

盾构隧道同步注浆浆液配合比优化设计

周麟,毛文,施墨华

(武汉工程大学环境与城市建设学院,湖北 武汉 430074)

摘要:盾构法施工过程中,盾尾同步注浆对控制隧道轴线上浮和地面沉降起着至关重要的作用.为使盾构隧道同步注浆浆液具有较好的工作性能,选用水泥、粉煤灰、膨润土、砂、水作为原材料,采用正交设计的方法进行试验,探讨了浆液各原材料对浆液稠度、凝结时间、泌水率、7 d 抗压强度等指标的影响规律及同步注浆浆液配比的优化方向.试验表明:水泥是影响凝结时间和抗压强度的主要因素,水泥的加入能够缩短凝结时间、增大抗压强度和降低泌水率;粉煤灰能改善浆液和易性;膨润土有增稠、保水的作用,能提高浆液稳定性,但掺量要控制在一定范围内;砂作为浆液骨料起填充作用,主要影响浆液稠度,砂的用量与浆液稠度大小呈反比趋势;水是影响泌水率的主要因素,用水量增加导致浆液泌水率、稠度增大,凝结时间变长.最优的配合比为:水泥:粉煤灰:膨润土:砂:水为 160:400:50:830:360,制备的浆液稠度为 11~12 cm,凝结时间为 10~13 h,泌水率不高于 3%,7 d 抗压强度不低于 2 MPa.

关键词:盾构法;水泥砂浆;正交试验设计;配合比

中图分类号: TU50

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2013.09.006

0 引言

用盾构机开挖隧道时,管片衬砌圈一旦从盾尾脱出,就会不可避免地会在围岩与管片外侧之间形成盾尾空隙.当管片衬砌圈未脱离盾尾时,这个盾尾空隙是圆环状,但脱离盾尾后,管片在自重作用下落到与底部围岩相接触,所以衬砌顶部空隙变大,两侧空隙依然保留,而落下的衬砌不可能与底部围岩完全贴合,因而也存在空隙.为此,在盾构机向前掘进的同时,应及时进行管片衬砌背后注入浆液,以尽快填充盾尾空隙,使围岩与管片衬砌圈形成整体,防止地层沉陷及保证施工环境安全,同时也作为盾构隧道第一道防水层.

目前研究和应用的同步注浆浆液普遍存在着充填性不好;稳定性差,易泌水离析;凝结时间不具备可调性,易堵管;浆液的流动性、强度、充填性三者之间难以协调等问题^[1].本文主要研究浆液各组成成分对浆液性能的影响规律,提出浆液配合比优化方向,为今后类似工程提供参考.

1 浆液性能要求

为实现盾尾注浆的目的和施工的要求,盾尾注浆浆液必须满足下列要求^[2-5]:

a. 浆液具有适当的凝结时间,且和易性好,能满足注浆施工要求;

b. 能较好地充填管片与地层之间的建筑空隙;

c. 浆液固结后收缩率小;

d. 浆液对注浆设备、管道、混凝土结构等无腐蚀性,并易清洗;

e. 浆液无公害,材料来源丰富、价格低廉.

2 试验材料及方法

2.1 试验材料及项目

主要原材料:水泥(42.5 普通硅酸盐水泥)、粉煤灰(Ⅲ级)、膨润土(黄粘土)、砂(粒径 <5 mm,细度模数 2.0)、水(生活用水).

试验项目:稠度、凝结时间、泌水率、7 d 抗压强度.

2.2 浆液的技术指标

根据地层条件、地下水情况及周边条件等,采用不同配比的同步注浆材料进行试验,同步注浆浆液的主要性能应满足下列指标:

a. 浆液稠度:10~14 cm;

b. 胶凝时间:一般为 3~20 h;

c. 泌水率:浆液静置 2 h 后泌出水的体积与总体积之比小于 5%;

d. 固结体强度:一天不小于 0.2 MPa,28 天不小于 2.5 MPa.

