

1 500 MHz 5-cell 超导腔的仿真优化

杨 峻^{1,2,3} 马震宇^{1,3} 王 岩^{1,3} 侯洪涛^{1,3} 李 正^{1,3} 罗 琛^{1,3}
毛冬青^{1,3} 是 晶^{1,3} 刘建飞^{1,3}

1 (中国科学院上海应用物理研究所 嘉定园区 上海 201800)

2 (中国科学院大学 北京 100049)

3 (上海市低温超导高频腔技术重点实验室 上海 201800)

摘要 能量回收直线加速器技术是近年来一项重要技术。针对能量回收直线加速器的主直线加速器,本文使用多种射频软件优化设计了一种新型的 1 500 MHz 5-cell 超导腔。该腔加速模 TM_{010} 的 R/Q 值达到 550Ω , 可以有效降低低温损耗。该腔的端 cell 采用扩大束管传输有害高次模方案将高次模传输输出超导腔,良好地抑制了高次模。新腔型保持了较低的表面峰值场强与平均加速梯度的比值: $E_{pk}/E_{acc}=2.06$, $B_{pk}/E_{acc}=4.22 \text{ mT}/(\text{MV}\cdot\text{m}^{-1})$, 避免了场致发射的风险,并且在中等加速梯度区域($15\sim20 \text{ MV}\cdot\text{m}^{-1}$)无二次电子倍增现象。模拟结果显示,该超导腔能够满足连续波、准连续波或高重复频率稳定运行的要求。

关键词 加速器, 超导腔, 高次模, 模拟计算

中图分类号 TL503.2

DOI: 10.11889/j.0253-3219.2015.hjs.38.060103

射频超导技术是目前及将来先进加速器的关键技术之一。尤其是在新一代高能加速器、连续波自由电子激光(Continuous Wave Free Electron Laser, CW-FEL)或强流能量回收直线加速器(Energy Recovery Linac, ERL)等设施上,射频超导技术因为其可实现高效率粒子加速的特性更具有不可取代的优势。目前加速器领域的前沿研究机构都相继采用射频超导技术。如美国的 LCLS-II (Linac Coherent Light Source-II), 其已计划采用 1 300 MHz 的超导腔来实现 4 GeV、0.3 mA 高重复频率(兆赫兹以上)的束流^[1]; 欧洲的自由电子激光 EURO-XFEL (European X-ray Free Electron Laser), 其已采用了 1 300 MHz 超导腔实现脉冲型硬 X 射线 FEL 出光^[2]; 还有美国 CORNELL 大学的 ERL 光源,在多年预研的基础上其研究机构确定了适合强流的 1 300 MHz 7-cell 超导腔的腔型结构^[3]。

中国科学院上海应用物理研究所已经在深紫外自由电子激光方面取得了显著的成果^[4],不久必将开展连续波或者高重复频率运行的自由电子激光技术研究。为实现连续波自由电子激光的高效率粒子加速,相关的超导腔是其唯一的选择。结合已有的研究基础,本文主要设计了一种可工作在 ERL 型 FEL 装置上的 1 500 MHz 的 5-cell 超导腔 SH-ERL

(Cavity for Shang Hai ERL), 并通过模拟结果表明,该超导腔能够满足连续波或高重复频率稳定运行的要求。

1 频率选择

超导高频腔的工作频率对腔体的性能参数和体积大小有巨大影响,因此在频率的选择上需综合考虑加速性能与制造、运行成本。在频率的选择上首先参照当年 TESLA 的报告,其显示 1 500 MHz 为最优频率^[5],但是 TESLA 由于其 1 300 MHz 的功率源技术更成熟,选择了 1 300 MHz 作为工作频率。其次,固定平均加速梯度下,单位长度的热负载与频率成反比,如下:

$$P_{\text{diss}} \propto \frac{E_{\text{acc}}^2}{\frac{R}{Q} \times Q_0} \times \frac{1}{f} \quad (1)$$

式中, P_{diss} 为热损耗; E_{acc} 为平均加速梯度; R/Q 为腔特性阻抗,只与腔形状有关。选择高频率可以降低单位长度的热损耗。采用的谐振频率越高,腔体表面积越小,腔的成本因加工所消耗铌材减少而降低。同时更小的腔体积也使得高温处理和相关测试的操作相对简单。并且,中国科学院上海应用物理研究所已经在 250 MHz 频段的 VHF (Very High

