

公路工程施工技术问答丛书

水泥混凝土 施工技术问答

SHUINI HUNNINGTU

侯永生 编著

SHIGONG JISHU WENDA



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

公路工程施工技术问答丛书

水泥混凝土施工技术问答

侯永生 编著

中国铁道出版社

2014年·北京

图书在版编目(CIP)数据

水泥混凝土施工技术问答/侯永生编著. —北京:
中国铁道出版社, 2014. 2

(公路工程施工技术问答丛书)

ISBN 978-7-113-17605-1

I. ①水… II. ①侯… III. ①水泥混凝土路面—工程
施工—问题解答 IV. ①U416.216-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 260936 号

书 名: 公路工程施工技术问答丛书
水泥混凝土施工技术问答
作 者: 侯永生

策 划: 江新锡

责任编辑: 王 健 张卫晓

编辑部电话: 010-51873065

封面设计: 郑春鹏

责任校对: 龚长江

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京市新魏印刷厂

版 次: 2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

开 本: 850 mm×1168 mm 1/32 印张: 10.625 字数: 281 千

书 号: ISBN 978-7-113-17605-1

定 价: 28.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社读者服务部联系调换。

电 话: (010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)51873659, 路电(021)73659, 传真(010)63549480

前 言

2012 年底公路通车里程达到 410 万公里,其中高速公路通车里程 8.5 万公里。按照交通运输部《交通运输“十二五”发展规划》,2015 年公路通车里程要达到 450 万公里,高速公路总里程达到 10.8 万公里。可见,近几年公路基本建设仍处于高峰期,同时,现有道路的养护、改造、扩建工程也越来越多。

为适应公路建设的新形势,不断提高公路施工管理与技术水平,依据国家和交通运输部最新颁布的相关法规、标准、规范、实施细则,吸取近年来国内外有关公路施工领域的新材料、新技术研究成果,结合我国公路建设的实际情况及施工经验,以知识问答的形式编制了《公路工程施工技术问答丛书》。本丛书包括《水泥混凝土施工技术问答》、《桥梁施工技术问答》、《隧道施工技术问答》、《路基施工技术问答》、《沥青路面施工技术问答》、《公路施工管理问答》、《公路养护技术问答》一套七本,分别对公路施工中涉及的基本概念、基本理论、基本方法、基本工艺、常见质量问题等方面以问答的形式进行论述。

本丛书主要适用于从事公路工程现场施工的技术与管理人员及调岗人员的学习、教育,以提高其知识和技能水平。也可供公路建设管理部门、施工及监理单位的管理人员和工程技术人员及大、专院校相关专业学生在生产和学习时参考使用。

《水泥混凝土施工技术问答》全书共分为七章。第一

章混凝土基础知识,主要就水泥混凝土材料、性能、工艺及质量方面的基础性知识进行论述。第二章混凝土原材料,就混凝土使用的水泥、骨料、水、掺和料、外加剂等知识进行论述。第三章混凝土配合比设计,对普通混凝土配合比设计、高性能混凝土配合比设计及特种混凝土配合比设计的有关问题进行阐述。第四章混凝土生产,就混凝土生产设备及混凝土生产所涉及问题进行论述。第五章混凝土施工,主要对混凝土的输送、成型、养护和特殊季节、特殊施工工艺及施工安全进行论述。第六章混凝土质量检测,分别对混凝土施工前、施工中、施工后的质量检测方法和具体操作方法进行阐述。第七章混凝土质量问题处理,分别就新拌混凝土和硬化混凝土容易出现的问题及处置方法进行论述。

本丛书在编写过程中得到河北省道路结构与材料工程技术研究中心的大力帮助,在此深表感谢。由于书中涉及面广、内容较多,编者知识与经验有限,不足和错误之处,敬请指正。

2013 年 12 月

目 录

第一章 混凝土基础知识	1
第一节 材料基础知识	1
第二节 性能基础知识	20
第三节 工艺基础知识	66
第四节 质量基础知识	75
第二章 混凝土原材料	92
第一节 水泥	92
第二节 骨料	103
第三节 水	112
第四节 掺和料	116
第五节 外加剂	137
第三章 混凝土配合比设计	164
第一节 普通混凝土配合比设计	164
第二节 高性能混凝土配合比设计	178
第三节 特种混凝土配合比设计	190
第四章 混凝土生产	212
第一节 生产设备	212
第二节 混凝土生产	227

