

# 焊接新技术新工艺 实用指导手册

技术资料·方法设备·材料·结构·计算·  
检验与质量管理

主 编：王文其

HANJIE XINJISHU XINGONGYI SHIYONG ZHIDAO SHOUCHE

黑龙江文化电子音像出版社

# 焊接新技术新工艺实用 指导手册

——技术资料·方法设备·材料·结构·计算·  
检验与质量管理

主编 王文其

✻ 五卷 ✻



黑龙江文化电子音像出版社



# 目 录



## 第 五 卷

### 第十三篇 焊接的有关计算

第一章 基本概念的有关计算 .....	(1945)
第一节 焊条药皮质量系数 .....	(1945)
第二节 焊条药皮厚度分类 .....	(1945)
第三节 熔敷系数 .....	(1945)
第四节 熔化系数 .....	(1946)
第五节 熔化速度 .....	(1946)
第六节 熔敷速度 .....	(1947)
第七节 热输入 .....	(1947)
第八节 熔合比 .....	(1948)
第九节 碳当量 .....	(1949)
第十节 损失系数 .....	(1949)
第十一节 负载持续率 .....	(1950)
第二章 焊接基础的有关计算 .....	(1953)
第一节 熔池长度 .....	(1953)
第二节 熔池在液态存在的最长时间 $t_{\max}$ .....	(1954)
第三节 熔池平均存在时间 $t_{av}$ .....	(1954)
第四节 传热及冷却 .....	(1955)
第五节 合金元素在焊缝中含量的计算 .....	(1958)
第六节 氧气与乙炔的有关计算 .....	(1960)
第三章 焊接材料、电力消耗定额的制定与计算 .....	(1963)
第一节 焊条消耗定额的制定 .....	(1963)



第二节	焊丝消耗定额的制定	(1969)
第三节	焊剂消耗定额的制定	(1969)
第四节	保护气体消耗量的计算	(1970)
第五节	电弧焊时电能消耗的计算	(1971)
第四章	焊缝强度的计算	(1973)
第一节	对接接头的静载强度计算	(1975)
第二节	搭接接头静载强度的计算	(1980)
第三节	T形接头静载强度的计算	(1987)
第五章	焊接变形的计算	(1990)
第一节	纵向收缩量的估算	(1990)
第二节	横向收缩量的估算	(1991)
第三节	角变形的估算	(1992)

## 第十四篇 焊接质量管理

第一章	概述	(1997)
第一节	术语和定义	(1997)
第二节	全面质量管理	(1998)
第二章	质量保证体系	(2000)
第一节	基本概念	(2000)
第二节	典型产品的质量保证体系	(2001)
第三章	焊工培训与考核	(2003)
第一节	基本要求	(2003)
第二节	典型专业焊工考试要求	(2003)
第四章	焊接工艺评定	(2018)
第一节	焊接工艺评定过程	(2018)
第二节	焊接工艺因素	(2018)
第三节	焊接工艺评定试件	(2022)
第四节	试件与试样的检验	(2023)
第五节	焊接工艺评定格式表	(2025)
第五章	焊接工艺规程的编制	(2029)
第一节	焊接工艺规程的内容与要求	(2029)
第二节	焊接工艺卡片	(2031)



