



## [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480035445.8

[45] 授权公告日 2008 年 12 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 100444085C

[22] 申请日 2004.10.29

US20020126432A1 2002.9.12

[21] 申请号 200480035445.8

US6125337A 2000.9.26

[30] 优先权

US20010002098A1 2001.5.31

[32] 2003.10.30 [33] US [31] 10/697,963

US6529183B1 2003.3.4

[86] 国际申请 PCT/US2004/036147 2004.10.29

US20020063685A1 2002.5.30

[87] 国际公布 WO2005/043365 英 2005.5.12

US20010020200A1 2001.9.6

[85] 进入国家阶段日期 2006.5.30

审查员 詹芊芊

[73] 专利权人 森瑟博科技有限公司

[74] 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理有限公司

地址 美国马萨诸塞州

代理人 王安武

[72] 发明人 托马斯·H·马塞

威廉·亚历山大·古德温

伊莱恩·陈 蒂帕克·卡泊尔

艾贝·J·科恩

布兰登·D·伊特科伍兹

[56] 参考文献

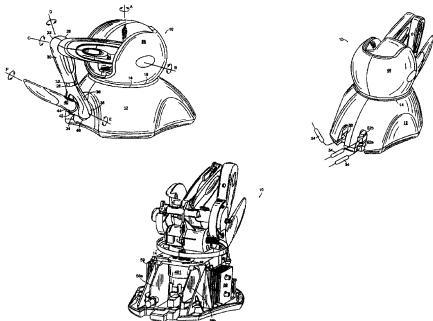
权利要求书 5 页 说明书 23 页 附图 24 页

[54] 发明名称

力反馈触觉接口

[57] 摘要

本发明公开了一种包含各种子组件的多功能力反馈触觉接口。所述子组件包括多功能用户接口、用于将所述接口设置到原始位置的用户接口对接站、温度监控和控制系统以及各种运动缆索驱动系统。



1. 一种力反馈触觉接口，包含至少三个自由度和用户接口，所述用户接口包括：

5 鼻部；和

可拆卸地耦合到所述鼻部的用户连接部分，所述鼻部与可替换的用户连接部分可互换。

2. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户连接部分从由触针、手枪式握把、滚珠、鼠标、操纵杆和转向器组成的组中选择。

10 3. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户连接部分通过插座和卡盘布置耦合到所述鼻部。

4. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户连接部分通过施加比阈值载荷值大的载荷从所述鼻部拆卸。

15 5. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户接口还包括第一用户输入。

6. 如权利要求 5 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户接口还包括第二用户输入。

7. 如权利要求 6 所述的力反馈触觉接口，其中所述第一用户输入和所述第二用户输入中的至少一个由用户定制。

20 8. 如权利要求 6 所述的力反馈触觉接口，其中所述第一用户输入和所述第二用户输入中的至少一个包含开关。

9. 如权利要求 6 所述的力反馈触觉接口，其中所述第一用户输入和所述第二用户输入中的至少一个改变所述用户接口的功能。

25 10. 如权利要求 9 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户接口适合于作为力反馈装置和计算机鼠标。

11. 如权利要求 10 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户接口适合于用作数字转换器。

12. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户接口包括壳体，所述壳体包括不需要紧固件就能够互锁的多个部件。

13. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，还包括耦合到所述鼻部的轭组件。

14. 如权利要求 13 所述的力反馈触觉接口，其中所述轭组件包括适合于将从所述鼻部延伸的一对凸起抓住的两半铰链。

5 15. 如权利要求 14 所述的力反馈触觉接口，其中每个凸起适合于与轴承配合，并且至少一个所述凸起适合于与传感器配合用于输出代表所述用户接口相对于所述轭组件的位置的信号。

16. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户接口包括传感器用于输出代表所述用户连接部分相对于所述鼻部的位置的信号。

10 17. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户接口包括对接站。

18. 如权利要求 17 所述的力反馈触觉接口，其中所述对接站包括布置在所述用户接口与所述触觉接口的壳体中的一个上的凸起以及在所述用户接口和所述壳体中的另一个中形成的配合凹入。

15 19. 如权利要求 18 所述的力反馈触觉接口，其中所述对接站还包括传感器用于指示将所述凸起配合在所述凹入中。

20. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户接口适合于支持第一功能和第二功能。

21. 如权利要求 20 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户接口还适合于支持第三功能。

22. 如权利要求 20 所述的力反馈触觉接口，其中所述第一功能包括力反馈装置。

23. 如权利要求 20 所述的力反馈触觉接口，其中所述第二功能包括计算机鼠标。

25 24. 如权利要求 21 所述的力反馈触觉接口，其中所述第三功能包括数字转换器。

25. 如权利要求 20 所述的力反馈触觉接口，其中所述用户接口可以在所述第一功能和所述第二功能之间切换。

26. 如权利要求 21 所述的力反馈触觉接口，其中所述第三功能独立于

所述第一功能和所述第二功能实现。

27. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，还包括壳体和对接站，所述对接站包括：

配合结构；和

5 靠近所述配合结构布置的开关。

28. 如权利要求 27 所述的力反馈触觉接口，其中所述配合结构包括在所述壳体中形成的插座。

29. 如权利要求 28 所述的力反馈触觉接口，其中所述开关可通过将所述用户接口的至少一部分插入到所述插座中来开动。

10 30. 如权利要求 29 所述的力反馈触觉接口，其中，基于所述开关的开动，所述触觉接口被设置到原始位置。

31. 如权利要求 27 所述的力反馈触觉接口，还包括用于将所述用户接口保持在所述对接站中的保持器。

32. 如权利要求 31 所述的力反馈触觉接口，其中所述保持器包括：

15 布置在所述用户接口和所述对接站中的一个上的弹簧加载凸起；和

布置在所述用户接口和所述对接站中的另一个上用于接收所述凸起的配合凹入。

33. 如权利要求 27 所述的力反馈触觉接口，还包括指示器。

34. 如权利要求 33 所述的力反馈触觉接口，其中所述指示器包括视觉  
20 上的指示器。

35. 如权利要求 33 所述的力反馈触觉接口，其中所述指示器指示故障  
条件和状态中的至少一个。

36. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，还包括：

包含用于驱动第一旋转元件的第一致动器的直接驱动组件；和

25 包含用于驱动第二旋转元件的第二致动器的同轴传输驱动组件，其中  
所述直接驱动组件和所述传输驱动组件布置在所述第一旋转元件和所述第  
二旋转元件中的至少一个的相对侧上。

37. 如权利要求 36 所述的力反馈触觉接口，其中所述直接驱动组件和  
所述传输驱动组件每个都包括旋转元件，所述各个旋转元件布置成相对的

同轴构造。

38. 如权利要求 36 所述的力反馈触觉接口，还包括布置在所述第一致动器和所述第二致动器中的至少一个的一端上的反射式编码器。

5 39. 如权利要求 36 所述的力反馈触觉接口，还包括布置在所述第一致动器和所述第二致动器中的至少一个的轴上的螺纹绞盘。

40. 如权利要求 36 所述的力反馈触觉接口，还包括用于容纳电子部件的基底。

41. 如权利要求 40 所述的力反馈触觉接口，其中所述基底包括至少部分抵消在所述触觉接口的使用中产生的力的压载。

10 42. 如权利要求 41 所述的力反馈触觉接口，其中所述压载包括多个板。

43. 如权利要求 36 所述的力反馈触觉接口，还包括符合 IEEE1394 的电气接口。

15 44. 如权利要求 36 所述的力反馈触觉接口，还包括外部的非结构性壳体。

45. 如权利要求 44 所述的力反馈触觉接口，其中所述壳体包括以相对的方式安装在穿过旋转元件的转轴的轴上的两半。

46. 如权利要求 36 所述的力反馈触觉接口，还包括用于在不需要抵消块的情况下平衡至少一个悬臂旋转元件的装置。

20 47. 如权利要求 46 所述的力反馈触觉接口，其中所述平衡装置包括绕所述旋转元件的转轴布置的扭力弹簧。

48. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，还包含不需要温度传感器的内部温度监控系统。

25 49. 如权利要求 48 所述的力反馈触觉接口，其中所述温度监控系统包括用于测量由驱动至少一个自由度的致动器引入的电流的持续时间和幅度的装置。

50. 如权利要求 49 所述的力反馈触觉接口，其中所述系统基于所述测量的持续时间和幅度计算所述接口内部的温度。

51. 如权利要求 50 所述的力反馈触觉接口，其中如果所述计算的温度

超过阈值温度值，则所述系统中止所述接口的至少一部分。

52. 如权利要求 1 所述的力反馈触觉接口，还包括耦合到所述鼻部的支撑元件，其中，所述鼻部相对于所述支撑元件可绕第一轴线旋转。

53. 如权利要求 52 所述的力反馈触觉接口，还包括可旋转地将所述支撑元件耦合到所述鼻部的万向节。

## 力反馈触觉接口

### 5 技术领域

本发明一般地涉及人/机接口，并且更具体地，涉及力反馈触觉接口。

### 背景技术

除了传统的视觉反馈之外，力反馈触觉接口和相关的计算机软硬件已  
10 经用在各种系统中以为使用者提供触觉感受的反馈。这些系统在诸如外科  
技术培训、工业设计和建模以及个人娱乐之类的各个领域中正变得越来越  
普遍。

用在桌面环境中的触觉接口的两个示例公开在美国专利 Nos.5,587,937 和 6,417,638 中，它们的全部内容通过引用包含在这里。一般来说，触觉  
15 接口界定了例如位于靠近用户连接元件或在用户连接元件的容积内的用户  
基准点，这样的用户连接元件例如被构造成由用户戴上或抓住的指套  
(finger thimble) 或触针 (stylus)。布置在用户连接元件和空间的或基准  
的面之间的是一系列机械传输元件，例如当处于无动力驱动状态下时被构  
造成基本上允许连接元件在触觉接口的预定工作空间内自由运动的万向  
20 节、联接和框架。

基于传输元件的构造和定位，可以提供多个独立的自由度。基于用于  
接口的具体应用，每个自由度可以被驱动或跟踪，或者自由（既不被驱动  
也不被跟踪）。例如，自由度可以由电动机或致动器驱动，使得在合适的  
条件下接口可以抵抗、平衡或克服沿该自由度的用户输入力。被驱动的轴  
25 可以是主动的，带有随系统条件的功能而变化的力，或可以是被动的，例  
如当施加恒定的阻抗或制动力时。可替换地或附加地，可以利用编码器、  
电位计或其它测量装置来跟踪自由度，使得与其它被跟踪的自由度结合，  
可以确定基准点在工作空间内相对于地面的空间定位。最后，自由度可以  
是自由的，使得在运动范围内用户可以沿该自由度基本上自由移动而没有

限制及跟踪。结合合适的计算机硬件和软件的该接口可以用于在虚拟现实环境中提供触觉反馈或将用户连接至例如位于远程或危险环境中的实际控制器。

对于设计具有合适的操作和响应特性的力反馈触觉接口存在巨大的挑战。  
5 例如，有必要使触觉接口具有低摩擦和重量平衡，使得用户的运动不会受到过度的阻挡并且用户不会仅因在工作空间内移动连接元件而疲劳。此外有必要使触觉接口具有高度的分辨率并高度响应以尽可能接近地复制真实的触觉体验。从商业认同和吸引力的角度出发，紧凑的尺寸、低成本和各种输出接口的可交换性也是有利的。

10 但是，包含在力反馈触觉接口中的复杂技术已经阻碍了减小尺寸和降低成本的努力。通常由于诸如电动机布置、重量平衡方法和部件尺寸特性之类的因素，这样的装置的构造需要大于所需的单元尺寸。如这种装置中所需的特殊部件那样，这种大的单元尺寸通常使商业成本更高。复杂的  
15 技术已经限制了输入接口的可交换性，由此对每个不同的应用需要获得带有特定的用户输入的定制的装置。

尺寸和成本上的这些限制显然是使力反馈触觉接口适合于许多市场的不利阻碍。例如，较低的成本将使这样的接口适合于消费者用于它们的家用个人电脑。通过提供包括除了视觉和听觉的标准二维交互之外的触觉的接口，将触觉接口用作外设将有效地拓宽人机交互的范围。

20 因此，需要一种带有增强的功能的力反馈触觉接口，其尺寸紧凑并且成本相对较低，因此可用于广阔的消费市场。

## 发明内容

在一个方面中，本发明涉及一种包含至少三个自由度和用户接口的力反馈触觉接口。所述用户接口包括鼻部和可拆卸地耦合到所述鼻部的用户连接部分。所述鼻部与可替换的用户连接部分可互换。  
25

在本发明的前述方面的各个实施例中，所述用户连接部分可以是触针、手枪式握把、滚珠、鼠标、操纵杆和/或转向器。此外，所述用户连接部分可以通过插座和卡盘布置耦合到所述鼻部，并且所述用户连接部分可

以通过施加比阈值载荷值大的载荷从所述鼻部拆卸。

在一些实施例中，所述用户接口还包括第一用户输入，并且可选地，第二用户输入。在附加的实施例中，所述第一用户输入和/或所述第二用户输入由用户定制。所述用户输入可以是开关或按钮。所述第一用户输入或5所述第二用户输入中的任一个或两者可以改变所述用户接口的功能。在各个实施例中，所述用户接口适合于作为力反馈装置、计算机鼠标和/或数字转换器。

所述用户接口包括壳体。在一个实施例中，所述壳体由互锁的多个部件组成以在不需要紧固件的情况下提供结构整体性和部件保持。此外，所述力反馈触觉接口可以包括耦合到所述用户接口的鼻部的轭组件。在一个实施例中，所述轭组件包括适合于将从所述鼻部延伸的一对凸起抓住的两10半铰链。每个凸起适合于与轴承配合，并且至少一个凸起适合于与传感器配合用于输出代表所述用户接口相对于所述轭组件的位置的信号。

在进一步的实施例中，所述用户接口包括传感器用于输出代表所述用户连接部分相对于所述鼻部的位置的信号。此外，所述用户接口可以包括对接站。所述对接站包括布置在所述用户接口与所述触觉接口的壳体中的一个上的凸起以及在所述用户接口和所述壳体中的另一个中形成的配合凹入。此外，所述对接站可以包括传感器用于指示将所述凸起配合在所述凹20入中。在另一个方面中，本发明涉及一种包含至少三个自由度和多用途用户接口的力反馈触觉接口，所述用户接口适合于支持第一功能和第二功能。在一个实施例中，所述用户接口还适合于支持第三功能。在本发明的此方面的各个实施例中，所述第一功能作为力反馈装置，所述第二功能作为计算机鼠标，而所述第三功能作为数字转换器。在一个实施例中，所述用户接口可以在所述第一功能和所述第二功能之间切换，并且所述第三功能25独立于所述第一功能和所述第二功能实现。

在另一方面中，本发明涉及一种用于包括壳体和用户接口的力反馈触觉接口的对接站。所述对接站包括配合结构和靠近所述配合结构布置的开关。在一些实施例中，所述配合结构包括在所述壳体中形成的插座，并且所述开关是通过将所述用户接口的至少一部分插入到所述插座中来开动

的。基于所述开关的开动，所述触觉接口设置到原始位置。

在进一步的实施例中，所述对接站包括用于将所述用户接口保持在所述对接站中的保持器，并且所述保持器包括布置在所述用户接口和所述对接站中的一个上的弹簧加载凸起和布置在所述用户接口和所述对接站中的另一个上用于接收所述凸起的配合凹入。此外，所述对接站可以包括指示器。所述指示器可以是视觉上的指示器并可以指示故障条件和状态中的至少一个。  
5

在另一个方面中，本发明涉及一种包含至少三个自由度的力反馈触觉接口。所述触觉接口包括具有用于驱动第一旋转元件的第一致动器的直接驱动组件和具有用于驱动第二旋转元件的第二致动器的同轴传输驱动组件。  
10 所述直接驱动组件和所述传输驱动组件布置在所述第一旋转元件和所述第二旋转元件中的至少一个的相对侧上。

在本发明的此方面的各个实施例中，所述直接驱动组件和所述传输驱动组件每个包括旋转元件或其它类型驱动元件，所述各个旋转元件布置成相对的同轴构造。所述力反馈触觉接口还可以包括布置在所述第一致动器和所述第二致动器中的至少一个的一端上的反射式编码器和/或布置在所述第一致动器和所述第二致动器中的至少一个的轴上的螺纹绞盘。  
15

