

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

F02K 3/072 (2006.01)

F02C 3/067 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03154805.9

[45] 授权公告日 2007年8月22日

[11] 授权公告号 CN 1333165C

[22] 申请日 2003.8.19 [21] 申请号 03154805.9

[30] 优先权

[32] 2002.8.19 [33] US [31] 10/223163

[73] 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 R·J·奥尔兰多 T·O·莫尼兹

[56] 参考文献

US4860537A 1989.8.29

US5079916A 1992.1.14

US4976102A 1990.12.11

US5307622A 1994.5.3

US4293273A 1981.10.6

US5376827A 1994.12.27

US4790133A 1988.12.13

审查员 刘亚妮

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 蔡民军 郑建晖

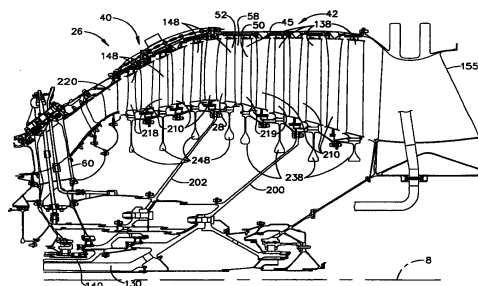
权利要求书4页 说明书6页 附图3页

[54] 发明名称

具有串联非交叉逆向转动的低压涡轮的飞行器气体涡轮发动机

[57] 摘要

一种气体涡轮发动机涡轮组件包括：具有低压涡轮流路(28)和串联非交叉逆向转动前后低压涡轮(40和42)的低压涡轮部段(26)；后低压涡轮(42)包括横过低压涡轮流路(28)布置的第一低压涡轮叶片排(138)；前低压涡轮(40)包括横过低压涡轮流路(28)布置的第二低压涡轮叶片排(148)；第一低压涡轮叶片排(138)沿低压涡轮流路(28)布置在第二低压涡轮叶片排(148)的上游；不可转动的低压叶片排(210)横过第一低压涡轮叶片排(138)的第一相邻对(219)之间以及第二低压涡轮叶片排(148)的第二相邻对(218)之间的低压涡轮流路(28)布置。环形无叶间隙位于第二低压涡轮叶片排(148)的最后排(52)和第一低压涡轮叶片排(138)的最前排(50)之间。



1. 一种气体涡轮发动机涡轮组件，其包括：  
具有低压涡轮流路和串联非交叉逆向转动前后低压涡轮的低压涡轮部段；  
所述后低压涡轮包括横过所述低压涡轮流路布置的第一低压涡轮叶片排；  
所述前低压涡轮包括横过所述低压涡轮流路布置的第二低压涡轮叶片排；  
所述第一低压涡轮叶片排沿所述低压涡轮流路布置在所述第二低压涡轮叶片排的下游；以及  
不可转动的低压叶片排横过所述第一低压涡轮叶片排的第一相邻对之间以及所述第二低压涡轮叶片排的第二相邻对之间的所述低压涡轮流路布置。
2. 如权利要求 1 所述的组件，其特征在于，其还包括所述第二低压涡轮叶片排的最后排沿所述低压涡轮流路位于所述第一低压涡轮叶片排的最前排的上游，并且环形无叶间隙位于所述第二低压涡轮叶片排的所述最后排和所述第一低压涡轮叶片排的所述最前排之间。
3. 如权利要求 2 所述的组件，其特征在于，涡轮喷嘴轴向布置在所述第二低压涡轮叶片排的前部、上游并与所述第二低压涡轮叶片排邻近。
4. 如权利要求 3 所述的组件，其特征在于，其还包括相同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。
5. 如权利要求 3 所述的组件，其特征在于，其还包括不同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。
6. 如权利要求 4 所述的组件，其特征在于，其还包括四个第一低压涡轮叶片排和四个第二低压涡轮叶片排。
7. 如权利要求 2 所述的组件，其特征在于，其还包括所述第一低压涡轮叶片排安装在所述低压内轴转子的低压第一涡轮盘上，并且所述第二低压涡轮叶片排安装在所述低压外轴转子的低压第二涡轮盘上。
8. 如权利要求 7 所述的组件，其特征在于，涡轮喷嘴轴向布置在所述第二低压涡轮叶片排的前部、上游并与所述第二低压涡轮叶片排邻近。

9. 如权利要求 8 所述的组件, 其特征在于, 其还包括相同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

10. 如权利要求 8 所述的组件, 其特征在于, 其还包括不同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

