

# 层状黏土材料对导水纤维涂层脱附水性能的影响

## The Effect of Sandwich Clay About Desorption Properties of Water-release Coated Fibre

张增志, 曹 鹏, 张际飞, 张玉肖, 方 方, 杨雷岗  
(中国矿业大学(北京) 生态功能材料研究所, 北京 100083)

ZHANG Zeng-zhi, CAO Peng, ZHANG Ji-fei,  
ZHANG Yu-xiao, FANG Fang, YANG Lei-gang  
(Research Institute of Ecological and Functional Material, China  
University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

**摘要:** 涂层导水纤维是导水纤维复合薄膜材料的实现水分子可控缓释的关键, 涂层材料中的添加剂选用层状黏土。本工作通过比较不同涂层导水纤维的渗水规律, 研究了普通黏土、高岭土、膨润土三种黏土添加剂对导水纤维涂层脱附水性能的影响。实验采用 Perkin Elmer Diamond S 综合热分析仪、Cambridge Instruement STEREOSCAN360 扫描电镜、M30 快速水分测定仪等检测设备, 研究了不同涂层导水纤维的结构和持水能力以及涂层导水纤维的吸附和脱附水分子的规律。实验结果表明这三种黏土都能实现涂层导水纤维对水分子的可控缓释性, 其中添加剂 T(普通黏土)处理的涂层导水纤维在实现分子传水可控性上要优于其他两者。

**关键词:** 复合薄膜; 导水纤维; 黏土; 涂层

中图分类号: TB34 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2007)10-0049-06

**Abstract:** The water-release coated fibre is the key of achieving controllable water-release in fibre composite material, the additive in coated material is sandwich clay. The effect that three kinds of different clay additive to desorption properties of the water-release coat was studied through comparing with different water-release coated fibre's water-release rules. The structure, the competence of holding water and the rule of H<sub>2</sub>O molecular adsorbed and released in different water-release coated fibre were analysed by thermal multi-analyzer, stereoscan photograph, microscopic image analyzer and moisture rapid-testing equipment. The result of the experiment indicates that controllable water-release rules of H<sub>2</sub>O molecular can be fulfilled by water-release coated fibre of three kinds of clay, and the water-release coated fibre which was treated by additive (common clay) is better than others in meet controllable water-release

**Key words:** composite film; water-release fibre; clay; coat

导水纤维是纤维复合薄膜材料中具有可控分子传水的功能纤维, 而导水纤维的制备处理关键是其表面涂层材料, 不同的涂层材料对导水纤维复合薄膜的导水性能的影响各不相同。蓄水渗膜材料是专门用于荒漠化地区生态恢复的抗旱节水新材料。因该薄膜包装水后直接埋于树苗根部, 通过膜材对土壤湿度的自调节功能来保证树苗的扎根存活。

荒漠化是全球面临的严峻课题, 本国荒漠化土地面积以年均 2100km<sup>2</sup> 的速度增加<sup>[1]</sup>。荒漠化地区生态恢复是一个难题, 这些地区蒸发量极大往往大于 2000mm, 而降水量却一般在 300mm 以下, 地表保墒性极差, 采用传统灌溉方法不仅无法保证树苗成活, 还

造成大量的水资源浪费, 甚至导致地下水下降, 不利于生态建设的可持续发展。因此抗旱节水造林是治疗荒漠化的关键。

目前国内外在该领域的研究方法主要有以下几个方面:

国内外采用的抗旱节水造林方法主要有: 集水技术<sup>[2-6]</sup>、保水剂技术<sup>[7]</sup>、固体水技术<sup>[8]</sup>、滴渗灌技术。目前, 用于复合薄膜材料中的涂层纤维的研究在国内外处于热点方向。因为涂层纤维复合薄膜材料在诸如生态恢复、建筑防护等众多领域均有广泛应用。本工作研究了三种不同的黏土作为涂层导水纤维的添加剂对导水纤维脱附水性能及渗水规律的影响。

