

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 1 月 20 日 (20.01.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/011994 A1

- (51) 国际专利分类号:
F01K 7/02 (2006.01) *F25B 9/14* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/000146
- (22) 国际申请日: 2021 年 7 月 8 日 (08.07.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202010707977.2 2020 年 7 月 14 日 (14.07.2020) CN
- (72) 发明人: 及
- (71) 申请人: 李华玉 (LI, Huayu) [CN/CN]; 中国山东省青岛市黄岛区江山南路 123 号江山瑞城 5-1-2101 室, Shandong 266555 (CN)。
- (72) 发明人: 李鸿瑞 (LI, Hongrui); 中国山东省青岛市黄岛区江山南路 123 号江山瑞城 5-1-2101 室, Shandong 266555 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,

(54) Title: SECOND-TYPE SINGLE WORKING MEDIUM COMBINED CYCLE

(54) 发明名称: 第二类单工质联合循环

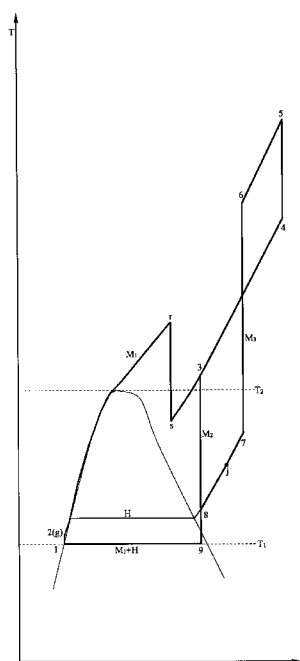


图 1/10

(57) Abstract: A second-type single working medium combined cycle, belonging to the technical field of thermodynamics and heat pumps. The second-type single working medium combined cycle refers to a closed process consisting of fifteen processes performed separately or jointly by M_1 kg, M_2 kg and H kg of working mediums, i.e. M_1 kg of a working medium boosting process 12, M_1 kg of a working medium endothermic vaporization process 2r, M_1 kg of a working medium depressurization process rs, M_1 kg of a working medium endothermic process s3, H kg of a working medium boosting process 1g, H kg of a working medium and M_3 kg of a working medium mixing endothermic process g8, M_2 kg of a working medium boosting process 83, M_3 kg of a working medium endothermic process 34, M_3 kg of a working medium boosting process 45, M_3 kg of a working medium exothermic process 56, M_3 kg of a working medium depressurization process 67, M_3 kg of a working medium exothermic process 7j, M_3 kg of a working medium and H kg of a working medium mixing exothermic process j8, (M_1+H) kg of a working medium depressurization process 89, and (M_1+H) kg of a working medium exothermic and condensation process 91; and M_3 is the sum of M_1 and M_2 .

(57) 摘要: 第二类单工质联合循环, 属于热力学与热泵技术领域。是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质, 分别或共同进行的十五个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热汽化过程 2r, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s3, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g8, M_2 千克工质升压过程 83, M_3 千克工质吸热过程 34, M_3 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质放热过程 56, M_3 千克工质降压过程 67, M_3 千克工质放热过程 7j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j8, (M_1+H) 千克工质降压过程 89, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 91——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明：

- 关于申请人有权要求在先申请的优先权(细则4.17(iii))

本国际公布：

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

第二类单工质联合循环

技术领域：

本发明属于热力学与制热技术领域。

背景技术：

冷、热和动力需求，为人类生活与生产当中所常见；人们经常需要利用热能来实现制冷、供热或转化为动力。在实现上述目的之过程中，将面临多方面的条件限制，包括能源的类型、品位和数量，用户需求的类型、品位和数量，环境温度，工作介质的类型，设备的流程、结构和制造成本等。

在热科学基础理论体系中，热力循环的创建及发展应用将对能源的科学生产和科学利用起到重大作用，并积极推动社会进步和生产力发展。本发明针对变温型中温热资源和高温热需求，也考虑到同时利用动力驱动或兼顾动力需求，提出了采用相变过程或相变过程为主实现低温放热，采用变温过程或变温过程为主实现中温吸热，采用变温过程实现高温供热，采取混合与间接换热相结合，以及灵活适应中温热源的第二类单工质联合循环。

发明内容：

本发明主要目的是要提供第二类单工质联合循环，具体发明内容分项阐述如下：

1. 第二类单工质联合循环，是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质，分别或共同进行的十五个过程—— M_1 千克工质升压过程 12， M_1 千克工质吸热汽化过程 2r， M_1 千克工质降压过程 rs， M_1 千克工质吸热过程 s3， H 千克工质升压过程 1g， H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g8， M_2 千克工质升压过程 83， M_3 千克工质吸热过程 34， M_3 千克工质升压过程 45， M_3 千克工质放热过程 56， M_3 千克工质降压过程 67， M_3 千克工质放热过程 7j， M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j8， (M_1+H) 千克工质降压过程 89， (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 91——组成的闭合过程；其中， M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

2. 第二类单工质联合循环，是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质，分别或共同进行的十六个过程—— M_1 千克工质升压过程 12， M_1 千克工质吸热汽化过程 2r， M_1 千克工质降压过程 rs， M_1 千克工质吸热过程 s5， H 千克工质升压过程 1g， H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g9， M_2 千克工质升压过程 93， M_2 千克工质吸热过程 34， M_2 千克工质升压过程 45， M_3 千克工质升压过程 56， M_3 千克工质放热过程 67， M_3 千克工质降压过程 78， M_3 千克工质放热过程 8j， M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j9， (M_1+H) 千克工质降压过程 9c， (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——组成的闭合过程；其中， M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

3. 第二类单工质联合循环，是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质，分别或共同进行的十六个过程—— M_1 千克工质升压过程 12， M_1 千克工质吸热汽化过程 2r， M_1 千克工质降压过程 rs， M_1 千克工质吸热过程 s4， H 千克工质升压过程 1g， H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g9， M_2 千克工质升压过程 93， M_2 千克工质吸热过程 35， M_1 千克工质升压过程 45， M_3 千克工质升压过程 56， M_3 千克工质放热过程 67， M_3 千克工质降压过程

78, M_3 千克工质放热过程 8j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j9, (M_1+H) 千克工质降压过程 9c, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

4. 第二类单工质联合循环, 是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质, 分别或共同进行的十八个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热汽化过程 2r, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s3, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 gc, M_2 千克工质升压过程 c3, M_3 千克工质吸热过程 34, M_3 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质放热过程 56, X 千克工质降压过程 67, (M_3-X) 千克工质放热过程 68, (M_3-X) 千克工质降压过程 89, X 千克工质放热过程 79, M_3 千克工质放热过程 9j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 jc, (M_1+H) 千克工质降压过程 cd, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 d1——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

5. 第二类单工质联合循环, 是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质, 分别或共同进行的十九个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热汽化过程 2r, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s3, M_1 千克工质升压过程 34, M_1 千克工质放热过程 45, M_1 千克工质降压过程 56, M_1 千克工质放热过程 6d, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 ge, M_2 千克工质升压过程 e7, M_2 千克工质吸热过程 78, M_2 千克工质升压过程 89, M_2 千克工质放热过程 9c, M_2 千克工质降压过程 cd, M_3 千克工质放热过程 dj, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 je, (M_1+H) 千克工质降压过程 ef, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 f1——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

6. 第二类单工质联合循环, 是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质, 分别或共同进行的十八个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热汽化过程 br, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s3, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g8, M_2 千克工质升压过程 8a, M 千克工质放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压过程 a3, M_3 千克工质吸热过程 34, M_3 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质放热过程 56, M_3 千克工质降压过程 67, M_3 千克工质放热过程 7j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j8, (M_1+H) 千克工质降压过程 89, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 91——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

7. 第二类单工质联合循环, 是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质, 分别或共同进行的十九个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热汽化过程 br, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s5, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g9, M_2 千克工质升压过程 9a, M 千克工质放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压过程 a3, (M_2-M) 千克工质吸热过程 34, (M_2-M) 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质升压过程 56, M_3 千克工质放热过程 67, M_3 千克工质降压过程 78, M_3 千克工质放热过程 8j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j9, (M_1+H) 千克工质降压过程 9c, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

8. 第二类单工质联合循环,是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质,分别或共同进行的十九个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热汽化过程 br, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s4, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g9, M_2 千克工质升压过程 9a, M 千克工质放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压过程 a3, (M_2-M) 千克工质吸热过程 35, (M_1+M) 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质升压过程 56, M_3 千克工质放热过程 67, M_3 千克工质降压过程 78, M_3 千克工质放热过程 8j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j9, (M_1+H) 千克工质降压过程 9c, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——组成的闭合过程;其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

9. 第二类单工质联合循环,是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质,分别或共同进行的二十一个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热汽化过程 br, (M_1+M) 千克工质降压过程 rs, (M_1+M) 千克工质吸热过程 s3, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 gc, M_2 千克工质升压过程 ca, M 千克工质放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压过程 a3, M_3 千克工质吸热过程 34, M_3 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质放热过程 56, X 千克工质降压过程 67, (M_3-X) 千克工质放热过程 68, (M_3-X) 千克工质降压过程 89, X 千克工质放热过程 79, M_3 千克工质放热过程 9j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 jc, (M_1+H) 千克工质降压过程 cd, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 d1——组成的闭合过程;其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

10. 第二类单工质联合循环,是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质,分别或共同进行的二十二个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热汽化过程 br, (M_1+M) 千克工质降压过程 rs, (M_1+M) 千克工质吸热过程 s3, (M_1+M) 千克工质升压过程 34, (M_1+M) 千克工质放热过程 45, (M_1+M) 千克工质降压过 56, (M_1+M) 千克工质放热过程 6d, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 ge, M_2 千克工质升压过程 ea, M 千克工质放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压过程 a7, (M_2-M) 千克工质吸热过程 78, (M_2-M) 千克工质升压过程 89, (M_2-M) 千克工质放热过程 9c, (M_2-M) 千克工质降压过程 cd, M_3 千克工质放热过程 dj, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 je, (M_1+H) 千克工质降压过程 ef, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 f1——组成的闭合过程;其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

附图说明:

图 1/10 是依据本发明所提供的第二类单工质联合循环第 1 种原则性流程示例图。

图 2/10 是依据本发明所提供的第二类单工质联合循环第 2 种原则性流程示例图。

图 3/10 是依据本发明所提供的第二类单工质联合循环第 3 种原则性流程示例图。

图 4/10 是依据本发明所提供的第二类单工质联合循环第 4 种原则性流程示例图。

图 5/10 是依据本发明所提供的第二类单工质联合循环第 5 种原则性流程示例图。

图 6/10 是依据本发明所提供的第二类单工质联合循环第 6 种原则性流程示例图。

图 7/10 是依据本发明所提供的第二类单工质联合循环第 7 种原则性流程示例图。

图 8/10 是依据本发明所提供的第二类单工质联合循环第 8 种原则性流程示例图。

图 9/10 是依据本发明所提供的第二类单工质联合循环第 9 种原则性流程示例图。

图 10/10 是依据本发明所提供的第二类单工质联合循环第 10 种原则性流程示例图。

具体实施方式：

首先要说明的是，在结构和流程的表述上，非必要情况下不重复进行；对显而易见的流程不作表述；下述示例中， M_3 为 M_1 与 M_2 之和；下面结合附图和实例来详细描述本发明。

