

第四章 汽轮机旁路系统

编写单位 上海发电设备成套设计研究所
编写人 宋汉武
主 审 周锡生

常用符号表

K_1 ——高压旁路或整体旁路的容量(%)	G_2 ——低压旁路的减温水量(t/h)
K_2 ——低压旁路的容量(%)	p ——蒸汽压力(MPa)
D ——锅炉最大连续蒸发量(t/h)	v ——蒸汽比体积(m^3/kg)
D_{p1} ——额定参数下高压旁路或整体旁路的最大流量(t/h)	F ——旁路阀的通流截面(m^2)
D_{p2} ——额定参数下低压旁路的最大流量(t/h)	μ ——阀门收缩系数
G_1 ——高压旁路或整体旁路的减温水量(t/h)	ξ ——阀门流量系数

第一节 概 论

一、定义^[1]

汽轮机旁路系统是指与汽轮机并联的蒸汽减温减压系统,一般由减温减压装置、管道、控制机构和其他阀门组成。其作用是将锅炉产生的蒸汽不经过汽轮机而引至下一级压力的蒸汽管道或凝汽器。蒸汽旁通整台汽轮机、直接引入凝汽器的称为整体旁路;蒸汽旁通汽轮机高压缸、引入下一级压力蒸汽管道的称为高压旁路;蒸汽旁通汽轮机中、低压缸、引入凝汽器的称为低压旁路。

在机组上使用时,3种旁路系统可以有不同的组合形式。只采用整体旁路的称为1级大旁路系统;采用高压和低压旁路的称为2级串联旁路系统;同时采用整体、高压和低压旁路的称为3级旁路系统。

二、发展历史和现状

汽轮机旁路系统是随着火力发电机组的发展而产生和发展的。低、中压火力发电机组的设备简单、启动和停运容易,因此不设旁路系统。高压机组,为了回收锅炉起、停时的汽水,常设置通流能力较小的简易旁路系统。蒸汽从汽轮机电动主汽阀前引出,经过减温减压装置,引入凝汽器。其作用是:汽轮机冲转前将锅炉产生的多余蒸汽,经减温减压后送入凝汽器;停机时汽轮机主汽阀关闭后,将锅炉余热所产生的蒸汽通过该系统回收。这种系统仅在机组启动和

停运时投用,因此减温减压装置不设快速执行机构。

随着单元制再热机组的出现,这类机组上旁路系统已成为常用的装置,它除了回收汽水外还起到保护再热器的作用。我国和一些欧洲国家的再热机组上普遍设有容量不等的汽轮机旁路系统,其中瑞士苏尔寿公司在发展旁路系统上最为突出。

电网对机组的运行方式提出了多种要求,例如要求热态启动(两班制运行、早晚起停)、停机不停炉、带厂用电运行等,于是旁路系统的型式就逐渐增多,其容量也不断增大,最大的旁路通流能力已等于锅炉的额定出力,即所谓100%容量。此类旁路系统在德国应用较广,而且规定,凡装有100%容量旁路系统、并具有自动快速开启能力的机组,锅炉上可以不设安全阀,以旁路系统代替。从而更促进了旁路系统的发展。

在欧洲广泛应用旁路系统的同时,美国的机组上则很少装设旁路系统。原因是美国机组的运行方式与欧洲有所不同,美国多采用停机必停炉。为了满足冷态启动,美国的一些机组上常采用一种简易旁路系统,容量约为锅炉额定负荷的5%。蒸汽从过热器中间段引出,减温减压后进入凝汽器。然而,随着电网调峰负荷的增加,美国也引进了欧洲技术,在一些调峰机组上装设大容量的旁路系统。

第二节 基本原理和功能

一、基本原理

蒸汽在汽轮机旁路系统中的减温减压原理可以理解为两个独立的过程,即等焓节流减压过程和喷水减温过程。在实际机组上,这两个过程可以同时进行,在节流减压过程中同时喷入减温水减温;也可以先后分别进行,先减压、后减温,或先减压、后减温、再减压。这两个过程可以用蒸汽的热力过程来说明,见图4-4-1。

图4-4-1是2级串联旁路系统中蒸汽的热力过程,其中曲线1-3-4-8表示机组正常运行时蒸汽的热力过程。主蒸汽在汽轮机高压缸中膨胀做功,热力工况从1变化到3;然后在锅炉再热器中再从3加热到4;在中、低压缸中蒸汽又从4膨胀做功到8。曲线1-2-3-4-5-6-7-8表示蒸汽在旁路系统中的热力

变化过程。在高压旁路中,蒸汽经过减压阀时进行等焓节流,压力从1降到2;然后喷入减温水降温,温度从2降到3;在中、低压旁路中,再热器来的蒸汽又在减压阀中进行等焓节流,其压力从4降到5;然后在减温器中喷水减温,汽温从5降到6;经过旁路系统的蒸汽引入凝汽器的喉部,其中对蒸汽节流扩容,压力从6下降到7,接着喷入凝结水,使其温度从7降到8。

高压旁路系统中,减压和减温常在同一阀体内进行,因此等焓节流减压过程和喷水减温过程是在同一阀内进行。有关减温减压阀的结构参见本卷第十七章电站阀门。

低压旁路系统中,减温减压常不在同一阀体内进行,而是采用先减压、后减温。减压调节阀前需设

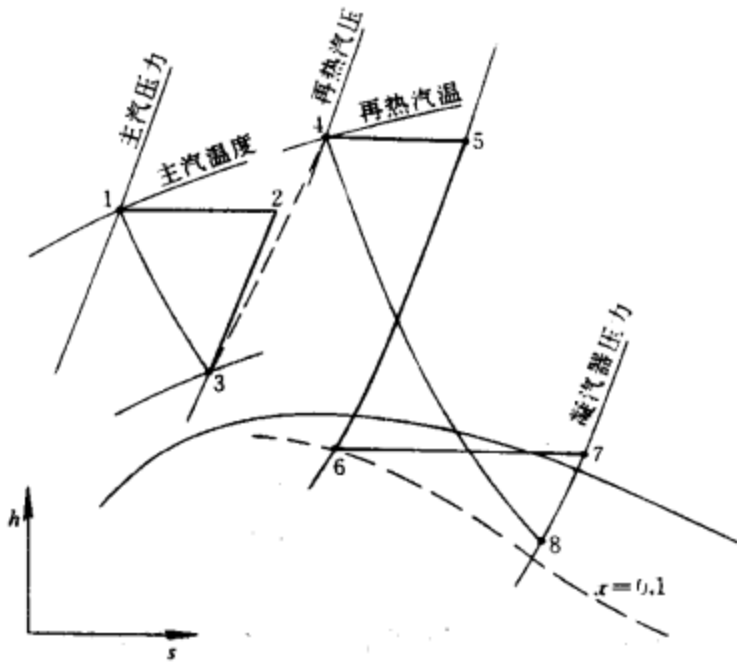


图 4-4-1 蒸汽在旁路系统中的热力过程

置快速关闭阀,或本身具有快关功能,当凝汽器发生故障时,可以迅速切断旁路蒸汽的进入。减压阀后没有独立的减温器,用凝结水或给水泵中间级抽水进行喷水减温;某些设计中减压阀后不设独立的减温器,而是将其移至冷凝器喉部,与该处原有的喷水减

温设备合并,组成专用的内置式冷却器,一次完成减温任务。

设有独立减温器的系统中,蒸汽进入凝汽器前一般减压到 0.5~0.8MPa,温度降到接近该压力下的饱和温度。进入凝汽器喉部后再进行一次减压减温。

二、功能

机组上设置汽轮机旁路系统,其主要功能如下:

(一) 调节工况

旁路系统在下列工况中用来调节锅炉与汽轮机之间的工况:

(1) 在机组冷、热态启动和停运时,锅炉产生的蒸汽量与汽轮机的要求不相一致时,由旁路系统进行调节,使其相匹配;

(2) 在机组冷、热态启动初期,锅炉给出的蒸汽参数尚未达到汽轮机冲转的要求时,这部分蒸汽可由旁路系统排出;

