

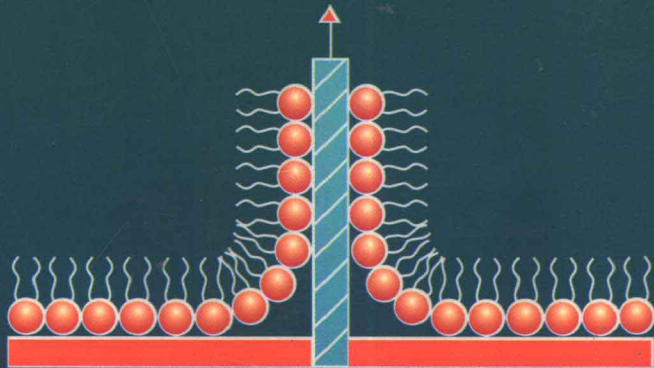
BIAOMIAN HUOXINGJI YINGYONG CONGSHU

表面活性剂应用丛书

林永达 李干佐 高平坦 编

表面活性剂 在水泥和沥青 混凝土中的应用

BIAOMIAN HUOXINGJI
ZAI SHUINI HE LIQING
HUNNINGTU ZHONG DE YINGYONG



中国轻工业出版社

表面活性剂应用丛书

表面活性剂在水泥和沥青 混凝土中的应用

林永达 李于佐 高平坦 编

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

表面活性剂在水泥和沥青混凝土中的应用/林永达, 李干佐, 高平坦编. —北京: 中国轻工业出版社, 2001.5

(表面活性剂应用丛书)

ISBN 7-5019-3090-2

I. 表… II. ①林… ②李… ③高… III. ①表面活性剂-应用-水泥-混凝土 ②表面活性剂-应用-沥青混凝土
IV. TU528

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 06511 号

责任编辑: 李 颖

策划编辑: 劳国强 责任终审: 滕炎福 封面设计: 张歌明

版式设计: 智苏亚 责任校对: 李 靖 责任监印: 胡 兵

*

出版发行: 中国轻工业出版社(北京东长安街6号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010—65241695

印 刷: 三河市宏达印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2001年5月第1版 2001年5月第1次印刷

开 本: 850×1168 1/32 印张: 7.75

字 数: 194千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-3090-2/TQ·236

定 价: 22.00元

· 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 ·

序 言

随着全球经济发展、人口增加、生活条件改善以及科学技术领域的开拓,作为精细化工中一个重要分支的表面活性剂工业今天正处在良好的发展时期。全世界表面活性剂(不包括肥皂)的年产量已在 900 万 t 左右,而且仍以 4%~5% 的速度增长着,远高于人口增长率。品种方面,至少已在一万种以上。20 世纪 90 年代以来,新表面活性剂的研究和开发仍然十分活跃,主要方向是对人体温和性、环境和生态适应性、高活性、多功能以及突破传统概念的新型表面活性剂等。

表面活性剂特定的分子结构——具有亲水和憎水基团——赋予这类分子许多特性。表面活性剂能够富集在液/液、液/气和液/固界面,降低界面能,显著改变界面的状态和性质。表面活性剂作为洗涤用品中的主要成分,从洗衣粉问世算起,已有半个多世纪的历史。表面活性剂又被美誉为“工业味精”,指它很少的添加量即能收到显著的效果。它的应用领域,已从纺织、食品、石油等传统工业领域,迅速扩展到农业、森林、交通、环境保护以及电子、新型材料等高新技术领域。随着表面科学研究的深入,对表面活性剂应用的研讨和信息发布,正方兴未艾。例如:有关表面活性剂和表面科学的国际性学术会议不断增加。两年一度的“溶液中的表面活性剂国际会议”已经举办了 12 届。1998 年召开了第四届世界洗涤剂大会(五年一次)。另外,2000 年举办了第五届国际表面活性剂会议(四年一次)。上述这些重要的国际会议,都是从 20 世纪 80 年代开始举办的。

