



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106869918 A

(43)申请公布日 2017.06.20

(21)申请号 201710288399.1

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2017.04.27

E21B 49/00(2006.01)

(71)申请人 中国海洋石油总公司

地址 100010 北京市东城区朝阳门北大街
25号中海油大厦

申请人 中海石油(中国)有限公司湛江分公司

(72)发明人 雷霄 吴木旺 张风波 李树松
杨朝强 王雯娟 洪楚侨 刘双琪
马帅 张茂强 何志辉 向耀权
梁豪 姜洪丰 汤明光 韩鑫

(74)专利代理机构 广州市南锋专利事务所有限
公司 44228

代理人 李慧

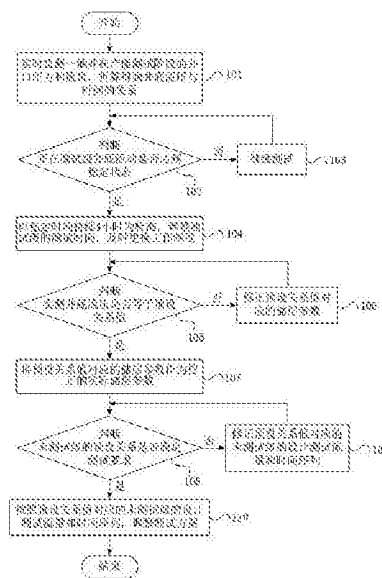
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

海上油井产能测试实时调整方法

(57)摘要

本发明公开了一种海上油井产能测试实时调整方法,包括如下步骤:实时监测油井在产能测试阶段的井口压力和流量,折算得井底流压与时间关系;判断正在测试级井底流动是否达到稳定状态,若稳定,则进行下一步骤,否则继续测试;调整测试级的测试时间,及时更换工作制度;判断实测井底流压是否等于预设关系值,若相等,则进行下一步骤,否则修正预设关系值对应的储层参数;判断未测试级的预设关系是否满足测试要求,若满足,则据此设计测试流量和时间序列,调整测试方案,否则修正预设关系值对应的未测试级流量和时间序列。利用该方法实时调整产能测试方案,提高了测试的成功率和录取测试资料的质量,降低测试风险,节约测试成本。



CN 106869918 A

1. 一种海上油井产能测试实时调整方法,其特征在于:包括下列步骤:

A: 在井口安装压力计、流量计,在测试过程中实时监测油井在产能测试阶段的井口压力和流量,将井口压力折算为井底压力,并折算得到井底流压与时间的关系;所述井底流压与井口压力满足如下方程式:

$$\frac{\Delta p}{\Delta z} = \frac{[\rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L)] g \sin \theta + \frac{1}{2} \lambda \frac{W_t^2}{A^3}}{1 - ((\rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L)) v_m v_{sg}) / F}$$

其中, p 为压力,单位为Pa; z 为沿井筒方向的长度,单位为m; λ 为流动阻力系数,无因次; d 为管柱的内径,单位为m; A 为管柱的流通截面积,单位为 m^2 ; W_t 为混合物的质量流量,单位为kg/s; v_m 为混合物平均流速,单位为m/s; v_{sg} 为气相折算流速,单位为m/s; θ 为管柱与水平方向的倾角,单位为度; H_L 为持液率,单位为 m^3 / m^3 ; g 为重力加速度,单位为 m/s^2 ; ρ_L 为液体密度,单位为 kg/m^3 ; ρ_g 为气体密度,单位为 kg/m^3 ;

B: 判断正在测试级井底流动是否达到稳定状态,判断标准为:(1)井底压力在1小时内波动不超过0.1MPa;(2)产液量在1小时内波动不超过10%;若达到稳定状态,则进行下一步骤,否则继续测试;

C: 当测试级井底流动达到稳定状态时,以稳定时间持续4小时为标准,调整测试级的测试时间,及时更换工作制度;

D: 判断实测井底流压是否等于预设关系值,若相等,则进行下一步骤,否则修正预设关系值对应的储层参数,所述储层参数包括储层渗透率、表皮系数、原始地层压力;

E: 将预设关系值对应的储层参数作为校正的实际储层参数,并重新设计并调整未测试的测试制度;

F: 判断未测试级的预设关系是否满足测试要求,若满足,则进行下一步骤,调整测试方案,否则修正预设关系值对应的未测试级流量和时间序列;

