

9-cell TESLA 超导加速腔研制中 Dumb-Bells 的测量与调整

徐文灿¹⁾ 全省文 郝建奎 江涛 张保澄 赵夔

(北京大学重离子物理研究所射频超导组 北京 100871)

摘要 为了保证9-cell超导加速腔在场的平滑度、TM010模的频率以及加速器的总长度达到TESLA国际标准,必须确保每个Dumb-Bell在以上各方面达到标准要求.由于冲压、机加工以及电子束焊接等过程会引起形变,因此,必须在完成iris和加强筋的电子束焊接之后对Dumb-Bells进行微波和机械测量,并根据测量的结果对其腔形和长度等作必要的调整.北京大学已经建立了一套完整的测量和调整Dumb-Bells的装置,本文深入研究了Dumb-Bells的测量与调整的方法.

关键词 超导腔 Dumb-Bells 调整

1 引言

9-cell Tesla超导加速腔的总体结构如图1所示,主要包括9-cell高纯铌腔,4个高阶模耦合器,2个无缝束管,主耦合器接口等.按成型过程而言,一个完整的9cellTESLA腔是有8个Dumb-Bells和两个短腔组件电子束焊接而成.一个标准的9cell- TESLA超导腔对频率、长度和耦合度等有严格的公差要求^[1]:在电场调平之后 π -模的谐振频率为1.3GHz,总长度为 $1283.6\pm 3\text{mm}$,即每个cell的腔长允许误差为0.3mm,

腔形引起的频率误差不超过1MHz,而腔的equator直径允许误差为0.16mm.引起9cell超导腔的频率和长度的偏差主要的来源是8个Dumb-Bells,因而在制造9-cell Tesla超导腔的过程中必须对Dumb-Bells的场平滑度、频率以及长度进行测量,并根据测量的结果对其腔形进行必要的调整以获得标准的Dumb-Bells.本文通过Superfish程序获得Dumb-Bells的标准参数,并针对实际制造dumb-bells中遇到的问题设计了一套调整Dumb-Bells的实验方法和装置.

