

大坝化学灌浆技术经验选编

《大坝化学灌浆技术经验选编》审编小组

水利电力出版社

782

大坝化学灌浆技术经验选编

《大坝化学灌浆技术经验选编》审编小组

水利电力出版社

内 容 提 要

本书共包括24篇文章，主要叙述丙凝、氯凝、甲凝、环氧树脂等化学灌浆材料和浆液的技术性能，灌注技术，现场灌浆试验以及工程防渗，加固处理等施工实例，并简要地介绍了几种化学灌浆泵的技术性能和使用情况。

本书可供水利水电工程化学灌浆人员，院校教学人员和有关同志工作参考。

2147/60.13

大坝化学灌浆技术经验选编

《大坝化学灌浆技术经验选编》审编小组

水利电力出版社出版

（北京德胜门外六铺炕）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

兰州新华印刷厂印刷

1977年8月北京第一版

1977年9月甘肃第一次印刷

印数 0001—5520 册 每册 1.10 元

书号 15143·3220

限 国 内 发 行

毛主席语录

阶级斗争是纲，其余都是目。

独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

化学灌浆是工程建设中防渗或加固的一项新技术，它对水泥灌浆所不能或难于解决的问题，如水利水电工程中的岩石坝基防渗帷幕细微裂隙处理，坝基岩石断层和破碎带处理，恢复有裂缝的混凝土坝体整体性处理，基础细砂层的加固处理，以及动水下堵漏或大量渗水处理等，经过化学灌浆后，均可收到良好的效果。

无产阶级文化大革命以来，在水利水电工程上，采用化学灌浆技术进行坝基和坝体的防渗堵漏和加固补强，取得了很大的成绩，对发挥工程效益，起到了一定作用；同时在材料品种的研制，灌浆工艺的改进和设备的革新等方面，也有很大的发展和提高。为了总结交流大坝化学灌浆的技术经验，推动化学灌浆技术的发展，水利电力部于1975年9月1日至12日在安徽省芜湖市召开了大坝化学灌浆处理技术经验交流会。会议讨论了甲凝、丙凝、环氧树脂、聚氨酯、脲醛树脂和木质素等几种化学材料的浆液配方、反应机理、试验方法和应用工艺等问题，并交流了经验。为了进一步推广和普及化学灌浆技术，使它更好地为水利水电生产建设服务，会议建议，将大会交流的经验加以整理，选编成书。同时推荐出长江水利水电科学研究院、水利电力部第三工程局、水利电力部第十二工程局科学研究所等单位，并邀请了水利电力部第四工程局勘测设计研究院，组成本书的审编小组。

我们根据会议的要求，将交流的化学灌浆技术经验进行了选编，共选择了24篇文章，汇编出版，供有关从事化学灌浆的同志参考。

由于我们了解情况不够和水平有限，在选编过程中肯定会存在不少缺点，可能有许多好的经验未予编入，敬请提出批评指正。

《大坝化学灌浆技术经验选编》审编小组

1976.5.

目 录

前 言

化学灌浆综述	1
05号工程大坝基础丙凝防渗帷幕灌浆	30
10号工程左坝肩基础丙凝化学灌浆防渗处理	41
09号工程大坝基础丙凝帷幕灌浆试验	51
丙凝在07号工程基础防渗帷幕灌浆中的应用	61
10号工程“固结新”化学灌浆现场试验	69
氰凝灌浆材料的试制与应用	78
11号工程大坝裂缝氰凝(聚氨酯)化学灌浆堵漏试验	95
09号工程大坝基础 F_{11} 断层聚氨酯化学灌浆试验报告	103
氰凝(一步法)在工程中的应用	113
甲凝化学灌浆的试验和施工	117
甲凝化学灌浆处理混凝土裂缝	130
23号工程甲凝灌浆初步总结	139
环氧树脂灌浆的试验和应用	147
22号工程冲砂闸混凝土裂缝环氧树脂灌浆施工试验	152
环氧树脂浆液的试验与应用	159
环氧树脂岩基灌浆试验	170
环氧树脂用于潮湿混凝土裂缝灌浆补强试验	180
用环氧树脂灌浆修补天车混凝土大梁裂缝	185
铬木质素化学灌浆浆液的性能与应用	187
HGB型化学灌浆计量泵和可控硅无级调速器	200
HG20-12型立式双缸化学灌浆泵	203
可控硅调速齿轮灌浆泵	206
JN-4型化学灌浆泵	210

化学灌浆综述

水利电力部科学技术情报所

一、概 况

化学灌浆是由化学材料制成的浆液灌入地基或建筑物裂隙，经胶凝固化后，可起到较好的防渗或加固效果的一种工程处理技术，目前在国内外已得到比较广泛的应用。

我国从1959年对化学灌浆开始研究，1964年，在水电、煤炭、交通、建工等部门相继进行了现场试验。无产阶级文化大革命以来，有关单位遵照毛主席“独立自主、自力更生”的方针，对化学灌浆材料和工艺，又进行了一系列的试验研究，制造了几种新材料，创出了新的灌浆工艺和设备，扩大了应用范围。

