

热处理

质量控制与检验

主编：谢绍志

实务全书

安徽音像出版社

书 名： 热处理质量控制与检验实务全书
主 编： 谢绍志
出版发行： 安徽音像出版社出版发行
出版时间： 2004 年 2 月
光盘制作： 北京文录激光唱片有限公司
光 盘 号： ISBN 7 - 88401 - 679 - 6
本 版 号： ISRC CN - E15 - 0134 - 0/V·Z
定 价： 798.00 元(1CD - ROM + 三卷手册)

热处理质量控制与检验实务全书

编 委 会

主 编：谢绍志

副主编：李少伟 马记超

编 委：刘 华 李 斌 李 平 史 刚

张志明 周宏新 胡志宏 张炳振

姜艳穴 李少伟 赵 诚 侯高军

杨 林 胡永阳 刘永刚 邓胜平

目 录

第一章 热处理生产过程控制	(1)
第一节 热处理生产过程控制系统	(1)
第二节 温度控制	(3)
第三节 热处理气氛控制	(78)
第四节 热处理生产过程控制系统	(105)
第二章 热处理质量管理	(111)
第一节 概 论	(111)
第二节 产品设计中的热处理质量控制	(115)
第三节 热处理工艺设计中的质量控制	(121)
第四节 采购质量	(129)
第五节 原材料质量管理	(130)
第六节 热处理工艺过程中的质量	(132)
第七节 热处理质量检验	(142)
第八节 不合格品的控制与纠正措施	(146)
第九节 热处理后的质量服务	(147)
第十节 热处理质量改进	(148)
第十一节 质量成本	(148)
第十二节 人员培训	(151)
第十三节 计算机在质量管理中的应用	(152)
第三章 热处理过程中的质量控制	(158)

第一节	待热处理工件的核查或验收	(158)
第二节	加热质量控制	(160)
第三节	正火与退火质量控制	(175)
第四节	淬火与回火质量控制	(178)
第五节	感应加热与火焰加热表面淬火质量控制	(202)
第六节	化学热处理质量控制	(210)
第七节	铝合金及钛合金热处理质量控制	(228)
第四章	材料化学成分的检验	(236)
第一节	钢的火花检验	(236)
第二节	光谱分析	(247)
第三节	微区化学成分分析	(255)
第五章	宏观组织检验及断口分析	(268)
第一节	宏观检验	(268)
第二节	断口分析	(281)
第三节	宏观断口分析	(292)
第四节	显微断口分析	(302)
第五节	失效分析	(316)
第六章	显微组织分析与检验	(327)
第一节	金相试样的制备	(327)
第二节	光学显微镜及电子显微镜在显微分析中的应用	(340)
第三节	定量金相方法	(356)
第四节	彩色金相技术	(370)
第五节	典型工程合金的显微组织检验技术	(379)
第六节	热处理质量及缺陷组织检验	(418)
第七章	力学性能试验	(434)
第一节	硬度试验	(434)
第二节	静拉伸试验	(488)
第三节	压缩、弯曲及扭转试验	(509)

第四节 冲击试验	(517)
第五节 断裂韧性试验	(534)
第六节 疲劳试验	(560)
第七节 磨损试验	(594)
第八节 高温力学性能试验	(608)
第八章 无损检测	(626)
第一节 内部缺陷检测	(626)
第二节 表层缺陷检测	(660)
第三节 材质与热处理质量的无损检测	(683)
第四节 红外检测与微波检测	(703)
第九章 残余应力的测定	(708)
第一节 概 述	(708)
第二节 残余应力的产生	(712)
第三节 残余应力的测定	(721)
第十章 合金相分析及相变过程测试	(764)
第一节 合金相分析方法	(764)
第二节 相变过程测量	(782)
第三节 钢中残留奥氏体测定	(799)
第四节 其他物理方法简介	(805)
第十一章 金属腐蚀与防护试验	(818)
第一节 概 述	(818)
第二节 局部腐蚀	(840)
第三节 金属在不同环境、介质中的腐蚀	(850)
第四节 应力作用下的腐蚀破坏	(858)
第五节 高温氧化	(879)
第六节 防腐蚀技术	(882)
第十二章 热处理常用数据	(893)
第一节 常用物理量单位换算	(893)

