宝钢冷轧机组
电气自动化技术

宝钢工程指挥部

一九九〇年

77.636
9100729

前言

宝钢冷轧厂是宝钢二期工程的主体成套设备之一，共装备26条生产机组，年生产210万吨各种规格的高质量冷轧薄板。宝钢冷轧厂绝大部分机组从联邦德国引进，其中可编程序控制器（PD）、电气传动及自动化仪表等控制设备在大型化、连续化、自动化的冷轧生产中承担着基础自动化控制级的重要任务，发挥举足轻重的作用。宝钢冷轧电气自动化设备技术上具有八十年代初的世界先进水平，广泛地采用了微机数字控制，高性能模拟控制与高精度检测装置等的最新技术，并运用现代控制理论解决关键的重要技术难题。

对宝钢冷轧厂引进的电气自动化先进技术经过消化吸收，进行移植推广望能为国内有些行业如轧钢、金属压延加工、机械制造等在技术开发与技术改造中发挥作用，同时亦为其他有关行业提供重要的参考与借鉴。本着这样的宗旨，在宝钢指挥部领导下，施工技术处与宝钢电机工程学会协同宝钢冷轧厂和有关承建单位等撰写文稿，汇编成《宝钢2030冷轧机组电气自动化技术》文集以供交流。

本文集的组稿、撰稿、审稿，编辑等工作时间仓促，条件限制，文中难免有错误之处，敬望读者指正。

编 委 会

（按姓氏笔划排列）

主　　编：陆兆琦

副 主 编：陈济群、舒新阁

委　　员：王育华、陈劲柏、郑禹英、张洪江、徐伟国、俞海量、唐谋凤、郁黎扬、高玉田、熊奠南

责任编辑：郑禹英、张洪江

目　录

电 气 传 动

五机架冷连轧机带厚控制系统及其轧制方式的选择……宝钢冷轧厂　王育华（1）
五机架冷连轧机调速系统观测器的原理分析……宝钢冷轧厂　徐伟国（10）
五机架主传动速度控制系统……宝钢冷轧厂　王瑞庭（27）
宝钢二〇三〇冷连轧机压下控制系统……宝钢冷轧厂　许茂中（42）
高精度调速系统中的数字校正环节的分析……
……宝钢冷轧厂　徐伟国　宝钢教培中心　揭鸿运（47）
开卷机的恒张力自动控制……二十冶电装公司　曹俊峰（54）
酸洗线入口活套控制及调整……二十冶电装公司　曹俊峰（65）
米巴赫焊机电气控制系统……宝钢冷轧厂　潘维平（73）
拉伸矫直机的控制及调试……二十冶电装公司　曹俊峰（80）
滚筒飞剪电气控制原理及其调试参数计算……宝钢冷轧厂　郁黎扬（86）
平整机组延伸率自动控制系统……宝钢冷轧厂　王瑞庭　张坚平（97）
彩色涂层机组活套控制原理……宝钢冷轧厂　徐建平（109）
捆带机组中频加热装置的自动调频……宝钢冷轧厂　张　伟（113）
DC-300 数字直流调速系统……宝钢冷轧厂　张兴军（119）
宝钢冷轧厂起重机的自动控制系统……五冶分指挥部机电公司　李平亚　潭文书（124）
西门子直流调速系统最佳化调试方法……宝钢冷轧厂　徐伟国（130）

P C 应　用

可编程序控制器在宝钢冷轧厂的应用……武汉钢铁设计院　唐谋凤　肖远康（143）
PC 在宝钢冷轧厂酸洗机组开卷机上的应用……二十冶电装公司　郭　宏（151）
S_5-110A 可编程序控制器及在连轧机中的应用……宝钢冷轧厂　王育华（161）
S_5-150K 在冷连轧机组中的应用及调试……二十冶电装公司　邢启智（168）
S_5 自动顺序链的编制以及在冷连轧机中的应用……宝钢冷轧厂　陈　珺（174）
三菱 MEPLEC-550PC 及多微机系统……宝钢冷轧厂　王东意（183）
AEGCP80 控制微机及其在横剪线上的应用……宝钢冷轧厂　陈信海（193）
控制用微机调试的几种模式探讨……五冶机电公司　宋德翔（200）
PCS_5-150K 行程调节功能模块在酸洗机组中的应用……二十冶电装公司　郭　宏（206）
宝钢带钢冷连轧机计算机控制系统简介……宝钢信息部　徐孝文（212）

供　电

变压器差动保护的整定计算、调试及故障分析……武汉钢铁设计院　谢礼珊（221）
宝钢冷轧厂供电系统运行方式的分析……宝钢冷轧厂　高玉田（231）

五机架冷连轧机带厚控制系统及其轧制方式的选择

宝钢冷轧厂　王育华

【摘要】 五连轧机上的厚度控制环节是由计算机数字控制及模拟调节系统共同组成。本文阐述轧机上采用的各种厚度控制环节的原理及消除带厚偏差的方法，并分析了 G_4/G_5 机架间三种张力控制方式和三种不同的轧制方式，阐明了它们之间的关系。

一、轧机上配置的各种厚度控制环节

目前用户对冷轧带厚公差要求越来越严格，因此在轧机上除配备了快速液压压下，高精度的速度控制和张力控制系统外，还要采用各种预控和后控环节，才能使成品公差满足用户要求。我厂轧机上配置的各种厚控环节，见图 1 。其基本控制思想是要在 G_1 架上消除绝大部份厚差，并在整个轧制过程中维持 G_1 架出口金属秒流量为恒定值。为此在轧机速度环中采用了数字补偿校正和力矩观察器，故轧机速度控制具有良好的动态和静态特性。在此基础上，就可以用秒流量恒定原理，在 G_2～G_5 机架上最终消除 G_1 架后还剩余的厚差。

