



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107407151 B

(45)授权公告日 2019.08.06

(21)申请号 201680017460.2

(22)申请日 2016.03.11

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107407151 A

(43)申请公布日 2017.11.28

(30)优先权数据
2015-064939 2015.03.26 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.09.21

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2016/057715 2016.03.11

(87)PCT国际申请的公布数据
W02016/152573 JA 2016.09.29

(73)专利权人 三菱日立电力系统株式会社
地址 日本国神奈川县

(72)发明人 松尾咲生 森川朋子 羽田哲
大友宏之

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 祝博

(51)Int.Cl.
F01D 5/18(2006.01)
F01D 9/02(2006.01)
F02C 7/18(2006.01)

(56)对比文件
JP 2001060638 A,2001.03.06,
US 5609466 A,1997.03.11,
JP H11166401 A,1999.06.22,
JP 2005146858 A,2005.06.09,
CN 102782257 A,2012.11.14,
JP 5606648 B1,2014.10.15,
JP 2001254605 A,2001.09.21,
CN 1488839 A,2004.04.14,
US 8641377 B1,2014.02.04,
EP 2610436 A2,2013.07.03,
CN 101473107 A,2009.07.01,

审查员 靳文强

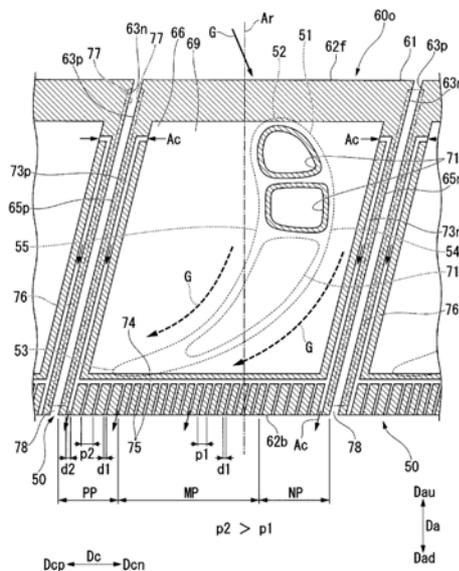
权利要求书2页 说明书20页 附图19页

(54)发明名称

叶片以及具备该叶片的燃气涡轮

(57)摘要

叶片具有划定燃烧气体流路的一部分的流路形成板(60o)。在流路形成板(60o)形成有在后端面(62b)开口的多个后通路(75)。与后端面(62b)中的背侧区域(NP)和腹侧区域(PP)中的至少一方的侧区域的多个后通路(75)的开口密度相比,后端面(62b)中的中间区域(MP)的多个后通路(75)的开口密度较高。开口密度是多个后通路(75)的湿缘长度相对于多个后通路(75)的开口间隔的比例。



CN 107407151 B

1. 一种燃气涡轮的叶片,其在内部形成有燃烧气体流路,该燃烧气体流路以转子轴为中心形成环状,且在所述转子轴延伸的轴向上延伸,其中,

所述燃气涡轮的叶片具有:

叶片主体,其配置在供燃烧气体流动的所述燃烧气体流路中,且在相对于所述转子轴的径向上延伸;以及

流路形成板,其形成于所述叶片主体的所述径向的端处,且划定所述燃烧气体流路的一部分,

在所述流路形成板形成有:

后端面,其是所述轴向上的、所述燃烧气体流动的轴向下侧的端面;

腹侧端面,其是相对于所述转子轴的周向上的、所述叶片主体的腹侧即周向腹侧的端面;

背侧端面,其是与所述周向腹侧相反的一侧即周向背侧的端面;

空洞,其供冷却空气流入;以及

多个后通路,其与所述空洞连通且在所述后端面上开口,

在所述后端面中的中间区域、背侧区域以及腹侧区域,分别形成有在所述周向上排列的所述多个后通路的开口,所述中间区域不包含与所述背侧端面的缘以及与所述腹侧端面的缘,所述背侧区域包含与所述背侧端面的缘且与所述中间区域在周向上相邻,所述腹侧区域包含与所述腹侧端面的缘且与所述中间区域在周向上相邻,

与所述背侧区域和所述腹侧区域中的至少一方的侧区域的、所述多个后通路的湿缘长度相对于所述多个后通路的开口的间隔的比例即开口密度相比,所述中间区域的所述多个后通路的所述开口密度高。

2. 根据权利要求1所述的燃气涡轮的叶片,其中,

所述中间区域的所述开口密度高于所述背侧区域的所述开口密度。

3. 根据权利要求1所述的燃气涡轮的叶片,其中,

所述中间区域的所述开口密度高于所述背侧区域的所述开口密度以及所述腹侧区域的所述开口密度。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的燃气涡轮的叶片,其中,

所述腹侧区域的所述开口密度高于所述背侧区域的所述开口密度。

5. 根据权利要求1所述的燃气涡轮的叶片,其中,

在所述背侧区域以及所述腹侧区域分别形成有在所述周向上排列的至少三个以上的所述后通路的开口。

6. 根据权利要求1所述的燃气涡轮的叶片,其中,

在所述流路形成板形成有:

后集管通路,其沿着所述后端面在所述周向上延伸,且与所述多个后通路连通;

背侧通路,其沿着所述背侧端面在具有所述轴向成分的方向上延伸,且使所述空洞与所述后集管通路连通;以及

腹侧通路,其沿着所述腹侧端面在具有所述轴向成分的方向上延伸,且使所述空洞与所述后集管通路连通。

7. 根据权利要求6所述的燃气涡轮的叶片,其中,

在所述流路形成板形成有：

气体通过面，其在周缘处与所述后端面、所述腹侧端面以及所述背侧端面相连，且与所述燃烧气体接触；以及

多个气体通过面喷出通路，其与所述后集管通路连通，且在所述气体通过面上开口。

8. 根据权利要求1所述的燃气涡轮的叶片，其中，

在所述流路形成板形成有：

气体通过面，其在周缘处与所述后端面、所述腹侧端面以及所述背侧端面相连，且与所述燃烧气体接触；以及

多个气体通过面喷出通路，其与所述空洞连通，且在所述气体通过面上开口。

9. 根据权利要求7或8所述的燃气涡轮的叶片，其中，

所述气体通过面喷出通路随着接近所述气体通过面而逐渐朝向所述轴向下游侧。

10. 根据权利要求1所述的燃气涡轮的叶片，其中，

相对于所述流路形成板而具有在所述周向上排列的多个所述叶片主体。

11. 根据权利要求10所述的燃气涡轮的叶片，其中，

与所述中间区域中的、包含多个所述叶片主体彼此之间的叶片间区域的所述开口密度相比，所述中间区域中的、相对于所述叶片主体的所述轴向下游侧的除了所述叶片间区域之外的叶片下游区域的所述开口密度高。

12. 根据权利要求1所述的燃气涡轮的叶片，其中，

作为所述流路形成板而具有外侧护罩和内侧护罩，该外侧护罩形成于所述叶片主体的所述径向上的外侧的端处，该内侧护罩形成于所述叶片主体的所述径向上的内侧的端处，所述外侧护罩固定于所述燃气涡轮的机室。

13. 根据权利要求1所述的燃气涡轮的叶片，其中，

所述流路形成板是在所述叶片主体的所述径向上的内侧的端处形成的平台，所述平台固定于所述转子轴。

14. 一种燃气涡轮，其中，

所述燃气涡轮具备：

权利要求1至13中任一项所述的燃气涡轮的叶片；

通过燃料的燃烧而生成所述燃烧气体的燃烧器；

所述转子轴；以及

覆盖所述转子轴及所述叶片的机室。

叶片以及具备该叶片的燃气涡轮

技术领域

[0001] 本发明涉及叶片以及具备该叶片的燃气涡轮。

[0002] 本申请基于2015年3月26日在日本申请的特愿2015-064939号而主张优先权，在此援引其内容。

背景技术

[0003] 燃气涡轮具备以轴线为中心而旋转的转子以及覆盖该转子的机室。转子具有转子轴以及安装于该转子轴的多个动叶。另外，在机室的内侧设置有多个静叶。

[0004] 动叶具有：沿相对于轴线的径向延伸的叶片主体；设置于叶片主体的径向内侧的平台；以及设置于平台的径向内侧的叶根。动叶的叶片主体配置在供燃烧气体通过的燃烧气体流路内。平台划定燃烧气体流路的径向内侧的位置。叶根固定于转子轴。静叶具有：沿相对于轴线的径向延伸的叶片主体；设置于叶片主体的径向内侧的内侧护罩；以及设置于叶片主体的径向外侧的外侧护罩。静叶的叶片主体配置在供燃烧气体通过的燃烧气体流路内。内侧护罩划定燃烧气体流路的径向内侧的位置。外侧护罩划定燃烧气体流路的径向外侧的位置。

[0005] 燃气涡轮的静叶以及动叶均暴露于高温的燃烧气体。因此，静叶、动叶通常由空气等进行冷却。

[0006] 例如，在以下的专利文献1所记载的静叶形成有供冷却空气通过的各种冷却通路。具体地说，在静叶的叶片主体形成有沿着径向延伸且供冷却空气流入的空洞。另外，在内侧护罩以及外侧护罩形成有与叶片主体的空洞连通且沿着叶片主体的轴弦方向延伸的多个排出孔。该排出孔在内侧护罩的后端面以及外侧护罩的后端面开口。多个排出孔相对于轴线沿周向排列。

[0007] 在先技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1：日本特许第2862536号公报

发明内容

[0010] 发明要解决的课题

[0011] 关于燃气涡轮的静叶和动叶，期望在有效地对这些叶片进行冷却而提高叶片的耐久性的同时也尽量地减少用于冷却该叶片的空气的使用量。

[0012] 因此，本发明的目的在于，提供能够实现耐久性的提高且能够抑制冷却用的空气的使用量的叶片以及具备该叶片的燃气涡轮。

[0013] 用于解决课题的方案

[0014] 作为用于实现所述目的的发明的第一方案的叶片是在内部形成有燃烧气体流路的燃气涡轮的叶片，该燃烧气体流路以转子轴为中心形成环状，且在所述转子轴延伸的轴向上延伸，其中，所述燃气涡轮的叶片具有：叶片主体，其配置在供燃烧气体流动的所述燃

烧气体流路中,且在相对于所述转子轴的径向上延伸;以及流路形成板,其形成于所述叶片主体的所述径向的端处,且划定所述燃烧气体流路的一部分,在所述流路形成板形成有:后端面,其是所述轴向上的、所述燃烧气体流动的轴向下侧的端面;腹侧端面,其是相对于所述转子轴的周向上的、所述叶片主体的腹侧即周向腹侧的端面;背侧端面,其是与所述周向腹侧相反的一侧即周向背侧的端面;空洞,其供冷却空气流入;以及多个后通路,其与所述空洞连通且在所述后端面上开口,在所述后端面中的不包含与所述背侧端面的缘以及与所述腹侧端面的缘的中间区域、所述后端面中的包含与所述背侧端面的缘且与所述中间区域在周向上相邻的背侧区域以及所述后端面中的包含与所述腹侧端面的缘且与所述中间区域在周向上相邻的腹侧区域,分别形成有在所述周向上排列的多个所述后通路的开口,与所述背侧区域和所述腹侧区域中的至少一方的侧区域的、多个所述后通路的湿缘长度相对于多个所述后通路的开口的间隔的比例即开口密度相比,所述中间区域的多个所述后通路的所述开口密度高。

[0015] 沿着叶片主体的背侧面流动的燃烧气体的流路长度比沿着叶片主体的腹侧面流动的燃烧气体的流路长度长。因此,沿着叶片主体的背侧面流动的燃烧气体的流速比沿着叶片主体的腹侧面流动的燃烧气体的流速快。另外,沿着叶片主体的背侧面流动的燃烧气体之后在流路形成板的气体通过面中的靠后端面的部分且周向的中央部分处也以较高的流速流动。因此,在叶片主体的背侧面以及流路形成板的气体通过面中的靠后端面的部分且周向的中央部分处,与燃烧气体的热传递率变高,与其他部分相比被燃烧气体加热。反之,在流路形成板的气体通过面中的靠后端面的部分且周向的端侧部分处,与周向的中央部分相比,由燃烧气体产生的加热量较少。

[0016] 因此,就该叶片而言,使中间区域的多个后通路的开口密度高于背侧区域和腹侧区域中的至少一方的侧区域的开口密度。其结果是,就该叶片而言,能够提高流路形成板的气体通过面中的靠后端面的部分且周向的中央部分处的冷却能力,能够提高叶片的耐久性。此外,就该叶片而言,能够抑制在存在于流路形成板的气体通过面中的靠后端面的部分且周向的端侧部分处的多个后通路流动中的冷却空气的总流量。

[0017] 作为用于实现所述目的的发明的第二方案的叶片在所述第一方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,所述中间区域的所述开口密度高于所述背侧区域的所述开口密度。

[0018] 作为用于实现所述目的的发明的第三方案的叶片在所述第一方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,所述中间区域的所述开口密度高于所述背侧区域的所述开口密度以及所述腹侧区域的所述开口密度。

[0019] 作为用于实现所述目的的发明的第四方案的叶片在所述第一方案至第三方案中任一方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,所述腹侧区域的所述开口密度高于所述背侧区域的所述开口密度。

[0020] 作为用于实现所述目的的发明的第五方案的叶片在所述第一方案至第四方案中任一方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,在所述背侧区域以及所述腹侧区域分别形成有在所述周向上排列的至少三个以上的所述后通路的开口。

[0021] 作为用于实现所述目的的发明的第六方案的叶片在所述第一方案至第五方案中任一方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,在所述流路形成板形成有:后集管通路,其沿着所述后端面在所述周向上延伸,且与多个所述后通路连通;背侧通路,其沿着所述背侧端面

在具有所述轴向成分的方向上延伸,且使所述空洞与所述后集管通路连通;以及腹侧通路,其沿着所述腹侧端面在具有所述轴向成分的方向上延伸,且使所述空洞与所述后集管通路连通。

[0022] 作为用于实现所述目的的发明的第七方案的叶片在所述第六方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,在所述流路形成板形成有:气体通过面,其在周缘处与所述后端面、所述腹侧端面以及所述背侧端面相连,且与所述燃烧气体接触;以及多个气体通过面喷出通路,其与所述后集管通路连通,且在所述气体通过面上开口。

[0023] 就该叶片而言,能够利用在气体通过面喷出通路中流动的冷却空气来对气体通过面进一步进行冷却。

[0024] 作为用于实现所述目的的发明的第八方案的叶片在所述第一方案至第七方案中任一方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,在所述流路形成板形成有:气体通过面,其在周缘处与所述后端面、所述腹侧端面以及所述背侧端面相连,且与所述燃烧气体接触;以及多个气体通过面喷出通路,其与所述空洞连通,且在所述气体通过面上开口。

[0025] 就该叶片而言,能够利用在气体通过面喷出通路中流动的冷却空气来对气体通过面进一步进行冷却。

[0026] 作为用于实现所述目的的发明的第九方案的叶片在所述第七方案或第八方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,所述气体通过面喷出通路随着接近所述气体通过面而逐渐朝向所述轴向下游侧。

