

改性灌浆水泥的性能与应用

陈伟业

(葛洲坝集团公司 宜昌 443002)

摘要 改性灌浆水泥是一种由普通硅酸盐水泥掺入特殊的灌浆剂细磨而成的灌浆新材料。经浆材性能试验和现场灌浆试验及应用表明,其性能和可灌性、流动性、稳定性及结石性能均优于普通水泥和湿磨水泥,在某些方面已达到或超过了化学灌浆材料,在微细裂缝(孔隙)岩层灌浆中将会得到广泛的应用。

关键词 改性灌浆水泥;灌浆剂;灌浆试验;水泥;新材料

普通水泥灌浆材料具有使用方便、强度高、耐久性好、无公害、成本低、来源广等特点,但其颗粒较粗,对于 0.2mm 以下的微细岩体裂隙,中、细砂层和较大的集中渗流的防渗处理,其可灌性受到限制,容易产生失水变浓和溶蚀等不良现象,影响灌浆质量。

化学灌浆材料具有颗粒细、强度高、粘度低,以及流动性、稳定性、可灌性均好,胶凝或固化时间能按工程需要进行调节等优点,但它除成本高、运输、贮存不便、施工工艺复杂外,大多具有不同程度的毒性,包括刺激性、腐蚀性、致敏性及易燃易爆等,同时,因试验、施工操作和排放废弃料等引起环境污染,包括对地下水的污染。

为此,国内外灌浆工程专家自 70 年代开始研究开发超细灌浆水泥^[1],以解决工程灌浆中的这些问题,目前已取得了明显的成效。一般认为,超细水泥的颗粒尺寸应尽可能小于 16 μm ,至少重量的 95% 的颗粒粒径要小于 16 μm ,要能灌入 0.1mm 的裂缝,应具备下列优点:①可以使用普通水泥灌浆的技术和设备;②比普通水泥灌浆具有更好的紧密性;③可以替代化学溶液或凝胶体;④比化学凝胶体具有更高的强度,有较高的耐久性;⑤有良好的工作环境,没有中毒问题;⑥与化学灌浆相比更经济。

最近,中国建筑材料科学研究院针对三峡工程地质条件,研制了改性灌浆水泥,并在三峡工程作了灌浆试验。这种改性灌浆水泥的基本性能已经达到国外超细水泥的同等水平。

1 改性灌浆水泥性能

改性灌浆水泥是用普通硅酸盐水泥并掺入特殊

的灌浆剂细磨制成的,其主要性能如下:

a. 细度。用江山水泥厂生产的 525 号普通硅酸盐水泥磨制,水泥最大粒径 13.8 μm ,平均粒径 3.7 μm ,而普通水泥颗粒平均粒径一般为 20 μm 。

b. 强度。经测定,改性水泥属早强、高强水泥。3d,28d 的抗折强度分别为 7.7MPa,9.3MPa;抗压强度分别为 59.2MPa,74.8MPa。W/C = 0.44 时,胶砂流动度为 132mm,流动性好。

c. 凝结时间。按 GB1346 检测,初、终凝时间分别为 98 min,189 min,较原水泥的凝结时间有所提前,特别是初凝时间。

d. 膨胀率。3d 和 28d 的线膨胀率分别为 0.26% 和 0.32%。水泥有湿胀干缩的性能,细度越细收缩越大,纯磨细水泥硬化浆体在 7d 以后出现收缩,后期收缩更大,而改性水泥则有微膨胀,即使压滤成型也有微膨胀(见表 1)。

表 1 纯磨细水泥和改性灌浆水泥的膨胀 %

龄期/d	纯磨细水泥 W/C=0.1		改性灌浆水泥 W/C=0.1	
	自由沉降	压力滤水	自由沉降	压力滤水
1	0.0045	-0.0079		0.0218(2d)
3	0.0036	-0.0048	0.1521	0.0303
7	0.0018	-0.0072	0.2103	0.0388
14	-0.0014	-0.0072	0.2521	0.0416
21	-0.0031		0.2443	0.0461
28	-0.0073	-0.0109	0.2351	0.0460

