包钢热轧精轧机架刚度数字化平台的研发与应用

王 磊,刘 婷

(内蒙古包钢金属制造有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要:内蒙古包钢金属制造有限责任公司热轧2 250 mm生产线是目前国内最后投入生产的产线之一,新的设备状况特别是轧机精度状况是我们当前迫切需要了解的关键性设备精度指标。而包钢热轧精轧机架刚度数字化平台的研发真正实现了利用精轧换辊、故障处理、短时间的检修等短停轧时间来及时、快速采集数据,将数据集成到轧机刚度数字化平台来及时了解轧机的实际状态,从而实时有效地提高轧机精度,并保持轧机精度的持续稳定和提升。

关键词:轧机刚度;轧机精度;标定

中图分类号:TG333 **文献标识码**:B **文章编号**:1009-5438(2020)04-0084-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.04.023

Research and Development and Application of Digital Platform for Stiffness of Hot Finishing Mill Stand of Baotou Steel

Wang Lei, *Liu Ting*

(*Inner Mongolia Baotou Steel Metal Manufacturing Co.*, *Ltd.*, *Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region*, *China*)

Abstract: The 2 250 mm hot rolling production line of Inner Mongolia Baotou Steel Metal Manufacturing Co., Ltd. is one of the last production lines put into production in China at present. The new equipment status, especially the accuracy of rolling mill, is the key index for accuracy of device we urgently need to know currently. With the R&D of digital platform for stiffness of hot finishing mill stand of Baotou Steel, the timely and rapid data collection is finished in the short time of shut-down for changing finishing roll, fault handling and short-time overhaul as well as the data is integrated into platform to know virtual condition of rolling mill in time so that the accuracy of rolling mill is improved effectively in real time as well as continuously stabilized and improved.

Key words: stiffness of rolling mill; accuracy of rolling mill; calibration

热连轧轧机的刚度是指轧机产生纵向单位弹性变形所需液压缸施加的轧制力,其几何意义为轧机弹性曲线直线段的斜率,是标志产线设备精度、产品质量(包括尺寸、板形)及产线轧制稳定等生产效率的关键指标。也是影响模型设定精度、带钢的稳定轧制、板形质量等一系列成品关键质量指标的万恶之源。数字化评价分析是当前最为先进的轧机精度控制技术,包钢热轧精轧机架刚度数字化平台的研

收稿日期:2020-03-02

作者简介:王 磊(1981-),男,内蒙古包头市人,硕士,经济师,现从事计算机系统维护工作。

发使用了数字化评价分析技术，该平台的应用实现了高效地对轧机状况进行有效的评估和识别，为产线及时提供精确的设备精度信息、及时报警并适时进行有效的维护，可以确保得到及时有效地维护和监控。内蒙古包钢金属制造有限责任公司热轧 2 250 mm生产线是目前国内最后投入生产的产线之一，新的设备状况特别是轧机精度状况是我们当前迫切需要了解的关键性设备精度指标，一直以来都未能得到及时、准确的相关测试信息，直到现场出现了跑偏废钢、板形控制问题日益突出，我们才意识到研发一套全自动采集计算轧机刚度的数字化平台势在必行。

1　机架刚度数字化平台实现目标

随着生产过程的不断持续，精轧轧机会不可避免的出现磨损，尤其是轧机牌坊窗口的不对称磨损和破坏是造成轧机刚度保持率下降的根本原因，通常热连轧机在连续生产 5 至 8 年后，轧机实际刚度会出现明显的下降，在生产过程中随之出现的现象是轧机故障和废钢增多、产品质量下降[1]。

通过轧机的数字化间隙管理，也可以有效地提高轧机精度，并保持轧机精度的持续稳定和提升，通常轧机不可能有较长时间的停机测量机会，而通过应用数字化间隙管理的方法可以实现利用精轧换辊、故障处理、较短时间的检修等短停轧时间来及时、快速采集数据，集成到轧机刚度数字化平台，此平台可以利用动态修复方法根据实际数据评估轧机，可以及时而有效地发现轧机的真实状况，使得轧机精度保持持续稳定。当轧机出现严重磨损，窗口平面出现较大的偏差时，在大中修期间立项修复[2]。

如果能够提供轧机的测试数据，就可以对轧机精度进行数字化评估，并可以通过持续的数字化信息变化，准确地预知轧机精度状况，提出多种保持轧机精度的维护方法及修复建议，这就是研发精轧机架刚度数字化平台的最终目的。

