

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2015.01.004

引气剂对硬化混凝土力学性能与 气泡特征参数的影响

王稷良¹, 廖华涛², 吴方政³, 牛开民¹

(1. 交通运输部公路科学研究院, 北京 100088; 2. 中材国际工程股份有限公司天津分公司, 天津 300400;
3. 河北工程大学, 河北 邯郸 056038)

摘要: 对比研究了烷基苯磺酸盐类与皂甙类引气剂对混凝土力学性能和硬化后含气量、气泡间距系数、孔径分布、气泡平均直径等气泡特征参数的影响。结果表明: 当新拌混凝土含气量小于6.5%时, 随着含气量的增大, 混凝土的抗折强度基本不受影响, 抗压强度显著降低, 混凝土的折压比提高, 脆性显著降低, 韧性大幅提高; 与新拌混凝土的含气量相比, 硬化后混凝土的含气量大幅降低; 随着混凝土含气量的逐渐增加, 硬化后混凝土的气泡间距系数减小, 气泡平均直径降低, 气泡总数提高。另外, 烷基苯磺酸盐类引气剂比皂甙类引气剂的稳泡性能更好, 可使硬化后的混凝土气泡结构更优。

关键词: 道路工程; 混凝土; 对比研究; 引气剂; 含气量; 强度; 气泡间距系数

中图分类号: U414.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2015)01-0025-05

Influence of Air-entraining Agent on Mechanical Property and Air Void Characteristic Parameters of Hardened Concrete

WANG Ji-liang¹, LIAO Hua-tao², WU Fang-zheng³, NIU Kai-min¹

(1. Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China;
2. Sinoma International Engineering (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin 300400, China;
3. Hebei University of Engineering, Handan Hebei 056038, China)

Abstract: The influence of benzene sulfonate and saponin air-entraining agents on mechanical property of concrete and characteristic parameters of air void such as air content of hardened concrete, air void spacing factor, pore size distribution and average diameter of air voids are studied by the comparative method. The result shows that (1) when the air content of fresh concrete is less than 6.5%, as the air content increases, the bending strength of concrete is not affected, but the compressive strength of concrete reduces significantly, meanwhile, the bend-press ratio of concrete increases significantly, brittleness reduces and toughness improves greatly; (2) compared to air content of fresh concrete, the air content of hardened concrete reduces significantly; (3) with the gradual increase of air content of concrete, the air void spacing factor of hardened concrete decreases, the average diameter of air voids decreases, and the total number of air voids increases; (4) in addition, the foam stability performance of alkyl benzene sulfonate entraining agent is better than that of saponin air entraining agent, which can make air void structure of hardened concrete better.

Key words: road engineering; concrete; comparative study; air-entraining agent; air-content; strength; air void spacing factor

收稿日期: 2013-10-29

基金项目: 交通运输部西部交通建设科技项目(2011 318 223 420, 2013 318 354 190)

作者简介: 王稷良(1978-), 男, 河北香河人, 博士, 副研究员. (jl.wang@rioh.cn)

0 引言

由于混凝土的耐久性越来越受到重视,引气剂也逐渐成为现代混凝土工程中不可或缺的外加剂之一^[1-2]。以美、日等为代表的发达国家,混凝土基本上都是掺加引气剂的。自20世纪50年代以来,日本的一些主要大坝与严寒地区的道路工程中大量使用引气剂来提高混凝土的抗冻性,现在日本几乎没有不掺引气剂的混凝土工程^[3]。日本甚至把不掺引气剂的混凝土视为特殊混凝土,其普及程度之大可见一斑^[4]。美国自1938年就开始在公路中推广应用引气剂,到了1948年,引气剂在美国的公路、港口和桥梁等工程中得到了广泛的应用,但直到上世纪80年代,在大多数高速公路与路面结构混凝土中,都是采用树脂盐类或 Vinsol 树脂进行引气的^[3]。自上世纪50年代起,我国开始研究引气剂,研制出的松香类引气剂在一些大坝和港口工程中得到应用,如佛子岭水库、梅山大坝、三门峡大坝等混凝土工程^[5]。而在公路、桥梁和机场路面等工程中,引气剂的应用很少,直到1996年哈绥高等级公路因撒除冰盐,导致路面和路肩板因盐冻仅使用了一个冬季即出现了大面积剥蚀破坏,引气剂在公路界才得到了重视。其后,引气剂在一些寒冷地区的应用^[6-7]也逐渐增多。

