

石油化工设备技术问答丛书

汽轮机技术问答

(第三版)

张克舫 沈惠坊 编著

中国石化出版社

序

设备是企业进行生产的物质技术基础。现代化的石油化工企业，生产连续性强、自动化水平高，且具有高温、高压、易燃、易爆、易腐蚀、易中毒的特点。设备一旦发生问题，会带来一系列严重的后果，往往会导致装置停产、环境污染、火灾爆炸、人身伤亡等重大事故的发生。因而石油化工企业的设备更体现了设备是企业进行生产、发展的重要物质基础。“基础不牢、地动山摇”。设备状况的好坏，直接影响着石油化工企业生产装置的安全、稳定、长周期运行，从而也影响着企业的经济效益。

为了确保石油化工厂设备经常处于良好的状况，就必须强化设备管理，广泛应用先进技术，不断提高检修质量，搞好设备的操作和维护，及时消除设备隐患，排除故障，提高设备的可靠度，从而确保生产装置的安全、稳定、长周期运行。

为了加强企业“三基”工作适应广大石油化工设备管理、操作及维护检修人员了解设备，熟悉设备，懂得设备的结构、性能、作用及可能发生的故障和预防措施，以提高消除隐患，排除故障，搞好操作和日常维护能力的需要，中国石化出版社针对石油化工厂常见的各类设备，诸如，各类泵、压缩机、风机及驱动机、各类工业炉、塔、反应器、压力容器，各类储罐、换热设备，以及各类工业管线、阀门管件等，组织长期工作在石油化工企业基层，有一定设备理论知识和实践经验的专家和专业技术人员，以设备技术问答的形式，编写了一系列“石油化工设备技术问答丛书”，供大家学习和阅读，希望对广大读者有所帮助。本书即为这套丛书之一。

中国石化设备管理协会副会长 胡安定

目 录

第一章 基本概念及汽轮机的分类型号	(1)
1. 状态参数有哪几个? 焓的意义是什么?	(1)
2. 什么是声速? 什么是马赫数?	(1)
3. 气流流速的改变需要哪些条件?	(2)
4. 喷嘴中气流参数如何变化? 喷嘴有什么形状?	(2)
5. 什么是临界状态?	(3)
6. 渐缩喷嘴出口能达到多大流速?	(4)
7. 汽轮机中采用什么形状的喷嘴?	(4)
8. 汽轮机的基本工作原理是什么?	(5)
9. 什么是汽轮机级的反动度?	(6)
10. 什么是冲动级? 有何特点?	(7)
11. 什么是反动级? 有何特点?	(8)
12. 什么是速度级? 有何特点?	(9)
13. 现代大功率高参数汽轮机为什么第一级大都采用 双列速度级?	(10)
14. 级可分为哪几类?	(10)
15. 汽轮机如何分类?	(10)
16. 国产汽轮机的型号如何规定?	(12)
17. 汽轮机有哪些主要优缺点?	(13)
18. 近几十年来, 汽轮机发展的主要特点是什么?	(14)
19. 工业汽轮机为什么在炼油化工行业得到广泛应用?	(15)
第二章 汽轮机本体的结构	(16)
1. 汽轮机装置由哪几部分组成?	(16)

2. 汽轮机本体包括哪几部分?	(16)
3. 汽轮机静止部分包括哪些主要部件?	(16)
4. 基础和台板的作用是什么? 有何特点?	(16)
5. 汽缸有何作用?	(16)
6. 汽缸的受力情况如何?	(17)
7. 汽缸应满足哪几项技术要求?	(17)
8. 汽缸有哪些结构特点?	(18)
9. 汽轮机为什么一般采用分缸结构?	(19)
10. 为什么汽轮机有时采用多层缸结构?	(19)
11. 多层缸夹层中为什么通入蒸汽?	(21)
12. 为什么低压缸一般采用对称分流布置?	(21)
13. 喷嘴和隔板的作用是什么?	(22)
14. 汽轮机第一级的喷嘴有什么特点?	(22)
15. 隔板的结构特点是什么?	(22)
16. 隔板有哪几种形式? 各有何特点?	(23)
17. 隔板套有什么作用?	(24)
18. 什么是静叶环和静叶持环?	(24)
19. 汽轮机的滑销系统有何作用?	(24)
20. 滑销有哪几种? 各有什么作用?	(26)
21. 汽轮机轴承的作用是什么? 它有哪几种类型?	(26)
22. 轴承润滑的基本原理是什么?	(27)
23. 汽轮机主轴承的结构特点是什么?	(27)
24. 汽轮机工作时转子上的轴向力是如何产生的?	(28)
25. 推力轴承的作用及结构特点是什么?	(28)
26. 汽封的作用是什么?	(30)
27. 汽封有哪几种类型? 它的结构特点是什么?	(30)
28. 什么是轴封?	(31)
29. 什么是轴封系统? 轴封系统的作用是什么?	(31)

