

深溪沟水电站复合土工膜围堰的防渗设计

付 峰 张优秀

(中国水电顾问集团成都勘测设计研究院 四川 成都 610072)

摘要 结合深溪沟水电站围堰应用复合土工膜的情况 ,对复合土工膜在结构布置、计算方法及应用效果进行了初步总结。认为常规复合土工膜的性能指标足以满足挡水高度在 30 m 以下的围堰或堤坝要求 ,重要的是施工保护和接缝质量 ,施工中采用先黏接再熔焊的工艺值得推广 ,但堰肩处的防渗处理不够理想。

关键词 复合土工膜 ;防渗设计 ;深溪沟水电站 ;围堰

中图分类号 :TV551.3 文献标识码 :B 文章编号 :1006-764X(2009)S1-0182-03

深溪沟水电站枢纽位于大渡河干流上 ,枢纽建筑物自左至右依次布置 3 孔泄洪闸、1 孔排污闸、河床式厂房和两条泄洪冲沙洞(与导流洞全结合)等建筑物。工程施工期采用断流围堰、隧洞泄流、大坝基坑全年施工的导流方式。导流标准洪水重现期为 20 a ,导流设计流量为 $Q_{P=5\%}=7\,890\text{ m}^3/\text{s}$ 。上、下游围堰为Ⅳ级建筑物 ,采用土石围堰 ,堰体及堰基分别采用复合土工膜斜(心)墙与普通混凝土防渗墙进行防渗。上游围堰最大堰高 45 m ,其中土工膜斜墙挡水高度为 34.0 m ,下游围堰最大堰高 19.0 m ,其中土工膜心墙挡水高度为 12 m。上下游围堰已于 2008 年 4 月完建 ,计划 2010 年 4 月拆除。

1 上游围堰结构设计

1.1 围堰布置

a. 剖面设计。围堰两岸地形陡峻 ,平均坡度为 $50^\circ\sim 70^\circ$,局部存在倒悬 ,堰肩基岩裸露 ,为强卸荷、弱风化白云质灰岩和白云岩。堰基则由强透水的含漂砂卵石层组成 ,一般厚 40~60 m ,防渗采用全封闭混凝土防渗墙。考虑工程区无足够防渗土料及围堰工期较紧因素 ,同时便于利用基坑岸坡开挖料直接填筑堰体 ,结构上采用碾压式土工膜斜墙围堰 ,即完成防渗墙施工和堰体填筑后再在上游迎水面铺设复合土工膜并与混凝土防渗墙连接形成封闭的防渗体系。

根据坝坡稳定计算并结合施工交通要求 ,为防止复合土工膜在施工期及水位骤降时出现滑动 ,迎水面坡度采用 1:2.50 ,背水面结合下基坑道路布置

综合坡度不小于 1:1.75 ;最大堰高 45.0 m ,顶宽 10.00 m ,长约 160.0 m ,最大底宽约 249 m ;上游堰面采用 $300\text{ g/m}^2/1.0\text{ mm HDPE}/300\text{ g/m}^2$ 的复合土工膜斜墙防渗 ,最大防渗高度 34.00 m ,防渗面积约 $15\,800\text{ m}^2$,为保护复合土工膜并减小缺陷渗流 ,在表面采用挂 $\varnothing 6.5@20\times 20\text{ cm}$ 钢筋网、喷 5 cm 厚 C20 混凝土进行封闭。根据碾压式土石坝规范要求并结合现场实际 ,堰体填筑料主要分为过渡料、堆石料、垫层料、复合土工膜和护坡料(大块石、干砌石)等。上游围堰堰体总填筑量为 83.3 万 m^3 。上游围堰典型剖面见图 1。

