

管道与阀门

韩立人 编著

水利电力出版社

前 言

随着四化建设的飞速发展，在电力战线上大容量高参数的机组越来越多地投入运行。为了适应生产和建设的人员培训需要，受出版社的委托，编写了《管道与阀门》一书。

在编写此书稿过程中，力求做到内容比较广泛，既有一般的概况介绍，又有比较深入的叙述；既有一些基本的理论与计算，又有实际的经验总结，使这本书既能适合青年工人阅读，也可供技术人员在工作中参考。所以在编写中，除了作者本人的一些生产经验外，还参考了国内外一些杂志资料，特别是近年来一些大容量机组的安装、试运和生产维护方面的经验总结。

本书共分两篇，第一篇为管道部分，第二篇为阀门部分。在管道部分，首先介绍热力系统和中间再热机组的旁路系统。另外也介绍一些有关高温高压蒸汽管道的寿命问题。在阀门部分，除了一般性地介绍了各种型式的阀门外，结合着发电厂热力设备的特点，还介绍了蒸汽调节阀、给水调节阀、给水泵逆止阀、旁路系统阀门、锅炉安全阀门等。本书力求与发电厂的各个设备、系统状况相结合，便于工人掌握和了解。但是由于篇幅有限，有些内容不得不大大精减了。

由于作者技术水平所限，书中难免有错误和不当之处，请专家、读者批评指正。

作者

1986年

目 录

前 言

第一篇 管道

第一章 发电厂的热力管道系统.....	1
第一节 主蒸汽管道系统	1
第二节 中间再热机组的旁路管道系统	6
第三节 除氧与给水管道系统	18
第四节 其它管道系统	25
第二章 汽水管道的计算	37
第一节 管子壁厚的计算	37
第二节 管径的选择	48
第三节 管道压力损失的计算	50
第三章 管道的规范	54
第四章 管道及其附件	60
第一节 管子	60
第二节 法兰组件	63
第三节 弯头和三通	76
第四节 管道支吊架	84
第五节 管道防震器	95
第五章 管道安装	97
第一节 准备工作	97
第二节 管道安装组合方式	104
第三节 管道安装工程	125
第四节 管道保温	131
第五节 管道的膨胀和补偿	133
第六节 管道的水压试验	143
第六章 汽水管道的冲洗	145
第一节 炉前系统管道的冲洗	145

第二节	炉前系统管道的化学清洗	147
第三节	蒸汽管道的吹扫	151
第七章	管道的运行维护	160
第一节	管道的运行	160
第二节	管道的腐蚀防护	162
第三节	管道的维护与检修	167
第八章	管道的金属监督	170
第一节	蒸汽管道的蠕变变形	170
第二节	蠕变变形的测点装设	172
第三节	蠕变测量和计算	175
第四节	蒸汽管道的监督工作	177
第九章	高温高压主蒸汽管道的工作寿命	181
第一节	研究主蒸汽管道超期运行的方法	183
第二节	对高温高压发电厂主蒸汽管道超期运行的估计	187
第三节	延长蒸汽管道工作寿命的措施	188

第二篇 阀门

第十章	阀门的概述	191
第一节	阀门的分类	191
第二节	阀门的型号	198
第十一章	关断阀门	205
第一节	闸阀	205
第二节	截止阀	213
第三节	关断阀门的安装及运行维护	222
第四节	蝶阀	232
第十二章	调节阀门	236
第一节	节流阀	236
第二节	蒸汽调节阀	239
第三节	锅炉给水调节阀	247
第四节	旁路系统的调节阀门	258
第五节	压力调节阀	266
第十三章	保护用阀门	270
第一节	逆止阀	270

第二节	安全阀.....	281
第三节	高压加热器保护系统阀门.....	303
第十四章	疏水器	311
第一节	疏水器的工作原理及结构.....	311
第二节	疏水器的安装及运行.....	320
第三节	汽轮机低压加热器的疏水器.....	321
参考文献		325

