

聚合物改性 水泥混凝土

梁乃兴 著

2.79

人民交通出版社

Juhewu Gaixing Shuinihunngtu

聚合物改性水泥混凝土

梁乃兴 著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书叙述了聚合物改性水泥及水泥混凝土的发展及研究动态,介绍了聚合物及水泥的基本性质,分析讨论了聚合物与水泥及水泥水化物之间的相互作用,聚合物对水泥石结构形态等的影响,进而探讨了聚合物改性水泥及水泥混凝土的机理。从试验方面介绍了聚合物对水泥浆体、水泥砂浆、水泥混凝土的改性效果,同时简要介绍了聚合物改性水泥混凝土的应用。

本书可供科研人员及技术工作者阅读参考。

聚合物改性水泥混凝土

梁乃兴 著

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

三河市新艺印刷厂印刷

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 9.25 字数: 224千

1995年12月 第1版

1995年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—2000册 定价: 15.00元

ISBN 7-114-02237-9

U·01543

前 言

水泥砂浆及水泥混凝土的应用历史已有170年之久。目前混凝土仍是用量最大、最重要的建筑材料之一。尽管混凝土有许多众所周知的优点，例如有较高的强度（尤指抗压强度），较好的耐久性，较强的适应性及经济性等，但也有许多自身难于克服的缺陷，如抗拉或抗折强度较低，脆性大，柔性低，凝结硬化较缓慢，干缩量大以及抗化学腐蚀能力不高等。

长期以来，人们一直在寻找对水泥混凝土进行改良的途径，诸如通过改善水泥的性质，改变水泥混凝土配合比；添加纤维材料，掺加外掺剂等措施来改良水泥混凝土的性能，或使得混凝土满足工程的特殊需要。但是对混凝土最基本的力学特性（刚度大，柔性小，抗压强度远大于抗拉强度）的改善，降低混凝土的刚性，提高其柔性，降低抗压强度与抗折强度的比值则要借助于向混凝土中掺加化学外掺剂，在大多数情况下是掺加聚合物。

通过掺加聚合物改性水泥混凝土，通常有三种途径：一种是聚合物浸渍混凝土（PIC，Polymer-Impregnated Concrete）；再者是把聚合物作为结合料形成聚合物混凝土（PC，Polymer Concrete）；第三种是在混凝土配制过程中掺加聚合物，形成聚合物改性水泥混凝土（PCC，Polymer Cement Concrete）。近几十年来，建筑材料科学领域的许多专家学者，似乎更有兴趣在聚合物改性水泥混凝土方面的研究。这方面的研究论著与日俱增，其科学价值、理论深度和实验研究也与日俱增。

聚合物改性水泥混凝土这一材料科学领域是介于聚合物科学、无机胶结材料学及混凝土工艺学之间的边缘科学。它的发展与完善可以看成是混凝土材料科学的一次革命。

作者集自己近几年的研究成果及汇集世界这一领域的最新科研成果编著成此书，以供科研人员及技术工作者参考。

在本书的编著过程中得到了申爱琴的大力协助，谨表感谢。

本书的出版得到了国家教委留学回国人员科研基金的支持，在此致以谢意。

HAC 87/02

目 录

第一章 序论.....	(1)
§ 1-1 发展历史及研究动态	(1)
§ 1-2 改性方法	(3)
第二章 聚合物基础.....	(7)
§ 2-1 聚合物分类	(7)
§ 2-2 结构特性.....	(11)
§ 2-3 物理化学性质.....	(13)
第三章 水泥类型和性质	(18)
§ 3-1 普通硅酸盐水泥简介	(18)
一、发展历史	(18)
二、化学组成	(18)
三、水泥熟料的矿物组成	(20)
四、硅酸盐水泥的技术性能	(22)
§ 3-2 硅酸盐水泥水化过程	(24)
一、纯矿物的水化过程	(24)
二、硅酸盐水泥水化机理	(25)
三、水化速度	(25)
四、凝结硬化	(29)
§ 3-3 硅酸盐水泥浆体的流变性质	(29)
一、流变学简介	(29)
二、水泥浆体的流变性质	(33)
§ 3-4 硬化硅酸盐水泥浆体性质	(35)
一、水泥水化物的组成与结构	(36)
二、水泥石的孔结构	(37)
三、水泥石的工程性质	(39)
§ 3-5 铝酸盐水泥及其水化过程	(43)
一、铝酸盐水泥的化学成分和矿物组成	(43)
二、铝酸盐水泥的水化硬化过程	(44)
三、铝酸盐水泥性质	(44)
第四章 聚合物改性水泥及水泥混凝土的机理.....	(46)

