

爆炸冲击成型混凝土试验

崔卓^{1,2},王海亮¹

1. 山东科技大学矿山灾害预防控制省部共建教育部重点实验室,山东青岛 266590

2. 青岛东方盛安安全技术有限公司,山东青岛 266012

摘要 研究流态混凝土在爆炸冲击这一极端状态下养护成型后的强度性能和微观结构特征。制备了不同炸药量在半无限土体中爆炸冲击流态混凝土试块。利用岛津 AG-X250 电子万能岩石压力机对不同药量爆炸冲击成型的混凝土试件、同等条件养护试件和标准养护条件试件进行了单轴压缩试验。采用 JSM-6510LV 高低真空扫描电子显微镜成功得到了不同条件下制备的混凝土试件的微观成分结构及图像。结果表明,经炸药爆炸冲击成型的混凝土强度较同等条件养护成型混凝土强度有较大提高,且可以高于标准养护成型混凝土的强度。定性对比分析证实,爆炸冲击成型混凝土的微观结构与其强度的发展规律一致。

关键词 爆炸冲击;混凝土;抗压强度;微观结构

中图分类号 O389

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.24.005

Experimental Study of Concrete Body Formed by Explosion

CUI Zhuo^{1,2}, WANG Hailiang¹

1. Key Laboratory of Mine Disaster Prevention and Control, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong Province, China

2. Qingdao Dongfangsheng Security Technology Company Limited, Qingdao 266012, Shandong Province, China

Abstract The mechanical properties and microscopic structures of the curing concrete in flowing state are studied under the extreme condition of explosion. The concrete test blocks are formed by different charges of explosive in semi-infinite soil. Using the SHIMADZU universal testing machine AG-X250kN system, the uniaxial compression tests are carried out to study the stress-strain curves of the concretes formed by explosion, the concretes curing under the same condition and those of the standard curing. Using the SEM JSM-6510LV system, the microscopic structure images of concretes are obtained under various conditions. It is shown that the concretes formed by explosion have significantly higher strength than those curing under the same conditions, and also higher than those of the standard curing. The qualitative analysis of the microscopic structure of concretes formed by explosion shows that the microscopic structures are in accordance with the improvement of strength.

Keywords explosion; concrete; compressive strength; microscopic structure

0 引言

爆炸冲击成型混凝土是用炸药爆炸冲击地下料仓内的流态混凝土,使其与周围土体共同运动,经地下养护成型后形成的具有一定承载能力和防护能力的混凝土。从1997年起,本课题组从现场试验、理论研究、数值模拟3个方面对爆炸衬砌技术进行了研究,首次提出了爆炸衬砌的概念,并应

用爆炸衬砌技术成功建成了具有承载能力和抗渗能力的小型地下空间^[1-3];应用弹塑性理论,首次对两种介质中圆形井筒的扩张衬砌问题、球形腔体扩张衬砌问题进行了解析求解^[4];应用 DYNA-2D 程序模拟了爆炸衬砌的物理过程,得到流态建筑材料和土壤质点位移随时间的运动规律,以及流态建筑材料和土壤的应力随时间的变化规律^[5-7]。

收稿日期:2012-04-19;修回日期:2012-07-09

基金项目:国家自然科学基金项目(10672091)

作者简介:崔卓,研究方向为安全技术及工程,电子信箱:cui Zhuo@163.com;王海亮(通信作者),教授,研究方向为工程爆破,电子信箱:tlgcbp@263.net

1 爆炸冲击成型混凝土试验研究

本文采用混凝土的配合比为建筑行业常用的 C30 级碎石混凝土配合比, 炸药选用 QD 型 2 号岩石乳化炸药, 采用集中装药形式实现炸药在半无限土体介质中对流态混凝土材料的爆炸冲击作用。制取爆炸冲击成型混凝土的试验步骤^[9]分为选择试验场地、开挖料仓 (结构和参数见图 1 和表 1)、配置并灌注流态混凝土材料、下放起爆药包、填埋、起爆、开挖提取和平整试验场地等。

