

# 脱硫石膏对盾构同步注浆料性能的影响研究

李双, 王丽丽, 丁胜, 朱浩

(北京建工新型建材有限公司, 100015, 北京)

**摘要:** 通过改变配合比中脱硫石膏粉的掺量, 研究脱硫石膏对预拌盾构同步注浆料的流度、固结率、28d抗压强度、凝结时间等性能的影响及其规律, 通过改变配合比中脱硫石膏粉的掺量, 并比较试验结果得出最优比例的脱硫石膏。

**关键词:** 注浆料; 脱硫石膏; 对比试验

**中图分类号:** TU 5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-4726(2023)19-2341-03

## STUDY ON THE INFLUENCE OF DESULFURIZED GYPSUM ON SIMULTANEOUS GROUTING OF SHIELD

LI Shuang, WANG Li-li, DING Sheng, ZHU Hao

(BCEG Advanced Construction Materials Co., Ltd., 100015, Beijing, China)

**Abstract:** By changing the content of desulphurized gypsum powder in the mix, the influence of desulphurized gypsum powder on the fluidity, consolidation rate, 28d compressive strength, setting time and other properties of the pre-mixed shield slurry subject to simultaneous grouting was studied. The optimal ratio of desulphurized gypsum was obtained by changing the content of desulphurized gypsum powder in the mix and comparing test results.

**Keywords:** grouting; desulfurized gypsum; contrast test

随着现代科技的不断发展和人们生活水平的不断提高, 我国交通建设进程日新月异, 各种地下隧道工程接二连三地出现在地下建设领域。但是在地下隧道施工过程中, 随着开挖土体的进行, 极有可能会对周围的土体产生一定的干扰, 尤其是在管片即将突出盾尾的时候, 隧道内非常容易出现缝隙。为了有效防止空洞导致的地表沉降、管片偏移等问题, 需要对隧道结构进行补救, 并采取加固措施。

常用的加固补救措施是在隧道的壁后使用注浆的方式填充空隙, 确保有足够的支撑力支撑岩体。所用水泥基注浆材料必须具有良好的稳定性和流动性, 同时凝结时间要适宜, 不能太快也不能太慢。浆液的初凝时间适当, 既不会过快造成注浆管堵塞, 也不会太慢导致无法约束管片的位移, 使浆液在隧道中飘移。传统的注浆料配比多使用速凝剂、快硬水泥等促凝材料调节凝结时间, 成本费用高且对注浆料流动度的影响较大, 有诸多不便。

为了满足生产施工需要, 改善盾构注浆料性能, 通过在盾构注浆料配比中加入不同掺量脱硫石膏的方法, 研究脱硫石膏对盾构注浆料流动度、固结率、凝结时间等性能的影响, 以期代替速凝剂、膨胀剂等

在注浆料中的作用, 为制备低成本、高性能的注浆料提供理论依据。

## 1 实验原材料及方法

### 1.1 试验原材料

准备的试验材料主要有硅酸盐水泥、石粉、膨润土、纤维素醚、缓凝剂、超细粉、石膏粉等。其中, 硅酸盐水泥选用 P·O42.5 水泥, 初凝时间 190 min, 终凝时间 280 min, 3d 抗压强度 26.1 MPa, 28d 抗压强度 50.1 MPa; 石粉选用 0.6 mm 以下级配超细石粉; 膨润土主要是钠基膨润土, 其中蒙脱石含量为 85%~90%, 外观为淡粉色粉末; 选用产自天津的超细粉, 其中 0.045 mm 筛余仅为 3.0%; 纤维素醚为河北 10w 纤维素醚; 石膏粉的物理性能见表 1。

表 1 石膏粉物理性能

初凝时间 /s	终凝时间 /s	2h 抗折强度 /MPa	2h 抗压强度 /MPa
640	930	3.5	7.0

### 1.2 实验方案

实验以脱硫石膏的掺量为单一变量, 研究掺加不同含量的脱硫石膏粉对水泥基盾构注浆料各种性能 (流动度、表观凝结时间、初凝时间、固结率、抗压强度) 影响。其中, 石膏粉的掺量依次为 0%、

收稿日期: 2023-06-23

作者简介: 李双 (1998—), 男, 河北保定人, e-mail: muziyonyou228@163.com.

