



(21) 申请号 202310762801.0

(22) 申请日 2023.06.27

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 116809654 A

(43) 申请公布日 2023.09.29

(73) 专利权人 北京科技大学顺德创新学院

地址 528399 广东省佛山市顺德区大良致
慧路2号

(72) 发明人 周晓敏 马兴隆 李丽琦 许涛

张清东 张勃洋 宋和川

(74) 专利代理机构 北京东方盛凡知识产权代理

有限公司 11562

专利代理师 张换君

(51) Int. Cl.

B21B 37/28 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 105290117 A, 2016.02.03

CN 105689405 A, 2016.06.22

CN 109382414 A, 2019.02.26

CN 113500099 A, 2021.10.15

EP 0819481 A1, 1998.01.21

JP H04288917 A, 1992.10.14

JP H0631323 A, 1994.02.08

审查员 高晓颖

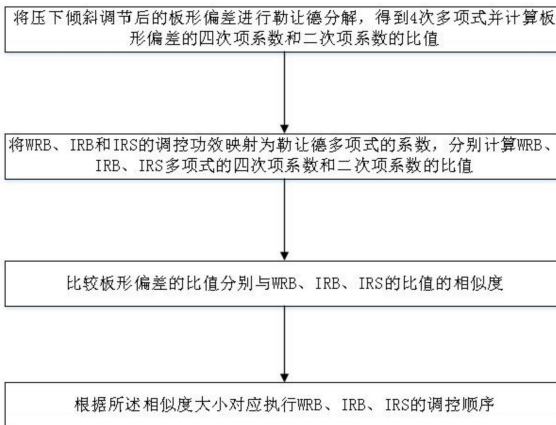
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种板带材板形反馈控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种新的板带材板形反馈控制方法,包括以下步骤:将压下倾斜调节后的板形偏差进行勒让德分解,得到四次多项式并计算板形偏差的四次项系数和二次项系数的比值;将WRB、IRB和IRS的调控功效映射为勒让德多项式的系数,分别计算WRB、IRB、IRS多项式的四次项系数和二次项系数的比值;比较板形偏差的比值分别与WRB、IRB、IRS的比值的相似度;根据所述相似度大小对应执行WRB、IRB、IRS的调控顺序。本方法的动态优先序列可以针对变化的板形与变化的调控功效动态地选择最优的优先序列,避免了其它优化策略出现执行机构间反向调节导致爆辊的可能。动态优先序列可以安全且充分地发挥机组的控制性能。



1. 一种板带材板形反馈控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

将压下倾斜调节后的板形偏差进行勒让德分解,得到四次多项式并计算板形偏差的四次项系数和二次项系数的比值;

将WRB、IRB和IRS的调控功效映射为勒让德多项式的系数,分别计算WRB、IRB、IRS多项式的四次项系数和二次项系数的比值;

所述计算WRB、IRB、IRS多项式的四次项系数和二次项系数的比值的公式为:

$$r_j = \lambda_{j4} / \lambda_{j2};$$

式中, r_j 表示第j个执行机构调控功效的四次项系数和二次项系数的比值;

λ_{j4} 表示第j个执行机构调控功效的四次项系数;

λ_{j2} 表示第j个执行机构调控功效的二次项系数;

比较板形偏差的比值分别与WRB、IRB、IRS的比值的相似度;

所述相似度公式为:

$$h_j = e^{-(r_j - r_{flat})^2};$$

式中, h_j 表示第j个执行机构的调控能力与板形偏差的相似度; r_j 表示第j个执行机构调控功效的四次项系数和二次项系数的比值; r_{flat} 表示对称项的系数比,e表示自然常数;

所述对称项的系数比的公式为:

$$r_{flat} = \lambda_4 / \lambda_2;$$

式中, λ_2 为执行机构调控功效的二次项系数, λ_4 为执行机构调控功效的四次项系数;

