国际电气工程先进技术译丛

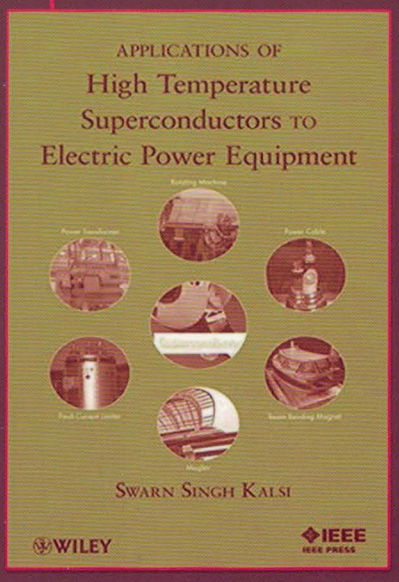
IEEE WILEY

# 高温超导技术在电力装备中的应用

## Applications of High Temperature Superconductors to Electric Power Equipment

[美] 斯沃恩·辛格·卡尔斯（Swarn Singh Kalsi） 著

丘明 诸嘉慧 译




机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

## 本书特色

本书从全面回顾高温超导材料作为开始，随后的章节依次介绍了低温和热绝缘系统、旋转交/直流电机、电力变压器、故障电流限制器、电力电缆和磁悬浮交通等特种装备。从实用化的角度，各章节分别介绍了装备的发展历史、工作原理、结构组成、设计及其难点、原型样机和制造工艺，并在结尾处附有小结，其中的设计分析和设计实例可为读者成功设计自己的装备提供重要参考。



国际电气工程先进技术译丛

# 高温超导技术在电力装备中的应用

[美] 斯沃恩·辛格·卡尔斯（Swarn Singh Kalsi） 著
丘 明 诸嘉慧 译

机 械 工 业 出 版 社

本书系统地介绍了近年来超导电力技术的发展状况，分章节就目前商品化超导材料应用性能、低温制冷设备技术状况和各种高温超导电力装备的工作原理、结构组成、设计方法、模型样机、制造工艺和工程应用进行了详细论述。其中，涉及交/直流电机、电力变压器、故障电流限制器、电力电缆、磁悬浮交通等诸多应用领域，就人们所关心的技术经济性问题，深入分析了各种电力装备及其工程应用的关键要点、存在问题及其解决途径。并且在部分章给出了设计实例，为读者快速掌握技术核心、开展自主设计提供了重要帮助和参考。本书内容具体翔实，涉及知识领域广泛，与同类图书相比，介绍内容更偏重超导装备实用化技术。可供原始设备生产商、设计者、工业和公用事业用户、大学和国防服务研究机构，以及相关专业高年级研究生和指导教师参考。

# 译 者 序

超导电力技术是利用超导体的无阻高密度载流能力及超导体的超导态—正常态相变的物理特性发展起来的一门新兴技术，在实现电力装备轻量化、小型化、高效化和提高电网安全性、稳定性和供电电能质量等方面具有重要的意义和广阔的应用前景，其广泛的应用将带来传统电力工业的重大革新。我国国情和电力工业发展的固有特点决定了采用超导电力等先进技术解决传统电力工业发展的瓶颈问题，是电力工业发展的必由之路。为此，选择了这本《高温超导技术在电力装备中的应用》进行翻译，以便为国内读者推广和普及超导电力技术知识，促进相关的技术研发和现实应用。

原书作者从事超导技术研发工作近40年，有着丰富的实践经验，该书是作者历年来研发成果的整体体现。如今，有关超导电力技术的综合类图书，如涵盖超导材料、低温制冷、超导电机、电力变压器、电力电缆、故障限流器等装备应用技术等内容，体现国际最新研发和应用成果的译著较为少见。该书从系统的角度，详细论述了高温超导材料在多种先进电力装备中的应用原理、关键技术、设计方法和应用状况，基于技术经济性分析展望了相关技术的发展趋势和应用前景，结合实例指出了人们所需重点关注和研究的内容。

