



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106024078 B

(45)授权公告日 2017.08.25

(21)申请号 201610471993.X

G21C 17/108(2006.01)

(22)申请日 2016.06.24

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106024078 A

- CN 101399091 A, 2009.04.01,
- CN 103150424 A, 2013.06.12,
- CN 103218512 A, 2013.07.24,
- CN 102682862 A, 2012.09.19,
- CN 103294899 A, 2013.09.11,
- US 6236698 B1, 2001.05.22,
- JP 特开2016-45191 A, 2016.04.04,
- US 4517468 A, 1985.05.14,
- JP 特开2006-250802 A, 2006.09.21,
- CN 105044759 A, 2015.11.11,
- JP 特开2008-275358 A, 2008.11.13,
- JP 昭59-180480 A, 1984.10.13,

(43)申请公布日 2016.10.12

(73)专利权人 西安交通大学
地址 710049 陕西省西安市咸宁路28号

(72)发明人 吴宏春 李茁 曹良志 郑友琦

(74)专利代理机构 西安智大知识产权代理事务
所 61215

代理人 何会侠

审查员 华艳

(51)Int.Cl.

G21C 17/00(2006.01)

G21C 17/04(2006.01)

G21C 17/10(2006.01)

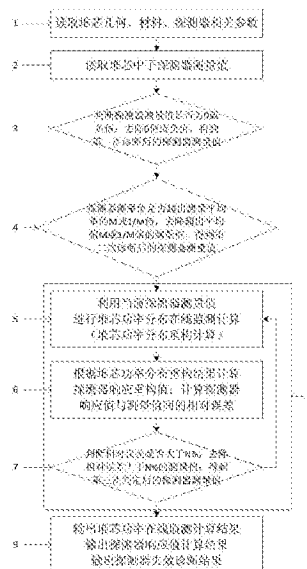
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种诊断反应堆中子探测器失效的方法

(57)摘要

一种诊断反应堆中子探测器失效的方法,通过对探测器测量值的直接比较法、测量值间比较法、测量值与响应重构值比较法分三个阶段对探测器测量值进行失效诊断;三种判断方式的结合使用使得本发明所描述的探测器失效诊断方法不仅可以对探测器完全失效进行有效诊断,同时可以对探测器测量值偏离正常值的失效做出准确诊断,并具备区分探测器失效及局部功率振荡的能力;通过去除失效探测器测量值,保证堆芯功率分布在线监测系统不使用故障探测器测量值,为在线监测系统提供可靠输入参数;本发明中探测器失效诊断方法不受探测器类型、在线监测方法、探测器失效类型的限制,失效诊断用时间短、诊断迅速、诊断结果准确可靠。



1. 一种诊断反应堆中子探测器失效的方法,其特征在于:包括如下步骤:

步骤1:读取反应堆堆芯几何尺寸、堆芯材料布置、探测器总数目、探测器通道数目、探测器名称;

步骤2:从反应堆堆芯内的中子探测器处读取中子探测器测量值及探测器位置;根据步骤1中探测器总数目,判断探测器测量值数目是否等于探测器总数目,若等于,进行下一步;若不等于,则根据未读取到探测器测量值的探测器位置,确定失效探测器名称;

步骤3:根据步骤2中读入的探测器测量值,判断每一个测量值是否为0值或负值,若为0值或负值,则去掉该值;得到一组去掉0值或负值的探测器测量值,称为,第一次失效诊断后的探测器测量值;

步骤4:在步骤3中的第一次失效诊断后的探测器测量值基础上,判断每一个探测器测量值是否超出所有测量值的平均值的M倍或1/M倍,其中 $M>1$,若超出,则去掉该值;得到一组去掉超出所有测量值的平均值M倍或1/M倍的探测器测量值,称为,第二次失效诊断后的探测器测量值;M的选择根据不同堆芯类型、不同的探测器类型均有所不同,由用户自定义;

步骤5:根据步骤4中的第二次失效诊断后的探测器测量值及步骤1中读入堆芯几何尺寸、堆芯材料布置参数,进行堆芯功率分布在线监测计算以及探测器响应重构值计算;