[0027] 就该叶片而言,能够利用从气体通过面喷出通路流出的冷却空气来对流路形成板的气体通过面进行薄膜冷却。

[0028] 作为用于实现所述目的的发明的第十方案的叶片在所述第一方案至第九方案中任一方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,相对于所述流路形成板而具有在所述周向上排列的多个所述叶片主体。

[0029] 作为用于实现所述目的的发明的第十一方案的叶片在所述第十方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,与所述中间区域中的、包含多个所述叶片主体彼此之间的叶片间区域的所述开口密度相比,所述中间区域中的、相对于所述叶片主体的所述轴向下游侧的除了所述叶片间区域之外的叶片下游区域的所述开口密度高。

[0030] 作为用于实现所述目的的发明的第十二方案的叶片在所述第一方案至第十方案中任一方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,作为所述流路形成板而具有外侧护罩和内侧护罩,该外侧护罩形成于所述叶片主体的所述径向上的外侧的端处,该内侧护罩形成于所述叶片主体的所述径向上的内侧的端处,所述外侧护罩固定于所述燃气涡轮的机室。

[0031] 作为用于实现所述目的的发明的第十三方案的叶片在所述第一方案至第十方案中任一方案的所述燃气涡轮的叶片的基础上,所述流路形成板是在所述叶片主体的所述径向上的内侧的端处形成的平台,所述平台固定于所述转子轴。

[0032] 作为用于实现所述目的的发明的第十四方案的燃气涡轮具备:所述第一方案至第十三方案中任一方案的所述叶片;通过燃料的燃烧而生成所述燃烧气体的燃烧器;所述转子轴;以及覆盖所述转子轴及所述叶片的机室。

[0033] 发明效果

[0034] 根据本发明的一方案,能够有效地冷却叶片而实现耐久性的提高且也能够抑制冷

却用的空气的使用量。

附图说明

- [0035] 图1是本发明的一实施方式中的燃气涡轮的示意性的剖视图。
- [0036] 图2是本发明的一实施方式中的燃气涡轮的主要部分剖视图。
- [0037] 图3是本发明的第一实施方式中的静叶的立体图。
- [0038] 图4是图3中的IV-IV线剖视图。
- [0039] 图5是示出本发明的第一实施方式中的静叶的后端面中的各位置处的开口密度的图表。
- [0040] 图6是本发明的第二实施方式中的静叶的剖视图。
- [0041] 图7是示出本发明的第二实施方式中的静叶的后端面中的各位置处的开口密度的图表。
- [0042] 图8是本发明的第三实施方式中的静叶的剖视图。
- [0043] 图9是示出本发明的第三实施方式中的静叶的后端面中的各位置处的开口密度的图表。
- [0044] 图10是本发明的第四实施方式中的静叶的剖视图。
- [0045] 图11是本发明的第五实施方式中的静叶的剖视图。
- [0046] 图12是本发明的第六实施方式中的静叶的剖视图。
- [0047] 图13是示出本发明的第五实施方式以及第六实施方式中的静叶的后端面中的各位置处的开口密度的图表。
- [0048] 图14是示出本发明的第五实施方式以及第六实施方式的第一变形例中的静叶的后端面中的各位置处的开口密度的图表。
- [0049] 图15是示出本发明的第五实施方式以及第六实施方式的第二变形例中的静叶的后端面中的各位置处的开口密度的图表。
- [0050] 图16是本发明的第七实施方式中的静叶的外侧护罩的俯视图。
- [0051] 图17是图16中的XVII-XVII线剖视图。
- [0052] 图18是本发明的第八实施方式中的动叶的立体图。
- [0053] 图19是图18中的XIX-XIX线剖视图。

具体实施方式

- [0054] 以下,参照附图对本发明的实施方式及其变形例详细进行说明。
- [0055] “燃气涡轮的实施方式”
- [0056] 参照图1以及图2对燃气涡轮的实施方式进行说明。
- [0057] 如图1所示,本实施方式的燃气涡轮10具备:对空气进行压缩的压缩机20;使燃料在由压缩机20压缩后的空气A中燃烧而生成燃烧气体的燃烧器30;以及由燃烧气体驱动的涡轮40。
- [0058] 压缩机20具有:以轴线Ar为中心而旋转的压缩机转子21;覆盖压缩机转子21的压缩机机室25;以及多个静叶级26。涡轮40具有:以轴线Ar为中心而旋转的涡轮转子41;覆盖涡轮转子41的涡轮机室45;以及多个静叶级46。

[0059] 压缩机转子21与涡轮转子41位于同一轴线Ar上,且相互连接而形成燃气涡轮转子11。在该燃气涡轮转子11连接有例如发电机GEN的转子。另外,压缩机机室25与涡轮机室45相互连接而形成燃气涡轮机室15。需要说明的是,以下,将轴线Ar延伸的方向设为轴向Da,将以该轴线Ar为中心的周向仅设为周向Dc,将与轴线Ar垂直的方向设为径向Dr。另外,在轴向Da上以涡轮40为基准,将压缩机20侧设为上游侧Dau,将其相反侧设为下游侧Dad。另外,将径向Dr上接近轴线Ar的一侧设为径向内侧Dri,将其相反侧设为径向外侧Dro。

[0060] 压缩机转子21具有:以轴线Ar为中心沿轴向Da延伸的转子轴22;以及安装于该转子轴22的多个动叶级23。多个动叶级23在轴向Da上排列。各动叶级23均由沿周向Dc排列的多个动叶23a构成。在多个动叶级23的各下游侧Dad配置有静叶级26。各静叶级26设置于压缩机机室25的内侧。各静叶级26均由沿周向Dc排列的多个静叶26a构成。

[0061] 如图2所示,涡轮转子41具有:以轴线Ar为中心沿轴向Da延伸的转子轴42;以及安装于该转子轴42的多个动叶级43。多个动叶级43沿轴向Da排列。各动叶级43均由沿周向Dc排列的多个动叶43a构成。在多个动叶级43的各上游侧Dau配置有静叶级46。各静叶级46设置于涡轮机室45的内侧。各静叶级46均由沿周向Dc排列的多个静叶46a构成。涡轮机室45具有:构成其外壳的筒状的外侧机室45a;固定于外侧机室45a的内侧的内侧机室45b;以及固定于内侧机室45b的内侧的多个分割环45c。多个分割环45c均设置于多个静叶级46彼此之间的位置。因此,在各分割环45c的径向内侧Dri配置有动叶级43。

[0062] 转子轴42的外周侧与涡轮机室45的内周侧之间的、沿轴向Da配置有静叶46a以及动叶43a的环状的空间形成供来自燃烧器30的燃烧气体G流动的燃烧气体流路49。该燃烧气体流路49以轴线Ar为中心形成环状,且在轴向Da上较长。在转子轴42形成有供冷却空气通过的冷却空气通路42p。通过了该冷却空气通路42p的冷却空气导入到动叶43a内而用于该动叶43a的冷却。在涡轮机室45的内侧机室45b形成有从径向外侧Dro贯穿到径向内侧Dri的冷却空气通路45p。通过了该冷却空气通路45p的冷却空气导入到静叶46a内以及分割环45c内而用于静叶46a以及分割环45c的冷却。需要说明的是,根据静叶级46的不同,也存在燃气涡轮机室15内的空气作为冷却空气不经由机室的冷却空气通路而向构成该静叶级46的静叶46a供给的情况。

[0063] 以下,对作为以上说明的静叶46a或动叶43a的叶片的各种实施方式进行说明。

[0064] “叶片的第一实施方式”

[0065] 以下,参照图3~图5对本发明的叶片的第一实施方式进行说明。

[0066] 本实施方式的叶片是燃气涡轮的静叶。如图3所示,静叶50具有:沿径向Dr延伸的叶片主体51;形成于叶片主体51的径向内侧Dri的内侧护罩60i;以及形成于叶片主体51的径向外侧Dro的外侧护罩60o。叶片主体51配置在供燃烧气体G通过的燃烧气体流路49(参照图2)内。内侧护罩60i划定环状的燃烧气体流路49的径向内侧Dri的位置。另外,外侧护罩60o划定环状的燃烧气体流路49的径向外侧Dro的位置。因此,内侧护罩60i以及外侧护罩60o均是划定燃烧气体流路49的一部分的流路形成板。

[0067] 如图4所示,就叶片主体51而言,上游侧Dau的端部成为前缘部52,下游侧Dad的端部成为后缘部53。在该叶片主体51的表面上,朝向周向Dc的面中的凸状的面成为背侧面54(=负压面),凹状的面成为腹侧面55(=正压面)。需要说明的是,为了便于以下的说明,将周向Dc上的叶片主体51的腹侧(=正压面侧)设为周向腹侧Dcp,将叶片主体51的背侧(=负

压面侧) 设为周向背侧 D_{cn} 。另外, 也有时将轴向 D_a 的上游侧 D_{au} 称为前侧, 将轴向 D_a 的下游侧 D_{ad} 称为后侧。

[0068] 内侧护罩 $60i$ 与外侧护罩 $60o$ 是基本上相同的构造。因此, 以下对外侧护罩 $60o$ 进行说明。

[0069] 如图3以及图4所示, 外侧护罩 $60o$ 具有: 在轴向 D_a 以及周向 D_c 上扩宽的板状的外侧护罩主体 61 ; 以及沿着外侧护罩主体 61 的外周缘从外侧护罩主体 61 朝径向外侧 D_{ro} 突出的周壁 65 。

[0070] 外侧护罩主体 61 形成有: 上游侧 D_{au} 的端面即前端面 $62f$; 下游侧 D_{ad} 的端面即后端面 $62b$; 周向腹侧 D_{cp} 的端面即腹侧端面 $63p$; 周向背侧 D_{cn} 的端面即背侧端面 $63n$; 朝向径向内侧 D_{ri} 的气体通过面 64 。前端面 $62f$ 与后端面 $62b$ 大致平行。另外, 腹侧端面 $63p$ 与背侧端面 $63n$ 大致平行。因此, 在从径向 D_r 观察的情况下, 如图4所示, 外侧护罩主体 61 形成平行四边形状。在外侧护罩 $60o$ 的腹侧端面 $63p$ 形成有密封槽 77 , 该密封槽 77 朝背侧端面 $63n$ 侧凹陷, 且沿着腹侧端面 $63p$ 在具有轴向 D_a 成分的方向上延伸。另外, 在外侧护罩 $60o$ 的背侧端面 $63n$ 形成有密封槽 77 , 该密封槽 77 朝腹侧端面 $63p$ 侧凹陷, 且沿着背侧端面 $63n$ 在具有轴向 D_a 成分的方向上延伸。在周向 D_c 上相邻的两个静叶 50 的外侧护罩 $60o$ 中的、一方的静叶 50 的外侧护罩 $60o$ 的腹侧端面 $63p$ 与另一方的静叶 50 的外侧护罩 $60o$ 的背侧端面 $63n$ 在周向 D_c 上隔开间隙 78 而对置。在一方的静叶 50 的外侧护罩 $60o$ 的腹侧端面 $63p$ 与另一方的静叶 50 的外侧护罩 $60o$ 的背侧端面 $63n$ 之间配置有密封板 76 。该密封板 76 的周向 D_c 的两端嵌入在腹侧端面 $63p$ 形成的密封槽 77 以及在背侧端面 $63n$ 形成的密封槽 77 中。该密封板 76 起到如下作用: 防止涡轮机室 45 内的冷却空气或者通过了冷却空气通路 $42p$ 的冷却空气从在周向 D_c 上相邻的两个静叶 50 的外侧护罩 $60o$ 彼此之间的间隙 78 向燃烧气体流路 49 漏出。

[0071] 周壁 65 具有: 在轴向 D_a 上相互对置的前周壁 $65f$ 及后周壁 $65b$; 以及在周向 D_c 上相互对置的一对侧周壁 $65p$ 、 $65n$ 。前周壁 $65f$ 以及后周壁 $65b$ 均相对于外侧护罩主体 61 而言比一对侧周壁 $65p$ 、 $65n$ 朝径向外侧 D_{ro} 突出, 形成钩部。形成钩部的前周壁 $65f$ 以及后周壁 $65b$ 起到将静叶 50 安装于涡轮机室 45 (参照图2) 的内周侧的作用。在外侧护罩 $60o$ 上, 由外侧护罩主体 61 和周壁 65 形成朝向径向内侧 D_{ri} 凹陷的凹部 66 。

[0072] 静叶 50 还具备碰撞板 67 , 该碰撞板 67 将外侧护罩 $60o$ 的凹部 66 分隔为径向外侧 D_{ro} 的区域和径向内侧 D_{ri} 的区域即内侧腔室 69 (空洞)。在该碰撞板 67 形成有沿径向 D_r 贯穿的多个气孔 68 。存在于静叶 50 的径向外侧 D_{ro} 的冷却空气 A_c 的一部分经由该碰撞板 67 的气孔 68 向内侧腔室 69 内流入。

[0073] 在叶片主体 51 、外侧护罩 $60o$ 以及内侧护罩 $60i$ 形成有沿径向 D_r 延伸的多个叶片空气通路 71 (空洞)。各叶片空气通路 71 均形成为从外侧护罩 $60o$ 经由叶片主体 51 而连通至内侧护罩 $60i$ 。多个叶片空气通路 71 沿着叶片主体 51 的叶弦排列。相邻的叶片空气通路 71 的一部分在径向外侧 D_{ro} 的部分或径向内侧 D_{ri} 的部分处相互连通。另外, 多个叶片空气通路 71 中的一些叶片空气通路 71 在外侧护罩 $60o$ 的凹部 66 的底部开口。此外, 多个叶片空气通路 71 中的一些叶片空气通路 71 在内侧护罩 $60i$ 的凹部的底部开口。存在于静叶 50 的径向外侧 D_{ro} 或径向内侧 D_{ri} 的冷却空气 A_c 的一部分从该叶片空气通路 71 的开口向叶片空气通路 71 内流入。

[0074] 在叶片主体 51 的前缘部 52 以及后缘部 53 形成有从叶片空气通路 71 向燃烧气体流

路49贯穿的多个叶面喷出通路72。叶片主体51在冷却空气Ac在叶片空气通路71内流动的过程中被冷却。另外,流入到叶片空气通路71的冷却空气Ac从该叶面喷出通路72向燃烧气体流路49内流出。因此,叶片主体51的前缘部52以及后缘部53在冷却空气Ac从叶面喷出通路72流出的过程中被冷却。此外,从叶面喷出通路72流出到燃烧气体流路49的冷却空气Ac的一部分局部地覆盖叶片主体51的表面而还起到作为薄膜空气的作用。

[0075] 如图4所示,在外侧护罩60o的一对侧周壁65p、65n中的腹侧的侧周壁65p,形成有沿着腹侧端面63p在具有轴向Da成分的方向上延伸的腹侧通路73p。另外,在背侧的侧周壁65n形成有沿着背侧端面63n在具有轴向Da成分的方向上延伸的背侧通路73n。腹侧通路73p以及背侧通路73n均在其上游端与内侧腔室69连通。另外,腹侧通路73p以及背侧通路73n均在其下游端在外侧护罩主体61的后端面62b开口。在外侧护罩主体61形成有沿着后端面62b在周向Dc上延伸的后集管通路74。该后集管通路74的周向腹侧Dcp的端与腹侧通路73p连接。另外,该后集管通路74的周向背侧Dcn的端与背侧通路73n连接。即,后集管通路74与腹侧通路73p以及背侧通路73n连通。此外,在外侧护罩主体61形成有从后集管通路74朝下游侧Dad延伸且在后端面62b开口的多个后通路75。多个后通路75在周向Dc上排列。腹侧通路73p以及背侧通路73n中的比与后集管通路74连通的位置靠下游侧Dad的部分形成在后端面62b开口的后通路75。