(3) 电网短期事故时,要求汽轮机空转或带厂用电运行,锅炉受到最低负荷的限制,其多余的蒸汽通过旁路系统排出。

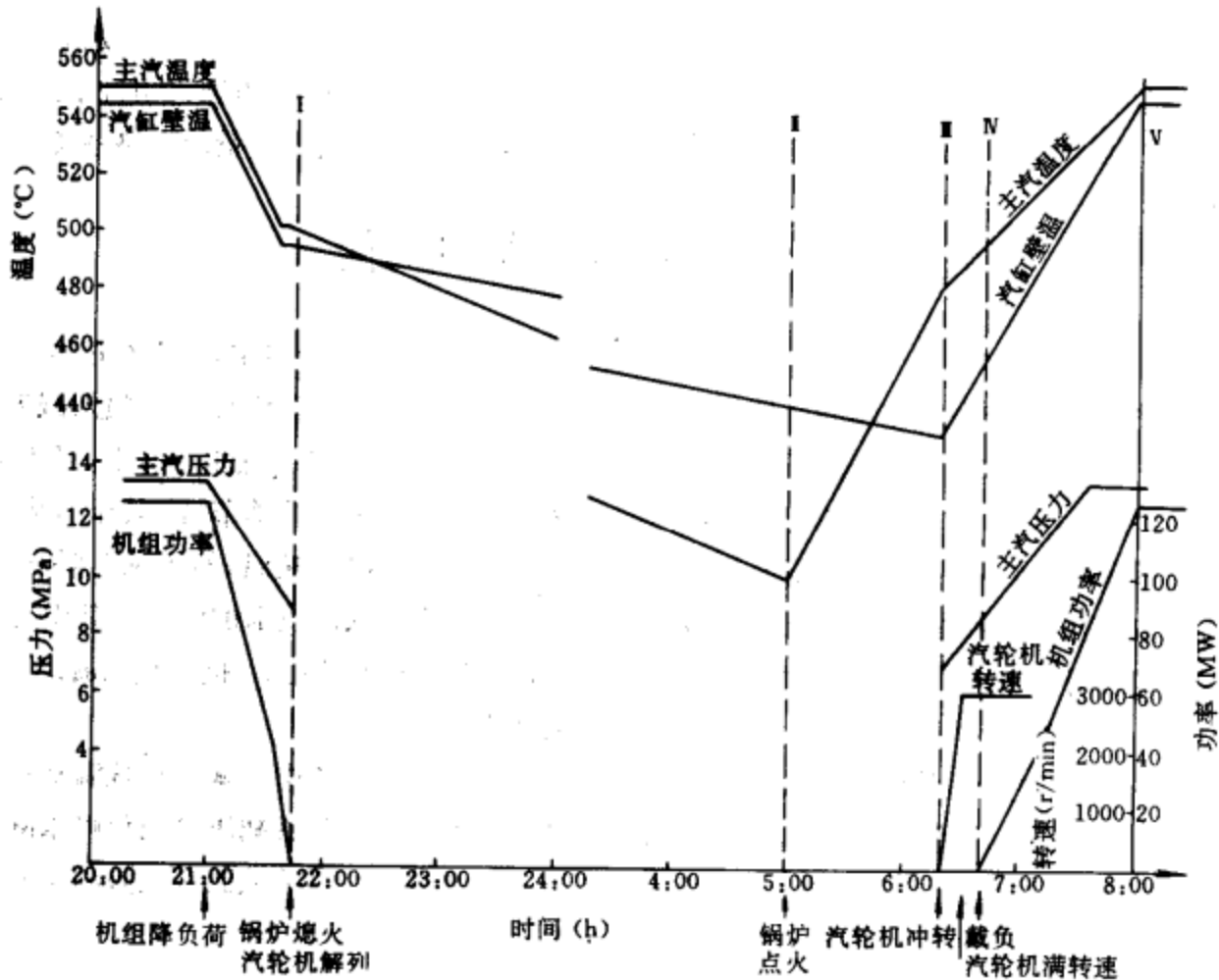


图 4-4-2 两班制运行机组的起、停曲线

(二) 安全保护

旁路系统在下列工况中对机组起到保护作用:

(1) 锅炉点火至汽轮机冲转前和停机不停炉的工况下, 通过高压旁路向再热器供汽, 以冷却再热器。

(2) 机组甩负荷时, 锅炉反应延迟, 通过旁路向再热器通汽, 防止再热器超温。锅炉紧急停炉时, 通过旁路系统排出剩余蒸汽, 防止锅炉超压和安全阀动作。

(3) 设有 100% 容量旁路系统的机组上, 在锅炉超压和机组甩负荷时, 旁路系统起到安全阀的作用。

(4) 机组滑压运行时, 旁路系统可配合汽轮机实行压力跟踪。

(三) 回收汽水

在机组启动、停运、事故甩负荷、停机不停炉等工况中, 工质可以通过旁路系统排入凝汽器, 不必向空排汽, 从而回收工质, 减少汽水损失。

上述 3 大功能在调峰机组上的作用更为明显。实行两班制运行的调峰机组上, 其起、停曲线如图 4-4-2。机组前夜停运后, 锅炉出口汽温下降, 而汽缸壁温下降缓慢, 出现如图中 I → II 的过程。凌晨锅炉点火, 出口汽温回升, 一般超过汽缸壁温后汽机才可冲转, 即 II → III 的过程。在无旁路的机组上, 由于再热器得不到可靠冷却, 限制了锅炉燃烧率的增长。从而使锅炉出口汽温上升缓慢, 迟迟未能高出汽缸壁温, 拖延了启动时间。而具有适当旁路系统的机组上, 使锅炉和汽轮机可以独立地升负荷, 锅炉可采用较大的燃烧率增长速度, 短时期内产生大量蒸汽, 并达到较高的出口汽温。在这过程中, 再热器的冷却始终得到保证, 汽轮机多余的蒸汽由旁路系统回收, 过热器和再热器的压力可维持在需要的水平上。因此整个启动过程中, 由于旁路系统具有这些功能, 使锅炉和汽轮机得到充分协调, 整个启动时间缩短, 尤其是从锅炉点火到汽轮机冲转的时间(即 I → III)大为缩短。

第三节 系统选型

一、常用型式^[2]

不同类型的机组、不同的运行方式要求有不同型式的旁路系统。因此, 在选用旁路系统时, 应根据机组种类、要求的运行方式等因素, 从系统的灵活性、机构的可靠性、操作的简便性和设备的经济性综合来考虑。常用的旁路系统有 1 级大旁路系统、2 级串联旁路系统和 3 级旁路系统。对于一些特殊要求的机组也可采用其他型式的旁路系统。

(一) 1 级大旁路系统

1 级大旁路系统就是蒸汽整体旁通汽轮机的系统。蒸汽从汽轮机电动主汽阀前引出, 经过减温减压装置, 然后引入凝汽器喉部。其系统如图 4-4-3 所

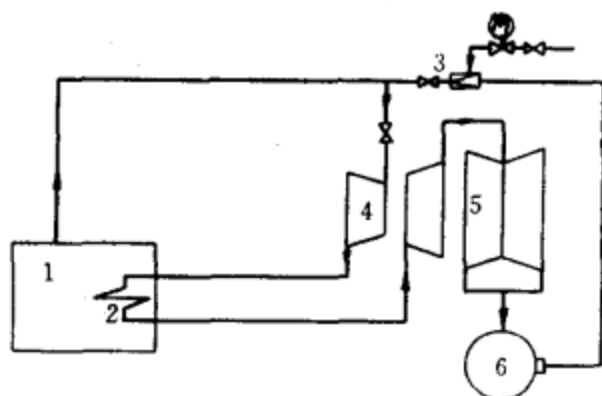


图 4-4-3 1 级大旁路系统

1—锅炉 2—再热器 3—减温减压装置
4—高压缸 5—中、低压缸 6—凝汽器

示。该系统上一般配有快速执行机构, 以便机组事故时可以快速开启。

1 级大旁路的优点是系统简单, 操作方便, 基建投资低, 其值约为 2 级串联旁路系统投资的 50%。启动时可调节过热蒸汽参数, 也可加热主蒸汽管道。其缺点是机组启动和事故等工况时再热器没有蒸汽冷却保护。启动时再热蒸汽管道中无蒸汽暖管, 再热蒸汽温度也较难达到热态启动的要求, 这对高、中压合缸的机组尤为突出。

1 级大旁路系统适用于非再热机组, 也适用于再热器布置在低烟温区、启动和停运等工况中不需要蒸汽冷却、热态启动时汽轮机中压缸进汽参数无严格要求的再热机组上。对于某些再热器布置在高烟温区的调峰机组, 不能采用该旁路系统。

(二) 2 级串联旁路系统

2 级串联旁路系统由高压旁路和低压旁路串联布置组成, 如图 4-4-4。蒸汽从电动主汽阀前引出, 首先经过高压旁路, 其压力和温度降到汽轮机高压缸排汽参数, 再进入再热器。然后, 再热后的蒸汽经过低压旁路, 进一步降低其参数, 最后引入凝汽器喉部。

2 级串联旁路系统的优点是各种工况下再热器

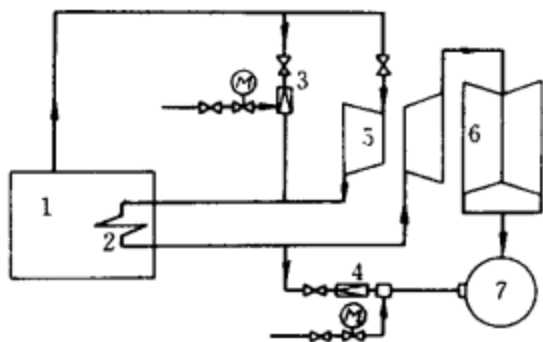


图 4-4-4 2级串联旁路系统

- 1—锅炉 2—再热器 3—高压旁路减温减压装置
4—中、低压旁路减温减压装置 5—高压缸
6—中、低压缸 7—凝汽器

均能得到保护，即使再热器布置在高烟温区域也是安全的；在机组启动时既可加热主蒸汽管道，也可加热再热蒸汽管道；热态启动时可调节再热蒸汽温度，以满足中压缸的温度工况；对于各种运行工况均可满足要求。但是该系统较1级大旁路系统复杂，基建投资也相应增大。

2级串联旁路系统适用性广，既适用于基本负荷机组，也适用于调峰负荷机组，还适用于高、中压缸同时冲转或中压缸冲转的机组。我国125、200、300、600MW机组上广泛采用该系统。

(三) 3级旁路系统

3级旁路系统是由1级大旁路和2级串联旁路系统所组成，也就是在1台机组上同时采用上述2种型式的旁路系统，如图4-4-5所示。蒸汽在主汽阀前分2路引出，一路经1级大旁路直接引至凝汽器喉部；另一路经2级串联旁路，最终也引至凝汽器喉部。

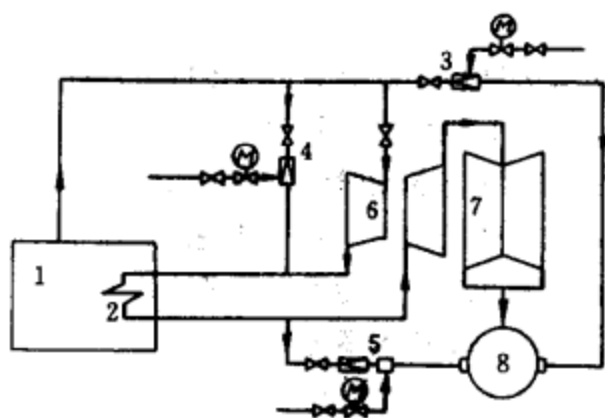


图 4-4-5 3级旁路系统

- 1—锅炉 2—再热器 3—整体旁路减温减压装置
4—高压旁路减温减压装置
5—中、低压旁路减温减压装置
6—高压缸 7—中、低压缸
8—凝汽器

3级旁路系统的优点是功能齐全，具备了上述两种系统的所有功能。但是，由于设备增多，不但投资增大，而且操作复杂。这种系统能适用于各类机组，也能满足各种运行工况。但是运行实践证明，在大多数机组上采用这样复杂的系统是不必要的。在再热机组发展初期，一些机组上曾采用过该系统，而目前已较少采用。

