

文章编号: 1674-599X(2020)04-0076-05

## 减水剂影响下湿磨黏土水泥灌浆材料性能研究

唐皇, 阳逸鸣

(湖南城市学院 土木工程学院, 湖南 益阳 413000)

**摘要:** 为研究湿磨黏土水泥浆液在外加剂作用下的性能和结石体的性能, 选用苯系和聚羧酸盐 2 种高效减水剂为添加剂, 取不同掺量的减水剂和水固比等因素进行试验, 以获得浆液的密度、析水率、流动度、漏斗黏度、初凝时间和 7,14,28 d 的结石体抗压强度与影响因素之间的变化规律。研究结果表明: 浆液析水率、流动度和初凝时间均随减水剂掺量的增加而增大; 浆液漏斗黏度和结石体抗压强度则随其增加而减小; 浆液密度主要受水固比影响较大, 随水固比增大而减小; 减水剂的掺入能提高浆液的可泵性, 且减水剂最适掺量不超过 1%。该研究成果可为类似水泥灌浆材料的设计与施工提供借鉴。

**关键词:** 全风化花岗岩; 湿磨黏土水泥; 减水剂

中图分类号: TU528.042.2 文献标志码: A

DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2020.04.011

### Experimental study on properties of wet-grinding clay cement grouting material under the influence of water reducer

TANG Huang, YANG Yi-ming

(School of Civil Engineering, Hunan City University, Yiyang, 413000, China)

**Abstract:** To study the basic properties and stone performance of wet-grinding clay cement slurry under the action of admixture, a series of experimental studies considering the effects of super plasticizer content and water-solid ratio are carried out by using two high-efficiency water-reducing agents (benzene and polycarboxylate). The variation rules between the specific gravity of slurry, water evolution rate, fluidity, funnel viscosity, initial setting time, the compressive strength of stone body at 7day, 14day and 28day and the water reducer dosage are obtained. The results show that the water precipitation rate, fluidity and initial setting time of slurry increase with the increase of water reducer dosage, while the funnel viscosity and compressive strength of stone decrease with the increase of water-solid ratio. The slurry specific gravity is mainly affected by water-solid ratio, and decreases with the increase of water-solid ratio. The mixing of the water reducing agent can improve the pump ability of slurry, and the optimum dosage of water reducing agent should not exceed 1%. The research results can be used for reference in the design and construction of similar cement grouting materials.

**Key words:** fully weathered granite; wet-ground clay cement; water reducing agent

全风化花岗岩地层遇水极易软化崩解, 隧道开挖或道路建设工程中, 易发生突水、突泥、塌陷和地下水流失等现象<sup>[1-3]</sup>。工程中常用灌浆法对其进行加固处理, 以增加施工安全性, 但因其密实程度

高、细微裂隙发育造成可灌性差<sup>[4]</sup>。

为了对致密地层有更好的灌浆效果, 有学者提出采用湿磨水泥和超细水泥对该类地层进行灌浆, 这类材料颗粒粒径较普通水泥小, 提高了密实地层

收稿日期: 2020-10-12

基金项目: 湖南省自然科学基金(2019JJ50023); 2020年益阳市银城科技人才托举工程项目

作者简介: 唐皇(1988-), 男, 湖南城市学院讲师, 博士。

的可灌性, 但存在成本高和稳定性差等问题<sup>[5-6]</sup>。也有学者提出在湿磨黏土水泥浆材中, 用黏土取代部分水泥, 不仅降低了材料成本, 而且可增加浆液的稳定性, 是一种比较理想的致密地层灌浆材料<sup>[7]</sup>。湿磨后, 水泥和黏土得到充分反应, 浆液黏度增大, 不利于灌浆泵的泵送和地层中扩散。如何降低湿磨黏土水泥浆液的黏度, 又不影响其稳定性, 是亟须解决的问题。徐长伟<sup>[8]</sup>等人研究了磷渣废料对水泥基灌浆材料性能的影响, 证明了磷渣废料替代部分石英砂, 不影响灌浆材料的力学性能。王碧英<sup>[9]</sup>认为水胶比是影响水泥基灌浆材料流动度、抗压强度和竖向膨胀率的重要因素。成志强<sup>[10]</sup>等人分析了水胶比、砂胶比、粉煤灰、膨胀剂对水泥基灌浆材料析水率的影响, 建议水泥基灌浆材料水胶比应小于 0.55。这些研究针对的是水泥基灌浆材料性能的影响, 但对于减水剂对灌浆材料基本性能影响的研究鲜见。因此, 本研究对掺入苯系和聚羧酸盐系 2 种高效减水剂的湿磨黏土水泥浆液进行室内试验, 考虑不同掺量的减水剂和水固比的影响, 对浆液的密度、析水率、流动度、漏斗黏度、初凝时间及结石体力学性能进行分析, 以获得最优的减水剂材料及掺量, 可为现场灌浆施工和设计提供指导。