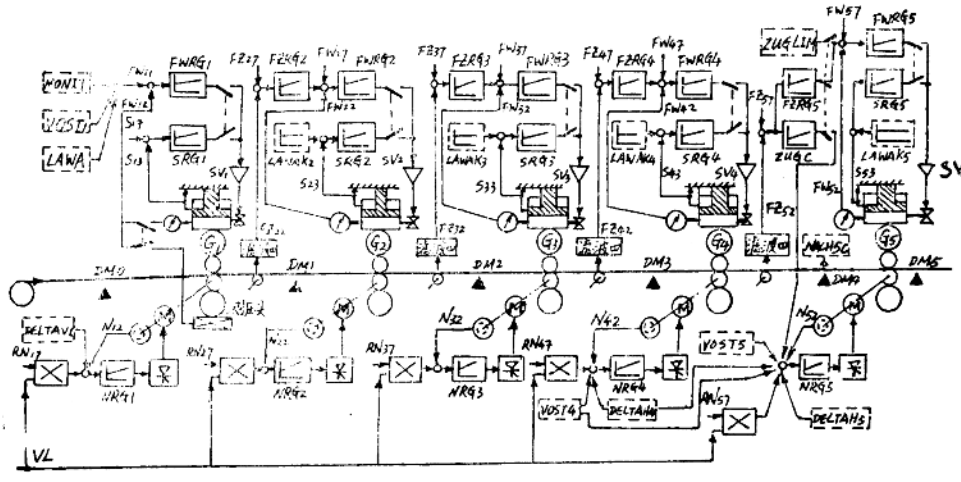

图1　五机架冷连轧机上配置的各种厚度控制环节

图 1 中仅示出了与控制有关的部份。其中虚线框内的厚控环节是由计算机执行的数字控制系统，实线框内的厚控环节是电气模拟控制系统。$FWRG_{1\sim5}$ 为 5 个机架的轧制力调节器，$FZRG_{2\sim5}$ 为 G_1/G_2，G_2/G_3，G_3/G_4 及 G_4/G_5 架间张力调节器，$NRG_{1\sim5}$ 为 5 个机架的速度调节器，$SRG_{1\sim5}$ 为 5 个机架的压下位置调节器，$SV_{1\sim5}$ 为液压缸伺服阀放大器，

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

$DM_{0\sim5}$为6台测厚仪。图中RN为道次计算时得出的各机架相对转速值，S为辊缝，F_W为轧制力，F_Z为张力，N为轧辊转速值。其中它们下标的第一个数表示机架号数、第二个数的含义如下：

1表示该值为设定值；2表示该值为实测值；3表示该值为机架两侧平均值；7表示该值从道次计算中获得。

如图中所示，液压伺服阀SV在穿带及抛尾时由位置控制器SRG控制。在轧制时它由轧制力调节器FWRG控制。G_1架上实测轧制力可由电磁测压头或由油缸油压间接测量。

现阐述各个厚控环。

(1) G_1架前的预控$VOST_1$：它是对一定长度的带钢段进行一次控制。计算机根据DM测厚仪测得的信号计算每一带钢段平均厚差DH_{02}，再根据带钢变形抗力，由所得DH_{02}乘带钢变形抗力系数便得出消除该厚差所需的轧制力修正值，然后在带钢段进入G_1架时同步叠加到轧制力环输入端上，去控制液压压下，最终确保G_1架出口厚差在目标值内。

目前在DM_0和G_1间设置6个带钢段，并用装在G_1架工作辊电机上的脉冲计数器跟踪这些带钢段。由于电机等控制设备有惯性，故$VOST_1$输出要提前T_{s1}时间，带钢段长度为：

$$S_0D=\frac{(SDMG_0-T_{s1}\times V_{02})}{6}$$

式中$SDMG_0$为DM_0至G_1的距离，为2855mm，T_{s1}为提前输出时间，V_{02}为G_1架前带钢实际速度。

测厚仪DM_0以20ms固定周期进行测量，据此值可算出带钢段内平均厚差DH_{02}，当该带钢段即将入轧时，$VOST_1$计算为消除该厚差所要的轧制力修正值$DFWV_{11}$：

$$DFWV_{11}=DH_{02}\times C_M\times K_1$$

式中$DFWV_{11}$为G_1架上预控的轧制力修正值，DH_{02}为入轧带钢段的平均厚差，C_M为带钢变形抗力系数，K_1为小于1的增益系数。

$DFWV_{11}$限止在±6000kN之内。

(2) G_1架负荷辊缝控制LAWA：根据实测轧制力，轴承油膜厚度及G_1后DM_1测得的厚差监控值，用厚度计法算出满足出口带厚所需的轧制力设定值，然后送至轧制力环去执行，它是以20ms为周期启动运行。

在LAWA控制中，先要计算机架延伸量H_A：

$$H_A=\frac{F_{W12}}{CG_1}\times VF_{CG}$$

式中F_{W12}为G_1架实测轧制力，CG_1为机架模数，VF_{CG}是机架刚度补偿系数，H_A为机架在F_{W12}轧制力时的延伸量。

轴承油膜厚度同支撑辊转速和轧制力大小有关，根据离线测得的油膜厚度，综合回归后的表达式为：

$$H_L=\left[\frac{N_{SW}-L_A}{N_{SW}-L_B}\right]\times\left[\frac{L_E\times(F_{W105}+L_D)}{(F_{W12}+L_D)}\right]$$

式中H_L为油膜厚度，N_{SW}为支撑辊转速，F_{W105}为基准轧制力，L_A，L_B，L_D，L_E为

常数。

在此基础上，用厚度计法算出 G_1 架出口带厚偏差值：

$$DHM_1 = H_A - H_L + S_{13} + EIGM + H_N - H_{11}$$

式中 H_A 和 H_L 为上述计算的两量；S_{13} 为实际辊缝指示值，$EIGM$ 是压靠校准零辊缝时的基准值，由磁尺测量，它相应于辊缝校准时压靠压力下的机架延伸量；H_{11} 为 G_1 架出口设定厚度，H_N 为 G_1 架后 DM_1 测得的带钢厚度偏差累计值，用来校正轧辊膨胀等轧制工作点的漂移。考虑到 DM_1 装在 G_1 架后面，故 H_N 信息是滞后量。为了使系统稳定，故 H_N 经移位寄存器延迟后再参于控制。(见图 1)。H_N 的计算方法见下述(3)。

