

水泥与混凝土译文

汇编

(粉煤灰、物理检测分册)

第十六期

建材研究院水泥研究所

1979.9

目 录

1. 水泥抗硫酸盐的新试验	1
2. 水泥强度标定的快速方法	11
3. 用化学方法快速测定混凝土强度	19
4. 非破损检验法推测混凝土强度	20
5. 火山灰活性的测定	27
6. 波特兰水泥熟料中的碱和矿物组成对水化液相组成变化 动力学和水化硫铝酸钙结晶动力学的影响	29
7. 矾土水泥的矿物组成与强度发展的关系	43
8. 粉煤灰作水泥的活性混合材	46
9. 粉煤灰水泥的水化硬化	55
10. 粉煤灰水泥的钢筋锈蚀	60
11. 高粉煤灰掺量的波特兰水泥水化特点	62
12. 九个国家粉煤灰标准摘录	67

72177/7
=16

水泥抗硫酸盐的新试验

波特兰水泥混凝土的价格低廉，应用广泛，所以成为目前重要的建筑材料。至于混凝土结构的长期耐久性，主要决定于环境因素对它们固有的使用寿命起反作用的能力。侵蚀水的化学腐蚀是损害混凝土的主要因素之一，因水泥浆的某些组成能与硫酸盐起有害的化学反应，所以通常，可由水中存在硫酸根离子来估计它对混凝土的侵蚀性。海水，土壤里含有可溶硫酸碱性地下水以及许多含有大量硫酸盐的工业水均可能损害波特兰水泥混凝土。

关于在硫酸盐溶液和波特兰水泥浆之间可能产生的化学反应。一种反应是，水泥中存在的 C_3A 形成的水化物，在适当的条件下可引起显著膨胀和裂缝的钙矾石 ($C_3A \cdot 3\bar{C}\bar{S} \cdot 32H_2O$)。由于波特兰水泥的硅酸钙水化产物为 CSH 凝胶和 $Ca(OH)_2$ ，所以另外一种反应是在硫酸盐溶液中可能出现这些水化产物的转化，特别是 $Ca(OH)_2$ 转化为石膏 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)。与钙矾石膨胀—裂缝的现象相反，在硫酸盐酸性溶液中这种反应使表面软化—剥落而破坏。

正常的波特兰水泥含有 7-15% C_3A ，为了减少水泥对形成钙矾石的膨胀—裂缝型的硫酸盐破坏的敏感性，显然应采用 C_3A 含量低的波特兰水泥。因此 ASTM (C150-72) 规定抗硫酸盐波特兰水泥 C_3A 最大极限是 5%。B.S. 4027 规定最大为 3.5%。

从软化剥落型硫酸盐侵蚀的观象来看，硬化波特兰水泥浆中最敏感的组分是氢氧化钙，Feld⁽¹⁾ 1957 年报导，英国新泽西岛的 Ocean 城的 750 根预制混凝土桩，在海水中使用 25 年后，其尺寸从 22 吋变为 12 吋 (558.8 mm 304.8 mm)。Gjovrv⁽²⁾ 发现在他的研究中所用的波特兰水泥，包括含 C_3A 3% 的水泥（这是不产生钙矾石膨胀—裂缝型破坏的水泥）所做的混凝土试块的抗弯强度在挪威海水中养护 30 年后有明显的影晌，他发现加入火山

灰或火山土可以改善波特兰水泥混凝土的耐久性。关于抗硫酸盐的适应性，某些研究者包括 Kind (被 Biczok^[3] 引用) 和 Kalousek 等^[4] 介绍用外加含活性二氧化硅的物质，如火山灰使氢氧化钙转变为水化硅酸钙，以降低水化波特兰水泥中 Ca(OH)_2 的有效含量。同时，这也说明了为什么常规定 C_3A 低的波特兰水泥，火山灰波特兰水泥和矿渣波特兰水泥用于抗硫酸盐工程。同样的理由，超硫酸盐水泥和高铝水泥在它们的水化产物中不含 Ca(OH)_2 都认为是抗硫酸盐的。

抗硫酸盐试验概述

对于一种满意的试验室试验方法应当是：

- (1) 在比较短的时间内 (例如一个月) 具有一定的可信性和重复性，这对于水泥的制造和使用来说均具有实际意义；
- (2) 与现场试验有良好的相关性 (即，方法要尽可能精确地反映水泥石结构中硫酸盐侵蚀过程的本质)；
- (3) 适用于各种抗硫酸盐水泥。

水泥抗硫酸盐试验的各种方法由 Biczok^[3] Wittekindt^[5] 和 Lea^[6] 已有足够评论。尽管大多数方法是有效的，但从下节评论中可以看出通常所知道的方法不能完全满足上述要求。