步骤6:根据步骤5中堆芯功率分布在线监测计算结果得到一组探测器响应重构值,结合步骤3中所得的探测器测量值,对所有位置的探测器进行探测器测量值与探测器响应重构值的相对误差计算;计算公式为:

$$\text{相对误差} = \frac{(\text{探测器响应重构值} - \text{探测器测量值})}{\text{探测器测量值}} \cdot 100\%$$

步骤7:根据步骤6所得所有探测器位置的相对误差,判断探测器响应重构值与探测器测量值相对误差是否大于N%,其中 $N>10$,若大于,则去掉该探测器测量值;得到一组去掉了探测器响应重构值与探测器测量值相对误差大于N%的探测器测量值,称为,经过第三次失效诊断后的探测器测量值;N的取值与堆型、探测器类型有关,由用户自定义;

步骤8:根据步骤7中得到的探测器测量值,再次进行步骤5、步骤6和步骤7的计算,直至步骤7的判断中不再出现新的失效探测器;

步骤9:根据步骤8,输出探测器失效诊断结果,及堆芯功率分布在线监测计算结果、探测器响应值计算结果。

一种诊断反应堆中子探测器失效的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及核反应堆堆芯运行和安全技术领域,具体涉及一种诊断反应堆中子探测器失效的方法。

背景技术

[0002] 为了保障反应堆堆芯的安全、提高反应堆的经济效益,需要对反应堆堆芯功率分布进行在线监测。即对反应堆功率分布进行时间和空间上的连续监测。由于功率分布不易直接监测,核电厂一般通过监测堆芯内中子通量密度来间接监测堆内功率分布。

[0003] 多数反应堆配有堆内中子测量系统(堆内固定式探测器或可移动式探测器),用以监测堆内中子通量密度;也有反应堆利用堆外中子测量系统(堆外中子探测器)实现对堆内中子通量的监测。相比较于堆外探测器测点少、精度较低易受外界扰动的特点以及堆内可移动式探测器不能连续提供测量信息的特点,堆内固定式探测器以其较高的精度及测量信息的连续性等特点得到越来越广泛的应用,并被用于反应堆功率分布在线监测中。

[0004] 探测器测量值的真实与准确对于堆芯功率分布在线监测有重要的影响。而探测器的失效是一类反应堆中经常出现的状况,特别是对于堆内固定式探测器,其长时间处于高辐照条件下,失效概率增高。因此,在利用探测器测量值进行三维堆芯功率分布在线监测计算时,对探测器进行的失效诊断是十分必要的。

[0005] 探测器失效故障一般有以下几类:完全失效,即探测器无读数;固定偏差失效,即失效探测器测量值与正常值有一固定常数的偏差;信号漂移,即探测器测量值与正常值有一随时间线性变化的偏差;精度下降,即测量值在一定范围内方差发生变化。目前,对于堆芯功率分布在线监测系统,探测器测量值作为其输入信号,系统多数带有对于输入信号的自检测功能,但该检测通常只能对于探测器发生完全失效时作出响应,而不能检测到探测器发生其他类型的失效。因此,需要发明一种快速可靠的诊断探测器失效的方法。

发明内容

[0006] 为了克服上述现有技术存在的问题,本发明的目的在于提供一种诊断反应堆中子探测器失效的方法,应用于堆芯功率在线监测计算中,通过直接比较、测量值间比较以及测量值与重构值比较三阶段的判断,使在线监测系统能够快速地诊断探测器测量值是否存在异常,并保证在在线监测系统中不使用诊断出异常的探测器测量值。

[0007] 为了实现上述目的,本发明采用了以下技术方案予以实施:

[0008] 一种诊断反应堆中子探测器失效的方法,包括如下步骤:

[0009] 步骤1:读取反应堆堆芯几何尺寸、堆芯材料布置、探测器总数目、探测器通道数目、探测器名称;

[0010] 步骤2:从反应堆堆芯内的中子探测器处读取中子探测器测量值及探测器位置;根据步骤1中探测器总数目,判断探测器测量值数目是否等于探测器总数目,若等于,进行下一步;若不等于,则根据未读取到探测器测量值的探测器位置,确定失效探测器名称;

