

# SM570 熱軋型鋼開發

## The Development of SM570 Hot-Rolled H-Beam

劉佳玫\*、黃中亨\*\*、張錦溶\*\*\*

C.M. Liu, C.H. Huang, C.J. Chang,

中龍鋼鐵股份有限公司 冶金技術處工程師\* 課長\*\* 組長\*\*\*

Engineer\* and General Foreman\*\* and Manager\*\*\*, Metallurgical Dept., Dragon Steel Corp.

### 摘要

為建造最安全的建築結構物，減少構件用料之成本與能耗，增加使用空間，摩天大樓建案採用 SM570 高強度結構用鋼越來越普及。過去摩天大樓建案皆採 SM570 鋼板經分切、銲接組合支撐柱與大梁。中龍具產製熱軋型鋼能力，經研究搭配微合金添加與最適化的溫控軋延技術，成功開發 SM570 熱軋型鋼，減少大梁組成型鋼之施工程序，縮短工期與成本，提高業界競爭力與效益。

關鍵詞：高強度結構用鋼、熱軋型鋼、組成型鋼

In order to build the safest building structure, to reduce the cost and the energy consumption of making structural materials, and to increase usable space, it becomes more and more popular to use high strength structure steel SM570 in building skyscraper. In the past skyscraper projects, SM570 steel plates were divided, cut, and then welded together to make bracing column and cross beam. Dragon Steel Corporation has the manufacturing ability of hot-rolled section steels, and hot-rolled SM570 section steels are developed successfully by doing research in combination with addition of a little alloys and the optimum temperature controlled rolling technique. This development can make steel structure industry more competitive and efficient by reducing assembling procedures, period, and cost of making cross beam.

Keywords: High Strength structural steel, Hot-rolled H-Beam、Build-up H-Beam

### 一. 前言

鋼結構與鋼筋混凝土結構比較，鋼結構可減少 25~30% CO<sub>2</sub> 排放，且鋼結構建築物拆除後，鋼材可回收再利用，完全符合綠能產品循環再利用的概念。近年來鋼結構超高

大樓不斷增加，結構物為減少構件之載重，增大使用空間，工程設計者逐漸將 SM570 高強度結構用鋼納入設計，提升建物使用效益。過去國內供應之熱軋型鋼，規格僅達到 50 公斤等級，市面上 SM570 型鋼，均由鋼板裁切、銲接組合而成。中龍鋼鐵公司具產製熱軋型鋼之優勢，可減少客戶分條、銲接施工程序，縮短工期與成本，提升業界競爭力與效益。因此，中龍鋼鐵公司積極投入研製，俾供應超高大樓及大型鋼構工程所需之 SM570 熱軋型鋼，提供客戶多元性選擇，創造客我雙贏之利基。

## 二. 高強度 SM570 型鋼開發

### 2.1 高強度結構用鋼之效益

強度為材料單位面積可承受的外力極限，鋼料強度常用單位有  $\text{kgf/mm}^2$ ， $\text{N/mm}^2$  (Mpa)， $\text{ksi(psi)}$ 等。採用高強度(或稱高張力)鋼板，可以縮減厚度(重量)降低用料成本、斷面縮小增加使用空間、增加跨距以及提高運輸工具的承載重量等。以 31 層建築物為例，使用高強度鋼材之優點，其用鋼量可減少 12.9%[1]，結構自重降低，其所引致之地震力亦較小。因此，高強度結構用鋼已成用料趨勢，各鋼廠均積極開發此高功能鋼料。

### 2.2 熱軋型鋼與組合型鋼比較

以結構設計使用習性而言，歐美鋼結構的梁與柱大都以熱軋型鋼為主，而台灣與日本建築鋼結構則以 H 型鋼梁、搭配箱型柱組成結構體。台灣地區之組合型鋼大梁，以鋼板裁切後，經潛弧銲接(SAW)加工程序組立而成，鋼材設計上需考量銲接冷裂敏感性與抗層狀撕裂能力，且組立後銲道品質要求高，不僅耗時且須費力控管品質。熱軋型鋼則具備免裁切、免組立銲接程序，品質一致性較高之優勢，但受限於鋼廠既有之軋輥與設備能力限制，生產尺寸有限，較不易彈性隨意組合各種尺寸。但倘若能於結構設計時，將熱軋型鋼之尺寸規格表納入設計，將可達到省時、省工、降成本、並兼顧品質穩定性之利基。