(四) 其他旁路系统

除了上述三种系统外，为适应某些机组的特殊需要，还可能有如下型式的旁路系统。

1. 1级大旁路加辅助高压旁路和再热器出口向空排汽系统

如图4-4-6。1级大旁路设有快速减温减压装置，在机组启动时用来调节蒸汽参数，机组甩负荷时可以迅速开启。辅助高压旁路的目的是在启动时向再热器供少量蒸汽，保护再热器，并加热再热蒸汽管道，有时也可向高压缸倒汽暖机（在高压缸排汽口无止回阀时）。向空排汽设在再热器出口或中压缸自动主汽阀前，其作用是当机组甩负荷时排空再热器内积汽，防止机组超速。这种系统不能回收全部工质，操作也较复杂，仅在基本负荷机组上应用。

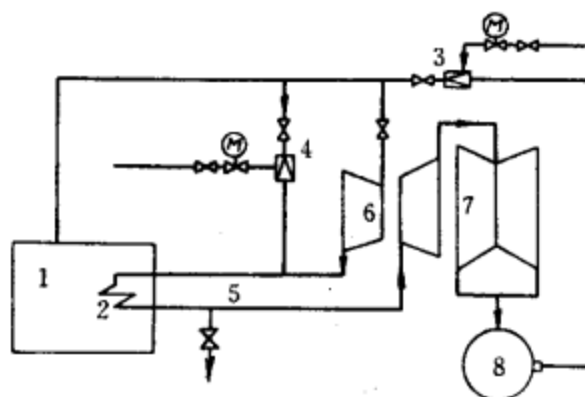


图 4-4-6 1级大旁路加辅助高压旁路和向空排汽

- 1—锅炉 2—再热器 3—整体旁路减温减压装置
4—高压旁路减温减压装置 5—向空排汽
6—高压缸 7—中、低压缸 8—凝汽器

2. 高压旁路加再热器向空排汽

蒸汽经高压旁路和再热器后向空排出。这种系统的功能是保护再热器，而汽水无法回收。因此常用于很少起停、工况稳定的基本负荷机组上。这种机组上旁路系统很少投用，因此偶而的汽水损失是允许的。

3. 简易旁路系统

蒸汽从电动主汽阀前引出，经减温减压后引至凝汽器。减温减压装置无快速执行机构，因此只能在

机组启动时使用。这种系统常用于非再热机组上,也可用于承担基本负荷的再热机组上。

另一种简易旁路系统为:蒸汽从过热器中段引出,旁通部分过热器和整台汽轮机,减温减压后送至凝汽器,所以又称过热器旁路。这种系统只适用于机组冷态启动。

二、选型原则

选择旁路系统时应考虑机组在电网中承担的任务、运行方式、事故处理方式和再热器的布置位置等因素,按下列原则选用。

(1) 按机组在电网中承担的任务和运行方式选用

1) 基本负荷机组负荷稳定,起停次数少,一般可选用系统简单的旁路系统,如简易旁路系统、1级大旁路系统;也可不设置旁路系统。

2) 调峰机组负荷变化较大,起停频繁,尤其是两班制运行的机组,每天需要热态启动,应选用起、停损失小,便于调节的旁路系统,如两级串联旁路系统。

(2) 按再热器在炉内的布置位置选用

1) 再热器布置在低烟温区,额定负荷下再热器进口的设计烟温低于 860°C 。此时,只要再热器有合适的钢材和必要的保护装置,机组启动和甩负荷时再热器就不需要蒸汽冷却,可选用系统简单、旁路蒸汽不经过再热器的旁路系统,如1级大旁路系统。

2) 再热器布置在高烟温区,尤其是布置辐射再热器时,机组启动和甩负荷时需要蒸汽冷却,应选用旁路蒸汽流经再热器的旁路系统,例如2级串联旁路。其容量应等于或大于再热器冷却所需要的最小蒸汽流量。

(3) 按机组事故的处理方式选用

1) 当电网发生紧急事故,机组要甩负荷时,要求停机不停炉、汽轮机空转或带厂用电运行,则应选用汽水能回收,又能保护锅炉等各部件的旁路系统。

2) 电网紧急事故时锅炉可快速减少燃料,或停机必停炉的机组,则可选用简易旁路系统或不设旁路系统。

三、我国火电机组上的旁路系统

我国50、100MW的高压机组上均无蒸汽再热系统,因此这些机组上仅设启动用的简易旁路。超高压或更高压力的机组上已采用蒸汽再热系统,在这些机组上均设有汽轮机旁路系统,而其型式不尽一

致。目前各机组上采用的旁路系统有下列几种。

(一) 125MW 机组的旁路系统

125MW 机组上均采用2级串联旁路系统。其中高压旁路仅为1路,设置1只通流量为 120t/h 的减温减压阀,进出口压力为 $13.2/2.55\text{MPa}$,进、出口温度为 $550/330^{\circ}\text{C}$;而低压旁路分为并联的2路,每路设有通流量为 93.5t/h 的减压阀1只和减温器1只。总通流量达到 187t/h ,减压阀的进、出口压力为 $2.29/0.59\text{MPa}$,减温器进、出口温度为 $550/160^{\circ}\text{C}$ 。第1台125MW 机组(安装在上海吴泾热电厂)上的旁路系统示于图4-4-7。

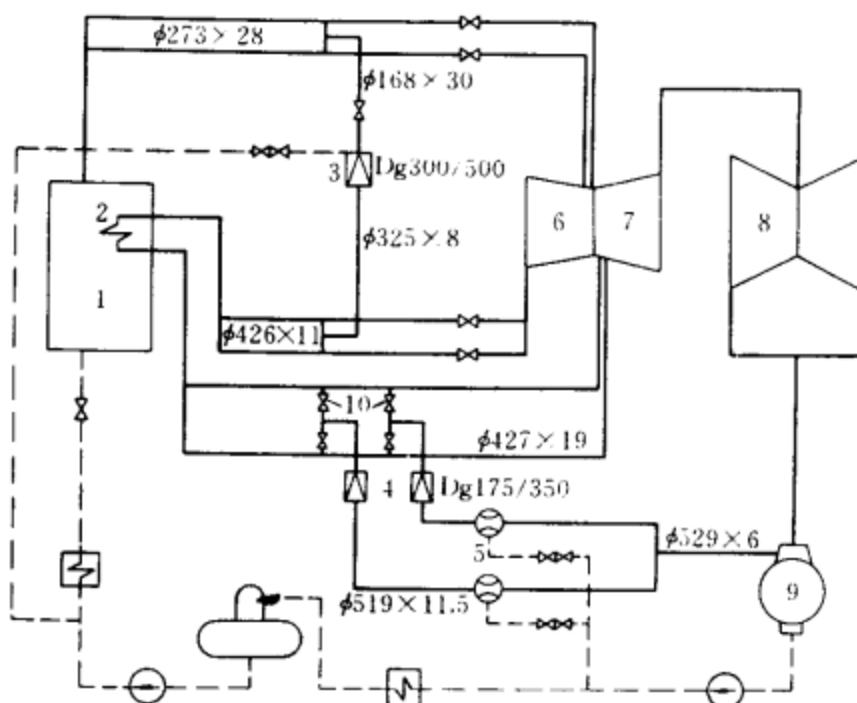


图4-4-7 我国首台125MW 机组上的旁路系统
1—锅炉 2—再热器 3—高压旁路减温减压装置
4—中、低旁路减压阀 5—减温器 6—高压缸
7—中压缸 8—低压缸 9—凝汽器

该系统中高压旁路和低压旁路的容量是不相匹配的,低压旁路容量偏大。后期建造的某些125MW 机组上仅设置了一路低压旁路,其容量却又偏小。

高压旁路的减温减压过程是在同一阀体内完成的,而中、低旁路的减温减压是分别进行的,蒸汽先在减压阀中节流减压,然后在减温器中喷水减温。

从图4-4-7中可见,该系统中旁路减压阀前设置了截止阀,其目的是旁路故障时起到隔绝作用。正常运行时该截止阀应处于全开启状态,使旁路系统投入热备用。假如旁路系统中的各设备均属可靠,那么该截止阀是可以省去的。

该系统目前可满足机组冷态和汽缸壁温低于 400°C 的半热态启动。若机组需经常热态启动,该系

统的容量尚嫌小。解决的办法是增大旁路系统的容量或提高汽轮机的冲转压力，即使旁路系统入口的蒸汽压力提高，同样达到增加通流量的目的。

(二) 200MW 机组的旁路系统

200MW 机组上采用的旁路系统型式较多。我国首台 200MW 机组上(朝阳电厂 1 号机)设有 3 级

旁路系统，其设备配置情况示于图 4-4-8。其设计意图是要使该系统能满足机组的各种运行工况。

大旁路的通流量为 240t/h，进、出口压力为 13.7/0.49MPa，进、出口温度为 540/160℃，采用电动慢速执行机构。高压旁路的通流量为 60t/h，进、出口压力为 13.7/(2.7~0.95)MPa，进、出口

