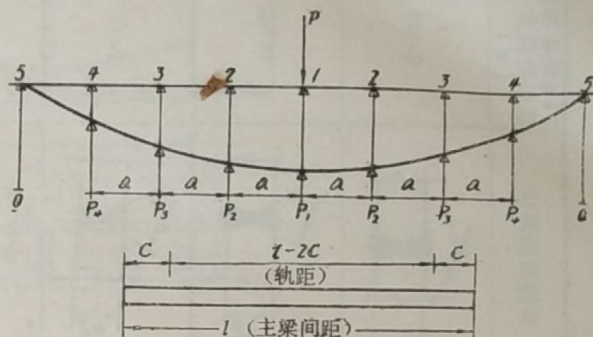


## 附录八 桥 枕 计 算

## (一) 计算方法

桥枕承受载重情况，理论上可把钢轨作连续梁，桥枕作钢轨的弹性支座看待，每个轮重分配到左右多根桥枕上，近轮轴处桥枕承受较大载重，愈远愈小。轮重分配于桥枕的根数及桥枕受力的大小与钢轨及桥枕的刚度，桥枕排列的疏密及主梁的间距有关。



近似的计算方法：

假定每个轮重纵向分布在七根桥枕上。

$P$  为轮重；

$P_1, P_2, \dots, P_4$  为分配在各根桥枕上的载重；

$$P_1 + 2P_2 + \dots + 2P_4 = P$$

$C$  为纵梁（或主梁）中心至临近钢轨的距离。

每根桥枕作为支承在纵梁（或主梁）上的简支梁。

$$\text{桥枕 1 挠度} \quad \delta_{B1} = \frac{1}{6E_n J_n} P_1 C^2 (3l - 4C)$$

$$\text{桥枕 2 挠度} \quad \delta_{B2} = \frac{1}{6E_n J_n} P_2 C^2 (3l - 4C)$$

$$\text{桥枕 3 挠度} \quad \delta_{B3} = \frac{1}{6E_n J_n} P_3 C^2 (3l - 4C)$$

$$\text{桥枕 4 挠度} \quad \delta_{B4} = \frac{1}{6E_n J_n} P_4 C^2 (3l - 4C)$$

各桥枕对桥枕 1 的相对挠度为：

$$\delta_{B1} - \delta_{B2} = \frac{1}{6E_n J_n} C^2 (3l - 4C) (P_1 - P_2)$$

$$\delta_{B1} - \delta_{B3} = \frac{1}{6E_n J_n} C^2 (3l - 4C) (P_1 - P_3)$$

$$\delta_{B1} - \delta_{B4} = \frac{1}{6E_n J_n} C^2 (3l - 4C) (P_1 - P_4)$$

上式中  $E_n$  为桥枕的弹性模量  $[= 9 \text{ GPa (或 } 9 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2)]$ ；

$J_n$  为桥枕的弹性惯距  $\left[ = \frac{1}{12} b \cdot d^3 (\text{mm}^4) \right]$ 。

钢轨承受轮重后所产生挠度差数可以把它假定为固定于 1 点的悬臂梁，而在 2、3、4 点受  $P_2, P_3, P_4$  集中载重所引起的挠度来计算。

$$\text{2 点挠度} \quad f_2 = \frac{a^3}{6E_P J_P} (8P_4 + 5P_3 + 2P_2)$$

$$\text{3 点挠度} \quad f_3 = \frac{a^3}{6E_P J_P} (28P_4 + 16P_3 + 5P_2)$$

$$\text{4 点挠度} \quad f_4 = \frac{a^3}{6E_P J_P} (54P_4 + 28P_3 + 8P_2)$$

上式中  $E_P$  为钢轨的弹性模量  $[=210\text{GPa}(2.1 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2)]$ ,  
 $J_P$  为钢轨的弹性惯矩 ( $\text{mm}^4$ );  
 $a$  为桥枕中心距。

