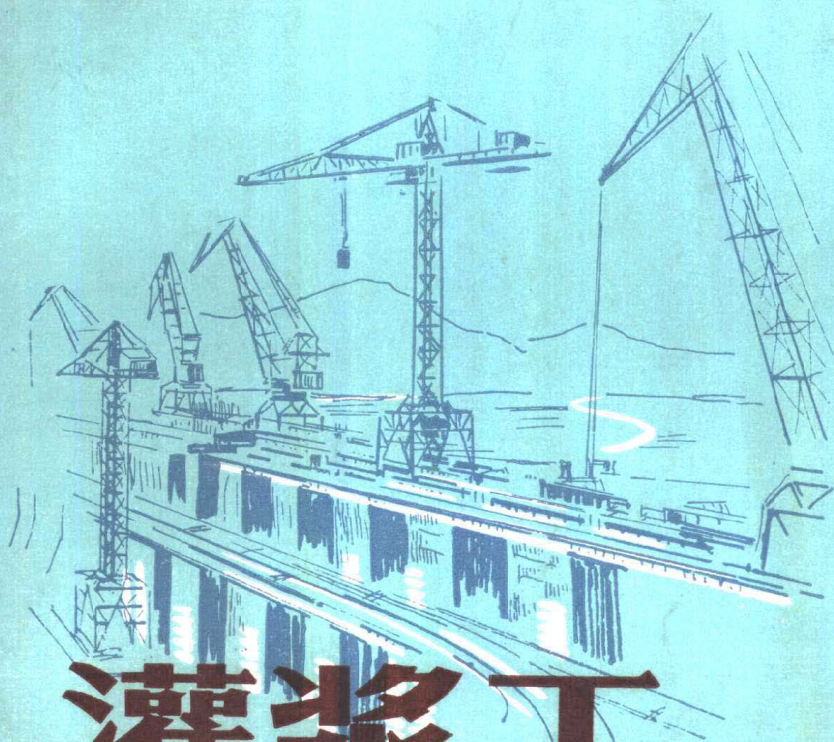


水利水电工程施工工人丛书



灌浆工

水利电力出版社

水利水电工程施工工人丛书

灌 浆 工

武汉水利电力学院 水利施工及
建筑材料教研室編

水利电力出版社

内 容 提 要

本书介绍了水利水电工程建设中灌浆的基本知识和方法，以及灌浆材料、灌浆机械设备、灌浆施工、灌浆特殊情况处理等。

可供从事水利水电工程施工的灌浆工人阅读，也可作为培训水电工程施工工人和水利院校工农兵学员的讲义。

水利水电工程施工工人丛书

灌浆工

水利施工及
武汉水利电力学院建筑材料教研室编

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

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

1974年8月北京第一版

1974年8月北京第一次印刷

印数 00001—26750 册 每册 0.13 元

书号 15143·3100

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

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。

鼓足干劲，力争上游，多快好省
地建设社会主义。

前 言

在毛主席革命路线的指引下，无产阶级文化大革命以来，我们遵照伟大领袖毛主席有关教育革命的教导，走出校门，深入工地，“要向生产者学习，向工人学习”，接受工人阶级再教育。在深入三大革命实践斗争中，提高了我们执行毛主席革命路线的自觉性。为了学习总结工农兵在三大革命运动中的丰富实践经验，我们广泛听取了具有生产实践经验的同志，特别是工人师傅对水利水电工程施工的意见，并收集了这方面的资料。

当前，批林批孔运动正在深入发展，革命生产形势一派大好，为了适应广大工农兵抓革命，促生产的需要，满足他们为革命学技术的迫切要求，我们编写了《水利水电工程施工工人丛书》。这套丛书中除了介绍水利水电工程主要工种施工的一般知识外，也适当编写了一些基础理论及有关计算的内容。

本丛书主要是在330水利工地、101水利工地及湖北排子河工地编写和修改的。这些工地的领导、工人和技术人员给了我们大力支持和具体帮助。我院施工专业及水工建筑专业的工农兵学员也提出不少好的意见。这次正式出版前，又得到有关水电工程局寄来许多宝贵的建议，在此表示致谢。由于我们路线觉悟不高，施工经验不足，理论水平有限，因此丛书中的缺点、错误及不妥之处肯定不少，热诚地希望读者提出批评、指正。