化学灌浆材料比水泥具有较好的可灌性，可灌入0.15毫米以下的细裂隙或粒径0.1毫米以下的粉砂，能调节凝胶时间，故适用于堵漏和防渗。有些化学灌浆材料具有较高的粘结强度，用于混凝土或砖石等结构的补强，可收到较好的效果。

丙凝是目前国内使用较多的一种防渗化学灌浆材料。它的粘度几乎和水一样，凝胶时间可控制在几秒钟至几小时，并且在凝胶前粘度不变。

铬木素的主体材料是亚硫酸纸浆废液，原料来源丰富，是一种有发展前途的防渗灌浆材料。

聚氨酯是一种新型的灌浆材料，这种材料遇水反应，体积膨胀，聚合体具有较高的抗压强度。

甲凝的粘结强度高，可灌性能好，适用于有细裂隙的建筑物的补强灌浆。

环氧树脂粘结强度高，性质稳定，也是有发展前途的补强灌浆材料。

近几年来，随着我国化学灌浆技术的发展，有关单位在制造压浆桶、手掀泵（又称手摇试压泵）等简易设备的基础上，成功地研制了隔膜式计量泵、多级流量泵、可控硅无级调速计量泵和可控硅调速齿轮灌浆泵等灌浆设备。实践表明，这些设备在保证灌浆质量和提高灌浆效果方面，都起了较好的作用。

我国石油资源丰富，石油化学工业在迅速发展，将为化学灌浆材料的发展和应用，提供丰富的来源。所以化学灌浆是有发展前途的，它的优越性也将进一步显示出来。

但是，目前使用的化学灌浆泵，型号多，没有定型，有的尚存在一些缺点，故今后需进一步改进和研制新的化学灌浆泵。有关灌浆用的附属设备也需相应地定型和配套。

据不完全统计，自1965年至1975年，试用或采用化学灌浆的水利水电工程就有数十个，其中部分工程的灌浆简况列于表1。

表 1

水利水电工程试用和采用化学灌浆情况表

工程名称	灌浆部位	灌浆材料及性质	灌浆前的情况	灌浆孔的布置	灌浆后的效果	灌浆时间
防 渗 灌 浆						
01号工程	第三期下游围堰砂卵石地基	水泥、水玻璃做帷幕防渗灌浆	覆盖层渗透系数 K 为22~156米/昼夜	设计水头15米,帷幕厚3米,孔排距均采用1.5米	灌浆后 K 值平均为1.43米/昼夜,比灌浆前 K 值减少20倍,效果良好	1967年
02号工程	高压管道右壁底部	丙凝灌浆堵漏	漏水量为24升/分	共钻6孔	原渗漏处全部堵住	1965年
03号工程	引水隧洞	丙凝灌浆堵漏及防渗	1)隧洞个别地段衬砌表面最大漏水量25.5升/分 2)个别地段水泥灌浆后单位吸水率 >0.01 升/分·米·米	1)打1.1~1.9米深的孔43个 2)分3个次序孔灌浆	1)全部堵住漏水 2)灌后单位吸水率都小于0.01升/分·米·米,个别检查孔单位吸水率为0	1965年12月~1966年1月
04号工程	大坝伸缩缝和混凝土裂缝	丙凝灌浆止水	漏水量一般为2~9升/分,最大达60升/分	骑缝打浅孔埋灌浆管	灌后堵住漏水	1968~1969年
01号工程	4坝段坝基	丙凝做固结及防渗灌浆代替第二排水泥帷幕	如5号孔单位吸水率为0.05~0.125升/分·米·米	共布15孔,总钻深376米	丙凝帷幕完整性与连续性较好,5号孔单位吸水率降至0.0027升/分·米·米	1967年
05号工程	混凝土坝9~11坝段基础	丙凝做防渗帷幕灌浆	9~11坝段基础有较大的构造破碎交汇区,水泥浆灌不进	孔深20~30米,排距1.3米,孔距2米	丙凝灌浆形成帷幕,扬压力系数灌前为0.88,灌后降至0.07~0.11,效果显著	1967~1968年
06号工程	大坝的12号坝段岩基	脲醛树脂等灌浆堵漏防渗	大坝12坝段前腿基坑漏水100升/分	钻孔6个	堵住漏水	1973年
07号工程	6坝段岩基软弱带	丙凝防渗帷幕灌浆	单位吸水率 >0.01 升/分·米·米的孔段占55.6%	共布孔11个,孔距1米	单位吸水率 >0.01 升/分·米·米的孔段占33.3%	1974年
08号工程	大坝35~36坝段岩基	丙凝防渗帷幕灌浆	坝基扬压力升高,水泥浆灌不进	二次共布孔14个,孔距1~2米	扬压力观测孔水位比灌前降低1米左右,排水孔漏水量比灌前减少0.5升/分	1968~1970年
09号工程	7~17坝块基础	丙凝防渗帷幕灌浆	单位吸水率 <0.005 升/分·米·米占全孔段76.3%	共布孔12个,孔深60~72米	单位吸水率 <0.005 升/分·米·米占全孔段91.7%	1974年
10号工程	粘土心墙土坝左坝肩基础部分	丙凝防渗帷幕灌浆	单位吸水率平均为0.3~0.6升/分·米·米,原渗漏观测点漏水量为18.6升/分	共布孔33个,孔深20米左右	单位吸水率为0.1~0.2升/分·米·米,原渗漏观测点漏水量为1.8升/分(相同库水位下)	1975年
11号工程	坝体贯穿性裂缝	聚氨酯材料堵漏	库水沿裂缝向下游渗漏	共布堵漏孔5个,固结灌浆孔10个	完全堵住漏水	1975年
12号工程	浆砌块石坝混凝土防渗面板裂缝	聚氨酯材料堵漏	库水沿裂缝向下游渗漏最大量达100升/分	共布孔9个	完全堵住漏水	1974年
10号工程	粘土心墙土坝左坝肩基础部分	聚氨酯材料防渗帷幕灌浆	单位吸水率平均为0.3升/分·米·米	布孔10个,孔距1米	单位吸水率为0.07升/分·米·米	1975年
13号工程	基础砂层部分	铬木素防渗帷幕灌浆	砂层流失,基础下沉	布孔48个,孔距40厘米	灌浆后,目前没有发现基础继续下沉的迹象	1974年