因为同一点钢轨与枕木挠度相等, 故

$$f_4 = \delta_{B1} - \delta_{B4}$$

$$f_3 = \delta_{B1} - \delta_{B3}$$

$$f_2 = \delta_{B1} - \delta_{B2}$$

$$\begin{aligned} \text{由此计算得 } P_1 - P_4 &= \frac{a^3 E_n J_n}{E_P J_P C^2 (3l - 4C)} (54P_4 + 28P_3 + 8P_2) \\ &= k(54P_4 + 28P_3 + 8P_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 - P_3 &= \frac{a^3 E_n J_n}{E_P J_P C^2 (3l - 4C)} (28P_4 + 16P_3 + 5P_2) \\ &= k(28P_4 + 16P_3 + 5P_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 - P_2 &= \frac{a^3 E_n J_n}{E_P J_P C^2 (3l - 4C)} (8P_4 + 5P_3 + 2P_2) \\ &= k(8P_4 + 5P_3 + 2P_2) \end{aligned}$$

$$P = P_1 + 2P_2 + 2P_3 + 2P_4$$

$$\text{解此四联合方程式得: } P_1 = \frac{1 + 72k + 131k^2 + 26k^3}{7 + 196k + 193k^2 + 26k^3} \times P \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{1 + 57k + 46k^3}{7 + 196k + 193k^2 + 26k^3} \times P \quad (2)$$

$$P_3 = \frac{1 + 23k - 18k^2}{7 + 196k + 193k^2 + 26k^3} \times P \quad (3)$$

$$P_4 = \frac{1 - 18k + 3k^2}{7 + 196k + 193k^2 + 26k^3} \times P \quad (4)$$

若轮重分布在七根枕木上,  $P_4$  必大于 0,

$\therefore 1 - 18k + 3k^2 > 0$  解此得  $k < 0.056$

在此情况下, 计算的  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$  值方可使用。

如果  $k > 0.056$ , 则分配在五根或三根枕木上。

若分配在五根枕木上, 用上面同一种方法计算得出:

$$P_1 = \frac{1 + 18k + 7k^2}{5 + 34k + 7k^2} \times P \quad (5)$$

$$P_2 = \frac{1 + 11k}{5 + 34k + 7k^2} \times P \quad (6)$$

$$P_3 = \frac{1 - 3k}{5 + 34k + 7k^2} \times P \quad (7)$$

若分配在五根枕木上,  $P_3$  必大于 0,

$$\therefore 1 - 3k > 0 \quad k < \frac{1}{3}$$

在此情形下所计算的  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  方可使用。如果  $k$  值大于此数时, 则轮重分配在三根枕木上。分配在三根枕木上时, 用上面的方法求出:

$$P_1 = \frac{1 + 2k}{3 + 2k} \times P \quad (8)$$



$$P_2 = \frac{1}{3+2k} \times P \quad (9)$$

## (二) 计算举例

明桥面桥枕中至中间距  $a = 41\text{cm}$ ; 荷载为中—22级; 纵梁 (或主梁) 中心距  $l = 2.0\text{m}$ , 桥枕  $20 \times 24 \times 300\text{cm}$ , 标准轨距,  $C = 25\text{cm}$ 。

1.  $E_p$ 、 $J_p$ 、 $E_n$ 、 $J_n$  值

轨 型 (kg/m)	$J_p(\text{cm}^4)$	$E_p[\text{GPa}]$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	桥 枕	$J_n(\text{cm}^4)$	$E_n[\text{GPa}]$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
38	1203	210  ( $2.1 \times 10^6$ )	$20 \times 24 \times 300$	$\frac{1}{12} \times 20 \times 24^3$ $= 23040$	9  ( $9 \times 10^4$ )
43	1472				
50	2037				
60	3217				

2. 求  $k$ 

$$38\text{kg/m 轨} \quad k = \frac{E_n J_n}{E_p J_p} \times \frac{a^3}{C^2(3l-4C)} = \frac{9 \times 10^3 \times 23040}{2.1 \times 10^6 \times 1203} \times \frac{41^3}{25^2(3 \times 200 - 4 \times 25)}$$

$$= \frac{20736}{21 \times 1203} \times \frac{68921}{625 \times 500} = 0.821 \times 0.221 = 0.181$$

$$43\text{kg/m 轨} \quad k = \frac{20736}{21 \times 1472} \times 0.221 = 0.672 \times 0.221 = 0.147$$

