

有机硼化合物及其制备方法和其用途

技术领域

本发明涉及一种有机硼化合物，特别涉及一种无硫无磷类的有机
5 硼化合物及其制备方法和其用途、含该有机硼化合物的混合组合物、
含该有机硼化合物的润滑油组合物。

背景技术

随着工业技术的飞速发展，促使润滑油及其添加剂的研发也迅猛
10 发展。对于润滑油添加剂而言，朝着耐高温、符合环保要求、高效以
及多效的方向发展才能满足更高级润滑油的要求。其中，含硼类润
滑材料具有极压抗磨、防腐防锈、密封及环境适应性、无毒无臭等特点；
而含氮润滑材料具有无灰、电负性高、原子半径小、吸附于金属表面
的分子之间易形成氢键来提高油膜强度等特点；且两类润滑材料都兼
15 具多功能、分子结构可设计和活性元素可组合等优点。因此，关于含
氮有机硼润滑材料的研究在现代摩擦与润滑领域引起了广泛关注。

CN106366106A 公开了一种由硼酸、脂肪醇、乙醇胺发生反应制备
得到的含氮硼酸酯润滑油添加剂，该剂抗水解能力强、抗磨减摩性好。
CN102936527A 公开了一种由硼酸、天然油脂、有机醇胺发生反应制备
20 得到的有机硼减摩剂，该剂热稳定性好、油溶性好、具有较好的抗磨
减摩性。CN112410096A 公开了一种由硼酸、硫氮醇、芳香类二乙醇酰
胺发生反应制备得到的含氮硼酸酯润滑油添加剂，该剂可以保护设备
机械，增加润滑油的抗摩擦性能和降低能源消耗。CN101735255A 公开
了一种由油酸、三乙醇胺、硼酸三丁酯、丁醇或乙醇胺发生反应制得
25 的含硼氮化物，将其加入液体石蜡等基础油中，表现出较好的抗磨减
摩效果。

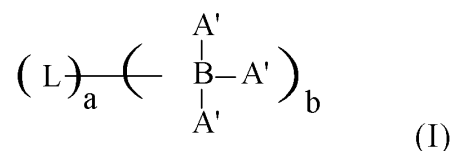
现有的无硫无磷类有机硼的抗磨减摩性能较好，但其抗氧化性能仍
有较大的提升空间。此外，添加剂的科技发展趋势是多功能化，开发
多功能添加剂可以提高添加剂性能，可以减少配方体系中添加剂的品
30 种和用量，提高配方适用性，有利于满足节能环保的要求。

发明内容

本发明提出了一种无硫无磷类的有机硼化合物及其制备方法、用途、含该有机硼化合物的混合组合物、含该有机硼化合物的润滑油组合物，所述有机硼化合物表现出优异的抗氧化性能和抗磨减摩性能。

具体而言，本发明提供以下的技术方案。

5 有机硼化合物，其结构如式(I)所示：



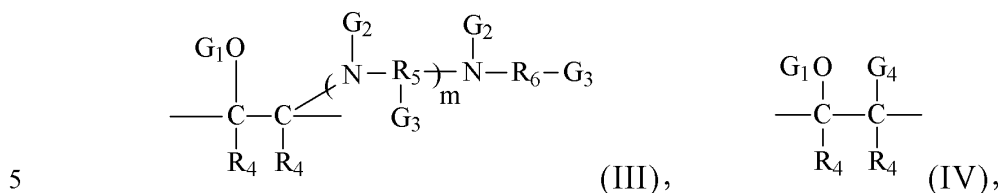
在式(I)中，存在 a 个 L 基团和 b 个含硼基团，a 为 1~10 之间的整数(优选 1~5 之间的整数，更优选 1、2 或 3)，b 为 1~10 之间的整数(优选 1~7 之间的整数，更优选 1、2、3、4 或 5)，a 个 L 基团彼此相同或
10 不同，各自独立地选自式(II)所示的基团；



在式(II)中，RO 与苯环键合(RO 优选位于苯环上 R₁ 基团的间位)；
y 个 R 基团与苯环键合；y 选自 0~4 之间的整数(优选 1~3 之间的整数，更优选 1 或 2)；R 基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选
15 各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基，优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基，更优选选自 H 和叔丁基)；n 为 1~10 之间的整数(优选 1~5 之间的整数，更优选 1、2 或 3)；R₁ 各自独立地选自单键和 C₁₋₃₀ 直链或支链的亚烷基(优选选自单键和 C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基，优选 C₁₋₁₀ 直链或支链的亚烷基)；n 个结构单元中的 R₂ 彼此相同或不同，
20 各自独立地选自单键和 C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键和 C₁₋₆ 直链或支链的亚烷基，优选各自独立地选自单键和 C₁₋₄ 直链或支链亚烷基)；R₃ 选自 H 和 C₁₋₃₀ 直链或支链烷基(优选选自 H 和

C₁₋₂₀ 直链或支链烷基, 优选 H 和 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基, 进一步优选 H 和 C₁₋₆ 直链或支链的烷基); n 个结构单元中的 A 基团彼此相同或不

同, 各自独立地选自 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{---CH---CH---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---C---C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、式(III)所示的基团和式(IV)所示的基团,



所述 R₄ 基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基);

m 独立地为 0~10 之间的整数(优选 0~5 之间的整数, 更优选 0、1 或 2);

所述 R₅ 基团各自独立地选自 3 价的 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₄ 直链或支链烷基);

15 各个 G₂ 基团各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G₄ 基团键合的结合端、C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、-R₆G₃、H(优选各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G₄ 基团键合的结合端、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、-R₆G₃、H, 更优选各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G₄ 基团键合的结合端、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、-R₆G₃、H);

20 各个 G₃ 基团各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、OH、H(优选各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、OH、H, 更优选各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、OH、H);

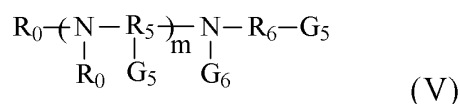
25 所述 R₆ 基团选自单键、C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键、C₁₋₆ 直链或支链亚烷基, 更优选各自独立地选自单键、C₁₋₄ 直链或支链的亚烷基);

G_1 基团选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、 C_{1-6} 直链或支链的烷基、H(优选选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、H);

G_4 基团选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G_2 基团键合的结合端、H;

在 a 个 L 基团中, 至少存在一个 A 基团为式(III)所示的基团, 至少存在一个 G_1 基团为与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端;

b 个所述含硼基团中的各个 A' 基团各自独立地选自与 L 基团中存在的 G_1 基团键合的结合端、式(V)所示的基团、-OR', 所述 R' 基团为 H 或 C_{1-20} 直链或支链的烷基(优选为 H 或 C_{1-6} 直链或支链烷基, 优选为 H 或 C_{1-4} 直链或支链的烷基);



在式(V)中, m 独立地为 0~10 之间的整数(优选 0~5 之间的整数, 更优选 0、1 或 2);

所述 R_0 基团各自独立地选自 C_{1-10} 直链或支链烷基、- R_6G_5 、H(优选各自独立地选自 C_{1-6} 直链或支链烷基、- R_6G_5 、H, 优选各自独立地选自 C_{1-4} 直链或支链烷基、- R_6G_5 、H);

在式(V)中, 所述 R_5 基团各自独立地选自 3 价的 C_{1-20} 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 3 价的 C_{1-6} 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 3 价的 C_{1-4} 直链或支链烷基);

在式(V)中, G_6 基团选自 - R_6G_5 、 C_{1-10} 直链或支链的烷基、H(优选选自 - R_6G_5 、 C_{1-6} 直链或支链的烷基、H, 优选选自 - R_6G_5 、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、H);

所述 R_6 基团独立地选自单键、 C_{1-20} 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键、 C_{1-6} 直链或支链亚烷基, 更优选各自独立地选自单键、 C_{1-4} 直链或支链的亚烷基);

各个 G_5 基团各自独立地选自 - OG_1 、 C_{1-10} 直链或支链的烷基、OH、H(优选各自独立地选自 - OG_1 、 C_{1-6} 直链或支链的烷基、OH、H, 更优选各自独立地选自 - OG_1 、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、OH、H), 其中的 G_1 基团选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、 C_{1-6} 直链或支链的

烷基、H(优选选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、C₁₋₄直链或支链的烷基、H);

存在式(V)所示的基团时,在式(V)所示的基团中,至少存在一个G₁基团为与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端;

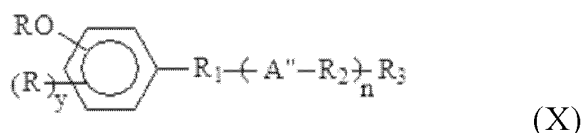
- 5 在b个所述含硼基团中,至少存在一个A'基团为与L基团中存在的G₁基团键合的结合端;

所述有机硼化合物中的各个基团符合成键规则。

- 根据本发明,式(II)中存在两个以上的式(III)所示的结构或两个以上的式(IV)所示的结构时,可以以任意方式与式(II)中的基团键合,例如式(III)或式(IV)可以以一个末端与式(II)中的R₂基团键合,也可以以另一个末端与式(II)中的R₂基团键合。

本发明提供一种有机硼化合物的制备方法,其包括以下步骤:

(1)使式(X)所示的化合物与过氧化物反应;



- 15 在式(X)中,RO与苯环键合(RO优选位于苯环上R₁基团的间位);
y个R基团与苯环键合;y选自0~4之间的整数(优选1~3之间的整数,更优选1或2);R基团各自独立地选自H和C₁₋₂₀直链或支链烷基(优选各自独立地选自H和C₁₋₆直链或支链烷基,优选各自独立地选自H和C₁₋₄直链或支链烷基,更优选选自H和叔丁基);n为1~10之间的整数
20 (优选1~5之间的整数,更优选1、2或3);R₁各自独立地选自单键和C₁₋₃₀直链或支链的亚烷基(优选选自单键和C₁₋₂₀直链或支链的亚烷基,优选C₁₋₁₀直链或支链的亚烷基);n个结构单元中的R₂彼此相同或不同,各自独立地选自单键和C₁₋₂₀直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键和C₁₋₆直链或支链亚烷基,优选各自独立地选自单键和C₁₋₄直
25 链或支链的亚烷基);R₃选自H和C₁₋₃₀直链或支链烷基(优选选自H和

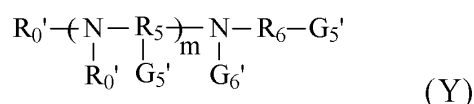
C₁₋₂₀ 直链或支链烷基, 优选 H 和 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基, 进一步优选 H 和 C₁₋₆ 直链或支链的烷基); n 个结构单元中的 A''彼此相同或不同,

各自独立地选自 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{---CH---CH---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---C---C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$, 其中所述 R₄

基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基); 在式(X)

中至少存在一个 A''为 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$;

(2)使步骤(1)的反应产物与式(Y)所示的化合物反应;



在式(Y)中, m 为 0~10 之间的整数(优选 0~5 之间的整数, 更优选 0、1 或 2);

所述 R_{0'}基团各自独立地选自 C₁₋₁₀ 直链或支链烷基、-R₆OH、H(优选各自独立地选自 C₁₋₆ 直链或支链烷基、-R₆OH、H, 优选各自独立地选自 C₁₋₄ 直链或支链烷基、-R₆OH、H);

所述 R₅基团各自独立地选自 3 价的 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₄ 直链或支链烷基);

各个 G_{5'}基团各自独立地选自 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、OH、H(优选各自独立地选自 C₁₋₆ 直链或支链的烷基、OH、H, 更优选各自独立地选自 C₁₋₄ 直链或支链的烷基、OH、H);

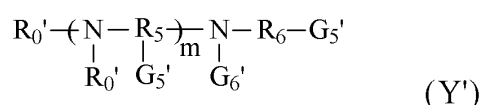
G_{6'}基团选自 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、-R₆OH、H(优选选自 -R₆OH、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、H, 优选选自 -R₆OH、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、H); 所述 R₆基团各自独立地选自单键、C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键、C₁₋₆ 直链或支链亚烷基, 优选各自独立地选自单

键、C₁₋₄直链或支链的亚烷基);

在式(Y)中, R₀'基团和 G₆'基团中的至少一个为 H, 并且任选地至少一个 G₅'基团为 OH 和/或至少一个 G₆'基团和/或至少一个 R₀'基团为 -R₆OH;

5 (3)使步骤(2)的反应产物与无机硼化合物反应, 得到有机硼化合物。

本发明的有机硼化合物的制备方法中, 可以进一步包括步骤(4), 其中使步骤(3)的反应产物与与式(Y')所示的化合物反应, 得到有机硼化合物。



10 在式(Y')中, m 为 0~10 之间的整数(优选 0~5 之间的整数, 更优选 0、1 或 2);

在式(Y')中, 所述 R₀'基团各自独立地选自 C₁₋₁₀直链或支链烷基、-R₆OH、H(优选各自独立地选自 C₁₋₆直链或支链烷基、-R₆OH、H, 优选各自独立地选自 C₁₋₄直链或支链烷基、-R₆OH、H);

15 在式(Y')中, 所述 R₅基团各自独立地选自 3 价的 C₁₋₂₀直链或支链烷基(优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₆直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₄直链或支链烷基);

在式(Y')中, 各个 G₅'基团各自独立地选自 C₁₋₁₀直链或支链的烷基、OH、H(优选各自独立地选自 C₁₋₆直链或支链的烷基、OH、H, 更优选
20 独立地选自 C₁₋₄直链或支链的烷基、OH、H);

在式(Y')中, G₆'基团选自 C₁₋₁₀直链或支链的烷基、-R₆OH、H(优选选自 -R₆OH、C₁₋₆直链或支链的烷基、H, 优选选自 -R₆OH、C₁₋₄直链或支链的烷基、H); 所述 R₆基团各自独立地选自单键、C₁₋₂₀直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键、C₁₋₆直链或支链亚烷基, 优选
25 各自独立地选自单键、C₁₋₄直链或支链的亚烷基);

在式(Y')中, 至少一个 G₅'基团为 OH 和/或至少一个 G₆'基团和/或至少一个 R₀'基团为 -R₆OH。

技术效果

30 本发明的有机硼化合物不含硫元素、磷元素, 表现出优异的抗磨

减摩性能的同时，抗氧化性能极其优异。

本发明的有机硼化合物的混合组合物中，将本发明的化合物与其他润滑油添加剂相组合，表现出优异的协同效果。

本发明的有机硼化合物的制备方法简便，生产效率高。

- 5 另外，本发明的有机硼化合物可以使用腰果酚作为原料进行制备，腰果酚来源广泛，储量巨大，符合绿色化学的要求以及可持续发展的战略要求。

附图说明

- 10 图 1 为实施例 2 产物有机硼化合物 W-01 的红外光谱谱图。
图 2 为实施例 2 产物有机硼化合物 W-01 的 ^1H -NMR 图谱。
图 3 为实施例 3 产物有机硼化合物 W-02 的 ^1H -NMR 图谱。
图 4 为对比例 1 产物有机硼化合物 V-01 的 ^1H -NMR 图谱。

