

静力水准系统在 BEPC II 预准直中的应用

何晓业¹, 黄开席², 陈森玉², 刘祖平¹, 董 岚²

(1. 中国科学技术大学 国家同步辐射实验室, 安徽 合肥 230029;

2. 中国科学院 高能物理研究所, 北京 100049)

摘要: 本工作研制静力水准系统, 用于北京正负电子对撞机升级改造工工程(BEPC II) 储存环和其他关键部位垂直方向位移的实时监测。通过分析测量数据, 确定了静力水准系统在 BEPC II 预准直中应用是可行的, 系统的精度等技术指标符合应用要求。这些数据为工程安装、测试提供了很好的参考。本文还阐述了静力水准系统在使用过程中的维护方法。

关键词: 静力水准系统; 预准直; 数据分析

中图分类号: TL505

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2007)02-0252-05

Application of Hydrostatic Levelling System in Pre-alignment of BEPC II

HE Xiao-ye¹, HUANG Kai-xi², CHEN Sen-yu², LIU Zu-ping¹, DONG Lan²

(1. *National Synchrotron Radiation Laboratory,*

University of Science and Technology of China, Hefei 230029, China;

2. *Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: Hydrostatic Levelling System(HLS) was researched, which would be used in real time supervising the vertical position of storage ring and key components. The paper introduces the practical application of the HLS in the pre-alignment of BEPC II (Beijing Electron-Positron Collider Upgrade). By analysing the data, it is sure that the HLS can work smoothly and the precision and other technological parameters conform to requirement. The data also provided a good reference for the surveying, assembling and testing of the parts used in BEPC II. The maintenance methods of the system in the process of practical using were introduced too.

Key words: hydrostatic levelling system; pre-alignment; data analysis

静力水准系统(Hydrostatic Levelling System, HLS)基于相连容器中液体总是寻求具有相同势能的水平原理, 测量和监测参考点彼此

之间的垂直高度的差异和变化量。它以很高的测量精度在测量领域获得广泛应用。

在国际上, 加速器的准直测量中, HLS 越

来越受到重视,几乎所有新建的加速器装置均安装了 HLS 作为磁铁等重要部件的水准实时监测。

北京正负电子对撞机重大改造工程(BEPC II)是将原有的单环对撞机升级改造成为双环对撞机,将原来的单环加速器的磁铁等拆除,在原有的环形隧道中建立内外环。这样,在空间上比以前拥挤得多,尤其是隧道外环的测量将非常困难。因此, BEPC II 的调节装置拟采用伺服电机驱动的专用千斤顶来完成。因没有人员进行手动调节的空间,测量的自动化和遥测技术显得格外重要。本工作将 HLS 应用于 BEPC II 工程中。

1 HLS 性能

HLS 性能主要包括钵体传感器的灵敏度、测量精度、线性度,还有系统的稳定时间、系统的环境适应性等。

HLS 的灵敏度除与 CCD 的分辨率有关外,还与钵体的结构,尤其是浮子和弹簧的结构有关。CCD 系统有多种技术手段将分辨率提高到好于 CCD 本身分辨率,比如,用更高频率的时钟脉冲通过二值化信号的宽度进行计数,可将 CCD 测量分辨率提高近 1 个量级;另一类提高 CCD 测量分辨率的方法可以概括为数字方法,包括最小二乘法和多项式插值法,其目的是细分像素。浮子的两端采用锥形,采用有机玻璃材料,尽量减少水在其表面的凝结,减小在表面的粘滞;弹簧采用双螺旋碟形结构,对其轴向的阻力小。这些均保证了传感器应有的灵敏度。通过测试,可以得到钵体传感器的测量灵敏度小于 $2 \mu\text{m}$ 。