图 1/10 所示 T-s 图中的第二类单工质联合循环示例是这样进行的：

(1)从循环过程上看：

工作介质进行—— M_1 千克工质冷凝液升压过程 12， M_1 千克工质吸热升温、汽化和过热过程 2r， M_1 千克工质降压膨胀过程 rs， M_1 千克工质吸热升温过程 s3，H 千克工质冷凝液升压过程 1g，H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热升温、汽化和过热过程 g8， M_2 千克工质升压升温过程 83， M_3 千克工质吸热升温过程 34， M_3 千克工质升压升温过程 45， M_3 千克工质放热降温过程 56， M_3 千克工质降压膨胀过程 67， M_3 千克工质放热降温过程 7j， M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热降温过程 j8， (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 89， (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 91——共 15 个过程。

(2)从能量转换上看：

①吸热过程——H 千克工质进行 g8 过程的吸热，由 M_3 千克工质与 H 千克工质混合过程中的放热完成； M_1 千克工质进行 2r 过程、s3 过程和 M_3 千克工质进行 34 过程，其吸热一般由外部热源来提供，其低温段的吸热还可由 M_3 千克工质进行 7j 过程的放热（回热）来提供；其中， M_3 千克工质进行 34 过程高温段的吸热，还可由其进行 56 过程的低温段放热来提供。

②放热过程—— M_3 千克工质进行 56 过程的放热，对外提供满足相应热需求，其中的低温段放热或可用于 34 过程高温段吸热（回热）； M_3 千克工质进行 7j 过程的放热可用于 M_1 千克工质进行 2r 过程适宜温度段的吸热需求， M_3 千克工质以混合方式放热于 H 千克工质降温至 8 点， (M_1+H) 千克工质进行 91 过程的放热一般向低温热源（环境）释放。

③能量转换过程—— M_1 千克工质的升压过程 12，以及 H 千克工质的升压过程 1g，一般由循环泵来完成，循环泵的耗功可由膨胀做功提供或由外部提供； M_2 千克工质的升压过程 83，以及 M_3 千克工质的升压过程 45，一般由压缩机来完成； M_1 千克工质降压膨胀过程 rs， M_3 千克工质的降压膨胀过程 67，以及 (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 89，一般由膨胀机来完成；降压膨胀作功用于升压耗功，或降压膨胀作功大于升压耗功时同时对外输出机械能，或降压膨胀作功小于升压耗功时同时由外部投入机械能，形成第二类单工质联合循环。

图 2/10 所示 T-s 图中的第二类单工质联合循环示例是这样进行的：

(1)从循环过程上看：

工作介质进行—— M_1 千克工质冷凝液升压过程 12， M_1 千克工质吸热升温、汽化和过热过程 2r， M_1 千克工质降压膨胀过程 rs， M_1 千克工质吸热升温过程 s5，H 千克工质冷凝

液升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热升温、汽化和过热过程 g9, M_2 千克工质升压升温过程 93, M_2 千克工质吸热升温过程 34, M_2 千克工质升压升温过程 45, M_3 千克工质升压升温过程 56, M_3 千克工质放热降温过程 67, M_3 千克工质降压膨胀过程 78, M_3 千克工质放热降温过程 8j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热降温过程 j9, (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 9c, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——共 16 个过程。

(2)从能量转换上看:

①吸热过程——H 千克工质进行 g9 过程的吸热,由 M_3 千克工质与 H 千克工质混合过程中的放热完成; M_1 千克工质进行 2r 过程和 s5 过程,其吸热一般由外部热源来提供,其低温段的吸热还可由 M_3 千克工质进 8j 过程的放热(回热)来提供; M_2 千克工质进行 34 过程,其吸热一般由外部热源来提供;其中, M_1 千克工质进行 S5 过程和 M_2 千克工质进行 34 过程的高温段吸热,还可由 M_3 千克工质进行 67 过程的低温段放热来提供。

②放热过程—— M_3 千克工质进行 67 过程的放热,对外提供满足相应热需求,其中的低温段放热或可用于 M_1 千克工质进行 s5 过程和 M_2 千克工质进行 34 过程的高温段吸热; M_3 千克工质进行 8j 过程的放热可用于 M_1 千克工质进行 2r 过程适宜温度段的吸热需求, M_3 千克工质以混合方式放热于 H 千克工质降温至 9 点, (M_1+H) 千克工质进行 c1 过程的放热一般向低温热源(环境)释放。

③能量转换过程—— M_1 千克工质的升压过程 12, 以及 H 千克工质的升压过程 1g, 一般由循环泵来完成,循环泵的耗功可由膨胀做功提供或由外部提供; M_2 千克工质的升压过程 93 和 45, 以及 M_3 千克工质的升压过程 56, 一般由压缩机来完成; M_1 千克工质降压膨胀过程 rs, M_3 千克工质的降压膨胀过程 78, 以及 (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 9c, 一般由膨胀机来完成; 降压膨胀做功用于升压耗功, 或降压膨胀做功大于升压耗功时同时对外输出机械能, 或降压膨胀做功小于升压耗功时同时由外部投入机械能, 形成第二类单工质联合循环。

图 3/10 所示 T-s 图中的第二类单工质联合循环示例是这样进行的:

(1)从循环过程上看:

工作介质进行—— M_1 千克工质冷凝液升压过程 12, M_1 千克工质吸热升温、汽化和过热过程 2r, M_1 千克工质降压膨胀过程 rs, M_1 千克工质吸热升温过程 s4, H 千克工质冷凝液升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热升温、汽化和过热过程 g9, M_2 千克工质升压升温过程 93, M_2 千克工质吸热升温过程 35, M_1 千克工质升压升温过程 45, M_3 千克工质升压升温过程 56, M_3 千克工质放热降温过程 67, M_3 千克工质降压膨胀过程 78, M_3 千克工质放热降温过程 8j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热降温过程 j9, (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 9c, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——共 16 个过程。

(2)从能量转换上看:

①吸热过程——H 千克工质进行 g9 过程的吸热,由 M_3 千克工质与 H 千克工质混合过程中的放热完成; M_1 千克工质进行 2r 过程和 s4 过程,其吸热一般由外部热源来提供,其低温段的吸热还可由 M_3 千克工质进 8j 过程的放热(回热)来提供; M_2 千克工质进行 35 过程,其吸热一般由外部热源来提供;其中, M_1 千克工质进行 s4 过程和 M_2 千克工质进行 35

过程的高温段吸热, 还可由 M_3 千克工质进行 67 过程的低温段放热来提供。

②放热过程—— M_3 千克工质进行 67 过程的放热, 对外提供满足相应热需求, 其中的低温段放热或可用于 M_1 千克工质进行 s4 过程和 M_2 千克工质进行 35 过程的高温段吸热; M_3 千克工质进行 8j 过程的放热可用于 M_1 千克工质进行 2r 过程适宜温度段的吸热需求, M_3 千克工质以混合方式放热于 H 千克工质降温至 9 点, (M_1+H) 千克工质进行 c1 过程的放热一般向低温热源 (环境) 释放。

③能量转换过程—— M_1 千克工质的升压过程 12, 以及 H 千克工质的升压过程 1g, 一般由循环泵来完成, 循环泵的耗功可由膨胀做功提供或由外部提供; M_1 千克工质的升压过程 45, M_2 千克工质的升压过程 93, 以及 M_3 千克工质的升压过程 56, 一般由压缩机来完成; M_1 千克工质降压膨胀过程 rs, M_3 千克工质的降压膨胀过程 78, 以及 (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 9c, 一般由膨胀机来完成; 降压膨胀做功用于升压耗功, 或降压膨胀做功大于升压耗功时同时对外输出机械能, 或降压膨胀做功小于升压耗功时同时由外部投入机械能, 形成第二类单工质联合循环。

图 4/10 所示 T-s 图中的第二类单工质联合循环示例是这样进行的:

(1)从循环过程上看:

工作介质进行—— M_1 千克工质冷凝液升压过程 12, M_1 千克工质吸热升温、汽化和过热过程 2r, M_1 千克工质降压膨胀过程 rs, M_1 千克工质吸热升温过程 s3, H 千克工质冷凝液升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热升温、汽化和过热过程 gc, M_2 千克工质升压升温过程 c3, M_3 千克工质吸热升温过程 34, M_3 千克工质升压升温过程 45, M_3 千克工质放热降温过程 56, X 千克工质降压膨胀过程 67, (M_3-X) 千克工质放热降温过程 68, (M_3-X) 千克工质降压膨胀过程 89, X 千克工质放热降温过程 79, M_3 千克工质放热降温过程 9j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热降温过程 jc, (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 cd, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 d1——共 18 个过程。

(2)从能量转换上看:

①吸热过程——H 千克工质进行 gc 过程的吸热, 由 M_3 千克工质与 H 千克工质混合过程中的放热完成; M_1 千克工质进行 2r 过程、s3 过程和 M_3 千克工质进行 34 过程, 其吸热一般由外部热源来提供, 其低温段的吸热还可由 X 千克工质进行 79 过程和 M_3 千克工质进 9j 过程的放热 (回热) 来提供; 其中, M_3 千克工质进行 34 过程高温段的吸热, 还可由 (M_3-X) 千克工质进行 68 过程的放热来提供。

②放热过程—— M_3 千克工质进行 56 过程的放热和 (M_3-X) 千克工质进行 68 过程的放热, 对外提供满足相应热需求, 其中的低温段放热或可用于 34 过程高温段吸热 (回热); X 千克工质进行 79 过程的放热, 可用于 M_1 千克工质进行 2r 过程适宜温度段的吸热需求; M_3 千克工质进行 9j 过程的放热可用于 M_1 千克工质进行 2r 过程适宜温度段的吸热需求, M_3 千克工质以混合方式放热于 H 千克工质降温至 c 点, (M_1+H) 千克工质进行 d1 过程的放热一般向低温热源 (环境) 释放。

③能量转换过程—— M_1 千克工质的升压过程 12, 以及 H 千克工质的升压过程 1g, 一般由循环泵来完成, 循环泵的耗功可由膨胀做功提供或由外部提供; M_2 千克工质的升压过

程 c3, 以及 M_3 千克工质升压过程 45, 一般由压缩机来完成; M_1 千克工质降压膨胀过程 rs, X 千克工质的降压过程 67, $(M_3 - X)$ 千克工质的降压过程 89, 以及 $(M_1 + H)$ 千克工质降压膨胀过程 cd, 一般由膨胀机来完成; 降压膨胀做功用于升压耗功, 或降压膨胀做功大于升压耗功时同时对外输出机械能, 或降压膨胀做功小于升压耗功时同时由外部投入机械能, 形成第二类单工质联合循环。

图 5/10 所示 T-s 图中的第二类单工质联合循环示例是这样进行的:

(1) 从循环过程上看:

工作介质进行—— M_1 千克工质冷凝液升压过程 12, M_1 千克工质吸热升温、汽化和过热过程 2r, M_1 千克工质降压膨胀过程 rs, M_1 千克工质吸热升温过程 s3, M_1 千克工质升压升温过程 34, M_1 千克工质放热降温过程 45, M_1 千克工质降压膨胀过程 56, M_1 千克工质放热降温过程 6d, H 千克工质冷凝液升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热升温、汽化和过热过程 ge, M_2 千克工质升压升温过程 e7, M_2 千克工质吸热升温过程 78, M_2 千克工质升压升温过程 89, M_2 千克工质放热降温过程 9c, M_2 千克工质降压膨胀过程 cd, M_3 千克工质放热降温过程 dj, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热降温过程 je, $(M_1 + H)$ 千克工质降压膨胀过程 ef, $(M_1 + H)$ 千克工质放热冷凝过程 f1——共 19 个过程。

