

文章编号:1005-9865(2001)01-0051-08

瓯江杨府山边滩围垦工程试验研究

王顺中, 李浩麟

(南京水利科学研究院 河港研究所, 江苏 南京 210024)

摘要:瓯江杨府山河段边滩发育丰富,底沙运动频繁,悬沙含量高,对边滩围垦促淤极为有利。本文依据大量的水文、泥沙、地形等实测资料,在模型验证试验相似的基础上进行围垦工程试验,分别论证其工程的可行性、工程布置形式的促淤效果。对类似的边滩围涂工程具有借鉴作用。

关键词:边滩围垦;模型试验;定床淤积;促淤工程

中图分类号:TV83

文献标识码:A

Model study of Yangfushan reclamation project in Oujiang River

WANG Shun-zhong, LI Hao-lin

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: Abundantly developing rivershore, frequently moving bed load and high content of suspend load in Yangfushan reach of Oujiang River are very beneficial for rivershore cultivation and silting. In this paper, according to plenty of survey data in hydrology, sediment, topography, the cultivation engineering experimentation based on similarity of model verification examination is carried, then the engineering feasibility and the silting effect are analyzed. It is useful for reference to similar shore and deposition engineering.

Key words: beach reclamation; model test; fixed-bed fill-up; beach accretion project

杨府山河段江面宽阔,沙滩散乱,深槽多变,航道极不稳定。经过1978年至1983年温州港第三、第四期航道整治,杨府山港进入七都北汊的航道得以稳定,航深增加。与此同时,北侧的梅园沙滩、南侧的杨府山边滩和中央涂等沙滩日趋稳定,范围扩大,滩顶渐高,且中央涂高潮位已出露。1985~1987年,中央涂南汊进行了人工封堵,使中央涂北缘成为实际的河道边界。为平顺河道岸线,归顺水流,治理江道,扩大陆域,加快城市建设步伐,杨府山边滩围垦有重要意义。

1 水文泥沙及潮汐特性

1.1 径流

瓯江是一条山溪性潮汐河流,上游洪水暴涨暴落,具有历时短、洪峰流量大的特点。据圩仁站年实测统计资料,实测最大洪峰流量为 $22\,800\text{m}^3/\text{s}$,最小流量仅 $10.6\text{m}^3/\text{s}$,多年平均流量为 $470\text{m}^3/\text{s}$ 。

1.2 泥沙

瓯江流域地表植被覆盖良好,岩石风化不严重,上游来沙少,含沙量不大,圩仁站多年平均含沙量为 $0.22\text{kg}/\text{m}^3$ 。瓯江河流沿程含沙量分布呈“两头清,中间浑”的规律,即河流段和潮流段含沙量较小,过渡段含

收稿日期:2000-02-13

作者简介:王顺中(1963—),男,江苏宜兴人,高级工程师,主要从事港口、航道整治的试验研究。

沙量较大。杨府山河段处在河流与潮流的过渡区,含沙量大,龙湾至礁头(温州上游 5km)河段枯水期涨落潮含沙量高达 $5\sim 6\text{kg}/\text{m}^3$,近底层含沙量更大。据 1959 年和 1960 年水文测验资料和已往资料统计分析,当上游垵仁站流量在 $500\text{m}^3/\text{s}$ 左右,温州站平均含沙量为 $0.875\text{kg}/\text{m}^3$,七都涂中段平均含沙量为 $0.875\text{kg}/\text{m}^3$ 。杨府山河段边滩围垦区平均含沙量与之相近,大致为 $0.8\text{kg}/\text{m}^3$ 。如此大的含沙量为杨府山边滩围垦促淤提供了丰富的沙源。悬沙中值粒径由 1979 年水文测验可知为 0.013mm 左右。

1.3 潮流

瓯江河口为浙江省著名的强潮河口,河口潮流属不规则半日潮,河口潮波在向口内传播时,受河口外形、河床地形阻力以及上游下泄径流等多种因素影响而逐渐变形。河口潮差在龙湾达到最大,向上游逐渐减小,杨府山河段介于龙湾与温州潮位站之间,其潮汐特征可视为龙湾和温州两站潮汐特征之算术平均。温州站多年平均高潮位为 4.41m ,平均低潮位为 0.51m ;龙湾站多年平均高潮位为 4.38m ,平均低潮位为 -0.11m ;因此杨府山河段的多年平均高潮位为 4.40m ,平均低潮位为 0.20m 。潮流特点为往复流,最大潮流速出现在中潮位时刻,温州站最大潮差为 6.06m ,平均潮差为 3.91m ,龙湾站最大潮差为 6.89m ,平均潮差为 4.49m 。

