

钱塘江海塘标准塘工程

陈希海 周素芳

(浙江省钱塘江管理局勘测设计院 杭州 310016)

摘要 钱塘江海塘位于举世闻名的强潮河口南北两岸,是保护浙、苏、沪二省一市的大型水利工程。结合标准海塘建设,在海塘设计上,特别是基础防冲取得了较大的技术进展:海宁明清海塘护坦板桩防冲墙试验成功;小沉井群在海塘底脚防冲工程中的应用;丁坝的技术改进;海塘渗漏防护技术;土工合成材料的广泛使用。

关键词 强潮河口;标准塘设计;技术进展;钱塘江海塘

1 标准塘建设的提出

钱塘江海塘位于钱塘江的河口南北两岸,海塘临江堤线总长 410 km,其中北岸堤长 160 km,南岸堤长 250 km,见图 1。位于河口北岸的杭嘉湖平原、苏松地区,南岸的萧绍、姚北平原历来是全国经济、文化发达地区,两岸平原的地面高程较钱塘江高潮位低 2~4 m,平原内千余万人口、千余万亩耕地(其中浙江 800 万人口、62.7 万 hm^2 耕地)和大量城镇、工矿企业以及经济基础设施均依赖于钱塘江海塘御潮保安。海塘的稳定安全对保护范围内的政治安定和经济文化等各项事业的发展起着极其重要的作用。

钱塘江海塘面临洪水、强潮和台风三大灾害的威胁,历史上灾情频繁,史籍上常有“海大溢,平地水丈余,死亡无数”等记载。如清同治初期(1864 年),海宁海塘发生坍塌,咸水长驱直入,导致“河水皆咸,田禾多死”;1938 年海宁新仓附近海塘坍塌,沪杭铁路海宁、嘉兴沿线内河咸水入侵,鱼虾尽绝,田地无法耕种,灾情甚为严重。

1949 年前,由于多年战乱,钱塘江海塘千疮百孔。1949 年以后,党和政府十分重视钱塘江海塘建设,对海塘修复加固投入了大量人力、物力,同时开展了河口治理研究规划和江道整治工程,对两岸人民的生命财产安全防护起了重要作用。近 20 余年来,由于自然条件的变化和人类活动影响,加之原有海塘塘顶高程偏低、塘基结构防冲薄弱,工程老化严重、修缮经费不足等种种原因,沿江海塘险情日益增多,形势严峻。

早在 80 年代,钱塘江已开始规划海塘建设。由

于海塘堤线长,工程量大,一时难以解决海塘长期积累的众多问题,故汛期海塘经常出现险情,尤其是近年来台风暴雨与天文大潮几度遭遇,浙江沿海和钱塘江沿岸,均出现超历史记录的高水位,浙江沿海堤塘损毁严重。1997 年,浙江省政府号召动员全社会的力量,要尽最大努力集中财力物力,按照国家《防洪标准》的规定要求,用几年的时间把全省海塘建设好。浙江省计经委、水利厅、钱塘江管理局积极组织标准塘建设的规划设计和实施,在整个筹划过程中得到国家的重视和支持,并于 1998 年 3 月经国家计委批准开工。

2 海塘现状及存在问题

钱塘江海塘随着历史的进展,海塘形式变化多端,但按其结构形式可分为两种,即直立式石塘和斜坡式砌石护面土塘。直立式石塘大多为明清所建的条石鱼鳞塘或丁石塘,俗称老海塘。目前仍临江的老海塘堤长 79 km,其余均已退至二线,其相应临江线均由斜坡式围堤所取代。钱塘江海塘目前存在的主要问题大致可归纳如下:

a. 仍处临江的明清老海塘塘基偏高,护塘结构抗冲能力薄弱,危及塘身安全。现仍处临江的明清老海塘,限于当时技术条件,海塘塘基较高,护塘构筑物的水平防护和垂直防护尺寸不足。经近日来江道缩窄整治后,河势趋直,主流稳定偏北,涌潮持续较强,塘前滩地因长时期临溜,维持较低状态,多处发生护坦木排桩失稳漂浮,严重危及塘身稳定安全。老海塘已建筑年久,塘身老化严重,如塘身沉陷倾斜、砌体块石走动、多处出现塘身渗漏等。这些老海塘大