(2) 从能量转换上看:

①吸热过程—— H 千克工质进行 ge 过程的吸热, 由 M_3 千克工质与 H 千克工质混合过程中的放热完成; M_1 千克工质进行 2r 过程、s3 过程和 M_2 千克工质进行 78 过程, 其吸热一般由外部热源来提供, 其低温段的吸热还可由 M_1 千克工质进 6d 过程和 M_3 千克工质进 dj 过程的放热 (回热) 来提供; 其中: M_1 千克工质进行 s3 过程高温段的吸热, 还可由其进行 45 过程的低温段放热来提供; M_2 千克工质进行 78 过程高温段的吸热, 还可由其进行 9c 过程的低温段放热来提供。

②放热过程—— M_1 千克工质进行 45 过程的放热, 对外提供满足相应热需求, 其中的低温段放热或可用于 s3 过程高温段吸热 (回热); M_2 千克工质放热降温过程 9c, 对外提供满足相应热需求, 其中的低温段放热或可用于 78 过程高温段吸热 (回热); M_1 千克工质进行 6d 过程的放热, 可用于 M_1 千克工质进行 2r 过程适宜温度段的吸热需求; M_3 千克工质进行 dj 过程的放热可用于 M_1 千克工质进行 2r 过程适宜温度段的吸热需求, M_3 千克工质以混合方式放热于 H 千克工质降温至 e 点, $(M_1 + H)$ 千克工质进行 f1 过程的放热一般向低温热源 (环境) 释放。

③能量转换过程—— M_1 千克工质的升压过程 12, 以及 H 千克工质的升压过程 1g, 一般由循环泵来完成, 循环泵的耗功可由膨胀做功提供或由外部提供; M_2 千克工质的升压过程 e7 和 89, 以及 M_1 千克工质的升压过程 34, 一般由压缩机来完成; M_1 千克工质降压膨胀过程 rs, M_1 千克工质的降压过程 56, M_2 千克工质的降压过程 cd, 以及 $(M_1 + H)$ 千克工质降压膨胀过程 ef, 一般由膨胀机来完成; 降压膨胀做功用于升压耗功, 或降压膨胀做功大于升压耗功时同时对外输出机械能, 或降压膨胀做功小于升压耗功时同时由外部投入机械能, 形成第二类单工质联合循环。

图 6/10 所示 T-s 图中的第二类单工质联合循环示例是这样进行的:

(1)从循环过程上看:

工作介质进行—— M_1 千克工质冷凝液升压过程 12, M_1 千克工质与 M 千克过热蒸汽混合吸热升温过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热升温、汽化和过热过程 br, (M_1+M) 千克工质降压膨胀过程 rs, M_1 千克工质吸热升温过程 s3, H 千克工质冷凝液升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热升温、汽化和过热过程 g8, M_2 千克工质升压升温过程 8a, M 千克工质与 M_1 千克工质混合放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压升温过程 a3, M_3 千克工质吸热升温过程 34, M_3 千克工质升压升温过程 45, M_3 千克工质放热降温过程 56, M_3 千克工质降压膨胀过程 67, M_3 千克工质放热降温过程 7j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热降温过程 j8, (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 89, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 91——共 18 个过程。

(2)从能量转换上看:

①吸热过程—— H 千克工质进行 g8 过程的吸热, 由 M_3 千克工质与 H 千克工质混合过程中的放热完成; M_1 千克工质进行 2b 过程的吸热来自 M 千克过热蒸汽的混合放热, (M_1+M) 千克工质进行 br 过程、s3 过程和 M_3 千克工质进行 34 过程, 其吸热一般由外部热源来提供; 其中, (M_1+M) 千克工质进行 br 过程低温段的吸热还可由 M_3 千克工质进 7j 过程的放热 (回热) 来提供, M_3 千克工质进行 34 过程高温段的吸热还可由其进行 56 过程的低温段放热来提供。

②放热过程—— M_3 千克工质进行 56 过程的放热, 对外提供满足相应热需求, 其中的低温段放热或可用于 34 过程高温段吸热 (回热); M_3 千克工质进行 7j 过程的放热可用于 (M_1+M) 千克工质进行 br 过程适宜温度段的吸热需求, M_3 千克工质以混合方式放热于 H 千克工质降温至 8 点, (M_1+H) 千克工质进行 91 过程的放热一般向低温热源 (环境) 释放。

③能量转换过程—— M_1 千克工质的升压过程 12, 以及 H 千克工质的升压过程 1g, 一般由循环泵来完成, 循环泵的耗功可由膨胀做功提供或由外部提供; M_2 千克工质的升压过程 8a 和 (M_2-M) 千克工质的升压过程 a3, 以及 M_3 千克工质的升压过程 45, 一般由压缩机来完成; (M_1+M) 千克工质降压膨胀过程 rs, M_3 千克工质的降压膨胀过程 67, 以及 (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 89, 一般由膨胀机来完成; 降压膨胀做功用于升压耗功, 或降压膨胀做功大于升压耗功时同时对外输出机械能, 或降压膨胀做功小于升压耗功时同时由外部投入机械能, 形成第二类单工质联合循环。

图 7/10 所示 T-s 图中的第二类单工质联合循环示例是这样进行的:

(1)从循环过程上看:

工作介质进行—— M_1 千克工质冷凝液升压过程 12, M_1 千克工质与 M 千克工质的混合吸热升温过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热升温、汽化和过热过程 br, (M_1+M) 千克工质降压膨胀过程 rs, M_1 千克工质吸热升温过程 s5, H 千克工质冷凝液升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热升温、汽化和过热过程 g9, M_2 千克工质升压升温过程 9a, M 千克工质与 M_1 千克工质的混合放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压升温过程 a3,

(M_2-M) 千克工质吸热升温过程 34, (M_2-M) 千克工质升压升温过程 45, M_3 千克工质升压升温过程 56, M_3 千克工质放热降温过程 67, M_3 千克工质降压膨胀过程 78, M_3 千克工质放热降温过程 8j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热降温过程 j9, (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 9c, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——共 19 个过程。

(2)从能量转换上看:

①吸热过程——H 千克工质进行 g9 过程的吸热, 由 M_3 千克工质与 H 千克工质混合过程中的放热完成; M_1 千克工质进行 2b 过程的吸热来自 M 千克过热蒸汽的混合放热, (M_1+M) 千克工质进行 br 过程和 s5 过程, 其吸热一般由外部热源来提供; (M_2-M) 千克工质进行 34 过程, 其吸热一般由外部热源来提供; 其中, (M_1+M) 千克工质进行 br 过程低温段的吸热还可由 M_3 千克工质进 8j 过程的放热(回热)来提供, (M_1+M) 千克工质进行 s5 过程和 (M_2-M) 千克工质进行 34 过程的高温段吸热还可由 M_3 千克工质进行 67 过程的低温段放热来提供。

②放热过程—— M_3 千克工质进行 67 过程的放热, 对外提供满足相应热需求, 其中的低温段放热或可用于 (M_1+M) 千克工质进行 s5 过程和 (M_2-M) 千克工质进行 34 过程的高温段吸热; M_3 千克工质进行 8j 过程的放热可用于 (M_1+M) 千克工质进行 br 过程适宜温度段的吸热需求, M_3 千克工质以混合方式放热于 H 千克工质降温至 9 点, (M_1+H) 千克工质进行 c1 过程的放热一般向低温热源(环境)释放。

③能量转换过程—— M_1 千克工质的升压过程 12, 以及 H 千克工质的升压过程 1g, 一般由循环泵来完成, 循环泵的耗功可由膨胀做功提供或由外部提供; M_2 千克工质的升压过程 9a, (M_2-M) 千克工质的升压过程 a3 和 45, 以及 M_3 千克工质的升压过程 56, 一般由压缩机来完成; (M_1+M) 千克工质降压膨胀过程 rs, M_3 千克工质的降压膨胀过程 78, 以及 (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 9c, 一般由膨胀机来完成; 降压膨胀做功用于升压耗功, 或降压膨胀做功大于升压耗功时同时对外输出机械能, 或降压膨胀做功小于升压耗功时同时由外部投入机械能, 形成第二类单工质联合循环。

图 8/10 所示 T-s 图中的第二类单工质联合循环示例是这样进行的:

(1)从循环过程上看:

工作介质进行—— M_1 千克工质冷凝液升压过程 12, M_1 千克工质与 M 千克工质的混合吸热升温过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热升温、汽化和过热过程 br, (M_1+M) 千克工质降压膨胀过程 rs, M_1 千克工质吸热升温过程 s4, H 千克工质冷凝液升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热升温、汽化和过热过程 g9, M_2 千克工质升压升温过程 9a, M 千克工质与 M_1 千克工质的混合放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压升温过程 a3, (M_2-M) 千克工质吸热升温过程 35, (M_1+M) 千克工质升压升温过程 45, M_3 千克工质升压升温过程 56, M_3 千克工质放热降温过程 67, M_3 千克工质降压膨胀过程 78, M_3 千克工质放热降温过程 8j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热降温过程 j9, (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 9c, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——共 19 个过程。

(2)从能量转换上看:

①吸热过程——H 千克工质进行 g9 过程的吸热, 由 M_3 千克工质与 H 千克工质混合过程

中的放热完成; M_1 千克工质进行 2b 过程的吸热来自 M 千克过热蒸汽的混合放热, (M_1+M) 千克工质进行 br 过程和 s4 过程, 其吸热一般由外部热源来提供; (M_2-M) 千克工质进行 35 过程, 其吸热一般由外部热源来提供; 其中, (M_1+M) 千克工质进行 br 过程低温段的吸热还可由 M_3 千克工质进 8j 过程的放热 (回热) 来提供, (M_1+M) 千克工质进行 s4 过程和 (M_2-M) 千克工质进行 35 过程的高温段吸热还可由 M_3 千克工质进行 67 过程的低温段放热来提供。

②放热过程—— M_3 千克工质进行 67 过程的放热, 对外提供满足相应热需求, 其中的低温段放热或可用于 (M_1+M) 千克工质进行 s4 过程和 (M_2-M) 千克工质进行 35 过程的高温段吸热; M_3 千克工质进行 8j 过程的放热可用于 (M_1+M) 千克工质进行 br 过程适宜温度段的吸热需求, M_3 千克工质以混合方式放热于 H 千克工质降温至 9 点, (M_1+H) 千克工质进行 c1 过程的放热一般向低温热源 (环境) 释放。

③能量转换过程—— M_1 千克工质的升压过程 12, 以及 H 千克工质的升压过程 1g, 一般由循环泵来完成, 循环泵的耗功可由膨胀做功提供或由外部提供; M_2 千克工质的升压过程 9a, (M_2-M) 千克工质的升压过程 a3, (M_1+M) 千克工质的升压过程 45, 以及 M_3 千克工质的升压过程 56, 一般由压缩机来完成; (M_1+M) 千克工质降压膨胀过程 rs, M_3 千克工质的降压膨胀过程 78, 以及 (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 9c, 一般由膨胀机来完成; 降压膨胀做功用于升压耗功, 或降压膨胀做功大于升压耗功时同时对外输出机械能, 或降压膨胀做功小于升压耗功时同时由外部投入机械能, 形成第二类单工质联合循环。

