

⑥

土石坝

土工合成材料

土工膜

重力坝

第15卷第2期

水利水电科技进步

1995年4月

20-26

土石坝的若干新技术(二)^①

顾淦臣

TV641

(河海大学水力发电工程系 南京 210098)

4 土工合成材料广泛应用于土石坝

土工合成材料是土工膜、土工织物、土工格栅、土工网的总称。土工膜用于防渗,可分为纯土工膜、加筋土工膜、组合土工膜。土工织物用于反滤、排渗、隔离。土工格栅用于岩土加筋。土工网用于隔离、园艺、岩土轻型加筋。另外还有植草土工织物,它是在土工织物中加营养土和草籽,用于土坡和岩坡保护,防止水土流失,美化环境。还有极轻泡沫塑料作挡墙、桥台回填土,以减轻土压力,增强排水。这里只简述土工膜和土工织物应用于土石坝的发展情况。

4.1 土工膜应用于土石坝的新发展

4.1.1 Poza de Los Ramos 坝

西班牙于1984年建成 Poza de Los Ramos 坝,高97m。上游坝面为8m厚的砌石,坝坡坡率1:1.3。砌石表面用混凝土和砂浆抹平,然后铺聚氯乙烯膜,下半部膜厚2mm,上半部膜厚1mm。在聚氯乙烯面上涂布沥青作保护层,在其上铺钢筋网喷混凝土作为上游护坡抵御波浪冲刷、紫外线照射和风雨侵蚀。在坝的上游趾部基岩上开挖岩槽建排水观察廊道,聚氯乙烯膜的下游面的渗水排入廊道。廊道与坝基面铺设的坝下埋管相连接,用水泵将廊道集水抽到管内排至坝

下游趾的排水棱体中。此坝运行情况良好,现已加高至134m。

4.1.2 Paradela 混凝土面板堆石坝

葡萄牙于1955年建成的 Paradela 混凝土面板堆石坝,高110m,水电站装机容量9万kW。由于堆石坝是用抛投法施工填筑(当时还未发展碾压法堆石技术),位移值很大,以致混凝土面板拉裂挤碎,漏水达 $1.3\text{m}^3/\text{s}$ 。25年里曾用止水铜片、止水橡皮修补,但收效不大,漏水仍有 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ 。1981年把水库放空,在1:1.3的上游坡混凝土面板上铺设了 $72\,842\text{m}^2$ 的含沥青的合成橡胶。铺设时,由坝顶上的卷扬机牵引一种小型刷贴机在坝面上缓缓向上拖行,含沥青的合成橡胶卷材被打开并刷人造胶和乳化沥青混合液,将上述合成橡胶膜粘贴在混凝土面板上。每张合成橡胶膜都留有10cm宽的接边,搭接胶贴在前一张合成橡胶膜上。为了防止臭氧破坏合成橡胶和防止紫外线照射老化,从坝顶至坝顶以下25m的水位升降变动区内,在合成橡胶膜面上涂了油漆。没有用其它材料保护。修复工作在3个月内完成,只化费了80万美元。完成以后效果很好,漏水只有 $15.11/\text{s}$ 。从此大坝和水库能够正常运行。

4.1.3 Lago Nero 混凝土重力坝

意大利从1975年开始,对上游面混凝土

① 本文第一部分刊于本刊1995年第1期。

剥蚀老化漏水的混凝土坝用组合土工膜锚固铺设在上游面防渗, 获得良好效果。至 1990 年已经有 16 座混凝土坝用此法防渗加固, 包括重力坝、双曲拱坝、连拱坝、浆砌石坝、碾压混凝土坝。组合土工膜是 2mm 厚的聚氯乙烯膜与 $200\text{g}/\text{m}^2$ 非织针刺土工织物热压而成的。例如 46m 高的 Lago Nero 混凝土重力坝是 1929 年建成的, 长期漏水, 几次修补收效不大。1975 年将上述组合土工膜卷材在坝顶散开下垂, 用不锈钢肋板压紧锚固在坝的上游面, 修补后渗漏极小。土工织物起加筋和排水作用, 如果混凝土面与组合土工膜之间有滞留水, 可通过土工织物排出, 在水库水位降落时, 防止土工膜鼓包破坏。后来修补的几座坝, 在组合土工膜与混凝土面之间, 增加了一层高密度聚乙烯土工网, 使接触面平整并加强排水能力。1985 年, Lago Nero 坝铺设土工膜 10 年后, 取样做试验, 沿坝轴向抗拉强度有所增加, 极限延伸率略降低, 性能令人满意。

