

## 案例研究(5)－DH 快速弯管的高耐压性检讨



李胜男 / 德翰智慧科技公司 副总经理

date : 2017-10-29

### 摘要

工厂的管线系统提供有压力的流体内容物的流动，耐压性是管线系统必须满足的一个非常重要性能。本文将藉由近期一个执行实案例，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)的执行成效及高耐压性检讨。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、提高管线内流体流畅度、提高耐压性等多方面的成果。

关键词: DH 快速重型冷作弯管, DH 快速弯管, 德翰, dehan

### 前言

在前面实案例：「DH 快速弯管的高安全性检讨」[2]，我们检讨了案例中的高压油气管线，数百个弯头环口焊接接头的其中一个出现微破损焊接裂缝所造成的焊接缺失。在实案例：「DH 快速弯管的高流畅性检讨」[3]，检讨案例中的制程管线内壁面，因环口焊接的焊道凸起所造成的制程压损缺失。

在 DH 快速弯管的技术层次上，经常被业主及设计单位问到的两个问题：冷作弯管后的应力残余、及冷作弯管后的耐压性是否足够。前者在前文中[1][2][3]已有提到，后者是本文藉由案例来检讨的主体，以期平释对 DH 快速弯管技术的质疑。

本文将以图 0-1 所示的两条 1.25 吋 160s 油压管线作为主体，来解说 DH 快速弯管的高耐压性（管内压力）特性。为简便阅读，将多以照片解说，避免深涩文字及学理。



▲图 0-1：1.25 吋 160s 管线

## 一、传统工业配管方式

### 1.1 传统工厂管线系统的运作方式

在工厂运作中，必须藉由管线将生产物料或操作物料由一端输送至一端，而这些物料(管线内容物)主体不论其为气体、液体、或粉粒体、或混合流体等，都是流体，否则是无法在管线中流动的。要使这些管线内容物流动，必须使用压力流的方式，最常用的方式即是使用泵浦 (pump) 予以加压泵送。(注：本文是以钢铁业管线为实例，但主要说明石化业工厂管线系统)

生产制程 (process) 对管线内容物的“供给量”有一定额的稳定需求量，必须使管线内容物在一定的时间内达成特定的流量，才能满足制程反应所需。运用简单的流体力学公式： $Q=V*A$ ，当管线面积(A)是固定时，要增加流量(Q)，就只能用增加流速(V)来处理。要增加流速，就只能增加流体压力，所以工厂管线流体多是压力流；当然，也有少数的重力流，例如一些污排水类管线 (注：这些都不是工厂主要的管线类)。

管线内容物的压力越大，就会对管壁产生较大的管内压力，这些管内压力在设计上是被用来选用管线材质、管径、等级 (壁厚) 的依据。对相同材质的管线而言，压力越大，所需的管壁厚度越大 (价钱也是越贵)。

一般制程流体的内压力还比较小，如果是操作用的流体管线，例如机械操作用的油压管之类的，尚负有推动其他设备的动能需求 (如油压缸或擎动器等)，也就是说除了输送流量的要求外，尚负有输送动力的需求，流体传送的速度一般也都要“超快”，以求满足机械瞬时操作所需。所以，这些机械操作油压管的内压力就会很高，通常比工厂制程管线所需的压力来的大上许多，对管线系统而言，管线材质强度、管壁厚的要求更高。

管线在承受巨大的管内流体压力时，通常会以材质强度及管壁厚度来作设计。材质可能会与管线内容物的物性相关，有时要求抗腐蚀等级、抗酸、抗碱都有 (如 SUS 304、316 等)，材料强度各有不同。剩下的，就落到了“管壁厚度”的设计上了。(注：本文只谈圆管，不谈方管类)

在管线工程的配管实务上，管线并不是天然 (或轧制成品时) 就是一条完整、弯曲自然无缺的管线，而是经由许多零件所组成。传统的配管施工上，这些零件大致上除法兰外，大概区分为直管 (pipe)、弯头 (elbow)。管线系统主要是将许多的直管和弯头予以结合，组合成适当的长度、角度，以便在立体空间中自源头端到达目的端。这些结合的手段，有法兰接头 (flange connection)，少部份在低压系统 (如自来水管) 还可以采用公-母螺纹式 (thread) 的结合方式，但最主要的接合方式仍是使用焊接结合 (weld)。在管线配管上称为环口焊接，简单的讲，即是使用焊条作为媒介，将两侧的管线 (直管或弯管) 予以连接结合。