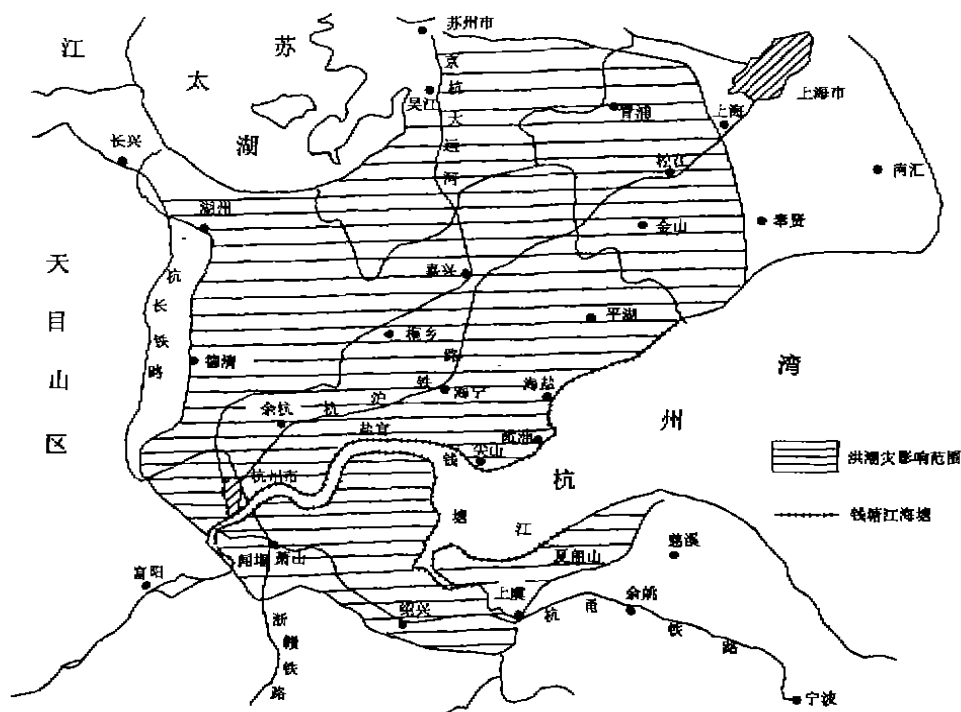


图1 钱塘江海塘位置图

多无备塘,一旦失事,后果不堪设想。

b. 部分海塘塘顶高程明显偏低.根据防洪潮标准的要求,杭州、海盐等地海塘塘顶高程明显偏低.杭州市是全省的政治、文化、经济中心,又是闻名中外的旅游胜地,但现有防洪堤顶高程大多仅 9.7~10.5 m(吴淞基面,下同),较国家防洪标准低 2 m 多.在海盐等地,由于面临杭州湾,波浪作用强烈,台风影响时常有大量水体越顶,冲毁塘面及内坡土体,险情频频出现。

c. 临江新建海塘防御洪潮能力甚低,堤脚冲刷损毁严重.近 20 年治江围涂后,钱塘江河口两岸新增土地约 7.3 万 hm^2 ,其中尖山以上河段大部分临江围堤已达治江规划线成为永久海塘.围区地理条件优越,社会经济发展迅速.但临江新建海塘防洪潮标准低,堤身质量较差,且塘基深度未能按防冲要求一次到位,长期采用抛石抢险渡汛.1974 年 13 号台风和 1997 年 11 号台风侵袭时,两岸新海塘均发生严重损毁,围区咸水倒灌,在平湖还出现了咸水抵达县城的事件。

