

文章编号:1007-6492(2002)01-0108-05

GIN 法灌浆浆液试验研究

张海军¹, 张树军², 张 岩², 宋 杰¹

(1. 洛阳小浪底水利水电工程有限公司, 河南 济源 454681; 2. 中国水利水电第一工程局, 吉林 长春 130062)

摘 要:通过对稳定浆液配比试验资料和小浪底基础帷幕灌浆施工实践资料的对比,结合宾汉流体流动特性的理论分析,论述了稳定浆液较之稀浆有着不可比拟的优越性和实用性,在同等条件下,采用GIN 灌浆法能够节约材料,缩短灌浆时间.工程实践表明,稳定浆液具有进一步推广的价值.

关键词:防渗帷幕; 稳定浆液; 配制; 检测; 效果分析

中图分类号:TV 432.1 **文献标识码:**A

GIN 法灌浆是由瑞士灌浆专家隆巴迪(Lombardi)提出的,并在国外许多工程中得到了成功的应用,但在小浪底工程之前,国内尚无成功应用的先例^[1].GIN 法即等强度值灌浆法,GIN(GROUTING Intensity Number)意为灌浆强度值(即单位孔段上消耗的灌浆能量).按隆巴迪的理论,在帷幕灌浆施工中,保持各灌浆段有一致的能量消耗,即保持GIN 值为常数,便可形成一道均匀的防渗帷幕.

1 基本概念

1.1 GIN 法的特点

①GIN 灌浆法要求以稳定的中低流速进行灌注,使其随着注入量的增加,压力逐渐上升;②采用适当稠度、单一配比的、流动时具有宾汉流体特性的稳定性浆液,降低浆液的沉淀速度,以便于获得均匀密实的幕体.

1.2 宾汉流体

我们可以用流变曲线来分析液体流动的各层间流速变化的大小.在一定的温度条件下,液体流动时液层间的内摩擦力不仅与液体性质有关,而且与液层间的接触面积和流速梯度成正比.我们可以用流变曲线来分析液体流动的不同性质.由图1可见,牛顿流型的液体其流变曲线为一条通过原点的直线,表示加上很小的剪切力时即会产生流动,且流速梯度与剪应力成正比.牛顿流型的液体是指如水、油、溶液类液体.

而宾汉流体是一种塑性流体,如泥浆,其流动性质与牛顿式液体有很大的区别.在图3中,宾汉

流体的流变曲线是一条不通过原点的曲线,当加上很小的外力时,开始时液体静止不动.继续增加外力,直到外力超过 τ_s 时才开始流动.称为“静切力”或叫“凝胶强度”.开始流动后,ADB 线段是向上凹的曲线,表示粘度是随剪切力的增加而降低的.外力继续增加,BC 线段为直线段,此时的粘度值不随切力而改变.此粘度称为“塑性粘度”(浆液测试中所测的便是塑性粘度).C 点后的线段又变为曲线,为紊流段.

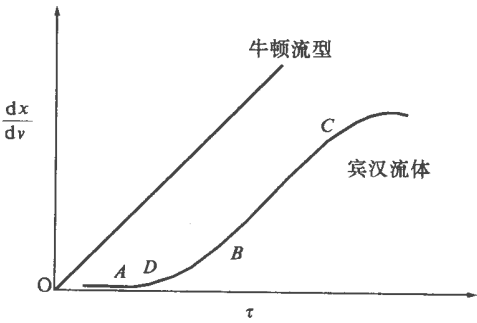


图1 流变曲线
Fig. 1 Rheological curve

通过对宾汉流体流变曲线的分析,我们可以把这种塑性流体在管路中的流动划分为如下五个阶段:①不流动阶段(图上OA段),当外力 $\tau < \tau_s$ 时,液体不产生流动;②塞流阶段(图上AD段),当外力 $\tau > \tau_s$ 时,只有与管壁接触的液体结构受到破坏,整个液流像一个圆柱塞子一样的移动,称为塞流.此时泥浆内部结构并未破坏;③塞流向层流过渡阶段(图上DB段),当外力继续增大,液体