第五章 混凝土施工	234
第一节 混凝土输送	234
第二节 混凝土成型	237
第三节 混凝土养护	243
第四节 特殊季节施工	251
第五节 特殊施工工艺	263
第六节 混凝土施工安全	271
第六章 混凝土质量检测	283
第一节 混凝土施工前质量检测	283
第二节 混凝土施工中质量检测	288
第三节 混凝土施工后质量检测	295
第七章 混凝土质量问题处理	302
第一节 新拌混凝土质量问题	302
第二节 硬化混凝土质量问题	313

第一章 混凝土基础知识

第一节 材料基础知识

1101 混凝土什么是混凝土？

混凝土，也称砼，广义的定义是一种将具有胶结性质的材料和骨料或集料（如石、砂）以及填料（粉细颗粒）混合并浇筑成型后，经凝固硬化而黏结成为整体的一系列建筑材料。狭义的定义是专指水泥混凝土，水泥混凝土是指以水泥为胶结料，加入水、粗细集料以及必要时掺入化学外加剂与矿物掺和料，按一定比例配合，通过搅拌、成型的一种人工混合物，刚拌制的塑性状态的拌和物，称为新拌混凝土或未凝固混凝土，在一定条件下随时间的推移逐渐硬化成具有强度和其他性能的块体，则称为硬化混凝土。

1102 混凝土按表观密度分为哪几类？

（1）重混凝土。表观密度大于 2600 kg/m^3 的混凝土。通常是采用高密度集料（如重晶石、铁矿石、钢屑等）或同时采用重水泥（如钡水泥、锶水泥等）制成的混凝土。因为它主要用作核能工程的辐射屏蔽结构材料，又称为防辐射混凝土。

（2）普通混凝土。表观密度为 $2000 \sim 2800 \text{ kg/m}^3$ 的水泥混凝土。通常是以常用水泥为胶凝材料，且以天然砂、石为集料配制而成的混凝土。它是目前土木工程中最常用的水泥混凝土。

（3）轻混凝土。表观密度小于 1950 kg/m^3 的混凝土。包括轻骨料混凝土、多孔混凝土和大孔混凝土等。通常是采用陶粒等轻质多孔的集料，或者不用集料而掺入加气剂或泡沫剂等而形成多孔结构的混凝土。根据其性能与用途的不同又可分为结构用轻混凝土、保温用轻混凝土和结构保温轻混凝土等。

1103 混凝土按胶凝材料的品种分为哪几类?

通常根据主要胶凝材料的品种,并以其名称命名,如水泥混凝土、石膏混凝土、水玻璃混凝土、硅酸盐混凝土、沥青混凝土、聚合物混凝土等。有时也以加入的特种改性材料命名,如水泥混凝土中掺入钢纤维时,称为钢纤维混凝土;水泥混凝土中掺大量粉煤灰时则称为粉煤灰混凝土等。

1104 混凝土按使用功能分为哪几类?

按混凝土在工程中的用途不同可分为结构混凝土、水工混凝土、海洋混凝土、道路混凝土、防水混凝土、补偿收缩混凝土、装饰混凝土、耐热混凝土、耐酸混凝土、防辐射混凝土等。

1105 混凝土按生产和施工方法分为哪几类?

按混凝土的生产和施工方法不同可分为预拌(商品)混凝土、泵送混凝土(可在施工现场通过压力泵及输送管道进行浇筑的混凝土)、喷射混凝土、压力灌浆混凝土(预填骨料混凝土)、挤压混凝土、离心混凝土、真空吸水混凝土、碾压混凝土等。

1106 混凝土按流动性不同,可分为哪几类?

混凝土按流动性的不同可分为干硬性混凝土、塑性混凝土、流动性混凝土、大流动性混凝土。干硬性混凝土指拌和物坍落度小于 10 mm 且须用维勃时间(s)表示其稠度的混凝土。塑性混凝土指拌和物坍落度为 10~90 mm 的混凝土。流动性混凝土指拌和物坍落度为 100~150 mm 的混凝土。大流动性混凝土指拌和物坍落度不小于 160 mm 的混凝土。

1107 普通混凝土的主要组成材料有哪些?各组成材料是如何结合的?

普通混凝土的主要组成材料有水泥、细骨料(砂)、粗骨料(石)

和水。另外还常加入适量的掺和料和外加剂。

混凝土是由大小不同的颗粒所组成的,大颗粒粗骨料的空隙由中小颗粒的粗骨料填充;粗骨料颗粒的空隙由细骨料(砂子)填充,它的颗粒也是有粗有细,细颗粒填充粗颗粒之间的空隙;水泥浆则填充粗细骨料堆积体的大小空隙,并包裹它们形成一层润滑层,使新拌混凝土(也称拌和物)具有一定的工作性,能在外力或本身的自重作用下成型密实,水泥发生水化反应后,将各组分胶结成具有强度等特性的混凝土。

1108 硬化混凝土中三相指什么? 其复杂性体现在哪些方面?

