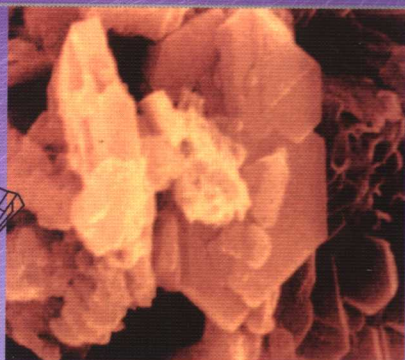
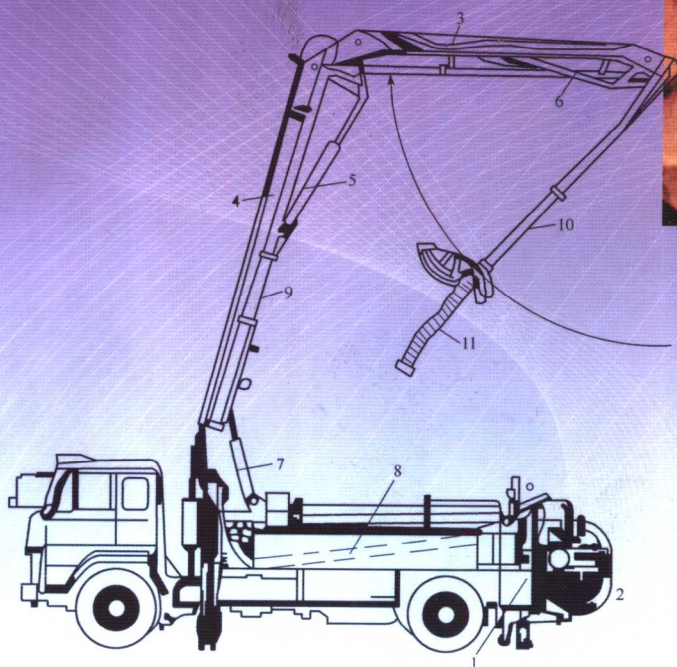


新型 泵送混凝土技术 及施工

马保国 编著



化学工业出版社

新型泵送混凝土技术及施工

马保国 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以泵送混凝土技术和施工为主线,全面系统地介绍了目前国内外迅速发展的泵送混凝土的基本组成、配合比设计、基本特性、施工、质量控制以及泵送设备。全书融合了作者本人的研究成果与工程实践,详细地介绍了作者近年来的一些研究成果——高性能水泥与化学外加剂适应性的研究以及低成本、高性能泵送混凝土的研究。

本书可作为材料科学与工程类专业、建筑学专业、土木工程专业、建筑工程管理等专业教材,也可作为建筑、建材等部门有关设计、科研、施工、管理、生产人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

新型泵送混凝土技术及施工/马保国编著. —北京:
化学工业出版社, 2006.5

ISBN 7-5025-8706-3

I. 新… II. 马… III. ①泵送-混凝土②混凝土
输送泵 IV. ①TU528②TU646

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 051818 号

新型泵送混凝土技术及施工

马保国 编著

责任编辑: 廖叶华

文字编辑: 钱 诚

责任校对: 周梦华

封面设计: 史利平

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 20¼ 字数 501 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8706-3

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

近 30 年来,随着高层建筑和大体积混凝土工程的日益增多及其规模的日益扩大,泵送混凝土技术及施工方法得到了巨大的发展。泵送混凝土是在混凝土泵的压力推动下沿输送管道进行运输并在管道出口处直接浇筑的混凝土。泵送施工不仅可以改善混凝土施工性能,提高混凝土质量,而且可以改善劳动条件,降低工程成本。随着混凝土科学技术的发展和商品混凝土的广泛应用,各种性能要求不同的混凝土均可泵送,如高性能混凝土、防水混凝土、防冻混凝土和膨胀混凝土等。因此,作为混凝土材料科学工作者有必要掌握新型泵送混凝土技术及施工方法。但目前国内关于“泵送混凝土技术及施工”的专门教材非常少见,因此,编写这本教材十分迫切而重要。

本书以泵送混凝土技术和施工为主线,全面系统地介绍了目前国内外迅速发展的泵送混凝土的基本组成、配合比设计、基本特性、施工、质量控制以及泵送设备。全书结合作者的研究成果与工程实践,特别详细地介绍了国家 973 重点基础研究发展规划“高性能水泥制备和应用”子课题“化学外加剂对高性能水泥水化及结构的作用机理”(2001CB610704-3)的研究成果——高性能水泥与化学外加剂适应性的研究,以及国家“十五”科技攻关项目“新型高性能混凝土及其耐久性的研究”课题“不同强度等级水泥配制高性能混凝土的研究”(2001BA307B0302-03)的研究成果——一种低成本、高性能泵送混凝土,这些最新的研究成果与商品混凝土的性能、商品混凝土公司的经济效益有着密切的关系。希望通过对本书的学习,能够掌握泵送混凝土的组成、配合比设计及其可泵性;具备一定的泵送设备使用、维护能力及泵送混凝土施工和质量检测技术。

