

水泥 - 水玻璃浆液凝固特性试验研究

王 胜¹, 陈礼仪¹, 史茂君²

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 四川省地质矿产勘查开发局九〇九水文地质工程地质队, 四川 江油 621701)

摘 要: 水泥 - 水玻璃浆液在灌浆、堵水等工程中具有广泛的应用, 而浆液的凝固特性对灌浆、堵水效果具有直接的影响。在对水泥 - 水玻璃浆液凝结硬化机理分析的基础上, 对不同水灰比浆液的胶凝时间和流动度进行了试验研究, 并对 FDN、SM、NF、UNF - 5、柠檬酸、多聚磷酸钠、酒石酸钾钠、酒石酸、磷酸氢二钠等外加剂对浆液凝固特性的影响进行了对比试验研究。在此基础上重点对磷酸氢二钠的缓凝性能进行了试验分析, 初步获得了磷酸氢二钠对水泥 - 水玻璃浆液的凝固性能的影响规律。最后按初凝时间设计了几种水泥 - 水玻璃浆液的配方。

关键词: 水泥 - 水玻璃浆液; 凝固特性; 外加剂; 磷酸氢二钠; 灌浆工程

中图分类号: TV543 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 7428(2012)04 - 0035 - 04

Experimental Study on Solidified Characters of Cement-sodium Silicate Slurry/WANG Sheng¹, CHEN Li-yi¹, SHI Mao-jun² (1. State Key Laboratory of Geo-hazard Prevention & Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. 909 Geological Team, Sichuan Province Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Jiangyou Sichuan 621701, China)

Abstract: The cement-sodium silicate slurry is widely used in grouting and water stopping, and the solidification characteristics of slurry have the direct effect on such engineering. The gelation time and fluidity of the slurry with different water/cement ratio have been studied on the theoretical basis of setting and hardening of cement-sodium silicate slurry. Contrast tests have been done to research the influence of admixtures to the solidification characteristics of slurry such as FDN, SM, NF, UNF - 5, citric acid, polyphosphate, tartaric acid and disodium hydrogen phosphate. The retarding performance of disodium hydrogen phosphate is specially studied by means of the data of contrast tests, and the influence law of the disodium hydrogen phosphate to the solidification characteristics of cement-sodium silicate slurry has been got. The different formulas of cement-sodium silicate slurry are designed according to the initial setting time.

Key words: cement-sodium silicate; solidification characteristics; admixture; disodium hydrogen phosphate; grouting project

0 引言

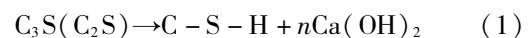
水泥 - 水玻璃浆液是以水泥和水玻璃作为灌浆材料的主剂, 按要求的比例同时注入双液混合器内使其充分混合形成双浆液^[1,2]。这种双浆液不仅具有水泥浆液的优点, 而且兼有化学浆液的某些特性。因而在各种灌浆、堵水工程中具有十分广泛的应用。作为无机灌浆材料, 水泥具有结石体强度高、不污染环境等优点, 但是它的最大缺点就是胶凝时间短, 渗透性差, 虽然加入水玻璃后可使其胶凝时间可调, 提高可灌性, 但结果却使结石体的强度和耐久性大大降低^[3,4]。近年来, 围绕如何提高水泥 - 水玻璃浆液的结石体的强度、流动性、抗渗性、耐久性作了大量的研究工作, 并已取得了较大的进展。但目前水泥 - 水玻璃浆液的配制多数只是停留在根据经验行

事的状态, 理论方面的研究比较欠缺^[5,6]。本文重点对水泥 - 水玻璃浆液的凝固特性进行较为详细的试验研究。

1 水泥 - 水玻璃浆液凝固特性

1.1 水泥 - 水玻璃浆液凝结硬化机理

水泥的成分是硅酸三钙(C₃S)、硅酸二钙(C₂S)、铝酸三钙(C₃A)和铁铝酸四钙(C₄AF)。前两者为水泥的主要成分, 占水泥总质量的70% ~ 80%^[1]。硅酸三钙和硅酸二钙的水化反应产物基本相同, 都是水化硅酸钙(C - S - H)和氢氧化钙(Ca(OH)₂), 只是水化反应速度和水化热高低有所差异而已。水化反应可用下式表达:

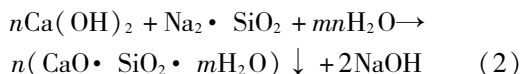


收稿日期: 2011 - 11 - 01

基金项目: 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室人才培养课题(SKLG2010Z008)

作者简介: 王胜(1982 -), 男(土家族), 重庆黔江人, 成都理工大学环境与土木工程学院讲师, 博士, 地质工程专业, 从事岩土钻掘及工程地质方面的科研及教学工作, 四川省成都市, yongyuandewangsheng@sina.com。

水泥的水化产物水化硅酸钙呈胶质状态,几乎不溶于水,而生成的氢氧化钙很快与水玻璃反应,反应过程如下:

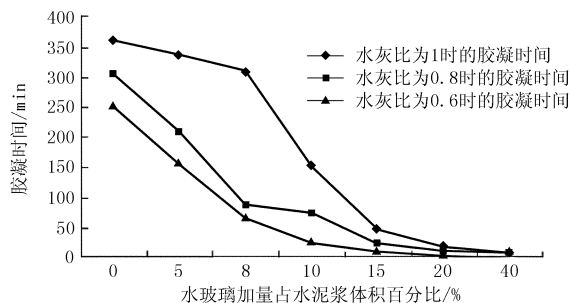


反应连续进行生成具有一定强度的胶质体,与被灌岩体胶结在一起,其强度不断增加转化为稳定的凝固体,从而达到灌浆加固的目的。

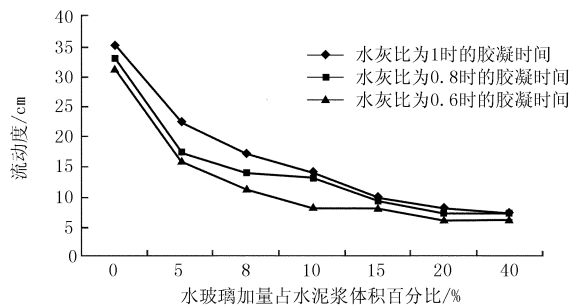
1.2 水泥-水玻璃浆液凝固特性试验研究

合适的胶凝时间和流动度直接关系着施工的和易性,并对灌浆、堵水工程的成败具有直接影响。通过对水泥-水玻璃浆液进行凝固特性研究,就不同水灰比条件下不同的水玻璃加量对浆液的胶凝时间和流动度的影响规律进行试验分析。

试验过程中采用的水玻璃模数为 3.2 ~ 3.4, 浓度 $41^\circ\text{Be}'$; 水泥为拉法基瑞安水泥(P. O 42.5)。水泥净浆采用 3 种水灰比,分别为 1、0.8 和 0.6,水玻璃用量按水泥浆体积的百分数掺用。试验结果如图 1 所示。



(a) 水玻璃加量对胶凝时间的影响



(b) 水玻璃加量对流动度的影响

图 1 水泥-水玻璃浆液凝固特性试验结果

由图 1 可以初步得到以下 2 点认识。

(1) 同一水玻璃加量时,水灰比越大凝结时间越长;当在一定水灰比的水泥浆液中加入水玻璃时,最初水泥-水玻璃浆液的凝结时间随着水玻璃加量的增加而逐渐缩短。从本次试验可以看出,当水玻璃加量低于 10% 时,随水玻璃加量增加浆液凝结时间缩短幅度较大。当水玻璃加量超过 10% 以后,曲

线趋于平缓。事实上,已有的研究结果表明^[1,7,8],当水玻璃加量超过一定数值(通常为 10% ~ 20%)后,浆液的凝结时间随着加入水玻璃量的增加,转变为逐渐加长。对应于凝结时间最短的那一点的水玻璃占水泥浆液体积的百分数称之为“凝结转点比值”。该比值的大小因使用水泥的品种、水泥浆液的水灰比、水玻璃的模数、水玻璃溶液的浓度不同而异,具体应通过试验确定。