[0076] 包含腹侧通路73p、背侧通路73n在内的后通路75的剖面形状均为圆形。除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75的内径d1彼此相同,且比腹侧通路73p以及背侧通路73n的内径d2小。因此,除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75的湿缘长度s1彼此相同,且比腹侧通路73p以及背侧通路73n的湿缘长度s2短。需要说明的是,湿缘长度s是指在流路剖面中与流体相接的壁面的长度。例如,在流路剖面为圆形的情况下,湿缘长度s是该圆的圆周长。

[0077] 在此,将外侧护罩主体61的后端面62b中的不包含与背侧端面63n的缘以及与腹侧端面63p的缘的区域设为中间区域MP。另外,将后端面62b中的包含与背侧端面63n的缘且与中间区域MP在周向Dc上相邻的区域设为背侧区域NP。此外,将后端面62b中的包含与腹侧端面63p的缘且与中间区域MP在周向Dc上相邻的区域设为腹侧区域PP。在各区域MP、NP、PP形成有在周向Dc上排列的三个以上的后通路75的开口。

[0078] 中间区域MP的多个后通路75的开口的间隔为p1。背侧区域NP的多个后通路75的开口的间隔以及腹侧区域PP的多个后通路75的开口的间隔为p2。中间区域MP的多个后通路75的开口的间隔p1小于背侧区域NP以及腹侧区域PP的多个后通路75的开口的间隔p2。

[0079] 因此,当将多个后通路75的湿缘长度s相对于多个后通路75的开口的间隔p的比例设为开口密度(s/p)时,如图5所示,中间区域MP的多个后通路75的开口密度a1(=s1/p1)高于腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口密度a2(=s1/p2或s2/p2)。

[0080] 流入到内侧腔室69内的冷却空气Ac向腹侧通路73p以及背侧通路73n流入。流入到腹侧通路73p的冷却空气Ac在腹侧通路73p中流动的过程中将外侧护罩主体61的靠腹侧端面63p的部分冷却。另外,流入到背侧通路73n的冷却空气Ac在背侧通路73n中流动的过程中,将外侧护罩主体61的靠背侧端面63n的部分冷却。

[0081] 流入到腹侧通路73p以及背侧通路73n的冷却空气Ac的一部分向后集管通路74流入。流入到后集管通路74的冷却空气Ac向多个后通路75流入。流入到后通路75的冷却空气

Ac从外侧护罩60o的后端面62b向外部流出。冷却空气Ac在包含腹侧通路73p以及背侧通路73n的后通路75中流动的过程中,将外侧护罩主体61的靠后端面62b的部分冷却。

[0082] 如图4所示,沿着叶片主体51的背侧面54流动的燃烧气体G的流路长度比沿着叶片主体51的腹侧面55流动的燃烧气体G的流路长度长。因此,沿着叶片主体51的背侧面54流动的燃烧气体G的流速比沿着叶片主体51的腹侧面55流动的燃烧气体G的流速快。另外,沿着叶片主体51的背侧面54流动的燃烧气体G之后在外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的中央部分处,也维持较快的流速。因此,叶片主体51的背侧面54、以及外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的中央部分与燃烧气体G的热传递率变高,与其他的部分相比被燃烧气体G加热。

[0083] 另外,从腹侧通路73p以及背侧通路73n流入到后集管通路74的冷却空气Ac随着远离腹侧通路73p以及背侧通路73n而通过与燃烧气体G的热交换被逐渐加热。即,在后集管通路74中流动的冷却空气Ac的温度随着远离腹侧通路73p以及背侧通路73n、换言之随着接近后集管通路74的周向Dc的中央部而在来自沿着气体通过面64流动的燃烧气体G的热量输入的作用下逐渐升高。因此,在多个后通路75中的在后端面62b的中间区域MP开口的后通路75中流动的冷却空气Ac的温度高于在后端面62b的腹侧区域PP以及背侧区域NP开口的后通路75中流动的冷却空气Ac的温度。因此,在中间区域MP开口的一个后通路75中流动的冷却空气Ac的冷却能力低于在腹侧区域PP以及背侧区域NP开口的一个后通路75中流动的冷却空气Ac的冷却能力。

[0084] 如以上那样,在外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的中央部分处,与其他的部分相比,容易被燃烧气体G加热。而且,在存在于该中央部分处的一个后通路75中流动的冷却空气Ac的冷却能力低于在存在于其他部分处的一个后通路75中流动的冷却空气Ac的冷却能力。反之,在外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的端侧部分处,与周向Dc的中央部分相比,难以被燃烧气体G加热。而且,在存在于外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的端侧部分处的一个后通路75中流动的冷却空气Ac的冷却能力高于在存在于周向Dc的中央部分处的一个后通路75中流动的冷却空气Ac的冷却能力。

[0085] 因此,在本实施方式中,使中间区域MP的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ 比腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 $a_2 (=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 高。其结果是,在本实施方式中,能够提高外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的中央部分处的冷却能力,能够提高叶片的耐久性。此外,在本实施方式中,能够抑制在存在于外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的端侧部分处的多个后通路75中流动的冷却空气Ac的总流量。

[0086] 如前所述,在后集管通路74中流动的冷却空气Ac随着远离腹侧通路73p以及背侧通路73n而逐渐被加热,从而冷却能力降低。然而,在本实施方式中,通过随意使用冷却能力降低了的冷却空气Ac,能够得到冷却空气量的降低这样的优异的效果。即,如前所述,经由碰撞板67的气孔68而流入到内侧腔室69内的冷却空气Ac与形成内侧腔室69的面发生碰撞,对该面进行碰撞冷却。其结果是,与该面对置的气体通过面64被冷却。此外,碰撞冷却后的冷却空气Ac在从腹侧通路73p以及背侧通路73n经由后集管通路74而从后通路75的后端面62b的开口向燃烧气体流路49排出的过程中,将各通路对流冷却。

[0087] 另外,根据叶片主体51的形状、外侧护罩60o的气体通过面64中的叶片主体51的后缘部53的相对位置关系等,外侧护罩60o的气体通过面64中的比叶片主体51的后缘部53靠下游侧Dad且接近腹侧端面63的腹侧区域PP被从叶片主体51的后缘部53流出的一部分冷却空气Ac稍微冷却。

[0088] 因此,在本实施方式中,能够有效地对外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分进行冷却,抑制表面温度的上升,提高该外侧护罩60o的耐久性,并且能够抑制用于冷却该部分的冷却空气Ac的流量。另外,在本实施方式中,如前所述,通过随意使用冷却空气Ac,能够进一步抑制冷却空气Ac的流量。因此,在本实施方式中,通过冷却空气Ac的流量降低,能够提高燃气涡轮整体的热效率。

[0089] 需要说明的是,在图5中,将腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 $a_2(=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 设为在这些区域PP、NP内为恒定,但只要是开口密度 a_2 低于开口密度 a_1 ,也可以使这些区域PP、NP内的开口密度 a_2 稍许不同。在腹侧区域PP以及背侧区域NP混合存在有作为多个后通路75的一部分的腹侧通路73p及背侧通路73n、以及内径与这些通路73p、73n不同的后通路75。因此,腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口密度在这些区域PP、NP内可能稍许不同。因此,在以下的实施方式中,腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口密度在这些区域PP、NP内也可以稍许不同。

[0090] 另外,在以上的实施方式中,腹侧通路73p以及背侧通路73n中的形成从后集管通路74朝下游侧Dau延伸的部分的后通路75的内径 d_2 大于中间区域MP的后通路75的内径 d_1 。然而,腹侧通路73p以及背侧通路73n中的形成从后集管通路74朝下游侧Dau延伸的部分的后通路75的内径 d_2 也可以与中间区域MP的后通路75的内径 d_1 相同。但是,为了避免下游侧Dau的后通路75被在腹侧通路73p或背侧通路73n中流动的冷却空气中所包含的锈等异物堵塞,并且容易将异物向下游侧Dau排出,优选如本实施方式那样,腹侧通路73p以及背侧通路73n中的形成从后集管通路74朝下游侧Dau延伸的部分的后通路75的内径 d_2 大于中间区域MP的后通路75的内径 d_1 。

[0091] 以上的说明是以外侧护罩60o为对象的说明,但也能够同样对内侧护罩60i进行说明。

[0092] “叶片的第二实施方式”

[0093] 以下,参照图6以及图7对本发明的叶片的第二实施方式进行说明。

[0094] 本实施方式的叶片也是燃气涡轮的静叶。本实施方式的静叶变更了第一实施方式中的外侧护罩60o以及内侧护罩60i的供冷却空气Ac通过的通路,其他结构与第一实施方式的叶片相同。

[0095] 如图6所示,与第一实施方式的叶片同样地,在本实施方式的外侧护罩60o也形成有腹侧通路73p、背侧通路73n、后集管通路74以及多个后通路75。

[0096] 需要说明的是,叶片主体51的背侧面54以及外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的中央部分与燃烧气体G的热传递率变高,与其他部分相比,被燃烧气体G加热,这一点与第一实施方式相同。

[0097] 在本实施方式中,除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75的内径也为 d_1 ,且小于腹侧通路73p以及背侧通路73n的内径 d_2 。因此,除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75的湿缘长度 s_1 比腹侧通路73p以及背侧通路73n的湿缘长度 s_2 短。

[0098] 在本实施方式中,与第一实施方式同样地,中间区域MP的多个后通路75的开口的间隔为 p_1 。与第一实施方式同样地,腹侧区域PP的多个后通路75的开口的间隔也为 p_2 ($> p_1$)。背侧区域NP的多个后通路75的开口的间隔是比腹侧区域PP的多个后通路75的开口的间隔 p_2 大的 p_3 。

[0099] 因此,如图7所示,与第一实施方式同样地,中间区域MP的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ 高于腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度 $a_2 (=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 。另外,在本实施方式中,背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 $a_3 (=s_1/p_3$ 或 $s_2/p_3)$ 低于腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度 $a_2 (=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 。

[0100] 与第一实施方式同样地,在周向 D_c 上相互相邻的外侧护罩60o彼此之间的间隙78中配置有用于密封冷却空气 A_c 的密封板76。在通常的运转状态下,为了防止燃烧气体G朝燃气涡轮机室15侧流动,将燃气涡轮机室15以及冷却空气通路42p的air的压力调整为高于在燃烧气体流路49中流动的燃烧气体G的压力。因此,在通常的运转状态下,始终有少量的冷却空气 A_c 通过相邻的外侧护罩60o彼此之间的间隙78而向燃烧气体流路49中流入。此时,冷却空气 A_c 在配置于相邻的外侧护罩60o彼此之间的间隙78中的密封板76与外侧护罩60o的密封槽77之间的少许间隙中流动。在叶片间流动的燃烧气体G沿着叶片主体51的背侧面54以及腹侧面55流动。如前所述,沿着背侧面54流动的燃烧气体G的流速比沿着腹侧面55流动的燃烧气体G的流速快。因此,燃烧气体G沿着背侧面54流动的背侧的流域的压力(静压)比沿着腹侧面55的腹侧的流域的压力(静压)低。因此,经由间隙78漏到燃烧气体G中的冷却空气 A_c 与在背侧的流域中流动的燃烧气体G之间的差压大于从间隙78漏出的冷却空气 A_c 与在腹侧的流域中流动的燃烧气体之间的差压。因此,经由间隙78漏到燃烧气体G中的大半的冷却空气 A_c 沿着气体通过面64向压力低的下游侧的背侧的流域流入。因此,外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向背侧 D_{cn} 的部分受到流入到燃烧气体流路49内的冷却空气 A_c 的影响,与外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向腹侧 D_{cp} 的部分相比,进一步被冷却。

[0101] 与第一实施方式同样地,流入到腹侧通路73p以及背侧通路73n的冷却空气 A_c 向后集管通路74流入,经由多个后通路75从外侧护罩60o的后端面62b向外部流出。此时,冷却空气 A_c 在后集管通路74中流动的过程中被加热,冷却空气 A_c 的冷却能力下降,这一点与第一实施方式相同。

[0102] 如前所述,在本实施方式中,外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向背侧 D_{cn} 的部分与外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向腹侧 D_{cp} 的部分相比进一步被冷却。因此,在本实施方式中,使背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 $a_3 (=s_1/p_3$ 或 $s_2/p_3)$ 低于腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度 $a_2 (=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 。其结果是,在本实施方式中,能够抑制在存在于外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向 D_c 的端侧部分处的多个后通路75中流动的冷却空气 A_c 的总流量。

[0103] 需要说明的是,如前所述,在通常的运转状态下,始终有少量的冷却空气 A_c 通过相邻的外侧护罩60o彼此之间的间隙78向燃烧气体流路49中流入,这一点也与第一实施方式相同。但是,根据通常的运转状态下的密封槽77内的密封板76的配置或姿势,有时从密封槽77与密封板76的少许间隙向燃烧气体流路49流出的空气量增大。本实施方式适用于这种情

况。

[0104] “叶片的第三实施方式”

[0105] 以下,参照图8以及图9对本发明的叶片的第三实施方式进行说明。

[0106] 本实施方式的叶片也是燃气涡轮的静叶。本实施方式的静叶变更了第一实施方式中的外侧护罩60o以及内侧护罩60i的供冷却空气Ac通过的通路,其他结构与第一实施方式的叶片相同。

[0107] 如图8所示,与第一实施方式的叶片同样地,在本实施方式的外侧护罩60o也形成有腹侧通路73p、背侧通路73n、后集管通路74以及多个后通路75。

[0108] 在本实施方式中,除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75的内径也为 d_1 ,且小于腹侧通路73p以及背侧通路73n的内径 d_2 。因此,除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75的湿缘长度 s_1 比腹侧通路73p以及背侧通路73n的湿缘长度 s_2 短。

[0109] 在本实施方式中,与第一实施方式同样地,中间区域MP的多个后通路75的开口间隔为 p_1 。与第一实施方式同样地,背侧区域NP的多个后通路75的开口间隔也为 p_2 ($> p_1$)。腹侧区域PP的多个后通路75的开口间隔与中间区域MP的多个后通路75的开口间隔 p_1 相同,为 p_1 。

[0110] 因此,如图9所示,与第一实施方式同样地,中间区域MP的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ 高于背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 $a_2 (=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 。另外,在本实施方式中,腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1$ 或 $s_2/p_1)$ 与中间区域MP的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ 实质上相同。因此,腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1$ 或 $s_2/p_1)$ 高于背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 $a_2 (=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 。

[0111] 如使用图3前述的那样,从叶片主体51的叶片空气通路71流入到叶片主体51的叶面喷出通路72的空气从叶片主体51的前缘部52以及后缘部53向燃烧气体流路49中流出。从叶片主体51的后缘部53流出的冷却空气Ac的一部分不仅将叶片主体51冷却,还将外侧护罩60o的气体通过面64中的比叶片主体51的后缘部53靠下游侧Dad的部分冷却。然而,与第一实施方式不同,根据叶片主体51的形状、外侧护罩60o的气体通过面64中的叶片主体51的后缘部53的相对位置关系等,有时利用从叶片主体51的后缘部53流出的冷却空气Ac的一部分无法将外侧护罩60o的气体通过面64中的比叶片主体51的后缘部53靠下游侧Dad的部分充分冷却。