ASTM 试验方法

按照 ASTM 波特兰水泥砂浆遭受硫酸盐侵蚀的潜在膨胀试验 (C452-68)，水泥的潜在抗硫酸盐性可用 $1 \times 1 \times 1 \frac{1}{4}$ 吋 ($25.4 \times 25.4 \times 285.75$ mm) 砂浆棱柱体 (灰砂比 1:2.75) 在水中的膨胀值来评定。外加石膏与水泥混合，使水泥水化前的总 SO_3 含量为 2.0%。湿气养护一昼夜的试体放在 23°C 水中浸泡并在 14 天测定膨胀值。这个试验方法没有反映实际条件，因为遭受硫酸盐侵蚀的是无水水泥的成分而不是它们的水化物。但是，这个方法已能有效地把高 C_3A 水泥从低 C_3A 水泥中区别开来，然而从总的实用观点来说这种方法的有限价值有二：第一， C_3A 含量 (可以从水泥化学分

析计算而得)与形成钙矾石膨胀—开裂的硫酸盐侵蚀现象之间的相关性为人所共知和接受;其次,这一方法未能评价水泥抗软化剥落型硫酸盐侵蚀的性能。此外,硫酸盐浓度很高的溶液能与矿渣及火山灰中的氧化铝组份起化学反应,显然这一方法不适用于有混合材的波特兰水泥,如矿渣波特兰水泥和火山灰波特兰水泥。

砂浆浸泡试验

有几种试验方法是基于长期浸泡于硫酸盐溶液中的砂浆试体的强度与膨胀性能的变化来评价的,在试验室试验中常用硫酸钙、硫酸镁和硫酸钠溶液。后者由于比其他溶液有使用方便而更优越性。硫酸盐侵蚀速度可通过增加溶液 SO_3 浓度来加速,虽然在某些试验中已经采用含 10% 甚至更高的硫酸钠溶液,但这可能不能真实反映硫酸盐侵蚀过程,因此为了加速实验室试验在几种试验方法中找出硫酸钠溶液的最高浓度为 5% ($2.8\% SO_3$)。几种种砂浆浸泡试验讨论如下:

Thorvaldsen 等^[7]所用的方法中,水泥的相对抗硫酸盐性,用养护 3—5 周的 1:10 贫砂浆棱柱试体 ($1.55 \times 1.55 \times 10 \text{ cm}$) 来评价。最近这方法由 Koch 和 Steinegger^[8]提出,用 $1 \times 1 \times 6 \text{ cm}$ (1:4) 砂浆棱柱试体,在硫酸盐侵蚀前养护 21 天,用 10% $Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$ (4.4% Na_2SO_4) 溶液浸泡。而 Thorvaldsen 等^[7]是用 21% Na_2SO_4 、1.81% $MgSO_4$ 和饱和 $CaSO_4$ 溶液浸泡,后者的作者用测定数年的抗拉强度和线膨胀来评价水泥的相对抗硫酸盐性,而前者的作者用测定浸泡在硫酸盐溶液中几个星期到 77 天的抗弯强度。Koch-Steinegger 方法还推荐对浸泡溶液用 $2 N H_2SO_4$ 滴定,以测定溶液的硫酸根损失来作为相对抗硫酸盐性的判断标准之一。

总的来说,砂浆浸泡试验与合适的加速试验相比是太慢了,按照 Lea^[6]或者是 Koch-Steinegger 试验,均采用小试体,浸泡在强的 Na_2SO_4 中试验期令需大于 77 天,而且,这试验方法是

从测定膨胀来评价对硫酸盐的敏感性，同样它对表面软化—剥落型硫酸盐侵蚀不能有效评价。

Narkestad [9] 报导采用 12.7 mm 振动砂浆立方试块 (1:3:0.5 水泥:砂子=水) 养护 7 天和 28 天浸泡在 0.5% SO_3 的硫酸镁溶液中。经 77 天和 70 天其抗压强度表示明显的变化，用 C_3A 含量 9.6% 波特兰水泥制成的立方试块表现为强度明显下降，而从 C_3A 为 0 的波特兰水泥制成的立方试块则一般地没有变化。

Forrester [10] 报导了类似的研究结果，他们采用 12.7 mm 振动立方砂浆试体 (1:3:0.46 水泥:砂:水)，养护 30 天，浸泡在 3.5% SO_3 的硫酸钠溶液中，经过 3 个月表现出抗压强度明显的变化，用 C_3A 含量 9% 或 5% 的波特兰水泥制成的立方体强度损失很大，而用 C_3A 含量为 0 的波特兰水泥，高铝水泥和超硫酸盐水泥制成的立方试体，则一般地没有变化。

