

发展大口径高压增强热塑性塑料复合管的一项新技术

双向增强多层塑料复合管

杨明昆

(江西瑞钛管道有限公司, 江西南昌)

摘要

论述钢丝网骨架塑料复合管热熔胶粘结钢丝强度对管材静液压强度的影响, 非粘结型 RTP 管材中钢丝(或钢板)与塑料层剥离分层影响长期耐压强度, 提出发展大口径高压增强热塑性塑料复合管的一种新技术。该新技术利用轴向增强钢丝与环向增强钢丝分别提高管材的轴向抗拉强度与环向耐内压及抗外压强度。

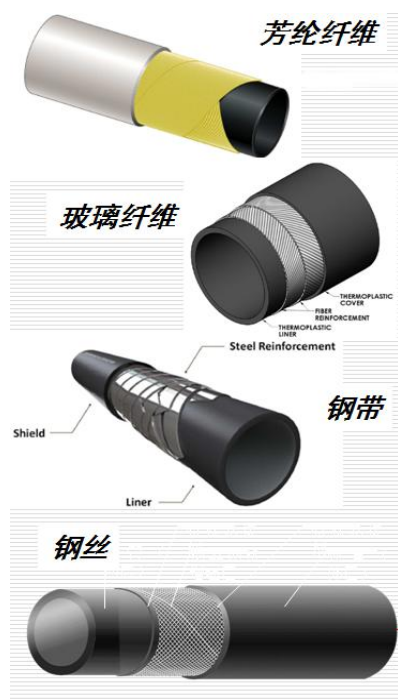
关键词

RTP 管

双向增强多层塑料复合管

增强热塑性塑料复合管(RTP)是一种把热塑性塑料柔韧, 抗腐蚀, 耐磨损等独特优点和增强材料高强度等特长结合起来的新型管道。国内通过自主创新, 结合引进和借鉴国外技术, 积累了不少经验和教训。目前, 各种 RTP 的生产工艺技术, 机械装备, 专用材料, 和铺设施工的条件都已初步配套, 具备了加快发展增长的基础条件。

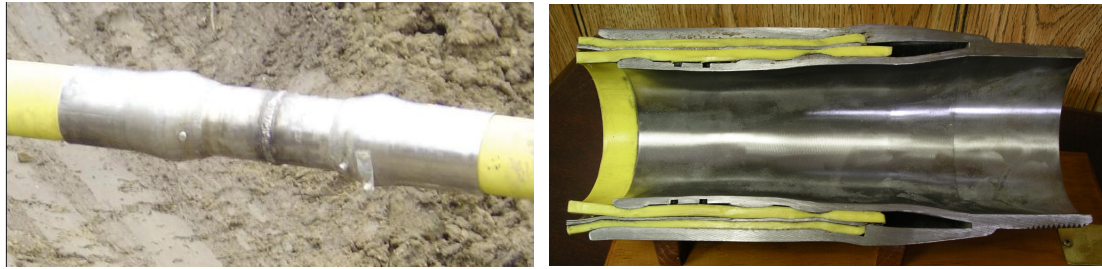
RTP 可分两大类, 其中一大类是工作压力超过 3 MPa 的中高压管, 主要应用市场在工业领域, 如油气田用小口径高压注水或集油 RTP 管; 另一大类是工作压力小于 3 MPa 的低压管, 主要应用市场在建筑和市政输水工程。下面简单介绍目前国内生产的几种 RTP 管材。



1、中高压增强热塑性塑料复合管

我国目前生产的中高压 RTP 通常是三层结构, 由内衬层(芯管), 缠绕增强层和外保护层构成(少数采用更多层复合)。内衬层通常用高密度聚乙烯 HDPE, 也有采用耐热聚乙烯 PE-RT, 交联聚乙烯 PEX 管和超高分子量聚乙烯 UHMWPE 等。缠绕增强材料有钢带, 钢丝, 合成纤维(芳纶, 聚脂纤维)和玻璃纤维等。外层通常是高密度聚乙烯 HDPE。其他材料也在探索中, 如超高分子量聚乙烯纤维等。有的各层之间粘合(bonded), 也有的各层之间不粘合(unbonded)。中高压 RTP 管或非粘型低压力 RTP 管须采用带内衬套管件连接, 防止管材端面窜水, 克服橡胶密封管材, 长期径向受压后应力松弛。