这些焊接连接有时是「直管—直管」型式，主要是用在管线的延长 (因管线出厂时长度一般为 6 米长，有轧制、运输、计量上的考虑)、有时是看在库存零料的消耗 (尤其是特规材料时)。有些则是「直管—弯头」型式，这是本文主要的讨论目标。

### 1.2 传统管线系统中的「直管—弯头」接头型式及弱点

这些「直管—弯头」接头型式，主要是用在管线进行方向的改变，有平面转弯、垂直转弯，也有二者的结合 (立体)，角度多为 90° 为主，其次为 45°。转弯角度当然也可以是其他指定角度；但设计是一回事，配管施工是现场实施，也要看工人的角度作不作的出来、好不好焊接施工，所以一般都是 90° 为主，45° 为辅。配管施工上，越是奇怪的角度越是“厚工”，成本也越贵。

因为「环口焊接」的结合是使用高温（摄氏数百度）烧熔焊条与母材，除了焊道本身即是接头上的弱点之外，瞬间高温熔接的作法也会让母材产生材质上的脆化、弱化、劣化，甚至产生裂纹或沙洞(有些跟焊工师傅的手艺/熟练度有关)，进而降低原有管线能承的内压力容量。设计上都是直接以「增加管壁厚度」作为解决，也就是管线等级往上调个一到两级，来加以处理。这些其实也就是让材料上的弱化因子自然而然在「壁厚的增加」中消失。

### 1.3 传统管线系统中的弯头零件

传统的弯头零件，除大尺寸管径弯头有采多弯钣焊合组成外，小尺寸管径弯头多以高周波加热弯管型式在加工厂中予以制造（见图 1-1）。可以见到将钢管(图右侧)瞬间加热到高温软化程度(可由图中红通通的弯管看出温度的局部且快速的提高)、扩张、弯曲、裁断、冷却(快速冷却?)。



▲图 1-1：传统弯头是在加工厂以高周波加热弯曲制造 (摘自 Youtube)



▲图 1-2：传统弯头，包装/运输相当费时 [1]

这种高周波加热弯头有几个特点：

- (1) 须耗用大量电能。
- (2) 工作场所秊热，工作危险性高。
- (3) 弯头零件在热弯后，材料涨伸变化，须后段裁切修整，二次加工。因弯头受有高热，须在退热后才能再加工。
- (4) 只能制作单一弯头，且通常为单一 90°弯头型式；如要其他角度(如 45°弯头)，须再裁



切 (可能有零废料浪费)。

- (5) 弯头在加工厂完成后，再打包运载至配管业工厂进行预制或工地组立(见图 1-2)。弯头零件厂属于接单订制，汇整、购备料、生产扁平电缆、加工、品检(这点有质疑)、包装、运输等程序都需要时间作业，难怪工期拉长。
- (6) 冷却过程过快，依然会存在极高的残余应力。(若冷却速度太慢，则会影响工厂作业时间、空间、机具及人力)

传统弯头因加工厂与配管业者通常分属不同厂商、不同地点，弯头零件须经打包运载，相当费耗时力(即成本及工期)。不要小看包装，这工作对于金属材质的弯头而言，算是相当笨重，包装费时费人，运输费时，对成本必有增加。有时弯头零件若是由业主或上包购入，再供料转交给配管包商施工，又会有一次转运产生；点交清运也是费时费力，对成本也是必有增加。

在管线预制的作业上，以 90°弯头为例，前后端都是与直管以环口焊接结合 [2][3]，通常至少有一端是在工厂预制，另一端可能是工厂预制或工地组立(可能便于再度运载至工地或安装处)(见图 1-3)。(注：工厂预制视场所而定，可能在配管业者工厂内，也可在工地左近临时设立的预制场)



