案例研究(2)－DH 快速弯管的高安全性检讨

李胜男 /德翰智慧科技公司 副总经理

date : 2017-09-09

前言

本文将藉由近期的一个石油业工厂的执行实案例，探讨德翰公司的「DH 快速重型冷作弯管」技术(以下简称：「DH 快速弯管」)的执行成效及高安全性检讨。DH 快速弯管技术是将传统耗用大量人力的工业配管作业，利用现代发展的大型数字化弯管加工机台进行一个大量的改良配管弯头(elbow)接头工作，以达到降低成本、降低工期、提升质量、降低品检负荷、降低日后维修工量、提高工厂操作安全度等多方面的成果。

关键词: DH 快速重型冷作弯管, DH 快速弯管,德翰,dehan

一、个案说明

建物工址：高雄市，工业区，石油气业工厂。
建物分类：工厂室外作业区，具易燃、高爆、高危险性。
工程性质：维修。
特别要求：工期力求极小化、动火安全度极注重。
使用技术：与现有管线接合处采传统弯头焊接；新作管线部份采快速弯管。

二、DH 快速弯管的工期压缩能力

对于具高爆、高危险性的石油气业工厂储槽区管线的维修作业，一向都以工期短、安全要求高闻名。由于工厂内管线内容物都是易燃性的油气体，见火即爆，即使在管线吹驱后，仍存在一定的危险性。管线修护时要求的工期相当短，以期能在最短的时间内恢复系统运作，工期短也使得必须动用大量专业焊工人力，去处理大量管线焊接作业。

DH 快速弯管的工期压缩能力的来源有三 (随便提几个吧)：

(1) 成本较低，弯头不必特意采购：

管线中存在弯头(elbow)是无法避免的。在进行维修前，厂内一般都会先期采购大量的各种管径弯头，提供给包商配管施工时使用(由于维修的量太低、工期太短，弯头零件一般都由业主方直接采购供料)。采购弯头是必须提前进行的，管径和数量都是预估的(会先清点，但疏漏难免，每每都必须追着料件跑或调借用)，会与真正进行的维修工作所需的数额不一样，所以业主方有时必须被迫多买，形成库房堆置。多买浪费，少买会被痛骂，不得不然。弯头以 90 度弯头为主，其他角度(一般为 45 度)则必须另为裁切，有时会形成材料浪费。

DH 快速弯管的特色是直接利用「直管」进行弯曲，角度可以在数字弯管加工机台上选用，大抵并无限制 (机台不是万能的。不可否认，这还是有限制的，但不影响配管工作)。直管的采购、取得、库存比较容易，成本也较低许多。直接使用直管弯曲，明显的，成本会下降许多。容易取得，意即：时间也会节省。

(2) 成本较低，管线弯头不必特意焊接：

工业配管的管线大多是由直管和弯头构成(当然还如法兰等，但数量上不足比)。一般弯头多是 90 度弯头为主，两端接于直管，所以每一个弯头两端就需要两个环口焊缝。一场大型石化建厂，动辄到达数十万、上百万 Dia-inch 焊缝。管线直径越大，环口焊道越长；管线壁厚越厚，环口焊道越深越宽，也就是越花人工、越花焊条。例如图 2-1 的左图所示，一个连续 4 弯管，共可以节省 8 道环口焊道的人工焊接、且节省 4 个弯头(elbow)。

▲图 2-1：快速弯管，此一连续弯管可节省 8 道环焊(图左)，各式角度弯管(图右)

以 3 吋管(如 ASTM A106)为例，每一环口焊道的焊接施工，包含前置的放样、裁切、倒角切削、焊面研磨、运搬、对准(假固定)、人工焊接、检视补焊、焊后磨平、标示、再加上必要的检验(如 PT/RT 等)，使用人工大约是 1.5 人(包含专业焊工及辅助工)，所需时间大约是 1 至 3 小时。如上种种，可以得知耗费的工序繁复及成本高昂。配管业使用工人多，对经营者或管理者而言，实务上管理耗费心血繁多，不是可以计量的；善待员工与善待自己是个哲学问题，通常不是法律可以轻易解决的；读者如果层级够，相信可以或同身受。