如左图: 各种增强热塑性塑料复合管



如上图：RTP 管带内衬套金属扣压接头

2、低压增强热塑性塑料复合管

在建筑和市政领域大量应用低压 RTP 是中国特色（国外在这个领域大量应用的目前只有铝塑复合管）。我国为了减少塑料消耗和降低成本开发和生产了多种低压 RTP 管。低压 RTP 管绝大部分应用于建筑和市政领域输送水，但也有部分应用于工业等其他领域。

（1）钢丝网骨架塑料（聚乙烯）复合管(CJ/T189)：

这是国内自主开发并应用最广的一种钢丝直接缠绕增强低压 RTP，常被简称为‘钢丝增强塑料管’。三层结构，各层之间采用热熔胶粘合。中间层是直接交叉缠绕细钢丝用粘合树脂固定。直径范围在 50-800 mm，工作压力范围在 0.6-3.5 MPa，采用电熔管件连接。这种 RTP 管已经广泛应用各地于市政工程中输水与矿井压力排水。和常规聚乙烯管竞争的优势是材料较省成本较低。全国已经有约 300 条生产线，年产量约 40 万吨左右。因为采用电熔管件连接铺设比较方便，但是工作温度受到限制，仅适用于冷水管。这是由于钢丝在管端是依靠粘合树脂固定的，而粘合树脂的耐热有限。

（2）钢骨架聚乙烯复合管(CJ/T123)：

这种管材是我国最早自主开发的 RTP 管。塑料包覆焊接钢丝骨架网，钢塑之间无热熔胶粘合。中间层是用粗钢丝交叉焊接的骨架。直径范围在 50-600 mm，工作压力范围在 1-2.5 MPa。该管材主要应用于市政工程中输水与盐化工行业输送卤水。和常规聚乙烯管竞争的优势是 DN300mm 以上口径材料较省成本较低。因为采用粗低碳钢丝焊接结构，塑料层内应力较大，且容易形成应力集中，优点是刚度较高。由于钢塑之间无热熔胶粘合，钢塑复合界面易分层剥离，需严格做好管材端面封口处理，防止管材端面“窜水”破坏管材。全国有约 40 条生产线，年产量约 3-4 万吨。

（3）孔网钢带塑料复合管（CJ/T181）：

这种管材采用塑料包覆卷板焊接冲孔钢板，钢塑之间无热熔胶粘合。直径范围在 50-400mm，工作压力在 1-2.0MPa。主要应用于建筑室内上水管与市政工程输水，也少量应用于工业领域。主要优点是环向与轴向刚度高，与钢骨架聚乙烯复合管一样，钢塑之间无热熔胶粘合，钢塑复合界面易分层剥离，需严格做好管材端面封口处理，防止管材端面“窜水”破坏管材，但实际应用中现场施工管材端面封口处理非常困难，故产销量较少，全国约 10 条生产线。

由于钢材与塑料热膨胀率的巨大差异，钢塑结合界面分层剥离是客观存在无法避免的。无热熔胶非粘合型 RTP，低压力管材不适用高成本金属扣压管件，采用低成本电熔管件连接，如何有效避免管材端面“窜水”是影响管道系统使用性能与使用寿命的主要部题。

“钢塑分层”的产品缺陷如下图图：

CJ/T123 管材无热熔胶粘合钢丝，端面钢-塑分层，从管材端面窜水至管材本体，

钢丝锈蚀。CJ/T181 管材无热熔胶粘合钢板，塑料收缩后，钢-塑明显分层。



利用热熔胶把聚乙烯和钢丝粘结成结合型增强热塑性塑料管是我国的独创。因为采用细钢丝直接螺旋缠绕，所以可以制造直径范围大和压力范围宽的增强热塑性塑料管，又因为通过热熔胶粘结把聚乙烯和钢丝结合成可以承受负载的复合结构，所以可采用较方便和经济的电熔管件连接，不结合型增强热塑性塑料管必须采用机械压紧的金属管件连接。

钢丝增强管不同破坏模式的分析

多年实践证明钢丝增强管主要有两种破坏模式：“突然开裂破坏”和“灯笼形破坏”。

“突然开裂破坏”是钢丝承受应力过大的后果。“突然开裂破坏”的特征是管材外径没有明显的涨大，仍然维持均匀的圆柱形状。突然在管材某处出现开裂，裂口接近钢丝缠绕的螺旋线。在开裂前可以听到钢丝断裂的响声。