的内部结构也开始破坏,中间流速加快结构拆散的速度大于其恢复的速度,液体的粘度随切力的增大而降低,不是常数;④层流阶段(图上BC段),此时液体内部结构的拆散速度与结构恢复速度相等,达到平衡状态,即液体呈层流状态,粘度(此时称为塑性粘度)不会随切力变化而改变;⑤紊流阶段(图上C点之后),随着外力的增加,流速梯度越来越大,液体内质点呈无规则运动,称为紊流。

由以上对宾汉流体的介绍可知,宾汉流体是一种具有内部结构和稳定性、具有凝胶强度、随外力的改变其流动状态不同的塑性流体。

表 1 稳定浆液性能指标

Tab. 1 Performance Index of stable grout						
项目	水灰比	体积质量/ (g/cm ³)	2h 析水 率/%	马氏漏斗 粘度/(Pa·s)	凝聚力/ (N/m ²)	28d 结石 强度/MPa
性能指标	0.6:1~0.8:1	1.60~1.65	<5	<35	<4	>15

浆液在灌浆施工中起到至关重要的作用,它是影响灌浆效果的重要因素,在国内传统工艺施工中,也体现出浓浆灌注的效果优于稀浆灌注的效果,在灌浆设计方面越来越趋于浓浆灌注,因为稀浆不是水泥颗粒的稳定悬浮体,它易于沉淀。当浆体流过岩体裂隙时,可能呈现不规则沉淀、再悬浮和再沉淀现象,影响结石的强度、均质性和对裂隙充填的程度。但采用浓浆灌注的缺点是:浓浆的粘度大,流动性差,从而影响裂隙充填和灌浆的扩散半径³。

达到上述性能指标的稳定浆液,解决了浓浆的粘度和流动性问题。在灌浆施工中使用稳定浆液,对岩石裂隙的充填程度、结石形成的强度和均质性,以及对浆液扩散半径的控制都能收到好的效果。

稳定浆液较之稀浆具有如下优点:①在流动

1.3 稳定浆液

稳定浆液就是一种类似宾汉流体性质的由水泥掺加相应的外加剂配制而成的水泥浆液,其为中等浓度、析水率低、凝聚力小、流动性好,其流动特性具有宾汉流体流变曲线的特征,具有一定的凝胶强度,在管路中的流动状态具有塑性流体的五个阶段。为能达到灌浆效果的要求,配制的稳定浆液要有一定的稳定性,具有内部结构,不会很快沉淀,不会过早凝结,同时要求其具有较好的流动性,满足灌浆扩散范围的要求。

为能达到浆液的稳定性能要求,稳定浆液要满足如表 1 所示的性能指标。

速度低的情况下,水泥颗粒沉淀较少;②在狭窄的渗流通道内,浆液被挤压渗透流动中析水较少,不会过早地阻塞通道;③水力劈裂和岩层抬动的风险小;④裂隙重复张开的几率小,而且抵抗物理侵蚀和管涌的阻力大;⑤帷幕灌浆形成的幕体具有空隙率低、透水性低、耐久性好的优点。

2 稳定浆液的试验与配制

2.1 材料的选用

配制稳定浆液的主要材料是:水、水泥、膨润土、减水剂,必要时可加入纯碱。①配浆用水必须符合砼拌合用水要求;②水泥采用新鲜 42.5[#]普通硅酸盐水泥,其主要质量标准必须达到《硅酸盐水泥和混合水泥的技术规范》(GB 175—92)的要求;③用于配制稳定浆液的膨润土的化学成分和物理性能指标需达到表 2 的要求。

表 2 膨润土的化学成分和物理性能指标

Tab. 2 Chemical components and physical performance index of calcium bentonite											
项目	氧化硅/ %	氧化铝/ %	氧化铁/ %	氧化钙/ %	氧化镁/ %	粘粒 含量/%	塑性 指数	液限值	制浆量/ (m^3/t)	水分 含量/%	筛余量/ %
标准值	68.97	18.9	0.85	3.02	1.56	>40	>40	>100	≥16	≤15	≤2.5

