

# KEKB 纵向反馈 kicker 的 HFSS 设计

裴 国 玺

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

**摘要** 介绍了用于克服高亮度加速器束团-束团耦合不稳定性的反馈纵向 kicker, 给出了其中之一的 Lambertson kicker 的 HFSS 计算, 结果同实验符合很好.

**关键词** 纵向 kicker 反馈 耦合不稳定性 HFSS

## 1 引言

KEKB<sup>[1]</sup>是一台工作在 $\psi$ 共振峰能区上的高亮度、非对称正负电子对撞机. 由于采用多束团、强流来实现高亮度, 将会导致很多不稳定性, 特别是多束团耦合不稳定性. 这些不稳定性如不能很好地得到抑制, 机器不可能高亮度运行. 所以开展这方面工作需要用到很多技术, 包括直接和间接的. 其中反馈技术能很好地抑制纵向和横向不稳定性增长. 由于反馈对不稳定性增长只要一出现就进行抑制, 因此对很多其它方法抑制不充分、完成不了或现在还没有充分认识的不稳定模式, 它将构成最后一道防线. 反馈还有抑制其他扰动的优点, 如束团-束团相互作用产生的扰动等. 在反馈系统中, kicker 是执行部件. 由于要求频带宽、有效分路阻抗高, 一般多采用传输线型, 结构较复杂, 特别是纵向 Kicker.

ALS<sup>[2,3]</sup>专家设计、加工了一种纵向 kicker, 已在机器上正常运行. 目前将稍做修改以用于 PEP-II<sup>[4]</sup>——另一家 B 工厂. KEK 专家基于同样考虑, 做了一些硬件设计, 加工了两个模型, 其形状比 ALS kicker 复杂一些. 这种设计是 G. R. Lambertson 提出的, 故称其为 Lambertson kicker. 后面的 HFSS 计算表明, ALS 设计优于 KEK 模型. T. Shintake<sup>[5]</sup>也提出了一种方案, 采用  $TM_{0,1,5,0}$  腔做纵向 kicker, 试图把径线平板的宽带特性和 RF 腔的高分路阻抗合而为一. 根据文献 [5], 在带宽 200MHz 时, 有效分路阻抗达 1.1k $\Omega$ ! 遗憾的是, HFSS 模拟计算没有给出支持性结果<sup>[6]</sup>. 另一种 kicker 是意大利设计的, 准备用于  $\Phi$  工厂.

下面主要给出本文作者对 Lambertson kicker 模型的 HFSS 模拟计算结果, 并对 KEBB kicker 模型提出改进意见, 作为其设计、优化的依据.

## 2 HFSS 程序和 Lambertson kicker

HFSS<sup>[7]</sup> (High Frequency Structure Simulator) 是惠普公司发展的三维电磁场计算软件, 适合微波元件散射矩阵, 即  $S$  参数计算, 在微波工程设计中起到很大作用. 由于其工作界面做得好, 输入微波元件的几何参数和材料性质非常方便, 对一些其它软件处理不了或处理起来非常困难的结构, HFSS 有其独到之处.

