



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



小水电技术导则 设计

第6-3部分：金属结构

SHP/TG 002-6-3: 2019



免责声明

本导则未经联合国正式编辑。本导则内采用的名称和资料并不代表联合国工业发展组织的秘书处关于各国、领土、城市、地区或其当局的合法地位，以及关于国土、边界的界定、或对经济体系及其发展程度等问题的任何意见和立场。例如“发达的”、“工业化的”和“发展中”等一类词汇只为方便统计，未必表示一个国家或者地区的真实发展程度。本导则中提及的公司名称或者商业产品并非联合国工业发展组织为其代言。本导则尽可能保持内容的准确性，但联合国工业发展组织及其成员国均不对使用本导则可能产生的结果承担任何责任。本导则可被自由引用或转载，但需注明出处。

© 2019 UNIDO/INSHP – 版权所有

()

6-3 :

鸣谢

本导则是联合国工业发展组织（UNIDO）和国际小水电联合会（INSHP）共同合作努力的成果，约 80 名国际专家和 40 家国际机构参与了导则的编制、同行审查，并提出了具体意见和建议，使导则更具实用性和专业性。

UNIDO 和 INSHP 非常感谢许多机构在制定本导则期间作出的贡献，特别是以下国际组织：

——东南部非洲共同市场（COMESA）

——全球区域可持续能源中心网（GN-SEC），特别是西非国家经济共同体可再生能源和能源效率中心（ECREEE）、东非可再生能源和能源效率中心（EACREE）、太平洋可再生能源和能源效率中心（PCREEE）和加勒比可再生能源和能源效率中心（CCREEE）。

中国政府推动了本导则的最终定稿，对其完成具有重要意义。

以下人士为编制本导则作出了贡献，包括有价值的投入、审查和提供建设性意见：Mr. Adnan Ahmed Shawky Atwa, Mr. Adoyi John Ochigbo, Mr. Arun Kumar, Mr. Atul Sarthak, Mr. Bassey Edet Nkposong, Mr. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Ms. Chang Fangyuan, Mr. Chen Changju, Ms. Chen Hongying, Mr. Chen Xiaodong, Ms. Chen Yan, Ms. Chen Yueqing, Ms. Cheng Xiaolei, Ms. Chileshe Kapaya Matantilo, Ms. Chileshe Mpundu Kapwepwe, Mr. Deogratias Kamweya, Mr. Dolwin Khan, Mr. Dong Guofeng, Mr. Ejaz Hussain Butt, Ms. Eva Kremere, Ms. Fang Lin, Mr. Fu Liangliang, Mr. Garaio Donald Gafiye, Mr. Guei Guillaume Fulbert Kouhie, Mr. Guo Chenguang, Mr. Guo Hongyou, Mr. Harold John Annegam, Ms. Hou ling, Mr. Hu Jianwei, Ms. Hu Xiaobo, Mr. Hu Yunchu, Mr. Huang Haiyang, Mr. Huang Zhengmin, Ms. Januka Gyawali, Mr. Jiang Songkun, Mr. K. M. Dharesan Unnithan, Mr. Kipyego Cheluget, Mr. Kolade Esan, Mr. Lamyser Castellanos Rigoberto, Mr. Li Zhiwu, Ms. Li Hui, Mr. Li Xiaoyong, Ms. Li Jingjing, Ms. Li Sa, Mr. Li Zhenggui, Ms. Liang Hong, Mr. Liang Yong, Mr. Lin Xuxin, Mr. Liu Deyou, Mr. Liu Heng, Mr. Louis Philippe Jacques Tavernier, Ms. Lu Xiaoyan, Mr. Lv Jianping, Mr. Manuel Mattiat, Mr. Martin Lugmayr, Mr. Mohamedain Seif Elnasr, Mr. Mundia Simainga, Mr. Mukayi Musarurwa, Mr. Olumide TaiwoAlade, Mr. Ou Chuanqi, Ms. Pan Meiting, Mr. Pan Weiping, Mr. Ralf Steffen Kaeser, Mr. Rudolf Hüpfel, Mr. Rui Jun, Mr. Rao Dayi, Mr. Sandeep Kher, Mr. Sergio Armando Trelles Jasso, Mr. Sindiso Ngwenga, Mr. Sidney Kilmete, Ms. Sitraka Zaraso Rakotomahefa, Mr. Shang Zhihong, Mr. Shen Cunke, Mr. Shi Rongqing, Ms. Sanja Komadina, Mr. Tareqemtairah, Mr. Tokihiko Fujimoto, Mr. Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, Mr. Tan Xiangqing, Mr. Tong Leyi, Mr. Wang Xinliang, Mr. Wang Fuyun, Mr. Wei Jianghui, Mr. WU Cong, Ms. Xie Lihua, Mr. Xiong Jie, Ms. Xu Jie, Ms. Xu Xiaoyan, Mr. Xu Wei, Mr. Yohane Mukabe, Mr. Yan Wenjiao, Mr. Yang Weijun, Ms. Yan Li, Mr. Yao Shenghong, Mr. Zeng Jingnian, Mr. Zhao Guojun, Mr. Zhang Min, Mr. Zhang Liansheng, Mr. Zhang Zhenzhong, Mr. Zhang Xiaowen, Ms. Zhang Yingnan, Mr. Zheng Liang, Mr. Zheng Yu, Mr. Zhou Shuhua, Ms. Zhu Mingjuan.