原书内容具体翔实，涉及面广泛。与同类图书相比，更偏重超导装备实用化所关注的问题，数据丰富，时效性较强，充分体现了当前国际发展水平。所针对的读者对象主要是从事应用超导技术研究工作的科技工作者、电工与电力技术领域的高级技术人员、电力设备研制高级技术人员，电气和机械工程师以及高等院校相关专业教师和研究生。

全书共有11章，其中第1～5章由丘明博士翻译，第6～11章由诸嘉慧博士翻译。本书在文字编辑过程中还得到北京交通大学方进教授课题组和华北电力大学李卫国教授课题组同学的帮助，在此一并表示感谢。

译 者

# 原　书　序

在许多同事们的强烈劝说下，我完成了本书的撰写，目的在于为20世纪80年代后期发展起来的高温超导电力设备设计提供参考。目前，高温超导（High Temperature Superconductor，HTS）技术处在初期培育阶段，成材技术及其应用仍在不断革新和发展中，本书所讨论的设计和分析方法源于通用电气公司全球研究部、诺斯罗普·格鲁曼公司和美国超导公司的多名同事超过35年经验和教训的总结，以及我在参与橡树岭和布鲁克黑文国家实验室核聚变及加速器项目期间对超导应用的深入理解。写作本书，我声明自身没有做出任何原创性或推动后续发展的贡献，本书仅试图通过合理组织来介绍各种电力设备的基本原理、设计基础及范例、原型样机，并鼓励读者进一步开展高温超导技术研发。

本书假定大家已经通晓如电动机、发电机、变压器、电力电缆和电磁铁等传统电力设备的基本设计原理和分析方法，潜在的读者是在电力行业和国家实验室工作的电气、机械工程师及高等院校研究生。以下是每一章的主题介绍：

第1章为引言，内容包括高温超导技术及其在电力设备中应用的介绍、技术应用推广所需达到的价格目标。

第2章提供了高温超导技术发展状况的相关信息，包括高温超导最热门的应用、超导磁体设计的基础数据和用于说明整个设计流程的一个高温超导磁体的简单设计范例。

第3章描述了用于保证高温超导线圈工作在4～80K温区所需的不同类型的制冷机，介绍了低温气体和维持超导体处于特定低温环境中的杜瓦容器，给出范例说明杜瓦的设计过程并强调了其关键要素。

第4章篇幅最长，内容包括空心（磁路无铁心）旋转交流电机设计分析的基本方程式，通过一台旋转电机的设计分析阐述了方程式的使用方法，并列举了一台发电机设计实例、众多已完成建造和测试的电动机和发电机原理样机。

第5章描述了旋转直流单极电机，该电机采用静止的高温超导磁体做励磁绕组，以及室温下旋转的直流电枢绕组，结合所测试的原理样机介绍了基本的设计分析方程式，这种电机在船舶推进领域中具有巨大的应用潜力。

第6章介绍了励磁和交流电枢绕组均安装在静止结构上的交流开关磁阻电机和一通过测试的原理样机，这种电机具有与传统绕线磁极式同步电机相同的端部特性，通常用于高频、高速场合。

第7章介绍了高温超导变压器的设计与性能分析，并给出了一个设计范例。

变压器是电力工业中最常用的设备，目前高温超导变压器已具备了商业化开发的条件。

第8章介绍了各种高温超导故障限流器（Fault Current Limiter，FCL）的概念，超导故障限流器在限制故障电流和其后无需人工干预自动恢复方面具有令人满意的特性。通过对硬件构成的描述，本章内容涵盖了大部分类型高温超故障导限流器的设计和性能分析。