本书根据高等学校材料科学与工程类专业本科的教学大纲及新编系列教材编写大纲进行编写,可作为大学本科材料科学与工程类专业以及建筑学专业、土木工程专业、建筑工程管理等专业用教材,也可作为建筑、建材等部门有关设计、科研、施工、管理、生产人员的参考用书。

本书由武汉理工大学马保国主编,同时参与本书的编写与整理工作的还有武汉理工大学博士生王信刚、朱洪波等。

由于编者时间仓促、水平所限,本书在编写过程中难免存在疏漏与欠妥之处,恳请广大读者不吝指正。

编者

2006 年 4 月于武汉

目 录

第一章 绪论	1
第一节 泵送混凝土及其性能特点	1
第二节 国外混凝土泵与泵送技术的发展	1
第三节 国内混凝土泵送技术概况	3
第四节 泵送混凝土技术及施工标准	4
参考文献	5
第二章 原材料	6
第一节 概述	6
一、泵送混凝土对原材料的要求	6
二、泵送混凝土中原材料的选择	6
第二节 水泥	8
一、硅酸盐水泥水化	8
二、工程常用硅酸盐水泥种类	15
三、散装水泥在泵送混凝土中的应用	18
第三节 集料	20
一、细集料	20
二、粗集料	24
三、防止碱-骨料反应	30
四、泵送混凝土集料的选择	30
第四节 矿物掺和料	30
一、活性掺和料	31
二、非活性掺和料	46
三、泵送混凝土中矿物掺和料的选择	46
第五节 混凝土外加剂	47
一、外加剂的分类及应用	48
二、泵送混凝土中外加剂的选择	56
第六节 水泥与化学外加剂适应性	57
一、适应性的概念	57
二、适应性的主要影响因素	58
三、改善适应性的主要措施	59
四、高性能水泥与化学外加剂的适应性	59
第七节 水	68
一、我国天然水质特征	68
二、泵送混凝土拌和用水	69
参考文献	69
第三章 泵送混凝土配合比设计及应用	71

第一节 概述	71
一、对泵送混凝土拌和物的要求	71
二、影响混凝土泵送的因素	72
三、管道和泵送压力的影响	74
四、泵送混凝土的组成材料及要求	75
第二节 配合比设计	76
一、水泥用量的限制	77
二、坍落度取值	78
三、合理的水灰比	79
四、泵送混凝土砂率问题	80
第三节 粉煤灰泵送混凝土配合比设计	81
一、普通粉煤灰泵送混凝土的特征	81
二、高强粉煤灰泵送混凝土	84
第四节 高强混凝土配合比设计	87
一、概述	87
二、实现混凝土高强化的技术途径	89
三、高强混凝土强度方程	90
四、配制强度	92
五、水胶比	93
六、单位用水量	93
第五节 配合比设计实例	94
一、C40 后张法泵送混凝土配合比设计	94
二、C50~C60 级负温高强泵送混凝土配合比设计	96
三、C50 泵送高强混凝土用于广东番禺大桥工程	100
四、C60 高强大体泵送混凝土用于青岛中银大厦工程	103
五、C20 泵送混凝土应用于大朝山水电站	104
六、泵送钢管混凝土配合比的设计	107
七、大体积抗渗泵送混凝土的配合比设计	110
八、C60 粉煤灰泵送高强混凝土	113
参考文献	116
第四章 可泵性	117
第一节 概述	117
一、国内外对混凝土工作性研究	117
二、泵送混凝土工作性的定义	119
三、泵送混凝土工作性的理论与实践经验	119
四、混凝土可泵性的定义	123
第二节 泵送混凝土流变学原理	125
一、泵送混凝土流变学原理	125
二、混凝土拌和物流变方程	130
三、流变学原理在泵送混凝土中的应用	134
第三节 混凝土可泵性的评价方法及可泵性区间	138