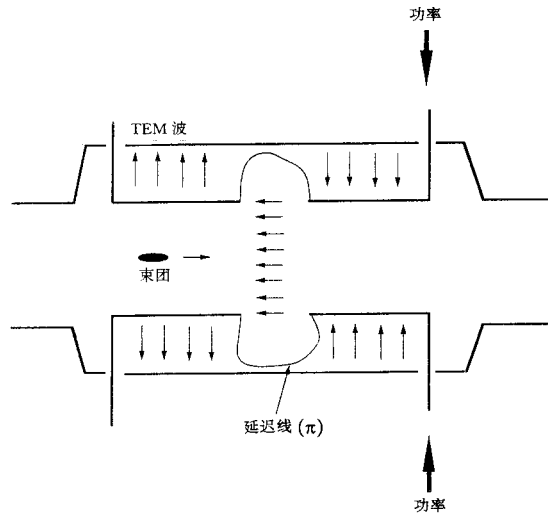


图1 纵向kicker原理示意图

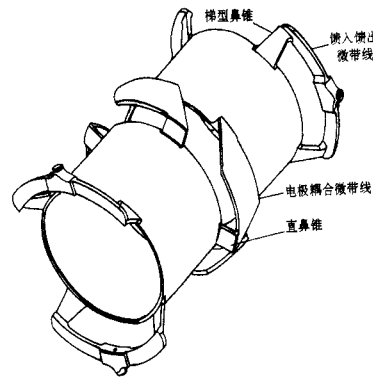


图2 纵向kicker结构示意图

Lambertson kicker 是基于同轴线设计: 串联电极同束流真空管道构成同轴线, 电极之间由  $\lambda/2$  微带线连接. 电磁场在微带延迟线中传播时, 耦合产生很强的轴向电场, 可以纵向“踢”束流, 阻尼束团的能量振荡. 图1和图2分别是 Lambertson kicker 工作原理和结构示意图. 这种结构频带宽, 能满足ALS、KEKB和PEP-II带宽250MHz(1.0—1.25GHz)的要求. 其有效分路阻抗可用下式表示:

$$R_s = 4Z_c(NT)^2, \quad (1)$$

式中  $Z_c$  是同轴线的特性阻抗,  $N$  是电极数,  $T$  是渡越时间因子.

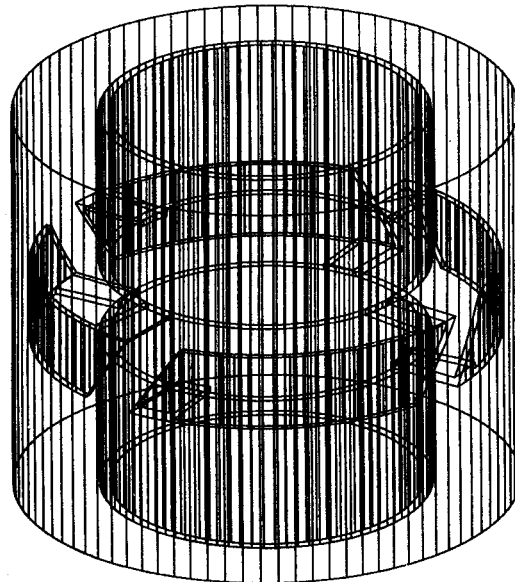


图3 HFSS模拟计算输入图形

在做 Lambertson kicker 的 HFSS 模拟计算时,考虑到工作站内内存有限,仅计算两电极及延迟线部分,如图 3 所示,馈入、馈出部分单独计算. HFSS 能给出 kicker 设计关心的所有物理参数,如反射、带宽、有效分路阻抗和微带线的延迟量等.

### 3 模拟计算及其结果

Lambertson 早期设计纵向 kicker 时,主要采用实验的方法,即对关键部件如微带线和过渡接头等,不断改变几何形状和尺寸,通过实验选出一组合理值,使反射最小,有效分路阻抗最大. KEK 专家在设计 and 加工测量模型时,就是参考了 ALS93 年的结果. 但 ALS 后来使用的 kicker 较 1993 年的设计有些差别,主要是微带线较宽和采用简单的直过渡鼻锥. 另外,馈入馈出部分的连接微带线也由平行束流真空管道而改为垂直. 由于存在这些差别,模拟研究的任务就要解决: 1) 微带线参数对匹配的贡献; 2) 过渡鼻锥对反射的影响; 3) 馈入馈出微带线对反射的影响.

KEKB kicker 模型的束流管道直径 100mm, 外真空管道直径 152mm, 构成的同轴线特性阻抗  $25\Omega$ . 连接微带线宽 10mm, 距接地导体(束流真空管道) 5mm, 特性阻抗约为  $100\Omega$ . 从理论上讲, 四根并联的微带线与同轴线匹配很好. 但 HFSS 计算表明, 在中心频率 1.0GHz 时, 反射约 50%, 这对任何微波传输系统都是不允许的. 为了减小反射, 我们对各项参数进行了优化研究.

1) 微带线. 当把微带线的宽度由 10mm 逐渐增加时, 反射明显变小, 若取 24mm 的 ALS kicker 微带线宽度时, 反射几乎为零, 图 4 是其相应变化曲线. 对宽 24mm、高 5mm 的微带线来说, 特性阻抗  $51\Omega$ , 这时它与同轴线匹配很好, 充分说明两者之间存在很强的耦合, 也是这种 kicker 的设计基础, 否则就不可能产生所需的轴向电场. 过渡延迟微带线的长度设计是根据两电极间的延迟量决定的, 比如说  $180^\circ$ . KEKB kicker 模型的延迟微带线较 ALS kicker 的长, 因而耦合强, 有效分路阻抗高. 图 5 是 KEKB kicker 模型有效分路阻抗随频率变化的曲线. 从图中可以看出, 在 1.0GHz 时有效分路阻抗最大为  $160\Omega$ , 是 ALS kicker 的两倍.