在一个实施例中，所述力反馈触觉接口包括用于容纳电子部件的基底。所述基底可以包括至少部分并且典型地是全部抵消在所述触觉接口的使用中产生的力的压载。在一个实施例中，所述压载可以包括多个板。此外，所述力反馈触觉接口可以包括符合 IEEE1394 标准的电气接口。在一些实施例中，所述力反馈触觉接口包括外部的非结构性壳体，其中所述壳体包括以相对的方式安装在穿过旋转元件的转轴的轴上的两半。在各个实施例中，所述力反馈触觉接口包括在不需要抵消块的情况下用于平衡至少一个悬臂的旋转元件的弹簧。所述弹簧可以是绕所述旋转元件的转轴布置的扭力弹簧。  
20  
25

在另一个方面中，本发明涉及一种力反馈触觉接口，所述力反馈触觉接口包含至少三个自由度和不需要温度传感器的内部温度监控系统。在一个实施例中，所述温度监控系统包括用于测量由驱动至少一个自由度的致

动器引入的电流的持续时间和幅度的装置。此外，所述系统基于所述测量的持续时间和幅度计算所述接口内部的温度。在一个实施例中，如果所述计算的温度超过阈值温度值，则所述系统中止所述接口的至少一部分。

在另一个方面中，本发明涉及一种用于监控力反馈触觉接口的内部温度的方法。所述方法包括步骤：测量由所述接口中的致动器引入的电流的幅度；测量所述被引入电流的持续时间；并基于所述幅度和持续时间的大小计算温度。在一个实施例中，所述方法包括在所述计算的温度超过阈值温度值的情况下终止所述接口的至少一部分的附加步骤。

与本发明的这里所公开的优点和特征一起的这些和其它目的将通过引用以下的描述、附图和权利要求变得更加清晰。此外，应当理解这里所描述的各个实施例的特征并不互相排斥并且能够以各种组合和置换的方式存在。

### 附图说明

在附图中，类似的参考标号通常指不同视图中的相同部件。附图并不必然按照比例绘制，为了说明本发明的原理进行了一些重点突出。在以下的描述中，参考以下的附图描述本发明的各个实施例，其中：

图 1A 是根据本发明一个实施例的力反馈触觉接口的示意性立体侧视图；

图 1B 是图 1A 力反馈触觉接口的示意性立体后视图；

图 1C 是图 1A 的力反馈触觉接口去除外部壳体部件后的另一个示意性立体后视图；

图 2A 是用于根据本发明一个实施例的触觉接口的用户接口的一个实施例的示意性立体图；

图 2B 是图 2A 的用户接口的用户连接端的示意性立体局部剖图；

图 2C-2D 是图 2A 的用户接口的鼻端的示意性立体局部剖图和分解视图；

图 3A 是用于根据本发明一个实施例的触觉接口的枢臂组件的示意性立体图；

图 3B 是图 3A 的轭臂组件的铰接轭的示意性立体图；

图 3C 是图 3A 的轭臂组件的一部分和鼻部的示例性立体局部图；

图 4A 是用在根据本发明一个实施例的触觉接口中的对接站和用户接口的实施例的部分分解的示意性立体图；

5 图 4B 是图 4A 的对接站的示意性前视图；

图 4C 是图 4A 的对接站和用户接口的示例性侧剖视图；

图 5 是用在根据本发明一个实施例的触觉接口中的内部驱动系统的实施例的后部示意性立体图；

10 图 6A 是传输驱动的实施例的示意性立体图，该传输驱动用于供应动力至根据本发明一个实施例的触觉接口的第三关节；

图 6B 是自动缆索张紧装置的示意图，该自动缆索张紧装置用于驱动根据本发明一个实施例的触觉接口的第三关节；

图 7 是用在根据本发明一个实施例的触觉接口中的致动器组件实施例的示意性侧视图；

15 图 8A 是用在根据本发明一个实施例的触觉接口中的自动缆索张紧装置的示意图；

图 8B 是用在根据本发明一个实施例的缆索驱动中的致动器绞盘的示意性侧视图；

20 图 8C 是自动缆索张紧装置的示意性平面图，该自动缆索张紧装置用于驱动根据本发明一个实施例的触觉接口的第一关节；

图 9 是自动缆索张紧装置的示意性平面图，该自动缆索张紧装置用于驱动根据本发明一个实施例的触觉接口的第二关节；

图 10 是自动缆索张紧装置的示意性平面图，该自动缆索张紧装置用于驱动根据本发明一个实施例的触觉接口的第三关节的传输驱动元件；

25 图 11A-11C 是算法的流程图，该算法用于控制和监控根据本发明一个实施例的触觉接口的力和内部温度；

图 12 是用在根据本发明一个实施例的触觉接口中的 IEEE1394 柔性接口板的示意图；和

图 13 是与根据本发明一个实施例的触觉接口一起使用的腕式支架的

示意性立体图。

### 具体实施方式

图 1A 是根据本发明一个实施例的六自由度力反馈触觉接口 10 的示意性立体图。结合不同的构造、不同的运动学以及更多或更少的自由度，可以有利地实现本发明的各个特征和功能。接口 10 包括基底 12，基底 12 界定了基准面、六个接头或关节以及六个结构元件。第一个动力驱动的跟踪旋转元件 14 由基底 12 支撑以界定带有转轴 “A”的第一关节 16，转轴 “A” 具有大致竖直的方向。第二个动力驱动的跟踪旋转元件 18（图 5）安装在第一个动力驱动的跟踪旋转元件 14 上以界定带有转轴 “B”的第二关节 20（图 5），转轴 “B” 具有与第一轴 A 大致垂直的方向。第三个动力驱动的跟踪旋转元件 22 安装在第二元件 18 的大致径向向外布置的悬臂延伸 24（以股部的形式）上以界定具有转轴 “C”的第三关节 26，转轴 “C” 大致平行于第二轴 B。第四个动力驱动的跟踪旋转元件 28 安装在第三元件 22 的大致径向向外布置的延伸 30（以股部的形式）上以界定具有转轴 “D”的第四关节 32，转轴 “D” 大致垂直于第三轴 C。第五个动力驱动的跟踪旋转元件 34 以鼻部的形式安装在第四元件 28 的大致径向向外布置的延伸 36（以轭的形式）上以界定具有转轴 “E”的第五关节 38，转轴 “E” 大致垂直于第四轴 D。第六个自由旋转的用户连接元件 40 以触针（被构造成由用户握持）的形式安装在第五元件 34 的大致径向向外布置的延伸 42 上以界定具有转轴 “F”的第六关节 44，转轴 “F” 大致垂直于第五轴 E。当不在使用中时，鼻部 34 便利地紧固在位于触觉接口 10 的基底 12 上的对接站 46 中。大致球形的上壳体 56 包围内部部件，从而保护它们免受损坏和污染。还预期了使用多于或少于六个轴的接口，并且在触觉接口的任何实施例中，任意轴可以是由动力驱动的（也就是由电动机组件控制的）或自由的。

图 1B 是图 1A 的力反馈触觉接口 10 的后部示意性立体图。触觉接口 10 具有形成在壳体 12 中的至少两个连接端口。电连接使用铁氧体磁珠 54 以提供 RF 屏蔽、寄生振荡抑制和 RF 去耦。动力连接 50 供电能至接口

10 以运转包括控制电路、传感器、致动器和显示元件的内部部件。在根据本发明的力反馈触觉接口 10 的一个实施例中，接口 10 还包括诸如由 Apple Computer, Inc. 公司出售的 FIREWIRE 商标之类的至少两个 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 1394 端口连接 52a、52b。具体地，接口 10 具有 PHY 接口连接（其管理物理接口、CRC 校验、穿过操作和速度适应）和 LINK 控制器连接（其格式化数据并管理同步传输），从而建立了双通道接口。IEEE1394 连接比现有的外设连接方法提供了更多的优点。例如，IEEE1394 连接比传统的并行或串行连接或者甚至更高速的通用串行总线 (USB) 连接更快地传输数据。图 1B 中描述的双重连接的实施例使得触觉接口 10 能够以 100、200 和 400Mbs 的总线速度操作，这有利于高水平的实时数据传输。这样的速度是可以的，因为不论其它的操作，连接提供了用于数据传输的时间空档。此外，IEEE1394 连接自动识别外围设备是否存在，而不需要另外安装软件。

图 1C 描述其中外部壳体被去除的触觉接口 10 的后部示意性立体图。

15 基底 12 的大小可以容纳诸如一对计算板 58a、58b 的控制电路，在此实施例中计算板 58a、58b 大致竖直地布置在基底 12 中并大致互相平行。在此实施例中，配电板 58a 通常控制至触觉接口 10 的电能，而 IEEE1394 接口板 58b 控制复杂的力反馈、传感和其它的功能。此外容纳在基底中的是用于第一个动力驱动的跟踪旋转元件 14 的电动机组件 401、和大量钢板 20 59，钢板 59 用于压载以至少部分抵消在触觉接口 10 的使用中产生的力。用橡胶处理接口 10 的下侧或布置在接口 10 下侧上的吸盘脚有助于使接口 10 稳定并防止接口 10 在平滑的表面上滑动。基底 12 内的至少一个制动器防止旋转元件 14 过度旋转。

图 2A 描述触觉接口 10 的用户接口 60。在一个实施例中，用户接口 25 60 由鼻端 34 和诸如触针 40 之类的用户连接部分组成。在具体的实施例中，鼻部 34 和触针 40 两个的壳体是分离的结构，用于容易地组装和部件构造，但是也考虑了用于鼻部 34 和/或触针 40 的单个壳体部件。

在图 2A 所示的实施例中，两片触针壳体 62 是可拆装的。可替换地，触针 40 的整个壳体 62 可以分离，允许其完全拆除。在一个实施例中，壳

体 62 由四片形成以允许更快地组装。壳体 62 的可拆装部分可以与压缩环 64 一起紧固，可以扣在一起，或使用其它方式的连接。触针 40 的后部根据人体工程学来设计并作为套袖在连接器轴 90 (图 2C) 的端上滑动。两个用户输入 66a、66b 在此实施例中被描述成按钮，但是也可以使用开关、  
5 触发器、辊轮或其它装置。第一输入 66a 和第二输入 66b 允许用户控制触  
针 40 和接口 10 的各种功能。在一个实施例中，第一输入 66a 运转作为用  
于接口 10 的力反馈功能的标准 ON/OFF 触发器，而第二输入 66b 包括其  
它的系统特征，尽管可以由用户定制输入 66a、66b 中的任一个、两者或两  
者都不定制。例如，在一个实施例中，按压第二输入 66b 允许用户接口 60  
10 和接口 10 以与没有力反馈的计算机鼠标类似的方式运转。第二输入 66b  
的其它可选特征包括但不限于暂停 (PAUSE) 或睡眠 “SLEEP” 控制、力  
反馈触发器、数字转换控制、空间位置复位、或根据用户的需要或特定应  
用的需要的任意其它选择。此外，任一按钮可以用于在两个不同的功能之  
间触发触觉接口。

15 鼻部壳体 68 和触针壳体 62 在压缩环 64 处或在压缩环 64 附近接合。  
在一个实施例中 (如图 2A 所示)，鼻部壳体 68 可分离成两片。一旦被组  
装，鼻部壳体 68 形成与配合轭 36 的轴承 120 喷合的至少两个凸起 70。在  
这些凸起 70 中的至少一个的端部处或靠近该端部是电位计叶片 72，其驱  
动位于轭 36 (图 3B) 内的电位计 130。鼻部壳体 68 的外表面能够包含至  
20 少两个凹入 74 以与触觉接口 10 的基底 12 上的对接站 46 内的弹簧加载凸  
起 154 (图 4A) 配合。凹入 74 可以是椭圆形、三角形、弓形或允许与弹  
簧加载凸起 154 适当配合的任何其它形状。成一定形状的尖端 76 从鼻部  
34 的锥形端部或靠近锥形端部突起。在一个实施例中，当利用输入 66a、  
66b 使触觉接口 10 用作数字转换器时，尖端 76 可以用于对实体模型的轮  
廓的精确描绘或绘制并记录计算机存储器中的附随数据。尽管塑料壳体 10  
25 的锥形端部自身可以用于此目的，但是也可以使用硬化的金属尖端，因为  
其更有效地耐磨损。在可替换的实施例中，当用作数字转换器时，成一定  
形状的尖端 76 可以使用手动或弹簧加载开关、光学技术或本领域公知的  
任何其它技术。

现在参考图 2B，示出了其中壳体 62 的一部分被移除情况下的触针 40。在触针 40 内，扣式连接 80 作为用于用户接口 60 的两半的连接元件。在此实施例中，使用带有 O 形环 82 的四爪扣筒状卡盘，但是也可以使用能够与鼻部 34 的连接器轴 90 上的连接器 96 适当连接的任何扣式连接。O 5 形环 82 保持爪处于收缩的模式，由此允许连接器被捕获在其中。用在触针 40 中的扣式连接 80 至少用于几个目的。第一，扣式连接 80 允许用于各种应用的多个用户连接的简单更换。代替图中所示的触针 40，还可以使用手枪式握把、球、鼠标、操纵杆、方向盘或其它的连接。这样的布置还允许在用户接口 60 被损坏的情况下简易地修理或更换用户接口 60。第二，10 扣式连接 80 的释放特性防止在过度拉触针 40 的情况下损坏触觉接口 10。一般来说，在使用中典型施加至触针 40 的力的最大范围大约为四分之三至一磅。大约为常用力五倍的起步阻力将防止损坏触觉接口 10。此外，使用扣式连接 80 允许用户接口 60 保持结构的整体性而不需要附加的螺钉或其它的紧固件。在压缩环 64 处或附近的位置处，定位槽 84 并调整其尺寸 15 以与连接器轴 90（图 2C）的导向装置 98 相配合。槽 84 可以形成在壳体 62 的一部分中，或可以由壳体 62 的两个可移动部分连接处的间隙来形成。

参考图 2C 和 2D，示出了其中壳体 68 的一部分被移除的情况下接口 60 的鼻部 34。此外，图 2D 描述了用户接口 60 的部分分解的鼻部 34。在 20 壳体 68 内，轴承座或架 86 提供了用于至少一组轴承 88 的位置。在一个实施例中，使用多个轴承 88 以支撑连接器轴 90 消除了用户接口 60 中不必要的跳动。位于壳体 68 内的第一制动器 92 与连接器轴 90 上的第二制动器 94 配合以防止连接器轴 90 的过度旋转。第一制动器 92 还防止轴承 98 在 25 鼻部 34 内轴向移动，该轴向移动可能导致对连接器轴 90 和鼻部 34 的损坏。

部分包含在鼻部壳体 68 中的是连接器轴 90。轴 90 的末端是作为鼻部 34 和触针 40 之间的连接元件的锥形连接器 96。在一个实施例中，使用类似于音频设备插座的锥形连接器，但是也可以使用可以与触针 40 中的扣式连接 80 机械互锁的菱形、锥形柱体和其它的非锥形形状。导向装置 98

从连接器轴 90 径向向外延伸并调整大小以与触针 40 上的槽 84 相配合。连接器轴 90 至少由一组轴承 88 支撑，其允许轴 90 在壳体 68 内的低摩擦转动。可以使用球轴承、滚针轴承、滚珠轴承或其它类型的轴承。电位计定位器 100 还通过紧固轴承 88 防止轴 90 和电位计 104 的非转动运动。一般 5 来说，电位计是使用浮动中心圆盘的类型，类似于 CTS Corp. 制造的 251 系列的那些用在触觉接口 10 中，但是也可以使用用于输出表示位置的信号的其它传感器。在壳体 68 中的位置处，电位计叶片 102 在连接器轴 90 的终端处或靠近该终端接合连接器轴 90。多个导线（不可见）引出电位计 10 104 并经由鼻部 34、轭 36、胫部 30 和股部 24 的内部部分连接至触觉接口 10 的基底 12 内的计算板。最后，数字转换端 76 紧固在壳体 68 的锥形端部内。

随着用户握持并转动触针 40，旋转力经由槽 84 引导至导向装置 98。因为导向装置 98 是连接器轴 90 的一部分，所以轴绕 F 轴旋转。连接器轴 90 的此运动使电位计叶片 102 旋转，其反过来驱动电位计 104。然后电子 15 的输出信号通过导线引导回触觉接口 10 的计算板。

图 3A 描述触觉接口 10 的轭臂组件 110。在一个实施例中，轭臂 110 由两个主要部分组成，即胫 30 和轭 36。胫 30 和轭 36 在轭臂 110 的中点处或靠近中点处连接。在此连接点处，与壳体 114 一体的胫带 116 包括与制动器 124（图 3B）配合的制动器（未示出）。胫 30 的另一端（与连接点 116 相对）可旋转地连接至触觉接口 10 的股部 24，并且轭 36 的相对端可旋转地连接至用户接口 60 的鼻部 34。在一个实施例中，为了易于安装和部件构造，胫 30 和轭 36 是分离的结构。例如，分离的设计允许将部件部分设计成使得它们一直用压力正向地夹住轴承 120，使得在使用中没有跳动或不准确（sloppiness）。通过确保必要的零反冲，能够达到非常高的 20 系统分辨率和响应度。

