

土工薄膜防渗材料在水工建筑物中的应用

赵 雄 飞

(成都勘测设计研究院)

提 要 从本世纪中叶开始,国外将土工薄膜材料应用于各种水工建筑物的防渗,取得了良好的效果和经济效益,与传统防渗结构相比,显示出在诸多方面的优越性。本文结合这一新型防渗材料的物理特性与工程特点,介绍了该材料在国内外工程中的应用和施工情况及在陈旧水工结构物的改造和修复中的应用,对土工薄膜的应用条件也作了探讨。

关键词 土工薄膜 土工织物 防渗 抗压强度 土石坝 重力坝 围堰

一、概 述

土工薄膜作为一种新型防渗材料在渠道、水库、水坝和隧洞等各种建筑物的防渗和防水中的应用已日趋增多。土工薄膜有许多显著的优点,某些方面是其它材料所不及的。国外从60年代开始已经广泛使用土工薄膜作为防渗材料,已有较多个工程的设计、施工和运行的经验。国内在近年也开始研究和使用的土工薄膜。

二、土工薄膜在国外的应用

土工薄膜用于土坝的几个较早的例子有加拿大的太沙基(Terzaghi)坝,1962年建成,为土石坝,坝高52m,采用厚0.8mm的聚乙烯土工薄膜作为上游粘土铺盖的补强措施,因考虑软基受压会产生裂缝,所以在粘土铺盖上铺设了大约8000m²的土工薄膜。工程运行后,分别于1962、1969和1974年从现场取样,进行了试验,结果证明土工薄膜的运行取得了预期的效果,仅在个别陷坑处由于薄膜发生张拉而导致断裂。

捷克斯洛伐克的多伯西那(Dobsina)堆石坝,高10m,1960年建成。该坝用土工薄膜作为上游护面,上游坝坡为1:2.5,薄膜材料为聚氯乙烯,厚0.9mm,铺设在两层交错排列的混凝土面板之间,铺设面积为1300m²。

世界上最早用土工薄膜作为上游护面的水坝是意大利1959年建成的肯垂达·萨伯塔(Contrada Sabetta)堆石坝,坝体断面如图1,该坝高32m,筑坝材料是从采石场采掘的石灰石,填筑体底层是厚0.7~1.0m的干砌石,采用人工铺设的方法。下部为适当平整过的原地面,砌石朝中央集水沟方向倾斜,形成凹坡,以利排水。下游坝坡为

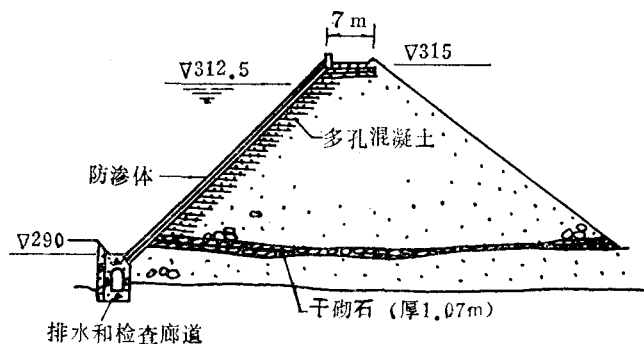


图1 肯垂达·萨伯塔堆石坝断面

自然坡度 1:1.41。该坝上游坝面是人工铺砌的干砌石层,底部厚 3m,顶部厚 2m,坡度为 1:1。设置干砌石层的目的是使上游坝面平整,以便在上面铺设不透水层。上游护面由四层材料组成(见图 2),由里向外布置如下:

1. 现浇钢筋混凝土面板,每块为 $7.09 \times 7.27 \text{m}^2$,厚 0.25m,四周为肋状构造,可以钩住下面的干砌石,以防滑移。

2. 0.1m 厚的多孔混凝土排水层,用于收集渗水,并通过管道将渗水排入底部截水墙内的检查廊道。

3. 2mm 厚的防水层,为一种名为 Oppanol BA 的弹性土工薄膜。薄膜之间采用粘合联接,用热沥青将薄膜贴于多孔混凝土上,薄膜上面覆盖油毛毡,主要起到上层混凝土浇筑时保护薄膜的作用。

4. 2cm 厚的素混凝土板,每块 $2 \times 2 \text{m}^2$,现场浇筑,每块板中央有一孔,面板侧面之间相距 1mm,允许水通过。设置缝隙的目的是为了在发生沉降时增加面板适应变形的能力。在底部不透水面层与混凝土截水墙顶部采取铰接的结合方式,截水墙为钢筋混凝土,深入基岩约 2m,截水墙厚 3.5m,检查和排水廊道设在其中。截水墙设垂直缝,用聚乙烯条作止水。