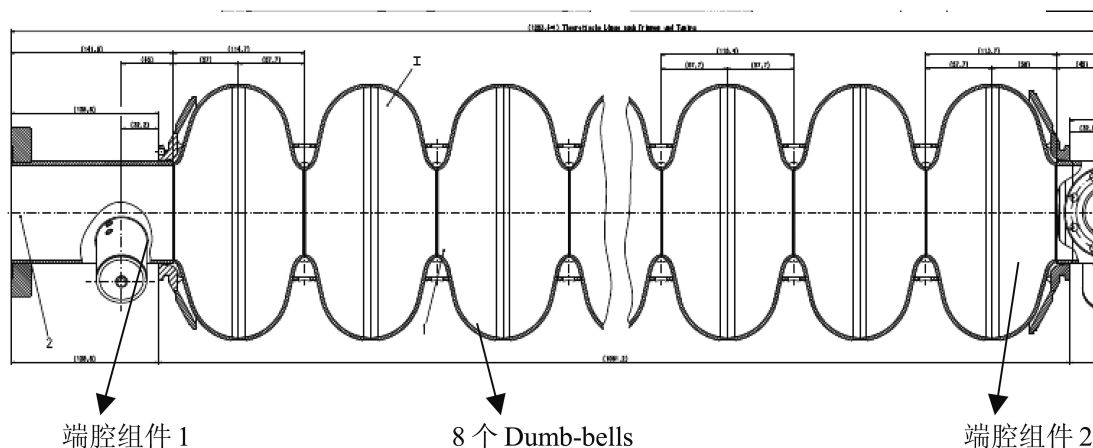


图1 9cell Tesla 超导加速腔

2008 - 01 - 07 收稿

1) E-mail: wencanxu@pku.edu.cn

2 TESLA 超导腔的 Dumb-Bells 的标准形状和场分布

如图 2 所示, 一个标准的 Dumb-Bells 由两个 TESLA 型 mid-cups (iris 与 iris 焊接) 和一对加强筋电子束焊接而成. 标准 Dumb-Bells 的 π 模和零模的频率分别是 1300.9758MHz 和 1276.6711MHz, 耦合系数为 1.886%, 长度为 115.4mm. 由于 Dumb-Bells 之间的电子束焊接会有所收缩, 引起每个 cup 的赤道面 (equator) 要预留一定的收缩余量, 这可根据焊接经验按 $-0.524\text{MHz}/0.1\text{mm}$ 获得. 图 3 是用 Superfish 计算的 π -mode 的场分布. 以上这些参数及 π 模的场分布是我们调控的依据和目标.

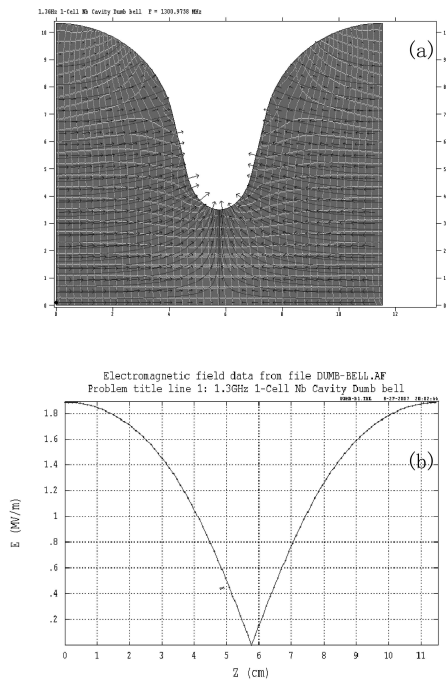


图 2 标准 Dumb-bells 的场分布
(a) 电场矢量分布; (b) 电场幅值分布.

3 Dumb-Bells 的调整

如图 3 是 Dumb-Bells 的成型过程: 首先两片高纯铌板冲压形成 TESLA 型的 mid-cups, 对 mid-cups 进行机械精加工, 两个 mid-cups 通过在 iris 的电子束焊接, 然后焊加强筋, 形成 Dumb-Bells. 冲压得到的 cups 与 TESLA 的标准形状稍微差别, 加上机械加工的误差以及电子束焊接不可避免地引起的收缩和形变, 因此, Dumb-Bells 在频率、长度、场分布以及耦合度上与设计的参数有不小的差别. 我们设计了一套微扰法测量平台, 可对 Dumb-Bells 的频率、场分布和耦合度进行测量, 然后通过等效电路模型分析确定哪个 cup 需要拉或者压^[2], 利用我们设计的能进行单 cup 拉压

的装置进行适当的调整, 反复几次就能得到满足要求的 Dumb-Bells.