2.3 正交试验设计方案

为了系统研究同步注浆浆液各组成成分对浆液性能的影响规律,本文选择浆液的 5 个组成成分(水泥、粉煤灰、膨润土、砂、水)作为影响浆液性能的主要因素,每个因素取 4 组水平,采用正交试验设计方法进行了 16 组试验,各因素所取水平见表 1.

表 1 正交试验设计因素与水平

Table 1 Factors and levels of orthogonal experimental design

水平	因素/(kg/m ³)				
	A 水泥	B 粉煤灰	C 膨润土	D 砂	E 水
1	80	300	45	770	360
2	120	350	50	800	390
3	160	400	55	830	420
4	200	450	60	860	450

3 试验结果及其分析

通过对同步注浆浆液的稠度、凝结时间、泌水率、7 d 抗压强度几个指标来评价其工作性能,试验结果如图 1~图 4 所示.

3.1 各原材料对浆液稠度的影响

浆液稠度是指浆液的稀稠程度.稠度大则浆液稀、流动性好,注浆施工时浆液容易流窜到其他区域.稠度小则浆液稠、流动性差,不利于浆液在注浆管道内的泵送.

由图 1 可以看出随着水泥、粉煤灰、膨润土、砂掺量的增大,浆液稠度呈降低趋势.其中,水泥、粉煤灰和膨润土对稠度的影响较小,可以忽略不计.而稠度随砂掺量的变化下降趋势较明显.随着用水量的增加,浆液稠度呈上升趋势.调整稠度的主要因素是砂,其次是用水量.因此在保证浆液凝结时间、泌水率和 7 d 抗压强度等指标的基础上,适当增加用水量或减少砂掺量均可提高浆液稠度.

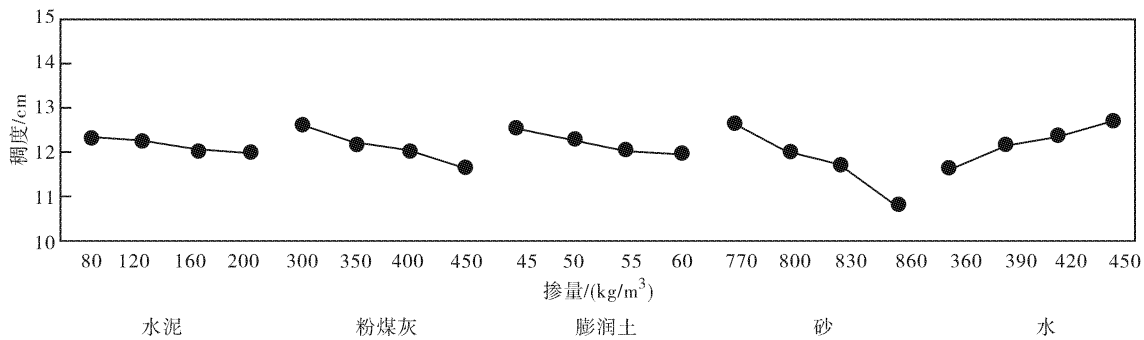


图 1 各原材料对浆液稠度的影响曲线

Fig. 1 Influence of the raw materials on grout consistency

3.2 各原材料对浆液凝结时间的影响

同步注浆浆液的凝结时间是浆液性能的重要参数之一.浆液的凝结时间越长,浆液越容易向土体内流失,容易被地下水稀释,而且难以形成早期强度,不利于约束管片上浮和控制地面沉降.浆液凝结时间太短则会造成浆液还没有完全填充盾尾建筑空隙就失去流动性,从而填充效果不佳.另外,凝结时间过短容易造成浆液堵塞注浆管道.