$$50\text{kg/m 轨} \quad k = \frac{20736}{21 \times 2037} \times 0.221 = 0.107$$

$$60\text{kg/m 轨} \quad k = \frac{20736}{21 \times 3217} \times 0.221 = 0.068$$

$\therefore \frac{1}{3} > k > 0.056$ , 均按一个轮重分布于五根枕木计算。

3. 求  $P_1$  值

$$38\text{kg/m 轨} \quad P_1 = \frac{1+18k+7k^2}{5+34k+7k^2} \times P = \frac{1+18 \times 0.181+7 \times 0.181^2}{5+34 \times 0.181+7 \times 0.181^2} \times P$$

$$= 0.395P$$

$$P_2 = \frac{1+11k}{5+3k+7k^2} \times P = \frac{1+11 \times 0.181}{5+34 \times 0.181+7 \times 0.181^2} \times P$$

$$= 0.263P < P_1$$

$$43\text{kg/m 轨} \quad P_1 = \frac{1+18 \times 0.147+7 \times 0.147^2}{5+34 \times 0.147+7 \times 0.147^2} \times P = 0.377P$$

$$50\text{kg/m 轨} \quad P_1 = \frac{1+18 \times 0.107+7 \times 0.107^2}{5+34 \times 0.107+7 \times 0.107^2} \times P = 0.345P$$

$$60\text{kg/m 轨} \quad P_1 = \frac{1+18 \times 0.068+7 \times 0.068^2}{5+34 \times 0.068+7 \times 0.068^2} \times P = 0.307P$$

中—22级特种 荷载  $P = 1.1 \times \frac{22}{2} = 12.1\text{tf} = 121000\text{N}$

$$\therefore 38\text{kg/m 轨} P_1 = 0.395 \times 121000 = 47800\text{N}$$

$$43\text{kg/m 轨} P_1 = 0.377 \times 121000 = 45600\text{N}$$

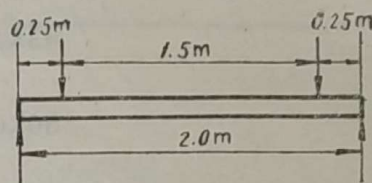
$$50\text{kg/m轨 } P_1 = 0.345 \times 121000 = 41700\text{N}$$

$$60\text{kg/m轨 } P_1 = 0.307 \times 121000 = 37170\text{N}$$

桥枕不计冲击力，因桥枕冲击力比较复杂并且比较大，不易以简单的公式计算，而以限制木材的容许应力来考虑。

#### 4. 桥枕承受最大力矩及剪力

活载产生	$M_{\text{最大}} = P_1 \times 0.25$	$Q_{\text{最大}} = P_1$
恒载产生	$M_{\text{最大}} = \frac{1}{8} q a \times l$	$Q_{\text{最大}} = \frac{1}{2} q a$



桥面重为0.6tf/m，故每根桥枕受的桥面重量为：

$$q a = 0.6 \times 0.41 = 0.246\text{tf} = 2460\text{N}$$

轨 别	活 载		恒 载		合 计	
	$M$ (N·m)	$Q$ (N)	$M$ (N·m)	$Q$ (N)	$M$ (N·m)	$Q$ (N)
38	11950	47800	615	1230	12565	49030
43	11400	45600	615	1230	12015	46830
50	10400	41700	615	1230	11015	42930
60	9292.5	37170	615	1230	9907.5	38400

#### 5. 挠曲应力及剪应力

$$(1) \text{ 桥枕最大纤维应力 } \sigma = \frac{6M}{bh^2} = \frac{6M}{0.20 \times 0.024^2} = \frac{6}{0.01152} \times M$$

$$38\text{kg/m轨 } \sigma = \frac{6 \times 12565}{0.01152} = 6540000\text{Pa} = 6.54\text{MPa}$$

$$43\text{kg/m轨 } \sigma = \frac{6 \times 12015}{0.01152} = 6260000\text{Pa} = 6.26\text{MPa}$$

$$50\text{kg/m轨 } \sigma = \frac{6 \times 11015}{0.01152} = 5750000\text{Pa} = 5.75\text{MPa}$$

$$60\text{kg/m轨 } \sigma = \frac{6 \times 9907.5}{0.01152} = 5160000\text{Pa} = 5.16\text{MPa}$$

