

全球首个应用于城市中心高供电可靠性需求区域的
超导电缆示范工程——

深圳供电局超导电缆示范工程介绍

前言 QIAN YAN

超导电缆，也就是由超导材料制作而成的电缆，由这种材料制作而成的电缆在超导态传输交流电仅有少量的交流损耗，是传输电力的绝佳材料。本文以深圳局三相同轴超导电缆系统为例，介绍了三相同轴超导电缆的一般结构、系统构成，对今后对超导电缆的敷设、运维提供一定帮助。



目录

- 1 超导体、超导材料与超导电缆
- 2 深圳超导电缆示范工程情况
- 3 工程创新点

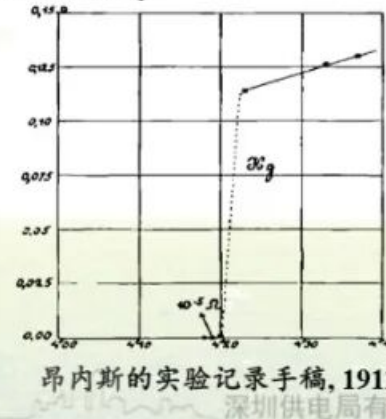
超导体的发现



Heike Kamerlingh Onnes
(1853-1926)

1911年，荷兰物理学家昂内斯发现Hg（汞）在4.2K时仪器突然检测不到电阻的现象。后来，昂内斯及其同事又发现了Sn（锡）在3.8K和Sb（锑）在7.2K时也有类似现象

1913年，Onnes宣称这些材料在低温下“进入了一种新的状态，这种状态具有特殊的电学性质”，将之命名为superconductivity



昂内斯的实验记录手稿，1911



任何仪器的灵敏度都是有限制的，因此实验只能确定超导电阻的上限。近年观测表明，超导体的 $\rho < 10^{-26} \Omega \cdot \text{cm}$ (金属 $10^{-12} - 10^{-13}$)

超导材料的分类

低温超导体

临界温度
4.2K
=-268.8°C
液氦环境下工作

高温超导体

临界温度
77K
=-196°C
液氮环境下工作

铋系

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x/\text{Ag}$
常用于制作
超导带材

钇系

High-Tc YBCO bulk crystals
YBa₂Cu₃O_x
常用于制作
超导带材/块材

超导电力技术

超导电力技术



超导电力技术

Pics above:
超导限流器
超导电缆
超导变压器
超导电机

超导技术和电力技术的交叉领域，可显著提高输电效率、可靠性，提高能量密度，是最有可能走向大规模应用的方向之一。常见的超导电力设备有超导电缆、超导限流器、超导电动机、超导发电机、超导变压器等