加入膨润土的目的在于提高浆液的稳定性,降低析水率(如使用钠质膨润土,效果更好)。膨润土的加入使浆液里有了一定数量的粘土固相颗粒(粘粒),有助于在浆液内部形成网状结构,从而提高浆液的稳定性。

网状结构的形成是由于粘土颗粒的形状多呈片状,片状粘粒的边角部分水膜较薄,成为粘结的活性中心,使粘土颗粒连接在一起,形成连续的网络

结构。浆液的这种内部结构是触变结构,在外力作用下这种结构易于破坏,而静止时这种结构又重新形成。

在粘粒相互连接形成网状结构时,自由水被包围在内,不能自由流动,浆液呈亲液凝聚状态,析水很少。由于浆液内部形成的这种网状结构,与相同水灰比的纯水泥浆相比,提高了浆液的稳定性,降低了析水率。这种结构虽属于触变结构,但

它也具有固体性质,它同时也提高了浆液的凝胶强度和塑性粘度.这就需要加入另一种外加剂——减水剂.其目的是为了降低浆液的粘度,提高其流动性,减缓其凝结速度.

配制稳定浆液的减水剂选择为缓凝型减水剂,其掺量在 1% 时,可减缓初凝时间 2~4 h,达到同样的流动性,掺加减水剂可减少用水量 10%,在相同水灰比的情况下,掺加减水剂浆液流动性更好,粘度降低.减水剂需要达到的性能指标如表 3 所示.

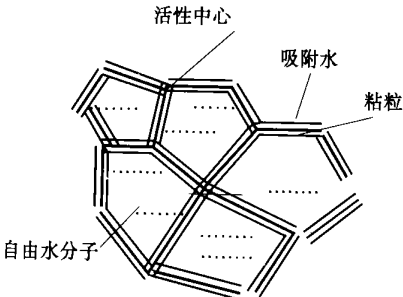


图 2 浆液内部的网状结构

Fig. 2 Reticular structure inside the grout

表 3 减水剂性能指标表

Tab. 3 Performance index of water reducing agent

项 目	一等品性能指标	合格品性能指标
减水率/%	≥8	≥5
泌水率比/%	≤95	≤100
含气量/%	≤3	≤4
初凝时间之差/min	-60~+210	-60~+210
终凝时间之差/min	≤+210	≤+210
3d 抗压强度/%	110	100
7d 抗压强度/%	110	110
28d 抗压强度/%	110	105
30d 收缩率/%	≤120	—
其他	无毒无腐蚀危害	

2.2 浆液试验

在灌浆施工之前,为得到符合稳定浆液标准的浆液,必须通过实验来确定各种材料的品种和掺量,在 2[#] 灌浆洞 QN 灌浆实验前,采用两种水泥、四种减水剂、一种膨润土,共作了 8 组稳定浆液试验,试验结果如表 4 所示.

表 4 稳定浆液配比试验成果表^[3]

Tab. 4 Test results of the mix design of stabilized grout

项目	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组	7 组	8 组
水灰比	0.6:1	0.7:1	0.7:1	0.7:1	0.7:1	0.7:1	0.75:1	0.7:1
减水剂型号	RC—M	NF 5	SI KA (R 4)	R 1000	RC—M	RC—M	RC—M	RC—M
减水剂加量/%	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0
膨润土加量/%	2.0	2.0	2.0	1.0	1.5	1.0	2.0	2.0
纯碱加量/%	—	—	—	—	0.15	0.15	0.2	—
体积质量/(g/cm ³)	1.71	1.64	1.63	1.63	1.63	1.65	1.58	1.58
马氏粘度/(Pa·s)	44	32	34	35.5	35	34	40	34
析水率/%	6.9	5.5	8.0	4.0	2.5	3.0	2.0	8.6
初凝时间/h	19:20	18:30	17:40	17:20	18:40	19:30	18:00	18:00
终凝时间/h	24:40	24:31	22:14	21:17	26:05	21:10	26:30	21:30
3d 抗压强度/MPa	6.4	—	8.0	—	5.0	4.1	5.0	5.1
7d 抗压强度/MPa	—	15.0	—	14.8	—	8.5	—	—
28d 抗压强度/MPa	20.6	28.2	27.3	21.9	21.3	21.3	22.1	20.9
28d 抗折强度/MPa	5.6	6.8	5.7	3.6	4.3	5.0	4.3	3.9