§ 4-1	水泥混凝土中的聚合物结构形成过程	(46)
§ 4-2	聚合物与水泥的作用	(48)
§ 4-3	聚合物的减水作用	(49)
第五章	聚合物对水泥水化过程的影响	(52)
§ 5-1	水化热及水化过程	(52)
§ 5-2	水化生成物	(57)
§ 5-3	水泥凝结硬化	(65)
第六章	聚合物水泥石微观结构	(67)
§ 6-1	在水泥石中及水泥砂浆中的聚合物结构	(67)
一、	聚合物在普通硅酸盐水泥石中的微观结构形态	(67)
二、	聚合物在铝酸盐水泥石中的微观结构形态	(72)
三、	聚合物在水泥砂浆中的微观结构	(72)
§ 6-2	孔隙结构	(73)
一、	聚合物对普通硅酸盐水泥石孔结构的影响	(74)
二、	聚合物对普通硅酸盐水泥砂浆孔结构的影响	(79)
第七章	聚合物改性水泥及水泥混凝土的工作性	(78)
§ 7-1	改性水泥浆体的流动性	(78)
§ 7-2	改性水泥砂浆的流动性	(81)
§ 7-3	改性水泥混凝土的工作性	(81)
§ 7-4	引气效果	(83)
§ 7-5	保水性	(84)
第八章	聚合物改性水泥混凝土的性质	(85)
§ 8-1	容重	(85)
§ 8-2	强度	(86)
一、	改性水泥浆体的强度	(86)
二、	改性水泥砂浆及水泥混凝土的强度	(88)
§ 8-3	刚度	(98)
一、	弹性模量	(98)
二、	抗压强度/抗折强度	(103)
§ 8-4	变形性能	(104)
一、	应力-应变特性	(104)
二、	徐变性质	(109)
§ 8-5	破裂能	(110)
§ 8-6	胀缩性	(112)
一、	干缩	(112)
二、	湿度胀缩	(113)

§ 8-7	粘结性	(114)
§ 8-8	耐磨性	(117)
§ 8-9	稳定性	(118)
	一、水稳定性	(118)
	二、温度稳定性	(120)
	三、化学稳定性	(121)
§ 8-10	抗冻性与耐久性	(122)
§ 8-11	对环境的影响	(124)
第九章	聚合物改性水泥混凝土的应用	(125)
§ 9-1	聚合物改性水泥砂浆及水泥混凝土的设计	(125)
§ 9-2	聚合物改性水泥混凝土的应用	(130)
	一、地面和道路工程	(130)
	二、结构工程	(132)
	三、轻质混凝土	(133)
	四、修补工程	(134)
	五、其它方面的应用	(135)
参考文献		(137)

第一章 序 论

§1-1 发展历史及研究动态

早在好几个世纪以前，人们就知道用天然的有机聚合物改善无机胶凝材料的性质。1923年克利森 (Cresson) 第一个申请了有关聚合物硬化水泥体系的专利，在他的专利中把天然的橡胶乳液作为填料加在道路路面建筑材料中去。里夫布尔 (Lefebure) 在1924年申请了用天然橡胶乳液改性水泥砂浆及水泥混凝土的专利。他第一个提出了用聚合物对水泥砂浆及混凝土进行改性的新概念，因此，他的专利具有历史性的意义。本世纪20~30年代之间，用天然橡胶乳液改性水泥砂浆及水泥混凝土得到了发展。1932年，邦德 (Bond) 第一个提出了用人造橡胶改性水泥砂浆及水泥混凝土，并获得了专利。随后1933年罗德威尔 (Rodwell) 获得了用合成树脂进行改性的专利。本世纪30~40年代之间，人们开始把着眼点从天然聚合物材料转到了人工合成聚合物材料上来^[1]。

本世纪40年代以来，先后有人获得了用合成聚合物胶乳进行改性的专利，所用合成胶乳如氯丁橡胶乳液，聚丙烯酸酯胶乳等，并尝试把聚乙烯乙酸酯用于对水泥砂浆及水泥混凝土的改性。50年代以后，对聚合物用于水泥砂浆及水泥混凝土进行了一定程度的研究。并开始把部分研究成果在实际工程中试用。60年代以后，聚合物用于水泥及水泥混凝土的研究得到了发展。人们研究把多种聚合物诸如聚苯乙烯，聚丙烯酸酯，聚氯乙烯等用于水泥砂浆及水泥混凝土的改性。

