

加筋土挡墙设计及其在水电工程中的应用

胡建东

TU476.4

18

60-63

(湖南省邵阳市水利水电勘测设计院, 湖南 邵阳 422000)

摘要: 阐述加筋土挡墙工作机理、设计方法, 通过对加筋土挡墙与浆砌石或混凝土挡土墙在施工、造价等方面的对比分析, 表明加筋土挡墙的极大优势, 提出加筋土挡墙急需在水电工程中, 特别是修建防洪堤, 修复水毁工程中得到迅速推广应用。

关键词: 挡土墙; 拉筋带; 加筋土; 土压力

中图分类号: TU476+.4

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2000)05-0060-04

1 加筋土挡墙工作机理

加筋土的工作机理是比较复杂的, 1960年法国人亨利·维达尔用三轴试验证明: 在砂土中加入少量纤维后, 土体的抗剪强度可以提高4倍多。他认为这种现象是因为在粗粒土试件上施加竖向压力时, 试件一定会产生侧向膨胀(见图1), 如果不能产生侧向膨胀(与土相比)的拉筋带埋入试件中(图1), 由于拉筋带与土之间有摩擦作用, 就会阻止试件产生侧向膨胀。这就好像在试件上施加了一个水平作用力, 当垂直压力增加时, 水平的约束力(维达尔认为这个约束力等于静止土压力)也成正比例增加, 只有当土与拉筋带之间失去摩擦或拉筋带断裂, 试件方能产生破坏。由此可以看出, 加筋土的工作机理就是拉筋带与土之间的摩擦作用。简单地讲, 加筋土实质上是填土、拉筋带、面板的结合体, 土和拉筋带之间的摩擦改善了土的物理力学指标(如抗剪、抗拉强度), 使土与拉筋带结合成为一个整体。在这个整体中起控制作用的是填土与拉筋带之间的摩擦力, 面板的作用是阻挡填土或填砂的坍塌挤出, 迫使填料与拉筋带结合为整体, 加筋土挡墙的机理是利用填土与拉筋带的摩擦力去平衡填土的侧压力。

为了说明土颗粒与拉筋带之间的受力情况, 取拉筋带中的一个微分段 dL , 如图2, 在此微分段上的拉力变化为: $dT = T_1 - T_2$, 拉筋带上共有竖向力为 $2N \cdot dL \cdot b$ (略去两侧的面积), 故拉筋带不被拔出时所需的摩擦系数为

$$\frac{dT}{2N \cdot dL \cdot b} < f \quad \text{或} \quad \frac{dT}{dL} < 2Nbf \quad (1)$$