净浆试验

Bir30K [3] 综述了 Merriman 和 Anstett 二人的试验。在 Merriman 的试验中，用 $5 \times 10 \times 0.6\text{ cm}$ 净浆试块 (0.26%) 养护三天后，悬挂在 10% 硫酸钠溶液中，溶液用 H_2SO_4 每天中性化以保持 SO_3 恒值；试块要求浸泡 28 天后无裂缝和弯曲，则认为这种水泥是抗硫酸盐的。这一方法对于区别高 C_3A 水泥和低或无 C_3A 水泥非常有效，但是象其他以膨胀为基础的方法一样，不能用来说明软化型硫酸盐侵蚀，此外，这一方法对于火山灰及矿渣水泥会产生反常的结果。

在 Anstett 的试验中，水泥的潜在抗硫酸盐性用 $\phi_{30\text{mm}} \times 80\text{mm}$ 高的圆柱试块的膨胀来评价，试块用 2 份水化很好的水泥浆和 1 份石膏的混合物来压制，试块湿气养护 24 小时，测其直径后，然后再湿气养护 28 天及 90 天再行测其，对抗硫酸盐的水泥来说其膨胀值不超过 1.25%，这一试验相当严格，而且与水泥实际使用情况相差很大，根据 Lea [6] 报导，波特兰矿渣水泥，甚至

低 C_3A 波特兰水泥在这个试验中都有不合格的根据。

水泥抗硫酸盐试验新方法

在已有的抗硫酸盐试验方法的基础上，一种快速和合理的试验水泥抗硫酸盐相对稳定性的方法，可以作如下设想。

1. 在砂浆或混凝土中只有水泥部分是耐硫酸盐侵蚀，因此更直观和迅速的抗硫酸盐侵蚀试验用净浆为好。

2. 浸泡试验更接近于硫酸盐侵蚀的实际过程，在试验室中浸泡试验的加速主要是增加硫酸盐溶液扩散到试体内下去的速率，因而浸泡的水泥浆试体要有高透性，从这里出发，显然试体尺寸以小为好。

3. 酸型硫酸盐侵蚀（表已软化胜于膨胀开裂）可以用保持溶液 PH 来加速，用 PH 恒定方法保持溶液 PH ，若不这样做，溶液的 PH 很快由于水泥试体中的石灰溶解而变为碱性。

4. 为了评价一种水泥的总的抗硫酸盐行为（这里包括膨胀开裂和软化破坏二种类型）。经浸泡的试样用强度损失来评价优于膨胀，因为明显的体积膨胀通常产生微裂缝而使强度下降。

按照上述设想，作者发展了一种新的试验方法来评价各种不同类型水泥的相对抗硫酸盐性，此方法的大致研究情况报告如下：

材料

用含潜在 C_3A 8.6% 的普通波特兰水泥；不含 C_3A 波特兰水泥，含 30% 高炉矿渣水泥，含 80% 矿渣波特兰水泥、含 26% 火山灰波特兰水泥，水泥的化学成份见表 1，在研究中试用二种硫酸盐溶液——饱和硫酸钙溶液（0.12% SO_3 ）而另一种是 4% 硫酸钠溶液（2.1% SO_3 ），测得溶液的 PH 值分为 6.3 和 6.7。

步骤

12.5 mm 水化水泥净浆立方体，在硫酸盐溶液中浸泡 14 和 28 天后测定抗压强度，总试验时间 35 天，详细步骤如下：

成型：为了得到孔隙率多的水泥石， $水/灰 = 0.5$ ，通常净浆用

这样的水灰比会泌水，但可用少易于水化水泥 (Markestad⁽¹⁾报导)，或用高速搅拌来改善其泌水性，在本研究中采用的是后者的技术，是由挪威 NTN, Trondheim 大学水泥混凝土研究院的 I. Gunkild 提出的方法，这技术是假定在高 W/C 下可以实现未水化水泥的大颗粒表面形成的水化细分散粒子分散和散开，而达到稠的稠度。

表一 水泥化学分析 %

	No. 1 普通波特兰水泥	No. 2 $C_3A=0$ 波特兰水泥	No. 3 矿渣水泥液 特兰(矿渣30%)	No. 4 矿渣波特兰水泥 (矿渣80%)	No. 5 火山灰波特兰水泥 (火山灰25%)
SiO_2	20.6	20.5	23.5	28.88	21.89
Fe_2O_3	2.68	5.83	1.94	0.61	3.22
Al_2O_3	4.97	3.53	7.63	12.00	6.39
CaO	65.12	65.31	58.23	47.68	51.46
MgO	1.50	0.80	2.74	4.24	1.42
SO_3	2.62	2.91	2.68	2.61	3.04
石溶物	0.20	0.10	0.66	0.75	8.40
烧失量	1.30	1.34	2.21	1.54	4.03
C_3A 含量	8.6	0			

本研究的净浆制备是用三速 Braun 混合机的最高的速度搅拌，对波特兰水泥和火山灰水泥，搅拌5分钟就能获得不泌水的净浆，而矿渣波特兰水泥要达到同样的目的却需要8分钟，除了净浆中有空气泡而使继续成型操作时试体表面不光滑外，这种技术是有效的，因此，成型前，净浆先用真空泵抽真空15分钟排气，然后用全套铜制模具成型 $12.5 \times 12.5 \times 12.5$ 立方试体，每个试验令期立方试块总数是十块。

