文章编号:1001 - 5485(2009)12 - 0106 - 04

丹江口大坝基础帷幕中丙凝胶体耐久性研究

李 珍[1,2],邹 涛[1,2],李晓鄂[1,2]
(1. 长江科学院 材料与结构所, 武汉 430010; 2. 水利部 水工程安全与病害防治工程技术研究中心, 武汉 430010)

摘要:丹江口水利枢纽是南水北调中线水源工程,丹江口大坝河床坝段的防渗帷幕,已运行近40年,大坝加高后其运行条件发生变化,上游水头更高,须通过相应的试验研究对其耐久性做出客观评价。采取常规和加速老化试验方法,测试了老化前后丙烯酰胺(丙凝)胶体的质量和酰胺基团的变化及浸泡液中 NH_4^+ 浓度、丙烯酰胺单体含量。试验结果表明,老化试验后丙凝胶体支链的部分酰胺基团发生了水解,但主链未发生水解,说明丙凝胶体耐久性较好。

关 键 词:丹江口大坝;丙烯酰胺;帷幕;耐久性
中图分类号:TV441 **文献标识码**:A

1 概 述

丹江口水利枢纽是南水北调中线水源工程。其中丹江口大坝是由两岸土石坝和河床混凝土重力坝组成,全长2 494 m。初期规模坝顶高162 m,设计蓄水位为155.0 m。自1967年11月水库蓄水以来,在20世纪80年代,有8年最高库水位超过155.0 m。1983年155.0 m以上高水位延续时间近5个月,最高库水位达160.07 m(历年最高)。大坝加高后帷幕前的水头较加高前增加13 m,最大水头达115 m,已经运行使用近40年的原防渗帷幕能否满足要求,需要检测。

原灌浆帷幕的灌注材料主要为525号硅酸盐水泥,在加强排灌注了磨细水泥及丙凝。丙凝灌注量达30~40 t,丙凝胶凝体强度低,经过较长工程运行时间,基岩裂隙内充填的丙凝胶凝体耐久性如何,是否老化,成为备受建设各方关注的关键问题。

本文根据当年现场丙凝配比制作样本及现场钻孔取样获得裂隙岩体中的原位丙凝胶体,将其置于试验室模拟的坝基不同部位水介质环境和现场取得大坝不同部位的水样本中,采取常规或加速老化测试方法,测试老化前后丙凝胶体的质量和酰胺基团的变化及浸泡液中丙烯酰胺单体含量和 NH_4^+ 浓度。根据测试结果,评价丙凝胶体的耐久性。

2 耐久性试验

2.1 原材料

丙烯酰胺,双丙烯酰胺,三乙醇胺,过硫酸铵,缓冲试剂,氢氧化钠等试剂由申试化工试剂公司购得。

2.2 新配丙凝胶体的常规老化试验

根据当年现场丙凝配比制备丙凝胶体。将新配丙凝胶体置于自配的不同pH值(8,10,12,13)、不同温度(10℃、30℃)的缓冲溶液中浸泡28 d。称量老化前后丙凝胶体的质量。用红外光谱仪分析老化前后丙凝胶体中酰胺基团的变化。用气相色谱仪分析老化后浸泡液中丙烯酰胺单体含量。

2.3 新配丙凝胶体的加速老化试验

将新配丙凝胶体置于自配的pH=13的70℃碱液中浸泡3,7,14,28 d。称量老化前后丙凝胶体的质量。用红外光谱仪分析老化前后丙凝胶体中酰胺基团的变化。用气相色谱仪分析老化后浸泡液中丙烯酰胺单体含量。

2.4 原位丙凝胶体的红外光谱分析

从J25和J28芯样中取得原位丙凝胶体,用红外光谱分析了原位丙凝胶体酰胺基团的变化。

2.5 原位丙凝胶体的常规老化试验

将从J25和J28芯样中取得的原位丙凝胶体分别置于J25和J28涌水中于室温浸泡60 d。称量老化前后丙凝胶体的质量。用纳氏比色法测定老化后浸泡液中 NH_4^+ 浓度。

收稿日期:2009-02-09; **修回日期**:2009-04-25
基金项目:"十一五"国家科技支撑计划课题(2006BAB04A01)
作者简介:李 珍(1972-),女,湖南湘乡人,高级工程师,主要从事混凝土碱骨料反应和水工新材料开发方面的研究,(电话)027-82829881(电子信箱)lizhen@mail.crsri.cn。

2.6　原位丙凝胶体的加速老化试验

将从 J25 和 J28 芯样中取得的原位丙凝胶体分别置于 J25 和 J28 涌水中于 70℃浸泡 28 d。称量老化前后丙凝胶体的质量。用气相色谱仪分析老化后浸泡液中丙烯酰胺单体含量。