11. 如权利要求 9 所述的组件, 其特征在于, 其还包括四个第一低压涡轮叶片排和四个第二低压涡轮叶片排。

12. 如权利要求 1 所述的组件, 其特征在于, 涡轮喷嘴轴向布置在所述第二低压涡轮叶片排的前部、上游并与所述第二低压涡轮叶片排邻近。

13. 如权利要求 12 所述的组件, 其特征在于, 其还包括相同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

14. 如权利要求 12 所述的组件, 其特征在于, 其还包括不同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

15. 如权利要求 13 所述的组件, 其特征在于, 其还包括四个第一低压涡轮叶片排和四个第二低压涡轮叶片排。

16. 如权利要求 1 所述的组件, 其特征在于, 其还包括所述第一低压涡轮叶片排安装在所述低压内轴转子的低压第一涡轮盘上, 并且所述第二低压涡轮叶片排安装在所述低压外轴转子的低压第二涡轮盘上。

17. 如权利要求 16 所述的组件, 其特征在于, 涡轮喷嘴轴向布置在所述第二低压涡轮叶片排的前部、上游并与所述第二低压涡轮叶片排邻近。

18. 如权利要求 17 所述的组件, 其特征在于, 其还包括相同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

19. 如权利要求 17 所述的组件, 其特征在于, 其还包括不同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

20. 如权利要求 18 所述的组件, 其特征在于, 其还包括四个第一低压涡轮叶片排和四个第二低压涡轮叶片排。

21. 一种飞行器气体涡轮发动机涡轮组件, 其包括:

包括通过高压轴可驱动地连接在高压压缩机上并可围绕发动机中心线转动的高压涡轮的高压转子;

位于所述高压转子的后部并具有低压涡轮流路和串联非交叉逆

向转动前后低压涡轮的低压涡轮部段；

所述后低压涡轮包括横过所述低压涡轮流路布置的第一低压涡轮叶片排；

所述前低压涡轮包括横过所述低压涡轮流路布置的第二低压涡轮叶片排；

所述第一低压涡轮叶片排沿所述低压涡轮流路布置在所述第二低压涡轮叶片排的下游；以及

不可转动的低压叶片排横过所述第一低压涡轮叶片排的第一相邻对之间以及所述第二低压涡轮叶片排的第二相邻对之间的低压涡轮流路布置。

22. 如权利要求 21 所述的组件，其特征在于，其还包括所述第二低压涡轮叶片排的最后排沿所述低压涡轮流路位于所述第一低压涡轮叶片排的最前排的上游，并且环形无叶间隙位于所述第二低压涡轮叶片排的所述最后排和所述第一低压涡轮叶片排的所述最前排之间。

23. 如权利要求 22 所述的组件，其特征在于，涡轮喷嘴轴向布置在所述第二低压涡轮叶片排的前部、上游并与所述第二低压涡轮叶片排邻近。

24. 如权利要求 23 所述的组件，其特征在于，其还包括相同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

25. 如权利要求 23 所述的组件，其特征在于，其还包括不同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

26. 如权利要求 24 所述的组件，其特征在于，其还包括四个第一低压涡轮叶片排和四个第二低压涡轮叶片排。

27. 如权利要求 22 所述的组件，其特征在于，其还包括所述第一低压涡轮叶片排安装在所述低压内轴转子的低压第一涡轮盘上，并且所述第二低压涡轮叶片排安装在所述低压外轴转子的低压第二涡轮盘上。

28. 如权利要求 27 所述的组件，其特征在于，涡轮喷嘴轴向布置在所述第二低压涡轮叶片排的前部、上游并与所述第二低压涡轮叶片排邻近。

29. 如权利要求 28 所述的组件，其特征在于，其还包括相同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

30. 如权利要求 28 所述的组件，其特征在于，其还包括不同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

31. 如权利要求 29 所述的组件，其特征在于，其还包括四个第一低压涡轮叶片排和四个第二低压涡轮叶片排。

32. 如权利要求 21 所述的组件，其特征在于，涡轮喷嘴轴向布置在所述第二低压涡轮叶片排的前部、上游并与所述第二低压涡轮叶片排邻近。

33. 如权利要求 32 所述的组件，其特征在于，其还包括相同数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

34. 如权利要求 32 所述的组件，其特征在于，其还包括偶数数量的所述第一低压涡轮叶片排和所述第二低压涡轮叶片排。

35. 如权利要求 33 所述的组件，其特征在于，其还包括四个第一低压涡轮叶片排和四个第二低压涡轮叶片排。

36. 如权利要求 32 所述的组件，其特征在于，其还包括所述第一低压涡轮叶片排安装在所述低压内轴转子的低压第一涡轮盘上，并且所述第二低压涡轮叶片排安装在所述低压外轴转子的低压第二涡轮盘上。

