

1 绪论

1.1 矫直理论

型、管、板、带等长条状的金属条材定义为金属型材。这些材料在轧制、锻造、挤压、拉拔、运输、冷却及各加工过程中常因外力作用，温度变化及内力消长而发生弯曲或扭曲变形。在长度远大于宽度或厚度的条材上，纵向纤维的变形十分明显，在宽度不太小的条材上如带材横向纤维的变形有时也显而易见。为了获得平直的成品条材必须使其纵向纤维或纵向截面由曲变直，横向纤维或横向截面也由曲变直。实现这一要求的工艺过程称为矫直。

1.1.1 矫直机在国内外的的发展

矫直技术属于金属加工学的一个分支，多用于金属条材加工的后部工序，在很大程度上决定着产、成品的质量水平。

18 世纪末到 19 世纪初，欧洲进行了产业革命，逐步实现了用蒸汽机动力代替人力，机械化生产代替了手工作坊。19 世纪 30 年代冶铁技术发展起来，当时英国的生铁产量已由 7 万吨增长到 19 万吨，增加了 2.7 倍。19 世纪 50 年代开辟了炼钢技术发展的新纪元。随着平炉炼钢技术的发明，钢产量的比重也显著增加。这时已经出现了锻造机械、轧钢机械和矫直机械。进入 20 世纪以电力驱动代替蒸汽动力为标志，推动了机械工业的发展。英国在 1905 年制造的辊式板材矫直机大概是我过见到的最早的 1 台矫直机。20 世纪初已经有了矫直圆材的二辊式矫直机。到 1914 年英国发明了 212 型五辊式矫直机，解决了钢管矫直问题，同时提高了棒材矫直速度。20 世纪 20 年代日本已能制造多斜辊矫直机。20 世纪 30 年代中期发明了 222 型六辊式矫直机，显著提高了管材矫直质量。20 世纪 60 年代中期，为了解决大直径管材的矫直问题，美国萨顿公司研制成功 313 型七辊式矫直机。20 世纪 30—40 年代国外技术发达国家的型材矫直机及板材矫直机也得到了迅速的发展，而且相继进入到中国的钢铁企业。20 世纪 70 年代我国改革开放以后接触到大量的国外设计研制成果。有小到直径为 1.6 毫米金属丝矫直机大到直径为 600 毫米的管材矫直机。有速度达到 300 米每分钟的高速矫直机和精度达到 0.038 毫米每米的高精度矫直机。

矫直技术同其他金属加工技术一样在 20 世纪取得了长足的进展，相应的矫直理论也取得了很大的进步。不过理论滞后于实践的现象比较明显。例如矫直辊负转矩的破坏作用在 20 世纪下半叶才得以解决，但破坏作用的机理直到 20 世纪 80

年代才被阐明。另外，就矫直理论的总体来看，仍然处于粗糙阶段，首先就是其基本参数的确定还要依靠许多经验算法和经验数据，如辊数、辊距、辊径、压弯量及其矫直速度等；其次是许多技术现象如螺旋弯废品、矫直缩尺、矫直噪声、斜辊矫直特性、斜辊辊形特性、拉弯变形匹配特性等都缺乏理论阐述；再次是理论的概括性不够，一套公式不仅不能包括各种断面型材，甚至不能包括同类断面而尺寸和材质不同的工件，如弯矩和矫直曲率等都缺少通用表达式。20世纪70年代以来，矫直技术与矫直理论的发展明显加快，如拉弯矫直技术很快走向成熟；开发成功平动万能矫直技术、行星矫直技术、全长矫直技术、程序矫直技术、变凸度及变辊距矫直技术，以及双向旋转矫直技术等；完善了等距双曲线辊型设计法；创立了等曲率递减反弯辊形设计法、矫直耗能算法、主要工艺参数算法、两种拉弯制度的定性与定量分析法以及负转矩和超前接触分析法；尤其在利用相对值概念对各种矫直过程进行定量分析工作中取得了系统化的成果，为矫直技术数字化处理打下了基础。