图 3B 描述轭臂组件 110 的轭 36。如能够看到的，轭 36 的分支由两个铰链销 118 连接，铰链销 118 允许容易地安装壳体 114 并消除了对螺钉或其它紧固件的需求。在可替换实施例中，模制的柔性接头可以用于替换铰链销 118。分离的壳体 114 的使用还允许一直用正压力夹紧轴承 120 以消 25

除装置中的跳动和反冲。在此实施例中代替悬臂连接而使用轭 36 消除了装置中的松弛和跳动，否则在不需要其它机械加强的情况下使用者将会感觉到松弛和跳动。轭 36 的每个分支包含连接鼻部 34 上的一个凸起 70 的至少一个轴承 120。轴承 120 提供了凸起 70 在轭 36 的每个分支内进行低摩擦的转动运动。5 轶 36 在胫带 116 处或靠近胫带 116 连接轭轴 122。从轭轴 122 径向向外延伸的是第一制动器 124，其被设计成通过在胫带 116 的内周上接触对应的第二制动器来防止轭轴 122 的过度转动。轭轴 122 的终端连接叶片 126，叶片 126 驱动包含在轭臂组件 110 的胫 30 内的电位计 136。调整槽 123 的尺寸来接收定位环以防止轭轴 122 的轴向运动。

10 现在参考图 3C，示出其中胫 30 和轭 36 的壳体 114、112 的部分被移除的情况下的轭臂组件 110。轭 36 的至少一个分支还容纳电位计保持器 128 和电位计 130，电位计保持器 128 和电位计 130 被布置成使得保持器 128 在轴承 120 和电位计 130 之间。多根导线（未示出）引出电位计 130 并经由轭 36、胫 30 和股部 24 的内部通往位于触觉接口 10 的基底 12 内的计算板。15 轶轴 122 从轭 36 延伸到至少由一套轴承 132 支撑的胫 30 内，并绕 D 轴在壳体 112 内旋转。在一个实施例中，使用多个正向夹紧的轴承 120 来支撑轭轴 122 消除了轭臂组件 110 中不必要的跳动。此外，保持环 133 防止轭轴 122 的轴向运动。电位计保持器 134 通过紧固轴承 132 防止轭轴 122 的非转动运动，并且还防止电位计 136 的运动。多跟导线（未示出）引出电位计 136 并经由轭 36、胫 30 和股部 24 的内部通往位于触觉接口 10 的基底 12 内的主计算板。

20 随着用户操纵触针 40，一定的力传输到鼻部 34，引起凸起 70 在轭 36 的轴承 120 内旋转。凸起 70 的运动反过来使电位计叶片 72 绕 E 轴旋转，这驱动了电位计 130。然后电子输出信号通过导线传回到触觉接口 10 的计算板。类似地，随着用户操纵触针 40，一定的力经由鼻部 34 和凸起 70 传输至轭 36，引起轭 36 旋转。因为轭 36 连接到轭轴 122，所以轴 122 绕 D 轴旋转。轭轴 122 的此运动使电位计叶片 126 旋转，并接着驱动电位计 136。然后电子输出信号通过导线传回到触觉接口 10 的计算板。

25 图 4A 描述用在触觉接口 10 中的对接站 46 的局部分解视图。对接站

46 紧固在触觉接口 10 的基底 12 内，并用作用于接口 60 的鼻部 34 的固定点和原始位置。对接站 46 的锥形筒 150 被构造成接收鼻部 34。筒 150 内的弹簧加载凸起 154 与鼻部 34 上的凹入 74 配合，由此将接口 60 保持在对接站 46 中。可替换地，可以使用诸如磁体或压缩环之类的其它类型保持机构。此外，本发明的其它实施例可以包含凸的对接站 46 和位于用户接口 60 的鼻部 34 上的凹连接。

现在参考图 4B 和 4C，分别描述对接站 46 的朝向筒 150 的示意图和对接站 46 的侧剖示意图。除了作为鼻部 34 的停止位置的功能之外，布置在对接站 46 的锥形筒 150 中的元件能够用于触觉接口 10 的其它功能。开关 152 位于筒 150 的内周上，并检测鼻部 34 的存在，还重新将接口 10 的位置校准至原始位置。由此，用户可以根据需要将整个接口 10 的空间位置复位到零位置或用户定义的原始位置。触觉接口 10 的其它实施例允许用户通过手动按压用户接口 60 上的输入来复位接口 10 的空间位置，而不需要对接接口 60。在一个实施例中，LED156 位于锥形筒 150 的基底处。  
15 LED156 可以通过发出不同性能的各种颜色来指示各种测试功能和/或误差。例如，LED156 可以闪烁以提醒用户在程序完成后对接鼻部 34。红色的频闪发射可以用于指示触觉接口 10 或触针 40 的测试问题。此外，例如稳定的绿光可以指示触觉接口 10 正常工作。在一个实施例中，LED156 是蓝色的氖管。光的颜色和发射模式的任意的各种组合可以用于指示状态或  
20 提示用户。作为可替换处于锥形筒 150 的基底中的 LED156 的一种，筒 150 自身可以用光亮的塑料材料来构造。通过给靠近此光亮的筒 150 安装的 LED156 供电，整个筒 150 将发射光，这可以对用户更加明显并且从外观上更加吸引人。

图 5 描述触觉接口 10 的一个实施例的内部驱动系统的后部示意性立体图。基底 12 支撑第一个动力驱动的跟踪旋转元件 14 以界定绕具有大致竖直方向的轴 A 的第一关节 16。竖直定位的第一致动器 401（图 1C）驱动竖直定位的第一螺纹绞盘 413，第一螺纹绞盘 413 然后操纵第一缆索 453（图 8C）。第一缆索紧固在至少两个点 455a、455b（图 8C）处以水平定位第一个动力驱动的跟踪旋转元件 14，并且由此绕 A 轴旋转第一元

件 14。对于第一电动机组件 401 及其操作的详细描述参考图 7 和 8C 以及附随的说明。安装在第一个动力驱动的跟踪旋转元件 14 上的是第二个动力驱动的跟踪旋转元件 18、和第三个动力驱动的跟踪旋转元件 22 的旋转传输驱动元件 164、以及它们的关联电动机组件 501、601。

5 第二个动力驱动的跟踪旋转元件 18 和旋转传输驱动元件 164 都以与第一个动力驱动的跟踪旋转元件 14 相类似的方式运转。对于第二电动机组件 501 及其操作的更详细描述，参考图 7 和 9 以及附随的说明。图 7 和 10 提供了对第三电动机组件 601 及其操作的更详细描述。

10 第二个动力驱动的跟踪旋转元件 18 和旋转传输驱动元件 164 以及它们的关联电动机组件 501、601 的定位允许非常紧凑的构造，并减小了触觉接口 10 的整体尺寸。如能够从图 5 所观察到的，第二电动机组件 501 和第三电动机组件 601 互相大致平行地水平安装，并绕 A 轴平衡构造。该布置在几何中心 A 的每一侧上传输绕 B 轴的转动力，由此在两侧上相对平稳地加载接口 10。在一个实施例中，来自一个旋转元件的转矩通过其它元件 15 位于其上的中心轴传输。类似地，第二旋转元件 18 和旋转传输驱动元件 164 安装在第一旋转元件 14 的相对端上。这种特别的布置消除了用大壳体来包围内部部件的需要，并简化了用于修理的进入。平衡的布置还在装置内更加均匀地分配电动机的整个惯性，由此与悬臂布置相反，提高了触觉接口 10 的稳定性。单个装配轴 172（大致水平地安装并与第二和第三电动 20 机组件 501、601 平行，并且与 B 轴成一直线）紧固第二旋转元件 18 和旋转传输驱动元件 164，允许容易地安装。此外，装配杆 173 贯穿轴 172 并将球形壳体 56 紧固到接口 10，由此消除了使用穿入壳体 56 的大量螺钉或其它紧固件的需要。

25 图 5 中所示的触觉接口 10 的具体实施例还使用了接口 10 的 B 轴上的至少一个扭力弹簧 160。在使用中，股部 24、胫 30、轭 36、鼻部 34 和触针 40 的重量易于对抗用户的大量操作。很自然，由于重力，这些元件的重量引起绕 B 轴的旋转。当使用触觉接口 10 时，这样的旋转被用户感觉为迟滞或阻抗。在克服由外设元件的重量引起的这些力的努力中，以前的用户接口利用附装到旋转元件的大体积平衡物。但是，这些大体积平衡物

增加了触觉接口的尺寸和重量。但是，本发明的触觉接口 10 仅单独使用扭力弹簧 160 来抵消强加在旋转元件 18 上的力，而不需要任何平衡物。

图 6A 描述用在触觉接口 10 中的传输驱动 162 的实施例。尽管旋转传输驱动元件 164 绕 B 轴旋转，但是旋转传输驱动元件 164 界定了具有轴 C 的第三关节 26，第三关节 26 位于第二元件 18 的径向向外布置的延伸 24 上。随着旋转传输驱动元件 164 的绞盘 613 旋转，元件 164 旋转与第二轴 B 对齐的传输驱动轴 166，将转动运动转换成沿第二元件 18 的径向延伸 24 布置的第一传输驱动杆 168a 和第二传输驱动杆 168b 的线形运动。第一驱动杆 168a 和第二驱动杆 168b 以成环的编织钢缆端终止，成环的编织钢缆端钩到第三旋转元件 22 的突出的锚泊凸起 165 上。  
10

由此，第二传输驱动杆 168b 通过成环的缆索端直接锚泊到传输驱动轴 166 和第三旋转元件 22 中的每个；但是，第一驱动杆 168a 通过成环的缆索端直接锚泊到第三旋转元件 22 的突出的锚泊凸起 167，并通过离合柱 757（图 6B）和弹簧 759 与单个缆索一起锚泊到传输驱动轴。驱动杆 15 168a、168b 使缆索长度最小化，并且因此增加了传输驱动 162 的刚度和硬度。缆索仅用在锚泊点处，其中第一驱动杆 168a 的一个缆索 753 端经过图 8A 中所描述的自动缆索张紧装置 751，以基本消除第三轴驱动中的反冲。  
15

在图 6B 中，稍后参考图 8A 描述的缆索张紧装置 351 的一个实施例用在触觉接口 10 的传输驱动 162 中，这里通称为缆索张紧装置 751。所描述的是圆形传输驱动轴 166。缆索 753（来自第一驱动杆 168a 的终端）在第一锚泊位置 755a 处固定到轴 166，并以顺时针方向围绕轴 166。缆索 753 绕离合柱 757 缠绕，并且之后张紧地附装到弹簧 759，弹簧 759 在锚泊 755b 处锚泊到轴 166 的径向延伸 170。凸起、槽和其它导向特征可以设置在轴 166 中以辅助缆索 753 以合适的位置和方向穿过轴 166 的运动范围来 20 通行和保持。用自动缆索张紧装置 751 达到的张紧还提供了驱动系统中增加的刚度和硬度。  
25

图 7 示出用在触觉接口 10 的一个实施例中的典型致动器组件 301 的示意图。为了跟踪动力驱动的轴 A-C 的位置，每个致动器 303 在致动器 303 的基底处安装有编码板 305。发射器/探测器光学编码器芯片 307 紧固在板

305 上或板 305 中。通过在从致动器 303 远离绞盘 313 延伸的致动器轴延伸 311b 上安装反射式编码盘 309 来跟踪致动器轴 311a 的转动。通过包含反射式编码盘 309，代替常用的非反射式盘，减小了致动器组件 301 的整体体积，因为非反射式盘需要使用跨在盘 309 的边缘上的发射器/探测器对。

在触觉接口 10 的实施例中，发射器/探测器 307 是安装在致动器 303 的端部处的单个单元，其引导脉冲至反射式编码盘 309 并接收来自编码盘 309 的脉冲。随着致动器 303 引起盘 309 转动，或随着由于用户操作装置 10 的运动引起盘 309 旋转，发射器/探测器 307 输出脉冲，该脉冲又由盘 309 反射，由此允许确定关节的角度方位。这些致动器组件 301 中的三个用在触觉接口 10 中，每个动力驱动的关节 16、20、26 使用一个；但是，根据动力驱动的轴的数量也可以使用更多或更少的致动器组件。

致动器组件 301 使用市场上可以容易得到的部件。在一个实施例中，致动器 303 是 D.C. 电动机。通常，使用与 Agilent Technologies 制造的 15 8000 系列类似的反射式编码盘。绞盘 313 和反射式编码盘 309 可以通过各种装置紧固到致动器轴 311a 和延伸 311b，例如通过机械连接或利用热胀冷缩的压配合连接。但是，在本发明的具体实施例中，绞盘 313 和盘 309 利用强力粘结剂（诸如由 Henkel Consumer Adhesives, Inc., 制造的名为 Loctite 在市场上的一种）来紧固以减小组件 301 的整体尺寸。

代替使用机械联接装置、齿轮或其它力传输部件，接口 10 使用安装有绞盘和响应的缆索的三个专用致动器（如上所述）来驱动转轴 A-C。缆索驱动提供了低重量的良好力传输特性；但是，反冲可能成为问题，特别是在高精度、高分辨率的触觉接口中。在诸如接口 10 中使用的那些类的转动机械传输中的反冲或跳动在反转转动方向时是最明显的。减小反冲的一个方法是提供手动调节的部件来调节一个或两个缆索端相对于锚泊的位置，使得能够减小缆索中的松弛。此外，可以预加载张紧缆索使得当绞盘旋转时在缆索和致动器绞盘之间的滑动最小化；但是，由于缆索随着时间过去而伸长并且部件的机构磨损，所以缆索张力减小并且必须周期性地调节以防止滑动。此外，很难测量缆索张力并且过度张紧可能导致结构元

件的变形并加速关节轴承中的过早磨损。

图 8A 是自动缆索张紧装置 351 的示意图，其克服了公知的缆索驱动的许多限制，并用在触觉接口 10 的动力驱动的轴中。张紧装置 351 自动将缆索 353 加载到预定张力并长期保持该张力，即使是在缆索伸长和部件 5 磨损的情况下。张紧装置 351 包括在靠近末端或末端处直接或间接固定到通常以 355a、355b 表示的锚泊。也固定到锚泊的非转动离合柱 357 沿着缆索路径定位。弹簧 359 沿离合柱 357 和锚泊 355b 之间的缆索路径布置。最后，致动器绞盘 313 沿离合柱 357 和与弹簧 359 相对的侧上的锚泊 355b 之间的缆索路径设置。如图 8A 所示，缆索 353 从锚泊 355a 延伸，围绕致动器绞盘 313 和离合柱 357 每个至少一次，并连接到处于张紧状态并连接到锚泊 10 355b 的弹簧 359。

诸如离合柱 357 之类的非旋转柱可以用于放大或增加施加的缆索张力以抵抗或抵消施加到柱 357 下游的缆索 353 的张力。如本领域技术人员公知的，放大因子是柱直径、缆索绕柱的缠绕角度以及缆索和柱之间的摩擦系数的函数。由此，对于给定的弹簧张力，随着缠绕角度和/或摩擦增大，15 可以抵消或抵抗更大的下游缆索力。

在静态的状态下，由弹簧 359 在缆索 353 中引起的张力引起缆索 353 被向右拉，消除了缆索 353 中的任何松弛或放松，缆索张力是弹簧常数 k、弹簧端部从静止状态的线形位移 x 的函数。在操作中，随着致动器绞盘 20 313 如所描述地以顺时针方向旋转，张力施加到缆索 353 的位于绞盘 313 和锚泊 355a 之间的部分，并且绞盘 313 相对于锚泊 355a 向左移动。缆索 353 中向绞盘 313 的右侧的任何放松或松弛被弹簧 359 自动吸收，只要弹簧力克服缆索 353 绕离合柱 357 的摩擦阻碍，则缆索 353 绕离合柱 357 滑动。

25 可替换地，当绞盘 313 以逆时针方向旋转时，绞盘 313 施加张力至缆索 353 的位于绞盘 313 和离合柱 357 之间的部分。只要由离合柱的作用增加的弹簧张力超过由绞盘 313 引起的张力，缆索 353 将有效地锁定到离合柱 357，并且将不会绕柱 357 滑动。弹簧 359 将与绞盘加载有效地隔离。由此，张紧装置 351 自动地自调节缆索张力并将缆索张力保持在预定的幅

