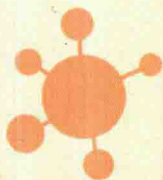
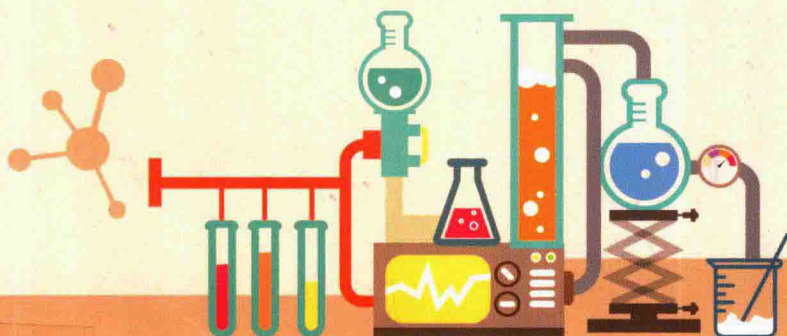




Application of Superabsorbent Polymers (SAP)
in Concrete Construction



高吸水性树脂 在混凝土施工中的应用



高吸水性树脂 在混凝土施工中的应用

(德) 维克多·梅克切里尼

汉斯-沃尔夫·莱因哈特

邓正刚 李敬玮 赵波

编著

译

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

天津市版权局著作权合同登记图字第 02 - 2016 - 298 号

Translation from the English language edition;

Application of Superabsorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction

State-of-the-Art Report Prepared by Technical Committee 225-SAP

edited by Viktor Mechtcherine and Hans-Wolf Reinhardt

Copyright © RILEM 2012

Published by Springer Nature

The registered company is Springer Science + Business Media B. V.

All Rights Reserved by the Publisher

The translation has not been done by RILEM, thus RILEM is not responsible for any errors in the translation

中文版不是由 RILEM 协会所翻译, RILEM 协会不对中文版翻译中的差错负责

图书在版编目(CIP)数据

高吸水性树脂在混凝土施工中的应用/(德)维克多·梅克切里尼.(德)汉斯-沃尔夫·莱因哈特编著. 邓正刚,李敬玮,赵波译. 一天津:天津大学出版社,2016. 12

书名原文:Application of Superabsorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction
ISBN 978-7-5618-5758-8

I. ①高… II. ①维… ②汉… ③邓… ④李… ⑤赵…
… III. ①吸水性-合成树脂-应用-混凝土施工 IV. ①TU755

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 326604 号

出版发行	天津大学出版社
地 址	天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话	发行部:022-27403647
网 址	publish.tju.edu.cn
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司
经 销	全国各地新华书店
开 本	148mm × 210mm
印 张	7.75
字 数	220 千
版 次	2017 年 6 月第 1 版
印 次	2017 年 6 月第 1 次
定 价	36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

RILEM STATE-OF-THE-ART REPORTS Volume 2

RILEM, the International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures, founded in 1947, is a non-governmental scientific association whose goal is to contribute to progress in the construction sciences, techniques and industries, essentially by means of the communication it fosters between research and practice. RILEM's focus is on construction materials and their use in building and civil engineering structures, covering all phases of the building process from manufacture to use and recycling of materials. More information on RILEM and its previous publications can be found on [www. RILEM. net](http://www.RILEM.net).

The RILEM State-of-the-Art Reports (STAR) are produced by the Technical Committees. They represent one of the most important outputs that RILEM generates – high level scientific and engineering reports that provide cutting edge knowledge in a given field. The work of the TCs is one of RILEM's key functions.

Members of a TC are experts in their field and give their time freely to share their expertise. As a result, the broader scientific community benefits greatly from RILEM's activities.

RILEM's stated objective is to disseminate this information as widely as possible to the scientific community. RILEM therefore considers the STAR reports of its TCs as of highest importance, and encourages their publication whenever possible.

The information in this and similar reports is mostly pre-normative in the sense that it provides the underlying scientific fundamentals on which standards and codes of practice are based. Without such a solid scientific basis, construction practice will be less than efficient or economical.

It is RILEM's hope that this information will be of wide use to the scientific community.

