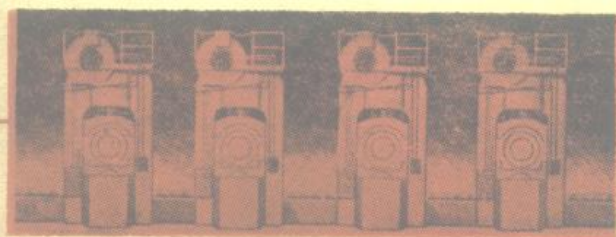


[苏联]Я·Ю·索洛杜赫 著

申 福 庆 译



连续热轧机

电力拖动的自动装置

中国工业出版社

连续热轧机 电力拖动的自动装置

[苏联] Я·Ю·索洛杜赫 著

申 福 庆 译
龐 树 萱 校

中国工业出版社

本书叙述連續热轧机的軋鋼电动机和速度調節器的参数选择方法。討論帶磁放大器和电子放大器的現代速度調節器，以及水銀整流器的新型栅控系统。

本书适用于設計、調整和运行維護工作人員；也可供大学和中等专业学校学生学习軋鋼車間电气設備时参考。

Я. Ю. Солодухо

АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ
НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ МОСКВА 1960

* * *

連續热轧机电力拖动的自动装置

申福庆 譯 庞树萱 校

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯
(北京灯市口 71 号)

中国工业出版社出版 (北京佟麟閣路丙 10 号)

北京市书刊出版业營業許可証出字第 110 号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $37/16$ · 插頁 2 · 字数 76,000

1964 年 11 月北京第一版 · 1964 年 11 月北京第一次印刷

印数 0001—3,980 · 定价 (科六) 0.55 元

*

統一书号: 15165 · 3299 (冶金-541)

序 言

鋼坯、帶鋼、綫材和鋼管改用連續熱軋來生產，曾是軋鋼生產中的一次革命。現在正在推廣用小型連軋機軋制型鋼。接着，工字鋼、槽鋼、鋼軌等將在中型連軋機上，而將來還將改用大型連軋機來生產。因此，首先必須解決軋件在各機架之間自動保持無張力的、自由狀態的問題。

在連軋機的幾個機架上同時軋制金屬，對它們的電力拖动裝置便提出了特殊的要求。不久以前還有人認為連軋機需要採用特殊的、具有小的電樞電阻和電感，以及大飛輪力矩的電動機。現在已經証實：這種要求雖然在一定的條件下是正確的，但在一般的條件下並不正確，並且會不恰當的多耗費資金。

為了正確的選擇軋鋼電動機，必須：第一，研究因不同型式的連軋機而異的工藝過程的特點；第二，選擇最合理的供電綫路，以盡量適應最新的速度自動調節器或電壓自動調節器。

最近三四年來，在這些問題上已經積累了一些理論的和實驗的資料。

本書將討論熱連軋機的拖动裝置、供電綫路及調節系統的選擇方法；提出軋鋼電動機和自動調節器各參數選擇的建議；敘述軋鋼電動機的現代的速度調節器，並且給出作者曾參與的國立重工業電氣設計院於1957—1958年間在莫斯科動力學院的實驗室中和在馬凱耶夫冶金工廠350軋機上所作實驗及調整的結果。

作者對在本書編寫中給了巨大幫助的本書編輯A.A.謝因曼工程師深表謝意；同時還感謝A.B.列維坦斯基工程師在原稿準備出版過程中提出了寶貴的意見。

目 录

序 言

第一章 轧制条件

1. 连轧机的型式 1
2. 連續轧制的基本条件 3
3. 带活套轧制 5
4. 带张力轧制 6
5. 連轧机的轧制特点 8
6. 机架的成組拖动和单独拖动 11

第二章 突加负荷

1. 动态速度降下 12
2. 电力拖动装置参数对动态速度降和活套大小的影响 16
 - A. 电动机由网路供电和无速度调节器时的动态速度降 16
 - B. 电动机由网路供电时速度调节器的应用 20
 - B. 电动机的单独組合供电綫路 22
 - Г. 电动机由水銀整流器按单独組合綫路供电时
对速度调节器的要求 31

第三章 供电系统及控制系统

1. 水銀整流器及电动机—发电机組 34
2. 电动机的单独組合供电綫路和并联供电綫路 36
3. 电动机激磁繞組的供电 37
4. 电力拖动的控制系统 38

第四章 水銀整流器的柵极控制

1. 柵极控制的特点 44

2. 脉冲的电磁系统	46
3. 带半波磁放大器的栅控系统	52
A. 直流控制的半波磁放大器	52
B. 交流控制的半波磁放大器	60
B. 带半波磁放大器的栅极控制系统	68
Г. 控制系统的比较	71