由 Marcel Dekker 公司出版的“表面活性剂科学”丛书,自

1968年起,迄今已出版了90余卷。直到1986年该公司才出版到第18卷,而到1996年已经出版到第68卷,其中仅1996年一年就编辑出版了12卷。各卷涉及的领域不断扩大,尤其是表面活性剂在各领域中应用的深度和广度正在不断扩展。由于资料不断丰富,以表面科学、表面活性剂为主要内容的出版物也不断涌现。例如《分散科学和技术杂志》(*J. Dispersion Science and Technology*)于1980年问世;《*Langmuir*》作为美国化学会最年轻的一本刊从《物理化学》中独立出来(1985年)。为了及时反映这个领域动态,1996年新出版一种双月刊评论性杂志《胶体和界面科学的现在评论》(*Current Opinion in Colloid and Interface Science*),对某一领域进行相关专题评论,并引入近期的重要文献,深受广大读者的欢迎。1998年,又一本新刊物《表面活性剂和洗涤剂》在美国问世。

改革开放以来,我国的表面活性剂工业已取得了可喜的进步。据统计,我国在1982年表面活性剂的产量为19.9万t,1994年已达到56.9万t;在世界总产量中的比例也由4.0%上升到7.1%。品种方面,据报道1996年已经超过1200种。另一方面,目前我国表面活性剂的人均消耗量只有0.5kg/年,而日本是10.0kg/年,美国则高达15.2kg/年。差距是很大的,也意味着潜在市场巨大。另外,日本和美国的表面活性剂消费中,工业应用占了60%以上;我国,则2/3用在居室中。

依用途而分,表面活性剂市场可以分为居室中应用和居室外应用两大类。前者是表面活性剂的传统市场,主要用于制造各种洗涤用品;后者是正在不断开拓的十分活跃的市场。这两个市场有显著不同的特点。前者的特点是消费量大但品种极为有限。其中,仅直链烷基苯磺酸钠(LAS)一个品种的年消耗量已接近300万t。脂肪醇系列(主要是醇硫酸盐、醇醚和醇醚硫酸盐三个品种)的消费量也已接近150万t。这两类产品的需求已经占去总需求的一半。目前,这一市场已渐趋饱和。相反,表面活性剂

居室外应用正逐渐向各个经济领域渗透,成为今后发展的主要趋势。这一表面活性剂市场的特点是:(1)品种多,产量少,应用面广;所有工业用表面活性剂产量的总和,只接近 LAS 和醇系表面活性剂的产量。(2)专用性强,以复配物为主,技术含量高,即研究者必须将表面科学知识和各应用领域知识巧妙地结合起来。因此,应该将表面活性剂应用技术看作是一门高新技术,有待于不懈地探索和发掘。正如美国佛罗里达大学表面科学和工程中心主任 D.O. Shah 博士所说:“表面科学是最重要的科学交汇点之一,是一个特殊的科学分支。我们目前仍处在表面科学大海的边缘,面临探索的领域非常广阔。”我国表面科学的研究水平以及表面活性剂工业的状况和国际上尚有较大的差距。许多国外已经成熟的表面活性剂应用领域在我国尚处空白或者刚刚起步。因此,提高表面活性剂工业应用的水平,在我国尤其重要。

鉴于上述认识,经过一段时间的酝酿,中国轻工业出版社于 1998 年年初邀请一部分长期在该领域工作的专家、学者就有关表面活性剂方面的出版工作进行了座谈。首先,大家对表面科学和表面活性剂工业的发展状况取得一致认识,认为是一个充满生机的科学技术领域,它对人类社会的各个方面,包括生态、环境以及生命现象等都将产生深远的影响;其次,认为有必要组织编写一套实用性强的应用丛书,以推动我国的表面活性剂工业向更高水平和更广泛领域发展。这套丛书有如下特点:

- 反映世界最新(尤其是 20 世纪 90 年代以后)的科学技术成就;
- 着重介绍表面活性剂在各经济领域中的应用及发展趋势;
- 反映国内研究/开发水平。

这套丛书命名为“表面活性剂应用”丛书。与会者经过充分讨论,决定成立一个编委会,以保证丛书编辑工作的连续性。首批编委会成员有:殷福珊教授(无锡轻工大学),王墨林教授(齐齐哈尔轻工业学院),李干佐教授(山东大学),林永达高级工程师

(长江科学院),孙岩高级工程师(天津市胶体和界面科学研究所),陈坚教授(无锡轻工大学),劳国强副编审(中国轻工业出版社)。编委会期望在最近几年内出版7~10本专著,其中已经列入计划的有:

《微乳化技术及应用》(已出版)