使用中如有其他意见和建议，欢迎提供，以便再版更新。

.....

.....

1	.....	1
2	.....	1
3	.....	1
4	.....	1
5	.....	1
5.1	.....	1
5.2	.....	2
5.3	.....	2
5.4	.....	2
5.5	.....	3
5.6	.....	3
5.7	.....	4
5.8	.....	4
6	.....	5
6.1	.....	5
6.2	.....	9
6.3	.....	11
6.4	.....	12
7	.....	13
7.1	.....	13
7.2	.....	13
7.3	.....	13
7.4	.....	13
8	.....	14
A ( )	.....	15
B ( )	.....	16

(UNIDO) (SID)

15 2030

ISID

UNIDO ISID 20

(INSHP)

INSHP

UNIDO INSHP 2010

UNIDO INSHP

()

ISO/IEC (www.iso.org/directives)

UNIDO INSHP

),

(

30 MW

6-3 : ()

1

2

SHP/TG 001

3

SHP/TG 001

4

4.1

4.2

4.3

a)

b)

c)

d)

e)

5

5.1

5.1.1

5.1.2

5.2

5.2.1

5.2.2

5.2.3

5.2.4

5.2.5

1.50 m
0.3 m~0.5 m

5.2.6

5.2.7

5.2.8

5.2.9

5.3

5.3.1

5.3.2

5.3.3

5.4

5.4.1

5.4.2

a)

b)

c)

d)

e)

5.4.3

a)

1 m~2 m

b)

0.5 m~1.0 m

- c) 0.5 m ~ 1.0 m
- 5.4.4
- a)
 - b)
 - c)
 - d) () ;
 - e)
 - f) 0

5.5

5.5.1

5.5.2

5.5.3

5.5.4

5.5.5

5.5.6

5.5.7

5.5.8

5.6

5.6.1

a)

b)

c)

d) 1 ~ 2

e)

5.6.2

a)

b)

5.6.3

5.7

5.7.1

a)

b)

c)

d)

e)

5.7.2

a)

50 m

b)

c)

5.7.3

a)

1.5~1.7

b)

c)

5.8

5.8.1

a)

b)

2 m-4 m

c)

582

a)

b)

c)

3~6

6

4~6

d)

583

a)

b)

c)

d)

e)

5 m/min

f)

g)

()

584

a)

b)

3~6

6

4~6

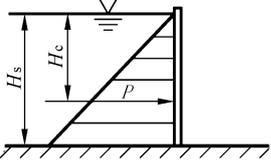
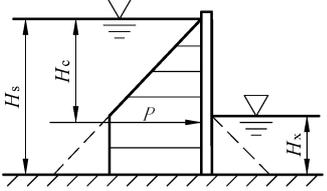
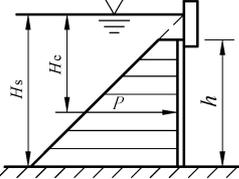
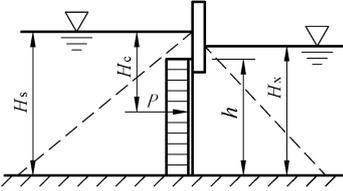
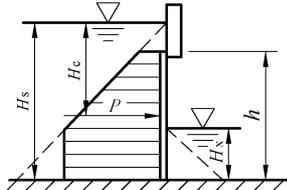
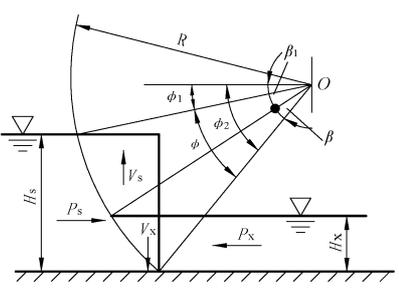
c)

