

变态混凝土浆液的试验研究

纪国晋 陈改新 姜福田

(中国水利水电科学研究院结构材料研究所 北京 100038)

摘要 介绍变态混凝土应用技术中几个关键问题,如变态浆液的试验方法、配合比优化、加浆方式和加浆率等方面的试验研究.研究提出的变态浆液流动度仪能较好地反映浆液的流变性能,可用于变态浆液配合比的优选试验和现场质量控制.采用 3 种加浆方式和不同的加浆率对变态混凝土进行仿真试验,结果表明,仿真试验可用于变态混凝土加浆方式和加浆率的研究与确定.

关键词 变态混凝土 混凝土浆液 浆液流动度 仿真试验

中图分类号 TV431 **文献标识码** A **文章编号** 1006-7647(2005)06-0031-03

Experimental study on grout enriched vibrated RCC//JI Guo-jin, CHEN Gai-xin, JIANG Fu-tian(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract : An introduction was given to some key problems about grout enriched vibrated RCC (GEV-RCC), including the experimental method for GEV-RCC ,the optimization of mixing-ratio ,the grouting method ,and the reasonable amount of grout to be added . The research shows that the fluidity apparatus for cement grout proposed in this paper can reflect the rheological properties of cement grout ,and can be applied to field test for optimal determination of the mixing-ratio of GEV-RCC and quality control . Simulation test performed on GEV-RCC by use of three different grouting methods under different grouting ratios shows that it is an effective measure to determine reasonable grouting method and mixing-ratio for GEV-RCC .

Key words : GEV-RCC , concrete grout ; fluidity of grout ; simulation test

变态混凝土施工技术来源于工程实践.最先在岩滩碾压混凝土围堰施工中应用,在靠近模板不便碾压处加水泥灰浆,以改善模板拆除后混凝土的表面外观.之后,变态混凝土相继在荣地、普定、石漫滩、江垵、汾河二库和棉花滩等工程中应用,其应用范围也逐渐扩大.除模板周边外,已应用于止水周边、廊道电梯井等结构周边钢筋混凝土、岸坡岩坝结合部位、溢流面下卧层、底孔周边常态混凝土过渡层等处^[1~3].目前在建的龙滩碾压混凝土坝将变态混凝土作为大坝防渗结构的一部分,与二级配碾压混凝土共同构成高碾压混凝土坝的防渗结构^[4].可以说,变态混凝土这一新技术从实践摸索到逐步完善,以及应用范围的逐步扩展都是经历了多个工程实际应用效果的检验得来的.然而作为日趋成熟的施工技术,仍存在诸多不足,至今未能形成科学规范的设计和施工体系,亦未纳入 2000 年新修订的 DL/T5112-2000《水工碾压混凝土施工规范》.各工程在浆材制备与配合比优化、加浆量及加浆方式、施工质量控制等方面都不相同,某些技术环节受人因为因素影响较大.如何将变态混凝土

施工技术从实践到理论加以完善,再回到工程实践中,对于提高工程质量、发挥其诸多优点十分重要.变态混凝土试验包括基材(碾压混凝土和变态浆液)和碾压混凝土后加浆液变态过程试验两部分,碾压混凝土已有相应的试验和施工规范可供参考,变态浆液及加浆变态过程尚无相关的试验和规范可供参考.本文通过对变态混凝土应用技术中几个关键问题如变态浆液的试验方法、配合比优化与质量控制,以及加浆方式和加浆率等方面的研究与论述,旨在探索和完善变态混凝土的应用技术基础.

1 变态混凝土浆液的研究方法及性能测试仪器

浆液制备是变态混凝土的应用基础,浆液的质量决定变态混凝土的性能.工程中常用的加浆材料由水泥、粉煤灰、外加剂加水经机械搅拌而成,拌制好的加浆材料称为浆液.以往对浆液的研究主要在配合比优化上,目的是使之满足设计要求.对不同工程,浆液的配合比往往相差甚远,浆液性能明显不

同 相应的变态混凝土性能差异较大. 目前国内对变态混凝土浆液的制备还没有成熟完善的配合比优化方法和相关的规范可供参考, 主要原因在于研究方法的差异. 一般来说, 浆液应具有良好的流变性、体积稳定性和抗离析性, 其中流变性能是保证变态混凝土质量的必要条件, 流变性能的差异直接与变态混凝土的加浆量及混凝土的后期性能相关联. 因此, 对浆液流变性能的研究是变态加浆材料配合比优化的主要方法.

