



CEPC 主环双孔径二极铁 样机研制进展

合肥科烨电物理设备制造有限公司

2022年10月24日



□ 目录

1. 项目介绍及要求

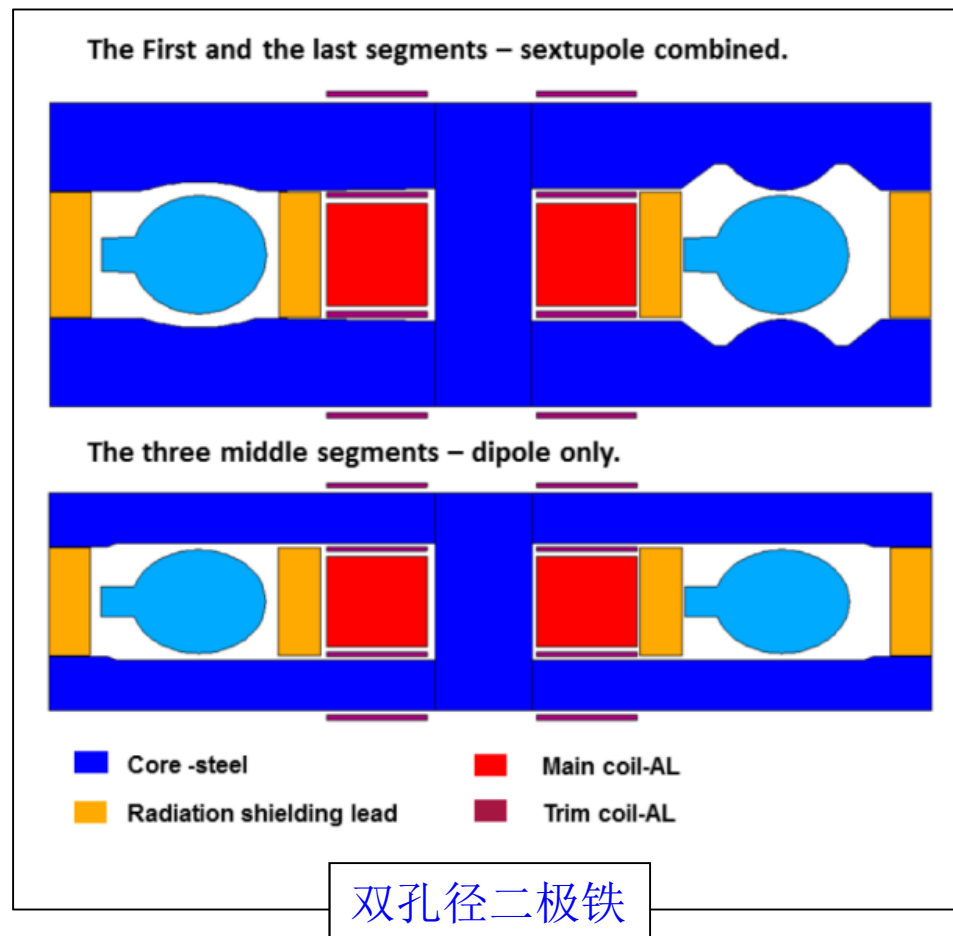
2. 双孔径二级铁设计方案介绍

3. 双孔径二级铁样机研制进展

1. 项目介绍及要求

□ CEPC主环二极磁体介绍

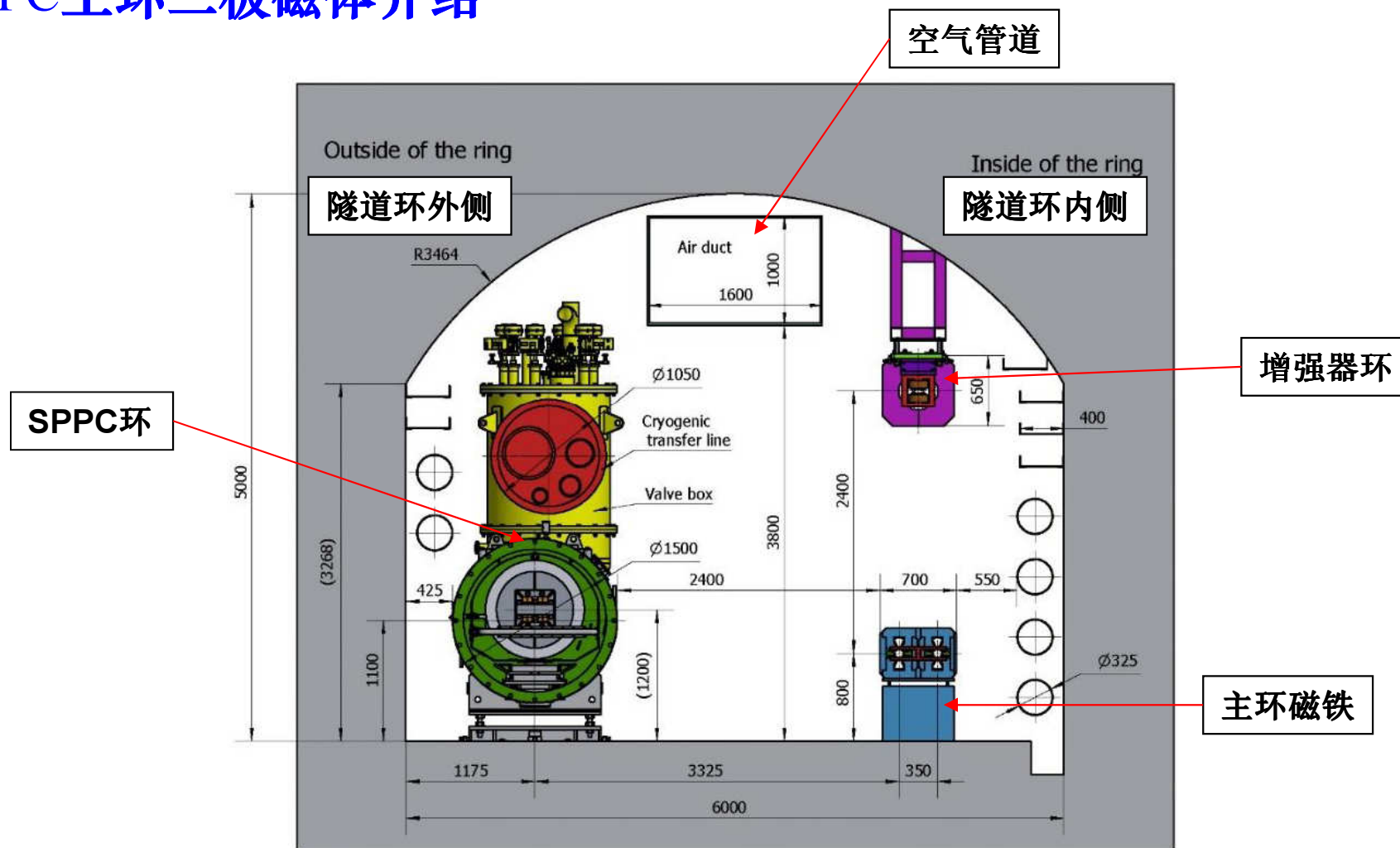
- 成本和功耗是磁铁设计中最重要两个问题，为了降低成本和功耗。
- 二极铁设计成双孔径磁铁，为两束光提供磁场。
- 用铝线圈代替铜线圈。
- 线圈的电流密度被设计为一个相对较低的值。