2　机架刚度数字化平台的研发思路

2.1　精轧机刚度数据测量采集

在轧机零调过程，精轧机架刚度数字化平台采集实际的轧制力(包含传动侧和操作侧) 和液压缸位置，图 1 为标定过程的压力曲线，液压缸逐渐压下形成了轧机压力的逐渐上升，到达标定压力后，作为轧机的零点，标定完成。图 2 是轧机标定过程轧制压力与辊缝位置的关系曲线。

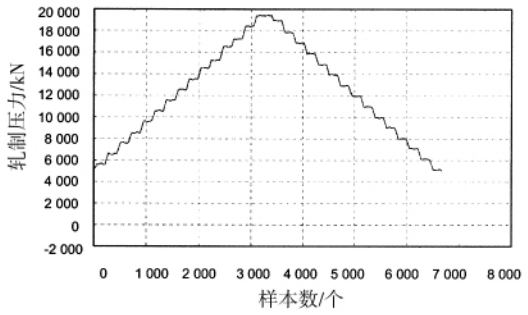


图 1　精轧标定过程轧制力变化曲线

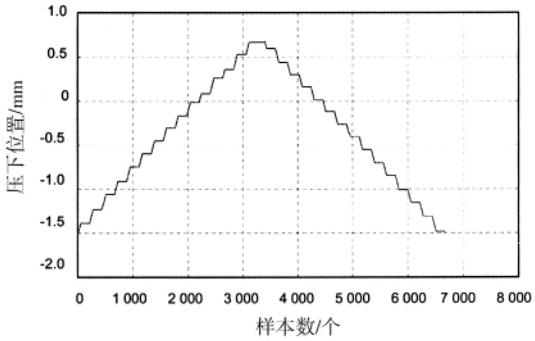


图 2　标定过程压下位置变化曲线

2.2　轧机刚度的计算

轧机刚度的计算，并不需要双向抬压信息，由于轧机精度的不同，会出现压靠曲线的重复性差异(见图 2) ，通常以轧机下压过程的标准结果作为轧机的零点参考基准，因此，轧机刚度的计算直接取轧机下压过程的相关信息，见图 3。

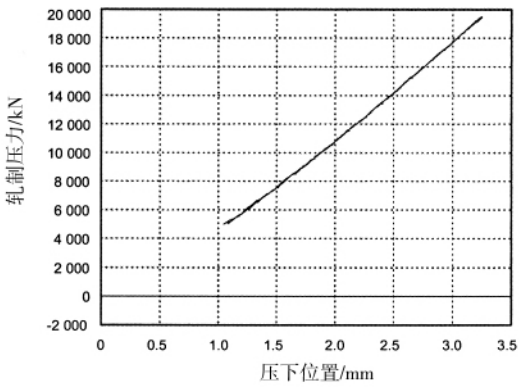


图 3　标定过程轧制压力与压下位置关系

由于轧机磨损及精度的变化差异,压下过程在低压力时存在普遍的非线性特性,该区域不能代表轧制过程大压力的刚度特性,因此在计算刚度时,应该规避和去除该部分信息。通常情况下,标定参数的计算,应截取轧制压力在200~300 t以上的轧制压力进行计算;与此同时,在轧制压力到达目标最大轧制压力时,压靠过程不在继续下压,只是在此区间等待压力稳定到一定的偏差范围并确认有效以后,再做标定的零点计算,这一等待变化过程也存在非线性特征,也不应该作为轧机刚度的计算,否则会影响有效的刚度计算。因此,计算过程应避开顶端压力,将刚度计算的截取压力通常设置在目标压力减少50~100 t来作为轧机刚度的计算基准数据。

压靠过程存在的问题及改进:下压过程是轧机刚度的计算基准,因此上抬过程无需阶梯控制,几秒钟即可上抬到位,这样可以规避故障风险,同时可以提高标定效率,而下压过程的均衡温度的动作对刚度计算更有代表性,阶梯过程会产生非线性波动影响刚度计算精度,更重要的是,标定过程只关注1 000 t的零点,中间过程对标定值没有意义。由此,在安全条件下,可以提高压下速度,这样可大幅度提高标定的时间和效率,建议改进。

2.3 标定过程线性回归计算公式(最小二乘法)

