



# 论超强超韧高温（MMT）管材项目的开发

陈毅明<sup>1</sup> 吴东亮<sup>2</sup>

1 杭州联通管业有限公司，浙江杭州 311400

2 浙江省产品质量安全检测研究院，浙江杭州 311400

**[摘要]** 本文论述了一种超强超韧耐高温管材，是以聚氯乙烯为主要原材料，通过配方改进、模具设计、混料工艺调整、生产设备改进、生产工艺完善等手段，以解决目前应用于电力和通信管的聚氯乙烯管材存在的强度相对较低、韧性相对较差、耐高温性能不好、且抗冲击性能欠佳不能满足施工需要的问题。与聚乙烯管材相比，该管材因弹性模量较大，故有着较好的强度和抗冲击性能，与聚丙烯管材相比，该管材有着较好的耐低温脆性和抗压强度。

**[关键词]** 超强超韧耐高温，塑料管道，生产工艺，施工

**Abstract:**The paper introduces a super super tough resistance of materials at high temperature, is made of PVC as the main raw materials, by improving the formula, mold design, mixed material process adjustment, the improvement of production equipment, production process improvement means to solve currently used in electric power and communication pipe polyvinyl chloride pipe in the presence of relatively low strength, toughness is relatively poor, resistance to high temperature performance is not good, and shock resistance of the poor can not meet the need of construction. Compared with polyethylene pipe, the pipe with larger elastic modulus, so it has better strength and impact resistance, compared with polypropylene pipe, the pipe has a good resistance to low temperature brittleness and compressive strength.

**Keywords:** Plastic pipes, production technology, construction

## 1 前言

### 1.1 项目背景

随着国家对电力行业的大力发展，目前市场上采用塑料类电力管越来越多，特别是开挖型电力管道的铺设方式，大部分采用聚氯乙烯材料的电力管，而聚氯乙烯材料所生产的管材的质量主要取决于材料的配方体系和配方成本。传统的聚氯乙烯管材，在大部分的配方体系中，相对其他的塑料管道成本较低，质量较差，再加上行业的恶性竞争，产品质量大部分不能满足施工和运用的需要，特别是对于要求较高的电力工程，目前市场上的绝大多数聚氯乙烯产品不能满足施工和运用的要求。为此，本人在给用水用聚氯乙烯配方的体系中，寻找较合理的配方体系，并根据电力管的性能需要，研发新的聚氯乙烯配方体系，并对其命名为新型超强超韧耐高温聚氯乙烯管材，以满足要求较高的电力管系统的需求。而该管材在不同的使用领域有着不同的优势。与传统的聚氯乙烯电力管相比，该管材具有超强的韧性、抗压性和耐温性，与聚乙烯电力管材相比，因弹性模量较大，故有着较好的强度和抗冲击性能。与MPP管材相比，有着较好的耐低温脆性和抗压强度。新型超强超韧耐高温聚氯乙烯管材施工范围广泛，适用能力强，使用寿命能达到50年以上，同一规格和等级的管材成本相对较低。能弥补或者提高目前开挖类管材的物理力学性能。此管材的发明为电力电缆管材的发展提供了较好的方向。

目前国内大部分电力电缆保护管主要是CPVC、UPVC、GRP、PE、MPP等管道为主，随着国内施工方式的不断改变，以及传统材质的不断降低，使得室外电力管道的市场变得越来越不规范。特别是对于部分开挖的CPVC、UPVC、GRP管材，其产品质量随着市场价格的恶性竞争，产品质量变得越来越差。给施工、设计、使用等运行部门带来较多的麻烦。

根据目前市场情况，针对开挖型电力电缆保护管，开发一种能代替目前所有开挖型施工的电力管道，即超强超韧耐高温（MMT）管材。该类管材同比CPVC、UPVC、GRP材料相比，具有较好和韧性和耐高温性；与PE、MPP相比，具有较好的刚性。

该类管材并运用PVC-M管材最新技术，对PVC材料进行全面的改性，使PVC材料原本较脆的性能，通过增加增韧剂、抗冲剂、加工助剂等材料，对PVC进行改性。该类管材有着较好的耐低温脆性以及耐高温性能，其韧性好，材料的弹性模量较大，环刚度极高，施工范围广泛，适用能力强。