硬化混凝土是一种复杂的、多相的复合材料,它的结构主要包括三个相——骨料、硬化水泥浆体以及二者之间的过渡区,说它复杂是因为它很不匀质,主要体现在以下几方面:第一,过渡区的存在。过渡区是围绕骨料颗粒周边的一层薄壳,厚度约 $10\sim 50\mu\text{m}$ 。由于它的薄弱,对混凝土性能的影响十分显著;第二,三相中的任一相,本身实际上还是多相体。例如一颗花岗岩的骨料里除了有微裂缝、孔隙外,还不均匀地镶嵌着石英、长石和云母三种矿物。石英很硬,而云母就很软;第三,与其他工程材料不同,混凝土结构中的两相——硬化水泥浆体和过渡区是随时间、温度与湿度环境不断变化着的。

1109 骨料的选择除考虑其强度外,应重点考虑什么?

通常在为混凝土选择骨料时,首先注意的是它的颗粒强度,也就是说它越坚硬越好。事实上,由于骨料的强度通常比其他两相的高很多,因此它对混凝土的强度并没有直接的影响。但是它们的粒径和形状间接地影响混凝土强度。当骨料最大粒径越大、针片状颗粒越多时,其表面积存的水膜越厚,过渡区相就越薄弱,硬化混凝土的强度和抗渗透性也越差。所以,质量好的骨料应该是颗粒形状均匀、级配好,堆积密实度高,所需要的浆体用量少。许多路面板之所以不耐久,骨料质量差,尤其缺乏 $5\sim 10\text{mm}$ 粒径的

颗粒,使得传荷能力和抗冲击与疲劳能力受到严重影响是重要的原因。

1110 高强度等级水泥配制的混凝土有什么弊端?

在配制混凝土选用水泥时,都认为强度等级越高的水泥就越好。事实上,高强度等级水泥因为通常粉磨得越细,在拌和时往往需要更多的水,硬化后生成更多薄弱的氢氧化钙,多余的水分蒸发后也会形成更多的孔隙,对混凝土的强度和耐久性不利。但是,这样的水泥水化反应快,因此用它配制的混凝土早期强度高,这是它受欢迎的原因。

1111 混凝土的抗渗性质取决于什么?

即使所用骨料非常致密,混凝土的渗透性也要比相应的水泥浆体低一个数量级。混凝土体的渗透性并不直接取决硬化水泥浆体的渗透性,而是取决于过渡区。

1112 混凝土中过渡区是如何形成的?有什么特点?对混凝土性能有什么影响?

刚浇筑成型的混凝土在其凝固硬化之前,骨料颗粒受重力作用向下沉降,含有大量水分的稀水泥浆则由于密度小的原因向上迁移,它们之间的相对运动使骨料颗粒的周壁形成一层稀浆膜,待混凝土硬化后,这里就形成了过渡区。

过渡区微结构的特点为:1)富集大晶粒的氢氧化钙和钙矾石;2)孔隙率大、大孔径的孔多;3)存在大量原生微裂缝,即混凝土未承载之前出现的裂缝。

因为过渡区的影响,使混凝土在比它两个主要相能够承受的应力低得多的时候就被破坏;由于过渡区大量孔隙和微裂缝存在,虽然硬化水泥浆体和骨料两相的刚性很大,但受它们之间传递应力作用的过渡区影响,混凝土的刚性和弹性模量明显地减小。

过渡区的特性对混凝土的耐久性影响也很显著。因为硬化水

泥浆体和骨料两相在弹性模量、线胀系数等参数上的差异,在反复的荷载、冷热循环与干湿循环作用下,过渡区作为薄弱环节,在较低的拉应力作用下其裂缝就会逐渐扩展,使外界水分和侵蚀性离子易于进入,对混凝土及钢筋产生侵蚀作用。

1113 什么叫预拌混凝土? 其种类和代号有哪些?

预拌混凝土是在搅拌站生产的、通过运输设备送至使用地点的、交货时为拌和物的混凝土。

特制品包括的混凝土种类及其代号见表 1-1。特制品代号为 B。

表 1-1 特制品的混凝土种类及其代号

混凝土种类	高强混凝土	自密实混凝土	纤维混凝土	轻骨料混凝土	重混凝土
混凝土种类代号	H	S	F	L	W
强度等级代号	C	C	C(合成纤维混凝土) CF(钢纤维混凝土)	LC	C

常规品为除上表特制品以外的普通混凝土,代号 A,混凝土强度等级代号 C。

1114 预拌混凝土的性能等级是如何划分的?