## 1 试验

### 1.1 试验材料

1) 水泥: 选用湖南碧螺牌 425 普通硅酸盐水泥 (P.O42.5), 其密度为  $3.06 \text{ g/cm}^3$ , 标准稠度为 29.5%, 细度  $80 \mu\text{m}$ , 筛余为 1.9%, 初凝时间为 90 min, 终凝时间为 325 min, 3,28 d 的抗压强度和抗折强度分别为 19.1,4.3 MPa 和 48.57,7.64 MPa。

2) 黏土: 取自云南红河州某工地现场, 其天然密度为  $1.53 \text{ g/cm}^3$ , 密度为  $2.74 \text{ g/cm}^3$ , 液限为 31.5%, 塑限为 18.2%, 渗透系数为  $3.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 。

3) 减水剂: 减水剂 A、B 分别为苯系高效减水剂 FDN-C 和聚羧酸盐系高效减水剂。

### 1.2 试验参数及方案

理想的灌浆材料应具有良好稳定性、可控性和可注性(流动性)。主要表现为: 基本性质在一般条件下不轻易改变; 凝结时间可以在 2 h 内调控; 浆液黏度小、流动度大, 施工易泵送; 浆液静止时,

无较大析水。同时, 保证固化后, 结石体强度满足工程需要。

选用黏土原浆密度为  $1.20 \text{ g/cm}^3$ , 以减水剂掺量和浆液水固比为变量, 设计浆液和结石体性能试验, 以研究浆液性能的变化规律。其中, 2 种减水剂的掺量(占水泥质量)分别为 0%,0.1%,0.5%和 1%,5%,10%; 浆液水固比分别为 0.6,1.0 和 1.5,2.0。

### 1.3 浆液配制

根据《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范(SL 62—2014)》<sup>[11]</sup>, 采用水泥砂浆的配置技术要求和湿磨黏土水泥的配制方法<sup>[7]</sup>。本实验中的浆液采用黏土加水配成黏土原浆。在原浆中, 加入掺了减水剂的普通硅酸盐水泥, 搅拌 2~3 min。再将配好的黏土水泥浆液放入胶体磨机, 湿磨 5 min, 形成湿磨黏土水泥浆液。

## 2 改性浆液性能研究

### 2.1 浆液密度

浆液密度在灌浆过程中, 对浆液可泵性有一定的影响, 密度增大, 可泵性相对降低。采用 1002 型泥浆密度计对各试验组浆液进行密度测试, 测试结果如图 1 所示。从图 1 中可以看出, 浆液密度随减水剂掺量增大变化不大。当其掺量小于 1%时, 浆液密度有一定波动, 但波动范围不大; 超过 1%后, 浆液密度保持不变。导致这种现象的原因可能是减水剂掺量为 1%时, 达到水泥与减水剂充分反应的饱和点。水固比是影响浆液密度变化的重要因素, 水固比越大, 浆液密度越小, 可泵性越好。

