

小容量 10kV 级散嵌圆铜线电机定子绕组绝缘验证技术报告

重庆赛力盟电机有限责任公司

2021-09

根据 JB/T 12729-2016《YKK YXKK 系列 10kV 三相异步电动机技术条件及能效分级（400-630）》技术文件中，关于电机定子绕组绝缘电阻与耐电压的技术要求（第 4.12 条与第 4.13）。开展了使用烧结绝缘层圆铜线的 10KV 散嵌电机定子绕组的绝缘结构与工艺研究，设计制造了 YGS355-2P 250kW/10kV 电动机定子，验证采用“烧结绝缘层圆铜线的 10kV 散嵌电机定子绕组”作为 10kV 电动机定子部件的可能性。该绝缘技术与工艺方法以便用于 10kV 级小容量电动机与满足特殊用途的高频高压脉冲发电机产品的特殊要求。

YGS355-2P 250kW/10kV 电动机定子采用烧结绝缘层圆铜线的散嵌绕组结构，同槽同相。采用环氧酸酐 VPI 浸渍的，耐热等级为 F 级的，定子绕组绝缘结构与试验检测：

1. 导线：

潜油电机用特种聚酰亚胺薄膜绕包铜圆线 MYF-S2，规格 $\Phi 1.8$ ，绝缘厚度 0.63。绕组的匝间绝缘由导线绝缘承担。该烧结绝缘层圆铜线耐电压水平 **8700V**，击穿电压水平 **18000V**。

2、对地绝缘（槽绝缘）

槽绝缘采用八层结构，对地绝缘厚度约 1.3mm。

一层 0.13 薄膜粉云母箔 5442-1DC/六层 0.13 玻璃粉云母箔 5442-1T /一层 0.13 薄膜粉云母箔 5442-1DC

槽绝缘均匀伸出铁心每端长度 65。

3. 端部绝缘

嵌线时的绕组端部处理：

每个伸出铁芯的定子绕组端部半叠包 0.13X25 少胶环氧薄膜粉云母带 5442-1DC /六层。再半叠包 1 层 0.1×25 聚酯纤维带。

4. 防晕处理：

定子铁芯喷涂低阻漆

5. 槽楔

槽楔用玻璃布板 3240（或引拔槽楔），长度比铁心长 40。

6. 端部绑扎

定子端部的中间位置，用 0.1×25 聚酯纤维带，将其线圈绑扎在一起。

7. 连接线绝缘

半叠包五层 0.13×25 少胶环氧薄膜粉云母带 5442-1DC，再半叠包 1 层 0.1×25 聚酯纤维带。

8、电缆

电机引出电缆: JEFYH-10000V 铜心乙丙橡皮绝缘氯磺化聚乙烯护套引接线。

9、浸烘

浸渍漆：JF-9955 环氧酸酐常温浸渍 VPI 树脂

定子接线完毕，检验合格后，按工艺进行 VPI 浸渍，并进行烘焙处理，出

炉后，在其表面喷涂防霉漆一次。

10、定子绕组端部内外圆表面不做端部绝缘处理时，线圈极间连接线距端罩或金属挡风板的距离为 60，相内连接线高出线圈鼻端面 40—50，极间连接线间用 $\phi 5$ 涤纶护套玻璃丝绳绑扎均匀，极间连接线高出相内连接线 5-10，线圈直线部份伸出铁芯长度为 70。

11、定子绕组绝缘耐电压试验：

定子绕组应能承受历时 1min 的耐电压试验不发生击穿，试验电压尽可能为正弦波，频率为 50Hz，电压的有效值为 2 倍额定电压加 1000V。（参照 JB/T 12729-2016 第 4.13）。