从20世纪50年代起我国就有刘天明提出的双曲线辊形设计精确算法及矫直曲率方程式。60—80年代在辊形理论方面有许多学者进行了深入的研究并取得了十分可喜的成果，还召开了全国性的辊形理论讨论会；产生了等曲率反弯辊形的算法。与此同时，以西安重型机械研究所单位和重型机器厂为代表的设计制造部门完成了大量的矫直机设计研制工作，为我国生产提供了设备保证。进入90年代我国在赶超世界先进水平方面又迈出了一大步。我国在反弯辊形七斜辊矫直机，多斜辊薄管矫直机、3斜辊薄铜管矫直机、双向反弯辊形2辊矫直机、平行异辊距矫直机及矫直液压自动切料机等研制反面相继取得成功。在矫直高强度合金钢方面也已经获得很好的矫直质量。其矫直后残留挠度为0.2—0.5毫米每米。此外从20世纪60年代以后拉伸与拉弯矫直设备得到很大的发展，对带材生产起到重要作用。

1.1.2 矫直机紧压下系统的改造

当矫直机工作辊之间没有轧件时，由于上工作辊及其附件的重力作用，在上工作辊托架和压下螺丝之间，压下丝杆和螺母之间会产生间隙，这样，当轧件咬入工作辊时，会产生冲击。为了防止这种情况发生，十一辊矫直机采用工作辊平衡系统，使上工作辊托架紧贴压下螺丝端部并消除螺丝之间的间隙，同时，这种平衡系统抬升上工作辊，调节矫直厚度，液压式平衡系统是用液压缸的推力来平衡上工作辊及附件的重量。系统中，用蓄能器 油泵来周期性地补充液体的漏损，这种液压平衡装

置使用方便

工作可靠，而且可以使工作辊开口度增大，便于检修和处理工作辊及导辊的一些轻微缺陷。

1.1.3 系统原理分析

1.1.31 活塞处于平衡状态时 当电磁换向阀Yv38- a、v37 -b 得电，液控单向阀打开，压力油通过Yv38进入油缸下腔，平衡工作辊及其附件的重量，矫直机处于工作状态（如图1）

1.1.32 活塞处于下降状态时 当电磁换向阀Yv38-b、h 37-b得电，液控单向阀打开，压力油经换向阀Yv-38进入油缸上腔，从而实现下降动作。

1.1.33 存在缺陷

(1) 配备专用的液压站，油箱、电机、油泵和阀组等占用了大量空间，增加油量消耗；

(2) 液压系统较复杂，维护量较大；

(3) 油路较复杂，经常出现漏油等事故。

1.34改造后的液压平衡系统(图2)

