

碱硅酸反应与碱碳酸盐反应

唐明述

(南京化工大学材料科学与工程学院, 南京 210009)

[摘要] 碱集料反应(AAR)可分为两类,即碱硅酸反应(ASR)与碱碳酸盐反应(ACR)。二者的共同点是与碱发生的化学反应可导致混凝土中集料的体积增大,从而可能使混凝土甚至整个建筑物或构筑物发生膨胀开裂。文章着重从膨胀过程和机理以及岩石的结构特征探讨二者的特性与差异。ASR类型岩石具有碱活性的前提条件是较低的二氧化硅结晶完整度。只有隐晶质、微晶质、玻璃质或发生过应变的二氧化硅才会具有较高的化学活性,导致混凝土破坏。通过系统研究证实,对碱碳酸盐反应,虽然结晶的完整程度以及白云石($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)分子式中Ca/Mg比也将影响其与碱反应的速率,但起决定作用的是白云石晶体的尺寸及其在岩石中的分布状态和被基质包围的紧密程度。从微观结构得出的这些特征将有助于加深对碱集料反应膨胀机理的认识。文中还介绍了形成活性白云石的地质环境和碱硅酸反应与碱碳酸盐反应的区分方法。

[关键词] 碱;集料;硅酸;碳酸盐;混凝土开裂;机理

1 前言

1940年Stanton^[1]发现碱集料反应引起的混凝土膨胀,当时的碱集料反应仅指碱硅酸反应。直至50~60年代又提出碱碳酸盐反应及碱硅酸盐反应。但经过众多研究之后比较一致的意见是所谓的碱硅酸盐反应实质上仍然是碱硅酸反应,只是细小的二氧化硅分散在岩石的基质之中,因而膨胀要缓慢得多^[2]。对碱碳酸盐反应,发生的事例要少得多,研究的深度与广度也很不够。特别是至今仍有一些科学家对其持保留态度,怀疑是否仍然是碳酸盐岩石中含有的不易鉴定的微晶石英引起的膨胀,即实质上仍然属于碱硅酸反应。考虑到这些矛盾与争论,加以白云石在中国有广泛的分布,并大量应用于各种大型混凝土工程之中,因此详细研究碱碳酸盐反应就很有必要。从微观上研究其反应机制、膨胀过程与机理及其影响因素。从实用观点还必须寻求判断活性岩石的岩相特征,区分有害与无害岩石

的界限,为确保工程的耐久性提供依据。通过这种系列研究并与ASR对比使我们有可能更准确地认识碱碳酸盐反应和区分碱硅酸反应与碱碳酸盐反应。

2 碱硅酸反应

地球的80%是由硅酸盐矿物构成。这包括长石、云母、橄榄石、石英等。所幸大多数文献所说的活性二氧化硅并不包括结晶完好的石英以及仅在化学成分上含有 SiO_2 的岩石。否则我们就很难选到不含硅酸盐或石英的砂石材料了。

所谓活性二氧化硅一般系指无定形二氧化硅、隐晶质、微晶质和玻璃质二氧化硅。这包括蛋白石、玉髓、石英玻璃体、隐晶质和微晶质二氧化硅以及受应力变型的石英。

由于ASR主要决定于 SiO_2 的结晶程度,因此采用什么判据来鉴定 SiO_2 的结晶度就成为大家追求的目标。采用光学显微镜可以在一定程度上做出

[收稿日期] 1999-10-12

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(59672021)

[作者简介] 唐明述(1929-),男,四川安岳县人,中国工程院院士,南京化工大学材料科学与工程学院教授

定性的判定，如图 1 所示即为从蛋白石到各种玉髓直至发展成晶体的石英的一组典型图片。这些典型图片可有助于初步判定岩石的碱活性。

为了能定量表达石英的结晶程度，Dolar Mantuani^[3]提出变形石英的活性高低可由波状消光角来决定，并认为当波状消光角大于 15°时为活性的。但在我们长期用显微镜观察中国收集到的各种岩样发现，大多数石英均表现出有程度不同的波状消光，特别是山东石臼港的花岗岩样，但测长试验表明碱活性并不高。同时还发现波状消光是各种各样的，广西红水河岩滩大坝用集料，其细小晶体呈