国家自然科学基金(No.11335014)资助

第一作者: 杨峻, 男, 1990 年出生, 2008 年毕业于山东大学, 现为硕士研究生, 研究领域为核技术应用

通讯作者: 刘建飞, E-mail: liujianfei@sinap.ac.cn

收稿日期: 2015-02-11, 修回日期: 2015-04-13

Frequency)电子腔与 500 MHz 单 cell^[6]和 5-cell^[7]的超导腔上开展研究与实验,它们可用作 1 500 MHz 超导加速腔的电子源和注入器。从另一方面考虑,选择相对高的频率虽然也造成了相对高的表面 BCS 电阻,但是可以通过降低工作温度或采用新的表面处理^[8],如氮掺杂^[9]和高温处理的方法降低表面 BCS 电阻。基于以上因素,本文选择 1 500 MHz 作为主加速器的工作频率。

2 腔型设计的目标与要求

腔型优化希望达到更小的损耗、更高的加速梯度,并且避免场致发射等限制超导腔加速性能的因素。超导腔的低温损耗可由式(2)给出:

$$P_{\text{diss}} = \frac{R_s \times V_c^2}{\frac{R}{Q} \times G} \quad (2)$$

式中, P_{diss} 为功率损耗; V_c 为加速腔压; R_s 为表面电阻。根据式(2), $G \times R/Q$ 值越高^[3], 损耗越小。

但是让所有的高频(Radio Frequency, RF)参数同时达到最优值是不可能的,因此对于不同机器参数的超导腔,腔的优化设计需要在保持其他高频参数在可以接受的范围时侧重追求某一高频参数。当前国际上 L 波段腔型按照优化高频参数的不同侧重方向分为三类: (1) 低功率损耗腔型(Low Loss Type), 如 CEBAF 升级改造项目中的腔型^[10]和 Sekutowicz 为 ILC 设计的腔型^[11]; (2) 最小化 $E_{\text{pk}}/E_{\text{acc}}$ 参数以降低场致发射可能性的腔型(超导腔在 $15\text{--}20 \text{ MV}\cdot\text{m}^{-1}$ 的中等加速梯度区间运行容易发生场致发射^[3], 所以运行在中等加速梯度区间的腔型更加侧重最小化 $E_{\text{pk}}/E_{\text{acc}}$ 参数), 如 TESLA^[12]和 CORNELL 大学为 ERL 设计的腔型^[3]等; (3) 具有最小化的 $B_{\text{pk}}/E_{\text{acc}}$, 以实现更高加速梯度的腔型, 如 CORNELL 大学的重入式腔^[13]等。

本文设计的 1 500 MHz 5-cell 超导腔运行时的加速梯度选择为 $15\text{--}20 \text{ MV}\cdot\text{m}^{-1}$ 的中等加速梯度区间, 参数优化时侧重最小化 $E_{\text{pk}}/E_{\text{acc}}$, 以降低场致发射的风险。综合考虑下提出目标和要求为: (1) $E_{\text{pk}}/E_{\text{acc}} \leq 2.1$; (2) $B_{\text{pk}}/E_{\text{acc}} \leq 4.3 \text{ mT}/(\text{MV}\cdot\text{m}^{-1})$; (3) 尽量高的 $G \times R/Q$; (4) 满足强流 ERL 对高次模抑制的要求; (5) 曲率半径大于 6 mm (小于 6 mm 难以加工)^[3]。

针对 SH-ERL 设计的具体目标和要求, 首先使用 Superfish 对腔型进行优化设计; 然后用 CST (Computer Simulation Technology)微波工作室来对

高次模进行分析; 最后用 Multipac 对超导腔的二次电子倍增进行检验。本文最终目的是通过一系列模拟运算, 使该超导腔能够满足连续波或高重复频率稳定运行的要求。