37. 如权利要求 36 所述的组件，其特征在于，其还包括四个第一低压涡轮叶片排和四个第二低压涡轮叶片排。

## 具有串联非交叉逆向转动的低压涡轮的飞行器气体涡轮发动机

### 技术领域

本发明涉及逆向转动的飞行器气体涡轮发动机和具有由逆向转动低压涡轮驱动的逆向转动风扇的低压涡轮，并特别是针对结合有叶片和具有串联非交叉逆向转动的低压涡轮的这种发动机和涡轮。

### 背景技术

涡轮风扇类型的气体涡轮发动机通常包括前风扇和增压压缩机、中间核心发动机和后低压动力涡轮。该核心发动机包括高压压缩机、燃烧室和相互成串行流关系的高压涡轮。该核心发动机的高压压缩机和高压涡轮通过高压轴相互连接。该高压压缩机、涡轮和轴大致形成该高压转子。该高压压缩机可转动地受到驱动以便将进入该核心压缩机的空气压缩到相对高压下。该高压空气接着在燃烧室中与燃料混合并点燃以便形成高能量气体流。该气体流前后流动通过该高压涡轮，并可转动地驱动该涡轮和该高压轴，该高压轴继而可转动地驱动该压缩机。

离开高压涡轮的气体流通过第二或低压涡轮膨胀。该低压涡轮通过低压轴可转动地驱动风扇和增压压缩机，所有这些部件形成该低压转子。该低压轴延伸通过该高压转子。有些低压涡轮已经设计有驱动逆向转动风扇和增压或低压压缩机的逆向转动涡轮。美国专利号 4,860,537, 5,307,622 和 4,790,133 披露了驱动逆向转动风扇和增压或低压压缩机的逆向转动涡轮。所产生的大多数推力由风扇提供。逆向转动涡轮之一的叶片排或级与另一逆向转动涡轮的叶片排或级交叉。在交叉的叶片排之间没有布置静止叶片。径向外鼓形件支承该逆向转动涡轮之一的叶片排。这些叶片排从该鼓形件径向向内悬置。出于结构的原因该鼓形件需要大质量并难以从该发动机的静态框架获得可转动的支承。

现在正在设计具有逆向转动前后风扇和逆向转动增压器的先进气体涡轮发动机。希望是设计出具有最佳性能的逆向转动发动机。已经发现当前风扇比后风扇具有更高风扇压力比和更高转动速度时可以获得最佳性能。这可导致该逆向转动转子之间马力和转动速度的显著的不匹配。该逆向转动低压涡轮需要将所需动力供应到处于每个风扇的转动速

度上的每个前后风扇上。当两轴之间的功率分配相同并且转动速度相同并方向相反时，传统逆向转动涡轮将以最佳效率操作。在这种情况下，两个转子和涡轮之间的速度和马力比大致是 1。更希望的是气体涡轮发动机具有逆向转动低压涡轮，该涡轮具有不同的速度和马力比，例如速度和马力比为 1.2，从而获得最佳风扇效率。同样希望的是具有重量轻的逆向转动低压涡轮，该涡轮便于由发动机静态框架可转动地支承。

### 发明内容

本发明的目的是，解决现有技术中由于在交叉的叶片排之间没有布置静止叶片且这些叶片排从鼓形件中径向向内悬置而带来的鼓形件需要很大的质量并难以从发动机的静态框架获得可转动的支承的问题。

根据本发明的第一方面，提供了一种气体涡轮发动机涡轮组件，其包括：具有低压涡轮流路和串联非交叉逆向转动前后低压涡轮的低压涡轮部段；所述后低压涡轮包括横过所述低压涡轮流路布置的第一低压涡轮叶片排；所述前低压涡轮包括横过所述低压涡轮流路布置的第二低压涡轮叶片排；所述第一低压涡轮叶片排沿所述低压涡轮流路布置在所述第二低压涡轮叶片排的下游；以及不可转动的低压叶片排横过所述第一低压涡轮叶片排的第一相邻对之间以及所述第二低压涡轮叶片排的第二相邻对之间的所述低压涡轮流路布置。