环形波状消光，这种消光是无法测量消光角的。其实除波状消光中的带状消光外，其他如帚状消光、块状消光、鲕骨消光、花边消光、环形消光、“X”型消光、T型消光、“+”型消光等均无法测定消光角。同时 Grattan-Bellew^[4]、Andersen 和 Thaulow^[5]均证明膨胀与消光角之间不存在密切的相关性。

为了探索定量表征二氧化硅的结晶程度，笔者等先后探索过用差示扫描量热计（differential scanning calorimetry-DSC）测石英 573℃晶型转变的吸热谷，用正电子湮没测晶体缺陷^[6]以及用 X-射线五指峰图型来判定石英的结晶程度^[7]。

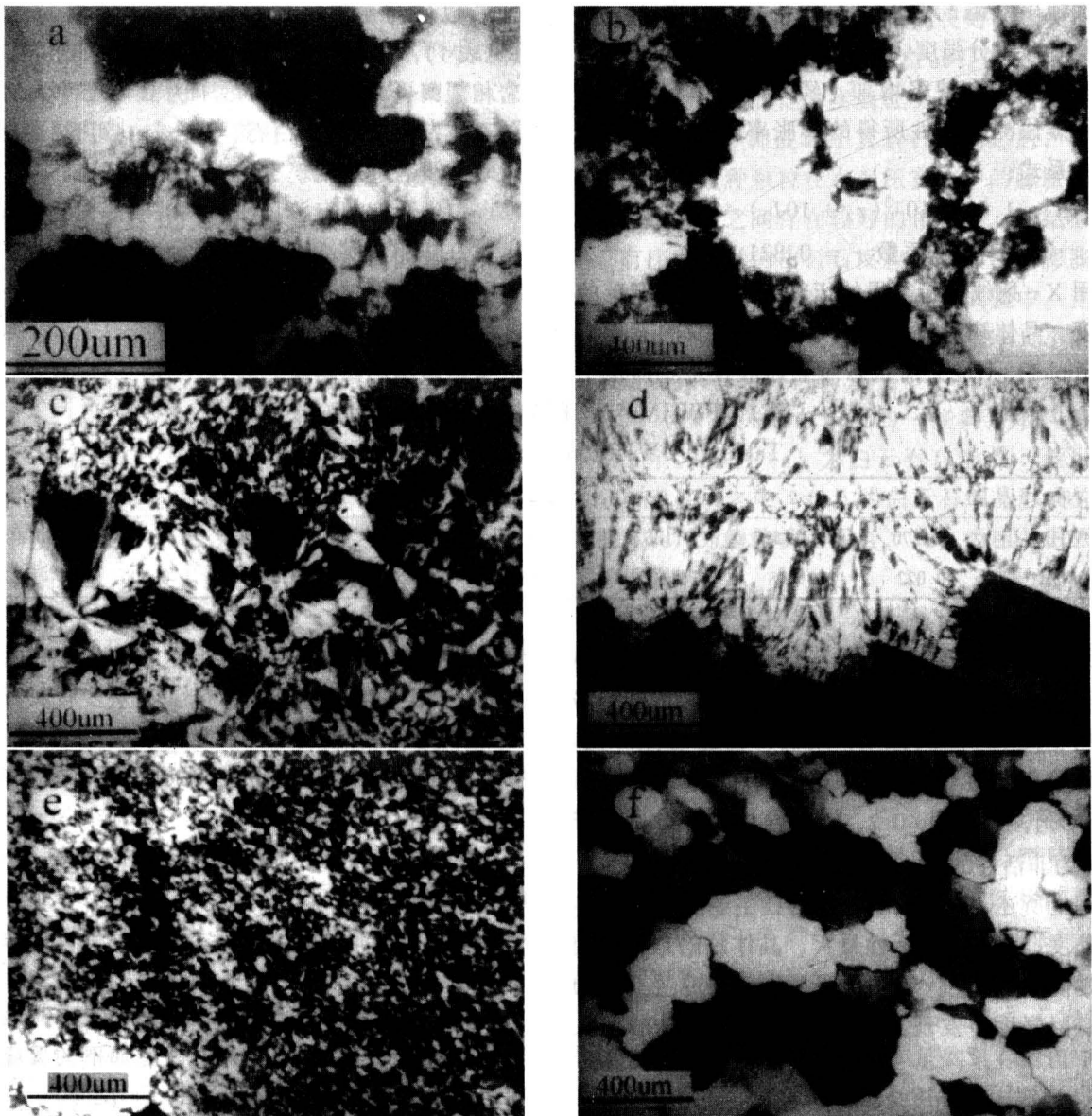


图 1 从蛋白石变至玉髓、石英的形态图

(a) 蛋白石及少量玉髓；(b, c) 玉髓；(d) 玉髓 + 石英；(e) 微晶石英；(f) 粗晶石英

Fig.1 Several types of silica (a) opal and few chalcedony; (b, c) chalcedony; (d) chalcedony + quartz; (e) macro-crystalline quartz

在热分析试验中,石英在 573°C 有一明显的吸热谷。在差示扫描量热计 (DSC) 的图谱上,石英晶体转变的起始温度 t_1 与终结温度 t_2 之差越大,峰高 h 越小,则活性越大,即 f 值越大,石英结晶度越差,活性越大。

$$f = \lg \left[\frac{t_2 - t_1}{h} \right]$$

实验结果表明, f 大于 0.55, 集料为活性, f 小于 0.48, 集料为非活性, $f = 0.48 \sim 0.55$ 之间为潜在活性。

在正电子湮没测定中,一般捕获湮没时间 τ_2 , 表征试样中缺陷的线度,而捕获湮没强度 I_2 , 则表征长寿命组分强度,即缺陷的浓度。因此二者越大则表明晶体中缺陷增加,经 50 余个试样测定,并与压蒸法测碱活性所得的膨胀率 p 比,得到如下的关系式:

$$p = 1.06 \times 10^{-3} (\tau_2 + 10I_2) - 0.524$$

$$\text{相关系数 } r = 0.821$$

用 X-射线分析所得的衍射线也能判定石英的结晶度。晶体缺陷较多的石英在 68° 左右的五指峰 (quintuplet) 不呈尖削状态而呈弥散状态。即每个