### 2.3 開發 SM570 結構用鋼材性能要求

JIS G3106 SM570 屬熔接結構用鋼，化學、物理性質規格如表 1、2 所示，[C]含量管制上限 0.18%，主要考量含[C]含量越高，鐸後的熱影響區易產生硬脆的麻田散鐵。麻田散鐵易補捉氫原子，加上鋼材殘留應力牽引，氫原子聚集成氫分子，當分壓超過鋼材承受能力時，將引發脆裂，形成鐸接缺陷。

降伏強度為材料受力後，剛產生永久變形而無法彈性回復至原始長度時的強度，近似於產生塑性變形的最小強度；抗拉強度則為材料破斷所需之最小應力，SM570 下限達 570MPa，屬 60 公斤級鋼料，其優點是耐變形、不易破壞，故可減少結構重量及增加使用空間。

韌性為材料塑性變形和斷裂全過程中吸收能量的能力，隨加載速度的提高、溫度的降低、應力集中程度的加劇而下降。為防止結構鋼材在使用狀態下發生脆性斷裂，要求材料要有一定的韌性，規範定義需滿足-5°C 下限 47J 之能力。

表1. JIS G3106 SM570 化學成分要求(%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S
JIS SM570	0.18 max	0.55 max	1.70 max	0.035 max	0.035 max

表 2. JIS G3106 SM570 機械性質規格要求

鋼種	厚度範圍 mm	降伏強度	抗拉強度	伸長率		衝擊值要求
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	試片規格	%	1/4 位置
JIS SM570	6 以上，16 以下	460 以上	570~720	No.5	19 以上	(-5°C) 47J
	16 以上，未滿 20	450 以上		No.5	26 以上	
	20 以上，未滿 40			No.4	20 以上	
	40 以上，未滿 50	430 以上				

### 三. 生產技術與設計

材料性質由其微觀組織所決定，而微觀組織則是決定於其生產的製程與成份設計。為達成各項性能的確保，利用冶金技術達到微觀組織控制，提升材料性質穩定性。SM570

型鋼用途以結構體之大梁為主，故開發尺寸以常用於大梁之 H700X300~H900X300 尺寸系列為主，開發重點如下：

### 3.1 成分設計：

為符合 60 公斤級高強度要求，除碳、矽、錳固溶強化外，需添加適量鈮、釩合金，利用微量鈮、釩於沃斯田鐵中與碳、氮結合形成 Nb(C,N)或 V(C,N)析出物[2]，獲致析出強化效果，並抑制晶粒長大和延遲再結晶發生，細化肥粒鐵組織，提升韌性。另外考量梁柱接頭之銲接韌性，碳當量設計上限 0.44%。

而鋼中磷、硫是不可避免的元素，對韌性有害，相同晶粒大小，殘留磷越高韌性越低。而硫增加介在物顆粒、減少介在物顆粒間距，都使材料韌性下降，因此設計採低磷、低硫之設計。

### 3.2 煉鋼製程設計

#### 3.2.1 高清淨鋼生產技術

清淨度意指鋼中非金屬介在物的數量、型態和分佈，其組成多為氧化物或硫化物等不純物質，其中氧化物質地較硬且分佈廣泛，為影響鋼材衝擊韌性之重要因子。煉鋼連鑄過程中，氧化物的主要來源為脫氧產物及二次氧化生成物，由於型鋼胚形狀複雜，為順利連鑄生產，以往採開放式澆鑄製程，鋼液易與空氣接觸而發生二次氧化，故清淨度較差。在提升型鋼清淨度的技術上，為防止二次氧化，需隔絕空氣與鋼液接觸，因此採用長鑄嘴(L/N)與浸入式鑄嘴(S/N)。型鋼胚因截面造型特殊，S/N 設置為型鋼胚密閉式澆鑄技術建立之瓶頸，經研究改造澆鑄設備，開發單鑄嘴型鋼胚密閉式澆鑄之創新製程，大幅度提升產品清淨度。

#### 3.2.2 低磷、低硫生產技術

脫磷的技術關鍵主要決定於鋼液溫度、爐渣鹽基度及渣中石灰、氧化鎂、氧化鐵的含量，並於精煉過程防止發生復磷的現象。經研究採高鹽基度、低溫及高氧化鐵含量之製程，獲致良好之脫磷效果。而脫硫作業則於二次精煉過程，採高鹽基度渣、高溫、低氧含量，並配合充足的攪拌作業。