考虑到支撑辊有偏心，故设置控制死区 DH_0，它相应于支撑辊的偏心值，目前取 55μm。参于LAWA 控制的厚差 DH_1 为：

$$DH_1 = \begin{cases} 0 & \text{当 } |DHM_1| \leqslant DH_0 \text{ 时} \\ DHM_1 + DH_0 & \text{当 } DHM_1 < 0 \text{ 时} \\ DHM_1 - DH_0 & \text{当 } DHM_1 > 0 \text{ 时} \end{cases}$$

DH_1 值限止在 ±200μm 之内。

为消除 DH_1 厚差，必须修正 G_1 架的轧制力。LAWA 采用数字式比例积分环。令比例及积分调节的输出分别为 $DFWP$ 及 $DFWI$ 则总的 LAWA 控制轧制力输出值为：

$$DFWL_{11} = DFWP + DFWI$$

(3) G_1 架后的监控 MONIT：按 DM_1 测得的厚差，计算出 G_1 架后带钢累计偏差值，该值也用于 LAWA 控制中的厚差监控值 H_N。MONIT 中带钢控制段长度为：

$$SD_1 = \frac{SDMG_1}{2}$$

式中 $SDMG_1$ 为 G_1 架至 DM_1 的距离，为 2100mm。

根据 DM_1 测得的带钢段内平均厚差 DH_{12}，计算出用于控制的厚差 DH_{15}：

$$DH_{15} = DH_{12} \times VP_1$$

式中 VP_1 为厚差控制增益系数，为了在厚差小时防止超调以及在厚差大时能快速纠偏，故 VP_1 随厚差增大而变大，达到最佳控制。DH_{15} 限止在 ±500μm 之内。

监控用的厚差累加值为：

$$H_N = DH_{15} + H'_N$$

式中 H'_N 为前次厚差累计值，其最大值限在 ±2000μm 之内。从上述获得的累计厚差中，计算 G_1 架所需变更的轧制力 $DFWM_1$：

$$DFWM_1 = H_N \times C_{M1} \times K_4$$

式中 C_{M1} 表示 G_1 架变形抗力系数，K_4 为增益系数。

(4) G_1 架速度的逆控 $DELTAV_1$：即 G_2 架的预控。按 DM_1 测得的带钢控制段厚差，同步地控制 G_1 架以及 G_1 架前设备，使进入 G_2 架的金属流量为恒定值。

其控制方式与 $VOST_1$ 类似。在 DM_1 与 G_2 架间带钢分为两个控制段，其长度 SD_2 为：

$$SD_2 = \frac{SDMG_2 - T_{s2} \times V_{12}}{2}$$

式中 $SDMG_2$ 为 DM_1 至 G_2 架距离，为 2650mm。T_{s2} 为提前输出的时间，V_{12} 为 G_1 架

实际速度值。

先计算 G_1 架的设定秒流量 KM_1：

$$KM_1 = V_{11} \times H_{11} \times \eta_1 \quad \text{（钢材宽度一定时，钢材面积与厚度成正比）}$$

式中 V_{11} 为 G_1 架下辊速度，H_{11} 为 G_1 架出口设定厚度，η_1 为 G_1 架的前滑系数。

计算进入 G_2 架的实际带钢厚度 H_{12}：

$$H_{12} = H_{11} + DH_{12}$$

式中 H_{11} 为 G_1 架后设定带厚，DH_{12} 为 DM_1 测得的即将入轧 G_2 的带钢段平均厚差值。

为维持进入 G_2 架的金属流量恒定，假定 G_1 架和 G_2 架前滑系数 η_1 和 η_2 相等，则 G_1 架要求的轧辊速度为 V_{15}：

$$V_{15} = \frac{KM_1}{H_{12} \times \eta_2} = \frac{V_{11} \times H_{11}}{H_{12}}$$

G_1 架轧辊要求修改的速度为 DV_{11}：

$$DV_{11} = (V_{15} - V_{12}) \times K_5$$

式中 K_5 为增益系数 V_{12} 为 G_1 实际速度，V_{15} 为前述计算所得的 G_1 架要求速度值。DV_{11} 限在 $\pm V_{11} \times 10\%$ 范围之内。在修改 G_1 速度同时，亦要同步修改 G_1 架前设备的速度。

(5) 各机架间的恒张力控制环 $FZRG_{2\sim5}$：只要保证进入 G_2 架的秒流量恒定，恒张力环本身就能消除一定的厚差。经上述 $DELTAV_1$ 控制，已基本确保进入 G_2 架金属流量恒定。由于轧机速度环精度高，故机架间张力偏差是由下游机架出口带厚偏差而引起的，从而可用张力偏差信号作为厚差纠编信号，去控制下游机架轧制力环，从而调节压下消除厚差，恒张力环见图 1。以 $FZRG_2$ 为例，$FZRG_2$ 是外环，轧制力调节环 $FWRG_2$ 是内环，张力偏差信号送入张力调节器上，其输出为轧制力修正值 DFW_{21}，它经轧制力调节环放大，输出后去控制液压伺服阀，从而控制了 G_2 出口厚差，同时也达到恒张要求，以利正常生产。由于支撑辊有偏心，所以实际张力随轧辊转动而周期地波动，故设滤波器，滤去此交流成份。$FZRG_2$ 的轧制力修正值限在 $\pm 0.25F_{W21}$ 之内。其它恒张力控制环与此相似。