《表面活性剂在水泥和沥青混凝土中的应用》

《表面活性剂在能源和选矿工业中的应用》

《表面活性剂缔合体系形成、性质和应用》

《表面活性剂在纺织染整工业中的应用》

《表面活性剂在食品和生物工业中的应用》

《新表面活性剂及其应用》

本丛书是作者多年潜心研究和开发的心得,并包括他们自己的部分最新成果。本丛书涉及到众多不同领域,作者的专业背景不尽相同,写作风格也因人而异,因此每位作者在各自专门领域中有更大的自由度。本丛书适于胶体化学、日用化工、油田化学、纺织染整、建材等专业以及相邻学科的大学高年级学生、研究生、教师以及相关的科学工作者和工厂技术人员学习参考。

编辑和出版好这套丛书,是一项系统工程,绝不是个别人的知识能力和水平所能胜任的。编委会除依靠自身力量外,尚须不断地追踪国际信息,掌握国内外研究动态,并物色各行各业中的专家共同参与丛书编写工作。因此,目前编委会的工作仅仅是一个开端。

在本丛书即将陆续付印之际,编委会向出版社领导以及为出版而付出辛勤劳动的中国轻工业出版社的同志们,表示衷心感谢。

限于我们的水平,书中不妥之处在所难免,如蒙不吝指正,将十分感谢。

前 言

众所周知,目前我国表面活性剂工业的开发、应用状况和研究水平与国际上相比尚有较大的差距。但是,近年来,它的应用领域已从纺织、食品、石油等传统工业领域,迅速扩展到农业、森林、交通、环境保护以及电子、新型材料等高新技术领域。有关表面活性剂在食品、纺织等领域的应用国内已有不少出版物问世,而表面活性剂在建材领域中应用的专著则甚为罕见。

本书分为两大部分。第一部分共四章,论述了表面活性剂在水泥胶凝体系中应用的一般知识;表面活性剂作为水泥混凝土外加剂使用的种类及应用技术;随后介绍了作为水泥混凝土外加剂的一些基本原理,其目的是使读者能熟练地掌握应用技术,并能根据工程要求,合理选择外加剂。

第二部分为五章,着重介绍表面活性剂在沥青乳化和沥青乳液技术中的应用,包括制备和生产工艺。另外,还叙述了沥青乳液的性质、配制及施工实例。

本书第一部分由林永达执笔。第二部分由李干佐和高平坦共同执笔,可供科研和工程技术人员参考。

本书中凡成分、含量、浓度等以%表示的,一般均指质量分数。

限于编者的水平,书中不妥之处在所难免,如蒙不吝指正,将十分感谢。

编 者

目 录

第一部分 表面活性剂在水泥混凝土工程中的应用

1 在胶凝体系中应用表面活性剂的基本知识	(1)
1.1 胶凝体系中的表面现象	(1)
1.2 表面活性剂的特性	(2)
1.3 表面活性剂的分子结构及其在物体表面上的 排列	(7)
1.4 水泥颗粒及水泥浆体的物理化学性质	(8)
1.5 表面活性剂的基本作用	(19)
1.6 表面活性剂结构与性质的关系	(22)
1.7 混凝土减水剂的作用原理	(28)
1.8 引气剂的作用原理	(43)
1.9 调凝剂的作用原理	(48)
1.10 混凝土外加剂的微观分析	(52)
2 常用混凝土外加剂	(60)
2.1 早强剂	(60)
2.2 缓凝剂	(64)
2.3 引气剂	(67)
2.4 减水剂与高效减水剂	(75)
2.5 复合早强剂	(86)
3 外加剂应用技术	(93)
3.1 概述	(93)
3.2 应用技术研究的主要内容	(96)
3.3 外加剂的适宜掺量	(97)

3.4	外加剂的掺加方法	(105)
3.5	水泥的适应性	(107)
3.6	外加剂复合技术	(108)
3.7	外加剂应用技术要点	(109)
4	外加剂的应用与工作实践	(111)
4.1	在大体积混凝土中的应用	(111)
4.2	应用高效减水剂制备高强混凝土	(114)
4.3	应用高效减水剂制备流化混凝土	(121)
4.4	防水混凝土用外加剂	(128)
4.5	水下混凝土用外加剂	(130)

第二部分 表面活性剂在沥青乳化和沥青乳液 技术中的应用

5	概述	(135)
5.1	沥青乳液的发展过程	(135)
5.2	筑、养路的沥青乳液的经济效益	(138)
5.3	沥青乳液的应用和展望	(143)
6	沥青乳化剂	(147)
6.1	表面活性剂的乳化作用	(147)
6.2	沥青乳化剂	(149)
6.3	沥青乳化剂的制备	(158)
6.4	乳化剂的 pH 值	(167)
6.5	乳化剂的外掺剂	(170)
7	沥青乳液	(175)
7.1	沥青乳液的分类	(175)
7.2	沥青乳液的现状	(177)
7.3	沥青乳液的破乳	(177)
7.4	沥青乳液的检验标准	(180)
7.5	沥青乳液检验的目的和意义	(182)

