



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110527816 B

(45) 授权公告日 2021.06.15

(21) 申请号 201910940715.8

(22) 申请日 2019.09.30

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110527816 A

(43) 申请公布日 2019.12.03

(73) 专利权人 武汉钢铁有限公司
地址 430083 湖北省武汉市青山区厂前2号
门内

(72) 发明人 费俊杰 周剑华 朱敏 董茂松
郑建国 王瑞敏 欧阳珉路
赵国知

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限
公司 42102
代理人 钟锋 李丹

(51) Int.Cl.

G21D 9/06 (2006.01)

G21D 1/78 (2006.01)

G21D 6/00 (2006.01)

G21D 8/00 (2006.01)

G22C 38/02 (2006.01)

G22C 38/04 (2006.01)

G22C 38/24 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 107475616 A, 2017.12.15

CN 105051220 A, 2015.11.11

CN 102534403 A, 2012.07.04

CN 107227393 A, 2017.10.03

EP 0824993 A1, 1998.02.25

审查员 王宏亮

权利要求书1页 说明书6页

(54) 发明名称

一种降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法

(57) 摘要

本发明公开了一种降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法,包括将热轧后的钢轨轨头进行分段加速冷却热处理:开始冷却温度控制为720-860℃,第一阶段轨头冷却速度5-8℃/s,冷却时间20-35s;随后进行第二阶段冷却,该阶段采用循环周期式冷却,即先对轨头加速冷却,冷却速度3-6℃/s,冷却时间6-10s,再停止加速冷却,钢轨自然放置2-5s,此为一个冷却周期,通过不断的循环此冷却周期,待轨头温度降至300-450℃时,停止加速冷却,随后对轨头保温10-20min,最后自然冷却至室温。该方法得到的钢轨,全断面的室温金相组织为细片状珠光体和少量铁素体,疲劳裂纹扩展速率可以控制在5-8m/Gc ($\Delta K=10\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$) 和14-18m/Gc ($\Delta K=13.5\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$),可应用于客运及客、货混运等多种线路,提高钢轨使用寿命和行车安全。

1. 一种降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法,其特征在于:包括将热轧后的钢轨轨头进行分阶段的加速冷却热处理,具体为:开始冷却温度控制为720-860℃,第一阶段轨头冷却速度为5-8℃/s,冷却时间为20-35s;随后进行第二阶段冷却,该阶段采用循环周期式冷却,即先对轨头加速冷却,冷却速度为3-6℃/s,冷却时间为6-10s,再停止加速冷却,钢轨自然放置2-5s,此为一个冷却周期,通过不断的循环此冷却周期,待轨头温度降至300-450℃时,停止加速冷却,随后对轨头进行保温处理,保温时间为10-20min,最后自然冷却至室温。

2. 如权利要求1所述的降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法,其特征在于:所述的开始冷却温度控制为740-820℃,第一阶段轨头冷却速度为6-7℃/s,冷却时间为25-30s;随后进行第二阶段冷却,该阶段采用循环周期式冷却,即先对轨头加速冷却,冷却速度为4-5℃/s,冷却时间为7-9s,再停止加速冷却,钢轨自然放置3-4s,此为一个冷却周期,通过不断的循环此冷却周期,待轨头温度降至320-430℃时,停止加速冷却,随后对轨头进行保温处理,保温时间为13-16min,最后自然冷却至室温。

3. 如权利要求1所述的降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法,其特征在于:所述轨头温度是指踏面中心部位表面的温度。

4. 如权利要求1所述的降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法,其特征在于:在轨头加速冷却的同时,对轨底也施加一定的冷却速度,其冷却速度控制在轨头冷速的1/2~1/3,当轨头停止加速冷却时,轨底也相应停止冷却。

5. 如权利要求1所述的降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法,其特征在于:所述方法可以用于任何常规成分的在线热处理钢轨,其中以下化学成分的钢轨效果最佳:按重量百分比计算,C 0.74-0.83%、Si 0.35-0.75 %、Mn 0.80-1.05 %、V 0.04-0.08 %、Cr 0.15-0.30 %、P≤0.025%、S≤0.025%,其余为Fe和不可避免的杂质。

