

一种双壳层钕铁硼磁体及其制备方法

技术领域

本发明涉及一种双壳层钕铁硼磁体及其制备方法。

背景技术

近年来，随着绿色出行、节能环保不断提升，电动汽车、变频空调压缩机及风力发电对高矫顽力烧结 NdFeB 磁钢的需求不断增加。目前高矫顽力烧结 NdFeB 磁钢的制备主要是通过重稀土元素 Dy 和/或 Tb 对轻稀土元素进行替换来实现，这样一方面增加烧结 NdFeB 的原材料成本，另外重稀土元素的加入也降低磁体的剩磁，牺牲磁体的部分磁能积。

现有技术中，可通过双合金法提升磁体性能。双合金法是分别冶炼主辅合金，破碎后混料烧结，通过辅合金粉料成分、配比的改变来实现对主相合金颗粒晶界的修饰。但由于烧结阶段的温度较高，作为辅相添加的重稀土元素例如 Dy、Tb 等会大量扩散进入主相，造成磁体的剩磁下降；同时重稀土元素大量扩散进入主相，主相颗粒外围壳层重稀土元素浓度下降，导致重稀土元素对矫顽力的提升价值，小于其分布于晶粒表面改善晶界结构的效果，这将导致重稀土利用率低、矫顽力提升受限。

专利文献 CN111636035A 公开了一种重稀土合金、钕铁硼永磁材料、原料和制备方法，其辅合金成分为重稀土金属、B、Ti 和/或 Zr、Fe 和/或 Co 等，通过控制 Ti 和/或 Zr 的含量和重稀土元素总量等，使 Ti 和/或 Zr 与 B 结合，从而避免过多的重稀土金属与 B 结合，减少重稀土金属扩散至主相的量，使磁体性能得到提升，但是这个解决方案还存在进一步优化的空间，重稀土中 Dy、Tb 等扩散进入主相的量依然挺大，并且这些重稀土元素在主相外沿形成的壳层厚度较深。

因此，需要找到一种新工艺，能够有效使得 Dy、Tb 等较昂贵的重稀土元素在主相周围形成较薄的壳层，以减少重稀土元素往主相中的扩散程度。

发明内容

本发明为了解决现有技术中双合金法重稀土元素会大量扩散进入主相的问题，而提供了一种双壳层钕铁硼磁体及其制备方法。本发明可得到一种双壳层钕铁硼磁体，在主相周围形成了较薄的壳层，有效减少了重稀土元素往主相中的扩散量。

本发明通过以下技术方案解决上述技术问题。

本发明提供了一种双壳层钕铁硼磁体，其包含主相晶粒及其双壳层和邻接所述主相晶粒的富 Nd 相；

所述主相晶粒包含 $R_2Fe_{14}B$ ；所述 R 为 La、Ce、Pr 和 Nd 中的一种或多种；

所述双壳层的内层包含 $(Nd/Ho)_2Fe_{14}B$ 和/或 $(Nd/Gd)_2Fe_{14}B$ ；

所述双壳层的外层包含 $(Nd/Dy)_2Fe_{14}B$ 和/或 $(Nd/Tb)_2Fe_{14}B$ ；

所述双壳层的厚度为 0.1~6 μm ；

所述富 Nd 相中包含 $(R-RH)_6T_{13}X$ 相，RH 为 Ho、Gd、Dy 和 Tb 中的一种或多种，T 为 Fe 和/或 Co，X 为 Ga、Cu 和 Al 中的一种或多种。

本发明中，较佳地，所述双壳层的内层包含 $(Nd/Ho)_2Fe_{14}B$ 。

本发明中，较佳地，所述双壳层的外层包含 $(Nd/Dy)_2Fe_{14}B$ 。

本发明中，较佳地，所述富 Nd 相中还包含 ZrB_2 和 TiB_2 。

本发明还提供了一种如前所述的双壳层钕铁硼磁体的制备方法，其步骤包括：

S1. 分别制备得到主合金片、第一辅合金片和第二辅合金片；

其中，所述第一辅合金片的原料包含： LH_1 、 RH_1 、 X_1 和 Fe；所述 LH_1 为 La、Ce、Pr 和 Nd 中的一种或多种，所述 RH_1 为 Ho 和/或 Gd，所述 X_1 为 Cu、Co、Ga 和 Al 中的一种或多种；所述第一辅合金片中，所述 LH_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 0~80%，所述 RH_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 5~80%，所述 LH_1 和 RH_1 的总量占所述第一辅合金片的质量