2.1 中间腔的优化设计

使用 Superfish 软件来进行腔型的模拟计算以初步确定其高频参数, 为 SH-ERL 设计的 1 500 MHz 中间腔示意图如图 1 所示。

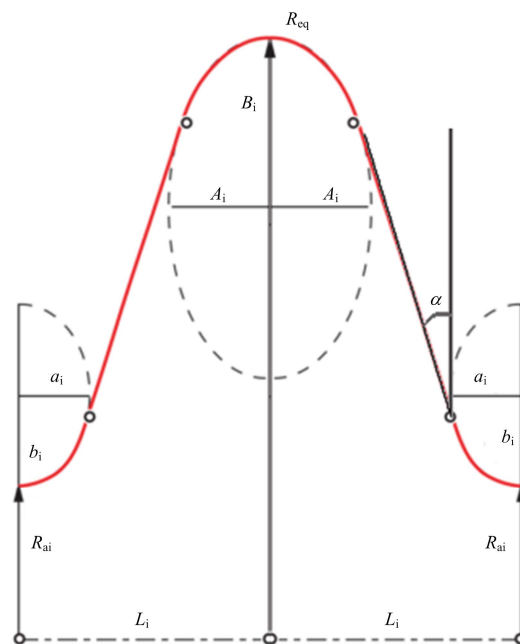


图 1 中间腔腔型示意图
Fig.1 Schematic of a middle cell.

如图 1 所示, R_{eq} 表示赤道半径, R_{ai} 表示束孔半径, A_i 、 B_i 、 a_i 、 b_i 分别表示腔型的赤道处椭圆以及束孔处椭圆横纵半轴, L_i 表示腔型的半腔长度, α 为倾斜角。通过单独改变每个几何参数, 并调整 R_{eq} 使得基模频率为 1 500 MHz, 得到各几何参数的变化对高频参数的影响如图 2 所示。

由图 2(a)所示, R/Q 在 a_i 取 10–11 mm 处会取得一个最大值。腔型模拟结果在该区间达到最小的腔耗, 因此 a_i 取值在 10–11 mm。由图 2(b)所示, $B_{\text{pk}}/E_{\text{acc}}$ 、 $E_{\text{pk}}/E_{\text{acc}}$ 分别在赤道椭圆椭圆率 e_{equator} 为 0.85 和 0.9 附近取得最低值。 e_{equator} 取值选为 0.85–0.9 时设计出腔型能够有更高的加速梯度。由图 2(c)所示, 束孔孔径椭圆椭圆率 e_{iris} 小于 1.75 时, $E_{\text{pk}}/E_{\text{acc}}$ 最小, 能更好地降低场致发射的风险。所以 e_{iris} 取值选在 1.65–1.75。由图 2(d)所示, $E_{\text{pk}}/E_{\text{acc}}$ 在 α 大于 12° 时显著减小。为降低场致发射的风险, α 取值为 $12^\circ\text{--}14^\circ$ 。基于以上分析, 中间腔腔型几何尺寸参数取值如表 1 所示。

