

# 高寒、高海拔地区 HDPE 土工膜应用研究

甄耀祖

(中国水利水电第五工程局第五工程公司, 四川 成都 610066)

**摘要:**以高海拔宇宙线观测站(LHAASO)水切伦科夫探测器(WCDA)-水池底部 HDPE 土工膜施工为例,阐述了针对高寒地区负温条件下土工膜施工中存在的高立面、凸起面、拐角部位狭小空间作业等制约因素进行的施工措施研究与应用,保证了土工膜施工质量,加快了施工进度,节约了施工成本,所取得的经验可为类似工程提供借鉴。

**关键词:**高海拔;HDPE 土工膜;双缝热熔焊接;单缝挤压焊接;收缩余量;管靴连接

**中图分类号:**TV7;TV52;TV44

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2023)03-0058-05

## Application of HDPE Geomembrane in Extremely Cold and High-altitude Areas

ZHEN Yaoyu

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066)

**Abstract:** In this paper, the HDPE geomembrane at the water pool bottom of the high altitude Cosmic Ray Observation Station(LHAASO)water Cherenkov probe(WCDA)is taken as an example. In the cold area of negative temperature, through the study of a variety of measures, the high elevation, convex surface, corner position and narrow space operation constraints were overcome in the construction of geomembrane, and the construction quality of geomembrane was ensured, the construction progress was accelerated, and the construction cost was saved, which could provide reference for similar projects.

**Key words:** high altitude; HDPE geomembrane; double seam hot melt welding; single seam extrusion welding; shrinkage margin; shoe joint

### 1 概述

高海拔宇宙线观测站(LHAASO)位于海子山区域,海拔约 4 410 m,受青藏高原复杂地形的影响呈现出高原型气候。高海拔地区具有冬季高寒、极端温度低、昼夜温差大、氧气稀薄、风沙侵蚀严重等特点。

LHAASO 项目的主体工程为 2 个 150 m×150 m 及 1 个 300 m×110 m 的水池(WCDA)。该水池上部结构体系为高 5 m 的水池构筑物,其顶部为轻型钢屋盖,水池侧壁采用钢筋混凝土挡水墙,池内柱为钢柱。该水池池底未设置混凝土底板,池壁伸缩缝间未设置止水,仅依托 HDPE 土工膜进行水池防渗。阐述了高寒、高海拔地区 HDPE 土工膜的应用研究。

### 2 施工中出现的重难点问题及对策分析

#### 2.1 施工中出现的重难点问题

收稿日期:2023-04-10

(1)设计图纸明确采用 HDPE 土工膜防渗:HDPE 土工膜是以(中)高密度聚乙烯树脂为原料生产的一种防水阻隔型材料,具有优良的耐环境应力开裂性能以及抗低温、抗老化、耐腐蚀性能,广泛使用于生活垃圾填埋场、固废填埋、污水处理厂、人工湖等防渗工程。在 HDPE 土工膜施工过程中,焊接工艺和焊缝带来的渗漏风险比材料本身原因造成渗漏的风险大得多,故应选择合适的焊接工艺,合理设置焊缝,尽量减少应力集中,严格避免十字焊缝的出现,减少 T 型焊缝。

(2)常规土工膜的焊接温度为 5℃,而高寒地区土工膜的施工温度则低于常规施工温度,甚至大部分时间其周围温度处于 0℃以下,且现场温度与常规 HDPE 土工膜施工的温度环境差异较大,因此,保证土工膜焊接质量、防渗漏是其重点。

(3)池壁 HDPE 土工膜的铺设面为高直立

包括四个池壁拐角均形成  $90^\circ$  的夹角。鉴于土工膜铺设面凸起壁柱及池壁拐角部位繁多,空间狭小,导致防渗材料的焊接及锚固措施的选择成为难点。

(4)WCDA 水池内设有多个钢立柱,这些钢立柱外套 PE 管,而这些 PE 管需要与池底的土工膜连接以形成整体有效的防渗结构。与此情况类似的还有部分穿墙的管道,同样需要与池壁土工膜连接形成整体防渗结构。这些特殊部位的连接处是最易受力,其连接处的施工质量是重点。