7.6	沥青乳液的稳定性	(187)
8	沥青乳液的制备	(191)
8.1	概述	(191)
8.2	生产工艺	(192)
8.3	乳化机的作用原理	(195)
8.4	乳化设备和车间布置	(200)
8.5	沥青乳液的制备	(204)
9	沥青乳液的应用	(210)
9.1	沥青乳液混凝土的性质	(210)
9.2	沥青乳液混凝土材料的组成	(214)
9.3	沥青乳液混合料配合比设计	(216)
9.4	沥青乳液混合料的施工(拌和法)和质量要求	(221)
9.5	沥青乳液应用实例	(226)
	参考文献	(234)

第一部分 表面活性剂在水泥混凝土工程中的应用

1 在胶凝体系中应用表面活性剂的基本知识

1.1 胶凝体系中的表面现象

在一定条件下,任何物质总是以固态、液态、气态中的某一状态存在,分别形成固相、液相、气相。它们相互间形成的界面种类就有:固-固、固-气、固-液、液-液、液-气等五种。例如:水泥建筑砂浆这个体系是由不同的组分,即水泥、砂和水组成,在这种情况下,每一种固体物质都是单独的不依其分布为转移的一个相,由水的薄膜和水泥颗粒把每一粒砂子与其它砂子分隔开来,但是,因为这些砂粒在组成和性质上彼此实际上并没有什么差别,所以把它们看成是一个相。同样,也把掺入建筑砂成分中的所有水泥颗粒,看成是另一个固相。体系中水的薄膜是液相。因此,在这个体系中所形成的界面种类就有固-液、固-固等。

水泥颗粒的大小一般为 $1 \sim 50\mu\text{m}$,即它们是非常细小的。物质愈分散,其比表面积就愈大。按照透气率方法测定的水泥比表面积平均为 $3\,000 \sim 3\,500\text{cm}^2/\text{g}$ 。透气率方法完全适用于实际的需要并普遍应用,但是它不是足够精确的,因为它不能反映出一般的具有小凹凸、裂缝和小裂隙的水泥颗粒的真实表面积。因此,水泥颗粒的真实几何状的表面积要比外观的几何状表面积大

许多倍。根据吸附氮方法所测定的比表面积指数是非常可靠的。现今的水泥比表面积平均为 $20\,000\text{cm}^2/\text{g}$ 。不难计算出,当制备水泥用量为 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 的 1m^3 混凝土时加入的水泥粉末的总表面积为 $800\,000\text{m}^2$ 。假如把骨料的表面积(它的表面积比水泥小得多)也加进去,那么,结果表明, 1m^3 混凝土拌和物中固相颗粒的表面积接近于 1km^2 。

假定制备 1m^3 混凝土拌和物加入 $180\sim 190\text{kg}$ 水。理论上,应该把这样的水量均匀地分布在上述固体颗粒的巨大表面上,这样才能得到实际上均匀的拌和物。组分的拌和是混凝土和建筑砂浆工艺上重要的任务之一。尤其是,均匀的拌和能促使水泥颗粒和水起比较完全和迅速的物化反应。在制备混凝土拌和物时所加入的水,应该是均匀地以一层薄膜把水泥颗粒和骨料整个表面都润湿起来。但是水具有相当大的表面张力,即在水相的界面,表层中水分子之间有相当大的阻碍水流散的内聚力在发生作用。它的作用使自由状态下的液体企图不流散成薄层,而形成球状的珠滴。因此,水的表面张力大会妨碍水在混凝土拌和物的固体颗粒上的均匀分布。

表面活性剂能降低水的表面张力,从而使水呈薄膜状态易于均匀分布在固体表面上。

1.2 表面活性剂的特性

现在我们来探讨,使用表面活性剂,究竟能够影响水泥、砂浆和混凝土工艺的哪些过程和它们在固化胶凝材料中的后效如何。

(1)改善水泥和骨料的润湿性

表面活性剂容易使水呈薄膜状态遍及混凝土拌和物中固体颗粒上,但是被吸附在水泥、砂子、碎石上的空气薄膜,其中包括微裂隙、细缝中或颗粒之间所夹带的空气薄膜,阻碍它们的润湿。然而,很明显,表面活性剂具有使空气在水中乳化的能力,因此,