DH 快速弯管的特色是直接将「直管」弄上加工机台，大约花 5 至 30 秒的时间，即将一个 3 吋管弯曲完成(还包含两个环口端，非焊接环口焊缝)，如图 2-2 所示。若像图 2-1 的左图的连续 4 弯管，大概也花不了 2 分钟(总还是要挪一挪、标定一下)。对于熟手的朋友，大概不必多作叙述了：「时间省太多了」。容小弟再补一腿：「成本省太多了」。

▲图 2-2：直管在数字弯管加工机台上进行冷作弯管
(照片中管材为 4"_SCH.40S , A106)

(3) 成本较低，减少弯头环口焊接的检验：

没有弯头(elbow)，就没有环口焊道，当然就没有焊道检验。

传统的弯头焊接，焊道检验一般采用非破性检验的 PT/RT 检验，由于委托第三方检验公司进行，必须要累积有一定的部品预制量规模，才能降低检验师傅的出工时间(成本)；常是需要等一段时间的焊接工作累积，才会统一进行。所以常会在预制场上看到满地堆置的预制成品或半成品，效率低、耗时、占地、要多花人工整理。

DH 快速弯管的特色是直管与弯头相连成弯管，没有焊接(环口焊)，所以焊道检验就省下来了，时间节省了，当然成本也节省了。图 2-3 所示的即为 6 吋弯管加工机台的适用管材(部份)。

那 ..... DH 快速弯管如何检定其质量呢？一般都使用「减薄率」来标定。当「直管」在加工机台上弯曲成「弯管」时，虽然有稳固的导模加以围护，但金属材质的管壁仍会有「减薄」，与原始的直管壁厚相比，即可得到「减薄率」。图 2-4 所示的即为弯管成形后的管材减薄率(部份尺寸)。传统的弯头(elbow)在加工厂制作时，常利用高周波加热再予以弯曲成形，其实也是有「减薄率」产生，只要合于规格即可。

DH 快速弯管成品，可以在机台旁侧直接利用超音波测厚器材，实时检验其壁厚，是一个几乎是立即产生的检测数据 必要时 将弯管切片下来作厚度检验也可以(参考图 3-7)。

冷作彎管/鋼管厚度適用表

ITEM	SIZE	O.D.	Nominal Wall Thickness						
item	B	ANSI	Sch 5S	Sch 10S	Sch 20S	Sch 40	Sch 80	Sch 160	XXS
1	1/2"	21.3	1.65	2.1	2.5	2.8	3.7	4.7	7.5
2	3/4"	26.7	1.65	2.1	2.5	2.9	3.9	5.5	7.8
3	1"	33.4	1.65	2.8	3.0	3.4	4.5	6.4	9.1
4	1-1/4"	42.2	1.65	2.8	3.0	3.6	4.9	6.4	9.7
5	1-1/2"	48.3	1.65	2.8	3.0	3.7	5.1	7.1	10.2
6	2"	60.3	1.65	2.8	3.5	3.9	5.5	8.7	11.1
7	2-1/2"	73.0	2.1	3.0	3.5	5.2	7.0	9.5	14
8	3"	88.9	2.1	3.0	4.0	5.5	7.6		
9	3-1/2"	101.6	2.1	3.0	4.0	5.7			
10	4"	114.3	2.1	3.0	4.0	6.0			
11	5"	141.3	2.8	3.4					

▲图 2-3：快速弯管，厚度适用表 (1/2”至 5”管等级)

circularity - 真圓度(c) / bend wall dethickness-減薄率(b)