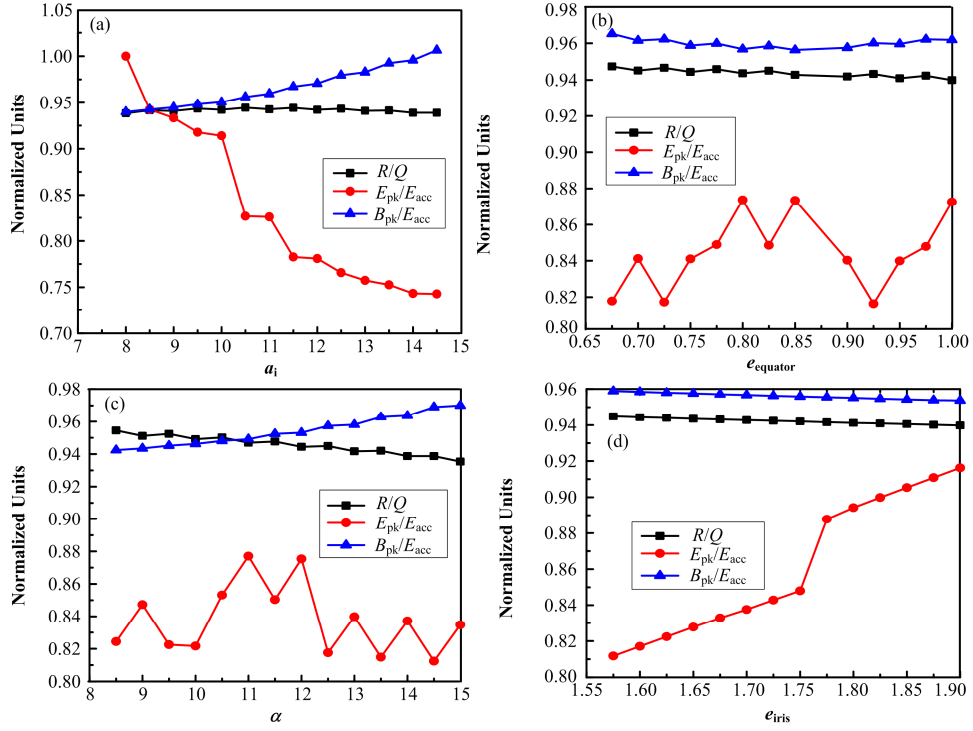


图 2 a_i (a)、 $e_{equator}$ (b)、 α (c)、 e_{iris} (d)变化对超导腔高频参数影响
Fig.2 RF parameters as a function of a_i (a), $e_{equator}$ (b), α (c), e_{iris} (d).

表 1 中间腔腔型尺寸参数
Table 1 Dimensions of a middle cell.

参数 Parameters	R_{eq} / m	A_i / mm	B_i / mm	a_i / mm	b_i / mm	R_{ai} / mm	L_i / mm
数值 Values	89.16	35.84	30.83	10.70	18.32	31.18	49.97

2.2 端 cell 优化设计

多 cell 超导腔中, 端 cell 连接中间腔和束管部分。在端 cell 的设计上不仅需要将腔体频率维持在 1 500 MHz, 而且要满足场平坦度良好^[14]的要求, 还需要考虑如何更好地将高次模(Higher Order Mode, HOM)传输出超导腔。另外在具体优化过程中, 因端 cell 连接中间腔, R_{eq} 固定不变, 需通过改变 L_e 将频率调节到 1 500 MHz。图 3 为采用扩大束管传输高次模方案的端 cell 腔型示意图, 其中 A_e 、 B_e 、 a_e 、 b_e 分别表示腔型端 cell 的赤道处椭圆以及束孔处椭圆横纵半轴, L_e 表示腔型的半腔长度, a_i 、 b_i 、 c 、 R_{bp} 表示束管过渡段的结构参数。扩大束管传输高次模原理为: 通过选择合适的束管半径, 使得束管截止频率低于高次模的谐振频率, 让高次模能够传出腔体被高次模吸收器吸收。据式(3):

$$f_c = \frac{c}{2\pi r} X \quad (3)$$

式中, f_c 为束管截止频率; c 为光速; r 为束管半径;

X 对于 TM 波为 ν_{nm} , 对于 TE 波为 μ_{nm} 。最低频率的高次模频率约为 1 820 MHz, 将其代入式(3)计算得到束管半径为 47.67 mm。

由于不对称的端 cell 设计有利于将高次模传出超导腔^[15], 本文采用不对称端 cell 设计结构。几何尺寸取值如表 2 所示。

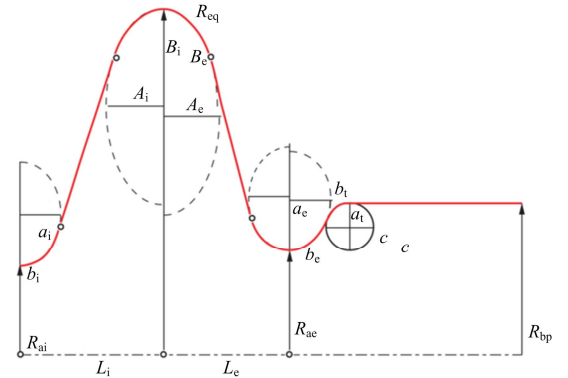


图 3 端 cell 腔型示意图
Fig.3 Schematic of an end cell.

表 2 端 cell 尺寸参数
Table 2 Dimensions of end cells and beam pipes.

