



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108733109 B

(45)授权公告日 2020.03.20

(21)申请号 201810529169.4

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2018.05.26

G05D 27/02(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

(56)对比文件

申请公布号 CN 108733109 A

CN 104729786 A, 2015.06.24,

CN 204944978 U, 2016.01.06,

(43)申请公布日 2018.11.02

CN 204175211 U, 2015.02.25,

(73)专利权人 成都中大华瑞科技有限公司

CN 204832983 U, 2015.12.02,

地址 610031 四川省成都市金牛区九里堤

DE 3901013 A1, 1989.11.16,

南路50号

JP 3071402 B2, 2000.07.31,

专利权人 中国三峡建设管理有限公司

审查员 郝博

(72)发明人 蒋小春 樊启祥 孙志禹 李晶华

黄灿新 李果

(74)专利代理机构 成都市辅君专利代理有限公司 51120

代理人 刘冰心

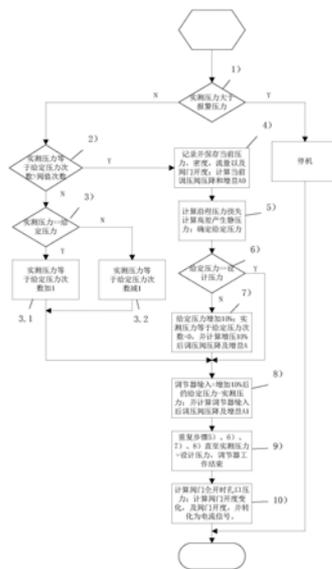
权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

灌浆压力波动程控方法

(57)摘要

灌浆压力波动程控方法,在灌浆管路中增设分流阀、灌浆孔口压力传感器和微控制器。首先按压力管路确定计算孔口压力函数式,顺次确定非线性、线性、线性小信号、简化小信号等孔口压力数学模型,得到含孔口给定压力、增益A、PI调节器、检测孔口压力等的程控压力原理信息框图,最后编写压力控制流程图和进行压力控制;或增加与压力同时控制的流量控制。在压力流程中采用给定压力和检测压力比较,按10%递增,用调节器输入使两者相同直至检测压力等于设计压力。本发明压力波动控制方法不仅解决了现有人为控制易出错,质量控制难;且在乌东德电站左岸780进行帷幕灌浆实验证明,设计压力6.0MPa,图中所示,压力波动控制很好。且微控制器运算负荷很小。用于水电站灌浆工程压力自动控制。



CN 108733109 B

1. 灌浆压力波动程控方法, 具有灌浆及管路系统; 其特征是, 包括下列步骤:

一. 配置程控压力波动需要的装置: 包括

1) 在灌浆及管路系统中, 灌浆泵 (3) 与进浆流量传感器 (5) 间设与密度传感器 (4) 返浆密度桶连通的分流阀 (4m); 孔口压力传感器 (7) 设在灌浆孔 (6) 孔口; 灌浆泵选用三柱塞往复泵; 2) 设微控制器, 灌浆及管路系统中各传感器信号线接微控制器输入接口; 调压阀控制信号线接微控制器输出接口;

二. 确定非线性孔口压力数学模型, 其步骤如下:

1) 确定灌浆孔计算孔口压力 P_{hole} 函数式, 由上述配置有程控压力波动需要的装置的灌浆及管路系统, 得到

$$P_{hole} = P_{valave} + P_0 + P_{pipeline} + \rho gh \quad \text{公式<1>}$$

公式<1>中 $P_{pipeline}$ 、 P_{valave} 、 ρgh 、 P_0 分别为管路压降、调压阀压降、高度差静压力和调压阀后压力, 其中 P_0 很小, 忽略为零;

2) 确定管路压降 $P_{pipeline}$ 的函数式

$$P_{pipeline} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2} = \lambda \frac{8\rho L Q^2}{\pi^2 D^5} \quad \text{公式<2>}; \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1.8 \log_{10} \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} \right)^{1.111} \right] \quad \text{公式<3>}$$

$Re = \frac{\rho v D}{\nu}$ 公式<4>; 由公式<2>、<3>、<4>, 可获得:

$P_{pipeline} = f(v, \rho, Q)$, 管路压降 $P_{pipeline}$ 为动力粘度 ν 、浆液密度 ρ 、浆液流量 Q 的函数; 其中 ν 为时变参数; 管路沿程阻力系数 λ 是非线型函数;

3) 确定调压阀压降 P_{valave} 的函数式:

$$P_{valave} = \xi \frac{\rho v^2}{2} = \xi \frac{8\rho Q^2}{\pi^2 D^4} \quad \text{公式<6>}; \quad K_v = Q \sqrt{\frac{\rho \Delta P_0}{\rho_0 \Delta P}} \quad \text{公式<7>}; \quad \xi = \frac{\Delta P_0 \pi^2 D^4}{\rho_0 8 K_v^2} \quad \text{公式<8>}$$

①首先由阀门厂商给定的流量系数 K_v 及流量特性间接获得公式<7>中 K_v ; 然后将 ΔP_0 和 ρ_0 设为常数简化后, 获得公式<8>中的阀门局部阻力系数 ξ ;

②确定调压阀为等百分比调压阀时的阀门局部阻力系数 ξ :

$$Q_{(l)} = Q_{min} \left(\frac{Q_{max}}{Q_{min}} \right)^{\frac{l-l_{min}}{l_{max}-l_{min}}} \quad \text{公式<9>}; \quad \xi = \frac{\pi^2 D^4 \Delta P}{8 Q_{(l)}^2 \rho} \quad \text{公式<10>}; \quad \xi = \frac{\pi^2 D^4 \Delta P'}{8 Q_{(l)}^2 \rho'} \quad \text{公式<11>}$$

公式<9>为流量特性曲线关系式, 联立解公式<7>、<8>、<9>, 可得不同开度下 ξ 公式<10>; 简化公式<10>成为公式<11>;

③最后确定出调压阀压降 P_{valave} 与阀门开度间的函数关系式:

将公式<9>代入公式<11>, 再将获得的公式<11>的 ξ 代入公式<6>, 便确定出调压阀压降与阀门开度间的函数关系式为:

$$P_{valave} = \Delta P' \frac{Q^2}{Q_{(l)}^2} \frac{\rho}{\rho'} = \Delta P' \left(\frac{Q}{Q_{min}} \right)^2 \frac{\rho}{\rho'} R^{\frac{2(l_{min}-l)}{l_{max}-l_{min}}} \quad \text{公式<12>}$$

上公式<12>中 $R = Q_{man}/Q_{min}$ 为调压阀的可调比; Q_{man} 、 Q_{min} 分别为阀门最大流量、最小流量; l_{man} 、 l_{min} 分别为阀门最大开度、最小开度;

4) 确定静压力 $P_h = \rho gh$: 公式<13>浆液密度 ρ 是时变参数;

5) 确定非线性孔口压力数学模型:

由上述1)-4)步骤确定的孔口压力三个函数公式<2>、<12>、<13>,再加上延迟环节 $e^{-\tau t}$,便形成非线性孔口压力数学模型;

三. 确定线型小信号孔口压力数学模型:

1) 设公式<4>中动力粘度、流速V为常数,由公式<2>获得管路压降 P_{pipeline} 仅为自变量浆液密度和流量Q的函数,称管路压降 P_{pipeline} 线型函数;

2) 由公式<12>确定的调压阀压降 P_{valave} 按泰勒级数分解为下列公式<14>:

$$P_{\text{valave}} = \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{\text{min}}} \right)^2 R^2 \frac{l_{\text{min}} - l_0}{l_{\text{max}} - l_{\text{min}}} - \frac{2 \ln R}{l_{\text{max}} - l_{\text{min}}} \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{\text{min}}} \right)^2 R^2 \frac{l_{\text{min}} - l_0}{l_{\text{max}} - l_{\text{min}}} (1 - l_0) \quad \text{公式<14>}$$

