

高压高温焊制三通

水利电力部电力建设研究所主编

水利电力出版社

高压高温焊制三通

水利电力部电力建设研究所主编

水利电力出版社

内 容 简 介

本书是根据我国多年来对焊制三通的研究和在高压电厂使用的实践经验，通过调查、研究和总结编写的。内容包括：高压高温焊制三通的使用情况，强度试验，计算方法及制作工艺等。本书适宜于火力发电厂设计、施工单位及电厂的工人、技术人员阅读。

高压高温焊制三通

水利电力部电力建设研究所主编

水利电力出版社出版

（北京德胜门外六铺炕）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

1978年4月第1版

1978年2月北京第一次印刷

印数 00001—6080册 每册 0.21元

书号 15143·3307

限 国 内 发 行

前 言

焊制三通具有因地制宜、就地取材进行焊制的特点；运行经验证明，在保证设计和制造质量的条件下，可以推广使用。采用单筋和蝶式加强型式焊制三通，是广大革命职工坚持独立自主、自力更生方针的一项技术革新成果。

早在1959年，我国有部分高压高温电厂已开始使用焊制三通。近几年来，随着高参数、大容量机组的不断增加，焊制三通的使用数量和范围也逐渐增加和扩大。

1976年上半年，水利电力部组织了科研、设计、施工等单位，对高压高温焊制三通的试验、制造和使用情况进行了调查，并提出了《高压高温焊制三通调查报告》。为了总结交流高压高温焊制三通的设计、试验、制造和使用等方面的经验，水利电力部基建司于1976年12月在上海召开了高压高温焊制三通的技术座谈会，在会上对有关焊制三通的技术问题进行了讨论，并确定出版本书。

本书主要是根据《高压高温焊制三通调查报告》，并参照其他有关资料编写的。在编写中，由于焊制三通尚有不少需要进一步探讨和改进的问题，故本书所论述的一些技术问题，有的还需要根据今后的试验继续补充和修改。考虑到当前电力建设发展的需要，特根据现有的各项有关资料综合编写成本书，以供设计、施工单位和高压电厂在设计、制造和使用焊制三通时参考。

本书是由水利电力部电力建设研究所根据焊制三通技术

座谈会上的决定，组织东北电力设计院，上海、黑龙江省电力建设公司等单位的同志共同编写。在编写中，参阅了较多的有关资料，以期把主要技术问题尽可能在本书中叙述清楚，但在基础理论方面论述得不多，而只着重编写有关实际应用的问题。

本书初稿曾请北京电力设计院，北京、上海电力建设公司，《火力发电厂汽水管道应力计算技术规定》编写小组，北京热电厂，北京珠窝电站工程指挥部，北京电力试验所等单位审阅并提出了宝贵意见，最后又组织有关同志进行了讨论和审定。尽管如此，由于水平和经验所限，本书中对一些问题的探讨和分析，都还不够完善，错误之处在所难免，希望读者及时提出宝贵意见，以便今后修正和补充。

水利电力部电力建设研究所

一九七七年七月

主要符号说明

本书使用的主要符号的意义和单位说明如下:

S_1 ——三通主管理论壁厚	毫米
S_{js} ——三通主管计算壁厚	毫米
S ——三通主管取用壁厚(管材公称壁厚)	毫米
S_v ——三通主管有效壁厚	毫米
S_{11} ——三通支管理论壁厚	毫米
S_{js1} ——三通支管计算壁厚	毫米
S_1 ——三通支管取用壁厚(管材公称壁厚)	毫米
S_{v1} ——三通支管有效壁厚	毫米
C ——管材壁厚附加值	毫米
D_w ——三通主管外径	毫米
D_n ——三通主管内径	毫米
d_w ——三通支管外径	毫米
d_n ——三通支管内径	毫米
D_p ——三通主管平均直径	毫米
d_p ——三通支管平均直径	毫米
P_{js} ——计算压力	公斤/厘米 ²
$[P]$ ——允许工作压力	公斤/厘米 ²
$[\sigma]_t$ ——钢材在计算温度下的基本许用应力	公斤/毫米 ²
$[\sigma]$ ——钢材许用应力	公斤/毫米 ²