百分比为 30%以上, 所述 X_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 1~15%; 所述第一辅合金片中各元素的质量百分比之和为 100%;

所述第二辅合金片的原料包含: RH_2 、 X_2 和 Fe; 所述 RH_2 为 Dy 和/或 Tb, 所述 X_2 为 Zr 和/或 Ti; 所述第二辅合金片中, 所述 RH_2 占所述第二辅合金片的质量百分比为 0~80%, 且不为 0, 所述 X_2 占所述第二辅合金片的质量百分比为 3~10%; 所述第二辅合金片中各元素的质量百分比之和为 100%;

S2. 将所述主合金片、所述第一辅合金片和所述第二辅合金片经氢破碎或微粉碎的混合物进行成型和烧结处理, 即得所述双壳层钕铁硼磁体。

S1 中, 较佳地, 所述第一辅合金片的熔点低于所述第二辅合金片的熔点。

S1 中, 较佳地, 所述 LH_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 0~60%, 但不为 0, 例如为 30%。

S1 中, 较佳地, 所述 LH_1 为 Pr 和/或 Nd。

S1 中, 较佳地, 所述第一辅合金片的原料中含有 Pr 时, Pr 占所述第一辅合金片的质量百分比为 0~60%, 例如为 7.5%。

S1 中, 较佳地, 所述第一辅合金片的原料中含有 Nd 时, Nd 占所述第一辅合金片的质量百分比为 0~60%, 例如为 22.5%。

S1 中, 较佳地, 所述 RH_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 20~50%。

S1 中, 较佳地, 所述 LH_1 和 RH_1 的总量占所述第一辅合金片的质量百分比为 50%以上。

S1 中, 较佳地, 所述 X_1 为 Cu 和/或 Co。

S1 中, 较佳地, 所述 X_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 5~12%, 更佳地为 5~10%。

其中, 较佳地, 所述 X_1 包含 Cu 时, Cu 占所述第一辅合金片的质量百分比为 1~6%, 例如为 5%。

其中, 较佳地, 所述 X_1 包含 Co 时, Co 占所述第一辅合金片的质量百

分比为 1~6%，例如为 5%。

S1 中，较佳地，所述第一辅合金片中，Fe 占所述第一辅合金片的质量百分比为 50%以下，更佳地为 39~45%，例如为 39.5%或 44.7%。

S1 中，较佳地，所述第一辅合金片的原料还包含 B，所述第一辅合金片中，B 占所述第一辅合金片的质量百分比为 0~0.6%，且不为 0，例如为 0.3%或 0.5%。

S1 中，一优选实施方式中，所述第一辅合金的原料由如下组分组成：Ho 的含量为 50%；Cu 的含量为 5%；Fe 的含量为 44.7%；B 的含量为 0.3%；百分比是指组分在所述第一辅合金的原料中的质量百分比。

S1 中，一优选实施方式中，所述第一辅合金的原料由如下组分组成：Pr 的含量为 7.5%；Nd 的含量为 22.5%；Ho 的含量为 20%；Cu 的含量为 5%；Co 的含量为 5%；Fe 的含量为 39.5%；B 的含量为 0.5%；百分比是指组分在所述第一辅合金的原料中的质量百分比。

S1 中，较佳地，所述第一辅合金片由所述第一辅合金片的原料经熔炼、铸造后制得。

其中，较佳地，所述第一辅合金片的原料的熔炼温度为 1000℃以上。

其中，所述第一辅合金片的铸造可为本领域常规的铸造工艺，例如薄带连铸法、铸锭法、离心铸造法、快淬法。

S1 中，较佳地，所述 RH₂ 占所述第二辅合金片的质量百分比为 50~80%，例如为 58%或 63%。

S1 中，较佳地，所述 X₂ 占所述第二辅合金片的质量百分比为 6~10%。

S1 中，较佳地，所述 X₂ 包含 Zr 时，Zr 占所述第二辅合金片的质量百分比为 6~10%。

S1 中，较佳地，所述第二辅合金片的原料还包含 LH₂，所述 LH₂ 为 La、Ce、Pr、Nd 中的一种或多种，所述 LH₂ 占所述第二辅合金片的质量百分比 80%以下，且不为 0。