2) 鼻锥形状. 从图 2 中可以看到两种类型的鼻锥: 连接馈入馈出微带线与电极的梯

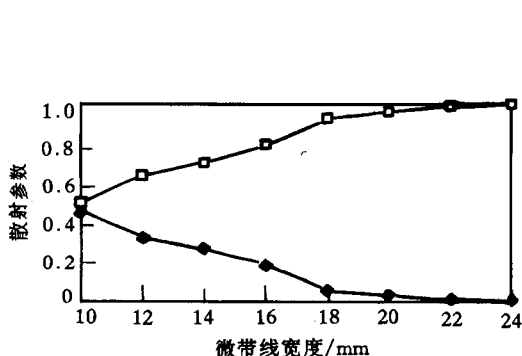


图4 反射随微带线宽度变化曲线

● 反射系数; ■ 透射系数.

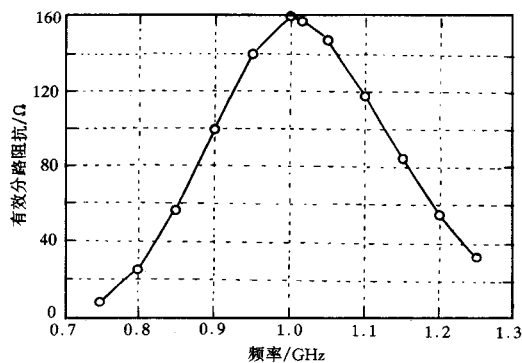


图5 KEKB kicker带宽曲线

型鼻锥和两电极之间连接的直鼻锥. KEKB kicker模型全部采用梯型鼻锥, 对其进行 HFSS 模拟计算发现, 尽管鼻锥形状和几何尺寸变化很大(比如说把底宽增加 2 倍), 系统反射、有效分路阻抗和带宽几乎不变. 说明鼻锥形状对 kicker 微波特性影响不大.

3) 馈入馈出微带线. KEKB kicker模型的馈入馈出微带线的平面平行束流真空管道. HFSS 模拟计算给出反射为 17%. 将其平面改为垂直束流真空管道如图 2 所示, 反射为 15%, 略有改善. 另一方面, 垂直束流真空管道的微带线更有利于耦合出轴向电场, 提高有效分路阻抗.

上述 HFSS 模拟计算的结果表明, ALS kicker 比 KEKB kicker 模型优越. 为进一步验证这一结果的正确性, 即 HFSS 模拟计算的正确性, 特以 ALS kicker 为例进行 HFSS 计算, 同其它模拟计算结果(如 MAFIA)及实验进行比较.

图 6 是对 ALS kicker 模拟计算得到的  $S$  参数变化曲线. 从图中可以看出在 1.0GHz 附

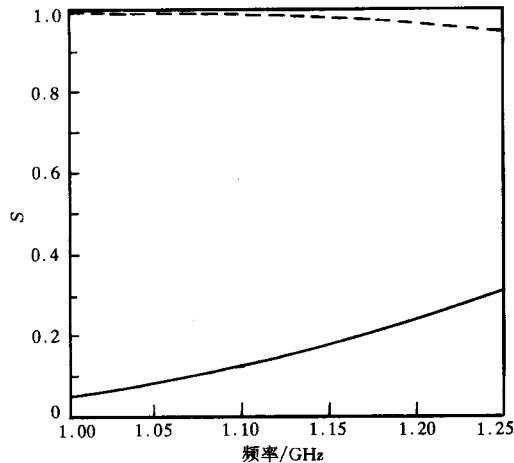


图6 ALS kicker  $S$  参数变化曲线

---- $S_{21}$ ; —— $S_{11}$ .

