

混凝土工程 新材料设计与施工

吴绍章
林宝玉

主编

NEW MATERIALS IN CONCRETE ENGINEERING :
DESIGN AND CONSTRUCTION



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

混凝土工程新材料设计与施工

林宝玉 吴绍章 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

该书共分十章,分别介绍了新型混凝土外加剂、高性能混凝土、高掺量粉煤灰混凝土、硅粉混凝土、碱—矿渣水泥及混凝土、水下不分散混凝土、聚合物水泥砂浆及混凝土、防渗加固灌浆新材料、弹塑性嵌缝密封材料以及新型修补材料等内容,详细地叙述了作者对新材料设计与施工的技术路线与构想、材料性能与改性机理、施工工艺及技术要求,并列举了大量的工程实例。该书可供从事混凝土工程的科研、设计、维修、施工人员及大专院校有关专业的师生参考。

0116/198

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土工程新材料设计与施工/林宝玉,吴绍章主编. 北京:中国水利水电出版社,1998.8

ISBN 7-80124-435-4

I. 混… II. ①林… ②吴… III. 混凝土施工-建筑材料:新工业产品-应用 IV. TU528

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 13791 号

书 名	混凝土工程新材料设计与施工
作 者	林宝玉 吴绍章 主编
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京密云红光照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 381 千字
版 次	1998 年 8 月第一版 1998 年 8 月北京第一次印刷
印 数	0001—4600 册
定 价	30.00 元

谨以此书纪念水利部、
交通部、电力工业部南京
水利科学研究院材料结构
研究所重新组建四十周
年！

序 言

水泥混凝土是当代大宗土木工程人造材料。自波特兰（硅酸盐）水泥问世至今 170 多年来，随着科学技术的进步，水泥混凝土的性能不断得到改进、提高和发展。其中各种有机、无机及其复合改性材料的创新与应用，是混凝土技术进步的重要支柱。另一方面，随着大江、大河、大湖的开发治理和工程规模的不断扩大，结构受力条件日趋复杂，因而对混凝土的力学与变形性能、耐久性能、施工性能都提出了愈来愈高的要求。此外，世界性的资源、能源匮乏与环境保护的要求，亦促使混凝土技术必须朝着经济、节能与绿色化的方向发展，故需要不断更新传统的混凝土设计与施工观念，积极容纳现代高科技含量的新技术、新材料与新工艺。本书作者们也正是围绕这一主题，厚积几代人的辛勤耕作，涓涓心血薄发而成。书中介绍的新材料有 14 项通过省部级鉴定，3 项荣获国家级科技进步奖，8 项 10 次荣获省部级重大成果或科技进步奖。这些位于当今混凝土学科发展前沿水平的新材料研究成果，都紧密结合着国家或省部重点工程的需要，并解决了许多重大工程中混凝土技术的理论与实践问题。如为三峡工程研究的抗冲磨高性能混凝土与高掺量粉煤灰混凝土；在江阴长江大桥使用的高效缓凝泵送减水剂；在龙羊峡、水口、飞来峡等水电站使用的硅粉混凝土；在新安江、马迹塘水电站采用的水下不分散混凝土；在上海 12 万吨乙烯等许多工程中成功使用的丙烯酸酯共聚乳液水泥砂浆；在李家峡等水电站使用的沥青堵漏灌浆技术；在桃林口水库等工程中成功应用的聚氨酯弹塑性密封材料以及许多加固与修补工程中应用的新材料与新工艺。

本书涉及的内容从整体上互为关联，并较广泛地涵盖了混凝土工程技术发展中的主流。各章节编排基本自成体系，不仅介绍了某种材料国内外研究与发展概况及新观念，而且较详实地叙述了作者对新材料设计与研究的技术路线与构想、所设计材料的性能与改性机理以及相应的施工工艺与技术要求。此外，还列举了大量的工程应用实例，多数是作者们在工程中亲自实践的经验总结与体会。本书内容深入浅出，清晰简明，是一本混凝土学科中集理论指导与实际应用为一体的好书，值得向从事混凝土工程的科研、设计、维修、施工人员与大专院校师生们推荐。