由图 2 可以看出随着水泥掺量的增大,浆液凝结时间呈直线下降.随着粉煤灰掺量的增加,凝

结时间先下降后上升,但总体变化极小,可以忽略不计.凝结时间随着膨润土掺量的变化上下波动.砂掺量增加,浆液凝结时间呈下降趋势,当砂掺量小于 830 kg/m³ 时,下降较缓慢,砂掺量超过 830 kg/m³ 时,下降趋势明显.随着用水量的增加,浆液凝结时间呈上升趋势.因此,水泥是调整凝结时间的主要因素,砂和水是次要因素.在保证浆液稠度、泌水率和 7 d 抗压强度等指标的基础上,可以通过适当增加水泥或砂掺量,或减少用水量缩短凝结时间.

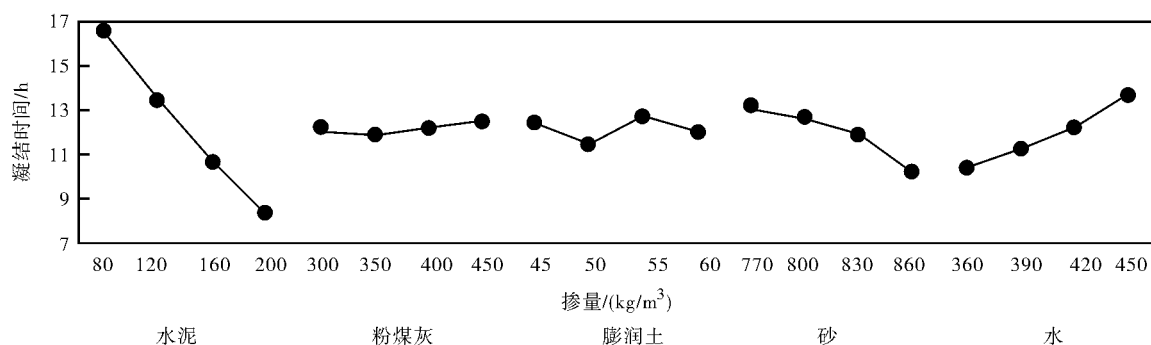


图2 各原材料对浆液凝结时间的影响曲线

Fig. 2 Influence of the raw materials on grout setting time

3.3 各原材料对浆液泌水率的影响

同步注浆浆液泌水率是单位体积的浆液中固体颗粒下沉时与粒料分离所泌水体积的大小. 浆液泌水率是评价同步注浆浆液性能的重要参数之一, 可以反映浆液的稳定性. 泌水率越小, 表示浆液越稳定, 反之, 浆液越不稳定, 在注浆过程中越容易发生堵管现象. 因此, 同步注浆浆液的泌水率越小越好.

由图3可以看出随着水泥、粉煤灰、膨润土掺量的增大, 浆液泌水率呈降低趋势. 水泥作为胶凝材料, 使浆液的粘聚力增加, 阻止自由水从浆液内部泌出到表面, 从而降低浆液泌水率. 粉煤灰颗粒的反应活性低于水泥, 因此在改善浆液泌水方面

不及水泥, 但是粉煤灰能改善浆液拌合效果, 在一定程度上能起到减水效果^[6]. 膨润土能吸收水分, 减少浆液中游离的自由水, 因此增加膨润土掺量能降低浆液泌水率, 但当膨润土掺量超过50 kg/m³时, 这种变化不明显. 随着砂和用水量的增加, 浆液泌水率呈上升趋势. 砂掺量超过800 kg/m³时, 泌水率随砂掺量增加而升高的趋势变缓. 但用水量超过420 kg/m³时, 泌水率随用水量增加而升高的趋势越来越大. 水是调整浆液泌水率的主要考虑因素, 其次是水泥和膨润土. 在保证浆液稠度、凝结时间、7 d抗压强度的基础上, 减少用水量或增加水泥用量或膨润土用量可以降低泌水率.