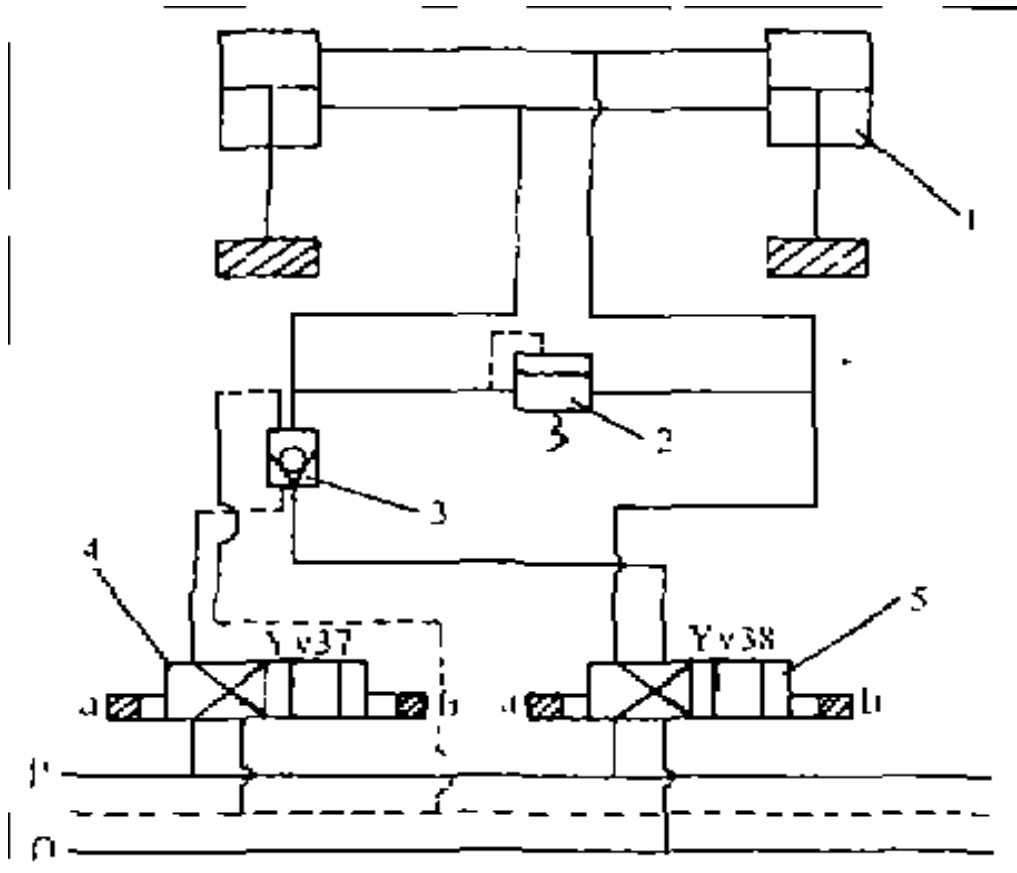


图1.1

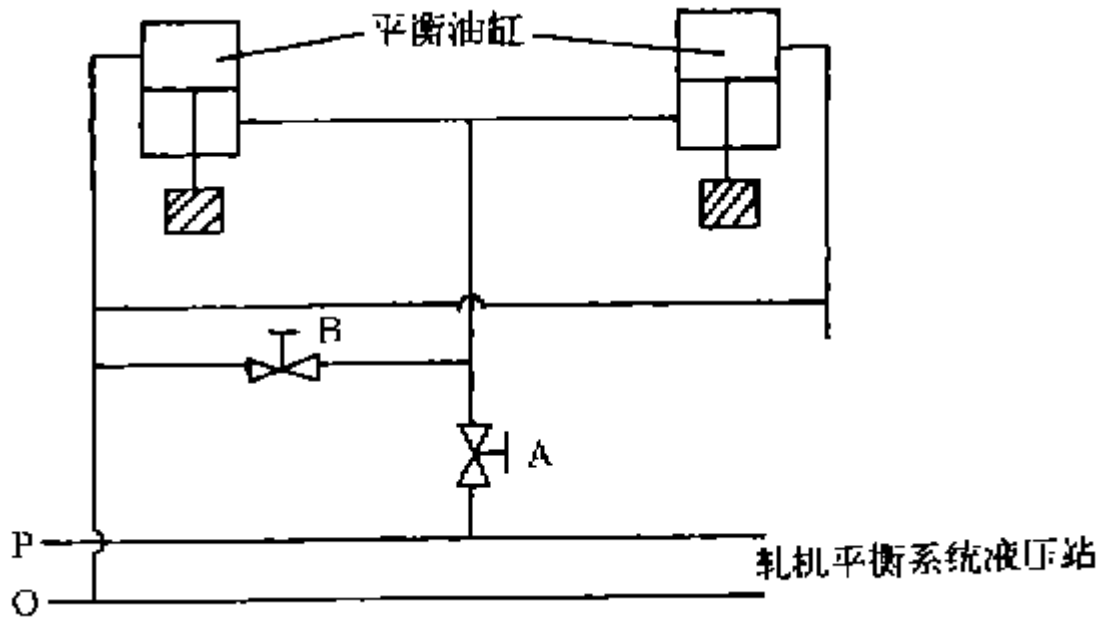


图1.2

平衡时，A阀打开，B阀关闭；下降时，A阀关闭，B阀打开。此处的压力油来自四辊轧机的平衡液压系统，固不需百己各专用的液压站。其优点是系统油路简单，操作简便，易于维护保养、节约空间油耗，降低生产成本

1.1.35 工作油缸改造由于矫直机原来的工作压力为12MPa，轧机液平衡系统工作压力为17 MPa。故改造后的矫直机压下平衡系统的工作压力大大提高了。这就对工作油缸的密封提出了更高的要求，既不能让活塞杆和油缸端部压盖之间漏油，又不使油缸内泄，于是我们对工作油缸进行了两项改造：

(1)工作油缸活塞面的密封圈更换为日本产的质量好的密封圈。以防油缸内泄；

(2)油缸末端缸盖处的密封圈更换为日本产的质量好的密封圈。并且压盖厚度加厚。以加强压盖的强度。封住此处的密封圈。以防压力油外漏。这样，油缸的密封得到加强。液压系统进一步完善，实践证明，这些改造是很有效果的。