6

6.1

6.1.1

1

<p>1</p>		$P = \frac{1}{2} \gamma H_s^2 B_{zs}$ $H_c = \frac{2}{3} H_s$
<p>2</p>		$P = \frac{1}{2} \gamma (H_s^2 - H_x^2) B_{zs}$ $H_c = \frac{1}{3} \left(2 H_s - \frac{H_x^2}{H_s + H_x} \right)$
<p>3</p>		$P = \frac{1}{2} \gamma (2 H_s - h) h B_{zs}$ $H_c = H_s - \frac{h}{3} \cdot \frac{3 H_s - 2 h}{2 H_s - h}$
<p>4</p>		$P = \gamma (H_s - H_x) h B_{zs}$ $H_c = H_s - \frac{1}{2} h$
<p>5</p>		$P = \frac{1}{2} \gamma [(2 H_s - h) h - H_x^2] B_{zs}$ $H_c = \frac{3 H_s H_x^2 - H_x^3 - 6 H_s^2 h + 6 H_s h^2 - 2 h^3}{3 H_x^2 - 6 H_s h + 3 h^2}$
<p>6</p>		$P = \frac{1}{2} \gamma H_s^2 B_{zs}$ $V_s = \frac{1}{2} \gamma R^2 \left[\frac{\phi}{180} + 2 \sin \phi_1 \cos \phi_2 - \frac{1}{2} (\sin 2 \phi_1 + \sin 2 \phi_2) \right] B$ $P_x = \frac{1}{2} \gamma H_x^2 B$ $V_x = \frac{1}{2} \gamma R^2 \left[\frac{\beta}{180} + 2 \sin \beta_1 \cos \phi_2 - \frac{1}{2} (\sin 2 \beta_1 + \sin 2 \phi_2) \right] B$ $P = \sqrt{(P_s - P_x)^2 + (V_s - V_x)^2}$

a)

1.1 ~ 1.2
1.0 ~ 1.2

b)

1

(1)

$$P_t = \gamma \beta_t H_s D_1 B_{zs} \dots \dots \dots (1)$$

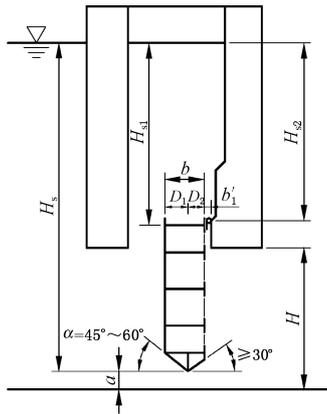
- P_t — , kN;
- H_s D_1 — 1, m;
- B_{zs} — , m;
- γ — , kN/m³;
- β_t —

$$\beta_t = 1.0,$$

β_t 2

(H); $0 < a < a_k$ (a_k)

$$a_k = 0.5H$$



1

2

β_t

α (°)	a/D_1				
	2	4	8	12	16
60°	0.8	0.7	0.5	0.4	0.25
52.5°	0.7	0.5	0.3	0.15	—
45°	0.6	0.4	0.1	0.05	—

a — , m;
 D_1 — , m;
 α — (1)

c)

(2)

1

$$P_s = p_s D_2 B_{zs} \dots\dots\dots (2)$$

P_s — , kN;
 D_2 — , m;
 p_s — D_2 , 20 kN/m² ,

6.1.3

$$(3) \quad (4)$$

$$P_n = \frac{1}{2} \gamma_n h_n^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) B \dots\dots\dots (3)$$

$$\gamma_n = \gamma_0 - (1 - n) \gamma_w \dots\dots\dots (4)$$

P_n — , kN;
 γ_n — , kN/m³;
 γ_0 — , kN/m³;
 γ_w — , kN/m³;
 n — ;
 h_n — , m;
 B — , m;
 ϕ — , (°)