一、可泵性评价方法的多样性	138
二、坍落度试验	139
三、受压泌水试验	142
四、受压泌水试验的可泵性区间	143
五、其他评价方法	144
第四节 影响混凝土可泵性的因素	147
一、原材料对可泵性的影响	147
二、影响混凝土可泵性的两大因素	153
第五节 坍落度损失	161
一、混凝土坍落度损失机理	161
二、影响混凝土坍落度损失的因素	163
三、混凝土坍落度损失的控制	171
参考文献	173
第五章 泵送混凝土的高性能化和低成本化	175
第一节 引言	175
一、泵送混凝土存在的问题	175
二、解决问题的方法	176
第二节 原材料及实验方法	177
一、原材料	177
二、实验方法	177
第三节 LC-HPPC 设计理论与原则	181
一、LC-HPPC 设计理论基础	181
二、LC-HPPC 设计原则	185
第四节 外加剂兼容优化	186
一、高效减水剂兼容优化	186
二、不同早强剂优化	186
三、粉煤灰对强度发展的影响	187
第五节 LC-HPPC 的体积稳定性	187
一、水化热	188
二、收缩开裂	194
第六节 LC-HPPC 的耐久性	197
一、氯离子侵蚀	198
二、抗硫酸盐侵蚀	203
三、碱集料反应	204
四、抗冻融循环破坏	205
第七节 LC-HPPC 成本分析与调整	207
一、原材料	207
二、LC-HPPC 配制技术路线	207
三、LC-HPPC 配合比调整	208
四、经济成本分析	210
第八节 本章小结	211

一、LC-HPPC 设计原则	211
二、体积稳定性的增强	211
三、耐侵蚀能力的改善	212
四、大体积混凝土施工技术	212
五、经济效益显著	212
参考文献	212
第六章 泵送设备及管道	214
第一节 概述	214
第二节 泵送设备	214
一、活塞式混凝土泵	215
二、活塞式混凝土泵主要组成	218
三、其他形式的混凝土泵	224
第三节 混凝土输送管道及配件	226
一、输送管和配件	226
二、输送管道设计	227
三、配管与布管	230
四、输送管中泵送压力变化	231
第四节 混凝土布料装置及混凝土泵车	235
一、布料杆	235
二、混凝土泵车	242
第五节 混凝土泵的使用与维修	247
一、使用注意事项	247
二、常见故障及其维修	247
参考文献	254
第七章 泵送施工	255
第一节 概述	255
第二节 泵送混凝土的运输	256
一、泵送混凝土的运输	256
二、泵送混凝土运输时的注意事项	258
第三节 混凝土泵的选型与布置	259
一、混凝土泵的选型	260
二、混凝土泵的布置	262
第四节 混凝土输送管道的配置	263
一、输送管和配件	263
二、输送管的选择	264
三、输送管的水平换算长度计算	264
四、输送管道的布置	265
五、混凝土泵与输送管的连接方式	267
第五节 泵送	268
一、泵送前的准备工作	268
二、混凝土的泵送	269

第六节 浇筑及布料	271
一、混凝土的浇筑	271
二、混凝土的布料	273
参考文献	274
第八章 泵送混凝土质量控制	275
第一节 泵送混凝土外观质量控制	275
一、影响外观质量的因素	275
二、外观质量问题的预防措施	277
三、混凝土工程外观质量检测	281
第二节 混凝土强度控制	281
一、原材料质量控制	281
二、施工配制强度的控制	283
三、配合比设计与调整的控制	284
四、拌和物质量控制	285
五、生产工艺过程控制	286
第三节 新拌混凝土质量快速检测与评估	288
一、混凝土质量水平评估	288
二、混凝土强度的快速检测	288
三、混凝土水灰比的快速检测	290
四、混凝土配合比的快速检测	292
五、混凝土不同物料含量的快速检测	293
第四节 施工过程的质量控制	295
一、模板质量控制	296
二、混凝土施工质量控制	298
三、混凝土质量检查及评定	303
参考文献	304
附录	305
附录 I 国产部分混凝土泵和泵车	305
附录 II 国产部分混凝土搅拌运输车	308
附录 III 混凝土泵送剂 (JC473—2001)	309

第一章 绪 论

第一节 泵送混凝土及其性能特点

泵送混凝土是在混凝土泵的压力推动下沿输送管道进行运输并在管道出口处直接浇筑的混凝土。泵送混凝土是预拌混凝土，其广泛应用于工业民用建筑中。泵送混凝土既要满足混凝土设计规定的强度、耐久性、和易性的要求，也要满足管道输送对混凝土的要求。混凝土可泵性要求摩擦阻力小、不离析、不阻塞、黏聚性好，实际中常采用掺入外加剂和矿物掺和料的方法来改善混凝土的可泵性。

泵送混凝土一般是由水泥、水、砂、石、外加剂和矿物掺和料等六种组分所组成。外加剂主要有减水剂和泵送剂，对于大面积混凝土结构，为防止产生收缩裂缝还可掺入适宜的膨胀剂。常见矿物掺和料为粉煤灰，掺入适量粉煤灰可以节约水泥，改善可泵性，还可降低水泥水化热，改善混凝土的抗裂性能。