[0011] 步骤3:根据步骤2中读入的探测器测量值,判断每一个测量值是否为0值或负值,若为0值或负值,则去掉该值;得到一组去掉0值或负值的探测器测量值,称为,第一次失效诊断后的探测器测量值;

[0012] 步骤4:在步骤3中的第一次失效诊断后的探测器测量值基础上,判断每一个探测器测量值是否超出所有测量值的平均值的M倍或1/M倍,其中M>1,若超出,则去掉该值;得到一组去掉超出所有测量值的平均值M倍或1/M倍的探测器测量值,称为,第二次失效诊断后的探测器测量值;M的选择根据不同堆芯类型、不同的探测器类型均有所不同,由用户自定义;

[0013] 步骤5:根据步骤4中的第二次失效诊断后的探测器测量值及步骤1中读入堆芯几何尺寸、堆芯材料布置参数,进行堆芯功率分布在线监测计算以及探测器响应重构值计算;

[0014] 步骤6:根据步骤5中堆芯功率分布在线监测计算结果,得到一组探测器响应重构值结合步骤3中所得的探测器测量值,对所有位置的探测器进行探测器测量值与探测器响应重构值的相对误差计算;计算公式为:

$$[0015] \quad \text{相对误差} = \frac{(\text{探测器响应重构值} - \text{探测器测量值})}{\text{探测器测量值}} \cdot 100\%;$$

[0016] 步骤7:根据步骤6所得所有探测器位置的相对误差,判断探测器响应重构值与探测器测量值相对误差是否大于N%,其中N>10,若大于,则去掉该探测器测量值;得到一组去掉了探测器响应重构值与探测器测量值相对误差大于N%的探测器测量值,称为,经过第三次失效诊断后的探测器测量值;N的取值与堆型、探测器类型有关,由用户自定义;

[0017] 步骤8:根据步骤7中得到的探测器测量值,再次进行步骤5、步骤6和步骤7的计算,直至步骤7的判断中不再出现新的失效探测器;

[0018] 步骤9:根据步骤8,输出探测器失效诊断结果,及堆芯功率分布在线监测计算结果、探测器响应值计算结果。

[0019] 与现有技术相比,本发明有如下突出优点:

[0020] 1.探测器失效诊断为反应堆堆芯功率分布在线监测提供可靠的输入参数,不仅可以诊断出探测器完全失效故障,也可以诊断出探测器偏离正常值的失效。

[0021] 2.结合堆芯功率分布在线监测系统,对失效探测器测量值予以正确处理,保证堆芯在线监测系统不使用故障探测器测量值进行功率分布的重构。

[0022] 3.对于探测器失效诊断带有自检测功能,可以区分出探测器失效与堆芯局部功率降低或升高等运行特征。

[0023] 4.探测器失效诊断用时短,诊断迅速,为堆芯功率分布在线监测系统实现实时监测提供保障。

附图说明

[0024] 图1是探测器失效诊断流程图。

[0025] 图2是堆芯功率分布在线监测系统流程图。

[0026] 图3是谐波展开法在线监测流程图。

[0027] 图4是轴向第10个探测器失效时探测器测量值。

[0028] 图5是轴向第10个探测器失效时探测器测量值及重构值。

[0029] 图6是堆芯轴向局部功率降低探测器测量值。

具体实施方式

[0030] 探测器失效诊断流程图如图1所示。如图所示,探测器失效的诊断过程不仅发生在堆芯功率分布在线监测计算之前,即对探测器测量值单独直接判断、测量值间比较,为在线监测提供可靠输入信号;也发生在在线监测计算过程中,即测量值与重构值比较,将探测器失效诊断与在线重构功率分布计算相互迭代进行,在对探测器失效的诊断过程中也同时考虑了周围探测器测量值间的联系,使得探测器失效诊断带有区分探测器失效与堆芯局部功率振荡的功能。

[0031] 具体实施方法包括以下方面:

[0032] 1. 读取反应堆堆芯几何尺寸、堆芯材料布置、探测器总数目、探测器通道数目、探测器名称;

