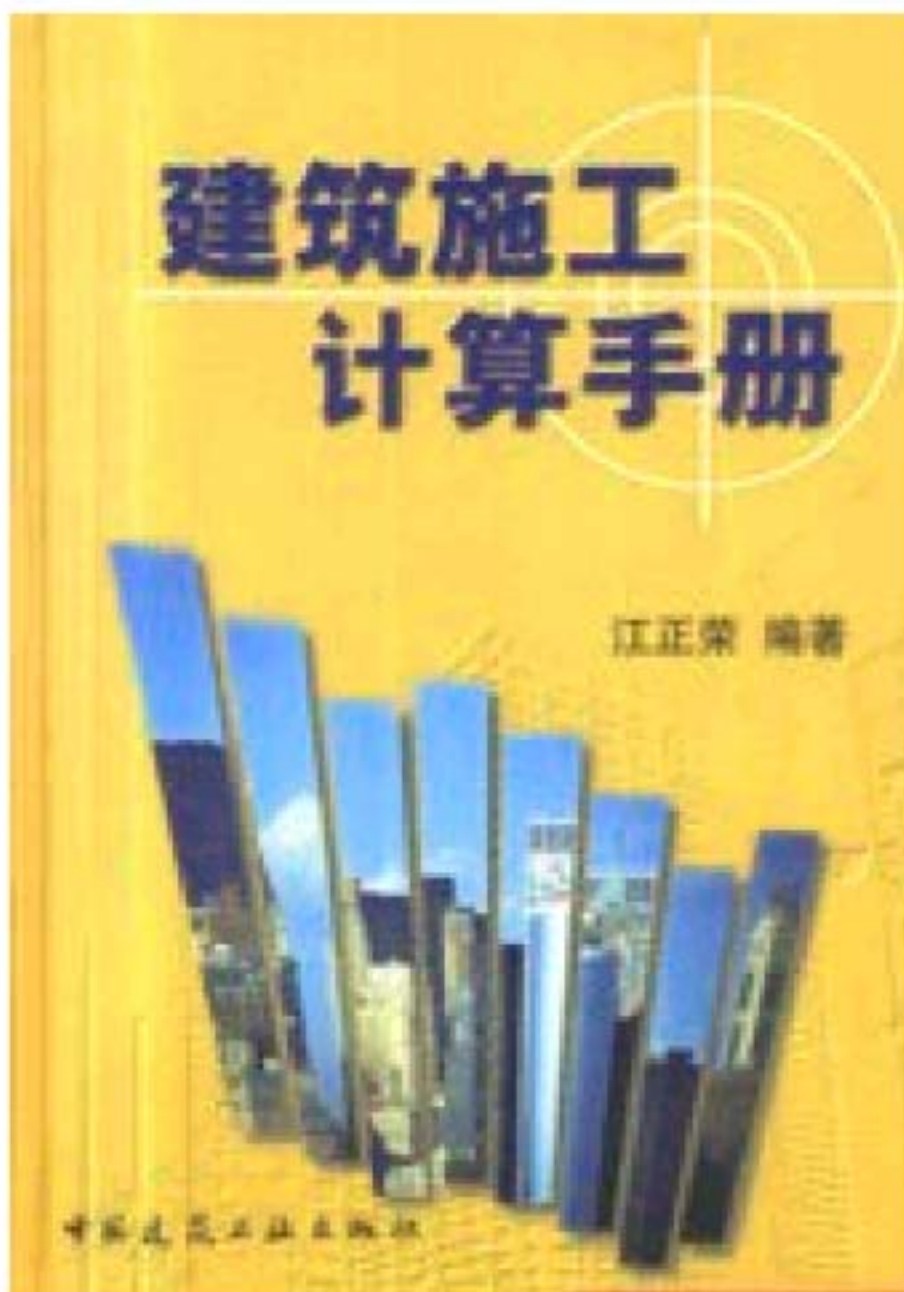


建筑施工计算手册

江正荣



中国建筑工业出版社

4 排 降 水 工 程

4.1 土的渗透系数计算

土的渗透系数是计算基坑和井点涌水量的重要参数，一般在现场做抽水试验确定，根据观测水井周围的地下水位的变化来求渗透系数。具体方法是：在现场设置抽水井（图 4-1），贯穿到整个含水层，并距抽水井 r_1 与 r_2 处设一个或两个观测孔，用水泵匀速抽水，当水井的水面及观测孔的水位大体上呈稳定状态时，根据所抽水的水量 Q 可按下式计算渗透系数 K 值。

设 1 个观测孔时：

$$\begin{aligned} K &= 0.73Q \frac{\lg r_1 - \lg r}{h_1^2 - h^2} \\ &= 0.73Q \frac{\lg r_1 - \lg r}{(2H - S - S_1)(S - S_1)} \end{aligned} \quad (4-1)$$

设 2 个观测孔时：

$$\begin{aligned} K &= 0.73Q \frac{\lg r_2 - \lg r_1}{h_2^2 - h_1^2} \\ &= 0.73Q \frac{\lg r_2 - \lg r_1}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)} \end{aligned} \quad (4-2)$$

式中 K ——渗透系数 (m/d)；

Q ——抽水量 (m^3/d)；

r ——抽水井半径 (m)；

r_1 、 r_2 ——观测孔 1、观测孔 2 至抽水井的距离 (m)；

h ——由抽水井底标高算起完全井的动水位 (m)；

h_1 、 h_2 ——观测孔 1、观测孔 2 的水位 (m)；

S ——抽水井的水位降低值 (m)；

S_1 、 S_2 ——观测孔 1、观测孔 2 的水位降低值 (m)；

H ——含水层厚度 (m)。

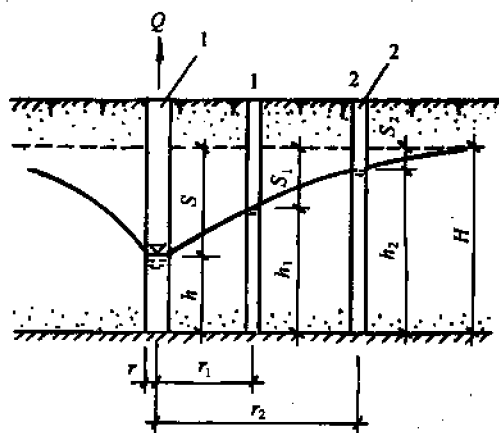


图 4-1 渗透系数计算简图

1—抽水井；2—观测井

当无条件做抽水试验时, 渗透系数 K 值可参考表 4-1 取用。

土的渗透系数

表 4-1

土的名称	渗透系数 K	
	m/d	cm/s
粘土	<0.005	$<6 \times 10^{-6}$
粉质粘土	$0.005 \sim 0.1$	$6 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$
粘质粉土	$0.1 \sim 0.5$	$1 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-4}$
黄土	$0.25 \sim 0.5$	$3 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-4}$
粉土	$0.5 \sim 1.0$	$6 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$
细砂	$1.0 \sim 5$	$1 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3}$
中砂	$5 \sim 20$	$6 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-2}$
均质中砂	$35 \sim 50$	$4 \times 10^{-2} \sim 6 \times 10^{-2}$
粗砂	$20 \sim 50$	$2 \times 10^{-2} \sim 6 \times 10^{-2}$
均质粗砂	$60 \sim 75$	$7 \times 10^{-2} \sim 8 \times 10^{-2}$
圆砾	$50 \sim 100$	$6 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1}$
卵石	$100 \sim 500$	$1 \times 10^{-1} \sim 6 \times 10^{-1}$
无充填物卵石	$500 \sim 1000$	$6 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10$
稍有裂隙岩石	$20 \sim 60$	$2 \times 10^{-2} \sim 7 \times 10^{-2}$
裂隙多的岩石	>60	$>7 \times 10^{-2}$