### 1.2 目的及意义

超强超韧耐高温管材，是提供一种超强超韧耐高温聚氯乙烯管材，以解决目前应用于电力管的聚氯乙烯管材存在的强度相对较低、韧性相对较差、耐高温性能不好、且抗冲击性能欠佳不能满足施工需要的问题。解决了传统PVC管

材存在的低温脆性、抗冲击性等问题，由使用温度范围从 0℃ -50℃ 扩大到 -15℃ -90℃，本管材与传统 PVC 管材相比，0 度或者常温下抗冲强度为 PVC 管材的 3 ~ 5 倍，能满足市场上不同施工要求以及不同适用范围的需要。

MMT 电力电缆管是我公司研发的新型电力电缆保护管，其基础是在 CPVC 的基础上，通过对原料配方的改进，并运用 PVC-M 的配方技术，使材料具有高强度、高韧性、耐高温的管材，由于国际上近年来对于 PVC 管材专用料一直不断地在研究和改进，并在材料性能上取得重大的进步，是技术进步增强了 PVC 管的优势，扩大了聚氯乙烯管的应用领域。MMT 管材专用料不仅显著地增加了长期强度，而且提高了抗开裂等多方面的性能。因而在同样使用刚度下可以减少壁厚；或者在同样壁厚下增加所用的刚度，提高电力电缆管的穿线能力，经济效益是很明显的。因为可以应用到直径较大，使用环境较差（如低温地区、如在海底）的场合，MMT 管的应用领域就更广阔了。

## 2 原料配方及生产工艺控制要点

### 2.1 原料

SG5 型聚氯乙烯树脂 (UPVC)、氯化聚氯乙烯 (CPVC)、增塑剂 (美国产环保型 SG-50、抗冲剂 (日本产低温抗冲剂；MBS)、稳定剂 (德国产硬脂酸钙 YSG-72)、外润滑剂 (国产高级脂肪酸 BT-88)、内润滑剂 (高级脂肪醇 BRCT-36)、加工助剂 (美国产 MMA/ 丙烯酸酯共聚物 ACR401)、填充剂 (国产 2500 目以上超细碳酸钙) 以及色粉料 (大红、橘黄等)。以上材料均为无毒可循环利用。

通过傅里叶转换红外光谱和差示扫描量热法研究，并经过多次生产和反复试验证明，PVC 树脂重量在 75kg 时，其增塑剂 (SG-50) 的添加量最佳为 3.8kg，加工助剂 (ACR401) 的添加量最佳为 4.3kg，两者配合使用有利于提高树脂的加工性能，改进树脂的流变性能，有利于在热弹性状态下的熔体力学性能提高，使树脂的性能达到最佳要求，其拉伸强度能达到 60MPa 以上，并且保持树脂本身的韧性不变。且采用 SRC-LC 低温抗冲剂与 MBS 树脂配合，极大的提高了树脂的抗冲击性能，特别是少量的超细碳酸钙的混合，提高耐温性的同时，也提高了材料的强度。YSG-72 硬脂酸钙稳定剂 (最佳 3.8 kg) 和 BRCT-36 内润滑剂 (最佳 0.3 kg) 配合，能使树脂的加工性能稳定，并保持 PVC 材料的本质不会因加工因素而破坏。通过傅里叶转换红外光谱发现，各种助剂均与 PVC 树脂有一定的相容性，并且可以使 PVC 的结晶度增大，混合体系中 PVC 结晶相的分子链均为平面锯齿状构型，配方体系中的稳定剂和加工助剂配合，增大了 PVC 无定形相的分子链构象的稳定性，所以其综合性能大大提高。

### 2.2 设备

采用 65-80 型超低钙高效剪切式双螺杆挤出机。且对螺杆的塑化能力要求较强。模具的要求主要是选择压缩比较大的栏式模头进行配合，采用与传统的聚氯乙烯电力管生产工艺相比，每段加工温度提高均 10-20℃ 之间，加工温度一般控制在 170-190℃ 之间，螺杆转速控制在 10-15 转 / 分钟，螺杆电流需控制在 40-60%，熔体压力控制在 25-40MPa 之间，以便于熔体的充分塑化。并且每小时产量维持不变。

