



硕士学位论文

MASTER DISSERTATION

论文题目: 医用手术服的性能评价
及其生命周期分析初探

学科专业: 纺织工程

作者姓名: 徐桂龙

指导教师: 王璐 (教授)

完成日期: 2006年1月

学校代号： 10225

作者学号： 203061

医用手术服的性能评价及其

生命周期分析初探

Evaluation of Properties &

Life Cycle Assessment of Surgical Gowns

专 业： 纺织工程

作 者： 徐桂龙

指导教师： 王璐(教授)

答辩日期： 2006 年 1 月

东华大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：徐桂龙

日期：2006 年 1 月 10 日

东华大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权东华大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☐，在 ____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☒。

学位论文作者签名：徐桂龙

指导教师签名：王璐

日期：2006 年 1 月 10 日

日期：06 年 2 月 15 日

医用手术服的性能评价及其生命周期分析初探

摘 要

一次性材料和耐久型材料是在医用防护领域中应用广泛却相互竞争的两种材料。手术防护服材料的选择需要考虑到许多复杂因素。本课题研究的内容是防护织物分析模型（APT 模型）中的一部分，主要研究手术防护服材料选择时的应当考虑的性能因素和环境影响因素。

手术防护服的基本性能要求有阻隔性能、基本物理机械性能、掉毛性能、舒适性及其它性能。本文对目前国内外主要的手术防护服标准的基本性能测试条款和测试方法及步骤进行了分析，在此基础上，对几种经拒水处理耐久型棉紧密机织物手术防护服材料、经可再生杀菌处理涤棉机织手术防护服材料、纺粘丙纶一次性手术服材料（覆塑料膜和不覆塑料膜）、经拒水处理木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料的拒液性能、基本物理性能、舒适性进行了比较测试；同时，本文设计了耐磨实验来模拟掉毛实验，通过失重率来评价这些材料的掉毛性能。本文还对耐久型防护材料进行了多次洗涤，研究了洗涤次数对手术防护服基本性能的影响。

本文还运用生命周期理论，对经拒水处理耐久型棉紧密机织物手术防护服材料、纺粘丙纶一次性手术服材料、经拒水处理木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料进行了分析。本文将这三种防护材料的生命周期划分为三个主要阶段：原料的获取和防护服的生产加工阶段、防护服使用阶段、防护服使用后废弃物处理，对这三个阶段进行了清单分析，得到了这三种防护材料生命周期的数据清单，并在此基础上，对三种材料的能源、资源消耗构成、对环境的主要影响进行了比较和分析。

关键词：一次性，耐久型，手术服，阻隔性能，生命周期，清单分析

Evaluation of Properties & Life Cycle Assessment of Surgical Gowns

ABSTRACT

Disposable and reusable textiles are two popular but competing materials employed in medical protective field. The selection of two materials involves many complicated factors. This paper, which concerns properties and environment impact of protective textiles, is a sub-part of interdisciplinarity *Analysis of Protective Textiles* (APT).

Gowns require barrier, physical, comfortable, linting and other properties. Based on the research and review of the norms of surgical gowns and drapes, we compare and analyze the basic requirement and test procedure of the gowns. We test water-repellent treated woven cotton reusable textiles, rechargeable biocidal function polyester/cotton woven reusable textiles, spun-bond polypropylene disposable textiles (with or without plastic films), water-repellent treated laminate disposable textiles of pulps and polyester with water resistant, physical, comfortable properties testing. We design an abrasion experiment to simulate linting test and evaluate the linting properties of these textiles. The reusable textiles are washed to study the relation between the wash times and the basic properties of gowns.

According to the technical framework of life cycle assessment, we analysis the water-repellent treated woven cotton reusable textiles, spun-bond polypropylene disposable textiles, water-repellent treated laminate disposable textiles of pulps and polyester. The life cycle of these three materials paper are divided into three steps: production of materials and textiles, sterilizing and washing, waste treatment. We take the inventory analysis of these three materials and compare them with the energy consumption and environment impact.

Xu GuiLong (Textile Engineering)

Supervised by Professor Wang Lu

KEYWORDS: Disposable, Reusable, Gowns, Barrier Property, Life Cycle Assessment, Inventory Analysis

医用手术服的性能评价及其生命周期分析初探

目 录

第一章 绪论	1
1.1 医用手术防护服的发展现状及材料选择所面临的问题	1
1.1.1 医用手术防护服的发展历程及现状	1
1.1.2 医用手术防护服材料的选择	1
1.2 医用手术防护服(材料)的评价方法: 防护纺织品分析 (APT) 模型	2
1.2.1 医用手术防护服材料的阻隔、杀菌功能	2
1.2.2 医用手术防护服材料的其它基本性能要求	3
1.2.3 处理医用手术防护服的感染风险评估	3
1.2.4 医用手术防护服生命周期评价	4
1.3 本课题研究的内容	6
参考文献	8
第二章 一次性和耐久型医用手术防护服性能比较	10
2.1 国内外医用一次性和耐久型手术防护服性能评估标准与方法分析	10
2.1.1 手术防护服主要性能要求	10
2.1.2 医用手术防护服标准现状	11
2.1.3 医用手术防护服标准比较及分析	11
2.2 国内常用一次性和耐久型手术防护服性能分析	20
2.2.1 实验材料	21
2.2.2 实验方法	22
2.2.3 实验结果及分析	27
2.3 本章小结	36
参考文献	37
第三章 一次性和耐久型医用防护服生命周期的清单分析	38
3.1 一次性和耐久型手术防护服材料原料获取与生产加工阶段清单分析	38

3.1.1 耐久型纯棉手术防护服的原料获取与生产的数据清单	38
3.1.2 木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料原料获取与生产的数据清单	41
3.1.3 纺粘丙纶手术防护服材料原料获取与生产的数据清单	45
3.2 医用手术防护服使用情况分析	47
3.2.1 医用手术防护服手术后的处理流程及分析范围的界定	47
3.2.2 手术防护服处理流程及清单分析	48
3.3 医用手术防护服废弃物的处置情况分析	50
3.3.1 手术防护服废弃物处理流程及范围界定	51
3.3.2 手术防护服焚烧清单分析	51
3.4 本章小结	52
参考文献	53
 第四章 一次性和耐久型手术防护服材料生命周期结果讨论及比较	 54
4.1 生命周期影响类型的划分	54
4.2 一次性和耐久型手术服材料的生命周期分析	55
4.2.1 经拒水处理的耐久型高密全棉手术服材料	55
4.2.2 经拒水处理的木浆/涤纶复合水刺一次性手术服材料	58
4.2.3 纺粘法丙纶一次性手术防护服材料	59
4.3 一次性和耐久型手术服的生命周期比较	60
4.3.1 100kg 一次性和耐久型手术服的生命周期比较	60
4.3.2 同等手术次数下，一次性和耐久型手术防护服材料的生命周期比较 ...	62
4.4 本章小结	64
参考文献	65
 第五章 结论和展望	 66

第一章 绪论

1.1 医用手术防护服的发展现状及材料选择所面临的问题

1.1.1 医用手术防护服的发展历程及现状

自从 19 世纪以来,外科医生和他们的助手开始穿着防护服^[1]。手术防护服和手术用盖布最初使用结构较紧密的棉机织物,一段时间后改用经拒液化学物质整理得到紧密的机织物。在第二次世界大战中,美军开发了一种经氟化碳和苯化合物处理的高密机织物。战后,一般民用医院很快便采用了这些织物^{[2][3]};到了 20 世纪 70 年代,在医用防护领域中,开始采用防护性能和耐久性得到提高的新型机织材料^[4]。

同时,自从 20 世纪 50 年代以来,非织造材料的抗撕破性得到提高,生产者们积极地将这些材料应用于外科手术领域。因此,在卫生保健和其他机构中一次性非织造布获得了较高的市场份额。这种趋势一直在持续,在未来的几年里,北美市场预计将有 7%的年增长率^[5]。在美国,一次性织物已经成为手术防护服、化学防护服最普遍的材料,它们目前正在我国及其它发展中国家获得越来越多的市场份额。然而,由于考虑到由一次性纺织品使用后丢弃引起的环境污染,在欧洲,ESTA(European Textile Service Association)等组织呼吁人们尽量使用耐久型织物^[6],耐久型织物将可能获得越来越多的市场份额^[7]。今后,从全球来看,如何选择防护织物的材料是一个变多复杂的过程,不仅受到材料功能的影响,而且还受到经济、环境和文化因素的影响。

1.1.2 医用手术防护服材料的选择

一次性材料和耐久型材料是在医用防护领域以及其他需要对生物和化学有害物质进行防护的领域中应用广泛却相互竞争的两种材料。所有的卫生保健工作者都需要穿上或使用防护织物,例如:手术防护服、手套、手术用盖布和口罩来降低或阻止疾病的传播^[8]。虽然通常认为一次性织物在防护性能上要优于耐久织物,但是它们作为生物有害材料必须马上丢弃。相反,耐久型防护织物可以通过消毒和洗涤重复使用,但这种织物被认为防护性较差且需要花费较多时间来维护。当前,在全球范围内使用一次性织物还是耐久型织物存在着很激烈的争论。

两种材料都因为在经济、环境或是防护性上的不同优点而拥有不少支持者。

对于医用防护纺织品材料选择的两难境地，孙刚教授等人认为可以设计一种新的解决模式，防护织物分析模型（Analysis of Protective Textiles, APT）^[9]；这种模式可以准确衡量经济、环境、社会政治因素，并充分考虑这些因素与改进材料的关系。此模型将由加州大学、北卡州大和东华大学的数位跨学科的科研人员共同完成。

1.2 医用手术防护服材料的评价方法：防护纺织品分析（APT）模型

一个完整的防护纺织品分析（APT）模型^[9]，主要考虑的因素有：阻隔杀菌功能、物理机械性及其它性能、在日常使用后处理中的感染风险、生命周期评价（对环境的影响）。

1.2.1 医用手术防护服材料的阻隔、杀菌功能

外科手术防护服和手术用盖布材料的基本要求是拒液性。在手术过程中，医护人员要面对着可能含有病毒或细菌的病人血液、体液和分泌物，随时存在着被感染的危险。防护材料应能阻止微生物、微小颗粒和液体的进入，从而起到保护医务人员的作用。这种功能在机织物和非织造布上都可以得到。机织物制成密度较大的结构且表面经炭氟化合物处理，而非织造织物可以覆上层压塑料膜。这种在非织造布上的结合可以保持空气和湿气通过，达到手术防护服的舒适性要求^[10]。

非织造布、机织物、或其他结构的织物手术防护服材料也可以通过处理，使其具备杀菌功能，这样同样可以起到防护作用。孙刚教授等人新开发出一种化学物质的处理方法，织物经过乙内酰脲化合物处理，获得杀菌功能。其中，改性纤维素和合成织物的设计、杀菌功能的重新激活、微生物的失活已经有成功的例子^[11-15]。

国际上并没有统一的测试标准对医用纺织品的杀菌性和拒液性进行评价^[9]。在美国最重要的织物抗菌测试标准是由AATCC制定的，两个普遍使用的标准是AATCC-100和AATCC-147。AATCC、ASTM、INDA几个协会分别制定了各自的织物拒液性测试标准，根据这些协会的标准，大多数测试结果是不可替代的。

相反，欧盟国家使用统一的标准提供可替换和可比较的结果。因此，对相同的医用纺织品进行全面的研究和将不同的测试标准统一起来也是必要的。

1.2.2 医用手术防护服材料的其它基本性能要求

除了杀菌和阻隔两项性能，医用防护纺织品也必须进行一些其它的必要的测试，包括干湿拉伸强力、干湿撕裂强力、顶破强力、耐磨性、水吸收能力、透湿透气能力和掉毛性能等^[16]。

评估手术防护服的防护能力时应考虑剪切应力、顶破应力和纤维应力以及摩擦性能。手术防护服的牢度是非常重要的，因为衣服的破损将直接为微生物的侵入提供通道，而材料的磨损导致防护能力的下降。手术时病人的血液会喷溅出来，所以，防护手术防护服还应具有一定的耐压能力^[17]。此外，舒适性（透气、透湿）、不易掉毛也是相当重要的性能。

在我国颁布的《医用一次性防护服技术要求》(GB19082—2003)^[18]中也对防护服的外观、结构、液体阻隔功能、断裂强力、断裂伸长率、过滤效率和阻燃性能和抗静电性能等作出了强制性的规定。如要求静水压为1.67kPa时，防护服不得渗透；透湿量应不小于 $2500\text{g/m}^2 \cdot \text{天}$ ；断裂强力不小于45N/5cm；对非油性颗粒物的过滤效率不小于70%等要求。

1.2.3 处理医用手术防护服的感染风险评估^[9]

在日常处理（例如，接触、洗涤、丢弃）被细菌污染过的手术防护服时，人们也有可能受到病原体的感染（二次感染）。感染的途径有两条：一是病原体从受污染织物挥发到空气之中，被人体吸入；二是受污染织物上的病原体通过摩擦等途径转移到人身上的衣物上，进而转移到人的皮肤上从而形成感染。

在处理受污染织物时受到感染的风险与能够从织物上向空气扩散或者转移的活性病原体的数量、病原体与目标器官的接触程度，以及病原体种群、数量有关。对于任何特定的暴露于病原体下的地方，在使用杀菌织物可以使织物上的病原体的活性至少降低几个数量级，因而可以相应地减少感染的风险。

Nicas教授从理论上的风险分析来检验二次感染的风险，并设计实验进行风险评估。实验可以评估织物在日常使用后处理中，测试的细菌再在物理外力作用下从一次性以及耐久型织物上向空气扩散、转移出去的程度。

1.2.4 医用手术防护服生命周期评价（能源消耗及对环境的影响）的模型

1.2.4.1 生命周期理论概述

随着环境保护意识的提高和对产品生产与消费中可能伴随的环境影响的进一步了解，人们希望建立一些方法来更好地认识和减少这些影响。生命周期评价就是出于这一目的而发展起来的一门技术^[19]。

生命周期的研究贯穿产品生命全过程，生命周期评价方法主要是研究产品从原料到销毁的整个过程之中，所要消耗的能量，对环境产生的影响。产品从“生”到“死”的主要步骤有：原材料的取得、原材料粗加工、产品的生产过程、运输、销售、消费者使用、产品的回收再利用、产品的丢弃销毁。生命周期评价方法研究其中每一个步骤所消耗的能源，资源（原料），（即每一步骤的“Input”），产生的固体废弃物、废水、有害气体（即每一步骤的Output）^{[20][21]}。

1.2.4.2 一次性和耐久型医用手术防护服材料生命周期的分析

一次性和耐用型医用手术防护服材料有不同的织物结构。

一次性材料主要是非织造材料，其主要原料是：聚乙烯、聚丙烯、聚酯及他们的混合物。一些一次性材料将木浆作为主要成分。总体来说，他们是由石油制成的合成聚合物。在医用防护领域中，这些一次性材料使用后，就成为有害物质需要马上处理。这样的使用模式给人们有一种卫生和恰当防护的感觉，但是产生了大量的废弃物。在中国，有法律规定必须对这些废弃物进行处理^[22]。中国卫生部也规定^[23]，医疗废物应当经焚烧或者消毒后进行填埋。燃烧时，医用废弃物散发出多种空气污染物，其中包括：氯化氢、二氧芑、及铅、一氧化碳、汞等有毒气体。在美国，医疗废弃物的焚烧物是产生汞和一氧化碳的主要来源^[24]。1997 年，EPA 颁布了第一个法规大大减少了医用废弃物燃烧物对空气的污染保护公众的健康。该法令规定，医用废品的燃烧物中汞必须降低 94%、二氧芑降低 95%。处理医用废弃物的另一种方法是采用土地填埋，这种方法成本高昂。

传统的耐久型纺织品由棉纤维制成，现在会含有聚酯纤维，这种耐久型纺织品在卫生保健领域可以重复使用。根据美国疾病控制预防中心 CDC 的指导方针，每次使用后，纺织品必须经专业洗涤^{[25][26]}。洗涤时，使用过的纺织品不仅需要清洁，还需要用低浓度的次氯酸钠溶液和高浓度的双氧水之类的漂白剂进行消

毒。在中国，卫生部的《消毒技术规范》规定^[27]：洗涤时，必须用 70℃ 含有效氯 500mg/L 的消毒洗衣粉溶液洗涤 30 min~60 min，然后用清水漂净。因此，在耐久性织物使用周期中，洗涤是非常重要的过程。这一过程消耗大量的水，同时产生相同数量的污水。而且，即使产生的污水能够全部被处理和循环利用来减少其对环境的有害影响，在洗涤过程仍然需要消耗能量。但是，从材料的使用周期可以看出耐久型纺织品拥有更长的使用寿命，能够商业洗涤 50 次以上，因而可以减少使用者额外的费用，以及对环境的有害影响。如果主要成分为棉纤维或者生物聚酯纤维如聚乳酸纤维（PLA），最终成品可以生物降解。即使使用焚烧处理，其释放物为也仅为一次性纺织品燃烧释放物的 2%。

比较上述两种体系，在天然资源的使用方面，可以看出耐久型材料可能优于一次性材料。一次性材料是在循环过程中消耗大量的不可再生的石油资源作为基础材料。而且，在处理过程中，一次性材料将释放出更多的诸如二氧化物和汞等有害化合物。然而，耐久型产品也不尽完美，其洗涤过程消耗更多的能量和水，并且将更多的污水排放到环境中。例如，棉纤维是一种天然的可再生的材料，通常消费者认为其具有极好的舒适性和外观。即使对聚酯纤维（一种不可再生资源材料）制成的可重复使用的纺织品来说，较好的耐磨性意味着重复使用，因此相对一次性材料而言，耐久材料具有较大的环境优势。

1.2.4.3 生命周期和能量消耗的理论模型在医用防护纺织品上的应用

对一次性纸袋和相对耐久型袋子的使用周期的比较是关于生命周期目的早期的研究^[21]。他们建立了基本材料生产的产品的数据。并研究了耐久型成分（这里是指对重复使用进行简单的收集和输运）。在一次性产品和耐久型产品使用寿命结束以后对它们进行直接处理的处理系统（土地填埋）进行了比较。只考虑了两个再循环圈，比对医用产品的预想要少许多。他们的结果表明利润取决于能量、原料、化学药品转化到整个生产供应链中。因而，应当对一次性和耐久织物的加工处理及产品进行比较并建立类似的信息。

Jimenez-Gonzalez 将生命周期的方法理论用于研究整个医用防护纺织品系统（包括自然资源、生产、使用/重复使用，使用寿命结束的产品的处理），认为应对每一个步骤都建立起生命周期的模块，他将系统进行了细致划分，对 150

块模块进行了分析^[28]。Jimenez-Gonzalez还利用生命周期物流系统（LCI）的方法来描述可重复使用的防护产品对环境的益处。

在ESTA的生命周期研究总结中，Schemidt对三种耐久型手术防护服和两种一次性手术防护服进行了分析，认为使用耐久型手术防护服能环境的影响更为友好^[29]。

除了阻隔杀菌功能、物理机械及其它性能、日常处理中的感染风险、生命周期评价（对环境的影响）四大因素之外，还有其他许多比如洗涤条件、耐久性、外观等次要因素，在 APT 模型建立中也做了出相应考虑。

1.3 本课题研究的内容

中国的医院长期使用传统的高密棉手术防护服，近 10 年来，非织造一次性手术防护服材料发展迅速，尤其是非典爆发以后，人们对手术防护服防护服的各种性能要求也更高。但是，对一次性产品带来的能耗和污染问题也应该予以充分的重视，这就需要我们建立一个评价方法或者模型，以综合的考虑手术防护服材料的选择问题。

本课题研究的内容是APT模型中的一部分，主要考虑防护服材料的性能因素和环境因素，对一次性和耐久型手术防护服材料的各种性能进行比较，并分析手术防护服材料在生命周期的三个阶段（原料获取和生产阶段、使用阶段、废弃物处理阶段）的能源、资源消耗以及对环境影响。

本文对一次性和耐久型手术防护服材料的生命周期分析，采用如图 1-1 和 1-2 所示步骤和目标范围。虚线框表示的步骤因为对环境影响因素相对要小很多，不在本文中考虑。蓝色虚线箭头表示“输入”，即每个步骤消耗的能源和资源；黑色虚线箭头表示“输出”，即每个步骤排放的污染物，对环境产生的影响。