根据所述相似度大小对应执行WRB、IRB、IRS的调控顺序。

2. 根据权利要求1所述的板带材板形反馈控制方法,其特征在于,

所述得到四次多项式的方法包括:以勒让德正交多项式的基模式分别表示左边浪、右边浪、双边浪、中浪、左三分浪、右三分浪、边中复合浪和四分浪,基于以上8种浪形构建四次多项式。

3. 根据权利要求1所述的板带材板形反馈控制方法,其特征在于,

所述调控顺序的方法包括:按照相似度从大到小的顺序,对应执行WRB、IRB、IRS的调控顺序。

一种板带材板形反馈控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于冷轧带钢领域,尤其涉及一种板带材板形反馈控制方法。

背景技术

[0002] 随着技术水平的提高,板带材的质量问题越来越突出,成为当前研究的重点。板带材的质量指标主要有厚度和板形两部分,目前横向厚度控制已经基本满足要求,因而更关心板形的控制。板形指的是轧后带钢内部残余应力沿带宽方向的分布情况。

[0003] 现有冷轧机组的板形闭环反馈控制很多采用顺序求解策略,顺序求解策略基于优先序列列表,采用最小二乘法的原理进行求解。优先序列列表中各执行机构的优先权从高到低分为三个等级:第一等级为压下倾斜,主要调控一次和三次项的非对称板形偏差;第二等级为弯辊和窜辊,主要调控二次和四次项的对称板形偏差;第三等级为分段冷却,其响应速度最慢,主要调控其它执行机构无法处理的局部高次板形偏差。优先序列列表中,第一等级和第三等级的执行机构只有一种,所以需要确定顺序的为第二等级的执行机构。机组顺序求解策略多数采用的固定优先序列列表,顺序为WRB、IRB、IRS。

[0004] 优先序列列表离线固化到控制模型中,优先顺序固定不变。虽然顺序控制策略一定有解,但是执行机构的优先顺序无法根据轧制状态与轧件条件动态调整,所求解只是当前执行机构的最优解,因此分析不同轧制条件下哪种优先序列最好,实现优先序列列表的动态调整,对于充分发挥机组的顺序求解策略至关重要。

发明内容

[0005] 为解决上述技术问题,本发明提出了一种板带材板形反馈控制方法,以解决现有技术中执行机构的优先顺序无法根据轧制状态与轧件条件动态调整的问题。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供了一种板带材板形反馈控制方法,包括以下步骤:

[0007] 将压下倾斜调节后的板形偏差进行勒让德分解,得到四次多项式并计算板形偏差的四次项系数和二次项系数的比值;

[0008] 将WRB、IRB和IRS的调控功效映射为勒让德多项式的系数,分别计算WRB、IRB、IRS多项式的四次项系数和二次项系数的比值;

[0009] 比较板形偏差的比值分别与WRB、IRB、IRS的比值的相似度;

[0010] 根据所述相似度大小对应执行WRB、IRB、IRS的调控顺序。

[0011] 优选地,所述得到四次多项式的方法包括:以勒让德正交多项式的基模式分别表示左边浪、右边浪、双边浪、中浪、左三分浪、右三分浪、边中复合浪和四分浪,基于以上8中浪形构建四次多项式。

[0012] 优选地,所述计算WRB、IRB、IRS多项式的四次项系数和二次项系数的比值的公式为:

[0013] $r_j = \lambda_{j4} / \lambda_{j2}$;

[0014] 式中, r_j 表示第j个执行机构调控功效的四次项系数和二次项系数的比值;

[0015] λ_{j4} 表示第j个执行机构调控功效的四次项系数；

[0016] λ_{j2} 表示第j个执行机构调控功效的二次项系数。

[0017] 优选地,所述相似度公式为:

$$[0018] \quad h_j = e^{-(r_j - r_{flat})^2};$$

[0019] 式中, h_j 表示第j个执行机构的调控能力与板形偏差的相似度; r_j 表示第j个执行机构调控功效的四次项系数和二次项系数的比值; r_{flat} 表示对称项的系数比,e表示自然常数。