▲图 1-3：传统弯头和直管以环口焊接结合(工厂预制) [1]



▲图 1-4：传统弯头环口焊缝处较易破裂 [1]

传统弯头环口焊接的缺失，已在前文中叙及[1][2][3]，不再多言。在新技术未发展出来前，工业配管施工也只有环口焊接唯一一种结合方式，其缺失有：

(1) 高温熔接：

环口焊接也只能在摄氏数百度的高温下，将高强度的焊条与钢管母材予以熔合，高温烧灼的效应其实也同时破坏母材，使其材质脆化、劣化、弱化。

(2) 焊接处易破裂：

环口焊接处多采全渗透焊的方式，焊条是较易氧化的，临接的钢管母材因受高温影响，也较易氧化（因材质已受高温改变）。在工厂实务中，环口焊缝部份（可能是焊条，也可能是钢管）一向都是较易出现破裂点，造成工安风险（见图 1-4），主要是因为高温导致材质劣化。

(3) 环口焊接必须使用大量专业焊工：

环口焊接是全渗透焊方式，多有安全顾虑（尤其是易爆危险的石化厂类），甚至容不得焊道处有任何沙洞。只要焊工在环口焊时，专业的“手”多停个 0.5 秒、或少停 0.5 秒，或是多抖两下，或先去抽个烟再来续焊等，都会产生焊道质量上的不同（不是每个工都是“焊神”）；有时电焊机的质量、机具新老等也会有影响。

不是说使用人工就不好，而是人工操作易引起较大的质量变异（可能会因天候晴雨、情绪波动、体力负荷、工具使用、安全防护、作业空间、培训程度、工作经验等众多因素影响）。以石化业建厂或维修为例，管线焊接工作量非常高、工期迫急，必须动用众多焊工，常有加班，甚至彻夜抢工，极易影响质量(风险)。

(4) 环口焊接处的维护较为不易：

弯头的环口焊接处，多为全渗透焊。焊道处表面即使经过研磨，毕竟不如原有钢管面光滑。以涂装防锈而言，终究不如钢管原始表面直接喷砂涂漆处理的防锈蚀效果，

易使日后维修量增加、风险增高（参见图 1-4）。

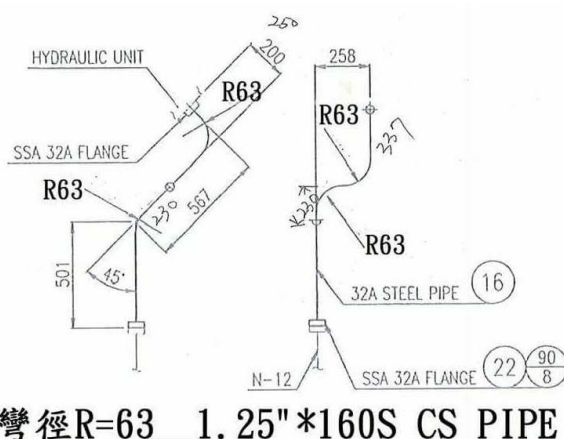
以石化厂管线为例，本地工厂已是高度重视工安，但厂内众多管线都是呈现高密度集中、交错布置，只要有一条管线出了问题(如泄漏、燃烧、爆炸等)，就可能引发连锁性大事故，焚烧数日，甚至整厂烧毁，本地案例实际存在，管理风险责任不小。

## 二、个案说明

建物工址：高雄市。  
建物分类：钢铁业，码头作业区。  
工程性质：维修。  
特别要求：工期短。  
使用技术：采快速弯管。

本文采用该案中的两条管线来加以简易阐述。

### 2.1 DH 快速弯管可以承受巨大管内压力



彎徑R=63\_\_1.25"\*160S CS PIPE

▲图 2-1：1.25 吋 160s(厚度 6.4t)油压管线(连续 4 弯管)、ISO 配管图

于图 2-1 中所示，为 1.25 吋 160s(厚度 6.4t) 钢管，是使用于码头卸煤机的油压管线，承受管内压力设定为 300 kg/cm<sup>2</sup> 以上。举这两条管线为例的目的，乃是为破除许多人的意识迷信，老是认为冷作弯管的弯头部位，因为金属钢管受拉张后，管壁变薄，会有裂管可能性增高的缺点。

