

环保型反渗透高分子自粘防水卷材的研发与生产

李藏哲*

(衡水 中裕铁信防水技术有限公司, 衡水 053000)

摘要: 渗漏水被建筑业称为隧道工程的第一大顽疾,“十隧九漏”的说法在隧道养护人员中广为流传,渗漏水堪称隧道工程质量的“大蛀虫”。值得注意的是,防水材料和防水施工工艺并不是相互独立的,两者相互匹配对于防止渗漏水具有重大意义。本文介绍了“三明治”式防水材料结构设计,成功将隧道防水材料的二步施工法简化为一步施工法;同时运用“剥离区理论”和“热熔压敏”的理念,从材料的配方设计、制备工艺、物理力学性能测试等方面论述了材料的研发与生产过程。

关键词: 隧道防水层; 自由剥离区; 热熔压敏; 反渗透; 缓冲层; 粘接区

随着我国交通事业的发展,隧道工程越来越多,在隧道修建过程中,其施工水平也得到了显著的提升。但目前仍普遍存在着一定的渗漏水现象,为了更好地促进隧道防水技术的发展,需要有针对性的对防水材料及其施工工法加大研究和试验,为隧道防水技术提供基本理论和实践基础^[1]。

我国隧道主要施工方法有:新奥法、传统的矿山法、隧道掘进机法、盾构法、明挖法、盖挖法、浅埋暗挖法。穿越山岭的隧道一般采用矿山法(传统做法)和新奥法(即新奥地利隧道施工方法的简称)。这两种方法修建的隧道其结构形式为复合衬砌结构,国内现行的防水措施一般为结构混凝土与防水层两道防水,国家《地下防水工程质量验收规范》GB 50208-2011 中对防水等级设防有一定的要求^[2],即除二衬采用防水混凝土外,一般在初期支护与二衬混凝土间设置柔性防水材料作为防水层。该柔性材料必须有一定的拉伸强度和断裂延伸率,具有耐硌伤、耐根刺、耐腐蚀等性能特点。

传统的隧道防水工程通常使用传统防水材料,如 EVA、ECB、PVC 防水板做主要的防水层,防水层一方面起到阻止外部水对二衬混凝土的侵蚀作用,另一方面将内外两种不同标号的混凝土分隔开来,避免因收缩率不同而产生开裂现象。但是往往由于外部围岩的变化、施工环节不当,造成防水层不可避免的破损,一旦出现破损点,水将沿着整个防水层与二衬结构之间流窜,遇到结构裂缝就会渗漏水,在出现隧道渗漏水现象之后,常见的解决方式为注浆堵漏,由于窜水通道的存在难以确定防水板渗漏点,注浆堵漏只能治理渗漏水“表象”,不能从根本上解决渗漏水问题。弊端一:防水效果难以保证。防水层与结构是“雨衣式”防水,防水层一旦破坏,水到处窜流,不易找到渗漏点,维修十分困难,甚至可能导致防水层整体失败;弊端二:施工难度大。目前,隧道防水层的铺设方法(锚钉固定法、暗扣系结挂设法、挂设塑料防水板的无锚钉铺设法)施工难度大,劳动强度高;弊端三:交叉作业对防水层造成伤害。施工现场各工序由不同的专业分包公司完成。各公司之间的管理存在真空,会给防水层带来一定的伤害^[3~6]。

针对现有防水材料的三个弊端,研制了环保型反渗透高分子自粘防水卷材(Environment-friendly reverse osmosis polymer self-adhesive waterproofing membrane),以下简称“EFRO”。将原来隧道防水材料施工的二步施工法简化为一步施工法,并使缓冲层、防水层与混凝土结构实现“皮肤式”粘结,解决防水卷材工程窜水渗漏问题。

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.02.008

收稿:2020-07-23;修回:2021-08-11;

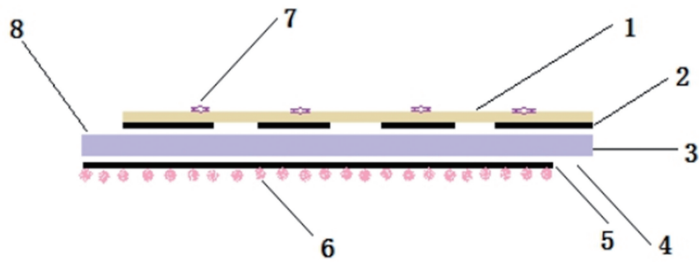
基金项目:新型高分子自粘胶膜防水卷材,河北省科技计划专项(16211215D);

* 通讯联系人:李藏哲(1972-),女,汉族,河北省辛集市,正高级工程师,衡水 中裕铁信防水技术有限公司总工程师,兼任河北省交通工程配套产品产业技术研究院副院长、河北省建筑防水工程协会专家委员会秘书长,《中国建筑防水杂志》签约记者,研究方向为建筑防水及化工材料。TEL:0318-2210026,E-mail:1046157576@qq.com.

