(6)

25—31,22

# 国内外管道现场补口技术水平调查

阎翠霞

TQ055.81

（吉化建设公司技术处）

一、前言

随着防腐技术的广泛应用和日臻完善，管道涂层的补口技术问题愈来愈受到了人们的重视，道理很简单，因为一条管线不管其涂敷工艺多么先进，涂层质量多么好，如果接头处的补口处理的不好，便会引起腐蚀，使得防腐工作中所做的一切付之东流，造成过早的报废，尤其是内补口问题更为重要，是影响整条管线使用寿命的关键。据国外一些资料统计，引起管线内腐蚀穿孔的很大一部分原因是补口质量不好、在补口区产生点腐蚀所致。进入七十年代以来，随着各种新型防腐涂料应用于管线的内防腐，带动了补口工艺，设备和材料的不断涌现，但一般认为，内涂层补口技术仍是整个内防腐技术研究的难点，而且管线口径越小就越难实现。尽管如此，经过数年的努力，国外有些发达国家还是积累了相当丰富的经验，有的工艺技术具有很大的实用价值，值得借鉴。

近年来，由于化工生产的日益加深化工管道受到了日趋严重的腐蚀，使用寿命愈来愈短，造成了相当大的经济损失。这个问题早已引起有关部门的高度重视。目前，管道的外防腐技术的应用在我们化工已相当普遍，也有了比较成熟的外补口工艺。但相形之下，我们的内防腐工作则起步较晚，内补口领域亦刚刚起步，因而与发达国家在这方面的差别相当大。为此，根据搜集到的资料，我们以内补口为重点介绍了一此国外比较成型实用的补口技术。谨供有关领导和广大工程技术人员参考。

二、外补口技术

目前，国内外在外涂层的补口方面均有了比较成熟的技术，常用的方法是胶带缠绕，热缩带补口和环氧树脂现场涂敷。

其中的胶带缠绕法是最普通的方法，即在焊接完成后，焊接区经过除粉清理，刷上底漆或直接缠绕改性聚乙烯作底层，聚乙烯作表层。

与胶带缠绕法相比，热缩带补口可以说是一个进步，它是一种经过辐射处理的聚乙烯材料，非常牢固且沾着性能好。其优点是能自动收缩，不怕直射太阳光并可在温度高达93.3℃的环境条件下使用。缺点是施工时要用明火或另外的热源，因此要求施工人员具有相当的技术。

为了克服以上缺点，英国Metrotec公司研制了一种新型的管道补口方法—不加热收缩带。这种收缩带的使用方法与热缩带基本相同且更加方便，只不过它的收缩不是在外部加热，而是靠收缩带内所容纳的溶剂挥发自动进行。

该公司生产的不加热收缩带，按制作材料可分为三种类型。

1．聚乙烯（p、v、c）收缩带：价格最低。能经受大多数化学品的侵蚀，而且能与金属管道粘接牢固。使用温度范围在－35℃～125℃之间。

2．乙烯丙烯二烯三元聚合物单体（E、P、D、M）收缩带：可在恶劣条件下，如低温或温度波动剧烈的场合使用。具有吸水率低、电绝缘强度高等特点。对石化产品优异的抗力。使用温度为—55℃～150℃之间。

3．氯磺酰代聚乙烯合成橡胶（HYPALON）收缩带：最适用于臭氧区和紫外线照射的场合。耐磨性好且有较强的耐化学腐蚀及耐湿气的能力。使用的温度范围在－35℃～150℃之间。

以上三种不加热收缩带的直径均为12.7～1066.8mm。

不加热收缩带的原理是：由上述材料制成收缩带以后，用一种无毒的膨胀性溶剂将其浸泡透借助溶剂的膨胀作用，使收缩带沿径向外扩张，然后将收缩带存于严格密封的袋子内，以防止溶剂挥发。使用时，将收缩带套在管子接口处。由于收缩带暴露于空气中，使浸溶的膨胀溶剂迅速挥发而促其收缩回到原来的尺寸，达到紧紧地贴附于金属管体上的目的。因为这种收缩带具有优异的可塑性和韧性，故可使其径向扩张到它原始尺寸的二倍。

