

集料中的石盐 对混凝土性能的影响

THE INFLUENCE OF HALITE IN AGGREGATES
ON PERFORMANCE OF CONCRETE

邓敏 陆平 徐玲玲 编著



中国科学技术出版社



集料中的石盐

对混凝土性能的影响

THE INFLUENCE OF HALITE IN AGGREGATES
ON PERFORMANCE OF CONCRETE

邓敏 陆平 徐玲玲 编著

中国科学技术出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

集料中的石盐对混凝土性能的影响/邓敏,陆平,徐玲玲编著. —北京:中国科学技术出版社, 2006.10

ISBN 7-5046-4489-7

I.集... II.①邓...②陆...③徐... III. ①石盐—影响—混凝土—性能②混凝土施工—骨料—制备 IV.TU755.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第129307号

自2006年4月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街16号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

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

科学普及出版社发行部发行

北京昌平前进印刷厂印刷

*

开本:787毫米×1092毫米 1/16 印张:17.75 字数:260千字

2006年10月第1版 2006年10月第1次印刷

印数:1-880册 定价:98.00元

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

序

混凝土广泛应用于基础设施的建设，如公路、桥梁、机场、隧道、铁路、市政工程、工业与民用建筑等，是最大宗的人工材料。我国正处于快速建设阶段，西部开发、南水北调工程等对混凝土有巨大的需求。集料是混凝土的主要组成材料，2005年我国的集料用量约80亿吨，人均约6吨。

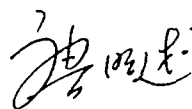
集料性能对混凝土性能有重要影响。国家和行业标准对用作混凝土集料的砂、石材料规定了技术指标，尤其对有害物质含量进行了限制，如限制集料中的硫酸盐及硫化物含量、有机物含量、 Cl^- 离子含量、碱活性组分等。库尔勒迁建机场工程使用的当地采石场生产的碎石部分颗粒含有少量石盐，导致道面混凝土局部发黑，形成黑斑。据调查，库尔勒市还有部分工程混凝土也存在黑斑。

库尔勒市为渍土地区，由于受盐渍土的影响，矿山岩石、戈壁滩砂石等含有石盐。我国主要的盐渍土地区如新疆、青海、甘肃、西藏是否也会存在类似库尔勒地区的问题？当集料中含有石盐时，石盐对混凝土的工作性能、物理力学性能和耐久性能有何影响？如黑斑对混凝土性能有影响，应如何预防黑斑的出现？对已有黑斑的工程混凝土应采取何种措施进行修复？这些问题前人没有进行过研究。因此，本书有关含盐集料的地质学特征及其分布调查、集料中的石盐对混凝土性能的影响、预防混凝土黑斑的技术规程和黑斑混凝土修复技术，对防止混凝土黑斑在新建工程中出现和提高盐渍土地区工程混凝土的质量具有重要意义。

除石盐外，集料中还可能含有硫化物（如黄铁矿）、硫酸盐（如石膏、硫酸钠）、有机物（如煤、沥青）、碱硅酸反应活性组分（如

蛋白石、玉髓、微晶质石英、隐晶质石英、方石英、鳞石英、应变石英、酸性火山玻璃体)、碱碳酸盐反应活性组分(特殊分布的白云石)和膨胀性粘土(如蒙脱土)等有害组分,这些组分在混凝土中会产生有害的化学反应,影响混凝土的性能,尤其是耐久性能。部分集料坚固性或抗冻性差、收缩大,有可能会使混凝土遭受盐胀破坏、冻融破坏或收缩开裂破坏。因此集料除应满足强度、弹性模量、密度、吸水率、级配和形状等物理性能要求外,还需要控制有害物质的含量。混凝土应尽量选用有害物质含量低的集料。需特别引起注意的是,天然集料在组成和结构上有时存在非常大的差异,具有潜在危害的组分可能只存在于少部分集料颗粒中,有害组分检测时应考虑集料的这一特点。

