

V656
9600065

第25届国际航运会议论文选

第六分册 航道护坡和护底



交通部水运工程科技情报站

1982

第25届国际航运会议论文选

第 六 分 册

本文集译自第 25 届国际航运会议论文集

前 言

本论文选是选译自 1981 年第 25 届国际航运会议论文集中的部分论文，由我站邀请部分成员单位分别编辑成六个分册。论文选各分册的题目和编辑单位为：

第一分册《软基上码头设计和施工》，第三航务工程局勘察设计院编辑；

第二分册《装卸技术和港口规划设计》，水运规划设计院编辑（其中第九～第十三篇由第一航务工程局负责）；

第三分册《港口建设与海岸防护》，南京水利科学研究所编辑；

第四分册《冲积航道整治与航深维护》，长江航道局设计研究所编辑；

第五分册《疏浚作业的最优化》，上海航道局科研所编辑；

第六分册《航道护坡和护底》，水运规划设计院编辑。

本论文选在翻译和编辑上如有错误及不妥之处，请读者批评指正。

交通部水运工程科技情报站

一九八二年十二月

目 录

航道护坡工程可行性研究的工作方法

——评定护坡工程必要性的方法；现有护坡

方法的技术经济比较；对新型护坡的探讨·····	(1)
各种经济护坡形式的发展·····	(11)
河岸侵蚀的评价、预防和整治·····	(29)
航道防护计算准则与新防护法应用标准·····	(38)
对护岸工程研究、设计和施工中的水力学现象 及最新发展的评论·····	(63)
航道护岸和护底的预制混凝土互嵌式构件·····	(90)
水道边坡和河底对于水流、波浪包括船舶影响 的防护措施·····	(98)
意大利和其它国家运河抗船舶造成的冲刷的新方法···	(116)
航行波和护岸以及上莱茵河防止河床冲刷的方法····	(141)

航道护坡工程可行性研究的工作方法

——评定护坡工程必要性的方法；现有护坡方法的技术经济比较；对新型护坡的探讨。

〔英国〕J.D.Winders, G.A.Fryer

一、前言

如何维护通航水道？怎样减缓自然冲刷过程？这一直是工程师们绞尽脑汁设法解决的问题。在过去的一个半世纪中，已有许多种防止岸坡冲刷的方法相继问世。对于这些方法，我们曾为英国瓦林福特水工试验站作了一次专门研究。研究内容包括引起航道边坡破坏的原因，验证可行的新型护坡方法，重点放在研究那些基本建设投资较低和最易修复的护坡方法上。

提出任何一种形式的护坡都会涉及到基本建设投资的问题，尽管这些投资可以从以后的维修费的节省中得到一定程度的弥补。因此，应该采用一种合理的研究方法，以便尽可能减小需要保护的面积以及需要详尽研究的护坡方案的数目，这样一种工作方法便可以从根本上使管理当局有效地节省总成本。

我们将本文分成如下若干节段。我们相信，这些节段构成了在某一护坡工程计划的实施过程中的逻辑关系。在第二节，我们列出了在管理当局作出实施任何护坡工程项目的决定之前需要考虑的各种参数。第三节对于目前普遍应用的护坡方法作了技术性能和经济方面的比较。最后，我们对目前正处于研究和试验阶段的若干新型护坡方法进行研讨。

二、护坡工程的必要性

实施护坡工程项目的必要性问题有时是在原有航道边坡已经出现了破坏的情况下迫使管理当局予以承认的。而有时是在验明存在着潜在破坏区的情况下提出来的，例如，如果查明在填筑的航道或山坡航道中存在渗漏和内冲刷现象，则由于这种潜在现象可能导致严重的破坏而非考虑护坡不可。

在现有航道中，必须首先查明引起边坡破坏的基本原因，也就是说，必须弄清护坡材料的流失是由天然现象（如风或波，水位急剧变化航道内的水流）引起的，还是由人为因素（如船行波、堰、闸等水工建筑物或船只推进器引起的局部高速水流）造成的。

在查明了引起破坏的基本原因之后，便需要验证边坡和坡底是否需要作防冲刷保护，并确定保护区的范围。

在评定实施护坡工程项目的必要性时，应对如下参数详加考察。

(一) 一旦发生冲刷或边坡溃坏, 则是否会危及:

1. 总体通航;
2. 建筑物;
3. 桥梁;
4. 水道整治建筑物;
5. 运输系统或其后方设施;
6. 隔水建筑物。

(二) 一旦发生冲刷或边坡破坏, 则是否会不利于:

1. 通航;
2. 当地环境;
3. 下游河段;
4. 工程维修;
5. 航道的输水能力。

让我们举个例子加以说明。如果有一次轻微的滑坡发生在开挖式航道中, 我们不必担心这种破坏会危及通航, 但若这一滑坡发生在填筑的航道中或山坡航道中, 则便成为危及整个通航系统的隐患。

一经作出边坡需要保护的决策, 接着就要精确地确定护坡工程的边界及最佳护坡型式。当航道水位随气候或季节发生变化时, 往往需要在整个河道断面内考虑采用不同的护坡护底方法, 以便减少每延米航道的总成本。我们建议将存在这种水位变化的航道断面划分成图 1 所示的各个流区。

由于每一流区具有不同的特征, 所以应针对不同的流区选定最合理的护坡护底方法。下面我们对各流区作一大体叙述。但应指出, 在这些流区之间, 不可能存在明显的边界。

(一) 旱季流区—最低壅水水位

在人工航道中, 该流区是输泄由溢流坝控制的水流的最小断面, 所以该流区内总是含有水。这样, 在该区内所考虑的所有护坡护底工程应能在水中或在临时围堰内和河岸上进行施工。

(二) 雨季流区

当水道输泄表面径流时, 水位出现波动以便造成足够大的水力梯度和输水断面使洪峰流量通过。由于每次洪水事件类型及出现洪峰的季节不同, 我们可将该区再细分为如下三个断面区:

1、旱季—夏季洪水水位区。该区经受着由于夏季暴雨造成的地表径流所引起的水位急剧变化。在该区内所实施的任何工程都面临着在竣工前遭到破坏的危险。所以, 需要采用在整平坡面上容易安装的护坡方法。

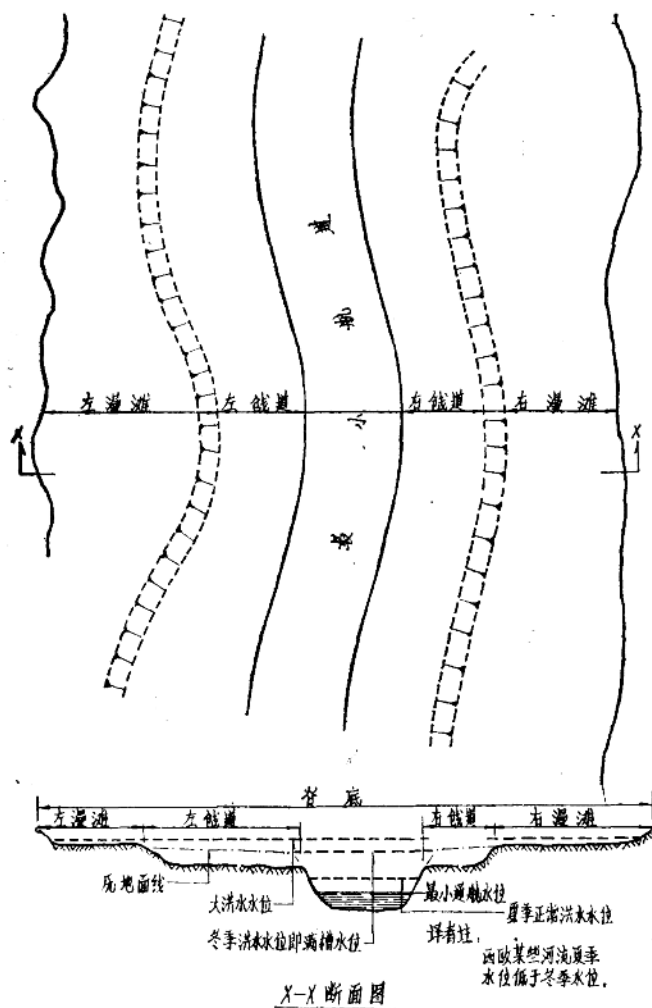


图 1 河床横断面流区分布图

2、夏季洪水—满槽水位区。该区仅在出现洪峰的短时间内位于水下。

3、漫滩水位区。在大型河系中，为了通过特大洪峰，整个谷底均会充满水，形成洪泛漫滩。

从图 1 和上述说明，我们可以看到，低于正常水位的边坡和航道底应选择能在水下快速施工的护坡护底方法。然而，一旦最低流区得以保护，便不大可能再出现航道毁坏的严重后果，所以，其它流区便可采用较便宜的方法加以保护，但仍需恰当地考虑由如下因素引起边坡破坏的可能性：