S1 中，较佳地，所述第二辅合金片的原料还包含 B，所述第二辅合金片

中, B 占所述第二辅合金片的质量百分比为 0~0.6%, 且不为 0, 例如为 0.5%。

S1 中, 一优选实施方式中, 所述第二辅合金的原料由如下组分组成: Dy 的含量为 58%; Zr 的含量为 6%; Fe 的含量为 36%; 百分比是指组分在所述第二辅合金的原料中的质量百分比。

S1 中, 一优选实施方式中, 所述第二辅合金的原料由如下组分组成: Dy 的含量为 63%; Zr 的含量为 6%; Fe 的含量为 30.5%; B 的含量为 0.5%; 百分比是指组分在所述第二辅合金的原料中的质量百分比。

S1 中, 一优选实施方式中, 所述第二辅合金的原料由如下组分组成: Dy 的含量为 58%; Zr 的含量为 6%; Fe 的含量为 35.5%; B 的含量为 0.5%; 百分比是指组分在所述第二辅合金的原料中的质量百分比。

S1 中, 较佳地, 所述第二辅合金片由所述第二辅合金片的原料经熔炼、铸造后制得。

其中, 较佳地, 所述第二辅合金片的原料的熔炼温度为 1300℃ 以上。

其中, 所述第二辅合金片的铸造可为本领域常规的铸造工艺, 例如薄带连铸法、铸锭法、离心铸造法、快淬法。

S1 中, 较佳地, 所述主合金片的原料包含 LH_3 、 X_3 、 Y_3 、Fe 和 B; 所述 LH_3 为 Pr 和/或 Nd, 所述 X_3 为 Zr、Ti 和 Nb 中的一种或多种, 所述 Y_3 为 Cu、Al、Ga 和 Co 中的一种或多种, 且所述 Y_3 必须包含 Cu; 所述主合金片中, 所述 LH_3 占所述主合金片的质量百分比为 27~35%, 所述 X_3 占所述主合金片的质量百分比为 0.05~0.8%; 所述主合金片中各元素的质量百分比之和为 100%。

其中, 较佳地, 所述 LH_3 占所述主合金片的质量百分比为 27~30%, 例如为 27.6%、28%或 29%。

其中, 较佳地, 所述 X_3 占所述主合金片的质量百分比为 0.1~0.6%, 更佳地为 0.2~0.3%, 例如为 0.22%。

其中, 较佳地, 所述 Y_3 占所述主合金片的质量百分比为 0.75~2.5%, 例如为 1.15%或 2.06%。

其中，较佳地，所述主合金片中，Cu 占所述主合金片的质量百分比为 0.1~0.6%，例如为 0.21%或 0.25%。

其中，较佳地，所述主合金片中，所述 Y₃ 包含 Al 时，Al 占所述主合金片的质量百分比为 0.02~1.2%，例如为 0.4%。

其中，较佳地，所述主合金片中，所述 Y₃ 包含 Ga 时，Ga 占所述主合金片的质量百分比为 0.25~0.4%，例如为 0.26%。

其中，较佳地，所述主合金片中，所述 Y₃ 包含 Co 时，Co 占所述主合金片的质量百分比为 0.5~1.2%，例如为 1.19%。

其中，较佳地，所述主合金片中，B 占所述主合金片的质量百分比为 0.97~1%。

其中，较佳地，所述主合金片的原料还包含 RH₃，所述 RH₃ 为 Dy 和/或 Tb，所述 RH₃ 占所述主合金片的质量百分比为 0~3%，且不为 0。

S1 中，一优选实施方式中，所述主合金的原料由如下组分组成：Nd 的含量为 27.6%；Dy 的含量为 3%；Ga 的含量为 0.26%；Al 的含量为 0.4%；Cu 的含量为 0.21%；Co 的含量为 1.19%；Ti 的含量为 0.2%；Nb 的含量为 0.02%；B 的含量为 1%；Fe 的含量为 66.12%；百分比是指组分在所述主合金的原料中的质量百分比。

