

# 水利水电工程灌浆施工技术控制过程的探讨

谢 盛

(江西省水利水电建设有限公司, 江西 南昌 330025)

**【摘要】** 随着水利水电工程施工技术的不断进步,人们对基础灌浆施工及技术控制等方面的要求也日益增强,更加注重多项指标参数的技术性分析及其与灌浆技术的互相适应性。本文结合水利水电工程灌浆施工技术的运用现状,从灌浆质量子系统控制、工程费用子系统控制及环境效应子系统控制等方面出发对水利水电工程灌浆施工技术控制过程进行相关探讨。

**【关键词】** 水利水电工程; 灌浆技术; 施工; 控制过程

中图分类号: TV543

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2017)08-0001-03

## Discussion on the control process of water conservancy and hydropower project grouting construction technology

XIE Sheng

(Jiangxi Water and Hydropower Construction Co., Ltd., Nanchang 330025, China)

**Abstract:** People's requirements on foundation grouting construction, technical control, etc. are also growing along with the constant progress of water conservancy and hydropower project construction technology. Technical analysis on many indicator parameters and its mutual adaptability to grouting technology are more focused. In the paper, the application status of grouting construction technology in water conservancy and hydropower projects are combined. The control process of water conservancy and hydropower project grouting construction technology are discussed from the aspects of grouting quality subsystem control, engineering cost subsystem control and environment effect subsystem control, etc.

**Keywords:** water conservancy and hydropower project; grouting technology; construction; control process

### 1 灌浆施工控制概述

水利水电工程基础灌浆施工技术是全面化、综合化技术的运用,在灌浆施工过程中既要考虑技术的整体性运用,又要结合地基的硬度、稳定性及抗渗性等实际情况,严格按照施工程序,实现工程既定目标。传统的水利水电工程灌浆施工控制理论(模型)只是从子结构范畴进行考虑,并未充分考虑系统因子,所以无法

解决计算精度与系统复杂程度之间的矛盾,而由于水利水电工程施工条件的限制,其施工过程要求灌浆施工控制理论与方法的最简化,即灌浆施工控制理论与技术的复杂性并不等同于精确性。

为了解决计算精度与系统复杂程度之间的矛盾,必须将灌浆工程视为若干子结构所构成的复杂系统,而灌浆施工控制理论则是求解该复杂系统所采用的方法与策略的统称,其既包括浆液在灌浆载体中渗流等

作用规律的理论表达、模型化及优化技术,又包括因果反馈与工程分析等环节。总之,必须采用最优化原则与工程分析相结合的方法进行整个系统的控制,而对于各子系统则可以采用浆液渗流理论及方法加以处理,整个灌浆系统的最优控制要求各子系统的最优解必须满足以下耦合方程:

$$\begin{cases} X_i = \sum C_{ij} Y_{ij} & i = 1, 2, 3, \dots, n \\ Y_i = H_i(X_i, U, M_i, a_i) & i = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases}$$

式中  $X_i$ ——进入  $R_i$  子系统的输入向量;  
 $Y_i$ ——退出  $R_i$  子系统的输出向量;  
 $C_{ij}$ ——耦合矩阵;  
 $U$ ——非调控的系统输入向量;  
 $M_i$ ——决策变量  $m$  的子向量;  
 $a_i$ ——模型参数向量  $a$  的子向量。

将灌浆系统最优化运行的分析与工程实际结合起来,将系统分析中所获得的最佳施工控制策略相关理论从工程的角度加以验证,并考虑模型运行中系统将发生的变化,并将新的变量重新输入灌浆系统模型进行反馈分析与验证并判别系统的稳定性。

## 2 灌浆质量子系统控制

灌浆质量子系统控制分为灌入能力、可塑性及强度特性等因素的控制,首先根据控制目标选择浆材,并结合灌浆定理预测可能的地质条件、浆材属性及施工工艺,而后在坝基或混凝土坝体等的渗流场进行反复试验,以求实现最优选择。灌浆定理主要包括尺寸效应定理、劈裂定向定理、劈裂判别定理和吸渗反应定理等。