度，同时在绞盘 313 以第一方向旋转时吸收任何松弛，并在绞盘 313 以第二方向旋转时锁定。

参考图 8B，示出了用在触觉接口 10 的一个实施例中的致动器绞盘 313 的放大视图。尽管绞盘 313 可以是均匀的柱体，但是在一个实施例 5 中，绞盘 313 包括沿其外表面形成的螺旋通道 315。螺旋通道 315 可以包含大直径而没有可能切割缆索 353 或以别的方式减少缆索寿命的锐利的边缘。螺旋通道 315 把缆索 353 放入其中并使缆索 353 通行，防止缆索 353 在绞盘 313 上的重叠或缠结。在一个实施例中，尼龙涂覆的缆索 353 被用户防止绞盘 313 上的滑动，并保护缆索 353 受到破坏以确保长寿命。可以 10 用各种缆索材料，包括但不限于钨、不锈钢、无涂层的钢或其它形式的涂层的钢。此外，缆索缠绕绞盘的数量依赖于绞盘和缆索尺寸、预期的载荷和其它相关的因素。

现在参考图 8C，上述的缆索张紧装置 351 用在触觉接口 10 的第一关节 16 中，此处通称为缆索张紧装置 451。描述的是第一元件 14 的大致 D 15 型的轮毂部分。缆索 453 在第一锚泊位置 455a 处固定到第一个动力驱动的跟踪旋转元件 14，并以逆时针方向围绕元件 14。缆索 453 在绕离合柱 457 缠绕几次之前缠绕布置成与元件 14 的圆周大致相切的致动器绞盘 413。此后，缆索 453 张紧地附装到弹簧 459，弹簧 459 在锚泊 455b 处锚泊到元件 20 14。因为致动器固定在接口 10 的壳体 12 内，所以随着致动器旋转绞盘 413，引起第一元件 14 绕第一轴 A 旋转。凸起、槽和其它导向部件可以设置在元件 14 中以辅助缆索 453 以合适的位置和方向贯穿元件 14 的运动范围来通行和保持。

如可以从图 8C 中所观察的，第一旋转元件 14 的中心部分通常是 D 25 形。可替换地，可以使用环形或局部环形的元件 14。旋转元件 14 支撑在中心定位于 A 轴上的轴处。第一旋转元件 14 可以根据需要是如图所示的扇块结构或实心、有孔或任何其它的构造。如果需要，用于其它旋转元件 和它们的关联电动机的支撑表面可以紧固到第一旋转元件 14。此外，A 轴 可以是中空的或包含槽以容纳触觉接口 10 的任何控制线路或电源电路。 可替换地，为了此目的可以在第一旋转元件 14 中形成开口。

现在参考图 9，上述的缆索张紧装置 351 用在触觉接口 10 的第二关节 20 中，这里统称为缆索张紧装置 551。描述的是第二元件 18 的 D 形轮毂部分。缆索 553 在第一锚泊位置 555a 处固定到元件 18 并以逆时针方向围绕元件 18。缆索 553 在绕离合柱 557 缠绕几次之前缠绕布置成与元件 18 的圆周大致相切的致动器绞盘 513。此后，缆索 553 以张紧的方式通过旋转元件 18 中的凹入 561 并附装到弹簧 559，弹簧 559 在锚泊 555b 处锚泊到元件 18。对于本领域普通技术人员来说很明显的是，凸起、槽和其它导向部件可以设置在元件 18 的外周中以辅助缆索 553 以合适的位置和方向贯穿元件 18 的运动范围来通行和保持。

在触觉接口 10 的一个实施例中，第二旋转元件 18 至少由两个控制线路导管 563a、563b 穿过。这些导管 563a、563b 提供了用于电源和控制线路的位置，并通常随着元件 18 旋转限制导线运动。旋转元件 18 绕中心定位的 B 轴旋转，B 轴根据需要可以是平滑的、包括槽或凸起、或者带有螺纹。作为图 9 中所示的 D 形元件的替代物，可以使用环形的旋转元件。但是，D 形元件 18 的使用能够减小触觉接口 10 的整体尺寸。

类似地，在图 10 中，上述的缆索张紧装置 351 用在触觉接口 10 的一个实施例的第三关节 26 中，这里统称为缆索张紧装置 651。描述的是旋转传输驱动元件 164 的 D 形轮毂部分。缆索 653 在第一锚泊位置 655a 处固定到元件 164 并以逆时针方向围绕元件 164。缆索 653 在绕离合柱 657 缠绕几次之前缠绕布置成与元件 164 的圆周大致相切的致动器绞盘 613。此后，缆索 653 以张紧的方式通过旋转传输驱动元件 164 中的凹入 661 并附装到弹簧 659，弹簧 659 在锚泊 655b 处锚泊到元件 164。对于本领域普通技术人员来说很明显的是，凸起、槽和其它导向部件可以设置在元件 164 的外周中以辅助缆索 653 以合适的位置和方向贯穿元件 164 的运动范围来通行和保持。

旋转传输驱动元件 164 绕轴 B 自由旋转。旋转力由传输驱动轴 166 和相关的部件传输到第三关节 26，传输驱动轴 166 和相关的部件在图 6A-6B 中有更详细的描述并在附随的文字中也有描述。作为图 10 中所示的 D 形元件的替代物，可以使用环形的旋转元件。但是，D 形元件 164 的使用能

够减小触觉接口 10 的整体尺寸。

在触觉接口 10 的使用中，三个动力驱动的跟踪旋转元件 14、18 和 22 可以是“动力驱动的”或“自由的”。当动力驱动时，致动器被供以能量并能够控制各个旋转元件的转动，根据应用指引元件或者抵抗用户接口的运动或者促进用户接口的运动。动力驱动的设置可以用于诸如模拟外科技 5 术、在计算机游戏中提供反馈等的力反馈情况中。在自由的设置中，致动器没有被供以能量并且旋转元件经受接口使用者的力。这样的设置可以用于利用用户接口作为个人电脑鼠标将图像或物体直接数字化成计算机程序、起草计算机辅助设计（CAD）图像等。对于任何具体的应用，三个旋 10 转元件中的任意个可以处于动力驱动或自由模式，或者可以在满足一定标准时在两种模式之间切换。

对于触觉接口的可移动部分来说较轻的重量、低成本、高刚度和高强度是优选的性能。由于这些原因，40% 碳纤维填充的尼龙或类似成分的注塑模型可以被选择用于诸如第二元件 18、第二元件延伸 24、第三元件 15 22、第三元件延伸 30、第五元件 34 和第六元件 40 之类的结构元件。也可以使用其它的玻璃和碳纤维填充模铸的塑料。此外，在一个实施例中，触针壳体 62 的外部握持表面用于防滑涂层或涂料处理以防止触针 40 从用户的握持滑离。可替换地，根据需要外表面可以是自然的纹理或有凸出物。在一个实施例中，触觉接口 10 可以与图 13 所描述的腕式支架 700 结合使 20 用。这样的腕式支架 700 的示例公开在美国专利号 6,417,637 中。所有的内部部件可以由塑料、金属或这些材料的组合来制造。触觉接口 10 的基底 12 和球形壳体 56 所需的性能还包括低成本、高强度和高刚度；但是，因为基底结构还可以用作用于内部电子器件的散热片，所以有必要使基底结构是导热性的。

25 图 11A 描述用在用于测量和控制由触觉接口 10 产生的力的接口控制的一个实施例中的算法 800。来自致动器和/或电位计的信号首先更新 802 存储在存储器中的力的读数。接下来，计算 804 新的力，并且计算的力相对应的电流被发送 806 到致动器中的一个，以旋转相关的元件或抵抗这样的旋转。然后算法 800 等待来自致动器和/或电位计的响应信号 808（由于

使用者操作），并由此更新储存的力的读数 802。该算法在整个程序中继续运行，解释并跟踪电信号以允许接口使用者与计算机应用程序交互。

在消费产品中需要温度传感装置以防止过热和对用户可能的伤害，并防止损坏装置的内部部件。通常，热电偶用于测量内部电动机和其它部件 5 的温度以满足这种需要。但是，根据本发明的触觉接口 10 的一个实施例 在没有直接读取内部温度的任何热电偶或其它传感器的情况下使用计算机 算法来监控装置中的温度。图 11B 中描述这样的温度计算算法 810（上述 的控制算法 800 的子程序）的流程图。通常，算法 810 用时间和致动器电 流消耗来估计温度。随着电流被送到致动器以在旋转元件上（旋转元件或 10 抵抗这样的旋转）产生力 806，算法 810 计算传输到电动机的电流和传输 时间的整个长度。然后算法 810 基于电流已经被传输到致动器的时间量来 计算估计的内部致动器温度，由此更新其温度模型 812。

如果更新的结果是内部温度低于 80°C（814），则力施加到旋转元件 816。但是，如果内部温度超过 80°C（818），则中止力 820，并终止电流 15 至致动器的传输。在后者的情况下，温度数据被储存（822）用于应用在 温度错误算法 830（下述）中，并且温度错误信息 824 被传输给用户。该 错误可以以相关的计算机程序中的提示的形式显示在计算机屏幕上和/或引 起触觉接口对接站中的 LED 的可见变化以指示系统错误。对于任何给定的 应用可以根据需要调整温度限制或用于防止损坏内部装置部件。例如可以 20 设置 49°C 的阈值温度以在发生对致动器或其它内部部件的任何损坏之前引 起接口 10 的关闭。

图 11C 中描述温度错误算法 830 的流程图。通过更新储存在控制算法 800 中的力 802，子程序温度错误算法 830 确定可能的温度错误的结果。 没有温度错误发生的决定 832 引起绕过步骤 834 和 836。但是，如果温度 25 计算算法 810 确定已经发生错误 824，则温度错误算法 830 读取在温度计 算算法 810 的储存温度步骤 822 中存储的温度数据 834。然后算法 830 计 算由于过高的温度引起的接口部件的任何温度腐蚀 836。关于腐蚀的信息 以及其如何影响未来的接口性能的信息被存储 838 并考虑在任何以后的运 动学计算 840 中。由此，接口性能受到温度错误的影响，接口 10 能够根

据需要补偿以继续为用户传输精确的力重现过程。

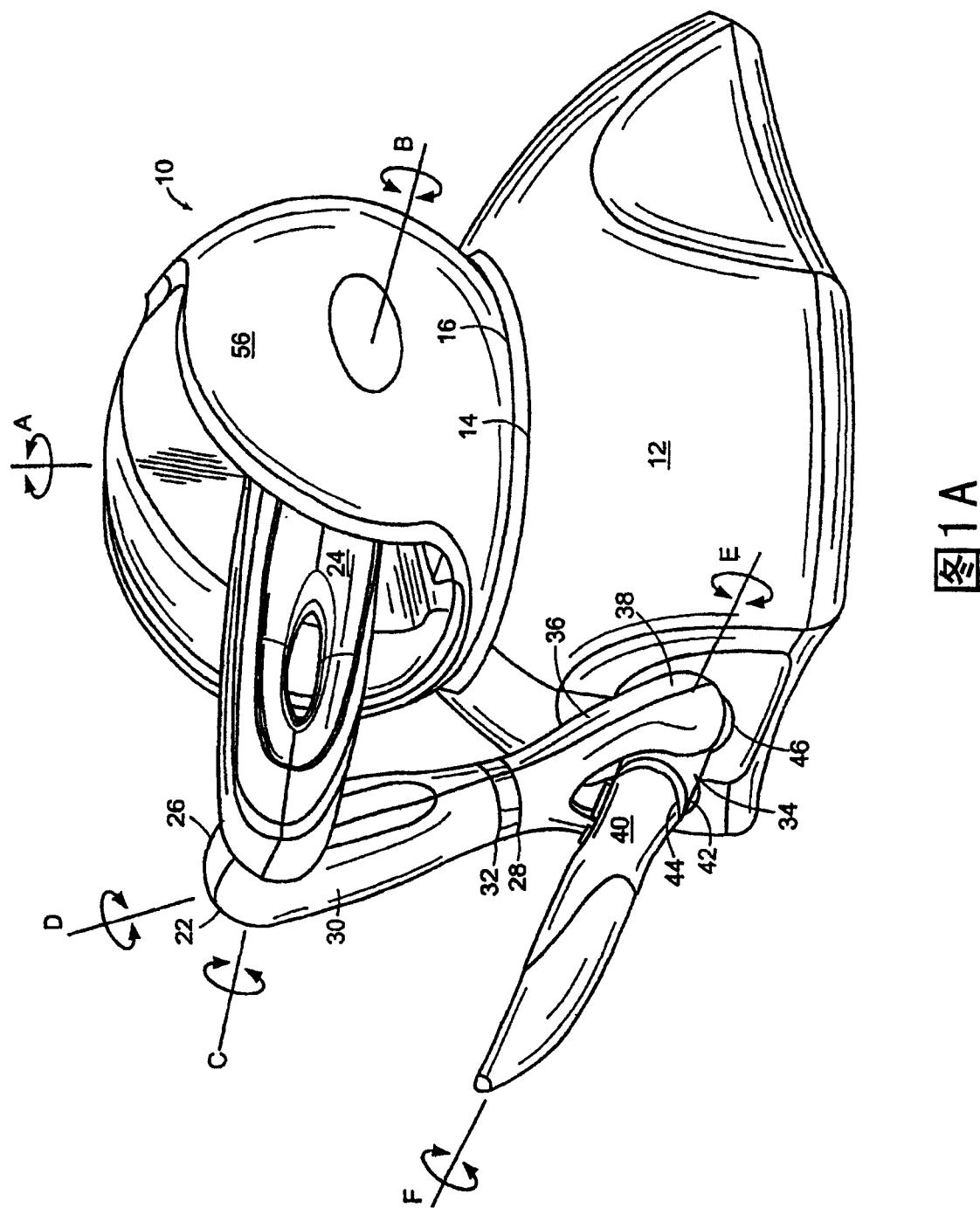
现在参考图 12，描述触觉接口 10 的一个实施例的 IEEE1394 柔性接口板 58b 的示意图。板 58b 控制各种类型的机电接口功能 900 和数字功能 902。板 58b 由触觉接口电源 906 供给能量。板 58b 的机电接口功能 900 最终控制触觉接口 10 的各个部件 904（以上更详细的描述）的功能。具体地，当前的驱动器 910 控制三个致动器的功能。当前的驱动器 904 由用于永磁 D.C. 伺服电动机的三个通道组成。驱动器 904 在每个通道上以 14.4 瓦加或减 18 伏毫安的最大连续输出来操作。三个通道的最大输出是 25 瓦。驱动器 904 还在 1KHz 的带宽上具有 12 比特的分辨率。编码计数器 912 由三个通道组成。计数器 912 能够接收高达 500KHz 和 16 比特分辨率的脉冲速率。类似的电位计输入 914 也具有三个通道，并且典型地识别来自 5K 欧的电位计 0-5 伏的信号。该输入也具有 10 比特的分辨率和带有 3-dB 截频的 1kHz 滤波。数字输入/输出 916 由四个输出通道和八个输入通道组成。数字输入/输出用足够的电流操作反跳的 TTL 输入和 TTL 输出以驱动任意的 LEDs。

板 58b 的数字功能 902 经由 IEEE1394 连接 926 与各种机电接口功能 900 和程序主机 908 通讯。本地反馈和安全逻辑功能 918 执行若干功能。这些包括但不限于基于正反馈的速度来补偿电动机的反向电动势和摩擦、速度阈值关闭、在阈值被超过的情况下电流关闭、以及如果在一定时间内没有更新则监视定时器关闭。此外，32 位只读序列号接口 920 识别至主机的触觉接口 10。数字功能 902 还包括 32 位读写易失性寄存器 922 和非易失性寄存器 924。此外，接口的电子器件可以包括 8031 微处理器、闪存、可编程逻辑器件（PLD）和基于 PLD 的 delta sigma A/D 转换器和四层的印刷电路板。

微处理器与主机进行通讯，在操作中管理系统初始化和同步数据传输，加载 PLD 构造、并管理闪存读/写操作（以允许 8031 程序、PLD 构造和系统常数的远程更新）。PLD 执行三个 16 位积分编码接口、编码速度检测、无能量供给和过电流安全逻辑、电动机使能监控、512 字节堆栈 RAM 内存库以增补 8031 存储器、至 IEEE1394 连接的 FIFO 接口以连接控

制器同步数据移动端口、用于三个九位的精确的 delta-sigma 电位计 A/D 转换器的控制、三个十位 PWM 发生器以设置电动机电流、三角波频发生器以及电源同步频率发生器。配电板 58a (图 1C) 包括电源、安全电路、三个 PWM 放大器、基于 PWM 的 D/A 转换器和两层的印刷电路板。

5 尽管这里所描述的被认为是本发明的示例性和优选实施例，但是对本领域技术人员来说本发明的其它修改可以从这里的指导变清楚。这是所公开的制造的具体方法和几何参数实质上是示例性的并且不作为限制。因此，要求将落入本发明的精神和范围的所有这样的修改限定在所附权利要求种。由此，由专利许可证要求的是以以下的权利要求所限定和区别的发  
10 明。