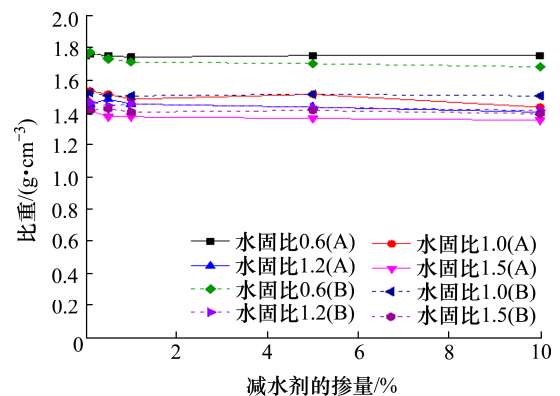


图 1 减水剂掺量-密度的变化关系

Fig. 1 Relationship between the water-reducing agent dosage and specific gravity

## 2.2 浆液析水率

析水率是指在一定时间内(一般 2 h 内)浆液析出水分的多少,反映浆液在这段时间内的稳定程度。采用内径为 27 mm、最大标准刻度为 100 mL、最小刻度为 1 mL 的圆柱量筒对其进行测定,  $V_1$  为析出水的体积,析水率为  $V_1\%$ ,试验结果如图 2 所示。从图 2 可以看出,浆液析水率随减水剂掺量和水固比的增加而增加。这是由于减水剂能够降低水泥水化所需的水分,减水剂掺量越小,所需的水分也小,即析出的水分越多。其中,减水剂小于 1% 时,增加速率较大;超过 1% 时,增加速率减缓且趋于平稳。减水剂 A 对浆液析水率的影响大于减水剂 B 的,但 2 种减水剂下的最大析水率均不大于 5%,根据《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范(SL 62—2014)》<sup>[11]</sup> 中的要求,属稳定浆液。

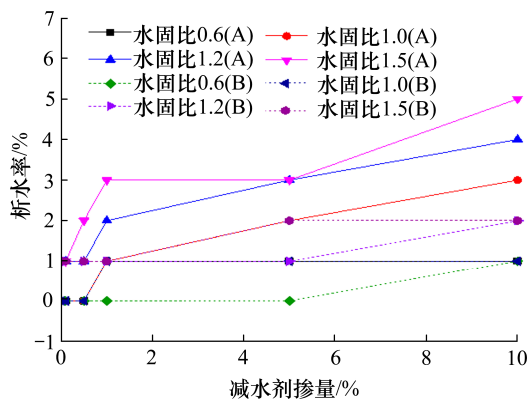


图 2 减水剂掺量-析水率的变化关系

Fig. 2 Relationship between the water-reducing agent dosage and syneresis rate

## 2.3 浆液流动度

浆液流动度直接影响浆液的可泵程度和扩散能力,流动度越大,黏度越小,可泵性越好,扩散能力越强。采用净浆流动度测试法,对其进行测试,试验结果如图 3 所示。从图 3 中可以看出,浆液流动度随减水剂掺量的增加而增加。当减水剂掺量小于 1% 时,流动度增长速率较快;当掺量超过 1% 时,流动度增长速率趋于平缓。这是由于减水剂减小了水泥水化所需的水分,导致浆液自由水分增多,增大了配合后浆液的水固比,使浆液的流动度增大。相同水固比和减水剂掺量下,减水剂 A 对浆液流动度的影响大于减水剂 B 的。其中,水固比 1.5、减水剂掺量 10% 的浆液流动度最大,达 41.4 cm,流动性良好。

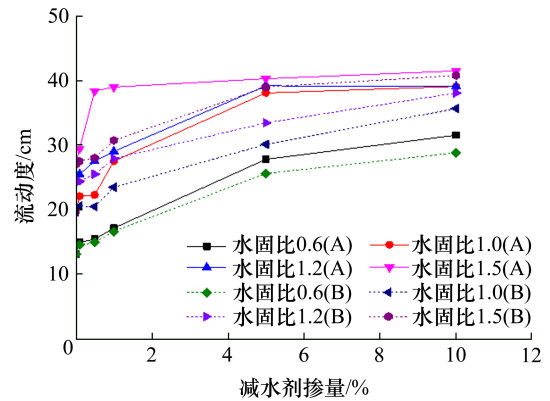


图 3 减水剂掺量-流动度的变化关系

Fig. 3 Relationship between the water-reducing agent dosage and fluidity

## 2.4 浆液漏斗黏度

浆液在流动或泵送过程中,受到浆液自身黏滞力的影响。而漏斗黏度则是度量浆液黏滞系数的一个物理量,漏斗黏度越小,浆液流动度越大,扩散半径越大。实际工程中,为了防止扩散半径过大,造成跑浆浪费,还需对浆液的黏度进行控制。采用马氏漏斗黏度计,对其漏斗黏度进行测试,试验结果如图 4 所示。

