

土工布热熔连接技术的应用

刘祥

(中交一航局第三工程有限公司)

摘要:在某海外大型水工护岸项目中,为解决土工布铺设效率低、砂渗漏风险高及施工成本高的问题,研究并采用了土工布热熔连接技术。该技术替代了传统的搭接方式,通过加热设备将 2 块土工布边缘加热至熔融状态,迅速压合形成紧密连接。应用结果表明,热熔连接技术显著提高了铺设效率,减少了水上搭接处理,节约了原材料成本,同时有效防止了砂渗漏,提升了施工质量和耐久性。该技术成功实现了降本增效的目标,具有较高的推广价值,适用于类似的大型水工护岸及其他土木工程项目。

关键词:土工布;热风枪;热熔连接;铺设压载

0 引言

土工布在反滤方面的应用广泛,主要用于防止土壤颗粒流失的同时确保水分顺利排出。其具有高效过滤、耐久性强、施工简便和经济性高等优势,成为水利工程、道路工程、地下工程等领域不可或缺的材料。在实际工程中,土工布常需要通过连接来满足大面积覆盖需求或适应复杂地形。目前工程中广泛应用的连接方式包括缝合、粘接、搭接等,存在连接强度不足、耐久性差、施工质量不稳定、环保性差的问题。为解决土工布连接中的上述问题,通过技术创新和设备改进,提出热风枪热熔连接土工布技术。从而实现提高连接强度、提升耐久性、保证施工质量、促进环保施工、降低工程成本的目标。本研究旨在提升土工布连接的整体性能和应用效果,延长工程使用寿命,推动土工布连接技术的创新与发展,为现代工程建设提供更高效、环保的解决方案。

1 工程概况

某海外大型水工项目包含 5 500 m 护岸,均采用 700 g/m² 聚丙烯(PP)短纤无纺土工布作为护岸的反滤结构,铺设总量约 20 万 m²。土工布单幅宽 5.8 m(工厂可加工幅宽普遍不超过 6 m,且考虑便于装箱运输),厚 5 mm。如采用传统滚铺工艺,土工布搭接缝较多、临时压护量大,每天 1 个潜水组铺布仅约 300 m²。为优化土工布铺设工艺,现场进行了大量试验研究,多次反复尝试用缝纫机缝合相邻土工布,但频繁跳针、无法有效缝合,因此提出热熔连接工艺。

2 热熔连接机理

土工布热熔连接是在搭接处加热融结成一体的连接方式,搭接面宽度 30 cm,分成 3 条热熔连接,每条 10 cm 宽,此工艺经过现场试验验证获得成功。

土工布热熔连接示意图见图 1。

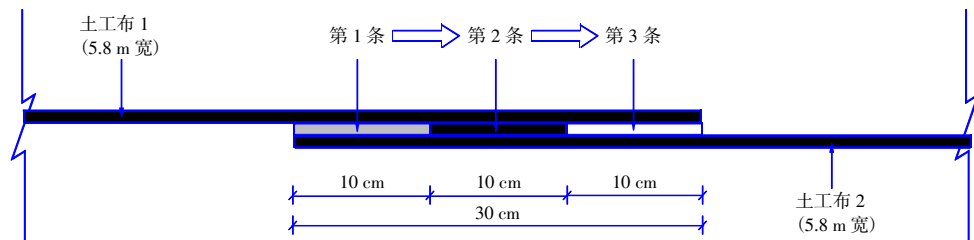


图 1 土工布热熔连接示意图

土工布热熔连接通过加热使重叠部分的表面纤维熔化,随后在冷却过程中相互嵌合并固化,形成强韧且无缝的连接^[1]。该过程依赖精确的温度

控制、压力施加和冷却等步骤,以确保连接的完整性和性能。具体机理如下: 1) 使用热熔设备(如热风枪)对重叠区域加热,使土工布材料达到

熔点，软化其聚合物表面而不造成降解；2) 熔化的聚合物表面相互接触，在冷却过程中于分子水平上嵌合，形成连续且耐用的接缝；3) 在熔化阶段施加压力，确保重叠层均匀接触并消除气隙，从而增强机械结合强度，避免接缝处出现弱点；4) 连接处自然冷却，聚合物重新固化，将层锁定在一起，形成与原始材料性能相近的接缝。