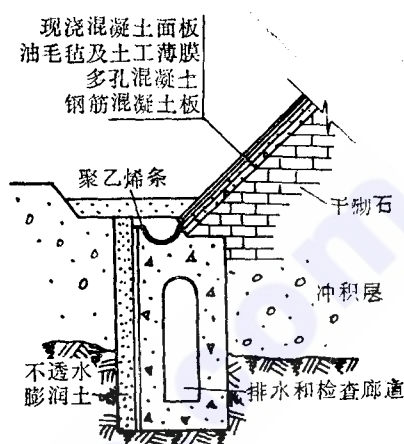


图2 肯垂达·萨伯塔坝防渗体与基础的连接

尼日利亚的伊桑鲁(Isan Lu)挡水坝,长 120m,高 19m,原设计为混凝土重力坝,坝基开挖完成后,经过对地基的全面钻孔调查,发现基岩风化严重,不适合修建混凝土坝。鉴于当地石料来源充足,而缺乏粘土材料,决定修建混凝土面板堆石坝。按照施工进度计划,该坝要求在一个施工季节内完工,混凝土面板的施工期显然不能满足进度要求,就该工程的规模而言,建立沥青工厂不合理。最后研究决定,采用高密度聚乙烯(HDPE)薄膜作为防渗材料,沿坝体上游铺设。该种薄膜具有极高的延伸率,可保证有近百年的使用寿命,且不会因长期浸水而发生脆化。该坝的上游坡度为 1:2.6,由于薄膜的摩擦系数较小,铺设后可能产生滑移,为解决这一问题,经与厂家协商,材料出厂时,将薄膜两面都轧压槽纹,以增大摩擦系数。薄膜的最小厚度认为 2mm 时可达合理的安全系数,两面轧制槽纹后,厚度提高到 3.5mm,以避免在铺设过程中局部遭受破坏。同时,在施工和使用过程中,为防止堆石的尖角刺破薄膜及运行过程中其它因素造成的薄膜破损,在堆石和薄膜之间及薄膜上部分别铺设 50mm 的砂垫层,薄膜底部与基础灌浆帽联接。施工时为防止河砂垫层被雨水冲蚀及被施工人员踩坏,方便施工人员行走,在河砂垫层上又铺设了一层临时土工布保护层。土工薄膜的热胀系数很高,可能产生很大的温度应力。设计要求薄膜铺设时尽可能做到应力状态为零,于是在晚间温度较低时进行施工。薄膜搭接采用熔接的方法(用手持式热压焊接器),搭接宽度 200mm。整个坝面铺设只用了 12 d 时间。

法国近年来的土石坝建设中,有 7 座采用了土工薄膜作为上游坝面的防渗材料,这几座坝的高度在 12~18m 之间。土工薄膜有丁基橡胶、聚氯乙烯或增强沥青材料。其中多数都采用土工织物作为保护层或支持层,此类保护层的成本一般都较高。苏联国内也有上百座土坝采用聚合物土工薄膜作为防渗材料,使用效果均较好。

土工薄膜在美国的应用也是相当广泛,应用柔性薄膜衬砌非常溢洪道正被证明是解决某

些已建土石坝溢洪道溢洪能力不足的可行方案。美国垦务局已经完成了低水头建筑物（小于15m）应用薄膜溢洪道的初期研究工作。这项研究于1981年开始，包括在一个土坝上面铺设80m长的柔性衬砌。该坝位于美国科罗拉多州大江克欣附近，坝址处高程3050m。1985年秋完成了现场试铺工作，1986年夏季进行试运行。这项铺设工作的长期研究项目正在继续进行，它包括从柔性衬砌薄膜上取样进行耐久性研究以及在整个研究过程中的过流期间对溢洪道的性能观测。

三、土工薄膜在国内的应用

我国的水口水电站是利用世界银行贷款招标兴建的工程。电站装机 7×20 万kW，是目前华东地区最大的水电站。工程主体包括高101m长786m的混凝土重力坝及坝后厂房、船闸和升船机。该工程的上、下游土石围堰采用了聚氯乙烯土工薄膜防渗材料。水口水电站位于福建境内的闽江下游，导流工程是承包商的总包项目，包括导流明渠和上、下游围堰的修建。因当地雨季较长，采用粘土防渗材料势必带来施工上的许多困难，且所需粘土材料须进行大规模的征地和移民工作，费用高、实施困难，经专家会议讨论，决定采用土工薄膜防渗材料。