引气剂最重要的作用就是通过给混凝土引入微小气泡来改善混凝土的孔隙结构,提高混凝土的抗冻性能。硬化混凝土气泡特征参数主要有含气量、气泡平均直径、气泡间距系数等,这几个参数相互之间有一定的关系^[8]。其中,气泡间距系数与混凝土的抗冻耐久性相关性较佳^[9-10],能较好地体现混凝土的抗冻性能。Saucier 等人^[11]认为新拌混凝土含气量与硬化混凝土气泡间距系数之间存在一定的定量关系,并建立了二者的关系图。引气剂在一些发达国家应用技术比较完善,质量也比较稳定,但在我国尚处于推广应用阶段,质量良莠不齐^[12]。针对目前引气剂的研究现状,本文较为系统地研究了烷基苯磺酸盐与皂甙类引气剂对混凝土的力学性能以及硬化后混凝土的气泡特征参数的影响,以期对引气剂的推广应用提供参考。

1 原材料与试验方法

1.1 原材料

(1) 水泥

选用北京兴发水泥有限公司生产的42.5级普通

硅酸盐水泥,其物理力学性能见表1。

表1 水泥物理力学性能

Tab. 1 Physical performance of cement

项目	比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	标准 稠度/ %	安定 性	凝结时间/ min		抗折强度/ MPa		抗压强度/ MPa	
				初凝	终凝	3d	28d	3d	28d
水泥	353	27.6	合格	209	267	6.5	9.4	36.1	54.8

(2) 集料

粗集料选用北京产4.75~26.5 mm连续级配石灰岩碎石,压碎值为12.6%,针片状颗粒含量为4%,吸水率为0.6%,含泥量为0.7%。细集料选用内蒙产天然河砂,为Ⅲ区细砂,细度模数为2.20,表观密度为2.69 g/cm³,含泥量为0.7%,泥块含量为0。

(3) 外加剂

减水剂为萘系高效减水剂,减水率大于20%。引气剂为A、B两种,A为烷基苯磺酸盐类,液体;B为皂甙类引气剂,粉剂。

1.2 试验方法

(1) 混凝土拌合物含气量

依据《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080—2002)规定的含气量试验进行测定。

(2) 混凝土力学性能试验

依据《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2001)的规定进行试验。抗压试件为150 mm×150 mm×150 mm的立方体,抗折强度试件为100 mm×100 mm×400 mm的棱柱体。成型24 h后拆模、标养至测试龄期。

(3) 硬化混凝土气泡特征参数测定

采用丹麦产Rapidair-3000型硬化混凝土气孔结构分析仪进行气泡参数测定。试件为100 mm×100 mm×100 mm的立方体,成型后标准养护28 d,切割成厚度为1~2 cm的试件,经研磨、抛光、清洁并涂黑试样观测面,然后用粒径小于10 μm的碳酸钙粉末或硫酸钡粉末填充气泡,用于气泡参数测定。

2 试验结果与分析

2.1 含气量对混凝土物理力学性能的影响

(1) 含气量对混凝土强度的影响试验对比研究了A(烷基苯磺酸盐类)引气剂和B(皂甙类)引气剂对混凝土抗压与抗折强度的影响。

图1和图2分别为混凝土含气量对抗压与抗折

强度的影响规律。可以看出,对于A、B两种引气剂,随着混凝土含气量的逐渐增加,混凝土抗压强度均呈现明显的下降趋势。但对于抗折强度而言,两种引气剂均未降低混凝土的抗折强度,即随着混凝土含气量的增加,混凝土的抗折强度没有明显的降低,甚至B类引气剂还略有提高,但幅度很小。混凝土引气剂对抗压与抗折强度的影响差异可能是以下原因造成的:首先,引气混凝土在受压荷载时,由于混凝土的含气量增大,相对而言混凝土的承压面积减小,承载力降低,从而呈现随混凝土含气量增大,抗压强度降低的现象。但对于混凝土抗折强度而言,这种作用相对就不显著,主要是由于混凝土的抗折强度受混凝土内部的孔隙与微裂缝影响更为明显。通常新拌混凝土由于沉降和泌水现象,其硬化后内部的孔隙与微裂纹增加,尤其是骨料与硬化水泥浆体的界面过渡区更加薄弱,严重影响混凝土的抗折强度。但在掺加引气剂后,引入的微小气泡可以减少沉降和泌水现象,降低硬化混凝土内部出现的微裂纹数量,使混凝土抗折强度在含气量适当增大的情况下不被劣化,甚至还可能得到改善。这种作用在低强度等级的混凝土中作用可能会更加显著。

