

技术 | 回转窑弯曲变形的测量及矫正方法

原创 王继勇 中国散协水泥工程技术专委会 2022-01-14 06:00



1 回转窑弯曲变形情况概述

回转窑运行状态直接影响到水泥企业的生产能力和经济效益。特别是窑筒体出现较大轴向弯曲时，会直接影响到轮带与托轮工作面接触状态，导致大齿圈传动系统异常振动，对回转窑稳定运转有严重的负面影响，也将缩短窑内衬砖工作寿命。

2014年8月，我公司2×2500t/d水泥生产线在生产中突遇雷暴雨袭击，供电系统被雷击跳闸断电数十分钟，由于窑受到短时强降雨和急剧降温的影响，两台窑不同程度地出现了弯曲变形。弯曲后的两台回转窑在运行中主要存在以下问题：一是托轮底座振动、大齿圈和小齿轮啮合异常、托轮与轮带接触不均匀；二是窑尾筒体径向摆动量大，后窑口密封性很差。

因此，2014年12月我公司与武汉理工大学建材行业回转窑检测技术中心合作，对两台窑的弯曲情况进行了在线检测并实施了窑体矫正，均取得满意效果。现以1号回转窑为例，介绍回转窑弯曲变形动态检测和矫正方法。

2 窑筒体弯曲变形的测量方法

2.1 测量技术及仪器

本次回转窑外轮廓和弯曲变形测量以及其他相关测量工作，采用的是武汉理工大学自主开发的回转窑筒体动态轴线和弯曲的检测和监测方法及测量系统。

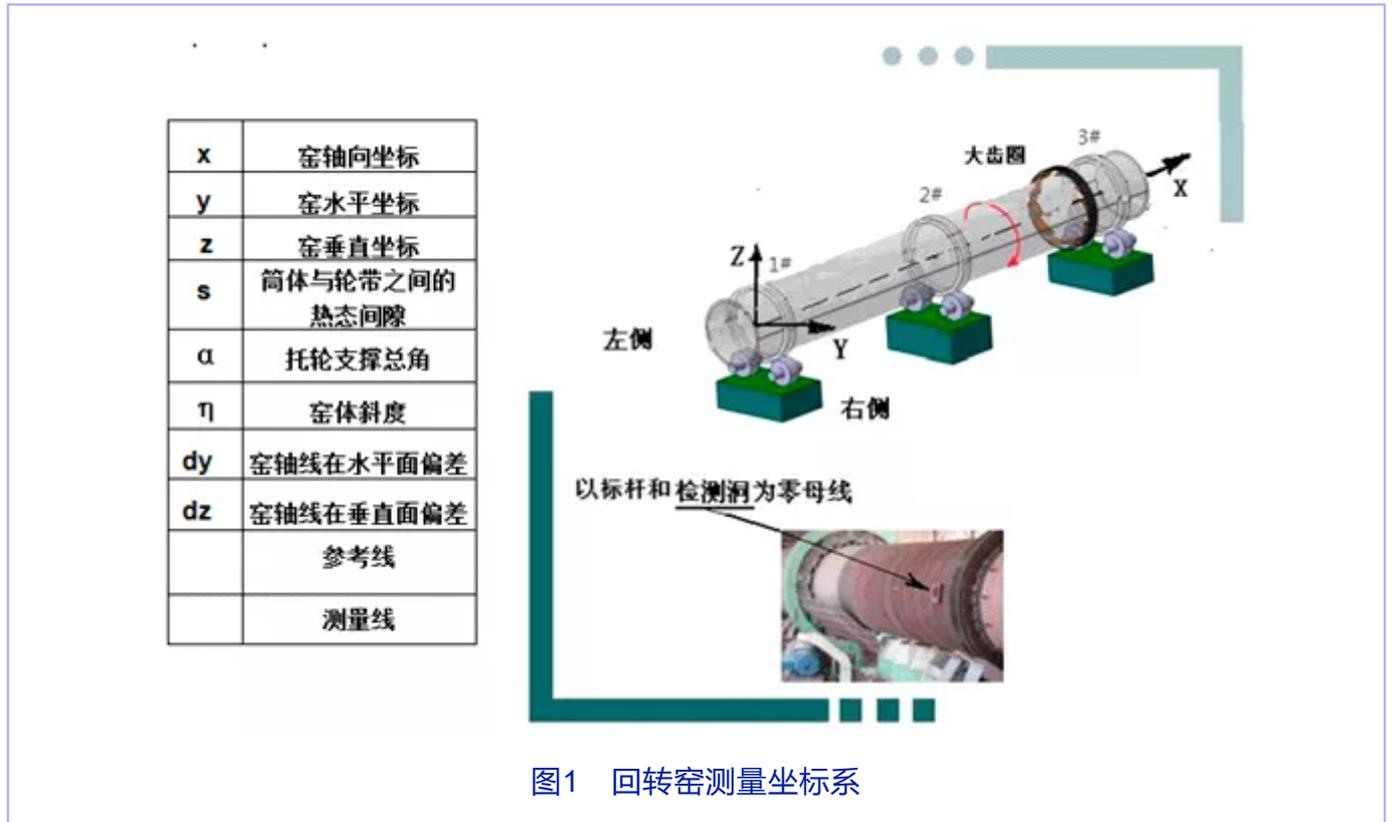
专业测量仪器：动态回转窑托轮轴线测量方法及仪器、动态回转窑机械筒体外轮廓激光测量仪器等。所有仪器的测量精度为±1mm。

常规测量仪器：中外合资全站仪，测距精度 $1\text{mm}+2\text{ppm}$ ，测角精度 $2''$ ；RAYST8LX型手持红外测温仪等仪器。

2.2 测量方法

2.2.1 建立测量坐标系

基准坐标系见图1，在水平面以窑头1档和窑尾3档底座高端中心连线为基准。规定从窑低端向高端看，在窑左、右侧建立2条平行基准线，其间距 $G=5103\text{mm}$ 。