不加热收缩带的优点如下：

（1）因为无需加热而自行收缩，所以施工中可省去火炬或其他加热装置，而且对操作人员的技能要求也不高，可大大降低安装费用。对于大口径管道效益更明显。

（2）施工操作简单，施工时只要将收缩带拉套到位，就不需要再做其他处理，故可减轻劳动程度，节省安装时间。

（3）涂层质量高。热收缩带施工中由于加热而往往在其内表面上出现皱折，而不加热收缩带可避免这种缺陷。

如果在气侯，土壤及地形条件特别恶劣的情况下，使用单一组分的不加热收缩带难以满足要求时，可选用复合材料制造。

此外，环氧树脂现场喷涂补口法也被认为是一种比较先进的外涂层补口方法，美国商用树脂公司研制了一种专门用于外补口的机械，其工作程序与管子外防腐涂装相似。

1．在焊接完成后，将焊口区用喷砂法进行除锈清理，达到瑞典标准Sa2.5级。

2．用电感线圈把焊接区加热到24℃，时间5～6分钟。

3．然后将涂施设备架在焊接区，进行环氧树脂粉沫喷涂，达到最小厚度400′微米时为止。

4．最后，用电火花法进行针孔检查。检查电压为每微米5伏。

## 三、内补口技术

鉴于我们在内补口方面与国外的差距较大，下面将做较详细的介绍。

1．钢管聚乙烯粉沫衬里的现场补口。

用聚乙烯衬里的钢管，其接缝处主要采用法兰和机械连接等。

如果管径很大仍采用这种连接法时，无疑将增加管线的成本。所以，现场施工已广泛采用焊接接头，故此需要现场补口。

1972年，美国卡尔逊公司的商业树脂分公司研制出一种环氧粉沫内涂层管道补口机。这种补口机以交流或直流电为动力，利用同位素创定位，自动在管道内行走，主要工作程序有以下几个步骤：除锈、定位、加热、涂敷、检测。其补口效率颇高，如补口涂层的厚度为5密耳，在不重新填加粉沫的条件下，在管内的涂敷能力为30个焊口，每

天可途敷直径508毫米以上的焊口85个，而且还可以把95%以上的剩余粉沫回收。据悉，至今该机已完成2000余公里的管线补口。补口程序详述如下：

（1）除锈

除锈是内补口的最重要环节，可分为二步来完成。首先是在管道焊接之前，把管端上的旧涂层清理掉，然后进行彻底的喷丸除锈。工作时，在管道内插入一个管塞，可以用以堵住飞砂，把喷砂或喷丸除锈机放入管端内，除锈程度应达到美国腐蚀工程师协会（NACE）标准白色金属或瑞典标准Sa2.5级的要求。喷砂除锈后，用内对管器对口，然后点焊。点焊后将对管器前移到予定的距离，使清理机头不难对准焊口。当底部焊道完成之后，开动清理机头对焊道进行清理。

当全部焊道完成并经过X一一射线探伤后，再对补口区管外壁进行喷砂除砂，然后将感应加热线圈放到补口区，加热到涂敷所要求的温度。

（2）定位

涂敷器在管内定位是采用铯源，从焊口处予先确定好的距离，把铯源装置放到管道的顶部，当铯源发生的信号被涂敷机械接收后，使带着喷头沿管线移动到焊口处停下。

（3）加热

涂敷装置在焊口处定位后，将一感应线圈放管外焊口区，当加热温度达到232℃～246℃，铯源移开。这时便可将下一个信号输送给管内涂敷机的控制装置进行下一次定位。

（4）涂敷

把空气吹入粉沫涂料储藏室，使粉沫流化，通过过滤器，几秒钟后，起动喷枪，当在管内旋转达到予定速度后，使供粉阀门打开，粉沫与空气混合后进入喷头，然后，喷头先往一个方向旋转数秒钟，停止，再反向喷涂。经多次正反喷涂能保证涂层的完整和均匀。当喷头达到设计所要求的涂敷数后，机器便会自动关闭并发出听觉信号。