式中: f 为土与拉筋带之间的摩擦系数; b 为拉筋带宽度。

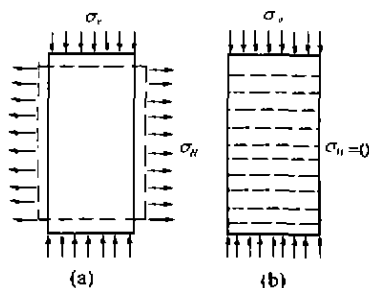


图1 加筋土作用机理

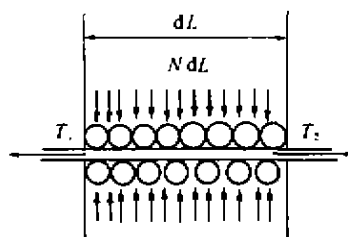


图2 拉筋带受力分析

从式(1)可以看出, 要求拉筋带具有一定的抗拉强度, 而且还要有足够的锚固长度。

由实验室模型试验和实地加筋土挡墙原型试验测定的结果表明, 其拉力分布曲线如图3所示。

2 加筋土挡墙的设计

2.1 设计计算

2.1.1 设计原理与基本假定

视加筋土为锚固结构形式。当墙面板后填土达到极限平衡状态时, 主动破裂面紧靠墙后出现, 拉筋带的一端与墙面板紧固连接而另一端则依靠填土后

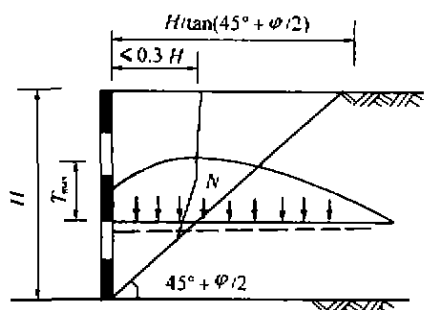


图3 拉筋带拉力分布曲线

产生的摩阻力“锚固”在主动土压力区以外(见图3)。

假定主动土压力破坏区内的拉筋带长度称为无效长度,稳定区内的拉筋带长度称为有效长度,由稳定区范围内的拉筋带有效长度上的摩擦阻力抵抗拉拔,并且填土自重及墙顶荷载只有在拉筋带的有效长度上,才产生有效摩擦阻力。

2.1.2 面板后侧向土压力

按朗肯理论计算,设计壁垂直、光滑、柔性。距墙顶深度为 H_{ai} 处的第 i 层拉筋带对应的墙面板所受的侧向土压力公式为

$$\sigma_{H_i} = \lambda \gamma H_{ai} \quad (2)$$

$$\sigma_0 = \lambda \gamma h_0 \quad (3)$$

$$E_i = \lambda \gamma (H_{ai} + h_0) S_x S_y \quad (4)$$

式中: σ_{H_i} 为第 i 层拉筋带计算层处对应的墙面板由于填土自重而产生的推力强度; σ_0 为第 i 层拉筋带计算层处对应的墙面板由于荷载而产生的推力强度; E_i 为第 i 层拉筋带对应的墙面板所受的侧压力; λ 为主动土压力系数; γ 为填料的容重; h_0 为墙顶作用均布荷载换算均布土层厚度(假定外荷载为均布荷载时); S_x, S_y 为面板的宽和高。

2.1.3 拉筋带的布置及长度计算

a. 拉筋带的布置。一般是根据挡土墙墙背上作用的土压力大小和拉筋带的强度、拉筋带上承受的有效摩擦力等来分配拉筋带平衡时所需的密度。通常用式(5)来决定拉筋带的间距:

$$\frac{T_i}{S_x S_y} = \lambda' \sigma_{ni} \quad (5)$$

式中: T_i 为作用在第 i 层单根拉筋带上的拉力; S_x 为拉筋带的水平间距; S_y 为拉筋带的垂直间距; λ' 为土推力系数; σ_{ni} 为拉筋带第 i 层处的垂直应力。

但是,由于施工方法及施工机具的关系,构件尺寸选用时,首先应该考虑单块墙面板的重量。在人工组装时采用单根或双根拉筋带的小型混凝土墙面板,其重量控制在双人肩抬或4个人肩抬;若用机械组装时,可采用4根或多根拉筋带的大型混凝土墙面板,故拉筋带的间距应配合墙面板的材料及外轮

廓尺寸而定,水平间距 S_x 及垂直间距 S_y 一般采用 0.5~1.0m。

b. 拉筋带的长度计算。根据图3显示的拉筋带拉力分布曲线,采用 0.3h 法,各层拉筋带的总长度为非锚固区拉筋带长度 L_a 和锚固区拉筋带长度 L_b 之和。

非锚固区拉筋带长度计算公式为

$$\begin{cases} L_a = 0.3H & H_{ai} \leq H/2 \\ L_a = 0.6H(H - H_{ai}) & H_{ai} > H/2 \end{cases} \quad (6)$$

锚固区拉筋带长度

$$L_b = \frac{KE_i}{2bf\gamma(H_{ai} + h_0)N} \quad (7)$$

式中: H 为墙高; K 为安全系数,一般取 4.0; E_i 为第 i 层面板所受的侧向土压力; b 为拉筋带宽度; f 为填料与拉筋带之间的摩擦系数; γ 为填料的容重; N 为拉筋带的根数,拉筋带根数采用的原则是便于与面板上的连接钢筋连接。