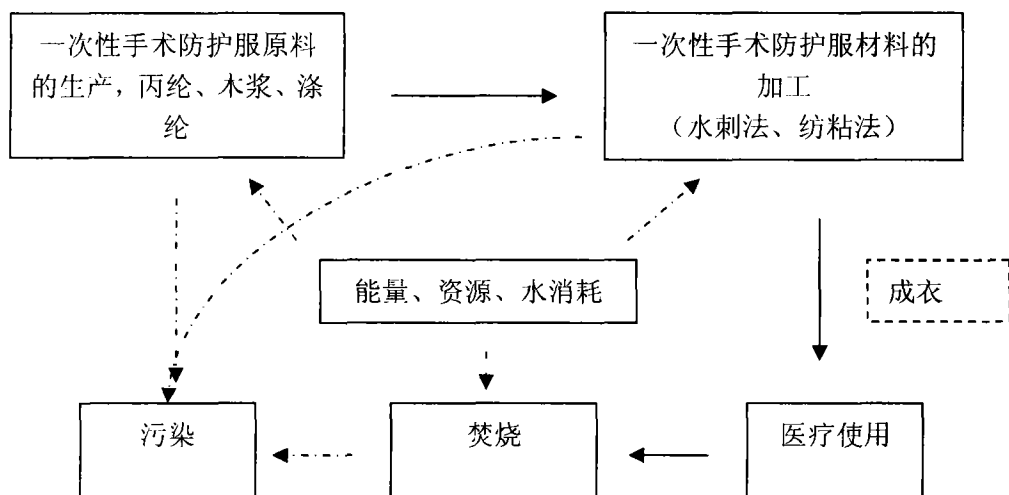


图 1-1 一次性手术防护服材料生命周期分析模型

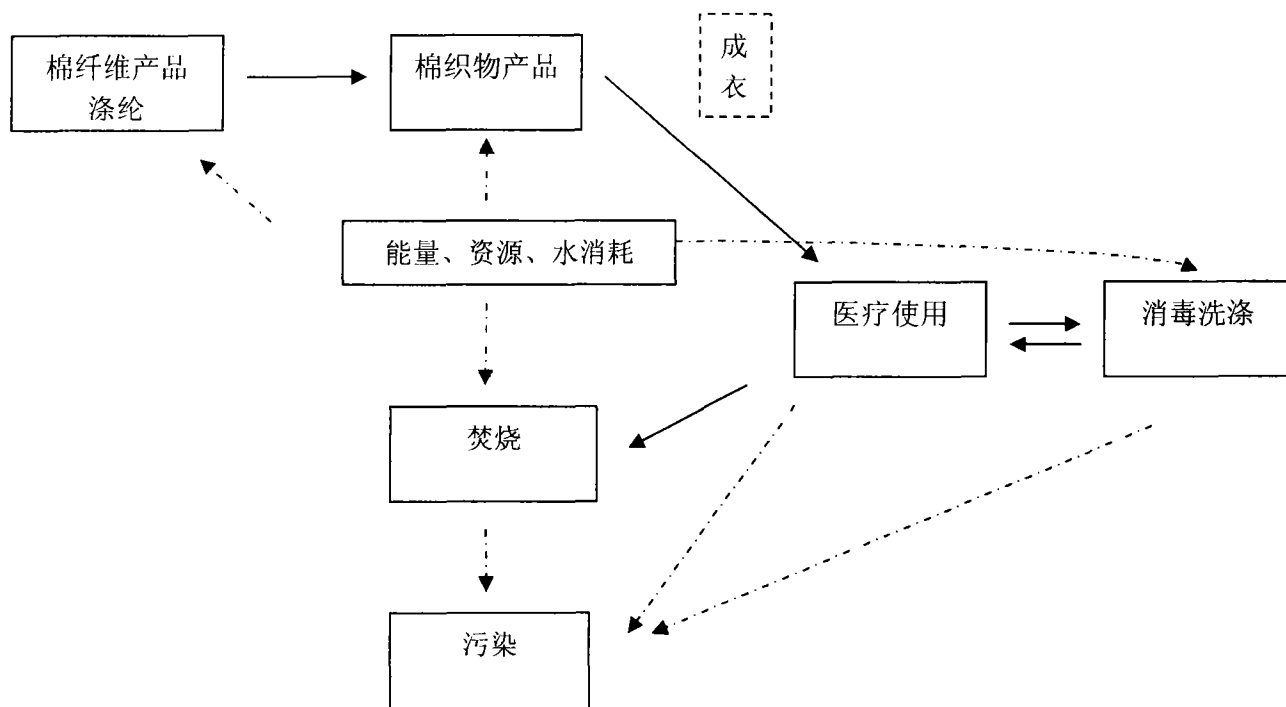


图 1-2 耐久型手术防护服材料生命周期分析模型

参考文献

- [1] Laufman, H., Belkin, N.L., and Meyer, K.K. A critical Review of a Century's progress in Surgical Apparel: How Far Have We Come? J. Am. Coll. Surg. 2000.191, 554-568.
- [2] Belkin, N. L.. The Rational for Reusables: the Other Side of the Drape. Hospital Topics, 1975.53, 45-51.
- [3] Bernard, H.R., Beck, W.C. Operating Room Barriers: Idealism Practically and the Future. Bull. Am. Coll. Surg. 1975.60, 16.
- [4] Laufman, H., Eudy, W.W., Vandermoot, A.M., et al. Strike-through of moist contamination by woven and nonwoven surgical materials, Ann. Surg. 1975.181, 857-862.
- [5] INDA, Association of Nonwoven Fabrics Industry. <http://www.inda.org>
- [6] <http://www.etsa-europe.org/homeefs.htm>
- [7] Schemidt A., European Textile Service Association, Simplified Life Cycle Assessment of Surgical Gowns-Second Draft. 2000
- [8] NIOSH, National Institute of Occupational Safety and Health., Guidelines for protecting the safety and health of health care workers. 1988
- [9] Sun Gang , et al Health Protective Textiles: Bridging the Disposable/Reusable Divide (MUSES proposal), 2004, 2-12
- [10] Bernard, T.E. Heat Stress and Protective Clothing: An Emerging Approach from the United States. Annals of Occupational Hygiene. 1999, 43(5):321-327.
- [11] Sun, G. and Xu, X., Durable and Regenerable Antibacterial Finishing of Fabrics: Biocidal Properties. Textile Chemist and Colorist. 1998, Vol. 30, No. 6, 26-30.
- [12] Sun, G. and Xu, X.,. Durable and Regenerable Antibacterial Finishing of Fabrics: Chemical Structures. Textile Chemist and Colorist. 1999, Vol. 31, No. 1, 21-24.
- [13] Sun, G; Xu, X. J.; Bickett, J.R.; Williams, J.F. Durable and Regenerable Antibacterial Finishing of Fabrics with a New Hydantoin Derivative. Ind & Eng. Chem Res, 2001 FEB 21, V40 N4:1016-1021.
- [14] Sun, YY; Sun, G. Durable and Regenerable Antimicrobial Textile Materials Prepared by A Continuous Grafting Process, Journal of Applied Polymer Science, 2002, V84, No. 8, 1592-1599.
- [15] Sun, YY; Sun, G. Novel Refreshable N-Halamine Polymeric Biocides: Grafting Hydantoin-Containing Monomers onto High-Performance Fibers by a Continuous Process, Journal of Applied Polymer Science. 2002,V88, 1032-1039.
- [16] 杨元, 郝新敏, 张建春, 国内外医用防护服标准比较及分析 中国个体防护装备 2003.5, 28-32
- [17] 吴磊, 手术防护服发展的现状和趋势, 非织造布, 2004.3
- [18] 中华人民共和国国家标准, 医用一次性防护服技术要求 GB19082-2003
- [19] 中华人民共和国国家标准, GB/T 24040-1999,环境管理生命周期 评价原则与框架
- [20] 杨建新, 徐成, 王如新, 产品生命周期评价方法及应用, 气象出版社, 2002, 10-25
- [21] Ciambrone, David F, Environmental life cycle analysis, Lewis publishers, 1997, 4-30
- [22] 《中华人民共和国固体废物环境污染防治法》(1995)
- [23] 中华人民共和国卫生部,《废物管理条例》(2004) 二十一条
- [24] EPA's web page at http://oaspub.epa.gov/webi/meta_first_new2.try_these_first, Environmental Protection Agency (EPA). Draft Health Assessment Document for 2,3,7,8

- Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) and related compounds. 1994
- [25] CDC,. Centers for Disease Control and Prevention, Guidelines for Laundry in Health Care Facilities. 1997
- [26] CDC,. Centers for Disease Control and Prevention, Draft Guideline for Environmental Infection Control in Healthcare Facilities. 2001
- [27] 中华人民共和国卫生部,《消毒技术规范》, 2002. 3.13
- [28] Jimenez-Gonzalez, C., S. Kim, and M. Overcash, Methodology for Developing Gate-to-Gate Life Cycle Inventory Information, Int. J LCA, 2000. 5(3):153-159.
- [29] Schemidt A.,Reusable surgical gowns, Option for reduced impact on the environment , European textile service association: Life Cycle Assessment study summary. 2001

第二章 一次性和耐久型医用手术防护服性能比较

手术防护服的性能是选择手术防护服材料时首先应该考虑的因素。

本章根据手术防护服基本性能要求,对当前主要的国内外手术防护服标准进行比较分析,并依据这些性能要求及标准设计相关实验,对一次性和耐久型手术防护服的阻隔性能、物理机械性能、舒适性以及掉毛性能进行比较,以研究选择手术服材料时应当考虑的性能和相关的影响因素。

与一次性手术防护服相比,耐久型手术防护服要求经过多次水洗仍然能够在手术中穿着使用,要选择一次性还是耐久型材料,应当对将洗涤的影响考虑进去,本章也研究耐久型材料洗涤次数对手术防护服基本性能的影响。

2.1 国内外医用一次性和耐久型手术防护服性能评估标准与方法分析

2.1.1 手术防护服主要性能要求

手术防护服的性能对于保护医务人员的安全非常重要。早些时候,对于手术防护服,其评价标准比较分散^[1]。近几年,各国逐渐将零散的标准统一起来,制定了专门的医用防护服标准^[2-5],中国在“非典”期间也制定了规范一次性医用防护服的国家标准^[8,9]。

手术防护服属于医用屏蔽织物,最重要的性能应该是阻隔性能。阻隔性能包括拒液性能和阻止微生物渗透的性能。医护人员在进行医疗救护中,不可避免地会接触到病人的血液和体液,在病人的体液和血液中,往往可能携带包括HBV(肝炎B病毒)、HCV(肝炎C病毒)和HIV(艾滋病病毒)在内的各种病原体。OSHA(Occupational Safety & Health Administration美国职业安全与健康局)规定使用的防护材料应该能阻止血液、体液及其携带的各种病原体的渗透,以减少皮肤与携带病原体的血液、体液直接接触的潜在的可能性^[6]。

其次,手术防护服在穿着使用中还应该清洁干净,不易掉毛,手术防护服表面掉落的毛绒、微粒等,容易携带病原体,对病人安全形成隐患^[7];同时,还应具备一些必要的物理机械性能,评估手术防护服的防护能力时应考虑材料的强力以及摩擦性能。因为,衣服的破损和磨损将使得病原体能与皮肤直接接触,使手术防护服失去防护能力。

此外,手术防护服还应满足舒适性、阻燃、抗静电等其他性能^[7]。

2.1.2 医用手术防护服标准现状

目前国际上主要的手术防护服的标准^[2-5]有:美国 AAMI (Association for the Advancement of Medical Instrumentation) 组织 2003 年 10 月制定的 AAMI PB-70, 其适用于评价卫生用防护服装的阻隔性能;美国 NFPA (National Fire Protection Association 美国国家防火协会) 制定的 NFPA 1999, 适用于医疗急救;欧洲标准委员会 (Europe Committee for Standardization) 2004 年 11 月制定的标准 EN 13795; ISO 组织制定的标准 ISO 16542 (草案);除此之外,加拿大等国家和组织也相继建立了相关标准。

2003 年非典爆发以前,中国并没有专门用于规范医用防护手术防护服的国家标准,2003 年 4 月 29 日颁布实施了 GB19082-2003《医用一次性防护服技术要求》,适用于一次性防护服。对于耐久型手术防护服,并没有可以适用的国家标准,解放军总后勤部卫生部于 2003 年 5 月 3 日发布了行业标准 WS518-2003《生物防护服通用规范》可以用于规范耐久型手术防护服^[8,9]。

2.1.3 医用手术防护服标准比较及分析

2.1.3.1 手术防护服基本性能测试条款的比较及分析

国内外主要的手术防护服及盖布标准对防护材料的性能要求的比较如表 2-1 所示^[2-5,8-10]。

通过对国内外主要手术防护服标准的对比可以看出:

- 1) 中国标准 GB19082-03 主要特点是:该标准主要是针对一次性手术防护服,而其他几个国外标准均适用于一次性和耐久型手术防护服;该标准对防护材料的性能要求比较全面,基本上考虑到了手术防护服材料性能的各个方面;该标准对防护材料抵抗微生物(病毒等)渗透方面的性能没有要求,只对防护服材料对空气中微粒的过滤效率有所规定;而对合成血液穿透性能,以及过滤效率的测试规定得比较简单,对测试方法及仪器缺乏较为详细的规定;在物理性能方面,该标准只考虑了干态下的断裂拉伸强力及伸长率,与其他标准相比,考虑得不够全面。
- 2) NFPA 1999 标准主要偏重于对防护服整体性能的测量,拒水性能的测试采用 ASTM F1359 全面液体透过试验,其试样的接缝处必须通过抗微生物渗透测

试；试样的接缝处还需进行接缝断裂强力测试。相比之下，EN 13795、ISO 16542以及GB19802-03则偏重于对防护材料自身的各种性能进行测量。

- 3) ISO 16542与EN 13795对防护材料的性能要求比较类似，在一些性能测试中，两者采用的是完全相同的测试方法和测试仪器。
- 4) EN 13795比较注重在干态和湿态两种情况下防护材料的性能。
- 5) AAMI 的PB-70是完全关于防护材料阻隔性能方面的标准。

2.1.3.2 手术防护服性能表征指标水平的比较分析

由于EN 13795和ISO 16542的具体性能要求水平仍未表决，AAMI PB-70主要是关于防护材料的阻隔性能（并根据实际应用情况分为四个等级），表2-2将GB19082-2003、WSB58-2003、NFPA 1999和AAMI PB-70的主要性能要求进行比较^[3, 4, 8-11]。

从表2-2可以看出：

- 1) 对于耐久型防护服，NFPA 1999要求的材料在进行检测前要经过25次洗涤和烘干预处理，WSB58-2003要求耐久型防护服要能够洗涤12次以上。
- 2) AAMI PB-70是关于阻隔性能方面的标准，根据材料用途分为四个等级，等级越高要求就越严格。等级1、2、3只要求只对材料的拒水性能有要求，等级4则要求消毒盖布在13.8Kpa下保持1分钟合成血液不得渗漏，手术防护服需进行微生物渗透测试，Phi-X174抗菌体不得透过试样；
- 3) GB19082-2003缺乏对抗微生物渗透性能的具体要求，但是对防护服的过滤效率是有要求的，要求对非油性颗粒物的过滤效率不小于70%。WSB58-2003要求对粉状生物离子的过滤性能应达到99%以上；对空气中的自然微生物过滤性能应达到99%以上。
- 4) GB19082-2003和WSB58-2003测试时只考虑了断裂拉伸强力，NFPA 1999除了要求断裂拉伸强力各层 $\geq 133.5\text{N}$ ，还要求抗穿刺强力各层 $\geq 24.5\text{N}$ ，撕裂强力各层 $\geq 35.6\text{N}$ ；并考虑了试样接缝处的物理性能，要求接缝及封闭处强力各层 $\geq 66.7\text{N}$ 。
- 5) 在舒适性方面，GB19082-2003按照人体表面每蒸发一克水带走0.58kal左右的热量计算^[10]，蒸发2500g水分可带走1450kal/m²d远小于NFPA 1999d的指标，GB19082-2003和WSB58-2003对舒适性要求较低。

表2-1 国内外主要的手术防护服及盖布标准对防护材料的基本性能测试条款的比较

标准	中国 GB19082—2003	WSB58总后勤部生物防护服通用规范	美国AAMI PB-70 (阻隔性能标准)	美国 NFPA 1999	欧洲 EN13795	国际标准 ISO 16452
适用对象	医用一次性防护服	耐久型防护服	外科用手术防护服及盖布 (一次性或耐久型)	一次性或耐久型医用急救防护服	外科用手术防护服及盖布 (一次性或耐久型)	外科用手术防护服及盖布 (一次性或耐久型)
	GB/T 4744 静水压试验; GB/T 4745 沾水试验	无	AATCC 42水冲市渗透试验; AATCC127静水压试验	ASTM F1359全面液体透过试验	EN 20811 抗液体渗透	无
	阻隔性能	合成血液渗透	ASTM F1670合成血液渗透试验		无	ISO 16603合成血液渗透
	微生物渗透	无 (但需测试对空气中微粒的过滤效率)	脊髓灰质炎病毒 (疫苗株) 渗透试验; Phi-X174抗菌体渗透试验	试样及其接缝处需通过ASTM F167 Phi-X174抗菌体渗透试验	EN ISO 22610 干态; EN ISO 22612 湿态	ISO 16604 Phi-X174抗菌体渗透; EN ISO 22612/22610
物理性能	顶破强力	无	无	ASTMD751	EN13938-1干态; EN29073-3湿态	无
	断裂拉伸强力及伸长率	GB/T 3923.1	有要求	无	EN13938-1干态; EN29073-3湿态	无

其它性能	其他物理性能	无	无	无	ASTMD2582抗穿裂性能: ASTM 1683接缝断裂强力	无	ISO 13995抗撕裂 ISO 12947 耐磨 ISO 9073-7悬垂性/柔软性
	微生物清洁程度	GB 15980 消毒和灭菌检测方法	无	无	无	EN 1174	ISO 11737-1消毒等级
	微粒清洁程度	无	无	无	无	ISO 9073-10掉毛试验	ISO 9073-10掉毛试验
	舒适性	GB/T 12704透湿量试验	透湿量试验	无	无	无	ISO 11092热舒适性
	抗静电性能	GB/T 5455	无	无	无	无	ISO 16542
	阻燃性能	GB/T 12703	无	无	无	无	ISO 6941 阻燃

表2-2 医用防护服性能表征指标水平比较

标准		中国 GB19082—2003	WSB58总后勤部生物防护服通用规范	美国AAMI PB-70 (阻隔性能标准) (根据材料用途分为四个等级)	美国 NFPA 1999
适用对象		医用一次性防护服	能耐机洗至少12次	一次性及耐久型防护材料	一次性或耐久型 (检测前要经过25次洗涤/烘干循环预处理)
隔离层		无	内层、中层和外层	无	必须有隔离层,可以是独立的或与布
阻隔性能	拒水性能	静水压为1.6Kpa时,不得渗透;沾水等级≥GB3	无	IP: 水冲击渗透量 HP: 承受静水压 等级 1: IP≤4.5g 等级 2: IP≤1.0g HP≥20cmH ₂ O 等级 3: IP≤1.0g HP≥50cmH ₂ O	表面张力为35×10 ⁻⁵ N/cm, 3L/min的水喷淋20min不得透过
	合成血液渗透	在13.8Kpa下不得渗漏	无	等级 4: (消毒盖布) 在13.8Kpa下保持1min不得渗漏	
	微生物渗透	无(对空气过滤效率要求: 对非油性颗粒物的过滤效率不小于70%)	对液体中脊髓灰质炎病毒(疫苗株)的过滤性能应达到99%; (对空气过滤效率要求: 对粉状生物离子的过滤性能应达到99%以上; 对空气中的自然微生物过滤性能应达到99%以上;)	等级 4: (手术防护服) Phi-X174抗菌体不得透过试样	Phi-X174抗菌体不得透过试样及其接缝处
物理性能	顶破强力	无	无	无	各层≥345Kpa
	断裂拉伸强力及伸长率	断裂强力≥45N; 断裂伸长率≥30%	经向不小于500N 纬向不小于300N	无	各层≥133.5N
	其他物理性能	无	无	无	抗穿刺强力各层≥24.5N; 撕裂强力各层≥35.6N; 接缝及封闭处强力各层≥66.7N