第一篇 管 道

第一章 发电厂的热力管道系统

发电厂的热力系统是由热力设备和汽水管道及各种附件连接而成的有机整体。在这个有机体中，汽水管道与阀门不仅是生产系统不可分割的一部分，而且占有着重要的地位。因为生产过程的进行和工质的输送都必须通过管道来完成。管道与阀门的状况直接影响着发电厂的安全经济生产，如果出现故障，甚至可使发电厂被迫停止运行。因此，对于电厂运行维护人员来说，必须熟悉热力管道系统。

由于热力设备的容量大小、机组的蒸汽参数和机组的型式不同，热力系统也不一样。发电厂的主要管道系统，一般可以分为下列几种：

- (1) 主蒸汽系统；
- (2) 再热蒸汽系统；
- (3) 旁路系统；
- (4) 除氧给水系统；
- (5) 回热系统；
- (6) 疏放水系统；
- (7) 冷却水、工业水系统等。

第一节 主蒸汽管道系统

主蒸汽系统又叫新蒸汽系统，它主要指的是从锅炉到汽轮机之间的蒸汽管道。

发电厂中常有的主蒸汽系统的型式有单元制、带切换母管单元制、单母管集中制和双母管集中制系统等。

一、单元制系统

随着电力工业的高速发展，电力系统中越来越多地采用大容量、高参数、现代化的发电机组，如12.5万、30万、60万到120万千瓦的机组。这些大容量机组的热力系统，大都设计成锅炉-汽轮机单元制系统。

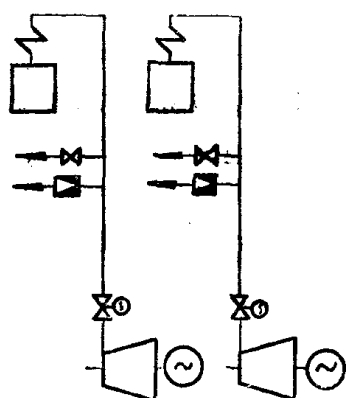


图 1-1 单元制主蒸汽管道系统

单元制机组的主蒸汽系统的特点是，一台锅炉与一台汽轮机用蒸汽管道连接起来，形成一个独立的单元系统，不与其他机组发生横向联系，也就是没有连接母管；本单元锅炉产生的蒸汽只能供给本单元的汽轮机。其简略系统如图 1-1 所示。

采用锅炉-汽轮机单元制系统的优点是：

(1) 系统简单，由于没有横向连接，减少了系统切换，使运行人员易于掌握，易于操作，易于集中控制；

(2) 节省投资，由于锅炉与汽轮机之间只有简单的管道系统和一个阀门，这样对于现代的高参数机组来说，就可以节省大量的优质合金钢材和高压阀门；

(3) 增加了管道运行维护的可靠性，因为高压阀门，特别是高压高温蒸汽的机组，主蒸汽管道上的阀门往往是事故发生点，所以减少一个阀门，也就相应地减少一个可能发生事故的点；

(4) 提高了运行经济性，由于减少了管道与阀门，也就减少了蒸汽压力损失和热量散失；

(5) 减少了管道和阀门的检修工作量；

(6) 由于单元制系统简单，使发电厂设备的布置容易，相应地使厂房布置简化。

单元制系统与母管制系统相比，缺少灵活性，也就是当锅炉

或汽轮发电机组的某一部分发生故障停运时，整个单元都要停止运行。因此在电力系统中一定要有一定的备用容量，以备单元机组发生故障时投入运行。

现代发电厂多采用高参数大容量机组，这些机组的主蒸汽流量大，又都采用中间再热，如果采用母管制系统，不仅增加大量投资，而且也使系统复杂化。所以现代化大容量机组都采用单元制系统。如意大利的32万千瓦机组，为亚临界中间再热机组，主蒸汽压力 $P_1=16.7$ 兆帕，主蒸汽温度 $t_1=538^{\circ}\text{C}$ ，蒸汽流量为1 025吨/时，其主蒸汽系统如图1-2所示。

