

甲基丙烯酸酯类用于基岩固结 灌浆试验研究

谭 日 陞

(长江水利水电科学研究院, 武汉)

提 要

能否用有机化合物作基岩的固结灌浆材料,是我们研究化学灌浆的出发点之一。本文叙述了用甲基丙烯酸酯类化学灌浆材料,对一坝址石英闪长岩的弱风化带进行固结灌浆试验,通过试验所测得的岩石变形模量由 $26.3 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 提高到 $47.4 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$,静力弹性模量由 $29.6 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 提高到 $57.9 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$,声波速度 V_p 由 4894 m/s 提高到 5272 m/s ,单位吸水率 ω 由 $0.035 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$ 降低到 $0.012 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$,缝面的粘结强度由零提高到 13.4 kg/cm^2 。

一、引 言

建筑物及其基础的灌浆加固措施中,应用最广泛的灌浆材料是水泥,水泥的优点是价格低廉、货源广、施工工艺比较成熟,并且有100多年的应用历史^[1]。但是,水泥灌浆也有它的局限性。其一,被灌裂缝的开度必须大于水泥颗粒最大粒径的三倍;灌注孔隙时,被灌土的粒径必须大于水泥颗粒最大粒径的十倍。否则水泥浆灌不进^[2,3]。其二,水泥浆凝固后,与被灌体的粘结强度低,它对提高被灌体承受拉应力的能力不够理想。为此,我们设计了甲基丙烯酸甲酯加引发系统和相应的改性剂,灌入裂隙后,通过加聚反应,生成高分子化合物,对被灌体起固结补强作用。这一工作始于1960年,经过室内和现场的多次反复的试验,首先用于处理混凝土的干细裂缝获得成功。随后经过改进,用于处理有水的混凝土裂缝也获得成功^[4]。最近,我们用这种材料对一坝址进行了一次固结灌浆试验,效果较好。本文介绍这次试验的情况。

二、实 验

(一) 浆材配方及其主要性能

这次试验配方是1974年提出的8*配方,见表1。

浆材主要性能是:①浆液是一种粘度比水还小的真溶液。20°C时,水的粘度为1.00cP(厘泊),浆液的粘度为0.78cP。因此,它具有很好的可灌性,可以灌入细微裂隙。②在低温下(-19~-23°C)仍可聚合硬化,而且硬化时间可以控制。③硬化后强度高,而且增长很快。20°C水中养护3天的湿抗压强度可达 810 kg/cm^2 ,28天湿抗压强度可达 838 kg/cm^2 。④

表1 浆材配方

材 料 名 称	代 号	作 用
甲基丙烯酸甲酯	<i>MMA</i>	主 剂
丙 烯 酸	<i>AA</i>	亲 水 剂
对 甲 苯 亚 磺 酸	<i>TSA</i>	除 氧 剂
过氧化苯甲酰	<i>BPO</i>	引 发 剂
二 甲 基 苯 胺	<i>DMA</i>	促 进 剂

对大多数物质均有很好的粘结能力。灌注有水的混凝土缝,室内试验粘结强度达 $25.5\text{kg}/\text{cm}^2$,现场应用粘结强度达 $21.9\text{kg}/\text{cm}^2$ [4]。⑤硬化后结构稳定,耐久性好。

(二) 试验部位的地质特征

试验部位位于一平洞52.8m段试验支洞内。该支洞处于弱风化带,设计认为,如果固结灌浆能使弱风化带力学性能得到明显的改善,则能满足高坝对基础的要求,即弱风化带可免于开挖。试验支洞长12m,高1.8m,宽3m。

全洞主要为石英闪长岩,局部夹闪长岩或闪长玢岩质小包裹体,并有两处伟晶岩脉和一条花岗岩脉横穿试区,倾角分别为 52° , 55° 和 60° ,有的与围岩紧密接触,有的与围岩破碎接触。