第9章介绍了大容量高温超导电力电缆的设计与分析，城市中心区域对电力需求的增加和输电走廊的限制推动了高功率密度、热中性高温超导电缆的研发。本章讨论了大部分类型的高温超导电缆，包含设计范例和已建电缆系统的介绍。

第10章描述了磁悬浮列车系统中两种最常用类型的磁悬浮原理，介绍了列车悬浮和推进用超导磁体的设计。

第11章介绍利用高温超导体所制作的高、低场磁体和世界上的一些实例。高温超导磁体可以运行在4～80K宽温区范围内，相比于低温超导（LTS）磁体，具有较小的尺寸和重量、较高的效率和场强以及更好的磁热稳定性，因而在某些场合更具吸引力。

我希望这本书中提及的理论和设计方法能够有助于制造工程师和用户认识到高温超导技术应用于电力设备所带来的好处。在目前注重电网改造、提高电网可靠性、增加电力输送效率和单机运行效率的背景情况下，高温超导技术可以发挥十分显著的作用。然而作为一个用户，第一优先考虑的是如何避免采用可靠性小和可用数据缺乏的技术，以便最大程度地降低风险。由于高温超导等新技术的应用通常比较困难，但它具有解决存在于电力设施、工业和船舶系统中的相关电网和电力设备众多棘手问题的潜力，因此我极力主张当今和未来的工程师能够持续研发高温超导技术。如今，高温超导技术的发展阶段如同一个世纪前电工铜技术的状态，接下来的几十年内许多看似坚不可摧的障碍将被克服，新的高温超导导体及其应用将涌现，到那时现在的高温超导技术会显得原始、落后。

# 缩　略　语

| 符　　号 | 定　　义 |
| --- | --- |
| NbTi | 铌-钛 |
| $Nb_3Sn$ | 铌三锡 |
| $MgB_2$ | 二硼化镁 |
| BSCCO-2212 | $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ |
| BSCCO-2223 | $(Bi，Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ |
| YBCO-123 | $YBa_2Cu_3O_7$ |
| SMES | 超导储能系统 |
| HTS | 高温超导体 |
| FCL | 故障限流器 |
| LTS | 低温超导体 |
| $B$ | 磁感应强度 |
| T | 特斯拉（磁感应强度单位） |
| $J$ | 电流密度 |
| $J_c$ | 临界电流密度 |
| $J_e$ | 工程电流密度 |
| K | 开尔文（温度单位） |
| OPIT | 氧化物粉末套管 |
| 1G | 氧化物粉末套管法制备的 BSCCO-2223 导体 |
| 2G | YBCO-123 涂层导体 |
| kAm | 1m 导线通过千安级电流 |
| $H_c$ | 临界磁场 |
| $T_c$ | 临界温度 |
| MFC | 多芯复合导体 |
| MRI | 磁共振成像 |
| SEI | 住友电气工业株式会社（日本） |
| AMSC | 美国超导公司（美国马萨诸塞州） |
| SP | 超能，IGC 公司（美国纽约） |
| 1G | 第 1 代高温超导体 |

（续）

| 符　号 | 定　义 |
| --- | --- |
| 2G | 第 2 代高温超导体 |
| SCS | 铜包覆稳定层 |
| MOD | 金属有机沉积 |
| RABiTS | 轧制辅助双轴织构基底 |
| PLD | 脉冲激光沉积 |
| IBAD | 离子束辅助沉积 |
| LMO | $LaMnO_3$ |
| CTFF | 连续装管成型及填充 |
| YSZ | 钇稳定的氧化锆 |
| He | 氦 |
| Ne | 氖 |
| $H_2$ | 氢 |
| $N_2$ | 氮 |
| $O_2$ | 氧 |
| LHe | 液氦 |
| $LN_2$ | 液氮 |
| LNe | 液氖 |
| VPI | 真空压力浸渍 |