3　结果与讨论

3.1　新配丙凝胶体的常规老化试验

常规老化试验后丙凝胶体质量变化与浸泡液 pH 值、试验温度的关系如图 1 示。从图 1 可以看出，常规老化试验后丙凝胶体质量变化百分数随浸泡液碱性增强而增大，随试验温度升高而增大。

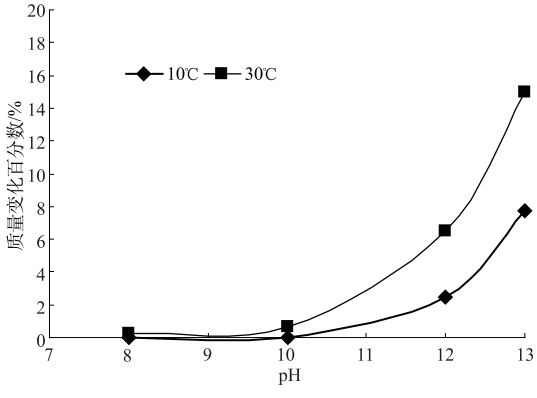


图 1　在不同 pH 值的浸泡液、试验温度常规老化试验后丙凝胶体的质量变化

Fig. 1　The quality changes of the acrylamide gel after the conventional aging test in the solution of different pHs at different temperatures

用红外光谱仪测定老化试验前及在 10℃，pH = 8 和 30℃，pH = 13 浸泡液中老化 28 d 后丙凝胶体的分子结构，如图 2 所示。从图 2 可以看出，在 10℃，pH = 8 浸泡液中老化 28 d 后丙凝胶体支链的酰胺基团未发生水解，而在 30℃，pH = 13 浸泡液中老化 28 d 后丙凝胶体支链的酰胺基团发生了水解。

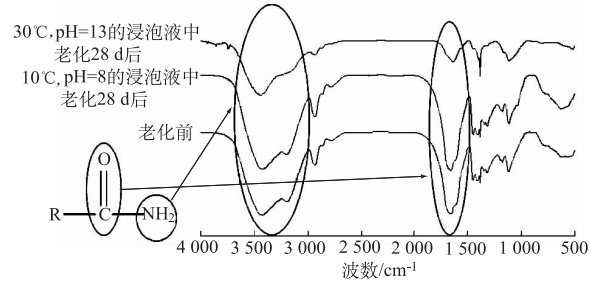


图 2　老化前后丙凝胶体的红外光谱图

Fig. 2　Fourier transform infrared (FTIR) spectra of the acrylamide gel

用气相色谱仪检测了常规老化试验后浸泡液中丙烯酰胺单体含量，但未检测出丙烯酰胺单体，说明丙凝胶体主链未发生水解。

新配丙凝胶体的常规老化试验说明，在常规老化试验条件下，随浸泡液碱性增强和试验温度的升高，丙凝胶体支链的酰胺基团开始水解，水解程度随浸泡液碱性增强而增大，随试验温度升高而增大；但丙凝胶体主链未发生水解。

3.2　新配丙凝胶体的加速老化试验

加速老化不同时间后丙凝胶体的质量变化百分数如图 3 所示。从图 3 可以看出，加速老化试验后丙凝胶体质量变化百分数随老化时间的增加而增大。

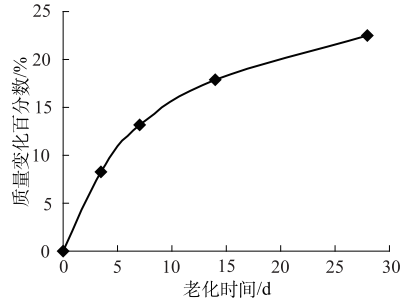


图 3　加速老化试验不同时间后丙凝胶体的质量变化

Fig. 3　The quality change of the acrylamide gel after accelerated aging test for different intervals

用红外光谱仪测定了加速老化试验前和加速老化试验3.5 d后丙凝胶体的分子结构，如图 4 所示。从图 4 可以看出，加速老化试验3.5 d后丙凝胶体支链的酰胺基团已发生水解。

