

高性能混凝土 的耐久性

〔奥地利〕 H. 索默 编



528
8

科学出版社

高性能混凝土的耐久性

〔奥地利〕 H. 索默 编

冯乃谦 丁建彤 译
张新华 庄青峰



科学出版社

1998

图字:01—97—1980 号

内 容 简 介

本书为国际材料与结构测试和研究试验室联合会混凝土技术协会调委会召开的高性能混凝土耐久性专题讨论会的会议论文集。本书共汇集了该领域 25 位知名专家、学者的论文,主要内容包括:微结构与耐久性参数,掺与不掺除冰盐时的抗冻性,抗硫酸盐侵蚀性和碱硅反应,耐酸性,钢筋锈蚀,耐火性。书中针对实际问题,提出了提高抗渗性与强度的工艺方法,探讨了常用的一些配制高性能混凝土的技术措施如降低水灰比,阐述了掺加高效减水剂和硅粉对抗硫酸盐侵蚀性和碱骨料反应的影响,以及养护对高性能混凝土的水分损失、强度和渗透性的影响,还从碱度与钢筋锈蚀角度考虑了对火山灰掺合料的限制。此外,本书还提出了评价实际应用中的高性能混凝土的特殊性能的标准测试方法。

本书可供从事材料科学、土木建筑等研究的科技、工程技术人员及高等院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高性能混凝土的耐久性/(奥地利)索默(Sommer,H.)主编;
冯乃谦等译. -北京:科学出版社,1998.3

书名原文:Durability of High Performance Concrete

ISBN 7-03-006520-4

I. 高… II. ①索… ②冯… III. 混凝土,高性能-耐用性
IV. TU528

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 01191 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

新蕾印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1998 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16
1998 年 3 月第一次印刷 印张:10 1/2
印数:1—2 000 字数:231 000

定价:25.00 元

译者的话

本书是 RILEM (国际材料和结构试验与研究实验室联合会) 于 1994 年 2 月 14—15 日在维也纳组织召开的高性能混凝土 (HPC) 专题讨论会的文集。本书全面汇总了 HPC 耐久性方面的重要课题。如在第一部分“问题与展望”中, 通过比较目前 HPC 本身的耐久性与普通混凝土的耐久性, 指出了 HPC 的优点与缺点, 并指出了针对工程具体应用设计与选择符合工程条件下耐久性要求的 HPC 的重要性。第二部分阐述微结构与耐久性参数的关系; 第三部分讨论有否除冰盐的条件下的抗冻性问题; 第四部分叙述 HPC 抗硫酸盐和碱-硅酸盐反应; 第五部分论述 HPC 的耐酸性; 第六部分介绍 HPC 的钢筋锈蚀; 第七部分阐述 HPC 的耐火性。这些问题不仅是 HPC, 也是大多数结构工程材料在使用过程中都碰到的。在国际上, 本书首次系统、全面地阐述 HPC 耐久性问题, 故对工程技术人员及研究工作者均有很大参考价值, 对大学师生也是一本很好的参考书。

在编译该书过程中, 刘荣棠等也参加了部分工作, 在此表示感谢。

在取得该书在中国翻译出版的版权过程中, 现任 RILEM 主席 F. H. Wittmann 教授和秘书长 M. Brusin 先生给予了很大的支持与帮助, 而且在该论文集英文版刚刚出版后, 就赠送给译者一册, 使我们能顺利地翻译此书, 使之尽早与中国读者见面。我们对 RILEM、Wittmann 教授及夫人张新华博士、M. Brusin 先生表示衷心的感谢。

译者

1996 年 1 月 25 日

于北京清华园

序

尽管高强度被认为是高性能混凝土（HPC）的主要特性，但提高其耐久性对于更好和更广泛的实际应用，却更加重要。迄今为止对 HPC 的耐酸性和抗硫酸盐性只给予了很少的关注，但这方面有重要的实际应用潜力，例如采用 HPC 制造与化学侵蚀性地下水相接触的基础和污水管道，而不用涂覆保护性衬里。

混凝土工业需要：

- 如何更好地利用 HPC 高耐久性的指导原则；
- 在化学侵蚀性环境中使用 HPC 的规则和限制；
- 可保证施工现场工作性的配合比；
- 更多的依据以使决策人员和实际工程人员放心使用 HPC 。