在这一领域的研究与尝试从50年代开始就在许多国家展开。60~70年代以后，开始研究用不同形态的聚合物，诸如应用聚合物单体，树脂，聚合物胶乳，聚合物粉末等对水泥砂浆及水泥混凝土进行改性。80年代以来，世界范围对这一领域的研究兴趣与日俱增，研究成果也大量出现，并且研究的深度也进一步深入。不仅是对各种聚合物的改性效果进行了较深入的研究，而且对改性机理，聚合物与水泥、水泥水化生成物之间的作用机理也从理论上进行了较深入的分析研究，并有大量的科研成果出现^[1,2,3,4]。

在这一领域做出重大研究贡献的学者当首推日本的 Y. Ohama 教授。他在聚合物应用于水泥混凝土这一研究领域从事长期的研究并发表了许多研究报告，可以说，在他的推动下，日本在这一领域的研究达到了国际水平。并且他的研究成果推动了世界上聚合物应用于水泥混凝土研究的进一步发展。

从1967年以来，世界上已举行了多次聚合物应用于水泥混凝土的国际学术会议，如表1-1所示。

近些年来，国际上对于聚合物胶乳，如丁苯橡胶，聚丙烯酸酯，聚氯乙烯，聚乙烯乙酸酯等胶乳进行了较为广泛的研究，这些聚合物在工程实践中得到了部分的应用。

世界范围内对聚合物用于水泥混凝土的兴趣越来越浓厚。在这一领域的研究、开发使

时 间	地 点	会 议 名 称
1967. 8	法国 巴黎	合成树脂应用于建筑结构
1972. 10	美国 佛罗里达	聚合物应用于混凝土
1973. 3	美国 亚特兰大城	聚合物应用于混凝土
1973. 4	英国 图恩	树脂和混凝土
1975. 5	英国 伦敦	第一届聚合物应用于混凝土国际会议
1976. 10	墨西哥 墨西哥城	聚合物应用于混凝土国际专题讨论会
1978. 10	美国 奥斯汀	第二届聚合物应用于混凝土国际会议
1980. 10	波多黎各 山卷	聚合物应用于混凝土
1981. 5	日本 Koriyama	第三届聚合物应用于混凝土国际会议
1984. 4	德国 达姆斯塔特	第四届聚合物应用于混凝土国际会议
1987	英国 布莱腾	第五届聚合物应用于混凝土国际会议

用进行的最广泛及领先的国家有日本、美国、前苏联、德国等，其它如法国、意大利、南非、挪威、波兰、瑞典、墨西哥等也正在积极进行这方面的研究与开发工作。我国在 60~70 年代曾对这一领域进行了探讨研究，但由于我国的化学工业较薄弱，聚合物的生产成本相对较高，产品质量不能完全适应于改性水泥混凝土的要求，因而随后研究处于低谷，但仍有研究人员从事这方面的研究^[5]。从长远观点看，在我国对这一领域进行深入研究及开发也很有必要。

日本在聚合物应用于水泥混凝土的研究开发方面居世界领先水平。聚合物应用于水泥混凝土已有一定的市场，据报道日本已把聚合物浸渍混凝土用于预应力混凝土梁，建筑楼板，混凝土排水管，高强基础桩等。日本已经计划把聚合物浸渍混凝土广泛用于海洋水泥混凝土结构。聚合物水泥混凝土中应用最广泛的是聚合物水泥砂浆，但近来已倾向于进一步扩大聚合物水泥混凝土的应用。使用最多的是把聚合物水泥混凝土用于地板、桥面板及破损混凝土的修复工程。日本对聚合物应用于混凝土制定出了部分标准^[6]（JIS——日本工业标准）。聚合物改性水泥砂浆标准（5 条），聚合物砂浆及聚合物混凝土试验标准（6 条），现简述如下。

聚合物改性水泥砂浆试验标准（日本）：

- JIS A 1171 聚合物改性水泥砂浆实验室试样成型标准
- JIS A 1172 聚合物改性水泥砂浆实验室强度试验标准
- JIS A 1173 新拌聚合物改性水泥砂浆坍落度试验标准
- JIS A 1174 新拌聚合物改性水泥砂浆容重及空隙率试验标准
- JIS A 6203 用于水泥砂浆改性的聚合物性质试验标准（试验项目有外观形态，密度，pH 值，粘度，固体成份含量）