（5）检测

因为对涂敷后的涂层无法用肉眼检测，而需使用传感器。这种传感器装有非常敏感的触角，可扫描整个补口区，一旦检出漏点便发出信号，操作者可根据信号重新涂敷。

3．管内粉沫树脂涂层自动补口机

这种装置用于管内焊口的补口。以前曾研制过许多种涂敷机，但都没能很好的解决机械在焊口处精确定位的难题。

这种机械很好地解决了这个问题。机架的前后端装有行走轮，前轮导向，后轮用马达驱动。机械的后部装有检测器，当本装置在管内行走时，探测器的提升装置把探测器升高并与管内壁接触。探测器包括一对电导臂，支撑在管壁上，当探测器的触臂接触到管内焊口时，整个管道就形成了回路，此时驱动马达停止工作。装置的后端还没有由旋转马达驱动的空心轴，轴上装有一空心轮毂和数个辐射状安装的空心喷头。在此之前，将焊口用一般的方法加热，马达一起动，涂敷作业便开始。粉沫涂料存放器安装在该装置上，风扇马达用于提供风压以便使粉沫悬浮起来。粉沫悬浮器的出口处有一阀门，当风扇工作时，阀门便打开，使粉沫变为流动状态，进入空心轴，然后在离心力的作用下，悬浮的粉沫冲击喷咀，对焊口进行涂敷。在予定时间内，关闭风扇和粉沫悬浮器上

的阀门，最后将旋转马达停掉。

（4）自动推进、自动表面处理与涂敷的管内焊口补口装置。

这种补口装置是用于直径150毫米的小口径管道的内涂敷，可以在管内自行推进、自动进行补口或对涂层损坏处进行修补。

全机包括驱动小车、马达载运小车，涂料供应车以及工作小车。这些小车之间均为挠性连接，可自动操纵。工作小车包括除锈机构和喷涂机构，这两部分连接在一双头轴上。

这种补口装置的最大特点是4个小车都连接在一起，这样就缩小了整个装置的径向尺寸，使之能自动地在直径约150毫米的管线中，甚至在弯曲曲率半径比较大的管线中进行补口作业。

5．小口径管道内涂层补口技术

美国AMF TuboEcope公司研制的独特的现场内补口新技术，即Thru—kote工艺，可为整条管线提供一个完整的内涂层。这种新技术施工简便，焊接也很简单。到目前为止，这项补口新工艺已在数百里的管线上使用，效果很好。采用这种方法连接和补口的接头，经16年的使用，补口处仍然完好。Thru—kote补口新技术适用于管外径为 $2\frac{3}{8}$～$12\frac{3}{4}$时的管线补口。具体操作程序是：

把要连接的管端在予制厂加工成喇叭口形状，加工工艺必须符合Tuboscpe公司规定的高精度分差要求，并按Thru—koto规定的标准做管内涂敷。

将内衬短管节安放在两个呈喇叭口形状的管端之间，并与二管端的内径适配。短管节的材质应与管材相同。安装时，先在短管节的内表面涂上防腐涂料，然后再在它的外部缠上石棉，以防止保护层在焊接时被损坏。

在管口焊接前，应首先清理喇叭口的两端，而后，分别在每个管端上涂敷特配的环氧树脂涂料—该环氧树脂涂层并不起压力密封作用，而是在补口时起润滑作用。由于环氧树脂挤在内衬短管节的两端，从而把管道和衬里管的内涂层连接在一起，为整条管线提供一个完整的表面防护层。另外还设置了密封圈，以防止焊接气体破坏环氧树脂内涂层。

Thru—kote内衬管的连接，是先将内衬短管插入喇叭口的一端，然后再插入另一端并用对夹具对中两端装配在一起之后，即可进行焊接。焊接时，内衬短管的内表面不会受焊热的影响。

这种连接带有内涂层管道的方法非常简便，而且施工效率很高，不用单独进行补口作业。这家公司曾在一条直径152毫米，长2400米，以210kg／cm²的压力，在90℃温度下工作的高压的高压腐蚀性水输送管上使用了这种技术。

采用以前的补口方法尽管在管内加入了缓蚀剂，但使用不足一年即发生腐蚀穿孔。而采用Thru—koto补口新技术和Tk—21防腐涂料后，经七年使用，补口区仍然完好。此外，这家公司生产的这种涂料性能优越，使用范围广，耐腐蚀性能强，是一种理想的防腐涂料，如与Tiru—kote补口工艺相配合，效果会更佳。

