

粘土固化浆液无侧限抗压强度增长规律 及其影响因素^①

王星华

(长沙铁道学院隧道与地下工程研究所, 长沙 410075)

李 炜

(西南交通大学岩土所, 成都 610031)

摘 要 研究了粘土固化浆液结石体无侧限抗压强度 q_u 的增长规律及其影响因素, 得出以下结论: 粘土固化浆液无侧限抗压强度随时间的增加而增长, 其初期强度增长较快, 后期强度增长较慢; 增加水泥的加量将提高浆液的 q_u 值, 固化剂 A 的加量有一最佳值(3%左右); 因固化剂 B 是作为加快水泥水化反应速度的催化剂而加入的, 所以, 固化剂 B 的加量以控制在 5% 以下为好。此外, 还简单分析了粘土固化浆液结石体无侧限抗压强度与塑性强度存在差异的原因。

关键词 粘土固化浆液 无侧限抗压强度 塑性强度

中图法分类号 TU 472. 99

在注浆施工中, 浆液结石体强度是一个非常重要的性能指标。由于粘土固化浆液在我国刚开始使用, 人们对它的认识还不够, 往往仅研究了粘土固化浆液的流变性能、塑性强度及其增长规律^[1-8], 而对浆液结石体的无侧限抗压强度则无人研究。由于塑性强度表征的是结石体抗剪切能力的大小, 主要用于估计注浆后被注浆充填的岩(地)层的堵水性能及其对地下水水压的承受能力; 而注浆加固需要的则是浆液结石体的抗压强度值, 用以评价注浆后被加固的岩(地)层承载能力的大小。为了推广应用粘土固化浆液, 本文主要研究了粘土固化浆液无侧限抗压强度增长规律及其影响因素。

1 试验材料及浆液的配制

1.1 试验材料

所用粘土为四川名山粘土矿生产的粘土块, 粘土粒度较细, 质量比为 50% 的粘土平均粒径约为 $10.1 \mu\text{m}$, 比表面积为 $6103.9 \text{ cm}^2/\text{g}$, 主要成分为: 高岭石、蒙脱石、埃洛石、奥长

石、伊利石等。所用水泥为四川峨嵋水泥厂生产的 425[#] 普通硅酸盐水泥。粘土固化浆液专用固化剂 A, B (Solidified agent A, B hereafter SA A, SA B) 为自己配制, 其化学成分为一些无机盐^[9]。

1.2 浆液的配制

为了使试验条件尽可能地一致, 首先将粘土浸入水中浸泡 2 d 以上, 进行预水化, 然后用搅拌机搅拌 1 d 以上, 并调节其漏斗粘度值达到要求, 按比例(水泥质量与粘土泥浆体积百分比)加入水泥并搅拌 5 min 就制成了粘土—水泥浆, 再按比例(固化剂重量与粘土水泥浆体积百分比)加入固化剂 B 与水玻璃(水玻璃体积与粘土水泥浆体积百分比), 然后搅拌 10 s 左右即制成粘土固化浆液。

2 粘土固化浆液无侧限抗压强度增长规律

向粘土水泥浆中加入固化剂后, 各组分之

① 国家教委博士后科研基金资助项目(中博基[1996]2号)
王星华, 男, 41岁, 教授, 博士后

收稿日期: 1998-02-25; 修回日期: 1998-11-10

间的化学反应立即开始。随着化学反应的深入进行,浆液开始凝固,浆液结石体开始慢慢具有强度。由于这种化学反应是随着时间而深入进行的,时间越长,反应就进行得越彻底,从而表现出浆液结石体的强度随着时间的延长而不断增长。从整体来看,浆液结石体无侧限抗压强度(q_u)随时间的增加而不断增长,甚至在开始水化 60 d 以后强度仍在增加(见图 1),这与有关文献的报道是一致的^[10, 11]。据这些文献报道:在粘土与水泥的混合物中,水泥水化反应的持续时间长达一年以上。

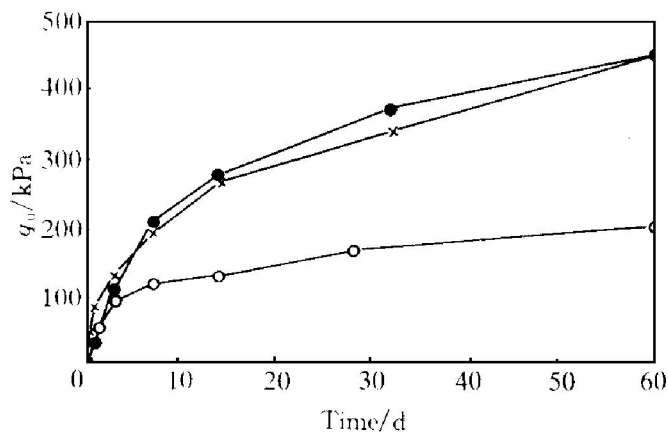


图 1 结石体无侧限抗压强度与时间关系曲线

Fig. 1 Relation curves of unconfined compressive strength q_u of CHG and time (mud viscosity 67.8 s)