## 第十五篇 焊接安全防护

第一章 概述 .....	(2035)
第一节 焊接的危险因素和工伤事故 .....	(2035)
第二节 焊接的有害因素与职业危害 .....	(2035)
第二章 焊接安全与卫生标准 .....	(2038)
第一节 我国有关焊接的安全标准 .....	(2038)
第二节 我国有关焊接的卫生标准 .....	(2038)
第三节 国外的焊接安全与卫生标准 .....	(2043)
第三章 焊接安全技术 .....	(2047)
第一节 焊接安全用电 .....	(2047)
第三节 焊接防火与防爆 .....	(2049)
第三节 水下与登高焊割作业安全技术 .....	(2055)
第四章 焊接劳动卫生防护 .....	(2057)
第一节 电焊烟尘和有毒气体防护 .....	(2057)
第二节 弧光防护 .....	(2064)
第三节 高频电磁辐射防护 .....	(2065)
第四节 焊接放射性防护 .....	(2067)
第五节 采取屏蔽防护 .....	(2068)
第六节 焊工个人防护 .....	(2069)
第五章 焊接结构生产中常用焊接方法的安全与卫生防护要点 .....	(2074)
第一节 焊条电弧焊 .....	(2074)
第二节 气焊与气割 .....	(2074)
第三节 CO <sub>2</sub> 气体保护焊 .....	(2076)
第四节 氩弧焊、等离子弧焊接与切割 .....	(2076)
第五节 碳弧气刨 .....	(2078)

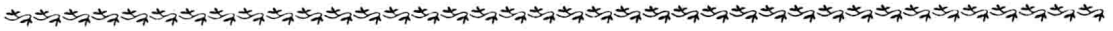


## 第十六篇 焊接技术与焊接工艺 500 问疑难解答

第一章	金属材料的基本知识 .....	(2081)
第二章	熔焊原理 .....	(2091)
第三章	焊接电弧及弧焊电源 .....	(2104)
第四章	焊接材料 .....	(2133)
第五章	焊接工艺 .....	(2159)
第六章	各种焊接方法及设备 .....	(2177)
第七章	常用金属材料的焊接 .....	(2228)
第八章	焊接变形、应力和强度 .....	(2313)
第九章	焊接缺陷及检测方法 .....	(2353)
第十章	焊接安全生产与劳动保护 .....	(2376)



# 第十三篇



## 焊接的有关计算







## 第一章 基本概念的有关计算

基本概念是焊接计算的基础,概念不清或不懂,其计算结果将是错误的。所以,弄清基本概念不仅使计算结果无误,还有助于解决焊接过程中出现的问题。

### 第一节 焊条药皮质量系数

焊条药皮质量系数即焊条药皮与焊芯(不包括无药皮的夹持端)的质量比。

$$K_b = \frac{m_0}{m_1} \times 100\%$$

式中  $K_b$ ——药皮质量系数(%);  
 $m_0$ ——药皮质量(kg);  
 $m_1$ ——焊芯质量(kg)。

### 第二节 焊条药皮厚度分类

1. 薄药皮焊条  $\frac{\text{焊条直径}}{\text{焊芯直径}} \leq 1.2$
2. 厚药皮焊条  $1.2 < \frac{\text{焊条直径}}{\text{焊芯直径}} \leq 1.5$
3. 特厚药皮焊条  $1.8 < \frac{\text{焊条直径}}{\text{焊芯直径}}$

### 第三节 熔敷系数

熔敷系数指熔焊过程中,单位电流、单位时间内,焊芯(或焊丝)熔敷在焊件上的金



属量。

$$\alpha_H = \frac{m}{It}$$

式中  $\alpha_H$ ——熔敷系数(g/Ah)；  
 $m$ ——熔敷焊缝金属质量(g)；  
 $I$ ——焊接电流(A)；  
 $t$ ——焊接时间(h)。

## 第四节 熔化系数

熔化系数指熔焊过程中,单位电流、单位时间内,焊芯(或焊丝)的熔化量。

$$\alpha_P = \frac{m_0 - m_1}{It}$$

式中  $\alpha_P$ ——熔化系数(g/Ah)；  
 $m_0$ ——焊芯原质量(g)；  
 $m_1$ ——焊后剩下焊芯质量(g)；  
 $t$ ——焊接时间(h)；  
 $I$ ——焊接电流(A)。

## 第五节 熔化速度

熔化速度指熔焊过程中,熔化电极在单位时间内熔化的长度或质量。

$$v_P = \frac{L_0 - L}{t}$$

式中  $v_P$ ——熔化速度(mm/min)；  
 $L_0$ ——焊条原长(mm)；  
 $L$ ——余下焊条头长度(mm)；  
 $t$ ——焊接时间(min)。