(5)土工膜铺设后需要及时覆盖保护。因工程需要,该水池土工膜的铺设与池壁上部的土建、池内的管网铺设、钢柱的安装同步施工,交叉作业频繁。对此若不重视将造成已铺设的土工膜损坏的情况,由此带来的修补工作量巨大,质量控制的难度非常大,将对整体防渗效果产生不利影响,故土工膜铺设后其成品的保护是重点。

## 2.2 解决措施

(1)鉴于该项目地处高寒高海拔地区,其防渗设计标准和防渗等级要求高,而土工膜焊接施工环境恶劣,故保证其质量成为重中之重。HDPE 土工膜的焊接施工主要有两种方法,分别为双缝热熔焊接<sup>[1]</sup>和单缝挤压焊接<sup>[2]</sup>,两种焊接工艺均需进行现场应用工艺试验,旨在为其实施提供指导依据。项目部结合现场施工环境温度,将试验温度范围取为  $5^\circ\text{C}\sim-20^\circ\text{C}$ 。焊接工艺见图 1。

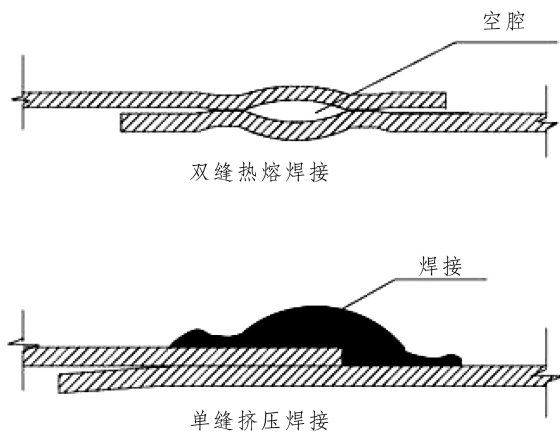


图 1 焊接工艺示意图

(2)高直立面和操作空间狭小的凸起壁柱及池壁拐角部位防渗材料的焊接及锚固工艺选择是关键。项目部根据以往的施工经验和焊接工艺特

点,拟定了大面施工采用双缝热熔焊接工艺,局部受限制区域的施工采用单缝挤压焊接工艺的施工措施。

(3)为保证焊接质量,参考了常温工况下的焊机焊接温度和行走速度并考虑了高海拔、低温条件( $-20^\circ\text{C}$ )对焊接质量的影响,项目部拟提高焊机焊接的温度、放缓行走速度进行上述两种焊接工艺试验,对焊接构件进行检测、收集数据,以确定合适的焊机温度和行走速度,保证焊接质量。

采用选定的施工参数和工艺指导现场施工,并做好施工过程中的质量控制和成品保护。

## 3 施工工艺

### 3.1 双缝热熔焊接工艺

(1)现场工艺性试验。取  $300\text{ mm}\times 600\text{ mm}$  的小块膜进行工艺性试焊,然后在拉力机上进行焊缝的剪切和剥离试验,若其不低于规定数值则锁定参数,并以此为据开始正式焊接;否则需重新确定参数,直到试验合格为止。当温度、风速有较大变化时,必须及时调整参数,重做试验以确保焊缝质量符合规范要求。

试焊成功的评定标准:对热熔焊缝进行剪切强度和剥离强度检验时,只允许膜被撕坏,绝不允许出现焊口的破坏。

双缝热熔焊机可提供  $400^\circ\text{C}\sim 600^\circ\text{C}$  (根据当地情况确定最终的焊接温度)的恒定温度,而一般正常工艺选取的温度为  $400^\circ\text{C}$ ,正常工况下热熔焊机每分钟自动爬行焊接  $3\sim 6\text{ m}$ 。