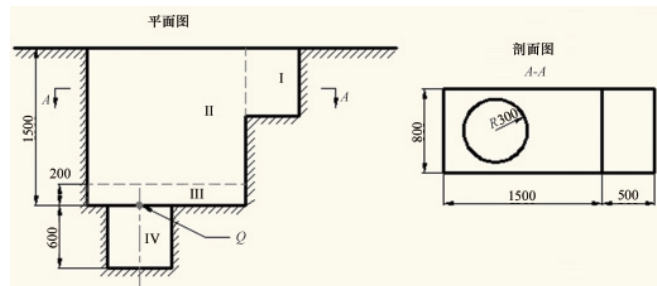


图 1 料仓尺寸 (单位: mm)

Fig. 1 Dimensions of excavated space (unit: mm)

表 1 开挖空间参数

Table 1 Parameters of excavated space

开挖空间编号	名称	尺寸/m	开挖方式
I	行人台阶	0.5×0.8×0.8	人工
II	回填土料仓	1.5×0.8×1.3	机械
III	回填砂料仓	1.5×0.8×0.2	机械
IV	混凝土(砂浆)料仓	Φ0.6×0.6	机械

本文进行了 3 种不同质量炸药 (0.9, 1.2, 1.8kg) 的试验, 制取了 3 组爆炸冲击成型混凝土试件 (编号分别为 C3、C4、C6)。对比试件为同等条件养护成型混凝土 (编号为 T) 和标准养护成型混凝土 (编号为 B)。同等条件养护成型试件为: 将混凝土灌注在与爆炸冲击流态混凝土相同的地下试验场地, 养护相同时间后制取的试件; 标准养护成型试件为: 在相同场地地下养护 48h 达到初凝后将其移至标准养护室养护。在开挖提取爆炸冲击成型混凝土试块的同一天开挖同等条件养护试块, 并将标准养护室内的标准条件养护试块取出。

为了研究流态混凝土在爆炸冲击这一极端状态作用下养护成型后的性能变化, 采用岛津 AG-X250 电子万能岩石压力机对试件进行单轴压缩强度试验; 采用 JSM-6510LV 高低真空扫描电子显微镜对试件进行电镜扫描试验。

2 爆炸冲击成型混凝土的强度

由于爆炸冲击作用下流态混凝土硬化后的形状不规则, 厚度较薄且不统一, 很难制取符合《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T50081—2002)^[9]中规定的标准 (Φ150mm×

300mm)、非标准 (Φ100mm×200mm、Φ200mm×400mm) 圆柱体试块。本研究不涉及混凝土材料的标准强度, 采用尺寸相同的非规范试件进行强度对比试验, 得出不同试件抗压强度之间的相对关系。根据规范试件高径比 2:1 的比例, 制取统一尺寸 Φ25mm×50mm 的爆炸冲击成型混凝土、同等条件养护成型混凝土和标准养护混凝土试件。将 3 种试件置于岛津 AG-X250 电子万能岩石压力机对试件进行单轴压缩强度试验。表 2 给出了爆炸冲击成型混凝土的抗压强度和强度变化率。

表 2 爆炸冲击成型混凝土抗压强度和强度变化率

Table 2 Compression strength and its variation rate of concretes formed by explosion

试验项目	C3 (0.9kg)	C4 (1.2kg)	C6 (1.8kg)	T	B
抗压强度/MPa	33.98	38.85	36.13	27.97	35.83
强度变化率 a/%	21.49	38.90	29.17	—	—
强度变化率 b/%	-5.16	8.43	8.37	—	—

注: 强度变化率 a 代表爆炸冲击成型试件相对于同等条件养护试件强度的变化率; 强度变化率 b 代表爆炸冲击成型试件相对于标准养护试件强度的变化率。正为提高率, 负为降低率。

Notes: The strength variation rate a represents the rate of the specimen formed by explosion with respect to that curing under the same condition; The strength variation rate b represents the rate of the specimen formed by explosion with respect to that of the standard curing. Positive value means the increasing rate; negative value means the decreasing rate.

