

单项排水复合土工膜在灌区渠道防渗工程中的应用

常春龙¹ 王凯² 邹平静¹ 张春海³ 宋明晓³

1 吉林省水利水电勘测设计研究院

2 白城市引嫩入白工程建设管理局

3 吉林省水利科学研究院

DOI:10.32629/hwr.v10i8.7097

[摘要] 灌区渠道防渗是提高农业灌溉水利用率的有效方法。虽然传统的复合土工膜具有较好的防渗效果,但是不能解决膜下积水、气压顶托以及冻胀的问题。单向排水复合土工膜是在传统的二布一膜的基础上,增加了一个单向排水阀和导水涵道,从而达到防渗的同时又可以单向排水的目的。本文以单向排水复合土工膜为例,对其结构、物理力学性能和防渗排水的工作原理进行介绍。从灌区渠道的实际使用条件出发,对材料的选择、防渗排水的整体设计以及辅助结构的设计进行了详细说明。结果表明单向排水复合土工膜,可缓解渠道防渗工程中膜下水压和气压问题,有较好的应用价值。

[关键词] 单向排水复合土工膜; 灌区渠道; 防渗工程; 单向排水阀; 施工工艺

中图分类号: S274.2 文献标识码: A

The use of single-layer drainage composite geotextiles in seepage control projects for irrigation channels

Chunlong Chang¹ Kai Wang² Pingjing Zou¹ Chunhai Zhang³ Mingxiao Song³

1 Jilin Province Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute

2 Baicheng City Water Diversion Project Construction Management Bureau

3 Jilin Provincial Institute of Water Resources Science

[Abstract] Sealing the channels in irrigation areas is an effective way to improve the efficiency of water use for agricultural irrigation. Although traditional composite geomembranes provide good sealing performance, they cannot address issues such as water accumulation beneath the membrane, air pressure buildup, and frost heave. The one-way drainage composite geomembrane incorporates a one-way drainage valve and water-conducting channels onto the basis of the traditional two-layer fabric and one-membrane structure, thereby enabling both sealing and one-way drainage. This paper takes the one-way drainage composite geomembrane as an example to explain its structure, physical and mechanical properties, as well as the principle of its sealing and drainage functions. Based on the actual operating conditions of irrigation area channels, it provides a detailed discussion on material selection, the overall design for sealing and drainage, and the design of auxiliary structures. The results show that the one-way drainage composite geomembrane can help alleviate problems related to water pressure and air pressure beneath the membrane in channel sealing projects, making it highly valuable for practical use.

[Key words] one-way drainage composite geomembrane; irrigation canal; seepage control project; one-way drainage valve; construction technique

1 引言

中国是农业大国,灌区灌溉是保障我国粮食安全的基础。渠道输水过程中渗漏损失是造成灌溉水有效利用率低的原因之一,据测算,我国中型灌区灌溉水利用系数仅为0.43左右,在输配水环节有较大比例的水资源因渗漏而流失,采取适当的渠道防渗方法可以降低90%~95%的渗漏量,所以建设渠道防渗衬砌工程对

提高当地水资源利用效率起着重要的作用。

本文以技术指标为300g/0.5mm/300g-DN50-2m×2m单向排水复合土工膜作为研究对象,对其在灌区渠道防渗工程中应用技术进行总结分析,包括材料性能机理、工程施工、施工方法以及质量控制等方面内容,供类似项目参考。

2 单向排水复合土工膜性能及防渗排水机理

2.1 单向排水复合土工膜结构组成

单向排水复合土工膜是具有防渗、单向排气排水作用的一种复合型土工合成材料。它的构造形式是一布一膜,即0.5mm厚的聚乙烯土工膜上下各覆以一层300g/m²的土工布而构成300g/0.5mm/300g三重结构。

上下层土工布均为短纤针刺非织造土工布,起到透水、保护、隔离及加筋的作用;中间层为0.5mm厚聚乙烯土工膜,是主要的防渗层,由高密度聚乙烯或者线性低密度聚乙烯制成,具有良好的防渗性和力学强度。