- (1) 淹没期；
- (2) 水位快速下降造成的浮托力；
- (3) 主航道中的高速水流；
- (4) 地表水流入航道引起的冲刷；

- (5) 动物损坏；
- (6) 风化作用；
- (7) 人为破坏行为；
- (8) 施工期间或竣工前的损坏。

我们感到，除此之外，还必须对下列参数进行审议，其目的是尽可能压缩值得详加考虑的护坡方案的数目。这些附加因素包括：

- (1) 占地情况；
- (2) 河岸区的远景发展；
- (3) 施工及维修通道的便利程度；
- (4) 合格原材料的供应情况；
- (5) 是否便于将来的维修；
- (6) 如果堤岸区属于航运管理部门，则应考虑临陆边界的距离。

可以看到，在上述工作方法中，我们首先考虑的是实施基本建议工程的必要性，其次确定不同的航道流区内的工程范围，同时以逻辑关系的形式给出了选定护坡方法时的其它影响因素。

三、现有护坡方法的比较

护坡和护底专利的和通用的型式正在不断增加。两种以上方法的联合应用，例如用预制混凝土砌块与过滤防渗层砌合，便是这种不断发展的一例。

所以我们感到，为了使工程师们可能进一步缩短选定方案过程所占用的时间，有必要对各种护坡型式加以比较，即使这种比较只是概括性的。我们建议，需要比较的主要项目应包括：

- 1、抵抗冲刷的能力；
- 2、抵抗岸坡结构破坏的能力；
- 3、对环境和生态的影响程度；
- 4、施工的难易程度；
- 5、维修的难易程度；
- 6、预期使用寿命的长短；
- 7、造价。

在比较表中，采用了各种符号以表示各种护坡方法的等级，现将每一等级的含义说明如下：

抵抗冲刷的能力

等级 说明

- A 不透水，对边坡完全保护。
- B 接缝中存在轻微透水，具有轻微渗滤作用。
- C 透水性较强，但由过滤层保护着。
- D 透水性很强，易受高速渠流的冲刷。