根据本发明的第二方面，提供了一种飞行器气体涡轮发动机涡轮组件，其包括：包括通过高压轴可驱动地连接在高压压缩机上并可围绕发动机中心线转动的高压涡轮高压转子；位于所述高压转子的后部并具有低压涡轮流路和串联非交叉逆向转动前后低压涡轮的低压涡轮部段；所述后低压涡轮包括横过所述低压涡轮流路布置的第一低压涡轮叶片排；所述前低压涡轮包括横过所述低压涡轮流路布置的第二低压涡轮叶片排；所述第一低压涡轮叶片排沿所述低压涡轮流路布置在所述第二低压涡轮叶片排的下游；以及不可转动的低压叶片排横过所述第一低压涡轮叶片排的第一相邻对之间以及所述第二低压涡轮叶片排的第二相邻对之间的低压涡轮流路布置。

一种飞行器气体涡轮发动机包括具有通过高压轴可驱动地连接在高压压缩机上的高压涡轮并可围绕发动机中心线转动的高压转子。该发动机还包括逆向转动低压内外轴转子，该转子分别具有低压内外轴，该内外轴至少部分可转动地布置成与该高压转子同轴并布置在其径向内

侧。该发动机还包括位于该高压转子后部并具有低压涡轮流路和串联非交叉逆向转动前后低压涡轮的低压涡轮部段。该低压内轴转子包括后低压涡轮并且该低压外轴转子包括前低压涡轮。该后低压涡轮包括横过该低压涡轮流路布置并通过该低压内轴可驱动地连接在低压风扇叶片排上的第一低压涡轮叶片排。前低压涡轮包括横过该低压涡轮流路布置并通过低压外轴可驱动地连接在第二风扇叶片排上的第二低压涡轮叶片排。该第一和第二风扇叶片排布置在由风扇壳体径向向外限界的旁通管内。

第一低压风扇叶片排沿该低压涡轮流路布置在第二低压涡轮叶片排的下游。不转动的低压叶片排横过第一低压涡轮叶片排的第一相邻对之间以及第二低压涡轮叶片排的第二相邻对之间的低压涡轮流路布置。

示例性实施例包括沿低压涡轮流路位于第一低压涡轮叶片排的最前排的上游的第二低压涡轮叶片排的最后排并具有第二低压涡轮叶片排的最后排和第一低压涡轮叶片排的最前排之间的环形无叶间隙。涡轮喷嘴布置在第二低压涡轮叶片排的轴向前部、上游并与其相邻。该示例性实施例具有相同数量的第一低压涡轮叶片排和第二低压涡轮叶片排。

更特别的是，该示例性实施例具有四个第一低压涡轮叶片排和四个第二低压涡轮叶片排。第一低压涡轮叶片排可安装在该低压内轴转子的低压第一涡轮盘上，并且该第二涡轮叶片排可安装在该低压外轴转子的低压第二涡轮盘上。作为选择，该第一和第二低压涡轮叶片排可分别安装在该低压内外轴转子的鼓形件上。

可以使用低压涡轮的多种构形。第一和第二低压涡轮叶片排的数量可以相同或不同。可以有三个或四个或更多的第一和第二涡轮叶片排。

#### 附图说明

本发明的所述方面和其他特征在以下结合附图的说明中进行解释，附图中：

图 1 是飞行器涡轮风扇气体涡轮发动机的示例性实施例的前部分的纵向截面图，其中该发动机具有带有定子叶片的逆向转动低压涡轮；

图 2 是该发动机后部分的纵向截面图；

图 3 是图 1 所示逆向转动低压涡轮的放大视图。

### 部件列表

第一风扇 4、第二风扇 6、前部分 7、发动机中心线 8、导引边缘分隔器 9、气体涡轮发动机 10、风扇壳体 11、风扇部段 12、第一风扇叶片排 13、环境空气 14、第二风扇叶片排 15、增压器 16、分隔器罩 17、高压压缩机 (HPC) 18、核心发动机入口 19、燃烧室 20、旁通管 21、后部分 22、风扇流动空气 23、核心发动机 25、低压涡轮 (LPT) 26、高压轴 27、流路 28、高压涡轮 (HPT) 29、风扇出口 30、增压器空气 31、框架结构 32、高压转子 33、风扇框架 34、第一部分 35、风扇流动空气第二部分 36、第二部分 37、入口导管分隔器 39、前低压涡轮 40、后低压涡轮 42、发动机壳体 45、最前排 50、最后排 52、无叶间隙 58、中央框架 60、低压内轴 130、第一低压涡轮叶片排 138、低压外轴 140、第二低压涡轮叶片排 148、后涡轮框架 155、低压内轴转子 200、低压外轴转子 202、低压叶片 210、第二相邻对 218、第一相邻对 219、涡轮喷嘴 220、第一涡轮盘 238、第二涡轮盘 248。