测量的精度包括单个钵体精度和系统精度。单个钵体的精度受 CCD 性能和钵体结构约束。通过对单个钵体的标定测试可知,其精度均好于 $10 \mu\text{m}$ 。系统精度主要取决于单个钵体精度,同时受温度、压力、液体管道的布设结构等因素影响。在 HLS 中,采用单独的气管,以保证每个钵体内部的压力相同,用温度传感器测量每个钵体所在位置的温度,进行温度补偿。在系统搭建时,保持水管的水平,水管垂直方向落差不超过 100 mm 。通过这些手段完全能够保证系统的测量精度好于 $\pm 20 \mu\text{m}$ 。经多

次实验,可确定 HLS 的实际精度好于 $\pm 20 \mu\text{m}$ 。

通过多钵体的测试,对每个钵体的测量和计算结果进行线性拟合后,得到的线性度均好于 0.0003 。CCD 器件本身的特性决定了钵体测量的线性度是良好的。

HLS 的稳定时间受到较多因素影响。对于一个封闭的系统, HLS 的大小、液体管道的直径等是主要的影响因素。对于本系统,工作范围在 500 m 内的优化管道内径在 16 mm 左右。可以保证系统在受到比较大的外在干扰后,在最短的时间能趋于稳定,重新开始正常工作。

系统使用的工作液体是去离子水,允许的工作环境温度为 $0 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$,湿度为 100% 。通过在液体里加入适量的防冻液,工作环境温度可低于 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

HLS 要求的工作量程为 $\pm 5 \text{ mm}$,实际量程可达 $\pm 6 \text{ mm}$,对每个钵体的 CCD 输出读数范围为 $17.0 \sim 29.0 \text{ mm}$ 。

每个钵体均安装了温度传感器,测量精度好于 $0.05 \text{ }^\circ\text{C}$,工作范围为 $-10 \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$,输出的数据用于 CCD 输出数据的温度修正。

钵体采用 304 型不锈钢加工制作,在加速器的隧道中使用,不会对磁铁磁场产生影响,也便于维护。另外,钵体的顶端面皆按设计尺寸严格加工,可以在上面建立用于其它测量基点,便于将 HLS 与其他测量网连接,提高加速器准直测量的效率。

HLS 中数据采集仪和每个钵体中均有单独电源,单独连接到 220 V 电网上。数据采集仪支持断电保持与断点续采的功能,若外电网断电,在重新来电后,系统可继续工作,原有数据不会丢失,并从断点继续进行采数。

HLS 的软件界面友好,可方便设置系统的参数,系统中传感器的数量、计算公式、数据形式均可预置。

2 HLS 在 BEPC II 预准直中的应用

HLS 完成全部测试工作后,按照 BEPC II 进度要求,于 2004 年 10 月中旬在谱仪大厅及附近储存环的磁铁支架上安装了一个由 4 个钵体组成的 HLS,在 10 月下旬,北京正负电子对撞机的谱仪大厅安装重达 400 多吨的防辐射水泥块,希望通过 HLS 检测大厅在安装前后地

基的沉降情况,为将来安装 800 t 的新电子谱仪提供参考。同时,为了考察 BEPCII 加工的新磁铁的预准直大厅(简称北大厅)的地基状况,在北大厅安装了 5 个钵体的 HLS。这两套系统分别用一套数据采集仪,是相互独立的系统。

2.1 谱仪大厅 HLS 测量数据分析

谱仪大厅安装的是由 4 个钵体组成的 HLS,这 4 个钵体编号为 1 号到 4 号,其中,以 1 号钵体为参照钵体,安装在离谱仪大厅比较远的一个储存环二极铁的支撑上;2 号钵体安装在相邻大厅的一个二极铁支撑上;3、4 号钵体安装在紧邻原来谱仪所在位置两端的两个四极铁支撑上,它们在大厅的中央,是最能反映大厅地基沉降变化的两个测点。从 2004 年 10 月 22 日至 2004 年 11 月 24 日进行测量,数据采集仪设定的数据采集时间间隔为 30 min。谱仪大厅的沉降监测示于图 1。

