

高性能路面混凝土

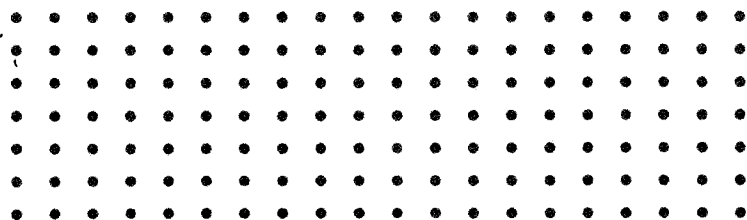
研究与应用

蔡忠河 冯启军 李经业 等 编著
马华月 孙西运 主审



中国石油大学出版社

高性能路面混凝土 研 究 与 应 用



蔡忠河 冯启军 李经业 袁万山 编著
卢宪法 张继超 董 倩
马华月 孙西运 主审

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高性能路面混凝土研究与应用/蔡忠河等编著. —东营:
中国石油大学出版社, 2009. 6

ISBN 978-7-5636-2862-9

I. 高… II. 蔡… III. 水泥混凝土路面—研究 IV.
U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 103450 号

书 名: 高性能路面混凝土研究与应用
作 者: 蔡忠河 冯启军 李经业 袁万山
卢宪法 张继超 董 倩

责任编辑: 袁超红

封面设计: 赵志勇

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532)

开 本: 140×202 印张: 3.25 字数: 70 千字

版 次: 2009 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 15.00 元

前言



PREFACE

近十几年来,在国家的大力支持下和公路交通战线广大职工及科技工作者的辛勤努力下,我国公路交通事业取得了举世瞩目的成绩,目前仅高速公路通车里程就已经突破2万千米,位居世界第二位。农村公路的建设也同样取得了辉煌的成就。这一时期已成为我国公路交通建设的黄金时期。

当前,我国的公路路面结构形式主要分为柔性路面和刚性路面。每种路面结构形式都孕育或成功应用了一些新的结构类型和新材料、新工艺,并已被收入相应的技术规范。例如,柔性路面采用的大粒径沥青混合料(LSAM)结构、沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)结构、多碎石沥青混合料(SAC)结构、RCC复合路面、SUPERPAVE永久路面、再生沥青混凝土及沥青路面施工技术。高性能混凝土的应用也逐渐受到重视,特别是经过广大科技工作者的不懈努力和深入研究,提出并改进了材料、设计和施工工艺,从而极大地提高了高强高性能混凝土的应用比例和应用范围。

随着我国交通事业的迅速发展以及交通量、重载和超载车辆的迅速增长,迫使我们不断寻求新的路面结构类型和新的材料、新的施工工艺,以提高路面使用性能,最大限度地延长路面

服役寿命。为便于高强高性能混凝土的推广应用,解决施工应用中可能遇到的问题,我们编写了本书,以与广大公路交通科技工作者共同探讨,并希望本书能为读者带来帮助。

由于作者水平有限,错漏之处在所难免。书中存在的问题恳请读者批评指正,对此我们将非常感谢。

作 者

2009 年 4 月

目 录

CONTENTS

第一章 高性能路面混凝土的研究与应用现状	1
第一节 概述	2
第二节 应用背景	5
第三节 当前国内外研究应用现状	10
第四节 研究应用的目的和意义	12
第五节 研究应用的方法及依据	13
第六节 效益分析	15
第二章 高强高性能路面混凝土研究内容	17
第一节 高强高性能混凝土掺配机理	17
第二节 各种外掺料对混凝土性能的影响	21
第三节 粗、细集料对配制高性能混凝土的影响	39
第四节 集料振实密度(拌合性或自密实性)对高性能 混凝土的影响	43
第五节 复合掺配多种外掺料对高性能混凝土的影响	45
第六节 试验方法等对高性能混凝土的影响	48
第三章 高强高性能混凝土研制与应用的影响因素	50
第四章 高强高性能混凝土的应用	57

第一节	主要原材料标准	57
第二节	施工前期要求	62
第三节	试验路铺筑	67
第四节	高强高性能混凝土对比检测	72
第五节	试验路经济核算	89
第五章	高强高性能路面混凝土研究及应用的评价	92
参考文献		95

