

CEPC探测器超导磁铁预研 计划

超导磁体工程中心

2016.6.6

目录

- 预研内容
- 经费预算
- 人员队伍
- 验收标准
- 场地需求

预研内容

- 超导电缆
- 模型线圈
- 线圈冷却
- 高温超导母排
- 吊装结构
- 失超保护
- 轭铁优化
- 巨型设备移位及准直
- 无轭铁磁铁设计研究

预研内容1—超导电缆

- 基于创新经费将完成十米级10000A覆铝电缆的预研工作。
- 下一步预研内容：
 - 1.百米级以上20000A覆铝长缆的预研：与国内单位合作，改进现有设备，增加超导电缆股数，研制收缆机，使之适合长缆制备；
 - 2.超导线圈自身电磁应力分析及克服（比较采用电子束焊接铝合金材料作为机械加强和新型含镍铝材料的覆铝工艺优缺点）
 - 3.超导电缆机械性能测试平台：基于现有设备进行改造和升级
 - 4.氦液化低温系统及氦回收系统：超导电缆及线圈测试用。液氦产量60升/h。配备相应压缩机、冷箱、回收用气囊、纯化器等，预计5年后该系统的价格会有所下降，初步预算为700万元。

预研内容2—模型线圈

- 预研目的：摸索大口径线圈的绕制工艺和真空浸胶工艺；线圈冷却方案验证；冷却管路焊接工艺预研；线圈机械结构对接和电气连接。
- 预研内容：
 - 1.大型绕线机预研：采用内绕工艺，支撑筒自动旋转。主要设备包括超导电缆的预弯，清洁，包绝缘和定位。寻找合作单位共同开发。预算：300万（参考BESIII绕线机支出96万）
 - 2.大型真空浸胶工艺：绕制好的线圈需要进行真空浸胶，浸胶方式：通过对线圈加电，使线圈本体升温至 140°C ，压力1mbar，加热固化。预算：150万元。
 - 3.超导电缆接头预研：超导接头制作采用焊接，接头电阻要求小于 10^{-9} 欧姆，为保证载流性能衰减在可控范围内，焊接温度，连接方式，焊接长度等都必须进行优化，并对接头性能进行检测。预算：50万
 - 4.模型线圈测试：包括载流能力测试、失超传播测试，冷却效果测试，线圈对接结构测试。建立低温测试杜瓦和高温超导电流引线等测试环境，对绕线工艺和浸胶工艺等进行验证。预算：超导电缆200万，线圈支撑筒200万，低温胶140万，测试杜瓦50万，测试阀箱100万，测试费50万，合计740万。（不含电源）



超导电缆定位

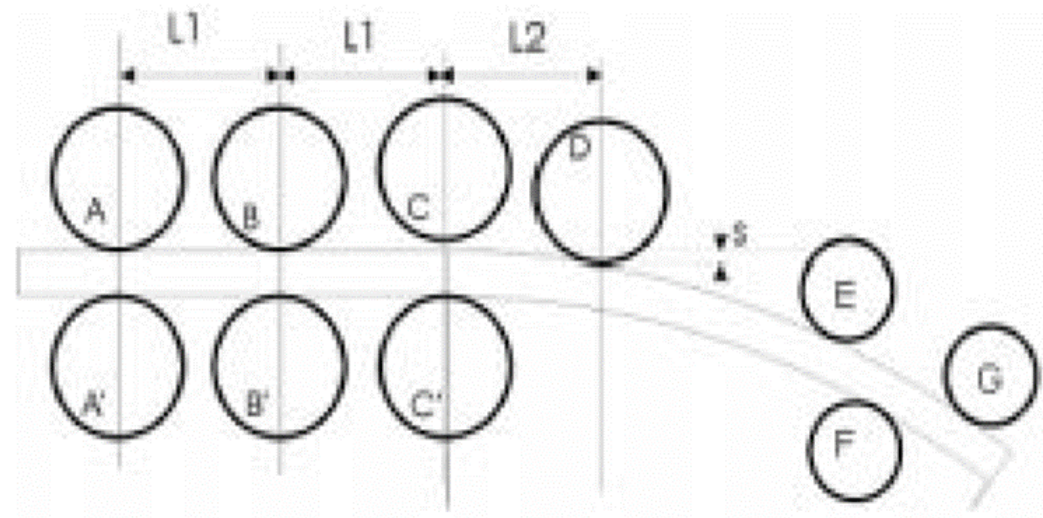


Fig. 4. Working principle of the two-step bending unit. Rollers A, A' drive the conductor. Rollers B, C' and D bend the conductor at a radius R_1 (Roller B' and C are not active). Rollers E, F and G bend the conductor at the final radius $R_2 < R_1$.