第二节	常用物理化学数据·····	(905)
第三节	常用金属材料牌号、化学成分和力学性能·····	(969)
第四节	常用金属材料热处理工艺参考数据·····	(1062)
第五节	常用钢热处理工艺参考曲线·····	(1117)
第六节	常用标准名称、代号及分类·····	(1127)
第七节	近代材料分析方法概要·····	(1147)
第十三章	热处理节能与环境保护·····	(1339)
第一节	热处理节能的概念·····	(1339)
第二节	热处理节能的技术经济·····	(1340)
第三节	热处理节能的基本策略·····	(1344)
第四节	热处理能源及加热方式·····	(1346)
第五节	热处理工艺设计节能·····	(1351)
第六节	热处理工艺节能·····	(1353)
第七节	新钢材节能·····	(1358)
第八节	热处理设备节能·····	(1360)
第九节	热处理炉型节能·····	(1365)
第十节	余热利用·····	(1367)
第十一节	可控气氛节能·····	(1373)
第十二节	热处理工辅具的节能·····	(1376)
第十三节	控制节能·····	(1379)
第十四节	生产管理节能·····	(1384)
第十五节	热处理生产的环境污染·····	(1386)
第十六节	热处理生产环境污染的·····	(1391)
第十七节	环境保护管理·····	(1400)

第一章 热处理生产过程控制

第一节 热处理生产过程控制系统

现代热处理生产是以高度自动化为前提的。没有对热处理工艺参数、工艺规程以及热处理生产线的控制,就没有现代的热处理生产。

所谓自动控制是指在没有人直接参与的情况下,能够控制某些物理量使其按照指定的运动规律变化。例如,热处理炉温度和气氛的自动控制就是生产过程中使其自动地实现热处理工艺规程的要求。

一、热处理生产自动控制装置的基本组成

自动控制装置包括三个组成部分。第一部分是测量元件和变送器,它的作用是测量为实施热处理工艺规程及产品技术要求所需的参数,并转换成控制器可能接收的信号,如将所测量的炉气氛的碳势转换为电压,并放大成具有一定大小的信号。第二部分是控制器(或称调节器),它把变送器送来的测量信号与设定的信号进行比较,并将比较后的偏差按预定的规律进行计算,然后将计算结果送给执行器。第三部分是执行器,它根据控制器发出的控制信号去操作供电、输气、机械动作等等,以实现热处理工艺所要求的参数。

通常用一个框图来描述自动控制系统中各组成部分的关系。图 1-1 为热处理炉温自动控制系统框图。

在此闭环的控制系统中,控制器是一个关键环节,它包括了对测量信号的处理,测量信号与设定值的比较及控制量的产生。

二、控制系统的分类

自动控制系统按控制器的类别分为:常规控制系统和计算机控制系统。

(1)常规控制系统,这种系统基本上都是用自动化仪表组合而成的,其控制器是一种控制仪,如温度控制器常用的有动圈式温度控制仪、电子电位差计式温度控制仪。这类仪表一般只有简单的数据处理功能,有的也采用由电子元件组成的 PID 电路,对信号进行一定量处理,但没有运算的功能。

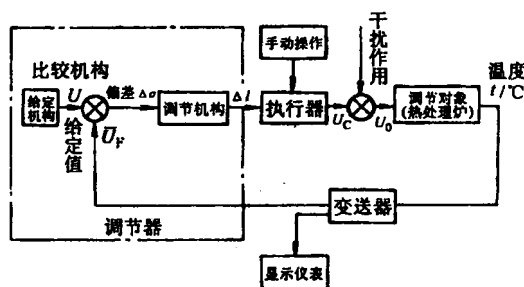


图 1-1 热处理炉温自动控制系统框图

(2)计算机控制系统,它是以计算机为控制器的控制系统,控制规律由软件来实施,可以执行特定的控制算法及复杂的数学模型。

目前我国热处理生产的自动控制是两种系统并行,但常规的控制系统将逐渐被计算机控制系统所取代。

三、热处理生产过程控制系统的级别

热处理生产过程控制的发展趋向是由简单系统、单参数控制向整个工艺过程和整个生产过程控制的方向发展,从简单机械式控制向智能化的方向发展。目前控制系统大体上有如下等级。