(6) G_4 架的预控 $VOST_4$：按 DM_3 测得的厚差，根据金属秒流量恒定原理，同步控制 G_4 转速，从而改变 G_3/G_4 架间带钢张力，再通过恒张环 $FZRG_4$ 调节 G_4 架的轧制力，最终消除 G_4 架厚差。在修正 G_4 架速度同时，为不改变 G_4/G_5 架间带钢张力，还要按比例调节 G_5 及 G_5 架后的速度。

$VORT_4$ 与 $VOST_1$ 相似，带钢控制段长度 SD_3 为：

$$SD_3 = SDMG_4 - T_{44} \times V_{32}$$

式中 $SDMG_4$ 为 DM_3 至 G_4 架的距离，为 2650 mm。T_{44} 为输出控制提前时间，V_{32} 为 G_3 架实际速度。

先计算 G_3 架后带钢实际平均厚度 H_{32}：

$$H_{32} = H_{31} + DH_{32}$$

式中 H_{31} 为 G_3 架后设定带厚，DH_{32} 为 DM_3 测得的带钢段内平均厚差。在忽略 G_3 架和 G_4 架前滑系数差别时，按秒流量恒定原则，在保证 G_4 架出口厚度不变时，G_4 架速度修正为：

$$DVV_{41}=\left(\frac{H_{32}\times V_{32}}{H_{41}+DH_{41}}-V_{42}\right)\times K_6$$

式中V_{32}为G_3架速度值，H_{32}为上述计算值，H_{41}为G_4架后带厚设定值，V_{42}为G_4架速度实际值，K_6为增益系数，DH_{41}为G_4架后带厚设定补偿值，它由下述NACH5C中计算。DVV_{41}值限止在$\pm V_{41}\times 5\%$之内。

为保证G_4/G_5架间张力及G_5架后张力不变，还要同步修改G_5架及以后设备的速度，修正值为：

$$DVV_{510}=\frac{DVV_{41}\times H_{41}}{H_{51}}$$

式中H_{51}为G_5架后的带厚设定值。

(7) G_4架的后控：$DELTAH_4$：按DM_4测得的厚差值，用金属秒流量恒定原理，同步控制G_4架速度，从而改变G_3/G_4架间张力，通过$FZRG_4$控制轧制力环$FWRG_4$，从而调节压下消除厚差。同样为了保持G_4/G_5架间张力不变，亦要同步调节G_5架及G_5架后的速度。本控制类似于MONIT控制，带钢控制段长度SD_4为4580mm。根据DM_4测得的带钢段平均厚差DH_{42}，计算参于控制的厚差值DH_{45}：

$$DH_{45}=DH_{42}\times VP_2$$

式中VP_2为厚差增益系数，其值随厚差增大而变大。计算出的厚差DH_{45}亦在NACH5C中使用，参见下述(10)。

按秒流量恒定原理，算得G_4修正速度值为：

$$DVD_{41}=\frac{V_{42}\times DH_{45}}{H_{41}+DH_{41}}$$

式中V_{42}为G_4架的速度值，H_{41}为G_4架出口厚度设定值，DH_{45}为上述计算所得的厚差值。其中DVD_{41}限止在$\pm V_{41}\times 5\%$范围之内。DH_{41}为NACH5C厚度设定的修正值，参见(10)。在此同时，亦要修正G_5及G_5后的速度修正值：

$$DVD_{510}=\frac{DVD_{41}\times H_{41}}{H_{51}}$$

式中H_{51}为G_5后的带厚设定值，DVD_{510}为速度修正值。

(8) G_5架的预控$VOST_5$：由DM_4测得的厚差，按秒流量恒定原理，同步修改G_5速度，从而改变G_4/G_5架间的张力，再通过张力环达到消除厚差的目的。

其控制方式同$VOST_4$，带钢控制段长度SD_5为：

$$SD_5=SDMG_5-T_{s5}\times V_{42}$$

式中$SDMG_5$为DM_4至G_5架的距离，其值为2650mm，T_{s5}为G_5架上控制提前输出的时间，V_{42}为G_4架的速度。

先计算G_4架后的带厚H_{42}：

$$H_{42}=H_{41}+DH_{42}$$

式中H_{41}为G_4架后设定带厚，DH_{42}为DM_4测得的平均厚差。按秒流量恒定原理，G_5架上要求修正的速度为：

$$DVV_{511}=\left(\frac{V_{42}\times H_{42}}{H_{51}}-V_{52}\right)\times K_7$$

式中 V_{42} 为 G_4 架实际速度，V_{52} 为 G_5 架速度，H_{51} 为 G_5 架后的设定厚度，K_7 为增益系数，H_{42} 为上述算出的带钢实际厚度值。其中 DVV_{511} 值限在 $\pm V_{51}\times 6\%$ 范围之内。

在此同时，还要按比例修正 G_5 架后设备的速度。

(9) G_5 架的后控 $DELAH_5$：由 G_5 测得的累计厚差，按秒流量恒定原理，修正 G_5 架速度，从而改变 G_4/G_5 架间张力，经张力环控制，达到消除厚差的目的。

本控制与 $DELTAH_4$ 类似，其带钢控制段长为 1930mm。根据 DM_5 测得的带钢段平均厚差 DM_{52}，计算参于控制的厚差 DH_{55}：

$$DH_{55}=DH_{52}\times VP_4$$

式中 VP_4 为厚差增益系数，随厚差而增大。G_5 要求修改的速度为：

$$DVD_{511}=\frac{V_{52}\times DH_{55}}{H_{51}}$$

式中 V_{52} 为 G_5 实际速度，H_{51} 为 G_5 后带厚设定值，DVD_{511} 限止在 $\pm V_{51}\times 6\%$ 范围之内。

(10) MODE C 轧制方式时对 G_5 架后厚差的处理 $NACH5\ C$：在 MODE C 方式时由于 G_5 架压下量较小，为恒张轧制，为获得良好板型，故 DM_5 测得的厚差不在 G_5 架上修正。为此要把 G_5 架后厚差反向叠加到 G_4 架出口厚差设定值上，形成 G_4 架新的出口厚度值。当 G_4 架执行 $VOST_4$ 或 $DELTAH_4$ 控制时，就可以使 G_4 架出口厚度达到新的设定目标厚度，从而消除了 G_5 架后的厚差。本控制带钢段长度 SD_7 为 4750mm。