洞内底板上有三条裂隙性断裂,倾角分别为 50° , $76^\circ\sim 80^\circ$, 80° ,宽度分别为7, 10, 5~10cm。有的由一组密集的张性裂隙组成,有的由一组不规则的裂隙组成,有的具分枝。沿断面风化宽度0.5~10cm不等。风化程度,有的为强风化状,有的为全风化状。有的有充填物。其充填物,有的已糜棱化,有的甚至泥化。

全洞测得裂隙126条。裂隙线密度3条/米,底板面积裂隙率为0.63%。其中高倾角裂隙106条,占84%;中缓倾角裂隙各10条,各占8%。无充填物的60条,占47.6%;有充填物的66条,占52.4%。其中充填绿帘石、绿泥石的6条,占5%。裂隙长度一般在3m以内。在126条裂隙中,具有风化现象的有42条,占裂隙总数的三分之一。其中有23条分布有全、强风化碎屑物,占裂隙总数的18%。

沿裂隙断裂面,有地下水渗出。

(三) 试 验 布 置

为评定灌浆效果,在试区内进行了静力法变形模量、弹性模量测定,声波速度测定,钻孔、压水、灌浆等工作。其顺序是:

开洞→地质素描→用静力法测变形模量和弹性模量→钻孔→压水→浇混凝土压浆板→洗缝→测声波速度→灌浆→扫孔→原位测声波速度→钻检查孔取岩芯→压水→清除压浆板→用静力法原位测变形模量和弹性模量。

灌浆前后岩石变形模量和静力弹性模量的测量,采用的是半无限体柔性垫板法。其作法是先将 $3\times 3\text{m}$ 范围内的爆破松动层清除并大致凿平,然后在试点中心处 $0.6\times 1.1\text{m}$ 范围内进一步凿平,并用砂轮磨光成一水平面。将两个 $50\times 50\text{cm}$ 的标准测力钢枕并排放置在试点岩石表面上(为使钢枕与岩石接触良好,先在岩石表面上涂一薄层水泥浆),其间距为6cm。通过 $50\times$

50cm的加压钢枕施加铅直压力。在两个测力钢枕之间的中心线上安装3个千分表,沿钢枕对称轴两侧各安装4个千分表,测量岩体表面的垂直变形,如图1所示。

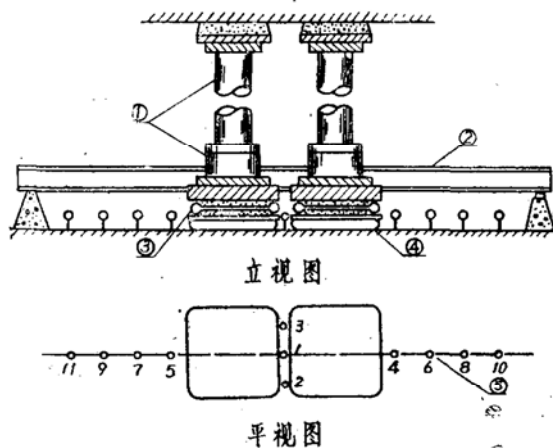


图1 半无限体柔性垫板法安装示意图

①传力系统; ②测杆; ③加压枕; ④测力枕; ⑤测点。

声波速度的测定采用SYC-2型岩石声波仪,收、发用35KC增压式换能器。

为了减少钻孔的工作量,波速测定孔同时兼作灌浆孔。由于所用声波的穿透能力有限,在洞内布置了三排22个孔,孔距排距均为1m,相邻两排错开呈梅花形。鉴于静力法测变形和弹性模量用的柔性垫板法影响深度为1.5m左右,故灌浆孔深为2.5m。为使灌浆孔穿过较多裂缝,孔的倾角为60°。灌浆孔的布置如图2。

灌浆按先四周后中间,先灌 ω 值大的,后灌 ω 值小的原则分序进行。灌浆时孔内填有岩芯,以减少孔容占浆量。用填压式、单液灌浆法,灌浆压力控制3~6kg/cm²。胶凝时间一般控制在50~100分钟,个别有外漏的孔,控制在20~30分钟。分批配浆,灌至孔内吸浆速度小于0.1l/min时结束。