(2) 浆体的流动性随水灰比的增大而增加;同一水灰比时,浆体的流动性随水玻璃用量的增加而减小。水灰比为 1 和 0.8 的浆液,水玻璃加量至 10% 时流动性趋于不流,加量达 15% 时已不流动(流动度用截头圆锥体测得,流动度 < 14 cm 时认为不具有流动性);水灰比为 0.6 的浆液,水玻璃加量达 8% 时已不流动。总体而言,当水玻璃加量低于 10%,流动度随水玻璃加量增加而减小,且幅度较大。而当水玻璃加量超过 10% 以后,曲线趋于平缓,随水玻璃加量增加流动度变化不大。

2 外加剂对水泥-水玻璃浆液凝固特性影响研究

通过对水泥-水玻璃浆液的凝固特性分析研究得知,水泥-水玻璃浆液的凝结时间随水玻璃加量较为敏感,当水玻璃加量稍大时其浆液迅速凝结,凝结时间太短将会制约着施工进度,而且由于迅速凝结,浆液不能达到对注浆体扩散半径的要求进而影响工程质量。于是在进行水泥-水玻璃浆液灌浆施工过程中,需要添加一定的外加剂对其凝结时间进行调节,对浆液的性能进行改善。通过试验主要对各种常用的外加剂对水泥-水玻璃浆液的凝固特性的影响情况进行分析研究。试验过程中采用的水灰比为 0.8,水玻璃加量为水泥浆体积的 15%,外加剂加量均为水泥质量的 2%。试验结果如图 2 所示。

通过对图 2 分析可以初步得到以下几点认识。

(1) 在胶凝时间方面,柠檬酸、酒石酸钾钠、磷酸氢二钠对改善浆液胶凝时间效果明显,在本试验条件下其浆液胶凝时间处于 30 ~ 60 min 之间。而其余几种外加剂对胶凝时间影响甚微。

(2) 在流动度方面,减水剂(FDN、SM、NF、UNF-5)改善流动性的效果普遍比缓凝剂(柠檬酸、多聚磷酸钠、酒石酸钾钠、酒石酸、磷酸氢二钠)差。在缓凝剂中,磷酸氢二钠改善流动性的效果最好,在本试验条件下流动度接近 35 cm。柠檬酸改善流动性的效果也较好,但是试验过程中发现它会使浆体发生一定程度的絮凝,浆液中固相物质分散效果不理想。

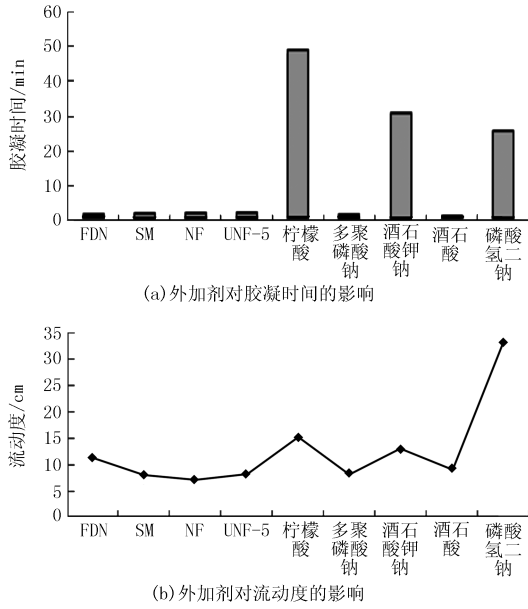


图 2 外加剂对水泥-水玻璃浆液凝固特性影响

3 磷酸氢二钠缓凝性能研究

通过试验发现磷酸氢二钠在改善浆液凝固特性方面效果显著,而且大量的灌浆工程也证明了磷酸氢二钠对浆液的凝固性能具有良好的改善效果。于是单独对其进行试验研究,分别对水灰比为 0.8 和 1.0 的水泥-水玻璃浆液添加不同加量的磷酸氢二钠(2%、1.7% 和 1.5%),对其凝结时间进行测试。其结果如图 3 所示。