2 杨府山河段河床演变概况

杨府山河段处在瓯江河口的过渡段,江面宽阔,沙滩犬牙交错,航道曲折多变(见图 1)。该河段二个主要沙滩杨府山沙滩和梅园沙滩变迁不定,时隐时显,未能形成稳定的沙滩。1978~1983 年通过温州港 3~4 期航道整治,航道主流渐趋稳定,沙滩和深槽变动幅度明显减小。杨府山边滩相对稳定,10 多年(1978 年~1992 年)来,边滩 -2m 等深线和 0m 等深线范围基本不变, -2m 滩地范围有所扩大,高程明显增高,滩地淤长,范围扩大趋势明显(见表 1),为滩地的围垦创造了有利条件。

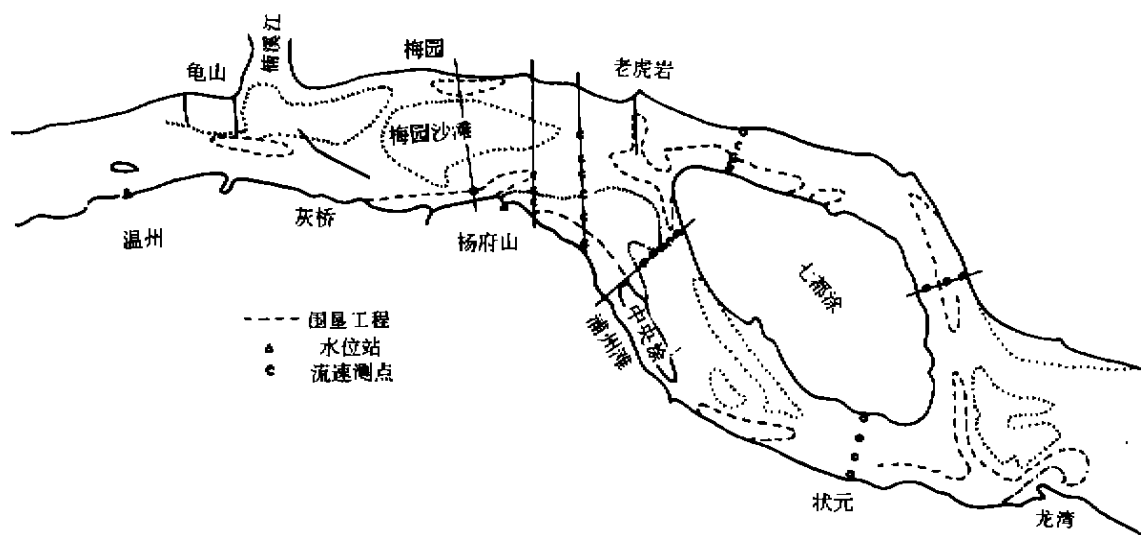


图 1 围垦工程、水位站和流速测点布置示意图

Fig. 1 Arrangement of reclamation project and water level and flow velocity measuring sites

表 1 沙滩面积变化

(基面:理论深度基面)

Tab. 1 Change of beach areas

年 份	梅园沙滩($\times 10^3\text{m}^2$)		杨府山边滩($\times 10^3\text{m}^2$)	
	0m 高程面积	-2m 高程面积	0m 高程面积	-2m 高程面积
1975	9 297	0	12 132	0
1979	21 078	4 400	25 481	4 761
1986	21 960	6 876	20 835	2 110
1992	18 873	7 254	21 330	4 300

3 模型试验

3.1 模型设计

研究围垦工程可行性用定床水流模型,研究围垦工程促淤效果及淤积形态用定床悬沙淤积模型。因此模

型除满足水流运动相似外,还必须满足悬沙运动相似和河床变形相似。

根据相似准则和水流泥沙运动基本方程,可导出如下比尺关系^[1]:

3.1.1 潮汐水流运动相似

重力相似: $\lambda_g = \lambda_h^{1/2}$; 阻力相似: $\lambda_\tau = \frac{\lambda_h^{2/3}}{\lambda_v^{1/2}}$

3.1.2 泥沙运动与河床变形相似

沉降相似: $\lambda_s = \frac{\lambda_h^{3/2}}{\lambda_v}$; 挟沙能力相似: $\lambda_c = \lambda_v$; 起动相似: $\lambda_{u_*} = \lambda_v$; 河床变形相似: $\lambda_z = \frac{\lambda_{\gamma_0}}{\lambda_v} \frac{\lambda_t}{\lambda_h^{1/2}}$

式中: λ_h 为垂直比尺; λ_v 为水平比尺; λ_v 为流速比尺; λ_s 为泥沙沉降比尺; λ_t 为冲淤时间比尺; λ_{γ_0} 为泥沙干容重比尺; λ_c 为含沙量比尺。

由杨府山河段的水文泥沙特性可知,悬沙颗粒较细小于 0.1mm,泥沙在静水中的沉降处在层流区,故沉降可用 $\omega = 0.039 \times \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \times g \times \frac{d^2}{\nu}$ 表示,得粒径比尺 $\lambda_d = \left[\frac{\lambda_v}{\lambda_{\gamma_s - \gamma}} \right]^{1/2}$

作为选择模型沙的主要依据。

水流挟沙力公式用 $S_* = K \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} \frac{u_*}{\omega} J$ 表示,可得 $\lambda_{S_*} = \frac{\lambda_{\gamma_s}}{\lambda_{\gamma_s - \gamma}} = \lambda_v$

作为确定模型含沙量的初步依据,模型含沙量的进一步确定还需验证试验并要相应调整冲淤时间比尺。

3.2 模型沙选择

根据杨府山河段悬沙级配及相似条件,模型沙选用粒径级配(120目)的木粉,其中值粒径 $d_{50} = 0.045\text{mm}$,模型沙级配曲线与天然沙级配曲线基本相似。

悬沙落淤后有可能重新起动输移,所以模型沙除满足沉降相似外,还须满足起动相似,即 $\lambda_{u_*} = \lambda_v (=10)$ 。因 $\lambda_{u_*} = \lambda_{u_*} \lambda_v$,对于天然沙, u_{*c} 与悬沙的淤积干容重成正比,据范家骅等研究^[3],一般新淤浮泥在 24 小时内不重新悬扬,在重力作用下迅速固结,1~2 天后,密度可达 1.2kg/m³ 以上,由此当干容重为 1.2kg/m³ 时,相应的 $u_{*c} = 2.3\text{cm/s}$,而模型中据厦门港试验^[4],中值粒径 $d_{50} = 0.05\text{mm}$ 时, $u_{*c} = 0.5\text{cm/s}$,由此可知:

$$\lambda_{u_{*c}} = 2.3/0.5 = 4.6$$

而 $\lambda_v = \frac{\lambda_h^{1/6}}{\lambda_{u_{*c}}}$

由于天然沙和模型沙粒径较细,相应淤后河床糙率较小,则 λ_{n_b} 可近似于 1,则:

$$\lambda_v = \lambda_h^{1/6} = 2.15$$

所以天然沙和模型沙实际的起动流速比尺:

$$\lambda_{u_*} = 2.15 \times 4.6 = 9.89 \approx \lambda_v$$

通过以上相似条件和选用模型沙的比尺计算,将各物理量模型值及采用模型沙和天然沙的部分特性对照列于表 2、表 3。

从表 2 和表 3 可知,模型沙的物理特性与天然沙的物理特性基本相似,说明所选模型沙较合理,既满足沉降相似又满足起动相似。

3.3 试验方法

定床悬沙淤积试验需要浑水循环系统。浑水循环系统包括搅拌设备和加沙循环系统(避免模型沙在管路中沉积)。它由潜水泵、加沙池、管道和小阀门组成,在试验过程中,控制加沙池内的含沙量从而达到控制围垦促淤工程口门附近主槽含沙量之目的。经多次试验并调整加沙桶模型沙浓度和放沙口阀门的流量,使口门主槽的含沙量达到了预定值。经多次试验表明,这一控制方法是可行的。泥沙淤积过程为涨潮浑水从口门进入围堤后,泥沙随着水流流速减缓和回流产生而落淤,较清的水体随着落潮流排出堤外,因此,试验中只需在涨潮期加沙。因含沙量较大,所以含沙量的测定用比重瓶法。为保证试验条件的一致性和试验成果的可比性,验证试验和方案试验同时进行;考虑到水流对模型沙的分选作用,试验用过的模型沙均予以废弃。