第五章 速度自动调节器

1. 速度调节器和专用电动机	72
2. 以电动机电枢电压调节速度	75
A. 电机式调节器	75
B. 带电子放大器的调节器	76
B. 带磁放大器的调节器	81
Г. 测速发电机	88
Д. 带电子放大器和磁放大器的调节器的比较	90
3. 改变激磁磁通调节电动机的速度	91
A. 带电子放大器的激磁调节器	91
B. 带磁放大器的激磁调节器	93
4. 活套和张力的自动调节	96
A. 活套调节	96
B. 张力调节	100
参考文献	102

第一章 軋制条件

1. 連軋机的型式

現代連續熱軋机的軋制速度快和生產率高。這種軋机的特点是軋件的最終溫度高，因此：

1. 改善了軋件的表面；
2. 延長了孔型的使用壽命；
3. 減少了電能消耗。

某些薄壁易冷的型鋼，例如汽車輪緣，只能在連軋机上軋制。

連續軋制要求压下量調整和孔型高度精確，並且要求各机架電力拖动裝置的速度不僅在靜態下，而且在過渡狀態下也要配合得十分準確。

我們來比較詳細的討論一下不同型式的連軋机。

鋼坯軋机 在1894年出現了第一批鋼坯連軋机，它是由成組拖動的8~12个机架組成。以後，由於調整困難，分成兩組，每組有4~6个机架。

從1946年開始建立机架為單獨拖動的、並且有立輓和水平輓相間的連軋机。採用立輓机架和水平輓机架可保證金屬均勻地壓延和無扭轉現象，扭轉現象是帶螺旋形的和輓式導槽的連軋机所具有的特点。

帶鋼（薄板）軋机 第一座試驗性的帶鋼連軋机是在1892年建立的。鋼板連軋机從1924年開始在工業上得到廣泛的發展。這種軋机很快就向着增大軋板寬度的方向發展，目前已達到2500毫米。軋制速度已提高到12米/秒。

綫材軋机 第一座綫材軋机是在1862年於英國製造的。它是

由一些相交替的水平軋輥和立式軋輥組成的。在1878年曾用水平机架代替了立式机架。为了翻鋼采用螺旋形导槽。

第一批軋机的粗軋机架和精軋机架都是双綫式成組拖动的。

1922年出現了第一座双綫式軋机，在每条生产綫上均設有单独的精軋綫，这样便显著地提高了断面的精度，并簡化了軋机的調整。現在主要建造四綫式軋机，它具有一个共用的粗軋机組和四个单独的精軋制綫。最近美国恢复了装設有共用的精軋制綫的多綫式軋机，因为它的特点是很簡單，配置紧凑并且投資少（見第8頁）。

現代的綫材軋机的軋制速度已經达到30~33米/秒。正在設計軋制速度为60米/秒的軋机〔文献59〕。

钢管軋机 在軋管生产中，已經采用連續式的軋管机、減径机和定径机。

連續式軋管机由8~10个单独拖动的二輥式机架組成〔文献25〕，它直接安装在穿孔机的后面，用于将半成品的筒状鋼坯軋成鋼管。相邻的机架互相扭轉90°。軋制速度为4~5米/秒。減径机有12~20个机架，用于軋制小直径的鋼管。在老式的軋机上，机架为成組拖动；在新式軋机上，机架或用单独拖动，或用带差动齿輪的成組拖动。軋制速度达到12米/秒（每秒軋两根鋼管）。定径机由3~7个机架組成，用于鋼管的最終加工。

型钢軋机 型钢連軋机的采用是受到限制的。这是因为：这种軋机減少了軋材的品种。是否能軋制不容許形成活套和张力的型钢还不够清楚。軋輥的孔型加工和調整都复杂了。

第一座型钢連軋机是美国在1915年装設的〔文献20〕。近年来开始广泛地采用小型型钢連軋机。有几座这种軋机，从1954年到1956年期間，在苏联已經投入生产。

型钢連軋机采用交替相間的水平輥和立輥，在軋制帶鋼及異型钢时这是必需的。在現代小型型钢軋机上，軋制速度已达到15米/秒。为了提高軋制精度，将机座作得比較重大，并且采用液体摩擦軸承或滚动軸承。机架采用单独拖动。