R. Roulin

前 言

高性能混凝土 (HPC, 水灰比小于 0.40) 由于其非渗透性和耐久性正引起人们的兴趣, 但现在仍缺乏对实际工程人员很重要的具体指导, 例如: HPC 应用于化学侵蚀性环境下的限制。

由 A. M. Brandt 担任主席的 RILEM 3C (混凝土协调委员会) 指出了收集和讨论现有知识的需求。为此于 1994 年 2 月 14—15 日在奥地利维也纳召开了一个专题讨论会, 由奥地利水泥研究所主持和组织。

参加者限于受到邀请的该领域的专家:

C. Andrade, 马德里	K. Miedler, 维也纳
A. M. Brandt, 华沙	M. Moranville-Regourd, 塞尚
G. Fagerlund, 伦德	H. S. Müller, 柏林
P. Gröbl, 达姆西达特	P. Nischer, 维也纳
U. Guse, 卡尔斯鲁尔	A. M. Paillère, 巴黎
R. Härdtl, 阿亨	H. Paschmann, 杜塞尔多夫
St. Helland, 奥斯陆	C. D. Poemeroy, 塞瑞
B. Hillemeier, 柏林	P. Rechberger, 维也纳
I. Holand, 特龙特海姆	R. Roubin, 维也纳
L. Kucharska, 若科洛	U. Schneider, 维也纳
H. Kukko, 依斯布	I. Schrage, 慕尼黑
B. Lagerblad, 斯德哥尔摩	H. Sommer, 维也纳
D. Macphee, 阿巴丁	R. Springenschmid, 慕尼黑
F. Massazza, 柏伽摩	S. Weber, 斯图加特

RILEM 秘书长和 3C 委员会秘书 Michel Brusin 也参加了此次讨论会。

目 录

译者的话	i
序	iii
前言	iv

第一部分 问题与要求

1 高性能混凝土耐久性漫谈	1
2 目前高性能混凝土耐久性的问题	6
3 高强混凝土与普通混凝土耐久性的比较	8

第二部分 微结构与耐久性参数

4 高强混凝土——微观特征及有关耐久性问题	9
5 提高混凝土抗渗性与强度的工艺方法	19
6 挤压高性能混凝土：少孔水泥的物理和工程性能	25
7 养护对高强混凝土水分损失、强度和渗透性的影响	33
8 水灰比 ≤ 0.3 的高性能混凝土的耐久性差吗？	40
9 评价实际应用中高性能混凝土的特殊性能的标准测试方法	44
10 法国国家项目“高性能混凝土”	45
11 水泥、火山灰和硅粉对高强混凝土开裂趋势的影响	53

第三部分 参与不掺除冰盐时的抗冻性

12 高性能混凝土的抗冻性和微结构的作用	57
13 冰冻对高强混凝土微结构的影响	59
14 高强混凝土的抗冻性和抗除冰盐腐蚀性	65
15 对高性能混凝土抗冻性的一些理论探讨	68

第四部分 抗硫酸盐侵蚀性和碱硅酸盐反应

16 高强混凝土中的碱-硅反应	88
17 水灰比、超塑化剂和硅粉对钙矾石滞后膨胀的影响	95

第五部分 耐酸性

18 高性能混凝土的抗溶蚀性	108
19 高性能混凝土的耐酸性 ($\text{pH}=4$)	112

第六部分 钢筋锈蚀

20	混凝土的碱性及钢筋防蚀对火山灰掺量限制的研究.....	114
21	暴露于海洋环境的高性能混凝土中的氯化物渗透.....	118
22	迁移法实验测定高性能混凝土的 Cl^- 扩散系数	128
23	硅粉混凝土碳化后钢筋的锈蚀.....	135

第七部分 耐火性

24	高性能混凝土 (HPC) 的耐火性.....	145
结语.....		150

第一部分 问题与要求

1 高性能混凝土耐久性漫谈

C. D. Pomeroy

(英国)