σ_{zs} ——折算应力 公斤/毫米²

t_{js} ——计算温度 °C

φ_y ——强度减弱系数

β ——管子外径与内径的比值 $\beta = \frac{D_w}{D_n}$

d ——单筋加强元件直径 毫米

h ——蝶式加强板高度 毫米

b ——蝶式加强板厚度 毫米

目 录

前言

主要符号说明

第一章 高压高温焊制三通的使用情况及其型式	1
第一节 高压高温焊制三通的使用情况	1
第二节 焊制三通的主要型式	4
第二章 焊制三通的强度试验	5
第一节 焊制三通的受力情况	5
第二节 焊制三通的加强方法	7
第三节 强度试验	9
第三章 焊制三通的强度计算	26
第一节 强度计算条件	26
第二节 强度计算方法	27
第三节 其他常用的计算方法	41
第四章 焊制三通的制作工艺	45
第一节 主管、支管及加强元件的下料和加工	45
第二节 焊接	55
第三节 热处理	62
第四节 焊缝的质量检查	64
第五节 水压试验	65
附录	65
附表(一) 无缝钢管壁厚允许偏差(摘录)	65
附表(二) 国产钢材基本许用应力表	68
附表(三) 国外钢材基本许用应力表	70
主要参考文献	72

第一章 高压高温焊制三通的使用情况及其型式

第一节 高压高温焊制三通的使用情况

建国初期，我国新建高压高温电厂的主蒸汽和给水管道上，一般都使用铸钢三通。由于铸钢三通的铸造质量不易保证，在安装过程中，常常需要进行大量的焊补工作，对工程进度影响很大。而且铸造三通的缺陷不易检查，投产后往往在运行中发生泄漏造成停机、停炉事故，给生产带来很大损失。更由于订货困难，往往供货不及时，不能满足工程和生产需要。从使用钢材来看，铸钢三通体形庞大，耗用钢材较多。而采用锻造三通又受到锻造能力的限制，在制造上也不很经济。由于以上原因，水利电力部前电力建设科学技术研究所早在1959年，就根据当时电力建设的需要，对高压焊制三通进行了试验研究和试制工作，取得了一定的成果。从此焊制三通开始在一些高压电厂的给水管道上使用，也有少数高压电厂在主蒸汽管道上使用。如1959年在青山热电厂5号机炉安装工程中，在100大气压、500℃的主蒸汽管道上，装用了一只12CrMoV钢 $\phi 273 \times 22$ 毫米等径焊制三通。它采用的是单筋加强型式。这种焊制三通至今已安全运行了14万小时以上，未发现过任何问题。1965—1967年间，原上海汽机锅炉研究所和华东电力建设局一起，对焊制三通进行了一系列试验(1973年由上海锅炉厂研究所整理提出试验报告)，