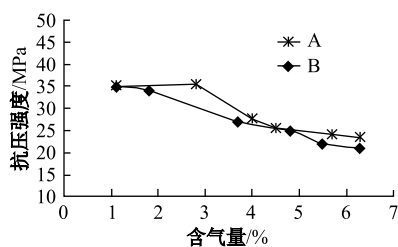


图1 含气量对抗压强度的影响

Fig. 1 Effect of air content on compressive strength

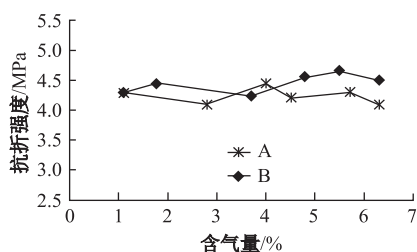


图2 含气量对抗折强度的影响

Fig. 2 Effect of air content on flexural strength

(2) 含气量对折压比的影响

图3为新拌混凝土含气量对硬化后混凝土压折比的影响规律。可以看出,随着新拌混凝土含气量的增大,硬化后混凝土的折压比也随之增大,且皂

甙类引气剂改善混凝土脆性的效果略好于烷基苯磺酸盐类引气剂的效果。对于以抗弯拉强度为主要设计指标的路面混凝土,掺入引气剂可以显著改善混凝土强度的利用率。同时,由于引起作用能明显改善混凝土的工作性,在同等坍落度时,降低了用水量,如能合理优化混凝土的配合比设计参数,甚至可以提高混凝土的抗折强度。

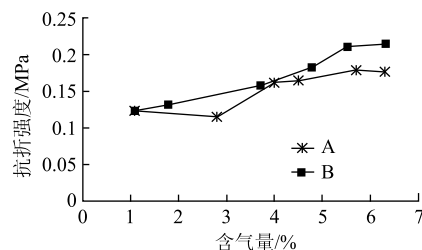


图3 含气量对折压比的影响

Fig. 3 Effect of air content on ratio of flexural strength to compressive strength

2.2 含气量对硬化混凝土气泡特征参数的影响

硬化混凝土气泡结构直接决定了混凝土的抗冻与抗渗性能。揭示含气量对混凝土气泡结构的影响规律,对实际工程中控制混凝土的耐久性具有重要意义。

(1) 新拌混凝土含气量与硬化后混凝土含气量的影响

目前,通常采用测定新拌混凝土的含气量来监测和控制混凝土结构的抗冻性能,然而对不同种类和品质的引气剂以及施工工艺,新拌混凝土的含气量与硬化后的含气量存在明显差异。混凝土抗冻性能的好坏最终取决于硬化后混凝土的含气量和气泡间距系数等,因此研究新拌混凝土含气量与硬化后混凝土含气量的相关性非常必要。

图4显示了烷基苯磺酸盐类和皂甙类两种引气剂对新拌混凝土含气量与硬化后混凝土含气量关系的影响规律。可以看出,由于经时损失与振捣成型等因素,硬化后混凝土含气量较新拌混凝土含气量有大幅损失,但二者之间具有一定相关性。对于不同种类的引气剂,由于其稳泡性能的差异,其硬化后混凝土含气量可能出现较大的差异。即如果引气剂稳泡性能较差,含气量经时损失太大,可能导致硬化混凝土含气量达不到设计要求,此时还通过测定新拌混凝土含气量来评价混凝土结构抗冻性就会出现较大偏差。

(2) 硬化混凝土气泡间距系数

试验分析了新拌混凝土含气量对硬化后混凝土气泡间距系数的影响。在处理数据过程中,将掺加

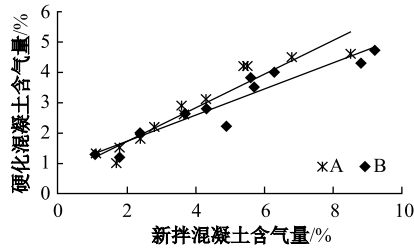


图4 新拌混凝土含气量与硬化混凝土含气量的关系

Fig. 4 Relation between air content of fresh concrete and air content of hardened concrete