1 实验

本实验是在天然植物纤维表面涂覆涂层, 涂层材料采用不同质量比例 (编号如表 1 所示) 的黏结剂 P (聚乙烯醇) 分别与细层状无机材料添加剂 T (普通黏土, 昌平红泥沟)、G (高岭土)、C (膨润土) 的混合物。采用 XSP-9F 型显微镜、X-4 精密显微熔点测定仪和显微图像分析仪模拟实际工艺过程, 通过显微镜摄取样品在加热过程中的显微照片, 对导水纤维与基体在熔融过程中的复合过程进行了直观的观察并加以分析。采用美国 Perkin Elmer Diamond S 综合热分析仪对吸湿后的各试样进行检测分析, 实验条件: 氮气气氛, 温度范围 0~ 300℃, 升温速率 30℃/min。

表 1 涂层导水纤维涂层组成及编号

Table 1 Composition and number of coat for water-release coated fibre

Number	Binding agent and added dosagerelative content proportion	
P1T9	P: T	1: 9
P3T7		3: 7
P5T5		5: 5
P1G9	P: G	1: 9
P3G7		3: 7
P5G5		5: 5
P1C9	P: C	1: 9
P3C7		3: 7
P5C5		5: 5

将制备的导水纤维与环境友好性高分子母料进行复合制成薄膜, 要求导水纤维两端分别暴露在薄膜的两面。用该薄膜制袋并包装一定量的水, 在 M30 快速水分测定仪中测量不同湿度下的失水率, 实验条件: 时间 30min, 环境温度 65℃, 湿度 30%。

2 结果与讨论

2.1 涂层材料的显微分析和热分析

所选植物纤维的表面比较光滑, 比表面积小, 表面能较低, 具有活性的表面一般不超过总表面的 10%, 呈现憎液性, 故预先对原纤维表面进行脱脂处理然后进行涂层处理。图 1a~ c 是整个涂层导水纤维及其复合薄膜制备过程的显微图片。选用的涂层材料应具有两方面要求: 一方面使纤维和基体具有良好的结合界面; 另一方面涂层应保证纤维具有良好的缓释导水性。因此选用了具有层片状结构的亲水性的无机物材料作为添加剂。这种添加剂的层片状结构保证了水分能以分子的形式沿着纤维表面扩散传水。

三种添加剂 T, G, C 的 TG 和 DSC 曲线如图 2 所示。随着温度升高三种黏土释水规律存在明显差异, 添加剂 T 在 40℃左右仅发生少量失重后即开始平缓释水; 添加剂 G 在 50℃之前急剧失重, 超过 100℃以后失重渐为平缓; 添加剂 C 在 120℃以前持续平稳失重, 失重速度较慢。从 DSC 图中可以看出: 添加剂 T 在 40℃附近存在一弱吸热谷, 表明该添加剂在此温度发生物理水的脱附; 添加剂 G 在 50℃附近存在一个吸

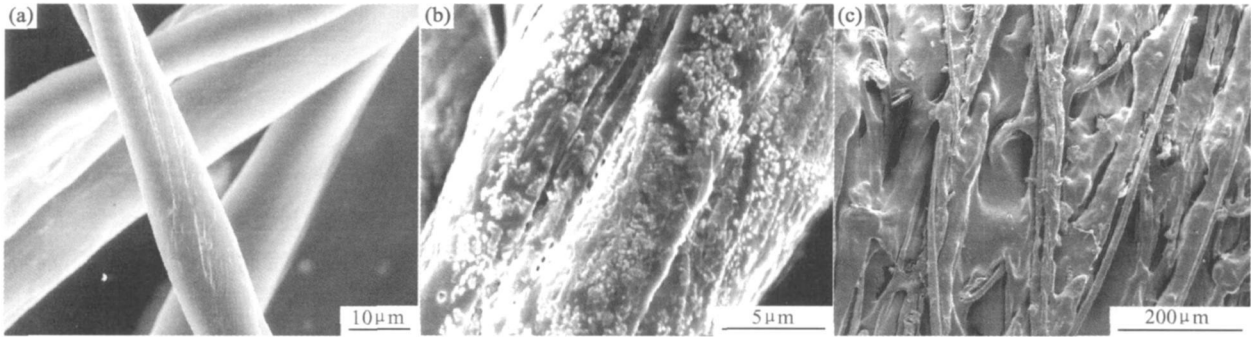


图 1 涂层前后导水纤维在扫描电镜观察下的表面形貌  
(a) 原纤维的表面显微形貌; (b) 涂层后的纤维的表面显微形貌; (c) 涂层纤维与母料复合后的表面显微形貌

Fig. 1 SEM of fibre(before and after coated)  
(a) original fibre SEM; (b) after coated fibre SEM; (c) SEM of coated fibre compounded with PC