1 “EFRO”基本结构和关键技术

“EFRO”是以高分子片材做为主体材料,双面涂盖环保型蠕变自粘胶层,并分别覆以隔离层和缓冲层制造而成的防水卷材。其中上表面自粘胶层与缓冲层为条式复合粘接,下表面自粘胶层为满覆胶(搭接部位除外)。

材料主要适用于矿山法、新奥法暗挖隧道初衬和二次衬砌结构防排水以及涵洞等项目的防水、排水、防渗工程,“EFRO”的结构形式,如图 1 所示。



1-土工布(缓冲层、信号层);2-上自粘胶层(安装层);3-高分子片材(应力应变层);4-下搭接边;
5-下自粘胶层(粘接层、反渗透层、反应粘接层);6-隔离砂(隔离层、保护层、反应粘接层);7-吊带(安装层);8-上搭接边。

图 1 “EFRO”“三明治”式结构图
Figure 1 “EFRO”“Sandwich”structure

材料研发的关键技术是运用“剥离区理论”(日本小池迪夫)^[7],即在防水层与被粘基面之间设置“自由剥离区”,分散基面变形对防水层的作用力,使防水层不被拉断、破坏;同时运用“热熔压敏”原理^[8],在自粘胶配方体系加入热塑性弹性体,借助二衬混凝土中的水泥水化热,使防水层与二衬混凝土凹凸表层形成物理卵榫结构,由空铺转化为满粘接,起到反渗透、防窜水的作用;最终通过“三明治”式的材料结构设计,简化安装工艺,提高施工效率高、降低施工能耗、增加施工质量可靠性^[9,10]。

2 “EFRO”技术方案设计

2.1 “EFRO”结构设计

“EFRO”的“三明治”式结构分为:应力应变区、缓冲区、粘接区、防护区等四大功能区。

(1)高分子主体层-应力应变区

高分子主体层具有抗拉强度高,延伸率大,耐撕裂强度高等特点,由于动静荷载的反复递增和二衬混凝土浇筑振捣所产生的拉应力作用于防水层,要求防水层具有一定的应力变形能力。即结构变形时,防水层不会被拉断。

(2)缓冲层-缓冲区

缓冲层能提高高分子主体层抗拉强度,增加高分子主体层的自身保护能力。一方面能够阻止自粘胶中的轻质组分迁移,影响材料的物理性能指标;另一方面,初衬背后的水压会增大结构荷载,且在寒冷区,衬砌背后积水冻胀变形会挤压衬砌结构,造成衬砌开裂破坏。混凝土结构内部出现裂缝(温度裂缝、应力裂缝、结构变形裂缝)时,高分子主体层松弛时,缓冲层能够消除裂缝的反射损伤,确保防水层不被破坏^[11~13]。

(3)自粘胶层-粘接区

一方面,自粘胶层通过隔离层与高分子主体层通过机械嵌合力、分子间力和化学键力等牢固粘接;另一方面,水泥水化过程中产生大量水化热,自粘胶层软化且具有一定的黏性,水泥水化过程中混凝土毛细孔中的水一部分参与水化反应而形成孔内负压,从而将黏性热熔自粘胶吸入毛细孔中,在混凝土硬化和

冷却过程中固化于其中,形成“皮肤式”粘接界面(如图 2 所示)。自粘胶层具有自愈功能,能自行愈合较小的穿刺破损,在遭遇穿刺或硬物嵌入时,会自动与这些物体合为一体,保持良好的防水性能^[14,15]。