表 1-1

已投入运行

序号	电 厂 名 称	三 通 规 格 主/支 (毫米)	加强 型式	工 作 参
				压 力 (公斤/厘米 ²)
1	青山热电厂*5机	$\phi 273 \times 22 / \phi 273 \times 22$	单筋	90
2	南京热电厂*4机	$\phi 273 \times 28 / \phi 273 \times 28$	单筋	100
3	大电厂*1、2机	$\phi 325 \times 24 / \phi 325 \times 24$	单筋	46
4	闵行电厂*9机	$\phi 470 \times 15 / \phi 325 \times 24$	蝶式	23.4
5	闸北电厂*15、16机	$\phi 470 \times 19 / \phi 325 \times 24$	蝶式	23.4
6	望亭电厂*12机	$\phi 426 / \phi 325$	厚壁	32
7	望亭电厂*13机	$\phi 355.6 \times 40 / \phi 160 \times 30$	厚壁	170
8	望亭电厂*13机	$\phi 426 / \phi 325$	厚壁	32
9	金山热电厂*1~6机	$\phi 273 \times 32 / \phi 273 \times 32$	单筋	100
10	金山热电厂*1~6机	$\phi 159 \times 13 / \phi 159 \times 13$	单筋	100
11	金山热电厂*1~6机	$\phi 273 \times 32 / \phi 159 \times 13$	单筋	100
12	金山热电厂*1~6机	$\phi 323.9 \times 31 / \phi 273 \times 32$	单筋	100
13	吴泾热电厂*5机	$\phi 510 \times 34.5 / \phi 465 \times 12$		25
14	吴泾热电厂*5机	$\phi 426 \times 28 / \phi 273 \times 12$		25
15	吴泾热电厂*6机	$\phi 273 \times 31 / \phi 273 \times 32$	单筋	100
16	南市电厂*7机	$\phi 325 \times 35 / \phi 325 \times 35$	单筋	64
17	莱芜电厂*3机	$\phi 168 \times 22 / \phi 168 \times 22$	单筋	140
18	辛店电厂	$\phi 168 \times 22 / \phi 168 \times 22$	单筋	140
19	辛店电厂	$\phi 273 \times 45 / \phi 168 \times 22$	单筋	140
20	金竹山电厂	$\phi 273 \times 26 / \phi 168 \times 22$	单筋	140

注 1. 本表只包括部分电厂的焊制三通, 未经调查的不包括在内; 2. 高压

的焊制三通调查表

数	材 料	个数	投产年月	备 注
温 度 (°C)				
500	12CrMoV	1	59/9	捷克 15123 相当于 12Cr1MoV
540	15123	1		
470	12CrMoV	2	70/12 71/12	
555	10CrMo910/12Cr1MoV	4	73/9	
555	10CrMo910/12Cr1MoV	8	74/12 75/8	制造厂焊制
555	F11	24	74/10	
555	F11/12Cr1MoV	4	76/10	
555	F11	24	76/10	
540	12Cr1MoV	13	74~76	制造厂焊制
540	12Cr1MoV	12	74~76	
540	12Cr1MoV	12	74~76	
540	12Cr1MoV	4	74~76	
555	12Cr1MoV	2	69/9	
555	A213/T9	16	69/9	
540	12Cr1MoV	1	75/11	
485	10CrMo910	1	72/12	
540	12Cr1MoV	1	75/11	
540	12Cr1MoV	1		
540	16CrMo910	1		
555	F12	1	76/6	
540	12Cr1MoV	1	76	

给水焊制三通未列入表内；3.表内序号“7”的三通为开孔结构。

为焊制三通的强度计算、结构形式设计和使用参数范围等，提供了比较多的数据。特别是无产阶级文化大革命以来，我国电力工业的飞跃发展，大容量高参数机组的比重逐步增加，铸钢三通的供应问题更加显得突出。采用焊制三通不仅可以解决铸钢三通不能满足需要的情况，而且有关单位还可以根据具体情况，因地制宜就地取材，自行焊制。因此，随着电力建设的发展，焊制三通的使用范围已逐渐扩大。到目前为止，已有不少电厂在高压和超高压主给水、主蒸汽管道和再热系统的管道上使用焊制三通。除个别情况下由于取用焊制三通的加强型式不合理或制造工艺不良曾发生几起漏泄事故外，一般都未发生问题。关于部分高压电厂使用焊制三通的情况可见表1-1。

我国部分高压高温电厂虽然积累了不少使用焊制三通的经验，但在设计、制造和运行参数等方面，还存在着不一致的情况。为此，水利电力部基建司于1976年12月在上海召开了高压高温焊制三通技术座谈会，交流了设计、制造、使用等方面的经验，初步统一了认识，作出了技术规定，为今后推广使用焊制三通创造了有利条件。但应该指出：目前对焊制三通的试验研究工作还是不够的，有些技术问题尚未获得完全解决，还有待于今后进一步研究确定。

第二节 焊制三通的主要型式

一些高压电厂使用的焊制三通，主要有两种型式。一种是用厚壁管焊制三通，另一种是用略厚于管道的管子焊制，再用加强元件局部加强。用厚壁管焊制三通，因焊制工艺比较简单，一般在能够解决厚壁管的条件下，应首先考虑采用。