热谷, 表明该添加剂在此温度发生物理水的脱附, 至 100℃附近脱附完全; 添加剂 C 在 70℃附近存在一个大而宽的吸热谷, 至 120℃以后物理水才脱附完全。  
由粘结剂 P 的 TG 和 DSC 曲线(如图 3 所示)可

以看出: 在低于 80℃时, 粘结剂 P 平缓失重; 在 80~ 210℃之间无水脱附, 高于 210℃时粘结剂自身热分解。从 DSC 图上可以看出: 60℃和 80℃之间存在一大而宽的吸热谷; 这说明该粘结剂的持水性很好。

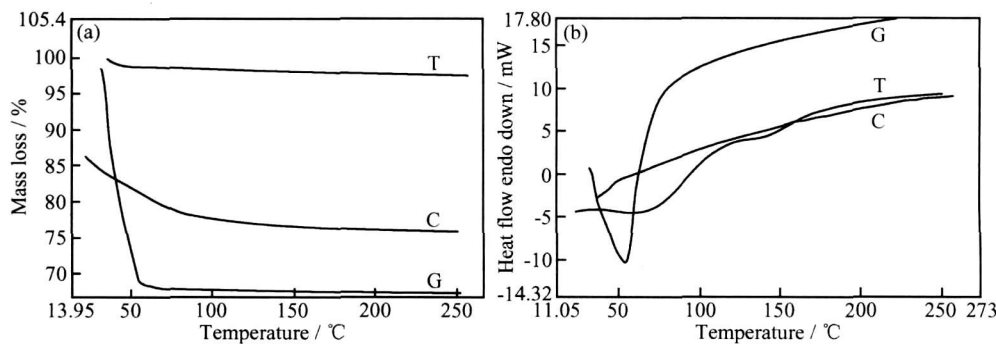


图2 添加剂 T, G, C 的 TG 和 DSC 曲线  
(a) 所选三种添加剂的 TG 曲线; (b) 所选三种添加剂的 DSC 曲线  
Fig. 2 TG and DSC curves of additive T, G, C  
(a) TG curves of three kinds of additive ; (b) DSC curves of three kinds of additive

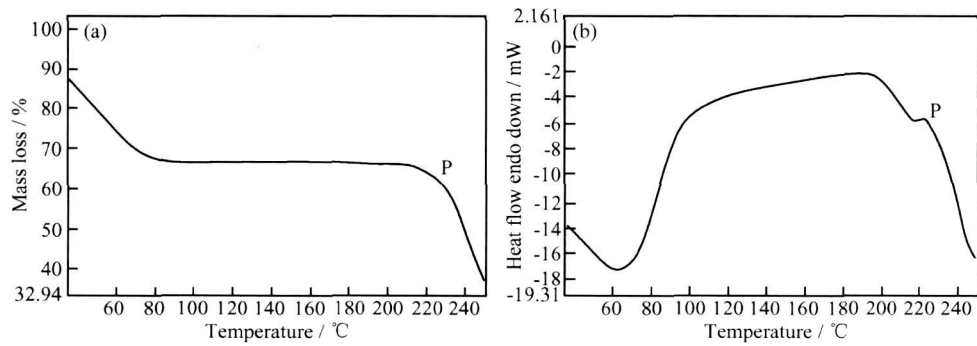


图3 黏结剂 P 的 TG 和 DSC 曲线  
(a) 黏结剂 P 的 TG 曲线; (b) 黏结剂 P 的 DSC 曲线  
Fig. 3 TG and DSC curves of binding agent P  
(a) TG curves of binding agent P ; (b) DSC curves of binding agent P

2 2 涂层导水纤维可控缓释规律

为了进一步研究不同涂层材料对导水纤维复合薄膜的导水率的影响, 选择了三种涂层效果较好的涂层材料进行实验。选用黏结剂与添加剂的质量相对比例为 1: 9, 添加剂分别为 T, G, C。所选用涂层处理的导水纤维复合薄膜包装水的失水情况如图 4 所示。