# 目　　录

**译者序**
**原书序**
**缩略语**
**第 1 章　引言** …… 1
**第 2 章　高温超导材料** …… 4
2.1　概述 …… 4
2.2　高温超导体背景和专业术语 …… 5
2.2.1　背景 …… 5
2.2.2　术语 …… 5
2.3　BSCCO-2212 导体 …… 7
2.4　BSCCO-2223 OPIT 线材 …… 8
2.4.1　制备工艺 …… 8
2.4.2　电气和力学特性 …… 9
2.5　YBCO-123 涂层导体 …… 12
2.6　二硼化镁（$MgB_2$） …… 16
2.7　不同高温超导体的技术现状 …… 19
2.8　超导磁体设计 …… 19
2.9　总结 …… 24
参考文献 …… 24
**第 3 章　冷却与绝热系统** …… 26
3.1　引言 …… 26
3.2　低温恒温器结构 …… 26
3.3　高温超导磁体用低温制冷剂 …… 27
3.4　采用制冷剂直接冷却方式 …… 28
3.5　间接或传导冷却 …… 29
3.6　低温制冷系统 …… 30
3.6.1　吉福德-麦克马洪（G-M）制冷机 …… 31
3.6.2　斯特林制冷机 …… 33
3.6.3　脉冲管制冷机 …… 34
3.7　液氦开环冷却 …… 35
3.8　磁体材料 …… 36
3.9　电流引线 …… 36
3.9.1　低温超导磁体电流引线 …… 37

3.9.2　导冷引线设计 …… 38
3.10　低温恒温器设计实例 …… 39
3.10.1　结构 …… 39
3.10.2　热负荷计算 …… 39
3.10.3　电流引线 …… 41
3.10.4　热传导 …… 41
3.10.5　制冷机的选择 …… 42
3.11　总结 …… 42
参考文献 …… 43
**第4章　旋转交流电机** …… 44
4.1　引言 …… 44
4.2　拓扑结构 …… 44
4.3　分析与参数计算 …… 46
4.3.1　磁路和谐波分量 …… 46
4.3.2　参数计算 …… 52
4.3.3　电机端部参数 …… 58
4.4　设计 …… 64
4.4.1　定子绕组设计问题 …… 64
4.4.2　励磁绕组设计问题 …… 66
4.4.3　电磁屏蔽罩设计问题 …… 69
4.4.4　损耗和效率计算 …… 69
4.4.5　设计实例 …… 70
4.5　制造问题 …… 78
4.5.1　超导励磁绕组及其冷却系统 …… 78
4.5.2　低温励磁绕组到室温轴的转矩传递 …… 80
4.5.3　定子绕组 …… 80
4.6　仿真 …… 81
4.7　发电机 …… 81
4.7.1　高速发电机 …… 82
4.7.2　中速发电机 …… 83
4.8　电动机 …… 86
4.8.1　高速电动机 …… 87
4.8.2　低速电动机 …… 88
4.9　总结 …… 90
参考文献 …… 90
**第5章　旋转直流单极电机** …… 93
5.1　引言 …… 93
5.2　原理 …… 93

5.3 结构 …… 94
5.4 设计难点 …… 95
5.5 原型样机 …… 97
5.6 总结 …… 98
参考文献 …… 98
**第 6 章 交流同步单极电机** …… 100
6.1 引言 …… 100
6.2 原理 …… 100
6.3 设计分析 …… 102
6.4 设计难点 …… 102
6.5 原型样机 …… 103
6.6 总结 …… 103
参考文献 …… 103
**第 7 章 变压器** …… 105
7.1 引言 …… 105
7.2 结构 …… 106
7.3 设计分析 …… 109
7.3.1 铁心尺寸 …… 111
7.3.2 50 MVA 实例设计 …… 112
7.4 技术难题 …… 120
7.5 制造问题 …… 121
7.6 原型 …… 122
7.7 总结 …… 122
参考文献 …… 122
**第 8 章 故障限流器** …… 124
8.1 引言 …… 124
8.2 原理和结构 …… 125
8.2.1 电阻型故障限流器 …… 126
8.2.2 屏蔽铁心型感性 FCL …… 129
8.2.3 饱和铁心电感型 FCL …… 130
8.3 设计流程 …… 132
8.3.1 实例设计——电阻型故障限流器 …… 134
8.3.2 实例设计——饱和铁心型故障限流器 …… 143
8.4 面临的问题 …… 147
8.4.1 电阻型故障限流器的问题 …… 147
8.4.2 电感型故障限流器的问题 …… 148
8.5 制造问题 …… 149
8.6 原型样机 …… 149