b. 土工膜材料的选择。根据计算和材料试验 ,结合已建工程经验 ,土工膜选择焊接性、伸长性与均匀性好的高密度聚乙烯膜(HDPE)。复合土工膜为二布一膜型 ,其规格为 $300\text{ g/m}^2/1.0\text{ mm HDPE}/300\text{ g/m}^2$,土工布为短纤针刺非织造布。为减少接头 ,幅宽不低于 5 m ,土工膜和土工布应一次热压成型。复合土工膜应满足膜抗拉强度 $\geq 18\text{ kN/m}$,膜的断裂伸长率 $\geq 300\%$,GBR 顶破强力 $\geq 3.2\text{ kN/m}$,极限延伸率 $\geq 60\%$,耐静水压 $> 1.8\text{ MPa}$,剥离强度 $\geq 6\text{ N/cm}$ 。

c. 土工膜与周边的连接。土工膜在堰顶 ,与堰肩混凝土底座(趾板)、混凝土防渗墙等的连接均采用光膜埋置法 ,考虑到膜的破坏主要在于水压力作用后在刚性锚固部位产生局部很大的变形而使膜内产生很大拉应力 ,因此在堰顶及防渗墙顶高程设置水平伸缩节 ,在连接的周边设置周边伸缩节以适应变形。