d. 强潮区丁坝损毁严重,对堤岸的掩护能力降低.近几年在海宁及其以上河段因涌潮凶猛,沿江促淤护塘的丁坝损毁严重.如海宁新仓段 10 座丁坝有 4 座被冲毁,海宁盐仓段有 1 座冲毁,另 4 座坝长大量缩短,萧山桔山湾段美女山丁坝连续几年冲成缺口,年年抢修.丁坝损毁或缩短后,护岸作用明显降低,从而加剧了海塘的冲损破坏。

3 标准塘工程规模及建设标准

钱塘江海塘是保护千余万人口、千余万亩土地,杭州、绍兴等城市,沪杭、萧甬等铁路干线、高速公路和国际机场等交通枢纽以及经济基础设施的重要屏障.根据国家《防洪标准》和浙江省水利厅《海塘工程技术规定》,确定南北两岸海塘为一级海塘,其相应的防御标准要求达到防御 100 年一遇的洪潮高水位及抗台风、抗涌潮的能力,并在遭遇塘前河床冲刷的不利情况下,保持塘身结构稳定安全。

钱塘江北岸海塘堤长 160 km,其中绝大部分堤线已达永久塘(江道治理规划线堤塘)位置.按防御洪潮高水位和抗涌潮、抗风浪冲刷维持结构稳定的两项要求来衡量,已达标准的仅 18 km,低于标准的险工堤段有 60 余 km,余下堤段虽未达标准,但因堤后有二线备塘,可分期逐步建成标准塘.钱塘江南岸海塘堤长 250 km,其中涉及尖山河段治理规划属临时性过渡围堤,堤长约 44 km(有二线备塘),其余堤塘绝大部分已达永久塘位置,已达标准的堤长有 37 km,急需改建加固的约 60 km,余下堤段则可分期建成标准塘.由以上分析可知,钱塘江两岸需要建设标准塘的堤长有 272 km.鉴于建设堤线较长,确定按海塘险情轻重缓急分期分批进行标准塘建设,目前已开工及今冬即将开工的堤段长共计 92 km。

钱塘江海塘地处强潮河口,工程环境条件特殊,洪潮浪动力强劲而复杂,塘前滩地冲淤多变,设计时对照国内现有规范规定,有一些尚无标准可查,根据

钱塘江河口自身的特点和海塘防御安全的需要,参照国内已有行业设计标准,钱塘江标准海塘的建设标准确定如下:

a. 洪潮高水位取重现期 100 年,其中杭州城区海塘重现期取 500 年;设计风浪按重现期 100 年的大风风速、吹程和不利江道地形采用风要素推算波浪的方法,在有长期实测波浪资料处则采用实测资料推算波浪的方法;塘顶高程按沿程各段高水位、风浪爬高及安全超高等因素综合分析确定;在海宁、海盐等堤段因地基为高压缩、低强度的软弱土层,塘身不能太高,有些地段在保证海塘稳定和经济合理的前提下,塘顶高程按允许越浪量控制并在堤顶、堤后采取防冲保护措施。

b. 低水位和涌潮按其出现的几率和作用时间合理取用,设计正常运行条件低水位取多年平均值,非常运行条件则取 20 年一遇低水位。涌潮强度按近 10 余年观测资料分析得出今后可能出现的最大涌潮值作为设计值。

c. 海塘塘前滩地高程对海塘的稳定和塘脚防冲关系密切,设计时采用经长年实测资料分析及结合河床水流泥沙数模计算得出 100 年一遇洪水冲刷影响前后的低滩高程,分别作为正常运行及非常运行条件的滩地设计高程。