图 9/10 所示 T-s 图中的第二类单工质联合循环示例是这样进行的:

(1)从循环过程上看:

工作介质进行—— M_1 千克工质冷凝液升压过程 12, M_1 千克工质与 M 千克工质的混合吸热升温过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热升温、汽化和过热过程 br, (M_1+M) 千克工质降压膨胀过程 rs, (M_1+M) 千克工质吸热升温过程 s3, H 千克工质冷凝液升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热升温、汽化和过热过程 gc, M_2 千克工质升压升温过程 ca, M 千克工质与 M_1 千克工质的混合放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压升温过程 a3, M_3 千克工质吸热升温过程 34, M_3 千克工质升压升温过程 45, M_3 千克工质放热降温过程 56, X 千克工质降压膨胀过程 67, (M_3-X) 千克工质放热降温过程 68, (M_3-X) 千克工质降压膨胀过程 89, X 千克工质放热降温过程 79, M_3 千克工质放热降温过程 9j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热降温过程 jc, (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 cd, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 d1——共 21 个过程。

(2)从能量转换上看:

①吸热过程—— H 千克工质进行 gc 过程的吸热, 由 M_3 千克工质与 H 千克工质混合过程中的放热完成; M_1 千克工质进行 2b 过程的吸热来自 M 千克过热蒸汽的混合放热, (M_1+M) 千克工质进行 br 过程、s3 过程和 M_3 千克工质进行 34 过程, 其吸热一般由外部热源来提供; 其中, (M_1+M) 千克工质进行 br 过程低温段的吸热还可由 X 千克工质进行 79 过程和 M_3 千克工质进 9j 过程的放热 (回热) 来提供, M_3 千克工质进行 34 过程高温段的吸热还可由 (M_3-X) 千克工质进行 68 过程的放热来提供。

②放热过程—— M_3 千克工质进行 56 过程的放热和 $(M_3 - X)$ 千克工质进行 68 过程的放热，对外提供满足相应热需求，其中的低温段放热或可用于 34 过程高温段吸热（回热）； X 千克工质进行 79 过程的放热，可用于 $(M_1 + M)$ 千克工质进行 br 过程适宜温度段的吸热需求； M_3 千克工质进行 9j 过程的放热可用于 $(M_1 + M)$ 千克工质进行 br 过程适宜温度段的吸热需求， M_3 千克工质以混合方式放热于 H 千克工质降温至 c 点， $(M_1 + H)$ 千克工质进行 d1 过程的放热一般向低温热源（环境）释放。

③能量转换过程—— M_1 千克工质的升压过程 12，以及 H 千克工质的升压过程 1g，一般由循环泵来完成，循环泵的耗功可由膨胀做功提供或由外部提供； M_2 千克工质的升压过程 ca 和 $(M_2 - M)$ 千克工质的升压过程 a3，以及 M_3 千克工质升压过程 45，一般由压缩机来完成； $(M_1 + M)$ 千克工质降压膨胀过程 rs， X 千克工质的降压过程 67， $(M_3 - X)$ 千克工质的降压过程 89，以及 $(M_1 + H)$ 千克工质降压膨胀过程 cd，一般由膨胀机来完成；降压膨胀做功用于升压耗功，或降压膨胀做功大于升压耗功时同时对外输出机械能，或降压膨胀做功小于升压耗功时同时由外部投入机械能，形成第二类单工质联合循环。

图 10/10 所示 T-s 图中的第二类单工质联合循环示例是这样进行的：

(1)从循环过程上看：

工作介质进行—— M_1 千克工质冷凝液升压过程 12， M_1 千克工质与 M 千克工质的混合吸热升温过程 2b， $(M_1 + M)$ 千克工质吸热升温、汽化和过热过程 br， $(M_1 + M)$ 千克工质降压膨胀过程 rs， $(M_1 + M)$ 千克工质吸热升温过程 s3， $(M_1 + M)$ 千克工质升压升温过程 34， $(M_1 + M)$ 千克工质放热降温过程 45， $(M_1 + M)$ 千克工质降压膨胀过程 56， $(M_1 + M)$ 千克工质放热降温过程 6d， H 千克工质冷凝液升压过程 1g， H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热升温、汽化和过热过程 ge， M_2 千克工质升压升温过程 ea， M 千克工质与 M_1 千克工质的混合放热冷凝过程 ab， $(M_2 - M)$ 千克工质升压升温过程 a7， $(M_2 - M)$ 千克工质吸热升温过程 78， $(M_2 - M)$ 千克工质升压升温过程 89， $(M_2 - M)$ 千克工质放热降温过程 9c， $(M_2 - M)$ 千克工质降压膨胀过程 cd， M_3 千克工质放热降温过程 dj， M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热降温过程 je， $(M_1 + H)$ 千克工质降压膨胀过程 ef， $(M_1 + H)$ 千克工质放热冷凝过程 f1——共 22 个过程。

(2)从能量转换上看：

①吸热过程—— H 千克工质进行 ge 过程的吸热，由 M_3 千克工质与 H 千克工质混合过程中的放热完成； M_1 千克工质进行 2b 过程的吸热来自 M 千克过热蒸汽的混合放热， $(M_1 + M)$ 千克工质进行 br 过程、s3 过程和 $(M_2 - M)$ 千克工质进行 78 过程，其吸热一般由外部热源来提供，其低温段的吸热还可由 $(M_1 + M)$ 千克工质进 6d 过程和来 M_3 千克工质进行 dj 过程的放热来提供；其中， $(M_1 + M)$ 千克工质进行 s3 过程高温段的吸热还可由其进行 45 过程的低温段放热来提供； $(M_2 - M)$ 千克工质进行 78 过程高温段的吸热还可由其进行 9c 过程的低温段放热来提供。

②放热过程—— $(M_1 + M)$ 千克工质进行 45 过程的放热，对外提供满足相应热需求，其中的低温段放热或可用于 s3 过程高温段吸热（回热）； $(M_2 - M)$ 千克工质放热降温过程 9c，对外提供满足相应热需求，其中的低温段放热或可用于 78 过程高温段吸热（回热）；

(M_1+M) 工质进行 6d 过程的放热, 可用于 (M_1+M) 千克工质进行 br 过程适宜温度段的吸热需求; M_3 千克工质进行 dj 过程的放热可用于 (M_1+M) 千克工质进行 br 过程适宜温度段的吸热需求, M_3 千克工质以混合方式放热于 H 千克工质降温至 e 点, (M_1+H) 千克工质进行 f1 过程的放热一般向低温热源 (环境) 释放。

③能量转换过程—— M_1 千克工质的升压过程 12, 以及 H 千克工质的升压过程 1g, 一般由循环泵来完成, 循环泵的耗功可由膨胀作功提供或由外部提供; M_2 千克工质的升压过程 ea, (M_2-M) 千克工质的升压过程 a7, (M_1+M) 千克工质的升压过程 34, (M_2-M) 千克工质的升压过程 89, 一般由压缩机来完成; (M_1+M) 千克工质降压膨胀过程 rs, (M_1+M) 千克工质的降压过程 56, (M_2-M) 千克工质的降压过程 cd, 以及 (M_1+H) 千克工质降压膨胀过程 ef, 一般由膨胀机来完成; 降压膨胀作功用于升压耗功, 或降压膨胀作功大于升压耗功时同时对外输出机械能, 或降压膨胀作功小于升压耗功时同时由外部投入机械能, 形成第二类单工质联合循环。

本发明技术可以实现的效果——本发明所提出的第二类单工质联合循环, 具有如下效果和优势:

- (1)提出了温差利用的新思路和新技术。
- (2)热能 (温差) 驱动, 实现热能温度提升, 或可选择同时对外提供动力。
- (3)方法简单, 流程合理, 适用性好, 是实现温差有效利用的共性技术。
- (4)必要时, 借助部分外部动力实现热能温度提升, 方式灵活, 适应性好。
- (5)相变过程或相变过程为主实现低温放热, 有利于减小低温热负荷释放环节的传热温差, 提高循环性能指数。
- (6)变温过程或变温过程为主实现中温吸热, 有利于减小中温热负荷获取环节的传热温差, 提高循环性能指数。
- (7)变温放热, 有利于减小供热环节传热温差, 实现循环性能指数合理化。
- (8)单一工质, 有利于生产和储存; 降低运行成本, 提高循环调节的灵活性
- (9)过程共用, 减少过程数量, 为减少设备投资提供理论基础。
- (10)工质参数范围宽, 实现高效高温供热; 能够很好地适应供能需求, 工质与工作参数之间匹配灵活。
- (11)有较低的压力与循环压缩比, 为核心设备的选取和制造提供方便; 为降低温差利用型热泵系统的工作压力和提高装置安全性提供理论基础。
- (12)混合换热与间接换热相结合, 灵活适应换热设备与能源利用率之间的关系。
- (13)设置高压膨胀过程, 增加对中温热源的适应性和工作介质选择的灵活性。
- (14)扩展了实现温差利用的热力循环范围, 有利于更好地实现中温热源和变中温热源的高效热利用。

权 利 要 求 书

1. 第二类单工质联合循环,是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质,分别或共同进行的十五个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热汽化过程 2r, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s3, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g8, M_2 千克工质升压过程 83, M_3 千克工质吸热过程 34, M_3 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质放热过程 56, M_3 千克工质降压过程 67, M_3 千克工质放热过程 7j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j8, (M_1+H) 千克工质降压过程 89, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 91——组成的闭合过程;其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

2. 第二类单工质联合循环,是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质,分别或共同进行的十六个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热汽化过程 2r, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s5, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g9, M_2 千克工质升压过程 93, M_2 千克工质吸热过程 34, M_2 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质升压过程 56, M_3 千克工质放热过程 67, M_3 千克工质降压过程 78, M_3 千克工质放热过程 8j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j9, (M_1+H) 千克工质降压过程 9c, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——组成的闭合过程;其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

3. 第二类单工质联合循环,是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质,分别或共同进行的十六个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热汽化过程 2r, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s4, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g9, M_2 千克工质升压过程 93, M_2 千克工质吸热过程 35, M_1 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质升压过程 56, M_3 千克工质放热过程 67, M_3 千克工质降压过程 78, M_3 千克工质放热过程 8j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j9, (M_1+H) 千克工质降压过程 9c, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——组成的闭合过程;其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

4. 第二类单工质联合循环,是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质,分别或共同进行的十八个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热汽化过程 2r, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s3, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 gc, M_2 千克工质升压过程 c3, M_3 千克工质吸热过程 34, M_3 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质放热过程 56, X 千克工质降压过程 67, (M_3-X) 千克工质放热过程 68, (M_3-X) 千克工质降压过程 89, X 千克工质放热过程 79, M_3 千克工质放热过程 9j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 jc, (M_1+H) 千克工质降压过程 cd, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 d1——组成的闭合过程;其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

5. 第二类单工质联合循环,是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质,分别或共同进行的十九个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热汽化过程 2r, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s3, M_1 千克工质升压过程 34, M_1 千克工质放热过程 45, M_1 千克工质降压过程 56, M_1 千克工质放热过程 6d, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 ge, M_2 千克工质升压过程 e7, M_2 千克工质吸热过程 78, M_2 千克工质升压过程 89, M_2 千克工质放热过程 9c, M_2 千克工质降压过程 cd, M_3 千克