[0033] 2. 从反应堆堆芯内的中子探测器处读取探测器测量值及中子探测器位置;根据步骤1中探测器总数目,判断探测器测量值数目是否等于探测器总数目,若等于,进行下一步;若不等于,则根据未读取到探测器测量值的探测器位置,确定失效探测器名称。

[0034] 3. 根据步骤2中读入数据,对探测器测量值进行第一次失效诊断,对每个探测器测量值做单独判断,判断探测器测量值是否为0或负值,由于堆内中子探测器是对堆内中子通量进行响应,因此不会出现0值或负值;若出现0值或负值的情况,则系统自动剔除该位置处的探测器测量信息,得到经过第一次失效诊断后的探测器测量值。

[0035] 4. 在步骤3中所得探测器测量值基础上,对探测器测量值进行第二次失效诊断,进行测量值间比较,判断探测器测量值是否超出测量平均值M倍或1/M倍,其中 $M > 1$,由于堆内中子通量处于一定的范围内,因此探测器测量值也应处于一定的范围内,严重超出平均值(过大或过小)均可判定为探测器失效。若出现超出平均值M倍或1/M倍的探测器测量值,则去除该值,得到第二次失效诊断后的探测器测量值。M的选择根据不同堆芯类型、不同的探测器类型均有所不同,由用户自定义。

[0036] 5. 根据步骤4中所得探测器测量值及步骤1中读入的堆芯几何尺寸及材料布置参数,进行堆芯功率分布在线监测计算及探测器响应重构值计算。

[0037] 6. 根据步骤5所得探测器响应重构值,以及步骤3中所得探测器测量值,对所有探测器位置进行探测器测量值与探测器响应重构值的相对误差计算,计算公式为:

$$[0038] \quad \text{相对误差} = \frac{(\text{探测器响应重构值} - \text{探测器测量值})}{\text{探测器测量值}} \cdot 100\%;$$

[0039] 7. 根据步骤6所得探测器测量值与重构值相对误差,对探测器测量值进行第三次失效诊断,进行测量值与重构值的比较,判断探测器测量值与经过一次重构后得到的探测器重构值相对误差是否大于N%,其中, $N > 10$,若出现相对误差过大的情况,则剔除该位置处的探测器测量值,得到经过第三次失效诊断后的探测器测量值。N的取值与堆型、探测器类型有关,可由用户自定义。

[0040] 8. 根据步骤7中得到的有效探测器测量值,再次进行步骤5、步骤6和步骤7的计算,直至步骤7的判断中不再出现新的失效探测器;

[0041] 9. 根据步骤8,输出经过所有探测器失效诊断步骤后的探测器失效诊断结果,及采

用剔除了所有失效探测器测量值后的堆芯功率分布在线监测计算结果、探测器响应值计算结果。

[0042] 在本发明中,探测器在堆芯中的布置信息由步骤1读入,根据步骤1中读取的探测器位置信息对步骤2中的探测器测量值做初步的判断,得到没有返回探测器测量值的探测器位置。

[0043] 步骤3中得到的第一次失效诊断后的测量值为在初始测量值基础上去除了不合理的0值或负值后的测量值。步骤4中得到的第二次失效诊断后的测量值为在第一次诊断后的测量值基础上,去除严重超出测量平均值的测量值得到。在判断过程中,若堆芯发生堆内某位置的功率快速升高,则此时该位置附近的探测器测量值也会同样快速升高,甚至超出探测器测量平均值。为防止在此情况下产生对探测器失效的误判,本发明提出了对探测器是否失效的二次诊断方法,即在步骤6中,用于与探测器重构值比较的探测器测量值为在步骤3中得到的第一次失效诊断后的测量值。这样的目的在于,利用经过堆芯功率分布在线监测计算后得到的探测器响应重构值,对步骤4中第二次失效诊断被判定失效了的探测器进行再一次的失效诊断,若此时重构值与测量值的误差依然很大,则可最终判断该位置探测器失效,若此时重构值与测量值误差很小,则可判断该位置的探测器测量值虽然超出测量平均值超过M倍或1/M倍,但该探测器并未失效,而是反映了堆芯的真实情况。