4 标准塘工程技术进展

钱塘江老海塘是著名的古代水利工程,但因工程地处强潮河口,潮高流急,特别是冲击力特强的钱塘江涌潮,加之无论是明清修建的鱼鳞石塘,或是近期新建的斜坡式海塘,塘基均普遍偏高,抗冲结构薄弱,海塘屡有损毁,成为长期以来工程技术的难题。由于海塘施工环境恶劣,一天二潮,无一般性河流可利用枯水季节的条件,而修筑围堰则工程量浩大,只能趁低潮位时短短几小时抢潮作业,并且经多年的抢险护塘后,塘前滩地布满泥夹石层,给基础的加深加固造成一定障碍。针对上述问题,钱塘江管理局和

浙江省河口海岸研究所在标准塘建设前期工作上进行了大量的科学试验,通过模型试验和现场试验等手段,在工程技术上取得了较大进展,为标准塘全面建设提供了科学依据。

4.1 海宁明清海塘护坦板桩防冲墙试验成功

海宁明清海塘为明清时期修建的鱼鳞石塘,采用条石纵横交错砌筑及铁锭、铁簪相连,塘下有密布的木桩(桩长 6 m)支撑,石塘外脚有条石护坦,护坦外侧又有木排桩(桩长 4 m)防冲保护(图 2)。纵观近代历史,海宁海塘出险或失事大多是因塘前滩地刷深、木排桩冲失,相继护坦冲毁,直至危及石塘自身稳定和海塘整体稳定。根据该段水流地形条件进行多种方案防冲工程技术经济比较,确定在潮流平行岸线的顺直岸段采用抛筑丁坝促淤护基方案,在岸线弯曲、潮流顶冲、丁坝挑流护岸作用不大的堤段采用在护坦外侧打钢筋混凝土长板桩(桩长 10 ~ 12 m),既可解决滩地冲刷后桩身防冲稳定问题,又能利用防冲板桩加长穿过滑弧面,提高海塘整体抗滑能力。1988 年开始打桩试验,由于海塘形式直立,打桩机具需避开涌潮冲击,起初采用了卷扬机、龙门架的打桩工艺,虽能打下桩,但问题较多。以后改用搭设抗涌潮冲击的钢管排架和普通自落锤桩机于排架上直接打桩的施工方法,但工效低、成本高。近年来研制了专用于海宁直立式海塘的多功能步履式柴油锤打桩机(具有吊桩、施打、回转避潮和冲抓块石等功能),同时对板桩进行结构改进和桩顶加强,从而使打板桩取得了突破性的进展。经 1 年多的试验运行表明,该方案施工顺利,工效较高,效果良好。