“灯笼形破坏”是钢丝和聚乙烯没有粘结好的后果。钢丝增强聚乙烯管另一种破坏形式是“灯笼形破坏”，通常发生在靠近管端处。起始于管材局部鼓胀，形成类似灯笼的球形，显然缠绕形成的钢丝网格被展开了。然后出现钢丝断裂或钢丝之间聚乙烯壁的破裂（鼓胀使钢丝间距加大，钢丝间聚乙烯层失去支承又被拉薄）。一个明显特征是钢丝从管端处后缩，有时钢丝端会刺破外护套层露出来。



如上图：“突然开裂破坏”与“灯笼形破坏”（上海邦中公司实验照片）

以下图片是江西瑞钛管道公司的实验照片，图片从左到右说明：图 1 为钢丝从胶层抽出后泄压回弹，钢丝从端头穿刺露出；图 2 为管材外层大面积剥除后，管材 2PN 静液压试验，钢丝从胶层中抽出，耐压失效；图 3 为管材 3PN 爆破试验。



如上图：管材爆破试验

轴向钢丝增强的意义：

上海邦中公司《热熔胶对钢丝网增强聚乙烯复合管管道剥离和静液压强度的影响分析》一文，详细分析了热熔胶对防止钢丝与塑料结合界面窜水的好处，以及管材轴向压力超过热熔胶粘接钢丝的剪切强度后，钢丝从管材中抽出导致管材耐压失效。S RTP 管材在承受内压时，在钢丝中形成很大拉应力。由于管材端口的钢丝是没有固定的，而钢丝网中钢丝之间也没有焊接，所以钢丝承受的拉应力都是靠钢丝和热熔胶之间的粘接拉住的，如果钢丝和热熔胶之间的粘接不足以抵抗钢丝承受的拉力，钢丝就会从端口处收缩，随着收缩加剧，便会在靠近端口某处的薄弱点抽出，造成管材破坏。

如表：钢丝在不同温度下受应力不被拔出所必须的埋入长度与粘合剪切强度

温度（℃）	埋入长度（mm）		钢丝粘合热熔胶的 剪切强度（MPa）
	0.5mm 钢丝	1.0mm 钢丝	
20	54	108	14.6
30	59	118	13.0
40	71	142	11.4
50	79	158	9.8
60	91	182	9.4
70	107	214	7.2
80	120	240	6.9

（上海邦中公司实验数据）

计算例：

管道规格	钢丝	缠绕角	内压 1.2PN	60℃时临界压力	钢丝埋入长度
160mm *1.6MPa	1mm *60 根	54.7°	1.92 MPa	2.0MPa 或 3MPa	≥150mm

结论：制造高压力管材，防止钢丝受压从胶中抽出，可以提高热熔胶粘接钢丝的剪切强度，当剪切强度受材料性能限制达到极限后，可以提高钢丝缠绕角（例如从 54.7 度提高到 85 度以上），使钢丝埋入胶层中的长度提高。计算每米

管材按一定缠绕角缠绕钢丝长度为：

$1000\text{mm} \div \cos(85) = 11474\text{mm}$, $1000\text{mm} \div \cos(54.7) = 1730\text{mm}$

85 度缠绕角钢丝埋入长度是 54.7 度的 6.6 倍。

提高环向钢丝缠绕角，无轴向钢丝增强的管材耐压试验：



如上图：

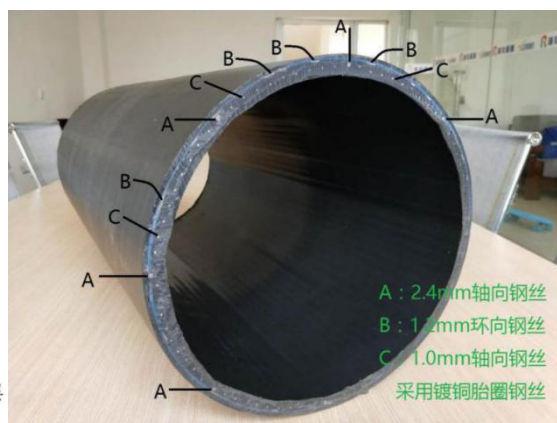
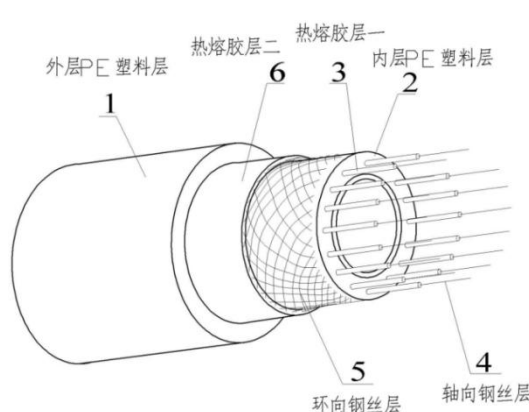
De160 管材 80 度角正反双向缠绕环向钢丝，无轴向钢丝，两倍公称压力静液压试验，管材轴向拉伸“折断”，环向钢丝未断裂。