养护：为了加速试验，立方试体在潮湿环境 $50^\circ C$ 下养护7天，

这加速养护过程是使试体在浸泡硫酸盐溶液前所有水泥充分水化，也即，硬化水泥浆具有相当的强度性能，这是由于像高炉矿渣波特兰水泥和火山灰波特兰水泥的混合水泥在室温下强度发展较慢。另一个理由是可以避免试体因在标准养护下强度发展较慢，将试体早期泡入硫酸盐溶液而使试体破坏的错误结论。可以看出试体在标准养护和 50°C 养护下对水泥水化产物的性质和硬化水泥石结构之间没有显著差别。本研究中操作细节叙述于下：

试体成型后，用光滑的玻璃板覆盖，并且在室温的雾室内保持 24 小时。然后带试模的试体用湿毛巾包裹好，并且放到带盖容皿中，再将容皿放到保持 50°C 的烘箱中，在湿热条件下养护 20 小时。一天以后脱模，并且再用潮湿毛巾包起来，仍放在带盖容皿中，继续在 50°C 下养护到 7 天，试体到养护期后，将他们分成三组，一组放入存有硫酸钙 ($0.12\% \text{SO}_3$) 塑料容皿中，第二组放到存有硫酸钠 ($2.1\% \text{SO}_3$) 的塑料容皿中，第三组是进行抗压强度试验。可以看出用于本研究的所有水泥其 7 天抗压强度值在 $45 \sim 55 \text{ N/mm}^2$ 之间。

硫酸盐浸泡：每 5 个水泥分开存放，在没有任何其他合适的搅拌应用之前，所有的容皿放到混凝土振动桌上，并且使受到连续不断的轻微震动，以帮助溶液保持流动，将来的试验，可用隔层泵放在每一容皿外，搞一种标准的振动装置。用作硫酸盐浸泡试验的溶液量为相当于 25 cm^3 溶液/试体表 3 cm^2 。

起初，企图利用 PH-Stats 保持硫酸盐溶液在一定的 PH 值，用接近 $1 \text{ N H}_2\text{SO}_4$ 溶液自动滴定，但本文研究中由于缺少 PH-Stats ，采用下节所述的人工操作，即用几滴溴百里兰（溴百里酚磺酞）指示剂加到溶液中，带有指示剂的溶液，当 PH 从 6.0—7.6 时，溶液的颜色由黄色转变为兰色，从此，以后每隔 24 小时浸泡溶液用 $1 \text{ N H}_2\text{SO}_4$ 的标准液加入直到溶液的颜色由兰色变回黄色为止。

结果与讨论

图1和图2照片(略)所表示的是水泥立方试体浸泡在硫酸盐溶液中28天后的情况,图3和图4表示浸泡令期为0, 14和28天的抗压强度变化,从图1可以看出,用普通波特兰水泥制备的试体在二种硫酸盐溶液中破坏厉害,而用 C_3A 为0的波特兰水泥制备的试体还是坚硬的,实际上普通波特兰水泥立方试体在浸泡14天以后破坏已经显著,当他们浸泡在 $CaSO_4$ 溶液中强度损失40%,浸泡在硫酸钠溶液中强度已损失60%。以破坏的物质进行X—射线分析,显出 $Ca(OH)$ 减少而钙矾石($3H_2O$ 硫酸铝钙)是增加了。从试体外形和抗压强度试验看出, C_3A 为零的水泥在硫酸盐溶液中,到试验期满(浸泡28天),安定性没有变化。

至於本研究所用混合水泥,只有掺80%的矿渣水泥,在浸泡28天的试验后未发现变化,用这种水泥制备的立方试体,在二种硫酸盐溶液中的坚硬情况见图2c和2d,而图2a和2b表示的是用30%的矿渣波特兰水泥和26%火山灰波特兰水泥制成的试体在硫酸钠溶液中浸泡28天后的破坏情况。比较混合水泥破坏速度看出,硫酸钙溶液比硫酸钠溶液要快,实际从图3的抗压强度数据中也可以出,浸泡在硫酸钙溶液中14天后几乎没有破坏,而在 Na_2SO_4 溶液中(见图4)可能是由于 SO_3 浓度较高,效果较明显,无论是30%的矿渣水泥还是26%的火山灰水泥,在浸泡14天和28天后的强度损失情况相同。