续表 1

工程名称	灌浆部位	灌浆材料及性质	灌浆前的情况	灌浆孔的布置	灌浆后的效果	灌浆时间
补 强 灌 浆						
04号工程	1号电站平行坝轴线的三条贯穿性裂缝	甲凝补强灌浆	曾用磨细水泥灌浆,效果不好,特别是在机组中心线上的混凝土裂缝,宽仅0.16~0.35毫米,效果更差	缝侧打斜孔,孔深30~210厘米	凿样测粘结强度为2~9公斤/厘米 ² ,平均为4公斤/厘米 ² ,达到预期效果	1965~1966年
14号工程	混凝土副坝第五层平行坝轴线贯穿性裂缝	甲凝补强灌浆	裂缝延伸至相邻坝段,最大宽度5~7毫米	灌浆孔9个,总深66米,孔径120毫米	粘结强度8.5~15公斤/厘米 ² ,效果良好,故不再进行锚筋加固	1968年
15号工程	1号引水钢管	甲凝补强灌浆	钢管与混凝土间脱空约40米 ² ,间隙0.3毫米以下	钢管内侧钻 $\phi 1/2$ 吋灌浆孔	原脱空部位的90%以上面积均灌实	1968年
16号工程	倒虹吸管道	甲凝补强灌浆	管顶纵向裂缝宽0.05~0.3毫米	管内外布孔	灌后运行情况良好	1968~1969年
17号工程	底孔(涵管)	甲凝补强灌浆	有贯穿性裂缝及环向短裂缝	骑缝灌浆	效果良好	1973年
05号工程	1)18坝段2坝块 2)36坝段1坝块	1)甲凝补强灌浆 2)环氧树脂补强灌浆	1)裂缝长6米,宽0.5~1.0毫米,缝内有水 2)有平行坝轴线贯穿性裂缝,长21米,缝宽0.1~1.0毫米,缝内有水	1)两排斜孔,深、浅孔各一排 2)预埋灌浆管及打灌浆孔共10个	1)钻取了完整岩心,表明混凝土已补强 2)90%的缝面有浆液,粘结良好	1969年
18号工程	连拱坝	环氧树脂补强灌浆	拱坝发生贯穿性裂缝,缝宽0.1毫米左右	骑缝灌浆	缝内有浆液充填,粘结良好	1967年
19号工程	基础拱桥的竖拱接缝	环氧树脂接缝补强灌浆	接缝开合度随温度变化	利用原预埋的灌浆系统	接缝开合度趋向一恒值,不受温度影响	1969年
20号工程	大坝支墩混凝土裂缝	环氧树脂补强灌浆	裂缝总长8米,缝宽0.05~0.8毫米	骑缝贴灌浆盒	钻孔取样粘结强度达5.8~13.5公斤/厘米 ²	1969年
07号工程	地下厂房安装间14坝段顶拱接缝灌浆	环氧树脂接缝补强灌浆	接缝开度0.25毫米	预埋灌浆系统	接缝开度无有变化(观测资料)	1974年
21号工程	坝体接缝	环氧浆液接缝灌浆	接缝开度0.5~1毫米	布孔63个	原有渗水的接缝,灌后不再渗水	1974年
22号工程	冲砂闸底板混凝土裂缝	环氧树脂补强灌浆	为贯穿性裂缝,缝宽一般为2毫米	骑缝与斜孔共21个	检查孔内取出完整岩心,原裂缝内充填浆液良好,粘结强度为4~8公斤/厘米 ²	1975年
23号工程	电站进口新老混凝土接缝 蜗壳混凝土裂缝	甲凝补强灌浆	蜗壳裂缝长8.6米,缝宽1~4毫米	原留灌浆系统及骑缝灌浆	接缝收到预期效果,裂缝灌后取样抗拉强度达14.5公斤/厘米 ²	1972~1974年