例:某焊条长 320mm,经过 5min 的焊接,剩下 40mm 焊条头,求该焊条的熔化速度。

解: 
$$v_P = \frac{L_0 - L}{t} = \frac{320\text{mm} - 40\text{mm}}{5\text{min}} = 56\text{mm/min}$$

答:该焊条的熔化速度为 56mm/min。



## 第六节 熔敷速度

熔敷速度指熔焊过程中,单位时间内熔敷在焊件上的金属量。

$$v_p = \frac{m - m_0}{t}$$

式中  $v_p$ ——熔敷速度(kg/h);  
 $m$ ——焊后焊件的质量(kg);  
 $m_0$ ——焊前焊件的质量(kg);  
 $t$ ——焊接时间(h)。

## 第七节 热输入

热输入指熔焊时,由焊接能源输入给单位长度焊缝上的热能。

$$q = \eta UI/v$$

式中  $q$ ——热输入(J/mm);  
 $U$ ——电弧电压(V);  
 $I$ ——焊接电流(A);  
 $v$ ——焊接速度(mm/s);  
 $\eta$ ——热效率(焊条电弧焊  $\eta = 0.7 \sim 0.8$ ;埋弧焊  $\eta = 0.8 \sim 0.95$ ;TIG焊  $\eta = 0.5$ )。

例1:用焊条电弧焊焊接 Q390(原 15MnTi)钢时,为防止和减小焊接热影响区的过热区脆化倾向,要求焊接时热输入不超过 30kJ/cm。如果选择焊接电流为 180A,电弧电压为 28V,试计算焊接速度应为多少?

已知: $I = 180\text{A}$ ;  $q = 30\text{kJ/cm}$ ;  $U = 28\text{V}$

求: $v = ?$

解:由  $q = \eta UI/v$  取  $\eta = 0.7$

得  $v = \frac{\eta UI}{q} = \frac{0.7 \times 28 \times 180}{30000} \text{cm/s} = 0.118 \text{cm/s}$

答:应选用的焊接速度为 0.118 cm/s。

例2:已知某钢材焊接过程中焊条电弧焊的电弧电压为 26V,焊接电流为 200A,焊接速度为 0.2 cm/s,试求其焊接热输入( $\eta$ 取 0.8)。

已知: $I = 200\text{A}$ ;  $v = 0.2 \text{cm/s}$ ;  $U = 26\text{V}$ ;  $\eta = 0.8$



求:  $q = ?$

$$\text{解: } q = \frac{\eta UI}{v} = 0.8 \times 26 \times 200 / 0.2 \text{ kJ/cm} = 20.8 \text{ kJ/cm}$$

答: 焊接热输入为 20.8 kJ/cm。

例 3: 某钢材在焊接过程中的最佳热输入为 24 kJ/cm, 如果采用焊条电弧焊, 选用电弧电压为 24V, 焊接速度为 0.2 cm/s, 其焊接电流应选用多少 ( $\eta$  取 0.8)?

已知:  $q = 24 \text{ kJ/cm}$ ;  $U = 24\text{V}$ ;  $v = 0.2 \text{ cm/s}$ ;  $\eta = 0.8$

求:  $I = ?$

解: 由

$$q = \eta UI / v$$

得

$$I = \frac{qv}{\eta U} = \frac{24 \times 0.2 \times 10^3}{0.8 \times 24} \text{ A} = 250 \text{ A}$$

答: 焊接电流应选用 250A。

例 4: 某钢材焊接过程中的最佳热输入为 24 kJ/cm, 焊条电弧焊时, 如果选用 240A 的焊接电流施焊, 焊接速度为 0.2 cm/s, 求电弧电压为多少 ( $\eta$  取 0.8)?