其它性能	微生物清洁程度	无	无	无	无
	微粒清洁程度	无	无	无	无
	舒适性	透湿量 $\geq 2500\text{g}/\text{m}^2\text{d}$	透湿量 $\geq 1500\text{g}/\text{m}^2\text{d}$; 在冬季和夏季热区着装 人员能连续工作4h以上	无	(2003版)要求总 体热损失值必须 大于 $450\text{W}/\text{m}^2$
	抗静电性能	成衣带电量 $\leq 0.6\mu\text{C}$; 材料的 电荷密度 $\leq 7\mu\text{C}/\text{m}^2$	无	无	无
	阻燃性能	符合 GB17951 中 B2 等级	无	无	无

备注: 1. 0Kpa $\approx$ 10 cmH₂O

2.1.3.3 阻隔性能表征测试方法及程序比较分析

外科手术防护服及盖布最重要的用途就是防止可能携带有病原体的血液或体液的渗透, 因此, 医用防护服的阻隔性能是其最重要的性能。阻隔性能包括拒液性能和阻止微生物渗透的性能。

1) 拒液性能测试方法

AATCC42-2000^[12]可以衡量织物在水冲击作用下抵御水渗透的能力。将织物试样(170cm $\times$ 330cm)紧密平整地夹持在一块倾斜的板子上, 试样背后垫上一块称过重量的吸墨纸, 用500ml蒸馏水或去离子水平稳的通过一个漏斗喷洒在试样的表面, 等蒸馏水或去离子水喷洒完毕以后, 将试样取下, 将吸墨纸取出并称量, 吸墨纸经喷洒以后重量的增加量即为织物试样经水冲击以后的渗透量。

AATCC127-2003^[13]可以衡量织物在静态水压力的作用下抵御水渗透的能力。对织物(测试受压面积为100cm², 直径大于4.5英寸的圆)夹持在静水压测试仪上, 对其测试面施加一个静态的水压, 并且以10mm/s(或者60mbar/min)的速度增加水的压力, 当织物的另一面在三个不同的地方出现小水滴时, 记下此时静水压读数。

EN 28011^[14]与AATCC127-2003的测试原理及仪器相同, 织物的受压面积100cm², 以10cm或者60cmH₂O/min²的速率增加水压, 当有试样三个不同位置出现小水滴时, 此时的读数为试样所能承受的静水压。

中国 GB/T 4745-1997 沾水试验^[15], 把试样安装在卡环上并与水平成45度角放置, 试样中心位于喷嘴下面150mm距离, 用250ml蒸馏水或去离子水迅速而

平稳地注入漏斗喷淋试样。通过喷淋后试样外观与评定标准及图片的比较,来确定其沾水等级。

中国 GB/T 4744-1997 静水压试验^[16],与AATCC127的测试原理相似,规定的水压上升速率为1.0Kpa/min(10cmH₂O/min)或者6.0Kpa/min(60cmH₂O/min)。

2) 阻隔微生物渗透测试方法

ASTM F1670-03 合成血液渗透^[17],ASTM F1670-03用来评估防护材料在长时间与合成血液接触下,是否能够抵御合成血液的渗透。将试样绷紧夹在测量池上,测量池中引入约60ml的合成血液(表面张力 $0.042\pm 0.002\text{N/m}$),可采用两种步骤让合成血液与试样接触,在试样与合成血液的接触过程中,观察试样是否有任何合成血液渗透的迹象。

ASTM F1671-03 Phi-X174抗菌体渗透测试^[18],是测试防护材料在与含有Phi-X174抗菌体(模拟血液中含的各种病原体)的渗透液长时接触后,是否能够抵御渗透液以及Phi-X174抗菌体的渗透。ASTM F1671-03中规定的防护材料与渗透液接触的测试步骤与F1670-03中的完全相同,所使用的测试仪器也与F1670-03中的完全相同。在防护材料与渗透液的接触程序结束以后,对防护材料的另一面引入测试剂进行培育检测,检测是否有Phi-X174抗菌体从防护材料中渗透。

ISO 16603/ISO 16604合成血液渗透测试、Phi-X174抗菌体渗透测试标准^[19]^{20]},与ASTM F1670/F1671相似,使用的测试仪器相同。但是其测试步骤不同。

中国标准GB19082—2003/5.4.3 血液穿透试验^[8]要求进行合成血液穿透试验,使用表面张力为 $(42\sim 60)\times 10^{-5}\text{N/cm}$ 的合成血,要求最小样品尺寸75mm×75mm,最少测试3件防护服,将60ml合成血液引入测量池,停留5分钟,以13.8KPa持续加压1分钟。5分钟后观察试样表面情况,要求不得渗透。

3) 国内外阻隔性能测试方法及程序的比较

将GB 19082-2003、AAMI PB-70、EN 13795、ISO 16542中的阻隔、拒液性能方面的标准测试方法进行比较,如表2-3所示:

表2-3 国内外主要阻隔性能测试方法步骤区别

标准	拒水性能		合成血液渗透	微生物渗透
	水冲击渗透/沾水试验	静水压		

GB 19082-2003	GB/T 4745-1997 沾水 试验 250ml 蒸馏水从 距试样150mm高 度上喷淋到试 样上, 观察试样 外观, 分为5个 等级	GB/T 4744-1997 水压上升速率为 1.0Kpa/min (10cmH ₂ O/min) 或 者6.0Kpa/min (60cmH ₂ O/min)	- 合成血液与试 样接触步骤: 0Kpa 5min 13.8Kpa 1min 0Kpa 5min	
AAMI PB-70	AATCC 42 静水压 试验 500ml 蒸馏水从距 试样0.6m高度喷 淋在试样上, 试样 后垫有吸墨纸, 测 试吸墨纸喷淋前 后的重量变化	AATCC 127 水压上升速率: 10mm/s (或者 60mbar/min)	ASTM F1670 合成血液与试 样接触步骤: 0Kpa 5min 13.8Kpa 1min 0Kpa 54min	ASTM F1671 测试液与试样接 触步骤: 0Kpa 5min 13.8Kpa 1min 0Kpa 54min
EN 13795		EN 28011 水压上升速率: 10cmH ₂ O/min (或 者60cmH ₂ O/min)		
ISO 16542			ISO 16603 合成血液与试 样接触步骤: 0Kpa 5min 14Kpa 1min 0Kpa 4min 或者: 0Kpa 5min 1.75Kpa 5min 3.5Kpa 5min 7Kpa 5min 14Kpa 5min 20Kpa 5min	ISO 16604 测试液与试样接 触步骤: 0Kpa 5min 14Kpa 1min 0Kpa 4min 或者: 0Kpa 5min 1.75Kpa 5min 3.5Kpa 5min 7Kpa 5min 14Kpa 5min 20Kpa 5min

备注: 1.0mbar≈1.0cmH₂O; 表中13.8Kpa 1min 表示: 测试液与试样在13.8Kpa下保持接触1分钟, 类推。

从表2-3可以看出:

- 1) GB 19082-2003拒水性能中采用的是GB/T 4745-1997沾水等级测试, 通过试样

外观并与标准图片比较而评定等级；而AAMI PB-70则采用水冲击渗透AATCC 42试验，使用的材料范围相对更广，测试结果相对精确。

- 2) 在静水压的测试方面，GB/T 4744-1997、AATCC 127、EN 28011规定的仪器和测试方法类似，只是规定测试的水压上升速率有所区别。
- 3) 在合成血液测试及微生物渗透测试中，主要区别在于测试液与试样接触时的压力及时间等接触程序，GB 19082-2003所采用的接触程序中，试样与合成血液接触时间、测试程序与ASTM1670、ISO 16603相比较短，要求较低。

GB 19082-2003缺乏微生物渗透测试的具体方法。

2.1.3.4 手术防护服标准对掉毛（Linting）性能的要求

手术防护服和盖布在使用中，材料（尤其是非织造材料）表面容易出现掉毛现象，一些纤维绒毛、碎片及各种微粒容易从材料表面上脱落^[7]，这些微粒可能会携带病菌，会落入病人的伤口，使病人有受到感染的隐患。一些医院手术室的空调的层流通风口常常有布毛出现，说明手术室中一些织物脱落产生的微粒，随着气流在手术室里面飘荡，这对病人是很不利的。可见，掉毛性能也是反映手术防护服和盖布使用安全的重要性能，需要对其进行测试和评价。

EN 13795 和 ISO 16542 对防护材料的掉毛性能要求用 ISO 9073-10 的测试方法进行测试^[21]。ISO 9073-10（非织造布在干态下产生的绒毛及各种微粒的测试方法）可以衡量非织造测量非织造材料表面在干态下产生的绒毛及各种微粒的数量，这个测试方法，也可以应用于其它纺织材料。

图 2-1 为 ISO 9073-10 所用的测试仪器。将试样剪成如图 2-2 所示的尺寸，并粘合成圆柱形状，将试样放入测试仪器中，在测试室里（test chamber）对试样进行扭曲，压缩等处理。在对试样进行处理的同时，通过清洁的空气流，将试样表面产生的各种微粒带到一个微粒计数器（particle counter）中，微粒计数器可以对收集到的微粒进行分类及计数。设置计数器让其每隔 30 秒计数一次，然后再清零，重新计数，总共计数 10 次，其 10 次所搜集到微粒总和即认为是该试样表面掉落的总微粒。注意，测试人员在材料进行测试时，应该戴上规定的手套，尽可能小心谨慎地处理试样。

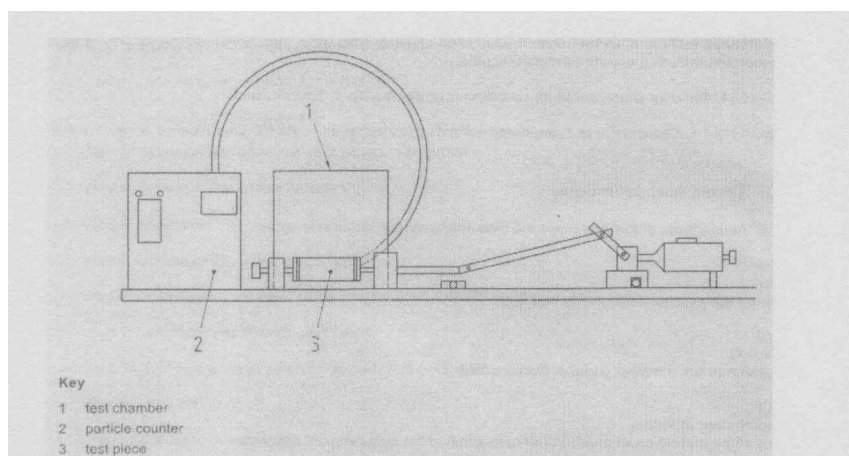


图 2-1 Glebo 弯曲干态微粒生成器 (Glebo Flex dry generator)

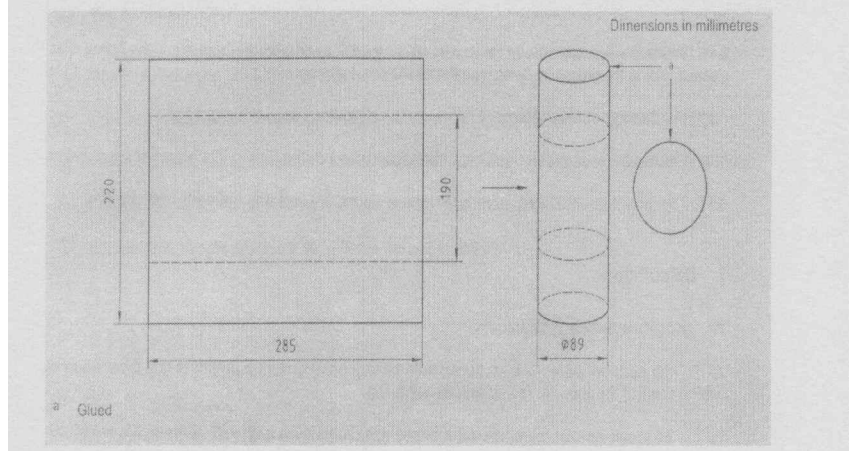


图 2-2 ISO 9073-10 的试样尺寸

与国外标准相比,国内手术防护服标准并没有对手术防护服材料掉毛时提出性能要求和测试方法,在此方面的还需要深化讨论和进一步的研究。

2.2 国内常用一次性和耐久型手术防护服性能分析

在中国,内地医院使用耐久型手术防护服较多,沿海发达城市的医院,使用一次性手术防护服较多;医院里,一般手术中主要使用纯棉或者涤棉耐久型手术防护服,在传染病病人手术、妇产科、四管科等科室,主要使用一次性手术防护服。

常用的一次性手术防护服材料有:纺粘法丙纶非织造材料,经拒水处理木浆与涤纶复合非织造材料,SMS(纺粘-熔喷-纺粘)非织造布,经涂层、覆膜或者层压处理纺粘丙纶非织造材料等。

常用的耐久型手术防护服材料有:经过拒水处理的高密多层纯棉或涤棉织物,经过拒水处理的高密超细涤纶织物,以美国 W.L.Gore 公司的 Gore-tex 层压

织物和荷兰 Akzo-Nobel 公司开发的 Sympatex 层压织物为代表的聚四氟乙烯微孔薄膜复合层压织物等,

加州大学戴维斯分校的孙刚教授和他的博士生开发出一种新型乙内酰脲处理的耐久的、可再生的抗菌织物^[22], 获得一种广泛的抵抗食物及水中传染病菌的能力。这种杀菌功能通过普通的水洗氯漂后可以再生, 并且能经受超过 50 次的标准机洗。

本节对国内几种常用的一次性和耐久型手术防护服, 在拒液性能、物理机械性能、透气舒适性能和掉毛性能等方面进行比较, 并研究耐久型手术防护服洗涤次数、可再生抗菌处理对手术防护服前面所述性能的影响。

2.2.1 实验材料

本节实验选用的手术防护服材料有耐久型的纯棉手术防护服、可再生抗菌涤纶手术防护服材料, 纺粘丙纶手术防护服、PU 涂层纺粘丙纶手术防护服、拒水处理木浆涤纶复合水刺手术防护服材料。

实验材料分析的材料如表 2-4 所示, 这些材料的表面形态, 如图 2-3 所示。

表 2-4 一次性和耐久型手术防护服实验材料

编号	耐久性	手术防护服材料	取样区域/加工方法	克重(g/m ²)
CO1	耐久型	纯棉	易感染区: 经拒水处理厚重机织物(青色)	352.0±0.7
CO2			其余部分: 普通机织物(青色)	218.0±0.5
T/C		涤纶/棉(30/70)	经菌处理机织物(白色)	114.80±0.6
SB1	一次性	丙纶	纺粘非织造布(蓝色)	44.32±0.9
SB2		丙纶	易感染区: 层压塑料覆膜的纺粘非织造布(白色)	46.70±1.2
SB3			其余部分: 纺粘非织造布(无膜部分)(白色)	33.16±0.9
SL1		木浆/涤纶	经拒水处理水刺非织造布(XL, 白色)	57.57±1.2
SL2		木浆/涤纶	经拒水处理水刺非织造布(XL, 蓝色)	81.92±1.0
SL3		木浆/涤纶	经拒水处理水刺非织造布(HNXX, 红色)	68.63±2.9

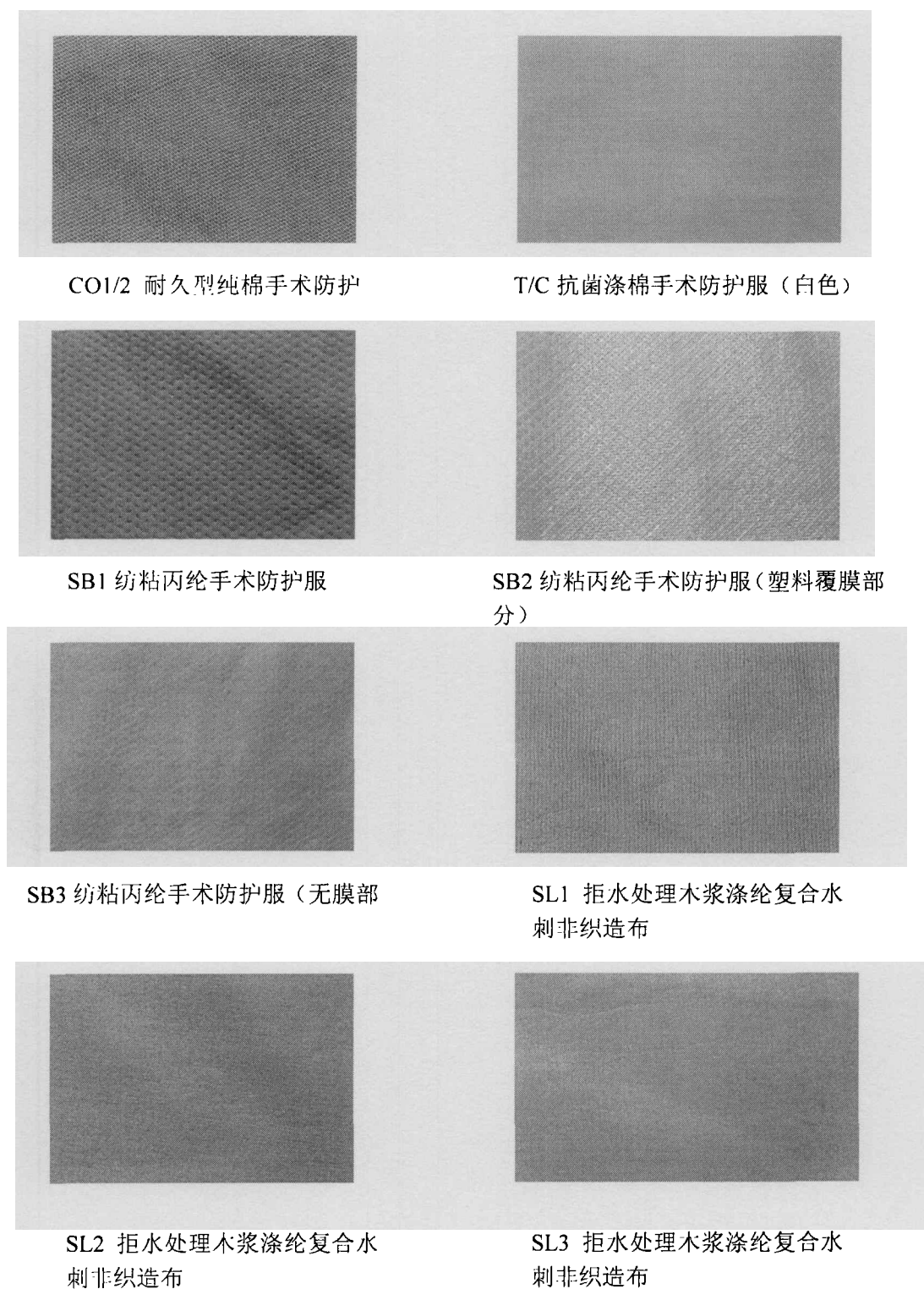


图 2-3 实验材料表面形态

2.2.2 实验方法

2.2.2.1 拒液性能

1、静水压测试

静水压可以衡量织物在静态水压力的作用下抵御水渗透的能力,根据国家标准《医用一次性防护服技术要求》GB19082-2003^[8]规定,使用 GB/T4744-1997 标准进行试验,静水压为 17cmH₂O 时,手术防护服不得渗漏。

本节静水压测试使用 YG812 型织物渗水仪,根据标准 GB/T4744-1997,在空气温度为 24.5℃、相对湿度为 65%的实验条件下进行试验。试样经调湿处理 16 小时(在恒温恒湿室进行),每份样品取试样 5 块,试样尺寸直径为 130mm-200mm。水压上升速率为 1.00KPa/min±0.05KPa/min(10cmH₂O/min±0.5cmH₂O/min)。