6.1.4

$$(5)$$

$$P_z = \frac{W_p v}{gt} \dots\dots\dots (5)$$

P_z — , kN;
 W_p — , kN ,
 v — , m/s;
 g — ;
 t — , s,

6.2

6.2.1

a)

1) (6) , () ;

$$F_w = n_T (T_{zd} + T_{zs}) - n_G G + P_t \dots\dots\dots (6)$$

2) (7) :

$$F_T = n'_G G + G_j + W_s + P_x - P_t - (T_{zd} + T_{zs}) \dots\dots\dots (7)$$

3) (8) :

$$F_Q = n_T (T_{zd} + T_{zs}) + P_x + n'_G G + G_j + W_s \dots\dots\dots (8)$$

4) (9) :

$$T_{zd} = \frac{P}{R} (f_1 r + f) \dots\dots\dots (9)$$

$$\begin{aligned} R_1 \quad R_2 & \text{ ————— } (\quad) \quad , \text{ m;} \\ T_{zs} & \text{ ————— } , \quad (12) \end{aligned}$$

c)

6.2.3

a)

(15)

$$F_0 = n'_G G + n_m m \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$F_0 \text{ ————— } , \text{ kN;} ;$$

$$n_m \text{ ————— } , \quad 1.2 ;$$

$$m \text{ ————— } , \text{ kN} ;$$

$$G \text{ ————— } , \text{ kN} ;$$

$$n'_G \text{ ————— } , \quad 1.0 \sim 1.1$$

b)

(15)

2 m

6.3

6.3.1

(16) (17)

(18) (19) (16) :

$$A_a = \frac{Q_a}{[v_a]} \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$Q_a = 0.09 v_w A \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_w} = K (F_r - 1)^{[4n(F_r - 1) + b]} - 1 \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{9.81 e}} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$A_a \text{ ————— } , \text{ m}^2 ;$$

$$Q_a \text{ ————— } , \text{ m}^3/\text{s} ;$$

$$[v_a] \text{ ————— } , \text{ m/s} , \quad 40 \text{ m/s} , \quad 50 \text{ m/s} ;$$

$$v_w \text{ ————— } , \text{ m/s} ;$$

$$A \text{ ————— } , \text{ m}^2$$

$$\beta \text{ ————— } ;$$

$$Q_w \text{ ————— } , \text{ m}^3/\text{s} ;$$

$$F_r \text{ ————— } ;$$

$$v \text{ ————— } , \text{ m/s} ;$$

$$e \text{ ————— } , \text{ m} ;$$

$$K \quad a \quad b \text{ ————— } , \quad B$$

6.3.2

4% ~ 7%

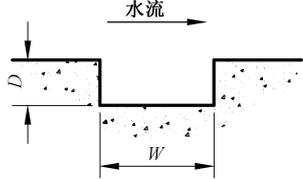
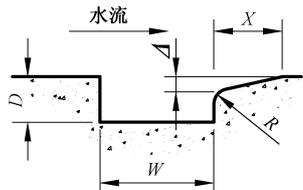
6.3.3

6.4

6.4.1

3

3

	<p>$W/D = 1.6 \sim 1.8$; $W/D = 1.4 \sim 2.5$;</p> <p>$K_1 = 0.38 (W/D)$ ($W/D = 1.4 \sim 3.5$)</p>	<p>12 m</p> <p>$K > 1.0$ (30 m 20 m/s)</p>
	<p>$W/D = 1.5 \sim 2.0$; $/W = 0.05 \sim$ 0.08; $/X = 1/10 \sim$ 1/12; $R = 30 \text{ mm} \sim$ 50 mm $R/D = 0.10$; $K_1 = 0.4 \sim$ 0.6 ()</p>	<p>$K > 0.6$ (30 m ~ 50 m, 20 m/s ~ 25 m/s) ; $K > 0.4$ 1.0 ; $K >$ 0.8 12 m, $K > 0.8$</p>

6.4.2

K

6.4.3

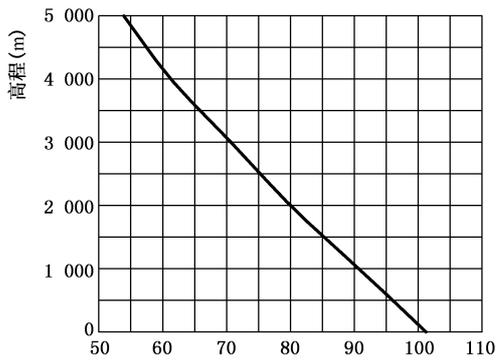
$K < 0.6$ (60 m, 30 m/s)