E 植被保护的天然岸坡。

抵抗岸坡结构破坏的能力

等级 说明

A 能抵抗最大土压力及水压力。

B 能防止轻微的滑坡或塌方。

C 具有一定的抗堤岸崩塌的能力。

D 抗堤岸崩塌的能力很小。

E 无抗崩塌能力。

对环境和生态的影响程度

等级 说明

A 对自然状态毫无影响。

B 所用材料为不显眼的天然材料。

C 采用天然材料或完全无害的不显眼的人造材料。

D 采用人造材料。

E 人造材料，其外形令人生厌，或其形态会随时间而恶化。

施工难易程度

等级 说明

A 可以湿施工，对边坡或底面的整平要求甚微，所需设备或临时工程极少。

B 需用有限的技术工人。

C 需要一般水平的劳动力和设备。

D 需要设备、技术工人和临时工程，但可湿施工。

E 需要设备、技术工人和临时工程，一般只能干施工。

维修难易程度

等级 说明

A 在使用寿命期内无需维修。

B 维修量很小，维修时不需要技术工人或设备。

C 需要偶然的维修。

D 需要由非技术工人作定期维修。

E 需用半技术工人和（或）设备作定期维修。

预期使用寿命

等级 说明

A 在与水工建筑物相同的使用年限内提供对岸坡的完全保护。

B 随时间而恶化但不明显。

C 在 20 年内对某些构件需进行更换。

D 会发生有规律的恶化。

各种护坡方

护坡方法 比较项目	钢板桩墙					石棉板		砌石护坡				石笼			木材护坡		
	无拉杆板桩	一般板桩	地下板桩	镀锌板桩	具有混凝土帽的板桩	纯石棉板	带有混凝土垫板的石棉板	干砌石护坡	块石护坡	水砌护坡	砌石护坡	平石笼	填砂沉排	泥浆青石灌笼	密排木桩	木桩加铺板	树篱
抵抗冲刷的能力	A	A	A	A	A	A	A	D	C	B	A	C	C	C	D	B	C
抵抗岸坡结构破坏的能力	A	A	A	A	A	B	A	D	C	C	C	B	B	B	C	B	C
对环境和生态的影响程度	E	E	E	D	D	C	C	A	A	B	B	D	C	E	B	B	A
施工的难易程度	D	D	D	D	D	D	D	A	B	B	C	B	B	C	A	A	A
维修的难易程度	B	B	B	B	B	C	C	D	D	C	B	C	C	C	C	D	D
预计使用寿命	A	A	A	A	A	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C	C	B
基本建设投资变化范围英镑/M ²	15 20	20	20	20	20	10 15	15 20	5 10	10 15	15 20	20	15 20	10 15	20	0 5	5 10	0 5
平均年维修费(以所占基建投资的百分比计,考虑20年使用期)	0~20%					2~4%		1~4%				1~4%			2~20%		

E 使用寿命不超过 10 年。

比较表所列结果取自为水工实验站所作的护坡方法研究报告,并根据在英国所收集的资料汇编而成。

对于某些型式的护坡方法的定级,仍存在着很大异议,特别对于环境及生态的影响程度及使用寿命,往往包含着各自的见解。类似地,某些护坡形式的造价变动范围很大。在这种情况下,地方材料,例如填充石笼的合适石料的可供应情况、施工设备和劳动力、工程的规模以及当地环境对于单位造价的高低都具有很大的影响。例如,当需要考虑对一段填筑的航道岸坡进行防护时,最关键的参数是它的防冲刷能力,这时只有那些具有很高抗冲刷等级的护坡型式才值得考虑。第二位的重要因素是它的抵抗岸坡结构破坏的能力和预期使用寿命。综合考虑这三个因素,就可使我们的注意力集中在为数不多的几种护坡方案上。其它参数,例如对环境的影响则成为一个非常次要的因素,因为在填筑的堤岸护坡工程中,所引起环境变化只有从临水侧才看得见,从陆侧是看不见的。

四、值得评加研究的新型护坡

(一) 概述

本节介绍最近发展起来的四种新型护坡。

在评定究竟采用新型或现有的护坡方法时,首先应考虑如何充分利用地方天然材料;如何有效地循环使用当地的工业废料或付产品。其次要考察这种新工艺在其它领域

法的比较

	现浇混凝土		预制混凝土			导流堤			合成材料		沥青及树脂			草皮护坡				白垩				
木柴排	在岸坡上注	支模板浇注	素混凝土块	平铺留孔	隙联锁块	铺有垫层	顺岸导流堤	横向导流堤	混凝土导流堤	砖砌导流堤	圪工导流堤	具有木桩的	合成材料墙	喷沥青护面	沥青垫层	沥青护面	普通植草法	水力植草法	掺玻璃维纤	水力植草法	草根土护坡	白垩护面
C	A	A	B	B	A	B	B	A	A	B	B	A	A	A	E	E	E	D	C			
D	A	A	D	C	C	C	C	A	A	A	B	C	C	C	E	E	E	D	D			
B	D	D	D	B	B	B	B	C	B	B	D	C	E	E	A	A	A	A	B			
B	E	D	C	C	D	C	B	E	E	E	A	A	C	C	A	A	A	A	A			
C	B	B	C	B	B	C	C	B	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D			
B	B	B	C	C	C	C	C	A	C	C	C	C	C	C	B	B	B	B	D			
0 5	15 20	15 20	5 10	15 20	20	5 10	5 10	10 15	5 10	5 10	0 5	5 10	5 10	5 10	0 5	0 5	0 5	5 10	0 5			
1/2~2%		1/2~2%			1~10%			1~10%		2~7%			20~100%				5~20%					

内的应用经验。

(二) 树篱护坡

所谓树篱护坡是指用较细的树枝条在现场栽植并编织成的防冲刷体系。应注意的是，只有防水树种方可采用，如英国的柳树和桤树，热带地区的沼泽红木等。

其方法是：先从规则间距（约 0.5 米）栽植主树杆，留出供编织树枝网的足够空间。所用树种应专门选定，以便尽可能使新鲜树枝生根从而形成一道天然屏障以抵抗水流或波浪所产生的冲刷力。

