

# 上海光源 HLS 系统技术方案\*

何晓业<sup>1;1)</sup> 吴军<sup>2</sup>

1(中国科学技术大学 合肥 230029)

2(中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

**摘要** 地基不均匀沉降会引起加速器磁铁等关键部件的位置变化, 这些变化对加速器运行的影响越来越受到国内外各实验室的重视. 在建的上海三代同步辐射光源地处地质条件复杂的上海浦东, 有必要建立对加速器所在的地基和关键部件的不均匀沉降的监测系统. 静力水准系统 (Hydrostatic Levelling System, HLS) 主要用于实时监测地基以及支撑在垂直方向 (高程) 的位置变化. 本文讨论了上海光源中静力水准系统的设计方案, 主要参数, 以及理论计算等. 通过讨论可以更全面了解在加速器中建立静力水准系统的重要性和必要性.

**关键词** 静力水准系统 不均匀沉降 监测

## 1 引言

HLS 主要用于实时监测地基以及支撑在垂直方向 (高程) 的位置变化. 通过比较这些变化与加速器机器运行的关系确定这些变化对机器正常工作是否产生影响, 如果这种影响到一定程度就要采取相应的措施以消除这种影响<sup>[1]</sup>.

对支撑的垂直方向变化的监测, 可以判断支撑之间的位置变化、一个支撑上不同的三点之间的位置变化. 支撑的变化会直接影响到机器中关键部件之间的位置的变化. 所以当相对位置变化超过一定量时必须对相应部位做适当调整.

## 2 上海光源的 HLS 方案设计

### 2.1 上海光源的 HLS 系统指标

传感器测量灵敏度: 0.001mm

单点测量精度:  $\pm 0.005\text{mm}$

两测点高差测量中误差:  $< \pm 0.01\text{mm}$

量程:  $\pm 5\text{mm}$

### 2.2 上海光源 HLS 系统特殊因素

由于上海光源的地质更加不稳定, 为了达到更大的量程和更快的稳定时间, 我们采用了  $\Phi 40$  的管径, 从而使得量程比瑞士光源 HLS 大一倍. 在精度方面我们

的设计指标与瑞士光源 HLS 大致相同.

由于上海光源的增强器与储存环并非一个地基, 所以了解它们之间的相对高程变化也很重要, 因此我们不仅在储存环全环布置水管和测点, 并将其延伸至增强器, 在增强器均布 4 个测点, 不仅可以了解两个地基的相对变化而且也能了解增强器地面本身的变化.

为了使测量工作连续和可靠, 数据的连续性, 以及以后安装拆卸方便, 我们在每个预留测点都设有球阀, 由于经费的原因, 不可能所有预留测点都布设传感器, 为了让有限的传感器观测到更多的有用信息, 我们可能会频繁更换观测点, 对某些重点地段更为仔细的监测, 所以要求在更换测点的时候不需要关机, 不影响其他点的测量.

### 2.3 SSRF 的 HLS 布局

在直线加速器和增强器中, 只对地基进行监测, 监测点的位置尽量靠近隧道墙壁, 以尽量减少对空间的占用; 在储存环中将有选择地监测 20 个典型支撑, 每个支撑上安装三个监测点. 考虑到水管的连通性和将来的可扩展性, 储存环中每个支撑上都安装好不锈钢水管留有安装测点钵体传感器的位置.

#### 2.3.1 直线加速器和增强器中 HLS 测点布局

直线加速器沿走廊壁安装两个钵体传感器, 增强器中 HLS 测点均匀分在对称的 4 个点.

2008 - 01 - 07 收稿

\* 上海光源工程资助

1) E-mail: xyhe@ustc.edu.cn

直线加速器、增强器中用于监测地基的 HLS 测点与储存环中用于监测支撑变化的 HLS 测点构成完整的一套 HLS 系统。

### 2.3.2 储存环中水管及测点布设

标准单元一般含有 3 个大支架和 2 个二极铁支架, 大支架有 5 种类型。储存环中每个支撑在预准直之前安装好水管。由于有五种标准支撑, 水管的在支撑上的布设的细节也有所不同, 但是它们基本结构大致一样, 水管布局也基本相同。图 1 显示的是以 A1 支撑内侧为例的水管及测点布局方法。

