

高温超导磁体  
研究进展

美国 Dupout 公司设计了一个高温超导磁分离机,它将用于分离高岭土和钛氧化物中的矿物质。这个高温超导磁体直径为 0.8m,中心磁场为 2 到 2.5T,运行温度为 20K。美国佛罗里达高场实验室报道了它们一个 3T 的高场高温超导插入线圈,导线用 PIT 法制造,线圈为双并式结构,用 W&R 法制造。里层线圈的导线是纯银基,外面二组线圈导线是用 Ag 和 AgMg 作基底。线圈试验是成功的。芬兰 Tampere 大学和美国超导公司合作研制了一个 5kJ 的高温超导微型 SMES,该储能线圈是美国超导公司用 Bi-2223 带绕成的,其运行电流为 160A,运行在 20K 温度下,磁体采用二级 G-M 制冷机冷却,冷却功率为 8W。该储能装置已在不间断电源应用中试验过,当电源中断时作为计算机的备用电源。美国佛罗里达高场实验室还报道了他们用作插入线圈(背场为 19T)线圈的 2.5T Bi-2212 线圈的热循环实验结果,结果经 5 次冷热循环后,线圈电流下降约 5%。IGC 公司也报道了他们研制的一个用铁屏的高场匀度高温超导线圈(Bi-2223),在经过两次热循环后,也发现磁场有退化现象。

西门子和 Oxford 公司合作研制了全身 MRI 装置用的 HTS 磁体。这是一个由 C 型铁轭和二个分裂 HTS 线圈组成。磁极间隙是 46cm 高,间隙磁场为 0.2T,HTS 绕组磁场达 1T。两个线圈内径均为 80cm,它们分别由西门子和 Oxford 公司研制,线圈采用并式结构,由 Bi-2223 带绕制。

B 带分别由德国的 Vakuumschmelze 公司和丹麦的 Nordic 电缆公司生产。两个绕组使用的带长分别为 1.7km 和 2.5km。这 HTS 线圈采用单级 G-M 制冷机冷却到 18-20K 下运行。

美国圣地亚哥的 General Atomic, Los Alamos 国家实验室和南加州爱迪生公司研制了一个 15KV/20KA 的高温超导限流器。这个准商用的超导限流器由三个世界上最大的 Bi-2223 线圈组成,线圈外径为 1m,长 0.75m。这高温超导

线圈将运行在 35K 温度下,此时它可分别通过连续的直流电流为 2000A 以及 9000A 交流脉冲电流。这个限流器在 General Atomic 最后总装完成并通过室内验收试验后,将安装在南加州爱迪生公司的电力系统中进行试验。

大电流高温超导电流引线由于加速器等的需要,近年来也有很大发展。日本富士公司等为瑞士联合核研究中心 LHC 对撞机研制了 13kA 的 Bi-2223 超导电流引线,引线长 1.434m,在 60K 时临界电流达 17.2kA,该引线在 4.2K, 13kA 时热载小于 1.5W。另外,美国费米实验室也为 Tevatron 加速器研制试验了 6kA 高温超导电流引线, Tevatron 共需约 50 对 5-6kA 电流引线。

在输电电缆研究领域,美国 ORNL 研制了两根 5m 长千安级单相高温超导电缆,该电缆导体层由 4 层 Bi-2223/Ag 带材螺旋绕在柔性芯管上,层间垫有低温绝缘带。该电缆采用了强迫冷却方式,液氮(70~80K)在 3-6bar 的压力下通过电缆内层,然后经外层返回。电缆在 7.2kV AC 线对地电压下通过 1250A,其交流损耗在 75.5K 下约为 1W/m。此外,丹麦技术大学也研制了 10m 长 3kA 高温超导电缆引线,采用强迫循环冷却。

在高温超导电机方面,法国 Oswald 公司报道了它们做了多个 YBCO 电机,其最大功率超过 20kW。高温超导电机的转子由铁轭和扇形 YBCO 块材组成,对应不同结构的转子,设计了不同形式的定子。同时他们还采用超导磁轴承取代常规的球轴承。由于高温超导电机尺寸小,重量轻,因此有广泛的应用前景。

在小型冷却机方面,美国 Cryomech 公司已研制成功 4.2K 的脉冲管冷却机,其主要参数为:4.2K 制冷功率为 0.5W,或 5.2K 时制冷功率为 1W,同时具有 18W/65K 或 25W/75K 制冷功率。其冷头重 14kg,压机重 102kg,电源功率为 5kW。该制冷机空载时 60 分钟即可达到 4.2K。这种 4.2K 脉冲管冷却机已作为商品订货,参考价格为 2.8 万美元。

(林良真)