我们认为，这种树篱护坡能最有效地应用在人工航道中，因为这里的水位受到较严格的控制。

在渠化的天然河道中，水位有变化时，则应采用多排树篱。这时所选用的树种应能保证长时期浸在水下时不被淹死。

这种护坡方法的主要缺点是以后的维修问题。在热带地区，其维修工作量可能会达到不可接受的比例，此外，树篱的根系对周围的岸坡有影响。很明显，根系很深的树种不可用于填筑的岸坡上，因为树木将自然地减小堤岸中的含水量从而可能导致岸坡的开裂。此外，粗大的根系会成为重要的渗漏通道。

(三) 废旧橡胶轮胎护坡

事实证明，某一行业的废料或副产品可以变成另一行业的很好的原材料。废旧橡胶

轮胎存在着垃圾处理问题,因为这种材料不是可生物降解的,它具有较低的重 量/体 积 比,若将其烧掉,又会引起严重的空气污染问题。

在英国,每年约有 2,500 万个轮胎报废,因而存在着源源不断的废轮胎货源。在美国,已将废轮胎对破开后应用在加筋土施工中。最近,关于将废轮胎用作护坡材料的研究也在进行。

在我们的调查研究中,发现了两种值得深入研究的用废轮胎作材料的基本护坡结构型式。第一种型式是设置一至二排由橡胶轮胎组成的垂直墙,在轮胎中间打入木桩以提供稳定性。然后在轮胎中填入合适的地方材料,可以采用水力喷洒植草法使填充土料中形成草木根系以便固定回填土的表面。

木桩可具有足够的入土深度成为悬臂梁结构,也可以用拉杆锚碇在后方堤岸中。当然,木桩会逐渐腐蚀变质,但系统一经建立,若在轮胎之间用非生物降解材料适当加以联结,其自身会具有较高的稳定性。图 2 所示为这一类型的典型断面图。

第二种类型是将废轮胎在平面上连接起来,形成一个链状铠甲式的铺盖层。该铺盖既可预先成型,也可在航道边坡和底面现场装配成。必须设法尽可能排除轮胎中的空气,以免浮力影响安装就位。所有孔隙可用当地土料填充。可以采用锚碇桩将铺盖锚碇于岸坡。但事实上,当轮胎内充填土料并生成良好的根系之后,其护坡标准可等同于许多其它的专利护坡法。

(四) 碾压混凝土护坡

碾压混凝土是大坝施工技术中的一大新发展。这种新型建筑材料的最初研究计划是在英国施工工业研究及情报协会的支持下进行的。基于他们的令人鼓舞的研究成果,运输及道路研究试验室也正在为碾压混凝土在路基工程中的应用,进行实验研究。

对各种配合比的碾压混凝土进行试验,最小水泥用量低达 50~60 公斤/立方米,粉煤灰含量达 200 公斤/立方米。拌制成的混凝土分层摊铺,然后用振动碾压机将其压实到设计厚度。经碾压后,混凝土表面即刻成为不透水层,经养护后,混凝土具有很高的抗拉应变,立方体试件强度可达 300 公斤/平方厘米。

很明显,这种材料需要在干地铺设。当运河为筑堤保护施工时,很适合于用此种方法铺设衬垫护面层。

当需要护坡时,既可先摊铺材料,再用碾压机沿斜坡上下碾压,也可用平行于航道轴线推进的滑模机浇注成台阶式的护坡。

由于最终获得的是完全不透水的护面层,所以,在可能存在浮托力的地方,设计人员必须考虑设置一些排水孔。这种排水孔既可以在浇注混凝土之后用旋转式钻机钻成,也可以在碾压之前埋设硬纸管,管的下端用网状织物封口,内填碎石,后者能保证在排泄地下水时不渗漏掉细粒土料。图 4 所示为用碾压混凝土施工的几种护坡护底方法。