均小于16MPa或11MPa。

(2) 最大剪应力  $\tau = \frac{Qs}{Jb}$ ，矩形断面  $\tau = 1.5 \frac{Q}{F} = \frac{1.5Q}{0.20(0.24-0.03)} = \frac{1.5Q}{0.042}$ ，其中高度减去的3cm系最大刻槽深度。

$$38\text{kg/m轨 } \tau = \frac{1.5 \times 49030}{0.042} = 1750000\text{Pa} = 1.75\text{MPa}$$

$$43\text{kg/m轨 } \tau = \frac{1.5 \times 46830}{0.042} = 1670000\text{Pa} = 1.67\text{MPa}$$

$$50\text{kg/m轨 } \tau = \frac{1.5 \times 42930}{0.042} = 1540000\text{Pa} = 1.54\text{MPa}$$



$$60\text{kg/m轨 } \tau = \frac{1.5 \times 38400}{0.042} = 1370000\text{Pa} = 1.37\text{MPa}$$

均小于2.4MPa或2.0MPa。

### ③ 垫板下枕木支承应力

$$38\text{kg/m轨 } \sigma_c = \frac{49030}{0.16 \times 0.29} = 1060000\text{Pa} = 1.06\text{MPa}$$

$$43\text{kg/m轨 } \sigma_c = \frac{46830}{0.16 \times 0.29} = 1020000\text{Pa} = 1.02\text{MPa}$$

$$50\text{kg/m轨 } \sigma_c = \frac{42930}{0.16 \times 0.31} = 930000\text{Pa} = 0.93\text{MPa}$$

$$60\text{kg/m轨 } \sigma_c = \frac{38400}{0.18 \times 0.31} = 688000\text{Pa} = 0.688\text{MPa}$$

均小于1.6MPa。

上式中  $0.16 \times 0.29$  及  $0.16 \times 0.31$ 、 $0.18 \times 0.31$  为垫板面积。

(三) 当桥枕净距21cm, 在××大桥作桥枕垂直力测定的资料 (供参考)

设备情况: 50kg/m12.5m钢轨; 纵梁中心距2.0m, 桥枕规格20×24×300cm。

实 测					计 算			
地 点	迎轨接头处 第一根桥枕		迎轨接头处 第二根桥枕		钢轨小腰处桥枕		(理论上)	
					迎 轨	顺 轨		
枕木间距 (cm)	41	35	41	35	41	41	41	35
FD型机车行车速度25~40km/h, 第四位动轮质量11.3t								
最大垂直力 (tf)	4.4	2.6	4.0	2.15	2.45	2.0	3.9	3.46
RM型机车行车速度40~50km/h, 第三位动轮质量10t								
最大垂直力 (tf)	4.0	3.5	3.7	1.9	2.5	1.7	3.45	3.06

(四) 当桥枕净距21cm, 隔一根有一根桥枕失效时

纵梁中心距2m, 桥枕断面20×24cm

$$43\text{kg/m轨 } k = 0.672 \times \frac{82^3}{312500} = 0.672 \times 1.765 = 1.185 > \frac{1}{3}$$

$$50\text{kg/m轨 } k = 0.485 \times \frac{82^3}{312500} = 0.485 \times 1.765 = 0.856 > \frac{1}{3}$$

分布于3根桥枕

$$43\text{kg/m轨 } P_1 = \frac{1+2 \times 1.185}{3+2 \times 1.185} \times 12100 = 0.627 \times 12100 = 75860\text{N}$$

$$50\text{kg/m轨 } P_1 = \frac{1+2 \times 0.856}{3+2 \times 0.856} \times 12100 = 0.574 \times 12100 = 69500\text{N}$$

轨 别	活 载		恒 载		合 计	
	M (N·m)	Q (N)	M (N·m)	Q (N)	M (N·m)	Q (N)
43	18950	75860	1230	2460	20180	78320
50	17350	69500	1230	2460	18580	71960



计算结果:

轨 别	挠曲应力 $\sigma$	剪 应 力 $\tau$	支承应力 $\sigma_c$
43	10.5MPa	2.79MPa	1.69MPa
50	9.68MPa	2.57MPa	1.45MPa

(五) 当桥枕净距15cm, 隔一根有一根桥枕失效时

纵梁中心距2m, 桥枕断面20×24cm

$$43\text{kg/m轨 } k = 0.672 \times \frac{70^3}{312500} = 0.672 \times 1.097 = 0.737 > \frac{1}{3}$$

$$50\text{kg/m轨 } k = 0.485 \times \frac{70^3}{312500} = 0.485 \times 1.097 = 0.533 > \frac{1}{3}$$