15 具体实施方式

在本说明书中，在基团的定义中有时使用术语“单键”。所谓“单键”，指的是该基团不存在。举例而言，假定结构式 $-\text{CH}_2-\text{A}-\text{CH}_3$ ，其中基团 A 被定义为选自单键和甲基。鉴于此，若 A 是单键，则代表该基团 A 不存在，此时所述结构式即被相应简化为 $-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ 。

- 20 在本说明书中，在两个基团之间任选地存在间隔基团时，该间隔基团不存在时，即表明该两个基团直接相连。举例而言，假定结构式 $-\text{CH}_2-(\text{A})_p-\text{CH}_3$ ，A 为间隔基团，若 p 为 0，则代表该基团 A 不存在，此时 $-\text{CH}_2-$ 与 $-\text{CH}_3$ 直接键合，形成 $-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ 的结构。

- 在本说明书的上下文中，表达方式“数字+价+基团”或其类似用语指的是从该基团所对应的基础结构(比如链、环或其组合等)上除去该数字所代表的数量的氢原子后获得的基团，优选指的是从该结构所含的碳原子(优选饱和碳原子和/或非同一个碳原子)上除去该数字所代表的数量的氢原子后获得的基团。举例而言，“3 价直链或支链烷基”指的是从直链或支链烷烃(即该直链或支链烷基所对应的基础链)上除去 3
30 个氢原子而获得的基团。

在本发明的上下文中，所述直链或支链烷基可以为直链或支链烷基，也可以为包含一个或多个(例如 1~5 个、1~4 个、1~3 个、1~2 个)

碳碳双键的直链或支链烯基,也可以为包含一个或多个(例如 1~5 个、1~4 个、1~3 个、1~2 个)碳碳叁键的直链或支链炔基,也可以为包含一个或多个(例如 1~5 个、1~4 个、1~3 个、1~2 个)碳碳双键和碳碳叁键的直链或支链烃基。

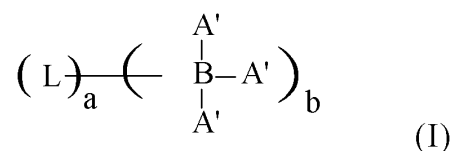
5 在本说明书的上下文中,烷基表示从烷烃中,在不违反化合价的情况下,去除一个氢原子而得的基团,优选从烷烃的一个末端碳原子上去除一个氢原子而成的基团。本发明中,烷基可以为 C₁₋₁₀₀ 直链或支链烷基, C₁₋₃₀ 直链或支链烷基, C₁₋₂₀ 直链或支链烷基, C₁₋₁₀ 直链或支链烷基, C₁₋₆ 直链或支链烷基, C₁₋₄ 直链或支链烷基。作为这些烷基的
10 具体例,可以列举甲基、乙基、丙基、异丙基、丁基、仲丁基、异丁基、叔丁基、戊基、异戊基、己基、庚基、辛基、壬基、癸基、十一烷基、十二烷基、十三烷基、十四烷基、十五烷基、十六烷基和它们的异构体等,但不限于此。

在本说明书的上下文中,亚烷基表示从烷烃中,在不违反化合价
15 的情况下,去除两个氢原子而得的基团,优选的是从不同的两个碳原子上分别去除一个氢原子而成的基团,更优选从烷烃的两个末端碳原子上分别去除一个氢原子而成的基团。本发明中,亚烷基可以为 C₁₋₃₀ 直链或支链的亚烷基, C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基, C₁₋₁₀ 直链或支链的亚烷基, C₁₋₆ 直链或支链的亚烷基, C₁₋₄ 直链或支链的亚烷基, C₁₋₃ 直
20 链或支链的亚烷基。作为这些烷基的具体例,可以列举从上述烷基的具体例的基团中再去除一个氢原子而得的基团,但不限于此。

本发明的整数可以为 0 以上整数,其还可以为 0-30 的整数,具体而言,其可以是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20; 优选为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、
25 9、10; 更优选为 0、1、2、3、4、5。

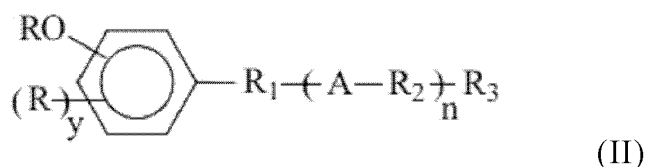
[有机硼化合物]

本发明提供一种有机硼化合物,其结构如式(I)所示:



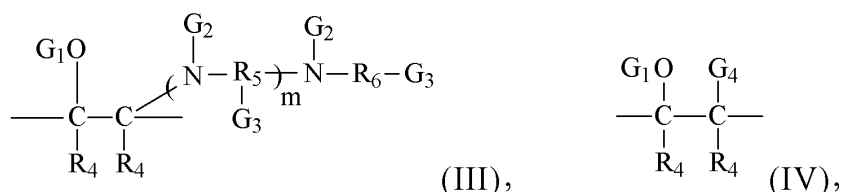
在式(I)中,存在 a 个 L 基团和 b 个含硼基团, a 为 1~10 之间的整

数(优选 1~5 之间的整数, 更优选 1、2 或 3), b 为 1~10 之间的整数(优选 1~7 之间的整数, 更优选 1、2、3、4 或 5), a 个 L 基团彼此相同或不同, 各自独立地选自式(II)所示的基团;



- 5 在式(II)中, RO 与苯环键合(RO 优选位于苯环上 R₁ 基团的间位);
- y 个 R 基团与苯环键合; y 选自 0~4 之间的整数(优选 1~3 之间的整数, 更优选 1 或 2); R 基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基, 更优选选自 H 和叔丁基); n 为 1~10 之间的整数
- 10 (优选 1~5 之间的整数, 更优选 1、2 或 3); R₁ 各自独立地选自单键和 C₁₋₃₀ 直链或支链的亚烷基(优选选自单键和 C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基, 优选 C₁₋₁₀ 直链或支链的亚烷基); n 个结构单元中的 R₂ 彼此相同或不同, 各自独立地选自单键和 C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键和 C₁₋₆ 直链或支链的亚烷基, 优选各自独立地选自单键和 C₁₋₄
- 15 直链或支链亚烷基); R₃ 选自 H 和 C₁₋₃₀ 直链或支链烷基(优选选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基, 优选 H 和 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基, 进一步优选 H 和 C₁₋₆ 直链或支链的烷基); n 个结构单元中的 A 基团彼此相同或不

同, 各自独立地选自 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{---CH---CH---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---C---C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、式(III)所示的基团和式(IV)所示的基团,



所述 R₄ 基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基);

5 m 独立地为 0~10 之间的整数(优选 0~5 之间的整数, 更优选 0、1 或 2);

所述 R₅ 基团各自独立地选自 3 价的 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₄ 直链或支链烷基);

10 各个 G_2 基团各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G_4 基团键合的结合端、 C_{1-10} 直链或支链的烷基、 $-R_6G_3$ 、H(优选各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G_4 基团键合的结合端、 C_{1-6} 直链或支链的烷基、 $-R_6G_3$ 、H, 更优选各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G_4 基团键合的结合
15 端、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、 $-R_6G_3$ 、H);

各个 G₃ 基团各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、OH、H (优选各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、OH、H, 更优选各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、OH、H);

所述 R₆ 基团选自单键、C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键、C₁₋₆ 直链或支链亚烷基, 更优选各自独立地选自单键、C₁₋₄ 直链或支链的亚烷基);

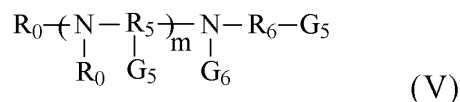
G₁ 基团选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、H(优选选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、H);

25 G₄基团选自与其所在L基团之外的其它L基团中存在的G₂基团键合的结合端、H;

在 a 个 L 基团中, 至少存在一个 A 基团为式(III)所示的基团, 至少存在一个 G₁ 基团为与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端;

b 个所述含硼基团中的各个 A' 基团各自独立地选自与 L 基团中存

在的 G_1 基团键合的结合端、式(V)所示的基团、 $-OR'$ ，所述 R' 基团为 H 或 C_{1-20} 直链或支链的烷基(优选为 H 或 C_{1-6} 直链或支链烷基，优选为 H 或 C_{1-4} 直链或支链的烷基)；



- 5 在式(V)中， m 独立地为 0~10 之间的整数(优选 0~5 之间的整数，更优选 0、1 或 2)；

所述 R_0 基团各自独立地选自 C_{1-10} 直链或支链烷基、 $-R_6G_5$ 、H(优选各自独立地选自 C_{1-6} 直链或支链烷基、 $-R_6G_5$ 、H，优选各自独立地选自 C_{1-4} 直链或支链烷基、 $-R_6G_5$ 、H)；

- 10 在式(V)中，所述 R_5 基团各自独立地选自 3 价的 C_{1-20} 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 3 价的 C_{1-6} 直链或支链烷基，优选各自独立地选自 3 价的 C_{1-4} 直链或支链烷基)；

在式(V)中， G_6 基团选自 $-R_6G_5$ 、 C_{1-10} 直链或支链的烷基、H(优选选自 $-R_6G_5$ 、 C_{1-6} 直链或支链的烷基、H，优选选自 $-R_6G_5$ 、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、H)；

- 15 所述 R_6 基团独立地选自单键、 C_{1-20} 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键、 C_{1-6} 直链或支链亚烷基，更优选各自独立地选自单键、 C_{1-4} 直链或支链的亚烷基)；

- 20 各个 G_5 基团各自独立地选自 $-OG_1$ 、 C_{1-10} 直链或支链的烷基、OH、H(优选各自独立地选自 $-OG_1$ 、 C_{1-6} 直链或支链的烷基、OH、H，更优选各自独立地选自 $-OG_1$ 、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、OH、H)，其中的 G_1 基团选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、 C_{1-6} 直链或支链的烷基、H(优选选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、H)；

- 25 存在式(V)所示的基团时，在式(V)所示的基团中，至少存在一个 G_1 基团为与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端；

在 b 个所述含硼基团中，至少存在一个 A' 基团为与 L 基团中存在的 G_1 基团键合的结合端；

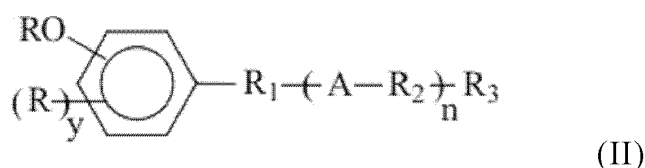
所述有机硼化合物中的各个基团符合成键规则。

本发明中，式(I)所示的结构中 $(L)_a$ 和 $\begin{pmatrix} A' \\ | \\ B-A' \\ | \\ A' \end{pmatrix}_b$ 之间的“—”并非表示该两个结构直接键合，即，此处的“—”并非化合键，而是

表示 $(L)_a$ 和 $\begin{pmatrix} A' \\ | \\ B-A' \\ | \\ A' \end{pmatrix}_b$ 之间存在连接关系，具体而言，通过本说明书中定义的方式连接。

- 5 在本发明的一个实施方式中，在式(I)中，a 为 1~10 之间的整数，优选 1~5 之间的整数，更优选 1、2 或 3。

在本发明的一个实施方式中，L 基团为式(II)所示的基团；



- 10 在本发明的一个实施方式中，存在多个(即，a>1)L 基团时，a 个 L 基团彼此可以相同，也可以不同。

在本发明的一个实施方式中，在式(I)中，b 个含硼基团 $\begin{pmatrix} A' \\ | \\ B-A' \\ | \\ A' \end{pmatrix}$ 中，b 为 1~10 之间的整数，优选 1~7 之间的整数，更优选 1、2、3、4 或 5。

存在多个(即，b>1)含硼基团 $\begin{pmatrix} A' \\ | \\ B-A' \\ | \\ A' \end{pmatrix}$ 时，b 个含硼基团彼此可以相同，也可以不同。

- 15 在本发明的一个实施方式中，在式(II)中，RO 优选位于苯环上 R₁ 基团的间位。

在本发明的一个实施方式中, 在式(II)中, y 选自 0~4 之间的整数, 优选 1~3 之间的整数, 更优选 1 或 2。

在本发明的一个实施方式中, R 基团各自独立地选自 H 和 C_{1-20} 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 H 和 C_{1-6} 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 H 和 C_{1-4} 直链或支链烷基, 更优选选自 H 和叔丁基。

在本发明的一个实施方式中, RO 中的 R 优选为氢; 键合于苯环的 R 优选为各自独立地选自 H 和 C_{1-6} 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 H 和 C_{1-4} 直链或支链烷基, 更优选叔丁基。

在本发明的一个实施方式中, n 为 1~10 之间的整数, 优选 1~5 之间的整数, 更优选 1、2 或 3。

在本发明的一个实施方式中, R_1 各自独立地选自单键和 C_{1-30} 直链或支链的亚烷基, 优选选自单键和 C_{1-20} 直链或支链的亚烷基, 优选 C_{1-10} 直链或支链的亚烷基。

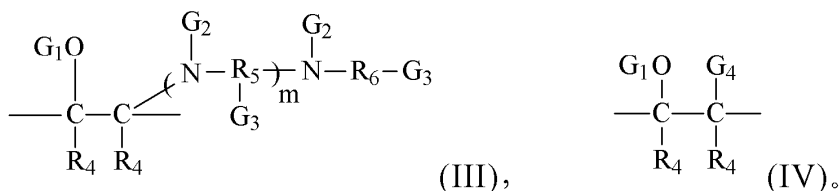
在本发明的一个实施方式中, n 个结构单元中的 R_2 彼此相同或不同, 各自独立地选自单键和 C_{1-20} 直链或支链的亚烷基, 优选各自独立地选自单键和 C_{1-6} 直链或支链的亚烷基, 更优选各自独立地选自单键和 C_{1-4} 直链或支链亚烷基。

在本发明的一个实施方式中, R_3 选自 H 和 C_{1-30} 直链或支链烷基, 优选选自 H 和 C_{1-20} 直链或支链烷基, 更优选 H 和 C_{1-10} 直链或支链的烷基, 进一步优选 H 和 C_{1-6} 直链或支链的烷基。