(1)混凝土强度等级应划分为:C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80、C85、C90、C95和 C100。

(2)混凝土坍落度和扩展度的等级划分应符合表 1-2 和表 1-3 的规定。

表 1-2 混凝土拌和物的坍落度等级划分

等级	坍落度(mm)
S1	10~40
S2	50~90
S3	100~150
S4	160~210
S5	≥220

表 1-3 混凝土拌和物的扩展度等级划分

等级	扩展直径(mm)
F1	≤ 340
F2	350~410
F3	420~480
F4	490~550
F5	560~620
F6	≥ 630

(3) 预拌混凝土耐久性能的等级划分应符合表 1-4~表 1-7 的规定。

表 1-4 混凝土抗冻性能、抗水渗透性能和抗硫酸盐侵蚀性能的等级划分

抗冻等级(快冻法)		抗冻标号(慢冻法)	抗渗等级	抗硫酸盐等级
F50	F250	D50	P4	KS30
F100	F300	D100	P6	KS60
F150	F350	D150	P8	KS90
F200	F400	D200	P10	KS120
$>F400$		$>D200$	P12	KS150
			$>P12$	$>KS150$

表 1-5 混凝土抗氯离子渗透性能(84 d)的等级划分(RCM 法)

等级	RCM-I	RCM-II	RCM-III	RCM-IV	RCM-V
氯离子迁移系数 D_{RCM} (RCM 法) ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)	$D_{RCM} \geq 4.5$	$3.5 \leq D_{RCM} < 4.5$	$2.5 \leq D_{RCM} < 3.5$	$1.5 \leq D_{RCM} < 2.5$	$D_{RCM} < 1.5$

表 1-6 混凝土抗氯离子渗透性能的等级划分(电通量法)

等级	Q-I	Q-II	Q-III	Q-IV	Q-V
电通量 $Q_s(\text{C})$	$Q_s \geq 4000$	$2000 \leq Q_s < 4000$	$1000 \leq Q_s < 2000$	$500 \leq Q_s < 1000$	$Q_s < 500$

注:混凝土试验龄期宜为 28 d。当混凝土中水泥混合材与矿物掺和料之和超过胶凝材料用量的 50% 时,测试龄期可为 56 d。

表 1-7 混凝土抗碳化性能的等级划分

等级	T-I	T-II	T-III	T-IV	T-V
碳化深度 d (mm)	$d \geq 30$	$20 \leq d < 30$	$10 \leq d < 20$	$0.1 \leq d < 10$	$d < 0.1$

1115 预拌混凝土如何标记?

(1) 预拌混凝土标记应符合以下规定:

- 1) 排序第一位应为常规品或特制品的代号;
- 2) 顺延应为特制品混凝土种类的代号, 常规品不标记;
- 3) 顺延应为强度等级的代号;
- 4) 顺延应为坍落度等级代号, 后附坍落度设计值在括号中; 自密实混凝土应采用扩展度等级代号, 后附扩展度设计值在括号中;
- 5) 顺延应为耐久性能等级代号, 对于抗氯离子渗透性能和抗碳化性能, 后附设计值在括号中;
- 6) 顺延应为本标准号—GB/T 14902。

(2) 标记示例

示例 1: 采用通用硅酸盐水泥、河砂(也可是人工砂或海砂)、石、矿物掺和料外加剂和水配制的普通混凝土, 强度等级为 C50, 坍落度为 180 mm, 抗冻等级为 F250, 抗氯离子渗透性能电通量 Q_s 为 1000C, 其标记为:

A-C50-S4(180)-F250 Q-III(1000)-GB/T 14902

示例 2: 采用通用硅酸盐水泥、砂(也可是陶砂)、陶粒、矿物掺和料外加剂和水配制的轻骨料混凝土, 强度等级为 C40, 坍落度为 210 mm, 抗渗等级为 P8, 抗冻等级为 F100, 其标记为:

B-L-LC40-S4(210)-P8F100-GB/T 14902

1117 1116 什么是补偿收缩混凝土? 补偿收缩混凝土不适用什么条件?