ITEM	SIZE	O.D.	Nominal Wall Thickness					
	B	ANSI	Sch 5S-(c)(b)	Sch 10S-(c)(b)	Sch 20S-(c)(b)	Sch 40-(c)(b)	Sch 80-(c)(b)	Sch 160-(c)(b)
1	1/2	21.3	1.65-00	2.1-(96)(82)	2.5-00	2.8-(92)(86)	3.7-(96)(92)	4.7-00
2	3/4	26.7	1.65-00	2.1-(91)(84)	2.5-00	2.9-(90)(88)	3.9-(93)(92)	5.5-00
3	1	33.4	1.65-00	2.8-(88)(84)	3.0-00	3.4-(90)(90)	4.5-(95)(89)	6.4-00
4	1-1/4	42.2	1.65-00	2.8-(91)(81)	3.0-00	3.6-(93)(87)	4.9-(95)(90)	6.4-00
5	1-1/2	48.3	1.65-00	2.8-(97)(84)	3.0-00	3.7-(92)(88)	5.1-(94)(89)	7.1-00
6	2	60.3	1.65-00	2.8-(91)(85)	3.5-00	3.9-(93)(89)	5.5-(94)(91)	8.7-(95)(93)
7	2-1/2	73.0	2.1-00	3.0-(90)(86)	3.5-00	5.2-(93)(91)	7.0-(94)(93)	9.5-00
8	3	88.9	2.1-00	3.0-(93)(84)	4.0-00	5.5-(95)(89)	7.6-(94)(91)	11.1-00
9	3-1/2	101.6	2.1-00	3.0-(94)(86)	4.0-00	5.7-(93)(90)	8.1-(94)(92)	
10	4	114.3	2.1-00	3.0-(91)(88)	4.0-00	6.0-(96)(91)		
11	5	141.3	2.77-00	3.4-(92)(87)				

▲图 2-4：快速弯管，真圓度及减薄率

讲到这里，顺便谈一下残余应力的问题。传统的弯头(elbow)在弯曲加工时也是有残余应力产生，只是借由加热退热的过程，尽力使残余应力降低，并非没有残余应力。而传统的弯头在进行弯头环口焊接，人工电焊产生的数百度高温以熔接弯头母材、直管母材、焊条，使其结合，对母材造成永久性的伤害，当中所产生的残余应力才是真正吓死人的高，如图 2-5 所示。

而在图 2-6 的照片中，我们可以看见实际工厂运作的损害控制中，除了法兰接头外，在管线中最容易发生状况的部位就是弯头和直管接头焊接部位 (注：为什么老是在这地方出状况呢？此处最脆弱，合理推测可能是高温烧焊后的应力破坏或焊工疏失

吧！工厂操作维修量很高)，反而弯头及直管比较少出现损害管理缺失。熟悉工厂运作的操作主管人员应是最能理解了，这也是工厂危机管理控制的重点。这也是我们发展 DH 快速弯管的目的之一：降低管线破损灾害的发生率，相对应提高工厂运转安全性。

▲图 2-5：传统的管线弯头预制，环口焊道会产生高温破坏

▲图 2-6：传统破管抢修止漏(左图)与焊道旁管线母材穿孔泄漏(右图)

DH 快速弯管主要是将「具有延展性」的金属管(例如 ASTM A106 材质的直管)，加以冷弯加工成所需要的弯管，所产生的残余应力相对于高温焊接的残余应力，来的少很多。只有在不良的操作下才会产生不合格品，如图 2-7 所示，这些瑕疵几乎可以肉眼检视或手触得知，不良供货商是绝对无法闪避掩饰；这是品检上的优点，几近 100% 出厂良率。

▲图 2-7：弯管良品(图左)，操作不良时会产生残次品/管壁皱褶(图右)

谈到这里，好像不知道是在谈「节省工期」，或者是在谈「节省成本」？或者应该说是「以上皆是」。

上述的数据，读者可以在德翰公司官网 (www.dehantech.com) 于 2017-07-01 公布的「快速重型冷作弯管技术简介」文章中找到更进一步的应用数据。

三、DH 快速弯管的优异弯头质量

前面谈的是钱和时间，现在藉由实案例来谈一下主题：「DH 快速弯管的高安全性」。

▲图 3-1：本案例中的管线微破损，临时止漏 (传统环口焊接)