表面活性剂就容易使水润湿混凝土的固体成分。混凝土组分润湿得越充分,混凝土在其各部位的均质性越好,混凝土质量也就越高。

(2)表面活性剂对水泥的反絮凝作用

在水与水泥相互作用时,水泥颗粒部分粘在一起,不能很好地与水起反应,所以,得到的水泥浆中包含有一定数量的水泥颗粒的聚集体。由于这种聚集体在其形成时俘获水,所以加水量要比理论上所需要的多,以提高体系的流动度(塑性)。在这种聚集体中,不仅是水,而且水泥本身也没有充分地利用。与水不起反应的水泥小团,似乎被包裹在固化的混凝土中。通过许多研究证实,表面活性剂是水泥的反絮凝剂,从而提高其利用效率。

(3)表面活性剂在制备混凝土和砂浆时减少水和水泥的用量

在制备混凝土和砂浆时,经常要解决下面的互相矛盾的问题:在混凝土(砂浆)拌和物中需要多加水,否则就不利于搅拌和浇筑;相反,为了制得密实和坚硬的混凝土(砂浆)又必须尽可能少加水。

混凝土中水泥浆可以看成是砂和碎石的矿物胶糊。在这种胶糊中应有足够的水,以便使胶糊易于遍及固体表面,但是用水稀释胶糊时,胶糊强度就会下降。

应提及的是,波特兰水泥在硬化过程中仅仅与其总量的20%~25%的水在化学上相结合。这时,生成了决定混凝土强度的某些坚硬的水化物。实际上,在制备混凝土时不得不使用占水泥质量40%~55%的水(在混凝土振动或其它有效的密实方法的情况下),而在建筑砂浆中则加入占水泥质量60%~80%的水,有时,甚至更多一些。之所以需要这样大的用水量,不是为了使混凝土硬化的化学过程不断进行,而仅仅是为了制备一种适宜于用浇筑和密实方法施工的拌和物。

众所周知,增加单位用水量即增加水灰比(W/C)对混凝土(砂浆)的性质具有不良影响。与水泥不起化学反应的那一部分

水,在混凝土硬化时,从混凝土中蒸发,引起混凝土的很大收缩并残留孔隙。这些孔隙有时很大、开敞,由毛细孔通路相连接。这些孔隙的存在,能减弱固化混凝土(砂浆)的结构,同时强度,特别是抗弯和抗拉强度有所降低,而吸水和吸湿能力却有所提高。任何腐蚀过程都与材料中腐蚀介质的扩散(渗透)有关,开敞孔隙愈多,扩散过程愈显著,因而对混凝土和混凝土钢筋腐蚀作用就愈强烈。同样,频繁的干湿和冻融循环进行得愈强烈,胶凝材料暴露的孔隙度就愈大。结果,混凝土结构物的耐久性降低。

可见,在混凝土工艺中存在着严重的矛盾,即在水泥硬化过程中所需要的加水量和为了得到和易性好的体系所需要的加水量之间有一个较大的差值——“剪刀差”,究竟如何使“剪刀差”降低呢?如何消除上述矛盾呢?

如果所使用的水泥的化学结合水不是 20% ~ 25%,而是 40%,那么所得到低孔隙率的水泥石。这种水泥就是矾土水泥,但是我们国家和其它国家都生产得很少。因为制造这种水泥的主要原料是铝土矿,即是生产金属铝所需要的矿石。当制备在大的机械振实条件下浇筑的混凝土拌和物时,有可能减小水灰比。为此,往往都采用振捣。机械振捣能稍微缓和混凝土工艺中所固有的矛盾,但是,后来国内外出现了一种在一些混凝土工程施工中放弃使用振捣器的倾向。这主要是因为振捣作业尚不能实现自动化,需要付出相当重的体力劳动,花费昂贵;加之长时间振捣作业,有时会导致一种特殊的职业病——振动病。在许多情况下,由于放弃使用振捣器,从而在本质上减少混凝土施工的手工劳动部分,通常不得不多耗用水泥。