在没有厚壁管的条件下，可根据具体情况因地制宜地采用加强元件焊制三通。从表 1-1 可以看出，以往各高压电厂由于不易得到厚壁管，大多采用加强元件焊制三通。用加强元件焊制三通，一般有单筋、蝶式、披肩、套箍等型式（见本书第二章）。经过试验和运行证明，单筋和蝶式两种型式，加强效果较好，制造工艺也简单，可以推广使用。而披肩加强型式，由于加强元件和管壁主要是贴合而不是焊合，试验证明加强效果不太可靠。同时运行经验还证明，这种加强型式的焊制三通，有的电厂（如淮南、闵行、闸北等厂）在装用几年后曾发生漏泄情况，由于情况比较复杂，似不宜采用。至于其他加强型式，有的加强效果不好，有的制造工艺复杂，都不如单筋和蝶式好，故各电厂很少采用。此外，在一机、石油、化工等系统中，不少单位对焊制三通进行了大量试验研究工作，取得了一定成果，并推广使用在高压部件上。对这些部门使用焊制三通的经验，了解不多，不在这里介绍。

第二章 焊制三通的强度试验

第一节 焊制三通的受力情况

在管道系统中，三通是一个受力复杂、工作条件比较恶劣的元件；是管道系统中的薄弱环节。焊制三通除了上述条件外，还因在主管上开孔，使三通整体强度受到很大的削弱，并引起局部的应力集中。因此，焊制三通所受到的应力大致可分为一次应力、二次应力及峰值应力三种：

1. 一次应力

一次应力主要包括以下内容：

- (1) 主管因承受内压而产生的应力;
- (2) 支管因承受内压而传递给主管的应力;
- (3) 持续外载 (如管道重量, 支吊架反力等) 所产生的应力;
- (4) 主管开孔使主管强度削弱而增加的应力。

2. 二次应力

二次应力主要是由于管道热胀、冷缩和其他位移的作用所产生的应力。

3. 峰值应力

峰值应力主要包括以下内容:

- (1) 局部的集中应力, 是指三通内、外壁转角处的集中应力;
- (2) 由于三通结构上的不连续性所造成的应力;
- (3) 焊接应力;
- (4) 三通运行中产生的温差应力。

这三种应力, 有各自的特点, 因而对三通强度的要求也各不相同。

一次应力的特点是没有自限性。当一次应力超过某一限度时, 将使三通变形屈服, 直至破坏。因此设计时, 要考虑三通的强度计算, 必须使三通在工作条件下处于安全范围内。

二次应力的特点是有自限性, 当与三通有关的管道或元件发生局部屈服和产生少量的塑性变形时, 就能使二次应力降低下来。因此, 对二次应力的限定, 就和一次应力有所区别。但二次应力对三通的影响并不完全决定于某一特定工况下 (如运行、起动、停用等) 的应力水平, 而主要决定于应力的交变幅值及交变循环的次数。因此, 在管道系统的设计

和布置时，应注意对三通二次应力的分析，使之处于安全工作范围内。

峰值应力的特点是局限在某些小的局部范围内，并从应力中心衰减，一般不会引起任何显著的变形。但当它超过一定的限度后，在应力交变作用下，将成为裂纹的起源点，并在一定条件下裂纹逐渐扩大，使三通产生疲劳损坏或引起应力腐蚀。

由此可见，三通的受力情况是复杂的，而且由于三通本身的形状不规则，造成应力分析的困难。另一方面，随着机组向大容量和高参数方向发展，对管道系统和三通的安全性，提出了更高的要求。因此，必须对焊制三通进行各种必要的试验，以掌握它在各种情况下的应力状态和整体强度的减弱程度，以此作为强度计算的主要依据。