表 2 模型各物理量比尺

Tab. 2 The scale

名 称	符 号	计算值	采用值
水平比尺	λ_h		1 000
垂直比尺	λ_v		100
流速比尺	λ_v	10	10
流量比尺	λ_Q	10^6	10^6
糙率比尺	λ_n	0.681	0.681
泥沙沉降比尺	λ_s	1.0	1.12
泥沙粒径比尺	λ_d	0.35	0.29
含沙量比尺	λ_c	0.245	0.50
起动流速比尺	λ_{u_*}	10	9.89
冲淤时间比尺	λ_t	533	682

3.4 验证试验

3.4.1 水流运动验证试验

图 2 为潮位站潮位验证情况(上游施放实测流量为 $780\text{m}^3/\text{s}$)。

图 3 为七都南、北汊状元、瑄头测流断面潮流速验证情况(上游施放实测流量 $780\text{m}^3/\text{s}$)。

从潮位和流速的验证结果可知,模型的潮汐水流运动与天然潮汐水流运动基本相似。

表 3 泥沙特性对比

Tab. 3 Comparison of sediment characteristics

名 称	符 号	单 位	原型沙	模型沙
泥沙中值粒径	d_{50}	mm	0.013	0.045
泥沙容重	γ_s	g/cm^3	2.650	1.180
泥沙干容重	γ_0	g/cm^3	1.200	0.430
静水沉速	ω	cm/s	0.140	0.126

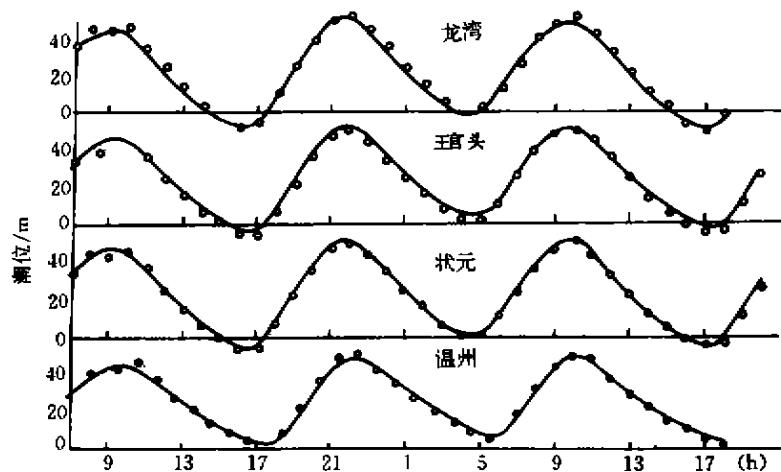


图 2 潮位过程验证($Q=780\text{m}^3/\text{s}$)

Fig. 2 Verification of tide levels($Q=780\text{m}^3/\text{s}$)