[0112] 在本实施方式中,考虑到这样的情况,使腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1$ 或 $s_2/p_1)$ 高于背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 $a_2 (=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 。其结果是,在本实施方式中,即便在根据叶片主体51的形状、外侧护罩60o的气体通过面64中的叶片主体51的后缘部53的相对位置关系等而无法利用从叶片主体51的后缘部53流出的冷却空气Ac的一部分将外侧护罩60o的气体通过面64中的比叶片主体51的后缘部53靠下游侧Dad的部分充分冷却的情况下,也能够利用在腹侧区域PP的多个后通路75中流动的冷却空气Ac来冷却该部分。

[0113] 需要说明的是,在本实施方式中,腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1$ 或 $s_2/p_1)$ 与中间区域MP的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ 实质上相同。然而,也可以是,腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度低于中间区域MP的多个后通路75的开口

密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ ，且高于背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 $a_2 (=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 。即，腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度与中间区域MP的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ 无需相同。

[0114] 另外，本实施方式是作为第一实施方式的变形例的实施方式，但在第二实施方式中，也可以与本实施方式同样地，将腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度设为与中间区域MP的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ 实质上相同。

[0115] “叶片的第四实施方式”

[0116] 以下，参照图10对本发明的叶片的第四实施方式进行说明。

[0117] 本实施方式的叶片也是燃气涡轮的静叶。本实施方式的静叶变更了第二实施方式中的外侧护罩60o以及内侧护罩60i的供冷却空气Ac通过的通路，其他结构与第二实施方式的叶片相同。

[0118] 如图10所示，与第二实施方式的叶片同样地，本实施方式的外侧护罩60o也形成有腹侧通路73p、背侧通路73n以及多个后通路75a。但是，本实施方式的外侧护罩60o不具有第二实施方式中的后集管通路74。因此，多个后通路75a分别与外侧护罩60o的内侧腔室69连通，冷却空气Ac直接从该内侧腔室69流入。

[0119] 在本实施方式中，除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75a的内径也为 d_1 ，且小于腹侧通路73p以及背侧通路73n的内径 d_2 。因此，除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75a的湿缘长度 s_1 比腹侧通路73p以及背侧通路73n的湿缘长度 s_2 短。

[0120] 在本实施方式中，中间区域MP的多个后通路75a的开口的间隔 p_1 、腹侧区域PP的多个后通路75a的开口的间隔 p_2 以及背侧区域NP的多个后通路75a的开口的间隔 p_3 均与第二实施方式相同。

[0121] 因此，在本实施方式中，中间区域MP的多个后通路75a的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ 、腹侧区域PP的多个后通路75a的开口密度 $a_2 (=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 、背侧区域NP的多个后通路75a的开口密度 $a_3 (=s_1/p_3$ 或 $s_2/p_3)$ 均与第二实施方式相同。

[0122] 因此，在本实施方式中，也能够得到与第二实施方式实质上相同的效果。

[0123] 另外，在本实施方式中，向多个后通路75a流入的冷却空气Ac不像第二实施方式那样经由腹侧通路73p或背侧通路73n以及后集管通路74而是从内侧腔室69流入。即，在本实施方式中，与第二实施方式不同，经由碰撞板67的气孔68流入到内侧腔室69内的冷却空气Ac与形成内侧腔室69的面发生碰撞，在对该面进行碰撞冷却之后，直接从内侧腔室69向后通路75a流入。因此，在本实施方式中，向后通路75a流入的冷却空气Ac不像第一以及第二实施方式的在后集管通路74内流动的冷却空气Ac那样被加热。因此，在本实施方式中，向多个后通路75a流入的冷却空气Ac的温度低于在第二实施方式中向多个后通路75a流入的冷却空气Ac的温度。因此，在本实施方式中，与第二实施方式相比，能够将外侧护罩60o的气体通过面64中的靠后端面62b的部分冷却。

[0124] 这样，向多个后通路75a流入的冷却空气Ac也可以不像第二实施方式那样经由腹侧通路73p或背侧通路73n以及后集管通路74。例如，也可以是，使在外侧护罩60o、叶片主体51、内侧护罩60i内相连而形成的多个叶片空气通路71(空洞)的任一个与多个后通路分别直接连通。

[0125] 需要说明的是，本实施方式是作为第二实施方式的变形例的实施方式，但在第一

以及第三实施方式中,作为其变形例,也可以使多个后通路与内侧腔室69(空洞)、叶片空气通路71(空洞)直接连通。

[0126] “叶片的第五实施方式”

[0127] 以下,参照图11以及图13对本发明的叶片的第五实施方式进行说明。

[0128] 第五实施方式的叶片也是燃气涡轮的静叶。第五实施方式的静叶是将第一实施方式中的两个静叶形成为一体而得到的。

[0129] 如图11所示,第五实施方式的静叶50a是利用螺栓以及螺母将第一实施方式中的两个静叶50的外侧护罩60o彼此连结、且利用螺栓79b以及螺母79n将内侧护罩60i彼此连结而得到的。其结果是,两个静叶50的外侧护罩60o一体化,且两个静叶50的内侧护罩60i一体化。这样,有时将利用螺栓79b以及螺母79n连结两个静叶50而得到的结构称作结合静叶,但这里仅称作静叶50a。

[0130] 在本实施方式中,将第一实施方式中的两个静叶50的外侧护罩60o一体化而得到的结构仅称作外侧护罩60oa,将第一实施方式中的两个静叶50的各外侧护罩60o称作分割外侧护罩部60oc。另外,将第一实施方式中的两个静叶50的内侧护罩60i一体化而得到的结构仅称作内侧护罩,将第一实施方式中的两个静叶50的各内侧护罩60i称作分割内侧护罩部。因此,在本实施方式的静叶50a中,相对于一个外侧护罩60oa以及一个内侧护罩而设置有两个叶片主体51。此外,在本实施方式中,将第一实施方式中的两个静叶50的外侧护罩主体61一体化而得到的结构仅称作外侧护罩主体61a。

[0131] 需要说明的是,在一体化了的多个分割外侧护罩部60oc彼此之间或一体化了的多个分割内侧护罩彼此之间,不存在如第一实施方式那样的密封板,两者无间隙地在周向Dc上被连结。但是,在将多个分割外侧护罩部60oc一体化而得到的外侧护罩60oa与在周向Dc上与其相邻配置的外侧护罩60oa之间,与第一实施方式同样地形成间隙,配置有密封板。分割内侧护罩的情况也相同。

[0132] 分割外侧护罩部60oc的结构与第一实施方式的外侧护罩60o的结构基本上相同。因此,在各分割外侧护罩部60oc形成有腹侧通路73p、背侧通路73n、后集管通路74以及多个后通路75。

[0133] 在本实施方式中,也将外侧护罩主体61a的后端面62b中的不包含与背侧端面63n的缘以及与腹侧端面63p的缘的区域设为中间区域MP。另外,将后端面62b中的包含与背侧端面63n的缘且与中间区域MP在周向Dc上相邻的区域设为背侧区域NP。另外,将后端面62b中的包含与腹侧端面63p的缘且与中间区域MP在周向Dc上相邻的区域设为腹侧区域PP。此外,在本实施方式中,将中间区域MP中的包含两个叶片主体51彼此之间的区域设为叶片间区域MPb,将中间区域MP中的、相对于叶片主体51而言的轴向下游侧Dad的除了叶片间区域MPb之外的区域设为叶片下游区域MPd。在各区域MPb、MPd、NP、PP形成有在周向Dc上排列的三个以上的后通路75的开口。

[0134] 在本实施方式中,除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75的内径也为d1,且小于腹侧通路73p以及背侧通路73n的内径d2。因此,除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75的湿缘长度s1比腹侧通路73p以及背侧通路73n的湿缘长度s2短。

[0135] 在本实施方式中,腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口的间隔为p2。中间区域MP中的叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口的间隔为p1($< p2$)。中间区域

MP中的叶片间区域MPb的多个后通路75的开口的间隔为 p_4 。该叶片间区域MPb的多个后通路75的开口的间隔 p_4 大于叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口的间隔 p_1 ，且小于腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口的间隔 p_2 。

[0136] 因此，如图13所示，中间区域MP中的叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ 高于腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 $a_2 (=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 。另外，在本实施方式中，中间区域MP中的叶片间区域MPb的多个后通路75的开口密度 $a_4 (=s_1/p_4$ 或 $s_2/p_4)$ 低于中间区域MP中的叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ ，且高于腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 $a_2 (=s_1/p_2$ 或 $s_2/p_2)$ 。

[0137] 在本实施方式中，与第一实施方式同样地，外侧护罩60oa的气体通过面64中的靠后端面62b的部分且外侧护罩60oa的除了周向Dc的端侧部分之外的中央部分由于沿着叶片主体51的背侧面54流动的燃烧气体G的影响而与燃烧气体G的热传递率变高，与在周向Dc上相邻的其他部分相比被燃烧气体G加热。该区域相当于叶片下游区域MPd。另一方面，与该叶片下游区域MPd在周向Dc相邻的部分、且为由沿着叶片主体51的背侧面54流动的燃烧气体G加热的气体通过面64中的靠后端面62b的部分的区域被从叶片主体51的后缘部53流出的冷却空气Ac稍微冷却。该区域相当于叶片间区域MPb。

[0138] 因此，在本实施方式中，使中间区域MP中的叶片间区域MPb的多个后通路75的开口密度 $a_4 (=s_1/p_4$ 或 $s_2/p_4)$ 低于中间区域MP中的叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口密度 $a_1 (=s_1/p_1)$ 。其结果是，在本实施方式中，能够抑制在存在于外侧护罩60oa的气体通过面64中的靠后端面62b的部分处的多个后通路75中流动的冷却空气Ac的总流量。

[0139] “叶片的第六实施方式”

[0140] 以下，参照图12以及图13对本发明的叶片的第六实施方式进行说明。

[0141] 第六实施方式的叶片也是燃气涡轮的静叶。第六实施方式的静叶也与第五实施方式同样，是将第一实施方式中的两个静叶一体化而得到的。

[0142] 但是，如图12所示，本实施方式的静叶50b并非利用螺栓以及螺母将第一实施方式中的两个静叶50的外侧护罩60o彼此连结而得到，而是通过一体铸造两个静叶50而得到的。有时将这样一体铸造两个静叶50而得到的结构称作静叶区段，但在此仅称作静叶50b。因此，在本实施方式的静叶50b中，相对于一个外侧护罩60ob以及一个内侧护罩而言设置有两个叶片主体51。

[0143] 与第一实施方式的外侧护罩60o同样地，本实施方式的外侧护罩60ob也具有外侧护罩主体61b、前周壁65f、后周壁65b以及一对侧周壁65p、65n。但是，在本实施方式的外侧护罩60ob未设置第五实施方式的外侧护罩60oa中的两个叶片主体51彼此之间的侧周壁65p、65n。

[0144] 与第一实施方式的外侧护罩60o同样地，在本实施方式的外侧护罩60ob也形成有腹侧通路73p、背侧通路73n、后集管通路74以及多个后通路75。

[0145] 在本实施方式中，也将外侧护罩主体61b的后端面62b中的不包含与背侧端面63n的缘以及与腹侧端面63p的缘的区域设为中间区域MP。另外，将后端面62b中的包含与背侧端面63n的缘且与中间区域MP在周向Dc上相邻的区域设为背侧区域NP。另外，将后端面62b中的包含与腹侧端面63p的缘且与中间区域MP在周向Dc上相邻的区域设为腹侧区域PP。此

外,在本实施方式中,与第五实施方式同样地,将中间区域MP中的包含两个叶片主体51彼此之间的区域设为叶片间区域MPb,将中间区域MP中的、相对于叶片主体51而言的轴向下游侧Dad的除了叶片间区域MPb之外的区域设为叶片下游区域MPd。在各区域MPb、MPd、NP、PP形成有在周向Dc上排列的三个以上的后通路75的开口。

[0146] 在本实施方式中,除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75的内径也为 d_1 ,且小于腹侧通路73p以及背侧通路73n的内径 d_2 。因此,除了腹侧通路73p以及背侧通路73n之外的后通路75的湿缘长度 s_1 比腹侧通路73p以及背侧通路73n的湿缘长度 s_2 短。

[0147] 在本实施方式中,各区域MPb、MPd、NP、PP的多个后通路75的开口的间隔与第五实施方式中的间隔相同。即,在本实施方式中,腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口的间隔为 p_2 。中间区域MP中的叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口的间隔为 p_1 ($< p_2$)。中间区域MP中的叶片间区域MPb的多个后通路75的开口的间隔为 p_4 。该叶片间区域MPb的多个后通路75的开口的间隔 p_4 大于叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口的间隔 p_1 ,且小于腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口的间隔 p_2 。

[0148] 因此,在本实施方式中,如图13所示,也与第五实施方式同样,中间区域MP中的叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口密度 a_1 ($=s_1/p_1$) 高于腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 a_2 ($=s_1/p_2$ 或 s_2/p_2)。另外,在本实施方式中,中间区域MP中的叶片间区域MPb的多个后通路75的开口密度 a_4 ($=s_1/p_4$ 或 s_2/p_4) 低于中间区域MP中的叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口密度 a_1 ($=s_1/p_1$),且高于腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 a_2 ($=s_1/p_2$ 或 s_2/p_2)。

[0149] 因此,在本实施方式中,也与第五实施方式同样,能够抑制在存在于外侧护罩60ob的气体通过面64中的靠后端面62b的部分处的多个后通路75中流动的冷却空气Ac的总流量。

[0150] 需要说明的是,在第五实施方式以及第六实施方式中,均使中间区域MP中的叶片间区域MPb的多个后通路75的开口密度 a_4 ($=s_1/p_4$ 或 s_2/p_4) 低于中间区域MP中的叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口密度 a_1 ($=s_1/p_1$)。然而,也可以使中间区域MP中的叶片间区域MPb的多个后通路75的开口密度与中间区域MP中的叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口密度相同。即,也可以使中间区域MP中的多个后通路75的开口密度恒定。

[0151] 另外,第五实施方式以及第六实施方式的静叶均是将第一实施方式的两个静叶50一体化而得到的,但也可以将三个以上的静叶50一体化。

[0152] 另外,第五实施方式以及第六实施方式的静叶均是将第一实施方式的静叶50一体化而得到的,但也可以将第二实施方式的静叶一体化,还可以将第三实施方式的静叶一体化。

[0153] 在将第二实施方式的静叶一体化了的情况下,如图14所示,背侧区域NP的多个后通路75的开口密度 a_3 ($=s_1/p_3$ 或 s_2/p_3) 小于腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度 a_2 ($=s_1/p_2$ 或 s_2/p_2)。

[0154] 另外,在将第三实施方式的静叶一体化了的情况下,如图15所示,腹侧区域PP的多个后通路75的开口密度 a_1 ($=s_1/p_1$ 或 s_2/p_1) 与中间区域MP中的叶片下游区域MPd的多个后通路75的开口密度 a_1 ($=s_1/p_1$) 实质上相同。