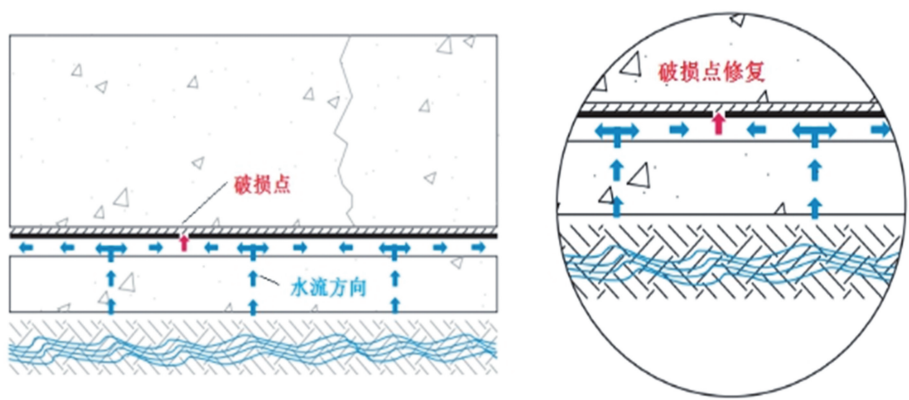


图 2 “EFRO”自愈合示意图

Figure 2 “EFRO” self-healing schematic diagram

(4)隔离砂-防护区

隔离砂具有粘接和保护功能,一方面由于活性二氧化硅具有潜在水化反应活性^[16],在碱性激发剂的作用下将会与水泥基材料中的氢氧化钙发生水化反应,产生的水化硅酸钙使界面层的强度进一步提升;另一方面,隔离砂(活性二氧化硅层)的颗粒防粘层在焊渣、少量粉尘和沙粒覆盖的情况下,可以避免这些危害,实现与后浇结构混凝土的有效融合。

2.2 “EFRO”试验方法

2.2.1 原材料 主要原材料如表 1 所示。

表 1 原材料清单
Table 1 Raw material list

原材料	型号	生产厂家	
高分子主体层	高密度聚乙烯	HDPE8010	台湾塑胶工业股份有限公司
	茂金属聚乙烯	MDPE3518CB	埃克森美孚(中国)投资有限公司
	线型低密度聚乙烯	LLDPE118WJ	沙特基础工业公司
	磷酸酯类抗氧化剂	168	南京经天纬化工有限公司
缓冲层(聚酯长丝烧毛土工布)	厚度≥2.0mm	天津兴华织造有限公司	
自粘胶层	热塑性弹性体	SIS1105	湖南岳阳巴陵石化有限公司
	氢化石油树脂	E-2203LC	元白化工(上海)有限公司
	氢化萘烯树脂	Clearon P150	日本安原化学
	环烷油	KN4010	衡水日石润滑油经销处
	抗氧化剂	1010	上海安辉化工有限公司
	紫外线吸收剂	UV327	上海安辉化工有限公司
隔离层	莫来砂	北京华林瑞思科技发展有限公司	

2.2.2 制备工艺

2.2.2.1 高分子主材生产工艺 将 HDPE8010、MPE3518CB、LLDPE118WJ 和抗氧化剂 168 按一定比例混合搅拌、加热塑化、挤出压延成一定厚度的防水主材,然后冷却定型、牵引、收卷和包装,生产工艺如图 3 所示。

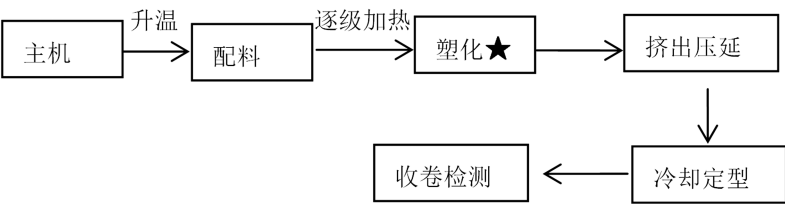


图 3 “EFRO”高分子基材生产流程图

Figure 3 “EFRO” polymer substrate production flow char

2.2.2.2 自粘胶层生产工艺 先用计量泵将环烷油输送至反应釜,然后加入 SIS1105,升温 180℃~185℃之间,加入加氢萘烯树脂 Clearon P150 和氢化石油树脂 E-2203LC,开启搅拌 1.5h,转速为 120r/min~130r/min;保持温度 180℃~85℃ 搅拌 2h;溶解均匀后,最后加入抗氧剂 1010 和紫外线吸收剂 UV327,降温至 150℃继续搅拌 0.5h~1h,搅拌器转速 120r/min。从反应釜中取料涂在高分子主体材料上,上自粘胶层胶层厚度为 0.8mm~1.0mm,下自粘胶层厚度 0.25mm~0.5mm,检测合格后备用,生产工艺如图 4 所示。