由上述管路压降 P_{pipeline} 线型函数、公式<14>的调压阀压降 P_{valave} 、公式<13>静压力,便形成线型小信号孔口压力数学模型,此模型中 Δl 为阀门开度的变化;

四. 确定简化小信号孔口压力数学模型:

1) 将公式<2>的管路压降 P_{pipeline} 线型函数和公式<12>的调压阀压降代入公式<1>,并设阀门开度为 l_0 时,获得计算孔口压力 P_{l_0} ,见下述公式<15>:

$$P_{l_0} = \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{\text{min}}} \right)^2 R^2 \frac{l_{\text{min}} - l_0}{l_{\text{max}} - l_{\text{min}}} + \rho Q^2 \frac{8 \lambda L}{\pi^2 D^5} + \rho g h \quad \text{公式<15>}$$

2) 确定开度为 l_0 时的阀门压降A;见下列公式<16>

$$A = - \frac{2 \ln R}{l_{\text{max}} - l_{\text{min}}} \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{\text{min}}} \right)^2 R^2 \frac{l_{\text{min}} - l_0}{l_{\text{max}} - l_{\text{min}}} (1 - l_0) \quad \text{公式<16>}$$

3) 将公式<15>确定的 P_{l_0} 和公式<16>确定的A放入线型小信号孔口压力数学模型中,便获得简化小信号孔口压力数学模型;

五. 构建程控压力原理信息框图;

根据简化小信号孔口压力数学模型,通过实验的方法对参数进行整定; $P_{\text{hole-set}}$ 设为微控制器程序中对孔口的给定压力;调节器为程序中设定的PI调节器;增益A取为1; P_{hole} 设为由孔口压力传感器(7)检测出的孔口实测压力;便构建出程控压力原理信息框图;

六. 确立灌浆压力控制流程图,并进行压力控制;压控步骤如下:

1) 判定实测压力 P_{hole} 是否大于报警压力:若是,停机;若不是,进入压控步骤2);

2) 判定实测压力等于给定压力的次数是否大于阈值次数;若不是,进入压控步骤3);若是,进入压控步骤4)

3) 判定实测压力是否等于给定压力:若是,进入压控步骤3.1);若不是,进入压控步骤3.2);

3.1) 增加实测压力等于给定压力次数后;进入到压控步骤8);

3.2) 减少实测压力等于给定压力次数后;进入到压控步骤8);

4) 记录并保存当前压力、密度、流量和阀门开度,计算当前调压阀压降 P_{valave_0} 和增益 A_0 后;进行压控步骤5);

5) 计算沿程压力损失 P_{pipeline} ;计算高差产生的静压力 $\rho g h$,确定给定压力 $P_{\text{hole-set}}$ 后,进行压控步骤6);

6) 判定给定压力 $P_{\text{hole-set}}$ 是否等于设计压力P,若是,进入压控步骤8);若不是,进入压控

步骤7)；

7) 给定压力增加10%，实测压力等于给定压力的次数=0；并计算增压10%后调压阀降压和增益A；

8) 调节器输入=增加10%后的给定压力--实测压力；并计算调节器输入后调节阀压力 P_{valave_1} 和增益 A_1 ；然后进入压控步骤9)

9) 重复步骤5)、6)、7)、8)，直到实测压力 P_{hole} 等于设计压力P；压力调节器工作结束；进入压控步骤10)；

10) 计算调压阀全开时，当前孔口压力 P_{10} ；计算阀门开度变化 $\Delta 1$ ；计算阀门开度10；并转化为电流信号。

2. 按权利要求1所述灌浆压力波动程控方法，其特征是

增设流量控制流程图，并与压力同时进行控制；流控步骤如下：

①判断进浆流量—返浆流量是否 $>30L/mm$ ：若否，进入流控步骤④；若是，进入流控步骤②；

②判断返浆流量是否 $>$ 最小返浆流量：若是，则进入流控步骤③；若否，进入流控步骤⑤，然后再进入流控步骤①；

③减小孔口压力；

④压力控制流程；

⑤开限流阀。

灌浆压力波动程控方法

[0001] (一) 技术领域: 本发明灌浆压力波动程控方法, 涉及灌浆单元机系统的计算机编程控制方法。用于水电站灌浆工程中的工程计量和质量监控。属容量、流量测量类 (G01F)。

(二) 背景技术:

[0002] 灌浆是水利水电工程的一项基础处理工程, 是地基加固和防渗处理的重要手段。灌浆是指以一定的压力将水泥、砂浆等物质灌入电站水坝的堤岸、地基等岩石缝隙中, 以提高岩石性能, 起加固和防渗的效果。在灌浆过程中, 浆液需要以一定的压力灌入岩石缝隙中, 根据灌浆部位以及岩石参数等的不同, 灌浆压力在0MPa到6MPa之间变化。

[0003] 现有水电站传统灌浆记录系统总布置见图1: 为了检测向灌浆孔8n内灌入浆液的流量、密度、压力及地面抬动等数值并进行记录, 制浆桶1n通过底部出口灌浆管路2n中顺次设灌浆泵3n、密度传感器4n、进浆流量传感器5n、灌浆孔6n、抬动传感器8n、压力传感器7n、回浆流量传感器10n、然后送回到制浆桶。五个传感器分别通过各传感器电信号线4.1n、5.1n、7.1n、8.1n、10.1n与远处的灌浆自动记录仪12n传感器接头连接, 将各传感器检测数据送到记录仪, 再用打印机13n打印出灌浆施工记录表, 供业主观看, 使之了解和掌握灌浆施工质量。压力传感器和回浆流量传感器间管路上设有高压电动阀门7n。灌浆自动记录仪按需要可设声光报警器14n。其中, 灌浆泵3n、压力传感器7n、高压电动阀门11n和报警器14n等构成了上述传统的压力控制系统。

[0004] 上述传统的压力控制过程完全采用手动的方式: 见图1, 现场工作人员根据压力传感器7n读数, 手动调节高压电动阀门11n, 使灌浆压力稳定。这种传统手动压力控制, 不仅存在控制精度差, 稳定性差, 费时费工; 且在高压情况下, 压力波动幅度大; 可能造成安全事故等问题。

[0005] 中国实用新型专利公开的<智能灌浆压力控制系统> (ZL201520403137.1) 对传统压力控制系统进行了改进: 增设变频器、单片机等解决传统灌浆泵大压力恒定功率输出造成的能量浪费等。但没有完全解决灌浆压力波动不稳定及带来灌浆质量不高和安全隐患等问题。

(三) 发明内容

[0006] 本发明提供的灌浆压力波动程控方法, 目的是解决传统灌浆系统人工调压精度差、稳定性差、费工费时; 并导致灌浆孔中灌浆压力波动不稳定, 灌浆质量不高, 以及整个管路系统安全事故的发生。

[0007] 技术方案如下:

[0008] 灌浆压力波动程控方法, 具有灌浆及管路系统; 其特征是, 包括下列步骤:

[0009] 一. 配置程控压力波动需要的装置: 包括

[0010] 1) 在灌浆及管路系统中, 灌浆泵3与进浆流量传感器5间设与密度传感器4返浆密度桶连通的分流阀4m; 压力传感器7设在灌浆孔6孔口; 灌浆泵选用三柱塞往复泵; 2) 设微控制器, 灌浆及管路系统中各传感器信号线接微控制器输入接口; 调压阀控制信号线接微控