编 者

1974年2月

目 录

前 言

概 说	1
-----	---

第一章 灌浆材料及对浆液的要求	2
-----------------	---

第一节 水泥灌浆材料	2
------------	---

第二节 粘土灌浆材料	5
------------	---

第三节 沥青灌浆材料	8
------------	---

第四节 化学灌浆材料	9
------------	---

第二章 灌浆机械及其设备与布置	14
-----------------	----

第一节 灌浆机械及设备	14
-------------	----

第二节 灌浆设备布置	20
------------	----

第三章 灌浆前的准备工作	24
--------------	----

第一节 放样及钻孔	24
-----------	----

第二节 钻孔及裂隙的冲洗	27
--------------	----

第三节 压水试验	30
----------	----

第四章 灌浆施工	33
----------	----

第一节 灌浆的施工方法	33
-------------	----

第二节 灌浆中几个主要问题的控制及变浆计算	35
-----------------------	----

第三节 接缝灌浆施工	40
------------	----

第五章 灌浆中的特殊情况处理	43
----------------	----

第六章 质量检查及工程验收	47
---------------	----

概 说

灌浆就是通过预先在岩石、土壤或建筑物中设置的钻孔或灌浆管，利用灌浆机将某种浆液（如水泥浆、粘土浆、沥青浆、化学浆液等）施加一定压力灌进去，使其胶结成相当坚固、密实而不透水的整体。

为了防止坝基渗漏，增强建筑物稳定，坝底往往设置嵌入岩基的阻水齿墙，而且尽可能将齿墙做到透水性很小的坚固岩层中去（图 1）。

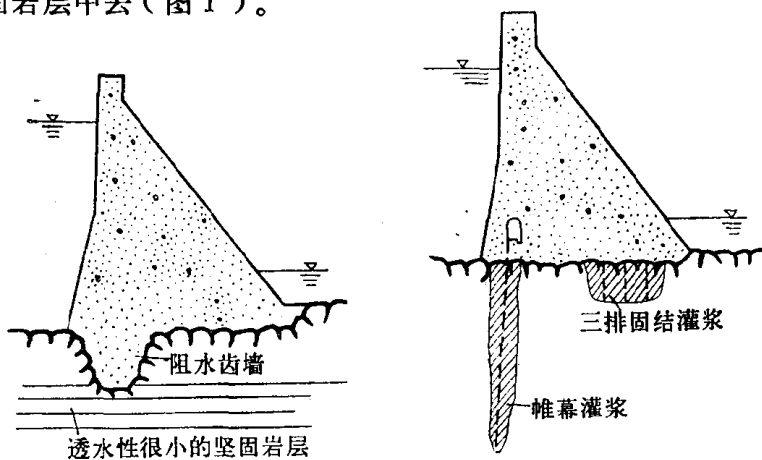


图 1 设阻水齿墙的
混凝土坝示意图

图 2 帷幕灌浆和
固结灌浆

但是往往遇见不透水岩层的位置很深，开挖齿墙很费工、费时、费钱；特别是基础裂隙和夹层有较大量的渗水进入基坑槽的情况下开挖齿槽更加复杂。因此一般总是沿坝基

或水库边缘钻一排或数排钻孔，进行灌浆，形成一种防水帷幕，这种灌浆就叫帷幕灌浆。当然帷幕灌浆不仅可以减少渗透流量，同时也减少了基础下的渗透压力，并可防止因渗透流速过大而引起的冲刷、管涌等现象的发生。

为了加固基岩，以提高其强度和整体性，减少岩基压缩变形，往往在坝基上游或下游 $1/3$ 底宽范围内进行一群低压浅孔（一般孔深 $3 \sim 8$ 米）灌浆，这也就是常说的固结灌浆（图 2）。固结灌浆除可加固地基外，也有使混凝土与基岩紧密结合的作用。为了使坝基与基岩接触面结合密实而进行的灌浆，也称接触灌浆。

当然帷幕灌浆、固结灌浆等不仅用于岩基，在砂砾基中也常用灌浆来处理。另外，隧洞的岩层和衬砌之间，特别是拱顶上部，一般也要灌浆。混凝土建筑物施工缝的联接及修补混凝土中的缺陷（如裂缝、蜂窝、局部架空等），也常用灌浆处理。有些地方用预先堆筑好骨料而注浆，形成注浆混凝土，也要用到灌浆。总之，灌浆在水工建设上用得极为广泛，我们必须认真掌握它。