摘要 本文讨论了高性能混凝土 (HPC) 的优点以及可能的副作用, 以便在结构工程中使用 HPC 特别是高强混凝土前考虑到所有的相关因素。

1. 引言

现在混凝土的使用性能得到更多的关注, 特别是近年来普遍产生的劣化和失效, 使人们对高强度、低渗透性混凝土的生产与使用的兴趣日益增加, 这曾经被认为是是不可能的。一般认为, 高强混凝土 (HSC) 不仅能使结构更轻、更高, 而且也比普通混凝土更耐久。但在缺乏依据的情况下, 下这样一个普遍的结论, 尚需考虑许多因素。本文就一些必须回答的相关问题进行了简短的讨论。因为往往是在混凝土失效后, 才究其原因, 如果事前仔细地评估现在能制备和使用的不同范围的混凝土的应用前提与后果, 许多失效是可以避免的。此外, 许多情况下的 HPC 不一定需要高强度。这些也适用于修补材料的制备和应用, 不断变化的环境使得修补材料与修补面不匹配而引起失效。

首先考虑了一些会影响工程中混凝土行为的因素。即使是在适宜条件下搅拌与浇筑的混凝土, 都会因应用不同而在某种程度上存在差别。因此, 提出的第一个问题是关于一定的混凝土拌合物对早期处理方式的敏感性。典型问题是:

(1) 搅拌的强度与持续时间是否影响混凝土的工作性、浇注的难易及强度的发展速度等性能。

(2) 搅拌与浇筑之间的时间差对拌合物是否有较大的影响; 水化放热反应是否会加速拌合物的硬化和温升。

(3) 拌合物对环境温、湿度的敏感性。

(4) 拌合物是否适合于各种尺寸的灌注和构件厚度; 高水泥用量是否导致过高的温升。

(5) 拌合物的工作性能否使浇注与振捣均匀。

这些问题均预先假定所选择的水泥和骨料适用于给定的应用场合。例如, 如果混凝土需要抵抗弱酸侵蚀时, 就不能选用本身会被酸侵蚀的骨料。

因此, HPC 首先考虑的问题必须与混凝土搅拌与浇注的一致性相关, 并合理地考虑现场实践与经验。在选择这样的一种混凝土组成之前, 必须确认 HPC 的使用目的, 这需要混凝土结构设计者与结构物最终用户之间进行全面的讨论。如果结构物的尺寸和重量

不受限制，可以在设计中增加额外部分，例如当结构物受到中性或弱酸性水的经常性冲刷磨蚀或者受到海洋环境中含泥沙水的磨蚀时，可以想象达到使用寿命的最经济的方法是增加钢筋保护层的厚度，从而允许损失部分表面而结构物整体不受损坏。如果这种方法不可行，则值得考虑提高混凝土标号。此例中的高性能就是混凝土的高耐磨性，这里仅有混凝土强度一项指标是不够的，因为混凝土的磨耗更多地取决于骨料的选择和混凝土浇注、养护的质量，而不是混凝土本身的“潜在”强度。

因此，只能以混凝土的使用环境为背景来考虑 HPC，在一种环境中的 HPC 在另一环境中未必具有高性能，反之亦然。

2. 硬化混凝土

假设 HPC 的使用目的明确了，例如用于海洋环境中的公路桥梁的混凝土要求轻质高强，或能抵抗环境中侵蚀性气体、液体的渗入。一旦知道这些要求，就可能列出一份混凝土必须满足的具体性能指标清单。

如果需要高强度，相应地需要调查达到目标强度是否会带来副作用：混凝土是否较脆，且单一裂缝形成后会不会迅速扩展？弹性模量是否低于低强混凝土，高多少？横向变形是否更可能成为设计和施工上的问题，尤其是在构件截面较薄时。

很少使用不配筋的素混凝土，尤其是对于 HSC 而言。构件（如柱子）中的箍筋和纵向钢筋对混凝土有效地施加三轴约束作用，从而提高了承载力。与 HSC 相比，低强和较脆的混凝土构件中这种约束作用的益处要大得多，因此 HSC 的优势可能要比看上去的小。