主要防渗材料为厚0.8mm的聚氯乙烯土工薄膜，两面贴化纤织物，以保护主防渗材料在运输、施工和运行中免遭破损。成品为幅宽2m的卷材，搬运和运输均很方便，施工时在现场采用胶接的方式进行拼接。薄膜防渗体布置如图3所示。

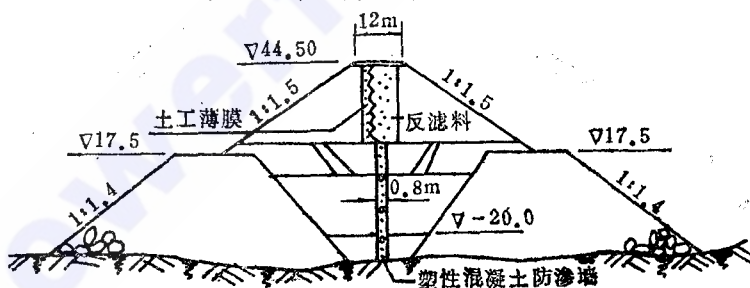


图3 水口水电站上游围堰防渗布置

围堰采用心墙防渗结构，下部为塑性混凝土防渗墙，上部接土工薄膜，薄膜两侧设细砂土反滤料，其余为堆石体。围堰施工时采用双戗堤进占，两戗堤中部为细砂土料，进占过程中由自航砂驳船堆筑。围堰合拢后，即进行塑性混凝土防渗墙的施工，塑性混凝土防渗墙具有弹性模量低、适应变形能力强且节约水泥的优点。在防渗墙与土工薄膜的接头处，在防渗墙内预埋PVC（聚氯乙烯）止水带，与土工薄膜进行联接。在土工薄膜与边坡的联接处，沿土工薄膜埋设线现浇混凝土预埋PVC止水带，以便与土工薄膜联接。联接均采用胶接的方式。为防止围堰施工及运行中的不均匀沉降而造成土工薄膜受拉断裂，导致防渗失败，土工薄膜施工时在水平向和垂直向都进行了折叠预留。

堰体的加高分层进行，每层厚1.5m，土石体的碾压容重为 19.4kN/m^3 。由于土工薄膜质地柔软，直立设置施工较为困难，故各层均呈斜坡状铺设，每层转化倾斜方向，保持防渗心墙的轴向不变。施工顺序如图4所示。上堰土石料由20t自卸汽车运输，防渗体两侧各一台推土机辅以人工进行铺摊，土工薄膜的铺设和粘接全部由人工完成。

土工薄膜在我国的研究和应用起步较晚，最初是在铁路系统用于路基翻浆处理，近年在水工建筑物中的应用日趋广泛，且推广较快。仅四川省用聚乙烯土工薄膜作为防渗材料和堵漏处理的土坝和土石坝就有70多座。云南的麦子河水库1984年用土工织物进行了土坝的上游护坡

7 630m²的铺设,作下游反滤 1 460m²,用于防渗防漏处理,取得了较好的效果和较多经验。还有河北的乱木水库,上游用土工薄膜防渗,并采用模袋混凝土护面,无纺布做反滤,下游用无纺布代替反滤层,取得了较好的经济效益。

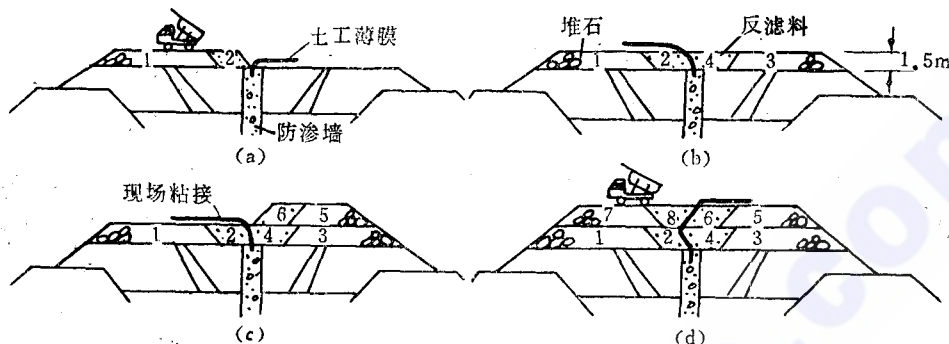


图4 水口电站土工薄膜施工示意图

四、土工薄膜在水工建筑物修复中的应用

土工薄膜不仅在新建筑物中得到了应用,同时也使用在运营已久的老坝修复。许多修建较早的老坝由于年代已久而发生破坏,出现了渗漏现象。有些国家已经采用土工薄膜作为修复老坝解决渗漏问题的一种手段。

