

用激光测定回转窑中心线

湖北建筑工业学院窑体应力研究小组 著

9:TQ172

14

中国工业出版社

用激光测定回转窑中心线

湖北建筑工业学院窑体应力研究小组 著

中国建筑工业出版社

本书主要介绍用激光测定水泥回转窑筒体中心线的方法和实例，激光测直仪的结构、原理和使用注意事项，并介绍了窑筒体中心线测定后回转窑的调整。书中就窑筒体中心线的准直度对回转窑长期运转的影响提出了作者的见解。为便于有关厂矿参考，书后还附有用激光测定吊车库轨道准直度的实例。

应用激光测定回转窑筒体中心线，具有方法简单、测定准确等特点，对新建、扩建和生产中的窑均适用，仪器可以自制，适宜在水泥厂及有关厂矿推广应用。

本书可供水泥厂及采用回转窑的企业中有关技术人员和操作检修工人参考。

用激光测定回转窑中心线

湖北建筑工业学院窑体应力研究小组：著

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：3 3/4 字数：84 千字

1978年1月第一版 1978年1月第一次印刷

印数：1—4,610册 定价：0.28元

统一书号：15040·3426

前 言

随着科学技术的发展，激光作为一种新光源，已在生产、科研等许多领域中得到广泛的应用。为提高回转窑筒体中心线测定的准确性，我们与中国水泥厂共同研究试验出用激光测定回转窑筒体中心线的方法，并在湘乡、柳州、耀县等水泥厂的协助下，研制了测量仪器，进行了一系列的实测，取得了很好的效果。

根据国家建材总局生产组的要求，在1976年4月全国大中型水泥厂“激光测窑”学习班的基础上，参考中国、湘乡、柳州、耀县等水泥厂提供的资料，编写成这本书，以供各厂推广采用这一新方法时作参考。

由于我们的水平有限，编写中的缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

作 者

1977年4月

目 录

前 言

第一章 窑筒体中心线与回转窑的长期运转	1
第二章 用激光测定回转窑筒体中心线	8
第一节 概述	8
第二节 激光测直仪	10
第三章 激光窑内测定	22
第一节 测定方法与步骤	22
第二节 新建窑筒体中心线的测定	29
第三节 改建窑筒体中心线的测定	36
第四章 激光窑外测定	43
第一节 测定方法	43
第二节 生产中的窑筒体中心线的测定	72
第五章 激光窑外测定后回转窑的调整	94
第一节 调整方法	94
第二节 调整实例	101
附：用激光测定吊车库轨道的准直度	110

第一章 窑筒体中心线 与回转窑的长期运转

水泥回转窑是燃烧熟料的设备。原料在窑内经过加热、分解和化合等一系列物理化学变化，最后烧成熟料出窑。这种连续生产的特点，要求水泥回转窑必须长期连续地运转，因此在水泥生产中，保证回转窑的长期运转就成为设备管理上的重要内容。

影响回转窑长期运转的因素很多，本章只就回转窑本身的机械问题，主要是窑筒体中心线对回转窑长期运转的影响加以探讨。

为了满足生产工艺的要求，回转窑筒体以3~5%的斜度，通过轮带架装在托轮上面，同时要在托轮上面以规定的速度不断地旋转，这样才能使窑尾供给的原料在连续旋转中向窑头输送，并在输送的过程中由低温到高温而完成全部分解和化合作用。由于窑筒体是有斜度的旋转装置，致使它有自然向下（窑头方向）窜动的可能，所以必须将几对托轮或全部托轮向同一方向扭斜一个很小的角度（液压挡轮的窑除外），让它产生一个微小的将窑向上（窑尾方向）推的力。当窑筒体沿托轮面上行到一定的距离时（一般是20~30毫米或更多些，决定于挡轮的位置），在托轮面上加以适当的润滑剂，使窑筒体再缓慢地下行，下行到一定程度后又开始上行，这样才能保证轮带在长期运转中不致于滑出和托轮面接

触的范围，同时也保证了托轮和轮带接触面的均匀磨损，为回转窑的长期运转创造条件。一台回转窑能否这样有规律的运转，就要看窑筒体的中心线是否准直，各挡托轮的位置是否正确。这是回转窑在机械方面能不能保证长期运转的关键。托轮位置不正确，往往是窑筒体中心线不准直的根本原因；而窑筒体中心线虽然准直，并不等于托轮位置已经完全正确。