在加工过程中，冷却水温需控制在 28-35℃，有利于材料冷却的同时增大材料的结晶度。下线时，产品内外壁需光滑，不得有变色分解线和模具分流线，色泽均匀并产品呈半透明状。

### 2.3 原辅材料配比

表 1：原材料配方

序号	材料	配比 (kg)
1	UPVC (SG5)	50-62.5
2	CPVC	25-37.5
3	增塑剂	2-5
4	抗冲剂	12-18
5	稳定剂	3-8
6	外润滑剂	0.1-0.6
7	内润滑剂	0.1-0.6
8	填充剂	4-10
9	加工助剂	3-7
10	色粉	0.05-0.2

### 2.4 混料工艺

超强超韧耐高温管材的混料工艺非常关键，需采用高速高效混合机组 (SRL-Z500/1000 型) 进行混配原料，热混温度控制在 123-127℃ 之间，并在温度达到后，维持 15-30 秒时间，确保物料中的助剂能充分混合和融化。一般混料时间控制在 12-18 分钟。冷混温度必须控制在 35℃ 以下才能卸料。通过混配的原料必须放置 24 小时及以上均可用于加工使用。

### 2.5 加工工艺

采用 65-80 型超低钙高效剪切式双螺杆挤出机生产，且对螺杆的塑化能力要求较强。模具的要求主要是选择压缩比较大的栏式模头进行配合，采用与传统的聚氯乙烯电力管生产工艺相比，每段加工温度提高均 10-20℃ 之间，加工温度一般控制在 170-190℃ 之间，螺杆转速控制在 10-15 转 / 分钟，螺杆电流需控制在 40-60%，熔体压力控制在 25-40MPa 之间，以便于熔体的充分塑化。并且每小时产量维持不变。

在加工过程中，冷却水温需控制在 28-35℃，有利于材料冷却的同时增大材料的结晶度。下线时，产品内外壁需光滑，不得有变色分解线和模具分流线，色泽均匀并产品呈半透明状。

### 2.6 生产规格

电力电缆用超强超韧耐高温管材的规格，主要依据 PVC 和玻璃管系列管材进行研发，其在市场主要直径为  $\phi 50$ — $\phi 315$  毫米范围。根据发达国家的使用经验在中小直径范围的优势比较突出。至今国内新建中应用电力用最大直径是 315 毫米。我国近年来政府大力推广应用化学建材，在各个应用领域内塑料管的应用都有了飞速的发展。塑料管中，在电力管领域正在越来越多的应用耐高温类管。DN50、DN75、DN90、DN100、DN110、DN125、DN160、DN175、DN181、DN200、DN225、DN250、DN315 以及定制生产。

## 2.7 产品等级

MMT 电力电缆保护管大多数应用开挖技术，但在国外 PVC 类管材以运用于非开挖技术，随着技术的不断创新，也将 MMT 管材逐步采用国外先进技术，运用于非开挖技术，无须大量挖泥、挖土及破坏路面，完成在道路、铁路、建筑物、河床下等特殊地段敷设管道，与传统的“挖槽埋管”相比，更适合当前的环保要求，去除传统施工所造成的尘土飞扬、交通阻塞等扰民因素，还可以解决在一些无法实施开挖作业的地区铺设管线，如古迹保护区、脑室区农作物及农田保护区、高速公路、河流等，广泛应用于市政、电信、电力、煤气、自来水、热力等管线工程。MMT 电力电缆保护管具有抗高温，耐外压的特点；适用于 10KV 以上高压输电线电缆排管管材。常用管材分为普通型和加强型。根据产品等级可分为 SN8、SN12、SN16、SN24、SN32 以及定制生产。