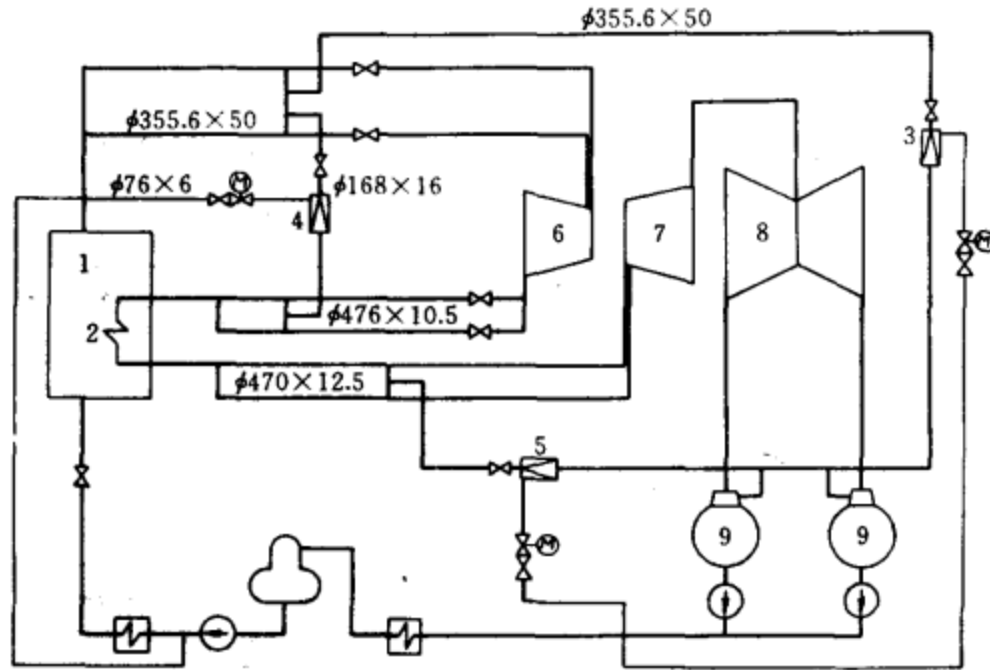


图 4-4-8 200MW 机组上的 3 级旁路系统

- 1—锅炉 2—再热器 3—1 级大旁路减温减压装置
- 4—高压旁路减温减压装置 5—中、低压旁路减温减压装置
- 6—高压缸 7—中压缸 8—低压缸 9—凝汽器

温度为 540/363℃；低压旁路的通流量为 70t/h，进、出口压力为 (2.50~0.85)/0.49MPa，进、出口温度为 540/160℃。高压和低压旁路均采用液动快速执行机构，机组甩负荷时可快速开启，以保护再热器。

为了简化系统，200MW 机组也有采用 1 级大旁路系统，如朝阳电厂 2 号机，其进、出口压力为 13.7/0.49MPa，进、出口温度为 540/160℃。这种机组的起、停过程中再热器中无蒸汽冷却保护，因此需布置在低烟温区域。

较多的 200MW 机组上采用 2 级串联旁路系统，如辛店、青山、新华、焦作、徐州、京西等电厂。其中高压旁路将主蒸汽的参数减温减压到高压缸排汽的参数，然后由低压旁路将蒸汽从再热器出口参数降到凝汽器允许排入的参数。图 4-4-9 是徐州电厂两级串联旁路系统图。

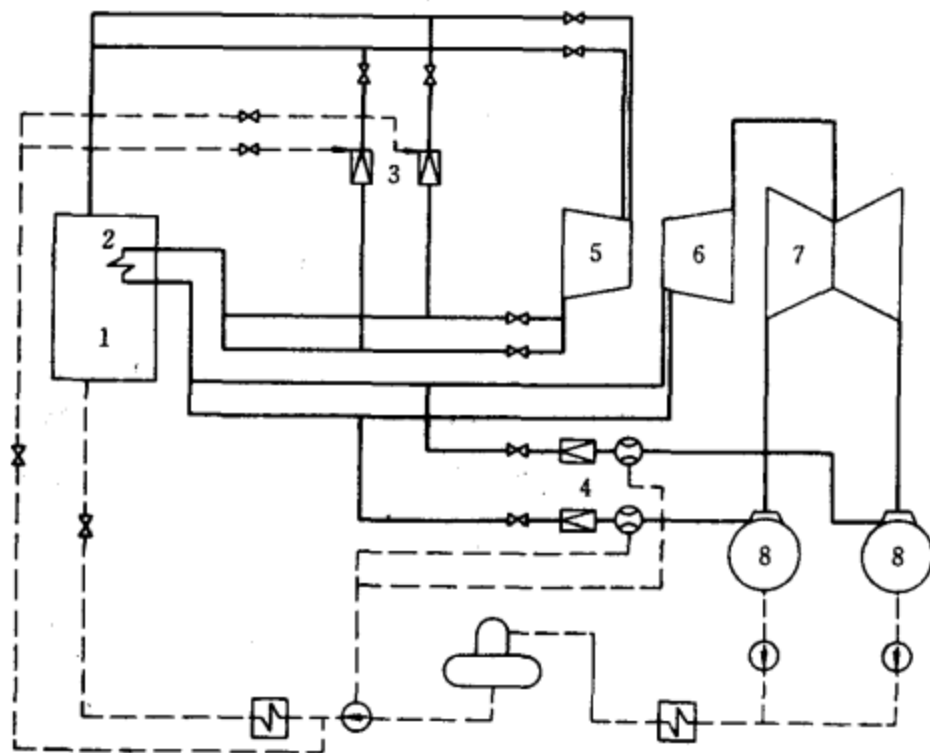


图 4-4-9 200MW 机组的两级串联旁路系统

- 1—锅炉 2—再热器 3—高压旁路减温减压装置
- 4—低压旁路减温减压装置 5—高压缸
- 6—中压缸 7—低压缸 8—凝汽器

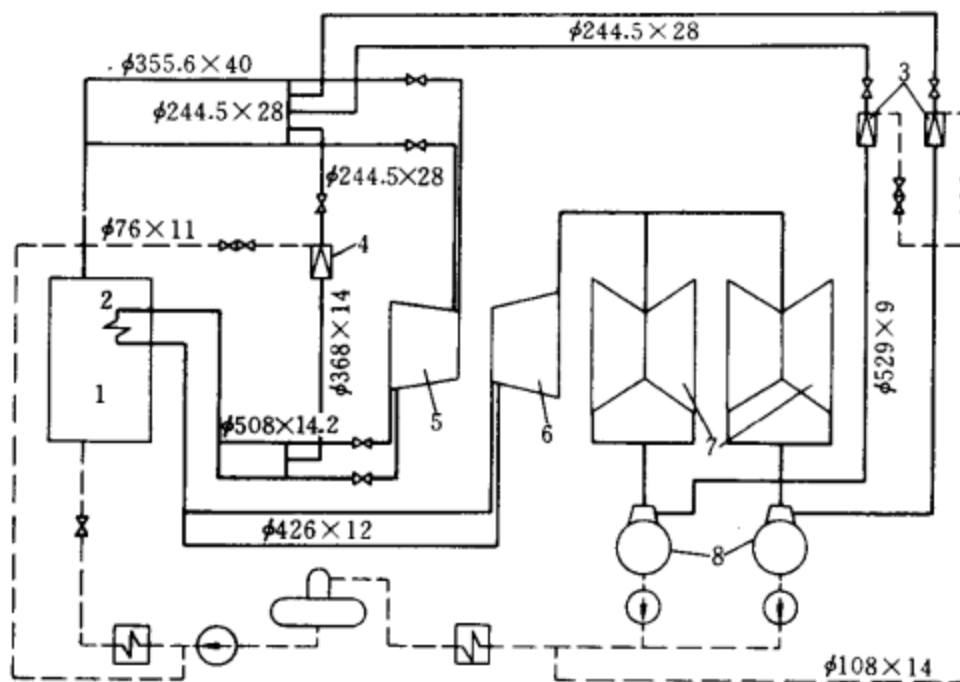


图 4-4-10 300MW 机组上的

1 级大旁路加辅助高压旁路系统

1—锅炉 2—再热器 3—1 级大旁路减温减压装置

4—高压旁路减温减压装置 5—高压缸

6—中压缸 7—低压缸 8—凝汽器

该系统中高压旁路的进、出口压力为 13.8/2.69MPa，进、出口温度为 540/330℃，通流能力达到 670t/h，等于锅炉的额定出力。执行机构采用快速液动控制。因此，在机组甩负荷时安全阀可以不动作，全部蒸汽通过高压旁路。低压旁路的进、出口压力为 2.5/1.36MPa，进、出口温度为 540/220℃。由于受到凝汽器容量的限制，其通流能力仅为 463.2t/h，其余的蒸汽还必须由中压安全阀排出。这种系统适用于调峰机组。由于该旁路的容量较大，高、低压旁路均设置并联的两路。每只低压旁路阀后又分成三路，然后从两侧进入凝汽器。高压旁路的减温水从给水泵出口的管路上引出，低压旁路的减温水从给水泵中间级抽头引出。

(三) 300MW 和 600MW 机组的旁路系统

300MW 机组上现有 2 种旁路系统。早期的机组上采用 1 级大旁路加辅助高压旁路的系统，如姚孟、望亭、谏壁等电厂，其系统示于图 4-4-10。这种系统中经过高压旁路的蒸汽在再热器后向空排出，造成汽水损失。为此在随后的 300MW 机组上改用了 2 级串联旁路系统，如邹县、石横、石洞口等电厂。