试验结果有力地说明了这种新型护坡材料在成本和结构方面的优越性。但从环境美化的角度看,这种护坡方法不如其它传统方法。

(五) 喷涂护面

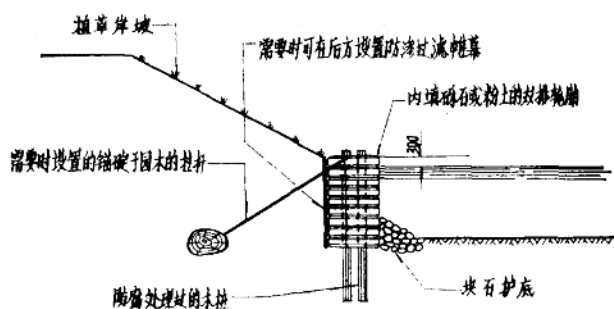


图2 橡胶轮胎用作挡土墙的典型断面图

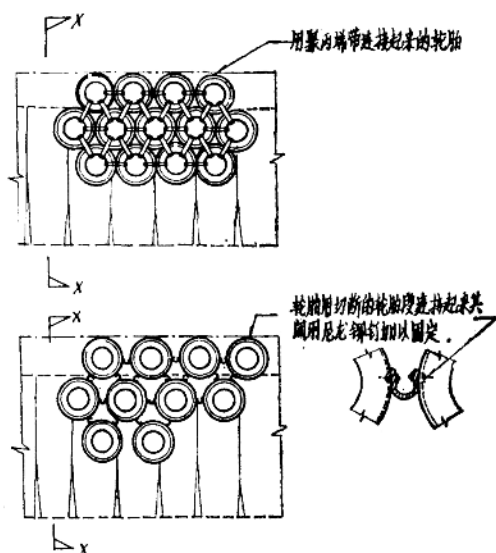
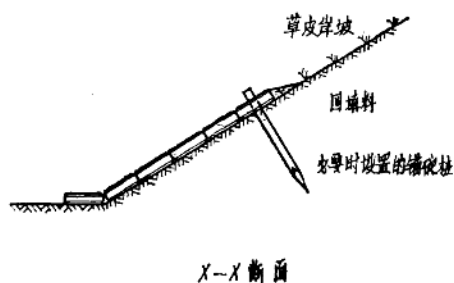


图3 橡胶轮胎用于斜坡堤岸的典型断面图

在过去廿年内，混凝土喷涂技术和草籽及覆盖层的喷撒工艺获得了很大发展。后者现已广泛应用于土质低劣的重要工程中。在草籽与覆盖料的混合喷撒料中，还可掺加必要的适合于当地土壤和环境条件的肥料和示踪元素。覆盖料可采用当地可供应的废料，如稻草、麦秸等配制，在草籽层上喷撒一层覆盖料的目的是为加速草籽的萌发和生长过程创造一个良好的气候环境。

为了在草籽发芽之前对岸坡起到更好的保护，业已发展了一些更先进的喷撒方法。例如，在混合料中掺加一些植物乳汁或沥青，便既可稳定覆盖料，又可保护下方的土料免遭大风和地表水的冲刷。最近，还在喷撒混合料中掺加玻璃纤维和调稀沥青。这样所获得的织物状玻璃纤维覆盖层，可有效地防御风和水流的冲刷。但在可能有动物抵达的

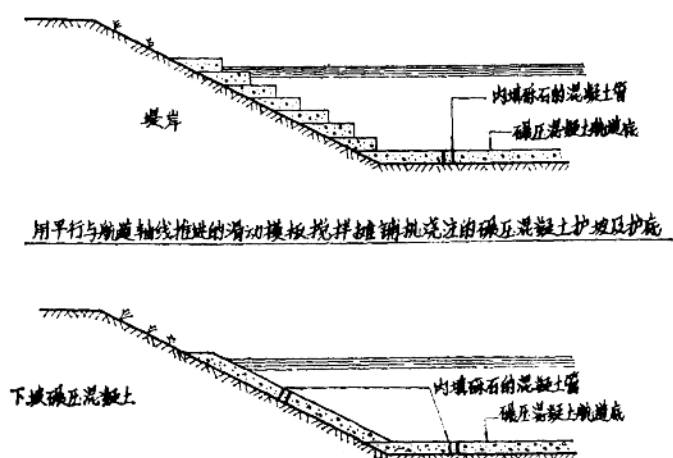


图4 碾压混凝土

堤岸上，采用此法应谨慎。

随着新型合成材料及喷撒机的不断发展，有可能将这种喷涂技术应用于底床护面和边坡的水下部分。可以根据不同的护坡要求，喷涂不同厚度的面层。其最厚面层可达到完全不透水，也可以形成网眼状的简易覆盖层。在遭受强烈阳光照射的地方，为了防止护坡材料的退化，需要掺加紫外线防腐剂。