当观察试样上三个不同点处出现有水滴渗出时进行读数,此时标尺管上的水柱高度表示试样能承受的静水压的压力。

2、接触角

水滴附着于物体表面时,水滴在物体表面接触点上切线所形成的 θ 角称为接触角。接触角的大小在一定程度上可作为织物防水性的量度。接触角愈大,表明水分子与织物表面分子间的附着力愈小,织物的防水性越强。接触角大于 90°时,一般认为织物的防水性良好;接触角小于 90°时,织物较易被水润湿,防水性不良。

液滴角度测量法是测量接触角的最常用的方法之一。在平整的固体表面上滴一滴小液滴,直接测量接触角的大小。为此,可用低倍显微镜中装有的量角器测量,也可将液滴图象投影到屏幕上或拍摄图象再用量角器测量,这类方法都无法避免认为作切线的误差。

本实验采用 JC2000A 接触角测量仪,在空气温度为 20℃、相对湿度为 65%的实验条件下进行实验。将一滴纯净水滴到手术防护服材料上,拍摄并观察其接触角图片。

2.2.2.2 舒适性

由于医务人员的工作强度高,工作时间长达几个甚至十几个小时,在手术过程中也要承受相当的心理压力,在手术中容易出许多汗,给手术增加了难度,如

果手术防护服的舒适性能不好的话,穿着不舒服、透湿透气性不好,医生在进行长时间的手术过程中,汗气无法排出,就会感觉闷热,这对医生的身体造成很大的负担。这就对手术防护服舒适性尤其是透湿性和透气性提出了一定的要求。

1、透湿性

织物透过水蒸气的性能称为透湿性,透湿性是重要的舒适、卫生性能指标,直接影响服装排放汗、汽的功能。透湿实质上是织物两侧存在一定相对湿度差的条件下,水蒸气从相对湿度较高的一侧朝相对湿度较低一侧扩散的过程。水蒸气透过织物的一种重要方式是织物与高湿空气接触的一面的纤维,从高湿空气中吸湿,再由纤维传递至织物的另一面,并向低湿空气中放湿;另一种重要方式是水蒸气直接通过非织造布内的空隙,扩散至织物的另一面。

根据《医用一次性防护服技术要求》GB19082-2003 的规定,织物的透湿量必须按照 GB/T12704 规定的方法进行试验,要求不小于 $2500\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 。本节试验根据 GB/T12704 中的吸湿法进行。

实验采用 6 个相同大小的透湿杯,将试样裁成直径为 7cm 的圆形试样。试验箱内采用温度为 38°C 、相对湿度为 90% 的试验条件。向清洁、干燥的透湿杯内装入吸湿剂,将试样测试面朝上放置在透湿杯上,密封,迅速水平放置在已达到规定试验条件的试验箱内,经过 0.5h 平衡后取出。迅速盖上对应杯盖,放在 20 度左右的硅胶干燥器中平衡 30min,按编号逐一称量。之后迅速将试验组合体放入试验箱内,经过 1 小时后取出,称量。织物的透湿量由两次称量的重量差来计算。

2、透气性

在考虑到服用舒适性的时候,还有一个参数—透气性,它和织物结构及表面孔径相关。能在一定程度上间接反映织物的舒适性程度。一次性手术防护服国家标准并没有对此项性能作出要求,但考虑到织物透气性对织物服用舒适性的影响,本节参照了国标 GB/T5453-1997 对样布进行了对比试验。

本实验采用 YG461 型织物透气性测定仪,根据标准 GB/T5453-1997,在空气温度为 20°C 、相对湿度为 65% 的试验条件下进行试验。试样直径不小于定压圈直径 70mm。

2.2.2.3 物理机械性能

物理机械性能也是手术防护服的重要性能如果手术防护服在使用过程中出现断裂, 撕破等现象, 将失去防护功能, 导致细菌的入侵。本节主要对手术防护服材料的断裂拉伸强力和断裂伸长率进行分析。

根据国家标准《医用一次性防护服技术要求》GB19082-2003 规定, 我们使用 GB/T4744-1997 标准进行试验, 实验结果要求断裂强力不小于 45N, 断裂伸长率不小于 30%。

本实验采用等速伸长试验仪, 根据标准 GB/T3923.1-1997, 在空气温度为 20°C、相对湿度为 65%的实验条件下进行实验。

试样的尺寸为 50mm*330mm 的条样。在样品上离开布边 100mm, 按平行排列的方式截取纵向和横向试样各 5 条。上下两夹钳之间的隔距为 200mm, 上夹钳的牵引速度为 100 mm/min, 预加张力为 2.00N。对于其中一块断裂伸长率超过 80%的布, 隔距为 100mm, 其余参数不变。将试样采用预张力 2N 夹持, 在夹钳中心位置夹持试样。开启试验仪, 拉伸试样至断脱。记录断裂强力和断裂伸长。

2.2.2.4 耐磨掉毛性能初步探讨及比较

掉毛性能是评价医用防护材料的重要性能之一。在手术防护服的穿着过程中, 织物不可避免会产生磨损, 尤其在高强度长时间的手术室中, 医生会频繁的做着各种动作, 材料(尤其是非织造材料)表面的一些纤维绒毛、碎片及各种微粒容易从材料表面上脱落, 出现掉毛现象, 微生物病原体容易附着在掉落的微粒上, 可能会落入病人的伤口, 使病人有受到感染的隐患^[7]。笔者在国内一些医院调查访谈时了解到, 不少医院手术室的空调的层流口常有布毛出现, 这对病人是很不利的。掉毛性能是反映手术防护服和盖布使用安全的重要性能, 有必要对其进行测试和评价。

国际上医用防护服的标准 EN 13795 和 ISO 16542 要求对医用防护材料的掉毛性能进行测试, 用 ISO 9073-10 的测试方法进行测试(见 2.1.3.4 的介绍)。

国内尚无关于织物的掉毛性能测试的相关标准和测试方法, 考虑到医用防护材料在使用中与人体、自身的摩擦是导致纤维绒毛、碎片等各种微粒脱落的重要原因, 本节用耐磨试验来模拟手术时, 手术防护服材料之间、手术防护服和医生以及其他物体之间相互摩擦的情况, 研究这不同手术防护服摩擦后的掉毛情况,

对防护材料的掉毛性能进行初步探讨。

本节参考中华人民共和国国家标准 GB/T13775-92《棉、麻、绢丝机织物耐磨试验方法》^[23]来进行探索试验。使用马丁代尔耐磨仪，在空气温度为 20℃、相对湿度为 65%的实验条件下进行实验。分别让手术防护服材料与标准磨料和自身进行耐磨实验，在 9KPa 压力下磨 1000 次，测量手术防护服材料在摩擦 1000 次前后的质量变化，算其失重率，来间接评价手术防护服材料的掉毛性能。

$$\text{失重率} = 100\% \times (\text{摩擦前重量} - \text{摩擦后重量}) / \text{摩擦前重量}$$

2.2.2.5 洗涤次数及对耐久型手术防护服基本性能的影响

耐久型手术防护服手术后，在下一次使用前需要进行洗涤，NFPA 2112 要求耐久型医用防护服的性能在经过 25 次洗涤烘干以后仍能满足要求，WSB58-2003 要求耐久型手术防护服必须经过 12 次洗涤也能符合标准。笔者在通过对一些医院的调查访谈中了解到，这些医院的耐久型手术防护服通常平均需要经过 50 次以上洗涤（使用 1~2 年）才会作为废弃物销毁。

由上所述，本节对纯棉耐久型手术防护服和可再生杀菌涤棉手术防护服材料分别进行多次水洗，以分析水洗次数对耐久型手术防护服性能的影响。

根据卫生部 2002 年颁布的《消毒技术规范》规定^[24]，医院衣物必须用 70℃ 含有效氯 500mg/L 的消毒洗衣粉溶液洗涤 30 min~60 min，然后用清水漂净。本节选用美国惠而浦 XQG50-371 洗衣机，选用有效氯含量 1.35%~1.65% 白猫消毒洗涤剂（每 2L 水用 74g 该消毒洗涤剂可达到 500mg/L 的有效氯含量要求）。每一次洗涤时，在 70℃ 左右洗涤 1 小时，然后用清水漂洗 15 分钟。

同时，本节实验所采用的 T/C 可再生杀菌涤棉织物，是使用一种新颖的化学技术可得到耐久、可再生的抗菌织物，这种化学技术在整理过程中使用 DMDMH 为母体。一旦接枝的杂环化合物经稀释过的氯处理过后，会导致在纤维素上的乙内酰脲基团大量增加，并且产生持久的抗微生物功能。无论是棉织物或是涤棉混纺织物经过 2%~10%DMDMH 整理浴处理后，获得一种广泛的抗食物及水中传染病菌的能力，这种杀菌功能通过普通的水洗氯漂后可以再生^[22]，因此在采用含氯洗涤剂洗涤时，同时也起到“充电”的作用，重新恢复杀菌能力，从而获得的耐久性。

孙刚教授认为，手术防护服材料具有杀菌能力，在这样的前提下可，以适当

牺牲织物的阻隔性能,虽然病菌可能随着液体进入手术防护服材料,但是会很快被具有杀菌功能的手术防护服材料杀死,从而起到防护的作用,并获得较好的舒适性。

本小节通过对未经处理涤棉机织物以及经过这种克再生杀菌处理的 T/C 涤棉机织物进行对比实验,分析这种可再生杀菌(乙内酰脲)处理对手术防护服材料在基本物理机械性能、透湿透气舒适性能以及掉毛性能方面的影响。

2.2.3 实验结果及分析

2.2.3.1 拒液性能

在手术过程中会有病人的血液飞溅到手术服上,所以手术服应有一定的防护性能,这样才能保证医生在手术中不会受到病人血液的感染。我们利用抗渗透性来表征各种织物的防护性能。

1、静水压测试

图 2-4 表示了几种手术防护服材料的静水压值。

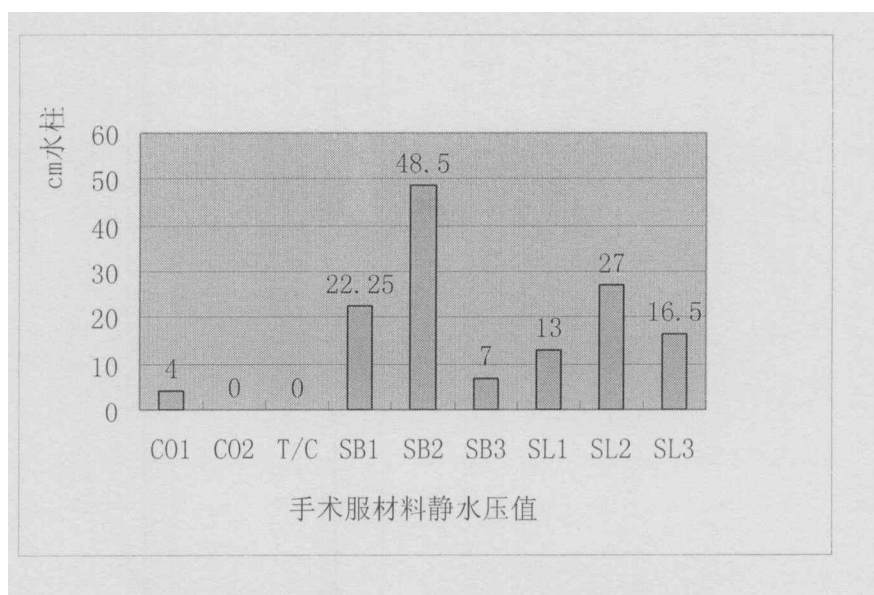


图 2-4 几种手术防护服材料耐的静水压值

2、接触角

图 2-5 显示了这几种手术防护服材料接触角的测试值。

由于 CO2 和 T/C 中棉织物吸水,10 秒钟后,织物已完全将水滴吸入。无法测其接触角。

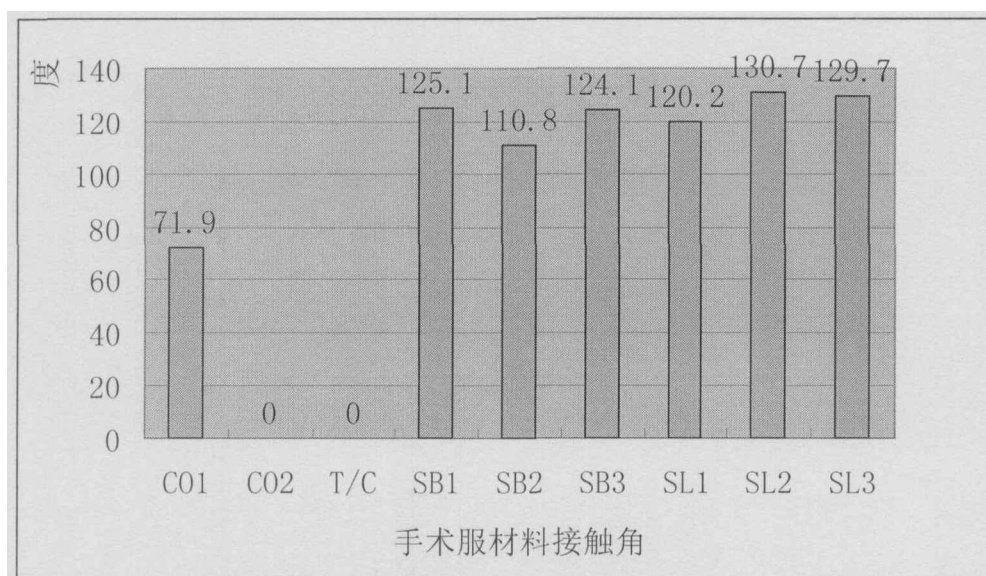


图 2-4 几种手术防护服材料的接触角值

3、几种手术防护服材料的拒液性能测试结果分析

织物材料透水过程包括三种途径：一是因纤维吸收水分子，使水分子通过纤维内部渗透到非织造布另一面；二是毛细管作用，材料内的纤维润湿，使水渗透到另一面；三是在水压作用下，水通过非织造布内孔隙流向另一面。根据透水途径，织物的拒液能力与材料亲水性以及织物的结构有关系。

由于棉织物具有吸湿性，未经拒水处理的厚重棉织物 CO2 和可再生杀菌处理的涤棉织物 T/C 在进行静水压和接触角测试的时候会很快被润湿，其静水压和织物表面接触角的实验均无法测量，拒液性能最差。

经拒水处理的厚重棉织物试样 CO1，三种一次性纺粘丙纶非织造布试样 SB1、SB2 和 SB3，三种木浆/涤纶水刺非织造材料 SL1、SL2 和 SL3 均具有一定的拒水能力。

接触角的大小可以反应出织物材料的亲水性，测量接触角大小的实验，可以在一定程度上看出各种材料的拒液能力。SB1~3、SL1~3 的接触角基本都大于 90° 说明这几种材料的表面防水性能良好，其表面具有很好的拒水性能。本来吸水的棉织物 CO1 经拒水整理以后，其表面也具有一定的拒水那个能力。

在静水压实验中，覆有塑料膜的 SB2 纺粘丙纶非织造材料的静水压值最高，达到 $48.5\text{cmH}_2\text{O}$ ，而同一件纺粘丙纶服上无膜区域 SB3（克重 33g/m^2 ）在加压

到 7cmH₂O 的时候就完全被润湿了，而另外一件纺粘丙纶手术防护服材料 SB1 虽然没有覆膜，但是其克重比 SB3 高许多，因此其静水压值也要高得多，达到 22.5 cmH₂O；经过拒水处理的三种水刺非织造材料 SL1、SL2 和 SL3 均能承受一定的静水压，在 13~27cmH₂O 之间，其中，静水压值最高的是克重最重的 SB2。

综合以上的分析，可以看出：

- 1) 从总体来说，一次性手术防护服防护材料的拒液性能要好于耐久性手术防护服防护材料；
- 2) SB 一次性纺粘丙纶手术防护服材料的拒水性最好，尤其是覆有塑料膜的 SB2，能达到较高的静水压值；
- 3) SL 一次性木浆涤纶复合水刺手术防护服材料经过拒水整理以后，其拒液性能和克重较低的 SB1 纺粘丙纶材料相仿，比 SB2 覆膜的一次性纺粘丙纶要差；
- 4) 经拒水整理的棉织物 CO1，具有一定的拒液性能，但是与 SB 一次性纺粘丙纶和 SL 一次性拒水处理水刺手术防护服材料比起来，其拒液性要差；
- 5) 完全不经拒水处理的 CO2 棉织物手术防护服和 T/C 可再生杀菌处理涤棉手术防护服，由于棉的吸水性，不具备拒液能力；
- 6) 同种材料的拒液性能，克重越大，结构越紧密，其拒液性能越好。SB2 > SB1, SL2 > SL3 > SL1；

可见，选用拒水材料（丙纶），或进行拒水整理，采用致密结构（覆塑料膜或者更高的克重）都能相应的提高手术防护服防护材料的拒液性能。但是这样显然会带来更高的生产成本以及更大的环境影响。

2.2.3.2 舒适性

1、透湿性

试验结果如图 2-5 所示：

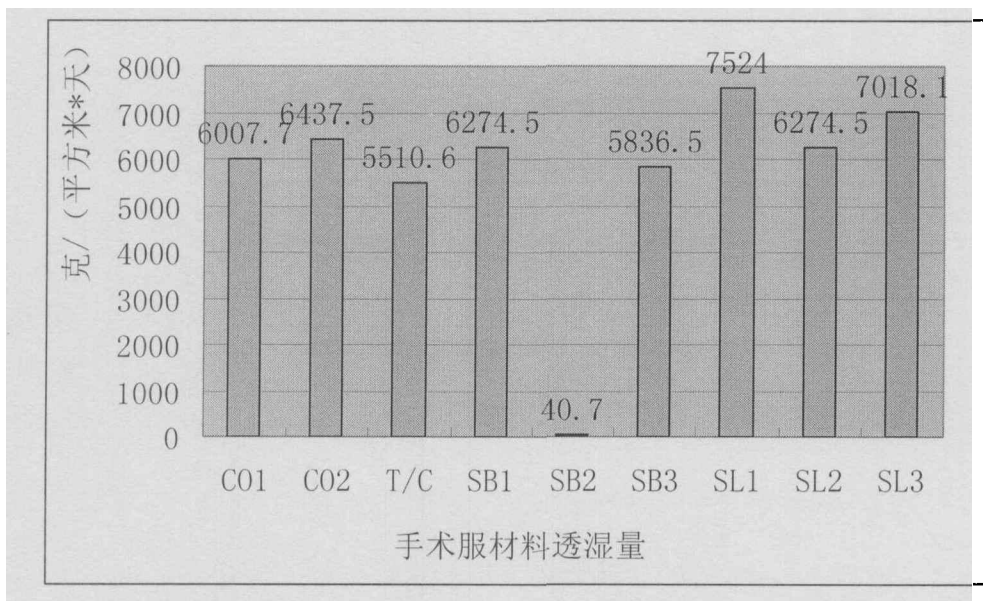


图 2-5 几种手术防护服材料透湿量

2、透气性

实验结果如图 2-6 所示：

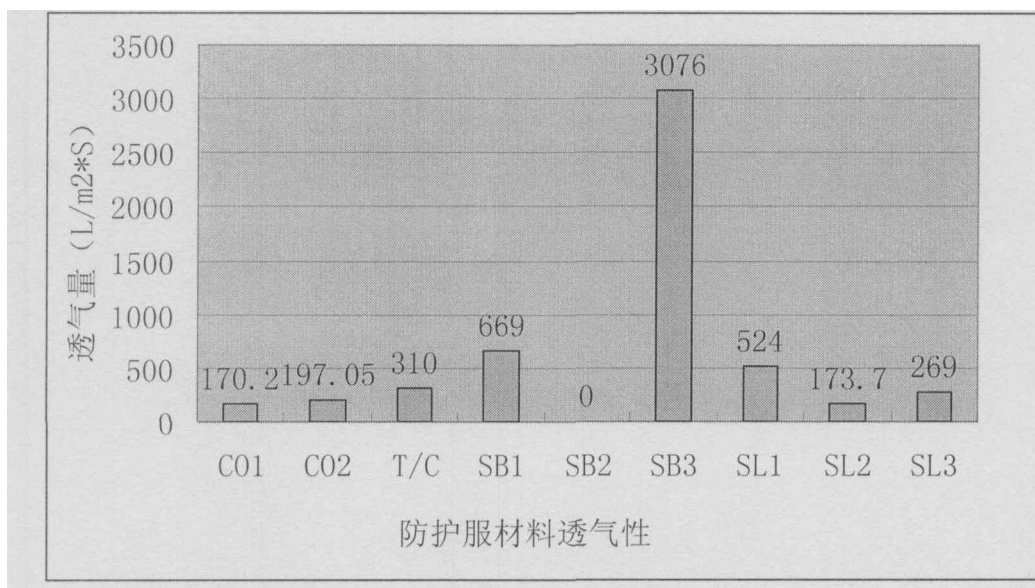


图 2-6 几种手术防护服材料透湿量

3、舒适性实验结果分析

从几种材料的透湿性图表中容易看出，有 SB2 覆塑料膜纺粘丙纶一次性手术防护服材料的透湿性很低，只有 $40 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ ，基本上可以认为其不透湿，在手术中，医生如果穿着这种材料的手术防护服，由于水蒸气、汗气无法排除，会