中国工程院院士

吴中伟 1998年6月

编 者 的 话

材料科学是近代工业大发展的一个支柱,而工业的大发展又促进了材料科学的进步。作为工程材料的水泥混凝土及其相关的建筑材料,自然也在汲取各种新科技的养分而蓬勃发展。以水泥混凝土为例:从气硬性建筑材料变革性飞跃而产生水硬性水泥以来,短短百余年时间,又发生了几次新的飞跃。如由于钢筋混凝土的出现,克服了混凝土不能承受拉应力这一大难题,实现了第二次飞跃。预应力混凝土的出现,使大跨度高拉应力结构物成为可能,实现了第三次飞跃。这三次飞跃使得水泥混凝土结构物向更实用化、大型化、功能化迈开了大步,使建筑业得到了很大发展。而今,水泥混凝土中外加剂、混合材及聚合物的出现和应用,已经把水泥混凝土材料推到了高强、高性能化的新的发展阶段,由此也推动着工程建设业向高技术方向发展。从而使深水筑港、大吨位码头、高水头大型水电站、高速公路、大型机场、大跨度桥梁、高层超高层建筑等等新型、多功能以及高等级的建筑和工程成为现实。这也标志着水泥混凝土材料科学和技术将在实践中孕育新的飞跃。

在材料科学日新月异的高速发展中,水利部、交通部、电力工业部南京水利科学研究院材料结构研究所,从事材料科学的研究人员,从老一辈起就在中央三个部和本院、所各级的领导和支持下,按照国家几个五年计划的紧迫材料学科发展趋势的目标,进行了大量艰苦细致的调查研究、试验分析工作。首先,以多年来对港工水工混凝土及钢筋混凝土的耐腐蚀、耐冻融、耐久性的科研成果为依据,于60年代就主持和参加制定了交通部第一个突出密实耐久性的《港工混凝土技术规范》,成为当时我国第一个对混凝土有耐久性要求和具体指标措施的部级技术规范。之后,为适应我国海运业发展,为响应周恩来总理提出的“三年改变港口面貌”的指示而开展了各种加快港口建设的措施研究,从而开发出以萘系减水剂为主的系列外加剂,成为我国最早通过部级(交通部)鉴定的外加剂,为使用萘系减水剂打开了绿灯,填补了当时国内的空白,荣获全国科学大会奖、交通部科技大会奖等奖励。紧接着又相继开发出多种高性能、多功能的新型材料。如新型修补材料,防腐、防渗、抗冻的丙烯酸酯共聚乳液水泥砂浆,在国内属首次荣获国家科学技术进步奖的聚合物砂浆类材料,还利用所开发的新材料研究可减缓高速水流空蚀空化的措施,这项与水工所合作研究的项目获得国家科技进步奖。在参加国家“六五”、“七五”、“八五”科技攻关研究工作所取得的科研成果中,“硅粉混凝土特性研究和应用——水工抗磨蚀NSF剂”获水利部科技进步二等奖,参加研究的“大直径预应力混凝土管桩的研究和应用”获交通部科技进步二等奖,参加研究的“西北口混凝土面板堆石坝研究”获能源部科技进步二等奖,参加研究的“普定碾压混凝土拱坝筑坝新技术”获电力部科技进步一等奖。还有“3FG—2减水缓凝剂的研究与应用”、“高强抗磨蚀硅粉混凝土的研究和应用”、“江苏谏壁电厂原状粉煤灰代砂砌筑砂浆与混凝土的研究”、“AS特种水泥的研究和应用”、“超早强硅粉混凝土在仪征

化纤工程中的研究和应用”、“水下不分散混凝土及其涂层的研究和应用”、“新型港工耐久硅粉混凝土的研究”、“高温缓凝剂的研究与应用”、“无机非水泥基高强微膨胀超细灌浆材料研究”、“水工特种外加剂及复合技术研究（包括减缩剂、锚固剂、坍落度损失少的泵送剂、自流平免振混凝土用外加剂等）”、“普定碾压混凝土坝上游面丙乳砂浆防渗层大面积喷涂施工工艺研究”、“大坝混凝土耐久性研究”、“掺硬石膏水泥某些外加剂急凝的机理与改进措施的研究”、“厦门高集海峡大桥工程混凝土双掺技术应用研究”、“沥青灌浆防渗堵漏方法”、“普定碾压纤维混凝土研究”等成果都经过省部级专家鉴定，被评为国际先进水平、国内领先水平、国内先进水平、省级领先或先进水平，并有多项获得省部级重大科技成果奖、科技进步三等奖以及创造发明奖等。这些成果不但已在几百个小型工程中推广应用，而且在大中型工程上也得到应用，诸如在葛洲坝、三峡、龙羊峡、李家峡、大化、东风、普定、百龙滩、水口、五强溪、大伙房水库等水利水电工程，在庐山号浮船坞、文冲船坞、大连港、天津港、青岛港、上海陈山码头、湛江港、连云港、北仑港等港口工程以及其他有关工程中应用，都曾获得良好效果。

