dk_m}{da} = 0 \quad \longrightarrow \quad a = 0.786 \left(\frac{1-b}{b} \right)^{0.6}$$

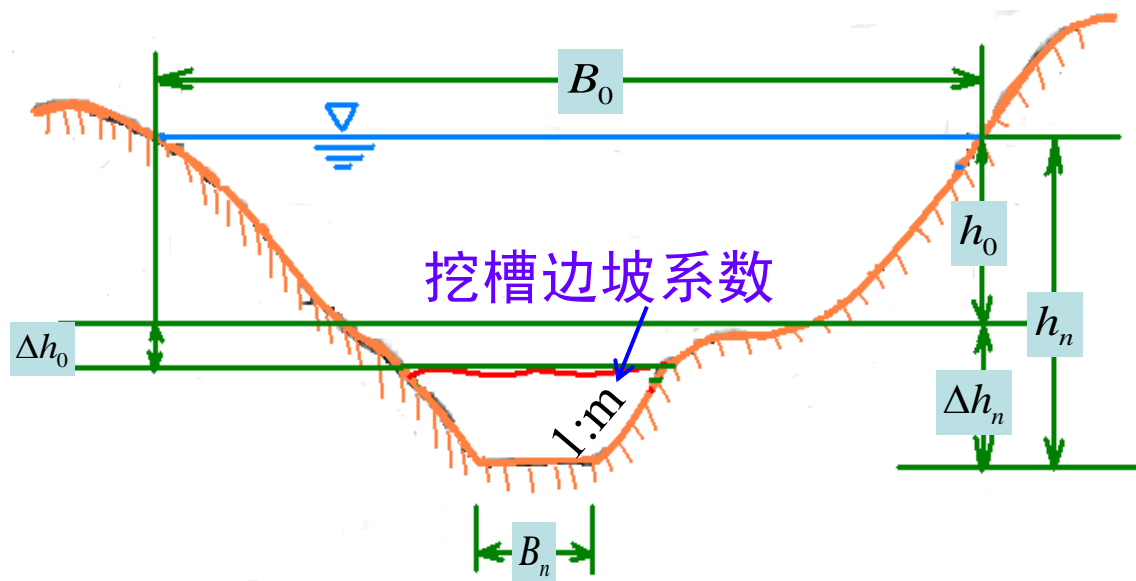
求相应可得 k_m 的最大值为

$$k_m = \frac{0.51}{(1-b)^{0.6} b^{0.4}}$$

四、挖槽断面设计

4、挖槽断面形状

- 横断面对称梯形：两侧边坡系数 m



- 挖槽纵断面底坡宜与挖槽后的水面线一致。

四、挖槽断面设计

5、挖槽后水位降落计算

● 水面线计算方法

综合糙率
$$n = \sqrt{\frac{n_p^2 \chi_p + n_n^2 \chi_n}{\chi_p + \chi_n}}$$

n_p 、 χ_p --挖前河床糙率和湿周

n_n 、 χ_n --挖后槽内糙率和湿周

挖前天然河床糙率由实测资料反求；挖后槽内糙率根据河床质组成，按经验或查糙率表确定。

● 均匀流公式

若挖槽断面面积与河床断面面积的比值不大，可假定槽内糙率与原河床糙率相同，采用均匀流公式进行计算。

四、挖槽断面设计

5、挖槽后水位降落计算

(1) 挖槽段水位降落

按均匀流公式计算 $v = \frac{1}{n} H^{2/3} J^{1/2}$

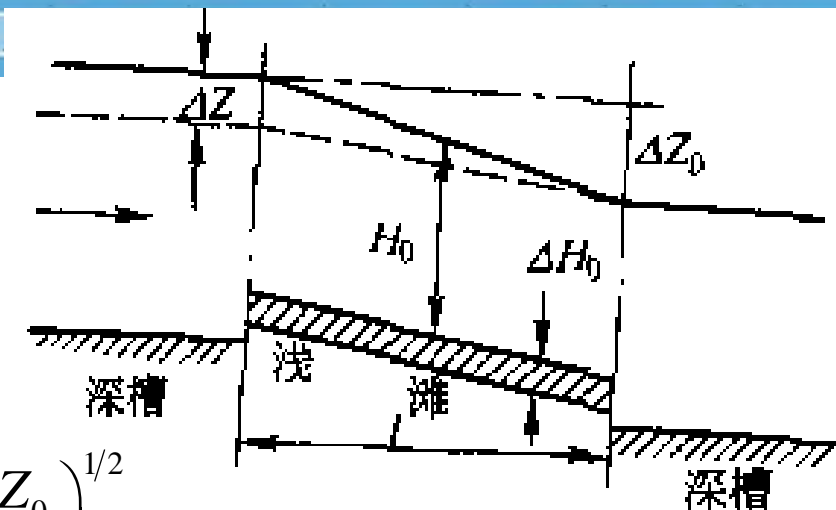
挖前总流量 $Q' = B_0 H_0 v_0 = \frac{B_0 H_0^{5/3}}{n} \left(\frac{\Delta Z_0}{L} \right)^{1/2}$