6.4.4

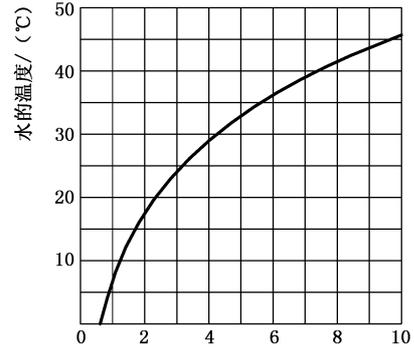
K (20) :

$$K = \frac{(P_1 + P_a - P_v) / \gamma}{\frac{v^2}{2g}} \dots\dots\dots (20)$$

- P_1 — , kPa;
- P_a — , kPa, 2;
- P_v — , kPa, 3;
- γ — , kN/m³;
- v — , m/s;
- g — , m/s²



2



3

6.4.5

$$K > K_i$$

K_i

$K_i < K_i$

$n = 1 \sim 2$

1.5, $K \sim nK_i$

7

7.1

7.1.1

7.1.2

3 :

a)

b)

c)

7.1.3

7.1.4

7.1.5

ISO 8501 | ISO 8502 | ISO 8503 | ISO 8504

7.2

7.2.1

7.2.2

7.3

7.3.1

7.3.2

3.0 mm

7.3.3

7.3.4

7.4

7.4.1

a)

;

b)

;

c)

;

d)

PH

7.4.2

7.4.3

7.4.4

8

:

a)

;

b)

;

c)

A
()

A.1

	()	0.5 ~ 0.6	0.15	
	()	0.35	0.16	
	()	0.65	0.3	
	<i>q</i>	$q > 2.5 \text{ kN/mm}$	0.09	0.04
		$q = 2.5 \text{ kN/mm} \sim 2.0 \text{ kN/mm}$	0.09 ~ 0.11	0.05
		$q = 2.0 \text{ kN/mm} \sim 1.5 \text{ kN/mm}$	0.11 ~ 0.13	0.05
$q = 1.5 \text{ kN/mm} \sim 1.0 \text{ kN/mm}$		0.13 ~ 0.15	0.06	
	$q < 1.0 \text{ kN/mm}$	0.15	0.06	
	()	0.30	0.16	
	()	0.25	0.12	
	()	0.12 ~ 0.14	0.05	
		0.70	0.35	
		0.50	0.20	
		0.20	0.05	
		1 mm		
		1 mm		
:	$R_a = 1.6 \mu\text{m}$	$R_a = 3.2 \mu\text{m}$		

B
()

B.1

		—————	F_r	$\beta = K(F_r - 1)^{[4n(F_r - 1) + b]} - 1$		
				K	a	b
	6.10 ~ 10.66	3.96 ~ 20.30	1.158	0.112	- 0.242	
		3.87 ~ 3.960	1.015 4	0	0	
	10.66 ~ 27.40	1.94 ~ 6.290	1.015 0	0.035	0.004	
		1.61 ~ 1.940	1.015 2	0	0	
	27.40 ~ 35.78	1.91 ~ 17.190	1.042	0.039	0.008	
		1.38 ~ 1.910	1.041 3	0	0	
35.78 ~ 77.00	1.08 ~ 15.670	1.130 0	0.028	0.144		
	6.10 ~ 10.66	4.57 ~ 32.590	1.342	0.173	- 0.438	
		3.49 ~ 4.570	1.015 3	0	0	
	10.66 ~ 27.40	1.70 ~ 18.06	1.054 0	0.019	0.013	
		1.56 ~ 1.70	1.051 5	0	0	
	27.40 ~ 35.78	2.45 ~ 10.81	1.073	0.053	0.070	
	35.78 ~ 77.00	2.33 ~ 8.310	1.170	0.182	- 0.019	

—————



**UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION**

Vienna International Centre
P.O. Box 300 · 1400 Vienna · Austria
Tel.: (+43-1) 26026-0
E-mail: info@unido.org
www.unido.org



**INTERNATIONAL NETWORK
ON SMALL HYDROPOWER**

136 Nanshan Road
Hangzhou · 310002 · P.R.China
Tel.: (+86-571)87132793
E-mail: secretariat@inshp.org
www.inshp.org