4.1.4 Alpe Gera 坝

意大利于 1964 年建成的 Alpe Gera 坝, 高 174m。采用干贫混凝土通仓浇筑, 不分柱状块, 铺混凝土层厚 70cm, 用拖拉机后部的一排插入式振捣器振捣, 用切割机切出伸缩缝。这被认为是碾压混凝土坝的初始阶段, 是新施工方法的一个里程碑(国际大坝会议, 1989 年)。预料这种干贫混凝土会漏水, 故在坝上游面铺焊 6mm 厚的纯铁板防渗。死水位以下铁板未涂防锈漆, 近年已发现该部位铁板锈蚀成很多孔洞, 坝体漏水量增加。经研究采用 2mm 厚的聚氯乙烯膜粘贴在铁板上修补。聚氯乙烯膜的比重为 1.3, 破坏时拉应力为纵向 $18\sim 20\text{MPa}$, 横向 $16\sim 19\text{MPa}$, 破坏时延伸率为 $330\%\sim 350\%$, 撕裂强度为 $60\sim 70\text{N}/\text{mm}$ 。专门研制了一种 Polires A70/3 胶粘剂, 能把聚氯乙烯膜与喷砂除锈的铁板牢固粘贴, 在直立的坝坡面上不会下

滑, 这种胶粘剂是由两种柔性的环氧-尿烷树脂组成, 不含溶剂。此工程于 1991 年开工修补。

4.1.5 法国的土工膜防渗堆石坝

法国从 1968 年到 1990 年新建了 17 座坝高 $10\sim 28\text{m}$ 的土工膜防渗堆石坝, 如 Codole^[12], 高 28m; Ospedale, 高 26m; Mas Darnaud, 高 21m; Neris^[13], 高 18m; La Lande-chitelet, 高 17m; Banegon, 高 17m; Valance d' Albi, 高 16m; Miel, 高 15m; Aubrac, 高 15m; Doissat, 高 13m; Campaux, 高 13m; Lanouaille, 高 12m; Camp Bourjas, 高 11.5m 等。这些坝有的是用坚硬砂岩、玄武岩碎石块石填筑的, 用小型振动碾压实, 上游面用粒径 $25\sim 50\text{mm}$ 卵石找平并浇沥青抹平, 铺组合土工膜, 上面浇筑 14cm 厚钢筋网混凝土或铺预制混凝土板护坡。上游坝坡为 $1:1.7$ 左右。若上游面用堆石护坡或干砌石护坡, 则坝坡为 $1:2.5$ 左右。组合土工膜有几种: 一种是 2mm 厚聚氯乙烯膜, 两面有 $200\sim 300\text{g}/\text{m}^2$ 土工织物热压或胶粘在一起; 一种是 $1\sim 1.5\text{mm}$ 厚氯丁橡胶膜, 两面热压或胶粘上述土工织物; 一种是 $3\sim 4\text{mm}$ 厚加筋沥青膜, 两面与上述土工织物粘结。

有的坝用页岩碎石或风化玄武岩碎石填筑, 用 2.5t 小型振动碾或压路机压实, 在加筋沥青土工膜上下两面用页岩碎粒保护(无土工织物层), 再在上游坝面设抛石护坡, 则坝坡为 $1:2.5\sim 1:3.0$ 。有一座坝坝坡为 $1:2.5$, 铺一层土工织物, 一层 1.2mm 厚聚氯乙烯膜, 再铺一层土工织物, 这三层未制成组合土工膜。但在施工时, 沿土工织物与土工膜之间发生滑动, 因此随即加支墩补救。这是由于土工织物与土工膜之间摩擦系数小($f=0.466$)之故, 而用组合土工膜就可避免此事故。有一座坝的预制混凝土板护坡厚仅 7.6cm, 被风浪淘卷破坏。在土工织物面上现浇的 14cm 厚钢筋网混凝土板护坡则运行良