意大利第一次应用土工薄膜用于老坝修复是在一座高37m的贝托(Baitone)浆砌石坝上进行的,该坝建于1927—1930年,由于坝体运行时间较长,渗漏问题较为突出,决定采用Rhepanol聚异丁烯土工薄膜进行修补。这种薄膜直接铺在混凝土上,外部没有保护措施。铺设时间为1969—1971年。于1985年对土工薄膜进行取样试验,结果表明,土工薄膜仍然具有较高的抗拉强度和延伸性能。

1976年,意大利在米勒(Miller)浆砌石坝上进行了第二次尝试,该坝高11m,建于1925—1926年。大坝上游面接缝原抹过水泥砂浆,后来,渗漏现象十分严重,决定采取防渗处理。处理措施为铺设一层1.8mm厚的Sibelon聚氯乙稀薄膜。薄膜外层未采取保护措施,直接暴露在冰冻和紫外线作用之下。1985年,对薄膜进行了取样试验,试验结果表明,静荷载长期作用使薄膜纵向(坝轴向)的抗拉强度有所提高,破坏时延伸率有所减小,即材料的刚性增强。

1980年—1981,意大利又对40m高的尼罗(Niro)混凝土坝进行了土工薄膜防渗处理。该坝建于1924—1929年,断面如图5所示,使用的薄膜为Sibelon CTN 2800聚氯乙稀薄膜,为挤塑制品,柔性较好。薄膜宽2.05m,表面包盖一层织物保护层,以避免因坝面粗糙而使薄膜破坏,同时表层织物还起到排水的作用。根据每天测定的渗漏损失,总的渗漏量为2.71/s,而通过薄膜防渗系统的渗漏仅占14%。

目前在意大利,使用土工薄膜对老混凝土坝的修复已日趋普遍,有的在进行中,有的在计划阶段,如58m高的塞格那那(Cignana)坝(建于1925~1928年)和69m高的皮安诺·巴比利诺(Piano Barbellino)坝(建于1926~1931年)。根据目前的应用情况来看,对于薄膜的安置方式应给予适当的注意,对使用时未加任何保护措施的薄膜,要定期对其性能进行监测和检查。

除意大利之外,国外用这种方法进行老坝修复的工程还有西德高7.5m的海姆巴克(Heimbach)坝,该坝在上游垂直面铺设了一层3mm厚的PVC土工薄膜,薄膜用非铁材钉件固定,薄膜之间采用熔胀法粘合,薄膜外表未设保护层。

我国四川省合川县友谊水库建成于1970年12月,均质土坝最大坝高22.4m,修建时因施工质量较差,蓄水后渗漏严重,影响水库效益。整治提出了三个方案:

①在上游坝面翻挖回填培厚防渗斜墙;②土坝坝体帷幕灌浆及导渗处理;③大坝迎水坡铺设薄膜防渗。第一方案需挖填土石方1.5万 m^3 ,总投资6.54万元,第二方案需帷幕灌浆总进尺984m,投资15.15万元。两个方案需取土采石,占用大量耕地,且消耗工日较多,难以实施。第三方案工期短、技术简单、便于施工,投资低于1.85万元,并能当年整治当年蓄水。最后选用该方案,经数年运行,效果良好。采用无毒聚乙烯普通农用薄膜,幅宽2m,厚0.08mm。为减缓薄膜老化和预防人畜践踏破坏,薄膜上部土料保护层厚度为0.5m。为保证安全,原坝迎水坡作放缓处理,薄膜作锯齿状铺设,这样可避免坝体内因降雨和两岸坝肩基岩承压水的反渗作用。薄膜铺设时一般应预留3—5%的伸缩长度。接头一般采用沥青粘接,温度以70°C为宜,搭接长度不小于15~20cm。