挖后总流量

$$Q = B_0 \left(H_0 + \Delta H_0 - \frac{\Delta Z}{2} \right) v_n = \frac{B_0 \left(H_0 + \Delta H_0 - \frac{\Delta Z}{2} \right)^{5/3}}{n_n} \left(\frac{\Delta Z_0 - \Delta Z}{L} \right)^{1/2}$$

假设 $n_n = n$ 由 $Q' = Q$

得
$$\left(1 + \frac{\Delta H_0}{H_0} - \frac{\Delta Z}{2H_0} \right)^{10/3} \left(1 - \frac{\Delta Z}{\Delta Z_0} \right) = 1$$



四、挖槽断面设计

5、挖槽后水位降落计算

(2) 上游河段的水位降落

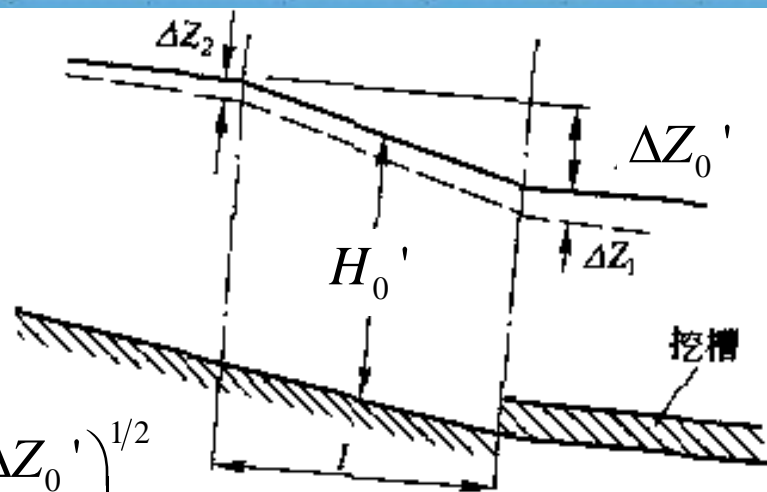
$$v = \frac{1}{n} H^{2/3} J^{1/2}$$

挖前总流量 $Q_0' = B_0' H_0' v_0' = \frac{B_0' H_0'^{5/3}}{n} \left(\frac{\Delta Z_0'}{L} \right)^{1/2}$

挖后总流量

$$Q_1' = B_0' \left(H_0' - \frac{\Delta Z_1 + \Delta Z_2}{2} \right) v_n = \frac{B_0' \left(H_0' - \frac{\Delta Z_1 + \Delta Z_2}{2} \right)^{5/3}}{n} \left(\frac{\Delta Z_0' + \Delta Z_1 - \Delta Z_2}{L} \right)^{1/2}$$

由 $Q_1' = Q_0'$ $\longrightarrow \left(1 - \frac{\Delta Z_1 + \Delta Z_2}{2H_0'} \right)^{10/3} \left(1 + \frac{\Delta Z_1 - \Delta Z_2}{\Delta Z_0'} \right) = 1$



第五章 航道疏浚工程

- 第四节 潮汐河口挖槽设计

一、河口挖槽选线

- 1. 从航行条件出发

在开敞水域中航槽轴线应尽可能与常遇风、浪、流的合力方向平行。

- 2. 从航槽的稳定性要求出发

挖槽方向应尽可能与涨落潮的底流方向一致，有利于泥沙运行，减少疏浚工程量。

二、河口挖槽尺度的确定

1. 挖槽深度的确定

乘潮水位：确定河口航道水深时，除运输特别繁忙的河口航道按设计水位确定外，通常可选择较高潮位作为**大轮进出航道的设计水位**，称为乘潮水位。乘潮水位一般取乘潮累积频率**90%-95%**。

