

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

B22C 1/18

C04B 35/628

C04B 35/63



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 00818660. X

[45] 授权公告日 2005 年 11 月 2 日

[11] 授权公告号 CN 1225329C

[22] 申请日 2000. 8. 25 [21] 申请号 00818660. X

[30] 优先权

[32] 1999. 12. 2 [33] AU [31] 63039/99

[32] 2000. 3. 21 [33] GB [31] 0006751. 2

[86] 国际申请 PCT/GB2000/003284 2000. 8. 25

[87] 国际公布 WO2001/039911 英 2001. 6. 7

[85] 进入国家阶段日期 2002. 8. 2

[71] 专利权人 福塞科国际有限公司

地址 英国斯塔福德郡

[72] 发明人 G·康纳 E·埃尔德马拉维

C·C·奈尔

审查员 陈文

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 卢新华 罗才希

权利要求书 2 页 说明书 11 页

[54] 发明名称 用于粘结颗粒材料的粘结剂组合物

[57] 摘要

本发明提出了一种粘结的颗粒材料和一种形成粘结的颗粒材料的方法。这种材料包括一种颗粒状金属氧化物，它在碱存在下能够形成金属酸盐。这种金属氧化物颗粒一般溶解于碱溶液中，然后被干燥，由此形成不溶的金属氧化物核心，外层覆盖一层金属酸盐的薄膜，这种金属酸盐能够与邻近颗粒的金属酸盐和/或填料相粘结。

I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种生产粘结的颗粒材料的方法，包括以下步骤：
 - 将碱和一种颗粒状金属氧化物相结合，所述金属氧化物在所述碱的存在下能够形成金属酸盐，以形成粘结剂，由此每个金属氧化物颗粒的一部分形成金属酸盐；
 - 当每个金属氧化物颗粒的一部分形成金属酸盐以后，干燥这些颗粒，使得在干燥后保持未反应的颗粒核心，由此来形成粘结的颗粒材料。
2. 根据权利要求1的方法，其中，金属氧化物包括二氧化硅微粒、微细氧化铝、微细二氧化钛、氧化锌或其它在碱溶液存在下能够形成金属酸盐的金属氧化物。
3. 根据权利要求1或2的方法，其中，金属氧化物包括填料，优选为飞灰漂珠或其它空心微球、飞灰、石英砂、珍珠岩、铝矾土、氧化铝、或它们的混合物。
4. 根据权利要求3的方法，其中，填料附加或可选地包括不能氧化的材料，该材料能够与所述金属酸盐粘结。
5. 根据权利要求1的方法，其中在对所述颗粒进行干燥之前，所述金属酸盐已经部分或完全硬化。
6. 根据权利要求5的方法，其中，所述金属酸盐用二氧化碳气体进行硬化。
7. 一种用于生产粘结的颗粒材料的粘结剂，其包含：
 - (a) 一种颗粒状金属氧化物，它在碱存在下能够形成金属酸盐；
 - (b) 一种碱；和
 - (c) 水；
- 其中所述金属氧化物的一部分形成金属酸盐，并使得保持未反应的颗粒核心。
8. 根据权利要求7的粘结剂，其中，所述颗粒状金属氧化物包括二氧化硅，优选二氧化硅微粒。
9. 根据权利要求7或8的粘结剂，其中，所述碱包括氢氧化钠和/或氢氧化钾。
10. 根据权利要求7或8的粘结剂，其中，按粘结剂的总重量计，碱的用量为3-50重量%，颗粒状金属氧化物的用量为10-70重量

%, 水的用量为 30-70 重量%。

11. 根据权利要求 10 的粘结剂, 其中, 按粘结剂的总重量计, 碱的用量为 3-25 重量%, 颗粒状金属氧化物的用量为 20-55 重量%, 水的用量为 40-60 重量%。

5 12. 一种形成粘结的颗粒制品的组合物, 包括:

(a) 一种根据权利要求 7 至 11 中任一项的粘结剂; 和

(b) 一种耐火颗粒材料。

13. 根据权利要求 12 的组合物, 其中, 耐火颗粒材料包括二氧化硅和/或氧化铝和/或铝硅酸盐, 任选为空心微球的形式。

10 14. 一种粘结的颗粒制品, 它由权利要求 12 或 13 的组合物形成。

15. 根据权利要求 14 的粘结的颗粒制品, 包括下述制品之一: 铸型、型芯、隔热冒口套、放热冒口套、双效冒口套、衬里、用于熔融金属的流动控制器、浇口滤片、浇口衬套、中间包启动装置管。