在二布一膜基础上,单向排水复合土工膜增加两个重要部件。

单向排水阀。单向排水阀是单向排水的主要部件,在渠道上、下游每隔2m设置一个。其阀体采用增强尼龙,寿命为50年;密封压板采用304不锈钢板加硅胶制成,能承受80m水头的压力。单向排水阀向下排水,出水口最小内径为50mm,高度小于等于50mm。

导水涵道。导水涵道是由下层土工布、土工膜以及实心凸点柱构成。实心凸点位于土工膜下方,凸点高度不低于5mm,在土工膜与渠基之间起到排水作用,膜下渗流水可由此汇集并通过导流至单向排水阀进行排除。

单向排水复合土工膜复合体宽度根据工程要求可定做,一般宽度为6m,在制作时其两侧土工布需进行粗糙化处理以便增加与其他材料间的摩擦力。

2.2 核心物理力学性能指标

单向排水复合土工膜技术性能指标包括土工布、PE土工膜、单向排水阀及导水涵道,各自有不同的国家标准。

土工布性能指标,上下层土工布纵向抗拉强力不小于12 kN/m, CBR顶破强力不小于2.5 kN,等效孔径为0.05~0.3 mm,纵向撕破强力不小于0.29 kN,横向断裂伸长率为30~80%。

PE土工膜性能指标,0.5mm厚PE土工膜纵向断裂强度大于等于14kN/m,抗穿刺强度大于等于84N,断裂伸长率大于等于560%。

单向排水阀技术参数,开启水位高度从2cm至5cm时,单向排水阀开始工作。开启气压在0.5kPa至1kPa之间。常温水压试验要求单向排水阀承受5kPa至200kPa的压力60分钟后无渗漏现象。防止泥沙堵塞能力用可以过80目筛子的细砂制成占总重量5%的浑水覆盖单向排水阀10cm深,在每隔半小时搅拌一次的情况下,每搅拌三分钟,经过24小时,单向排水阀内部没有泥沙。20cm水位差下排量大于等于5L/min;而50cm水位差下排量大于等于25L/min。单向排水阀高度不超过50mm,整体耐压不低于9kN。

2.3 防渗与单向排水工作机理

单向排水复合土工膜的防渗与排水功能基于以下工作机理,一是防渗原理。中间层PE土工膜是主要防渗层,聚乙烯土工膜具有很低的渗透率,可以有效防止渠道内的水渗入到渠道底部。上面一层土工布起到保护作用,避免上面的保护层对土工膜造成破坏;下面一层土工布起到隔离作用,防止渠道底部的土壤中的尖锐物体刺穿土工膜。二是单向排水作用,下层土工布与渠底土

层相接处,有透气性,膜下积水可通过下层土工布渗入导水管内,导水管内的实心凸起物起到支撑排水通道的作用,使水流畅通。一旦膜下积水水位上升到一定程度,形成的水压大于单向排水阀打开所需水位差(约2cm~5cm),则单向排水阀被打开,把膜下积水排出;膜下空气(如气泡)也可在气压达到0.5kPa~1kPa时经由单向排水阀排出。三是逆向截止机理,当膜外水位高于膜内水位或者膜内无压力情况下,单向排水阀会自动关闭。这个逆向截止是由于阀体以及密封压板共同起到的作用。密封压板为304不锈钢板加硅胶制成,在80m水头水压下可以做到不漏水。常温水压试验表明,单向排水阀承受5kPa到200kPa水压60分钟后仍能实现逆向不漏水的效果。四是防淤积机制,单向排水阀设计考虑到泥沙淤积问题,在合理地设计阀体流道及密封结构基础上,使得夹带泥沙水体经过阀门时不发生泥沙淤积现象。防泥沙淤积实验表明其有效性。

