

# 论混凝土碱—集料反应\*

郭乐工

(郑州工学院)

**摘 要:** 本文对混凝土碱—集料反应及其对混凝土结构的损害进行了分析, 并提出了防止碱—集料反应破坏的措施。

**关键词:** 混凝土、碱—集料反应。

**中图分类号:** TU528; TU50

混凝土是现代土木建筑工程中用量最大、用途最广的建筑材料。混凝土耐久性混凝土材料科学中人们所关心的重大问题之一。混凝土碱集料反应一般是指混凝土集料中的某些矿物质材料与存在于混凝土微孔隙中的碱性水溶液之间发生的某种化学反应。这种化学反应严重时, 能使混凝土的局部体积发生膨胀, 引起混凝土的开裂和强度降低, 甚至会导致混凝土结构物的完全损坏。因此, 被认为是影响结构耐久性的一个重要问题。

碱集料反应引起混凝土结构物的破坏已有许多实例, 许多国家和地区均发现混凝土坝体、公路、桥梁、地下铁道和房屋建筑因碱集料反应而遭破坏。碱集料反应引起的混凝土结构物的破坏在我国也有发现。我国对混凝土碱集料反应研究起步较晚, 且尚未引起足够的重视, 这可能对量大面广的混凝土结构的未来命运带来重大隐患。因此, 应高度重视碱集料反应问题研究, 并积极推广预防措施, 防患于未然。

## 1 混凝土碱集料反应一般原理

### 1.1 碱集料反应产生的条件

一般认为, 混凝土中发生碱集料反应需存在三个条件: 一是混凝土中的某些活性矿物集料, 如燧石、黑硅石、方石英、玻璃质火山岩、蛋白石、石灰石质白云石、玉髓、微晶石英、变质石英等, 二是水泥的含碱量, 三是混凝土微孔隙中的含水量。

### 1.2 碱集料反应的分类与机理

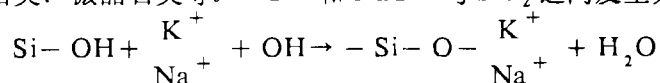
混凝土中能够参加碱集料反应的矿物集料中富含活性  $\text{SiO}_2$ 、硅酸盐类、碳酸盐等物质, 在水泥水化生成物中, 依水泥品种不同, 生成有含量不等的游离  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  与混凝土集料中的钾长石或钠长石反应, 置换出碱性物  $\text{KOH}$  或  $\text{NaOH}$ , 这是发生碱集料反应的一个必要条件。

---

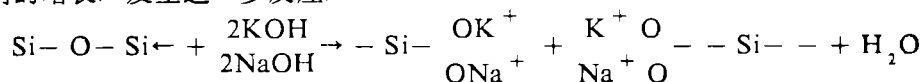
\* 收稿日期: 1993-01-15

KOH 和 NaOH 与混凝土中某些活性矿物集料直接进行反应, 即碱集料反应, 其反应类型有以下三种:

(1) 碱—硅反应。能够参与碱—硅反应的集料有燧石、玉髓岩、蛋白石、黑硅石、磷石英、方石英、微晶石英等。KOH 和 NaOH 与  $\text{SiO}_2$  之间发生如下反应:



若 KOH 或 NaOH 浓度较低, 反应即到此为止。若 KOH 和 NaOH 浓度较高, 则随着时间的增长, 发生进一步反应:

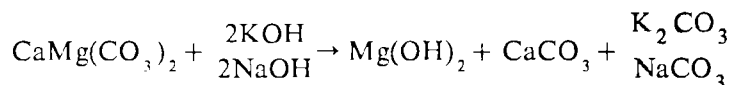


这时碱溶液中 KOH 或 NaOH 不仅中和  $\text{SiO}_2$  颗粒表面及微孔隙中  $\text{H}^+$ , 还破坏了  $\text{O}-\text{Si}-\text{O}$  之间的结合键, 使  $\text{SiO}_2$  颗粒结构松散化, 并且使这一反应不断向  $\text{SiO}_2$  颗粒内部深入而形成碱硅酸盐胶体。生成的碱硅胶体吸收混凝土中微孔隙中水份, 发生体积膨胀。在硬化后的混凝土中, 碱硅胶体的体积膨胀受到约束, 产生很大的膨胀压力。而这种膨胀压力在混凝土中产生了拉应力。当产生的拉应力超过了混凝土的抗拉强度时, 即引起混凝土开裂, 导致混凝土结构的破坏。这一反应引起的体积膨胀是取决于集料中的活性的最不利含量, 并且, 当混凝土微孔隙中水分含量充足时, 该体积膨胀量可大数倍。

碱—硅反应的特征是: ①、混凝土表面有无序的网状裂缝, ②骨料界有反应环、反应边, ③混凝土内部有裂缝, 空隙中有硅酸钾(钠)凝胶失水硬化, 粉化。

(2) 碱—硅酸盐反应。该类反应性质与碱—硅反应大致相同。碱与某些层状硅酸盐集料发生反应, 使层状硅酸盐层间距离增大, 引起集料体积膨胀开裂。其反应特征是: 膨胀缓慢且不停顿进行, 几乎看不到反应环, 凝胶体渗出也很少, 有的岩石产生明显膨胀却几乎无凝胶体。参与反应的集料主要是硬砂岩、粘土质岩、千枚岩等。