聚合物砂浆及聚合物混凝土试验标准（日本）：

- JIS A 1181 聚合物混凝土试样成型标准
- JIS A 1182 聚合物混凝土抗压强度试验标准
- JIS A 1183 聚合物混凝土抗压强度试验标准（试样用抗折试验折断的半截小梁）
- JIS A 1184 聚合物混凝土抗折强度试验标准

JIS	A	1185	聚合物混凝土劈裂强度试验标准
JIS	A	1186	聚合物混凝土可塑期试验标准

美国、德国等国家也正在研究制定有关聚合物用于水泥砂浆或水泥混凝土的工业标准

§ 1-2 改性方法

聚合物应用于水泥混凝土主要有三种方式，一是聚合物浸渍混凝土，二是聚合物混凝土，三是聚合物水泥混凝土。

聚合物浸渍混凝土是把成型的混凝土构件通过干燥及抽真空排除混凝土结构空隙中的水分及空气，然后把混凝土构件浸入聚合物单体溶液中，使得聚合物单体溶液进入结构孔隙中，通过加热或施加射线使得单体在混凝土结构孔隙中聚合形成聚合物结构。这样聚合物就填充了混凝土的结构孔隙，并改善了混凝土的微观结构，从而使其使用性能得到了改善。

根据文献资料报道^[7]，聚合物浸渍混凝土与普通混凝土相比，其性能有如下的改善：

- 抗压强度可提高3倍，
- 抗拉强度可提高近3倍，
- 弹性模量可提高1倍，
- 抗破裂模量增加近3倍，
- 抗折弹性模量增加近50%，
- 弹性变形减少10倍，
- 硬度增加超过70%，
- 渗水性几乎变为0，
- 吸水性大大降低。

某些试验研究报告称，聚合物混凝土具有优异的抗冻融能力，抗硫酸盐、酸、碱侵蚀。

聚合物浸渍混凝土由于其良好的性能，广泛应用于土及钢筋混凝土结构构件、钻井混凝土平台等。虽然聚合物浸渍混凝土成本较高，混凝土构件需预加应力情况下使用。

聚合物混凝土是以聚合物单体与粗骨料拌和，通过同普通混凝土一样，也可用于长期性及普通混凝土无法比拟的用途，也可用于喷射混凝土。强度可达到将近700MPa^[8]。

聚合物混凝土所用的黏结剂有环氧树脂等。由于混凝土的结合完全靠聚合物，所以聚合物在混凝土中的重量占8%左右，因此聚合物混凝土的价格昂贵，目前还只用于特殊工程。

线性，混凝土的耐久性，抗冻融能力，主要用于受力的混凝土。

聚合物水泥混凝土是在水泥混凝土成型过程中掺加一定量的聚合物，从而改善混凝土的性能，提高混凝土的使用品质或使混凝土满足工程的特殊需要。因此聚合物水泥混凝土更确切地应称为聚合物改性水泥混凝土或高聚物改性水泥混凝土。聚合物改性水泥混凝土与其它的水泥混凝土改性措施（如加纤维水泥混凝土等）相比有下述明显的优点：

1. 水泥混凝土的力学性能得到了改善，尤其是抗折强度提高，而抗压强度降低，抗压强度/抗折强度的比值减小；
2. 混凝土的刚性或者说脆性降低，变形能力增大，这对许多工程很有利；
3. 混凝土的耐久性与抗侵蚀能力也有一定程度的提高；
4. 由于聚合物改性水泥混凝土良好的粘结性，特别适合于破损水泥混凝土的修补工程；
5. 完全适应现有的水泥混凝土制造工艺过程；
6. 成本相对较低。

聚合物改性水泥混凝土的改性效果，尤其是对混凝土力学性能的改善一般不如聚合物浸渍混凝土的改性效果明显。并且采用的聚合物不同，改性效果也不同。但由于其工艺简单，使用方便，采用预掺聚合物的方法来改性水泥混凝土得到了越来越广泛的使用，并且很有可能将来在水泥混凝土这一建筑材料领域起非常重要的作用。

