



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110239735 B

(45) 授权公告日 2023. 07. 07

(21) 申请号 201910396846.4

(22) 申请日 2015.04.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110239735 A

(43) 申请公布日 2019.09.17

(30) 优先权数据
61/986,824 2014.04.30 US
14/558,867 2014.12.03 US

(62) 分案原申请数据
201510210496.X 2015.04.29

(73) 专利权人 波音公司
地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 D·D·戴 C·L·曼克
S·J·施密特 E·M·里德

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245
专利代理师 徐东升 张颖

(51) Int.Cl.
B64F 5/10 (2017.01)

(56) 对比文件
US 2013158697 A1, 2013.06.20
US 2013158697 A1, 2013.06.20
US 2011054694 A1, 2011.03.03
US 2011282483 A1, 2011.11.17
CN 102554595 A, 2012.07.11
CN 103158889 A, 2013.06.19
CN 102092478 A, 2011.06.15
CN 1982040 A, 2007.06.20

审查员 官中运

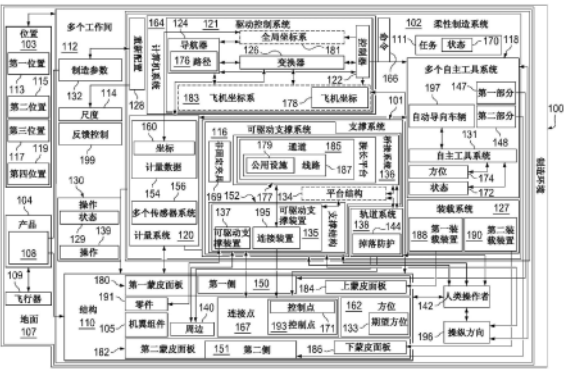
权利要求书5页 说明书45页 附图29页

(54) 发明名称

用于飞行器结构的柔性制造系统

(57) 摘要

本申请公开了用于飞行器结构的柔性制造系统,并提供一种用于制造飞行器结构的方法和设备。可驱动支撑件(137)可以从第一位置(113)被驱动到第二位置(115),以使可驱动支撑件(137)与至少一个其他可驱动支撑件结合在一起形成可驱动支撑系统(116)。可以使用可驱动支撑系统(116)将结构(110)保持在期望方位(133)。



1. 一种用于飞行器结构的柔性制造系统,其包含:第一多个可驱动支撑件,其从第一位置被驱动,并在制造环境的地面上的第二位置处与第二多个可驱动支撑件结合在一起形成可驱动支撑系统,其中所述可驱动支撑系统被配置为将结构保持在期望方位;

其中所述第一多个可驱动支撑件中的每个可驱动支撑件在所述第二位置处附连到沿着所述飞行器结构的第一侧的不同点;并且

其中所述第二多个可驱动支撑件中的每个可驱动支撑件在所述第二位置处附连到沿着所述飞行器结构的第二侧的不同点。

2. 根据权利要求1所述的柔性制造系统,其中所述可驱动支撑系统被配置为在对所述结构执行操作的同时将所述结构驱动到第三位置。

3. 根据权利要求2所述的柔性制造系统,其中为所述可驱动支撑件、所述可驱动支撑系统或多个自主工具系统中的至少一个提供操纵方向。

4. 根据权利要求1所述的柔性制造系统,其进一步包含:

多个自主工具系统,其被配置为在所述结构被驱动到第三位置的同时对所述结构执行操作。

5. 根据权利要求4所述的柔性制造系统,其中多个自主工具系统被配置为驱动横穿所述制造环境的地面。

6. 根据权利要求4所述的柔性制造系统,其中所述多个自主工具系统包含履带机器人、平头钻机、六足机器人、下面板钻机和上面板钻机中的至少一个。

7. 根据权利要求4所述的柔性制造系统,其中所述多个自主工具系统被配置为同时操作以对所述结构执行所述操作。

8. 根据权利要求4所述的柔性制造系统,其进一步包含:

计量系统,其被配置为确定所述可驱动支撑系统、所述多个自主工具系统或所述结构中的至少一个相对于彼此的当前方位。

9. 根据权利要求8所述的柔性制造系统,其中所述计量系统包含:多个传感器系统,其被连接到所述多个自主工具系统中的至少一个或所述可驱动支撑系统中的每个可驱动支撑件。

10. 根据权利要求8所述的柔性制造系统,其进一步包含:

控制器,其与所述计量系统、所述可驱动支撑系统和所述多个自主工具系统通信,其中所述控制器被配置为控制所述计量系统、所述可驱动支撑系统或所述多个自主工具系统中的至少一个的操作。

11. 根据权利要求10所述的柔性制造系统,其中所述控制器独立地控制所述可驱动支撑系统中的每个可驱动支撑件的操作。

12. 根据权利要求10所述的柔性制造系统,其中所述可驱动支撑系统中的多个可驱动支撑件被配置为在所述结构从所述可驱动支撑系统移除之后相互分开并驱动到第四位置。

13. 根据权利要求12所述的柔性制造系统,其中所述第四位置是所述第一位置。

14. 根据权利要求10所述的柔性制造系统,其中基于所述制造环境的尺度、用于所述结构的操作的状态、所述可驱动支撑系统的状态或所述多个自主工具系统的状态中的至少一个的改变,执行所述柔性制造系统的重新配置。

15. 根据权利要求10所述的柔性制造系统,其中所述多个可驱动支撑件中的每个可驱

动支撑件被配置为在所述控制器的命令下保持所述结构的零件并驱动横穿所述制造环境的地面以相对于彼此定位每个相应的零件。

16. 根据权利要求15所述的柔性制造系统,其中所述多个可驱动支撑件是彼此可互换的。

17. 根据权利要求15所述的柔性制造系统,其中所述可驱动支撑系统进一步包含:多个连接装置,其与所述多个可驱动支撑件中的每一个相关联,并且被配置为连接到所述结构。

18. 根据权利要求15所述的柔性制造系统,其中所述可驱动支撑系统是快速自主接驳智能工具即RABIT。

19. 根据权利要求17所述的柔性制造系统,其中所述控制器被配置为控制所述多个连接装置的高度。

20. 根据权利要求17所述的柔性制造系统,其中所述控制器被配置为控制所述多个连接装置的延伸。

21. 根据权利要求15所述的柔性制造系统,其中所述可驱动支撑系统包含:桥接系统,其被连接到平台并且被配置为提供人类操作者到所述结构的入口;以及轨道系统,其被配置为向人类操作者提供掉落防护。

22. 根据权利要求15所述的柔性制造系统,其中所述控制器被配置为基于由所述计量系统确定的所述结构的至少一个部分的当前方位,向所述多个可驱动支撑件发送命令以改变所述至少一个部分的当前方位。

23. 根据权利要求15所述的柔性制造系统,其中所述控制器被配置为以向所述多个可驱动支撑件发送命令的方式将任务分配给所述多个可驱动支撑件。

24. 根据权利要求23所述的柔性制造系统,其中所述控制器被配置为监测分配给所述多个可驱动支撑件的的任务的状态和所述多个可驱动支撑件的状态。

25. 根据权利要求23所述的柔性制造系统,其中所述控制器被配置为基于所述任务的状态或所述多个可驱动支撑件的状态中的至少一个,在所述多个可驱动支撑件之间重新分配所述任务。

26. 根据权利要求1所述的柔性制造系统,其中所述飞行器结构选自机身、垂直稳定器、机翼、控制面和水平稳定器中的一个。

27. 根据权利要求15所述的柔性制造系统,其中所述控制器被配置为向所述多个自主工具系统发送命令,以对所述结构执行所述操作。

28. 根据权利要求27所述的柔性制造系统,其中所述控制器被配置为以向所述多个自主工具系统发送命令的方式将任务分配给所述多个自主工具系统。

29. 根据权利要求27所述的柔性制造系统,其中所述控制器被配置为监测分配给所述多个自主工具系统的的任务的状态和所述多个自主工具系统的状态。

30. 根据权利要求27所述的柔性制造系统,其中所述控制器被配置为基于任务的状态或所述多个自主工具系统的状态中的至少一个,在所述多个自主工具系统之间重新分配所述任务。

31. 根据权利要求1所述的柔性制造系统,其进一步包含导航器,该导航器与控制器通信并且被配置为产生多个自主工具系统达到相对于所述结构的期望方位的路径。

32. 根据权利要求31所述的柔性制造系统,其进一步包含:

变换器,其与所述导航器、计量系统和所述控制器通信,其中所述变换器被配置为将由所述计量系统确定的部件的当前方位变换为飞机坐标。

33.根据权利要求32所述的柔性制造系统,其中所述路径由所述导航器基于从所述变换器接收的飞机坐标来产生。

34.根据权利要求1所述的柔性制造系统,其进一步包含:装载系统,其被配置为相对于所述制造环境的地面移动,以相对于所述结构定位上蒙皮面板或下蒙皮面板中的至少一个。

35.根据权利要求34所述的柔性制造系统,其中所述装载系统包含:第一装载装置,其被配置为相对于所述结构定位所述上蒙皮面板;以及第二装载装置,其被配置为相对于所述结构定位所述下蒙皮面板。

36.根据权利要求2所述的柔性制造系统,其中所述操作包括钻孔操作、紧固操作、检查操作、密封操作、测量操作、调平操作或清洁操作中的至少一个。

37.根据权利要求1所述的柔性制造系统,其中所述可驱动支撑系统被配置为在所述第一位置、所述第二位置、第三位置以及与所述制造环境中的多个额外位置之间运载所述结构。

38.根据权利要求1所述的柔性制造系统,其中当所述可驱动支撑系统将所述结构保持在所述期望方位时,对所述结构执行操作。

39.一种用于制造飞行器结构的方法,该方法包含:将第一多个可驱动支撑件中的每个可驱动支撑件从第一位置驱动到第二位置,以将所述可驱动支撑件与第二多个可驱动支撑件中的每个可驱动支撑件带到一起形成可驱动支撑系统;以及使用所述可驱动支撑系统将结构保持在期望方位,所述方法还包括:

将所述第一多个可驱动支撑件中的每个可驱动支撑件在所述第二位置处附连到沿着所述飞行器结构的第一侧的不同点;并且

将所述第二多个可驱动支撑件中的每个可驱动支撑件在所述第二位置处附连到沿着所述飞行器结构的第二侧的不同点。

40.根据权利要求39所述的方法,其进一步包含:使用所述可驱动支撑系统将所述结构从所述第二位置驱动到制造环境的地面上的第三位置。

41.根据权利要求40所述的方法,其进一步包含:使用多个自主工具系统对所述结构执行操作。

42.根据权利要求41所述的方法,其中在所述结构被驱动到所述第三位置的同时执行所述操作。

43.根据权利要求42所述的方法,其进一步包含:操纵所述多个自主工具系统。

44.根据权利要求41所述的方法,其进一步包含:操纵所述可驱动支撑件或所述可驱动支撑系统中的至少一个。

45.根据权利要求41所述的方法,其中在所述结构从所述第二位置被驱动到所述第三位置的同时执行所述操作。

46.根据权利要求41所述的方法,其进一步包含:确定所述可驱动支撑系统、所述多个自主工具系统或所述结构中的至少一个的当前方位,其中所述当前方位使用计量系统来确定。

47. 根据权利要求46所述的方法,其进一步包含:使用控制器来控制所述多个自主工具系统、所述可驱动支撑系统和所述计量系统的操作。

48. 根据权利要求46所述的方法,其进一步包含:从所述可驱动支撑系统移除所述结构;使所述可驱动支撑系统中的多个可驱动支撑件相互分开;以及将所述多个可驱动支撑件中的至少一个驱动到第四位置。

49. 根据权利要求48所述的方法,其中所述第四位置是所述第一位置。

50. 根据权利要求46所述的方法,其进一步包含:使用履带机器人、平头钻机、六足机器人、下面板钻机或上面板钻机中的至少一个对所述结构执行所述操作。

51. 根据权利要求50所述的方法,其进一步包含:当对所述结构执行所述操作时,使用所述可驱动支撑系统将所述结构脉动通过所述制造环境中的多个工作间。

52. 根据权利要求50所述的方法,其进一步包含:当对所述结构执行所述操作时,使用所述可驱动支撑系统将所述结构连续地移动通过所述制造环境。

53. 根据权利要求41所述的方法,其进一步包含:使用由控制器产生的命令相对于所述结构定位所述多个自主工具系统。

54. 根据权利要求53所述的方法,其进一步包含:使用计量系统来监测所述多个自主工具系统的当前方位。

55. 根据权利要求41所述的方法,其进一步包含:基于所述制造环境的尺度、所述结构的状态或者所述可驱动支撑系统或所述多个自主工具系统之中至少一个的状态中的至少一个的改变,重新配置所述可驱动支撑系统或所述多个自主工具系统中的至少一个。

56. 根据权利要求41所述的方法,其进一步包含:产生命令以将所述多个自主工具系统从当前方位移动到相对于所述结构的期望方位,其中所述命令是使用控制器来产生的。

57. 根据权利要求56所述的方法,其进一步包含:以由所述控制器产生的所述命令的方式将任务分配给所述多个自主工具系统。

58. 根据权利要求57所述的方法,其进一步包含:监测分配给所述多个自主工具系统的所述任务的状态;

监测所述多个自主工具系统的状态;以及基于所述任务的所述状态或所述多个自主工具系统的所述状态中的至少一个,在所述多个自主工具系统之间重新分配所述任务。

59. 根据权利要求41所述的方法,其进一步包含:使用控制器产生将多个可驱动支撑件从所述第一位置驱动到所述第二位置的命令。

60. 根据权利要求59所述的方法,其进一步包含:以由所述控制器产生的所述命令的方式将任务分配给每个可驱动支撑件。

61. 根据权利要求60所述的方法,其进一步包含:监测分配给所述多个可驱动支撑件的所述任务的状态;

监测所述多个可驱动支撑件的状态;以及

基于所述任务的状态或所述多个可驱动支撑件的状态中的至少一个,在所述多个可驱动支撑件之间重新分配所述任务。

62. 根据权利要求41所述的方法,其进一步包含:产生多个自主工具系统到达相对于所述结构的所述期望方位的路径,其中所述路径是由导航器来产生的。

63. 根据权利要求41所述的方法,其进一步包含:相对于所述结构定位上蒙皮面板。

64. 根据权利要求63所述的方法,其进一步包含:使用所述多个自主工具系统的第一部分对所述上蒙皮面板执行所述操作。

65. 根据权利要求64所述的方法,其进一步包含:相对于所述结构定位下蒙皮面板。

66. 根据权利要求65所述的方法,其进一步包含:使用所述多个自主工具系统的第二部分对所述下蒙皮面板执行所述操作。

67. 根据权利要求41所述的方法,其进一步包含:沿着所述制造环境的所述地面驱动所述多个自主工具系统。

68. 根据权利要求67所述的方法,其进一步包含:驱动所述多个自主工具系统横穿所述结构。

69. 根据权利要求41所述的方法,其进一步包含:同时操作所述多个自主工具系统,以对所述结构执行所述操作。

70. 根据权利要求69所述的方法,其中多个操作中的一个操作包括钻孔操作、紧固操作、检查操作、密封操作、测量操作、调平操作或清洁操作中的至少一个。

71. 根据权利要求39所述的方法,其进一步包含:使用所述可驱动支撑系统将所述结构从所述第二位置运载到第三位置。

72. 根据权利要求39所述的方法,其进一步包含:使用所述可驱动支撑件将所述结构的一部分从所述第一位置运载到所述第二位置。

用于飞行器结构的柔性制造系统

[0001] 本申请是申请日为2015年4月29日、名称为“用于飞行器结构的柔性制造系统”的中国专利申请201510210496.X的分案申请。

技术领域

[0002] 本申请总体涉及飞行器,并且具体涉及制造飞行器结构。更具体地,本申请涉及用于使用自动的可驱动装配系统来执行操作以制造飞行器结构的方法和设备。

背景技术

[0003] 制造飞行器结构可能是复杂且耗时的过程。数千个零件可以被设计并被装配以完成飞行器结构。这些零件的渐次装配可以通过将飞行器结构移动到制造设施中的不同位置来完成。在每个位置对飞行器结构执行各种操作。

[0004] 用于飞行器结构的现有装配系统使用遍及制造设施布置的固定的石碑状夹具。在该说明性示例中,“固定的石碑状夹具”是被不可移动地连接到设施地面、壁或制造设施的其他部分的结构。例如但非限制性地,当飞行器结构正被装配时,用螺栓固定到设施地面的固定的石碑状夹具可以被用来使飞行器结构保持在期望方位。

[0005] 人类操作者及其工具围绕这些固定的石碑状夹具进行操纵,以便对飞行器结构执行操作。例如,人类操作者可以将各种零件带到固定的石碑状夹具,相对于由固定的石碑状夹具保持的飞行器结构定位那些零件,并且执行诸如钻孔、紧固、喷涂和检查等操作。人类操作者需要无数的工作时间来装配并检查飞行器结构。

[0006] 一旦到达装配中的某一阶段,飞行器结构就可以从固定的石碑状夹具移除,并被移动到制造设施内的新位置。在该新位置处,结构可以被再次紧固到固定的石碑状夹具,被重新校准并被装配。飞行器结构的移动和重新定位可能引起不期望的制造过程的延迟,这会增加飞行器结构的生产时间。

[0007] 此外,使用固定的石碑状夹具的过程会在制造设施中占据比期望更多的空间、允许人类操作者有限地进入飞行器结构或两者。对人类操作者将零件运送到固定的石碑状夹具并在这些固定的石碑状夹具之内及其周围进行操纵的需求也会比期望更多地增加装配飞行器的时间、复杂性以及成本。

[0008] 此外,固定的石碑状夹具可能难以更改或移动,因为固定的石碑状夹具是沉重的、被固定到地面或两者。因此,固定的石碑状夹具可能不太灵活,并且可能仅对一种装配建筑构造有用。因此,存在对不使用附接到制造设施地面的固定的石碑状夹具的情况下为装配飞行器提供更有效、更灵活、更高生产率过程的方法和设备的的需求。

发明内容

[0009] 在一个说明性实施例中,一种用于飞行器结构的柔性制造系统可以包含可驱动支撑件。该可驱动支撑件可以从第一位置被驱动,并被带到制造环境的地面上的第二位置处与至少一个其他可驱动支撑件结合在一起以形成可驱动支撑系统。该可驱动支撑系统可以

被配置为将结构保持在期望方位处。

[0010] 在另一说明性实施例中,可以提供一种用于制造飞行器结构的方法。可以将可驱动支撑件从第一位置被驱动到第二位置以将该可驱动支撑件与至少一个其他可驱动支撑件结合在一起以形成可驱动支撑系统。可以使用可驱动支撑系统将结构保持在期望方位。

[0011] 在另一说明性实施例中,一种柔性制造系统可以包含可驱动支撑件、多个自主工具系统、计量系统和控制器,所述控制器与计量系统、可驱动支撑系统和多个自主工具系统通信。可驱动支撑件可以被配置为从第一位置被驱动,并被带到制造环境的地面上的第二位置处与至少一个其他可驱动支撑件结合在一起以形成可驱动支撑系统。可驱动支撑系统可以被配置为将结构保持在期望方位。可驱动支撑系统和结构可以被配置为当正对结构执行操作时驱动到第三位置。多个自主工具系统可以被配置为对结构执行操作。多个自主工具系统可以被进一步配置为驱动横穿制造环境的地面。计量系统可以被配置为确定可驱动支撑系统、多个自主工具系统或结构中的至少一个的当前方位。控制器可以被配置为控制可驱动支撑系统或多个自主工具系统中的至少一者的操作。

[0012] 在另一说明性实施例中,一种用于制造飞行器结构的系统可以包含一组履带机器人和机动平台。该组履带机器人可以被定位在结构上。该组履带机器人可以被配置为沿着结构的表面移动以将紧固件安装在结构中。机动平台可以被配置为驱动横穿制造环境的地面。机动平台可以被进一步配置为将该组履带机器人放置在结构的表面上。

[0013] 在另一说明性实施例中,可以提供一种用于制造飞行器结构的方法。可驱动平台可以被驱动横穿制造环境的地面,以将一组履带机器人放置在结构上。该组履带机器人可以相对于结构的表面被定位,以将紧固件安装在结构中。

[0014] 在另一说明性实施例中,一种用于制造飞行器结构的系统可以包含六足机器人和与六足机器人相关联的移动系统。六足机器人可以相对于结构的表面被定位。六足机器人可以被配置为相对于结构的表面移动以将紧固件安装在结构中。移动系统可以被配置为驱动六足机器人横穿制造环境的地面,以相对于结构定位六足机器人。

[0015] 在另一说明性实施例中,可以提供一种用于制造飞行器结构的方法。可以使用与六足机器人相关联的移动系统将六足机器人驱动横穿制造环境的地面,以相对于结构定位六足机器人。六足机器人可以相对于结构的表面被定位,以将紧固件安装在结构中。

[0016] 在另一说明性实施例中,一种用于结构的柔性制造系统可以包含机动支撑系统、多个自主工具系统、计量系统和控制器,所述控制器与计量系统和多个自主工具系统通信。机动支撑系统可以被配置为将结构保持在期望方位。机动支撑系统可以被进一步配置为在执行制造该结构的操作期间在多个工作间之间运载该结构。多个自主工具系统可以被配置为对结构执行操作。多个自主工具系统可以被进一步配置为与机动支撑系统一起移动。计量系统可以被配置为产生机动支撑系统、多个自主工具系统或结构中的至少一个的计量数据。控制器可以被配置为使用计量数据来控制多个自主工具系统的操作。

[0017] 在另一说明性实施例中,一种用于结构的柔性制造系统可以包含可平移支撑系统、多个自主工具系统、计量系统和控制器,所述控制器与计量系统和多个自主工具系统通信。可平移支撑系统可以被配置为将结构保持在期望方位。可平移支撑系统可以被进一步配置为在执行制造该结构的操作期间与结构一起从第一位置移动到第二位置。多个自主工具系统可以被配置为对结构执行操作。多个自主工具系统可以被进一步配置为与可平移支

撑系统一起移动。计量系统可以被配置为产生可平移支撑系统、多个自主工具系统或结构中的至少一个的计量数据。控制器可以被配置为使用计量数据来控制多个自主工具系统的操作。

[0018] 在另一说明性实施例中,可以提供一种用于将工具定位在表面上的方法。可以使用第一移动系统相对于表面移动工具,以将工具粗略地定位在表面上的选定区域内。可以使用第二移动系统相对于表面以至少一个自由度进一步移动工具,以将工具精确地定位在表面上的选定区域内的选定方位处。

[0019] 在另一说明性实施例中,可以提供一种用于将工具定位在表面上的方法。可以使用第一移动系统相对于表面移动工具,以将工具粗略地定位在表面上的选定区域内。可以使用第二移动系统相对于表面以至少一个自由度进一步移动工具,以将工具精确地定位在表面上的选定区域内的选定方位处。可以使用第三移动系统相对于选定方位对齐与工具相关联的元件,以便在选定方位处执行操作。

[0020] 在另一说明性实施例中,一种用于飞行器结构的柔性制造系统可以包含第一组可驱动支撑件、第二组可驱动支撑件、第一狭长平台和第二狭长平台。第一组可驱动支撑件可以从第一位置被驱动,并被带到制造环境的地面上的第二位置处与第二组可驱动支撑件结合在一起。第一狭长平台可以被连接到第一组可驱动支撑件。第一组可驱动支撑件可以将第一狭长平台驱动到第二位置。第二狭长平台可以被连接到第二组可驱动支撑件。第二组可驱动支撑件可以将第二狭长平台驱动到第二位置。第一狭长平台和第二狭长平台可以将结构保持在期望位置,并且可以运载该结构通过制造环境。

[0021] 在另一说明性实施例中,可以呈现一种用于制造飞行器结构的方法。可以将被连接到第一狭长平台的第一组可驱动支撑件从制造环境的地面上的第一位置驱动到第二位置。可以驱动被连接到第二狭长平台的第二组可驱动支撑件,以相对于第一狭长平台定位第二狭长平台。用来形成飞行器结构的结构可以被连接到第一狭长平台和第二狭长平台。可以使用第一狭长平台和第二狭长平台将结构保持在期望方位。

[0022] 所述特征和功能可以在本公开的各种实施例中独立地实现,或者可以在其他实施例中进行组合,其中参考下面的说明书和附图可以看出其进一步的细节。

附图说明

[0023] 说明性实施例的被确认为新颖特征的特性在所附权利要求中阐述。然而,当结合附图阅读时,说明性实施例以及优选的使用方式、进一步的目的及其特征将通过参考本公开的说明性实施例的下面的具体实施方式来最好地理解,其中:

[0024] 图1是根据说明性实施例的制造环境的方框图的图示;

[0025] 图2是根据说明性实施例的制造环境的不等轴视图的图示;

[0026] 图3是根据说明性实施例的工作间以及用于安装的分段的机翼组件部件的图示;

[0027] 图4是根据说明性实施例的被定位在工作间中的可驱动支撑系统的图示;

[0028] 图5是根据说明性实施例的可驱动支撑系统以及机翼组件的图示;

[0029] 图6是根据说明性实施例的机翼组件和可驱动支撑系统的图示;

[0030] 图7是根据说明性实施例的将面板装载在机翼组件上的装载装置的图示;

[0031] 图8是根据说明性实施例的对面板执行操作的自主工具系统的图示;

- [0032] 图9是根据说明性实施例的机翼组件的区段以及平头钻机的图示；
- [0033] 图10是根据说明性实施例的对面板执行操作的自主工具系统的图示；
- [0034] 图11是根据说明性实施例的机翼组件的区段以及履带机器人和可驱动平台的图示；
- [0035] 图12是根据说明性实施例的装载装置以及面板的图示；
- [0036] 图13是根据说明性实施例的装载装置以及面板的图示；
- [0037] 图14是根据说明性实施例的对面板执行操作的装配系统的图示；
- [0038] 图15是根据说明性实施例的对机翼组件的表面执行操作的装配系统的图示；
- [0039] 图16是根据说明性实施例的工作间中的机翼的图示；
- [0040] 图17是根据说明性实施例的工作间的俯视图的图示；
- [0041] 图18是根据说明性实施例的制造环境的图示；
- [0042] 图19是根据说明性实施例的具有狭长平台的可驱动支撑系统的图示；
- [0043] 图20是根据说明性实施例的可驱动支撑系统和机翼组件的图示；
- [0044] 图21是根据说明性实施例的连接装置和机翼组件上的一点的放大图的图示；
- [0045] 图22是根据说明性实施例的用于将工具定位在表面上的过程的流程图的图示；
- [0046] 图23是根据说明性实施例的用于对结构执行操作的过程的流程图的图示；
- [0047] 图24是根据说明性实施例的用于操作柔性制造系统以便对结构执行操作的过程的流程图的图示；
- [0048] 图25是根据说明性实施例的用于控制多个自主工具系统的操作的过程的流程图的图示；
- [0049] 图26是根据说明性实施例的用于管理制造环境的过程的流程图的图示；
- [0050] 图27是根据说明性实施例的用于使用可驱动支撑系统来建造机翼组件的过程的流程图的图示；
- [0051] 图28是根据说明性实施例的方框图形式的数据处理系统的图示；
- [0052] 图29是根据说明性实施例的方框图形式的飞行器制造和维护方法的图示；以及
- [0053] 图30是可以在其中执行说明性实施例的方框图形式的飞行器的图示。

具体实施方式

[0054] 说明性实施例认识并考虑到一个或更多个不同的因素。例如但非限制地，说明性实施例认识并考虑到可能希望在制造设施内的不同位置处在不使用固定的石碑状夹具的情况下装配飞行器结构。这些固定的石碑状夹具可以是在制造设施中占据显著空间量的大的笨重的结构。因此，制造设施中可用的工作间的数量可能是有限的，这会减少可以同时被装配的飞行器结构的数量。

[0055] 此外，说明性实施例认识并考虑到，当需要对固定的石碑状夹具执行维护或改装时，会减慢飞行器结构的生产，直至固定的石碑状夹具被修复。在不显著地降低制造设施内的飞行器结构的生产速率的情况下，固定的石碑状夹具不是可容易地替换的。

[0056] 说明性实施例还认识并考虑到，基于正被使用的制造设施的布局、正被建造的飞行器结构的类型或其组合，可能希望重新配置装配系统中的装置。例如，可能希望制造商将多个装置带到空的制造环境，其中没有固定的石碑状夹具或其他结构存在。然后制造商可

以根据需要来布置或装配装置,以促进飞行器结构的有效制造。在最初布置这些装置之后,说明性实施例认识并考虑到,可能需要重新布置装置、改变装置的配置、更改装配线的长度、在单个位置处执行更多操作或者做出一些其他改变或调整。换句话说,可能希望装置被布置以及被重新布置以形成许多不同的非固定夹具。

[0057] 说明性实施例进一步认识并考虑到,可能希望提高装配飞行器结构的速度。例如但非限制地,可能希望使用机器人装置使各种操作自动化。作为另一示例,可能希望在制造设施中的多个位置之间移动飞行器结构,而无需使飞行器结构与保持飞行器结构的夹具分开。还可能希望将飞行器结构移动到另一位置,而不必在执行另外的操作之前将飞行器结构放回到另一组固定的石碑状夹具上。所有这些动作都需要飞行器结构的重新配置,这会增加制造飞行器结构的时间、复杂性和成本。

[0058] 因此,说明性实施例可以提供用于对飞行器结构执行操作的方法和设备。该飞行器结构可以采取机翼、机身、稳定器、襟翼、舱门、狭板、副翼、扰流板或飞行器的其他部件或者一些其他非飞行器结构的形式。一种柔性制造系统可以包括可驱动支撑件,其从第一位置被驱动,并被带到制造环境的地面上的第二位置处与至少一个其他可驱动支撑件结合在一起形成可驱动支撑系统或非固定夹具。可驱动支撑系统可以被配置为将结构保持在期望方位,并且当正对组件执行操作时,将运载组件的可驱动支撑系统驱动到第三位置。

[0059] 现在参照附图并且具体参照图1,其描述了根据说明性实施例的制造环境的方框图的图示。在这个说明性示例中,制造环境100是可以在其中使用柔性制造系统102来制造产品104的环境。

[0060] 在说明性示例中,在柔性制造系统102最初被布置在制造环境100内之前,制造环境100可以是空的。换句话说,制造环境100可以是空的制造设施、建筑、单元或用来制造产品104的其他合适场所。柔性制造系统102可以被移动到制造环境100中,被布置并且根据需要被重新配置,以促进产品104的有效制造。柔性制造系统102可以是这样的制造系统,该制造系统具有改变为生产新产品类型的柔性/灵活性、改变对产品104的零件执行的操作的顺序的能力、使用多个装置对零件执行相同操作的能力、处理体积、容量或生产率或其一些组合的大规模改变的能力。

[0061] 在这个说明性示例中,柔性制造系统102可以是至少部分自动化的制造系统。在一个说明性示例中,柔性制造系统102是用于制造产品104的基本上完全自动化的系统。当柔性制造系统102是完全自动化的时候,它可以采取自主柔性制造系统的形式。

[0062] 在这个说明性示例中,柔性制造系统102可以是可移动的且可重新配置的。具体地,柔性制造系统102中的一个或多个部件可以可移动到制造环境100中的各种位置103。柔性制造系统102中的部件没有一个被固定在特定位置。

[0063] 如本文所用,“可移动”的装置可以意味着该物品能够移动或被移动。在一些情况下,可移动装置可以采取机动装置的形式。

[0064] “机动(mobile)”的装置可以能够从三维空间中的一个位置移动到三维空间的另一位置。具体地,装置的整体可以能够从三维空间中的一个位置移动或被移动到三维空间中的另一位置,装置的整体可以包括构成该装置的所有部件。以此方式,装置不被固定到特定位置。

[0065] 当柔性制造系统102包括机动装置时,柔性制造系统可以被称为机动装配系统。在

这个说明性示例中,柔性制造系统102不包括固定的石碑状夹具。在一些情况下,机动装置可以采取可驱动装置的形式。

[0066] “可驱动(drivable)”的装置可以能够如在上面所描述的那样从三维空间中的一个位置移动到三维空间的另一位置。可驱动装置的移动可以使用例如但不限于用于该装置的控制器、用于柔性制造系统102的系统控制器或一些其他类型的控制器来控制。

[0067] 取决于实施方式,可驱动装置的移动可以被电动地、机械地、电动机械地或手动地中的至少一种控制。以此方式,可驱动装置可以能够整体以多种不同的方式移动或被移动。在一些情况下,可驱动装置的移动可以被电动地且手动地控制。例如,装置可以可驱动穿过制造环境100的地面107以装配产品104。