8.6.1　美国超导公司（AMSC）的故障限流器 …… 149
8.6.2　SuperPower 公司的故障限流器 …… 150
8.6.3　Zenergy Power 公司的故障限流器 …… 151
8.6.4　Nexans 公司的故障限流器 …… 152
8.7　总结 …… 153
参考文献 …… 153
**第 9 章　电缆** …… 156
9.1　引言 …… 156
9.2　结构 …… 158
9.2.1　阻性低温电缆 …… 158
9.2.2　高温超导电缆 …… 159
9.3　设计分析 …… 161
9.3.1　低温电缆分析 …… 161
9.3.2　高温超导电缆分析 …… 164
9.4　面临的问题 …… 173
9.4.1　阻性低温电缆的问题 …… 173
9.4.2　高温超导电缆的问题 …… 175
9.5　制造问题 …… 177
9.5.1　阻性低温电缆的问题 …… 177
9.5.2　高温超导电缆的问题 …… 178
9.6　原型 …… 179
9.6.1　阻性低温电缆 …… 179
9.6.2　高温超导电缆——高压等级 …… 180
9.6.3　高温超导电缆——中压等级 …… 181
9.6.4　Triax™高温超导电缆——低压等级 …… 182
9.7　总结 …… 183
参考文献 …… 184
**第 10 章　磁悬浮交通** …… 186
10.1　引言 …… 186
10.2　结构 …… 186
10.2.1　电动悬浮 …… 187
10.2.2　电磁悬浮 …… 189
10.3　设计分析 …… 191
10.3.1　电动磁悬浮 …… 191
10.3.2　电磁悬浮 …… 193
10.4　问题（技术/经济） …… 195
10.4.1　EDS 系统面临的问题 …… 195
10.4.2　EMS 系统面临的问题 …… 196

10.5 制造问题 …… 196
10.6 原型样机 …… 197
10.6.1 诺斯罗普·格鲁门公司的概念 …… 197
10.7 总结 …… 203
参考文献 …… 203
**第 11 章 磁体应用** …… 205
11.1 引言 …… 205
11.2 空心磁体 …… 206
11.2.1 高场磁体 …… 206
11.2.2 低场磁体 …… 208
11.3 铁心磁体 …… 211
11.3.1 束流偏转 …… 211
11.3.2 感应加热 …… 211
11.3.3 同步加速器 …… 213
11.4 总结 …… 214
参考文献 …… 214

# 第1章　引　　言

1986年所发现的高温超导材料目前已经在世界范围内实现商用化，随之涌现出两种类型的应用：一是使用液氮实现77K温区的低场应用；二是采用制冷机获得25K以上温区的高场应用。低成本的高温超导材料和与其配套价位合理的制冷系统促进了高温超导技术在各种磁体和电力装备中的应用，现已建成多个电工应用的原理样机，如电动机、发电机、变压器、输电电缆、故障限流器、磁悬浮列车和应用物理研究用磁体等。

据美国能源部统计，电动机的能源消耗占美国国内生产消耗总量的四分之三，使用了美国发电总量超过一半的电能。除了少数特例，现在几乎所有的游艇均采用电力推进，许多其他类型的商船和战舰也采用船用电动机作为其主要动力源。那些功率超过1000hp[⊖]的大型电动机就消耗超过三分之一的发电量，其中四分之三的大型电动机适于采用高温超导技术。