(3) 碱—碳酸盐反应。典型的反应是泥质石灰石白云石集料与碱反应。这类白云石含粘土和方解石较多, 白云石颗粒小, 被粘土和方解石颗粒包围。碱离子通过粘土渗入白云石颗粒表面产生脱白云石化学反应, 生成膨胀性物质  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , 引起体积膨胀, 造成混凝土开裂损坏。溶液中发生的脱白云石化学反应如下:



有学者采用膨胀机理假设解释这一反应, 认为这一反应不是发生于白云石颗粒与水泥浆的界面, 而是发生于颗粒内部, 引起集料膨胀。另外, 粘土质集料遇水也膨胀。此外还有硅胶化假说, 认为在石灰石白云石集料与碱溶液反应生成水镁石后, 该生成的水镁石又很快与碱溶液中硅酸盐离子反应生成硅酸镁, 并聚积于集料界面处形成反应环, 对混凝土不利。

这一反应的特征是裂缝呈花纹形成地图形。

### 1.3 碱集料反应的主要影响因素

1.3.1 水泥含碱量。水泥中碱量常以  $\text{Na}_2\text{O}$  当量含量, 即

$$\text{总碱量} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$$

一般认为  $\text{Na}_2\text{O}$  比  $\text{K}_2\text{O}$  引起的破坏要大。当大量碱溶液存在时, 像蛋白石等类的高反应性骨料反应非常迅速。多数试验表明, 在 0.6% 以下时, 在有反应集料存在条件下, 很少发生膨胀。所以一些国家规定水泥中含碱量应低于 0.6%, 并限制混凝土总碱量不超过  $2.0\text{—}3.0\text{Kg/m}^3$ 。但是在碱量在 0.6% 以下也见发生碱集料反应破坏。

### 1.3.2 反应性集料的特性

反应性集料用量对碱集料反应有显著影响。一般讲, 随反应性集料含量增加, 混凝土中的膨胀量增大。Stanton 等人研究表明, 蛋白石集料用量与产生的膨胀量之间关系曲线存在有“最不利极限”。碱—硅酸盐反应的集料则一般无这类极限值, 反应性集料用量越多, 膨胀量越大。

集料粒径在 0.07mm 以下或非常大时, 膨胀量一般很小。中间粒径的集料引起反应膨胀量最大, 并存在“最不利极限粒度”, 大约在 0.15—0.6mm 之间, 因为这时反应性集料的总表面积最大。

### 1.3.3 混凝土水灰比

当水灰比大时, 混凝土的孔隙率增大, 各种离子扩散速度和水的移动速度加大, 助长碱集料反应。另一方面, 混凝土孔隙多, 又可减少孔隙水中碱溶液浓度, 有利于减缓碱集料反应, 同时, 如水泥水化物呈塑性状态, 亦有利于缓和膨胀压力。大量试验表明, 存在的一个水灰比“最不利”极值, 大约为 0.4。通常在一般水灰比范围内, 随水灰比减少, 不利于缓和膨胀压力, 碱集料反应膨胀量有增加趋势。

其它影响因素还有混凝土孔隙率、环境温湿度等。

## 2 碱集料反应混凝土结构的危害

1940 年 E. Stanton 调查研究了美国一些公路、桥梁、大坝混凝土工程的裂缝事故后, 首次提出了碱集料反应理论, 使人们开始重视这一问题, 并进行了碱集料反应危害的调查。

碱集料反应破坏实例和具有反应活性的集料几乎遍及世界各国。碱集料反应引起的混凝土开裂因难以阻止其继续发展和修补被称为混凝土的“癌症”。众多的大坝、公路、桥梁、港口建筑、立交桥及工业民用建筑均曾因这类反类而遭破坏, 造成惊人损失。

1920 年建成的美国加州皇城桥, 不到三年墩帽上普遍出现地图状裂缝, 不久在混凝土路面和护岸上又发生了更严重的开裂。此后美国又找到许多碱集料反应实例, 并拆毁了二座大坝。加拿大安大略省就发现 130 多个混凝土建筑物遭受碱集料反应而破坏。英国到 1989 年查出约 300 个混凝土工程因碱集料反应而受损。

北京某立交桥施工后不到 5 年, 出现了明显的碱集料引起的破坏。直至 1988 年以前, 我国还很少有碱集料反应引起的混凝土工程破坏的报道, 其主要原因可以认为是: ①对碱集料反应研究很少, 缺乏认识, ②碱集料反应的判断很难, 往被施工、环境等其它因素掩盖了; ③混凝土标号偏低, 水泥用量较少, 混凝土中总碱量较低, 不至引起明显的碱集料反应; ④水泥中多掺有混合材料, 混凝土中多掺粉煤灰待活性填料, 也在一定程度上抑制和延缓了碱集料反应引起的破坏。但是, 近年来随着“四量”(水泥含碱量、混凝土单方水泥用量、水泥中相对熟料量和含碱外加剂用量) 的增加, 增加了混凝土的含碱量, 发