应当注意，根据不同灌浆目的及具体条件，往往要用到各种不同浆液进行灌注，主要的有：水泥浆、粘土浆、水泥粘土浆、沥青浆、化学浆等等，不过遇见最多的还是水泥灌浆。

第一章 灌浆材料及对浆液的要求

第一节 水泥灌浆材料

水泥是由粘土质或灰质的石灰岩烧炼成的。其中掺入某

些加料而研磨成粉状混合物。它的性能由其品种及标号表示。

灌浆一般用硅酸盐水泥（即普通水泥）。按灌浆目的及灌浆层地下水状态、水的侵蚀性等选用品种及标号。一般灌浆用300~600号的水泥。低于300号的水泥可用于临时性工程，如围堰工程灌浆等。

灌浆用水泥的主要性能是细度、均匀性、保水能力、凝固时间及对侵蚀水的抵抗性等。

标号愈高，一般磨细程度也就愈细。水泥细度可由4900孔/厘米²的筛（其孔眼为0.09毫米）确定，或者由6400孔/厘米²的筛（其孔眼为0.06毫米）确定。经过筛的过筛量一般不少于70~95%。水泥愈细，愈能填塞细裂隙。根据现有的情况来看，水泥浆可灌入0.5毫米以上裂隙中去，如果缝隙更小，就要用其他方法灌浆。当然填塞细缝时，除细度外还要求均匀性，即要求水泥颗粒细度大致相同。均匀性差的水泥，则可能发生分离而形成不均质水泥结石，大颗粒在下，细颗粒在上。在试验室内拌浆时，若分次少量地向水泥内加水，并在每次加水后都将水泥浆拌匀，使其浆液经过短时间澄清，这时会发现：只有当水量不超过某种限度时才能得出均匀的水泥浆，否则水泥浆上面会有澄清水出现，即分离现象存在。经验证明：根据水泥性质，水灰比在0.3~0.6的水泥浆，一般不产生分离现象。

水泥的保水能力是指水泥浆能包含某限度的水量，而又无澄清现象发生。保水能力太高，因水量大，硬结时会得出多孔的水泥结石，其密实性和强度就会降低；但保水性差的水泥浆容易沉淀在灌浆管路及灌浆泵中，并形成坚固的沉淀物。因此一般总是用超过保水能力的水泥浆。而为了防止分

离，应不断搅拌，使其始终保持流动状态。另一方面，因水泥浆只有在其含水量不大于水泥的保水能力时才能凝固硬化，故灌浆时，又要将多余水量在水泥浆进入裂隙或接缝后排出。

水泥凝固时间的长短，与水泥浆的温度及浓度有关。温度高，凝固快，反之则慢。在稀浆中沉淀下来的水泥，比刚开始就用水量等于水泥保水能力的水泥浆凝固过程要缓慢些。有时为加速凝结，可用速凝剂，如氯化钙、水玻璃、苏打等。当氯化钙或水玻璃的掺加量是水泥重量的1~2%时，凝固期可缩短到 $2/3 \sim 1/2$ ；如果用少量苏打，则效果更显著。不过速凝剂在较浓的浆液中才起作用。在稀浆中，速凝剂多含在水中随水流失，效果不显著。还要提醒的是：速凝剂一般是加到拌制水泥浆的水中，而不是加到拌好的水泥浆里，这一点必须注意。

与速凝剂相反的是缓凝剂，它延缓凝结时间。如有时为延长凝结时间，提高浆液分散性及在岩隙中扩散能力，可用塑化剂与加气剂或二者同时掺用。

为了节省水泥，在吸浆量大的地方可加掺合料，如砂、粘土、石粉、粉煤灰或磨细矿渣等。掺砂并不影响水泥结石强度，但须注意，水泥砂浆有显著分离现象。掺砂质粘土（或砂壤土）不产生分离现象，但又显著降低水泥结石强度和增高水泥结石保水能力。为了减轻水泥砂浆和纯水泥浆分离，可用“塑性加料”，如非常细的（胶凝性的）粘土（膨润土）和硫化钠等。

关于水的侵蚀性也应注意，因为它减弱水泥结石强度，或破坏水泥结石。硅酸盐水泥最易受侵蚀水破坏，矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥抗侵蚀性较强。