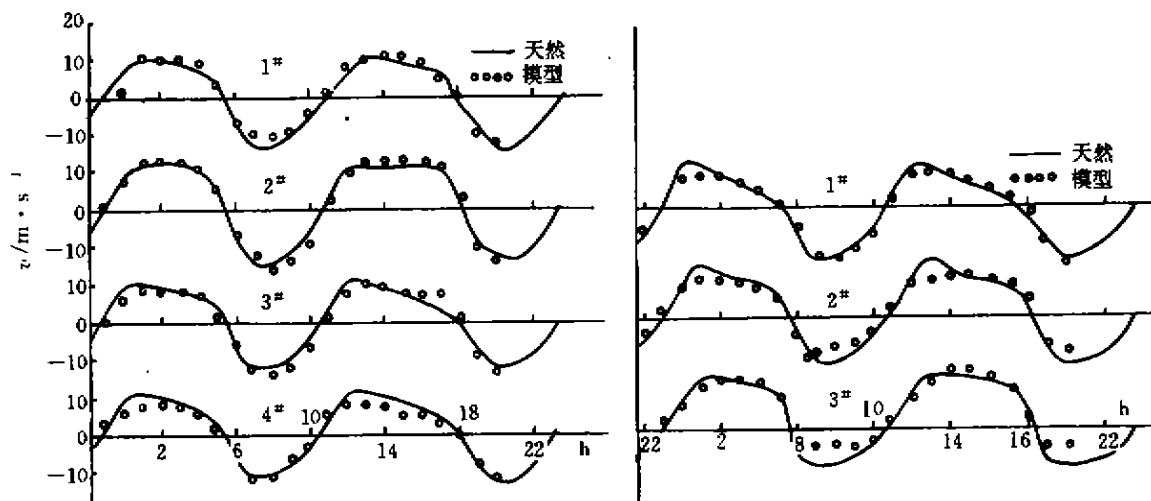


图 3 潮流速过程验证($Q=780\text{m}^3/\text{s}$)

Fig. 3 Verification of flow velocities($Q=780\text{m}^3/\text{s}$)

3.4.2 淤积验证试验

淤积验证试验的目的是选择合适的试验潮型、含沙量、冲淤时间比尺和检验所选模型沙的合理性。促淤效果取决于含沙量以及纳潮量的多少,而纳潮量的多少由高潮位和淤积泥面高程决定。因本工程促淤是年平均情况,没有多年潮位资料,以距杨府山站较近的上游温州站和下游龙湾站进行统计分析潮位特征,初步确定以 1987 年水文测验时的第二同步大、中、小潮型为基础,稍加修正,作为验证试验的组合潮型,上游流量为多年平均流量 $470\text{m}^3/\text{s}$ 。从表 4 对比可知,试验潮型高潮位特征与多年平均高潮位特征相近。

瓯江七都南汉有一中央涂,中央涂南支于 1985 年 8 月实施抛坝围垦造地。地理位置与杨府山边滩围垦区相毗邻,测有 1986 年 10 月和 1988 年 10 月两年地形资料,它是验证试验的基础。通过对为期两年资料的整理分析得出了中央涂南支各断面天然淤积形态和厚度及沿程淤积量分布,选择合适的模型含沙量、潮型、径流量和冲淤时间比尺进行验证试验。验证试验结果见图 4。

验证试验结果表明:除断面 4#、5# 由于南支浦州浦的排水冲出串沟,天然淤积量($70.87 \times 10^4 \text{m}^3$)略小于模型($77.36 \times 10^4 \text{m}^3$)外,其余各断面模型的淤积厚度和沿程淤积分布与天然十分相近。说明所选用的潮型、含沙量比尺、模型沙等基本合理,反映出模型的泥沙运动、含沙量基本与天然相似,模型试验的结果可以预测围垦工程实施后的泥沙淤积状态。

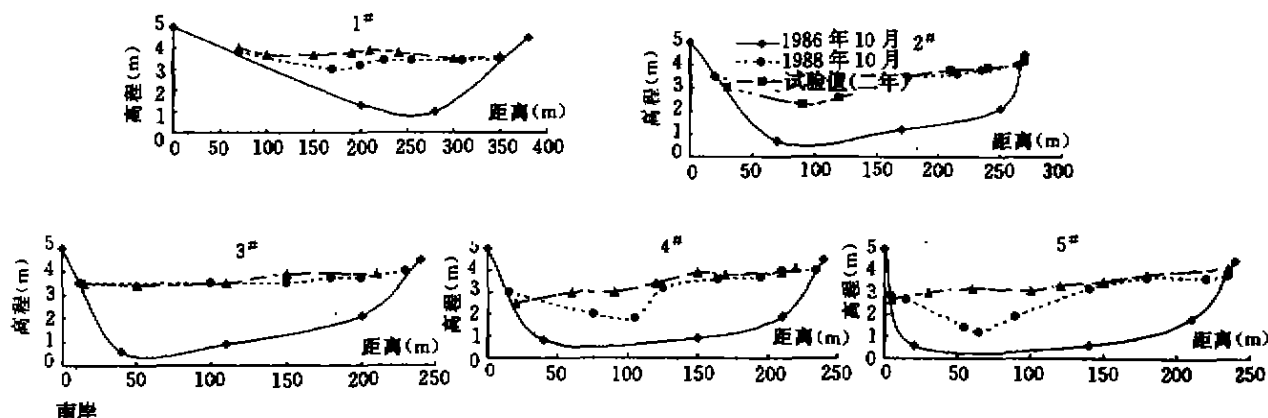


图 4 中央涂南支淤积形态验证

Fig. 4 Verification of sedimentation pattern at Zhongyangtu South Branch

3.5 模型试验

3.5.1 定床水流试验^[2]