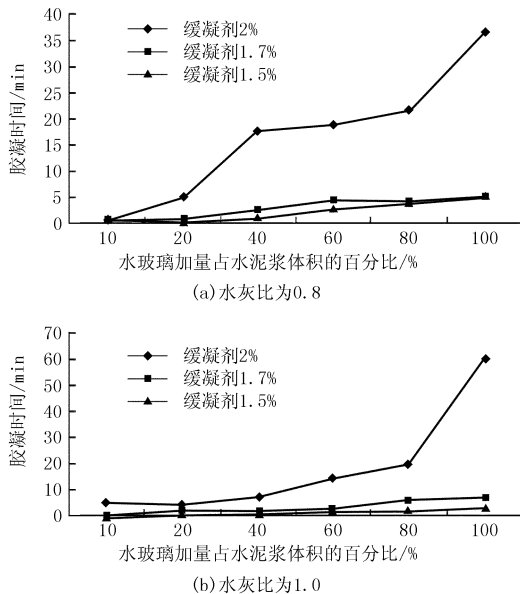


图 3 磷酸氢二钠对水泥-水玻璃浆液凝结时间的影响

通过图 3 分析可以初步得到以下几点认识。

(1) 相同水灰比、相同水玻璃加量条件下,浆液胶凝时间随磷酸氢二钠加量增加而延长。

(2) 在磷酸氢二钠加量和水灰比一定的情况下,浆体的凝结时间随着水玻璃加量的增加而增长。其中,本试验条件下磷酸氢二钠加量为 2% 的缓凝效果显著。而磷酸氢二钠加量为 1.7% 和 1.5% 时,对浆液凝结时间改善效果不明显。可见合适的磷酸氢二钠加量对水泥-水玻璃浆液的缓凝效果起着重要的影响。

水泥-水玻璃浆液具有良好的凝固性的同时必须保证结石体达到相应的强度,于是分别对水灰比为 0.8 和 1.0 的浆液在不同水玻璃和磷酸氢二钠加量的情况下对不同龄期的结石体抗压强度进行测试,其试验结果如图 4 所示。如表 1 所示,按不同的初凝时间对水灰比为 0.8 和 1.0 的浆液设计了几种配方,确定了相应条件下的水玻璃和磷酸氢二钠的加量,并测得了相应的浆液的胶凝时间。

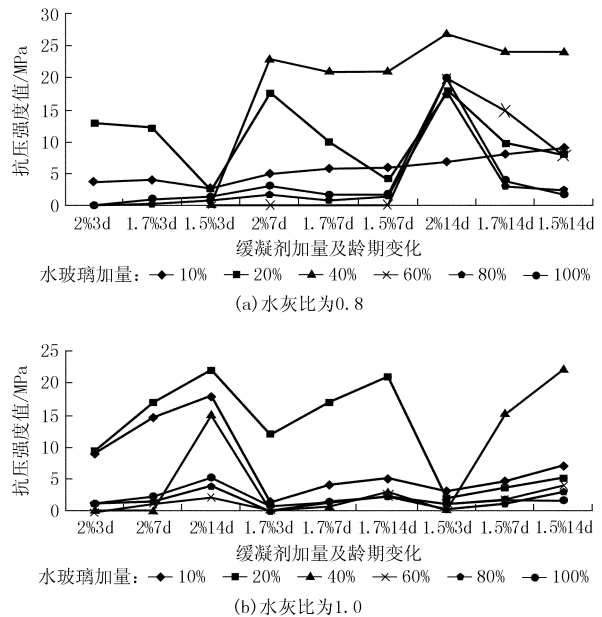


图 4 磷酸氢二钠加量对水泥-水玻璃结石体抗压强度的影响

表 1 按不同初凝时间设计的水泥-水玻璃浆液配方

初凝时间/min	水灰比	水玻璃用量占水泥浆体体积的比例/%	磷酸氢二钠用量占水泥质量的比例/%	胶凝时间/s
5	0.8	40	1.5	80
10	1	40	1.5	70
20	0.8	60	1.7	240
60	0.8	20	1.7~2	120~300
120	0.8	10	1.5	30
180	1	20	1.7	90

由图 4 分析可以得到以下几点认识。

(1) 水泥-水玻璃结石体强度随龄期不断增长。早期(3 天)强度水玻璃加量为水泥浆体体积 20% 的试件强度较高;后期(14 天)强度水玻璃加量为水泥浆体体积的 40% 的试件强度较高;中期(7 天)