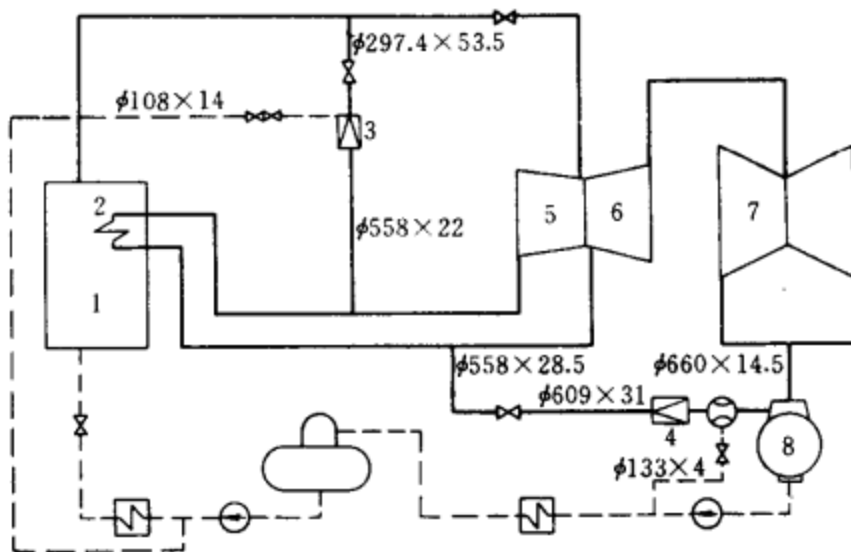


图 4-4-11 300MW 机组上的 2 级串联旁路系统

1—锅炉 2—再热器 3—高压旁路减温减压装置

4—中、低压旁路减温减压装置 5—高压缸

6—中压缸 7—低压缸 8—凝汽器

图 4-4-11 为石洞口电厂 300MW 机组上的旁路系统。

600MW 机组采用与 300MW 机组上相同型式的旁路系统，即 2 级串联旁路系统，只是容量增大了。另外，由于旁路容量增大，低压旁路布置成并联的 2 路，设置 2 只低压旁路阀，单只旁路阀的最大通流量达 463.2t/h。

第四节 系统容量

一、定义

通常所说的汽轮机旁路系统容量常指高压旁路或整体旁路的容量。其定义为：蒸汽在额定参数下通过高压或整体旁路的最大流量与锅炉最大连续蒸发量之比，以百分比表示，即

$$K_1 = \frac{D_{p1}}{D} \times 100(\%) \quad (4-4-1)$$

式中 K_1 ——高压或整体旁路的容量(%)；

D_{p1} ——蒸汽在额定参数下通过高压或整体旁路系统的最大流量，即旁路阀全开时的蒸汽流量(t/h)；

D ——锅炉最大连续蒸发量(t/h)。

需说明的是：式中 D_{p1} 是指旁路系统进口的蒸汽流量。若把减温水量计算在内，那么旁路出口的总流量约达到 $1.2D_{p1}$ 。

低压旁路系统容量的定义为：再热蒸汽在额定参数下通过低压旁路(旁路阀全开时)的最大流量与高压旁路容量为100%时的出口流量之比，以百分比表示，即

$$K_2 = \frac{D_{p2}}{D+G_1} \times 100(\%) \quad (4-4-2)$$

式中 K_2 ——低压旁路的容量(%)；

D_{p2} ——再热蒸汽在额定参数下通过低压旁路系统的最大流量，即旁路阀全开时的蒸汽流量(t/h)；

D ——锅炉额定蒸发量(t/h)；

G_1 ——高压旁路中通过 D 蒸汽量时所需的减温水量(t/h)。

2级串联旁路系统中，高压和中、低压旁路的容量一般是相互匹配的，即中、低压旁路的进口蒸汽流量等于高压旁路的出口流量。但是，在高压旁路容量超过60%时，由于受到凝汽器容量的限制，中、低压旁路的容量就不能与高压旁路容量相匹配。即使高压旁路容量增大到100%，中、低压旁路的最大容量还是限制在60%~70%。

二、容量的确定

对于不同类型的发电机组，应选用不同容量的旁路系统。对于基本负荷机组，旁路系统的容量只要能满足冷态启动就足够了，因此容量较小；对于调峰机组，要求经常热态启动，有时还要求停机不停炉、

带厂用电等运行工况，这就要求有较大容量的旁路系统。

在确定容量时，主要考虑的因素是机组的启动工况和甩全负荷工况。这两种工况中，确定旁路系统容量的原则是：高压旁路的容量应保证锅炉压力无明显变化的情况下全部新蒸汽可以顺利地通过；低压旁路的容量应保证凝汽器系统不受明显扰动的情況下通过全部或部分再热蒸汽。

(一) 高压旁路(包括整体旁路)系统的容量

高压旁路的容量决定于设置旁路系统的目的。一般可按下列情况选取：

(1) 只为了满足机组的冷态启动，旁路系统的容量可选为15%~20%。

(2) 为满足机组的热态启动，并缩短启动时间、减少汽机寿命损耗，旁路系统的容量可选为50%左右；

(3) 若要求机组在甩负荷时高压安全阀不动作，锅炉压力又无明显的变化，旁路阀同时起到安全阀的作用，旁路系统的容量应选为100%。

(4) 为实现停机不停炉的运行工况，旁路系统的容量至少应等于锅炉的最低稳定负荷；

(5) 对于再热器布置在高烟温区、启动和甩负荷过程中均需要蒸汽冷却的机组，其高压旁路的容量应等于或大于再热器冷却所需的蒸汽流量；

(6) 整体旁路时，经过旁路的蒸汽将全部进入凝汽器，此时旁路系统的容量不能超过凝汽器的最大容量。若凝汽器和凝结水泵的容量仅按汽轮机满负荷设计，未考虑旁路的流量，则旁路容量不能大于60%。否则旁路出口的流量已超过凝汽器的容量。

高压旁路的容量也可按各种运行工况时锅炉出口蒸汽量和压力，用计算或图解方法确定，方法如下^[3]。

机组在某一工况下(例如在汽轮机冲转前)锅炉的出口蒸汽量为 D_1 ，参数为 p_1 和 t_1 ，若要求全部蒸汽通过高压旁路，则旁路阀的通流截面为

$$F = \frac{D_1}{\mu \cdot \xi \sqrt{\frac{p_1}{v_1}}} \quad (4-4-3)$$

式中 μ ——阀门的收缩系数；

ξ ——阀门的流量系数。

该旁路阀在额定参数下的流量可达

$$D_{p1} = \mu \xi F \sqrt{\frac{p}{v}} \quad (4-4-4)$$

式中 p 和 v 为锅炉额定负荷时蒸汽的压力和比体积。若将式(4-4-3)代入式(4-4-4)，整理后则得

$$D_{p1} = \sqrt{\frac{p}{p_1} \frac{v_1}{v}} \times D_1$$

也可以写成

$$K_1 = \frac{D_{p1}}{D} = \sqrt{\frac{p}{p_1} \frac{v_1}{v}} \times \frac{D_1}{D} \quad (4-4-5)$$

从而得到需要配备的高压旁路系统容量 K_1 与锅炉负荷、蒸汽参数的关系式。当锅炉在额定参数下运行，即 $p_1 = p$ ， $v_1 = v$ 时，

$$\sqrt{\frac{p}{p_1} \frac{v_1}{v}} = 1$$

则

$$\frac{D_{p1}}{D} = \frac{D_1}{D}$$

这就是说，在额定参数下，要使锅炉某一负荷下的全部蒸汽通过旁路，则旁路的容量等于锅炉的负荷(%)就可以了。又如在起动过程中或在滑压运行的某一工况下，蒸汽参数低于额定参数，即 $p_1 < p$ 、 $v_1 > v$ 时，

$$\sqrt{\frac{p}{p_1} \frac{v_1}{v}} > 1$$

则

$$\frac{D_{p1}}{D} > \frac{D_1}{D}$$

这就是说，在此参数下要使蒸汽量 D_1 通过旁路系统，那么旁路系统的容量应大于此时的锅炉负荷(%)，可按式 4-4-5 计算确定。

例：125MW 机组上，锅炉最大连续蒸发量 $D = 400\text{t/h}$ ，汽轮机主汽阀前的额定参数 $p = 13.2\text{MPa}$ 、 $t = 550^\circ\text{C}$ 、 $v = 0.02629\text{m}^3/\text{kg}$ 。热态起动时蒸汽参数达到 $p_1 = 3.92\text{MPa}$ 、 $t_1 = 450^\circ\text{C}$ 、 $v_1 = 0.08164\text{m}^3/\text{kg}$ 时开始冲转汽轮机，此时的锅炉出力 $D_1 = 53.3\text{t/h}$ 。要使冲转前的全部蒸汽通过旁路系统，那么高压旁路系统的容量应为

$$K_1 = \sqrt{\frac{13.2}{3.92} \times \frac{0.08164}{0.02629}} \times \frac{53.3}{400} = 43\%$$

在设计旁路系统时，为满足上述热态起动的要求，并留有一定余量，其容量可选用 45%~50%。

假定蒸汽温度不变，以额定汽温计，那么由式(4-4-5)可知，在某一压力下高压旁路系统的容量就与锅炉负荷成正比。式(4-4-5)就可在图 4-4-12 上按不同压力作出一组直线，然后根据不同的运行要求在图上确定高压旁路系统的容量。至于汽温不变的假定，是指：在滑压运行时汽温能在较大范围内保持额定值；在起动时虽汽温要低一些，而图中按不变(即较高的汽温)计算，使确定的高压旁路容量有一定的裕量。因此这种假定是合理的。