第一章 高性能路面混凝土的研究与应用现状

我国为多丘陵国家,石灰石资源丰富,水泥产量位居世界首位,这为大量铺筑水泥混凝土路面提供了先决条件和广阔的发展空间。同时,丘陵地区的路基往往较为稳定,经简单处理后低等级路面可直接铺筑水泥路面。对于南方多水网路基,也可充分发挥水泥混凝土路面具有的抗折强度高、耐久性长、施工和养护方便、抗水损坏能力较柔性路面强的优点。当然,水泥混凝土刚性路面也存在对超载敏感、损坏难以修复和行车舒适性差的缺点。

水泥混凝土路面的这些优点和缺点为进一步开发应用高强高性能水泥混凝土路面提供了更广阔的发展前景,也提出了更具体的要求。因此,高强高性能混凝土路面较普通混凝土路面应具备更好的工作性、高体积稳定性、变形小、长期力学性能好、强度高、严酷环境下使用寿命长等特点。

第一节 概 述

水泥混凝土是公路和建筑行业用量最大、用途最广泛的一种建筑材料,因其材料易得、施工操作简便且较为经济而受到公路和建筑业的重视。随着科学技术和经济水平的发展,对目前使用的混凝土的性能提出了越来越高的要求:大跨径预应力桥梁要求所用混凝土必须具有高强高性能特性;高层建筑、大跨径厂房要求构件截面积小、承载强度大;滨海地区要求所用混凝土必须致密、抗渗,以达到防腐目的;要求开展长寿命低维护路面的研究等。为此,研制和发展高强高性能混凝土就成为时代发展的必然要求和选择,这也是目前高强高性能混凝土成为国内外研究热点的原因之一。

对高强高性能混凝土一般可以这样理解:

高强混凝土是指采用常规的水泥、砂石为原料,采用一般的制作工艺,主要依靠添加高效减水剂或同时添加一定数量的活性矿物材料,使新拌混凝土具有良好的工作性能,并以其具有的较高的强度来满足混凝土作为抗压构件的要求。

高性能混凝土(high performance concrete,简称 HPC)是指在现有普通混凝土的基础上采用现代混凝土技术,优先选用优质原材料并掺加足够数量的活性材料和高性能外加剂,大幅提高混凝土的各项性能后的混凝土。

当前,对高性能混凝土还没有一个确切的定义。有人认

为高性能混凝土不必高强,但有人强调高性能混凝土应该高强。

作为路用混凝土,我们提出对“高强高性能混凝土”进行特别研究。概括起来讲,高强高性能混凝土应该具备高强高性能混凝土的综合特性,即:

(1) 高强(28 天抗压应达 C50 以上,高弹性模量);

(2) 高性能;

(3) 高耐久性(高性能混凝土应用于刚性路面的使用年限可达 100 年以上,甚至终生免修)。

高强高性能混凝土由于具有上述特点,从而使其拥有了普通混凝土无法比拟的特性。

首先,它具有较高的强度。公路工程桩基一般使用的是 C15 或 C20 混凝土,水泥混凝土刚性路面一般使用的是 C30 混凝土,现在也有部分使用 C40 混凝土的,设计抗折强度一般不超过 4.5 MPa,最高不超过 5.0 MPa。高强高性能混凝土的抗压强度一般可达 C50 以上,现在已经有接近 C100 的混凝土。我们立足山东省内的资源研制的高性能混凝土可达 C80~C90 或以上,其抗折强度可达 8.0 MPa 以上。可以说高强高性能混凝土仅在强度方面就是普通混凝土强度的近 2 倍。高强高性能混凝土的这一特性应用于混凝土的建筑构件中可以大大减小截面尺寸。有资料表明,如果屋架由 C40 提高到 C60,则体积可减小 20%,造价可降低 15%;如果梁柱由 C30 提高到 C50,则用钢量可减少 40%,造价可降低 17%。可见,高强高性能混凝土由于大大减小了截面尺