【例 4-1】 某厂房区降低地下水位需测定其土的渗透系数, 在现场设置抽水井作抽水试验, 抽水井滤管半径为 100mm, 距抽水井 5m 和 10m 各设 1 个观测孔。测得抽水试验稳定后的抽水量 $Q = 200\text{m}^3/\text{d}$, 抽水井的水位降低值 $S = 8\text{m}$, 观测孔 1 的水位降低值 $S_1 = 4.5\text{m}$, 观测孔 2 的水位降低值 $S_2 = 2\text{m}$ 。该地区含水层厚度 $H = 20\text{m}$ 。试求其渗透系数 K 值。

【解】 (1) 求抽水井至观测孔 1 的渗透系数 K_1 :

$$K_1 = 0.73 \times 200 \times \frac{\lg 5 - \lg 0.1}{(2 \times 20 - 8 - 4.5)(8 - 4.5)} = 2.58\text{m/d}$$

(2) 求抽水井至观测孔 2 的渗透系数 K_2 :

$$K_2 = 0.73 \times 200 \times \frac{\lg 10 - \lg 0.1}{(2 \times 20 - 8 - 2)(8 - 2)} = 1.62\text{m/d}$$

(3) 求观测孔 1 至观测孔 2 的渗透系数 K_3 :

$$K_3 = 0.73 \times 200 \times \frac{\lg 10 - \lg 5}{(2 \times 20 - 4.5 - 2)(4.5 - 2)} = 0.52\text{m/d}$$

(4) 最后求得抽水井至观测孔之间的平均渗透系数 K :

$$K = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3} = \frac{2.58 + 1.62 + 0.52}{3} = 1.57\text{m/d}$$

故知该地区土的渗透系数 K 为 1.57m/d。

4.2 场地排水明沟流量计算

场地排水明沟截面通常采用梯形, 受地形限制和岩石地段亦可采用矩形。梯形明沟常用

截面尺寸如图 4-2；边坡值如表 4-2。明沟可挖土（岩石）形成，或在土沟内干铺或浆砌 200～300mm 原毛石（或大卵石）作成。各种构造的明沟的最大流速和粗糙系数如表 4-3。

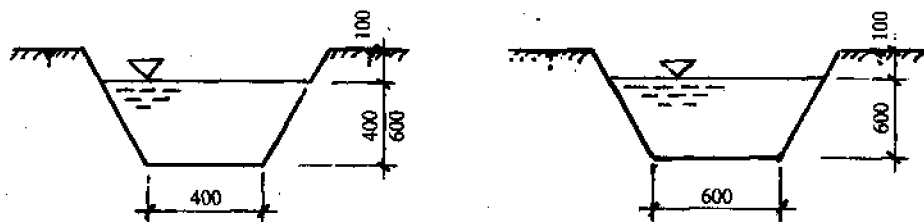


图 4-2 梯形明沟截面尺寸

梯形明沟边坡值

表 4-2

土的类别与铺砌情况	边坡值 1:m
粉 土	1:1.50~1:2.00
粘土、粉质粘土	1:1.25~1:1.50
砾石土、卵石土	1:1.25~1:1.50
半岩性土	1:0.50~1:1.00
风化岩土	1:0.25~1:0.50
岩 石	1:0.10~1:0.25
砖石或混凝土铺砌	1:0.50~1:1.00

明沟最大容许流速和粗糙系数

表 4-3

明 沟 构 造	最大容许流速 (m/s)	粗糙系数 n
细砂、中砂、粉土	0.5~0.6	0.030
粗砂、粉质粘土、粘土	1.0~1.5	0.030
粘土（有草皮护面）	1.6	0.025
软质岩石（石灰岩、砂岩、页岩）	4.0	0.017
干砌毛（卵）石	2.0~3	0.020
浆砌毛（卵）石	3.0~4.0	0.017
混凝土、各种抹面	4.0	0.013
浆砌砖	4.0	0.015
		(0.017)

注：1. 当水深小于 0.4m 或大于 1m 时，表中流速应乘以下列系数： $h < 0.4m$, 0.85； $h \geq 1.0m$, 1.25； $h \geq 2.0m$, 1.40；

2. 最小容许流速不小于 0.4m/s；

3. 明沟通过坡度较大地段，其流速超过表中规定时，应在该地段设置跌水或消力槽；

4. 浆砌砖明沟采用次质砖时 $n = 0.017$ 。

明沟的流量可按以下公式计算：

$$Q = A \cdot v \quad (4-3)$$

其中

$$v = c \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad (4-4)$$

式中 Q ——排水明沟的流量 (m^3/s)；

A ——明沟水流有效面积 (m^2)；

v ——流速 (m/s)；

c ——流速系数，与粗糙系数、水力半径有关，由表 4-4 查得；

R ——水力半径 (m)，即明沟有效面积与明沟湿润边总长度之比值，常用明沟的 R 值见表 4-5；

i ——明沟纵坡度。

流速系数 c 值

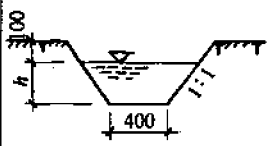
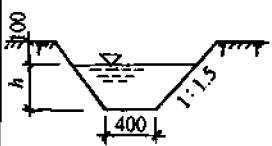
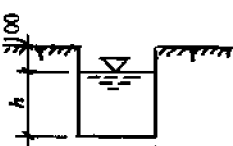
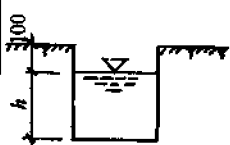
表 4-4