### 3.2.3 低氫生產技術

在冶煉過程中，由於廢鋼、副原料、耐火材、大氫中所含的水分分解，而使鋼液中的氫含量上升，若無法將鋼液中氫含量降低，將使氫聚集於鋼材中的硬脆組織、介在物或偏析處，當聚集一定程度後，使鋼料內部發生裂縫，降低鋼材衝擊韌性，因此在氫含量的控制上，加強原物料管理、及耐火材預熱，避免鋼液中氫含量增加，並使用真空脫氣設備及固態脫氫技術降低氫含量，使產品品質符合需求。

## 3.3 軋鋼製程設計

### 3.3.1 晶粒細化生產技術：

鋼材的延性與韌性通常伴隨鋼料強度的提高而下降，一般強化機構提高鋼材強度的同時，通常會對其延性或韌性造成不良的影響。細化晶粒是唯一可同時提高強度與韌性的強化機構[2]，主要是因為晶粒細化並不會改變肥粒鐵基地的性質，而是以晶界阻礙差排的移動，提升強度；且就鋼材韌性而言，當裂縫經過肥粒鐵晶界時，因晶粒越細，裂縫會因轉變行徑的方向而吸收更多的能量，故可韌性提高。

因此，本項產品開發於鋼料中添加微量合金元素(鈮、鈳)，軋鋼製程設計採用控制軋延法[2-3]，控制軋延過程的溫度以及裁減量，藉由軋延過程的物化反應以控制鋼材微觀組織，細化肥粒鐵晶粒，改善鋼品特性，獲致高強度、高韌性、良好銲接性的鋼料。

### 3.3.2 尺寸精度控制能力

結構用型鋼隨著客戶自動機械加工設備的導入，對於尺寸精度要求越來越嚴苛，型鋼偏心度的品質至為重要。經研究建構特殊之 UE 軋延法，改善型鋼軋延過程原本翼緣無拘束之狀態，易導致偏心不良之問題[4-9]，使產品完全滿足 JIS 尺寸規範，以及客戶用料精度要求。

開發過程中，H700X300~H900X300 尺寸型鋼，因其腹板寬、散熱快，溫降大，使軋延力與軋延力矩遠較其他型號大，且微合金析出物於軋延過程中生成，使得生產難度更高。經建立最適化之軋延模式(pass schedule)，獲得突破，H700X300、H800X300、H900X300 翼板厚度 $\leq 30\text{mm}$  之尺寸系列具備穩定生產能力。

#### 四. 開發生產實績

##### 4.1 型鋼尺寸

開發 H700X300~H900X300 尺寸系列，厚度區間 20~34mm，共計 12 個尺寸，尺寸明細詳如表 3 所示

##### 4.2 冶煉品質：

冶煉計 7 個爐次，考量韌性與銲接特性，各爐成份控制[C] $\leq 0.17\%$ 、[P] $\leq 0.025\%$ 、[S] $\leq 0.008\%$ ，[Ceq] $\leq 0.44\%$ ，實績值如圖一所示，均遠優於規範要求。