6. 如权利要求2所述的降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法,其特征在于:所述加速冷却的冷却介质包括但不限于水、聚合物溶液、油、压缩空气、水雾或者油雾混合气,本方法所述第一冷却阶段的冷却介质为55-70KPa的压缩空气配合70-100L/h的水量混合喷出的水雾混合气,第二冷却阶段的冷却介质为60-90KPa的压缩空气配合80-120L/h的水量混合喷出的水雾混合气。

7. 如权利要求1所述的降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法,其特征在于:所述方法得到的钢轨,钢轨全断面的室温金相组织为细片状珠光体和少量铁素体,疲劳裂纹扩展速率为5-8m/Gc($\Delta K=10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$)和14-18m/Gc($\Delta K=13.5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$)。

一种降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及在线热处理钢轨生产技术领域,尤其涉及一种降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法。

背景技术

[0002] 随着我国铁路向着客运高速化、货运重载化的快速发展,钢轨磨耗和疲劳伤损等问题显著增多,严重影响了钢轨使用寿命和行车安全。在线热处理钢轨能有效提高钢轨的耐磨性能和抗疲劳性能,满足重载铁路和小半径曲线铁路等恶劣条件下的使用要求,提高钢轨使用寿命。

[0003] 目前国内外钢轨厂家基本都采用了在线热处理工艺来生产热处理钢轨,利用热轧后钢轨的余温,对钢轨轨头进行在线的加速冷却处理,以获得更细片层结构的珠光体组织,提高钢轨的强度和硬度,达到钢轨强化目的。与自然冷却相比,加速冷却温降速度更快,组织转变速度快,转变温度低,由温度梯度和晶格畸变引起的内部微应力也更高,同时热处理钢轨强度和硬度提高的同时,一定程度上也导致材料裂纹扩展更快。因此,目前在线热处理钢轨的疲劳裂纹扩展速率要高于普通热轧钢轨。疲劳裂纹扩展速率是衡量钢轨裂纹萌生和扩展速度的重要指标,直接关系到钢轨使用寿命和行车安全,针对目前热处理钢轨疲劳裂纹扩展速率过高的问题,以及随之带来的行车安全隐患,亟需一种能有效降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的生产方法。

发明内容

[0004] 基于以上现有技术的不足,本发明所解决的技术问题在于提供一种降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法,该方法制备的钢轨全断面的室温金相组织为细片状珠光体和少量铁素体,疲劳裂纹扩展速率可以控制在 $5-8\text{m/Gc}$ ($\Delta K=10\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$) 和 $14-18\text{m/Gc}$ ($\Delta K=13.5\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$),可应用于客运及客、货混运等多种线路,提高钢轨使用寿命和行车安全。

[0005] 为了解决上述技术问题,本发明提供一种降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法,包括将热轧后的钢轨轨头进行分阶段的加速冷却热处理,具体为:开始冷却温度控制为 $720-860^{\circ}\text{C}$,第一阶段轨头冷却速度为 $5-8^{\circ}\text{C/s}$,冷却时间为 $20-35\text{s}$;随后进行第二阶段冷却,该阶段采用循环周期式冷却,即先对轨头加速冷却,冷却速度为 $3-6^{\circ}\text{C/s}$,冷却时间为 $6-10\text{s}$,再停止加速冷却,钢轨自然放置 $2-5\text{s}$,此为一个冷却周期,通过不断的循环此冷却周期,待轨头温度降至 $300-450^{\circ}\text{C}$ 时,停止加速冷却,随后对轨头进行保温处理,保温时间为 $10-20\text{min}$,最后自然冷却至室温。

[0006] 作为上述技术方案的优选,本发明提供的降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的热处理方法进一步包括下列技术特征的部分或全部:

[0007] 作为上述技术方案的改进,所述的开始冷却温度控制为 $740-820^{\circ}\text{C}$,第一阶段轨头冷却速度为 $6-7^{\circ}\text{C/s}$,冷却时间为 $25-30\text{s}$;随后进行第二阶段冷却,该阶段采用循环周期式冷却,即先对轨头加速冷却,冷却速度为 $4-5^{\circ}\text{C/s}$,冷却时间为 $7-9\text{s}$,再停止加速冷却,钢轨

自然放置3-4s,此为一个冷却周期,通过不断的循环此冷却周期,待轨头温度降至320-430℃时,停止加速冷却,随后对轨头进行保温处理,保温时间为13-16min,最后自然冷却至室温。

[0008] 作为上述技术方案的改进,所述轨头温度是指踏面中心部位表面的温度。

[0009] 作为上述技术方案的改进,在轨头加速冷却的同时,对轨底也施加一定的冷却速度,其冷却速度控制在轨头冷速的1/2~1/3,当轨头停止加速冷却时,轨底也相应停止冷却。

[0010] 作为上述技术方案的改进,所述方法可以用于任何常规成分的在线热处理钢轨,其中以下化学成分的钢轨效果最佳:按重量百分比计算,C 0.74-0.83%、Si 0.35-0.75%、Mn 0.80-1.05%、V 0.04-0.08%、Cr 0.15-0.30%、P≤0.025%、S≤0.025%,其余为Fe和不可避免的杂质。

[0011] 作为上述技术方案的改进,所述加速冷却的冷却介质包括但不限于水、聚合物溶液、油、压缩空气、水雾或者油雾混合气,本方法所述第一冷却阶段的冷却介质为55-70KPa的压缩空气配合70-100L/h的水量混合喷出的水雾混合气,第二冷却阶段的冷却介质为60-90KPa的压缩空气配合80-120L/h的水量混合喷出的水雾混合气。

[0012] 所述钢轨的冶炼和浇铸过程没有特别的限定,按照常规的冶炼和浇铸方法进行即可,工序包括转炉冶炼、LF精炼、真空处理、连铸。其中,浇铸过程应在全程保护下进行,防止与空气接触,同时浇铸成的钢坯应进行缓冷处理。

[0013] 所述钢轨的铸坯加热和轧制过程没有特别的限定,按照常规的加热和轧制方法进行即可。例如,采用步进梁加热炉进行铸坯加热,并进行保温处理,保温时间150-260min,开轧温度1080-1150℃,终轧温度880-930℃。

[0014] 所述加速冷却和缓冷的冷却介质为本领域常用的冷却介质,包括但是不限于水、聚合物溶液、油、压缩空气、水雾或者油雾混合气。优选为,第一冷却阶段的冷却介质为55-70KPa的压缩空气配合70-100L/h的水量混合喷出的水雾混合气,第二冷却阶段的冷却介质为60-90KPa的压缩空气配合80-120L/h的水量混合喷出的水雾混合气。

[0015] 所述钢轨的矫直过程没有特别的限定,按照常规的钢轨矫直方法进行即可。例如,采用平立复合矫直工艺,矫直温度应≤80℃。

[0016] 本发明中,对轧后钢轨采用加速冷却的原理是:利用轧后钢轨的余温加速冷却,增加奥氏体向珠光体转变的过冷度,降低珠光体转变温度,减小奥氏体中碳原子的迁移距离,从而获得片层间距更加细小的珠光体,提高钢轨的强度和硬度,提高耐磨性,这是目前钢轨热处理工艺的基本原理。

[0017] 开始冷却温度控制为720-860℃,是因为轨头金属量比较大,如果开冷温度过高,开始加速冷却时,表层金属迅速降温,而心部温度依然很高,会向外进行热传导,导致珠光体相变的过冷度不足,影响最终性能,同时开始冷却温度过高,需要更大的冷却速度才能及时带走轨头热量,增加设备能耗,而开始冷却温度过低,与珠光体相变点距离较近,过冷度较大,会带来产生异常组织的风险,通过系统的研究,本发明中,720-860℃的开冷温度较为合适。