G: 按照预设关系值对应的未测试级的设计测试流量和时间序列,调整产能测试方案。

2. 根据权利要求1所述的海上油井产能测试实时调整方法,其特征在于:所述修正预设关系值对应的储层参数的方法为:利用已有油藏压力解释模型,拟合井底流压动态曲线,校正储层渗透率、表皮系数、原始地层压力。

3. 根据权利要求1所述的海上油井产能测试实时调整方法,其特征在于:所述步骤E中重新设计并调整未测试的测试制度的步骤如下:

(1) 对于已完成测试的工作制度,计算各级流量在该级测试时间内的平均值,作为测试流量,取各级实际测试的时间,作为测试时间;对于未进行测试的工作制度,取各级设计流量和时间,作为测试流量和测试时间;根据测试流量和时间序列,以及校正后的储层参数,运用压力解释模型,计算未测试级的井底压力与时间的预设关系;

(2) 判断未测试级的井底压力与时间的预设关系是否满足测试要求,标准为:井底流压大于原油饱和压力;井底流压大于地层出砂压力;井底流压大于原始地层压力的50%;井底流压在设计条件下能够达到稳定,并持续4小时以上;

(3) 若未测试级的井底压力与时间的预设关系满足测试要求,则按照此测试流量和时间序列进行测试;若未测试级的井底压力与时间的预设关系不满足测试要求,则调整未测试级的设计测试流量和时间,直至满足要求,得到调整后的测试制度。

海上油井产能测试实时调整方法

技术领域

[0001] 本发明涉及海上油气田勘探开发的产能测试领域,尤其涉及一种根据测试数据实时调整、优化油井产能测试方案的方法。

背景技术

[0002] 测试产量序列选择及开井时间的确定是产能测试设计的重要内容,合理分配产量和开井时间是录取高质量测试资料,提高产能评价准确性的关键。对于油井,通用的测试方法为回压试井,要求在开井放喷后,依照产量从小到大的顺序连续以3到4个工作制度(油嘴)生产,使每一阶段压力和流量达到相对稳定。由于对地层条件和地下流体的认识不准确,需要在测试过程中及时对后续的测试方案进行调整,否则会对测试之后的产能分析造成困难:过大的测试油嘴,会导致测试压力和流量长时间达不到稳定,降低测试数据的有效性;过小的测试油嘴,导致各级工作制度拉不开差距,无法充分反映储层的产能。而井底压力计数据只有在测试结束起出管柱后才能获得,测试方案的调整缺少井底压力数据这一重要依据。海上油气测试的成本高昂,由于测试时缺少系统的实时调整方法,只能依靠工作人员的经验,导致测试方案得不到及时、有效的调整,测试时间延长,测试成本增加的情况时有发生。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服上述已有技术的不足,提供一种海上油井产能测试实时调整方法;通过监测井口压力和流量,折算井底流压,运用已有油藏压力解释模型,拟合井底流压动态,校正储层渗透率、表皮系数、原始地层压力,从而实时调整测试方案。

[0004] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案是:一种海上油井产能测试实时调整方法,其特征在于:包括下列步骤:

A: 在井口安装压力计、流量计,在测试过程中实时监测井口压力和流量,利用Beggs-Brill方法将井口压力折算为井底压力,并折算得到井底流压与时间的关系;所述井底流压与井口压力满足如下方程式:

$$\frac{\Delta p}{\Delta z} = \frac{[\rho_L H_L + \rho_g (1-H_L)] g \sin \theta + \frac{\lambda W_t v_m}{2dA}}{1 - ((\rho_L H_L + \rho_g (1-H_L)) v_m v_{sg}) / P}$$

其中, p 为压力,单位为Pa; z 为沿井筒方向的长度,单位为m; λ 为流动阻力系数,无量纲; d 为管柱的内径,单位为m; A 为管柱的流通截面积,单位为 m^2 ; W_t 为混合物的质量流量,单位为kg/s; v_m 为混合物平均流速,单位为m/s; v_{sg} 为气相折算流速,单位为m/s; θ 为管柱与水平方向的倾角,单位为度; H_L 为持液率,单位为 m^3/m^3 ; g 为重力加速度,单位为 m/s^2 ; ρ_L 为液体密度,单位为 kg/m^3 ; ρ_g 为气体密度,单位为 kg/m^3 ;