0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、3.0%。设计试验配合比见表2。

表2 试验配合比

序号	水泥	石粉	粉煤灰	超细粉	石膏粉	水
1	130	690	80	100	0	650
2	130	685	80	100	5	650
3	130	680	80	100	10	650
4	130	675	80	100	15	650
5	130	670	80	100	20	650
6	130	660	80	100	20	650

试验主要测定注浆料的性能及其指标,见表3。

表3 盾构注浆料技术性能要求

检验项目	技术性能要求
表观凝结时间	≤6h
初凝时间	≤16h
抗压强度	28d抗压强度≥2.5MPa
浆体流动度	70±10s(马氏漏斗)
浆液固结率	≥95%
泌水率	≤5%

注浆料各性能主要依据DB11/T1608—2018《预拌盾构注浆料应用技术规程》标准进行测定。其中流动度主要采用马氏漏斗的方法测定,浆液注满马氏漏斗时间控制在70±10s为施工最佳流动度;表观凝结时间测定方法是浆液倒至250mL烧杯200mL刻度处,当烧杯倾斜90°浆液不流出时,所过时间为表观凝结时间。初凝时间试验依据GB/T1346—2011《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》标准进行,28d抗压强度参考JGJ/T70—2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》有关规定。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 石膏粉对流动度的影响

为便于施工操作,保证注浆料的密实性和分散性,注浆料的工作性能能够满足施工工程的需要,其中注浆料施工中最重要特性就是流动性和粘聚性。

流动性是指预拌盾构注浆料拌合物在注浆压力的作用下产生流动并均匀密实地填满模型各个角落的能力,流动性的反映预拌盾构注浆料拌合物的稀稠状态,是注浆材料质量影响因素中最重要的指标,与生产施工息息相关。当盾构注浆料的流动性过大时,虽然方便工人操作,但用水量会显著增加,极易影响

注浆料的密实度、均匀性和强度,且易造成水与砂离析,使砂下沉,水泥浆上浮,影响最后的施工质量,试验结果见表4。

表4 试验结果

试验编号	泌水率/%	流动度/s	固结率/%	28d抗压强度/MPa	凝结时间/h	
					表观凝结	初凝
1	9.2	75	90.9	1.9	1.92	21.33
2	8.8	78	91.6	2.1	2.50	22.33
3	6.9	70	93.2	2.2	2.17	17.67
4	3.1	69	96.1	2.8	2.00	15.00
5	2.0	66	97.2	3.2	1.83	14.67
6	1.1	63	98.0	2.6	1.50	14.33

石膏粉掺量对注浆料流动度影响如图1所示。试验控制注浆料各配比用水量皆为630g/L,当石膏粉掺量分别为0、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、3.0%时,注浆料拌合流动度分别为75s、78s、70s、69s、66s、63s,可以看出,当石膏粉的掺量较低时,其对注浆料的流动度呈积极影响,当掺加量达到一个临界点时,便会降低注浆料的流动性能,且随着石膏粉掺量增加,该影响会进一步扩大,流动度呈阶梯状下降趋势。这是因为少量的石膏粉可以延缓注浆料中水泥的凝结时间,使注浆料中水泥水化减缓,在搅拌过程中流动度损失较小,从而提高注浆料流动性,当石膏粉掺量过大时,在对水泥进行缓凝的同时,石膏的快速硬化开始阻碍注浆料浆体的流动,使注浆料流动度下降。所以石膏粉的掺量不宜过高,否则会极大地破坏注浆料的流动性。

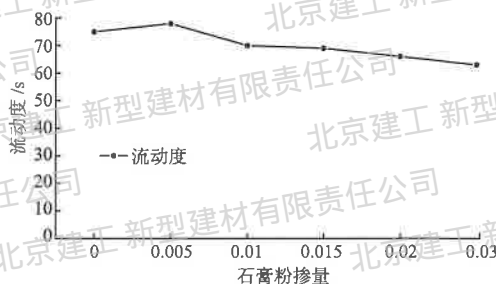


图1 石膏粉掺量对注浆料流动度影响

### 2.2 脱硫石膏对注浆料固结率的影响

合格的注浆料需要有良好的抗收缩性能和抗渗性能,而影响两点的性能主要与注浆料的固结率。当石膏粉掺量分别为0、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、3.0%时,注浆料的固结率分别为90.9%、91.6%、93.2%、96.1%、97.2%、98.0%。

由图2可见,随着石膏粉掺量的增加,注浆料的固结率也逐渐提高,在其中石膏充当了膨胀剂的作用,

提高了注浆料的抗收缩能力,从而提高浆体的固结率。

浆料浆体整体凝结时间变快,但是凝结时间太快也容易造成开裂等弊端,因此选择合适的石膏掺量,才能得到更好的应用(图4、图5)。

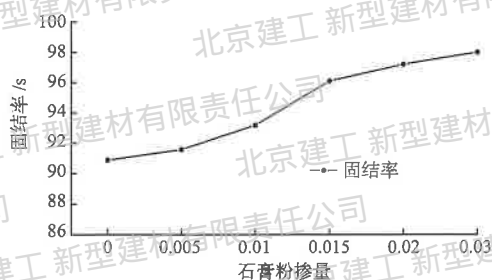


图2 石膏粉掺量对固结率影响

### 2.3 脱硫石膏对注浆料28d抗压强度的影响

盾构注浆料的强度要求并不高,28d抗压强度达到2.5MPa便合格。从试验结果可以看出(图3),适宜的石膏粉掺量能够提高注浆料的后期强度,但当石膏粉掺量过大时,注浆料抗压强度开始呈下降趋势。因为脱硫石膏中含有碳酸盐和少量可溶性盐,当掺量适当时,能够有效促进水泥强度发展,从而促进注浆料强度的提高。但当石膏粉掺量过多时,对水泥的缓凝作用过大,影响了水泥水化进程,从而开始降低注浆料强度。