在本研究中不想获得关于水泥抗硫酸盐性能现场研究与实验室试验结构比较的直接关系,然而,从实验室试验所得到的结果与水泥制品经受现场情况是一致的。根据Dyckerhoff水泥公司提供本研究用的水泥试样即30%高炉矿渣波特兰水泥和26%火山灰水泥是不能抗硫酸盐的。而 C_3A 为0的水泥和80%矿渣水泥是能抗硫酸盐的。后来亦迁到Locher's⁽¹²⁾发现从普通波特兰水泥熟料制备的矿渣波特兰水泥,若矿渣含量至少是70%时,其抗硫酸盐性能是稳定的。

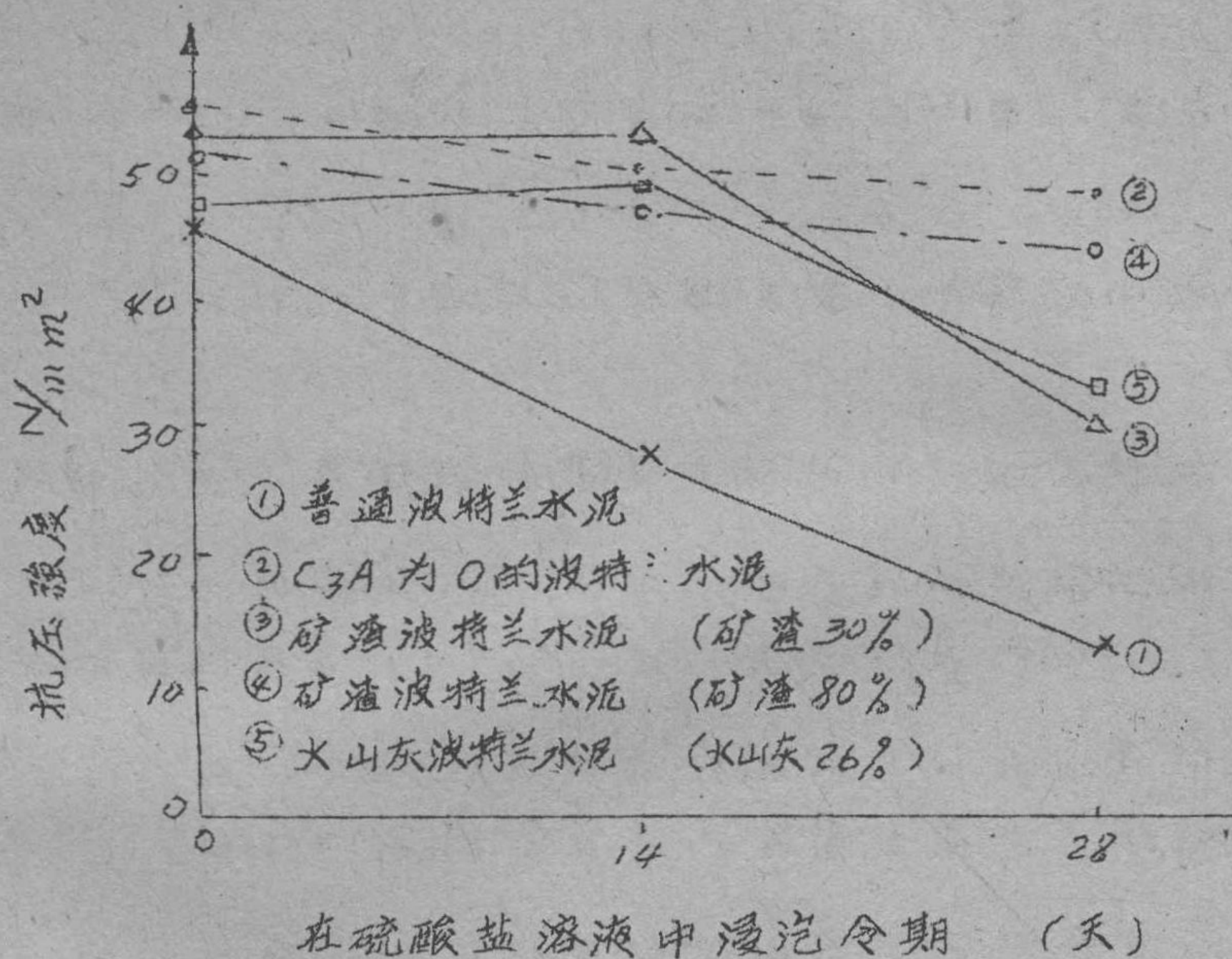


图 3. 在硫酸钙溶液中净浆立方试块的抗压强度

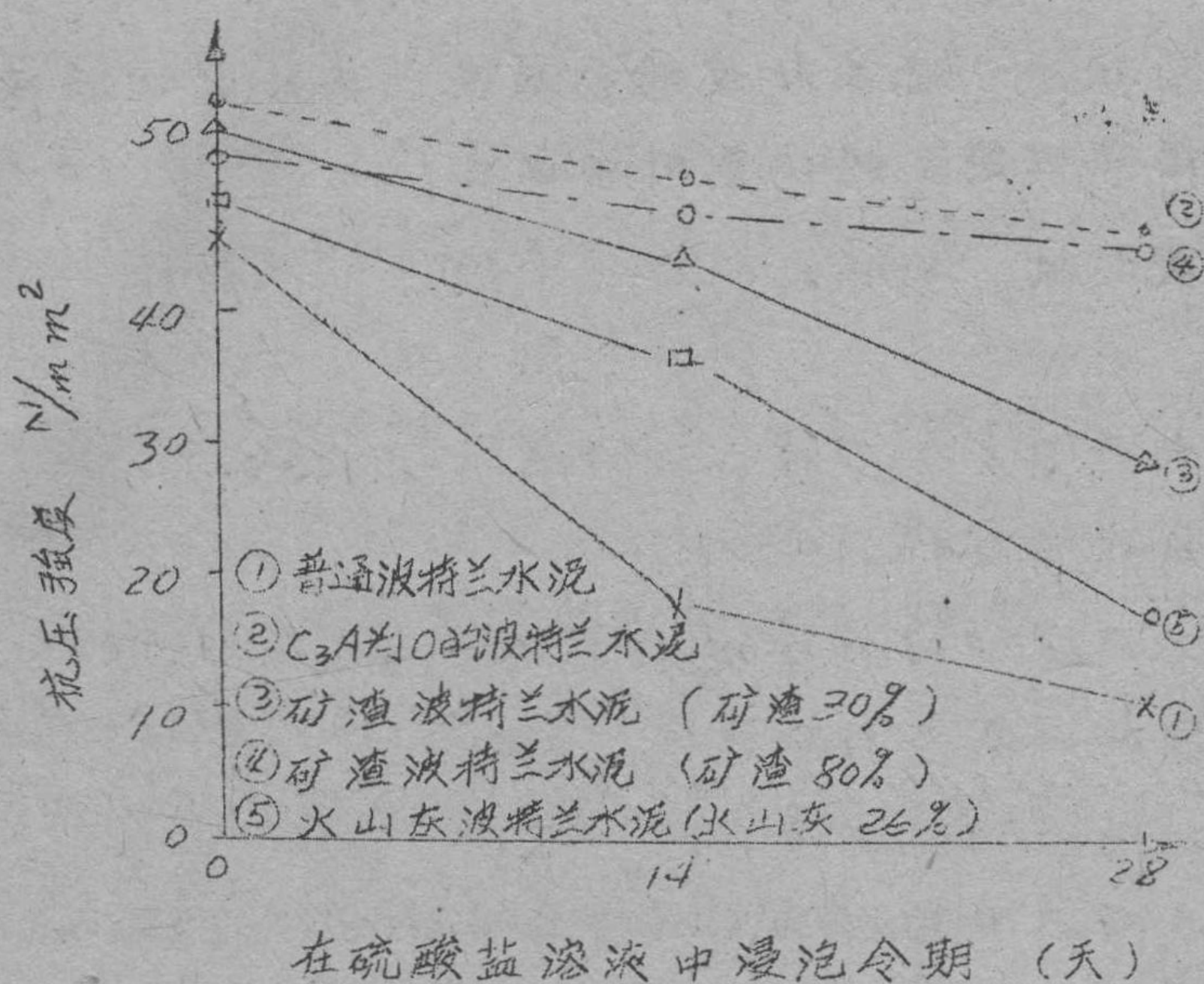


图 4. 在硫酸钠溶液中净浆立方试块的抗压强度。

小尺寸的试体是有利于在短期内掌握和达到硫酸盐渗透的目的，另一方面却存在着一个小缺点，就是小试体的强度取值引起

的误差较大，因此，每个试验期令用的试块要多些。

这试验方法在实验室内复演性测定前已经提出了操作步骤的进一步标准化，这标准化中的一下分是包括一个较好的，包含有试体在硫酸盐溶液中的容口，受到具有一定程度的振动。

结论

现有关于水泥抗硫酸盐的试验方法是不能满意，因此提出一种适合于各种水泥的新的快速方法。按照这方法是采用纯水泥浆，高孔隙制成的 12.5 mm^3 立方试体，在 50°C 下加速养护期令7天，经7天养护的试体浸泡在4%硫酸钠溶液中，溶液的酸基PH值用PH-Stat来保持，而且只需在硫酸盐溶液中浸泡期令是28天后，就有可能对不同类型水泥的抗硫酸盐性提出准确的评价，这抗硫酸盐侵蚀的评价是根据在硫酸盐溶液中浸泡后测定抗压强度的变化。

进一步提出操作步骤标准化的工作以及所提到的那个一般容易接受的，快的，简单的实验室操作，来测定水泥潜在的长期的抗硫酸盐侵蚀性能，想仍是可用的。

附参考文献 12条。

施始真

译自

ASTM

Journal of testing and

evaluation Vol. 2, No. 6 1974. p510-515.