根据 DM_5 测得的带钢段平均厚差 DH_{52}，计算出参于控制的偏差值 DH_{551}：

$$DH_{551}=DH_{52}\times VP_3$$

式中 VP_3 为厚差增益系数，它随厚差增大而变大。

要求修正的 G_4 架出口厚度设定值 DH_{41} 为：

$$DH_{41}=DH_{45}-DH_{551}$$

式中 DH_{45} 为 G_4 架后厚差控制值，其计算参见上述(7)。DH_{551} 为前述计算所得的 G_5 架后厚差。

(11) G_4/G_5 架间的非恒张力控制环 ZUGLIM：它每隔 20ms 由计算机进行一次数字控制。当实际张力值与设定张力值之比处于 90% 至 150% 之间时，G_5 机架轧制力维持不变，而依靠 G_4/G_5 架间张力变化来消除厚差。当实际张力继续上升超过上限值 150%时，为避免断带事故和迅速校正厚差，这时还要同时调节 G_5 架轧制力，以便消除厚差并使张力值回到安全限值内。其控制框图参见图 1、2，其中张力环 ZUGLIM 是外环，轧制力环 $FWRG_5$ 是内环，ZUGLIM 具有正向零位限值的功能。张力的采样周期为 20ms，为滤去支撑辊偏心引起的交流分量，每采集几次后计算张力平均值，再进行一次控制，ZUGLIM 的输出、即轧制力修正值为：

$$DFW_{51}=\begin{cases}0, & \text{当 } 90\%<F_{Z52}/F_{Z57}\leqslant 150\% \text{ 时}\\ DFW\times K_9 & \text{当 } F_{Z52}/F_{Z57}>150\% \text{ 时}\\ ZUGLIM \text{ 切除不用}, & \text{当 } F_{Z52}/F_{Z57}\leqslant 90\% \text{ 时}\end{cases}$$

式中 DFW 为每次闭环控制时轧制力增加的步值，约为 100kN；F_{Z52} 为 G_4/G_5 架间实际张力，F_{Z57} 为计算机道次计算时给出的设定张力值，K_9 为增益系数，它同带速和轧制力有关。

(12) G_2～G_5 架抛钢时的负荷辊缝控制 $LAWAK_{2\sim5}$：在抛钢时轧机失去后张力，这会导致带钢出口厚度增加，为此在 G_2～G_5 的前架即将抛钢时，把还未处于失去后张状态的 G_2～G_5 架中相应机架的实际轧制力和压下位置采入。当前架抛钢后，就用该采入的值作为控制基准值，按负荷辊缝公式进行控制，以维持抛钢失张前的带钢厚度。

本控制的框图(见图 1)，以 G_2 架的 $LAWAK_2$ 为例说明其控制过程。

当带尾位于 G_1 架之前约 40cm 处时，切断 G_2 架的轧制力环 $FWRG_2$ 调节器，转而投入 G_2 架的位置控制环 SRG_2，这时调节器的输出值 S_{21} 为：

$$S_{21}=S'_{21}-\left(\frac{FW_{22}-FW'_{22}}{CG^2}\right)\times K_{10}$$

式中 S'_{21} 为控制投入时 G_2 架压下实际位置。当 $LAWAK_2$ 投入时，其数值为带尾位于 G_1 架前 40cm 处时 G_2 当时实际辊缝值。F_{W22} 为控制期间实测轧制力。F'_{W22} 为控制投入开始时 G_2 轧制力值，其数值为带尾位于 G_1 架前 40cm 处时 G_2 架当时的实际轧制力值。CG_2 为甩尾时 G_2 架的模数，K_{10} 是控制增益系数。

本控制实际上起着恒轧制力控制环的作用，能保证顺利甩尾。

二、G_4/G_5 架间的三种张力控制方式

对于不同的材质，热卷状况和轧机状况，在 G_4/G_5 架间配备了三种不同的张力控制方式，以便达到最佳轧制生产的目的。众所周知，在轧机上改变轧制压力和轧机前/后带钢张力均能控制轧机出口带厚。维持带钢张力恒定而调节 G_5 架轧制压力的方法称为第 I 种张力控制方式，它主要适用于材质较软，成品较厚的产品。这时调节轧制压力能有效地控制带钢的出口厚度。随着带钢冷加工变形的增大，带材会出现加工硬化现象，特别在轧制较硬材质和在 G_5 机架上，这时轧制力对带钢出口厚度的影响将减弱。为改善轧件变形条件，可同时调节 G_4/G_5 架间的张力，以便控制带钢轧出厚度。如果张力控制已达极限值，这时还需辅以 G_5 架轧制力的调节，以便迅速消除厚差和使张力回到安全范围内。这就是第 II 种张力控制方式，它主要用于轧制较硬和较薄的产品。在轧普通产品或热卷状况不良时，G_5 架兼用作平整功能，它的压下量较小，为恒轧制力方式工作。这时造成 G_4/G_5 架间张力偏差的厚度差值不是在 G_5 架上用压下来校正。因此 G_4/G_5 架间张力偏差信号不能用来修正 G_5 架轧制力设定值，而是控制 G_5 架的速度，从而使张力维持恒定。这是第 III 种张力控制方式，在该张力环中，导致张力波动的厚差并未校正，它将于 NACH5 C 控制中在 G_4 架上加以校正。图 2 中示出了 G_4/G_5 架间的三种张力控制环。

图中 F_{Z57}、F_{W57} 及 N_{57} 为计算机道次计算值，F_{Z52}、F_{W52} 及 N_{52} 为相应的实测值，DN_{51} 和 DFW_{51} 为张力环输出值。图中虚线部份是用计算机数字控制组成。