現在已開始採用帶垂直軸的電動機拖動立軋機架。

2. 連續軋制的基本條件

連續軋制的基本條件是保持單位時間內通過每個機架的金屬容積恒定 (圖 I-1, a) :

$$F_1 v_1 = F_2 v_2 = \dots = F_n v_n = \text{常數。} \quad (\text{I}-1)$$

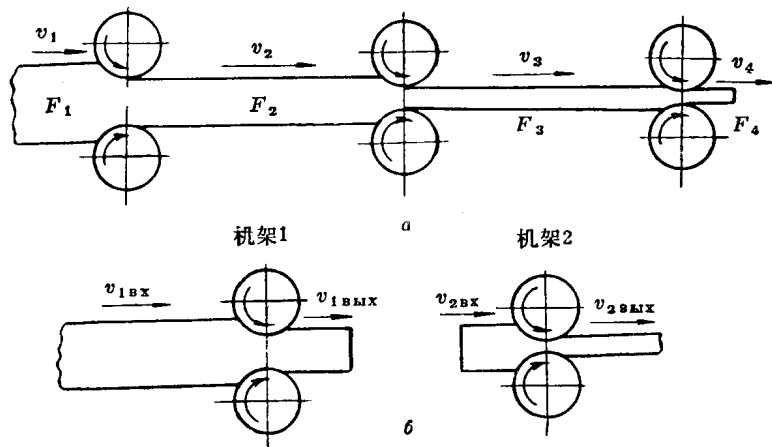


圖 I-1 連軋機上的軋制

a—機架之間連接着鋼坯；b—機架之間無鋼坯連接

計入金屬的前滑，軋制速度，即軋件從軋軋出來的速度，可以寫成下式：

$$v = v_{\kappa}(1+S) = \frac{\pi n_{\text{B}}}{60} D_{\kappa}(1+S), \quad (\text{I}-2)$$

或

$$v = \frac{\pi n}{60i} D_{\kappa}(1+S), \quad (\text{I}-2a)$$

式中 F ——軋件的斷面積，米²；

v ——軋制速度，米/秒；

v_B ——軋輓的綫速度，米/秒；

S ——前滑；

n_B ——軋輓轉速，轉/分；

n ——電動機的轉速，轉/分；

D_K ——軋輓的軋制直徑，米；

i ——減速機的傳動比。

將表达式 (I-2) 中的轉速代入 (I-1) 式中，得到所謂連續軋機常數〔文獻 5〕：

$$FD_K n_B (1 + S) = \text{常數}.$$

這個常數之值越大，軋機的生產率越高。

很明顯，破壞金屬容積恒定的條件，將引起機架之間金屬的積聚（擠壓或形成活套），或金屬的不足（拉伸）。

我們來詳細分析一下連續軋制的過程。首先研究在機架之間沒有被軋制金屬聯接的情形（圖 I-1, б）。

前面的機架 1 的金屬進入速度用符號 $v_{1\text{ВЛX}}$ 表示，從此機架出來的速度用 $v_{1\text{ВЫX}}$ 表示；后面的機架 2 的金屬進入速度用 $v_{2\text{ВX}}$ 表示，出來的速度則用 $v_{2\text{ВЫX}}$ 表示，比值 $\frac{v_{2\text{ВX}}}{v_{1\text{ВЫX}}} = \varepsilon$ 。

可能有三種軋制情況：

$$1. \varepsilon = 1 (v_{1\text{ВЫX}} = v_{2\text{ВX}}).$$

在這種情況下，從前面機架 1 軋出的金屬量等於進入后面機架 2 的金屬量。當前後兩機架上同時有軋件時，在機架間的金屬中沒有拉力或壓力。這種軋制是自由而不受力的。

在實際的軋制條件下，不可能長時間地維持 $\varepsilon = 1$ 。這是因為有很多因素影響到擠壓和前滑（軋件斷面的不均勻、金屬的溫度、摩擦條件等等）。

$$2. \varepsilon > 1 (v_{2\text{ВX}} > v_{1\text{ВЫX}}).$$

在這種情況下，後邊的機架 2 在理論上能夠通過比前邊的機架 1 輸出的更多的金屬。當金屬同時在機架 1 和 2 上軋制時，如果在機架之間有活套的話，速度 $v_{2\text{ВX}}$ 便可能大於速度 $v_{1\text{ВЫX}}$ 。活套