用于粘结颗粒材料的粘结剂组合物

技术领域

本发明涉及用于粘结颗粒材料的粘结剂组合物。本发明在铸造工业中具有特殊的用途，用于形成粘结的颗粒材料，因此包括用做铸型和型芯，以及用于其它与热熔融金属接触的耐火材料制品，如衬里和冒口套，包括隔热、发热和双效（隔热和发热）衬套。

背景技术

由粘结的颗粒状耐火材料（如砂）制成铸型和型芯是众所周知的。同样广为人知的是粘结的颗粒材料可以制成诸如钢包内衬、加料装置内衬、冒口套等其它耐火制品。冒口套形成一个贮存熔融金属的容器，并能使熔融金属比使用该熔融金属的铸件保持更长时间的熔融状态，因此，当铸件硬化时，冒口套使熔融金属能够连续为铸件供料，从而形成紧实和牢固的铸件。像衬里和冒口套这样的耐火制品因此通常由隔热材料制成，以减少热损失。某些应用（例如冒口套）涉及消耗性隔热材料的使用，而另外的应用则要求隔热材料耐用，并在某一温度范围内能够重复地循环使用。高级低密度隔热材料（一般为 0.5g/cm^3 ）是已知的并且是以陶瓷纤维为基础的。基于二氧化硅的高密度产品一般具有开口的多孔结构。

冒口套可由多种方法生产，包括采用树脂粘结废弃的硅质材料，如所谓的“飞灰漂珠”（有时以“Extendspheres”或“Cenospheres”的商标公知）。铸型和型芯通常利用树脂粘结石英砂和/或其它砂来生产。当冒口套、铸型和型芯在型箱内用气体硬化时，一般采用树脂粘结，这是由于树脂能够使产品得到良好的强度和准确的尺寸。然而，在熔融金属存在下，所用树脂通常会产生大量的烟雾和气体。在某些情况下，这些烟雾和气体会被熔融金属吸收而导致铸件质量下降。烟雾问题在低温合金的铸造中特别严重，例如，在含有铝的合金的铸造中，熔融金属的热量不足以使树脂燃烧，但足以使其组分挥发形成烟雾。如果可以生产包括铸型、型芯和冒口套的粘结颗粒耐火制品，既具有很好的尺寸准确性，又不会产生烟和雾的问题，那将是非常有利的。

发明内容

第一方面，本发明提出了一种生产粘结的颗粒材料的方法，包括以下步骤：

- 将碱与颗粒状金属氧化物相结合，此金属氧化物在所述碱的存在下能够形成金属酸盐；然后

- 当每一个金属氧化物颗粒的一部分形成金属酸盐以后，对这些颗粒进行干燥，使未反应的颗粒核心在干燥后得以保存下来。

5 通过在所形成的粘结的颗粒材料中保持每个金属氧化物颗粒的金属氧化物核心，一般能够产生耐火和/或隔热的功能，并通常可以获得很高的尺寸稳定性和精度。同时，由于金属氧化物颗粒的外表面一般会“溶解”，使相邻的金属氧化物颗粒之间通常能产生很高程度的粘结，因此，相邻的金属氧化物颗粒之间能结合起来，当颗粒干燥后，
10 这种结合也“固化”了。

在本说明书中，“金属”这一术语包括硅这样的准金属。当使用“金属氧化物”这一表达时，指的是固体金属氧化物，它一般能够用做耐火材料，保温材料，建筑材料，或其它粘结的颗粒材料。当本文中
15 使用“颗粒材料”这一表达时，其范围包括纤维材料和/或颗粒材料和/或粉末材料和/或微细颗粒材料。本文中的术语“金属酸盐”指的是含氧阴离子（也被称作“氧合阴离子”），它可被认为由 O^{2-} 离子与金属（包括准金属，如硅）阳离子（特别在碱性条件下）通过配位所形成的金属-氧阴离子，其中可能包括氢氧根。这些是水溶液中的常见物质，但是它们的准确结构与简单的个别物质不同，常常很复杂，
20 典型的实例包括硅酸盐、钛酸盐、铝酸盐、锌酸盐、锆酸盐等。这种金属-氧阴离子（金属酸盐）然后与来自碱的碱金属阳离子（如 Na^+ 和 K^+ ）相结合。