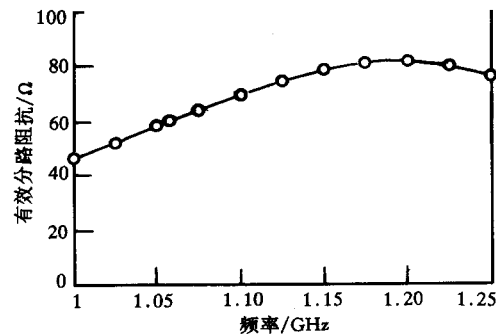


图7 ALS kicker 计算带宽曲线

近, 反射非常小, 几乎为零. G. R. Lambertson 曾告诉本文作者, ALS kicker 的实验测量和在机器上的运行情况也表明反射很小. 图 7 是有效分路阻抗随频率变化曲线, 最大值  $80\Omega$ , 频带很宽. 图 8 是其相应的测量曲线. 比较图 7 和图 8 可以清楚地看到, 两者除相差大约 4 倍因子外, 符合得非常好. 这个差别来源于我们的模拟计算没有包括馈入馈出部分, 这种情况下有效分路阻抗的计算公式为  $R_s = 4Z_c(N-1)^2 T^2$ , 即为  $100\Omega$ , 而不是公式(1)的  $400\Omega$ .

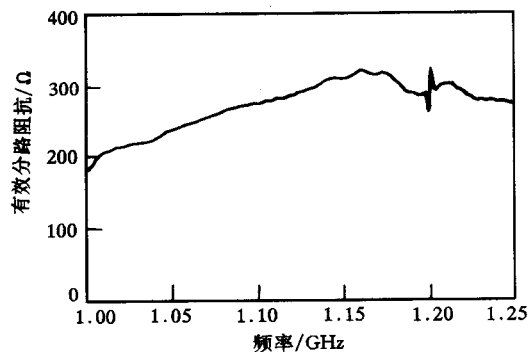


图8 ALS kicker 测量带宽曲线

伍操权<sup>[8]</sup>曾用 MAFIA 程序对 ALS kicker 进行了模拟计算, 反射特性、有效分路阻抗、带宽及微带延迟线的延迟量等都同 HFSS 结果一致.

## 4 结论

Lambertson kicker 作为反馈系统的执行元件——纵向校正 kicker 是一种很好的选择。经过 HFSS 模拟计算, 对其微带线宽度、馈入馈出微带线布置和鼻锥形状等进行优化, 使 KEKB kicker 设计逐渐趋向 ALS kicker。不同之处在于, 采用的束流真空管道较粗, 因而微带线可以做得较长, 保证了间隙的  $\lambda/2$  延迟, 同时有效分路阻抗增加近 1 倍(仅比较两电极系统的模拟计算), 这是 KEKB kicker 模型优越之处。

这项工作是作者访问日本 KEK 期间完成的, 在此对日本专家菊谷英司和飞山真理的合作与多方帮助表示衷心感谢。感谢赤井和宪、影山达也、赤坂展昌、带名和新竹积等的有益讨论。非常感谢绘面教授的邀请, 给予作者这次工作机会。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] KEKB B-Factory Design Report. KEK Report 95-7, Aug. 1995
- [ 2 ] Ferd Voelker, Jimmie Johnson. Status of RF Feedback Kicker Design. ASYMMETRIC B-FACTORY COLLIDER NOTE ABC-69
- [ 3 ] Corlett J N et al. Longitudinal and Transvers Feedback Kickers for ALS, LBL-34955, UC-410, also presented at the 1994 European Particle Accelerator Conference, London, England, Jun 27-July 1, 1994
- [ 4 ] PEP-II. An Asymmetric B Factory. LBL-PUB-5379, SLAC-418, CALT-68-1869, UCRL-ID-114055, UC-IIRPA-93-01
- [ 5 ] Shintake T.  $TM_{0,1,5,0}$  Mode Cavity for Longitudinal Bunch Feedback kicker. KEK Preprint 95-47, May 1995
- [ 6 ] Tobiyama M. Private Communication
- [ 7 ] HP 85180 High-Frequency Structure Simulator User's Reference. HP Part No. 85180-90037, Printed in USA, May 1992
- [ 8 ] Ng C K. Private Communication

## HFSS Design of KEKB Longitudinal Feedback Kicker

Pei Guoxi

(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

**Abstract** The longitudinal feedback kicker used to overcome bunch-bunch coupled instabilities of high luminosity accelerators is introduced. HFSS simulating of lambertson kicker has been given, and the results are in good agreement with experiments.

**Key words** longitudinal kicker, feedback, bunch-bunch coupled instability, HFSS