二、防 渗 灌 浆 浆 液

(一) 水泥-水玻璃

水泥-水玻璃浆液不仅具备水泥浆的优点,而且凝胶时间短,可灌性也有明显提高。

1. 浆液材料

(1) 水玻璃

水玻璃是硅酸钠的水溶液，它主要含有：原硅酸钠 ($2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$)、正硅酸钠 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$)、二硅酸钠 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$) 等。

作为灌浆材料用的水玻璃，对模数和浓度有一定的要求。

模数“ M ”是水玻璃性能的一个重要指标，其定义为：

$$M = \frac{\text{SiO}_2 \text{克分子数}}{\text{Na}_2\text{O 克分子数}}$$

模数大小对灌浆影响很大，模数小时，二氧化硅含量低，致使结石强度降低，甚至不凝固。反之，结石强度高。但模数太大时，难以溶解。所以对于灌浆来说，水玻璃模数以在2.4~2.8为宜。

水玻璃浓度，通常用“波美度” (Bé) 表示，出厂的水玻璃浓度一般为50~60波美度，使用时，需用水稀释。一般使用的范围为30~45波美度。太稀时，强度低；太浓时，材料消耗多，粘度增加，可灌性差。波美度和比重换算公式如下：

$$\text{波美度} = 145 - \frac{145}{\text{比重}}$$

稀释水玻璃可按下式计算加水量：

$$\begin{aligned} V_{\text{原}} d_{\text{原}} + V_{\text{水}} d_{\text{水}} &= V_{\text{配}} d_{\text{配}} \\ V_{\text{原}} + V_{\text{水}} &= V_{\text{配}} \end{aligned}$$

式中 $V_{\text{原}}$ ——未稀释的水玻璃体积；

$V_{\text{水}}$ ——所需加水量；

$V_{\text{配}}$ ——稀释后水玻璃总体积；

$d_{\text{原}}$ ——未稀释的水玻璃比重；

$d_{\text{水}}$ ——水的比重；

$d_{\text{配}}$ ——稀释后配制水玻璃的比重。

(2) 水泥

一般采用400~500号普通硅酸盐水泥。

2. 浆液基本性能

(1) 凝胶时间

影响凝胶时间的因素归纳如下：

1) 水泥品种：水泥品种不同，硅酸三钙含量不同，凝胶时间也不同。一般来说，在相同条件下，含硅酸三钙量多，凝胶时间就快。因此，普通硅酸盐水泥比矿渣硅酸盐水泥和火山灰硅酸盐水泥凝胶时间快。

新鲜水泥活性高，凝胶时间快，结石抗压强度高。

2) 水泥浆浓度（即浆液中水泥浆的水灰比）：当其他条件相同时，水泥浆越浓，凝胶时间越短，见表2。

3) 水玻璃浓度: 如其他条件相同时, 水玻璃浓度在 30~45 波美度范围内, 浓度越高, 凝胶时间越长, 见表 2。

表 2 浆液中水泥浆的水灰比与水玻璃浓度对凝胶时间的影响

水 灰 比	水玻璃浓度（波美度）			备 注
	35	40	45	
	凝 胶 时 间（分·秒）			
1.5:1	2′	2′ 55″	3′ 44″	水泥系500号普通硅酸盐水泥， 水泥浆与水玻璃体积比为 1
1.25:1	1′ 31″	2′ 21″	3′ 17″	
1:1	1′ 18″	1′ 51″	2′ 30″	
0.75:1	58″	1′ 38″	2′ 18″	
0.5:1	55″	1′ 04″	1′ 41″	

4) 水泥浆与水玻璃体积比: 试验结果表明, 当水泥浆、水玻璃的浓度和温度一定时, 水泥浆与水玻璃的体积比在 1:0.3~1:1 的范围内, 随着水玻璃用量减少, 凝胶时间缩短, 见图 1。因此, 可以通过改变水泥浆与水玻璃体积配合比来改变凝胶时间。一般采用水泥浆与水玻璃体积比为 1:0.8~1:0.6。