常用的水泥浆液流变性能测试仪器有回转黏度计、漏斗黏度计、标准稠度仪、锥体流动度测定仪等, 它们测量的参数和范围不同, 使用条件各异. 回转黏度计用于浆体黏度测试, 测试范围较宽但技术复杂, 不适合工地试验室进行浆液配合比研究及现场质量控制. 水泥净浆标准稠度试验仪器简单, 有国家标准试验方法, 但一般工程所用的变态浆液都较稀, 超出了标准稠度测量范围. 锥体流动度的测量方法很多, 国内一般采用 GB/T8077《水泥净浆流动度测定方法》. 该方法可以较好地反映普通浆体水胶比与流动度的关系, 既可用于配合比优化研究, 也可用于工程质量控制. 但对于掺高效减水剂的水泥浆体, 如掺萘系高效减水剂时, 当掺量达到和超过其饱和掺量, 流动度与水胶比的关系在低水胶比时存在相关性, 当水胶比大于 0.3 时, 流动度趋于稳定, 对用水量和材料品质的变化不敏感, 不能真实反映变态浆液组分变化对流变性能的影响, 而国内已建工程变态浆液的水胶比都大于 0.3, 因此这一方法也不能用于现场质量控制. 漏斗黏度计种类较多, 如涂 4 杯、泥浆漏斗、Marsh 漏斗等, 测试的范围较宽. 通过对比不同漏斗黏度计测试以往工程常用的变态浆液水胶比与流动度的关系, 笔者研制了一种新的类似于 Marsh 漏斗的流动度仪, 用于变态浆材的配合比优化与质量控制. 该流动度测定仪由一个锥形漏斗和一个量杯组成. 试验方法是: 将拌制好的浆液倒入锥形漏斗中, 盛满顶面略有突起, 用钢尺刮平. 将漏斗阀门打开, 同时用秒表计时, 观察量杯顶面三角开口尖端, 当浆液液面与尖端齐平时计时结束(流动时间以秒计), 测得的流动时间称为 Marsh 流动度. 对同一浆材进行多次重复试验和平行对比试验, 结果表明, 该流动度仪所测流动度的重复性非常好, 准确性高. Marsh 流动度对浆液用水量、外加剂品质和掺量反映非常灵敏, 既可用于浆材配合比优化, 也可用于现场制浆质量控制.

2 变态浆液的试验研究

2.1 试验原材料

试验原材料为柳州 42.5 中热硅酸盐水泥, 凯里

I 级粉煤灰, JM-2 高效减水剂以及不同种类的改性外加剂等.

2.2 浆液配合比设计

浆液配合比设计首先考虑用水量的确定, 其次确定水胶比, 在此基础上用绝对体积法确定胶凝材料用量. 当掺用粉煤灰时, 水泥和粉煤灰用量的确定可采用粉煤灰掺量固定, 也可采用水胶比固定, 再用绝对体积法调整水泥和粉煤灰用量. 本文采用后一种方法, 选取水灰比等于 1, 即水泥用量与用水量相同, 再用绝对体积法计算粉煤灰用量.

$$F = \rho_f \left(1000 - W - \frac{C}{\rho_c} \right)$$

式中: F 为粉煤灰用量, kg/m^3 ; W 为用水量, kg/m^3 ; C 为水泥用量, kg/m^3 ; ρ_c 和 ρ_f 分别为水泥和粉煤灰的密度, kg/m^3 .