给感到很憋闷,给医生的身体造成很大的负担;在其余的几种手术防护服材料的透湿量相差不大,基本在 $6000-7000 \text{ g/m}^2\cdot\text{d}$ 之间,SB 纺粘丙纶的材料整体上透湿量略低。质量最轻的 SL1 一次性木浆涤纶复合水刺材料的透湿性能最好,有 $7946 \text{ g/m}^2\cdot\text{d}$ 。

从几种材料的透气性图表中不难看出:SB3 无膜纺粘丙纶材料本身比较轻薄,透气性高达 $3076 \text{ L/m}^2\cdot\text{S}$,而覆上塑料膜部分的 SB2 在我们实验中所用透气仪测不出透气性,透气为 0,显然其虽有很高的拒液防护性能,但是其基本上不透气,舒适性却很差。而在其余的材料中,CO 棉织物透气的的能力略低,SB 和 SL 材料由于克重低,轻薄,透气性都不错。其中尤以其中质量最小的白色的透气性能最好,为 $524 \text{ L/m}^2\cdot\text{S}$ 。

综合以上分析我们可以看出,CO 棉织物手术防护服材料的吸湿性非常好,透湿性也不错,具有良好的舒适性。SB2 塑料覆膜纺粘丙纶材料具有很好的拒液防护性能,能够几乎完全屏蔽血液和微生物,但是它的透气性和透湿性几乎为零,舒适性很差,在手术过程中,会对医生造成极大的身体上的负担。SL 水刺材料的也具有较好的透湿透气性能,甚至某种程度上优于棉织物。

2.2.3.3 物理机械性能测试结果

这几种手术防护服材料的断裂、拉伸强力如表所示:

表 2-5 几种手术防护服材料的断裂拉伸强力

手术防护服 材料	最大强力 (N)	断裂伸长率 (%)	手术防护服 材料	最大强力 (N)	断裂伸长率 (%)
CO2 经向	1302.7 ± 8.7	10.6 ± 0.3	SB1 纵	$91.84 \pm 3.1\%$	73.7 ± 6.3
CO2 纬向	571.3 ± 6.2	12.2 ± 0.4	SB2	44.83 ± 2.4	37.26 ± 3.9
CO2 经向	946.1 ± 3.4	10.8 ± 0.4	SB3	58 ± 2.8	31.3 ± 2.4
CO2 纬向	410.38 ± 11.9	14.7 ± 0.3	SL1	119.5 ± 7.5	23.4 ± 1.4
T/C 经向	606.8 ± 7.5	11.71 ± 0.4	SL2	$90.75 \pm 4.3\%$	25.24 ± 1.8
T/C 纬向	387.5 ± 8.4	16.21 ± 0.3	SL3	135.5 ± 3.9	26.89 ± 1.0

显然, 耐久型手术防护服材料 CO 棉织物和 T/C 涤棉织物的断裂强力和伸长率要明显大于一次性手术防护服材料 SB 和 SL, 耐久型手术防护服更牢固, 不容易破裂。

2.2.3.4 耐磨掉毛性能实验结果及分析

图 2-7 所示为手术防护服材料和标准磨料以及和自身之间经过 1000 次摩擦前后的表面对比。表 2-6 所示为为各种手术防护服材料与标准磨料和自身材料进行 1000 次摩擦后的失重率:

表 2-6 几种手术防护服材料经 1000 次耐磨后的失重率

手术防护服材料	CO1	CO2	T/C	SB1	SB2	SB3	SL1	SL2	SL3
和标准磨料磨	1.92%	1.87%	0.25%	0.01%	14.90%	0.02%	4.61%	5.98%	6.90%
和自身磨	0.61%	0.53%	0.54%	0.01%	13.31%	0.01%	0.72%	0.81%	1.30%

从图 2-7 中可以看出, 一次性手术材料 SB、SL 在经过 1000 次摩擦以后, 表面起毛现象很明显, 相比之下, 机织手术防护服 CO、T/C 则表面变化不大。从图中也可以看出, 与标准磨料摩擦后的表面形态和与自身摩擦后的表面形态相似。

从耐磨失重率可以看出:

- 1) 耐久性手术防护服材料 CO、T/C 机织物的耐磨失重率很小, 0.5%~0.6%之间, 在手术中相对不容易产生掉毛现象。
- 2) SL 木浆涤纶复合水刺一次性手术防护服材料的失重率较耐久性手术防护服要大, 尤其是在和标准磨料的摩擦中, 在手术中相对容易掉毛, 不利于病人, 对病人而言有感染的隐患。
- 3) SB2 纺粘丙纶手术防护服材料经过 1000 次反复摩擦后, 其表面的塑料覆膜已经磨损, 一方面掉毛性能不佳, 会产生许多微粒, 另一方面塑料覆膜磨损后, 其拒液防护性能也会受到很大影响。
- 4) 值得注意的是, 从图中可以看出, SB1 和 SB3 纺粘丙纶手术防护服材料都没有覆膜, 的表面都磨损严重, 但是其失重率却没有明显下降, (接下 34 页)

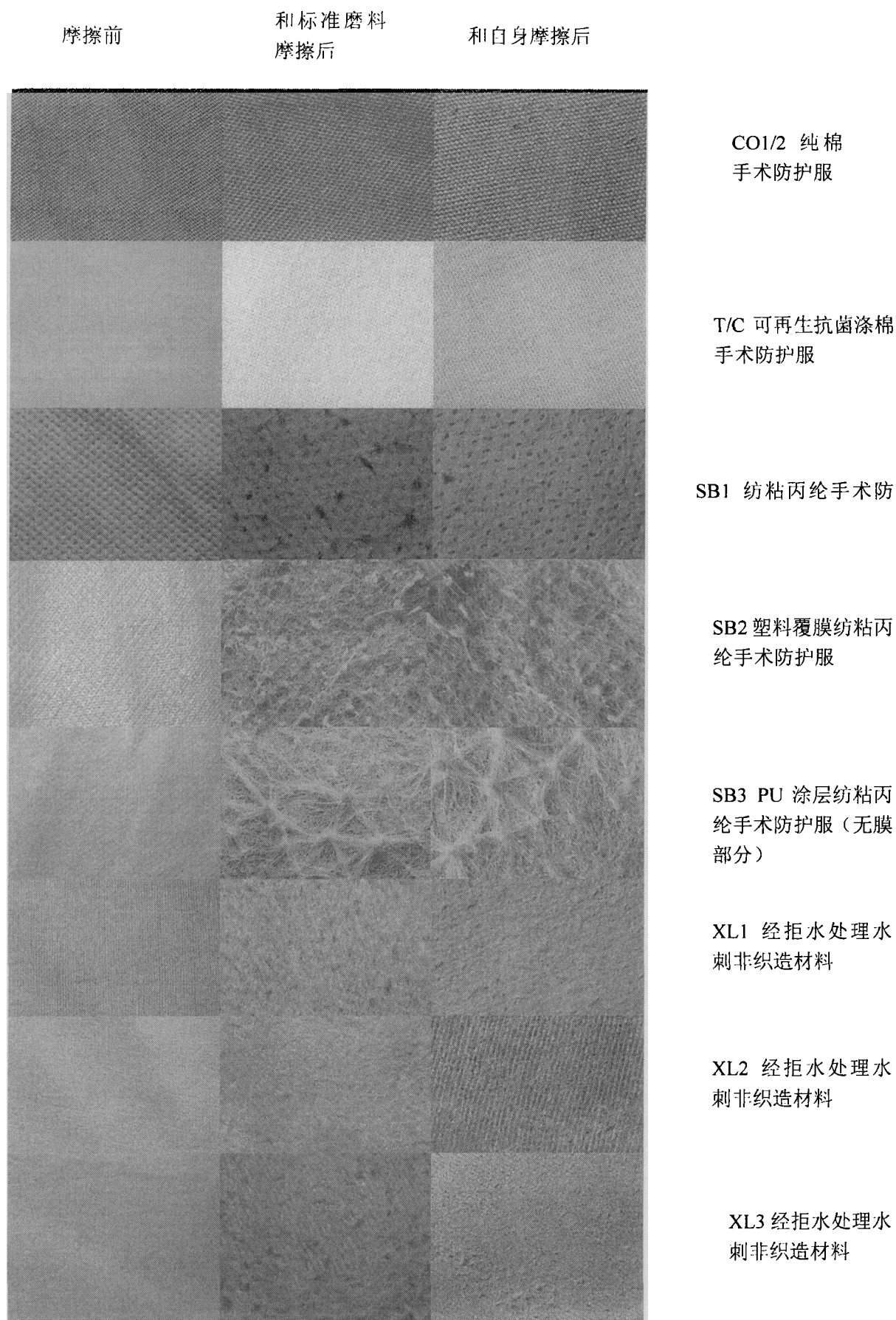


图 2-7 手术防护服材料摩擦前后表面形态变化情况

(接上 33 页) 这个现象产生的原因可以进行下一步研究。本文作者认为, 可能是因为纺粘法丙纶材料成网后加固时是通过热轧合使用粘合剂粘合在一起, 其表面纤维间互相粘合紧密, 摩擦时虽然有一些纤维脱离了布面, 但是会与其他没有脱离布面的纤维粘连纠缠而不易脱落, 因此其失重率较低。

本节参考中华人民共和国国家标准 GB/T13775-92《棉、麻、绢丝机织物耐磨试验方法》^[23]来进行探索试验。使用马丁代尔耐磨仪, 在实验中, 应选用多大压力, 进行多少次摩擦, 压力以及摩擦次数对手术服材料掉毛性能的影响, 都有待进一步研究。

此外, 耐磨实验并不能完全反映手术防护服材料的掉毛性能, 材料表面的一些在摩擦中已经脱落、掉毛的纤维和碎片有时候会与材料表面的其它纤维纠缠在一起, 仍旧附在材料表面上, 这时候, 虽然材料经过摩擦后的失重率并没有太大变化(如 SB1、SB3), 但是这些毛羽碎片的附着并不牢固, 很可能因为空调气流的作用或者医生的其它动作而从手术防护服上脱落。

与 ISO 9070-10 中的测试方法相比, 这个耐磨模拟实验存在一定的局限, 建议国内设计类似的相关测试仪器, 并根据国内实际情况考虑制定相关的标准, 以便于更准确地衡量和测定手术服材料的掉毛性能。

2.2.6 洗涤次数对手术防护服材料基本性能的影响实验结果及分析

在洗涤 25 次和 50 次以后, 对洗过的手术防护服材料性能进行测试, 结果如表 2-7 所示:

表 2-7 洗涤次数对手术服材料基本性能的影响

手术防护服材料	洗涤次数 (次)	物理机械性能		舒适性		耐磨掉毛性能	
		经向断裂 拉伸强力 (N)	经向断裂 伸长率 (%)	透湿量 (g/m ² *d)	透气量 (L/m ² *s)	和标准磨 料摩擦时 的失重率 (%)	和自身摩 擦时的失 重率 (%)
C01 经拒水处	未洗涤	1302.7	10.6	6000.7	170.2	1.92%	0.61%

理厚重纯棉机 织物	25	1220.3	12.0	6533.3	190.1	0.90%	0.15%
	50	1205.4	14.8	6720.3	207.0	0.50%	0.07%
CO2 纯棉机织 物	未洗涤	946.1	10.8	6437.5	197.0	1.87%	0.53%
	25	819.5	13.5	6932.8	201.3	0.86%	0.12%
	50	878.0	15.9	6890.6	209.8	0.49%	0.07%
T/C 可再生杀 菌处理涤棉织 物	未洗涤	606.8	11.7	5510.7	310.0	0.25%	0.54%
	25	536.6	12.4	5733.9	338.5	0.85%	0.58%
	50	553.5	13.9	5922.2	345.8	0.67%	0.75%
未经科再生杀 菌处理的涤棉 织物	未洗涤	590.3	12.10%	6081.0	324	0.07%	0.14%

从表中 2-7 可以看出洗涤会使得耐久型手术防护服材料的断裂强力有所下降,断裂伸长略为上升;洗涤使得机织物的结构变得比原来松散,透湿量和透气量都有所上升;对于 CO 棉织物耐久型手术防护服材料来说,洗涤后其耐磨失重率更低,手术中更不容易掉毛。值得注意的是,CO1 经拒水处理的厚重棉织物经过 50 次洗涤以后,与经过 50 次洗涤的 CO2 普通区域棉织物的耐磨失重率很接近,这说明,经过 50 次洗涤后,CO1 的上进行的拒水处理,拒水整理剂可能已经被渐渐洗掉。

从表 2-7 可以看出对于涤棉机织物进行的可再生杀菌(乙内酰脲)处理,其断裂强力和伸长率并没有明显的变化,舒适性上的指标透湿量和透气量都略有下降,而耐磨掉毛性能也有所下降。这就是说,对涤棉织物进行可再生杀菌(乙内酰脲)处理,使涤棉机织物获得了可再生的杀菌功能,织物在手术中掉毛的情况比处理前有所增加,而对织物的物理性能、舒适性性能影响不大。

2.3 本章小结

- 1、手术防护服的主要性能要求有：阻隔性能（包括拒液性能和阻止微生物渗透性能）、基本物理机械性能、舒适性、不易掉毛、清洁等、抗静电等性能。
- 2、与国外标准相比，国内目前缺乏耐久型手术防护服的国家标准，缺乏对于防护服材料掉毛方面的性能要求，缺乏阻止微生物渗透的性能要求；在物理性能要求、拒液性能及合成血液性能等一些方面要求的测试方法考虑不够全面，对仪器及测试程序要求较低，不够精确；国内对防护服舒适性的要求过低
- 3、影响防护服材料拒液性能的两个因素：1）表面材料的拒水性：选用拒水材料（丙纶），覆上塑料膜或者进行拒水整理都可以提高材料的拒液性能；2）织物紧密程度：选用致密的结构，或者更高的克重可以提高材料的拒液性能
- 4、从总体来说，一次性手术防护服材料的拒液性能要好于耐久性手术防护服防护材料；
- 6、耐久型防护服材料相比于比一次性防护服材料，更不容易掉毛。
- 7、洗涤次数对耐久型防护服材料的基本性能影响不大。

因条件所限，本章没有进行阻止微生物渗透实验，掉毛性能的研究不够深入，在耐磨模拟掉毛实验中，施加的压力和摩擦次数与防护服材料掉毛性能，掉毛情况的关系有待进一步研究。

参考文献

- [1] 周庆, 邓鑫. 新型医用屏蔽织物在国内外的动态. 纺织科学研究. 1998, 2: 31~36
- [2] Clothing for protection against contact with blood and body fluids-part1: Performance requirements for surgical gowns, surgical drapes, and protective apparel in health care facilities. International Organization for Standardization, ISO 16542
- [3] Barrier Performance and Classification of Protective Apparel and Drapes Intended for use in health Care Facilities. Association for the Advancement of Medical Instrumentation, AAMI PB-70, 2003
- [4] Standard on Protective Clothing for Emergency Medical Operation. National Fire Protection Association, NFPA 1999, 2003
- [5] Surgical drapes, gowns and clean air suits, used as medical devices for patients, clinical staff and equipment-Part 2: Test Methods. Europe Committee for Standardization, BS EN 13795-2, 2004
- [6] 29 CFR Part 1910.1030 . Occupational Exposure to Blood-borne Pathogens: Final Rule, *Federal Register*, Vol 56, No. 235, Dec. 6, 1991: 64175~64182
- [7] ARON. Recommended practices for selection and use of surgical gowns and drapes. *AORN Journal*. 2003, 77 (Jan): 206~213
- [8] 医用一次性防护服技术要求. 中华人民共和国国家标准, GB 19082-2003, 2003
- [9] 生物防护服通用规范. 中国人民解放军总后勤部卫生部标准, WSB58-2003, 2003
- [10] 杨元, 郝新敏, 张建春. 国内外医用防护服标准比较及分析. 中国个体防护装备. 2003, 5: 28~32
- [11] 张建春, 郝新敏, 周国泰, 杨廷欣. 医用防护服现状及SARS防护服的性能要求. 西安工程科技学院学报. 2003, vol.17 No.3(sum No.67): 194~205
- [12] Water Resistance: Impact Penetration Test. The American Association of Textile Chemists and Colorists, AATCC42-2000, 2000
- [13] Water Resistance: Hydrostatic Pressure Test. The American Association of Textile Chemists and Colorists, AATCC127-2003, 2003
- [14] Determination of resistance to water penetration – Hydrostatic pressure Test. Europe Committee for Standardization, BS EN 28011, 1992
- [15] 纺织织物 表面抗湿性测定 沾水试验. 中华人民共和国国家标准, GB/T 4745-1997, 1997
- [16] 纺织织物 抗渗水性测定 静水压试验. 中华人民共和国国家标准, GB/T 4744-1997, 1997
- [17] Standard Test Method for Resistance of Materials Used in Protective Clothing to Penetration by Synthetic Blood. ASTM International, ASTM F1670-03, 2003
- [18] Standard Test Method for Resistance of Materials Used in Protective Clothing to Penetration by Blood-Borne Pathogens Using Phi-X174 Bacteriophage Penetration as a Test System. ASTM International, ASTM F1671-03, 2003
- [19] Clothing for protection against contact with blood and body fluids —Determination of the resistance of protective clothing materials to penetration by blood and blood fluids—Test method using synthetic blood. International Organization for Standardization, ISO 16603, 2004
- [20] Clothing for protection against contact with blood and body fluids —Determination of the resistance of protective clothing materials to penetration by blood-borne pathogens—Test

method using Phi-X174 bacteriophage. International Organization for Standardization, ISO 16604, 2004

- [21] Textiles—Test methods for nonwovens—Part 10: Lint and other particles generation in the dry state. International Organization for Standardization, ISO 9073-10, 2003
- [22] Lei Qian , Gang Sun, Durable and regenerable antimicrobial textiles: Improving efficacy and durability of biocidal functions, Journal of Applied Polymer Science, Volume 91, Issue 4 , Pages 2588 - 2593
- [23] 中华人民共和国国家标准. GB/T13775-92. 棉、麻、绢丝机织物耐磨试验方法》
- [24] 中华人民共和国卫生部,《消毒技术规范》, 2002

第三章 一次性和耐久型医用防护服生命周期的清单分析

手术防护服材料选择时,除了要考虑性能以外,人们越来越关心和重视手术防护服材料对能源、资源的消耗对环境的影响。生命周期评价理论则是帮助我们了解产品能源、资源消耗和环境影响的一个工具。使用生命周期理论来对手术防护服材料进行分析,可以帮助我们在选择手术服材料时,充分的将一次性或是耐久型材料的环境因素考虑进去。

清单分析是生命周期理论中发展最完善的一部分,它是指对一种产品、工艺过程或活动在其整个生命周期内的能量与原材料需要量以及对环境的排放进行以数据为基础的客观量化过程^[1]。清单分析的核心是建立以产品功能单位表达的产品系统的输入和输出(即建立清单)。该分析评价贯穿于整个生命周期,即原材料的获取、产品生产、销售、使用和用后处理。一个完整生命周期清单分析能为所有与系统相关的投入和产出提供一个总的概括。