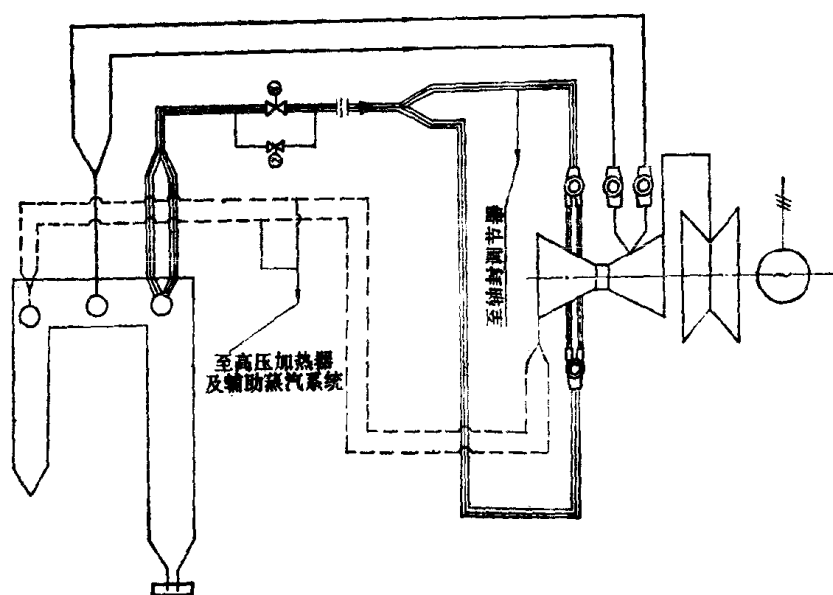


图 1-2 32万千瓦机组主蒸汽及再热蒸汽系统

由锅炉来的蒸汽通过外径为 $\phi 508$ 的合金钢管（A355P22）经过一个电动主闸门后流向汽机车间，在进入汽轮机前又分为两条直径为 $\phi 355.6$ 的管子与汽轮机前的两个自动主汽门连接。蒸汽的流速为58.3米/秒。

又如日本的60~100万千瓦的大机组，其主蒸汽压力 $P_1=$

24.4兆帕 (259公斤力/厘米²)，温度 $t_s=549^{\circ}\text{C}$ ，最大蒸汽流量达3 170吨/时，用两条直径为 $\phi 635$ 的合金管子与汽轮机连接。

二、带有切换母管的单元制主蒸汽管道系统

这种型式的管道系统见图1-3。

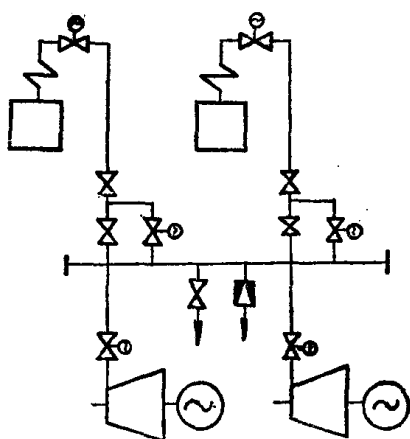


图 1-3 切换母管制主蒸汽管道系统

发电厂的每台锅炉与相应的汽轮机仍然配合成单元制系统，但是把每个单元机组的主蒸汽管道之间又用一条切换母管道联系起来。

当发电厂正常运行时，既可以由各个单元单独工作，也可以把主蒸汽并起来运行。

带有切换母管的主蒸汽管道系统的优点是，增加了发电厂运行的灵活性，例如：

(1) 如果某一单元的汽轮机发生故障，而另一个单元的锅炉也发生故障需要停运时，就可以通过切换母管，使前一单元的锅炉供汽给后一单元的汽轮机，从而避免了两个单元同时停止运行；