[0068] 在这个所描述的示例中,产品104是由任何数量的零件、部件、子组件、组件或系统组成的物理物体。这些物品可以被装配以形成产品104。在一些情况下,产品104可以在制造环境100中被部分地装配,然后被移动到用于另外装配的另一位置。在一些实例中,产品104可以被称为结构、飞行器结构、零件或飞行器零件。

[0069] 在一个说明性示例中,产品104可以采取飞行器109的机翼108的形式。在其他说明性示例中,产品104可以采取选自机身、垂直稳定器、控制面、水平稳定器以及其他合适结构之一的飞行器结构的形式。另外,在一些情况下,产品104可以是汽车、飞行器、船舶、卫星、发动机、建筑物或其他类型的结构。

[0070] 结构110可以对应于在产品104的制造期间的产品104。具体地,结构110可以是在制造的各种阶段期间的产品104。以此方式,结构110可以是被用来形成产品104、部分完成的产品104或全部完成的产品104的一个或更多个部件。在一些说明性示例中,结构110可以被称为产品104的组装件。

[0071] 当结构110对应于机翼108时,结构110可以被称为机翼组件105。在这个所描述的示例中,当结构110在制造环境100周围移动时,部件可以被添加到结构110。

[0072] 如所描述的,制造环境100可以包括位置103。具体地,制造环境100可以包括第一位置113、第二位置115、第三位置117和第四位置119。在这个说明性示例中,位置103可以是制造环境100内的不同物理方位。

[0073] 制造环境100可以包括多个工作间112。多个工作间112是在制造环境100中由柔性制造系统102对结构110进行工作的区域。在一些情况下,位置103中的一个位置可以对应于工作间112中的一个工作间。例如,位置103中的一个或更多个可以在多个工作间112中的一个中。

[0074] 可以在多个工作间112中的每个工作间中执行各种任务111。例如但非限制地,在一个工作间中,翼梁和翼肋可以被相互连接,以形成机翼108的框架。在另一工作间中,蒙皮面板可以被附接到框架。在又一工作间中,密封件、涂料或其他材料可以被应用于机翼108。

[0075] 在这个所描述的示例中,多个工作间112中的每个工作间可以具有尺度114。尺度114可以表示多个工作间112中的每一个不同工作间的尺寸的测量结果。例如,尺度114可以包括长度、宽度、高度以及多个工作间112中的每个工作间的其他合适尺度。

[0076] 在这个说明性示例中,多个工作间112中的每个工作间的尺度114可以是相同的或不同的。在一些情况下,尺度114可以随着结构110移动通过多个工作间112而改变。在其他情况中,尺度114可以基于制造环境100的尺寸或布局中的至少一个而改变。

[0077] 如本文所用,当与一系列物品一起使用时,短语“…中的至少一个”意味着可以使用列出的物品中的一个或更多个的不同组合并且可以仅需要列表中的物品中的一个。物品可以是特定物体、事物或种类。换句话说,“…中的至少一个”意味着可以使用来自列表的物品的任何组合或任何数量的物品,但不是列表中的所有物品都可能被需要。

[0078] 例如,“物品A、物品B和物品C中的至少一个”可以意味着物品A;物品A和物品B;物品B;物品A、物品B和物品C;或者物品B和物品C。在一些情况下,“物品A、物品B和物品C中的至少一个”可以意味着例如但非限制地,两个物品A、一个物品B和十个物品C;四个物品B和七个物品C;或者一些其他合适的组合。

[0079] 如图所示,柔性制造系统102可以包含数个/多个不同的部件。如本文所用,“数个/多个(number of)”物品可以是一个或更多个物品。例如,多个部件可以是不只一个部件。

[0080] 在这个说明性示例中,柔性制造系统102可以包括支撑系统101、多个自主工具系统118、驱动控制系统121、导航器124、变换器126和装载系统127。这些系统可以共同被称为柔性制造系统102中的“部件”。

[0081] 柔性制造系统102中的部件中的至少一个可以是可重新配置的。在这个说明性示例中,柔性制造系统102中基本上所有的部件都是可重新配置的,这取决于柔性制造系统102的具体实施方式。

[0082] 如本文所用,“可重新配置”可以指代系统内的部件可被重新布置的能力。这种重新布置可以体现为一个部件相对于另一部件的方位的改变。该方位(position)可以是使用三维坐标的部件的位置(location)、该部件的取向或两者。

[0083] 部件在柔性制造系统102内的方位可以被“动态地重新配置”。换句话说,当结构110被移动通过制造环境100时,支撑系统101内的部件可以被实时地重新布置。

[0084] 在另一说明性示例中,支撑系统101内的每个部件也可以是可独立地重新配置的。换句话说,每个部件内的装置可以在机翼108的制造期间被重新布置、被重新校准或以其他方式被改变。

[0085] 作为示例,当部件具有三个装置时,那些装置中的一个或更多个可以在该部件内被重新配置,而无需重新布置该部件相对于柔性制造系统102中的其他部件的方位。以此方式,作为一个整体的柔性制造系统102以及柔性制造系统102内的每个部件可以根据需要被动态地重新配置。当柔性制造系统102中的一个或多个部件被重新配置时,那些部件的重新配置128已经发生。

[0086] 在这个说明性示例中,柔性制造系统102内的部件的重新配置128可以在产品104的制造期间发生。具体地,柔性制造系统102内的至少一个部件的重新配置128可以基于多个工作间112中的不同工作间中的尺度114、用于结构110的操作130的状态129或柔性制造系统102中的任何一个部件的状态中的至少一个的改变来执行。

[0087] 作为示例,当多个自主工具系统118中的一个自主工具系统脱机(offline)时,多个自主工具系统118中的另一自主工具系统可以接管该脱机装置。这种动作导致多个自主工具系统118的重新配置128。在另一说明性示例中,当多个工作间112中的尺度114受限制时,更多操作130可以在单个工作间中被执行。

[0088] 在其他说明性示例中,重新配置128可以包括改变操作130的顺序。在这种情况下,因为柔性制造系统102内的每一个部件可以相对于柔性制造系统102中的其他部件移动,所

以这些部件被移动到制造环境100内的期望方位。

[0089] 作为另一示例,重新配置128可以基于机翼108的制造参数132而发生。制造参数132可以包括正被制造的产品104的尺寸、所需要的多个自主工具系统118的类型、生产速率、所使用的材料、安全因素、航空公司规章、其他合适的参数或其组合。

[0090] 在这个所描述的示例中,当结构110移动通过制造环境100时,支撑系统101可以被用来支撑并保持结构110。以此方式,支撑系统101运载结构110通过制造环境100。

[0091] 支撑系统101可以包括驱动穿过制造环境100中的地面107的多个部件。当支撑系统101包括可驱动部件时,支撑系统101采取可驱动支撑系统116的形式。

[0092] 在一些情况下,可驱动支撑系统116可以采取快速自主接驳智能工具(RABIT)的形式。可驱动支撑系统116可以被称为可平移支撑系统或机动支撑系统。

[0093] 可驱动支撑系统116可以被配置为当其驱动穿过地面107时将结构110保持在期望方位133。在这个说明性示例中,可驱动支撑系统116可以在执行操作130期间在多个工作间112之间运载结构110。

[0094] 如图所示,可驱动支撑系统116可以包含支撑结构152和桥接系统136。可驱动支撑系统116还可以与轨道系统138在物理上相关联。如本文所用,通过被固定到第二部件、被粘结/键合(bond)到第二部件、被安装到第二部件、被焊接到第二部件、被紧固到第二部件、以某种其他合适的方式被连接到第二部件或其组合,第一部件(诸如可驱动支撑系统116)可以被认为与第二部件(诸如轨道系统138)相关联。还可以使用第三部件将第一部件连接到第二部件。另外,通过被形成第二部件的一部分、第二部件的延伸部分或其组合,第一部件可以被认为与第二部件相关联。

[0095] 在这个说明性示例中,支撑结构152均可以是可单独驱动的。当支撑结构152是可驱动的时候,支撑结构152采取可驱动支撑件135的形式。在这个说明性示例中,可驱动支撑件137是可驱动支撑件135中的一个。可驱动支撑件137可以是这样一种装置,其被配置为从第一位置113被驱动并被带到制造环境100的地面107上的第二位置115处与可驱动支撑件135中的至少一个其他可驱动支撑件结合在一起形成可驱动支撑系统116。

[0096] 可驱动支撑系统116可以采取非固定夹具169的形式。以此方式,可驱动支撑系统116可以充当可驱动、可移动、可平移或以其他方式被配置为在制造环境100中的位置103之间整体上被移动的石碑状物。一旦形成了可驱动支撑系统116,可驱动支撑系统116可以被配置为当正对结构110执行操作130时将结构110运载到第三位置117。作为示例,第三位置117可以是多个工作间112之一中的位置。可驱动支撑系统116还可以在制造环境100中的多个附加位置之间运载结构110。

[0097] 可驱动支撑件135中的每一个可以被配置为在驱动控制系统121中的控制器122命令下,保持结构110的零件191中的一个,并驱动穿过制造环境100的地面107,以便相对于彼此定位各个相应零件。例如,可驱动支撑件137可以运载翼梁穿过地面107,以相对于结构110定位翼梁。作为另一示例,可驱动支撑件137可以将一组翼肋带到结构110。

[0098] 在这个说明性示例中,可驱动支撑件135中的每一个可以在结构110上的不同连接点167处连接到结构110。连接点167是结构110上的可驱动支撑件135连接到的物理位置。

[0099] 在这个所描述的示例中,可驱动支撑件135中的每一个可以是能够被移动远离可驱动支撑系统116并且用另一个来替换的模块。以此方式,可驱动支撑系统116可以被重新

配置为用于不同尺寸的机翼。作为另一示例,新的可驱动支撑件可以被用来替换可驱动支撑件135中的可能发生故障或由于一些其他原因而需要维护的那一个装置或其组合。

[0100] 在这个说明性示例中,可驱动支撑件135可以是机械立柱、直立支座、自动导向车辆、支柱,或者可以采取其他形式。可驱动支撑件135中的每一个可以装备有各种机械部件和电气部件,例如但不限于控制器、致动器、夹紧装置、气动工具、液压工具以及被配置为将结构110保持在期望方位133的其他合适装置。

[0101] 在一些说明性示例中,可驱动支撑件135中的每一个可以与它自己的移动系统相关联。当可驱动支撑件135被结合在一起形成可驱动支撑系统116时,对应于可驱动支撑件135的各个移动系统可以共同在位置103之间移动。

[0102] 在其他说明性示例中,共同移动系统可以被配置为整体上移动可驱动支撑系统116。例如,拖曳装置或其他类型的移动系统可以被连接到可驱动支撑件135中的一个或更多个,以将可驱动支撑系统116从制造环境100中的一个位置移动或推进到另一位置。

[0103] 如所描述的,期望方位133可以是结构110在三维空间中的配置。例如但非限制地,期望方位(position)133可以包括位置(location)、取向、在地面107之上的高度或制造环境100中的某种其他合适的配置。期望方位133可以基于结构110的尺寸、正对结构110执行的操作130的类型以及其他合适的参数来选择。

[0104] 可驱动支撑件135可以与连接装置195相关联。在一些说明性示例中,连接装置195可以被称为固定装置、固定点、连接点或连接工具。

[0105] 连接装置195均可以连接到结构110上的连接点167中的不同点。连接装置195可以被配置为在连接点167处连接到结构110,以便将结构110的至少一部分保持在地面107之上。连接装置195可以垂直地移动、倾斜或以其他方式定位结构110上的不同零件191。

[0106] 控制器122可以被配置为单独地控制连接装置195中的每一个,以改变其高度、角度、长度或其他参数。控制器122还可以被配置为控制对应于形成可驱动支撑系统116的可驱动支撑件135的连接装置195的共同体。

[0107] 此外,控制器122可以被配置为伸出或缩回连接装置195中的每一个。以此方式,可以完成结构110的零件191的精确定位,以达到结构110的期望方位133。

[0108] 在一些说明性示例中,连接装置195中的一个或多个可以被配置为在控制点193处连接到结构110。控制点193是具有额外功能的连接点167。

[0109] 控制点171可以是控制点193中的一个。控制点171可以是结构110上的一个位置,该位置可以是可控制的,使得控制点171可以与结构110或正在制造的产品104的参考坐标系对齐。

[0110] 例如但非限制地,参考坐标系可以是基于产品104或者用于制造产品104的物体或平台的参考坐标系。当正被装配的产品104例如但不限于飞行器109的机翼108时,参考坐标系可以是飞机坐标系183。在这种情况下,控制点171可以处于结构上110相对于飞机坐标系183的已知位置。

[0111] 控制点171可以被用来在飞机坐标系183与制造环境100的全局坐标系181之间转变。全局坐标系181可以使用计量系统120来识别。全局坐标系181可以是工厂或制造坐标系。

[0112] 总体坐标系181中的控制点171的位置可以与飞机坐标系183中的控制点171的位

置相对应。以此方式,例如但非限制地,飞机坐标系183内要执行特定操作的位置可以被变换为总体坐标系181内的位置。另外,总体坐标系181内要执行特定操作的位置可以被变换为飞机坐标系183内的位置。这些变换可以使用变换器126来进行。

[0113] 例如,控制点171可以被用来在制造环境100的总体坐标系181与机翼108的机翼坐标系或用于飞行器109的飞机坐标系183之间转变。以此方式,控制点171可以被用来相对于飞机坐标系183定位结构110。

[0114] 对应于可驱动支撑件135的全体连接装置195可以在连接点167处附接到用来装配产品(诸如机翼108)的零件。该全体连接装置195可以将零件191保持在连接点167处,以将装配尺寸形状限制在容差内。全体连接装置195还可以将零件保持在期望方位以便装配机翼108。连接点167可以是结构上的附接点。例如,连接点167可以是前缘或后缘附接点或者用于结构(诸如狭板、扰流板、方向舵、襟翼、控制面)的控制面铰链点或在建造过程中某物能够被附接到结构的其他点。

[0115] 在这个说明性示例中,可驱动支撑件135可以充分防止结构110以不期望的方式移动。当结构110在所选容差范围之外移动时,结构110会以不期望的方式移动。例如,当结构110倾斜、摆动、旋转或在期望方位133之外以一些其他方式移动时,结构110会以不期望的方式移动。

[0116] 在一些情况下,可驱动支撑件135可以通过平台结构134相互连接。在这个说明性示例中,平台结构134可以是被定位在结构110下方的物体。平台结构134可以包含使可驱动支撑件135相互连接的多个平台。以此方式,平台结构134可以暂时连接可驱动支撑件135。然后平台结构134和可驱动支撑件135可以共同运载结构110从一个位置到另一位置贯穿多个工作间112。当平台结构134驱动穿过地面107时,平台结构134可以被称为可驱动平台结构。

[0117] 如所描述的,桥接系统136可以是被连接到可驱动支撑件135的结构。例如,可驱动支撑件135可以保持桥接系统136。作为另一示例,桥接系统136可以连接两个或更多个可驱动支撑件135。在另一说明性示例中,桥接系统136可以以一些其他方式连接到可驱动支撑件135。

[0118] 在这个所描述的示例中,桥接系统136可以被配置为提供人类操作者142到结构110的入口。例如但非限制地,桥接系统136可以允许人类操作者142进入结构110的一部分,否则不能从制造环境100的地面107进入该部分。作为另一示例,桥接系统136可以在结构110上方提供走道。

[0119] 在一个说明性示例中,桥接系统136可以被连接到可驱动支撑件135。在这种情况下,可驱动支撑件135将桥接系统136从制造环境100中的一个位置驱动到另一位置。在该说明性示例中,一组可驱动支撑件135可以移动桥接系统136。例如但非限制地,三个支撑件、四个支撑件、七个支撑件或一些其他合适数量的可驱动支撑件135可以将桥接系统136移动到适当的地方。

[0120] 当桥接系统136被连接到可驱动支撑件135时,连接装置195可以被定位在桥接系统136上,而不是被定位在每一个可驱动支撑件135上。例如,桥接系统136可以包含狭长平台177,连接装置195被定位在该狭长平台177上。取决于实施方式,连接装置195可以沿着狭长平台177以固定间隔均匀地分隔开,或者以通过移动连接装置195中的一个或更多个可以

改变的间隔分隔开。

[0121] 在这个说明性示例中,狭长平台177是升高的平台。当使用狭长平台177时,结构110被连接到沿着狭长平台177定位的连接装置195。

[0122] 在说明性示例中,狭长平台177可以采取横梁的形式。在其他说明性示例中,狭长平台177可以采取具有被配置为保持并支撑结构110的形状和尺寸的任何物理结构的形式。

[0123] 在一些实例中,不只一个狭长平台被使用。当使用不只一个狭长平台时,连接装置195可以以各种配置定位在每个平台上。

[0124] 在说明性示例中,连接装置195可以沿着狭长平台177的长度定位。例如,连接装置195可以沿着狭长平台177的整个长度彼此相邻地定位。以此方式,可以在说明性实施例中实现更多的连接装置195,而不增加所使用的可驱动支撑件135的数量。沿着狭长平台177定位的每一个连接装置195对应于结构110的一个或多个连接点167。

[0125] 在这个所描述的示例中,每一个可驱动支撑件135可以移动狭长平台177的一部分。例如,在狭长平台177下面被定向的每一个可驱动支撑件135可以沿x方向、y方向或z方向中的至少一个移动狭长平台177上的点。当需要时,可驱动支撑件135还可以围绕x轴、y轴或z轴旋转狭长平台177上的点,以定位狭长平台177。

[0126] 作为示例,可驱动支撑件137可以使用作动筒(z-ram)或其他提升装置来提升狭长平台177的一部分高于场地,以补偿地面107的不平区域。以此方式,可驱动支撑件137可以移动以控制狭长平台177的平坦度,并且因此控制结构110的相应部分的定位。作为另一示例,可驱动支撑件137可以使狭长平台177倾斜,从而被连接到狭长平台177的连接装置195使结构110上的控制点193对齐。

[0127] 除了或代替连接装置195的移动,狭长平台177的移动还可以单独地发生,以重新定位结构110的一部分。以此方式,选定的连接装置195、可驱动支撑件135、狭长平台177的某些部分或其一些组合可以移动以精确地定位结构110的一部分。

[0128] 在一些情况下,连接装置195可以被固定在狭长平台177。在这种情况下,连接装置195不可以单独移动。相反,可驱动支撑件135移动狭长平台177以正确地定位结构110。然而,在其他示例中,连接装置195中的一个或更多个也可以移动。

[0129] 在说明性示例中,桥接系统136还可以被用来向柔性制造系统102中的一个或多个装置供应多种公用设施179。公用设施179可以包括电、水、空气、通信或其他公用设施中的至少一个。

[0130] 例如但非限制地,狭长平台177可以包括通道185。多个线路187可以穿过通道185排布。在说明性示例中,线路187可以是公用设施179行进通过的结构。例如,一些线路187可以采取运载电或通信的电缆的形式。在其他说明性示例中,线路187运载空气。在一些情况下,线路187可以被放置在狭长平台177内,被附接在狭长平台177下面,以一些其他方式沿着狭长平台177定向或其组合。

[0131] 在这个所描述的示例中,桥接系统136的某些部分可以结合在一起,以使用可驱动支撑件135来支撑结构110。例如但非限制地,第一组可驱动支撑件135可以将狭长平台177移动到制造环境100中,以支撑结构110的前缘。以类似的方式,第二组可驱动支撑件135可以将第二狭长平台移动到制造环境100中,以支撑结构110的后缘。在一些说明性示例中,第一狭长平台和第二狭长平台可以使用各种端部支撑件、闩锁装置、锁定装置、机械结构、电

气结构或其他合适装置来连接。

[0132] 狭长平台177可以通过被连接到连接装置195的结构110来平衡应用于连接装置195的多个负荷。特别地,狭长平台177可以沿着狭长平台177将多个负荷分配到可驱动支撑件135。以此方式,狭长平台177可以被称为负荷平衡结构。

[0133] 当可驱动支撑件135将桥接系统136移动到适当方位时,可驱动支撑件135可以被调整以提供期望的负荷处理。例如,当在制造环境100中的斜坡处行进时,狭长平台177下方的可驱动支撑件135可以向上或向下移动狭长平台177以补偿结构110的负荷。因此,狭长平台177可以平衡由结构110应用于连接装置195的负荷。负荷平衡帮助减少或消除与其他物体的不期望的碰撞、在地面107上由于结构110的不平衡负荷而形成的不一致或者其他不期望的事件。

[0134] 如图所示,轨道系统138可以与桥接系统136和结构110的某些部分相关联。轨道系统138可以被配置为向人类操作者142提供掉落防护144。作为示例,轨道系统138可以提供屏障,使得人类操作者142不会从狭长平台177掉落到桥接系统136中。

[0135] 在另一说明性示例中,轨道系统138可以被布置在结构110上,以提供多个自主工具系统118与人类操作者142之间的分离。例如但非限制地,轨道系统138可以围绕结构110的周边140定位,以使多个自主工具系统118与人类操作者142分离。除了或代替其他掉落防护装置诸如线缆、抓握装置、扎带、悬挂装置和滑动保护装置等,还可以使用轨道系统138。

[0136] 在这个所描述的示例中,可驱动支撑系统116可以运载结构110通过制造环境100。以此方式,当结构110在多个工作间112之间移动时,可驱动支撑件135保持被连接到结构110。在多个工作间112中的任一工作间内都不需要固定的石碑状结构来将结构110保持在适当方位。结构110被从一个位置驱动到另一位置,而无需从可驱动支撑系统116上拆下结构110。

[0137] 因为可驱动支撑系统116可以与结构110一起移动,所以每一个可驱动支撑件135可以被动态地调整以补偿多个工作间112中的各种差异。例如,一个或多个可驱动支撑件135可以被调整以补偿例如但不限于不平的地面、平台偏斜、碎屑和对于多个自主工具系统118的进入需要以及其他的状况。也可以对连接装置195做出调整。

[0138] 如所描述的,多个自主工具系统118可以是配置为对结构110执行操作130的可驱动装置。在说明性示例中,多个自主工具系统118可以在制造环境100内的多个位置103之间自由移动以执行操作130。

[0139] 在一些情况下,多个自主工具系统118中的每一个可以被称为机动工具或自动工具。多个自主工具系统118可以包含履带机器人、平头钻机、六足机器人、下面板钻机、上面板钻机或一些其他合适装置中的至少一个。

[0140] 多个自主工具系统118还可以被配置为利用可驱动支撑系统116从一个位置驱动到另一位置。在这个说明性示例中,当可驱动支撑系统116在多个工作间112之间驱动时,多个自主工具系统118也可以在多个工作间112之间驱动。

[0141] 在这个所描述的示例中,多个自主工具系统118包括自主工具系统131。在这个说明性示例中,自主工具系统131可以具有多个不同的部件。例如,自主工具系统131可以包括钻孔系统、紧固系统、装载系统、测量装置、涂覆系统、检查系统、密封系统、清洁系统或被配置为对结构110执行操作130的其他合适类型的装置中的至少一个。在一些说明性示例中,

自主工具系统131可以采取自动导向车辆197 (AGV) 的形式。

[0142] 在这个说明性示例中,多个自主工具系统118可以被配置为在没有人类干预的情况下在多个工作间112之间移动。例如,多个自主工具系统118中的每一个可以能够与控制器122通信、导航通过制造环境100并且在没有来自人类操作者142的指令的情况下执行操作130。多个自主工具系统118中的每一个可以知晓其在制造环境100中相对于其他工具、可驱动支撑系统116、结构110以及其他物体的方位。

[0143] 在这个说明性示例中,多个自主工具系统118可以包括第一部分147和第二部分148。在这个说明性示例中,多个自主工具系统118的一“部分”可以包含一个或多个工具。

[0144] 如所描述的,可以在制造环境100中对结构110执行操作130。操作139可以是操作130中的一个。操作139可以选自钻孔操作、紧固操作、检查操作、密封操作、测量操作、调平操作、清洁操作以及其他合适类型的操作中的一个。当在结构110的装配期间执行操作130时,操作130可以被称为装配操作。

[0145] 多个自主工具系统118中的每一个可以执行操作130中的一个或多个。在这个说明性示例中,可以在多个工作间112中的每一个中执行数个/多个操作130。

[0146] 如所描述的,多个自主工具系统118可以被配置为同时操作以便对结构110执行操作130。如本文所用,当多个自主工具系统118“同时”执行操作时,两个或更多个工具基本上在相同的时间执行操作。

[0147] 例如但非限制地,自主工具系统131可以在结构110的一个部分中钻孔,而多个自主工具系统118中的另一自主工具系统可以在结构110的不同部分中钻孔。在另一说明性示例中,多个自主工具系统118的第一部分147可以执行钻孔、测量和紧固操作,而多个自主工具系统118的第二部分148可以执行密封和涂覆操作。

[0148] 在又一说明性示例中,多个自主工具系统118的第一部分147可以相对于结构110的第一侧150定位以执行钻孔操作。与此同时,多个自主工具系统118的第二部分148可以相对于结构110的第二侧151定位以执行钻孔操作。

[0149] 如图所示,计量系统120可以包括一个或多个测量装置。计量系统120可以被配置为针对可驱动支撑系统116、多个自主工具系统118、结构110或制造环境100内的其他部件中的至少一个产生计量数据154。在一些示例中,计量数据154可以被称为方位数据或方位信息。

[0150] 在这个所描述的示例中,计量系统120可以采取照相测量系统、激光跟踪器系统、室内全球定位系统 (iGPS) 或其他合适类型的测量系统的形式。在一些说明性示例中,计量系统120可以包括多个传感器系统156。多个传感器系统156中的一个传感器系统可以具有数个/多个传感器以及其他部件。多个传感器系统156可以包含目标、目标系统、发送器、接收器、收发器或其他合适的部件。

[0151] 在这个说明性示例中,计量系统120中的多个传感器系统156中的一些可以被连接到可驱动支撑系统116中的可驱动支撑件135。例如但非限制地,多个传感器系统156中的一个可以被安装在每一个可驱动支撑件135上,或者以一些其他方式固定到可驱动支撑件135。当多个传感器系统156中的一些被连接到可驱动支撑件135时,计量系统120可以随着可驱动支撑系统116移动而跟踪可驱动支撑系统116。

[0152] 当在说明性实施例中实施桥接系统136中的狭长平台177时,多个传感器系统156

中的一些被连接到狭长平台177。这些传感器可以被用来确定狭长平台177的平坦度。

[0153] 在这个说明性示例中,多个传感器系统156也可以被连接到结构110。例如,多个传感器系统156中的一些可以被定位在结构110的第一侧150或第二侧151上,以充当计量系统120的基准位置。在其他示例中,多个传感器系统156中的一个或多个被定位在结构110上的每一个控制点193处。

[0154] 在说明性示例中,多个传感器系统156中的一些还可以被定位在多个自主工具系统118中的每一个上。计量系统120可以使用激光器、摄像机或一些其他合适装置中的至少一个来扫描多个传感器系统156,以产生计量数据154。

[0155] 如图所示,计量数据154可以包括指示物体在三维空间中的位置和取向的数据。例如,计量数据154可以包括与多个传感器系统156之一相关联的物体的坐标160。坐标160可以包括物体在总体坐标系181中的笛卡尔坐标。

[0156] 作为示例,计量系统120可以产生自主工具系统131的坐标160。在另一说明性示例中,计量系统120可以产生狭长平台177的表面的点的坐标160。在又一说明性示例中,计量系统120可以产生结构110的一部分的坐标160。根据坐标160以及包含在计量数据154中的任何取向信息,结构110的方位162可以被调整到期望方位133。

[0157] 计量系统120可以基于计量数据154为柔性制造系统102提供反馈控制199。例如,计量系统120可以定位可驱动支撑件135、狭长平台177上的点、多个自主工具系统118、结构110的控制点193或其他部件中的至少一个。在定位这些部件之后,驱动控制系统121可以根据需要重新配置这些部件中的一个或多个。

[0158] 在这个说明性示例中,驱动控制系统121包含用来控制移动的各种部件,并且可以包括控制器122、导航器124和变换器126。控制器122、导航器124和变换器126均可以以软件、硬件、固件或其组合的方式实施。

[0159] 当使用软件时,由控制器122、导航器124或变换器126中的任何一个执行的操作可以使用例如但不限于被配置为在处理器单元上运行的程序代码来实施。当使用固件时,由控制器122、导航器124或变换器126中的任何一个执行的操作可以使用例如但不限于程序代码和数据来实施,并且被存储在永久存储器中以在处理器单元上运行。

[0160] 当采用硬件时,该硬件可以包括进行操作以执行由控制器122、导航器124或变换器126中任何一个执行的操作的一个或多个电路。取决于实施方式,该硬件可以采取电路系统、集成电路、专用集成电路(ASIC)、可编程逻辑器件或被配置为执行任何数量的操作的一些其他合适类型的硬件装置的形式。

[0161] 对于可编程逻辑器件,该器件可以被配置为执行数个/多个操作。该器件可以在一段时间后被重新配置,或者可以被永久地配置为执行数个/多个操作。可编程逻辑器件的示例包括例如可编程逻辑阵列、可编程阵列逻辑、现场可编程逻辑阵列、现场可编程门阵列以及其他合适的硬件装置。此外,这些过程可以在与无机部件集成在一起的有机部件中实施,并且可以完全由除人类外的有机部件组成。例如,这些过程可以被实施为有机半导体的电路。

[0162] 在一些说明性示例中,由控制器122、导航器124或变换器126执行的操作、过程或两者可以使用与无机部件集成在一起的有机部件来执行。在一些情况下,所述操作、过程或两者可以完全由除人类外的有机部件来执行。作为一个说明性示例,有机半导体的电路可

以被用来执行这些操作、过程或两者。

[0163] 在说明性示例中,控制器122可以在计算机系统164中实施。导航器124、变换器126或两者也可以在计算机系统164中实施。计算机系统164可以是一个或多个计算机。当不只一个计算机存在于计算机系统164中时,这些计算机可以通过通信介质(诸如网络)相互通信。在一些情况下,控制器122、导航器124和变换器126中的每一个在单独的计算机系统中实施。

[0164] 如所描述的,控制器122可以是配置为使用计量数据154来控制多个自主工具系统118的操作的装置。控制器122可以与计量系统120、多个自主工具系统118以及柔性制造系统102内的其他部件通信。

[0165] 当一个部件与另一部件“通信”时,两个部件可以被配置为通过通信介质来回地发送信号。例如但非限制地,控制器122可以通过网络与计量系统120无线地通信。在另一说明性示例中,控制器122可以经由有线连接与其他部件通信。

[0166] 在这个所描述的示例中,控制器122可以被配置为向柔性制造系统102内的各种部件发送命令166。在这个说明性示例中,命令166可以包括导航指令、操作指令、转向、定位指令以及其他合适类型的指令。

[0167] 如所描述的,基于由计量系统120产生的计量数据154,控制器122可以向可驱动支撑系统116发送命令166,以改变结构110的方位162。例如,当结构110的方位162已经偏离期望方位133时,可以向可驱动支撑系统116发送命令166。在这种情况下,可驱动支撑件135、连接装置195或两者中的一个或多个可以基于命令166进行致动以使结构110移动到期望方位133。在结构110被移动之后,计量系统120可以再次确定结构110的方位162以提供反馈控制199。

[0168] 在这个说明性示例中,控制器122还可以被配置为向多个自主工具系统118发送命令166。例如但非限制地,控制器122可以被配置为以向多个自主工具系统118发送命令166的方式将任务111分配给多个自主工具系统118。每一个任务111可以包括一个或多个操作130。

[0169] 另外,控制器122可以被配置为监控分配给多个自主工具系统118的任务111的状态170以及多个自主工具系统118的状态172。在这个说明性示例中,任务111的状态170可以是任务111的状况。例如但非限制地,状态170可以表示已经被多个自主工具系统118完成的任务111的数量。状态170还可以包括任务111的完成水平的指示。在一些情况下,任务111中的一些可以基本上被同时执行,或者可以在时间上重叠。

[0170] 在一些说明性示例中,状态170可以包括数值。例如,状态170可以指示任务111的百分之五十已完成。在另一示例中,状态170可以指示剩下要钻孔的孔的数量。在又一说明性示例中,状态170可以是“完成”、“进行中”或任务111的其他合适状况中的至少一个。

[0171] 在这个所描述的示例中,状态172可以是多个自主工具系统118中的每一个的状况的指示器。例如但非限制地,状态172可以指示多个自主工具系统118中的每一个是否联机、脱机、处于备用模式、处于中途或处于其他操作状况。