灌浆使用的可控硅自动调速稳压化学灌浆泵系自行设计,排浆速度0~20l/min。

在22个灌浆孔中,有的孔在邻孔灌浆时串浆已堵死,也有的孔因单位吸水率小于0.001l/(min·m·m)而未灌,实际灌浆的是13个孔。

三、效果分析

试区内,灌浆前后工程地质和水文地质主要指标的变化如表2。

表2中的声波速度是5对钻孔对测的平均值。其中提高最多的由4960m/s提高到5800m/s,提高17%。粘结抗拉强度是对裂缝来说的,由于存在裂缝,因此灌浆前不存在粘结,抗拉强度为零。灌浆后通过钻孔取得岩芯进行直接抗拉,由于裂缝中被浆液充填后将有裂缝的岩石粘结成为整体(如图3),测得灌浆材料与岩石的粘结抗拉强度最大达22.5kg/cm²,平均为13.4kg/cm²。

表2表明,虽然试区内灌浆前变形模量和静力弹性模量已经较高, ω 值较低,表明裂隙

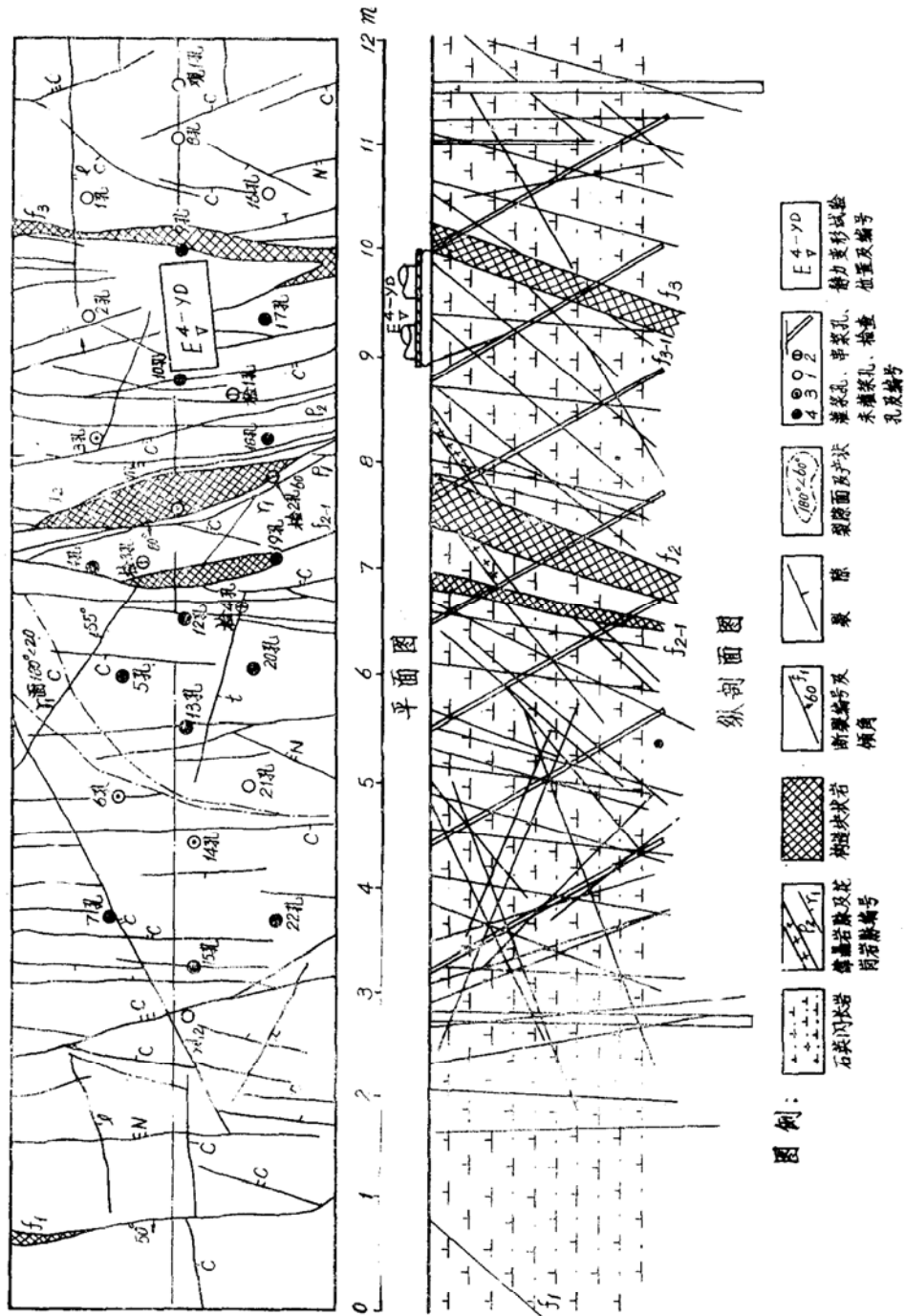


图2 灌浆孔布置图

表2 灌浆前后有关指标的变化

序号	技术指标	灌浆前	灌浆后	效果
1	变形模量 (kg/cm^2)	26.3×10^4	47.4×10^4	提高80%
2	静力弹性模量 (kg/cm^2)	29.6×10^4	57.9×10^4	提高96%
3	声波速度 V_p (m/s)	4896	5272	提高8%
4	动力弹性模量 (kg/cm^2)	53.4×10^4	62.4×10^4	提高17%
5	单位吸水率 $\omega(1/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}))$	0.035	0.012	降低66%