除水的侵蚀性外，还要结合渗水流速来考虑。如果水没有侵蚀性，且地下水流速不大于 0.00025 米/秒，一般可用 300~400 号普通水泥灌浆。若渗水流速在 0.00025~0.0009 米/秒的情况下，一般要用在硬化开始时便能迅速增加强度的高铝水泥（即矾土水泥），或者在水泥中掺入氯化钙之类的促凝剂，其掺量一般以不超过干水泥重的 2% 左右为宜。当水有侵蚀性，且渗水流速在 0.00025~0.0009 米/秒时，则须用火山灰质水泥或高铝水泥，并在其中掺促凝剂。

最后必须注意，在帷幕灌浆中，为了提高帷幕密实性和改善浆液性能，可在浆液中掺适量粘土或塑性外加剂，掺入量由试验确定，一般掺入粘土量不超过水泥重量的 5%。在固结灌浆中，一般是用纯水泥浆或水泥砂浆，并可掺适量外加剂，但不得使用粘土作掺合料。在接触灌浆中，一般不用掺合料，只用较高标号的水泥浆。

第二节 粘土灌浆材料

粘土既可单独作为一种灌浆材料，又可掺入其它浆液（如掺入水泥浆成水泥-粘土浆）进行灌浆。灌浆用粘土既不采用含粘量太少的贫粘土（因细缝填不实，且抗地下水能力差），又不宜用含粘量太大的肥粘土（因浆液具有很高的粘滞性，且灌入缝后，其水分逸出能力很低，影响强度）。选用粘土时，一般应注意下列条件：

1. 粘土的分散性：粘土搅拌后，可以分散成 0.005 毫米以下的粒径，一般要求小于 0.005 毫米的颗粒含量不少于 40~50%，因粘土分散粒径愈小愈不透水。

2. 粘土的悬浮性：粘土与水进行搅拌时，很快就变成了

很浑的泥浆水，这就是因为粘粒在水中有悬浮性。凡悬浮性好的粘土制成的泥浆，失水量就小，宜用于砂卵石地基灌浆。在土坝坝体或一般土层灌浆时，要求泥浆灌入土层后，很快把水析出来，故宜采用悬浮性差的粘土。

3. 粘土的可塑性：即它在润湿时能搓成不产生裂纹的各种形状，可塑性好的粘土，灌入土隙后能形成一种不易龟裂的胶体。一般控制其塑性指数为10~20。

4. 粘土的粘着性：润湿的粘土，能粘结其它土粒形成整体的阻水帷幕。但在制作泥浆时，要严格经过试验以控制其粘度；粘度过大灌不进，过小，又易被水带走。

5. 粘土的膨胀性与收缩性：显然灌浆用粘土，应选择膨胀性大的。

6. 粘土的含砂量一般不超过4~6%为宜（粒径为0.25~0.05毫米）；粉状淤泥颗粒（0.05~0.005毫米）含量一般可为70~75%左右。

这里要提出的是：好粘土不一定能拌出好的泥浆。测定泥浆的指标主要是：

1. 比重：即泥浆和同体积水的重量比。泥浆比重大，扩散半径就小，同时也容易引起泥浆漏失。一般灌孔隙小的土基，比重用1.2~1.3，灌孔隙大的可用到1.4左右。经验证明：一立方米浆液中若含粘土量达30%时，比重约为1.2，含粘土量10%时，比重约为1.07左右。

2. 粘度：即泥浆的流动性。一般是用500毫升泥浆经过直径为5毫米圆孔的流过时间来测定的。比重在1.2~1.4时，粘度以20~30秒为宜。当然灌微渗透的地层，粘度要小（如16~20秒）；灌极强烈渗透地层，粘度则要大（如30~80秒；相应比重为：1.4~1.7）。

3. 稳定性：即泥浆静止24小时后，分别对其上、中、下三层沉淀各测其比重。若比重相差较大，说明粘粒均匀性差，大者下沉比重大，细者上浮比重小，因而稳定性不好。一般要求上、下两层比重差不大于3~4%，稳定性单位是克/厘米³。

4. 失水量：即粘土浆液中的固体颗粒，在受到土层孔隙中土粒磨阻与沉淀而被留下来，但浆液中之水随压力及地下水作用被析出来。这种离析作用叫泥浆的析水性，被析出的水量则称为失水量。测量失水量时，把泥浆放在100毫升的器皿中，在一个大气压下，经过30分钟后，过滤出来之水体积，即称失水量为多少立方厘米。砂砾地基灌浆中，失水量小些好，一般要求不大于50立方厘米；但在土层或土坝中灌浆，则要加快析水，故一般要掺化学剂。