2.1.4 分面板稳定与挡墙整体的稳定验算

a. 分面板的抗拔系数(第 i 层单根)

$$K_{pi} = F_i/E_i \quad (8)$$

式中: F_i 为第 i 层拉筋带产生的摩擦阻力。

b. 挡墙整体的抗拔稳定系数

$$K_c = \sum_{i=1}^n F_i / \sum_{i=1}^n E_i \quad (9)$$

式中: $i=1 \sim n$ 为第一层面板至 n 层面板; F_i 为第 i 层拉筋带产生的摩擦力; E_i 为第 i 层面板所受的侧向土压力。

c. 挡墙整体的倾覆稳定系数

$$K_o = \sum_{i=1}^n M_{F_i} / \sum_{i=1}^n M_{E_i}$$

$$\text{或} \quad K_o = \sum_{i=1}^n (F_i \times H_i) / \sum_{i=1}^n M_{E_i} \quad (10)$$

式中: M_{F_i} 为 F_i 的力矩; M_{E_i} 为 i 层侧向土压力对 i 层面板力矩; H_i 为 i 层面板到第一层面板的有效高度。

一般情况下, K_p, K_c, K_o 可根据荷载情况及建筑物的重要性选用 1.5~2.0。

2.1.5 拉筋带截面验算

拉筋带截面验算如下:

$$\sigma_s = \frac{T_{\max}}{A_s} = \frac{T_{\max}}{B(t - C_m)} \leq [\sigma_s] \quad (11)$$

式中: σ_s 为拉筋带的拉应力; $T_{\max}$ 为拉筋带承受的最大拉力; A_s 为拉筋带的有效面积; B 为拉筋带的宽度; t 为拉筋带的厚度; C_m 为拉筋带的腐蚀带平均厚度; $[\sigma_s]$ 为拉筋带材料的容许应力。

2.2 细部设计

a. 面板设计。加筋土面板是为阻止填料倒塌而

设置,从材质上可分为金属制品、混凝土或钢筋混凝土制品三种;从形状上有圆形或半圆形金属面板,十字形、矩形、六角形混凝土或钢筋混凝土面板。工程中常采用矩形、六角形混凝土或钢筋混凝土面板。

b. 填料。填料是加筋土挡墙的主体材料,试建初期,要求较高,仅限于摩擦系数大的砂性土壤,但近几年,随着加筋土挡墙得到广泛的推广和应用,不少科技工作者研究试用了多种不同细粒含量填料,基本上能做到采用当地土壤,摩擦系数较小的粘性土、粉细质土、粉煤灰等都能作为加筋土填料应用。

c. 拉筋带。根据我国目前筋带生产的现状可将拉筋带分为三类:第一类是刚性拉筋带,包括扁钢和国外广泛使用的镀锌钢带以及我国铁路系统使用最多的钢筋混凝土拉筋带等;第二类是柔性材料,包括聚丙烯土工带(PP带)、土工织物、格栅、橡胶带等;第三类是复合材料拉筋带,如CAT钢塑复合材料拉筋带和50025塑料与玻纤复合带等。这类集刚性和柔性两大类拉筋带的优点而克服其缺点的新型拉筋带,在当前加筋土挡墙中得到广泛应用。

d. 连接件。面板与拉筋带之间必须连接才能形成整体,面板与面板之间也须经过连接才能形成完整的墙面。倘若拉筋带是金属制做的而面板是以混凝土制作的,则在面板上做出预留件和预留连接孔。面板预留孔可用拉筋带穿入,再用垫板螺栓紧固。像聚丙烯, CAT 钢塑复合土工带则穿入槽形面板的预留孔内相连接。

3 加筋土技术的发展及广泛应用

加筋土自60年代中期诞生以来,以其节省工程造价20%~60%等显著技术经济效益而应用于世。我国自1975年引进加筋土技术以来,也得到迅速推广应用。据不完全统计,加筋土工程已建千项,砌墙面积超过100万 m^2 ,节省工程造价逾10亿元。加筋土技术也通过大量的工程实践,主要在填料、拉筋带材料及高大加筋土和水工加筋土方面得到了新的突破,应用范围更广。首先在填料上,打破了国外设置的不能用粘土做填料的禁区,我国一半以上的加筋土都是用粘土做填料。其次在拉筋带材料上有重大突破,我国率先采用聚丙烯土工带作拉筋带,相继发明了性能优于上述拉筋带的钢塑复合材料拉筋带,为我国大量推广应用加筋土工程提供了物质保证。另外,在修建高大加筋土和水工加筋土工程上也有所突破,先后修建了高度35.5~60m挡墙3座,重庆长寿白沙湾码头高26.15m,是当今世界上最高的加筋土码头。