碱在最典型的情况下以水溶液的形式存在，因此“干燥”包括从金属氧化物和碱溶液的混合物中脱除水分。但是，如果反应在气相或
25 熔融相中进行，“干燥”意味着调整条件使金属氧化物和碱之间的反应停止。

优选使用的金属氧化物（其一般作为粘结材料）包括二氧化硅微粒、微细氧化铝、微细二氧化钛、氧化锌等（“微细”指的是氧化物的细小颗粒形式）。这些材料在碱溶液存在下容易形成金属酸盐。

30 根据本发明生产的隔热材料中，优选这些类型的金属氧化物作为“粘结剂”。

这些金属氧化物也能是一种废弃的硅质材料，如飞灰、飞灰漂珠

(FAF)或其它可氧化的废弃的氧化物;因此,利用废弃材料可以生产有价值的产品。(飞灰漂珠是二氧化硅和/或氧化铝的空心微球-它们一般包含铝硅酸盐,可能还包含其它组分)。也可使用各种其它金属氧化物。例如可以使用石英砂、铝矾土、氧化铝、珍珠岩等。然而,上述这些材料(包括飞灰漂珠)常常构成粘结的颗粒材料的“填料”组分,形成这种粘结的颗粒材料的“基体”,而不是提供主要的粘结功能。因此,这种填料或多种填料的组合,一般与粘结材料(如上所述)一起使用,并被粘结材料粘合在一起。然而应当理解,金属氧化物粘结剂或填料在单独使用时能够形成粘结的颗粒材料。本发明粘结的颗粒材料中所使用的某些填料可能没有活性氧化物的组分,因此与粘结材料之间可能仅形成一种相对较弱的结合作用。优选地,当使用非氧化物填料时,它们仍然能够与金属酸盐粘结,如硅酸盐、铝酸盐、钛酸盐、锌酸盐等。

优选地,碱是一种由强碱产生的溶液,这些强碱包括氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化锂等。氢氧化钠是最优选的,因为它相对来源丰富,成本低廉。

在所述方法的一种优选变化中,粘结剂在与填料混合之前与碱溶液进行了预先混合。当碱溶液基于氢氧化钠时,采用预先混合能够减少所需要的碱溶液量。因为钠在粘结的颗粒材料中起助熔剂的作用,因此在所生产的粘结颗粒材料中减少它的含量是希望的。已经观察到,形成预混物有助于减少所生产的粘结颗粒材料中的钠含量。

优选地,干燥过程是在微波炉或罐中进行的。微波辐射是一种实现干燥和形成粘结,但又能够保持金属氧化物核心的便利方法。然而,也可采用通过槽式电介质加热的传统对流和辐射炉和罐。附加或可选地,可使用一种加热的芯盒和/或干燥的过程可应用真空的方法。因此,干燥过程优选利用加热的方法,利用对流和/或传导和/或辐射(微波和/或红外辐射),和/或利用蒸发的方法,优选使用减压蒸发,即应用真空或部分真空。

在本发明某些优选的型式中,在干燥过程之前有一个硬化过程,即金属酸盐在干燥之前可能被部分或全部硬化。干燥之前硬化处理具有诸多优点,包括在干燥之前提高颗粒制品的强度,减少制品变形或损坏的可能性。例如,硬化过程可以通过与二氧化碳反应来进行。有

利的是：在成型制品的芯盒或类似的设备中，可以为该颗粒制品提供一种二氧化碳气氛。如果预混物（粘结材料和碱溶液）经过陈化（尤其是如果至少发生了某种脱水作用），例如，此预混物制备后陈化一段时间（优选至少 6h）和/或经受微波辐射，那么一般会促进硬化过程。