(1)单个工艺参数控制,对热处理工艺参数分别进行控制,如温度、压力、流量、气氛、时间、机械动作及位移等。有的采用开环控制,也有的是闭环控制。可以选用常规控制仪表或系统,也可以采用计算机控制系统。

(2)热处理工艺过程控制,对热处理工艺过程进行控制,如控制温度随时间的变化规程,炉气氛随时间的变化规程等。这种控制,基本上都采用计算机控制系统。这种控制又有静态控制和动态控制之分。静态控制是计算机按固化在芯片中的程序进

行采样和控制而运算达到控制的效果,控制结果采用数字显示。动态控制是即时进行采样和控制,常利用计算机按数学模型运行程序控制,并可随时改变和处理控制程序,控制的结果可在计算机屏幕上即时显示。

(3)计算机模拟仿真控制,热处理生产过程的模拟、仿真控制是把热处理的最初始的,资料,如处理件、钢材、技术要求、工况等及工艺过程的基本规律输入计算机,计算机将智能化地模拟热处理工艺过程,自动地确定和修正热处理工艺,使生产过程始终处在最优的工作状态。

(4)热处理生产线控制,把整个热处理生产线,包括各热处理工序、各机械动作、各工艺参数等进行协调控制。

(5)热处理生产与管理全面控制,此种控制系统,除完成热处理工艺过程控制任务外,还能完成生产调度、生产计划、材料消耗、成本核算、设备检修和维护等企业管理任务。

第二节 温度控制

一、温度传感器

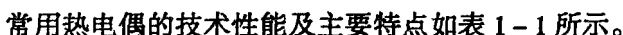
温度传感器既可分为接触式和非接触式两大类,也可分为电器式和非电器式。热处理测温优先选用接触式、电器式,使传感器能与介质(或物体)直接接触,并能发出电信号,实现自动检测。

(一)热电偶

1. 热电偶类型及结构 热电偶是应用最广的接触式温度传感器,它由两根不同成分的均匀金属丝组成。它们一端焊接在一起,称测量端(热端);另一端分别接到测量仪表电路上,称参比端(冷端)。测量端随温度变化产生不同的热电势,以 mV 信号输出,其值正比于测量端与参比端的温差, mV 值与电偶丝的材料有关,与丝的直径和长度无关。

(1)WR 系列热电偶,WR 系列热电偶通常由热电偶元件、保护管接线盒及安装固定装置等组成。其元件类型、接线盒形式、固定装置、套管材料等多种类型,可供选择。

WR 系列热电偶的型号命名及意义如下:



热电偶名称	分度号	型号	热电偶材料			100℃ 时电势 1mV	使用温度/℃	
			极性	识别	化学成分 (质量分数, %)		长期	短期
铂铑 ₁₀ - 铂	S	WRP	正	亮白, 较硬	Pt90, Rh10	0.645	1300	1600
			负	亮白, 柔软	Pt100			
铂铑 ₁₃ - 铂	R ³	WRQ	正	较硬	Pt87, Rh13		1300	1600
			负	柔软	Pt100			
铂铑 ₃₀ - 铂铑 ₆	B	WRR	正	较硬	Pt70, Rh30	0.033	1600	1800
			负	稍软	Pt94, Rh6			
镍铬 - 镍硅 (镍铬 - 镍铝)	K	WRN	正	暗绿不亲磁	Cr9 ~ 10, Si0.4, Ni90	4.095	1200	1300
			负	深灰稍亲磁	Si2.5 ~ 3.0, Ni97, Co ≤ 0.6			