[0044] 本发明在步骤5中堆芯功率分布在线监测计算及探测器响应重构值的计算可采用任意可靠、快速的堆芯功率分布在线监测方法,例如谐波展开法、仿真校正法、耦合系数法、最小二乘法、误差综合法、内部边界条件法,本发明对于探测器失效诊断的方法不受堆芯功率分布在线监测方法的限制。一般堆芯功率分布在线监测系统的流程图如图2所示。以谐波展开法为例,基于谐波展开法的在线监测系统流程图如图3所示。

[0045] 步骤8为对于步骤5至步骤7的迭代循环,每一次步骤7重新得到“第三次失效诊断后的探测器测量值”均要重新进行一次在线监测计算并重新进行“第三次”失效诊断,直至不再有新的失效探测器被诊断出才认为该诊断过程结束。

[0046] 本发明通过三个阶段对探测器测量值的判断,实现对探测器测量值是否存在异常的快速地诊断,并保证在在线监测系统中不使用诊断出异常的探测器测量值。

[0047] 为验证本发明的有效性,采用典型压水堆堆芯构造探测器失效算例。假设堆芯中探测器通道轴向第10个探测器发生如图4所示的失效,则采用一般的探测器失效诊断方式无法诊断该探测器失效,必须将该探测器测量值与与其相邻的其他探测器测量值一同考虑才能诊断出该探测器具有明显失效特征。结果显示,采用本发明进行探测器失效诊断,在本堆芯算例中,选择 $M=20$, $N=30$,该构造的失效被准确地诊断出。并且,在剔除掉失效探测器信息后进行堆芯功率分布重构后得到的探测器响应重构值如图5所示。可见本发明具有很高的计算精度和判断准确性。

[0048] 为验证本发明对于堆芯探测器失效与局部功率振荡的区分能力,设计如图6所示的算例,虚线为假设堆芯发生局部功率降低时探测器测量值。应用本发明进行探测器失效诊断,则没有探测器被诊断为失效。结果显示,应用本发明进行探测器失效诊断时,不会将堆芯发生局部功率振荡造成的探测器的读数偏离正常值的工况误判为探测器失效。说明本发明对探测器失效的诊断结果准确可靠。