1. 项目介绍及要求

□ CEPC主环二极磁体介绍



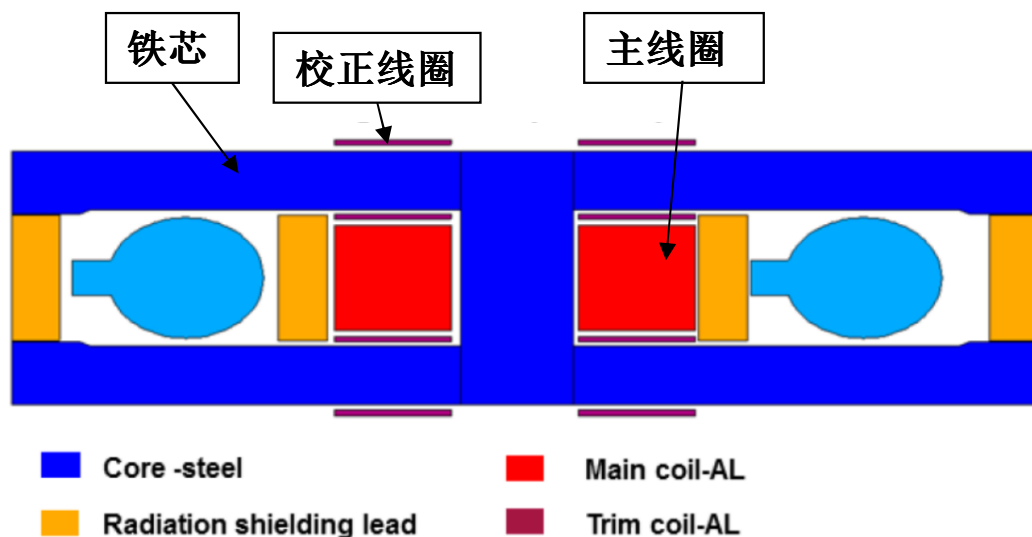
弧段区隧道截面

2. 双孔径二极铁设计方案介绍

2.1 双孔径二极铁设计要求及参数

CEPC主环双孔径二极磁铁基本要求

	主场	校正线圈
磁铁孔径(mm)	70	70
磁场强度(Gs)	140~575.72	2.1~8.6
好场区半宽度(mm)	13.5	13.5
磁场质量要求	$<3e-4$	
两个孔径内磁场强度差异	$<0.5\%$	