30. 轴封系统怎样工作?	(33)
31. 汽轮机转子有哪几种类型? 各有什么特点?	(34)
32. 叶轮由哪几部分组成?	(36)
33. 汽轮机动叶片的作用是什么?	(37)
34. 叶片有哪几种类型?	(38)
35. 叶片由哪几部分组成?	(38)
36. 叶根有哪几种类型?	(38)
37. 叶片的安装方法有哪几种?	(40)
38. 围带或拉金有何作用?	(40)
39. 围带有哪些结构形式?	(41)
40. 汽轮机平衡孔有什么作用? 为什么平衡孔是单数的? ...	(42)
41. 联轴器的作用是什么?	(42)
42. 汽轮机盘车装置的作用是什么?	(42)
43. 盘车装置有哪几种类型?	(42)
44. 叶栅有哪些形式?	(44)
45. 叶栅有哪些主要几何参数?	(45)
46. 什么是部分进汽度(率)?	(46)
第三章 汽轮机的工作原理	(47)
1. 什么是喷嘴速度系数?	(47)
2. 影响喷嘴速度系数的因素有哪些?	(47)
3. 什么是蒸汽的相对速度?	(48)
4. 什么是动叶速度系数?	(49)
5. 什么是余速损失?	(49)
6. 叶高损失 Δh_1 是怎样产生的?	(49)
7. 扇形损失 Δh_θ 是怎样产生的?	(51)
8. 为什么要采用扭曲叶片?	(52)
9. 叶轮摩擦损失 Δh_f 是怎样产生的?	(52)
10. 鼓风损失 Δh_w 是怎样产生的?	(53)

11. 斥汽损失 Δh_s 是怎样产生的?	(54)
12. 漏汽损失 Δh_g 是怎样产生的?	(54)
13. 湿汽损失 Δh_x 是怎样产生的?	(54)
14. 如何减少湿汽损失?	(56)
15. 汽轮机级内存在哪些主要的能量损失?	(56)
16. 什么是汽轮机级的相对内效率?	(57)
17. 级效率有哪些结构方面的影响因素?	(57)
18. 动、静叶之间的轴向间隙如何影响级效率?	(57)
19. 径向间隙如何影响级效率?	(58)
20. 叶片宽度如何影响级效率?	(59)
21. 拉金如何影响级效率?	(59)
22. 平衡孔如何影响级效率?	(59)
23. 什么是多级汽轮机? 为什么一般汽轮机都是多级的? ...	(60)
24. 多级汽轮机的损失有哪些能量损失?	(60)
25. 如何减少进汽阻力损失?	(61)
26. 如何减少排汽阻力损失?	(62)
27. 什么是汽轮机组的机械效率?	(63)
28. 什么是发电机效率?	(63)
29. 什么是汽轮机的相对效率和绝对效率?	(64)
30. 什么是汽耗率?	(64)
31. 什么是热耗率?	(64)
32. 汽轮发电机组的各种效率及热经济指标的大致范围 是多少?	(65)
33. 多级汽轮机包括哪些轴向推力?	(65)
34. 如何平衡轴向推力?	(66)
35. 平衡活塞的作用是什么?	(66)
36. 相反流动布置法如何平衡轴向推力?	(67)
37. 多级冲动式汽轮机和多级反动式汽轮机各有何特点? ...	(68)