2.3 浆液流动度与用水量的关系

采用不同用水量与外加剂组合拌制浆液, 测定其流动度. 浆液用水泥净浆搅拌机拌制, 搅拌时间 3 min, JM-2 高效减水剂掺量为 0.5%, 试验结果见图 1. 其中 0 号为不掺外加剂的对比样, 1~3 号为复掺不同改性剂样. 从试验结果看, 无论掺与不掺减水剂, 流动度与用水量都存在一段较窄的相关性敏感区, 用水量的改变对流动度影响显著. 如掺减水剂的 1 号样, 当用水量从 $460 \text{ kg}/\text{m}^3$ 增至 $500 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时, 流动度从 11 s 迅速降低至 4.7 s, 反应非常敏感. 相应的水胶比为 0.33~0.38. 变态仿真试验表明, 这一用水量区域内的浆液在变态过程中能充分液化, 具有良好的贯入充填效应. 敏感的相关性也有利于现场质量控制, 流动度可以显著反映施工中浆液用水量和外加剂的改变. 在试验中, 选定流动度在 6~12 s 区间作为配合比优选和现场质量控制的标准.

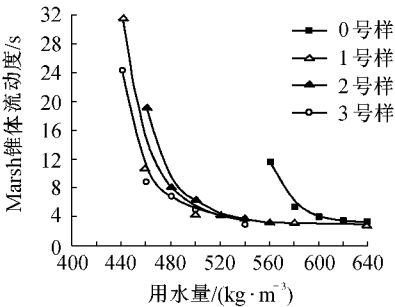


图 1 浆液用水量与流动度的关系

2.4 变态浆液的配合比优化试验

目前工程常用的加浆材料由于材料密度的差异, 会发生明显的分层和颗粒沉降, 浆液稳定性较差. 为取得流变性好和稳定性高的浆液, 必须针对变态混凝土形成的特点, 进行配合比优化研究. 优化研究试验方法为: 采用测定浆液的 Marsh 流动度, 改变浆液各组分的用量与掺量, 选择流动度在 6~12 s 内

的用水量和外加剂组合 ,再通过掺加各种改性外加剂获得流变性能好、静置稳定性高和力学性能好的变态浆液. 本文结合某工程进行了变态浆液的配合比优化研究 ,优化配合比为 1 m³ 浆液材料用量中 ,水:水泥:粉煤灰 = 480 kg:480 kg:888 kg. 编号为 A ,B ,C ,D 的 4 组试验分别掺加苯磺酸盐类、有机短纤维类、水溶性聚合物类和铝酸盐类改性外加剂 ,掺量均为 0.5% .

浆液的力学性能和静置稳定性试验结果见表 1 (静置稳定性采用流动度与历时的关系表示) .

表 1 浆液的力学性能和静置稳定性试验结果

试验 编号	抗压强度/MPa			静置稳定性 Marsh 流动度/s			
	7 d	28 d	90 d	0 h	2 h	4 h	6 h
A	8.0	19.6	30.1	7.1	5.7	5.7	4.6
B	8.6	20.8	32.3	8.5	8.1	7.1	6.3
C	10.5	22.2	40.1	8.2	8.1	6.5	5.4
D	10.5	19.2	29.3	6.9	6.7	5.8	5.4

3 变态混凝土的仿真试验

仿真试验是在室内模拟碾压混凝土加浆后 ,通过振动器振捣成为变态混凝土的施工过程. 仿真试验可以用来研究碾压混凝土后加浆形成变态混凝土的几个关键技术问题如加浆方式、加浆率(浆液与碾压混凝土的体积比)以及变态混凝土的振动液化形态.

3.1 仿真试验模型

仿真试验模型是一个带有机玻璃视窗的立方体 ,模型尺寸为 30 cm × 30 cm × 30 cm ,相当于一层碾压混凝土厚度 ,通过视窗可以清楚地看到碾压混凝土加浆振捣后浆液的分布与扩散过程.

3.2 加浆率与加浆方式的试验研究

国内各工程采用的加浆方式有多种 ,试验选择了常用的底层加浆、中间层加浆和造孔加浆 3 种方式进行仿真试验. 碾压混凝土采用二级配 ,VC 值控制在 4 ~ 6 s ,人工砂石粉含量 17.3% ,水胶比 0.43 ,用水量 82 kg ,粉煤灰掺量 53% ,砂率 37.5% ,外加剂 JM-2 为 0.63% ,JM-2000 为 0.063% . 浆材选用 2.4 节中的优化配合比拌制 ,不同加浆率和加浆方式的仿真试验结果见表 2.