例：采用上例，汽轮机冲转时的锅炉负荷为 53.3t/h，即 $\frac{53.3}{400} = 13.3\%$ ；蒸汽压力为 3.92MPa，

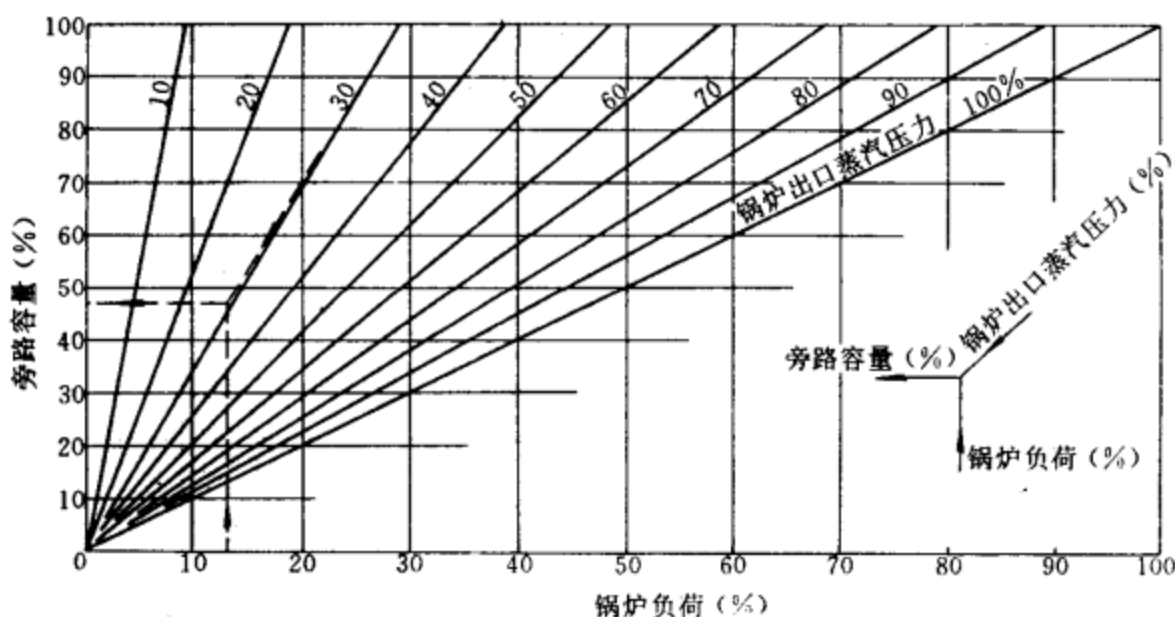


图 4-4-12 高压旁路容量的确定

即 $\frac{3.92}{13.2} = 29.6\%$ 。那么在图 4-4-12 上就可确定出旁路系统的容量 $K = 47\%$ 。比上例的计算值略大，这是因为汽温假定为额定值所致。

(二) 低压旁路的容量

低压旁路容量的选择决定于高压旁路的容量和整个旁路系统的经济评价，可按下列情况选取：

(1) 若高压旁路的容量不大于60%，则低压旁路的容量可与高压旁路容量相一致，也就是低压旁路的进口蒸汽流量等于高压旁路的出口流量；

(2) 若要求机组甩负荷后再热蒸汽压力保持不变，则低压旁路的容量应为100%。但在大型机组上，低压旁路容量要达到100%是困难的，因为凝汽器的尺寸与机组功率不是成比例增大的；

(3) 若再热器安全阀按程序排汽，当再热蒸汽压力超过中、低压旁路设定值时安全阀就立即跳起，则旁路的容量可选为50%~60%；

(4) 低压旁路的容量还应根据凝汽系统的经济核算来确定。蒸汽经过旁路系统增加了减温水量，最后进入凝汽器的流量已大大超过旁通的蒸汽量，甚至可以大于机组额定负荷时凝汽器中的流量。这样就要增大凝汽器和凝结水泵的容量，也就增加了投资。这种情况下，就要对所增加的投资与限制旁路容

量、再热器出口向空排汽的损失作一经济核算，以选择合理的配套方案。一般条件下，较为经济合理的方案是不增大冷凝器容量，低压旁路系统的容量限制在60%左右。

三、我国机组采用的旁路系统容量和参数

我国自60年代发展再热机组以来，旁路系统也相随发展起来。

我国第1台再热机组(50MW、锅炉额定蒸发量185t/h)上曾采用了2级串联旁路系统，高压旁路的蒸汽流量为80t/h。此后的125、200、300MW等机组上，由于各自的运行方式不同，因此选用了各种型式和不同容量的旁路系统。其中容量最小的为9% (京西电厂200MW机组)，最大的为100% (徐州电厂200MW)。各类机组上旁路系统的容量和参数列于表4-4-1。

表4-4-1 我国机组上采用的汽轮机旁路系统的参数

机组容量 (MW)	锅炉最大连续出力 (t/h)	旁路型式	旁路容量		进/出口压力 (MPa)	进/出口温度 (°C)	减温水量 (t/h)	执行机构		安装电厂
			(t/h)	(%)				传动方式	动作时间 (s)	
50	185	2级串联								青山热电厂
		1级	80	43	13.9/2.65	540/336				
		2级	93.5		2.5/0.59	540/160				
125	400	2级串联								秦岭电厂
		1级	120	30	13.2/2.55	550/330	23	电动	12~15	
		2级	2×93.5		2.29/0.59	550/160	30.9			
125	400	2级串联								吴泾热电厂
		1级	120	30	13.2/2.55	550/330	23	液动	3~5	
		2级	2×93.5		2.29/0.59	550/160	30.9			
200	670	3级旁路			13.7/2.70	540/363	10	液动	5	朝阳电厂 1号机
		1级	60	9	~0.95	540/160	20	液动	5	
		2级	70		2.50~	540/160	60	液动		
		大旁路	240	36	0.85/0.49	540/160		电动		
200	670	1级大旁路	240	36	13.7/0.49	540/160	60	电动		朝阳电厂 2号机
200	670	2级串联			13.7/2.70	540/363				焦作电厂 1、2号机
		1级	100	15	~0.95	540/160	10	电动	11	
		2级	110	15	2.50~	540/160	30		28	
					0.85/0.49					
200	670	2级串联			13.7/2.70	540/318	33.87	液动	7	焦作电厂 3号机
		1级	200	30	2.50/0.59	540/160	70.83			
		2级	233.87							
200	670	2级串联			13.8/2.69	540/330	101.9	液动	快速3~5	徐州电厂 5号机
		1级	670	100	2.5/1.36	540/220	75.8		慢速8~10	
		2级	463.2	60						

(续)

机组容量 (MW)	锅炉最大连续出力 (t/h)	旁路型式	旁路容量		进/出口压力 (MPa)	进/出口温度 (°C)	减温水量 (t/h)	执行机构		安装电厂
			(t/h)	(%)				传动方式	动作时间 (s)	
300	1000	1级大旁路 高压旁路	2×150 170	30 17	16.2/0.59 16.2/3.37	550/160 550/325	62 40	电动	12	望亭电厂 12、13号机
300	1000	2级串联 1级 2级	300 347.5 ^①	30	16.8/3.53	555/335	47.5	液动	{ 快速 3~5 慢速 8~10	邹县电厂
300	1025	2级串联 1级 2级	308 350.8	30	17.5/3.53 3.14/0.78	540/335 540/190	42.8 95.45	液动	{ 快速 3~5 慢速 8~10	沙岭子电厂
300	1025	2级串联 1级 2级	400 2×232.5	39	16.8/3.59 3.33/1.08	540/324 530/164	63.54 210	液动	{ 快速 3 慢速 10~15	石洞口电厂 (I)
300	1025	2级串联 1级 2级	400 457.6	39	16.7/2.41 2.20/0.86	537/322 537/174	57.6 149	液动	{ 快 2~3 慢 10~15	石横电厂
600	2008	2级串联 1级 2级	600 2×343.3	30 30	16.7/2.41 2.21/0.59	537/322 537/158	86.3 2×114	液动	{ 快 2~3 慢 10~15	平圩电厂
600	1900	2级串联 1级 2级	4×475 2×617.5	100 ~60	24.2/4.82 44.62/14	538/302 566/158		液动	快速 2~3 慢 10~15	石洞口电厂 (I)

① 为原设计值，后因故有改动。

第五节 控制执行机构

汽轮机旁路系统的控制是大型火电机组热控的重要组成部分。我国早期投运的机组多半配备由 DDZ-I 型仪表组成的简易型控制系统。近年来国产或引进的大型火电机组，随着整机热控自动化水平的提高，在汽轮机旁路控制系统方面也相应地采用了先进的仪表和控制技术，从而扩大了旁路系统的功能，增强了系统的安全可靠性。我国从瑞士苏尔寿公司引进的旁路控制系统，先后配有 AV-4 型和 AV-5 型模拟式组装仪表，采用液动执行机构，用于 300MW 和 600MW 机组；从德国西门子公司引进的旁路控制系统配有 Teleperm-C 型模拟式组装仪表，采用双电机和双速电动执行机构，多用于 200MW 机组上。近几年来，为适应微电子技术发展和分散型控制系统要求，苏尔寿和西门子公司分别发展了 AV-6 型和 Teleperm-M 型微机组件的旁路控制系统。

一、控制参量

(一) 对象与手段

旁路系统的控制包括高压旁路的压力调节和温度调节，低压旁路的压力调节和温度调节。

高压旁路的压力调节是以主蒸汽压力为被调量，旁路减压阀作为调节手段，用改变减压阀的开度来维持主蒸汽压力。

高压旁路的温度调节是以旁路阀后温度为被调量，喷水减温作为调节手段，用改变喷水调节阀的开度、改变减温水量来维持再热器进口蒸汽温度给定值。

低压旁路的压力调节是以再热蒸汽压力为被调量，旁路减压阀作为调节手段，用改变减压阀的开度来维持按机组负荷变化的再热器出口压力给定值。

低压旁路的温度调节是以减压阀后的蒸汽温度为被调量，喷水减温为调节手段，用改变喷水调节阀的开度、改变减温水量，使进入凝汽器前的温度维持在给定值以下。

(二) 给定值

旁路系统开启的给定值应高于正常运行时的蒸汽压力，低于安全阀的起跳压力。机组滑压运行时，旁路系统开启的给定值应跟随滑压曲线变化，并始终高于蒸汽压力，其差值为 Δp ，如图 4-4-13 所示。高压旁路上 Δp 为主蒸汽压力的 3%~4%，中、低压旁路上 Δp 可达再热蒸汽压力的 10%。