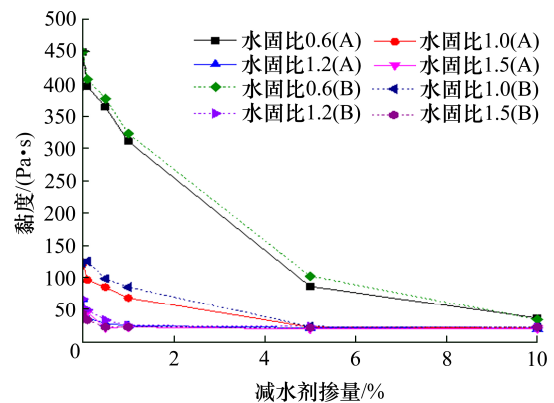


图 4 减水剂掺量-漏斗黏度的变化关系

Fig. 4 Relationship between the water-reducing agent dosage and viscosity

从图 4 中可以看出,浆液漏斗黏度随减水剂的增加而减小。当水固比大于 1.0 时,减水剂掺量大于 1% 时,浆液漏斗黏度保持不变;当水固比为 1.0,减水剂掺量大于 5% 时,浆液漏斗黏度保持不变;当水固比为 0.6 时,浆液漏斗黏度在试验掺量范围内,逐渐减小。这是由于水固比减小,浆液水泥含量增大,所需反应的减水剂量也随之增加。掺入减水剂 A 的浆液漏斗黏度,最小可降至 21 Pa·s;减

水剂 B 最小为 24 Pa · s。这都与单液水泥浆最小黏度(15 Pa · s)接近, 能很好的适应各种灌浆泵的泵送及地层扩散。但掺量小于 5%时, 掺入减水剂 A 浆液漏斗的黏度明显小于减水剂 B 的, 表明: 减水剂 A 的效果优于减水剂 B 的。

### 2.5 浆液初凝时间

实际施工中, 为得到较理想的灌浆效果, 常要求浆液的凝结时间在一定范围内可控, 采用维卡仪对其凝结时间进行测定, 结果如图 5 所示。从图 5 中可以看出, 浆液初凝时间随减水剂掺量的增加而增加。其中, 随减水剂 A 和 B 的掺量增加至 1%时, 各水固比浆液的初凝时间由 67,92,108,121 min 分别增至 154,167,176,187 min 和 197,200,213,245 min; 超过 1%时, 部分试件无法凝结。表明: 减水剂掺量不宜超过 1%, 改性后浆液初凝时间可控范围分别为 154~187 min 和 197~245 min。

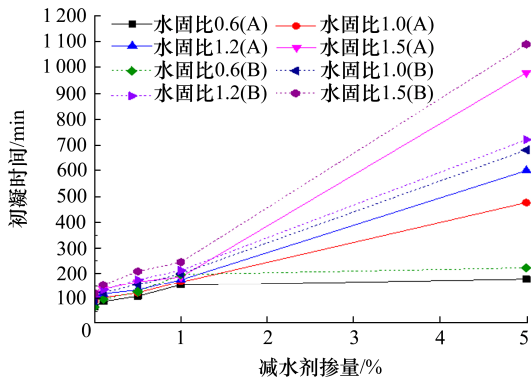


图 5 减水剂掺量-初凝时间的变化关系

Fig. 5 Relationship between the water-reducing agent dosage and initial setting time