参数 Parameters	R_{eq} / mm	A_i or A_e / mm	B_i or B_e / mm	a_i or a_e / mm	b_i or b_e / mm	R_{ai} or R_{ae} / mm	L_i or L_e / mm
左 Left	89.16	35.93	35.10	10.83	21.05	31.20	50.21
右 Right	89.16	35.46	35.15	10.86	20.81	31.20	49.50

2.3 腔数目的选择与高次模分布

优化腔型结构时一方面希望尽可能地提高加速模式性能, 另一方面需要尽可能地降低高次模对带电粒子束的不利影响, 尤其是强流 ERL 对高次模的抑制比直线加速器要求更高。随着腔体 cell 数目的增加, 虽然腔体有效加速长度增加, 但是高次模将会更难被耦合出腔体^[16]。所以腔体数目的选择需要在更高的有效加速长度与更好的高次模的抑制之间进行权衡考虑。

针对于 ERL 的特点, 参考 CORNELL 大学 ERL 对高次模阻尼的要求: 其认为如果偶极模的外部品质因子(Q_e)小于 10^4 , 四极模的外部品质因子小于 10^{10} , 那么高次模对于束流的影响可以忽略^[17]。而在给定的 ERL 机器物理参数下束流崩溃不稳定性阈值电流 I_{th} (式(4)), 如需得到百毫安量级的阈值电流以满足运行要求, 根据 Cornell 大学提出的判据^[17], 对于偶极模, 如式(5)所示, 对于四极模, 如式(6):

$$I_{th} \propto \frac{1}{\frac{R}{Q} \times Q_e} \quad (4)$$

$$\left(\frac{R}{Q}\right) \frac{Q_e}{f} < 1.4 \times 10^5 \quad (5)$$

$$\left(\frac{R}{Q}\right) \frac{Q_e}{f} < 4 \times 10^6 \quad (6)$$

本文使用 CST 微波工作室进行模拟计算, 建立的 5-cell 模型如图 4 所示, 束管端假设为加载了理想高次模吸收器。

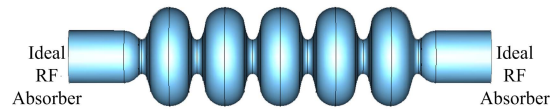


图 4 用来计算外部品质因子的微波工作室模型
Fig.4 Microwave studio model for Q_e calculation.

通过 CST 计算了 cell 数目分别为 5、7、9 的腔典型高次模的外部品质因子 Q_e 与特性阻抗 R/Q , 计算结果见表 3 和图 5。表 3 给出了 cell 数目分别为 5、7、9 的腔典型高次模外部品质因子分布。由表 3 可以看出, 对于同一模式, 随着 cell 数目的增大, 高次模的外部品质因子相应升高。虽然表 3 中所有腔型的四极模的外部品质因子都小于 10^{10} , 但只有 cell 数目选择为 5 时偶极模的外部品质因子都小于 10^4 。

表 3 不同 cell 数高次模的外部品质因子
Table 3 External quality factor of the higher order modes in cavities with different cell numbers.

模式 Modes (lowest)	Cell 数目 Number of cells	频率 Frequency / MHz	外部品质因子 External quality factor
TE ₁₁₁	5	1 825	4.35×10^3
	7	1 821	1.09×10^4
	9	1 819	2.18×10^4
TM ₁₁₀	5	1 854	8.79×10^2
	7	1 837	2.39×10^3
	9	1 830	5.01×10^3
TE ₂₁₁	5	2 607	3.79×10^7
	7	2 605	1.02×10^8
	9	2 605	2.14×10^8
TM ₂₁₀	5	2 614	9.33×10^6
	7	2 612	2.91×10^7
	9	2 610	6.11×10^7

腔 cell 数目选择为 5 时 $(R/Q) \times (Q_e/f)$ 的分布如图 5 所示。由图 5 可见, 偶极模的 $(R/Q) \times (Q_e/f)$ 均小于 10^5 , 四极模的 $(R/Q) \times (Q_e/f)$ 均小于 10^6 。所以 1 500 MHz 的 5-cell 新腔型的高次模能够满足束流崩溃不稳定性的百毫安量级电流阈值要求。