根据试焊成功评定标准进行现场试验判断,最终确定的现场施工参数见表 1。

表 1 现场施工参数表

序号	温度 / $^\circ\text{C}$	热熔焊机温度 / $^\circ\text{C}$	爬行速度 / $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
1	$0\sim 5$	420	$1.5\sim 2$
2	$-20\sim 0$	420	$1\sim 1.2$

注:取上述参数即可确保在极短的时间内将待焊的两片 HDPE 土工膜熔融,保证焊缝质量。焊接速度不得低于  $0.8\text{ m/min}$ ,若焊速低于  $0.8\text{ m/min}$ ,则母材容易出现褶皱,质量得不到保证。焊接时必须一次完成一组双焊缝并形成一個可充气检漏的空腔,可以利用所形成的空腔进行充气法检漏<sup>[3]</sup>。

(2)现场施工参数的应用。热熔双缝焊接工艺流程见图 2。

施工准备:HDPE 土工膜的搭接宽度为  $100\text{ mm}\pm 20\text{ mm}$ 。焊接前,对搭接的  $200\text{ mm}$  左右范

围内的膜面进行清理,用湿抹布擦掉灰尘、污物,使其保持清洁、干燥。焊接部位不得有划伤、污点、水分、灰尘及其他妨碍焊接和影响施工质量的杂质。

现场焊接:利用塑料焊枪先对需要焊接的 HDPE 土工膜搭接部分进行预热,精确搭接后严格按照表 1 中试验所得的参数进行现场施工。

热熔机焊接的操作要点:

开机后,仔细观察指示仪表显示的温升情况,使设备充分预热。

向焊机中插入膜时,其搭接尺寸一定要准确,动作要迅速。焊接过程中,司焊人员一定要密切注视焊缝的状况,及时调整焊接速度以确保焊接质量。

在焊接过程中一定要保持焊缝的平直整齐,应及早对膜下不平整部分采取相应的措施,避免影响焊机顺利自行。遇到特殊故障时应及时停机,避免将膜烫坏。

司焊人员必须监控焊机的电源电压在 220 V ± 11 V 之内,否则应即时停机检修。

焊缝检测:双缝热熔焊缝的检查利用正压检测仪,将需要检测的焊缝密闭,在一端开孔,采用针孔插入并加压、观察 30 s,若气压无变化即为合格,反之,则为不合格。

格为止。对挤压焊接的焊缝进行剪切强度和剥离强度检验时,只允许膜被撕坏,绝不允许出现焊口的破坏。

挤压焊接机能提供 240℃ ~ 260℃ 的稳定温度。焊接时,一般工艺选用温度为 240℃,行走速度约为 1~1.2 m/min 即可将 HDPE 焊条加热至熔融,然后挤压至待焊接的 HDPE 土工膜连接处,将焊条、待焊的 HDPE 土工膜熔融为一体以达到密闭的效果。

该工程使用的焊条采用的是与 HDPE 土工膜产品同类树脂生产的焊条,以确保材料的兼容性和焊缝强度。

根据试焊成功的评定标准进行现场试验的判断,最终确定的现场施工参数见表 2。

表 2 现场施工参数表

序号	温度 /℃	挤压焊机温度 /℃	爬行速度 /m · min <sup>-1</sup>
1	0~5	250	1
2	-5~0	250	0.8~1
3	-20~-5	250	0.8