消除之后，在軋輥間的金属中便产生张力，并导致速度的平衡，即 $v_{2Bx} = v_{1Bx}$ 。

在这种情形下的 ε 值，称为张力系数。

$$3. \varepsilon < 1 \quad (v_{2Bx} < v_{1Bx}).$$

在这种情况下，前面的机架单位時間所通过的金属多于后面的机架。

如果带鋼的截面小，便形成活套。当截面較大时，为了形成活套，系数 ε 必須比 1 小得多。如果没有可見的活套，并且金属受着挤压，則系数 ε 叫作推力系数。

根据工艺的特点，軋制是在 $\varepsilon > 1$ 或在 $\varepsilon < 1$ 的情形下进行的。如前已述及，在 $\varepsilon = 1$ 的情形下进行的軋制是不能长时持續的。下面来討論实际上采用的軋制方式。

3. 带活套軋制

活套的大小不应超过一定值。最好在軋制条件（溫度、压力、摩擦等）改变时，活套不致过分的增长或减小。

这一点可以用手动控制来保証，或者用对电动机速度起作用的活套給定器来保証。在軋件被軋制的時間内所形成的活套长度 Δl ，取决于此軋件的长度及相邻两机架軋輥速度差的相对值 $\frac{\Delta v}{v}$ 。

Δl 与軋制速度无关。忽略机架間的距离，可以写成 $\Delta l = L \frac{\Delta v}{v}$ ，

式中 L 为軋件的长度。

例如，軋件长度为 200 米，軋制速度为 25 米/秒，相邻机架的相对速度差为 0.1%，則得到在 $\frac{200}{25} = 8$ 秒内形成的活套 $\Delta l = 200 \times 0.001 = 0.2$ 米。軋制速度只影响活套增长的速度。

在高軋制速度下，操作工来不及消除迅速增长的活套。在軋制速度高于 15~20 米/秒时，沒有活套自动調节装置便不能进行带活套的軋制。軋件越长和軋制速度越高，則机架間允許的速度差

便越小。因此，对綫材及小型軋机的精軋机架电力拖动就提出了很高的要求，因为在这种軋机上軋件的长度达 700 米，軋制速度达 15~30 米/秒。通常认为，对于类似的軋机，当負載由零变到額定值时，速度的准确度应当保持在 0.1~0.2% 以內。

保持每秒內的金属容积恒定，不仅对軋制长軋件时的稳定状态很重要，而且对軋件进入軋軛瞬間的过渡过程也很重要。这个问题将于第二章詳細討論。

4. 带张力軋制

我們将从这一情况出发，即在相邻机架之間，沿这一段长度上的軋件断面是一定的。这就是說，軋件的形状和断面只是在变形区，即前、后两机架的軋軛处发生变化。

假定連軋机是由 n 个机架組成的。增加最后的第 n 机架的速度，将导致第 n 和第 $(n-1)$ 机架之間軋件张力的增加，同时也使第 $(n-1)$ 和第 n 机架間的这段軋件的移动速度增加。

张力的增长引起在 $(n-1)$ 机架上的前滑增大，也使金属对第 $(n-1)$ 机架軋軛的压力减小〔文献 3〕。軋軛、机座和压下螺絲的弹性变形减小，因而可以增加軋件在第 $(n-1)$ 机架中的压下量，即减小出口的厚度。当张力增加时，随着自由展寬的减少，軋件的寬度也减小。除此以外，第 $(n-1)$ 机架电动机的速度增大，引起金属在軋軛上的压力减小，从而减小了电动机軸上的負載力矩。

上述第 $(n-1)$ 机架的生产率，換句話說，即每秒的金属容积 Fv ，理論上或者是增加，或者是不变，或者是减少。这全取决于截面 F 的减小和速度 v 的提高之間的比例。

电动机的軟特性，在截面减少得比較少时，即可使軋制速度增高。这是因为在电动机具有軟特性时，张力增长的程度是較小的。因此，在进行带张力軋制，并且要求当軋制条件变化时获得最小的截面偏差的情形下，最好采用具有軟特性的电动机。电动机的軟特性和金属的前滑、机架的弹性变形，都是自动平衡的重

要因素。

特別軟的特性，如在第二章将要叙述的，对过渡状态并不合适。在带张力轧制时，电动机的机械特性应当具有某一最佳的、必需而又足够的坡度值。

对于上述的情况来说，轧件的张力和速度，取决于工作机架的个数以及轧件在轧机中的情况。每个工作机架都会影响到全部轧机的工作。当轧件每进入下一个被调好用于带张力轧制的机架时，前面各机架的输出速度就会增高，直到进入所有的机架，并在此后开始达到平衡时为止。当轧件的尾端从前面的机架出来时，对于所讨论的机架来说，平衡又被破坏。这时，在该机架中轧件的速度便增高。