峰高度降低而宽度增加。为此 Murata^[8] 利用 $2\theta = 67.74^\circ$ 时 (212) 面峰的特征,定量得出石英的结晶度指数 (crystallization index) 为:

$$CI = \frac{10af_x}{b}$$

式中: f_x 可能每台衍射仪的数值不同, b 为峰底至基线的高度, a 为峰顶至右边峰谷的高度。Murata 认为此结晶度与碱活性有相关性。但童良^[7] 认为其相关性还不够好,并采用谱线拟合技术 (profile fitting technique) 用计算机算出半高宽指数—FWHM (the full width at half maximum)。这一数值与压蒸法所得膨胀率 p 有良好相关性 (见表 1), 二者的相关系数 $r = 0.95$ 。这一结果与岩相观察也非常一致, No.1 为晶体尺寸大而完整的石英, No.8 为蛋白石, 从 No.1 到 No.8, 晶体尺寸减少并逐渐出现玉髓直至蛋白石。

以上讨论的是低温石英 (α 石英) 的结晶度。由于硅氧四面体的排列扭曲,自然界或人工的鳞石英和方石英也具有很高的活性,日本的安山岩中就含有活性高的鳞石英^[9], 我们曾研究过瓷砂中方石英引起的砂浆膨胀开裂。

表 1 FWHM 与砂浆试体的膨胀率 p (%)

Table 1 FWHM and expansion of mortars

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
FWHM	0.1270	0.1357	0.1362	0.1420	0.1525	0.1664	0.1658	0.4997
$p/\%$	0.022	0.048	0.100	0.150	0.200	0.241	0.320	1.324

至于含 SiO_2 的玻璃体,其活性决定于玻璃体的化学组成^[10],当摩尔分数 $x(\text{SiO}_2)$ 、 $x(\text{Na}_2\text{O})$ 降低,和 $x(\text{CaO})$ 、 $x(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 增高,则碱活性降低。活性指数 $k = [x(\text{CaO}) + x(\text{Al}_2\text{O}_3)] / [x(\text{SiO}_2) + x(\text{Na}_2\text{O})]$,当 k 小于 0.2,为活性集料,当 k 大于 0.3 时为非活性的。