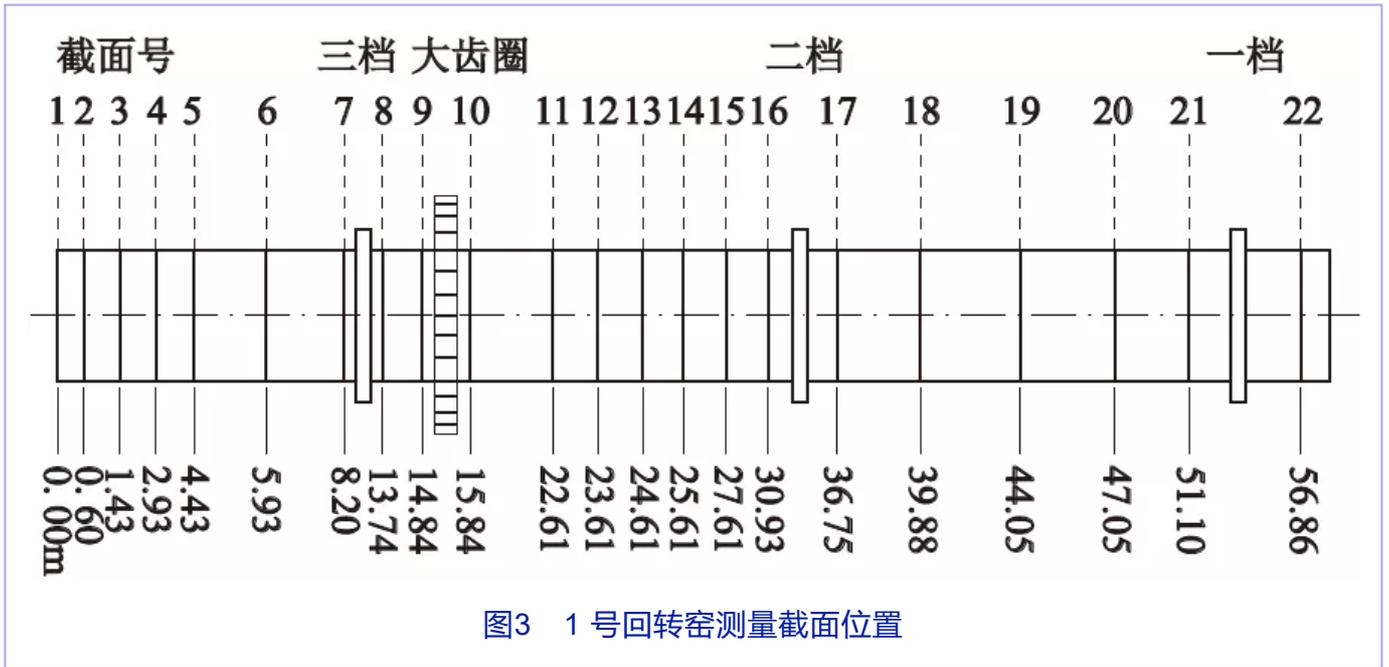


测量之前，先确定回转窑“0”点及母线位置(见图2)，在窑尾3档轮带上端回转窑测速装置的标杆处安装1个非接触的磁电开关传感器，具有200m距离无线传送功能，它是所有在筒体各截面作测量的激光测距仪的测量起始点。