注:取上述参数即可确保将焊条、待焊的 HDPE 土工膜熔融为一体,达到密闭的效果,能够保证焊缝质量。焊接速度若过低容易形成焊缝堆积而造成母材烫伤。

(2)现场施工参数的应用。挤压焊施工工艺流程见图 3。

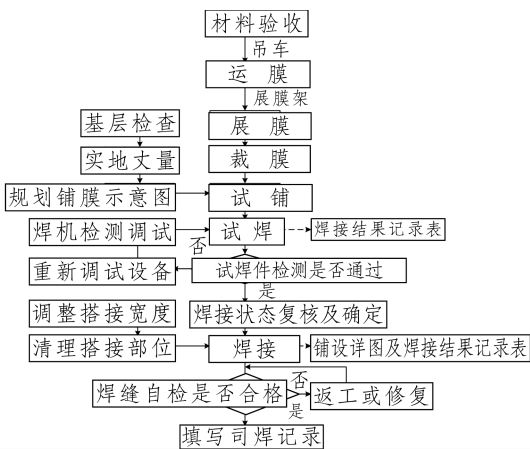


图 2 热熔双缝焊接工艺流程图

### 3.2 单缝挤压焊接工艺

(1)现场工艺性试验。取 300 mm × 600 mm 的小块在拉力机上进行剪切强度和剥离强度试验,如果检验结果符合设计要求,则锁定设备参数依此焊接;否则应重新调机、试焊、检验,直到其合

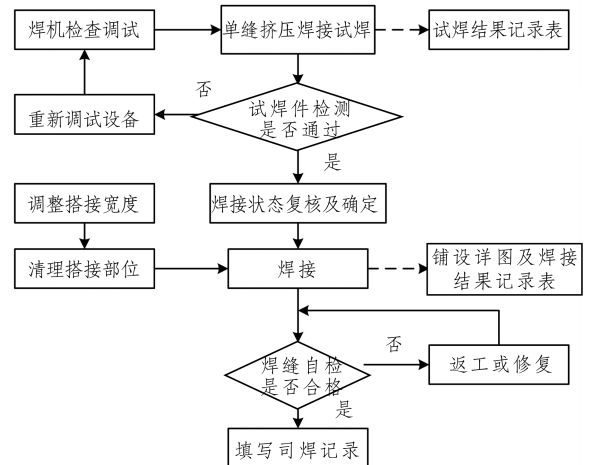


图 3 挤压焊施工工艺流程图

施工准备:检查接缝处的基层是否平整、坚实,如有异物,应事先处理妥善。

打毛:用打毛机将焊缝处 30~40 mm 宽度范围内的膜面打毛,使其彻底清洁,形成糙面,以增

加其接触面积,但其深度不可超过膜厚的 10%,打毛时一定要轻轻操作,尽量少地损伤膜面。

施工参数的应用:先用塑料焊枪对焊接部位进行预热,然后采用选定好的挤压焊参数并将其应用到现场施工中,挤压焊缝在焊接时必须预埋铜丝以方便后续的焊缝检测。

操作要点:

定位粘接:用热风枪将两幅膜的搭接部位进行粘接。粘接点的间距不宜大于 60~80 mm。一定要控制热风的温度,绝不可烫坏 HDPE 土工膜,又需保证不能将其轻易撕开。

焊接时将机头对正接缝,不得焊偏,不允许出现滑焊、跳焊。焊缝中心的厚度一般为膜厚度的 2.5 倍,且不低于 3 mm。

当一条接缝不能连续焊完时,必须对已焊焊缝至少打毛 50 mm 的长度,然后进行搭接。

所使用的焊条入机前必须保持清洁、干燥,不得使用有油污、脏物的手套、脏布、棉纱等擦拭焊条。

挤压焊接作业因故中断时,必须慢慢减少焊条的挤出量,不可突然中断焊接。因故重新施工时,应对中断处进行打毛后再焊接。

打毛工序必须先于焊接,但不可超越过多。挤压焊料须及时冷却,焊条的输送必须适应焊接的速度。

焊缝检测:单缝挤压焊缝的检查采用电火花检测仪<sup>[4]</sup>。电火花检测仪打开后,根据预埋铜线导电的原理,此时若挤压焊缝不合格、有漏点,则电火花检测仪会出现集中的大束电火花,效果相当明显。如果未出现漏点,则电火花较小且分散。