混凝土的泵送施工已经成为高层建筑和大体积混凝土施工过程中的重要方法，泵送施工不仅可以改善混凝土施工性能、提高混凝土质量，而且可以改善劳动条件、降低工程成本。随着商品混凝土应用的普及，各种性能要求不同的混凝土均可泵送，如高性能混凝土、防水混凝土、防冻混凝土、膨胀混凝土等。

第二节 国外混凝土泵与泵送技术的发展

从混凝土泵的发明至今已有 90 多年的历史。1907 年德国就开始研究混凝土泵，并取得专利权；1913 年在美国亦有人取得专利权，并制造出第一台混凝土泵，但经过试运转后即搁置，未得到应用；1927 年德国的弗利茨·海尔（Fritz. Hell）设计制造了第一次获得成功应用的混凝土泵；20 世纪 50 年代中期，德国的托克特（Torkret）公司首先发展了以水作为工作介质的混凝土泵，标志着混凝土泵的发展进入了一个新的发展阶段；1959 年德国的施维英（Schwing）公司生产出第一台全液压的混凝土泵，它采用液压驱动，功率大、振动小、排量大、运输距离远并可实现无级调节。此后，为了提高混凝土泵的机动性，20 世纪 60 年代中期研制了混凝土泵装载车，使混凝土泵由固定式发展为移置式，更加灵活机动。同时，为了使混凝土的浇筑和布料更加方便，又加装了可以回转伸缩的布料杆。

在活塞式混凝土泵不断完善的过程中，1963 年美国的查伦奇-考克兄弟（Challenge-Cook Bros.）公司又研制了一种新型的挤压式混凝土泵，这种泵的工作原理与活塞式混凝土泵迥然不同，它是利用转动的滚轮挤压软管中的混凝土拌和物进行输送的。在混凝土泵使用的初期，挤压式混凝土泵在美国应用较多；目前挤压式混凝土泵趋于减少，而活塞式泵逐渐增多。

德国是欧洲混凝土泵发展最快的国家，对混凝土泵的发展和改进做出过很大贡献，技术较先进，是混凝土泵和泵送技术的主要出口国之一。德国目前拥有一些规模较大的混凝土泵

制作企业,如施维英(Schwing)公司、施泰特(Stetter)公司等,皆拥有较大的生产能力,产品性能一般都较好。目前德国生产的最大功率的混凝土泵,最大排量为 $159\text{m}^3/\text{h}$,最大水平运距为 1600m ,最大垂直运距为 400m ,是目前世界上最大的混凝土泵。

美国是继德国之后混凝土泵发展较早的国家,目前亦向世界一些国家输出混凝土泵及其技术。美国亦拥有不少混凝土泵制造企业,如:查伦奇-考克兄弟(Challenge-Cook Bros.)公司、汤姆逊(Thomsen)公司、混凝土泵(Pumt)公司等。它们生产各种形式的混凝土泵,有活塞式泵亦有挤压式泵。美国生产的最大功率的混凝土泵,最大排量为 $110\text{m}^3/\text{h}$,最大水平运距为 610m ,最大垂直运距为 200m 以上。美国对于混凝土泵送技术的研究给予很大的重视,除一些公司和个人进行研究外,还专门设有美国混凝土协会(ACI)304委员会,对泵送技术进行研究,并在研究的基础上制订了一些指导混凝土泵送施工的文件。

日本的泵送混凝土技术采用较晚,但发展十分迅速,是目前混凝土泵普及率最高的国家之一。日本亦拥有一批大型混凝土泵制造企业,如:三菱重工、石川岛播磨、极东开发等,产量都较高,产品向世界各国出口。我国目前应用的混凝土泵,从日本进口者较多。目前,日本生产的最大功率的混凝土泵,其排量为 $100\text{m}^3/\text{h}$,最大水平运距为 600m ,最大垂直运距为 150m 。日本对混凝土泵送技术的研究亦给予很大的重视,于20世纪70年代初即制订了“泵送混凝土施工规程”,用以指导实际施工,近年来,对轻骨料混凝土的泵送又做了大量的试验研究和推广工作,已经做到能够顺利地进行泵送。

