

某水库电站厂房第三系砂岩固结灌浆机理浅析

孟大勇 惠寒斌

(岩土工程事业部工程公司)

〔摘要〕 根据某反调节水库电站厂房地基上第三系砂岩的形成环境和工程性质情况,针对砂岩的特点确定了固结灌浆方法和工艺,最后通过灌浆过程记录对固结灌浆机理进行了分析研究,为该工程地基处理方法的选择提供了较丰富的资料,对类似工程实践也具有较强的指导意义。

〔关键词〕 电站厂房 第三系砂岩 固结灌浆 灌浆机理

1 概述

某反调节水库是黄河中游某水利枢纽工程的配套工程,是以反调节为主,结合发电,兼顾供水、灌溉等综合利用的大型水利工程。设计正常高水位 134.00 m,坝顶总长度为 3122 m,总库容 1.62 亿 m^3 。其电站厂房坝段位于混凝土建筑物坝段的北侧,由 4 台发电机组及安装间组成,电站装机容量 140 MW。

电站厂房基础地基由一套上第三系极软岩(砂岩夹粘土岩、砾岩)组成,其中砂岩胶结差,具有第四系砂层的特点,承载力较低,严重影响基础的稳定性。为了提高砂岩的变形模量,增强地基的整体性,减少厂房基础的沉降量和差异沉降,决定对该地基进行固结灌浆试验研究。

2 第三系岩石形成环境及砂岩工程特性

该地区上第三系岩石为河湖相沉积,岩性由砂岩、粘土岩、砾岩组成,颜色较杂,以棕红色、紫红色、黄棕色为主,岩石岩性相变大,岩性分布无明显规律,粘土岩、砂岩、砾岩地层互层与交叉分布,说明在沉积过程中,由于沉积环境的局部变化造成了地层的互层和交叉。该岩石由于成岩时间短,大部分胶结较差,工程性质具有“非岩非土”,“似岩似土”的特点。

该反调节水库电站厂房基础地层持力层主要为上第三系粉细砂岩,夹粘土岩及砾岩薄层,该岩石成岩作用差、泥质未~微胶结,强度极低,具有密实状态砂的性质,其主要工程性质指标见表 1。

表 1 砂岩工程性质指标统计表

统计项目	质量密度 ρ (g/cm^3)	孔隙比 e	孔隙度 n (%)	饱和度 S_r (%)	透水性 (LU)	标准击数 N (击)	容许承载力 R (kPa)
最大值	2.10	0.565	36.1	93.2	98.4	40	350
最小值	2.03	0.438	30.4	74.5	60.8	25	300
平均值	2.06	0.501	33.3	85.0	83.5	32	320

3 固结灌浆方法及工艺

3.1 灌浆材料及浆液制备

本次灌浆浆材为纯水泥浆液,水泥采用河南渑池水泥厂生产的 42.5R 普通硅酸盐水泥。该水泥性能指标见表 2。

采用高速搅拌机(2800 r/min)制备水灰比 0.6:1 的浆液,然后再将该浆液送至低速搅拌机中,根据需要加水调制成灌浆所需浆液(1:1、0.8:1)。

3.2 灌浆方法及施工流程

本次灌浆试验采用孔口封闭自上而下纯压式灌浆方法。

灌浆单孔工艺流程为:钻孔—冲洗—置换泥浆—简易压水试验—灌浆—待凝—钻灌下一段。

3.3 灌浆段长的选择

由于本次为固结灌浆试验,灌浆深度较浅,灌浆地层为上第三系胶结不良的砂岩,考虑到固管的难

度和孔口管埋设的深度,每段灌浆长度一般不超过2.5 m。

3.4 灌浆压力

根据相关经验公式,结合地层情况,本次灌浆试验选用设计压力见表3。

表2 水泥性能指标表

测试项目	粉煤灰 (%)	比重 (g/cm ³)	比表面积 (m ² /kg)	细度 (%)	初凝 (时:分)	终凝 (时:分)	安定性 (煮沸法)	SO ₃ (%)	MgO (%)	烧失量 (%)	3 d 抗折强度 (MPa)	3 d 抗压强度 (MPa)
测试结果	12	3.1	350	1.0	2:10	3:05	合格	2.46	3.82	1.18	5.3	25