2.2.2 设立测量截面

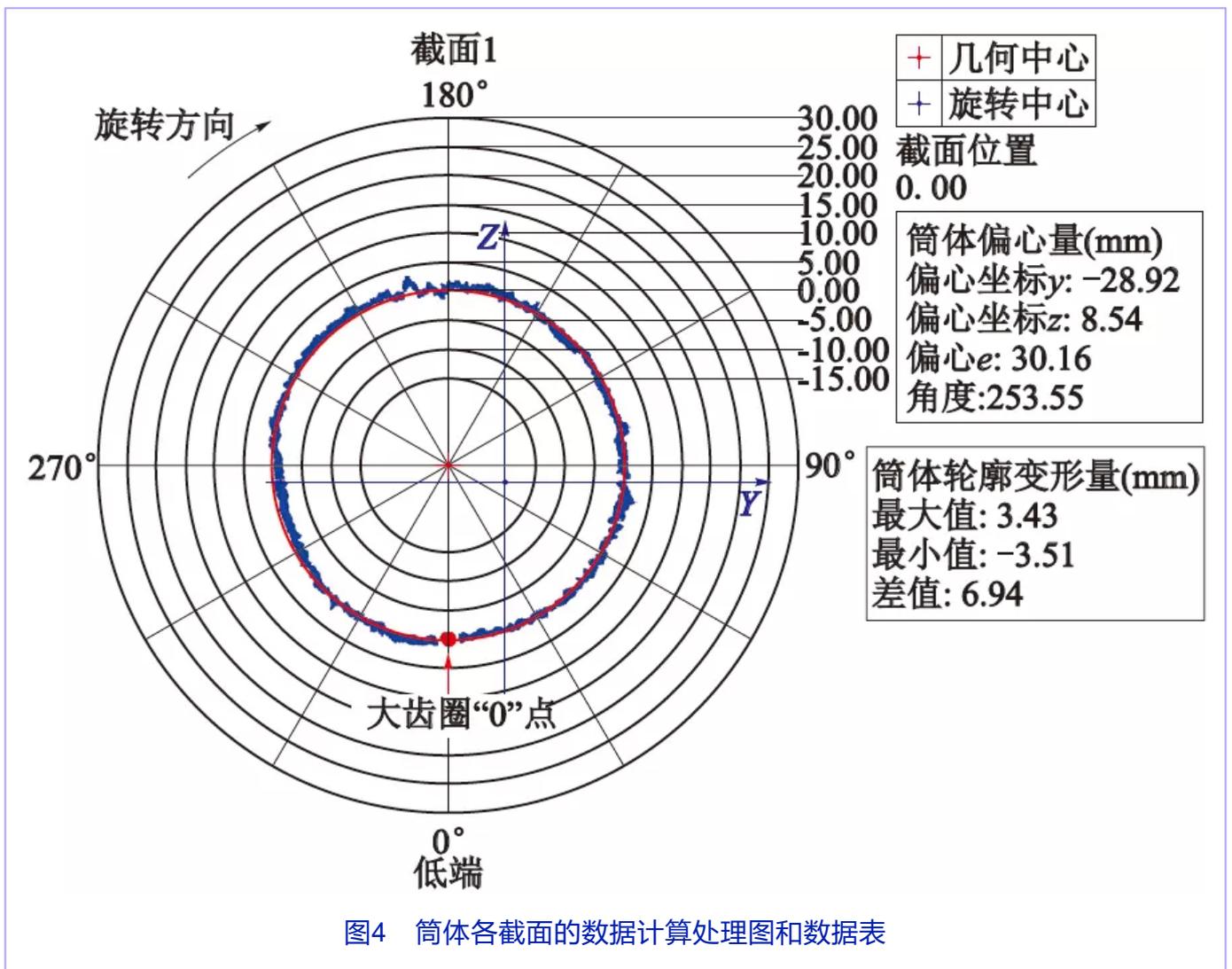
沿1号回转窑中轴线，从窑尾至窑头共设置22个测量截面，见图3。



在筒体各截面的数据计算处理图和数据表见图4，其中小十字红点为测量处理得到的回转窑几何中心，所有图均从低端向高端看，标杆“0”点均在其正下方。

3 现场测量主要内容

我公司1号回转窑测量期间正值停产阶段，测量时当地气温为14℃，筒体和轮带温度14℃。测量的主要内容和步骤如下：



3.1 回转窑动态中心线测量

回转窑动态中心线测量数据见图5。

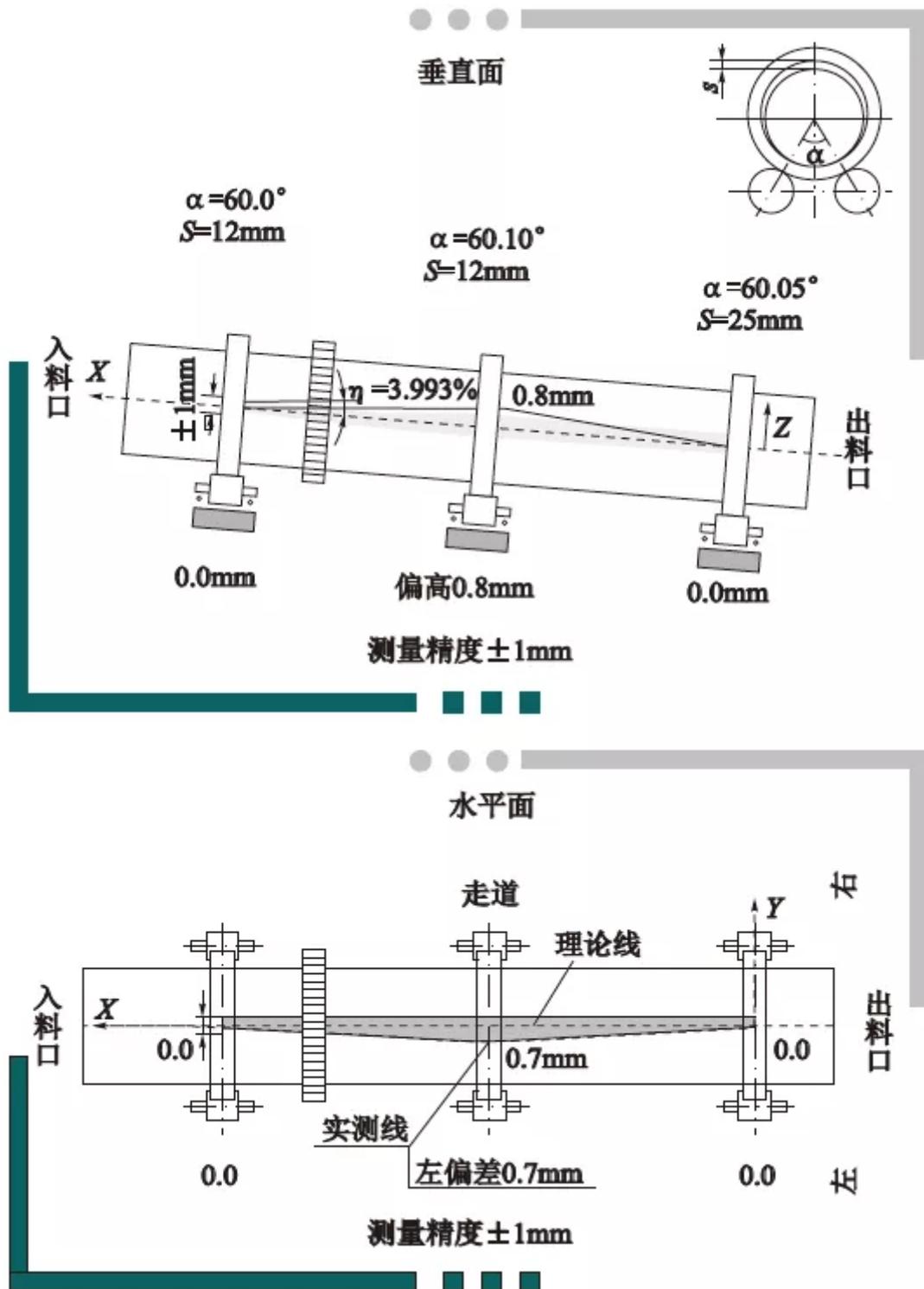


图5 回转窑中心线的动态偏差

从图5可以看出回转窑在2号轮带处水平面偏差(dY)向左0.7mm、垂直面偏差(dZ)向上0.8mm，综合偏差： $(0.72+0.82)^{1/2}=1.06\text{mm}$ ；一、二、三档轮带间隙(S)分别为25mm、12mm、12mm；回转窑标准斜度(η)4%，实测斜度3.993%。