生碱集料反应破坏的隐患增加了。此外, 由于我国混凝土材料设计水平一直不高, 除了水电部门外, 将碱集料反应问题及结构耐久性问题纳入设计规范中的几乎没有。混凝土结构设计规范只囿于一般力学计算之中, 混凝土强度指标成了设计的唯一追求。在施工工艺上, 为了单纯追求早期强度, 大量使用含钠盐的外加剂的做法风靡全国, 为了百分之几的强度, 而在有冻融的混凝土工程中摒弃引气剂的选择, 或大量使用钠盐, 诸如此类, 不胜枚举。这些问题的存在, 使我们下定决心采取对策, 克服短期行为, 把碱集料反应问题提到议事日程, 开发全面系统科学的研究已成为当务之急。

### 3 碱集料反应的若干预防措施

#### 3.1 采用低碱水泥, 控制单位水泥用量

一般规定, 含碱量小于 0.6% 为低碱水泥, 含碱量为 0.6—0.8% 为中碱水泥, 含碱量大于 0.8% 为高碱水泥。控制单位水泥用量, 可使水泥中总碱量在引起膨胀的碱量以下。水泥的含碱量主要取决于其原材料的矿物成分, 即使同一工厂不同时间生产的水泥, 碱量变化也不相同。目前, 不少水泥生产厂采用窑外分解等工艺及窑灰的混入使水泥含碱量有明显增加趋势。因此, 当发现集料中含有能引起碱集料反应的成分时, 就应对所使用的水泥碱度进行严格检查, 并加以控制。

#### 3.2 掺用活性混合材料降低混凝土碱性

活性混合材料, 如粉煤灰, 高炉矿渣, 硅灰等, 都能降低混凝土的碱性。目前, 量大而广的可以做为调整水泥碱度的掺料, 可以首推粉煤灰。如掺入水泥重量 20—25% 的粉煤灰, 可以较有效控制碱集料反应。在混凝土中掺粉煤灰时, 应选用超量取代法, 保证混凝土等强、等稠度, 并须注意防止钢筋锈蚀。

高炉矿渣的化学活性及其中的碱量对碱集反应引起的膨胀有一定控制作用, 其效果视矿渣不同而异, 掺加率一般在 50% 以上。

粒径在 0.1 以下的硅灰是活性极大的掺料。当掺入量为水泥重量的 5—10% 时, 可有效控制碱集料反应及由此引起的混凝土膨胀与损坏。但掺硅灰的混凝土必须同时掺入高效碱水剂, 以避免因硅灰颗粒过细导致混凝土用水量的增加。

3.3 选用无反应活性或反应活性小的集料, 可有效防止碱集料反应。特别是重点工程更应重视选用无反应活性集料。据不完整统计, 我国北京、新疆、甘肃、山西、河南、四川、陕西、东北、中南、西南等地区均见有反应性集料。

当对集料选择无余地时, 应采用综合措施来减轻碱集料反应的膨胀量。

3.4 混凝土工程施工、使用环境方面的控制。该方面的控制措施可有以下几点:

①提高混凝土密实度, 阻止水分及碱离子移动; 防止因振捣不实产生的蜂窝麻面及因养护不当引起的收缩裂缝、温度裂缝等。

②冬季施工使用 NaCl 防冻剂的工程及在腐蚀性环境中工作的结构, 以不使用反应性集料为宜。

③在使用环境方面, 应尽量使混凝土结构处于干燥状态, 必要时, 可采用防水和增水涂层, 或装饰面层等措施防止混凝土受外界水分作用。防止混凝土结构干湿交替作用, 也可防止碱集料反应引起的损坏。

据报道, 美国用于工程修补的费用已有几千亿美元。我国经济底子薄, 更不能因一时眼前利益而忽略碱集料反应等影响结构耐久性问题, 让子孙后代背沉重包袱, 重走发达国家建造—损坏—修补、拆除老路。相信, 通过人们的不懈努力, 碱集料反应会得到有效的预防和控制。

### 参 考 文 献

- 1 陈梅良等. 我国水泥含碱量初步调查报告. 长江水电科研院. 1980.
- 2 龚洛书等译. 混凝土工艺学. 中国建工出版社. 1985.
- 3 唐明述等. 我国碱活性集料与碱集料反应. 混凝土. 1990.5.
- 4 龚洛书等. 混凝土耐久性及防护修补. 中国建工出版社. 1990.
- 5 王铁成. 碱骨料反应及试验研究. 混凝土. 1991.5

## On the Alkali—Aggregate Reaction in Concrete

Guo Legong

(Zhengzhou Institute of Technology)

**Abstract:** The Alkali—Aggregate Reaction in Concrete and its damages to the Structures of Concrete have been analysed and the precautionary measures for the Alkali—Aggregate Reaction have been recommended and summerised.

**Keywords:** Concrete, Alkali—Aggregate—Reaction.