S1 中，一优选实施方式中，所述主合金的原料由如下组分组成：Pr 的含量为 7%；Nd 的含量为 21%；Dy 的含量为 3%；Ga 的含量为 0.4%；Cu 的含量为 0.25%；Co 的含量为 0.5%；Zr 的含量为 0.2%；B 的含量为 0.97%；Fe 的含量为 66.68%；百分比是指组分在所述主合金的原料中的质量百分比。

S1 中，一优选实施方式中，所述主合金的原料由如下组分组成：Pr 的含量 7.25%；Nd 的含量 21.75%；Dy 的含量 1%；Ga 的含量 0.4%；Cu 的含量 0.25%；Co 的含量 0.5%；Zr 的含量 0.2%；B 的含量 0.97%；Fe 的含量 67.68%；百分比是指组分在所述主合金的原料中的质量百分比。

S1 中，较佳地，所述主合金片由所述主合金片的原料经熔炼、铸造后制得。

其中，较佳地，所述主合金片的原料的熔炼温度为 1400℃ 以上。

其中，所述主合金片的铸造可为本领域常规的铸造工艺，例如薄带连铸法、铸锭法、离心铸造法、快淬法。

S2 中，所述第一辅合金片和所述第二辅合金片的用量占所述双壳层钕铁硼磁体的原料的用量的质量百分比较佳地大于 1% 且小于 15%，更佳地为 5%；所述双壳层钕铁硼磁体的原料为所述主合金片、所述第一辅合金片和所述第二辅合金片。

S2 中，较佳地，将所述主合金片和所述辅合金片的混合物经氢破碎、微粉碎、成型和烧结处理，即得所述双壳层钕铁硼磁体；

或者，将所述主合金片和所述辅合金片分别进行氢破碎，再将所述主合金片和所述辅合金片经所述氢破碎后的粗粉进行混合，再将混合后的粗粉经微粉碎、成型和烧结处理，即得所述双壳层钕铁硼磁体；

或者，将所述主合金片和所述辅合金片分别进行氢破碎和微粉碎，将所述主合金片和所述辅合金片经微粉碎后的细粉进行混合，再将混合后的细粉经成型和烧结处理，即得所述双壳层钕铁硼磁体。

其中，所述氢破碎的操作和条件可为本领域常规。所述氢破碎的脱氢温度可为 400℃~650℃，例如为 500~620℃。

其中，所述微粉碎的工艺可为本领域常规的粉碎工艺，例如气流磨粉碎，较佳地在 50ppm 以下的氧含量的气氛下进行。所述微粉碎后的粉末粒径可为 2~7μm，例如为 3.0~5.3μm。

其中，所述成型的条件可为本领域常规，例如在磁场强度为 0.5T~3.0T，例如为 1.0~2.0T 的压机中压制成为生坯。

其中，所述烧结处理的条件可为本领域常规。所述烧结的温度可为 1000~1150℃，例如为 1050~1085℃。

在符合本领域常识的基础上，上述各优选条件，可任意组合，即得本发明各较佳实例。

本发明所用试剂和原料均市售可得。

本发明的积极进步效果在于：

本发明得到一种双壳层钕铁硼磁体，在主相周围先形成了 Ho 和/或 Gd 较廉价的重稀土壳层，抑制 Dy 和/或 Tb 昂贵稀土元素向主相中的过度扩散，使得 Dy 和/或 Tb 在主相周围形成了较薄的壳层，有效减少了重稀土元素 Dy 和/或 Tb 往主相中的扩散量，达到了同等性能下，降低 Dy、Tb 使用量的效果。