○—Cement 10%, SA A 5%, SA B 15%;
●—Cement 15%, SA A 1%, SA B 15%;
×—Cement 15%, SA A 5%, SA B 15%

从图 1 中可知:随着时间的延长,浆液结石体无侧限抗压强度值(q_u)不断增加。在开始的几天, q_u 值增加较快,14 d 以后则增长较慢,但仍在增加。14 d 的抗压强度值就达 62 d 龄期的 50%~91% 左右,14 d 以后强度值仅增加 9%~48% 左右。

粘土固化浆液结石体无侧限抗压强度值增长规律与其塑性强度增长规律是有所不同的。塑性强度值在开始几天里增长较慢,而长期强度增长较大,7 d 的塑性强度值均不到 14 d 的 30%,有的仅为 14 d 的 21% 左右(见图 2)。

粘土固化浆液结石体两种强度值的增长规

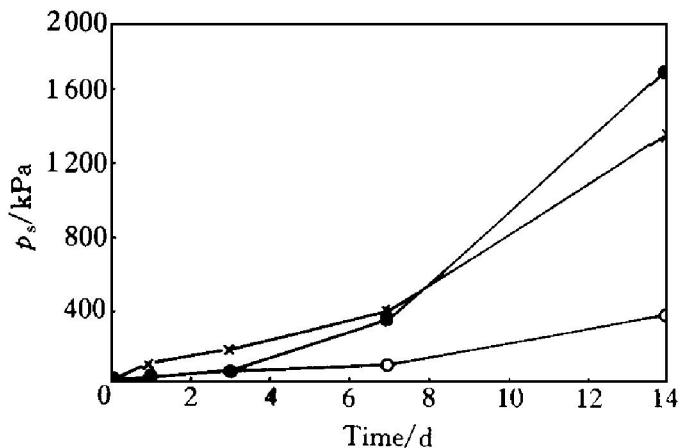


图 2 结石体塑性强度(p_s)与时间关系曲线

Fig. 2 Relation curves of plastic strength (p_s) of CHG and time (mud viscosity 67.8 s)

○—Cement 10%, SA A 5%, SA B 15%;
●—Cement 15%, SA A 1%, SA B 15%;
×—Cement 15%, SA A 5%, SA B 15%

律存在着明显的不同,这主要原因在于两种强度值的测量技术不同。塑性强度测量的是浆液结石体抗剪切能力的大小,而无侧限抗压强度测量的是浆液结石体内部结构凝聚力的大小。

浆液结石体内部结构凝聚力的大小是随着浆液内部的各种化学反应的进行而不断增加的。固化剂与水泥之间的化学反应速度较快,它也加快了水泥的水化反应,使得水化产物在浆液中的含量增加很快。这些反应产物在浆液中形成网状结构,提高了浆液的内部结构凝聚力,反映出浆液无侧限抗压强度的提高。当水化反应进行到一定时候,反应产物所形成的网状结构足以将浆液中的粘土颗粒全部胶结起来时,再形成的反应产物就只能充填在这些网状结构之中,而对浆液强度值的增长所起作用将减少,所以浆液的无侧限抗压强度在开始时增长较快,网状结构形成以后则增长较慢。同时由于浆液中水泥和固化剂所占比例较小(水泥:10%~15%,固化剂 A:1%~7%,固化剂 B:5%~15%),水化产物较少,反应产物所形成的网状结构不够致密,使得结石体的内部结构凝聚力增加不大,所以浆液结石体无侧限抗压强度值不大。

塑性强度值(p_s)所反映的是浆液结石体内

部抗剪切能力的大小^[2, 5]。测量时,圆锥在重力作用下下降一定深度后停止,圆锥侧表面上所受的力为塑性强度值。圆锥在重力作用下下降时,一方面要克服其侧面上所受结石体抵抗力的作用,另一方面要将其下的结石体向四周挤开。这样当圆锥处于静止平衡状态时,计算出的塑性强度值包含了浆液结石体在圆锥侧面上的抗剪切强度值和结石体抗压缩的强度值,所以,所测塑性强度值要比无侧限抗压强度值大一些。