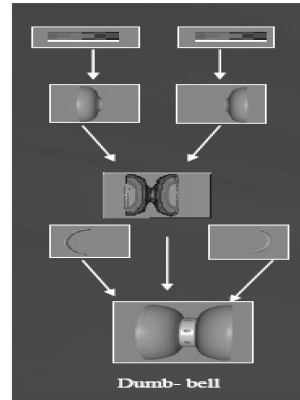


图 3 Dumb-Bells 加工过程

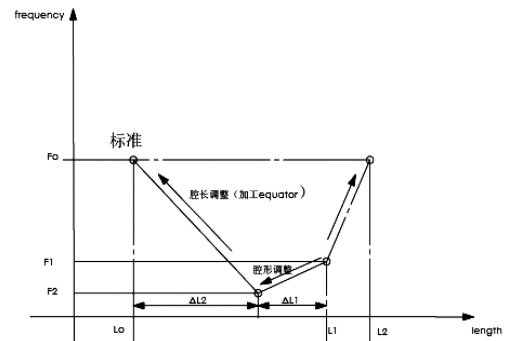


图 4 Dumb-Bells 的调整过程示意图

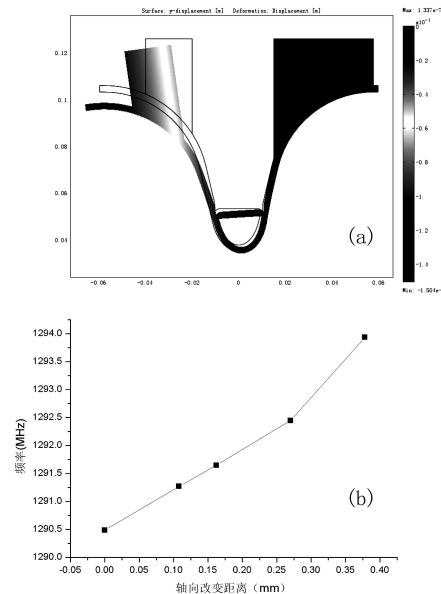


图 5 Dumb-Bells 调整的数值模拟(a), π -mode 频率对轴向长度的变化(b)

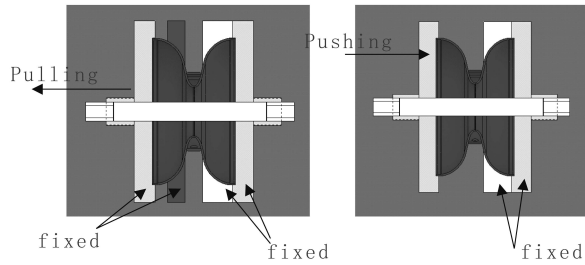


图 6 Dumb-Bells 的拉(左)压(右)装置图

图 4 是 Dumb-Bells 的拉压过程, 频率和长度分别为 F_1 , L_1 (测量值) 的 Dumb-Bells, 若只调到频率为 F_0 , 这长度为 L_2 不能满足要求; 欲调整到标准频率和长度 (分别为 F_0 , L_0), 必须先将场分布调平使两哑铃的场接近图 2 的场分布, 这时 Dumb-Bells 长度会和

频率变为 F_2 , $L_0 + \Delta L_2$, 然后根据 $-0.524\text{MHz}/0.1\text{mm}$ 切去一定的量 ΔL_2 (还要留一定的焊接收缩余量). 我们用三维程序 comsol 模拟的腔形变化的引起的频率变化如图 5 所示.

图 6 是我们设计的 Dumb-Bells 拉压调整装置结构示意图, 我们用一个与腔接触面积较大的固定一个 cup, 而用拉环和压板对另一个 cup 进行拉或者压.

4 结论

9-cell TESLA 超导加速器对超导腔的频率和尺寸有着严格的要求, 为达到此要求, 主要是对 8 个 Dumb-Bells 和 2 个端腔的频率和尺寸进行严格控制, 北京大学建立了一套测量和调整 Dumb-Bells 的装置, 将确保 9-cell 超导腔的成功研制.

参考文献(References)

- 1 Kreps G et al. Half-Cell and Dumb-Bell Frequency Testing for the Correction of the TESLA Cavity, International

Conference of RF Superconducting, 1999

- 2 Hasan Padamsee et al. RF Superconductivity for Accelerators[M]. New York: John Wiley & Sons, 1998

Measurement and Adjustment of Dumb-Bells for 9-cell TESLA Cavity

XU Wen-Can¹⁾ QUAN Sheng-Wen HAO Jian-Kui JIANG Tao ZHANG Bao-Cheng ZHAO Kui

(SRF Group, IHIP, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract Correct Dumb-bells are very important to make sure the right field flatness, frequency of TM010 mode and length of 9-cell TESLA cavity. The shape of the dumb-bells will be wrong due to deep drawing, machining and EB welding. Then, the dumb-bells should be adjusted after iris and stiffness welding according to the mechanical and microwave measurement. Peking University has set up facilities for measuring and correcting the dumb-bells. This paper discusses the method of measuring and correcting the dumb-bells.

Key words superconducting cavity, dumb-bells, adjustment