附图说明

图 1 为实施例 1 中样品的 EMPA 图。

图 2 为实施例 1 中样品的 Ho 和 Dy 元素成分线扫描结果。

具体实施方式

下面通过实施例的方式进一步说明本发明，但并不因此将本发明限制在所述的实施例范围之中。

实施例 1

(1) 按照如表 1 所示的配方，分别制备主合金片、第一辅合金片和第二辅合金片。

其中，主合金片的熔炼温度约为 1400~1600℃，然后通过快淬法铸造得到主合金片。

第一辅合金片的熔炼温度约为 1400~1600℃，然后通过快淬法铸造得到第一辅合金片。

第二辅合金片的熔炼温度约为 1400~1600℃，然后通过快淬法铸造得到第二辅合金片。

(2) 氢破碎过程：室温下，将步骤(1)中的主合金片和第一辅合金片和第二辅合金片的混合物，在 500~620℃下进行氢破碎处理，即得粗粉碎粉末。

(3) 微粉碎处理：在气流磨中对步骤(2)中的粗粉碎的粉末在 50ppm

以下的氧含量的气氛下进行微粉碎，即得到平均粒径为 $D_{50}=3.0\sim 5.3\mu\text{m}$ 的微粉碎粉末。

(4) 成型过程：在磁场强度为 1.0~2.0T 的压机中压制成为生坯，之后在压力为 260MPa 的条件下保持 15s，即得成型体。

(5) 烧结过程：将成型体在 1050~1085℃ 的温度下烧结，烧结气氛为真空或氩气气氛，即得双壳层钕铁硼磁体。

表 1 实施例 1~3 的主合金片、第一辅合金片和第二辅合金片各元素用量

	元素	实施例 1	实施例 2	实施例 3
主合金片 (A 片)	Pr	/	7	7.25
	Nd	27.6	21	21.75
	Dy	3	3	1
	Ga	0.26	0.4	0.4
	Al	0.4	/	/
	Cu	0.21	0.25	0.25
	Co	1.19	0.5	0.5
	Ti	0.2	/	/
	Zr	/	0.2	0.2
	Nb	0.02	/	/
	B	1	0.97	0.97
	Fe	66.12	66.68	67.68
第一辅合金片 (B 片)	Pr	/	7.5	7.5
	Nd	/	22.5	22.5
	Ho	50	20	20
	Cu	5	5	5
	Co	/	5	5
	Fe	44.7	39.5	39.5
	B	0.3	0.5	0.5
第二辅合金片	Dy	58	63	58

(C 片)	Zr	6	6	6
	Fe	36	30.5	35.5
	B	/	0.5	0.5
A 片: B 片: C 片的质量比		95:2:3	95:3:2	95:2:3

其中，“/”表示不含该组分。

实施例 2~3

除了如表 1 所示的原料用量不同外，其他工艺条件均同实施例 1，得到双壳层钕铁硼磁体。

效果实施例

磁性能测试：双壳层钕铁硼磁体使用中国计量院的 PFM14.CN 成型型超高矫顽力永磁测量仪进行磁性能检测。

	实施例 1	实施例 2	实施例 3
壳层结构是否形成	是	是	是
壳层厚度 (μm)	0.1~6	0.1~6	0.1~6
矫顽力 (kOe)	29.3	28.7	24.0
剩磁 (kGs)	12.3	12.6	13.2

本发明中，通过第一辅合金片、第二辅合金片和主合金片配方的调整，使得第一辅合金片的熔点低于第二辅合金片的熔点，由此在烧结的过程中，第一辅合金片比第二辅合金片先行熔融，在主相周围扩散，先形成双壳层的内层；然后再进一步形成以 Dy 和/或 Tb 为重稀土元素的双壳层的外层，使得 Dy 和/或 Tb 仅能在最外围形成壳层。

图 1 为实施例 1 的样品的 EPMA 图结果，Dy 在主相外沿层形成含量较高的清晰壳层，可达到 H_{cj} 提升的效果。从图 2 中实施例 1 的成分线扫描结果来看，Ho 和 Dy 的扩散程度接近。这一现象显示 Ho、Dy 在主相中均会优先取代 4f 位的 Nd，本发明中通过 Ho 元素的加入，占据了一部分的重稀土元素的扩散通道，减少了重稀土元素 Dy 从主相外沿层向内部中的扩散量，从而达到提高主相外沿层中 Dy 的浓度增加的效果。

权 利 要 求 书

1. 一种双壳层钕铁硼磁体，其特征在于，其包含主相晶粒及其双壳层和邻接所述主相晶粒的富 Nd 相；

所述主相晶粒包含 $R_2Fe_{14}B$ ；所述 R 为 La、Ce、Pr 和 Nd 中的一种或多种；

所述双壳层的内层包含 $(Nd/Ho)_2Fe_{14}B$ 和/或 $(Nd/Gd)_2Fe_{14}B$ ；

所述双壳层的外层包含 $(Nd/Dy)_2Fe_{14}B$ 和/或 $(Nd/Tb)_2Fe_{14}B$ ；

所述双壳层的厚度为 0.1~6 μm ；

所述富 Nd 相中包含 $(R-RH)_6T_{13}X$ 相，RH 为 Ho、Gd、Dy 和 Tb 中的一种或多种，T 为 Fe 和/或 Co，X 为 Ga、Cu 和 Al 中的一种或多种。