$R \backslash n$	0.013	0.015	0.017	0.020	0.025	0.030
0.10	54.3	45.1	38.1	30.6	22.4	17.3
0.12	55.8	46.5	39.5	32.6	23.5	18.3
0.14	57.2	47.8	40.7	33.0	24.5	19.1
0.16	58.4	48.9	41.8	34.0	25.4	19.9
0.18	59.5	49.8	42.7	34.8	26.2	20.6
0.20	60.4	50.8	43.6	35.7	26.9	21.3
0.22	61.3	51.7	44.4	36.4	27.6	21.9
0.24	62.1	52.5	45.2	37.1	28.3	22.5
0.26	62.9	53.2	45.9	37.8	28.8	23.0
0.28	63.6	54.0	46.5	38.4	29.4	23.5
0.30	64.3	54.6	47.2	39.0	29.9	24.0
0.35	65.8	56.0	48.6	40.3	31.1	25.1
0.40	67.1	57.3	49.8	41.5	32.2	26.0
0.45	68.4	58.4	50.9	42.5	33.1	26.9
0.50	69.5	59.5	51.9	43.5	34.0	27.8
0.55	70.4	60.5	52.8	44.4	34.8	28.5
0.60	71.4	61.4	53.7	45.2	35.5	29.2
0.65	72.2	62.2	54.5	45.9	36.2	29.8
0.70	73.0	63.0	55.2	46.6	36.9	30.4

注： R —水力半径； n —粗糙系数。

常用明沟的水力半径 R 值

表 4-5

水深 h (m)				
0.3	0.17	0.17	0.12	0.15
0.4	0.21	0.22	0.13	0.17
0.5	0.24	0.26	0.14	0.19
0.6	0.29	0.30	0.15	0.20
0.7	0.32	0.35	0.16	0.21
0.8	0.36	0.39	0.16	0.22
0.9	0.40	0.43	0.16	0.23
1.0	0.43	0.47	0.17	0.23
1.1	0.45	0.52	0.17	0.24
1.2	0.51	0.56	0.17	0.24
1.3	0.54	0.60	0.17	0.24
1.4	0.58	0.64	0.18	0.25
1.5	0.62	0.68	0.18	0.25

【例4-2】 场地排水明沟底宽 $b=0.4\text{m}$ ，边坡值为 $1:1$ ，水深 $h=0.6\text{m}$ ，沟内浆铺毛石， $n=0.017$ ，纵坡度 $i=0.5\%$ ，试求明沟的流量。

【解】 由题意知，水流有效面积 $A=0.4\times 0.6+0.6\times 0.6=0.6\text{m}^2$

由表4-4得 $R=0.29$ ；查表4-3得， $c=46.85$ ；

则 流速 $v=46.85 \sqrt{0.29\times 0.005}=1.78\text{m/s}$

流量 $Q=0.6\times 1.78=1.07\text{m}^3/\text{s}$

【例4-3】 场地排水明沟，底宽 $b=0.4\text{m}$ ，其余条件同上例，试计算明沟的流量。

【解】 由题意知：水流有效面积 $A=0.4\times 0.6=0.24\text{m}^2$ ，查表4-5得 $R=0.15$ ；查表4-4得 $c=41.25$

由式(4-4)、式(4-3)得：

流速 $v=41.25 \sqrt{0.15\times 0.005}=1.13\text{m/s}$

则 流量 $Q=0.24\times 1.13=0.27\text{m}^3/\text{s}$

4.3 场地防洪沟流量和截面计算

在山区或丘陵地带建厂或修建住宅区，场地平整应有防洪措施，在周围设置必要的防洪沟，以拦截地面雨水涌入场地，避免造成灾害。

防洪沟一般用土沟，靠自然生长草皮加固边坡，但在弯道、跌水、水流速度超过容许流速等沟段，以及流经房屋和道路侧边的沟段，应用毛石干砌或浆砌适当加固。防洪沟的最大容许流速和粗糙系数见表4-3。

为使防洪沟截面经济合理，防洪沟应分段计算截面，每段长度为 $100\sim 200\text{m}$ ，按每段实际地形情况进行计算。

一、山洪流量计算

山洪流量一般可按以下经验公式计算

$$Q = K \times 6.65A^{0.78} \quad (4-5)$$

式中 Q ——山洪流量 (m^3/s)；

K ——洪水频率模量系数；100年一遇洪水 $K=4.31$ ；50年一遇洪水 $K=3.66$ ；

25年一遇洪水 $K=2.99$ ；20年一遇洪水 $K=2.80$ ；

A ——汇水面积 (1000m^2)。

为简化计算，按式(4-5)山洪流量亦可查表4-6直接求得。

山洪流量 Q 值 (m^3/s)		表 4-6			
A	K	4.31	3.66	2.99	2.80
	100 年	50 年	25 年	20 年	
0.02		1.66	1.41	1.14	1.07
0.04		2.34	2.00	1.61	1.50
0.06		3.24	2.75	2.24	2.10
0.08		4.00	3.40	2.75	2.58
0.1		4.72	4.02	3.27	3.07

续表

A	K	4.31	3.66	2.99	2.80
		100 年	50 年	25 年	20 年
0.2		8.15	7.00	5.62	5.30
0.3		11.20	9.50	7.70	7.25
0.4		14.00	12.00	9.70	9.10
0.5		16.60	14.10	11.50	10.60
0.6		19.20	16.50	13.30	12.50
0.7		21.80	18.50	15.10	14.10
0.8		24.00	20.50	16.70	15.60
0.9		26.40	22.60	18.30	17.20
1.0		28.70	24.30	19.80	18.60
1.1		30.60	26.30	21.20	19.90
1.2		33.00	28.30	22.80	21.50
1.3		35.20	30.20	24.40	22.90
1.4		37.20	31.90	25.70	24.20
1.5		39.20	33.60	27.20	25.50
1.6		41.20	35.20	28.50	26.80
1.7		43.20	37.00	30.00	28.00
1.8		45.00	38.50	31.30	29.50
1.9		47.20	40.30	32.70	30.60
2.0		49.20	42.00	34.00	32.00
2.5		58.50	49.90	40.50	38.00
3.0		68.00	58.00	47.00	44.00
3.5		76.50	65.00	53.00	49.50
4.0		84.00	71.60	58.60	55.00
4.5		93.00	79.00	64.00	60.00
5.0		101.00	86.00	69.00	65.00
5.5		109.00	93.00	75.00	71.00
6.0		116.00	98.00	80.50	75.30
6.5		124.00	105.00	85.00	80.00
7.0		131.00	111.00	91.00	85.00
7.5		138.00	117.00	95.00	89.00
8.0		146.80	124.00	101.00	95.00

二、梯形防洪沟计算

1. 防洪沟的流量 可按下列公式计算 (图 4-3)

$$Q = A \cdot v \quad (4-6)$$

$$v = c \sqrt{Ri} \quad (4-7)$$

式中 Q ——设计流量 (m^3/s);
 A ——过水截面面积 (m^2);
 v ——平均流速 (m/s);
 c ——流速系数,按下式计算:

$$c = \frac{1}{n} R^r$$

n ——粗糙系数,见表4-3;

r ——当 $R < 1$ 时, $r \approx 1.5 \sqrt{n}$;