第一章 热处理生产过程控制

热电偶名称	分度号	型号	热电偶材料			100℃ 时电势 1mV	使用温度/℃	
			极性	识别	化学成分 (质量分数, %)		长期	短期
镍铬硅 - 镍硅	N	WRN	—	—	—	—	—	—
铜 - 康铜	T	WRC	正	褐红色	Cu100	4.277	350	400
			负	亮黄	Ni45, Cu55			
铁 - 康铜	J	WRF	正	蓝黑亲磁	Fe100	5.268	600	750
			负	亮黄不亲磁	Cu40 ~ 60 合金			
镍铬 - 康铜	E	WRE	正	暗绿	Cr9 ~ 10, Si0.4 Ni90	6.317	750	850
			负	亮黄	Cu40 ~ 60 合金			

允许误差/℃				主要特点
热电偶名称	温度范围/℃	级别	允 差	
铂铑 ₁₀ - 铂	0 ~ 1600	I	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm [1 + (t - 1100) \times 0.003]$	高温下抗氧化性好, 宜在氧化或中性气氛中使用, 不宜在还原气氛中使用
		II	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.25\% t$	
铂铑 ₁₃ - 铂	0 ~ 1600	I	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm [1 + (t - 1100) \times 0.003]$	
		II	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.25\% t$	
铂铑 ₃₀ - 铂铑 ₆	600 ~ 1700	I	$\pm 0.25\% t$ 或 1.5°C	除上述外, 冷端在 40°C 以下不用修正
		II	$\pm 4^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.5\% t$	
镍铬 - 镍硅 (镍铬 - 镍铝)	- 40 ~ + 1000	I	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.4\% t$	宜在氧化、中性气氛及真空中使用
	- 40 ~ + 1200	II	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.75\% t$	
	- 200 ~ + 40	III	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 1.5\% t$	
镍铬硅 - 镍硅	—	—	—	性能与 WRN 相近
铜 - 康铜	- 40 ~ + 350	I	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.4\% t$	适用于氧化、还原气氛及真空, 在氧化气氛中不宜超过 300°C , 在 - 200 ~ 0°C 稳定性很好
	- 40 ~ + 350	II	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.75\% t$	
	- 200 ~ + 40	III	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 1.5\% t$	

允许误差/℃				主要特点
热电偶名称	温度范围/℃	级别	允 差	
铁 - 康铜	- 40 ~ + 750	I	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.4\% t$	适用于氧化、还原气氛及真空, 在氧化气氛中不宜超过 500°C
		II	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.75\% t$	
镍铬 - 康铜	- 40 ~ + 800	I	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.4\% t$	适用于 - $200 \sim + 800^{\circ}\text{C}$ 的氧化或中性气氛, 不适用于还原气氛
	- 40 ~ + 900	II	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.75\% t$	
	- 20 ~ + 40	III	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 1.5\% t$	

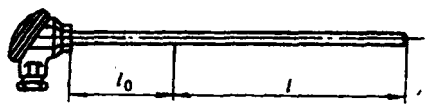
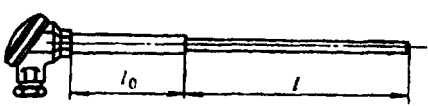
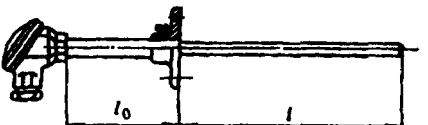
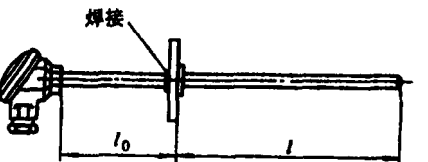
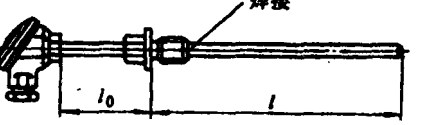
热电偶类型的选择, 除考虑温度范围外, 应注意其对热处理气氛的适应性, 例如, 在还原性气氛中 J 类比 K 类优越, 而在氧化气氛中, K 类比 J 类优越; K 类对硫的污染非常敏感; 在含氧量较低的气氛中, 含铬的热电偶丝会优先氧化, 产生绿蚀, 降低输出信号。