d. 土工膜下垫层。为保证围堰运行期上游水位骤降工况下堰面复合土工膜的稳定 ,其后垫层应

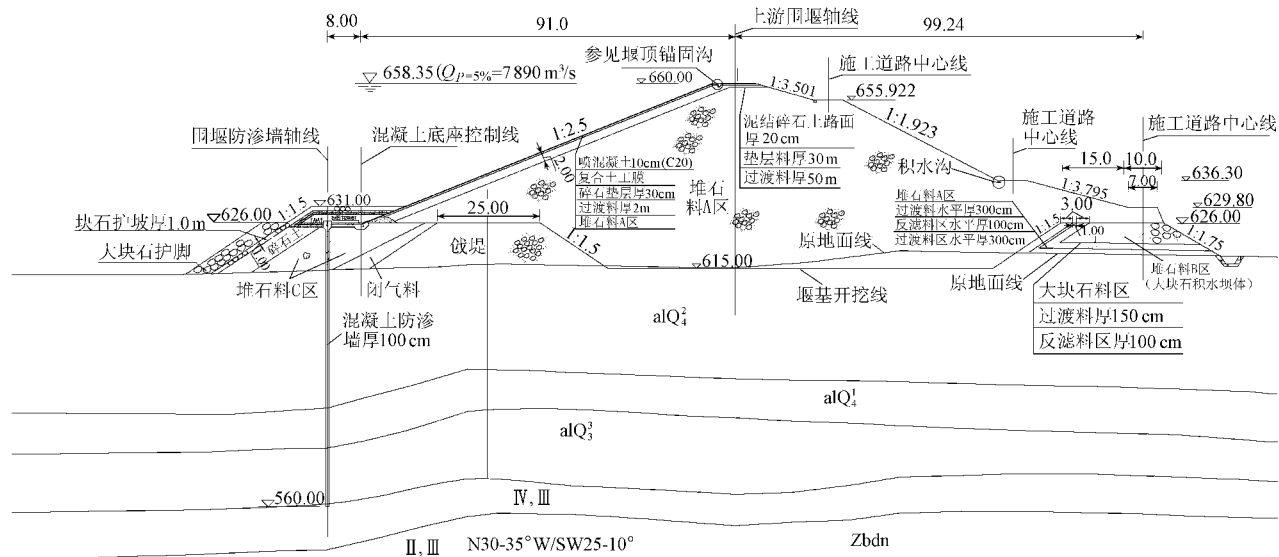


图1 上游围堰典型剖面

为透水良好材料,同时为保护土工膜在承受水压时不会被顶坏,要求垫层颗粒直径 $\leq 20\text{ mm}$ 且以级配良好的河床砂砾石为主。

1.2 复合土工膜厚度计算与材料选择

1.2.1 规范公式计算

根据规范推荐的土工膜厚度计算公式,主要考虑长条窄缝上的薄膜在水压力 p (kPa)的作用下,薄膜发生的单位宽度拉力 T (kN/m)为

$$T = 0.204pb/\sqrt{\varepsilon} \quad (1)$$

式中: ε 为薄膜发生的拉应变; b 为膜下地基可能裂缝宽度,m,一般因施工、变形等原因导致缝张开约1~10 mm。

承受水头约32 m,采用曲线交会法,根据式(1)绘制的土工膜运行时发生上述裂缝时变形拉力曲线与选用1 mm厚HDPE试验曲线相交可得到的实际材料的应变和拉力,与极限拉应变及极限抗拉强度相比,安全系数分别大于5.0和10.0,若考虑两侧土工布抗拉能力的帮助,安全系数大于30。

1.2.2 有限元计算

由于上述规范推荐的曲线交会法没有考虑围堰挡水后堰体及堰基变形对复合土工膜应力应变的影响,为了更符合工程实际,设计上利用有限单元法复核复合土工膜连同堰体堰基受力后的应变,以确保复合土工膜性能指标符合要求。

考虑复合土工膜基本是在堰体填筑完成后铺设的,铺设时在周边预留伸缩节、堰面预留了一定的松弛度,在水压作用下认为复合土工膜自身约束作用可忽略不计,而是随堰体表面单元变形,即以堰坡表面单元应变作为复合土工膜工作应变,通过三维有限元分析设计水位作用下堰体表面单元的应变,直

接从拉伸曲线上查得对应的拉力,即可求得安全系数。

由于堰体填筑材料为非线形材料,采用工程界使用较多的邓肯-张双曲线模型计算。为了保证计算精度,垂向均应取到相对不透水区,顺河向向上下游应延伸到1.5倍防渗墙深度。因此,垂向取到堰底以下100 m左右岸从堰肩向外各延伸100 m,上下游从堰脚向前后各延伸100 m。三维渗流及应力应变计算模型见图2。



图2 三维渗流计算模型

1.2.3 计算成果

计算表明,受堰体本身及防渗墙变形影响,在土工膜与防渗墙接头附近区域堰面应变值较大,中上部应变值较小且差别不大,沿堰面顺河向应变值大于横河向应变值,最大应变值在0.0012左右,相应拉力约13 kN/m,按土工合成材料应用规范(SL/T225—1998)规定,土工合成材料的许可抗拉强度 $T_a = T/F$,其中, T 为极限抗拉强度, F 为影响系数,约为3.3(对临时围堰主要考虑铺设时破坏影响系数)。计算得许可抗拉强度 T_a 约15 kN/m,最大拉力亦在允许范围内。故在设计水位时应用复合土工膜是安全的。

2 渗流稳定计算

上游围堰堰面上复合土工膜喷 5 cm 混凝土形成复合防渗体,由于复合土工膜厚度仅为 1 mm,因此在利用复合土工膜及 5 cm 混凝土作防渗体的有限元渗流计算中,难以对其进行模拟。为了建模方便,计算中先将混凝土面层、土工膜按渗透水量相等原则等效为一种均质材料处理,称其为复合渗透体。复合防渗体渗透系数是按式(2)求解的:

$$K = \frac{B}{B_1/K_1 + B_2/K_2} \tag{2}$$

式中:K 为复合防渗体渗透系数;B 为复合渗透体厚度,mm;B₁ 为喷混凝土厚度,mm;B₂ 为土工膜厚度,mm;K₁ 为喷混凝土厚度渗透系数;K₂ 为土工膜渗透系数。再把复合渗透体按当量渗透系数处理,即把它看作具有一定渗透系数而厚度较大的等效土体。如上游坝面复合防渗体 50 mm 厚、渗透系数 K = 1 × 10⁻¹⁰ cm/s 按当量渗透系数处理时,取厚为 1 m 的土体,当量渗透系数 K = 2 × 10⁻⁹ cm/s。

