

超导磁体和超导贮能

刘东红 高建华

(山东工业大学数理系 济南 250061)

超导磁体是继永久磁铁和电磁铁(统称常规磁体)之后近20多年发展起来的第三代磁体,与常规磁体比较,它具有许多优越性.其一,能获得极强的磁场.永久磁铁的两极附近产生的较强磁场仅有0.7特,传统的电磁铁尽管理论上可以通过增加电流来获得任意强度的磁场,但实际上由于铁芯的磁耗和线圈电阻的热效应,也限制了它的最高磁场强度.电磁铁的最高磁场强度约为2.5特.而超导体就没有这些限制,超导体线圈产生的磁场强度高达10—100特,并且只要超导电性不被破坏,就可以保持恒定的磁场不衰减.其二,体积小,重量轻.由于超导体没有电阻热效应的限制,超导线圈允许的电流密度比普通铜线圈允许的电流密度大得多,所以超导线可细得多,且勿需庞大的冷却设备,因而超导磁体可做得很轻便.其三,磁场的空间均匀性高,时间稳定性好,还可以制成有梯度的磁场,也是常规磁体无法相比的.

利用超导线圈中的持久电流可以磁场形式储存能量.一个自感为 L 的线圈,通以电流 I 时,它的总能量为 $I^2R + \frac{1}{2}LI^2$,这部分能量可分为热能 I^2R 和磁场能 $\frac{1}{2}LI^2$,在超导线圈中不存在热损失,全部能量为磁场能量,并且可以把储存的磁能无损耗地长期保存下来.图1就是这种储能方式的示意图.打开开关 S_2 、 S_3 ,关上 S_1 ,就可以对线圈 L 励磁,改变电阻 R 就可以调节励磁电流大小及励磁时间长短,关上 S_2 ,打开

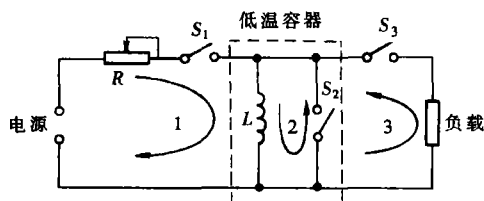


图1 超导贮能原理图

S_1 ,就有持久电流在回路中无阻流动.需释能量时,关上 S_3 ,打开 S_2 ,线圈中储存的能量就可以送到外部负载上去.

利用超导线圈储能的优点是,其一,储能密度大,(可达 $50\text{J}/\text{cm}^2$),例如激光武器就要求瞬间提供数十亿到上百亿焦耳的能量;其二,输出电流大,短时间的放电可提供一个瞬时大电流——脉冲大电流,现代激光技术特别需要提供这样的电流;其三,贮能效率高(90%—95%).电能的贮存是人们梦寐以求的技术,在民用电力工业中,最大的遗憾是夜间没有用户用电,而傍晚或上半夜大量的用户用电,这就造成了电网上电压波动或白白地浪费电力,目前解决这一问题的办法是在用电高峰时,电厂开足马力生产电力,而在用电低谷使一部分设备不发电或少发电,实际上,这一方法也造成新的浪费.可利用超导储能装置调节昼夜用电的高峰与低潮,储存 $10\,000\text{kW}\cdot\text{h}$ 的电能只需截面积 25m^2 ,直径为100m的螺绕环即可.图2给出这

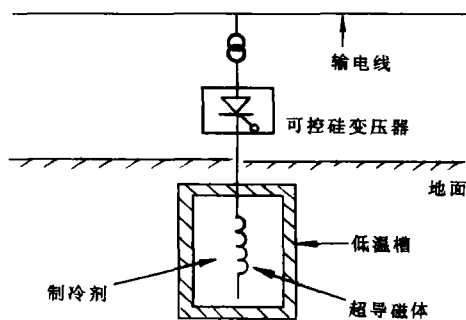


图2 超导贮能装置示意图

一贮能装置的示意图.此方法是按低温杜瓦的原理设计的,隔层为真空以防止热交换,内部为充有液氮的容器并放置超导线圈,整个结构可深埋地下,以减少外界温度波动造成的热损失,用超导线圈贮存的电能可以不同的方式和速度释放出来,大体上可分为短时间的放电和长时间的放电两种,放电的方式可根据用户的要求,在外部线路上加以调节,长时间的放电可用来调节电网上的供电,而短时间的放电可提供一个瞬时大电流——脉冲大电流.