

* * * * *
* 网 架 结 构 施 工 *
* * * * *

南京工学院 肖 焱

一九八七年六月

目 录

×× ×× ×× ×× ××

一、制作与拼装	1 ~ 15
(一) 焊接钢板节点的制造	
(二) 焊节球节点的制造	
(三) 螺栓球节点的制造	
(四) 杆件的制作	
(五) 网架的拼装	
二、网架的安装方法	16 ~ 70
(一) 高空散装法	
(二) 分条(块)吊装法	
(三) 高空滑移法	
(四) 整体吊装法	
(五) 整体提升法	
(六) 整体顶升法	
三、网架结构施工方案的选择	71 ~ 73
(一) 设计方案与施工方案的配合	
(二) 安装方案的选择	

一、制作与拼装

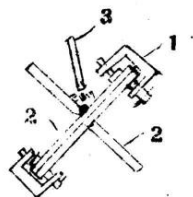
(一) 焊接钢板节点的制造

焊接钢板节点在制造时，事先要根据图纸要求进行放样，并制成样板，样板一般可用硬纸剪成。在样板上标有各种中心线（包括螺栓孔中心等）。

钢板按此样板下料。为了使钢板具有整齐的边角，在有条件的地方应尽量采用剪板机下料。否则用气割下料也可，但当边角不够光洁时，应进行修正。

由于钢板节点的尺寸一般设计的较富裕，故在《网架结构设计》与《施工暂行规定》（以后简称《规定》）中，提出的允许误差范围较宽，为 $\pm 2\text{ mm}$ 。

钢板相互连接的夹角，根据设计图纸的要求先大概的用电焊点上，然后以角尺或样板用锤轻击校正，使其夹角逐步贴紧角尺或样板，然后进行焊接，在节点焊接完成后，要求节点板相互间的夹角仍然与角尺或样板面相符合，因而在节点板焊接时应采取措施尽量减少焊接变形，根据一些工程的经验，带盖板的节点在点焊后可用节紧器夹紧后再全面施焊（图1）。节点板的焊接顺序见图(2)，有些单位采取严格限制电流及分皮焊接等措施（例如 $\phi 4$ 焊条，电流

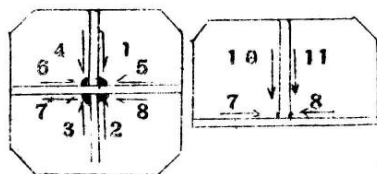


- 1—夹紧器；
- 2—两个T形节点板相背夹紧
- 3—电焊条

（图1）用夹紧器焊件

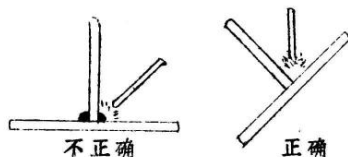
控制在 210A 以下，当焊缝高度为 6^{mm} 时，分两皮焊接等），以减少焊接变形。

为了使焊缝左右均匀，建议用船形焊接方法施焊（图 3）



（图 2）

1~8—焊接顺序



（图 3）

（二）焊接球节点的制造

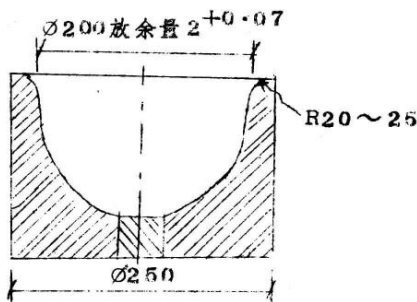
球的加工方法

现有热轨和冷轨两种，现仅介绍热轨方法，热轨半圆球的下料尺寸可用

$\sqrt{2} \cdot D$ （ D 为球的外径）的公式计算。

压球的模子，下模有漏模及底模两种，图(4)所示为两种可供参考的模子。

上下模的材料



a) 阴底模（原石化部四化院经验）



b) 漏模（大同矿务局机电安装队经验）

（图 4）

宜用具有一定硬度的铸钢铸铁，并按三级基准孔（轴）精度要求加工，上下模宜考虑球的冷却收缩率。下模的圆角不宜太小，太小了则容易拉薄，圆角太大了则钢板容易折皱。制球用毛坯圆形钢板加热要均匀，如果热度不均，热压后球壁会发生厚度不均和拉裂等弊病。加热温度约 $700\sim 800^{\circ}\text{C}$ 。呈弱淡的枣红色。