寸,从而降低了结构物的自重。这样就可以增大建筑物和桥梁的跨度,减少承力构件数量,使建筑结构的使用面积和桥下净空得以增大。

高强高性能混凝土在具有高的抗压强度的同时,还具有较高的刚度。目前的研究成果显示,高强高性能混凝土的弹性模量一级可达 4.305×10^4 MPa、二级可达 4.605×10^4 MPa、三级可达 4.845×10^4 MPa。目前国内还没有见到更高的报道,不过我们的研究成果显示一级可以达到 4.305×10^4 MPa 以上的弹性模量。这与我们的研究方向主要针对公路工程水泥混凝土刚性路面有关。公路工程水泥混凝土刚性路面主要利用的是高强高性能混凝土的高抗折强度、高耐久性,以提高路面的承载力、延长路面的使用寿命。因此,过高的弹性模量对路面的使用性能来讲并不一定太好。理想情况是既能提高路面混凝土的抗折强度,又不使路面混凝土的弹性模量太高,以提高路面混凝土的使用性能,增大行车舒适度。对混凝土结构而言,过高的弹性模量会使混凝土在没有预先征兆的情况下出现崩塌,不利于病害的及早发现。另外,高强高性能混凝土具备致密、抗渗、抗冻性高等特性。与普通混凝土相比,高强高性能混凝土一般每立方米混凝土重 6% 左右。有资料显示,由于高强高性能混凝土水灰比小、致密,提高了抗渗性,从而极大地提高了混凝土的抗冻性。

其次,高强高性能混凝土还具有高耐久性。高强高性能混凝土最重要的特征是具有优异的耐久性,是普通混凝土的

3~10 倍。基于上述特性的高强高性能混凝土一般应用于有腐蚀的环境、易于遭受撞击或磨损的环境。也就是说,利用高强高性能混凝土的高耐久性等特点,可以将其应用到最恶劣的环境中。高强高性能混凝土的这一特点还可应用到钢筋混凝土的防腐性研究中。

基于高强高性能混凝土所具有的上述特点,它又被称为“21 世纪的混凝土”。

第二节 应用背景

目前我国使用的混凝土强度普遍偏低,应用效益不高。鉴于高强高性能混凝土具备致密、抗渗、抗冻性高、耐久性强等特性,可广泛应用于耐磨、抗蚀环境及易损结构,充分发挥高强高性能混凝土的特性。高强高性能混凝土受到了广泛认同,特别是在民用建筑中的应用尤为受到重视,但在公路路面工程方面的应用国内尚比较少见,国外在这一方面的研究应用也较少。

表 1-2-1 所列为国外应用高强高性能混凝土的工程实例,表 1-2-2 所列为国内应用高强高性能混凝土的工程实例。从表中国内外的部分应用实例以及混凝土组成情况,可以看出当前高强高性能混凝土的应用特点,即多用于桥梁、房屋结构,而极少用于公路路面结构。

表 1-2-1 国外应用高强高性能混凝土的工程实例

项目类型	项目地点 与名称	施工年份	应用原因	混凝土性能	混凝土 主要组成
186 m 高、 地上 47 层、 地下 4 层	法兰克福 德国银行 办公楼	1991—1993	柱截面小， 增大使用面 积，减少钢 筋用量	C85 实际 56 天 112 MPa，抗弯 4.1 MPa，弹性 模量 36 GPa	水泥： 450 kg/m ³ 硅粉： 35 kg/m ³ 天然砂： 660 kg/m ³ 碎石： 1 170 kg/m ³ 水： 155 kg/m ³
高层建筑	美国西雅 图太平洋 第一中心 大厦	1989	具有高弹性 模量	120~130 MPa	水泥： 535 kg/m ³ 粉煤灰： 60 kg/m ³ 硅粉： 40 kg/m ³ 细骨料： 620 kg/m ³ 粗骨料： 1 170 kg/m ³
400 m 跨度 的斜拉桥	法国 Elorn	1991—1994	高强和高耐 久性	C80 实际 28 天 95.7 MPa，弹 性模量 47 GPa	水泥： 450 kg/m ³ ， 0~4 mm 骨料： 744 kg/m ³ ， 4~10 mm 骨料： 423 kg/m ³ ， 10~16 mm， 634 kg/m ³ 其他外掺料

第一章 高性能路面混凝土的研究与应用现状

续表

项目类型	项目地点 与名称	施工年份	应用原因	混凝土性能	混凝土 主要组成
高速公路 路面	挪威 E-18 和 E-6 欧洲 高速公路	1989	高耐磨性	28 天抗压强度 85~90 MPa	水泥: 390 kg/m ³ 外掺剂: 20 kg/m ³
沉入式海 底隧道的 预制预应 力混凝土 箱涵	挪 威	1982	减少结构尺 寸, 提高结 构抗波浪冲 击的能力, 提高抗氯离 子渗透能力	28 天抗压强度 85 MPa, 90 天 抗压强度 95 MPa	水泥: 400 kg/m ³ 外掺剂: 32 kg/m ³ 水 胶 比 小 于 0.38 最大骨料粒径 18 mm