本章以第二章中分析过的经拒水处理的耐久型高密全棉手术防护服材料 CO1、经拒水处理的木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料 SL3、纺粘法丙纶一次性手术防护服材料 SB1 为例,依据生命周期的理论和方法,按照 1.3 的一次性和耐久型手术防护服材料的生命周期模型,分析 100kgCO1、SL3、SB1 三种手术防护服材料从原料获取、生产加工成手术防护服材料、使用直至使用后的废弃物处理过程中所消耗的能量、水资源、其它物耗以及其对环境产生的影响,排放的污染。

3.1 一次性和耐久型手术防护服材料原料获取与生产加工阶段清单分析

本章以 100kg 的手术防护服材料作为功能单位进行分析,对手术防护服材料的原材料获取及生产过程中的主要步骤进行列出数据清单,即包括数据的收集以及对产品系统的有关输入和输出进行计算和量化。

3.1.1 耐久型纯棉手术防护服的原料获取及生产的数据清单

经拒水处理的纯棉手术防护服从原料到成型的手术防护服材料可以分为三个阶段:

棉原料的获取(棉花的种植) → 棉织物的加工 → 棉织物的拒水整理

3.1.1.1 棉原料的获取的数据清单:

每 100 公斤皮棉的种植需要消耗的能量、水以及其它资源如表 3-1 所示^[2]

表 3-1 100 公斤皮棉种植的数据清单

		项目	数量
输入 (Input): 能量、水、资源损耗		水	500 m3
		电	8.7 kwhr
		氮肥	23.5 kg
		磷肥	16.86kg
		钾肥	42.54kg
输出(Output): 各种污染物排放	废水中排放	N	2.47kg
		P	3.38kg
		农药	0.056kg
	土壤	N	8.11kg
		P-	10.12kg
		NOx	4.7kg

3.1.1.2 棉织物的加工的数据清单:

加工成 100 斤棉织物需要消耗的能量、水以及资源如表 3-2 所示^[2]:

表 3-2 100 公斤棉织物生产的数据清单

		项目	数量
输入 (Input): 能量、水、资源损耗		水	4 m ³
		电	25 kwhr
		油耗	60.7kg
输出 (Output): 各种污染物 排放	废水中	BOD	1.21kg
		COD	3.45kg
		悬浮物	0.10kg
		氨氮	0.14kg
	废气中	SO ₂	1.5kg
		NOx	0.58kg
		CO	0.015kg
		TSP	0.17kg

3.1.1.3 棉织物的拒水整理的数据清单:

对于 CO1, 克重 350g/m² 左右的机织棉织物, 可以采用有机氟拒水剂进行拒水整理, 其拒水剂配方: 有机氟拒水剂 30g/L, 异丙醇 10g/L, 乙酸 1g/L。这个配方的轧率一般在 60%左右, 整理工艺如下^[3]:

织物前处理 → 织物浸轧 → 烘干 (120° C)

中国染整工业平均每万米布的能耗是 3 吨煤、450 kwhr (度) 电、350m³ (吨) 水^[4]。经折合算, 对于 100kg 350g/m² 机织物, 按照通常 1.5 米幅宽来计算, 进行阻燃整理需要, 57.14kg 煤、8.57kwhr (度) 电、6.67 m³ (吨) 水。按照 60% 的轧率计算, 每 100 公斤机织棉织物需要消耗 1.8kg 有机氟拒水剂, 0.6kg 异丙醇和 0.06kg 的乙酸。

拒水整理的水污染排放物, 可以近按照 GB 4287-92, 纺织染整工业水污染物排放标准, 中 1992 年以后企业三级污水排放指标来计算^[5]。每 L 水排放 BOD 300mg/L、COD500 mg/L、悬浮物 400 mg/L、硫化物 2.0mg/L、六价铬 0.5mg/L、铜 2.0mg/L、苯胺类 5.0mg/L、二氧化氯 0.5mg/L。按照 100 公斤机织棉织物整理需要消耗 6.67 m³ (吨) 水来算, 需要排放 BOD 2kg、COD3.34 kg、悬浮物 2.67kg、硫化物 13.34g、六价铬 3.34g、铜 13.34g、苯胺类 33.35g、二氧化氯 3.34g。

表 3-3 表示 100 公斤机织棉织物其经有机氟拒水整理过程的数据清单:

表 3-3 100 公斤 350g/m² 克重棉织物拒水整理数据清单

	项目	数量
输入 (Input): 能量、水、资源损耗	水	6.67 m ³
	电	8.57 kwhr
	煤	57.1kg
	有机氟拒水剂	1.8kg
	异丙醇	0.6kg
	乙酸	0.06kg
输出(Output): 各种废水污染物排放	BOD	2kg
	COD	3.34 kg
	悬浮物	2.67kg
	硫化物	13.34g
	六价铬	3.34g
	铜	13.34g
	苯胺类	33.35g
	二氧化氯	3.34g

3.1.1.4 总的清单分析

通过 3.1.1、3.1.2、3.1.3 的分析, 将各步骤的清单累加在一起, 我们可以得出耐久型 CO1 经拒水整理机织物的原料获取和生产加工的总的数据库清单, 如表 3-4 所示:

表 3-4 100 公斤 350g/m² 克重耐久型经拒水处理棉机织物手术防护服材料从原料到生产的数据库清单

		项目	数量
输入 (Input): 能量、水、资源损耗		水	510.67 m ³
		电	42.27kwhr
		油耗	60.7kg
		煤	57.1kg
		氮肥	23.5 kg
		磷肥	16.86kg
		钾肥	42.54kg
		有机氟拒水剂	1.8kg
		异丙醇	0.6kg
		乙酸	0.06kg
输出 (Output): 各种污染物 排放	废水中	BOD	3.21kg
		COD	6.79kg
		悬浮物	2.77kg
		氨氮	0.14kg
		硫化物	13.34g
		六价铬	3.34g
		铜	13.34g
		苯胺类	33.35g
		二氧化氯	3.34g
		N	2.47kg
		P	3.38kg
		农药	0.056kg
	废气中	SO ₂	1.5kg
		NO _x	0.58kg
		CO	0.015kg
		TSP	0.17kg
	土壤	N	8.11kg
		P	10.12kg
		NO _x	4.7kg

3.1.2 木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料原料获取与生产的数据清单

木浆涤纶复合水刺布是采用木浆纸与涤纶短纤维通过水刺复合的产品，主要原料是木浆以及涤纶短纤，采用的是机械成网，水刺加固的非织造生产方法。其从原料到生产的主要流程如下：

木浆、涤纶原料的获取 → 水刺法生产 → 拒水处理

3.1.2.1 木浆原料获取的数据清单

非织造材料生产中使用的木浆原料的生产的数据清单可以参照中华人民共和国环境

保护行业标准 HJ/T xx-2002 制浆造纸行业清洁生产技术要求（报批稿）^[6]，以其中规定的漂白硫酸盐木浆产品（含作为中间产品）的生产工艺过程清洁生产技术为指标，选用国内企业基本生产水平，即三级指标，取其平均值进行分析，折合成 100 公斤木浆原料，其原料生产的数据清单如表 3-5 所示：

表 3-5 100 公斤风干漂白硫酸盐木浆原料生产数据清单

	项目	数量
输入 (Input): 能量、水、资源损耗	水	5 m ³
	木纤维（木材）	100kg
输出(Output): 各种废水污染物排放	BOD	2.65kg
	COD	7.5 kg
	SS	4.5kg

3.1.2.2 涤纶短纤生产的数据清单

涤纶短纤的原料是涤纶切片，我国生产涤纶切片（聚酯切片）主要采用酯交换法（DMT 法），由对苯二甲酸二甲酯（TPA）和乙二醇通过酯交换法制得。

以上海聚友化工的塔式平推流聚酯成套技术为例^[7]，经折合计算，生产 100 公斤聚酯切片，需要消耗，PTA 85.6kg，EG 33.2 kg，综合能耗（折标油），8.6kg。其排放的废水污染物浓度 COD 平均 4g/L，排放量参照 GB 8978-1996 《污水综合排放标准》^[8]中规定的石油炼制化工企业最高废水排放量来近似计算，每吨产品排放 2.0m³ 废水，则废水中 COD 排放量为 $2.0\text{m}^3 \times 4\text{g/L} = 8\text{kg}$ 。

涤纶短纤的生产以上海石油化工总厂的 9 万吨的涤纶直接纺装置为例，经折合计算，生产 100 公斤涤纶短纤需要消耗涤纶切片 113.5 公斤，需要耗电 40.8kw/hr。涤纶短纤生产过程中排放污染物相对较少，许多生产中的固体废料也可以回收出售或是再生产，本节对该过程的输出不予考虑。

表 3-6 100 公斤涤纶短纤生产数据清单

	项目	数量
输入 (Input):	PTA	97.2kg

能量、水、资源损耗	EG	37.7kg
	油	9.8kg
	电	40.8 kw/hr
输出(Output): 各种废水污染物排放	COD	9.1 kg

3.1.2.3 水刺非织造材料生产数据清单

水刺非织造布，又叫“射流喷网成布”。就是利用高压水流刺入纤维网内，使纤维相互缠绕，使原来松散的纤维网具有一定的强力及完整的结构。水刺非织造布在口感和性能方面，与其它非织造材料相比，更类似纺织织物。其工艺流程是：

纤维计量混合—开松除杂—机械杂乱梳理成网—纤网预湿—水针交缠—表面处理—烘干—卷取—检验—包装入库。

以常州市飞龙机械有限公司生产的，可用于手术防护服材料加工的水刺生产线为例，其平均产能 200kg/h，每小时平均能耗 550kwh，则每 100kg 水刺手术防护服材料需要耗电 275kwh。水刺生产线每小时平均需要用水约 155m³。为节约用水，减少生产成本，必须将其中约 95%左右的水经过水处理后循环使用^[9]。经折合计算，每 100kg 水刺产品每小时要消耗 $155 \times (1-0.95) \times (100\text{kg}/200\text{kg}) = 3.88 \text{ m}^3$ 。水刺材料废水中污染物排放参考 GB 8978-1996 《污水综合排放标准》^[8]中规定的来近似计算，其 COD 排放量： $3.88 \text{ m}^3 \times 500 \text{ mg/L} = 1.94\text{kg}$ 。

表 3-7 所示为 100 公斤水刺非织造材料生产数据清单：

表 3-7 100 公斤水刺非织造材料生产数据清单

	项目	数量
输入 (Input): 能量、水、资源损耗	水	3.88m ³
	电	275 kwhr
输出(Output): 各种废水污染物排放	COD	1.94 kg

3.1.2.4 水刺非织造材料拒水整理数据清单

与 3.1.3 中分析类似，可以采用相同的拒水整理工艺和类似的整理配方进行拒水整理。

对于 SL3，克重 70g/m² 左右的非织造木浆涤纶水刺非织造材料，经折合算，对于 100kg 70g/m² 机织物，按照通常 1.5 米幅宽来计算，进行阻燃整理需要，285.7kg 煤、42.85kwhr

(度)电、33.35 m³ (吨)水。按照 60%的轧率计算,每 100 公斤水刺非织造材料同样物需要消耗 1.8kg 有机氟拒水剂,0.6kg 异丙醇和 0.06kg 的乙酸。

拒水整理的水污染排放物,与 3.1.3 中分析类似,可以近按照 GB 4287-92,纺织染整工业水污染物排放标准,中 1992 年以后企业三级污水排放指标来计算^[5]。按照 100 公斤机织棉织物整理需要消耗 33.35 m³ (吨)水来算,需要排放 BOD 10kg、COD16.7 kg、悬浮物 13.35kg、硫化物 66.7g、六价铬 16.7g、铜 66.7g、苯胺类 167g、二氧化氯 16.7g。

表 3-8 表示 100 公斤水刺非织造材料其经有机氟拒水整理过程的数据清单:

表 3-8 100 公斤 70g/m² 重水刺非织造材料拒水整理数据清单

	项目	数量
输入 (Input): 能量、水、资源损耗	水	33.5 m ³
	电	42.85 kwhr
	煤	285.7kg
	有机氟拒水剂	1.8kg
	异丙醇	0.6kg
	乙酸	0.06kg
输出(Output): 各种废水污染物排放	BOD	10kg
	COD	16.7 kg
	悬浮物	13.35kg
	硫化物	66.7g
	六价铬	16.7g
	铜	66.7g
	苯胺类	167g
	二氧化氯	16.7g

3.1.2.5 总的清单分析

通过 3.2.1、3.2.2、3.2.3 和 3.2.4 的分析,对于木浆/涤纶比例为 50/50 的一次性弄木浆涤纶复合水刺手术防护服材料,我们可以算得其原料获取和生产加工的总的的数据清单,如表 3-9 所示:

表 3-9 100 公斤 70g/m² 克重
经拒水处理木浆/涤纶复合水刺手术防护服材料从原料到生产的数据清单

	项目	数量
输入 (Input): 能量、水、资源损耗	水	39.88m ³
	电	338.25kw/hr

	PTA	48.6kg
	EG	18.85kg
	油	4.9kg
	煤	285.7kg
	有机氟拒水剂	1.8kg
	异丙醇	0.6kg
	乙酸	0.06kg
输出(Output): 各种废水污染物排放	BOD	11.33kg
	COD	26.94kg
	悬浮物	15.6kg
	硫化物	66.7g
	六价铬	16.7g
	铜	66.7g
	苯胺类	167g
	二氧化氯	16.7g

3.1.3 纺粘丙纶手术防护服材料原料获取与生产的数据清单

纺粘丙纶手术防护服材料的主要原料是丙纶，通过丙纶纺粘法生产线加工成纺粘丙纶非织造布。丙纶即聚丙烯，国内通常由丙稀通过液相本体聚合法（H—法）工艺聚合而成。而丙稀通常通过轻柴油裂解而得。

纺粘法是利用化学纤维纺丝的方法，将聚合物纺丝、将聚合物纺丝、牵伸铺叠成网再经自身粘合或者机械、化学、热加固而成非织造布。纺粘法目前发展的特点是大型化、高速化、多品种化、复合化。在我国，丙纶纺粘法非织造布占有所有纺粘法非织造布的 84.2%^[10]，根据中国产业用纺织品协会纺粘法非织造布分会的 2004 年统计，全国共有 230 条丙纶纺粘非织造布生产线，产能 57.23 万吨。

3.1.3.1 丙纶原料的获取数据清单

丙纶即聚丙烯由丙稀聚合而得，丙稀由石油裂解而得，是石油裂解制乙烯的副产品，石油裂解得到乙烯的收率约为 26%，丙稀的收率约为 16%，同时还得到其它一些副产品^[11]，经计算生产 1kg 丙稀需要消耗 2.51kg 石油^[12-14]。

聚丙烯通常由丙稀通过液相本体聚合法（H—法）工艺聚合而成，每生产一吨聚丙烯，消耗丙纶 1015kg、催化剂 0.06kg、电 480kw/hr 以及一些循环水、蒸汽、氢气、氮气等。同时产生 0.009kg 的废渣需填埋处理^[14]。结合上文对丙稀生产能耗的数据，可得出聚丙烯

生产的数据清单，如表 3-10 所示：

表 3-10 100 公斤聚丙烯生产数据清单

	项目	数量
输入 (Input): 能量、水、资源损耗	油 (丙稀)	254.8kg (101.5 kg)
	催化剂	0.006kg
	电	48 kwhr
	循环水	17m3
	蒸汽	43kg
	氢气	0.06m3
	氮气	5m3
输出(Output): 各种污染物排放	废渣	0.009kg

3.1.3.2 纺粘法丙纶手术防护服材料生产数据清单

本节讨论的纺粘法丙纶非织造布生产以中外合资梅州市华新无纺布机械制造有限公司为例，其 PP 纺粘生产线工艺流程如下：

原料(边料回收) → 熔融挤出 → 过滤 → 计量 → 纺丝 → 冷却 → 气流牵伸 → 成网 → 热轧 → 分切卷绕 → 如需要再分切 → 成品

其生产克重 45g/m2，门幅 1.6 米的丙纶非织造材料，每吨平均能耗 750kwhr（度）电，即折合成计算，每 100 公斤纺粘法丙纶非织造材料耗电 75kwhr。PP 生产线产生的固体废料，切边边角料等均可以回收再生产或者作为化工原料进行出售。在生产的过程中，基本没有废液废气产生。

3.1.3.3 总的清单分析

综合 3.3.1 和 3.3.2，可以得到 100 公斤一次性纺粘丙纶手术防护服材料的生产数据清单，如表 3-11 所示：

表 3-11 100 公斤纺粘丙纶手术防护服材料生产数据清单

项目	项目	项目
输入 (Input): 能量、水、资源损耗	油 (丙稀)	254.8kg (101.5 kg)
	电	123kwhr
	催化剂	0.006kg
	循环水	17m3
	氢气	0.06m3
	氮气	5m3
输出(Output): 各种污染物排放	废渣	0.009kg

3.2 医用手术防护服使用情况分析

对于一次性手术防护服材料，只在一次手术中使用，使用后即需要消毒并送至专门的医用废弃物处理中心进行集中处理，在过程中对环境的影响很小。

耐久型手术防护服在经过一次使用后，需要经过消毒、洗涤后重新使用，在使用过程中，需要消耗洗涤剂、水、环氧乙烷蒸汽等，并排放出废水。本节着重分析耐久性手术防护服的使用情况。

3.2.1 医用手术防护服手术后的处理流程及分析范围的界定：

在医院中，手术防护服衣服在手术后一般经过以下程序进行处理才能再次使用：

手术后 → 搜集运送 → 初步消毒 → 洗涤、烘干 → 运烫、折叠、整理 → 灭菌 → 运送到清洁区 → 存贮 → 再次使用

在上述流程中，初步消毒、洗涤烘干和灭菌是手术防护服使用后处理必不可少的三个步骤。而搜集、运烫折叠整理、存贮以及在手术防护服在各个环节之间的运输等步骤与前三者比起来，一方面物质能量损耗和各项污染相对小很多，另一方面，这些步骤的影响因素较多，能量、物质损耗的较难估量。

因此，本章节不考虑手术防护服搜集、运烫折叠整理、存贮以及在各个环节中因为运输等产生的一些物质、能量损耗和污染，主要考虑手术防护服在初步消毒、洗涤烘干以及灭菌三个步骤之中产生的能量、物质损耗和废水污染。

本节分析的手术防护服洗涤消毒使用范围和流程如图 3-1 所示。

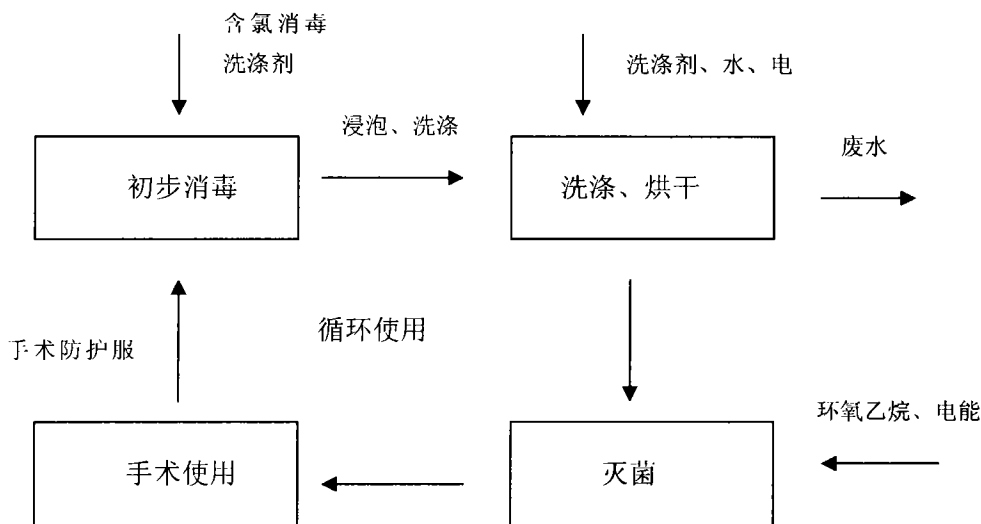


图 3-1 耐久型手术防护服消毒洗涤流程分析

3.2.2 手术防护服处理流程及清单分析：

3.2.2.1 初步消毒：

卫生部2002年颁布的《消毒技术规范》规定^[16]，医院衣物必须用70℃含有效氯500mg/L的消毒洗衣粉溶液洗涤30 min~60 min，然后用清水漂净。

采用洗涤、烘干工具符合轻工业部行业标准^[17]的成飞机电集团的SX-25U 水洗脱干机，使用含氯消毒洗涤剂洗涤。

SX-25U水洗脱干机：容积250L，每车洗涤容量25 kg、耗水量 25L/kg，耗电量、0.8 kw·hr；按照100公斤棉手术防护服织物计算：

输入：能量损耗： $4 \times 0.8 = 3.2 \text{ kw·hr}$

水消耗： $4 \times 2 \times 25 \times 25 \text{ L} = 5 \text{ m}^3$ （水洗加漂洗，共需要放2次水）

含氯消毒剂消耗：有效氯 $4 \times 250 \text{ L} \times 500 \text{ mg/L} = 0.5 \text{ kg}$

输出：废水中污染物，污水中污染物有残余氯，以及一些 BOD、COD、悬浮物（SS）等排放，参照中华人民共和国国家标准 GB 18466-200 中综合医疗机构排放标准计算^[18]，BOD 浓度 20mg/L，COD 浓度 60mg/L，悬浮物（SS）20mg/L，氨氮浓度 15mg/L，油类 10 mg/L，总余氯 0.5mg/L，阴离子表面活性剂 5 mg/L。