5. 静切力：即静态泥浆刚开始流动时所需的最小力，其单位为克/厘米²。根据经验，浆液静切力在17~30克/厘米²为宜。

一般在野外查勘料场时，实践经验证明，凡具如下特性之粘土，一般即可制浆：

- 1) 具有高度的抗断性能；
- 2) 破碎时，形成坚固而尖锐的边；
- 3) 大多数情况是，甚至是小块土用手也不易捏开；
- 4) 用刀切时，其切面很光滑，颜色比表面深，润湿时有粘性感，可搓成直径不小于4毫米细长条而不断裂。总之，一般能用于烧陶瓷砖瓦的粘土，大部分均可用于灌浆。

当遇见粘土质量不好时，也可加入4%左右的硷，进行拌和，以改善泥浆质量。

第三节 沥青灌浆材料

沥青是碳氢化合物或其非金属派生物的复杂的胶质组织，可全部或部分溶于二硫化碳、三氯乙烯、四氯化碳等有机溶剂，常温下呈固态或粘稠态，加热融化，冷却凝固，但一般并不改变其原来性质。

沥青灌浆一般采用标准的石油沥青，在 20°C 时，其比重约在1.0左右，在 160°C 时，经过5小时的蒸发后，重量损失一般不超过1%，其着火点应不低于 $200\sim 230^{\circ}\text{C}$ ，不含水分或含水量不大于 $0.2\sim 0.5\%$ 左右。但这些标准不是一成不变的，随具体灌浆的条件不同，最好作相应的试验而定。

沥青并不与水或土发生任何化学反应，故沥青灌浆实质上是用沥青机械地填塞孔穴或缝隙，沥青冷却后即可立即承受压力水作用。其化学性能稳定，可用于渗流速很大的地方，同时沥青灌浆可随便间歇多少时间而后再灌。不过热沥青灌浆设备比较复杂，在灌注过程中也要保持其溶液状态。冷沥青灌浆设备简单，只要使沥青的粘度不大于水的 $4\sim 15$ 倍左右就可流进各小裂隙中去，关键在于拌制好沥青浆。

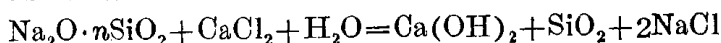
拌制沥青浆是由专门的“分散器”将沥青捣成细粒，并按一定比例与水掺合。为防止沥青捣成细粒后又重新结合，可适当加入各种肥皂、石灰或其他能起泡沫的乳剂，这种乳剂能起一种表面依附作用，浓缩在沥青表面，形成薄膜，使细粒沥青不致结合。拌制好的沥青可放几个星期不凝固。灌注时与水泥灌浆类似，但不能采用分段钻孔灌浆法，因为实际上是不能在沥青中钻孔的，使用压力也不能超过 $3.5\sim 4$ 个大气压，否则容易胀破岩石或浆液冒出而影响灌注质量。

沥青灌浆多用于半岩性粘土及胶结较差的砂岩或岩性不坚有集中渗漏裂隙等处。在有侵蚀性水的地方，或在其他灌浆方法难于解决的条件下，可考虑沥青法灌浆。但须指出：沥青浆在水下卵石层内，并不能与表面光滑的卵石凝结牢固，这一点已为系统的实验所证实。

第四节 化学灌浆材料

化学灌浆材料种类繁多，一般以水玻璃类用得较广。其他还有铬木素类、丙烯酰胺类、树脂类等等。

一般常用的化学灌浆是将硅酸钠（ $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ）和氯化钙（ CaCl_2 ）两种溶液轮流注入土中，在化学作用下，分解出氧化硅的胶体，它将土粒包围起来，凝结成整体，不仅起防渗作用，还能提高基础强度。其化学反应式如下：



水玻璃 氯化钙 水 氢氧化钙 硅酸凝胶 食盐

水玻璃是由很多种化学原素所组成的碱性硅酸盐。狭义的水玻璃是指硅酸盐、钠盐或钾盐，或者这些金属的复合盐。水玻璃有固态、液态及含水的水玻璃，它除了可加固地基外，也用于地下水流速较大处的止水灌浆，不过其性能较脆，且价格较贵。在堵漏中，一般多掺合水泥浆，成为水泥水玻璃灌浆。如401工程围堰是在流水中下钢围圈，用抛石注浆混凝土的方式施工的，在堵漏中局部范围曾用水泥水玻璃灌浆，收到一定效果，其浆液制备为：