设计水位确定后，根据船舶吃水和富裕水深得出挖槽底部高程。

二、河口挖槽尺度的确定

1. 挖槽深度的确定

$$D_0 = T + Z_0 + Z_1 + Z_2 + Z_3$$

$$D = D_0 + Z_4$$

D指**设计水深**， D_0 指**通航水深**

T—设计船舶**满载吃水**；

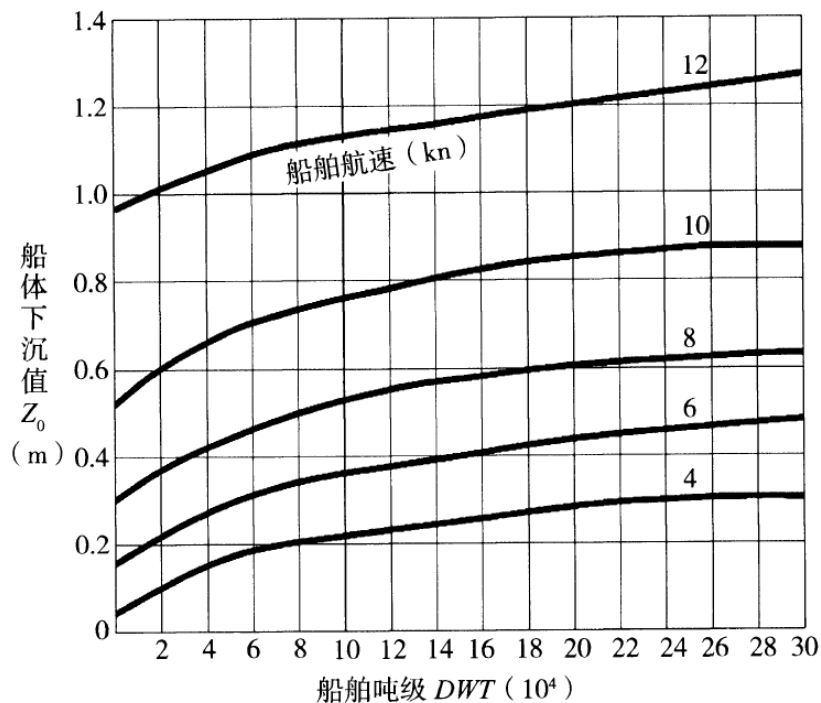
Z_0 —船舶航行时船体下沉量；

Z_1 —航行时龙骨下最小富余深度；

Z_2 —**波浪富余深度**；

Z_3 —船舶装载纵倾富余水深，杂货船和集装箱船可不计，油船和散货船取0.15m；

Z_4 —**备淤富余深度**，应根据两次挖泥间隔的淤积量确定，一般不小于0.4m；



二、河口挖槽尺度的确定

2. 挖槽的宽度

(1) 经验取值

单线航道按经验取挖槽宽度为设计船宽的3~4倍；

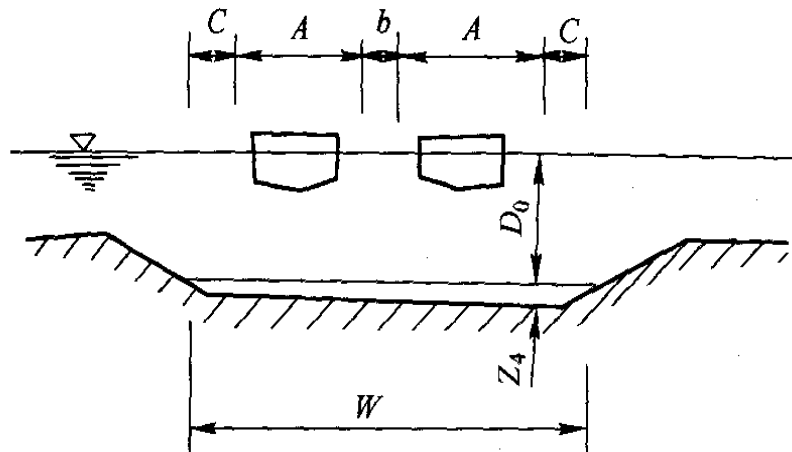
双线航道取设计船宽的6~7倍。

(2) 规范计算方法

单线航道 $W = A + 2C$

双线航道 $W = 2A + b + 2C$

$$A = \eta(L \sin \gamma + B)$$



A—航迹带宽度；

b—船舶间富余宽度，一般取设计船宽；

C—船舶与航道底边间的富余宽度；

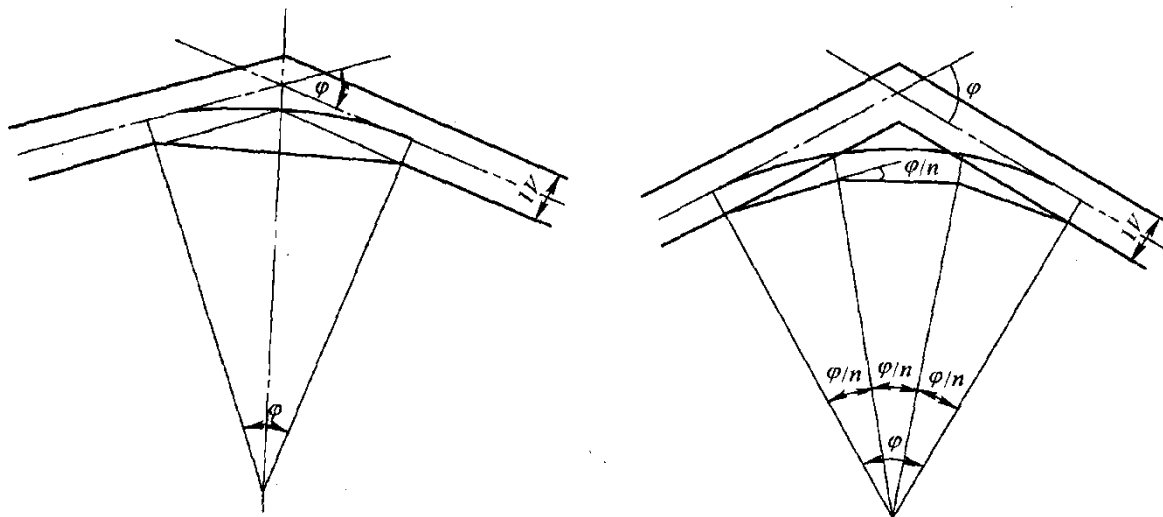
γ —风、流压偏角

η —船舶漂移倍数

二、河口挖槽尺度的确定

3. 挖槽的弯曲半径

- $\varphi \leq 10^\circ$ 时，可不考虑圆弧段过渡，内外边线直接相交；
- $10^\circ < \varphi \leq 30^\circ$ 时，宜取 $R = (3 \sim 5)L$ ，采用切角法加宽；
- $30^\circ < \varphi \leq 60^\circ$ 时，宜取 $R = (5 \sim 10)L$ ，采用折线切割法加宽；
- $\varphi > 60^\circ$ 时，宜取 $R > 10L$ ，采用折线切割法加宽