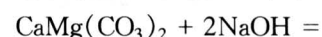
综上所述,硅质岩石的碱活性主要决定于 SiO_2 的结晶度,无定型者活性最大,晶体缺陷越强,则活性越高,Zhang^[11] 曾用电子显微镜研究过石英的晶体缺陷密度,发现其与碱活性具有明显的相关性。

3 碱碳酸盐反应

1957 年 Swenson^[12] 发现在加拿大金斯敦地区混凝土的破坏是由于碱碳酸盐反应引起的。之后在美国的伊利诺伊、印第安那、弗吉尼亚、南达科他

州均发现了这种破坏反应。但这并非指所有的碳酸盐都会产生这种破坏作用。事实上众多石灰石和白云石用于实际混凝土中均有良好的使用记录。这里所指具有破坏作用的岩石是泥质白云石质石灰石,其中一般粘土的质量分数为 5~20%。白云石和石灰石含量大致相等。根据 Gillott^[13] 的研究,白云石的菱形晶体粒径在 50 μm 以下,分散分布于基质之中,基质由微晶方解石和粘土构成,紧密包裹白云石微晶。

碱碳酸盐反应的膨胀机理与碱硅酸反应是完全不同的。当碱与白云石作用时发生如下的反应,并称之为去白云化 (dedolomitization) 反应。



Gillott^[13] 认为,在此反应中,反应物的固相体积大于反应产物的固体体积,因此反应本身不可能

引起膨胀。他发现白云石晶体中包裹有干燥的粘土，上述的去白云石化反应使菱形白云石晶体遭受破坏，从而使粘土暴露造成能够吸水而膨胀的条件。即去白云石化是膨胀的前提条件，而干粘土吸水是膨胀的本质原因。唐明述等在获得加拿大活性样品之后，对碱碳酸盐反应进行了系统研究，提出膨胀是由局部化学反应和结晶压引起的理论^[14,15]。通过岩相和 STEM 的仔细观察未发现活性岩石的白云石晶体中包裹有粘土。通过离子减薄在高倍 STEM 下观察证实，当与碱反应之后，在白云石微晶和基质之间形成定向排列的水镁石 $Mg(OH)_2$ 晶体。同时还发现裂纹多穿过菱形白云石晶面并与之平行。尽管反应产物的固相体积比反应物固相体积小，但白云石晶体的分散分布并镶嵌在紧密包裹的基质之中，其间没有剩余的空间能容许其他离子进入，因而当 K^+ 、 Na^+ 、 OH^- 和水进入被基质包裹的限制空间就必然引起膨胀。再加以形成的水镁石、方解石晶体生长的结晶压就进一步产生膨胀压力。

K^+ 、 Na^+ 、 OH^- 和水之所以会挤入受限空间发生反应，主要是由于上述反应实质上从化学热力学分析为自由能降低的过程。上述反应式若写成离子反应式则为：



可算得自由能的变化为： $\Delta G^\ominus = -12.18 \text{ kJ/mol}$ 。即去白云石化反应的自由能变化 ΔG^\ominus 小于零。这就是该反应的热力学推动力。自发驱动离子和水挤入受限空间。

去白云石化是一个化学反应，这就很自然想到反应速率与白云石晶体的结晶度有关。白云石的分子式为 $CaMg(CO_3)_2$ ，化学组成为 $w(CaO) = 30.41\%$ ， $w(MgO) = 21.86\%$ ， $w(CO_2) = 47.3\%$ ，理想的摩尔比 $n(CaCO_3) : n(MgCO_3) = 1:1$ 。在方解石 ($CaCO_3$) 的晶体结构中，一层 Ca^{2+} 与一层 CO_3^{2-} 相间排列。在理想的白云石晶体结构中，Ca 离子层相间地被 Mg 离子所替代，使得白云石晶体结构不规则可以有两种方式，其一是在 Ca 离子层中可能有 Mg 离子，或 Mg 离子层中有 Ca 离子，此外大多数天然白云石中 $CaCO_3$ 的摩尔分数常超过 $MgCO_3$ 的摩尔分数，甚至可多达 7%。