6．带内涂层小口径管道的机械连接法

带内涂层管道的连接系统有丝扣，开槽、焊接和压接。在丝扣扣连接系统中，“V”型连接丝扣上有内涂层。这种连接除能用于排水管线之外，还能用于采油井、注水井管线或短距离油管的连接。

开槽连接用于短距离输油管和低中压注水管。管子内壁要涂衬防腐层一沿管子外表涂到开槽的第一道电缘。接口夹紧处不用金属密封，而在有涂层的管端用橡胶密封。这种连接在现场容易修理，而且操作简单，但由于需要在管子上开槽减少该处的壁厚，所以承受压力的能力受到限制。

采用焊接方法连接有内涂层的管道需有特殊的措施，以免损坏内涂层。这种连接是在管子内接口处放入一短管节，管节内壁要涂敷防腐层。为了防止焊接过程中损坏短节的内涂层，要在短节外用石棉包缠。

机械连接法的最后一种是压接连接。因之安装速度快而日益得到普及。

对以上几种连接系统的评价：

对于某种连接的选择应考虑到服务条件，接头系统的费用、安装速度，所采用的涂料及其适应性。高压管道的接头应采用静配合连接和环氧密封。由于环氧涂料属于自固化性涂料，所以对其评价应在投产条件下结合各种因素来进行，如输送介质的温度可使环氧涂层和性能减弱，原因是在涂层中渗透了二氧化碳。此外，所采用的涂层种类、管径、利用性大小以及工程规模，直接影响着费用的高低，所以应在选择什么样的接头形式之前来确定它的费用并进行比较。

对于注水管线应采用焊接连接的方式，施工速度为3个焊工每天大约0.8公里（受每条管线总的接头数量的影响）。静配合机械连接方式每分钟大约一个口，每天可连接44.8公里的管线。

7．带内涂层管道的机械压接连接法

管道机械压接法较其他连接法有许多优点，一是现场不需要焊机和技术工人，施工费用低，也不需要对管器。这种方法的最大优点是连接有外途层的管线时，不破坏内涂层，也不需要补口。二是施工速度快，在两管端连接面的任何间隙都可以用密封剂密封起来。

这种方法就是把一个予制成一定锥度的管端压入另一个用胀管器子胀成喇叭形的管端里。喇叭口段包括圆柱形段，内径略小于插入端的外径，这样可以获得二管端强大的静配合连接。此外，喇叭口还有一带锥度段，位于管道与圈筒状管道之间，在喇叭口端有锥度的一段与插入端管锥度一段的会合处形成一个大体或圈团式的环形空穴，密封剂被封压在两个锥度之间，达到接头密封的作用。

8．记忆合金热胀套补口工艺

进入80年代，为了解决比较难的小口径管线内涂层的补口问题，美国辐射化学公司研究出一种新的补口工艺。尽管这项补口技术本身还存在着一定的缺点，尚未被大规模地生产和使用，但已为小口径管线补口又提供一种新的方法。至1985年，这家公司在中东地区采用这种补口技术已成功地完成直径102mm～406mm管线的内补口7500个。这项新技术叫做记忆合金热胀套补口工艺。热胀套是由多层结构组成。其中包括一层热回复记忆合金网骨架和一层kgnar绝缘层。

这种热胀套主要适用于输水管线或油气输送管线的内焊口补口。用于输水管线补口，可在100℃温度条件下进行，能经得起210kg／cm²的压力，在中东地区用于原油脱盐后的废水回注管线上。这种废水的主要成份是氯化钠，其浓度按容量计算可达20%，二氧化碳、硫化氢、天然气和一氧化碳在管线中的分压力可达1.75kg／cm²。尽管这样，在管线的内补口处并未发现任何问题。