此外,英国、法国、俄罗斯、意大利、澳大利亚、加拿大以及南美一些国家,都应用了混凝土泵,并具有较高的混凝土泵送技术水平。

自混凝土泵诞生并实际应用以来,混凝土泵送设备和技术不断改进,管理和质量不断提高。近年来,国内外混凝土泵与泵送技术的发展呈现如下特征。

1. 发展液压活塞式混凝土泵是主流

混凝土泵的发展,大体上经历了从活塞式泵到挤压式泵再到活塞式泵、从机械式到液压式、从低压到高压、从固定式到拖式再到汽车式的演变过程。

在20世纪60年代挤压式混凝土泵在国外的一些国家曾一度得到发展,但从20世纪70年代开始活塞式混凝土泵就占据优势,得到迅猛发展,如日本目前生产的混凝土泵中,活塞式者占70%,挤压式占30%,美国等国亦有类似的趋势。可见,液压活塞式混凝土泵肯定是今后发展的主流。

在发展大排量、高压混凝土泵的同时,亦应发展一些小排量的、质量优良的混凝土泵,这对一些混凝土工程量不太大的住宅工程应用商品混凝土进行泵送施工十分有利。

2. 发展带布料杆的汽车式混凝土泵车

用混凝土泵施工,混凝土的布料是很重要的问题。近年来大量发展带布料杆的汽车式混凝土泵,它不但移动方便,机动灵活,到达施工地点不需大量准备工作即能进行浇筑,而且能将混凝土直接浇筑到模板中。美国在1969年用带布料杆的汽车式混凝土泵输送的混凝土,已占泵送混凝土量的50%,1970年上升为80%。在日本,带布料杆的汽车式混凝土泵从1973年起已占混凝土泵总数的半数以上,销售的混凝土泵亦多为带布料杆的。可见,带布料杆的汽车式混凝土泵车是今后发展的方向之一。

3. 提高混凝土泵的输出压力

混凝土泵过去多用于输送大坍落度的混凝土,目前坍落度多为 $100\sim 200\text{mm}$,这种情况

下泵送效率较高。坍落度大的混凝土如不用减水剂则用水量较大,强度上不去,如处理不当容易产生收缩裂缝。现在正趋向于减少混凝土的坍落度,或使用高效减水剂。

目前我国正在发展混凝土强度等级超过 C50 的高强混凝土, C60 的高强混凝土在大城市已可推广应用, C80 的高强混凝土也已开始试配试用。目前我国的高强混凝土由于高标号水泥缺少,如不掺硅粉等,则水泥用量较多,混凝土拌和物的黏度较大,给泵送带来一定的困难。因此,今后生产的混凝土泵一定要适用于高层建筑高强混凝土的泵送施工。

另外,在高层建筑中推广轻集料混凝土亦是发展方向,工业发达的国家在这方面发展较快。我国目前只在少量的工程中试用,但从长远看,在条件成熟时会有新的发展。轻集料混凝土的泵送比普通集料混凝土难度较大。如集料未充分预湿,则在泵送过程会吸水使混凝土坍落度变小。因此,研究能稳定输送小坍落度商品混凝土的高效混凝土泵,也是今后一个重要的课题。

泵送小坍落度的混凝土,就要求发展小管径的、输出压力高的混凝土泵。还要求混凝土泵的阀门密封性能好和有耐高压的输送管。混凝土泵的输出压力有逐渐增高的趋势。

4. 提高混凝土泵的工作可靠性和效率

混凝土泵经过一个迅猛发展阶段之后,目前的发展方向是进一步提高其工作可靠性和效率,这就要求用耐磨的高强度钢材,进一步研究如何改进阀门系统、降低噪声和振动、使操作简单及保证机械在长时间内运转时不产生故障等。在这方面也还有大量的工作有待进行。

5. 发展泵送混凝土质量控制用的智能测控仪器

泵送混凝土施工系统由于工作条件恶劣,在高温、低温、露天、地下、水下的工作时间长,质量要求高,加工条件复杂,有的甚至无法用人的感觉器官控制,甚至要求在全天候的条件下工作,所以它是一种集现代化高科技如现代控制技术、传感器技术、微机及其接口技术、液压伺服与比例技术、可靠性技术等于一体的应用科学,所以工业发达国家的建筑工程机械正在不断地研制出集机械、液压、微电子及信息技术于一体的智能系统。

特别是要保证混凝土的泵送能顺利进行,需随时掌握混凝土的质量和一些泵送参数,为此要提高混凝土泵送的可靠性,今后需研究在混凝土泵上装备质量控制用的智能测控仪器。

6. 合理改进混凝土泵的分配阀

实际上,不同厂家生产的混凝土泵在主机上没有很大的区别,所不同的只是分配阀,各有各的专利。分配阀正向结构简单、流道合理、不易堵塞的方向发展。另外,还要注重材质和通用性的研究,使其更加耐磨并形成标准化、系统化。