1.1.36 油缸的固定

改造前的油缸固定方式是封闭式的，如图1.3所示。(2)(3)是一体的，油缸无法从辅助件中间拆卸。改造后油缸的固定为开放式，如图4所示，(2)(3)是分开的。(3)(4)是焊接在一起的。这样，抽出柱销吊走扁担式辅助件，油缸可以从支架中间拆卸，便于更换和检修。

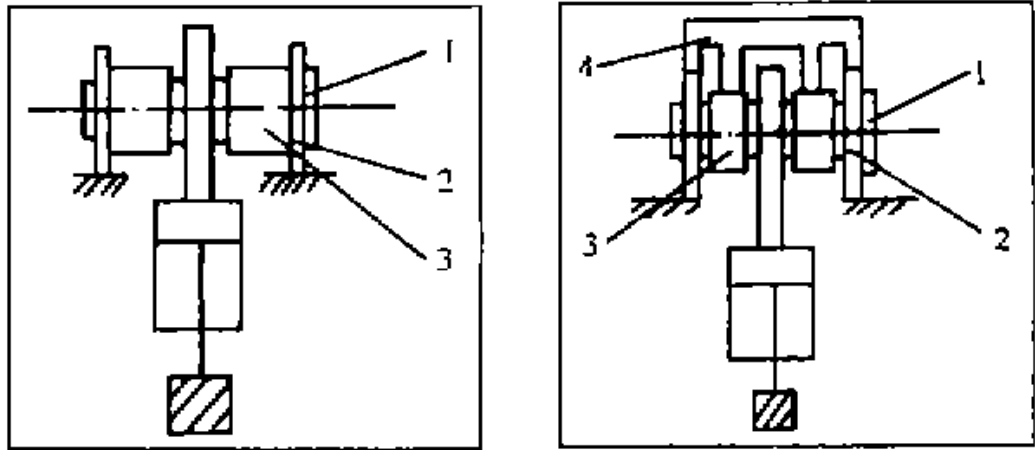


图1.3

1.1.4 中厚板矫直技术的发展

近几年来，随着控轧控冷与直接淬火的采用，轧后板温降低、板形变坏、屈服强度增大，板厚范围加宽和用户对钢板加工自动化程度的提高，要求生产厂交货钢板的平直度也更加严格。因此，新建热矫直机都要求能力强，刚度大，自动化程度高的新型设备，经矫直后钢板平直度好，残余应力小且分布均匀，表面质量好且无压痕。而且做到操作安全可靠，作业率高，换辊方便且快速，一道次矫直，矫速快，矫直时间短，提高自动化水平，以及要求投资省。首先，新型矫直机刚度都很大，即框架辊跳和矫直辊挠度小。结构设计成非常紧凑，将框架立柱