从图 4 中可以看出: 在黏结剂与添加剂的质量相对比例均为 1: 9 时, 随着纤维数量的增加, 三种复合薄膜的失水率都呈上升趋势。但编号为 P1G9 和 P1C9 的复合薄膜的失水趋势较为平缓, 涂层导水纤维最大数量和最小数量之间差异并不很大, 分别仅为 0.07432% 和 0.087081%; 而编号为 P1T9 的复合薄膜的失水趋势较快, 不同纤维数量失水率差值也较大, 最大数量和最小数量失水率差值为 0.306295%。可见在此相对比例下, 编号为 P1T9 的涂层导水纤维导水性较好。

从图 5a 的 TG 曲线可以看出: 黏结剂 P 与添加剂 (T, G, C) 的质量相对比例为 1: 9 时, 以 P (黏结剂)、T (添加剂) 的涂层混合物失重速度较快, 易于实现水

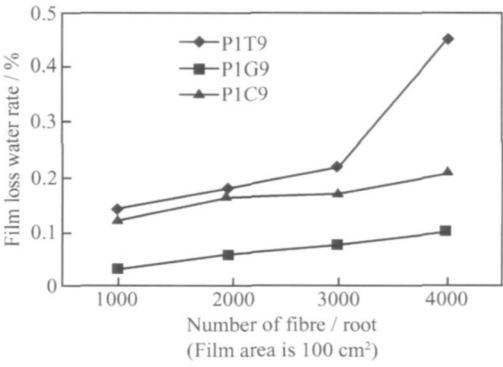


图4 黏结剂 P 与添加剂 (T, G, C) 质量相对比例为 1: 9 的涂层导水纤维复合薄膜包装水的失水率  
Fig. 4 Film loss water rate as a function of binding agent P and additive (T, G, C) quality relative proportional is 1: 9

分子的脱附, 导水率较好; 其次是 P, C 二者的涂层混合物; 最后是 P, G 的混合物。所以在与之相对应的复合薄膜失水率曲线上, 失水率大小依次为编号 P1T9、编号 P1C9、编号 P1G9。这与不同涂层纤维的渗水曲线相吻合。

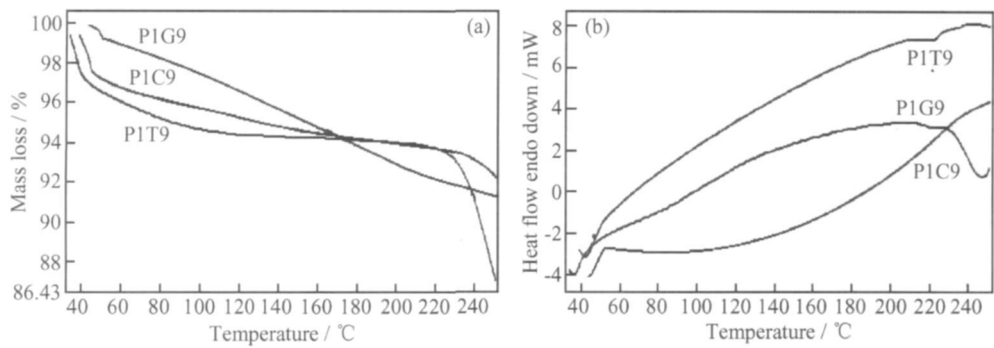


图 5 黏结剂 P 与添加剂 (T, G, C) 质量相对比例为 1: 9 的涂层混合物的 TG 和 DSC 图

(a) 混合物的 TG 图; (b) 混合物的 DSC 图

Fig 5 TG and DSC curves as a function of binding agent P and additive (T, G, C) quality relative proportional is 1: 9

(a) TG curves of compounds ; (b) DSC curves of compounds

从粘结剂 P 与三种添加剂 (T, G, C) 分别组成的质量相对比例为 1: 9 的涂层导水纤维涂层的扫描电镜显微照片可以看出: P 与 T 的涂层连续, 并紧紧包覆纤维, 这有利于水分子的传导; 而 P 与 C 和 P 与 G 的涂层表面凹凸不平, 这造成了这两种涂层导水纤维导水性能降低。

图 6 显示了粘结剂 P 与添加剂 (T, G, C) 相对比例为 3: 7 时由这两种相对比例成分组成的涂层导水纤维制备的复合薄膜的失水率与纤维数量和添加剂种类的关系。由图可以看出: 三种包装水的复合薄膜的失水率随涂层导水纤维数量的增加都在显著上升, 其中以 T 为涂层材料的复合薄膜的失水率高于其他两个涂层材料的复合薄膜; 这说明在这种比例下, T 添加剂对涂层导水纤维渗水率影响较大。