除上述海宁段打桩试验外,在杭州段根据该段水文特点,采用了打桩船水力冲沉与震动锤打相结合的沉桩试验,并取得了成功,为海塘防冲板桩施工工艺提供了又一模式。

4.2 小沉井群在海塘底脚防冲工程中的应用

小沉井群防冲工程首先应用于杭州郊区段斜坡式海塘。斜坡式是新建海塘的主要形式,大多为在粉

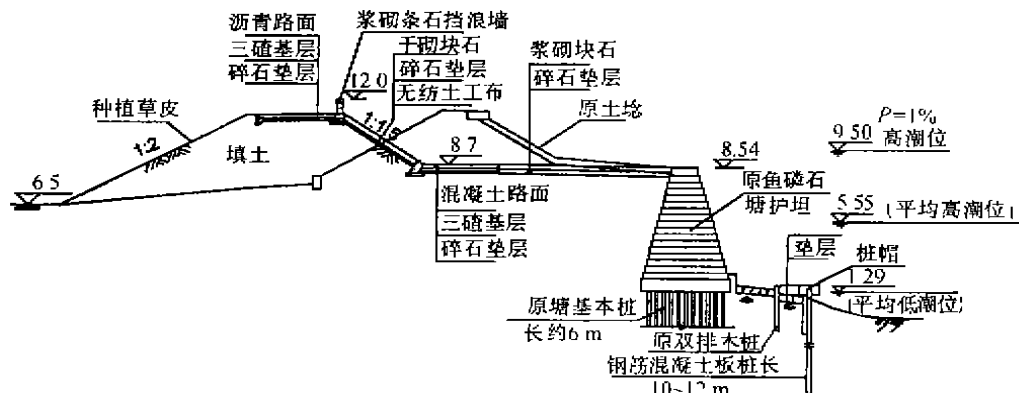


图 2 海宁明清海塘标准剖面

砂土淤高后的高滩上修建.由于钱塘江滩槽变化大,一旦主槽临近,塘前滩地刷深4~6m,从而形成斜坡塘外坡脚趾挂空,虽然采取抛块石、加深坡脚、增做水平护坦等多种补救措施,但仍难奏效,以致屡修屡坍.根据近几年反铲挖掘机在江边岸滩开挖作业的事例,设计提出了在护坦外沿用小沉井作垂直保护的技术方案(图3).小沉井为边长1m、高度4~5m、壁厚10cm的钢筋混凝土预制件.施工时采用反铲挖掘机等在塘脚外开挖基槽和吊装沉井就位,用水枪冲沉至设计高程(沉井底高程应在滩面最低冲刷线以下).在沉井壁内回填混凝土及块石料,沉井群的井顶由锚筋和钢筋混凝土连续梁相连,并通过钢筋混凝土拉杆与护坦构成整体.该工程基本上解决了斜坡式海塘底脚防冲不足的致命弱点,并且施工速度较快,成本相对较低.目前该方法已在钱塘江标准塘多处实施,在杭州城区有较高边滩的直立式海塘段也采用了该塘脚防冲措施.

4.3 丁坝的技术改进

钱塘江河口抛筑丁坝已有相当长的历史,并取得丰富的经验.在河口下游段,由于涌潮强劲且潮向多变,丁坝损毁较为严重,但因丁坝促淤保滩护岸作用明显,工程造价较低,故丁坝仍是目前常用的工程措施.近年来对筑坝技术进行了重大改进.丁坝遭受水毁主要发生在坝头、坝身上游坡脚和坝根三个部分,而坝头首当其冲.坝头附近,流速急,流向紊乱,坝头抛石不能稳定,曾用过沉井、沉箱、钢筋笼装石、大块混凝土等多种保护措施,其中沉井作用显著,但只适用在粉砂地基无乱石的高滩上新建丁坝时采用.沉箱效果尚好,但施工困难,并且当箱体放置深度不足,基座块石失稳时也不稳定.其它措施则只是应急抢护的临时措施.近年来创建了一种“挂桩”的坝头防护方案.挂桩结构是在坝头部位堆石顶面上做一道钢筋混凝土环梁,环梁周边留有一排桩孔,当环梁下块石体被冲而使环梁端部悬空时,即在孔内插入预制桩,并在桩的内侧从补石孔抛填块石,组成圈桩拦石的透水结构,其桩身可随着滩地刷深圈内

石块走失而下降,随即通过再补抛块石,可维持坝头结构稳定.该技术经多处实践改进而渐趋完善.此外,对丁坝坝身和坝根的保护也相继作了改进,坝身采用增宽挑流平台及加深坝脚,坝根采用放宽八字脚和设置导流墙等,也均取得良好效果.目前正设想作更大改进,以进一步保障丁坝的安全运用.

