

研究报告

潜运沉管建闸方法

周君亮

(江苏省水利厅, 南京 210029)

[摘要] 潜运沉管建闸适用在航运发达的顺直河道上建设水工建筑物。闸位取在原来航道上, 闸室和闸门口径可以与航道等宽, 运行期不碍航; 闸室的钢筋混凝土的浇筑, 预埋、闸门和启闭设备的安装和调试等都可在预制场内完成; 预制场灌水后, 确定闸身潜运时的有效质量和底板底高程, 使潜运及在航道内的定位工作十分简便; 可以水上拆装和动水开关闸门; 施工风险小, 施工期短, 临时工程少, 工程造价省。

[关键词] 潜运沉管; 建闸方法; 水上拆装闸门

1 潜运沉管建闸方法的特点和优势

潜运沉管建闸是设计和综合水上、水下施工的一种建闸方法, 特点和优势如下:

1) 适用在航运发达、航线顺直的河道上建设水工建筑物, 如季节性调节水流的节制闸工程, 立体交叉穿过航道的过水建筑物工程, 短期内作广厢式闸室运行的船闸工程等。

2) 闸位取在原来航道上, 闸室与闸门口径可以与航道等宽, 运行期不碍航; 水上拆装闸门, 施工期原来航道可以不断航。

3) 需要时可以实现多次浮运移动闸室到新的闸位。

4) 闸室的主要工作量如闸身钢筋混凝土的浇筑, 预埋, 闸门和启闭设备的安装与调试等都可在预制场内完成。

5) 预制场灌水后, 可利用水的浮力, 根据需要来调整和确定闸身潜运时的有效质量, 以及闸身在航道内就位后的底板底高程, 使潜运和在航道内的定位工作十分简便, 即使闸身质量和底板平面尺寸很大, 或几块底板拼在一起, 都可以一次潜运, 施工风险很小。

6) 在潜运闸身时, 航道需要临时停航, 但在航道内定位闸身平面位置并完成向闸身底板下压力

灌注混凝土, 仅需要几天时间, 此后即可恢复通航。其他水下底部工程都可以水下施工, 在航道的一半水面宽度下施工, 另一半水面宽度保证维持通航, 因此仅有不长时间碍航。

7) 预制场内工作一般不受汛期限制, 基坑准备、沉管潜运、底部和翼墙工程在两个汛期之间可以完工, 故施工期短, 临时工程少, 工程造价省。

2 潜运沉管方法建立交工程

1997年6月在淮河入海水道可行性研究报告预评估中, 笔者提出采用潜运沉管方法建设淮安枢纽。因为入海水道在淮安与京杭运河直线相交, 相交处运河的年运输量已超过 $6\,000 \times 10^4$ t, 入海水道在泄洪时流速很大, 两河水位又配不平。为保证入海水道泄洪期间运河能维持正常通航, 入海水道穿运河的工程必须立交。又因为: (1) 入海水道近期工程泄洪 $2\,270 \text{ m}^3/\text{s}$, 远景工程泄洪 $7\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。如远景工程干地施工, 需要开导航河, 它将截断入海水道, 施工期内, 已经完成的近期工程不能泄洪, 故不能采用开导航河方法干地施工, 只能采用潜运沉管方法。(2) 20世纪60年代末淮河入江水道按 $1\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ 拓宽后, 淮河下游防洪标准接近50年一遇, 此后洪泽湖上游开挖了新汴河等, 它

[收稿日期] 2000-07-17

[作者简介] 周君亮 (1925-), 男, 江苏锡山市人, 中国工程院院士, 教授级高级工程师, 中国工程设计大师

们 20~40 年一遇的入湖洪水超过 8 000 m³/s，故要提高淮河下游防洪标准，只有继续实施远景工程。(3) 近期工程在两河相交处干地施工比潜运沉管方法施工的工程造价增加很多，仅导航河一项造价已很可观，因为导航河是一条底宽 70 m 的二级航道的地上河；又要做穿导航河倒虹吸地涵，过流