关于这种管线内补口新技术，美国专利详细介绍如下：

由于油田二次开发的需要，往地下层要注入大量热的腐蚀性的高压水，所以注水管线内壁一般都要采用塑料内衬，但对焊口处如果不进行内涂敷，就会在此处发生高速腐蚀。

这种新技术是以管状记忆合金做骨架，受到热影响下可以发生形变。涂层的外部为粘合剂，因热的作用而流淌，故能起到粘结作用。

热胀套在管线焊接之前放入管内，在管线焊接后再移到焊口处，然后从管外加热，这样，记忆合金骨架扩张驱运涂料层，致使粘合剂与管口内壁接合。

驱动骨架一般由记忆合金制成，也有的采用高模量工程塑料制度。涂料层包括载体和合剂载体，类似于衣服薄本，这种薄片由玻璃纤维布浸渍粘合剂制成。

所使用的记忆合金应具有良好的记忆效果，理想的是记忆合金应具有在最低的使用温度下的奥氏体马氏体转化温度，这样才能保证粘合剂对管内表面的粘结力，使驱动骨架在工作中保持硬化奥氏体状态。这样，当使用清管时，补口层被破坏的机会就会降低到最小程度。此外，这种记忆合金驱动骨架能够粘结到涂层上，其产生的附加强度能防止驱动骨架在安装之前起皱，还可以减少驱动骨架在扩展过程中的途层开裂现象。

驱动骨架也可采用弹性材料来代替记忆金属，这种材料具有压缩性大，复原性强的特点，例如高模量工程塑料，这种塑料在以后管线投产中还可起到防腐作用由于大多数无机工程材料达不到所要求的高屈服延伸率，所以选择的塑料在涂层的熔融点以下时必须具有4%的屈服延伸率和大于或等于$2.11\times10^{3}$公斤／米的杨氏模量。这种塑料可以是非加强性聚合物，如聚酰胺—酰亚胺共聚物，加强材料如尼龙、聚酯以及聚丙烯酸酯热固树脂。许多其他加强材料也可采用如玻璃布、石墨或矾土等，这些材料加入量一般为20～40%（按重量比）。

衬里层的材料应具有几个方面的特性：不导电，对电镀现象起阻滞作用，必须能在管线的最高温度以上工作并能在200℃以下的驱动骨架作用下容易发生形变，能对在操作过程中所遇到的热盐水、$H_2S$、烃类等产生抵抗作用。对液体与气体不能有渗透，能降低衬里层和管壁之间任何漏洞区域的压力。除此之外，这种材料还应具有在200℃温度下可抵抗十小时的热稳定性。这样，在管线温度过高时，它才能不被破坏，或很少受到破坏。所选择的粘合剂对记忆合金、工程塑料必须保证在安装期间不融化、流动，但可以稍稍变软，这样可以保证本身的完整性。如果采用聚偏氟乙烯做成套筒用于涂料层，可通过静电粉沫喷涂方法涂敷到驱动骨架上，然后进行热熔和交联。之后，在焊热的作用下，涂料层与驱动骨架极易结合到一起。在热塑交联涂料层的软化点以下，驱动骨架的环向应力小于涂料层的环向应力，因此受涂料层的约束。随着温度的提高，当涂料层达

到其软化点时，强度迅速下降，驱动骨架的强度也随之成比例下降，那么涂料层的强度就要低于驱动骨架产生的环向应力。在这种情况下，涂料层在压力下向管壁扩张。也可采用有橡胶特性的涂料层代替热塑性或交联热塑性衬里。不过应配有适当的热效应限制装置，以防止蠕动膨胀。这种热效应限制装置要具有上面所提到的热塑料之全部功能。

对粘合剂的材料也要有一定要求，首先应具备对涂料层、管道内涂层（一般为环氧树脂）以及清理与未清理过的焊口钢材表面的粘结力；第二，在施工温度范围内应具有足够的流动性能一沿涂料层的覆盖区分布流动而不会产生漏眼；第三，粘合剂在最高的操作温度内能保持热稳定性，尤其是在加热温度过高的情况下不产生气泡，因为这种气泡会导致漏眼的产生；第四，在管线的工作温度内，应具有热稳定性，特别是水解稳定性。可供使用的粘合剂主要有两种类型；热固性的和热塑性的。热固性的有环氧三聚氰胺、聚氨酯和酚醛树酯。这种粘合剂的特点在于它们的热固温度接近于所予计的施工温度（约200℃）。为了改进贮存期限和防止在施工期间粘合剂与管壁接触前过早地固化，也可采用较低一些的温度，最好是以200℃作为施工和固化温度。但热固性粘合剂在固化前应具有足够的流动性，这样才能进行适当的扩散。