在本发明的一个实施方式中, n 个结构单元中的 A 基团彼此相同

或不同, 各自独立地选自 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ R_4 \quad R_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{---CH---CH---} \\ | \quad | \\ R_4 \quad R_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---C---C---} \\ | \quad | \\ R_4 \quad R_4 \end{array}$ 、式(III)

所示的基团和式(IV)所示的基团,

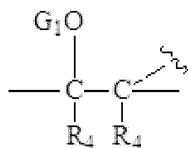


在本发明的一个实施方式中, R_4 基团各自独立地选自 H 和 C_{1-20}

直链或支链烷基，优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基，更优选选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基。

在本发明的一个实施方式中，m 独立地为 0~10 之间的整数，优选

0~5 之间的整数，更优选 0、1 或 2。此处，m 表示 0 是指， $\xi - \overset{\text{G}_2}{\underset{\text{G}_3}{\text{N}}} - \text{R}_6 - \text{G}_3$



5 直接键合于 ξ 表示二者的键合位置。

在本发明的一个实施方式中，R₅ 基团各自独立地选自 3 价的 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基，优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₆ 直链或支链烷基，更优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₄ 直链或支链烷基。

在本发明的一个实施方式中，各个 G₂ 基团各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G₄ 基团键合的结合端、C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、-R₆G₃、H，优选各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G₄ 基团键合的结合端、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、-R₆G₃、H，更优选各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G₄ 基团键合的结合端、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、-R₆G₃、H。

15 在此，“与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G₄ 基团键合的结合端”是指，G₂ 基团为单键，并且，与该 L 基团之外的其他 L 基团的 G₄ 基团对应的单键结合，即 -G₂-G₄- 整体形成单键，使得该 L 基团可以与其他 L 基团键合。

在本发明的一个实施方式中，各个 G₃ 基团各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、OH、H，优选各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、OH、H，更优选各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、OH、H。

20

在本发明的一个实施方式中，R₆ 基团选自单键、C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基，优选各自独立地选自单键、C₁₋₆ 直链或支链亚烷基，更优选各自独立地选自单键、C₁₋₄ 直链或支链的亚烷基。

25

在本发明的一个实施方式中，G₁ 基团选自与所述含硼基团中的硼

原子键合的结合端、C₁₋₆直链或支链的烷基、H，优选选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、C₁₋₄直链或支链的烷基、H。在此，“与
所述含硼基团中的硼原子键合的结合端”是指，G₁基团为单键，并且，

与含硼基团 $\begin{array}{c} \text{A}' \\ | \\ \text{B}-\text{A}' \\ | \\ \text{A}' \end{array}$ 中的 A'基团对应的单键结合，即-G₁-A'-整体形成单

5 键，使得该 L 基团与含硼基团 $\begin{array}{c} \text{A}' \\ | \\ \text{B}-\text{A}' \\ | \\ \text{A}' \end{array}$ 键合。

在本发明的一个实施方式中，G₄基团选自与其所在 L 基团之外的
其它 L 基团中存在的 G₂基团键合的结合端、H。在此，“与其所在 L
基团之外的其它 L 基团中存在的 G₂基团键合的结合端”是指，G₄基团
为单键，并且，与该 L 基团之外的其他 L 基团的 G₂基团对应的单键结
10 合，即-G₂-G₄-整体形成单键，使得该 L 基团与其他 L 基团键合。

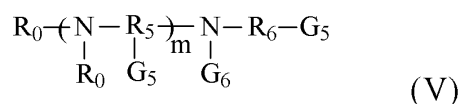
在本发明的一个实施方式中，在 a 个 L 基团中，至少存在一个 A
基团为式(III)所示的基团，至少存在一个 G₁基团为与所述含硼基团中
的硼原子键合的结合端。

在本发明中，式(I)所示的结构中，至少存在一个 A 基团为式(III)
15 所示的基团，由此，使得式(I)所示的结构中，具有含氮基团；至少存
在一个 G₁基团为与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端，由此，使

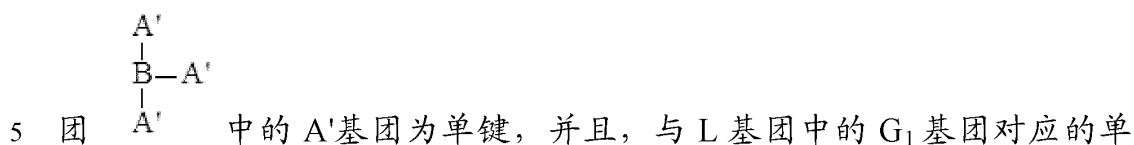
得式(I)所示的结构中，具有含硼基团 $\begin{array}{c} \text{A}' \\ | \\ \text{B}-\text{A}' \\ | \\ \text{A}' \end{array}$ 。

在本发明的一个实施方式中，b 个所述含硼基团 $\begin{array}{c} \text{A}' \\ | \\ \text{B}-\text{A}' \\ | \\ \text{A}' \end{array}$ 中的各个

A'基团各自独立地选自与 L 基团中存在的 G₁ 基团键合的结合端、式(V)所示的基团、-OR'。



在此，“与 L 基团中存在的 G₁ 基团键合的结合端”是指，含硼基

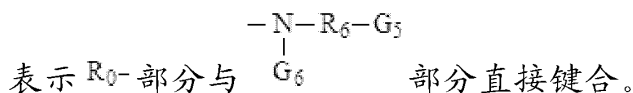


键结合，即-G₁-A'-整体形成单键，使得含硼基团 $\begin{array}{c} \text{A}' \\ | \\ \text{B}-\text{A}' \\ | \\ \text{A}' \end{array}$ 与 L 基团键合。

在本发明的一个实施方式中，R'基团为 H 或 C₁₋₂₀ 直链或支链的烷基，优选为 H 或 C₁₋₆ 直链或支链烷基，更优选为 H 或 C₁₋₄ 直链或支链的烷基。

10 在本发明中，式(V)中所示结构中的 m、R₅ 基团和 R₆ 基团与式(III)中所示结构中的 m、R₅ 基团和 R₆ 基团是彼此独立地，即，在本发明的式(I)所示的有机硼化合物中，每次出现的 m、每次出现的 R₅ 基团、每次出现的 R₆ 基团都是彼此独立的。

在本发明的一个实施方式中，在式(V)中，m 独立地为 0~10 之间的整数，优选 0~5 之间的整数，更优选 0、1 或 2。在此，m 为 0 时，



在本发明的一个实施方式中，R₀ 基团各自独立地选自 C₁₋₁₀ 直链或支链烷基、-R₆G₅、H，优选各自独立地选自 C₁₋₆ 直链或支链烷基、-R₆G₅、H，更优选各自独立地选自 C₁₋₄ 直链或支链烷基、-R₆G₅、H。

20 在本发明的一个实施方式中，在式(V)中，所述 R₅ 基团各自独立地选自 3 价的 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基，优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₆ 直

链或支链烷基，更优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₄ 直链或支链烷基。

在本发明的一个实施方式中，在式(V)中，G₆ 基团选自 -R₆G₅、C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、H，优选选自 -R₆G₅、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、H，更优选选自 -R₆G₅、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、H。

- 5 在本发明的一个实施方式中，R₆ 基团独立地选自单键、C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基，优选各自独立地选自单键、C₁₋₆ 直链或支链亚烷基，更优选各自独立地选自单键、C₁₋₄ 直链或支链的亚烷基。

在本发明的一个实施方式中，各个 G₅ 基团各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、OH、H，优选各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、OH、H，更优选各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、OH、H。此处，G₁ 基团选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、H，优选选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、H。在此，“与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端”是指，G₁ 基团为单键，并且，

15 与含硼基团 $\begin{array}{c} \text{A}' \\ | \\ \text{B}-\text{A}' \\ | \\ \text{A}' \end{array}$ 中的 A' 基团对应的单键结合，即 -G₁-A'- 整体形成单

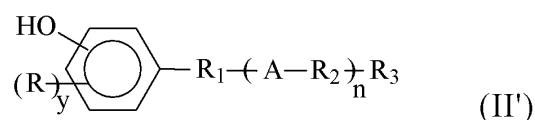
键，使得 L 基团与含硼基团 $\begin{array}{c} \text{A}' \\ | \\ \text{B}-\text{A}' \\ | \\ \text{A}' \end{array}$ 键合。

在本发明中，存在式(V)所示的基团时，在式(V)所示的基团中，至少存在一个 G₁ 基团为与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端，使得

式(V)所示的结构与含硼基团 $\begin{array}{c} \text{A}' \\ | \\ \text{B}-\text{A}' \\ | \\ \text{A}' \end{array}$ 键合。

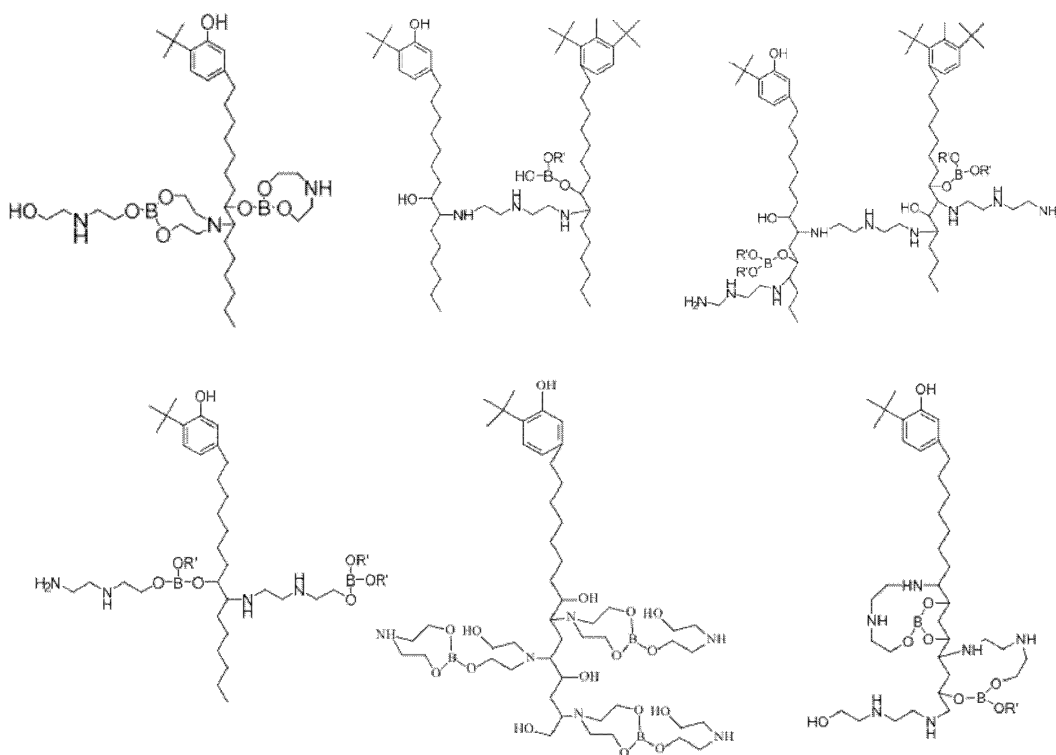
在本发明中,在b个所述含硼基团中,至少存在一个A'基团为与L基团中存在的G₁基团键合的结合端。使得式(I)所示的化合物中,存在含硼基团。

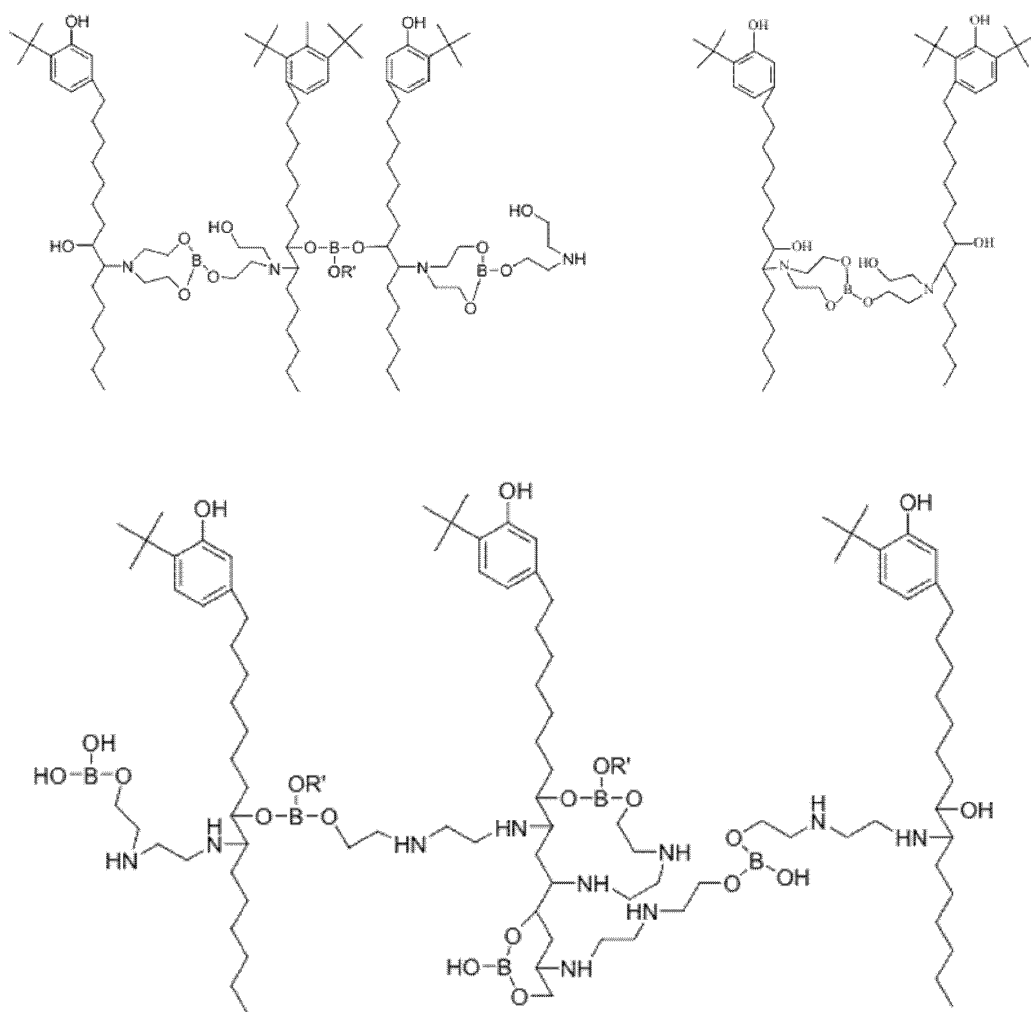
在本发明的一个实施方式中,式(II)所示的基团为式(II')所示的基团。



本发明中,式(III)所示的结构、式(IV)所示的结构的在L基团中的键合方式没有特别限定,其可以以任意的末端与R₂键合。例如式(III)或式(IV)可以以一个末端与R₂基团键合,也可以以另一个末端与R₂基团键合。