通过本书的出版,希望集料问题能引起广大混凝土研究人员和工程技术人员的重视,确保混凝土结构的质量和寿命。



中国工程院院士 唐明述

二〇〇六年十月二十日

前 言

库尔勒机场迁建工程跑道混凝土于 2004 年 9-10 月施工,跑道全长 2800m,民航站坪混凝土道面全长 320m。在 2004 年 11 月发现道面出现 1~3cm 直径的黑斑,并有白色结晶物析出,至 2005 年 3 月,凿开混凝土,可见黑斑下存在松散颗粒。针对机场混凝土道面出现的黑斑问题,南京工业大学与库尔勒机场迁建工程建设联合指挥部、监理和施工单位协作,对机场跑道和站坪道面混凝土、工地砂石材料、试验室试件以及矿山开采面和碎石等进行了考察,并查阅了工程使用的新疆和静水泥股份有限公司的水泥生产记录,咨询了有关技术人员,查阅了工地有关文件资料。通过大量的研究,确定了黑斑形成的原因是碎石中少量粘附的石盐在混凝土内发生盐溶解引起的。

由集料带入的石盐粘结颗粒引起的混凝土黑斑问题是首次发现。石盐粘结颗粒引入的 NaCl,除了在混凝土表面产生黑斑外,还有可能由于 NaCl 在混凝土中的溶解、扩散对混凝土的物理力学性能产生影响,特别是对混凝土的长期性能产生影响,如干湿循环时的盐结晶膨胀、碱-集料反应、冻融性能和钢筋锈蚀等。为对已出现黑斑的混凝土的处置以及今后对类似问题的处理提供依据,系统开展含石盐颗粒集料对混凝土性能影响的研究是十分必要的。

本书总结了含石盐集料的地质学特征与分布情况调查、混凝土黑斑形成原因分析与混凝土中含盐颗粒含量分析、含石盐集料对混凝土工作性、物理力学性能和耐久性能的影响以及耐紫外修补材料的特性、修补方法与修补效果评价等方面的研究成果,收集了“预防混凝土黑斑技术规程(草案)”和耐紫外修补材料在工程中的应用情况。

本书共分为五章。第一章对混凝土黑斑问题的研究背景以及研

究思路进行了概述。第二章对集料中石盐的形成过程及含石盐集料的分布特征进行了总结。第三章论述了石盐-水体系的反应过程和溶解规律,分析了含石盐集料对混凝土工作性能、力学性能和耐久性能的影响。第四章论述了集料中含石盐颗粒的测定方法以及预防混凝土出现黑斑的措施,并对工程应用效果进行了总结。第五章研究了适宜的修补材料,并对修补材料与混凝土的相容性、修补方法以及修补效果进行了总结。

上述工作得到了库尔勒机场迁建工程建设联合指挥部、中国民航机场建设公司西南分公司库尔勒机场监理部、新疆巴音郭楞蒙古自治州建设工程质量检测中心、巴州气象局、库尔勒地质大队、空军六总队、空军七总队、中南航空港建设公司库尔勒机场项目部、库尔勒某军用机场管理部门、安徽建筑工业学院、合肥水泥研究院和江苏省建筑科学研究院等单位的大力支持和帮助,在此致以衷心的感谢。库尔勒军方指挥部风云鹏承担了现场道面混凝土在干湿循环过程中体积变形的测量工作,南京工业大学研究生张士萍、黄丽、厉伟光、张志宾、杨静、王军和王爱国等参与了部分工作,南京工业大学兰祥辉、胡永临和胡勇、建材行业集料碱活性研究测试中心杨雁景、王松兰、居滨和祝战玲在试验过程中给予了很大帮助,在此一并表示感谢。