- 5 粘结剂含量相对较高的配方具有较高的贮存强度（即硬化强度），较低的烧成强度（即耐热冲击性），因此，这些配方优选应用于冒口套和冒口圈及衬里等。

粘结剂含量相对较低的配方具有较高的烧成强度和较低的硬化强度。这些配方优选应用于耐火隔热材料，例如耐火砖。

- 10 也可以生产具有各种密度的粘结的颗粒材料。高密度材料一般适用于用做建筑构件，它具有较差的隔热性能。

第二方面，本发明提供了一种生产粘结的颗粒材料的方法，它由大量粘结的金属氧化物颗粒形成，其中每个颗粒具有一个金属氧化物核心，其覆盖一层金属酸盐。

- 15 这种粘结的颗粒材料一般通过本发明第一方面所述的方法形成。

第三方面，本发明提供了一种粘结颗粒材料的粘结剂，它包括：

- (a) 一种颗粒状金属氧化物，它在碱存在下能够形成金属酸盐；
- (b) 一种碱；和
- (c) 水。

- 20 颗粒状金属氧化物优选包括二氧化硅，更优选包括二氧化硅微粒。碱优选包括氢氧化钠和/或氢氧化钾。

- 按粘结剂的总重量计，碱的用量优选为 3-50 重量%，颗粒状金属氧化物的用量为 10-70 重量%，水的用量为 30-70 重量%。更优选地，碱的用量为 3-25 重量%，颗粒状金属氧化物的用量为 20-55 重量%，水
- 25 的用量为 40-60 重量%。

第四方面，本发明提供了形成一种粘结的颗粒制品的组合物，它包括：

- (a) 一种根据本发明第三方面的粘结剂；和
- (b) 一种耐火颗粒材料。

- 30 在本发明的某些实施方案中，耐火颗粒材料和颗粒状金属氧化物可能是同一种材料，即“基体”或“填料”可能包括粘结剂组合物的一部分，并将它自身粘结在一起。附加或可选地，颗粒状金属氧化物

可能是一种与耐火颗粒材料不同的材料，包括一种单独的组分，它是粘结剂组合物的一部分。耐火颗粒材料优选包括二氧化硅和/或氧化铝和/或铝硅酸盐（如以空心微球的形式）。

5 本发明的第五方面提供了一种粘结的颗粒制品，它由根据本发明第四方面的组合物形成。根据本发明的粘结颗粒制品的实例包括：铸型、型芯、供料管（隔热、发热和/或双效衬套）、衬里（炉衬、钢包内衬、中间包内衬等）、流动控制器（用于熔融金属）、浇口滤片、浇口衬套（strainer sleeve）、中间包启动装置管，基本上包括任何应用于熔融金属的耐火制品。

具体实施方式

10 虽然在本发明的范围内可能有其它的形式，但本文利用下述非限定性实施例描述了本发明的优选形式。

初始实验

15 初始实验寻求生产一种冒口圈（也称为冒口套），它要求与树脂粘结的隔热材料具有相同的尺寸准确性，但又不会产生烟雾问题。实验集中在硅酸钠和飞灰漂珠（FAF）的使用上。

实施例 1

在利用硅酸钠粘结 FAF 时，采用了下述步骤：

1. 飞灰漂珠与硅酸钠溶液混合（试验了不同的比率）。
2. 然后通过手工将试块（八字抗拉试块）的模型填满。
- 20 3. 在预定的时间（在后续实验中，时间通过二氧化硅或其它金属氧化物的溶解量来确定），将“生坯”试块从模型中取出，并放置在一个多孔的陶瓷或塑料板上。
4. 试块被转移到微波炉或传统炉中干燥。

25 微波干燥的功率为 600kW，时间为 60s；传统炉干燥温度为 110℃，时间为 2-3h。

对不同比率的飞灰漂珠和硅酸钠进行了试验，然而，所有的结果均未能生产出符合商业要求的粘结的颗粒材料。失败的形式包括产品在上述第 4 步中开裂或爆裂，或者试块的最终强度太低而不能使用。

实施例 2

30 二氧化硅微粒在各种耐火混合物中被用做胶凝剂（粘结剂）。除了第 1 步进行了以下调整外，按照实施例 1 中的方法进行了试验：

1. 飞灰漂珠与 25% 的氢氧化钠水溶液和水混合，然后加入二氧化硅

微粒（试验了不同的比率）。

由不同比率的原料制得的产品经过硬化后具有不同的强度。某些在潮湿的条件下表现出较低的贮存强度，另外一些在马弗炉中加热到1000℃后表现出较低的耐热冲击性能。结果如下表所示：