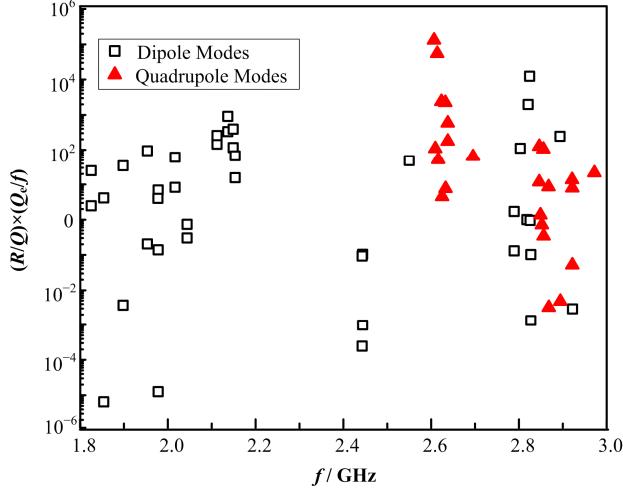


图 5 SH-ERL 腔偶极模与四极模的 $(R/Q) \times (Q_e/f)$ 分布图
Fig.5 $(R/Q) \times (Q_e/f)$'s spectra of the dipole higher order modes (HOMs) and the quadrupole HOMs in SH-ERL cavity.

另外, 如式(7)定义的腔敏感系数 α_s 高低会影响腔内场平坦度和加工公差的要求高低, 其数值越低越好^[18]。

$$\alpha_s = \frac{N^2}{\beta k_{cc}} \quad (7)$$

式中, k_{cc} 为腔间耦合系数, 由 cell 尺寸决定; N 为 cell 数目; 加速粒子为电子时 $\beta=1$ 。从式(7)可见, 对于确定 k_{cc} 的腔型结构 N 越大, 敏感系数 α_s 越大。所以综合考虑有效加速长度、ERL 对高次模阻尼的要求以及敏感系数, 本设计的超导腔 cell 数目选择为 5。

当超导腔腔型几何尺寸及 cell 数目确定后, 可采用 Superfish 模拟进行计算, 所得到的 SH-ERL 超

导腔加速模 $TM_{010}-\pi$ 的电场分布如图 6(a), 相应轴向场分布如图 6(b)。通过轴向场分布计算可得其场平坦度为 98%。

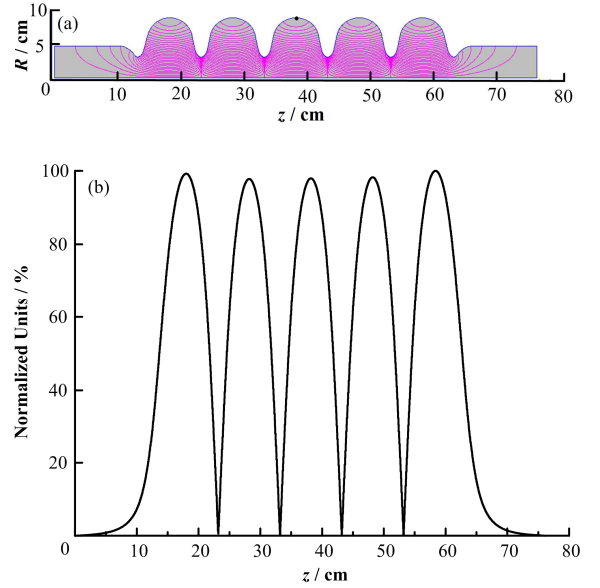


图 6 Superfish (field flatness=98%) 1 500 MHz 5-cell 腔型的电场分布(a)和轴向场分布(b)

Fig.6 Electric field distribution (a) and on-axis field profile (b) of the 1 500 MHz 5-cell cavity calculated by Superfish (field flatness=98%).

通过一系列优化设计, 得到的 1 500 MHz 5-cell 超导腔的主要高频性能参数如表 4。将新腔型高频性能参数与国际上主流的 L 波段超导腔进行比较, 主要高频性能参数基本相当。SH-ERL 腔保持了较低的表面峰值场强与平均加速梯度的比值为 $E_{pk}/E_{acc}=2.06$, $B_{pk}/E_{acc}=4.22 \text{ mT}/(\text{MV} \cdot \text{m}^{-1})$, 同时 $G \times R/Q$ 值较高。

表 4 不同腔型高频参数对比
Table 4 RF parameters comparison of different cavities.