在图 3-1 的照片，是在本案例中的管线微破损情形，被发现该处(新维修完工)的管线中有

泄漏气体的状况，而加以临时止漏的照片。这是一家石油气工厂储区的输送管线，管线内容物是易燃易爆的压力气体。该处刚完成了维修作业 (是我们的伙伴公司所承揽)，在各个管线工作完成面都进行了必要的检验及巡查，才交接给业主运转。但在厂方运转后的安全巡检中被发现管线中有泄漏气体的状况，流量读数也出现异常，只好一支一支的管线逐步逐条的检查，费了好大工夫，才发现泄露点，临时先以止泄带及手工夹具予以固定。再立即进行修护工作，更是风险战战竞竞，配合以三条氮气进行吹驱，辅助安全，才敢进行现场补焊修漏。

事后想来，更真的是「心惊胆跳」不已，配管这行饭真的是「不好吃」。相信业主方人员也是怕的要死，若等到一段时间（如保固期过了），工厂操作人员的生命健康及饭碗可能就有问题了。这种危险泄漏的情况在所有的工厂、所有的管线公司，其实都会发生、也都曾经发生，有些工厂还履履发生(可能因工厂太大、分厂太多、操作不熟悉、或者管线内流体特殊性有关，无法一言蔽之。事后大多被归类到机械异常，哈，大家都没责任)。只要发生一次，工厂内鸡飞狗跳、工厂外抗议不断、行政上处罚不轻、有时司法上难以脱罪。最好是不要发生为佳。

实际上，指派担任焊接工作的也是十数年经验以上的专业老焊工，不能说是经验不足，但还是出现百密一疏之遗憾。真要是发生气爆情况，可能又是一场大灾难，施工商赔不完，对附近居民伤害很大(因为地狭人稠，台湾的工业区几乎和住宅区相比邻，安全影响无法避免)，对工厂经营管理层的威吓也很大，尤其是现在的法律要求、刑度及罚金更高了，更遑论居民/环团的环保抗争了。我们经验里，这种类似的情形，也在其他的工厂都发生过。石化工厂被列为高危险场所、严加看管，不是不因。

事实上，台湾地区由于各种人力问题，包含年轻人较无意愿担任辛苦/危险的焊接体力活，石化业的工程投资额也逐渐缩减，导致配管业工作接案量不够稳定，影响人员雇用等情形，管线配管业的人员也都驱于老化，能留下来的都是老焊工了 (为生活操劳、为家庭负重)，现场可见的许多都是头发灰白的中壮年员工了。

事后，我们重新作了一段改进检讨。使用专业焊工、仔细的焊接作业、扎实的管线材料及焊条、逐条逐项的检查等，都是我们日常很谨慎、很规率、很习惯的作业要求，焊工也很守本分，焊道也都逐一检查，为何还是会出现气体泄漏问题？

(1) 人工焊接无法百分百免除焊接瑕疵：

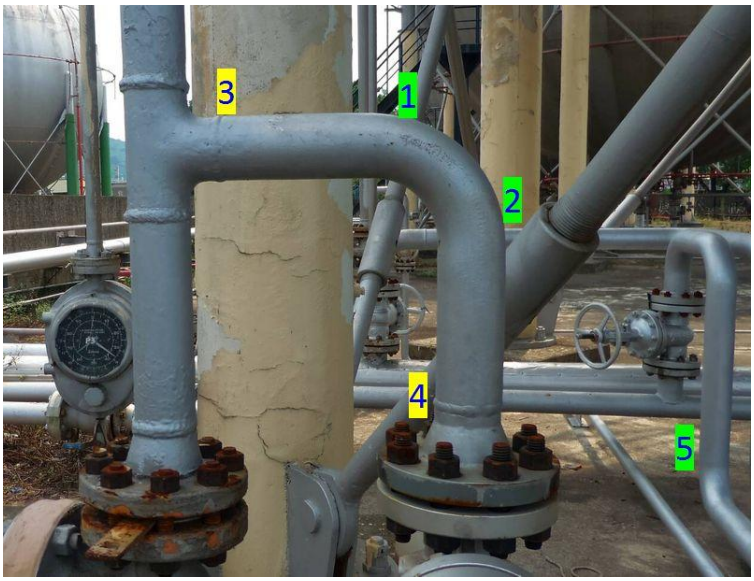
专业焊工是经过严格培训的焊工，可以极力降低焊接工作错误的发生率，但是无法完全消除。人毕竟不是神，再专业的焊工也还是人。