根据本发明,可以举出的所述有机硼化合物的例子包括以下结构化合物中的一种或多种:





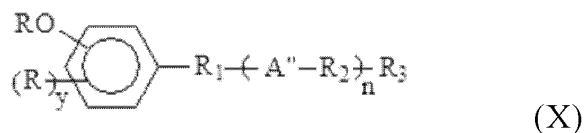
其中的 R'基团为 H 或 C₁-C₂₀ 的直链或支链烷基。

在本发明的一个实施方式中，R'基团优选为 H 或 C₁₋₆ 直链或支链
5 烷基，更优选为 H 或 C₁₋₄ 直链或支链的烷基。

[有机硼化合物的制备方法]

本发明提供一种有机硼化合物的制备方法，其包括以下步骤：

(1)使式(X)所示的化合物与过氧化物反应；



10 在式(X)中，RO 与苯环键合(RO 优选位于苯环上 R₁基团的间位)；

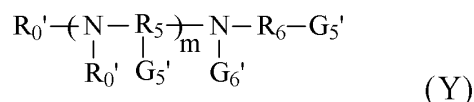
y 个 R 基团与苯环键合; y 选自 0~4 之间的整数(优选 1~3 之间的整数, 更优选 1 或 2); R 基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基, 更优选选自 H 和叔丁基); n 为 1~10 之间的整数
 5 (优选 1~5 之间的整数, 更优选 1、2 或 3); R₁ 各自独立地选自单键和 C₁₋₃₀ 直链或支链的亚烷基(优选选自单键和 C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基, 优选 C₁₋₁₀ 直链或支链的亚烷基); n 个结构单元中的 R₂ 彼此相同或不同, 各自独立地选自单键和 C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键和 C₁₋₆ 直链或支链亚烷基, 优选各自独立地选自单键和 C₁₋₄ 直
 10 链或支链的亚烷基); R₃ 选自 H 和 C₁₋₃₀ 直链或支链烷基(优选选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基, 优选 H 和 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基, 进一步优选 H 和 C₁₋₆ 直链或支链的烷基); n 个结构单元中的 A'' 彼此相同或不同,

各自独立地选自 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{---CH---CH---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---C---C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$, 其中所述 R₄

基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基); 在式(X)
 15

中至少存在一个 A'' 为 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$;

(2)使步骤(1)的反应产物与式(Y)所示的化合物反应;



在式(Y)中, m 为 0~10 之间的整数(优选 0~5 之间的整数, 更优选

0、1 或 2);

所述 R_0' 基团各自独立地选自 C_{1-10} 直链或支链烷基、 $-R_6OH$ 、H(优选各自独立地选自 C_{1-6} 直链或支链烷基、 $-R_6OH$ 、H, 优选各自独立地选自 C_{1-4} 直链或支链烷基、 $-R_6OH$ 、H);

5 所述 R_5 基团各自独立地选自 3 价的 C_{1-20} 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 3 价的 C_{1-6} 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 3 价的 C_{1-4} 直链或支链烷基);

各个 G_5' 基团各自独立地选自 C_{1-10} 直链或支链的烷基、OH、H(优选各自独立地选自 C_{1-6} 直链或支链的烷基、OH、H, 更优选独立地选自 C_{1-4} 直链或支链的烷基、OH、H);

G_6' 基团选自 C_{1-10} 直链或支链的烷基、 $-R_6OH$ 、H(优选选自 $-R_6OH$ 、 C_{1-6} 直链或支链的烷基、H, 优选选自 $-R_6OH$ 、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、H);

所述 R_6 基团各自独立地选自单键、 C_{1-20} 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键、 C_{1-6} 直链或支链亚烷基, 优选各自独立地选自单键、 C_{1-4} 直链或支链的亚烷基);

在式(Y)中, R_0' 基团和 G_6' 基团中的至少一个为 H, 并且任选地至少一个 G_5' 基团为 OH 和/或至少一个 G_6' 基团和/或至少一个 R_0' 基团为 $-R_6OH$;

20 (3)使步骤(2)的反应产物与无机硼化合物反应, 得到有机硼化合物。

在本发明的一个实施方式中, 在式(X)中, RO 与苯环键合, RO 优选位于苯环上 R_1 基团的间位。

在本发明的一个实施方式中, y 选自 0~4 之间的整数, 优选 1~3 之间的整数, 更优选 1 或 2。

25 在本发明的一个实施方式中, R 基团各自独立地选自 H 和 C_{1-20} 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 H 和 C_{1-6} 直链或支链烷基, 更优选各自独立地选自 H 和 C_{1-4} 直链或支链烷基, 更优选选自 H 和叔丁基。

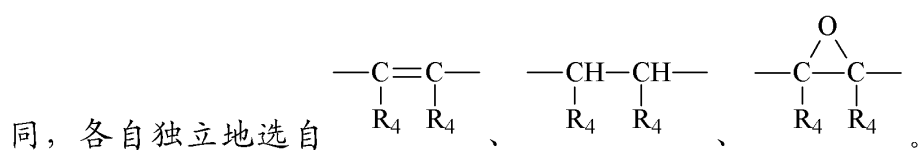
在本发明的一个实施方式中, n 为 1~10 之间的整数, 优选 1~5 之间的整数, 更优选 1、2 或 3。

30 在本发明的一个实施方式中, R_1 各自独立地选自单键和 C_{1-30} 直链或支链的亚烷基, 优选选自单键和 C_{1-20} 直链或支链的亚烷基, 更优选 C_{1-10} 直链或支链的亚烷基。

在本发明的一个实施方式中, n 个结构单元中的 R_2 彼此相同或不同, 各自独立地选自单键和 C_{1-20} 直链或支链的亚烷基, 优选各自独立地选自单键和 C_{1-6} 直链或支链亚烷基, 更优选各自独立地选自单键和 C_{1-4} 直链或支链的亚烷基。

- 5 在本发明的一个实施方式中, R_3 选自 H 和 C_{1-30} 直链或支链烷基, 优选选自 H 和 C_{1-20} 直链或支链烷基, 更优选 H 和 C_{1-10} 直链或支链的烷基, 进一步优选 H 和 C_{1-6} 直链或支链的烷基。

在本发明的一个实施方式中, n 个结构单元中的 A"彼此相同或不



- 10 在本发明的一个实施方式中, R_4 基团各自独立地选自 H 和 C_{1-20} 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 H 和 C_{1-6} 直链或支链烷基, 更优选选自 H 和 C_{1-4} 直链或支链烷基。

在本发明中, 在式(X)中至少存在一个 A"为 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ R_4 \quad R_4 \end{array}$ 。通过至少

存在一个双键基团 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ R_4 \quad R_4 \end{array}$, 在步骤(1)中该双键基团转化为环氧基

- 15 团。

在本发明的一个实施方式中, 在式(Y)中, m 为 0~10 之间的整数,

优选 0~5 之间的整数, 更优选 0、1 或 2。在此, m 为 0 时, 表示 $R_0'-\xi$

与 $\begin{array}{c} \xi \text{---N---R}_6\text{---G}_5' \\ | \\ G_6' \end{array}$ 直接键合, ξ 表示二者的键合位置。

- 20 在本发明的一个实施方式中, R_0' 基团各自独立地选自 C_{1-10} 直链或支链烷基、 $-R_6OH$ 、H, 优选各自独立地选自 C_{1-6} 直链或支链烷基、 $-R_6OH$ 、H, 更优选各自独立地选自 C_{1-4} 直链或支链烷基、 $-R_6OH$ 、H。

在本发明的一个实施方式中, R_5 基团各自独立地选自 3 价的 C_{1-20} 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 3 价的 C_{1-6} 直链或支链烷基, 更优选各自独立地选自 3 价的 C_{1-4} 直链或支链烷基。

在本发明的一个实施方式中, 各个 G_5' 基团各自独立地选自 C_{1-10} 直链或支链的烷基、OH、H, 优选各自独立地选自 C_{1-6} 直链或支链的烷基、OH、H, 更优选各自独立地选自 C_{1-4} 直链或支链的烷基、OH、H。

在本发明的一个实施方式中, G_6' 基团选自 C_{1-10} 直链或支链的烷基、 $-R_6OH$ 、H, 优选选自 $-R_6OH$ 、 C_{1-6} 直链或支链的烷基、H, 更优选选自 $-R_6OH$ 、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、H。

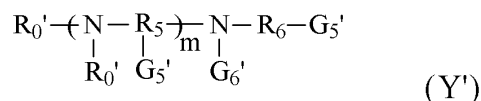
在本发明的一个实施方式中, 所述 R_6 基团各自独立地选自单键、 C_{1-20} 直链或支链的亚烷基, 优选各自独立地选自单键、 C_{1-6} 直链或支链亚烷基, 更优选各自独立地选自单键、 C_{1-4} 直链或支链的亚烷基。

在本发明的一个实施方式中, 在式(Y)中, R_0' 基团和 G_6' 基团中的至少一个为 H。在此, R_0' 基团和 G_6' 基团中的至少一个为 H, 使得式 Y 中至少存在一个 $-NH$ 基团或 $-NH_2$ 基团, 该 $-NH$ 基团或 $-NH_2$ 基团可以与步骤(1)的产物上的环氧基团进行开环反应。

在本发明的一个实施方式中, 任选地至少一个 G_5' 基团为 OH 和/或至少一个 G_6' 基团和/或至少一个 R_0' 基团为 $-R_6OH$ 。即, 在此, 满足 G_5' 基团为 OH、 G_6' 基团为 $-R_6OH$ 、 R_0' 基团为 $-R_6OH$ 中的至少一种情况, 这种情况下, 式 Y 所示的化合物中, 除了 $-NH$ 基团或 $-NH_2$ 基团之外, 还带有 $-OH$ 基团, 该 $-OH$ 基团可以在步骤(3)中, 与无机硼化合物反应。

在本发明的一个实施方式中, 在步骤(3)中, 使步骤(2)的反应产物与无机硼化合物反应, 得到有机硼化合物。此时, 硼化合物与步骤(2)的反应产物中的羟基($-OH$)反应, 以硼酸酯基团的形式键合于步骤(2)的反应产物的结构上。

在本发明的一个实施方式中, 进一步包括步骤(4), 其中使步骤(3)的反应产物与进一步与式(Y')所示的化合物反应, 得到有机硼化合物。



本发明中, 步骤 4 中的式(Y')所示的结构的化合物中的 R_0' 、 m 、 R_5 、 R_6 、 G_5' 、 G_6' 与式(Y)所示的结构的化合物中的 R_0' 、 m 、 R_5 、 R_6 、

G_5' 、 G_6' 是彼此独立的。换言之，当本发明的制备方法具有步骤(4)时，每次出现的 R_0' 、 m 、 R_5 、 R_6 、 G_5' 、 G_6' ，与步骤(2)中的式(Y)所示的化合物中基团各自是彼此独立的。

在本发明的一个实施方式中，在式(Y')中， m 为 0~10 之间的整数，
5 优选 0~5 之间的整数，更优选 0、1 或 2。

在本发明的一个实施方式中，在式(Y')中， R_0' 基团各自独立地选自 C_{1-10} 直链或支链烷基、 $-R_6OH$ 、H，优选各自独立地选自 C_{1-6} 直链或支链烷基、 $-R_6OH$ 、H，更优选各自独立地选自 C_{1-4} 直链或支链烷基、 $-R_6OH$ 、H。

10 在本发明的一个实施方式中，在式(Y')中， R_5 基团各自独立地选自 3 价的 C_{1-20} 直链或支链烷基，优选各自独立地选自 3 价的 C_{1-6} 直链或支链烷基，更优选各自独立地选自 3 价的 C_{1-4} 直链或支链烷基。

在本发明的一个实施方式中，在式(Y')中，各个 G_5' 基团各自独立地选自 C_{1-10} 直链或支链的烷基、OH、H，优选各自独立地选自 C_{1-6} 直链或支链的烷基、OH、H，更优选各自独立地选自 C_{1-4} 直链或支链的烷基、OH、H。
15

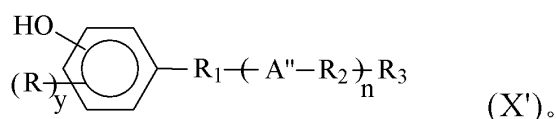
在本发明的一个实施方式中，在式(Y')中， G_6' 基团选自 C_{1-10} 直链或支链的烷基、 $-R_6OH$ 、H，优选选自 $-R_6OH$ 、 C_{1-6} 直链或支链的烷基、H，更优选选自 $-R_6OH$ 、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、H。

20 在本发明的一个实施方式中，在式(Y')中， R_6 基团各自独立地选自单键、 C_{1-20} 直链或支链的亚烷基，优选各自独立地选自单键、 C_{1-6} 直链或支链亚烷基，更优选各自独立地选自单键、 C_{1-4} 直链或支链的亚烷基。

在本发明的一个实施方式中，在式(Y')中，至少一个 G_5' 基团为 OH 和/或至少一个 G_6' 基团和/或至少一个 R_0' 基团为 $-R_6OH$ 。即，在此，满足 G_5' 基团为 OH、 G_6' 基团为 $-R_6OH$ 、 R_0' 基团为 $-R_6OH$ 中的至少一种情况，这种情况下，-OH 基团可以在步骤(4)中，与步骤(3)的产物中的硼酸酯基团发生，使得衍生自式(Y')的基团键合于硼原子。
25

在本发明的一个实施方式中，式(Y')所示的化合物优选与式(Y)所示的化合物相同。

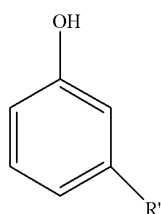
30 在本发明的一个实施方式中，式(X)所示化合物为下式(X')，



在本发明的一个实施方式中，在步骤(1)中，式(X)所示的化合物可以选自腰果酚、烷基化腰果酚，所述烷基化腰果酚可以通过腰果酚与烷基化剂反应得到，例如可以通过腰果酚与叔丁基氯反应得到叔丁基化腰果酚。

腰果酚是腰果壳油的主要成分，是一种天然酚类化合物，是腰果生产中的重要农副产品，来源广泛，储量巨大。采用该类来源丰富且低成本的天然化合物为原料合成性能优于现有产品的摩擦改进剂，符合绿色化学的要求以及可持续发展的战略要求。