	$R/Q / \Omega$	cell $R/Q / \Omega$	G / Ω	$G \times R/Q / \Omega^2$	E_{pk}/E_{acc}	B_{pk}/E_{acc} / mT/(MV·m ⁻¹)	f / MHz
SH-ERL 5-cell	550	110	272.69	149 980	2.06	4.22	1 500.07
TESLA 9-cell	1 012	112	271.30	274 619	2.00	4.21	1 300.12
CEBAF LL 7-cell	891	127	281	250 371	2.17	3.74	1 497
CORNELL 7-cell	771	110	272.61	210 367	2.06	4.21	1 300.10

还用 ABCI (Azimuthal Beam Cavity Interaction) 计算了不同束团长度下腔的纵向损耗因子, 不同束团长度的纵向损耗因子如图 7 所示, 可通过纵向损

耗因子计算高次模功率如式(8)所示:

$$P_{\text{HOM}} = k_{//} I_b Q_b - I_b Q_b \left(\frac{\omega R}{4Q} \right)_{\text{accl}} \quad (8)$$

式中, P_{HOM} 为高次模功率; $k_{//}$ 为纵向损耗因子; ω 为角频率; $\left(\frac{\omega R}{4Q} \right)_{\text{accl}}$ 为加速模式的损耗因子。

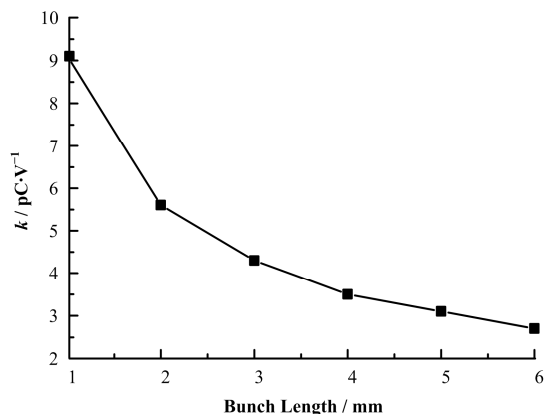


图 7 ABCI 中 SH-ERL 腔对于不同束团长度的损耗因子
Fig.7 Integrated loss factor for the SH-ERL cavity with different bunch lengths calculated by ABCI.

2.4 二次电子倍增

在超导腔的优化设计过程中还需要考虑一些限制超导腔加速性能的因素, 其中二次电子倍增会吞噬高频能量和引起高能部分(比如耦合器、窗口、高流强超导腔)崩溃。为检查二次电子倍增是否发生, 本文使用 Multipac 2.1 来模拟腔内的二次电子倍增效应。设置二次电子碰撞次数为 30 时计算得到: 在峰值电场 $0\text{--}40\text{ MV}\cdot\text{m}^{-1}$ 区间表征二次电子发射系数的参数 $e_{30}/c_0 < 1$ 。该结果表明在 1 500 MHz 5-cell SH-ERL 超导腔中不会发生二次电子倍增。

3 结语

本文针对 SH-ERL 上的主直线加速器对超导腔的需求, 设计了一种 1 500 MHz 5-cell 新型超导腔。其加速模特性阻抗 $R/Q=550\ \Omega$, 并且在良好抑制高次模的同时保持了较低的表面峰值场强 $E_{\text{pk}}/E_{\text{acc}}=2.06$, $B_{\text{pk}}/E_{\text{acc}}=4.22\text{ mT}/(\text{MV}\cdot\text{m}^{-1})$ 。主要高频参数与国际上主流的 L 波段超导腔相当。

本文还对 1 500MHz 5-cell SH-ERL 超导高频腔的高次模进行了初步的分析。分析了 SH-ERL 腔典型偶极模(TE_{111} , TM_{110})、四极模(TE_{211} , TM_{210})的外部品质因子, 判断出其能达到 ERL 高次模抑制要求(偶极模外部品质因子 Q_e 大于 10^4 , 四极模外部品质因子 Q_e 大于 10^{10})。并通过进一步对高次模的 $(R/Q)\times(Q_e/f)$ 值计算表明新腔型还能够满足 ERL 百毫安量级阈值电流的要求。