经过以上 8 组试验各性能指标的对比,第 1, 2, 3, 8 组的析水率过大,第 4, 7 组的粘度过大,第 5 组终凝时间过长,因此,按照第 6 组试验的配比掺量配制稳定浆液参数比较合适.由于稳定浆液在小浪底帷幕灌浆施工中应用的效果较好,现正在施工的帷幕补强灌浆以及副坝帷幕灌浆均采用了稳定浆液.

2.3 制浆程序与检测

膨润土膏的制备:为提高膨润土的溶胀性和分散性,在使用前先对其进行水化,按土:水=1:3 比例(重量比)通过高速搅拌后放入泥浆储浆池,并静置 12h 以上,使之充分溶胀、水化.

浆液制备采用高速搅拌机,先向搅拌机内加定量水,再加入膨润土膏搅拌 1 min,加入减水剂搅拌 30s,加入水泥搅拌 1 min,制成稳定浆液.其操作程序可用图 3 表示:

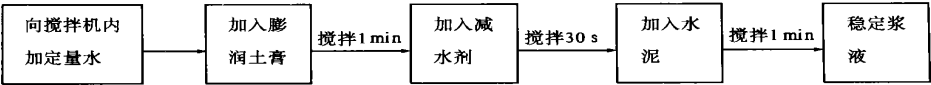


图 3 制浆流程

Fig. 3 Process of grout producing

现场制浆的过程中,需对体积质量、粘度、析水率进行现场测试.测试比重使用比重秤,测试粘度使用马氏漏斗,测试析水率使用 1000 mL 量桶.

在实验室所得的稳定浆液配比用于现场时,由于环境条件的改变(如气温、空气湿度等),或不同批量水泥和外加剂的成分含量略有改变,都会影响浆液的稳定情况,在制浆的过程中随时进行测试,以便于及时调整外加剂的掺量,保证稳定浆液的各种性能指标符合要求.如析水率偏大,应适当增加膨润土的掺量(必要时可在制膨润土膏时加入纯碱,其掺量为膨润土重量的 15%) ;如粘度偏大,应适当增加减水剂的掺量.

3 稳定浆液的应用情况分析

稳定浆液在小浪底工地被广泛地应用,已完成的坝基及坝肩帷幕灌浆总量达十万余米,全都使用稳定浆液施工.从已完成的灌浆部位效果检查情况来看,各部位的检查孔压水试验结果均满足设计要求,达到验收标准.证明使用稳定浆液的灌浆施工是成功的,灌浆效果良好.

另外,从已有的灌浆成果分析,使用稳定浆液可更好的控制浆液的扩散半径,图 4 为 2[#] 灌浆洞 QN 法试验的各次序孔注入量频率累计曲线,从图中可以明显地看到一个在常规灌浆中少见的现象:Ⅰ,Ⅱ序孔的频率分布规律基本一致,这表明各序孔基本上在独立地对地层进行灌注,前序孔对后序孔的影响很小^[3].这正是由于稳定浆液的使用,使得Ⅰ序孔只能进行有限的扩散,减小由于

扩散半径过大而带来的浪费,同时也节省了灌浆时间.(这种现象同时也普遍存在于应用稳定浆液的其它施工部位).

4 结束语

在理论上,具有宾汉流体性质的稳定浆液较之稀浆有着不可比拟的优越性;在实际应用中,稳定浆液用于小浪底工地的各个部位均收到良好的效果.尤其在深孔帷幕施工中,采用国内已有成功经验的小孔径孔口封闭灌浆方法与稳定浆液相结合,很大程度上缓解了难以解决的筑管问题(灌浆过程中射浆管被筑在孔内的事).