38. 凝汽式汽轮机、背压式汽轮机、调节抽汽式汽轮机 各有何特点?	(68)
39. 什么是中间再热式汽轮机?	(69)
40. 采用给水回热为什么能提高机组的经济性?	(70)
41. 采用给水回热对汽轮机组都有哪些好处?	(70)
42. 工业汽轮机有何特点?	(71)
第四章 汽轮机的热力系统及辅助设备	(72)
1. 什么是汽轮机的热力系统?	(72)
2. 汽轮机车间有哪些主要的热力系统?	(72)
3. 什么是原则性热力系统?	(73)
4. 典型机组的原则性热力系统举例。	(73)
5. 什么是全面性热力系统?	(75)
6. 凝汽设备的任务是什么? 它由哪些设备组成?	(76)
7. 凝汽器有哪几种类型?	(76)
8. 表面式凝汽器的结构特点是什么?	(76)
9. 凝汽器为什么要开有抽气口?	(76)
10. 自动排汽门的作用是什么?	(77)
11. 抽气器的作用是什么?	(78)
12. 射汽抽气器的结构特点和原理是什么?	(78)
13. 为什么要采用多级抽气器?	(79)
14. 启动抽气器与主抽气器有何差别?	(79)
15. 射水抽气器的特点是什么?	(80)
16. 给水回热级数和机组初参数有什么关系?	(81)
17. 回热加热器有何作用? 有哪几种型式?	(81)
18. 混合式加热器有何特点?	(82)
19. 表面式加热器有何特点?	(82)
20. 立式加热器有何结构特点?	(83)
21. 卧式加热器有何结构特点?	(85)

22. 什么是“排挤”抽汽?	(85)
23. 表面加热器的疏水有哪几种连接方式?	(85)
24. 疏水冷却器的作用是什么?	(88)
25. 蒸汽冷却器的作用是什么?	(89)
26. 实际机组的回热系统举例。	(90)
27. 给水除氧的任务是什么?	(91)
28. 给水除氧的方法有哪些?	(91)
29. 除氧器的作用是什么?	(92)
30. 除氧器分哪几类? 其工作原理是什么?	(93)
31. 除氧器为什么要高位布置?	(93)
32. 什么是旁路系统?	(93)
33. 旁路系统有什么作用?	(94)
34. 供水系统有什么作用?	(95)
35. 对供水系统有哪些要求?	(96)
36. 循环水系统由哪些主要设备组成?	(96)
第五章 汽轮机的调节系统及保护装置	(97)
1. 汽轮机调节系统的任务是什么?	(97)
2. 什么是直接调节?	(97)
3. 什么是间接调节? 半液压式调节系统的特点是什么? ...	(99)
4. 全液压式调节系统的组成及调节原理是什么?	(100)
5. 什么是调节系统的静态特性和速度变动率?	(102)
6. 同步器的作用是什么?	(103)
7. 液压式调速器的工作原理是什么?	(103)
8. 液压式传动放大机构的结构特点与工作原理是什么? ...	(104)
9. 油动机与调节汽阀的作用及结构特点是什么?	(107)
10. 为什么要有反馈装置?	(109)
11. 用方块图说明全液压调节系统的调节过程。	(109)
12. 工业汽轮机调节系统的特点是什么?	(110)

13. 调压器的作用及结构特点是什么？	(110)
14. 汽轮机有哪些主要的保护装置？	(112)
15. 超速保护装置的作用及结构特点是什么？	(112)
16. 轴向位移保护装置的作用及结构特点是什么？	(114)
17. 磁力断路油门的作用及结构特点是什么？	(116)
18. 自动主汽阀的作用是什么？	(116)
19. 汽轮机供油系统的任务是什么？	(118)
20. 汽轮机供油系统有哪几种类型？	(119)
21. 容积式主油泵供油系统的特点是什么？	(119)
22. 离心式主油泵供油系统的特点是什么？	(120)
23. 汽轮机油系统对油品有何要求？	(121)
24. 供油系统中辅助油泵有何作用？它有哪些类型？	(121)
25. 注油器有什么作用？它有什么特点？	(122)
26. 主油泵的结构特点如何？	(122)
27. 冷油器的作用是什么？	(124)
第六章 汽轮机调节系统的试验与调整	(125)
1. 调节系统试验的目的是什么？	(125)
2. 什么是调节系统静止试验？	(125)
3. 静止试验可以测得哪些项目？	(125)
4. 如何进行静止试验？	(126)
5. 自动主汽阀及调节汽阀试验的内容是什么？	(126)
6. 严密性试验的目的是什么？如何进行？	(126)
7. 关闭时间试验的目的是什么？如何进行？	(127)
8. 超速保护装置应进行哪几项试验？如何进行？	(127)
9. 进行超速试验时应注意哪些问题？	(128)
10. 危急保安器动作转速不符合要求时，应如何调整？	(129)
11. 调节系统静态特性试验的内容和目的是什么？	(129)
12. 正常的调节系统应满足哪些要求？	(130)