第二节 焊制三通的加强方法

如前所述，三通在管道系统中是一个受力非常复杂的元件，特别是焊制三通，由于在主管上开孔，使主管强度受到很大的削弱，更由于在局部地点存在着很高的应力集中，从而使焊制三通的整体强度大为降低。因此，如果使焊制三通的壁厚与连接直管相同，那末，它的整体强度是远不够的。为了达到和连接直管等强的水平，就必须进行结构加强。焊制三通的加强方法主要有以下两种：

1. 加强三通的壁厚

这种加强方法即用厚壁管做成焊制三通。根据焊制三通整体强度的减弱程度，计算出需要的壁厚，以使三通的整体强度和所连接的直管相同，为安全起见，应适当考虑一定的

裕度。

2. 局部加强

局部加强法即在焊制三通被削弱的部位和应力集中的地点，焊上加强元件，以提高三通的整体强度。焊接加强元件有多种型式，如单筋、蝶式、披肩、套箍等见图 2-1。但大

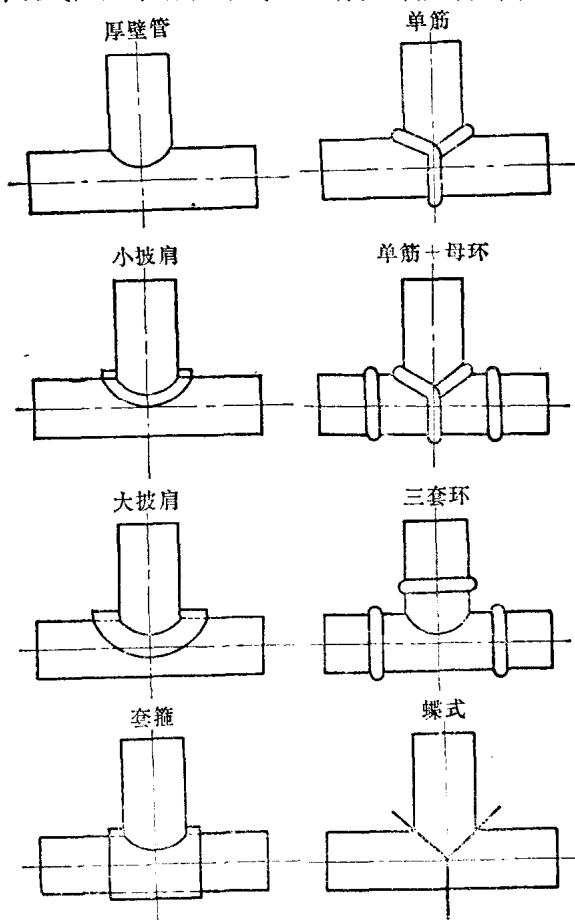


图 2-1 各种加强型式焊制三通示意图

量试验证明，单筋和蝶式两种型式，加强效果较好，制作工艺较简单，比其他各种型式有一定的优越性。因此，本章内容主要介绍单筋和蝶式加强型式的试验情况。经试验证明：用和直管相同管材焊制的三通，并采用单筋或蝶式加强后，其整体强度能达到直管高温持久爆破值的70%以上，常温爆破值的90%以上。所以，在制作三通时，仍需采用比连接直管略厚的管材。

第三节 强 度 试 验

焊制三通的强度试验，是为了摸清焊制三通在设计条件下的应力状态，和与直管相比三通整体强度的减弱程度；并根据试验的结果，比较各种结构型式的加强效果，去劣取优，以保证焊制三通的安全性和经济性。

焊制三通的强度试验，主要有下列几项：

- (1) 常温爆破试验；
- (2) 应力测试；
- (3) 常温屈服试验；
- (4) 高温持久爆破试验。

目前国内主要是对等径焊制三通进行了上述几方面的试验工作，其中常温试验作得多些，高温试验作得少些。对于焊制三通的内壁应力测试、二次应力试验等则作的较少。现将焊制等径三通的各种试验情况、试验结果和数据简要介绍如下。

1. 常温爆破试验

常温爆破试验是指在常温下对焊制三通进行的爆破试验，通过试验求出焊制三通在常温下的强度减弱系数。作试