感谢唐明述院士对试验工作的指导和建议。

希望本书能为同类工程提供有益的借鉴和参考。由于时间仓促及水平局限,书中不妥之处,祈求专家和读者不吝斧正。

南京工业大学 邓 敏 徐玲玲
新疆机场(集团)修建工程部 陆 平
库尔勒机场迁建工程建设联合指挥部

编委会

主 编 邓 敏

副主编 陆 平 徐玲玲

编 委 王玉江 洪上元 洪峙生 高 波 李学军

宋 雨 王新宝 刘 方 岳占山

责任编辑 麻树梅

责任校对 孟华英

责任印制 安利平

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 集料的性质	(2)
第二节 混凝土集料的技术要求	(3)
第三节 集料中的石盐	(14)
第四节 研究的目的和意义	(15)
第二章 含石盐集料的地质学特征和分布	(17)
第一节 概 述	(17)
第二节 地表石盐的富集和集料中石盐的成因	(18)
第三节 地表盐的分布与成因	(19)
第四节 库尔勒地区含石盐集料的成因和分布	(29)
第五节 其他地区含盐砂石的分布情况	(37)
第六节 小 结	(54)
第三章 含石盐集料对混凝土性能的影响	(55)
第一节 石盐的化学特性	(55)
第二节 混凝土黑斑的形成与性质	(57)
第三节 混凝土中含盐颗粒含量统计	(74)
第四节 石盐对混凝土工作性的影响	(80)
第五节 石盐对混凝土力学性能的影响	(85)
第六节 石盐对混凝土耐久性能的影响	(90)
第七节 含石盐集料混凝土结构的调查与分析	(129)
第八节 小 结	(147)
第四章 预防混凝土黑斑的技术措施	(148)
第一节 石盐-水体系溶解动力学	(148)

第二节 粗集料中石盐含量的分析方法	(153)
第三节 控制粗集料中石盐含量的技术措施	(155)
第四节 防止混凝土黑斑的技术规范	(157)
第五章 黑斑混凝土的修复技术	(158)
第一节 修补材料	(158)
第二节 修补工法	(194)
第三节 修补效果评价	(197)
第四节 小 结	(215)
附录一	(216)
附录二	(222)
附录三	(250)
参考文献	(279)

第一章 概 述

混凝土是现代建筑工程中不可缺少的、用量最大、用途最广的一种建筑材料。自 19 世纪 20 年代波特兰水泥问世以来,混凝土材料及其应用技术得到不断发展,并逐渐成为材料科学的一个重要门类。

广义地说,凡是由胶结料、集料和液体拌制硬化而成的复合材料都可称为混凝土。混凝土由于所采用的胶结料和集料品种不同,其品种、性能和应用技术也因之而有很大差异。通常我们所说的混凝土是指用水泥作为胶凝材料而制成的普通混凝土。在建筑工程中,用量最多的是普通混凝土,其次是轻集料混凝土。

近年来,混凝土的耐久性成为混凝土材料科学中最为人们所关心的重要问题之一。混凝土的耐久性是指在使用过程中,在内部的或外部的、人为的或自然的因素作用下,混凝土保持自身工作能力的一种性能。

混凝土处于不同的环境中,会受到各种侵蚀介质的破坏作用,如我国北方混凝土建筑物的冻融破坏,南方钢筋混凝土结构的钢筋锈蚀破坏,水工大体积混凝土裂缝与渗漏引起的溶出性侵蚀,此外还有硫酸盐侵蚀与碱-集料反应破坏等。由于混凝土结构成型需要经过复杂的施工过程,需要时间使强度逐渐增长并达到设计要求,养护环境、养护条件等的差异均对混凝土结构产生影响,从而影响混凝土的力学性能以及耐久性。作为一种脆性材料,混凝土的抗拉强度大大低于其抗压强度,以至于结构不得不依靠钢筋承受其拉应力,而湿胀干缩、热胀冷缩等均容易导致混凝土结构开裂,形成的开裂导致外部侵蚀介质进入混凝土内部,从而加剧混凝土的侵蚀破坏。混凝土结构的大部分侵蚀破坏来自外界,而混凝土表面质量往往较差,如果有一个坚实耐久的外壳,混凝土结构的使用年限可以大大延长。

