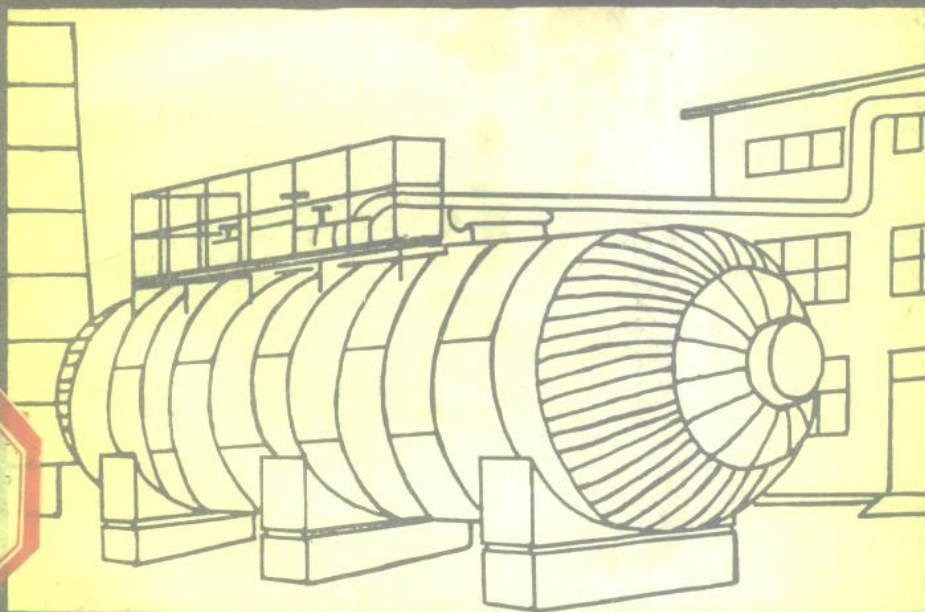


程祖虞 编

蒸汽蓄热器的 应用和设计



机械工业出版社

TK2
C 78

307383

蒸汽蓄热器的应用和设计

程祖虞 编



机械工业出版社

02 19/12
前言

蒸汽蓄热器应用在某些场合下可以说是一种节能设备。本世纪60年代以来,在我国轻工业、钢铁工业、船舶工业等领域虽有所应用,但直到80年代,由于节能工作的深入开展,才开始受到各方面的重视,并推广应用。

近几年来,在国内一些专业杂志和学术交流会上广泛地传播了蓄热器技术及其节能效果以后,已日益引起从事锅炉蒸汽动力工作者的兴趣,纷纷盼望获得这一方面系统的技术资料。但是,国内目前尚无一本系统地介绍蒸汽蓄热器的专业技术书籍。个别单位的点滴经验和数据介绍,不仅无法满足有关工程技术人员的需要,而且接待介绍颇费精力和时间,使双方均感不便。因此,编辑出版一本实用的蒸汽蓄热器专业技术书籍,实为当务之急。

兹辑选了日、英、苏等有关专著和资料中的精华,结合我们自己的知识和经验,汇编成书。书中介绍了蒸汽蓄热器的结构、原理、应用、工程设计和技术发展史等方面,并提供了许多应用实例。希望本书的出版,能够满足当前社会上的迫切需要,在我国四化建设中起到有益的作用。