超导电缆预弯原理示意

预研内容3--线圈冷却方案

- 建立10:1尺寸液氦虹吸环路实验平台，预算395万。

1) 研究冷却过程、温度分布、压降、流动等性能；研究管路的布置及焊接组装工艺、液位变化对传热效果的影响；研究热虹吸管的启动、沸腾限、换热系数等关键参数。

2) 模拟大电感、较大磁场的磁体载荷与虹吸回路之间的相互作用（磁体直径1m，磁场强度约3T）。探究励磁、卸载、交流损耗、失超等工况，以便重点考虑在某些位置、某些工况下，热虹吸回路如何加强冷却，从而保证磁体的稳定条件。

3) 建立液氦温区下的虹吸回路流动模型，与实验结合，通过对模型模拟结果进行分析，分析得出流体流动特性、对流及沸腾方案。

4) 对虹吸回路中冷凝部分的换热器进行深化研究，探究氦在不同压力、不同传热温差条件下的冷凝过程机理，建立数学模型分析该冷凝过程的传热过程，推导理论关联式

- 基于模型线圈对热虹吸冷却方案进行验证。

预研内容4—高温超导母排

- 高温超导带材的选择研究；
- 大电流高温超导直流输电电缆的带材绕制工艺、失超探测和保护研究；
- 大电流引线中的高温超导段和超导电缆中的高温超导段之间的连接方式研究；
- 高温超导电缆和电源之间的连接方式研究

预研内容5—线圈吊装结构

- 超导磁体总体组装方案;
- 低温部分吊装结构;
- 吊杆设计及预研;

预研内容6—失超保护

- 泄能装置研究

CEPC超导磁体储能估算将达GJ量级，是目前的BESIII超导磁体的100倍以上，所以失超后泄能装置将是一个关键部件。主要方向为泄能热量的快速释放，虽然可依靠水冷装置的散热效应，但具体放能装置是否瞬间可承受G焦耳量级热量，仍需要材料方面研究。

- 失超判别研究

目前应用数字信号做智能化失超判别的方法较多，但完全用plc作为大型磁体失超探测和判断目前还没有，plc作为较成熟的工控产品，有较强的可靠性和抗干扰性，将其和目前的探测器超导磁体结合应用尚需进一步研究。

