

膏体充填材料性能影响因素试验研究

张新国^{1,2}, 王华玲³, 李杨杨¹, 史俊伟¹

(1. 山东科技大学 资源与环境工程学院, 山东 青岛 266590;

2. 山东科技大学 矿山灾害预防控制教育部重点实验室, 山东 青岛 266590;

3. 山东科技大学 纪委, 山东 青岛 266590)

摘要:以淄博矿业集团岱庄煤矿膏体充填为例,通过均匀试验系统研究了膏体充填材料性能的主要影响因素。结果表明:在材料颗粒级配、温度、湿度确定的情况下,质量浓度是影响塌落度、分层度、凝结时间和抗压强度的主要因素;在质量浓度相同的条件下,粉煤灰含量越高,塌落度越大;膏体分层度随粉煤灰含量的增加而逐渐减小;随着胶结料含量的增加,单轴抗压强度增长迅速;泌水率随着细粒级含量和质量浓度的增大而减小。

关键词:均匀试验;质量浓度;塌落度;分层度;单轴抗压强度;泌水率

中图分类号:TD853.34

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2012)03-0053-06

Experimental Research for Influencing Factors on Properties of Paste Filling Materials

ZHANG Xinguo^{1,2}, WANG Hualing³, LI Yangyang¹, SHI Junwei¹

(1. College of Resource and Environmental Engineering, Shandong University of Science and

Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. Key Laboratory of Mining Disaster Prevention and Control, Ministry of Education, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

3. The Commission for Disciplinary Supervision, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: Taking the paste filling in Daizhuang Mine of Zibo Mining Group Co., Ltd. as an example, the main influencing factors on the properties of paste filling were studied by means of even experiment system. The results show that the quality concentration is the main factor influencing slump, hierarchic degree, setting time and compressive strength with the conditions of the particle ratio of materials, the temperature and humidity being determined; the higher the fly ash contents, the larger the slump is under the condition of same quality concentration; the hierarchic degree of paste gradually decreases with the increase of fly ash contents; the uniaxial compressive strength increases quickly with the increase of contents of cementing materials; the water bleeding rate decreases with the increase of fine aggregate contents and quality concentration.

Key words: even experiment; quality concentration; slump; hierarchic degree; uniaxial compressive strength; water bleeding rate

随着我国煤炭资源的日益减少,“三下一上”压煤开采成为目前面临的主要难题。膏体充填作为“绿色开采”体系的重要组成部分,是解决“三下一上”压煤开采的理想途径。膏体充填技术主要由三部分组成:充填材料、充填系统、采动覆岩控制理论,其中充填材料是膏体充填技术的核心,材料质量的优劣对控制地表沉陷

收稿日期:2011-09-18

基金项目:国家自然科学基金项目(50874070);山东省自然科学基金项目(Y2008F01);山东省高等学校科技计划项目(J11LE14);山东科技大学“群星计划”项目(2010AZZ023)

作者简介:张新国(1976—),男,讲师,博士,主要从事充填开采及矿压方面的教学和研究工作. E-mail:zhangxg1229@163.com

的效果起着决定性作用^[1-3]。因此,如何调整充填材料各指标之间的关系、选择合理的配比并兼顾充填成本,对该技术的推广应用具有重要的意义^[4]。

1 试验方案设计

采用均匀试验法^[5],原材料选用普通 32.5 级硅酸盐水泥,岱庄煤矿电厂粉煤灰和二级破碎矽石(粒径 ≤ 25 mm)。

1.1 试验指标、因素及水平

煤矽石、粉煤灰和水泥的含量及膏体质量浓度是影响膏体性能的主要因素。试验选取三因素即 A(粉煤灰:水泥)、B(矽石:水泥)和 C(质量浓度)。根据以往的配比经验^[5-6],试验因素 A 的取值 2~8,因素 B 取值 4~10,因素 C 取值 72%~78%。试验采用混合水平进行设计,因素 A 取 7 个水平,因素 B 取 7 个水平,因素 C 取 4 个水平,共做 28 次试验。

1.2 试验方案制定

应用均匀设计软件中的混合水平设计,建立相应的试验方案。如表 1 所示,选用的均匀设计表为 $U_{28}(7 \times 7 \times 4)$,均匀设计偏差 $D=0.2455$ 。试验方案:称取相应量的水泥、粉煤灰、矽石,放入搅拌机中干拌 3 min,加入一定量的水后再搅拌 2 min,料浆出搅拌机后立即测定塌落度和分层度,然后将料浆装入 $7.07 \text{ cm} \times 7.07 \text{ cm} \times 7.07 \text{ cm}$ 的标准三联试模放入标准养护箱养护,到规定时间后测定膏体的初凝、终凝时间和泌水率,养护至规定龄期取出,用 YAW-400 型压力试验机测定各龄期的单轴抗压强度。