由于我们的经验有限,水平不高,书中难免有错误和不妥之处,衷心欢迎广大读者批评指正。意见请寄机工出版社。
地址:北京市百万庄南里1号。

编者 1985年1月

目 录

第一章 蒸汽蓄热器的应用	1
一 锅炉负荷的波动和消除波动的方法	1
二 蒸汽蓄热器的原理和结构	2
三 蒸汽蓄热器在供热系统中的应用原理	6
四 蒸汽蓄热器的适用技术条件和领域	8
1. 应用于用汽负荷波动较大的供热系统	8
2. 应用于瞬时耗汽量极大的供热系统	9
3. 应用于汽源间断供汽的或流量波动的供热系统	9
4. 应用于需要蓄存蒸汽供随时需用的场合	10
五 在锅炉供热系统装用蒸汽蓄热器后的效益	12
1. 节省锅炉燃料	12
2. 增大锅炉供汽能力, 节省建设投资	13
3. 减少锅炉故障, 延长锅炉使用寿命	16
4. 保持供汽压力稳定, 可提高产品的产量和(或)质量	17
5. 有利于保护环境	17
6. 减轻司炉的劳动强度	18
7. 具有应急的蒸汽储备	18
8. 节省劳动力	18
第二章 蒸汽蓄热器的结构设计和热工计算	20
一 变压式蒸汽蓄热器的设计	20
1. 蓄热器筒体	20
2. 充热装置和排汽装置	28
3. 附属装置	33
4. 保温装置	35
5. 自动调节装置	35
二 典型变压式蒸汽蓄热器	36

三	蒸汽蓄热器的热工计算	39
1.	基本概念	39
2.	单位蓄热量的计算	42
3.	最大允许蒸发量	48
4.	充水系数和放热后的水位高度	49
5.	工作压力和蓄热量的关系	53
6.	热效率	54
四	供热系统中锅炉的蓄热量	55
第三章	蒸汽蓄热器的工程设计	56
一	工程设计的步骤	56
二	蒸汽蓄热器工程的供热系统设计	57
1.	蒸汽蓄热器在供热系统中的联结方式	57
2.	蒸汽蓄热器对波动负荷的直接平衡和间接平衡	59
三	需要的蓄热量和蓄热器的容积计算	64
1.	波动负荷的特性分析	65
2.	蓄热量的计算原则和方法	68
3.	蓄热器的容积计算	81
四	蒸汽蓄热器的自动调节	84
1.	压力自动调节	85
2.	流量自动调节	86
五	蒸汽蓄热器及其管道仪表的设计和安装	89
六	工程的技术经济	91
1.	装设蒸汽蓄热器后的主要经济效益	92
2.	蒸汽蓄热器的造价和工程投资分析	93
七	节能工程的经济评价	96
第四章	蒸汽蓄热器的应用实例	98
一	应用于用汽负荷波动幅度大、频率高的供热系统	98
1.	制浆造纸厂	98
2.	橡胶轮胎厂	102

3. 酿酒厂	103
4. 纺织印染厂	111
5. 糖厂	117
6. 医院	123
7. 宾馆和大楼	126
8. 煤气厂	128
二 应用于瞬时耗汽量极大的供热系统	130
1. 钢厂真空处理工艺	130
2. 空间技术试验室	133
三 应用于汽源间断供汽或流量波动的供热系统	137
1. 在钢厂配合废热锅炉	138
2. 垃圾焚烧场	139
3. 太阳能电站	140
4. 配合电热锅炉	145
四 应用于储存一定数量的蒸汽供随时发生的紧急用汽	146
第五章 蒸汽蓄热器的安装和运行	148
一 蒸汽蓄热器的安装	148
1. 地基和围栏	148
2. 安装	148
二 蒸汽蓄热器的启动	149
1. 启动前的准备工作	149
2. 蒸汽蓄热器的充热	149
3. 蒸汽蓄热器的放热	151
三 蒸汽蓄热器的正常运行操作	152
1. 典型供热系统中蓄热器的运行	152
2. 监视蒸汽蓄热器的水位	155
3. 监视蒸汽蓄热器的压力和水温	158
4. 经常检查止回阀和自动调节阀的工作情况	158
四 蒸汽蓄热器的常见故障和处理	158
1. 进汽止回阀或排汽止回阀发生泄漏	158

2. 自动调节阀	162
五 蒸汽蓄热器的维护保养	162
1. 维护保养要点	162
2. 常用的保养方法	163
六 蒸汽蓄热器蓄热量的简易测定法	164
第六章 蓄热器的技术发展概况和分类	165
一 蒸汽蓄热器的技术发展概况	165
二 预应力结构蒸汽蓄热器和过热蒸汽蓄热器	172
三 蓄热器的基本结构原理	174
1. 储蓄显热于饱和和流体中	174
2. 储蓄显热于加压（过冷）液体中	175
四 蓄热器的典型型式和分类	176
1. 基瑟巴赫式锅炉给水蓄热器	177
2. 墨科勒式锅炉给水蓄热器	178
3. 膨胀式蒸汽蓄热器	179
4. 变压式蓄热和恒压式蓄热的联合系统	180
5. 蓄热器的分类	184
附录	
附录一 碟形封头圆柱形蓄热器容积计算 （不完全充满水时）	187
附录二 椭圆形封头圆柱形蓄热器容积计算	188
附录三 蒸汽蓄热器标准规格 （日本光辉蓄热器公司）	188
附录四 特大型蒸汽蓄热器标准规格 （日本光辉蓄热器公司）	190
附录五 蒸汽蓄热器标准规格（日本 奥巴尔机器公司）	191
参考文献	193

