

辽宁省功能纺织材料重点实验室资助

# 水溶性纤维素醚的 合成与应用

Synthesis and Application of  
Water-soluble Cellulose Ethers

黄风远 / 著




中国纺织出版社有限公司

国家一级出版社  
全国百佳图书出版单位

# 水溶性纤维素醚的合成与应用

黄凤远 著

 中国纺织出版社有限公司

## 内 容 提 要

本书从可再生资源利用、环境保护等角度出发,选择可再生的天然高分子——纤维素为主要原材料,通过化学合成制备水溶性纤维素醚作为新型混凝土减水剂/高效减水剂,系统地研究了基于天然高分子的混凝土减水剂的合成条件与应用性能。探讨了反应物配比、反应温度、反应时间等因素对产物分子结构的影响;为了比较水溶性纤维素醚的应用性能,分别合成硫酸酯化羟乙基纤维素、淀粉顺丁烯二酸半酯,并进行了应用性能研究。采用傅里叶变换红外光谱、核磁共振光谱、扫描电镜、电感耦合等离子体发射光谱、凝胶渗透色谱等现代分析手段表征了分子结构。为研究减水剂性能,测定了水泥颗粒吸附减水剂后 $\zeta$ 电位,水泥颗粒对减水剂的吸附特性,减水剂在水泥颗粒表面的吸附层厚度,减水剂对水泥水化的影响以及产物对水泥水化物形貌的影响。

本书适合从事天然高分子改性与应用的研究人员、学生阅读,也可供从事混凝土外加剂开发人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

水溶性纤维素醚的合成与应用 / 黄凤远著. -- 北京 :  
中国纺织出版社有限公司, 2020.8  
ISBN 978-7-5180-7640-6

I. ①水… II. ①黄… III. ①水溶性—纤维素醚—研究 IV. ①O636.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 127213 号

### SHUIRONGXING XIANWEISUMI DE HECHENG YU YINGYONG

责任编辑: 范雨昕 责任校对: 楼旭红 责任印制: 何建

中国纺织出版社有限公司出版发行  
地址: 北京市朝阳区百子湾东里A407号楼 邮政编码: 100124  
销售电话: 010—67004422 传真: 010—87155801  
http: //www.c-textilep.com  
中国纺织出版社天猫旗舰店  
官方微博 http: //weibo.com/2119887771  
三河市宏盛印务有限公司印刷 各地新华书店经销  
2020年8月第1版第1次印刷  
开本: 710×1000 1/16 印张: 10.25  
字数: 152千字 定价: 98.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

# 前 言

天然高分子材料具有种类繁多、可再生、生物相容性好等众多优点，其中植物纤维、淀粉是地球上最丰富的两种可再生天然高分子。植物通过光合作用能生产大量的纤维素、淀粉，是很重要的工业原料。以纤维素为例，据统计，地球上可再生的纤维素达1000亿吨以上，但是这种廉价且取之不尽的再生资源远未得到充分利用。每年以纤维素状态消耗的不足总量的0.15%，包括用于造纸的0.1%，用于纺织的0.012%，用于化学改性的0.007%；另约有1%的纤维素用于燃料和建筑原木。因此，被利用的纤维素的量不足总量的1.2%。另外，98%以上的纤维素处于任其自生自灭的状态。未充分利用的纤维素不仅是资源的浪费，而且处理不当还会引起环境问题。因此，如何进一步有效地利用地球上储量巨大、可再生的纤维素资源，开拓纤维素在新技术、新材料、新能源、新领域中的利用已经成为众多研究人员十分关注的问题。