超导技术同样有利于提升电力辅助设备的性能、保障电网的稳定运行，如超导磁储能系统（Superconductor electro Magnetic Energy Storage，SMES）和故障限流器（FCL）。除了提高系统效率外，使用超导体还可以减小电力设备的尺寸和重量。大部分电能是在相对低的电压以交流的形式产生，在甚至更低的电压下使用，利用高压输电技术从发电侧向用户侧输送，借助变压器将电能从一个电压等级向另一个电压等级转换，变压器是电网中使用最为广泛的设备，是高温超导技术应用首选的对象。

电网不可避免地会遭遇极端的自然灾害和各类故障。故障限流器如熔断器，被用于限制故障电流以保证电网的正常运行。然而，故障过后熔断器需人工更换，而高温超导限流器则是一种自触发、自复位设备，允许电网故障后快速恢复。

在相似几何尺寸条件下，采用高温超导材料所制作的电力电缆能够承载数倍于常规铜电缆的电能，使用高温超导电缆节省下的空间可以用于增加功率传输或另作其他用途。

大型电磁体广泛应用在工业、科研和军事领域。使用高温超导材料制造磁体具有相当的吸引力，高温超导磁体可表现以下优点：尺寸和重量小、效率和场强高、稳定性好、寿命长且便于冷却。

---

⊖ 1hp = 745.700W，后同。

实用高温超导材料主要包括 BSCCO-2223、YBCO-123、BSCCO-2212 和 $MgB_2$ 四种，但其中仅有 BSCCO-2223 和 YBCO-123 线材能够运行在 20～70K 温区，因而被广泛用于构造电工设备。YBCO-123 涂层导体成材技术发展迅速，其载流密度已满足实际设备应用的性能要求，基于涂层导体制造的 Roebel 电缆能够承载千安级电流且具有极低的损耗。BSCCO-2212 线材被用于构造运行在 4K 温区内的插式高场磁体，其棒材也被用于制作液氮浸泡冷却的故障限流器。$MgB_2$ 导体已经成材，但其载流能力仍低于其他高温超导材料。

相对于 NbTi 和 $Nb_3Sn$ 低温超导材料，高温超导材料尽管具有较高的不可逆场和运行温度，但 MRI、加速器和核聚变磁体至今尚未采用高温超导材料绕制，其原因在于高温超导材料在 4K 左右温区的比热容值较低。MRI、加速器和核聚变等低温超导应用是完全运行在 4K 附近温区的直流磁体，该温区工作的高温超导磁体对即使很小的热扰都会十分敏感，局部的温升就可能导致磁体的猝灭。反之，若运行在 30K 左右，高温超导材料比热容数值将高于 4K 温区数百倍，任何局部的热扰仅会引起较小的温升，而且它的 $N$ 值较低[⊖]，正常态转变相对缓慢，使得高温超导磁体即使在明显热扰的情况下也能维持正常运行。

高温超导材料已被证实成功用于许多场合，相比而言低温超导材料显得并不理想，特别在工业应用方面。高温超导材料可以用来建造运行在液氮温区、交流电网中的电力电缆、故障限流器和变压器，已实施完成许多相关大型项目。高温超导体同样也用于构造大型交流同步电动机和发电机励磁磁极上的高场直流绕组，这些线圈固定在转子上，采用热虹吸或氦气循环的静态制冷机冷却，借助氦或氖等热媒将绕组中产生的热负荷输送到制冷系统。已经成功建造的大型电动机和发电机包括 8MVA 和 12Mvar 无功同步调相机、船舰用 4MW 双极发电机、5MW 和 36.5MW 高转矩船舰推进电动机以及 1000hp 和 5000hp 工业电动机。