用于水泥混凝土改性的聚合物的形态，可以是聚合物单体、聚合物乳液及聚合物粉末，但最常用，或者说使用最方便，改性效果最好的是聚合物乳液。所使用的聚合物乳液有聚氯乙烯乳液，聚苯乙烯乳液，聚丁二烯乳液，聚苯乙烯-丁二烯乳液，聚乙烯乙酸酯乳液及聚丁烯酚酯乳液等。前苏联报道把糠醛树酯乳液通过使用弱酸如苯胺氯化氢作为催化剂可成功地改性水泥混凝土^[7]。乳化的环氧树脂也可用于水泥混凝土改性。

用于水泥砂浆或水泥混凝土改性的聚合物形态如图 1-1 所示。

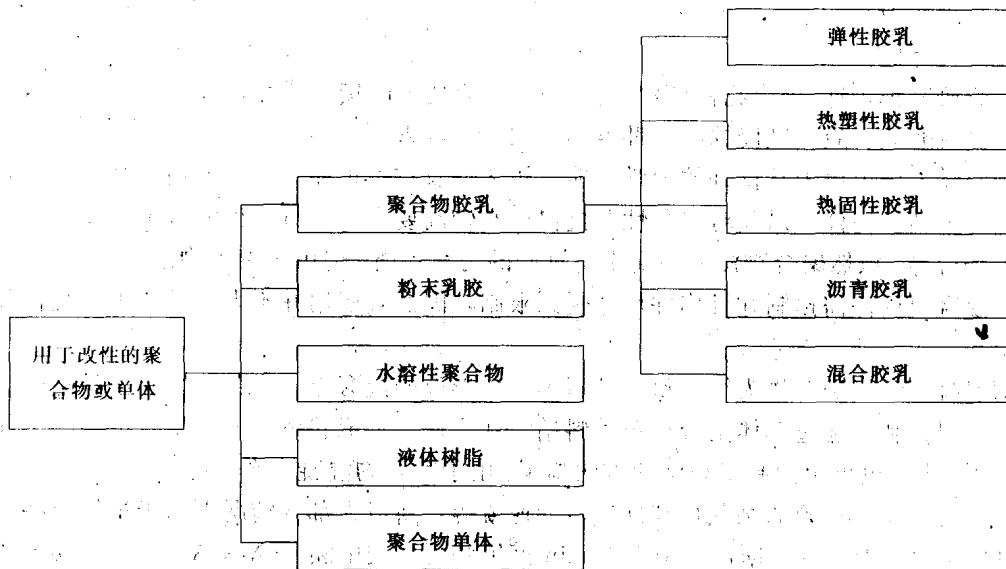


图 1-1 用于改性的聚合物形态

聚合物以不同形态用于水泥砂浆或水泥混凝土的改性，改性效果虽然与聚合物的形态有一定的关系，但主要取决于聚合物（聚合物颗粒的团聚或聚合物单体的聚合）与硬化水泥浆

体形成的整体结构状态（在后面章节中将详细论述）。

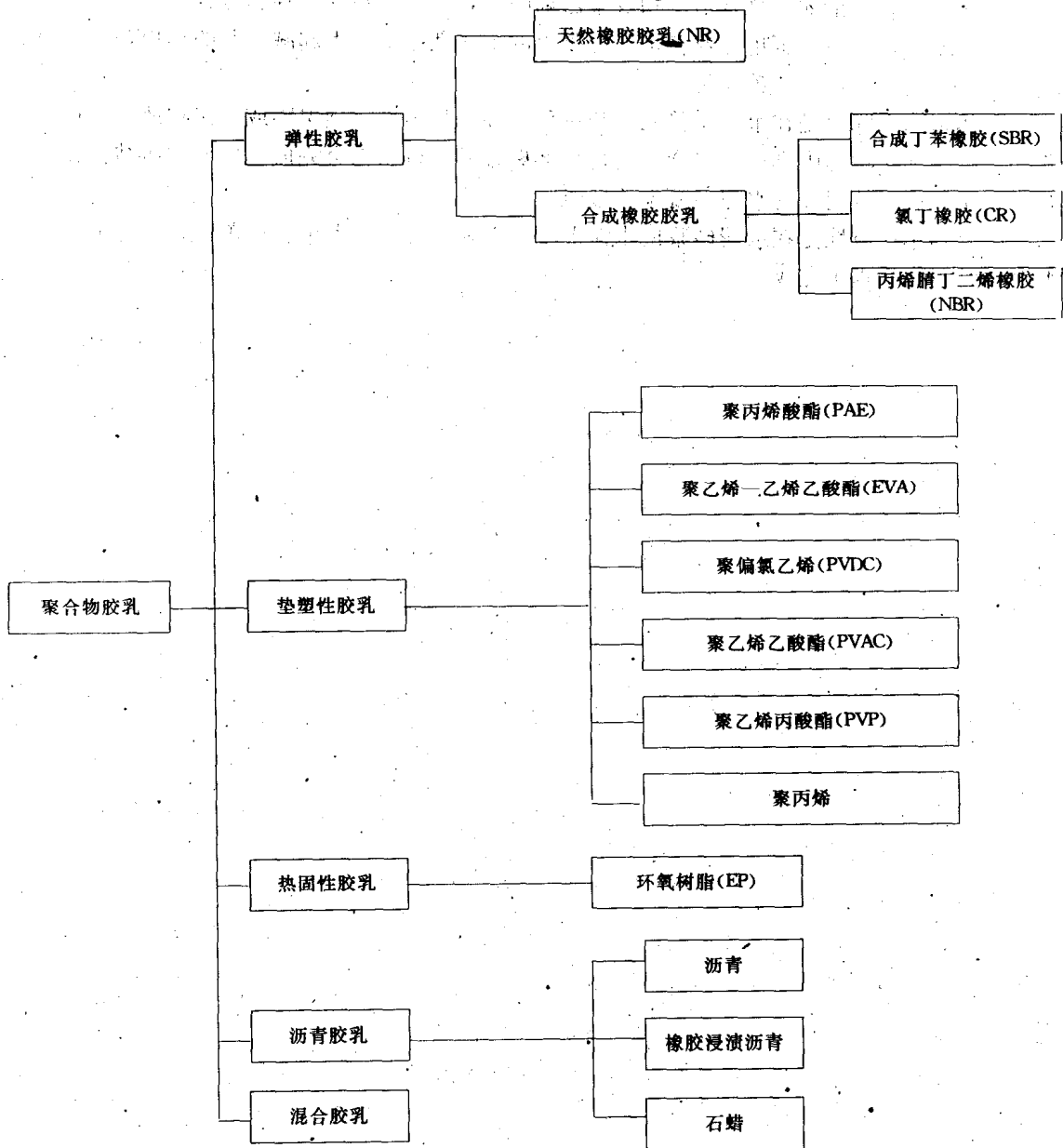


图 1-2 用于改性的聚合物胶乳

在水泥砂浆或水泥混凝土改性中使用最为广泛的是聚合物胶乳，或称为聚合物乳液。用聚合物胶乳进行改性是在水泥砂浆或水泥混凝土拌和成型时拌入（大多数情况下是胶乳与水先拌和然后再与集料拌和），聚合物胶乳在水泥混凝土凝结硬化过程中脱水在混凝土中形成结构，并可能影响水泥的水化过程及水泥混凝土的结构，从而对水泥砂浆或水泥混凝土的性能起到改善作用，聚合物可是单聚体、双聚体或多聚体。