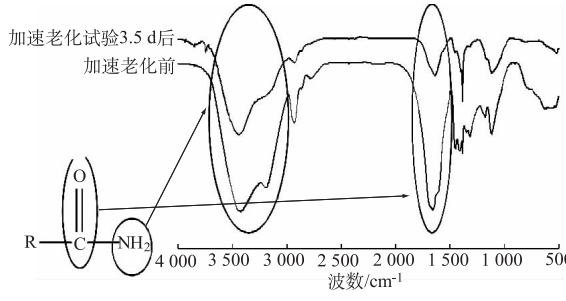


图 4　丙凝胶体的红外光谱图

Fig. 4　FTIR spectra of the acrylamide gel

用气相色谱仪检测了加速老化试验后浸泡液中丙烯酰胺单体含量，但未检测出丙烯酰胺单体，说明丙凝胶体主链未发生水解。

新配丙凝胶体的加速老化试验说明，在加速老化试验条件下，丙凝胶体支链的酰胺基团发生了水解，水解程度随老化时间的增加而增大；但丙凝胶体主链仍未发生水解。

丙凝胶体的主链是 C-C 键，其稳定性远大于酰胺键，因此丙凝胶体主链的水解比支链酰胺基团的水解困难得多。

3.3　原位丙凝胶体的红外光谱分析

用红外光谱仪测定了新配丙凝胶体及 J25 和

J28 芯样中取得原位丙凝胶体的分子结构,如图 5 所示。从图 5 可以看出,J25 和 J28 芯样中取得原位丙凝胶体的部分酰胺基团发生了水解。

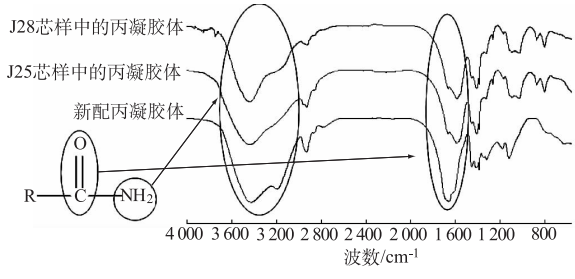


图 5 丙凝胶体的红外光谱图

Fig. 5 FTIR spectra of the acrylamide gel

3.4 原位丙凝胶体的常规老化试验

将从 J25 和 J28 芯样中取得的原位丙凝胶体分别置于 J25 和 J28 涌水中于室温浸泡 60 d。J25 和 J28 涌水的 pH 值分别为8.02,8.08。老化后丙凝胶体的质量无变化,浸泡液中 NH_4^+ 浓度无变化。原位丙凝胶体的常规老化试验说明原位丙凝胶体在常规老化试验条件下水解非常缓慢,耐久性较好。

新配丙凝胶体于 10℃,30℃在 pH = 8 的缓冲溶液中常规老化 28 d 后质量无变化。比较新配丙凝胶体和原位丙凝胶体的常规老化试验结果,两者相符。

3.5 原位丙凝胶体的加速老化试验

J25 和 J28 芯样中取得的原位丙凝胶体分别置于 J25 和 J28 涌水中于 70℃浸泡 28 d 后,质量变化分别为0.62%,0.64%。

用气相色谱仪检测了加速老化试验后浸泡液中丙烯酰胺单体含量,但未检测出丙烯酰胺单体,说明丙凝胶体主链未发生水解。

原位丙凝胶体的加速老化试验说明,在加速老化试验条件下,原位丙凝胶体支链的少量酰胺基团发生了水解,但主链未发生水解,其耐久性较好。

新配丙凝胶体于 70℃在 pH = 13 的碱液中浸泡 28 d 后,质量变化为22.5%,这是由于酰胺基团的水解程度随浸泡液碱性增强而增大。

4 结 论

新配丙凝胶体的常规和加速老化试验结果说明,随着浸泡液碱性增强和试验温度的升高,丙凝胶体支链的酰胺基团开始水解,水解程度随浸泡液碱性增强而增大,随试验温度升高而增大,但丙凝胶体的主链未发生水解。原位丙凝胶体的红外光谱分析结果说明,原位丙凝胶体的部分酰胺基团发生了水解。原位丙凝胶体的常规和加速老化试验结果说明,原位丙凝胶体在常规老化试验条件下水解非常缓慢,在加速老化试验条件下,原位丙凝胶体水解加快,支链的少量酰胺基团发生了水解,但其主链未发生水解,耐久性较好。

参考文献:

[1] 郭晓刚,徐年丰,蔡汉生,等. 丙凝灌浆帷幕耐久性研究现状评述及展望[J]. 南水北调与水利科技,2006,4(3):57 - 59.

[2] 杨光中,彭汉兴,马晓辉,等. 大坝坝基胶状析出物的分析与评价[J]. 水利学报,2003,(9):102 - 106.

[3] 马晓辉,曾开华,杨光中,等. 丹江口大坝坝基渗流水质分析与评价[J]. 长江科学院院报,2003,20(5):35 - 37.

[4] 谭日升,蒋硕忠. 对"丹江口大坝坝基渗流水质分析与评价"一文的讨论[J]. 长江科学院院报,2004,21(2):59.