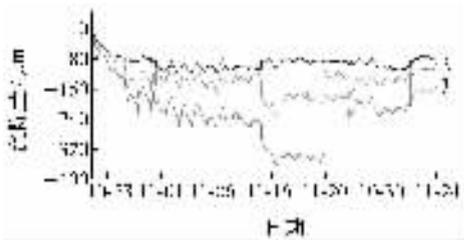


图 1 谱仪大厅的沉降检测

Fig. 1 Output of HLS used in spectrometer hall
1——2号钵体;2——3号钵体;3——4号钵体

从图 1 可见,随着水泥块的安装,地基不断沉降,1 号钵体作为参照点,它的图形一直是一条水平线,2 号钵体离谱仪大厅较近,但与地基不在一个面上,受到谱仪地面沉降的影响较小,约有 0.1 mm 的沉降。3 号钵体和 4 号钵体测量值的变化比较大,变化幅度和变化趋势基本一致,出现较大向下峰值的那一天安装的水泥块数目较多,晚间停止工作时,地面又出现一定的向上反弹。出现的更小的波动一般是由于当天的温度波动引起的,也不排除地基波动因素。

由于现场在 11 月 7 日中午到 8 日上午 8 时和 11 月 10 日上午 10 时到 11 月 15 日下午 4 时停电,未获得测量数据。11 月 19 日水泥块安装基本结束。但事后了解到,11 月 20 日由于其他部门的需要,将安装 3 号和 4 号钵体的

四极铁支撑向上升起了一些,所以,20 日这两个钵体测量数据大幅上升,尤以 4 号钵体上升最多。此后,地基的高程变化趋于稳定,地基的最大沉降达到 0.35 mm,这说明原大厅的基础建设良好。这套系统目前还在使用中。

2.2 北大厅 HLS 测量数据分析

北大厅是准备用作 BEPCII 中新加工的磁铁预准直场所,由于磁铁的质量比较大,尤其是二极铁达到十几吨,且质量比较集中,极易产生地基的局部沉降。在磁铁部件安装到对撞机储存环之前,必须做好磁铁本身的准直,找到磁铁各个关键部位与磁铁上端的准直基准点之间的关系。这些尺寸要求精度很高,一般要求不大于 $10 \mu\text{m}$,所以,安装时不允许地基发生大的变化。因此,在实际准直工作开始前,高能物理研究所的准直测量组进行了多次试验。试验的另一方面是监测质量很大的磁铁压到预准直支架上以后地基的变化情况,另一方面是考察经过吊装、起运后磁铁的各个部位之间的位置是否发生了变化。本系统的测量任务是监测地基的变化情况。

在北大厅安装了由 5 个钵体组成的 HLS,钵体的编号从 5 号到 9 号。5 号钵体固定在大厅墙体一个承重柱上的支架上,作为系统中其他钵体的参照点,6 号钵体到 9 号钵体依次安装在大厅地面支架上,其中,7、8 和 9 号钵体在磁铁支架附近,8 号钵体离磁铁支架最近。

2004 年 10 月 28 日,HLS 调试完成并开始采集数据。第 1 阶段数据采集从 10 月 28 日至 11 月 25 日,采数的时间间隔为 5 min。每个钵体的位置变化示于图 2。