[0049] 本发明在探测器失效诊断方面,不受探测器类型、堆芯功率分布在线监测计算方

法、失效类型限制,具有可靠的精度及很高的效率,适应工程实际中的计算要求。

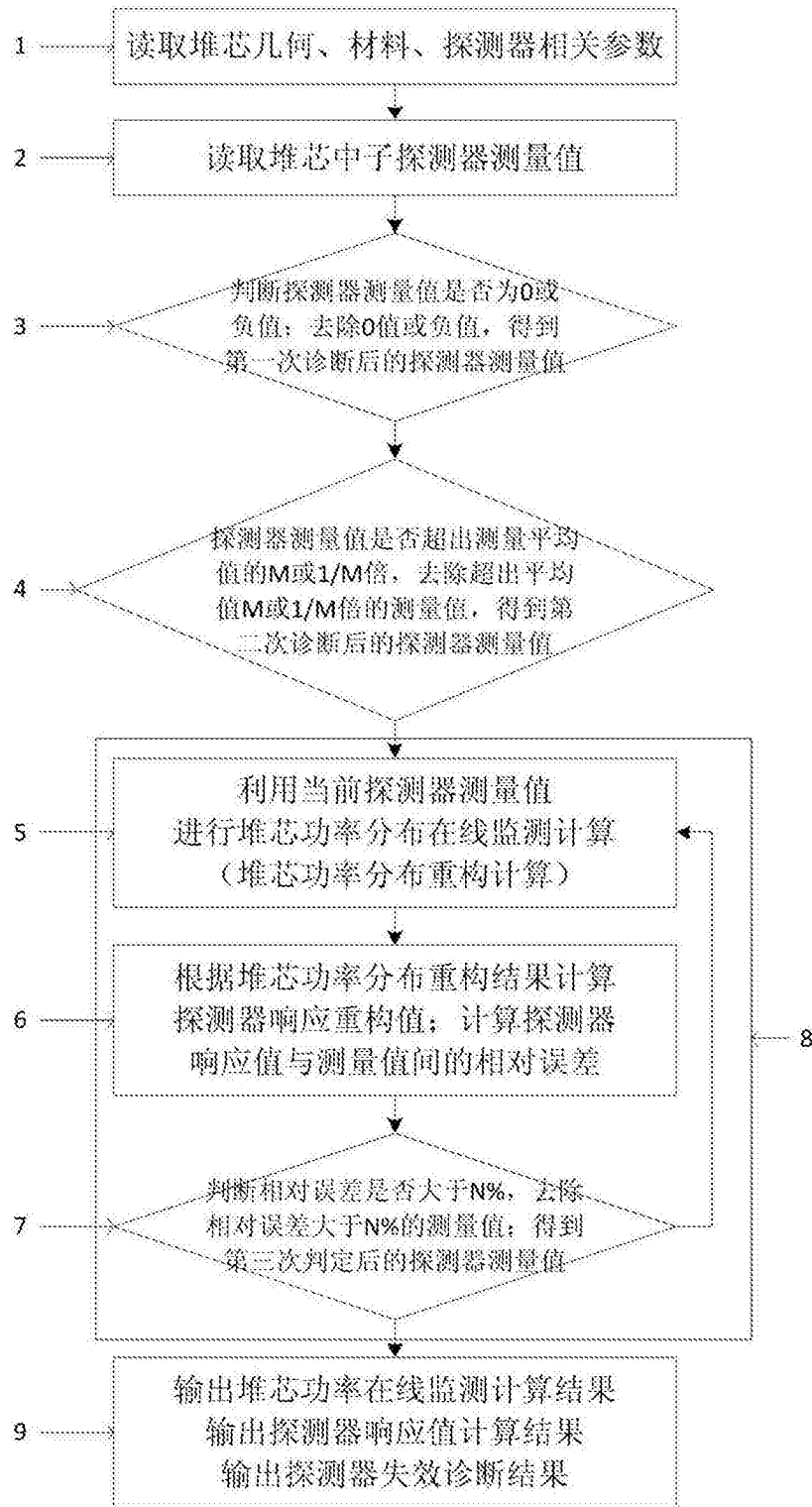