11.1 白坯定子绕组绝缘耐电压试验建议为：

对地耐压 6.5kV，5s。

11.2 浸烘后定子绕组绝缘耐电压试验：

电机 Y 接法时：

三相绕组分别对地耐压：13kV，1min，
绕组相间耐压（铁芯对地绝缘）21KV，1min。

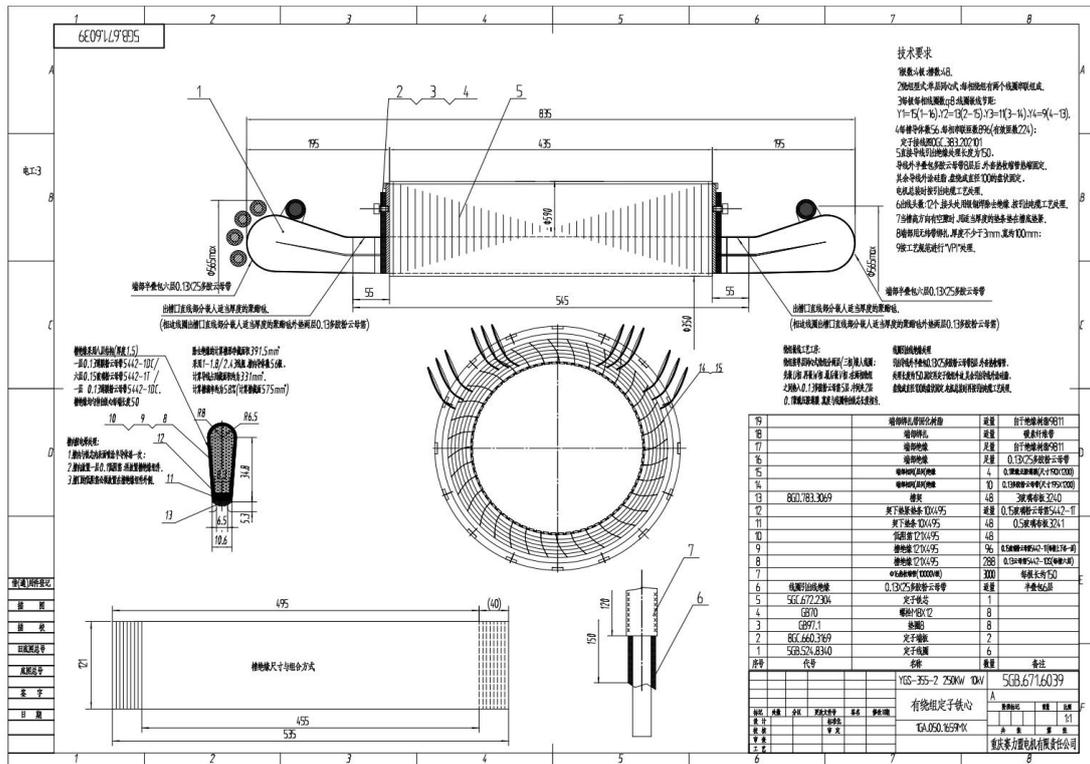
电机 Δ 接法时：

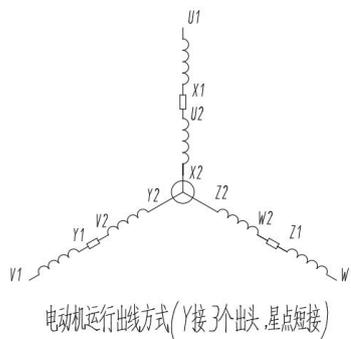
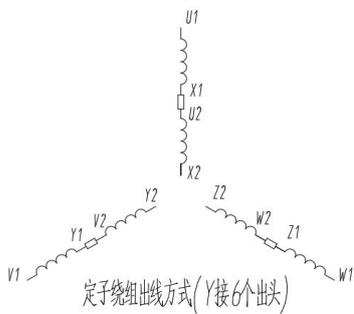
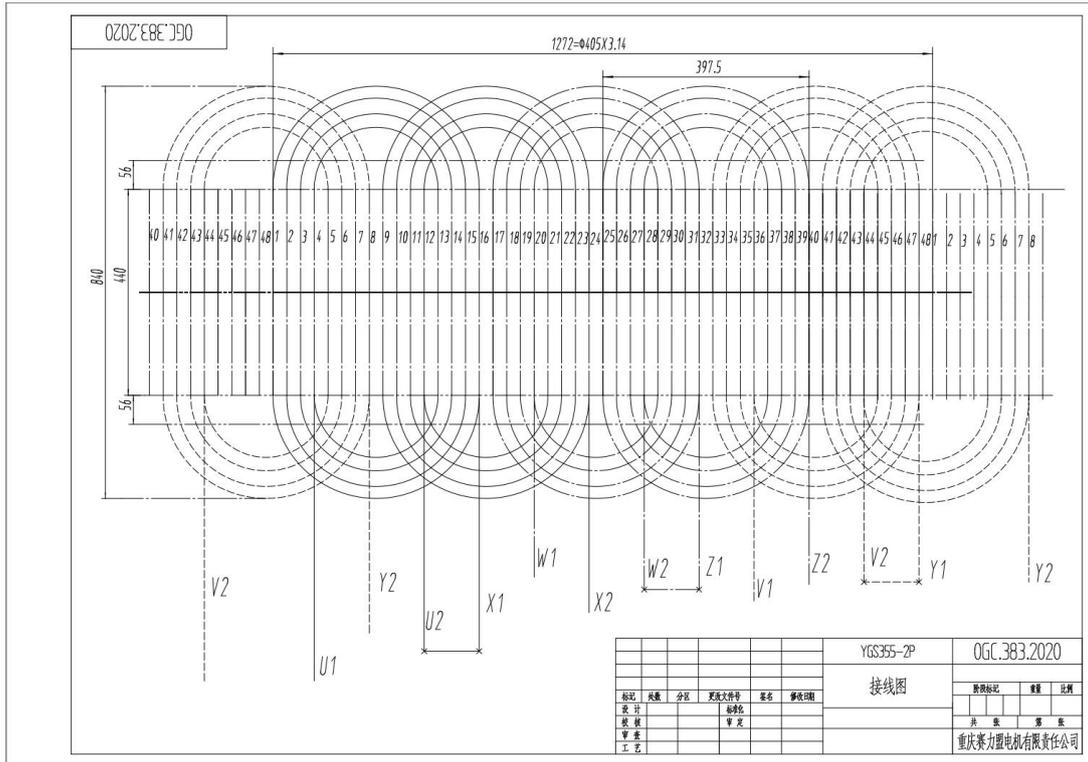
三相绕组分别对地耐压：21kV，1min，
绕组相间耐压（铁芯对地绝缘）21kV，1min。

12. 定子绕组电晕电压试验限值：

电机定子绕组起晕电压限值为额定相电压的 1.3 倍，Y 接时为工频 7500V（参照相关）。

YGS355-2P 250kW/10kV 电动机定子（绝缘结构）设计：





说明:

在10kV电动机正在运行时,在U1,V1,W1进线端施加10kV三相工频电源,这时U相,V相,W相绕组对地(铁芯)的电压为5774V(线电压 $10\sqrt{3}000V / \sqrt{3}$)。根据10kV级电机的绝缘耐压与电晕的相关标准与技术要求,绝缘耐压水平为额定电压的2倍加1000V,电机绕组的起晕电压限值为1.3倍相电压。电动机星接时,绕组的对地电压为工频13000V,时间1分钟,相间耐压为工频21000V,时间1分钟,电机绕组的起晕电压为工频7800V。

电机的绝缘耐电压试验：

1. 绕组对地耐电压试验：

序号	施加电压	U-V 对地（泄漏电流 A）	U-W 对地（泄漏电流 A）
1	7000V	0.043	0.042
2	8000V	0.048	0.047
3	9000V	0.056	0.056
4	10000V	0.063	0.062
5	11000V	0.072	0.074
6	12000V	0.084	0.083
7	13000V	0.092	0.092

说明：定子绕组接法为 Y 接，额定绕组相电压 5774V，试验电压为 2 倍额定电压加 1000V。试验电压为 13000V，试验时间 1 分。

2. 绕组相间耐电压试验：

序号	施加电压	U-V 相间 (泄漏电流 A)	U-W 相间 (泄漏电流 A)	V-W 相间 (泄漏电流 A)
1	8000V	0	0	0
2	10000V	0.011	0.010	0.011
3	12000V	0.014	0.014	0.015
4	14000V	0.017	0.017	0.019
5	16000V	0.021	0.021	0.023
6	18000V	0.025	0.025	0.027
7	21000V	试验时间 1 分	试验时间 1 分	试验时间 1 分