For further volumes:

[http://www. springer. com/series/8780](http://www.springer.com/series/8780)

国际材料与结构研究实验联合会 (RILEM) 最新研究报告第 2 卷

创始于 1947 年的国际材料与结构研究实验联合会 (RILEM) 是一个专业性很强的非营利性、非政府的科学协会,该协会的工作目标是促进建筑科学、技术和产业进步,基本上通过促进科学研究和实践应用之间的交流来实现。RILEM 重点关注建筑材料及其在建筑和土木工程中的应用,范围涵盖建筑材料从生产到使用、回收的全过程。更多有关 RILEM 及其以前的出版物的信息可登录 [www. RILEM. net](http://www.RILEM.net) 进行查询。

RILEM 的最新研究报告 (STAR) 由 RILEM 的技术委员会提供。这些高水平的、在特定领域具有最新见解的科研和工程技术报告是 RILEM 最重要的成果之一。技术委员会的工作是 RILEM 的关键职能之一。

技术委员会的成员都是各自所在研究领域的专家,他们无偿地将自己的时间和专业知识奉献给技术委员会。因此,更广泛的科学界将极大地从 RILEM 的工作中受益。

RILEM 的既定目标是尽可能地使这些信息在科学界广泛传播,并认为技术委员会的最新研究报告是最重要的传播工具,因此总是尽可能地鼓励大家出版最新研究报告。

最新研究报告和类似报告中的信息几乎可以被认为是预规范,从这个意义上说,这些信息为以后实际标准和规范的制定提供了潜在的**科学基础和依据**。没有这样坚实的**科学基础和依据**,不仅**工程建设的效率较低**,而且**工程建设的投资也会增加很多**。

RILEM 希望这些知识和研究成果能被科学界广泛地应用。

要了解更多信息请登录 [http://www. springer. com/series/8780](http://www.springer.com/series/8780).

序 言

日益增长的将高吸水性树脂(SAP)作为外加剂在混凝土中使用的兴趣和各研究团队之间深入进行科学交流的需要促使国际材料与结构研究实验联合会(RILEM)225-SAP技术委员会于2007年首次召开“高吸水性树脂在混凝土施工中的应用”会议。

这个技术委员会会集了不同国家的知名研究人员,这些研究人员目前正在对高吸水性树脂在混凝土材料中的作用机理以及用高吸水性树脂解决工程建设者在混凝土施工领域所遇到的各种问题的可能性和局限性进行研究。

225-SAP技术委员会分别于2008年5月在荷兰的代尔夫特、2008年9月在日本的伊势志摩、2009年3月在德国的德累斯顿、2009年9月在以色列的海法、2010年9月在德国的亚琛、2011年7月在德国的斯图加特就高吸水性树脂在混凝土施工中的应用的有关问题举行了会议。

该技术委员会的任务是对有关研究工作进行协调,对高吸水性树脂作为外加剂对新拌混凝土和硬化混凝土性能的影响的研究成果进行汇编。本最新研究报告是225-SAP技术委员会工作的主要成果,报告总结了该领域现有的信息和相关知识,为进一步的研究工作打下了坚实的基础,提供了有益的参考。

此外,本报告也是国际材料与结构研究实验联合会

(RILEM)225-SAP 技术委员会进一步工作的起点,包括一系列循环测试和对高吸水性树脂在混凝土施工中的应用提出的切实可行的发展建议。

本报告分十章,对高吸水性树脂作为外加剂在混凝土中的应用的各个方面进行了全面的、浅显易懂的叙述,涵盖了人们感兴趣的特定领域,各章节在排序上遵循“从基本原理到实际应用”和“从新拌混凝土到硬化混凝土”的原则。

每一章都有一个协调员,该协调员也是主要作者。此外,对相应章节的构思和写作有显著贡献的技术委员会成员为共同作者。每一章的内容都由技术委员会成员通过电子邮件和会议的方式全面讨论并认可。W. Brameshuber, D. Cusson, K. Kovler, V. Mechtcherine 和 H. -W. Reinhardt 审核了个别章节的内容,后两人还进行了相关编辑工作, J. Weiss 对全稿进行了校对。

Viktor Mechtcherine

德累斯顿

目 录

第 1 章 介绍	1
1.1 一种新型混凝土外加剂——高吸水性树脂	1
1.2 关于 RILEM TC 225-SAP 及本报告的目的	3
1.3 报告的概念和结构	5
参考资料	7
第 2 章 术语	9
2.1 术语	9
2.2 符号	18
参考资料	19
第 3 章 高吸水性树脂(SAP)	20
3.1 介绍	20
3.2 生产	21
3.3 膨胀	23
3.4 表征方法	25
3.5 高吸水性树脂在施工中的应用	26
参考资料	27
第 4 章 含高吸水性树脂(SAP)水泥基体系中水迁移的动力学	29
4.1 介绍	30
4.2 吸收	31
4.2.1 吸收的驱动力	31
4.2.2 孔隙液的吸收	32
4.2.3 在水泥浆中的吸收	34
4.3 解吸	37