按前面的总体方案, 我们为每个支架预留 3 个测点布置点, 在以后测点充裕或者对该支架和地面特别关心的时候可以进行重点监测。

水管沿着支架下板上沿布置, 距地高度 374mm, 由于支架外侧空间相对比较松, 主水路也将沿外侧布置, 并且在每个支撑外侧布置 2 个测点, 内侧的空间较挤, 而且还有电缆桥架, 因此测点的布置位置小, 水管从外侧绕行至内侧, 只布置一个传感器。

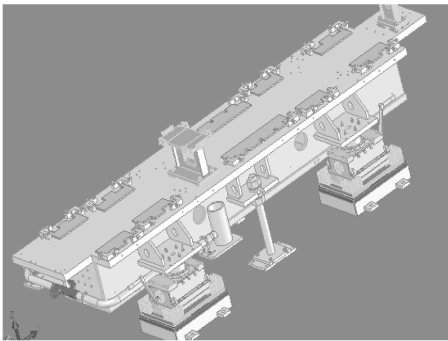


图 1 支撑上内侧水管及测点布局

为了使安装和运行方便, 在每个测点的前端都布置有一个阀门, 这样在拆装某个测点的时候不会影响到整个 HLS 系统的运行, 由于在以后的运行过程中, 某些支撑或一部分地面变形较大, 需要重点监测与研究的时候, 将其他一直比较稳定的支撑上的测点换过来, 这个过程不需要中断系统, 仍然可以保证其他部分的连续监测。

### 2.3.3 水管支撑系统

在直线加速器部分水管沿束流方向左侧墙脚布设, 在增强器部分沿内墙墙脚布设。水管穿越直线加速器防护门部分采取墙上预留洞孔。在穿越增强器走廊部分上面架设斜坡过桥。水管从增强器引伸到储存环部分, 沿输运线支架下端布设, 在穿越储存环走廊时同样采取上面架设斜坡过桥。

地面上水管高度和钵体传感器高度相匹配。

## 3 配套设备

### 3.1 其他电源电缆、信号电缆布设

HLS 系统的每个钵体传感器都采用 220V 电源提供能源, 所以只要在有传感器的地方有 220 V 三相电源插座就可以。电缆的走线可以利用现有的电缆桥架。每个传感器都有一根信号传输线与系统的信号总线联结。信号总线可以从现有电缆桥架走线, 每个传感器的信号线并联到该总线上即可。

### 3.2 信号采集箱

信号采集箱可以放置在便于人员进入进行采样的位置, 现在预设的控制室里的控制柜就可以。一个  $20 \times 40 \times 50\text{cm}$  的空间就可以放置一个用于整个系统的数据采集箱。

### 3.3 注抽水系统设计

主水箱分主注入水箱和出水箱, 是用于给系统注入工作液体和从系统中吸出液体的。主水箱可以放置的非辐射区中, 其水管可以从地下预留沟里通过。在两个水箱的出水口各安装一个阀门和水泵, 用于向系统注水和吸出系统中的水。

### 3.4 钵体传感器结构尺寸

用于 SSRF 储存环中支撑上的 HLS 钵体传感器的外形结构和用于直线加速器和增强器中 HLS 中间测点的钵体传感器的外形结构图都是外径 150mm, 高度 250mm 的圆柱状。传感器核心使用 CCD 做为传感元件, 集合驱动电路、输出输入电路以及设计的软件构成一个完整系统<sup>[2, 3]</sup>。

## 4 HLS 系统稳定时间计算

对于半充满的 HLS 系统, 管道里液体的稳定时间计算公式为<sup>[4]</sup>

$$\sqrt{\omega^2 - \beta^2} T - \text{tg}^{-1} \frac{\beta}{\sqrt{\omega^2 - \beta^2}} = \frac{\pi}{2}.$$

$\beta$  为震荡阻尼系数,  $\omega$  为震荡频率,  $l$  是液体管道长度,  $\rho$  为液体密度,  $\mu$  为液体的粘度系数,  $g$  为重力加速度,  $h$  为管道中液体深度。对于本系统, 采用的工作液体是水, 其密度是  $\rho = 1000\text{kg/m}^3$ , 取水的粘性系数为  $\mu = 4 \times 10^{-7}\text{kg/m} \cdot \text{s}$ , 水深取 20mm, 系统管道长度为 1000m, 可以得到稳定时间为

$$\beta = 4 \times 10^{-6}, \omega = 1.4 \times 10^{-3}, T \approx 5485\text{s}.$$

## 5 系统温度影响

采用半充满式HLS传感器,能够保证整个测量系统在相同的压力下消除了由于各个测点的压力的不同而对测量结果产生的影响.但是各个测点处的温度的不同却不可能一致.所以每个钵体传感器都有温度传感器,对CCD传感器的测量结果进行修正,修正后的数据才是最后的测量数据<sup>[5]</sup>.