聚合物胶乳中包括有聚合物、乳化剂、稳定剂等，总固体成份含量一般在 40%~50%之间，常用的聚合物胶乳在图 1-2 中给出。

粉末乳胶改性方法是在混凝土拌和过程中加入干乳胶粉末，在混合料与水拌和后，干乳胶粉末遇水后变为乳液，在水泥混凝土凝结硬化过程中乳液可再一次脱水，聚合物颗粒在混

凝土中形成聚合物结构，从而与聚合物乳液的作用过程相似，对水泥混凝土起改性作用。

水溶性聚合物诸如纤维素衍生物及聚乙烯醇等，在水泥混凝土拌和过程中少量加入，由于其属表面活性物质，可用来改善水泥混凝土的工作性。实际上起减水剂的作用，从而对混凝土的性能也有一定的改善作用。

液体树脂实际上是在水泥混凝土拌和过程中加入热固性的预聚物或半聚物液体，在水泥混凝土凝结硬化过程中进一步聚合，使得全部聚合过程得以完全完成，聚合物结构在水泥混凝土中形成，从而改善水泥混凝土的性能。

聚合物单体改性是在水泥砂浆或水泥混凝土拌和过程中加入聚合物单体，聚合全过程在水泥硬结硬化过程中完成。

第二章 聚合物基础

§ 2-1 聚合物分类

聚合物是指由许多大分子所组成的物质。组成该大分子的重复单元数很多,增减几个单元,并不显著影响其物理性质。当重复单元数很多时,称此聚合物为高聚物;而当重复单元数较少,且增减几个单元会对其物理性质有较显著影响的聚合物称为低聚物。