比较合适的热塑料有尼11，美国商标为“R DP21WHTE”，由美国RilSon′公司生产的，它具有特殊的稳定性，但不足的是，当这种粘合剂熔化时，由于受到驱动骨架扩展所产生的直接向外的力的作用，其粘度会有明显降低而被从涂料层的端部压出来，导致粘合剂不足，因而不能获得连续耐久的结合边缘。为了避免产生这种现象，应利用玻璃纤维布或者其他相当的基片浸渍R DP21WHTE粘合剂，制成薄片，这样，在热作用下膨胀的驱动骨架就会将此薄片压向管道内表面，玻璃纤维布还可以防止衬里层过快地与管道表面接触，从而防止了粘合剂被挤压到接合面以外。玻璃纤维布的适当厚度为10密耳。除此以外，它还可以防止驱动骨架与焊接背衬环之间金属与金属的直接接触，起到分散因重选，脱皮和龟裂所产生的力的作用，这样就大大减少了补口区被破坏的可能性；能抵抗粘合剂之间的收缩力，避免加快改变从熔融点到硬化的状态。对于热塑材料，粘合剂和涂料层可由相同的材料制成，这样可确保化学亲合性。涂料层进行一定的交联，可使涂料保持一定的活动性，在这种情况下可采用包括衬里层和粘合剂在内的整体套筒。

## 四、几点建议

以上简单介绍了国外在现场补口方面的技术水平，下面就化工管线防腐及补口方面的实际情况提几点建议，供参考。

1．继续进行管线内涂敷技术的研究，带动内补口技术的发展。鉴于我们在管线内涂敷方面起步较晚，还没有比较成熟的内补口技术，所以建议多投入些力量加强管线内涂敷技术的研究，扩大内涂敷的应用范围，从而带动内补口技术的发展。

2．消化吸收带内涂层小口径管道的机械连接法。由于我们化工管线多为中小口径，而随着对内防腐的重视，内补口问题将摆在科研人员面前，所以建议消化吸收国外比较成熟我们又比较适用的小口径管道的机械连接法。

（下转22页）

3.2.2 实施措施

为减小震动的影响，而且符合现场条件（现场地表土极软弱，沼泽地），我们将支护棚基础及整个支撑挖区域去500～700毫米，回填了粒径大于30毫米的砾石，因砾石间隙较大，能起到减少震动危害的效果。

4．混凝土施工

类似这种工程，砼施工最好采用砼泵车，但由于当时条件限制，采用了两台40吨吊车进行砼一次性浇筑，其中基础和管架柱使用0.5～5cm石子砼，管架梁使用0.5～3厘米细石砼，砼运输时基础采用满堂红脚手架，小单轮车运输，柱和梁南北两侧各搭一个13.5米高上料平台，用40吨吊车吊装灰斗上到上料平台，梁的下层在模板上设木凳，搭跳板水平运输，上层用脚手架，马道进行水平运输。

5．施工安全

位于铁路施工，安全工作十分重要，首先无论动土或搞支护，必须经铁路部门批准，在施工时铁路部门应设专职安全人员应和我方安全专职人员监护，在铁路旁堆集材料等应严格遵守铁路规定，使用吊车时在火车通过时，扒杆不许在线路上空旋转。

6．实施效果

该工程从动土到砼浇筑仅用11天工期，达到强度拆模后砼表面无任何裂纹，经铁路部门和业主一次性验收合格，整个施工无任何事故，未影响铁路的正常运行。

7．结束语

钢筋砼口字型架空管架是我公司初次施工，尤其是跨铁路，施工难度较大，笔者认为，做为管架工程的结构形式、若条件允许，最好采用钢桁架砼柱型，但跨铁路的管架，为保证列车运行安全，现已采用这种钢筋砼口字型大跨梁，因此在这种梁施工时，必须考虑震动的影响，支撑系统的强度。

---

上接31页

3．挥素记忆合金热胀套补口工艺在输水管线上的应用。

4．在外补口方面，建议开发不加热收缩带。这种收缩带不但解决管线涂层补口的难题，还能克服热缩带的缺点，是一种理想的外补口技术，值得借鉴。

参考文献：

1．《油建科技信息》——胜利油田建一部1987年12月10日。

2．《石油施工科技动态》——石油部施工技术研究所，1988年12月。

3．《国内外管道防腐涂装技术》——大庆油建研究所，1989年12月。

4．《金属管道、容器内腐蚀及其防护技术》——石油部施工技术研究所，1988年5月。