

化学灌浆技术在防水补强工程中的应用

叶林宏¹, 冼安如², 何泳生²

(1.广州科化防水防腐补强有限公司, 广东 广州 510070 ; 2.中国科学院广州化学研究所, 广东 广州 510650)

[摘要]简要介绍了化学灌浆技术和化学灌浆材料的分类和作用及水电、交通、建筑、采矿四大行业中存在的需防水、补强处理的各种情况及常选用的化灌浆材; 阐述了性能优异的“中化-798 化灌浆材”的先进之处。

[关键词]化学灌浆; 防水; 补强; 材料性能

[中图分类号]TU572

[文献标识码]A

[文章编号]1002-8498(2005)S0-0151-03

Application of Chemical Grouting Technology in the Project Waterproofing and Strengthening

YE Lin-hong¹, XIAN An-ru², HE Yong-sheng²

(1. Guangzhou Kehua Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510070, China ;

2. Guangzhou Institute of Chemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou, Guangdong 510650, China)

Abstract: This paper briefly introduced chemical grouting technology, and classification and function of grouting materials, also introduced waterproofing and strengthening various circumstances and often selecting chemical grouting materials exists in four trades of the hydropower, communication, architecture and the mining. Moreover excellent specific properties of “Zhonghua-798 chemical grouting material” are given in this paper.

Key words: chemical grouting; waterproofing; strengthening; materials property

化学灌浆就是用泵等压送设备将化学浆液按设计工艺灌入软弱地层或岩石裂缝或混凝土裂缝、缺陷处, 使其就地聚合胶凝或固化, 以达到增加地层强度、修补混凝土裂缝与缺陷、堵水防渗的目的。化学灌浆技术, 包括化学灌浆材料、灌浆设备和施灌工艺。运用化学灌浆技术处理现代土建工程中经常遇到的地基加固、裂缝补强、堵水止漏、帷幕防渗工程中的难题, 都可以获得满意的解决, 并可达到省工、省时、节约投资的目的。因此, 化学灌浆技术已成为防水加固工程中一项不可缺少的重要技术。

1 常用的化学灌浆材料

化学灌浆技术的精髓在于化学灌浆材料。化学灌浆材料作为一种特殊类型的防水材料还必须具备其他防水材料所不具备的特性: 在灌注前都是真溶液, 在配制或泵送过程中发生化学反应, 在处理部位凝胶或固化, 其凝胶或固化时间视工程需要可通过浆材配方设计进行调整控制, 生成的凝胶体或固化物自身不渗水, 还必须具备收缩性小、耐久性好的性能特点。常用的化灌浆材按化学属性可分为无机类和有机高分子类, 按其功能和用途可分为堵漏防水型和加固补强型。

(见表 1)。

表 1 常见的两大类型化学灌浆材料

类型	堵漏防水型	加固补强型
常用浆材	丙烯酰胺	环氧树脂
	丙烯酸盐	油性聚氨酯
	聚氨酯	甲基丙烯酸甲酯
	水玻璃	水玻璃
	木质素	

然而 2 种类型的化学灌浆材料的功能并非绝然分开。第 1 种类型中的水玻璃, 亦可单独或与水泥混合作要求强度较低的土基的补强材料; 聚氨酯中的油性聚氨酯也可用于非结构性的混凝土裂缝补强; 而少数的改性环氧灌浆材亦具有止水补强功能, 但由于价格较水玻璃、水泥-水玻璃贵, 工程上不把它单独作为一种堵水材料用。所以, 在实际应用中, 必须在能

[收稿日期]2005-09-28
[作者简介]叶林宏(1942—), 男, 四川荣县人, 广州科化防水防腐补强有限公司董事长兼经理, 研究员, 广州先烈中路 80 号汇华大厦 2605 号 510070, 电话: 13802531115

满足设计要求的前提下选择符合环保要求、施工方便而又较经济的化灌浆材。

我国对化学灌浆材料的研究起步较晚,始于 20 世纪 50 年代末,最早的研究集中在中国科学院广州化学所和水电部的长江科学院、水利水电科学研究院;60 年代中期中科院广化所首先取得突破,研制出丙烯酰胺和甲基丙烯酸甲酯浆材,在水电工地现场试验取得成功并在多个电站和成昆铁路隧道工程中应用;70 年代不少研究单位和大专院校投入了化学灌浆材料的研究。80 年代中期,中科院广化所研制的“中化-798 化学灌浆材料”在安徽陈村、四川二滩、青海龙羊峡等水电工程的现场试验均取得成功,打破了国内外公认的渗透系数 $K = 10^{-6} \text{cm/s}$ 的软弱地层是化学灌浆禁区的说法;1987 年在龙羊峡进行施工性试验取得成功并在龙羊峡大规模应用又取得成功,开创了用化学灌浆方法原位加固大坝基础低渗透性软弱岩土以替代传统的开挖回填方法的先例,受到来现场参观的国际大坝执委会外国专家们的一致赞誉,该项浆材成果评价为国内外领先水平。同在龙羊峡大规模使用的还有水溶性聚氨酯 LW。21 世纪初,长江科学院研制的 CW 改性环氧化学灌浆材料和丙烯酸盐及华东院的 LW 和 HW 浆材在三峡大坝成功应用^[1],总用量达 570t,创下了单个大坝高分子化学灌浆材料用量的最高纪录。

