

★科学家★

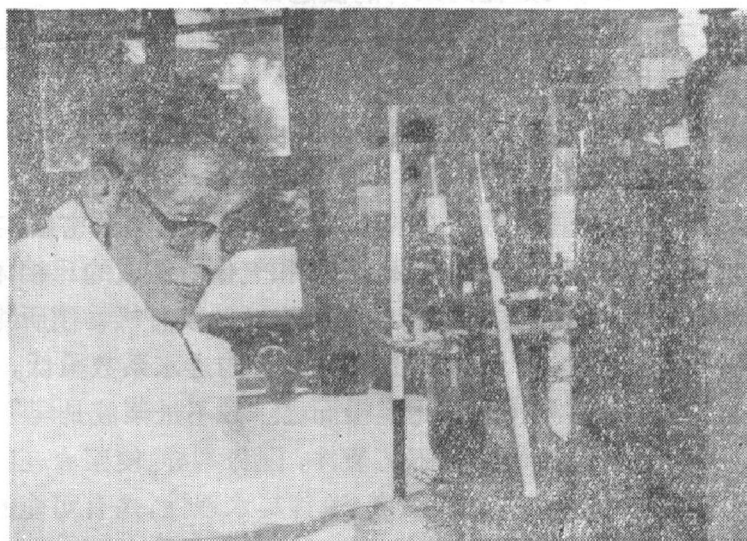
他制服了水库大坝的“癌症”

——记叶作舟研制化学灌浆新材料的事迹

吴 锦 辉

(广州化学研究所)

可用于软弱基础泥化夹层处理的中化-798 化学灌浆新材料，因其对水库大坝建设事业的卓越贡献，被中国科学院授予科技进步一等奖。



叶作舟在实验室

这个新材料是广州化学研究所的叶作舟及其助手们经过近十年苦战研制出来的。

叶作舟，高分子灌浆材料研究专家。生于 1916 年。1943 年毕业于浙江大学化学系，现任中科院广州化学所研究员。他长期从事化学灌浆材料的研究，对发展我国的化学灌浆事业作出了重大贡献。为表彰他对社会的贡献，1985 年被评为广东省特等劳动模范，中科院先进工作者。

早在 1959 年，他急国家之急，放弃自己熟悉的油脂及天然有机合成专业，转而研究国内尚属空白的化学灌浆材料。是他首先将研制成功的中化-656 化学灌浆材料用于丹江口水利枢纽大坝微细裂缝的处理，使大坝转危为安，经受了特大洪水的考验，至今完好无损，受到党和国家领导人的赞扬，并获 1978 年全国科学大会奖。

十年浩劫，他曾被迫停止了这一课题的深入研究工作。

四人帮被粉碎后，他以多病之躯重新开始这一课题的研究，向泥化夹层这个被人们称之为

水库大坝的“癌症”进军。他认为,我国是一个水力资源非常丰富的国家。大力发展水电事业,是我国一大优势。但由于地质条件复杂,特别是象泥化夹层这类深埋于地下的构造破碎带的存在,成为水库大坝建设的一个极大隐患。现在已建成大坝的陈村电站、二滩电站、龙羊峡电站以及凤滩电站等,都存在这类潜在危险。在软弱地层中又以粘土岩类泥化夹层的危害性最大,这是因为它的水理性质差,力学强度低,渗透性低,摩擦系数小,且埋藏于坝基深处,夹杂在坚硬岩石之间,给处理工作带来极大困难。对这类地层,以往工程上常采用开挖回填混凝土的办法处理,这不仅工作量大,投资多,施工期长,而且因为开挖后导致应力释放,将会发生大塌方或滑坡的危险。

能否用简单易行的化学灌浆方法进行处理呢?国外一些专家认为这是不可能的。而叶作舟则从多年的实际调查及采样试验出发,认为可以用化学灌浆方法进行治理。他提出了如下的设计构思:

1. 处理泥化夹层的关键问题是粘土岩经化灌后使其固结改性,而现有的灌浆材料都不能灌入渗透系数低于 10^{-6} cm/秒的粘土岩中;
2. 土质稳定剂研究的主攻方向是提高浆材的浸透性;
3. 浆材能向粘土粒子间浸透,是浆液的粘度、亲和性、表面张力三者综合作用的结果,灌浆压力和可灌时间也是重要的因素;
4. 必须赋予浆材以诱导、排气排水、置换、固结诸功能,这就是说浆材在粘土粒子间的浸透固结机制可概括为“导、排、置、固”四个字。

叶老是这样解释的:粘土的颗粒微细(0.005毫米以下),虽然致密结实,低渗透系数($k=10^{-6}$ cm/秒),但土是岩石的风化产物,是由固体、液体和气体所组成的三相体系,是矿物颗粒所组成的松散颗粒集合体,粘土间的固体部分由粘土矿物颗粒或有机物质所组成,这一部分构成骨架,骨架中布满许多孔隙,为液体、气体所占据。粘土的透水系数虽低,但只要有一定的压差,水在土中并非静止,只不过渗流速度极为缓慢而已。灌不进浆液是现象,而土体具有一定的间隙才是本质的东西。只要借助适当的工艺条件,因势利导,使浆液在粘土粒子间浸透,固结后形成疏水的固体整体,从而提高其力学强度,改善其水理性,是有可能的。