预研内容7—軋铁优化

- 1) 结合企业生产技术，进行结构优化设计，选定合适的钢板厚度参数；
- 2) 超厚板的复合

经过初步调研，目前国内生产的厚钢板厚度约400mm。通过该研究，研制出厚度超500mm、板幅及性能满足CEPC軋铁需求的超厚钢板。

- 3) 试样的选取

超厚钢板试样的选取要尽量不破坏材料性能，选取的试样其性能要能体现整板性能，达到考察材料一致性目的。

经费预算：172.5万。

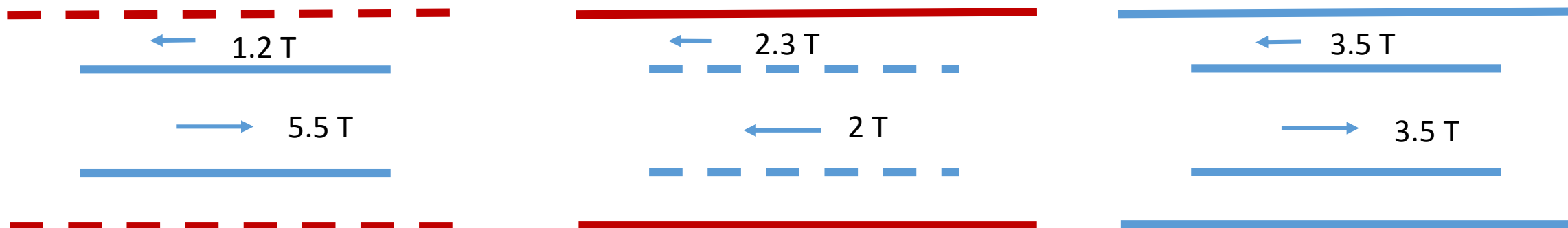
预研内容8—巨型设备移位及准直

1. 巨型设备的移动方式的选取，滑动或是滚动。
 - 1) 采用滑动方式需要解决：
 - a) 滑道材料的选取及其表面质量的确定；
 - b) 移动副的结构形式及材质；
 - c) 是否用润滑材料，润滑材料的选取。
 - 2) 采用滚动方式需要解决：
 - a) 滚道材料的选取及滚道表面质量的确定；
 - b) 滚子材料的选取，滚子数量及布置方式。
 2. 牵引力的准确测量。
 3. 托举装置及准直位置调整机构的选取。
- 经费预算：120万