作为一种优良的建筑材料,混凝土可根据需要成型为各种形状的工程结构。在普通混凝土中,集料体积大约占混凝土体积的 $3/4$ 左右,出于降低生产成本和满足混凝土技术性能考虑,多数的集料为就地选取的,这使得混凝土成为一种造价低廉的大宗建筑材料。由于集料在混凝土中的用量最大,集料类型由于地域不

同而千差万别，采用不同的集料制备的混凝土的力学性能、耐久性等方面均表现出较大差异。在混凝土结构设计中，选用合适的集料对于配制满足力学性能和耐久性要求的混凝土具有重要意义。

第一节 集料的性质

普通混凝土中集料占有相当大的比例，无论是对混凝土的生产成本或是混凝土的技术性能均产生很大的影响。对混凝土集料的基本要求是：它能配制符合要求的混凝土拌和物，强度符合要求。在整个设计年限内，它的性质能在使用环境中保持稳定，不致对混凝土性能产生有害的影响。故混凝土集料应该选用坚硬的，具有足够的机械强度；选用洁净的，不含有害物质，并且级配良好。集料为一种地方性材料，应达到技术上符合要求，价格上经济合理。

根据粒径的大小，混凝土集料可以分为粗集料和细集料。粒径大于 5mm 的集料称为粗集料，粒径小于 5mm 并大于 0.15mm 的集料称为细集料。粗集料中有卵石、碎卵石和碎石，根据产地的不同，卵石可分为河卵石、海卵石和山卵石。山卵石常含有其他杂质，海卵石则含有贝壳和盐类，河卵石一般比较洁净，比较适宜于制成混凝土。碎卵石系用卵石破碎而成，碎石系用各类岩石破碎加工制成。常用的碎石有石灰石碎石、花岗岩碎石和石英岩碎石等。细集料有河砂、海砂、山砂和岩石破碎的碎砂。山砂一般具有棱角颗粒，含有较多的软弱颗粒；海砂呈球形颗粒形状，含有氯盐和贝壳；河砂颗粒介于海砂和山砂之间，是最常用的细集料。

集料的性质对混凝土性能有重要的影响，集料的级配对新拌混凝土的和易性以及混凝土是否经济合理具有重大的影响。集料的硬度影响混凝土的耐磨性，当耐磨性要求较高时，可采用石英和花岗岩等硬度高的粗集料。粗集料中针片状颗粒含量较多时，对混凝土的和易性、强度和耐久性均有很大的影响。岩石孔隙的大小、分布、形状和数量、岩石内吸收的水分、岩石强度等都会影响混凝土的抗冻性。集料的化学稳定性对混凝土耐久性有直接的影响，在混凝土中可溶碱含量较高时，碱活性集料可与这些碱发生反应，生成膨胀性产物并导致混凝土破坏。集料中含有少数质量不良的颗粒，如隧石和页岩类粗集料，在这些粗集料靠近混凝土表面时会产生爆出现象，即粗集料膨胀、破裂，使外层砂

浆脱落，留下孔洞。绝大部分集料在常温下均不会对混凝土产生有害影响，但在外部温度改变时，集料与周围水泥产生的膨胀差异会在混凝土内引起应力和应变（温胀效应），在极其个别的情况下，如果集料与硬化水泥浆体的膨胀系数相差很大也会产生严重问题。