4.3.1	解吸的驱动力	37
4.3.2	水和孔隙液的解吸	37
4.3.3	水泥浆内的解吸动力学	38
4.4	高吸水性树脂的内养护模型	43
4.4.1	普通模型	43
4.4.2	改进的 DuCOM 模型	44
4.4.3	双尺度模型	44
4.5	结论	46
	参考资料	47
第 5 章	高吸水性树脂(SAP)对混凝土和砂浆工作性的影响	54
5.1	简介	55
5.2	含高吸水性树脂混凝土和砂浆的工作性	56
5.2.1	混凝土工作性的实证检验方法	56
5.2.2	基于流变试验评估混凝土的流变性	62
5.2.3	基于流变试验评价砂浆的流变性	64
5.3	高吸水性树脂的增稠效应	65
5.4	结语	66
	参考资料	66
第 6 章	胶结浆体的硬化过程和微观结构的发展	69
6.1	引言	70
6.2	水泥浆体的水化程度	70
6.3	孔结构	71
6.3.1	总孔隙率	72
6.3.2	孔径尺寸和孔径尺寸分布	74
6.4	界面过渡区	77
6.5	基体中由于高吸水性树脂产生的孔洞结构	79
6.6	结论	82
	参考资料	82

第7章 高吸水性树脂(SAP)对混凝土收缩的影响:塑性收缩,自收缩,干燥收缩	85
7.1 简介	85
7.2 塑性收缩	86
7.2.1 塑性收缩的机理	86
7.2.2 塑性收缩的测量	87
7.2.3 高吸水性树脂对塑性收缩的影响	89
7.3 化学收缩	91
7.3.1 化学收缩的机理	91
7.3.2 高吸水性树脂对化学收缩测量的影响	92
7.3.3 高吸水性树脂对化学收缩的影响	93
7.4 自收缩	95
7.4.1 自收缩的机理	95
7.4.2 高吸水性树脂在减少自收缩中的应用	96
7.4.3 使用高吸水性树脂后测量自收缩的减小	97
7.4.4 高吸水性树脂对自收缩的影响	101
7.5 高吸水性树脂(SAP)对干燥收缩的影响	112
7.5.1 水泥浆	112
7.5.2 混凝土	113
7.6 约束应力的发展	116
7.7 总结	123
参考资料	124
第8章 高吸水性树脂(SAP)对混凝土力学性能的影响	132
8.1 引言	132
8.2 抗压强度	133
8.3 抗拉强度	142
8.4 弹性性能	145
8.5 高吸水性树脂作为保水剂使用时混凝土的力学性能	145

8.6	养护条件的影响	148
8.7	总结和结论	150
	参考资料	151
第9章	高吸水性树脂(SAP)对混凝土耐久性的影响	156
9.1	引言	156
9.2	抗渗性能	157
9.2.1	配合比组成	157
9.2.2	新拌混凝土的性能	158
9.2.3	养护条件	159
9.2.4	抗压强度	160
9.2.5	渗透性试验方法	161
9.3	透氧性	164
9.4	透水性	165
9.5	毛细管吸力	167
9.6	孔隙率和传输性能总结	170
9.7	抗冻融性能	172
9.7.1	配合比	172
9.7.2	试验方法	174
9.7.3	剥落	174
9.7.4	颗粒尺寸的影响	177
9.7.5	高吸水性树脂对强化水泥基复合材料(SHCC)抗冻融性能的影响	179
9.8	氯离子迁移	180
	参考资料	182
第10章	高吸水性树脂(SAP)在混凝土和其他建筑材料中的实际应用	185
10.1	引言	185
10.2	性能的改善	186

10.2.1	减少收缩	186
10.2.2	抗冻融性	186
10.2.3	流变改性	187
10.2.4	控制释放	187
10.2.5	防水	188
10.2.6	裂缝修复	188
10.2.7	表面养护	189
10.2.8	防火	190
10.2.9	清除混凝土污染物	190
10.3	应用前景	190
10.3.1	喷射混凝土	191
10.3.2	回填	191
10.3.3	土壤稳定	192
10.3.4	智能涂料	192
10.3.5	感应元件	192
10.3.6	在混凝土施工中的其他应用	193
10.4	案例研究	194
10.4.1	位于德国的国际足联世界杯足球赛场馆	194
10.4.2	丹麦灵比市的喷射混凝土墙板工程	197
10.5	总结和最终评论	198
	参考资料	199
	索引	203
	RILEM 出版物	213
	由 Springer 出版的 RILEM 出版物	226