13. 调节系统不能维持空负荷运行的原因是什么?	(130)
14. 同步器工作范围试验如何进行?	(131)
15. 空负荷升速、降速试验的目的是什么? 如何进行? 应注意什么问题?	(131)
16. 如何进行带负荷试验? 应注意什么问题?	(132)
17. 什么是调节系统的动态特性试验?	(132)
18. 调节系统动态试验必须具备哪些条件?	(132)
19. 甩负荷试验应注意哪些问题?	(133)
20. 调节系统速度变动率的调整方法有哪几种?	(133)
21. 如何调整同步器的工作范围?	(135)
22. 如何调整静态特性曲线上下限的位置?	(135)
23. 如何进行调节汽阀和自动主汽阀的严密性试验?	(135)
24. 如何进行调节汽阀和自动主汽阀的关闭时间试验?	(136)
第七章 汽轮机的启动、停机和正常运行	(137)
1. 汽轮机的启动过程是指什么?	(137)
2. 汽轮机的启动可分哪几类?	(137)
3. 汽轮机启动的基本原则是什么?	(137)
4. 额定参数下的冷态启动包括哪些步骤?	(138)
5. 启动前应作哪些准备工作?	(138)
6. 汽轮机启动前盘车未投时为什么不向轴封送汽?	(138)
7. 汽轮机启动前为什么要先疏水?	(138)
8. 什么是暖管? 暖管时应注意哪些问题?	(139)
9. 启动过程中应投入哪些辅助设备?	(139)
10. 什么情况下可以冲动转子?	(140)
11. 如何冲动转子?	(140)
12. 升速暖机时应监视并控制哪些指标?	(140)
13. 什么情况下可以并网和带负荷?	(141)
14. 汽轮机在额定参数下热态启动的特点是什么?	(142)

15. 什么是滑参数启动?	(143)
16. 滑参数启动对热力系统有何要求?	(143)
17. 滑参数启动有什么优点?	(144)
18. 汽轮机停机可分哪几类?	(144)
19. 额定参数下正常停机前应做什么准备?	(144)
20. 在减负荷过程中应注意什么问题?	(144)
21. 停机过程中应注意哪些问题?	(145)
22. 什么是滑参数停机?	(146)
23. 滑参数停机有何优点?	(146)
24. 滑参数停机过程中应注意哪些问题?	(146)
25. 什么情况下应紧急故障停机?	(147)
26. 紧急停机时应如何操作?	(148)
27. 什么情况下需要破坏真空紧急停机?	(148)
28. 汽轮机正常运行中的主要监视项目有哪些?	(149)
29. 运行中为什么必须注意监视段压力的变化?	(149)
30. 轴向位移指的是什么?	(150)
31. 轴向位移的极限值是根据什么确定的?	(150)
32. 运行中对轴向位移的监视应注意什么?	(150)
33. 热膨胀指示器和胀差指示器是用来监视什么的?	(150)
34. 运行中为什么要监视振动和声音? 如何监视?	(151)
35. 运行中为什么要监视供油系统?	(151)
36. 油压过高或过低有何影响? 如何处理?	(152)
37. 运行中对油温有什么要求? 如何控制?	(152)
38. 运行中对油箱油位有什么要求?	(152)
39. 对冷油器的工作应监视哪些项目?	(152)
40. 汽轮机通流部分为什么会结垢? 结垢有什么危害?	(153)
41. 清洗汽轮机通流部分的方法有哪几种?	(154)
42. 什么是汽轮机的带负荷清洗?	(154)

