

# 日本钢结构柱梁连接处的机器人焊接

松村浩史,竹内直记

(神戸制钢所株式会社 焊接公司,日本)

**摘要:**日本的建筑构造物中约有35%是钢结构件。为了得到高生产率以及高品质的焊接,从1985年前后开始,在柱梁连接处应用机器人焊接,现在几乎全部的钢结构制作公司都采用了机器人焊接。就机器人焊接的普及原因进行了总结,并对应用于钢结构的焊接机器人系统进行了介绍。

**关键词:**钢结构构造;机器人焊接;柱梁连接处;梁贯通形式;柱贯通形式

**中图分类号:** TG457.11      **文献标识码:** C      **文章编号:** 1001-2303(2009)09-0024-05

## Robot welding of beam column connection of steel structures in Japan

Hiroshi Matsumura, Naoki Takeuchi

(Welding Company, Kobe Steel Ltd., Japan)

**Abstract:** About 35% of building structures is steel frame in Japan. The robot welding has been applied to beam column connection for high productivity and high quality of welding joint from around 1985 and nowadays is adopted in almost fabricator. We give outline of primary factor which robot welding spreads and introduce welding robot systems for steel frame.

**Key words:** steel frame; robot welding; beam column connection; beam through type; column through type

## 0 前言

日本国内的建筑构造物约有35%是钢结构件。作为地震频繁的国家,在建筑构造方面,日本出台了考虑抗震性的设计规范,同时采用高品质和高生产率的制造方式,其中一种就是柱梁连接处的机器人焊接。1985年,钢结构件的焊接采用了焊接机器人,并随着钢结构需求的急速增加而普及。

焊接机器人在钢结构焊接中普及的主要原因是能够连续、长时间焊接的高生产率,并确保稳定的焊接品质。在要求确保办公大楼和工厂等具有较大空间的需求背景下,大量采用不需要支撑(交叉)材的冷成型矩形钢管和圆形钢管(中低层钢结构件的柱结构,有95%以上是冷成型矩形钢管和圆形钢管),用以代替H形钢柱,而柱梁连接处的焊接姿势多采用梁贯通形式,容易保证焊接品质(一次合格率90%以上),也加速了机器人焊接的普及。

由于以上原因,迄今为止应用了3000台以上的焊接机器人,焊接机器人已经成为钢结构制作中不可或缺的生产设备。在此介绍日本国内普及的、应

用机器人焊接的柱梁连接处结构以及可以进行高生产率、高品质焊接的焊接机器人系统。

## 1 柱梁连接处的焊接

### 1.1 柱形式和相应的焊接接头

柱形式分为梁贯通形式和柱贯通形式。中低层建筑一般为梁贯通形式(见图1),超高层建筑一般为柱贯通形式(见图2)。粗线的部分是焊接部位。梁贯通形式的柱梁连接处焊接是高品质、高效率的水平焊接;柱贯通形式的柱梁连接处焊接是难度大、效率低的横向或者立向焊接。

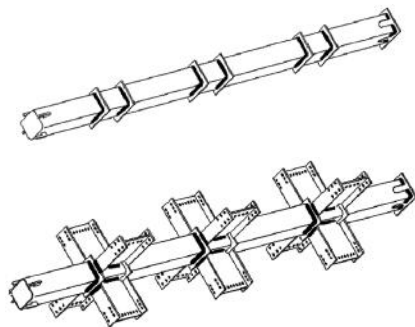


图1 梁贯通形式

#### 1.1.1 梁贯通形式的柱制作

图3为Non bracket方式。此方式是同时焊接连

收稿日期:2009-04-08

作者简介:松村浩史——男,日本,神戸制钢所钢结构焊接系统开发主任。

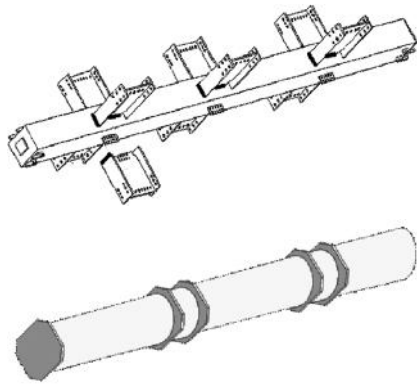


图2 柱贯通形式

接隔板<sup>①</sup>、核心、柱干三者,以此形成整体柱,是机器人焊接中最适用的结构。机器人焊接可以从连接隔板的两侧同时进行水平焊接,因此连接隔板的焊接变形很小,并且柱整体的直线精度很好,如图4所示。在这之后,与梁再进行现场焊接。