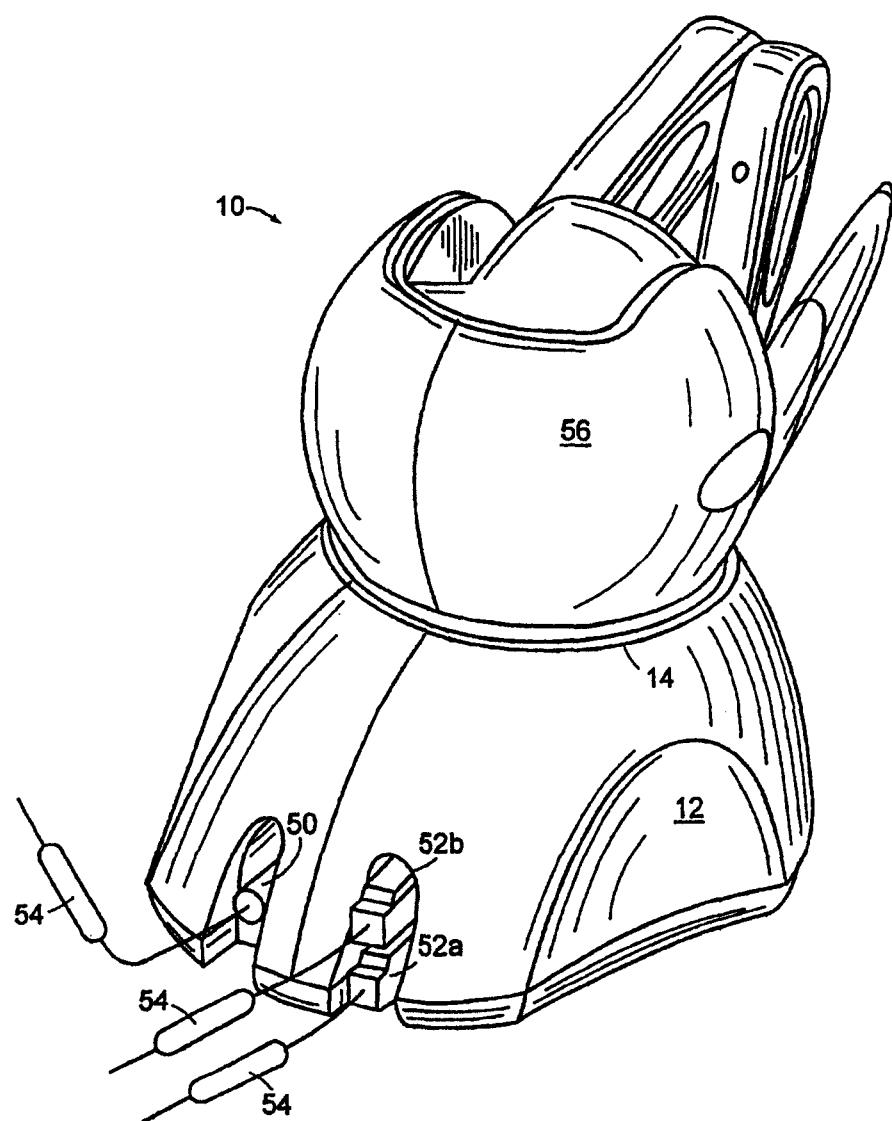


图1B

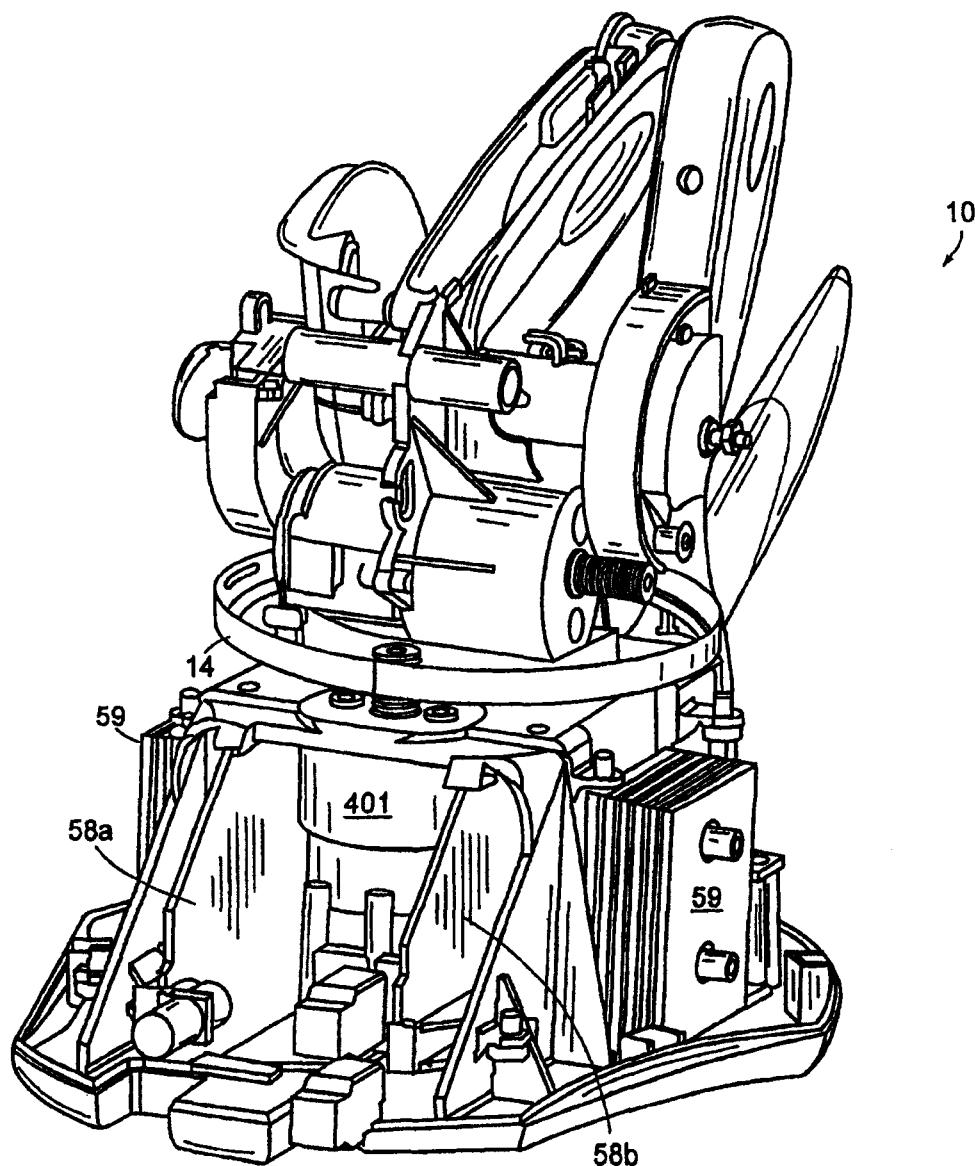
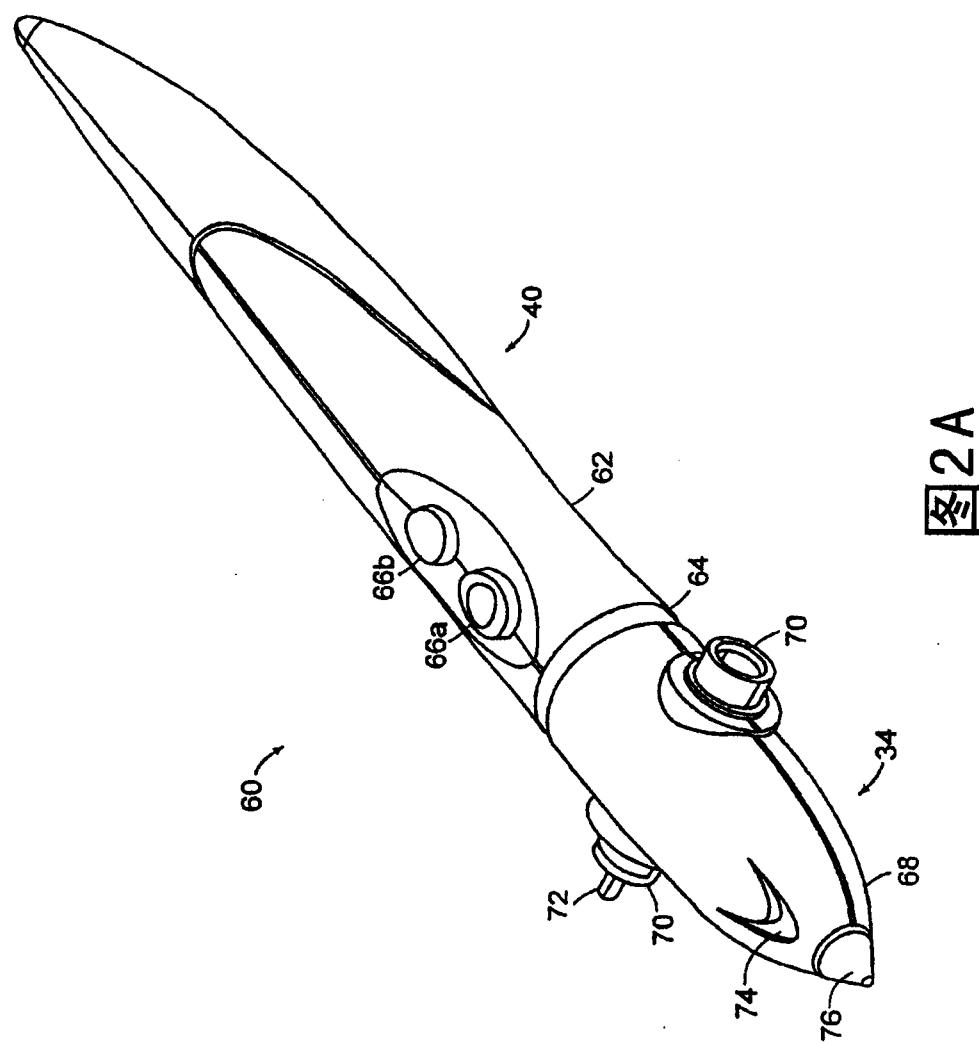