采用预紧力连结，当矫直时使立柱受载后伸长很小，另外，横梁产生挠曲变形以测得矫直力大小来调节液压缸加以补偿。矫直辊产生挠度以弯辊方式加以克服，始终保持了平行恒辊缝以达到最佳平直度的水平。最后，使矫直机刚度达 $10000\sim 20000\text{kN/mm}$ 以上，总的辊跳达 $2\sim 3\text{mm}$ 以下；而横梁与矫直辊挠度达 $0.2\sim 0.3\text{mm}$ 以下。并且，不允许有振动现象，不然也会影响到矫直质量。其次，采用HAGC装置以控制辊缝，使达到恒辊缝的要求，并以厚度计AGC

方式，从矫直力信号使进口与出口辊缝闭合和打开，满足了板子头尾部的矫直要求。有的矫直机将每个矫直辊压下进行单独调整，使压下操作灵活自由，将每根矫直辊都处于最佳工作状态。这样，矫直机辊数可以减少，设备重量减轻。还有矫直机的矫直辊也单独传动，可避免个别矫直辊的扭矩过大，将接轴和齿轮损坏了。当矫直辊发生速差时，矫直辊在钢板表面引起打滑现象而损伤板面。为了自进口至出口压下量逐渐减小，而使辊缝逐渐增大，因此，都设有矫直辊组倾斜机构，一般都采纳压下机构兼做倾斜机构的上辊组倾斜方式，比较合理的结构将下辊组也设置倾斜机构，以便做到最佳的弯曲变形程序，最后达到矫出不平直度极小的钢板。新型矫直机上都附设有制动装置和过载保护装置，以便事故时快速停车和保护电动机与传动系统。矫直辊的维护与材质对矫直钢板表面质量和换辊周期有很大的影响。选用材质是以耐磨性、传动强度及受压强度来考虑。为了防止矫直辊缺陷的产生，与支撑辊材质保持有一定的硬度差，如矫直辊硬度选用65~72HB时，则支撑辊取40~57HB左右。最近，为了延长换辊周期，增加矫直辊的耐磨性和耐冲击性，将矫直辊辊身选用13Cr不锈钢，使换辊周期由矫20~30万t增至40~70万t。热矫时为了防止热裂熔化磨损，辊子冷却很重要。辊子冷却有矫直辊或支撑辊外部单独冷却，也有和矫直辊内部水冷并用。外部水冷用喷头对矫直辊喷冷却水，将高温钢板接受热去除方式，目前得到广泛地应用。内部水冷将矫直辊做成空心，通过旋转接手将冷却水通入矫直辊内部进行辊子冷却。目前，矫直机已普遍采用计算机模型控制，并与轧机过程机相联结，模型可根据矫直钢板厚度、宽度、平直度状况及温度来设定辊缝，调整好横梁液压缸位置，保证打开，闭合及咬钢速度的稳定，自动将过载保护系统和厚度计控制弹跳补偿系统切入工作状态。我国中厚板轧机很多，但矫直机性能都比较低，仍保留有二重式老的辊式矫直机，这种矫直机刚度非常差，无法满足高平直度钢板的矫直要求。应该认识到轧制后热钢板是无法达到平直度标准规定的最低要求，热矫乃是轧制工序后续的一部分。目前，国内许多厂都在改造矫直机，也有的厂准备采用新型矫直机，把我国中厚板矫直技术提高一步，矫直机这项不显目的设备的重要性已被大家所认识。