### 3.3 池壁直立面 HDPE 土工膜施工工艺

(1)池壁直立面 HDPE 土工膜铺设前对其界面要进行处理。

池壁土工膜铺设前,对 HDPE 土工膜池壁的要求为无尖锐物,如拉筋头、混凝土因施工质量问题造成的凸起等,以免蓄水后形成压力对土工膜造成破坏。土工膜铺设前须对池壁进行消缺、钢筋头消除与抹浆处理。

在池壁立柱处存在直角结构,其边缘较为锋利,为主要受力部位,土工膜容易在该处拉裂。为解决这一技术难题,在不影响水池整体结构稳定

的情况下对方柱边缘进行打磨,进一步进行钝化以增加其接触面积,尽量减小土工膜在该处的受力。

WCDA 水池 4 个拐角处亦设有混凝土立柱。出于同样的考虑,在两侧墙体延竖直方向上各打一系列膨胀螺丝,将钢板两翼与膨胀螺丝焊接形成拐角的空腔,空腔采用细砂填充密实以形成一个较缓的角度,以此保护 HDPE 土工膜。

(2)HDPE 土工膜施工。池壁 HDPE 土工膜施工主要采用双缝热熔焊,辅以挤压焊。

土工膜的顶部利用不锈钢压条加膨胀螺丝进行土工膜的固定,土工膜包裹不锈钢压条包边处的焊接采用挤压焊进行焊接。

在直立面池壁柱子与柱子之间直接采用常规的热熔焊机进行焊接,其质量较为可靠。对于池内柱部位因热熔焊机无法自动行走而采用挤压焊方式进行焊接。

与此同时,立墙上的 HDPE 土工膜铺设需预留一定的余量,避免其因土工膜受力时紧绷拉裂,以保证后续蓄水压力情况下的成品质量。

与池壁柱处类似的还有池内集水井的土工膜铺设施工。鉴于池内集水井的位置偏小、人员无法进入集水井内进行焊接施工,因此,对该部位土工膜的铺设采用预制作方式,然后将其放置于集水井中,在集水井的边缘两侧进行焊接。井内土工膜必须留有一定的余量,且对四周锋利的边缘进行打磨。

### 3.4 池底大面软基 HDPE 土工膜施工工艺

(1)池底大面软基 HDPE 土工膜铺设前对基底的要求及处理。根据设计图纸,对池内压实度的要求为 97%,施工过程中对压实度进行了检测,对未达到要求的必须进行再碾压,直至其合格为止。同时,在土工膜铺设之前,必须进行人工精平,对一些尖锐物进行清理,必须达到大面整体高差不超过 5 cm 的平整度要求。

(2)HDPE 土工膜施工。池底大面软基 HDPE 土工膜施工采用双缝热熔焊接工艺,局部采用单缝挤压焊接工艺。采用经过工艺性试验确定的参数进行现场应用。针对软基可沉降问题,施工时增加了一定的收缩余量,该收缩余量的确定如下:

HDPE 土工膜收缩余量  $\Delta L$  的计算公式为:



$$\Delta L = K \times \Delta t \times L$$

$$K = 1.2 \times 10^{-4}$$

式中  $\Delta t$  为最大温差,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $L$  为 HDPE 土工膜的长度,  $\text{m}$ ;  $K$  为土工膜线膨胀系数,  $^{\circ}\text{C}$ 。

根据现场统计,其最大温差约为  $30^{\circ}\text{C}$ 。

由公式推出横向  $\Delta L = 1.2 \times 10^{-4} \times 30 \times 150 = 0.54(\text{m})$ 。

横纵向收缩余量  $\Delta L$  均为  $1.2 \times 10^{-4} \times 30 \times 150 = 0.54(\text{m})$ 。

正常情况下,池底硬化考虑的收缩余量为上述计算式所得数据的  $0.4\%$ ,其仅考虑了温差的影响。但在 LHAASO 项目主体水池工程中,根据大面积砂石地基的实际情况,考虑将其横向、纵向整体收缩余量增加到  $7\%$ ,约为  $10.5 \text{ m}$ ,且横纵的余量较为均匀地分布以保证其施工质量。

