

土石坝复合土工膜防渗技术应用探讨

李红良

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川成都 610072)

摘要:随着土工膜生产工艺的改进、技术指标的提高,在水利水电工程中,中、低土石坝使用复合土工膜防渗既简化了施工工艺,又节约了工程投资。复合土工膜的耐久性、抗老化性及使用后的维护已成为其在工程使用中建设各方都关注的问题,对复合土工膜防渗技术应用进行了探讨。

关键词:复合土工膜斜墙坝体防渗;镀锌扁铁;抗滑稳定最小安全系数;水平向地震惯性力;推力传递法

中图分类号:TV7;TV22;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)02-0078-03

1 土工膜防渗技术的发展

1991年,国际大坝会议发表了题为《土工膜用于大坝止水——国际先进水平》的第78号通报,阐明了土工膜对于混凝土坝、圪工坝等各类填筑坝皆为一项成熟技术。欧洲是应用土工膜于坝工的开拓者,1993年土工膜各土工合成材料欧洲工作组专门研究了欧洲的80多座坝并建立了数据库。

我国采用土工膜防渗技术开始于20世纪60年代中期,用于渠道防渗,从80年代开始,土工膜开始应用于中小型土石坝工程的除险加固,80年代末至90年代初,一些新建的中小型土石坝工程开始使用土工膜防渗。21世纪以来,已有10余项工程采用复合土工膜防渗,新建的最高坝为56m,险坝加固高85m,运行情况良好。

国内复合土工膜的生产厂家以民营企业为主,生产规模小,产品质量的保证率低,设计单位对材料的质量信心不足,故其在工程设计中采用的较少,多在一些中小型工程中以及后期维护难度不大的项目中采用。土石坝的防渗土工膜通常设置在上游坝面。

2 复合土工膜斜墙坝体的防渗设计

2.1 复合土工膜防渗体系的结构

防渗结构包括防渗材料的上垫层护面、复合土工膜、下垫层下部的支持层和排水、排气设施(图1)。

护面材料可根据防渗结构的坡比采用压实土料、砂砾料、水泥砂浆、干砌块石、浆砌石及混

凝土板。

下垫层支持层可采用透水材料,如砂砾料、无砂混凝土、沥青混凝土、土工织物等。

膜下排水排气设施可采用逆止阀、排水管或纵横排水盲沟等形成完整的排水排气系统。

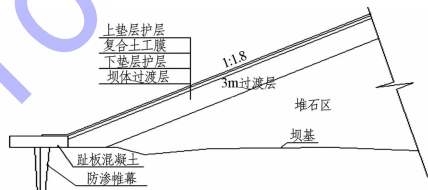


图1 土石坝复合土工膜防渗结构图

2.2 复合土工膜斜墙与防渗帷幕的连接

复合土工膜斜墙与防渗帷幕灌浆的连接采用将土工膜锚固在帷幕灌浆的盖重趾板混凝土结构上,形成地下地上的空间防渗体系(图2)。锚固

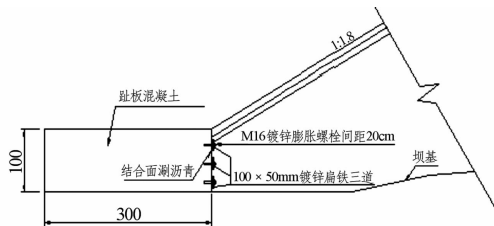


图2 复合土工膜与趾板连接图

要求:清除锚固面复合土工膜面上的无纺布,趾板面平整干燥,在混凝土面及土工膜面上涂刷沥青,在混凝土面上采用3道扁铁压接,采用间距30cm、φ16的不锈钢膨胀螺栓固定50mm×100mm的镀锌扁铁将土工膜在混凝土面上压紧,锚接宽度根据水压的不同采用60~100cm宽,锚固位置可以采用设在趾板混凝土的靠坝侧面或趾板混凝

收稿日期:2017-10-10

土靠坝侧的斜面上两种。

2.2.1 在趾板混凝土的靠坝侧侧面锚固

复合土工膜的锚固段采用先锚固、后填筑坝体，填坝时易损坏土工膜，其修补量大、焊缝多、材料耗量大，因此对预埋的土工膜需设保护。当采用先填坝、后沿趾板人工挖槽锚固土工膜时，人工开挖过渡料工作量大，且人工回填的过渡料只能采用人工夯实，效率低；粘结面的空气不能够完全排出，有气空区，且因水压力平行粘结面，存在被水压力击穿的隐患。

2.2.2 在趾板混凝土的靠坝侧斜面锚固

在坝体填筑完成、复合土工膜的支持层施工完成后，复合土工膜锚固段的施工与坝面土工膜的施工同时进行，采用自上而下铺设，在趾板混凝土斜面上锚固，粘结面的空气能够完全排出且施工方便，锚固段的施工质量可以得到保证，水压力垂直粘结面，对粘结面受力有利(图3)。