2. 如权利要求 1 所述的双壳层钕铁硼磁体，其特征在于，所述富 Nd 相中还包含 ZrB_2 和 TiB_2 。

3. 一种如权利要求 1 或 2 所述的双壳层钕铁硼磁体的制备方法，其特征在于，其步骤包括：

S1. 分别制备得到主合金片、第一辅合金片和第二辅合金片；

其中，所述第一辅合金片的原料包含： LH_1 、 RH_1 、 X_1 和 Fe；所述 LH_1 为 La、Ce、Pr 和 Nd 中的一种或多种，所述 RH_1 为 Ho 和/或 Gd，所述 X_1 为 Cu、Co、Ga 和 Al 中的一种或多种；所述第一辅合金片中，所述 LH_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 0~80%，所述 RH_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 5~80%，所述 LH_1 和 RH_1 的总量占所述第一辅合金片的质量百分比为 30%以上，所述 X_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 1~15%；所述第一辅合金片中各元素的质量百分比之和为 100%；

所述第二辅合金片的原料包含： RH_2 、 X_2 和 Fe；所述 RH_2 为 Dy 和/或 Tb，所述 X_2 为 Zr 和/或 Ti；所述第二辅合金片中，所述 RH_2 占所述第二辅合金片的质量百分比为 0~80%，且不为 0，所述 X_2 占所述第二辅合金片的质量百分比为 3~10%；所述第二辅合金片中各元素的质量百分比之和为 100%；

S2. 将所述主合金片、所述第一辅合金片和所述第二辅合金片经氢破碎

或微粉碎的混合物进行成型和烧结处理，即得所述双壳层钕铁硼磁体。

4. 如权利要求 3 所述的双壳层钕铁硼磁体的制备方法，其特征在于，S1 中，所述 LH_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 0~60%，但不为 0，例如为 30%；

和/或，S1 中，所述 LH_1 为 Pr 和/或 Nd；

和/或，S1 中，所述第一辅合金片的原料中含有 Pr 时，Pr 占所述第一辅合金片的质量百分比为 0~60%，例如为 7.5%；

和/或，S1 中，所述第一辅合金片的原料中含有 Nd 时，Nd 占所述第一辅合金片的质量百分比为 0~60%，例如为 22.5%；

和/或，S1 中，所述 RH_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 20~50%；

和/或，S1 中，所述 LH_1 和 RH_1 的总量占所述第一辅合金片的质量百分比为 50%以上；

和/或，S1 中，所述 X_1 为 Cu 和/或 Co；

和/或，S1 中，所述 X_1 占所述第一辅合金片的质量百分比为 5~12%，较佳地为 5~10%；

和/或，S1 中，所述 X_1 包含 Cu 时，Cu 占所述第一辅合金片的质量百分比为 1~6%，例如为 5%；

和/或，S1 中，所述 X_1 包含 Co 时，Co 占所述第一辅合金片的质量百分比为 1~6%，例如为 5%；

和/或，S1 中，所述第一辅合金片中，Fe 占所述第一辅合金片的质量百分比为 50%以下，较佳地为 39~45%，例如为 39.5%或 44.7%；

和/或，S1 中，所述第一辅合金片的原料还包含 B，所述第一辅合金片中，B 占所述第一辅合金片的质量百分比为 0~0.6%，且不为 0，例如为 0.3%或 0.5%。

5. 如权利要求 4 所述的双壳层钕铁硼磁体的制备方法，其特征在于，所述第一辅合金的原料由如下组分组成：Ho 的含量为 50%；Cu 的含量为 5%；Fe 的含量为 44.7%；B 的含量为 0.3%；百分比是指组分在所述第一辅合金