4.4 海塘渗漏防护技术

塘身渗漏也是钱塘江海塘普遍存在的问题,例如70年代在高滩上兴建的新海塘是当地政府发动上万群众,在小潮汛的几天时间内挑土堆筑而成.由于填土未能碾压夯实,很易产生缝隙孔洞,塘身又属粉砂土,容易发生渗漏贯通,甚至溃决.后经现场试验采用塘身开沟灌水密实法进行处理,可有效地解决新堤渗漏问题.近几年修建的海塘已改用泥浆泵吹填土,只要塘身断面足够和坡面排水得当,一般无渗漏问题.但对一些老海塘,防渗处理却相当困难.如上虞曹娥和萧山闻堰段,均为古代修建的丁由石塘,即迎水坡为条石丁横交替砌面、条石后侧填碎石及土的直立海塘,背水坡多为砌石挡墙.由于塘身断面单薄,并且塘基夹有瓦砾、碎石等透水层,每当洪水较高时常出现明显的浑水渗漏现象.虽然多次采用黄泥灌浆也无济于事,若改用塘身培土加宽则由于塘后民房密集,拆迁费用过大,而成为长期悬而未决的难题.近年在标准塘加固设计时采用了高压喷射灌浆建防渗墙的加固方案,即沿堤线间隔1.5~2m钻机造孔和采用三重管高喷注浆机自下而上定向摆喷水泥浆,形成一道浆液和土体混合凝结的防渗连续墙.施工后经围井开挖和钻孔取样检测,其整体性、连续性均较好.实际运行证明,该方案有效地解决了塘身、塘基土层复杂并含有块石层的渗漏问题,并且该工艺设备较简单,工期短,见效快,有较好的推广价值.

4.5 土工合成材料的广泛使用

在钱塘江标准海塘建设中,土工织物已广泛地用于地基加固、软土排水固结、防渗反滤、织物模袋混凝土防冲护坦和管袋吹填土筑堤.(下转第46页)

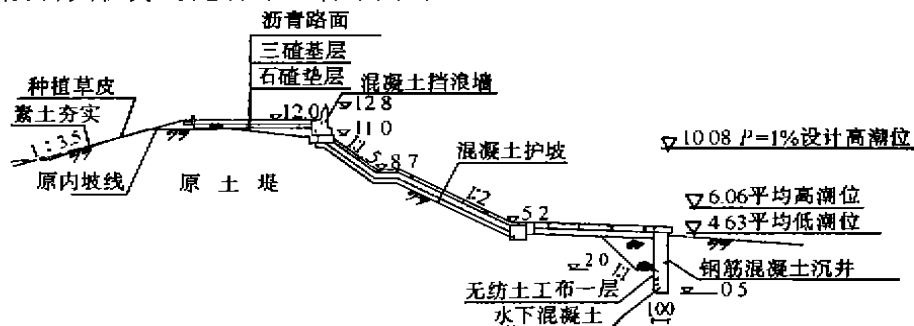


图3 杭州郊区段标准塘剖面

b. 斜坡堤(塘)护塘防冲沉井,在海塘前沿放密排沉井,沉井高 4.5 m 左右,平面尺寸(1.0~1.2) m × (1.0~1.2) m,目前已广泛应用。

4 环境变化影响

60 年代以来钱塘江河口的大规模治江围涂束窄工程,截止 1994 年止,杭州闸口至海宁八堡长 64 km 河段堤距已缩窄至 1~4 km,达到规划堤线,钱塘江河口和杭州湾共围涂 8 万 hm^2 ,对河口水文和河床有下列影响:

a. 河床变化. 治江围涂后,河口段河槽容积是淤积的,闸口至澉浦的 6 m 高程(绝大部分围涂地面高程在 6 m 以上)以下河槽容积由治江围涂前的 66 亿 m^3 减少到治江围涂后的 45 亿 m^3 ,共淤积 21 亿 m^3 ,其中约 13 亿 m^3 淤在围涂区内,8 亿 m^3 淤在现有河道内,而 85% 淤在盐官以下河段. 低潮位下平均河床高程,闸口至仓前河段冲刷下降 1 m 左右,仓前至盐官河段微淤 0.2 m 左右,盐官至澉浦淤高 1 m 左右。