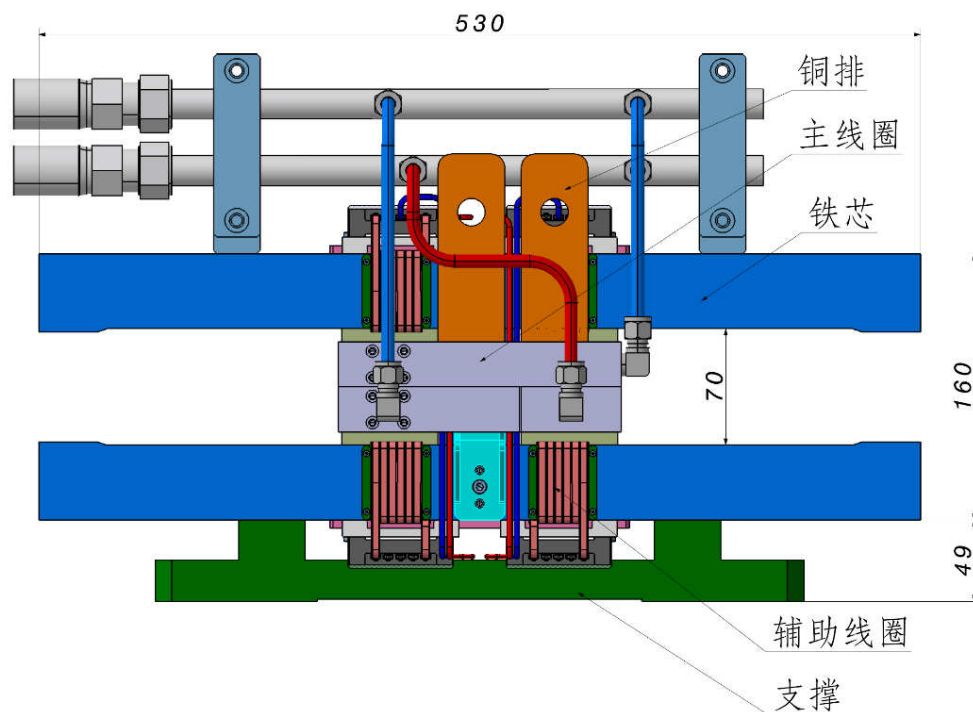


CEPC主环双孔径二极磁铁基本设计参数

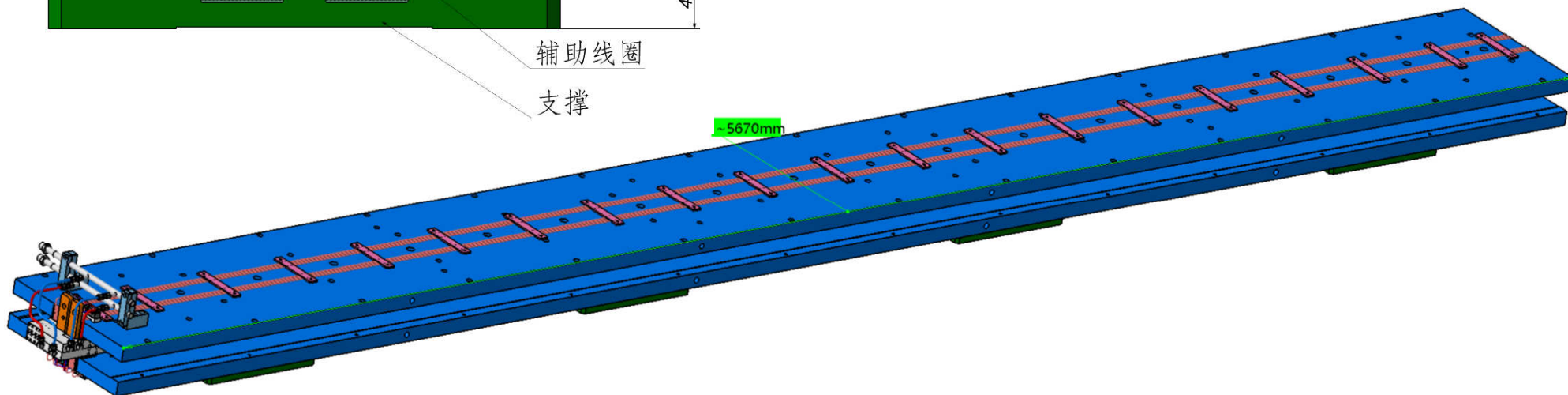
	主场	校正线圈
磁铁孔径(mm)	70	70
磁场强度(Gs)	575.72	8.6
励磁安匝数(A)	3210	24
线圈个数	1	4
线圈匝数	2	6
电流(A)	1605	4
导线材料	铝棒	铝导线
导线规格(mm)	60*27	2*5
中心水冷孔直径(mm)	5	0
面积(mm ²)	1580.7	10
电流密度(A/mm ²)	1.015	0.4
磁铁电阻(mΩ)	0.47	
校正线圈电阻(mΩ)/每孔径		444.6
励磁电压(V)	0.75	1.778
磁铁功耗(W)	1200	14.3
水压降(kg/cm ²)	6	
水流速(m/s)	3.6	
水流量(l/s)	0.14	
温升(°C)	3	
铁芯重量(t)	2.3	
导线重量(kg)	115	8.42
铁芯横向尺寸(mm)	530*160	
铁芯长度(mm)	5670	

2. 双孔径二极铁设计方案介绍

2.2 双孔径二极铁结构设计介绍



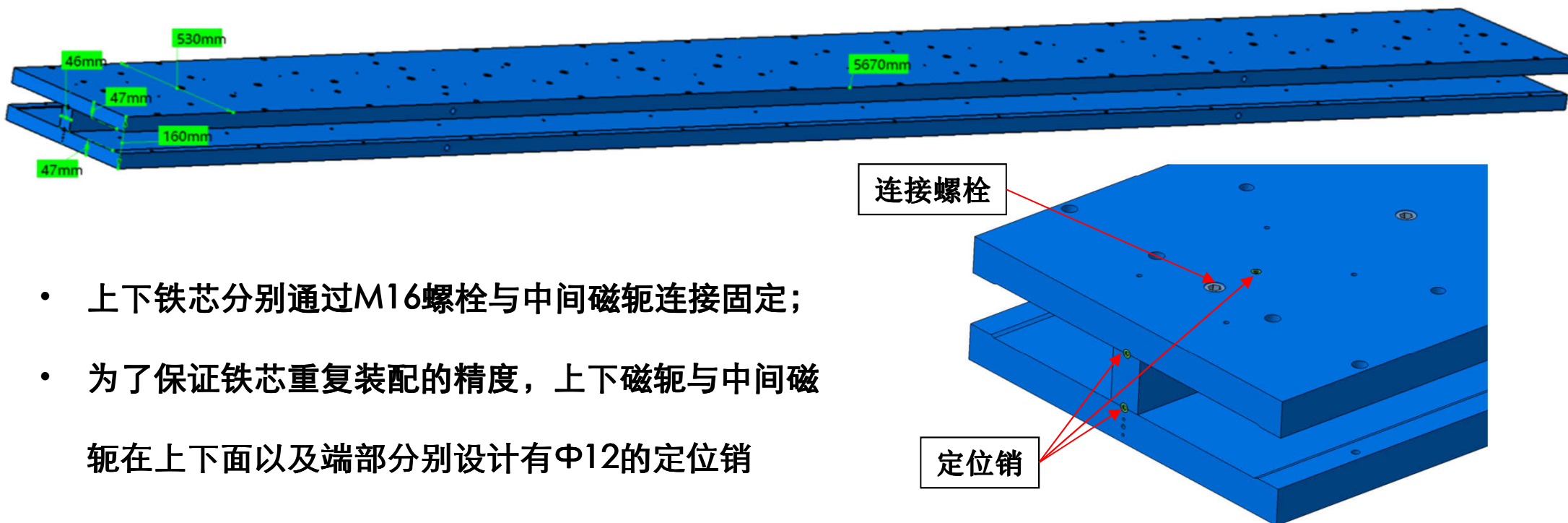
- 双孔径二极铁主要包括: 铁芯, 主线圈, 辅助线圈, 支撑, 铜排及引线等部件;
- 铁芯长度为5670mm;
- 磁铁的外形尺寸为: 5814*530*329mm (长*宽*高)。
- 磁体总重约为: 2.6t