好,这是由于大面积整块板抗风浪拔力大,且混凝土与土工织物牢固粘结之故。

4.1.6 Атбашин 坝

前苏联在 1970 年建成的 Атбашин 坝,是土工膜中央防渗的砂卵石坝,高 79m,坝坡 1:2.5。该坝采用不排干基坑深水筑坝施工方法,上下游坝趾抛石戗堤截流后,上下戗堤间基坑水深 30m,即在其间向水下抛填砂卵石,在中央部位抛填较粗颗粒砂砾卵石以便灌浆,抛填到水面后,在砂砾卵石上坝轴线部位建混凝土廊道,在廊道内进行砂砾卵石水泥灌浆。在这以上的坝体采用普通干地施工法填筑砂卵石,在廊道顶部中央部位向上铺设 3 层 0.6mm 厚的聚乙烯膜,随着砂砾卵石坝体同步向上升高,3 层膜铺成松弛褶皱状,直达坝顶,膜的上下游填筑 1m 厚粗砂作为过渡层以免卵石顶破土工膜。此坝已正常运行 24 年,左岸山边有些漏水,这是膜与岸坡接头有些缺陷造成的。

4.1.7 Нурек 坝围堰

前苏联的 Нурек 坝,坝高 300m。它的围堰是上游坝体的一部分,高 125m,围堰建成蓄水后就初期发电,再经 8 年大坝建成,更换水轮发电机组便正式发电。围堰是抛石及卵石堆体,下部 80m 为粘土斜墙防渗,上部 45m 铺 1mm 厚的聚乙烯膜防渗,坡面用堆石护坡,坡率 1:2.25。

到 1988 年,前苏联建成了土工膜防渗的土石坝 150 多座,其中多数用聚乙烯膜,少数用聚异丁烯橡胶膜。

4.1.8 美国近期才将土工膜应用于坝工

美国最先将土工合成材料应用于海岸防护和渠道防渗,但应用于坝工却落后于欧洲。《美国土木工程》杂志 1989 年第 1 期载文,论述美国应学习欧洲的经验。他们首先将土工合成材料用于维修大坝,据称到本世纪末,美国有 10 万座水坝需要维修。1989 年,美国新建的 16m 高的 Altuna 土石坝是第一座用组

合土工膜防渗的坝,组合土工膜为 5mm 厚的土工膜夹在两层土工织物间。坝坡为 1:2,组合土工膜上面用 20cm 厚的碎石和抛石护坡。

尽管如此,美国在碾压混凝土坝采用土工膜防渗方面是领先的。70 年代末至 80 年代初,美国建成了几座碾压混凝土坝,如 Willow Creek 坝,Upper Still Water 坝等,其碾压层面都漏水。1984 年建 Winchester 碾压混凝土坝时,上游面用 0.65mm 厚的聚乙烯膜防渗,膜的上游面用预制混凝土模板保护。1985 年建的 Galesville 碾压混凝土坝,上游面喷涂 2mm 厚的合成橡胶。1986 年开工的墨西哥的 100m 高的 Trigomil 碾压混凝土坝,上游面用聚氯乙烯膜防渗,并用预制混凝土模板保护,这才解决了碾压混凝土坝的漏水问题。

4.1.9 桓仁混凝土坝

中国在 1967 年首先将土工膜用于混凝土坝防渗,当时是“文化大革命”期间,大多数科技刊物都停刊,无法传播技术信息,所以鲜为人知。桓仁混凝土单支墩大头坝,高 79m,于 1958 年开工,因混凝土中水泥用量过少,出现严重裂缝漏水。1967 年,在上游坡率为 1:0.4 的坝面上,将 1mm 厚的沥青-聚合物膜二层用沥青玛瑙脂粘贴在用钢丝刷刷净的混凝土面上,再用锚筋锚固,锚筋穿过土工膜处以沥青玛瑙脂填补,并在土工膜的上游面浇筑 0.6m 厚的混凝土保护。然后浇筑坝顶部高 20m 的混凝土坝体,这部分新浇的混凝土水泥用量正常,预料不会裂缝,故未粘贴土工膜防渗。运行 18 年后,土工膜防渗的下部 58m 坝体不漏水,而顶部 20m 坝体却出现裂缝漏水,后采用沥青层作了贴面防渗^[14~15]。

4.1.10 亭下混凝土坝

70 年代建成的 50m 高的亭下混凝土重力坝,廊道内漏水过大,1984 年在上游直立

坝面用胶粘剂铺贴了丁基橡胶膜。

4.1.11 田村土石坝

80年代以来,我国将土工膜应用于水坝、煤灰坝、尾矿坝的技术飞速发展,目前已有100多项工程采用土工膜技术,包括新建的土石坝、病险土石坝除险加固、库盘防渗、上游铺盖防渗、施工围堰等。