的原料中的质量百分比；

或者，所述第一辅合金的原料由如下组分组成：Pr 的含量为 7.5%；Nd 的含量为 22.5%；Ho 的含量为 20%；Cu 的含量为 5%；Co 的含量为 5%；Fe 的含量为 39.5%；B 的含量为 0.5%；百分比是指组分在所述第一辅合金的原料中的质量百分比。

6. 如权利要求 3 所述的双壳层钕铁硼磁体的制备方法，其特征在于，S1 中，所述 RH_2 占所述第二辅合金片的质量百分比为 50~80%，例如为 58% 或 63%；

和/或，S1 中，所述 X_2 占所述第二辅合金片的质量百分比为 6~10%；

和/或，S1 中，所述 X_2 包含 Zr 时，Zr 占所述第二辅合金片的质量百分比为 6~10%；

和/或，S1 中，所述第二辅合金片的原料还包含 LH_2 ，所述 LH_2 为 La、Ce、Pr、Nd 中的一种或多种，所述 LH_2 占所述第二辅合金片的质量百分比 80% 以下，且不为 0；

和/或，S1 中，所述第二辅合金片的原料还包含 B，所述第二辅合金片中，B 占所述第二辅合金片的质量百分比为 0~0.6%，且不为 0，例如为 0.5%。

7. 如权利要求 6 所述的双壳层钕铁硼磁体的制备方法，其特征在于，所述第二辅合金的原料由如下组分组成：Dy 的含量为 58%；Zr 的含量为 6%；Fe 的含量为 36%；百分比是指组分在所述第二辅合金的原料中的质量百分比；

或者，所述第二辅合金的原料由如下组分组成：Dy 的含量为 63%；Zr 的含量为 6%；Fe 的含量为 30.5%；B 的含量为 0.5%；百分比是指组分在所述第二辅合金的原料中的质量百分比；

或者，所述第二辅合金的原料由如下组分组成：Dy 的含量为 58%；Zr 的含量为 6%；Fe 的含量为 35.5%；B 的含量为 0.5%；百分比是指组分在所述第二辅合金的原料中的质量百分比。

8. 如权利要求 3 所述的双壳层钕铁硼磁体的制备方法，其特征在于，

S1 中, 所述第一辅合金片的熔点低于所述第二辅合金片的熔点;

和/或, S1 中, 所述主合金片的原料包含 LH_3 、 X_3 、 Y_3 、Fe 和 B; 所述 LH_3 为 Pr 和/或 Nd, 所述 X_3 为 Zr、Ti 和 Nb 中的一种或多种, 所述 Y_3 为 Cu、Al、Ga 和 Co 中的一种或多种, 且所述 Y_3 必须包含 Cu; 所述主合金片中, 所述 LH_3 占所述主合金片的质量百分比为 27~35%, 所述 X_3 占所述主合金片的质量百分比为 0.05~0.8%; 所述主合金片中各元素的质量百分比之和为 100%。

9. 如权利要求 8 所述的双壳层钕铁硼磁体的制备方法, 其特征在于, 所述 LH_3 占所述主合金片的质量百分比为 27~30%, 例如为 27.6%、28%或 29%;

和/或, 所述 X_3 占所述主合金片的质量百分比为 0.1~0.6%, 较佳地为 0.2~0.3%, 例如为 0.22%;

和/或, 所述 Y_3 占所述主合金片的质量百分比为 0.75~2.5%, 例如为 1.15%或 2.06%;

和/或, 所述主合金片中, Cu 占所述主合金片的质量百分比为 0.1~0.6%, 例如为 0.21%或 0.25%;

和/或, 所述主合金片中, 所述 Y_3 包含 Al 时, Al 占所述主合金片的质量百分比为 0.02~1.2%, 例如为 0.4%;

和/或, 所述主合金片中, 所述 Y_3 包含 Ga 时, Ga 占所述主合金片的质量百分比为 0.25~0.4%, 例如为 0.26%;

和/或, 所述主合金片中, 所述 Y_3 包含 Co 时, Co 占所述主合金片的质量百分比为 0.5~1.2%, 例如为 1.19%;

和/或, 所述主合金片中, B 占所述主合金片的质量百分比为 0.97~1%;

和/或, 所述主合金片的原料还包含 RH_3 , 所述 RH_3 为 Dy 和/或 Tb, 所述 RH_3 占所述主合金片的质量百分比为 0~3%, 且不为 0;