[0172] 在其他说明性示例中,状态172可以指示正在执行操作130中的哪一个操作。作为示例,状态172可以指示正在执行孔的检查。在另一示例中,状态172可以指示正在安装紧固件。在又一说明性示例中,状态172可以指示自主工具系统131当前正在更换工具。

[0173] 在这个说明性示例中,控制器122可以被配置为基于任务111的状态170或多个自主工具系统118的状态172中的至少一个,在多个自主工具系统118之间重新分配任务111。作为示例,控制器122可以在自主工具系统131脱机时重新分配任务111。以此方式,机翼108的装配不被脱机的自主工具系统131中断。

[0174] 在另一说明性示例中,控制器122可以在一些任务111已完成时重新分配任务111。因此,控制器122可以在柔性制造系统102内有效地分派资源。在向多个自主工具系统118分配以及重新分配任务111时,控制器122可以被配置为基于由计量系统120产生的计量数据154改变多个自主工具系统118中的每一个的方位174。特别地,可以基于计量数据154为多个自主工具系统118中的每一个产生路径176。

[0175] 如所描述的,导航器124是驱动控制系统121中可以被配置为为多个自主工具系统118中的每一个产生路径176以执行操作130的部件。在一些实例中,导航器124可以被称为导航系统。

[0176] 在这个说明性示例中,路径176可以是穿过制造环境100的路线。例如但非限制地,路径176可以是自主工具系统131从第二位置115到达第三位置117以执行操作130的路线。

[0177] 可以针对多个自主工具系统118中的每一个实时地产生以及更改路径176。路径176可以随着计量系统120连续地在制造环境100中定位部件而改变,以提供反馈控制199。

[0178] 例如,可以产生路径176,以避免自主工具系统131与制造环境100中的其他物体之间的不期望的碰撞、从结构110掉落或其他不期望的事件。在这个说明性示例中,导航器124可以以一组指令、路径点或者可由自主工具系统131使用的其他信息的形式产生路径176。

[0179] 如所描述的,变换器126可以与导航器124、计量系统120和控制器122通信。在一些情况下,诸如当变换器126以硬件的方式实施时,变换器126可以被称为变换装置。

[0180] 变换器126可以被配置为将由计量系统120产生的计量数据154变换为飞机坐标系183中的飞机坐标178。以此方式,变换器126将坐标160变换为可用于相对于结构110移动多个自主工具系统118的飞机坐标178。

[0181] 飞机坐标系183可以表示在三维空间中定位飞机零件的参考坐标系。飞机坐标系183可以基于飞行器109中的原点或参考点。

[0182] 在这个所描述的示例中,作为多个自主工具系统相对于结构110的方位的一部分,从坐标160到飞机坐标178的变换是合乎期望的。可以由导航器124基于从变换器126接收的飞机坐标178来产生路径176,使得自主工具系统131移动到相对于结构110的期望位置。

[0183] 在一些情况下,驱动控制系统121的一个或多个部件可以彼此远离。在其他说明性示例中,控制器122可以远离柔性制造系统102。

[0184] 如所描述的,装载系统127可以是配置为相对于结构110定位第一蒙皮面板180或第二蒙皮面板182中的至少一个的结构。在这个说明性示例中,第一蒙皮面板180可以采取机翼108的上蒙皮面板184的形式。第二蒙皮面板182可以采取机翼108的下蒙皮面板186的形式。

[0185] 在这个所描述的示例中,装载系统127可以包含第一装载装置188和第二装载装置190。第一装载装置188、第二装载装置190或两者可以选自装载平台、提升机、跟踪系统、机械臂、台架以及其他合适类型的装置中的一个。随着这些装置被从一个位置移动到另一位置,计量系统120可以定位第一装载装置188和第二装载装置190以提供反馈控制199。

[0186] 如所描述的,第一装载装置188可以被配置为相对于结构110定位上蒙皮面板184。例如,第一装载装置188可以将上蒙皮面板184放置在结构110的第一侧150上。然后通过多个自主工具系统118对上蒙皮面板184执行操作130。

[0187] 以类似的方式,第二装载装置190可以被配置为相对于结构110定位下蒙皮面板186。作为示例,第二装载装置190可以将下蒙皮面板186放置在结构110的第二侧151上。可以通过多个自主工具系统118对下蒙皮面板186执行操作130。

[0188] 在这个说明性示例中,可以为柔性制造系统102中的各种部件提供操纵方向196。作为示例,可以为多个自主工具系统118、可驱动支撑系统116、可驱动支撑件135中的每一个以及在制造环境100中从一个位置到另一位置移动的其他装置提供操纵方向196。操纵方向196可以采取命令、指令、路径产生、物理地改变装置的移动方向以及其他导向方法的形式。在这个说明性示例中,操纵方向196可以随着制造环境100内的状况改变而动态地改变。

[0189] 操纵方向196可以由控制器122、人类操作者142或一些其他合适装置中的至少一个来提供。在其他说明性示例中,每个可操纵装置可以不在控制器的指引下操纵它自己。

[0190] 作为示例,控制器122可以发送命令166以操纵自主工具系统131。在又一示例中,人类操作者142可以通过物理地改变其方向来操纵可驱动支撑件137。

[0191] 柔性制造系统102的可重新配置性可以允许操作130以有效的方式执行,而无需不期望的人类操作者的干预。考虑到彼此的方位和状态,控制器122可以同时控制柔性制造系统102中的所有部件的操作。由计量系统120提供的反馈控制199允许柔性制造系统102的协调控制。因此,多个自主工具系统118可以同时工作以装配机翼108。

[0192] 而且,取决于制造环境100的尺寸,柔性制造系统102内的每一个部件可以被重新配置。在不使用固定的石碑状夹具的情况下,柔性制造系统102可以提供比一些当前使用的系统更有效的装配机翼108的方式。

[0193] 此外,因为执行操作130的准确性源自于计量系统120、导航器124和控制器122提供的功能的组合而不是固定的石碑状夹具的结构刚性,所以可驱动支撑件135可以包含比固定的石碑状夹具更轻的材料或更少的材料。因此,可驱动支撑件135可以更轻并且成本更少。

[0194] 作为另一期望的特征,狭长平台177的使用可以需要更少的传感器来准确地定位并调整结构110的方位。例如但非限制地,代替将多个传感器系统156中的一个定位在控制点193、连接装置195或两者中的每一个上,若干传感器可以被放置在狭长平台177的表面上以确定其平坦度。然后狭长平台177的一个或多个部分被调整以使结构110对齐。更少传感器的使用可以进一步降低预付的设施成本。

[0195] 图1中的柔性制造系统102的图示并不意味着暗示对说明性实施例可以被实施的方式进行物理的或体系构架的限制。除了或代替所图示的部件外,还可以使用其他部件。一些部件可以是可选的。而且,这些方框被展示以便图示一些功能部件。当在说明性实施例中实施时,这些方框中的一个或多个可以被组合、被划分或被组合且划分为不同的方框。

[0196] 例如但非限制地,不只一个结构110可以同时存在于制造环境100中。当不只一个结构110存在于制造环境100中时,部件可以被同时添加到每个结构110,以形成多个机翼。重新配置多个自主工具系统118的能力可以允许在多个机翼组件上同时使用同组工具,从而增加飞行器的机翼的生产速率。

[0197] 在另一说明性示例中,附加的传感器系统可以在柔性制造系统102中的部件中实施。例如,多个自主工具系统118中的每一个可以包括被配置为产生方位信息、测量孔的深度或执行其他过程的传感器系统。

[0198] 作为又一说明性示例,柔性制造系统102内的每一个部件可以包含被配置为控制特定装置的操作的独立控制器。这些控制器中的每一个可以与控制器122通信。

[0199] 在又一说明性示例中,多个自主工具系统118在制造环境100内与人类操作者协同地工作。作为示例,多个人类操作者可以存在于多个工作间112中,以监督柔性制造系统102的进程,执行另外的操作130,或者由于一些其他原因。

[0200] 作为另一示例,柔性制造系统102可以包括移动系统。该移动系统可以被配置为在多个工作间112之间移动可驱动支撑系统116。在这种情况下,移动系统可以包括跟踪系统、轮子、拖曳装置、自动导向车辆(AGV)或一些其他合适类型的移动装置。在另一说明性示例中,移动系统可以被集成在可驱动支撑系统116中,并且当可驱动支撑系统116在工作间内到达其目的地时缩回。

[0201] 在另一说明性示例中,附加的传感器系统可以被用来产生关于柔性制造系统102中的部件、结构110或两者的各种类型的信息。例如但非限制地,力传感器(也被称为负荷传感器)可以被用于负荷平衡。这些负荷传感器可以沿着狭长平台177的长度在各个点处实施,以确定由结构110施加于狭长平台177的负荷。根据该传感器反馈,狭长平台177可以被移动,以使得不会发生超负荷。

[0202] 现在参照图2,其描述了根据说明性实施例的制造环境的不等轴视图的图示。在这个所描述的示例中,制造环境200以及工作间202可以是在图1中以方框形式示出的制造环境100以及多个工作间112的物理实施方式的示例。

[0203] 如图所示,机翼组件204可以移动通过工作间202。每一个机翼组件204可以是图1中的结构110的物理实施方式的示例。在每一个工作间202中,可以对机翼组件204执行操作,以形成飞行器(在这个视图中未示出)的机翼。

[0204] 如图所示,制造环境200可以包括柔性制造系统206,以便对机翼组件204执行操作。柔性制造系统206可以提供机翼组件204的脉动连续移动。脉动连续移动可以从一个工作间202移动到另一个工作间202中并且在每个工作间内暂时停止以便执行操作。

[0205] 柔性制造系统206可以包括可驱动支撑系统208、自主工具系统210、计量系统212和系统控制器214。可驱动支撑系统208、自主工具系统210、计量系统212和系统控制器214可以是在图1中以方框形式示出的可驱动支撑系统116、多个自主工具系统118、计量系统120和控制器122的物理实施方式的示例。

[0206] 柔性制造系统206内的所有部件都可以移动贯穿工作间202之间的制造环境200。以此方式,部件可以在工作间202中从一个位置移动到另一位置,以便对任何一个机翼组件204执行操作。基于制造环境200的布局与尺寸、机翼组件204的尺寸与制造需求以及其他合适的参数,柔性制造系统206也可以是可重新配置的。

[0207] 在这个说明性示例中,当正在执行操作时,机翼组件(在这个视图中未示出)可以在工作间216、工作间218、工作间220、工作间222与工作间224之间移动。机翼组件可以在这些工作间之间被柔性制造系统206中的各种部件运载。此外,在这个说明性示例中,柔性制造系统206内的部件从一个工作间驱动到另一工作间,以便与机翼组件一起移动。

[0208] 图3-16示出了在制造环境200中使用来自图2的柔性制造系统206的装配过程的进程。图3-16示出了移动通过各个工作间202的机翼组件。

[0209] 转向图3,其根据说明性实施例描述了工作间以及用于安装的分级(staged)的机翼组件部件的图示。在这个所描述的示例中,示出了工作间216。

[0210] 如所描述的,机翼组件302的部件可以存在于工作间216中。特别地,机翼组件302的结构性构件304可以存在于工作间216中。机翼组件302可以是在图1中示出的结构110的物理实施方式的示例。

[0211] 在工作间216中,结构性构件304可以是分级的。结构性构件304可以是为机翼(未示出)提供结构性支撑和负荷处理能力的单元。

[0212] 在这个说明性示例中,结构性构件304可以包括翼梁306和翼肋308。此外,在工作间216中,多个适配器配件、铰链以及其他部件可以是分级的。

[0213] 在图4中,根据说明性实施例描述了来自图2的被定位在工作间中的可驱动支撑系统208的图示。在这个所描述的示例中,可驱动支撑系统208被定位在工作间218中。

[0214] 如所描述的,可驱动支撑系统208可以包括支撑件402。支撑件402可以是在图1中以方框形式示出的可驱动支撑件135的物理实施方式的示例。每一个支撑件402在制造环境200内从一个位置驱动到另一位置。当支撑件402结合在一起形成可驱动支撑系统208时,随着对机翼组件302进行操作,支撑件402从一个工作间共同移动到另一工作间。

[0215] 在这个说明性示例中,每一个支撑件402可以从制造环境200中的另一位置被移动,以到达工作间218。作为示例,每一个支撑件402可以被移动并且相对于彼此布置,以形成可驱动支撑系统208、非固定夹具。在一些说明性示例中,平台(在这个视图中未示出)可以使支撑件402相互连接。

[0216] 在说明性示例中,每一个支撑件402可以是可互换的。换句话说,支撑件402可以能够代替彼此来使用。以此方式,重新配置支撑件402可以比在支撑件402必须以特定顺序布置的情况下更快地完成。

[0217] 支撑件402从制造环境200中的各种位置将机翼组件302的零件(未示出)带到一起。作为示例,支撑件402中的一个可以从工作间216带来机翼组件302的一部分,而支撑件402中的另一个可以从工作间216带来机翼组件302的不同部分。在另一说明性示例中,支撑件402可以首先被布置,然后机翼组件302可以被连接到支撑件402。每一个支撑件402可以具有在不同控制点(未示出)处被连接到机翼组件302的不同部分的连接装置(未示出)。

[0218] 在一些说明性示例中,支撑件402中的一些可以被带到一起以形成可驱动支撑系统208,并将机翼组件302从制造环境200中的一个位置运载到第二位置。同时,其他支撑件402可以被结合为另一类型的非固定夹具或第二可驱动支撑系统,以将机翼组件302的另一部分从制造环境200中的又一位置运载到第二位置或一些其他位置。

[0219] 在这种情况下,可驱动支撑系统208和第二可驱动支撑系统可以组合为新的共同体,以形成新的非固定夹具。随后,当需要时,附加的支撑件402可以被添加或被移除,在各种位置处将零件带到机翼组件302。以此方式,说明性实施例允许支撑件402的若干共同体在装配过程期间在不同点以及时刻结合在一起形成新的非固定夹具,从而使它们运载的组件包括在更大的上拱形(overarching)组件中。

[0220] 支撑件403可以是支撑件402中的一个的示例。在这个说明性示例中,支撑件403可

以是与其他支撑件402可互换的模块。

[0221] 在这个所描述的示例中,支撑件402可以在工作间218内彼此相邻地布置。支撑件402的第一部分可以与支撑件402的第二部分406相对地定位,以保持机翼组件302处于水平配置。

[0222] 如图所示,机翼组件302可以由可驱动支撑系统208来接收。机翼组件302可以沿箭头414的方向被移动,以便由可驱动支撑系统208接收。在其他说明性示例中,一组支撑件402可以拾取机翼组件302的一部分,以将其带到工作间218,非常像人类操作者那样可以将不同零件带到该组件,以方便进行那些零件的附接。

[0223] 接下来参照图5,其根据说明性实施例描述了来自图4的可驱动支撑系统208以及机翼组件302的图示。机翼组件302已经沿箭头414的方向被驱动。

[0224] 在这个所描述的示例中,支撑件402的第一部分404可以保持机翼组件302的侧面500。以类似的方式,第二部分406可以保持机翼组件302的侧面502。支撑件402可以沿箭头503的方向被垂直地调整,以适应机翼组件302的期望高度。该期望高度可以在工作间202之间改变,这取决于正被执行的操作的类型。

[0225] 如所描述的,每一个支撑件402可以在沿着机翼组件302的侧面500和侧面502的不同点处被固定到机翼组件302。可以使用被配置为以期望的方式保持机翼组件302的任何机械方法将支撑件402连接到机翼组件302。例如但非限制地,支撑件402可以使用连接装置(未示出)来将机翼组件302夹紧在某位置。

[0226] 在这个说明性示例中,桥接系统504已经被连接到可驱动支撑系统208。人类操作者506可以使用桥接系统504进入并观察机翼组件302。桥接系统504和人类操作者506可以是在图1中以方框形式示出的桥接系统136和人类操作者142的物理实施方式的示例。

[0227] 如所描述的,轨道系统508可以与桥接系统504相关联。轨道系统508可以是在图1中以方框形式示出的轨道系统138的物理实施方式的示例。

[0228] 轨道系统508可以包括桥接系统504上的轨道510。轨道510可以降低人类操作者506从桥接系统504上掉落的风险。以此方式,轨道系统508可以为人类操作者506提供掉落防护。

[0229] 当机翼组件302在工作间218中时,可以执行各种操作。例如但非限制地,翼肋308可以被钻孔并被紧固。

[0230] 此外,机翼组件302可以由计量系统212来扫描,以分析机翼组件302中的结构性构件304的方位。计量系统212依赖于各种传感器(在这个视图中未示出)来确定结构性构件304的方位。系统控制器214可以与计量系统212通信,并且比较结构性构件304的方位与期望方位。可以响应于这一比较而做出调整。计量系统212可以在做出调整时提供反馈控制,直至到达期望方位。

[0231] 在又一说明性示例中,机翼组件302可以被调平,并且前翼梁铰合线可以被设定。然后面板512可以相对于机翼组件302的侧面514进行定位。面板512可以是在图1中示出的上蒙皮面板184的物理实施方式的示例。在这个说明性示例中,面板512沿箭头414的方向被移动,以便被放置在机翼组件302的顶部。

[0232] 在图6中,根据说明性实施例描述了沿图5中的线6-6的方向示出的机翼组件302和可驱动支撑系统208的图示。桥接系统508已经被移除,使得可以更详细地观察到可驱动支

撑系统208内的部件。

[0233] 在这个说明性示例中,各种支撑结构可以被放置在每一个支撑件402之间以建立平台600。在这个说明性示例中,平台600可以是连续平台。还可以添加牵引门602,以连接支撑件402的第一部分404与支撑件402的第二部分406。牵引门602可以被配置为被连接到拖曳装置或其他移动系统,以在图2中示出的工作间202之间移动可驱动支撑系统208。

[0234] 在这个所描述的示例中,人类操作者506可以在工作间218周围移动。人类操作者506可以监控机翼组件302的装配过程、执行操作或两者。在这个说明性示例中,人类操作者506可以具有进入机翼组件302的所有部分的能力。

[0235] 接下来参照图7,其根据说明性实施例描述了对来自图6的机翼组件302上的装载装置的图示。在这个所描述的示例中,装载装置700已经沿图6中的箭头414的方向移动面板512。装载装置700可以是在图1中以方框形式示出的第一装载装置188的物理实施方式的示例。

[0236] 在这个说明性示例中,装载装置700可以将面板512放置在机翼组件302的侧面514上。然后可以对面板512执行操作。

[0237] 在这个所描述的示例中,轨道702可以被定位在机翼组件302的面板512上。轨道702可以是轨道系统508的一部分,并且可以被配置为降低人类操作者506从机翼组件302上掉落的风险。轨道702还可以将人类操作者506隔离以避免与在图2中示出的自主工具系统210的不期望碰撞。

[0238] 在图8中,根据说明性实施例描述了对来自图7的面板512执行操作的来自图2的自主工具系统210的一部分的图示。在这个所描述的示例中,自主工具系统210的一部分可以被部署到面板512的表面800上。

[0239] 如图所示,钻孔装置802可以被部署在面板512的表面800上。钻孔装置802可以是在图1中以方框形式示出的多个自主工具系统118的物理实施方式的示例。在这个说明性示例中,钻孔装置802可以采取平头钻机的形式。

[0240] 在这个说明性示例中,钻孔装置802可以是被配置在面板512中钻孔并安装平头紧固件(在这个视图中未示出)的自主装置。这些平头紧固件在选定位置处为在图3-6中示出的结构性构件304提供夹紧以帮助减轻填隙、错位或其他问题。在机翼组件302的区段806中示出的平头钻机804可以是钻孔装置802中的一个。

[0241] 在这个所描述的示例中,钻孔装置802可以同时也在面板512的表面800周围移动,在面板512上的不同位置处同时执行钻孔和紧固操作。钻孔装置802与在图2中示出的系统控制器214通信。具体地,钻孔装置802可以接收来自系统控制器214的指令。这些指令可以包括移动的路径和将要执行的不同操作。

[0242] 可以产生关于每一个钻孔装置802的方位反馈。该反馈可以由计量系统212、钻孔装置802上的主动部件或其组合来产生。例如,当钻孔装置802在面板512周围移动时,钻孔装置802可以向系统控制器214连续地提供反馈。该反馈可以包括方位信息、状态、对面板512执行的检查的结果以及其他合适信息。

[0243] 然后系统控制器214使用该反馈来重新定位钻孔装置802,以确保在正确位置钻孔,从而避免钻孔装置802之间的碰撞,并且从而在钻孔装置802之间更有效地分配任务。因此,每一个钻孔装置802可以沿着面板512的表面800移动,而不会有彼此或与人类操作者

506的不期望碰撞、从机翼组件302上掉落、在不期望的位置钻孔或其组合。

[0244] 在一些说明性示例中,在钻孔装置802已经完成其钻孔和紧固操作之后,人类操作者506可以对面板512执行另外的操作。例如但非限制地,人类操作者506可以在面板512的下侧(未示出)定位、钻孔和以及安装部件。这些部件可以包括剪切扎带、纵桁端部配件、脱胶抑制紧固件以及其他合适部件。在其他说明性示例中,其他自主工具系统210可以安装这些部件。

[0245] 在一些说明性示例中,另外的部件可以被包括在工作间218中。例如,平衡系统(在这个视图中未示出)可以被连接到每一个钻孔装置802。在这个说明性示例中,平衡系统可以被配置为抵消钻孔装置802之一的重量。例如,平衡系统可以被可移除地附接到平头钻机804,并且可以包括带轮、重物、连接器、电缆以及其他部件。

[0246] 在平头钻孔过程之后,钻孔装置802可以从面板512的表面800移除。然后面板512可以由装载装置700来卸载,以便清理毛刺、清洁以及密封(在这个视图中未示出移除)。

[0247] 在这个说明性示例中,可驱动支撑系统208和机翼组件302可以被移动到工作间220,如在图10中示出的。可驱动支撑系统208和机翼组件302可以沿箭头808的方向被移动到工作间220。

[0248] 现在参照图9,其根据说明性实施例描述来自图8的机翼组件302的区段806以及平头钻机804的图示。在这个所描述的示例中,平头钻机804可以使用移动系统900沿着面板512的表面800移动。

[0249] 平头钻机804可以具有机载控制器902。机载控制器902与在图2中示出的系统控制器214通信,并接收指令以便对面板512的表面800进行导航。用于平头钻机804的机载控制器902可以通过在预先安装在机翼组件302中的磁体上同步来建立局部坐标系。

[0250] 平头钻机804上的工具904可以被用来钻孔并插入平头紧固件。人类操作者506可以将螺母手动地安装在每个平头紧固件上,并在所选容差内拧紧。

[0251] 为了保护人类操作者506的安全,系统控制器214可以控制钻孔装置802(包括平头钻机804)的移动,以避免人类操作者506。在一些示例中,钻孔装置802完全脱机。在其他说明性示例中,轨道系统508被更改以使钻孔装置802与人类操作者506分开。在其他说明性示例中,可以提供其他安全措施。例如,一组近距离传感器可以被用来感测人类操作者506,并相应地调整钻孔装置802的行为。

[0252] 在图10中,根据说明性实施例描述了对来自图8的面板512执行操作的自主工具系统210的图示。可驱动支撑系统208以及机翼组件302已经沿着箭头808的方向被移动到工作间220。工作间220可以是在图1中示出的多个工作间112之一的物理实施方式的示例。

[0253] 如所描述的,履带机器人1001可以被履带支撑件1002放置在面板512的表面800上。在这个说明性示例中,履带支撑件1002可以包括可驱动平台。在其他情况下,当与除了履带机器人1001外的自主工具系统一起使用时,履带支撑件1002可以被称为自主工具系统支撑件。这些可驱动平台可以被配置为驱动穿过制造环境200的地面,并将该组履带机器人1001放置在结构(在这种情况下是面板512)的表面800上。

[0254] 履带机器人1001以及履带支撑件1002可以是图1中的多个自主工具系统118的物理实施方式的示例。在这个说明性示例中,每一个履带机器人1001可以包括柔性跟踪系统。

[0255] 在这个说明性示例中,履带机器人1001中的一个可以对应于履带支撑件1002中的

一个。除了将履带机器人1001放置在面板512的表面800上,履带支撑件1002还可以提供动力、移动公用设施电缆或者辅助履带机器人1001进行其他过程。履带机器人1004和可驱动平台1006被示出在机翼组件302的区段1008中。

[0256] 在这个所描述的示例中,履带机器人1001可以是配置为在面板512中钻埋头孔、检查孔和那些孔的埋头深度、安装紧固件(在这个视图中未示出)以及检查被安装的紧固件的自主装置。在这个说明性示例中,这些紧固件可以是过盈配合紧固件。

[0257] 在说明性示例中,“过盈配合”紧固件可以具有杆部,该杆部的直径比其所安装在的孔的圆柱形部分的直径更大。杆与孔的圆柱形部分之间的摩擦使紧固件保持在适当方位。紧固件的过盈配合可以增加紧固件正连接的零件(即面板512及其结构)的疲劳寿命。过盈配合紧固件还可以充分地防止紧固件相对于孔的移动。

[0258] 在这个所描述的示例中,履带机器人1001可以同时也在面板512的表面800周围移动,在面板512上的不同位置处同时执行钻孔和紧固操作。履带机器人1001可以与在图2中示出的系统控制器214通信。

[0259] 特别地,履带机器人1001可以接收来自系统控制器214的指令。这些指令可以包括移动的路径和将要执行的不同操作。在整个移动期间,履带机器人1001可以为系统控制器214连续地提供反馈。该反馈可以包括方位信息、状态、对面板512执行的检查的结果以及其他合适信息。

[0260] 然后系统控制器214使用该反馈来重新定位履带机器人1001,以确保在正确位置钻孔,从而避免履带机器人1001之间的碰撞,并且从而在履带机器人1001之间更有效地分配任务。因此,每一个履带机器人1001可以沿着面板512的表面800移动,而不会有彼此或与人类操作者506的不期望碰撞和/或从机翼组件302上掉落。此外,该反馈增加了由履带机器人1001执行的操作的准确性。如在上面所描述的,当计量系统212扫描制造环境200时,也可以由计量系统212来提供反馈。

[0261] 履带机器人1001可以被配置在面板512中提供紧固件的“一次性装配(one-up assembly)”。在这个说明性示例中,“一次性”装配可以指的是在不必拆卸零件以便清洁或清理毛刺的情况下的钻孔和紧固接头的过程。一次性装配可以增加制造机翼的速度。在这个说明性示例中,履带机器人1001包括履带机器人1004。

[0262] 在使用履带机器人1004执行一次性装配之后,可以使用可驱动平台1006移除履带机器人1004。如在图12中示出的,机翼组件302以及可驱动支撑系统208可以沿箭头1010的方向被移动到工作间222。

[0263] 图11示出了根据说明性实施例来自图10的机翼组件302的区段1008以及履带机器人1004和可驱动平台1006的图示。在这个说明性示例中,履带机器人1004可以装备有移动系统1100、移动系统1101和工具1102。

[0264] 如所描述的,移动系统1100可以包含沿着面板512的表面800移动履带机器人1004的轮子。在一些说明性示例中,这些轮子可以是可缩回的。

[0265] 在这个说明性示例中,移动系统1101可以包括跟踪系统。移动系统1101可以被配置为沿着箭头1104的方向来回地移动履带机器人1004。

[0266] 如图所示,工具1102可以包括检查系统、紧固件系统、钻孔系统、定位系统或其他合适工具中的至少一个。履带机器人1004还可以包括与图2中的系统控制器214通信的机载

控制器1106。

[0267] 在这个说明性示例中,可驱动平台1006可以具有拾取与放置臂1108和公用设施臂1110。拾取与放置臂1108可以将履带机器人1004放置到机翼组件302的表面800上。公用设施臂1110可以移动可被附接到履带机器人1004上的公用设施电缆(在这个视图中未示出)。这些公用设施电缆可以向工具1102供应电、空气供应、通信或其他期望的公用设施中的至少一个。

[0268] 在这个说明性示例中,平衡系统1112可以与公用设施臂1110相关联,并被连接到履带机器人1004。平衡系统1112可以被配置为抵消面板512上的履带机器人1004的重量。在这个说明性示例中,平衡系统1112可以被可移除地附接到履带机器人1004。

[0269] 在说明性示例中,平衡系统1112可以包含电缆1113、被附接到公用设施臂1110的带轮1114和重物1116。重物1116可以小于或等于履带机器人1004的重量。具有重物1116的平衡系统1112降低了可能由履带机器人1004的重量引起的在面板512中形成的不一致的风险。在其他说明性示例中,其他平衡系统是可能的。

[0270] 接下来转向图12,其根据说明性实施例描述了装载装置以及面板的图示。在这个所描述的示例中,装载装置1200被显示为运载机翼组件302的面板1202。

[0271] 机翼组件302和可驱动支撑系统208已经沿着箭头1010的方向被移动到工作间222。装载装置1200、面板1202和工作间222可以分别是在图1中以方框形式示出的第二装载装置190、下蒙皮面板186和多个工作间112之一的物理实施方式的示例。

[0272] 如所描述的,装载装置1200可以沿箭头1206的方向移动面板1202,以将面板1202定位在机翼组件302下方。然后装载装置1200可以相对于机翼组件302的侧面1208将面板1202提升到期望方位。

[0273] 可以通过装配系统1210来对面板1202执行操作。在这个说明性示例中,装配系统1210可以包括下面板工具系统。该下面板工具系统可以采取下面板钻机的形式。

[0274] 在图13中,根据说明性实施例描述了来自图12的装载装置1200以及面板1202的图示。在这个说明性示例中,装载装置1200可以包含平台1300、移动系统1302和移动系统1304。

[0275] 如所描述的,平台1300可以是配置为向移动系统1304和面板1202提供支撑的结构。移动系统1302可以是配置为在制造环境200周围移动装载装置1200以及面板1202的多个部件。在这个所描述的示例中,移动系统1302可以包括跟踪系统、麦克纳姆轮、全向轮及其他类型的全方向轮子、可缩回轮、架台系统、拖曳装置或一些其他合适的移动装置中的至少一个。

[0276] 在这个说明性示例中,移动系统1304可以是配置为沿着箭头1306的方向上下移动面板1202的一组装置。如本文所用,“一组”物品可以是一个或更多个物品。在这个说明性示例中,一组装置可以包括一个或更多个装置。

[0277] 以此方式,移动系统1304可以相对于图12中的机翼组件302的侧面1208定位面板1202。如在上面所描述的,可以针对装载装置1200、面板1202或两者内的部件产生定位反馈。

[0278] 在这个说明性示例中,移动系统1304可以是提升装置。该提升装置可以是液压提升装置、气动提升装置或一些其他合适类型的提升装置。特别地,移动系统1304可以采用剪

式千斤顶、瓶式千斤顶以及其他合适类型的提升装置。在一些情况下,移动系统1304还可以被配置为根据需要倾斜面板1202。移动系统1304可以提供面板1202相对于机翼组件302(在这个视图中未示出)的粗略定位。

[0279] 在这个所描述的示例中,移动系统1304可以包括可重新定位头部/前梁(header)1308。可重新定位头部1308可以接触面板1202。在这个说明性示例中,可重新定位头部1308可以是被配置为以期望的方式定位面板1202的结构。可重新定位头部1308可以相对于机翼组件302为面板1202提供更精确的方位。

[0280] 如图所示,公用设施电缆1310可以被用来连接装载装置1200与各种公用设施。例如但非限制地,公用设施电缆1310可以被用来为装载装置1200提供电力。公用设施电缆1310还可以提供系统控制器214与装载装置1200之间的通信链路以便命令和控制装载装置1200。

[0281] 接下来参照图14,其根据说明性实施例描述了对来自图12的面板1202执行操作的装配系统1210的图示。在这个所描述的示例中,装载装置1200已经沿箭头1206的方向移动面板1202。

[0282] 在这个所描述的示例中,可能已经对面板1202执行操作以将面板1202固定到机翼组件302的侧面1208。例如,可能已经执行平头钻孔以及紧固以使面板1202相对于机翼组件302的侧面1208保持在适当方位。

[0283] 在这个所描述的示例中,装配系统1210可以被部署在面板1202下方。装配系统1210可以是在图1中以方框形式示出的多个自主工具系统118的物理实施方式的示例。在这个说明性示例中,装配系统1210可以包括六足机器人。