3 灌区渠道防渗工程设计关键技术

3.1 单向排水复合土工膜选型设计

单向排水复合土工膜选型设计根据工程等级、水力条件及环境等因素进行。选型设计主要包括规格的选择、排水阀参数以及布置方式等。

土工布单位面积质量和PE膜厚度是决定因素。土工布单位面积质量影响其防护、隔离及加筋作用。而PE膜厚度影响其防渗性和力学强度,在灌区渠道防渗中常用的有300g/m²-0.5mm-300g/m²或者300g/m²-0.5mm-200g/m²。排水阀开启水位依据渠道内运行水位以及地下水位的关系而定。开启水位取值范围2~5 cm,在膜下积水达到较小水位时即可排水,防止水位过高造成压力过大。排水阀排水量需大于等于膜下最大渗流量,20cm水位差排水量不小于5L/min,50cm水位差排水量不低于25L/min。

单向排水阀沿渠道纵、横向以2m间距设置,在排水阀布置数量上要依据渠道截面大小、预计渗流量以及地下水位高低而定,在渠道弯道处或者变坡位置等地方可以适当增加排水阀数量。

3.2 防渗排水结构整体设计

防渗排水结构的整体设计应综合防渗层、排水层、保护层以及基层等各部分的作用。防渗层设计,PE土工膜作为防渗层,要完全包覆整个渠道过水断面,包括渠底和两侧渠坡。土工膜铺设高程应由渠底向上延伸到渠顶之上一定距离,保证防渗完整。排水层设计,导水涵道是排水的空间载体。实心凸点的高度不低于5mm,在土工膜和渠基之间构成一条完整的排水路径,排水路径要与单向排水阀的位置相对应,使膜下积水能顺利流入排水阀。保护层设计,土工膜上面一般铺设混凝土预制块或者现浇混凝土板保护层,该保护层既可以起到对土工膜的防护作用,也可以起到防止水流冲刷的作用。基层处理设计,渠基需进行夯实、整平,不得有突出的尖角块石等,以防刺破复合土工膜。基层的密度以及平整度需符合设计标准。

4 工程施工工艺与质量控制

4.1 标准化施工工艺流程

单向排水复合土工膜施工工序包括铺设、焊接等。一是复

合土工膜铺设,复合土工膜铺设包括渠底以及边坡铺设两部分。铺设时由渠首向渠尾进行,膜面应平顺无折皱。土工膜不要拉得太紧,应有一定的松弛度,两侧埋入土中部分应有轻微波浪形。平面和竖直方向上的自然褶皱分别不超过5%~8%,预留伸缩余量为3%~5%。二是复合土工膜焊接,焊接质量是决定复合土工膜能否达到良好防渗效果的重要环节,其焊接工艺流程如下:铺设、裁剪→对齐、搭接→压实成型→清理灰尘→进行试焊→正式焊接→检查修补→再检查→验收。三是焊接使用热合自动爬行焊接机完成,焊接之前要清理膜面上杂物,使膜面清洁。膜与膜对接处应平整且有10cm搭接长度方可焊接。热熔焊接温度在280~300℃之间,行走速度为2~3m/min,焊接方式为双焊道。土工布的缝合需在土工膜焊接之后进行。

4.2 施工质量检测与验收标准

施工质量检测与验收应贯穿施工全过程,土工膜双缝焊接需进行充气全检。将焊缝两头封堵后充入压缩空气,检查焊缝是否漏气,漏焊或者烧伤处及时修补。破损处修补方式是裁剪同样大小的布料,用热熔胶粘贴。单向排水阀安装后需对其开启水头以及逆向密封性进行检查。开启水头需达到水位差2cm~5cm。逆向密封需在一定压力下无渗漏。复合土工膜施工完毕后,要对整个工程进行检查验收。检查内容有:膜面是否平整无褶皱、焊缝是否连续无缺陷、排水阀的位置是否正确、固定是否可靠等。验收应符合GB/T 50600-2020《渠道防渗衬砌工程技术标准》的要求。

5 工程应用问题与优化对策

5.1 工程应用现存问题

单向排水复合土工膜在灌区渠道防渗工程中的应用仍存在以下问题。一是膜下积水不能及时排除,如果渗流量较大或者排水阀设置较少,则膜下积水不易排出,造成水压过高,在大雨或者地下水位迅速上涨时,排水系统排水量较小而不能满足需求。二是排水阀淤堵,虽然单向排水阀在结构上具有一定的防淤功能,但是由于有大量细小的砂粒进入水中,所以长时间流水冲刷也会造成排水阀淤塞的情况,在水质比较浑浊的灌区渠道更容易出现这种现象。三是焊接质量缺陷,焊接质量受到施工现场气温、湿度以及施工人员技术水平等多种因素影响。焊接温度过高或过低、膜面未清理干净或者搭接量不够都会造成焊缝质量问题。