180 m³/s，与穿运河排涝地涵配套，它的洞身工程量是在近期立交工程的五分之一以上，竣工后，又必须完全拆除。所以采用潜运沉管方法施工应是最优选择。

根据淮安枢纽条件，简述潜运沉管立交工程设计和施工方法，并附淮安枢纽总体布置图（图 1）。

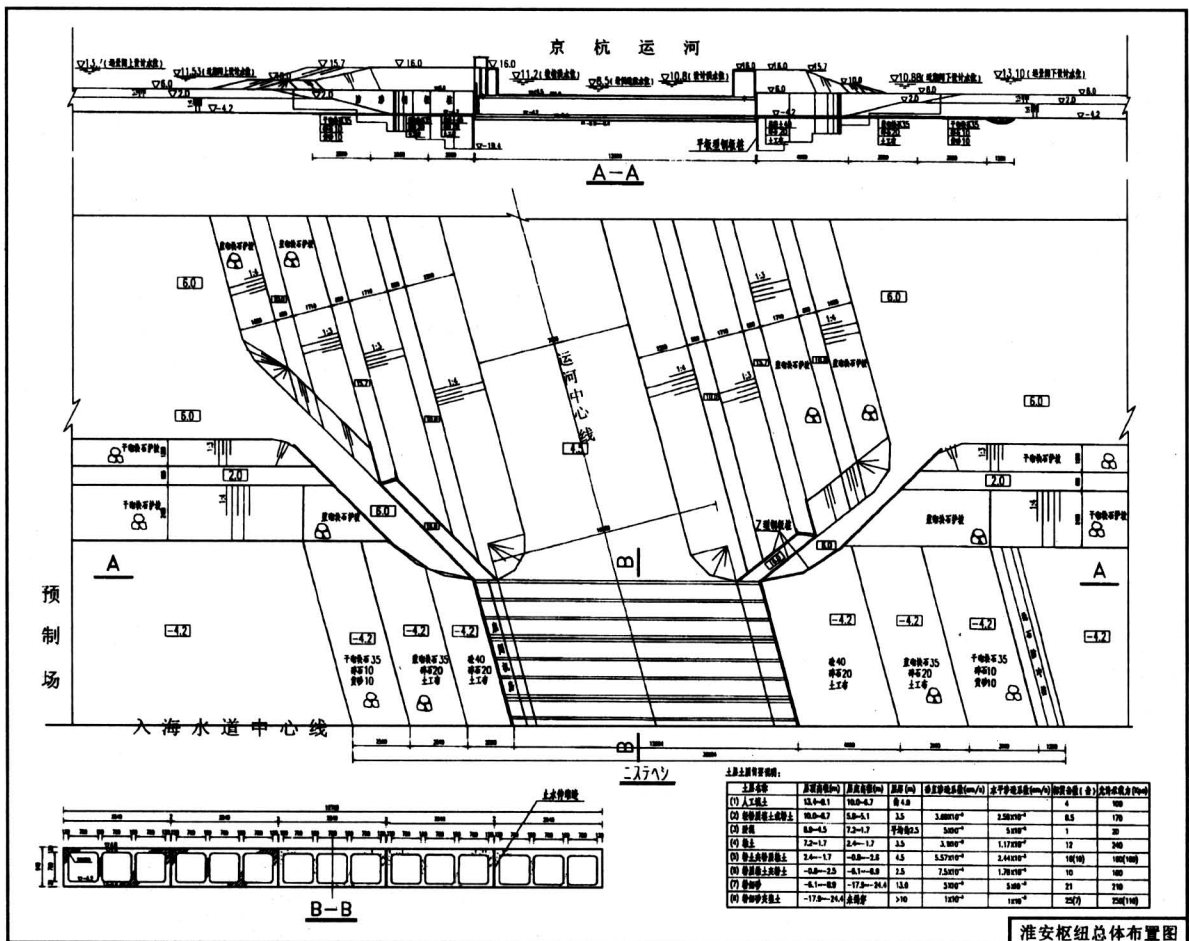


图 1 淮安枢纽总体布置图

Fig. 1 Lay out of Huai'an movable dam

1) 根据交通部水工局运设(59)第75号文京杭运河航道设计几项暂行规定，修建直立驳岸应在最低通航水位的水面宽度之外。工程位置处，河底宽 70 m，最小通航水深 4 m，最小通航水深以下的河坡按 1:4 计算，则两岸直立边墙之间水面宽度不小于 102 m。