作者从可再生资源利用、环境保护等角度出发，选择纤维素为主要原材料，通过化学合成制备新型混凝土减水剂/高效减水剂，系统地研究基于天然高分子的混凝土减水剂的合成条件与应用性能。采用棉纤维素为原材料，制备水溶性丁基磺酸纤维素醚，探讨了反应物配比、反应温度、反应时间等因素对产物分子结构的影响。作为对比，探讨了硫酸酯化羟乙基纤维素、微波辐射方法制备淀粉顺丁烯二酸半酯的合成条件及作为减水剂应用的性能。采用傅里叶变换红外光谱、核磁共振光谱、扫描电镜、电感耦合等离子体发射光谱、凝胶渗透色谱等现代分析手段表征了分子结构。为研究减水剂性能，测定了水泥颗粒吸附减水剂后 $\zeta$ 电位，水泥颗粒对减水剂的吸附特性，减水剂在水泥颗粒表面的吸附层厚度，减水剂对水泥水化的影响以及产物对水泥水化物形貌的影响。证明了水溶性纤维素醚可以应用于混凝土减水剂，并具有良好的应用效果，为纤维素的综合利用提供了一种新思路、新途径。

著者

2020年2月

# 目 录

第1章 概述 .....	001
1.1 背景与意义 .....	001
1.1.1 混凝土减水剂的研究进展 .....	002
1.1.2 天然高分子制备混凝土外加剂的优势 .....	005
1.2 天然高分子及其衍生物 .....	006
1.2.1 纤维素和淀粉的结构 .....	006
1.2.2 纤维素改性 .....	008
1.3 天然高分子在建筑材料中的应用 .....	012
1.3.1 纤维素纤维在建筑材料中应用 .....	012
1.3.2 纤维素水溶性衍生物在建筑材料中的应用 .....	013
1.3.3 天然高分子衍生物在建筑材料中的应用进展 .....	015
第2章 原材料与试验方法 .....	019
2.1 原材料与试剂 .....	019
2.2 主要实验仪器 .....	020
2.3 合成试验装置 .....	020
2.3.1 SBC的合成 .....	020
2.3.2 磺化羟乙基纤维素的制备 .....	021
2.3.3 淀粉顺丁烯二酸半酯的制备 .....	021
2.4 产物的结构表征 .....	022
2.4.1 红外光谱 .....	022
2.4.2 核磁共振谱 (NMR) .....	022
2.4.3 分子量测试 .....	022
2.4.4 取代度的测定 .....	025

2.5	应用性能的测试 .....	027
2.5.1	减水剂吸附量测定 .....	027
2.5.2	光电子能谱分析 (XPS) .....	029
2.5.3	水泥颗粒表面 $\zeta$ 电位测定 .....	031
2.5.4	X射线衍射 (XRD) 分析 .....	031
2.5.5	扫描电镜 (SEM) 分析 .....	032
2.5.6	差示扫描量热分析 (DSC) .....	032
2.5.7	水化热测定 .....	032
2.5.8	水泥粒度分布测定 .....	032
2.5.9	水泥净浆试样制备及性能测试 .....	033
2.5.10	砂浆、混凝土性能测试 .....	034
<b>第3章</b>	<b>天然高分子基减水剂的合成 .....</b>	<b>037</b>
3.1	概述 .....	037
3.2	平衡聚合度纤维素制备 .....	038
3.2.1	平衡聚合度纤维素制备机理 .....	038
3.2.2	平衡聚合度纤维素制备 .....	039
3.2.3	纤维素聚合度测定 .....	040
3.3	丁基磺酸纤维素减水剂的合成 .....	041
3.3.1	碱纤维素的制备 .....	041
3.3.2	水溶性LODP丁基磺酸纤维素醚的制备 .....	042
3.3.3	SBC的分子结构表征 .....	050
3.4	磺化羟乙基纤维素的制备 .....	055
3.4.1	反应条件的探讨 .....	055
3.4.2	SHEC分子结构表征 .....	058
3.5	淀粉基减水剂合成研究 .....	060
3.5.1	淀粉顺丁烯二酸半酯 (SMHE) 的合成 .....	060
3.5.2	SMHE结构表征 .....	062
3.6	本章小结 .....	063