为了减小由工程引起的河床冲刷,围堤工程采用顺流式。工程及测点布置见图 1,试验结果见表 5。

表 5 杨府山边滩围垦垂线平均流速变化($Q=0\text{m}^3/\text{s}$;流速; m/s)

Tab. 5 Change of measured vertical flow velocity($Q=0\text{m}^3/\text{s}$;velocity; m/s)

断 面		44 #			46 #		40 #	
垂 线		1 #	2 #	3 #	1 #	2 #	1 #	2 #
围垦前	涨潮	0.77	0.80	0.66	0.97	0.68	0.68	0.65
	落潮	0.59	0.46	1.13	1.44	1.15	0.73	0.85
围垦后	涨潮	0.00	0.91	0.77	0.72	0.83	0.51	0.61
	落潮	0.00	0.56	1.22	1.35	1.19	0.19	0.75

定床水流试验结果表明:杨府山边滩围垦工程对杨府山以上及温州市区防洪高潮位、排涝低潮位均无明显影响,不致于对七都南、北主航道带来不利影响,围垦区前沿边滩涨落潮流速的增加,可能对围垦区前边滩有一定的冲刷,并有可能沿围垦导堤形成有一定水深的通道。杨府山凸岸边滩较长,底沙来量丰富,在目前情况下,只要不出现连续洪水年,估计不会产生大规模的切滩现象。由此可知,杨府山边滩围垦工程是可行的。

3.5.2 淤积试验

1) 促淤工程的布置原则:

- ① 促淤工程应与水流平顺衔接,避免河床产生剧烈的局部冲刷;
- ② 提高促淤效率,有利于泥沙在围区内均匀落淤;
- ③ 选择合适的口门宽度,有利于水体在围垦区内产生回流;