### 2.6 结石体无侧限抗压强度

结石体强度是反映注浆质量的重要指标。为测试浆液 7,14,28 d 无侧限抗压强度, 将试件制作作为 70 mm × 70 mm × 70 mm 的立方体。运用 STYE-3000C 型全自动混凝土压力试验机, 进行结石体的抗压强度测试, 试验结果如图 6 所示。从图 6 中可以看出, 结石体抗压强度随减水剂掺量的增大, 呈先增大后减小趋势。这是由于掺入适量减水剂采用相同用水量和水胶比下, 减水剂降低了水泥水化需要的水量, 多余水分被湿磨消耗, 从而降低了水胶比, 提高了其结石体强度。当掺入超过适量的减水剂时, 水泥用量和水胶比不变情况下, 大大降低了水泥水化热需要的水分, 导致大量水分释放, 而湿磨过程未将其完全消耗, 导致其抗压强度下降。其

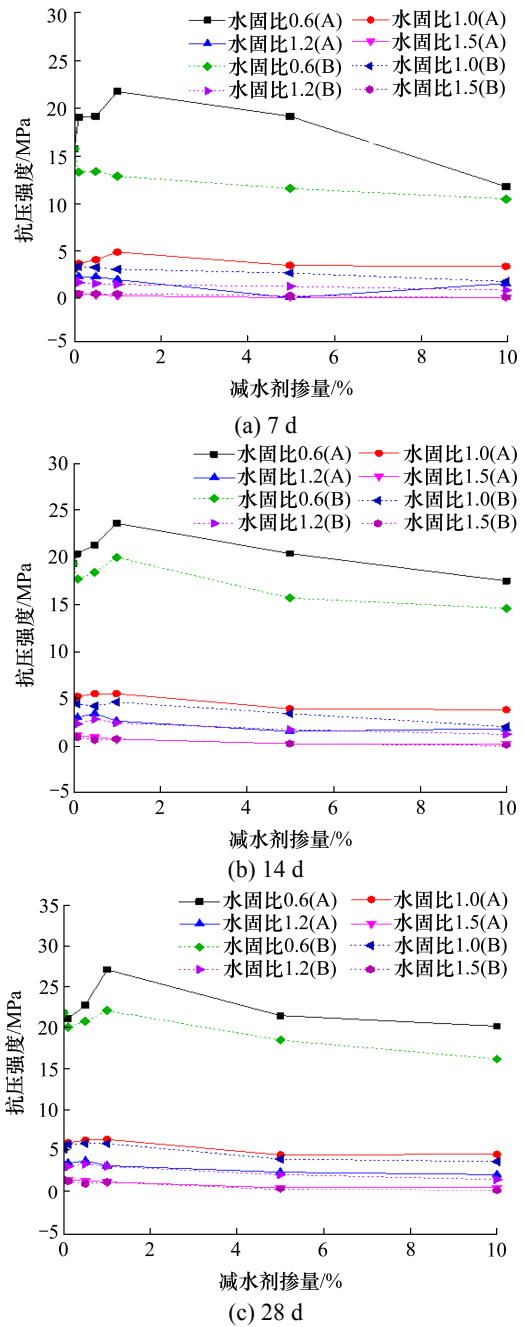


图 6 减水剂掺量-结石体抗压强度的变化关系

Fig. 6 Relationship between the water-reducing agent dosage and stone body compressive strength

中, 水固比为 0.6 和 1.0 时, 分别掺入 2 种减水剂(28 d 结石体抗压强度均 ≥ 5 MPa), 满足一般地基承载力要求。

## 3 结论

通过对掺入苯系高效减水剂 FDN-C 和聚羧酸盐系高效减水剂的湿磨黏土水泥浆液进行室内实验。分别对浆液密度、析水率、流动度、黏度、初

凝时间和结石体抗压强度等性能进行测试,分析其变化规律,得出的结论为:

1) 掺入 2 种减水剂下的湿磨黏土水泥均属稳定浆液。浆液析水率、流动度、初凝时间均随减水剂掺量增加而增大。其中,初凝时间在一定范围内可控。浆液黏度随减水剂掺量的增加而减小,最小可降至  $21 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  和  $24 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。浆液密度随减水剂掺量的增加,变化不大。

2) 2 种减水剂均能有效降低浆液黏度,增大浆液流动度,使其具有良好的可泵性和扩散能力,以及结石体抗压强度能满足一般地基承载力要求。其中,苯系高效减水剂 FDN-C 对浆液的改进效果大于聚羧酸盐系高效减水剂的,而且市场价格相对更低,故现场施工建议使用苯系高效减水剂 FDN-C。