叶老提到,灌浆材料的粘度普遍地被当作判断浆材浸透性好坏的量度。有的人甚至说,浆液穿透地层的相对能力主要决定于它的相对粘度,事实并非如此。例如已知水溶性聚氨酯浆材的粘度为10厘泊左右,其浸透性却与丙烯酰胺浆材相近。甲基丙烯酸甲酯的粘度虽比水还低,但浸透性并不高。提高浆材浸透性的途径如仅着眼于粘度,就会限制人们的思路囿于狭小范围,妨碍技术路线的选择。粘度是影响浆液浸透性的重要因素,但不是唯一的因素。浆液的浸透性不仅取决于粘度,还取决于亲和性,表面张力等其它因素。对粘土来说,亲和性指的就是亲水性,不同的粘土矿物具有不同程度的亲水性,要使浆材在粘土粒子间浸透,必须具备亲水性。因它对粘土表面的湿润、内部吸收、粒子间的排水和毛细管作用密切相关。降低浆液的表面能力,有利于对粘土的润湿、扩展、浸透、吸收、排气排水等作用的发挥。

基于上述的构思,1975年进行系统的文献调查,1976年开始浆材的设计,1977年开始探索性工作,经比较分析,决定主攻呋喃-环氧树脂体系作为解决泥化夹层的土质稳定剂。其理由:改性环氧浆材是1966年在实验室研制成功的,解决了环氧树脂作为灌浆材料所必须具备的低粘度问题;提高了固化后材料的韧性,克服了脆性,改善了浆材的亲水性。至于原来存在

的放热量大和早期强度低等缺点正在不断加以改进，凝固时间长的缺点则正是处理泥化夹层必需具备的性能。这种材料最早（1966年）介绍给龙门石窟奉先寺卢舍那等诸佛象的加工修补工程，1967年发表后，在很短时间内，各经济部门都广泛地采用。水科院在1979年对18项采用过这种材料的工程进行了调查，发现此材料在用了12年之久后，也未见力学性能有明显衰变迹象。

在这个主体材料基础上，经过一系列室内外模拟试验，于1979年8月筛选出较理想配方，达到了预期效果，故这种材料被命名为“中化-798”。该材料除具有一般环氧浆材的力学性能优良、耐久性好、毒性低等优点外，更主要的是能灌入极低渗透性（ $k = 10^{-8}$ 厘米/秒）的泥化夹层并使其加固改性。浆材价格还低于一般环氧浆材。从1981年起，叶老带领他的助手与武警水电二总队同志一起，分别在陈村电站坝基 F₂ 断层、龙羊峡电站 G₄ 伟晶岩劈理带、二滩电站风化夹层等低渗透性地层（ $k = 10^{-6} \sim 10^{-8}$ 厘米/秒）进行现场试灌。灌后经多种现代方法测试所获得的大量宏观和微观资料及数据表明，对0.001毫米的粘土粒团间隙也有浆液充填，对各试区的构造破碎带岩体及其泥化夹层的岩体灌浆补强加固及改性、效果显著，能达到改善岩性、降低吸水率、提高变形模量和弹性模量，提高抗压、抗拉、抗剪强度的目的。各项测试结果均已达到或超过了设计单位提出的设计要求。如在龙羊峡电站 G₄ 劈理带地层中用中化-798浆材试灌后，岩芯获取率由零上升到98%，抗压强度达到243.5~354.2公斤/平方厘米，抗拉强度35.3~45公斤/平方厘米，抗剪强度 $c = 70 \sim 80$ 公斤/平方厘米， $f = 0.77 \sim 1.02$ （三轴试验测定值），大大超过设计部门提出的抗拉强度15公斤/平方厘米，抗剪强度20公斤/平方厘米的指标。1984年元月结束了三地四区的现场试灌工作。

龙羊峡水电站是我国目前发电能力最大的一个电站，装机容量为 4×32 万千瓦，是我国“六五”期间的重点工程之一。它的建成，对开发大西北和对下游防洪、农业灌溉等都有极其重大的意义。但因为 G₄ 劈理带的存在，给电站的建设带来许多困难。不处理不行，要处理，以往的传统方法又都行不通。为了按时完成蓄水发电的计划，水电四局的同志向水电部力荐用中化-798灌浆材料并签订了100米生产性施灌任务合同。由于广州化学所与武警水电二总队同志的紧密合作，顽强拼搏，克服了高原缺氧、寒冷以及疾病带来的种种困难，不断改革、完善施灌工艺，如期完成了生产性施灌任务，为余下地段的全面施灌争得了时间。从取出直径为42毫米，总长达1500毫米的岩芯情况看，灌浆结果是非常成功的。不但质量好，并且工期短、投资少。良好的施灌效果也吸引了来我国参加国际大坝会议的外国专家和学者，他们不辞劳苦专程到龙羊峡 G₄ 工地参观。专家们对取得这样好的结果，甚为赞佩，并说目前国外还达不到这样的水平。

这个被专家们肯定为国内首创，在世界上居领先地位的中化-798化灌新浆材以它那特优的浸透性和良好的力学性能闯开了泥化夹层这个禁区的大门，叶作舟和他的助手们终于制服了水库大坝的“癌症”。