2) 沉管的东、西两头所设的直立边墙为顶宽约 10 m 的进水空箱，西侧空箱的宽度包括兼作进人孔和抽水孔的进气孔宽和门槽宽。

3) 由于入海水道与运河斜交约 105°，故两岸

直立边墙与洞轴线斜交，但进人孔和门槽孔与洞轴线要正交。沉管底板为平行四边形，边长约为 131 × 126 m。由于入海水道大堤间距要再拓宽已很困难，故总图上两期工程的位置应一次布置。

4) 沉管采用后张法预应力钢筋混凝土结构，分段预制浇筑，段之间为台阶施工缝。每段长约 20 m，缝内夹 JSP* 水膨胀橡胶条。为简化施工，非预应力钢筋可考虑不伸过施工缝，由预应力钢筋

* JSP 是江苏省化工研究所产品商标

将分段预制的沉管连成整体。沉管分块之间为止水伸缩缝，夹软沥青毡和止水片，并预埋连接件，连成整块，但允许分块之间可以少许上下滑动，但不允许拉开。为减小因分块沉管斜底板扭转引起的不均匀沉降，在空箱部位洞侧墙之间夹硬木块，使分块沉管相互顶住。沉管混凝土浇筑时加 NA-FY* 混凝土抗裂防渗剂。管内临时空气腔的位置应使沉管平稳浮起。浇筑前要严格检查立模尺寸，模板结构要牢固，浇筑时要确保预制件构造尺寸正确。

5) 运河已渠化，该河段最低通航水位为▽8.50 m，已不再行洪，因用水需要，一般控制最低水位在▽9 m。故沉管洞顶高在▽4 m，洞顶上铺垫 0.50 m 粗砂压重，作为保护层。

6) 绞吸式挖泥船荷兰 IHC3800 型带抛锚杆和 水下断面仪，生产率 1 450 m³/h，水下正常挖深 16 m。考虑运河挖槽时运河水位为▽9 m，洞底底面高程在▽-5.40 m，挖槽深到▽-5.50 m 或▽-5.60 m，由潜水工扫平，并测量水下地形，可用 GPS 法。挖泥船挖槽时，避开货运旺季，出泥管不允许横穿运河，保证在挖运河时，另一半水面宽度维持上下行通航。

7) 在预制前应作沉管混凝土的单位质量试验，根据试验的单位质量，设计中对沉管高度与它的自重作综合比较，可将质量控制在一定范围内，以造价最低为目标函数，优化设计。

8) 预制场放在运河西侧的人海水道内，并对准沉管位置。预制场底面高程▽-0.50 m。采用大口径抽水降水井，将预制场的地下水位降到▽-0.50 m 以下。因为预制沉管总的轮廓尺寸较大，故除在沉管两端各设一排降水井外，在沉管中部、穿过沉管隔墙也要设一排降水井。每口井设自动控制井水位装置。保证不发生地下水漫事故。

9) 预制沉管时沉管底面与预制场地面之间要保证不产生粘结力，可用塑料布铺在场地上，在塑料布上铺一层水泥袋纸，在纸上预制，并做试验，证实此法有效。

10) 在预制场内，可以将沉管的固定件预埋，闸门和启闭机安装、调试等工作全部完成。五块沉管总重估计约 15×10⁴ t。预制沉管拖运前，在预制场内灌水，并进入洞内检查有无渗漏，如有渗漏，要随时处理好。当灌水到离沉管顶约 0.10 m 时，靠浮力和调整每块沉管洞顶粗砂压重使整块沉管刚刚浮起。再增加洞顶压重，使洞身沉下和每块