热轧球容易产生的弊病有：①壁厚不均匀；②“长瘤”，即局部凸起；③带“荷叶边”，即边缘有较大的折皱。

热轧半圆球壁厚的不均匀情况，一般规律如图（5c）所示，靠半圆球的上口偏厚，上模的底部与侧边过渡区域偏薄，图（5a、b）所示为某单位轧制的半圆球壁厚变化情况，壁厚允许减薄量为10%。

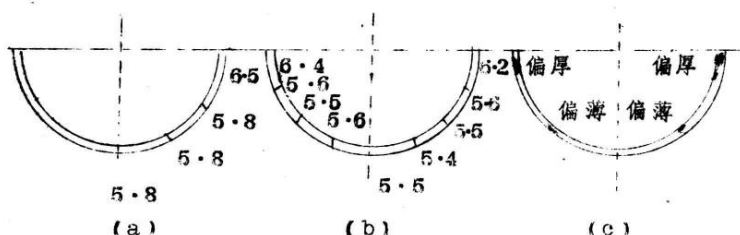


图5 半球厚度

a) b) 某半球测量的厚度：c) 一般规律

球体不允许有“长瘤”现象，“荷叶边”应在切边时切去。

半圆球建议用机床切边，一面切边一面即形成坡口，因为机床切边容易保证尺寸的精度，在条件不可许的情况下，可用简易的改良工具，气割切边。

目前国内一些工程制造的球的直径偏小的不少，估计是由于①

上模磨损；②模子未考虑冷却收缩率等。如果球的负偏差过大，会造成网架总拼尺寸偏小。故《规定》中规定球外径的允许误差不超过 $\pm 2^{\text{mm}}$ 。

球的不圆度（即最小外径与最大外径之差），不仅影响拼装尺寸，而且会造成节点的偏心，故应控制在一定范围内，《规定》中允许误差不得超过 2^{mm} 。

对于焊接球节点的抽样检验问题，我们建议每批抽查三个，如果三个里有一个不符合《规定》中的指标，就应加倍取样，如在加倍取样中仍有一个不合格，则认为该批为不合格品，问题在如何确定批量的大小，这与工厂的质量稳定性和一种类型球的批量大小有关，《规定》中定为200个，这是考虑非正规工厂的生产情况。

（三）螺栓球节点的制造

毛坯的精度影响着机加工的质量，所以《规定》中不圆度允许误差为直径的 2^{mm} ，大约比一般机械制造的规范要大一倍左右，主要是考虑各工地自己加工的因素，毛坯的加工方法有模锻和铸造两种，模锻质量好、工效高、成本低，建议在有条件的地方应优先选用模锻，根据二汽的经验，用模锻锤锻造，约三人操作，每台班可产生400~500个（直径为 100^{mm} ），而用胎模锻造，约五人操作，每台班生产300个左右，一个模子的使用寿命约可锻2~3万个。

球的加工应事先加工一个分度夹具，在制造该夹具时各厂应尽可能提高其精度，例如至少在坐标镗床上加工。因为分度夹具的精

度约为工件成品精度的3倍左右。

球在车床上加工时，先加工平面螺孔，再用分度类具加工斜孔，斜孔的角度误差按机械加工规范JB 1—598级精度检验。螺孔平面到球中心的距离偏差不能过大，允许误差为球直径的 $\pm 0.25\%$ 。

螺栓按高强螺栓GB 1228—1231—76技术条件加工。

(四) 杆件的制作

钢管用机床下料，可以保证其长度尺寸和坡口的准确性，在有条件的地方应优先采用。角钢的下料精度相对可略大。这是因为节点板的余量较大，因而当无剪床时，也可用气割。

杆件不管是钢管或角钢都得考虑焊接收缩量，影响焊接收缩量的因素较多，例如①焊缝的长度和高度；②气温的高低；③焊接电流强度；④焊接方法——如一个节点是多次循环间隔焊还是集中一次焊成；⑤焊工的操作情况等。焊接收缩量不容易留准，最好根据各自以往的经验，再结合现场和网架结构的具体情况做试验来确定。国内有不少工程预留收缩量取得不够，因此，网架总拼后尺寸偏小。

下面一些工程实例可作为参考：

济南山东体育馆（两向正交斜放网架、钢管球节点，焊接时加衬管），焊接季节为秋季，施工时每个焊口取 2mm ，认为应放大到 3mm 以上。

保定体育馆（两向正交正放网架、钢管球节点，焊接时不加衬管），焊接季节为9月份，施工时每个焊口取 1.5mm ，焊完后网架 55mm 跨平均偏大 $+19\text{mm}$ 。第二次10月份下半月至11月焊接，焊完