(2) 特殊的热电偶, 特殊的热电偶的技术性能和特点如表 1-2 所示, 常用热电偶的结构形式及特点如表 1-3 所示。

表 1-2 特殊热电偶的技术性能和特点

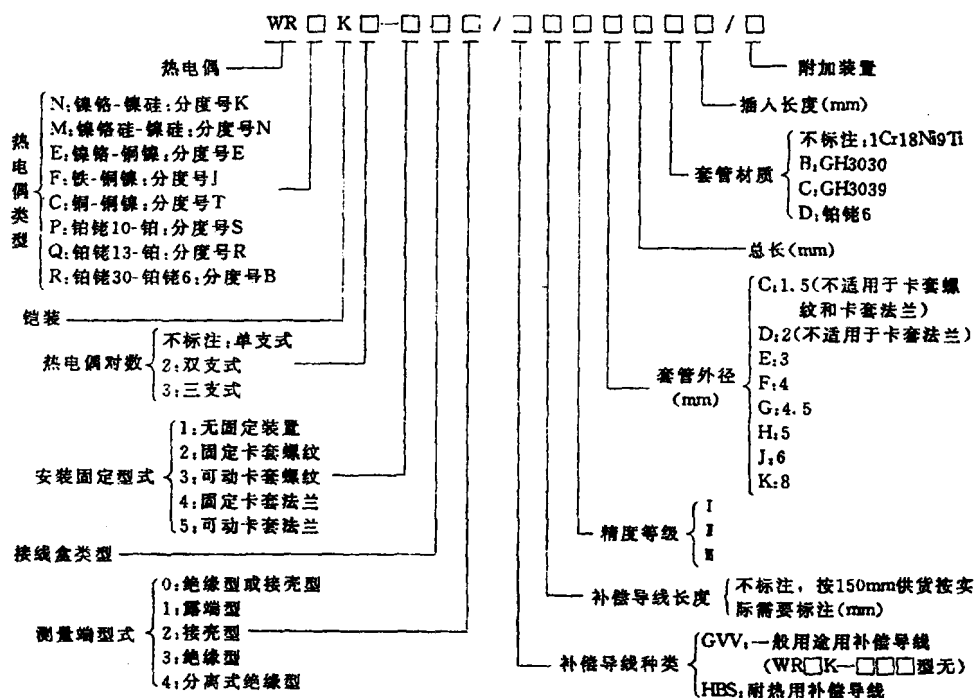
名称	材料		温度测量上限/℃		允许误差	特 点	用 途
	正极	负极	长期	短期	℃		
铂铑系	铂铑 13 铂铑 20 铂铑 40	铂铑 1 铂铑 6 铂铑 20	1450 1500 1600	1600 1700 1850	≤ 600 为 ± 3.0 > 600 为 $\pm 0.5\% t$	在高温下抗氧化性能、力学性能好, 化学稳定性好, 50°C 以下热电势小, 参考端可以不用温度补偿	各种高温测量
钨铼系	钨铼 2 钨铼 5	钨铼 25 钨铼 20	2000 2000	2800 2800	≤ 1000 为 ± 10 > 1000 为 $\pm 1.0\% t$	热电势大, 与温度的关系线性好, 适用于干燥氢气、真空和惰性气氛, 热电势稳定, 价格低	各种高温测量、钢液测量
非金属	碳	石墨	2400	—	—	热电势大, 熔点高, 价格低廉, 但复现性差, 机械强度低	耐火材料的高温测量
	硼化钨	碳化钨	2000				
	二硅化钨	二硅化钨	1700				

表 1-3 常用热电偶的结构形式及特点

保护管 形状	固定装 置形式	结构特点及用途	结构示意图
直 形	无固定装置	保护管可以用金属或非金属二种,适用于常压设备及需要移动的或临时性的温度测量场所	 l_0 为非插入部分; l 为插入部分
		插入部分 l 为非金属保护管,不插入部分 l_0 为金属加固管 用途同上	
	可动法兰带加固管	带可动法兰装置,使用时法兰是固定在金属加固管 l_0 上,插入部分为非金属保护管 适用于常压设备及需要移动的或临时性的温度测量场合	
	可动法兰	金属保护管带可动法兰,适用于常压设备,插入深度 l 或以移动调节	
直 形	固定法兰	金属保护管固定法兰,这种固定方法,装拆方便,能耐一定压力(0~6.3MPa) 适用于有一定压力的静流或流速很小的液体,气体或蒸汽等介质的温度测量	 焊接
	固定螺纹	金属保护管带固定螺纹,特点和用途同上	 焊接