第三节 国内混凝土泵送技术概况

我国混凝土泵送技术已有 50 多年的历史。20 世纪 50 年代曾从国外引进过泵送混凝土技术,但由于当时缺少混凝土泵,设备不配套以及技术、管理上的种种原因而使其在工程施工中没有得到大规模的推广使用;20 世纪 60 年代上海重型机器厂生产了仿原苏联 C-284 型排量为 $40\text{m}^3/\text{h}$ 的固定式混凝土泵;20 世纪 70 年代自行研制活塞式泵,同时较大批量进口日本和前联邦德国的混凝土泵,原第一机械部研究所与沈阳振捣器厂合作进行混凝土泵的研制工作,于 1975 年试制成功排量为 $8\text{m}^3/\text{h}$ 的 HB-8 型固定式活塞泵。真正应用泵送混凝土是从 1979 年在上海宝山钢铁工程上开始的。从 1980 年开始,在对泵送混凝土施工技术试验研究的基础上,我国从德国、日本、美国等国家引进大批混凝土

泵、搅拌设备、搅拌运输车以及大型搅拌站，才大量地采用泵送混凝土施工方法。到 20 世纪 80 年代，泵送混凝土才得到大量推广应用，范围遍及水电、隧道、桥梁、大型基础和高层建筑等工程。

目前，国内混凝土泵车生产企业有十余家，总生产能力 600 辆，主要集中在中联重科、三一重工、辽宁海诺、安徽星马、上海普斯特 5 个企业，产量占全行业的 95%。泵车的型号也有多种，泵送高度从 20 多米到 50 多米，国内目前生产的混凝土泵车多集中在 37m 以下。在泵车的三大部分——底盘、泵和臂架中，国产车几乎大部分采用进口产品。底盘部分几乎都是进口的，而且集中在沃尔沃、五十铃和日野等几种专用底盘上。臂架部分过去也是基本上采用意大利的进口产品，近几年几大公司都在逐步国产化，目前三一重工的泵车臂架已基本上全部国产化。国产臂架因为起步较晚，质量上与国外产品相比略有差距。

泵送混凝土技术在我国虽然起步较晚，但发展相当迅速。以上海为例，自 1979 年从日本引进 DC-S-115B 混凝土泵车和 6m^3 混凝土搅拌运输车以来，已陆续建立了混凝土搅拌站，泵送混凝土的普及率逐年上升。上海市建设委员会、上海市建筑科学研究院设计所、中国建筑科学研究院混凝土所等单位组成的调查组于 1986 年的调查表明：泵送混凝土占商品混凝土的百分比 1983 年为 63.5%，1984 年为 80%，1985 年为 83.6%，近年已达到 90% 以上。除普及率逐年上升外，我国的泵送混凝土技术还达到了一个新的水平。如上海世贸商城基础工程，混凝土一次连续供应量可达 $2.4 \times 10^4 \text{m}^3$ ，浇灌施工时集中了 120 辆搅拌运输车，20 台混凝土泵，在 24h 之内完成。又如上海金茂大厦，采用 C40、C50、C60 高强混凝土，在国内创造了一级泵送可达 382.5m 高度的最高记录。

当前，随着泵送水平的提高和泵送技术的日益完善，泵送混凝土的应用正日趋扩大。上海等一些发展泵送混凝土比较早的城市，泵送混凝土在混凝土工程量中占的比例和混凝土泵送技术已接近世界先进水平，但全国整体水平与世界先进国家相比仍有较大差距。

第四节 泵送混凝土技术及施工标准

我国的技术标准分为国家标准、部级标准、地方标准和企业标准等四级。国家标准是由国家技术监督局发布的全国性技术指导性文件，代号为 GB；部级标准也是全国性的技术文件，但它由主管生产部或局发布，其代号按部门名称而定，如建材标准代号为 JC，建工标准代号为 JG 等；地方标准是地方主管部门发布的地方性指导文件，标准代号为 DB；企业标准则是由生产企业制定的，仅适用于本企业内部，代号为 QB。

此外，在实际工程应用中，还常常涉及到一些国际或外国标准，其中主要有：国际标准，代号 ISO；美国材料试验学会标准，代号 ASTM；德国标准，代号 DIN；英国标准，代号 BS；法国标准，代号 NF；日本工业标准，代号 JIS 等。

目前，我国有关泵送混凝土生产和施工的技术标准主要有《预拌混凝土》（GB/T 14902—94）、《混凝土泵送剂》（JC 473—2001）、《混凝土泵送施工技术规范》（JGJ/T 10—95）、《高强泵送混凝土生产和施工规程》（DG/TJ 08-503—2000）等。熟悉与泵送混凝土生产和施工相关的技术标准，并了解制定标准的科学依据，对于工程技术人员是十分必要的。