Hadley 在 1961 年用 X-射线研究了白云石的结晶度与碱活性的关系^[16]。他采用的是 (110) 和 (015) 面的衍射强度之比作为结晶度的判据。因他发现所研究的白云石样品，无论是活性的和非活性

的结晶度都不好，因此他认为对碱碳酸盐反应白云石的结晶度似非重要因素。

慕晓坊认为^[17]采用 (110) 和 (015) 面的衍射强度之比不一定恰当，因 (110) 和 (015) 面的衍射强度太弱，仅分别占 (104) 面的 10% 和 8%。他采用 X-射线法用 NaCl 作内标，精确测定白云石样品 (104) 面衍射线位置与标准 $d(2.886)$ 的差作为衡量白云石的结晶度。在修正的 XRD 图谱中， $d(2.886)$ 峰值的 K_α 和 K_β (即 $d_{K\alpha}$ 和 $d_{K\beta}$) 是不同的，结晶度 (Cr-crystallinity index) 可由 $d_{K\alpha} - d_{K\beta}$ 算得。慕晓坊采用国内外采集的碳酸盐样品发现 Cr 与测长法测得的膨胀率之间有良好的相关性。

钱光人^[18]又进一步研究白云石的结晶度与膨胀性之间的关系。他的实验证明，若将白云石破碎至 $40 \sim 60 \mu\text{m}$ ，即破坏了其岩石结构之后，化学反应速度以及这种颗粒在水泥压实体中的膨胀率与白云石的结晶度之间存在较好的相关性。即结晶度较差、有序度较低的白云石反应速率加快而膨胀率增大。但进一步研究证实，在混凝土试验中，当集料粒径在 $0.5 \sim 1 \text{ cm}$ 之间时，影响膨胀率大小的主要因素是岩石的结构特征。

与 ACR 有关的白云岩的一些典型结构特征示于图 2 中。图中 (a) 为白云石自形晶 (菱形) 分散分布于基质之中，(b) 为白云石细晶形成的镶嵌结构，(c) 为鲕粒状白云岩，(d) 为粗晶白云石形成的镶嵌结构。

钱光人^[18]详细研究了各种不同岩相结构与碱性膨胀的相关性。结论是膨胀岩石主要是白云岩晶体分散分布的白云岩，膨胀大小决定于分散白云石晶体的结晶度和晶体尺寸，但以后者为主。而基质特性也显著影响膨胀率。当基质为粘土或粘土与细晶或泥晶方解石构成时，则孔隙率小，包裹最紧密，膨胀最大。当基质为亮晶方解石，则基质孔隙率增大，膨胀率降低。至于具有镶嵌结构的粗细晶白云石，则由于一般反应只发生在表面很薄一层，增加的膨胀值往往不足以引起较大的膨胀。

但是应该特别注意的是岩石往往是不均匀的，如图 2 (c) 的鲕粒状白云石，虽然只有鲕粒中白云石呈分散状分布，但同样也会引起很大膨胀。

钱光人^[18]从微相 (microfacies) 较详细研究了各种白云石的成岩环境和地质特征。根据加拿大 Kingston 地区典型的活性泥质白云石质灰岩的微相特征：存在鸟眼、微层理、少量石膏或石盐假晶以

及白云石晶体的有序度低并呈细小粉晶尺寸等特点，认为此类岩石起源于早期成岩和准共生白云化作用，是典型的潮坪相。总结起来认为：“具有潜在高 ACR 膨胀性岩石形成的沉积环境应具备浅水低能，偏离正常海水盐度，毗邻古陆边缘等特点，

其中具有高 ACR 膨胀性的泥晶白云质灰岩应形成于局限台地的上潮间古环境，泥质泥晶白云岩产生于萨哈布模式的潮上带。”此结论可用 Wilson 的相带模型图（图 3）表示。