第一章 蒸汽蓄热器的应用

一 锅炉负荷的波动和消除波动的方法

在制浆造纸、化学纤维制造、纺织印染、制糖、制药、橡胶制品、食品、酿酒、化工原料、城市煤气、小氮肥造气、冶金及火力发电等厂的生产过程中，全厂用汽设备在运行中虽在一定限度内可以调整用汽时间以降低用汽峰值，但往往用汽负荷仍不均衡，出现较大的波动，迫使供汽锅炉的负荷也随之变动。由于一般锅炉的蓄热量有限，当外界用汽负荷达到高峰或低谷时，锅炉的供汽压力往往时降时升，锅炉的燃烧工况很不稳定，运行热效率下降，因此使司炉操作紧张，劳动强度高；燃料燃烧不完全，排出黑烟，污染环境；又因供汽压力波动，往往使产品的产量和质量下降。

为消除供汽锅炉负荷的较大波动，稳定供汽压力，提高锅炉的运行热效率，可在供汽系统中设置蓄热（蒸汽）的装置，亦即热能的吞吐仓库，使锅炉连续地按满负荷或某一稳定的负荷运行。当外界用汽负荷低锅炉供汽有多余时，就将热能储蓄于蓄热装置；在发生高峰负荷锅炉供汽不足时，蓄热装置就释放出所蓄热能以补不足。这样就使锅炉负荷不必跟随用汽负荷的波动而变动，在稳定的燃烧工况下达到最佳的运行热效率。

近代冶金厂等工厂为节约能源回收余热而采用余热锅炉（或称废热锅炉），但由于有些冶金炉的生产有周期性，一个生产周期中有加料、冶炼、成品和出炉等过程，然后重复这

些生产过程，因此排出的烟气余热是间断的、周期性的，使余热锅炉只能间断地产生蒸汽，蒸汽流量和压力都有波动。为使这间断供汽的汽源变为连续的稳定的汽源以利于用户应用，可以在供汽系统中设置储存余热锅炉间断产生的蒸汽的蓄热装置。

实现储蓄蒸汽的独立装置现在常用的有两种：即变压式蓄汽器和变压式蒸汽蓄热器。

变压式蓄汽器俗称储汽包或干汽包，属于干式定容变压式蓄热器，一般为外壁包有保温层的钢制圆柱形压力容器，它直接储蓄蒸汽。在容器蓄存或释放蒸汽时器内压力随之升高或降低。它的特点是结构简单，能储存过热蒸汽。因为蒸汽的比容大，如果需要储蓄的蒸汽量很多时，就需要体积非常庞大的压力容器。

变压式蒸汽蓄热器简称蒸汽蓄热器，是湿式定容变压式蓄热器，它与上述干汽包的蓄热原理和结构均不相同。它以水为载热体，蓄存蒸汽的热能于高压饱和水中，然后利用饱和水降压后发生闪蒸（或称自蒸发）的原理再产生蒸汽。在相同容积下，它的蓄热量数十倍（或近百倍）于干汽包。

二 蒸汽蓄热器的原理和结构

蒸汽蓄热器的工作原理是在压力容器中贮存水，将蒸汽通入这水中加热水，即传输热能于水，使容器内水的温度和压力升高，形成具有一定压力的饱和水；然后在容器内压力下降的条件下，饱和水成为过热水，立即沸腾而自蒸发，产生蒸汽。这是以水为载热体间接储蓄蒸汽的蓄热装置。容器中的水既是蒸汽和水进行热交换的传热介质，又是蓄存热能的载热体。