在大量研究和应用的基础上我们主持或参加编制了数个国家和部级规范或规程，如全国最早的交通部的《港工混凝土技术规范》、《港工混凝土标准试验方法》、水电部的《水工混凝土试验规程》、《水工混凝土外加剂技术标准》、《水工混凝土用硅粉品质标准》、国家的《外加剂标准》、建设部的《混凝土外加剂应用规程》、《防水剂》、《聚合物水泥砂浆防腐蚀工程技术规程》等。此外，为使科研成果迅速转化为生产力，大力推广新材料、新技术及宣传技术标准规程和规范，我们从 60 年代起就为全国和部举办过外加剂、新材料、新技术标准等技术培训班十余次，被请作专题技术报告和讲学的有上百人次，不仅宣传了党和国家的有关技术政策和法规，以及新的科技成果，而且也通过交流学习到兄弟单位许多有益的东西，促进了我们的科研工作。

目前，材料结构研究所承担着交通部、电力部“九五”攻关项目和国家自然科学基金委员会和三峡工程开发总公司联合资助的国家自然科学基金重大项目的研究，还正在主持编制水利部的两个技术规范以及一些部重点、部基金项目的研究。为促进工程建设新的大发展以及材料学科的突飞猛进，尽快地把已有的科技成果转化为生产力，贯彻科技兴水利、科技兴电力、科技兴交通的科技兴国方针，使我们的科研为“四化”服务，为工程服务，也是为改革开放服务，我们南京水利科学研究院材料结构研究所从三代材料科研人员艰苦创业、顽强拼搏呕心沥血所取得的大批科研成果中，本着急当前工程之所急的原则，先选出一部分汇编成册。并以此来纪念南京水利科学研究院材料结构研究所重新组建 40 周年，也以此来缅怀原材料结构研究所创建人、我们敬爱的良师益友、楷模陈伯起同志，继承和学习他“说老实话、办老实事、做老实人”的严以律己、宽以待人、平易近人、关心他人的高尚品德，学习和发扬他“严肃、严密、严谨、严格”的治学敬业精神和科研态度。也借以表彰和致敬曾经和正在材料结构研究所材料战线上共同战斗的新老战友们。

为材料科学进步而奋进！

为祖国繁荣昌盛而努力！

参加本书编写的人员如下：

第一章：徐汉丰、鹿立云、胡玉初、吴绍章

第二、三章：蔡跃波

第四、六、七、十章：林宝玉

第五章：张燕驰

第八章：叶铭勋

第九章：黄国平

本书所引用的大部分资料为南京水利科学研究院材料结构研究所第一研究室许多同志共同参加工作所得，有的项目还有兄弟单位参加，对他们的支持一并致谢。此外，对负责本书校阅和审查的葛文辉教授也在此致以谢意。

最后特别感谢对本书的出版在技术和经济上给予大力支持的南京水利科学研究院和科研处的领导。

限于水平，书中谬误之处在所难免，敬希读者大力指正。

林宝玉 吴绍章

1998年2月

目 录

序 言

编者的话

第一章 新型混凝土外加剂	1
第一节 概述	1
第二节 高强混凝土泵送剂	1
第三节 混凝土减缩剂	8
第四节 混凝土防裂防水剂及防渗憎水剂	13
第五节 自流平混凝土外加剂	20
第六节 超缓凝剂	25
第七节 高温缓凝剂	27
第八节 灌浆（注）混凝土外加剂	32
第九节 混凝土保水保温剂	36
第十节 混凝土养护剂	39
第十一节 混凝土脱模剂	43
第十二节 混凝土锚固剂	46
参考文献	49
第二章 高性能混凝土	51
第一节 概述	51
第二节 原材料与配合比设计	52
第三节 高性能混凝土的性能	61
第四节 高性能混凝土施工工艺与质量控制	68
第五节 高性能混凝土的工程应用实例	70
参考文献	71
第三章 高掺量粉煤灰混凝土（HFCC）	73
第一节 概述	73
第二节 原材料与配合比设计	74
第三节 HFCC 的性能	85
第四节 HFCC 的施工工艺与质量控制	95
第五节 HFCC 的应用实例简介	96
参考文献	98
第四章 硅粉混凝土	100
第一节 概述	100
第二节 硅粉对混凝土性能的影响	100
第三节 硅粉混凝土的配制方法	116