在固化剂加入到浆液中以后,化学反应便开始快速进行,并生成各种水化产物,这些水化产物在浆液中形成网状结构,从而提高了浆液的内部结构凝聚力与抗剪切能力。但由于浆液中水泥和固化剂所占比例较小,产生的水化产物开始较少,水化产物所形成的网状结构不够致密,同时浆液中所含大量的水分都使得结石体在水化初期的抗剪切能力与抗压缩能力较低。随着水化反应的继续进行,反应产物越来越多,在反应产物形成一定的网状结构将浆液中的粘土颗粒胶结起来后,由于网状结构具有较好的抗压缩能力,随着水化产物所形成的硬质点越来越多,这些硬质点提高了结石体内部的抗剪切能力和抗压缩的能力,从而反映出浆液塑性强度值的快速增加。

3 影响粘土固化浆液无侧限抗压强度的因素

粘土固化浆液在加入水泥、固化剂之后,内部开始发生激烈的化学反应,使稠度逐渐增加,最后固化成结石体,因此表现出塑性强度与无侧限抗压强度均随时间的增加而增加(见图1, 2),但各种强度增长的规律与所加水泥、固化剂等的含量有关。

3.1 水泥含量的影响

水泥的水化产物是构成浆液结石体强度的主要材料,水泥的加量对浆液无侧限抗压强度值有较大的影响。水泥加量越大,所生成的水

化产物将越多,因此浆液的强度也就越大(见图3)。从图3中可看出:随着水泥加量的增加,浆液无侧限抗压强度值也随之增加。

3.2 固化剂 A(SA A) 的影响

固化剂 A 的加入提高了水泥的水化反应速度,但其加量有一最佳值,过多或过少均将使水化反应速度降低^[1, 5],最佳值为 3% 左右(见图4)。

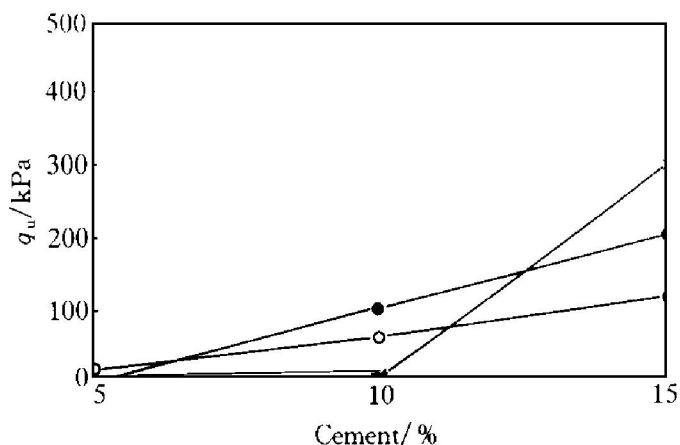


图3 水泥加量的影响(龄期 73 d)

Fig. 3 Effect of cement on q_u (73 d)

○—SA A 1%; ●—SA A 3%; ×—SA A 5%

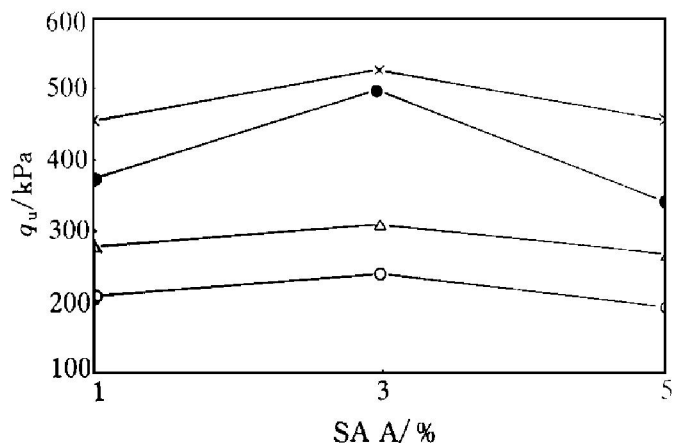


图4 固化剂 A 加量的影响(水泥 15%, 固化剂 B15%)

Fig. 4 Effect of solidified agent A on q_u (cement 15%, SA B 15%)

○—7 d; △—14 d; ●—33 d; ×—62 d

3.3 固化剂 B(SA B) 的影响

固化剂 B 的过量加入使得水泥的水化反应有降低的可能,从图5可知,随着固化剂 B 加量的增加,浆液结石体无侧限抗压强度值随

之而降低。但是, 固化剂 B 是作为水泥水化反应的催化剂而加入的, 如果不加入固化剂 B, 粘土固化浆液的凝结时间将很长, 强度增长也比较缓慢; 加入固化剂 B 之后, 固化剂 B 与水泥、粘土及水相互作用, 从而提高了水泥的水化反应速度, 但加量应控制在一定的范围之内, 从试验结果来看, 固化剂 B 的加量最好控制在 5% 以下。

