

中国第一台准环对称仿星器（CFQS）的物理和工程设计

许宇鸿¹, 刘海峰¹, 刘海¹, A. Shimizu², S. Kinoshita², M. Isobe², S. Okamura², M. Nakata², 尹大鹏³, 万艺³, 熊国臻¹, 张欣¹, 黄捷¹, 王先驱¹, 程钧¹, 唐昌建^{1,4} 及 CFQS 团队^{1,2}

¹西南交通大学物理科学与技术学院聚变科学研究所, 成都 610031

²国家自然科学研究院国家核融合科学研究所, 日本土岐市 509-5292

³科焯电物理设备制造有限公司, 合肥 230000

⁴四川大学物理学院, 成都 610041

Email: xuyuhong@swjtu.edu.cn

摘要：中国第一台准环对称仿星器（CFQS）是由中国西南交通大学（SWJTU）和日本国家核融合科学研究所（NIFS）共同设计和建造的聚变物理研究装置。该装置的物理和工程设计结合了当代托卡马克和仿星器的优点，具有目前国际上最先进的磁约束位形，从而为实现稳态高 β 等离子体提供了一种新的方案 [1,2]。通过对 CFQS 装置大半径、环径比、磁场强度、模块化线圈数目等参数的扫描，以及对各种不同参数下等离子体平衡、MHD 不稳定性、新经典和湍流输运等仿真计算和分析，最终确定最优化的参数为：大半径 $R_0=1$ m，环径比 $A_p=4$ ，磁场强度 $B_t=1$ T，模块化线圈数目 $N=16$ ，环向周期数 $N_p=2$ [3-5]。计算表明，由模块化线圈产生的磁面结构、旋转变换角 ι 、磁阱的空间分布以及磁场强度的傅里叶谱分布均与上述目标参数产生的结果相一致。从芯部到边界区，等离子体的旋转变换角设计值为 $2/6 \sim 2/5$ ，有利于避开低阶有理磁面及可能的撕裂模不稳定性。在整个等离子体区域均存在磁阱结构，从而有效致稳 MHD 不稳定性，并降低磁岛的宽度。计算表明在 β 值不超过 1% 的情况下，CFQS 装置的 MHD 平衡均保持稳定。此外，模拟结果显示 CFQS 中的新经典输运在 $1/\nu$ 区域与托卡马克中的新经典输运水平相当，而利用 GKV 代码估算的非线性湍流输运比托卡马克中略低。与此同时，CFQS 的模块化线圈、真空室和支撑系统等工程设计也已初步完成 [6]。

关键词：磁约束，仿星器，准环对称，CFQS，新经典输运，模块化线圈

参考文献：

- [1] S. Okamura *et al.*, “Confinement characteristics of the quasi-axisymmetric stellarator CHS-qa”, Nucl. Fusion 44, 575 (2004).
- [2] Y. Xu *et al.*, “Physical and Engineering Designs for Chinese First Quasi-axisymmetric Stellarator (CFQS)”, 22nd International Stellarator and Heliotron Workshop 2019 (Madison, WI, USA), invited.
- [3] H. F. Liu *et al.*, “Magnetic Configuration and Modular Coil Design for the Chinese First Quasi-Axisymmetric Stellarator”, Plasma and Fusion Research 13, 3405067 (2018).
- [4] A. Shimizu *et al.*, “Configuration Property of the Chinese First Quasi-Axisymmetric Stellarator”, Plasma and Fusion Research 13, 3403123 (2018).
- [5] M. Isobe *et al.*, “Current Status of NIFS-SWJTU Joint Project for Quasi-Axisymmetric Stellarator CFQS”, Plasma and Fusion Research 14, 3402074 (2019).
- [6] S. Kinoshita, G. Xiong *et al.*, “Engineering Designs of the Chinese First Quasi-axisymmetric Stellarator (CFQS)”, Plasma and Fusion Research 14, 3405097 (2019).

基金项目：国家自然科学基金项目（No. 11820101004）等