(2) 如果发电厂内的单元机组比较多，锅炉又有富裕容量时，那么任何一台锅炉发生故障停运时，仍能保证汽轮发电机组全部运行；

(3) 单元机组大修后，由于机炉检修时间长短不同，通过切换母管可以提前通汽或点火，对炉、机分别进行试运。

我国的高压5万千瓦和10万千瓦发电机组的主蒸汽管道系统大都采用这种带有切换母管的单元制主蒸汽管道系统。

三、母管集中制的主蒸汽管道系统

母管集中制系统又可分为单母管和双母管系统。

1. 单母管集中制系统

单母管集中制系统如图1-4所示。发电厂的所有锅炉都用蒸

汽管道与母管连接，再从母管引管与每台汽轮机连接。也就是说，每台锅炉生产的蒸汽都送到蒸汽母管，然后再由母管分别送给每台汽轮机。发电厂的备用锅炉也接到母管上。每台炉的出口装有截门，与母管连接处也装有截门。在集中母管上还装分段截门。当第一个截门出故障时，可以关断另一截门，以保证发电厂仍能局部运行，不致于造成全厂停电。

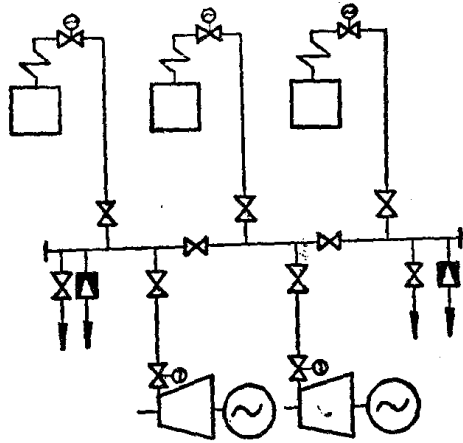


图 1-4 单母管集中制主蒸汽管道系统

单母管集中制系统过去大都用于容量不大的中压机组，特别是全厂锅炉容量小于汽轮机的容量，而且锅炉事故率高于汽轮机事故率，又需要备用锅炉的发电厂。当一台锅炉发生故障停运时，备用锅炉仍能供给汽轮机所需蒸汽量，不影响发电厂的对外供电。

单母管集中制蒸汽管道系统与切换母管单元制系统相比，缺乏机动灵活性。

2. 双母管集中制系统

双母管集中制系统如图1-5所示。从发电厂的每台锅炉引出蒸汽管道，分别接到两根集中母管上，然后从两根母管再分别引管至每台汽轮机。两根母管上不装截门。发电厂正常运行时，两根母管同时投入运行，也就是从每台锅炉生产出的蒸汽都集中到两根母管中，再从母管将蒸汽送至汽轮机。当任一根母管出故障或与其相连接的阀门出故障时，可以将其切除，另外一根母管仍继续运行，保证全部机、炉正常运行发电。

双母管制系统在现代大容量机组已不被采用，它耗用大量的合金管道和高压阀门，增加基建投资，同时增加系统的复杂性，

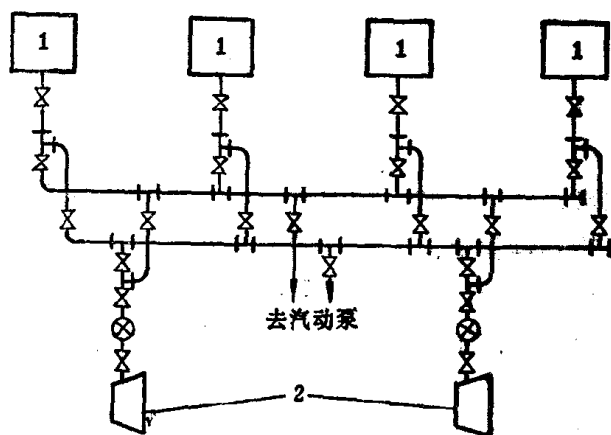


图 1-5 双母管集中制系统

1—锅炉；2—汽轮机

增加了运行操作的复杂性，反而使运行的可靠性降低。

第二节 中间再热机组的旁路管道系统

为了提高发电厂的经济性，现代都采用大容量高蒸汽参数带有中间再热的机组。采用中间再热不仅可以提高热力系统的热效率，而且可以减少凝汽式汽轮机尾部的蒸汽湿度，保证汽轮机尾部几级叶片的安全运行。