说明：定子绕组接法为 Y 接，额定绕组的线电压 10000V，试验电压为 2 倍额定电压加 1000V。试验电压为 21000V，试验时间 1 分。

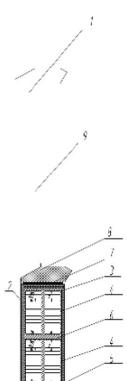
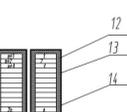
3. 试验的定子绕组起晕电压大于 7800V(7500V)。在对地耐电压试验时(13000V)没有发现电晕现象。

10kV 电动机定子采用烧结绝缘层圆铜线的散嵌绕组结构的情况与成型线圈定子绕组的对比：

1. 散嵌圆铜线绕组对地绝缘厚度不大于 1.3mm（单边）。
2. 散嵌圆铜线绕组的端部相间绝缘厚度 1.8mm。
3. 散嵌圆铜线绕组的联结线绝缘厚度 1.0mm。
4. 散嵌圆铜线绕组匝间绝缘利用圆铜线本身的烧结绝缘层实现绕组间的匝间绝缘，匝间绝缘厚度 0.63mm。
5. 散嵌圆铜线绕组的防电晕措施是在铁芯内表面喷涂低阻半导体漆一层。
6. 整体绝缘处理 VPI 工艺。浸渍漆采用 JF-9955 环氧酸酐常温浸渍 VPI 树脂
7. 散嵌圆铜线绕组绝缘结构所采用的材料与成型绕组绝缘材料品质相同。
8. 匝间绝缘由该烧结圆铜线绝缘层承担，该烧结圆铜线的绝缘层的耐电压水平 8700V，击穿电压水平 18000V。应该比成型绕组导线“自粘性双玻璃丝包云母带薄膜绕包铜扁线 SBEMFB-60 或 70/ 155-N”的耐电压水平高许多（击穿电压约 7000V）。该匝间绝缘应该是可靠的。
9. 参照 JB/T 12729-2016 的行业标准，散嵌圆铜线绕组绝缘结构和工艺可以设计制

造小容量 10kV 级电动机产品，可以满足特殊用途的高频高压脉冲发电机产品的特殊要求。

附：10kV 小容量电动机成型绕组的绝缘情况：

槽内部份	序号	名称	材料名称规格	层数	宽度	高度	
	1	槽形公差			0.3	0.3	
	定子铁心槽内绝缘总厚度						0.02x
	2	直线（铁心槽内）部分绝缘	交替裹包 8 层：（0.13×25 少胶环氧玻璃粉云母带 5442-1（4 层）和 0.13×25 少胶环氧玻璃粉云母带 5442-1D（4 层））	交替裹包 八层。每两层的长度相差 20mm。比铁心长 60 开始（单边 30）	2.08	3.12	
	3	防晕层	0.08×25 低阻带	裹包两层			
	定子铁心槽内绝缘总厚度				2.08		3.12+0.02x
	4	线圈直线处理	半叠包一层 0.13×25 少胶环氧玻璃粉云母带 5442-1		1.05	1.05	(0.56 (0.56X2))
	5	槽底垫条	0.5 厚 3241（防电晕）	垫一片		0.5	
	6	层间垫条	2.聚酯毡（或 3240 板）	垫一片		1.0(2.0)	
	7	楔下垫条	0.5 厚 3241（防电晕）	垫一片		0.5	
	8	槽楔	2 玻璃布板 3240 或引扒槽楔				(2)
9	槽内防晕	定子铁心槽喷涂低阻漆一次。		0.1	0.1		
10	下线间隙			0.5	0.5		
槽形绝缘尺寸计算				4.03		7.07+0.04x	
	线圈端部绝缘尺寸						
	11	线弯公差			0.2	0.04x	
	匝间绝缘总厚度				0.2		0.04x
	12	端部绝缘	0.13×25 少胶环氧玻璃粉云母带 5442-1	半叠包 4 层（相边线圈半叠包 6 层）	2.08	2.08 (3.12)	
	13	防晕层	0.18X25 高阻带	半叠包 1 层	0.72	0.72	
线圈端部绝缘总厚度				5.28		5.28+0.04x	

普通 10000V 高压电机绝缘试验值：

1. 单个线圈的匝间冲击试验电压值，29KV
2. 定子绕组白坯：
对地耐压 13.7KV，5s
3. 定子绕组浸烘后：
对地耐压及相间耐压：21KV,1min
4. 定子绕组起晕电压大于 7.5KV（抽检项目）。