制器输出接口；

[0011] 二.确定非线性孔口压力数学模型,其步骤如下:

[0012] 1)确定灌浆孔计算孔口压力 P_{hole} 函数式,由上述配置有程控压力波动需要的装置的灌浆及管路系统,得到

$$[0013] \quad P_{hole} = P_{valave} + P_0 + P_{pipeline} + \rho gh \quad \text{公式<1>}$$

[0014] 公式<1>中 $P_{pipeline}$ 、 P_{valave} 、 ρgh 、 P_0 分别为管路压降、调压阀压降、高度差静压力和调压阀后压力,其中 P_0 很小,忽略为零。

[0015] 2)确定管路压降 $P_{pipeline}$ 的函数式:

$$[0016] \quad P_{pipeline} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2} = \lambda \frac{8\rho L Q^2}{\pi^2 D^5} \quad \text{公式<2>}; \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1.8 \log_{10} \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} \right)^{1.111} \right] \quad \text{公式<3>}$$

[0017] $Re = \frac{\rho v D}{\nu}$ 公式<4>;由公式<2>、<3>、<4>,可获得:

[0018] $P_{pipeline} = f(\nu, \rho, Q)$,即管路压降 $P_{pipeline}$ 为动力粘度 ν 、浆液密度 ρ 、浆液流量 Q 的函数;其中 ν 为时变参数;管路沿程阻力系数 λ 是非线性函数。

[0019] 3)确定调压阀压降 P_{valave} 的函数式:

$$[0020] \quad P_{valave} = \xi \frac{\rho v^2}{2} = \xi \frac{8\rho Q^2}{\pi^2 D^4} \quad \text{公式<6>}; \quad K_v = Q \sqrt{\frac{\rho \Delta P_0}{\rho_0 \Delta P}} \quad \text{公式<7>}; \quad \xi = \frac{\Delta P_0}{\rho_0} \frac{\pi^2 D^4}{8 K_v^2} \quad \text{公式<8>}$$

[0021] ①首先由阀门厂商给定的流量系数 K_v 及流量特性间接获得公式<7>中 K_v ;然后将 ΔP_0 和 ρ_0 设为常数简化后,获得公式<8>中的阀门局部阻力系数 ξ 。

[0022] ②确定调压阀为等百分比调压阀时的阀门局部阻力系数 ξ :

$$[0023] \quad Q_{(l)} = Q_{min} \left(\frac{Q_{max}}{Q_{min}} \right)^{\frac{l-l_{min}}{l_{max}-l_{min}}} \quad \text{公式<9>}; \quad \xi = \frac{\pi^2 D^4}{8 Q_{(l)}^2} \frac{\Delta P}{\rho} \quad \text{公式<10>}; \quad \xi = \frac{\pi^2 D^4}{8 Q_{(l)}^2} \frac{\Delta P'}{\rho'} \quad \text{公式<11>}$$

[0024] 公式<9>为流量特性曲线关系式,联立解公式<7>、<8>、<9>,可得不同开度下 ξ 公式<10>;简化公式<10>成为公式<11>。

[0025] ③最后确定出调压阀压降 P_{valave} 与阀门开度间的函数关系式:

[0026] 将公式<9>代入公式<11>,再将获得的公式<11>的 ξ 代入公式<6>,便确定出调压阀压降与阀门开度间的函数关系式为:

$$[0027] \quad P_{valave} = \Delta P' \frac{Q^2}{Q_{(l)}^2} \frac{\rho}{\rho'} = \Delta P' \left(\frac{Q}{Q_{min}} \right)^2 \frac{\rho}{\rho'} R^{\frac{2(l_{min}-l)}{l_{max}-l_{min}}} \quad \text{公式<12>}$$

[0028] 上公式<12>中 $R = Q_{man}/Q_{min}$ 为调压阀的可调比; Q_{man} 、 Q_{min} 分别为阀门最大流量、最小流量; l_{man} 、 l_{min} 分别为阀门最大开度、最小开度。

[0029] 4)确定静压力 $P_h = \rho gh$:公式<13>浆液密度 ρ 是时变参数。

[0030] 5)确定非线性孔口压力数学模型:

[0031] 由上述1)-4)步骤确定的孔口压力三个函数式公式<2>、<12>、<13>,再加上延迟环节 $e^{-\tau t}$,便形成非线性孔口压力数学模型。

[0032] 三.确定线型小信号孔口压力数学模型:

[0033] 1)设公式<4>中动力粘度、流速 V 为常数,由公式<2>获得管路压降 $P_{pipeline}$ 仅为自变量浆液密度和流量 Q 的函数,称管路压降 $P_{pipeline}$ 线型函数。

[0034] 2) 由公式<12>确定的调压阀压降 P_{Valave} 按泰勒级数分解为下列公式<14>:

$$[0035] \quad P_{Valave} = \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{min}} \right)^2 R^2 \frac{l_{min} - l_0}{l_{max} - l_{min}} - \frac{2 \ln R}{l_{max} - l_{min}} \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{min}} \right)^2 R^2 \frac{l_{min} - l_0}{l_{max} - l_{min}} (l - l_0) \quad \text{公式<14>}$$

[0036] 由上述管路压降 $P_{pipeline}$ 线型函数、公式<14>的调压阀压降 P_{Valave} 、公式<13>静压力,便形成线型小信号孔口压力数学模型,此模型中 Δl 为阀门开度的变化。

[0037] 四. 确定简化小信号孔口压力数学模型:

[0038] 1) 将公式<2>的管路压降 $P_{pipeline}$ 线型函数和公式<12>的调压阀压降代入公式<1>,并设阀门开度为 l_0 时,获得计算孔口压力 P_{l_0} ,见下述公式<15>:

$$[0039] \quad P_{l_0} = \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{min}} \right)^2 R^2 \frac{l_{min} - l_0}{l_{max} - l_{min}} + \rho Q^2 \frac{8 \lambda L}{\pi^2 D^5} + \rho g h \quad \text{公式<15>}$$

[0040] 2) 确定开度为 l_0 时的阀门压降 A ;见下列公式<16>:

$$[0041] \quad A = - \frac{2 \ln R}{l_{max} - l_{min}} \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{min}} \right)^2 R^2 \frac{l_{min} - l_0}{l_{max} - l_{min}} (l - l_0) \quad \text{公式<16>}$$

[0042] 3) 将公式<15>确定的 P_{l_0} 和公式<16>确定的 A 放入线型小信号孔口压力数学模型中,便获得简化小信号孔口压力数学模型。

[0043] 五. 构建程控压力原理信息框图;

[0044] 根据简化小信号孔口压力数学模型,通过实验的方法对参数进行整定; $P_{hole-set}$ 设为微控制器程序中对孔口的给定压力;调节器为程序中设定的PI调节器;增益 A 取为1; P_{hole} 设为由孔口压力传感器7检测出的孔口实测压力;便构建出程控压力原理信息框图。

[0045] 六. 确立灌浆压力控制流程图,并进行压力控制;压控步骤如下:

[0046] 1) 判定实测压力 P_{hole} 是否大于报警压力?若是,停机;若不是,进入压控步骤2)。2) 判定实测压力等于给定压力的次数是否大于阈值次数;若不是,进入压控步骤3);若是,进入压控步骤4)。3) 判定实测压力是否等于给定压力?若是,进入压控步骤3.1);若不是,进入压控步骤3.2)。3.1) 增加实测压力等于给定压力次数后;进入到压控步骤8)。3.2) 减少实测压力等于给定压力次数后;进入到压控步骤8)。4) 记录并保存当前压力、密度、流量和阀门开度,计算当前调压阀压降 P_{Valave_0} 和增益 A_0 后;进行压控步骤5)。5) 计算沿程压力损失 $P_{pipeline}$;计算高差产生的静压力 $\rho g h$,确定给定压力 $P_{hole-set}$ 后,进行压控步骤6)。6) 判定给定压力 $P_{hole-set}$ 是否等于设计压力 P ,若是,进入压控步骤8);若不是,进入压控步骤7)。7) 给定压力增加10%,实测压力等于给定压力的次数=0;并计算增压10%后调压阀压降和增益 A 。8) 调节器输入=增加10%后的给定压力—实测压力;并计算调节器输入后调节阀压力 P_{Valave_1} 和增益 A_1 ;然后进入压控步骤9)。9) 重复步骤5)、6)、7)、8),直到实测压力 P_{hole} 等于设计压力 P ;压力调节器工作结束;进入压控步骤10)。10) 计算调压阀全开时,当前孔口压力 P_{l_0} ;计算阀门开度变化 Δl ;计算阀门开度 l_0 ;并转化为电流信号。

[0047] 上述确立的灌浆压力控制流程图,并进行压力控制的压力波动的程控方法;此方法也可以增设流量控制流程图,流量与压力同时进行控制。流量控制流程图在后面结合附图详细说明。

[0048] 本发明有益效果:

[0049] 1) 通过本发明灌浆压力波动程序控制,解决了人为控制压力容易出错,经验性强,记录员水平参差不齐,质量控制难的问题。2) 本发明灌浆压力波动程控方法是首先确定<非

线性孔口压力数学模型>图3,然后第一步简化为<线型小信号孔口压力数学模型>图4,以线型小信号孔口压力数学模型建立的微控制器<程控压力原理信息框图>认为是稳态基础上的。但为了进一步减少微控制器运算负荷,本发明第二步简化为<简化小信号数学模型>图5来确定<程控压力原理信息框图>图6,这样可进一步减少微控制器运算负荷。但为了达到<线型小信号孔口压力数学模型>的稳态性能,第三步在计算程序上采用逐级递进增加给定压力。采用这种两步简化和逐级递进的程控方法,即减少微控制器运算负荷,又使其孔口压力试验结果的实测压力波动更符合线型小信号数学模型稳态性能。3) 本发明图7和图8所示流程图,完成灌浆压力及流量控制的程序。经在乌东德电站左岸780进行帷幕灌浆实验证明,设计压力6.0MPa,结果为图9所示的孔口压力P随时间t的变化,可以看出,压力波动控制很好。

(四) 附图说明

- [0050] 图1水电站传统灌浆记录系统总布置图。
- [0051] 图2本发明灌浆压力波动程控方法所需的灌浆循环回路布置示意图。
- [0052] 图3非线性孔口压力数学模型。孔口指灌浆孔孔口。
- [0053] 图4线型小信号孔口压力数学模型。
- [0054] 图5简化小信号孔口压力数学模型。
- [0055] 图6程控压力原理信息框图。
- [0056] 图7流量控制流程图。
- [0057] 图8压力控制流程图
- [0058] 图9乌东德电站完成本发明流量及压力控制后,实验获得的浆液密度C、注入流量Q和孔口压力P等随时间t的变化曲线(设计压力为6MPa)。

(五) 具体实施方式

- [0059] 实施例1:控制方法是流量和压力同时控制,压力控制包含对压力波动的处理。
- [0060] 本实施例1灌浆压力波动程控方法,具有的现有的灌浆及管路系统如下;见图2,包括:配浆罐或配浆桶1,其出浆口管路2顺次接灌浆泵3、进浆流量传感器5、灌浆孔6、孔口压力传感器7、抬动传感器8、通过管路9连接返浆流量传感器10、调压阀11、再通过管路11m接密度传感器4的返浆密度桶、最后由上方入口连通配浆罐或配浆桶1;形成使浆液流动的灌浆循环回路。
- [0061] 实现本发明灌浆压力波动程控方法,包括下列步骤:
- [0062] 一.配置程控压力波动需要的装置:包括
- [0063] 1) 见图2,在上述浆液循环回路中,灌浆泵3与进浆流量传感器5间设与密度传感器4返浆密度桶连通的分流阀4m;压力传感器7设在灌浆孔6孔口。灌浆泵3选用三柱塞往复泵。灌浆泵是整个系统动力源,工程上使用的是往复泵,其流量取决与工作腔容积变化值及单位时间内的变化次数,理论上灌浆泵流量与管道内压力无关。当使用三柱塞往复泵时,其流量波动系数很小,可以认为返浆流量传感器10是恒定的。分流阀4m用于在调压阀无法调节流量的情况下调节注入量。调压阀11用于调节管路压力。
- [0064] 2) 见图2,设微控制器12,浆液循环回路中进浆流量传感器5电信号线5a、压力传感

器7电信号线7a、抬动传感器8电信号线8a、返浆流量传感器10电信号线10a均接微控制器输入接口。调压阀11控制信号线11a接微控制器输出接口12.11。微控制器对各传感器数据进行采集、处理、存储、传送。

[0065] 二.确定孔口压力非线性数学模型(见图3),其步骤如下:

[0066] 1)确定灌浆孔计算的孔口压力 P_{hole} 的函数式,由上述配置有程控压力波动需要装置的浆液循环回路,得到:见图2

[0067] $P_{hole} = P_{valave} + P_0 + P_{pipeline} + \rho gh$ 公式<1>...其中

[0068] $P_{pipeline}$ —调压阀11与压力传感器7间的管路9上的沿程压力损失。简称管路压降。
 P_{valave} —调压阀压降。

[0069] ρgh —调压阀11与压力传感器7之间高度差 h 形成的静压力。

[0070] P_0 —调压阀后压力(即调压阀11与密度传感器4返浆密度桶入口间压差),按测试并分析, P_0 很小,可忽略为0。

[0071] 2)确定管路压降 $P_{pipeline}$ 函数式:

[0072] $P_{pipeline} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2} = \lambda \frac{8\rho L Q^2}{\pi^2 D^5}$ 公式<2> $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1.8 \log_{10} \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right]$ 公式<3>。

$Re = \frac{\rho v D}{\nu}$ 公式<4>。公式<3>是由计算圆管中紊流摩擦阻力系数的简明公式(Haaland)确定的。由公式<2>、<3>、<4>,可获得:

[0073] $P_{valave} = f(\nu, \rho, Q)$,即管路压降 P_{valave} 为动力粘度 ν 、浆液密度 ρ 、浆液流量 Q 的函数;其中 ν 为时变参数;管路沿程阻力系数 λ 是非线型函数。

[0074] 本实施例1对上面各函数式的确定,进一步举例说明:

[0075] 上述公式<2>、<3>、<4>中:还有 D 为管道直径, L 为管道长度, ϵ 为管道绝对粗糙度, v 为浆液流速。

[0076] ①动力粘度 ν (见公式<4>)是自变量水灰比 K 和配浆过程时间 t 变化的函数,由表1确定;表1

水灰比 K	不同时间粘度 ν (mPa · s)				
	t=0	t=10min	t=20min	t=30min	t=40min
0.75	7.51	9.08	10.56	12.89	15.3
1	3.68	4.51	5.94	8.02	10.15
1.5	1.74	2.40	3.75	4.97	6.59
2	1.45	1.66	2.21	3.17	4.46
3	1.30	-	-	-	-
6	1.15	-	-	-	-