为了更好地阐述窑筒体中心线和托轮位置对回转窑长期运转的影响，下面以一台 $\phi 4.1/3.6 \times 70$ 米回转窑前后两次检修的经过和效果来加以说明。

该窑共有四挡托轮，靠窑头的为Ⅰ挡，在Ⅱ挡轮带附近窑筒体钢板焊缝处出现裂纹（图1）；窑的振动情况日趋严重；Ⅱ挡轮带附近多次掉砖，最多时曾有五天之内四次掉砖的情况，因而停窑检修。

停窑检修前出现的主要问题是：

1. 各挡托轮受力不均。Ⅰ挡的左、右托轮（自窑尾向窑头看，下同）和Ⅱ挡的右托轮交替出现轮带脱空现象（图2），



图 1 窑筒体焊缝处开裂

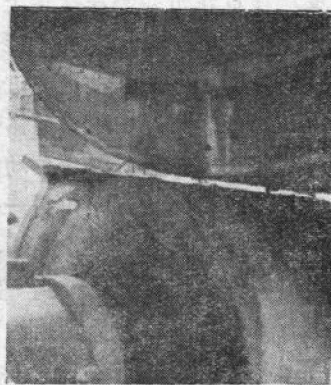


图 2 轮带和托轮脱空

当窑每转一周时，由此冲击产生的严重振动达4~5次，混凝土基础晃动幅度达10~15毫米，严重地影响了耐火砖的稳固性。

2. 传动大齿圈中心和窑筒体断面中心不一致，偏心距约10毫米，大齿圈轴向偏摆大至23毫米。啮合时齿顶间隙最小只有3~4毫米，而最大的在16毫米以上。由于齿顶间隙太小，大小齿轮的牙齿产生顶撞；齿顶间隙太大，偶尔也产生大小齿轮牙齿间的敲击。由此产生的振动中以顶撞引起的振动为主，其振幅虽然较上述冲击引起的振动小得多，但频率却比较高，在窑每转一周时可达40~45次之多，对耐火砖的稳固性也有程度不同的影响。

3. II挡轮带下窑筒体钢板厚度为30毫米，上面没有垫板，只在窑筒体钢板和轮带之间加了一层宽1200毫米、厚22毫米的复板，两层钢板被焊接在一起，这种结构使窑筒体的刚性不足，又由于这挡托轮吃力过大，窑筒体变形严重，致使两层钢板的焊缝绝大部分都已开裂。

除上述三个主要问题外，还有其它问题，因为在窑的长期运转方面不占主要地位，这里就不一一列举了。

该窑投产以来，窑筒体中心线没有经过系统的检查和调整，而托轮位置的调整也不是根据窑筒体中心线的情况来进行的。因此当时判断这台窑的主要矛盾是窑筒体中心线不直，需要对它进行测定和调整。

测定时先用经纬仪在轮带的顶上测出垂直偏差，而用拉钢丝的办法测出其水平偏差，然后用激光在窑内进行复核。测定结果见表1、表2。从表中可见，窑筒体中心线的最大高差达23毫米，最大水平偏差达21毫米。突出表现在第II挡上，其垂直偏差，与第III挡相比为13毫米，与第I挡相比达

19毫米；而水平偏差方面，与第Ⅲ挡相比偏6毫米，与第Ⅰ挡相比偏14毫米。所以造成Ⅰ、Ⅲ挡轮带与托轮的交替脱空，从而产生严重的冲击振动，这也说明了Ⅱ挡受力最大的原因。