该窑中心线偏差数据比较理想，只是在二档位置稍微偏高和偏左，可在窑调整时加以微调。

3.2 回转窑及托轮空间位置测量

从窑低端向高端看，窑支承结构参数见图6及表1。它主要包括：轮带和托轮平均直径、左右托轮支承角平均中心距、左右托轮外径位置到基准线尺寸等。

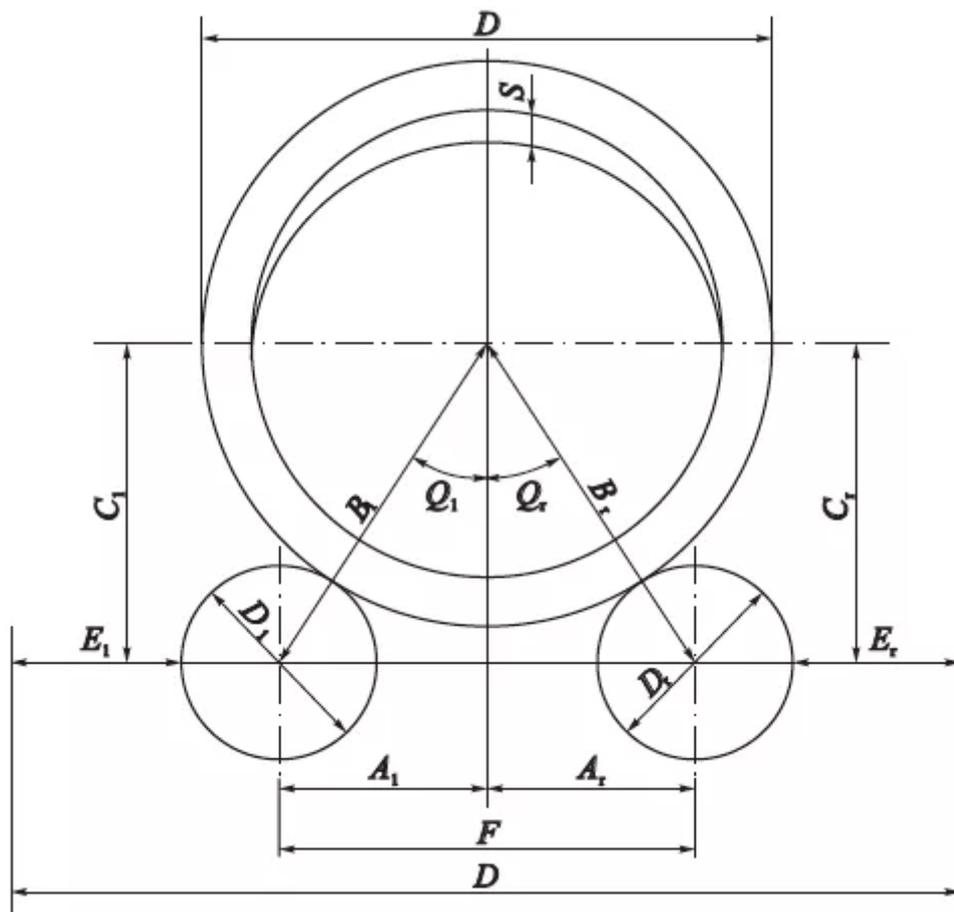


图6 回转窑支撑结构示意图

回转窑托轮空间位置见图7，各托轮组轴线在水平面有 $-1.6\sim 4.9\text{mm}$ 偏差，在垂直面上斜度 $3.95\%\sim 4.24\%$ 的不同。二档右侧托轮与左侧托轮存在“小八字”，与一、三档右侧托轮存在“大八字”问题。这会造成托轮与轮带接触不好，也会影响到托轮瓦的受力，经常造成托轮发热问题，可在窑调整时一并完善。

3.3 回转窑筒体外轮廓和弯曲数据测量

3.3.1 筒体各截面数据测量

使用筒体外轮廓激光测距仪在图3所示的22个截面进行测量，取得各截面测量数据见表2，可以看出截面1有最大偏心值 30.16mm ，在截面1、2、3、4、5、6、7、10、11、12、13、14、15截面处偏心值均超过 6mm 。筒体在截面11有最大外轮廓变形量 42.36mm ，在截面11、12、13、14、15、20、21的外轮廓变形量均超过 15mm 。

表1 窑支撑测量参数

项目	代号	1#支撑	2#支撑	3#支撑
轮带直径/mm	D	4 856.9	4 857.2	4 812.4
左托轮直径/mm	D_l	1 501.8	1 501.6	1 300.3
右托轮直径/mm	D_r	1 500.2	1 500.7	1 300.2
左托轮支承角/(°)	O_l	30.05	30.06	29.99
右托轮支承角/(°)	O_r	30.00	30.04	30.01
左托轮水平距/mm	A_l	1 592.0	1 592.5	1 527.6
右托轮水平距/mm	A_r	1 589.5	1 591.2	1 528.6
左托轮垂直距/mm	C_l	2 752.1	2 751.8	2 647.2
右托轮垂直距/mm	C_r	2 752.6	2 752.0	2 646.6
左托轮至轮带中心距/mm	B_l	3 179.3	3 179.4	3 056.3
右托轮至轮带中心距/mm	B_r	3 178.5	3 178.9	3 056.3
左托轮尺寸/mm	E_l	215.3	211.3	374.3
右托轮尺寸/mm	E_r	205.3	206.8	372.3
左右基准线的距离/mm	G	5 103.0		

3.3.2 筒体弯曲和角方位及外轮廓变形关系

根据各截面的测量数据，由专业软件找出筒体弯曲、角方位和外轮廓变形关系，形成三者关系图(见图8)。

3.3.3 筒体弯曲切面的计算处理结果

用检测程序对筒体各横截面(偏心)弯曲值在窑纵切面作投影进行累加最大值计算，自动确定最佳纵切面的角方位(见图9)。由此确定，筒体整体最大弯曲在窑90°的纵切面上，它是回转窑需要矫正弯曲的基准纵切面。

在此纵切面上，窑各横截面的偏心值见表3。

表2 筒体各截面测量数据

截面号	1	2	3	4	5	6	7	三档	8	9	大齿圈	10	11
截面位置X/m	0.00	0.60	1.43	2.93	4.43	5.93	8.20	-	13.74	14.84	-	15.84	22.61
偏心坐标Y/mm	-28.9	-20.6	-22.5	-17.6	-13.9	-10.4	-6.2	-	3.3	5.9	-	7.5	12.3
偏心坐标Z/mm	8.54	4.95	4.00	2.64	1.48	0.83	1.90	-	-0.86	-0.52	-	-1.42	2.19
偏心e/mm	30.16	21.19	22.90	17.75	14.00	10.45	6.50	-	3.39	5.97	-	7.62	12.51
偏心角度/(°)	253.6	256.5	259.9	261.4	263.9	265.4	253.0	-	75.24	84.99	-	79.24	100.1
局部变形量/mm	6.94	8.90	8.23	10.77	9.40	10.61	6.57	-	7.93	11.11	-	11.96	42.36
截面号	12	13	14	15	16	二档	17	18	19	20	21	一档	22
截面位置X/m	23.61	24.61	25.61	27.61	30.96	-	36.75	39.88	44.05	47.05	51.10	-	56.86
偏心坐标Y/mm	13.14	12.23	12.04	8.35	2.51	-	-0.14	-3.44	-3.84	-3.35	-2.44	-	1.51
偏心坐标Z/mm	4.56	3.94	6.00	5.08	3.26	-	-1.24	1.05	0.38	-0.21	-0.08	-	1.64
偏心e/mm	13.91	12.85	13.45	9.77	4.11	-	1.25	3.59	3.86	3.36	2.45	-	2.23
偏心角度/(°)	109.2	107.9	116.5	121.3	142.3	-	353.6	253.0	264.4	273.6	271.9	-	137.3
局部变形量/mm	41.82	23.73	23.12	21.96	11.41	-	10.48	10.95	10.82	15.92	16.84	-	9.05