第四节	硅粉混凝土施工工艺	119
第五节	硅粉混凝土工程应用实例	121
参考文献		128
第五章	碱—矿渣水泥（AS）及混凝土	131
第一节	概述	131
第二节	AS 水泥的组成	132
第三节	AS 水泥的基本性质	134
第四节	AS 混凝土的性质	136
参考文献		140
第六章	水下不分散混凝土	141
第一节	概述	141
第二节	水下不分散混凝土的性能	142
第三节	水下不分散混凝土的配合比设计	150
第四节	水下不分散混凝土的施工	154
第五节	水下不分散混凝土的工程应用	158
参考文献		163
第七章	聚合物水泥砂浆及混凝土	165
第一节	概述	165
第二节	原材料和配合比设计	166
第三节	聚合物水泥砂浆、混凝土的性能	170
第四节	聚合物水泥砂浆、混凝土的施工工艺	183
第五节	聚合物水泥砂浆、混凝土的工程应用	185
参考文献		190
第八章	防渗加固灌浆新材料	192
第一节	概述	192
第二节	水泥类灌浆材料	193
第三节	化学灌浆材料	194
第四节	沥青灌浆	197
第五节	工程应用实例	198
参考文献		209
第九章	弹塑性嵌缝密封材料	210
第一节	概述	210
第二节	常见弹塑性嵌缝密封材料及其性能	210
第三节	接缝的设计与施工准备	217
第四节	嵌缝密封材料的施工工艺	218
第五节	嵌缝密封材料的工程应用实例	219
参考文献		222
第十章	新型修补材料	224
第一节	概述	224

第二节	NSF 砂浆修补	224
第三节	丙乳砂浆 (NBS 乳液砂浆) 修补	230
第四节	超早强硅粉混凝土修补	233
第五节	NNDC—1 混凝土的水下修补	236
参考文献		240
附录一	“丙烯酸酯共聚乳液水泥砂浆”鉴定意见	242
附录二	“高强抗磨蚀硅粉混凝土的研究和应用”鉴定意见	243
附录三	“硅粉混凝土特性研究与应用”鉴定意见	244
附录四	“水下不分散混凝土及涂层的研究和应用”鉴定意见	245
附录五	“超早强硅粉混凝土在仪征化纤公路工程中的研究和应用”鉴定意见	246
附录六	“混凝土面板堆石坝材料性质研究”鉴定意见	247
附录七	“AS 水泥和混凝土性能研究及应用”鉴定意见	248
附录八	“高温缓凝剂的研究和应用”鉴定意见	249
附录九	“3FG—2 减水缓凝剂的研究和应用”鉴定意见	250
附录十	“水工混凝土特殊外加剂与外加剂复合技术研究”鉴定意见	251
附录十一	“沥青灌浆堵漏技术的研究与应用”鉴定意见	252

第一章 新型混凝土外加剂

第一节 概 述

十余年来,混凝土外加剂产业从无到有,从少到多得到了飞速地发展。据不完全统计,目前全国已有外加剂生产单位近 200 家,年产量估计在 10 万 t 左右,其中有 3/4 以上是复合型外加剂,仅有四五十个厂家生产单一的主剂,而且多数是以萘为原料的合成生产厂,这些厂家所生产的产品都在国家标准和部颁标准规定范围内。然而,随着工程建设向更高新技术方向的发展,对混凝土也提出了更高的要求。例如高层、超高层建筑不仅要求好的普通泵送剂,而且还要求高强、高性能的泵送剂;大型基础或大体积混凝土不仅要求低的水化温升,而且也要能防裂防水;大面积堆场或广场、跑道不仅要求混凝土有较好的抗折强度,而且还要求混凝土有较小的收缩变形;大仓面和日夜连续施工时需要超缓凝混凝土;炎夏高温日晒下施工时需要高温缓凝剂;钢筋密集或形状复杂的构筑物(或构件)施工,或者为减少城市噪音污染,需要采用自流平免振捣混凝土;等等。总之,从提高工程质量、加快施工进度、改进工艺、采用新技术、改善施工环境、进行科学施工、文明施工等方面要求,现行的许多外加剂已经不能胜任。为此,南京水利科学研究院(以下简称南科院)材料结构研究所外加剂专门研究组,开展了对新型的和特殊种类的混凝土外加剂的研究、开发和应用,本章主要介绍这些科研成果及应用情况。这些成果有的已通过国家和部级鉴定,达到了国际和国内先进水平或国内领先水平等;有的在实际工程中大量应用,并取得了显著的经济和社会效益。如江阴长江大桥、广西的水电站及船闸、水闸等大中型建筑,其中有些成果有待继续改进和大力推广。