3.2.2.2 洗涤、烘干:

洗涤可与初步消毒使用相同设备进行洗涤, 烘干使用普通 25 公斤级电加热型烘干机^[19], 每车能耗 28kwhr 电。使用普通的洗涤剂, 每公斤用 10g 洗涤剂。按照 100 公斤棉手术防护服织物计算:

输入: 能量损耗 $4 \times (0.8+28) = 115.2\text{kwhr}$

水消耗 $4 \times 2 \times 25 \times 25\text{L} = 5\text{m}^3$ (水洗加漂洗, 共需要放2次水)

洗涤剂消耗 $10\text{g} \times 100 = 1\text{kg}$

输出: 废水中污染物, 污水中污染物有阴离子表面活性剂, 以及一些 BOD、COD、悬浮物(SS)等排放, 参照放中华人民共和国国家标准 GB 18466-200 中综合医疗机构排放标准计算^[18], BOD 浓度 20mg/L, COD 浓度 60mg/L, 悬浮物(SS) 20mg/L, 氨氮浓度 15mg/L, 油类 10 mg/L, 总余氯 0.5mg/L, 阴离子表面活性剂 5 mg/L。

3.2.2.3 杀菌:

卫生部疾病控制司 2003 年 4 月 2 日颁布的《各种污染对象的常用消毒方法(试行)》中规定^[20], 织物可以使用有含氯消毒剂、过氧乙酸、环氧乙烷灭菌和高压蒸汽灭菌等方法进行消毒。

消毒物品置环氧乙烷消毒柜中, 在温度为 54℃, 相对湿度为 80%条件下, 用环氧乙烷气体(800mg/L)消毒 4h~6h; 或用高压灭菌蒸汽进行消毒。”

使用符合医疗器械行业标准 YY 0503-2005 《环氧乙烷灭菌器》^[21]的杭州电达消毒设备厂生产的大型环氧乙烷灭菌器 HDX-3 为初步消毒工具

HDX-3 环氧乙烷灭菌器: 容量: 3 m³、时间 5 小时, 功率 15 kw。

通常情况下, 1 m³的空间可以对 100 kg 的织物进行充分消毒处理, HDX-3 环氧乙烷灭菌器可以处理 $3 \times 100 = 300\text{kg}$ 手术防护服材料, 折合成处理 100 公斤手术防护服材料计算:

输入: 能量消耗: $(100\text{kg}/300\text{kg}) \times 5\text{hr} \times 15\text{kw} = 25\text{kwhr}$ (度)电

物质损耗: 3m^3 环氧乙烷 ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$) $= 3\text{m}^3 \times 1.795\text{kg}/\text{m}^3 = 5.385\text{kg}$

注: 环氧乙烷密度 1.795 kg/m³

输出: 环氧乙烷有残气处理装置, 环氧乙烷灭菌的过程中, 对外界的废弃物排放很小,

本节中忽略不计。

3.2.2.4 耐久型手术防护服使用全过程清单分析

对初步消毒、洗涤烘干、杀菌几个步骤的分析进行综合,可以得到耐久型手术防护服在手术后,经过一次消毒洗涤后可以重新使用这个过程的清单分析,国内医院一般情况下耐久型手术防护服洗涤次数在 50 次以上,则洗涤 50 次以后,耐久型手术防护服材料使用过程的清单分析如表 3-12 所示:

表 3-12 100 公斤耐久型棉织物手术防护服 50 次洗涤消毒总的清单分析

	项目	数量
输入 (Input): 能量、水、资源损耗	水	500m ³
	电	7170 kwhr
	有效氯 (含氯消毒剂)	25kg
	洗涤剂	50kg
	环氧乙烷	269.25kg
输出(Output): 各种废水污染物排放	BOD	10kg
	COD	30kg
	悬浮物(SS)	10kg
	石油、动植物油类	5kg
	阴离子表面活性剂	2.5kg
	氨氮	7.5kg
	总余氯	0.25kg

3.3 医用手术防护服废弃物的处置情况分析

一次性手术防护服经过一次手术使用,耐久型手术防护服经过多次使用达到使用寿命以后,就成为了一种医疗废弃物,在中国,医院最早都是自行处理医疗废弃物的,有些医院将医疗废弃物拉送到市郊进行焚烧处理,有的医院在院内设置焚烧炉对医疗废弃物进行焚烧,更有甚者,边远地区的一些医院甚至将医疗垃圾等同生活垃圾处理。这些状况在近些年来,尤其是非典以后得到很大改善,许多城市都和地区都建立了医疗废弃物集中处置中心。

中华人民共和国国务院 2003 年 6 月 4 日公布的《医疗废物管理条例》规定医疗废弃物必须送到专门的医疗废弃物处置中心集中处置,进行焚烧、消毒后填埋或者毁形处理^[22]。

废弃的手术防护服在经过焚烧处理时,消耗煤、电能源,并排放废气;焚烧以后的残渣需要进行填埋处理,本节以中华人民共和国环境保护行业标准 HJ/T177-2005 《医疗废

弃物集中处置工程建设技术规范》为标准^[23]，结合南宁市兆洁特种垃圾处理公司医疗废弃物焚烧处理中心为例，对废弃的手术防护服在处理时的情况进行分析。

3.3.1 手术防护服废弃物处理流程及范围界定

医疗废弃物的处理过程主要有以下流程：

搜集 → 贮存 → 焚烧 → 残渣填埋

本节对手术防护服废物的焚烧进行清单分析。

3.3.2 手术防护服焚烧清单分析

以南宁市兆洁特种垃圾公司医疗废弃物处理中心为例，该中心位于南宁市郊，日处理能力 20 吨。

该中心选用了具有国产的焚烧炉设备，采用柴油喷射二级燃烧技术，设有二次燃烧室，炉温控制：8000C—11000C。它用二级焚烧的工作方式及配有旋风除尘及水洗尾气净化系统，排气高度 30 米，减容比达到 95%。其排放各项指标低于国家 GB18733-2002《医疗废弃物焚烧环境卫生标准》^[24]和国家 GB19128-2003《医疗废物焚烧炉技术要求》^[25]。

输入：柴油：该中心每公斤医疗废弃物耗柴油 0.05~0.1Kg，取平均 0.075kg 计算，每 100 公斤耗柴油 7.5kg。

电： 每公斤医疗废弃物耗电 0.14—0.18kwhr，取平均 0.16kwhr 计算，每 100 公斤耗电 16kwhr。

输出：废气：1 吨垃圾焚烧产生的 4887m³^[26]，则 100 公斤废气物可产生 488.7m³废气中污染物参照 GB19128-2003《医疗废物焚烧炉技术要求》中规定^[10]的进行计算

残渣填埋：按照 95%的减容率，每 100 公斤废弃手术防护服，产生 5 公斤残渣。

废弃手术防护服焚烧清单分析如表 3-13 所示：

表 3-13 100 公斤医用废弃物焚烧的清单分析

		项目	数量
输入 (Input): 能量、水、资源损耗		电	16kwhr
		油	7.5kg
输出(Output): 各种污染物排放	废气中排放	SO ₂	97.74g
		CO	39.1g
		NO ₂	244.4g
		HCl	29.3g
		HF	2.44g
		砷、镍及其化合物	0.48 克
		各种重金属总计	2.05 克
		二噁英类	244.35TEQng
	土壤	残渣 (需填埋)	5kg

3.4 本章小结

本章分析的对象是第二章实验用的以下三种手术服材料：

- 1、经拒水处理的耐久型高密全棉手术防护服材料 CO1、
- 2、经拒水处理的木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料 SL3、
- 3、纺粘法丙纶一次性手术防护服材料 SB1

本章依据生命周期的理论和方法，1.3 中的生命周期模型，以 100kg 为功能单位，对 CO1、SL3、SB1 三种手术防护服材料在其生命周期的三个阶段（原料获取和生产加工阶段、使用阶段、废弃物处理阶段）进行了清单分析，得出了三种手术防护服材料生命周期的数据清单。

本章中，生命周期分析中模块的划分不够细致，对三种手术防护服材料进行生命周期分析时，边界定得偏大，模块划分得比较粗略，某些“输入”的可再生或不可再生资源没有按照模块展开分析，使得清单分析不够准确。同时，一些较小的模块被忽略，也导致生命周期分析某些部分失真。

参考文献

- [1] 李蓓蓓.生命周期评价—清单分析方法探讨.上海环境科.2002, 22(5): 308-310.
- [2] 黄莉, [硕士学位论文], 棉织品系统生命周期评价模型, 东华大学 环境学院, 2004, 47-57
- [3] THOR, Traning Courses: QUECOPHOB, Fluorocarbon resins, Water and oil repellent finishes, 16-18
- [4] 李瑞萍, 发展中的中国染整工业, 中国纺织及成衣
- [5] 中华人民共和国国家标准, GB 4287-92, 纺织染整工业水污染物排放标准
- [6] 中华人民共和国环境保护行业标准, HJ/T xx-2002, 清洁生产技术要求 制浆造纸行业 (报批稿)
- [7] 上海聚友化工, 聚友化工聚酯成套技术先进性, <http://www.juyou-che.com.cn/jyjs.htm>
- [8] 中华人民共和国国家标准. GB 8978-1996. 污水综合排放标准
- [9] 柯勤飞、靳向煜 主编,《非织造学》, 东华大学出版社, 2004, 100-132
- [10] 郭合信 主编, 《纺粘法非织造布》, 北京, 中国纺织出版社, 2003 年, 2-14
- [11] 赵德仁、张慰盛 主编, 高聚合物合成工艺学, 化学工业出版社, 1997 年第二版, 24-29
- [12] 黄春林, [硕士学位论文] 合成高分子生物医学材料制品的生命周期评价, 西南交通大学环境工程, 2004, 30-33
- [13] 田春云, 有机化工工艺学, 中国石化出版社, 1998, 72-330.
- [14] 王松汉、何细藕, 乙烯工艺与技术, 中国石化出版社, 2000, 65-126.
- [15] 张洋、马榴强 合编, 聚合物制备工程, 中国轻工业出版社, 2001, P94-96H-法
- [16] 中华人民共和国卫生部,《消毒技术规范》, 2002
- [17] 轻工业部行业标准, QB/T2323-2004,《工业洗衣机》, 2004
- [18] 中华人民共和国国家标准, GB 18466-2005, 医疗机构水污染物排放标准
- [19] 廖明,《工业洗涤设备能耗分析》, 2005, 3-6, http://www.letw.net/Article_Show.asp?ArticleID=1372
- [20] 卫生部疾病控制司,《各种污染对象的常用消毒方法 (试行)》, 2003
- [21] 医疗器械行业标准, YY 0503-2005,《环氧乙烷灭菌器》, 2005
- [22] 中华人民共和国国务院,《医疗废弃物管理条例》, 第四条、第二十一条
- [23] 中华人民共和国环境保护行业标, HJ/T177-2005,《医疗废弃物集中处置工程建设技术规范》
- [24] 中华人民共和国国家标准, GB18733-2002,《医疗废弃物焚烧环境卫生标准》
- [25] 中华人民共和国国家标准, GB19128-2003,《医疗废物焚烧炉技术要求》。
- [26] 郭颖杰, [硕士学位论文], 城市生活垃圾处理系统生命周期评价, 大连理工大学 环境系统工程, 2003, 60-64

第四章 一次性和耐久型手术防护服材料生命周期结果讨论及比较

第三章已经对经拒水处理的耐久型高密全棉手术服材料 CO1、经拒水处理的木浆/涤纶复合水刺一次性手术服材料 SL3、纺粘法丙纶一次性手术服材料 SB1 三种手术防护服材料生命周期进行了清单分析。本章在第三章得出的数据清单的基础上,依据生命周期的理论和方法,按照 1.3 的一次性和耐久型手术服材料的生命周期分析模型,对 CO1、SL3、SB1 三种手术服的生命周期进行讨论并对这三种材料的能源、资源消耗和环境影响进行比较。

从第三章中的计算可以看出,手术防护服材料在生命周期中消耗的能源(包括油、电/煤)和资源(包括可再生资源水和多种不可再生资源)有许多种,排放的污染物多种多样。因此要对一次性和耐久型手术防护服材料的生命周期进行分析比较,首先需要根据所关心的环境问题,对生命周期中消耗的各种能源、资源以及排放的各种污染物进行分类,将对环境有一致或类似影响的排放物分作一类。

4.1 生命周期影响类型的划分

目前,国际上对于环境影响类型的划分没有一个统一的方法,在实践中一般常使用 SETAC 等方案 [1]。中国科学院生态环境研究所在做产品的生命周期评价时,在 SETAC 分类方案的基础上,根据 ISO14042 的原则,针对我国实际情况,选取了一个相对简单的影响类型划分方案目前^[2]。

本节根据手术防护服材料生命周期清单的实际情况,将其能源消耗和环境影响分为如下几个类型:

输入: 能源消耗、可再生资源消耗、不可再生资源消耗;

输出: 人体和生态毒性、全球变暖、酸化、富营养化、固体废弃物和烟尘
以及其它污染物。

本文所采用的手术防护服材料能源消耗和环境影响分类体系如表 4-1 所示。

表 4-1 手术防护服材料能源消耗和环境影响分类体系

	环境影响类型	干扰因子	环境效应	影响区域
输入	能源消耗	电、煤、油	能源耗竭	全球
	可再生资源消耗	水	水资源危机	全球
	不可再生资源消耗	石油化工衍生产品等	能源耗竭	全球
	人体和生态毒性	二噁英类、氯、重金属等	威胁人体健康，生态污染	区域
	酸化	NO _x 、SO ₂ 、HCl、HF 等	森林破坏，湖泊酸化，酸雨	区域
输出	富营养化	BOD、COD、、P、N、NH ₄ ⁺ 等	藻类茂盛，水体缺氧	区域
	全球变暖	CO、CO ₂ 、CH ₄ 等	全球增温，气候变化	全球
	烟尘和固体废弃物以及其它污染物	固体废弃物、烟尘以及悬浮物等其它污染物	占用耕地及其它	区域

尤其值得注意的是对于表 4-1，在表毒性影响中，二噁英类物质(PCDD/PCDFs)被称为“地球上毒性最强的毒物”。它是一种含氯的强毒性有机化学物质，在自然界中几乎不存在，只有通过化学合成才能产生，是目前人类创造的最可怕的化学物质。二噁英类主要来源正是城市垃圾焚烧、有害废弃物的燃烧和医用废弃物的燃烧^[3]，对焚烧炉区域附近的生态环境和人体健康产生重大影响。二噁英类物质的排放是本节最关心的环境问题，和重要考虑环境影响的最重要因素。

4.2 一次性和耐久型手术服材料的生命周期分析

4.2.1 经拒水处理的耐久型高密全棉手术服材料的生命周期分析

4.2.1.1 生命周期分类汇总数据清单

根据第三章的清单分析，按照 4.1 所述的能源消耗和环境分类体系，将经拒水处理的耐久型高密全棉手术服材料 CO1 的生命周期数据清单分类汇总，如到表 4-2 所示。

表 4-2 100kg 经拒水处理的耐久型高密全棉手术防护服材料生命周期清单分类汇总分析

	原料获取和生产加工	使用（50 次消毒洗涤）	废弃物处理
--	-----------	--------------	-------

		项目	数量	项目	数量	项目	数量
输入	能源	电	42.27kw/hr	电	7170kw/hr	电	16kw/hr
		煤	57.1kg	-	-	-	-
		油	60.7kg	-	-	油	7.5kg
	可再生资源	水	510.67m ³	水	500m ³	-	-
	不可再生资源	N、P、K 化肥， 有机氟拒水 剂、异丙醇、 乙酸等	共 85.36kg	环氧乙烷、 含氯消毒 液、洗涤剂	共 344.25kg	-	-
输出	毒性	二噁英类	-	-	-	二噁英类	244.35TEQng
		农药、铜、六 价铬、二氧化 氯	共 0.76kg	总余氯	0.25kg	重金属、 砷、镍等	2.05g
	富营养化	BOD、COD、 N、P、氨氮	共 15.99kg	BOD、 COD、氨氮	47.5kg	-	-
	酸化	NO _x 、SO ₂	共 5.43kg	-	-	NO ₂ 、 HCl、HF、 SO ₂	共 0.37kg
	全球变暖	CO	0.015kg	-	-	CO	0.039kg
	固体废 渣、烟尘 及其它污 染物	TSP、悬浮物 (SS)、苯胺、 P、N	共 21.20kg	SS、油类、 阴离子表 面活性剂	共 17.5kg	烟尘	0.039kg

4.2.1.2 生命周期清单结果与讨论

通过表 4-2，我们可以进行以下讨论：

1、计算 100kg 棉手术防护服材料能源与资源消耗构成。

假定我国使用的电能均为火电，则消耗 1kw/hr 电，相当于消耗 3.6 MJ；消耗 1kg 煤，相当于消耗 22.21 MJ；消耗 1kg 油，相当于消耗 41.82 MJ^[4]；这样就可以将手术防护服材料生命周期中的能源消耗统一转化为热的消耗，可以算出 100kg 棉手术防护服材料生命周期能源消耗构成，如图 4-1 所示。

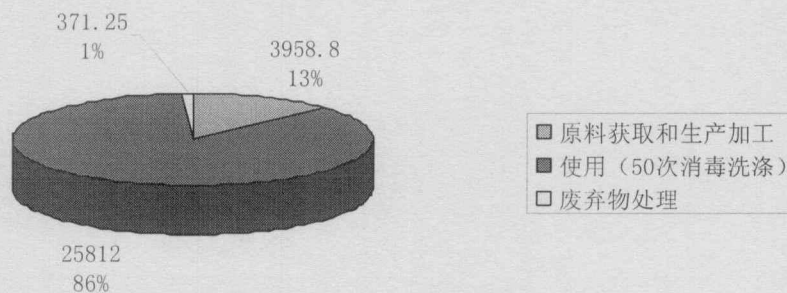


图 4-1 100kg 棉手术防护服材料源消耗构成 (MJ)

100kg 棉手术防护服材料生命周期能源消耗构成，如图 4-2 所示。

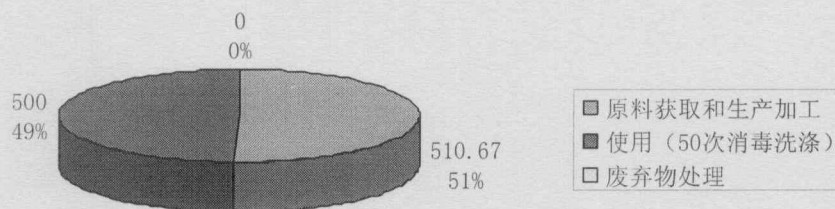


图 4-2 100kg 棉手术防护服材料生命周期水资源消耗构成 (m^3)