表3 筒体各横截面偏心值投影到90°纵切面的数据

截面号	1	2	3	4	5	6	7	三档	8	9	大齿圈	10	11
截面位置X/m	0.00	0.60	1.43	2.93	4.43	5.93	8.20	-	13.74	14.84	-	15.84	22.61
投影偏心/mm	-29.0	-20.7	-22.6	-17.6	-13.9	-10.4	-6.24	-	3.3	5.9	-	7.5	12.3
截面号	12	13	14	15	16	二档	17	18	19	20	21	一档	22
截面位置X/m	23.61	24.61	25.61	27.61	30.96	-	36.75	39.88	44.05	47.05	51.10	-	56.86
投影偏心/mm	13.1	12.2	11.9	8.3	2.5	-	-0.1	-3.4	-3.9	-3.4	-2.5	-	1.5

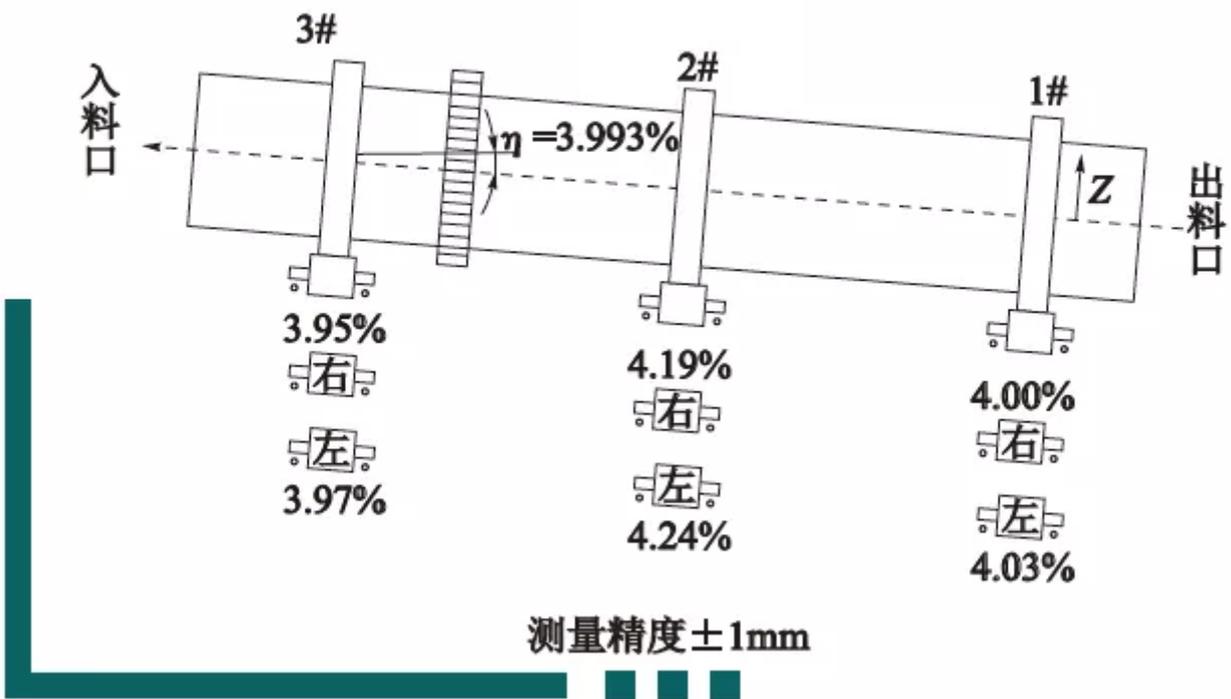
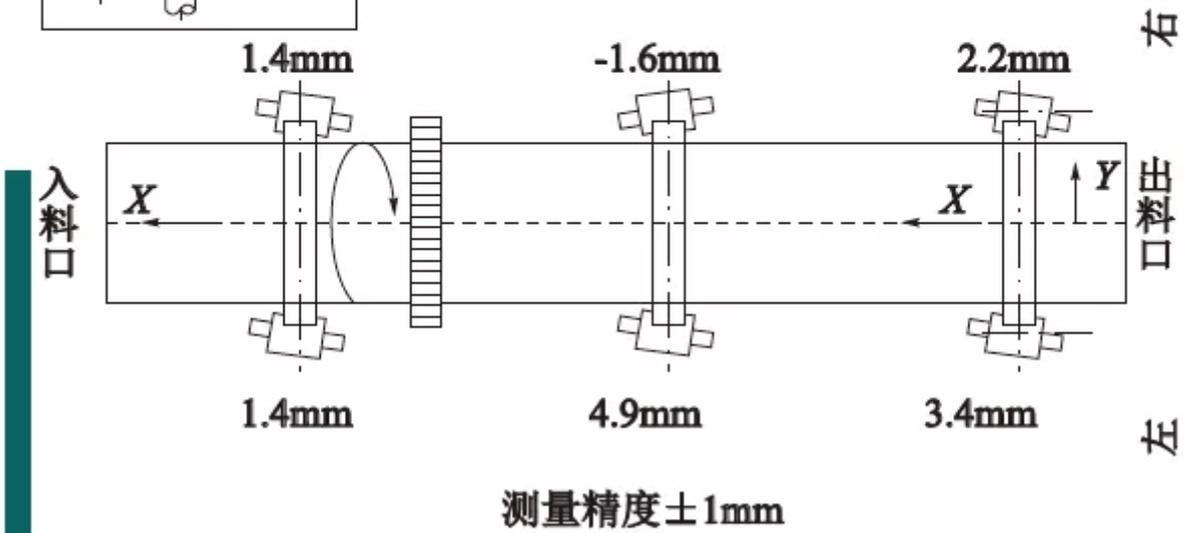
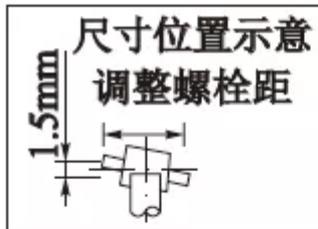