窑筒体中心线垂直偏差（毫米）

表 1

挡 号	I	II	III	IV
垂 直 偏 差	-6	+13	0	-10

窑筒体中心线水平偏差（毫米）

表 2

挡 号	I	II	III	IV
水 平 偏 差	-20	-6	0	+1

注：自窑尾向窑头看，右偏为“+”，左偏为“-”。

测定之后，根据窑筒体中心线的偏差数据作了调整，并将Ⅱ挡轮带下的窑筒体钢板和上面的复板用直径25毫米的铆

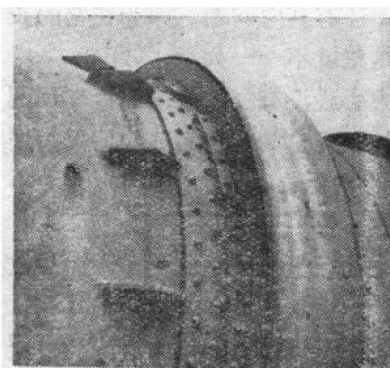


图 3 Ⅱ挡轮带下窑筒体与复板间的铆接结构

钉 240 个铆接（不计轮带两侧挡铁原有铆钉），以代替原有的焊接（图 3），从而使这段窑筒体的刚性得以提高，也使调直以后的这段窑筒体中心线的准直度固定下来。

检修后运转情况良好，四挡的八个托轮全部分别受力，轮带脱空现象消除，以前窑运转时每转

一周出现的4~5次严重的冲击振动消除。就这样运转到第二次检修，共计运转了231天。在这期间，曾换过一次耐火砖，前后两次耐火砖的使用寿命分别为102天和126天。

以上这一段经过有力地证明，该窑所产生的前述不正常现象，是由于窑筒体中心线不准直所造成的。从窑筒体中心线测定的偏差结果来看，垂直偏差这样大，不是因运转部件的磨损所造成，主要是由于混凝土基础的不均匀下沉引起的。至于水平偏差大，是由于没有系统地调整托轮的左、右位置，以致偏差长年积累的结果。

这台窑所在地是三面环山的冲积层，四挡混凝土基础下面都打有 $\phi 750 \times 27000$ 毫米的混凝土桩4~5根，但是桩底并没有接触到岩石层，而只接触到砂岩层。经过几年的运转，加之窑的振动严重，特别是Ⅲ挡的基础晃动厉害，所以基础的下沉或倾斜是难免的。由此窑筒体中心线的变化必须联系到混凝土基础的下沉情况来考虑。

进行第二次检修前，这台窑的主要问题是：

1. 该窑的运转周期仍不够长，分析原因是托轮位置不正确。

2. Ⅱ挡轮带下复板铆钉经过半年多运转后开始有个别松动和拉断现象，总计有20个，占全部铆钉数的 $\frac{1}{16}$ 。

3. 大齿圈偏心 and 大小齿轮啮合不正常所产生的振动依然存在。

这次窑筒体中心线的测定工作完全用激光测直仪（详见第二章）来进行。由于在第一次检修后的运转期间，有的托轮曾作过局部调整，所以这次测定任务除了在窑内复查窑筒体中心线的准直度外，重点是测定各挡托轮的位置。测定工作

以激光从窑外测定为主，窑内测定为辅，并以激光窑外测定的数据为依据来确定调整方案，以解决托轮位置不正确的问题。此外，在确定调整方案时有意识地使大、小齿轮的齿顶间隙由原来最小的3~4毫米增加到8~9毫米；所有四挡托轮都平引扭斜一个很小的角度以产生平均向上的推力；个别托轮作了更换；个别托轮的支承角也作了必要的调整。

检修后点火生产，窑的运转平稳，上下游动轻松，每班在托轮上加油1~2次即可使窑有规律地上下游动，这种运转轻松、易于控制的情况是以前所没有过的。在Ⅲ挡上由于大小齿轮啮合不正常所产生的40~45次振动也基本消除，如果不细心体察，在Ⅲ挡的混凝土基础上已经感觉不到还有残留振动。但是毕竟由于大齿圈在窑筒体上的偏心还没有得到处理，因此还存在极为轻微的振动（对耐火砖的稳固性影响不大）。第二次检修后的一年中曾因烧成带耐火砖磨薄而换过一次砖，窑的运转一直是正常的。过去分解带（即相当于Ⅱ挡轮带处）镶砌的耐火砖经常发生的移位扭转现象也消失了。

从该窑两次检修后运转情况来看，窑内使用的耐火砖质量和镶砌方法并没有什么改变，烧成看火的方法也没有什么革新，主要是改变了窑筒体中心线和托轮的位置，同时加固了Ⅱ挡轮带下面的窑筒体，从而使该窑能够长期运转。这一事实有力地说明，窑筒体中心线的准直和托轮位置的正确与否是回转窑长期运转在机械方面的关键。

窑筒体中心线和托轮位置调正之后，只是创造了长期运转的必要条件，还应尽一切努力从各方面保护耐火砖的稳固性。

窑筒体径向变形的大小将影响耐火砖的稳固性。耐火砖

镶在窑筒体里面并不是十分贴实不动的，当窑每转一周时，由于窑筒体钢板不可避免地产生径向变形，所以耐火砖的位置也有不同程度的位移，这就足以促使耐火砖早期脱落，因此控制和减小轮带下窑筒体的径向变形是非常重要的。除了合理选择窑筒体的钢板厚度，保证足够的刚度外，轮带和窑筒体上方间隙一定要控制得很小，特别在Ⅱ挡，这个间隙更为重要，往往掉砖就发生在这一挡附近。