[0078] 表1中若用公式表示 $t=0$ 时刻的粘度 ν_0 ,

[0079] 则 $\nu_0 = 2.469m^{-3.281} + 1.173$ 公式<5>公式<5>中 m 是分钟表示的时间。

[0080] 上述公式<2>、<3>、<4>和表1中:取 $t=0$ 时刻的粘度 ν_0 ;取管道绝对粗糙度 $\epsilon = 7\mu m$;取管道直径 $D = 25mm$;取管道长度 $L = 100m$;取浆液流速 $v = 70L/min$;便可确定出不同水灰比 K 、粘度 ν 、浆液密度 ρ 、沿程阻力系数 λ 下及管路压降 $P_{pipeline}$;见表2;表2

水灰比K	浆液粘度 ν	浆液密度 ρ	沿程阻力系数 λ	管路压降 $P_{pipeline}$
0.5	25.2mPa · s	1.82g/cm ³	0.0408	0.84MPa

1	3.68mPa · s	1.51g/cm ³	0.0257	0.44MPa
2	1.45mPa · s	1.29g/cm ³	0.0219	0.32MPa
3	1.30mPa · s	1.20g/cm ³	0.0217	0.29MPa
5	1.19mPa · s	1.13g/cm ³	0.0216	0.27MPa

[0082] 3) 确定调压阀11上压降P_{Valave}的函数式

[0083]
$$P_{valave} = \xi \frac{\rho v^2}{2} = \xi \frac{8\rho Q^2}{\pi^2 D^4} \text{ 公式<6>; } K_v = Q \sqrt{\frac{\rho \Delta P_0}{\rho_0 \Delta P}} \text{ 公式<7>; } \xi = \frac{\Delta P_0 \pi^2 D^4}{\rho_0 8K_v^2} \text{ 公式<8>}$$

[0084] ①因公式<6>中的阀门局部阻力系数ξ与阀门开度,结构,尺寸等有关,直接测量很复杂,所以这里首先由阀门厂商给定的流量系数K_v及流量特性间接获得公式<7>中K_v。流量系数表示一定状态阀门流过密度为ρ的液体时,当阀门压降为ΔP时的流量,K_v本身是一个无量纲系数。然后简化计算,取公式<7>中ΔP₀=101kPa=1bar,ρ₀=1000Kg/m³,流量Q的单位是m³/h;最后再联立解公式<6>和<7>求ξ,便获得公式<8>中ξ。

[0085] ②确定调压阀为等百分比调压阀时的阀门局部阻力系数ξ:

[0086]
$$Q_{(l)} = Q_{min} \left(\frac{Q_{max}}{Q_{min}} \right)^{\frac{l-l_{min}}{l_{max}-l_{min}}} \text{ 公式<9>; } \xi = \frac{\pi^2 D^4 \Delta P}{8Q_{(l)}^2 \rho} \text{ 公式<10>; } \xi = \frac{\pi^2 D^4 \Delta P'}{8Q_{(l)}^2 \rho'} \text{ 公式<11>}$$

[0087] 公式<9>为调压阀为等百分比调压阀时流量特性曲线关系式,联立解公式<7>、<8>、<9>,可得不同开度下ξ,结果见公式<10>;当公式<10>中ρ为测试流量系数时浆液密度,ΔP为测试流量系数时阀门压降;且取ρ=1000Kg/m³,ΔP=101kPa,公式<10>成为公式<11>。

[0088] ③最后确定调压阀压降P_{Valave}与阀门开度间的函数关系式:

[0089] 将公式<9>代入公式<11>,再将获得的公式<11>的ξ代入公式<6>,便确定出调压阀压降与阀门开度间的函数关系式为:

[0090]
$$P_{valave} = \Delta P' \frac{Q^2}{Q_{(l)}^2} \frac{\rho}{\rho'} = \Delta P' \left(\frac{Q}{Q_{min}} \right)^2 \frac{\rho}{\rho'} R^{2 \frac{l_{min}-l}{l_{max}-l_{min}}} \text{ 公式<12>}$$

[0091] 上公式<12>中R=Q_{man}/Q_{min}为调压阀的可调比;Q_{man}、Q_{min}分别为阀门最大流量、最小流量;l_{man}、l_{min}分别为阀门最大开度、最小开度。

[0092] 4) 确定静压力Ph=ρgh:公式<13>浆液密度ρ是时变参数。

[0093] 见图2,调压阀11与压力传感器7之间高度差h形成的静压力见表3

[0094] 表3

[0095]

水灰比K	浆液密度ρ	高程差h	静压力ρgh
5	1.13g/cm ³	30m	0.332MPa
3	1.20g/cm ³	30m	0.352MPa
2	1.29g/cm ³	30m	0.379MPa
1	1.51g/cm ³	30m	0.444MPa
0.5	1.82g/cm ³	30m	0.535MPa

[0096] 5) 确定非线性孔口压力数学模型:见图3

[0097] 由上述1)-4)步骤确定的孔口压力三个函数式公式<2>、<12>、<13>,再加上延迟环节e^{-τt},便形成非线性孔口压力数学模型。见图3。延迟环节是考虑阀门调节,密度变化都需要一定的过程。

[0098] 三.确定线型小信号孔口压力数学模型:见图4

[0099] 1) 设公式<4>中动力粘度、流速为常数,获得管路压降 P_{pipeline} 仅为自变量浆液密度和流量的函数,称为管路压降 P_{pipeline} 线型函数。此时认为压力控制稳定,波动较小。

[0100] 2) 由公式<12>确定的阀门压降 P_{valave} 按泰勒级数分解为下列公式<14>:

$$[0101] \quad P_{\text{valave}} = \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{\min}} \right)^2 R^2 \frac{l_{\min} - l_0}{l_{\max} - l_{\min}} - \frac{2 \ln R}{l_{\max} - l_{\min}} \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{\min}} \right)^2 R^2 \frac{l_{\min} - l_0}{l_{\max} - l_{\min}} (1 - l_0) \quad \text{公式<14>}$$

[0102] 由上述管路压降 P_{pipeline} 线型函数、公式<14>的阀门压降 P_{valave} 、公式<13>静压力,便形成线型小信号孔口压力数学模型图4。图4中 Δl 为阀门开度的变化。

[0103] 四.确定简化小信号孔口压力数学模型:见图5

[0104] 1) 将公式<2>的管路压降 P_{pipeline} 线型函数、公式<12>的调压阀压降代入公式<1>,并设阀门开度为 l_0 时,获得计算孔口压力 P_{l_0} ,见下述公式<15>:

$$[0105] \quad P_{l_0} = \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{\min}} \right)^2 R^2 \frac{l_{\min} - l_0}{l_{\max} - l_{\min}} + \rho Q^2 \frac{8 \lambda L}{\pi^2 D^5} + \rho g h \quad \text{公式<15>}$$

[0106] 2) 确定开度为 l_0 时的阀门压降A,见下列公式<16>:

$$[0107] \quad A = - \frac{2 \ln R}{l_{\max} - l_{\min}} \Delta P' \frac{\rho}{\rho'} \left(\frac{Q}{Q_{\min}} \right)^2 R^2 \frac{l_{\min} - l_0}{l_{\max} - l_{\min}} (1 - l_0) \quad \text{公式<16>}$$

[0108] (上述公式<16>中的A为公式<14>阀门压降 P_{valave} 中第二部分)。

[0109] 3) 将公式<15>确定的 P_{l_0} 、公式<16>确定的A放入线型小信号孔口压力数学模型中,便获得简化小信号孔口压力数学模型图5。

[0110] 五.确立程控压力原理信息框图,见图6。

[0111] 根据图5所示简化小信号孔口压力数学模型,通过实验的方法对参数进行整定;图6中: $Phole_set$ 设为微控制器程序中对孔口的给定压力;调节器为程序中设定的PI调节器;增益A取为1; $Phole$ 设为由孔口压力传感器7检测出的孔口实测压力;便构建出程控压力原理信息框图图6。其于符号见前述。