图1

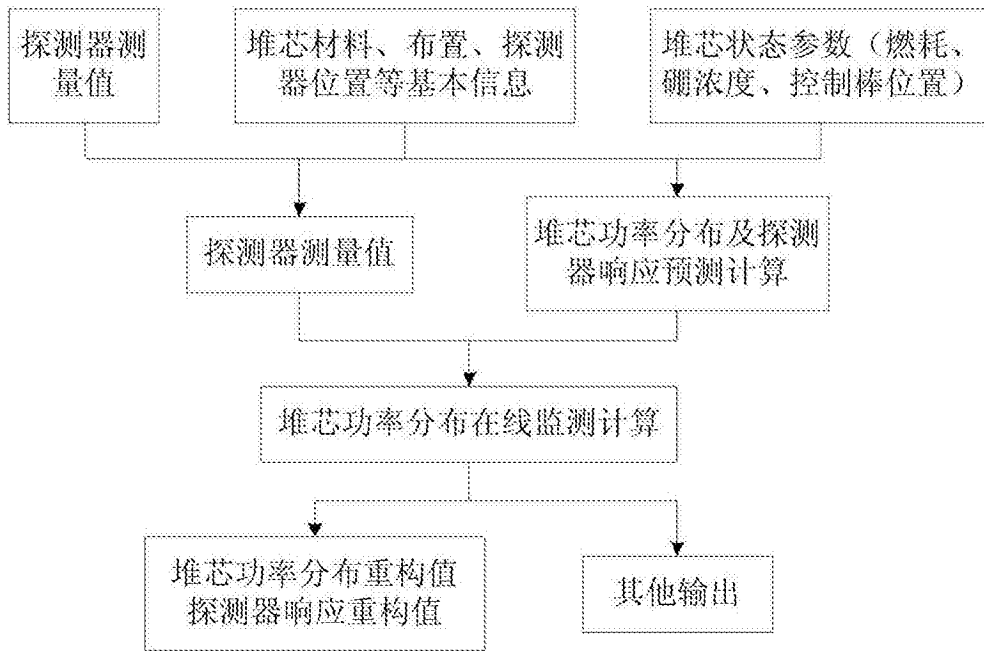


图2

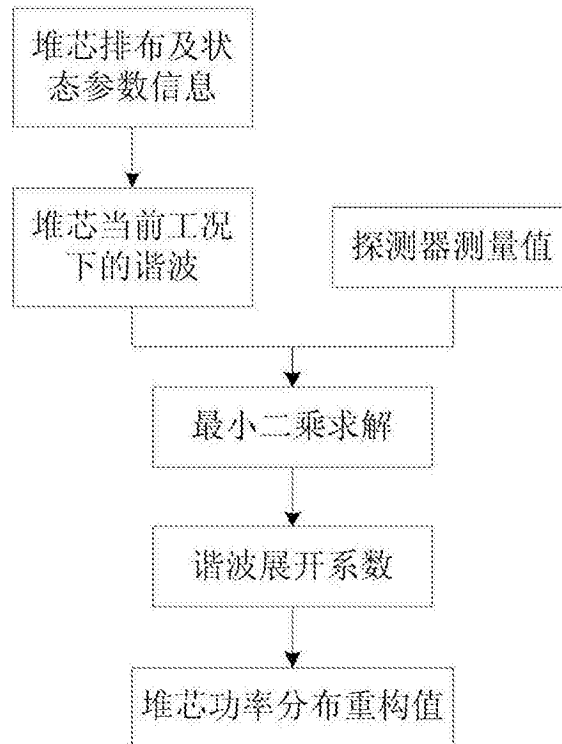


图3