沉管在水中的有效重为 10 t。调整工作都在预制场内完成。

11) 将运河堤挖开。在运河水位稍高于▽10 m 时，在每块沉管四角事先测定好的位置，由同吨位和同型式的屯船同时用吊杆吊起。可用装有量测长度和测力装置的自锁螺杆起重机。同步校正整块沉管的底面高程。并在整块沉管四角各系二根牵引钢丝绳，一根垂直于沉管，一根平行于沉管，连接到岸上的卷扬机，拉拖沉管到航道边。再将运河水位降到▽9 m，同步调整吊杆长度，再次确认沉管底面高程在▽-5.40 m。运河开始断航。潜水工再次检查和清除沉管位置处场地上有无异物如铁锚等，或用其它方法如水下电视或水下摄像机扫描确认后，开始拉拖沉管进入航道，并校正和确定整块沉管的平面位置。

12) 沉管两端和整块沉管中部各设多个灌浆孔。灌浆用的混凝土中加 NNCD-1** 水下抗分散剂，增加其流动性，灌浆压力不得将沉管顶起。先将整块沉管两侧和两端预先设置的封隙钢板放下，再次确认和保持运河水位在▽9 m 时，开始对沉管底面以下压力灌浆，先在沉管两端同时灌混凝土浆，再连续同时同步向中部灌，一次灌完。灌浆时应监视吊杆拉力和长度，并检查管内有无渗漏发生，如发生，应及时堵塞。灌浆混凝土达到一定强度后，凿开沉管内空气腔两端隔水墙，水进入管内，同时用袋装土平衡填入整块沉管两侧，并用浓泥浆灌密实，再在洞顶铺粗沙到高程▽4.50 m。

13) 屯船撤离，牵引钢丝绳拆除，恢复通航。

14) 在整块沉管空箱四角，向原运河堤施打板桩，插入运河堤，与原运河堤的河坡连接，作为整块沉管空箱四角的翼墙，是对拉的板桩结构，对拉的两道板桩要保证结构稳定和防渗作用。在两道板桩内，先用袋装土沉填，同时在板桩外侧也用袋装土叠成坡面；两者都再用浓泥浆灌密实。

15) 对拉的两道板桩可采用 Z 型钢板桩。两道板桩要与空箱四角和洞口导流墙连接，构成垂直止水缝。在运河侧高程▽8.60 m（或更低）以上外包薄层钢筋混凝土，成为劲性钢筋混凝土结构，施工时，运河水位降到▽8.50 m，部分混凝土若在水下浇筑，混凝土中加 NNCD-2 水下抗分散

* NA-FA 是南京水利科学研究院产品商标

** NNDC-1 是南京水利科学研究院产品商标

剂，增加它的流动性和抗裂防渗性，用导管法施工；入海水道侧底高程可做到 $\nabla 6\text{ m}$ （或更低）。在不与远景工程连接的墙也可采用其他型式结构。

16) 沉管孔口洞底板的板桩为防渗板桩，采用平板型钢板桩，板桩顶部要加盖顶，盖顶与洞底板之间为止水缝，同时做成受力施工缝。使盖顶与洞底板连成整体，故洞底板预制时要预埋止水片；洞底板与盖顶连接处的混凝土要打毛；洞口导流墙钢板桩与盖顶连接处要在钢板桩上预焊止水片；盖顶钢筋与底板钢筋要水下焊接；钢板桩顶要伸入盖顶混凝土，它们之间夹 U 形 JSP 延时水膨胀橡胶条；盖顶混凝土外加 NNDC-2 水下抗分散剂，水下立模浇筑，用多根导管法施工，洞口导流墙处必需设一根导管，由该处先灌混凝土，从两侧逐步向中部灌，将混凝土推向中部，中部一根导管作为模板内被灌入混凝土所排挤的水体的排出口，保证盖顶混凝土与止水结合密实。

17) 在沉管洞口两侧设八字型导流墙，采用 Z 型钢板桩拉条墙结构，板桩要起防渗作用，墙顶高程同原地面高程 $\nabla 6\text{ m}$ ，板桩底高程逐步向外提高。不与远景工程连接和今后不再拆除的钢板桩墙顶部 1~2 m 内可外包钢筋混凝土，成劲性钢筋混凝土结构。不与远景工程连接的导流墙也可采用其他型式结构，在入海水道内基坑的积水逐步排除到低于高程 $\nabla 6\text{ m}$ 时导流墙开始施工。