因此，当轧件的尾端从倒数第二，即第 $(n-1)$ 机架出来之后，亦即当带钢在最后的第 n 机架中自由轧制时，带钢的速度最高。

张力用张力系数来表征〔文献4, 6〕：

$$\varepsilon = \frac{D_{\kappa(i+1)} n_{i+1}}{D_{\kappa i} n_i \mu_{i+1}}, \quad (\text{I}-3)$$

式中 D_{κ} ——轧制直径；

n ——轧辊的转速；

μ ——延伸系数；

i ——机架号。

通常，系数 ε 用百分数表示，并简称为张力

$$\varepsilon\% = (\varepsilon - 1) \times 100\%. \quad (\text{I}-4)$$

前面已经说过，自由轧制（无张力与无活套），实际上不能长时地持续。

但是，交替地带有很小的张力和很小的活套的轧制是可能的。在小型型钢连轧机精轧机架的轧制中就会出现这类情况。当钢坯温度、轧件的大小、润滑条件、摩擦系数等发生变化时，便会有时出现张力，有时出现活套。操作人员要经常注意张力和活套的偏差是否保持在允许的范围內。这种手动调节是不够完善的。

由于缺乏可靠的金属状态的给定器，运用自动作用的调节器是很困难的，是仍未很好解决的课题。

5. 连轧机的轧制特点

钢坯轧机 轧制钢坯时带有不大的张力，并且 $\epsilon = 1.01 \sim 1.03$ 。

带钢轧机 有两种轧制方法。第一种是预先建立活套，然后消除，继之便进行带张力轧制，张力的按活套支持器的旋转角度来确定〔文献29〕。活套支持器应当旋转一定的角度。如果在轧制过程中张力减小，则活套支持器升高；如果张力增加，则活套支持器降落。这种轧制方法可以叫作**带张力活套的轧制**。

第二种轧制方法是仅在按新的断面调整轧机时利用活套支持器。正常进行无活套的带张力轧制，这可能带来很大的张力增加。当张力很大时，沿带钢长度上的宽和厚都不均匀：带钢的尾部宽些，厚些。因此，最好是采取控制张力的方法〔文献7〕。

为了减少厚度差，开始应用自动调整的計算装置来自动控制压下机构。

线材轧机 在粗轧机架上进行带张力的轧制，实际上和钢坯轧机没有差别。为了得到沿全长都是高质量的线材，在精轧机上应该进行带活套的轧制。为此，轧机设有单独拖动的机架及活套形成装置。

在有些情况下，由于没有这种装置，而在精轧机上进行带张力轧制，致使尾部的截面加粗。现代的高速轧机所轧出的成卷线材重量大，所以粗细不均的尾部，与成卷线材的总长相比是很小的。因此，有些工厂认为，这证明更多地采用成套的、成组拖动进行无活套轧制是合理的。

钢管轧机 很久以来存在着一种看法，认为轧管时有张力是极不合适的。

带张力轧制的缺点乃在于沿钢管的长度上有纵向壁厚不等现象。钢管的尾部不受张力，要比中部的壁厚一些。为了使钢管纵

向壁厚的誤差不超过允許值，勢必要把鋼管的尾部切掉。因此，帶張力軋制只有在被切掉的尾端不大的情況下才可能是經濟的。為此，近代的軋機力求減小機架間的距离，并增大鋼管的长度。

同時，帶張力軋管較不帶張力軋管還具有一些優點，即是：

1. 帶張力軋制時可以軋出薄壁鋼管，大大減輕了以後的冷拔工序；

2. 改變張力可以調節管壁的厚度。這就有可能用同樣的鋼坯，在同一個軋輓上獲得不同壁厚的鋼管，這是具有重要意義的；

3. 減少鋼管截面橫向的壁厚不均。

在新式的減徑機上，軋制鋼管是帶張力的，並且 $\varepsilon = 1.06 \sim 1.08$ [文獻6]。

舊式的減徑機（機架之間的距离大）是用于軋制短管的，對於這種軋機切除鋼管的尾端是不經濟的。在這種情形下，以前是在 $\varepsilon = 1.005$ 下進行減徑 [文獻6]。現在，在這種軋機上也建議進行帶張力軋制， ε 值約等於 1.04，然后把鋼管剪切成壁厚不同的幾段（一般為四段） [文獻24]。

