

土工合成材料在潮汐河口地区水库建设中的应用

陆忠民

(上海勘测设计研究院,上海 200434)

摘要 介绍了土工合成材料在潮汐河口地区的上海陈行水库和青草沙水库等工程建设中的应用情况。通过对土工管袋、软体排、网兜石等土工合成材料的保砂性、透水性、防堵性、抗冲性以及深水堤软土地基的塑料排水板排水固结处理等进行计算分析、试验研究和工程实践,提出了土工合成材料用作水库堤坝各区域反滤、排水、防冲体的选用原则和通常选用的规格,以期为潮汐河口地区水库建设提供借鉴。

关键词 土工合成材料;堤坝;水库建设;潮汐河口地区

中图分类号 TV44

文献标识码 B

文章编号 1006-7647(2009)06-0039-03

Application of geosynthetics to reservoir construction in tidal estuary area//LU Zhong-min(Shanghai Investigation, Design & Research Institute, Shanghai 200434, China)

Abstract The application of geosynthetics to the Chenhang reservoirs and Qingcaosha reservoirs in a tidal estuary area is described. The sand-retaining ability, permeability, anti-blocking ability, and anti-scouring ability of pipe-shaped sacks, soft mattresses, and stone baskets, and the drainage consolidation of the plastic drainage plate in a soft foundation were analyzed through calculation analysis, experimental study and engineering practice. The principles and specifications of selecting geosynthetics for filtering, drainage and anti-scouring bodies are put forward, providing some reference for reservoir construction in tidal estuary areas.

Key words geosynthetics; embankment; reservoir construction; tidal estuary area

潮汐河口地区汇入大海的大江大河拥有丰富的淡水资源,由于受到海潮的影响,河口沿江容易遭受咸潮的侵袭,影响河口地区的沿江取水。长江口、珠江口地区的城市供水受咸潮影响尤为突出。上海地区已陆续兴建了避咸蓄淡水库,如上海市第二水源地——陈行水库^[1],该水库位于长江口南支南岸月浦江滩,已于 1992 年建成,2008 年完成扩容,供水规模为 130 万 m³/d,水库有效库容为 953 万 m³;江苏太仓第二水源水库蓄水容量为 450 万 m³,咸潮入侵时供水规模 30 万 m³/d。目前正在建设并已完成龙口截流的青草沙水库^[2],位于长江口南、北港分流口及北港的长兴岛边滩水域,水域面积达 66 km²,是上海市最大的水源地,可解决上海市 1 000 万人口的供水问题,供水规模为 719 万 m³/d,总库容 5.26 亿 m³,围堤总长 49 km;正在规划中的为崇明岛供水的东风西沙水库,利用东风西沙与崇明岛南岸之间的夹泓围合建设水库,供水规模为 40 万 m³/d。

这些水库的共同特点是都建在潮汐地区,沿岸

在江中直接修筑堤坝形成水库,在水中筑堤、基础处理、滩面保护、龙口截流、边坡排水等方面都应用了土工合成材料,这大大加快了施工速度,降低了工程造价,可以说土工合成材料的大量应用是避咸蓄淡水库成功建设的关键。

1 土工管袋吹填砂土筑堤

自 20 世纪 80 年代开始,我国开展了土工合成材料的研究与应用,土工合成材料在潮汐地区水库工程建设中的应用研究也是在当时开始的。在潮汐河口地区兴建避咸蓄淡水库,需要大量的筑坝土石料,并且需要在水中筑坝,而潮汐河口地区河床上部往往天然沉积有粉砂、砂质粉土等砂土料,利用土工管袋吹填砂土技术可解决水库大坝修筑问题,该技术在上海市长江水源地陈行水库建设中得到了研究和应用。应用土工管袋吹填砂土技术筑坝,可以充分利用河床中的砂土资源,减少了宝贵的陆上土石资源的开采,有利于环境保护,利用泥浆泵在土工管

袋中充填砂土, 可以进行多工作面施工, 无需在水中修筑堤坝常用的施工临时围堰, 施工基本不受潮位、降雨等影响, 大大加快了施工进度, 降低了工程投资。陈行水库土工布管袋吹填砂土的材料测试、现场充填试验以及建成后的原型监测结果, 证明该技术在陈行水库堤坝建设中的应用是成功的。另外, 该技术也在潮汐地区的滩涂围垦、金山城市沙滩水库及青草沙水库等工程筑堤中得到了应用。