有时可能需要高强度和低密度，这时的关键问题涉及到不同材料间的相容性，例如混凝土框架采用常规材料，而填充墙使用轻质混凝土，则该结构体系的不同部分就会对使用荷载或环境变化产生不同的反应。在热天，密实混凝土可能比耐热性较好的轻质混凝土的膨胀大而快。这说明在此最关键的因素是热膨胀和收缩。笔者了解一些隔热复合板的实例。这种板由玻纤增强的高强水泥薄板和泡沫塑料隔热材料夹层构成，使用该板的建筑物的内部温度几乎常年不变，而涂成深褐色的板外层则随季节及日照的变化而波动较大，虽然认为玻纤可以使材料足够强韧，但由于对温差引起的热量迁移考虑不够，自然发生了开裂。失效原因是多方面的。首先是对夏天的日散热量缺乏估计；其次，当温度变化时，这种复合板的内层温度几乎不变，而通过隔热层与内层相连的外层则发生膨胀或收缩，因此这种板应有足够的挠度（应变能力）以避免开裂；最后，深色涂层吸收太阳能，使问题更加严重，该体系的物理因素没有被仔细考虑，外层温度肯定大大高于在阴凉处记录的温度。在这个实例中，值得更仔细地审视一下原来的设计要求，以搞清为什么会犯如此明显的错误。原来这样深褐色的表面是为了降低维修费用，因为这种板的使用环境中的喷气式发动机喷洒出的油可能会弄脏墙面，而采用深褐色可以避免经常地涂刷。复合板的内层与外层在结构上相连，以至于它们之间的相对运动不可避免地产生开裂，即使是对于抗裂的外层玻纤板，而且对实际情况中的这类行为未认真考虑。后来进行了重新设计，板的内外层可以独立地胀缩，并把颜色换成深浅适中的色彩，结果令人满意：在过去的 10 年中没有发生问题。显然，建筑师和工程设计者需要与那些懂得

实际环境对材料性能的影响的人进行交流，仅仅有简单的结构分析是不够的。在此要讨论的另一方面是板与结构框架之间的相对位移。与附加的大面积薄板相比，框架的胀缩要慢得多，因此要注意固定件，使其能允许相邻单元发生相对位移而不开裂，还要注意相邻板之间的密封胶。

这个工程实例给予我们如下启示：首先，当结构物将处于特殊的或环境恶劣的使用条件下时，最好列出所有可能影响其行为的因素，不能简单地认为密实的低渗透性混凝土是唯一的或最好的解决办法；很容易理解，应力下产生大量微裂纹的混凝土要比一旦开裂就产生几条宽而长的裂纹的高强脆性材料更具有承载潜力；还有一点，要考察所有不同程度连接的单独构件之间可能存在的相互作用。

3. 渗透性与化学侵蚀

混凝土受到的化学侵蚀有多种。其中，一些是由环境中的气体、液体侵入引起的，一些是由混凝土内部离子经过孔溶液的迁移引起的，还有一些发生于特定混凝土本身的组分之间。某些劣化涉及到钢筋锈蚀，另一些涉及到混凝土的解体。后者当中，有的是与骨料的反应，有的是与水泥浆基体的反应，有的则是骨料与水泥浆之间的反应。每个问题都需要妥善解决，没有普遍适用的“HPC”。不幸的是，特种水泥、掺合料或混凝土生产商的某些声明给人以相反的印象，并且没有承认他们推荐的产品中任何可能的缺点。

相反，有许多混凝土不管其使用方式如何，几乎都可以认为是劣质的。但是，混凝土性能低劣的原因很少是由于配合比设计的不完善，而是更多地归因于不良的使用方法。振捣不良是混凝土出现蜂窝狗洞的常见原因，这往往抵消了对钢筋的所有保护性措施。因此才有上文中对混凝土拌合工作性的评述，即使看上去混凝土浇注得很好，每批浇注的不同部位也会有所差异。混凝土泌水时，水膜常常会在接近混凝土表面的地方，或者是沿着模板的垂直截面形成，这会使局部混凝土的质量降低，因为泌出水被包裹在靠近模板处，也就是靠近以后的暴露面。若是浇注、捣实和养护不当，其潜在的高性能则得不到充分的发挥。采用半渗透性模板有望解决这个问题，它可以允许集中于模板附近的水分排出，从而减小该部位的有效水灰比，改善混凝土的质量。

在实际应用中，混凝土的潜在高性能不能达到预定目标的另一原因与混凝土的高水泥用量有关，水化反应放热引起大量的热量迁移和开裂。违反正确的施工程序将使这个潜在的问题更加严重。

迄今为止，人们的注意力大都集中在实验室制备的混凝土试件与现场混凝土试件性能的基本差别上，在使用过程中混凝土的劣化原因也应受到关注。在英国，法律规定在民房设计中要减少热损失，因此在双层外墙的夹层内填入绝热泡沫，结果外层墙体的平均含湿量及穿透墙体的温度梯度均有显著的变化，而且在外层墙面上产生了结冰的可能性，有些发生了冻融破坏。同理，使用低渗透性混凝土时，必须考虑环境的物理效应。如果混凝土内部比表面易于渗透，则在低温下孔隙水结冰时，可能会在混凝土中引起内应力而使混凝土表面剥落。这种失效不是材料的过错，而是使用不当的结果。