[0018] 第一阶段轨头冷却速度为5-8℃/s,冷却时间为20-35s。因为轨头金属量较多,表面温度下降后,心部高温区会不断向外散热,影响冷却效果。这一阶段冷却的目的是为了快

速的带走轨头表层的热量,形成一定深度的细片层珠光体区域,缩小心部高温区的面积,即减小轨头心部的热容量,为后续的循环周期热处理打下基础。所以这一阶段的冷速设置较大。本发明人研究发现,冷却时间为20-35s,可以在表层向内部10-15mm深度的区域内形成细片层珠光体组织。

[0019] 第二阶段冷却采用循环周期式冷却,即先对轨头加速冷却,冷却速度为3-6°C/s,冷却时间为6-10s,再停止加速冷却,钢轨自然放置2-5s,此为一个冷却周期。这一阶段是降低钢轨疲劳裂纹扩展速率的核心步骤,通过第一阶段后,轨头心部的热容量减小,其向外散热减少,在保证热处理钢轨力学性能的前提下,可以适当降低冷速,以减小温度梯度产生的内应力。同时设置周期冷却,冷却6-10s后,停止加速冷却,自然放置2-5s,这是为了让钢轨心部温度向外传递,使整个截面的温度更加均匀,减小温度梯度,同时也可以促进之前形成的温度内应力的放散,降低轨头的内应力。

[0020] 通过不断的循环冷却,待轨头温度降至300-450°C时,停止加速冷却,随后对轨头进行保温处理,保温时间为20-40min,最后自然冷却至室温。本发明人通过大量试验研究发现,轨头温度降至450°C时,轨头组织已完成了珠光体转变,无需继续进行加速冷却,保温处理是类似去应力退火,可进一步减小钢轨轨头的内应力,降低钢轨疲劳裂纹扩展速率,为了确保保温效果,停止加速冷却的温度应控制在300°C以上。

[0021] 本发明中,在轨头加速冷却的同时,对轨底也施加一定的冷却速度,其冷却速度控制在轨头冷速的1/2~1/3。这是因为轨头冷却速度较快,如果轨底自然冷却,轨头轨底温度差过大会造成钢轨大幅度弯曲,为了保证热处理过程中钢轨平直度,一般对轨底也要施加一定的冷却速度,而轨底金属量远小于轨头,冷速一般控制在轨头冷速的1/2或者1/3左右,尽量保持轨头轨底的温度一致性。

[0022] 本发明的生产方法可以用于任何常规成分的在线热处理钢轨,降低其疲劳裂纹扩展速率,同时本发明人发现,特定化学成分的钢轨能够具有相对于其他化学成分的钢轨更低的疲劳裂纹扩展速率,并且能够更适于本生产方法。这种特定化学成分的钢轨包括以下成分:以钢轨的总重量为基准,按重量百分比计算,C 0.74-0.83%、Si 0.35-0.75%、Mn 0.80-1.05%、V 0.04-0.08%、Cr 0.15-0.30%、P≤0.025%、S≤0.025%,其余为Fe和不可避免的杂质。

[0023] 本发明中,所述钢轨的冶炼和浇铸过程没有特别的限定,按照常规的钢轨冶炼和浇铸方法进行即可,工序包括转炉冶炼、LF精炼、真空处理、连铸。其中,浇铸过程应在全程保护下进行,防止与空气接触,同时浇铸成的钢坯应进行缓冷处理。

[0024] 本发明中,所述钢轨的铸坯加热和轧制过程没有特别的限定,按照常规的钢轨加热和轧制方法进行即可。例如,采用步进梁加热炉进行铸坯加热,并进行保温处理,保温时间150-260min,开轧温度1080-1150°C,终轧温度880-930°C。

[0025] 本发明中,所述加速冷却和缓冷的冷却介质为本领域常用的冷却介质,包括但不限于水、聚合物溶液、油、压缩空气、水雾或者油雾混合气,能够提供均匀冷却流场的物质均可。优选地,本发明人通过研究发现,第一冷却阶段的冷却介质为55-70KPa的压缩空气配合70-100L/h的水量混合喷出的水雾混合气,第二冷却阶段的冷却介质为60-90KPa的压缩空气配合80-120L/h的水量混合喷出的水雾混合气,冷却流场的分布精度和均匀性最好。