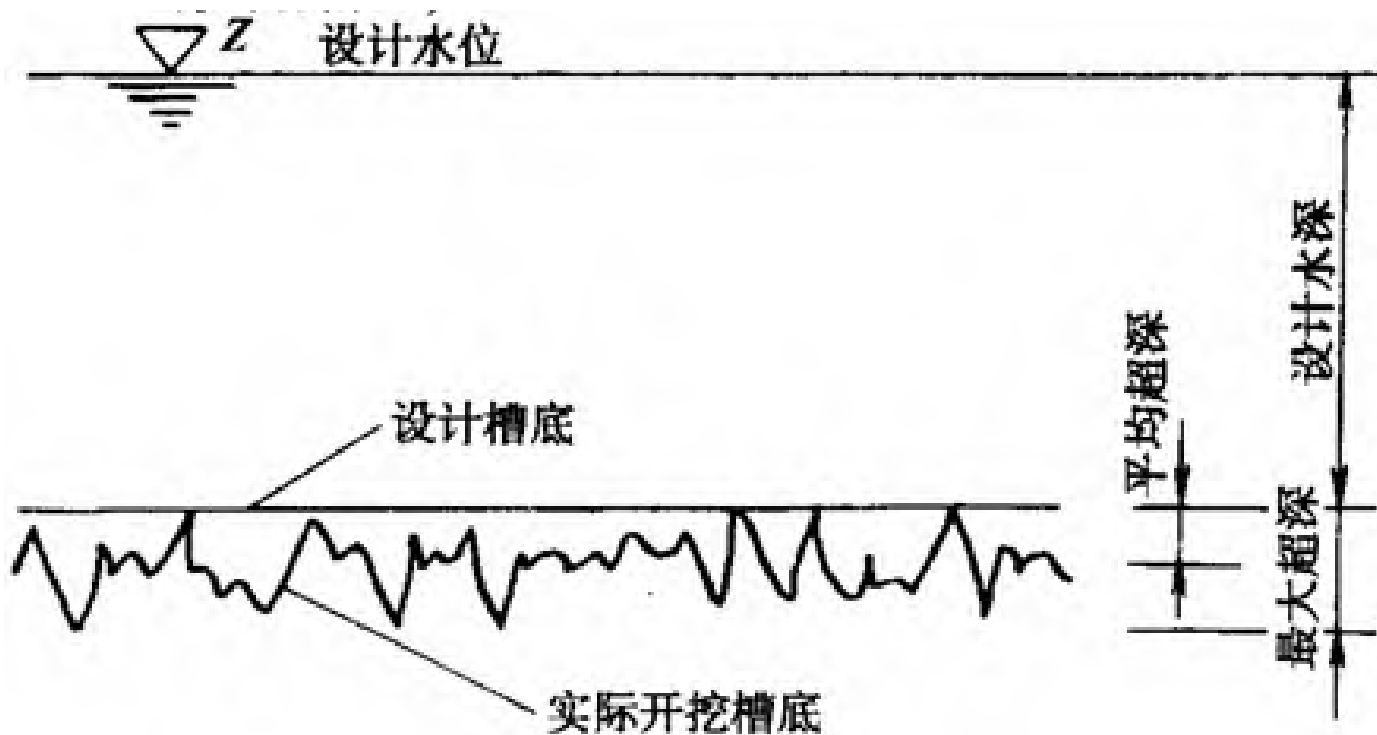
a) 航道转弯段加宽示意图
a) 切角法； b) 折线切割法

第五章 航道疏浚工程

- 第五节 挖槽土石方的计算

一、超深

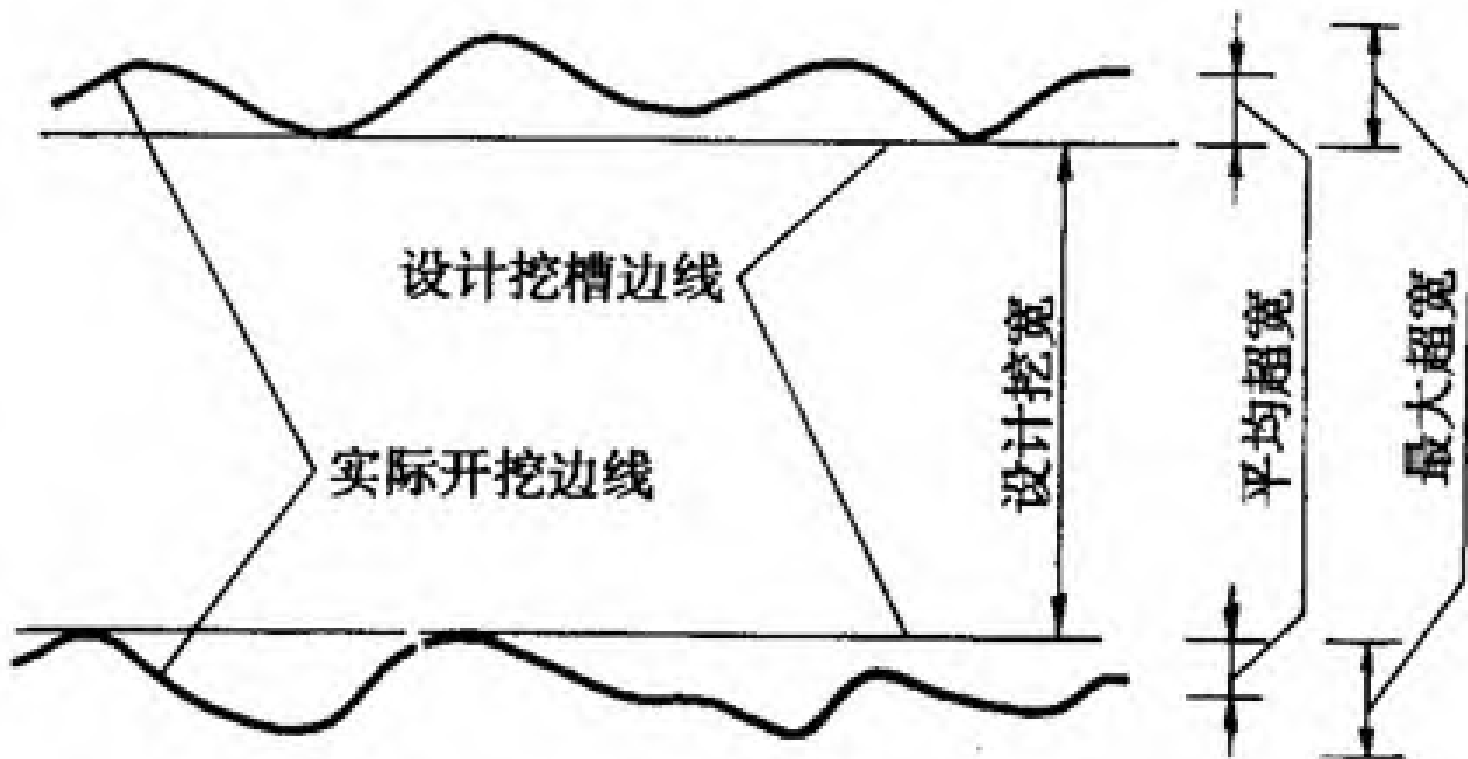
- 航道疏浚时，实际开挖槽底平均高程与设计槽底高程之间的高差。