## 3 超强超韧耐高温管材的优点

### 3.1 产品性能的优点

吸取国内领先的给水用改性氯化聚氯乙烯 (M-PVC) 配方体系，并结合电力管系统的物理性能，研发一种超强度、超韧性、耐高温、抗冲击、耐腐蚀、环保节能型的新型电力管材，以达到电力系统管材不同用途使用时所需的功能。超强超韧耐高温聚氯乙烯管材的维卡软化温度达到  $120^{\circ}\text{C}$  以上，超过行业标准的  $93^{\circ}\text{C}$ 。其抗冲击性能强度为行业标准要求的 5 倍以上。在埋深 0.7 米的情况下，载重 10 吨的重物，管材不变形不破裂。直接在管材本体上载重 10 吨重物，管材出现变形但不破裂。管材具有较高的抗冲击性和耐低温性，在  $-5^{\circ}\text{C}$  的环境中不显示脆性，在  $-15^{\circ}\text{C}$  的环境中可正常使用，可以替代钢管在通信行业中使用。在我国的东北地区也有较大的市场。

### 3.2 产品生产和市场竞争的优点

在超强超韧耐高温聚氯乙烯管材配方体系中加入性能更优的加工助剂、稳定剂、抗冲剂、增塑剂等，以满足加工较难的聚氯乙烯材料。解决了传统聚氯乙烯电力通信管材目前存在的低温脆性、抗冲击性等问题，由使用温度范围从  $0^{\circ}\text{C}$ — $50^{\circ}\text{C}$  扩大到  $-20^{\circ}\text{C}$ — $70^{\circ}\text{C}$ 。利用给水用改性硬质聚氯乙烯配方体系中各自材料的优点，综合提高产品的物理力学性能，使管材在安装施工时更加的方便、可靠。在生产成本上与质量相当的聚烯烃类管材相比，同一规格和等级的管材降低 20%~30%，更能提高市场竞争力。管材密度是钢管的  $1/4$ ~ $1/6$ ，具有轻质高强，运输安装方便的特性，比钢管可节省运输安装服务费 30%~50%，价格为钢管的 70%~80%。

### 3.3 超强超韧耐高温管材与其他产品的对比

该管材是一种超强超韧耐高温、耐冲击、耐腐蚀、耐老化、环保型、节能型的新型管材。埋深 0.1 米，载重 15~50 吨的汽车也只能把 MMT 管材压变形，而管材不破裂；埋深 0.5~1.0 米，载重 15~50 吨的汽车压过，管材不变形不破裂；即使直接用 15 吨的货车在水泥地面上压过管材，管材也不破裂；即使在零下 15 度的低温环境下，MMT 管材也不会变脆，也具有较好的柔韧性与刚性。MMT 管材与传统的钢管、PE 管、UPVC 管材、玻璃钢管相比具有如下优点：

#### 3.3.1 与钢管相比具有的优势

a) 比重：MMT 管材密度是钢管的  $1/5$ ~ $1/7$ ，具有轻质高强，运输安装方便的特性，比钢管可节省运输安装服务费 30%~50%，价格为钢管的 70%~80%。

b) 使用寿命：MMT 管材耐氧化使用寿命是钢管的 2~3 倍，使用寿命超过 50 年，而钢管不耐酸、不耐碱、不耐盐、易氧化、使用寿命短。

c) 绝缘效果：MMT 管材绝缘效果好，而钢管不具有绝缘性能。

d) 低温使用：MMT 管材具有很高的抗冲击性能和很好的刚性，即使在零下  $15^{\circ}\text{C}$  环境中不显示脆性，可以代替钢管使用在通信行业。

#### 3.3.2 与 PE 管材相比具有的优势

a) 占用空间：MMT 管材每根 8~12 米不需要回直，PE 管材盘卷安装需要回直，占用很大的安装空间，影响周围环境。

b) 接头连接：MMT 管材采用胶粘或者机械铆钉连接，内壁无凸出溢边，也不需要冷却，安装时对周边环境影响较少。PE 管每根之间采用热熔焊接，需要冷却时间，影响安装效率，同时每根管材焊接时内壁有溢边，在拉线时形成阻力，影响拉线。