第二节 高强混凝土泵送剂

混凝土泵送技术,国外从 70 年代初开始逐渐完善,目前已较为普及。我国随着水工、港口、电力、冶金、工民建领域的需要,随着混凝土外加剂的发展,80 年代起泵送技术迅速发展,成功浇筑了 C20~C40 泵送混凝土;90 年代又浇筑了 C50~C60 的泵送混凝土,垂直泵送高度可达 400m,水平可泵送 1000m。泵送 C60 以上的高强混凝土浇筑工作正在起步。

混凝土高效减水剂(超塑化剂)的问世使混凝土的高强化变为现实,在此基础上发展起来的外加剂——高强泵送剂,使高强泵送混凝土更具可操作性,因此是泵送高强混凝土的技术关键。

一、高强泵送剂的基本特点

要配制 C50 以上的高强泵送混凝土,除对胶凝材料、骨料有较高的要求外,泵送剂应具备以下基本特点:

(1) 高效减水, 减水率一般为 20%~30%, 不应低于 20%, 以便能够控制混凝土水灰比和流动性(坍落度、扩展度)。因此, 制备高强泵送剂的减水组分必须是大减水率的高效减水剂, 如萘系、三聚氰胺类或其他合成反应性高分子类。

(2) 坍落度损失小。为满足可泵送的要求, 混凝土的坍落度随时间的延长的损失一定要小, 而且混凝土的泌水也要少, 或不泌水保持较长时间, 即在施工时间内保持混凝土的匀质、塑化及保水保塑性能, 才能在施工现场长距离高扬程泵送; 并且能够在不同气温条件下, 保持良好的塑化性能。

(3) 效果显著。增强效果显著, 后期强度保持缓慢增长。

针对上述基本特点和要求, 南科院在“高温缓凝剂的研究”、“水工混凝土外加剂的系列化标准化研究”成果的基础上, 经过对生产工艺、适应性、耐久性等方面的反复研究和改进, 研制出了以特种改性萘磺酸盐聚合物为主体的新型混凝土泵送剂 NA—F2、NA—F2(B)。其中 NA—F2 适合配制 C40 以下中低强度泵送混凝土, NA—F2(B) 适合配制 C50~C70 级高强泵送混凝土。除符合国家建材行业标准 JC473—92《混凝土泵送剂》及国标 GB8076—1997《缓凝高效减水剂》外, 同时具备了目前国内普通泵送剂所不具备的技术性能。^①

二、NA—F2(B) 的技术性能

(1) 本品外观呈棕褐色液体, 使用掺量为水泥或胶凝材料重要的 1.6%~2.3%。

(2) 具有较高的分散性能, 可使基准混凝土坍落度由 4~5cm 提高到 19~23cm, 且坍落度经时损失小, 1.5h 损失约 5%~10%。

(3) 相同坍落度条件下减水率大于或等于 20%, 相同强度条件下, 可节约水泥 15%~20%。

(4) 增强效果明显, 3d 混凝土抗压强度提高 40%, 7d 接近或达到设计强度, 28d 强度提高 20%左右, 强度保证率高。

(5) 含气量适中, 经过高频振捣后含气量小于或等于 2%, 对混凝土弹性模量无不利影响。

(6) 具有延缓凝结时间, 降低水泥水化热、混凝土最高温升及推迟温峰出现时间的作用, 有利于大体积混凝土和夏季高温施工。

(7) 可提高混凝土的抗冻性、抗渗性, 抗渗标号大于或等于 S_{12} 。

(8) 对各种水泥的适应性良好。

(9) 对钢筋无锈蚀作用。

(10) 储存稳定性良好, 适宜施工气温范围 5~35℃。

三、泵送剂对新拌混凝土性能的影响

(一) 坍落度及其损失

坍落度是反映新拌混凝土流动性的重要指标, 要达到泵送混凝土所需初始坍落度, 直

① 鹿立云、徐汉丰、胡玉初、吴绍章等, 高强高效泵送剂的研制与应用, 工业建筑, 1998.4。

接应用高效减水剂即可实现。随着掺量的增大,坍落度增加值愈大,超过一定限度后,效果不明显,反而影响混凝土的和易性产生离析、泌水,不利于泵送施工。

现有研究资料表明,单掺高效减水剂配制高强泵送混凝土存在的最大的不足是新拌混凝土的坍落度损失过大,尤其在水灰比较低、水泥用量高时,以及高温低湿环境下更为突出,1h一般损失20%以上,减水率越大,损失率越大,水泥用量多,损失也大^①。图1-1为高效减水剂与混凝土坍落度损失的关系。为克服坍落度损失过大这一难题,一般采取以下措施可取得一定效果:

- (1) 略增大掺量,提高初始坍落度。
- (2) 加入少量助泵剂。
- (3) 改变掺加方式,如分阶段添加或现场添加。
- (4) 选用C₃A含量相对较低的水泥。
- (5) 尽可能避免或减少新拌混凝土水分蒸发。

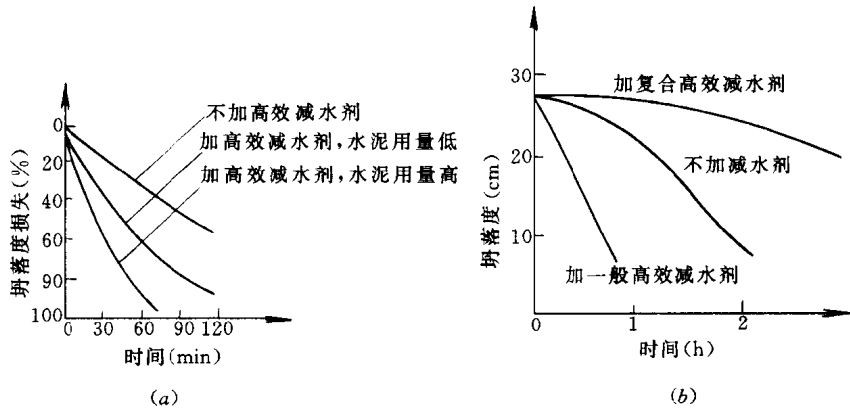


图 1-1 高效减水剂与混凝土坍落度损失
(a) 坍落度随时间的损失; (b) 掺加不同减水剂时的坍落度变化

然而高强泵送剂保持了超塑化性能,对坍落度的损失有了较大的改善。据统计,以反应性高分子、载体流化剂可以使混凝土坍落度1.5h的损失降低到5%~10%,甚至不损失,但造价较高,难以大规模推广应用,NA—F2(B)采用了改性萘磺酸盐和保塑助剂,除减水率较高外,坍落度损失较小。表1-1为NA—F2(B)高强泵送剂在不同温度下对高强泵送混凝土坍落度损失的影响。

表 1-1 不同温度下掺 NA—F2(B) 高强泵送剂混凝土坍落度经时变化

试验温度 (°C)	SL_0 (cm)	SL_{1h} (cm)	$SL_{1.5h}$ (cm)
5	21/100	20/95	19.5/93
20	20/100	19.0/95	19.0/95
32	20/100	18.5/92.5	18.0/90

注 分母为相对百分率; 试验配合比按 C50 设计, 泵送剂掺量为 2.0%。

① International Symposium on Concrete and Conerete Construction, ACI, SP-104, 1989.

表 1-1 说明 NA—F2 (B) 无论在高温下还是低温下, 均能使混凝土坍落度损失率小于 10%, 从而满足不足气温条件下的施工要求。

(二) 混凝土的凝结时间及水化温升

泵送剂的种类和用量对新拌混凝土凝结时间影响较大, 一般初凝时间较基准混凝土延迟。常规复合缓凝型泵送剂与环境温度有关, 高温条件下缓凝作用不明显, 温度较低时缓凝作用突出, 因此施工时应引起重视。而掺 NA—F2 (B) 则不同。

掺 NA—F2 (B) 高强泵送剂配制的 C50~C60 混凝土初凝时间一般为 8~12h, 适当微调最大可控制在 30h 左右 (硬化混凝土性能不受影响), 即使在 35℃ 高温日晒下初凝时间仍可达 5~6h。

图 1-2、图 1-3 为 NA—F2(B) 对水泥水化热及混凝土绝热温升的影响。由图可知, NA—F2 (B) 可以延迟温峰出现, 降低峰值约 5℃, 这对于抑制早期水化热, 减小早期温度应力, 提高大体积混凝土抗裂性能有利。