当 $R > 1$ 时, $r \approx 1.3 \sqrt{n}$;

R ——水力半径,即过水截面面积 (A) 与防洪沟湿润边总长度 X 之比值,即 R

$= \frac{A}{X}$; 对梯形防洪沟 $X = b + 2h \sqrt{1 + m^2} = b + Kh$, $K = 2 \sqrt{1 + m^2}$, 见图

4-3; 对矩形防洪沟 $X = 2h + b$;

i ——沟底纵坡度 (%)。

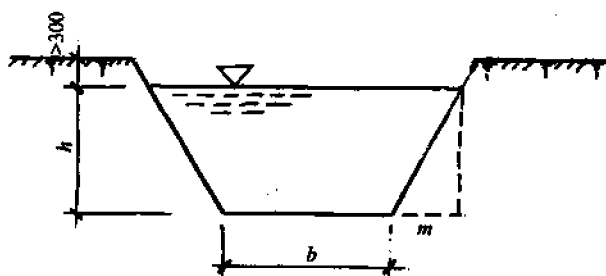


图 4-3 防洪沟计算简图

2. 防洪沟的有效深度 h 和沟底宽度 b 可由下式计算:

$$h = \sqrt{\frac{A}{K - m}} \quad (4-8)$$

$$b = \frac{A}{h} - mh \quad (4-9)$$

式中 m ——边坡值;

A 、 K 符号意义同前。

3. 防洪沟最小过水截面面积计算

$$A = 0.5r + 1.25 \sqrt{\frac{nQ}{\alpha^{r+0.5} \times i^{0.5}}} \quad (4-10)$$

$$\alpha = \frac{1}{2 \sqrt{K - m}} \quad (4-11)$$

r 、 n 、 Q 、 i 、 K 符号意义同前。

三、矩形防洪沟计算

矩形防洪沟的流量 可按下式计算:

$$Q = Av \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4-12)$$

$$A = b \cdot h \quad (\text{m}^2) \quad (4-13)$$

其中

$$v = c \sqrt{Ri} \quad (\text{m/s}) \quad (4-14)$$

$$R = \frac{A}{X}; \quad X = 2h + b \quad (4-15)$$

Q 、 A 、 v 、 b 、 h 、 c 、 R 、 i 、 X 符号意义同前。

【例 4-4】 施工场地汇水面积 $A = 0.5 \text{m}^2$ ，沟底纵向平均坡度 $i = 0.0035$ ，洪水频率按 25 年一遇计算，防洪沟用浆砌块石铺砌，粗糙系数 $n = 0.025$ ，边坡值 $m = 0.5$ ，求防洪沟需用截面尺寸。

【解】 查表 4-6 山洪流量 $Q = 11.5 \text{m}^3/\text{s}$

$$K = 2 \sqrt{1 + 0.5^2} = 2.24$$

$$\alpha = \frac{1}{2 \sqrt{2.24 - 0.025}} = 0.335$$

$$r = 1.5 \sqrt{0.025} = 0.24$$

$$A = 0.5 \times 0.24 + 1.25 \sqrt{\frac{0.025 \times 11.5}{0.335^{0.24+0.5} \times 0.0035^{0.5}}} \\ = 5.0 \text{m}^2$$

$$h = \sqrt{\frac{5.0}{2.24 - 0.5}} = 1.7 \text{m}$$

$$b = \frac{5.0}{1.7} - 0.5 \times 1.7 = 2.1 \text{m}$$

$$R = \frac{5.0}{2.1 + 2.24 \times 1.7} = 0.85$$

$$c = \frac{1}{0.025} \times 0.85^{0.24} = 38.4$$

$$v = 38.4 \sqrt{0.85 \times 0.0035} = 2.09 \text{m/s}$$

v 小于浆砌块石防洪沟的最大容许流速 4m/s 。防洪沟截面尺寸如图 4-4。

按 50 年一遇洪水校核截面：

$$Q = 14.1 \text{m}^3/\text{s}$$

$$A = 0.5 \times 0.24 + 1.25 \sqrt{\frac{0.025 \times 14.1}{0.335^{0.24+0.5} \times 0.0035^{0.5}}} \\ = 5.7 \text{m}^2$$

防洪沟实有过水截面面积：

$$A_1 = \frac{(4.1 + 2.1) \times 2.0}{2} = 6.2 \text{m}^2 > 5.7 \text{m}^2 \quad \text{安全。}$$

【例 4-5】 已知条件同上例，求矩形防洪沟截面尺寸。

【解】 设平均流速 $v = 2 \text{m/s}$

$$A = \frac{11.5}{2} = 5.75 \text{m}^2$$

设

$$h = 2 \text{m} \quad b = \frac{5.75}{2} = 2.8 \text{m}$$

$$R = \frac{5.75}{2 \times 2 + 2.8} = 0.85$$

$$c = \frac{1}{0.025} \times 0.85^{0.24} = 38.4$$

$$v = 38.4 \sqrt{0.85 \times 0.0035} = 2.09 \text{ m/s}$$

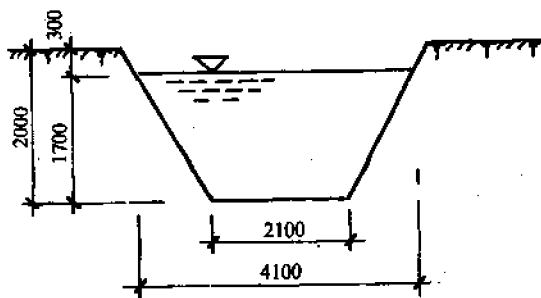


图 4-4 防洪沟截面尺寸

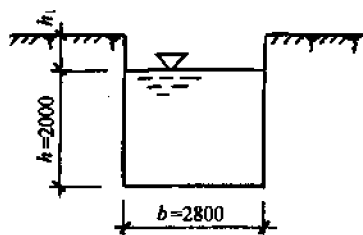


图 4-5 矩形防洪沟截面尺寸

v 小于浆砌块石防洪沟的最大容许流速 4 m/s , 防洪沟截面尺寸如图 4-5。

防洪沟起高 $h_1 = 0.3 \text{ m}$, 按 50 年一遇洪水校核截面:

$$Q = 15.9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{15.9}{2} = 7.95 \text{ m}^2$$