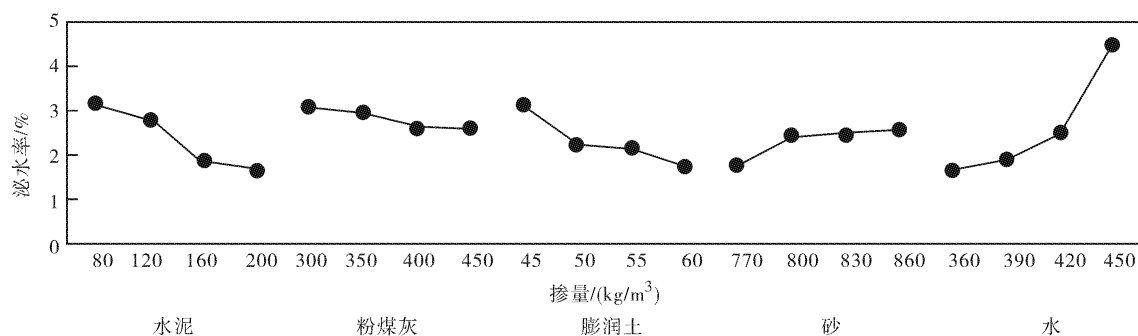


图3 各原材料对浆液泌水率的影响曲线

Fig. 3 Influence of the raw materials on grout bleeding rate

3.4 各原材料对浆液7 d抗压强度的影响

用于同步注浆的浆液必须具有一定的早期和后期强度, 这样浆液注入盾尾空隙后, 连接管片与围岩, 使之形成一个整体, 均匀承受围岩压力, 确保隧道结构稳定, 并减少隧道渗水^[7].

由图4可以看出随着水泥掺量的增加, 7 d抗压强度呈直线递增. 随着粉煤灰掺量的增加, 7 d抗压强度增加趋势平缓. 膨润土掺量增大, 7 d抗压强度先减小后增大. 砂掺量增大, 7 d抗压强度

先增大后减小, 砂子作为浆液的骨料, 砂粒之间的摩擦增大了浆液的剪切角, 使得浆液抗压强度增大, 但随着砂掺量的增大, 砂粒没有足够的水泥浆包裹, 使得浆体粘聚力降低, 抗压强度减小. 随着用水量的增加, 浆液7 d抗压强度呈减小趋势. 其中, 水泥掺量对7 d抗压强度的影响较明显, 是调整强度的主要因素. 因此, 在保证浆液的稠度、凝结时间、泌水率的基础上, 增加水泥掺量或减少用水量均可提高抗压强度.

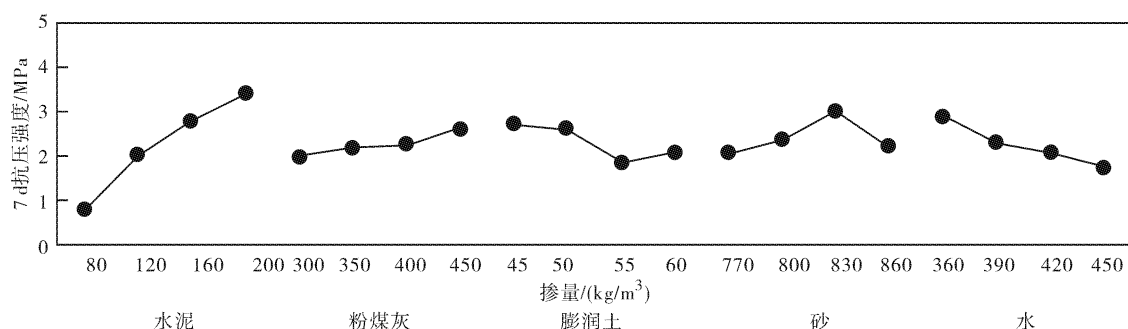


图 4 各原材料对浆液 7d 抗压强度的影响曲线

Fig. 4 Influence of the raw materials on grout compressive strength after 7d

4 结 语

试验表明:水泥对浆液的作用十分明显,是缩短凝结时间和提高强度时主要考虑因素,对降低泌水率也起着重要作用;砂作为浆液的骨料主要影响稠度大小,砂用量与稠度呈反比趋势;水主要影响浆液泌水率;粉煤灰和膨润土对浆液的和易性、稳定性有着一定的作用.在综合考虑稠度、凝结时间、泌水率、7 d 抗压强度的条件下,确定浆液配合比为:水泥 160 kg/m³,粉煤灰 400 kg/m³,膨润土 50 kg/m³,砂 830 kg/m³,水 360 kg/m³.制备的浆液稠度为 11~12 cm,凝结时间为 10~13 h,泌水率不高于 3%,7 d 抗压强度不低于 2 MPa,均能较好满足盾构同步注浆施工要求.