还有一个需要考虑的问题是火对低渗透性混凝土的作用。混凝土优于其它建筑材料的一个优良属性是其抵抗火灾的能力。实际上，钢柱经常包裹一层混凝土以提高耐火性。

有确凿证据表明,在火灾作用时,在低渗透性混凝土内部积累的高蒸汽压足以使混凝土表面爆裂、脱落。这再次使我们思考 HPC 到底意味着什么,同时使我们认识到强度不是混凝土的唯一指标。

下面列出了 HPC 可能有的优点,同时列出了要成功地使用 HPC 需要考虑的一些因素。

4. HPC——前提与结果

HPC 并不能在整个预期寿命中满足所有的使用要求,这些要求不仅与结构安全性有关,而且还可能包括外观与维修费用等。也许 HPC 的更好的定义应是经济的或“物美价廉”的混凝土。这种定义上的改变要求针对具体问题找到最经济的解决办法。

还需要正确地规范特定的混凝土,这必须包括所需的结构性能、使用环境的详细情况与经济寿命。当然,混凝土的潜在应用总会得到不断开发,这进而意味着进一步改善所能获得的混凝土的性能,不论是在实验室内还是在要求苛刻的工厂或施工现场。那么,可能的改进会有哪些呢?

高性能潜力:

100MPa 的高强度或更低的渗透性;

高抗碳化能力;

低吸湿率;

高抗冻性;

更轻的结构;

更高的结构;

更大跨度的结构;

同样保护能力下更薄的钢筋保护层。

制约因素:

脆性增加且延性降低;

弹性模量略高于普通混凝土;

HSC 常需要提高水泥用量;

高水泥用量增大水化放热引起热裂纹的危险;

高水泥用量增大碱骨料膨胀反应的危险;

裂缝形成后,可能会穿过骨料而不能被阻止或分叉,从而产生大而少的裂缝;

统计意义上的 HSC 的尺寸效应可能比普通混凝土高;

HSC 与普通混凝土不相容;

严重火灾时内部高蒸汽压的积聚引起剥落。

5. 结 论

当利用 HPC 的优势来解决具体问题时,上述影响因素可能无关紧要,但重要的是混凝土结构设计人员应当知道任何可能有的不利影响,才能综合评价不同方案的相对优劣。

显然,对优缺点的了解有助于混凝土生产者设计出能使上述不利影响降至最低的混凝土。

笔者相信混凝土的使用者应明白优质混凝土也需要在等级划分、搅拌、浇注、尤其是养护方式上高度一致。最近英国水泥协会浇注了一些 HSC 试验柱,其中一根凝结和早期强度发展很慢,后来才发现预拌混凝土供应商担心在运输过程中混凝土会在搅拌车内凝结,就掺了过多的缓凝剂。这种混凝土的 28 天强度也能达到规定的 80MPa,却不符合要求。

因此,笔者的意见是 HPC 的潜力很大,但像其它新材料一样,如果对所有不利因素考虑不周,并且没有通过改进结构设计,或者通过保证现场施工质量以生产出要求的均匀的优质混凝土,则 HPC 将不能满足实际的需要。仅要求混凝土本身的性能,而不提供必要的现场监督,均不能保证得到令人满意的较长的使用寿命。

最后,在解决具体问题时,不应认为 HPC 一定是最好的或唯一的办法,有时只需在结构细节上稍做改动,就能满足环境和使用荷载两方面最苛刻的要求。

2 目前高性能混凝土耐久性的问题

A. M. Brandt

(波兰华沙基础技术研究所)

在我们的文明世界中可以看出结构材料质量改善这一总的发展趋向。在不同时期,这种发展的模式是一种平稳连续的函数或是一种分段函数。高性能混凝土(HPC)是几年前出现的,而现在已经迅速发展,在建筑与土木工程中代表了一个复合材料的新时代。毫不怀疑,在结构工程的许多领域将会增加HPC的应用,特别是那些强调有特殊要求的结构。