5

试验编号	1	2	3	4	5	6	7
FAF重量	60	60	60	60	60	60	60
水重量	5	5	5	5	5	5	5
25%NaOH的重量	10	10	10	10	10	10	10
二氧化硅微粒的重量	1	2	3	4	5	6	10
*硬化强度 (储存强度)	296	308	440	633	747	747	1,159
+烧成强度 (耐热冲击性能)	811	783	无	723	699	541	398
°湿度	低于 平均值	低于 平均值	低于 平均值	低于 平均值	低于 平均值	平均值	良好
密度	0.422	0.426	0.437	0.448	0.451	0.457	0.485

· 微波处理 60s

+ 马弗炉中在 1000℃加热 1h

° 试块存放在潮湿的空气中硬化后的“感觉”

10

4号配方最适合做隔热“砖”。此配方的试块经烧成后，其强度维持不变或有所增加。

7号配方最适合做冒口套。它可消耗、防潮并且硬化强度高。对于配方7，烧成强度无关紧要。

15

实施例 3

为了保氢氧化钠的含量最小，制备了二氧化硅微粒和氢氧化钠的预混物。（这是因为钠起助熔剂的作用，钠的含量越少，产品的耐火性越高。）

5 预混物 FS2 按如下配方制备：

二氧化硅微粒	100 份
25%氢氧化钠	150 份
水	300 份

预混物然后与一种填料相混（如 FAF），得到下述结果：

10

试验编号	10	11
FAF重量	60	60
FS2重量	15	15
二氧化硅微粒	0	5
湿混合物中NaOH含量 [*]	1.36%	1.28%
干混合物中NaOH含量 [§]	1.60%	1.49%
* 硬化强度	470	889
+ 烧成强度	490	169
° 湿度	良好	良好

^{*} “湿混合物”指硬化和干燥之前含有水分的混合物。

[§] “干混合物”指脱除水分后的混合物。

15 同样，配方 10 用做隔热砖，配方 11 用做冒口套，这两种配方中 NaOH 的含量均只有实施例 2 中的一半。

实施例 4

预混物 FS1 采用下述配方：

20	二氧化硅微粒	200 份
	25%氢氧化钠	150 份
	水	300 份

这种预混物然后与 FAF 相混，得到下述结果：

试验编号	20	21	22	23	24
FAF重量	60	60	60	60	60
FS1重量	15	15	15	20	25
二氧化硅微粒	0	2	5	10	10
* 硬化强度	823	791	745	563	419
+ 烧成强度	280	218	无	296	224
° 湿度	良好	良好	良好	良好	良好
湿混合物中NaOH含量 [#]	1.15	1.12	1.08	1.28	1.52
干混合物中NaOH含量 [§]	1.36	1.32	1.26	1.54	1.89

* “湿混合物”指硬化和干燥之前含有水分的混合物。

§ “干混合物”指脱除水分后的混合物。

5

这些配方适合于用做冒口套，但不适合用做做砖。

同时，当二氧化硅微粒含量增加，产品的烧成强度降低。这很可能是由于陶瓷（“金属酸盐”）粘结形成后，在冷却过程中不同组分收缩速率不同所致。

10

实施例 5

为了研究其它活性（金属）氧化物以及它们的粘结效果，氧化铝按照下述配方进行了预混：

氧化铝	200 份
25%氢氧化钠	240 份
水	300 份

15

这种预混物然后与 FAF 混合如下：

试验编号	30	31	32
FAF重量	60	60	60
A2重量	20	20	20
氧化铝重量	0	2	5
* 硬化强度	250	200	235
+ 烧成强度	100	129	88
° 湿度	低于 平均值 良好		
	平均值		
密度	0.41	0.43	0.44