以下的因素都会影响焊接成品质量：专业焊工体力上的负荷(包括长工时的工作、加班、熬夜等)、工作时的心情/心理状态、工地的工作场所环境差(预制场可能好一些)、天候(风雨)、辅助工具、辅助人员等，甚至老婆吵架、老板发不发薪水等，都可能是错误发生原因。图 2-5 中可以见到焊接工作是辛苦的体力活。这些负面的影响因素，一旦造成了焊道上的瑕疵(如：微裂痕、焊道缺损等)，都可以造成很大的伤亡灾难。

可以想象得到，每 1,000 米的焊接中，只要有一处失误，就可能会造成重大工安/公安伤亡；当然，是要想尽办法，尽可能地防止这种失误，至少，要能尽可能降低失误发生

率。

在本案例中，其他的新作弯头我们使用了 DH 快速弯管制作，并未发生泄漏的情形。例如图 3-2 所示是案例中的其他配管情形，图中间的管线中，标号 1/2 处使用了 DH 快速弯管，标号 3/4 处则为传统环口焊接(因为要与法兰或三通接合)，图右的标号 5 则是更长的多重连续弯管。我们可以见到 1/2/5 处的 DH 快速弯管是完全无接点的平滑程度(不是人工研磨的)，完工时我们明显看到业主方人员几近赞叹的欣赏表情，不只是安全，还包含一份工业级作品的优美与优雅曲线 (哈，学工科的人，看法比较单纯，美就是美，没有修饰语助词)。相信您如果是行家，应该可以理解。

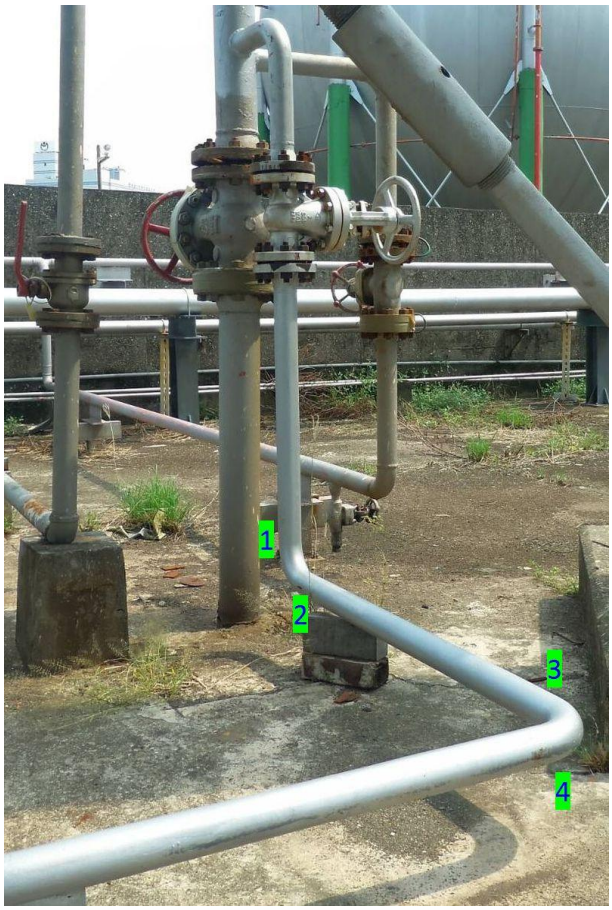


▲图 3-2：案例中的配管情形-单弯管(1/2/5 为 DH 快速弯管，3/4 为传统环口焊接)