第4章 天然高分子基减水剂在水泥净浆中的应用 .....	066
4.1 SBC对水泥的减水分散作用 .....	067
4.2 SBC分子结构对水泥净浆流动度的影响 .....	070
4.3 SBC对水泥粒子表面 $\zeta$ 电位的影响 .....	072
4.4 减水剂对水泥水化的影响 .....	075
4.4.1 凝结时间 .....	075
4.4.2 SBC对水泥水化的影响 .....	077
4.4.3 差示扫描量热分析 .....	078
4.4.4 X射线衍射分析 .....	080
4.5 SBC对水泥净浆硬化体表观形貌分析 .....	083
4.6 减水剂在水泥颗粒表面吸附特性 .....	086
4.6.1 吸附量测定 .....	086
4.6.2 吸附层厚度测定 .....	089
4.7 减水剂的作用机理 .....	096
4.7.1 减水剂作用机理研究进展 .....	096
4.7.2 掺加SBC后水泥颗粒的相互作用 .....	099
4.7.3 SBC减水分散机理 .....	106
4.8 本章小结 .....	107
第5章 减水剂饱和掺量的确定及减水因子 .....	110
5.1 减水剂饱和掺量 .....	110
5.1.1 概述 .....	110
5.1.2 理论方法 .....	112
5.1.3 水泥絮凝颗粒分形维数 .....	112
5.2 减水因子的研究 .....	118
5.2.1 物理模型 .....	118
5.2.2 模型的验证 .....	125
5.2.3 减水剂减水因子作用 .....	128
5.3 本章小结 .....	135

第6章 合成减水剂的应用 .....	137
6.1 减水剂在砂浆中的应用 .....	137
6.2 合成减水剂在混凝土中的应用 .....	139
6.2.1 混凝土减水率的测定 .....	139
6.2.2 混凝土和易性 .....	140
6.3 SBC配制C40混凝土 .....	141
6.4 本章小结 .....	143
参考文献 .....	145

# 第1章 概述

## 1.1 背景与意义

材料、能源、信息和生物技术是现代文明的四大支柱，材料是其他技术的基础，材料技术的每次重大突破，往往可引起其他产业技术的革命。因此材料的研究开发与能源、资源、环境息息相关，不可分割。混凝土作为最大宗的建筑材料，伴随着水泥的出现，各种水泥混凝土陆续问世，在200年左右的时间里经历几次重大变革，从最初的混凝土理论基础的奠定，经历了预应力和干硬性混凝土时代、流动性混凝土，到聚合物混凝土时代，每次变革都有特定的理论基础和工业基础。21世纪混凝土将依然是建筑材料的主体材料之一，1997年全世界的混凝土消耗总量达 $6.4 \times 10^{10} \text{m}^3$ ，按照每吨混凝土中水泥用量250kg计算，我国在2005年混凝土总量约 $4.0 \times 10^{10} \text{m}^3$ 。当今的混凝土已经不仅是水泥、水和骨料的简单混合，其他矿物掺合料以及化学外加剂的掺加赋予其新的性能，尤其是减水剂的研发成功以及普遍应用，使大流动度混凝土、高强/高性能混凝土成为可能，为混凝土可持续发展提供了必要条件。

为适应混凝土材料的绿色化和可持续发展，王立久提出“材料过程工程学”的材料学研究方法。材料过程工程学是基于材料学、环境材料学、过程工程学、系统工程学和生态学等相关理论，对材料由原生到被废弃的生命全过程及其相关过程进行优化或集成，以实现其对自然环境消耗低、污染少和充分利用各种资源的工艺和各种工程问题进行研究的方法。材料过程工程学从过程的

角度研究材料生产和使用过程中资源与能源的合理化利用问题，尤其是分散资源的富集、分离、低化学势物质最小能量注入转化、低价位可再生资源的高附加值转化等一系列技术，目的是在总体上达成材料工业的技术及资源利用的最优化，使其为基础设计的材料更具市场竞争力，能更经济、更合理地利用资源，实现材料工业的可持续发展。