2. 双孔径二极铁设计方案介绍

2.3 铁芯设计

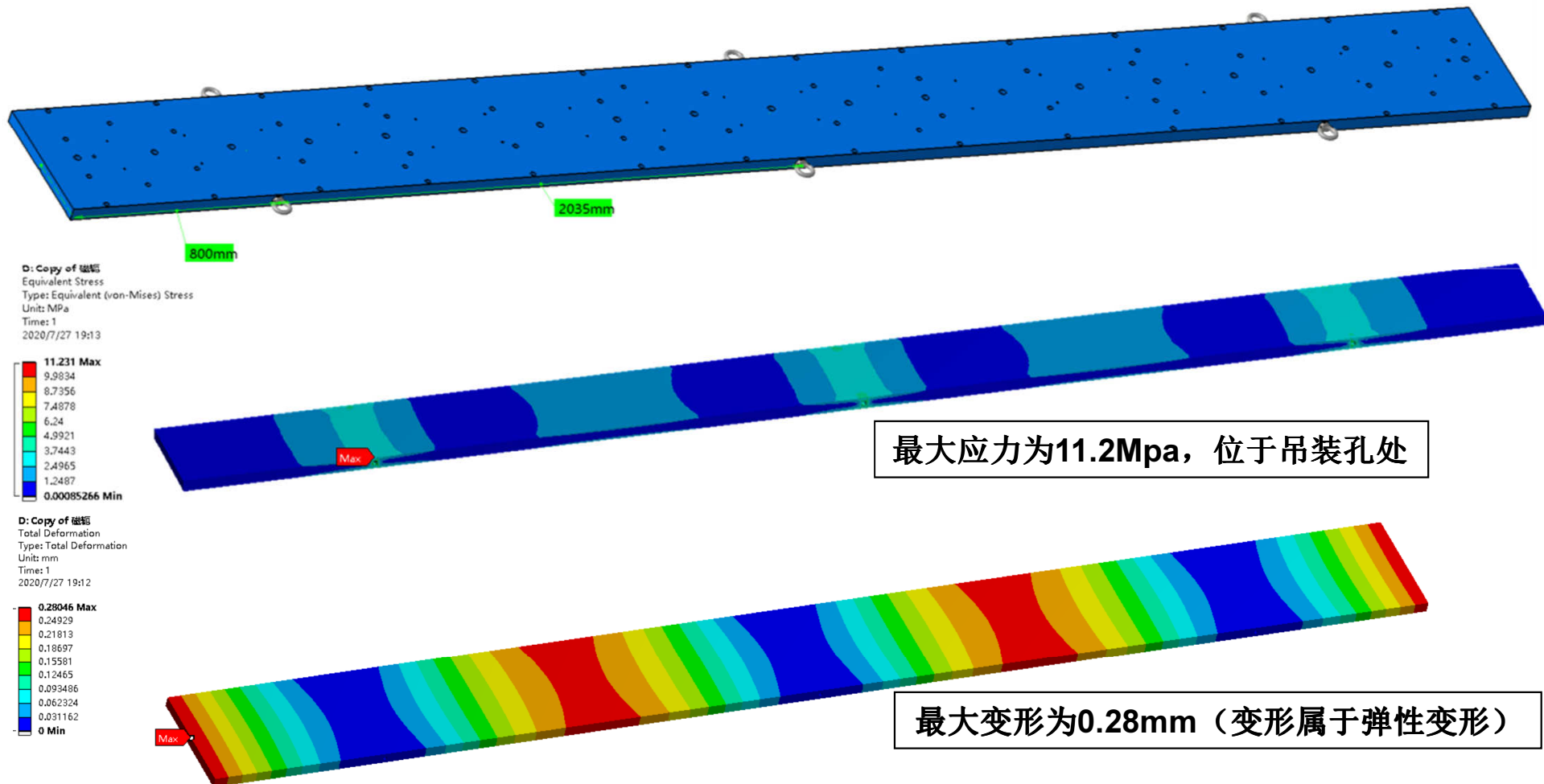
- 铁芯的尺寸如下图所示：上下铁芯的厚度为47mm，宽度为530mm；中间磁轭的厚度为46mm；铁芯材料为DT4，总重约为2266kg；
- 气隙为：70mm，铁芯的总长度为5670mm



- 上下铁芯分别通过M16螺栓与中间磁轭连接固定；
- 为了保证铁芯重复装配的精度，上下磁轭与中间磁轭在上下面以及端部分别设计有 $\Phi 12$ 的定位销

2. 双孔径二极铁设计方案介绍

- 铁芯两侧均设计有三个吊装点，用于铁芯零件的吊装和翻身加工；



2. 双孔径二极铁设计方案介绍

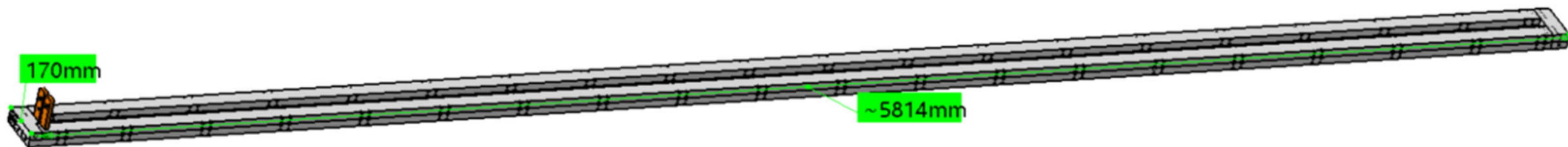
2.4 主线圈设计

主线圈设计参数	
主线圈材料	纯铝
线圈重量(kg)	105
导体截面尺寸(mm)	60*27
中心冷却孔直径(mm)	5
线圈长度(mm)	5814
电流密度(A/mm ²)	1.015
电流(A)	1605
线圈匝数	2
励磁电压(V)	0.75
线圈绝缘	陶瓷涂层