综上所述,我国化学灌浆材料的研究和应用,虽起步晚,但发展快,国外已有的化学灌浆材料品种,我国都有。在处理水电大坝低渗透软弱基础的浆材方面,我国还处于领先地位。目前,我国化学灌浆材料的研究已着重于环保化和价格低廉材料的研究。由于我国在基本建设方面的持续高速增长,我国已成为使用化学灌浆材料最多的国家之一。但是,与如此大的市场需求极不相适应的是我国化学灌浆材料的商品化程度非常低,也没有各种化学灌浆材料的国家标准和行业标准及地方标准,甚至不少企业也没有制定自己的企业标准,这就是我们的落后方面,对扩大化学灌浆材料的应用是非常不利的。

2 化学灌浆在防水加固工程中的应用

虽然化学灌浆材料也属防水材料的一种类型,但其具有其他防水材料不具备的堵水、防渗、水中固化补强加固的特殊功能,因而化学灌浆在我国 20 世纪 60 年代才发展起来的新技术在四大行业的应用越来越广泛,成为土建工程中不可或缺的重要技术。

2.1 化学灌浆在水电工程中的应用

我国水电行业用化学灌浆进行堵水和裂缝补强起步较早,但对化学灌浆原位加固的可靠性争论直到 20 世纪 80 年代末龙羊峡大坝大规模应用中化-798 原位

加固处理坝基取得成功后才得到肯定,从而大大地推动了化学灌浆技术在水电工程中的应用;接下来在李家峡、故县大坝、三峡、小浪底等一大批在建中的水电大坝工程中得到了应用,为大坝建设缩短了工期、节省了投资、提高了工程质量,因而现在在建的水电大坝工程或多或少都会用到化学灌浆技术。

化学灌浆技术在水电大坝的应用集中在 4 个方面:与水泥灌浆结合,构筑大坝基础的防渗帷幕、保护大坝基础;对中风化或微风化的岩体进行加固补强,减少开挖、回填;对已建成的混凝土坝体产生的裂缝进行修复补强;对大坝基础下深埋的断层破碎带和泥化夹层进行加固补强,避免开挖回填,这一类的工程对化灌浆材的要求最高。

2.2 化学灌浆在交通行业的应用

化学灌浆在交通行业的推广应用是在 20 世纪 60 年代地成功的解决了成昆铁路隧道开挖中常遇到的岩石突水。当时,成昆铁路是穿越隧道最多最长的一条铁路,在穿越大小凉山的岩石隧道开挖爆破后,常遇到岩石裂缝大量喷水的情况,其他手段都难止水;采用堵水型丙烯酰胺化学灌浆材料,灌入后可在几秒钟至几分钟内聚合凝胶将水堵住,解决了这一工程难题。目前,化学灌浆技术在交通部门的应用主要在以下方面:

(1)隧道开挖中通过断层破碎带或淤泥地层时采用超前灌浆法预注浆临时加固土(岩)体,避免坍塌,开挖衬砌后再回填灌(水泥)浆。灌浆材料多选用水玻璃或水泥-水玻璃混合浆材。隧道开挖中遇到岩石裂缝突水时,现在一般不选用上述的丙烯酰胺(因丙烯酰胺有毒性,在日本和欧美已禁用),而改用丙烯酸盐或水玻璃类材料。

(2)桥梁或道路的基础加固,大量使用水玻璃或水泥-水玻璃材料加固。去年广东灌浆岛公司用于路桥基础加固的水玻璃就达 2000 多 t。

(3)桥梁和隧道混凝土结构的裂缝补强,因要求力学强度高、耐久性和耐腐蚀性好,基本上选用改性环氧树脂类化灌浆材,非结构面的补强也有选用强度低于环氧的聚氨酯类浆材。

(4)地铁隧道混凝土洞壁裂缝或盾构管片接缝,因为均在地下水位以下,有缝就有水漏出,所以这类工程的处理既要求化学灌浆材料有止水的性能,又要求有优良的力学性能、耐水、耐腐蚀性能及收缩性小并具有一定韧性,还要具有优异的渗透性,在有水的情况下能渗入微细的混凝土裂缝并固化,达到止水补强的目的。对这类工程的处理,首选的是改性环氧材料(对运行区间段的裂缝也有选用聚氨酯类材料的),但这类改性环氧材