实务上，以上述管线而言，业主方要求的承压力必须高达 300 kg/cm<sup>2</sup>。对行家而言，这是一个相当高的管压，比起一般石化业制程管线系统所需承受的管压都来得高出许多。当然，这管线是操作管线，应用于油压机能，瞬时操作的要求下，传送压力很高、速度很快，所以才会有如此高的要求。(注：这种 160S 的管线相当难一见，有些业内可能一辈子都未见过。业主知道门道，特意找上我们)

以 300 kg/cm<sup>2</sup> 的管压要求都可以满足到达，其他更小的管压力要求应是可以，这点大概不会有人再有意见吧。如果还有异见，那可能反倒要检讨一下，是不是自己观念太保守了，



或者是公司预算编的太浮烂、工期要求太宽松，而还在使用传统的配管方法。

我们都已经进入 21 世纪了，也该让工业配管业摆脱劳力密集的工业 2.0 生产型态，先一小步跨进「工业 3.0」行列了吧。很遗憾，DH 快速弯管还谈不上工业 4.0，不能乱吹。但我们会继续努力，改进智能化整合，以迈向工业 4.0 为目标。哈哈，相信一定是有机会的。

当然，这样的 DH 快速弯管尚其他的优点：

- (1) 成本低。
- (2) 工期短。
- (3) 精度高。
- (4) 耐压力强。
- (5) 维修量少。
- (6) 其他，请自行参酌。

本文以这一小段高压管线作为实例检讨，其实只是很简单的陈述，DH 快速弯管是可以承受巨大管内压力的。

## 2.2 DH 快速弯管的耐压性检验

在弯管品检上，我们建议两种简单方法：

### (1) 管壁厚度检验：

在金属直管直接弯管加工后，几乎可以直接进行检测（在线或线下皆可）。坊间市售有许多类型的厚度检验仪可供选用；目前我们厂内采用的测厚仪之一是美国制 Dakota MX-3 超音波测厚计，可实时施测（见图 2-2）。客户若有更精确的要求，也可选择送至专业机构检测（如 SGS 或金属中心），具公信力（检验有成本是必然的）。

我们认知上，除第一次合作外，专业送验可能是无此必要的。相同的机台、模具、控制程序；这流程在科学的角度上而言，是属于可重复施行的程序，确保相同的材料，在相同的程序下，可以被重复的产出相同的产品。相同的直管材料（实在没什么料好偷的。若是业主或上包供料，从源头就加以控管，更是偷无可偷），机台施作速度很快，工期也不成问题，无赶工必要。

机台弯出来的弯管质量几乎相同，实在看不出来能偷什么。不过，若是客户想付费送验，也没什么好拦阻的，只是过程中会多耗费工期成本而已，等机构正式报告更久，不如直接在线检厚。

我们也可以接受客户委托，逐件在线检厚，使零件履历更完整；当然，作业成本得加一些上去（在商言商）。



# 超音波測厚計

Ultrasonic Thickness Analyzer **MX3 | MX5-DL**



▲ 图 2-2：美国制 Dakota MX-3 超音波测厚计

在图 2-3 中所示为 DH 快速弯管之部份适用钢管（视材质、等级而有适用变化）。在图 2-4 中所示为 DH 快速弯管弯制后记录真圆度及减薄率数据（视材质、等级而有变化）。

## 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
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：DH 快速弯管厚度适用表 (1/2"至 5"管规格与等级)





circularity - 真圆度(c) / bend wall dethickness-减薄率(b)

ITEM	SIZE	O.D.	Nominal Wall Thickness					
			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：DH 快速弯管弯制后记录真圆度及减薄率数据(1/2"至 5"管等级)

(2) 弯管零件直接耐压试验：

检验是确保质量的最佳手段。设备或压力容器等成品所必须进行的耐压试验（俗称加压试水），可透过委托第三方代检（如：工业安全卫生协会等机构），来实践品检的可靠性。管线成品也是可以采用类似的耐压试验予以核实，这是最可靠的品检方式之一。