所谓中间再热，就是在锅炉中增加一组再热器，蒸汽经过汽轮机高压部分做过部分功后，再返回锅炉，经过再热器加热到新蒸汽的初始温度后再返回汽轮机继续做功。

对于这种大容量中间再热机组大都设有旁路系统。所谓旁路系统，是指机组在运行过程中可以把锅炉产生的蒸汽部分或全部不经过汽轮机或再热器等设备直接排入凝汽器或大气的系统。这种系统相对于主热力系统而言是一个旁路，所以称为旁路系统。

一、旁路系统的用途、型式及容量选择

1. 旁路系统的发展及用途

最初的旁路系统是随着直流锅炉的产生而出现的。直流锅炉必须建立一定的压力和流量才得启动和运行。它要求水质质量高、耗量大，为了回收工质，所以设有旁路系统，当时叫启动旁路，也叫点火旁路。

单元机组出现以后，为了满足汽轮机启动过程中对蒸汽参数的要求，特别是在汽轮机热态启动时，为了加快启动速度，使蒸汽温度与金属温度相匹配，回收工质，减少噪音污染，在单元机组上也设有旁路系统。

再热机组的出现，又提出了在机组启动和甩负荷时，保护再热器的问题。采用旁路系统，可以在启动或甩负荷后仍能使蒸汽通过再热器，防止再热器在高烟温区干烧。

自动旁路系统还可以保证机组甩负荷后带厂用电运行。

总之，旁路系统的功能不是单一的，一个完整的旁路系统应具有启动和保证安全的综合功能，其主要用途归纳如下：

(1) 保证锅炉机组的最低蒸发量，也就是说在汽轮机停运时，锅炉仍能通过旁路系统排出最低允许流量，不致使锅炉的水动力循环破坏；

(2) 保护锅炉的再热器，避免超温。也就是说在机组启停或甩负荷时，通过旁路系统，使一部分冷蒸汽通过再热器；

(3) 增加机组运行灵活性，以满足机组各种启停方式的需要；

(4) 提高机组运行的安全性，防止锅炉机组的超压，汽轮机的超速等；

(5) 减少机组管道或设备的热应力；

(6) 回收工质，提高经济性；

(7) 减少噪音的污染。

2. 旁路系统的型式

旁路系统有很多型式，它和机组的型式、结构、特性有关，

也和机组的负荷性质、在电网中的地位以及机组的运行方式等有关。

旁路系统一般可分为三种基本型式：

(1) 一级旁路系统，见图 1-6(a)。一级旁路系统又叫大旁路系统。它主要是由主蒸汽管道直接引管经减温减压后排至凝汽器，也就是说在机组启动时为了提高蒸汽参数或保证锅炉点火的最低流量，通过此旁路系统将蒸汽直接排至凝汽器。

大旁路系统比较简单，但它对再热器不起保护作用，所以在锅炉设计时就应考虑到再热器在锅炉内烟温区的位置以及再热器的材料的选择问题。

(2) 二级串联旁路系统，见图 1-6(b)。这种旁路系统除有大旁路的功能外，还能起到保护再热器的作用。从锅炉来的蒸汽可以不经过汽轮机的高压缸和中压缸，只经过再热器后直接排至凝汽器。