常见的卧式蒸汽蓄热器的外形和结构如图1-1和1-2所示。它是钢制圆柱形压力容器，外壁敷有保温层。容器内部装有充蒸汽的分配总管和支管，支管末端装有蒸汽喷头，喷头外围装水流循环筒（或称换流管），容器壁上有蒸汽入口和出口、人孔、进水口，其底部有排水口和定位支座。此外，装有压力计、水位计等检测控制仪表，并可根据不同工程的要求，装设蒸汽流量计、远传式压力计等。

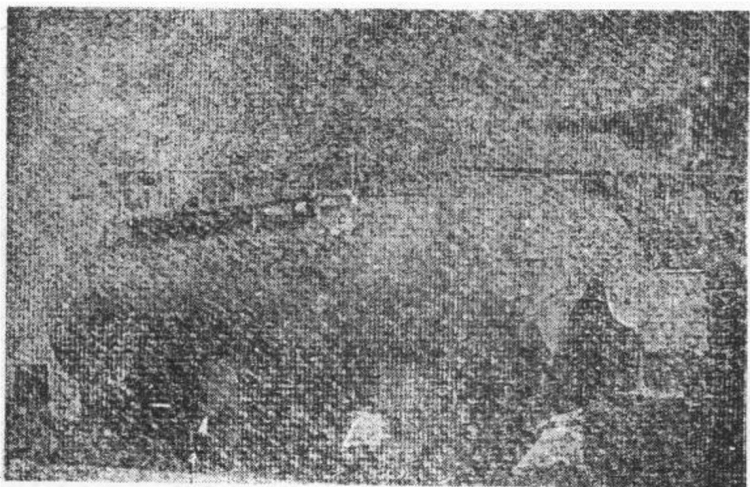


图1-1 卧式蒸汽蓄热器(50m³)

一般采用卧式的蒸汽蓄热器较多，也有立式的，均可安装在室外，通常装在锅炉房的附近。

变压式蒸汽蓄热器在运行时容器内贮有约占总容积60~90%的热水，如图1-2所示，水面以上为蒸汽空间。在供汽锅炉按一定的蒸发量稳定地运行中，如用汽负荷小于锅炉蒸发量时，多余的蒸汽（饱和的或过热的）便经充热蒸汽入口

止回阀、截止阀而进入蒸汽蓄热器中的蒸汽分配总管和支管，最后通过蒸汽喷嘴而向上扩散在水中并凝结为水，同时释放出热量以加热水，这是伴随着相变的混合式热交换过程，也是传热和传质的热力过程。这时，容器内的压力和水温均升高，水位由于流入的蒸汽凝结为水而升高，水的焓值提高到与容器内压力相对应的饱和水焓值，这就是蓄热器的充热过程。

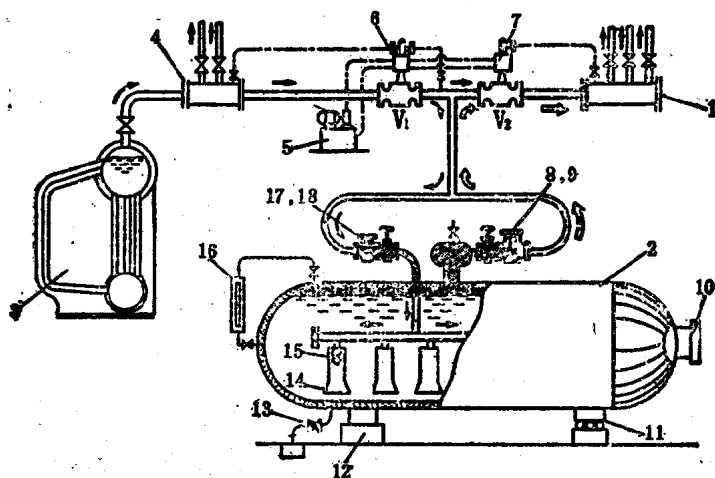


图1-2 卧式蒸汽蓄热器结构及流程图

- 1—低压分汽缸 2—蒸汽蓄热器 3—锅炉 4—高压分汽缸 5—油泵
6,7—自动调节阀 8,9—排汽截止阀、止回阀 10—人孔 11—滚动
支座 12—固定支座 13—排水阀 14—循环筒 15—蒸汽喷头 16—
水位计 17,18—进汽止回阀、截止阀