从粘结剂 P 和三种添加剂 (T, G, C) 的质量相对比例为 3: 7 时涂层混合物的 TG 图 (如图 7 所示) 中可以看出: 升温初期, 添加剂为 T 的涂层混合物失重速度较其他两者快, 产生的水势梯度差较大; 所以由 T

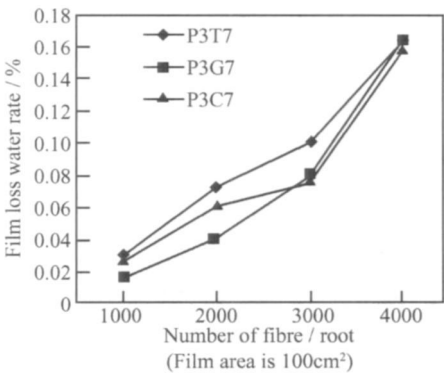


图 6 粘结剂 P 与添加剂 (T, G, C) 质量相对比例为 3: 7 的涂层导水纤维复合薄膜包装水的失水率

Fig 6 Film loss water rate as a function of binding agent P and additive (T, G, C) quality relative proportional is 3: 7

添加剂和粘结剂 P 组成的涂层导水纤维复合薄膜失水率比其他两种复合薄膜的失水率高。另外三者的扫描电镜观察下的显微形貌上可以看出: 编号为 P3T7 的涂层比其他两种涂层与基体结合更紧密, 其涂层连

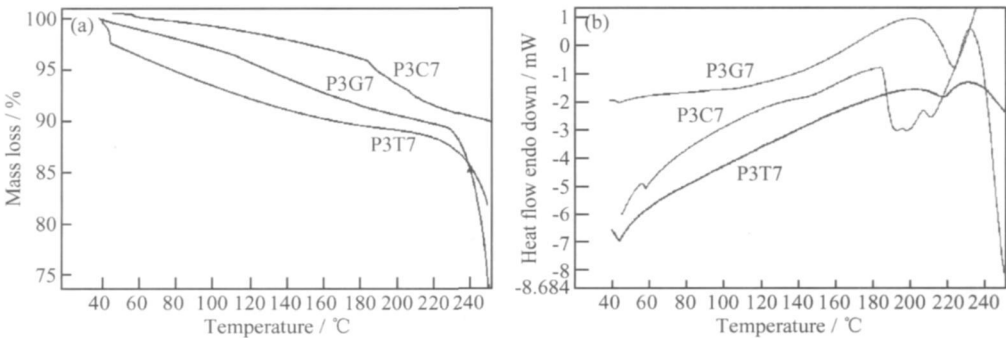


图 7 粘结剂 P 与添加剂 (T, G, C) 质量相对比例为 3: 7 的涂层混合物的 TG 和 DSC 图

(a) 混合物的 TG 图; (b) 混合物的 DSC 图

Fig 7 TG and DSC curves as a function of binding agent P and additive (T, G, C) quality relative proportional is 3: 7