从图 4-1、可以看出，在 100kg 棉材料 CO1 的生命周期中，总共消耗能源 30142.1MJ，其中，其使用阶段（消毒和洗涤）消耗的能源最多，占整个生命周期总消耗的 86%，原料获取和生产加工阶段消耗能源占总消耗的 13%，废弃物处理阶段能源消耗占总消耗的 1%。

从图 4-2 可以看出，在 100kg 棉材料 CO1 的生命周期中，总共消耗水 1010.67 m^3 ，其中，原料获取及生产加工阶段消耗的水资源占总消耗的 51%使用阶段消耗的水资源占总消耗的 49%。

可见，棉手术防护服材料生命周期的能源和水资源的消耗主要集中在原料获取和生产加工以及使用阶段，废弃物处理阶段消耗的能耗和水资源占总消耗的比例要远远小于前面两个阶段。

2、对于棉手术防护服材料生命周期的不可再生资源消耗，主要集中在前两个阶段，棉花种植中需要使用的化肥，消毒洗涤过程中使用的消毒剂、洗涤剂、

环氧乙烷杀菌剂，都消耗了大量的不可再生资源。

3、对于棉手术防护服材料生命周期的酸化、富营养化、固体废渣和烟尘等环境影响，主要集中在前两个阶段。

4、对人体危害极大的二噁英类物质排放，完全集中在废弃物处理阶段，每 100kg 棉手术服材料的生命周期要排放 244.35TEQng。

4.2.2 经拒水处理的木浆/涤纶复合水刺一次性手术服材料的生命周期分析

4.2.2.1 生命周期分类汇总数据清单

根据第三章的清单分析，将经拒水处理的木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料的生命周期数据清单分类汇总，如到表 4-3 所示。

表 4-3 100kg 经拒水处理木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料生命周期清单分类汇总分析

		原料获取和生产		使用（50 次消毒洗涤）		废弃物处理	
		项目	数量	项目	数量	项目	数量
输入	能源	电	338.25kw/hr	-	-	电	16kw/hr
		煤	285.7kg	-	-	-	-
		油	4.9kg	-	-	油	7.5kg
	可再生资源	水	39.88m ³	-	-	-	-
		木纤维	100kg	-	-	-	-
	不可再生资源	PTA、EG，有机氟拒水剂、异丙醇、乙酸等	共 69.91kg	-	-	-	-
输出	毒性	二噁英类	-	-	-	二噁英类	244.35TEQng
		铜、六价铬、二氧化氯	共 0.1kg	-	-	重金属、砷、镍等	2.05g
	富营养化	BOD、COD	共 38.27kg	-	-	-	-
	酸化	硫化物	共 0.067kg	-	-	NO ₂ 、HCl、HF、SO ₂	共 0.37kg
	全球变暖	CO	0.015kg	-	-	CO	0.039kg
	固体废渣、烟尘及其它污染物	悬浮物（SS）、苯胺	共 15.77kg	-	-	烟尘	0.039kg

4.2.2.2 生命周期清单结果与讨论

本文不考虑木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料在使用阶段的能源、资源消耗和环境影响，主要讨论原材料获取和生产加工阶段以及废弃物处理阶段，通过表 4-3，我们可以进行以下讨论：

- 1、根据表 4-3 中数据，将电、油、煤折合换算成热（MJ）可得，在 100kg 水刺手术服材料的生命周期中，总共消耗能源 8139.3MJ，其中，原料获取和生产加工阶段消耗能源占总消耗的 95.4%，废弃物处理阶段能源消耗占总消耗的 4.6%。
- 2、从表 4-3 可以看出，在 100kg 水刺一次性手术服材料的生命周期中，总共耗水 39.88m³，水资源消耗全部集中在原料获取及生产加工阶段。
- 3、对人体危害极大的二噁英类物质排放，完全集中在废弃物处理阶段，每 100kg 水刺一次性手术服材料的生命周期要排放 244.35TEQng。

4.2.3 纺粘法丙纶一次性手术防护服材料的生命周期分析

4.2.3.1 生命周期分类汇总数据清单

根据第三章的清单分析，将经拒水处理的木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料的生命周期数据清单分类汇总，如到表 4-4 所示。

表 4-4 100kg 纺粘丙纶刺一次性手术防护服材料生命周期清单分类汇总分析

		原料获取和生产		使用（50 次消毒洗涤）		废弃物处理	
		项目	数量	项目	数量	项目	数量
输入	能源	电	123kw/hr	-	-	电	16kw/hr
		煤	-	-	-	-	-
		油	254.8kg	-	-	油	7.5kg
	可再生资源	水	17m ³	-	-	-	-
	不可再生资源	催化剂、氢气、氮气	共 7.16kg	-	-	-	-
输出	毒性	二噁英类	-	-	-	二噁英类	244.35TEQng
		-	-	-	-	重金属、砷、镍等	2.05g
	富营养化	-	-	-	-	-	-
	酸化	-	-	-	-	NO ₂ 、HCl、HF、SO ₂	共 0.37kg

	全球变暖	-	-	-	-	CO	0.039kg
	固体废渣、烟尘及其它污染物	废渣	0.009kg	-	-	烟尘	0.039kg

4.2.3.2 生命周期清单结果与讨论

本文不考虑纺粘丙纶一次性手术防护服材料在使用阶段的能源、资源消耗和环境影响，主要讨论原材料获取和生产加工阶段以及废弃物处理阶段，通过表 4-4，我们可以进行以下讨论：

- 1、根据表 4-4 中数据，将电、油、煤折合换算成热（MJ）可得，在 100kg 纺粘手术服材料的生命周期中，总共消耗能源 11469.8MJ，其中，原料获取和生产加工阶段消耗能源占总消耗的 96.7%，废弃物处理阶段能源消耗占总消耗的 3.3%。
- 2、从表 4-2 可以看出，在 100kg 纺粘一次性手术服材料的生命周期中，总共消耗水 17m³，水资源消耗全部集中在原料获取及生产加工阶段。
- 3、对人体危害极大的二噁英类物质排放，完全集中在废弃物处理阶段，每 100kg 纺粘一次性手术服材料的生命周期要排放 244.35TEQng。

4.3 一次性和耐久型手术服的生命周期比较

4.3.1 100kg 一次性和耐久型手术服的生命周期比较

4.3.1.1 生命周期能源、资源的消耗比较

100kg 不同手术防护服材料能源、可再生资源和不可再生资源的消耗的比较如表 4-5 所示。

表 4-5 100kg 不同手术防护服材料生命周期能源、资源消耗比较

材料	能源消耗（MJ）	可再生资源消耗		不可再生资源消耗（kg）
		水（m ³ ）	其它可再生资源（kg）	
经拒水处理耐久型棉机织物手术防护服材料 C01	30142.1	1010.7	-	85.36
木浆/涤纶复合水刺	8139.3	39.88	100	69.91

一次性手术防护服材料 SL3				
纺粘丙纶一次性手术防护服材料 SB1	11469.8	17	-	7.16

由表 4-5 可以看出, 经拒棉材料 CO1 的生命周期中, 其总的能源消耗要比 SL3 和 SB1 要大许多。这是因为, 棉材料 CO1 虽然在原料获取和生产加工阶段的能源消耗比水刺一次性材料 SL3 和纺粘丙纶一次性材料 SB1 要小、但是由于它在使用阶段(消毒洗涤)的大量能耗能源, 其总的能源消耗要比 SL3 和 SB1 要大许多。同时, CO1 的可再生资源 and 不可再生资源消耗都远远大于 SL3 和 SB1。

水刺材料 SL3 的能源消耗比纺粘丙纶 SB1 材料要小, 但是其需要消耗的可再生资源 and 不可再生资源却比 SB1 消耗的要大。

4.3.1.2 生命周期污染物排放量的比较

100kg 不同手术防护服材料生命周期中, 对环境产生各种影响的污染物排放量的比较如表 4-6 所示。

表 4-6 100kg 不同手术防护服材料生命周期污染物排放量比较

影响类型		经拒水处理耐久型棉机织物手术防护服材料 CO1	木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料 SL3	纺粘丙纶一次性手术防护服材料 SB1
毒性	二噁英类 (TEQng)	244.35	244.35	244.35
	其它毒性污染物(kg)	1.01	0.102	0.002
富营养化(kg)		63.49	38.27	-
酸化(kg)		5.8	0.44	0.037
固体废渣、烟尘等其它污染物(kg)		38.7	15.81	0.048
全球变暖(kg)		0.054	0.054	0.039

从表中可以看出, 100kg 三种材料的二噁英类相等; 100kg 棉材料 CO1 产生的废渣排放量要大于水刺材料 SL3 和纺粘丙纶材料 SB1; 而 SL3 生命周期中, 富营养化污染物排放量要大于 CO1 和 SB1; 同等质量的 SB1 材料产生的各种污染排放量最少;

4.3.2 同等手术次数下，一次性和耐久型手术防护服材料的生命周期比较

显然，在实际情况中，只考虑 100kg 材料的生命周期是不行的。

这是因为，由于不同手术防护服材料的克重是不同的。同样尺寸大小的一件手术防护服，其所需要的材料的量是不同的，则 100kgCO1、SL3 和 SB1 材料就可以做成不同数量的手术服。那么，同样次数的手术下，实际所需要的材料的量就不同，相应的能源、资源的消耗和对环境的影响也会不同。本节考虑，在相同手术次数下，不同手术服材料的生命周期比较。

假设条件：

某医院一个月平均进行 50 次手术，每件手术防护服需要材料 2m^2 。在 50 次手术下：

1、棉材料 CO1：

只需要 1 件（可经 50 次消毒洗涤），材料消耗量： $2\text{m}^2 \times 350\text{g/m}^2 = 0.7\text{kg}$

2、水刺材料 SL3：

需要 50 件，材料消耗量： $50 \times 2 \times 70\text{g/m}^2 = 7\text{kg}$

3、纺粘丙纶材料 SB1：

需要 50 件，材料消耗量： $50 \times 2 \times 45\text{g/m}^2 = 4.5\text{kg}$

4.3.2.1 生命周期能源、资源的消耗比较

同等手术次数下，不同手术防护服材料能源、可再生资源和不可再生资源的消耗比较如表 4-7 所示。

表 4-7 50 次手术下，不同手术防护服材料生命周期能源、资源消耗比较

材料	能源消耗 (MJ)	可再生资源消耗		不可再生资源消耗 (kg)
		水 (m^3)	其它可再生资源 (kg)	
经拒水处理耐久型棉机织物手术防护服材料 CO1	211.0	7.07	-	0.60
木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料 SL3	569.8	2.79	7	4.89
纺粘丙纶一次性手术防护服材料 SB1	516.1	0.77	-	0.32

由表 4-7 可以看出, 在 50 次手术下, 结果与图 4-5 有很大区别, 棉材料 CO1 的生命周期中, 其总的能源消耗要比 SL3 和 SB1 要小许多; 水刺材料 SL3 的能源消耗、可再生资源 and 不可再生资源消耗都比 SB1 的消耗要大。综合来看:

能源消耗: $CO1 < SB1 < SL3$;

资源消耗: $SB1 < CO1 < SL3$ 。

4.3.1.2 生命周期污染物排放量的比较

同等手术次数下, 不同手术防护服材料生命周期中, 对环境产生各种影响的污染物排放量的比较如表 4-8 所示。

表 4-8 100kg 不同手术防护服材料生命周期污染物排放量比较

影响类型		经拒水处理耐久型棉机织物手术防护服材料 CO1	木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料 SL3	纺粘丙纶一次性手术防护服材料 SB1
毒性	二噁英类 (TEQng)	1.71	17.10	11.00
	其它毒性污染物(g)	7.07	7.14	0.009
富营养化(g)		444.43	2687.9	0
酸化(g)		40.6	30.8	1.67
固体废渣、烟尘等其它污染物(g)		270.9	1106.7	2.16
全球变暖(g)		0.38	0.38	1.76

从表 4-8 中可以看出, 在 50 次手术下, 水刺材料 SL3 和纺粘丙纶材料 SB1 排放的二噁英类量远远大于棉材料 CO1, 他们的二噁英类排放量分别为 CO1 的 10 倍和 6.4 倍, 可以认为 CO1 在对人体的健康和对环境的影响上更为友好; 此外, SL3 在富营养化上和废渣排放量上要远大于 CO1 和 SB1, 更容易造成水体营养化和耕地占用。

4.4 本章小结

1、本节根据手术防护服材料生命周期清单的实际情况，将其能源消耗和环境影响分为如下几个类型：

输入：能源消耗、可再生资源消耗、不可再生资源消耗；

输出：人体和生态毒性、全球变暖、酸化、富营养化、固体废弃物和烟尘以及其它污染物。

其中，二噁英类是影响人体和生态毒性的因子，是本节最关心的环境问题，是考虑环境影响的最重要因素。

2、在 100kg 经拒水处理耐久型棉机织物手术防护服材料 CO1 的生命周期中：总共消耗能源 30142.1MJ(使用阶段占 86%，原料获取和生产加工阶段占的 13%，废弃物处理阶段占 1%)，消耗水 1010.67m³ 及其它资源，排放二噁英类 244.35TEQng 及其它污染物。

3、在 100kg 木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料 SL3 的生命周期中，总共消耗能源 8139.3MJ (原料获取和生产加工阶段占的 95.4%，废弃物处理阶段占 4.6%)，消耗水 39.88m³ 及其它资源，排放二噁英类 244.35TEQng 及其它污染物。

4、在 100kg 纺粘丙纶一次性手术防护服材料 SB1 的生命周期中，总共消耗能源 11469.8MJ (原料获取和生产加工阶段占 96.7%，废弃物处理阶段占 3.3%)。耗水 17m³ 及其它资源，排放二噁英类 244.35TEQng 及其它污染物。

5、50 次手术下，CO1 消耗能源 211.0MJ，SL3 消耗能源 569.8MJ；SB1 消耗能源 516.1MJ；CO1 消耗能源比 SB1 和 SL3 少，CO1 消耗资源>SB1。

6、50 次手术下，CO1 排放二噁英类 1.71TEQng；SL3 排放二噁英类 17.10 TEQng；SB1 排放二噁英类 11.00TEQng，CO1 对人体健康和环境的影响更加友好

本章中，对生命周期影响评价没能很好展开，仅仅列出手术防护服材料对环境影响的排放量，并没有展开进行生命周期影响评价，手术防护服材料生命周期影响的评价需要进一步讨论。

参考文献

- [1] Udo de Haes(ed).Towards a methodology for life cycle impactassessment. Brussels SETAC-Europe. 1996, 56.
- [2] 杨建新, 王如松, 刘晶茹.中国产品生命周期影响评价方法研究, 环境科学学报.2001, 21 (2): 234-237.
- [3] 汪军, 朱彤. 二恶英类物质污染问题及其治理技术. 能源研究与信息. 2001, 03: 15-18
- [4] 黄春林, [硕士学位论文] 合成高分子生物医学材料制品的生命周期评价, 西南交通大学环境工程, 2004, 38.

第五章 结论和展望

手术防护服材料的选择需要考虑到许多因素,防护织物分析模型(APT)旨在建立一种考虑综合各种因素的模式、能准确衡量经济、环境、社会政治因素,并充分考虑这些因素与改进材料的关系。本文研究的内容是 APT 模型的一部分,主要研究手术服材料的选择所应该考虑的材料性能因素和环境因素,并在此基础上,根据手术防护服材料的性能要求和测试标准,对几种一次性和耐久型手术防护服材料进行了性能比较。并且,通过查阅大量文献和进行一定的实地调查,对三种一次性和耐久型手术防护服材料进行了生命周期分析。

5.1 论文的结论

表面材料的拒水性和织物结构的紧密程度是影响防护服材料拒液性能的两个因素;从总体来说,一次性手术防护服材料的拒液性能要好于耐久性手术防护服材料;与一次性手术防护服相比,耐久型手术服不易掉毛,而且更加牢固。

三种材料的生命周期分析结果

- 1、在 100kg 350g/m² 经拒水处理耐久型棉机织物手术防护服材料 CO1 的生命周期中: 总共消耗能源 30142.1MJ (使用阶段占 86%, 原料获取和生产加工阶段占的 13%, 废弃物处理阶段占 1%。), 消耗水 1010.67m³ 及 85.36 kg 不可再生资源, 排放二噁英类 244.35TEQng 和其它污染物。
- 2、在 100kg 70g/m² 木浆/涤纶复合水刺一次性手术防护服材料 SL3 的生命周期中, 总共消耗能源 8139.3MJ (原料获取和生产加工阶段占的 95.4%, 废弃物处理阶段占 4.6%。), 消耗水 39.88m³ 及 69.91kg 不可再生资源, 排放二噁英类 244.35TEQng 和其它污染物。
- 3、在 100kg 45g/m² 纺粘丙纶一次性手术防护服材料 SB1 的生命周期中, 总共消耗能源 11469.8MJ (原料获取和生产加工阶段占 96.7%, 废弃物处理阶段占 3.3%)。耗水 17m³ 及 7.16kg 不可再生资源, 排放二噁英类 244.35TEQng 和其它污染物。
- 4、50 次手术下, CO1 消耗能源 211.0MJ, SL3 消耗能源 569.8MJ; SB1 消耗能源 516.1MJ; CO1 消耗能源比 SB1 和 SL3 少, CO1 消耗资源>SB1。

5、50 次手术下, CO1 排放二噁英类 1.71TEQng; SL3 排放二噁英类 17.10 TEQng; SB1 排放二噁英类 11.00TEQng, CO1 对人体健康和环境的影响更加友好

5.2 展望与建议

本文还存在一些不足: 因条件所限, 没有进行阻止微生物渗透实验; 掉毛性能研究有待进一步深入; 生命周期分析中模块的划分不够细致。手术防护服材料生命周期影响的评价需要进一步讨论。

此外, 对于手术防护服材料性能及生命周期分析方面的研究, 还存在较大的空间:

- 手术防护服标准的制定还可以做得更加完善

目前, 在手术防护服标准方面, 与国外相比, 国内缺乏耐久型手术防护服的国家标准, 缺乏对于防护服材料掉毛方面的性能要求, 缺乏阻止微生物渗透的性能要求; 同时, 在物理性能要求、拒液性能及合成血液性能等一些方面要求的测试方法考虑不够全面, 对仪器及测试程序要求较低, 不够精确, 对防护服舒适性的要求过低。在这些方面, 标准的制定还有提高的空间。

- 根据生命周期考虑, 改进工艺

根据生命周期的分析, 可以相应的考虑改进工艺, 以减少防护服材料对环境的影响。比如, 是否可以在一次性防护服材料中加入可降解的纤维, 以替换能源和不可再生资源的消耗; 是否能设计出可以重复使用的非织造织物? 是否有办法商业洗涤和消毒方法变成无水过程? 总之, 在今后, 可以根据生命周期分析, 对实际工艺进行一些可行的改进, 以得到对环境更为友好的产品。

致 谢

本论文是在导师王璐教授的悉心指导下完成的，在我研究生学习期间，导师严谨的科研作风、丰富的实践经验、孜孜不倦的工作态度和高度的敬业精神让我受益匪浅；不仅在学习上，在做人方面、待人处世方面，导师那种严以律己、宽以待人的态度也给以我潜移默化的影响。

在论文的写作过程中，得到了东华大学纺织学院张静峰同学、邹菲同学、俞兆升同学、东华大学环境学院陈丽同学等的宝贵建议和帮助；另外在调研期间，得到了广西陆川人民医院的李健女士的大力协助，这里向他们表示衷心的感谢。

本论文能够顺利完成还与东华大学纺织学院良好的学术氛围，优良的研究条件有着密不可分的关系，在此衷心感谢学院所有良师益友的帮助与鼓励，祝愿东华大学纺织学院的明天更美好！

最后将此文献给我的家人和朋友，感谢他们在我多年求学生涯对我的鼎立支持和赋予的殷切希望，他们无微不至的关爱永远是我幸福的源泉和前进的动力！

-

攻读学位期间发表的学术论文目录

发表的论文：

徐桂龙，王璐，国内外一次性和耐久型医用手术防护服标准比较及分析，产业用纺织品，2006，（8），（已录用）