已知:  $I = 240 \text{ A}$ ;  $v = 0.2 \text{ cm/s}$ ;  $q = 24 \text{ kJ/cm}$ ;  $\eta = 0.8$

求:  $U = ?$

解: 由

$$q = \eta UI / v$$

得

$$U = \frac{qv}{\eta I} = \frac{24 \times 10^3 \times 0.2}{0.8 \times 240} \text{ V} = 25 \text{ V}$$

答: 电弧电压应是 25 V。

## 第八节 熔合比

熔合比又称截面系数。熔合比指熔焊时, 被熔化的母材部分在焊道金属中所占的比例(图 13-1-1)。

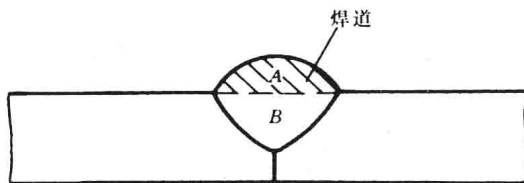


图 13-1-1 焊缝截面

$$\theta = \frac{A_A}{A_B + A_A}$$

式中  $\theta$ ——熔合比(%);

$A_A$ ——填充焊丝(焊条)所占面积;



$A_B$ ——母材所占面积。

## 第九节 碳当量

碳当量即把钢中合金元素(包括碳)的含量按其作用换算成碳的相当含量。它可作为评定钢材焊接性的一种参考指标。

国际焊接学会推荐:

$$w_{CE} = w_C + \frac{1}{6}w_{Mn} + \frac{1}{5}w_{Cr} + \frac{1}{5}w_{Mo} + \frac{1}{5}w_V + \frac{1}{15}w_{Ni} + \frac{1}{15}w_{Cu}$$

日本 JIS 标准所规定的:

$$w_{CE} = w_C + \frac{1}{6}w_{Mn} + \frac{1}{24}w_{Si} + \frac{1}{40}w_{Ni} + \frac{1}{5}w_{Cr} + \frac{1}{4}w_{Mo} + \frac{1}{14}w_V$$

CE 主要适用于中高强度的非调质低合金高强度钢( $\sigma_b = 500 \sim 900\text{MPa}$ )。

CE(JIS)主要适用于低碳调质低合金高强度钢( $\sigma_b = 500 \sim 1000\text{MPa}$ )。

上述两个公式都适用于含碳量偏高的钢种( $w_C \geq 0.18\%$ )。这类钢的化学成分(质量分数)范围如下:

$w_C \leq 0.2\%$ ;  $w_{Si} \leq 0.55\%$ ;  $w_{Mn} \leq 1.5\%$ ;  $w_{Cu} \leq 0.5\%$ ;  $w_{Ni} \leq 2.5\%$ ;  $w_{Cr} \leq 1.25\%$ ;  $w_{Mo} \leq 0.7\%$ ;  $w_V \leq 0.1\%$ ;  $w_B \leq 0.006\%$ 。

例:已知 30CrMnSiA 钢的化学成分如下,求其碳当量。

30CrMnSiA 钢的化学成分 (质量分数)(%)

$w_C$	$w_{Mn}$	$w_{Si}$	$w_{Cr}$	$w_{Ni}$
0.28 ~ 0.35	0.8 ~ 1.1	0.9 ~ 1.2	0.8 ~ 1.1	< 0.3

$$\begin{aligned} \text{解: } w_{CE} &= w_C + \frac{1}{6}w_{Mn} + \frac{1}{5}w_{Cr} + \frac{1}{5}w_{Mo} + \frac{1}{5}w_V + \frac{1}{15}w_{Ni} + \frac{1}{15}w_{Cu} \\ &= 35\% + \frac{1.1\%}{6} + \frac{1.1\% + 0 + 0}{5} + \frac{0.3\% + 0}{15} = 0.77\% \end{aligned}$$