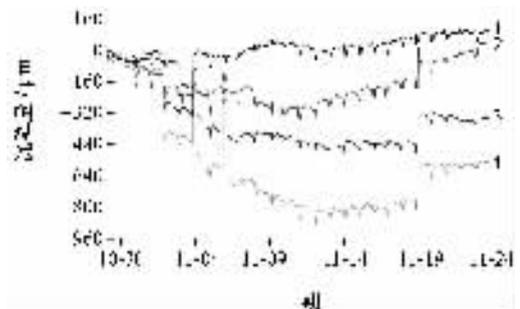


图 2 北大厅地基沉降检测

Fig. 2 Output of HLS used in pre-alignment hall
1——6号钵体;2——7号钵体;3——9号钵体;4——8号钵体

由图 2 可见,10 月 28 日至 11 月 2 日支架上没有放置磁铁,地基缓慢变化,这些变化可理解为温度等其他因素的干扰,而 7 号和 8 号钵体位置有较明显的下降趋势,主要是在它们附近安装测量仪器,以及其他物体的压力所引起。11 月 2 日进行了第 1 次压磁铁实验,8 号和 9 号钵体所在位置下沉非常明显,均有 0.4 mm 的沉降量,其他钵体变化不大。11 月 4 日将磁铁吊起进行运输实验,这时地基有明显反弹,当天把磁铁放回了支架上,又引起地基下沉。11 月 6 日和 7 日连续两天做了磁铁的吊起、放回试验,然后进行数据分析,11 月 19 日再次试验。磁铁放置在支架期间地基缓慢地下沉,下沉量每天在几微米到几十微米不等。由于当时天气干燥,日夜温差比较大,温度也引起地面高度的一些变化,其周期接近 24 h。在大厅一些位置地基的变化趋势和变化量比较复杂。6 号钵体所在位置还出现了地面缓慢隆起的现象。

准直测量人员更加关心的是,在磁铁安放在支架后的一段时间内,地基的变化速度是多少,什么时间能够相对稳定,以及变化量有没有影响准直测量精度等。现以 11 月 7 号到 8 号之间的试验时各个钵体所在位置的沉降变化为例,分析地基的变化情况(图 3)。

11 月 6 日在支架上安放磁铁以后,8 号钵体所在位置地基沉降最多,与初始位置相比,下降了 0.7 mm;9 号位置次之,达 0.45 mm;7 号位置下降 0.2 mm;6 号位置下降很小,只有几十个微米。11 月 7 日将磁铁吊走后,几个位置的地面均有反弹,8 号位置的反弹是最大的,达到 0.45 mm;9 号位置反弹 0.25 mm;7 号和 6 号位置反弹相对很小。随后,磁铁重新安放,几个位置的地基又开始剧烈下降,7、8、9 三个位置的地基基本下降到起吊前的位置。此后几十个小时地基的变化是缓慢的,在遽然下降后,经过 14 h 的缓慢反弹,达到反弹的最高值,几个位置均反弹了约 50 μm ,此后,除 6 号位置外,均进入了缓慢下沉状态。又经约 14 h,可能受到人员走动或者安装仪器的影响,有大约 3 h 的不太规则的升降过程,此后进入相对稳定状态,地基的升降不超过 20 μm 。

从检测结果看,这几个点的地基变化情况随着磁铁的吊起和安放,可以分成剧烈上升、缓

慢上升、剧烈下降、缓慢反弹、趋于稳定几个阶段。在磁铁安放后的 5 h 内的缓慢反弹量不超过 30 μm ,但地基的变化不均匀,在磁铁附近靠大厅中央部分变化比较激烈,这在准直测量中是应该密切关注的。

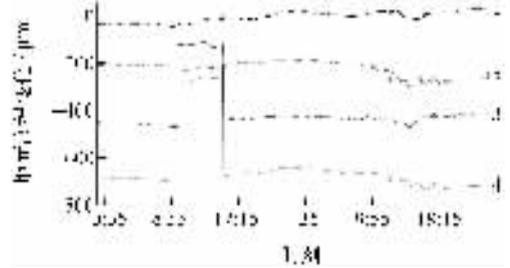


图 3 2004 年 11 月 7 日到 8 日北大厅地基变化
Fig. 3 Height change of site in pre-alignment hall
from Nov. 7 to 8, 2004