第 I 种张力控制方式为恒张力控制 $FZRG_5$，详见第 (5)。第 II 种张力控制方式为非恒张力控制环 ZUGLIM，详见(11)。在图 3 中，以曲线形式示出了 ZUGLIM 输出值同张力之间的关系。很明显，它是单向控制的。

在第 III 种张力控制方式中，张力环是外环，为恒张环，内环是速度环。当张力有偏差时，张力调节器 ZUGC 产生速度附加值 DN_{51}，经速度调节器 NRG_5 的控制，改变 G_5 转速，从而达到 G_4/G_5 架间的恒张状况。这时，引起张力波动的厚差在 G_5 架上未得到消

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

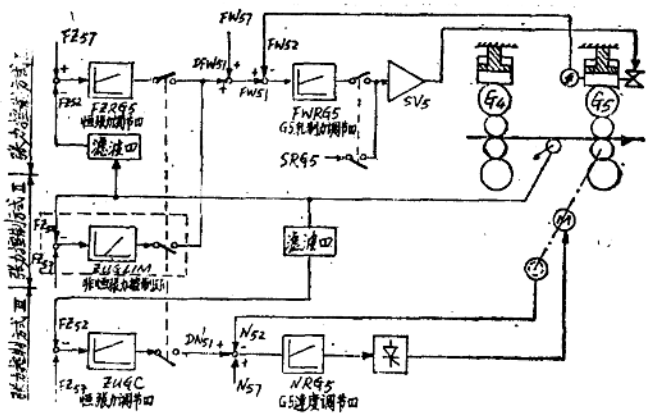

图 2　G_4 /G_5 架间的三种张力控制方式

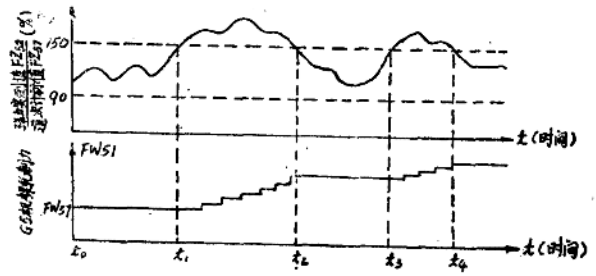

图 3　第 II 种张力方式 *ZNGLIM* 的输出值

除。控制框图见图 2。

在轧制时可按相应的控制要求，只能选择其中任一方式进行张力控制。

三、MODE *A*、*B*、*C*三种轧制方式

在轧机主操台上，可由操作工按成品带钢要求，来料状况和轧机状态选用某一种轧制方式。

当轧制材质较软，成品带钢厚度大时可选用 MODE *A* 方式，当轧制材质较硬，成品较薄时可选用 MODE *B* 方式，当轧制普通产品或热卷状况不好或轧机处于冷态时可选用 MODE *C* 方式。这三种轧制方式同三种张力控制方式关系密切，在表中列出了轧制方式同厚度控节环节及张力控制方式之间的关系。

在 MODE *A* 方式时，由于在 G_5 架上能有效地用轧制力手段控制轧材厚度，故选用第 I 种张力控制方式。在 MODE *B* 时，由于轧材在 G_5 架上变得相当硬，故要根据实际张力大小，来决定选用第 I 种或第 II 种张力控制方式。当实际张力与设定张力之比大于 90% 时，选用第 II 种，当该值小于 90% 时，选用第 I 种方式。这两种张力方式之间的切换由计算机自动执行，切换之间约有 12% 张力设定值宽度的迟滞区。在图 4 中示出了它们之间切换条件和动作过程。图中 t_3 至 t_4 之间的控制为 I 方式，用点划线加以区别。

在 MODE *C* 时，为确保 G_5 架恒轧制力轧制，很明显只能选用第 III 种张力控制方式。

表1　轧制工作方式与厚控及张力控制之间的关系

轧制工作方式	厚度控制方式					
	G_4/ G_5 架张力控制方式			$VOST_1$	LAWA	$DELTAV_1$
	I	II	III			
MODE *A*	✓			✓	✓	✓
MODE *B*	或✓	或✓		✓	✓	✓
MODE *C*			✓	✓	✓	✓

轧制工作方式	厚度控制方式						
	MON_1T	$LAWAK_{2\sim5}$	$VOST_4$	$DELTAH_4$	$VOST_5$	$DELTAH_5$	$NACH_5C$
MODE *A*	✓	✓			✓	✓	
MODE *B*	✓	✓	✓		✓	✓	
MOEE *C*	✓	✓	✓	✓			✓

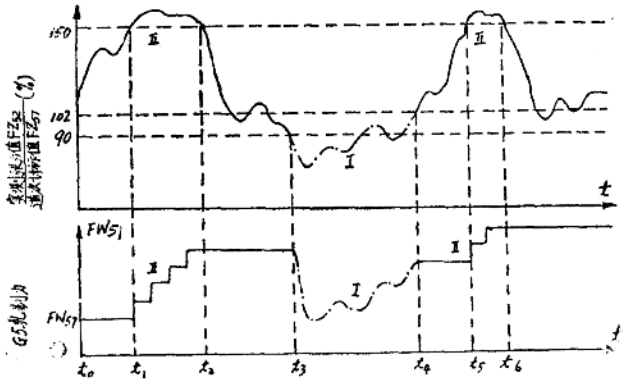

图4　MDOE *B* 轧制方式时的张力控制及轧制力设定值

四、MODE *A*、*B*、*C*三种轧制方式的比较

根据上述分析及表1内容便可知道，从控制带厚公差优劣来看，很明显MODE *A*优于MODE *B*，MODE *B*优于MODE *C*。生产实践告诉我们，在轧制过程中频繁调节G_5架的轧制力，往往对带钢板型产生不利影响，故从板型控制的利弊来看，MODD *C*优于MODE *B*，MODE *B*优于MODE *A*。一般轧机断带事故多数发生在后面机架上，故从轧制安全可靠，减少事故来看，MODE *C*优于MODE *B*、MODE *A*。为了轧出板型良好，厚度公差小的带钢，操作工可根据上述分析，权衡利弊，正确地选择轧制方式，就能高速优质和安全地进行轧制生产。