##### 4.3 母材特性水準：

共開發 12 個尺寸、42 支型鋼工件，機性水準詳如圖二所示，降伏強度、抗拉強度、伸長率、衝擊韌性等，穩定合乎 JIS SM570 規格要求。

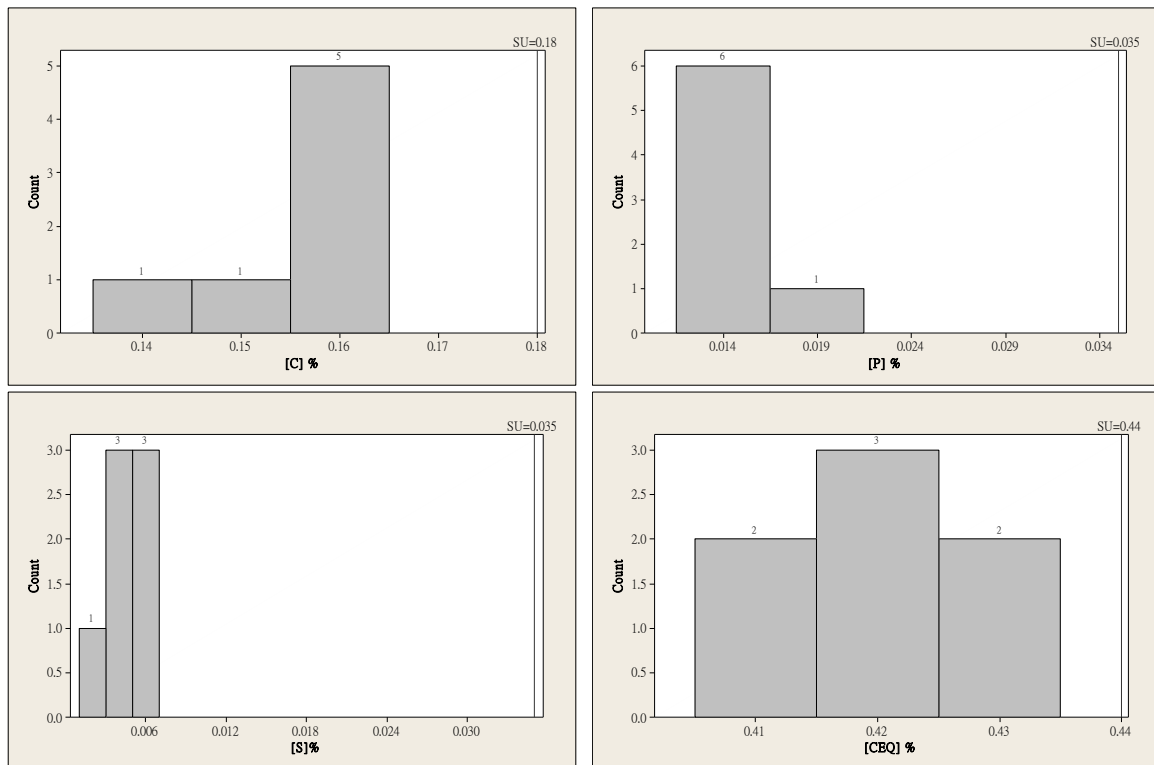
##### 4.4 韌性轉脆評估：

各尺寸鋼料韌性轉脆試驗評估結果，其中 H700X300、H800X300 轉脆溫度約 $-40^{\circ}\text{C}$ ，

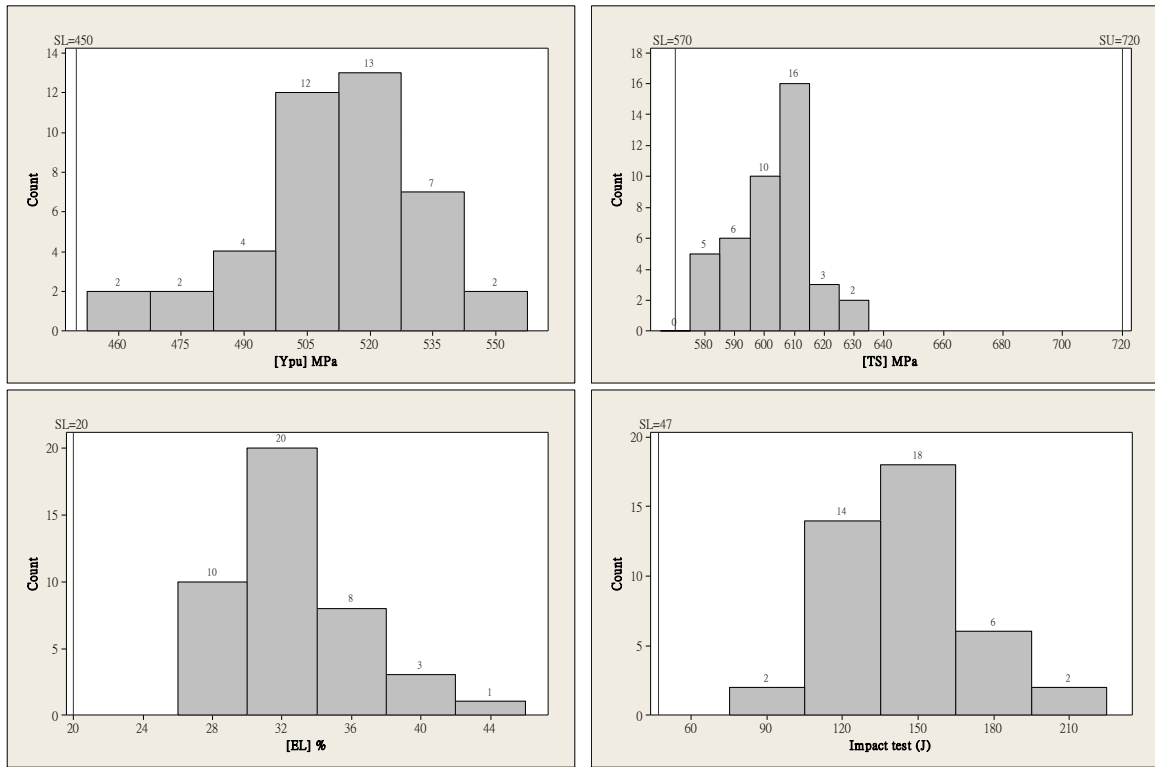
H900X300 轉脆溫度約-30℃，轉脆溫度皆低，確保開發鋼料 SM570 的衝擊吸收能穩定達成(-5℃) 47 焦耳規格要求，詳如圖三所示。