[0020] 优选地,所述对称项的系数比的公式为:

$$[0021] \quad r_{flat} = \lambda_4 / \lambda_2;$$

[0022] 式中, λ_2 为执行机构调控功效的二次项系数, λ_4 为执行机构调控功效的四次项系数。

[0023] 优选地,所述调控顺序的方法包括:按照相似度从大到小的顺序,对应执行WRB、IRB、IRS的调控顺序。

[0024] 与现有技术相比,本发明具有如下优点和技术效果:

[0025] 本发明的动态优先序列可以针对变化的板形与变化的调控功效动态地选择最优的优先序列。此种方法没有改变机组原先的顺序控制策略,而是对优先列表进行动态优化,避免了其它优化策略出现执行机构间反向调节导致爆辊的可能。动态优先序列可以安全且充分地发挥机组的控制性能。

附图说明

[0026] 构成本申请的一部分的附图用来提供对本申请的进一步理解,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

[0027] 图1为本发明实施例的板带材板形反馈控制方法流程图;

[0028] 图2为本发明实施例的勒让德正交多项式各板形缺陷的基模式图,其中a为一次板形缺陷基模式图,b为二次板形缺陷基模式图,c为三次板形缺陷基模式图,d为四次板形缺陷基模式图;

[0029] 图3为本发明实施例的中浪下各优先序列调控效果对比图;

[0030] 图4为本发明实施例的宽中浪下各优先序列调控效果对比图;

[0031] 其中, y_1 为左边浪, y_2 为右边浪, y_3 为中间浪, y_4 为双边浪, y_5 为右三分浪, y_6 为左三分浪, y_7 为四分浪, y_8 为边中复合浪。

具体实施方式

[0032] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本申请。

[0033] 需要说明的是,在附图的流程图示出的步骤可以在诸如一组计算机可执行指令的计算机系统中执行,并且,虽然在流程图中示出了逻辑顺序,但是在某些情况下,可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤。

[0034] 实施例1

[0035] 如图1所示,本发明提出了一种板带材板形反馈控制方法,包括以下步骤:

[0036] 步骤一:将压下倾斜调节后板形偏差进行勒让德分解成四次多项式,计算四次项系数和二次项系数的比值。

[0037] 以勒让德正交多项式的基模式分别表示左边浪、右边浪、双边浪、中浪、左三分浪、右三分浪、边中复合浪和四分浪等八种常见的浪形,见图2。因此可以用 $y = \lambda_1 \delta_1 + \lambda_2 \delta_2 + \lambda_3 \delta_3 + \lambda_4 \delta_4$ 表示板形($x \in [-1, 1]$),其中 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 和 λ_4 为各个基模式的系数。各常见的基模式包括:

[0038] 右边浪: $Y_1 = \delta_1(x) = x$;

[0039] 左边浪: $Y_2 = -\delta_1(x) = -x$;

[0040] 双边浪: $Y_3 = \delta_2(x) = \frac{3}{2}x^2 - \frac{1}{2}$;

[0041] 中浪: $Y_4 = -\delta_2(x) = -\frac{3}{2}x^2 + \frac{1}{2}$;

[0042] 左三分浪: $Y_5 = \delta_3(x) = \frac{1}{2}(5x^3 - 3x)$;

[0043] 右三分浪: $Y_6 = -\delta_3(x) = -\frac{1}{2}(5x^3 - 3x)$;

[0044] 边中复合浪: $Y_7 = \delta_4(x) = \frac{1}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3)$;

[0045] 四分浪: $Y_8 = -\delta_4(x) = -\frac{1}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3)$;

[0046] 板形的对称项以二次和四次板形缺陷为主,则数学表达式可以表示为:

[0047] $y_{\text{对}} = \lambda_2 \delta_2 + \lambda_4 \delta_4 = (1.5x^2 - 0.5)\lambda_2 + \frac{\lambda_4}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3)$