试验结果如表 2 所示^[7-8]。

表 1 膏体配比设计方案表
Tab. 1 The schemes of paste ratio design

编号	影响因素			编号	影响因素			编号	影响因素		
	A	B	C/%		A	B	C/%		A	B	C/%
p01	2	4	72	p11	4	7	76	p21	7	10	72
p02	2	5	74	p12	4	8	78	p22	7	4	74
p03	2	6	76	p13	5	9	72	p23	7	5	76
p04	2	7	78	p14	5	10	74	p24	7	6	78
p05	3	8	72	p15	5	4	76	p25	8	7	72
p06	3	9	74	p16	5	5	78	p26	8	8	74
p07	3	10	76	p17	6	6	72	p27	8	9	76
p08	3	4	78	p18	6	7	74	p28	8	10	78
p09	4	5	72	p19	6	8	76	—	—	—	—
p10	4	6	74	p20	6	9	78	—	—	—	—

2 试验结果分析

2.1 粉煤灰含量对膏体塌落度影响

根据表 2 数据绘制了不同质量浓度膏体塌落度随粉煤灰含量的变化曲线(图 1)。由图 1 可以看出,在质量浓度相同的条件下,随着粉煤灰含量的增加,膏体的塌落度变大,其主要原因是粉煤灰的加入,减少了矽石颗粒之间的摩擦力,增加了料浆的流动能力。在不同质量浓度下,粉煤灰含量对膏体料浆的塌落度影响较大,质量浓度越高,粉煤灰含量越高,膏体料浆的塌落度将显著增大。粉煤灰对高浓度膏体料浆的塌落度影响明显。

2.2 质量浓度对膏体塌落度影响

图 2 为不同质量浓度料浆对膏体塌落度的影响曲线。可以看出,随着料浆质量浓度的升高,膏体塌落度

显著变小;低质量浓度膏体料浆对塌落度影响不明显,高质量浓度对塌落度影响较大。煤矿膏体输送介质对塌落度的要求是大于 20 cm,从试验结果得知,质量浓度 72%、74%符合试验要求。

表 2 膏体配比试验结果表
Tab. 2 The experimented results for paste proportions

编号	塌落度/cm	分层度/cm	泌水率/%	凝结时间/h		各龄期单轴抗压强度/MPa				
				初凝	终凝	8 h	1 d	3 d	7 d	28 d
p01	21.4	3.4	2.27	6.8	8.3	0	0.33	1.17	4.07	4.89
p02	19.2	2.3	2.21	8.7	10.6	0	0.30	1.04	3.87	4.19
p03	14.0	1.5	2.18	7.0	8.8	0	0.28	0.90	3.33	3.79
p04	9.0	1.2	2.07	7.3	9.1	0	0.25	0.76	2.79	3.61
p05	21.3	3.6	3.15	10.4	12.6	0	0.10	0.30	1.77	3.45
p06	18.7	2.7	2.55	11.0	13.3	0	0.09	0.30	1.53	3.14
p07	12.0	2.0	2.57	10.6	13.1	0	0.09	0.27	1.47	3.09
p08	13.7	0.9	1.09	6.7	8.6	0	0.28	0.90	3.14	3.69
p09	23.3	2.5	1.89	7.2	9.1	0	0.19	0.58	2.90	3.47
p10	21.0	1.3	1.77	9.0	10.8	0	0.23	0.68	2.10	3.30
p11	14.5	1.4	1.58	9.0	10.8	0	0.15	0.46	1.92	3.38
p12	9.0	1.0	1.63	9.6	11.6	0	0.15	0.46	1.75	3.13
p13	23.0	3.2	2.31	12.0	14.6	0	0.11	0.38	1.46	3.09
p14	19.8	2.2	2.27	11.0	13.1	0	0.12	0.38	1.10	2.91
p15	23.8	1.1	1.04	7.5	9.1	0	0.14	0.44	2.38	3.49
p16	18.1	0.4	1.07	8.5	10.4	0	0.14	0.43	2.77	3.67
p17	26.4	1.5	1.79	11.5	13.6	0	0.13	0.42	1.43	2.70
p18	21.5	0.7	1.60	10.7	13.1	0	0.12	0.38	1.47	2.94
p19	18.3	1.3	1.36	11.0	13.2	0	0.11	0.37	1.28	2.45
p20	13.9	0.7	1.38	10.0	12.1	0	0.11	0.33	1.16	2.07
p21	23.1	3.1	2.15	14.0	15.6	0	0.11	0.32	0.99	1.98
p22	26.3	0.1	1.13	10.0	11.8	0	0.12	0.38	1.17	2.34
p23	25.1	0.7	1.01	9.5	11.3	0	0.09	0.28	0.97	2.18
p24	23.0	0.3	0.91	9.7	11.5	0	0.09	0.29	1.22	2.40
p25	27.8	0.7	1.76	12.0	13.8	0	0.07	0.21	0.88	2.33
p26	26.0	0.3	1.58	13.1	15.1	0	0.08	0.24	0.97	2.51
p27	19.3	1.2	1.30	12.2	14.1	0	0.09	0.27	0.96	2.43
P28	15.1	0.6	1.17	11.7	13.6	0	0.09	0.33	1.03	2.87