在本发明的一个实施方式中，腰果酚的结构可以表示为：

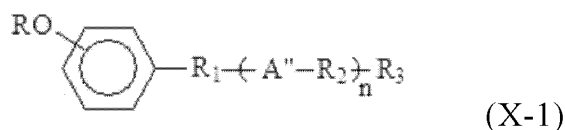


其中， R'' 为 $\text{C}_{15}\text{H}_{(31+x)}$ ， x 为 0, -2, -4 或 -6。在本发明的一个实施方式中， R'' 为 $\text{C}_{15}\text{H}_{(31+x)}$ 的长链上不含有不饱和双键。在本发明的一个实施方式中， R'' 为 $\text{C}_{15}\text{H}_{(31+x)}$ 的长链上含有 1 个不饱和双键(即， x 为 -2)。在本发明的一个实施方式中， R'' 为 $\text{C}_{15}\text{H}_{(31+x)}$ 的长链上含有 2 个不饱和双键(即， x 为 -4)。在本发明的一个实施方式中， R'' 为 $\text{C}_{15}\text{H}_{(31+x)}$ 的长链上含有 3 个不饱和双键(即， x 为 -6)。在本发明的一个实施方式中， R'' 为 $\text{C}_{15}\text{H}_{(31+x)}$ 的长链为含有 0-3 个烯键的 15 个碳的碳链，其中 8 位、11 位和 14 位的至少一个位置上存在烯键。

在本发明的一个实施方式中，烷基化腰果酚是指，通过使腰果酚与烷基化试剂发生反应，在腰果酚的苯环上引入烷基。烷基化的方法可以使用本领域公知的方法。

在本发明的一个实施方式中，本发明的有机硼化合物的制备方法中，进一步包括步骤(1')，其中，

在步骤(1)之前，进行步骤(1')，其中，使式(X-1)所示的化合物与烷基化试剂发生反应，得到式(X)所示的化合物(其中， y 不为零)；



或者,

在步骤(1)之后, 进行步骤(1'), 其中, 使步骤(1)的产物与烷基化试剂发生反应, 得到步骤(1)的产物中的苯环被烷基化的烷基化产物, 将该烷基化产物用于步骤(2)的反应。烷基化方法和烷基化试剂可以使用本领域公知的方法和试剂。

在本发明的一个实施方式中, 所述步骤(1')中的烷基化为叔丁基化。

在本发明的一个实施方式中, 烷基化腰果酚包括在酚羟基的邻位引入烷基的腰果酚, 优选包括在酚羟基的邻位引入叔丁基的腰果酚。

根据本发明, 在步骤(1)中, 所述过氧化物优选双氧水、过氧甲酸、过氧乙酸、过氧磺酸、间氯过氧苯甲酸、叔丁基过氧化氢、过氧乙酸叔丁酯、过氧化甲基乙基酮、过氧化二苯甲酰和过氧化环己酮中的一种或多种, 更优选双氧水、过氧化甲酸、过氧乙酸和过氧磺酸中的一种或多种。

根据本发明, 在步骤(1)中, 可以加入催化剂, 也可以不加入催化剂, 优选加入催化剂。所述催化剂优选无机酸, 例如可以选用硫酸、盐酸、磷酸、硝酸、杂多酸和固体酸中的一种或多种。

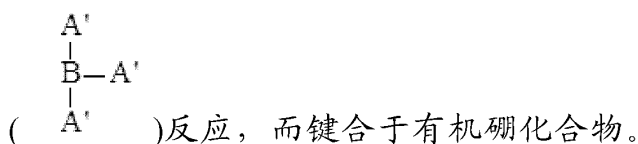
根据本发明, 在步骤(2)中, 式(Y)所示的化合物可以选自脂肪胺、多烯多胺、一个或多个羟基取代的脂肪胺、一个或多个羟基取代的多烯多胺中的一种或多种, 例如可以选用乙醇胺、二乙醇胺、羟乙基乙二胺(即 N-(2-羟乙基)乙二胺)、二乙烯三胺、三乙烯四胺、四乙烯五胺和五乙烯六胺中的一种或多种。

根据本发明, 在步骤(2)中, 可以使用催化剂, 所述催化剂可以是硫酸、磷酸、苯磺酸、杂多酸等质子酸, 酞酸酯、金属氧化物等路易斯酸。优选硫酸、磷酸、苯磺酸、酞酸酯中的一种或多种。

根据本发明, 在步骤(3)中, 所述无机硼化合物优选选自硼酸、氧化硼、四硼酸(即 $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$)、偏硼酸(即 HBO_2)和硼酸半酯中的一种或多种, 所述硼酸半酯可以选用硼酸单烷基酯、硼酸二烷基酯, 其中的烷基为 $\text{C}_1\text{-C}_{20}$ 的直链或支链烷基。

在本发明的一个实施方式中, 在步骤(3)反应进行的同时, 也可以

同时进行步骤(4)的反应,即,式(Y)所示的化合物进一步与步骤(3)的产物反应,使式(Y)所示的化合物中的-OH与步骤(3)的产物中的含硼基团



本发明中,由于步骤(1)中的环氧化反应、步骤(2)中的利用亲核试剂(式(Y)所示化合物)的开环反应、步骤(3)中与无机硼化合物的酯化反应、步骤(4)中的硼酸(酯)与含羟基的反应物(式(Y)所示的化合物或式(Y')所示的化合物)的反应都是本领域公知的反应,因此,其中各原料的用量比、反应条件可以为本领域常规的用量比、反应条件。

在本发明的一个实施方式中,式(X)所示的化合物与过氧化物、式(Y)所示的化合物、无机硼化合物之间的当量比可以根据需要任意调节。在本发明的一个实施方式中,式(X)所示的化合物与过氧化物、式(Y)所示的化合物、无机硼化合物之间的当量比可以为 1: 0.5~10: 0.5~10: 0.5~5,优选为 1: 2~3: 2~3: 1~2。

在本发明的一个实施方式中,存在步骤(4)时,式(X)所示的化合物与过氧化物、式(Y)所示的化合物、无机硼化合物、式(Y')所示的化合物之间的当量比可以为 1: 0.5~10: 0.5~10: 0.5~5: 0.5~10,优选为 1: 2~3: 2~3: 1~2: 2~3。

在本发明的一个实施方式中,步骤(1)的反应温度优选为 0~100℃,更优选为 20~80℃;步骤(2)的反应温度优选为 50~150℃,更优选为 60~100℃;步骤(3)的反应温度优选为 80~200℃,更优选为 110~150℃;步骤(4)的反应温度优选为 50~150℃,更优选为 60~100℃。

在本发明的一个实施方式中,步骤(1)、步骤(2)、步骤(3)、步骤(4)的反应时间通常越长越好,一般来说,步骤(1)的反应时间优选为 1~10h,更优选为 3~5h;步骤(2)的反应时间优选为 1~10h,更优选为 2~4h;步骤(3)的反应时间优选为 1~10h,更优选为 3~5h;步骤(4)的反应时间优选为 1~10h,更优选为 2~4h。

在本发明的一个实施方式中,所述反应步骤(1)、(2)、(3)或(4)可以在稀释剂和/或溶剂的存在下进行,也可以不使用稀释剂和/或溶剂。

根据本发明，所述稀释剂可以选用 API I、II、III、IV 和 V 类基础油中的一种或多种，常见的商品或牌号包括 150SN、200SN、350SN、500SN、650SN、150BS、HVI-100、HVI-150、HVI-200、HVI-350、HVI-400、HVI-500、HVI-150BS、PAO4、PAO6、PAO8、PAO10、烷基苯、烷基萘等。

根据本发明，所述溶剂可以选用酮类(例如丙酮、丁酮、甲乙酮)、C₆₋₂₀ 芳香烃(比如苯、甲苯、二甲苯和异丙苯)、C₆₋₁₀ 烷烃(比如正己烷、环己烷和石油醚)、溶剂汽油等。这些溶剂可以仅使用一种，也可以两种或多种组合使用。所述溶剂可在反应结束后，使用本领域技术人员公知的方式，例如在常压或减压条件下蒸除溶剂。

根据本发明的一个实施方式，所述稀释剂和/或溶剂可以在所述反应步骤的任何阶段按照本领域的常规用量加入，并没有特别的限定。

在本发明的一个实施方式中，所述各反应步骤可以在惰性气体气氛的保护下进行。作为所述惰性气体，比如可以举出氮气和氩气等，并没有特别的限定。

在本发明的一个实施方式中，在步骤(3)中，可以加入促使反应完全的促进剂，常见的促进剂包括水、乙醇、丙醇、丁醇、氨水等。如加入促进剂，可在反应结束后，使用本领域技术人员公知的方式，例如在常压或减压条件下蒸除。

根据本发明，通过前述的有机硼化合物的制备方法，作为反应产物，可以制造出单一的一种有机硼化合物，也可以制造出由多种有机硼化合物构成的混合物(即本发明的有机硼化合物可以以多种结构不同的有机硼化合物的混合物的形式存在)，或者由一种或多种所述有机硼化合物与前述稀释剂(如果使用的话)构成的混合物。这些反应产物都是本发明所预期的，其存在形式的不同并不影响本发明效果的实现。因此，本说明书上下文中不加区分地将这些反应产物均统称为有机硼化合物。鉴于此，根据本发明，并不存在进一步纯化该反应产物，或者从该反应产物中进一步分离出某一特定结构的有机硼化合物的绝对必要性。当然，该纯化或分离对于本发明预期效果的进一步提升而言是优选的，但对于本发明并不必需。虽然如此，作为所述纯化或分离方法，比如可以举出通过柱层析方法或制备色谱等方法对所述反应产物进行纯化或分离等。

根据本发明，在所述有机硼化合物的制备方法中，反应产物可以是结构单一的一种有机硼化合物，也可以是包含多种结构的有机硼化合物的混合物(即本发明的有机硼化合物可以以多种结构不同的有机硼化合物的混合物的形式存在)。这些反应产物都是本发明所预期的，其存在形式的不同并不影响本发明效果的实现。因此，本说明书上下文中不加区分地将这些反应产物均统称为本发明的有机硼化合物。特别是，对于腰果酚而言，在腰果酚的 R" 为 15 个碳的碳链中，在 8 位、11 位和 14 位的至少一个位置上出现烯键，例如，自然产物的腰果酚中，腰果酚中饱和与不饱和腰果酚所占的比例分别为：三个烯键的腰果酚约 41%，两个烯键的腰果酚约占 22%，一个烯键的腰果酚约占 34%，其余为饱和腰果酚。因此，在使用腰果酚时，反应原料为混合物，所得有机硼化合物也是具有多种结构的有机硼化合物的混合物(即，本说明书下述的有机硼化合物的混合组合物)。

鉴于此，根据本发明，并不存在进一步纯化反应产物，或者从这些反应产物中进一步分离出某一特定结构的有机硼化合物的绝对必要性。当然，该纯化或分离对于本发明预期效果的进一步提升而言有时是优选的，但于本发明而言并不必需。虽然如此，作为所述纯化或分离方法，比如可以举出通过洗涤、过滤、蒸馏、重结晶、柱层析、制备色谱等方法对所述反应产物进行纯化或分离等。

根据本发明，在所述有机硼化合物的制备方法中，在所述反应步骤结束之后，通过常规已知的分离方法(比如蒸发等)从该步骤获得的反应混合物中除去可能存在的溶剂等挥发性物质之后，即可获得该步骤的反应产物。

因此，本发明还提供一种有机硼化合物的混合组合物，其包含本发明的上述的有机硼化合物，其中的有机硼化合物可以为结构单一的一种有机硼化合物，也可以是多种结构不同的有机硼化合物的混合物。

本发明的有机硼化合物的混合组合物中，可以任选地包含分散介质对于有机硼化合物进行分散。本发明的有机硼化合物的混合组合物中，可以含有一种有机硼化合物，也可以含有多种有机硼化合物。

本发明的有机硼化合物的混合组合物中，可以进一步包含其他润滑油添加剂，所述润滑油添加剂可以为本领域常规的润滑油添加剂，包括但不限于抗氧化剂、抗磨剂、减摩剂。作为该其他润滑油添加剂的

比例，相对于有机硼化合物的混合组合物，没有任何限定，其下限可以为 1wt%、5wt%、10wt%、15wt%、20wt%、25wt%、30wt%、35wt%、40wt%或者 45wt%，其上限可以为 95wt%、90wt%、85wt%、80wt%、75wt%、70wt%、65wt%、60wt%、55wt%或者 50wt%

- 5 本发明的有机硼化合物的混合组合物中，通过进一步包含上述其他润滑油添加剂，从而表现出优异的协同效果。

在本发明的一个实施方式中，本发明的有机硼化合物的混合组合物包含本发明的有机硼化合物和至少一种抗氧剂。所述抗氧剂优选为胺型抗氧剂，更优选为对,对'-二异辛基二苯胺。

10 [润滑油/润滑脂]

本发明的有机硼化合物可以用作用于润滑油的抗氧剂、抗磨剂、减摩剂。

- 15 本发明的有机硼化合物可以用于润滑油、润滑脂中。本发明的润滑油包括基础油和本发明的上述有机硼化合物。本发明的润滑脂包括基础油和本发明的上述有机硼化合物。

本发明中，作为润滑油的基础油，没有特别限制，可以使用矿物油、合成油、矿物油和合成油的混合物。基础油的粘度指数优选为 122 以上、更优选 123 以上、进一步优选 125 以上。

- 20 作为矿物油，可列举出利用溶剂精制、氢化精制等通常的精制法得到的链烷烃基系矿物油、中间基系矿物油和环烷烃基系矿物油等；利用费托工艺等制造的蜡(气制液(Gas to Liquid)蜡)、通过将矿物油系蜡等蜡异构化而制造的蜡异构化系油；等。

- 25 作为合成油，可列举出烃系合成油、醚系合成油等。作为烃系合成油，可列举出烷基苯、烷基萘等。作为醚系合成油，可列举出聚氧亚烷基二醇、聚苯基醚等。

它们之中，从省油耗性和发动机的低温起动性提高的观点考虑，优选为选自被分类为 API(美国石油协会)基础油种类的组 3~5 的矿物油和合成油中的至少一种。

- 30 基础油可以为使用了上述矿物油和合成油中的一种的单一体系，也可以为如矿物油的两种以上混合而成的基础油、合成油的两种以上混合而成的基础油、矿物油和合成油的各自一种或两种以上混合而成的基础油那样的混合体系。

本发明中，作为润滑脂的基础油，没有特别限制，可以举出通常用于制造润滑脂的矿物油系基础油、合成系基础油。它们可以单独使用或者以混合物的形式使用。

作为矿物油系基础油，可以使用适当组合减压蒸馏、溶剂脱沥青、溶剂提取、氢化裂化、溶剂脱蜡、硫酸洗涤、白土精制和加氢精制等来进行精制而得到的基础油。此外，作为合成系基础油，可以举出聚 α -烯烃(PAO)系基础油、其它的烃系基础油、酯系基础油、烷基二苯基醚系基础油、聚亚烷基二醇系基础油(PAG)、烷基苯系基础油等。