然而,HPC仍然还有一些问题需要进一步研究,以保证其将来的发展。

HPC的质量是以一种具有几种属性的综合特性来表征的。其中最重要的是较好的长期性能和耐久性,这对严酷环境中的结构具有特殊意义。这一范畴实际上包括了全部的露天结构。

针对HPC研究了影响各种类型混凝土长期性能的主要因素,如氯离子渗透、碳化、硫酸盐侵蚀等等。所获的研究结果在某种意义上是积极的,即由于材料的密实结构、高强度、高抗渗性等,耐久性大为改善。

(1)何为耐久性?如果不是在下定义的话,耐久性这个词的确切含义不能和材料相关,因为可靠性、耐用性及寿命等概念对于材料来说意义较小,而更多的是对于制品。事前似乎很难说一种材料能保持其性能多久——这直接取决于这种材料将用于何种制品。

因此,最好将HPC的耐久性理解为某种材料以及用HPC制成的混凝土构件的长期性能。

(2)水化作用引起的温升在HPC中真是一个问题吗?HPC中的水泥用量相对高,但不是全部的水泥颗粒都水化。另一方面,早期强度高可以承受可能的局部应力而不发生裂缝。对于水化热的散发比较困难的构件,设计者会问如何降低水化热。为此,应当选用特种硅酸盐水泥和适当的掺合料,而且也需要特殊的搅拌与养护。很明显,这些补救措施不是对所有结构都是必要的,而且只能选择那些满足要求的补救办法。

(3)HPC的收缩已被数人研究过,但是在早期如何避免过大的塑性收缩,仍然得不到什么信息。这是一个实际的问题呢,还是仅仅是人为的问题?关于普通混凝土和HPC的试验数据,似乎是不完全一致的。

(4)在60年代和70年代已研究与讨论过粉煤灰与高炉矿渣对混凝土耐久性的影响。那时一些国家得出的结论表示:对于露天结构来说,不含这些掺合料的硅酸盐水泥是最好的胶凝材料。而现在,使用了上述两种拌合物组分并得到了较好的结果,对用于暴露在自然冻融循环作用下结构的HPC也是如此。怎样解释这种显而易见的矛盾呢?

(5)HPC抗冻性的改善归因于可冻水量的降低和抗拉强度的增加。然而,引气剂是否应当用于HPC,以及用于何种类型的结构?这个问题似乎还没有得到完全的回答。不同试验方法及结果是混乱的。大概是因为实际上检测的是不同的现象。骨料性能对此又

有什么影响呢?

(6) 试验室内 HPC 的氯离子渗透性和碳化试验结果在某种意义上是一致的,也就是与普通混凝土相比有相当大的改善。但是,这些结论是否为使用 HPC 且暴露于海洋环境中的结构的现场试验所证实呢?

(7) 对 HPC 的养护有些正好相反的建议。如果由于 HPC 的硬化速度快,比较短的养护时间就足够了,那么应当完全可以认可和利用这种优越性,以便降低施工的总成本。然而,一些论文中强调,由于混凝土表面泛浆不足引起混凝土构件外表层干缩的危险。最适宜的养护方式是什么呢?

(8) 应当观察与分析 HPC 结构的寿命,从而确定可能的劣化与耐久性准则。但是至今为止,在大多数已发表的结果中,各种具体因素和作用都是分别考虑的。几种因素的联合作用和可能的叠加效应,会影响到各种自然条件下的劣化速度。对暴露于严酷环境中的露天结构是否进行了这样的研究呢?

(9) 应当将 HPC 结构耐久性的改善纳入到对新结构的全面经济评价中。需要改善耐久性的评价方法,它应当建立在合理预计结构使用寿命期间的修补及维护费用的基础上。这样,HPC 较高的原始造价就可以由于低的消耗而得到弥补。缺少这样一种计算方法,将不能使投资者确信在许多情况下 HPC 的应用是最佳选择。

(10) 上述各种问题对设计者和施工者都必须解决,而这就意味着需要定量预测材料性能的标准试验程序和方法。只有这样的研究才能使设计者确定构件尺寸、建立预应力值以及验证计算变形,还需要对 HPC 施工与养护的明确指导。

因此,现在的主要研究精力应该定位于不同应用情况。

3 高强混凝土与普通混凝土耐久性的比较

R. Springenschmid

(德国慕尼黑工业大学建筑材料和工程材料检测研究所)

在新的德国高强混凝土 (HSC) 规范推荐稿的制订工作中提出了一个问题: 传统混凝土中不为人知的机理是否会使 HSC 强度下降和最终破坏? 确实有一些文章报道几年后 HSC 强度略微下降。其中讨论的一个问题是水泥基相中由于水分扩散引起的滞后水化可能会产生混凝土的自解体 and 开裂。

笔者相信在个人所在的设备精良的试验室中, 可以使用机械力、化学或热处理方法破坏任一种混凝土和陶瓷材料。

在推荐使用 HSC 时必须提出两个问题:

(1) 有没有传统混凝土中未知的新反应能使 HSC 长期强度下降?