窑在启动时太快，对于耐火砖的稳固性将产生不利的影响。因为耐火砖和窑筒体总不是一体的，窑筒体是主动，耐火砖是从动，起动太急，耐火砖的行列就容易扭斜、松动。

窑的停开次数频繁也将影响耐火砖的稳固性。每停一次窑，就冷却一次，增加了耐火砖松动的机会。松动之后又加热，由于热膨胀的不均匀造成受压部分提早碎裂。所以，多停开一次窑就等于缩短耐火砖的一部分寿命，这也是为什么回转窑要求连续的长期运转的一个原因。

第二章 用激光测定回转窑筒体中心线

第一节 概 述

回转窑筒体中心线的测定，过去常常是采用经纬仪从窑的轮带上方测定其垂向偏差，用拉钢丝的方法由窑筒体侧面测出其水平偏差。在用经纬仪测定时，为了便于观察，需要在光线明亮的情况下进行。对于一些露天安装的回转窑，往往在阳光的照射下使窑筒体的温度发生改变，从而引起窑筒体的弯曲，所以这时的测定数据就不足以正确地反映窑筒体中心线的实际情况。另外在测定长窑时（例如100米以上或更长些的窑），用经纬仪测定时不易得到准确的读数，而这些读数也只有个别经手测量的人了解，其它人员既看不到窑筒体中心线究竟在什么地方，也判断不出它的准直程度。至于在窑外侧拉细钢丝的办法是不够可靠的，因为百米以上的细钢丝本身不可能绷紧，必然有一定的挠度，从细钢丝上吊下来的测量线锤往往受各种因素的影响而不易稳定在一个点上，因此由线锤摆动引起的误差是较大的。尽管回转窑筒体粗大，对于测定的精度要求不是那么高，但也还是有一定的精度要求的，如对于150米长的窑筒体中心线偏差不能超过3~5毫米，实际上严格要求达到这个标准并不是容易的，只是真正的偏差不易反映出来罢了。

激光是本世纪六十年代出现的新光源，它的主要特性是亮度高，单色性好，光束的发散角小，因此用来检查回转窑

筒体中心线的准直度是比较理想的。经过一系列的试验和在一些水泥厂的实际测定，证明效果良好，较之用经纬仪和拉钢丝的方法有许多独到之处。

采用激光测定回转窑筒体中心线，不同的窑其方法是不一样的。对于新建的窑和改建的窑，适宜采用窑内测定法。对于现正使用中的回转窑，如果托轮位置不是非常紊乱，而且窑内装置可以使激光束通过时，采用窑内测定法也可以得到满意的结果。但是已经使用多年的窑，各部件往往出现不均匀的磨损，基础产生不均匀的下沉，出现这些情况之后，托轮又没有得到系统的调整，托轮位置呈现错综复杂的情况。对这样的窑来讲，除了要测得窑筒体中心线的偏差外，还必须测出托轮的位置（即托轮轴线的位置），只有具备这两方面的数据，才能对一台窑进行正确的调整，所以必须采用窑外测定法。

1. 窑内测定法：

它是在窑筒体里面先找出各有关断面的中心，然后用激光束在窑内建立一条基准线以观测各断面中心是否和激光束在一条直线上，从而得出窑筒体中心线的偏差值。这种方法简单、准确，而且清晰直观。一条红色细长的直线贯穿于窑筒体之中，既能直接判断窑筒体中心线是否准直，也可以立刻调整托轮的位置或窑筒体段节的接口，使之达到要求。除此之外，在新建窑的安装施工中，还可用于各挡托轮底板的找正以及各挡托轮的安装。特别突出的还在于：

（1）用于窑筒体段节的组装，十分方便。

（2）指导新窑筒体大段节的吊装工作，可以大大缩短吊装工期，节省大量的人力物力，为一次试车成功提供有利

条件。

(3) 能够明确指出窑筒体悬臂端和全部段节接口应有的正确位置, 避免焊接后的扭斜歪错现象。

以上这三点是使用经纬仪和拉钢丝测定方法所办不到的。可以说, 采用激光测定技术后, 在安装各种大型回转窑时就能有把握地保证其中心线的准直。

2. 窑外测定法:

它是在窑筒体的外侧建立一条激光基准线, 用以观测各托轮轴线的位置, 再按托轮、轮带热态时的实际直径和热态窑筒体最大上方间隙值经过计算确定出窑筒体中心线的偏差值。这种方法, 既得到了窑筒体中心线的偏差值, 又得到了托轮轴线的实际位置, 根据这样的测定数据进行调整就可以有把握地把运行不正常的窑恢复正常, 这也是经纬仪测定法所难以解决的。