④便于施工的进行。

2) 促淤工程布置方案

根据上述布置原则,促淤工程采用顺坝或顺坝与隔坝相结合的形式(见图 5)。

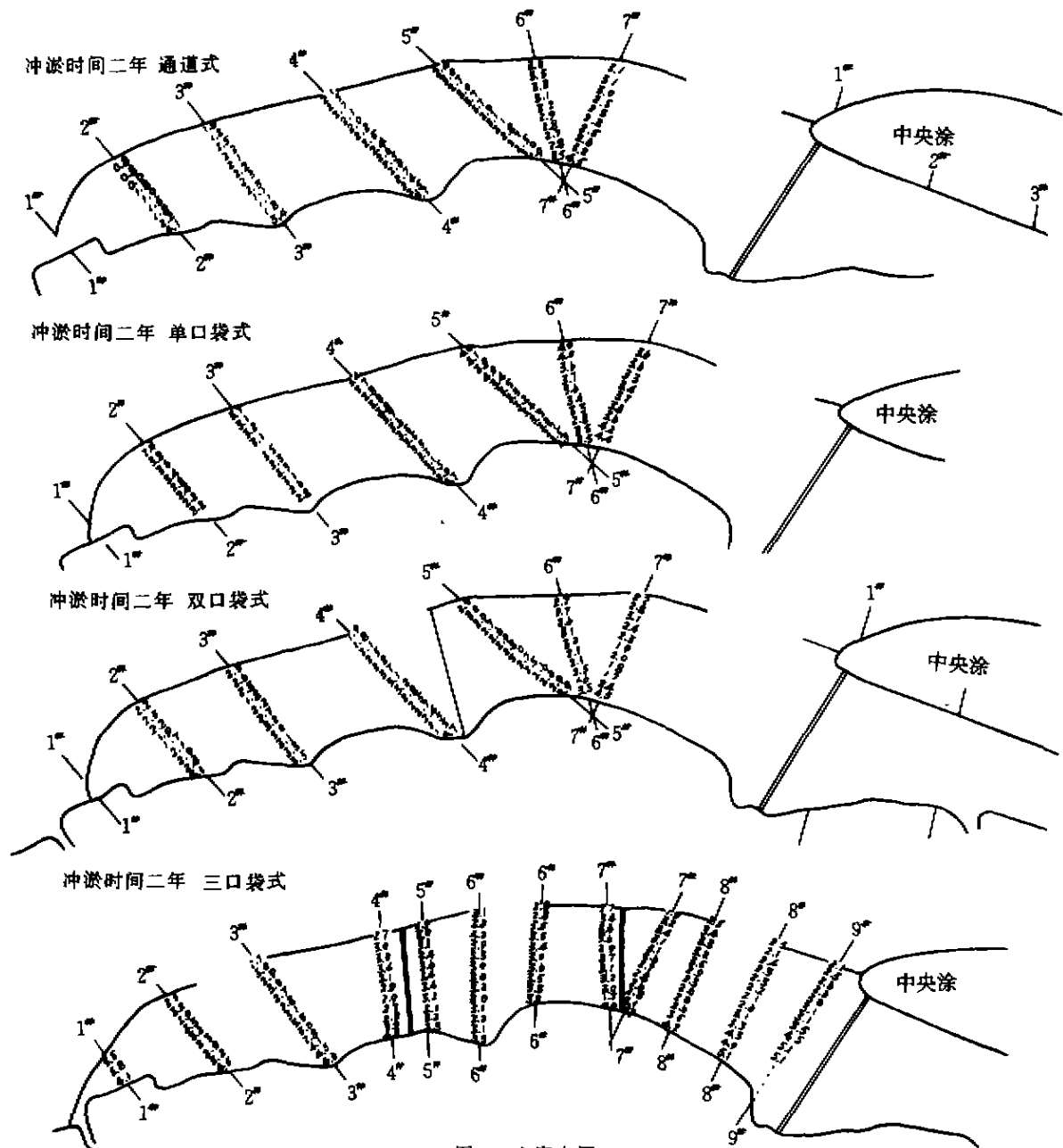


图 5 方案布置

Fig. 5 Options of project arrangement

①方案一(单口袋式方案):沿围区抛筑出水顺坝一条,长约 2 000m,在下游留进水口门宽 300m,形成一盲肠河道,口门潜坝高程随围区泥面淤高而不断加高。

②方案二(通道式方案):沿围区抛筑出水顺坝一条,长 1 900m,在上、下游各留进出水口门,上口门宽 200m,下口门宽 300m,上、下口门潜坝高程随围区泥面淤高而不断加高。

③方案三(双口袋式方案):抛出水顺坝,并在围区中部加抛隔坝形成双口袋,并在每个口袋留进出水口门,宽 300m 和 250m,口门潜坝高程随泥面淤高而不断加高。

④方案四(三口袋式方案):抛出水顺坝并加抛二条出水隔坝,形成三个围区,并在各围区留进出水口门,宽度约 200m。口门潜坝高程随泥面淤高而加高。

3.5.3 试验成果分析

1) 水流流态变化

水流流态是决定悬沙淤积形态因素之一。

方案一由于围堤较长,涨潮水流进入围堤内,涨急时将形成一个从口门至围堤中部范围较大的回流区,但强度不大,持续时间亦不长,同时,随着涨潮流速增加,口门附近床面上的部分淤沙随流掀起逐步向口内转移。落潮时较清水体从口门排出堤外。

方案二由于二端开口,形成了进入堤内的水流通道的,涨潮期没有形成明显回流,且部分悬沙被涨潮水流从上端口门带出堤外,因此减少了泥沙落淤数量。

方案三水流流态同方案一,由于“口袋”增加,也就增加了回流的个数和范围。因此回流强度相应增强,持续时间延长,但回流范围达不到围堤深部。

方案四情形同方案三相近,因将围区分成三个“口袋”,回流范围几乎覆盖整个围区,回流强度高且持续时间长。

以上分析可知,杨府山边滩围垦随围堤形式不同其水流流态亦不相同,因而淤积形态和促淤效果也不尽相同。

2) 淤积形态

方案一,口门区淤积厚度较大,内部淤积厚度略小,由于盲肠河道长度较短,沿程平均淤积高差不是很大,平均而言,经过4年时间淤积,两端高差约0.5m。平均淤厚为3.69m,床面平均高程为3.5m。方案二的淤积高程明显小于方案一。方案三2~3年后的淤积高程小于方案一,4年的淤积高程基本与方案一相近。方案四4年后淤积泥面高程均高于以上三个方案,且淤后泥面平坦,中部至头部高程略高于方案一,泥面平均高程为3.74m。