超导电缆的发展

35kV/2kA/33.5m, 2004年
云南电网
中国第一条超导电缆

10kV/2.3kA/1km, 2014年
德国
当今长度最长的超导电缆

冷绝缘电缆结构示意图

电缆层
超导屏蔽层
液氮通道

超导电缆的优势

电流密度大: 可达100-1000A/mm²，铜或铝的50-500倍

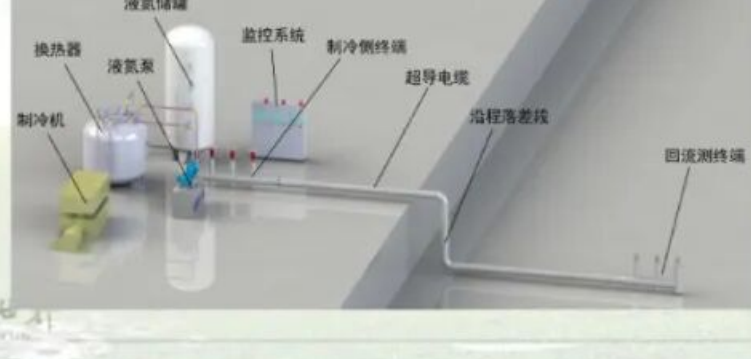
传输损耗小: 考虑制冷能耗，约为常规电缆的1/4-1/2

走廊占地少: 相同传输容量下，走廊减小约40%

应用: 长距离电力输送网络骨架, 城市地下电缆替代扩容, 配电网, 大容量或大电流应用

目录

- 1 超导体、超导材料与超导电缆
- 2 深圳超导电缆示范工程情况
- 3 工程创新点



深圳供电局超导电缆线路电缆长约400米，转弯多、通道窄、落差高，可以说是世界已有超导电缆工程中路径最复杂的。

深圳供电局有限公司

项目主要历程及时间节点



琼豫竹世界

深圳供电局有限公司

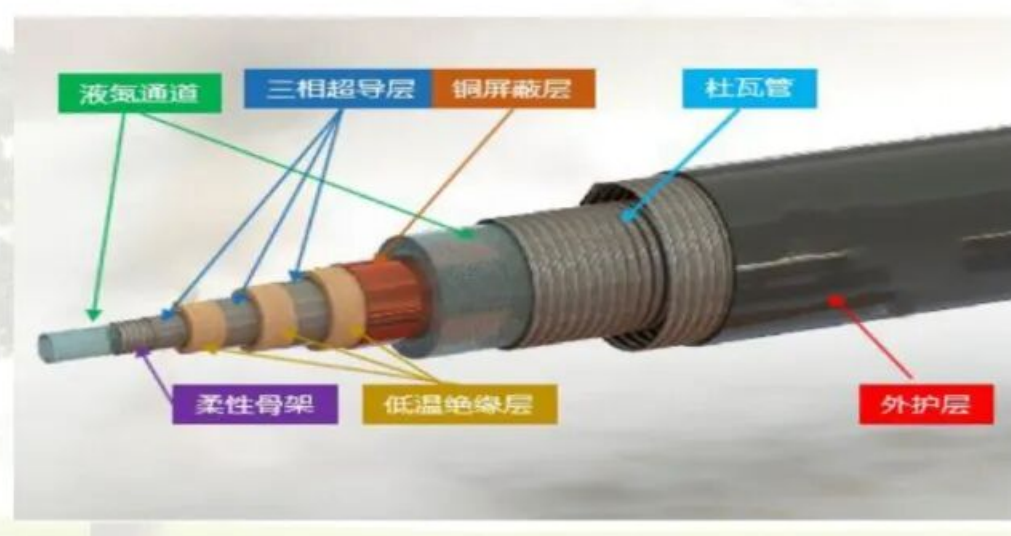
超导电缆系统构成



琼豫竹世界