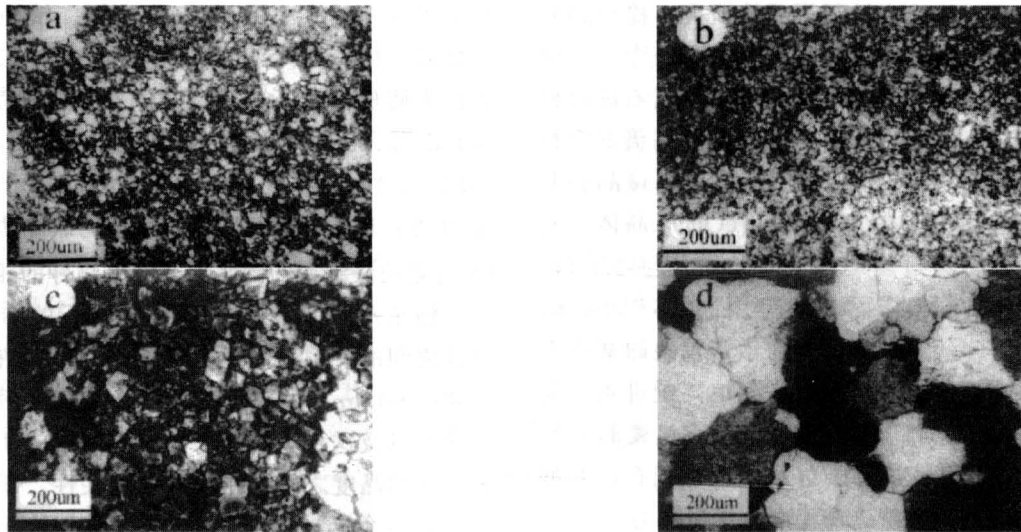


图 2 白云岩的岩相特征

Fig.2 Petrographic photos of dolomite

这一结论的重要性在于首次提出活性白云石形成的地质环境。从而可以在大范围内预测其分布，现在已初步得出中国华北地区的分布地图，通过进

一步研究和验证，可以推广应用于其他地区。这对预防大型混凝土工程发生 AAR，以及建立现代化采石场有重要的实用价值。

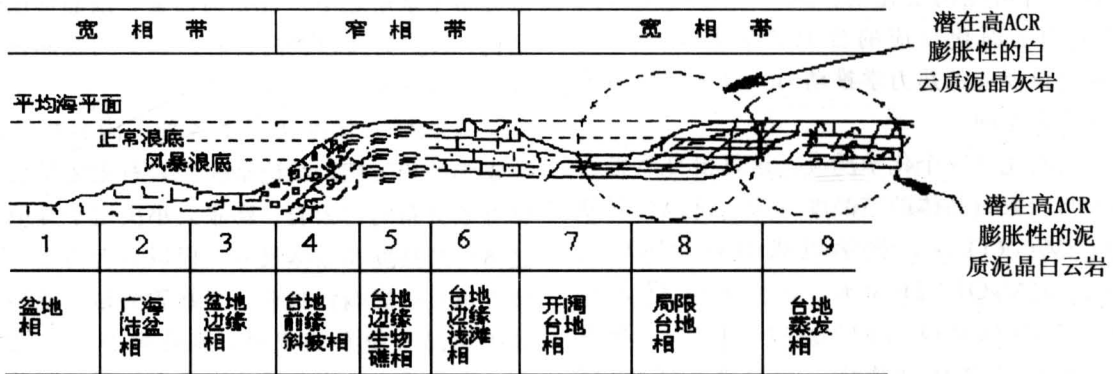


图 3 Wilson 的相带模型及高 ACR 膨胀性岩石的存在区

Fig.3 Facies belts in Wilson's model and possible existing region of rocks with ACR

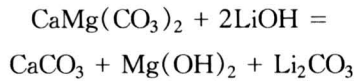
4 碱硅酸反应和碱碳酸盐反应的区分

在碳酸盐岩石中多少会有一些量的二氧化硅，碳酸盐岩石中含有燧石、玉髓、微晶石英等引起工程破坏的例证是很多的。因此世界上有不少专家认为所谓的碱碳酸盐反应实际上可能是其中所含微晶

石英引起的 ASR 膨胀。甚至否定 ACR 的存在。

邓敏等选用纯白云岩破碎与水泥制成压实体，即相当于岩石中白云石晶体分散分布于基质之中也照样引起膨胀，同时纯白云岩的岩石柱及菱镁矿岩石柱在碱中浸泡也同样引起膨胀，这些事实说明不含微晶石英的碱碳酸盐反应完全可以引起膨胀^[19]。