### 具体实施方式

图 1 示意所示是示例性涡轮风扇气体涡轮发动机 10 的前部分 7, 该发动机围绕发动机中心线 8 并具有容纳接收环境空气 14 的入口气流的风扇部段 12。发动机 10 具有框架结构 32, 该框架结构包括由发动机壳体 45 连接在涡轮中央框架 60 上的前或风扇框架 34 和涡轮后框架 155。发动机 10 例如通过从飞行器翼部向下延伸的吊架 (未示出) 安装在飞行器内或安装其上。

风扇部段 12 具有逆向转动第一和第二风扇 4 和 6, 该风扇分别包括前后第一和第二风扇叶片排 13 和 15, 并在所述示例性实施例中包括增压器 16。增压器 16 轴向位于逆向转动第一和第二风扇叶片排 13 和 15 的后部并由具有导引边缘分隔器 9 的分隔器罩 17 围绕。增压器通常轴向位于第一风扇叶片排和核心发动机之间并可以位于逆向转动第一和第二风扇叶片排之间。风扇部段 12 之后是高压压缩机 18 (HPC), 该压缩机在图 2 中进一步表示。图 2 示意表示发动机 10 的后部分 22。

HPC18 的下游是将燃料与空气 14 混合的燃烧室 20, 空气通过 HPC18 加压以便产生燃烧气体, 该燃烧气体向下游流过高压涡轮 (HPT) 29 和燃烧气体通过其中从发动机 10 排放的逆向转动低压涡轮部段 (LPT) 26。高压轴 27 将 HPT29 连接到 HPC18 以便大致形成第一或高压转子 33。高

压压缩机 18、燃烧室 20 和高压涡轮 29 合起来称为核心发动机 25，出于此专利的目的，该核心发动机包括高压轴 27。核心发动机 25 可以模块化使其作为一个单元独立地从气体涡轮的其他部件上拆卸更换。发动机 10 包括逆向转动低压内外轴转子 200 和 202，该转子分别具有低压内外轴 130 和 140，该内外轴至少部分可转动地与高压转子 33 同轴布置并布置在其径向内侧。

回来参考图 1，旁通管 21 在径向向外方向由风扇壳体 11 以及部分由分离器罩 17 限界。第一和第二风扇叶片排 13 和 15 布置在径向向外方向由风扇壳体 11 限界的旁通管 21 内。分离器罩 17 和导引边缘分离器 9 将排出第二风扇叶片排 15 的风扇流动空气 23 分成进入增压器 16 的风扇流动第一部分或增压器空气 31 和围绕增压器 16 并进入旁通管 21 的风扇流动空气第二部分 36，其中空气通过风扇出口 30 排出风扇部段 12 以便为该发动机提供推力。由增压器 16 增压的增压器空气 31 排出增压器并分别通过入口导管分离器 39 分成增压器空气第一和第二部分 35 和 37。入口导管分离器 39 引导增压器空气第一部分 35 进入通向核心发动机 25 的高压压缩机 18 的核心发动机入口 19。入口导管分离器 39 同样引导增压器空气第一部分围绕核心发动机 25 进入旁通管 21，接着通过风扇出口 30 排出风扇部段 12。

现在参考图 2 和 3，低压涡轮部段 26 包括串联非交叉逆向转动前后低压涡轮 40 和 42 和低压涡轮流路 28。低压内轴转子 200 包括后低压涡轮 42，并且低压外轴转子 202 包括低压涡轮部段 26 的前低压涡轮。后低压涡轮 42 包括横过低压涡轮流路 28 布置的第一低压涡轮叶片排 138 并通过低压内轴 130 可驱动地连接在第一风扇叶片排 13 上。

前低压涡轮 40 包括横过低压涡轮流路 28 布置的第二低压涡轮叶片排 148 并通过低压外轴 140 可驱动地连接在第二风扇叶片排 15 上。在图 2 和 3 所示的示例性实施例中，有四排第一和第二低压涡轮叶片排 138 和 148。增压器 16 可驱动地连接在低压内外轴 130 和 140 之一上。

如图 2 和 3 所示，第一低压涡轮叶片排 138 沿低压涡轮流路 28 布置在第二低压涡轮叶片排 148 的下游。不可转动的低压叶片排 210 横过第一低压涡轮叶片排 138 的低压相邻对 219 之间以及第二低压涡轮叶片排 148 的第二相邻对 218 之间的低压涡轮流路 28 布置。在如 2 和 3 所示的示例性实施例中，第二低压涡轮叶片排 148 的最后排 52 沿低压涡轮