2 矫直机的选型

由于条材的种类的不同，弯曲的形态不同，所要求的矫直方法也不尽相同。工业上人们已经研制成功的矫直方法主要有压力矫直法、平行辊矫直法、斜辊矫直法、转轂矫直法、平动矫直法、拉伸矫直法、拉弯矫直法及其他一些特殊的矫直方法。

压力矫直机法是将条材的弯曲部位放置在两个支点之间用压头对弯曲部位进行反向压弯。当压弯量选定合适时，压头抬起后条材弹复变直，完成一维弯曲的矫直任务。当条材有侧弯时再将其弯曲部位移至压头处进行反向压弯完成第二次的一维任务。当一根条材具有多处的不同程度和不同方位的弯曲时，则需要进行多部位、多方向和多次的一维反弯完成多部位二维弯曲的矫直任务。

平行鼓矫直法是把间断的压力矫直机法变成辊式连续矫直法，从入口到出口交错布置若干个互相平行的矫直辊，按递减压弯规律进行反复压弯以达到矫直目的。不仅显著提高工作效率，而且能获得较高的矫直质量。这种矫直法在板材及型材矫直中得到广泛应用，不仅能矫直型材的主弯曲，在增加轴向调节条件下也能矫直其侧弯曲；不仅能矫直板材的纵向波浪，在增加弯辊措施后，也能矫直其横向波浪，即矫直其瓢曲。利用两组平行辊将其辊系进行直角组合或称

平立辊组合，即将一组水平辊与一组垂直辊组合起来形成复合辊系可以对二维弯曲严重的线材及小型材进行有效的矫直。

斜辊矫直法是专门用于圆断面条材的矫直法，辊子与圆材倾斜相交，辊子转动时圆材即旋转又前进，辊子对圆材的压弯轨迹呈螺旋形改变。而且螺旋线的导程越小矫直效果越好。斜辊矫直法是一种全方位的矫直法。由于圆材的原始弯曲在任何方位都可能存在，所以特别适用斜辊矫直法。斜辊矫直法是工件在旋转状态下进行的矫直法，也称为旋转矫直法。斜辊矫直法中辊子斜度是可变的，以极限状态来讨论，平行辊矫直法也可以称为 90° 的斜辊矫直法，其压弯轨迹为两条直线，而且导程无限大。

当圆材细而长，或者盘条供货时，矫直工作便不能采用斜辊矫直法。此时如能使辊子自转之外还能绕圆材进行公转，则可达到同样旋转矫直的目的，这就是转轂矫直法产生的依据。矫直时细长圆材从转轂中平稳走过，没有甩摆，没有噪声，同样可以得到良好的矫直效果。转轂矫直法中的矫直辊为适应细圆材对减小辊距的要求，最早是被孔型模块所代替，后来为了减小磨损，进而被滚动孔摸所代替。

由于旋转矫直是一种全方位的矫直，效果很好，但他只适用于圆材矫直。对于一些各方向断面摸数差值较小断面尺寸也较小的条材，其原始弯曲形态也是全方位的，如异形管、方管及异形断面盘条等不能采用转轂矫直法。为了对这种异形细条材实现全方位的反弯矫直，可采用一种平动矫直法，也称为震动矫直法。采用与工件断面相同的孔型辊组将工件抱住，而整个滚组绕着一个固定的轴线做高速的平移晃动而不是转动。同时用两个固定的辊组在平动辊组前后也将工件抱住并推动工件前进。结果使工件从三个辊组之中平稳走出后得到矫直。调节平动半径就是调节压弯量，提高平动频率就等于增加辊数。

对于薄壁异形材，在采用反弯矫直法时会因承受侧压力而引起断面形状的改变，必然造成废品的出现。此时采用拉伸矫直法很容易使各条纵向纤维变直并取得良好的矫直效果。拉伸矫直法在薄板矫直，复杂材矫直，薄壁管材矫直中都得到应用。在拉伸矫直法中辅以扭转装置可以实现拉扭矫直工艺，使存在扭曲的异形材得到良好的矫直。拉身矫直发也可以使三维弯曲的板材得到有效的矫直。