相应渗流的边界条件是:上下游水位以下的入渗和出流面及自由渗出段,其水头等于上下游水位和自由渗出段的高程,属第一类边界;渗流自由面和不透水层面属第二类边界。见图 3

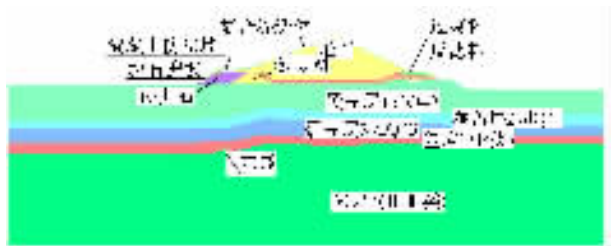


图 3 渗流计算分层示意

另外通过对土工膜破损进行敏感性分析,若在上游围堰迎水坡面综合有 1 m 区域的土工膜破损而失去防渗能力时,渗流量分别提高大约两个数量级,围堰背水面出口处的坡降也超过 0.2,会出现渗透破坏,围堰下游堰坡稳定不能满足要求。当破损部位主要位于上部时影响最小,渗流量分别提高约 10 倍左右。

3 结 语

a. 围堰建成后,经过近 2 a 的洪水考验,其中土工膜实际最高挡水水头约 12 m,堰脚渗水总体较小。“5·12”汶川大地震造成上游围堰堰面喷混凝土出现 2 条较长的裂缝,一条位于坝顶以下 1 m 伸缩节部位的横缝,延伸至两岸;另一条位于坝体中部的纵缝,沿坡面长为 20 m 左右,顶部与第一条横缝相交。现场对两缝进行检查,发现仅是喷混凝土裂缝,下部土

工膜完好,对堰体防渗未造成实质影响,坡面也未发生滑动,表明上游坡度采用 1:2.5 的安全系数是足够的。

b. 从计算分析可知,常规复合土工膜(膜厚度 0.8 ~ 1 mm)的性能指标足以满足挡水高度 30 m 以下的围堰、堤坝要求,且价格低廉,厚度选择设计可以适当简化,重要的是施工中的保护及接头的质量。

c. 采用挂网喷混凝土护面结合铺设密实的天然砂卵石垫层料保护土工膜基本成功,“5·12”大地震造成山上飞石坠落堰面,挂网喷混凝土多处砸裂,事后检查复合土工膜受损轻微。

d. 由于现场土工膜铺设施工时受风力影响较大,故结合以往工程经验,在复合土工膜铺设时要求先粘接再热熔焊,实践证明这样操作能有效地保证接头黏结质量,值得推广。

e. 采用上游坝面铺设土工膜的优势在于堰体本身施工速度快,对截流后尽快进行基坑开挖创造了条件,同采用土工膜心墙防渗形式相比,有缺陷容易发现并可以进行修补,但由于堰肩岩体卸荷发育,虽经布置一定深度的帷幕灌浆,但发现来自基岩的渗水明显,围堰堰肩防渗处理难度较大,效果不够理想,仍需总结和实践。

参考文献:

[1] 顾淦臣. 复合土工膜或土工膜堤坝实例述评(续 I) [J]. 水利水电技术, 2003, 34(1): 55-61.
[2] 沈长松, 顾淦臣. 复合土工膜计算方法研究 [J]. 河海大学学报: 自然科学版, 1998, 16(增刊).
[3] 顾淦臣. 承压土工膜厚度计算研究 [C] // 全国第三届土工合成材料学术会议论文集. 天津: 天津大学出版社, 1992: 249-257.
[4] 仁宗海水库电站堆石坝土工膜特性及防渗结构优化实例研究 [R]. 南京: 南京水利科学院, 水利部水工新材料工程技术研究中心, 2007.
[5] SL/T 231—1998, 聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范 [S].

(收稿日期: 2009-09-02 编辑: 马敏峰)