### 2.1 尺寸效应定理

在渗透灌浆的情况下,浆材颗粒尺寸( $d$ )应小于接受灌浆的介质缝隙( $D_f$ )或孔隙尺寸  $R$ ,这便是浆材对孔隙的尺寸效应<sup>[1]</sup>。公式表示为

$$R = \frac{D_f}{d} > 1$$

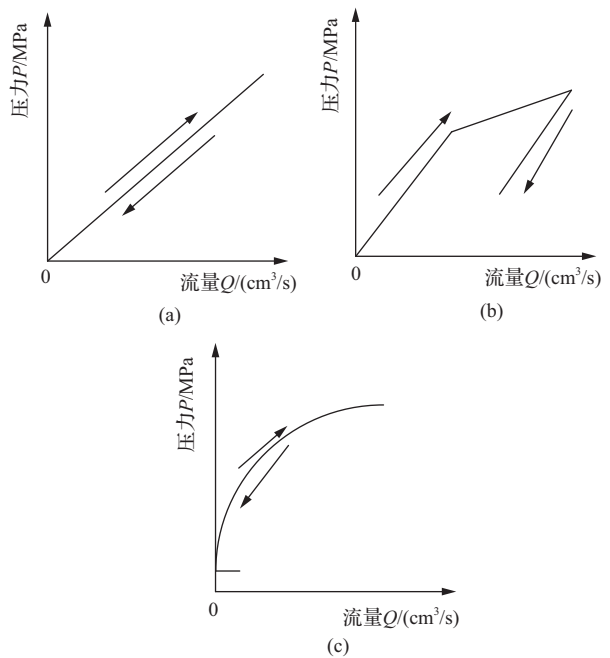
如果考虑群粒堵塞作用对灌浆缝隙(或孔隙)的累加影响,则上式也可以取等号。在粒状浆液情况下,其渗流形态既受到上述尺寸效应影响,同时也受到以

下流变效应的综合影响。

### 2.2 劈裂判别定理

通常采用数值法或曲线法进行灌浆载体性质的判别,并推求灌浆载体发生水力劈裂的条件。其中数值法的原理是分析钻孔水压试验结果,可能出现三种情况:流量与水头呈线性关系,则裂隙中的水表现为层流状态,灌浆载体不会出现水力劈裂;流量与水头呈二次方根函数关系,则裂隙中的水表现为紊流状态,灌浆载体的裂隙由于发生了阻塞而被压密;流量与水头呈正向变动关系且流量增长更快,则由于填充物增加而使裂隙变形进而导致渗流断面逐渐扩大。

曲线法的原理是根据钻孔水压试验结果,并通过绘制  $Q = f(P)$  曲线,判别劈裂的性质<sup>[2]</sup>。如下图所示,当  $P$  与  $Q$  呈线性关系,则灌浆载体未发生水力劈裂[图(a)],而随着压力的增大,流量的增加引起灌浆载体裂隙的塑性变形[图(b)],若流量增大是可逆的,则这种变形可能是弹性变形[图(c)]。



灌浆施工水压试验曲线示意图

## 3 工程费用子系统控制

在工程费用子系统中,必须实现灌浆净效益最大化及灌浆与施工控制费用的最小化,即在一定的施工

约束条件下,充分考虑工程施工控制工艺与方法的运用,并对全部灌浆系统进行科学管理、运筹帷幄,尽可能减少水利水电工程灌浆施工的负效益,实现最优解。

假设灌浆施工控制目标已知,要想实现最优策略下负效益最小化,则必须实行施工最优化控制,具体用公式表示如下:

$$M = F(X) = \min \left\{ \sum_{i=1}^m C_i(x_i) \right\} \quad x \in x_i,$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