3) 当减水剂掺量超过 1% 时,浆液密度、黏度、流动度等性能无明显变化,部分试件无法凝固,所以建议减水剂掺量不宜超过 1%。

#### 参考文献(References):

- [1] 钱七虎.地下工程建设安全面临的挑战与对策[J].岩石力学与工程学报,2012,31(10):1945-1956.(QIAN Qi-hu. Challenges faced by underground projects construction safety and countermeasures[J].Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2012,31(10):1945-1956.(in Chinese))
- [2] 曾玲玉.广东梅州崩塌滑坡地质灾害成因及防治对策[J].四川地质学报,2007,27(3):198-200.(ZENG Ling-yu. Genesis and control of rock falls and landslides in Meizhou, Guangdong[J]. Acta Geology Sichuan, 2007, 27(3):198-200.(in Chinese))
- [3] 徐莹,泽旺四郎.拉丁拉山全风化花岗岩隧道塌方处治[J].公路交通技术,2017,33(6):84-88.(XU Ying,ZE Wang-si-lang. Collapse treatment of fully weathered granite tunnel in Mt. Ladingla[J].Technology of Highway and Transport,2017,33(6):84-88.(in Chinese))
- [4] 刘金泉,陈卫忠,袁敬强.全风化花岗岩灌浆加固体抗冲刷特性试验研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(9):1767-1775.(LIU Jin-chuan,CHEN Wei-zhong,YUAN Jing-qiang. Test on anti-scouring property of grouting reinforced body in completely weathered granite[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2016, 35(9):1767-1775.(in Chinese))
- [5] 陈明祥,陈义斌.超细水泥和细水泥灌浆材料的发展现状及应用[J].长江科学院院报,1999,16(5):37-39.(CHEN Ming-xiang, CHEN Yi-bin. Development tendency and application of superfine cement grouting material[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,1999,16(5):37-39.(in Chinese))
- [6] 肖恩尚,张良秀.湿磨细水泥灌浆的特点及应用[J].水力发电,1999(11):41-43.(XIAO En-shang,ZHANG Liang-xiu, Characteristics and application of wet grinding fine cement grouting[J]. Water Power, 1999(11): 41-43. (in Chinese))
- [7] 蒋煌斌,张贵金,傅小姝,等.全风化花岗岩地层可灌性浆材试验研究[J].铁道科学与工程学报,2018,15(10):2501-2508.(JIANG Huang-bin,ZHANG Gui-jin,FU Xiao-shu,et al.Experimental study on irrigated pulp of fully weathered granite[J].Journal of Railway Science and Engineering,2018,15(10):2501-2508.(in Chinese))
- [8] 徐长伟,杜秋实.磷渣代砂对水泥基灌浆料性能的影响[J].混凝土,2018(10):85-89.(XU Chang-wei,DU Qiu-shi. Influence of phosphorus slag replacing sand on properties of cement-based grouting material[J].Concrete, 2018(10): 85-89.(in Chinese))
- [9] 王碧英.浅谈水胶比对水泥基灌浆料三项性能影响[J].江西建材,2018(9):25-26.(WANG Bi-ying. Discussion on the effects of water-cement ratio on the properties of cement grouting materials[J].Jiangxi Building Materials, 2018 (9):25-26.(in Chinese))
- [10] 成志强,孔繁盛,贾蓉蓉.半柔性路面水泥基灌浆材料泌水性能研究[J].中外公路,2016,36(4):276-279.(CHENG Zhi-qiang,KONG Fan-sheng,JIA Rong-rong,Study on bleeding performance of cement-base grouting material for semi-flexible pavement[J].Journal of China & Foreign Highway, 2016,36(4):276-279.(in Chinese))
- [11] 中国水利学会地基与基础工程专业委员会.SL 62-2014, 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].北京:中国水利水电出版社,2014.(Foundation and Foundation Engineering Committee of Chinese Society of Hydraulic Engineering. SL 62-2014, Technical specification for cement grouting construction of hydraulic buildings[S]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2014.(in Chinese))