工质放热过程 dj, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 je, (M_1+H) 千克工质降压过程 ef, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 f1——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

6. 第二类单工质联合循环, 是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质, 分别或共同进行的十八个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热汽化过程 br, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s3, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g8, M_2 千克工质升压过程 8a, M 千克工质放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压过程 a3, M_3 千克工质吸热过程 34, M_3 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质放热过程 56, M_3 千克工质降压过程 67, M_3 千克工质放热过程 7j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j8, (M_1+H) 千克工质降压过程 89, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 91——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

7. 第二类单工质联合循环, 是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质, 分别或共同进行的十九个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热汽化过程 br, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s5, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g9, M_2 千克工质升压过程 9a, M 千克工质放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压过程 a3, (M_2-M) 千克工质吸热过程 34, (M_2-M) 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质升压过程 56, M_3 千克工质放热过程 67, M_3 千克工质降压过程 78, M_3 千克工质放热过程 8j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j9, (M_1+H) 千克工质降压过程 9c, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

8. 第二类单工质联合循环, 是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质, 分别或共同进行的十九个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热汽化过程 br, M_1 千克工质降压过程 rs, M_1 千克工质吸热过程 s4, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 g9, M_2 千克工质升压过程 9a, M 千克工质放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压过程 a3, (M_2-M) 千克工质吸热过程 35, (M_1+M) 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质升压过程 56, M_3 千克工质放热过程 67, M_3 千克工质降压过程 78, M_3 千克工质放热过程 8j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 j9, (M_1+H) 千克工质降压过程 9c, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 c1——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

9. 第二类单工质联合循环, 是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质, 分别或共同进行的二十一个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热汽化过程 br, (M_1+M) 千克工质降压过程 rs, (M_1+M) 千克工质吸热过程 s3, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 gc, M_2 千克工质升压过程 ca, M 千克工质放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压过程 a3, M_3 千克工质吸热过程 34, M_3 千克工质升压过程 45, M_3 千克工质放热过程 56, X 千克工质降压过程 67, (M_3-X) 千克工质放热过程 68, (M_3-X) 千克工质降压过程 89, X 千克工质放热过程 79, M_3 千克工质放热过程 9j, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 jc, (M_1+H) 千

克工质降压过程 cd, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 d1——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

10. 第二类单工质联合循环, 是指由 M_1 千克、 M_2 千克和 H 千克工质, 分别或共同进行的二十二个过程—— M_1 千克工质升压过程 12, M_1 千克工质吸热过程 2b, (M_1+M) 千克工质吸热汽化过程 br, (M_1+M) 千克工质降压过程 rs, (M_1+M) 千克工质吸热过程 s3, (M_1+M) 千克工质升压过程 34, (M_1+M) 千克工质放热过程 45, (M_1+M) 千克工质降压过程 56, (M_1+M) 千克工质放热过程 6d, H 千克工质升压过程 1g, H 千克工质与 M_3 千克工质混合吸热过程 ge, M_2 千克工质升压过程 ea, M 千克工质放热冷凝过程 ab, (M_2-M) 千克工质升压过程 a7, (M_2-M) 千克工质吸热过程 78, (M_2-M) 千克工质升压过程 89, (M_2-M) 千克工质放热过程 9c, (M_2-M) 千克工质降压过程 cd, M_3 千克工质放热过程 dj, M_3 千克工质与 H 千克工质混和放热过程 je, (M_1+H) 千克工质降压过程 ef, (M_1+H) 千克工质放热冷凝过程 f1——组成的闭合过程; 其中, M_3 为 M_1 与 M_2 之和。