图7 各托轮轴线在水平面的歪斜及在垂直面的斜度

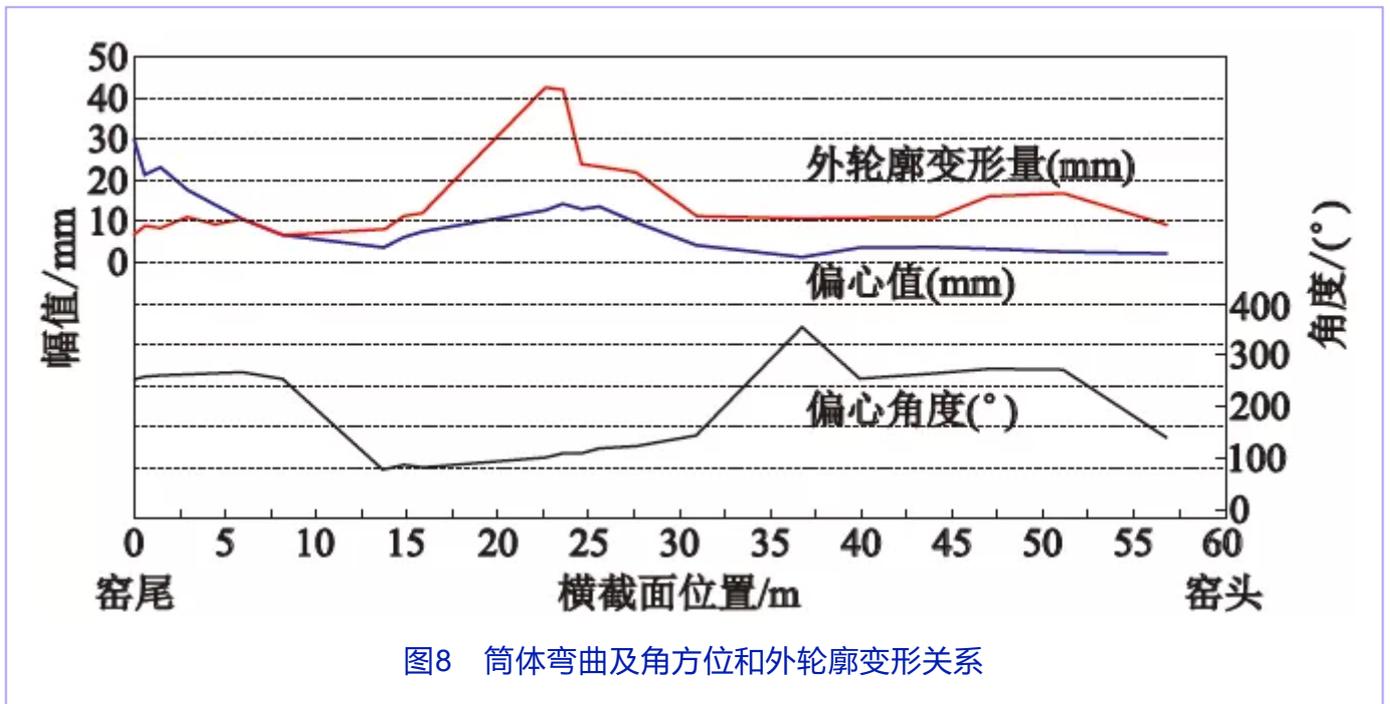


图8 筒体弯曲及角方位和外轮廓变形关系

4 窑筒体弯曲矫正步骤和内容

该回转窑筒体弯曲变形矫正实施是与郑州ZY矿山机械有限公司合作，由其负责施工。矫正工作内容和步骤主要包括两个方面，一是根据检测的回转窑中心线及三档支撑数据，对回转窑中心线、托轮中心线在水平和垂直面位置和斜率进行调整；二是对回转窑筒体弯曲进行矫正。施工顺序先进行三档支撑托轮位置的调整，再做窑弯曲矫正，最后对窑大小齿轮间隙和轮带间隙进行检查调整。本文仅对窑弯曲变形矫正方法和过程作详细的描述，其他有关回转窑中心线调整、托轮轴线水平及斜度调整、大小齿轮啮合检测与调整、轮带间隙检测与调整等属于回转窑安装规范规定的常规内容，在此不作详细叙述。