[0048] 对称项的系数比为 $r_{\text{flat}} = \lambda_4 / \lambda_2$ 。

[0049] 步骤二:把WRB、IRB、IRS的调控功效进行勒让德分解成四次多项式,这三种执行机构调整的是对称项的板形缺陷,因此利用四次项系数和二次项系数的比值 r_j 判断执行机构的调控能力与板形偏差的相似度,计算公式如下:

[0050] $r_j = \lambda_{j4} / \lambda_{j2}$

[0051] 式中, r_j ——第j个执行机构调控功效的四次项系数和二次项系数的比值;

[0052] λ_{j4} ——第j个执行机构调控功效的四次项系数;

[0053] λ_{j2} ——第j个执行机构调控功效的二次项系数;

[0054] 步骤三:计算倾辊调节后板形偏差与WRB、IRB、IRS调控功效的相似度得到 h_{wrb} 、 h_{irb} 、 h_{irs} 。

[0055] $h_j = e^{-(r_j - r_{\text{flat}})^2}$

[0056] 式中, h_j ——第j个执行机构的调控能力与板形偏差的相似度;

[0057] r_j ——第j个执行机构调控功效的四次项系数和二次项系数的比值；

[0058] 步骤四：比较 h_{wrb} 、 h_{irb} 、 h_{irs} 的大小，按照从大到小的顺序，对应执行WRB、IRB、IRS的调控顺序。

[0059] 实施例2

[0060] 将本发明提供方法实施于某薄板冷连轧机板形的描述。

[0061] 该冷连轧机为五机架六辊CVC轧机，闭环反馈作用于第五机架，机组闭环反馈控制采用的是顺序求解策略，顺序求解策略基于优先序列列表，采用最小二乘法的原理进行求解。优先序列列表中各执行机构的优先权从高到低分为三个等级：第一等级为压下倾斜，主要调控一次和三次项的非对称板形偏差；第二等级为弯辊和窜辊，主要调控二次和四次项的对称板形偏差；第三等级为分段冷却，主要调控其它执行机构无法处理的局部高次板形偏差。优先序列列表中，第一等级和第三等级的执行机构只有一种，所以需要确定顺序的为第二等级的执行机构。机组顺序求解策略采用的优先序列列表顺序为WRB、IRB、IRS。

[0062] 步骤一：将压下倾斜调节后板形偏差进行勒让德分解成四次多项式，因此可以用 $y = \lambda_1 \delta_1 + \lambda_2 \delta_2 + \lambda_3 \delta_3 + \lambda_4 \delta_4$ 表示板形，其中 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 和 λ_4 即为各个基模式的系数。板形的对称项以二次和四次板形缺陷为主，对称项板形为： $y_{\text{对}} = \lambda_2 \delta_2 + \lambda_4 \delta_4$ ，对称项的系数比为 $r_{\text{flat}} = \lambda_4 / \lambda_2$ ；

[0063] 步骤二：将WRB、IRB和IRS的调控功效映射为勒让德多项式的系数。这三种执行机构调整的是对称项的板形缺陷，因此利用四次项系数和二次项系数的比值判断执行机构的调控能力与板形偏差的相似度；

[0064] $r_j = \lambda_{j4} / \lambda_{j2}$

[0065] 式中， r_j ——第j个执行机构调控功效的四次项系数和二次项系数的比值；

[0066] λ_{j4} ——第j个执行机构调控功效的四次项系数；

[0067] λ_{j2} ——第j个执行机构调控功效的二次项系数

[0068] 步骤三：计算倾辊调节后板形偏差与WRB调控功效的相似度 h_{wrb} ；计算倾辊调节后板形偏差与IRB调控功效的相似度 h_{irb} ；计算倾辊调节后板形偏差与IRS调控功效的相似度 h_{irs} ；

[0069]
$$h_j = e^{-(r_j - r_{\text{flat}})^2}$$

[0070] 式中， h_j ——第j个执行机构的调控能力与板形偏差的相似度；

[0071] r_j ——第j个执行机构调控功效的四次项系数和二次项系数的比值；

[0072] 步骤四：比较 h_{wrb} 、 h_{irb} 、 h_{irs} 的大小，按照从大到小的顺序，对应执行WRB、IRB、IRS的调控顺序。动态优先序列的基本思路为：执行机构的调控能力与板形偏差的相似度越大，在优先序列列表中的顺序越靠前。