[0112] 六.确定灌浆压力波动程控流程图,并进行压力控制。见图7,图8

[0113] 本实施例1是采用简化小信号孔口压力数学模型(见图5),有压力和流量两个被控量。控制方法是流量和压力同时控制,压力控制包含对压力波动的处理。

[0114] (一)确立压力控制流程图,并进行控制;压控步骤如下:见图8

[0115] 1) 判断当前实测压力 $Phole$ 是否大于报警压力?若是,停机;若不是,进入压控步骤2)。上述实测压力 $Phole$ 为微控制器13中记录的孔口压力传感器7采集的检测数据,见图2、图6。

[0116] 2) 判断实测压力等于给定压力的次数是否大于阈值次数;若不是,进入压控步骤3);若是,进入压控步骤4);

[0117] 3) 判定实测压力是否等于给定压力?若是,进入压控步骤3.1);若不是,进入压控步骤3.2)。

[0118] 3.1) 增加实测压力等于给定压力的次数后;进入到压控步骤8)。

[0119] 3.2) 减少实测压力等于给定压力的次数后;进入到压控步骤8)。

[0120] 上述给定压力 $Phole_set$ 为由程控压力原理信息框图图6确定的微控制器程控中设定

的孔口压力。见图6。

[0121] 4) 记录并保存当前压力、密度、流量和阀门开度,计算当前调压阀压降 P_{valave_0} 和增益 A_0 后;进行压控步骤5)。

[0122] 4.1) 计算当前调压阀压降 $P_{valave_0} = P_{i0} - \rho_0 Q_0^2 \frac{8\lambda L}{\pi^2 D^5} - \rho_0 gh$ <公式 17>

[0123] 公式17>中:微控制器内记录当前检测的孔口压力 P_{i0} ,密度 ρ_0 ,流量 Q_0 是指调压阀全开时,微控制器记录的数据。

[0124] 4.2) 计算当前调压阀增益 A_0 为: $A_0 = -\frac{2\ln R}{l_{max} - l_{min}} P_{valave_0}$ 公式<18>

[0125] 5) 计算管路沿程压力损失(即管路压降) $P_{pipeline}$;计算高差产生的静压力 ρgh ,确定给定压力 $P_{hole-set}$ 后,进行压控步骤6)。

[0126] 5.1) 管路压降 $P_{pipeline}$ 由公式<2>、<3>、<4>联立解确定;静压力为 ρgh 。

[0127] 5.2) 给定压力 $P_{hole-set}$,由程控压力原理信息框图图6确定。

[0128] 6) 判定给定压力 $P_{hole-set}$ 是否等于设计压力,若是,进入压控步骤8);若不是,进入压控步骤7)。

[0129] 设计压力 P 是按灌浆孔现场地层情况和受力状态确定的所需的孔口压力。

[0130] 7) 给定压力增加10%,实测压力等于给定压力的次数=0;并计算增压10%后调压阀压降 P_{valave} 及增益 A 。

[0131] 根据设计压力 P ,在当前稳定压力的基础上给定压力增加10%;按程控压力原理信息框图,带入公式<17>得到调压阀压降作为前馈,然后再带入公式<18>得到当前增益 A ,并继续进行压力控制。

[0132] 8) 调节器输入=增加10%后的给定压力--实测压力后;进入压控步骤9)。

[0133] 记录增加10%后新的给定压力条件下孔口压力 P_{i1} 、密度 ρ_1 、流量 Q_1 ,并再按公式<17>计算调节器输入后调压阀压降 P_{valave_1} 和按公式(18)计算对应增益 A_1 。

[0134] 9) 重复步骤5)、6)、7)、8),直到实测压力 P_{hole} 等于设计压力 P ,压力调节器工作结束;然后进入压控步骤10)。

[0135] 10) 计算调压阀全开时,当前孔口压力 P_{i0} ;计算阀门开度变化 Δl ;计算阀门开度 l_0 ;并转化为电流信号。

[0136] (二) 确立流量控制流程图,并与上述压力同时进行控制,流控步骤如下:见图7,①判断进浆流量—返浆流量是否 $>30L/min$:若否,进入流控步骤④;若是,进入流控步骤②。(目的是保证灌浆孔吸浆量不大于 $30L/min$)。②判断返浆流量是否 $>$ 最小返浆流量:若是,则进入流控步骤③;若否,进入流控步骤⑤,然后再进入流控步骤①。③减小孔口压力。(减小灌浆孔吸浆量)。④压力控制流程。⑤开限流阀 $4m$ 。上述进浆流量、返浆流量分别为微控制器13中记录的进浆流量传感器5和返浆流量传感器11采集的检测数据。(见图1)

[0137] 实施例2:本实施例2程控方法中只控制压力,不控制流量。

[0138] 除以下特征步骤与实施例1不同,其余完全相同:

[0139] 1) 数学模型采用线型小信号孔口压力数学模型见图4。2) 程控流程图只需要确立压力流程图图8,而不需要进行流量控制流程图图7,因为流量对压力波动影响很小。