本发明提供一种润滑油组合物，其包含本发明上述的有机硼化合物和润滑油基础油，其中所述有机硼化合物占所述润滑油组合物的质量分数是 0.001%~100%，优选 0.005%~90%，更优选 0.01%~50%，进一步可选 0.05%~30%，进一步可选 0.1%~25%，进一步可选 0.5%~20%。

根据本发明，所述润滑油组合物还可以包含其它组分。作为所述其它组分，比如可以举出本领域在润滑油组合物中允许添加的各种添加剂，具体比如可以举出酚类、胺类或硫磷型抗氧化剂，羧酸盐、磺酸盐或烷基酚盐清净剂，丁二酰亚胺型无灰分散剂，聚酯、聚烯烃或烷基萘型降凝剂，甲基丙烯酸酯共聚物、乙丙共聚物、聚异丁烯、氢化苯乙烯/丁二烯共聚物型粘度指数改进剂，硫/磷型摩擦改进剂，含硫/磷、硼酸型极压剂，或者硅型、非硅型抗泡剂等。这些添加剂的种类和用量为本领域技术人员所公知，在此不作赘述。这些添加剂可以单独使用一种，或者以任意的比例组合使用多种。

本发明的有机硼化合物同时具有优良的抗氧化性能和抗磨减摩性能，可以显著提高润滑油的抗磨减摩性能，并且，可以极大提高润滑油的氧化诱导期。本发明的有机硼化合物可以用作润滑油的抗氧化剂、抗磨剂、减摩剂。本发明有机硼化合物的制备方法步骤简单，反应过程转化率高。

实施例

下面通过实施例对本发明做进一步说明，但并非构成对本发明的限制。

所用主要原料如下：

腰果酚，上海物竞化工科技有限公司，工业品

- 氯化锌，国药集团化学试剂有限公司，分析纯
浓硫酸，国药集团化学试剂有限公司，分析纯
双氧水(30%)，国药集团化学试剂有限公司，分析纯
甲酸，国药集团化学试剂有限公司，分析纯
5 硼酸，国药集团化学试剂有限公司，化学纯
二乙醇胺，国药集团化学试剂有限公司，化学纯
二乙烯三胺，国药集团化学试剂有限公司，化学纯
乙醇胺，国药集团化学试剂有限公司，化学纯
N-(2-羟乙基)乙二胺，国药集团化学试剂有限公司，化学纯
10 十二醇，国药集团化学试剂有限公司，化学纯
叔丁基氯，国药集团化学试剂有限公司，分析纯
抗氧剂 T501，石油化工科院研究院兴普公司，工业品
抗氧剂 T512，石油化工科院研究院兴普公司，工业品
十六醇，国药集团化学试剂有限公司，化学纯
15 磷酸三甲酚酯(TCP)，国药集团化学试剂有限公司，化学纯
癸二酸二异辛酯，北京化工三厂，工业品

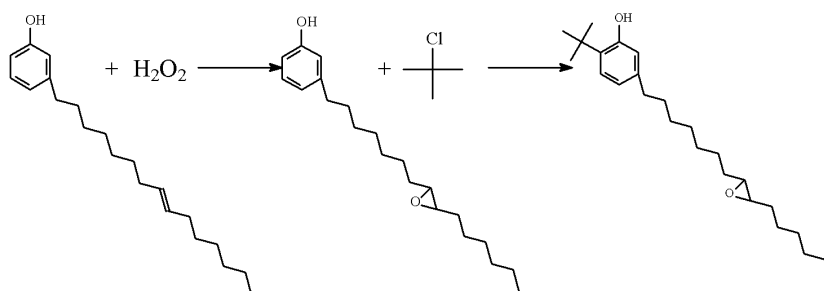
实施例 1 叔丁基化环氧腰果酚的制备

取 100g 腰果酚、8 g 甲酸、0.3g 硫酸、200g 双氧水，加入带有机
20 械搅拌、回流冷凝器及温控的三口烧瓶中，开启搅拌、加热。维持反
应温度为 70℃，反应 3 小时。反应结束后降温，得到棕红色透明液体。
将反应产物过滤后用 5%KOH 溶液进行碱洗，然后用蒸馏水水洗至中
性，将有机相在 100Pa、150℃ 条件下减压蒸馏 1h，除去水分及没反应
的原料，得到橙红色透明液体环氧化腰果酚。

25 将 35g 环氧化腰果酚溶入 100ml 丙酮中，溶好后放入 250ml 三口
反应烧瓶中，加入 0.9g 氯化锌催化剂，开启搅拌、加热。维持反应温
度为 60℃，将 9.5g 叔丁基氯缓慢滴加入反应烧瓶，滴加完毕后继续反
应 3 小时。反应结束后降温，得到棕红色透明液体。将反应产物过滤
后用 5%KOH 溶液进行碱洗，然后用蒸馏水水洗至中性，在 1000Pa、
30 120℃ 条件下减压蒸馏 1h，除去溶剂、水分及没反应的原料，得到叔丁
基化环氧腰果酚(棕红色粘稠液体)。

以 8 位具有烯键的腰果酚为例，上述反应的示例反应式如下式所

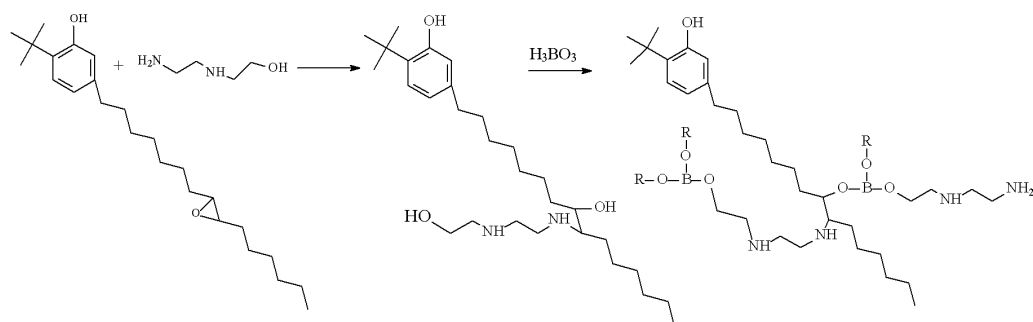
示。



实施例 2

- 5 将 22g 实施例 1 制备的叔丁基化环氧腰果酚, 5g N-(2-羟乙基)乙二胺及甲苯 90g 加入 250mL 三口烧瓶, 在搅拌下加热, 90℃ 反应 3h。反应结束后, 减压蒸馏 1h, 除去溶剂及没反应的原料, 得到叔丁基化氨基腰果酚(深棕红色粘稠液体), 然后将 3g 硼酸、6g N-(2-羟乙基)乙二胺、5g 十二醇以及 90g 环己烷加入反应容器中, 搅拌、升温, 脱去水分, 在 120℃ 反应 3h, 最后过滤、蒸除溶剂和未反应的 N-(2-羟乙基)乙二胺, 得到有机硼化合物 W-01。

反应的示例反应式如下式所示, 其中的 R 为 H。



- 15 将实施例 2 制备的产物进行红外光谱分析, 红外光谱谱图见图 1, 对于红外光谱的分析结果见表 1, ¹H-NMR 图谱见图 2, 对于 ¹H-NMR 图谱分析结果见表 2。

表 1 实施例 2 的产物红外分析结果

特征吸收峰/cm ⁻¹	吸收峰归属
3704.08	C - OH 伸缩振动
3342.86	C - NH 伸缩振动
2962.33, 2928.55, 2853.63	CH ₃ , CH ₂ 中 C - H 的伸缩振动
1657.88, 1592.72	苯环骨架伸缩振动
1450.49	CH ₃ , CH ₂ 变形振动
1413.25	C - N 伸缩振动
1260.47, 866.86	环氧 C - O - C 伸缩振动
1093.88	C - O 伸缩振动
1019.59	B - O 伸缩振动
797.96	NH ₂ 扭曲振动
706.12	NH 面外弯曲振动
661.22	B - N 配位振动

表 2 实施例 2 的产物 ¹H-NMR 谱分析结果

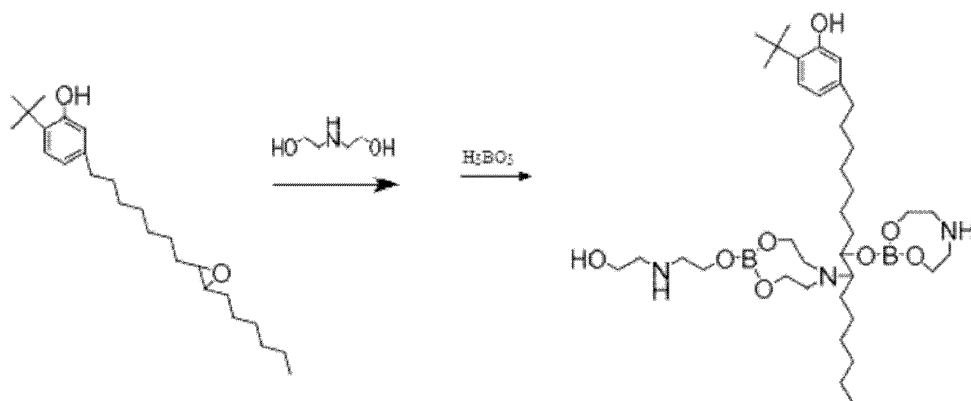
化学位移(δ)	峰归属
7.58	酚羟基质子峰
6.45-7.31	苯环上质子峰
3.62	NH 上质子峰
3.79	B - O - CH ₂ 上质子峰
2.26	N - CH ₂ 上质子峰
2.45	连苯环 CH ₂ 上质子峰
1.26-1.30	烷基链上质子峰
0.88	CH ₃ 上质子峰

表 1 中说明产物中存在 C - OH 伸缩振动峰、C - NH 伸缩振动峰、
5 苯环骨架伸缩振动峰、N - C 伸缩振动峰、O - C 伸缩振动峰以及 B - O
伸缩振动峰等特征峰，可以表明合成产物为目标化合物。

实施例 3

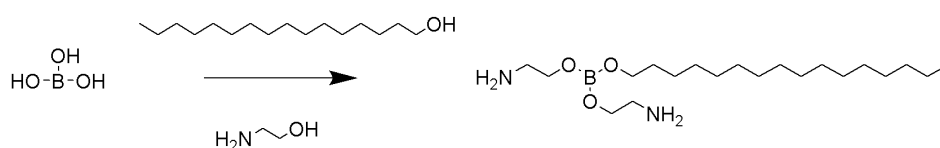
将 36g 实施例 1 制备的叔丁基化环氧腰果酚，10g 二乙醇胺及甲

苯 90g 加入 250mL 三口烧瓶, 在搅拌下加热, 100℃ 反应 4h。反应结束后, 减压蒸馏 1h, 除去溶剂及没反应的原料, 得到叔丁基化氨基腰果酚(深棕红色粘稠液体), 然后将 6g 硼酸、20g 二乙醇胺以及 90g 环己烷加入反应容器中, 搅拌、升温, 脱去水分, 在 150℃ 反应 4h, 最后过滤、蒸除溶剂和未反应的二乙醇胺, 制备得到有机硼化合物 W-02, 其 $^1\text{H-NMR}$ 图谱如图 3 所示。



对比例 1

10 将 36.3g 十六醇、18.3g 乙醇胺与 6.2g 硼酸以及 90g 甲苯溶剂加入反应容器中, 搅拌、升温, 在 145℃ 反应 6 小时, 最后过滤、蒸除溶剂及未反应的乙醇胺, 得到对比有机硼化合物 V-01, 其 $^1\text{H-NMR}$ 图谱如图 4 所示。



15

测试例 1

将 W-01、W-02、V-01 按 0.5wt% 剂量分别加入癸二酸二异辛酯(双酯)或 TCP 基础油(有机硼化合物占油品总质量的 0.5%)中, 测定其抗磨减摩性能。SRV 抗磨减摩评定实验的测试条件为: 温度 30℃, 载荷 20 100N, 冲程 1mm, 测试时间 1 小时, 频率 50Hz。SRV 方法见国家能源局标准 NB/SH/T 0847-2010。测试结果见表 3。

表 3 本发明有机硼化合物与对比有机硼化合物的 SRV 测试结果

编号		有机硼添加剂种类	磨斑直径/mm	摩擦系数
双酯	1	—	0.69	0.121
	2	W-01	0.69	0.111
	3	W-02	0.66	0.110
	4	V-01	0.69	0.112
TCP	5	W-01	0.51	0.155
	6	W-02	0.50	0.156
	7	V-01	0.51	0.159

由表 3 可知，本发明的有机硼化合物表现出优异的抗磨减摩性能。

测试例 2

5 分别将 W-01、W-02、V-01 以及受阻酚型抗氧剂 T501、T512 按 0.5wt%剂量加入癸二酸二异辛酯或 TCP 基础油(有机硼化合物或对比抗氧剂占油品总质量的 0.5%)中，进行抗氧化性能测试，测试结果见表 4，测试仪器为美国 TA 公司 TA5000 型号 DSC 仪，测试条件为：190℃-240℃，氧压 0.5MPa，升温速度 10℃/min。

10 表 4 抗氧化测试结果

	添加剂种类	氧化诱导期(190℃)/min
癸二酸二异辛酯基础油 (测试温度：190℃)	W-01	17.2
	W-02	18.0
	V-01	10.51
	T501	16.5
	T512	13.0
TCP 基础油 (测试温度：240℃)	W-01	> 60
	W-02	> 60
	V-01	< 5
	T501	< 5
	T512	< 5

通过对比可知，本发明有机硼化合物在保持了优异的抗磨减摩性能的同时，显著提高了润滑油组合物的氧化诱导期，特别是在 TCP 基础油中其抗氧化性能极其出色，是一种性能优异的抗氧化剂。

5 测试例 3

将本发明实施例 2 的产物 W-01 和作为胺型抗氧化剂的对,对'-二异辛基二苯胺各自、以及它们的混合物(各占 50wt %)按 0.5wt%剂量加入癸二酸二异辛酯基础油(有机硼化合物或添加剂占油品总质量的 0.5%)中，进行抗氧化性能测试，测试结果见表 5，测试仪器为美国 TA 公司
10 TA5000 型号 DSC 仪，测试条件为：210℃，氧压 0.5MPa，升温速度 10℃/min。润滑油组合物的性状如下表 5 所示。