实有过水截面 $A_1 = 2.8 \times 2.3 = 6.44 \text{ m}^2 < 7.95 \text{ m}^2$

即防洪沟实有面积不能通过 50 年一遇洪水量, 必须增加 h_1 再进行校核。

再取 $h_1 = 0.85 \text{ m}$

则 $A_1 = 2.8 \times 2.85 = 7.98 \text{ m}^2 > 7.95 \text{ m}^2$ 可

4.4 基坑明沟排水计算

明沟排水又称表面排水, 它是利用设置在基坑(槽)内(或外)的明沟、集水井和抽水设备, 将地下水从集水井中不断排走, 保持基坑处于干燥状态。排水沟、集水井均在挖至地下水位以前设置。排水沟、集水井应设在基础轮廓线以外, 根据需要在基坑一侧(两侧或三侧)或四侧设置。排水沟边缘应离开坡脚不小于 0.3 m ; 排水沟深度应始终保持比挖土面低 $0.4 \sim 0.5 \text{ m}$; 集水井应比排水沟低 $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$, 并随基坑的挖深而加深, 保持水流畅通, 地下水位始终低于开挖基坑底 0.5 m 以上。一侧设排水沟应设在地下水的上游。

本法施工方便, 设备简单, 降水费用低, 管理维护较易, 应用最为广泛。适用于渗水量不大的粘性土、碎石土、粗砂土地基、中等面积建(构)筑物基坑(槽)的排水。

一、基坑涌水量计算

基坑采用明沟排水, 流入基坑内的渗水量与土的种类、渗透系数、水头、坑底面积等有关, 可通过抽水试验或凭经验估计, 或按大井法估算。按大井法估算, 系把矩形基坑(其长、短边的比值不大于 10)假想为一个半径为 r_0 的圆形大井, 其流入基坑内的涌水量 Q , 为从四周坑壁和坑底流入的水量之和, 可按下式计算:

$$Q = \frac{1.366KS(2H - S)}{\lg \frac{R}{r_0}} + \frac{6.28KSr_0}{1.56 + \frac{r_0}{m_0} \left(1 + 1.185 \lg \frac{R}{4m_0} \right)} \quad (4-16)$$

式中 Q ——基坑总涌水量 (m^3/d);
 K ——土的渗透系数 (m/d);
 S ——抽水时坑内水位下降值 (m);
 H ——抽水前坑底以上的水位高度 (m);
 R ——抽水影响半径 (m), 可按表 4-7 选用;

抽水影响半径 R 值

表 4-7

土的种类	极细砂	细砂	中砂	粗砂	极粗砂	小砾石	中砾石	大砾石
粒径 (mm)	0.05~0.1	0.1~0.25	0.25~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~5.0	5.0~10.0
所占重量 (%)	<70	>70	>50	>50	>50	—	—	—
R (m)	25~50	50~100	100~200	200~400	400~500	500~600	600~1500	1500~3000

r_0 ——引用 (假想) 半径 (m), 对矩形基坑, $r_0 = \eta \frac{a+b}{4}$; 对不规则形基坑, $\frac{a}{b}$

<2~3 时, $r_0 = 0.565A$; $\frac{a}{b} > 2 \sim 3$ 时, $r_0 = u/\pi$;

a 、 b ——矩形基坑的边长 (m);

u ——基坑周长 (m);

A ——基坑面积 (m^2);

η ——系数, 由表 4-8 查得;

系数 η 值

表 4-8

b/a	0	0.2	0.40	0.60	0.80	1.00
η	1.00	1.12	1.14	1.16	1.18	1.18

m_0 ——从坑底到下卧不透水层的距离 (m)。

在选择水泵考虑水泵流量时, 因最初涌水量较稳定涌水量为大, 按式 (4-16) 计算得出的涌水量应增加 10%~20%。

二、水泵功率计算

水泵所需功率 N (kW) 按下式计算:

$$N = \frac{K_0 Q H_0}{75 \eta_1 \cdot \eta_2} \quad (4-17)$$

式中 K_0 ——安全系数, 一般取 2;

Q ——基坑的涌水量 (m^3/d);

H_0 ——包括扬水、吸水以及各种阻力所造成的水头损失在内的总高度 (m);

η_1 ——水泵效率, 一般取 0.40~0.50;

η_2 ——动力机械效率, 一般取 0.75~0.85。

求得 N , 即可选择水泵类型。需用水泵 (容量) 亦可通过试验求得, 在一般面积基坑的集水井, 设置口径 50~200mm 水泵即可。水泵类型的选择: 当涌水量 $Q < 20 \text{m}^3/\text{h}$, 可用膜式水泵、潜水电泵。膜式水泵可排除泥浆水。

常用离心式水泵、泥浆泵、污水泵和潜水电泵的技术性能见表 4-9～表 4-13。

BA 型离心水泵主要技术性能

表 4-9

水泵型号	流量 (m ³ /h)	扬程 (m)	吸程 (m)	电机功率 (kW)	外形尺寸 (mm) (长×宽×高)	重量 (kg)
1 $\frac{1}{2}$ BA-6	11.0	17.4	6.7	1.5	370×225×240	30
2BA-6	20.0	38.0	7.2	4.0	524×337×295	35
2BA-9	20.0	18.5	6.8	2.2	534×319×270	36
3BA-6	60.0	50.0	5.6	17.0	714×368×410	116
3BA-9	45.0	32.6	5.0	7.5	623×350×310	60
3BA-13	45.0	18.8	5.5	4.0	554×344×275	41
4BA-6	115.0	81.0	5.5	55.0	730×430×440	138
4BA-8	109.0	47.6	3.8	30.0	722×402×425	116
4BA-12	90.0	34.6	5.8	17.0	725×387×400	108
4BA-18	90.0	20.0	5.0	10.0	631×365×310	65
4BA-25	79.0	14.8	5.0	5.5	571×301×295	44
6BA-8	170.0	32.5	5.9	30.0	759×528×480	166
6BA-12	10.0	20.1	7.9	17.0	747×490×450	146
6BA-18	162.0	12.5	5.5	10.0	748×470×420	134
6BA-12	280.0	29.1	5.6	40.0	809×584×490	191
6BA-18	285.0	18.0	5.5	22.0	786×560×480	180
6BA-25	270.0	12.7	5.0	17.0	779×512×480	143

B 型离心水泵主要技术性能

表 4-10

水泵型号	流量 (m ³ /h)	扬程 (m)	吸程 (m)	电机功率 (kW)	重量 (kg)
1 $\frac{1}{2}$ B-17	6~14	20.3~14.0	6.6~6.0	1.5	17.0
2B-31	10~30	34.5~24.0	8.2~5.7	4.0	37.0
2B-19	11~25	21.0~16.0	8.0~6.0	2.2	19.0
3B-19	32.4~52.2	21.5~15.6	6.2~5.0	4.0	23.0
3B-33	30~55	35.5~28.8	6.7~3.0	7.5	40.0
3B-57	30~70	62.0~44.5	7.7~4.7	17.0	70.0
4B-15	54~99	176~10.0	5.0	5.5	27.0
4B-20	65~110	22.6~17.1	5.0	10.0	51.6
4B-35	65~120	37.7~28.0	6.7~3.3	17.0	48.0
4B-54	70~120	59.0~430	5.0~3.5	30.0	78.0
4B-91	65~135	98.0~72.5	7.1~40.0	55.0	89.0
6B-13	126~187	14.3~9.6	5.9~5.0	10.0	88.0
6B-20	110~200	22.7~17.1	8.5~7.0	17.0	104.0
6B-33	110~200	36.5~29.2	6.6~5.2	30.0	117.0
8B-13	216~324	14.5~11.0	5.5~4.5	17.0	111.0
8B-18	220~360	20.0~14.0	6.2~5.0	22.0	—
8B-29	220~340	32.0~25.4	6.5~4.7	40.0	139.0