e. 浆体稳定性。W/C 为 0.7,1.0,1.5,2.0 时,浆体的自由沉降析水率(%)分别为 0,1.2,5.8,14.1。

f. 浆体流动性。从流变曲线看,浆体为宾汉体,按水泥稳定性浆液参数测定,改性水泥在水灰比为

1.0 时, 仍为稳定性浆液。

2 施工工艺

改性灌浆水泥作为水电工程基础处理灌浆材料目前处在试用阶段, 基本上沿用普通水泥灌浆工艺: 按所需水灰比(2:1 或 1:1)配浆→高速搅拌机制浆→低速搅拌机储浆并调整浓度→灌浆泵→钻孔灌浆。

由于改性灌浆水泥比表面积大, 颗粒细小, 又掺有调节性能的灌浆剂, 在性能上与普通水泥有很大的差别, 因此在灌浆过程中, 在工艺的控制和操作上与普通水泥有所不同。改性灌浆水泥水灰比宜控制在 2 以下为好, 过大则水泥颗粒沉降快, 浆体不稳定, 可灌性差; 过小则浆体流动阻抗增大, 克服阻抗需要更大的灌浆压力, 要根据裂隙的发育情况和灌浆中的变化来选定或调整合适的水灰比。高速搅拌制浆对提高改性灌浆水泥浆液的稳定性和水泥颗粒的化学活性有益, 但连续搅拌时间过长, 对浆液的粘度、析水率等性能会产生不利的影响, 一般控制在 60 min 以内为宜。在条件允许的情况下, 使用较高的灌浆压力有利于灌注和浆体的脱水, 以提高水泥结石的性能。考虑改性灌浆水泥的可灌性比普通水泥好, 浆液比级的变换在注入量上可降低为 200 ~ 300 L, 或在灌注时间上适当缩短。

3 试验与应用

3.1 现场帷幕灌浆试验

改性灌浆水泥在三峡工程导流明渠底渠、三期下游横向围堰处作了帷幕灌浆试验。试区岩石为灰白色闪云斜长花岗岩, 有花岗岩脉穿插, 构造裂隙及小断层较发育, 岩石透水率 q 值一般为 1 ~ 6 Lu (1 Lu = 0.01 L/(min·m·m))。

a. 浆体质感好。浆体手感细腻滑润, 感觉不到颗粒, 悬浮稳定性好。

b. 可灌性好。灌浆持续至吸浆量仅为

0.3 L/min 时, 连续测试 35 min, 进、回浆比重基本无变化, 未出现进水不进浆的现象。从大口径(直径为 1 m)岩芯上钻取的小样(直径为 60 mm)看到, 改性水泥已灌入 0.14 mm 的微细裂缝中。

c. 浆体流动性和稳定性好。灌浆过程中浆液循环时进浆和回浆的性能列入表 2。可以看出, 回浆的粘度及比重比进浆的增加很小, 考虑到进浆和回浆温度等变化引起浆液水分蒸发, 可以认为改性灌浆水泥的流动性和稳定性是好的。从 R II—1—1 孔第 9 段由普通水泥浆换改性水泥浆灌注后, 在吸浆量已很小(0.25 L/min)时, 又灌注了 150 min 以上也说明了这一点。

d. 水泥结石性能。在水泥结石的孔分布中, 无害孔达 95.33%, 表明了结石结构致密, 这对提高结石力学性能、抗渗性和耐久性很有利。将扫孔取出的改性水泥结石试体作抗压强度检测, 平均破坏荷载 189.17 kN, 平均抗压强度达 143.4 MPa。