水泥强度检定的快速方法

最近几年，为了实现水泥强度的快速检定对快速试验方法进行了较多的研究。这些方法是在很短的时期内用试验室试验所得的结果直接推测比较长时的水泥强度，或者在快速试验结果的基础上予測比较长时期内的水泥强度（在实际中最重要的还是28天龄期的强度，我想到这时具有“正常”的强度）。

在正常的工作过程中，如果能在6—8小时内得到全下试验的大概结果，这种情况称作快速试验方法，有时期完成快速试验也许要在24小时以内。如果以一天强度作基础来予測，例如ISO方法，不能认为是快速法。

快速试验的兴起，引起水泥和混凝土制造工艺相当大的进步，同时快速方法也用于混凝土和钢筋混凝土制品。在这方面的工，就是根据提议的快速方法，或者已知在某种情况时采用的快速方法，其主要方式是同混凝土的强度相联系，一种这样的方法已标准化了（附在英国标准BS1881第3下分）。PIIEM也在这方面进行工作（15）。然而，现在所述的主要是根据Lleustropo对水泥强度的研究。

事先通报水泥的质量对于施工工艺学的发展是很重要的，生产的水泥必须符合通常的国家标准，但是，可以使用快速试验来测定水泥消费者，为了使水泥消费经济或者有效地提高工艺过程，对采用快速方法很感兴趣。

水泥试验的各种快速方法或者标准方法通常不能互换。但是，一种简单的方法使早期予測的根据与水泥强度的增进有关。予測的方法能不能代替正常的试验方法现在还不能说明，但是在正常的试验情况希望选择或者研制一种快速方法，在实际中是可行的。

通常的方式是根据水泥在很早期硬化时（按小时计）所具有的不很大的强度来确定水泥的抗压强度。如果在16—24小时还不

能确定28天强度，也就晚了。在试验过程中可采用加速凝结和硬化的方法加速强度的发展。

一般情况是采用热养护加速混凝土强度指标的发展，方法有：将试体带模型一起置于热水中；在常压的蒸养箱中；在热水和高压的蒸汽中，以及潮湿的热空气等装置使试体硬化。长时期的热养护温度会变化太大。另外试体在模型中热养护时试模要密闭。

其它加速的方法主要是加压密实或用小的水灰比和砂灰比，或者不用砂。把干燥的还含有很少水分的材料用专门的压实机来达到很高的密实程度。试体在高压操作压实之后，小心不要损坏。例如为要继续养护试体可放在压蒸锅中。

在不同的养护制度下得到的抗压强度数值，可能部分达到或者达到正常强度数值，或者大大超过正常强度的数值。多收方法是用胶砂混合物，在使用水泥净浆时有时候使用细砂。

试体的尺寸和形状，一般情况采用试验面积为 100 mm^2 的小圆柱体，截柱体和立方体的试体公认较好，在快速试验时只用少量的水泥。

试验时试体的一般尺寸要适用于通常的装置，而用小试体试验时，试体的加工和结构要用专门的装置。

为了很快增加试体强度，用改变试体组成和制作方法，以加速早期水化作用，在很短时期内确定水泥的强度是可能的。因为不同的水泥早期强度和后期强度比值的变化很重要。

详细的介绍在 Balogh (16) 的快速试验方法资料中。

例举以下方法说明某些快速试验方法的特美。

CRIC方法(17)在布鲁塞尔国家水泥工业科学技术研究中心研制的方法即ISO方法。

ISO方法试体尺寸为 $4 \times 4 \times 16\text{ cm}$ ，但在成型后模型要紧密，在室温条件下凝结后延长0—30分钟，把模型沉浸在 100°C 的水中，把凝结期时间与冷却时间通称为热处理时间，常占5小

时，根据这个方法测的抗压强度比正常强度低30—50%。

小圆柱体方法 [18]，德国杜塞尔多夫水泥工业研究院研制的用小圆柱形 (1 cm^2) 试体，试体的直径和高为11.3 mm。

成型称量的水泥和水 (水灰=0.11) 的粒状混合物在500公斤/ cm^2 压力下压实，在相对湿度90% 的室温条件下凝结和养护5小时后，在开水中养护5小时以加速试体硬化，这时得到的试体强度超过正常强度大约2—3倍。为实现这一试验，需有专门的设备。

改变小圆柱体的养护条件来改变试验方法是可能的，有时用水泥和砂的混合物代替部分水泥。Meyer.A [19]，Zoldners N.G. 和 Careffe. G.G [20] 对小圆柱体的不同方法曾作过对比。

继续改进小圆柱体的方法，是使其从圆柱体成型困难中解脱出来，但意义不大。主要改变的是强度的发展 [21]，这方法主要缺点是游离石灰含量对试体强度有明显的影响，因此表明这方法不能广泛地应用。