4 加筋土挡墙在水电工程中的应用

加筋土挡墙作为一种新型式已在码头、公路、铁路和工民建中得到推广应用,然而在水电工程中还是采用传统的毛条石或混凝土挡土墙,这种挡土墙造价高,施工不方便,占地多,不适应软土地基且结构不太稳定等不利因素,严重制约着水电事业的发展,而加筋土挡墙具有造价低廉、施工简便、造型美观、节省占地以及适应软土地基、结构可靠等显著特点,已在我国一部分地区如四川、重庆等得到了应用,修建了水工加筋土工程(如防洪堤、护岸、码头、公路等)30余项,墙面面积超过30万 m^2 ,特别是四川宜宾长江滨江防洪堤经受住了1998年长江百年一遇的特大洪水的考验,它的坚不可摧、美观、牢固,吸引了不少专家、学者去考察,一致认为水工加筋土挡墙工程在水电工程建设中具有代表性,有推广的价值。长江滨江公路防洪堤采用路堤结合,位于宜宾长江岸一侧,全长450m均采用加筋土挡墙,1997年底动工,1998年初完工。挡墙面板采用六角形钢筋混凝土槽形板,拉筋带采用新型的CAT钢塑复合带,其与面板连接方式如图4。加筋土挡墙高度在6~15m之间。

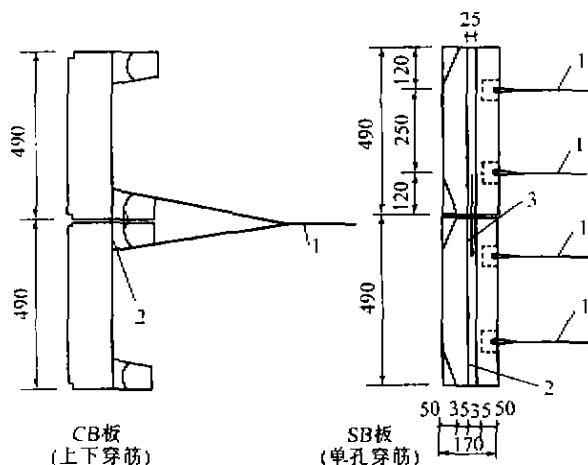


图4 面板与拉筋带连接

1. CAT30020 拉筋带; 2. M5 砂浆填塞; 3. $\phi 16$ 插销

5 加筋土挡墙与浆砌石、混凝土挡墙比较

加筋土挡墙具有造价低廉、施工简便、造型美观、节省占地以及适应软土地基,结构可造等显著特点,从而得到了迅速推广,而浆砌石、混凝土挡土墙因其造价高,施工不方便,占地多,不适应软土地基且结构不太稳定等不利因素有被加筋土挡墙取代的趋势,具体表现在以下几个方面:

a. 受力、结构等特点。传统的浆砌石、混凝土挡土墙都是靠自身的重量来抵抗土压力,一般体积大,

耗材较多,而且挡墙高度由于自身特点而受严格限制;而加筋土挡墙加筋材料成水平埋置于土中,并与垂直的墙面板形成牢固的联结,墙体被破坏时,产生活动区与稳定区,活动区土的水平推力被稳定区加筋土之间的摩擦力所平衡,整个加筋体的内部稳定性就得到保证,这种既改变受力情况,又由水平加筋材料与填土形成自身稳定的复合体的结构特点,使得可以做成很高的挡墙,迄今为止,世界上最高的加筋土挡墙——四川省巫山集仙中路公路挡墙,墙高58~60m。

b. 工程造价,加筋土挡墙比传统的毛条石、混凝土支挡结构节省工程造价20%~65%,从而大大地降低总造价,经济效益显著。已建部分水工加筋土挡墙工程节约投资比例见表1。从表1中可以看出,挡墙越高,节约的工程造价越多(高达65%~70%),其技术经济效益更加显著。