构成聚合物分子链的价键(即单元体之间的联接)一般是共价键或者主要是共价键或配位键。但聚合物分子链之间的联结也可以是范德华键(即由范德华力构成),氢键,离子键或金属键。

按照构成聚合物单元体的原子种类,聚合物可分为有机聚合物和无机聚合物。大多数有机聚合物的分子键仅由碳(C)、氢(H)原子构成,有时还有氧原子(O)和氮原子(N)。能形成无机聚合物的元素有硼(B)、硅(Si)、硫(S)、磷(P)、锗(Ge)、砷(As)、硒(Se)、锡(Sn)、碲(Te)、铊(Tl)、铋(Bi)、钋(Po)等。当聚合物链是由上述元素所构成时,称其为无机聚合物。

按照聚合物的来源,可区分为天然聚合物(纤维素、天然橡胶)和合成聚合物(如聚乙烯、聚氯乙烯等)。有时还划分出人造聚合物,这是用化学改性方法由天然聚合物制得的一类聚合物,如用氯甲基化方法由纤维素制得的甲基纤维素。

在高分子化学工业中,按聚合物的性能和用途,将聚合物分成橡胶、纤维和塑料三大类。

橡胶的特性是室温下弹性高,在很小的外力作用下能产生很大的变形(可达1000%);外力除去后,能迅速恢复原状。形变模量小,100~1000kPa。常用的橡胶有天然橡胶(聚异戊二烯)、丁苯橡胶,顺丁橡胶(聚丁二烯)等。

纤维的形变模量较大,约 $10^3\sim 10^4$ MPa,受力时变形较小,一般只有百分之几到二十。

塑料的形变模量介于橡胶和纤维之间,约10~100MPa。温度稍高时,受力变形可达百分之几十到几百。部分变形是可逆的,部分则是永久变形。粘度、延展性和形变模量都与温度有直接关系,反映出塑性行为。根据受热时行为的不同,又可将塑料分为热塑性塑料和热固性塑料两类。

合成塑料中未成型加工前的原始聚合物,在工程技术上可称为合成树脂。

按聚合物链的化学结构,聚合物可分为碳链聚合物、杂链聚合物和元素有机高分子三类。

(1)碳链聚合物:大分子主链完全由碳原子组成。绝大部分烯类和二烯类聚合物都属于这一类,见表2-1。

(2)杂链聚合物:大分子链中除碳原子外,还有氧、氮、硫等杂原子,如聚醚、聚酯等(见表2-2)。酚醛树脂主链中除碳原子外,还有芳环,也归入杂链聚合物。

(3)元素有机聚合物:大分子链中没有碳原子,主要由硅、硼、铝、氧、氮、硫、磷等原子组成,但侧基却由有机基团组成,如甲基、乙基、乙烯基、芳基等。有机硅橡胶就是典型的例子(见表2-2)。

碳链聚合物^[9]

表 2-1

聚合物	符号	重复单元	单体
聚乙烯	PE	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$
聚丙烯	PP	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}$
聚异丁烯	PIB	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}$
聚苯乙烯	PS	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}$
聚氯乙烯	PVC	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}$
聚偏氯乙烯	PVDC	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\overset{\text{Cl}}{\text{C}}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{Cl}}{\overset{\text{Cl}}{\text{C}}}$
聚氟乙烯	PVF	$-\text{CH}_2-\underset{\text{F}}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{F}}{\text{CH}}$
聚四氟乙烯	PTFE	$-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$
聚丙烯酸	PAA	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COOH}}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{COOH}}{\text{CH}}$
聚丙烯酰胺	PAM	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CONH}_2}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{CONH}_2}{\text{CH}}$
聚丙烯酸甲酯	PMA	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{COOCH}_3}{\text{CH}}$
聚甲基丙烯酸甲酯	PMMA	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{COOCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}$

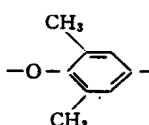
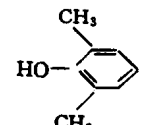
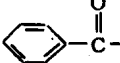
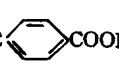
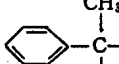
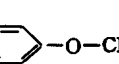
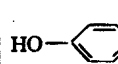
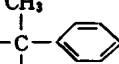
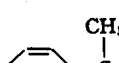