➤ 线圈绝缘设计

采用陶瓷涂层作为绝缘材料；

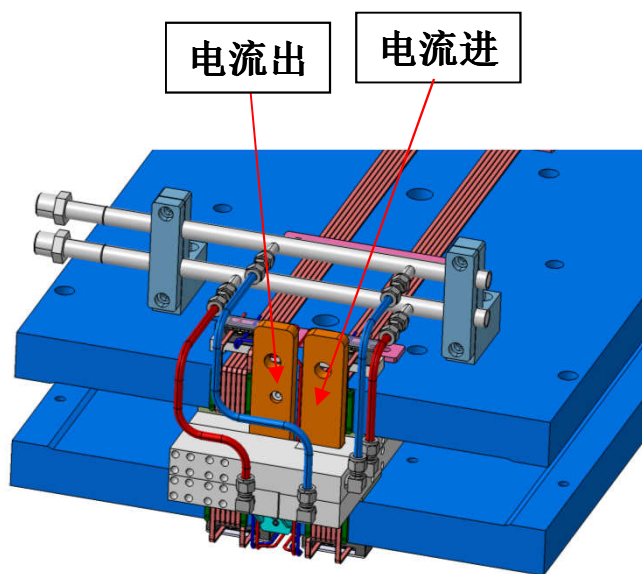
- 厚度300μm左右；
- 绝缘性能，耐压1000V。



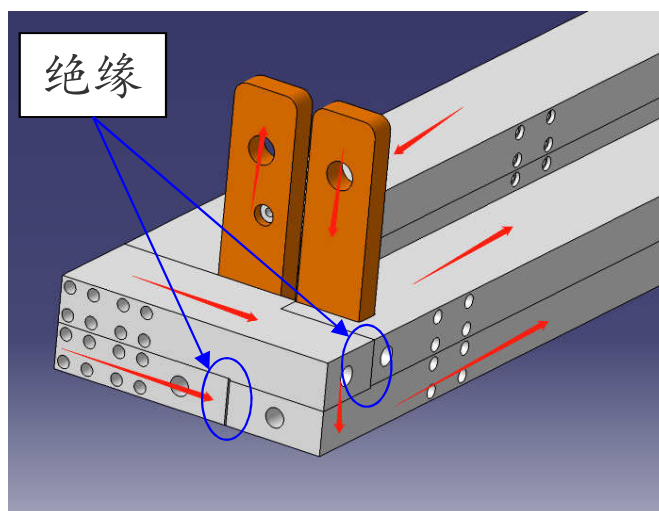
主线圈三维设计图

2. 双孔径二极铁设计方案介绍

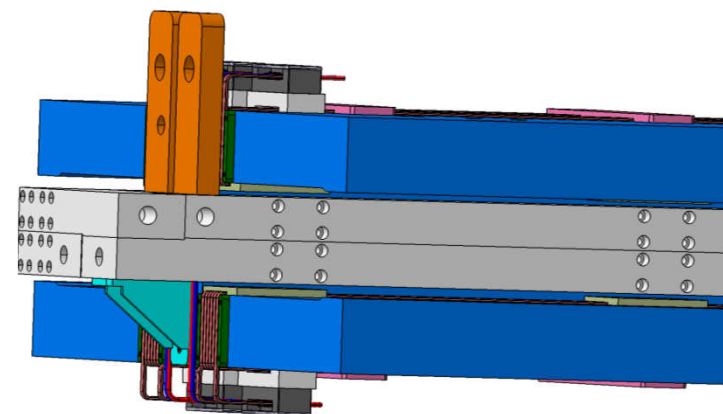
- 主线圈由2匝组成，采用分段设计，采用螺栓进行安装连接；
- 电流进出口铜排的截面尺寸为 40*15mm（宽度*厚度）
- 铜排通过M6螺栓与主线圈连接
- 线圈电流方向如下图所示，线圈及铜排之间以及需要导通的区域没有绝缘涂层。
- 主线圈通过M4的螺栓安装固定在磁轭上。



