

关于土质堤坝护坡和堤顶净空设计的几个问题

茹建辉

(广东省水利厅, 广东 广州 510635)

摘要: 该文主要介绍堤防生物防浪研究的主要进展, 提出今后进一步工作的建议; 指出常用的砌石和混凝土护坡在设计 and 施工存在的问题和应注意事项; 对桥下堤顶合理的净空高度亦提出建议, 供堤坝设计和加固建设参考。

关键词: 生物防浪; 砌石护坡; 混凝土护坡; 桥下堤顶净空

中图分类号: TV871 **文献标志码:** B **文章编号:** 1008-0112(2014)05-0001-10

1 江河堤防迎水坡防护

江河堤防主要作用是限制洪水在设计行洪断面内通过, 防止它泛滥成灾, 保护堤内社会经济发展和人民生命财产安全。从人类社会发展的历史推断, 堤防工程不但会长期存在下去, 而且还会在不同历史时期以不同形式进行加高和加固。导致堤防迎水坡破坏的主要因素有如下几种: 暴雨冲蚀、河道演变致使主槽发生向堤岸移动并引起岸坡甚至堤防崩塌、较大洪水冲刷及其形成宽阔水面后产生的波浪冲击等; 近期随着经济发展内河航运亦有较快的发展, 航船的排水量和航速都在增加, 较高航速行船产生的船行波, 对河道两岸的岸坡和堤防亦产生较强和较频繁的冲刷。

一般来说, 只要在堤顶及堤坡合理地布置截水沟和有一定抗冲能力的集水沟, 将雨水集中引入河内; 其余坡面植草皮, 即能有效地保护堤坡免受雨洪冲蚀。

由于河道演变造成深槽逼岸, 不断冲蚀切割岸坡, 导致滩地消失, 威胁堤防安全时, 必须结合河道整治, 调整河势, 在兼顾对岸的岸坡和堤防安全的前提下, 通过工程措施, 将水流动力轴线适当外移, 争取在堤前形成一定宽度的人工滩地。堤前滩地对堤防安全有极其重要的意义, 在工程管理中, 常把堤前无滩地的堤段称为“险段”。位于冲积层的河道, 河道变形有一定的惯性, 若无及时的工程措施干预, 深槽逼岸对岸坡的冲蚀会持续和迅速地发展。对堤前无滩地的堤岸, 水流稍加冲刷, 岸坡就会连续崩塌, 河底与堤顶间的平均坡度变陡, 很易进一步导致堤身崩塌。在洪水期(尤其是退水期)这种危害性的变化发生在水下, 堤上观察和探测都很不易, 往往到滑坡体形成,

堤顶出现裂缝才被发现, 极大地增加了抢救的困难。如果堤前有滩地, 除相当于从堤顶到河底之间的平均底坡度较缓, 岸坡稳定有较大的安全系数外; 即使深槽向岸边移动, 堤前滩地也相当于河槽变形的缓冲带, 有时间进行预加固; 即使洪水期发生冲刷, 也不会马上危及堤身安全。如果滩地保苗有一些高出水面的标识物如动力线杆、通讯线杆或树木, 在洪水期还可以及时观察到河道变形的速度, 是否会危及堤身的安全。“退而守堤不如进而护滩”就是历代前人通过经验积累, 总结出的治水古训。

对河道变形的调整和控制, 除防洪安全的要求外, 作为促进国民经济发展重要一环的航道治理和提高通航能力, 也有同样的要求。由于航道整治的水位多为多年平均水位或略低于年流量保证率为 25% 的相应水位^[1], 实践经验证明, 只要有兼顾防洪和航运等综合效益的河道综合治理规划, 有合理的整治线(或治导线)布置和合理的整治建筑物(主要是丁坝或丁坝群、顺坝和锁坝等)设计, 丁坝和丁坝群不会外伸过长迫使主流压向单侧岸边, 不增加对岸的冲蚀, 从而不增加对岸防洪安全所受的影响, 不将兼作行洪主要通道的航槽收缩过窄, 一般来说是可以并获得防洪与航道整治的效益。利用堤前的丁坝群可以人造一定的滩地, 丁坝群在建设初期虽然可能会占用部分过水面积, 但它的“束水攻沙”效应能使航槽(主要是河槽中间部分)逐年加深, 增大过水能力, 使河道发生有利于防洪和堤防安全的变形。

由于历史原因, 位于经济较发达地区的堤防, 绝大多数在堤前只保苗宽度较小的窄滩, 有的甚至无滩。

收稿日期: 2014-02-11

作者简介: 茹建辉(1940), 男, 本科, 教授级高级工程师, 长期从事设计和工程技术管理工作。

堤防的护坡、护滩和岸坡的保护,往往需统筹研究和考虑。当岸坡过陡或存在塌岸时,“护脚为先”(指枯水位以下的岸坡保护)是必须优先考虑的原则。有条件的应首先建丁坝群形成人造滩地;如实施人造滩地有困难者应尽量考虑用密集抛石短丁坝群(广东珠三角俗称“鸡咀坝”)保护水下岸坡;若连稍抛离岸坡的短丁坝群亦不具备条件时,只能沿坡面抛石,使水下岸坡形成迎水侧有稳定坡度抛石体。过去采用过的护脚形式主要有抛石和石笼、夹石的沉枕和沉排等平铺式护脚。随着经济发展和对环境保护要求的提高,手工操作越来越多地被施工机械替代,近年来平铺式护脚更多地采用抛石的形式,这方面的成功经验较多,具体设计可参考有关专项总结和调查报告^[2]。

通常护脚以上(包括滩面)的防护结构均称为护坡,对水流冲刷成风浪作用强烈的堤段护坡,《堤防工程设计规范》建议采用的是“砌石、混凝土或土工织物模袋混凝土护坡”。混凝土和模袋混凝土造价相对较高,历来堤防的护坡多用砌石。然而随着经济的发展,以手工劳动为主的砌石造价不断增高,而砌筑工艺是似乎是与经济发展相背而行的,可以说无论是干砌石还是浆砌石的质量,大都远不如前。多年以前,群众已经发现:在堤段的滩地植树,迎水坡面仅铺种草皮防护,在防冲和防浪方面均能取得较良好的效果。然而,由于过去在堤前滩地植树或造林是多数是自发的,缺乏科学分析和规划为前提;有些在堤前较宽的滩地上满布林带,严重地挤占了行洪断面,甚至将水流迫向对岸。笔者在20世纪七十年代后期,分析我省某较大江河下游左岸某一村庄的房屋连续向河中崩塌、塌屋数量过百后数量仍在继续增加的原因时,发现对岸的另一行政单位在河滩植林区域过大,边线已外伸过河道中心线,将水流挤逼向左岸。由于类似事故多处发生,河滩上的树林在一段时期又被部分地区统称为“河障”,一刀切地划入清理之列。