第1章 介绍

Viktor Mechtcherine

摘要:本章简要地介绍了高吸水性树脂(SAP)在混凝土施工中的应用的最新研究报告,介绍了化学外加剂在混凝土技术中的一般作用,概括了高吸水性树脂在水泥基材料的应用中可能产生的作用,并对这种新型外加剂的主要应用领域进行了描述,还对本书的概念和结构进行了简单说明。

1.1 一种新型混凝土外加剂——高吸水性树脂

在过去几十年中,混凝土技术取得了巨大的进步,这在很大程度上归功于新型混凝土化学外加剂的应用和发展,少量添加即可显著改进新拌混凝土和/或硬化混凝土的关键性能,一个突出的例子是现代高效减水剂的应用。高效减水剂与适当的组分复配能发展出新的混凝土类型,如自密实混凝土、超高性能混凝土。然而,尽管混凝土技术已经取得了长足的进步,并已有了各种各样的混凝土外加剂,但在外加剂的进一步发展方面仍然有着巨大的需求。

混凝土技术中的一个主要关注事项是对水的控制。一方面,一定量的水是水泥水化,达到各种混凝土材料在拌和、运输、浇筑和密实过

联系人:V. Mechtcherine

地址:德国德累斯顿工业大学建筑材料研究所

e-mail:mechtcherine@tu-dresden.de

程中所要求的流变性能所必需的。另一方面,自由水含量增加,新拌混凝土离析和泌水的危险也随之增加,此外自由水将导致硬化混凝土的孔隙率增大,并相应地导致力学性能显著降低,从而降低混凝土的耐久性和抗渗性,并增大收缩和徐变。

减水剂,如前面提到的高效减水剂,能使新拌混凝土具有良好的工作性,同时使硬化混凝土具有密实的微观结构成为可能。而稳定剂,如甲基纤维素,会影响自由拌和水的可用性,从而削弱新拌混凝土泌水和离析的趋势。

高吸水性树脂作为配制混凝土材料时引入的一个新组分,使混凝土在水分控制方面出现了若干新可能,因此可以控制新拌混凝土的流变性能,也可根据需要控制新拌或硬化混凝土中水分的吸收和释放。

通过高吸水性树脂材料的专门设计可对水分的吸收和释放进行较好的控制,以满足特定的实际需要。高性能混凝土(见参考资料[1],[2]及第7章)的内养护和喷射混凝土流变行为的突变诱导(见参考资料[3]及第10章)为这方面应用的例子,但其潜在的创新应用远不限于此。

另一个现代混凝土技术中的长期问题与混凝土内有益气泡体系的形成有关,它可以提高体系的耐久性,特别是抗冻融性能。

现在引气剂得到了广泛的应用,以实现较好的抗冻融性能,但在实践中这项技术经常远不能达到目的,引入的气泡时常在运输、振捣或一些特殊的施工工艺中,如喷射工艺中,无法保持足够的稳定性。所以,目前强烈需要更可靠的解决方案,高吸水性树脂被认为是一个很好的解决方法。

添加高吸水性树脂形成的气泡体系似乎能保持稳定,而不必考虑混凝土的稠度、高效减水剂的加入以及采用的浇筑和振捣方法。添加高吸水性树脂的混凝土的抗冻融性能可与操控良好的引气混凝土相比(见参考资料[4]和第9章)。

更进一步的应用已经被提出,其中一些为模糊的想法,而某些想法

已得到初步研究的支持。其中一个例子是把高吸水性树脂作为一个微型储囊,在特殊条件下该微型储囊可以将储存的化学物质释放出来,如在温度变化、孔隙液的化学组成改变、时间推移等情况下^[1]。

另外,高吸水性树脂作为多功能外加剂使用最近已得到验证,其利用了高吸水性树脂在多功能方面的优势,同时提高强化复合水泥基材料(SHCC)的多项性能。当SHCC在大张力作用下时,高吸水性树脂微粒作为微小缺陷触发多重裂缝的形成,从而增大了材料的韧性,同时高吸水性树脂作为外加剂可提高复合材料的抗冻融性能,并可以作为内养护剂使用^[5]。

1.2 关于 RILEM TC 225-SAP 及本报告的目的

高吸水性树脂作为外加剂应用于工程中的最初想法是紧随这类新型聚合物的发展而来的。首个专利是由 DOW 和 Hoechst 申请的关于含有超强吸水物质的干混砂浆(见第3章)。尽管当时有许多迹象表明这种应用已经存在,但对高吸水性树脂应用于混凝土施工中的相关知识还是了解甚少,混凝土技术领域的许多专家甚至没有听说过高吸水性树脂可以作为外加剂使用,在混凝土外加剂的生产 and 商品供应中,没有看到明确标识为“SAP”的外加剂在混凝土中使用的情况。不过,高吸水性树脂作为外加剂的主要组分已在数个工程案例中应用,只是在技术文件中并没有指明。