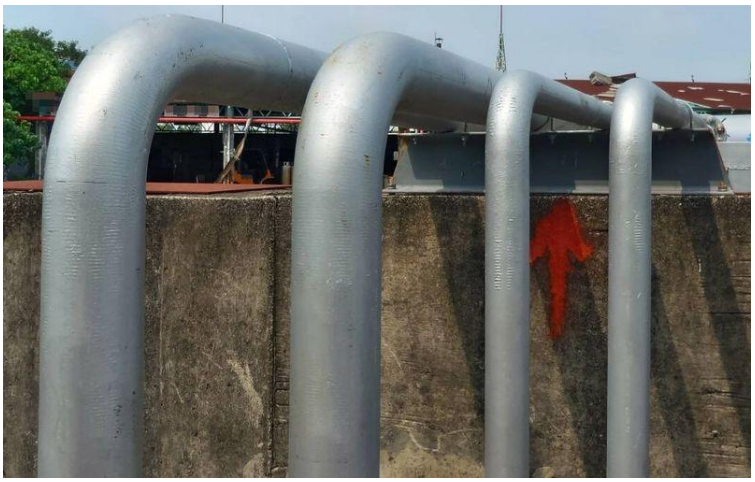
在图 3-3 所示，是同案中使用 DH 快速弯管的连续弯管情形。施工商老板看到的应该是标号 1/2/3/4 所省下的 4 个环口焊道的金钱成本吧。我们则是看到所能省下的时间成本，可以让我们使用更少的焊工人力，尤其在这个专业焊工不易找得到、养得成、留得住的时代，能以半自动机械化的方式来运作更大、更精密的配管产能。

在图 3-4 所示，是同案例中使用 DH 快速弯管的管排情形，相同的管径/弯径/造形，可以体会到快速弯管加工也可以使用到 "Copy"(复制) 的指令吧，我们的机台作到了。

德翰 DEHAN 智慧科技



▲图 3-3：案例中的配管情形-连续弯管 (DH 快速弯管)



▲图 3-4：案例中的配管情形 - 管排 (DH 快速弯管)

理论上，DH 快速弯管加工机台是可以 24 小时作业的 (很像 7-11 超商吧！)、计算机控制数字化作业、精确度很高，这样… 您可以体会到和传统的配管方式的差异有多大吧！

除了弯管加工外，我们更将他们发展为可以产生其他更高的附加价值产品及服务 (以后再介绍加盟系统总部计划、自动化工厂等)。

(2) 检验也无法百分百检出焊接瑕疵：

检验是验证成品质量的唯一途径。

传统配管工程，弯头(elbow)都是自加工厂或贸易商购入，基本上都有标示型号，没有检测的必要(有无瑕疵并不清楚)。直管更是大宗物资，也无检验必要(管材厂是大厂，瑕疵应该没有，否则这管材厂大概无法在业界生存)。弯管成品的主要检测点是在弯头与直管接口的环口焊道，一般都采用 PT/RT 检验，委由第三方公司进行检验，检测都有一定比例的样本抽测率，但要作到 100% 就比较困难点(成本与工期)。

DH 快速弯管是冷作弯管类，由加工机台弯曲后，成品管壁厚度的减薄率可以直接使用「超音波测厚仪」予以直接量取读数(属非破坏性试验)。坊间市售的超音波测厚仪有多种厂牌可用，欧、美、日、中、台产的都相当普及，价格约为台币 1 万至数万元不等，取得管道十分容易 ◦如图 3-6 所示为台湾市场中可取得的几家超音波测厚仪 ◦提供参考(注:数据是随意自网络上搜寻下来的)。业主或委制客户可以委由第三方公司检测，也可以自备仪器随时随地进行检测。在我们自家工厂产制的弯管，在出厂前可以为客户量测合格与否，以确保弯管成品的质量受到严格控管；如果客户要求，也可以作到百分之百的检测 (在商言商，价格是跟服务要求相互连动的)。

▲图 3-6：市场销售的几款超音波测厚仪
(数据源：全华精密公司、益瀚国际公司网站)