2 岸滩植树防浪研究简述和展望

2.1 河滩植树对堤防和岸滩保护作用

我国《防洪法》虽然规定“禁止在行洪河道内种植阻碍行洪的林木和高秆作物”,但又规定“护堤护岸的林木,由河道、湖泊管理机构组织营造和管理”。怎样合理规划和营造护堤护岸林木,是摆在我们面前一个重大课题。显然,在河滩上植树成宽阔的林带肯定会阻碍行洪;而林带过疏、宽度不足则护堤作用不明显。堤前种植宽度多大的林带,尤其是在需要保护的窄滩上,做到既消浪、护滩和护坡,既保护堤防安全,

又基本不影响河道行洪?这是要求每个河道和堤防管理部门和技术人员尽快通过学习、实践和总经验,尽快掌握和熟悉的技术课题。广东省水利电力厅(广东省水利厅前身)于1982年起,会同科研部门就河滩种树对固岸、固滩作用进行的专题研究和调查^[3],发现:

1) 堤前滩地种树,若行距(沿堤防纵向)1 m能成林,有5~10行树即能抵御较大的风暴潮相应的内河风浪。

1975年13号强台风以风力为11级经过新会县,全县崩塌堤围592处,不少百年以上的大树被掀倒,而堤外滩种植水松成林的堤防均毫无损坏。

1989年7月第8号台风又经过新会,阵风达11级,时逢大潮,潭江的黄冲水位站出现近50年一遇的高水位。台风过后发现,堤前凡是种有防浪林的堤段均安然无恙,其中潭江下游银洲湖畔双水围堤沙路有长约600 m、外滩种有4排4年树龄、树高4~5 m的落羽松防浪林的堤段安全无损,而邻近无树林防护的,即使是砌石堤段亦发现有被浪击倒塌者,几乎造成溃决。

在上述台风风暴潮经斗门县时,阵风达10级,灾后亦发现,全县289 km堤围中,决口449个,累计总长达40 km。但是,凡是堤前外滩种植防浪林(以水松为主)的堤段均安全无损;而堤前无防浪林的,虽然堤高仅约3.5 m且已加砌石保护,亦多处被冲毁甚至溃决。

2) 初步筛选出河口咸淡水交替出现地区防浪、抗风、守滩、护堤较合适的树种为落羽松;在淡水为主的河滩则以种植水松为宜。1983年有关单位曾在斗门县蓬溪河滩对16年树龄的水松进行生物量调查,发现:

①水松地下部分的树头特别粗大,直径约为地面上树干的3倍,离地面1.5 m深处的主根直径仍达6~8 cm,水松的根系约占全株生物量的31%;

②在树头周围挖直径为2 m、深1.5 m的坑进行检查,可见坑的上部密布发育的侧根斜插入坑外,与邻树的根互相交错盘结,形成一个以主根为桩的、把地面表土紧紧地包裹的根系网,极大加强了树基土层的抗冲蚀能力;

③水松在主干砍伐后,其树头及根系据说百年不腐,斗门县很多堤围的基础都发现有成片的水松树头。

3) 堤外滩地防浪林间行洪时流速较小而落淤,西江天河围防汛站附近宽约20 m的堤前滩地,于1987

年种植了10 m宽的落羽树,1993年观察,林带间平均年淤高2 cm,滩面淤泥又促使低杆的草木生长,保护滩地免受滩地浅水时的波浪淘刷(见图1)。高速双体船交通发展后,很多无防浪林的滩地从滩唇开始节节崩塌后退,直到有防浪林根系保护的地带,岸滩崩塌线才基本停止发展(见图2)。



图1 林下盛长草木的滩面



图2 滩唇崩塌到防浪林外缘

颜学恭等^[4]对长江中下游不同类型和结构的防浪林带的消浪效果进行了原型观测,证明:防浪林在6~9排可消浪33%~38%,10~15排可消浪49%~57.6%,20~25排可消浪64%~71%。

吉红香、黄本胜等^[5]在前人实体观测和试验研究成果的基础上,对堤前林带宽为25 m以内,树株间距约为1 m×1 m的、树高2 m以上才长出枝叶的窄带防浪林,进行了大量的模型试验研究^[4],若定义被削减波高部份与推至滩前波高之比为消浪系数 K ,则

$$K = 1 - \frac{H'}{H_0} \quad (1)$$

式中 H_0 为来波波高, H' 为防浪林后波高。

研究成果证明:

1) 由于单位水体的波能从水面向下快速递减,林带一般约在2 m高度分出枝叶,如防浪林较茂密的枝

叶能屏蔽推进到滩上的波峰和波谷的范围时,消浪系数较大;如滩地水深较浅,推进到滩上的波峰和波谷的范围在防浪林较茂密的枝叶的下方,仅靠树杆防浪时,消浪系数较低,但此时波浪上滩后的波高亦较低。

2) 通常发生的是不规则波。图3为当河道主槽传来通常的不规则波,林带在近滩唇布置,滩地水深较大时,林带宽与消浪系数的试验关系(模型比例为1:10)。由图可见,林带5 m宽时消浪系数约为0.3;随种在滩前林带宽度增加,消浪系数近似成直线增加,当林带有25 m宽时,消浪系数可达0.75~0.8,若将试验的消浪系数与林带宽的关系外延,初步估计当防浪林带宽达30~35 m时,消浪系数已接近1.0。

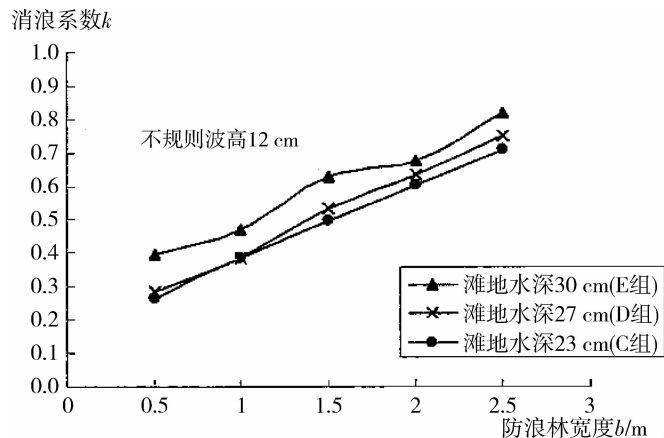


图3 主槽为不规则波时林带宽和消浪系数的关系

(注:模型比例为1:10)

众所周知,护坡受波浪破坏先后经历波浪的撞击、淘挖和向外拖曳作用等过程,一次破坏由一个完整波浪来完成。一个完整波的总能量为:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 L \quad (2)$$

式中 ρ 和 g 分别为水的密度和重力加速度, L 为波长。令波陡 $\lambda = H/L$,

$$\text{上式可写成 } E = \frac{1}{8\lambda} \rho g H^3 \quad (2-1)$$

若近似地假设防浪林前后波陡相同,则略去波浪穿过防浪林后水流紊动的影响,破坏护坡的波浪能量可近似地与浪高的3次方成正比。以此推算,当防浪林的消波系数 $K=0.3$ 时,林后的波能被削减近66%;当消波系数 $K=0.75$ 时,林后的波能被削减约达98%;即使波浪穿过防浪林后的波长不变,在上述条件下波能被削减分别为51%和94%。因而,堤前植树防浪不必追求过高的、接近1.0的消浪系数,只要堤防能经受较长时间(例如一次洪水高峰历时)的、穿过防浪林后波能已下降的波浪作用,不会破坏土堤迎水