土工管袋吹填砂土技术研究的关键是解决充填砂土与土工管袋的匹配问题, 要求土工管袋在吹填砂土过程中满足以下条件: ①具有优良的保砂能力, 防止灌入的砂土颗粒从土工布的孔隙中流失; ②具有良好的排水能力, 保证灌入的水体尽快排出; ③具有承受冲灌压力的能力, 避免管袋发生破裂; ④具有足够的抗老化能力, 达到各自的使用时间要求; ⑤工程造价经济合理。

就长江口地区来说, 河床上部主要土层有粉砂、砂质粉土、粉性土混(淤泥质)黏性土、黏质粉土、淤泥质粉质黏土和淤泥质黏土, 其中砂质粉土、粉砂具中等透水性, 渗透系数在 $0.0001 \sim 0.0010 \text{ cm/s}$, 而粉质黏土、黏土为弱~极微透水性土层, 渗透系数一般小于 0.0001 cm/s 。由于吹填砂需要快速排水固结, 加快施工进度, 一般选用粉砂、砂质粉土作为吹填料。

土工布一般选择机织布。在陈行水库、青草沙水库、太仓水库等工程中, 通过对土工布的保砂性、透水性和防堵性进行计算分析、试验研究和工程实践, 得知土工布可选用 $150 \sim 260 \text{ g/m}^2$ 的聚丙烯编织布和丙纶机织布, 其渗透系数大于 $0.0010 \text{ cm/s}^{[3-4]}$ 。

从水库筑堤条件来看, 过去一般是在高滩吹填筑堤施工, 而近期建设的青草沙水库堤坝沿线除了高滩外, 在东侧还要穿越水深 10 m 以上的深槽, 属于深水筑堤, 施工难度很大。

根据施工经验, 在高程 -5.0 m 以下, 深水管袋吹填施工较为困难, 可采用抛填砂袋的办法筑堤。为避免砂袋在抛填过程中爆裂, 砂袋尺寸选用 $4 \text{ m} \times 6 \text{ m}$, 采用强度较高的 260 g/m^2 丙纶长丝机织土工布, 对于高程 -5.0 m 以上及其潮汐变动区, 需先应用土工管袋形成内、外棱体, 在内、外棱体之间堤芯

直接吹填砂, 由于施工期间该部位内、外棱体处于潮位变化区, 外坡面土工布遭受太阳紫外线直接照射的时间较长, 同时经常受到风浪冲击, 因此该暴露范围的管袋袋布采用 175 g/m^2 防老化聚丙烯编织布; 对于高程 5.0 m 以上的堤身, 由于工程量较小, 施工进度较快, 暴露时间不长, 遭受风浪作用机会较小, 可采用 150 g/m^2 聚丙烯编织布。水库堤坝典型断面如图 1 所示。

2 水下保滩护底软体排

在潮汐地区, 每天潮水两涨两落。建设避咸蓄淡水库的堤坝较长, 在水中建造堤坝需要分段按序施工, 同时河床一般为砂土地基, 具有颗粒细、结构松散的特点, 抗水流冲刷能力有限。由于潮汐水流的作用, 在堤坝施工推进过程中必然会出现推进的堤坝头部河床滩面冲刷, 需要采取措施对坝基及两侧一定范围的河床进行保护。堤坝建成后, 由于沿堤流的作用, 也会对堤坝脚的滩面冲刷, 危及堤坝的安全。因此合理选择护面结构是确保滩面稳定的关键。护面结构的选取应考虑以下几方面因素: ①具有足够的抗冲性能, 抵御河床水流的冲刷; ②具有良好的保砂性能, 防止下部河床砂土从排体中漏出; ③具有适宜的变形性能, 适应排头冲刷引起的滩面变化; ④具有合理的耐久性能, 保证足够的使用年限; ⑤具有方便的施工性能, 便于施工、制作、运输、沉放。