表 3、試製尺寸

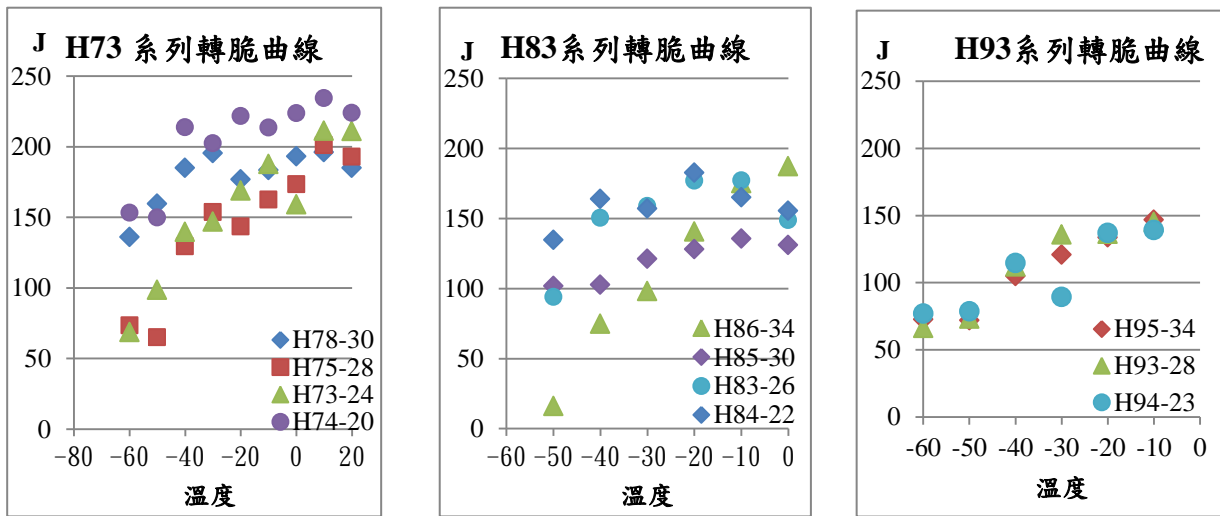
尺寸系列	尺寸全名 (簡稱)	H (mm)	B (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	r (mm)
H700300	H700X300X13/24 (H73)	700	300	13	24	18
	H692X300X13/20 (H74)	692	300	13	20	18
	H708X302X15/28 (H75)	708	302	15	28	18
	H712X306X19/30 (H78)	712	306	19	30	18
H800300	H800X300X14/26 (H83)	800	300	14	26	18
	H792X300X14/22 (H84)	792	300	14	22	18
	H808X302X16/30 (H85)	808	302	16	30	18
	H816X306X20/34 (H86)	816	306	20	34	18
	H808X306X20/30 (H8B)	808	306	20	30	18
H900300	H900X300X16/28 (H93)	900	300	16	28	18
	H890X299X15/23 (H94)	890	299	15	23	18
	H912X302X18/34 (H95)	912	302	18	34	18