标定过程的回归计算公式可以充分反映轧机压靠过程的线性特征,并且更加精确,但对于非专业模型计算的一级则相对繁琐,因此,编制起来需要更多的时间,但确认具备可行性。

线性计算公式:$y = a + bx$,其中:x为辊缝值、y为压靠轧制压力,标定过程回归计算公式见式(1)、式(2),公式分解计算过程见式(3)、式(4)、式(5)。

$$\hat{a} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x}, \tag{1}$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - n\overline{xy}}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})(y_i \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} \tag{2}$$

记

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2, \tag{3}$$

$$l_{yy} = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^{n} y_i^2 - n\bar{y}^2, \tag{4}$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i - n\overline{xy}, \tag{5}$$

例如:将压靠过程的辊缝值采集出来以后,计算平均值,则记为$\bar{x}$;数据的采集数量或者计数极为n,压靠辊缝的平方求和,则为$\sum_{i=1}^{n} x_i^2$,同样,计算压靠压力也可以得到压靠压力平方和$\sum_{i=1}^{n} y_i^2$;这些参数计算出来以后就可以进行线性计算,按照分解计算,分别得到l_{xx}、l_{yy}、l_{xy}。

上述工作完成以后,就可以计算出轧机刚度见式(6),其中a为截距,b为刚度。

$$\hat{b} = \frac{l_{xy}}{l_{xx}}, \hat{a} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x} \tag{6}$$

3 精轧机架刚度数字化平台实现

通过分析轧机刚度、轧机间隙与轧机稳定性的关系,了解到调节轧机刚度可提高轧机稳定性。轧机刚度包括操作侧刚度和传动侧刚度,只有保证这两侧刚度全部在合理范围内,轧机的稳定性才会有所提高。通过建立数据化的轧机刚度与轧机刚度稳定性评价体系,有针对性地修正轧机状态,达到监控轧机刚度变化、提高轧机稳定性的目的,为批量生产高品质带钢提供了技术条件。精轧机架刚度数字化平台的建立,实现了精轧机架过程数据的在线监控,并能够直观清晰的显示轧机刚度保持率,见图4。

4 结束语

轧制过程不稳定,极易造成难轧钢种效率低下,常常出现甩尾现象,造成极限规格不能实现稳定批量地生产,带钢头部镰刀弯、塔形严重,生产废钢较多等质量问题。因此,采用全自动采集计算精轧轧机刚度的数字化平台可及时准确的采集轧机刚度相关状态数据信息,据此技术人员预先提出保持轧机精度的维护方法及修复建议,保证轧机刚度持续稳定及轧机精度的不断有效提升。

(下转第90页)

(1) 改造后,捕雾器阻力明显降低,由原1.0 kPa左右降低到0.6 kPa左右,捕雾器及脱硫塔的运行效果得到很好的改善;系统运行改善的同时,硫磺产量、产率相应增加,平均月产量提高100 t以上,产率由0.127%上升到0.168%。

(2) 方法的应用同常规拆卸清洗方法相比可节省脱硫塔停产堵盲板、煤气系统走交通、煤气空气置换、搭高空检修平台、吊装高空捕雾器、更换螺栓垫片、人工清洗再回装、脱硫塔开工等复杂程序,单台单次可节约检修成本20 000元左右,包钢焦化厂稀土钢煤气净化部四台捕雾器每年清洗一次可节约成本约80 000元,同时降低了清洗难度、减少了作业时间、并提高了安全系数。

5 结束语

该在线清洗方法降低了脱硫塔旋流板捕雾器阻力,同时因为可随时进行清洗作业,降低了清洗捕雾器的难度,一并解决了脱硫塔停产、捕雾器拆卸、清洗回装等复杂程序,清洗简单并能实现在线清洗、不影响生产、作业安全省时省力,提高工作效率的同时减少了煤气系统走交通所带来的设备腐蚀和工业污染。同时保证系统阻力后,增加系统洗涤效果,提升产品产率,降低煤气含硫化氢。

参 考 文 献

[1] 范守谦. 焦炉煤气净化生产设计手册[M]. 北京: 冶金工业出版社. 2012.

[2] 郭树才. 煤化工工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社. 2012.