经炸药爆炸冲击成型的混凝土强度较同等条件养护成型混凝土强度均有较大提高: 0.9kg 炸药爆炸冲击成型后的混凝土试件强度提高 21.49%, 1.2kg 炸药爆炸成型后的混凝土试件强度提高 38.90%, 1.8kg 炸药爆炸冲击成型后的混凝土试件强度提高 29.17%。

炸药爆炸冲击成型混凝土强度可以高于标准养护成型混凝土强度。1.2kg 及 1.8kg 药量爆炸冲击成型混凝土强度高于标准养护成型混凝土强度, 强度分别提高 8.43% 和 8.37%, 说明爆炸冲击可优化混凝土强度。

依此推测, 混凝土用量一定、炸药爆炸方式相同, 在合适的炸药量范围内, 随着药量的增加爆炸冲击成型混凝土的强度增加; 最佳药量可以使爆炸冲击成型混凝土的抗压强度得到最大限度的提高; 超过最佳药量, 混凝土强度将逐渐降低。

3 爆炸冲击成型混凝土的微观结构

采用 SEM 电镜扫描的试验对象是爆炸冲击成型混凝土 (C3、C4、C6)、同等条件养护成型混凝土 (T) 及标准养护混凝土 (B)。

由于 SEM 的样品台直径为 25mm, 因此从混凝土试块上取得的混凝土电镜扫描试样宽度不超过 25mm, 厚度不大于

20mm。为了保证扫描图像的清晰可靠,试样的观察面必须是混凝土原始的自然断面,不得进行磨平抛光处理。试验前用小锤砸取较薄且厚度比较均匀的薄片,在砸取过程中要注意保证样品的观察面不受破坏。为避免灰尘对观测结果造成的影响,将制取的混凝土薄片浸泡在酒精中清洗。SEM 主要是利用二次电子信号成像来观察样品的表面形态,所以试样的