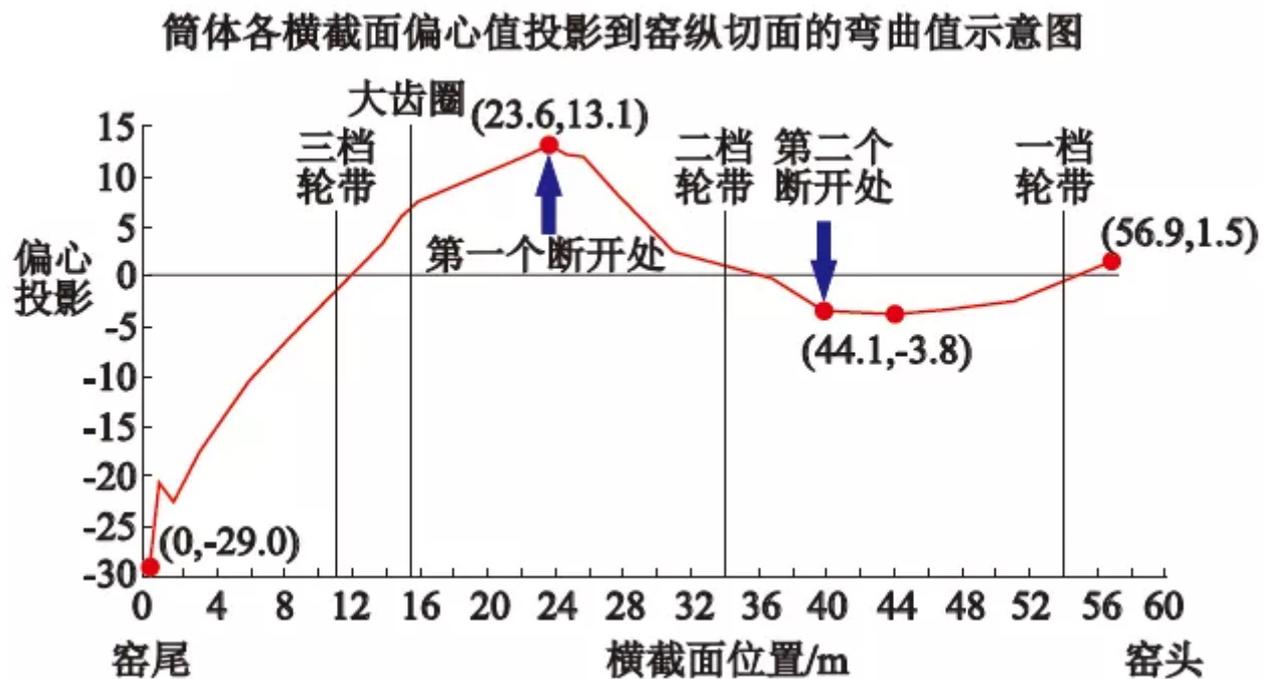
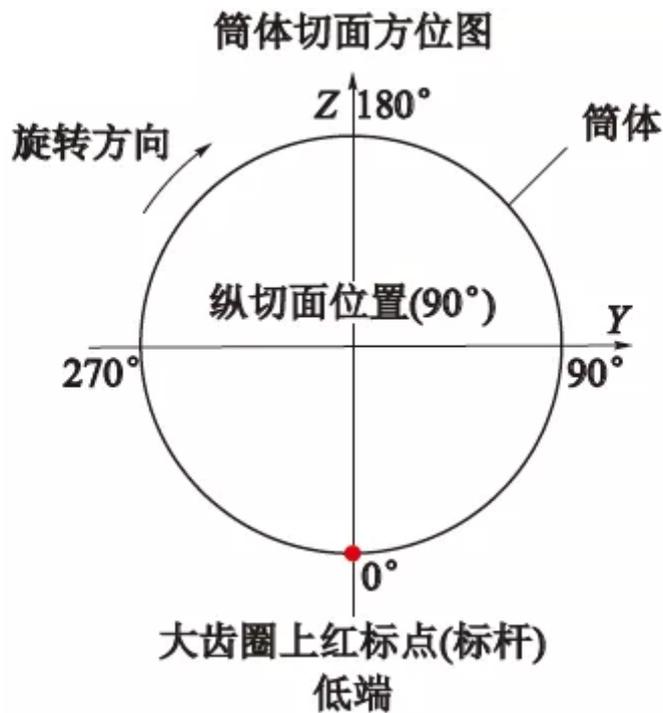


图9 回转窑在90.5°纵切面的最大弯曲

4.1 筒体弯曲矫正切断位置的确定

依据回转窑测量数据，选取2处位置（见图9），对窑体进行切断调直矫正，窑第一个切断处在窑尾往窑头方向23.6m处，第二个切断处在40m处（具体2处切断位置均从原焊缝处割开）。

4.2 矫正方法步骤

首先需对选取点窑体内部的耐火砖向两边各拆去1m，从筒体内部对未拆除的耐火砖进行固定，以确保安全作业。

在需断开的窑体筒壁上先将16组连接调整螺栓座焊接在筒壁上(见图10)，拧紧螺栓后才能进行筒体切割。

将筒体测量截面圆周12等分并从1~12分别编号，起始编号1与原测量“0”点对齐一致，各截面的同一编号处于同一条母线上(见图11)。然后盘动筒体，用划针量出每个截面在编号处的径向跳动并作记录。在断开处进行筒体切割，用图解法分析各截面的偏心和变形，利用窑内接口螺栓等调整筒体的同心度。筒体找正完成后，再用激光测距仪对三档支撑位、大齿轮前后以及前后窑口等主要节段的外轮廓偏摆量进行测量，在达到安装规范要求后将连接板焊牢，再进行下道工序窑体焊接。

表4 矫正后筒体各横截面偏心值投影到90°纵切面的数据

截面号	1	2	3	4	5	6	7	三档	8	9	大齿圈	10	11
截面位置X/m	0.00	0.60	1.43	2.93	4.43	5.93	8.20	-	13.74	14.84	-	15.84	22.61
投影偏心/mm	-8.00	-	-4.10	-1.73	-0.65	0.22	0.41	-	0.26	0.93	0.81	0.78	-6.26
截面号	12	13	14	15	16	二档	17	18	19	20	21	一档	22
截面位置X/m	23.61	24.61	25.61	27.61	30.96	-	36.75	39.88	44.05	47.05	51.10	-	56.86
投影偏心/mm	-7.22	-5.83	-4.63	-5.19	-6.88	-	0.28	1.73	-0.18	-0.70	-1.18	-	0.87