参 考 文 献

- 1 赵志缙, 赵帆. 混凝土泵送施工技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- 2 宋功业, 邵界立. 混凝土工程施工技术与质量控制. 北京: 中国建材工业出版社, 2003
- 3 李继业. 新型混凝土技术与施工工艺. 北京: 中国建材工业出版社, 2002
- 4 中国建筑材料科学研究院. 混凝土泵送施工技术规范 JGJ/T10—95. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995

第二章 原 材 料

第一节 概 述

一、泵送混凝土对原材料的要求

泵送混凝土是在混凝土泵车上通过混凝土泵和布料杆（输送管道）将混凝土直接送到浇筑地点，同时完成水平和垂直输送的混凝土。目前随着商品混凝土的普及，各种性能要求不同的混凝土均可泵送，如高性能混凝土、防水混凝土、防冻混凝土、膨胀混凝土等。除了特殊性能要求外还具有以下特点。

① 好的和易性、较大的坍落度，为了便于泵送，混凝土坍落度应在 18~22cm，水平泵送时也应大于 12cm。

② 混凝土拌和物均质性好，集料与水泥浆必须不能离析及泌水。

③ 后期强度及其他物理力学性能必须保证。

所以对原材料就有了一些特殊的要求，具体要求如下所述。

① 泵送混凝土应选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥，不宜采用火山灰质硅酸盐水泥。

② 粗集料宜采用连续级配，其针片状颗粒含量不宜大于 10%。粗集料的最大粒径与输送管径之比应符合表 2-1 的规定。

表 2-1 粗集料的最大粒径与输送管径之比

石子品种	泵送高度/m	粗集料最大粒径与输送管径之比
碎石	<50	$\leq 1:3.0$
	50~100	$\leq 1:4.0$
	>100	$\leq 1:5.0$
卵石	<50	$\leq 1:2.5$
	50~100	$\leq 1:3.0$
	>100	$\leq 1:4.0$

③ 泵送混凝土宜采用中砂，其通过 0.315mm 筛孔的颗粒含量不应少于 15%。

④ 泵送混凝土应掺用泵送剂或减水剂，并宜掺用粉煤灰或其他活性矿物掺加料，其质量应符合国家现行有关标准的规定。

二、泵送混凝土中原材料的选择

1. 水泥

水泥是混凝土中最主要的胶结材，它的选用合理与否直接影响泵送混凝土的性能。

泵送混凝土所用水泥一般应具有保水性好、泌水性小的特点，以保证泵送混凝土的良好可泵性。

2. 集料

集料是混凝土的主要组成部分，在混凝土组织结构中起骨架作用，正确选择粗、细集料是配制泵送混凝土的基础。

泵送混凝土中的细集料以采用中砂为宜。高标号混凝土严禁采用细砂和特细砂。在砂子的品质指标中主要应控制颗粒级配。由于粒径在 0.315mm 以下的细集料可以阻止水在压力作用下从拌和物中泌出，使混凝土具有较好的可泵性，所以它所占的比例非常重要，GBJ204-83 规定其比例不应小于 15%，最好能达到 20%。另外，还规定通过 0.160mm 筛孔的含量不应小于 5%。

3. 矿物掺和料

活性矿物掺和料是配制泵送混凝土尤其是高性能混凝土不可缺少的组分。加入活性矿物掺和料不仅可节约水泥，更重要的还在于在高强混凝土中只有掺入活性矿物掺和料才可取得许多重要的技术效果：改善新拌混凝土的工作性；降低混凝土初期的水化热，减少温度裂缝；活性矿物材料与水泥水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 起火山灰反应，生成 C-S-H，使硬化水泥浆内的空隙细化，提高了水泥浆和水泥浆-集料界面的强度，反应消耗了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，有利于混凝土在酸性条件下的耐久性。当泵送混凝土中水泥用量较少或细集料中通过 0.315mm 筛孔的颗粒小于 15% 时，掺加活性矿物掺和料还可弥补细粉料的不足，减少混凝土拌和物的离析泌水现象，改善混凝土的泵送性能。

泵送混凝土中常添加的矿物掺和料有粉煤灰、粒化高炉矿渣（简称矿渣）和硅粉。

(1) 粉煤灰 粉煤灰作为一种掺和料应用于混凝土已有五六十年的历史了。美国加州理工学院的 R. E. Davis 于 1933 年开始发表关于粉煤灰用于混凝土中的研究报告。但在工程结构中的应用只是在 20 世纪 70 年代以后才有了较大的发展。随着混凝土科学技术的发展，粉煤灰混凝土技术也越来越成熟。

(2) 矿渣 矿渣是冶炼生铁时的副产品。对于矿渣有多种分类方法，如 R. M 谢尔金等根据生铁的种类将矿渣分为铸造生铁矿渣、炼钢生铁矿渣、特种生铁矿渣等；根据矿渣的稳定程度将其分为碱性、酸性及中性矿渣。其中根据化学组成来分是最常用的。