德翰 DEHAN 智慧科技

▲图 3-7：弯管切片，准备作壁厚量测 (减薄最大处在弯管凸缘中央)

客户也可以要求切片检验(属破坏性试验)，将管片切下来，作厚度量测，如图 3-7 所示。但此方式手续繁复、相当耗时、成本也高。既然时代已进步到「超音波测厚仪」机器都已经面世，费用不多、使用极便利、人员操作容易、通过各类国际标准认证(如 ASTM E 797、EN15317 等)、数据信任度也够，我们建议直接使用机器为佳，没必要重回石器时代吧！似乎没什么怀旧价值吧。

低成本、快速、精准、数字、环保无耗材、随时随地皆可进行、无等待浮时是快速检验的特色。甚至可以连上计算机作后段的海量数据处理作业，形塑出弯管成品产命履历、信任度，有助于部品零件质量掌握，对于要求度高的高科技或生技产业，极为适用。

这一段主要在描述 DH 快速弯管的检验如何赶上时代的要求，作一辅助性叙述。

四、结论和建议

谈不上什么伟大的结论与建议，只是随便讲讲，同业同好们参酌参酌。

对于传统的工业配管工程而言，DH 快速弯管是个新技术。从来，新技术进入一个旧市场，都是一定会被质疑、抨击、排挤的，从来都是如此。不光是技术那么简单，更牵动到既有市场的变动与业者的防御，前进与保守的两力拔河，不可免。

但工业发展史和人类历史也告诉我们一些已经发生过、以及正在发生中的事实：「新技术取代旧技术，不可避免」；传统认知的改变只是时间的问题吧了。

本文藉由实案例的事实介绍，期以重新对于 DH 快速弯管和传统弯头予以比较，来发现更好的技术应用层次。在本案例中，传统弯头的环口焊接是使用了行之数十年的专业焊工的

人工焊接，而 DH 快速弯头则是使用了最新的科技产品—大型数字弯管加工机台，来进行将直管弯曲成弯管。两者之间，不论使用的人、机、料、工作方法、思惟、检验、安全性考虑、耐久性、施工速度，甚至是比较市侩气息的成本与利润的商业性思考，都确实存在极大的差异。

以前的弯管机只能作简单的弯管，而且只有薄管，例如常见的不锈钢栏杆等；简单的讲，就是「把管子弯曲了」而已。在工业级配管领域，须耐高温、高压、内容物特殊（如具腐蚀性、毒性、扩散性、污染性、易燃性、或高爆性等，相当危险），管线材质要求高，管壁厚度也较厚许多，一般现有弯管机是无法运用克服的。现在，大型弯管加工机台研发出来，出力更大、可弯管壁更厚、可弯管外径更大、可弯弯曲半径更小(传统弯管多只能到达 3DR，DH 弯管可达 1DR 至 1.5DR)、导模更复杂精密，才能运用于工业级配管上。并借助台湾强项：计算机硬件能力，来使弯管得以数字化、自动控制、甚至数据大量处理，使得效益更佳、产能更大。

使用自动化机械生产，取代传统的人工生产，是一个不是你我可以力挡狂澜的「世界趋势」。

工业强国德国 2012 年就提出了「工业 4.0」(Industry 4.0)蓝图、美国 2014 年--「AMP」(Advanced Manufacturing Partnership)、韩国 2014 年--「制造创新 3.0」(Manufacturing Innovation 3.0)，连中国也宣告启动「中国制造 2025」(China Manufacturing 2025)，无一不是要使国家工业生产搭上智能化、自动化、高规格化的高速轨道。

台湾则是在"讲"「生产力 4.0」，调子是高了，但似乎有点行动阙如。工业配管行业是一个耗费大量劳动力的传产行业，虽然谈不上完全自动化，但作到半自动化的程度，还是可以努力达成的。德翰公司的 DH 快速弯管就是朝向此一目标前进，我们也希望有一天，配管工业可以真正的「生产力 4.0」。德翰公司技术并不逊于世界强国。

德翰 DEHAN 智慧科技