轮流路 28 位于第一低压涡轮叶片排 138 的最前排 50 的上游。环形无叶间隙 58 分开并位于第二低压涡轮叶片排 148 的最后排 52 和第一低压涡轮叶片排 138 的最前排 50 之间。

通过使得与后风扇相比前风扇在更高风扇压力比和更高转动速度下操作并同时避免逆向转动低压涡轮和转子之间的马力和转动速度的显著不匹配，串联非交叉逆向转动前后低压涡轮 40 和 42 有助于发动机在最佳性能或接近最佳性能下操作。这使得发动机在例如速度和马力比为 1.2 或更多的不同速度和马力比下操作，从而有助于获得最佳风扇效率。该串联非交叉逆向转动前后低压涡轮同样是由低重量结构制成，并便于由该发动机的静态框架可转动底地支承。

示例性实施例具有相同数量的第一低压涡轮叶片排 138 和第二低压涡轮叶片排 148。更特别的是，该示例性实施例具有四个低压涡轮叶片排 138 和四个第二低压涡轮叶片排 148。所示的第一低压涡轮叶片排 138 安装在低压内轴转子 200 的低压第一涡轮盘 238 上，第二低压涡轮叶片排 148 安装在低压外轴转子 202 的低压第二涡轮盘 248 上。作为选择，第一和第二低压涡轮叶片排 138 和 148 可分别安装在低压内外轴转子 200 和 202 的鼓形件上。涡轮喷嘴 220 轴向布置在第二低压涡轮叶片排 148 的前部、上游并与其邻近。

可以使用低压涡轮的多种构形。第一和第二低压涡轮叶片排的数量可以相同或不同。可以有三个或四个或更多的第一和第二涡轮叶片排。

本发明以及以示意方式进行描述。将理解到已经使用的术语意欲采用描述词语的自然含意，而没有限制含意。在已经描述认为是本发明优选和示例性的实施例的同时，对于本领域技术人员从这里的教导中可以明白本发明的其他变型，因此希望确保所附权利要求以及所有变型落入本发明的的真实精神和范围内。