18) 可将入海水道内基坑的积水逐步排除，排水时要监视沉管孔口防渗板桩外的土体，到某一水位或发生沙沸或管涌时，应停止排水，在防渗板桩外侧水中施工，铺土工布，做反滤层。必要时抽干水后整理反滤层面层有冒水孔的干砌预制混凝土板和块石。并全部凿除沉管内空气腔两端隔水墙。

19) 为便于施工和与远景工程连接，采用钢板桩，但要研究在地下水位和河水位以上部位抗锈蚀问题。可先采用 HZ* 高压无气喷涂环氧厚浆作为底漆封闭，钢板桩就位后，再外包钢筋混凝土，成双重保护。或采用其他办法。

20) 入海水道内运河两侧河堤的顶高程在有板桩的部位顶高程同该处入海水道堤顶高。在挡洪水的一侧做防浪墙。

21) IHC3800 型挖泥船的排泥吹程可达 3 km。挖出的运河河槽土方可用来加高工程位置的运河堤即拦河坝和部分入海水道堤。预制场挖出的土方筑预制场施工围堰；围堰拆除的土方加固入海水道

堤。

22) 由于上游和下游的翼墙不对称，要做水工模型试验，验证沉管进口和出口的水流条件。

23) 水下施工如空箱四角与运河堤和洞口导流墙的钢板桩连接构成的垂直止水缝等关键部位，监理中要有水下摄像机录像确认。

24) 可以汛期后期开工预制沉管，第二年 3 月中旬完成预制沉管和浮运准备工作；运河河槽深挖，破运河堤，挖通预制场航道在 3 月下旬完成。4 月初浮运沉管。7 月上旬完成主体工程，具备放水条件。

3 潜运沉管方法建水闸和广厢式船闸

潜运沉管方法建水闸或船闸，即在沉管上装闸门。20 世纪 60 年代，在常熟市建设浮运闸，建后 20 余年内，已三次成功地往下游浮运搬迁新址，除场地等准备工作外，浮运搬迁过程仅用几小时。苏南运河的年运输量已超过 10^8 t ，整治拓宽后，山区和高地洪水下泄量增大，上、下游地区排水矛盾加剧。短时间流速极大，船只停航，因此要在运河上建常州新闸，短时间控制洪水泄量，要求该工程平时不碍航，施工期不断航，运行方便。采用潜运沉管方法建闸，可以实现工程需求，节省造价。

根据新闸条件简述方法如下（新闸闸身示意图见图 2）：

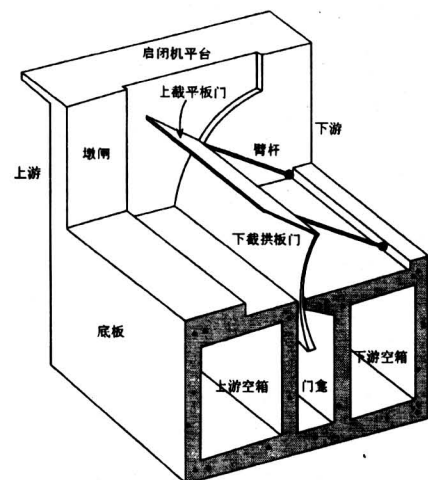


图 2 新闸闸室示意图

Fig.2 Sketch of chamber of Sin Movable Dam

* HZ 是江苏省水利科学研究所产品商标

1) 苏南运河现已按四级航道拓浚, 最低通航水位 $\nabla 2.50$ m, 河底高程 $\nabla 0$ m, 最小通航水深 2.50 m, 建闸处两岸为直立驳岸, 水面宽 60 m, 两岸不准停泊船只。现在按1958年京杭运河江苏段航道规划, 苏南运河最小通航水深为 3.70 m, 上、下游最低通航水位为 $\nabla 2.50$ m, 河底高程 $\nabla -1.20$ m, 上游最高通航水位 $\nabla 5.38$ m, 下游 $\nabla 4.50$ m。上游最高校核洪水位 $\nabla 5.98$ m。新闸的两边岸墙之间航道水面宽 60 m。