保护管形状	固定装置形式	结构特点及用途	结构示意图
锥形	固定螺纹	锥形金属保护管带固定螺纹耐压力 19.6MPa, 可承受液体、气体或蒸汽流速 80m/s 适用于有压力和流速的介质测温	
锥形	焊接	锥形焊接金属保护管耐压 29.4MPa, 承受液体、气体, 蒸汽流速 80m/s 适用于主蒸汽管道	
直角形	焊接	直角弯形金属保护管, 横管长度 l_0 为 500mm 和 750mm, 适用于常压, 不能从设备的侧面开孔且顶上辐射热很高的设备中, 例如测量装有液体的加热炉的温度	
直角形	可动法兰	直角弯形金属保护管, 横管 l_0 长为 500mm 和 750mm 两种, 适用于常压, 不能从设备的侧面开孔且顶上辐射热很高的设备中。例如, 测量装有液体或因其他原因必须在顶上测量温度的设备 带有可动法兰作为固定装置, 插入深度可根据需要进行移动调节	

(3) 铠装热电偶, 铠装热电偶是将热电偶丝包裹在金属保护管中, 并隔以绝缘材料(一般为 MgO), 具有可自由弯曲、反应速度快、耐压、耐冲击等特点。其型号命名及意义如下:



铠装热电偶测量端的结构形式见表 1-4。不同套管材料的铠装热电偶及其使用温度见表 1-5。

表 1-4 铠装热电偶测量端的结构形式

测量端形式	特点	用途	示意图
露端型	1. 结构简单 2. 时间常数小, 反应快 3. 偶丝与被测介质接触, 使用寿命短	适于温度不高, 要求反应速度快, 对热电偶不产生腐蚀作用的介质	
接壳型	1. 时间常数较露端型大 2. 偶丝不受被测介质腐蚀, 寿命较露端型长	适于测量温度较高, 要求反应速度较快, 压力较高, 并有一定腐蚀性的介质	

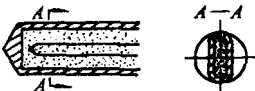
测量端形式	特 点	用 途	示意图
绝缘型	1. 时间常数较上述均大 2. 偶丝与金属套管绝缘, 不与被测介质接触, 寿命长	适于测量温度高, 压力高及腐蚀性较强的介质, 尤其适于对电绝缘性较好的生产设备	
圆变截面型 (可制成接壳或绝缘型)	套管端头部分的直径为原直径的 1/2 时间常数更小	适于要求反应速度快, 有较大机械强度或安装孔较小的温度测量设备	
扁变截面型 (可制成接壳或绝缘型)	反应速度更快	适于安装孔为扁形的温度测量设备	

表 1-5 不同套管材料的铠装热电偶及其使用温度

金属套管材料	外 径/mm							
	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
	使用温度/℃							
铜(H62)	200	250	300	300	350	350	400	400
不锈钢(1Cr18Ni9Ti)	500	500	550	600	600	700	700	800
不锈钢(1Cr18Ni9Nb)	600	650	700	700	800	800	900	900
高温合金(Cr25Ni20)	650	700	750	800	900	950	1000	1000
镍基高温合金(GH30)	700	800	850	900	1000	1100	1150	1500
镍基高温合金(GH39)	850	900	1000	1100	1100	1150	1200	1200

注: 铠装热电偶的使用温度不仅与金属套管的材料及直径有关, 也与偶丝种类有关, 表中数据仅指常用金属套管

镍铬-镍硅铠装热电偶的使用温度。

(4) WR 系列防爆热电偶, 在有各种易燃、易爆等化学气体的场所, 应选用防爆热电偶。它与一般热电偶的区别是, 其接线盒(外壳)用高强度铝合金压铸而成, 有足够的内部空间、壁厚和机械强度; 采用橡胶密封, 具有良好的热稳定性; 当存在于接线盒内部的混合气发生爆炸时, 其内压不会破坏接线盒, 不向外扩散, 不传爆。