[0155] 另外,在第五实施方式以及第六实施方式中,也可以与第四实施方式同样,使多个

后通路75与内侧腔室69、叶片空气通路71直接连通。

[0156] 另外,以上的各实施方式的内侧护罩60i的基本构造如前述那样与外侧护罩60o相同。因此,内侧护罩60i具有:在轴向Da以及周向Dc上扩宽的板状的内侧护罩主体;以及沿着内侧护罩主体的外周缘从内侧护罩主体朝径向内侧Dri突出的周壁。

[0157] “叶片的第七实施方式”

[0158] 以下,参照图16以及图17对本发明的叶片的第七实施方式进行说明。

[0159] 本实施方式的叶片也是燃气涡轮的静叶。本实施方式的静叶在第一实施方式中的外侧护罩60o以及内侧护罩60i的基础上追加了供冷却空气Ac通过的通路,其他结构与第一实施方式的叶片相同。

[0160] 如图16所示,与第一实施方式的叶片同样地,在本实施方式的外侧护罩60o也形成有腹侧通路73p、背侧通路73n、后集管通路74以及多个后通路75。在本实施方式的外侧护罩60o还形成有第一气体通过面喷出通路81以及第二气体通过面喷出通路82。需要说明的是,图16是从径向内侧Dri观察外侧护罩60o的俯视图。

[0161] 如图17所示,多个第一气体通过面喷出通路81沿轴向Da延伸。多个第一气体通过面喷出通路81的上游侧Dau的端与后集管通路74相连。另外,多个第一气体通过面喷出通路81的下游侧Dad的端在气体通过面64开口。多个第一气体通过面喷出通路81中的气体通过面64上的开口在比叶片主体51的后缘部53靠下游侧Dad的区域沿着外侧护罩60o的后端面62b排列。因此,多个第一气体通过面喷出通路81中的气体通过面64上的开口在周向Dc上排列。

[0162] 多个第二气体通过面喷出通路82在轴向Da上延伸。多个第二气体通过面喷出通路82的上游侧Dau的端在后周壁65b的面中的面向凹部66的内表面与该凹部66的底面之间的角附近处开口。多个第二气体通过面喷出通路82的下游侧Dad的端在气体通过面64开口。多个第二气体通过面喷出通路82的在气体通过面64上的开口在比叶片主体51的后缘部53靠下游侧Dad的区域沿着外侧护罩60o的后端面62b排列。因此,多个第二气体通过面喷出通路82的在气体通过面64上的开口也在周向Dc上排列。

[0163] 多个第一气体通过面喷出通路81的在气体通过面64上的开口以及多个第二气体通过面喷出通路82的在气体通过面64上的开口均形成于气体通过面64中的周向Dc上的中间区域MP。另外,多个第一气体通过面喷出通路81以及多个第二气体通过面喷出通路82均以随着接近气体通过面64而逐渐朝向下游侧Dad的方式相对于气体通过面64倾斜。需要说明的是,关于中间区域MP的意义之后叙述。

[0164] 在后集管通路74中流动的冷却空气Ac的一部分向多个第一气体通过面喷出通路81流入。流入到多个第一气体通过面喷出通路81的冷却空气Ac向燃烧气体流路49流出。此时,该冷却空气Ac沿着气体通过面64流动,对该气体通过面64进行薄膜冷却。另外,内侧腔室69内的冷却空气Ac的一部分向多个第二气体通过面喷出通路82流入。流入到多个第二气体通过面喷出通路82的冷却空气Ac向燃烧气体流路49流出。此时,该冷却空气Ac沿着气体通过面64流动,对该气体通过面64进行薄膜冷却。

[0165] 来自腹侧通路73p的冷却空气Ac从后集管通路74的周向腹侧Dcp的端向后集管通路74内流入。该冷却空气Ac在后集管通路74内朝周向背侧Dcn流动的过程中,依次向多个后通路75流入。另外,来自背侧通路73n的冷却空气Ac从后集管通路74的周向背侧Dcn的端向

后集管通路74内流入。该冷却空气Ac在后集管通路74内朝周向腹侧Dcp流动的过程中,依次向多个后通路75流入。因此,在后集管通路74中的周向Dc的中间区域MP流动的冷却空气Ac的流量少于在后集管通路74中的周向Dc的两端侧流动的冷却空气Ac的流量。这样,当在后集管通路74中的周向Dc的中间区域MP流动的冷却空气Ac的流量变少时,在后集管通路74中的周向Dc的中间区域MP流动的冷却空气的流速少于在后集管通路74中的周向Dc的两端侧流动的冷却空气Ac的流速。因此,就在后集管通路74中流动的冷却空气Ac与外侧护罩60o之间的热传递率而言,后集管通路74中的周向Dc的中间区域MP小于后集管通路74中的周向Dc的两端侧。而且,在后集管通路74中流动的冷却空气Ac在从周向Dc的两端侧朝周向Dc的中间区域MP流动的过程中逐渐被加热。因此,基于在后集管通路74中流动的冷却空气Ac而实现的对流冷却的效果在周向Dc的中间区域MP比在周向Dc的两端侧低。

[0166] 此外,如前所述,在气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的中间区域MP,燃烧气体G与气体通过面64之间的热传递率变高,与其他部分相比容易被燃烧气体G加热。

[0167] 即,在气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的中间区域MP,基于在后集管通路74中流动的冷却空气Ac而实现的对流冷却的效果低,而且容易被燃烧气体G加热。

[0168] 因此,在本实施方式中,为了提高气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的中间区域MP的冷却能力,设置有在气体通过面64中的靠后端面62b的部分且周向Dc的中间区域MP开口的多个第一气体通过面喷出通路81以及多个第二气体通过面喷出通路82。

[0169] 需要说明的是,在本实施方式中,虽然设置有多个第一气体通过面喷出通路81和多个第二气体通过面喷出通路82,但也可以仅设置任一方的气体通过面喷出通路。

[0170] 另外,在本实施方式中,多个第一气体通过面喷出通路81的在气体通过面64上的开口在周向Dc上排列为一系列。然而,在周向Dc上排列的开口的列也可以为多个。另外,在本实施方式中,多个第二气体通过面喷出通路82的在气体通过面64上的开口也在周向Dc上排列为一系列。然而,在周向Dc上排列的该开口的列也可以为多个。

[0171] 另外,本实施方式是第一实施方式的外侧护罩60o的变形例。然而,在以上的各实施方式以及以下的实施方式中的流路形成板上也可以与本实施方式同样地设置多个第一气体通过面喷出通路81及/或多个第二气体通过面喷出通路82。

[0172] “叶片的第八实施方式”

[0173] 以下,参照图18以及图19对本发明的叶片的第八实施方式进行说明。

[0174] 第八实施方式的叶片与以上的各实施方式不同,是燃气涡轮的动叶。如图18所示,本实施方式的动叶150具有:在径向Dr上延伸的叶片主体151;形成于叶片主体151的径向内侧Dri的平台160;以及形成于平台160的径向内侧Dri的叶根157。叶片主体151配置在燃烧气体流路49(参照图2)内。平台160划定环状的燃烧气体流路49的径向内侧Dri的位置。因此,平台160是划定燃烧气体流路49的一部分的流路形成板。

[0175] 就叶片主体151而言,上游侧Dau的端部成为前缘部152,下游侧Dad的端部成为后缘部153。在该叶片主体151的表面上,朝向周向Dc的面中的凸状的面成为背侧面154(=负压面),凹状的面成为腹侧面155(=正压面)。需要说明的是,为了便于以下的说明,将周向Dc上的叶片主体151的腹侧(=正压面侧)设为周向腹侧Dcp,将叶片主体151的背侧(=负压面侧)设为周向背侧Dcn。该动叶150的周向背侧Dcn为转子轴42的旋转方向前方侧。另一方

面,之前说明的静叶50的周向背侧Dcn为转子轴42的旋转方向后方侧。因此,该动叶150的周向背侧Dcn是在周向Dc上与静叶50的周向背侧Dcn相反的一侧。另外,有时也将轴向Da的上游侧Dau称作前侧,将轴向Da的下游侧Dad称作后侧。

[0176] 叶根157的与叶片主体151的叶弦垂直的剖面形状形成朝向径向内侧Dri而交替重复扩幅部与缩幅部的圣诞树形状。在前述的转子轴42形成有供该叶根157嵌入的叶根槽。

[0177] 平台160具有:在轴向Da以及周向Dc上扩宽的板状的平台主体161;从平台主体161的下游侧Dad朝下游侧Dad突出的后突出部167b;以及从平台主体161的上游侧Dau朝上游侧Dau突出的前突出部167f。

[0178] 平台主体161形成有:上游侧Dau的端面即前端面162f;下游侧Dad的端面即后端面162b;周向腹侧Dcp的端面即腹侧端面163p;周向背侧Dcn的端面即背侧端面163n;以及朝向径向外侧Dro的气体通过面164。前端面162f与后端面162b大致平行。另外,腹侧端面163p与背侧端面163n大致平行。因此,在从径向Dr观察的情况下,如图19所示,平台主体161成为平行四边形状。在周向Dc上相邻的两个动叶150的平台160中的、一方的动叶150的平台160的腹侧端面163p与另一方的动叶150的平台160的背侧端面163n对置。另外,动叶150的前端面162f与同该动叶150的上游侧Dau相邻的静叶中的内侧护罩的后端面对置。动叶150的后端面162b与同该动叶150的下游侧Dad相邻的静叶中的内侧护罩的前端面对置。

[0179] 后突出部167b相对于平台主体161的后端面162b从向径向内侧Dri偏移了的位置朝下游侧Dad突出。该后突出部167b沿着平台主体161的后端面162b形成。前突出部167f相对于平台主体161的前端面162f从向径向内侧Dri偏移了的位置朝上游侧Dau突出。该前突出部167f沿着平台主体161的前端面162f形成。

[0180] 在动叶150形成有沿径向Dr延伸的多个叶片空气通路171(空洞)。各叶片空气通路171均从叶片主体151、平台160、叶根157中的至少叶片主体151至平台160相连形成。多个叶片空气通路171沿着叶片主体151的叶弦排列。相邻的叶片空气通路171的一部分在叶片主体151内的径向外侧Dro的部分或平台160的径向内侧Dri的部分处相互连通。另外,多个叶片空气通路171中的任一个均直到叶片主体151、平台160、叶根157相连形成,且在叶根157的径向内侧Dri的端处开口。冷却空气Ac在转子轴42的冷却空气通路42p(参照图2)中流动并从该开口向该叶片空气通路171流入。

[0181] 在叶片主体151的前缘部152以及后缘部153形成有从叶片空气通路171向燃烧气体流路49贯穿的多个叶面喷出通路172。叶片主体151在冷却空气Ac在叶片空气通路171内流动的过程中被冷却。另外,流入到叶片空气通路171的冷却空气Ac从该叶面喷出通路172向燃烧气体流路49内流出。因此,叶片主体151的前缘部152以及后缘部153在冷却空气Ac在叶面喷出通路172中流动的过程中被冷却。此外,从叶面喷出通路172流出到燃烧气体流路49的冷却空气Ac的一部分也局部地覆盖叶片主体151的表面而起到作为薄膜空气的作用。

[0182] 如图19所示,在平台主体161形成有与多个叶片空气通路171中的最靠上游侧Dau的第一叶片空气通路171a连通的腹侧通路173p以及背侧通路173n。腹侧通路173p具有:从第一叶片空气通路171a朝向周向腹侧Dcp延伸至腹侧端面163p附近的周向通路部173pc;以及从该周向通路部173pc的周向腹侧Dcp的端沿着腹侧端面163p在具有轴向Da成分的方向上延伸的轴向通路部173pa。背侧通路173n具有:从第一叶片空气通路171a朝向周向背侧Dcn延伸至背侧端面163n附近的周向通路部173nc;以及从该周向通路部173nc的周向背侧

Dcn的端沿着背侧端面163n在具有轴向Da成分的方向上延伸的轴向通路部173na。腹侧通路173p以及背侧通路173n均在其下游端且平台主体161的后端面162b开口。在平台主体161形成有沿着后端面162b在周向Dc上延伸的后集管通路174。此外,在平台主体161形成有从后集管通路174朝下游侧Dad延伸且在后端面162b开口的多个后通路175。多个后通路175在周向Dc上排列。腹侧通路173p以及背侧通路173n中的比与后集管通路174连通的位置靠下游侧Dad的部分成为在后端面162b开口的后通路175。

[0183] 包含腹侧通路173p、背侧通路173n在内的后通路175的剖面形状均为圆形。除了腹侧通路173p以及背侧通路173n之外的后通路175的内径d1彼此相同,且小于腹侧通路173p以及背侧通路173n的内径d2。因此,除了腹侧通路173p以及背侧通路173n之外的后通路175的湿缘长度s1彼此相同,且比腹侧通路173p以及背侧通路173n的湿缘长度s2短。

[0184] 在此,将平台主体161的后端面162b中的不包含与背侧端面163n的缘以及与腹侧端面163p的缘的区域设为中间区域MP。另外,将后端面162b中的包含与背侧端面163n的缘且与中间区域MP在周向Dc上相邻的区域设为背侧区域NP。此外,将后端面162b中的包含与腹侧端面163p的缘且与中间区域MP在周向Dc上相邻的区域设为腹侧区域PP。在各区域MP、NP、PP形成有在周向Dc上排列的三个以上的后通路175的开口。

[0185] 中间区域MP的多个后通路175的开口的间隔为p1。背侧区域NP的多个后通路175的开口的间隔以及腹侧区域PP的多个后通路175的开口的间隔均为p2。中间区域MP的多个后通路175的开口的间隔p1小于背侧区域NP以及腹侧区域PP的多个后通路175的开口的间隔p2。

[0186] 因此,如图5所示,中间区域MP的多个后通路175的开口密度a1(= $s1/p1$)高于腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路175的开口密度a2(= $s1/p2$ 或 $s2/p2$)。

[0187] 在动叶150中,也与之之前说明的静叶同样,在平台主体161的气体通过面164中的靠后端面162b的部分且周向Dc的中央部分处,与其他部分相比容易被燃烧气体G加热。而且,在存在于该中央部分处的一个后通路175中流动的冷却空气Ac的冷却能力低于在存在于其他部分处的一个后通路175中流动的冷却空气Ac的冷却能力。反之,在平台160的气体通过面164中的靠后端面162b的部分且周向Dc的端侧部分处,与周向Dc的中央部分相比,燃烧气体G所带来的加热量较少。而且,在存在于平台160的气体通过面164中的靠后端面162b的部分且周向Dc的端侧部分处的一个后通路175中流动的冷却空气Ac的冷却能力高于在存在于周向Dc的中央部分处的一个后通路175中流动的冷却空气Ac的冷却能力。

[0188] 因此,在本实施方式中,与第一实施方式的静叶同样,也使中间区域MP的多个后通路175的开口密度a1(= $s1/p1$)高于腹侧区域PP以及背侧区域NP的多个后通路175的开口密度a2(= $s1/p2$ 或 $s2/p2$)。其结果是,在本实施方式中,能够提高平台160的气体通过面164中的靠后端面162b的部分且周向Dc的中央部分处的冷却能力,能够提高叶片的耐久性。此外,在本实施方式中,能够抑制在存在于平台160的气体通过面164中的靠后端面162b的部分且周向Dc的端侧部分处的多个后通路175中流动的冷却空气Ac的总流量。