2.3 粉煤灰含量、质量浓度对膏体分层度影响

粉煤灰含量、质量浓度对膏体分层度影响如图 3 所示。由图 3 可以看出,随着粉煤灰含量的增加,膏体分层度逐渐减少,主要原因是粉煤灰的比表面积大,其屈服应力值和塑性粘度相对要高。膏体的分层度随质量浓度的增加呈降低的趋势,低质量浓度粉煤灰含量比高质量浓度影响大。因此,粉煤灰含量越高,膏体的流动性越好,分层度越小。根据煤矿膏体充填介质对分层度的要求,一般要求分层度小于 2 cm,从试验结果得知,质量浓度 74%最优。

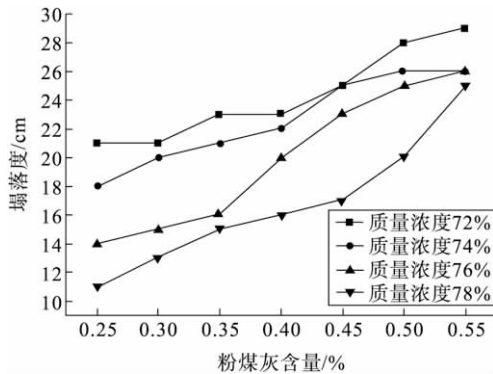


图 1 粉煤灰含量对塌落度的影响曲线图

Fig. 1 The curves showing the influence of fly ash contents on slump

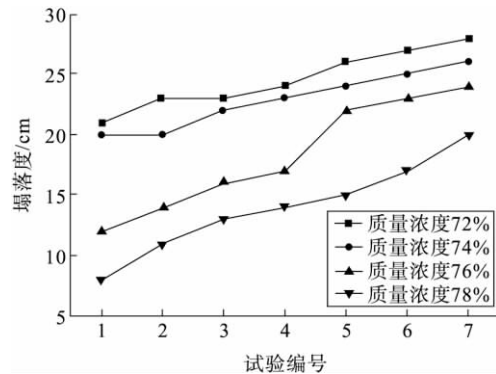


图 2 质量浓度对塌落度的影响曲线图

Fig. 2 The curves showing the influence of quality concentration on slump

2.4 膏体凝结时间变化规律

膏体凝结时间对矿山充填作业非常重要,但是国内外并没有对充填膏体的凝结时间制定统一的测定标准。根据膏体材料细粒级含量高、最大粒径较小的特点,可借鉴测定纯水泥凝结时间的方法来测定膏体的凝结时间。实践表明,用维卡仪测定的膏体凝结时间能满足工程要求。根据表 2 绘制了不同质量浓度、胶结料含量膏体的初凝和终凝时间变化规律,如图 4、图 5 所示。可以看出,胶结料含量和膏体质量浓度对膏体凝结时间影响非常明显。在质量浓度一定的情况下,膏体的凝结时间随胶结料含量的增加而缩短,其主要原因是胶结料含量越高,早期生成的水化产物越多,导致凝结时间缩短^[9-12]。

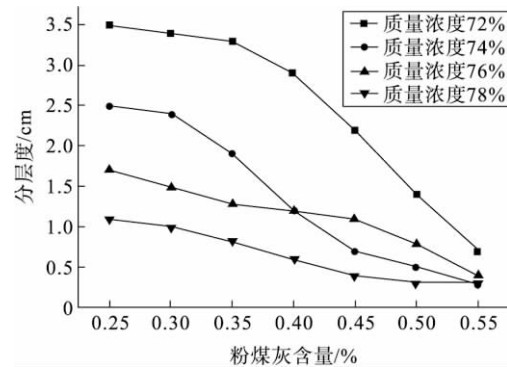


图 3 粉煤灰含量、质量浓度对膏体分层度的影响曲线图

Fig. 3 The curves showing the influence of fly ash contents and quality concentration on hierarchic degree of paste