[0073] 目前采用的顺序控制优先序列是静止的策略，即优先序列固化为工作辊弯辊、中间辊弯辊和中间辊窜辊。为实现顺序控制的优先序列动态调整策略，对不同的优先序列分别进行仿真实验，由于这三种调控机构的调控功效为二次和四次项，因此分别对中浪、宽中浪以及边中复合浪进行调控实验。

[0074] 如图3所示，为中浪下不同优先序列调控效果的对比图，结果表明中间辊弯辊对中间位置的二次项浪形具有更好的调控效果，同时中间辊弯辊比中间辊窜辊的调控速度更快，且为充分发挥中间辊弯辊的调控特性，将中间辊弯辊选在序列列表的第一层次时，对中浪

的调控效果最好。

[0075] 如图4所示,为宽中浪下不同优先序列调控效果的对比图,结果表明中间辊窜辊在序列表的第一层次时,对边部位置的浪形调控效果较差,且对中间位置的浪形调控过度,甚至出现双边浪。而工作辊弯辊在第一层次时,明显对边部的浪形调控效果更好,同时中间位置的浪形调控效果较好。因此当工作辊弯辊在序列表的第一层次时,对宽中浪的调控效果更好。

[0076] 因此,针对中浪和双边浪动态地调整执行机构的优先序列表可以更好地控制板形,动态优先序列表见表1。对于中浪和宽中浪而言,动态地选择执行机构的优先顺序,可以获得更好的板形。通过仿真试验可以得到中浪的分界区域,即 $0.085 < r_{flat} < 0.4$ 时,以WRB-IRB-IRS的顺序控制效果更优; $-0.3 < r_{flat} < 0.085$ 时,以IRB-WRB-IRS的顺序控制效果更优。同理,可以得到双边浪的分界区域。

[0077] 表1

λ_4 / λ_2		I	II	III
中浪	(0.085, 0.4)	WR		IR
			IRB	
	(-0.3, 0.085)	IRB		S
			WR	IR
双边浪	(0.085, 0.4)			
			IRB	
	(-0.3, 0.085)	IRB		S
			WR	IR

[0079] 以上,仅为本申请较佳的具体实施方式,但本申请的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