但在实际工程上还存在这样的问题, 即用测长法测得的碱性膨胀究竟是 ASR 引起或 ACR 引起以及二者的作用各有多大不好判断, 为此曾试图采用 LiOH 以区别二者的影响。其理论根据是 LiOH 不仅不会引起碱硅酸反应的膨胀, 相反在特定的条件下还对 ASR 有良好的抑制作用。而 LiOH 同样与白云石会发生下列反应:



同样上式可写成离子方程式并计算得:

$$\Delta G^\ominus = -12.18 \text{ kJ/mol.}$$

因此从热力学而言, 此反应方程仍为自发过程, 实验证明此反应在室温下也完全能发生, 只是反应速率比 KOH 慢。从理论上分析, 在 0℃ 时 LiOH、KOH 和 NaOH 的溶解度分别为 127 克、970 克和 420 克。虽然 LiOH 的溶解度小得多, 但饱和浓度仍可达 5.3 mol/L 左右, 将达到很高的 pH 值, 发生上述反应是完全可能的。

钱光人采用混凝土柱方法用加拿大 Kingston 的活性白云石为集料, 在 150℃ 下分别在 $w(\text{LiOH}) = 10\%$ (LCK)、 $w(\text{KOH}) = 10\%$ (KCK) 的溶液和水 (PCK) 中压蒸所得结果示于图 4。由图可见用 LiOH 在适当条件下完全可以显示 ACR 的膨胀, 采用这样的方法将有利在实际工程中区分 ASR 和 ACR, 同时也进一步肯定了仅 ACR 完全可以造成混凝土的膨胀开裂。

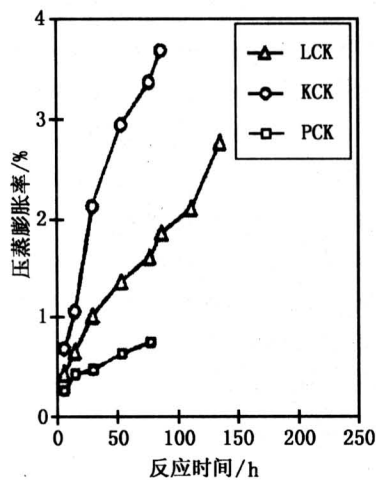


图 4 混凝土柱在不同的碱溶液和水中 150℃ 压蒸的膨胀值 (%)

Fig.4 Expansion of concrete bars in different alkali solutions and in water at 150℃

5 结论

(1) 对于碱硅酸反应二氧化硅的结晶度起决定性作用。

(2) 对碱碳酸盐反应, 在一定条件下白云石的结晶度将影响反应速度, 但膨胀大小主要决定于白云石晶体尺寸、分布状态及基质包裹的紧密程度。

(3) 膨胀活性大的粘土质白云石质泥晶石灰石形成于受限台地的古环境, 泥质泥晶白云石产生于萨哈布模式的潮上带。

(4) 用 LiOH 可区分 ASR 与 ACR。

参考文献

- [1] Stanton T E. Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate [C]. Proc. ASCE 66. 1940. 1781-1811
- [2] Tang Mingshu. Classification of alkali-aggregate reaction [C]. 9th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. London, UK., 1992, 2: 648-653.
- [3] Dolar-Mantuani L M M. Undulatory extinction in quartz used for identifying potentially reactive rocks [C]. Proc. of 5th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Paper No. S252/36, 6pp. Pretoria, S. Africa: National Building Research Institute of CSIR, 1981
- [4] Grattan-Bellew P E. Is high undulatory extinction in quartz indicative of alkali-expansivity of granitic aggregates? [C]. Proc. of the 7th International Conference on concrete alkali-aggregate reactions. Ottawa, Canada: Noyes Publication, 1986. 434-438
- [5] Andersen K T and Thaulow N. The application of undulatory extinction angles (UEA) as an indicator of alkali-silica reactivity of concrete aggregates [C]. Proc. of the 8th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction. Kyoto, Japan, 1989. 489-494
- [6] Tang Mingshu, Wan Meihua and Han Sufen. Microstructure and alkali reactivity of siliceous aggregate [C]. Proceedings of 8th International Congress on Alkali-Aggregate Reaction. Kyoto, Japan, 1989. 462-475
- [7] Tong Liang, Wan Meihua, Han sufen, et al. Method to evaluate the reactivity of microcrystalline quartz in carbonate rock [J]. Advances in Cement Research, 1997, 9 (34): 55-63
- [8] Murata K L and Norman M B. An index of crys-