(3) 三级旁路系统，见图 1-6(c)。它既有一级大旁路，又有二级串联旁路系统。这种型式的旁路系统运行灵活性比较大，但系统复杂，维护量大。

3. 旁路的容量

旁路的容量也叫旁路的通流能力，它是以通过旁路的流量与

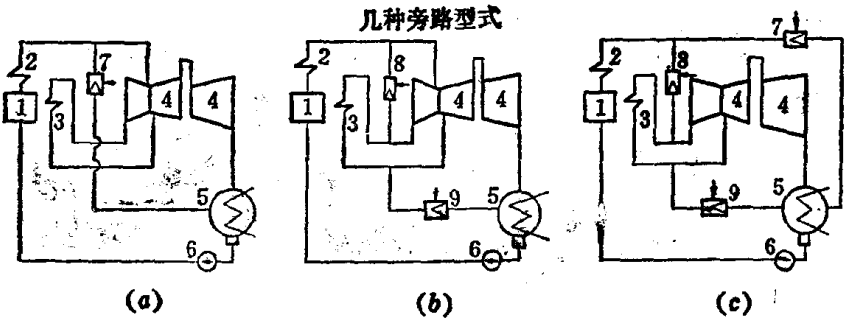


图 1-6 三种旁路系统基本型式图示

(a) 大旁路系统；(b) 二级串联旁路系统；(c) 三级旁路系统

1—锅炉；2—过热器；3—再热器；4—汽轮机；5—凝汽器；6—凝结水泵；

7—大旁路；8—I级旁路；9—II级旁路

锅炉的额定蒸发量的比值的百分数来表示的。

$$K = \frac{D_p}{D_0} \%,$$

式中 D_p ——通过旁路的流量，吨/时；

D_0 ——锅炉额定蒸发量，吨/时。

旁路容量的选择主要根据锅炉的最低稳定负荷、机组启动时各种不同状态、再热器冷却要求以及机组甩负荷时的要求来综合考虑。一般为30%~70%，也有采用100%的。

二、国产中间再热机组的旁路系统

1. 国产12.5万千瓦机组的旁路系统

国产12.5万千瓦汽轮发电机组配有400吨/时中间再热汽包锅炉。为了适应再热机组的启停需要，保证锅炉低负荷稳定运行，同时有足够的流量冷却再热器，设有I、II级串联的旁路系统，其旁路容量为30%，见图1-7。

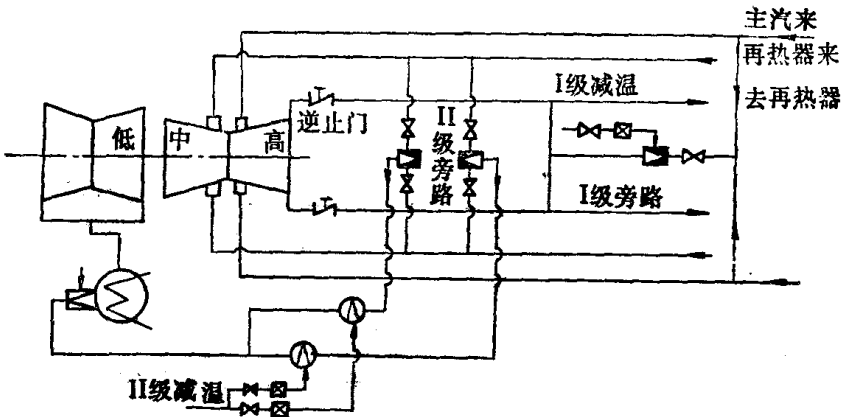


图 1-7 国产12.5万千瓦机组旁路系统

2. 国产20万千瓦机组的旁路系统

国产20万千瓦机组配有670吨/时中间再热锅炉，由于对旁路系统的不断探索，所以相继采用了不同的型式，其容量、执行机构也不相同。归纳起来有三种型式：

- (1) 大旁路系统, 容量为30%;
- (2) I、II级串联旁路系统, 其容量为15%;
- (3) 三级旁路系统, 容量为45%。

国产20万千瓦机组最初设计的是三级旁路, 其意图是为了使旁路系统能满足各种运行方式。其中大旁路采用电动慢速, 容量为36%, I、II级旁路为液动快速, 容量为9%。