充热终止时蓄热器内的最高压力(p_1)称为充热压力，即蓄热器变压范围的上限。

蓄热器内的蒸汽分配总管和支管、蒸汽喷头以及循环筒，总称为加热装置。循环筒的作用是当蒸汽通过喷嘴连续喷入

水中时，使筒内的水和汽向上流出筒的上口后扩散，这时因筒内上部汽水混物流出后局部压力下降，使筒下口外的水流入筒内。如此不断循环对流，使容器内上下各部位的水温趋于接近。

当用汽负荷大于锅炉蒸发量时，蒸汽蓄热器的送汽母管中汽压下降，蓄热器内压力大于供汽母管中的压力，于是蓄热器汽空间中的蒸汽立即顶开排汽止回阀而流往送汽母管。同时，器内饱和水的压力立即下降，致水温高于降压后的相应饱和温度而成为过热水，形成剩余热量。过热水就迅速自蒸发，产生饱和蒸汽流出蓄热器送往热用户，补充该时锅炉直接供汽的不足，直到规定的放热压力（最低送汽压力）为止。这时容器内压力和水温下降，水位下降，水的焓值降低，这就是蒸汽蓄热器的放热过程。

放热终止时的最低压力(p_t)称为放热压力，即蓄热器变压范围的下限。

实验表明放热过程中过热水的蒸发从数量上来衡量是以水体的连续沸腾蒸发为主，伴随着水的表面蒸发。

这种蓄热器依靠容器内饱和水（热介质）压力的升降变化，使容器内饱和水的焓值相应地变化，从而蓄存或释放热能（蒸汽），称为变压式（或降压式）蒸汽蓄热器。

变压式蓄热器中的水在经蒸汽充热提高温度和压力以后，只有在当蓄热器内压力下降时才形成过热水而发生自蒸发，所产生的蒸汽为饱和蒸汽，其压力必定低于充热压力。因此过热蒸汽或饱和蒸汽充入变压式蓄热器蓄存以后再释放出的蒸汽存在着压力比原充入蒸汽压力低和过热度消失（如用过热蒸汽充热）的热力损失，亦即能质（焓）有所降低。

（续前页）

三 蒸汽蓄热器在供热系统中的应用原理

图1-3a)表示一台蒸汽蓄热器与供汽锅炉并联的供热系统。在供汽母管上装有自动调节阀 V_1 、 V_2 ，锅炉额定蒸发量为10t/h、压力1.37MPa(14kgf/cm²)。当低压热用户的用汽量为10t/h、压力0.29MPa(3kgf/cm²)时，锅炉供汽量与热用户用汽量基本平衡，在蒸汽蓄热器内蒸汽无进出。