[5] 秦俊德. 丙凝化学灌浆帷幕的实例与监测[J]. 水利水电技术,1990,(8):18 - 23.

[6] 彭汉兴,方学敏. 陈村大坝坝基丙凝加强帷幕耐久性评价[J]. 水力发电学报,1991,47(4):34 - 40.

[7] 刑林生. 丙凝加强帷幕的防渗机理及耐久性实例监测[J]. 红水河,1996,15(1):40 - 44.

(编辑:曾小汉)

Study on Durability of Acrylamide Gel in Dam Foundation Curtain of Danjiangkou Dam

LI Zhen[1,2], ZOU Tao[1,2], LI Xiao-e[1,2]

(1. Materials Research Department, Changjang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China;
2. Center on Water Engineering Safety and Disaster Prevention of the Ministry of Water Resources, Wuhan 430010, China)

Abstract: Danjiangkou Hydroproject is the waterhead project of South-North Water Diversion. The anti-permeable grouting curtain of Danjiangkou Dam was constructed almost 40 years ago. The water pressure would become larger after the dam was heightened. So the durability of grouting curtain should be evaluated objectively by the corre-

sponding tests. In this study, the conventional and accelerated aging tests were completed. The quality of the acrylamide gel and the change of amide group, as well as the concentration of ammonium ion and content of acrylamide monomer in the aging solution were measured before and after aging. The test results indicate that the amide group of side chain of acrylamide gel was hydrolyzed after aging tests, but the main chain of acrylamide gel was not. The durability of acrylamide gel was proved to be good by the results of the tests.

Key words: Danjiangkou Dam; acrylamide; curtain; durability

(上接第 75 页)

[2] 孙　钧. 岩石流变力学及其工程应用研究的若干进展[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(6):1081 – 1106.

[3] 蒋昱州,张明鸣,李良权. 岩石非线性黏弹塑性蠕变模型研究及其参数识别[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(4):832 – 839.

[4] 杨圣奇,徐卫亚,杨松林,等. 龙滩水电站泥板岩剪切流变力学特性研究[J]. 岩土力学,2007,28(5):898 – 902.

[5] 徐　平,杨挺清,徐春敏,等. 三峡船闸高边坡岩体时效特性及长期稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(2):163 – 168.

[6] 丁秀丽,付　敬,刘　建,等. 软硬互层边坡岩体的蠕变特性研究及稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(19):3410 – 3418.

[7] 李银平, 王元汉, 陈龙珠,等. 含预制裂纹大理岩的压剪试验分析[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(1): 120 – 124.

[8] 黄凯珠, 林　鹏, 唐春安,等. 双轴加载下断续预置裂纹贯通机制的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(6): 808 – 816.

[9] 李建林. 岩石拉剪流变特性的试验研究[J]. 岩土工程学报,2000,22(3):299 – 303.

[10] 韩　冰,王芝银,丁秀丽,等. 软硬互层岩体流变特性的数值模拟[J]. 长江科学院院报, 2007, 24(2): 25 – 29.

[11] 蒋昱州,徐卫亚,王瑞红,等. 岩石非线性损伤蠕变模型研究[J]. 中国矿业大学学报,2009,38(3):331 – 335.

[12] Itasca Consulting Group Inc.. FLAC^{3D} (Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions) User´s Manual (version 3.0)[R]. Minneapolis, USA: Itasca Consulting Group Inc.,2005.

(编辑:曾小汉)

Rheology Characteristics of Rock with Discontinuously Weak Intercalations

JIANG Yu-zhou[1,2], XU Wei-ya[1,2], ZHU Jie-bing[1], WANG Rui-hong[3], YANG Shen-qi[1,2]

(1. Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering of the Ministry of Water Resources, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan　430010, China; 2. Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing　210098, China; 3. School of Water Resources and Hydropower, Wuhan University, Wuhan　430072, China)

Abstract: On the basis of the visco-elasto-plastic rheological model of rock, the rheological mechanical behaviors of rock mass with discontinuously weak intercalations are simulated by using 3D nonlinear numerical method. The elastic-plastic deformation and creep deformation were analyzed under different conditions. According to the numerical simulation results, the correlations among intercalation distance, intercalation length, intercalation angle and rock deformation are studied. The result shows that influencing factors of rock mass with discontinuously weak intercalations effect each other and there are close multiple correlations among them. Partial correlation coefficients can accurately reflect the interdependence of influencing factors and suit to be used as a dimension for quantitatively describing multiple correlations. The elastic-plastic deformation and creep deformation are close related to intercalation length, intercalation thickness and intercalation distance, and they are insensitive to intercalation inclination and rock bridge inclination.

Key words: rock mechanics; weak intercalation; rheology; multiple correlations; partial correlation coefficient