材料过程工程学的研究方法在水泥混凝土理论研究方面已取得一定成果。它涵盖了材料生命周期全过程的宏观过程、子过程（包括可逆过程）、单元过程及驻点，其中驻点和单元过程为过程工程的基本组成要素。驻点是材料过程工程学的基本组成元素，是材料过程工程中的状态单元，由驻点要素组成，驻点要素的选择以人类生存对产品各种性能的要求和要素的自身性能为基础。而混凝土减水剂在混凝土工业发展中占有重要地位，其作为混凝土材料过程工程学的一个驻点要素，是不可忽略的研究对象。材料过程工程学中研究的不仅是材料功能的实现，同时还着重探讨资源、能源、环境等的相容性。从目前市场上混凝土减水剂种类、原材料来源等分析中不难发现，它们大多是基于石油化工产品/副产品合成的，而石油作为不可再生资源，日渐稀缺，价格不断走高，已经影响到一系列石油化学品的价格，减水剂也不例外。而且，减水剂是采用小分子有机物经过聚合、缩合等手段得到具有一定聚合度的水溶性高分子，在合成过程中未完全反应的游离小分子物质往往与聚合物共存，容易对合成及应用过程中的工作人员、建筑环境等造成危害。因此，开发可再生资源、合成与环境相容性好的新型减水剂是大势所趋。

### 1.1.1 混凝土减水剂的研究进展

从材料过程工程学角度来看，混凝土减水剂的广泛应用有利于节约资源、节约能源、改善环境，具体表现在以下几个方面：在不减少单位用水量的情况下，改善新拌混凝土的工作度，提高流动性；在保持一定工作度的情况下，减少用水量，提高混凝土的强度；在保持一定强度的情况下，减少单位水泥用量，节约水泥；改善混凝土拌和物的可泵性以及混凝土的其他物理力学性能。

减水剂是使用量极大、用途极广的一类混凝土外加剂，占外加剂总量的70%~80%。根据减水剂减水能力不同可划分为普通减水剂和高效减水剂，后者又称为超塑化剂。前者减水率为5%~10%，如木质素磺酸钙减水剂、糖蜜减水剂、腐殖酸减水剂、碱法造纸废液减水剂、棉浆减水剂、草类植物减水剂等；后者减水率大于12%。按减水剂发挥减水作用的主要成分不同，可以将高效减水剂划分为改性木质素磺酸盐系（modified lignosulphonates, ML）、芳香族多环缩合物磺酸盐系（主要萘系磺酸甲醛缩合物，sulfonated naphthalene formaldehyde condensate, SNF）、三聚氰胺系或蜜胺系（sulfonated melamine formaldehyde condensate, SMF）、氨基磺酸系（aminosulfonic formaldehyde, ASF）和聚羧酸系（polycarboxylate, PC）五大类。混凝土减水剂的发展历程如表1.1所示。

表1.1 减水剂的发展概况

时间	减水剂种类	开发国家/人员
20世纪30年代初	造纸废液在混凝土中应用	
1935年	木质素磺酸盐（普迪里）	美国 E. W. Scripture
1936年	发现萘磺酸甲醛缩合物	Kennedy
1960年	杂酚油缩合物减水剂研发成功	根来
1963年	$\beta$ -萘磺酸甲醛缩合物（麦地减水剂）	日本花王石碱公司的服部健一
1964年	磺化三聚氰胺类高效减水剂（melment）	西德
20世纪70年代后期	改性木质素类高效减水剂，各种外加剂的完善与性能提高，聚羧酸减水剂出现	日本
20世纪90年代初	聚羧酸系减水剂开发利用	

表1.1所述有代表性的减水剂的开发与应用情况，科研人员还通过减水剂改性、复配等手段改善和提高减水剂的应用性能，这些工作都为减水剂的广泛利用做出了不可磨灭的贡献。

不可否认，减水剂的发展为混凝土工业的发展提供了更为广阔的空间，但

是随着世界范围内对环境保护的日益重视，人们对建筑材料的要求也越来越高，不再仅是追求使用性能的实现，而是更关心功能实现的同时又不危害环境和人身安全，因此人们更愿意采用绿色建筑材料。