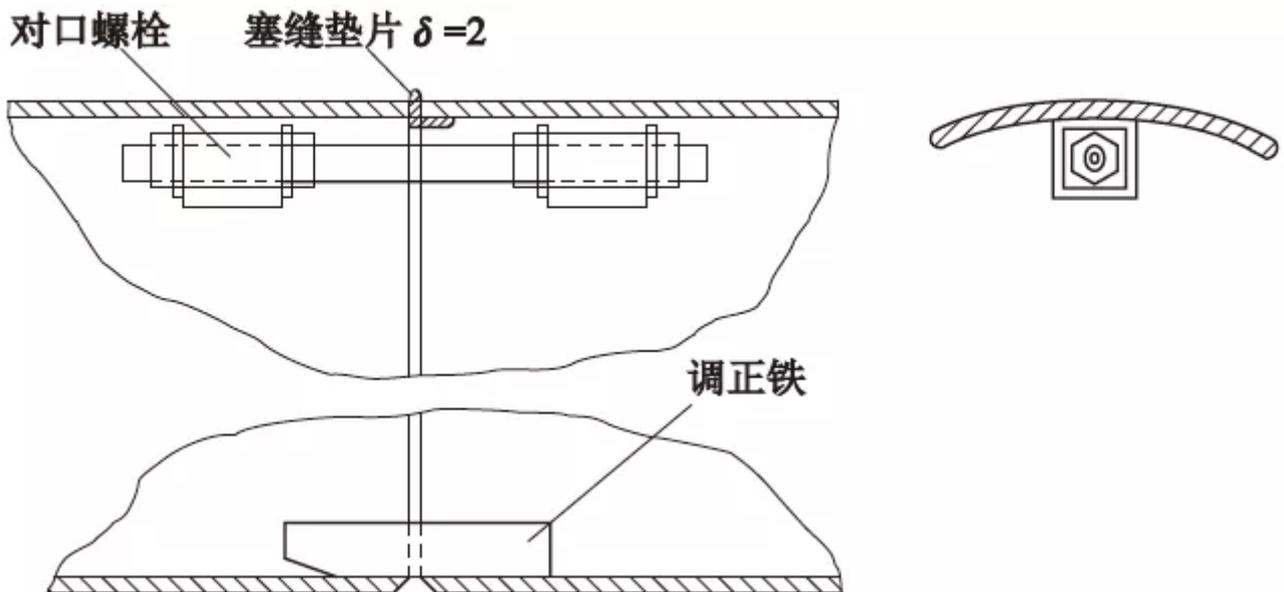
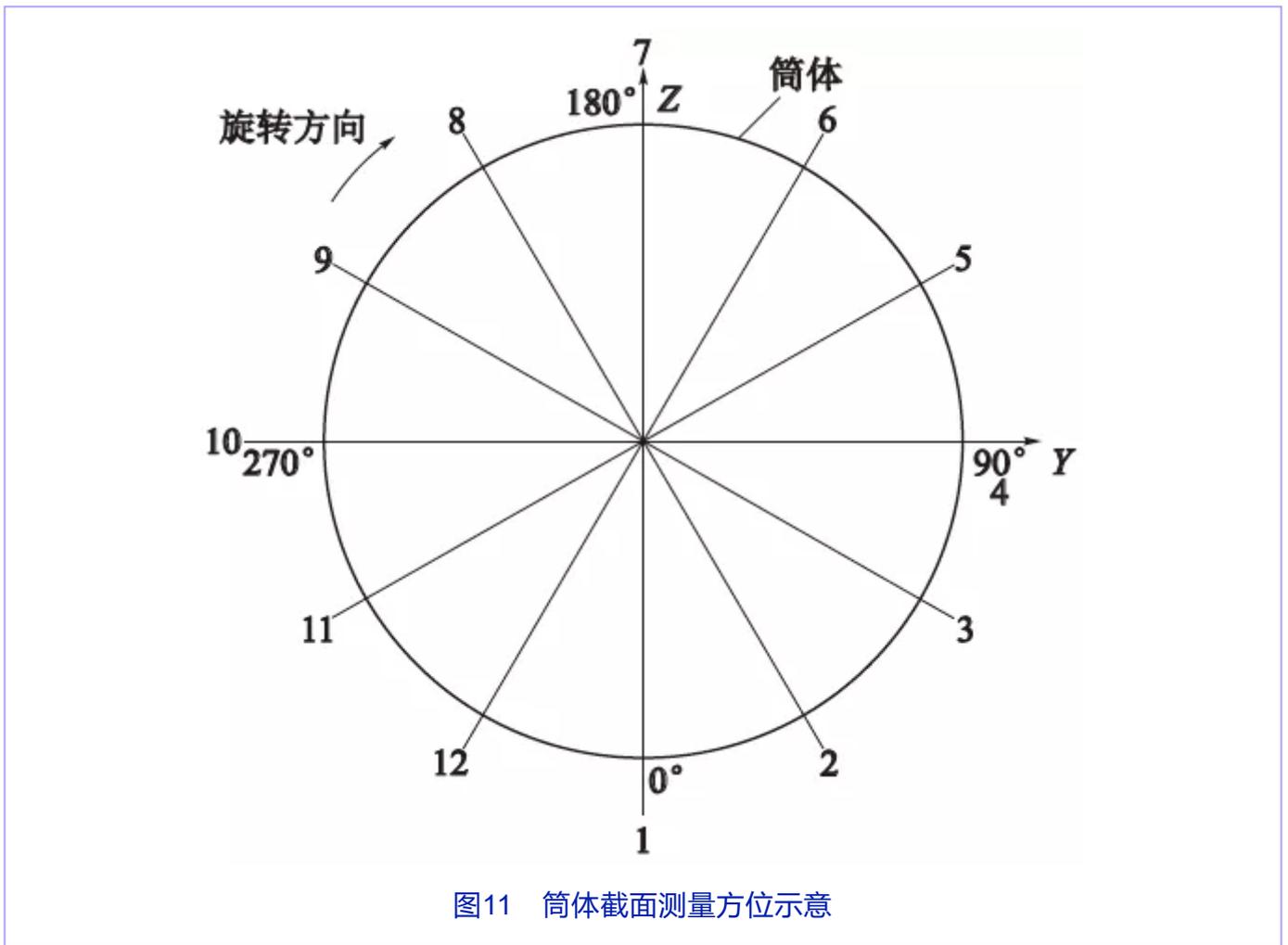


图10 窑切断处连接调整螺栓安装示意



5 矫正后复测数据

1#回转窑筒体弯曲变形矫正仅做了弯曲矫正，矫正后窑检测数据见表4。可以看出，除1、11、12、16四个截面偏心值略微超差外，其他筒体主要节段弯曲得以恢复，基本符合回转窑安装规范要求，即大齿圈及三档支撑位节段筒体偏摆量 $\leq 4\text{mm}$ ，其他节段偏摆量 $\leq 12\text{mm}$ 。从矫正后回转窑的运行情况看，前述弯曲窑运行中的主要故障问题得到彻底解决。然而，在截面11、12、13、14、15、20、21的筒体外轮廓变形量超过允许值的问题，由于其耐火材料使用未见明显影响，故本次窑矫正暂时未做处理。

其他有关回转窑中心线、三档支撑安装尺寸、大小齿轮齿顶间隙、轮带间隙等通过三档底座垫片调整和水平位置调整、轮带垫板垫片调整等措施进行调整，从窑各项复测数据看，均符合新的回转窑安装规范要求，且有明显改善。在1号回转窑恢复生产后，根据三档支撑运行受力情况以及托轮与轮带的接触情况，又再次对托轮角位进行优化微调，进一步消除大小八字问题，使得三档支撑处受力更加均衡，液压档轮工作压力处在 $3\sim 5\text{ MPa}$ 最佳工作范围，此回转窑全面恢复正常生产。

6 结束语

南方多雨地区雷击引起回转窑停窑及强降雨造成窑弯曲的危害后果是严重的，国内企业应强化防患意识和措施；同时应对回转窑弯曲变形的检测和矫正方法有较为全

面的了解，一旦发生事故时，能及时请国内权威单位对回转窑弯曲变形情况进行准确的在线检测和诊断，并确定出科学的维修方案，使回转窑迅速全面恢复正常生产，达到全面提高水泥企业回转窑管理水平和专业技术水平的目的。

作者单位：福建省泉州美岭水泥有限公司