表 1-2-2 国内应用高强高性能混凝土的工程实例

项目类型	项目地点 与名称	施工年份	应用原因	混凝土性能	混凝土 主要组成
高层建筑 (147 m)	广州中天 广场办公楼	1996	减少截面面 积, 增大使 用面积	28 天抗压强度 达 C60	525 水泥: 545 kg/m ³ 粉煤灰: 15% 复合外掺剂、粗 骨料: 10~20 mm 花 岗 岩、水 灰 比: 0.32~0.33

续表

项目类型	项目地点 与名称	施工年份	应用原因	混凝土性能	混凝土 主要组成
塔及大体 积混凝土 (192 m)	江阴长江 黄河大桥		高 强	28 天抗压强度 达 C50~C60	525 水泥: 500 ~ 525 kg/m ³ 粉煤灰: 15% 外掺剂: 1.8%~2.5%
东方明珠	上 海	1992	减少截面尺 寸,高强,减 少钢材用量	平均强度 73.5 MPa	水泥: 砂: 骨 料: 粉煤灰=1 : 1.16 : 2.19 : 0.083, 外加 泵送剂
鸿昌广场 主楼 59 层	深 圳	1992	减少截面尺 寸,高强,减 少钢材用量	平 均 强 度 70 MPa	水泥: 540 kg/m ³ 砂率: 34%~35% SF 高 效 泵 送 剂: 0.8%~1.2%
北京静安 中心大厦	北 京	1995	高强,抗冻	C80	
85 国际广 场大楼 (TC Tower)	台 湾	1993	提高结构刚 度,减少钢 材使用	56 天 强 度 56 MPa	减水剂、强塑剂 和外掺料
主梁使用 混凝土 17 364 m ³	武汉长江 二桥	1995	高强,减少 材料用量	28 天强度 58~ 61 MPa	水泥: 砂: 骨 料: 粉煤灰=1 : 1.214 : 2.306 : 0.36

第一章 高性能路面混凝土的研究与应用现状

续表

项目类型	项目地点 与名称	施工年份	应用原因	混凝土性能	混凝土 主要组成
辽宁省农业 银行综合 楼		1989	柱 子	28 天强度 64.9 MPa	水泥： 500 kg/m ³ 外掺剂： UNF-2, 1.0% 水灰比： 0.30 砂率： 30%
北京新世 纪饭店	北 京	1988	柱 子	28 天强度 74.5 MPa	52.5 级水泥： 467 kg/m ³ 硅粉： 33 kg/m ³ 复合外掺剂： FDN, 1.0% 木钙： 0.25 水灰比： 0.39 砂率： 35%
广州中堂 公路大桥	广 州	1982	连续梁	28 天强度 66.9 MPa	水泥： 500 kg/m ³ 外掺剂： FDN 水灰比： 0.34 砂率： 37%

第三节 当前国内外研究应用现状

高强高性能混凝土是一种新型高技术混凝土。它以耐久性作为设计的主要指标,属高寿命混凝土,其应用于路面可达100年以上或终生免修。高强高性能混凝土以低水胶比、优质原材料且掺加高性能减水剂和矿物外掺料配制而成。其中的矿物外掺料目前主要有硅灰(或炭黑)、磨细矿渣、沸石粉、粉煤灰等。

粉煤灰混凝土又称绿色混凝土,其具有三项比较公认的基本效应,即形态效应、活性效应和微集料效应。与基准混凝土相比,粉煤灰混凝土从拌制、施工到硬化整个过程都发生了很大变化。它的优异性能使粉煤灰混凝土成为优质高性能混凝土:

- (1) 大大提高了新拌混凝土的工作性,即流动性、粘聚性、保水性;
- (2) 显著降低了混凝土硬化阶段的水化热;
- (3) 提高了混凝土强度,特别是后期强度;
- (4) 提高了混凝土的抗渗性、抗侵蚀性、耐磨性等耐久性。

例如,美国佛罗里达的一座跨海大桥,考虑到周围的侵蚀环境,在该桥的建设过程中在混凝土中掺加了大量粉煤灰,使工程质量有了很大改善。