泥浆泵主要技术性能

表 4-11

泥浆泵型号	流量 (m ³ /h)	扬程 (m)	电机功率 (kW)	泵口径 (mm)		外形尺寸 (m) (长×宽×高)	重 量 (kg)
				吸入口	出 口		
3PN	108	21	22	125	75	0.76×0.59×0.52	450
3PNL	108	21	22	160	90	1.27×5.1×1.63	300
4PN	100	50	75	75	150	1.49×0.84×1.085	1000
2 $\frac{1}{2}$ NWL	25~45	5.8~3.6	1.5	70	60	1.247 (长)	61.5
3NWL	55~95	9.8~7.9	3	90	70	1.677 (长)	63
BW600/30	(600)	300	38	102	64	2.106×1.051×1.36	1450
BW200/30	(200)	300	13	75	45	1.79×0.695×0.865	578
BW200/40	(200)	400	18	89	38	1.67×0.89×1.6	680

注：流量一栏的括号中数量单位为 L/min。

污水泵主要技术性能

表 4-12

污水泵型号	流 量 (m ³ /h)	扬 程 (m)	吸 程 (m)	电机功率 (kW)	转 速 (r/min)	重 量 (kg)
2 $\frac{1}{2}$ PW	43~108	48~39	7~4.5	22	2940	65
2 $\frac{1}{2}$ PW	43~108	34~29	6~5	13	2920	65
2 $\frac{1}{2}$ PW	36~72	11~9	7.5~7.0	4	1440	65
2 $\frac{1}{2}$ PW	5.6	8.7	5.5	4	1450	65
4PW	108~180	27~24	7.8~7.0	30	1460	125
4PW	72~120	12~10	7.0~5.5	7.5	950	125

潜水泵主要性能

表 4-13

型 号	流 量 (m ³ /h)	扬 程 (m)	电机功率 (kW)	转 速 (r/min)	电 流 (A)	电 压 (V)
QY-3.5	100	3.5	2.2	2800	6.5	380
QY-7	65	7	2.2	2800	6.5	380
QY-15	25	15	2.2	2800	6.5	380
QY-25	15	25	2.2	2800	6.5	380
JQB-1.5-6	10~22.5	28~20	2.2	2800	5.7	380
JQB-2-10	15~32.5	21~12	2.2	2800	5.7	380
JQB-4-31	50~90	8.2~4.7	2.2	2800	5.7	380
JQB-5-69	80~120	5.1~3.1	2.2	2800	5.7	380
7.5JQB8-97	288	4.5	7.5	—	—	380
1.5JQB2-10	18	14	1.5	—	—	380
2Z ₆	15	25	4.0	—	—	380
JTS-2-10	25	15	2.2	2900	5.4	—

注：JQB-1.5-6、JQB-5-69、1.5JQB-10 的重量分别为 55、45、43kg。

【例 4-6】 写字楼工程基坑采用明沟排水，基坑长 20m、宽 10m、深 6.0m，已知地

下水位深 1.0m, $K=1.25\text{m/d}$, $R=75\text{m}$, $m_0=8\text{m}$, $H_0=12\text{m}$, $K_0=2$, $\eta_1=0.45$, $\eta_2=0.8$, 试求基坑内总涌水量和需用水泵功率。

【解】 抽水前水位高度 $H=6-1=5\text{m}$

$$S=5.0+0.5=5.5\text{m}$$

$$\frac{b}{a}=\frac{10}{20}=0.5, \text{查表 4-8 得 } \eta=1.15$$

$$r_0=1.15 \times \frac{(20+10)}{4}=8.6\text{m}$$

由式 (4-16) 基坑总涌水量为:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1.366 \times 1.25 \times 5.5(2 \times 5 - 5.5)}{\lg \frac{75}{8.6}} + \frac{6.28 \times 1.25 \times 5.5 \times 8.6}{1.56 + \frac{8.6}{8} \left(1 + 1.185 \lg \frac{75}{4 \times 8} \right)} \\ &= 44.93 + 119.00 \\ &= 163.9\text{m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

水泵需用功率 由式 (4-17) 得:

$$N = \frac{2 \times 163.9 \times 12}{75 \times 0.45 \times 0.8} = 145.7\text{kW}$$

4.5 基坑涌水量计算

基坑开挖, 当基坑底为一般碎石土、砂类土, 并处于干河床时, 其总涌水量 $Q (\text{m}^3/\text{d})$ 可按式计算:

$$Q = \frac{1.36KH^2}{\lg(R+r_0) - \lg r_0} \quad (4-18)$$

式中 K ——渗透系数 (m/d);

H ——稳定水位至设计基坑底的深度 (m), 当基底以下为深厚透水层时, H 值可酌加 3~4m, 以保安全;

R ——影响半径 (m), 当为不均匀的粗粒、中粒和细粒砂, $K=5\sim 6\text{m/d}$ 时, $R=80\sim 150\text{m}$; 当为碎石、卵石类土层, 混有大量细颗粒, $K=20\sim 60\text{m/d}$ 时, $R=100\sim 200\text{m}$; 当为碎石、卵石类地层, 无细颗粒混杂, 均匀的粗砂和中砂, $K=20\sim 60\text{m/d}$ 时, $R=150\sim 250\text{m}$;

r_0 ——引用基坑半径 (m), 对矩形基坑, $r_0=u \frac{L+B}{4}$; 形状不规则时, $r_0=\sqrt{\frac{F}{\pi}}$;

L 、 B 、 F ——分别为基坑的长、宽 (m) 和面积 (m^2);

u ——系数, 当 $\frac{B}{L}=0.1\sim 0.2$, $u=1.0$; $\frac{B}{L}=0.3$, $u=1.12$; $\frac{B}{L}=0.4$, $u=1.16$; $\frac{B}{L}=0.6\sim 1.0$, $u=1.18$ 。

【例 4-7】 在不均匀的砂层上开挖底面积 $8\text{m} \times 4.8\text{m}$ 、深 10m 的基坑, 已知砂层渗透系数 $K=15\text{m/d}$, 地下水位深 1.0m, 试计算基坑总涌水量。