[0284] 如所描述的,装配系统1210可以是被配置为对面板1202执行操作的自主装置。例如但非限制地,装配系统1210可以夹紧结构、钻孔、测量孔、安装紧固件、密封紧固件以及对面板1202执行其他类型的操作。在说明性示例中,装配系统1210可以在面板1202下方沿箭头1206的方向移动以执行这些操作。在这个说明性示例中,装配系统1210之一和装配系统1400在面板1202下方沿箭头1206的方向移动,以执行此类操作。

[0285] 在一些情况下,机翼组件302的方位可能需要被调整以适应装配系统1210。在说明性示例中,系统控制器214与可驱动支撑系统208通信,以根据需要沿箭头503的方向垂直地移动机翼组件302。

[0286] 在这个所描述的示例中,每一个装配系统1210可以同时也在面板1202下方移动,在沿着面板1202的不同方位处同时执行钻孔和紧固操作。装配系统1210可以与在图2中示出的系统控制器214通信。

[0287] 装配系统1210可以接收来自系统控制器214的指令,并且向系统控制器214提供反馈。计量系统212也可以提供反馈以定位每一个装配系统1210。以此方式,系统控制器214可以紧密地控制装配系统1210的操作。每一个装配系统1210可以在面板1202下方移动,而不会有彼此或与人类操作者的不期望的碰撞、越过工作区域的移动或两者。

[0288] 在一些说明性示例中,装配系统1210可以在不只一个工作间202中执行钻孔和紧固操作。例如,装配系统1210可以在面板1202中钻出所需要的孔的第一部分(未示出)。在第一部分被钻出之后,面板1202可能需要从机翼组件302的侧面1208降低,以便被清洁并清理碎屑。

[0289] 在这种情况下,面板1202然后可以被重新附接到机翼组件302,并且可以在面板1202中钻出这些孔的第二部分。装配系统1210可以针对这些孔的第二部分对剩余紧固件执行一次性装配。在其他情况下,取决于具体实施方式,可以由装配系统1210以一些其他方式来执行操作。

[0290] 在工作间222中完成操作之后,可驱动支撑系统208以及机翼组件302可以移动到图16中示出的工作间224。在这个说明性示例中,可驱动支撑系统208以及机翼组件302可以沿箭头1404的方向移动到工作间224。

[0291] 现在转向图15,其根据说明性实施例描述了在沿图14中的线15-15的方向示出的对机翼组件302的表面执行操作的装配系统1400的图示。在这个所描述的示例中,装配系统1400已经沿图14中的箭头1206的方向移动,以相对于面板1202的表面1500被定位。

[0292] 如所描述的,装配系统1400可以装备有移动系统1502、运动平台1504和在末端执行器1508上的工具1506。移动系统1502可以将装配系统1400移动到期望区域中。然后运动平台1504可以被用来相对于面板1202的表面1500精确地定位末端执行器1508以及工具1506。

[0293] 装配系统1400可以包括被配置为与图2中的系统控制器214通信的机载控制器1510。随着装配系统1400移动,装配系统1400可以为系统控制器214提供定位反馈。计量系统212也可以跟踪装配系统1400的方位。

[0294] 在这个说明性示例中,移动系统1502可以包含在面板1202的表面1500下方移动装配系统1400的轮子。一旦装配系统1400处于期望方位,这些轮子就可以缩回。

[0295] 在这个说明性示例中,运动平台1504可以为工具1506提供七个移动自由度。在说明性示例中,自由度可以指的是工具1506在三维空间中的移动。

[0296] 如图所示,工具1506可以被布置在附接到运动平台1504的末端执行器1508上。工具1506可以包括检查系统、夹紧系统、传感器系统、紧固件系统、钻孔系统、定位系统或其他合适工具中的至少一个。

[0297] 当工具1506包括检查系统时,检查系统可以检查由装配系统1400钻出的孔。检查系统还可以检查由装配系统1400所安装的紧固件。在一些情况下,检查结果可以被传送到系统控制器214。

[0298] 在图16中,根据说明性实施例描述了工作间224中的机翼的图示。在这个所描述的示例中,可驱动支撑系统208以及机翼组件302已经沿图14中的箭头1404的方向被移动到工作间224中。

[0299] 在这个说明性示例中,高架装配系统1600可以对面板512执行操作。高架装配系统1600可以是在图1中以方框形式示出的多个自主工具系统118之一的物理实施方式的另一示例。

[0300] 在这个说明性示例中,高架装配系统1600可以包括运动平台1602以及末端执行器1606上的工具1604。运动平台1602、工具1604和末端执行器1606可以与在上面所描述的运动平台1504、工具1506和末端执行器1508以类似的方式实施。

[0301] 可以使用装备有移动系统1610的高架支撑系统1608将运动平台1602粗略地定位在面板512上方。运动平台1602以及末端执行器1606的更精确定位由与高架装配系统1600相关联的各种其他移动部件来提供。高架装配系统1600还可以包括与系统控制器214和其

他部件通信的机载控制器1612。

[0302] 在高架装配系统1600对机翼组件302执行其操作之后,制造环境200内的操作现在可以结束。台车(在这个视图中未示出)可以被定位在机翼组件302下方,以便当支撑件402被分开时支撑机翼组件302。

[0303] 机翼组件302可以继续进行不需要精确固定的装配工作,直至机翼组件302被需要用于安装在飞行器中。可驱动支撑系统208(包括支撑件402的全部或一部分)可以被移动回到工作间216以接收另一机翼组件。

[0304] 接下来参照图17,其根据说明性实施例描述了沿图16中的线17-17的方向示出的工作间224的顶视图的图示。在这个视图中,各种自主工具系统210同时对机翼组件302执行操作。在系统控制器214的协调控制下,每一个自主工具系统210可以对机翼组件302执行操作,而不会彼此相撞和/或从机翼组件302上掉落等。

[0305] 接下来参照图18,其根据说明性实施例描述了沿图16中的线18-18的方向示出的制造环境200的图示。如在这个视图中示出的,正遍及各个工作间202制造机翼组件204。

[0306] 在这个说明性示例中,工作间202以配置1800进行布置。在这个说明性示例中,配置1800是U形配置。如所描述的,柔性制造系统206内的部件已经从图2-17中所示的配置被重新布置,以形成配置1800。因为没有使用固定的石碑状夹具,所以柔性制造系统206的完全重新配置是可能的。

[0307] 另外,因为用来制造机翼组件204的所有自主工具系统210都是可驱动的并且没有被固定到地面,所以那些工具可以从一个工作间驱动到另一工作间,不管期望制造环境200的什么配置。不像许多现有的装配线方案,说明性实施例彻底减轻了对保持机翼组件的固定的石碑状夹具、固定的工具作业、被固定到制造设施的工具以及其他非柔性结构的需要和要求。

[0308] 在其他说明性示例中,柔性制造系统206内的部件可以以一些其他方式被重新配置。在示例中,机翼组件204可以被横向地脉动。

[0309] 由于自主工具系统210在制造环境200周围自由移动,不同的自主工具系统210可以被用来同时在各工作间202中制造机翼组件204。因此,多个机翼组件204可以被连续地脉动通过制造环境200,以提高制造过程的效率。效率的这种增加导致比一些当前使用的系统更高的生产速率。

[0310] 在这个说明性示例中,制造环境200内的每一个部件可以被重新配置。例如,当不同类型的机翼正被制造时,所使用的自主工具系统210的类型可以是不同的。另外,一些自主工具系统210可能是不需要的。

[0311] 在其他说明性示例中,支撑件402可以以竖直配置的方式保持机翼组件302。在这种情况下,自主工具系统210可以被配置为以不同的功能对机翼组件302执行操作。

[0312] 作为另一示例,机翼组件302的尺寸可能需要向可驱动支撑系统208添加额外的支撑件402、使用额外的自主工具系统210或其组合。工作间202的尺寸还可以根据机翼组件302的长度来调整。在每种情况下,柔性制造系统206内的部件被重新配置,以满足不同的制造需要。

[0313] 图19-21示出了用于机动支撑系统的替代实施例。在图19-21中,示出了具有狭长平台的桥接系统。代替被附接到每个可驱动支撑件上的连接装置,图19-21中的说明性示例

采用沿着狭长平台的长度定位的连接装置。

[0314] 参照图19,其根据说明性实施例描述了具有狭长平台的可驱动支撑系统的图示。在这个说明性示例中,可驱动支撑系统1900被示出在工作间1901中。工作间1901可以是在图1中以方框形式示出的多个工作间112之一的又一物理实施方式的示例。工作间1901可以是在图2中示出的制造环境200的一部分,或者可以被定位在不同的设施中。

[0315] 如所描述的,可驱动支撑系统1900包括可驱动支撑件1902、狭长平台1904和狭长平台1906。可驱动支撑系统1900和可驱动支撑件1902分别是在图1中以方框形式示出的可驱动支撑系统116和可驱动支撑件135的物理实施方式的示例。狭长平台1904和狭长平台1906都是图1中的狭长平台177的物理实施方式的示例。

[0316] 如图所示,可驱动支撑件1902的第一组1908可以被连接到狭长平台1904。可驱动支撑件1902的第二组1910可以被连接到狭长平台1906。狭长平台1904、狭长平台1906或两者可以具有对应于机翼的期望形状的形状。

[0317] 可驱动支撑件1902的第一组1908和第二组1910中的每一组包括在相应狭长平台下面被均匀地分隔开的七个支撑件。在这个示例中,可驱动支撑件1902是自动导向车辆。

[0318] 在其他说明性示例中,取决于具体实施方式,可以在每个横梁下方使用其他数量的可驱动支撑件1902。每个支撑件之间的间距也可以改变。

[0319] 在这个说明性示例中,可驱动支撑件1902的第一组1908可以将狭长平台1904移动到期望方位。例如,可驱动支撑件1902的第一组1908可以相对于多个轴1912共同地移动狭长平台1904,以便相对于机翼组件1914定位狭长平台1904。

[0320] 以类似的方式,可驱动支撑件1902的第二组1910可以相对于多个轴1912共同地移动狭长平台1906,以便相对于机翼组件1914定位狭长平台1904。机翼组件1914是在图1中以方框形式示出的结构110的物理实施方式的示例。

[0321] 在说明性示例中,第一组连接装置1916与狭长平台1904相关联。如在这个视图中示出的,连接装置1916可以沿着狭长平台1904的长度被定位。

[0322] 第二组连接装置1918可以与狭长平台1906相关联。在这个说明性示例中,连接装置1918可以沿着狭长平台1906的长度被定位。

[0323] 连接装置1916和连接装置1918可以对应于机翼组件1914上的连接点(在这个视图中被遮盖)。连接装置1916和连接装置1918将机翼组件1914保持在期望方位。作为示例,连接装置1917连接到机翼组件1914上的点1919。

[0324] 点1919可以是使用连接装置1917可独立地移动的连接点。点1919可以是控制点以及连接点。在其他情况下,点1919可以简单地是仅随着狭长平台移动而移动的固定连接点。在这个说明性示例中,连接装置1917被示出在区段1921中。

[0325] 如所描述的,人类操作者1920在狭长平台1904和狭长平台1906周围移动。此外,各种自主工具系统(在这个视图中未示出)可以在可驱动支撑系统1900周围移动,以对机翼组件1914执行操作。

[0326] 在这个所描述的示例中,每一个可驱动支撑件1902可以装备有被配置为相对于多个轴1912移动其对应的狭长平台的移动系统。这种移动可以包括平移、旋转或一些其他合适的移动。可驱动支撑件1902动态地调整狭长平台以保持机翼组件1914对齐,补偿制造环境中的不平地形,允许自主工具系统进入机翼组件1914,在任何给定点处平衡机翼组件

1914的负荷,减少横梁中的偏斜,或者其某种组合。例如,可以使用可驱动支撑件1902的第一组1908中的至少一个可驱动支撑件上的移动系统来移动狭长平台1904。

[0327] 在这个说明性示例中,狭长平台1904和狭长平台1906是基本平坦的横梁。换句话说,每个横梁的上表面可以是具有在所选容差之内的偏差的平面。狭长平台1904和狭长平台1906被制造为基本平坦的横梁,使得在沿着横梁的点处的错位将会揭示被连接到该横梁的机翼组件1914的对应部分中的错位。

[0328] 可以基于由计量系统(诸如在图1中描述的计量系统120)收集的方位信息来作出调整。然而,在使用狭长平台1904和狭长平台1906的情况下,当需要时,需要较少的传感器来定位机翼组件1914。代替在每个控制点处需要传感器,计量系统可以被用来确定每个狭长平台的平坦度,并且根据该平坦度确定,一个或更多个可驱动支撑件1902可以被调整以将整个工作平面带回来对齐。

[0329] 狭长平台1904和狭长平台1906也允许使用更大数量的连接装置,而无需增加所需的可驱动支撑件1902的数量。连接装置1916和连接装置1918可以分别以期望的间隔定位在狭长平台1904和狭长平台1906上以满足工程规范,同时仍允许工具在机翼组件1914周围容易地操纵。通过使用更少的支撑件,更多空间可用于工具以同时执行操作。

[0330] 尽管可驱动支撑系统1900被显示为具有两个狭长平台和两个部分的可驱动支撑件1902,但是多于两个是可能的。例如,若干更小的横梁和对应的可驱动支撑件1902可以被布置成形成可驱动支撑系统1900。

[0331] 在其他说明性示例中,第一组负荷传感器(未示出)可以被连接到狭长平台1904,并且被配置为识别由机翼组件1914施加于狭长平台1904的负荷。第二组负荷传感器(未示出)可以被连接到狭长平台1906,并且被配置为识别由机翼组件1914施加于狭长平台1906的负荷。这些传感器可以为系统不断地提供反馈。

[0332] 现在转向图20,其根据说明性实施例描述了沿图19中的线20-20的方向示出的可驱动支撑系统1900和机翼组件1914的图示。在这个视图中,示出了狭长平台1904中的通道2000和狭长平台1906中的通道2002。通道2000和通道2002是在图1中以方框形式示出的狭长平台177中的通道185的物理实施方式的示例。

[0333] 在这个说明性示例中,通道2000和通道2002中的至少一个提供线槽(wire raceway)。例如,电缆2004可以行进通过通道2000,并且电缆2006可以行进通过通道2002,以便为可驱动支撑系统1900、在机翼组件1914上工作的自主工具系统、使用动力工具的人类操作者1920或其组合提供公用设施。电缆2004和电缆2006是来自图1的线路187的物理实施方式的示例。在其他说明性示例中,空气管路或其他装置可以行进通过通道2000、通道2002或两者。

[0334] 在图21中,根据说明性实施例描述了来自图19的具有连接装置1917和机翼组件1914上的点1919的区段1921的放大图的图示。在这个所描述的示例中,连接装置1917可以具有连接器2100。在这个说明性示例中,连接器2100直接附接到机翼组件1914上的点1919。

[0335] 在这个说明性示例中,连接器2100在点1919处被刚性地连接到机翼组件1914。为了调整连接器2100的方位,可驱动支撑件1902(在这个视图中未示出)中的一个或更多个移动,以将狭长平台1904的表面2102带回对齐,并且因此使机翼组件1914的点1919重新对齐。

[0336] 在可替代实施例中,连接装置1917中的连接器2100和其他部件可以移动。然而,在

图19-21中示出的实施例中,不需要该类型的移动为机翼组件1914提供期望的对齐。

[0337] 图2-18中的制造环境200和制造环境200内的部件以及在图19-21中示出的可驱动支撑系统1900的图示不意味着暗示对说明性实施例可以实施的方式进行物理或体系构架限制。除了或代替所图示的部件外,还可以使用其他部件。一些部件可以是可选的。

[0338] 在图2-21中示出的不同部件可以是在图1中以方框形式示出的部件如何能够被实施为物理结构的示例。此外,图2-21中的一些部件可以与图1中的部件组合、与图1中的部件一起使用或两者的组合。

[0339] 现在参照图22,其根据说明性实施例描述了用于将工具定位在表面上的过程的流程图的图示。在图22中描述的过程可以被实施为相对于结构110上的表面定位自主工具系统131和自主工具系统131中的部件。包括控制器122、各种移动系统以及其他装置的部件的组合可以被用来定位自主工具系统131。当自主工具系统131正被定位时,计量系统120可以被用来定位自主工具系统131。

[0340] 该过程可以开始于使用第一移动系统相对于结构110的表面移动自主工具系统131以将自主工具系统131粗略地定位在表面上的所选区域内(操作2200)。自主工具系统的第一移动系统的示例可以是在图16中示出的高架装配系统1600的移动系统1610。

[0341] 接下来,该过程可以使用第二移动系统相对于结构110的表面以至少一个自由度移动自主工具系统131以将自主工具系统131精确地定位在表面上的所选区域内的所选方位处(操作2202)。例如,如在图16中示出的,第二移动系统可以朝向面板512的表面800移动运动平台1602。

[0342] 然后该过程可以使用第三移动系统对齐与自主工具系统131相关联的元件以便在所选方位处相对于所选方位执行操作139(操作2204),此后该过程终止。元件可以是如在图16中示出的具有工具1604的末端执行器1508。在这种情况下,运动平台1504可以是被配置为相对于面板512的表面800将末端执行器1508精确地定位在期望位置处以执行操作的第三移动系统。

[0343] 在图23中,根据说明性实施例描述了用于对结构110执行操作130的过程的流程图的图示。在图23中图示的过程可以由在图1中示出的制造环境100中的柔性制造系统102来实施。

[0344] 该过程开始于将可驱动支撑件137从第一位置113驱动到第二位置115以将可驱动支撑件137与至少一个其他可驱动支撑件带到一起形成可驱动支撑系统116(操作2300)。接下来,该过程可以使用可驱动支撑系统116来将结构110保持在期望方位133(操作2302)。

[0345] 此后,该过程可以使用可驱动支撑系统116将结构110从制造环境100的地面107上的第二位置115驱动到第三位置117(操作2304)。然后该过程可以使用多个自主工具系统118对结构110执行操作130(操作2306),此后该过程终止。

[0346] 在操作2306中,可以对结构110执行操作130,同时将结构110从第二位置115驱动或操纵到第三位置117。换句话说,当结构110正被可驱动支撑系统116运载时,可以执行操作130。可以将多个自主工具系统118从制造环境100中的各个位置103驱动第三位置117以执行这些操作。

[0347] 接下来参照图24,其根据说明性实施例描述了用于操作柔性制造系统102以对结构110执行操作的过程的流程图的图示。该过程可以开始于针对柔性制造系统102内的部件

产生计量数据154(操作2400)。例如,计量系统120可以被用来识别可驱动支撑系统116、多个自主工具系统118或结构110中的至少一个的当前方位。

[0348] 然后该过程比较在计量数据154中识别的部件的当前方位与该部件的期望方位(操作2402)。接下来,该过程基于该比较来移动部件(操作2404)。作为示例,控制器122可以命令自主工具系统131在制造环境100中的多个位置103之间驱动。控制器122可以操纵自主工具系统131,以避免与制造环境100中的其他部件相撞。

[0349] 当部件移动时,该过程监测部件在制造环境100内的方位(操作2406)。操作2406可以使用计量系统120来实施,以提供反馈控制199。

[0350] 然后该过程控制部件的操作(操作2408),此后该过程终止。例如,控制器122可以向部件分配以及重新分配任务、使部件脱机、重新定位部件、命令部件执行动作或其组合。

[0351] 对于柔性制造系统102中的每个部件来说,在图24中描述的操作可以基本上同时发生。例如,控制器122可以在整个操作130期间控制多个自主工具系统118的操作。而且,计量系统120可以连续地产生计量数据154,以确保柔性制造系统102内的部件处于期望方位。

[0352] 在图25中,根据说明性实施例描述了用于控制多个自主工具系统118的操作的过程的流程图的图示。在图25中描述的过程可以被控制器122实施为图24中的操作2408的一部分。

[0353] 该过程开始于确定是否需要对结构110执行操作130(操作2500)。如果需要执行操作,则该过程识别要对结构110执行的任务111(操作2502)。在一些情况下,控制器122可以按优先次序排列任务111。

[0354] 接下来,该过程向多个自主工具系统118分配任务111(操作2504)。然后该过程向多个自主工具系统118发送命令166以及所分配的任务111(操作2506)。此后,该过程监测向多个自主工具系统118分配的任务111的状态170(操作2508)。

[0355] 该过程还监测多个自主工具系统118的状态172(操作2510)。然后该过程基于任务111的状态170或多个自主工具系统118的状态172中的至少一个在多个自主工具系统118之间重新分配任务111(操作2512),此后返回到操作2500。

[0356] 返回到操作2500,如果不需要对结构110执行操作,则该过程终止。在这种情况下,机翼108可以完成。在另一示例中,当机翼108的装配未完成时,在图25中描述的过程可以暂时终止,并在稍后的时间重新开始。

[0357] 在图26中,根据说明性实施例描述了用于管理制造环境的过程的流程图的图示。在图26中图示的过程可以被用来重新配置在图1中以方框形式示出的制造环境100。

[0358] 该过程开始于确定产品104的制造参数132(操作2600)。接下来,该过程基于制造参数132重新配置柔性制造系统102(操作2602)。例如但非限制地,可驱动支撑系统116、多个自主工具系统118或计量系统120中的至少一个可以基于机翼108的制造参数132来重新配置。

[0359] 然后该过程基于产品104的制造参数132对结构110执行操作130(操作2604)。当操作130正被执行时,该过程监测柔性制造系统102的健康状况(操作2606)。柔性制造系统102的健康状况可以包括多个自主工具系统118的状态172、操作130的状态129和人类操作者142的方位等等。

[0360] 然后针对柔性制造系统102的一部分是否需要被重新配置做出确定(操作2608)。

如果为否,则该过程返回到操作2606。

[0361] 如果柔性制造系统102内的一个或多个部件需要被重新配置,则该过程返回到如上面所描述的操作2602。以此方式,柔性制造系统102是基于机翼108的制造参数132可重新配置的。柔性制造系统102也是基于由控制器122所监测到的改变可实时重新配置的。

[0362] 现在参照图27,其根据说明性实施例描述了使用可驱动支撑系统来建造机翼组件的过程的流程图图示。在图27中图示的过程可以使用在图1中以方框形式示出的具有狭长平台177的可驱动支撑系统116来实施。

[0363] 该过程可以开始于将被连接到第一狭长平台的第一组可驱动支撑件135从第一位置113驱动到第二位置115,以将第一组可驱动支撑件与被连接到第二狭长平台的第二组可驱动支撑件135带到一起(操作2700)。在这个说明性示例中,第一组可驱动支撑件135以及第一狭长平台可以是前翼梁工具作业系统。

[0364] 然后该过程可以驱动被连接到第二狭长平台的第二组可驱动支撑件135以相对于第一狭长平台定位第二狭长平台(操作2702)。第二组可驱动支撑件135以及第二狭长平台可以是后翼梁工具作业系统。

[0365] 接下来,端部支撑件可以被安装在第一狭长平台与第二狭长平台之间(操作2704)。端部支撑件可以是用来加强系统稳定性的可选部件。

[0366] 此后,该过程可以识别第一狭长平台和第二狭长平台的方位(操作2706)。例如,可以针对每个狭长平台使用计量系统120来产生计量数据154。

[0367] 然后该过程可以确定第一狭长平台和第二狭长平台的方位是否对应于第一狭长平台和第二狭长平台的期望方位(操作2708)。如果该方位与期望方位在所选容差内相对应,则该过程可以继续到操作2722。在这个说明性示例中,狭长平台的期望方位是将会确保机翼组件的零件在所选容差内对齐的方位。

[0368] 在操作2708中,如果该方位与期望方位在所选容差内不对应,则该过程可以调整第一狭长平台和第二狭长平台中的至少一个的方位(操作2710)。通过根据需要移动可驱动支撑件135来调整狭长平台的方位,以使工作平面变平。

[0369] 此后,第一组结构性构件可以相对于第一狭长平台和第二狭长平台被定位(操作2712)。例如但非限制地,通过沿着狭长平台的长度将前翼梁和后翼梁附接到各个连接装置,所述翼梁可以被装载到每个相应的狭长平台上。

[0370] 接下来,第二组结构性构件可以相对于第一组结构性构件被定位,并使用标志特征来对齐(操作2714)。作为示例,翼肋可以被装载在翼梁之间,并且被相应地转位(index)以形成梯状组件。

[0371] 然后该过程可以确定第一狭长平台和第二狭长平台的方位是否已经改变(操作2716)。例如,计量系统120可以再次扫描可驱动支撑系统116,以确保第一狭长平台和第二狭长平台是基本平坦的。

[0372] 如果该方位还没有改变,则该过程前进到操作2722。如果该方位已经改变,则该过程可以再次调整第一狭长平台和第二狭长平台中的至少一个的方位(操作2718)。

[0373] 此后,该过程固定可驱动支撑件(操作2720)。在操作2720中,可驱动支撑件135可以被固定在适当方位,使得可驱动支撑件135不以非期望的方式移动。例如但非限制地,附接到可驱动支撑件135的轮子可以被锁住或被缩回。

[0374] 然后该过程可以执行操作130来建造机翼组件105(操作2722),此后该过程终止。作为示例,上蒙皮面板184可以被装载并被贴附到结构性构件。多个自主工具系统118可以在可驱动支撑系统116周围移动,以执行操作130。

[0375] 在整个操作130期间,计量系统120可以被用来确认第一狭长平台与第二狭长平台的正确对齐。此外,诸如负荷传感器的其他传感器可以提供力传感器反馈,以不使机翼组件105、可驱动支撑系统116或两者过载。

[0376] 在根据需要执行操作130之后,可驱动支撑系统116可以将机翼组件105移动到制造环境100内的其他位置。力传感器以及计量系统120可以被用来确保负荷平衡以及第一狭长平台和第二狭长平台的精确定位。

[0377] 在一些说明性示例中,每组可驱动支撑件135及其相应的狭长平台可能需要相互附接。在这种情况下,可驱动支撑件135在制造环境100中相对于结构110的方位可以使用计量系统120来确定。

[0378] 基于多个可驱动支撑件135与结构110的接近度,多个可驱动支撑件135可以被驱动到第一位置113,以形成第一组可驱动支撑件135。例如,最靠近结构110并且可用于使用的四个可驱动支撑件135可以被驱动到第一位置113,以形成第一组可驱动支撑件135。然后第一组可驱动支撑件135可以被连接到第一狭长平台。

[0379] 第二组可驱动支撑件135可以以类似的方式形成并且随后被附接到第二狭长平台。以此方式,驱动控制系统121可以在制造环境100内有效地分配可驱动支撑件资源,从而进一步加快用于结构110的建造过程。

[0380] 所描述的不同实施例中的流程图和方框图在说明性实施例中图示了设备和方法的一些可能实施方式的体系构架、功能性和操作。在这方面,流程图或方框图中的每个方框可以表示模块、区段、功能或其操作或步骤的部分组合中的至少一个。

[0381] 在说明性实施例的一些替代实施方式中,在方框中注释的一个或多个功能可以不按在图中注释的顺序发生。例如,在一些情况下,连续示出的两个方框可以基本同时执行,或者这两个方框有时可以以相反的顺序执行,这取决于所涉及的功能性。而且,除了在流程图或方框图中图示的方框之外,还可以添加其他方框。

[0382] 现在转向图28,其根据说明性实施例描述了方框图形式的数据处理系统的图示。数据处理系统2800可以被用来实施图1中的计算机系统164中的一个或多个计算机。如所描述的,数据处理系统2800包括通信框架2802,通信框架2802提供处理器单元2804、存储装置2806、通信单元2808、输入/输出单元2810与显示器2812之间的通信。在一些情况下,通信框架2802可以被实施为总线系统。

[0383] 处理器单元2804被配置为执行软件的指令以实施多种操作。取决于实施方式,处理器单元2804可以包含多个处理器、多核处理器、一些其他类型的处理器或其一些组合。在一些情况下,处理器单元2804可以采取硬件单元的形式,诸如电路系统、专用集成电路(ASIC)、可编程逻辑器件或一些其他合适类型的硬件单元。

[0384] 由处理器单元2804运行的操作系统、应用、程序或两者的指令可以被设置在存储装置2806中。存储装置2806可以通过通信框架2802与处理器单元2804通信。如本文所用,存储装置(也被称为计算机可读存储装置)是能够在临时基础上、永久基础上或两者基础上存储信息的任一件硬件。该信息可以包括但不限于数据、程序代码或其他信息中的至少一个。

[0385] 存储器2814和持久贮存器2816是存储装置2806的示例。存储器2814可以采取例如随机存取存储器或一些类型的临时性或非临时性存储装置的形式。持久贮存器2816可以包含任何数量的部件或装置。例如,持久贮存器2816可以包含硬盘驱动器、闪存存储器、可重写光盘、可重写磁带或以上的一些组合。由持久贮存器2816所使用的介质可以是或可以不是可移除的。

[0386] 通信单元2808允许数据处理系统2800与其他数据处理系统、装置或其一些组合通信。通信单元2808可以使用物理通信链路、无线通信链路或其组合来提供通信。

[0387] 输入/输出单元2810允许从连接到数据处理系统2800的其他装置接收输入并向其发送输出。例如,输入/输出单元2810可以允许通过键盘、鼠标或一些其他类型的输入装置中的至少一个来接收用户输入。作为另一示例,输入/输出单元2810可以允许向连接到数据处理系统2800的打印机发送输出。

[0388] 显示器2812被配置为向用户显示信息。显示器2812可以包含例如但不限于选自监控器、触摸屏、激光显示器、全息显示器、虚拟显示装置或一些其他类型的显示装置之一。

[0389] 在这个说明性示例中,不同说明性实施例的过程可以由处理器单元2804使用计算机实施的指令来执行。这些指令可以被称为程序代码、计算机可用程序代码或计算机可读程序代码,并且可以由处理器单元2804中的一个或多个处理器来读取并执行。

[0390] 在这些示例中,程序代码2818以功能形式设置在可选择性地移除的计算机可读介质2820上,并且可以被装载到或转移到数据处理系统2800,以便由处理器单元2804来执行。程序代码2818和计算机可读介质2820一起形成计算机程序产品2822。在这个说明性示例中,计算机可读介质2820可以是计算机可读存储介质2824或计算机可读信号介质2826。

[0391] 计算机可读存储介质2824是用来存储程序代码2818的物理或实体存储装置,而非传播或传输程序代码2818的介质。计算机可读存储介质2824可以是例如但不限于连接到数据处理系统2800的光盘或磁盘或持久贮存器。

[0392] 可替代地,程序代码2818可以使用计算机可读信号介质2826转移到数据处理系统2800。计算机可读信号介质2826可以是例如含有程序代码2818的被传播数据信号。该数据信号可以是电磁信号、光信号或可以通过物理通信链路、无线通信链路或其某种组合传播的一些其他类型的信号。

[0393] 图28中的数据处理系统2800的图示不意味着为说明性实施例可以被实施的方式提供体系构架限制。可以在包括除了或代替为数据处理系统2800所图示的那些部件的部件的数据处理系统中实施不同的说明性实施例。另外,在图28中示出的部件可以不同于所示出的说明性示例。

[0394] 本公开的说明性实施例可以在图29中示出的飞行器制造和维护方法2900与在图30示出的飞行器3000的背景下进行描述。首先转向图29,其根据说明性实施例以方框图的形式描述了飞行器制造和维护方法的图示。在预生产期间,飞行器制造和维护方法2900可以包括图30中的飞行器3000的规格和设计2902以及材料采购2904。

[0395] 在生产期间,进行图30中的部件和子组件制造2906以及飞行器3000的系统集成2908。此后,图30中的飞行器3000可以经过验收和交付2910,以便被投入使用2912。当图2中的飞行器3000由客户使用2912时,飞行器3000按计划进行日常的维修和维护2914,日常的维修和维护2914可以包括更改、重新配置、翻新和其他的维修和维护。

[0396] 飞行器制造和维护方法2900中的每一个过程可以由系统集成商、第三方和/或操作者执行或实施。在这些示例中,操作者可以是客户。为说明的目的,系统集成商可以包括但不限于任意数量的飞行器制造商和主系统转包商;第三方可以包括但不限于任意数量的经销商、转包商和供应商;并且操作者可以是航空公司、租赁公司、军事实体、服务机构等。

[0397] 现在参照图30,其以方框图的形式描述了在其中可以实施说明性实施例的飞行器的图示。在这个示例中,飞行器3000通过图29中的飞行器制造和维护方法2900来生产,并且可以包括机身3002以及多个系统3004和内部3006。系统3004的示例包括推进系统3008、电气系统3010、液压系统3012和环境系统3014中的一个或多个。可以包括任意数量的其他系统。尽管示出了航空示例,但是不同的说明性实施例可以应用于诸如汽车行业的其他行业。

