

皮秒和飞秒直线加速器的准直测量方案比较

于成浩 吴冠原 杜涵文 赵雁 曹云

(中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

摘要 皮秒直线加速器主要利用测微准直望远镜进行准直,而飞秒直线加速器主要用激光跟踪仪进行准直,从两种方案精度、效率及费用的比较中,可以看出激光跟踪仪测量技术的优点。

关键词 直线加速器,激光跟踪仪,准直,测量,精度

中图分类号 TL505

在中国科学院上海应用物理研究所 113 实验楼,建造了两台电子直线加速器,图 1 为位置示意图。以束团长度来分,位于图形下部的是皮秒加速器,上部则为飞秒加速器,二者的长度分别约为 7m 和 10m。其中飞秒加速器由中国科学院知识创新仪器设备研制项目和我所知识创新项目共同资助,用于高功率相干 THz 辐射源的研制,也可开展生物化学、纳米材料、医药、光谱检测、成像等科研工作。

从安装测量的角度来说,两台加速器都对元件位置提出了 0.2mm 左右的公差要求,因此,需要采

取精密准直测量技术来完成。

对于直线加速器的准直测量来说,测微准直望远镜、激光波带板法应用较多。近年来,全站仪、激光跟踪仪等现代精密仪器也开始广泛应用。

在实际安装过程中,根据两台加速器的不同情况,分别采用了基于准直望远镜和激光跟踪仪的两种完全不同的准直测量方案。本文将对两种方案的优缺点及直线加速器安装准直的特点进行深入探讨,供加速器工作者及精密工程测量工作者参考。

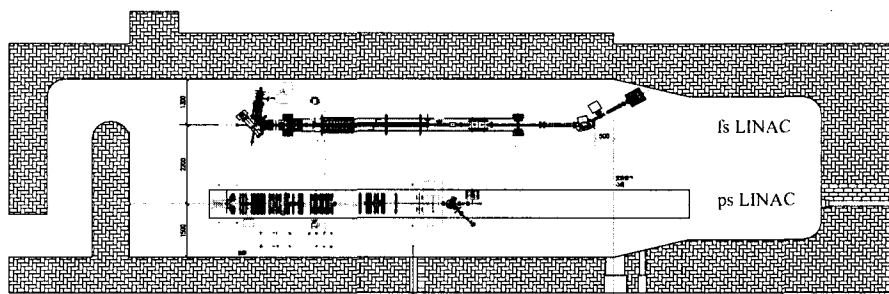


图 1 两台加速器位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of two LINACs

1 皮秒加速器的准直测量

皮秒加速器为原有项目的改造,其准直方案参照了以前的设计方案,主要利用测微准直望远镜进行。

利用准直望远镜进行加速器准直的基本原理如图 2 所示,在加速器两端建立基准点 A、B,设置光学目标。然后在其中一端架设仪器,精确调整使得仪器的视准线和 A、B 两个目标的中心共线,这样就建立了一条参考基准线。在 A、B 中间安装元件时,使准直望远镜标志和该元件密切配合,利用

准直望远镜测量其偏差,指挥安装人员调整元件位置,直至达到准直要求。

由于电子需在真空环境中运行,所以,磁铁、线圈等关键元件的中心被封闭在一个真空管道中,结果导致元件的中心难以直接用于安装准直。解决办法是:在每个元件的支撑上设置两个位置已知的基准孔(图 3),通过对基准孔的准直,间接将元件中心准直到位。

在安装测量前,首先通过经纬仪、水准仪等仪器,在加速器两端分别设置基准靶,以建立两条和束流中心平行的基准线;在准直时应通过调整两个

第一作者:于成浩,男,1977 年出生,2000 年于解放军信息工程大学测绘学院获学士学位,目前为中国科学院上海应用物理研究所在职博士生,担任上海光源准直测量系统设计、实施任务

收稿日期:2006-03-09,修回日期:2006-07-20

基准孔中的靶,使其中心通过该基准线,从而保证元件的准确就位。

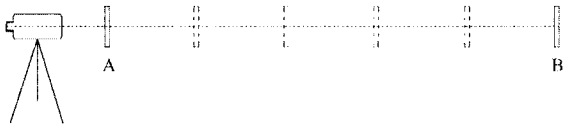


图 2 准直望远镜原理图
Fig.2 The sketch of an alignment telescope

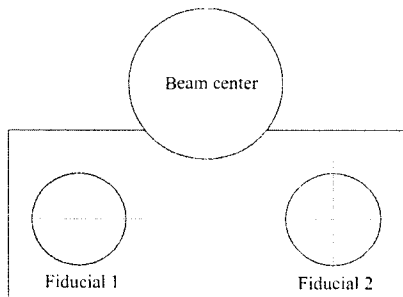


图 3 准直望远镜测量基准示意图
Fig.3 The fiducial holes in the alignment telescope

使用的测微准直望远镜是陕西华燕航空仪表公司的产品,其测量范围为 $\pm 1.2\text{mm}$,测微器格值为 0.02mm ,光轴与机械轴平行度不大于 $3''$,调焦直线性在 9m 内为 0.025mm , 18m 内为 0.05mm , 36m 内精度为 0.1mm ^[1]。可见,其精度满足皮秒加速器的安装。