图1C



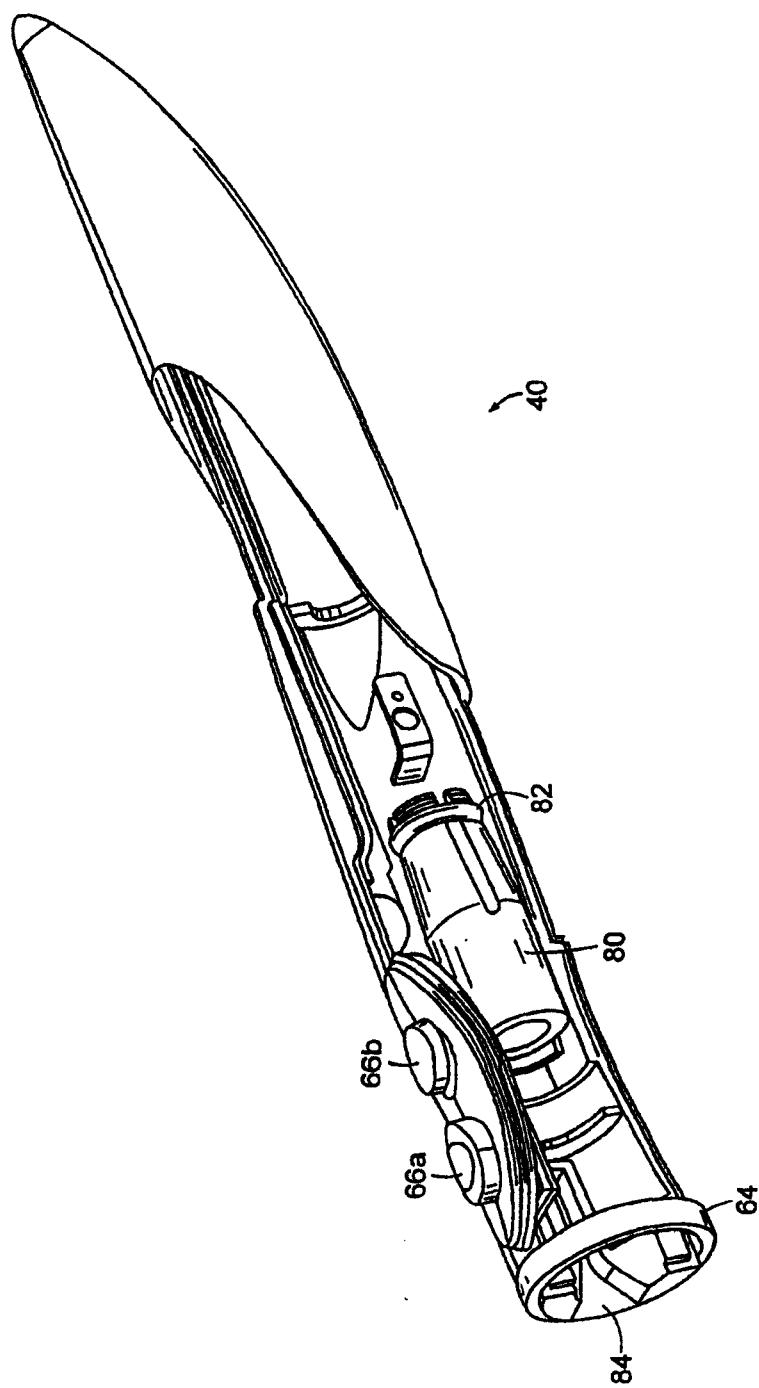


图2B

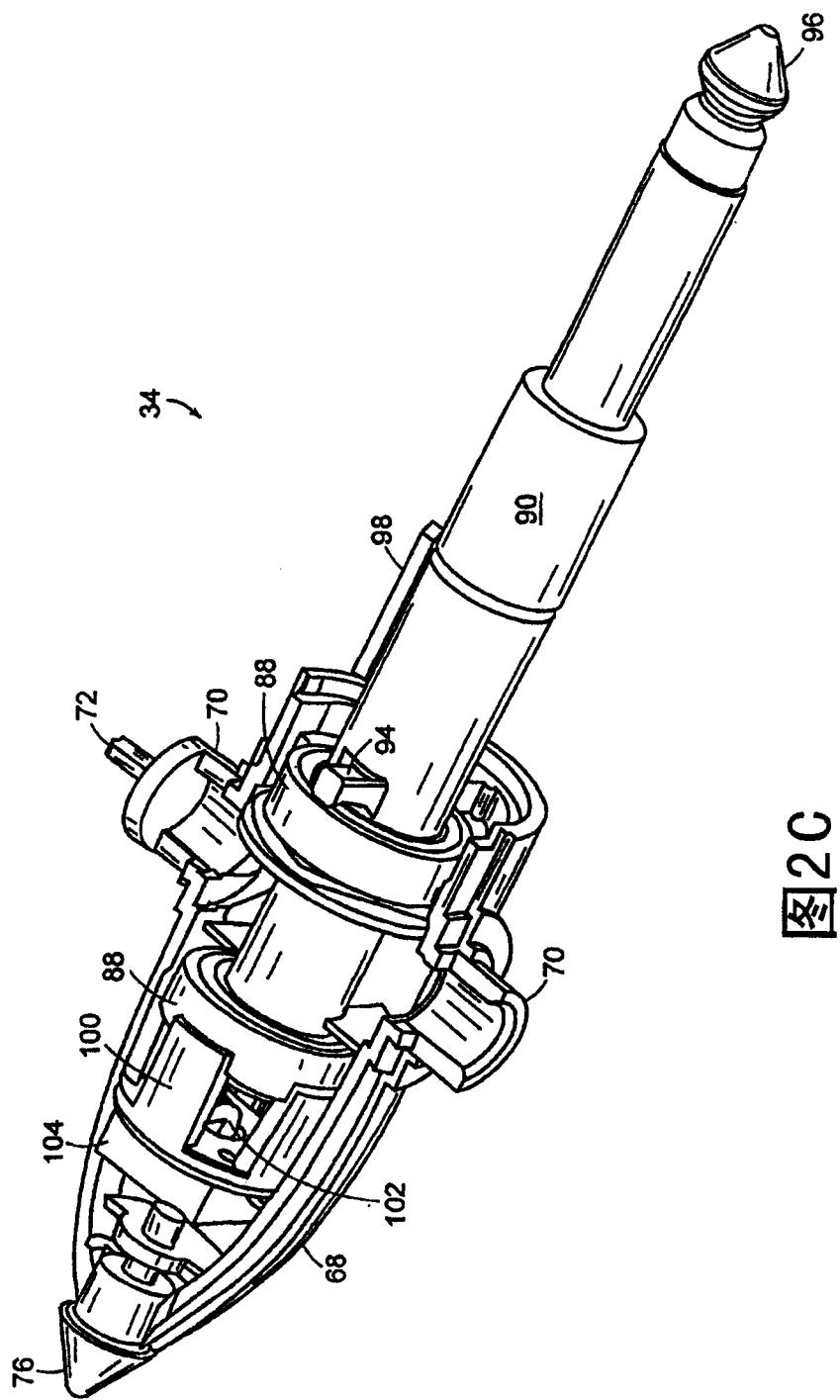


图2C

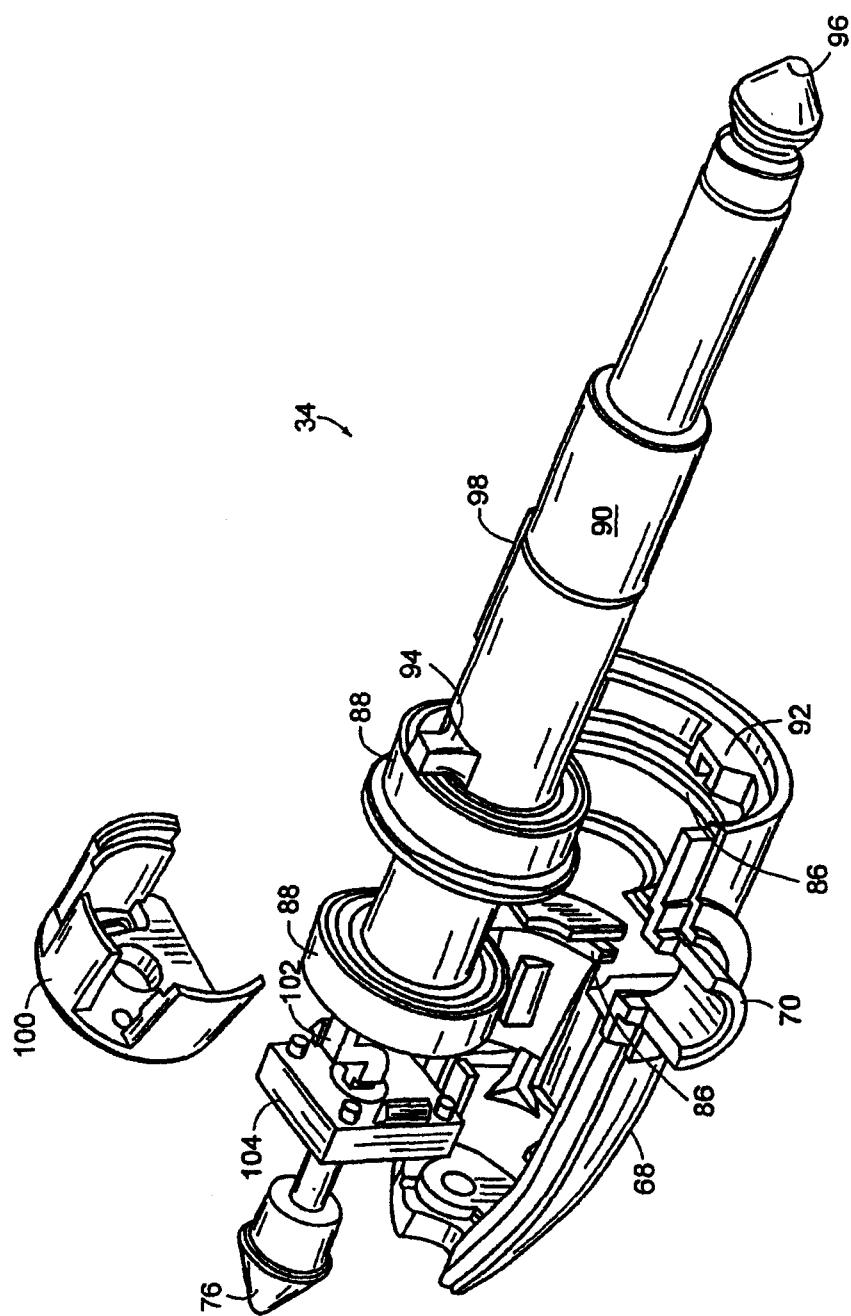


图2D

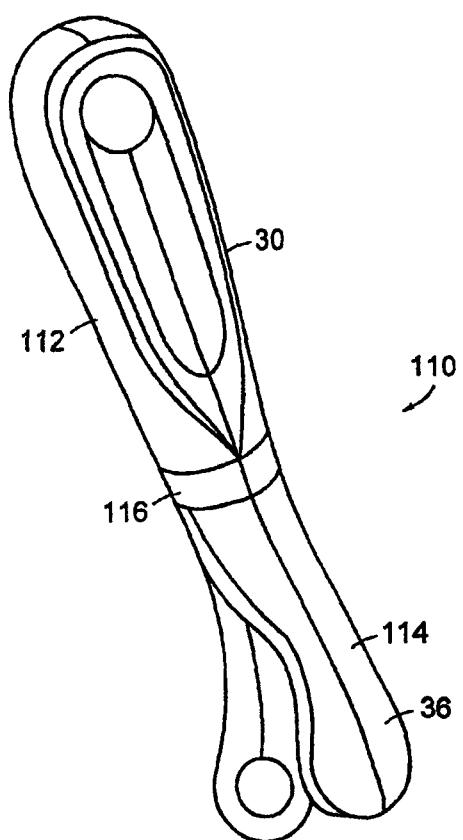


图3A

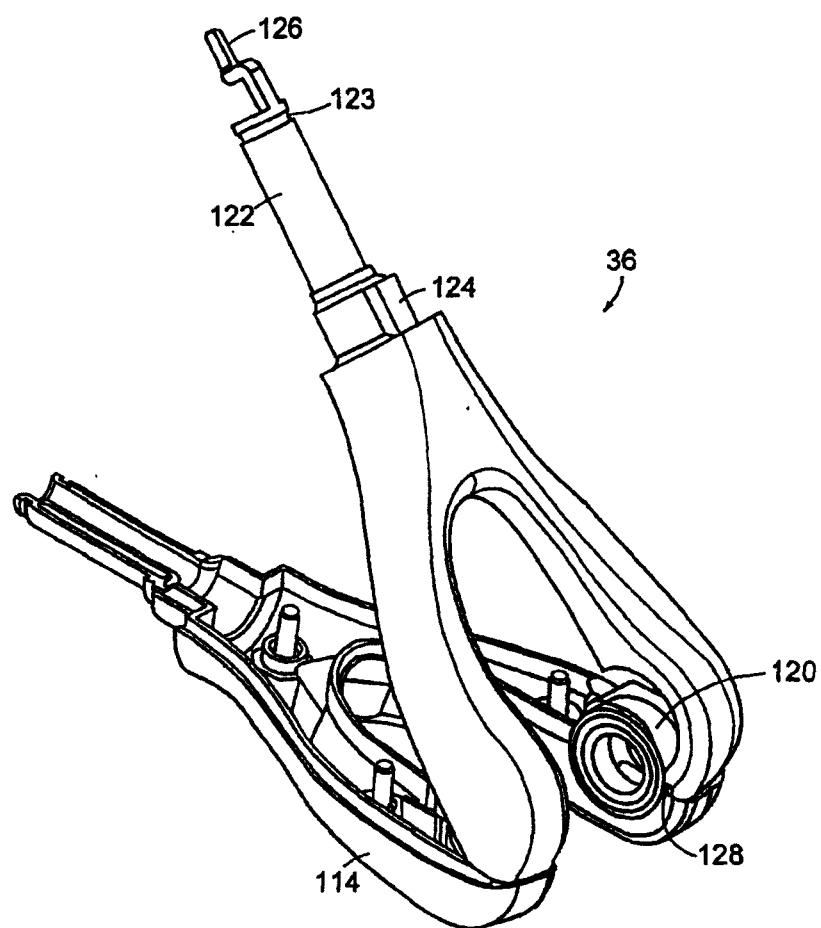


图3B

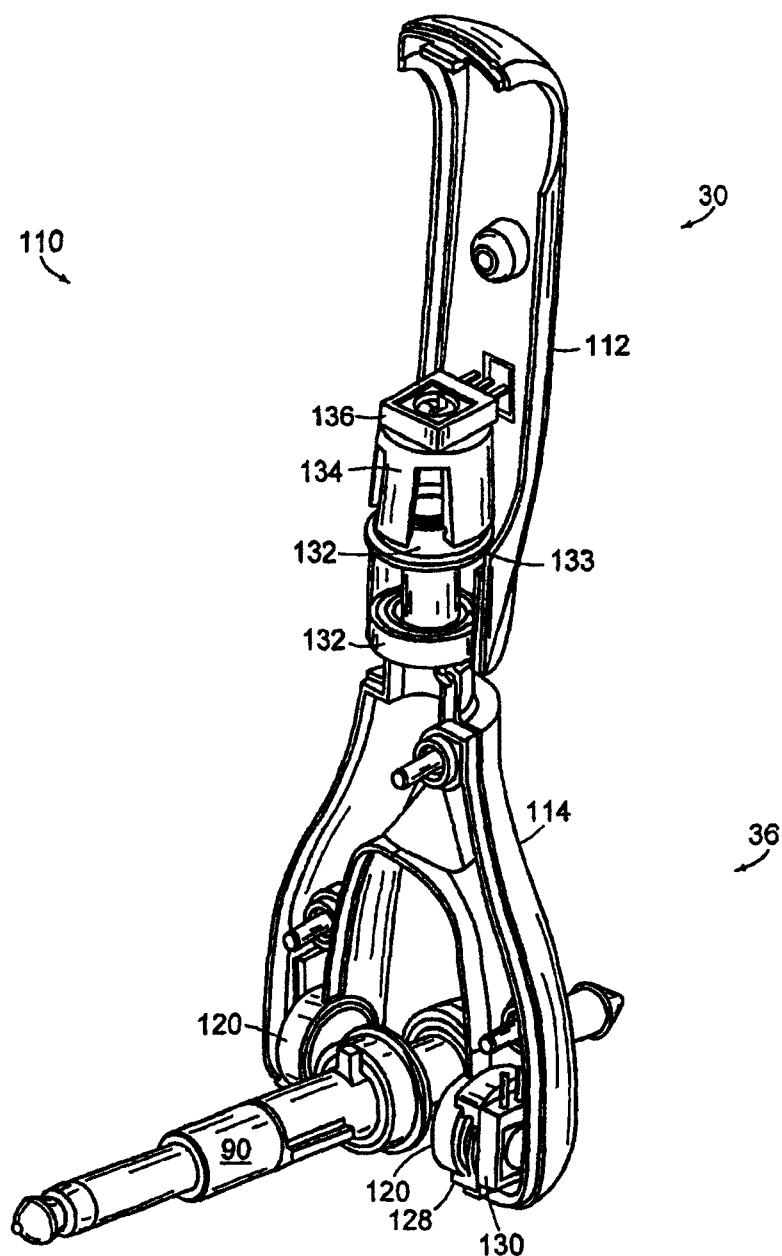


图3C

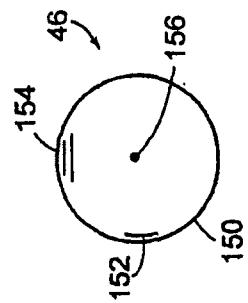


图4B

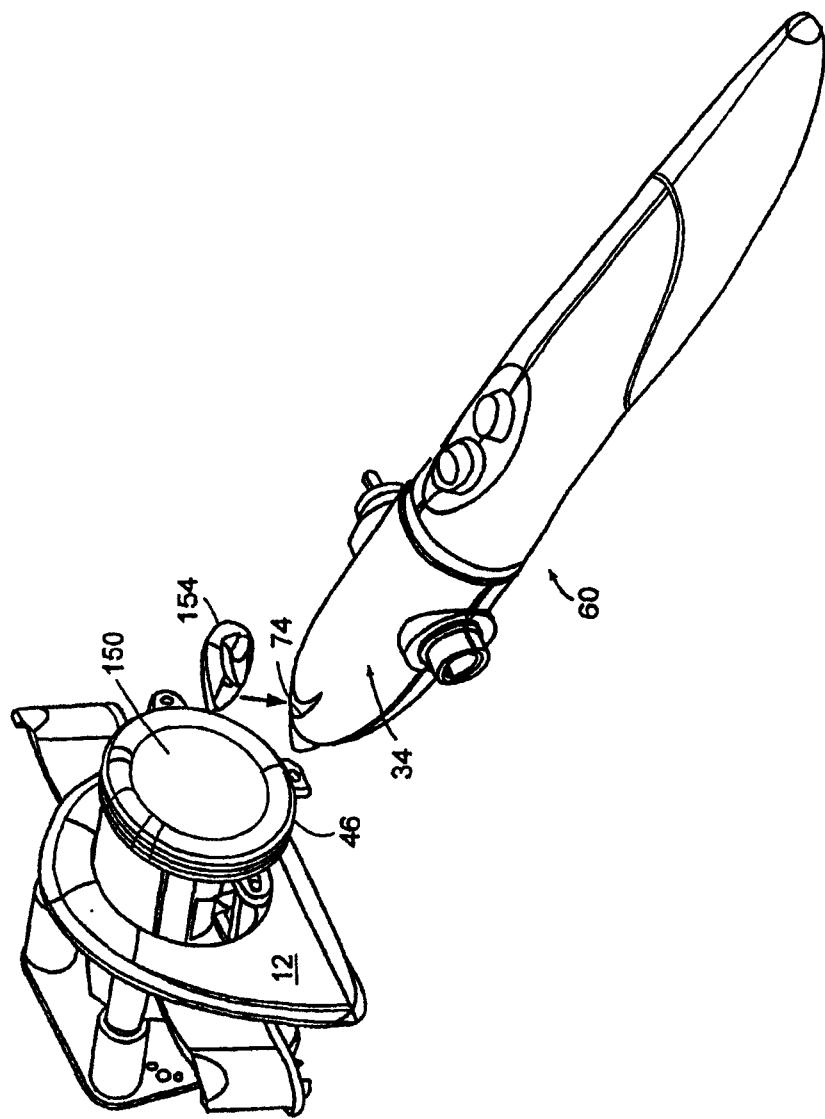
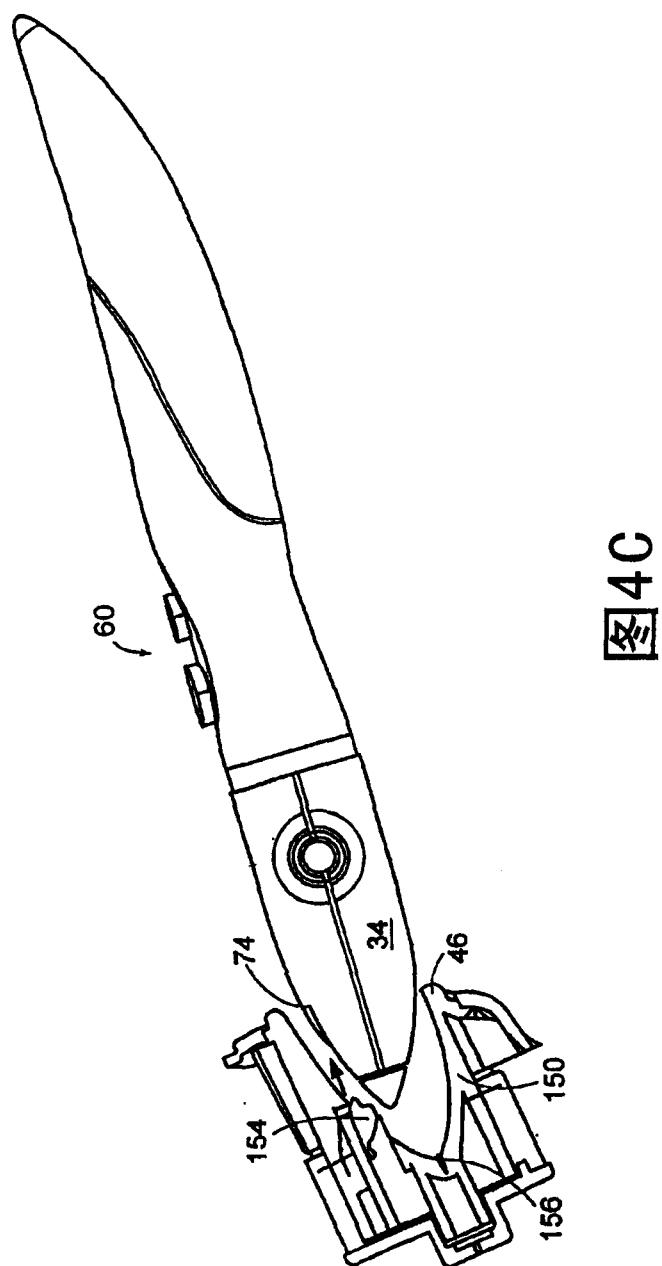