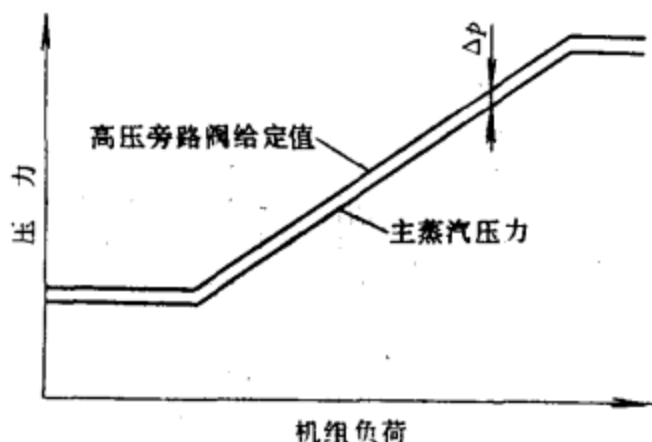


图 4-4-13 机组滑压运行时旁路系统的给定值

(三) 动作时间

旁路系统应有“快开”和“慢开”两种控制装置，“快开”起安全保护作用，“慢开”起调节阀的作用。当蒸汽压力或升压速率超过给定值时，旁路系统以“慢开”动作；若蒸汽压力或升压速率过高，超过另一给定值，或者汽机突然跳闸，则以“快开”动作。旁路阀的全行程时间列于表 4-4-2。减温水阀门的动作时间应与减压阀相协调。

表 4-4-2 旁路阀的全行程时间 (s)

	液 动	电 动
快开	2~3	≥5
慢开	10~15	≈40

二、执行机构

旁路系统上常用的执行机构有液动和电动两种。

(一) 液动执行机构

液动执行机构主要由带活塞和活塞杆的双向作用油动机、电液伺服阀、闭锁阀、快行程装置和位移传感器等所组成，见图 4-4-14。中间灯笼式座架把执行机构与阀门连为一体，然后由固定联轴节把阀杆与活塞杆连接起来。位移传感器安装在灯笼支架或执行机构壳体上，并通过传动机组与阀杆相接。电液伺服阀、闭锁阀、快行程装置分别固定在油缸壳体的外侧。

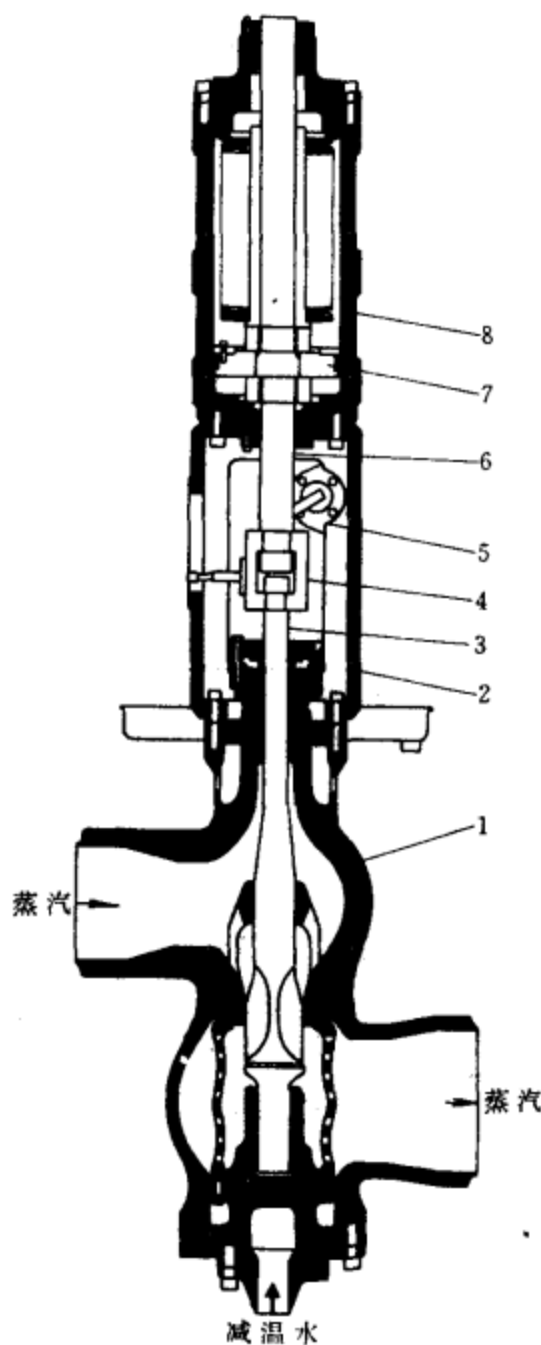


图 4-4-14 高压旁路阀及其执行机构

- 1—阀体 2—灯笼式座架 3—阀杆 4—固定联轴节
- 5—位移传感器 6—活塞杆 7—活塞 8—油缸

液动执行机构实际上是一种带有液压元件和电气部件的综合机构。其工作原理是：电液伺服阀将输入的电流信号转变为放大的液压流量信号，使执行机构产生动力，去控制阀门的开度。实际的阀位信号由位移传感器检测，并反馈到控制系统。

执行机构各部件分述如下：

1. 油动机

本油缸具有双向控制阀门开度的功能，故又称双向作用油动机，主要由壳体、活塞、盖和导向套组成。依靠液体的压力推动活塞的往复运动，油动机出力的大小取决于油动机活塞的有效面积和液体的压力。

2. 电液伺服阀

电液伺服阀由力矩马达部分（磁钢、线圈、导磁体、衔铁、反馈杆、挡板等）和液压部分（喷嘴、阀芯、

堵头、过滤器、节流器、回流阻尼孔、壳体等)所组成。其功能是将电信号转换成液压信号,即将弱小的电流信号变换成大的液压功率输出,通过执行机构控制阀门开度。电液伺服阀的工作原理见图 4-4-15,电子控制装置输出阀位电流信号,电液伺服阀的电磁线圈使衔铁受力带动挡板偏转。这时,一侧喷嘴腔室压力上升,另一侧喷嘴腔室压力下降。因而阀芯移动,并带动反馈杆连同挡板也产生移动,其方向与原挡板移动方向相反。在移动过程中,上升侧腔室压力下降,下降侧腔室压力回升,直到两喷嘴腔室压力相

等,阀芯停止移动。当加上相反的电流信号时,阀芯向相反方向移动。阀芯向左或向右移动,将接通相应的油路,推动油动机的活塞向上或向下移动,旁路阀门相应地打开或关闭。如果要求旁路阀门开大,衔铁带动挡板向右偏转,阀芯因右侧油压高而向左移,阀芯所遮盖的左侧错油门打开,压力油进入油动机下腔,上腔回油经回油管回到油箱,因此油动机活塞上移,旁路阀门开大。反之,如果要求旁路阀门关小,电子控制装置阀位电流信号相反,电液伺服阀的阀芯动作向右,油动机活塞带动阀门下移。

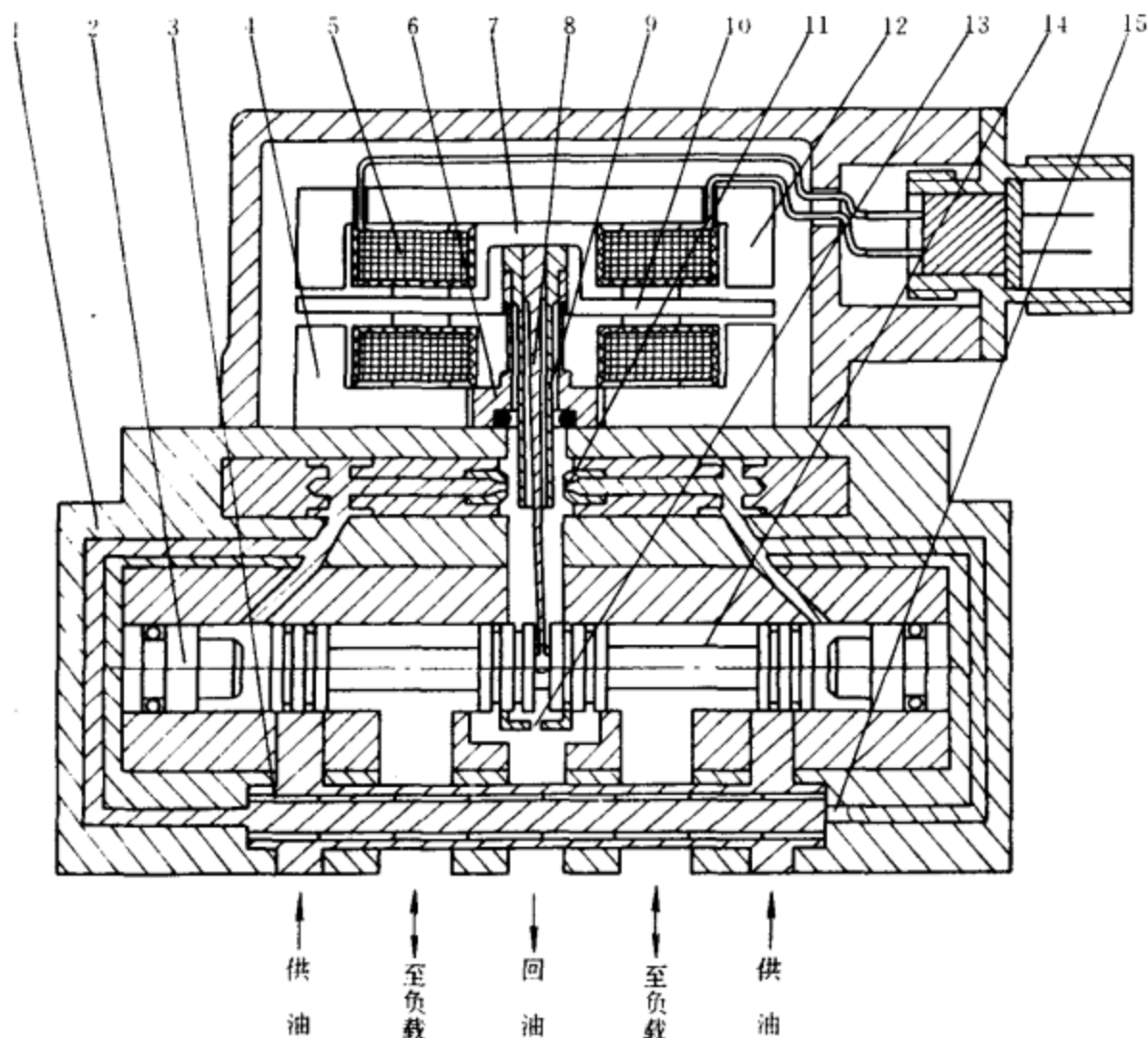


图 4-4-15 伺服阀结构原理图

- 1—壳体 2—堵头 3—过滤器 4—下导磁体
- 5—线圈 6—管弹簧 7—磁钢 8—反馈杆
- 9—挡板 10—衔铁 11—喷嘴 12—上导磁体
- 13—回油阻尼器 14—阀芯 15—节流器