【解】 由题意所给地质资料已知, $K=15\text{m/d}$, 得知 $R=100\text{m}$

因为 $\frac{B}{L} = 4.8/8 = 0.6$, 所以 $u = 1.18$ 。

引用基坑半径

$$r_0 = u \frac{L+B}{4} = \frac{1.18(8+4.8)}{4} = 3.78\text{m}$$

$$H = 10 - 1 + 4 = 13\text{m}$$

将上述数据代入公式 (4-18) 得

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1.36KH^2}{\lg(R+r_0) - \lg r_0} \\ &= \frac{1.36 \times 15 \times 13^2}{\lg(10.0+3.78) - \lg 3.78} \\ &= 2394.2(\text{m}^3/\text{d}) = 99.8(\text{m}^3/\text{h}) \end{aligned}$$

因此, 基坑总涌水量为 $99.8\text{m}^3/\text{h}$ 。

4.6 基坑产生流砂及动水压力分析与计算

当基坑(槽)开挖深于地下水位 0.5m 以下, 采用坑内抽水时, 坑(槽)底下土产生流动状态, 随地下水一起涌进坑内, 边挖、边冒, 无法挖深的现象称为“流砂”。发生流砂时, 土完全丧失承载力, 非但使施工条件恶化, 而且流砂严重时, 会引起基坑边坡塌方, 附近建(构)筑物会因地基被掏空而下沉、倾斜, 甚至倒塌。

流砂产生与动水压力有密切关系, 如图 4-6a。

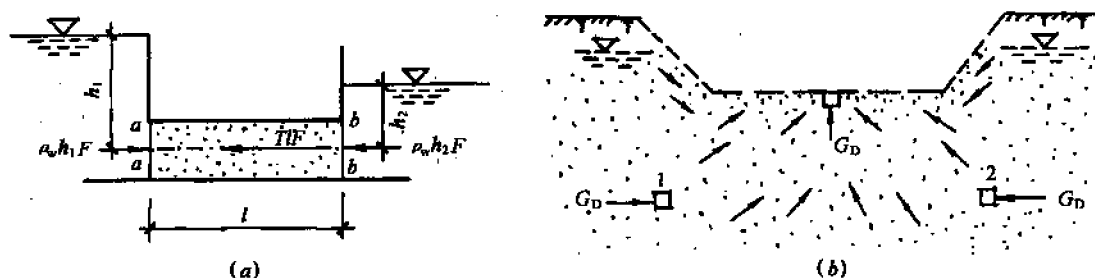


图 4-6 动水压力原理图

(a) 水在土中渗流时的力学现象; (b) 动水压力对地基的影响

水在土中渗流时, 受到土颗粒的阻力, 水对土颗粒则产生一个压力, 这个压力叫动水压力 G_D 。

水在土中渗流时, 作用在土体上的力由静力平衡得:

$$\rho_w \cdot h_1 \cdot F - \rho_w \cdot h_2 \cdot F - T \cdot l \cdot F = 0$$

则得
$$T = \frac{h_1 - h_2}{l} \cdot \rho_w$$

由于
$$G_D = T$$

∴
$$G_D = \frac{h_1 - h_2}{l} \rho_w \quad (4-19)$$

$$\text{因 水力坡度 } I = \frac{h_1 - h_2}{l} \quad (4-20)$$

$$\text{式 (4-19) 亦可写成 } G_D = I\rho_w \quad (4-21)$$

式中 G_D ——动水压力 (t/m^3);

ρ_w ——水的密度 (t/m^3);

l ——水在土中渗流截面间的距离 (m);

h_1 、 h_2 ——水在土中渗流距离为 l 的两端水位 (头) (m);

F ——水渗流的截面积 (m^2);

T ——单位土体阻力 (t/m^3); 与 G_D 大小相等, 方向相反;

ρ' ——土的浸水密度 (t/m^3)。

由式 (4-19) 知, 动水压力与水位差 $h_1 - h_2$ 成正比; 而与水在土中所经路程 l 成反比; 动水压力的作用方向与水流方向相同。

如图 4-6b 当渗流从下向上, 动水压力与重力作用相反, 如动水压力等于或大于土的浸水密度时, 即 $G_D \geq \rho'$, 土颗粒便会悬浮失去稳定, 变成流动状态, 被水流带到基坑内, 从而发生流砂现象。

流砂处理主要措施是“减小或平衡动水压力”或“使动水压力向下”, 使坑底土粒稳定, 不受水压干扰。

常用处理措施方法有:

1. 安排在全年最低水位季节施工, 使基坑内动水压减小。
2. 采取水下挖土 (不抽水或少抽水), 使坑内水压与坑外地下水压相平衡或缩小水头差。
3. 采用井点降水, 使水位降至基坑底 0.5m 以下, 使动水压力减小和方向朝下, 坑底土面保持无水状态。
4. 沿基坑外围四周打板桩, 深入坑底下面一定深度, 增加地下水从坑外流入坑内的渗流路线和减少渗水量, 减小动水压力。
5. 采用化学压力注浆或高压水泥注浆, 固结基坑周围粉砂层使形成防渗帷幕。
6. 往坑底抛大石块, 增加土的压重和减小动水压力, 同时组织快速施工。
7. 当基坑面积较小, 也可采取在四周设钢板护筒, 随着挖土不断加深, 直到穿过流砂层。

4.7 轻型井点降水计算

轻型井点降水系在工程外围竖向埋设一系列井点管深入含水层内, 以连接管与集水总管连接, 再与真空泵和离心水泵相连, 进行抽水, 使地下水位降低到基坑底以下。主要机具设备由井点管、连接管、集水总管及抽水设备等组成。本法具有机具设备较简单, 使用灵活, 装拆方便, 降水效果好, 可防止流砂发生, 提高边坡稳定, 降水费用较低等优点。适用于渗透系数为 $0.1 \sim 5.0m/d$ 的土以及土中含有大量的细砂和粉砂的土, 或明沟排水易引起流砂和塌方等情况使用。

一、井点布置及埋置深度

根据基坑平面形状与大小、地质和水文情况、工程性质、降水深度等而定。当基坑(槽)宽度小于6m,且降水深度不超过6m时,可采用单排井点,布置在地下水上游一侧;当大于6m或土质不良、渗透系数较大时,宜采用双排井点,布置在基坑(槽)的两侧;当基坑面积较大时,宜采用环形井点。挖土运输设备出入道可不封闭,间距可达4m,宜留在地下水下游方向。井点管距坑壁不应小于1.0~1.5m,间距一般为0.8~1.6m,最大可达2.0m。集水总管标高宜尽量接近地下水位线,并沿抽水水流方向有0.25%~0.5%的上仰坡度。

井点管的埋置深度应根据降水深度及含水层所在位置决定,一般必须将滤水管埋入含水层内,并且比开挖基坑(沟、槽)底深0.9~1.2m以上。井点管的埋置深度一般可按下式计算(图4-7):