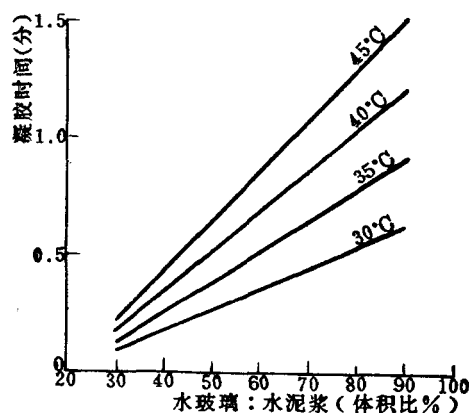


图 1 水玻璃-水泥浆体积比与凝胶时间关系

5) 浆液温度: 水泥浆与水玻璃反应过程同一般化学反应一样, 反应速度也是随着温度的升高而加快, 见表 3。

表 3 浆液温度对水泥-水玻璃浆液凝胶时间的影响

水泥浆温度 (°C)	水玻璃温度 (°C)	混合后温度 (°C)	凝胶时间 (秒)	备 注
23	29	26	64	400号矿渣水泥, 水泥浆水灰比为 0.75:1, 水泥浆与水玻璃体积比为 1, 水玻璃浓度为30波美度
31.5	31.5	31.5	43.1	
36	39	37	31.5	
42	49	44	22	

(2) 抗压强度

水泥-水玻璃浆液结石体抗压强度高，特别是早期强度高，抗压强度增长率也快。这些性能对于灌浆是很有利的。影响水泥-水玻璃浆液结石体抗压强度的因素如下：

1) 水泥浆浓度：水泥浆浓度越浓，抗压强度越高。

2) 水玻璃浓度：试验成果见表4。

表4 水玻璃浓度对水泥-水玻璃浆液结石抗压强度的影响

水玻璃浓度 (波美度)	水泥浆浓度 (水灰比)	抗 压 强 度 (公斤/厘米 ²)		
		7 天	14 天	28 天
35	0.5:1	174	200	202
35	0.75:1	144		148
35	1:1	73	85	104
35	1.5:1	12	20	28
40	0.5:1	204	244	248
40	0.75:1	116	177	185
40	1:1	44	106	113
40	1.5:1	5	9	23
45	0.5:1	245	250	253
45	0.75:1	82	169	192
45	1:1	29	69	113
45	1.5:1	3	6	8

注：水泥浆与水玻璃体积比为1:1。

试验结果表明，在使用浓水泥浆时，随着水玻璃浓度增加，则抗压强度提高。但在使用稀水泥浆时，相应地使用低浓度水玻璃溶液也能得到较高的抗压强度，若使用高浓度水玻璃溶液反而降低抗压强度。

3) 水泥浆与水玻璃溶液体积比：试验成果见表5。

表5 水泥浆与水玻璃体积比对其浆液结石抗压强度的影响

水泥浆与 水玻璃的 体 积 比	凝胶时间 (分·秒)	30波美度水玻璃				凝胶时间 (分·秒)	40波美度水玻璃				备 注
		抗压强度(公斤/厘米 ²)					抗压强度(公斤/厘米 ²)				
		1天	3天	14天	28天		1天	3天	14天	28天	
1:0.3	37"	33	40	58	64	32"	58	81	90	99	500号普通硅酸 盐水泥，水泥浆水灰 比1:1，试验时温度为 23.5°C
1:0.4	33"	38	51	66	68	42"	73	102	113	119	
1:0.5	40"	43	45	65	88	52"	81	109	112	179	
1:0.6	47"	38	44	75	89	1'3"	46	73	113	130	
1:0.7	53"	43	59	97	112	1'15"	32	55	102	153	
1:1	1'12"	—	43	48	61	1'51"	4	15	92	110	

上述试验表明，水泥浆与水玻璃的适宜体积比为1:0.4~1:0.7。综合考虑到凝胶时间控制、抗压强度及施工操作等因素，在施工时采用如下配方较为适宜：水玻璃采用模数2.4~2.8，浓度30~45波美度，水泥浆的水灰比小于（或等于）1:1，水泥浆与水玻璃体积比为1:0.8~1:0.6。

3. 水泥-水玻璃浆液的外加剂

上述水泥-水玻璃浆液配方的凝胶时间，有时不能满足复杂的水文地质条件对灌浆的要求，必须加入速凝剂或缓凝剂来调节。

(1) 速凝剂

水泥-水玻璃浆液凝胶时间一般较短。若要求更快凝胶，除改变水泥浆与水玻璃体积比、升高温度外，还可加入白灰做为速凝剂。白灰掺量一般不超过 15 %。试验结果见表 6。

表 6 白灰加入量对浆液凝胶时间的影响

白 灰 加 入 量 (为水泥重量%)	凝 胶 时 间 (秒)		备 注
	30波美度水玻璃	40波美度水玻璃	
0	24.5	29.6	水泥浆水灰比为0.75:1，水泥浆与水玻璃体积比为1:0.6
5	16.5	23.2	
10	12.1	17.5	
15	10.0	15.2	
20	8.9	13.1	

(2) 缓凝剂

磷酸和磷酸盐对水泥-水玻璃浆液具有显著的缓凝效果。但磷酸对水泥有破坏作用，使结石强度明显下降，而磷酸盐（磷酸氢二钠）缓凝效果较好。试验表明，磷酸氢二钠用量低于 1 % 时（以水泥重量计），缓凝效果不显著，大于 3 % 时，显著降低结石强度。在施工中，缓凝剂用量一般不超过 3 %。试验成果见表 7 及图 2。