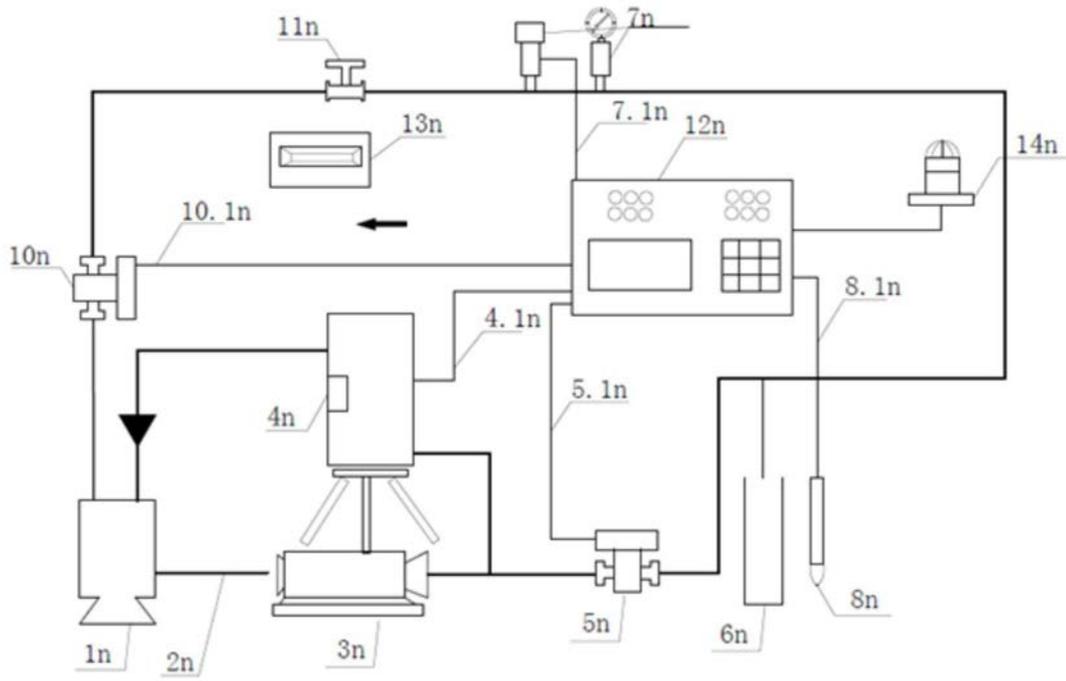


图1

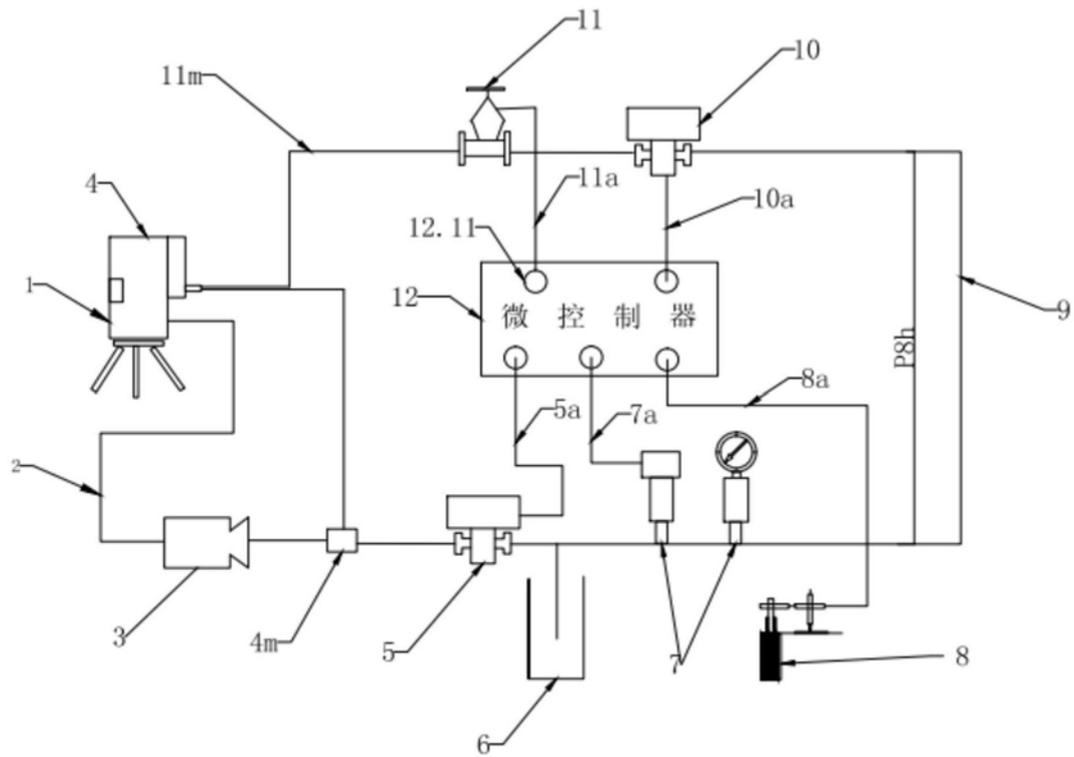


图2

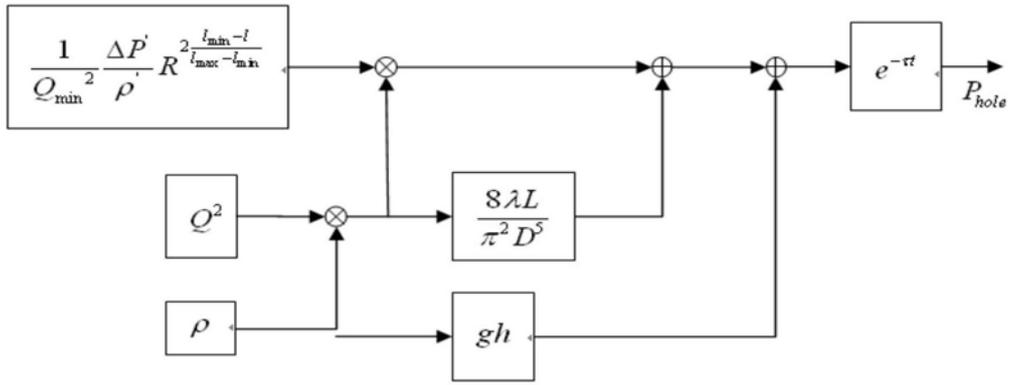


图3

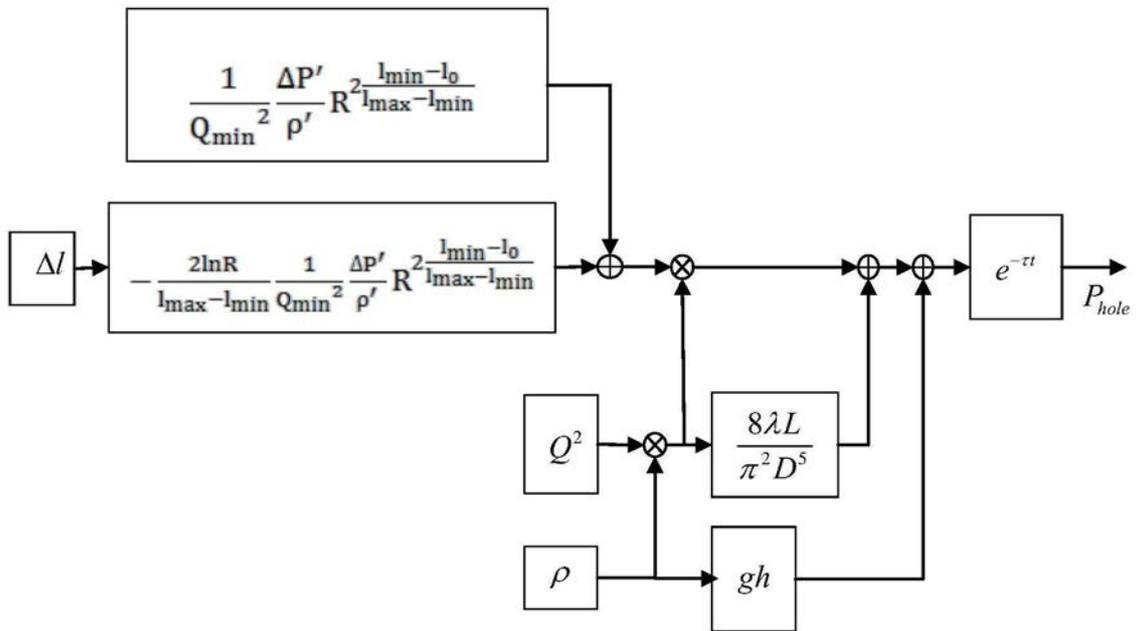


图4

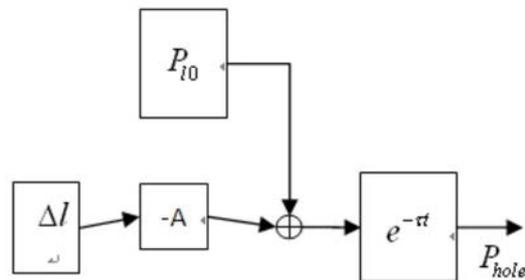