如左图：

De110 管材 85 度角单向缠绕，无轴向钢丝，两倍公称压力静液压试验，管材轴向弯曲严重，钢丝受弯曲应力拉伸断裂。



双向增强多层塑料复合管材与钢骨架聚乙烯合管（CJ/T23）的对比



如图：T-RTP 结构图与 De315mm 管材样品

现有的钢骨架塑料聚乙烯复合管——CJ/T123-2004（结构如专利号 CN98119383.8，名称为“网状钢骨架—塑料复合管的网状钢骨架的制造方法和装置”中国发明专利所述）制作过程中，通常需要先将钢丝制作成网状钢骨架，网状钢骨架由管材轴向经线与环向纬线钢丝组成，然后再在钢骨架上进行挤塑成型，为了在挤塑过程中保证钢骨架的钢丝不变形、移位，钢骨架的经线与纬线的每一个交叉接触点都需要预先进行焊接固定，生产速度太慢，效率低下。为了使钢骨架处于复合管管壁的中间，不会变形而太偏向于管壁的外侧或内侧，那么需要的

对管壁加厚、采用更粗的钢丝制成钢骨架，这样大大增加了复合管的生产成本。由于钢丝与聚乙烯塑料两种材料无法自然粘合，使用过程中的热胀冷缩与管道内输送的流体压力的冲击，钢塑复合管易出现钢丝与塑料分层问题，导致流体从管材端口处渗漏爆管，因此在施工安装时，切断管材端口外露钢丝需再作加工注塑或焊接封口环，对管材端口进行密封处理，防止流体输送中的渗漏隐患。这种密封端口的安装施工工艺复杂耗时，限制了该种管材的使用范围。

为克服上述专利号 CN98119383.8 管材的缺点，国内又发明了钢丝网骨架塑料复合管-CJ/T89-2007(结构如专利号 CN200420105205.8，名称为“用于制备金属丝增强复合塑料管的缠绕装置”中国实用新型专利所述)。制作过程中，先用塑料挤出机挤出管材内层塑料管，在冷却成型的内层塑料管的外壁缠绕正反方向交叉结构的钢丝网骨架，然后挤出专用热熔胶包覆所有钢丝网骨架，最后在管材外层再挤出一层塑料层，利用专用热熔胶粘接内外层塑料与钢丝网骨架层。此产品结构，有效避免因钢丝与塑料未粘接成一体的渗漏隐患，且钢丝缠绕在内层塑料管外壁，不受钢丝网骨架焊接生产速度限制，生产效率大大提高。由于该管材钢丝缠绕角度与管材轴向夹角为 54 度，能满足管材轴向与环向内压力的优化平衡。但是，相比上述专利号 CN98119383.8 管材钢丝经线与管材轴向平行，管材 CN200420105205.8 轴向方向与环向方向刚性强度都明显降低。该技术在大口径管材主要由钢丝承受内压，为降低成本大幅度降低管材塑料层壁厚，使管材大口径管材环刚度大幅降低，使用中抗负压与抗局部沉降能力明显下降。

双向增强多层塑料复合管发明说明：

本发明的目的是为了解决现有技术性能的不足，提供了一种同时具备强度高，又能避免两种材料复合分层的隐患，还能根据用户需求选择增加内层耐磨、防腐、抗菌、自润滑的功能层，为提高复合管钢丝线与热熔胶粘合强度，钢丝外表面作压花纹处理，轴向经线与环向纬线的钢丝交叉点无需焊接，生产效率高。本发明为一种提高了多方面性能的新型钢网塑料复合管。