在鋼管軋機的減徑機和定徑機的各機架拖動裝置上，已經採用靜態速度降較小的專用電動機，這是和工藝上要求鋼管不受拉應力有關係的。

A. Я. 頓工程師在鋼管軋機上進行過有趣的實驗研究。為了確定顯著的速度降對鋼管質量可能產生的影響，在定徑機的一個機架上提高了空載速度。靜態速度降由一般的 2~3% 增大到 7.4%。檢驗由於提高機架的空載速度對鋼管引起的缺陷并不明顯。

由於現在採用了帶張力軋制，力求減小靜態速度降是不合適的。機械特性的傾斜度約為 5% 是完全可行的。

但是，在帶張力軋制鋼管并利用張力來改變管壁厚度時，應當採用具有硬特性的電動機。

美國在 1952 年以後製造的類似軋機上，裝設了複雜的電壓

和速度調節器（包括电子放大器和电机放大机），能够很精确的保持速度恒定〔文献42〕。

型钢轧机 在粗轧机架上进行带有不大张力的轧制。对于简单的和轻型的截面，在精轧机架中允许形成活套。这些轧机应该装设活套形成装置。在第五章将叙述几种活套形成装置。

由于没有活套形成装置，有些轧机在其精轧机上也进行带张力轧制。对于对称的截面（圆钢、方钢和六角钢）也允许带张力轧制。产品的质量，除了端头出现飞边之外，在全长的其它部分都是令人满意的。

飞边的出现是由于前后端通过机架时没有相应的张力，以致过分塞满孔型所造成。在轧件的后端形成很长一段飞边，比前端大得多。

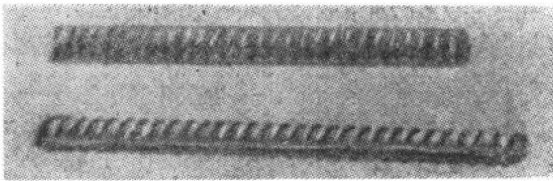


图 I --2 馬凱也夫冶金工厂 350-2 轧机轧制的
14号钢筋后端（带张力轧制）

馬凱也夫冶金工厂 350-2 轧机轧制的轧件，在后端长 3~8 米上有飞边。这约为 700 米长的 0.5~1%。

在精轧机架中，即便对对称的型钢也完全不宜采用带张力轧制，因为会使轧件的端头成为废品（或在较好的情况下是二级品）。

在克利沃罗格冶金工厂 250 小型轧机上，掌握了在精轧机中带少量松弛的轧制。当发生张力或活套时，操纵人员以手动校正速度。掌握了轧制圆钢和角钢无飞边，但产品的端部还是有些加粗（在允许限度内）。

直到现在还未能掌握在型钢连轧机上轧制复杂断面的型钢。

这些型钢，特别是大断面的型钢，仍须在越野式和布棋式轧机上轧制。在轧制复杂和大断面的型钢时是不容许形成活套的。带张力轧制使孔型不能被塞满，这对于带凸边的型钢（槽钢、工字钢）特别困难。另一方面，当产生压力时，孔型被过分塞满，因而形成飞边。

为了保证在连轧机上优质地轧制复杂断面的型钢，必须解决两个问题：

a) 拟制和运用轧制型钢用的、可靠的活套形成装置，对于这些型钢在其稳态时是容许形成活套的。

b) 如果不允许形成活套，则应研究出一个应力值，在此值下产品截面不会畸变；并且要拟制一种装置，能连续的控制运动着的热轧件中的张力（最好自动地作用于轧钢电动机的速度）。

6. 机架的成组拖动和单独拖动

成组拖动在30年代曾经得到比较广泛的采用。这主要是因为这种拖动比单独拖动投资少。成组拖动只允许带张力轧制或带压力轧制，不可能实现带活套轧制。

现时，成组拖动日益被单独拖动所取代。最初是在精轧机架上采用单独拖动。一些新的连轧机，在大多数情况下粗轧机组也采用了单独拖动。这是因为成组拖动有下列缺点：

1. 确定轧辊孔型和轧机的调整困难〔文献²³〕；
2. 必须严格地选择轧辊的直径，因而增加了轧辊总数；
3. 品种受到限制，因为各机架间的速度关系是一定的，只可能改变道次数（即工作机架的数量）；
4. 不可能形成活套轧制。

尽管有上述缺点，在现代高速线材轧机上还是全都采用成组拖动。这是因为线材轧机的产品品种比较单一，并且在成组拖动和一般多线式精轧线的情形下，轧机结构紧凑和经济。