答:30CrMnSiA 钢的碳当量为 0.77%。

## 第十节 损失系数

损失系数指焊芯(或焊丝)在熔敷过程中的损失量与焊芯(或焊丝)原有质量的百分比。



$$\psi = \frac{m - m_1}{m} = \frac{v_{Pav} - v_{Hav}}{v_{Pav}} = 1 - \frac{D}{\Delta} \text{ 或 } D = (1 - \psi)\Delta$$

- 式中  $m$ ——熔化焊芯(或焊丝)质量(g);  
 $m_1$ ——熔敷到焊缝金属中焊芯(或焊丝)金属质量(g);  
 $v_{Pav}$ ——熔化电极金属平均熔化速度(g/h);  
 $v_{Hav}$ ——熔化金属平均熔敷速度(g/h);  
 $\alpha_p$ ——熔化系数(g/Ah);  
 $\alpha_H$ ——熔敷系数(g/Ah)。

由上述可见,熔敷速度才是反映焊接生产率的指标。常用焊条的  $\alpha_p$  和  $\alpha_H$  见表 13-1-1。

表 13-1-1 常用焊条的  $\alpha_p$  与  $\alpha_H$

焊条型号	焊条牌号	熔化系数 $\alpha_p/(g/Ah)$	熔敷系数 $\alpha_H/(g/Ah)$
E4301	J423	10.1	9.7
E4303	J422	9.16	8.25
E4315	J427	9.5	9
E4320	J424	9.1	8.2
E5015	1507	9.06	8.49

## 第十一节 负载持续率

负载持续率是表示焊接电源工作状态的参数,在选定的工作时间周期内(我国标准规定 500A 以下的焊机工作时间周期为 5min),负载工作的持续时间与全周期时间的比值介于 0~1 之间,可用百分数表示。

$$DY_N = \frac{t}{T} \times 100\%$$

- 式中  $DY$ ——负载持续率(%);  
 $t$ ——选定工作时间内负载的时间(min);  
 $T$ ——选定的工作时间周期(min)。

例 1:某焊机的额定焊接电流是 300A,额定负载持续率是 60%,求在工作周期内焊机的连续负载时间。

已知:  $I_N = 300A$ ;  $DY_N = 60\%$ ; 工作周期  $T = 5min$

求:连续负载时间  $t$

解: 
$$DY = \frac{t}{T} \times 100\%$$



$$t = TDY_N$$

$$t = 5\text{min} \times 60\% = 3\text{min}$$

答:在工作周期内连续负载时间为 3min。

不同实际负载持续率条件下,允许使用的输出电流可按下式计算:

$$I = \sqrt{\frac{DY_N}{DY}} I_N$$

式中  $DY_N$ ——额定负载持续率(%) ;

$DY$ ——实际负载持续率(%) ;

$I_N$ ——额定负载持续率时的额定焊接电流(A) ;

$I$ ——实际负载持续率时允许使用的焊接电流(A)。

例 2:某电焊机在额定负载持续率  $DY_N = 60\%$  时的额定焊接电流  $I_N = 300\text{A}$ , 求实际负载持续率  $DY = 80\%$  时允许使用的焊接电流。

已知:  $DY_N = 60\%$  ;  $DY = 80\%$  ;  $I_N = 300\text{A}$ 。

求:  $I$

解: 
$$I = \sqrt{\frac{DY_N}{DY}} I_N = \sqrt{\frac{60\%}{80\%}} \times 300\text{A} = 259.8\text{A}$$

答:当负载持续率为 80% 时,允许使用的焊接电流为 259.8A。

例 3:某电焊机额定负载持续率  $DY_N = 60\%$ , 其额定焊接电流  $I_N = 300\text{A}$ , 求实际使用焊接电流为  $I = 600\text{A}$  时,实际负载持续率为多少?