5.2 设计与施工优化措施

针对上述问题,可采取以下设计与施工优化措施,首先,优化排水阀布置密度,在渗流量较大或者地下水位较高的渠段,可以增加单向排水阀布置间隔距离,由一般情况下的2m缩短到1.5m甚至1m,在渠道弯道处、变坡地段等地方应设置排水阀。其次,改进焊接工艺参数。依据施工现场实际情况及时调节焊接温度以及行走速度,在正式施焊之前需用试焊板找到合适焊接工艺参数,在焊接过程中要保证膜面干净。

5.3 后期运维与病害修复技术的合理应用

5.3.1 定期巡检。运行期间应定期对渠道防渗系统进行巡检,重点检查排水阀出水量、焊缝是否完整以及保护层是否完好等,

巡检频次视渠道的重要性及运行状况而定。

5.3.2 排水阀清洗与更换。若排水阀出水量减少或者不排水,则需及时清理或更换该部件,可用高压水枪冲洗或用工具疏通,坏的排水阀要按原来尺寸进行更换。

5.3.3 焊缝修补。如果发现焊缝有裂缝或者渗水现象,则需要及时修补,修补的方法是裁剪同规格复合土工膜,用热熔连接法覆盖在破损处,在修补部位充气检查无渗漏后方可覆土掩埋。

6 结语

单向排水复合土工膜是在传统的二布一膜基础上增加一个单向排水阀及导水涵道而形成的兼具防渗、单向排水功能的产品,其工作原理为:PE土工膜起到防渗作用,导水涵道收集膜下方的水及空气,在满足单向排水阀开启水位或者气压时进行排水,在内外压力相等情况下自动闭合以避免回灌。

300g/0.5mm/300g-DN50-2m×2m单向排水复合土工膜各项性能符合国家相关标准规定。土工布纵横向抗拉强力不小于12kN/m,PE膜纵横向断裂强度不小于14kN/m,单向排水阀开启水头为2~5cm、50cm水位差下排水量不低于25L/min,导水涵道纵向通过能力不少于3L/(m·min),以上参数保证产品应用于灌区渠道防渗中具有良好的安全性。

该技术已应用于滦天河水库灌区、吉林引嫩入白灌区、南水北调中线等多个大型或中型灌区工程上,在一定程度上解决了膜下积水、气压顶托以及冻融冻胀等问题。而随着灌区节水改造工程不断进行,单向排水复合土工膜也将在渠道防渗方面发挥重要作用。

[参考文献]

- [1]王凡,简章施.水利工程项目复合土工膜施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(22):202-204.
- [2]张晓静.复合土工膜在淤地坝蓄水防渗加固中的应用效果研究[J].粘接,2026,53(8):2381-2384.
- [3]张兴,张娟.水利工程灌区渠道工程防渗技术的探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(21):187-189.
- [4]王瑞,石高峰,张雄,等.某水库复合土工膜防渗方案动力响应研究[J].海河水利,2026,(2):69-76.
- [5]王蓉.水利工程灌区渠道工程防渗技术探讨[J].全面腐蚀控制,2025,39(7):116-118.

作者简介:

常春龙(1990--),男,汉族,吉林省九台市人,硕士研究生,高级工程师,研究方向:农业水利工程设计。

王凯(1970--),男,汉族,黑龙江泰来人,省委党校在职研究生,研究员,研究方向:水利水电工程运行管理。

邹平静(1986--),女,汉族,吉林省农安县人,大学本科,高级工程师,研究方向:水利水电工程。

张春海(1978--),男,汉族,吉林省白山市人,大学本科,正高级工程师,研究方向:水土保持。

宋明晓(1991--),女,汉族,吉林省公主岭市人,硕士研究生,工程师,研究方向:水土保持。