(a) TG curves of compounds; (b) DSC curves of compounds

续致密,易于实现水分子的传导;这与实际测量的渗水曲线相符合。由此可以说明在这种比例下,添加剂 T 的涂层性能要优于其他两者。

图 8 是粘结剂 P 与添加剂(T, G, C) 质量相对比例为 5: 5 时复合薄膜的失水情况。从图 8 可以看

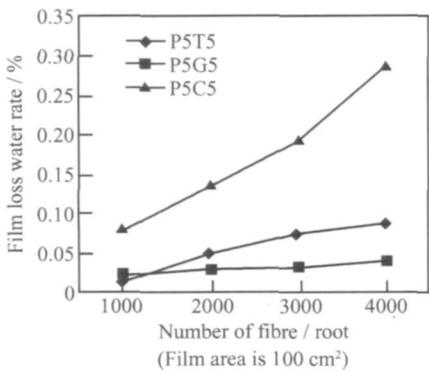


图 8 粘结剂 P 与添加剂(T, G, C) 质量相对比例为 5: 5 的涂层导水纤维复合薄膜包装水的失水率

出: 在这种质量相对比例下, 添加剂为 C 时的复合薄膜的失水率随纤维数量的增加而显著提高, 其提高趋势也增强, 最大、最小纤维数量复合薄膜的失水率差值达到 0.208678%。随纤维数量的增加, 这种复合薄膜的失水率呈上升趋势。但添加剂为 T 和 G 的复合薄膜的失水较平缓。从图 9a 的 TG 曲线中也可以看出: 升温初期, 以 C 为添加剂的涂层混合物失重速度较快, 产生的水势梯度较高, 其他二者次之; 故以该种添加剂 C 和粘结剂 P 组成的涂层导水纤维复合薄膜失水率高于其他两者。从这三种涂层导水纤维的涂层表面形貌可以看出: 以 T 为添加剂的涂层表面连续、致密, 易于实现水分子的传导, 以 G 为添加剂的涂层表面效果次之。

2 3 涂层导水纤维渗水机理研究

实验条件设为: 涂层导水纤维复合薄膜( 蓄水渗膜) 包装一定量水置入土壤湿度为 15% 的模拟实验环境条件下。由此研究膜内外由于水势不同, 涂层导水纤维在水势以及涂层包覆作用下的渗水机理。从图 10 可以看出: 导水纤维表面附有涂层, 当导水纤维复

Fig 8 Film loss water rate as a function of binding agent P and additive (T, G, C) quality relative proportional is 5: 5

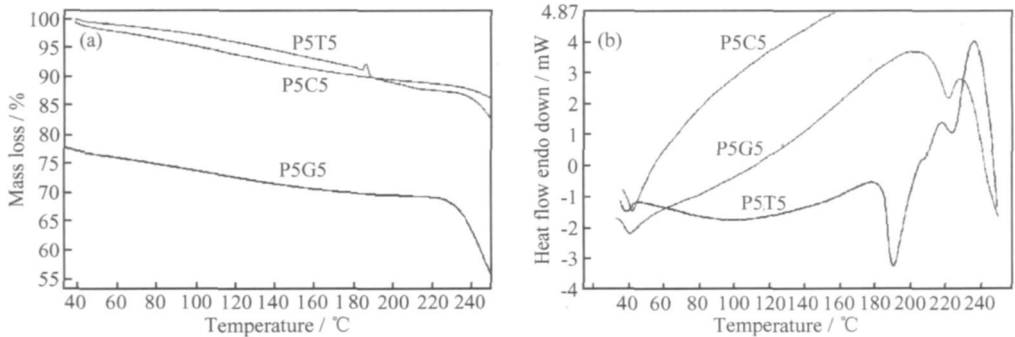


图 9 粘结剂 P 与添加剂(T, G, C) 质量相对比例为 5: 5 的涂层混合物的 TG 和 DSC 图  
(a) 混合物的 TG 图; (b) 混合物的 DSC 图

Fig 9 TG and DSC curves as a function of binding agent P and additive (T, G, C) quality relative proportional is 5: 5  
(a) TG curves of compounds; (b) DSC curves of compounds

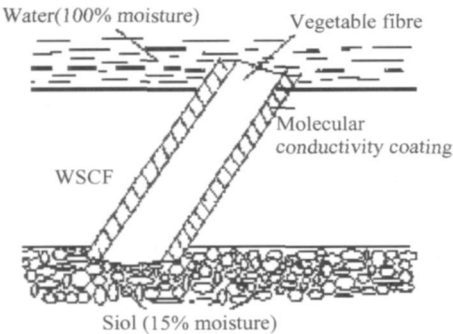


图 10 涂层导水纤维导水机理示意图  
Fig 10 Mechanism of water release for water release coated fibre

合薄膜包装水后, 涂层导水纤维两侧处于不同的条件下, 膜内是 100% 的水, 膜外为湿度 15% 的土壤。导水纤维由于涂层材料的不同对水的吸附势也不同。在外侧土壤湿度一定的情况下, 如果涂层材料的吸附势大, 涂层导水纤维与外侧土壤之间形成的水势梯度差也大, 由涂层材料的脱附水特性可知, 水势梯度差将使涂层材料内部形成吸附和脱附水分子的功能, 使得水分子从相对湿度高的一端( 蓄水渗膜内部) 较快的传导到相对湿度低的一端( 外部接触湿度 15% 的土壤)。反之如果形成的水势梯度差小, 水分子的传导速度就相对较慢。因此可以通过设计不同涂层材料包覆处理导水纤维从而实现导水纤维的可控缓释水的功能。