料中满足上述要求的浆材并不多。港口、码头和沉管式过江隧道的裂缝补强，也多采用这类改性环氧浆材。

2.3 化学灌浆在建筑行业的应用

化学灌浆在工业与民用建筑中主要是作为修补手段来处理建筑物的缺陷。如地下室的墙体开裂或地面下沉，又如建筑物的梁、柱、楼面开裂或浇注缺陷产生的空洞、蜂窝等，可选用的化灌浆材基本上为改性环氧类浆材。在做地下室基坑的挡土支护工程时，如已支护的基坑壁出现漏水，一般选用水玻璃材料来止水。对一些浇注质量不合格的大口径混凝土桩，完全可以用高渗透性改性环氧浆材来处理。在古建筑的修复补强和文物保护方面，大多采用甲基丙烯酸甲酯和改性环氧类化学灌浆材料。

2.4 化学灌浆在采矿行业的应用

化学灌浆在采矿业中的应用与隧道开挖中化灌处理的情况相近似，大多属于堵水、加固与超前灌浆，所用材料也类似，以水玻璃为主，也有选用木质素类浆材的。在石油开采方面，中科院广化所与胜利油田合作在 20 世纪 70 年代开发了一种具有选择性堵水的材料——接枝共聚丙烯酰胺材料，注入油田后的凝胶体遇水膨胀、遇油则收缩，因此在采油过程中能顺利地把油采出而大量的水则留在地层中。

3 中化-798 灌浆材料

上述的中化-798 化学灌浆材料大规模在龙羊峡电站大坝应用成功之后，我们申请到国家自然科学基金和广东省自然科学基金的课题，对该浆材的反应机理和浆液的渗透机理进行了深入研究，弄清了浆材主要成分间相互反应的反应速率及生成物对固结体性能的影响，弄清了影响浆液渗透性的主要因素^[2]，这对帮助我们改进浆材配方发挥了指导作用，也使我们改进后的浆材在青海李家峡、河南故县大坝、广东清溪电站大坝、枫树坝、飞来峡及广州抽水蓄能电站、珠江隧道、广州地铁等重要工程中都取得成功现在生产的浆材已经是我们再次改进的中化-798 第三代浆材，现在正在四川金银台电站大坝、四川新都洞隧道、云南牛街河电站大坝和广州地铁工程中应用。

3.1 浆材的性能（见表 1、2）

表 1 物理性能				
相对密度	起始粘度/ (MPa·s)	表面张力/ (10 ⁻⁵ N/cm)	接触角	初凝时间/ h
1.03 ~ 1.080	2.5 ~ 12.5	38.4 ~ 40.8	15 ° ~ 39 °	8 ~ 72

表 2 渗透性能与胶砂体的力学性能					
渗透能力/ K=10 ⁻⁶ ~ 10 ⁻⁸	胶砂体的力学强度/ MPa				
	抗压强度	抗拉强度	抗劈强度	粘接强度	弹性模量
	50 ~ 80	7 ~ 20	20 ~ 40	5.8 ~ 6.7	(1-8) × 10 ³

3.2 浆材的使用范围

- (1)对水库大坝基础的断层破碎带和低渗透性(K=10⁻⁶cm/s)软弱泥化夹层的原位固结灌浆、加固、改性(变土性为岩性)，避免开挖回填，效果最为显著。
- (2)能对有渗漏水的裂缝进行灌浆堵水补强。
- (3)各种混凝土建筑物的梁、柱、墙、地面的细微裂缝的灌浆，使其整体强度得以恢复，起补强、防水作用，对桥梁、地下建筑、港口码头、机场跑道、水库坝体的裂缝和基岩裂缝的补强加固。
- (4)不合格混凝土桩和混凝土蜂窝缺陷的修复补强。
- (5)古建筑的木结构补强及危险建筑的补强修复(如古塔等)。

3.3 与同类材料相比独有的特点

- (1)保持优良的力学性能的同时，渗透性能更加优异，可灌入 K=10⁻⁶ ~ 10⁻⁸cm/s 的低渗透性地层中，也可灌入 0.006mm 的微细裂缝中。
- (2)配方调整后可将材料中的非活性稀释剂丙酮活化率进一步提高，使大部分丙酮分子参加了反应，从而进一步减小了固结体的收缩性，提高了固结体耐老化、耐腐蚀的性能。
- (3)在产品生产过程中加入的添加剂促进了丙酮和糠醛预先反应，从而化解了糠醛的毒性问题，使该材料在施工时更加符合环保要求，且固结体无毒、无污染。

- (4)浆材具有局部的亲水和整体的排水功能，因而不仅可以在有水裂缝施工，还可以在有动态水的裂缝施工，具有止水与补强双重功能。

4 结语

应加快化学灌浆材料的国家标准或行业标准的制定以及设计规范、施工规范和验收规范的制订，尽快提高化学灌浆材料的商品化程度。

参考文献：

[1] 蒋硕忠.建筑防水材料的重要成员——化学灌浆材料[J].中国建筑防水, 2005,(6).
[2] 叶林宏,等.论化学灌浆液与被灌岩土의 相互作用[J].岩土工程学报, 1994,(6).