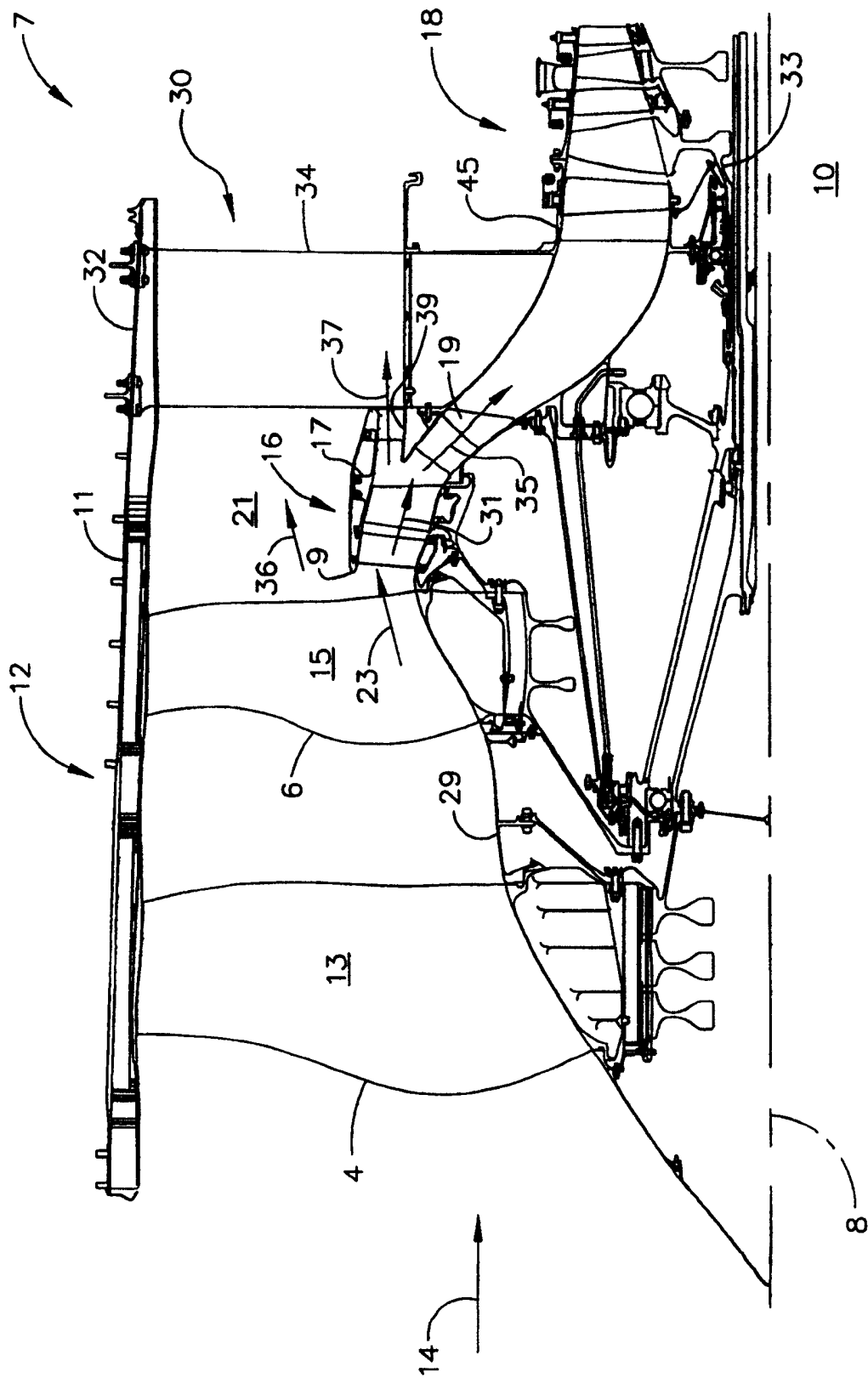


图 1

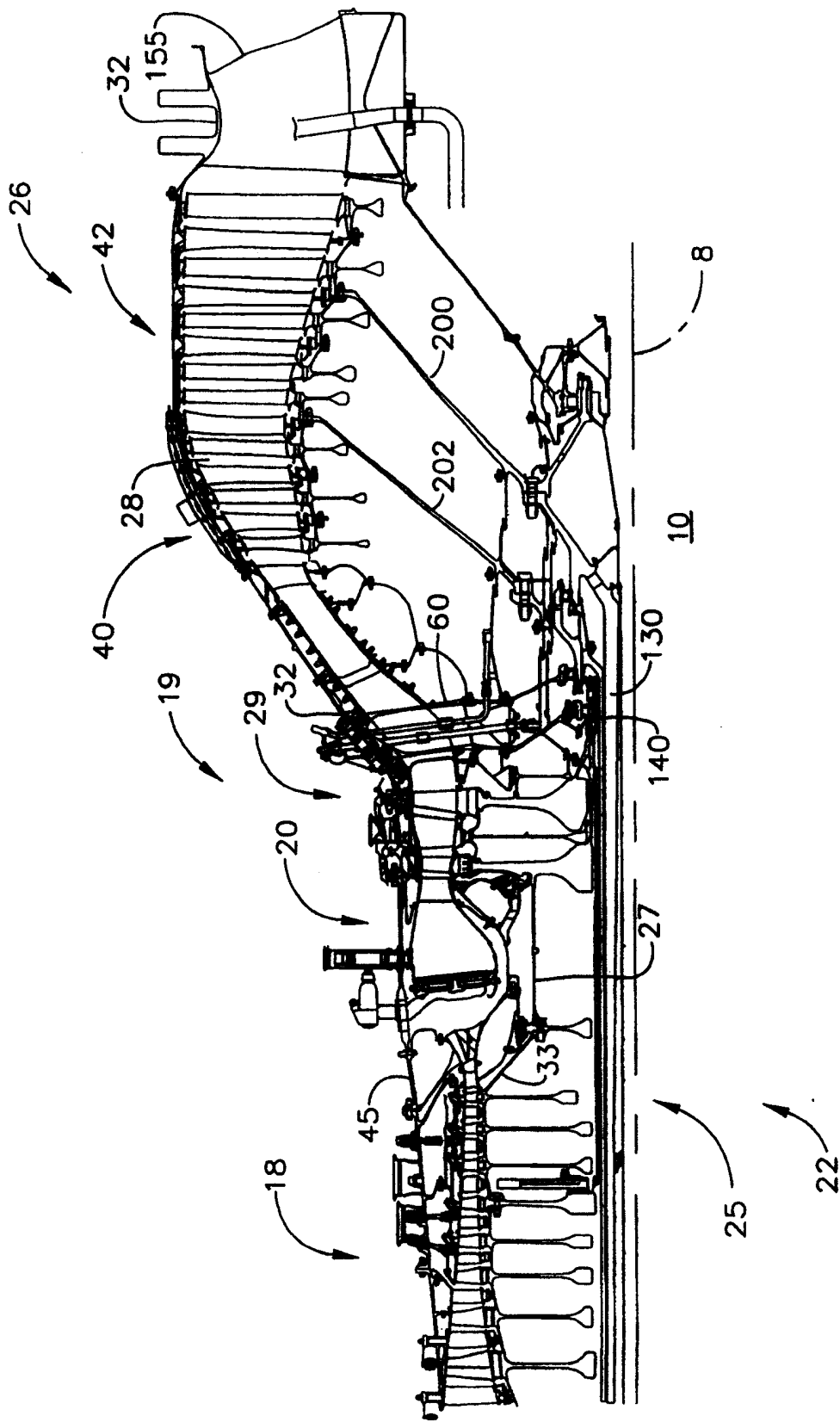