五、结 论

本文介绍了一种用于选定护坡底型式的新的工作方法，对现有的方法作了比较，并对已知的有发展前途的几种新材料和新工艺提出了评议。

已有许多先例证明某一行业的废料和副产品可成为另一行业的原材料。过去发展的粉煤灰的广泛应用已使英国某些地区某些等级的粉煤灰供不应求。作者相信，在许多国家，都可以找到不同废料可资应用，对这些废料经过加工处理后，便可能组成一种能供它国借鉴的新型护坡护底材料。

吴炯译自《25届国际航运会议论文》SI-1, P.145~154。

各种经济护坡形式的发展

R. Tenaud

(法国海港和航道技术总局)

(一) 概 论

在运河和河流存在三类护坡问题:

1、为防止天然水流冲刷而对河流岸坡的保护;在河床倾斜度很大而又不适合航行的河流中,最严重的问题是洪水挟带的大量泥沙。护坡与低水河床的稳定性密切相关。这是个复杂的问题,但不在本报告中研究,本报告仅涉及通航水道问题。

在法国,通常进行商业航行的河流都已渠化。除洪水外,水流都较缓,而船行波的作用却大得多。防洪保护常作为防护船行波的补充措施。

2、当有水面以下透水层时,岸坡护面的主要作用是保证渠化河流沿岸或运河岸坡的防渗。出于安全的原因,不大采用“经济”的方案。在第22届会议报告中,我们已研究过这类护坡,在本报告中就不再涉及。

3、为抵御船舶航行产生的航行波冲刷而保护岸坡,某些护岸形式也可用于边坡防渗,但不是主要的。

因为岸坡保护所需的费用可达新水道建筑费用的20%,所以,对经济护坡形式的研究有着极其重要的意义。

对于老运河来说,这个问题甚至更为重要。这些航道(特别是Frycinet水系运河)过去几乎没有护坡,因为这些航道过去航行的是低速(3公里/小时)拖带船队,航行波不大。目前,为了在运输上赢利而要求船舶以8~12公里/小时的航速航行,这样所有河段都需要做护坡。然而,能用于这些水道的投资预算是很少的。

工程师们对经济护坡进行了探索,研究出了许多护坡形式。

在研究各种护坡时,应考虑到下述的参数和标准:

1、船行波。在第24届会议上就已经研究了船行波的问题。为了说明船行波的特点,水面降低可取船速在95%极限速度时的相应值。可以利用SCHIJF图表的第一近似法和按照第24届会议上我们介绍的数学模型进行研究。

2、浮托力。水位下降会在不完全渗水的护坡后面产生浮托力。船行波引起的水位变化很快,但变化幅度相当有限(一般低于0.50米)。相应产生的浮托力对建筑物稳定性影响不大。但是,却可以将岸坡上细小的粉状泥沙带走。

在水位受到潮汐影响的情况下,浮托力会变得很大(鲁昂港下游的塞纳河护坡就是这种情况)。

另外,还应考虑到淡水水位意外出现下降的情况。

3、因土压力引起的应力（岸坡的挡土墙情况）。一条新航道，一般来讲，都要由一定的高度来确定岸坡的宽度范围，在这个范围内确定岸坡的倾斜度。

为了使岸坡造价经济，应该尽最大可能减少拟建挡土墙的高度。在整个河岸高度上如边坡坡度较自然坡度平缓，就可取消挡土墙。最佳的坡度为1:2和1:3。

相反，在现有的运河上建设护坡时，几乎总是不得不建设一些较高的挡土墙。

因为，现有的岸坡确实已受到侵蚀，并且其岸坡坡度已处在极限稳定状态。在这种情况下经常希望的是增加一些运河的宽度和水深，而事实上不可能扩大岸坡界限。

4、防渗（局部的、精细的或粗糙的）。当堤岸有可能出现渗漏孔洞时，考虑建设一种堤岸上部止水的护岸还是很重要的。

5、土质。土质的好坏显然是建筑物的稳定性，特别是边坡稳定性的因素。当土的颗粒可以穿过岸坡护面（如堆石护面，合成纤维编织物护面）时，土的结构粒度则是应该考虑的一个因素。

6、施工方法。采取水下施工还是干施工。只是在建新运河的情况下，当地下水位明显地低于运河水位时，才可能采用干施工的方法。

在现有通航水道上施工时，即使从技术上可以进行护坡干施工，也很少采用这种施工方法，以避免长时间中断航行。

水下施工则最常见。大部分护坡由相对较小的构件构成，这些构件很容易在水中定位（如钢板桩、桩、型材、堆石或混凝土块体、预制垫层等等……）。

7、安全性即耐久性。这个标准不像桥涵工程那样重要。在大多数情况中，护坡的情况对公共安全不产生影响。因此，在特殊情况下可以允许局部损坏。问题是应使维修费用达到可以接受的程度。