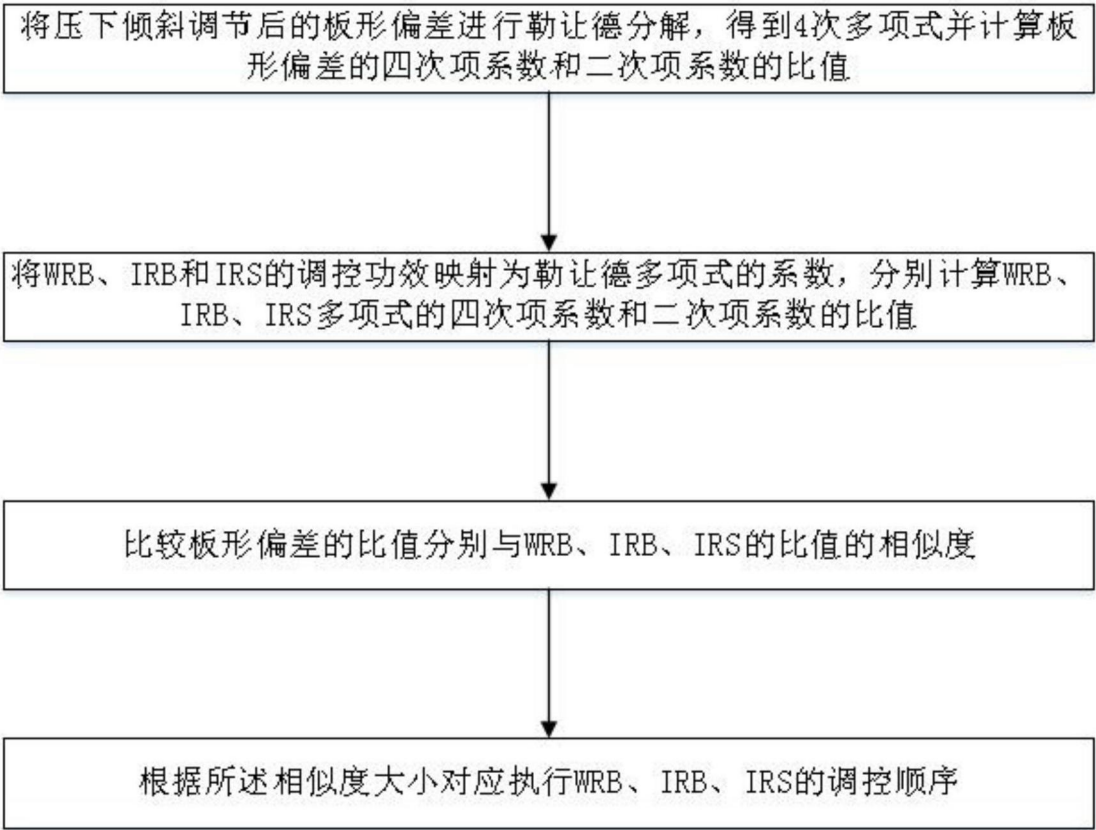


图1