表3 灌浆压力设计表

灌浆方式	自上而下	
深度(m)	5.0~7.5	7.5~10
灌浆设计压力(MPa)	0.40	0.60

3.5 灌浆过程控制

为防止地层抬动破坏,灌浆过程中严格控制灌浆压力与灌浆注入率。注入率控制在20~30 L/min之间,若吸浆量较小(<10 L/min),可适当升高压力,压力每次提高幅度掌握在0.05~0.10 MPa,并注意观察地层的抬动。

灌浆过程采用GJY-Ⅲ型灌浆自动记录仪,该设备具有计量准确,操作简便,灌浆过程容易控制等优点。

3.6 浆液比级及变换

(1) 浆液比级

遵循浆液逐级变浓的原则,并结合地层的具体情况,水灰比采用1:1,0.8:1,0.6:1三个比级。开灌水灰比为1:1。浆液搅拌时间大于3 min,浆液自制备到用完宜少于4 h。

(2) 浆液浓度的变换。①当灌浆压力不变,吸浆量均匀减少时,或当吸浆量不变,压力均匀升高时,灌浆工作应持续下去,不得改变水灰比;②当某一比级浆液的灌入量已达300 L或灌浆时间达1小时,灌浆压力和吸浆量无明显改变时,应变浓一级浆液继续灌注;③当吸浆量大于30 L/min时,可根据实际情况适当越级变浓灌注;④当改变浆液水灰比后,如灌浆压力突增或吸浆量突减,应立即查明原因,进行处理;⑤灌浆过程中,制备好的每桶浆液应测试比重、粘度并做记录。

3.7 灌浆结束标准

达到设计压力,注入率小于1 L/min,持续30 min,灌浆可结束。

3.8 特殊情况处理

灌浆过程中,如发现地面冒浆或吸浆量很大

(>30 L/min),可采用降压限流法灌注^[1],控制流量小于30 L/min,若效果不显著,可采用间歇法灌注,间歇时间初定为10~30 min。当以上两种方法效果不显著,可闭浆待凝,待凝时间36~48 h。

3.9 灌浆过程

本次固结灌浆试验共完成了两孔四段,从灌浆过程得到:

(1) 灌浆过程中,存在一个临界压力,当灌浆压力小于此压力时,吸浆量很小或不吸浆,但灌浆压力大于该压力时,吸浆量突增。根据灌浆过程监控,第一段临界压力为0.3~0.4 MPa,第二段临界压力为0.4~0.6 MPa。

(2) 灌浆过程中,灌浆压力超过临界压力后,吸浆量突增,采取降压限流法灌注,效果不明显,说明存在一条或若干条浆液渗流的通道。

(3) 初灌时,地面冒浆严重,待凝36~48 h后复灌时,地面冒浆明显减少,复灌1~2次能达到结束标准。

4 灌浆机理浅析

对于岩土体灌浆,通常灌浆机理可分为渗透灌浆(灌浆压力较小)和劈裂灌浆(灌浆压力较大)^[2],下面对本次砂岩灌浆机理分析如下。

4.1 渗透灌浆

渗透灌浆是指压力作用下使浆液充填岩土体孔(裂)隙,排挤出孔(裂)隙中存在的自由水和气体,通过物理化学反应,浆液在孔(裂)隙中形成具有一定强度和低透水性的结石体,堵塞或充填孔(裂)隙,起到加固和防渗作用。渗透灌浆基本不改变原状土的结构和体积,所用的灌浆压力相对较小。这类灌浆一般只适用于中砂以上的砂砾土和宽大裂隙的岩石。

根据灌浆多年来的经验,岩土地层渗透灌浆的可灌性由两个重要因素决定,一个为岩土孔(裂)隙

的大小,一个为灌浆材料颗粒的粗细。利用经验公式 4-1,求取可灌比值 N ,可以定量确定地层的可灌性。

$$N = D_{15} / d_{85} \quad \text{公式 1}$$

式中: D_{15} ——根据土的颗粒分析试验,求得粒径级配曲线中 15% 的颗粒直径;

d_{85} ——根据浆液材料的颗粒分析试验,求得粒径级配曲线中 85% 的颗粒直径。

若 $N > 10 \sim 15$,表示地基土的可灌性好。

根据本次灌浆试验对象砂岩和灌浆材料水泥颗粒组成粒径累计曲线(见图 1),砂岩的 $D_{15} = 7 \mu\text{m}$,水泥的 $d_{85} = 35 \mu\text{m}$,将其代入公式 1 中可得砂岩的可灌比值 $N = 0.20$,远远小于 10,表明砂岩的可灌性很差,不属于渗透灌浆。