分布于三根桥枕上

$$43\text{kg/m轨 } P_1 = \frac{1 + 2 \times 0.737}{3 + 2 \times 0.737} \times 121000 = 0.554 \times 121000 = 66800\text{N}$$

$$50\text{kg/m轨 } P_1 = \frac{1 + 2 \times 0.533}{3 + 2 \times 0.533} \times 121000 = 0.508 \times 121000 = 61500\text{N}$$

轨 别	活 载		恒 载		合 计	
	$M$ (N·m)	$Q$ (N)	$M$ (N·m)	$Q$ (N)	$M$ (N·m)	$Q$ (N)
43	16700	66800	1050	2100	17750	68900
50	15380	61500	1050	2100	16430	63600

计算结果:

轨 别	挠曲应力 $\sigma$	剪 应 力 $\tau$	支承应力 $\sigma_c$
43	9.24MPa	2.46MPa	1.49MPa
50	8.55MPa	2.27MPa	1.24MPa

注: 上述计算是以桥枕简支于纵梁上推导的, 如考虑钩螺栓拧紧, 则轮重下的桥枕受力情况将如图(a)所示, 图(b)为力矩示意、轮重下桥枕挠度可用共轭梁法求得。图中 $P_1$ 为轮重 $P$ 分配在该桥枕上的载重。

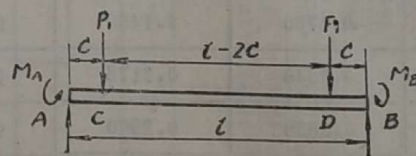
$$\delta_1 = \frac{P_1 C^3}{6E_n J_n} \left( \frac{2l-3C}{l} \right) \text{ 临近桥枕的挠度 } \delta_2, \delta_3 \dots$$

只要以 $P_2, P_3 \dots$ 代入上式即可。

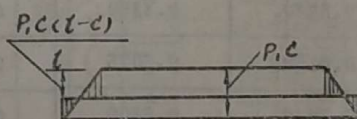
同附录所述方法可推导出

$$k = \frac{E_n J_n a^3 l}{E_p J_p (2l-3C) C^3}$$

照这一计算方法, 轮重 $P$ 分配到受力的桥枕数显著减少, 对桥枕的计算影响很大, 且偏于不安全, 故有待今后进行全面的试验实测来确定以何种计算方法为合理。



(a)



(b)



## 附录九 普通枕木、桥梁枕木根数材积换算表及明桥面木料材积表

1. 普通枕木成材 $1\text{m}^3$ 换算根数见下表

成 材 ( $\text{m}^3$ )	标准枕木 (根)			成 材 ( $\text{m}^3$ )	标准枕木 (根)		
	1 类	2 类	3 类		1 类	2 类	3 类
	$16 \times 22 \times 250$ (cm)	$14.5 \times 20 \times 250$ (cm)	$13.5 \times 19 \times 250$ (cm)		$16 \times 22 \times 250$ (cm)	$14.5 \times 20 \times 250$ (cm)	$13.5 \times 19 \times 250$ (cm)
1	11.3636	13.7931	15.5945	20	227.2720	275.8620	311.8900
2	22.7272	27.5862	31.1890	30	340.9080	413.7930	467.8350
3	34.0809	41.3793	46.7835	40	454.5440	551.7240	623.7800
4	45.4544	55.1724	62.3780	50	568.1800	689.6550	779.7250
5	56.8180	68.9655	77.9725	60	681.8160	827.5860	935.6700
6	68.1816	82.7586	93.5670	70	795.4520	965.5170	1091.6150
7	79.5452	96.5517	109.1615	80	909.0880	1103.4480	1247.5600
8	90.9088	110.3448	124.7560	90	1022.7240	1241.3790	1403.5050
9	102.2724	124.1379	140.3505	100	1136.3600	1379.3100	1559.4500
10	113.6360	137.9310	155.9450				