[0026] 本发明中,所述钢轨的矫直过程没有特别的限定,按照常规的钢轨矫直方法进行

即可。例如,采用平立复合矫直工艺,矫直温度应 $\leq 80^{\circ}\text{C}$ 。

[0027] 与现有技术相比,本发明的技术方案具有如下有益效果:

[0028] 通过本发明方法得到的热处理钢轨,钢轨全断面的室温金相组织为细片状珠光体和少量铁素体,未出现贝氏体和马氏体等异常组织,钢轨力学性能均满足相关标准要求,疲劳裂纹扩展速率可以控制在5-8m/Gc ($\Delta K=10\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$) 和14-18m/Gc ($\Delta K=13.5\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$),可应用于客运及客、货混运等多种线路,提高钢轨使用寿命和行车安全。

[0029] 本发明所述的热处理方法,通过合理控制轨头加速冷却速度和冷却时间,采用循环周期式冷却并进行短时间保温的生产方法,可有效减少钢轨轨头因为加速冷却产生的温度内应力和微观相变应力,在保证热处理钢轨组织和力学性能的前提下,显著降低热处理钢轨疲劳裂纹扩展速率,提高钢轨使用寿命和行车安全,该生产方法简单,可操作性强,易于推广应用。

[0030] 上述说明仅是本发明技术方案的概述,为了能够更清楚了解本发明的技术手段,而可依照说明书的内容予以实施,并且为了让本发明的上述和其他目的、特征和优点能够更明显易懂,以下结合优选实施例,详细说明如下。

具体实施方式

[0031] 下面详细说明本发明的具体实施方式,其作为本说明书的一部分,通过实施例来说明本发明的原理,本发明的其他方面、特征及其优点通过该详细说明将会变得一目了然。

[0032] 本发明实施例1-5的冶炼化学成分分别按照表1所示,对比例1-2分别按实施例1的成分范围进行,对比例3按实施例2的成分范围进行。

[0033] 表1实施例的化学成分

	化学成分/重量%						
	C	Si	Mn	P	S	V	Cr
实施例 1	0.75	0.73	0.95	0.014	0.005	0.07	0.16
[0034] 实施例 2	0.82	0.38	1.03	0.012	0.006	0.08	0.22
实施例 3	0.79	0.55	0.90	0.013	0.007	0.04	0.19
实施例 4	0.78	0.66	0.86	0.017	0.006	0.06	0.24
实施例 5	0.81	0.48	1.0	0.011	0.006	0.05	0.28

[0035] 实施例1:

[0036] 按照常规的钢轨冶炼和浇铸方法进行,工序包括转炉冶炼、LF精炼、真空处理、连铸。其中,转炉炉渣碱度控制在2.8-4.0;出钢水1/4左右时,随钢流加入硅、锰、钒等合金和增碳剂,钢水出至3/4时,合金、增碳剂全部加入;LF炉处理时间应大于35min;RH真空度 $\leq 90\text{Pa}$,纯真空处理时间应不低于16min,浇铸过程应在全程保护下进行,防止与空气接触,同时浇铸成的钢坯应进行缓冷处理。随后按照常规的钢轨轧制方法进行,钢坯送入步进梁加热炉中加热并保温,加热温度1200-1300 $^{\circ}\text{C}$,保温时间150-260min,用万能轧机轧制成钢轨,开轧温度1080-1150 $^{\circ}\text{C}$,终轧温度880-930 $^{\circ}\text{C}$ 。对钢轨进行分阶段的在线热处理,开始冷却温度控制为830 $^{\circ}\text{C}$,第一阶段轨头冷却速度为5.8 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$,冷却时间为25s;随后进行第二阶段冷

却,该阶段采用循环周期式冷却,即先对轨头加速冷却,冷却速度为 $3.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$,冷却时间为6s,再停止加速冷却,钢轨自然放置5s,此为一个冷却周期,通过不断的循环此冷却周期,待轨头温度降至 320°C 时,停止加速冷却,随后对轨头进行保温处理,保温时间为19min,自然冷却至室温,最后采用平立复合矫直工艺对钢轨进行矫直。