3.2 工程应用

以相同的工艺研制的改性灌浆水泥, 在新安江水电站大坝基础帷幕防渗补强灌浆^[2]中取得了明显效果。

a. 在岩石透水率基本相同的情况下, 改性水泥平均单耗 15.25 kg/m, 普通硅酸盐水泥单耗为 9.12 kg/m。在微细裂隙灌入能力上, 普通硅酸盐水泥在岩石透水率平均为 0.061 Lu, 平均灌压 1.13 MPa, 水灰比 8:1 时, 平均单耗 1.09 kg/m; 改性水泥在岩石透水率为 0.05 Lu, 灌压 1.32 MPa, 水灰比 2:1 时, 平均单耗为 5.45 kg/m。可见, 在水灰比较浓的情况下, 改性水泥的灌入能力是普通硅酸盐水泥的 5 倍, 在同序孔相应孔段, 在微细裂隙的灌注上也明显地反映了这一点。

b. 在页岩夹层段, 扫孔时不仅取出了纯水泥结石, 而且还从孔底钻取出沉积在孔底的岩屑、岩粉被水泥渗透胶结而成的结石, 且敲击有声, 表明改性水泥浆体的渗透能力以及与岩层的粘结效果都很好。

表 2 帷幕灌浆试验浆液性能统计

孔 号	段次	段长/m	灌浆时间 /min	浆液粘度/s		浆液比重/(g·cm ⁻³)		浆液温度/℃	
				进浆	回浆	进浆	回浆	进浆	回浆
R II—1—1	9	31.5~36.5	20	17.0	18.5	1.40	1.42	25	32
R II—1—1	9	31.5~36.5	30	18.5	20	1.42	1.43	33	37
R II—2—8	9	31.7~36.7	32	17.0	18.0	1.26	1.36	16	24
R II—2—8	9	31.7~36.7	22	17.0	18.0	1.38	1.41	20	25
R II—2—8	9	31.7~36.7	26	17.0	18.5	1.34	1.41	20	24
R II—3—9	3	4.7~6.7	30	16.5	17.0	1.27	1.27		23
R II—3—9	4	4.7~6.7	20	17.0	17.5	1.31	1.33		
R II—3—9	6	16.7~21.7	10	18.0	19.0	1.28	1.34		29.5
R II—3—9	6	16.7~21.7	40	18.0	19.0	1.30	1.49		32.0
R II—3—9	8	26.7~31.7	15			1.31	1.43		
R II—3—9	8	26.7~31.7	10			1.39	1.43		

c. 在 2,3 坝段钻孔或灌浆过程中,孔壁、孔底页岩发生软化、泥化,造成孔壁塌孔,影响钻灌,且因泥化页岩易堵塞岩层裂缝,影响灌浆质量.采用改性水泥后,由于它对页岩的渗透被覆作用,使页岩不再软化和塌落,提高了钻灌速度和灌浆质量.

国内湿磨水泥、Cx 灌浆水泥等超细水泥的应用,除上面提到的新安江水电站外,在三峡一期工程、五强溪水电站、清江隔河岩水电站、基院寺水库、黄河上的公伯峡水电站、黄山脚下的毛坦砌石拱坝等工程的帷幕灌浆、固结灌浆、接缝灌浆和漏水处理施工中得

到了应用.改性灌浆水泥的开发,由于其基本性能较其它超细水泥要好,在某些方面已超过化学灌浆材料,灌浆工艺也较简单,随着今后不断试验研究,在水利水电工程施工中将会得到更广泛的应用.