6	粘结抗拉强度 (kg/cm^2)	0	13.4	



图3 用钻机取出来的完整岩蕊照片

较少较细,灌后变形模量和静力弹性模量仍然有显著的提高, ω 值进一步降低。这是由于甲基丙烯酸酯类化灌材料,是一种粘度比水还小的真溶液,具有很好的可灌性和流动度,它不仅灌入大的裂隙,而且可以灌入很小的细微裂隙,同时这次试验使用的配方还有将裂隙表面的附着水替换并排挤出去的能力^[5],聚合硬化后有较高的抗压和粘结强度。从检查孔里取得的岩芯表面发现,只能用读数显微镜才能看清的发丝裂缝中,也充填有甲基丙烯酸酯类化灌材料的聚合物。

至于甲基丙烯酸酯类化灌材料和石英闪长岩及其风化物绿帘石、绿泥石等的粘结机理,笔者认为本征粘附和机械粘附同时存在。在石英闪长岩的裂隙面,除了普遍存在凹凸不平、表面粗糙之外,还有长度几毫米到一厘米以上的发丝裂缝和小的孔隙,甲基丙烯酸酯类化灌浆液渗入这些细微裂隙硬化后,被机械地镶嵌在裂隙中,颇似铆钉将岩石铆合,因此形成机械粘附。试验地区的石英闪长岩,主要是由斜长石(50~60%)、角闪石(10~20%)、石英(10~15%)和黑云母(10%)等矿物组成。石英闪长岩的化学组成主要是 SiO_2 ,约占61.59%;其次是 Al_2O_3 ,约占16.21%。绿帘石、绿泥石中 SiO_2 的含量也很高,都属于硅酸盐岩。因此,石英闪长岩及其风化物表面,在水中都显强极性,如图4所示。甲基丙烯酸酯类化灌浆液及其聚合物也含有极性基团,也是极性化合物。这样,甲基丙烯酸酯类化灌材料灌入裂隙聚合后,在形成的有机高分子与岩石表面分子之间,除了色散力之外,还将产生偶极-偶极键,其中羧基中的氢,还可以与岩石表面的氧形成很牢固的氢键,因此形成很强的本征粘附。