通过仿真试验 ,从观察窗可以清楚地看到振动液化过程中碾压混凝土各级配颗粒之间的填充与排列 ,同时伴随着浆液的扩散填充和上浮. 合适的加浆率和振动时间从试件表面完全泛浆来判断. 一般地 ,加浆率与浆液的流变性密切相关. 浆液较稀 ,流变性能好 ,则加浆率低 ,但浆液易泌水. 浆液较稠 ,流变性差 ,加浆率高 ,胶凝材料用量增加 ,不利于混凝土的抗裂性. 由仿真试验结果表明 ,Marsh 流动度为(9 ± 3) s 的浆液 ,其相应的加浆率为 4% ~ 5% ,这样的浆液稳定性好且易扩散填充. 加浆率过高时 ,会在顶部

表 2 3 种加浆方式和不同加浆率仿真试验结果

试验 编号	加浆 方法	加浆 率/%	振动液化描述
RCC + A	中间层加浆 :先铺 10 cm 厚 RCC 再铺浆液 ,然后铺 RCC 至顶部高出 3 ~ 5 cm	4	插入振动器后 10 s 内激振液化 ,20 s 内浆液上浮 ,30 ~ 35 s 顶部见浆 ,但不能扩展
		6	插入振动器 30 s 内整个顶部见浆 ,扩展迅速成片 ,浆量足够
		8	插入振动器 15 s 顶部见浆 ,25 s 扩展成片并流淌 ,浆量过多
RCC + A	底层加浆 :浆液全部铺满底层 ,上面铺 RCC ,高 35 cm	4	RCC 摊铺后浆液升高 5 ~ 7 cm ,插入振动器 15 s 内浆液上升 25 cm ,表面全部出浆 30 s ,但不能扩展成片
		5	浆铺底层 ,厚 18 mm ,插入振动器 10 s 浆液上浮 25 cm 高度 ,25 s 浆液全部浮出表面 ,浆量足够
		6	浆铺底层 ,厚 20 mm ,插入振动器 10 s 浆液上浮 30 cm 高度 ,15 s 完全浮出表面 ,浆量足够
RCC + B RCC + C RCC + D	造孔加浆 :对角线上相距 25 cm 造 2 孔 ,孔径 5 cm ,浆液平均倒入两孔内	5	插入振动器 ,上部孔中浆液上浮封住下部孔中浆液上升通道 ,气泡不能全部逸出. 30 s 表面全部出浆

注 加浆率为体积百分率.

上形成一层浮浆 ,如果浆液泌水 ,稳定性差 ,浮浆表面会出现一层粉煤灰浆 ,将降低层缝的抗拉强度和抗剪黏聚力 ,也易形成渗漏通道. 从振动液化过程考虑 ,3 种加浆方式中以底层加浆最好 ;从简化施工工艺考虑 ,底层加浆最简便.

4 小 结

近十几年来 ,变态混凝土在国内已建和在建的水利水电工程中得到广泛应用 ,取得了较好的效果 ,在国外也有成功的应用. 但各工程中浆液配合比与制备、加浆量与加浆方式以及变态混凝土的性能等存在较大差异 ,主要原因是缺少科学有效的试验方法以及相应的试验规范. 本文所采用的流动度仪能较好地反映变态混凝土浆液的流变性能 ,可用于浆材配合比的优选试验 ,也可用于现场质量控制. 仿真试验能用于碾压混凝土后加浆液形成变态混凝土过程中加浆方式和加浆率的研究与确定.

参考文献 :

[1] 沈崇刚. 碾压混凝土坝变态混凝土的应用与发展[J]. 水利水电快报 ,2001 22(20) 9—11.
[2] 黎思辛 ,魏志远. 关于变态混凝土技术及其研究方向的讨论[J]. 水力发电 ,2002(1) 27—29.
[3] 董安建 ,刘六宴. 变态混凝土在碾压混凝土坝中的应用[J]. 水力发电 ,2000(3) 40—42.
[4] 狄原培 ,王红斌 ,欧红光. 变态混凝土在龙滩大坝防渗结构中的应用前景[J]. 红水河 ,2001(2) 42—46.

(收稿日期 2005-01-12 编辑 高建群)