但是通过对几种通用混凝土减水剂的分子结构、合成路线等方面的分析不难发现，现有的减水剂品种很难满足绿色、环保等要求。以目前在我国占有量较大的萘系高效减水剂为例，其制备流程及分子结构如图1.1、图1.2所示。萘系减水剂（SNF）主要原材料是萘，首先将萘经浓硫酸高温磺化得到磺酸萘（将对减水无效果的 $\beta$ -萘磺酸水解成萘继续利用），再与甲醛缩合成分子量从几千到几万的聚合物，然后经碱中和，过滤去除其中的硫酸钙，得到的滤液即为萘系减水剂，但由这种工艺制备的减水剂溶液浓度往往较低，需进一步浓缩、干燥，方可最终得到粉体萘系减水剂。从原材料角度看，萘本身是一种致癌物质，反应过程中以甲醛做缩合剂，甲醛也是一种强危害性物质，为生产带来安全隐患；另外，合成过程中很难保证所有化学试剂完全、彻底的反应转化成缩聚物，因此在产品中含有游离的萘和甲醛，会引入建筑施工中或者掺加这类减水剂的建筑物中，这种物质会随时释放出来，影响环境和相关人员的健康。目前我国非常重视建筑物中小分子物质的释放，已经制定了混凝土中氨含量的标准，这预示着我国建筑材料发展的新方向。

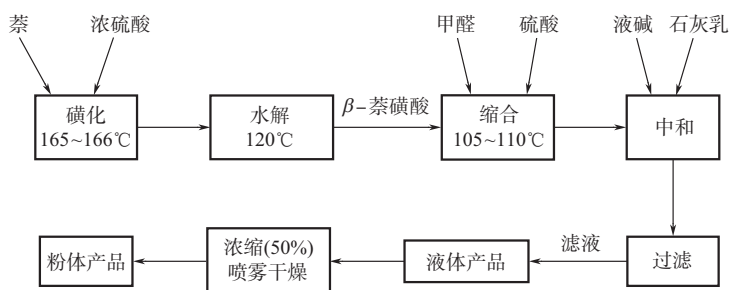


图1.1 萘系减水剂制备流程图

在工程中应用较多的另外一种高效减水剂——氨基磺酸系高效减水剂（ASF），其原材料主要是氨基苯磺酸、苯酚和甲醛，这种减水剂同样存在低分子化合物残留的问题。目前研究人员已经非常重视这一情况，希望通过改进

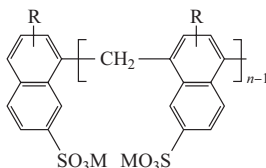


图1.2 萘系减水剂结构式

生产合成工艺和原材料配比以尽量减少小分子化合物残留，降低减水剂对环境潜在的威胁。

### 1.1.2 天然高分子制备混凝土外加剂的优势

材料过程工程学核心问题是材料的循环利用，尤其是可再生资源的充分利用。天然高分子材料具有种类繁多、可再生、生物相容性好等众多优点，其中植物纤维、淀粉是地球上较为丰富的两种可再生天然高分子材料。植物通过光合作用，能生产出大量的纤维素、淀粉，是世界上重要的工业原料。以纤维素为例，据统计，地球上可再生的纤维素达1000亿吨以上，但是这种廉价而取之不尽的再生资源远未得到充分利用。因此进一步有效地利用这种储量巨大、可再生的纤维素资源，开拓纤维素在新领域中的应利用就成为研究人员关注的热点问题。

表1.2是几种植物的主要组成，从中可以体现出自然界中纤维素含量之丰富。植物体的主要成分是纤维素，伴随有木质素和树脂等成分。在植物体中，棉是纤维素含量最高，且纤维素纯度也非常高，是研究纤维素改性的理想材料，可以省去纤维素提纯等过程。因此，文中主要研究棉纤维素的改性利用，在此基础上可以考虑其他植物秸秆的充分利用。

表1.2 部分植物的成分

植物名称		成分/%			
		多戊糖	木质素	纤维素	果胶
茎秆纤维	荻	21.79	18.88	48.52	1.68

续表

植物名称		成分/%			
		多戊糖	木质素	纤维素	果胶
茎秆纤维	芦苇	25.13	19.26	41.57	1.68
	高粱秆	24.40	22.52	39.70	
	蔗渣	23.51	19.30	42.16	
	稻草	18.06	14.05	36.20	
	麦草	25.56	22.34	40.40	
	玉米秆	24.58	18.38	37.68	
	棉秆	20.76	23.16	41.26	
韧皮纤维	大麻屑	4.91	4.03	69.51	2
	亚麻屑	—	—	70.75	3.41
	蓖麻屑	—	1.81	82.81	3.41
	黄麻	—	11.78	65.32	0.38
	棉秆皮	17.27	22.78	62.76	8.84
种子毛纤维	棉屑	—	—	95 ~ 97	1
	棉短绒	—	—	98 ~ 98.6	1 ~ 1.2