具体计算步骤为:

(1) 由井口算起,已知井口压力,取一段 ΔH 小于等于50m,给 Δp 赋一个初值,计算 ΔH

上的平均压力 \bar{p} 和平均温度 \bar{T} ;

(2) 对于 ΔH 管段, 计算在 \bar{T} 条件下的全部参数: 混合物质量流量, 压缩因子, 天然气体积系数, 天然气密度, 溶解气油比, 原油体积系数, 原油密度, 气体体积流量, 管柱流通截面积, 天然气粘度, 原油粘度, 水粘度;

(3) 确定管流流态;

(4) 根据流型, 利用对应公式计算持液率和阻力系数

(5) 将计算得到的参数带入上述方程式中计算 Δp , 比较 Δp 的估计值和计算值是否满

足精度要求 ($\frac{|\Delta p_{\text{计算}} - \Delta p_{\text{估计}}|}{\Delta p_{\text{计算}}} < 0.001$), 若不满足, 则用计算得到的 Δp 代替原来估计的 Δp , 重

复(2)~(5)步骤, 直至满足精度为止;

(6) 进行下一段计算, 以上一步的计算结果为七点重复上述步骤, 逐段计算直至井底。

[0005] B: 利用实时折算的井底流压, 绘制井底流压动态曲线, 判断测试级是否达到稳定状态, 判断标准为: (1) 井底压力在1小时内波动不超过0.1MPa; (2) 产液量在1小时内波动不超过10%; 若达到稳定状态, 则进行下一步骤, 否则继续测试;

C: 当测试级井底流动达到稳定状态时, 以稳定时间持续4小时为标准, 调整测试级的测试时间, 及时更换工作制度;

D: 判断实测井底流压是否等于预设关系值, 若相等, 则进行下一步骤, 否则修正预设关系值对应的储层参数, 所述储层参数包括储层渗透率、表皮系数、原始地层压力;

E: 将预设关系值对应的储层参数作为校正的实际储层参数, 并重新设计并调整未测试的测试制度;

F: 判断未测试级的预设关系是否满足测试要求, 若满足, 则进行下一步骤, 调整测试方案, 否则修正预设关系值对应的未测试级流量和时间序列;

G: 按照预设关系值对应的未测试级的设计测试流量和时间序列, 调整产能测试方案。

[0006] 进一步地, 所述修正预设关系值对应的储层参数的方法为: 利用已有油藏压力解释模型, 拟合井底流压动态曲线, 校正储层渗透率、表皮系数、原始地层压力。步骤如下:

(1) 根据测试井的地质设计报告, 获取压力解释模型中的基本参数, 计算已测试各级的流量在该级测试时间内的平均值, 作为测试流量序列, 取各级实际测试的时间, 作为测试时间序列, 设定一组储层渗透率、表皮系数、原始地层压力的初值, 根据测试流量序列和时间序列, 计算井底压力与时间的预设关系;

(2) 比较并判断测试的井底流压动态与预设关系是否相等;

(3) 若测试井底流压动态与预设关系相等, 则将预设关系所对应的压力计算参数作为实测储层参数, 校正储层渗透率、表皮系数、原始地层压力; 若测试井底流压动态与预设关系不相等, 则将预设关系所对应的压力计算参数进行修正, 直至二者相等, 得到实测储层参数, 校正储层渗透率、表皮系数、原始地层压力。

[0007] 进一步地, 所述步骤E中重新设计并调整未测试的测试制度的步骤如下:

(1) 对于已完成测试的工作制度, 计算各级流量在该级测试时间内的平均值, 作为测试流量, 取各级实际测试的时间, 作为测试时间; 对于未进行测试的工作制度, 取各级设计流量和时间, 作为测试流量和测试时间; 根据测试流量和时间序列, 以及校正后的储层参数,

运用压力解释模型,计算未测试级的井底压力与时间的预设关系;

(2)判断未测试级的井底压力与时间的预设关系是否满足测试要求,标准为:井底流压大于原油饱和压力;井底流压大于地层出砂压力;井底流压大于原始地层压力的50%;井底流压在设计条件下能够达到稳定,并持续4小时以上;