江道缩窄后,河床平面摆动幅度大为减小,河势相对稳定,通航水深增大,改善了通航条件,且有利于海塘防护和两岸排涝。

b. 潮汐变化. 治江围涂后,闸口到乍浦各站高潮位抬高 0.2~0.44 m 不等,且大潮高潮位抬高值大于平均潮;低潮位,乍浦、澉浦无变化,盐官至闸口各站升高 0.67~0.30 m 不等;潮差,除盐官、仓前分别减少 0.45 m 和 0.24 m 外,其余各站增大 0.08~0.32 m 不等. 涨潮历时沿程缩短,其中尤以盐官站缩短最多,达 1 h 左右。

c. 洪水位变化. 钱塘江河口沿程各处洪水位的成因各异,杭州闸口以上以洪水为主,七堡洪水、暴潮各占一半,七堡以下由暴潮形成. 闸口洪水位主要

决定于洪峰流量、河床高程和澉浦高潮位诸因素,其中河床高程对洪水位影响十分敏感. 应用多元相关法、动床数学模型和比尺模型等多种手段研究,结果表明:治江围涂对闸口百年一遇洪水位的影响表现在三个方面:①减小了滩地行洪能力,使洪水位抬高 0.20 m;②仓前以下江道主槽淤积抬高,减小主槽行洪能力,使洪水位抬高约 0.40 m;③两岸堤塘增强了对水流的控导作用,免除了治江围涂前有时出现极端弯曲的不利河势,使洪水位降低 0.35 m. 综合治江围涂对洪水位上述三方面影响,闸口洪水位抬高 0.25 m。

d. 杭州湾北岸深槽的冲淤变化. 杭州湾澉浦至金山段的北段深槽是航道、码头、大型核电、火电厂取水口的主要水域,人们非常关心钱塘江河口大规模治江围涂对它的影响. 30 年来的实测地形资料统计分析表明:北岸深槽上段澉浦至场前(乍浦上游),平均水深减小 1.2~2.5 m,最深点淤高 0.80~1.9 m. 但该段年际间平均水深变幅为 1.0~6.0 m,这主要是由于径流和河势等自然变化引起的,其冲淤变幅远大于前者。

北岸深槽下段乍浦至金山是港口航道开发重点水域,呈累计冲刷,其幅度与上游段的累计淤积幅度接近。

参考文献

- 1 钱塘江志编纂委员会. 钱塘江志. 北京: 方志出版社, 1998
- 2 戴泽衡, 李光炳. 钱塘江河口河床演变及其治理. 见: 第一届河流泥沙国际学术讨论会论文集, 北京: 光华出版社, 1980. C7-1~10
- 3 周胜. 钱塘江水下防护工程的研究与实践. 水利学报, 1992(1): 20~30

(收稿日期: 1999-03-15 编辑: 张志琴)

(上接第 42 页)筑坝等工程,取得较好的经济效益. 例如在杭州段新建直立标准海塘用长丝有纺土工布铺底,因其加筋和隔离作用提高了地基承载能力和整体抗滑性能;采用插设排水板解决了软粘土地基的加速排水固结沉降过程. 在海宁和杭州段,使用土工布模袋混凝土可以水下施工和在混凝土尚无强度的条件下即能承受涌潮水流冲刷的特点,采用锦纶模袋泵灌混凝土修建了防冲护坦. 在上虞段结合河道裁弯建标准塘堵口和抛筑丁坝工程中,利用土工布袋装土替代部分抛石体取得了成功,从而大大

降低了工程造价. 此外,利用土工布管带吹填土筑堤、筑围堰,利用无纺土工布作反滤层等应用已相当广泛. 新型的耐特龙聚乙烯土工网也开始应用于防冲保护工程。

随着标准塘工程的进展,新材料、新工艺、新技术的应用将会持续发展,并将促进标准海塘早日建成。

本文得到浙江省河口海岸研究所戴泽衡教授级高级工程师的指导,特此致谢。

(收稿日期: 1998-10-20 编辑: 张志琴)