目前,纤维素与淀粉除用于纺织、造纸、塑料等传统行业外,还在食品化工、日用化工、医药、建筑、油田化学及生物化学等领域得到广泛利用。其中纤维素除了木材等作为结构材料、装饰材料等的直接应用外,还可以利用纤维素纤维增强水泥、增强混凝土,也可以利用纤维素衍生物改性水泥浆、砂浆、混凝土等。

## 1.2 天然高分子及其衍生物

### 1.2.1 纤维素和淀粉的结构

早在1838年,法国科学家Anselme Payen发现并命名了纤维素(cellulose)。

目前已知纤维素是一种广泛存在于自然界的聚多糖高分子化合物，其化学结构是由纤维素二糖（cellobiose）为重复单元，通过 $\beta$ -(1,4)-D-糖苷键连接而成的线型高分子，每个脱水葡萄糖单元（anhydroglucose unit, AGU）上位于 $C_2$ 、 $C_3$ 和 $C_6$ 原子上的羟基，具有伯醇和仲醇的反应性质，邻近的仲羟基表现出典型的二醇结构特性。纤维素链末端羟基具有不同特性，如 $C_1$ 端羟基具有还原性，而 $C_4$ 末端羟基具有氧化性。它链接的氧和葡萄糖环上的氧主要形成分子内和分子间氢键，并参与降解反应。纤维素分子结构如图1.3所示，其化学结构式为 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。

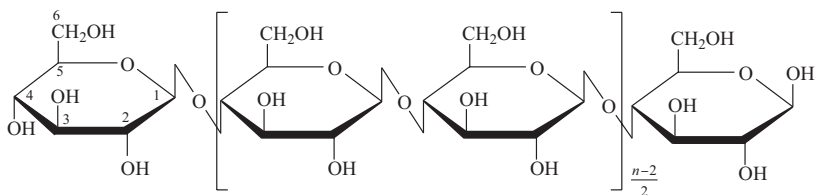


图1.3 纤维素的分子结构

从纤维素分子结构不难看出，分子链上存在大量的羟基具有较强反应活性，易于形成分子间和分子内氢键，纤维素分子链易聚集，趋于平行排列而形成结晶性原纤结构。存在于纤维素分子链的氢键对纤维素形态及反应性有重要作用，尤其是 $C_3$ 羟基与邻近分子环上的氧形成的分子间氢键，增强了纤维素分子链的线型完整性和刚性，形成致密的结晶区，同时存在分子链疏松对齐的无定形区，形成两相共存结构，这种特定结构对纤维素物理化学性能存在深远影响。

纤维素分子链上每个脱水葡萄糖单元上均有3个活泼羟基，可发生一系列与羟基有关的化学反应。由于纤维素分子特殊的晶区和非晶区共存的形态结构，决定其反应大多在非均相（heterogeneous）体系进行，如传统的纤维素改性，包括醚化（甲基化、羧甲基化、羟乙基化、羟甲基化等），酯化（硫酸酯化、硝酸酯化、醋酸酯化等）等，在工业上大多采用多相介质进行反应。在进行反应之前，为改善多相反应的不均匀性和提高纤维素反应性能，通常要进行

溶胀或活化处理，大多以异丙醇、乙醇等纤维素的溶胀剂和水为反应介质，用碱或酸溶胀纤维素，减弱甚至破坏其分子间氢键，使反应具有均一性。

随着研究人员对纤维素反应体系的深入研究，出现较多的均相（homogeneous）溶剂体系。100多年前就已经发现铜氨溶液能够完全溶解纤维素，但是受溶剂属性的限制，铜氨溶液只能用在测定纤维素聚合度方面。近年来开发出无毒、无污染的新纤维素溶剂体系。如8%~10%NaOH水溶液， $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{SCN}$ 水溶液、 $\text{ZnCl}_2$ 水溶液、*N*-甲基吗啉-*N*-氧化物（NMMO）、二甲基甲酰胺或二甲基亚砷（DMF或DMSO）/ $\text{N}_2\text{O}_4$ 、 $\text{LiCl}/N,N$ -二甲基乙酰胺（DMAc）等。这些纤维素溶剂体系尽管对纤维素改性研究带来新的发展方向，能够使产物具有取代度较高、取代均匀等特点，但是成本较高，生产工艺较复杂，仅局限于实验研究，很难得到工业化推广。