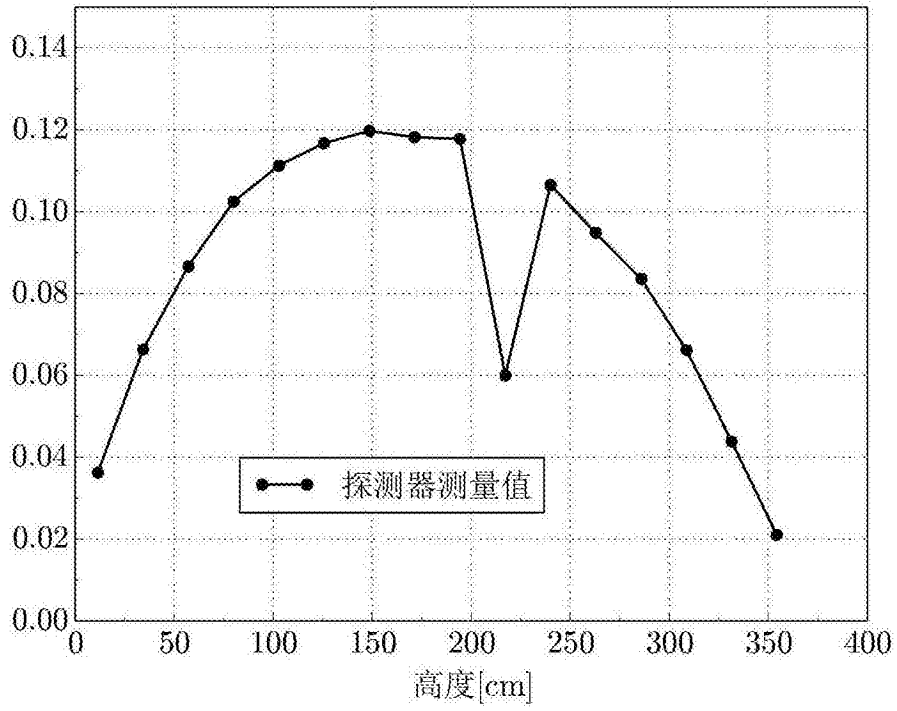


图4

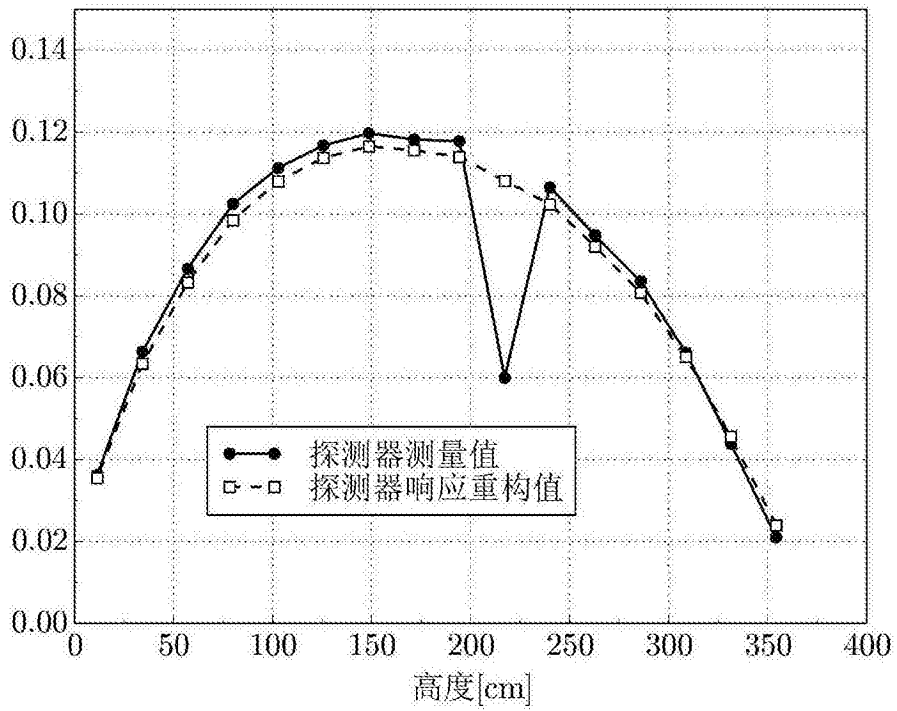


图5

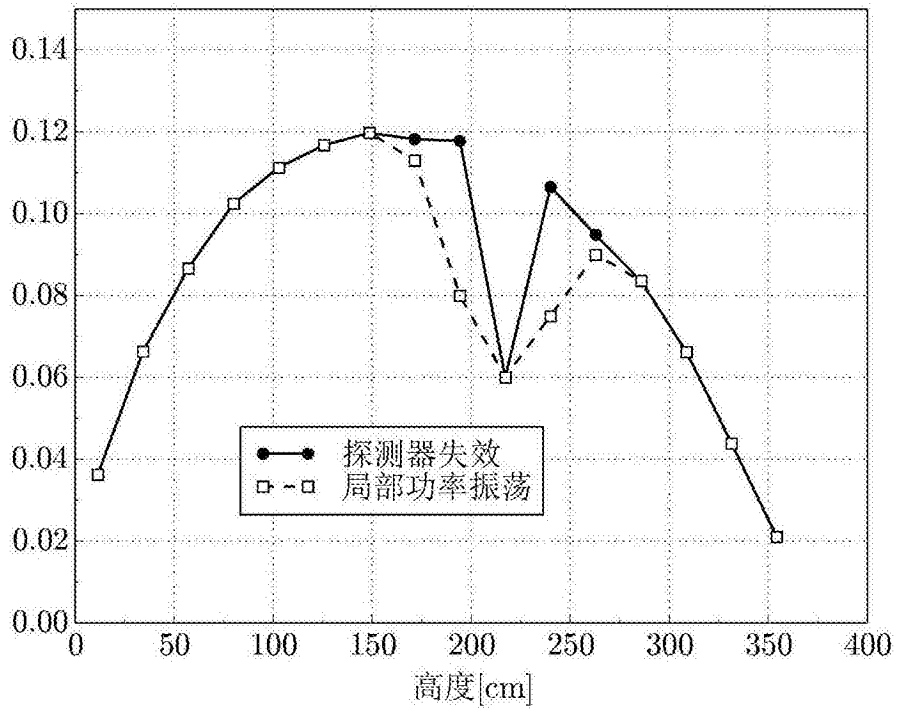


图6