我们厂内可以进行一些特定管径以下、特定水压以下的简易检验（抱歉，厂内装备有限度，检验也不是我们本行），可满足客户的一部份需求。

当然，要求较高较严谨的客户，仍可选择送第三方代检。同理，成本及工期都会增加。

## 2.3 DH 快速弯管极适用于石化业管线

如图 2-5 所示，为另一实案例，使用于石化工厂的管线弯头与 DH 快速弯管的比较。管线材质为 2" 160s SUS304 级，属于较厚重的管线、内压大、耐酸碱要求高，一般应用于石化厂中制程管线。

在图的右上图中，可以明显看出，传统弯头与 DH 快速弯管的差异。不必待弯头零件料，直接弯管，弯管后，可设计接管焊接在延伸的直管上（相同条件下，“直管-直管”的焊道是比“直管-弯头”的焊道质量来的好很多），有效节省零料耗损，更重要的是人力节省甚多，工期节省甚多。

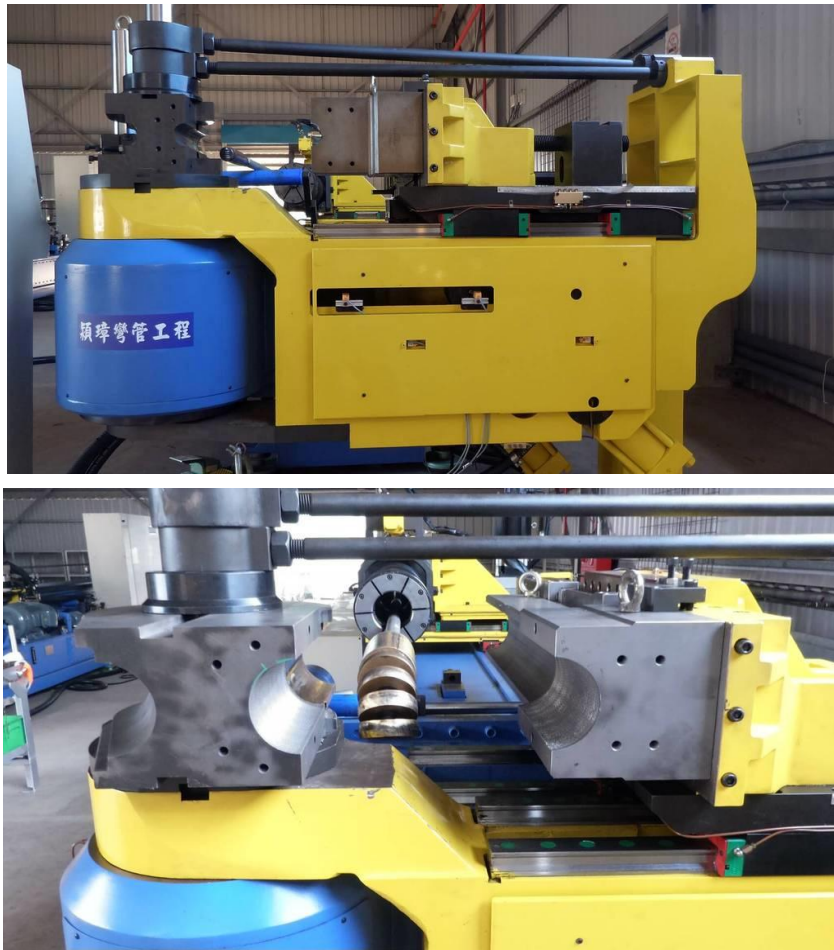




▲图 2-5：2 吋 160s SUS304 传统弯头和 DH 弯头比较

石化业管线种类繁多，材质、管径、等级变化极大，不便一一举例说明。在上图中，我们使用照片比对的方式来作一个简易说明。石化业风险较高，业主一般比较保守，从事专业管线设计的工程师，也都是较为谨慎的。在传统的管线系统中，以弯头零件为例，破损发生多在焊道(及临接钢管母材)，鲜少发生在弯头本体及直管。其原因主要是在高温烧焊，破坏了原有材质。