已知:  $DY_N = 60\%$  ;  $I_N = 300\text{A}$  ;  $I = 600\text{A}$ 。

求:  $DY$

解:由 
$$I = \sqrt{\frac{DY_N}{DY}} I_N$$

得 
$$DY = DY_N \frac{I_N^2}{I^2} = 60\% \times \frac{300^2}{600^2} = 15\%$$

答:实际负载持续率  $DY$  为 15%。

例 4:某电焊机额定负载持续率  $DY_N = 60\%$ , 而在实际负载持续率  $DY = 15\%$  时,允许使用的焊接电流  $I = 600\text{A}$ , 求该焊机的额定焊接电流  $I_N$ 。

已知:  $DY_N = 60\%$  ;  $DY = 15\%$  ;  $I = 600\text{A}$ 。

求:  $I_N$

解:由 
$$I = \sqrt{\frac{DY_N}{DY}} I_N$$

得 
$$I_N = \frac{I}{\sqrt{\frac{DY_N}{DY}}} = \frac{600\text{A}}{\sqrt{\frac{60\%}{15}}} = 300\text{A}$$

答:该焊机的额定焊接电流  $I_N = 300\text{A}$ 。



例 5: 某焊机的额定焊接电流  $I_N = 300\text{A}$ , 当实际负载持续率  $DY = 15\%$  时, 允许使用的焊接电流  $I = 600\text{A}$ , 求该焊机的额定负载持续率  $DY_N$ 。

已知:  $DY = 15\%$ ;  $I = 600\text{A}$ ;  $I_N = 300\text{A}$ 。

求:  $DY_N$

解: 
$$I = \sqrt{\frac{DY_N}{DY}} I_N$$

$$DY_N = \frac{I^2}{I_N^2} DY = \frac{600^2}{300^2} \times 15\% = 6\%$$

答: 该焊机的额定负载持续率为 60%。

例 6: 已知某焊机的额定焊接电流  $I_N = 300\text{A}$ , 额定负载持续率  $DY_N = 60\%$ , 当实际负载持续率  $DY$  为 40% 时, 在 5min 周期内焊接电流可持续几分钟?

解: 由 
$$DY = \frac{t}{T}$$

得 
$$t = TDY = 5\text{min} \times 40\% = 2\text{min}$$

答: 在 40% 实际负载持续率下, 焊接周期为 5min 时, 焊接电流可持续 2min。





## 第二章 焊接基础的有关计算

### 第一节 熔池长度

熔化焊时,熔池的形成需要一定的时间,经过这个时间以后,就进入准稳定时期,这时的熔池形状、质量、尺寸等都不再发生变化。熔池的宽度与深度是沿  $x$  轴连续变化的。在一般情况下,随着焊接电流的增加,熔池最大深度增大,熔池的最大宽度相对减小,随着电弧电压的升高,熔池最大深度减小,熔池最大宽度增加。

熔池长度  $L$  可由下式进行近似估算:

$$L = CP = CUI$$

式中  $L$ ——熔池长度(mm);  
 $C$ ——比例常数(mm/kW);  
 $P$ ——电弧功率(kW);  
 $U$ ——电弧电压(V);  
 $I$ ——焊接电流(A)。

$C$  与焊接方法及焊接电流有关,见表 13-2-1。

表 13-2-1  $C$  与焊接方法及焊接电流的关系

焊接方法	焊接电流 $I/A$	$C/(mm/kW)$
焊条电弧焊	100 ~ 300	3.2 ~ 5.5
埋弧焊	150 ~ 370	3.5 ~ 4.8
	500 ~ 3000	2.4 ~ 3.2
TIG 焊	600	2.85
MIG 焊	200 ~ 300	3.8 ~ 4.8

例:埋弧焊时,  $U = 28V$ ,  $I = 300A$ , 试求埋弧焊熔池的长度(设  $C = 4 mm/kW$ )。

解:  $L = CUI = 4 \times 10^{-3} \times 28 \times 300mm = 33.6mm$

答:熔池长度为 33.6mm。