**Design and optimization of beam optics for a superconducting gantry applied to proton therapy**

用于质子治疗的超导机架设计和优化

**主要研究内容**

机架是质子治疗束线的一环，当前使用超导磁铁代替常温磁铁是未来机架发展的趋势。使用超导磁铁，可以减少机架的体积和重量。

华中科技大学正在建造一座质子治疗中心，同时也在研究新型超导机架，本论文基于19年初提出的超导机架一阶光学设计草图，通过分析高阶光学效应，优化束线布局，得到了动量接受度+/-8%的机架设计方案。

因为超导体的特性，超导磁铁的磁场难以快速调节，只有满足大动量接受度/抑制色散的超导机架，才能满足治疗时束流能量快速调节的要求。这既是设计的重心也是束线优化的难点。另一方面，大动量分散束流在弯转段横向位移大，需要考虑并消除高阶光学效应。

因此，论文首先研究了二阶光学下，六级磁场对高阶色散的影响，理论分析表明六级磁场只有放置在色散段（R16≠0）才能消除高阶色散（Txx6）。在此基础上，基于机架设计要求，利用 COSY Infinity多次迭代后，完成了机架束线的改进和优化。

新的机架束线采用对称设计，有利于抑制高阶效应。束线上移除了所有四极磁铁，偏转磁铁被分为两段，中间引入QS磁铁（四极场、六极场组合磁铁）控制包络和色散。

经过5阶粒子跟踪分析，机架动量接受度达到+/-8%。最后论文简要分析了CCT磁铁设计的特点和困难。

**创新点**

1. 提出了一个大动量接受度机架设计方案，使用组合磁铁AG-CCT和QS完成了紧凑性的设计。

2. 理论分析了六级磁铁消除二级色散的原理，并用于指导束线元件布局。

3. 对称性的束线布局和束流包络设计。