传统的管线系统必须借助「直管—弯头—直管」的接合方式，才得以完成整体的系统配置。直接弯管其实已经面世多年，但为何不为石化业接受呢？其原因在于以前的弯管机具（及模具等）不够进步，出力不足、精度低，质量控管无法满足要求，只能进行一些薄管（如栏杆等）的弯曲，不太讲究安全/质量。现在，DH 快速弯管技术出现，借助更现代的数字化弯管加工机台，更大出力、更高精度、更快速度、更佳质量，已能满足各界对弯管的要求，特别是能满足重型工业配管（如石化业、钢铁业等）的需求，而且更好。（见图 2-6）



▲图 2-6：DH 快速弯管的数位弯管加工机台

传统管线系统必须完全仰赖「直管-弯头-直管」的环口焊接接合方式，耗时、费工、浪费材料、品检多，简言，成本高、工期长、质量差。因 DH 快速弯管技术的出现，大量改变传统的接合方式（仍无法百分百免环口焊接工作，但可以大量降低其数量），可以使本地工业配管工程迅速升级。

### 三、结论

上文 1.2 节中四点缺失多已在前文中[1][2][3] 已经点出，在此处重复陈述的原因主要是为了与本文的主题：「DH 快速弯管耐压性」相对应。由上列缺失，我们可以知道，以石化业配管而言，管内压力的损害管制主要来自环口焊道及周围管线母材的破坏，反而与弯管本身的减薄无大关系。

为了克服这些环口焊缝的缺失，管线系统在设计时，都以加厚升级方式予以消弥缺陷。DH 快速弯管是直接冷作弯管，弯曲过程都是由高精密度的导模夹具予以制约，加上数字程序的精准控制，基本上，DH 弯管本身即是一材质均匀、壁厚均匀的光滑弯管，没有突兀的破损点（如焊道沙洞、裂纹等），在承受管内压力上，并无缺失。以标准的管线而言，其能承受的管内压力其实都远超过管线内容物的压力要求。

除了艺术品类的特殊要求外，在工业生产上，以人工操作在产品的质量及精度控管上，是远不及机械控管；特别是再加入数字控管(CNC)机制后，更是远远不及。如果再加上长时间的工作(例如 24HR 或工期急迫性工作)，机械作业是随伺待命工作，精度取决于导模夹具及程



控；而人工操作只能以 3~4 轮班工作因应（成本惊人的高，效益质量惊人的低），其效率、精度（质量）、甚至工安，只能用望尘莫及来形容。

本地的劳动政策及法律规定也渐趋严谨，向劳工方倾斜是必然的，也是世界各工业国进行中的趋势。DH 快速弯管技术即是在数十年的工作经验中磨练出来，追求成本、质量、速度、检验的优化。

传统的工业配管业，既不是服务业，也不是制造业，是工程业。DH 快速弯管技术的导入，则是将工业配管业的工作重新规制的更像制造业、工厂化、标准化、流程化，以更新的、更大的弯管加工机台取代昂贵的人力作业，追求更高的良率。

## 参考文献：

- [1] 李胜男(2017)，"[DH 快速重型冷作弯管技术简介](http://www.dehantech.com/index.asp?le=tchinese&modle=news_detail&fid=0&pid=98)"，德翰公司官网  
www.dehantech.com/index.asp?le=tchinese&modle=news\_detail&fid=0&pid=98，台湾。
- [2] 李胜男(2017)，"[DH 快速弯管的高安全性检讨](http://www.dehantech.com/index.asp?le=tchinese&modle=news_detail&fid=0&pid=101)"，德翰公司官网  
www.dehantech.com/index.asp?le=tchinese&modle=news\_detail&fid=0&pid=101，台湾。
- [3] 李胜男(2017)，"[DH 快速弯管的高流畅性检讨](http://www.dehantech.com/index.asp?le=tchinese&modle=news_detail&fid=0&pid=102)"，德翰公司官网  
www.dehantech.com/index.asp?le=tchinese&modle=news\_detail&fid=0&pid=102，台湾。