深圳供电局有限公司

三相同轴式超导电缆

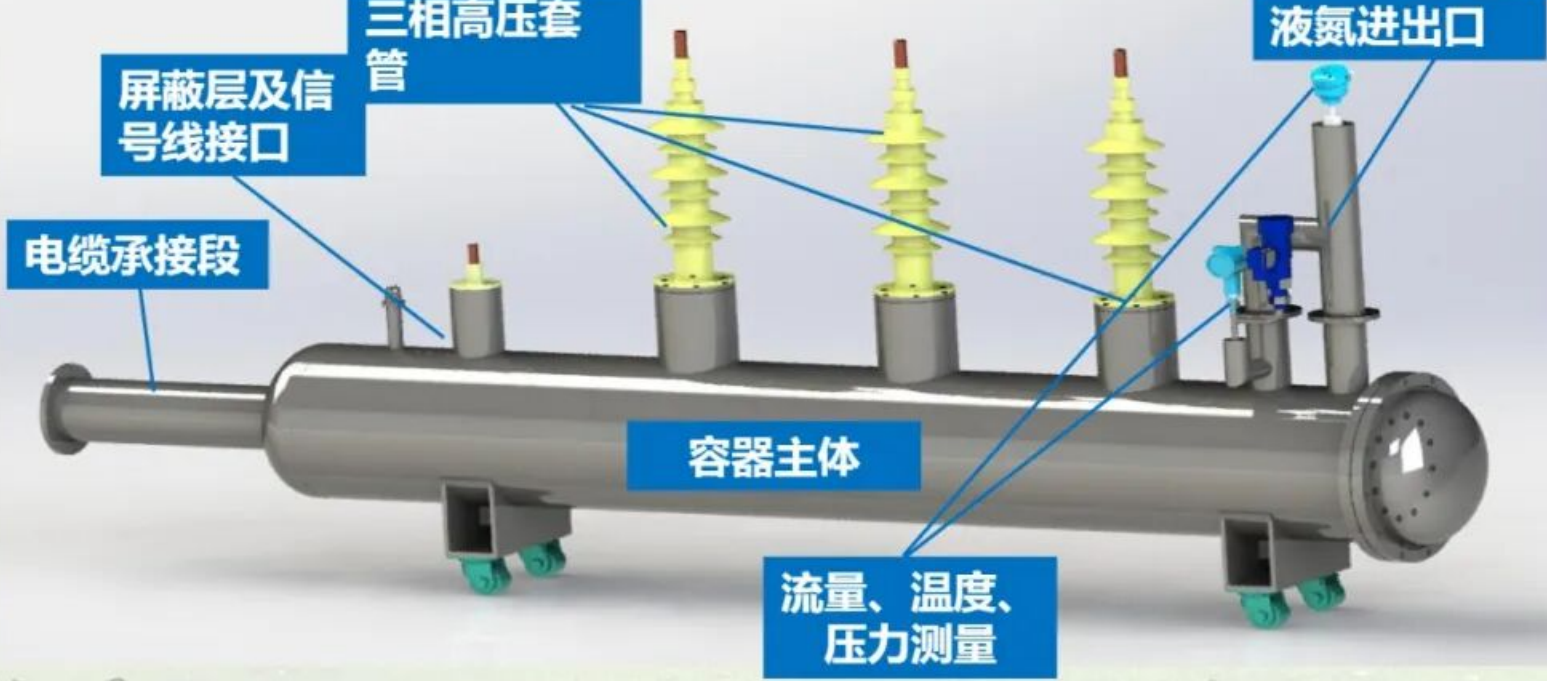


三相同轴式超导电缆结构

琼豫竹世界

深圳供电局有限公司

超导电缆终端简介



琼豫竹世界

深圳供电局有限公司

超导电缆终端简介

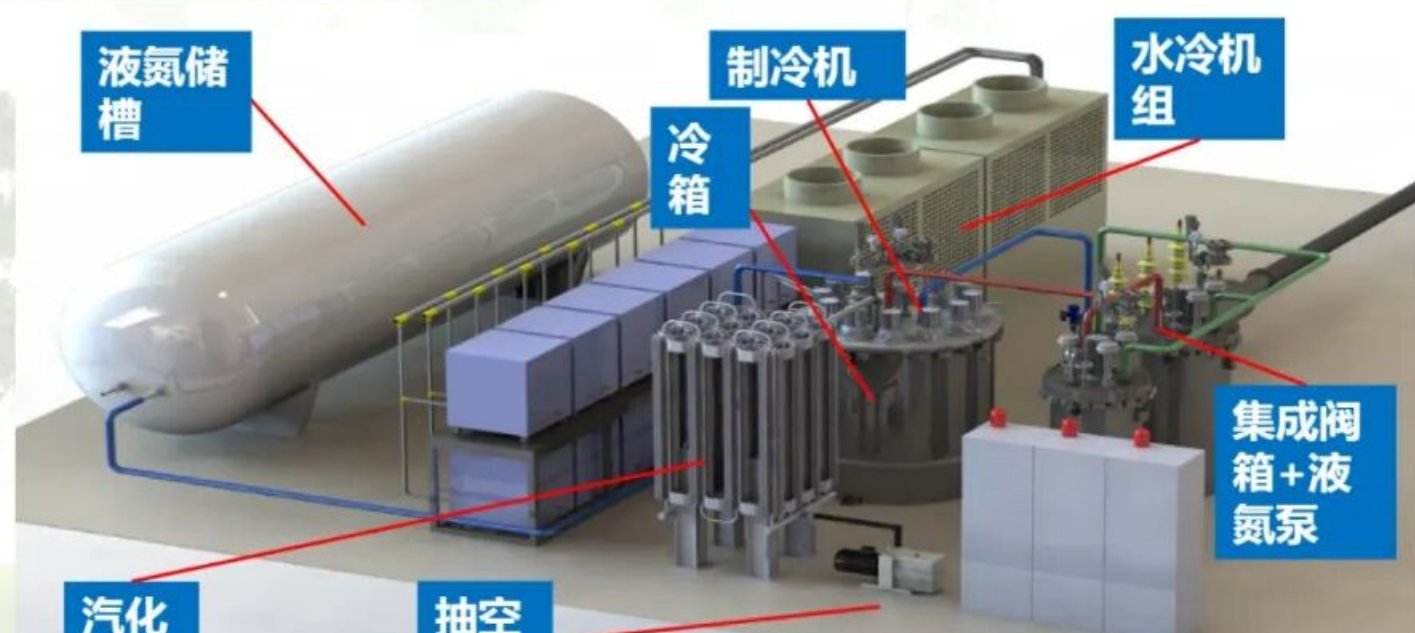


超导电缆终端

琼豫竹世界

深圳供电局有限公司

超导电缆配套低温制冷系统



琼豫竹世界

深圳供电局有限公司

超导电缆配套低温制冷系统



低温制冷系统

琼豫竹世界

深圳供电局有限公司

目录

- 1 超导体、超导材料与超导电缆
- 2 深圳超导电缆示范工程情况
- 3 工程创新点

创新点一

★ 全球首个应用于城市中心高供电可靠性需求区域的超导电缆示范工程



南方电网深圳供电局将超导电缆运用到城市中心高负荷密度供电区域，给平安大厦等重要负荷供电，属全球首次城市核心区域实战化应用，是对超导电缆研发和应用水平、城市电网运行管理水平的一次大考，不仅为解决特大型城市供电问题提供了新样板，也引领了未来具有战略意义的电力传输新技术。