[0037] 实施例2-5:

[0038] 按照实施例1的方法进行,所不同的是,轧后加速冷却的具体工艺参数分别按照表2所示。

[0039] 对比例1-2

[0040] 按照实施例1的钢坯成分和生产工艺进行,所不同的是,对轧后钢轨进行加速冷却,具体的工艺参数如表2所示,得到普通的热处理钢轨。

[0041] 对比例3

[0042] 按照实施例2的钢坯成分和生产工艺进行,所不同的是,轧制成钢轨之后不进行加速冷却处理,直接自然空冷至室温,得到普通的热轧钢轨。

[0043] 表2实施例和对比例的加速冷却工艺参数

	开冷温度/ $^{\circ}\text{C}$	第一阶段冷速/ $^{\circ}\text{C}/\text{s}$	冷却时间/ s	第二阶段冷速/ $^{\circ}\text{C}/\text{s}$	冷却时间/ s	自然放置时间/ s	停止冷却温度/ $^{\circ}\text{C}$	保温时间/ s	
实施例1	830	5.8	25	3.5	6	5	320	19	
实施例2	730	7.2	28	4.8	7	4	380	12	
实施例3	800	6.9	33	5.5	9	3	430	16	
实施例4	770	6.0	30	5.8	8	2	400	14	
实施例5	850	7.8	22	5.0	7	3	360	17	
对比例1	830	持续按 $5.8^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 冷速进行冷却						320	不保温
对比例2	830	持续按 $3.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 冷速进行冷却						320	不保温
对比例3	空冷至室温								

[0045] 按照TB/T 2344-2012标准规定的方法测定实施例和对比例中所得钢轨的抗拉强度、踏面硬度、金相组织、疲劳裂纹扩展速率等性能指标,结果见表3。

[0046] 表3实施例和对比例的性能对比

	抗拉强度/ MPa	延伸率/ $\%$	踏面硬度/ HB	金相组织	疲劳裂纹扩展速率 m/Gc	
					$\Delta K=10$ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$	$\Delta K=13.5$ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$
实施例1	1262	13.7	376	珠光体+少量铁素体	5.4	15.2
实施例2	1316	13.6	389	珠光体+少量铁素体	7.3	17.6
实施例3	1285	14.3	379	珠光体+少量铁素体	5.9	16.4
实施例4	1271	14.2	372	珠光体+少量铁素体	6.2	17.0
实施例5	1308	13.6	383	珠光体+少量铁素体	6.0	17.1
对比例1	1277	13.3	376	珠光体+少量铁素体	16.3	38.9
对比例2	1248	13.9	368	珠光体+少量铁素体	13.7	32.7
对比例3	1063	14.0	309	珠光体+少量铁素体	7.2	21.8

[0048] 从表3中可以看出,实施例1-5所得到的钢轨各项性能和金相组织良好,疲劳裂纹扩展速率稳定控制在良好的范围内,远低于普通热处理钢轨,而且比热轧钢轨的疲劳裂纹

扩展速率也要稍低,与对比例1-3钢轨性能对比来看,本发明方法在保证热处理钢轨组织和力学性能的前提下,能有效降低钢轨疲劳裂纹扩展速率。

[0049] 以上所述的实施例仅仅是对于本发明的特定实施方式进行描述,并非对本发明的范围进行限定,在不脱离本发明设计精神的前提下,本领域普通技术人员对本发明的技术方案作出的各种变形和改进,均应落入本发明权利要求书确定的保护范围内。

[0050] 本发明所列举的各原料,以及本发明各原料的上下限、区间取值,以及工艺参数(如温度、时间等)的上下限、区间取值都能实现本发明,在此不一一列举实施例。

[0051] 以上所述是本发明的优选实施方式而已,当然不能以此来限定本发明之权利范围,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和变动,这些改进和变动也视为本发明的保护范围。