广西壮族自治区田村土石坝,高48m,是我国目前最高的土工膜防渗土石坝。它的心墙用土工膜防渗,用土工织物反滤。1990年建成蓄水,据报道目前运行情况令人满意。

4.1.12 小岭头堆石坝

浙江省小岭头堆石坝,高36m,上下游坝坡1:1.3。堆石的上游面填筑小块径堆石过渡层(水平厚3.0m)和粒径为1~100mm的碎石垫层(水平厚1.0m),再浇筑厚6cm的无砂混凝土,然后铺设组合土工膜。该膜用0.5mm厚的聚氯乙烯膜与250g/m²及400g/m²土工织物热压而成。组合土工膜表面铺10cm厚预制混凝土板护坡。在上游趾部位挖槽达强风化岩底板,浇筑混凝土墙,土工膜锚固于混凝土内。组合膜与无砂混凝土间摩擦角为28.5°,与预制混凝土板间摩擦角为22.8°。此坝于1991年施工。

4.1.13 黑河土坝

辽宁省黑河土坝,高15.5m,坝顶长220m,坝基砂卵石覆盖层厚3~5m,基岩为花岗片麻岩,用锦纶织物两面涂聚乙烯的土工膜作为坝的中央防渗膜,底部覆盖层开挖截水槽,并在基岩开挖深0.8m、宽0.5m的锚固槽浇筑混凝土,将土工膜埋设在混凝土内。坝体填筑溢洪道开挖的石渣,与土工膜接触的上下游各1m范围内填砾质砂作过渡料以保护土工膜。土工膜接头用LBG-Ⅰ胶粘剂粘接,搭接10cm。土工膜造价为粘土心墙造价的1/3。此坝于1990年建成,据报道运行情况良好。

4.1.14 黑石山水库副坝

青海省黑石山水库副坝,高10m。坝基为砂卵石掩盖的古河道,砂卵石厚80m。坝体为砂卵石填筑,上游坡1:2.5,下游坡1:2.25。上游面铺土工膜防渗,水平铺盖亦用土工膜,长度为10倍水头。坝坡面土工膜上铺粗砂,然后铺厚8cm,75cm×75cm正方形预制混凝土板护坡,各板之间用钢筋串联。水平铺盖土工膜上用20cm厚壤土及20cm厚弃土保护。土工膜原设计用锦纶丝布加筋氯丁橡胶,后因工厂缺货,改用再生橡胶膜,强度和延伸率较低。此坝于1991年蓄水,土工膜不漏水。但古河道冲积层漏水,出水点在副坝下游趾以下200m处。

4.1.15 源口土石坝

浙江省源口土石坝,高26m,为“照谷社型”溢流土石坝。1979年建成后长期漏水。1986年,在溢流坝段的上游坝面及坝顶铺设3mm厚的锦纶帆布氯丁橡胶膜,非溢流坝段铺设1.5mm厚的聚氯乙烯膜。上面用6cm厚的预制混凝土板护坡。锦纶帆布氯丁橡胶膜接头用101胶和氯丁胶粘接,搭接4cm。聚氯乙烯膜接头用塑料热焊机加聚氯乙烯焊条熔焊。坝的上游趾及周边浇筑50cm×60cm混凝土座,土工膜浇在混凝土内。上游坝坡坡率1:2,用粘性土填筑,为使土工膜与粘性土接触面稳定,坝坡上每隔10~15m设80cm深60cm宽的抗滑槽,土工膜埋设在槽内,用粘土回填夯实。此坝运行5年来的情况令人满意^[16]。

4.1.16 李家菁土坝

云南省李家菁土坝为砂质壤土均质坝,它始建于1956年,建造时未碾压密实,后出现严重漏水。1987年,进行防渗处理并加高至35m。上游坡1:3.0,铺设组合土工膜防渗,表面用预制混凝土板护坡。组合土工膜是由厚0.15mm的聚乙烯膜两面热压400g/m²(厚3.5mm)的涤纶土工织物而成。接头由手工缝合再涂刷沥青玛璃脂防漏。坝上游