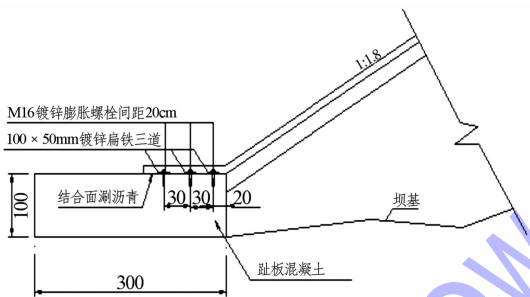


图3 复合土工膜与趾板连接图

2.3 复合土工膜材料的选择

《土工合成材料应用技术规范》(GB50290-2014)规定：“1级、2级建筑物土工膜选用厚度不应小于0.5mm，高水头或重要工程应适当加厚；3级以下工程，膜的厚度不应小于0.3mm”。

在土工膜两面结合无纺布形成复合土工膜以提高膜的力学性能及膜的施工性能，采用了聚乙烯膜(PE)。

2.4 防渗体系的稳定分析

土工膜支持层的稳定分析按土石坝的稳定分析方法进行。

复合土工膜与支持层和上部保护面层间的稳定性采用摩擦安全系数法分析：

$$K = \frac{f}{\tan\alpha}$$

式中 K 为抗滑稳定最小安全系数。根据土石坝

的等级、运行条件按《碾压土石坝设计规范》(DL/T5395-2007)中10.3.12条的规定取值； f 为土工膜与支持层或保护面层面的摩擦系数。复合土工膜与砂砾石支持层的摩擦系数取土工 β (β 为填筑砂砾石的内摩擦角)。复合土工膜与无砂混凝土支持层的摩擦系数 $f=1\sim 1.5$ ，复合土工膜与预制混凝土面板保护层施工期的摩擦系数与预制板底面的平整度有关，一般取 $f=0.4\sim 0.5$ ；在复合膜面有水时， $f=0.35\sim 0.4$ 。 f 可以采用现场试验测试法确定； α 为坡面水平角； $\tan\alpha$ 为土石坝的上游坡比。

开茂水库库容为2245万 m^3 ，水库由一座主坝、五座副坝组成，副坝最大坝高25m，副坝采用灰岩料填筑，过渡料采用老北川河道清淤料，坝体结构见图4。

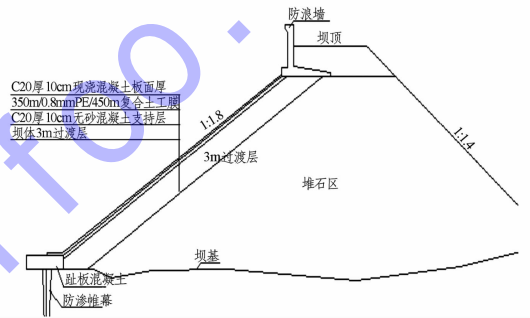


图4 副坝结构图

堆石区石料的力学参数 $C=40\sim 80\text{ kPa}$ ， $\varphi=40^\circ$ 。

过渡层石料的力学参数 $C=30\sim 60\text{ kPa}$ ， $\varphi=38^\circ$ 。

开茂水库副坝复合土工膜防渗体在正常运行条件下的稳定分析：

该土石坝级别属Ⅲ类工程，抗滑稳定最小安全系数取值：正常运行条件下 $K=1.3$ ，非常运行条件Ⅰ $K=1.2$ ，非常运行条件Ⅱ $K=1.15$ 。

(1) 正常运行条件下的抗滑稳定分析。

支持层采用无砂混凝土与土工膜时的摩擦系数 $f=1\sim 1.5$ 、保护面层采用在复合膜上浇筑混凝土面板护面，接触面摩擦力最小的部位是无砂混凝土与过渡料接触面或过渡料内部。

正常运行条件下 $K=1.3$ 。

$$K = \frac{f}{\tan\alpha} = \frac{\tan\varphi}{1/1.8} = \frac{\tan 38^\circ}{1/1.8} = 1.4 > 1.3$$

满足正常运行条件安全系数 $K \geq 1.3$

(2) 非常运行条件。

如图 5 中的过渡料及堆石料 $C=0$, 滑移面为折线, 滑移面 1 分布在过渡区内部, 滑移面 2 分布在堆石区和过渡料接触面处。笔者对滑移面 1 进行了分析, 最大坝高沿坝轴线取 1 m 长度分析得到滑块 1 自重 $W_1=3\ 239.46\text{ kN/m}$ 。