(3) 硅粉 硅铁合金厂和硅金属厂在冶炼金属时，极细的粉末随气体从烟道排出，通过收尘装置收集的粉末，称之为硅粉。硅粉的种类很多， SiO_2 含量波动大，使用时应注意硅粉种类的选择。

4. 外加剂

合理选用外加剂是配制泵送混凝土成功与否的技术关键之一。常用混凝土外加剂如下所述。

(1) 减水剂

① 普通减水剂 普通减水剂最常用的是木质素磺酸盐系减水剂。

② 高效减水剂 常用的高效减水剂可分为 4 大类。萘系、三聚氰胺系、氨基磺酸系和聚羧酸系。

③ 复合型减水剂 多功能复合型减水剂是当前混凝土工程中使用极为广泛的减水剂。由多种单组分复合设计配制的多组分、多功能复合型减水剂，可以满足混凝土工程对搅拌输送、泵送、浇筑、捣实、混凝土强度等级、耐久性、水化速率等的不同要求。

(2) 引气剂、引气减水剂 引气剂是在混凝土搅拌过程中，能引入大量分布均匀的、稳定且封闭的微小气泡，以减少混凝土拌和物泌水离析、改善和易性，并能显著提高硬化混凝土

上抗冻融耐久性的外加剂。引气剂的主要类型有松香树脂类、烷基苯磺酸盐类及脂肪醇磺酸盐类等。

(3) 缓凝剂 缓凝剂是指能延缓混凝土凝结时间，并对混凝土后期强度发展无不利影响的外加剂。缓凝剂有：羧基羧酸及其盐类，如酒石酸、柠檬酸、葡萄糖酸及其盐类以及水杨酸；含糖碳水化合物类，如糖蜜、葡萄糖、蔗糖等；无机盐类如硼酸盐、磷酸盐、锌盐等；木质素磺酸盐类，如木钙、木钠等。

5. 拌和水

用于配制泵送混凝土、高强混凝土的拌和水的质量要求与普通混凝土相同，即不得影响混凝土的和易性及凝结；不得有损于混凝土强度发展；不得降低混凝土的耐久性；不得污染混凝土表面。

第二节 水 泥

一、硅酸盐水泥水化

我国的硅酸盐水泥与世界各国的波特兰水泥是同一属性的水硬性胶凝材料。硅酸盐水泥命名是按学科命名，波特兰水泥是按商品命名，而且有着悠久的历史称谓。

我国水泥品种有 60 多种，经常生产的近 30 种，但最重要的品种是各种硅酸盐水泥，它的产量占总产量的 98% 以上。

硅酸盐水泥的一般化学组成范围见表 2-2。

表 2-2 硅酸盐水泥的化学组成

氧化物	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃
质量分数/%	60~67	17~25	3~8	0.5~6.0	0.1~5.5	0.5~1.3	0.1~0.4	0.1~0.2	1~3

1. 硅酸盐水泥的水化—凝结—硬化

水泥的凝结硬化过程是很复杂的物理化学变化过程。硅酸盐水泥的水化过程与 C₃S 的水化过程是一致的，基本规律相似。硅酸盐水泥的水化—凝结—硬化，基本原理是水泥系统中熟料、石膏、水三元相分别溶解和交互化学反应，结果导致水泥浆逐渐稠化和硬化，直至最后岩石化。

(1) 按水化历程来理解，水泥水化硬化的解释 水泥加水拌和后，最初形成具有可塑性的浆体，然后逐渐失去可塑性，这一过程称为凝结。此后，强度逐渐提高，并变成坚硬的石状物体——水泥石，这一过程称为硬化。水泥的凝结和硬化过程是人为划分的，实际上是一个连续的复杂的物理化学变化过程，这些变化决定了水泥的一系列技术性能。

上述反应中，硅酸三钙水化反应很快，水化放热量大，生成的水化硅酸钙几乎不溶于水，而以胶体微粒析出，并逐渐凝聚成为凝胶。硅酸二钙水化反应的产物与硅酸三钙基本相同，但它水化反应极慢，水化放热量小。铝酸三钙水化反应极快，水化放热量甚大，且放热速度也很快，生成的水化铝酸钙为立方晶体。铁铝酸四钙水化反应快，水化放热量中等，生成的水化产物为水化铝酸三钙和水化铁酸一钙。水化铝酸三钙和水化铁酸一钙是不稳定的产物，它们在氢氧化钙饱和溶液中能与氢氧化钙进一步反应，生成六方晶体的水化铝酸四钙和水化铁酸四钙。