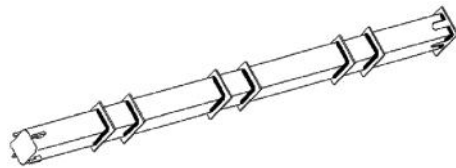


图3 Non bracket方式

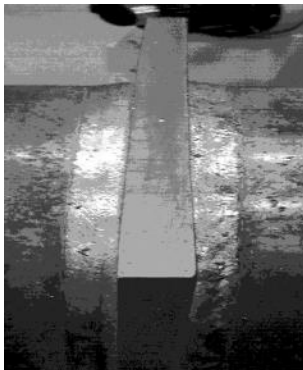


图4 焊接状况

Bracket 制作方式如图5所示。此方式分为核心焊接、接头焊接、柱组装焊接三道工序,三道工序可以同时进行,并且可以全部在工厂内进行机器人水平焊接。这种情况下,与梁的连接多是在现场进行高强度螺栓连接。图6是图5中机器人焊接的应用部位。

### 1.1.2 柱贯通形式的柱制作

CFT(混凝土填充钢管)示意如图7所示。在圆形

<sup>①</sup>连接隔板:柱梁连接处上构成核芯的上下平板,其作用是将柱材横断,与梁凸缘连接,将梁的应力转移到柱上去。其他类型有内隔板、外隔板。

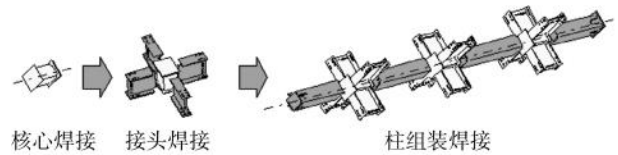


图5 Bracket 制作方式

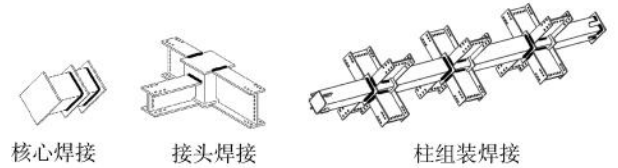


图6 Bracket方式中机器人焊接的应用部位

钢管、矩形钢管上嵌入环状隔板,对钢管和隔板进行横向姿势的K坡口焊接。自2000年以后,该方法也在超高层钢结构建筑中采用,其中较多的采用了机器人焊接。

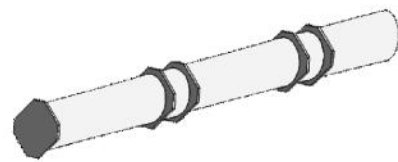


图7 CFT柱示意

焊接组装箱形断面柱如图8所示。在日本,它被用于超高层钢结构建筑柱上。由于电渣焊的大量热输入造成焊接部位脆化,以及四面进行埋弧焊而使焊道数量增多等问题,在中低层钢结构建筑柱上,它已被矩形钢管和圆形钢管代替,生产工厂也减少到1/10。此外,超高层建筑由于受到CFT的冲击,也有减少的倾向。柱贯通形式的柱梁连接处采用横向、立向焊接,其模式如图9所示。