图5

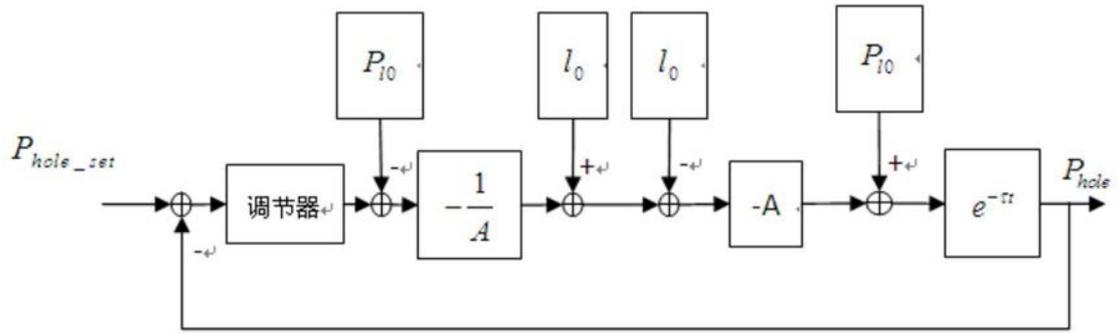


图6

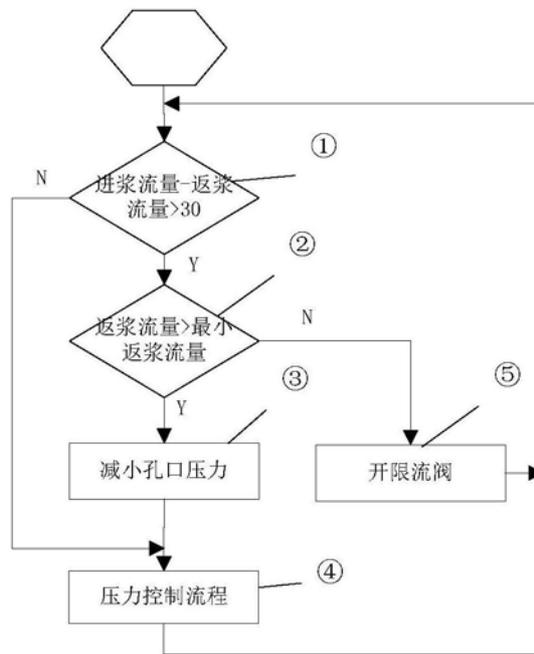


图7

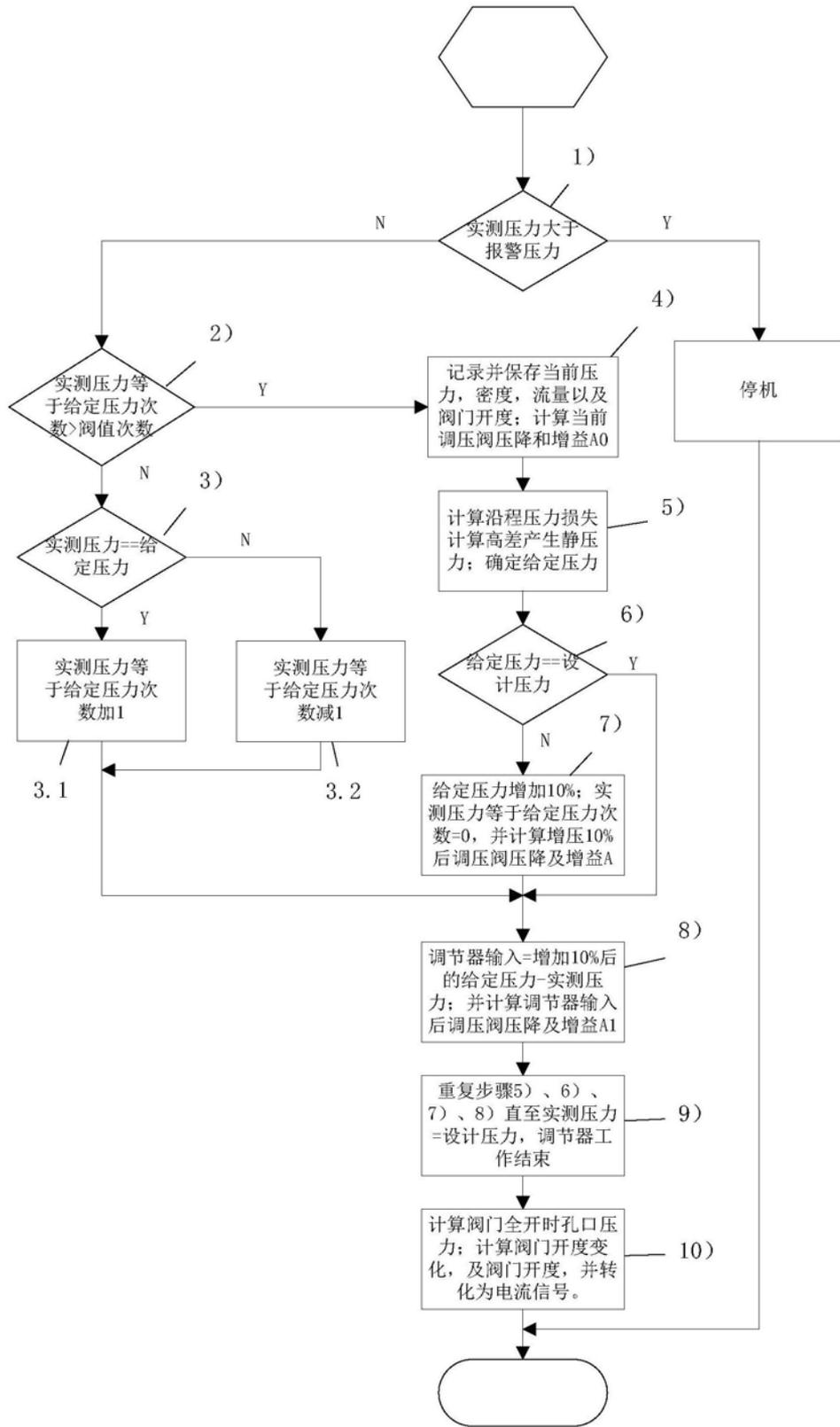


图8

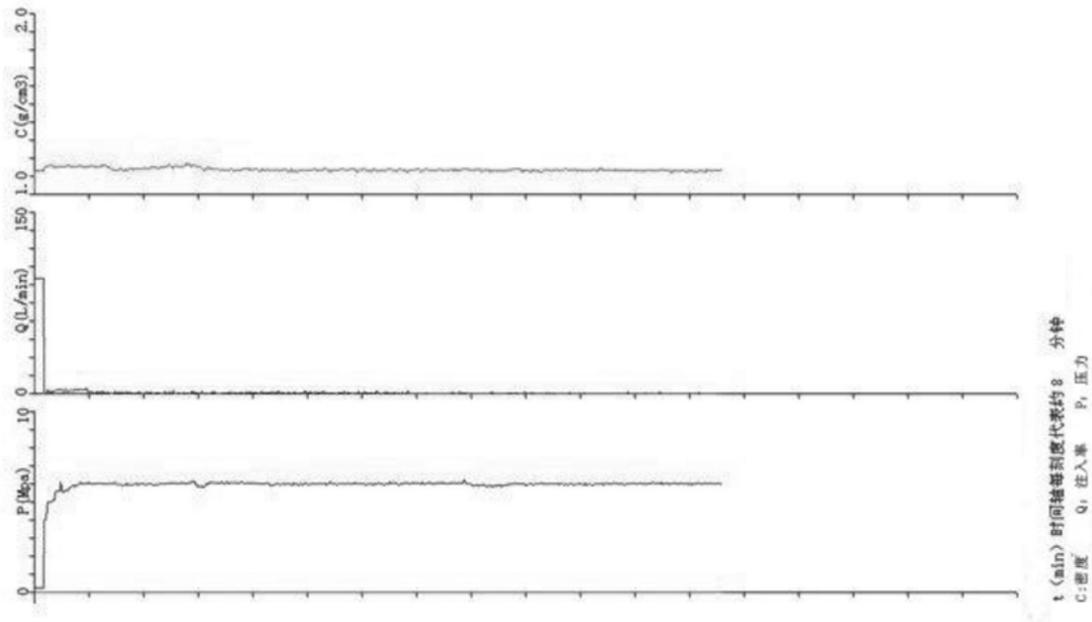


图9