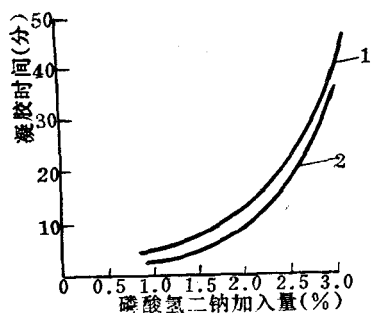
表 7 缓凝剂用量及搅拌时间对凝胶时间的影响

水 泥 浆 (水灰比)	磷酸氢二钠用量 (%)	凝 胶 时 间 (分·秒)	
		搅 拌 5 分 钟	搅 拌 30 分 钟
0.75:1	0	1' 30"	1' 28"
0.75:1	2	9' 41"	6' 36"
0.75:1	2.25	13' 39"	9'
0.75:1	2.50	18' 27"	10' 53"
1:1	0	2' 08"	2'
1:1	2	5' 35"	4' 08"
1:1	2.25	12' 03"	8' 01"
1:1	2.50	29' 15"	13' 25"

注：水玻璃的波美度为 40。

缓凝剂的作用是抑制水泥与水玻璃反应速度，所以加入磷酸氢二钠作为缓凝剂时，必须先把缓凝剂按一定比例配成水溶液，然后再加水泥。还必须有足够搅拌时间（不少于 5 分钟），以使缓凝剂充分发挥其效能。

几年来，水泥-水玻璃灌浆已广泛使用，并取得了较好的防渗、堵漏效果，积累了一些经验。但是，对水泥-水玻璃浆液的研究工作仍需给予重视。例如对其结石体耐久性的研究，在碱性条件下，对结石体的物理化学性能的影响，水泥-水玻璃浆液的流动、扩散



水灰比 1:1
图 2 磷酸氢二钠用量与凝胶时间关系
1—水泥浆:水玻璃 = 1:1
(体积比)22°C;
2—水泥浆:水玻璃 = 1:0.5
(体积比)19°C

情况等, 仍需进行研究和探讨。

(二) 铬 木 素

铬木素是亚硫酸盐纸浆废液和重铬酸盐组成的灌浆材料。为了加快凝胶速度往往加入促进剂, 主要是盐酸盐、硫酸盐等。这种材料国外已使用多年。近几年来, 我国有关部门也开展了室内和现场试验, 效果较好。铬木素原料来源丰富, 价格便宜, 其粘度低, 凝胶时间可以控制, 凝胶体不溶于水, 化学性能稳定, 浸水膨胀, 抗渗性好。因此, 铬木素是一种有发展前途的化学灌浆材料。

亚硫酸盐纸浆废液是亚硫酸盐法造纸过程中的废液。根据一些文献介绍, 凡是亚硫酸盐纸浆废液(即酸法造纸的废液)均可做为灌浆材料。

亚硫酸盐纸浆废液(以下简称废液)出厂的固体含量为50%, 比重为1.27, 浓度为30波美度。使用时, 加水稀释, 固体含量一般为30~50%。废液固体含量在35%以下时, 其粘度在4厘泊以下, 所以对细裂隙具有较好的可灌性。

造纸研究部门经过试验后, 总结出废液的固体含量与波美度之间关系的经验公式, 可供灌浆时参考。

$$Y = 1.51X - 0.90$$

式中 Y ——废液的固体含量;

X ——波美度。

铬木素浆液凝胶时间与固化剂重铬酸钠和促进剂三氯化铁的用量有关。一般来讲, 重铬酸钠用量增加时, 凝胶时间缩短。现场灌浆时, 重铬酸钠浓度一般配成10~30%, 根据需要加以改变。三氯化铁的用量与重铬酸钠用量在一定的比例时, 其凝胶时间最短, 其二者之间的关系, 见图3。

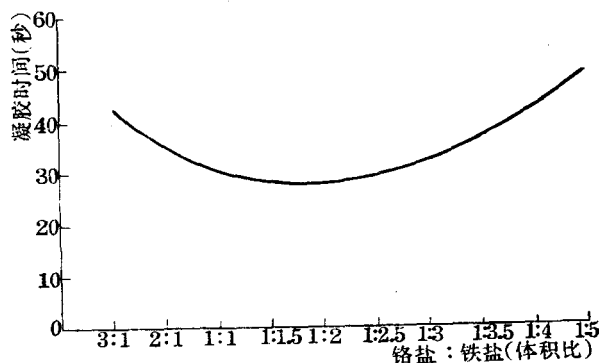


图 3 铬盐与铁盐体积比对凝胶时间的影响

(废液22波美度, 固体含量32.3%, 重铬酸钠1克/毫升, 三氯化铁1克/毫升, 室温19°C)