- tallinity for quartz [J]. *Am. J. Sci.*, 1976, 276: 1120-1130
- [9] Nishibayashi H. Alkali-aggregate reactivity in Japan—A review [C]. *Proceedings of 8th International Congress on Alkali-Aggregate Reaction*. Kyoto, Japan, 1989. 17-24
- [10] Tang Mingshu, Xu Zhongzi and Han Sufen. Alkali reactivity of glass aggregate [J]. *Durability of Building Materials*, 1986, 4 (4): 377-385
- [11] Zhang X, Blackwell B Q and Grove G W. The microstructure of reactive aggregates [J], *Br. Ceram. Trans. J.*, 1990, 89: 89-92
- [12] Swenson E G. A reactive aggregate undetected by ASTM tests. *American Society for Testing and Materials [M]*. Philadelphia, Bulletin 226, 1957. 48-51
- [13] Gillott J E. Mechanism and kinetics of expansion in the alkali-carbonate rock reaction [J]. *Canadian Journal of Earth Science*, 1964, 1 (2): 121-145
- [14] Tang Mingshu, Liu Zheng and Han Sufen. Mechanism of alkali-carbonate reaction [C]. *Proceedings of the 7th International Congress on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. Ottawa, Canada: Noyes Publications, 1986. 275-279
- [15] Tang Mingshu, Lu Yinong, Liu Zheng, et al. Alkali-carbonate reaction and pH value [J]. *IL Cemento*, 1991, 88 (3): 141-150
- [16] Hadley D W. Alkali reactivity of carbonate rock-expansion and dedolomitization [J]. *Proc. Highway Research Board*, 1961, 40: 462-474
- [17] 慕晓坊. 碱碳酸盐反应的研究 [D]. 南京: 南京化工大学, 1996
- [18] 钱光人. 碳酸盐岩的岩相特征和地质特征与碱碳酸盐反应 [D]. 南京: 南京化工大学, 1998
- [19] Deng Min, Tang Mingshu. Mechanism of dedolomitization and expansion of dolomitic rocks [J]. *Cem. and Concr. Res.*, 1993, 25 (6): 1397-1408

Alkali-silica Reaction and Alkali-carbonate Reaction

Tang Mingshu

(*Nanjing University of Chemical Technology, Institute of Materials Science and Engineering, Nanjing 210009, China*)

[**Abstract**] Alkali-aggregate reaction (AAR) may be divided into two kinds: alkali-silica reaction (ASR) and alkali-carbonate reaction (ACR). The chemical reaction between the reactive aggregate and alkali causes serious expansion and results in the deterioration of concrete structure, which is the common character of both. In this paper, the characteristics and differences between ASR and ACR were discussed in detail from expansive process, mechanism and the structural characteristics of rocks. For ASR, the prime essential is the crystallinity of silica, which causes the rocks to display alkali reactivity. Thus only cryptocrystalline, microcrystalline, glassy and strained silica, cristobalite, tridymite, etc. display high alkali reactivity. The criteria and methodology to determine the crystallinity of silica were described in more detail. Through systematically study, it was proved that for ACR, although the crystallinity of dolomite and the Ca/Mg ratio of dolomite may influence the rate of reaction, the decisive roles are the size of dolomite crystals and the distributions in the matrix and the compact degree of surrounding matrix. These results will help to deeply understand the essential of mechanism of AAR. In addition, the geological conditions of formation of reactive carbonate rock were studied, which will be very beneficial to confirm the distribution of reactive carbonate rocks in a region or in a country. Finally the method for distinguishing ASR and ACR was introduced.

[**Key words**] alkali; aggregate; silica; carbonate; concrete deterioration; mechanism