参考文献

- 1 刘英伟.日本超细水泥灌浆技术发展状况.水利水电钻探,1991,(1)
- 2 谭洪.新安江水电站大坝二、三坝段帷幕补强新材料的应用.水利水电钻探,1993,(1)
(收稿日期:1998-05-18 编辑:马敏峰)
- 5 Butterfield R, Banerjee P K. The effects of pore water pressures on the ultimate bearing capacity of driven piles. In: Proc 2nd South East Asian Regional Soil Mech Found Engrng, Tokyo, 1970. 385 ~ 394
- 6 Carter J P, Booker J R, Yeung S K. Cavity expansion in cohesive frictional soils. Geotechnique, 1986, 36(3): 349 ~ 358
- 7 Randolph M F, Carter J P, Wroth C P. Driven piles in clay—the effects of installation and subsequent consolidation. Geotechnique 1979, 29(4): 361 ~ 393
- 8 Salgado R, Mitchell J K, Jamiolkowski. Cavity expansion and penetration resistance in sand. Jour Geotech Geoenviron Engrng, ASCE, 1997, 123(4): 344 ~ 357
- 9 Provost J H, Hong K. Analysis of pressuremeter in strain-softening soil. Jour Geotech Engrng Div, ASCE, 1975, 101(8): 717 ~ 721
- 10 王启铜, 龚晓南, 曾国熙. 考虑探讨拉、压模量不同时静压桩的沉桩过程. 浙江大学学报, 1992, 26(6): 678 ~ 687
- 11 蒋明镜, 沈珠江. 考虑材料应变软化的柱形孔扩张问题. 岩土工程学报, 1995, 17(4): 10 ~ 19
- 12 施建勇, 赵维炳, 陈文. 土体变形规律研究. 水利水电科技进展, 1998, 18(1): 24 ~ 26
- 13 Baligh M M. Strain path method. Jour Geotech Engrng Div, ASCE, 1985, 111(9): 1108 ~ 1136
- 14 Baligh M M. Undrained deep consolidation, I: shear stresses. Geotechnique, 1986, 36(4): 471 ~ 485
- 15 de Borst R, Vermeer P A. Finite element of analysis of static penetration tests. In: Proc 2nd Europ Symp on Penetration Testing, 1982. 457 ~ 462
- 16 Griffiths D V. Elasto-plastic analysis of deep foundations in cohesive soils. Int J Numer and Analytical Methods in Geomech, 1982(6): 211 ~ 218
- 17 周健. 排土桩对周围土体挤密作用的动态模拟: [学位论文]. 南京: 河海大学, 1996
- 18 Banerjee P K, Fathallah R C. A Eulerian formulation of the finite element method for predicting the stress and pore pressures around a driven pile. In: Wittke ed. Proc 3rd Int Conf Numer Meth Geomech Aachen. Rotterdam: Netherland Press, 1979. 1053 ~ 1059
- 19 Sikora Z, Gudehus G. Numerical simulation of penetration in sand based on FEM. Computers and Geomechanics, 1990(9): 73 ~ 86
- 20 Kiousis P D, Voyiadis G Z, Tuncay M T. A large strain theory and its application in the analysis of the cone penetration mechanism. Int Jour Numer Anal Methods Geomech, 1988, 12: 45 ~ 60
- 21 谢永利. 大变形固结理论及其有限元分析: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 1994
- 22 鲁祖统. 软粘土地基中静力压桩挤土效应的数值模拟: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 1998
- 23 Mayerhof G G. The ultimate bearing capacity of wedge-shaped foundations. In: Caquot A ed. Proc 5th ICSMFE. Paris: Dunod Press, 1961. 105 ~ 109
- 24 Koumoto T, Kaku K. Three-dimensional analysis of static cone penetration into clay. In: Verruijt A, et al, eds. Proc 2nd Europ Symp Penetration Test. Amsterdam: Netherland Press, 1982. 635 ~ 640
- 25 陈维家, 陈映南. 砂土静力触探机理分析. 岩土工程学报, 1990, 12(2): 64 ~ 72
- 26 Banerjee P K, Davis T G, Fathallah R C. Behavior of axially loaded driven piles Chapter 7. In: Banerjee P K, Butterfield R eds. Developments in Soil Mechanics and Foundation Engineering. New York: Elsevier Science Publishing Co Inc: 1982
- 27 刘祖德, 王钊, 夏焕良. 显微镜位移跟踪法在土工模型试验中的应用. 岩土工程学报, 1989, 11(3): 1 ~ 10
- 28 丁佩明. 砂土中静压式模型桩沉桩试验及考虑挤密效应的桩土共同作用分析: [学位论文]. 南京: 河海大学, 1998
- 29 Azzouz A S, Morrison M J. Field measurements on pile in two clay deposits. J Geotech Engrng, ASCE, 1988, 114(1): 104 ~ 121
- 30 Masood T, Mitchell J K. Estimation of in situ lateral stresses in soils by cone-penetration test. J Geotech Engrng, ASCE, 1993, 119(10): 1624 ~ 1639
- 31 陈文. 饱和粘土中静压桩沉桩挤土效应的空间理论分析与离心模拟试验研究: [学位论文]. 南京: 河海大学, 1999
(收稿日期: 1998-03-10 编辑: 熊水斌)

(上接第 41 页)