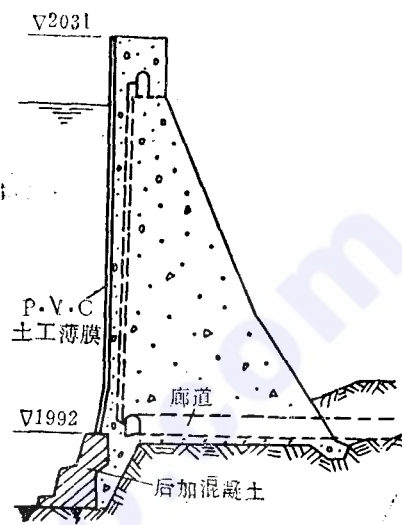


图5 尼罗混凝土坝断面

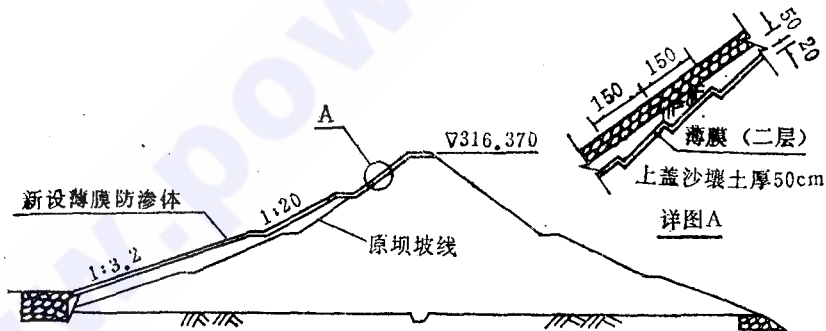


图6 友谊水库塑料薄膜防渗结构

修复时间共用了7个月,完成薄膜铺设4312 m^2 。水库修复后,经4年蓄水运行,渗漏问题基本解决。从上例可以看出,土工薄膜用作老坝渗漏修复不仅投资少、见效快,而且可以达到安全可靠的目的,有推广价值。国内除上述水库应用外还有浙江的珊瑚沙水库等一些工程也应用土工布作了修复处理。

五、结 束 语

目前土工薄膜铺设的厚度应为多少,尚无成熟的经验,已有的一些计算方法还不完善,且存在有争论,现阶段主要以土工薄膜的抗拉强度控制。在土石坝的施工中应注意在土工薄膜两侧加设良好的反滤料及进行严格的坝体压实控制,以防止薄膜被石块架空,由于水压而产生拉裂和由于坝体不均匀沉陷而发生张拉破坏。

土工薄膜一般为化学制品,在工厂生产,生产成份不尽相同,有聚氯乙烯、聚乙烯、丁基橡胶、增强的沥青材料制品等形式。土工薄膜制品一般为具有一定宽幅的卷材,施工时在现场进行联接,使用较多的联接方法有胶接和熔接法,如果需要,可以在两面贴加保护层,以增加使用的安全和延长使用寿命。土工薄膜具有防渗效果好、耐久、经济、施工质量易于控制、工程进度快等优点。实践证明,土工薄膜适合在土石坝、重力坝、围堰、渠道等建筑物中使用,对降低工程造价、加快工程进度有着现实的意义。国外已将土工薄膜用于高达100m的土石坝及重力坝防渗。深信我国随着高分子化学工业的发展和水电工程的不断开发,土工薄膜这一新材料会得到越来越广泛的应用。

Application of Geomembrane as Seepage Control Material in Hydraulic Structures

zhao xiongfei

(Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Research Institute)

Abstract At the beginning of the middle of the century, in some foreign countries, geomembrane material has been used as seepage control material in various hydraulic structures. The better results and economic benefit are gained. Comparing with routine seepage control structures, it shows superiority in many aspects. According to the physical and engineering features of this new seepage control material, the author introduces its application and construction in projects home and abroad and its application in rebuilding and repairing of old hydraulic structures. The application conditions of the material are also verified.

Key Words geomembrane, geotextile, seepage control, compressive strength, earth and rock-fill dam, gravity dam, cofferdam.

~~~~~  
(上接17页)

## Hydrologic Regularity and Defined Hydrological Simulation for Wet Krast Region

Huang Qinrong Lin Sanyi Zhang Shangyou

(Chengdu Science and Technology University)

**Abstract** The complex features of the base course in karst region lead to complex variability of hydrological regularity and runoff forming process at karst region. It is significant to study above mentioned subjects in respect to development and utilization of water resources and economy strengthening. Through several year's studies, progress are achieved in these aspects. The paper summarizes the methods and ways to analyses karst hydrology, discusses hydrology regularity and defined hydrological simulation in karst region, introduces the developed hydrology models in karst region and its application.

**Key Words** karst, base course in the basin, hydrology regularity, hydrological simulation, basin hydrological model, parameter rating, simulation accuracy.