1. 原材料：

水泥：500号普通新鲜水泥；

水玻璃：浓度为43°波密，将混杂的机油杂质打捞干净

的洁净液体;

缓凝剂: 磷酸氢二钠, 不得含杂质。

2. 浆液配制: 采用浆体体积30%水玻璃, 水占浆体体积20%, 水泥浆占浆体体积50%, 其水灰比用0.6:1; 磷酸氢二钠掺量分四级: 0; 0.5公斤; 1.3公斤; 1.9公斤(每100公升浆液); 灌浆浆液胶凝时间为四级: 5分钟; 4分钟; 3分钟; 2分钟。据实验: 每100毫升浆液, 磷酸氢二钠掺量与胶凝时间关系如表1。

表 1 磷酸氢二钠的掺量与胶凝时间的关系

水 玻 璃 浆 50 (毫升)					
水玻璃 (毫升)	水 (毫升)	磷酸氢二钠液 (毫升)	磷酸氢二钠 (克)	水 泥 浆 (毫升)	胶凝时间
30	20	0	0	50	2'16"
30	14.6	5.4	0.54	50	3'16"
30	6.6	13.4	1.34	50	4'17"
30	1.2	18.8	1.88	50	5'00"

注: 配制50毫升的水泥浆, 其水灰比为0.6:1, 用水泥53.7克, 用水32.2克。

表 2 丙烯酸酯化学灌浆的配方

材 料 名 称		作 用	用量(%)	附 注
A 液	丙烯酸酯	主 剂	5~20	用量是以浆体总重量的百分数计算: 浆液浓度一般为7~15%, 常用10%; 氯化亚铁也可用硫酸亚铁代替
	甲亚基双丙烯酸酯	交联剂	0.2~1	
	二甲胺基丙腈	还原剂	0.1~1	
	氯化亚铁	促凝剂	0~0.05	
	铁氰化钾	阻凝剂	0~0.05	
B液	过硫酸铵	氧化剂	0.1~1	

近些年来，我国在发展丙烯酰胺类灌浆取得不小成绩。丙烯酰胺化学灌浆所用的材料主要由下列化学剂配合而成：丙烯酰胺、甲亚基双丙烯酰胺、二甲胺基丙腈、过硫酸铵等。根据我国丹江口大坝灌浆的实践经验，表2的配方是可行的（表中材料与水混合成一定浓度浆液）。

表2中若用甲醛36~40%的溶液代替交联剂甲亚基双丙烯酰胺；用三乙醇胺代替二甲胺基丙腈，这样配制的溶液，基本上与丙凝是一样的，而甲醛比甲亚基双丙烯酰胺价廉得多，容易买到；三乙醇胺有商品出售，毒性较小，无特殊奇臭，用以代替二甲胺基丙腈也较恰当。

浆液配制的方法是这样的，先称取一定量的丙烯酰胺固体，然后将甲醛溶液（每20克丙烯酰胺加一毫升36~40%的甲醛溶液）倒入固体，搅匀后放置15分钟，按照需要的配方，再加一定量的三乙醇胺，用水溶解即可供用。如果丙烯酰胺用水溶解，再加入甲醛溶液，就需要放置更长一点时间。

丙凝灌浆过程中，不象水泥灌浆那样逐级改变浆液比重，而是在满足技术要求与经济条件下，选定一个浓度，其范围一般为7~15%；个别情况下也有用到20%的。在地下水位以下的深孔灌浆中，若流动水的流速、流量较大而无法排干时，浓度可考虑为12%左右，对风钻孔灌浆时一般采用10%。在特别微细的裂缝中，需提高浓度时，在采用10~15公斤/厘米²的压力下，浓度用15%左右为宜。

实践证明：丙凝灌浆材料有很多优点，如：

- 1) 粘度低：与水差不多，凡能渗水处，基本上浆液就可进去，一般0.2毫米的裂缝可灌入；
- 2) 不怕水：有水处浆液仍能胶结好；
- 3) 聚合速度快，聚合条件容易控制：如不加附加剂一