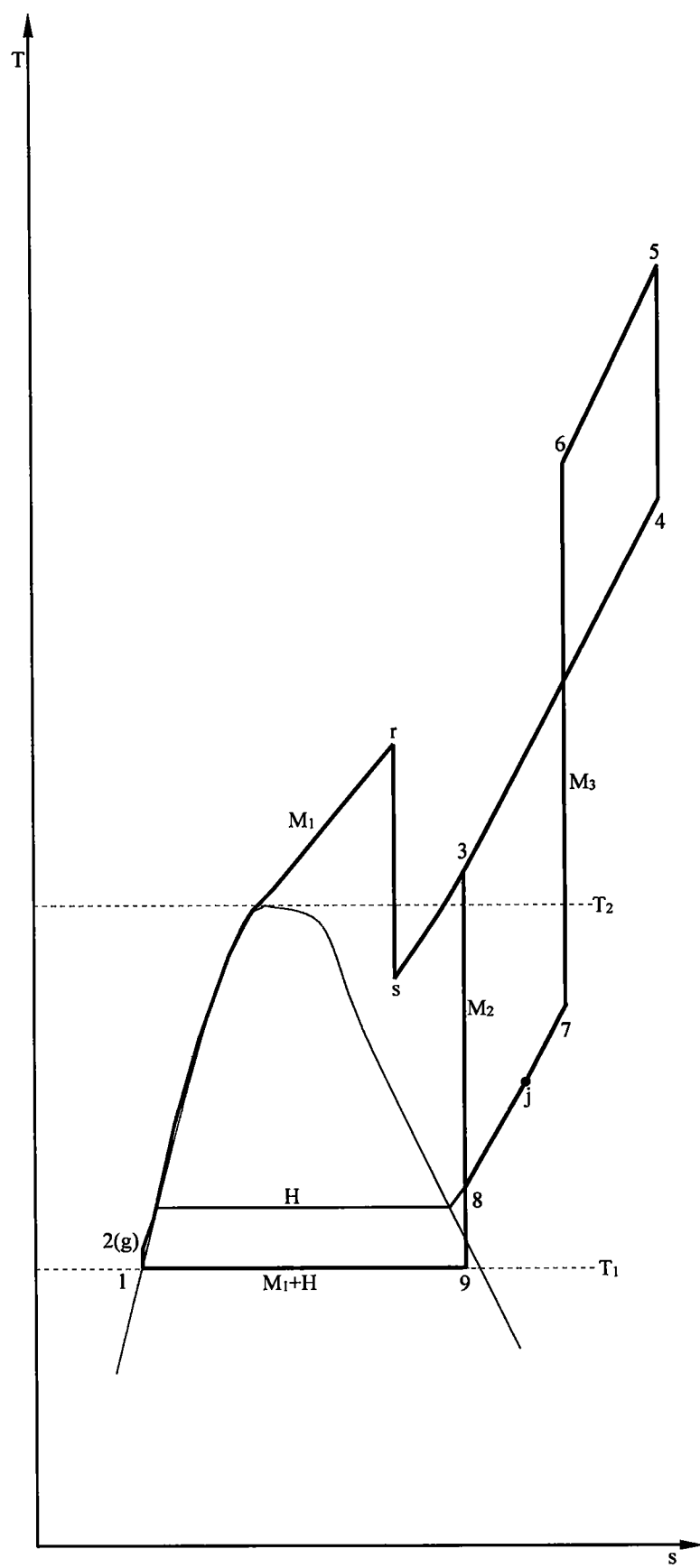


图 1/10

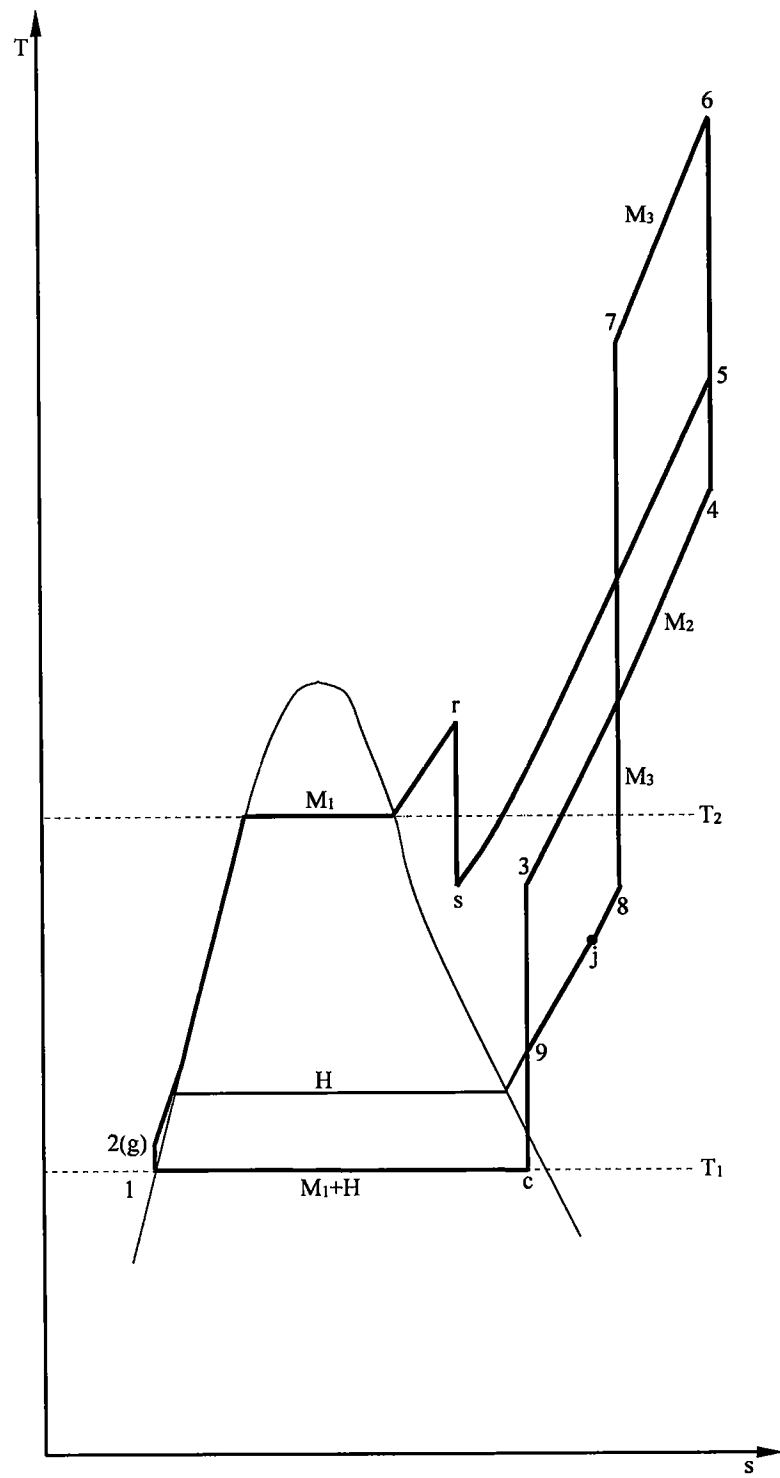


图 2/10

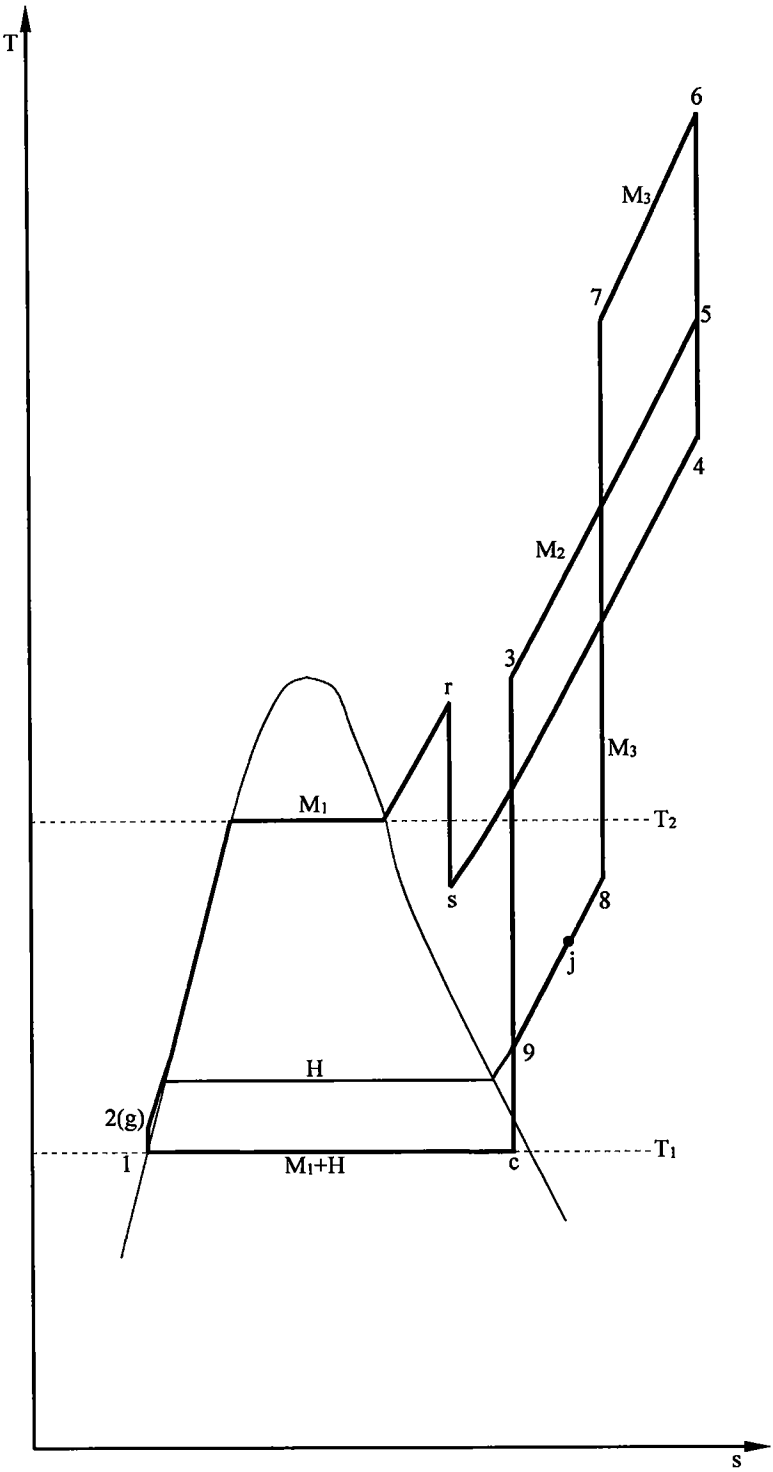


图 3/10

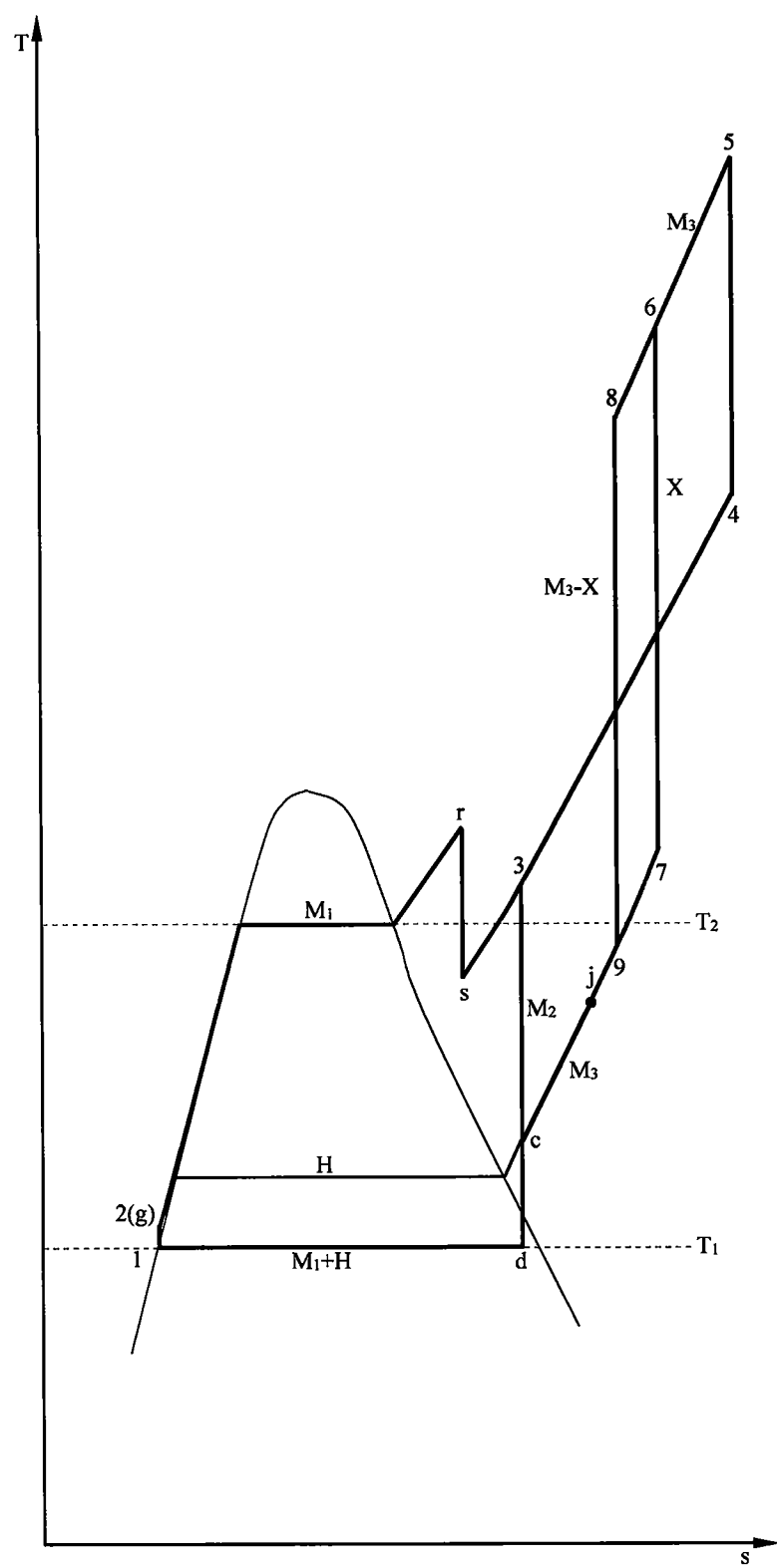


图 4/10

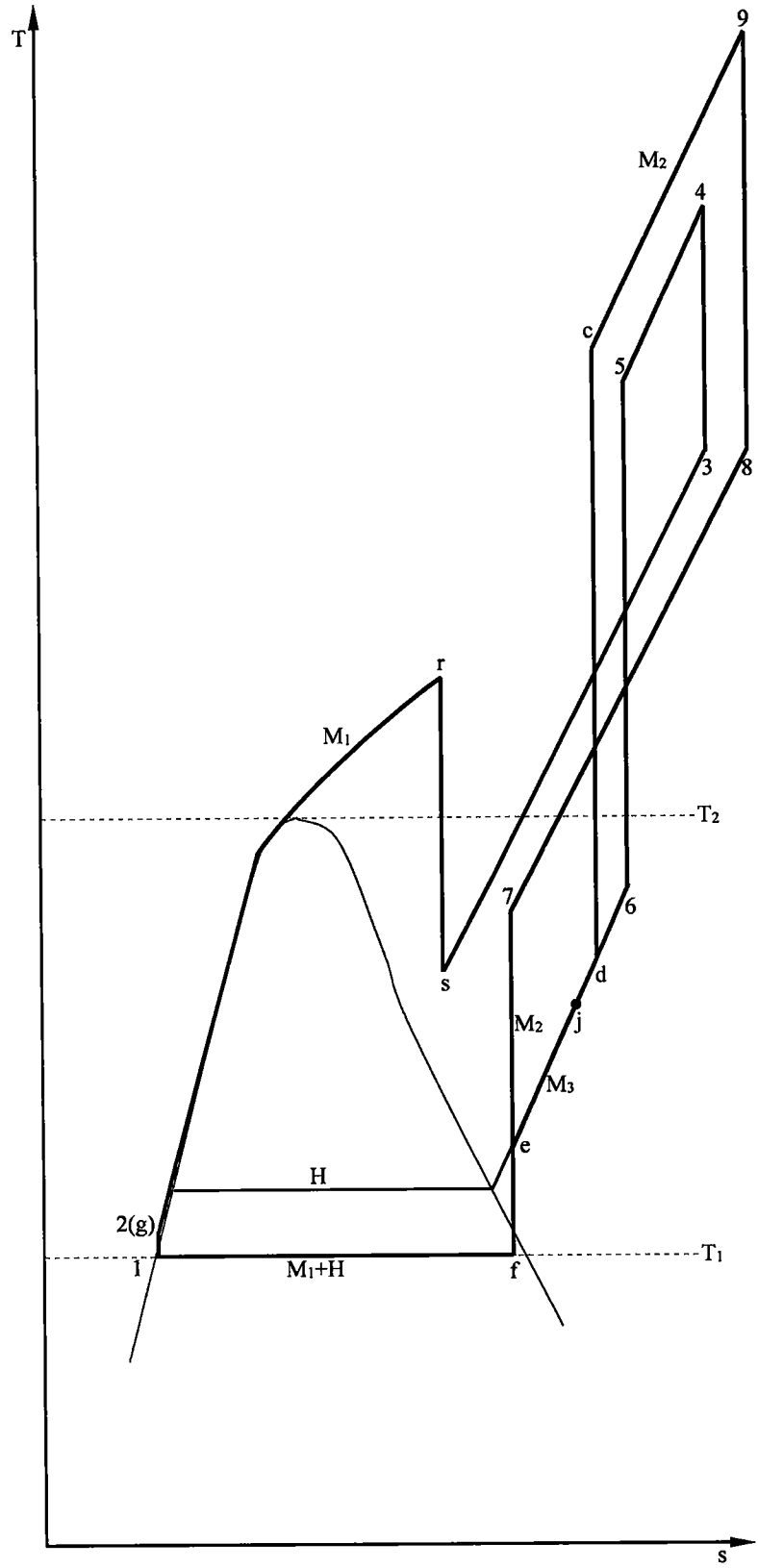


图 5/10

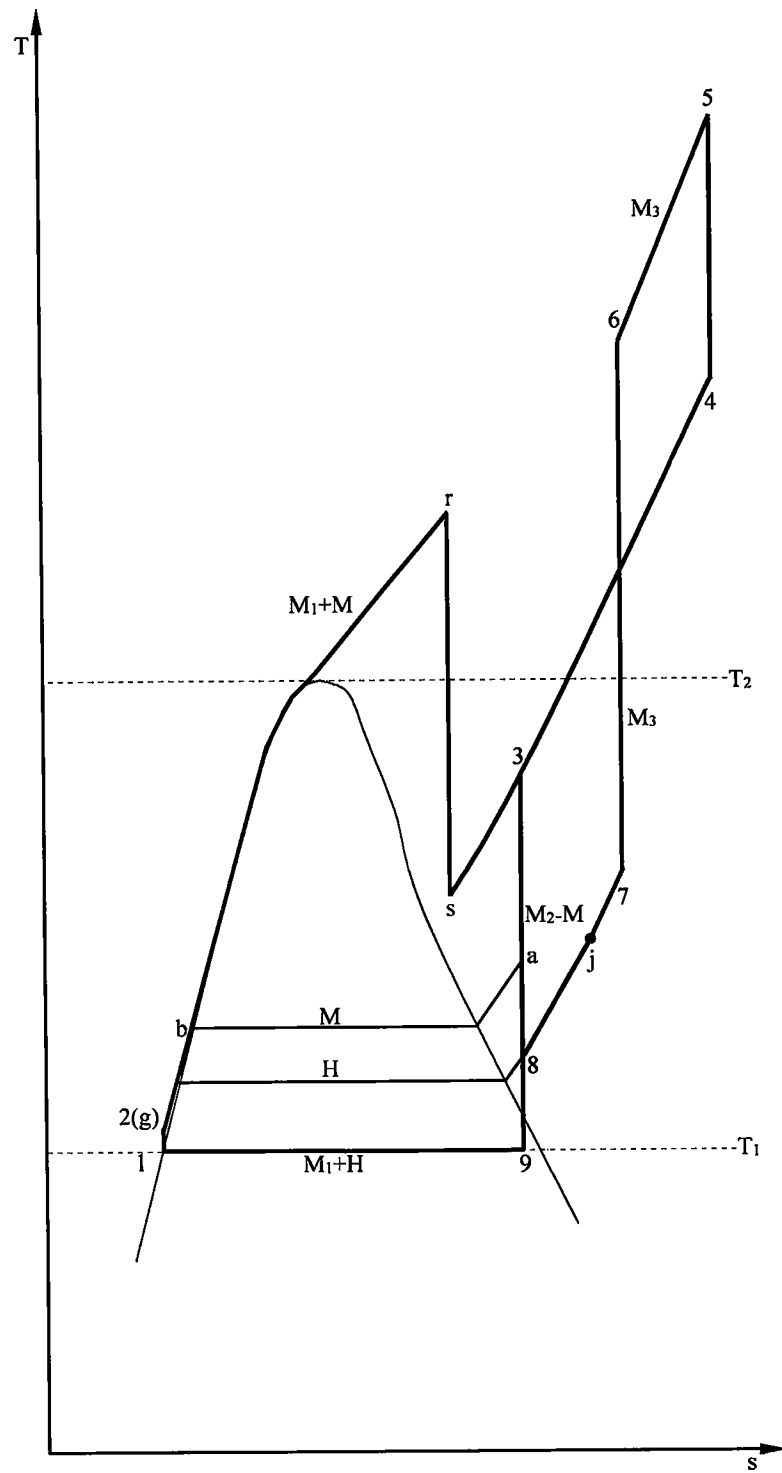


图 6/10

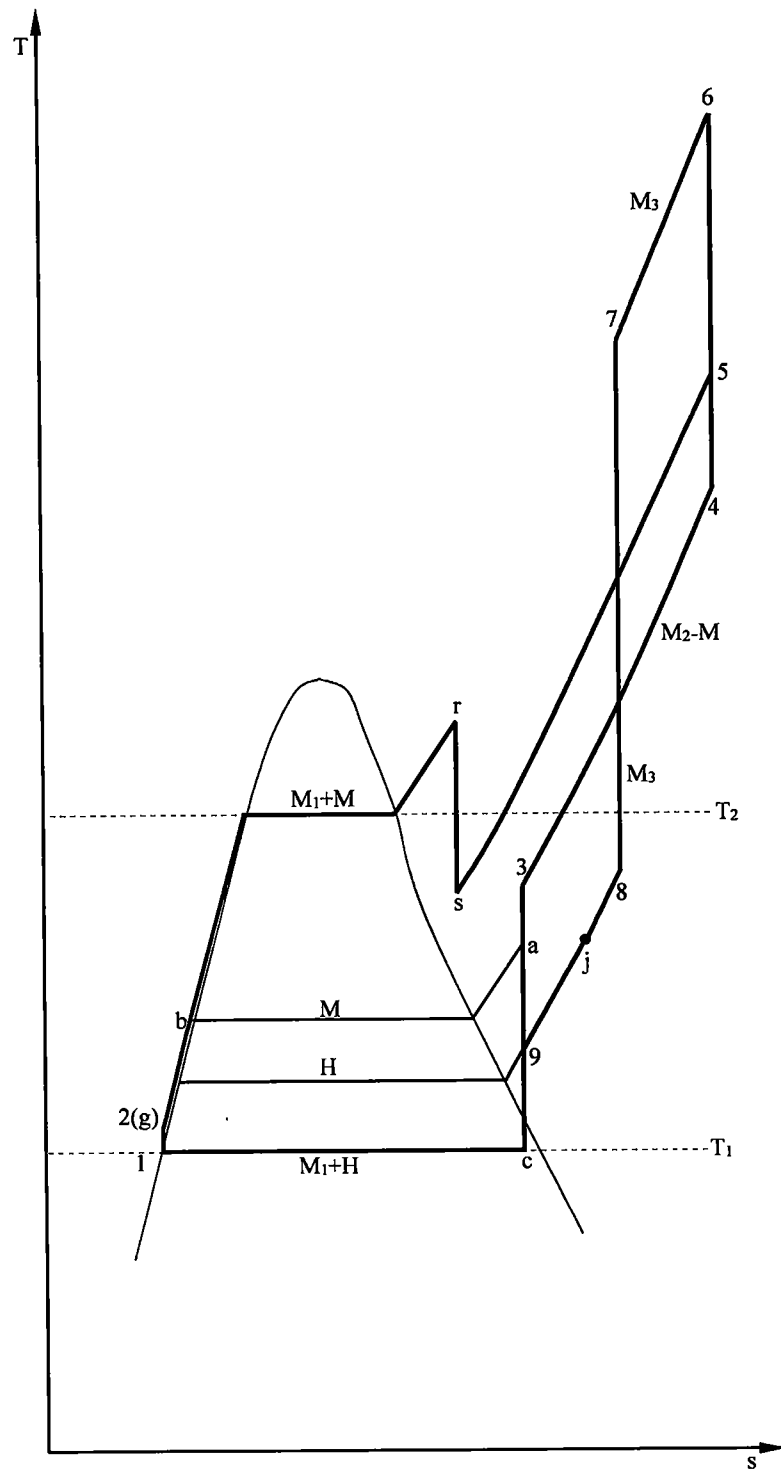


图 7/10

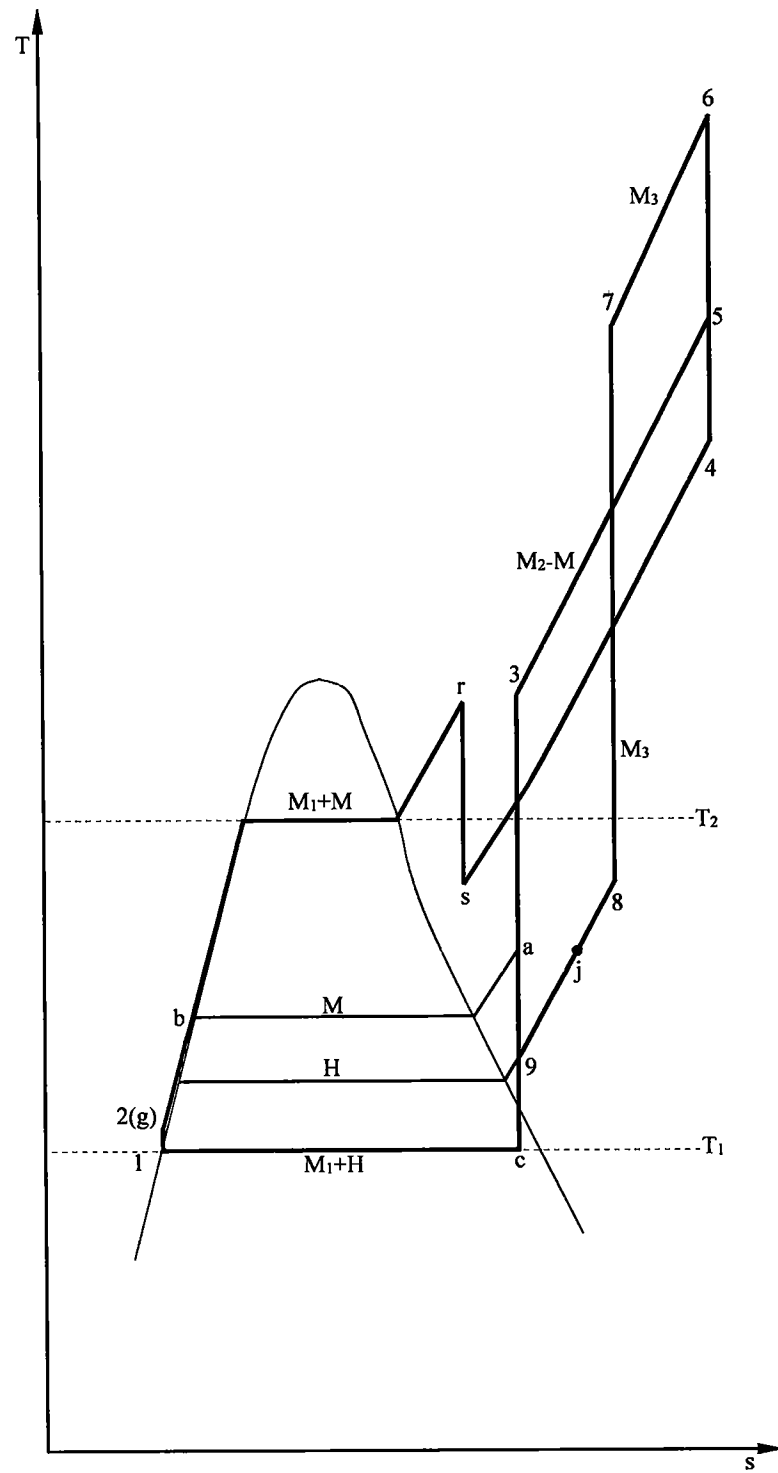


图 8/10

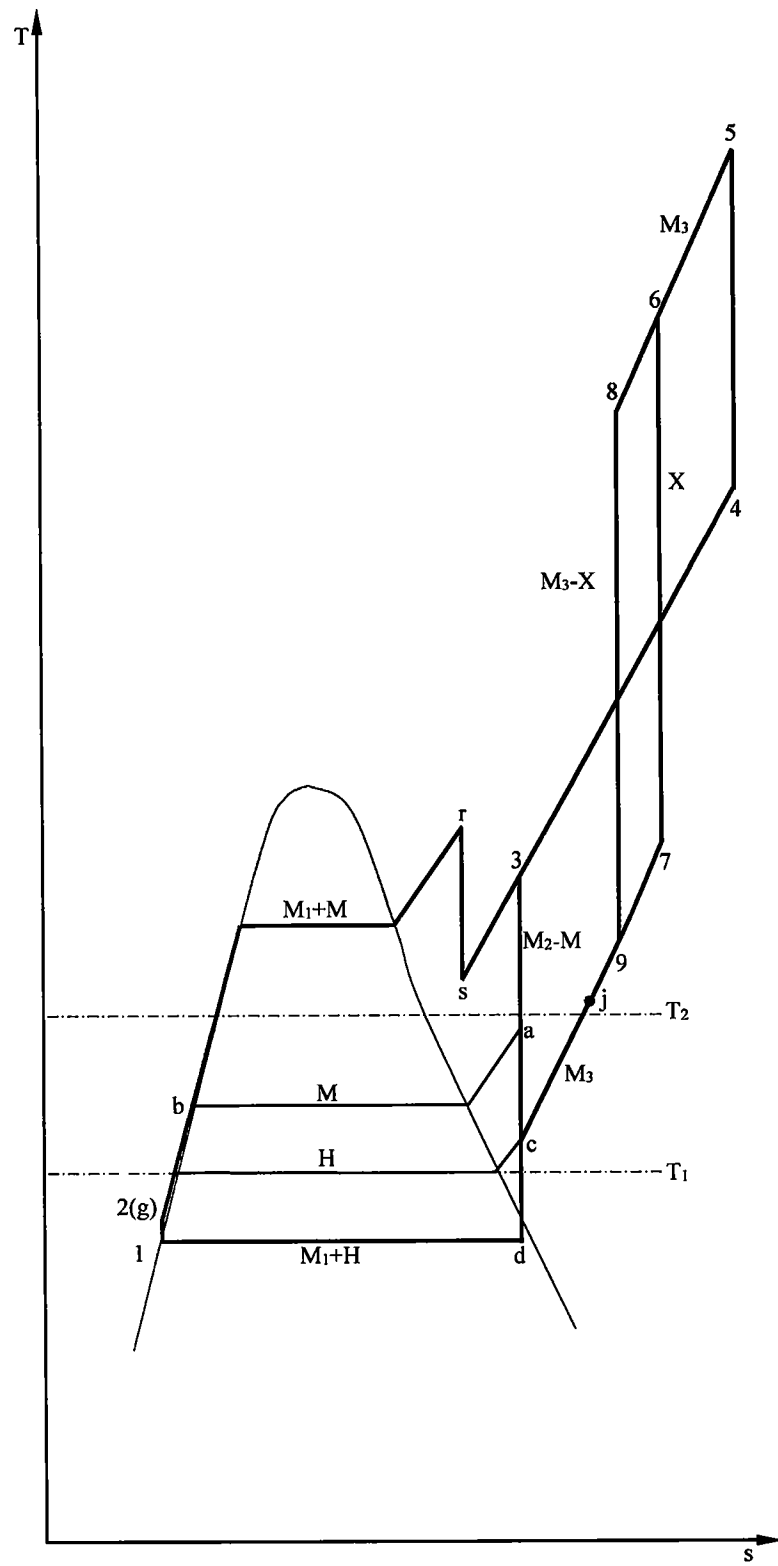


图 9/10

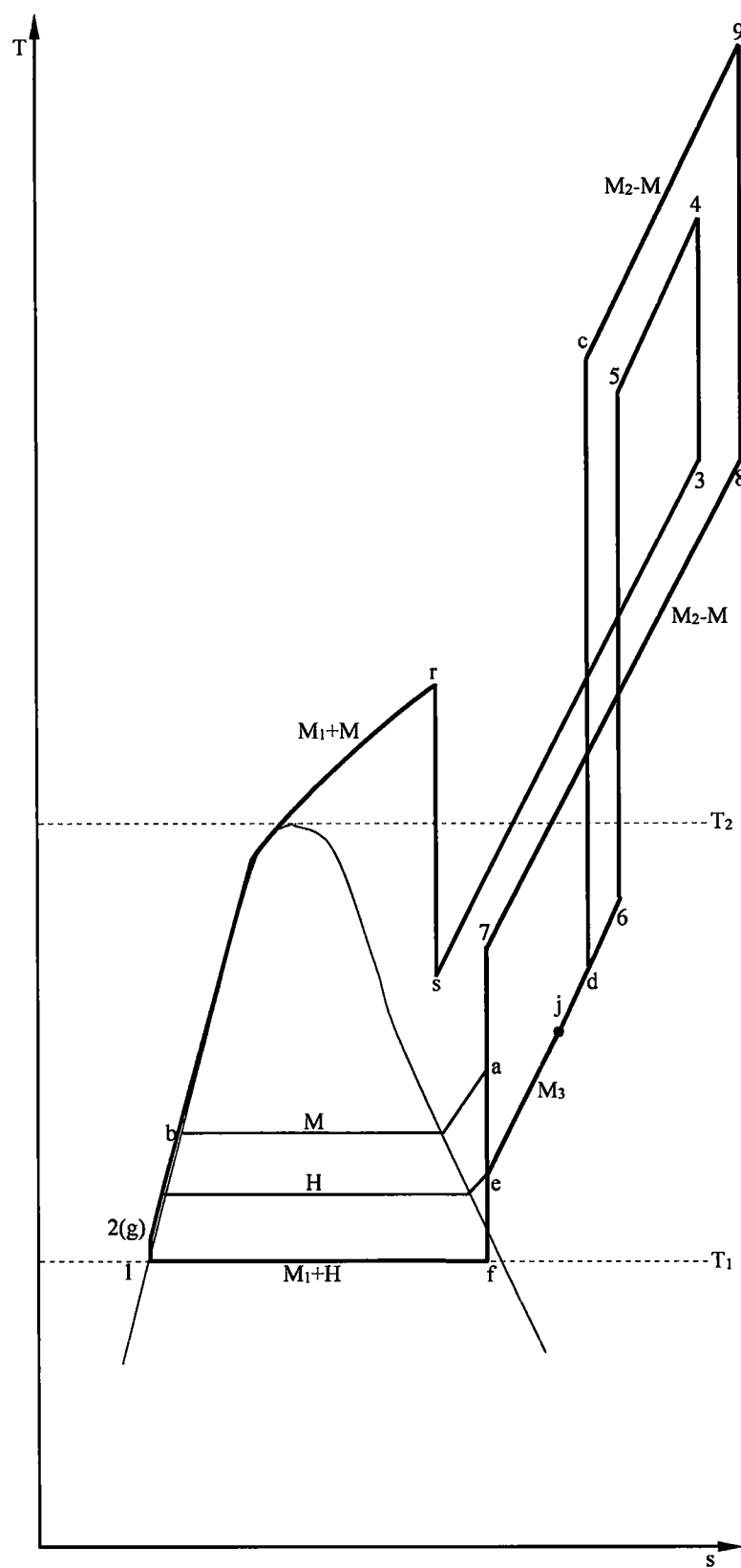


图 10/10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/000146

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F01K 7/02(2006.01)i; F25B 9/14(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F01K:F25B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

DWPI, SIPOABS, CNABS, CNTXT, PATENTICS, 中国期刊网全文数据库: 李华玉, 单工质, 热力循环, 蒸汽循环, 升压, 降压, 吸热, 放热, 工质, 制冷剂, SINGLE W WORK+ W FLUID+, THERMAL W CYCLE+, CRYOGEN+, REFRIGERANT+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107893685 A (LI, Huayu) 10 April 2018 (2018-04-10) description, specific embodiments, figures 1-25	1-10
A	CN 108119195 A (LI, Huayu) 05 June 2018 (2018-06-05) entire document	1-10
A	CN 108019245 A (LI, Huayu) 11 May 2018 (2018-05-11) entire document	1-10
A	CN 107905857 A (LI, Huayu) 13 April 2018 (2018-04-13) entire document	1-10