[0398] 在本文中所体现的设备和方法可以在图29中的飞行器制造和维护方法2900的至少一个阶段期间采用。具体地,来自图1的柔性制造系统102可以在飞行器制造和维护2900的各个阶段期间被用来对机身3002执行操作130。例如但非限制地,柔性制造系统102可以被用来在部件和子组件制造2906期间执行操作130。柔性制造系统102内的部件还可以被重新配置为用于在系统集成2908、日常的维护和维护2914或飞行器制造和维护方法2900的一些其他阶段期间使用。例如,多个自主工具系统118还可以被用来在日常的维护和维护2914期间修改机身3002的某些部分。

[0399] 在一个说明性示例中,在图29中的部件和子组件制造2906中生产的部件和子组件可以以类似于当飞行器3000处于图29中的服役2912时生产的部件或子组件的方式生产或制造。作为又一示例,一个或多个设备实施例、方法实施例或其组合可以在生产阶段期间(诸如图29中的部件和子组件制造2906以及系统集成2908)使用。一个或多个设备实施例、方法实施例或其组合可以在飞行器3000处于服役2912时、在图29中的维修和维护2914期间使用或其组合。多个不同的说明性实施例的使用可以充分加快组装、降低飞行器3000的成本或两者。

[0400] 因此,说明性实施例可以提供用于对飞行器109的产品104执行操作130的方法和设备。产品104可以采取飞行器109的机翼108的形式。柔性制造系统102可以包含可驱动支撑系统116、多个自主工具系统118、计量系统120和控制器122。可驱动支撑系统116可以被配置为在操作130的执行期间将结构110保持在期望方位133并与结构110一起在多个工作间112之间移动。多个自主工具系统118可以被配置为对结构110执行操作130并与可驱动支撑系统116一起移动。计量系统120可以被配置为产生可驱动支撑系统116、多个自主工具系统118或结构110中的至少一个的计量数据154并与可驱动支撑系统116一起移动。控制器122可以与计量系统120和多个自主工具系统118通信。控制器122可以被配置为使用计量数据154来控制多个自主工具系统118的操作。可驱动支撑系统116、多个自主工具系统118或计量系统120中的至少一个可以是可重新配置的。

[0401] 在使用说明性实施例的情况下,可以在制造环境100内的不同位置处装配机翼108而无需使用固定的石碑状夹具。柔性制造系统102是完全可重新配置的,以考虑改变的制造条件。柔性制造系统102内的部件可以是可重新配置的,以更改装配线的长度、在单个位置处执行更多操作或其组合。

[0402] 该说明性实施例也增加了装配机翼108的速度。多个自主工具系统118使用机器人装置而使各种操作自动化。多个自主工具系统118还被配置为使得结构110不必被提升得与

一些当前使用的系统一样高。例如，如在图14中示出的装配系统1400被设计为使得机翼组件可以被更低地搁置。

[0403] 此外，柔性制造系统102包括被集成在系统内的各种安全特征和控制特征。作为示例，桥接系统136和轨道系统138为人类操作者提供必要的进入，同时还提供掉落防护144。控制器122控制柔性制造系统102中的每一个部件，使得部件之间、部件与场地之间以及部件与人类操作者之间的不期望的碰撞可以被减少或被消除。

[0404] 说明性实施例可以重新配置部件从而以各种方式支撑结构110。当桥接系统136装备有狭长平台时，多个额外的连接装置195可以被用来保持结构110的零件并使其相对于彼此对齐。可驱动支撑系统116中的狭长平台的实施方式为结构110提供额外的连接，而不添加额外的可驱动支撑件的成本。此外，使用更少的可驱动支撑件135导致在可驱动支撑件135之间有更多的空间来操纵多个自主工具系统118并促进到结构110的更大入口。还可以使用更少的传感器来准确地跟踪并对齐狭长平台。这些特征都导致降低生产及实施装配系统所需的成本的系统。

[0405] 因为可驱动支撑系统116在制造环境100周围自由地可移动，所以不需要石碑状结构或其他固定的结构。在使用说明性实施例的情况下，操作者不必从固定的石碑状夹具移除结构110并将其重新定位在不同的工作间中。相反，可驱动支撑系统116随着结构110移动而移动。以此方式，减少了机翼108所需的制造时间。另外，还可以减少执行操作的人类操作者的数量。因此，可以实现成本节约。

[0406] 为了图示说明和描述的目的，已经展示了不同的说明性实施例的描述，其并不意欲是穷举的或局限于所公开形式的实施例。很多修改和变化对本领域技术人员来说将会是显而易见的。另外，相比于其他说明性实施例，不同的说明性实施例可以提供不同的特征。所选的一个或多个实施例被选择和描述，以便更好地解释实施例的原理、实际应用，并使本领域其他技术人员能够理解各种实施例的公开内容，其中适合于特定用途的各种修改是可预期的。

[0407] 因此，总的来说，根据本发明的第一方面，提供了：

[0408] A1. 一种用于飞行器结构的柔性制造系统，其包含：可驱动支撑件，其从第一位置被驱动，并在制造环境的地面上的第二位置处与至少一个其他可驱动支撑件结合在一起形成可驱动支撑系统，其中可驱动支撑系统被配置为将结构保持在期望方位。

[0409] A2. 还提供了段落A1所述的柔性制造系统，其中可驱动支撑系统被配置为在对结构执行操作的同时将结构驱动到第三位置。

[0410] A3. 还提供了段落A2所述的柔性制造系统，其中为可驱动支撑件、可驱动支撑系统或多个自主工具系统中的至少一个提供操纵方向。

[0411] A4. 还提供了段落A1所述的柔性制造系统，其进一步包含：

[0412] 多个自主工具系统，其被配置为在结构被驱动到第三位置的同时对结构执行操作。

[0413] A5. 还提供了段落A4所述的柔性制造系统，其中多个自主工具系统被配置为驱动横穿制造环境的地面。

[0414] A6. 还提供了段落A4所述的柔性制造系统，其中多个自主工具系统包含履带机器人、平头钻机、六足机器人、下面板钻机和上面板钻机中的至少一个。

[0415] A7.还提供了段落A4所述的柔性制造系统,其中多个自主工具系统被配置为同时操作以对结构执行操作。

[0416] A8.还提供了段落A4所述的柔性制造系统,其进一步包含:

[0417] 计量系统,其被配置为确定可驱动支撑系统、多个自主工具系统或结构中的至少一个相对于彼此的当前方位。

[0418] A9.还提供了段落A8所述的柔性制造系统,其中计量系统包含:多个传感器系统,其被连接到多个自主工具系统中的至少一个或可驱动支撑系统中的每个可驱动支撑件。

[0419] A10.还提供了段落A8所述的柔性制造系统,其进一步包含:

[0420] 控制器,其与计量系统、可驱动支撑系统和多个自主工具系统通信,其中控制器被配置为控制计量系统、可驱动支撑系统或多个自主工具系统这三项中的至少一个的操作。

[0421] A11.还提供了段落A10所述的柔性制造系统,其中控制器独立地控制可驱动支撑系统中的每个可驱动支撑件的操作。

[0422] A12.还提供了段落A10所述的柔性制造系统,其中可驱动支撑系统中的多个可驱动支撑件被配置为在结构从可驱动支撑系统移除之后相互分开并驱动到第四位置。

[0423] A13.还提供了段落A12所述的柔性制造系统,其中第四位置是第一位置。

[0424] A14.还提供了段落A10所述的柔性制造系统,其中基于制造环境的尺度、用于结构的操作的状态、可驱动支撑系统的状态或多个自主工具系统的状态中的至少一个的改变,执行柔性制造系统的重新配置。

[0425] A15.还提供了段落A10所述的柔性制造系统,其中可驱动支撑系统包含:多个可驱动支撑件,其中多个可驱动支撑件中的每个可驱动支撑件被配置为在控制器的命令下保持结构的零件并驱动横穿制造环境的地面以相对于彼此定位每个相应的零件。

[0426] A16.还提供了段落A15所述的柔性制造系统,其中多个可驱动支撑件是彼此可互换的。

[0427] A17.还提供了段落A15所述的柔性制造系统,其中可驱动支撑系统进一步包含:多个连接装置,其与多个可驱动支撑件中的每一个相关联,并且被配置为连接到结构。

[0428] A18.还提供了段落A15所述的柔性制造系统,其中可驱动支撑系统是快速自主接驳智能工具(RABIT)。

[0429] A19.还提供了段落A17所述的柔性制造系统,其中控制器被配置为控制多个连接装置的高度。

[0430] A20.还提供了段落A17所述的柔性制造系统,其中控制器被配置为控制多个连接装置的延伸。

[0431] A21.还提供了段落A15所述的柔性制造系统,其中可驱动支撑系统包含:桥接系统,其被连接到平台,并且被配置为提供人类操作者到结构的入口;以及轨道系统,其被配置为向人类操作者提供掉落防护。

[0432] A22.还提供了段落A15所述的柔性制造系统,其中控制器被配置为基于由计量系统确定的结构的至少一个部分的当前方位,向多个可驱动支撑件发送命令以改变该部分的当前方位。

[0433] A23.还提供了段落A15所述的柔性制造系统,其中控制器被配置为以向多个可驱动支撑件发送命令的方式将任务分配给多个可驱动支撑件。

[0434] A24.还提供了段落A23所述的柔性制造系统,其中控制器被配置为监测分配给多个可驱动支撑件的的任务的状态和多个可驱动支撑件的状态。

[0435] A25.还提供了段落A23所述的柔性制造系统,其中控制器被配置为基于任务的状态或多个可驱动支撑件的状态中的至少一个,在多个可驱动支撑件之间重新分配任务。

[0436] A26.还提供了段落A1所述的柔性制造系统,其中飞行器结构选自机身、垂直稳定器、机翼、控制面和水平稳定器中的一个。

[0437] A27.还提供了段落A15所述的柔性制造系统,其中控制器被配置为向多个自主工具系统发送命令,以对结构执行操作。

[0438] A28.还提供了段落A27所述的柔性制造系统,其中控制器被配置为以向多个自主工具系统发送命令的方式将任务分配给多个自主工具系统。

[0439] A29.还提供了段落A27所述的柔性制造系统,其中控制器被配置为监测分配给多个自主工具系统的任务的状态和多个自主工具系统的状态。

[0440] A30.还提供了段落A27所述的柔性制造系统,其中控制器被配置为基于任务的状态或多个自主工具系统的状态中的至少一个,在多个自主工具系统之间重新分配任务。

[0441] A31.还提供了段落A1所述的柔性制造系统,其进一步包含导航器,该导航器与控制器通信并且被配置为产生多个自主工具系统达到相对于结构的期望方位的路径。

[0442] A32.还提供了段落A31所述的柔性制造系统,其进一步包含:

[0443] 变换器,其与导航器、计量系统和控制器通信,其中变换器被配置为将由计量系统确定的部件的当前方位变换为飞机坐标。

[0444] A33.还提供了段落A32所述的柔性制造系统,其中路径由导航器基于从变换器接收的飞机坐标来产生。

[0445] A34.还提供了段落A1所述的柔性制造系统,其进一步包含:装载系统,其被配置为相对于制造环境的地面移动,以相对于结构定位上蒙皮面板或下蒙皮面板中的至少一个。

[0446] A35.还提供了段落A34所述的柔性制造系统,其中装载系统包含:第一装载装置,其被配置为相对于结构定位上蒙皮面板;以及第二装载装置,其被配置为相对于结构定位下蒙皮面板。

[0447] A36.还提供了段落A2所述的柔性制造系统,其中操作包括钻孔操作、紧固操作、检查操作、密封操作、测量操作、调平操作或清洁操作中的至少一个。

[0448] A37.还提供了段落A1所述的柔性制造系统,其中可驱动支撑系统被配置为在第一位置、第二位置、第三位置与制造环境中的数个/多个额外位置之间运载结构。

[0449] A38.还提供了段落A1所述的柔性制造系统,其中当可驱动支撑系统将结构保持在期望方位时,对结构执行操作。

[0450] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0451] B1.一种用于制造飞行器结构的方法,该方法包含:将可驱动支撑件从第一位置驱动到第二位置,以将可驱动支撑件与至少一个其他可驱动支撑件带到一起形成可驱动支撑系统;以及使用可驱动支撑系统将结构保持在期望方位。

[0452] B2.还提供了段落B1所述的方法,其进一步包含:使用可驱动支撑系统将结构从第二位置驱动到制造环境的地面上的第三位置。

[0453] B3.还提供了段落B2所述的方法,其进一步包含:使用多个自主工具系统对结构执

行操作。

[0454] B4.还提供了段落B3所述的方法,其中在结构被驱动到第三位置的同时执行操作。

[0455] B5.还提供了段落B4所述的方法,其进一步包含:操纵多个自主工具系统。

[0456] B6.还提供了段落B3所述的方法,其进一步包含:操纵可驱动支撑件或可驱动支撑系统中的至少一个。

[0457] B7.还提供了段落B3所述的方法,其中在结构从第二位置被驱动到第三位置的同时执行操作。

[0458] B8.还提供了段落B3所述的方法,其进一步包含:确定可驱动支撑系统、多个自主工具系统或结构中的至少一个的当前方位,其中当前方位使用计量系统来确定。

[0459] B9.还提供了段落B8所述的方法,其进一步包含:使用控制器来控制多个自主工具系统、可驱动支撑系统和计量系统的操作。

[0460] B10.还提供了段落B8所述的方法,其进一步包含:从可驱动支撑系统移除结构;使可驱动支撑系统中的多个可驱动支撑件相互分开;以及将多个可驱动支撑件中的至少一个驱动到第四位置。

[0461] B11.还提供了段落B10所述的方法,其中第四位置是第一位置。

[0462] B12.还提供了段落B8所述的方法,其进一步包含:使用履带机器人、平头钻机、六足机器人、下面板钻机或上面板钻机中的至少一个对结构执行操作。

[0463] B13.还提供了段落B12所述的方法,其进一步包含:当对结构执行操作时,使用可驱动支撑系统将结构脉动通过制造环境中的多个工作间。

[0464] B14.还提供了段落B12所述的方法,其进一步包含:当对结构执行操作时,使用可驱动支撑系统将结构连续地移动通过制造环境。

[0465] B15.还提供了段落B3所述的方法,其进一步包含:使用由控制器产生的命令相对于结构定位多个自主工具系统。

[0466] B16.还提供了段落B15所述的方法,其进一步包含:使用计量系统来监测多个自主工具系统的当前方位。

[0467] B17.还提供了段落B3所述的方法,其进一步包含:基于制造环境的尺度、结构的状态或者可驱动支撑系统或多个自主工具系统两者之中至少一个的状态中的至少一个的改变,重新配置可驱动支撑系统或多个自主工具系统两者中的至少一个。

[0468] B18.还提供了段落B3所述的方法,其进一步包含:产生命令以将多个自主工具系统从当前方位移动到相对于结构的期望方位,其中命令是使用控制器来产生的。

[0469] B19.还提供了段落B18所述的方法,其进一步包含:以由控制器产生的命令的方式将任务分配给多个自主工具系统。

[0470] B20.还提供了段落B19所述的方法,其进一步包含:监测分配给多个自主工具系统的任务的状态;

[0471] 监测多个自主工具系统的状态;以及基于任务的状态或多个自主工具系统的状态中的至少一个,在多个自主工具系统之间重新分配任务。

[0472] B21.还提供了段落B3所述的方法,其进一步包含:使用控制器产生将多个可驱动支撑件从第一位置驱动到第二位置的命令。

[0473] B22.还提供了段落B21所述的方法,其进一步包含:以由控制器产生的命令的方式

将任务分配给每个可驱动支撑件。

[0474] B23.还提供了段落B22所述的方法,其进一步包含:监测分配给多个可驱动支撑件的的任务的状态;

[0475] 监测多个可驱动支撑件的状态;以及基于任务的状态或多个可驱动支撑件的状态中的至少一个,在多个可驱动支撑件之间重新分配任务。

[0476] B24.还提供了段落B3所述的方法,其进一步包含:产生多个自主工具系统到达相对于结构的期望方位的路径,其中路径是由导航器来产生的。

[0477] B25.还提供了段落B3所述的方法,其进一步包含:相对于结构定位上蒙皮面板。

[0478] B26.还提供了段落B25所述的方法,其进一步包含:使用多个自主工具系统的第一部分对上蒙皮面板执行操作。

[0479] B27.还提供了段落B26所述的方法,其进一步包含:相对于结构定位下蒙皮面板。

[0480] B28.还提供了段落B27所述的方法,其进一步包含:使用多个自主工具系统的第二部分对下蒙皮面板执行操作。

[0481] B29.还提供了段落B3所述的方法,其进一步包含:沿着制造环境的地面驱动多个自主工具系统。

[0482] B30.还提供了段落B29所述的方法,其进一步包含:驱动多个自主工具系统横穿结构。

[0483] B31.还提供了段落B3所述的方法,其进一步包含:同时操作多个自主工具系统,以对结构执行操作。

[0484] B32.还提供了段落B31所述的方法,其中多个操作中的一个操作包括钻孔操作、紧固操作、检查操作、密封操作、测量操作、调平操作或清洁操作中的至少一个。

[0485] B33.还提供了段落B1所述的方法,其进一步包含:使用可驱动支撑系统将结构从第二位置运载到第三位置。

[0486] B34.还提供了段落B1所述的方法,其进一步包含:使用可驱动支撑件将结构的一部分从第一位置运载到第二位置。

[0487] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0488] C1.一种柔性制造系统,其包含:

[0489] 可驱动支撑件,其从第一位置被驱动,并被带到制造环境的地面上的第二位置处与至少一个其他可驱动支撑件结合在一起以形成可驱动支撑系统,其中可驱动支撑系统被配置为将结构保持在期望方位,并且当正对结构执行操作时将可驱动支撑系统和结构驱动到第三位置;多个自主工具系统,其被配置为对结构执行操作,并且驱动横穿制造环境的地面;计量系统,其被配置为确定可驱动支撑系统、多个自主工具系统或结构中的至少一个的当前方位;以及控制器,其与计量系统、可驱动支撑系统和多个自主工具系统通信,其中控制器被配置为控制可驱动支撑系统或多个自主工具系统两者中的至少一个的操作。

[0490] C2.还提供了段落C1所述的柔性制造系统,其中可驱动支撑系统、多个自主工具系统或计量系统中的至少一个是可重新配置的。

[0491] C3.还提供了段落C1所述的柔性制造系统,其中可驱动支撑系统中的多个可驱动支撑件被配置为在结构被从可驱动支撑系统移除之后分开并且均驱动到第四位置。

[0492] C4.还提供了段落C1所述的柔性制造系统,其中多个自主工具系统包含履带机器

人、平头钻机、六足机器人、下面板钻机和上面板钻机中的至少一个。

[0493] C5.还提供了段落C1所述的柔性制造系统,其中结构选自机翼、机身、垂直稳定器、水平稳定器、汽车、船舶、卫星和发动机中的一个。

[0494] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0495] D1.一种用于制造飞行器结构的系统,其包含:一组履带机器人,其被定位在结构上,并且被配置为沿着结构的表面移动,以将紧固件安装在结构中;以及机动平台,其被配置为横穿制造环境的地面,并将该组履带机器人放置在结构的表面上。

[0496] D2.还提供了段落D1所述的系统,其进一步包含:可驱动支撑件,其从第一位置被驱动,并被带到制造环境的地面上的第二位置处与至少一个其他可驱动支撑件结合在一起以形成可驱动支撑系统,其中可驱动支撑系统被配置为将结构保持在期望方位,并且在正对结构执行操作时将可驱动支撑系统和结构驱动到第三位置。

[0497] D3.还提供了段落D2所述的系统,其进一步包含:计量系统,其被配置为确定该组履带机器人中的每个履带机器人的当前方位;以及控制器,其与计量系统和该组履带机器人通信,并且被配置为产生相对于结构的表面将每个履带机器人从当前方位移动到期望方位的命令。

[0498] D4.还提供了段落D3所述的系统,其中该组履带机器人中的履带机器人被配置为在结构的表面中钻孔、打埋头孔、检查孔以及将紧固件安装在孔中。

[0499] D5.还提供了段落D4所述的系统,其中履带机器人包含柔性跟踪系统。

[0500] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0501] E1.一种用于制造飞行器结构的方法,该方法包含:驱动可驱动平台横穿制造环境的地面,以将一组履带机器人放置在结构上;以及

[0502] 相对于结构的表面定位该组履带机器人,以将紧固件安装在结构中。

[0503] E2.还提供了段落E1所述的方法,其进一步包含:将可驱动支撑件从第一位置驱动到第二位置,以使该可驱动支撑件与至少一个其他可驱动支撑件结合在一起形成可驱动支撑系统;使用可驱动支撑系统将结构保持在期望方位;以及使用可驱动支撑系统将结构从第二位置驱动到制造环境的地面上的第三位置。

[0504] E3.还提供了段落E2所述的方法,其进一步包含:在可驱动支撑系统将结构从第二位置驱动到第三位置的同时,使用该组履带机器人安装紧固件。

[0505] E4.还提供了段落E1所述的方法,其进一步包含:使用计量系统确定该组履带机器人中的每个履带机器人的当前方位;产生相对于结构的表面将每个履带机器人从当前方位移动到期望方位的命令,其中命令由控制器来产生;以及使用计量系统来监测每个履带机器人的当前方位。

[0506] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0507] F1.一种用于制造飞行器结构的系统,其包含:六足机器人,其被定位在结构的表面上,并且被配置为相对于结构的表面移动,以将紧固件安装在结构中;以及移动系统,其与六足机器人相关联,并且被配置为驱动六足机器人横穿制造环境的地面,以相对于结构定位六足机器人。

[0508] F2.还提供了段落F1所述的系统,其进一步包含:可驱动支撑件,其从第一位置被驱动,并被带到制造环境的地面上的第二位置处与至少一个其他可驱动支撑件结合在一起

以形成可驱动支撑系统,其中可驱动支撑系统被配置为将结构保持在期望方位,并且在紧固件正由六足机器人安装时将可驱动支撑系统和结构驱动到第三位置。

[0509] F3.还提供了段落F2所述的系统,其进一步包含:计量系统,其被配置为确定六足机器人的当前方位;以及控制器,其与计量系统和六足机器人通信,并且被配置为产生相对于结构的表面将六足机器人从当前方位移动到期望方位的命令。

[0510] F4.还提供了段落F1所述的系统,其中移动系统选自麦克纳姆轮、可缩回轮、拖曳装置、跟踪系统或台架系统中的至少一个。

[0511] F5.还提供了段落F1所述的系统,其中六足机器人被配置为在结构的表面中钻孔、打埋头孔、检查孔以及将紧固件安装在孔中。

[0512] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0513] G1.一种用于制造飞行器结构的方法,其包含:使用与六足机器人相关联的移动系统驱动六足机器人横穿制造环境的地面,以相对于结构定位六足机器人;以及相对于结构的表面定位六足机器人,以将紧固件安装在结构中。

[0514] G2.还提供了段落G1所述的方法,其进一步包含:将可驱动支撑件从第一位置驱动到第二位置,以使可驱动支撑件与至少一个其他可驱动支撑件结合在一起以形成可驱动支撑系统;使用可驱动支撑系统将结构保持在期望方位;以及使用可驱动支撑系统将结构从第二位置驱动到制造环境的地面上的第三位置。

[0515] G3.还提供了段落G1所述的方法,其进一步包含:确定六足机器人的当前方位;以及使用控制器产生相对于结构将六足机器人从当前方位移动到期望方位的命令。

[0516] G4.还提供了段落G3所述的方法,其进一步包含:在可驱动支撑系统将结构从第二位置驱动到第三位置的同时,使用六足机器人将紧固件安装在结构中。

[0517] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0518] H1.一种用于结构的柔性制造系统,其包含:机动支撑系统,其被配置为在执行用于制造结构的操作期间将结构保持在期望方位并在多个工作间之间运载结构;多个自主工具系统,其被配置为对结构执行操作并与机动支撑系统一起移动;计量系统,其被配置为产生机动支撑系统、多个自主工具系统或结构中的至少一个的计量数据;以及控制器,其与计量系统和多个自主工具系统通信,其中控制器被配置为使用计量数据控制多个自主工具系统的操作。

[0519] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0520] I1.一种用于结构的柔性制造系统,其包含:可平移支撑系统,其被配置为在执行用于制造结构的操作期间将结构保持在期望方位并与结构一起从第一位置移动到第二位置;多个自主工具系统,其被配置为对结构执行操作并与可平移支撑系统一起移动;计量系统,其被配置为产生可平移支撑系统、多个自主工具系统或结构中的至少一个的计量数据;以及

[0521] 控制器,其与计量系统和多个自主工具系统通信,其中控制器被配置为使用计量数据控制多个自主工具系统的操作。

[0522] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0523] J1.一种用于将工具定位在表面上的方法,该方法包含:使用第一移动系统相对于表面移动工具,以将工具粗略地定位在表面上的所选区域内;以及使用第二移动系统相对

于表面以至少一个自由度移动工具,以将工具精确地定位在表面上的所选区域内的所选方位处。

[0524] J2.还提供了段落J1所述的方法,其中相对于表面以至少一个自由度移动工具以将工具精确地定位在所选方位处包含:使用第二移动系统相对于表面以至少一个自由度将工具移动到所选方位处;以及使用第三移动系统相对于所选方位对齐与在所选方位处执行操作的工具相关联的元件。

[0525] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0526] K1.一种用于将工具定位在表面上的方法,该方法包含:使用第一移动系统相对于表面移动工具,以将工具粗略地定位在表面上的所选区域内;使用第二移动系统相对于表面以至少一个自由度移动工具,以将工具精确地定位在表面上的所选区域内的所选方位处;以及使用第三移动系统相对于所选方位对齐与在所选方位处执行操作的工具相关联的元件。

[0527] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0528] L1.一种用于飞行器结构的柔性制造系统,其包含:第一组可驱动支撑件;第二组可驱动支撑件,其中第一组可驱动支撑件从第一位置被驱动并被带到制造环境的地面上的第二位置处与第二组可驱动支撑件结合在一起;第一狭长平台,其被连接到第一组可驱动支撑件,其中第一组可驱动支撑件将第一狭长平台驱动到第二位置;以及第二狭长平台,其被连接到第二组可驱动支撑件,其中第二组可驱动支撑件将第二狭长平台驱动到第二位置,并且其中第一狭长平台和第二狭长平台将结构保持在期望位置并运载结构通过制造环境。

[0529] L2.还提供了段落L1所述的柔性制造系统,其进一步包含:第一组连接装置,其沿着第一狭长平台的长度被定位,并且被连接到结构。

[0530] L3.还提供了段落L2所述的柔性制造系统,其进一步包含:

[0531] 第二组连接装置,其沿着第二狭长平台的长度被定位,并且被连接到结构。

[0532] L4.还提供了段落L3所述的柔性制造系统,其中第一组连接装置被连接到结构的前缘,而第二组连接装置被连接到结构的后缘。

[0533] L5.还提供了段落L1所述的柔性制造系统,其进一步包含:多个线路,其被定位在第一狭长平台或第二狭长平台中的至少一个中的通道内,其中多个线路向被配置为执行操作以建造结构的多个自主工具系统供应多种公用设施。

[0534] L6.还提供了段落L1所述的柔性制造系统,其中第一组可驱动支撑件中的每一个包含被配置为相对于多个轴移动第一狭长平台以调整结构的定位的移动系统。

[0535] L7.还提供了段落L6所述的柔性制造系统,其中第二组可驱动支撑件中的每一个包含被配置为相对于多个轴移动第二狭长平台以调整结构的方位的移动系统。

[0536] L8.还提供了段落L1所述的柔性制造系统,其中第一组可驱动支撑件和第二组可驱动支撑件是自动导向车辆。

[0537] L9.还提供了段落L1所述的柔性制造系统,其进一步包含:计量系统,其被配置为识别第一狭长平台和第二狭长平台中的至少一个上的点的位置。

[0538] L10.还提供了段落L9所述的柔性制造系统,其中计量系统包含:多个传感器系统,其与第一狭长平台和第二狭长平台相关联,其中多个传感器系统被配置为产生供计量系统

使用的计量数据。

[0539] L11.还提供了段落L1所述的柔性制造系统,其进一步包含:第一组负荷传感器,其被连接到第一狭长平台并且被配置为识别由结构施加于第一狭长平台的负荷;以及第二组负荷传感器,其被连接到第二狭长平台并且被配置为识别由结构施加于第二狭长平台的负荷。

[0540] L12.还提供了段落L9所述的柔性制造系统,其进一步包含:多个自主工具系统,其被配置为对结构执行操作。

[0541] L13.还提供了段落L12所述的柔性制造系统,其中多个自主工具系统被配置为驱动横穿制造环境的地面。

[0542] L14.还提供了段落L12所述的柔性制造系统,其中被连接到第一狭长平台的第一组可驱动支撑件和第二组可驱动支撑件形成可驱动支撑系统,该可驱动支撑系统被配置为将结构驱动到第三位置。

[0543] L15.还提供了段落L14所述的柔性制造系统,其中可驱动支撑系统形成非固定夹具。

[0544] L16.还提供了段落L12所述的柔性制造系统,其进一步包含:驱动控制系统,其与计量系统、第一组可驱动支撑件、第二组可驱动支撑件和多个自主工具系统通信,其中驱动控制系统被配置为控制计量系统、第一组可驱动支撑件、第二组可驱动支撑件或多个自主工具系统四者中的至少一个的操作。

[0545] L17.还提供了段落L1所述的柔性制造系统,其中可驱动支撑件在制造环境中相对于结构的方位使用计量系统来确定。

[0546] L18.还提供了段落L17所述的柔性制造系统,其中多个可驱动支撑件被配置为基于多个可驱动支撑件与结构的接近度而被驱动到第一位置以形成第一组可驱动支撑件。

[0547] 根据本发明的又一方面,提供了:

[0548] M1.一种用于制造飞行器结构的方法,该方法包含:将被连接到第一狭长平台的第一组可驱动支撑件从制造环境的地面上的第一位置驱动到第二位置;驱动被连接到第二狭长平台的第二组可驱动支撑件,以相对于第一狭长平台定位第二狭长平台;以及将用来形成飞行器结构的结构连接到第一狭长平台和第二狭长平台。

[0549] M2.还提供了段落M1所述的方法,其进一步包含:使用第一狭长平台和第二狭长平台将结构保持在期望方位。

[0550] M3.还提供了段落M1所述的方法,其中被连接到第一狭长平台的第一组可驱动支撑件和被连接到第二狭长平台的第二组可驱动支撑件形成可驱动支撑系统,并且该方法进一步包含:使用可驱动支撑系统将结构从第二位置驱动到制造环境的地面上的第三位置。

[0551] M4.还提供了段落M1所述的方法,其进一步包含:使用多个自主工具系统对结构执行操作。

[0552] M5.还提供了段落M1所述的方法,其进一步包含:使用位于第一狭长平台或第二狭长平台中的至少一个上的人类操作者对结构执行操作。

[0553] M6.还提供了段落M1所述的方法,其中连接所述结构包含:将沿着第一狭长平台的长度定位的第一组连接装置连接到结构;以及将沿着第二狭长平台的长度定位的第二组连接装置连接到结构,使得结构由第一狭长平台和第二狭长平台来支撑。

[0554] M7.还提供了段落M1所述的方法,其进一步包含:向被配置为执行操作以建造结构的多个自主工具系统供应多种公用设施。

[0555] M8.还提供了段落M7所述的方法,其进一步包含:使用被定位在第一狭长平台或第二狭长平台中的至少一个中的通道内的公用设施电缆供应多种公用设施。

[0556] M9.还提供了段落M1所述的方法,其进一步包含:确定第一狭长平台上的点的位置,其中使用计量系统来确定该位置。

[0557] M10.还提供了段落M9所述的方法,其进一步包含:相对于多个轴移动第一狭长平台以调整结构的方位,其中使用第一组可驱动支撑件中的至少一个可驱动支撑件上的移动系统来移动第一狭长平台。

[0558] M11.还提供了段落M10所述的方法,其进一步包含:确定第二狭长平台上的点的位置,其中使用计量系统来确定该位置。

[0559] M12.还提供了段落M11所述的方法,其进一步包含:相对于多个轴移动第二狭长平台以调整结构的方位,其中使用第二组可驱动支撑件中的至少一个可驱动支撑件上的移动系统来移动第二狭长平台。

[0560] M13.还提供了段落M1所述的方法,其进一步包含:使用第一组负荷传感器识别由结构应用于第一狭长平台的负荷;以及使用第二组负荷传感器识别由结构应用于第二狭长平台的负荷。