电流进出口



电流方向

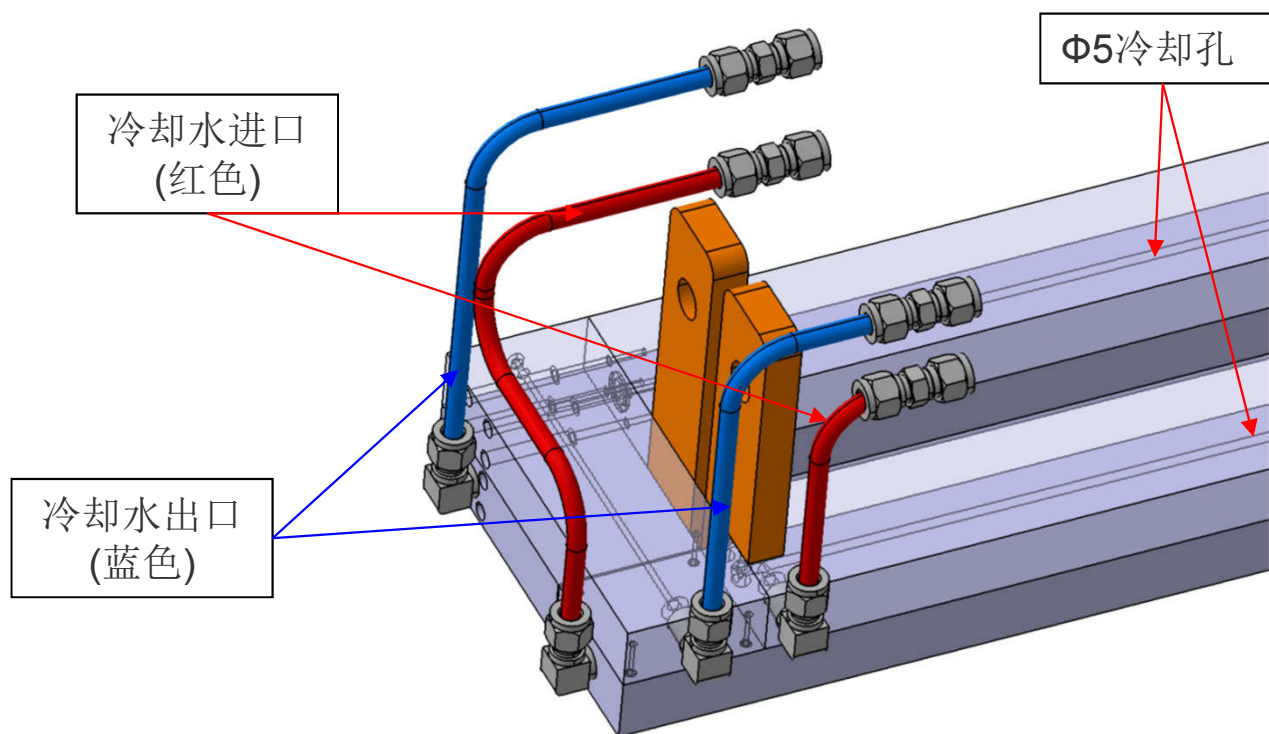


主线圈固定方式

2. 双孔径二极铁设计方案介绍

➤ 线圈冷却设计

- 线圈导体中间设计有冷却水孔，冷却孔直径为 $\Phi 5\text{mm}$ ；
- 每匝线圈设计有一组冷却孔进出口，共计两进两出；



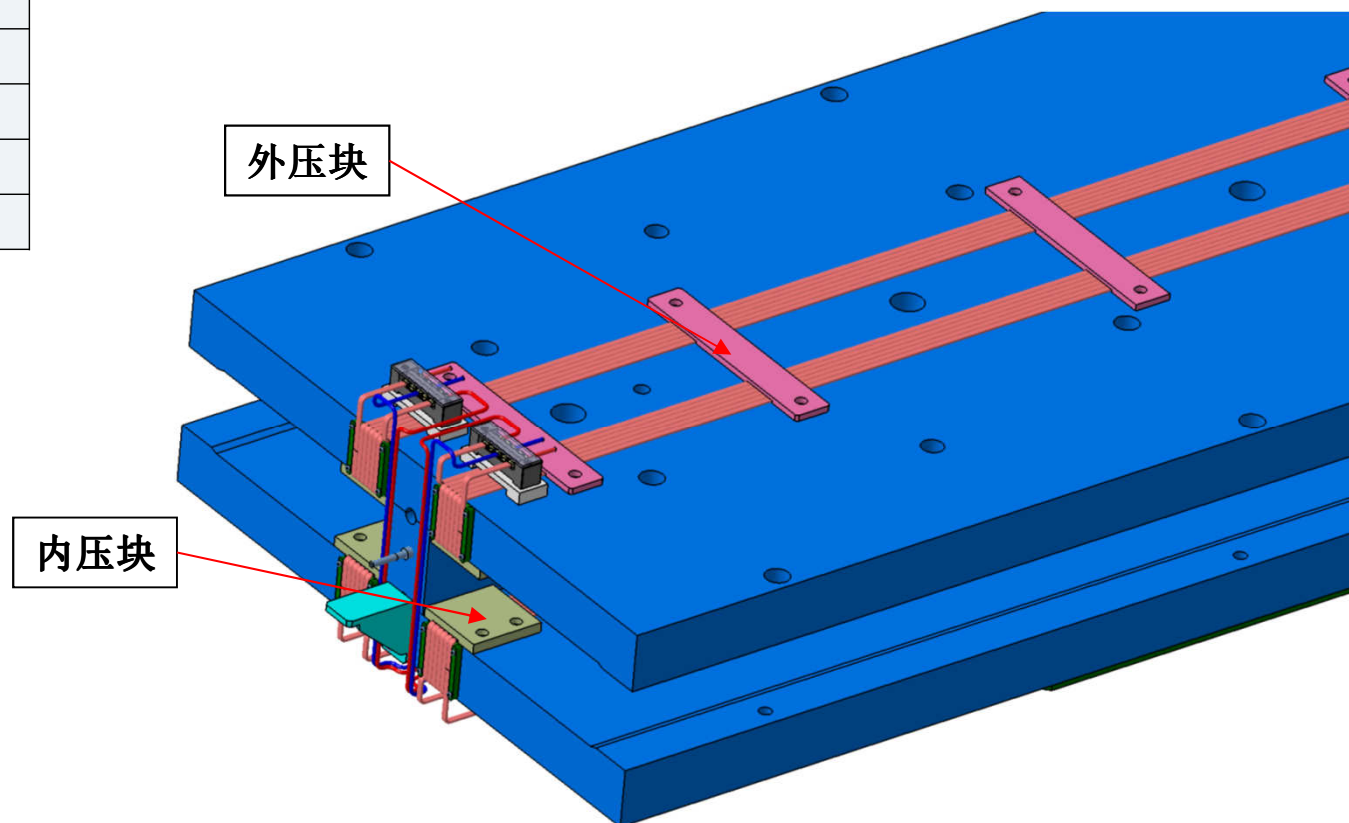
2. 双孔径二极铁设计方案介绍

2.5 辅助线圈设计

辅助线圈设计参数

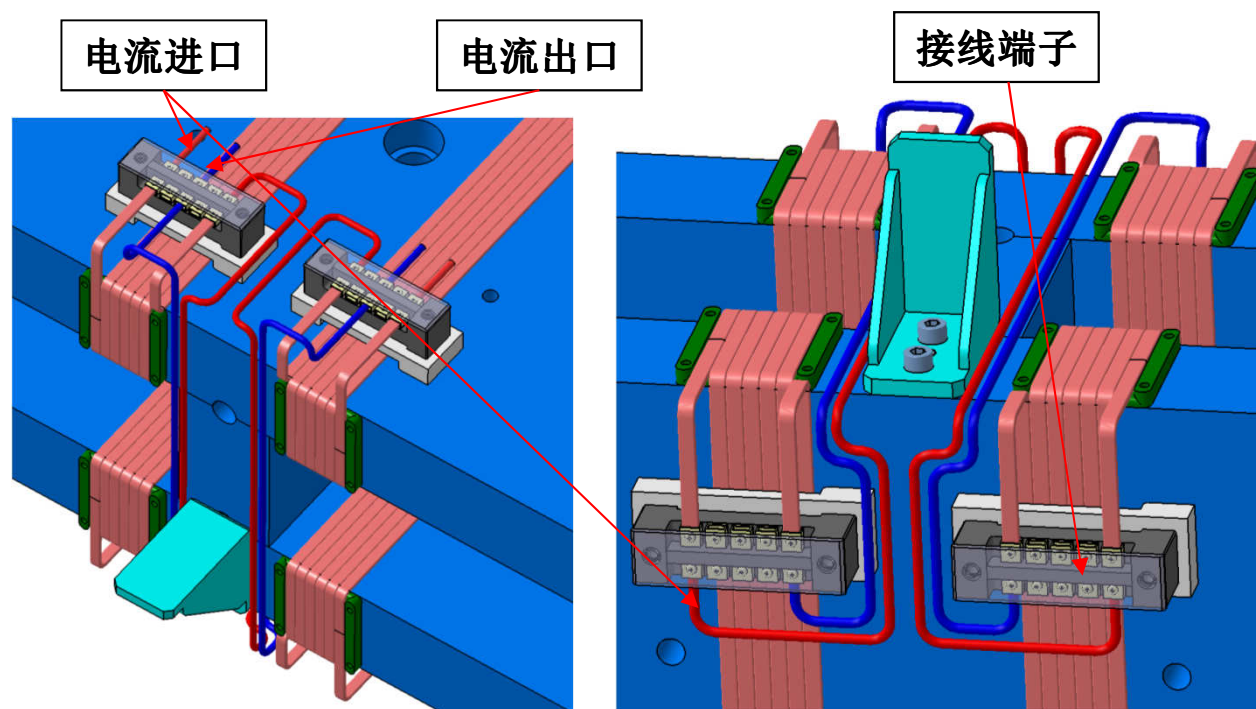
线圈材料	铝漆包线
线圈重量(kg)	8
导体截面尺寸(mm)	2*5
线圈个数	4
单个线圈匝数	6
电流密度(A/mm ²)	0.4
电流(A)	4