第二节 混凝土集料的技术要求

集料的性质对混凝土的各项性能和耐久性具有重要影响。由于混凝土集料多为就地取材，各地的集料的类型存在较大差异，为保证工程质量，在 GB/T 14684-2001《建筑用砂》和 GB/T 14685-2001《建筑用碎石、卵石》中对普通混凝土中采用的集料提出了一些技术要求，在 JGJ 52-1992《普通混凝土用砂质量标准及检验方法》、JGJ 53-1992《普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》、DL/T 5151-2001《水工混凝土砂石骨料试验规程》、JTJ 058-2000《公路工程集料试验规程》^[1~6]等标准中对普通混凝土以及水工、公路等不同工程混凝土用集料的性能和检测方法进行了相应的规定。本节主要对混凝土集料的一般技术要求进行叙述。

2.1 集料强度

混凝土粗集料应选用质地坚硬、洁净、近似球形或立方体的卵石或碎石，碎石或卵石的强度可用岩石立方体强度或压碎指标两种方法测定。选择石场或对粗集料强度有要求时，可用岩石立方体强度试验，但立方体试验结果只能表示岩石本身的强度，显然不能代表集料的强度和集料在混凝土内的受力状态。

岩石一般具有较高的强度，对于普通混凝土而言，粗集料强度一般均大于混凝土强度，故在大多数情况下，混凝土强度决定于水泥石强度、水泥石和集料之间的粘结强度，最弱的一环为水泥石和集料界面的粘结；对于制造高强度混凝土，高强度的粗集料和良好的粘结性质是十分重要的。相对来说，细集料的强度没有粗集料那么重要，由于它有较大的比表面积，粘结也不是重要的问题。细集料对于混凝土强度的影响在于其颗粒形状、表面结构和级配对混凝土用水量的影响。

根据 GB/T 14685-2001《建筑用卵石、碎石》标准规定，不同强度等级的普通混凝土对粗集料的强度的要求见表 1。

表 1 建筑用碎石、卵石强度指标

指 标	I 类	II 类	III 类
岩石抗压强度	在水饱和状态下, 火成岩抗压强度应不小于 80MPa, 变质岩抗压强度应不小于 60MPa, 水成岩应不小于 30MPa。		
碎石压碎指标, 小于 1%	10	20	30
卵石压碎指标, 小于 1%	12	16	16
适用的混凝土强度等级	大于 C60	C30~C60 以及抗冻、 抗渗和其他要求	小于 C30

在 JGJ 53-1992《普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》中规定混凝土等级在 C60 及以上时应进行岩石抗压强度检验, 其他情况下如有怀疑或认为有必要时也可进行岩石抗压强度检验。要求岩石的抗压强度与混凝土强度之比不应小于 1.5, 且火成岩强度不应低于 80MPa, 变质岩强度不应低于 60MPa, 水成岩不应低于 30MPa。在 JGJ 53-1992 中对于碎石、卵石的压碎指标值的规定见表 2。

表 2 碎石、卵石压碎指标值

项 目	混凝土等级	压碎指标值 1%
碎石	水成岩	C55~C40 ≤10
		≤C35 ≤16
	变质岩或深成的火成岩	C55~C40 ≤12
		≤C35 ≤20
	火成岩	C55~C40 ≤13
		≤C35 ≤30
卵石	C55~C40	≤12
	≤C35	≤15

注: 水成岩包括石灰石、砂岩等。变质岩包括片麻岩、石英岩等。深成的火成岩包括花岗岩、正长岩、闪长岩和橄榄岩等。喷出的火成岩包括玄武岩和辉绿岩等。

对于建筑用砂的强度, 在各标准中均未进行规定。

2.2 集料级配

集料的各种粒径颗粒的分布叫做集料的级配,最常用的测定集料颗粒分布的方法是筛分析方法。

级配是集料的一项重要的技术性能。长期以来,许多人对集料级配对混凝土性能的影响进行了大量的试验研究,先后提出了许多理想的级配或最优级配,但是没有一个是获得“理想”或最优级配的方法,因为集料的颗粒形状和表面结构、混凝土的水泥用量和含气量均会对混凝土性能产生影响,一个理想的级配不可能适用于各种材料和各种配合比的混凝土,强调理想级配会给工程增加许多工作量,增加混凝土工程成本。实际上,很大范围内的集料级配,只要配合比设计正确,均可制得符合要求的混凝土,因此各国的标准和技术规范均规定集料的级配范围或级配区。