[0561] M14.还提供了段落M13所述的方法,其进一步包含:当结构移动时,相对于第一狭长平台和第二狭长平台对结构进行负荷平衡。

[0562] M15.还提供了段落M1所述的方法,其进一步包含:操纵第一组可驱动支撑件和第二组可驱动支撑件横穿制造环境的地面。

[0563] M16.还提供了段落M1所述的方法,其进一步包含:从第一狭长平台和第二狭长平台移除结构;以及将运载第一狭长平台的第一组可驱动支撑件或运载第二狭长平台的第二组可驱动支撑件中的至少一个驱动到第四位置。

[0564] M17.还提供了段落M1所述的方法,其进一步包含:确定可驱动支撑件在制造环境中相对于结构的方位;以及基于多个可驱动支撑件到结构的接近度,将多个可驱动支撑件驱动到第一位置,以形成第一组可驱动支撑件。

[0565] M18.还提供了段落M1所述的方法,其进一步包含:将第一组可驱动支撑件连接到第一狭长平台。

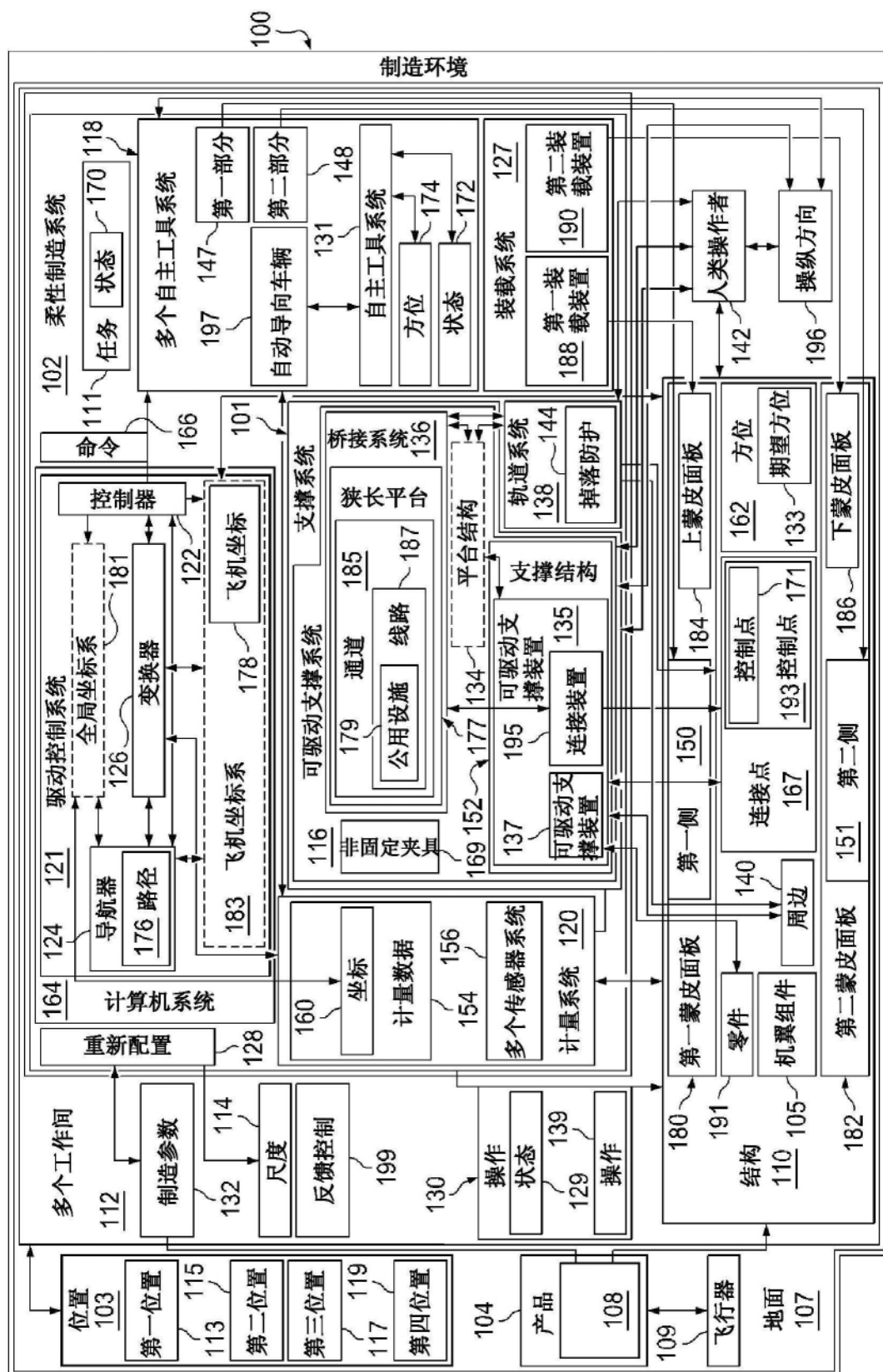


图1

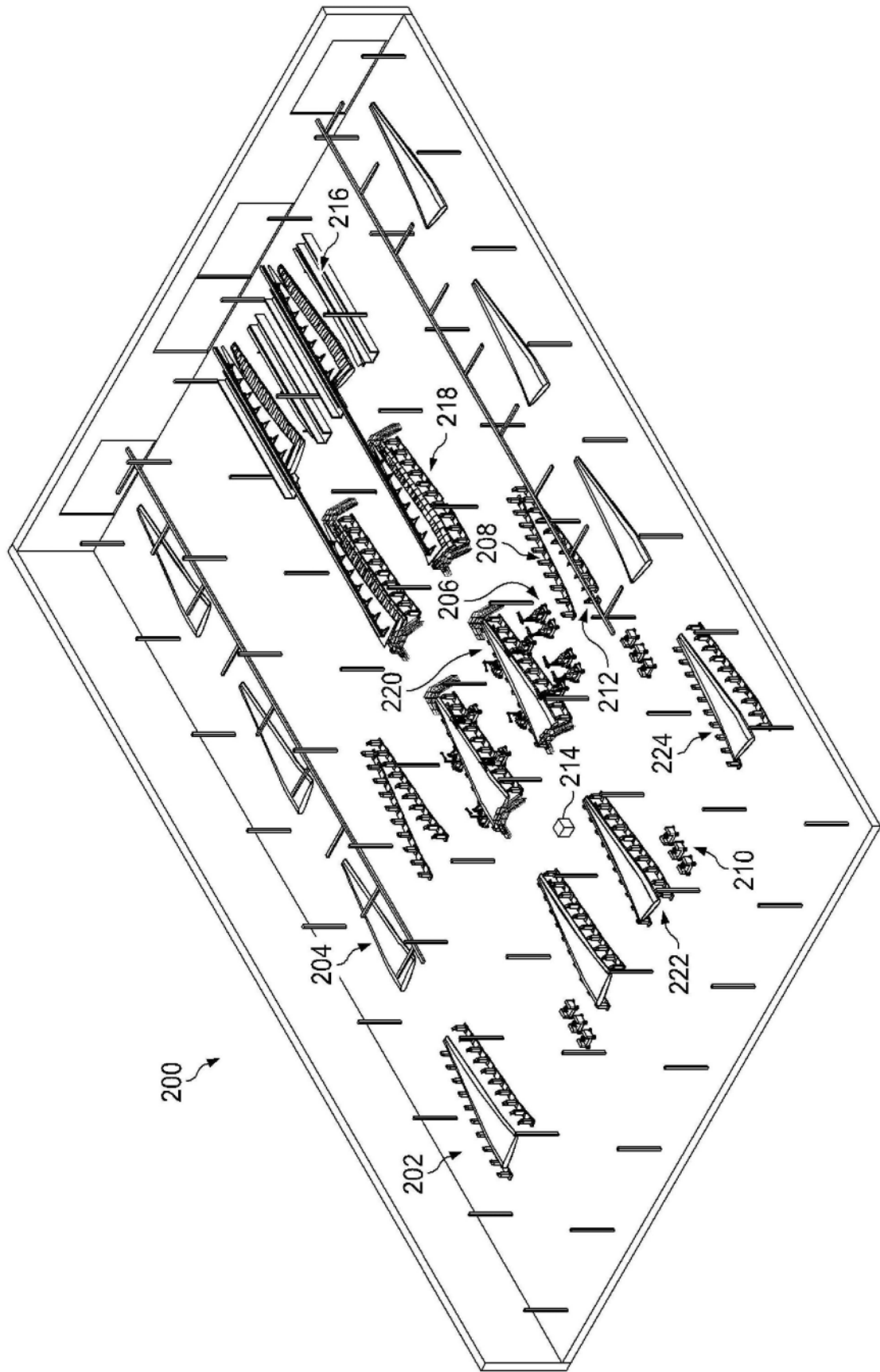


图2

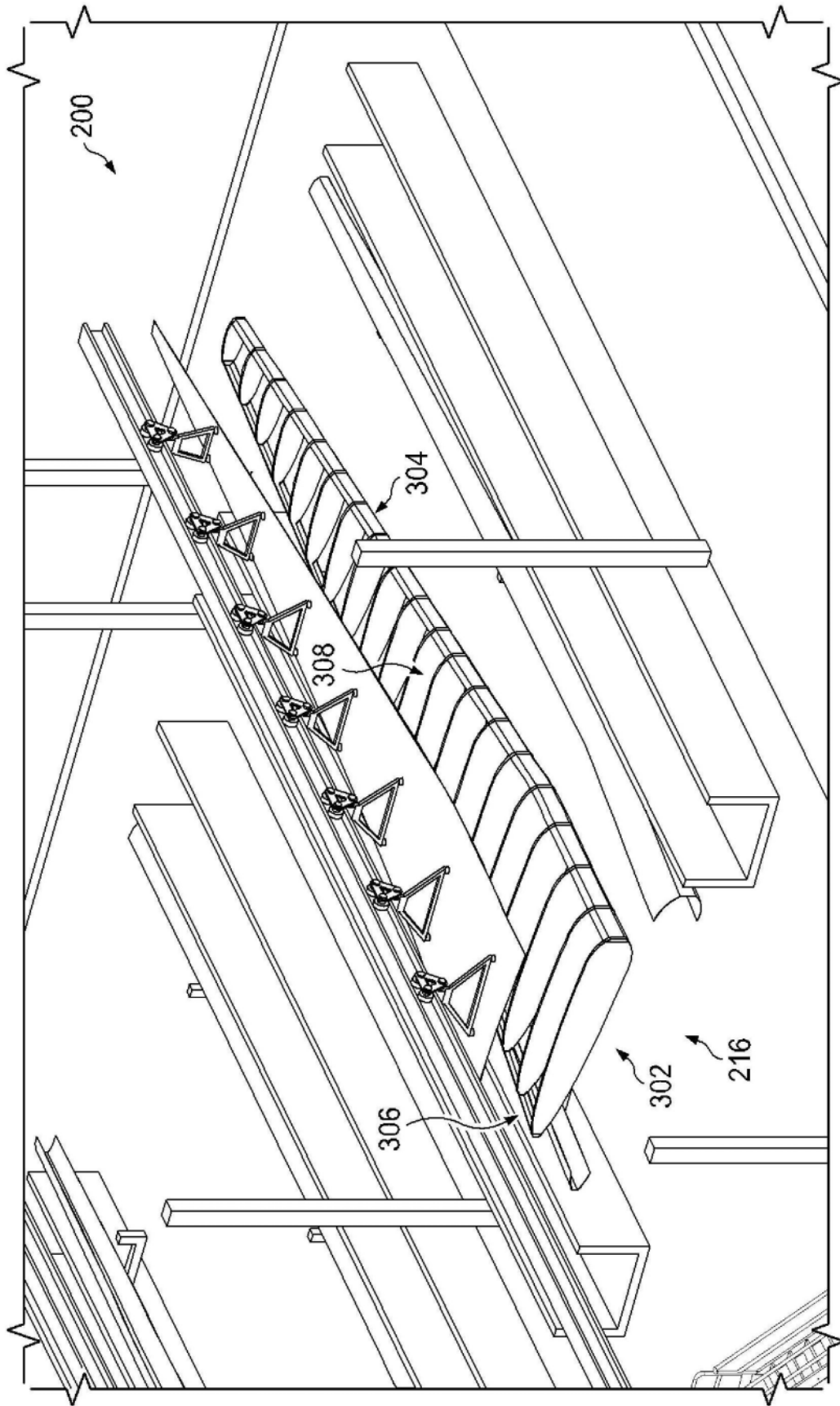


图3

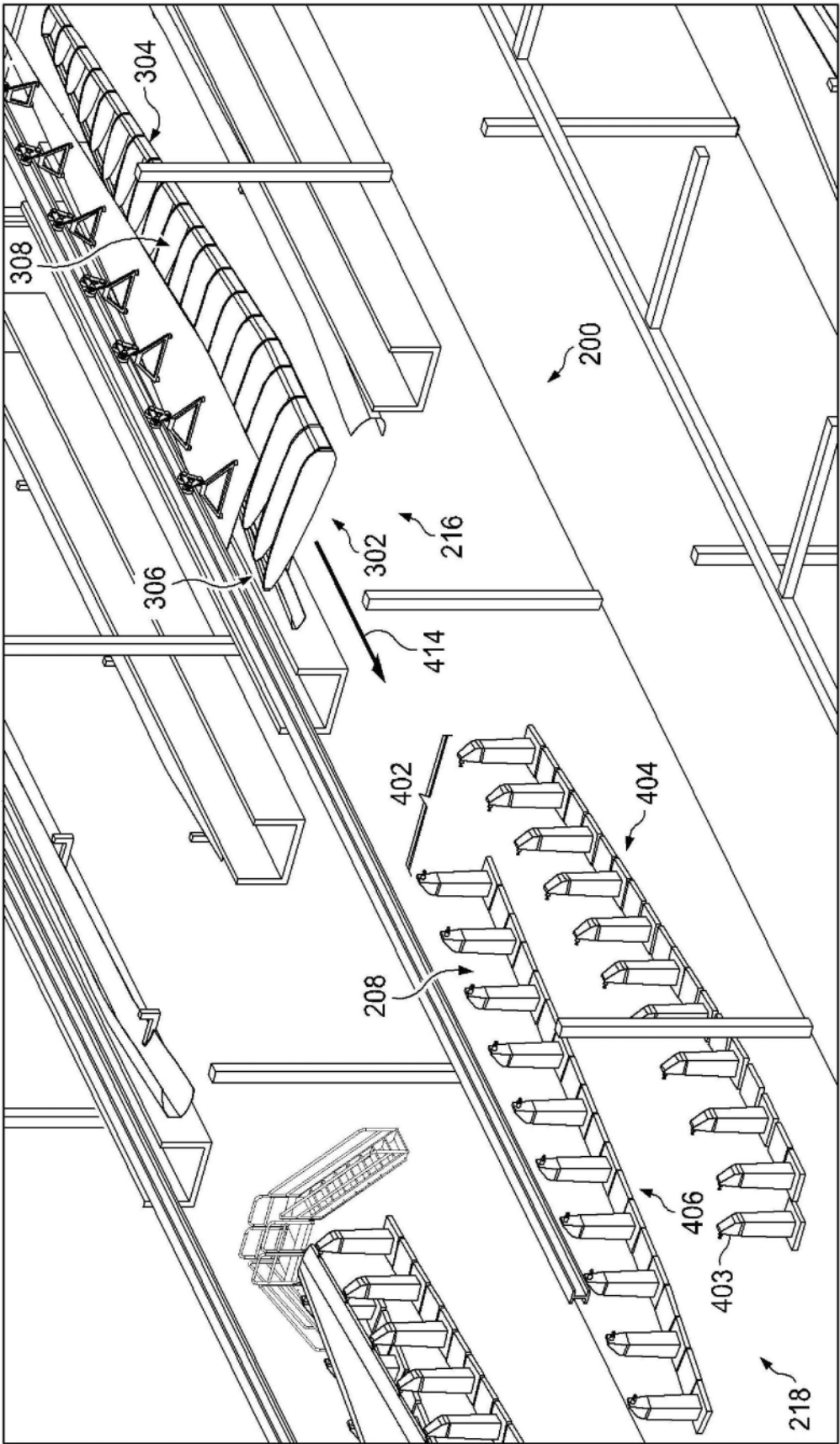