- 线圈采用螺旋线的方式进行绕制，单根线圈导线长度为68.7m；
- 线圈通过内外压块固定在铁芯上；



2. 双孔径二极铁设计方案介绍

- 左侧和右侧的上下线圈采用导线串联，分别由一台电源供电；
- 上下线圈采用2.5平方的铜导线连接；

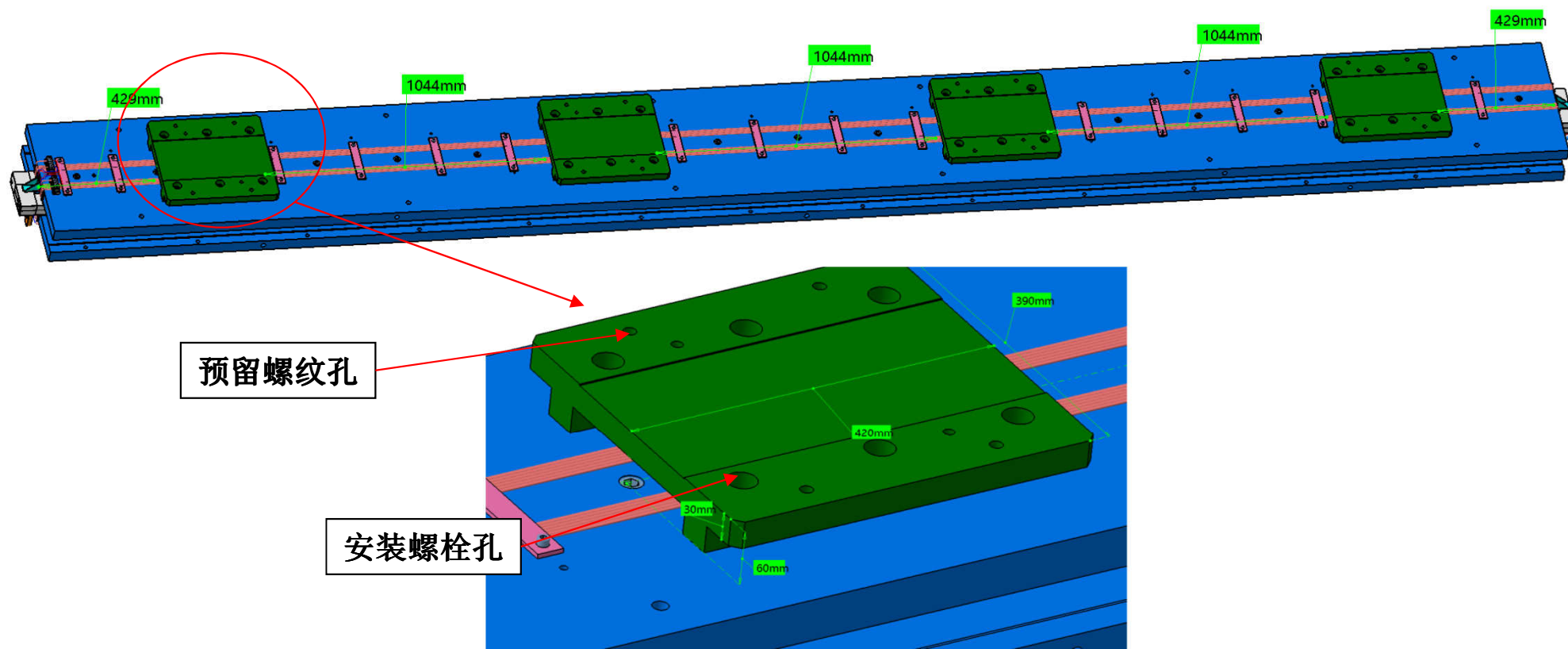




2. 双孔径二极铁设计方案介绍

2.6 磁铁支撑点设计

- 磁铁支撑点设计为4个；支撑底座采用M16螺栓与铁芯装配连接；
- 预留4个螺纹孔与后续的磁铁调节支撑连接；



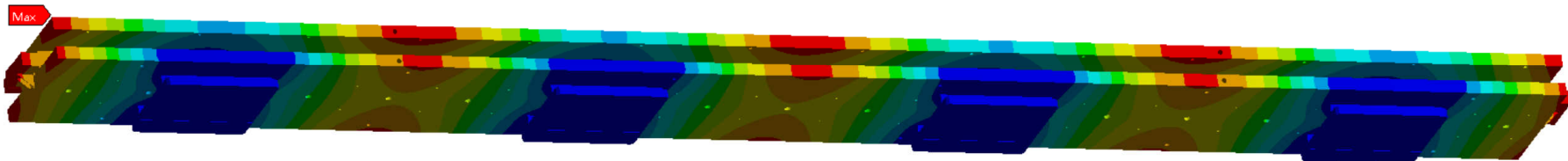


2. 双孔径二极铁设计方案介绍

➤ 磁铁在自重下的变形和应力分析

B: Copy of Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2020/7/27 15:47

0.01661 Max
0.014765
0.012919
0.011073
0.0092279
0.0073823
0.0055367
0.0036912
0.0018456
0 Min



磁铁的最大变形为0.017mm，分别位于铁芯两头和间隔中间区域（4个支撑点的设计）

B: Copy of Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2020/7/27 15:48

2.3774 Max
2.1132
1.8491
1.585
1.3208
1.0567
0.79258
0.52845
0.26431
0.00018112 Min

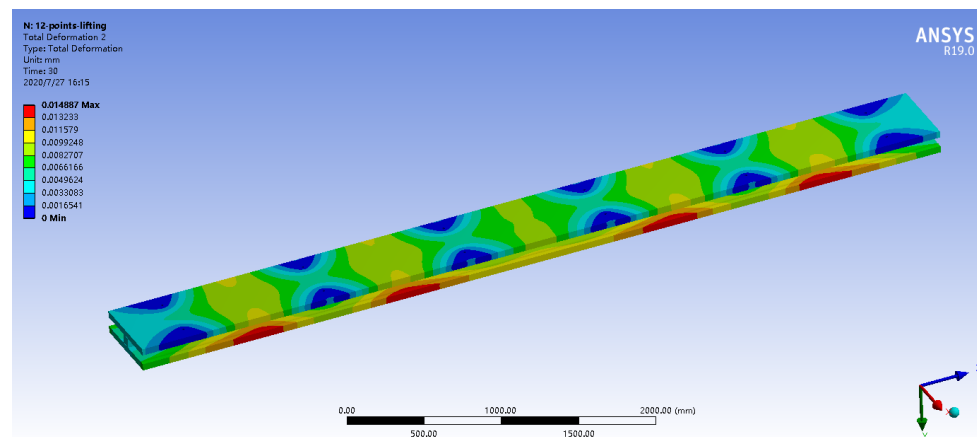
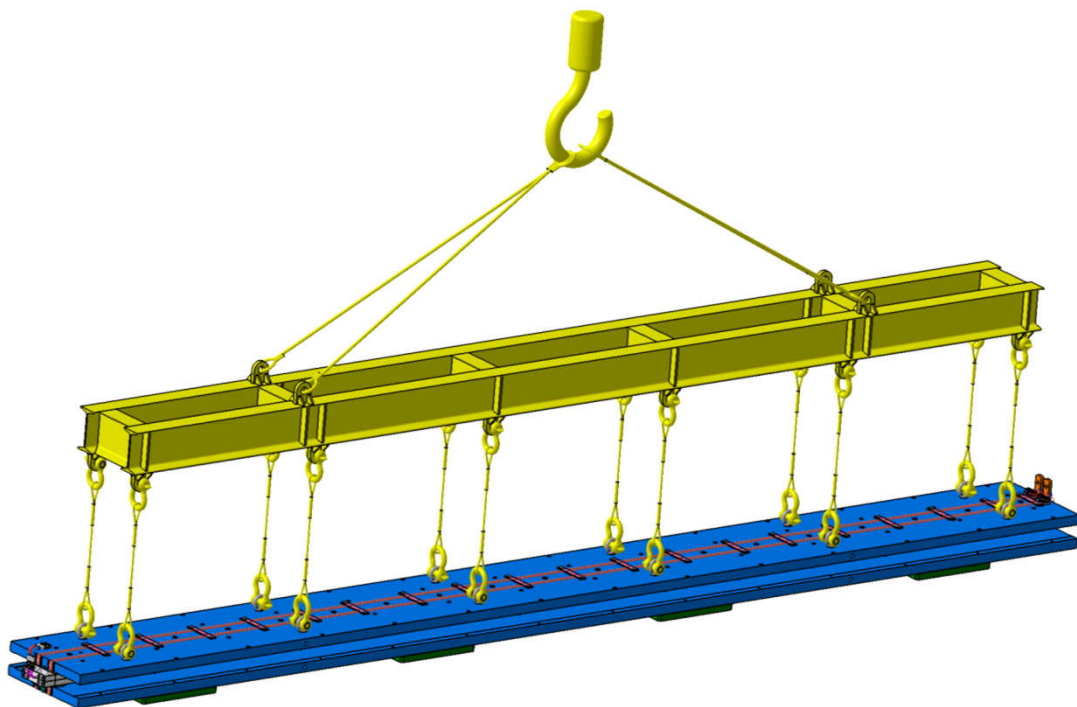


