

## 超导材料

超导材料是一种具有超导特性的新型材料，它在一定低温条件下能排斥磁力线并且呈现出电阻为零的现象。1911年，荷兰科学家昂内斯将汞冷却至4.2 K时发现汞的电阻完全消失，而这个温度也称为“临界温度”。超导材料发展至今，其临界温度已提升至液氮温区以上，并实现了高温超导材料在人们生活中的应用。超导体在超导状态下具有零电阻、抗磁性和电子隧道效应等奇特的物理性质，使得它拥有输电损耗小，制成器件体积小、重量轻、效率高等优点，在能源、信息、交通、科学仪器、医疗技术、国防、大科学工程等方面均具有重要的应用价值，可广泛应用于核磁共振、计算机、磁悬浮列车、电能输送、电力装备、精密导航等领域，对人类社会将产生深远影响。

现已发现大多数金属元素以及数以千计的合金、化合物都在不同条件下显示出超导特性，如铝的超导转变温度为1.14 K，锡为3.72 K，铅为7.19 K，铌为9.5 K，铌钛合金为9.7 K，铌三锡为18 K。这一类超导材料都属于低温超导材料。

高温超导材料是以1986年发现的铜氧化物超导体为节点，随后高温超导材料的发展十分迅猛并逐渐形成了一系列的超导材料，即超导陶瓷。在21世纪以后，两类新的超导体， $MgB_2$ 和铁基超导体的发现更是使超导材料的高温区应用增添了新的希望。图10.6描述了超导材料的发展变化情况。

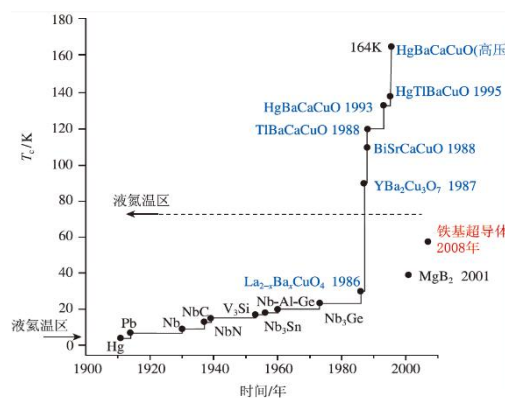


图 10.6 超导材料的发展情况

在这些已发现的超导材料中，铁基超导体由于其具有临界转变温度高、各向异性较小以及上临界场极高等优点，被美国《科学》杂志誉为目前最有发展前景的新型高温超导体之一，在高场领域具有独特的应用优势。铁基超导体的结构与铜氧化物的类似，具有层状结构。其中含有Fe和氮族元素(P, As)或硫族元素(S,

Se, Te)按 1:1 的原子比组成的超导电层, 和为导电层提供载流子的载流子层。迄今为止, 已发现的铁基超导体大致可分为以下几个体系:

- (1) “1111”体系:  $\text{LnOFePn}$  ( $\text{Ln} = \text{La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Y}$ ;  $\text{Pn} = \text{P, As}$ );
- (2) “122”体系:  $\text{AEFe}_2\text{As}_2$  ( $\text{AE} = \text{Ba, Sr, K, Cs, Ca, Eu}$ )和  $\text{A}_{1-x}\text{Fe}_{2-y}\text{Se}_2$  ( $\text{A} = \text{K, Cs, Rb, Tl}$ );
- (3) “111”体系:  $\text{AFeAs}$  ( $\text{A} = \text{Li, Na}$ );
- (4) “11”体系:  $\text{FeSe}$  和  $\text{FeTe}$ ;
- (5) 其它复杂体系: “42622”、“32522”体系等。

要实现铁基超导材料的实用化, 制备出高性能的百米量级长线材料是基础。2014年, 中国科学院电工研究所采用连续轧制工艺首次研制出了长度达 11 米的铁基超导长线 Sr-122, 这一成果体现了我国在铁基超导领域已达国际领先水平。2016 年底, 电工所更是制备出了国际上首根长度达到 115 米的铁基超导长线 Sr-122, 这也意味着铁基超导材料从实验室研究正式走向产业化应用进程。