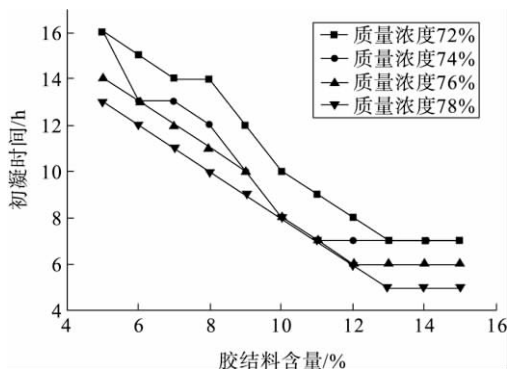


图 4 质量浓度对膏体初凝时间影响曲线图

Fig. 4 The curves showing the influence of quality concentration on early setting time

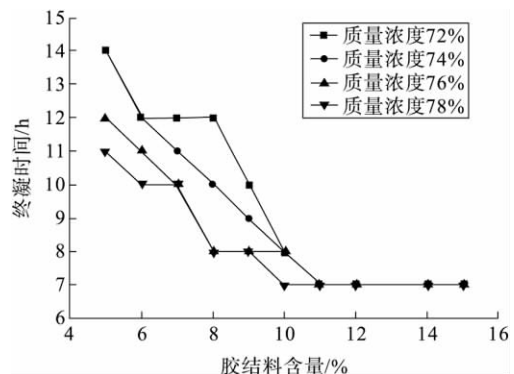


图 5 质量浓度对膏体终凝时间影响曲线图

Fig. 5 The curves showing the influence of quality concentration on final setting time

2.5 膏体单轴抗压强度变化规律

影响膏体单轴抗压强度的因素很多,主要有胶结料含量、粉煤灰含量、质量浓度、养护龄期、骨料级配和

养护条件等。从试验结果得知,粉煤灰含量对强度的影响不如胶结料含量对强度的影响大,并且在多重因素相互影响的情况下,很难总结出粉煤灰对膏体强度的影响规律。随养护龄期的延长,在相同质量浓度前提下,所有试块都是随着胶结料含量增加,抗压强度缓慢增大。

2.6 膏体泌水率变化规律

泌水是指膏体体积已经固定但还没有凝结之前水分产生向上的运动,主要是新拌膏体的集料颗粒不能吸收所有的拌和水引起的,泌水率是指泌水量与膏体拌合物含水量之比。膏体充填材料的泌水率主要与颗粒级配、细粒级含量以及质量浓度有关。膏体中细粒级含量与泌水率的关系如图6所示。由图6可以看出,随着膏体中细粒级含量的增加,膏体的泌水率有规律地降低。膏体的质量浓度对泌水率的影响如图7所示,随着膏体质量浓度的提高,膏体的泌水率也在有规律地减小。

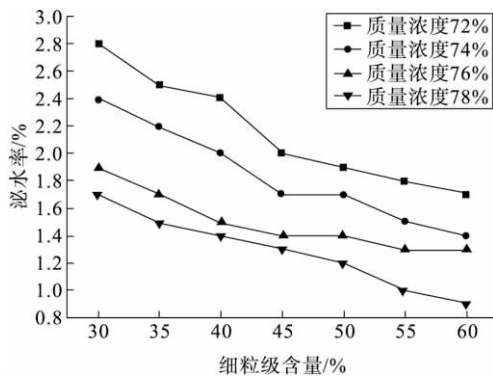


图6 泌水率与细粒级含量关系曲线图

Fig. 6 The relational curves between water bleeding rate and contents of fine particles

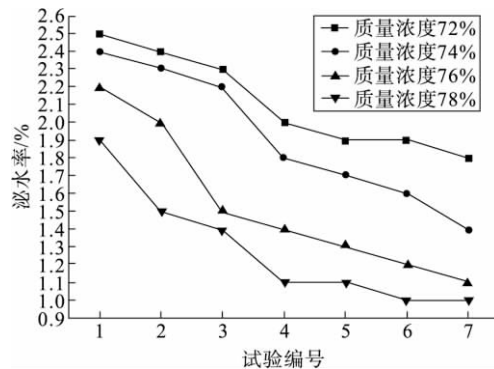


图7 泌水率与质量浓度的关系曲线图

Fig. 7 The relational curves between water bleeding rate and quality concentration