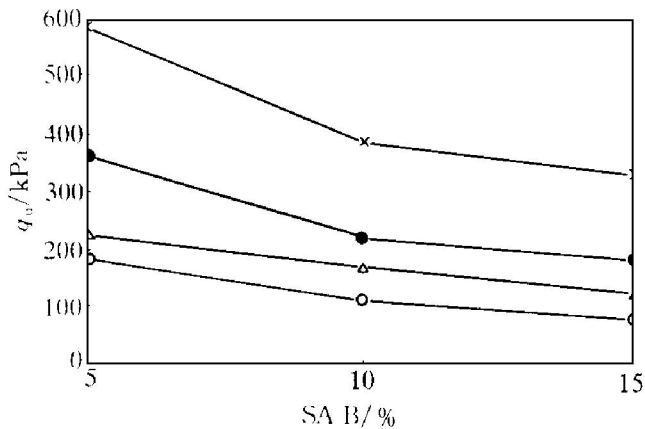


图5 固化剂 B 加量的影响(水泥 15%, 固化剂 A 5%)

Fig. 5 Effect of solidified agent B on q_u (cement 15%, SA A 5%)
○—1 d; △—3 d; ●—7 d; ×—32 d

4 结论

从以上分析可得如下结论:

(1) 粘土固化浆液无侧限抗压强度值 q_u 随着时间的增加而增长, 其初期强度增长较快, 后期强度增长较慢, 14 d 的 q_u 值可达 62 d 期 q_u 值的 60% ~ 90%。

(2) 水泥、固化剂都对浆液的凝固与强度的增长有影响, 但它们的影响各不相同。增加水泥的加量将提高浆液的 q_u 值, 固化剂 A 的加量有一最佳值(3% 左右); 因固化剂 B 是作为加快水泥水化反应速度的催化剂而加入的, 所以固化剂 B 的加量以控制在 5% 以下为好。

REFERENCES

- 1 Wang Xinghua(王星华). In: Li Zhiqing(李志青) eds. The Proceedings of the 9th Annual Meeting of Tunnel and Underground Engineering Society of the China Civil Engineering Society(中国土木工程学会隧道及地下工程学会第九届年会论文集). Beijing: Journal of Railway Engineering Society(铁道工程学报), 1996, (Suppl): 405- 409.
- 2 Wang Xinghua(王星华). Ph D Thesis. Changsha: Central South University of Technology, 1995.
- 3 Wang Xinghua(王星华) and Zeng Xiangxi(曾祥熹). Mining and Metallurgical Engineering(矿冶工程). 1994, 14(Suppl 3): 197- 200.
- 4 Wang Xinghua(王星华). Journal of Southwest Jiaotong University—Special Issue for Celebration of the University's Centenary(西南交通大学学报—西南(唐山)交通大学百年校庆论文集), 1996, 31(Suppl.): 314- 317.
- 5 Wang Xinghua(王星华). The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1997, 7(1): 5- 8.
- 6 Wang Xinghua and Gao Quqing. Tunnelling and Underground Space Technology, 1997, 12(4): 497- 502.
- 7 Wang Xinghua and Gao Quqing. In: Lee H-r Keun and Yang Hyung-Sik eds. Environmental and Safety Concerns in Underground Construction (Vol. 2). Rotterdam: A. A. Balkema, 1997: 937- 940.
- 8 Wang Xinghua and Gao Quqing. In: Tomas Franzen, Sver Gunnar Bergdahl and Annica Nordmark eds. Underground Construction in Modern Infrastructure. Rotterdam: A. A. Balkema, 1998: 355- 360.
- 9 Wang Xinghua(王星华) and Gao Quqing(高渠清). CN96117823. X, 1996.
- 10 Wu Banying(吴邦颖) et al. Soft Soil Treatment(软土地基处理). Beijing: China Railway Press, 1995: 31- 32.
- 11 Herzon A. Nature, 1985, 195.

GROWING RULE AND AFFECTING FACTORS OF UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF CLAY-HARDENING GROUTS

Wang Xinghua

*Institute of Tunnel and Underground Engineering, Changsha Railway University,
Changsha 410075, P. R. China*

Li Wei

*Institute of Geotechnical Engineering, Southwest Jiaotong University,
Chengdu 610031, P. R. China*

ABSTRACT The strength of grouts is a very important performance parameter during grouting. The affecting factors and growing rule of unconfined compressive strength of clay-hardening Grouts (CHG) were studied. The results showed that the unconfined compressive strength of CHG increases with the increasing of time: the early strength increases quickly, and the late strength increases slowly; increasing cement amount will increase the strength of CHG; the best amount of solidified agent (SA) A is 3%, the amount of SA B should be controlled under 5% because SA B is added into CHG as a catalyst increasing action rate of cement hydration. And then the reason that causes the difference between unconfined compressive strength and plastic strength of CHG was simply analyzed.

Key words clay-hardening grouts (CHG) unconfined compressive strength plastic strength

(编辑 何学锋)