由于不同独立研究机构研究兴趣的增大,这种有些“神秘”的情况在不久的将来有可能好转。RILEM TC 196-ICC《混凝土内养护》^[6]的最新研究报告介绍了高吸水性树脂(SAP)在高强度混凝土中作为有效内养护剂应用的正面效果。

由于高吸水性树脂提供的内部储水池,自干燥及由此导致的混凝土自收缩会减少,甚至可以从根本上消除和避免。因为具有非常强的

吸水能力,高吸水性树脂在减少自收缩方面比其他材料更为有效。一个试点工程提供的证据表明,基于利用高吸水性树脂的内养护方法可以在高性能混凝土领域大范围应用^[2]。

RILEM TC 196-ICC 的工作引发了对高吸水性树脂更广泛的研究。许多研究人员研究了高吸水性树脂的添加对混凝土的流变性能、收缩、强度、耐久性和其他性能的影响(见第5章、第7章、第8章和第9章)。此外,研究人员在探索高吸水性树脂对混凝土各种性能的作用机理方面,如吸水动力学、高吸水性树脂解吸附以及混凝土微观结构的改变等方面投入了相当大的努力(见第4章和第6章)。

与高吸水性树脂在混凝土结构中的应用这一主题相关的科学出版物的数量近几年来显著增加。然而,这些研究结果在一定程度上存在争议,这在很大程度上归结于试验结果对试验中使用的高吸水性树脂的品种、添加的混合水的量以及对其他混凝土组分的变化的敏感性。

日益增长的将高吸水性树脂作为外加剂在混凝土中使用的兴趣和各研究团队之间深入进行科学交流的需要促使国际材料与结构研究实验联合会(RILEM)225-SAP技术委员会于2007年首次召开“高吸水性树脂在混凝土施工中的应用”会议。

这个技术委员会会集了不同国家的知名研究人员,这些研究人员目前正在对高吸水性树脂在混凝土材料中的作用机理以及用高吸水性树脂解决工程建设者在混凝土施工领域所遇到的各种问题的可能性和局限性进行研究。

该技术委员会的任务是对有关研究工作进行协调,对高吸水性树脂作为外加剂对新拌混凝土和硬化混凝土性能的影响的研究成果进行汇编。本最新研究报告是225-SAP技术委员会工作的主要成果,报告总结了该领域现有的信息和相关知识,为进一步的研究工作打下了坚实的基础,提供了有益的参考。此外,本报告也是国际材料与结构研究实验联合会(RILEM)225-SAP技术委员会进一步工作的起点,包括一系列循环测试和对高吸水性树脂在混凝土施工中的应用提出的切实可

行的发展建议。

1.3 报告的概念和结构

本报告分十章,对高吸水性树脂作为外加剂在混凝土中的应用的各个方面进行了全面的、浅显易懂的叙述,涵盖了人们感兴趣的特定领域,各章节在排序上遵循“从基本原理到实际应用”和“从新拌混凝土到硬化混凝土”的原则。

第1章为介绍,第2章是报告中使用的术语的定义。

第3章专门介绍高吸水性树脂,包括其化学组成、生产技术、相关性性能以及表征方法。此外,针对特殊需求下高吸水性树脂的选择及在混凝土拌和物中的添加方式给出了一些建议。

第4章介绍水迁移的动力学,即混合过程中孔隙液的吸收以及水泥浆自干燥或暴露干燥时水分的释放过程。高吸水性树脂中水的吸收和释放的动力学知识至关重要,它有助于理解和优化混凝土的内部养护,对高吸水性树脂在其他实际工程中的潜在应用进行预测。在文献中缺少高吸水性树脂的试验结果时,文中提供了其他具有可比性的外加剂的试验结果,并讨论了该结果对高吸水性树脂的适用性。本章的最后一节专门讨论混凝土中利用高吸水性树脂进行内养护的建模问题,特别是针对高吸水性树脂对水分的吸收和释放的建模问题。

第5章就已有的资料介绍和讨论了高吸水性树脂对混凝土工作性的影响,本章的结论是仍需要进行认真的研究工作,以了解添加高吸水性树脂对新拌混凝土和砂浆流变性能的影响。

第6章重点研究了胶结浆体的硬化过程和微观结构的发展。结果表明,高吸水性树脂的添加改变了混凝土的水化过程和微观结构的发展。文中讨论了含有高吸水性树脂的复合材料中水泥的水化度,高吸水性树脂对总孔隙率的发展、孔径分布、形态、大块水泥浆的孔隙连通