(3)若未测试级的井底压力与时间的预设关系满足测试要求,则按照此测试流量和时间序列进行测试;若未测试级的井底压力与时间的预设关系不满足测试要求,则调整未测试级的设计测试流量和时间,直至满足要求,得到调整后的测试制度。

[0008] 本发明的有益效果是:利用本发明的方法,通过实时监测井口压力和流量,折算井底流压,判断流动稳定,作为测试级结束的依据,节省测试时间和成本;通过对井底流压动态的拟合,校正储层参数,优化调整测试制度,降低了测试风险,提高了测试质量。这项技术解决了产能测试过程中缺乏实时调整依据的问题,实用性较强。

[0009] 本发明提出的产能测试实时调整方法,调整内容包括:正在测试的工作制度(测试级)的测试时间;未进行测试的工作制度(未测试级)的测试油嘴大小和时间。通过实时监测井口压力和流量,折算井底流压,一方面获取的井底流压动态,可判断地下流动是否达到稳定状态,调整测试级的测试时间,另一方面拟合压力可校正储层参数,为未测试级的调整提供依据。通过对井底流压的实时拟合,不断校正储层渗透率、表皮系数、原始地层压力。随着探测半径逐渐延伸,校正的参数越来越接近储层的真实情况,以此为依据实时调整测试方案,提高了测试的成功率和录取测试资料的质量,降低测试风险,减少测试时间,节约测试成本。

附图说明

[0010] 下面结合附图对本发明作进一步的详细说明。

[0011] 图1为本发明的一优选实施例的流程图。

具体实施方式

[0012] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合实施例和附图,对本发明实施例做进一步详细说明。在此,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,但并不作为对本发明的限定。

[0013] 实施例一:

图1为本发明实施例分段产液水平井试井分析控制方法的流程图,本实施例的实时调整方法考虑了水平井分段产液的影响,具体包括下列步骤:

101:实时监测油井在产能测试阶段的井口压力和流量,折算得到井底流压与时间的关系;

具体利用Beggs-Brill方法将井口压力折算为井底压力,适用于水平井、直井和定向井的气液两相流动计算。基本方程为:

$$\frac{\Delta p}{\Delta z} = \frac{(\rho_l H_L + \rho_g (1 - H_L))g \sin \theta + \frac{2\lambda \rho_m v_m}{244}}{1 - ((\rho_l H_L + \rho_g (1 - H_L))v_m v_{g0})/\rho}$$

其中, p 为压力,单位为Pa; z 为沿井筒方向的长度,单位为m; λ 为流动阻力系数,无因

次; d 为管柱的内径, 单位为 m ; A 为管柱的流通截面积, 单位为 m^2 ; W_t 为混合物的质量流量, 单位为 kg/s ; v_m 为混合物平均流速, 单位为 m/s ; v_{sg} 为气相折算流速, 单位为 m/s ; θ 为管柱与水平方向的倾角, 单位为度; HL 为持液率, 单位为 m^3/m^3 ; g 为重力加速度, 单位为 m/s^2 ; ρ_L 为液体密度, 单位为 kg/m^3 ; ρ_g 为气体密度, 单位为 kg/m^3 。

[0014] 具体计算步骤为:

(1) 由井口算起, 已知井口压力, 取一段 ΔH 小于等于 $50m$, 给 Δp 赋一个初值, 计算上的平均压力 \bar{p} 和平均温度 \bar{T} ;

(2) 对于 ΔH 管段, 计算在 \bar{p} 、 \bar{T} 条件下的全部参数: 混合物质量流量, 压缩因子, 天然气体积系数, 天然气密度, 溶解气油比, 原油体积系数, 原油密度, 气体体积流量, 管柱流通截面积, 天然气粘度, 原油粘度, 水粘度;

(3) 确定管流流态;

(4) 根据流型, 利用对应公式计算持液率和阻力系数

(5) 将计算得到的参数带入上述方程式中计算 Δp , 比较 Δp 的估计值和计算值是否满足精度要求

($\left| \frac{\Delta p_{\text{计算}} - \Delta p_{\text{估计}}}{\Delta p_{\text{估计}}} \right| < 0.001$), 若不满足, 则用计算得到的 Δp 代替原来估计的 Δp , 重复 (2)~(5) 步骤, 直至满足精度为止;