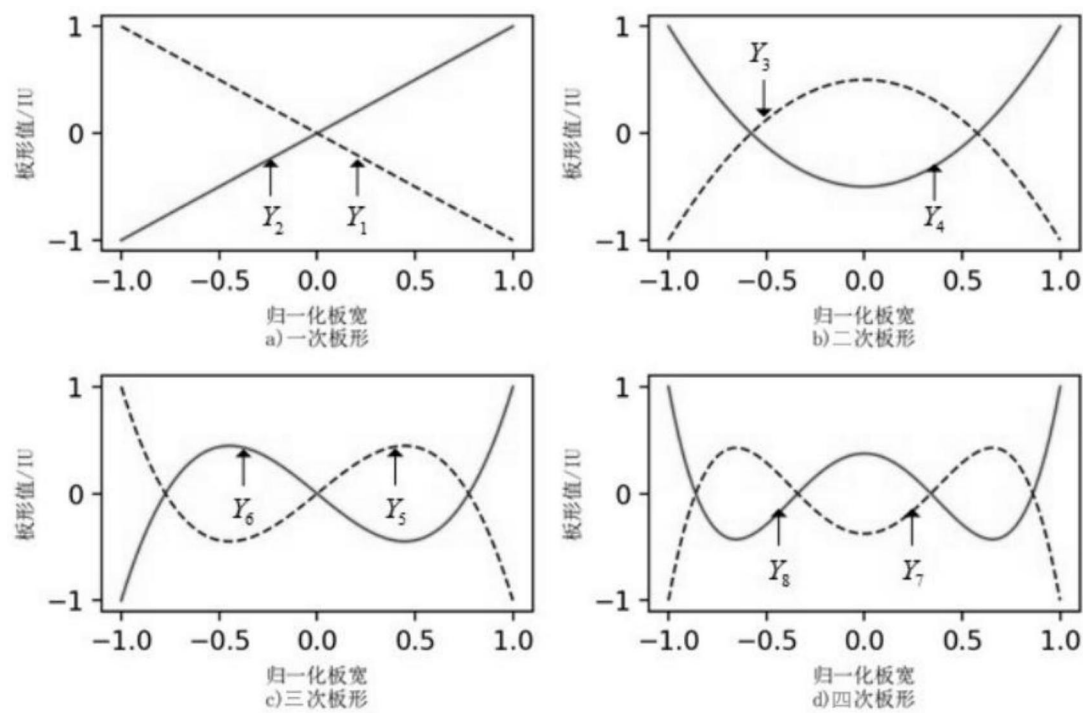


图2

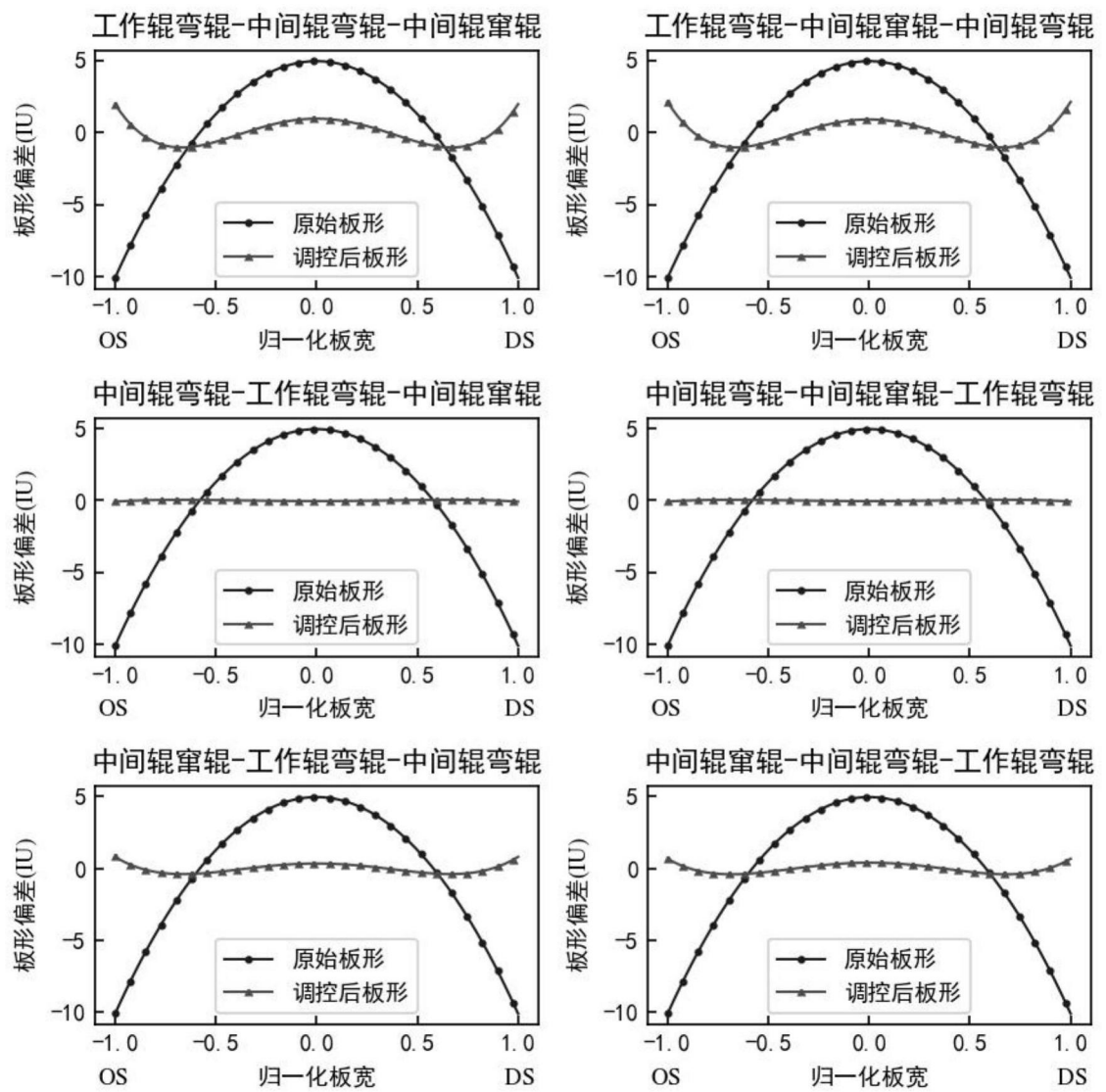