强度变化较复杂,水灰比为0.8时,水玻璃用量占浆体体积40%时,强度较高;水灰比为1时,水玻璃用量占水泥浆体体积20%时,强度较高。

(2)磷酸氢二钠加量大于水泥质量1.7%时,水玻璃用量在20%时强度较高,当其加量小于水泥质量1.5%时,水玻璃用量在40%时强度较高。强度的峰值点对应磷酸氢二钠用量为2%。

(3)试验还发现水玻璃用量对试件体积安定性有影响。在标准养护条件下,水玻璃加量占浆体体积80%以上时,试块会收缩,在7天以后会出现裂缝,进而影响结石体的强度和抗渗性。由此可知,并不是水玻璃加量越大灌注效果就好,水玻璃加量过大强度不是最高反而会带来副作用。

4 结论

根据以上试验研究可知,水泥-水玻璃浆液的凝固特性受多方面因素影响,水灰比、水玻璃模数、加量、外加剂等都会影响其凝固特性。通过对不同外加剂对水泥-水玻璃浆液的凝固性能的影响分析,发现磷酸氢二钠对浆液具有较好的缓凝性能。

(上接第34页)

时间制约着定向侧钻机械钻速和周期,PDC钻头的使用提高了机械钻速和节约了钻井周期,但工具面不稳定。用转盘反扭矩来克服PDC钻头工具面的不稳定是一个值得研究的课题。

(3)长短结合的定向马达,实施跟踪测斜,在石炭系卡拉沙依组短半径侧钻井施工中更有利于控制井眼轨迹。

(4)聚磺混油钻井液体系很好地解决了定向造斜,特别是在易掉块、垮塌的石炭系地层的定向施工问题。 $\varnothing 149.2$ mm井眼定向侧钻对泥浆的润滑性要求较高,摩阻 ≥ 0.0612 。密度变化小于每周 0.02 g/cm^3 。 $\varnothing 177.8$ mm套管开窗泥浆性能维护比较困难,粘度、切力是关键。

(5)TK665CH井在石炭系卡拉沙依组和奥陶系

通过对比试验发现当其加量为2%时改善浆液凝结时间效果较好。另外,通过对水泥-水玻璃浆液结石体进行强度测试,获得了水灰比为0.8和1.0时不同水玻璃和磷酸氢二钠加量对结石体强度的影响规律。并按不同初凝时间设计了水泥-水玻璃浆液的配方。

参考文献:

- [1] 孙钊. 大坝基岩灌浆[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
- [2] 张景秀. 坝基防渗与灌浆技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002.
- [3] 程鉴基. 化学灌浆在岩石工程中的综合应用[J]. 岩石力学与工程学报,1996,(6):186-192.
- [4] 郑秀华. 水泥-水玻璃浆材在灌浆工程中的应用[J]. 水文地质工程地质,2000,(2):59-61.
- [5] 胡国兵. 水泥-水玻璃浆液在锦屏工程涌水封堵中的应用[J]. 人民长江,2009,40(21):32-34.
- [6] 刘玉祥,柳慧鹏. 水泥-水玻璃双液注浆中的最优参数选择[J]. 矿冶,2005,(12):1-4.
- [7] 闫勇,郑秀华. 水泥-水玻璃浆液性能试验研究[J]. 水文地质工程地质,2004,(1):71-72.
- [8] 阮文军,王文臣,胡安兵. 新型水泥复合浆液的研制及其应用[J]. 岩土工程学报,2001,23(2):212-216.

的成功侧钻,为塔河油田的 $\varnothing 177.8$ mm套管的老井增产改造提供了更广阔的空间。

参考文献:

- [1] 王恒. 裸眼侧钻关键技术的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):26-29.
- [2] 李锁成,谷玉堂,奚广春,等. 新120-侧平80井侧钻钻井实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(2):20-23.
- [3] 周伟,耿云鹏,石媛媛. 塔河油田超深井侧钻工艺技术探讨[J]. 钻采工艺,2010,33(4):108-111.
- [4] 巩同标,魏金新,赵淑芬,等. 塔河油田长段套管磨铣工艺[J]. 石油钻采工艺,2008,30(2):111-115.
- [5] 翟科军. 短半径水平井钻井技术在塔河油田的研究与应用[J]. 钻采工艺,2005,28(4):18-22.
- [6] 王旭宏. 钾铵基聚磺钻井液体系在大牛地气田水平井中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8):31-33,36.