观察面要有良好的导电性。混凝土材料导电性很差,在试验时要进行导电性处理。试验在混凝土试样表面加镀一层连续且厚度均匀的金膜。至此电镜扫描试样制备完成。

SEM 分别获取了混凝土试样放大 300,500,1000,2000,3000 倍的扫描图像。图 2 为水化物形貌较为清晰的、放大倍数为 1000 的一组图像。

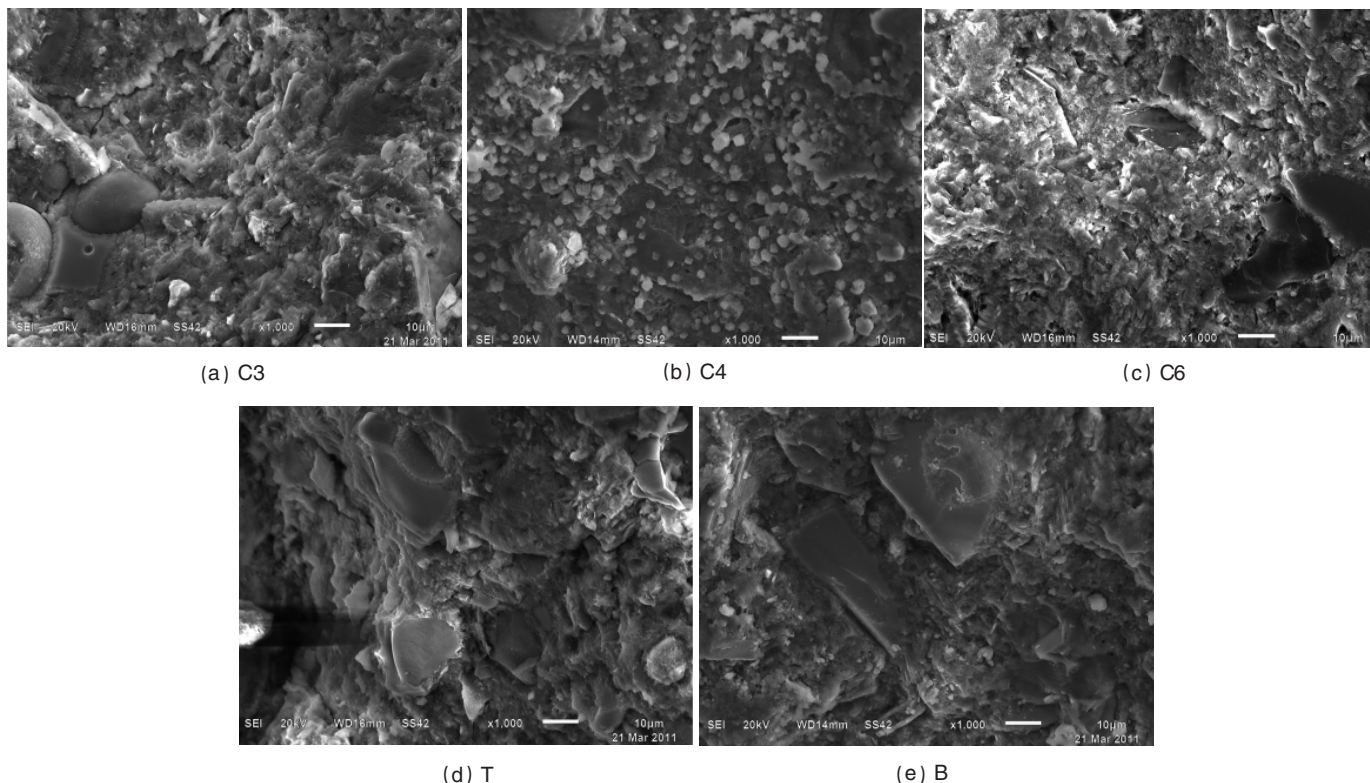


图 2 不同条件成型混凝土 SEM 图像(1000×)

Fig. 2 SEM images of concretes under different curing conditions (1000×)

对比观察可得:爆炸冲击成型混凝土试样中,C4 水泥浆体中 C-S-H 凝胶结构最为致密,微细孔隙较少,且氢氧化钙晶体发展良好;C3 的 C-S-H 凝胶结构最为松散,且微细孔隙较多,氢氧化钙及矿物熟料未水化完全;与 C3 相比,C6 的 C-S-H 凝胶结构明显致密些,但仍然存在较多的微细孔隙。从微观结构来看,爆炸冲击成型混凝土水泥砂浆结构密实度从高到低依次是 C4、C6、C3。在单轴压缩试验中,C4、C6、C3 试件的抗压强度分别为 38.85、36.13、33.98MPa。这表明爆炸冲击成型混凝土的微观结构与其强度的发展规律相一致。

将同等条件成型混凝土试样(T)与爆炸冲击成型混凝土试样(C3、C4、C6)对比,T 的 C-S-H 凝胶结构较 C3 要少且松散,微裂隙也较多,表明 T 的水化程度较低,结构密实度比 C3 也低。说明爆炸冲击产生的高温高压作用有利于混凝土水化物的生成,增加结构密实度,从而提高混凝土抗压强度,这与爆炸冲击成型混凝土的抗压强度高于同等条件成型混凝土这一试验结论相符。

将标准养护成型混凝土试样(B)与爆炸冲击成型混凝土

试样(C3、C4、C6)对比,可以观察到 B 的 C-S-H 凝胶结构较 C3 要致密,较 C4 要松散,但单从 SEM 图像上不好判别 B 与 C6 两者的密实度。说明 B 的浆体结构比 C3 密实,比 C4 松散。这一结论说明爆炸冲击成型混凝土的强度可以超过标准养护成型混凝土。

4 结论

(1) 经炸药爆炸冲击成型的混凝土强度较同等条件养护成型混凝土强度有较大提高,且可以高于标准养护成型混凝土的强度,即爆炸冲击作用可以优化混凝土的强度性能。

(2) 爆炸冲击产生的高温高压作用有利于混凝土水化物的生成,增加结构密实度,从而提高了混凝土抗压强度。

(3) 微观层面上爆炸冲击成型混凝土水化物结构的变化规律与宏观层面混凝土表现出的强度变化规律一致。

参考文献 (References)