43. 带负荷清洗应注意哪些问题?	(154)
44. 凝汽器运行中应经常监视哪些项目?	(155)
45. 凝汽器真空度过低或过高有何影响?	(156)
46. 引起凝汽器真空降低的因素有哪些?	(156)
47. 凝结水过冷有何不好? 引起凝结水过冷的原因 是什么?	(157)
48. 运行中对凝结水质有何要求?	(157)
49. 为什么要对凝汽器进行清洗?	(158)
50. 清洗凝汽器的方法有哪几种?	(158)
51. 如何进行通风干燥法清洗凝汽器?	(158)
52. 如何进行反冲洗?	(159)
53. 什么是胶球清洗法?	(159)
54. 什么是凝汽器的半面清洗?	(160)
55. 什么是高压射流清洗法?	(160)
56. 运行中如何检查凝汽器铜管的泄漏?	(160)
57. 运行中应如何保证汽轮机的经济性?	(160)
58. 如何保持最有利的真空?	(161)
59. 汽轮机运行中应进行哪些试验?	(162)
60. 主蒸汽参数变化有哪些原因?	(162)
61. 汽轮机空负荷运行时排汽温度为什么会上升?	(163)
62. 运行中对循环水(冷却水)的处理方法有哪几种?	(163)
63. 循环水的温升是什么原因?	(164)
第八章 汽轮机的变工况	(165)
1. 什么是汽轮机的变工况?	(165)
2. 造成汽轮机变工况运行的原因有哪些?	(165)
3. 汽轮机负荷变化时, 汽轮机各级级前压力如何变化?	(165)
4. 汽轮机负荷变化时, 汽轮机各级的焓降如何变化?	(166)
5. 汽轮机变工况时, 汽轮机各级的反动度如何变化?	(167)

6. 汽轮机变工况时, 轴向推力如何变化?	(167)
7. 汽轮机的主要配汽方式有哪两种? 各有什么特点?	(168)
8. 新蒸汽压力变化对汽轮机工作有何影响?	(169)
9. 新蒸汽温度变化对汽轮机工作有何影响?	(170)
10. 排汽压力变化对汽轮机工作有何影响?	(171)
11. 凝汽器的变工况特性如何?	(172)
12. 变转速汽轮机的变工况特点是什么?	(172)
第九章 汽轮机的事故处理	(173)
1. 汽轮机发生事故的主要原因是什么? 处理原则是什么?	(173)
2. 运行中对主蒸汽压力和温度有何要求?	(173)
3. 主蒸汽压力和温度不符合额定范围时, 应如何处理? ...	(174)
4. 汽轮机振动过大有什么危害?	(174)
5. 造成汽轮机振动过大的主要原因是什么?	(174)
6. 什么是水冲击? 有什么严重后果?	(175)
7. 水冲击有什么征兆? 应如何处理?	(175)
8. 真空急剧下降时应如何处理?	(176)
9. 真空缓慢下降时应如何处理?	(177)
10. 供油系统常见故障有哪些?	(178)
11. 主油泵故障的可能原因有哪些?	(178)
12. 供油系统漏油的原因有哪些? 应如何处理?	(179)
13. 轴承油温升高的原因是什么?	(179)
14. 如何防止轴承缺油断油事故?	(180)
15. 高压辅助油泵失常的原因是什么? 应如何处理?	(181)
16. 运行中如何防止供油系统进水?	(181)
17. 供油系统着火的原因是什么? 应如何处理?	(182)
18. 汽轮机运行中叶片损坏或断落有何象征? 应如何 处理?	(183)
19. 叶片损坏或断落的原因是什么?	(183)

20. 运行中如何防止叶片损坏?	(184)
21. 引起汽轮机超速的原因有哪些?	(184)
22. 汽轮机超速时有何象征? 应如何处理?	(185)
23. 推力轴承烧损的原因有哪些? 有何象征? 应如何 处理?	(186)
24. 支持轴承烧损的原因有哪些? 有何象征? 应如何 处理?	(186)
25. 汽封损坏的原因是什么?	(186)
26. 汽封损坏有何征兆?	(187)
27. 如何防止汽封损坏?	(187)
28. 汽轮机动、静部分发生碰擦的事故征兆是什么?	(187)
29. 引起汽轮机动、静部分碰擦的原因是什么? 应如何 处理?	(188)

第十章 汽轮机的检修..... (189)