致谢

感谢武汉工程大学交通研究中心为本研究提供实验场地及设备!

参考文献:

- [1] 田焜. 高性能盾构隧道同步注浆材料的研究与应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
Tian Kun. Study and Application on High Property Grouting Material used in Synchronous Grouting of Shield Tunnelling[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007. (in Chinese)
- [2] 周东, 李明文. 盾构隧道施工中同步注浆新材料的实验研究[J]. 地下工程与隧道, 2002(1): 10-13.
Zhou Dong, Ling Mingwen. Experimental Study on new Grouting Materials of Synchronous Grouting during Shield Tunnel construction[J]. Tunnel and Underground Engineering, 2002(1): 10-13. (in Chinese)
- [3] 李为夫. 水泥-粘土-粉煤灰浆材的工程性质研究[D]. 长沙: 中南大学, 2005.
Li Weifu. Study on Engineering Property of Cement-Cly-Fly ash [D]. Changsha: Central south university, 2005. (in Chinese)
- [4] 王新杰, 王元湘. 注浆技术在我国地铁工程中的应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
Wang Xinjie, Wang Yuanxiang. Application of Grouting Technology in the Metro Engineering of our Country [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1996. (in Chinese)
- [5] 陈新年, 谷拴成. 微细或超细水泥类注浆材料及其性能[J]. 西安矿业学院学报, 1998, 19(增刊): 91-94.
Chen Xinnian, Gu Shuancheng. Grouting Material of Finy or Superfine Cement and its Function [J]. Journal of Xi'an Mining Institute, 1998, 19(z1): 91-94. (in Chinese)
- [6] 曹宏, 罗丽. 白云石砂为骨料高强混凝土的制备[J]. 武汉工程大学学报, 2013, 35(3): 57-61.
Cao Hong, Luo Li. Preparation of high strength concrete with dolomite sand as aggregate[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2013, 35(3): 57-61. (in Chinese)
- [7] 崔玖江, 崔晓青. 隧道与地下工程注浆技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
Cui Jiujiang, Cui Xiaqing. Grouting Technology in Tunnel and Underground Engineering[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. (in Chinese)

Optimized design of grout mix proportion for synchronous grouting in shield tunneling

ZHOU Lin, MAO Wen, SHI Mo-hua

(School of Environmental and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Synchronous grouting plays a vital role in control of tunnel axis floating and the ground settlement in the construction of shield tunnel. To improve the workability of the grout for synchronous grouting, the influence of raw materials which were cement, fly ash, bentonite, sand and water on the grout consistency, setting time, bleeding rate and compressive strength and the trend of the optimization of the mix proportions of synchronous grouting were studied by orthogonal experiment. The results show that cement is the main influencing factor for setting time and compressive strength, setting time shortens and compressive strength increases, bleeding rate decreases with the increase of cement proportion; fly ash can improve the work ability of grout; bentonite has certain effects on thickening and water retention, and can improve the stability of grout, but its content should be limited in a certain range; sand is used as aggregates and mainly effects consistency, its content in inverse proportion to grout consistency; water consumption is the main factor influencing grout bleeding rate, the grout bleeding rate and consistency increase, setting time lengthens with the increase of water consumption. The optimized mix proportion is cement: fly ash: bentonite: sand: water = 160: 400: 50: 830: 360, and the grout consistency is 11-12 cm, setting time is 10-13 h, bleeding rate is less than 3% and compressive strength after 7 d is not less than 2 MPa.

Key words: shield tunneling method; cement mortar; orthogonal experiment design; mix proportion

本文编辑: 龚晓宁