图4

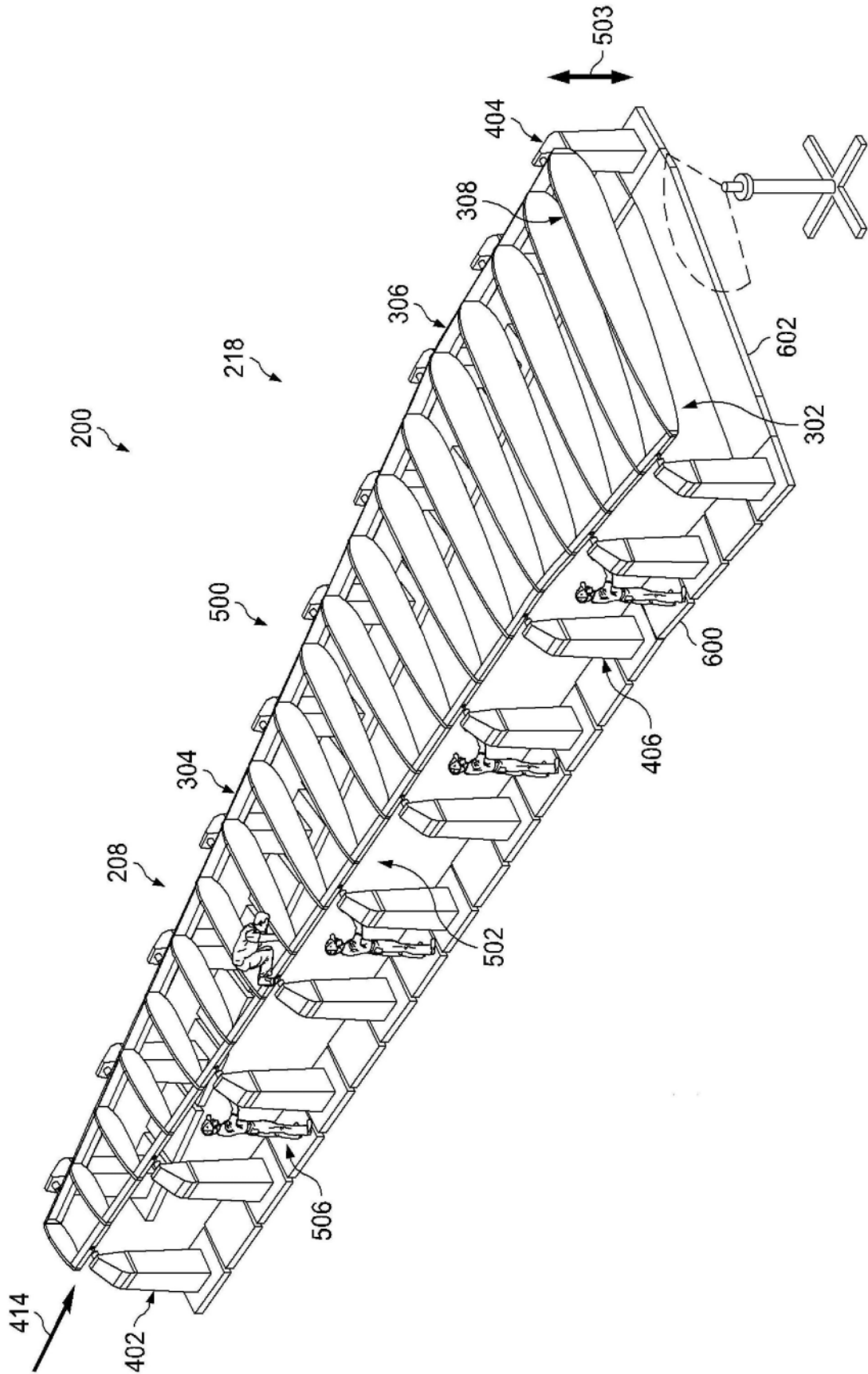


图6

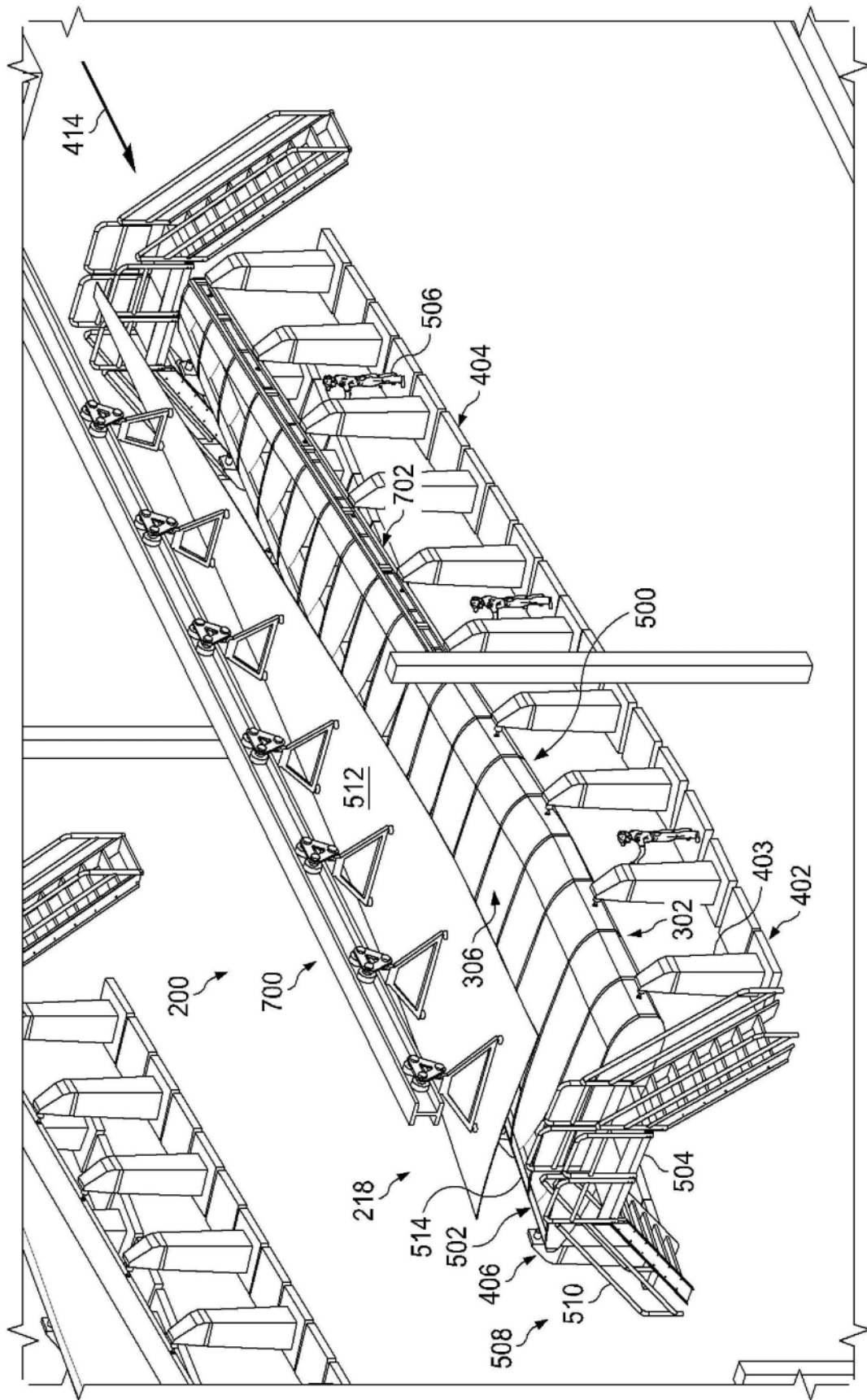


图7

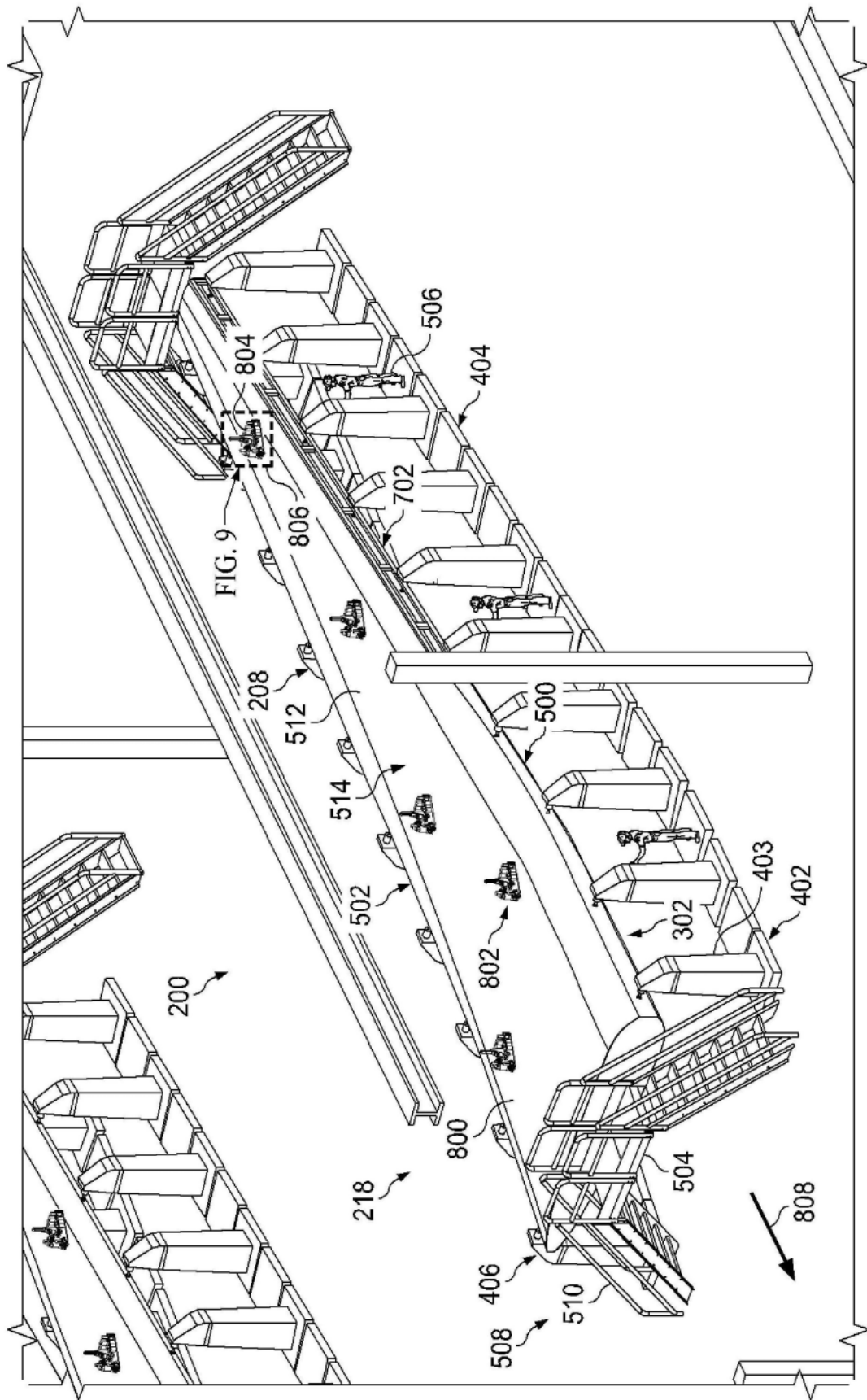


图8

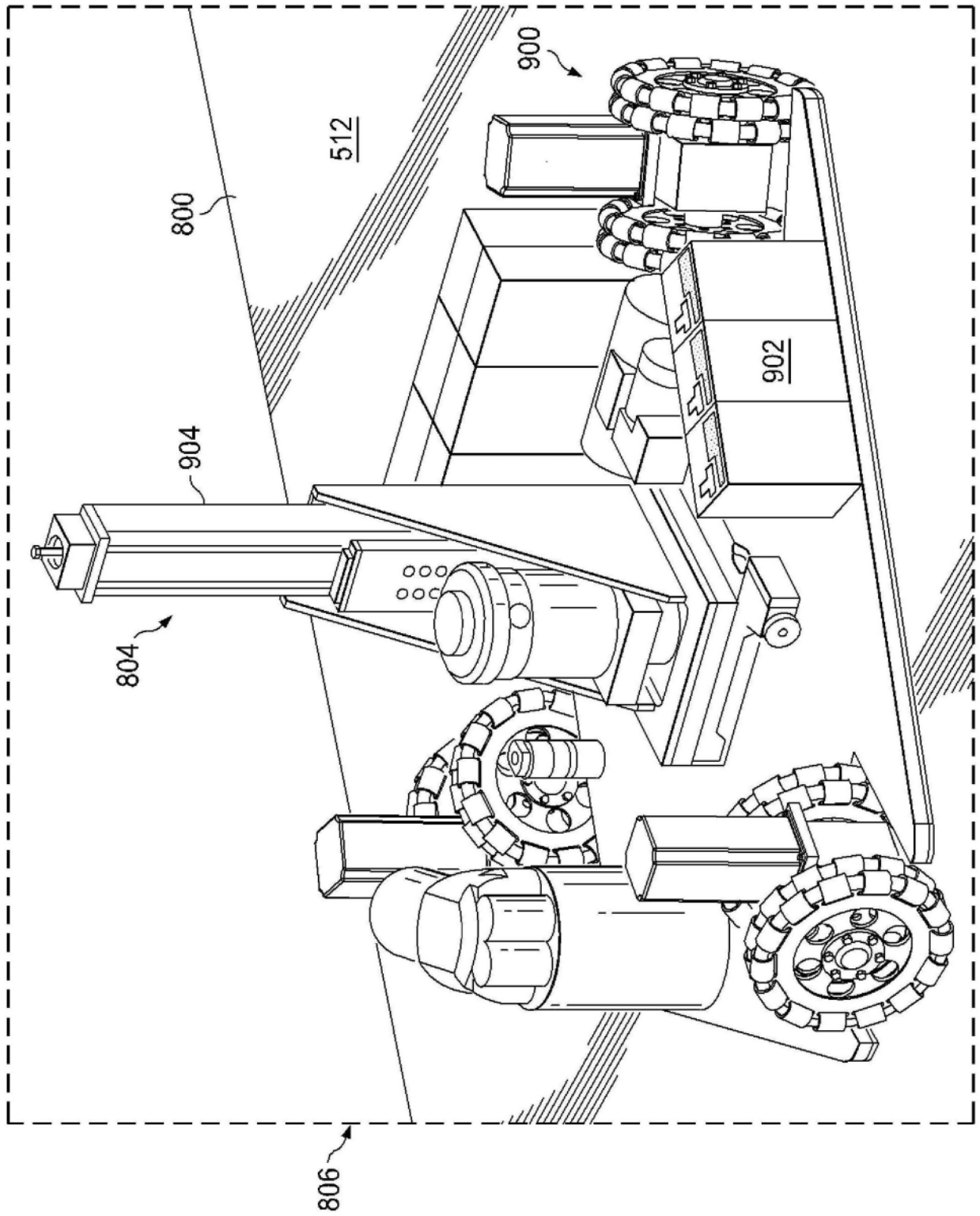


图9

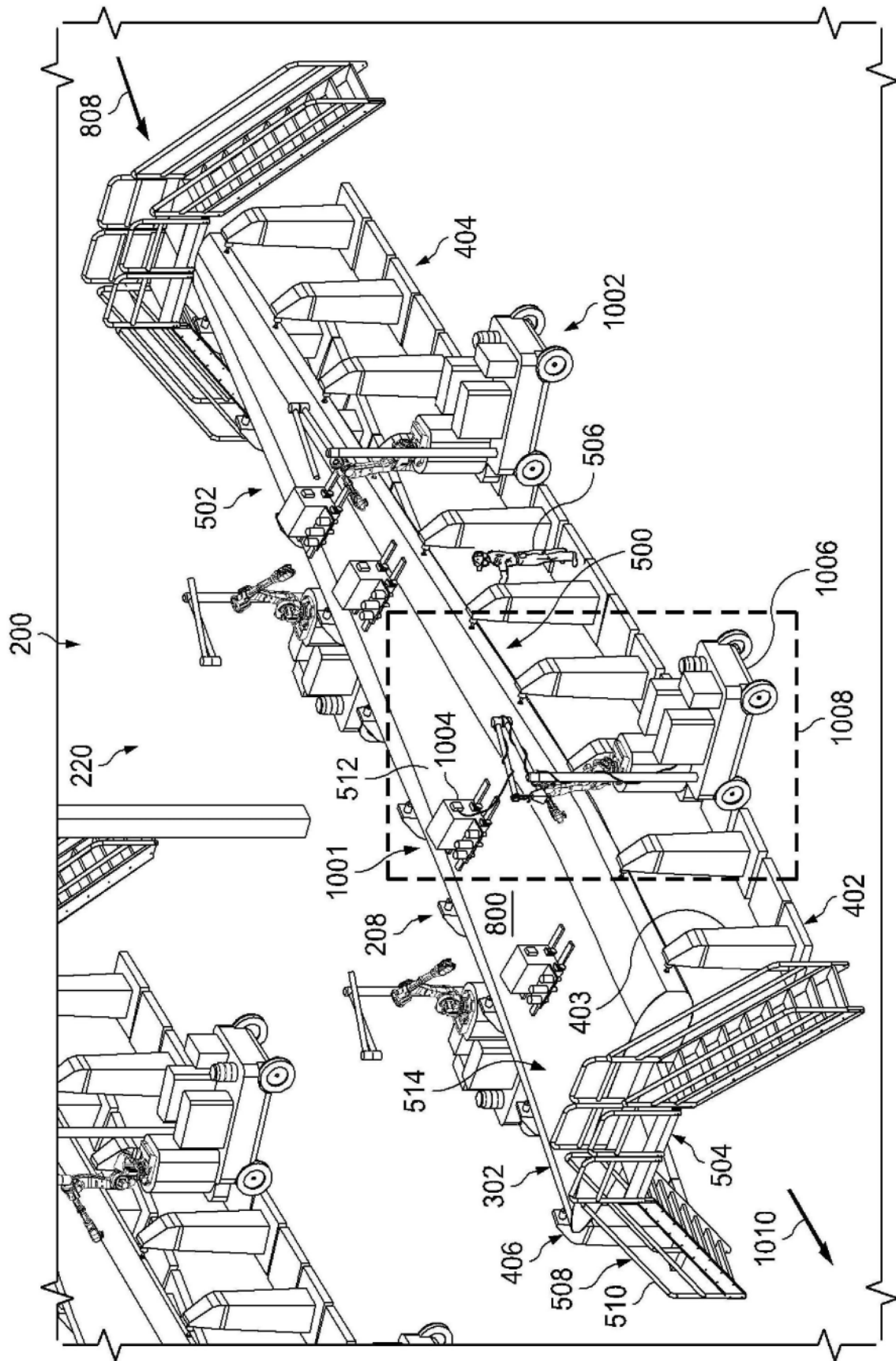


图10

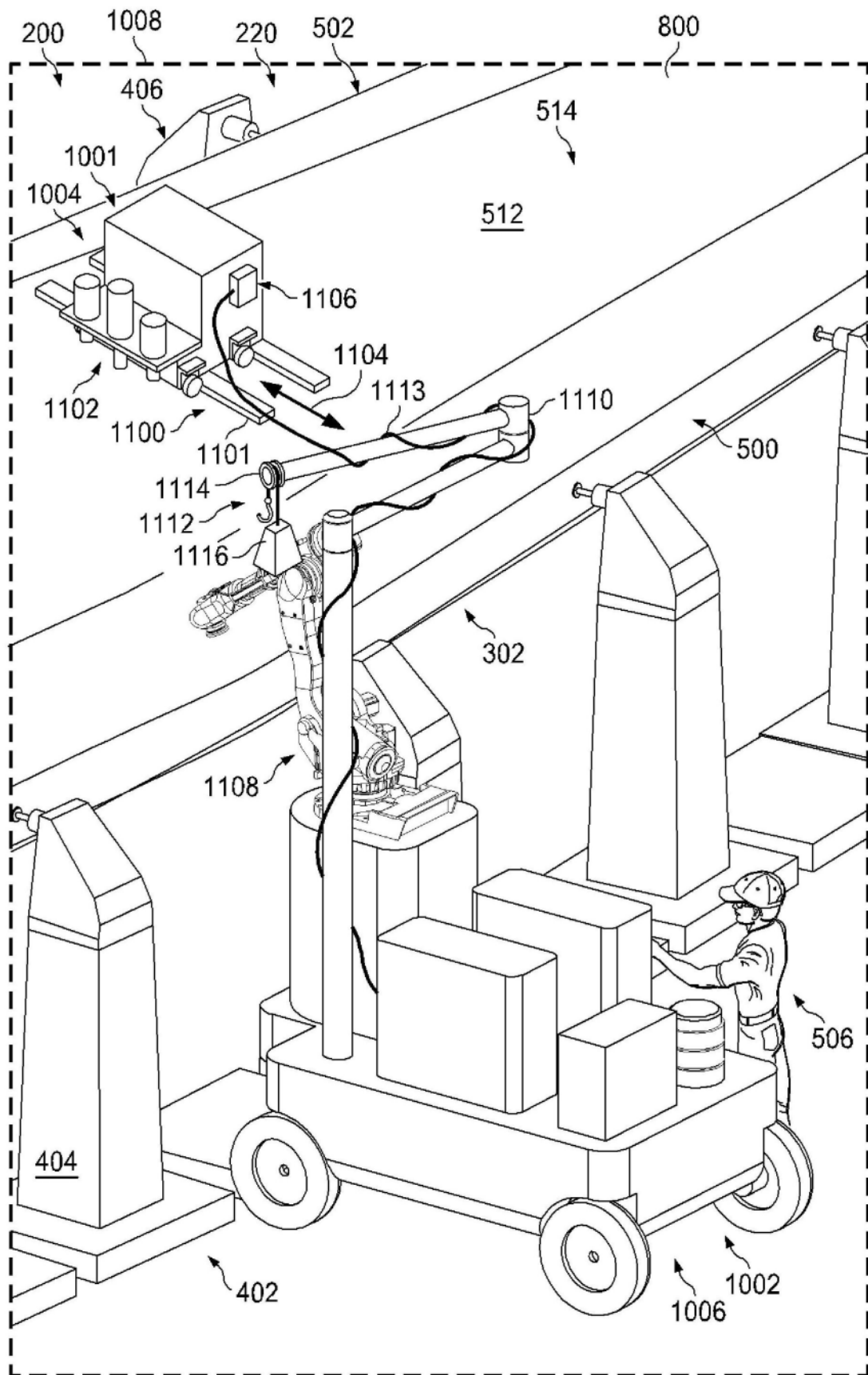


图11

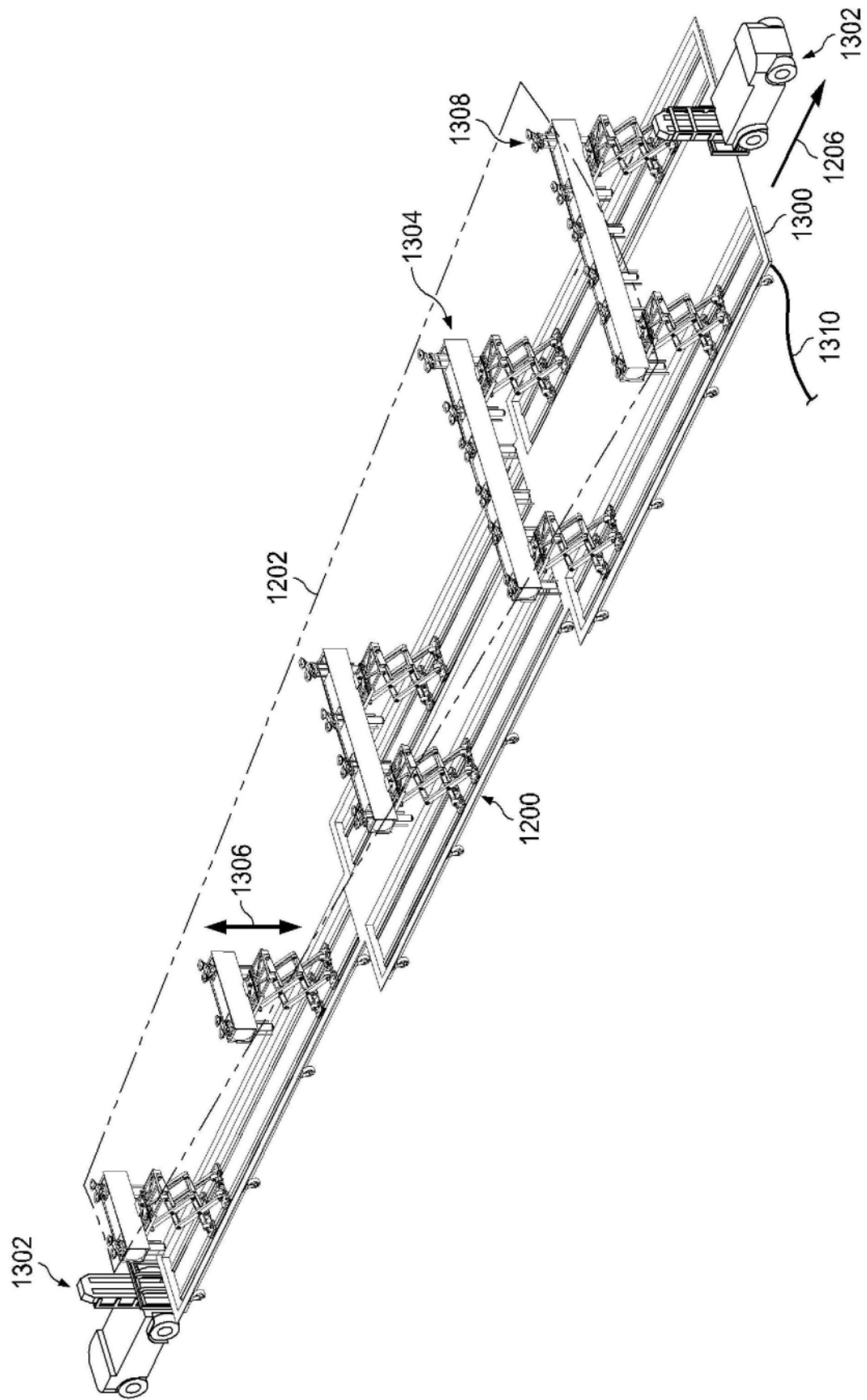


图13

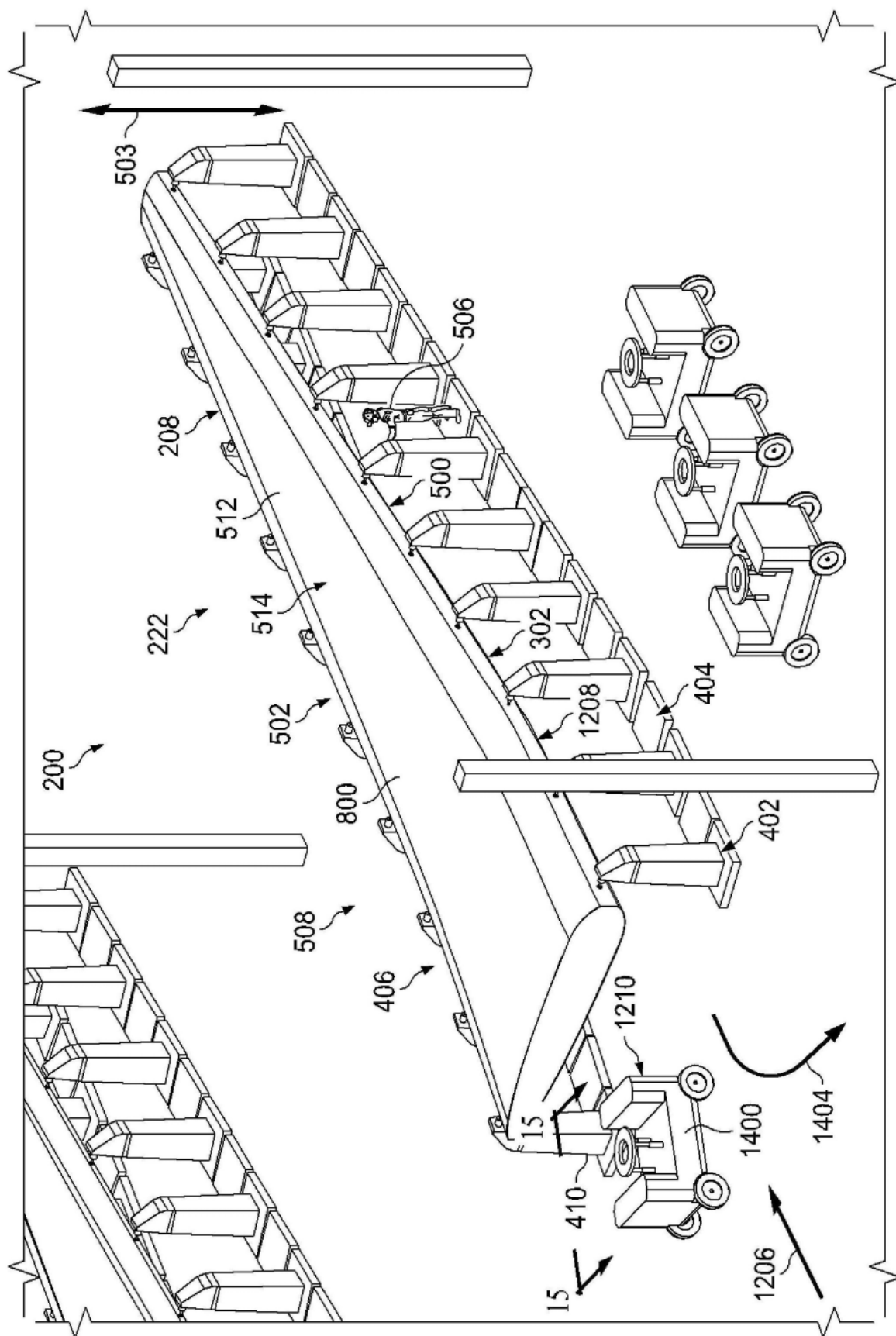


图14

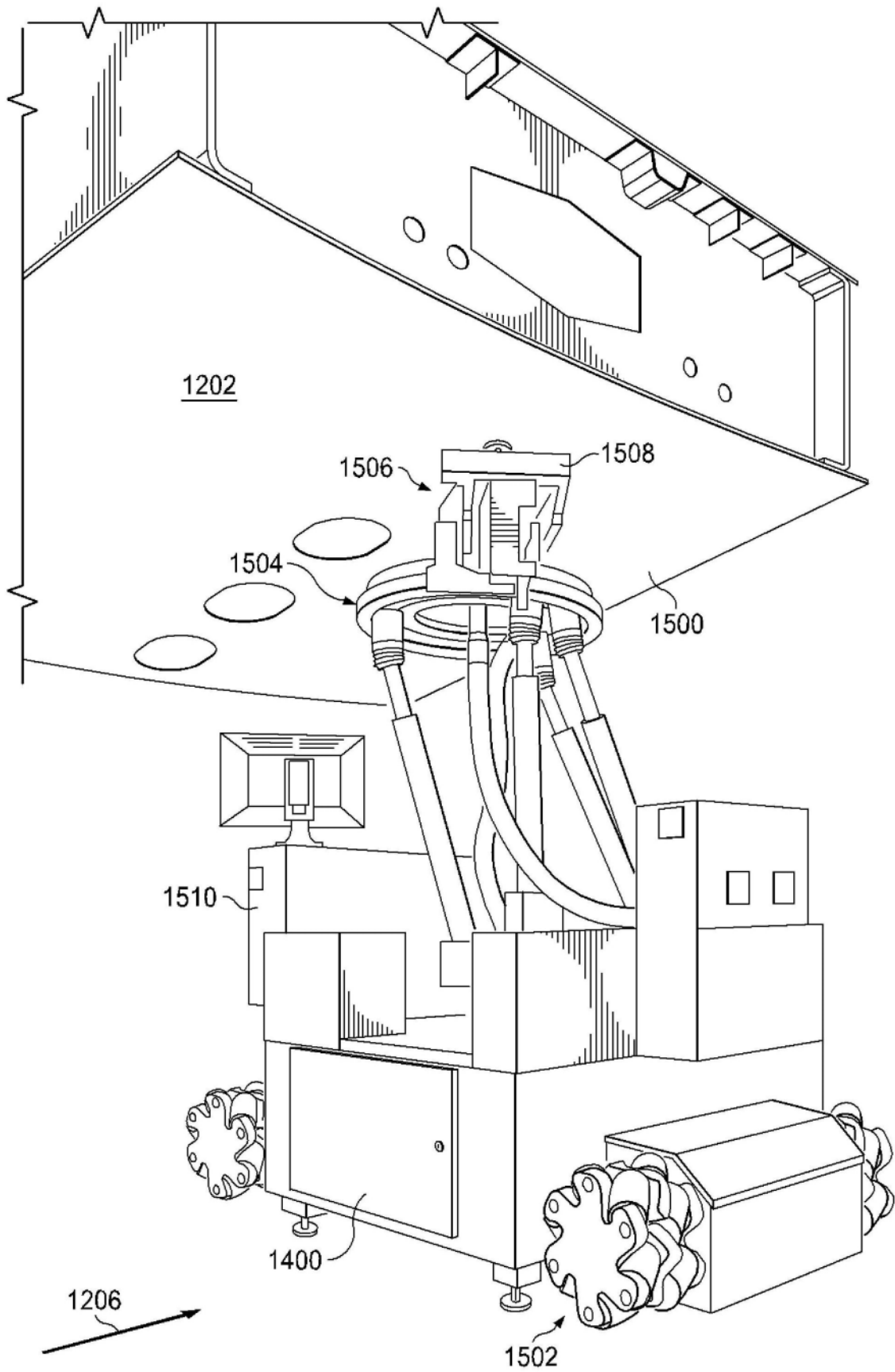


图15

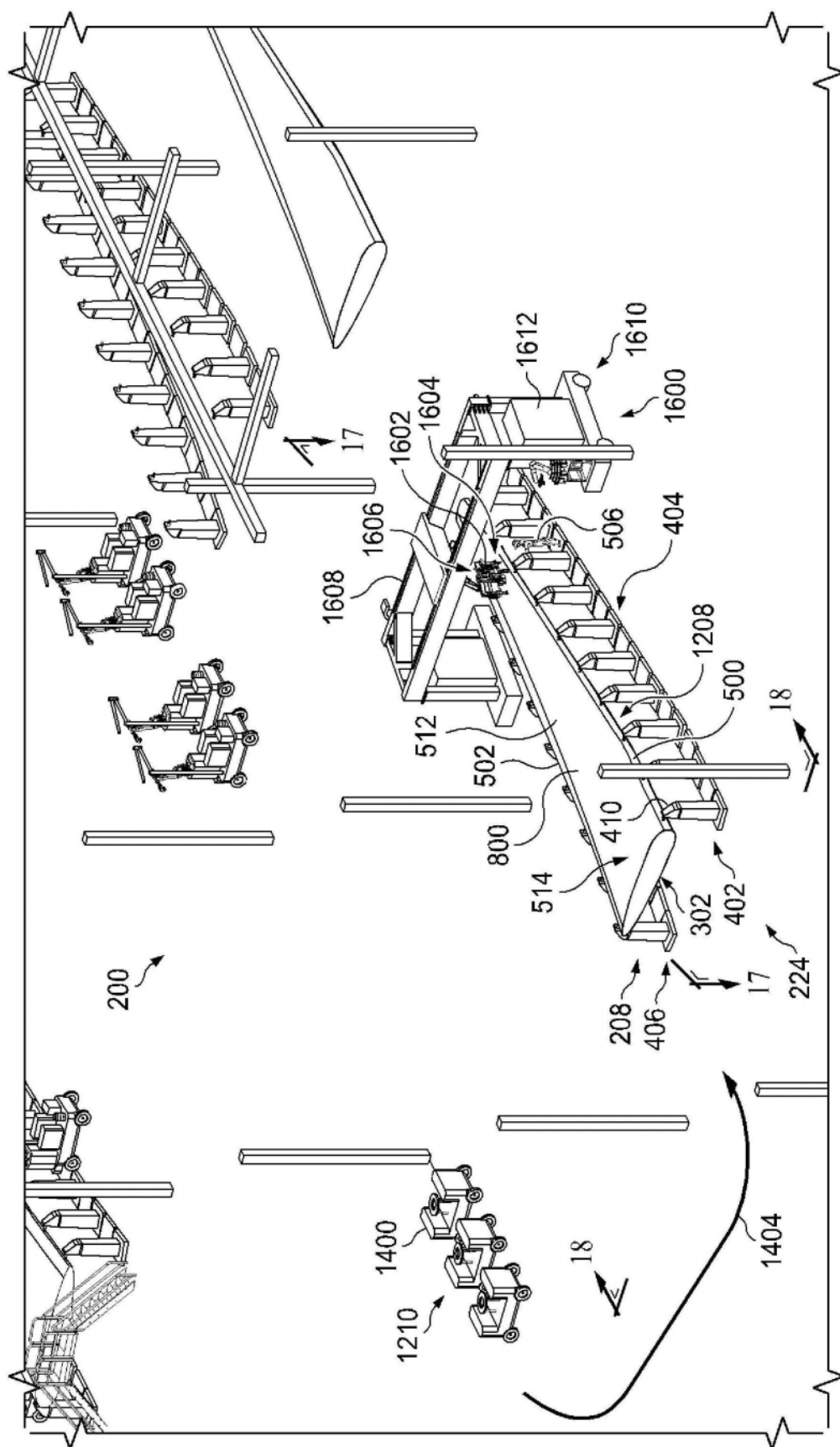


图16

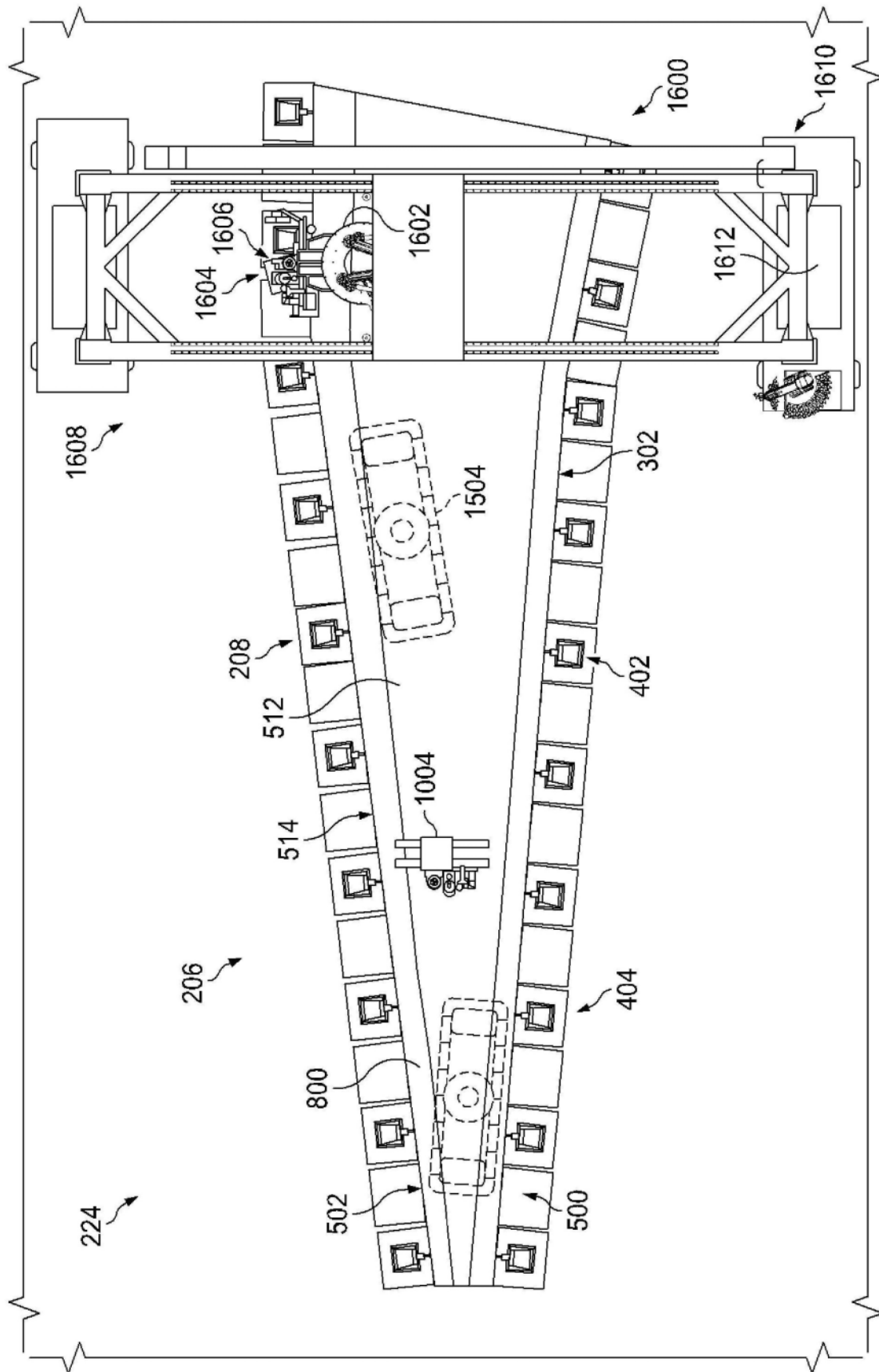


图17

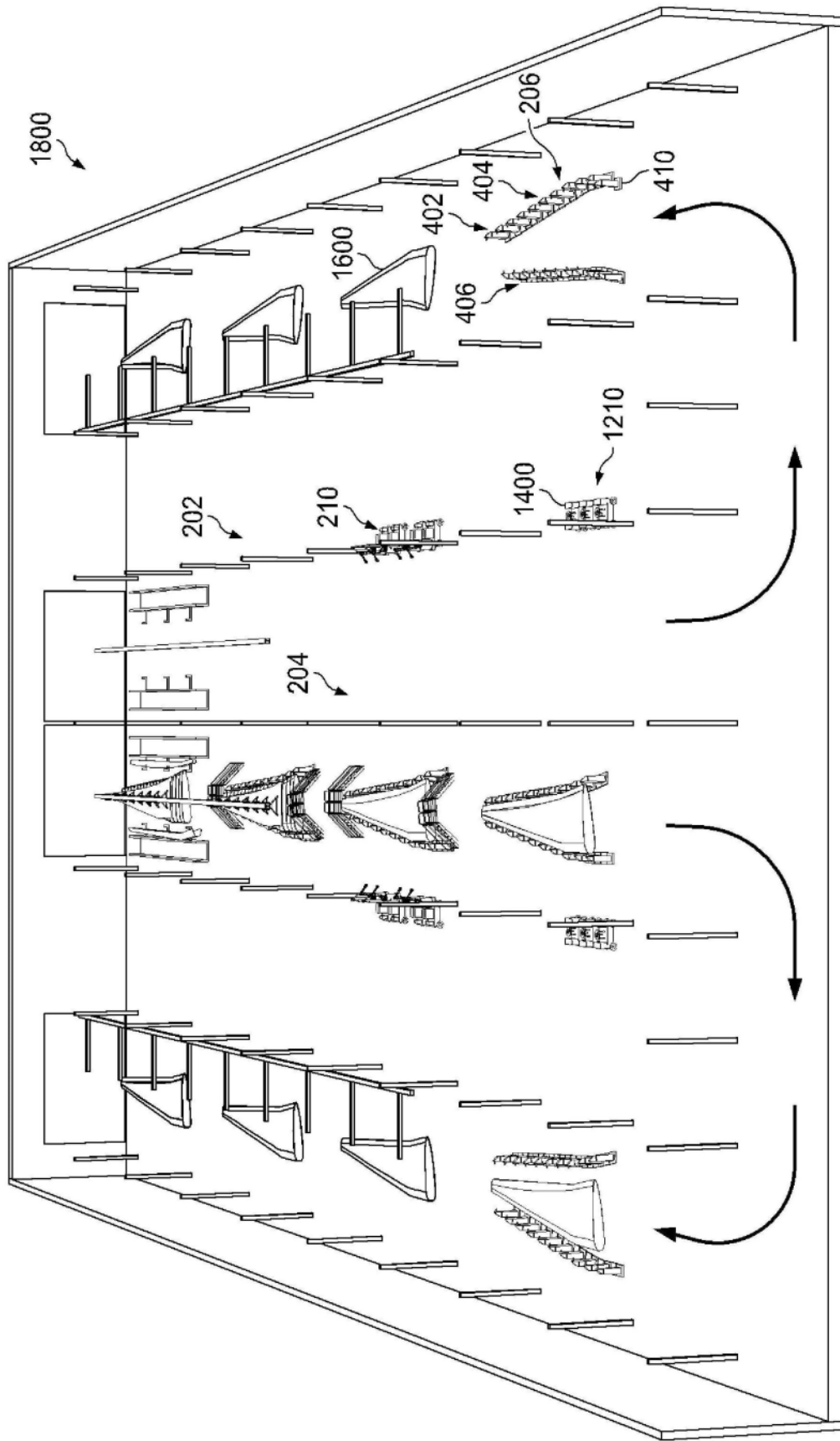