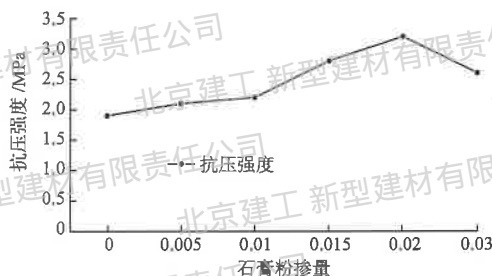


图3 石膏粉掺量对抗压强度影响

### 2.4 脱硫石膏对注浆料凝结时间影响

施工时盾构注浆料需要保证能够在规定时间内固化,一般的初凝时间为20h以内才能保证施工良好。当脱硫石膏掺量为0、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、3.0%时,注浆料表观凝结时间分别为1.92h、2.5h、2.17h、2.0h、1.83h、2.17h,初凝时间分别为21.33h、22.33h、17.67h、15.00h、14.67h、14.33h。当脱硫石膏粉掺量较少时,对注浆料起缓凝作用;当脱硫石膏粉掺量过多时,就会对注浆料起到促凝作用;当石膏含量适当时,石膏与水泥熟料中的水化铝酸钙反应,降低了 $C_3A$ 的浓度,阻止了 $C_3A$ 的快凝作用,同时生成的产物会在水泥颗粒表面生成薄膜,阻碍水泥水化,最终导致水泥凝结时间变长,盾构注浆料浆体凝结时间相应增强。

当石膏含量过高时,石膏自身硬化与水泥缓凝同时进行,石膏的硬化速度要快得多,直接导致促进注

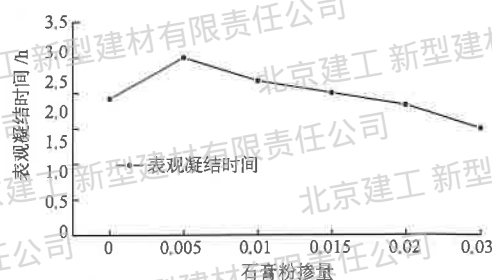


图4 石膏粉掺量对表观凝结时间的影响

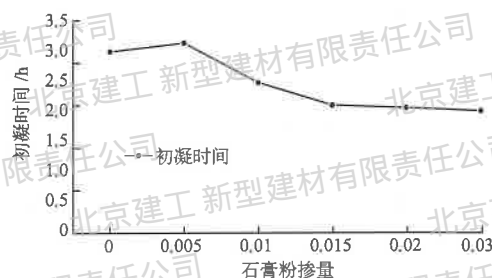


图5 石膏粉掺量对初凝时间的影响

综合试验结果及成本考虑,该注浆料配比中脱硫石膏粉最佳掺量为1.5%。

### 3 结论

- (1) 少量的脱硫石膏可以提高注浆料的流动性,对注浆料的流动性起到积极的作用,当脱硫石膏掺量过多时,会降低注浆料的流动性,增加用水量。
- (2) 脱硫石膏的膨胀性能可有效提高注浆料的抗收缩性能,增加固结率。
- (3) 适宜的脱硫石膏能够提高注浆料的28d抗压强度,但是掺量过多时抗压强度呈下降趋势。
- (4) 少量的脱硫石膏对注浆料起缓凝作用,石膏掺量增加到一定值开始起促凝作用。
- (5) 试验选用注浆料配比的脱硫石膏最佳掺量为1.5%。

#### 参考文献

- [1] 李福海,胡志明,李瑞,等.粉煤灰及矿粉对水泥基注浆料性能的影响[J].实验室研究与探索,2020,39(1):26-31,41.
- [2] 李崇南.盾构同步注浆材料试验及道上浮控制技术[J].产业导向,2019(24):10-11.
- [3] 张程浩,李茂山,陈科,等.预拌盾构注浆料的试验研究[J].建筑技术,2017,48(10):1048-1051.
- [4] 王雪儿,郭继铭,张泽凯,等.碳化养护对脱硫石膏基 $SiO_2$ 气凝胶保温砂浆性能的影响研究[J].新型建筑材料,2023,50(7):163-166.
- [5] 雷月,郭欣桐.脱硫石膏岩土特性及制备建筑材料的应用研究[J].福建建材,2023(4):5-7,22.