并满足:

$$r_s - r(x_i) = 0$$

$$x_i^l \leq x_i \leq x_i^u$$

约束条件:

$$P > P_s$$

非负条件

$$x_i > 0$$

式中  $M$ ——灌浆施工费用,即工程负效益,元;

$X$ ——决策变量;

$C_i(x_i)$ ——负效益费用函数,其可能的情况参见表1;

$x_i$ ——影响负效益的决策变量;

$r$ ——浆液设计扩散半径,cm;

$r(x_i)$ ——浆液实际扩散半径,cm;

$P, P_s$ ——实际施工灌浆压力与设计灌浆压力,MPa。

表1 负效应费用函数情况

负效益分量	总效益费用函数 $C_i(x_i)$	决策变量 $X$	备注
浆材费用	$C_1(x_1) = R_1 C$	$X_1 = R_1$	$R_1$ 为材料费 $C$ 为工程总费用
灌浆施工费用	$C_2(x_2) = R_2 C$	$X_2 = R_2$	$R_2$ 为施工费用率
施工控制及环境监测费用	$C_3(x_3) = R_3 C$	$X_3 = R_3$	$R_3$ 为控制及监测费用
灌浆漏失损失	$C_4(x_4) = R_4 V$	$X_4 = V$	$R_4$ 为每立方米浆液费用 $V$ 为所估计的浆液漏失量

#### 4 环境效应子系统控制

环境效应评价因子主要包括气温、风速、温湿度、

降水量、地下水、水化学、有害气体、污染源、废渣、废液等,这些评价因子除了会对灌浆全过程产生不利影响外,还会对人类生命健康及环境等带来不利影响。关于环境效应控制质量指标体系详见表2。

表2 环境质量指标级别值划分

量化值	状 态				
	理想	良好	一般	较差	恶劣
范围值	8~18	6~8	4~6	2~4	0~2
代表值	9	7	5	3	1

为了计算质量指标与影响程度之间的定量关系,需要建立变量方程。令初始时间为0,评价时间为 $t$ ,灌浆施工的环境效应质量状态评分为 $E(t)$ ,未灌浆时间为 $E_1(t)$ ,灌浆时间为 $E_2(t)$ ,则灌浆施工所引起的环境质量变化用下式表示:

$$\Delta E(t) = E(t) - E(0)$$

在时间 $t$ 内,灌浆与未灌浆所引起的环境质量变化程度为

$$\Delta ER(t) = E_2(t) - E_1(t)$$

从时间动态角度,在时间 $[0, t]$ 内,灌浆施工对生态环境所可能带来的最大影响程度是使其质量最理想或最恶劣,即 $E(t) = 10$ 或 $E(t) = 0$ ,所以 $D(t) = 10 - E(0)$ 是正面影响(最有利影响)的限度值,而 $C(t) = 0 - E(0) = -E(0)$ 是负面影响(最不利)的限度值,则绝对影响程度 $I(t)$ 可以表示为

$$I(t) = \frac{10\Delta E(t)}{DR(t)} \quad (\text{正面有利影响})$$

或

$$I(t) = -\frac{10\Delta E(t)}{C(t)} \quad (\text{负面不利影响})$$

相对影响程度 $R(t)$ 为

$$R(t) = \frac{10\Delta ER(t)}{D(t)} \quad (\text{正面有利影响})$$

或

$$R(t) = -\frac{10\Delta ER(t)}{C(t)} \quad (\text{负面不利影响})$$

影响时效 $IT(t)$ 为

$$IT(t) = \int_0^t \Delta ER(s) ds$$

假设灌浆施工对环境质量变化 (下转第10页)