图 2

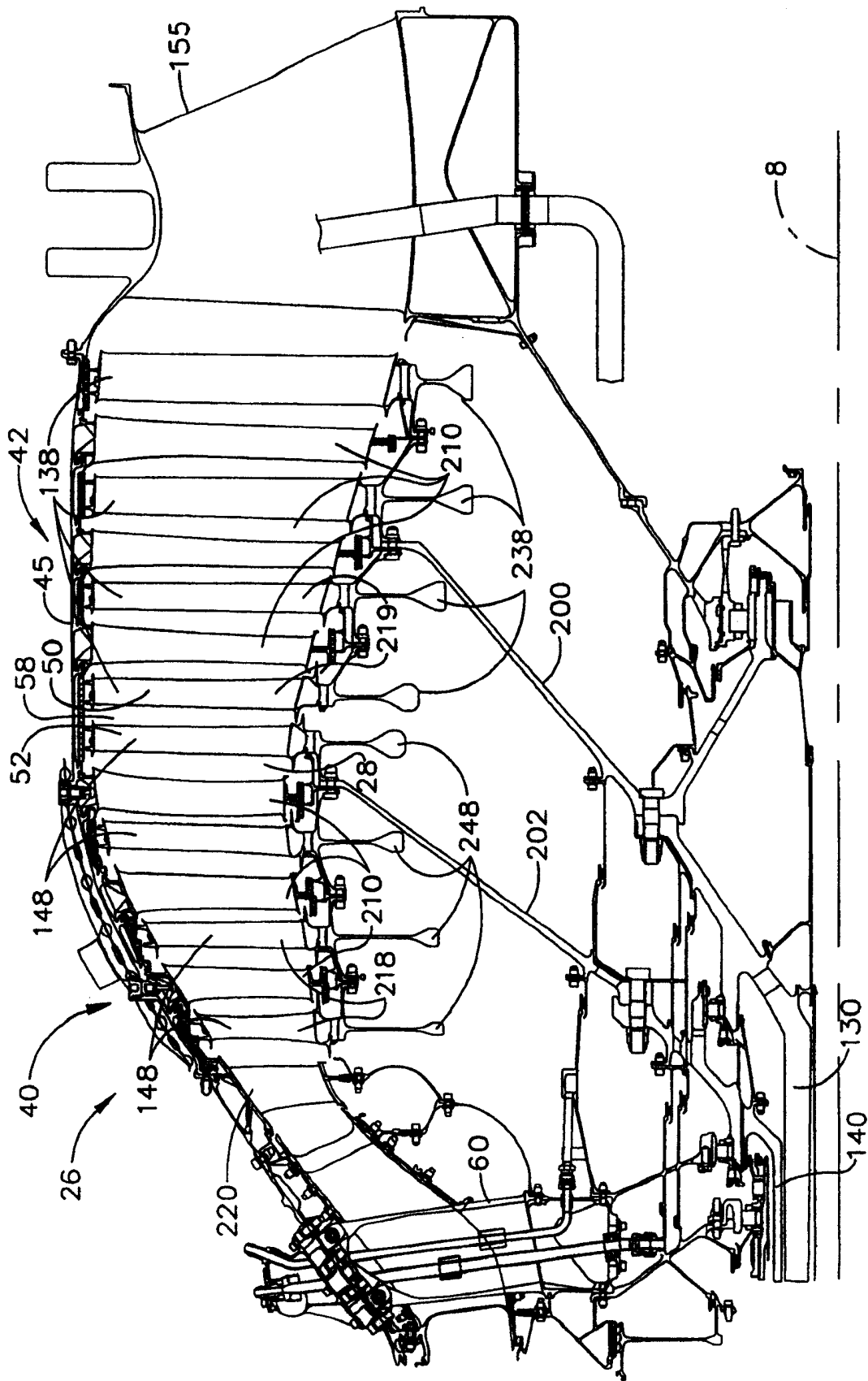


图 3