预研内容9—无轭铁磁铁设计研究

工作原理：

- 内部线圈为主线圈，外部线圈为屏蔽线圈，产生反向的磁场，以抵消外侧磁场，减小漏磁。
- 两个线圈的磁场叠加在一起，共同产生目标磁场。原理如下图所示。



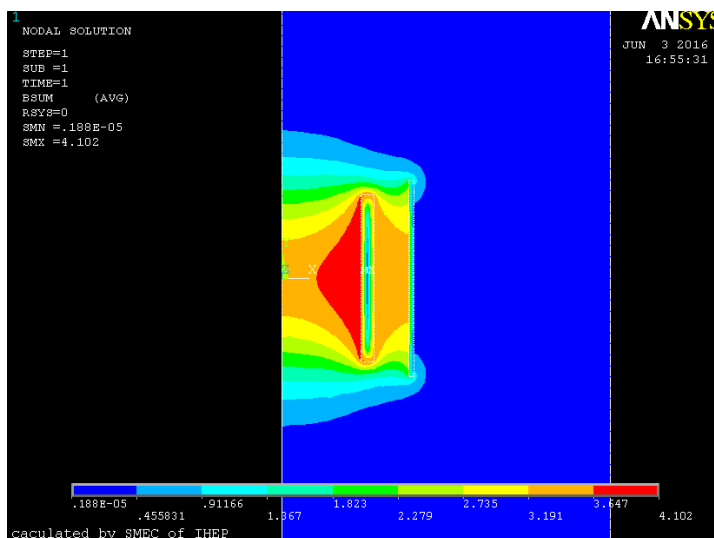
预研内容：

- 1.无轭铁磁铁设计方案优化（均匀度、漏场、成本、结构）
- 2.机械结构预研（线圈间电磁力克服）

经费预算：100万。

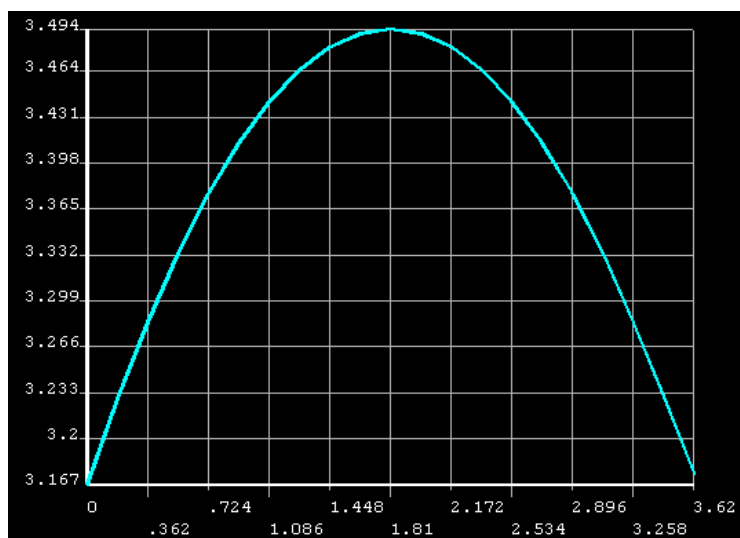
初步计算结果

两个螺线管的磁场分布图



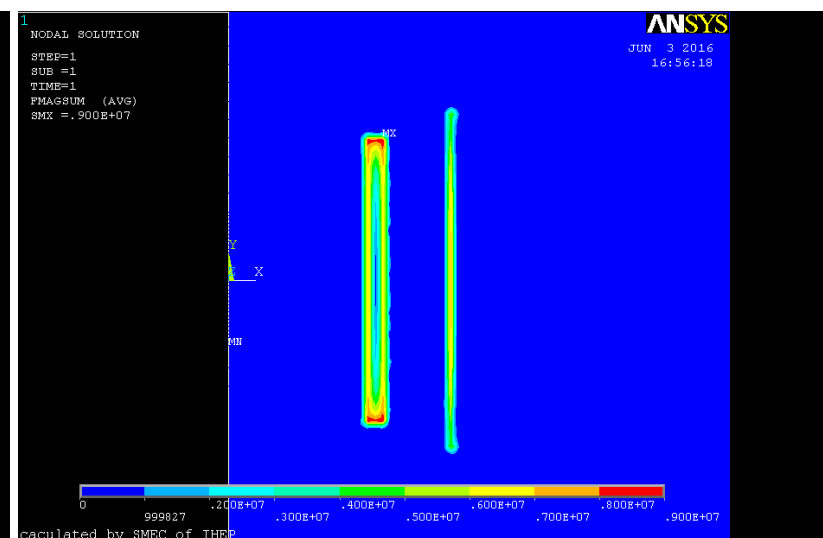
最高场强出现在内部螺线管中，约为3.4T，单个螺线管加铁轭设计方案的最高场强为3.85T，也出现在内部螺线管上。

螺线管中心轴线上的磁场强度



中心点的磁场强度为3.49T，均匀区内的最低磁场为3.17T，不均匀度约为9%。

螺线管上的电磁力分布图



最高的电磁力为 0.9×10^7 牛，即918.37吨

经费预算

	经费预算（万元）	备注
超导电缆	650	与相关单位合作（绞缆、覆铝、接头及相关测试）
模型线圈	1240	待定（绕线机+浸胶设备+模型线圈）
线圈冷却	506	与相关单位合作（1/10模型+模型线圈）
高温超导母排	146.1	待定（2米母排+接头）
吊装结构	50	与相关单位合作
失超保护	80	待定
轭铁优化	172.5	与相关单位合作
巨型设备移位及准直	120	待定
无轭铁磁铁设计研究	100	与相关单位合作
氦液化低温系统及氦回收系统	700	外协
合计：	3764.6	

人员队伍

编号	姓名	性别	职称	学位	电子邮件	身份证号码	每年工作时间（月）	
1	朱自安	男	研究员	学士	zhuza@ihep.ac.cn		8	
2	赵玲	女	高级工程师	硕士	zhaoling@ihep.ac.cn		8	
3	王美芬	女	副研究员	博士	wangmf@ihep.ac.cn		10	
4	侯治龙	男	高级工程师	博士在读	houlz@ihep.ac.cn		6	
5	宁飞鹏	男	助研	博士	ningfp@ihep.ac.cn		10	
6	张国庆	男	副研究员	博士	gqzhang@ihep.ac.cn		4	
7	刘钟秀	男	讲师	硕士	liuzx@mail.ihep.ac.cn		10	
8	杨欢	女	实验师	学士	liuzx@mail.ihep.ac.cn		10	
9	赵微	女	副研	博士	zhaow@ihep.ac.cn		8	
10	牟智慧	女	学生	工程硕士			10	
11	李文双	女	学生	联培硕士			10	
12	周谨	男	实验师		zhoujin@ihep.ac.cn		8	
13	刘旭阳	男	学生	博士			10	
14								

验收标准

- 1.百米级20000A铝基超导电缆；
- 2.绕线机一套；
3. 2米长高温超导母排一根；
- 4.合理的超导线圈电磁力克服方案、吊装方案、失超保护初步设计方案；
- 5.超导线圈绕制、真空浸胶工艺说明书；
- 6.无轭铁磁铁初步设计方案；

场地需求

- 场地大于10米X30米。
- 10吨（20吨）吊车，起吊高度大于10米。