(6) 进行下一段计算, 以上一步的计算结果为七点重复上述步骤, 逐段计算直至井底。

[0015] 102: 判断判断测试级井底流动是否达到稳定状态, 如果稳定, 则进行步骤104, 否则进行步骤103; 判断标准为: (1) 井底压力在1小时内波动不超过 $0.1MPa$; (2) 产液量在1小时内波动不超过 10% 。

[0016] 103: 继续测试; 在井底流动未达到稳定状态时, 保持该油嘴大小继续测试。

[0017] 104: 在井底流动已达到稳定状态时, 以稳定时间持续4小时为标准, 调整测试级的测试时间, 及时更换工作制度, 即及时更换油嘴。

[0018] 105: 判断实测井底流压是否等于预设关系值, 如果相等, 则进行步骤107, 否则进行步骤106;

根据测试井的地质设计报告, 获取压力解释模型中的基本参数, 计算已测试各级的流量在该级测试时间内的平均值, 作为测试流量序列, 取各级实际测试的时间, 作为测试时间序列, 设定一组储层渗透率、表皮系数、原始地层压力的初值, 根据测试流量序列和时间序列, 计算井底压力与时间的预设关系。

[0019] 本步骤中的预设关系值即为根据已有油藏的试井解释模型所求出的井底压力变化的压力解, 将该压力解与步骤101中得到的折算井底压力变化进行拟合, 以校正实际井的储层参数。

[0020] 本实施例在具体实施过程中, 以通过计算机进行拟合的过程, 由于计算机处理的都是一些数据, 因此, 拟合的过程就变成了两个数值的对比, 即实际油井的井底压力与时间的变化关系值与预设关系值之间的对比。

[0021] 本实施例在具体实施过程中, 可以将步骤101得到的实际油井的折算井底压力与时间的变化关系通过曲线的形式描述, 而将本步骤105中的预设关系也通过曲线的形式描

述,将两个曲线进行对比,由于预设关系曲线对应油藏试井解释模型,也即含有若干储层参数的数学方程式,所以,在调节该预设关系曲线以使其与实际关系曲线重合时,相应的,该预设关系曲线对应的储层参数数值发生了变化,这个过程即是拟合的过程,也是校正储层参数的过程,因为通过拟合,得到与实际关系曲线重合的预设关系曲线,那么该预设关系曲线对应的储层参数就可以作为实际关系曲线的储层参数,也就由此得出了实际井的储层参数。

[0022] 106:修正预设关系值对应的储层参数;在步骤105中,当实际井折算的压力差与时间的关系与预设关系不相等时,也即两个关系曲线不能重合时,调整预设关系曲线,使其与实际关系曲线重合,又由于所述的预设关系对应储层参数,所以这个过程就是修正储层参数的过程。

[0023] 这里需要说明的是,储层参数包含了储层渗透率、表皮系数、原始地层压力等。在调整预设关系曲线使其与实际关系曲线相等或重合时,也即修正所述预设关系曲线对应的储层参数时,某些参数是不需要修正的,这属于现有技术中拟合的技术,在此不再赘述。

[0024] 107:将预设关系值对应的储层参数作为校正的实际储层参数;

本步骤是通过步骤105不断地对比判断,再通过步骤106不断地修正储层参数,最终得到的与实际关系曲线重合的预设关系曲线,这时,该经过调整储层参数的预设关系曲线对应的储层参数就是实际井的储层参数。

[0025] 108:判断未测试级的预设关系是否满足测试要求;

对于已完成测试的工作制度,计算各级流量在该级测试时间内的平均值,作为测试流量,取各级实际测试的时间,作为测试时间;对于未进行测试的工作制度,取各级设计流量和时间,作为测试流量和测试时间。根据测试流量和时间序列,以及校正后的储层参数,运用压力解释模型,计算未测试级的井底压力与时间的预设关系;

判断标准为:井底流压大于原油饱和压力;井底流压大于地层出砂压力;井底流压大于原始地层压力的50%;井底流压在设计条件下能够达到稳定,并持续4小时以上。

[0026] 109:修正预设关系值对应的未测试级的设计测试流量和时间序列;

在步骤108中,当未测试的预设关系不满足测试要求时,调整预设关系对应的测试流量和时间序列,使未测试的井底压力变化满足测试要求。

[0027] 110:按照预设关系值对应的未测试级的设计测试流量和时间序列,调整测试方案;