这些配方的效果不如二氧化硅微粒的配方，但配方 32 可用做冒口套，并具有不存在游离二氧化硅以及较好的防潮性能等优点。

实施例 6

其它实验配方与上述类似进行了制备，结果表明可以使用与二氧化硅微粒、氢氧化钠和飞灰漂珠类似的材料。这些配方包括：

碱：

NaOH, KOH, LiOH 等（一般为所有强碱）

填料：

FAF、飞灰、石英砂、铝矾土、氧化铝、珍珠岩等，以及任何能够与“硅酸盐”或其它“金属酸盐”粘结的其它填料或填料组合。

粘结剂：

二氧化硅微粒、微细氧化铝、微细二氧化钛、微细氧化锌等，以及任何能够形成钠的金属酸盐的其它氧化物。

虽然典型的配方既包括“粘结剂”和“填料”这两者，但本文实验也研究了粘结的颗粒材料仅由粘结剂或仅由填料制成的情况。优选联合使用粘结剂和填料，因为这种方法可以形成一种更耐久的粘结的颗粒产品。并且，这种方法可以将例如 FAF 这样的硅质材料作为填料加入，否则这些材料需要作为废物处理。

实施例 7

为了评价本发明的粘结剂组合物形成砂型和砂芯的效果，采用下述步骤形成了粘结的砂质制品（八字试块）。

1. 砂、25%的氢氧化钠水溶液和二氧化硅微粒按照下表所列的重量比例相混。

2. 由该混合物形成试块模型（所谓“八字试块”）。

3. 在预定的时间，将“生坯”试块从模型中取出，并放置在一个多孔的陶瓷或塑料板上。

4. 试块被转移到微波炉或传统炉中干燥。

微波干燥的功率为 600kW，时间为 60s，和/或随后被加热到 700℃并保持 2min，或 15min，或 30min，或 60min。

试验编号	40	41	42	43	44	45
砂重	100	100	100	100	100	100
25%NaOH 溶液重量	10	10	3	3	2	1
二氧化硅 微粒重量	-	2	1	0.6	0.6	0.6
微波处理 (1min)	是	是	是	是	是	否
观察现象	手制的 八字试 块，微 波处理 后触摸 无粘结 现象	粘结在 一起， 易于处 理	粘结在 一起， 易于处 理	粘结在 一起， 易于混 合，透 气性良 好	易于混 合，砂被 完全润 湿，透 气性良 好。 最佳条 件	在热型 箱中溃 散， 2min后 也未能 成型
700℃	无	2分钟	2分钟	2, 15, 3 0和60 分钟	2, 15, 3 0和60 分钟	2, 15, 3 0和60 分钟
与水接触		溃散	溃散	溃散	溃散	溃散
评价				在250℃ 下处理 40s， 强度为 54psi ，处理 1min， 强度为 118psi	在热型 箱中处 理40s	不可行

41, 42, 43 和 44 号试验的组合物适用于砂粘结，但是最佳组合物

为 44 号试验中的组合物。

机理

当二氧化硅（或氧化铝等）的表面与“强碱性的”氢氧化钠接触时，发生反应形成一种部分可溶的硅酸钠溶胶-凝胶。二氧化硅颗粒的内部保持为固体二氧化硅，外层则含有数量不断增加的钠。当进行预混时，这个反应进行得更有效。

活化的二氧化硅微粒然后与 FAF（或其它填料）形成一种粘性的结合。所形成的产品置于微波炉中硬化几分钟（试块用 1min，建筑砖用 9min）。传统干燥用几个小时（试块用 2-3h）。射频或电介质加热也是有效的。

优选微波处理，因为它能够快速干燥，从而使金属氧化物和碱之间的反应迅速终止。

优点/益处

按照本发明所生产的粘结的颗粒状产品具有下述优点和益处。

15

产品	优点/益处
冒口套	与熔融金属接触时不会产生烟雾。尺寸准确，在透微波的芯盒中硬化。与其它非纤维产品相比具有较低的密度。不含纤维。
砂型或砂芯	与熔融金属接触时不会产生烟雾。铸造后在水中破碎容易 - 对于有色金属铸件特别有利。
砖	经 1500℃ 处理后密度只有其它传统产品的一半，因此基本上具有较高的隔热能力。
流槽	密度只有其它应用于铝冶炼工业的传统流槽的三分之一，形成较低的热量损失，以及更节能的产品。

本发明也可应用于熔融金属工业之外的用途，如，防火墙/门，隔音材料，防火顶棚镶板，建筑材料（如砖，铺路材料和瓦），轻质建筑物品等。配方密度容易改变（如通过改变填料和粘结剂的数量和质量）。低密度（轻质）产品更适用于上述这些应用场合。

20