在板材改用带卷形式进行生产以后，首先采用的矫直法是联系拉伸矫直法，这种方法使矫直效率大为提高。但拉伸矫直的缺点也很明显，如裂边、断带及耗能大等变成制约生产的主要矛盾。此时出现了拉弯矫直法，不仅克服了缺点而且进一步提高了质量，拉弯矫直法已成为带材生产中的最好的矫直方法。

连铸坯矫直属于高温矫直，与其他的矫直方法有本质的区别。它的反弯矫直是单向而不是反复的，它的反弯量是逐渐加大的，而不是反复递减的，它的弹复性是可以忽略不计的，它的变形完全按塑性变形来考虑，它的变形量主要受热裂纹限制，尤其在有液芯状态下要保证不漏钢。连铸坯矫直方法与连铸机组融为一体，自成体系。

鉴于以上各种矫直机的特点和所列参数，考虑各种原因我选择辊式矫直机。又因为所做的矫直机为实验矫直机所以要求结构简单等，因此选择焊接结构的机架。

3 基本参数的选择

3.1 钢板辊式矫直机基本参数

3.1.1 辊距的确定

为了满足矫直一定范围厚度的钢板，钢板辊式矫直机的辊距 t 的选择，既要保证最薄的钢板矫直质量，又要保证最厚钢板时矫直辊的强度。为了便于按钢板规格选择矫直机的辊距，通常在矫直机的参数列表中列出了矫直机轧件规格性能的综合参数——最大负荷特性 W ，然后根据 W 值查表 1 和表 2，即可选择所需要的辊距 t 。

最大负荷特性可用下式计算：

$$\begin{aligned} W_x &= \sigma_s b_{\max} h_{\max}^2 \dots \dots \dots (3.1) \\ &= 500 \times 10^6 \times 500 \times 2^2 \\ &= 1 \times 10^{12} \text{ Nm} \end{aligned}$$

式中 σ_s —— 轧件的屈服极限

b_{\max} —— 轧件的最大宽度

h_{\max} —— 轧件的最大厚度

钢板矫直机的辊距 t 也可以按下列经验公式进行计算确定：

$$\text{对于中厚板} \quad t = (10 \sim 15) h_{\max}$$

$$\text{对于薄板} \quad t = (20 \sim 45) h_{\max}$$

式中 20~45, 10~15 是系数，钢板厚度小者取上限，大者取下限。根据设计要求本设计的辊距 t 取值为：

$$t = 64 \text{ mm}$$

验算此值的正确性如下：

t_{\max} 的确定

按矫正质量条件

$$t_{\max} = hE/3\varphi\sigma_s \dots \dots \dots (3.2)$$

其中 $\sigma_s = 500 \text{ Mpa}$ $E = 2.1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

取 $\varphi=0.95$

$$\begin{aligned}
t_{\max} &= 240h \\
&= 240 \times 2 \\
&= 480\text{mm}
\end{aligned}$$

按咬入条件计算确定 t_{\min}

接触应力条件

$$\begin{aligned}
t_{\min} &= 0.59h \sqrt{\frac{E_1 E_2}{\varphi \sigma_s (E_1 + E_2)}} \dots\dots\dots (3.3) \\
&= 0.59 \times 2 \sqrt{\frac{(2.1 \times 10^5)^2}{0.95 \times 5 \times 5^8 \times 2.1 \times 10^5 \times 2}} \\
&= 0.0175\text{mm}
\end{aligned}$$

式中 $E_1=E_2=2.1 \times 10^5$ $h=2$

按强度条件

(1) 辊颈扭转强度条件

$$\begin{aligned}
t_{\min} &= 2.17h \sqrt[3]{b/h} \dots\dots\dots (3.4) &= 2.17 \times 2 \sqrt[3]{\frac{500}{2}} \\
&= 27.34\text{mm}
\end{aligned}$$