[0189] 因此,在本实施方式中,能够有效地对平台160的气体通过面164中的靠后端面162b的部分进行冷却而提高该平台160的耐久性,并且也能够抑制用于冷却该部分的冷却空气Ac的流量。

[0190] 需要说明的是,在本实施方式中,腹侧通路173p以及背侧通路173n与多个叶片空

气通路171中的最靠上游侧Dau的第一叶片空气通路171a连通,但也可以使腹侧通路173p以及背侧通路173n与其他叶片空气通路171连通。另外,腹侧通路173p以及背侧通路173n无需与同一叶片空气通路171连通,也可以与互不相同的叶片空气通路171连通。

[0191] 另外,在本实施方式中,向多个后通路175流入的冷却空气Ac也可以不从叶片空气通路171经由腹侧通路173p或背侧通路173n以及后集管通路174。例如,也可以使多个后通路175分别与多个叶片空气通路171的任一个直接连通。

[0192] 另外,本实施方式将第一实施方式的静叶中供空气流动的通路的结构应用在动叶中,但也可以将第二实施方式以及第三实施方式的静叶中供空气流动的通路的结构应用于动叶。

[0193] “变形例”

[0194] 在以上的实施方式中,包含腹侧通路以及背侧通路在内的后通路的剖面形状都为圆形。然而,包含腹侧通路以及背侧通路在内的后通路的剖面形状例如也可以为四边形等其他的形状。另外,多个后通路的剖面形状也无需彼此相同。例如也可以是,腹侧通路以及背侧通路的剖面形状为四边形,除了腹侧通路以及背侧通路之外的后通路的剖面形状为圆形。

[0195] 另外,在以上的实施方式中,除了腹侧通路以及背侧通路之外的多个后通路的内径彼此相同,但这些后通路的内径也可以互不相同。

[0196] 工业实用性

[0197] 根据本发明的一方式,能够有效地对叶片进行冷却而实现耐久性的提高且也能够抑制冷却用的空气的使用量。

[0198] 附图标记说明

[0199] 10:燃气涡轮,11:燃气涡轮转子,15:燃气涡轮机室,20:压缩机,21:压缩机转子,25:压缩机机室,30:燃烧器,40:涡轮,41:涡轮转子,42:转子轴,42p、45p:冷却空气通路,43:动叶级,43a:动叶,45:涡轮机室,46:静叶级,46a:静叶,50、50a、50b:静叶,51:叶片主体,52:前缘部,53:后缘部,54:背侧面,55:腹侧面,60o:外侧护罩(流路形成板),60i:内侧护罩(流路形成板),61、61a、61b:外侧护罩主体,62f:前端面,62b:后端面,63p:腹侧端面,63n:背侧端面,64:气体通过面,65:周壁,66:凹部,67:碰撞板,69:内侧腔室(空洞),71:叶片空气通路(空洞),72:叶面喷出通路,73p:腹侧通路,73n:背侧通路,74:后集管通路,75、75a:后通路,76:密封板,77:密封槽,78:间隙,81:第一气体通过面喷出通路,82:第二气体通过面喷出通路,150:动叶,151:叶片主体,152:前缘部,153:后缘部,154:背侧面,155:腹侧面,157:叶根,160:平台(流路形成板),161:平台主体,162f:前端面,162b:后端面,163p:腹侧端面,163n:背侧端面,164:气体通过面,167f:前突出部,167b:后突出部,171:叶片空气通路(空洞),172:叶面喷出通路,173p:腹侧通路,173n:背侧通路,174:后集管通路,175:后通路,Da:轴向,Dau:上游侧,Dad:下游侧,Dc:周向,Dcp:周向腹侧,Dcn:周向背侧,Dr:径向,Dri:径向内侧,Dro:径向外侧,Ac:冷却空气,G:燃烧气体,MP:中间区域,MPb:叶片间区域,MPd:叶片下游区域,PP:腹侧区域,NP:背侧区域。