挖槽实际开挖槽底示意图

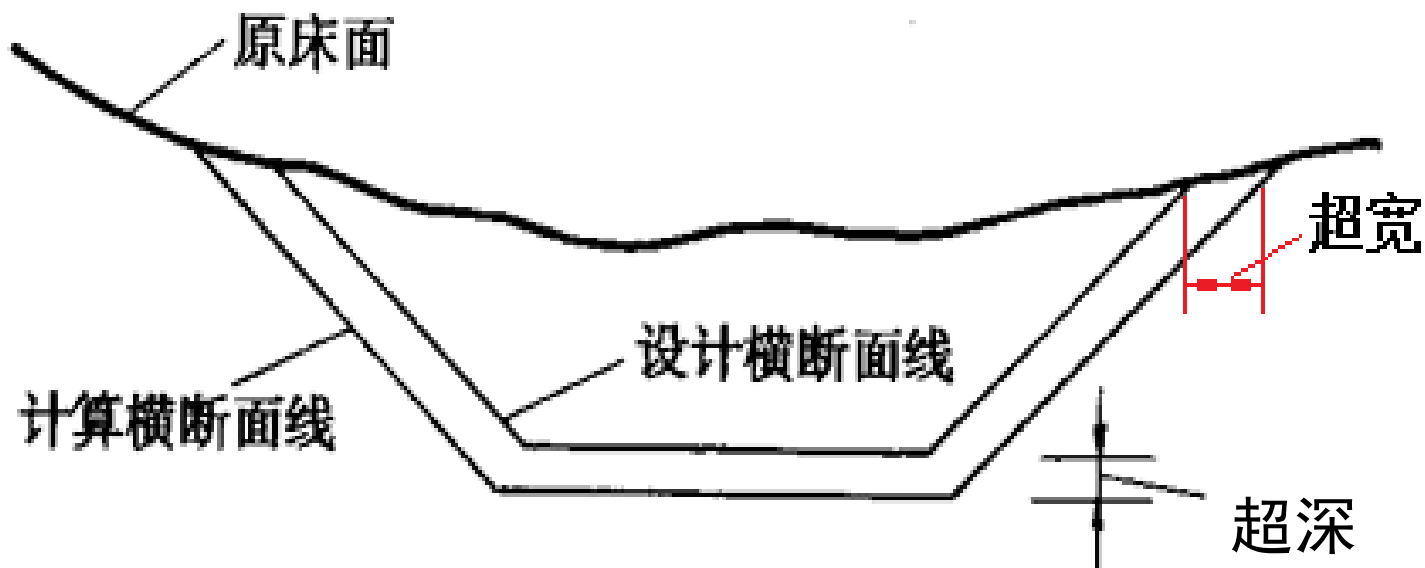
二、超宽

航道疏浚时，实际开挖槽边线的平均值与设计挖槽边线之间的横向差距。



挖槽实际开挖边线示意图

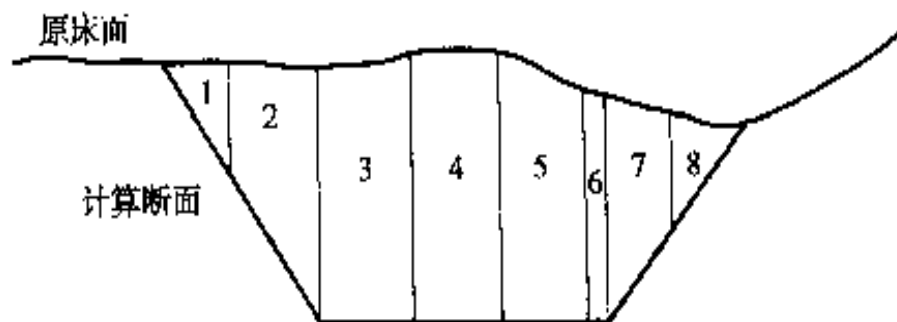
三、疏浚工程量计算断面



疏浚工程量计算断面示意图

四、挖槽的土石方计算

教材不全面（或错误），见
《疏浚与吹填工程设计规范》
《疏浚与吹填工程施工规范》



1. 断面积法

- 在设计挖槽上选取若干计算断面 A_0 、 A_1 、 A_2 、... A_n ，断面间距视地形变化情况而定。
- 在每一横断面上算出包括超深、超宽的挖槽面积：按梯形或三角形算出各面积后再相加得横断面的总面积。