坡的简易护坡(如草皮),即可认为满足要求。

2.2 河滩植树对行洪的影响

堤前滩地植树的主要目的,是保护堤坡和堤前有限宽度的滩地免受洪水、风浪和高水位时船行波的冲刷,以保护堤防安全。但是堤前种树毕竟是占用了一些行洪断面,会不会影响行洪和在多大程度上影响行洪?黄本胜等^[6]就较窄河滩(总滩宽小于槽宽)种植对行洪影响进行了专门的试验研究,结果表明:

1) 由于滩地种树后,阻力增大,过水面积减少,原应通过种树滩地的流量会迅速向主槽转移,沿程不

断减少,主槽的过流量会逐渐增大。由于原滩地流量进入树林后,以一定角度斜交入主槽,使滩槽交界的局部地区形成一定数量的、不稳定的较大漩涡;但经过一定的归槽长度 L_m 后,滩地水流绝大部分归槽,只有少量水体在林间平行于主槽流向缓缓移动,详见图4。对于树林排(平行于堤轴方向)距与树径之比为4.13~5.42的条件下,归槽长度 L_m 约为滩宽 B_f 的4倍,即:

$$L_m \approx 4B_f \quad (3)$$

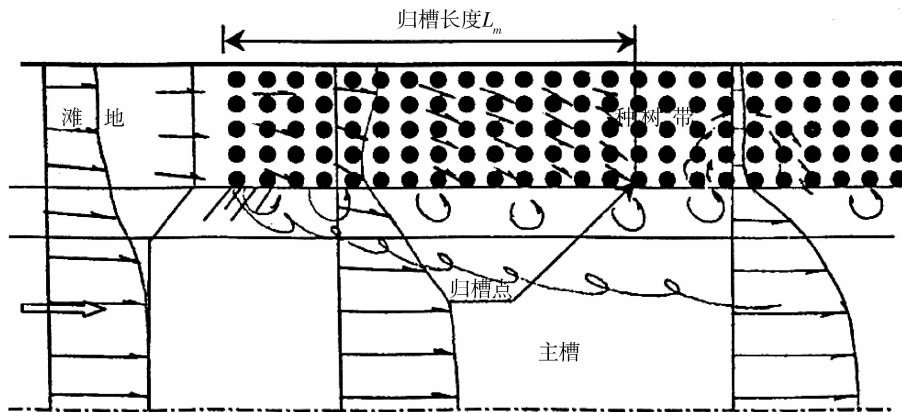


图4 滩地种树的复式断面河槽平面流场示意

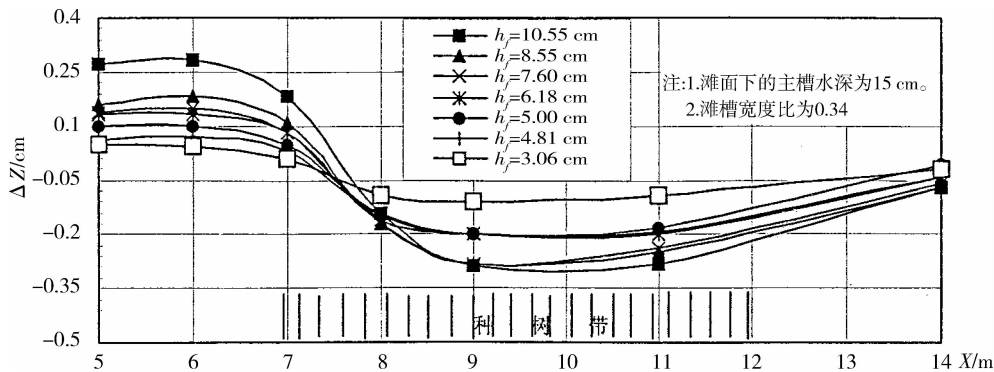


图5 滩地林带前后沿程水位变化试验成果

2) 滩地树林使上游一定范围内水位出现壅高,但在林带下游则出现水位降低,水流流出林带后一定距离,恢复到正常水位,流经滩地林带沿程水位变化的试验成果见图5。由图5可见:

①滩地林带上游水位壅高值与林带段最大水位下降大致相当,前者略大,可能是在能量转变过程中,归槽段有一定数量的能量消耗。

②在相同植树的条件下,滩面上水深越大壅水高度越大;林带相对宽度越大,壅水高度越大,这可能会被阻的原滩面流量占百分比比较大所致。

③设最大壅水高为 Δz_{max} , 主槽平均水深为 h , 植树滩地阻水面积为 S_f , 全断面过水面积为 S , 在定床

条件下,不同相对阻水面积 S_f/S 与相对最大壅水高 $\Delta z_{max}/h$ 有较良好的相关关系,详见图6和表1。

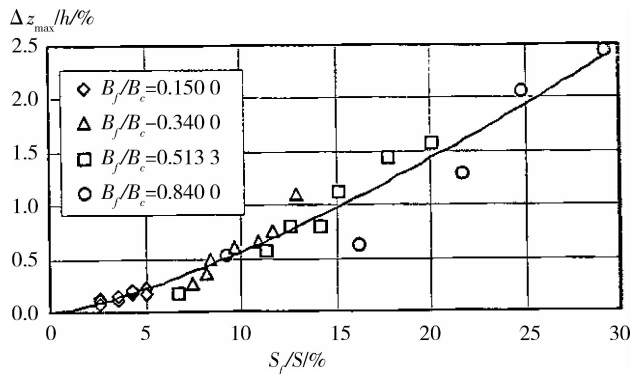


图6 $\Delta z_{max}/h$ 与 S_f/S 的相关关系

表1 S_f/S 与 $\Delta z_{max}/h$ 的对应值

S_f/S	0.05	0.10	0.15
$\Delta z_{max}/h/\%$	0.2	0.55	1.0

因行洪时，绝大多数能产生危及堤防安全风险浪和能产生危及堤防安全的船行波的河道，比值 S_f/S 一般低于10%，若以 $S_f/S = 10\%$ 计，则查得比值 $\Delta z_{max}/h = 0.55\%$ ；若主槽平均水深为10 m时，壅水高度约5.5 cm；主槽平均水深为8 m时，壅水高度约为4.4 cm。如果河槽为可冲刷的软土层，河槽部分流速

增大会产生新的造床作用，实际壅水高度低于上述定床试验的估计值。同样当 S_f/S 低于10%时，实际壅水高度更低于上述估计值。

3) 在归槽段后有的防浪林的河段，不同滩槽水深比为 h_f/h 时的试验成果见图7。由图可见，在滩面种植防浪林后，河滩林中和滩唇前的流速已大幅度降低，而主槽的流速有适量的增加。因而，对可冲刷的软土河槽，流速增大的造床作用一般来说是以加深河槽为主，不会直接引起岸滩的崩塌。