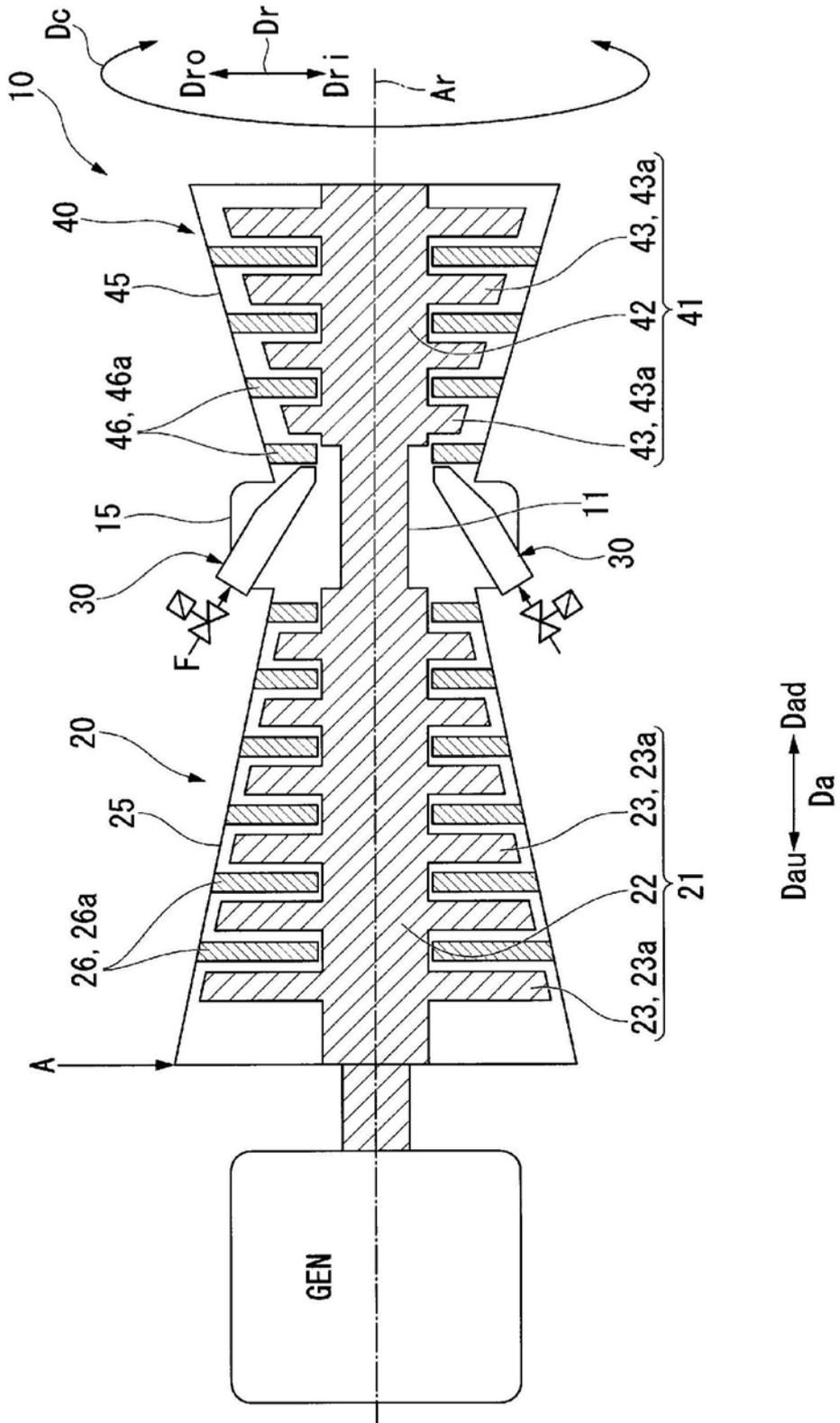


图1

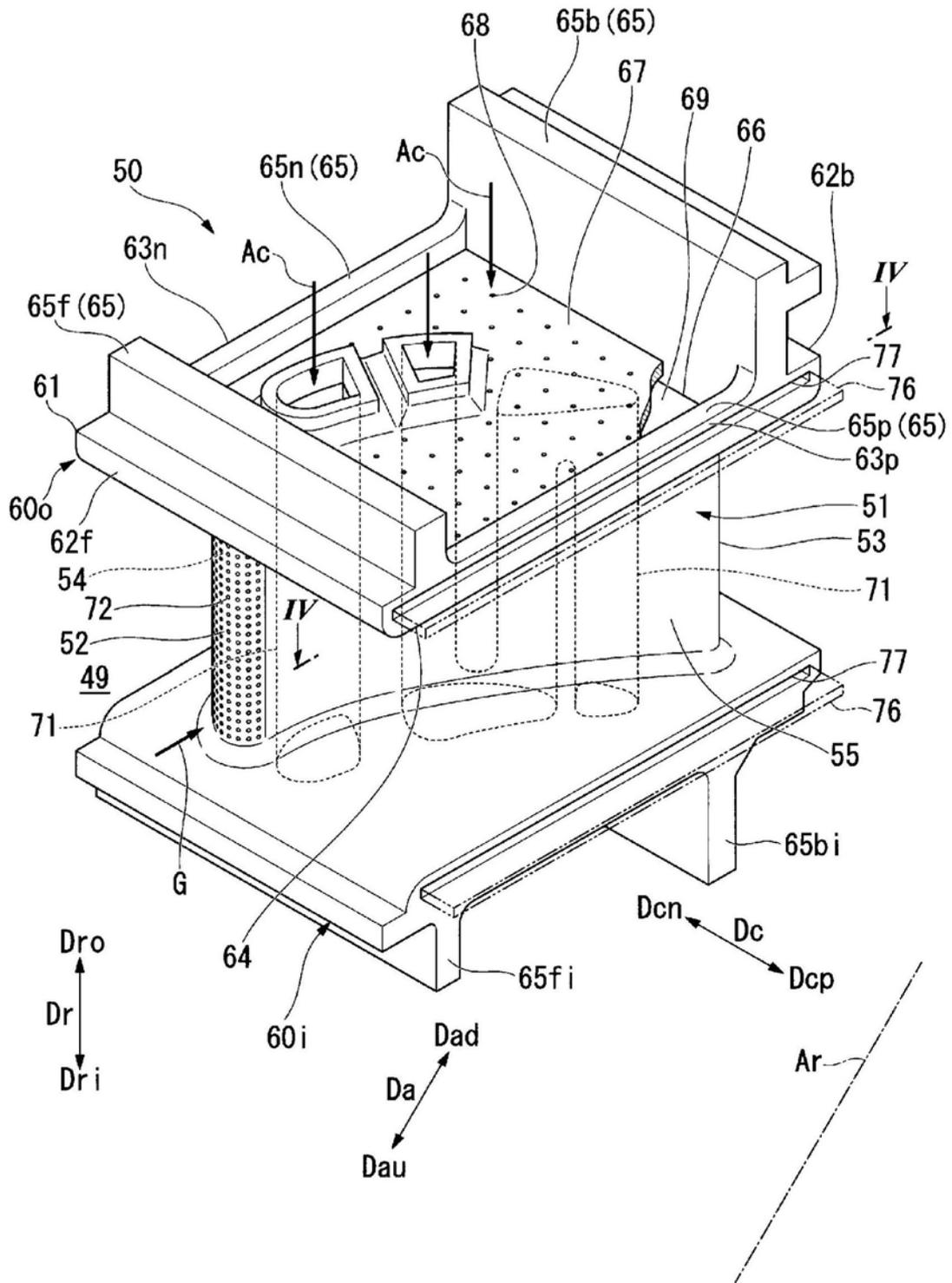


图3

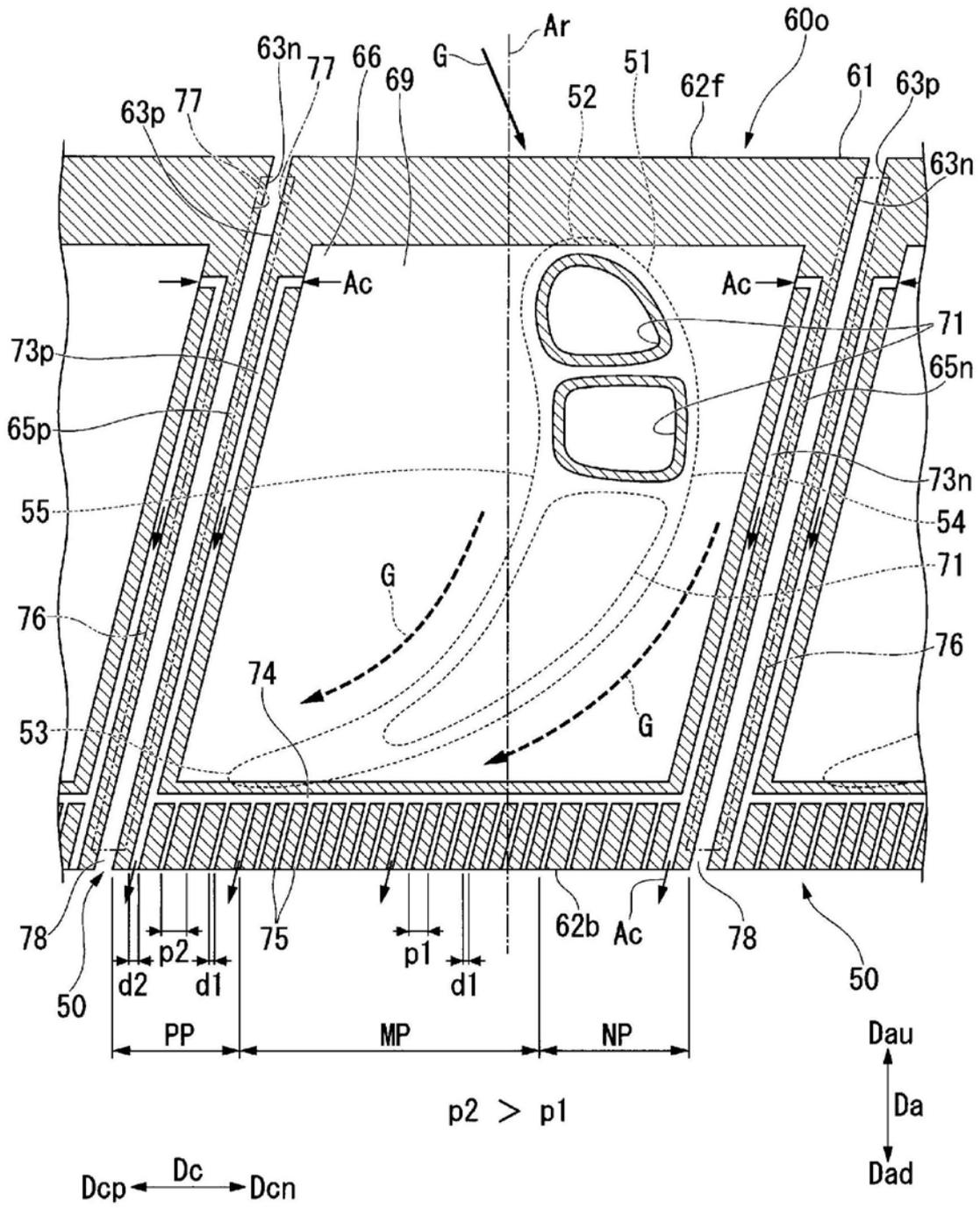


图4

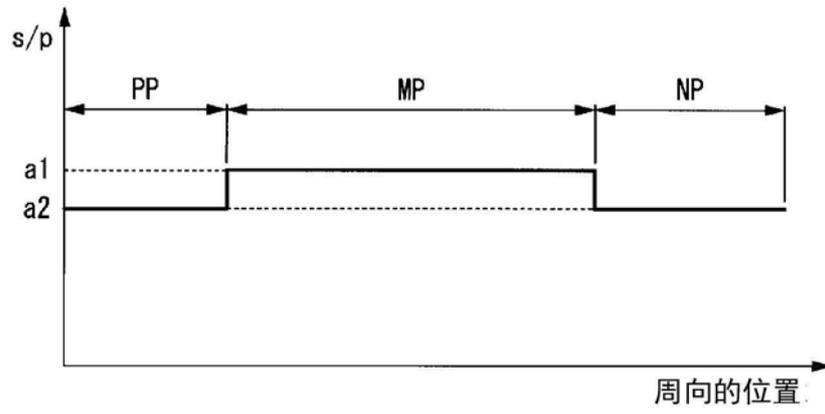


图5

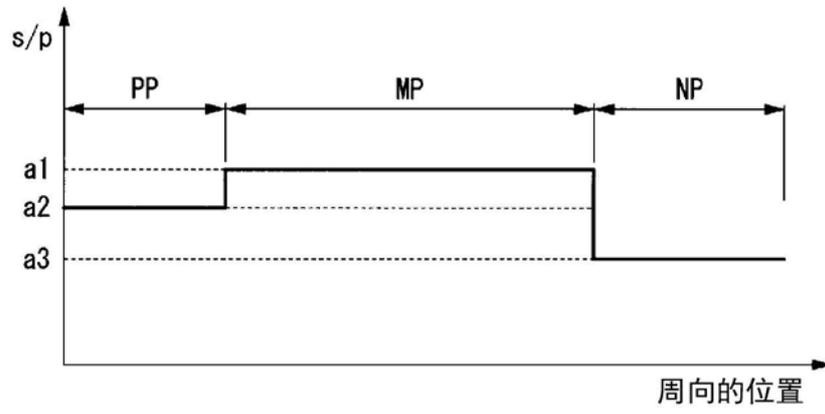


图7

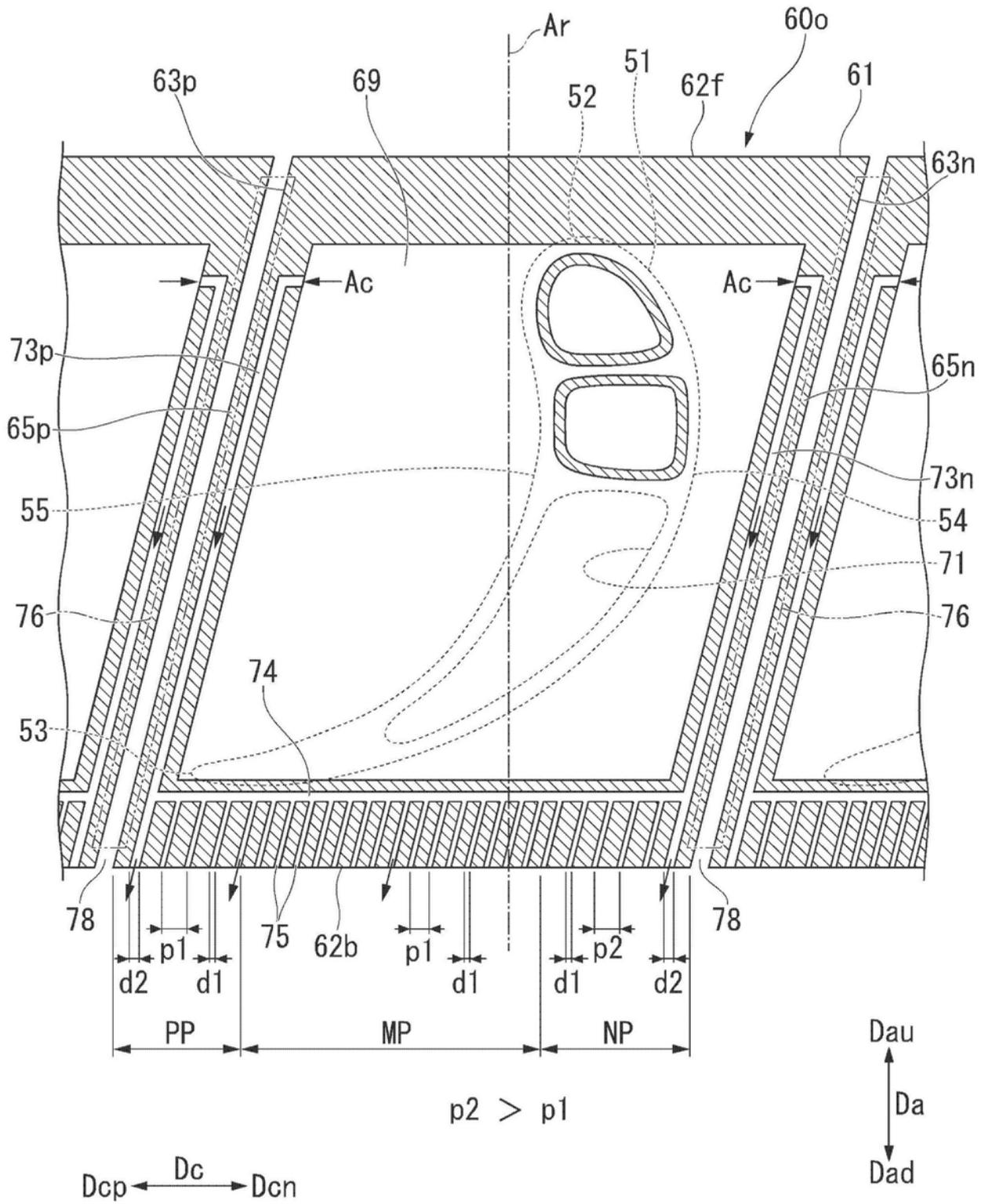


图8

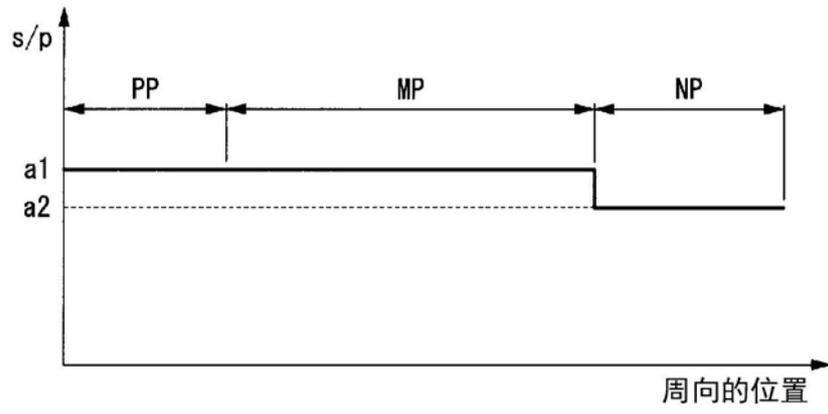


图9

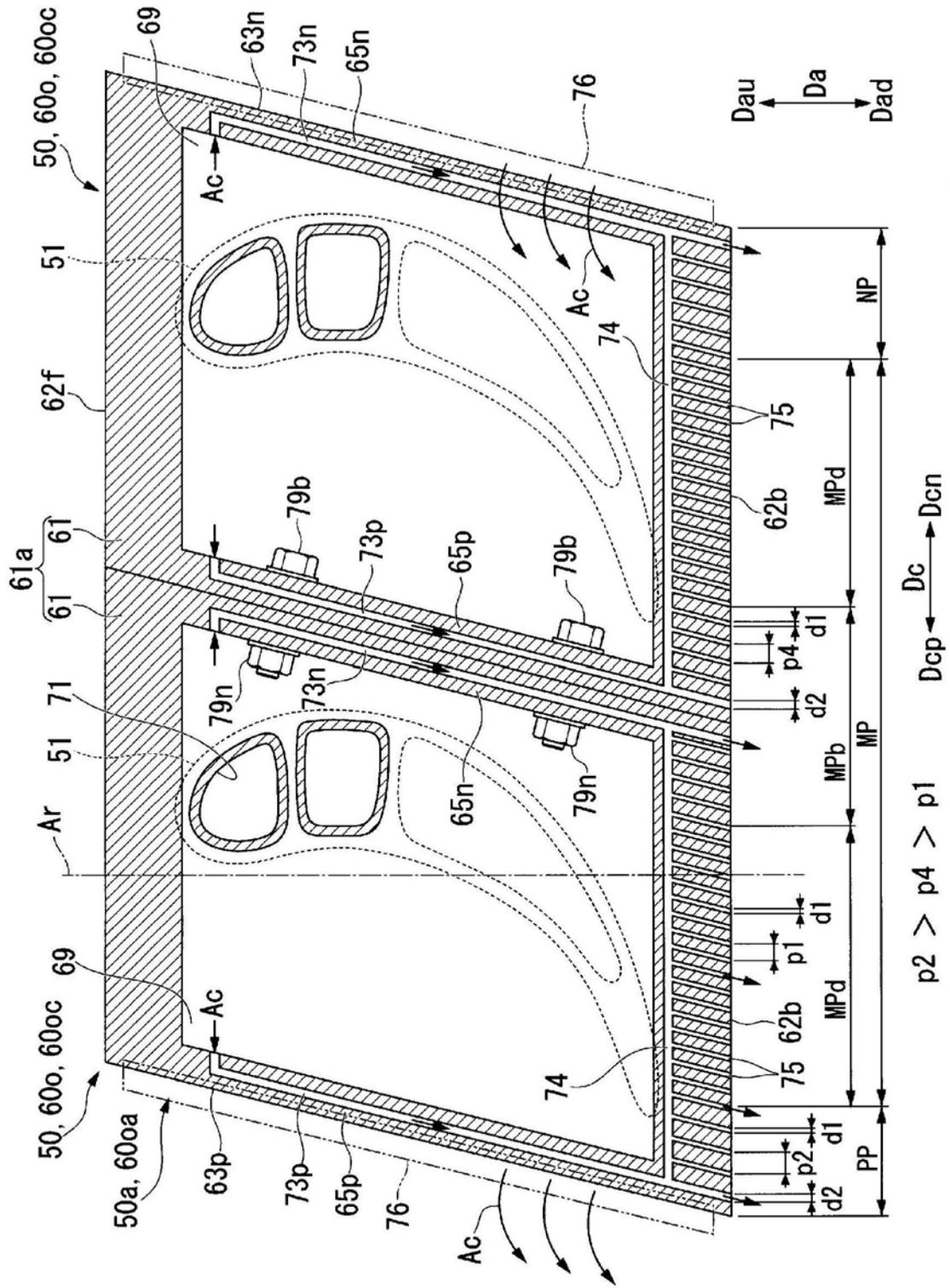