### 3 结论

(1) 通过对黏结剂 P(聚乙烯醇) 的热分析可以得出, 该黏结剂持水性很好。

(2) 通过电子扫描显微镜观察和对各种不同成分配比涂层的导水纤维复合薄膜包装水的失水率分析比较, 可以得出: 以添加剂 T(普通黏土) 和黏结剂 P(聚乙烯醇) 配比形成的导水纤维涂层较高岭土、膨润土这两种添加剂具有更好的导水性和对原纤维的包覆连续致密性。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国林业部防治荒漠化办公室编. 联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治沙漠化的公约[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994.
- [2] HARDAN A. Remarks during discussions [J]. Proc Water Harvesting Symp Phoenix, 1975, 60- 61.
- [3] CAI L. Land evaluation and expert system for combating desertification-case study of mud us sand land [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1997.

- [4] SCHREIBER H A, FRASIER G W. Increasing rangeland forage production by water harvesting [J]. Soil Sci Soc Am, 1982, (46): 602- 607.
- [5] FINK D H. Paraffin-wax water-harvesting soil treatment improved with antis tripping agents [J]. Soil Science, 1984, 138 (1): 46- 53.
- [6] FINK D H, EHELER W L. Runoff farming for growing christmas trees [J]. Soil Sci Soc Am, 1983, (47): 983- 987.
- [7] FANTA G F, BURR R C. Graft copolymers of starch. Copolymerization of gelatinized wheat starch with acrylonitrile: influence of China modifiers on copolymer composition[J]. J Appl Polymer Sci, 1967, 11: 457- 458.
- [8] 王九龄. 吸水剂在北京低山阳坡造林中应用的系列研究( , , , ) [J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(增刊1): 53- 69.

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2001AA1322100); 教育部重点项目(106086); 北京市产学研共建计划项目(ZH114140537)

收稿日期: 2007-01-25; 修订日期: 2007-04-24

作者简介: 张增志(1965—), 男, 博士, 教授, 现主要从事生态功能材料研究与开发, 联系地址: 北京市海淀区学院路丁 11 号, 中国矿业大学(北京), 生态功能材料研究所(100083)。

## 中国矿业大学(北京)生态功能材料研究所简介

中国矿业大学(北京)生态功能材料研究所专门致力于荒漠化地区生态恢复的功能材料开发与研究, 目前主持承担了国家“863”计划项目、国家自然科学基金项目、教育部重点项目、北京市产学研共建计划项目和河北、陕西、内蒙古重大或重点项目共 7 项。

研究所由“211”工程重点建设的生态功能材料实验室和北京昌平生态功能材料产业化中试基地两部分组成。课题应用领域主要涵盖荒漠化地区固沙、植草和造林, 针对西部严重缺水和生态恢复相矛盾的突出问题, 开发以确保植被恢复为目的, 同时又要实现有效节水或自涵养水分的动态功能材料。例如, 自调节土壤湿度的导水纤维材料、有效节水造林的蓄水渗膜材料、干旱区造林的引水体材料、改性泥浆固沙植草材料等。其中承担的国家“863”计划项目——“蓄水渗膜材料”经过近 4 年的“三北”地区大规模推广应用已取得显著成效。规模化造林涉及蒙古、新疆、宁夏、甘肃、青海、陕西、山西、辽宁、吉林、河北、北京等 11 个省(市、自治区), 涵盖干旱地区、沙化区、荒山、荒滩渗漏区和风蚀农牧交错带等 5 种树苗不易成活的典型荒漠化地区, 树苗成活率和保存率均比传统造林提高了 20%~50%, 生长量也有明显优势, 造林用水量仅仅是传统浇水的 1/40~1/20, 实现了免浇水造林, 造林综合成本下降 50%, 有效扭转了规模化造林现场“年年植树不见林”的局面, 形成了生态良性循环。

研究所成立 4 年来, 在学术带头人、博士生导师张增志教授带领下, 科研成果分获科技部“十五”“863”项目验收总评“优秀”、教育部技术发明一等奖、中国材料研究学会科学技术奖一等奖、“十五”内蒙古自治区林业科技贡献奖(五年评一次)、北京市科学技术进步奖、第二届中国国际林博会特别创新产品奖等。授权发明专利 8 项, 发表学术专著 4 部, 发表学术论文五十余篇, 开发的部分产品实现了规模化大批量生产, 取得了明显的经济、生态和社会效益。