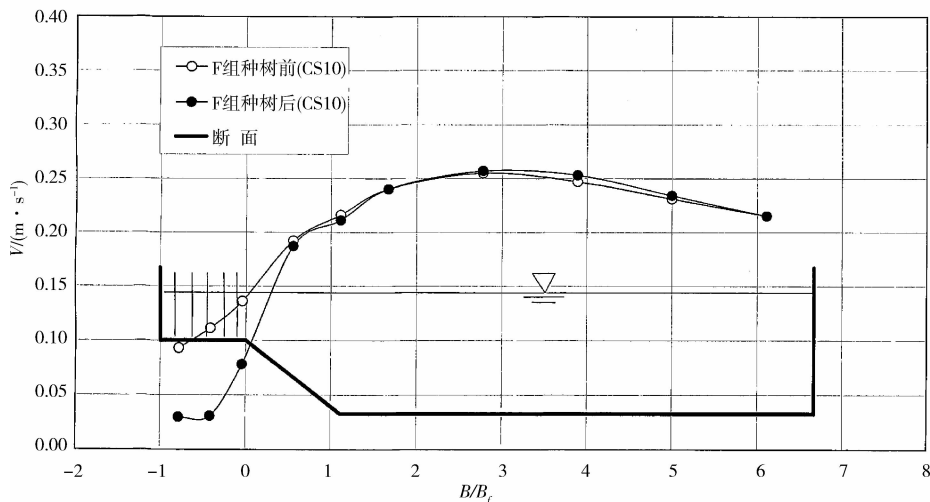


图7a 归槽段后断面流速分布 ($h_f/h = 0.167$)

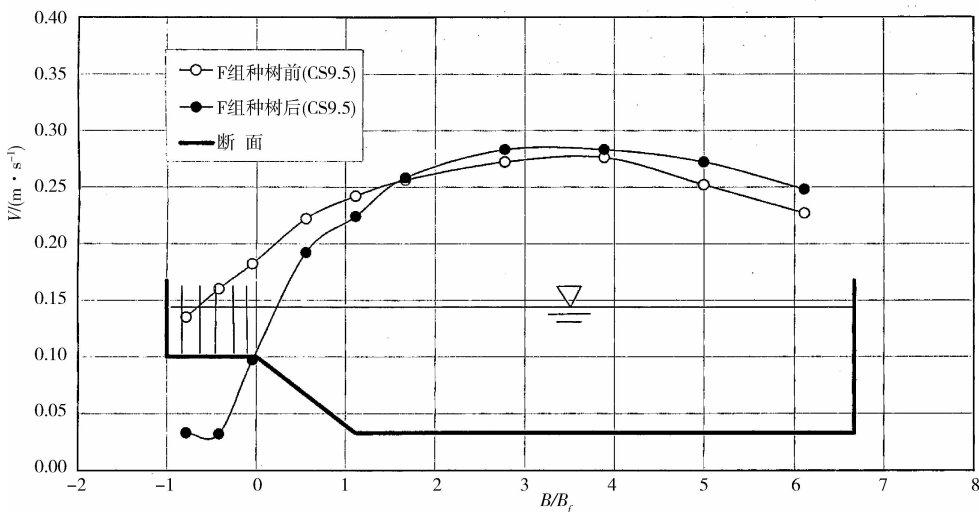


图7b 归槽段后断面流速分布 ($h_f/h = 0.0333$)

2.3 海滩植树对海堤保护作用研究

海滩防浪林对防风消浪、促淤固滩已基本成为共识。例如，据报导的2004年12月印度洋地区的海啸中，泰国拉廊红树林自然保护区的茂密红树林，使其后岸边房屋完好无损，居民生活未受太大的影响；而与它相距仅70 km、无红树林保护的岸边附近村庄的

民宅被夷为平地，70%左右的居民遇难。由于袭击堤防的海浪出现机率低于江堤，其出现位置不易确定、现场观测较困难等原因，目前对海滩防浪林消浪的原体观测、消浪机理、林带规划等的定量分析和试验研究成果远远少于江堤。刘达^[7]通过物理模型试验和数值模拟分析，以海堤为对象，对波浪经过堤前生物林带

(以红树林为主要代表)时的波高、流速、紊动和总能量等的变化进行了较系统的研究,得出结论大致相同:

1) 以波浪在堤防斜坡上爬高值的消减程度,亦即用某种意义上波能的消减程度定义为消浪系数 K_a ,即:

$$K_a = 1 - \frac{H_a}{H_{a0}} \quad (4)$$

式中 H_{a0} 和 H_a 分别为无防浪林和有防浪林的波浪爬高。

不同浪高条件下,防浪林宽度变化对消浪系数的影响的物模试验成果见图 8a,经率定的数模计算成果见图 8b,模型比例均为 1:20。

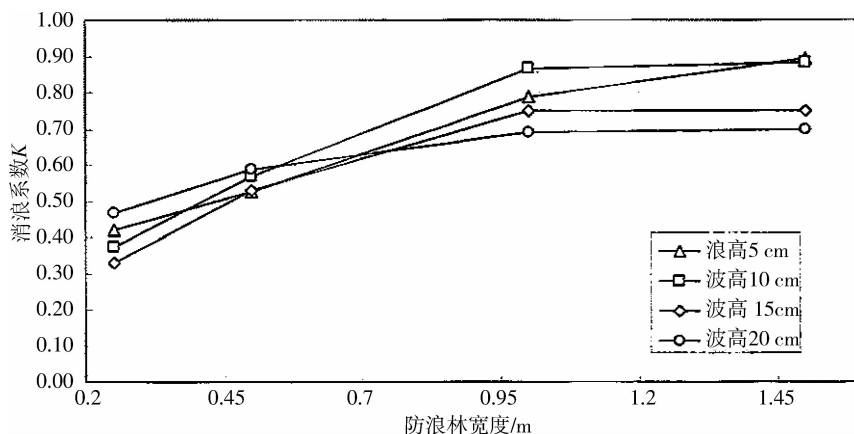


图 8a 按(4)式计算消浪系数物模试验成果

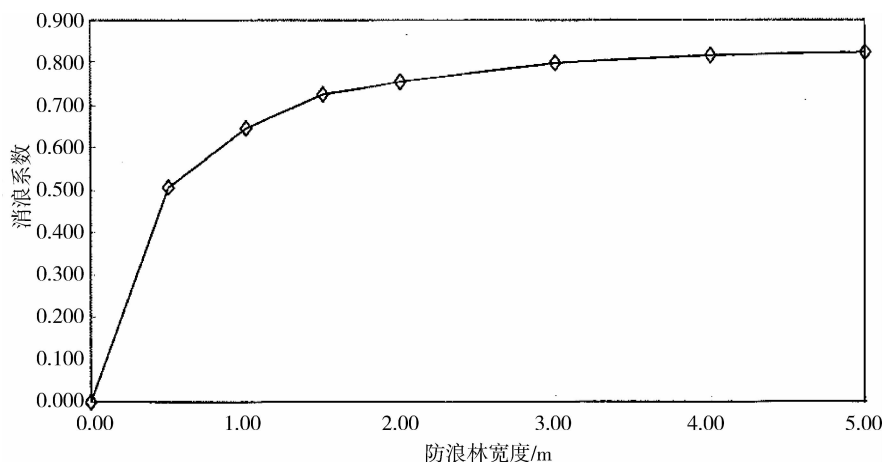


图 8b 按(4)式计算消浪系数数模计算成果

图 8 的消浪系数变化的规律和图 3 比较接近(差异的主要原因之一,可能是提前水深略有不同;另图 3 相应的是通常的不规则波,图 8 为规则波),说明虽然用波能的消减定义为消浪系数,物理意义比较严格,但直接用防浪林前后浪高变化,也在一定程度上反映了波能的变化。