与现有技术相比，本发明的有益效果如下。

1、本发明由于同时采用轴向钢丝线与环向钢丝网结构，同时提高了管材的轴向刚度与环向刚度。管材轴向钢丝单独承受轴向应力；提高环向钢丝缠绕角度到 85 度以上，环向承受压应力大幅度提高，减少管材轴向压应力受热熔胶粘接强度的极限限制，为制造大直径高压 RTP 管提供了一种新方法。

2、使用热熔胶包覆轴向钢丝与环向缠绕钢丝，解决了钢骨架聚乙烯复合管与孔网钢带塑料复合管，受生产工艺限制无法增加热熔胶层，钢丝（钢带）与塑料的分层问题，消除了管材端口渗漏爆管的隐患，减轻了繁杂的现场封口处理工作。

3、钢丝外表面压制花纹后，提高了钢网与塑料的长期粘合强度，有效避免复合管材长期使用中环境温度变化及长期承受轴向压应力，避免了管材热胀冷缩产生的钢塑分层。

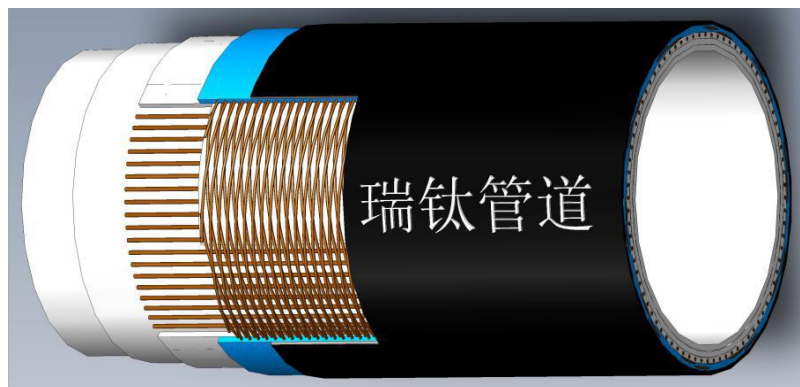
4、内层增加特殊功能层，可实现管道使用需要的耐磨、防腐、抗菌、自润滑功能。

5、轴向钢丝线与环向钢丝线使用热熔胶与塑料层粘合，钢丝交叉点无需焊接固定，生产速度相比钢骨架塑料复合管大幅提高，降低生产成本。

6、采用热熔胶粘接，无需焊接轴向与环向缠绕钢丝，避免钢丝焊接处拉伸强度降低，有效利用钢丝的拉伸强度性以提高管材环向耐压能力。

综上所述：双向增强多层塑料复合管结合了钢骨架塑料复合管与钢丝网骨架塑料复合管的优势性能，保留了钢骨架轴向与环向刚性优势，采用新生产工艺方法用热熔胶包履钢丝，避免钢丝端面窜水。改变了原钢丝网骨架塑料复合管采用54.7度角缠绕钢丝，改为轴向钢丝承担轴向应力，环向钢丝承担环向应力，提高钢丝缠绕角至85度以上，在确保钢丝网格间隙能充满热熔胶的前提下，钢丝缠绕角越接近90°角，管材的环向刚度与耐压能力能明显提高。解决了原钢丝网骨架塑料复合管轴向与环向刚度不足，同时解决高压力管材热熔胶粘结钢丝的强度限制，能生产De315mm以上口径3.0MPa以上管材。

双向增强多层塑料复合管（T-RTP）简介：



轴向钢丝直径 2.0-3.5mm，环向钢丝直径 0.5-3.5mm

轴向钢丝拉伸强度 1500MPa，环向钢丝拉伸强度 1500-2000MPa

HDPE 拉伸强度 ≥ 20 MPa，热熔胶拉伸强度 ≥ 18 MPa

热熔胶与钢丝的粘接剪切强度 ≥ 13 MPa，环向钢丝缠绕角度 85-88 度

管材直径 De75-1200mm

T-PTP 管材公称压力等级：

De75-200mm PN1.6-10MPa，De250-500mm PN1.0-4MPa

De500-800mm PN0.6-2.5MPa，De710-1200mm PN0.4-1.6MPa

连接方式：

HDPE 电熔管件：De75-630mm，PN2.0-0.4MPa

高压金属扣压管件：De75-630mm，PN10.0-2.0MPa

胶圈密封金属承插管件：De500-1200mm PN0.4-1.0MPa

特别感谢上海邦中高分子材料有限公司提供本文热熔胶与钢丝粘合相关研究技术资料。

2017 年 11 月 15 日