3 结论

1) 在颗粒级配、温度、湿度确定的情况下,膏体料浆质量浓度对塌落度、分层度、凝结时间、抗压强度和泌水率产生了较大影响;粉煤灰含量对塌落度和分层度有重要影响;胶结材料含量也是影响膏体凝结时间和抗压强度的主要因素。

2) 配比 P10 可作为本次试验的优化配比结果,即胶结料:粉煤灰:煤矸石为 1:4:6,质量浓度为 74%。

3) 以该试验为基础的最佳配比结果在岱庄煤矿膏体充填现场进行了成功的应用。由于膏体充填材料成分复杂,不同矸石的胶结(泥质、钙质)不同,新灰和老灰活性不同,再加上温度、湿度影响,实验室配比试验只是对现场起指导作用,在每次充填前还必须遵循现配再充填的原则。

参考文献:

[1]郭惟嘉,张新国,史俊伟,等. 煤矿充填法开采技术研究现状及应用前景[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2010,29(4): 24-29.
GUO Weijia,ZHANG Xinguo,SHI Junwei,et al. Present situation of research on backfilling mining technology in mines and its application prospect[J]. Journal of Shandong University of Science & Technology; Natural Science,2010,29(4):24-29.

[2]缪协兴,钱鸣高. 中国煤炭资源绿色开采研究现状与展望[J]. 采矿与安全工程学报,2009,26(1):1-14.
MIAO Xiexing,QIAN Minggao. Research on green mining of coal resources in China:Current status and future prospects [J]. Journal of Mining & Safety Engineering,2009,26(1):1-14.

[3]冯光明,王成真. 超高水材料采空区充填工艺系统与应用研究[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2011,30(2):1-8.
FENG Guangming,WANG Chengzhen. Process system of goaf filling with ultra-high-water materials and application study

- [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2011, 30(2): 1-8.
- [4] 刘同有, 蔡嗣经. 国内外膏体充填技术的应用与研究现状[J]. 中国矿业, 1998, 7(5): 1-4.
LIU Tongyou, CAI Sijing. Research condition and application on paste backfilling technology at home and abroad[J]. China Mining, 1998, 7(5): 1-4.
- [5] 周华强, 侯朝炯, 孙希奎, 等. 固体废物膏体充填不迁村采煤[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(2): 154-158.
ZHOU Huaqiang, HOU Chaojiong, SUN Xikui, et al. Solid waste paste filling for none-village-relocation coal mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(2): 154-158.
- [6] 赵才智, 周华强, 瞿群迪, 等. 膏体充填材料力学性能的初步实验[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(2): 159-161.
ZHAO Caizhi, ZHOU Huaqiang, QU Qundi, et al. Preliminary test on mechanical properties of pastefilling material[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(2): 159-161.
- [7] 胡家国, 古德生. 铜山铜矿尾砂胶结充填试验研究[J]. 有色金属, 2003, 55(4): 127-130.
HU Jianguo, GU Desheng. Experiment of cemented filling with tailings in Tongshan copper[J]. Nonferrous Metals, 2003, 55(4): 127-130.
- [8] 何荣军, 周华强, 郑保才. 煤矸石膏体巷旁充填材料的研究[J]. 能源技术与管理, 2006(4): 51-53.
HE Rongjun, ZHOU Huaqiang, ZHENG Baocai. Research on coal gangue paste roadside packing material[J]. Energy Technology and Management, 2006(4): 51-53.
- [9] 赵才智, 周华强, 瞿群迪, 等. 膏体充填料浆流变性能的实验研究[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(8): 54-56.
ZHAO Caizhi, ZHOU Huaqiang, QU Qundi, et al. Experimental study on rheology performances of paste backfilling slurry[J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(8): 54-56.
- [10] 赵才智, 周华强, 柏建彪, 等. 膏体充填材料强度影响因素分析[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006, 25(6): 904-906.
ZHAO Caizhi, ZHOU Huaqiang, BAI Jianbiao, et al. Influence factor analysis of paste filling material strength[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2006, 25(6): 904-906.
- [11] 郑保才, 周华强, 何荣军. 煤矸石膏体充填材料的试验研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(4): 460-463.
ZHENG Baocai, ZHOU Huaqiang, HE Rongjun. Experimental research on coal gangue paste filling material[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(4): 460-463.
- [12] 赵才智, 周华强, 柏建彪, 等. 粉煤灰全尾砂膏体充填试验研究[J]. 金属矿山, 2006(12): 4-6.
ZHAO Caizhi, ZHOU Huaqiang, BAI Jianbiao, et al. Experimental research on fly ash total tailing paste filling[J]. Metal Mine, 2006(12): 4-6.