图18

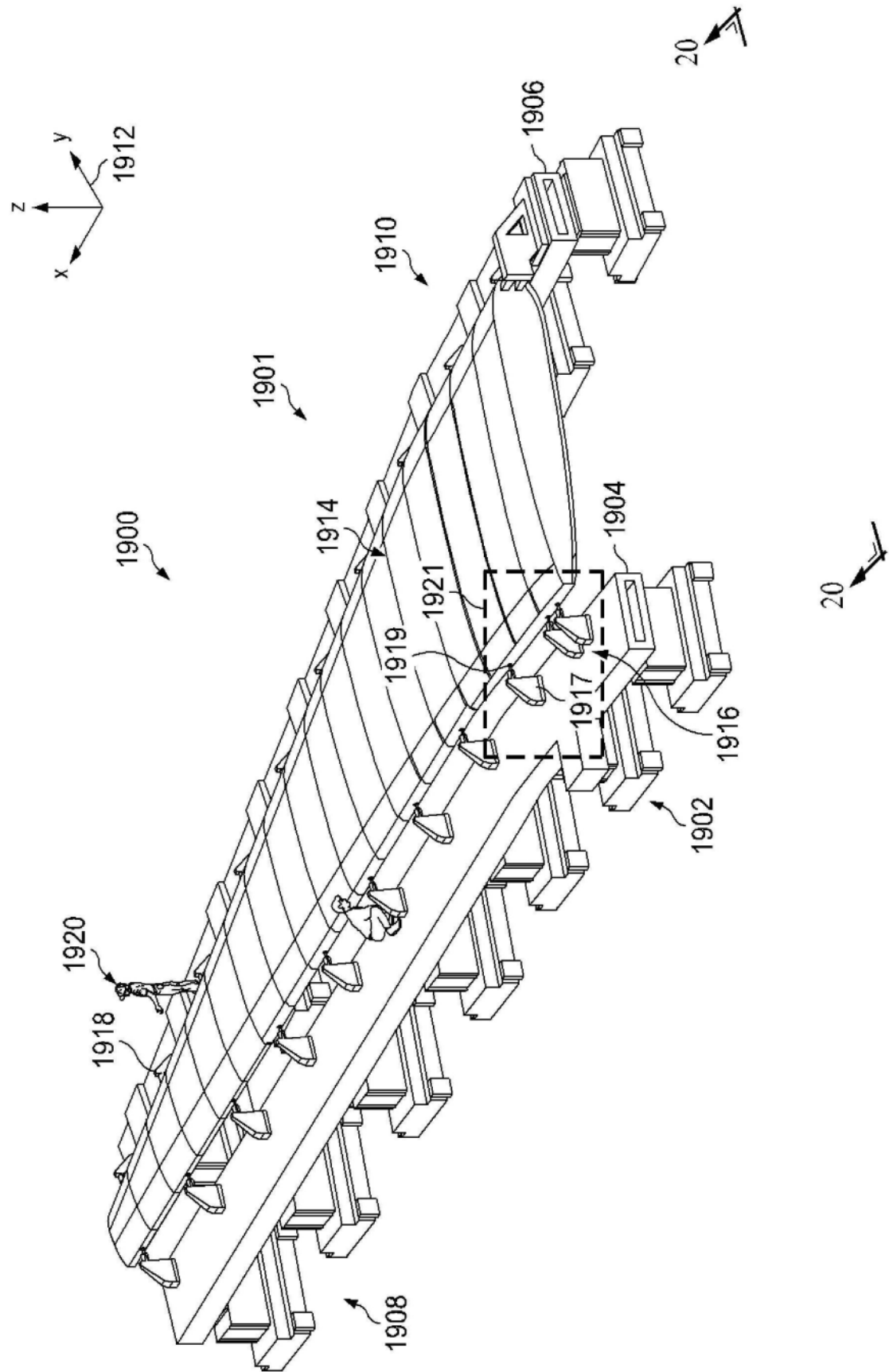


图19

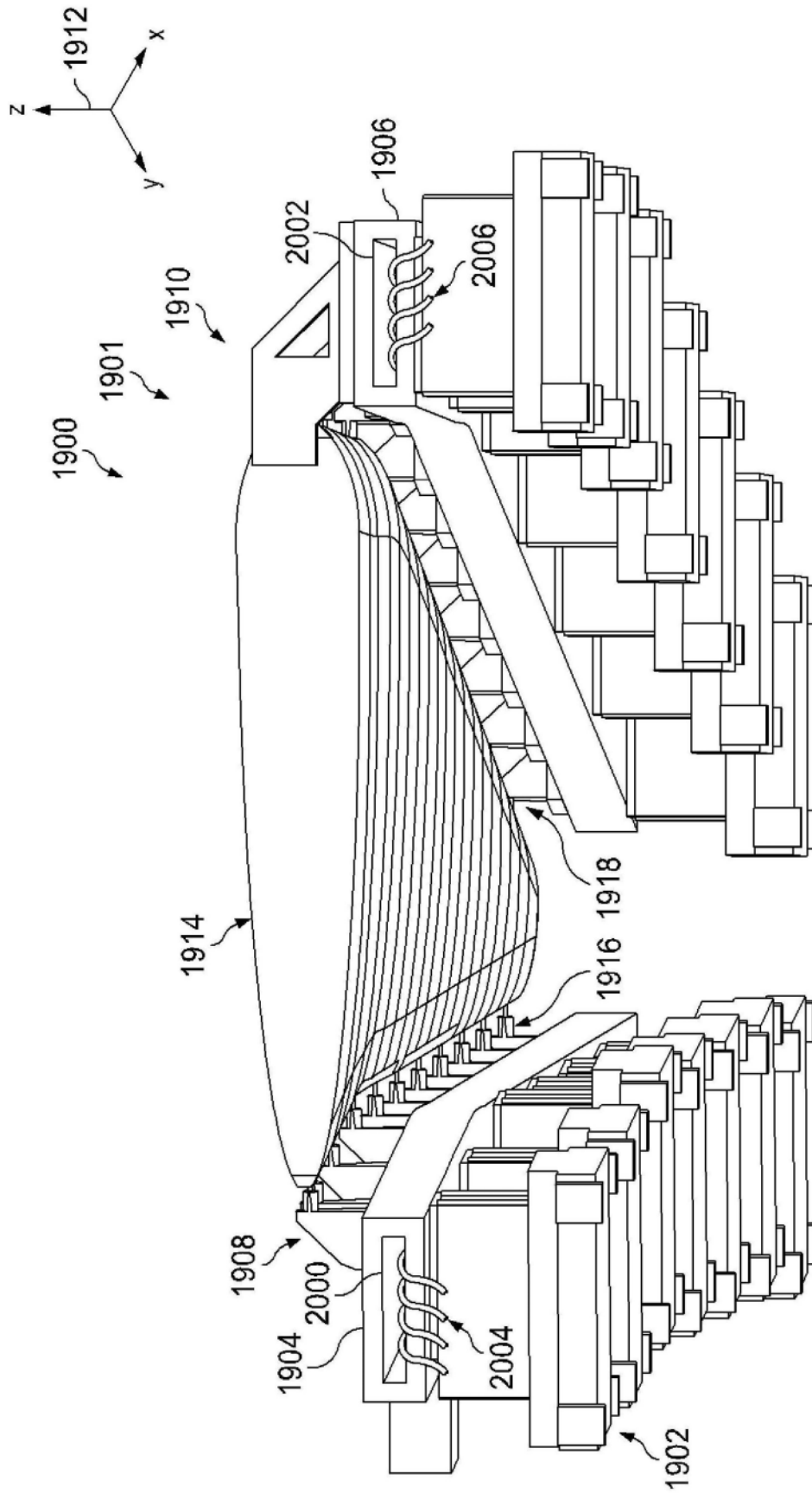


图20

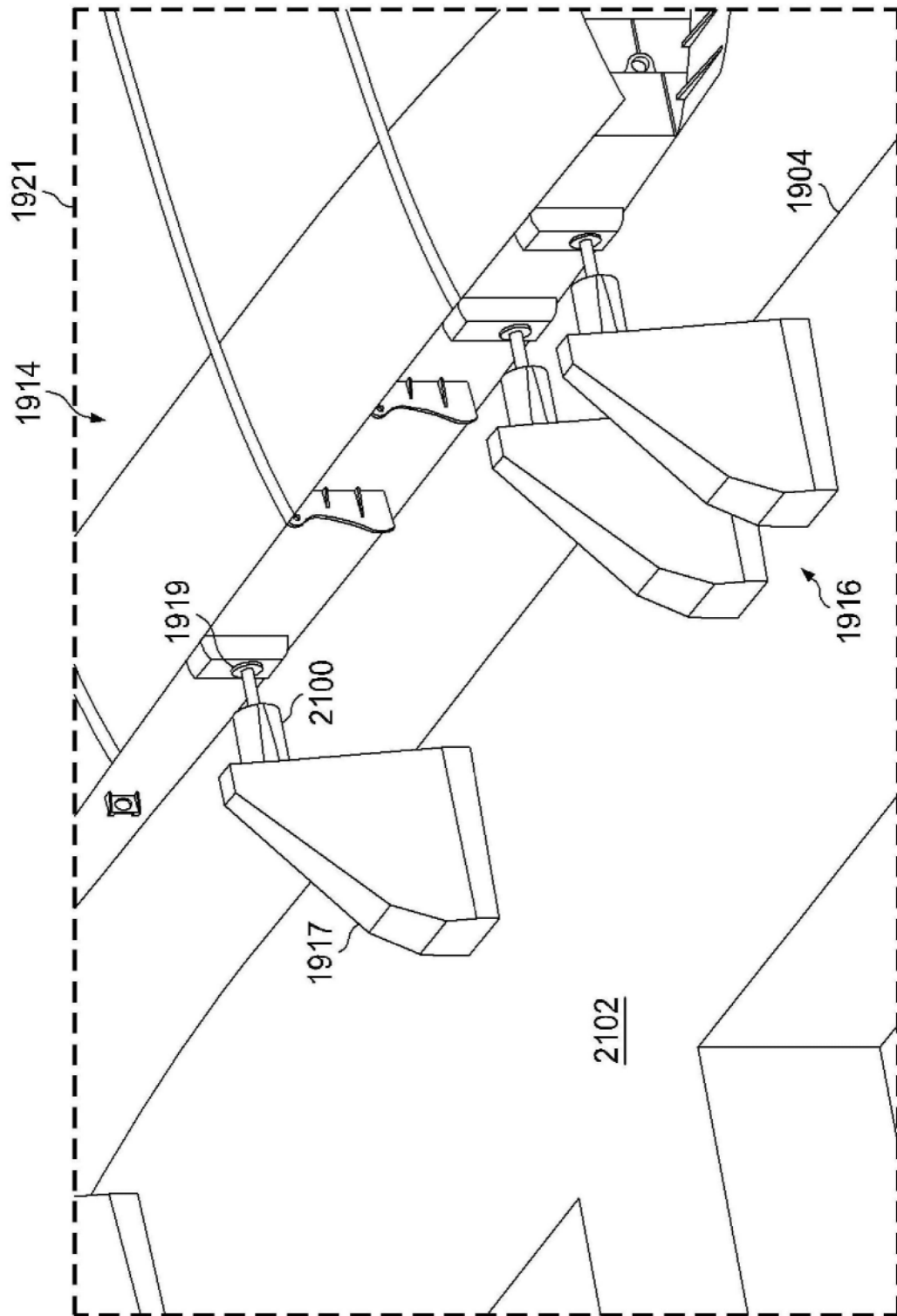


图21

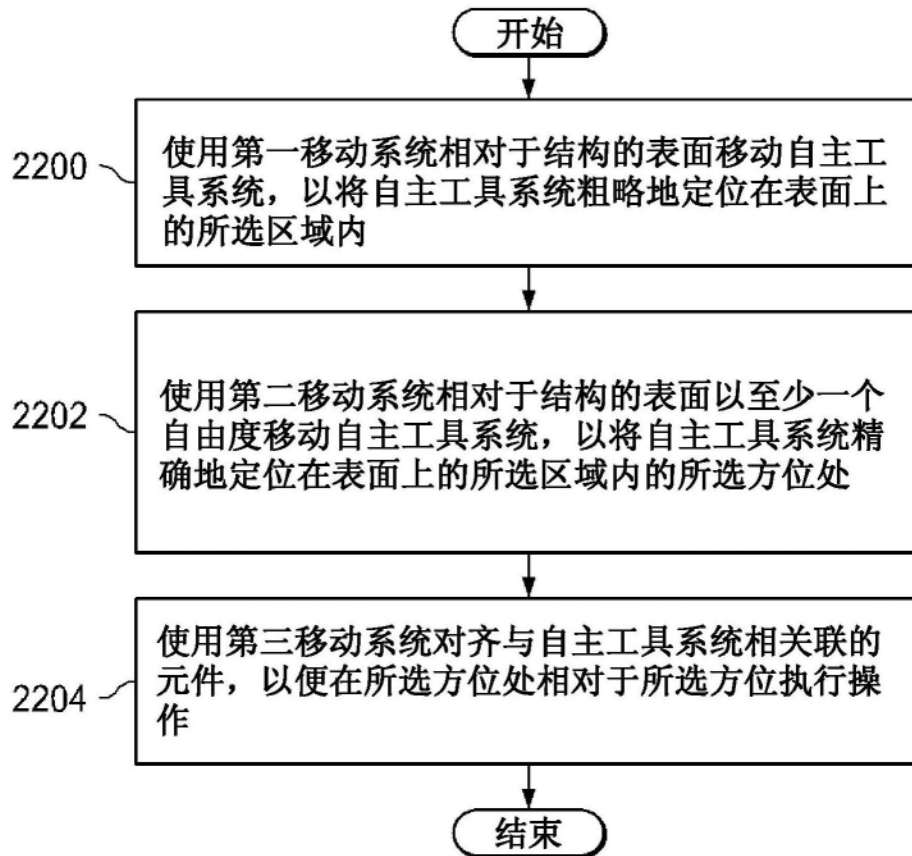


图22

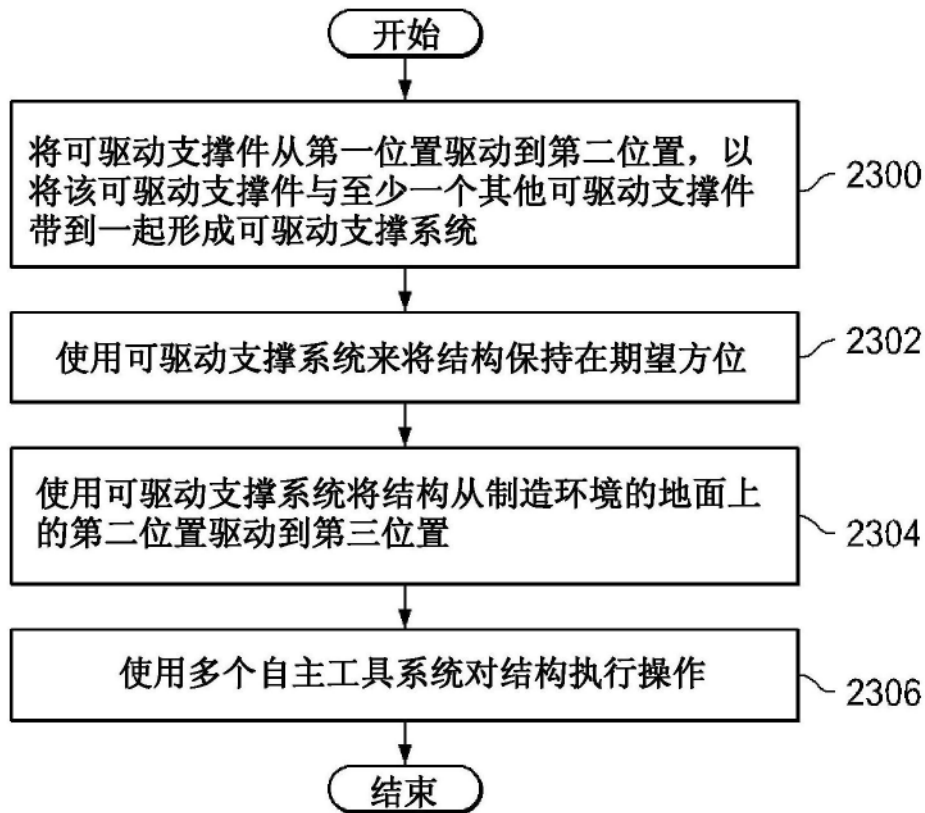


图23

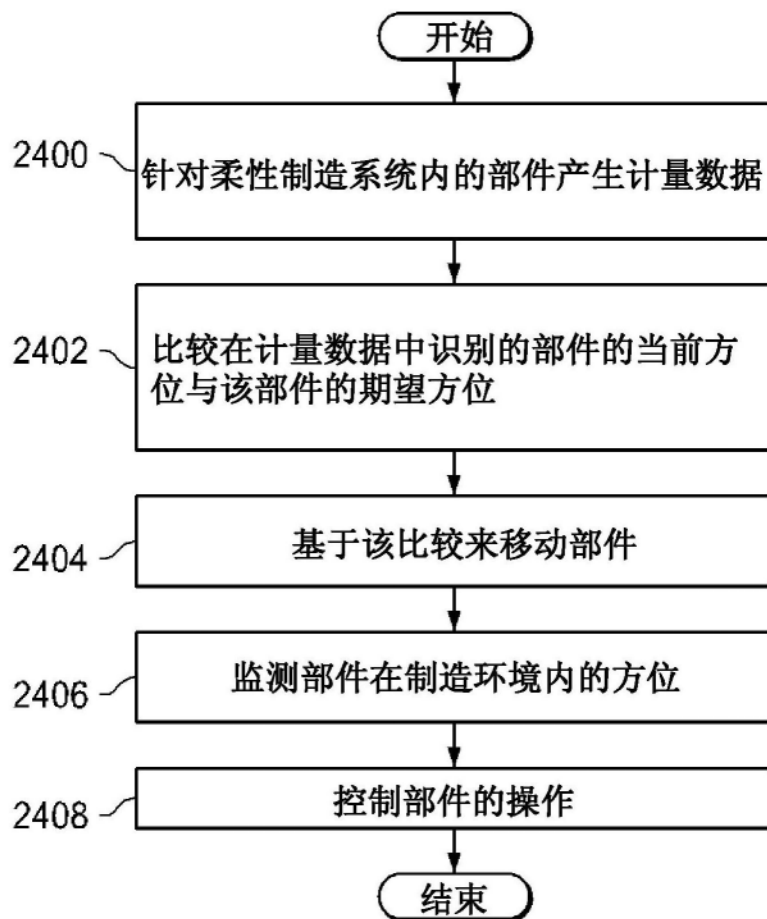


图24

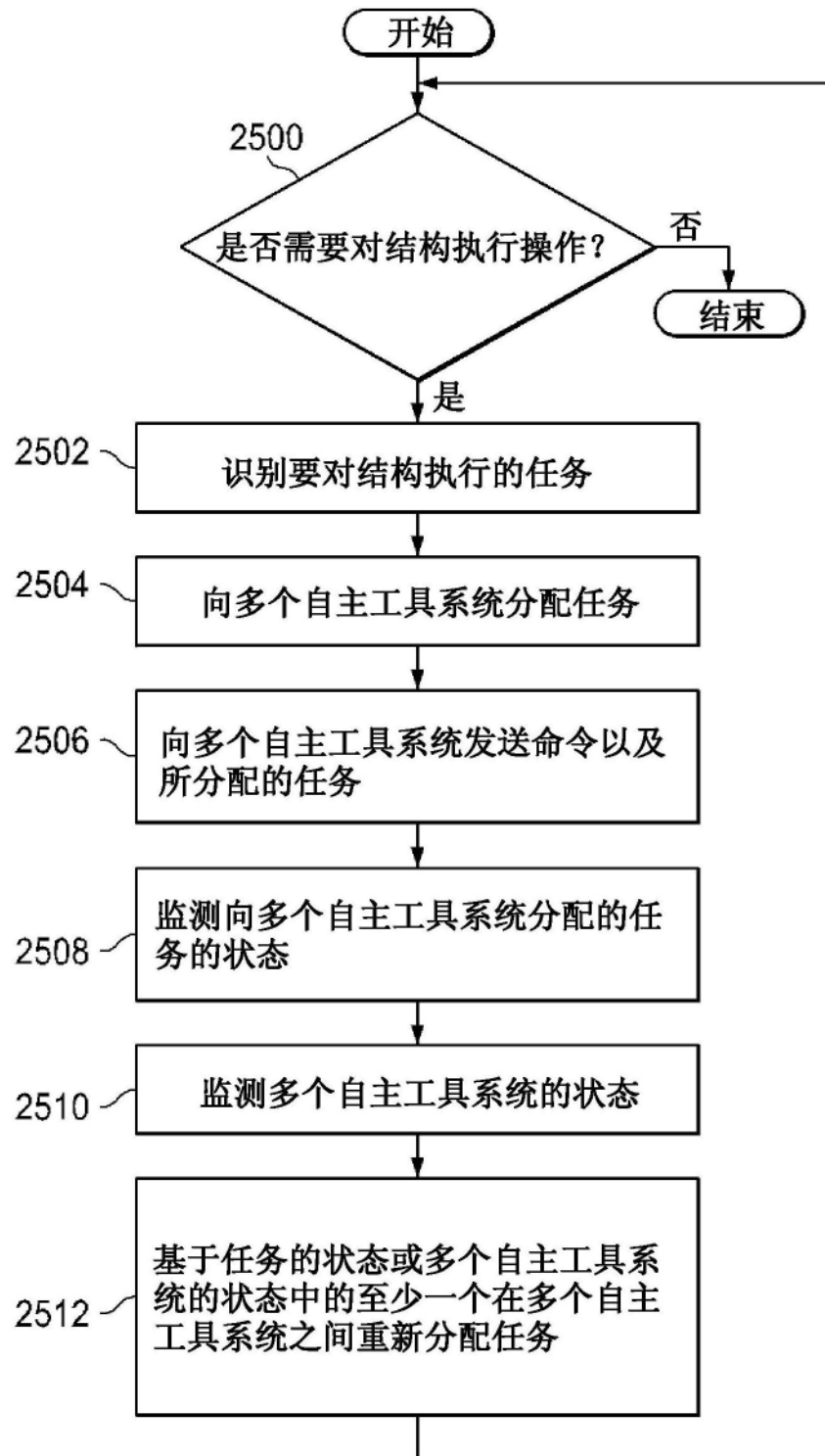


图25

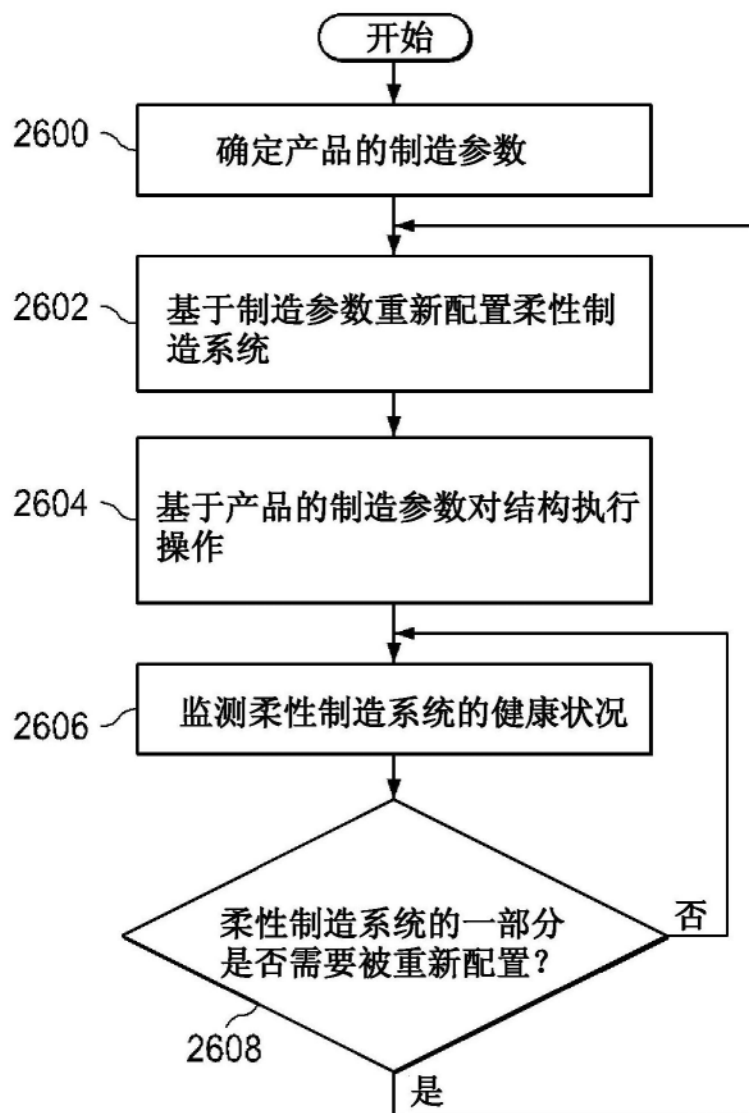


图26

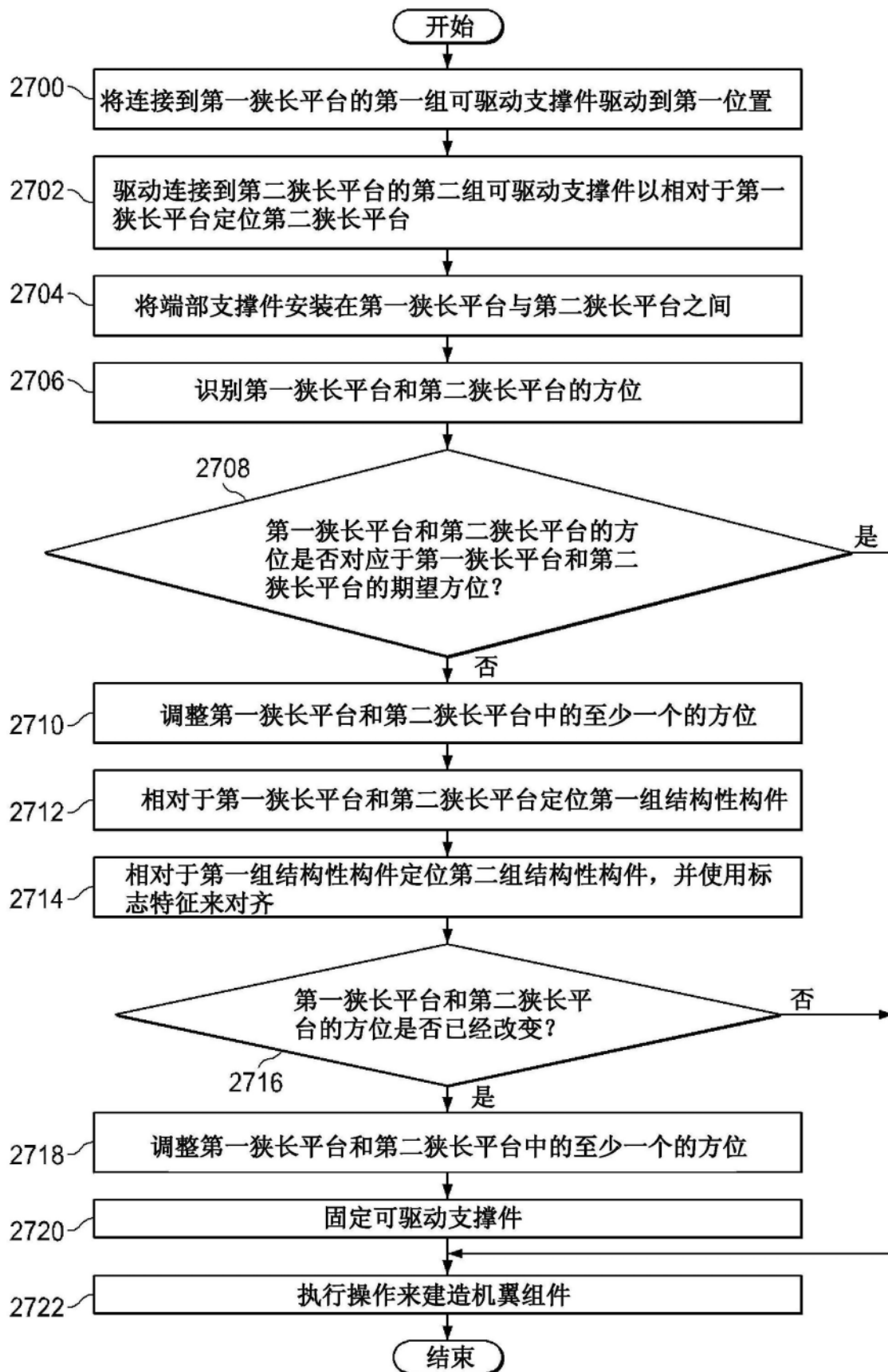


图27

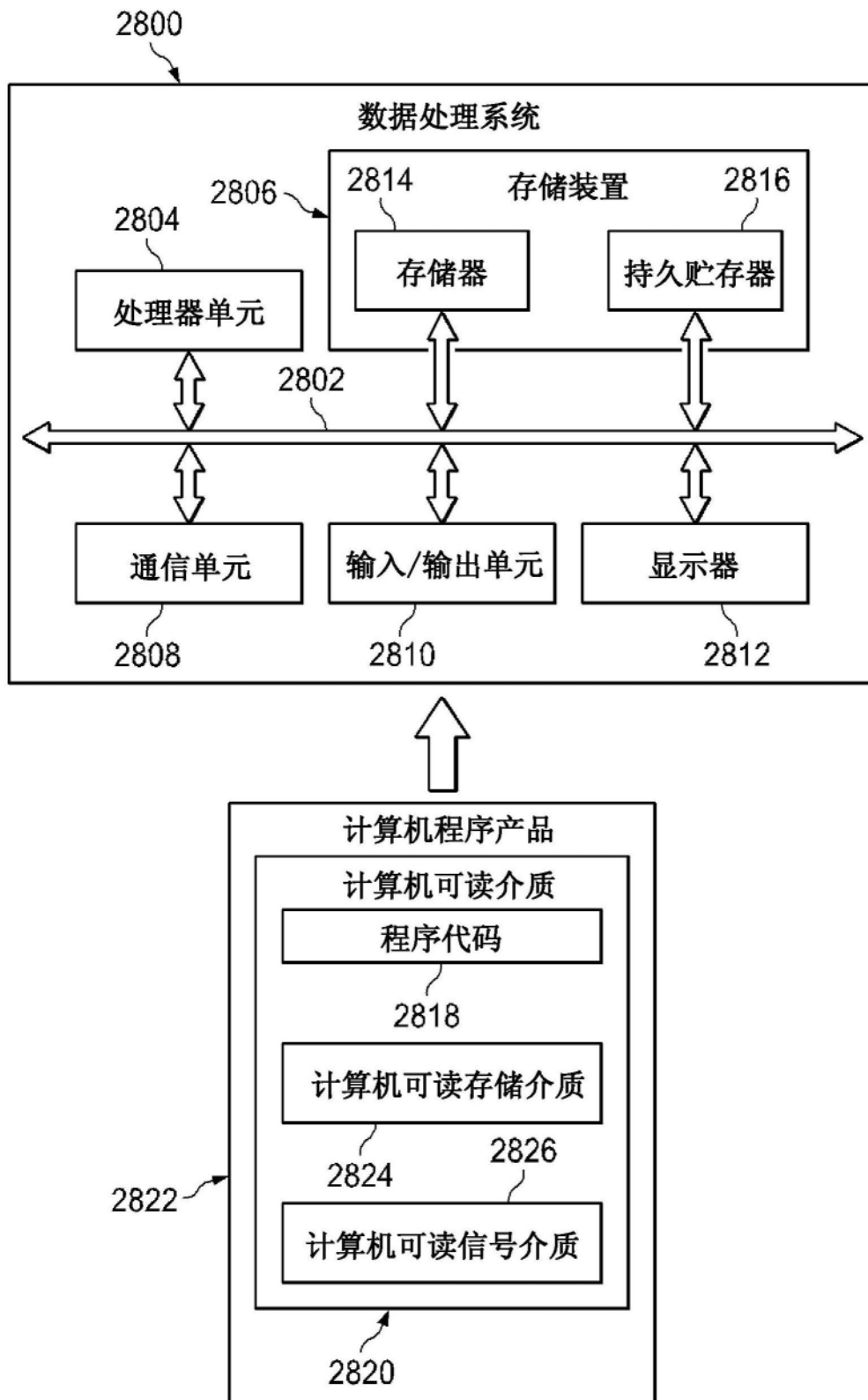


图28

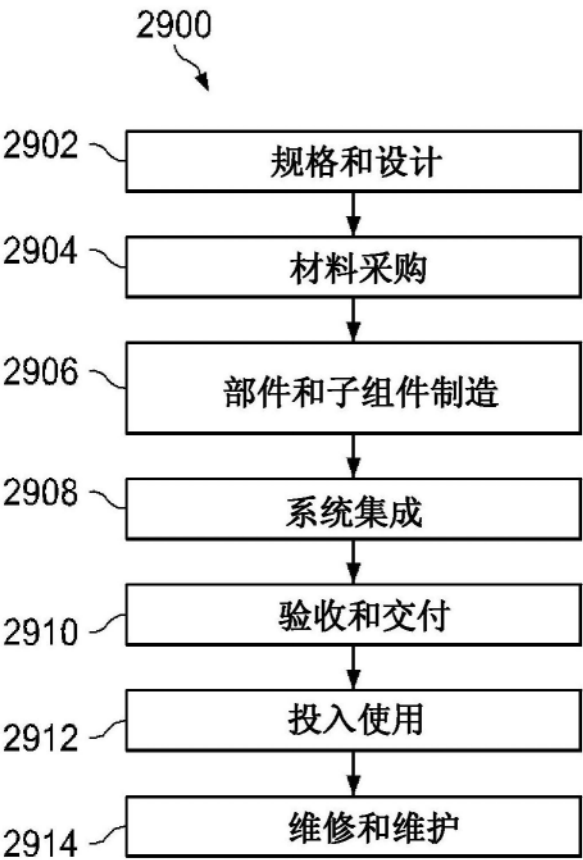


图29

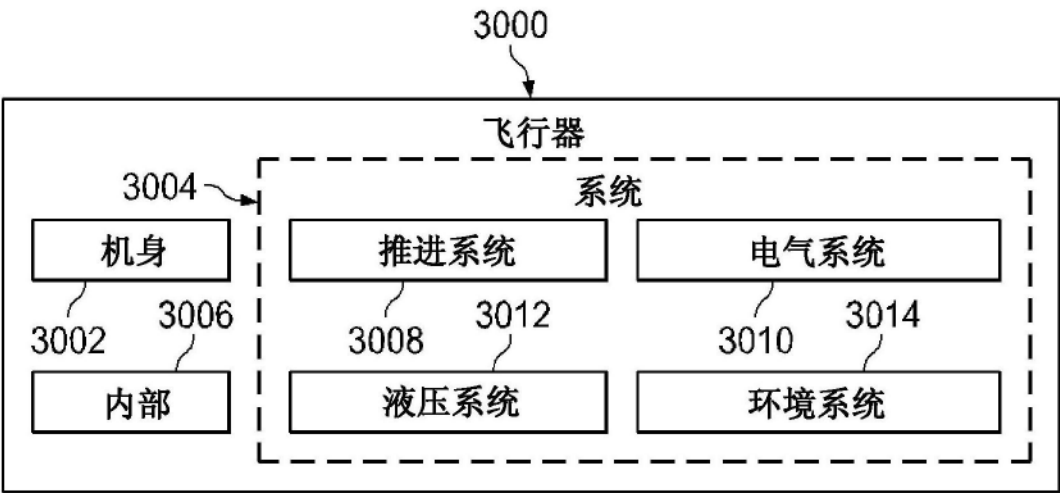


图30