配制稳定浆液的原材料,由于产地、型号的不同以及制浆的工艺流程不同,均会影响稳定浆液的性能指标,因此在同类工程的大范围施工之前,应进行多组的试验对比,并做好严格的检测和分析,从中选出合适的原材料和配比.

稳定浆液的试验和应用,在小浪底工地获得了可喜的成果,从经济、安全、技术的角度,我们应对稳定浆液进一步研究、探索和推广.这将对国内帷幕防渗工程获得均匀、密实、耐久的幕体带来很大的助力.但是,稳定浆液并不是适用于所有的地质条件,国内某些工程曾推广使用稳定浆液,但未获得成功.如三峡工程,地质条件好,不适于浓浆灌注,未能成功的应用稳定浆液.事实证明,稳定浆液更适用于中、大裂隙发育的地区,推广、应用稳定浆液应选择类似小浪底工地的地质条件,而且要经过实验论证,具体情况具体分析,既不能一概认可,也不能一概否定,要科学地应用稳定浆液.

参考文献

[1] 杜晓刚,张明炎,马跃先. 灌浆强度值(QN)法灌浆试验研究[J]. 郑州工业大学学报, 1997, 18(2): 22—24.

[2] 中国水利水电基础工程局、黄河小浪底水利枢纽 2[#] 灌浆洞 QN 法帷幕灌浆试验报告[R]. 北京:中国水利水电基础工程局, 1997.

[3] 黄河水利委员会勘测规划设计研究院,黄河小浪底水利枢纽 QN 法帷幕灌浆技术研究报告[R]. 郑州:黄河水利委员会勘测设计研究院, 1998.

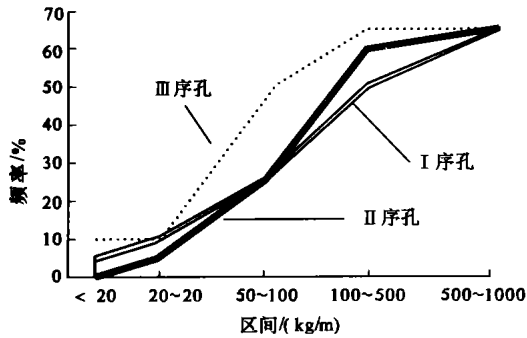


图 4 单位灌注量频率累计曲线

Fig. 4 Accumulative curve of the frequency of unit grout quantity

Test and Study of GIN Grout

ZHANG Hai-jun¹, ZHANG Shu-jun², ZHANG Yan², SONG Jie¹

(1.Luoyang Xiaolangdi Hydro -electric Engineering Ltd Company ,Jiyuan 454681,China ; 2.Hydro -electric Engineering Bureau No .1 of China , Changchun 130062,China)

Abstract :By comparing the relevant data between the stable grout mix design and Xiaolangdi foundation curtain grouting construction practice , and considering at the same time the theoretical analysis of Bingham fluid property , this paper elaborates the incomparable superiority and practicality of the stable grout mix in comparison with the thinner grout mix . Under the same conditions ,GIN grouting method can save materials and shorten the construction time .The method 's practical application shows that it is worth popularizing .

Key words : cutoff curtain ; stable grout ; compound ; test ; effect analysis

(上接 88 页)

[4] 汪荣鑫.数理统计[M] .西安:西安交通大学出版社,1996.

[3] GBJ 3—88,砌体结构设计规范[S] .

Study on Shear Capacity for Brickwork Reinforced with GRC Gridding Cloth

CHEN Meng

(College of Civil Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002,China)

Abstract :In this paper ,brickwork is reinforced by three methods :grout layer ,one layer of GRC gridding cloth and two layers of GRC gridding cloth ,reinforced samples sum to 36.Comparing with 12un reinforced samples .It shows that reinforced samples with two layers of GRC gridding cloth can prevent the cracking and improve the shear capacity .By analysing the factors of shear capacity ,the formulas used for calculating the shear capacity of brickwork reinforced with GRC gridding cloth are given . Some construction desires for brickwork strengthened with GRC in practice are put forward .

Key words : glassfiber reinforced cement (GRC) ; shear strength ; brickwork