在制备混凝土时,除了用机械的捣实方法外,还有更有效的减少拌和用水量的方法,这就是使用表面活性剂。不论混凝土采用何种捣实方法,其中也包括振动方法,表面活性剂都能有效地用于任何混凝土中。使用表面活性剂可减小混凝土水灰比约 10%,而在砂浆中为 12% ~ 14%。因为混凝土和砂浆的强度取决

于水灰比,所以,为了取得给定的强度,可在减少用水量的同时,减少水泥用量,一般为 8% ~ 10%,有时更多一点。换言之,使用表面活性剂能够节省水泥。

(4)减少混凝土的放热量

在制备混凝土时单位水泥用量愈少,它的放热量就愈小。在建造大体积混凝土结构时,例如水工混凝土结构,必须使混凝土的放热量尽可能低,否则,在混凝土中会产生温度梯度,因为混凝土结构的外层由水或空气来冷却,而混凝土的中心部分可能增温。在这种情况下,混凝土块体中就产生应力,一般来说这种应力就是裂缝产生的原因。使用表面活性剂能降低水泥用量,从而减少混凝土的放热量。

(5)降低蒸养制品的残余湿度

最重要的是尽可能使混凝土制品蒸养后的湿度低。通常,蒸养后的钢筋混凝土制品是在含有大量水分的条件下安装的,往往会导致建筑物的墙壁被冻坏,居民居住的小气候恶化,其内部装饰也被毁坏,有时还会造成钢筋和装设的部件的腐蚀。而使用表面活性剂后,由于降低了制品的残余湿度,所以避免了这些现象的发生。

(6)提高混凝土(砂浆)拌和物的生活力

利用表面活性剂能提高混凝土(砂浆)拌和物的生活力,这对自动化商品混凝土工厂(或混凝土搅拌站)非常重要。商品混凝土工厂(或混凝土搅拌站)需要供给上百个建筑工程用的制备好的混凝土(砂浆)拌和物,从制备拌和物到工程中应用,往往要经过 1.5 ~ 3h。在这期间,特别是在天气炎热的情况下,拌和物经常发生过早凝结,硬化材料的性质有所恶化,造成生产损失,其损失可能是相当大的。例如,在集中制备砂浆时,当它们输送到 20 ~ 40km 远的距离并在工程上再耽搁一些时间,损失有时达到砂浆产量的 15%,甚至还要高一些。换言之,差不多 1/6 的产品不能使用。为了防止商品混凝土和砂浆过早凝结,有时也为了要求在

尚未浇筑新的一层混凝土拌和物前,已浇筑的混凝土层不至于凝结,以免使“新老”混凝土结合不好而产生一系列不良后果,也使用相应的表面活性剂。

再举一个涉及到必须使混凝土拌和物缓凝的例子。利用电热或蒸汽加热时所得到的混凝土拌和物,对装配式钢筋混凝土的生产是有利的,因为制品热处理的持续时间可减少 30% ~ 35%。但是,随着温度的升高,水泥的凝结显著加快。为了防止混凝土拌和物的过快凝结,加入表面活性剂就能使拌和物在加热状态下成型。

可见,利用表面活性剂能保持砂浆和混凝土拌和物的塑性几个小时。

(7)混凝土和砂浆的憎水作用

某些表面活性剂不仅可使新鲜拌和物塑化,同时也使混凝土(砂浆)及其制品产生憎水作用。

为什么混凝土和砂浆的憎水作用如此重要呢?因为这些材料是毛细孔体,按其性质来说是亲水的,即与水相亲但不吸收水。水的有害作用以及润湿混凝土的交换冻融所引起的后果,在个别情况下,经过 5 ~ 6 年就更加显而易见。人行道和马路相隔的边缘石,其破坏特征就可作为一个例子。偶尔还可发现混凝土由于水的作用而受到破坏的极限程度,即结构处于接近损坏状态或全破坏。例如 1976 年夏天,奥地利多瑙河上的赖亨布鲁克杜乃大桥崩塌,正如报纸所报道的那样,由于水的作用和冻结作用,大桥左岸桥墩的水泥混凝土强度减弱是这起严重事故的原因。

当然,水的有害作用引起的混凝土中的破坏效应并不是马上就达到危险极限的,而是逐步积累起来的。

憎水作用在一定程度上可保护混凝土免受水和侵蚀性水溶液的作用,同时阻碍它们渗入材料体中。从耐久性的观点来看,建筑材料的体积憎水作用要比用亲水性的组分来进行表面处理更为有效。例如,20 世纪初,国外由天然石(主要是碳酸盐)或灰