$$V = \frac{A_0 + A_1}{2} L_1 + \frac{A_1 + A_2}{2} L_2 + \dots + \frac{A_{n-1} + A_n}{2} L_n$$

式中 V ——挖槽断面工程量(m^3)；

A_0 、 A_1 ... A_n ——分别为各计算断面上的疏浚面积(m^2)；

L_1 、 L_2 ... L_n ——分别为 A_0 与 A_1 、 A_1 与 A_2 ... A_{n-1} 与 A_n 计算断面间的间距(m)。

四、挖槽的土石方计算

2. 平均水深法

《疏浚与吹填工程设计规范》(JTS181-5-2012):

$$V = V_m + V_s$$

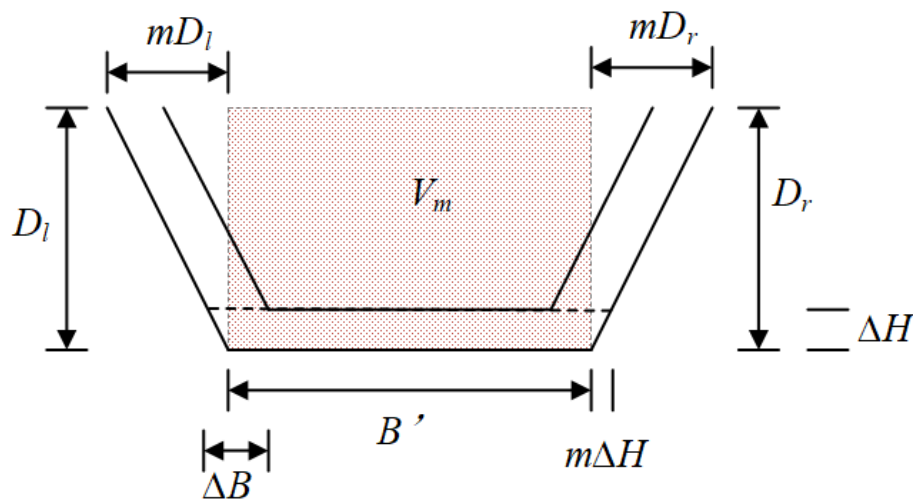
$$V_m = B' \times D \times L$$

$$B' = B + 2(\Delta B - m\Delta H)$$

$$V_s = \frac{1}{2} \times m \times D_l^2 \times L_l + \frac{1}{2} \times m \times D_r^2 \times L_r$$

D_l 、 D_r : 挖槽左、右计算底边线上的平均疏浚厚度

L_l 、 L_r : 挖槽左、右计算底边线的长度



第五章 航道疏浚工程

● 第六节 疏浚对环境影响与控制

疏浚工程设计应按现行行业标准《水运工程环境保护设计规范》（JTS 149-2018）的有关规定执行

本节自学！

第五章 航道疏浚工程

- 第六节 疏浚对环境影响与控制

一、疏浚工程对环境的影响

1. 对自然环境的影响

- 对施工区域水力条件改变的影响；
- 对水域底部形态变化的影响；
- 对水质带来的变化；
- 施工区域空气质量的变化（即气味等的变化）。

2. 对社会环境的影响

- 施工期机具噪声水平提高的干扰；
- 弃土与抛泥沿程带来的泄漏影响；
- 在挖泥和排泥操作扰动水底沉积物并使之重新悬浮时，造成二次污染，对船体磨蚀和人群健康的影响；
- 水体污染异色，使人产生反感，失去旅游观光的价值等。