3 技术优势与局限性

热熔连接通过高温熔融和冷却固化形成无缝接缝，显著提高了土工布的连接强度和耐久性，适用于高强度工程场景。热熔连接、缝合连接、机械连接等连接方式的对比^[2]见表 1。

表 1 热熔连接与传统连接方式的对比表

指标	热熔连接	缝合连接	机械连接
强度	高(接缝强度≥母材 100%)	中(依赖缝合线强度)	低(易受夹持力影响)
紧密性	完全紧密	存在针孔渗漏风险	无紧密性
施工成本	高(设备与能耗)	低(手工操作)	中(夹具成本)
适用场景	倒滤工程、高荷载环境	非关键性临时工程	快速施工或复杂形状

土工布热熔连接具有显著优势。包括：1) 连接强度高、抗震能力强。热熔连接通过高温熔融纤维并迅速冷却固化，形成牢固的粘结，显著提高了接缝的强度和耐久性，尤其适用于高强度工程和抗震场景。2) 施工方便快捷。其设备操作简单、施工速度快，适合大规模工程需求，且无需复杂工具或技术，降低了施工难度和成本。3) 适应性强、质量可控。热熔连接适应各种环境条件，包括潮湿或雨天，同时通过精确控制温度和压力，确保接缝质量稳定。4) 环保性好。该工艺不使用化学粘合剂，减少环境污染，符合绿色施工要求。5) 经济效益显著。尽管初期设备和工艺成本较高，但其高强度和长寿命可降低工程维护成本，具有显著的经济效益。

土工布热熔连接的局限性主要体现在成本较高、设备依赖性强、质量控制要求高、材料适用性有限以及环境限制等方面。热熔连接需要专用的热熔设备和工艺，设备成本和操作成本较高，且对设备依赖性较强，一旦设备故障会直接影响施工进度。此外，热熔连接的质量受温度、速度等参数影响较大，需严格控制和检验。该方法主要适用于具有热熔特性的纤维材料(如聚丙烯纤维)，对其他类型土工布的适用性有限。虽然热熔

连接可在潮湿环境下进行，但在极端高温或低温条件下，材料性能可能受到影响，限制了其应用范围。

4 热熔和铺设工艺

将相邻两幅土工布热熔连接，并热熔小布块后进行两幅土工布同步铺设，热熔连接后土工布宽度 11.3 m，铺设过程中相邻两幅土工布搭接宽度控制为 1 m，因此两幅土工布有效铺设宽度为 10.3 m，已达到岸坡滚铺作业的最大限度。

4.1 热熔工艺

使用热熔设备(热风枪)在土工布重叠区域均匀加热至一定温度；迅速将加热区域手工压合在一起，形成连续的连接；让连接的接缝自然冷却，牢固地粘接在一起；在铺设之前检查接缝的均匀性和强度。

得力 DL391200 数显调温热风枪(图 2)，采用无极变速调温、温度实时显示、自动冷却设计，双发热芯，额定功率 2 000 W，温度范围在 100~650 ℃可调，开关 1 档为低风速档(功率 120~1 000 W，温度 100~400 ℃，风量 250 L/min)，开关 2 档为高风速档(功率 190~2 000 W，温度 100~650 ℃，风量 500 L/min)。



图 2 得力 DL391200 数显调温热风枪

4.2 热熔连接

指定 3 名专人操作热风枪，操作时必须佩戴塑胶手套，避免烫伤。将热风枪调至开关 2 档，控制吹出的热风温度约 250 ℃，热熔连接速度约 25 cm/min，上下 2 层土工布的搭接面分条状(搭接面宽度 30 cm，分成 3 条，每条 10 cm 宽)同时烘烤，必须控制在边线范围内。另外，沿着土工布长度方向每隔 1 m 热熔 0.3 m×0.3 m 的小布块，