A, B 两种引气剂混凝土相近含气量的组别分别进行了对比。

图5为新拌混凝土含气量对硬化混凝土气泡间距系数的影响规律。可以看出,随着硬化混凝土含气量的提高,混凝土内部的气泡间距系数逐渐降低,混凝土的抗冻融性能逐渐提高。还可看出,掺有 A, B 两种引气剂的混凝土,硬化后气泡间距系数有一定的差异,其原因可能是由于 A, B 两种引气剂的稳泡性能存在一定差异,使两者硬化后的含气量差距可能略大,致使混凝土的气泡间距存在一定差异。

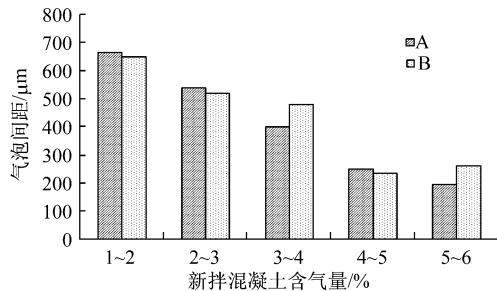


图5 含气量对气泡间距系数的影响

Fig. 5 Effect of air content on air void spacing factor

(3) 硬化混凝土气泡孔径分布

图6为含气量相近情况下(掺加 A 引气剂的含气量为 4.5%, 掺加 B 引气剂的含气量为 4.8%), 掺加 A, B 两种引气剂对两种混凝土气泡孔径分布的影响规律。烷基苯磺酸盐类引气剂引入的微小气泡数量略高于皂甙类引气剂引入的微小气泡数量。

图7为新拌混凝土含气量对硬化后混凝土气泡孔径分布的影响规律。可以看出,硬化混凝土气泡总数随着含气量的增大而增加,且在所测的含气量范围内,气泡弦长小于 240 μm 的气泡个数也随含气量的增大而增加。大量微小气泡的存在能降低气泡的间距系数,这也与气泡间距系数的变化规律相同。

(4) 硬化混凝土气泡平均直径

图8为新拌混凝土含气量对硬化后混凝土气泡

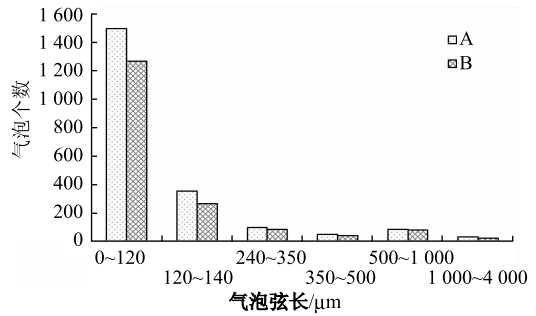


图6 引气剂对气泡孔径分布的影响

Fig. 6 Effect of air-entraining agent on air void diameter distribution

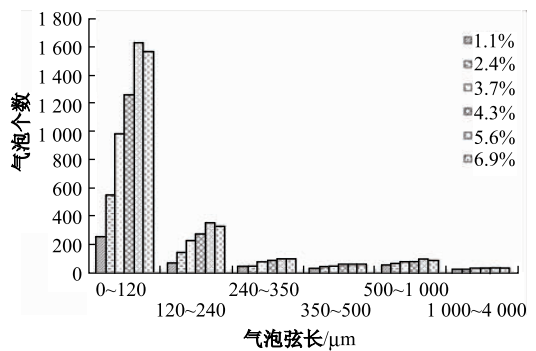


图7 含气量对气泡孔径分布的影响

Fig. 7 Effect of air content on air void diameter distribution

平均直径的影响规律。可以看出,随着混凝土含气量的增加,硬化后混凝土的平均直径逐渐减小,但降低的趋势逐渐变缓。且在混凝土含气量基本相同的情况下, A 引气剂形成的气泡直径小于 B 引气剂,即 A 引气剂的稳泡性能更优,可以更好地保持微小气泡长期稳定的存在。