第二节 激 光 测 直 仪

为适应窑筒体中心线的测定工作, 就要产生必须的激光束, 为此专门设计制造了一台“激光测直仪”。

一、激光测直仪的结构和性能

激光测直仪的外形见图4, 结构见图5。氩氟气体激光器1被固定在铝套筒2内, 铝套筒又座落在经纬仪3的望远镜筒上, 氩氟气体激光器由激光电源4(采用市售JZ—1A型激光电源)激发, 产生的激光经反射镜组5(可采用直角棱镜组或多层介质膜片组)的两次折射, 进入经纬仪(利用旧式经纬仪)的望远镜目镜, 从物镜射出激光束。经纬仪被固定在一个带减振器6的调节底座7上。

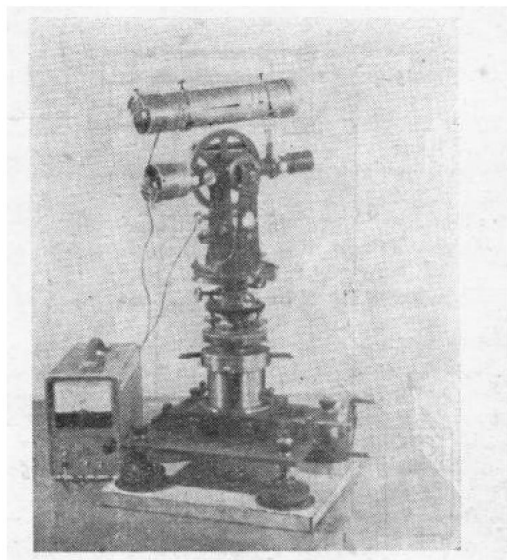


图 4 激光测直仪

激光测直仪发射出一条直径为12毫米的可见红色光束。测量时，直接用肉眼观察激光斑中心与测标中心（靶心）的对中偏差，读数精度为1毫米。

由于利用旧式经纬仪改装，因此整个仪器的加工制造简单，水泥厂的机修车间均有能力解决，这样既使旧有经纬仪得到充分利用，又有利于激光测直技术的普及与推广。

二、氦氖气体激光器的结构及工作原理

（一）氦氖气体激光器的结构

激光器的种类很多，在激光测直仪中，为了便于测量时的观察和调整，采用直流供电连续波输出的氦氖气体激光器，这是因为它的结构简单可靠、使用方便，输出波长为0.6328微米的可见红光，选用的功率为1毫瓦。氦氖气体激光器的结构见图6。它由套管、毛细管、贴片管、电极和反

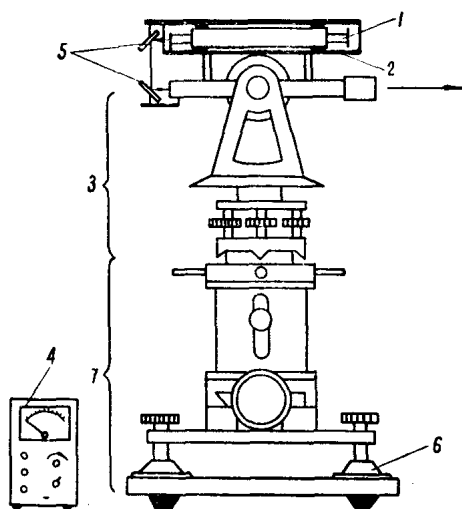


图 5 激光测直仪的结构

1—氦氟气体激光器；2—铝套筒；3—经纬仪；4—激光电源；5—反射镜组；6—减振器；7—调节底座

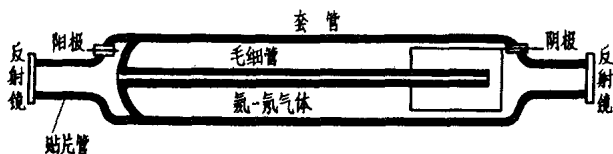


图 6 氦氟气体激光器结构图

射镜等几个部分所组成。套管内充以氦氟混合气体，氦气为氟气的五倍。

套管、毛细管和贴片管一般均用硬质玻璃管，只有在特殊情况下，才选用石英玻璃管。

氦氟气体激光器是靠气体放电提供激光能源的。放电是在毛细管中进行的，毛细管的内径很小，这样既有利于激光