图4A



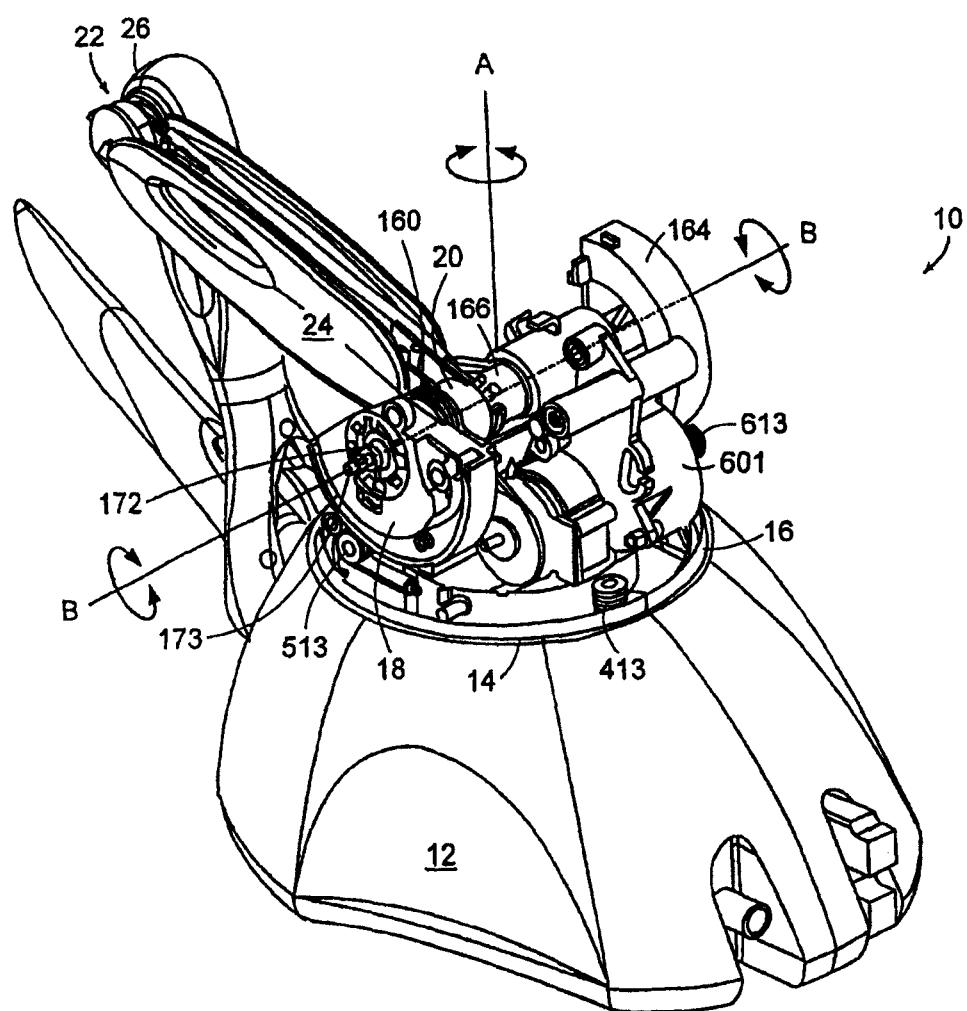


图5

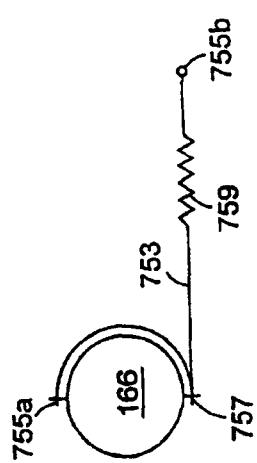


图6B

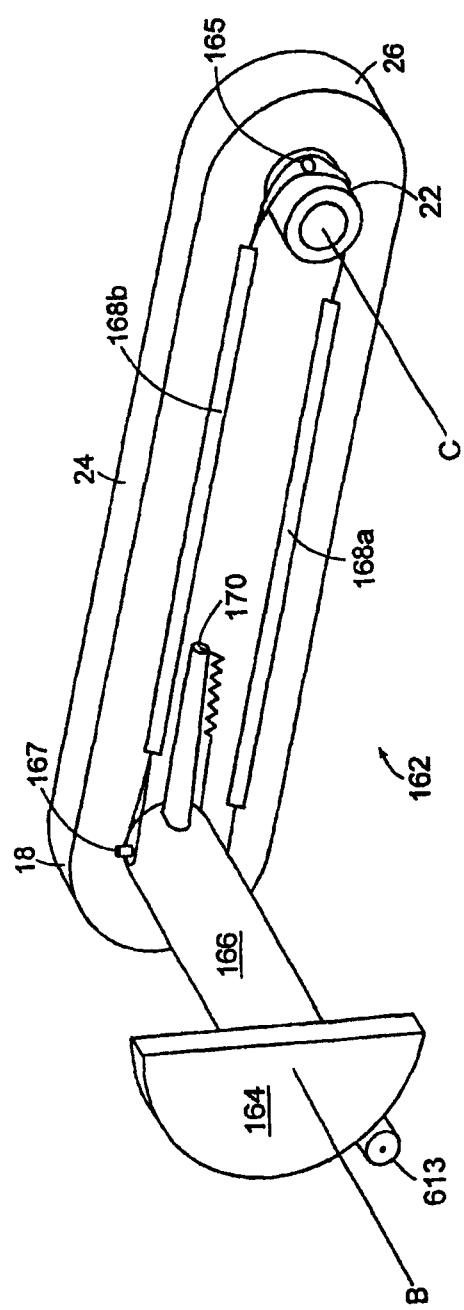


图6A

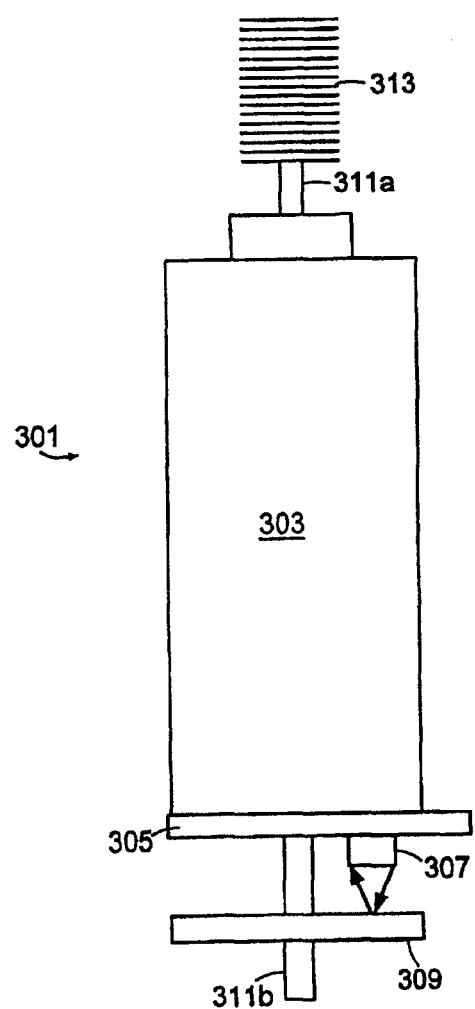


图 7

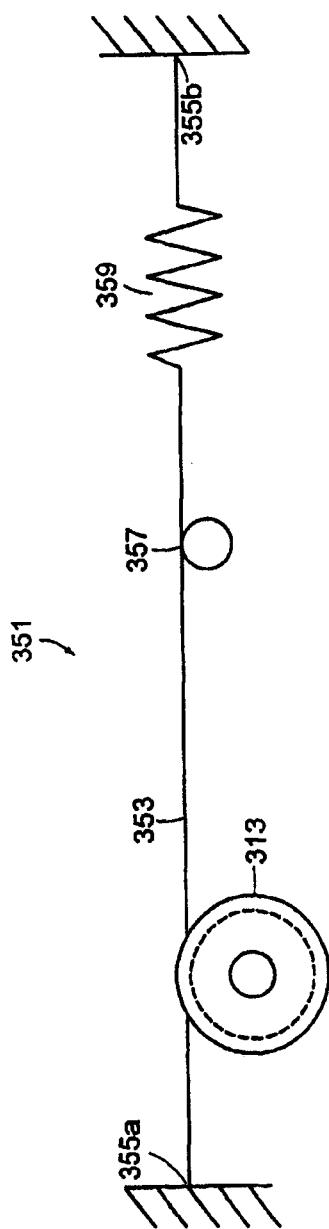


图8A

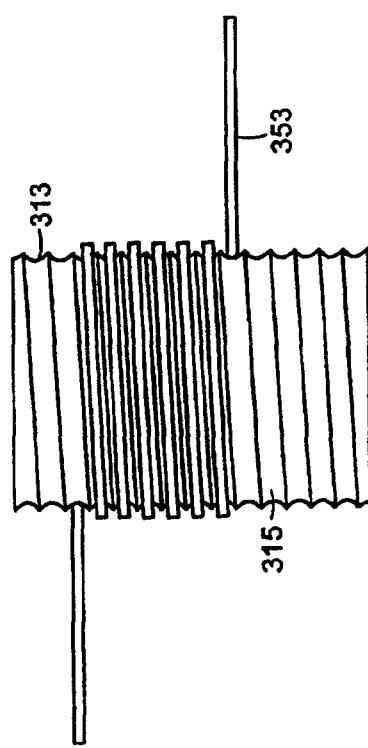


图8B

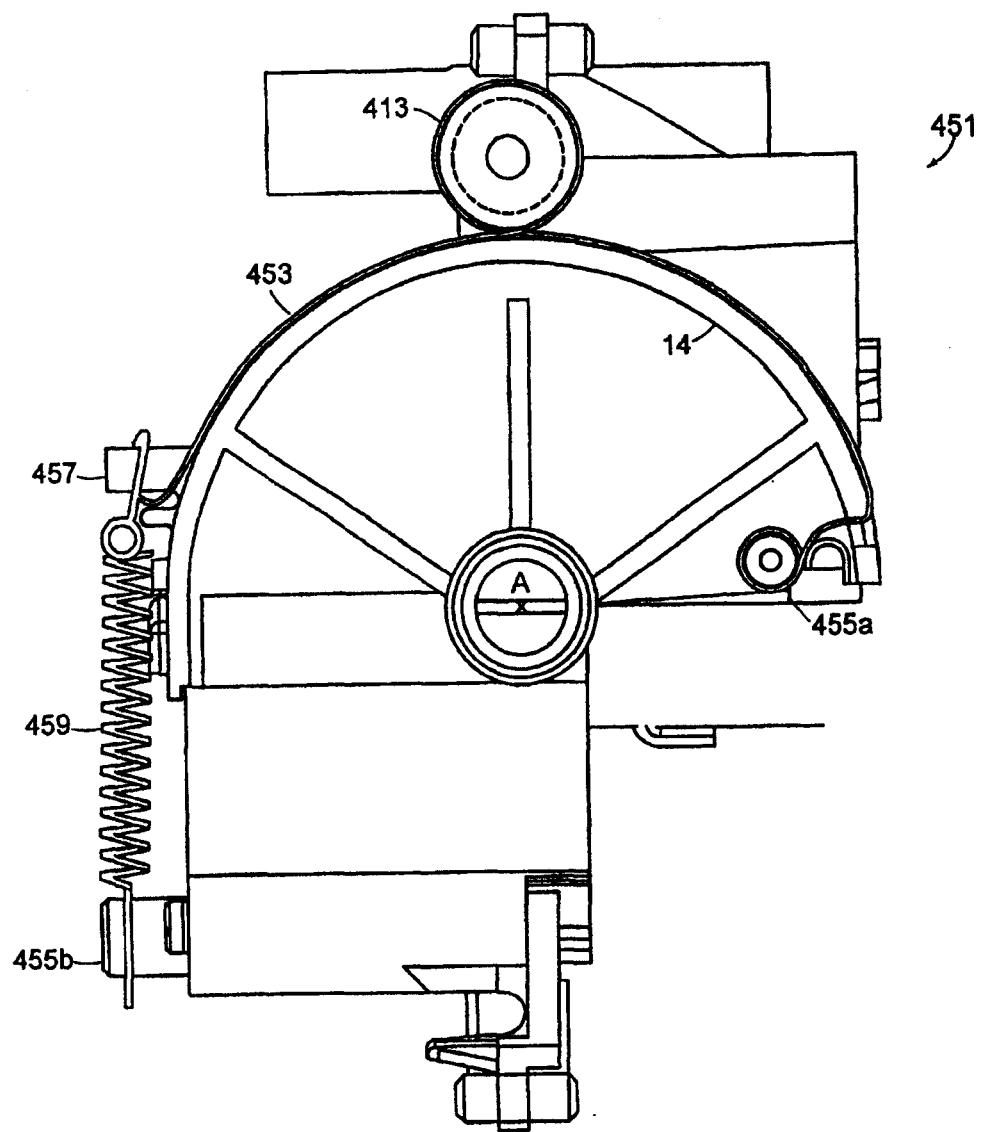