1——6 号钵体; 2——7 号钵体; 3——9 号钵体; 4——8 号钵体

总之,两套系统在 BEPC II 的两个不同场所工作正常,所获得的测量数据符合实际情况,为工程的前期准直测量提供了有用的数据,也为工程的决策提供了参考。

3 系统的维护

任何仪器设备在使用过程中均需进行合理的维护。对于 HLS,在设计和加工过程中,考虑了许多因素,以使系统的维护变得方便。

液体总是有蒸发的。所以,在 HLS 工作一段时间后,需给 HLS 添加液体。在 HLS 安装时,已在液体表面加入了适量硅油,防止液体的过快蒸发。一般,HLS 工作约半年后需用注射针管加塑料软管,通过钵体的气管接口给系统加液,同时防止液体洒落在浮子上面。加液后待系统稳定,系统可正常工作。

在系统连续工作一年左右需对 HLS 进行检查,放出所有液体,并用循环流动液体的方法对液体管道进行清洗。这是由于系统在长期的封闭状态下,液体中有可能产生一些菌类或藻类物质,影响液体的流动性。清洗以后,注入适量的液体,同时加入一些杀菌剂,一般 1 L 工作液体加入一滴。另外,还需加入一些扩散剂,减少液体表面张力的影响。在钵体中的液体表面再加入硅油防止蒸发。待液体稳定后,如有需

要,可重新设置软件中的相关参数,然后系统重新工作。HLS工作一年左右还需检查气体管道是否畅通,可用吹气的方法检查。

HLS的数据采集仪中的存储器有容量限制,需要时,可加入不同容量的存储条。系统长期自动工作时,需注意存储器的容量可用时间,定期取回采集仪中的测量数据,防止数据丢失。

在特殊的工作环境下,需注意系统的安全性和可靠性。比如,在高电离辐射的加速器隧道里工作时,要定期检查电源线和信号电缆因受辐射而产生的老化情况,必要时需及时更换。

系统的液体管道一般较长,安装时需保证铺设的尽量水平,同时应有保护和警示装置,杜绝人为触动,防止测量数据的波动,以避免给数据分析带来麻烦。

4 结论

从目前 HLS 的实际使用情况看,HLS 工作稳定,使用和维护方便,且能够满足更大规模

的测量要求。

参考文献:

- [1] MARTIN D. The European synchrotron radiation facility-hydrostatic levelling system-twelve years experience with a large scale hydrostatic levelling system[C]//Proceedings of 7th International Workshop on Accelerator Alignment, Japan; SPRING-8, 2002: 208-226.
- [2] PRENTING J, LIEBL W. Status on the survey and alignment of accelerator and storage rings at DESY [C]//Proceedings of 7th International Workshop on Accelerator Alignment, Japan; SPRING-8, 2002: 80-90.
- [3] MATSUI S, ZHANG C. Alignment method for 50 m distance using laser and CCD camera [C]//Proceedings of 7th International Workshop on Accelerator Alignment, Japan; SPRING-8, 2002: 127-139.
- [4] 罗南星. 测量误差与数据处理[M]. 北京: 计量出版社, 1984: 120-145.

改进的首次堆芯燃料组件布置和实现上述布置的方法

【公开日】2006. 04. 19

【分类号】G21C3/30

【公开号】CN1760990

【申请号】CN200510-071705. 3

【申请日】2005. 02. 21

【申请人】西屋电气有限责任公司

【文摘】一种改进的初始堆芯燃料布置,用于提高核反应堆的燃料管理效率,且因此提高了经济性。一种实现这种初始堆芯的方法,提供大量具有不同铀-235 平均浓缩度的燃料组件,并在初始堆芯布置中排列所述燃料组件,所述布置构造使其至少在空间反应性分布上仿效公知的均衡循环换料堆芯。初始堆芯中最终的平均浓缩度的范围从下面约 1.0% 铀-235 至约 5.0% 铀-235。本发明还公开了一种改进的栅格。

摘自中国原子能科学研究院《核科技信息》