3) 淤积规律

通过对2年、3年、4年试验资料对比分析,围堤内不论哪种方案,前2年的淤积速率都较大,随着河床泥面逐渐淤高、纳潮水量和随涨潮带进泥沙数量的减小,围堤内的淤积速率明显减小。从淤积效果来看,淤积形态与在围堤内的水流流态密切相关,回流的淤积效果好,这是回流能将泥沙带至整个围区范围内落淤,且分布均匀。方案四充分利用了回流的淤积特性,所以促淤效果最佳。

4 几个问题的讨论

4.1 围垦范围

目前围垦封堵的过水面积,虽仅占杨府山总过水断面积的3%左右,但占杨府山沙滩(理论深度基面-2m沙滩)过水面积的28%,占七都南汊过水面积的16%,由此可见,目前围区对杨府山沙滩滩顶高程以及沙滩形态会有较大影响。杨府山边滩围垦虽不足以切割沙滩、形成深沟、影响主流的变化,但边滩围垦使杨府山沙滩过滩流速增加,滩顶高程降低,无疑工程初期会对杨府山浅滩水深带来一定的影响。目前在整治工程资金不足情况下,围堤范围不宜向外扩大。

4.2 促淤时间

促淤工程是加速围区淤积的最经济的措施之一。但是随着泥面淤高,纳潮水量和沙量随之减小,促淤速率减缓。在试验特定条件下,达到泥面4m高程,需要4年以上时间,为使工程尽早收益,在3.5~4.0m以上采用机械吹填是较好的选择。

4.3 施工顺序

为防止河床局部冲刷,加速围区淤积,应采用船抛长顺坝和隔坝逐步加高至2.5~3.0m,口门潜坝至0m高程。此后采用陆上推进加高隔坝和出水顺坝。口门潜坝随泥面淤高而逐步抬高。

4.4 护滩措施

在长顺坝隔坝抛筑、围区泥面逐步抬高的过程中,围区将逐步缩窄杨府山边滩,加大沙滩过滩流速,在长顺坝和中央涂前沿将形成一条过水通道。为防止通道冲刷扩大切割边滩,必须在长顺坝前沿顶冲点附近抛筑1~2条低潜坝,坝长约200m,高程为-1~-2m,以遏止通道的发展,同时加宽堤底面抛筑范围,保护顺坝坝基,确保杨府山河段河势的稳定。

5 结 语

1) 杨府山边滩的稳定增长为围垦造地创造了有利条件。定床水流试验结果表明,围垦工程是可行的。围垦工程实施后只要不出现连续多年洪水年,就不易产生大规模切滩现象,杨府山河段现行河势将继续保持相对稳定。

2) 定床悬沙淤积模型试验结果表明,“三口袋”式促淤方案在围堤内淤积泥面高程高,沿程淤积分布均匀,淤积量大且施工方便,是促淤工程的最佳方案。

3) 促淤达到相对平衡高程 3.79m 所需时间约为 4 年,在达到基本平均泥面高程后,建议采取机械吹填施工,使工程尽早收益。

参考文献:

- [1] 王顺中,李浩麟.瓯江杨府山边滩围垦促淤工程定床悬沙淤积模型试验研究[R].南京水利科学研究院河港所报告,1996.9.
- [2] 王顺中,李浩麟.瓯江杨府山边滩围垦模型试验研究[R].南京水利科学研究院河港所报告,1995.1.
- [3] 范家骅.淤泥质海滩引潮沟潮汐挟沙力水流模型试验问题[J].中国科学,1986,7.
- [4] 徐 啸.厦门西港区嵩鼓水道及紫鼓浅滩段航道潮汐水流和悬沙回淤实验研究[J].台湾海峡,1998,4.