较佳地, 所述主合金的原料由如下组分组成: Nd 的含量为 27.6%; Dy 的含量为 3%; Ga 的含量为 0.26%; Al 的含量为 0.4%; Cu 的含量为 0.21%; Co 的含量为 1.19%; Ti 的含量为 0.2%; Nb 的含量为 0.02%; B 的含量为 1%;

Fe 的含量为 66.12%；百分比是指组分在所述主合金的原料中的质量百分比；

或者，所述主合金的原料由如下组分组成：Pr 的含量为 7%；Nd 的含量为 21%；Dy 的含量为 3%；Ga 的含量为 0.4%；Cu 的含量为 0.25%；Co 的含量为 0.5%；Zr 的含量为 0.2%；B 的含量为 0.97%；Fe 的含量为 66.68%；百分比是指组分在所述主合金的原料中的质量百分比；

或者，所述主合金的原料由如下组分组成：Pr 的含量 7.25%；Nd 的含量 21.75%；Dy 的含量 1%；Ga 的含量 0.4%；Cu 的含量 0.25%；Co 的含量 0.5%；Zr 的含量 0.2%；B 的含量 0.97%；Fe 的含量 67.68%；百分比是指组分在所述主合金的原料中的质量百分比。

10. 如权利要求 3 所述的双壳层钕铁硼磁体的制备方法，其特征在于，S1 中，所述第一辅合金片由所述第一辅合金片的原料经熔炼、铸造后制得；较佳地，所述第一辅合金片的原料的熔炼温度为 1000℃ 以上；所述第一辅合金片的铸造较佳地为薄带连铸法、铸锭法、离心铸造法、快淬法；

和/或，S1 中，所述第二辅合金片由所述第二辅合金片的原料经熔炼、铸造后制得；较佳地，所述第二辅合金片的原料的熔炼温度为 1300℃ 以上；所述第二辅合金片的铸造较佳地为薄带连铸法、铸锭法、离心铸造法、快淬法；

和/或，S1 中，所述主合金片由所述主合金片的原料经熔炼、铸造后制得；较佳地，所述主合金片的原料的熔炼温度为 1400℃ 以上；所述主合金片的铸造较佳地为薄带连铸法、铸锭法、离心铸造法、快淬法；

和/或，S2 中，所述第一辅合金片和所述第二辅合金片的用量占所述双壳层钕铁硼磁体的原料的用量的质量百分比大于 1% 且小于 15%，较佳地为 5%；所述双壳层钕铁硼磁体的原料为所述主合金片、所述第一辅合金片和所述第二辅合金片；

和/或，S2 中，将所述主合金片和所述辅合金片的混合物经氢破碎、微粉碎、成型和烧结处理，即得所述双壳层钕铁硼磁体；或者，将所述主合金片和所述辅合金片分别进行氢破碎，再将所述主合金片和所述辅合金片经所

述氢破碎后的粗粉进行混合，再将混合后的粗粉经微粉碎、成型和烧结处理，即得所述双壳层钕铁硼磁体；或者，将所述主合金片和所述辅合金片分别进行氢破碎和微粉碎，将所述主合金片和所述辅合金片经微粉碎后的细粉进行混合，再将混合后的细粉经成型和烧结处理，即得所述双壳层钕铁硼磁体；

和/或，S2 中，所述氢破碎的脱氢温度为 400°C ~ 650°C ，例如为 500°C ~ 620°C ；

和/或，S2 中，所述微粉碎为气流磨粉碎；

和/或，S2 中，所述微粉碎是在 50ppm 以下的氧含量的气氛下进行；

和/或，S2 中，所述微粉碎后的粉末粒径为 $2\sim 7\mu\text{m}$ ，例如为 $3.0\sim 5.3\mu\text{m}$ ；

和/或，S2 中，所述成型是在磁场强度为 $0.5\text{T}\sim 3.0\text{T}$ ，例如为 $1.0\sim 2.0\text{T}$ 的压机中压制成为生坯；

和/或，S2 中，所述烧结的温度为 $1000\sim 1150^{\circ}\text{C}$ ，例如为 $1050\sim 1085^{\circ}\text{C}$ 。