#### 4.9 钻杆提升、喷浆

当钻杆钻至桩底设计标高时,控制好摆喷和喷嘴的方向,通过限位器将旋转运动方式改为摆动方式后依次启动水、浆、空气的泵和空压机,按照高压喷射灌浆施工技术参数进行摆喷,当浆液返出孔口后向上提升摆动,这时控制钻杆每分钟提升20cm左右,摆动速度为每分钟10次左右,摆角 $30^{\circ}$ ,当钻头提至距桩顶设计标高1.0m左右时放慢提升速度,到达桩顶后静喷0.5min。在喷嘴结束喷浆后,将喷射器取出,用清水将喷头和机具冲洗干净,防止管路被泥浆堵塞。

#### 4.10 清除残渣余土

喷浆过程中不可避免的有一些少量泥浆被置换到沟槽内,应用人工或小型挖掘机将泥浆清理出来,防止泥浆发生硬化,影响后续施工。

### 5 施工注意事项

a. 水泥浆液要进行过滤处理,根据喷嘴直径要求分别在水泥浆液搅拌罐和泥浆泵吸浆管入口以及泥浆泵吸浆管尾部各设一道过滤网。

b. 在高压喷射注浆作业过程中,对水泥浆的进浆比重和回浆比重应不定时测量,确保水灰比偏差不超过0.1,若超过则停止供浆,待重新调制的水泥浆比重满足要求时再恢复作业,水泥浆的搅拌在注浆作业时不能停止<sup>[2]</sup>,随用随配,一次搅拌量宜为 $1.0\text{m}^3$ 。

c. 喷射作业应分两序施工,先喷射一序孔,后喷射二序孔,两序孔喷射间隔应大于24h,相同序孔的摆

(上接第3页)过程影响历时的长短及随时间变化的积累作用为影响时效,则其为灌浆施工过程对环境质量变化的时间积分值,单位为质量·年。

### 5 结论

综上所述,水利水电工程灌浆施工过程控制作为一个复杂的控制系统涉及到方方面面的工作,为了加强灌浆过程施工控制,必须从灌浆质量子系统控制、工程费用子系统控制及环境效应子系统控制等方面出

角相同。如果在喷射注浆作业时对喷射管进行拆卸或调整,重新喷射时相互之间的搭接长度需超过0.2m。

d. 施工过程中水、浆、气应连续不中断。若由于特殊原因中断时,迅速将高压喷杆下沉到停止供应位置以下0.4m左右,直到供应恢复正常后再边喷浆边提升,如果停止供应超过2.5h时,则用清水对输浆管路和供应泵进行清洗,防止发生堵塞<sup>[3]</sup>。

e. 注浆摆喷完成后,会有浆液不时冒出地面,这时应将冒出的浆液重新灌入喷浆孔内,直到浆孔内的浆液不再发生下降。当喷浆孔作业完成后,用清水将管路内的剩余浆液全部排尽,清洗钻杆等钻具设备,将喷杆架起。

### 6 结语

实践证明,采用高压摆喷防渗墙进行水库防渗,技术较成熟,受周围环境制约小,成本低,质量可靠,防渗效果明显,是一项在水库防渗工程中值得推广的水利工艺方法。◆

#### 参考文献

- [1] 卢正雷,孙德震,刘恩胜.高喷截渗墙在泵站工程基坑开挖中的应用[J].水利建设与管理,2011,31(2):30-32.
- [2] 张碧峰.高压旋喷灌浆施工技术的应用[J].甘肃水利水电技术,2004,40(2):160-161.
- [3] 成雷.水泥土搅拌桩截渗墙在明渠工程中的应用[J].东北水利水电,2016,34(8):19-21.

发,选择恰当的参数、控制手段及方法,切实保证灌浆施工工程各个环节的可控,提高水利水电工程灌浆施工工作效率。◆

#### 参考文献

- [1] 董炜,周升舟.水利水电工程灌浆施工技术[J].价值工程,2010(4):237-238.
- [2] 王昆华.水利水电工程灌浆施工技术的探讨[J].建材与装饰,2012(6):66-68.