参考文献

- Galayda J. The LCLS-II project[C]. Processing of Conference TUCA01, 2014
- Schneidmiller E A, Yurkov M V. Photon beam properties at the European XFEL[R]. Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg, Germany, 2011
- Valles N. The main linac cavity for Cornell's energy recovery linac: cavity design through horizontal cryomodule prototype test[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2014, **734**: 23–31
- 王兴涛, 兰太和, 刘波, 等. 上海深紫外自由电子激光装置(SDUF-FEL)种子激光传输与注入系统[J]. 核技术, 2013, **36**(5): 050103
WANG Xingtao, LAN Taihe, LIU Bo, *et al.* Seed laser transmission and injection system for the Shanghai Deep-Ultraviolet Free-Electron Laser test facility[J]. Nuclear Techniques, 2013, **36**(5): 050103
- Edwards D A. TESLA test facility linac: design report[M]. Version 1.0. Hamburg: Dt. Elektronen-Synchrotron, 1995
- Liu J F, Hou H T, Mao D Q, *et al.* Great progress in developing 500 MHz single cell superconducting cavity in China[J]. Science China Physics, Mechanics and Astronomy, 2011, **54**(2): 169–173
- Hou H T, Ma Z Y, Mao D Q, *et al.* Studies of LL-type 500 MHz 5-cell superconducting cavity at SINAP[J]. Chinese Physics C, 2015, **39**(4): 047001
- Ma Z Y, Liu J F, Hou H T, *et al.* Surface preparation processing for superconducting cavities[J]. Nuclear Science and Techniques, 2014, **25**: 060102
- Grassellino A, Romanenko A, Sergatskov D, *et al.* Nitrogen and argon doping of niobium for superconducting radio frequency cavities: a pathway to highly efficient accelerating structures[J]. Superconductor Science and Technology, 2013, **26**(10): 102001
- Daly E F, Campisi I E, Henry J, *et al.* Improved prototype cryomodule for the CEBAF 12 GeV upgrade[C]. Particle Accelerator Conference, Proceedings of the IEEE, 2003, **2**: 1377–1379
- Sekutowicz J, Ko K, Ge L, *et al.* Design of a low loss SRF cavity for the ILC[C]. Particle Accelerator Conference, Proceedings of the IEEE, 2005: 3342–3344
- Aune B, Bandelmann R, Bloess D, *et al.* Superconducting TESLA cavities[J]. Physical Review Special Topics-Accelerators and Beams, 2000, **3**(9): 092001
- Geng R L. Review of new shapes for higher gradients[J].

- Physica C: Superconductivity, 2006, **441**(1): 145–150
- 14 Tang Z B, Liu J F, Hou H T, *et al.* Frequency control and pre-turning of a large aperture 500 MHz 5-cell superconducting RF cavity[J]. Nuclear Science and Techniques, 2014, **25**(3): 030102
- 15 Li Y M, Zhu F, Quan S W, *et al.* The design of a five-cell high-current superconducting cavity[J]. Chinese Physics C, 2012, **36**(1): 74–79
- 16 Liepe M, Knobloch J. Superconducting RF for energy-recovery linacs[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2006, **557**(1): 354–369
- 17 Valles N, Liepe M. Seven-cell cavity optimization for Cornell's energy recovery linac[C]. Proceedings of SRF, 2009
- 18 Calaga R R. Linear beam dynamics and ampere class superconducting RF cavities@ RHIC[D]. New York: Stony Brook University, 2006

Simulation of a 1 500 MHz 5-cell superconducting cavity

YANG Jun^{1,2,3} MA Zhenyu^{1,3} WANG Yan^{1,3} HOU Hongtao^{1,3} LI Zheng^{1,3} LUO Chen^{1,3}
MAO Dongqing^{1,3} SHI Jing^{1,3} LIU Jianfei^{1,3}

¹(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Jiading Campus, Shanghai 201800, China)

²(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

³(Shanghai Key Lab of Cryogenics & Superconducting RF Technology, Shanghai 201800, China)

Abstract Background: Energy Recovery Linacs (ERLs) are being developed over the world to realize future light sources and other applications. **Purpose:** The aim is to design a new 1 500 MHz 5-cell superconducting cavity for main linac in the ERL. **Methods:** The new cavity geometry was optimized by several radio-frequency softwares. **Results:** The new cavity is endowed with the following advantages: with the R/Q of the fundamental mode TM_{010} to be 550 Ω , cryogenic losses could be reduced effectively; in order to reduce the risk of field emission, the parameters E_{pk}/E_{acc} , B_{pk}/E_{acc} were optimized respectively to 2.06 and 4.22; a larger beam pipe was employed to propagate the higher order modes (HOMs) out of the cavity, increasing the damping efficiently for the dangerous HOMs. **Conclusion:** It was found that radio frequency property of the new cavity could meet the requirements of ERL-based Free Electron Laser (FEL) very well.

Key words Accelerator, Superconducting cavity, Higher order modes, Simulation

CLC TL503.2