五机架冷连轧机调速系统观测器的原理分析

宝钢冷轧厂　徐伟国

【摘要】 本文从理论上详细分析了五机架冷连轧机带有观测器的调速系统控制原理，分析了该系统的静态及动态性能。计算机数字仿真结果表明该系统优于经典双环调节系统，特别适用于弹性连接的传动系统。

一、概　　述

在五机架冷连轧机的控制系统中，由于电动机与轧辊之间连有一根细长的连接轴（以下简称长轴）见图1，易产生扭振因此电机与负载(轧辊和带钢)之间可视为弹性连接。

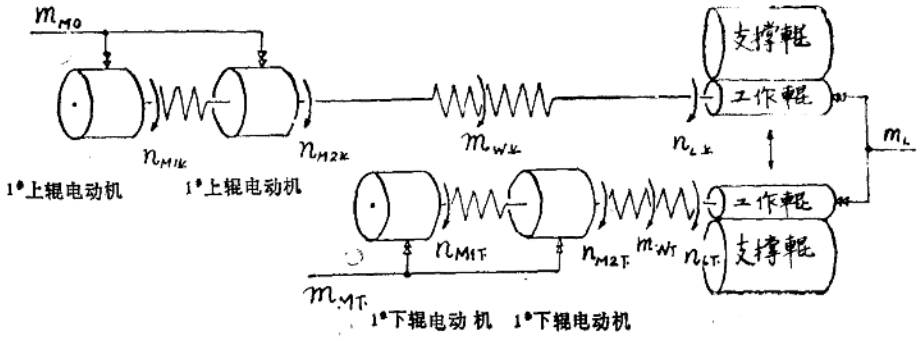

图1　弹性连接系统

速度调节器的最佳调节公式中谈到，只要与电动机连有另外转动物体时就需要按弹性连接时速度调节器的计算方法(见附录)加以调整。一般速度调节器的最佳化公式仅适用于两个转动物体刚性无松动连接的情况。所以也可以说在高精度的速度控制系统中采用一般的双闭环 PI 调节器不易得到优良的控制性能，系统易产生调节振荡。特别在轧机进行高速轧制时由于系统振荡而导致断带。

当工作机械和传动电机为弹性连接时，传动电机调节系统的动态特性很不好。弹性连接会引起整个调节系统的强烈振荡，并使得调节系统的机械部件(减速机和联轴节)承受巨大负载。一般在没有采取相应措施时，只有降低转速调节器的放大系数才能消除振荡。这就使得被调量(转速)的起调时间加长(在大多数情况下会加长)。为此西门子公司在五机架速度控制系统中采用了 G. Weihrich 于 1978 年提出的P调节器加状态观测器的速度控制的新方案。它比经典的双闭环系统有下述几个明显的优点：

(1) 在改变速度给定时，不会产生超调。

(2) 在负载突变时，动态速降小。

(3)* 它能很好地克服在弹性连接负载下速度调节过程的振荡问题。为轧机正常高速运行提供了条件。

*注：冷连轧机要求速度恒定，但实际上轧辊速度是振荡的，为减少振荡可以加粗长轴，但加粗后增大转动惯量，影响快速性。这里采用电气的办法，用状态观测器来减少轧辊的振荡，这样也就可以说，采用状态观测器相当于加粗长轴。