常用的保滩软体排有砂肋软体排、混凝土联锁块软体排、砂肋软体排与混凝土联锁块软体排相结合的混合软体排等。对于全部处于水下的保护滩面、堤坝基面或者超前护底滩面, 软体排可选用砂肋软体排, 规格为 $\varnothing 300 @ 1500 \text{ mm}$, 排布采用 230 g/m^2 丙纶长丝机织布, 砂肋采用 200 g/m^2 丙纶长丝机织布, 丙纶加筋带和砂肋套环宽 $50 @ 1000 \text{ mm}$ 。库外保滩采用混凝土联锁块软体排, 基布采用 380 g/m^2 复合土工布(230 g/m^2 丙纶长丝机织布与 150 g/m^2 涤纶短纤无纺布复合), 混凝土联锁块尺寸为 $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times (160 \sim 220) \text{ mm}$, 丙纶加筋带宽 $70 @ 500 \text{ mm}$, 丙纶绳 $\varnothing 16 \text{ mm}$ 。软体排土工布渗透系数大于 0.001 cm/s 。

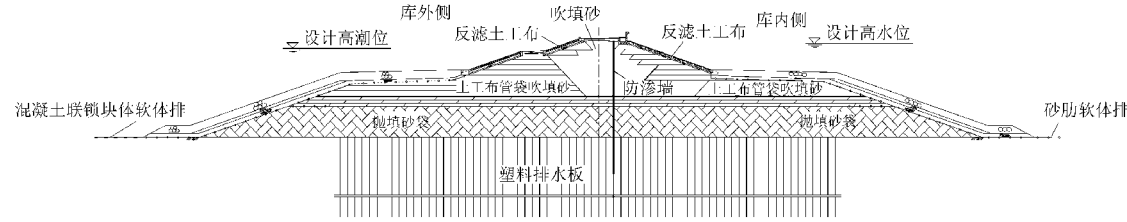


图 1 水库堤坝典型断面

3 纳潮口和龙口坡面防护

在潮汐地区,为方便堤坝施工,水库堤坝必然会预留一定宽度的纳潮口和龙口,让潮汐水流进出围区内,从而减小围区内外水头差和进出纳潮口、龙口的流速,降低施工风险。堤坝基本建成后,纳潮口最终也要收缩成龙口,然后对预留的龙口进行截流封堵。

在水库设计布置中,预留纳潮口和龙口的流速通常控制在 3.5 m/s 以下,采用砂肋软体排进行纳潮口滩面保护,当龙口宽度较小时,也可采用土工管袋充填砂土直接筑成龙口,龙口内、外两侧坡面用砂肋软体排或混凝土连锁块体软体排保护。土工管袋袋布和砂肋软体排排布均采用 380 g/m² 复合布土工布。

当龙口流速超过 5 m/s 时,常规的软体排护面结构已难起到保护作用,需要采取特殊的防护措施。青草沙水库的东堤主龙口处于长江口北港深泓区域,水库库容大,涨落潮进出龙口的水量也大。通过大量的水流数值计算和模型试验研究分析,确定龙口截流采用框笼抛石平堵截流工艺,设计潮型条件下龙口出现的最大流速达 7 m/s,龙口底面采用 60t 的网兜石进行保护。根据现场吊放施工试验,由于石料从浙江开采,距离比较远,低碳合金钢丝网兜石在装网兜、陆上和水上运输、多次转运装卸、吊放网兜石的过程中钢丝网容易发生断裂,网兜石损坏率较高,修复比较困难,难以满足施工要求。经反复试验,网兜的低碳合金钢丝由具有较高强度、较好柔性的 $\varnothing 16$ mm 聚丙烯绳替代,可大大减少网兜石的损坏率,提高了施工速度。为防止网兜石安放过程中刺破下部通长土工管袋,在网兜石下铺设混凝土连锁块体软体排,在与土工管袋之间加设一层超强砂肋软体排,排布采用 1600 g/m² 高强丙纶长丝机织布。该网兜石护面在龙口截流实际施工中抵御了超过 5 m/s 的高流速的考验,被证明是成功的。水库常规龙口和高流速龙口的布置如图 2 和图 3 所示。