补偿收缩混凝土是一种膨胀混凝土, 它是由水泥水化产生体

积膨胀,通过膨胀能对限制力作功,产生的限制膨胀抵消混凝土干燥、降温以及荷载等作用引起的限制收缩,一般在所使用的配筋条件下能使混凝土内部建立 $0.2 \sim 0.7 \text{ MPa}$ 的压应力,主要是对干燥收缩进行补偿。

水化产物是水化硫铝酸钙的补偿收缩混凝土不能长期在 80°C 环境下使用,水化产物是氢氧化钙的补偿收缩混凝土不适合用于海水或有侵蚀性水的工程。

1117 什么是混凝土的环境作用? 一般环境分为哪几种类和哪些等级?

环境作用是能引起结构材料性能劣化或腐蚀的环境因素,如温度、湿度及各种有害物质等施加于结构上的作用。

(1)结构所处的环境按其对钢筋和混凝土材料的不同腐蚀作用机理分为 5 类(表 1-8)。

表 1-8 环境分类

类别	名称	类别	名称
I	碳化引起钢筋锈蚀的一般环境	V	其他化学物质引起混凝土腐蚀的环境
II	反复冻融引起混凝土冻蚀的环境	V ₁	土中和水中的化学腐蚀环境
III	海水氯化物引起钢筋锈蚀的近海或海洋环境	V ₂	大气污染环境
IV	除冰盐等其他氯化物引起钢筋锈蚀的环境	V ₃	盐结晶环境

注:氯化物环境(III和IV)对混凝土材料也有一定腐蚀作用,但主要是引起钢筋的严重锈蚀。反复冻融(II)和其他化学介质(V₁、V₂、V₃)对混凝土的冻蚀和腐蚀,也会间接促进钢筋锈蚀,有的并能直接引起钢筋锈蚀,但主要是对混凝土的损伤和破坏。

(2)环境作用按其对配筋(钢筋和预应力筋)混凝土结构侵蚀的严重程度分为 6 级(表 1-9)。

表 1-9 环境作用等级

作用等级	作用程度的定性描述	作用等级	作用程度的定性描述
A	可忽略	D	严重
B	轻度	E	非常严重
C	中度	F	极端严重

1118 如何确定混凝土处于什么环境？以及环境的作用等级为哪几个等级？

不同环境类别在不同的环境条件(如湿度、温度、侵蚀介质的浓度等)下对配筋混凝土结构的环境作用等级如表 1-10 和表 1-11 所示。

当土中和水中的化学腐蚀环境(V_1)有多种化学物质(表 1-11)一起作用于结构上时,应取其中最高的作用等级作为环境 V_1 的作用等级;但如其中有两种或多种化学物质的作用均处于相同的最高作用等级时,则为考虑可能加重的化学腐蚀后果,应按再提高一个等级作为结构所处 V_1 环境类别的作用等级。

1119 什么是混凝土的结构使用年限和设计使用年限？

结构使用年限是指结构建造完成后,在预定的使用与维修条件下,结构所有性能(如安全性、适用性)均能满足原定要求的实际年限。

设计使用年限(或设计寿命)是指设计人员用以作为结构耐久性设计依据并具有足够安全裕度或保证率的目标使用年限。设计使用年限应由业主或用户与设计人共同确定,并满足有关法规的最低要求。

表 1-10 环境分类及环境作用等级

环境类别	环境条件 ^①	作用等级	示 例
I 一般环境 (无冻融, 盐、酸等作用)	室内干燥环境	I-A	长期干燥、低湿度环境 ^② 中的室内构件
	非干湿交替的室内潮湿环境和露天环境, 长期湿润环境	I-B	中、高湿度环境 ^② 的室内构件; 不与水接触的露天构件; 长期与水或湿润土体接触的水中或土中构件
	干湿交替环境 ^①	I-C	与凝结露水接触的室内天窗构件和地下室顶板构件; 表面与水接触的室外构件; 处于水位变动区的构件; 靠近地表、湿度受地下水水位变动影响构件
II 冻融环境	微冻地区 ^① , 混凝土高度饱水 ^⑤ ; 严寒和寒冷地区 ^① , 混凝土中度饱水 ^⑤	II-C	微冻地区水位变动区的构件, 频繁受雨淋的构件水平表面, 严寒和寒冷地区受雨淋构件的竖向表面
		II-D	
	严寒和寒冷地区 ^① , 混凝土高度饱水 ^⑤	II-D	水位变动区的构件, 频繁受雨淋的构件水平表面
		II-E	
III 近海或海洋环境 ^⑥	水下区	III-D ^②	长期浸没于水中的桥墩
	大气区		轻度盐雾区: 离平均水位 15 m 以上的海上大气区, 离涨潮岸线 100 m 外至 300 m 内的陆上室外环境
		III-D	靠海的陆上室外构件 桥梁上部结构构件
		III-E	靠海的陆上室外构件 桥梁上部结构构件