从图3可看出：为了得到较短的凝胶时间，可选择铬铁盐的适当比值，即在1:1.5~1:2之间；而欲配制较长凝胶时间的浆液时，如取铬盐比铁盐的较大值，即减少铁盐用量，可防止因产生气泡而影响强度。

pH值对凝胶时间的影响也很显著。pH值越小，凝胶时间越短；pH值增大时，凝胶时间随之延长，见图4。

抗压强度与废液固体含量及重铬酸钠浓度有关。废液中固体含量及重铬酸钠浓度越高，抗压强度越高。特别是废液浓度对强度影响较显著，见图5。

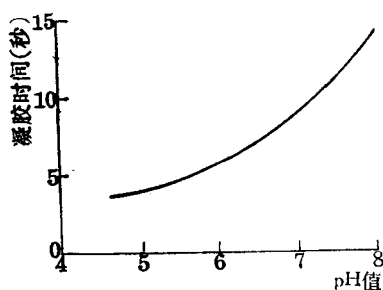


图4 pH值与凝胶时间关系

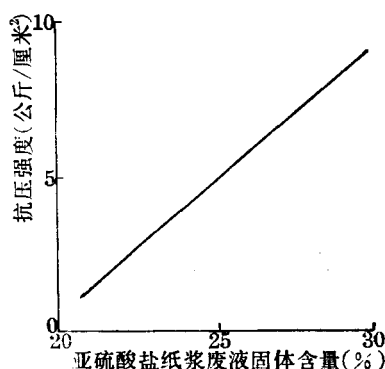


图5 废液固体含量与抗压强度关系

总之，铬木素浆液具有原料来源丰富、价格便宜、粘度低和凝胶时间可以控制等优点。存在的主要问题是，由于使用重铬酸盐，有明显毒性，应予充分注意。另外，凝胶体抗压强度低，使用三氯化铁作为促进剂，有严重腐蚀性。老化问题有待进一步研究。

(三) 丙凝

丙凝是以丙烯酰胺为主剂，配以其它材料的化学灌浆材料，它发生聚合反应，形成具有弹性的、不溶于水的聚合体。这种聚合体充填堵塞了岩层中的裂隙或砂层中的空隙，阻止水的通过，并可把砂粒胶结起来，起到堵水防渗和加固地基的作用。

1. 丙凝浆液材料的组成(见表8)

主剂、交联剂、促进剂或缓凝剂溶解在水中单独存放，简称甲液。

表8 丙凝浆液材料组成表

名 称	简 称	作 用	标 准 配 方 (%)
丙 烯 酰 胺	A	主 剂	9.5
N, N'-甲撑双丙烯酰胺	M	交 联 剂	0.5
β-二甲氨基丙醇	D	促 进 剂	
(或)三乙醇胺	T	促 进 剂	0.4
硫酸亚铁	Fe ⁺⁺	速 凝 剂	
铁 氰 化 钾	KFe	缓 凝 剂	
过 硫 酸 铵	AP	引 发 剂	0.5