4 护面反滤土工布

避咸蓄淡水水库在汛期常采用库内低水位运行,非汛期采用高水位运行。水库堤坝的运行特点是:①汛期,当库外潮位高于库内水位时,库外水往库内渗透;当库外潮位低于库内水位时,库内水往库外渗透。②非汛期,当库内水位高于库外潮位时,库内水往库外渗透。

由水库堤坝的运行特点可知,水库堤坝承受双向水头作用,存在外水内渗、内水外渗的情况,库内、库外边坡都需要作排水反滤处理。吹填土堤坝坡面采用反滤土工布,上压 150 ~ 300 mm 厚的袋装碎石,

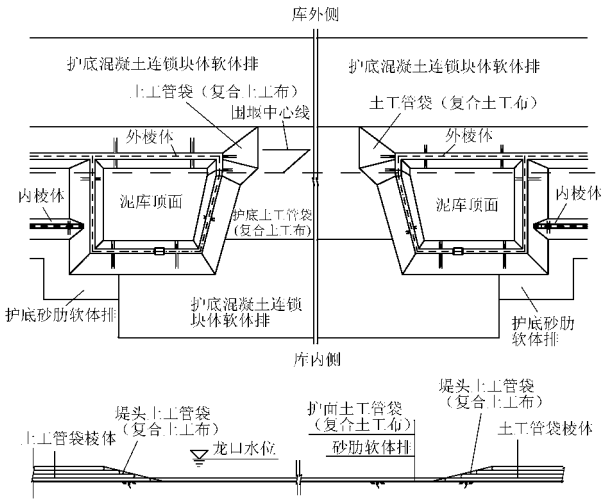


图 2 水库常规龙口布置

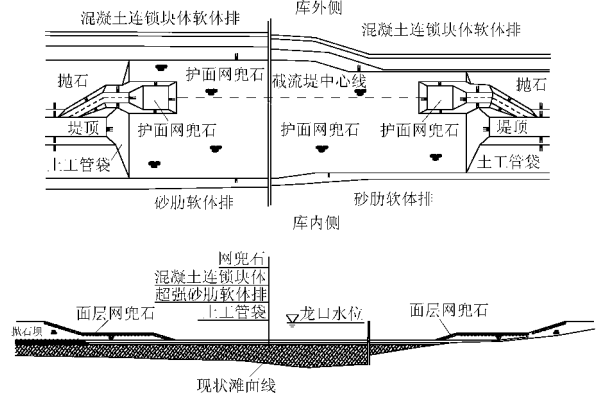


图 3 水库高流速龙口布置

表面根据风浪的大小选用异形块体、栅栏板、螺母块体、浆砌块石、干砌块石等保护。经计算分析和工程实践,一般内、外棱体平台的上部坡面反滤土工布采用 200 g/m² 机织布,棱体平台以下采用 380 g/m² 复合反滤土工布(230 g/m² 机织布与 150 g/m² 无纺布复合),反滤土工布的底部与保滩软体排相接,形成完整的排水反滤体。反滤土工布上部袋装碎石所用的袋布为 125 g/m² 编织布。

5 软土地基的排水处理

在河口地区建设水库,往往会遇到软土地基。这些软土层一般为淤泥质黏土(粉质黏土)、黏土层等,呈流塑状,高压缩性,土体强度、承载力低,是堤基的主要压缩土层。经相关分析研究,当上部堤坝高度达到 10 m 以上时,如果不进行地基处理,堤身和堤基的总沉降量达到 2 m 以上,设计基准期工后残余沉降也在 0.5 m 以上,甚至达到 1 m 以上。为了控制堤坝沉降,需采取加载预压、塑料排水板等处理措施。塑料排水板底部应插入处理的软弱土层,具体间距和处理深度应通过计算确定。

(下转第 77 页)