趾砂卵石地基及周边岸坡开挖截水槽,回填粘土将土工膜埋设其中,坝下游趾贴坡堆石排水体的内侧铺土工织物反滤,共铺设组合土工膜17 000m²,土工织物反滤3 000m²。此方案比粘土心墙方案节省造价25%。据报道运行4年来,未见渗漏。

4.1.17 土工膜用于库盘防渗

目前土工膜已大量用于水库库盘防渗,例如:前苏联1968年建Токтогуль土石坝时,库盘铺设了650万m²聚乙烯膜防渗,我国甘肃省夹山子水库于1991年开工,是一座从深切河道引水的旁侧水库,库底为戈壁砂卵石,厚百余米,预料向三面低谷漏水,故铺设了50万m²聚乙烯土工膜,浅水部位铺0.2mm聚乙烯膜,深水部位铺0.4mm聚乙烯膜,膜底部铺30cm厚黄土类轻壤土作为垫层,上面铺20cm厚黄土类轻壤土及30cm厚砂砾卵石保护,聚乙烯膜接缝用焊条自动焊机挤压加热熔焊。陕西省西骆峪水库为了防止库底漏水,铺了25万m²的聚乙烯膜,厚度为0.06mm三层,垫层为10cm厚的粒径为1~5mm的砂砾土,上面铺30~50cm厚的粘土和砂砾土,1980年完工。山西省东榆林水库于1979年因管涌而失事,1984~1986年用土工膜铺设在坝的上游地基并与坝体粘性土连接,防渗坝段长1 571m,面积11.1万m²,迄今已蓄水运行8年,防渗效果显著。

4.2 土工织物应用于土石坝的新发展

4.2.1 土工织物在坝、堤、闸的应用

土工织物的应用领域十分广泛。我国新建的土石坝中,应用土工织物最高的坝是广西田村土石坝,坝高48m。维修加固应用土工织物较高的坝为云南省麦子河土坝,坝高32m,该坝应用土工织物于上游护坡的垫层和下游趾贴坡排水堆石的反滤。堤防的迎水坡护坡目前用土工织物垫层较为普遍,如佳木斯市松花江大堤的预制混凝土板护坡采用

土工织物垫层。水闸的进水道和出水道河底铺土工织物软体沉排护底防冲,水闸和船闸的翼墙后排水,引航道堤岸护坡的垫层,土工织物模袋混凝土护坡,闸底板分块缝反滤,闸基的减压排水孔滤管包裹等都普遍采用土工织物、土工绳网、编织袋等。

4.2.2 土工织物在煤灰坝尾矿坝的应用

煤灰坝和尾矿坝以前较多采用不透水初期坝,水力冲填的煤灰和尾砂中的水通过专门设置的沟管排到坝下游,这一方面增加了造价,另一方面延缓了煤灰和尾砂的排水固结。山谷型煤灰坝和尾矿坝近来已较多采用透水初期坝。透水坝用矿山石渣煤矸石填筑,其上游面铺设反滤层,以防漏灰漏砂污染环境。传统的颗粒反滤一般需要3层,造价贵,施工质量难以控制,常发生漏灰漏砂事故。因而现在普遍采用土工织物反滤,如辽宁省柴河铅锌矿尾矿初期坝,辽宁省北台钢铁厂尾矿初期坝,辽宁省本溪钢厂自备电厂大清沟灰库初期坝,江苏省谏壁电厂灰库初期坝等。海涂和江边河滩的煤灰坝要考虑海潮江潮涨落的影响,故较多采用不透水坝,也有采用透水坝的,此时则需要双向反滤排水,以在高潮位时外水向灰库渗流,而不发生管涌;在低潮位时内水向江海渗流而不发生管涌。下面简要介绍这两种类型的煤灰坝。

上海石洞口电厂装机120万kW,煤灰坝位于长江口南岸滩地,坝长4.2km,坝高8m,贮灰容量1 005万m³。地基为亚粘土。先在临江面坝趾铺聚丙烯扁丝编织袋,用泥浆泵充填粉细砂,逐步向上叠堆到5m高度,边坡1:2,外坡叠放编织袋装碎石,以防江潮把袋装粉细砂吸出。其外侧基面沉放10m长软体沉排及抛石压重,外坡压混凝土框格浆砌块石护坡防浪。编织充填袋堤体内侧为吹填亚砂土,填到坝顶,高8m。边坡为1:2.5。临灰库侧坝趾为编织袋装小石棱体反滤,坡面为理石护坡。此坝于1987年建成,运行良