二、控制对象的数字模型

控制对象如图 2。

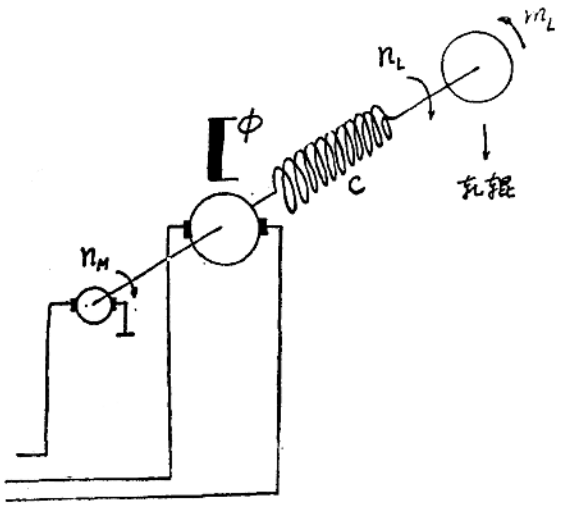

图 2　控制对象

1. 计算长轴弹性系数 C_{ber} 及最低的自振频率 f_0：

$$C_{ber}=\frac{\omega_0^2 \cdot J_L}{1+J_L/J_M}$$

$$\omega_0=2\pi f_0$$

式中：f_0——最低的自振频率(由轧机机械制造厂西马克公司提供)；J_M——电动机惯量；J_L——轧辊惯量。

2. 据图 2 可列出下述方程

$$J_M \cdot \frac{d\Omega_M}{dt}=M_M-M_W \tag{1}$$

$$\frac{1}{C_{ber}} \cdot \frac{dM_W}{dt}=\Omega_M-\Omega_L \tag{2}$$

$$J_L \cdot \frac{d\Omega_L}{dt}=M_W-M_L \tag{3}$$

式中：Ω_M——电动机转数(角速度)；　Ω_L——轧辊转数(角速度)；　M_M——

电动机力矩；　　M_W——长轴扭矩；　　M_L——负荷力矩。

由(1)，(2)，(3)式可画出方块图，见图 3。

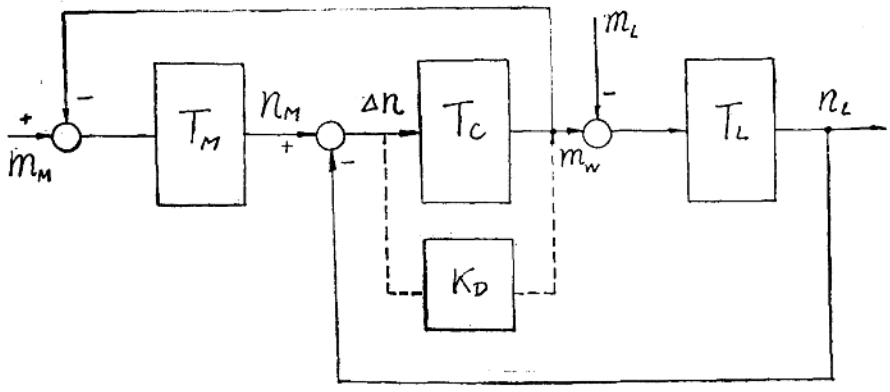

图 3　控制对象方块图

考虑长轴材料阻尼系数时，方块图中要增加虚线部分的环节。

(1)，(2)，(3)式的相对值为下述标准方程式：

$$\frac{J_M \cdot \Omega_*}{M_*} \cdot \frac{\frac{d\Omega_M}{dt}}{\Omega_*} = \frac{M_M}{M_*} - \frac{M_W}{M_*}$$

$$\downarrow \qquad \downarrow \qquad \downarrow \qquad \downarrow$$

$$T_M \cdot \frac{dn_M}{dt} = M_M - M_W \tag{4}$$

$$\frac{1}{C_{ber}} \cdot \frac{M_*}{\Omega_*} \cdot \frac{\frac{dM_W}{dt}}{M_*} = \frac{\Omega_M}{\Omega_*} - \frac{\Omega_L}{\Omega_*}$$

$$T_C \cdot \frac{dm_W}{dt} = n_M - n_L \tag{5}$$

$$\frac{J_L \cdot \Omega_*}{M_*} \cdot \frac{\frac{d\Omega_L}{dt}}{\Omega_*} = \frac{M_W}{M_*} - \frac{M_L}{M_*}$$

$$T_L \cdot \frac{dn_L}{dt} = m_W - m_L \tag{6}$$

式中：$[n_*]$——额定转速(s^{-1})；　　$[M_*]$——额定电流和额定磁场时的力矩(Nm)；

$[J]$——转动惯量(Nm^2)；　　$[C_{ber}]$——长轴弹性系数(Nm/rad)。

$[\Omega_*]$——角速度(rad/s)；　　最大转速≒10V

由(4)，(5)，(6)式可得：

$$n_M = \frac{1}{T_M} \int_0^t (m_M - m_W) dt \tag{7}$$

$$n_L = \frac{1}{T_L} \int_0^t (m_W - m_L) dt \tag{8}$$

$$M_W = \frac{1}{T_C} \int_0^t (n_M - n_L)\, dt + K_D(n_M - n_L) \tag{9}$$

式中：K_D 为阻尼系数。

设电动机加速时间常数为

$$T_M = J_M \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{n_N}{M_N} \tag{10}$$

负载转动体的加速时间

$$T_L = J_L \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{n_N}{M_N} \tag{11}$$

弹性等效时间常数

$$T_C = \frac{1}{C_{ber}} \cdot \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{M_N}{n_N} \tag{12}$$

式中：M_N——电动机额定力矩；　n_N——电动机额定转速。

必要时也可以通过试验来确定传动装置的自振频率，计算式：

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{T_C}\left(\frac{1}{T_L} + \frac{1}{T_M}\right)} \tag{13}$$

阻尼系数 K_D 可以根据实验结果计算出来。

由上面分析，我们不难得出控制对象动态结构图，见图 4。

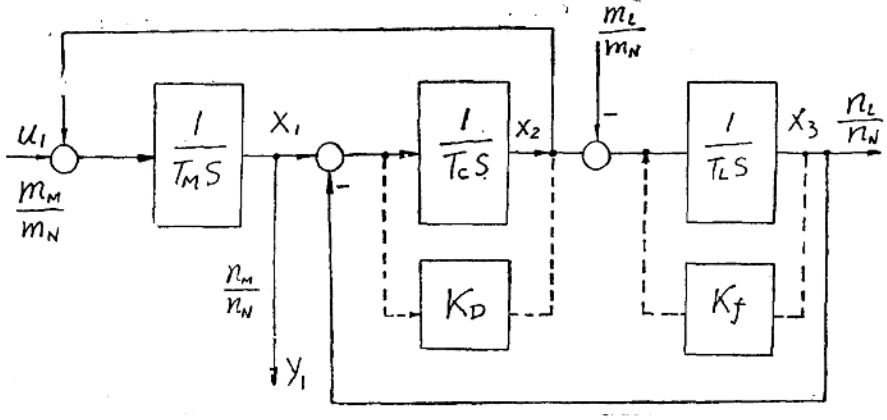

图 4　控制对象动态结构框图

我们选择 $\frac{m_m}{m_N}$ 作为控制输入 u_1，$\frac{n_m}{n_N}$ 为输出 y_1，并按图 4 所示选择其状态变量 X_1, X_2, X_3。这样得到该控制对象的状态方程为

$$\dot{X} = AX + BU + E$$
$$Y = CX$$

式中：
$$A = \begin{Bmatrix} 0 & -T_M^{-1} & 0 \\ T_C^{-1} & 0 & -T_C^{-1} \\ 0 & T_L^{-1} & 0 \end{Bmatrix} \quad B = \begin{Bmatrix} T_M^{-1} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad E = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -T_L^{-1} \dfrac{M_L}{M_N} \end{Bmatrix}$$

$$C = [1, 0, 0],\ Y = y_1,\ U = u_1,\ X = [x_1,\ x_2,\ x_3]^T$$

根据状态方程矩阵计算特征方程　　$\det(SI - A) = 0$

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com