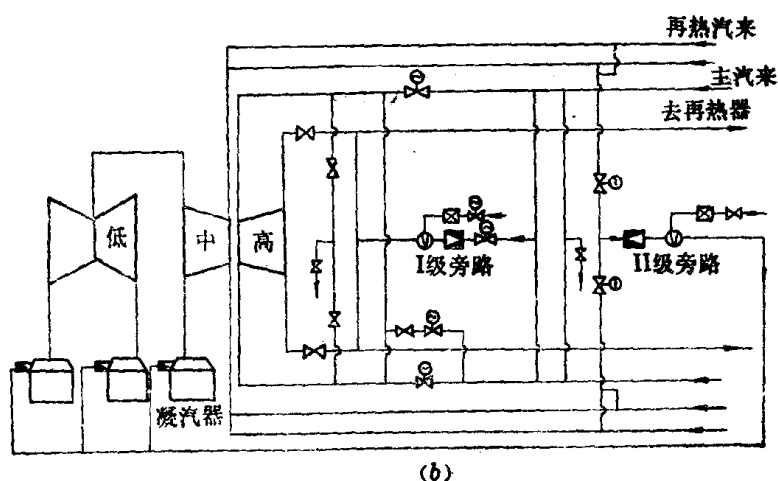
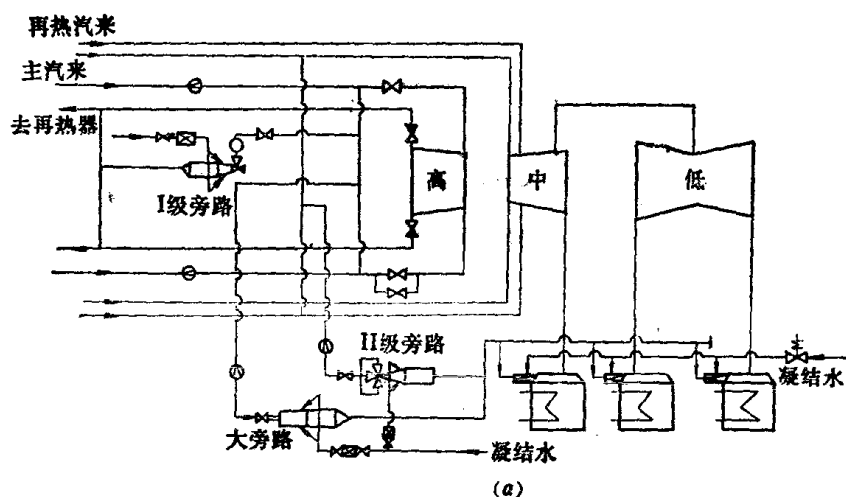


图 1-8 国产20万千瓦机组旁路系统
(a) 改型前; (b) 改型后

为了简化旁路系统，改为I、II级串联旁路，容量为15%，运行表明15%的旁路容量偏小，不能满足冷态起动时的温度要求。

为进一步简化旁路系统，将再热器布置在烟温低于760℃以下的炉烟区域，在启动时使再热器不需要采取通汽冷却，于是就采用了容量为30%的大旁路系统。

3. 国产30万千瓦机组旁路系统

国产30万千瓦机组配用1 000吨/时的中间再热直流锅炉。设置大旁路系统，直通凝汽器，容量为20%额定蒸发量。另设一路通再热器的快速减压减温装置，容量为10%的额定蒸发量，并设有再热器向空排汽，见图1-9。