好。江滩海涂煤灰库储灰一般在坝顶以下,不向上筑子堤加高储灰,坝的稳定不借助于储灰的排水固结,故可采用不透水坝。浙江省北仑港电厂装机 240 万 kW, 煤灰坝位于北仑山外海涂, 坝长 3.8km, 高 6m。坝基为淤泥质亚粘土, $\varphi_u = 0^\circ 27'$, $c_u = 27.7\text{kPa}$ 。地基面铺 2 层聚丙烯编织布加筋, 上面铺 1.0m 厚石渣, 然后抛石。第一期填筑至 3.5m 高。反压平台长 20m, 高 2.5m。临灰库的抛石坡上填 0.5m 厚小石过渡层, 再填 2m 厚石渣, 然后铺土工织物反滤层, 再填 0.5m 厚小石。临海侧坝坡用混凝土大块体护坡, 临灰库坝坡用块石护坡。第二期填筑至 5.0m 高, 第三期填筑到顶。分期筑坝储灰, 5 年储灰到顶, 认为地基已固结 $\varphi_u = 15^\circ$, $c_u = 12\text{kPa}$, 加筋编织布单位拉力 $T = 12\text{kN/m}$ 。坝的深层抗滑稳定满足要求。这是透水储灰坝例子, 基面 2 层编织布起加筋、衬垫、排水、双向反滤作用。坝体土工织物起双向反滤和隔离作用。

4.2.3 土工织物应用于高土石坝实例

摩洛哥 Ait Chouarit 坝^[17]位于 Marrakech 城东面 150km 处, 坝高 144m。该水库

灌溉农田 $35\,000 \times 10^4\text{m}^2$, 每年为 Marrakech 城提供饮用水 $40 \times 10^6\text{m}^3$, 每年发电 115GW·h。坝的体积为 $9 \times 10^6\text{m}^3$, 其中砂岩堆石 $7.5 \times 10^6\text{m}^3$, 粘土心墙 $1 \times 10^6\text{m}^3$, 灰岩碎石 $0.4 \times 10^6\text{m}^3$ 。

该坝三个部位应用土工织物: 一为围堰粘土斜墙的反滤; 一为下游区底部水平排水带上下两层反滤和隔离层; 一为坝顶路面下的隔离和反滤层。坝的断面及土工织物位置详图见图 11, 共铺设土工织物 $65\,000\text{m}^2$ 。

该坝选用 Bidim U64 土工织物, 是用 100% 连续聚酯纤维制成的针刺非织品。其主要特性为

单位重量 550g/m²

厚度(受压力 500Pa) 4.4mm

渗透系数(受压力 2kPa) $3 \times 10^{-3}\text{m/s}$

抗拉强度 32kN/m

上游围堰是坝体的一部分, 围堰主体为砂岩堆石。防渗斜墙用泥质粉砂岩碾压填筑。堆石体最大粒径 600mm, 小于 0.08mm 细料不到 5%。斜墙料最大粒径 200mm, 小于 0.08mm 细料不到 20%。为防止斜墙内细粒

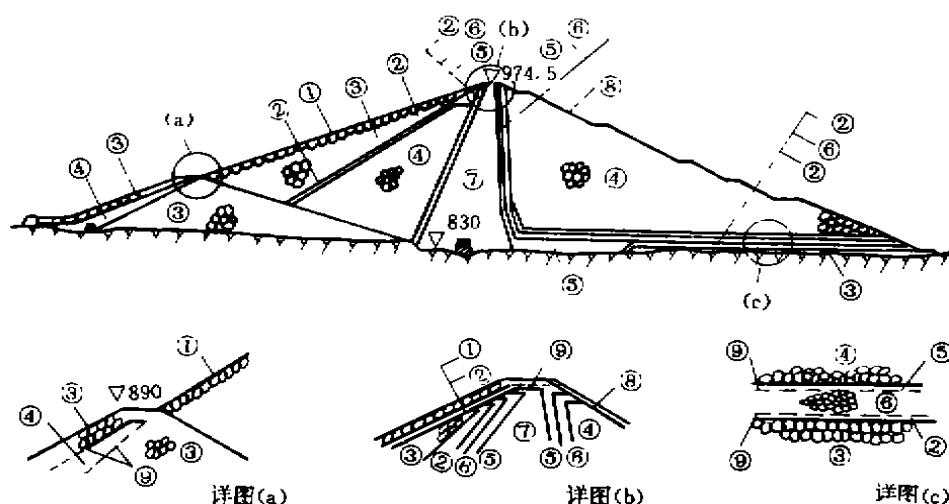


图 11 Ait Chouarit 坝断面和土工织物位置^[17]