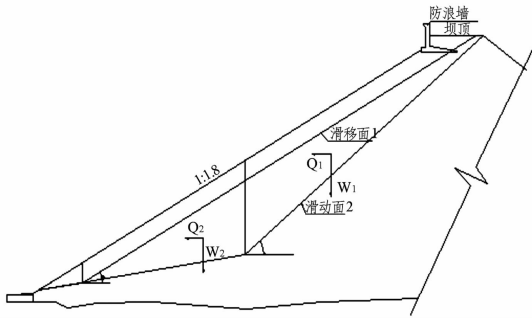


图 5 滑楔法稳定计算示意图

工程所在区设计地震烈度为 8 度, 查《水工建筑物抗震设计规范》中的表 4.3.1, 得 $\alpha_h=0.2\text{ g}$, 按表 5.1.3 之土石坝坝体动态分布系数 α_i , 坝高 $H\leq 40\text{ m}$, 设计烈度为 8 度, $\alpha_m=2.5$, $\alpha_i=(\alpha_m+1)/2=(2.5+1)/2=1.75$ 。

质点的动态分布系数 α_i 度滑移面 1 的稳定分析。

根据《水工建筑物抗震设计规范》进行地震作用效应的计算:

按规范第 4.5.9 条中的公式计算水平向地震惯性力代表值:

$$Q_i = \alpha_h \zeta G_{Ei} \alpha_i / g$$

式中 Q_i 为作用在质点的水平向地震惯性力代表值; α_h 为水平向设计地震加速度代表值; ζ 为地震作用的效应折减系数, 取 $\zeta=0.25$; G_{Ei} 为集中在质点的重力作用标准值; α_i 为质点 i 的动力分布系数; g 为重力加速度。

$$Q_1 = \alpha_h \zeta G_{E1} \alpha_i / g = 0.2\text{ g} \times 0.25 \times 3\ 239.46 \times 1.75 / g = 283.45\text{ (kN/m)}$$

按《碾压式土石坝设计规范》DL/T5395-2007 附录 E.2.2.2 滑楔法计算(图 6 为第 i 块的受力图):

第 i 块土条的抗滑力:

$$P_i = \sec(\varphi_{ei} - \alpha_i + \beta_i) \times [P_{i-1}(\varphi_{ei} - \alpha_i + \beta_i - 1) - (W_i \pm V_i) \sin(\varphi_{ei} - \alpha_i) + u_i \sec \alpha_i \sin \varphi_{ei} \Delta x - c_{ei} \sec \alpha_i \cos \varphi_{ei} \Delta x + Q_i \cos(\varphi_{ei} - \alpha_i)]$$

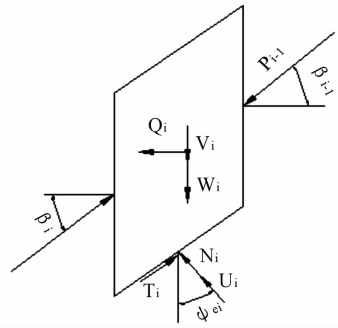


图 6 第 i 块受力图

$$C_{ei} = C_i / K, \tan \varphi_{ei} = \tan \varphi_i / K$$

计算从顶部第一个条块 ($i=1$) 开始, 按上式计算 P_1 , 以此采用推力传递法获得最后一个条块的下滑力 $P_n=0$, 采用试算法反复调整 K 值直至 $P_n=0$, 此时为 K 值的计算值。

2.5 土工膜质量检测方法

(1) 目测法: 现场有无漏接、烫伤、褶皱, 是否均匀等。

(2) 现场检查法: 充气法和真空抽气法。

充气法: 用于双焊缝膜, 封住双缝之间空腔的两端, 向空腔内充气, 充至压力为 $0.05 \sim 0.2\text{ MPa}$, 静待 0.5 min , 如腔内气压不下降则为合格。

(3) 真空抽气法: 利用吸盘、真空泵和真空机等进行检测。将待检接缝处擦净, 涂肥皂水, 放上吸盘紧压, 抽气至负压 $0.02 \sim 0.03\text{ MPa}$, 关闭气泵, 静待 0.5 min , 观察真空罐内有无气压变化, 若无变化, 表明接缝合格。

(4) 试验室检测法。

将在施工现场焊接好的土工膜抽样在试验室做剪切剥离试验, 剪切强度不应小于母材抗拉强度的 80% , 且试样断裂不得出现在接缝处。

3 结 语

随着复合土工膜生产质量的提高、产品市场的规范、技术规范的完善, 复合土工膜在中、低土石坝等水工建筑物中用于防渗已有较大程度地发展。

参考文献:

[1] 土工合成材料应用技术规范, GB/T 50290-2014[S].
 [2] 聚乙烯 (PE) 土工膜防渗工程技术规范 SL/T231-98[S].
 [3] 碾压式土石坝设计规范, DL/T5395-2007[S].

作者简介:

李红良 (1976-), 男, 陕西商洛人, 工程师, 从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑: 李燕辉)