后网架尺寸偏差为 ± 0 。

镇江体育馆（斜放四角锥网架，角钢焊接钢板节点），焊接季节：冬季。施工时每个节点取 2^{mm} ，焊完条状单元后网架 45^{m} 跨平均偏小 $15 \sim 20^{\text{mm}}$ ，认为每个节点应放大至 3^{mm} 以上。

石家庄河北省体工队篮球馆（斜放四角锥，钢管焊接球节点，焊接时不加衬管），焊接季节为秋季。施工中每米取 1% ，焊完后网架尺寸偏差小于 4% 跨度。

在《规定》中所列的数值为参考值（见《规定》第81条）。

焊接连接杆件尺寸在加上预留收缩量后再行下料，《规定》中所指杆件成品长度允许误差是指在留足预留收缩量后的下料长度。

（五）网架的拼装

1、小拼单元的划分：

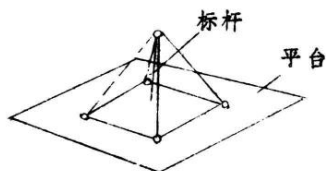
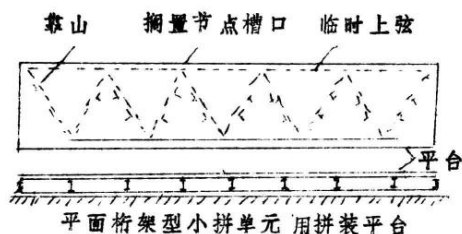
根据焊接工作应尽量在工厂或预制拼装场内进行的原则（见《规定》第72条），故网架的拼装，多数工程均采取小拼及总拼等施工程序，有的情况还有中拼（例如分条块状单元时）。一般来说，小拼、中拼、均在工厂或预制拼装场内进行为好。因为在工厂内或预制拼装场内有起重设备。可以翻身焊接，争取较多的平焊，焊接质量比较有保证。

小拼单元应在专用的模架上进行拼装，小拼模架有两种类型：

①平台型；②转动型。

平台型（图6）类似一般钢结构制造厂的放样拼装平台，由钢板拼成平台。台面要求水平，根据设计图纸在平台上放出小拼单元

的足尺大样（并加焊接预留收缩量），为了确定节点与杆件的位置，在中心线的某一边焊上短的型钢（俗称“靠山”），网架小拼时只要将杆件及节点靠住靠山，然后用电焊点住位置，即可用吊车吊离小拼模架至其他地方进行焊接。

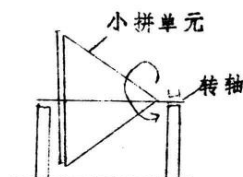


小拼单元为锥体的拼装平台

（图 6）

转动型如（图 7）所示，把节点及杆件夹在特制的模架上，这模架可以转动，先用电焊点牢后，再在此可转动的模架上全面施焊，一面焊，一面转动模架，用这种方法焊接时可以使电焊工始终在比较好的操作条件下操作，并能有较多的平焊缝。

当小拼单元为单锥体时，网架总拼是由若干单锥组成的。有些工程将单锥体均制成负公差，这样就造成网架总拼后尺寸缩小较多的问题。为了避免这种负公差积累的情况《规定》中规定单锥体的允许误差有正有负。



（图 7）

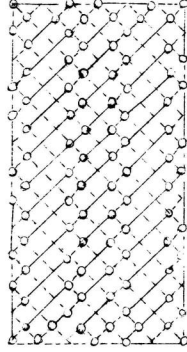
如何确定小拼单元？这与网架总拼方案有关。一般对平面桁架施工比较熟悉，人们往往把斜放四角锥网架分割成平面桁架型，但这种平面桁架是没有上弦的，需要加设可靠的临时上弦，以免在翻身吊运时变形，而且这种小拼单元在工厂中（或预制拼装场）的焊接量较少。例如镇江体育馆（图14b）网架采取平面桁架型小拼单元，预制场的焊接量仅占总焊接量的30%左右，又如上海体育馆练习馆，采取四角锥小拼单元（图14c），预制场焊接量占75%左右。

当采用四角锥体的小拼单元时，尽量多划分一些单锥体带四根下弦的单元（图14d），以便在翻身焊接时能自身独立，但不可避免的也会划分成单锥带两根下弦（图14e）或单锥体，这时翻身焊接时可用支撑撑住，另外一个重要原则就是应该把所有的节点全部由单元体带上，将来网架在总拼时仅连接杆件。