①抛石护坡; ②过渡层; ③坚硬堆石; ④砂岩; ⑤风化泥质粉砂岩; ⑥反滤层;
⑦排水层; ⑧粉砂质粘土心墙; ⑨下游护坡; ⑩土工织物

流失,在斜墙上下游面都铺土工织物,见图11(a)。铺设时特别注意不损伤土工织物。该土工织物成卷提供,每卷 $5.3\text{m}\times 150\text{m}$ 。铺设时在坝坡上沿水平方向展开,以搭接方法保证接缝的连续性。围堰铺设土工织物 $2\text{万}\text{m}^2$,反滤效果令人满意。

坝的下游区的底部排水带,是为了汇集心墙渗流和向坝内入渗的雨水,并排到坝的下游趾。排水层为粒径 $1\sim 60\text{mm}$ 的碎石铺填而成,其上下层铺粒径小于 15mm 的碎石过渡层,为了防止过渡层小碎石穿入排水层碎石孔隙中去,在层间铺土工织物起隔离作用和反滤作用,见图11(c)。土工织物接头为搭接,以保证连续性。排水带铺设土工织物 $4\text{万}\text{m}^2$,效果良好。

坝顶反滤层与路面材料之间的粒径差距很大,故铺设土工织物隔离,以防路面材料细粒穿入反滤层,见图11(b)。

Ait Chouarite 坝于1983年1月开工,1986年12月竣工,1986年6月开始蓄水。

参考文献

- 1 Taylor K V. Design of rockfill dams. In: Handbook of Dam Engineering, chapter 7. Van Nostrand Reinhold Company, 1978
- 2 Graybeal K D. Cutoff wall construction to upgrade Mud Mountain Dam. Seattle District C. E. 1989
- 3 Fernandes L H G, et al. Rockfill dams; Paradelas concrete face rockfill Dam. Transaction, ASCE, 1960, 125, Part I
- 4 Lyra F H, Queiroz L. The Furnas rockfill Dam. Transaction of Eighth Congress on Large Dams, Vol. II
- 5 Pope R J. Evaluation of Cougar Dam embankment performance. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 1967, 93 (SM4)
- 6 Gordon B B, Wulff J G. Design and methods of construction Oroville Dam. Transaction of the Eighth Congress on Large Dams, Vol. N
- 7 Wilkins J K, et al. The design of Cethana concrete face rockfill Dam. Transaction of the 11th ICOLD, 1973
- 8 Feng Jiaji. CFRD of Kekeya built on alluvial deposit. Proceedings International Symposium on High Earth-Rockfill Dams, Beijing
- 9 Lu Shengwu, et al. Design and application on CFRD on thick alluvium deposit in Tongjiezi. Proceedings International Symposium on High Earth-Rockfill Dams, Beijing
- 10 Martin N L S, Santa Juana project, a concrete panel wall solution. Proceedings International Symposium on High Earth-Rockfill Dams, Beijing
- 11 Walters R C S. Dam Geology. London: Butter Worths, 1962
- 12 Auguita P, et al. Two Chilean CFRD designed on riverbed alluviums. Proceedings International Symposium on High Earth-Rockfill Dams, Beijing.
- 13 Girard H, Loudiere D, Gourlot J, et al. The French experience of geomembrane in fill dams. International Conference on Geomembrane, Denver, USA, 1984
- 14 崇金铭. 桓仁大坝裂缝分析及处理措施的探讨. 东北水利水电, 1985 (2)
- 15 侯希明. 桓仁大坝上游面涂贴式防渗层运行情况的调查. 东北水利水电, 1985 (2)
- 16 王万军. 源口水库应用锦纶橡胶膜和聚氯乙烯膜处理坝体渗漏. 水利水电技术, 1990 (4)
- 17 Biche A. Triple use of a geotextile at Ait Chouarite. International Water Power and Dam Construction, 1987 (3)

(全文刊完: 收稿日期: 1995-01-02)