无论是文献[5]还是文献[7]都证明了一个共同的规律:树冠柔韧枝叶的消浪作用远高于树干,当波峰和波谷的轨迹线在树冠范围内通过时,消浪效果高于波峰和波谷的轨迹线在树冠群之下通过。

2.4 结论和建议

1) 一般来说,当河道有较宽阔滩地时,堤前的流速和波浪都较小,没有必要在堤前滩地上植树造林来

保护堤防和提前滩地;林带过宽确实会成为影响行洪的河障。

2) 在滩面种植防浪林后,河滩林中和滩唇前的流速已大幅度降低,而主槽的流速有适量的增加,从而(非岩性的)河槽会通过调整、刷深来适应滩面种植防浪林后河道流场的变化。

3) 对于窄滩河道,只要林带阻水面积不超过 10%,防浪林带的壅水效应相当(主槽过水面积较大)或略大于常规公路桥。考虑河槽的自我调整作用后,实际的壅水高度会低于试验值。由于种植防浪林所产生的壅水与它降低浪爬高度和造成的固滩及护堤效益相比,一般来说应是利大于弊,远优于由于专为防波浪需要而加大堤高和进一步加固堤迎水坡面。

4) 如图8b所示,河道行洪时,防浪林带始段的水流归槽段内会出现可能损毁岸坡的较大漩涡,需进一步调查现常用作防浪林的水杉和落羽松等树种的根系是否足以保护滩唇水下的边坡。

5) 因防浪林树冠区枝叶的消浪效果大于下部树干区,建议进一步研究复合型防浪林的可能性,即需:

①进一步筛选耐水性较强、根系较深和较密的灌木或矮竹间种于江堤防浪树之间或种植近滩唇间,以弥补树干区的不足。

②进一步筛选耐海水间歇浸淹的、枝叶柔韧和较密的林木,种在红树林后堤前的高滩上,弥补树高不大的红树林在林带宽度较窄时,在台风暴潮期间消浪作用不高的缺点。木麻黄是广东沿海防风林的主要林木,笔者曾在海南岛东部某内海的入海口,见过它生长在浅水沙滩中;亦在阳江市平岗大堤外的高滩上见到种植相思树防浪。是否还有更合适的树种让它与红树林组成消浪效果更高的海堤防浪林,仍有待进一步探索。

6) 进一步通过调查和试验研究,提出不同土质、不同类型、不同树龄和高度防浪林抗风倒伏的力学性能,从而提出对树高限制的要求。

7) 进一步通过试验,提出不同土质及其常用草皮护坡抗波浪冲蚀的性能(主要为极限浪高和抗波浪冲蚀持续时间),分析在河滩有可靠防浪林后,迎水坡全部采用生物防护的可能性。

8) 在完成必要的补充试验研究的基础上制定内河堤防防浪林实施和管理技术导则,例如人工控制树高等。

3 土坝护坡

和历史上各版堤坝设计规范一样,近年来《碾压式土石坝设计规范》无论是“SL274-2001”还是“DL/T5395-2007”,推荐的上游护坡都依次为:堆石(抛石)、干砌石、浆砌石、预制或现浇的混凝土或钢筋混凝土板(或块)、沥青混凝土、其他形式(如水泥土),大致可分为包括堆石(抛石)和干砌石的散体式护坡和整体式护坡两大类。

3.1 散体式的抛石和干砌石护坡

在水位无法降低条件下的坡面多用抛石保护。只要严格按规范对构造、石料块度和工艺要求进行施工,已实施的工程特别是大量的海港护岸和防波堤工程证明,它的抗波浪能力是可靠的。在无须在水下施工时,由于抛石护坡工程量大、坡面不易平整、不美观,采用较少。干砌石护坡是应用得最广的堤坝护坡形式,

它的工程量和投资较小,坡面比较平整美观,20世纪五六十年代我国兴建的水库土坝中,绝大部分采用干砌石护坡。多年运用经验证明,只要设计合理和施工得当,这种护坡形式也是安全和可靠的。但是,尽管历来的堤坝设计规范对干砌石护坡的设计,从下部反滤垫层到表层块石的粒径和构造都有严格的要求,堤坝干砌石护坡损坏事故仍常有发生,而多发被风浪破坏事故的,往往是在近年在施工的护坡工程。究其原因,主要是近年干砌块石施工中,选石和修石两道工艺和质量监管工作薄弱甚至缺乏,很多近年施工的干砌石基本上是来石照摆而不是砌,导致已砌护坡大量存在石块较小、稳定重量不足的现象;有的只追求表面平整而底部架空;有因没有修石使块石与周边的块石之间缝隙过大,没用片石楔紧;有的一蓄水,原来不密实的反滤砂石层发生沉降或从疏松的块石间流出,面上的砌石被架空,随着发生下沉和松动,不堪浪击。俗称“千顷银波毁于松石”,也是付出不少代价总结出的宝贵教训。历史上干砌块石是一项有较高工艺技术要求、又是繁重的体力劳动,往往由有经验的砌石技工根据需砌筑的位置的形状,帮助手负责到石料堆场挑选石块、抬到现场、修整石形、平稳立砌,再指导“小工”(即普通民工)在现场用片石填塞和用锤击,将片石紧紧地楔入已摆砌好的块石缝间,使石块间彼此卡紧。选用的都是形状与铺砌位置相适应、粒径较大的块石,经修整后的块石能与周边块石间紧密接触、缝隙很小,即使有不可避免的缝也被用片石锤击卡紧,底部不会架空,加上垫层紧密支承,抗浪击能力较强。如果砌石工人没经必要的技术训练,不会或者不去选石、修石来砌石,只会来石照摆,尽管表面平整美观但薄弱环节甚多,在波浪冲击作用下,往往是块度较小、与周边接触不紧的块石先被掀起,接着波及是周边的块石松翻,下部的反滤层被淘走,很快会损坏需保护的堤坝主体。现代各行各业的工艺技术及机械化都有长足的发展,抛石也有可靠和有效的施工机械,唯独砌石仍然是手工劳动,且其质量不易检测和保证。基于上述原因,一般来说波浪较大的坡面,确需采用干砌石护坡时,除严格按有关规范(如《碾压式土石坝设计规范》)的要求,根据被保护堤坝的土质和土料级配,确定反滤的层数、各层的控制粒度、各层的厚度,确定表层块石的大小或重量,严格按上述砌筑工艺要求外,还需:

①对施工队伍的资质进行严格的审查,确保施工队伍有足够数量有干砌石经验、有责任心的技术工人

和质检人员。

②因护坡抗波浪能力在于护面每一石块的重量大小,而不在于护面石块的平均重量,重量较小的护面石块所在处往往就是护坡首先被掀起破坏的薄弱点,附近重量较大的护面石块对增强周边较小石块的抗浪能力帮助甚小。因而必须保证面层每一块石都足够大,而不能用平均粒径或平均重量 Q_{50} 控制;保证每一块石砌筑时放稳、块石之间尽可能紧密接触,即使留下稍宽的接触缝也被用锤击片石卡紧,保证块石间及块石下的空隙被片石紧密填满,需要非常严格的现场质量管理。

③对防护较大波浪的重要工程,有条件时应尽量采用长方形的毛料石竖砌。

④为防止反滤料初次浸水和排水后沉陷,引起面层块石松动,反滤层必须泡水湿铺,并用木板拍实。

3.2 整体式护坡

浆砌石护坡、预制或现浇的混凝土或钢筋混凝土板(或块)护坡、沥青混凝土护坡、其它形式(如水泥土)护坡,在此统称为整体式护坡。其中尺寸较小的预制混凝土或钢筋混凝土板(或块)护坡,如果形状可彼此卡扣的需专门研究,若为长方体的预制块可当作散体护坡一起考虑;沥清混凝土护坡需专用施工机械,目前暂时应用较少;水泥土护坡抗波浪冲蚀能力较差,一般只用于小型工程;大块预制混凝土或钢筋混凝土板安放需专用机械,且底部不易均匀满支承,底部一旦有脱空、抗浪击能力就会大幅度削弱,在波浪较大的工程应用成功的经验亦不多。本节主要讨论应用较广的浆砌石护坡和现浇混凝土护坡。

3.2.1 浆砌石护坡

浆砌石护坡虽然理论上的整体性较好,无论坡面陡缓均可适用,且一般来说抗波浪冲击能力会高于干砌石。但由于浆砌石和干砌石一样,仍然是需有相当技术素质的、繁重的体力劳动,它的工艺和质量水平是无法随科学技术进步和经济发展而提高。在20世纪六十年代初以前,和干砌石一样,亦是有经验的砌石技工根据需砌筑的位置,负责带助手到石料堆挑石、抬石、修石、摆砌;而由“小工”在现场铺浆,填缝和垫片石。而现在绝大多数挑石、抬石的工作是由“小工”负责,所谓“技工”者则在现场铺浆摆砌,无论来石大小一律照砌。笔者曾目视一个浆砌块石工地的施工,“小工”抬来一筐块度不大的石块往砌筑位置一倒,另一些所谓“技工”马上把几桶砂浆往上面一盖后抹平,这层砌石就算完成了,再等待下一筐石块往上

倒。目前的浆砌块石类似这样的施工方法并不少见。由此可见:

①由于浆砌块石施工仍然停留在手工劳动的层面上,它的质量不仅取决于施工队伍的素质,还取决于施工队伍质检机构是否存在、健全,以及操作人员的素质和责任心,此外还决定于建设方所委托的现场质量管理机构人员的数量和责任心。然而,如今在浆砌石施工的工地上,手执短钢钎到处插缝检查的质量检查和管理人员已极为罕见,质量怎样保证?

②因块石的强度远高于砂浆,在砂浆合格的前提下,浆砌石的质量除决定于块石形状和尺寸大小外,还决定于每一石块周边是否为砂浆完全包裹、形成整体。良好的浆砌块石的孔隙率一般小于30%,而目前很多砌石孔隙率往往达50%甚至更高。若按笔者目睹过不少如上描述的工艺砌筑出来的浆砌块石结构,往往成分层的“三文治”状,对其强度和整体性往往无法评价。如果石块的尺寸不大,也许它连质量较好的干砌石也不如。

③因砌石砂浆很多是现场拌制的,水灰比往往较大、砌筑时没有振捣,砂浆的孔隙比亦较混凝土大,本身强度往往达不到设计标号,因碳化较快,原本不高的强度降低亦较快。

综上所述笔者认为如果没有较高技术素养的施工队伍,没有完整和严格的质量管理系统,没有较高技术素养和较高责任心的现场管理人员,浆砌石护坡的可靠度和耐久性都不可能达到设计的要求。

3.2.2 现浇的混凝土护坡

现浇的混凝土护坡的整体性较好,已较普遍地用机械拌和振捣,质量较易控制,强度较高,耐久性较好。由于具同等功能的现浇混凝土和浆砌石护坡的造价差别已逐渐缩小,现浇混凝土护坡有可能会越来越多地被应用。但要保证它真的能起护坡作用,无论是设计还是施工都应注意:

①护坡抗浪击强度与其下方的垫层的密实程度密切相关,若下部松软,上部的混凝土板往往不堪一击。在20世纪80年代,很多公路将原来的泥结石或沙土路面改成混凝土路面时,有些路段两侧排水沟没注意同时做好,导致雨后积水,混凝土面下面原来是干硬性的土路基被泡变成可塑、软塑甚至流塑状的土路基,原已浇好的整体混凝土路面很快就因下部支承变软而被行车碾成碎块。故混凝土下部的垫层除保证有足够反滤排水功能外,还必须先行压实,才在其上浇筑混凝土。

②因需护坡土坝坡度多为 1:2.5~1:3, 陡于常规混凝土自身稳定的坡度; 一般堤高远小于坝高, 坡度会更陡一些。要堤坝坡面浇筑成质量良好的混凝土护坡, 必须通过试验, 采用合适的、较低水灰比和较小塌落度级配的混凝土。不注意这点, 水灰比和塌落度较大的混凝土, 往往浇筑和布料到坡面就会自行向下流动, 难以按设计成形; 有时一开始振捣, 表面砂浆即向下流动, 很难保证质量。另一方面若过低的水灰比和塌落度会极大地增加混凝土振捣的难度, 未经密实振捣的混凝土的质量, 亦不可能达设计的要求。

由于泵送混凝土的水灰比和塌落度都较大, 不宜用于堤坝护坡的混凝土施工。

③为防止振捣混凝土时, 砂浆和水分流失进下部垫层中, 混凝土底部必须先设砂浆或有一定韧性的纸或薄膜置作隔水和隔浆层。

④直至本世纪初, 几乎所有堤坝设计规范介绍整体式混凝土护坡设计时, 只考虑“板在波浪作用下稳定”的条件确定护坡的厚度, SL274-2001 还是 DL/T5395-2007 的《碾压式土石坝设计规范》, 推荐在波浪作用下稳定的面板厚度 t 的计算式均为:

$$t = 0.07\eta h_p \sqrt{\frac{L_m \rho_w}{b \rho_c - \rho_w} \frac{\sqrt{m^2 + 1}}{m}} \quad (5)$$