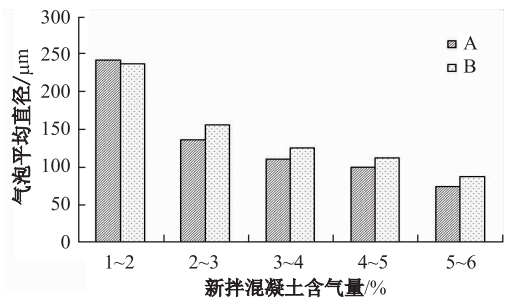


图8 新拌混凝土含气量对气泡平均直径的影响

Fig. 8 Effect of air content of fresh concrete on mean air void diameter

3 结论

(1) 当新拌混凝土含气量在 6.5% 以下时,随

着含气量的增大,混凝土的抗折强度无明显变化,抗压强度显著降低,折压比逐渐提高,混凝土的脆性显著降低,韧性大幅提高。

(2) 与新拌混凝土的含气量相比,硬化后混凝土的含气量大幅降低,但两者存在一定的相关性。

(3) 当新拌混凝土含气量小于6.5%时,随着混凝土含气量的逐渐增加,硬化后混凝土的气泡间距系数减小,气泡平均直径降低,气泡总数提高。

(4) 在相同含气量的情况下,掺加烷基苯磺酸盐类引气剂硬化后的混凝土比掺加皂贰类引气剂硬化后的混凝土形成的气泡间距系数更小,气泡平均直径更低,气泡总数更多,其稳泡性能也更好。

参考文献:

References:

- [1] 李玉顺,柳俊哲. 抗冻融混凝土耐久性设计方法[J]. 混凝土, 2001 (1): 32-34.
LI Yu-shun, LIU Jun-zhe. Designed Method on Durability of Frost Resistance Concrete [J]. Concrete, 2001 (1): 32-34.
- [2] 姜双伦,姬立德,吴会强. 混凝土的冻融破坏与外加剂[J]. 混凝土, 2001 (2): 54-55.
JIANG Shuang-lun, JI Li-de, WU Hui-qiang. Freeze-thaw Failure of Concrete and Admixture [J]. Concrete, 2001 (2): 54-55.
- [3] 陈建奎. 混凝土外加剂的原理与应用[M]. 北京: 中国计划出版社, 1997.
CHEN Jian-kui. Principle and Application of Concrete Admixtures [M]. Beijing: China Planning Press, 1997.
- [4] 黄士元. 从日本预拌混凝土的一条标准说起[J]. 混凝土, 2000 (1): 29-30.
HUANG Shi-yuan. Start with a Japanese Standard of Ready-mixed Concrete [J]. Concrete, 2000 (1): 29-30.
- [5] 覃维祖. 引气作用及其对混凝土性能的影响[J]. 施工技术, 2003, 32 (8): 1-4.
QIN Wei-zu. Air Entrainment and Its Influence on Concrete Properties [J]. Construction Technology, 2003, 32 (8): 1-4.
- [6] 张玉海. 青藏铁路西格二线混凝土冻融试验研究[J]. 新型建筑材料, 2007, 34 (8): 5-8.
- [7] 刘贺,付智. 含气量对混凝土性能影响的试验研究[J]. 公路交通科技, 2009, 26 (7): 38-43.
LIU He, FU Zhi. Experimental Research on Properties of Concrete with Different Air Contents [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26 (7): 38-43.
- [8] 张金喜,郭明洋,杨荣俊,等. 引气剂对硬化混凝土结构和性能的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2008, 30 (5): 38-41.
ZHANG Jin-xi, GUO Ming-yang, YANG Rong-jun, et al. Effect of Air-entraining Admixtures on the Structure and Properties of Hardened Concrete [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008, 30 (5): 38-41.
- [9] 朱志远,王世智,阎勇刚,等. 关于抗冻混凝土的含气量及气泡间距临界值的探讨[J]. 四川建筑科学研究, 2011, 37 (5): 222-224.
ZHU Zhi-yuan, WANG Shi-zhi, YAN Yong-gang, et al. Discussion on Critical Air Content and Air-void Spacing for Frost Resistance of Concrete [J]. Sichuan Building Science, 2011, 37 (5): 222-224.
- [10] 张金喜,郭明洋,杨荣俊. 高频振捣对道路工程混凝土结构物抗冻性影响的研究[J]. 公路交通科技, 2008, 25 (12): 54-58.
ZHANG Jin-xi, GUO Ming-yang, YANG Rong-jun. Effects of High-frequency Vibration on Frost Resistance of Road Concrete Structure [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25 (12): 54-58.
- [11] SAUCIER F, PIGEON M, CAMERON G. Air Void Stability [J]. ACI Materials Journal, 1991, 88 (1): 25-36.
- [12] 杨钱荣,张树青,杨全兵,等. 引气剂对混凝土气泡特征参数的影响[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2008, 36 (3): 374-378.
YANG Qian-rong, ZHANG Shu-qing, YANG Quan-bing, et al. Effects of Air-entraining Agent on Air Void Parameters of Concrete [J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2008, 36 (3): 374-378.