A	CN 108679880 A (LI, Huayu) 19 October 2018 (2018-10-19) entire document	1-10
A	FR 2178386 A5 (BABCOCK ATLANTIQUE SA.) 09 November 1973 (1973-11-09) entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 September 2021

Date of mailing of the international search report

09 October 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/000146

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107893685	A	10 April 2018	CN	107893685	B	31 January 2020
				JP	2019516057	A	13 June 2019
				RU	2714018	C1	11 February 2020
				US	2019112949	A1	18 April 2019
				WO	2018068430	A1	19 April 2018
				US	11008898	B2	18 May 2021
CN	108119195	A	05 June 2018	CN	108119195	B	01 May 2020
				WO	2018113040	A1	28 June 2018
CN	108019245	A	11 May 2018	CN	108019245	B	29 May 2020
				WO	2018107552	A1	21 June 2018
CN	107905857	A	13 April 2018	CN	107905857	B	31 January 2020
				WO	2018068431	A1	19 April 2018
CN	108679880	A	19 October 2018	None			
FR	2178386	A5	09 November 1973	JP	S4913541	A	06 February 1974

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/000146

A. 主题的分类

F01K 7/02(2006.01)i; F25B 9/14(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

F01K;F25B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

DWPI, SIPOABS, CNABS, CNTXT, PATENTICS, 中国期刊网全文数据库: 李华玉, 单工质, 热力循环, 蒸汽循环, 升压, 降压, 吸热, 放热, 工质, 制冷剂, SINGLE W WORK+ W FLUID+, THERMAL W CYCLE+, CRYOGEN+, REFRIGERANT+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 107893685 A (李华玉) 2018年 4月 10日 (2018 - 04 - 10) 说明书具体实施例部分、附图1-25	1-10
A	CN 108119195 A (李华玉) 2018年 6月 5日 (2018 - 06 - 05) 全文	1-10
A	CN 108019245 A (李华玉) 2018年 5月 11日 (2018 - 05 - 11) 全文	1-10
A	CN 107905857 A (李华玉) 2018年 4月 13日 (2018 - 04 - 13) 全文	1-10
A	CN 108679880 A (李华玉) 2018年 10月 19日 (2018 - 10 - 19) 全文	1-10
A	FR 2178386 A5 (BABCOCK ATLANTIQUE SA.) 1973年 11月 9日 (1973 - 11 - 09) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2021年 9月 26日

国际检索报告邮寄日期

2021年 10月 9日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

耿苗

电话号码 86-(10)-53962865

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/000146

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	107893685	A	2018年 4月 10日	CN	107893685	B	2020年 1月 31日
				JP	2019516057	A	2019年 6月 13日
				RU	2714018	C1	2020年 2月 11日
				US	2019112949	A1	2019年 4月 18日
				WO	2018068430	A1	2018年 4月 19日
				US	11008898	B2	2021年 5月 18日
CN	108119195	A	2018年 6月 5日	CN	108119195	B	2020年 5月 1日
				WO	2018113040	A1	2018年 6月 28日
CN	108019245	A	2018年 5月 11日	CN	108019245	B	2020年 5月 29日
				WO	2018107552	A1	2018年 6月 21日
CN	107905857	A	2018年 4月 13日	CN	107905857	B	2020年 1月 31日
				WO	2018068431	A1	2018年 4月 19日
CN	108679880	A	2018年 10月 19日	无			
FR	2178386	A5	1973年 11月 9日	JP	S4913541	A	1974年 2月 6日