2) 闸身底板的上、下游侧是沉管空箱, 两空箱之间为门龕。闸身两边岸墙直接挡土, 为钢筋混凝土结构。岸墙侧设空箱进人孔兼作灌水孔。沉管空箱垂直水流向采用后张法预应力, 分段预制浇筑, 段之间为台阶施工缝; 顺水流向底板也采用后张法预应力。

3) 要求在流速 $2\sim 2.50$ m/s动水中随时很快开、关闸门或控制洪水下泄, 采用由下截圆弧拱板门和上截平板门组成的闸门。闸门顶高程 $\nabla 6.50$ m, 拱板门顶高程应与底板空箱高度, 闸身自重综合比较确定。关门挡水时, 拱板门上端支承在上截平板门下缘多根臂杆部位, 由顶铰连接挂在臂杆上, 臂杆底部与装在闸身空箱下游侧墙顶部的底铰连接。底铰座设开口轴孔, 臂杆底铰轴从大于闸门全关的某一方向与它自动连接成铰。检修时可以水上作业从该方向拉开脱离。关闸门时上游面板顶向下游倾斜与垂线约成某一角度; 使面板承受水压力的合力作用在臂杆底铰与门体下端支承之间, 靠近底铰; 门的下游面为以底铰为圆心的圆弧; 门下端由水压力、水重和门重压贴支承在门龕下游墙顶侧并止水。门全开时, 上截门将门龕盖住, 臂杆平放在上游空箱顶板上, 拱板门挂在臂杆顶铰, 落入门龕。起门架由上截平板门和臂杆组成, 臂杆之间加箭刀撑。关门时, 调整门顶高程后控制洪水由门顶下泄。在有水位差运行时, 利用门底浮托力和上截平板门水压力, 减小起门力。由启闭机拉动上截平板门上缘处的起门架来开、关闸门。

4) 在闸门臂杆的下游面加装钢板, 门开时, 盖住上截门、臂杆和下游空箱顶板, 以防来往船上重物如铁锚等掉落; 门关时, 与门组成三角堰, 可以防止水中漂杂物进入堰内部, 缠绕在铰上, 影响开、关闸门。泄水时与拱板门组成过水三角堰。作为船闸运行输水时, 利用三角堰为消能箱, 使输出水流经消能后呈分散缓流流入下游。

5) 由于闸门长期在水中, 油漆维修闸门的时间间隔可以较长。通常在最低水位时, 先将闸门吊出水面, 打开下游面加装钢板上位于顶铰处的小门, 人可进入堰内, 在水上油漆。为大修方便, 将门分为几个单元, 在上截门顶部拼成整体, 大修时, 将闸门吊出水面拆开拼接件, 在水上作业将臂杆拉开脱离底铰座, 吊运各闸门单元到工场检修。

6) 由设在两侧直立墙顶上采用机械刚性连接同步的两台单向伸缩套筒油压启闭机开、关闸门; 在输油回路中装同步阀, 并对一台启闭机的长输油管输油损失作补偿, 作为启闭机同步开、关闸门的双重保证。在闸门全开、全关位置装有限位装置。要求在断航后很快关门, 恢复通航时很快开门, 依此选用开、关闸门速度, 以及布置船只停泊区。

7) 由于门体宽高比很大, 故要使闸门两侧的侧滚轮的摩擦系数小于拱板门一侧上、下侧滚轮的间隔与闸门两边吊门点的间距之比。如果起门过程中出现门体倾斜, 致使门体一侧与门槽发生摩擦时, 不会发生摩阻力大于该边起门力而造成事故; 并在系统中设限力装置, 超载时作用于油泵电源跳闸。侧滚轮与门槽之间的间隙要适应开、关过程中闸门的正常变形。

8) 要做水工模型试验, 验证闸门三角堰过水的水流条件和上、下游船只停泊条件。

9) 今后在潜运沉管闸的上游或下游再建一座潜运沉管闸, 两闸短时间作为反对称广厢式船闸运行, 要将启闭机改为变速同步, 慢速输水, 快速开、关闸门, 过船能力比拟定的 $23\times 230\times 4$ m船闸可大 $2\sim 3$ 倍, 新闸枢纽总的建设费用可成倍节省, 并可完全解决航运与排水的矛盾, 布置中应考虑这种工况。