## 6 传感器测试与标定

每个钵体传感器在完成加工后和安装到现场之前必须进行严格的测试和标定<sup>[6]</sup>.

钵体传感器由CCD系统、电源系统、光源系统、液体、浮子、弹簧及连接机构等部分组成.该传感器的整体性能受到各个部分的综合影响.

首先要对CCD标定,以检测CCD的分辨率,以及和将来的钵体传感器分辨率的比较,以确定影响分辨率的因素.其次要对单个钵体传感器进行标定.对CCD的标定实际上是对CCD性能的检测,要得到传感器的整体性能必须对单个钵体传感器进行严格的标定.

## 7 进展以及计划

目前已经完成了传感器的设计,样品正在加工过程中,不久将进行样品的测试和验收.测试合格后将进行批量生产,在2008年1月全部加工完成,预计于2008年5月安装到上海光源上进行系统调试年并最终正常运行.

总之,静力水准系统在加速器中得到越来越广泛的应用,其高精度、连续观测、自动采集等特性,为加速器的稳定运行提供了很好的保障.

## 参考文献(References)

- 1 HE Xiao-Ye, HUANG Kai-Xi, CHEN Sen-Yu et al. Nucl. Tech., 2007, **30**(6): 486—490 (in Chinese)  
(何晓业, 黄开席, 陈森玉等. 核技术, 2007, **30**(6), 486—490)
- 2 HE Xiao-Ye, HUANG Kai-Xi, CHEN Sen-Yu et al. Nucl. Tech., 2006, **29**(5): 322—325 (in Chinese)  
(何晓业, 黄开席, 陈森玉等. 核技术, 2006, **29**(5): 322—325)
- 3 HE Xiao-Ye, HUANG Kai-Xi, CHEN Sen-Yu et al. Journal of Geodesy and Geodymanics, 2007, **27**(3): 113—117 (in Chinese)  
(何晓业, 黄开席, 陈森玉等. 大地测量与地球动力学, 2007, **27**(3), 113—117)
- 4 ZHANG C et al. Primary Hydrokinnetics Study and Experiment on the Hydrostatil levelling System, Procdedings of 27th International Workshop on Accelerator Alignment, 2002. Japan. 297—307
- 5 HE Xiao-Ye et al. Data Collection of the Hydrostatic Levelling System Based on CCD, 2006, **21**Suppl.(12): 213—217 (in Chinese)  
(何晓业等. CCD静力水准系统的数据采集, 数据采集与处理, 2006, **21**Suppl.(12): 213—217)
- 6 Aschlosser M, Herty A. High Precision Survey and Alignment of Large Linear Colliders-Vertical Aligment, Proceedings of 7th International Workshop on Accelerator Alignment, Nov.10-14, 2002, Spring-8, Japan. P343-255

## Technological Plan of HLS in SSRF<sup>\*</sup>

HE Xiao-Ye<sup>1,1)</sup> WU Jun<sup>2</sup>

1 (University of Science and Technology of China, Hefei 230029, China)

2 (Shanghai Institute of Applied Physics, CAS, Shanghai 201800, China)

**Abstract** The place change of the key inserts, different kinds of magnets for instance, in an accelerator caused by the uneven earth subside will affect the accelerator commission. All accelerator laboratories, at home and abroad have taken the influences more and more seriously. The Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) under construction is located at Pudong, Shanhai, where geological condition is complicated. It is necessary to establish a monitoring system to monitor the uneven subside of foundation and key parts of the accelerator. The Hydrostatic Leveling System (HLS) is used to real time monitor the vertical displacement of the foundation and the supports of the key inserts in accelerator. This paper discusses the HLS's design plan, the principal parameters and the theoretical calculation. By discussion we can comprehend the importance and necessity to establish HLS in an accelerator in an all-round way.

**Key words** Hydrostatic Levelling System (HLS), uneven subside, monitor

Received 7 January 2008

\* Supported by SSRF Project

1) E-mail: xyhe@ustc.edu.cn