(2) HSC 对众所周知的不利作用如温度、碱或钙矾石反应是否更敏感?

笔者建议参加这次专题讨论会的第一流的专家们应该接受 Sommer 博士和奥地利水泥研究所的邀请, 通过公开讨论确定是否存在不能使用 HSC 的特殊实际情况, 以及是否需要与普通混凝土相似或比之更好的长期耐久性。

为此, 笔者在表 1 中列出了有关 HSC 耐久性的最重要标准, 以及目前对于低水灰比和掺硅粉的利弊的看法。

表 1 高强混凝土与普通混凝土耐久性的比较

性能标准	参 数	
	低水灰比	掺加硅粉
冰冻	++	++
冻融与除冰盐(建议引气)	+	+
酸	++	++
硫酸盐	+	+
碳化	++	++
碱硅反应	+	+
滞后钙矾石生成	+/-	+/-
溶蚀	+/-	+/-
自干燥	-	-
干湿交替	+	+
(收缩和其它原因引起的)强度轻微下降	(-)	(-)
火	-	-
掺特殊纤维时	+/-	+/-

(译注: +表示提高抵抗能力; -反之。)

第二部分：微结构与耐久性参数

4 高强混凝土——微观特征及有关耐久性问题

H. S. Müller K. Rubner

(德国柏林联邦材料研究和检测所)

摘要 本文将描述高强混凝土(HSC)的微观结构。重点讨论普通混凝土和HSC在水泥浆体,以及骨料和基体之间界面区的差别。与普通混凝土相比,HSC具有低得多的孔隙率、更均匀的硬化水泥浆体、显著不同的水化产物分布、改善了C-S-H凝胶组成,以及根本不同的界面区。本文综述了有关文献,并给出了在柏林联邦材料研究和检测所得到的试验结果。基于微观结构特征,讨论了HSC耐久性的某些方面。

1. 引言

普通结构混凝土是一种非匀质、多孔的材料。按照材料科学的基本定律,通过适当的方法降低孔隙率可以提高强度。混凝土技术中有降低孔隙率来提高强度的不同方法。通常,通过降低水灰比可得到低孔隙率的浆体基相,进而提高强度。在现代HSC的生产中应用了这一简单的工艺方法,但在工程中仅有此方法不足以使混凝土的抗压强度超过70MPa。

生产现代HSC的必要条件是外掺硅粉和粉煤灰等矿物材料和高效减水剂,以使水灰比极低的拌合物有足够的工作性。此外,骨料本身的强度以及水泥的细度和组分也影响混凝土强度的增长。根本上,若要使工程中混凝土的抗压强度超过100MPa,其先决条件是开发高效减水剂,同时外掺硅粉。

混凝土的耐久性明显取决于微观结构,尤其是浆体的孔隙率。正由于HSC的孔隙率很低,因此与浆体中水或侵蚀性介质输送过程有关物理和化学侵蚀作用便削弱。所以说,在本质上HSC也比普通混凝土更耐久。故有理由把HSC称为高性能混凝土(HPC)。

为了了解增强、改善耐久性的机理,有必要考察一下混凝土结构及组成相的行为。从复合材料理论观点,普通素混凝土可被视为三相材料,即含有水泥浆体、骨料、浆体与骨料之间界面区这三相。界面区常常也被称为过渡区,其结构与硬化水泥浆体和骨料差别很大。

尽管混凝土中界面区(其厚度约0.02mm)占的体积比例很小,但该相对混凝土的力学和物理性能却起着重要作用。充足的事实证明混凝土的抗拉、抗压强度、破坏方式以及渗透性明显受到骨料和硬化水泥浆体界面区特性的影响。实际上,界面区总被认为是混凝土中的薄弱环节。这一非常多孔区域的增强和密实可改善混凝土性能。以往从骨料