以便于铺设时的搭接和压护操作。小布块上预留尼龙绳,处于水下的小布块用尼龙绳串联起来,以便于潜水员顺绳攀爬,确保土工布连接与砂袋绑扎固定不遗漏。热风枪扫过一遍且出现明显的土工布表面烤焦迹象,即可进行粘接。热喷嘴距离土工布表面约 3 cm 以保证空气流动,并始终保持移动状态,避免局部过度加热而烧透土工布。完成后检查粘缝质量,确保粘缝结合紧密牢固可靠,不出现裂缝、漏粘等缺陷。土工布热熔连接见图 3。



图 3 土工布热熔连接

热熔连接工艺需要注意温度、速度、裂缝、漏粘等细节问题。1) 温度控制。在热熔连接过程中,需要控制好温度,避免过度加热导致土工布变形或损坏;2) 速度控制。在粘接过程中,需要控制好粘接设备的运行速度,以确保土工布的均匀受热;3) 避免裂缝。在铺设土工布时,需要确保其平整、无褶皱,以避免在粘接过程中出现裂缝;4) 避免漏粘。在土工布卷缠绕之前要仔细检查,确保没有漏粘的部位。

粘缝修补办法:如局部连接不牢固,应拉开粘缝重新粘接;如粘接过程中因加热过度导致土工布熔化硬结,出现孔洞等情况,应局部切除损坏的土工布,并用新的土工布进行修补。

4.3 连接检测

选取多组热熔连接处的土工布按 Geosynthetics-Wide-width tensile test^[3]标准进行拉伸试验,以评估热熔连接工艺的力学性能。选取 30 cm 宽的热熔连接土工布试样,将试样夹持在拉伸试验机的夹具中,以恒定速率施加拉伸荷载,直至试样断裂,记录拉伸过程中的荷载-伸长曲线,计算断裂强度和断裂伸长率等力学性能参数。结果显示所有试样均在未粘接的土工布区域发生断裂,热熔连接处未见断裂;热熔连接土工布的平均断裂

强度为 29.13 kN/m,断裂伸长率 73%。该结果远高于该项目设计上要求的断裂强度(22 kN/m)和断裂伸长率(60%),热熔连接处的抗拉伸强度高于未粘接的土工布(母材),表明热熔连接工艺安全可靠。热熔连接工艺显著提升了土工布的整体性能,适用于高强度要求的工程场景。

4.4 铺设压载

安排施工人员在两侧控制土工布端部缆绳,通过缓慢下放缆绳来控制布卷的进度。潜水员在土工布卷的两端协助铺设,同时牵引拉绳,以调整和控制土工布卷的展开方向和速度。铺布过程中,将砂袋放入履带吊的吊篮中,履带吊将其运送至坡面进行压载,手工绑扎砂袋,以确保土工布紧贴倒滤块石。压载物还可以在在一定程度上分散荷载,减少土工布的局部应力集中,提高其使用寿命。土工布铺设压载见图 4。



图 4 土工布铺设压载

5 结语

热熔连接工艺的成功应用,实现了土工布由单幅改为双幅铺设,大幅减少水上搭接缝数量,砂袋用绳结后压护也更加稳固,接缝更是采取搭接和绳结的双重保险,有效规避了接缝漏砂的风险,土工布铺设效率成倍提升,仅用一个潜水组就保质保量完成全部施工任务,并节约土工布用量,达到降本增效的目标。建议充分挖掘土工布热熔连接工艺的潜力,并广泛用于水运护岸工程等领域。

参考文献:

- [1] 王鑫竹,钱晓明,黄顺伟. 非织造土工布的功能及应用[J]. 应用技术,2017(11):1-4.
- [2] KOERNER, R M. Designing with Geosynthetics[M]. Xlibris Corporation, 2012.
- [3] BS EN ISO 10319:2024, Geosynthetics-Wide-width tensile test [S].