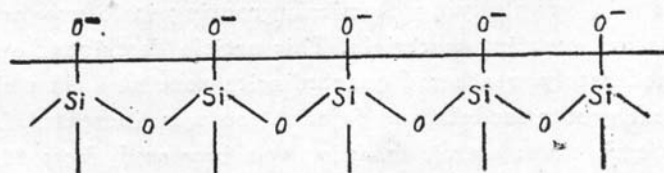


图4 硅酸盐岩在水中表面显极性示意图

试验系首次进行,缺少经验。为了减少试验工作量曾利用声波测试孔作灌浆孔,致使灌

浆孔太密;加之混凝土压浆板未能浇好,曾发生串浆和外漏等情况。为了减少串浆和外漏,灌浆时未能使用较高的灌浆压力,以致粘结强度和充填程度均未达到理想数值,扩散半径未能求出,经济效果的论述缺少定量的依据。如果使用较高的压力,粘结强度和充填程度都会提高和改善。

四、结 论

为使石英闪长岩弱风化带能作为坝基,采用甲基丙烯酸酯类化学灌浆材料进行固结灌浆处理,灌浆结果可使变形模量由 $26.3 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 提高到 $47.4 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$,静力弹性模量由 $29.6 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 提高到 $57.9 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$,声波速度 V_p 由 4894 m/s 提高到 5272 m/s ,动力弹性模量由 $53.4 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 提高到 $62.4 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$,单位吸水率由 $0.0351/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$ 降低到 $0.0121/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$,缝面的粘结强度由零提高到 13.4 kg/cm^2 。

甲基丙烯酸酯类化学灌浆材料用于石英闪长岩弱风化带固结灌浆,取得较好效果的主要原因,是由于甲基丙烯酸酯类化学灌浆材料是一种粘度比水还小的真溶液,可以灌入细微裂隙,同时还有将裂隙表面的附着水替换并排挤出去的能力,聚合硬化后有很高的力学强度,对石英闪长岩及其风化物绿帘石、绿泥石,能同时获得包括色散力、偶极-偶极键、氢键在内的本征粘附力和机械粘附力。石英闪长岩的化学成分与大多数重要的火成岩的化学成分,以及地壳中火成岩的平均化学成分比较接近。因此,甲基丙烯酸酯类化学灌浆材料,也适用于其他火成岩弱风化带的固结灌浆。

参 考 文 献

- [1] Grouts and Drilling Muds Engineering Practice, Butterworths (Symposium), London, 1963, p.1.
- [2] 国外水电技术,第4辑,水利电力出版社,1958年,第76~83页。
- [3] Howard, A. J., et al., Consulting Engineer (Load), Vol. 41, No.1, 1977, pp.49~51.
- [4] 化学灌浆技术,水利出版社,1980年,第151页,第262~265页。
- [5] 谭日升,在有水裂隙中提高化学灌浆效果的研究,水利学报,1981年第5期,第66~72页。

Experiments and Study on the Use of Methacrylate Chemical Grouts as Bedrock Consolidation Grouting Materials

Tan Ri-sheng

(Yangtze River Water Conservancy and Hydroelectric Research Institute, Wuhan)

Abstract

One of the points in our studying chemical grouting is to use organic compounds as bedrock consolidation grouting materials. This article describes how after consolidation treatment of moderately weathered quartzdiorite zone at a dam site by the use of methacrylate chemical grouts modulus of deformation was increased from $26.3 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ to $47.4 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$; static elastic modulus was increased from $29.6 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ to $57.9 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$; the speed of sound wave, V_p , from 4894 m/s to 5272 m/s ; and dynamic elastic modulus from $53.4 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ to $62.4 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$; unit water absorption ω was reduced from 0.035 l/min to 0.012 l/min and adhesive strength of fissure was increased from 0 to 13.4 kg/cm^2 .