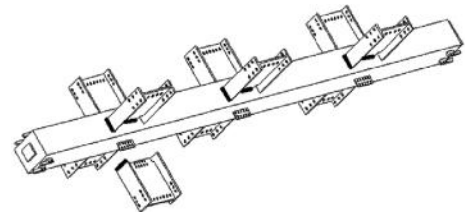


图8 焊接组装箱形断面柱示意

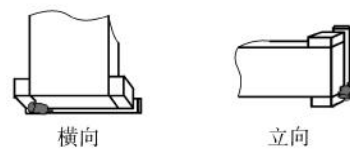


图9 柱贯通形式的柱梁连接处焊接

## 1.2 柱梁连接处的焊接接头形状

焊接接头形状和坡口形状如图10所示。图10a的T型接头是核心焊接、柱组装焊接(贯通隔板和

柱干);图 10b 的对接接头是接头部连接隔板和梁凸缘。

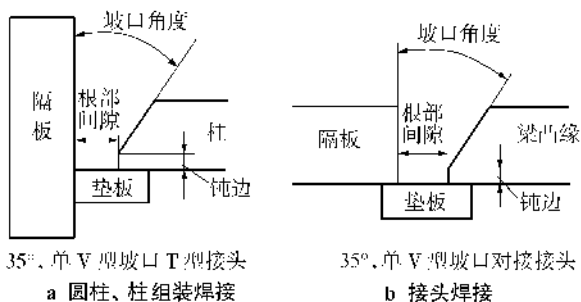


图 10 柱梁连接处焊接接头和坡口形状

在带有垫板的完全焊透焊接中,为了确保第一层充分焊透,必须要维持精度:坡口角度  $35^\circ \pm 1^\circ$  (机械加工);钝边小于等于 1 mm;垫板(板厚 9 mm)、接触度小于等于 1 mm;根部间隙 4~10 mm。

## 2 钢结构焊接机器人系统

柱组装焊接机器人系统如图 11~图 13 所示。



图 11 Non bracket 方式(矩形钢管,单电弧焊接机器人系统)



图 12 Bracket 方式(矩形钢管,双电弧焊接机器人系统<sup>②</sup>)

可以焊接核心(圆柱和连接隔板)、接头部(梁凸

②双电弧焊接机器人系统:2台焊接机器人同时进行柱组装焊接的高效率焊接机器人系统。

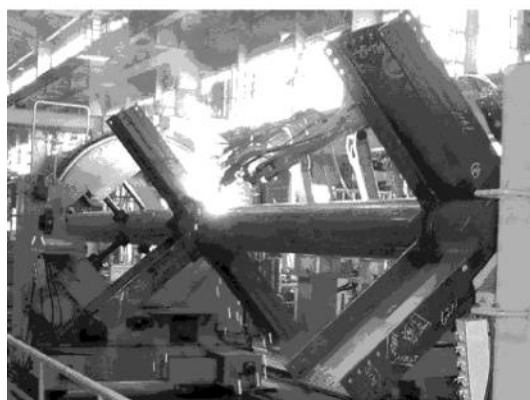


图 13 Bracket 方式(圆形钢管,双电弧焊接机器人系统)

缘和连接隔板的兼用焊接机器人系统如图 14 所示。



图 14 核心、接头处的兼用焊接机器人系统

钢结构焊接机器人系统如图 15 所示,是由焊接机器人(机器人本体、机器人控制器、焊接电源)、变位机(固定焊接工件)、移动装置(机器人移动装置,核心焊接中不需要)以及计算机(内装钢结构软件)构成。钢结构软件作为钢结构焊接机器人系统的大脑,进行工件尺寸输入,焊接规范的归纳、生成、管理,动作形式的生成、管理,动作结果状况的归纳、管理。

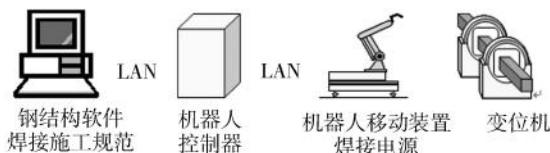


图 15 钢结构焊接机器人系统的构成

柱组装焊接机器人系统的计算机数据输入界面如图 16 所示,通过输入从图纸得到的信息(板厚、圆柱径、接头间隔、坡口角度等),就能进行机器人焊接的准备。关于坡口间隙、矩形钢管的角部大小等改变,可以通过机器人的传感功能来适应,在焊接中可以使用电弧传感跟踪焊缝。