磁铁的最大应力为2.38Mpa，位于支撑底座与铁芯支撑接触区域（4个支撑点的设计）

2. 双孔径二极铁设计方案介绍

2.7 磁铁吊装设计方案

- 为了便于磁铁的装配和转运，设计了相应的吊点和吊装工装：
- 共设计6组12个吊装点，同时设计一个专用的吊装工装进行吊装；
- 两端吊点距离线圈端面约390mm，其他吊点间距约为1000mm；



磁铁的最大变形为0.015mm（6组吊点）

3.双孔径二极铁样机研制进展

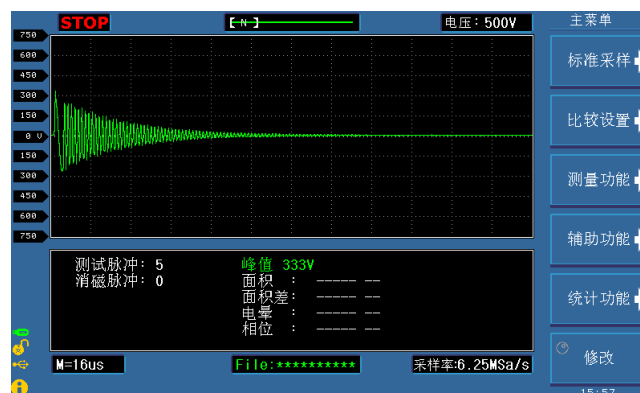
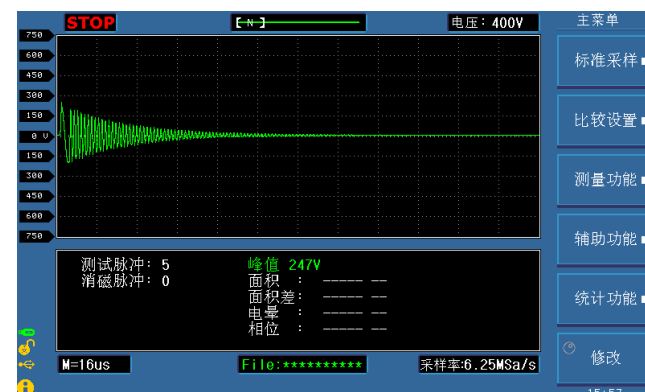
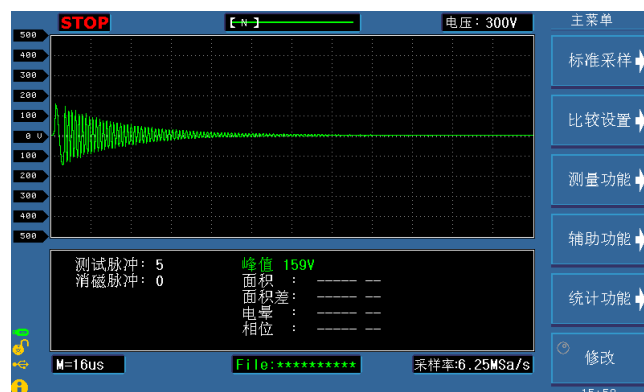
3.1 1m铝线圈样件制造及测试

- 为了验证设计方案的可行性，开展了1m铝线圈样件的制造及测试

匝间绝缘测试：

测试要求：

电压：500V



测试结果：**合格**（分别测试了，300V、400V和500V）

3.双孔径二极铁样机研制进展

3.1 1m铝线圈样件制造及测试



高压测试：

设计要求：1000V，漏电流
不大于10 μ A

耐压测试结果：1000V，漏电流
为10 μ A

测试结果：**合格**



绝缘电阻测量结果：

500V：10.5G Ω

1000V：8.04G Ω

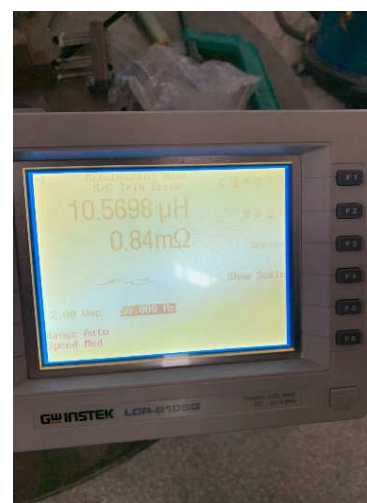


电阻测量结果：

0.66m Ω (5.0 $^{\circ}$ C)

计算值：

0.47m Ω (室温)



电感测量结果：

50Hz: 10.56 μ H

300Hz: 9.32 μ H

1000Hz: 8.84 μ H

3.双孔径二极铁样机研制进展

3.2 5.8m主线圈研制进展

- 目前主线圈的制造已经基本完成，采用了带中心水冷孔的铝型材，截面尺寸为60*27mm
- 表面绝缘采用了三氧化二铝陶瓷绝缘涂层；
- 后续将开展线圈的测试工作：包括绝缘测试，电阻测试，泄露测试，匝间绝缘测试等；



主线圈铝型材



主线圈样机

3.双孔径二极铁样机研制进展

3.3 铁芯研制进展

- 目前铁芯的制造基本完成，截面尺寸为530*160mm，气息为70mm；
- 采用了通止规进行气息的检测，气息满足 $70\pm 0.05\text{mm}$ 的精度要求；
- 目前正在开展辅助线圈的绕制工作；



铁芯的预装配



铁芯气息检测



合肥科烨

谢谢!