在步骤108中,当未测试的预设关系满足测试要求时,经过调整未测试级测试流量和时间序列的预设关系对应的测试流量和时间序列就可以作为进一步测试的方案,及时且合理的更换工作制度,即本方法产能测试调整的结果。

[0028] 以上内容仅用以说明本发明的技术方案,本领域的普通技术人员对本发明的技术方案进行的简单修改或者等同替换,均不脱离本发明技术方案的实质和范围。

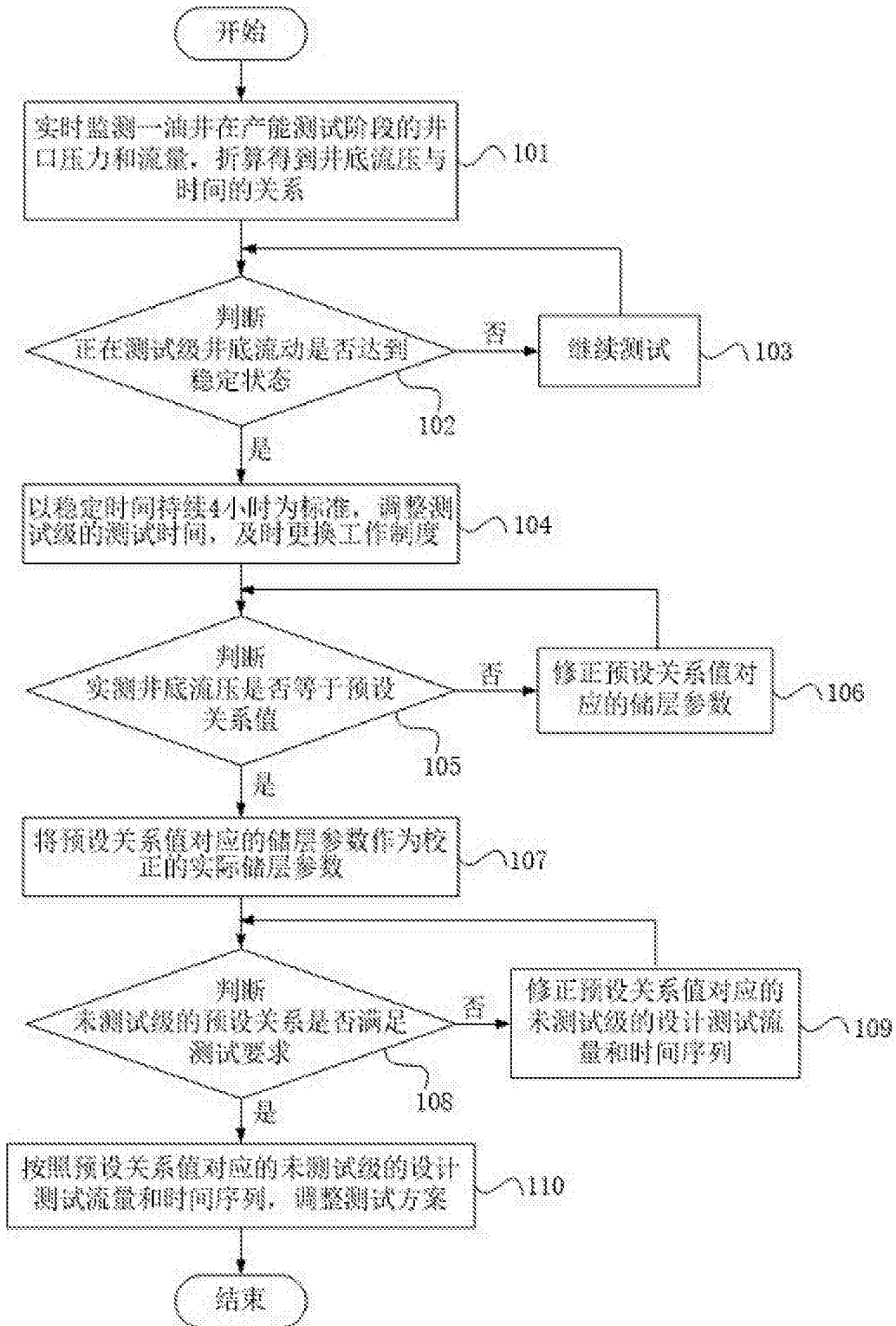


图1