电工领域是高温超导体最大的潜在应用市场，涉及电力传输电缆、高功率工业和船舶用推进电动机、发电机、同步调相机、故障限流器和变压器。2003 年 8 月 14 日的美国东北地区发生的停电事故促进了高温超导电力设备的加速发展。

本书总结了高温超导材料及其冷却系统的关键特性，讨论了它们在诸如旋转电机、变压器、电力电缆、故障限流器、磁悬浮列车和磁体系统等电工装备中的应用，给出设计实例帮助读者针对具体应用定制设备，大量参考文献提供了开发应用的相关细节。

目前高昂的材料成本制约了高温超导电工装备的商业化应用，预计不同应

---

⊖ $N$ 是高温超导带材的 $V-I$ 曲线的指数。

用最高可接受的价格在 1 ~ 100 美元/(kA · m) 之间，这里 kA 是指材料的运行电流水平。低温超导 NbTi 线材典型售价约 1 美元/(kA · m)，但仅限于液氦温区使用；针对一些价格在 10 ~ 100 美元/(kA · m) 范围的应用场合，使用高温超导体且运行在 20 ~ 77K 温区则被认为具有较好的经济性。电工装备所用铜材的典型数值约为 15 ~ 25 美元/(kA · m)，为超导材料的使用设定了基准，由于电力应用成本压力巨大，高温超导材料必须与常规铜材相竞争。

在 1995 ~ 2010 年期间，国际上先后研发出包括发电机和电动机在内的许多同步电机原理样机，其中包括船舰推进用 100 ~ 200r/min 低速电机和 1800 ~ 3600r/min 高速电机，但因大部分使用了价格昂贵的 BSCCO-2223 高温超导材料，使之不可能成为商品。然而，如今的 YBCO-123 涂层导体材料具有低成本、高载流的特点，再次激发出人们的兴趣来研制应用在集中式电站和风电场的同步发电机。

采用 BSCCO-2223 线材和 YBCO-123 涂层导体构造的地下电力传输高温超导电缆已得到示范应用，如今多根超导电缆在世界各地运行，额定电压等级涵盖 11 ~ 138kV 范围。尽管这些电缆的运行给用户见证了高温超导技术的优越性，但高昂的成本费用和可靠性问题仍阻碍了高温超导电缆的实用化进程。

目前许多故障限流器项目正在进行中，大多数使用 YBCO-123 涂层导体或块材，有一些原理样机已在电网中试验运行。虽然故障限流器可以解决目前常规技术难以解决的电力系统问题，但能否成功应用仍将取决于其投资成本和可靠性评估。

在 1995 ~ 2005 年，世界上也制造出许多超导电力变压器原理样机，大部分使用 BSCCO-2223 线材，由于其交流损耗较高，发现并不适于变压器应用。现在新的项目开始尝试使用 YBCO-123 涂层导体，有望将损耗降低至可接受的水平，这些导体一般采用宽带或 Roebel 电缆。尽管高温超导变压器可以提高效率和减轻重量，但将来的应用推广仍将取决于其经济可行性和运行的可靠性。

为了鼓励未来的用户采用高温超导技术，发展并建立类似于常规设备的各类标准是必需的。高温超导设备必须满足 CIGRE、IEEE、NEMA 和 VAMAS 等工业标准对常规设备的所有要求，如果某项要求不能满足则必须制定相应方案以确保超导新设备与目前可供使用的常规设备在性能指标和可靠性方面相当。必须从现在开始启动标准工作，目前 IEEE 和 CIGRE 正在着手开展高温超导旋转电机和故障限流器标准的起草工作。

尽管高温超导技术的许多应用是可行的，但需降低高温超导材料及其冷却系统的费用才能实现应用推广，这是一个典型的鸡和蛋的问题：大部分的应用要求降低高温超导材料和冷却系统成本，而研发人员则需要更多的需求（订单）来降低这些成本。预计 21 世纪 20 年代，可能出现一些符合经济性要求的产品。