3. 闭锁阀

安装在伺服阀和油动机之间,其作用是控制系统失电、供油装置油压太低、快行程装置动作或切换手动遥控而未撤“增”、“减”按钮时动作,此时将伺服阀到油动机的油路切断,使阀门保持在闭锁阀动作时的位置。

4. 快行程装置

这是二位三通电磁阀、止回阀和可调节流阀等的组合体,装在高压旁路和低压旁路减压阀的执行机构上,一般是在保护时动作,利用液压系统油站蓄能器和减压阀附件蓄能器的油压,使阀门快速开启或关闭。

(二) 电动执行机构

电动执行机构以电源为动力,接受控制系统来

的阀位指令信号,并将它转变为相对应的转角位移,控制阀门的开度。

电动执行机构包括伺服放大器和执行机构两大部分,其系统示于图 4-4-16。

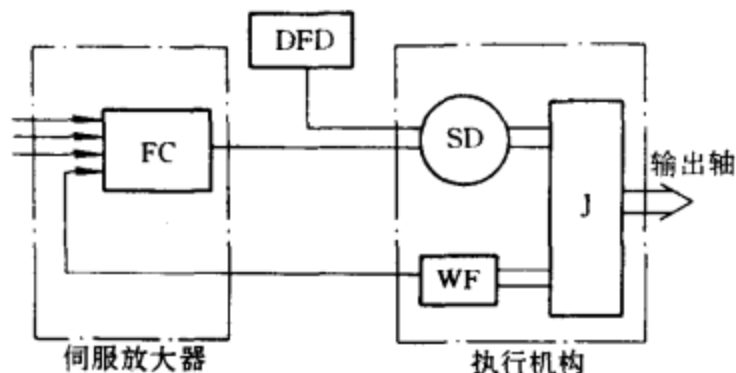


图 4-4-16 电动执行机构系统方块图

FC—伺服放大器 SD—二相伺服电动机

WF—位置发送器 J—减速器 DFD—电动操作器

1. 伺服放大器

由前置级磁放大器、触发器、主回路和电源等 4 部分组成。

磁放大器的工作原理是基于铁磁材料的非线性原理。没有信号输入时,磁放大器的输出电压为零;有直流信号输入时,输出电压随之变化;输入信号极性改变时,输出电压极性也随之改变。

触发器将前置级磁放大器的输出电压转变成触发脉冲,共分两组,分别触发,使电机可以正、逆转。主回路是由晶闸管和一组二极管组成的交流无触点开关,使电机实现正、逆转。

2. 执行机构

包括二相伺服电动机、减速器和位置发送器。

二相伺服电动机是由冲槽硅钢片叠成的定子和笼型转子组成,可以正、逆旋转,具有一定的起动转矩。

减速器是平齿轮和行星机构相混合的机械传动装置,能将高转速、小转矩的电动机输出功率转变成低转速、大转矩的执行机构的输出轴功率。

位置发送器由差动变压器、电源变压器和印刷电路板组成,其功能是将位置反馈信号传送到伺服放大器中的前置级磁放大器。

电动执行机构的输入端阀位指令信号为零时,伺服放大器就没有输出,二相伺服电动机停转,输出轴稳定在预选好的零位,旁路阀在关闭位置。当输入端有阀位指令信号时,此信号与执行机构的位置反馈信号在伺服放大器的前置级磁放大器中进行磁动势的综合和比较。由于这两个信号的极性相反,若两

者不相等,就会出现误差磁动势,从而使伺服放大器有足够的输出功率,去驱动伺服电动机。于是执行器的输出轴就朝着减小该误差磁动势的方向运转,直到位置反馈信号和输入信号相等时为止。此时,输出轴就稳定在与阀位指令信号相对应的转角位置上,旁路阀也就开到所要求的位置。

较为新型的旁路控制系统采用双电机和双速电动执行机构。前者用在旁路减压阀上,2 台电动机,1 台为快速,1 台为慢速;后者用在旁路减温水调节阀上,1 台电动机具有快速和慢速 2 种转速。通常双电机执行机构的功率大于双速电动机执行机构的功率。

(三) 液动和电动执行机构优缺点比较

液动和电动执行机构的优缺点比较列于表 4-4-3。

表 4-4-3 液动和电动执行机构的优缺点比较

比较项目	液 动	电 动
提升力或力矩	提升力大,可根据需要设计。例如配 300MW 机组的高压旁路阀的提升力达 343000N	力矩较小,受到电动机功率的限制。例如 DKJ 系列中最大型号的力矩为 5880N·m,阀门的提升力约为 15680N
动作时间	动作时间短,阀门快速全行程时间为 2~3s	动作时间较长,阀门快速全行程时间至少需 5s
结构	需要一套液压系统和附属部套,结构较为复杂	需一套电气设备,执行机构较简单
维护	液压系统维护较为复杂	电气系统维护较为简便

三、联锁保护

旁路控制系统设有联锁保护功能,目的是保证安全和增强系统的可靠性。各机组上联锁保护功能不尽相同,一般有以下几方面。

(一) 高压旁路联锁保护

(1) 减压阀和喷水减温阀开启联锁,即减压阀一旦打开,喷水减温阀要跟踪打开;喷水减温阀的开度根据高压旁路阀后温度与给定值的差值进行调节。

(2) 高压旁路阀后温度超过一定限度时报警,过高时关闭阀门。

(3) 主蒸汽压力或升压率超过限定值时,旁路阀开启。

(4) 汽机跳闸,减压阀快速开启。

(二) 低压旁路联锁保护

(1) 凝汽器真空低、温度高,超过限定值时,减压阀快关。

(2) 减压阀与喷水减温阀开启联锁。

(3) 减压阀与布置在凝汽器喉部的喷水减温阀开启联锁。

(4) 减压阀后流量超过限值时,减压阀立即关

闭。

(5) 汽轮机跳闸,减压阀快速开启。

(三) 高、低压旁路联锁保护

(1) 高旁减压阀开启,低旁减压阀即投自动或有相应开度。

(2) 低旁减压阀故障,经过设定的延迟时间后仍不能开启,则高旁减压阀立即关闭。

(3) 其他的联锁保护和报警信号,如系统失电、油压低或变送器故障等,系统立即能自动切成手动,并报警。

第六节 系统布置

旁路系统的布置包括系统中阀门的配置、布置位置和各种管道的走向等。

一、布置原则

旁路系统的布置方式对其所起的作用和机组运行有很大影响。在电厂众多的汽水管道中,旁路系统的布置必须因地制宜,与其他设备的布置密切配合,综合考虑。高、低压旁路系统由于其所处的位置和作用不同,其布置原则也有所不同,分述如下:

(一) 高压旁路(包括整体旁路)系统布置原则

(1) 旁路引出口应尽可能接近汽轮机电动主汽阀;无电动主汽阀时,应接近汽轮机主汽阀,以便启动时主蒸汽管道得到充分的暖管。

(2) 减压阀应布置在主蒸汽管道的最低点,最好布置在汽轮机高压缸下面,启动时主蒸汽管道可利用旁路系统进行疏水。在条件不允许时,减压阀若高于主蒸汽管道,则需利用主汽系统进行疏水。

(3) 在汽机房位置不允许时,高压减压阀也可设在锅炉房,从锅炉出口引出。这种情况下主蒸汽管道必须另设暖管疏水系统。

(4) 整体旁路系统中,减压阀要尽可能接近凝汽器,以缩短旁路阀后的蒸汽管道,并注意疏水。

(5) 所有蒸汽管道尽可能走最短距离,没有垂直U型管段等死区积水,同时均应考虑热膨胀。减温水管应尽可能由下向上行走。

(6) 在减压阀保证密封的条件下,在其前面不必设置截止阀,以简化系统。

(7) 为了达到热备用状态,旁路阀离主蒸汽管引出点的距离 $\leq 2.5\text{m}$ 时,可以依靠管道和工质对流传热来加热系统;若该距离 $> 2.5\text{m}$,就应设置专用管道来加热系统。

(8) 有2只或2只以上高压旁路阀并联时,从主蒸汽管至旁路阀的引出管应布置成不同长度,以防止压力波动和管道振动。

(9) 减压阀应尽可能立式布置,便于阀芯检修时的起吊。同时,减压阀不应成为受力支点。

(二) 低压旁路系统布置原则

(1) 旁路引出口应尽可能接近中压缸前的中联门,以便机组启动时再热蒸汽管道得到充分的暖管。

(2) 减压阀应尽量接近凝汽器,以便缩短减压后的蒸汽管道。由于该段管道中蒸汽流速很高,管道过长易引起振动。

(3) 所有蒸汽管道尽可能走最短距离,避免垂直U型管段,便于热膨胀和疏水。

(4) 减压阀呈立式布置,条件不许可时也可卧式布置。

二、理想布置方案

根据上述原则,2级串联旁路系统理想的布置方案如图4-4-17。该系统的高压旁路为单路,低压旁路为双路,以汽轮机轴线对称布置,图中仅示出对称布置的一侧。

图4-4-17上,汽轮机轴线平面为A,主蒸汽管道ZQ在其下方的B平面上,分左右两路对称引向高压缸,其出口段向上至高压缸进口。高压旁路从B平面上的主蒸汽管道中引出,经过旁路阀后接入C平面上的高压缸排汽管HPQ。

再热蒸汽管道ZR在E平面上分左右两路对称引向中压缸,其出口段向上至中压缸进口。低压旁路从E平面上的再热蒸汽管道中引出,经过左右两只低压旁路阀,接到D平面上的排汽管LPQ,最后引至凝汽器喉部。