与纤维素相比，淀粉分子主要是 $\alpha$ -(1,4)-D-糖苷键连接而成的大分子，与纤维素分子结构不同的是，淀粉分子既有直链结构，又有支链结构，其结构如图1.4所示。因此决定了两者的物理化学性能差别很大。

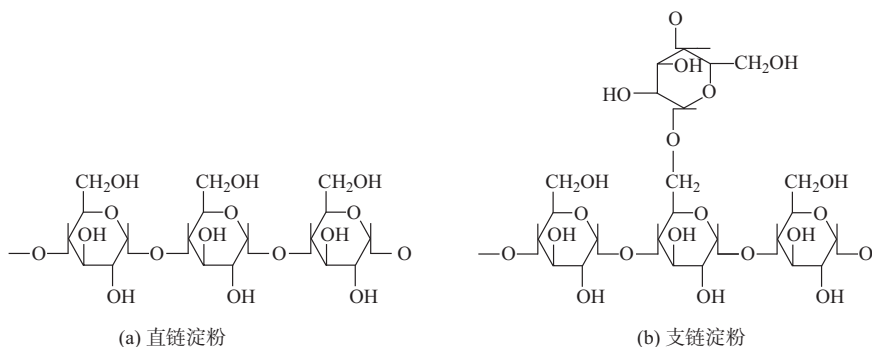


图1.4 淀粉的分子结构

## 1.2.2 纤维素改性

纤维素改性（modification of cellulose）也称纤维素功能化，是通过物理、化学等手段赋予纤维素新的功能。如纤维素本身不能溶于水，可通过醚化、酯化等衍生物化得到不同取代基和不同取代度的水溶性产物；通过接枝反应制备

高吸水性树脂、水溶性纤维素醚疏水改性等；也可以采用力学的方法改变其表面特性。

### (1) 物理改性

纤维素物理改性主要是采用特殊加工的手段改变其物理形貌，达到改性的目的。这类方法包括：

①热处理法：纤维素中有游离水和结合水，游离水可通过干燥除去，结合水则很难除去。

②放电技术：包括电晕、低温等离子体、辐射等方法。电晕处理技术是表面氧化作用中的最有效的方法之一，这种反应可以大量激活纤维素表面的醛基，进而改变纤维素的表面能。

③机械法：拉伸、压延、混纺等机械方法也可改变纤维的结构和表面性质，以利于复合过程中纤维的力学交联作用。

### (2) 化学改性

纤维素化学改性主要分为纤维素降解反应和基于羟基的纤维素衍生化反应，纤维素的降解主要有氧化降解、酸降解、碱降解、机械降解、微生物降解等。而纤维素衍生化则主要包括醚化、酯化、接枝共聚和交联等。

①纤维素的酸降解：纤维素的酸性水解（简称酸水解）是指在酸介质中，纤维素大分子中的1,4- $\beta$ -糖苷键发生断裂，导致纤维素聚合度降低，使纤维素的物理化学性质发生不同程度的改变。

经酸水解后不溶于水的生成物被称为水解纤维素。它不是一种有固定组成的化合物，也不是均一性的产物，而是一种依水解程度不同、聚合度不同的混合物。水解纤维素的一般性质如下：与原来纤维素相比，羟基增多，其吸水性改变；醛基（还原性）增加，铜价提高，受弱碱和热作用会发生变黄作用；聚合度下降，该溶液的黏度减小；纤维组织被损坏，纤维强度降低，水解纤维素经过干燥后可揉成粉状体。

纤维素酸水解机理示意图1.5。纤维素中的1,4-糖苷键具有缩醛键的性质，对酸敏感，当酸作用于纤维素时，苷键发生断裂，聚合度降低。因此酸降