图3

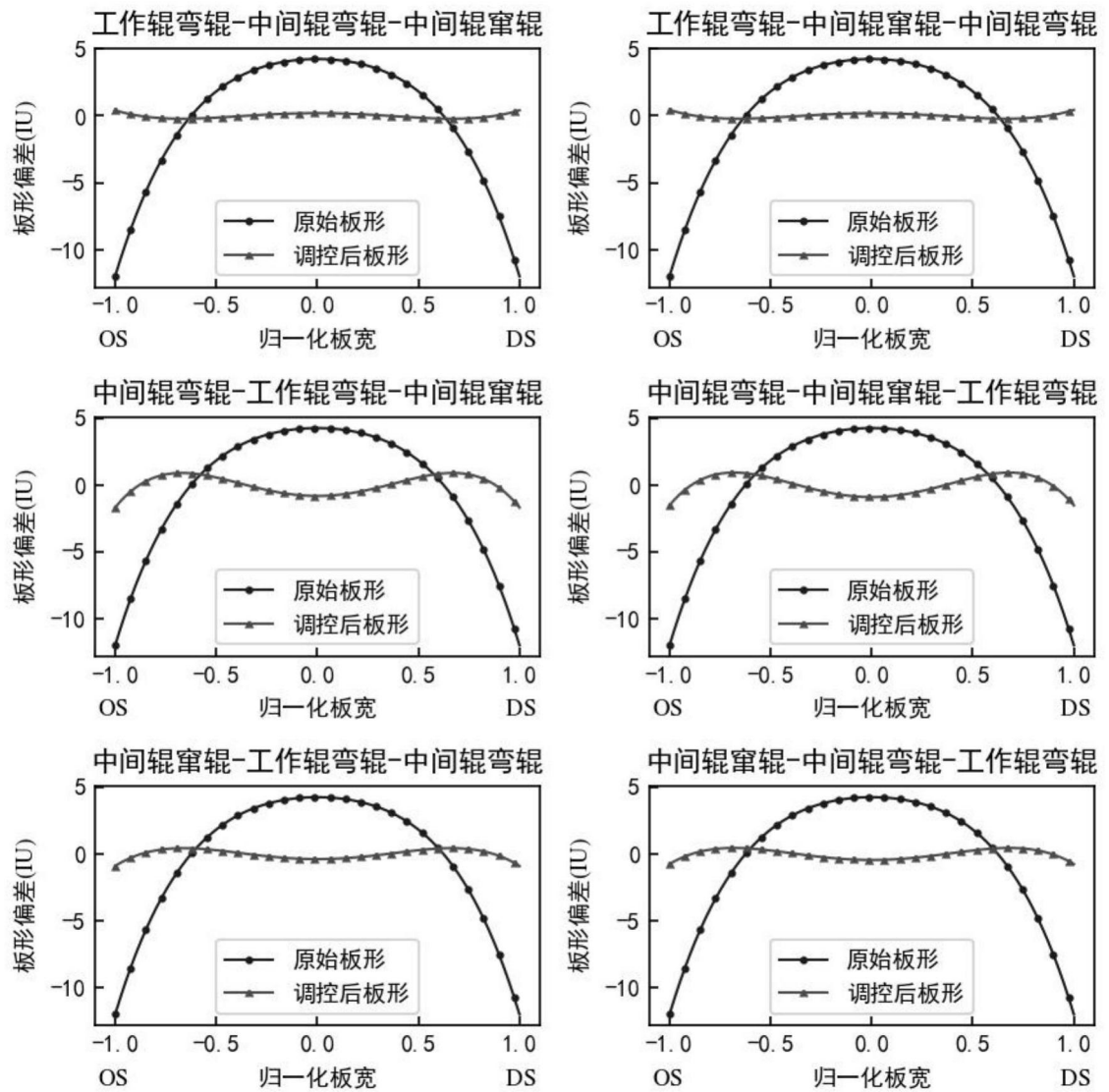


图4