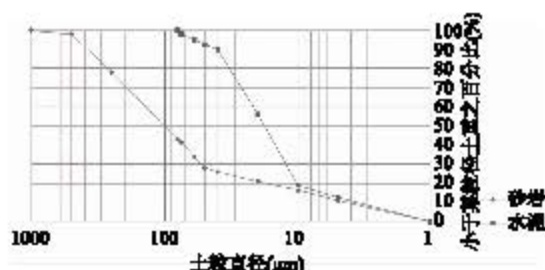


图 1 砂岩和水泥颗粒组成粒径累计曲线图

4.2 劈裂灌浆

劈裂灌浆是在钻孔中施加浆液压力作用于弱透水地基中,当浆液压力超过地基岩石的抗拉强度时,岩石体在浆液压力劈裂下,形成压力渗漏通道,导致吸浆量突然增加。孔内压力成为劈裂口处的浆液压力。随着浆液向远方渗流,浆液压力也越来越小,直至为零时才停止渗流。如果这时浆液压力有所增加,在液压对岩石体的压缩变形范围内,浆液或继续向远方发展,或另辟第二条劈裂途径,或另辟更多条劈裂途径,继续向远方劈裂,直至液压与劈裂阻力达到平衡时为止,在钻孔附近形成网状浆脉。劈裂面发生在阻力最小主应力面。

通过本次砂岩固结灌浆灌浆压力和吃浆量随时间变化曲线(见图 2)看出,劈裂灌浆共经过三个阶段。

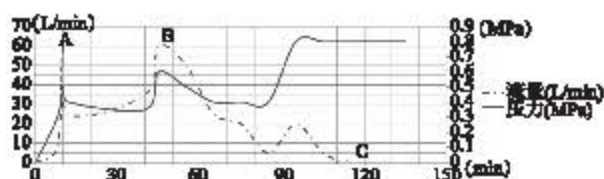


图 2 灌浆过程曲线图

(1) 压密阶段(O-A 段)

开始灌浆时,灌浆压力较小(小于岩石抗拉强度),不能劈裂地层,浆液聚集在注浆管孔附近,形成椭圆形浆泡,在灌浆压力对岩石体挤压作用下,岩石体产生塑性变形。如图 O-A 段,该阶段吸浆量小,压力增长快,时间短。

(2) 垂直劈裂流动阶段(A-B 段)

当灌浆压力超过岩石体的抗拉强度(劈裂压力)时,浆液在地层中产生劈裂流动,吸浆量突然增大,在降低压力后,吸浆量变化不大,当吸浆量达到一定值时,为避免浆液流经太远造成浪费,待凝 36 h 后复灌,如图 A-B 段。劈裂面发生在阻力最小的主应力面,根据岩体应力分布规律和特点,最大主应力为岩体垂直自重应力,由于泊松效应,最小主应力为水平应力,所以初始劈裂面是垂直的,这也是在劈裂后浆液沿劈裂面运动至地表,造成地面冒浆现象的原因。

(3) 水平劈裂流动阶段(B-C 段)

在待凝 36 h 后进行复灌,由于初灌时水泥浆液初凝具有一定强度,地层中大小主应力方向发生变化,水平主应力为最大主应力,最小主应力面为水平方向,这时需要更大的灌浆压力才能使砂岩沿水平向薄弱地带(水平层面)劈裂,出现第二个压力峰值,地层浆液注入率增加,随着浆液向远处渗流距离的增加,灌浆压力的传递能量也越来越小,直至为零时停止渗流,也就是达到结束标准,期间还可以多次水平向劈裂,造成地层的再次吸浆,如图 B-C 段,该阶段吸浆量明显增加,灌浆时间显著加长,地面冒浆也很少出现。

5 结语

该地区上第三系砂岩成岩时间短,胶结作用差,是一种介于岩石与砂之间的过渡地层,对其进行固结灌浆处理,灌浆机理为劈裂灌浆,劈裂过程分为压密、垂直劈裂流动和水平劈裂流动三个阶段,考虑不同阶段的灌浆特点,垂直劈裂流动阶段由于劈裂造成地面冒浆,应注意控制浆液总量,避免造成浪费,水平劈裂流动阶段是影响灌浆质量的重要阶段,应注意控制灌浆压力和吸浆量,尽量灌注更多的水泥浆液,以取得更好的灌浆效果。

参考文献

- [1] DL/T5148-2001,水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
- [2] 《地基处理手册》编写委员会.地基处理手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1988.278-287.