注：配方中的浓度均指体积百分浓度(即100升浆液中溶质的公斤数)，标准配方指常用配方。

引发剂溶解在水中单独存放，简称乙液。

甲液与乙液按比例混合后，即发生化学反应，故在灌浆前不能使两种液体相遇。

也可使用三乙醇胺代替 β -二甲氨基丙腈，有的用甲醛(F)代替N,N'-甲撑双丙烯酰胺。

2. 影响凝胶时间的几个因素

(1) 温度的影响

温度升高，浆液的凝胶时间缩短，见图6。

(2) 丙烯酰胺(A)与N,N'-甲撑双丙烯酰胺(M)用量对浆液凝胶时间的影响

浆液中A和M的浓度增加，凝胶时间缩短。但浓度在5~15%的范围内变化不大。

丙凝浆液的浓度不能低于4%，否则不能生成凝胶。因此，当灌浆部位含水量大，并有流动水时，应适当提高浆液浓度，以防止浆液被稀释而不凝胶。

(3) 过硫酸铵(AP)和 β -二甲氨基丙腈

(D) 用量对浆液凝胶时间的影响

浆液中AP和D的浓度增加，凝胶时间缩短，见图7和图8。

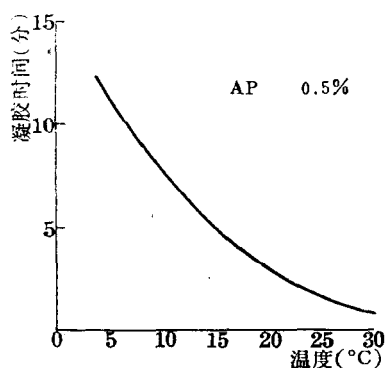


图6 温度与凝胶时间关系

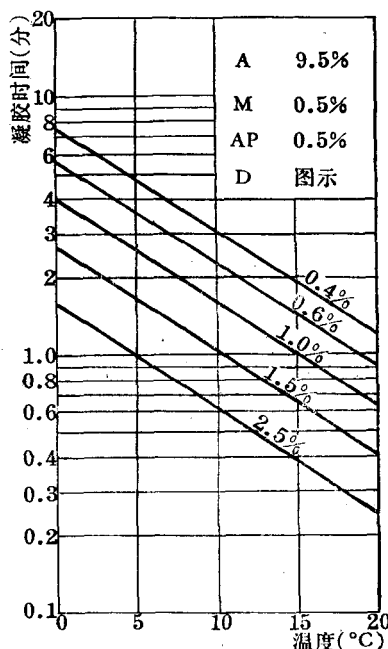


图7 β -二甲氨基丙腈用量与凝胶时间关系

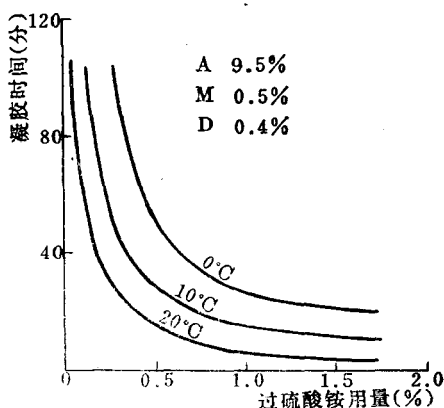


图8 过硫酸铵用量与凝胶时间关系

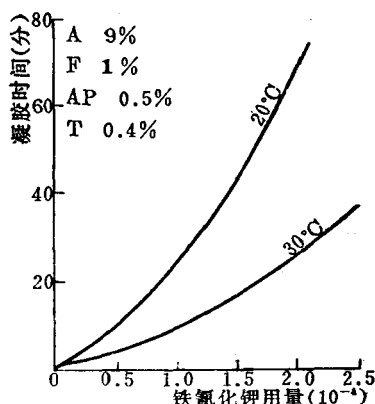


图9 铁氰化钾用量与凝胶时间关系

在小范围内调节凝胶时间，可以改变 AP、D 的用量，但 D 不宜低于 0.3%，AP 不宜低于 0.4%，否则影响凝胶体的强度，甚至不凝；但 D 大于 0.8%，AP 大于 1%，对凝胶时间影响甚小。因此，在较大幅度内控制丙凝浆液凝胶时间，可改变铁氰化钾或硫酸亚铁的用量。

(4) 铁氰化钾(KFe)用量对浆液凝胶时间的影响

浆液中加入 KFe，使聚合开始时间延长，聚合速度也减慢。即使掺入少量的 KFe 也能使凝胶时间延长很多，见图 9。

(5) 硫酸亚铁(Fe^{2+})用量对浆液凝胶时间的影响

浆液中硫酸亚铁掺量增加，凝胶时间缩短，见图 10。

(6) pH 值的影响

浆液的 pH 值低于 7，凝胶时间大大延长，而且很不稳定，见图 11。pH 值为 7~8 时，有明显改变， $\text{pH} > 8$ 时，影响较小，曲线趋于平缓。因此，配浆时使用酸性水时，必须事先处理，变酸性水为中性水或碱性水。

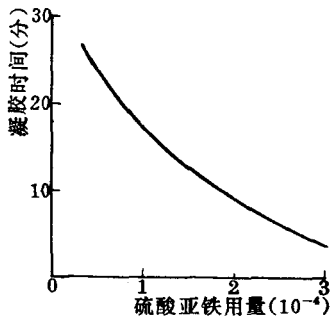


图 10 硫酸亚铁用量与凝胶时间关系

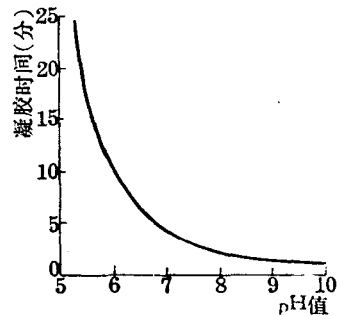


图 11 pH 值与凝胶时间关系

3. 丙凝浆液及凝胶体的主要特性

(1) 丙凝浆液的粘度约为 1.2 厘泊，与水相似，因此具有良好可灌性。

(2) 凝胶时间可以准确地控制在几秒到几小时。在地下水流速较大时，可采用速凝堵水。

(3) 不透水，浓度为 10% 的丙凝浆液凝胶后，其本身的渗透系数为 2×10^{-10} 厘米/秒。

(4) 如凝胶时间较短，凝胶体的体积为浆液体积的 100%。

(5) 凝胶挤出阻力较高，根据试验，在直径 0.25 毫米、长 30 厘米的管内，能耐 35 公斤/厘米² 的压力，凝胶不致发生挤出破坏现象，因此帷幕的厚度在工艺许可的条件下可以减薄。

(6) 凝胶体的抗压强度低。固结砂的抗压强度一般约 5 公斤/厘米²。

(7) 本材料开始使用的时间还不长，对于老化问题和老化年限尚无定论。

综上所述，丙凝灌浆在水利工程中将获得日益广泛的应用。但这并不意味着它可全面代替其它灌浆材料。各种灌浆材料都有一定的使用条件和范围，使用得当才会获得良好的技术经济指标。因此，必须根据地质条件和灌浆目的进行选择。