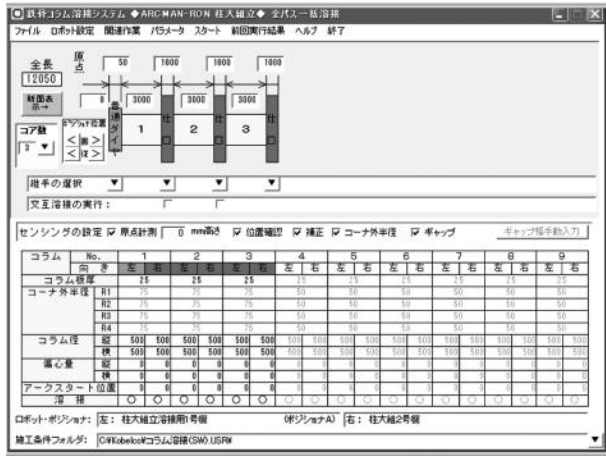


图 16 柱组装焊接机器人系统输入界面

图 3 和图 5 的柱梁连接处(矩形钢管和连接隔板)以及核心焊接处的断面宏观照片如图 17 所示,焊缝外观如图 18 所示。

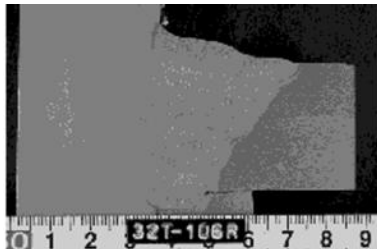


图 17 焊缝断面宏观照片



图 18 焊缝外观

连接隔板和梁凸缘接头部示意如图 19 所示。

图 20 是图 19 所示焊接接头的连接隔板和梁凸缘的焊缝断面宏观照片,外观照片如图 21 所示。

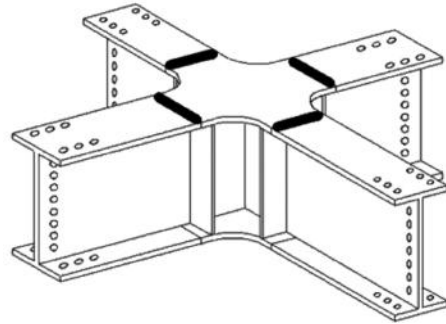


图 19 接头部(连接隔板和梁凸缘)示意

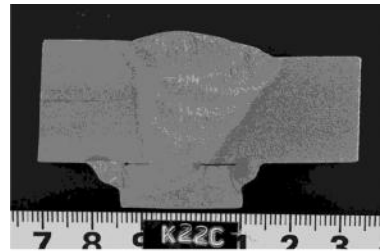


图 20 断面宏观照片



图 21 外观照片

### 3 机器人焊接的优点

日本《钢结构技术》就采用机器人焊接的目的进行了调查,结果如图 22 所示。由图可知,机器人焊接的优点是:(1)提高生产率;(2)高焊接品质、一致性好;(3)弥补焊工技能的不足;(4)缩短交货期。

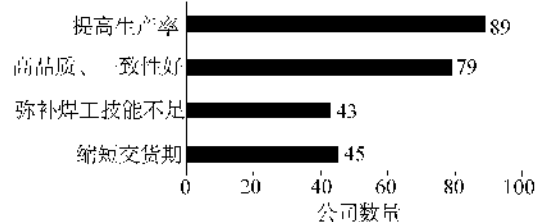


图 22 采用机器人焊接的目的调查结果

#### 3.1 提高生产效率

机器人焊接和半自动焊接的生产效率比较(计算值)如表 1 所示。在机器人焊接中,通过缩短工件的反转时间、天车等待时间等以及连续长时间焊接,使

表 1 机器人焊接和半自动焊接生产率比较

参数		半自动焊接		机器人焊接	
		1人	2人	单弧	双弧
电弧发生率 <sup>①</sup> /%	状态 1	30	30	45	45
	状态 2	30	30	64	63
焊接时间 t/min	状态 1	112	56	112	56
	状态 2	448	224	448	224
非焊接时间 t/min	状态 1	252	131	135	59
	状态 2	1 044	522	257	129
全作业时间 t/min	状态 1	374	187	248	125
	状态 2	1 492	749	695	353
8 h 生产数 <sup>④</sup>	状态 1 <sup>②</sup>	1.3	2.6	1.9, 2.0	3.8, 4.0
	状态 2 <sup>③</sup>	0.3	0.6	0.7, 1.0	1.4, 2.0
生产效率 <sup>④</sup> /%	状态 1 <sup>②</sup>	1.0	2.0	1.6, 1.8	3.1, 3.3
	状态 2 <sup>③</sup>	1.0	2.0	2.1, 3.3	4.2, 6.6