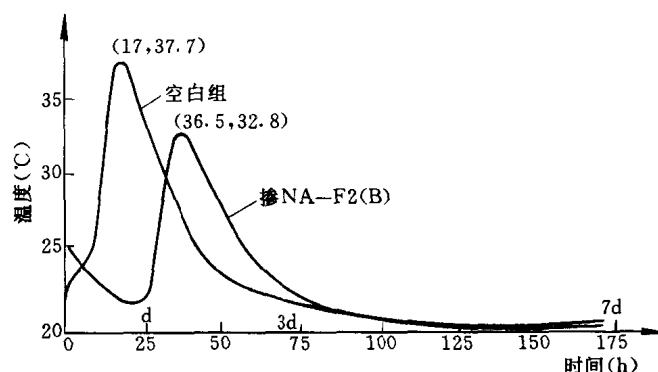


图 1-2 高强泵送剂对水泥水化热的影响

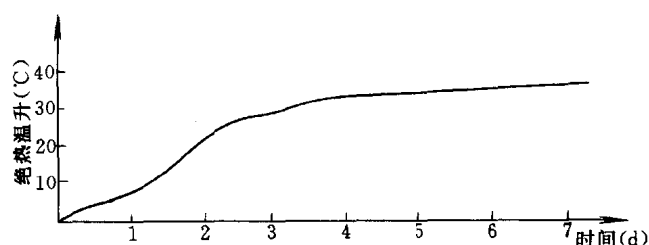


图 1-3 掺高强泵送剂混凝土的绝热温升

(三) 混凝土的可泵性

可泵性是泵送混凝土的综合指标, 除坍落度及其保持性能外, 混凝土的和易性、粘聚性, 即混凝土抗分离能力是关键, 通常用压力泌水总量或压力泌水率衡量 (即在 3.5MPa 压力下, 混凝土 10s 内泌水量与 140s 内泌水量之比)。一般

认为, 对于高强泵送混凝土坍落度大于或等于 16cm、压力泌水量 70~130mL 则可泵性良好; 坍落度小于或等于 10cm, 压力泌水总量小于 40mL 或大于 130mL 则不可泵; 若坍落度为 10~16cm, 压力泌水总量 40~70mL 认为可泵性中等。而高强泵送混凝土有其特殊性, 由于胶凝材料用量相对较高, 水灰比较低, 拌和物与管壁的摩擦阻力大, 泵送时压力损失较低标号泵送混凝土大得多, 因此更需要适宜的高强泵送剂来改善高强混凝土的流变特性, 使施工操作的泵送压力降低。

掺 NA—F2 (B) 的泵送高强混凝土可泵性良好, 配制坍落度 18~23cm 的混凝土压力

泌水率：C50 压力泌水率约 34%；C60 压力泌水率约 30%。根据在高层建筑、水工船闸应用过程中的统计，垂直可泵高度大于 190m，水平可泵距离可达 1000m，泵压在 15~18MPa 之间，即使因故停泵 1h 后仍可继续泵送施工。

四、泵送剂对硬化混凝土性能的影响

基准混凝土经过掺加泵送剂，使其坍落度增大，改善了混凝土的可施工性，而硬化后的物理力学性能与基准混凝土基本相同，较坍落度相同的大流动性混凝土（用水量大）要优越得多。

（一）抗压强度及弹性模量

大量的研究表明，无论是低强度泵送混凝土，还是高强度的泵送混凝土，其抗压、抗拉强度与基准混凝土同龄期值无明显差别，即使水泥品种不同、泵送剂的掺加方式（同时添加或后添加）不同，掺泵送剂的混凝土弹性模量与基准混凝土也基本相同。

与掺高效减水剂的情况相似，高强泵送混凝土的抗压强度仍遵循水灰比公式。混凝土设计强度越高其早期发展越快，C50~C70 混凝土（水灰比一般小于 0.35）3d 抗压强度可达 28d 强度的 60%以上，7d 可达 28d 的 80%以上；C80~C100 的混凝土（水灰比小于 0.30）1d 可达 28d 的 50%以上，3d 可达 28d 的 80%以上，28d 后发展趋于平缓，长龄期强度仍有所增长。

用 NA—F2（B）、#525 水泥配制 C50 混凝土时，水泥用量 500kg，水灰比 0.30，初始坍落度 $SL=21\text{cm}$ ，3d 抗压强度为 41MPa，7d 强度为 50.3MPa，28d 强度为 60.1MPa；配制 C60 混凝土时，#525 水泥用量 525kg，水灰比 0.27，初始坍落度 $SL=20\text{cm}$ ，3d 强度为 50MPa，7d 强度为 59MPa，28d 强度为 73.8MPa。说明掺 NA—F2（B）的泵送高强混凝土，7d 基本达到设计强度，28d 较相应基准混凝土抗压强度提高 20%以上，增强效果十分显著。如与硅粉、超细粉煤灰或矿渣配合并采用优质骨料，还可配制出 C80 以上的泵送高强混凝土。