[1] 王海亮,冯长根,王丽琼.土中爆炸成腔的现场试验研究[J].火炸药学

- 报, 2001, 24(2): 12-15.
Wang Hailiang, Feng Changgen, Wang Liqiong. *Journal of Explosives and Propellants*, 2001, 24(2): 12-15.
- [2] 王海亮, 冯长根, 王丽琼, 等. 爆炸衬砌试验研究 [J]. 爆炸与冲击, 2001, 21(4): 291-296.
Wang Hailiang, Feng Changgen, Wang Liqiong, et al. *Explosion and Shock*, 2001, 21(4): 291-296.
- [3] Wang H L, Ding H Z, Ma M, et al. Research on compression test of liner materials by explosive lining [C]//Proceedings of the 2007 international autumn seminar on propellants, explosives and pyrotechnics (Vol VII). Beijing: Science Press, 2007: 495-498.
- [4] Wang H L, Su H F, Liu Q Z, et al. The plastoelastic solution to the problem of expansion lining in round shaft with tresca materials [C]//Proceedings of the 2007 international conference on mine hazards prevention and control. Beijing: Science Press, 2007: 201-206
- [5] Wang H L, Su H F, Ma M, et al. Influence of explosive lining on soil physical performance [C]//Proceedings of the 2007 international autumn seminar on propellants, explosives and pyrotechnics (Vol VII). Beijing: Science Press, 2007: 499-502.
- [6] 王海亮, 李新明, 丁慧哲, 等. 爆炸衬砌过程中流态砂浆内应力变化规律的数值模拟[J]. 科技导报, 2007, 25(23): 38-41.
Wang Hailiang, Li Xinming, Ding Hui zhe, et al. *Science & Technology Review*, 2007, 25(23): 38-41.
- [7] 冯长根, 王海亮, 金龙, 等. 爆炸衬砌过程中中介质位移的数值模拟研究 [J]. 火炸药学报, 2002, 25(4): 1-4.
Feng Changgen, Wang Hailiang, Jin Long, et al. *Journal of Explosives and Propellants*, 2002, 25(4): 1-4.
- [8] Wang H L, Cui Z, Li X M, et al. Mechanical property of solidified concrete by explosion as the concrete is in flow pattern [C]//International Conference on Manufacturing Science and Engineering. Switzerland: Trans Tech Publications, 2010: 1073-1076.
- [9] 中华人民共和国建设部, 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 50081—2002 普通混凝土力学性能试验方法标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
China State Construction, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 50081—2002 Standard for test method of mechanical properties on ordinary concrete [S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2002.

(责任编辑 马宇红, 代丽)

·学术动态·



“肿瘤多学科综合诊治新进展 学术研讨会”征文

中华医学会《国际肿瘤学杂志》与《中国肿瘤临床与康复杂志》将于2012年11月16—19日在海南省三亚市联合举办“肿瘤多学科综合诊治新进展学术研讨会”。

征稿范围: 1) 肿瘤的多学科综合治疗; 2) 非小细胞肺癌综合治疗新进展; 3) 中晚期肺癌的局部靶向治疗; 4) 食管癌内科治疗的现状与展望; 5) 胃癌的多学科综合治疗; 6) 大肠癌的临床研究进展; 7) 乳腺癌治疗新进展; 8. 白血病、淋巴瘤的治疗进展; 9) 恶性肿瘤的微创治疗; 10) 晚期癌症患者的姑息治疗; 11) 肿瘤放射治疗新进展; 12) 基因技术、生物药及中医药在恶性肿瘤治疗中的应用。

全文截稿日期: 2012年9月30日

联系电话: 010-68218238 68233095

电子信箱: wetogether@126.com, zhongliuhuiyi@sina.com

会议网站: <http://www.gjzlx.cn/CN/column/item104.shtml>