注: ①电弧发生率=(焊接时间/全作业时间)×100%; ②状态 1: 矩形钢管 250×16 t×6 接缝(间隙 6 mm); ③状态 2: 矩形钢管 600×25 t×6 接缝(间隙 6 mm); ④超过 8 h 无人化运转。

得电弧发生率得以提高, 生产效率提高 2~4 倍。此外, 也有双弧焊接机器人系统连续无人化运行超过 8 h, 生产效率是原来的 7 倍。

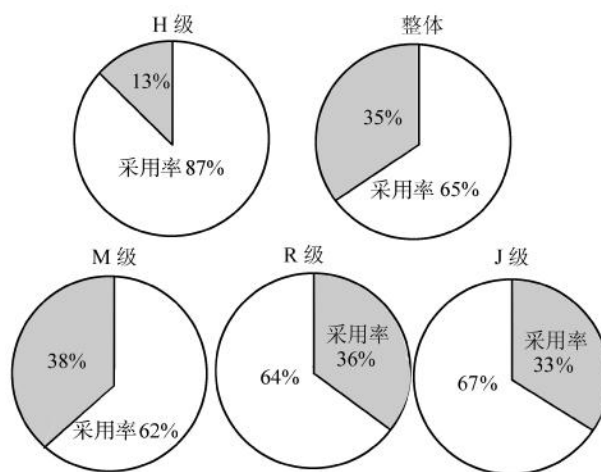
### 3.2 焊接品质稳定化

钢结构焊接机器人系统预先在钢结构施工软件中内装了焊接施工规范, 这些焊接施工规范已通过日本机器人工业协会《建筑钢结构焊接机器人型式认证试验》认证。低温成形矩形钢管 BCP325: 490 MPa)和连接隔板的机器人焊接的强度、韧性如表 2 所示。

表 2 机器人焊接强度、韧性

根部间隙 /mm	部位	焊缝金属			吸收能量 E/J(0 °C)
		屈服强度	抗拉强度	伸长率	
		$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_t$ /MPa	$\delta$ /%	
4	直线	528	609	34	DEPO 144 HAZ 240
	角部	—	—	—	DEPO 170 HAZ 240
10	直线	462	562	33	DEPO 160 HAZ 208
	角部	—	—	—	DEPO 168 HAZ 220
型式认证 10 mm	直线	—	490 MPa 级钢 530 MPa 以上	—	DEPO, HAZ 共 27 以上
	角部	—	—	—	

在半自动焊接中, 焊接规范和焊接施工顺序等



注: 在日本的钢结构制作公司划分的等级中, 从上到下为 S、H、M、R、J。焊接机器人的采用以 H、M 等级为多。

图 23 钢结构焊接机器人采用企业比例

由焊接作业者决定, 所以无法充分保证焊接质量。在机器人焊接中, 机器人内装有合适的焊接规范, 还可以预先向机器人输入焊接顺序, 从而提高焊接质量。

### 3.3 焊工技能不足的对应

柱梁连接处的焊接必须要有的操作技术。为了具有高水平的技术, 焊工必须要接受培训并有长时间工作经验, 所以很难确保焊工满足这些条件。机器人焊接则可以解决这些问题。

## 4 日本国内焊接机器人的普及状况

从 1985~2006 年, 日本国内钢结构焊接机器人的台数超过 3 000 台。加盟公司钢结构焊接机器人采用比例如图 23 所示。

## 5 结论

在日本, 使用矩形钢管、圆形钢管的梁贯通形式柱已成为主流, 其柱梁连接处的焊接几乎全部都是水平姿势的机器人焊接。随着 CFT(混凝土填充钢管)柱的采用增加, 适用于柱贯通形式的机器人焊接(横向 K 坡口)也逐步增加。

目前, 机器人焊接的优势主要集中在提高生产率方面, 随着设计施工标准日益严格, 为了获得高的焊接品质稳定性和一致性, 机器人焊接作为必要的生产手段也引起了广泛关注, 应用范围持续扩大。我们期待在中国, 机器人焊接不仅是从生产率方面, 同时也能作为得到高品质焊接接头的生产手段被广泛关注。