(上接第86页)

查询

2250mm热轧轧机刚度数字化分析平台

包钢集团 BAOGANG GROUP

日期	机架	刚度		轴承座号								辊号				刚度		
				上工作辊		下工作辊		上支撑辊		下支撑辊		上辊		下辊				
		OS	DS	OS	DS	OS	DS	OS	DS	OS	DS	工作辊	支撑辊	工作辊	支撑辊	实测	保持率	OS/DS
20191026	F1	2452.921	2564.953	17	18	87	88	57	58	59	60	FW5GC009	FB3XT009	FK2XT426	FB3SF006	5017.874	0.737923	0.956322
20191026	F2	2682.928	2626.693	5	6	7	8	61	62	63	64	FW5XT013	FB3XT013	FK2DL014	FB4UE002	5309.621	0.780827	1.021409
20191026	F3	2646.981	2451.072	57	58	59	60	25	26	27	28	FW5XT011	FB3YZ007	FW5XT012	FB3YZ008	5098.053	0.749714	1.079928
20191026	F4	2732.394	2662.732	13	14	15	16	17	18	19	20	FW1XT363	FB3YZ003	FW5XT014	FB3XT020	5395.126	0.793401	1.026162
20191026	F5	2706.856	2615.641	45	46	47	48	41	42	43	44	FK2XT433	FB4UE007	FW1XT364	FB3YZ004	5322.497	0.78272	1.034873
20191026	F6	2738.524	2692.304	37	38	15	8	37	38	39	40	FK2XT425	FB3SF005	FW5GC01(	FB3XT010	5430.828	0.798651	1.017167
20191026	F7	2675.9	2705.803	33	34	7	44	1	2	3	4	FK2DL013	FB4UE001	FK2XT434	FB4UE008	5381.703	0.791427	0.988948
20190813	F2	2778.043	2886.669	0	0	0	0	13	14	15	16	FW5XT009	FB3YZ007	FW5XT010	FB3YZ008	5664.712	0.833046	0.96237
20190626	F1	2584.759	2668.884	13	14	15	16	65	66	67	68	FWXT363	FB3XT013	FKXT384	FB3SF010	5253.643	0.772594	0.96848
20190626	F2	2770.771	2689.153	25	26	27	28	57	58	59	60	FW5XT015	FB3YZ001	FW5XT016	FB3YZ002	5459.924	0.80293	1.030351
20190626	F3	2976.63	2856.373	9	14	39	40	61	62	63	64	FWDL009	FB3YZ005	FWDL010	FB3YZ006	5833.003	0.857795	1.042102
20190626	F5	2693.247	2639.118	25	42	59	16	9	10	11	12	FKXT015	FB3SF008	FKXT016	FB3SF004	5332.365	0.784171	1.02051
20190626	F6	2693.762	2769.183	5	6	35	36	53	54	55	56	FKXT009	FB3SF002	FWXT364	FB3XT020	5462.945	0.803374	0.972764
20190626	F7	2597.916	2619.063	45	46	47	48	29	30	31	32	FKXT383	FB3SF009	FKXT010	FB3SF007	5216.979	0.767203	0.991926
20190604	F1	2549.908	2720.258	53	54	55	56	65	66	67	68	FWXT359	FB3XT003	FW5GC00(	FB3YZ008	5270.165	0.775024	0.937377
20190604	F2	2915.54	2627.797	41	42	43	44	49	50	51	52	FW5GC005	FB3YZ007	FWXT010	FB3YE004	5543.336	0.815196	1.1095
20190604	F3	3071.905	2726.264	89	90	91	92	61	62	63	64	FWXT009	FB3YE003	FWXT360	FB3XT005	5798.169	0.852672	1.126782
20190604	F4	2904.659	2919.878	81	82	83	84	1	2	3	4	FW5XT001	FB3XT013	FW5XT002	FB3XT020	5824.537	0.85655	0.994788
20190604	F5	2914.785	2808.657	65	66	37	68	69	70	71	72	FK2GC001	FB3SF001	FKXT360	FB4UE003	5723.442	0.841683	1.037786
20190604	F7	2978.164	2933.842	0	0	0	0	21	22	23	24	FKXT359	FB4UE004	FK2GC002	FB3SF003	5912.005	0.869413	1.015107
20190301	F1	2458.562	2625.735	45	46	47	48	25	26	27	28	FWXT335	FB3YZ003	FWGC004	FB3YZ002	5084.297	0.747691	0.936333
20190301	F2	2706.68	2688.604	37	60	11	12	57	58	59	60	FWGC003	FB3YZ001	FKXT346	FB3SF008	5395.284	0.793424	1.006723

图4 精轧机架轧机刚度数字化平台实现页面

[1] 冷烨旻. 轧机刚度对热轧板形的影响[J]. 江西冶金,2016,36(3):21-24.

[2] 李长宏,黄贞益,王萍. 轧机两侧刚度差异对热轧宽厚板两侧厚度偏差的影响[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版),2009,26(4):373-376.