式中 η 为系数, 对整体式大块护面板, 取 1.0, 对装配式护面板, 取 1.1; h_p 为累积频率为 1% 的波高, m ; L_m 为波浪的平均波长, m ; b 为沿坝坡向的混凝土板长, m ; ρ_w 为水的密度, t/m^3 ; ρ_c 为混凝土板的密度, t/m^3 。

从式(5)可见, 混凝土板的厚度随着它沿坝坡向长度的增大而减小。然而, 能够考虑混凝土板在波浪作用下稳定的前提, 必须是先保证混凝土板在有足够的强度, 不会被波浪击碎。据笔者分析, 在相同波浪冲击下, 混凝土板下部的应力除与垫层的密实程度、混凝土的弹模有关外, 还与混凝土板沿坝坡向的长度和厚度有关, 沿坝坡向的长度越大, 底部的拉应力也越大。可以将护坡混凝土板当作沿坝坡方向的弹性地基梁, 将图 9 所示的波浪压力沿坝坡方向上下移动, 以相同的容许拉应力为条件, 求出相应于一定标号的混凝土板长和最小板厚之间的关系。计算结果表明: 随着板长 b 的增大, 保证板不会断裂的要求使板厚相应增加, 如图 10 按强度条件的曲线所示, 其趋势与稳定条件相反。整体式混凝土护坡设计必须同时满足强设条件和稳定条件, 即必落在板长和板厚的关系图 10 的“A”区, 至少应在它的下边界线上。

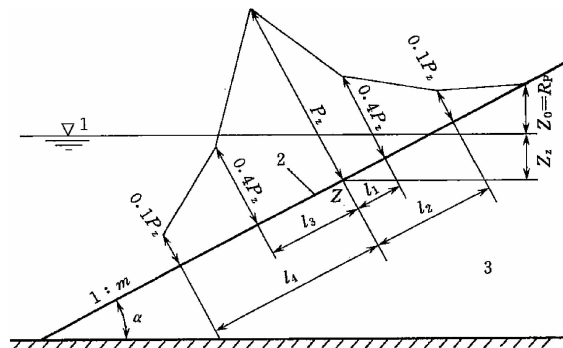


图 9 坝坡浪压力分布示意

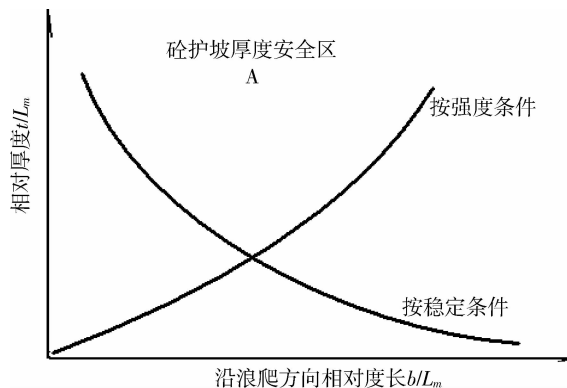


图 10 整体式混凝土护坡设计示意

4 堤顶桥下净空高度

随着经济的发展, 跨河及跨堤的桥梁越来越多, 但目前对堤顶净空合理高度的讨论似不够充分, 认识亦各异。在珠江三角洲地区, 不少 20 世纪八十年代新建桥交通桥在跨堤时, 堤顶留下的净空很小, 个别大桥的梁底甚至紧贴坝顶, 将原来堤顶可以行车、可以兼作防汛检查和抢险的紧急通道, 下移到大堤背水侧, 绕过桥身投影范围后, 再重新爬升到堤顶; 有个别同志认为, 堤顶桥下的净空最高能过防汛检查的小车已足矣, 不必太高, 免至增加大桥的造价。对此笔者不敢苟同。

首先, 堤防设防标准的规划水平年和现代大桥的设计使用年限完全不同, 如所周知, 堤防设防标准的规划水平年一般不超过 15 年, 而现代大桥的设计使用年限往往达百年。我们无法预测在未来的百年内河道会发生什么变化, 但是“沧海变桑田”是亘古不变的自然规律, 在近期的城乡建设发展到一定程度后, 在河道内采沙量可能会逐年下降, 随着河口向外延伸, 河床亦可能会逐年升高, 河道水位亦随之可能会回升抬高; 随着人类活动对自然影响加剧, 近年来, 很多河流以往属大洪水甚至属特大洪水的发生机率, 似明显有增加的趋势, 未来不能排除同一设防标准的洪水流量和洪水位有提高的可能。另一方面, 回顾过去几十年

堤防设防标准变化的历史可见，堤防设防标准是随着经济发展而逐步提高，但是至今为止，尚未有可靠的方法(或者说是这种方法未深入开展研究)，预测在未来百年内，随着国民经济的进一步发展，对现有堤防的设防标准会不会提高和会提高到什么水平。若如前述的某些大桥下堤顶的净空过低，在机械化程度较高的未来，如果要提高堤防的设防标准和加大堤高时，要么是设法把上面的大桥顶升，要么施工机械只能在一傍观望，回复半个世纪前靠人工在桥下填土和夯实，变成后人预留困难和笑柄。因而，不应把现在堤防的设防标准和堤顶高程看成永久不变，必须为它日后可能会进一步提高防洪能力留有余地。

在以往的防洪堤中，大多数是建于河岸冲积土层上的土堤，由于绝大多数河道的主槽都未被牢固的整治建筑物锁定，河槽往往不大稳定，一旦遇意外因素影响，有可能左右摆动，甚至突然形成新的、深槽逼岸切割堤脚的险段。因而，除非堤防的本身和地基有很强抗冲能力，否则谁也无法可靠地判定和保证，大堤的哪个堤段和断面不会变成险段。20世纪90年代末，在北江大堤左岸芦苞水闸的下游有一航道长丁坝，它的近岸肩段被一次洪水冲毁后，中、枯水期决口都能过水，导致丁坝上游的突发深槽逼岸，船行波一到堤脚就涌起大股的浑水，见者莫不惊心，严重威胁大堤的安全。幸得该处没有跨越大堤的建筑物，经组织施工机械设备快速抛石护脚和构筑一段短丁坝群造滩护岸，才较快地解除了大堤的险情。

在20世纪80年代以前，由于历史原因，现有堤防都经历过多次以提高挡洪标准为目的，由群众肩挑人扛，就地取土对堤身进行加高和培厚，但没有留下堤身原有和加固后的结构和质量的足够资料，即使是最重要的大堤亦不能例外。20世纪80年代以后对堤防所进行的加高培厚工作虽已逐步走上正轨，逐渐建立较完善的质量检查、管理和验收制度，但对了解大堤全面的内在质量，帮助并不大。纵使曾经布置过一些地质勘察孔，亦只能通过勘察点来推断其它。20世纪90年代末，北江大堤西南镇傍的堤段，由于堤顶出现裂缝，经挖坑检查，才发现80年代大规模加高的堤顶下有厚厚的一层粗砂，令见者莫额汗。这个例子说明，人们无法准确判断，大堤那个断面的质量绝对可靠、不会出意外，因而才必须每隔一定距离备一定数量的、为防汛和紧急抢险所用的砂石料。