图11

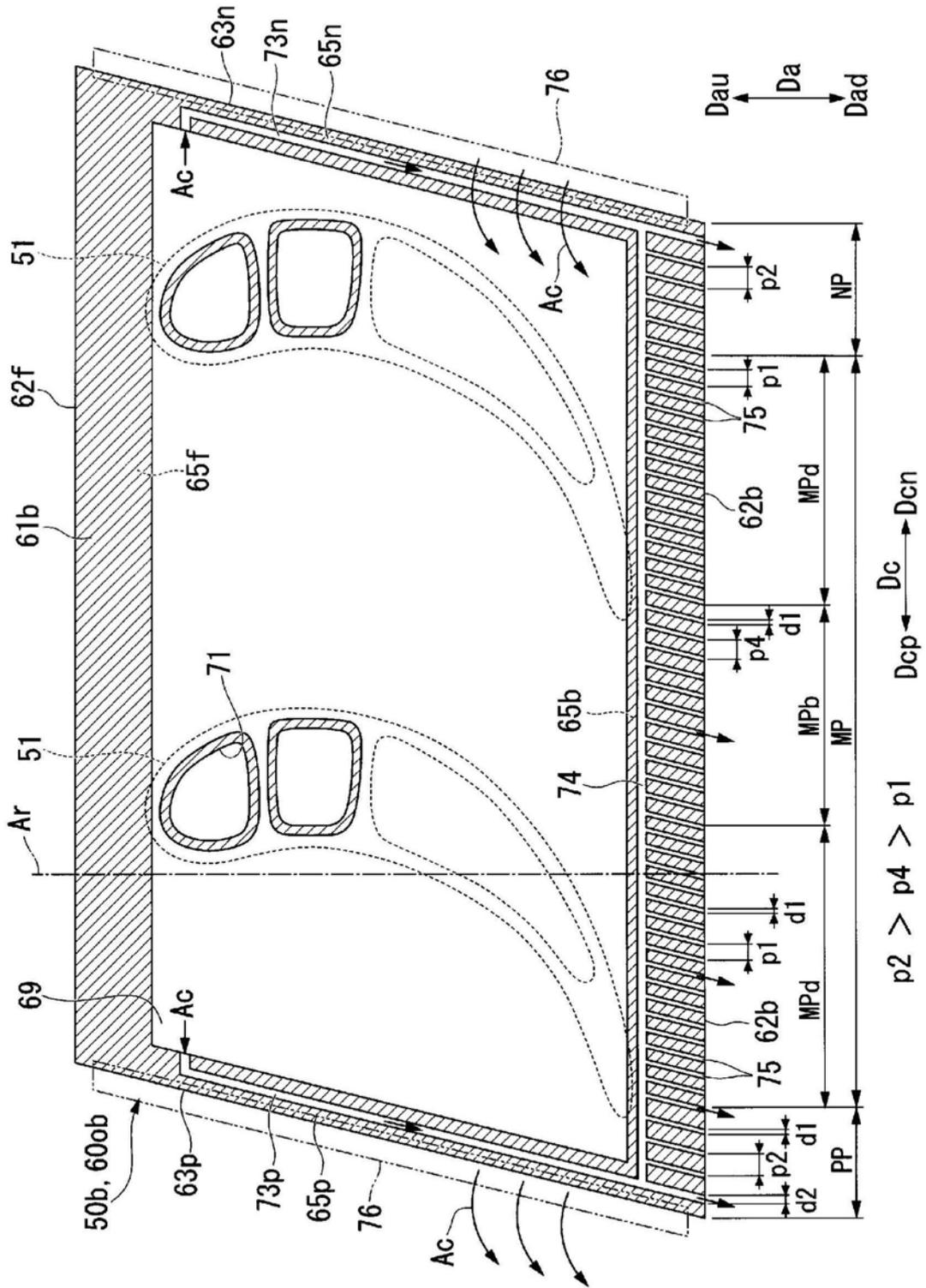


图12

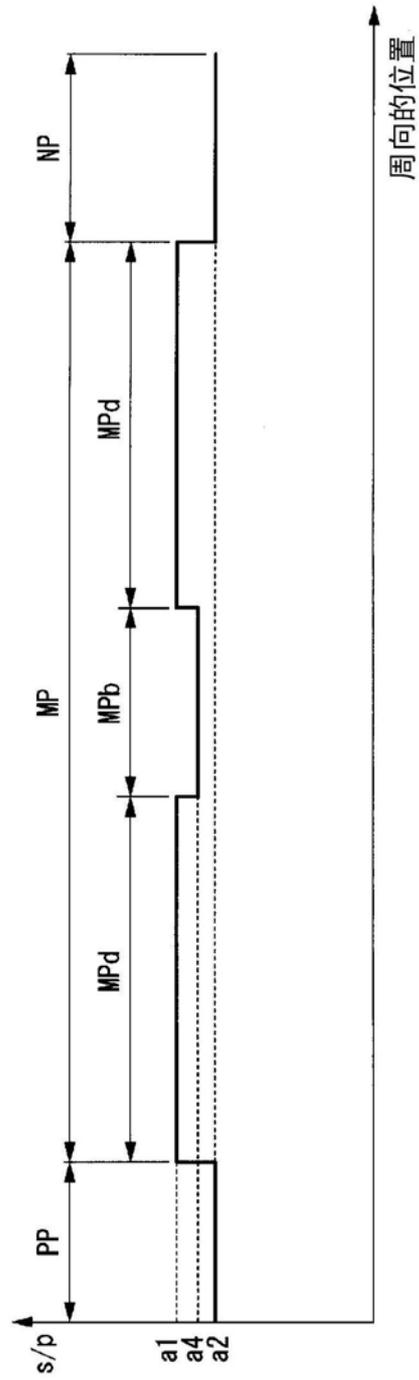


图13

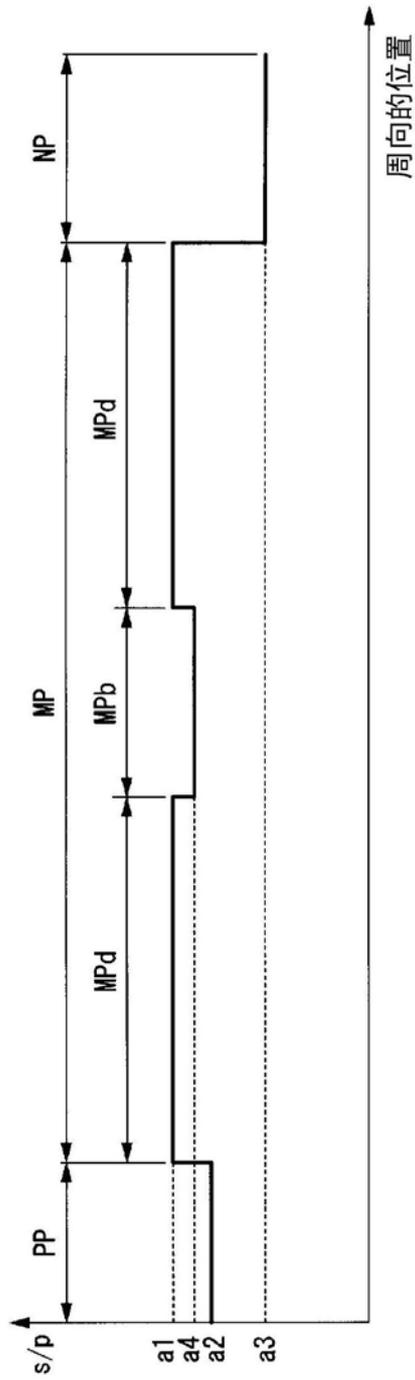


图14

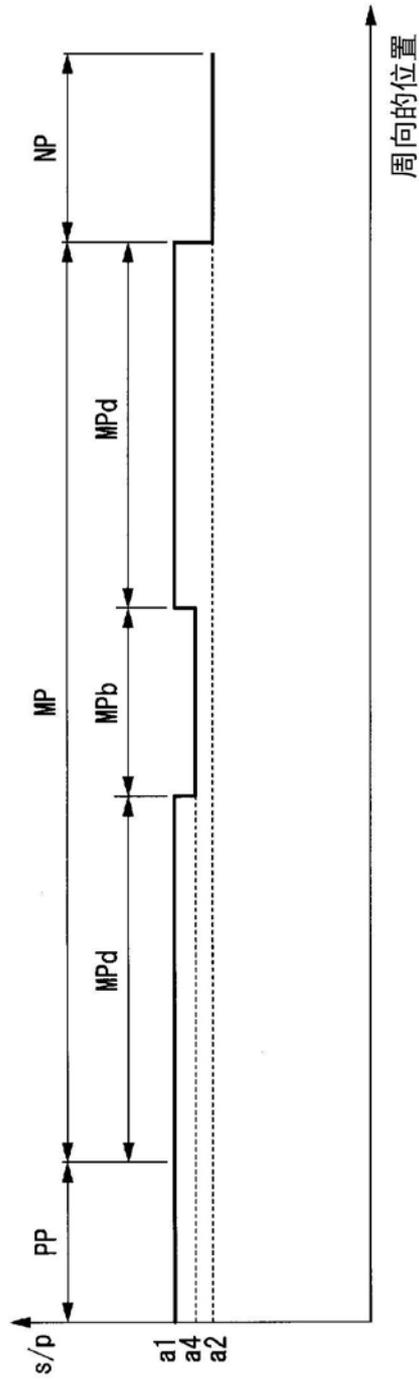


图15

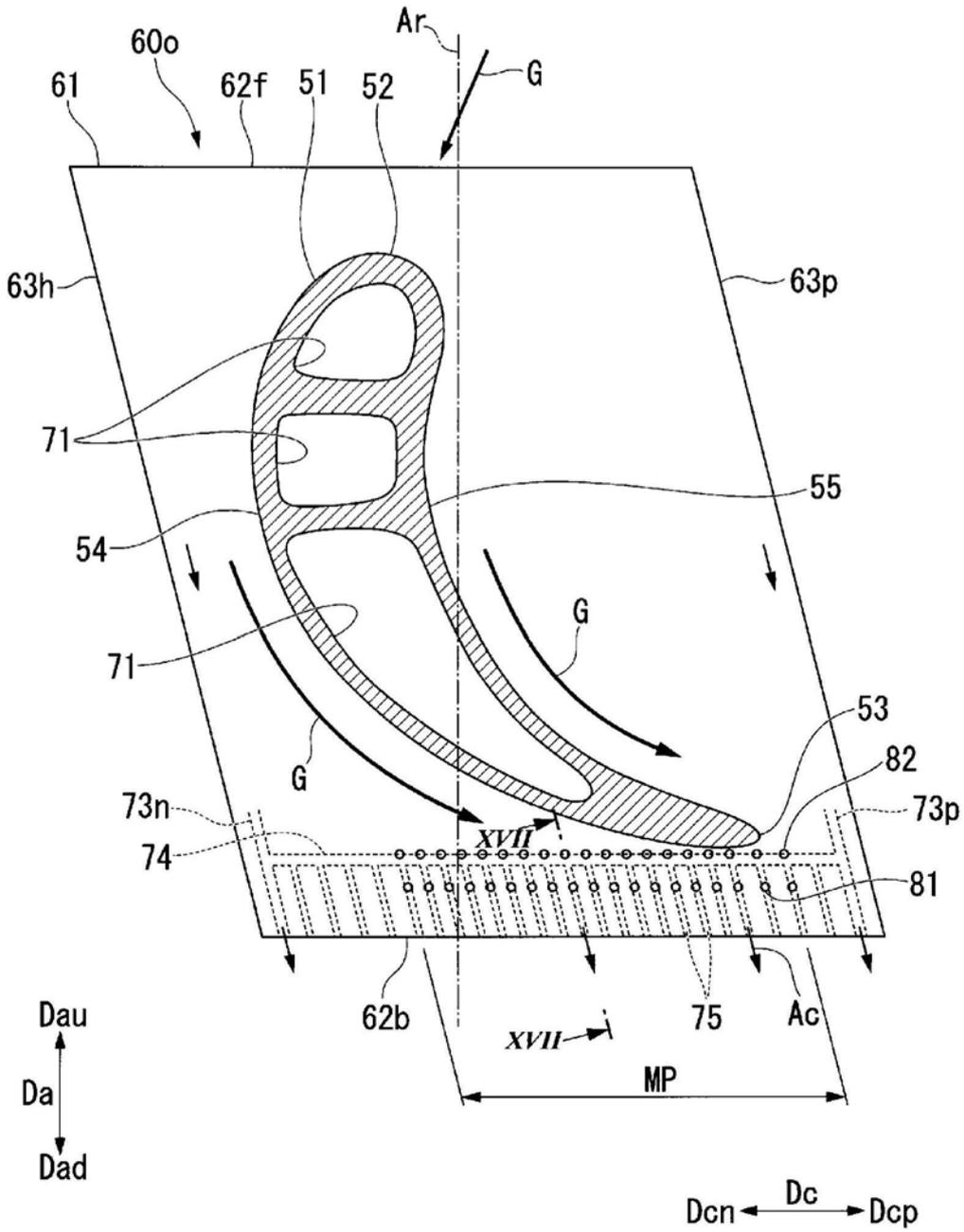


图16

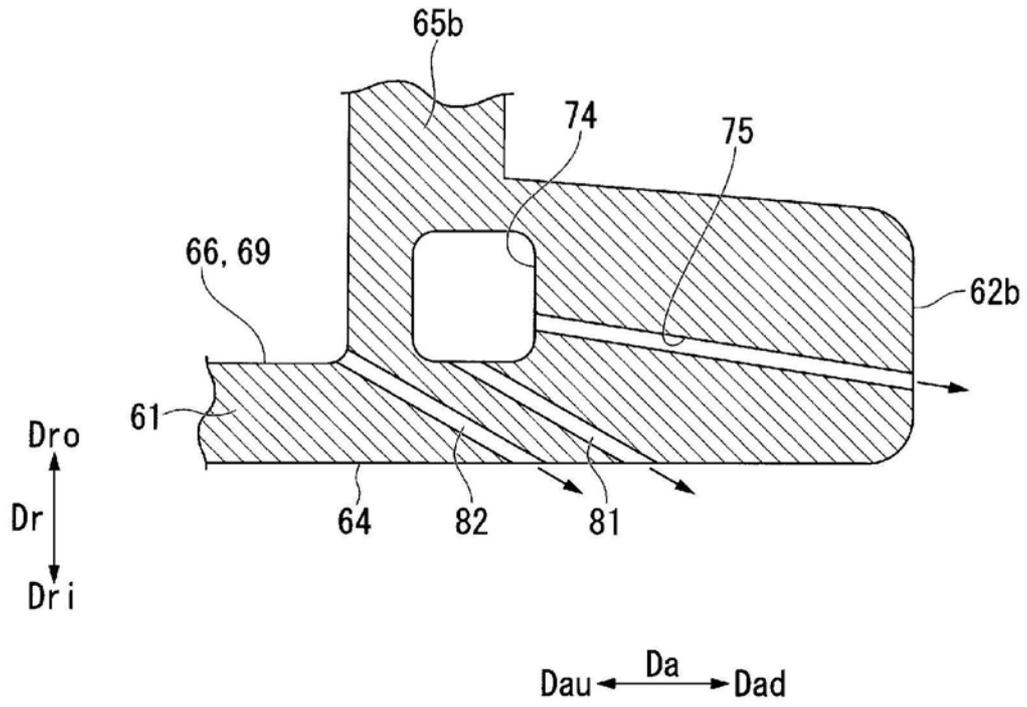


图17

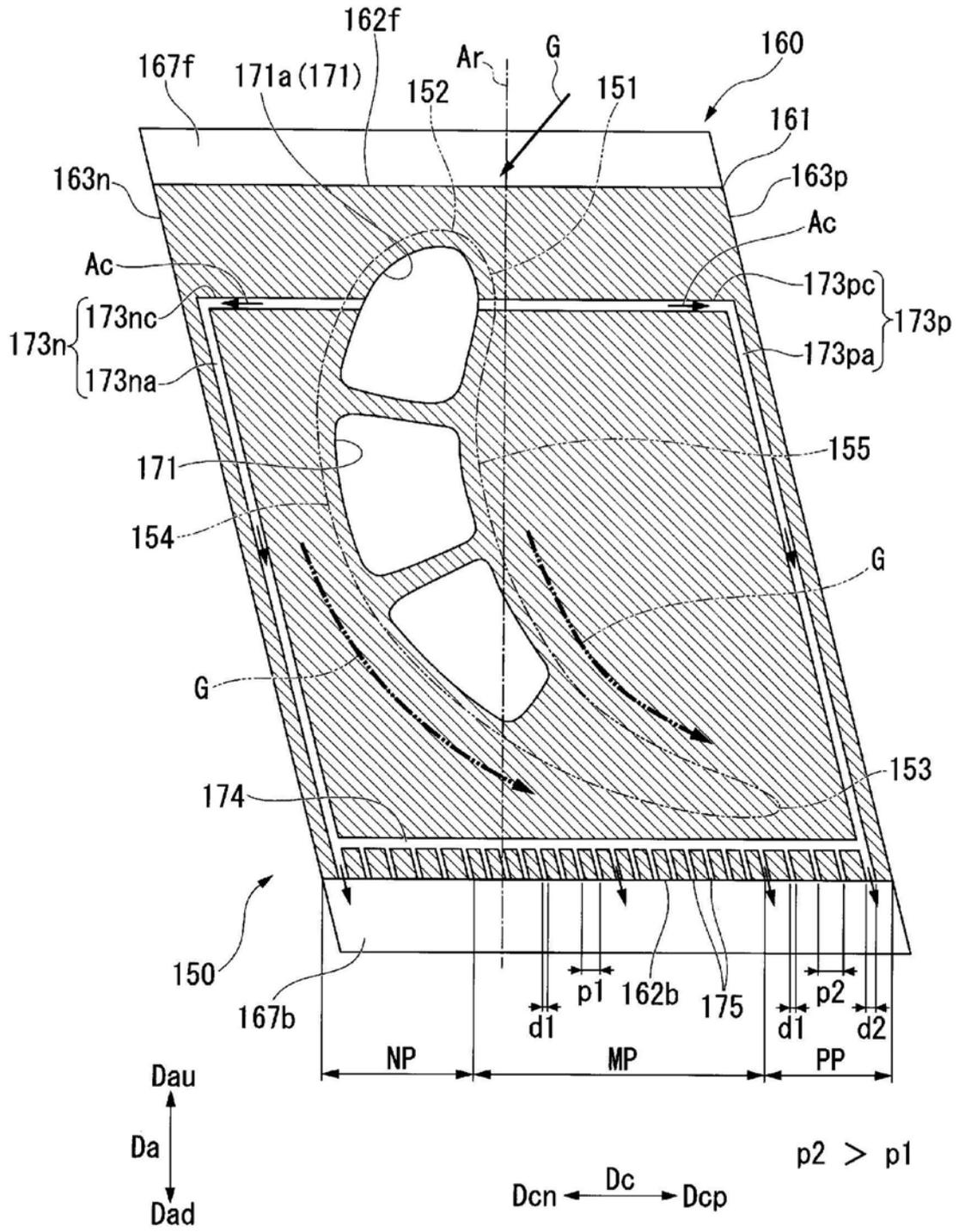


图19