圖一、SM570 冶煉實績



圖二、SM570 軋延型鋼特性實績

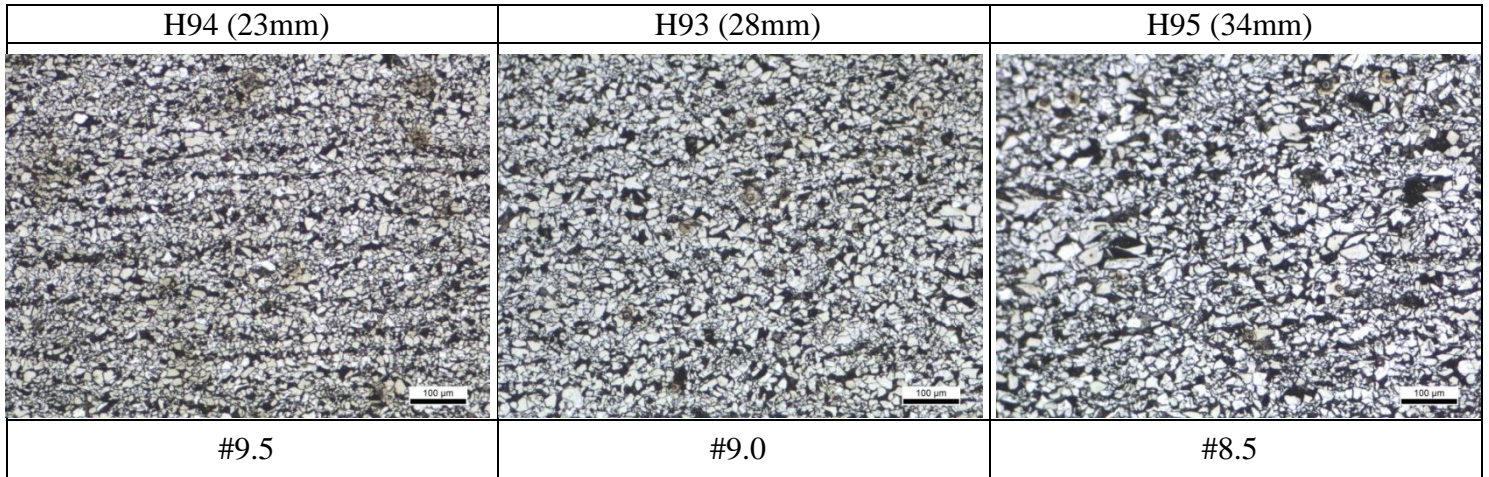


圖三、不同尺寸系列轉脆曲線評估

#### 4.5 微觀組織確認：

組織為肥粒鐵及波來鐵，使用控制軋延製程結果，肥粒鐵晶粒皆細化，介於 ASTM #8.5~9.5間。代表性組織詳如圖四所示。晶粒細化的結果使鋼材呈現前述之優良性能。





圖四、H93系列微觀組織

## 五. 結論

中龍公司型鋼產品之煉、軋鋼製程精進，煉製高潔淨度、良好心部品質的鋼胚，並透過適當的微合金添加，及溫控軋延技術，成功開發JIS SM570熱軋型鋼。鋼材性能佳，在磷、硫雜質管制、碳當量、韌性遠優於規格要求，更可滿足客戶銲接加工性與結構耐震性能需求。本項產品成功開發，將可減少客戶分條、銲接施工程序，縮短工期與成本，提升下游競爭力與效益。

## 參照文獻

1. 洪沛甫、張宏成、楊培堅 “SRC高層建築物於鋼骨材質選用之探討”，第十屆中華民國結構工程研討會，2010年12月1~3日。
2. 魏豐義、王錫欽、李至隆等in: “鋼鐵材料設計與應用”。
3. 王有銘、李曼云等in: “鋼材的控制軋製和控制冷卻”，北京冶金工業出版社2009。
4. 徐成軍 “H型钢軋制腹板偏心缺陷及預防措施”，中國鋼鐵年會論文集，第八屆，

2011。

5. 關志華、王培文，熱軋H型鋼腹板偏心原因分析及改進措施，山東冶金，第32卷，5th，Oct. 2010。
6. 任傳、劉波，中型H型鋼軋鋼偏心控制與研究，中國新技術產品，No.13 2012。
7. 周李光、陶凌彥、馬龍，熱軋H型鋼腹板偏心原因分析及改進措施，軋鋼，Vol.20 No.5 Oct. 2003。
8. 程鼎、蒲玉梅，馬鋼熱軋H型鋼軋延技術的開發，奚鐵，馬鋼技術中心。
9. A new roll method of H-beam with high productivity and precise dimension, Haruo Yamaguchi, Sumitomo Metal Ind. Ltd.