一、疏浚工程对环境的影响

3. 疏浚施工过程中对水体中的污染物迁移影响

(1) 水中污染物在水体中变化

- 机械迁移
- 物理-化学转化
- 生物性转化

(2) 抛泥和弃土过程中污染物的变化

- 水体中吸附的污染物由水相转化为固相形成新的污染形态；
- 在抛泥区的氧化环境发生变化，形成污染物新的扩散条件和范围，可造成二次污染。

二、疏浚污染的控制

疏浚工程设计应按现行行业标准《水运工程环境保护设计规范》（JTS 149-2018）的有关规定执行

1. 施工过程中的控制

- （1）在挖泥时采取措施（如在耙头设置气体吸收装置），不使泥浆及有害气体扩散。
- （2）采用沙帘的方法。
- （3）建立不渗漏的抛泥区，以容纳废物。
- （4）研究采用边抛等施工方法的地点和时间，尽量减少污染物对人类的危害。

二、疏浚污染的控制

2.减少弃泥二次污染的措施

(1) 采用化学或生物方法，将疏浚泥土变成不污染的陆域土地填充料。

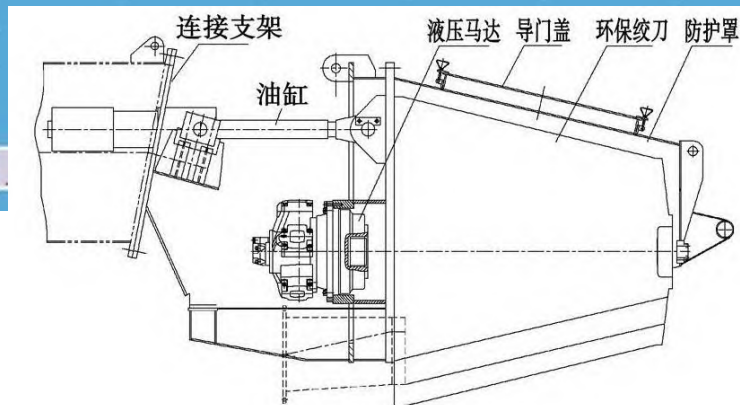
(2) 将河底泥烧制陶瓷和粘土砖。

(3) 利用疏浚淤泥作为城市绿化材料。

例：根据中国-挪威两国合作开展的《苏州河水环境综合整治规划研究》成果表明，苏州河市区段河底泥沙中铬、铜、汞、锌、铁、砷等均高于正常的环境背景值，苏南大运河二期工程即采用疏浚弃土作为绿化用土壤。

二、疏浚污染的控制

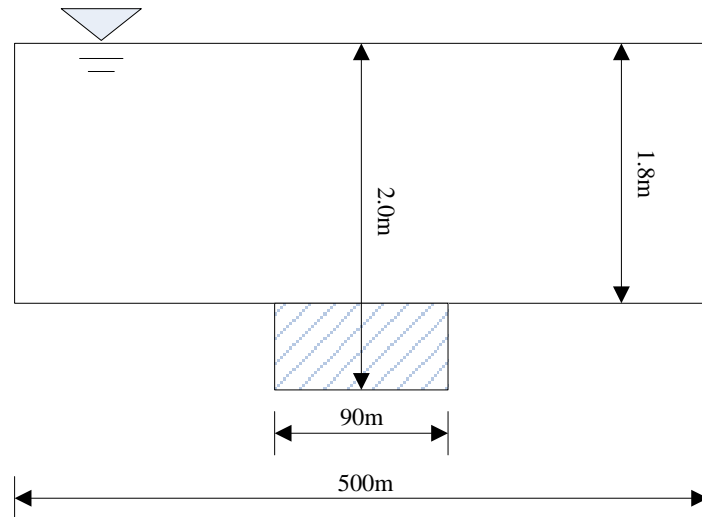
3.采用环保挖泥船



- (1) **耙吸船**溢流采用水下溢流，减小水下污染。耙头采用环保耙头，耙头设有涡流防护罩，既降低挖泥引起的混浊度，又提高挖泥浓度；
- (2) **绞吸式挖泥船**采用环保绞刀头。
- (3) **抓斗船**采用全封闭防漏抓斗，**铲斗船**采用遮盖铲斗，使泥斗在提升过程中没有泄漏；
- (4) **链斗挖泥船**采用封闭斗架，将斗内溢出的泥沙经溢流槽回流至水底，减小水体混浊度；

作业5

1、某浅滩断面如图所示，流量为常数 $Q=300\text{m}^3/\text{s}$ ，假定垂线平均流速仅与垂线水深有关： $V=\frac{1}{n}J^{1/2}h^{2/3}$ ，挖槽内外糙率、比降相等，上深槽流速若为 0.5m/s ，挖槽内水深2米，宽90米，问挖泥后挖槽是否稳定？若不稳定，河宽要减少多少，才能使其稳定？



2、疏浚工程可能对环境产生哪些不利影响？可以采取的控制措施有哪些？