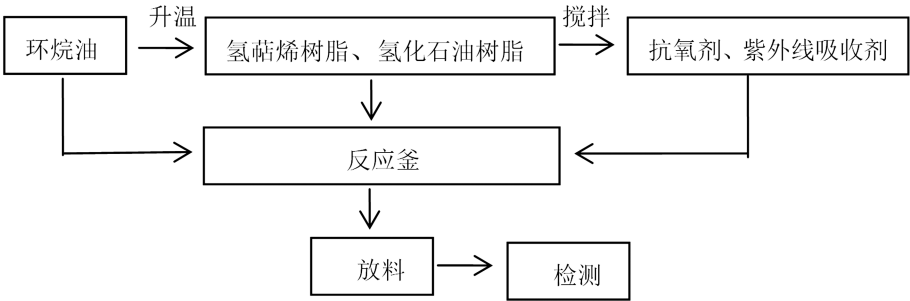


图 4 “EFRO”自粘胶层生产流程图

Figure 4 “EFRO”self-adhesive layer production flow char

2.2.2.3 “EFRO”生产工艺 高分子基材经过导开、搭接、上表面涂覆自粘胶层、覆土工布、一次辊压成型、下表面涂覆自粘胶层、覆莫来砂、二次辊压成型冷却、收卷、包装,生产工艺如图 5 所示。

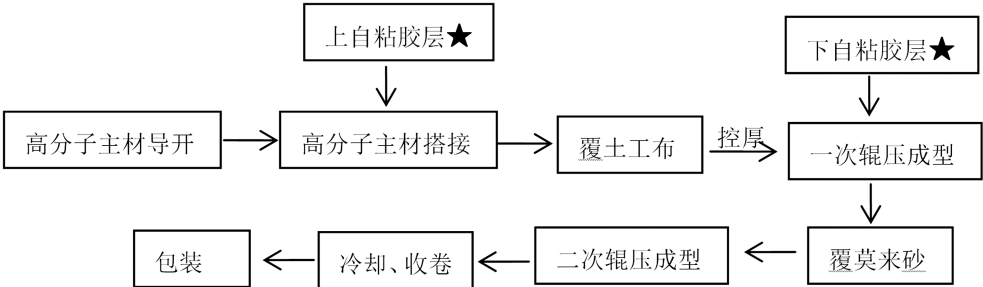


图 5 “EFRO”生产工艺流程图

Figure 5 “EFRO” production process flow chart

3 结果与讨论

3.1 检测结果

“EFRO”物理性能测试依据 GB/23457-2017《预铺防水卷材》和 Q/CR 562.1-2018《铁路隧道防排水材料 第一部分 防水板》进行,检测结果如表 2 所示。

表 2 “EFRO”物理指标
Table 2 “EFRO” physical properties

物理指标		实例 1	实例 2	实例 3	实例 4	实例 5	标准值
拉伸性能	拉力(N/50mm)	724	865	730	765	732	≥600
	拉伸强度(MPa)	16.8	17.2	17.5	17.5	17.8	≥16
	膜断裂伸长率(%)	582	553	566	478	455	≥400
低温弯折性(主体材料, -35℃)		无裂纹	无裂纹	无裂纹	—无裂纹	无裂纹	无裂纹
低温柔性(上下胶层, -25℃)		无裂纹	无裂纹	无裂纹	无裂纹	无裂纹	无裂纹
下胶层与后浇混凝土 剥离强度(N/mm)	无处理	2.2	2.3	1.9	2.5	2.2	≥1.5
	浸水处理	1.4	1.6	1.6	1.5	1.7	≥1.0
	紫外线	1.5	1.5	1.7	1.7	1.7	≥1.0
上胶层粘接剥离强度	热处理	2.3	2.5	2.1	2.6	2.6	≥1.0
	剪切性能(N/mm)	8.8	8.2	8.5	8.9	8.2	≥7.5
	粘接强度(N/cm ²)	2.2	1.9	2.0	2.1	1.9	≥1.5
缓冲层与主体材料 粘接性能		持荷时间	7d, 无脱落	7d, 无脱落	7d, 无脱落	7d, 无脱落	7d, 无脱落

3.2 讨论

“EFRO”主要应用于公路隧道,也可推广至地铁、轨道交通、地下综合管廊、国防工程、涵洞等项目的防水、防潮,以及“一带一路”的相应项目。材料在青岛市轨道交通 R3 线、重庆轨道交通 10 号线两个试验段应用,施工和防水性能反应良好。“EFRO”以其突出的可施工性和优异防渗水性能,从以下三方面推动了结构防水领域的技术进步^[17]。