如图14a所示为两向正交斜放网架小拼单元划分的一个例子。考虑到总拼时标高控制方便，每行小拼单元的两端均在同一标高为准，图中网架是沿长跨方向起坡的。

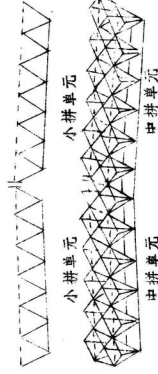
2、当网架分条（块）单元，然后用吊装或滑移的安装方法在高空中拼时，由于条（块）状单元尺寸及平面形状的误差，会使总拼后网架尺寸偏差积累起来，严重者会超出规定要求。根据国内一些工程的经验，应尽量采取在地面预拼装的措施，有的工程（如河北省体工队兰球馆、南京军区体工队兰球房等）在地面予总拼后再拆开吊装。在场地不够时，有的工程（如镇江体育馆等）采取“套拼”的办法，即两个或三个单元在地面予拼装，吊去一个单元后，再拼接一个单元。

a)



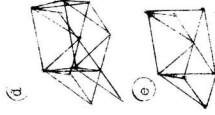
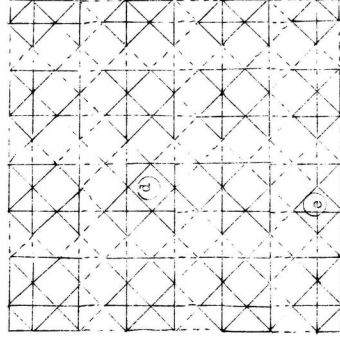
○: 表示小拼单元;
○: 表示临时加固件;
---: 表示现场拼焊杆件

b)



---: 表示临时加固件;
---: 表示临时加固件

c)

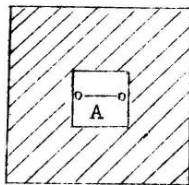


(图 1.4) 几种小拼单元例子

a) 平顶山高压开关厂某车间两向正交斜放网架; b) 江苏镇江体育馆斜放四角锥网架; c) 上海体育馆练习馆斜放四角锥网架; d) e) 典型锥体单元形式。

3、总拼时应选择合理的顺序

确定正确的总拼顺序主要是为了①减少焊接变形；②减少焊接应力。根据国内多数工程的经验，总拼时的焊接顺序应从中间向两边或向四周发展。因为网架在向前拼接时，有一端的收缩是自由的。同时便于铆工在前面随时调整尺寸，在焊接时应避免形成封闭圈，在封闭圈中再施焊（图8），这时的焊接应力很大，严重时会使焊缝崩裂。



一般来说网架先焊下弦节点，使下弦收缩而向上拱起，然后焊腹杆及上弦。如果先焊上弦，由于上弦的收缩而使网架下挠，再焊下弦时由于重力的作用下弦收缩时就难以再向上拱而消除上弦的下挠值了。

（图8） 封闭圈中施焊原理

在用散件总拼时（不用小拼单元），把所有杆件全部点上（有的地方点得较牢。例如沿管子周焊四处，每处焊缝长约 10mm ），在全面施焊时，往往会发生已点上的焊缝由于焊接收缩应力的作用而被拉断。这主要是因为全面施焊时焊缝没有自由收缩边，类似于在封闭圈中焊接。解决的办法可以减慢总的焊接速度，用循环焊接法（例如上海奉贤县体育馆所采用的），即在A接点上焊一条焊缝，然后转向B节点……，待A节点的焊缝冷却后，再转向A节点焊第二条焊缝。

4、起拱问题

起拱的作用有二：一是为了消除网架在使用阶段的挠度；二是

解决屋面排水问题。

是否所有的网架都要起拱？回答是不一定。例如，跨度在30m以下时，为了施工方便，

建议就不需要起拱。图(a)

内很多工程都是单向起

拱，也有双向起拱的。

起拱有两种形式，一种

是弧形起拱(图9a)，

另一种是折线起拱(图

9b)。这两种起拱形式都与挠度曲线不符合，但可以近似地按圆弧曲线或折线起拱。

如果采用圆弧曲线起拱，对于单向起拱，可按图10所示曲线及

公式(1)、(2)、(3)计算各节点标高：

$$R = \frac{L_x^2 + 4f_0^2}{8f_0} \dots\dots(1)$$

式中：R—圆半径；

L_x —x向跨度；

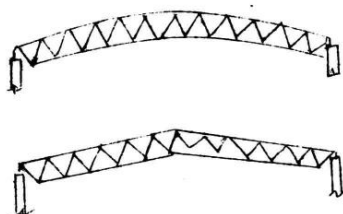
f_0 —要求跨中起拱值。

$$H = R - f_0 \dots\dots(2)$$

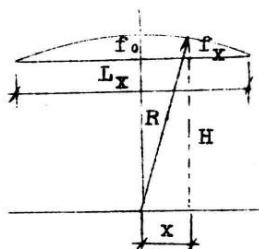
$$f_x = \sqrt{R^2 - x^2} - H \dots\dots(3)$$