琼豫竹世界

深圳供电局有限公司

创新点二

★ 首次实现国产400米级三相同轴高温交流超导电缆设计和制造



- 项目团队历时3年多时间，成功研制出**国内首条工程化10千伏三相同轴高温交流超导电缆**。
- 项目全面突破并掌握了**三相同轴电磁耦合分析、超导层电流分配、液氮-纸复合绝缘、局部放电抑制、双流体通道优化、末端集束引线、屏蔽层接地**等关键技术，整体技术水平处于国际领先。

创新点三

★ 首次实现国产长距离低温杜瓦管与通电导体一体化连续焊接成型工艺



杜瓦管连续焊接成型生产线

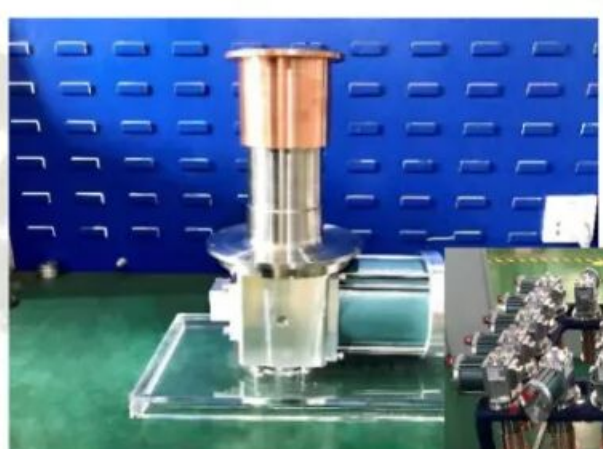


杜瓦管外形

- 采用**同步成型工艺**实现三相同轴高温超导电缆通电导体与杜瓦管连续封装制备，实现超导缆通电导体外侧杜瓦管的**连续封装、焊接、探伤、扎纹**，通过工序与工艺创新使得超导电缆外装杜瓦管实现一体化连续制造，解决了长距离超导电缆配装低温管道的工艺难题，**避免超导电缆通电导体套装低温杜瓦管被损伤的制造风险**。

创新点四

★ 首次研制国产大冷量GM制冷机，并批量化用于工程实施



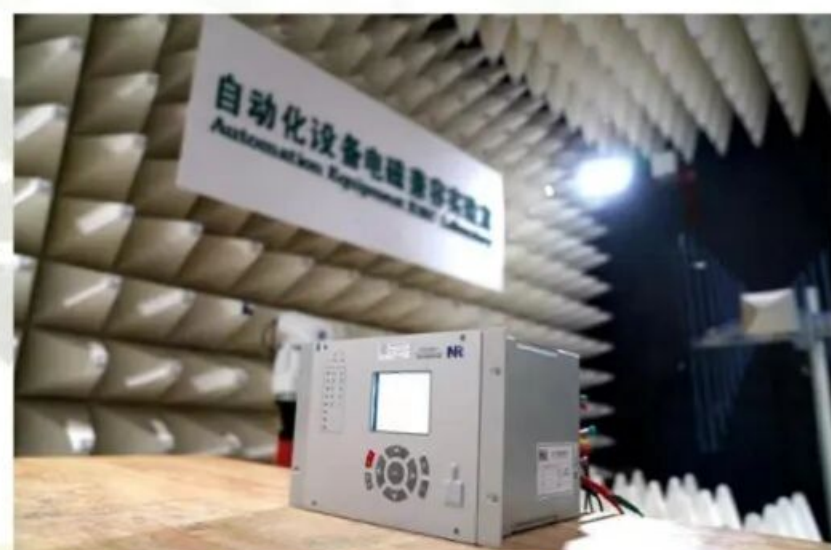
国产大冷量GM制冷机批量化生产应用



- 降低制冷机对外传热的换热温差，提升了冷量传递效率，**增大了制冷机制冷量**
- 对比验证不同磨损结构、材料的选型，降低了系统的振动和阀门磨损，**提高了制冷机可靠性**

创新点五

★ 首次研发国产三相同轴超导电缆失超保护装置



失超保护装置与配套监控系统

- 在超导电缆失超故障检测、多维度运行状态在线监测、超导电缆与电网保护协调配合技术以及高可靠性保护设备研制等方面取得突破和创新，其中**失超故障加速动作**以及**自恢复控制**等功能为国内外首创，解决了超导电缆工程化应用中面临的安全保障难题。

创新点六

★ 创新性采用超导电缆实现110kV变电站不扩建增加容量



变电站位于福田CBD中心地区

- 若采用110kV电缆，需扩建一台主变，土地紧张拆迁困难，花费大量资金。
- 本项目创新性采用10kV超导电缆连接220kV滨河站及110kV星河站，实现了110kV变电站不扩建增加容量，减少变电站占地500平方米，节省工程投资约1千万元，同时降低工程建设难度。

汇报完毕，恳请指正！