10) 底板空箱的宽度应使闸身潜运时有效自重分布均匀。拱板门顶高程如定为 $\nabla 3.50\sim 2.50$ m之间, 闸底板顶高程可放在 $\nabla -1.20$ m, 底高程约在 $\nabla -9\sim -7$ m之间。设计中可将底板空箱高度控制在一定范围内, 以工程造价最低为目标函数, 优化设计; 此外尚应使起门力较小。

11) 预制场放在运河南侧, 对准闸身位置, 预制场底高程可比闸身底面高约 1.50 m。如有必要为减少占地和少挖土方, 可以在运河边的施工围埝中打防渗板桩, 使预制场靠近运河。采用大口径抽水降水井, 将预制场的地下水位降到预制场底面以下。抽出的地下水要回灌地下, 阻止大面积地下水

位下降。

12) 在预制场内, 要将闸身钢筋混凝土浇筑, 固定件预埋, 闸门和启闭机安装、调试等工作全部完成。然后向预制场内灌水, 当水面接近闸身底板顶面时, 靠浮力使闸身整块浮起, 再在底板空箱上放置重物, 调整闸身自重, 使闸身均匀沉下, 再增加压重, 使闸身在水中的有效质量约为 10 t。闸身潜运定位后, 对沉管底面以下压力灌混凝土浆后, 再向空箱内灌水, 吊走空箱上放置的重物。

13) 每隔 4~5 年对门龛内的浮淤进行清理, 可用真空吸泥泵泵出, 每次清理约需 2~3 h。

14) 由于闸身挡水水位差不大, 闸基地下轮廓可不设垂直防渗板桩, 可在岸墙上游侧设防绕渗刺墙。上游护坦和下游消力池都采用加 NNCD-1 水下抗分散剂的混凝土水下浇筑采用自流平方式施

工, 必要时加括平措施。其他设计和施工步骤与浮运沉管方法建淮安立交工程基本相同, 不再赘述。

参考文献

- [1] 孙更生, 郑大同主编. 软土工程与地下工程 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984. 670~701
- [2] 林宝玉, 吴绍章. 混凝土工程新材料设计与施工 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998. 18~20, 141~163
- [3] 戴立明. 水下薄层混凝土施工 [J]. 江苏水利, 1999, 9: 24~27
- [4] 胡金全, 顾强生. 黄沙港反拱底板水下修补试验研究 [J]. 江苏水利, 1999, 9: 28~29
- [5] 徐惠亮, 周灿华, 蔡平. 气压沉柜的应用 [J]. 江苏水利, 1998 增刊: 23~25

The Application of Box Floor as Submerged Camel to Hydraulic Structures Being Constructed

Zhou Junliang

(Water Resource Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

[Abstract] In this paper, the application of box floor as submerged camel to hydraulics structures being constructed, such as sluice gates only temporarily adjusted, water works in the place where the streams being intersected, locks with broad chamber, etc., is introduced. The sites of these structures are to be on a straight stretch where the diverting of the rivers are not permitted and the widths of chambers of them are equal to the river bed.

The concrete of the chamber and the embedded parts of the chamber as well as the gates with their hoist are completed in a yards where they are prefabricated. The chamber is moved in submerged state to the site. These hydraulic structures are cheaper than those that are constructed in dry sites with the diversion works.

[Key words] constructing hydraulic structures; the box floor as submerged camel; derwater construction

(Cont. from p.39)

Progress in Design and Study of Semi-Circular Breakwaters

Xie Shileng

(China Communications First Design Institute of Navigation Engineering, Tianjin 300222, China)

[Abstract] The design and application of semi-circular breakwaters and estuary jetties at Tianjin Port and in the Deep Water Channel Improvement Project of Yangtze River Estuary are introduced in the present paper. The study of wave forces acting on semi-circular breakwater as well as the development of the structure of semi-circular breakwater are also discussed.

[Key words] semi-circular breakwater; design and application; wave forces