但是，由于问题的复杂性，应承认很难估算出安全系数、保养费用和护坡的使用年限。

因此，当构筑的护坡段较长时，最好采取有成熟经验的护坡形式。

8、环境与生态。这条标准现在越来越严重。在法国，1976年7月10日自然保护法规定每项工程都要做好环境保护研究工作，对环境方面的“影响研究”应成为各种调查材料的组成部分。

鉴于护坡的外观和护坡进入水面有一定限制等原因，因此护坡会对环境产生影响。同样，还会涉及到生态问题。因为岸坡改造以后会对动物和植物发生影响，破坏了原有的生物结构，取消了产卵场地，还给大动物造成过河障碍。

对于存在着自然平衡的河流来说，这个问题就更加尖锐，应最大可能地防止上述问题的发生。在外观方面，例如，正常水位以上的混凝土或钢结构护坡的面积应该避免过大，而要为植被留出最大面积。这样常常要根据水面以上范围的情况，构筑不同类型的护坡。

另外，护坡还不要使风景成为单调的几何图形，而应采用各种形式的护坡，这点也很重要。这种做法可以使矛盾各方的利益协调一致：例如，从外形角度上多倾向于喜欢选用天然或人工堆石的护坡，而不用混凝土垂直岸壁或板桩。但是，钓鱼爱好者却喜欢后者，因为后一种护坡形式更容易接近水面。

为了预留出产卵场地，以及大动物通过地带，这就不得不采用坡度平缓的护坡。

总之，对于大型工程来说，应该进行风景方面的研究，使渠化河流甚至是位置显要的运河，其岸坡与大自然的风景混为一体。

（二）钢板桩护岸

采用钢板桩做岸墙已有很长历史了。这种岸墙确实有许多优点。它可以很快地进行水下施工，而不妨碍航行。一排钢板桩可以建成挡土墙，还可以加高河岸。当运河占地小时，这是很可贵的优点，这是老航道通常的情况。

当运河水位低于地下水位时，板桩墙还可以防渗。板桩的腐蚀现象对河流及运河来说不是重要因素。在正常条件下，使用年限可望达 50 年。但是，应注意在钢板桩墙后面不要填充对钢材有腐蚀性的物质，1977 年就有一排钢板桩护坡，因部分填充物是含有硫化物的煤渣而受到了严重腐蚀。

但是，钢板桩有一个缺点，即造价相当高。因此，各种新方案都寻求减少每延米护岸的钢板桩重量。为此，现已有减少钢板桩厚度和减少钢材面积这样两种方法。

1. 轻型板桩

在法国，专门生产轻型钢板桩并用来建筑护岸已经有多年的历史了，板桩厚度为 3 ~ 6 毫米，因厚度不大，故在制造中可使它缓慢地冷变形，大大提高了板桩的弹性极限。

最常使用的钢材是软钢 E24。但是，板桩同样可以用 E26、E24、E30 或 E36 的钢材制造。

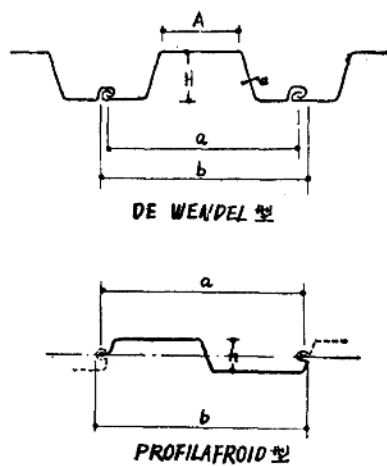


图 1 DE WENDEL 型和 PROFILAFROID 冷加工型材

表 1 列出了最新发明的几种钢板桩的某些技术参数。

钢板桩的锁口外形，应在冷轧板材时弯曲加工而成。为了达到足够的强度，需专门研究钢板桩之间的锁闭连接形式。对于冷轧型材钢板桩来说，P300B 型号板桩锁口的抗拉强度为每立方米 21 吨，P302B 型号板桩为每立方米 36 吨。

“DE WENDEL”型板桩的锁口位于波峰，以便增加惯性距。