图1-3b)表示用汽量下降到5t/h，因锅炉仍按10t/h蒸发量运行，多余约5t/h蒸汽便流入蒸汽蓄热器蓄存。

图1-3c)表示用汽量增加到15t/h，单由锅炉供汽已不够，供汽母管中压力下降，于是蒸汽蓄热器内的高压热水迅速蒸发，输出蒸汽以补充锅炉供汽的不足。

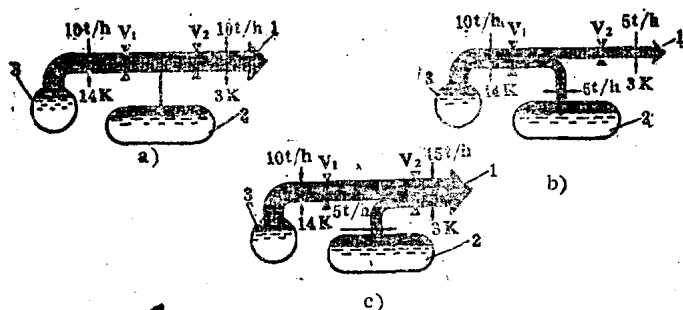


图1-3 蒸汽蓄热器的应用原理图

1—热用户 2—蒸汽蓄热器 3—锅炉

a) 锅炉所产蒸汽全部供给热用户，蒸汽蓄热器内蒸汽无进出

b) 热用户用汽量减少，多余蒸汽蓄入蒸汽蓄热器

c) 热用户用汽量增多，单由锅炉供汽不够，由蒸汽蓄热器输出蒸汽以补不足

在上述图1-3b)、c)中，蒸汽蓄热器发挥了在供热过程中的调节作用，消除了用汽负荷波动对锅炉运行的各种不利影

响，使锅炉能在稳定的负荷下运行，同时保持供汽压力稳定，有利于生产工艺的顺利进行。

图1-4a)、b)中为有高压(1.37MPa)和低压(0.29MPa)两种用汽压力的波动用汽负荷的供热系统。在图1-4a)中锅炉按10t/h蒸发量稳定运行，当高压用汽量增至5t/h、低压用汽量增至10t/h时，单由锅炉供低压用汽不够，于是由蒸汽蓄热器将蓄存的蒸汽补充供给低压用户，以满足其用汽量。在图1-4b)中高压、低压用汽量分别降到2t/h、5t/h，多余蒸汽约3t/h便流入蒸汽蓄热器蓄存备用。

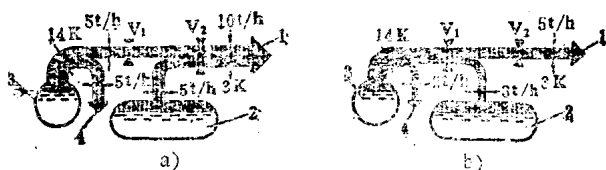


图1-4 蒸汽蓄热器的应用原理图

1—低压用户 2—蒸汽蓄热器 3—锅炉 4—高压用户

图1-5为工厂中热电合产的自备火力发电站热力系统中装设蒸汽蓄热器的示意图。其中低压蒸汽负荷是波动的，当低压用汽量大于背压式汽轮机的排汽量时，就由蒸汽蓄热器补充供汽，这样就可使锅炉负荷和发电机组的发电量保持稳定，避免发生波动。

图1-6表示一台小容量的锅炉配用容量较大的蒸汽蓄热

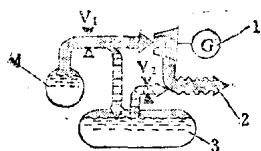


图1-5 蒸汽蓄热器的应用原理图

1—背压式汽轮发电机组 2—低压用户 3—蒸汽蓄热器 4—锅炉

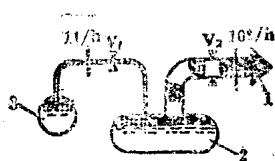


图1-6 蒸汽蓄热器的应用原理图

1—低压用户 2—蒸汽蓄热器 3—锅炉

器后可供汽给一次性瞬时耗汽量极大的用户或间断用汽的耗汽量较多的用户。图中示出一台1t/h小锅炉配用了蒸汽蓄热器后可供间断耗汽量达10t/h的用户。由于应用了蒸汽蓄热器，可使供汽锅炉容量大为减小。

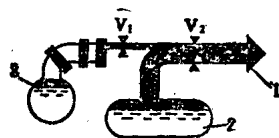


图1-7 蒸汽蓄热器的应用原理图

1—低压用户 2—蒸汽蓄热器 3—废热锅炉

图1-7所示的废热锅炉只能间歇地产生蒸汽。为使能连续供汽给热用户起见，装用蒸汽蓄热器以汇集间歇地产生的蒸汽，使间断供汽的汽源变为连续供汽的汽源。

以上列举了蒸汽蓄热器的几种典型的应用^{〔11〕}。

四 蒸汽蓄热器的适用技术条件和领域

蒸汽蓄热器在供热系统中主要用于调节在一定的用汽周期内供汽量和耗汽量之间的不平衡。目前主要用于下列四种情况。

1. 应用于用汽负荷波动较大的供热系统

在工厂等用汽负荷波动较大的供热系统中设置蒸汽蓄热器的主要目的是平衡对波动负荷的供汽，从而稳定供汽锅炉的燃烧工况、供汽压力和供汽品质，提高锅炉运行热效率，节约燃料。