从上述可见，无论是要加高、加固桥下土质堤防的断面，还是要紧急排除突发在桥下土质堤防突发的

险情，都要求用堤顶作为施工或临时紧急抢险道路，让土、石方施工机械包括自卸车、推土机和辗压机械进入桥下的净空操作。例如，万一桥下迎水坡出险，通常要自卸车快速向出险处运送和倾卸石笼、石料、土料(包)，再用足够动力的推土机按需要进行布料和平整。施工操作时，要求高度空间最大的是土石运输自卸车。图11为国产最轻型的东风EQ-340自卸车(载重量为4.5 t、车箱容积为4.2 m³)卸料时要求的空间高度。由图可见，当路面为水平时，车箱顶部到水平地面的高度约为4.8 m，若地面稍有高低不平时，此高度将超过5 m；载重量为7.0 t的黄河QD351自卸车车箱倾卸时，车箱顶部到水平地面的高度为5.0 m。虽然，当桥下净空高度不足时，可以先削低该段堤顶的高度，再让选用土石方自卸车进到桥下快速卸料，但靠这种方式增加堤顶桥下净空毕竟有限，而要削低该段堤顶的高度仍需由一些施工机械如推土机能自如地进入桥下的堤顶。国产最轻型的、额定牵引力约为100 kN的推土机在水平地面上的高度约为3.0~3.1 m，国产额定牵引力约为200 kN的推土机在水平地面上的高度超过3.1 m；近年常用的国外(以日本小松为例)额定牵引力约为200 kN的推土机在水平地面上的高度约为3.6 m^[9]。

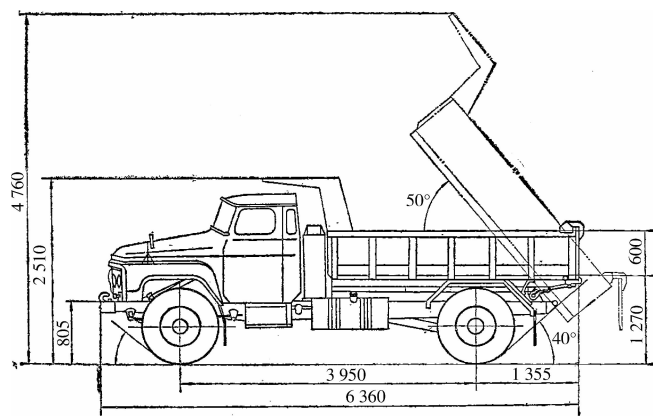


图11 东风EQ-340型自卸车外型(单位: mm)

综上所述可见，桥下堤顶净空即达到使能通过检查的小汽车的2.5 m，仍然是远远不够的。为了确保堤防今后在提高标准加固和抢险施工时不影响大桥的正常运用，应当为今后大桥正常使用的年限内，社会经济发展对堤防提出新的要求，为应对和处理堤防自身可能出现的安全问题留有足够的余地。桥下堤顶的净空应以依堤防重要性来划分，在未有更成熟的研究成果提出之前，建议暂定：对1、2级堤防不宜小于5.5 m；对等级较低的堤防，不宜小于4.5。

(下转第13页)

准运用或报废重建(详见表1)。

表1 建议渡槽安全类别评定标准

渡槽安全类别评定标准	渡槽类别			
	一类渡槽	二类渡槽	三类渡槽	四类渡槽
运用指标	能达到设计标准	基本达到设计标准	达不到设计标准	无法达到设计标准
维修要求	无影响正常运行的缺陷,按常规维修保养	存在一定损坏,要大修	存在严重损坏,要除险加固	存在严重安全问题,降低标准运用或报废重建
运行状况	正常运行	大修后能达到正常运行	除险加固后能达到正常运行	不能正常使用,降低标准运用或报废重建

6 结论

兴建于20世纪五六十年代的大中型灌区,渠系建筑物老化失修严重,应通过安全鉴定对其安全性、适

用性及耐久性作出技术判断与评定。由于兴建年代已久及管养水平低,往往资料十分欠缺,往往需要投入较多的技术力量,以及花费较多的时间和费用,才能做好现状调查、现场检测工作,进而获取准确客观的复核计算参数,最终对渡槽作出客观公正、有益的安全评价,对此,承担单位应引起足够重视。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB50599-2010 灌区改造技术规范[S]. 北京:中国计划出版社,2010.
- [2] 中华人民共和国水利部. SL482-2011 灌溉与排水渠系建筑物设计规范[S]. 2011.
- [3] 中华人民共和国水利部. SL214-98 水闸安全鉴定规定[S]. 1998.
- [4] 中华人民共和国水利部. 水建管[2008]214号 水闸安全鉴定管理办法[Z]. 2008.

(本文责任编辑 王瑞兰)

Problems in Aqueduct Safety Evaluation

HUANG Chunhua, YUAN Mingdao, LIU Min, LI Deji, ZHANG Xuhui, YANG Wenbin, XU Yunqian, LU Xueping
(Guangdong Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510635, China)

Abstract: According to a number of practices on safety appraisal of aqueducts in large and medium irrigation areas as well as the existing rules and standards on the safety appraisal of water conservancy projects, the content and methods of safety appraisal of aqueducts in irrigational areas for technicians is summarized in this paper. How to master the engineering status quo, to identify major problems, and to perform engineering review and calculation are included.

Key words: aqueduct; safety appraisal; technical issues

(上接第10页)

参考文献:

- [1] 武汉水利电力学院河流泥沙工程学教研室. 河流泥沙工程学[M]. 北京:水利电力出版社,1983:307.
- [2] 毛昶熙,段祥宝,毛佩郁. 堤防渗流与防冲[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003:260-269.
- [3] 黄本胜. 珠江三角洲网河堤外滩地种树固滩固岸防浪护堤效果及其对行洪影响初探[R]. 广州:广东省水利水电科学研究所,1993.
- [4] 颜学恭,曾祥培,张启舜. 长江中游防浪林效能效益分析与研究[J]. 武汉水利电力学院学报,1997,30(3):51-53.
- [5] 吉红香. 植物消浪护岸研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2005.
- [6] 黄本胜. 河滩种树对行洪影响试验研究[R]. 广州:广东省水利水电科学研究所,1998.
- [7] 刘达. 生物消浪效率的试验与数值模拟研究[D]. 成都:四川大学,2012.
- [8] 牛运光. 土石坝块石护坡破坏原因和加固措施[J]. 水利水电土石坝工程,1999(4):55-156.
- [9] 张树猷,周继祖,王修正,等. 工程机械施工手册:⑤土石方机械施工. 北京:中国铁道出版社,1991:221-223,606-616,630.

(本文责任编辑 马克俊)