图6 土工膜与坝基防渗墙锚固

前,委托生产厂家专业工程师对施工人员进行上岗前的技术、技能培训。通过理论和实践,学习复合土工膜的特性、施工工艺和操作规程,以及施工过程中的注意事项等,并进行实际操作训练。

b. 对进入施工现场的复合土工膜进行抽样,检验其物理性能,并进行外观检查。为保证施工质量,留边不合格,如起褶皱、荷叶边或膜布长短不齐等,采取直接裁减等措施,确保复合土工膜材质符合技术规范要求,杜绝不合格复合土工膜上坝。

c. 复合土工膜焊接时不能有熔点和漏点。焊缝质量以外观检查为主,看2条焊缝是否清晰、透明,无夹渣、气泡,无漏点、熔点或焊缝跑边等。土工膜焊接质量检查以充气法为主,注射颜色水为辅(对每条焊缝都进行充气法检测)。充气法检测时在焊缝两端设置气压表,待妥善密封后,充入气压0.2 MPa,稳压保持5 min,压力无明显变化为合格;对于无法用充气法检测的部位,进行注射颜色水为辅的检测方法。颜色水应从大坝上游坡脚处注入,使水沿2条焊缝形成的空腔爬升,从而检测并标注出焊缝的渗漏点,进行热熔补焊,对补焊后的焊缝也要重新按照充气法进行检测。

(上接第41页)

水库堤坝基础处理部位一般处于水下。采用塑料排水板处理地基时,采用专用插板船施工,塑料排水板用安放在作业船上的门架式立柱打设机插设,作业船一次移位可同时插多根排水板。

6 结 论

土工合成材料在潮汐河口地区水库建设中应用的工程实践表明,利用土工合成材料可解决水库堤坝的排水、反滤、防冲等问题。

a. 利用在超过6 m深水区域采用抛填砂袋、浅于6 m水深区域采用土工管袋吹填砂土的筑堤技术,可以解决深水筑堤问题。

b. 流速在3.5 m/s以下的滩面、纳潮口和龙口底面可采用砂肋软体排或混凝土连锁块体软体排保护。对于高流速的纳潮口和龙口底面可采用聚丙烯

d. 必须严格按照程序施工。因阳光辐射是聚合物降解的主要因素,注意不可将复合土工膜铺设过多,并尽可能采用遮阳布覆盖。如果局部覆盖不到位,可采用15 cm厚的砂子进行覆盖,但必须确保温度不超过60℃,以防止温度过高而加速土工膜的老化。

e. 铺设复合土工膜施工中大坝垫层料的平整和密实也是很重要的,务必确保土工膜与坡面垫层料吻合,才能更好地达到防渗要求。

f. 复合土工膜在厂家生产时按设计要求的长度进行剪裁,尽量避免在铺设时产生水平接缝;同时,尽量选用宽幅土工膜,以减少施工接缝。

3 结 语

复合土工膜防渗性能好、质量轻,对不均匀沉降适应能力强,施工简便,造价低廉,在公路、环保、建筑等工程中已普遍采用。坝工建设中堤防和坝体除险加固工程上应用较多,具有一定的应用经验,但在黄河这样重要的河流上还是首次采用,且是突破规范的。为此设计严格规定了复合土工膜与混凝土之间的连接措施及施工工艺要求,业主、监理、施工单位也非常重视,严格把关,以确保施工质量。从初步运行情况看,工程是成功的。但由于工程的运行时间较短,在今后的运行中仍需要加强监测,不断总结经验,以推动复合土工膜在水利工程中更广泛的应用。

参考文献:

[1]《土工合成材料工程应用手册》编写委员会. 土工合成材料工程应用手册[K]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社,2000.

(收稿日期 2009-07-28 编辑 胡新宇)

绳网兜石保护,下部设置混凝土连锁块体和砂肋软体排作为过度层。

c. 堤坝在双向水头作用下,内、外坡均需设置反滤层,采用反滤土工布作为反滤层是可行的。

d. 采用塑料排水板处理软土地基,可以加快地基的固结,减小堤坝的工后沉降。

参考文献:

[1]陶君裘,石小强. 陈行水库工程概况[J]. 上海水利水电技术,1993(18):1-8.
[2]陆忠民,卢永金,宋少红,等. 青草沙水库建设与长江口综合整治关系研究[J]. 给水排水,2009,33(1):55-58.
[3]陶君裘,白建颖,沈建强. 陈行水库土工织物应用技术[J]. 上海水利水电技术,1993(18):54-62.
[4]束一鸣,张乃国,史海珊,等. 长江口复杂软土地基上堤坝的设计[J]. 水利水电科技进展,2003,23(6):34-36.

(收稿日期 2009-09-07 编辑 张志琴)