为提高准直精度,采取了如下措施:1)为避免基准靶拆装对基准线位置的影响,靠近仪器的靶设置为透射靶,远离仪器的靶设置为反射靶;2)为避免仪器位置变化对基准线的影响,每天开始工作前,对仪器的位置进行微调,确保仪器中心线和两个基准靶的中心共线;3)在安装结束后,对基准靶位置进行了复测,确保元件位置都在公差范围内。

尽管这种方法在早期的加速器安装中广泛应用,也能达到皮秒加速器的准直要求,但是它有几个主要缺点:

(1) 望远镜成像质量随距离的增加而下降,容易使操作者疲劳,使得测量结果受人为因素影响较大。

(2) 图 3 中所示的基准孔,通常会因为加工、运输及使用等导致变形,使得不能和基准靶顺利配合,且和元件中心形成固定偏差。

(3) 加速器非常复杂,在安装了真空管道后,束流位置探测器等关键元件的位置很难再复测,对其位置随时间的变化无能为力。

(4) 仪器相对于基准线的调整、测量和元件的调节等工作所需的时间非常多,且比较烦琐。

随着越来越多的自动化、高精度仪器涌现,上述缺点导致基于测微准直望远镜的方法不被看好。因此,对以后所建的飞秒加速器改用了新的办法。

2 飞秒加速器的准直测量

飞秒加速器为新建的一台装置,在方案设计时就对激光波带板技术做了一定的调研。它是利用激光束相干性好的特点,由激光光源和记录装置组成基准线,利用放在中间点上的波带板确定其偏差^[2]。国内外很多大型的直线加速器都采用激光波带板准直,精度可达 10^{-6} 。但是它有三个缺点是:1)激光易受大气抖动和大气折光的影响;2)不同的位置需要设计不同的波带板,属于非标设备;3)若波带板和加速器元件中心不一致,也可引起较大的偏差。

由于准直望远镜技术及激光波带板技术的上述缺点,我们决定借鉴 100MeV 直线加速器的经验^[3]利用激光跟踪仪进行飞秒加速器的准直测量。

激光跟踪仪通过测量目标的水平角、垂直角及斜距,建立以测站为中心的极坐标系。斜距通过双频激光干涉来进行测量,保证了高精度。在跟踪头中有一个位置敏感探测器(PSD),可以测出激光束的位置变化量,通过软件精确计算并反馈给伺服马达控制跟踪头的转动,从而实现跟踪测量。

采用的仪器型号为LEICA的LTD500(图4),仪器的标称测量精度为:坐标重复测量精度为 $\pm 2.5\mu\text{m}/\text{m}$,绝对坐标测量精度 $\pm 5\mu\text{m}/\text{m}$ (1σ)^[4]。

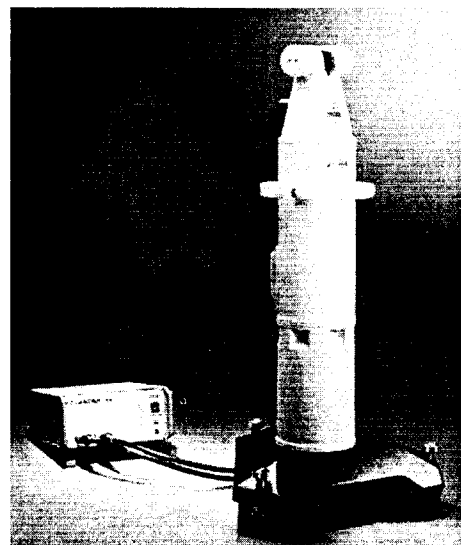


图 4 激光跟踪仪 LTD500
Fig.4 Laser tracker LTD500

由于激光跟踪仪高精度、自动化的特点,准直变得非常方便,主要过程分为四步:1)建立三维控制网;2)进行元件的基准转移;3)现场安装;4)准直

复测。所有过程都利用激光跟踪仪完成,将不同的流程化为大致相同的工作,大大提高了效率。

共布设了 23 个控制网点,分别位于地面和墙上,地面点利用环氧树脂和隧道地面粘结,墙上点利用膨胀螺栓固定。为保证精度,在控制网测量时,进行了一次转站测量。转站后通过光束法平差建立两站之间的相互位置关系,这样所有控制点都在统一的坐标系中。