### 3.5 池内钢立柱 HDPE 管靴施工工艺

WCDA 水池内有众多支撑钢屋面的钢立柱,设计要求对这些钢立柱外套 PE 管。但因土工膜与 PE 管的材质不同而无法直接将其焊接形成整体,则 PE 管与池底土工膜的连接处成为主要的集中受力点,导致池底土工膜的连接存在的质量风险较大。为解决该技术难题,最终采用了在 PE 管外套管靴<sup>[5]</sup>的方式,利用管靴连接池底的土工膜。管靴为 HDPE 土工膜材质制作,内径尺寸以外套 PE 管无明显缝隙为标准进行控制。

施工步骤:

第一步:在 PE 管外套管靴。

第二步:进行第一道连接,即池底大面 HDPE 土工膜与 PE 套管之间的连接,采用挤压焊焊接,成为第一道防渗线。

第三步:将管靴放下,覆盖第一道焊缝。在管靴外边缘进行打磨,敷设铜线,以便于后续电火花焊缝检测,随即实施挤压焊焊接,形成第二道防渗线。

### 4 施工质量的控制要点

(1)蓄水前的整体检测。蓄水前,对池壁、池底土工膜、管靴等位置进行检查,其中管靴位置的检查为重中之重。

① 池壁与大面土工膜主要采用目测法进行检查,检查过程必须细致。

② 对管靴部位的检查主要采取打气筒或空

压机配合肥皂水的方式进行检查。打气筒配合肥皂水法:在管靴表面抹上肥皂水,采用打气筒对管靴部位进行充气,观察其表面有无气泡及压力表的变化情况,该方法适用于较小的漏点。空压机配合肥皂水法:当采用打气筒检测其表面无气泡且压力表几乎无压力时,证明打气筒的压力不足,此类漏点判断为较大的漏点,此时需采用空压机配合肥皂水法进行检测。

(2)现场成品的保护。现场部分成品施工完成后必须及时采取以下措施实施防护:

① 施工过程中,除施工土工膜人员、检测人员外,其他人不得入内。

② 进入池内前,对相关人员必须做好安全教育工作,进入池内时必须穿软底鞋。

③ 因管靴附近为应力比较集中的受力部位,要求对管靴  $1 \text{ m}$  范围内禁止踩踏。

④ 对于交叉施工的部位,土工膜采取覆盖保护布防护的方式。

### 5 结 语

1 号、2 号、3 号水池经闭水试验检测发现其直立面池壁土工膜焊缝、池内立柱及拐角处、管靴处、集水井处焊缝均未拉裂。高寒地区 HDPE 土工膜施工工艺及其措施在 LHAASO 项目主体 WCDA 水池上的应用保证了土工膜施工质量。目前,1 号、2 号、3 号水池已蓄水且运行稳定,此次对高寒地区土工膜施工采取的一系列措施对类似工程具有借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 刘顺隆. 垃圾填埋场的 HDPE 土工膜防渗技术[J]. 资源节约与环保, 2015, 33(8): 38, 40.
- [2] 吕莹, 杨光, 谭云鹏, 等. 运用 QC 方法提高 HDPE 土工膜焊接合格率[J]. 工程建设与设计, 2022, 70(3): 209-212.
- [3] 李斌. 提高防渗土工膜热熔焊接质量合格率的实践应用[J]. 水利技术监督, 2020, 28(5): 223-226.
- [4] 郑相锋, 王庆, 李中伟, 等. 电火花焊接接头抗拉强度测试[J]. 焊接, 2008, 52(9): 48-49.
- [5] 杨昕光, 徐唐锦, 徐晗, 等. 高土石围堰复合土工膜与防渗墙联接型式研究[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(2): 104-109.

### 作者简介:

甄耀祖(1981-),男,河北石家庄人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)