表 5 抗氧化测试结果

添加剂种类	外观	氧化诱导期(210℃)/min
本发明产物 W-01	清亮透明	4.12
对,对'-二异辛基二苯胺	清亮透明	11.5
W-01+对,对'-二异辛基二苯胺 (各占 50wt%)	清亮透明	19.44

从表 5 中可以看出，本发明有机硼化合物的混合组合物表现出极其优异的抗氧化性能，即，表明本发明的有机硼化合物通过与抗氧化剂
15 相组合，表现出优异的协同作用。

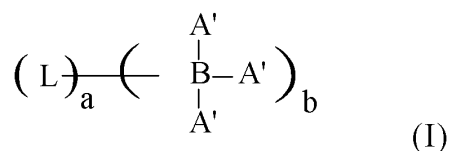
以上虽然已结合实施例对本发明的具体实施方式进行了详细的说明，但是需要指出的是，本发明的保护范围并不受这些具体实施方式的限制。本领域技术人员可在不脱离本发明的技术思想和主旨的范围内对这些实施方式进行适当的变更，而这些变更后的实施方式显然也
20 包括在本发明的保护范围之内。

产业实用性

本发明提供特定结构的有机硼化合物，本发明的有机硼化合物具有优异的抗氧化性能和抗磨减摩性能。并且，本发明的有机硼化合物
25 可以通过作为农业副产品的腰果酚得到，因此，可以通过环境友好地低成本方式制备得到本发明的有机硼化合物。

权 利 要 求

1. 有机硼化合物，其结构如式(I)所示：



- 5 在式(I)中，存在 a 个 L 基团和 b 个含硼基团，a 为 1~10 之间的整数(优选 1~5 之间的整数，更优选 1、2 或 3)，b 为 1~10 之间的整数(优选 1~7 之间的整数，更优选 1、2、3、4 或 5)，a 个 L 基团彼此相同或不同，各自独立地选自式(II)所示的基团；

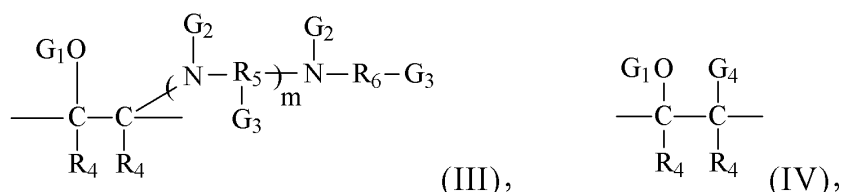


- 10 在式(II)中，RO 与苯环键合(RO 优选位于苯环上 R₁ 基团的间位)；
y 个 R 基团与苯环键合；y 选自 0~4 之间的整数(优选 1~3 之间的整数，更优选 1 或 2)；R 基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基，优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基，更优选选自 H 和叔丁基)；n 为 1~10 之间的整数
15 (优选 1~5 之间的整数，更优选 1、2 或 3)；R₁ 各自独立地选自单键和 C₁₋₃₀ 直链或支链的亚烷基(优选选自单键和 C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基，优选 C₁₋₁₀ 直链或支链的亚烷基)；n 个结构单元中的 R₂ 彼此相同或不同，各自独立地选自单键和 C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键和 C₁₋₆ 直链或支链的亚烷基，优选各自独立地选自单键和 C₁₋₄
20 直链或支链亚烷基)；R₃ 选自 H 和 C₁₋₃₀ 直链或支链烷基(优选选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基，更优选 H 和 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基，进一步优

选 H 和 C₁₋₆ 直链或支链的烷基); n 个结构单元中的 A 基团彼此相同或

不同, 各自独立地选自 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{---CH---CH---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---C---C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、式(III)

所示的基团和式(IV)所示的基团,



- 5 所述 R₄ 基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 更优选选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基);

m 独立地为 0~10 之间的整数(优选 0~5 之间的整数, 更优选 0、1 或 2);

- 10 所述 R₅ 基团各自独立地选自 3 价的 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 更优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₄ 直链或支链烷基);

- 15 各个 G₂ 基团各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G₄ 基团键合的结合端、C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、-R₆G₃、H(优选各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G₄ 基团键合的结合端、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、-R₆G₃、H, 更优选各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G₄ 基团键合的结合端、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、-R₆G₃、H);

- 20 各个 G₃ 基团各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、OH、H(优选各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、OH、H, 更优选各自独立地选自 -OG₁、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、OH、H);

所述 R₆ 基团选自单键、C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键、C₁₋₆ 直链或支链亚烷基, 更优选各自独立地选自单键、C₁₋₄ 直链或支链的亚烷基);

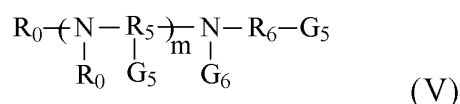
- 25 G₁ 基团选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、C₁₋₆ 直链

或支链的烷基、H(优选选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、C₁₋₄直链或支链的烷基、H);

G₄基团选自与其所在L基团之外的其它L基团中存在的G₂基团键合的结合端、H;

- 5 在a个L基团中,至少存在一个A基团为式(III)所示的基团,至少存在一个G₁基团为与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端;

b个所述含硼基团中的各个A'基团各自独立地选自与L基团中存在的G₁基团键合的结合端、式(V)所示的基团、-OR',所述R'基团为H或C₁₋₂₀直链或支链的烷基(优选为H或C₁₋₆直链或支链烷基,优选为H
10 或C₁₋₄直链或支链的烷基);



在式(V)中,m独立地为0~10之间的整数(优选0~5之间的整数,更优选0、1或2);

所述R₀基团各自独立地选自C₁₋₁₀直链或支链烷基、-R₆G₅、H(优
15 选各自独立地选自C₁₋₆直链或支链烷基、-R₆G₅、H,优选各自独立地选自C₁₋₄直链或支链烷基、-R₆G₅、H);

在式(V)中,所述R₅基团各自独立地选自3价的C₁₋₂₀直链或支链烷基(优选各自独立地选自3价的C₁₋₆直链或支链烷基,优选各自独立地选自3价的C₁₋₄直链或支链烷基);

20 在式(V)中,G₆基团选自-R₆G₅、C₁₋₁₀直链或支链的烷基、H(优选选自-R₆G₅、C₁₋₆直链或支链的烷基、H,优选选自-R₆G₅、C₁₋₄直链或支链的烷基、H);

所述R₆基团独立地选自单键、C₁₋₂₀直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键、C₁₋₆直链或支链亚烷基,更优选各自独立地选自单键、
25 C₁₋₄直链或支链的亚烷基);

各个G₅基团各自独立地选自-OG₁、C₁₋₁₀直链或支链的烷基、OH、H(优选各自独立地选自-OG₁、C₁₋₆直链或支链的烷基、OH、H,更优选各自独立地选自-OG₁、C₁₋₄直链或支链的烷基、OH、H),其中的G₁基团选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、C₁₋₆直链或支链的
30 烷基、H(优选选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、C₁₋₄直链

或支链的烷基、H);

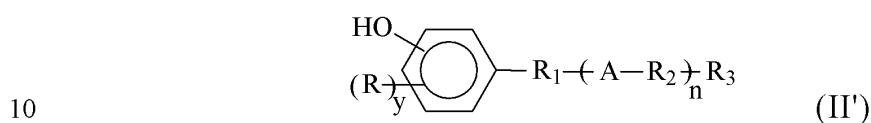
存在式(V)所示的基团时, 在式(V)所示的基团中, 至少存在一个 G_1 基团为与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端;

在 b 个所述含硼基团中, 至少存在一个 A' 基团为与 L 基团中存在的 G_1 基团键合的结合端;

所述有机硼化合物中的各个基团符合成键规则。

2. 按照权利要求 1 所述有机硼化合物, 其特征在于,

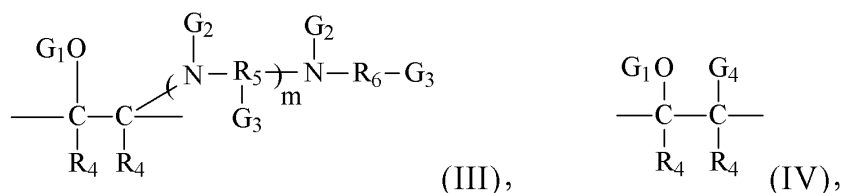
在式(I)中, a 为 1、2 或 3, b 为 1、2、3、4 或 5, a 个 L 基团彼此相同或不同, 各自独立地选自式(II')所示的基团,



在式(II')中, HO 位于苯环上 R_1 基团的间位; y 为 1 或 2; R 基团各自独立地选自 H 和 C_{1-4} 直链或支链烷基; n 为 1、2 或 3; R_1 各自独立地选自单键和 C_{1-10} 直链或支链的亚烷基; n 个结构单元中的 R_2 彼此相同或不同, 各自独立地选自单键和 C_{1-4} 直链或支链亚烷基; R_3 选自

15 H 和 C_{1-6} 直链或支链的烷基; n 个结构单元中的 A 基团彼此相同或不同,

各自独立地选自 $\begin{array}{c} \text{---CH---CH---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、式(III)所示的基团和式(IV)所示的基团,



所述 R_4 基团各自独立地选自 H 和 C_{1-4} 直链或支链烷基;

m 独立地为 0、1 或 2;

20 所述 R_5 基团各自独立地选自 3 价的 C_{1-4} 直链或支链烷基;

各个 G_2 基团各自独立地选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G_4 基团键合的结合端、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、 $-\text{R}_6\text{G}_3$ 、H;

各个 G_3 基团各自独立地选自 $-\text{OG}_1$ 、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、OH、

H;

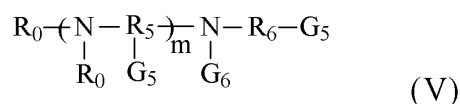
所述 R_6 基团选自单键、 C_{1-4} 直链或支链的亚烷基;

G_1 基团选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、H;

- 5 G_4 基团选自与其所在 L 基团之外的其它 L 基团中存在的 G_2 基团键合的结合端、H;

在 a 个 L 基团中, 至少存在一个 A 基团为式(III)所示的基团, 至少存在一个 G_1 基团为与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端;

- 10 b 个所述含硼基团中的各个 A' 基团各自独立地选自与 L 基团中存在的 G_1 基团键合的结合端、式(V)所示的基团、-OR', 所述 R' 基团为 H 或 C_{1-4} 直链或支链的烷基;



在式(V)中, m 独立地为 0、1 或 2;

所述 R_0 基团各自独立地选自 C_{1-4} 直链或支链烷基、- R_6G_5 、H;

- 15 在式(V)中, 所述 R_5 基团各自独立地选自 3 价的 C_{1-4} 直链或支链烷基;

在式(V)中, G_6 基团选自 - R_6G_5 、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、H;

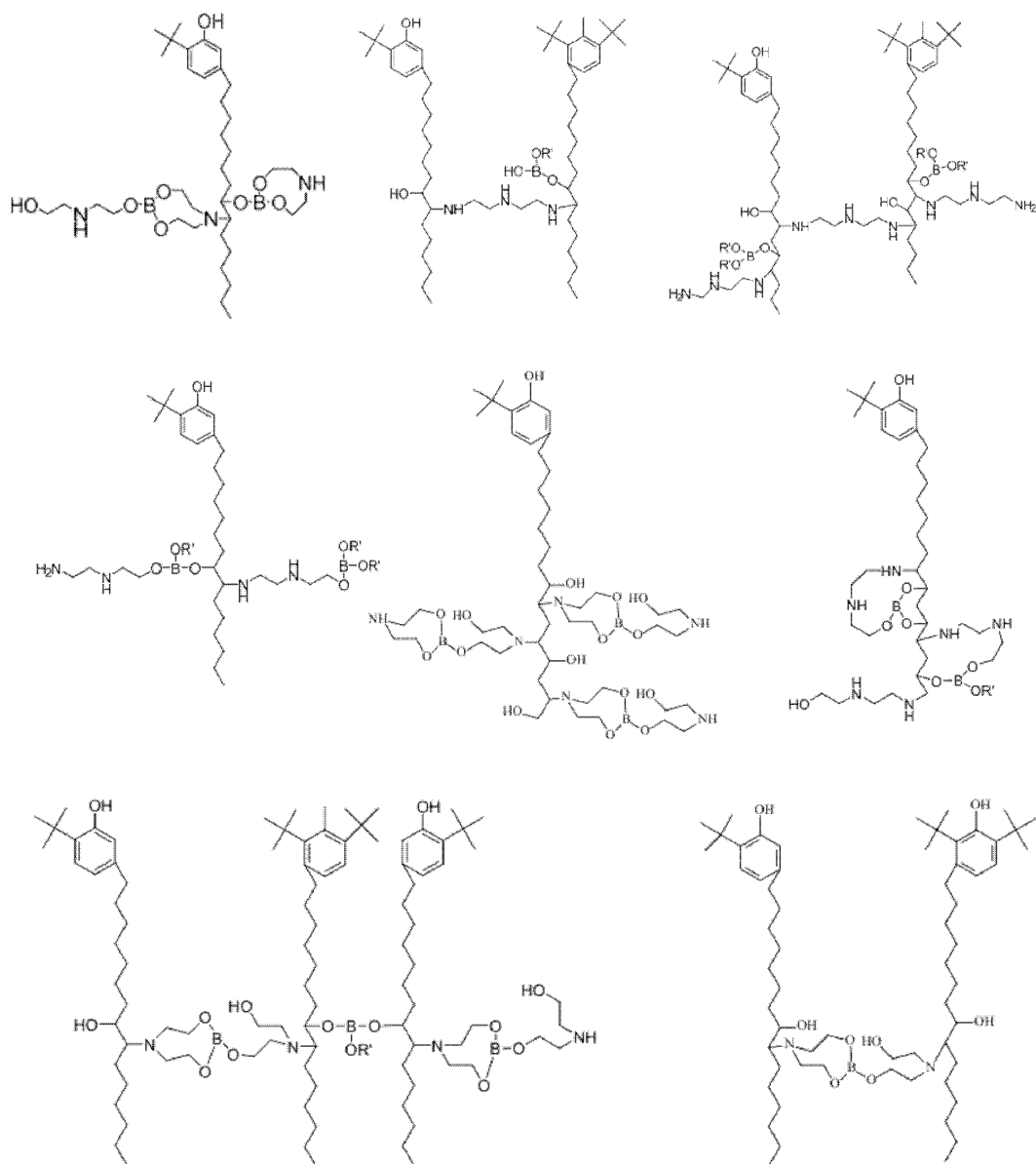
所述 R_6 基团独立地选自单键、 C_{1-4} 直链或支链的亚烷基;