图8C

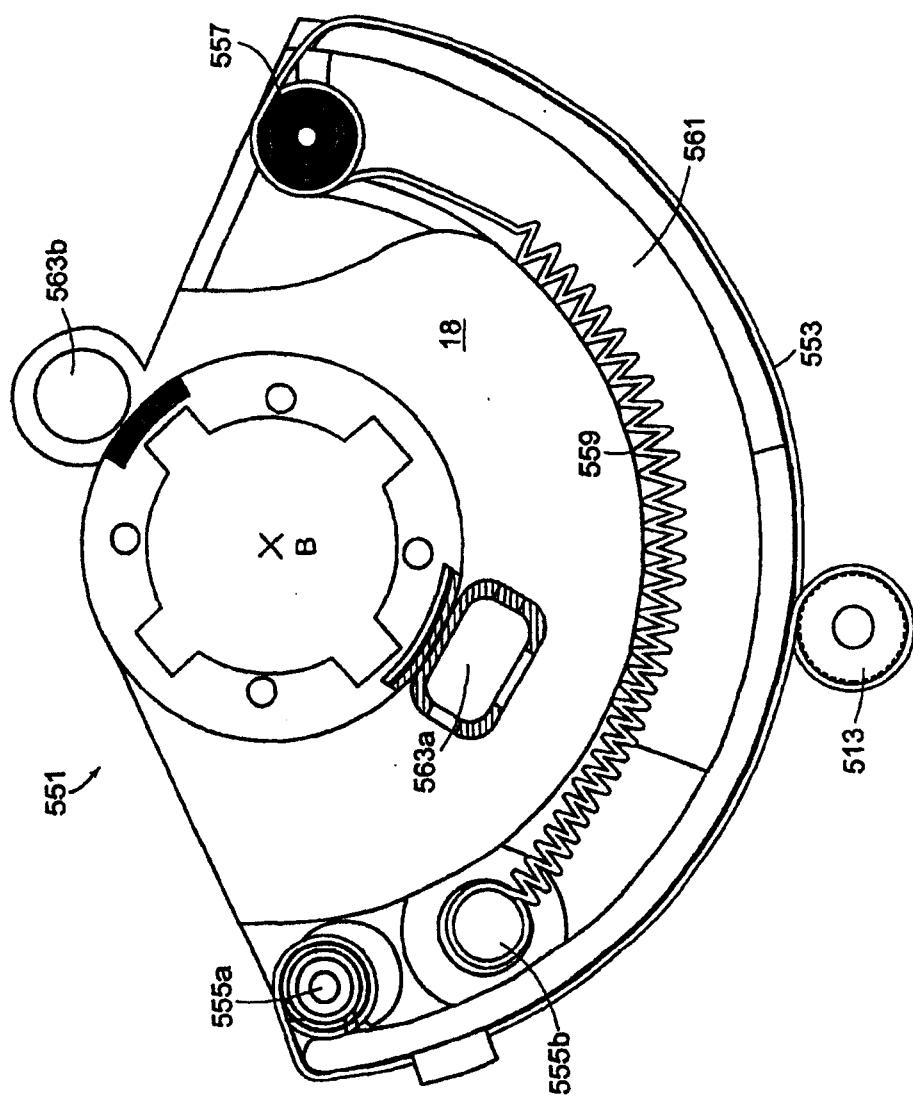


图9

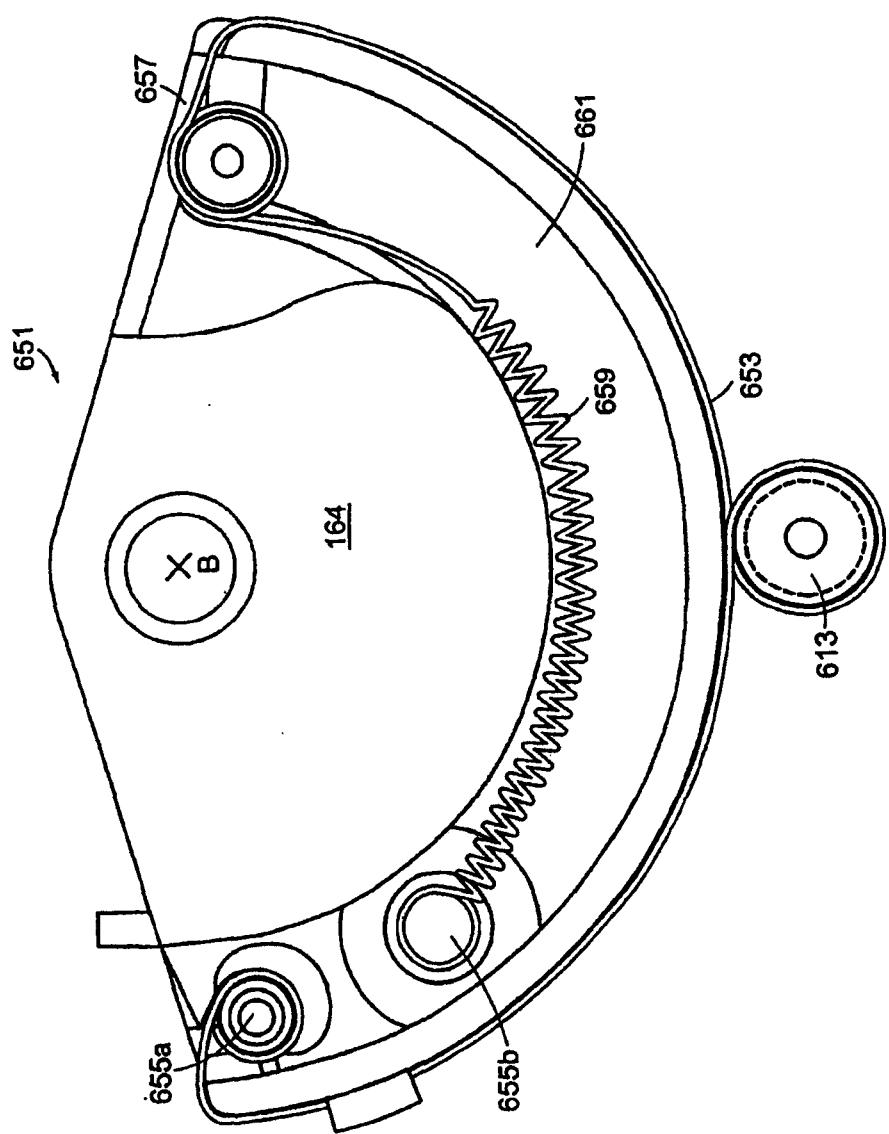


图10

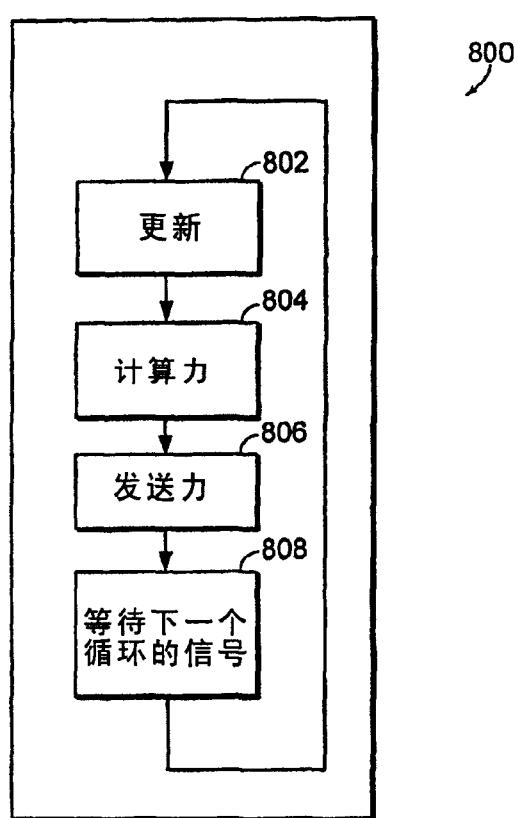


图11A

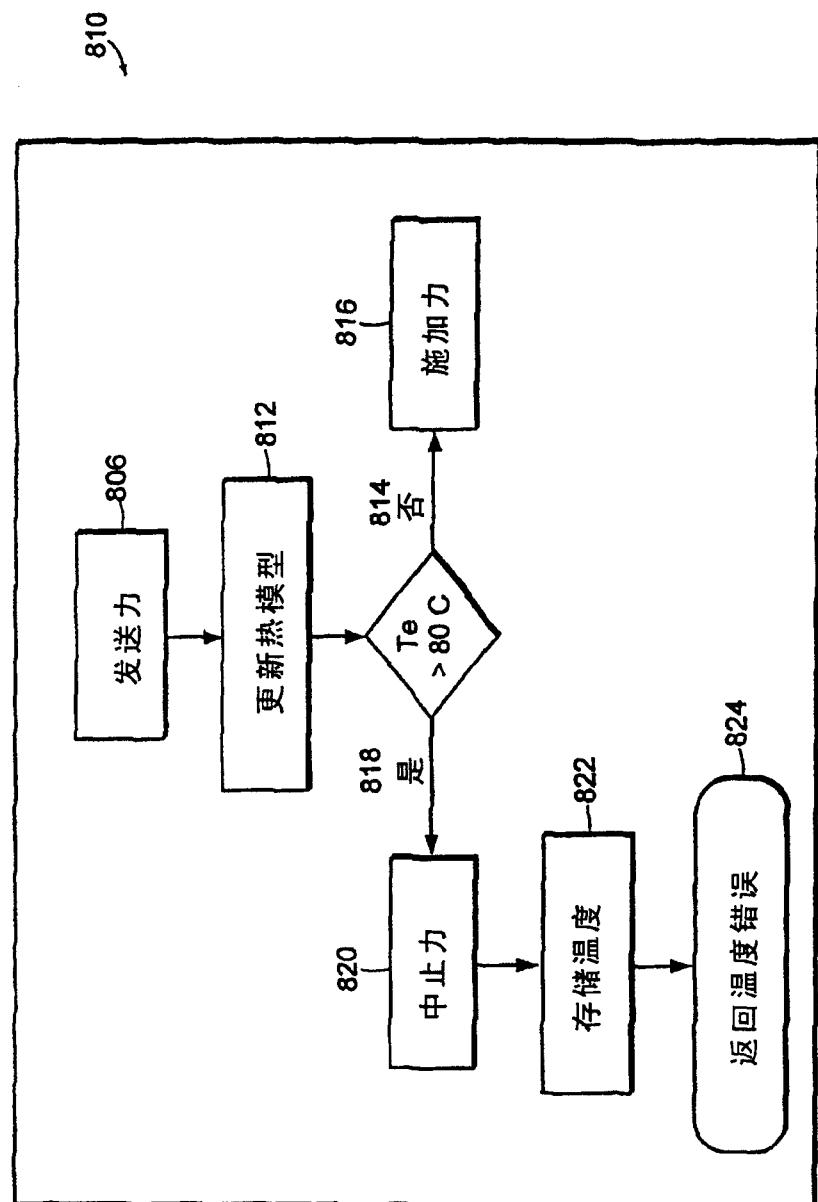


图11B

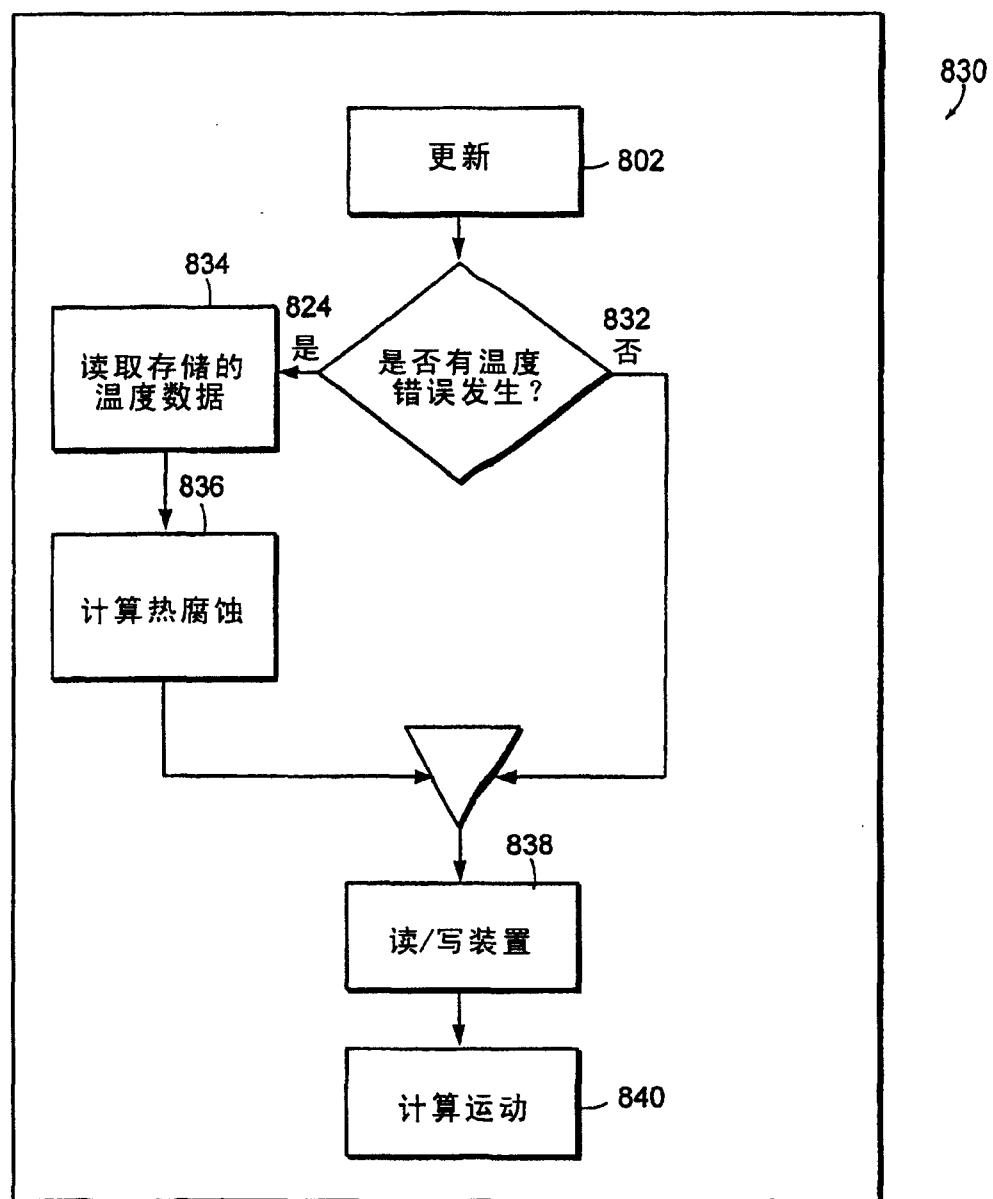


图11C

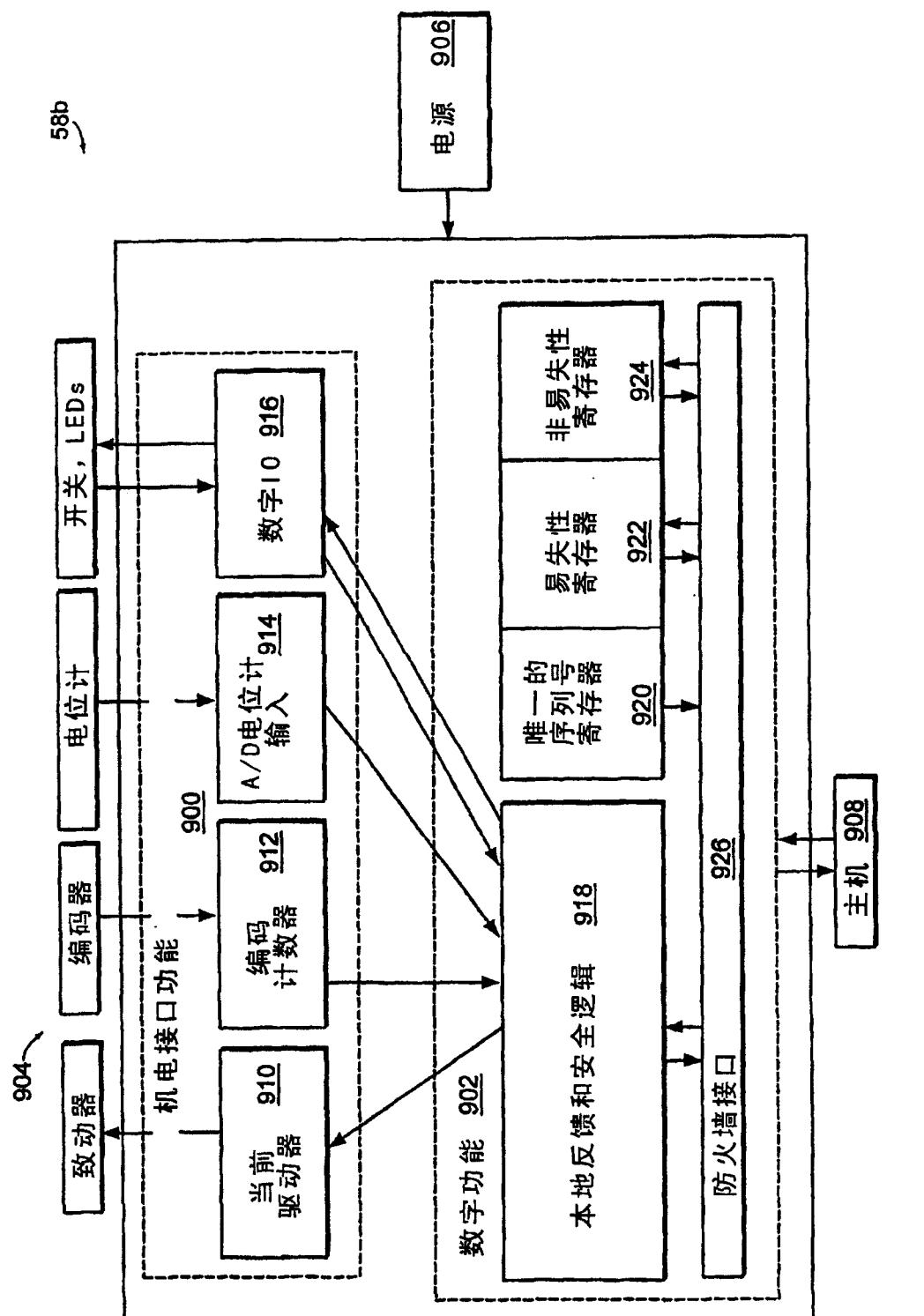


图 12

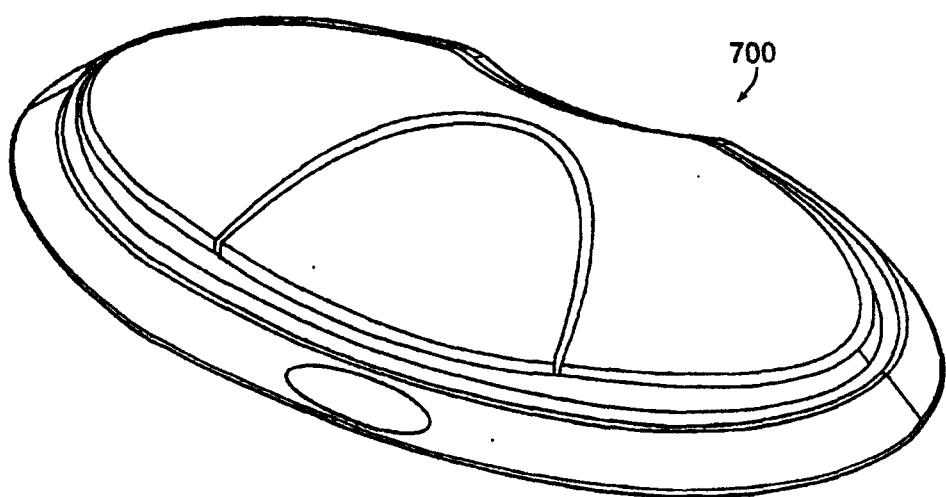


图13