1. 汽轮机检修的内容是什么?	(189)
2. 汽轮机汽缸检修包括哪些内容?	(189)
3. 汽缸螺栓拆装时应注意哪些问题?	(190)
4. 什么情况下才可起吊汽缸上盖?	(190)
5. 汽缸上盖起吊时应注意什么问题?	(191)
6. 如何检查汽缸结合面的严密性?	(191)
7. 汽缸结合面产生间隙的原因是什么?	(192)
8. 汽缸法兰变形的原因是什么?	(192)
9. 对汽缸法兰变形、漏汽应如何处理?	(192)
10. 汽缸裂纹常产生在哪些部位?	(193)
11. 汽缸产生裂纹的原因是什么?	(193)
12. 如何检查汽缸裂纹?	(194)
13. 汽缸产生裂纹后如何处理?	(194)
14. 引起滑销损坏的原因有哪些?	(194)

15. 如何测量滑销的间隙?	(195)
16. 滑销间隙过大或过小时应如何处理?	(195)
17. 吊装隔板时应注意什么问题?	(195)
18. 对隔板应进行哪些检查?	(196)
19. 隔板需要进行哪些测量和调整?	(196)
20. 隔板常见的缺陷有哪些? 如何处理?	(197)
21. 如何进行隔板找中心?	(197)
22. 如何拆装汽封?	(198)
23. 对拆下的汽封应进行哪些检查?	(198)
24. 常见的汽封缺陷有哪些? 如何处理?	(199)
25. 盘车装置常见的缺陷有哪些? 如何处理?	(199)
26. 对支持轴承应进行哪些检查?	(200)
27. 对轴承与乌金表面局部缺陷应如何处理?	(200)
28. 什么情况下应更换轴瓦? 如何进行?	(201)
29. 对推力瓦块应作哪些检查?	(201)
30. 如何测量推力间隙?	(202)
31. 刮研轴瓦垫铁时应注意哪些问题?	(202)
32. 转子起吊和就位应注意哪些问题?	(202)
33. 如何对转子进行清扫?	(203)
34. 如何测定转子的扬度?	(204)
35. 什么是转子的晃度? 什么情况下应测量?	(204)
36. 什么是转子的瓢偏度? 什么情况下应测量瓢偏度?	(205)
37. 测量动静间隙的目的是什么?	(205)
38. 对轴颈和推力盘应作哪些检查?	(205)
39. 推力盘如何进行检修?	(205)
40. 对叶片应作哪些检查?	(206)
41. 如何检查叶片裂纹?	(207)
42. 叶片出现缺陷应如何处理?	(207)

43. 什么情况下需要拆装叶轮? 叶轮常见的缺陷有哪些? ...	(208)
44. 叶轮哪些地方易产生裂纹? 应如何处理?	(208)
45. 叶轮变形的原因是什么?	(209)
46. 检修时如何检查凝汽器铜管泄漏?	(209)
47. 如何清扫凝汽器水侧?	(210)
48. 如何更换凝汽器铜管?	(210)
49. 凝汽器常见的缺陷有哪些? 如何消除?	(211)
50. 射水抽气器应检查哪些部位?	(211)
51. 射汽抽气器如何检修?	(211)
52. 除氧器应如何检查、清洗?	(212)
53. 如何检查加热器泄漏?	(212)
54. 如何防止铜管腐蚀?	(213)
参考文献	(214)

第一章 基本概念及汽轮机的分类型号

1. 状态参数有哪几个？焓的意义是什么？

表明工质状态特性的各物理量称为工质的状态参数。状态参数包括：温度(T)、压力(p)、比体积即比容(v)、热力学能(u)、焓(h)和熵(s)。其中基本状态参数有温度、压力、比体积。

在有关热工计算中，常有 $h = u + pv$ 出现，把它定义为比焓，用符号 h 表示，即当 1kg 工质通过一定的界面流入热力系统时，储存于它内部的热力学能当然也带进了系统，同时还把从外部功源获得的推动功 pv 也带进了系统，因此系统中因引进 1kg 工质而获得的总能量是比焓(h)。在热力设备中，工质总是不断地从一处流到另一处，随着工质的移动而转移的能量是焓，故在热力工程的计算中焓有更广泛的应用。

2. 什么是声速？什么是马赫数？

声速(音速)是在连续介质中微弱扰动产生的压力波传播的速度，以 a 表示。对于理想气体定熵过程有

$$a = \sqrt{kpv} = \sqrt{kR_g T}$$

式中 k ——气体定熵指数；

R_g ——气体常数。

因此，声速不是一个固定不变的常数，它与气体的性质 k 、 R_g 及其状态 p 、 v 或 T 有关，也是状态参数。在流动过程