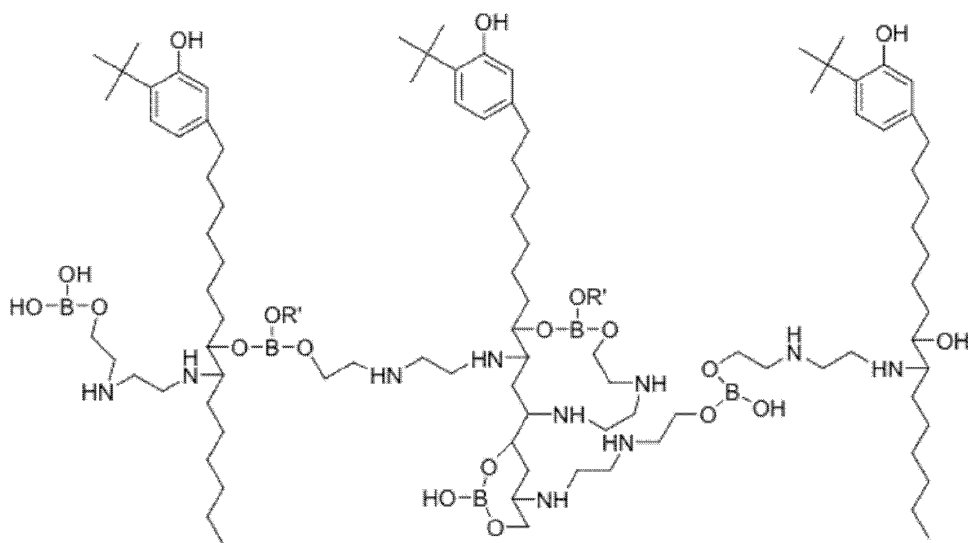
- 20 各个 G_5 基团各自独立地选自 - OG_1 、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、OH、H, 其中的 G_1 基团选自与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、H;

存在式(V)所示的基团时, 在式(V)所示的基团中, 至少存在一个 G_1 基团为与所述含硼基团中的硼原子键合的结合端;

- 25 在 b 个所述含硼基团中, 至少存在一个 A' 基团为与 L 基团中存在的 G_1 基团键合的结合端。

3. 按照权利要求 1 或 2 所述有机硼化合物, 其特征在于, 所述有机硼化合物为选自以下结构化合物中的一种或多种:

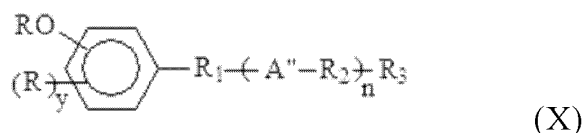




其中的 R'基团为 H 或 C₁-C₂₀ 的直链或支链烷基(优选为 H 或 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选为 H 或 C₁₋₄ 直链或支链的烷基)。

4. 有机硼化合物的制备方法, 其包括以下步骤:

5 (1)使式(X)所示的化合物与过氧化物反应;



在式(X)中, RO 与苯环键合(RO 优选位于苯环上 R₁ 基团的间位);

y 个 R 基团与苯环键合; y 选自 0~4 之间的整数(优选 1~3 之间的整数,

更优选 1 或 2); R 基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选

10 各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 H 和

C₁₋₄ 直链或支链烷基, 更优选选自 H 和叔丁基); n 为 1~10 之间的整数

(优选 1~5 之间的整数, 更优选 1、2 或 3); R₁ 各自独立地选自单键和

C₁₋₃₀ 直链或支链的亚烷基(优选选自单键和 C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基,

优选 C₁₋₁₀ 直链或支链的亚烷基); n 个结构单元中的 R₂ 彼此相同或不同,

15 各自独立地选自单键和 C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选

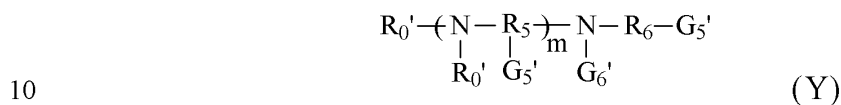
自单键和 C₁₋₆ 直链或支链亚烷基, 优选各自独立地选自单键和 C₁₋₄ 直链或支链的亚烷基); R₃ 选自 H 和 C₁₋₃₀ 直链或支链烷基(优选选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基, 优选 H 和 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基, 进一步优选 H 和 C₁₋₆ 直链或支链的烷基); n 个结构单元中的 A''彼此相同或不同,

5 各自独立地选自 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{---CH---CH---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---C---C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$, 其中所述 R₄

基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基); 在式(X)

中至少存在一个 A''为 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$;

(2)使步骤(1)的反应产物与式(Y)所示的化合物反应;



在式(Y)中, m 为 0~10 之间的整数(优选 0~5 之间的整数, 更优选 0、1 或 2);

15 所述 R_{0'}基团各自独立地选自 C₁₋₁₀ 直链或支链烷基、-R₆OH、H(优选各自独立地选自 C₁₋₆ 直链或支链烷基、-R₆OH、H, 优选各自独立地选自 C₁₋₄ 直链或支链烷基、-R₆OH、H);

所述 R₅基团各自独立地选自 3 价的 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₄ 直链或支链烷基);

20 各个 G_{5'}基团各自独立地选自 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、OH、H(优选各自独立地选自 C₁₋₆ 直链或支链的烷基、OH、H, 更优选独立地选自 C₁₋₄ 直链或支链的烷基、OH、H);

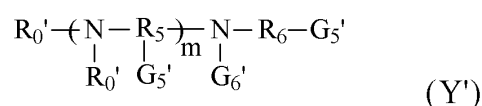
G_{6'}基团选自 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、-R₆OH、H(优选选自 -R₆OH、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、H, 优选选自 -R₆OH、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、

H); 所述 R₆ 基团各自独立地选自单键、C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键、C₁₋₆ 直链或支链亚烷基, 优选各自独立地选自单键、C₁₋₄ 直链或支链的亚烷基);

在式(Y)中, R₀'基团和 G₆'基团中的至少一个为 H, 并且任选地至少一个 G₅'基团为 OH 和/或至少一个 G₆'基团和/或至少一个 R₀'基团为 -R₆OH;

(3)使步骤(2)的反应产物与无机硼化合物反应, 得到有机棚化合物。

5 5. 按照权利要求 3 所述制备方法中, 可以进一步包括步骤(4), 其中使步骤(3)的反应产物与式(Y')所示的化合物反应, 得到有机棚化合物,



在式(Y')中, m 为 0~10 之间的整数(优选 0~5 之间的整数, 更优选 0、1 或 2);

在式(Y')中, 所述 R₀'基团各自独立地选自 C₁₋₁₀ 直链或支链烷基、
15 -R₆OH、H(优选各自独立地选自 C₁₋₆ 直链或支链烷基、-R₆OH、H, 优选各自独立地选自 C₁₋₄ 直链或支链烷基、-R₆OH、H);

在式(Y')中, 所述 R₅ 基团各自独立地选自 3 价的 C₁₋₂₀ 直链或支链烷基(优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₆ 直链或支链烷基, 优选各自独立地选自 3 价的 C₁₋₄ 直链或支链烷基);

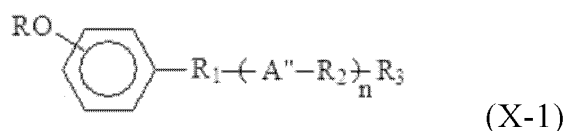
20 在式(Y')中, 各个 G₅'基团各自独立地选自 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、OH、H(优选各自独立地选自 C₁₋₆ 直链或支链的烷基、OH、H, 更优选独立地选自 C₁₋₄ 直链或支链的烷基、OH、H);

在式(Y')中, G₆'基团选自 C₁₋₁₀ 直链或支链的烷基、-R₆OH、H(优选选自 -R₆OH、C₁₋₆ 直链或支链的烷基、H, 优选选自 -R₆OH、C₁₋₄ 直链或支链的烷基、H); 所述 R₆ 基团各自独立地选自单键、C₁₋₂₀ 直链或支链的亚烷基(优选各自独立地选自单键、C₁₋₆ 直链或支链亚烷基, 优选各自独立地选自单键、C₁₋₄ 直链或支链的亚烷基);

在式(Y')中, 至少一个 G₅'基团为 OH 和/或至少一个 G₆'基团和/或至少一个 R₀'基团为 -R₆OH。

30 6. 根据权利要求 4 或 5 所述制备方法, 其中, 进一步包括步骤(1'),

在步骤(1)之前, 进行步骤(1'), 其中, 使式(X-1)所示的化合物与烷基化试剂发生烷基化反应, 得到式(X)所示的化合物(其中, y 不为零);



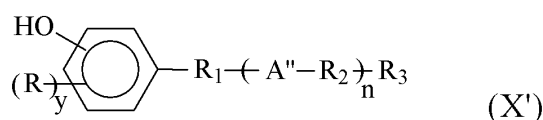
或者,

- 5 在步骤(1)之后, 进行步骤(1'), 其中, 使步骤(1)的产物与烷基化试剂发生反应, 得到步骤(1)的产物中的苯环被烷基化的烷基化产物, 将该烷基化产物用于步骤(2)的反应,

优选所述步骤(1')中的烷基化烷基化为叔丁基化。

7. 根据权利要求 4-6 中任一项所述制备方法, 其特征在于,

- 10 式(X)所示化合物为下式(X')



在式(X')中, HO 位于苯环上 R₁ 基团的间位; y 为 1 或 2;

R 基团各自独立地选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基; n 为 1、2 或 3;

R₁ 各自独立地选自单键和 C₁₋₁₀ 直链或支链的亚烷基; n 个结构单元中

- 15 的 R₂ 彼此相同或不同, 各自独立地选自单键和 C₁₋₄ 直链或支链的亚烷基; R₃ 选自 H 和 C₁₋₆ 直链或支链的烷基; n 个结构单元中的 A''彼此相

同或不同, 各自独立地选自 $\begin{array}{c} \text{---C=C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$ 、 $\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---C---C---} \\ | \quad | \\ \text{R}_4 \quad \text{R}_4 \end{array}$, 其中所述 R₄ 基团

各自独立地选自 H 和 C₁₋₄ 直链或支链烷基;

在式(Y)和式(Y')中, m 独立地为 0、1 或 2;

- 20 在式(Y)和式(Y')中, 所述 R_{0'}基团各自独立地选自 C₁₋₄ 直链或支链烷基、-R₆OH、H;

在式(Y)和式(Y')中, 所述 R₅ 基团各自独立地选自 3 价的 C₁₋₄ 直链或支链烷基;

在式(Y)和式(Y')中, 各个 G_5' 基团各自独立地选自 C_{1-4} 直链或支链的烷基、OH、H;

在式(Y)和式(Y')中, G_6' 基团各自独立地选自 $-R_6OH$ 、 C_{1-4} 直链或支链的烷基、H; 所述 R_6 基团各自独立地选自单键、 C_{1-4} 直链或支链的亚烷基。

8. 按照权利要求 4-7 中任一项所述方法, 其特征在于,

在步骤(1)中, 式(X)所示的化合物选自腰果酚、烷基化腰果酚; 和/或,

所述过氧化物选自双氧水、过氧甲酸、过氧乙酸、过氧磺酸、间氯过氧苯甲酸、叔丁基过氧化氢、过氧乙酸叔丁酯、过氧化甲基乙基酮、过氧化二苯甲酰和过氧化环己酮中的一种或多种; 和/或,

在步骤(2)中, 式(Y)所示的化合物选自脂肪胺、多烯多胺、一个或多个羟基取代的脂肪胺、一个或多个羟基取代的多烯多胺中的一种或多种; 和/或,

在步骤(3)中, 所述无机硼化合物选自硼酸、氧化硼、四硼酸、偏硼酸和硼酸半酯中的一种或多种,

在步骤(4)中, 式(Y')所示的化合物选自一个或多个羟基取代的脂肪胺、一个或多个羟基取代的多烯多胺中的一种或多种。

9. 按照权利要求 4-8 中任一项所述方法, 其特征在于, 式(X)所示的化合物与过氧化物、式(Y)所示的化合物、无机硼化合物之间的当量比为 1: 0.5~10: 0.5~10: 0.5~5(优选为 1: 2~3: 2~3: 1~2), 存在步骤(4)时, 式(X)所示的化合物与过氧化物、式(Y)所示的化合物、无机硼化合物、式(Y')所示的化合物之间的当量比为 1: 0.5~10: 0.5~10: 0.5~5: 0.5~10(优选为 1: 2~3: 2~3: 1~2: 2~3)。

10. 按照权利要求 4-9 中任一项所述方法, 其特征在于, 步骤(1)的反应温度为 0~100℃(优选为 20~80℃); 步骤(2)的反应温度为 50~150℃(优选为 60~100℃); 步骤(3)的反应温度为 80~200℃(优选为 110~150℃), 步骤(4)的反应温度为 50~150℃(优选为 60~100℃)。

11. 按照权利要求 4-10 中任一项所述方法, 其特征在于, 步骤(1)的反应时间为 1~10h(优选为 3~5h); 步骤(2)的反应时间为 1~10h(优选为 2~4h); 步骤(3)的反应时间为 1~10h(优选为 3~5h); 步骤(4)的反应时间为 1~10h(优选为 2~4h)。

12. 按照权利要求 4-11 中任一项所述方法，其特征在于，所述反应步骤(1)、(2)、(3)和(4)中的至少一个在稀释剂和/或溶剂的存在下进行。

13. 按照权利要求 4-12 中任一项所述方法，其特征在于，所述反应步骤(1)、(2)、(3)和(4)中的至少一个在惰性气体气氛的保护下进行。

14. 权利要求 1-3 中任一项所述有机硼化合物或者按照权利要求 4-13 任一项的方法制得的有机硼化合物作为润滑油的抗氧化剂、抗磨剂或减摩剂的用途。

15. 有机硼化合物的混合组合物，其包含权利要求 1-3 中任一项所述的有机硼化合物或者按照权利要求 4-13 任一项的方法制得的有机硼化合物，和任选的分散介质。

16. 权利要求 15 所述混合组合物，其进一步包含其他的润滑油添加剂，优选胺型抗氧化剂，更优选为对,对'-二异辛基二苯胺。

17. 润滑油组合物，其包含权利要求 1-3 中任一项所述的有机硼化合物或者按照权利要求 4-13 任一项的方法制得的有机硼化合物和润滑油基础油，其中所述有机硼化合物占所述润滑油组合物的质量分数是 0.001%~100%，优选 0.005%~90%，更优选 0.01%~50%，进一步可选 0.05%~30%，进一步可选 0.1%~25%，进一步可选 0.5%~20%。