元件的基准转移将磁铁等关键元件中心转移到外面的基准孔中,由于基准孔加工比较好,且不易变形,所以可避免出现类似准直望远镜基准孔的变形问题。

在现场安装时,利用激光跟踪仪的软件实时监测元件位置和理论位置的偏差,供安装工人参考,效率很高。

准直复测利用和现场安装相同的步骤,无需调整,速度非常快。

图 5 为飞秒加速器安装结束后所拍摄的像片,得益于激光跟踪仪的使用,准直测量效率及精度都很高,飞秒加速器安装准直所用的时间远低于皮秒加速器所用的时间。

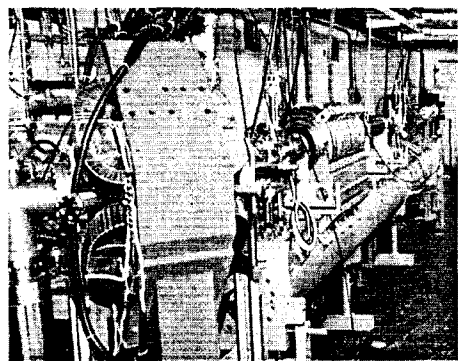


图 5 飞秒加速器
Fig.5 The fs LINAC

3 方案比较

从上面对两个加速器准直方案的介绍中,可以看出两种方案具有非常明显的差异,下面予以总结,给出各自的优缺点。

测微准直望远镜技术的优点:

(1) 非常直观,基准线的原理易于理解,仪器操作简单。

(2) 仪器费用较低。

其缺点是:

(1) 精度较低,特别是基准靶的安置误差较大。

(2) 无法控制纵向误差,需借助于其它测量手段。

(3) 容易使操作者疲劳,影响准直精度。

(4) 在调节过程中,由测量者指挥安装工人调整,不直观,经常出现调节过头或不足的问题,由此带来较多的人工费用。

激光跟踪仪安装测量的优点是:

(1) 测量精度高,中间环节的误差较小,由于仪器提供三维坐标,所以可对纵向及各种转角误差提供非常好的控制。

(2) 效率高,安装过程的各个环节非常清晰,大大降低了人工费用。

(3) 准直过程的自动化程度较高,准直及安装人员处在一种比较适宜的状态下工作。

其缺点是:

(1) 仪器费用较高,激光跟踪仪价格昂贵,一般需十几万美元。

(2) 它不像准直望远镜那么操作简单,需要准直人员对仪器、软件及精度等各个环节都非常熟悉,才能胜任准直测量任务。

综上所述,准直望远镜和激光跟踪仪这两种技术各有优缺点,实际工作中应根据具体情况选择合适的方案。一般而言,激光跟踪仪以仪器费用为代价换来人员费用的节省及精度的较大提高,是值得推广的一种方法。在“神龙一号”^[5]的安装及 BEPCII^[6]的直线加速器改造中,均采用了该技术。

参考文献

- 1 Prod 4 [EB/OL]. <http://www.huayan141.com.cn/product>. 2005. 12
- 2 吴翼麟,孔祥元. 特种精密工程测量. 北京: 测绘出版社, 1993. 208—227
WU Yilin, KONG Xiangyuan. Special precise engineering survey. Beijing: Surveying and Mapping Publishing House, 1993. 208—227
- 3 于成浩,杜涵文,柯明. 测绘技术装备, 2005, (3): 43—45
YU Chenghao, DU Hanwen, KE Ming. Geomatics Technology and Equipment, 2005, (3): 43—45
- 4 Prod[EB/OL]. <http://www.leica-geosystems.com>. 2004. 12
- 5 李洪,刘云龙,章林文,等. 强激光与粒子束, 2004, 16(10): 1349—1352
LI Hong, LIU Yunlong, ZHANG Linwen, et al. High Power Laser and Particle Beams, 2004, 16 (10): 1349—1352
- 6 DONG Lan. The alignment of BEPCII LINAC [EB/OL]. <http://iwaa2004.web.cern.ch/IWAA2004/>, 2005. 12

Comparison of survey and alignment methods for picosecond and femtosecond linear accelerators

YU Chenghao WU Guanyuan DU Hanwen ZHAO Yan CAO Yun

(Shanghai Institute of Applied Physics, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract The picosecond linear accelerator was aligned by the micro-collimator, while the femtosecond one by the laser tracker mainly. In respect of accuracy, efficiency and cost, the merit of the laser tracker technology can be obviously seen.

Key words Linear accelerator, Laser tracker, Alignment, Survey, Accuracy

CLC TL505