## 2. 普通枕木根数换算材积见下表

枕 木 根 数	标准枕木 ( $\text{m}^3$ )			枕 木 根 数	标准枕木 ( $\text{m}^3$ )		
	1 类	2 类	3 类		1 类	2 类	3 类
	$16 \times 22 \times 250$ (cm)	$14.5 \times 20 \times 250$ (cm)	$13.5 \times 19 \times 250$ (cm)		$16 \times 22 \times 250$ (cm)	$14.5 \times 20 \times 250$ (cm)	$13.5 \times 19 \times 250$ (cm)
1	0.0880	0.0725	0.064125	20	1.7600	1.4500	1.2825
2	0.1760	0.1450	0.12825	30	2.6400	2.1750	1.92375
3	0.2640	0.2175	0.192375	40	3.520	2.900	2.565
4	0.3520	0.2900	0.2565	50	4.400	3.625	3.20625
5	0.4400	0.3625	0.320625	60	5.280	4.350	3.8475
6	0.5280	0.4350	0.38475	70	6.160	5.075	4.48875
7	0.6160	0.5075	0.448875	80	7.040	5.800	5.130
8	0.7040	0.5800	0.5130	90	7.920	6.525	5.77125
9	0.7920	0.6525	0.577125	100	8.800	7.250	6.4125
10	0.8800	0.7250	0.64125				







5. 明桥面用木料材积见下表 (m<sup>3</sup>)

名称	断面 (mm × mm)	长 度 (m)					每1m <sup>3</sup> 长度 (m)
		1	3	4	5	6	
护木	150 × 150	0.0225	0.0675	0.0900	0.1125	0.1350	44.444
木板	30 × 150	0.0045	0.0135	0.0180	0.0225	0.0270	222.222
	30 × 200	0.0060	0.0180	0.0240	0.0300	0.0360	166.667
	50 × 150	0.0075	0.0225	0.0300	0.0375	0.0450	133.333
	50 × 200	0.0100	0.0300	0.0400	0.0500	0.0600	100.0
	50 × 220	0.0110	0.0330	0.0440	0.0550	0.0660	90.909
	20 × 112	0.00224	0.00672	0.00896	0.0112	0.01334	446.429
	30 × 112	0.00336	0.01008	0.01344	0.0168	0.02016	297.619
	20 × 130	0.0026	0.0078	0.0104	0.0130	0.0156	384.615
	30 × 130	0.0039	0.0117	0.0156	0.0195	0.0234	256.436
木枋	50 × 100	0.005	0.015	0.020	0.025	0.030	200.0
	60 × 100	0.006	0.018	0.024	0.030	0.036	166.667
	80 × 100	0.008	0.024	0.032	0.040	0.048	125.00
	100 × 100	0.01	0.03	0.04	0.050	0.060	100.0
	100 × 120	0.012	0.036	0.048	0.060	0.072	83.333
	100 × 150	0.015	0.045	0.060	0.075	0.090	66.667
	100 × 180	0.018	0.054	0.072	0.090	0.1080	55.556
	140 × 160	0.0224	0.0672	0.0896	0.1120	0.1344	44.643

注：① 板材——宽为厚的三倍及以上者。② 枋材——宽不足厚的三倍者。③ 板材依厚度分为四种：薄板，厚 < 18mm；中板，厚 19~35mm；厚板，厚 36~65mm；特厚板，厚 ≥ 66mm。④ 枋材按宽厚相乘积的大小分：小枋，乘积 ≤ 54cm<sup>2</sup>；中枋，乘积 55~100cm<sup>2</sup>；大枋，乘积 101~225cm<sup>2</sup>；特大枋，乘积 ≥ 226cm<sup>2</sup>。

附录十 明桥面每100m桥面（不包括人行道）需用材料参考表

名 称		规 格	单 位	数 量		附 注
				I 式	II 式	
注油桥枕		200×240×3000mm	根/m³	315/45.36	每根0.144m³	
护 木		150×150mm	m/m³	220/4.95	每1m0.0225m³	
步 行 板	(1)	木 板	50×200mm	m/m³	220/2.2	每1m0.01m³
			(30×200mm)		(220/1.32)	(每m0.006m³)
		横 木	100×60×1000mm	根/m³	138/0.83	以步行板长4m，横木每隔1m一根计，每根0.006m³
		铁 线 钉	100mm	个/kg	500/7.0	每1000个12.6kg
	50mm		500/1.4		每1000个2.46kg	
	镀锌铁线	φ1.2mm	m/kg	60/0.53	每1000m8.82kg	
	(2)	扁 钢	60×50mm	m/kg	525/1239	每1m2.36kg
		电 焊 条	φ4mm	kg	30	
木 螺 钉		5×50mm	个/kg	550/3.2	每1000个5.827kg	