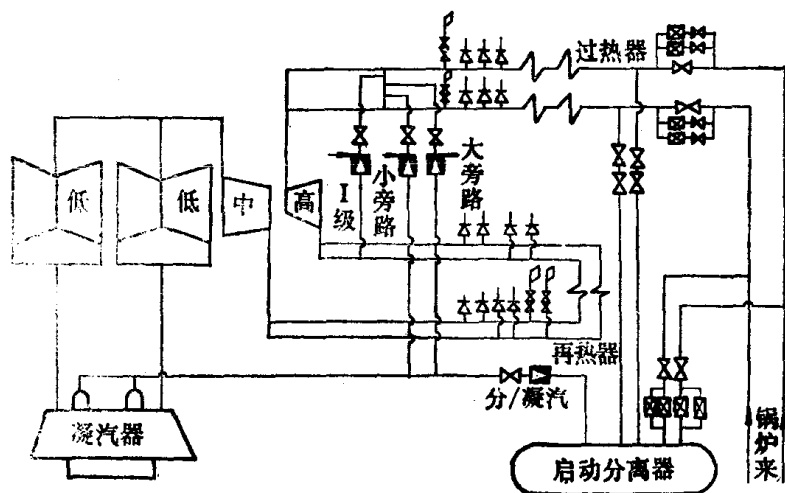


图 1-9 国产30万千瓦机组旁路系统

运行表明，通再热器的旁路的容量（10%）是不够的，后提高到17%。

大旁路是从主蒸汽管上引出，经减温减压装置，减压范围为由16.2兆帕减到0.59兆帕（65→6绝对大气压），减温范围为由565℃减到160℃；然后通向凝汽器，再经过装置在凝汽器接颈上方的两只减温减压器，把参数降至0.0294兆帕，70℃后再排入凝

汽器。当机组启动或甩负荷时将蒸汽经减温减压器排向凝汽器，或当锅炉被迫带 1/3 负荷汽轮机维持空转时，也可将多余蒸汽排入凝汽器。另外由主蒸汽联络管与再热器冷段之间设一快速减温减压装置，其减温减压范围为 $565^{\circ}\text{C} \rightarrow 341^{\circ}\text{C}$ ，16.2 兆帕 $\rightarrow$ 3.2 兆帕（165 $\rightarrow$ 33 绝对大气压）。在启动、停炉和机组甩负荷时，将蒸汽经减温减压后通入再热器，以防止再热器超温。

三、国外几种中间再热机组的旁路系统

1. 苏联20万千瓦机组的旁路系统

苏联20万千瓦机组配有自然循环汽包锅炉，该类型机组设有大旁路系统，不考虑对再热器的保护问题。但是为了在启动时对再热器系统暖管及甩负荷时排空再热器，还设有一个辅助减温减压器（又叫小旁路）和再热器的排空器，见图1-10。

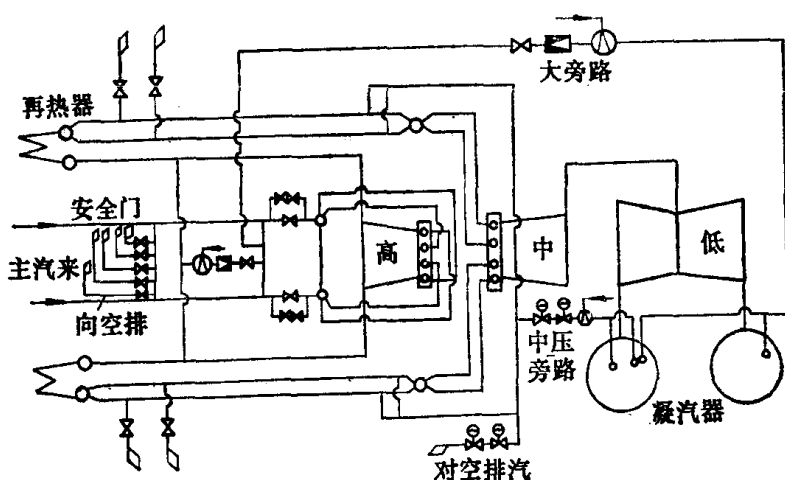


图 1-10 苏联20万千瓦机组旁路系统

大旁路又叫快减器，其流量（包括减温水）为250吨/时。小旁路又叫辅助减温减压器，其流量（包括减温水）为125吨/时。机组启动时大、小旁路均打开，锅炉点火以后利用小旁路向再热器送汽暖管，并向高压缸倒汽暖机（高压缸排汽无逆止门）。汽轮机冲动前将小旁路关闭，汽轮发电机并网后关闭大旁路。