（二）收缩与徐变

同样水灰比下，掺高强泵送剂的混凝土收缩及徐变与基准混凝土基本相同。用 NA—F2（B）配制 C50、C60 混凝土 90d 收缩率为 $3.0 \times 10^{-4} \sim 3.5 \times 10^{-4}$ ，对徐变无不利影响。

（三）耐久性

大量试验资料证实，掺泵送剂的流态混凝土其耐久性不亚于同样水灰比的基准混凝土。NA—F2（B）碱含量低（小于 0.5%），氯离子含量低（小于 0.1%），对混凝土抗渗性、抗冻性、抗碳化、抗硫酸盐类侵蚀以及碱骨料反应无不利影响，对钢筋无锈蚀作用。

五、高强泵送剂在工程中的应用

高强泵送混凝土以其独特的优势在民建、交通及其他领域正得到大力推广。如广东国贸大厦、深圳鸿昌广场、南京邮电大厦、南京金鹰大厦、北京新世纪饭店等，均成功地应用了 C50~C60 高强泵送混凝土技术；上海东方明珠塔以及江阴长江公路大桥采用了高强泵送混凝土技术，取得了十分显著的经济效益和社会效益。以下介绍 NA—F2（B）高强泵送剂在江阴长江公路大桥中的应用。

江阴长江公路大桥位于江苏省江阴黄田港下游，总投资约 40 亿元。主桥主跨 1385m，属悬索桥，一跨过江，为“中国第一、世界第四”大跨径桥。其中南塔为关键结构物，由承台、塔柱、横梁组成门式框架结构。从上至下共设有上、中、下三道横梁，主要承受由索鞍传下的垂直荷载。塔顶埋缆索中心标高为 196.3m，柱底标高 9m，塔柱顶标高 192.8m，实际塔高 185m。其中承台混凝土为 6000m³，设计强度等级为 C40；塔柱混凝土 16000m³，横梁混凝土 3500m³，设计强度为 C50 高强预应力混凝土。

为保证江阴大桥的顺利浇筑，南塔高强混凝土全部采用泵送技术施工，对施工过程中所用外加剂要求较高，除满足力学性能外，还应具有如下的特殊性能：

(1) 保证混凝土有良好的可泵性。南塔高度为 180m 以上，混凝土最大垂直泵送高度也要达 180m，这就要求泵送混凝土具有高流动性，小的坍落度损失，良好的和易性，以减少泵压。

(2) 缓凝功能。要求所用外加剂具有缓凝功能，能抑制混凝土早期水化，推迟混凝土最高温峰出现时间，使混凝土绝热温升减少。另外，不同部位所用外加剂要具有不同的凝结时间，以满足施工要求。

(3) 减水率大。考虑到南塔 C50 混凝土是高强预应力混凝土，所使用的外加剂的减水率必须要大，以保证混凝土力学强度满足设计要求。

(4) 不引起锈蚀。不会对钢筋引起锈蚀，同时对混凝土长期性能的影响应是稳定的，无害的。

基于上述要求，工程单位（交通部二航局二公司）采用了适宜配制 C50~C70 混凝土的 NA—F2 (B) 高效泵送剂。1996 年 11 月~1997 年 8 月，已成功浇筑了南塔 C50 混凝土近 2.0 万 m³，经检查，混凝土可泵性、力学指标均达到设计要求。

(一) 原材料

- (1) 水泥：苏州产普硅[#]525 水泥。
- (2) 粉煤灰：夏港Ⅱ级灰。
- (3) 石子：碎石二级配（5~30mm）。
- (4) 砂：天然中粗砂，细度模数为 2.7。
- (5) 水：洁净自来水。
- (6) 外加剂：NA—F2 (B) 高效泵送剂。

(二) 新拌混凝土的性能

新拌混凝土的坍落度、压力泌水率、凝结时间抽样结果见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 掺 NA—F2 (B) 混凝土前台、后台坍落度及压力泌水率

外加剂掺量 (%)	浇筑日期 (年·月)	部 位	混凝土强度等级	坍落度 (cm)		压力泌水率 S10/S140	泵送高度 (m)
				后台	前台		
2.1	1997.1	塔 柱	C50	19.2	17.1	32.1	10
2.2	1997.1	塔 柱	C50	22	20	32.3	22
2.3	1997.2	塔 柱	C50	20	18	33.1	26
2.3	1997.3	下横梁	C50	23	21.5	34.1	46
2.3	1997.4	塔 柱	C50	23	20	34.2	78
2.2	1997.7	塔 柱	C50	22	20	—	170