按不同行业来分，适合装用蓄热器的有制浆造纸厂、化学纤维(浆粕)厂、纺织印染厂、制糖厂、橡胶制品厂、酿酒厂、乳品厂、油脂厂、食品厂、化工原料厂、塑料厂、日用化学制品厂、人造板厂、城市煤气厂、中小氮肥厂、机械制造厂等。在这类工厂的生产过程中，用汽负荷都有较大幅度的波动。

又有不同周期的频繁性，并且大多数为昼夜连续生产。应用蒸汽蓄热器以后，可使锅炉在一定的蒸发量下稳定运行，不仅使锅炉达到较好的运行热效率，而且因供汽压力稳定，保证蒸汽干度，使生产工艺顺利进行，产品的质量有保证，产量有增长。

在有背压式或抽汽式汽轮发电机组的情况下，如汽轮机前后的用汽负荷有较大波动时，就影响到发电量的稳定。若要求发电量不变，可装设蒸汽蓄热器。装设蒸汽蓄热器后，被调负荷由蓄热器调节，可保持汽轮发电机组发电量稳定，又能避免有时因用不完汽轮机的排汽而放空的热损失。

2. 应用于瞬时耗汽量极大的供热系统

对瞬时耗汽量极大的供汽，如果采用容量不大的锅炉配以足够容量的蒸汽蓄热器蓄存大量蒸汽，就可节省初次投资，保证供汽。

瞬时耗气量极大的场合如下：

炼钢车间在钢液真空脱气处理工艺中，现在一般采用蒸汽喷射泵抽气以获得真空。这些蒸汽喷射泵在极短的时间内耗用大量蒸汽。

在近代空间技术的实验中，需在地面上体积很大的实验室里模拟高空的真空环境以供设备作试验，现在一般采用蒸汽喷射泵抽气以获得真空环境。该蒸汽喷射泵也在极短时间内耗用大量蒸汽。

在航空母舰上有飞机起飞时用的蒸汽弹射器，也在短时间内耗用大量蒸汽。

3. 应用于汽源间断供汽的或流量波动的供热系统

在汽源供汽不连续或流量波动大的供热系统，装用蒸汽蓄热器后可以使汽源转变为能连续供汽的汽源。例如在转炉

炼钢生产中，余热随着工艺过程间歇地产生，因此汽化冷却装置间歇地产生蒸汽。为使这些蒸汽的用户能连续地使用，可装设蒸汽蓄热器汇集间歇产生的蒸汽，连续供汽给用户。

在城市垃圾焚化炉中，由于废物的发热量差异很大，所产蒸汽量有波动，为保证供汽量稳定，可装用蒸汽蓄热器汇集后供出。

在太阳能发电站中，考虑到白天可能发生阴雨或云层遮挡阳光，因而不能产生蒸汽驱动汽轮发电机组发电，为此须有短时间的备用汽源以继续供汽给汽轮机。日本第一座1000kW太阳能电站中装有可供汽轮发电机组运行三小时用汽量的蒸汽蓄热器。在美国则有供汽轮发电机组运行六小时用汽量的蓄热器。

在核电站中，保持额定功率运行，才能充分发挥核电在经济上的优越性。因核反应堆在运行中如功率发生变动就将失去经济性和合理性，所以为了平衡外界用电负荷的波动，一般装用蒸汽蓄热器。

4. 应用于需要蓄存蒸汽供随时需用的场合

蒸汽蓄热器可作为一种在任何时候在它的容量限度内储存或供应任意数量蒸汽的热力设备。它可以对热用户遇到正常供汽中断时供紧急用汽，或者相反，它可以随时把暂时用不完的多余的蒸汽储存起来。

例如在火力发电厂中，在遇到事故时须立即紧急起动备用汽轮发电机组。但即使是快速起动的电站锅炉，从紧急起动达到满负荷供汽也须十五分钟。如装用蒸汽蓄热器蓄存定量蒸汽后，即可随时紧急供汽给汽轮发电机组运行，直到紧急起动的锅炉能满负荷供汽。这样可使输电网络电压不致下降。