(2) 连接轴强度条件

$$\begin{aligned}
t_{\min} &= 2.88 h \sqrt[3]{b/h} \dots\dots\dots (3.5) \\
&= 2.88 \times 2 \sqrt[3]{\frac{500}{2}} \\
&= 36.28\text{mm}
\end{aligned}$$

经验证 $t=90\text{mm}$ 是正确的。

3.1.2 辊径的确定

钢板辊式矫直机的辊径 D 可按下列经验公式选取：

薄板矫直机： $D=(0.9\sim 0.95)t$

取 $D=0.8t$

$$= 0.8 \times 40$$

=32mm

根据要求取整数 D=60mm

3.1.3 对钢板辊式矫直机，辊数 n 随钢板宽度比 b/h 的增加而增加。因为钢板宽厚比越大，其浪形弯曲越显著，需要经过多次反复弯曲才能保证矫直质量，因而钢板矫直机辊数较多，会使矫直机过于庞大，增加功率消耗。因此，在满足钢板矫直质量的前提下，应尽量较少辊数 n。一般钢板矫直机的辊数可按下表选取：

钢板厚度（毫米）	辊数
0.25~1.5	29~19
1.5~6.0	17~11
6.0~50	9~7

3.1.4 矫直速度

钢板矫直机的矫直速度取决于生产率钢板厚度和矫直温度，一般热矫时，矫直速度大些，冷矫时则小些；薄规格矫直速度大些，厚规格则小些。设置在连续作业线上时，矫直机速度要与机组速度相适应。

钢板矫直机速度 v 的范围如下：

钢板冷矫直机：v=0.06~6.0m/s

钢板热矫直机：v=0.3~1.35m/s

常用钢板矫直机速度参考下表：

常用矫直机速度

矫直种类	钢板尺寸（毫米）		矫直速度（m/s）
	厚度	宽度	
冷	0.2~2	500~1500	2~6

矫			
	1~	500~	0.3~4
	4	2000	
	4~	500~	0.15~
	10	500	0.3
热 矫	10	1500~	0.1~
	~20	2500	0.15
	20	2000~	0.06~
	~32	4000	0.1
	4~	1000~	0.45~
热 矫	25	2600	1.35
	25	1000~	0.3~
	~50	4000	0.8

由上表和年产量 150 万吨及全年维修时间等因素可以选择设计的矫直速度为
 $v=0.3\sim 0.8\text{m/s}$

3.1.5 辊身的长度

钢板矫直机的辊身长度 l 主要取决于轧件的最大宽度 b_{\max} ，辊身长度可由下列经验公式确定：

$$l=b_{\max}+(100\sim 300)\text{mm}\cdots\cdots\cdots (3.6)$$

由于所给参数中钢板的最大宽度 $b_{\max}=500$ 所以应选择

$$l=600\text{mm}$$

3.2 辊式矫正机力能参数的计算

平行辊矫正机矫正力

在平行辊矫直机上轧件的矫正状态，如图“作用在矫正辊子上的压力”所示，

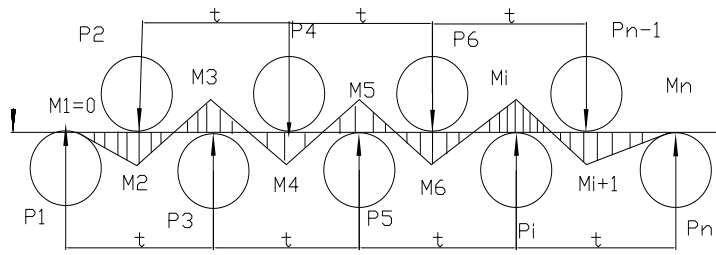


图 3.1 作用在矫正辊子上的压力

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要
 下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/107055115103006133>