在 GB/T 14684-2001《建筑用砂》和 GB/T 14685-2001《建筑用碎石、卵石》中对粗、细集料的颗粒级配进行了相应的规定,见表 3 和表 4。

表 3 建筑用砂颗粒级配

方孔筛尺寸 /mm	累计筛余 /%		
	级配 1	级配 2	级配 3
9.50	0	0	0
4.75	10~0	10~0	10~0
2.36	35~5	25~0	15~0
1.18	65~35	50~10	25~0
0.60	85~71	70~41	40~16
0.30	95~80	92~70	85~55
0.15	100~90	100~90	100~90

- (1) 砂的实际颗粒级配与表中所列数字相比,除 4.75mm 和 600 μ m 筛档外,可以略有超出,但超出总量应小于 5%。
- (2) 1 区人工砂中 150 μ m 筛孔的累计筛余可以放宽到 100%~85%, 2 区人工砂中 150 μ m 筛孔的累计筛余可以放宽到 100%~80%, 3 区人工砂中 150 μ m 筛孔的累计筛余可以放宽到 100%~75%。

在新拌混凝土中对水泥砂浆或水泥浆的流动性或粘性有一定的要求。水泥砂浆或水泥浆的作用是填充集料的孔隙和滑润集料的表面，一个好的集料级配，应该使集料的孔隙和表面积对水泥浆需要量最小，要使集料的表面积最小，应采用最大粒径较大的粗集料，当坍落度一定时，混凝土的用水量随集料的最大粒径增加而减少，但粗集料的最大粒径要根据混凝土工程的实际条件选用。对于低强度贫混凝土，如大坝内部混凝土，应用最大粒径 150mm 的粗集料可以降低混凝土成本并降低水化热和收缩，而应用最大粒径大于 105mm 的粗集料则不会进一步增加技术经济效益或增加很小。

为保证粗集料级配符合要求和减少级配的变化，可以把粗集料筛分成若干粒级，再把各粒级按一定的比例配合成要求的级配，当最大粒径为 40mm 或大于 40mm 时，宜分成两种粒级或 3 种粒级，经过试验后按规定比例组合成符合要求的级配。

在一定范围内，细集料的级配比粗集料级配对混凝土和易性的影响更大，如果砂浆的和易性好，只要砂浆能填满粗集料的空隙并分开粗集料，使之在砂浆内移位不产生干涉，这样得到的和易性多半是良好的，经验证明，太粗的砂和太细的砂均不适宜制造混凝土，太粗的砂使混凝土拌和物干涩、泌水和离析，太细的砂需要较多的拌和水，同时也会引起离析。

表 4 建筑用碎石、卵石颗粒级配

项目	方孔筛累计筛余 /%										
	2.36mm	4.75mm	9.50mm	16.0mm	19.0mm	26.5mm	31.5mm	37.5mm	53.0mm	63.0mm	75.0mm 90.0mm
连续粒级公称粒径/mm	5~10	95~100	80~100	0~15	0						
	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0					
	5~20	95~100	90~100	40~80	—	0~10	0				
	5~25	95~100	90~100	—	30~70	—	0~5	0			
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	—	15~45	—	0~5	0		
	5~40	—	95~100	70~90	—	30~65	—	—	0~5	0	
单粒级公称粒径/mm	10~20	95~100	85~100	0~15	0	—					
	16~31.5	95~100	95~100	85~100		0~10					
	20~40		95~100	95~100	80~100	0~10	0				
	31.5~63			95~100	95~100	75~100		0~10	0		
	40~80				95~100		75~100	30~60	0~10	0	