表1 部分水工加筋土挡墙工程节约投资情况

工 程 名 称	高度 /m	长度 /m	墙面积 /m ²	节约投 资/%	建设时间
四川长寿县白沙湾 煤码头	18~26.5	90	1600	65.0	1983~1985
一般码头、防洪堤公路	12~22	1021	16000	43.8	1988~1990
重庆北碚环城(江边) 公路挡墙	6~22	900	13000	43.5	1993~1995
重庆嘉陵江滨江公路 (码头、防洪堤)	10~13	1500	16000	28.0	1995
重庆渔洞长江河岸整 治工程(码头、防洪堤)	19.5	3138	54000	41.6	1995~1996
重庆彭水县九曲河大 桥引道挡墙	16	180	2880	43.0	1995
重庆彭水县乌江西岸滨 江工程(码头、防洪堤)	15	990	10000	32.0	1995
四川江津市长江西岸整 治工程(码头、防洪堤)	12~16	2950	34000	28.0	1996~1997

c. 施工过程和施工质量,加筋土挡墙的施工过程是拼装、填土碾压过程,很适合于机械化施工,而且面板、拉筋带、连接件等构件,全部可以实现工厂化生产,既能保证构件质量,还可降低原材料消耗,节省大量人力、物力,施工速度快,工期短,施工质量容易保证,而浆砌石和混凝土等重力式挡墙多采用人工衬砌,填土多由人工填筑,速度慢,工期长,而且对基础要求较高,施工质量很难保证。

还有挡墙的抗震、耐寒性能等方面,加筋土挡墙具有很大的优越性,是重力式挡墙无法替代的。加筋土挡墙的垂直布置,一方面可以减少占地面积,另一方面在不允许开挖的地区又可以实施修建工程,这在城市防洪工程、道路建设和地价昂贵的地区,有其显著的经济意义。

6 结 语

我国近几年来,洪水泛滥,各大江大湖、防洪堤工

程、水毁工程亟待建设,如何合理利用有限的资金,高质量、高标准地修建水利工程,是我国水利工程设计、建设者们面临的首要课题,这就要求我们必须解放思想,摒弃旧观念,大胆创新,及时采纳新思想、新技术。事实证明,加筋土技术作为一项新技术,有助于扭转我国水电事业当前资金短缺的局面,能够少花钱,而修建高标准、高质量的防洪堤、水毁工程。

参考文献:

- [1] 游聚祥,杨柳风.加筋土挡墙[M].北京:人民交通出版社,1985.
- [2] 唐善祥,岳向阳,王曙光.加筋土挡墙工程图集[M].北京:人民交通出版社,1997.

(收稿日期:1999-01-18 编辑:熊水斌)

(上接第29页)

有机膨润土是一种触变胶,属非牛顿液体类,主要用于涂料、油漆油墨、化妆品、润滑脂、绝缘材料等,所用膨润土的粒度小于 $2\mu\text{m}$ 的占95%以上。

6 结 语

防渗膨润土是一种有效的防水材料,需求量大。我国在这方面的研究水平虽处领先地位,但不够深入,开发应用也不够规范。

我国的膨润土资源量大面广、大型矿床多,钠基、钙基、铝(氢)基等类型齐全,据统计全国有26个省、自治区赋存有膨润土矿床(点),已探明储量在75亿t以上,为世界之首,需加快研究与开发。

随着科学技术的发展,研究方法和手段的完善,对膨润土成分、性质和性能了解的深化,以及社会发展对矿物原材料需求的增加,膨润土在土木工程和其他领域的应用会越来越广泛。

(作者通信地址:100089 北京市海淀区车道沟南里31号楼,电话:(010)68453967)

参考文献:

- [1] 李苏璋,周运臣.改型钠基膨润土的特征及其应用[J].建材地质,1990(2):25~29.
- [2] 鞠建英.膨润土的永久防水作用及其在土木工程中的应用[J].防水材料,1988(2):18~21.
- [3] 鞠建英.膨润土的防水机理及其在地下工程中的应用[J].特种结构,1991(3):24~28.
- [4] 姚道坤.中国膨润土矿床及其开发应用[M].北京:地质出版社,1994.
- [5] 鞠建英.特种结构地基基础处理手册[Z].北京:建筑工业出版社,2000.
- [6] 张乃娴.粘土矿物研究方法[M].北京:科学出版社,1990.

(收稿日期:1999-04-05 编辑:熊水斌)