c) 抗氧化和阻燃性：MMT 管材与 PE 管相比，抗氧化与阻燃性能比 PE 管好，使用寿命比 PE 管更长，而 PE 管材易燃烧，不利于防火安全。

d) 环刚度：MMT 管材同样壁厚环刚度比 PE 高 20~50%，满足同样使用，比 PE 管材每米可降低采购成本 2~5 元/m。

e) 拉伸强度：MMT 管材的拉伸强度是 HDPE 管材的 2 倍。

#### 3.3.3 与 UPVC 管材相比具有的优势

a) 抗冲强度：MMT 管材与传统 UPVC 管材相比，0 度或者常温下抗冲强度为 UPVC 管材的 6~15 倍。

b) 拉伸强度：MMT 管材拉伸强度比 UPVC 排水给水管材标准高 8~10Mpa。

c) 低温使用：MMT 管材可耐零下 15 度的低温，即使在零下 15 度，其抗冲性能也比 UPVC 管材在 0 度时高 4~6 倍。

#### 3.3.4 与玻璃钢管相比具有的优势

- a) 内壁光滑：MMT 管材内壁比玻璃钢管光滑，拉线时不损伤电线，阻力小。
- b) 抗冲强度及柔韧性：MMT 管材抗冲强度柔韧性优于玻璃钢管。
- c) 耐老化：MMT 管材耐老化优于玻璃钢管，长期使用不分层，不受酸碱盐土质影响。
- d) 环保：MMT 管材不污染土地与环境，属于环保产品，玻璃钢管长期使用对环境污染严重，
- e) 密封性：MMT 管材采用管材圆面与管材内壁胶粘分子连结，或者非开挖采用粘接加铆钉连接，密封效果比玻璃钢管好。

## 5 性能指标与国内同类产品对比

表 2：超强超韧耐高温管材与国内产品行业标准对比表

序号	项目	产品企业标准	同类产品行业标准
1	密度, g/cm <sup>3</sup>	≤1.52	≤1.6
2	静摩擦系数	<0.35	——
3	维卡耐热 (10N, 50°C/h), °C	≥105	≥93
4	环刚度, KN/m <sup>2</sup>	SN8~SN32	SN8~SN24
5	落锤冲击试验	(23°C, r25, 5kg, 2m), 3个均不破裂	(23°C, r25, 2.5kg, 1.2m), 3个均不破裂
6	拉伸强度, MPa	23±1°C ≥48.0	——
7	扁平试验	23±1°C 加荷至试样垂直方向变形量为原内径 50%时, 试样不应出现裂缝或破裂。	加荷至试样垂直方向变形量为原内径 30%时, 试样不应出现裂缝或破裂。
8	弯曲弹性模量, MPa	≥1200	
9	纵向回缩率, %	≤4	≤5

从以上表格的数据分析, 综合性能明显优于行业标准, 特别是拉伸强度、落锤冲击性能、扁平试验、维卡耐热等方面的数据, 不仅体现了产品的刚性、韧性, 而且在耐热性能方面都具有明显的优势。

该产品吸取国内领先的给水用改性氯化聚氯乙烯 (M-PVC) 配方体系, 并结合电力管系统的物理性能, 研发一种能非开挖施工、超强度、超韧性、耐高温、抗冲击、耐腐蚀、环保节能型的新型电力管材, 以达到电力系统管材高要求用途使用时所需的功能。在新型超强超韧耐高温聚氯乙烯管材配方体系中加入性能更优的加工助剂、稳定剂、抗冲剂、增塑剂等, 以满足加工较难的聚氯乙烯材料。该管材的维卡软化温度达到 105°C 以上, 超过行业标准要求的 93°C。其抗冲击性能强度为行业标准要求的 2 倍以上。

该管材可采用螺旋接头的形式, 对管材进行非开挖施工操作, 打破了国内 PVC 材质的产品不能非开挖作业的传统。产品的综合性能远超出国内行业产品标准的性能, 提升了电力管道的产品质量, 为高端电力管道行业作出贡献。

### [参考文献]

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T 802.1-2007 电力电缆用导管技术条件 第 1 部分: 总则. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T 802.3-2007 电力电缆用导管技术条件 第 3 部分: 氯化聚氯乙烯及硬质聚氯乙烯塑料电缆导管. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [3] 欧玉春. 刚性粒子填充聚合物的增强增韧与界面结构 [J]. 北京: 高分子材料科学与工程 1998, 14 (3): 12-15.
- [4] 杨明. 塑料添加剂应用手册 [M]. 江苏: 江苏科学技术出版社, 2002. (18-24)
- [5] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T 802.7-2010 电力电缆用导管技术条件 第 7 部分: 非开挖改性聚丙烯塑料电缆导管. 北京: 中国标准出版社, 2010.