式中：x—以跨中为坐标原点O，所求节点处距离原点O的距离；

(图10) 弧形起拱原理



(图 9)



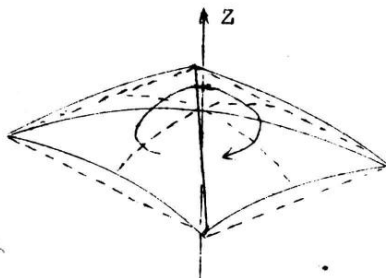
f_x —所求节点处的起拱高。

例：上承式双向正交正放网架跨度 $30 \times 30\text{m}$ ，要求跨中起拱 300mm ，网格长 3m ，求离跨中第一个节点的起拱高？

$$R = \frac{30^2 + 4 \times 0.3^2}{8 \times 0.3} = \frac{900 + 0.36}{2.4} = 375.15\text{m}$$

$$H = 375.15\text{m} - 0.3\text{m} = 374.85\text{m}$$

$$\begin{aligned} f_{01} &= \sqrt{375.15^2 - 3^2} - 374.85 \\ &= 375.134^2 - 374.85 = 0.284\text{m} \end{aligned}$$



(图 11) 双向圆弧曲线起拱计算图形

同理，如果是双向起拱（图 11），即用相同的公式(1)、(2)。

(3) 计算，但(1)式中 L_x 必须换成对角线长。

例：同上例，另一方向的跨度为 27m ，求距跨中第一个节点的起拱高？

$$\text{对角线长: } \sqrt{30^2 + 27^2} = 40.36\text{m}$$

$$R = \frac{40.36^2 + 4 \times 0.3^2}{8 \times 0.3} = 678.87\text{m}$$

$$H = R - f_0 = 678.87 - 0.3 = 678.57^m$$

$$f_{01} = \sqrt{(678.87)^2 - 3^2} - 678.57 = 0.293^m$$

(沿边长方向第一节点)

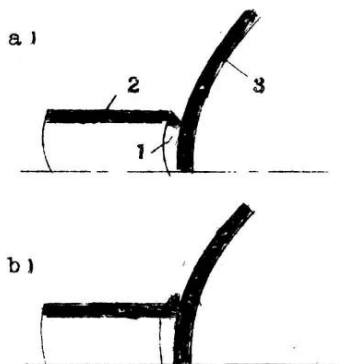
$$f_{01}' = \sqrt{(678.87)^2 - (3 \times 1.41)^2} - 678.57$$

$$= 0.287 \text{ (对角线方向第一节点)}$$

5. 焊缝问题

在钢管球节点的网架结构中，钢管厚度大于 4^{mm} 时必须割口

在要求对接焊缝的杆件中（如下弦拉杆），焊接时钢管与球壁之间必须留有间隙，必要时加衬管（图 12），则能保证焊透而形成较理想的对接焊缝。在腹杆和上弦压杆工作有困难时，可以割口不加衬管（图 13），钢管与球壁直接顶紧，在全位置焊接中根部并不能焊透，严格来说应按贴角焊缝计算。



(图 12) 对接焊缝图

a) 焊前加衬管；b) 已焊完的焊缝

1—衬管； 2—受拉弦杆

3—焊接球节点。

6. 螺栓球节点的拼装

总的拼装顺序与焊接节点相同，由一边向另一边或从中间向两

边顺序发展。

拼装一般是下弦先拼，将下弦的标高和轴线校正后，全部拧紧螺栓，起定位作用。开始连接斜杆时不宜拧紧，但必须使其与下弦连接端的螺栓吃上劲，如不吃上劲等周围螺栓都



(图 13) 贴角焊缝图

拧紧后，这个螺栓都有可能偏歪(因锥头或封板的孔较大)那时将无法拧紧，连接上弦时开始也不能拧紧。例如当分条拼装时，安装好三行上弦球后，即可将前两行抄平和调整中轴线，这些都是用调整下弦的垫块高低进行的。然后固定第一排锥体的两端支座，同时将第一排锥体的螺栓拧紧到销子达到设计位置。

在整个网架拼装完成后，必须全面检查一次螺栓是否拧紧。