(1)提高了防水技术的可施工性,“EFRO”由两步施工法简化为一步施工法,降低了施工难度,提高了结构防水技术的可施工性;

(2)提升了结构防水技术的可靠性,“EFRO”特殊的“三明治”式结构分区,充分运用“自由剥离区”理论和“热熔压敏”原理,保证了与混凝土粘结性能的稳定可靠,从而提升了结构防水技术的可靠性和防水层的密封性^[18,19];

(3)改善了防水材料的环保性,“EFRO”减少工地的垃圾、减少可挥发性迁移性物质等方面有一定的优势。

4 结论

新型防水材料作为一个新兴领域,在工程上有着非常广阔的应用前景,防水工程的质量关系到隧道工程的使用寿命,也直接影响到人们的工作和生活。相较于隧道传统的 EVA、ECB、PVC 等塑料防水板^[20],“EFRO”解决了行业内最为棘手的难题,使防水材料 with 二衬混凝土有效结合,弥合了防水材料 with 二衬混凝土之间的窜水通道,两种融为一体,最终实现防水材料 with 隧道结构同寿命。

参考文献:

[1] 胡亮. 四川建材,2021,47(3):59~60.
[2] 孙守东. 中国住宅设施,2021, 2:110~111.
[3] 李藏哲,张国珍. 中国建筑防水,2015, 12:21~25.
[4] 刘超,陈伟. 公路隧道防水层(土工布+防水板)施工技术. 安徽建筑,2016,23(3):98~100.
[5] 高雪香,杨其新,马庆辉. 新型建筑材料,2006, 7:22~24.
[6] 常桂龙,杨林中,萧威,沈承秀,罗光明,骆祥君. 水科学与工程技术,2019, 1:63~66.
[7] 小池迪夫,姚良. 复合防水施工技术. 中国建筑防水材料,1991, 4:36~37.

[8] Goryacheva A A,Seredkin A N,Polyanskova E A,Proshin I A,Dyar’ kin R A. Chem Pet Eng, 2015, 51(3/4):54~57.

[9] Ge Z L, Mei X D,Lu Y Y,Tang J R,Xia B W. Arabian J Geosciences,2015,8(6):32~37.

[10] Talib R,Boyd D,Hayhow S,GhafarAhmad A,Suliman M. Procedia Manufacturing,2015,2:112~114.

[11] Yeonwook K,Jaehoon K. Mod Phys Lett B,2015,29(6n07):42~44.

[12] 崔丙顺,崔文强,郭方飞,倡庆法,王生杰. 化工新型材料,2020,48(4):121~124.

[13] 蹇磊. 中国建筑防水,2020, 3:19~21,25.

[14] Shankar S, Krishnakumar P. Ind Lubr Tribology,2016,68(5):21~25.

[15] Borhan A I, Gromada M, Nedelcu G G, Leontie L. Ceram Int,2016,42(8):55~57.

[16] Ge Z L, Mei X D, Lu Y Y, Tang J R, Xia B W. Arabian J Geosciences,2015,8(6):67~69.

[17] Zhang G Y, Zhao W G, Tianan Y X. Ind Lubr Tribology,2014,66(2):40~42.

[18] 李藏哲,马玉凤. 中国建筑防水,2017, 17:20~23.

[19] 张广彬,刘金涛,孙艳芳. 中国建筑防水,2020, 7:8~13.

[20] 黄金荣. 福建建设科技,1995, 2:17~18.

Research & Development and Production of Environmental Friendly Reverse Osmosis Polymer Self-adhesive Waterproof Coiled Materials

LI Cang-zhe *

(Hengshui Zhongyu Tiexin Waterproof Technology Co. , Ltd , Hengshui 053000, China)

Abstract:Leakage water is called the first stubborn disease of tunnel engineering by the construction industry. The saying of “ten tunnels and nine leaks” is widely spread among tunnel maintenance personnel. Leakage water can be called the “big moth” of tunnel engineering quality. It is worth noting that waterproof materials and waterproof construction technology are not independent of each other. Matching them is of great significance to prevent water leakage. This paper introduces the structural design of “sandwich” waterproof material, and successfully simplifies the two-step construction method of tunnel waterproof material into one-step construction method; At the same time, the R & D and production process of materials are discussed from the aspects of formulation design, preparation process and physical and mechanical properties test by using the concepts of “stripping zone theory”and “hot melt pressure sensitive”.

Key words:Tunnel waterproof layer; Free stripping area; Hot melt pressure sensitive; Reverse osmosis; Buffer layer; Bonding zone