在予先提高温度的情况下成型，在室温下用不同的养护时间，其试验结果是不同的。当采用这些方法中的某一种方法时所得到的试体强度仅代表这种试验类型的水泥强度试验。

瑞士苏黎世大学研究的 EMPA 方法 [22]，这个方法采用通常尺寸的试体，在压蒸锅中养护16小时，试体在33小时令期内试验时得到的强度很接近按正常试验时得到的强度数值。这里存在着水泥中游离石灰在试体压蒸过程中引起的膨胀。

延长这个试验方法的时间不能认为是快速的。从另一方面缩短在压蒸锅中打凿的时间，强度降低，比正常强度低70—80%。（而模型密闭的低10—100%）[23]。

小小圆柱体方法 [24]，英国水泥和混凝土协会作了很多的研究。

它基本上采用和小圆柱体方法相同的设备。采用这个方法时要准确的称量干燥的水泥，将规定尺寸的试体压实到具有一定的

气孔率，在温度为 20°C 的水浴中养护，而且是在专门的真空装置中把水引进圆柱体，采用的试体尺寸，使水化作用过程比杜塞尔多夫研究院使用的方法要短。试体在一天令期试验时抗压强度超过正常强度的 2—3 倍，有可能确定混凝土试体在 28 天令期的强度。

最近关于快速方法有很多报导，用快速方法的结果确定砂浆和混凝土按正常方法在 28 天令期时的强度，这个强度是把快速试验的结果借助于经验换算系数 (α) 来确定，系数 α 随方法的形式和水泥的种类而定。显然，对于采用一种方法，同一工厂的水泥品种的情况下，能得到令人满意的结果。这里列举普通波特兰水泥 20 个试样的试验结果（试验用的试体按瑞士标准 SIA 五种不同方法和热处理达到快速硬化）列于表 5。（表见 17、18 页）

采用这些方法一般的缺点是，快速硬化强度与正常强度之间的对比关系 (α) 有很大的离散性。比较水泥试体的两种强度的一致性，一种是用快速方法确定的，一种是用正常方法确定的，一致性相反。按照正常的方法试体具有一致的强度特性。在快速试验时，强度关系特性随试验方法的不同而不同。对同品种标号的水泥，其结果是满意的，而比较根本不同的水泥的试验结果时，快速方法和正常方法得到的结果有相当大的波动。表 6 是 24 个不同水泥厂的普通波特兰水泥数据 [23] 比较这些结果特别引人注意的是快速试验方法存在的局限性。硬化速度急剧的变化，至少使养护时基于水化作用的化学的和物理——化学的过程加快，而得到同一般情况下水泥变化过程的另一种特征。这样的效果甚至在热处理的情况下也可以达到的，例如改变试体的尺寸，或者改变水泥或水的用量在最小的程度。因为随温度的改变水泥强度发展特征亦改变 [21] [23]

正常的方法和快速方法确定的强度结果要直接换算显然是不可能的。所有尝试表明，用适当的试模，或借助于换算系数的部

助，或用比较复杂的作用企图实现这种相互关系是达不到的。不同方法，相同养护的同种水泥，所得到的强度对比关系，依赖于这种水泥的个别特性；比较不同方法时不同水泥的强度随养护特征的不同，表现出来的强度差异之间的差别也是不同的。为了得到合适的系数值，也即在快速试验结果的基础上预测水泥试体通常的28天龄期的强度时，考虑到化学和矿物组成成分、石膏含量以及微观结构和其它的微小变化等等，必须改变相互关系数。如果采用变换函数（例如 $x = f(x_1 + x_2 + \dots + x_i)$ ）大概是比较复杂的。根据情况和希望精确选择水泥参数 x 的数目来确定变换函数是比较合适的。选择适当试验的方法能减少这些变换系数参数的影响，但它不能完全消除用快速方法得到的结果只能近似于正常试验得到的强度这一情况，如果能用早期测得的抗压强度来确定后期（例如28天）的强度，这样的快速方法应认为是合适的。为了估计这个强度的偏离情况接近于满意的程度，需要进行相当复杂的计算。

试验方法改进的展望：

流行的见解是把快速试验方法当作是完全独立的和特殊的试验方法，与通常的试验方法没有连系，另一方面则集中主要努力在计算方法上，用以估计试验结果，而不是花力气在比较复杂的试验方法上。依据水泥成分，特别是矿物成分的微小变化等等，通简单的计算以确定水泥强度大小是可能的，例如在〔23〕〔25〕〔26〕这些工作中。

需要继续改进混凝土强度试验的快速方法因为砼强若能作到可信预测，这件工作是很有前途的，所有砼试验的缺点，主要是在国际方面标准化的困难和复杂。

在快速试验结果的基础上确定的正常的强度，一般的问题是试验结果与水泥成型的不同条件有关系，不管采用什么水泥，试验结果与水泥的贮存和运输条件有关系。两种水泥试体，在成分