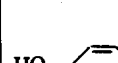
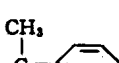


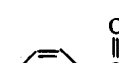
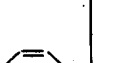

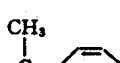
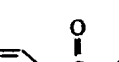

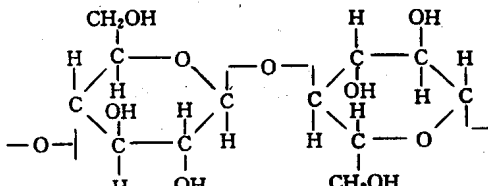
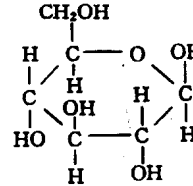
续表 2-1

聚合物	符号	重复单元	单体
聚丙烯腈	PAN	$-\text{CH}_2-\text{CH}-$ CN	$\text{CH}_2=\text{CH}$ CN
聚乙烯醋酸酯	PVAC	$-\text{CH}_2-\text{CH}-$ COOCH ₃	$\text{CH}_2=\text{CH}$ COOCH ₃
聚乙烯醇	PVA	$-\text{CH}_2-\text{CH}-$ OH	$\text{CH}_2=\text{CH}$ OH
聚丁二烯	PB	$-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$
聚异戊二烯	PIB	$-\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-$ CH ₃	$\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$ CH ₃
聚氯丁二烯	PCB	$-\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-$ Cl	$\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$ Cl

杂链聚合物和元素有机聚合物

表 2-2

聚合物	重复单元	单体
聚氨酯	$\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{O}-\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NHC}-$ O	$\text{HO}(\text{CH}_2)_2\text{OH}+\text{OCN}(\text{CH}_2)_6\text{NCO}$
聚脲	$-\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NH}-\text{CNH}(\text{CH}_2)_6\text{NHC}-$ O	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2+\text{OCN}(\text{CH}_2)_6\text{NCO}$
脲醛树脂	$-\text{NHCNH}-\text{CH}_2-$ O	$\text{NH}_2\text{CNH}_2+\text{HCHO}$ O
酚醛树脂	$-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-$ OH	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}+\text{HCHO}$ OH
聚硫橡胶	$-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{S}-\text{S}-$ S	$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}+\text{Na}_2\text{S}_4$
硅橡胶	$-\text{O}-\text{Si}-$ CH ₃	$\text{Cl}-\text{Si}-\text{Cl}$ CH ₃

聚合物	重复单元	单体
聚甲醛	$-O-CH_2-$	$CH_2=O$ 或 $O \begin{matrix} \text{CH}_2-O \\ \text{CH}_2-O \end{matrix} CH_2$
聚环氧乙烷	$-O-CH_2-CH_2-$	CH_2-CH_2 \diagdown O \diagup
聚环氧丙烷	$-O-CH_2-CH-$ $ $ CH_3	$CH_2-CH-CH_3$ \diagdown O \diagup
聚双(氯甲基)丁氧环	$-O-CH_2-C-CH_2-$ $ $ CH_2Cl	$Cl-CH_2-C-CH_2$ $ $ CH_2-O
聚二甲基苯撑氧	$-O-$  $-$	
涤纶	$-OCH_2CH_2O-C(=O)-$  $-C(=O)-$	$HOCH_2CH_2OH + HOOC$  $COOH$
环氧树脂	$-O-$  $-C(CH_3)_2-$  $-O-CH_2CH(OH)CH_2-$	$HO-$  $-C(CH_3)_2-$  $-OH + CH_2CH(OH)CH_2Cl$
聚碳酸酯	$-O-$  $-C(CH_3)_2-$  $-O-C(=O)-$	$HO-$  $-C(CH_3)_2-$  $-OH + COCl_2$
聚 磺	$-O-$  $-C(CH_3)_2-$  $-O-$  $-S(=O)_2-$  $-$	$HO-$  $-C(CH_3)_2-$  $-OH +$ $Cl-$  $-S(=O)_2-$  $-Cl$
纤维素	$-O-$  $-$	
尼龙-66	$-NH(CH_2)_6NH-CO(CH_2)_4CO-$	$NH_2(CH_2)_6NH_2 + HOOC(CH_2)_4COOH$
尼龙-6	$-NH(CH_2)_5CO-$	$NH(CH_2)_5CO$