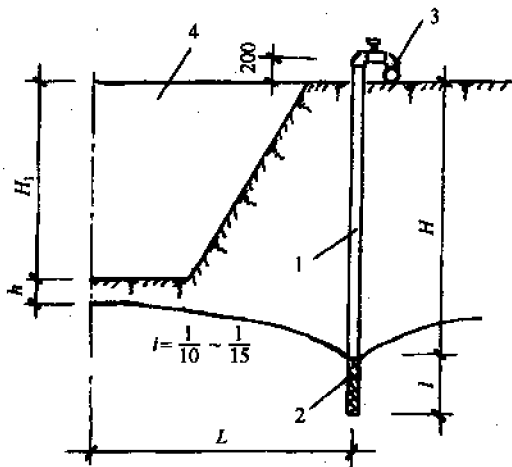


图4-7 轻型井点高程布置

1—井点管；2—滤水管；3—总管；4—基坑

$$H \geq H_1 + h + iL + l \quad (4-22)$$

式中 H ——井点管的埋置深度(m);

H_1 ——井点管埋设面至基坑底面的距离(m);

h ——基坑中央最深挖掘面至降水曲线最高点的距离(m),一般为0.5~1.0m,人工开挖取下限,机械开挖取上限;

L ——井点管中心至基坑中心短边距离(m);

i ——降水曲线坡度,与土的渗透系数、地下水流量等因素有关,根据扬水试验和工程实测经验确定。对环状或双排井点可取1/10~1/15;对单排线状井点可取1/4~1/5;环状降水外取1/8~1/10;

l ——滤水管长度(m)。

H 计算出后,为安全计,再增加1/2滤管长度。井点管露出地面高度,一般取0.2~0.3m。

二、井点计算

轻型井点计算的主要内容包括:根据确定的井点系统的平面和竖向布置图计算单井井点涌水量和群井(井点系统)涌水量,确定井点管数量和间距,校核水位降低数值,选择抽水系统(抽水机组、管路)的类型、规格和数量以及进行井点管的布置等。井点计算由于受水文地质和井点设备效率等多种因素的影响,计算结果只是近似的,对重要工程,其计算结果应经现场试验进行修正。

(一) 涌水量计算

井点系统涌水量是以水井理论为依据的。水井根据其井底是否达到不透水层分为完整

井与非完整井。井底到达不透水层的称完整井；井底未到达不透水层的称非完整井。根据地下水有无压力又分为：水井布置在两层不透水层之间充满水的含水层内，地下水有一定的压力的称为承压井；水井布置在无压力的潜水层内的，称为无压井。其中以无压完整井的理论较为完善，应用较普遍。

1. 无压完整井井点系统涌水量计算

(1) 无压完整井单井涌水量

按下式计算（图 4-8）：

$$Q = 1.366K \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg r} \quad (4-23)$$

式中 Q ——单井涌水量 (m^3/d)；

K ——渗透系数 (m/d)；

H ——含水层厚度 (m)；

R ——抽水影响半径 (m)；

S ——水位降低值 (m)；

r ——井点的半径 (m)。

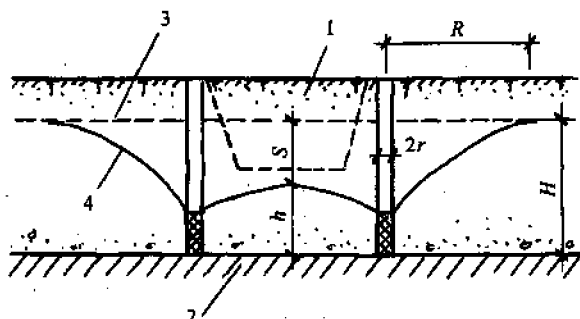


图 4-8 无压完整井涌水量计算简图

1—基坑；2—不透水层；3—原水位线；4—降低后水位

(2) 无压完整井群井井点（即环形井点系统）涌水量 可用下式计算：

$$Q = 1.366K \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg x_0} \quad (4-24)$$

式中 x_0 ——基坑的假想半径 (m)，对于矩形基坑，当其长宽比不大于 5 时，可将其化成一个假想半径为 x_0 的圆形井，按下式计算：

$$x_0 = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (4-25)$$

其中 A ——基坑井点管所包围的平面面积 (m^2)；

其他符号意义同上式。

上式 R 、 K 需预先确定。

1) 抽水影响半径 R 一般做现场井点抽水试验确定。井点系统抽水后，地下水受到影响而形成降落曲线，降落曲线稳定时的影响半径，即为计算用的抽水影响半径 R 。抽水影响半径，亦可用下式进行计算：

$$R = 1.95S \sqrt{HK} \quad (4-26)$$

式中 S 、 H 、 K 的符号意义同前。

2) 渗透系数 K 值 可根据地质报告提供数值，或参考表 4-1 所列数值，或通过现场抽水试验（参见“4.1 土的渗透系数计算”一节）。

2. 无压非完整井井点系统涌水量计算

为简化计算，一般仍用无压完整井群井涌水量计算公式，但式中的 H 换成有效带深度 H_0 （图 4-9）， H_0 值可根据表 4-14 确定，涌水量按下式计算：

$$Q = 1.366K \frac{(2H_0 - S)S}{\lg R - \lg x_0} \quad (4-27)$$

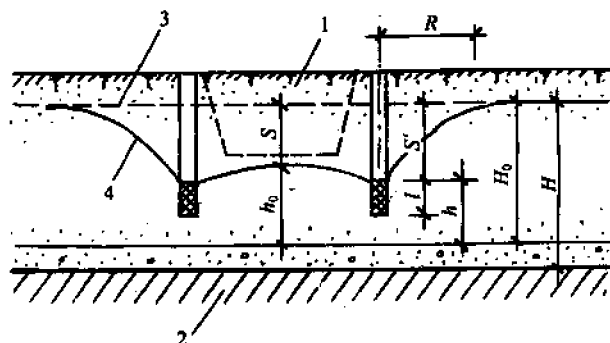


图 4-9 无压非完整井涌水量计算简图

1—基坑；2—不透水层；3—原水位线；4—降低后水位

H_0 值				表 4-14
$S'/(S'+l)$	0.2	0.3	0.5	0.8
H_0	$1.3(S'+l)$	$1.5(S'+l)$	$1.7(S'+l)$	$1.85(S'+l)$

上式经佛尔赫格麦尔试验，考虑地下潜水从井的侧面和底面同时渗入，修正如下式：

$$Q = 1.366K \frac{(2H_0 - S)S}{\lg R - \lg x_0} \cdot \sqrt{\frac{h_0 + 0.5r}{h_0}} \cdot \sqrt{\frac{2h_0 - l}{h_0}} \quad (4-28)$$

式中符号意义见图 4-9。

3. 承压完整井井点系统的涌水量计算 (图 4-10)

承压完整井涌水量按下式计算：

$$Q = 2.73K \frac{MS}{\lg R - \lg x_0} \quad (4-29)$$

式中符号意义见图 4-10。

4. 承压非完整井井点系统的涌水量计算 (图 4-11)

承压非完整井涌水量按下式计算：

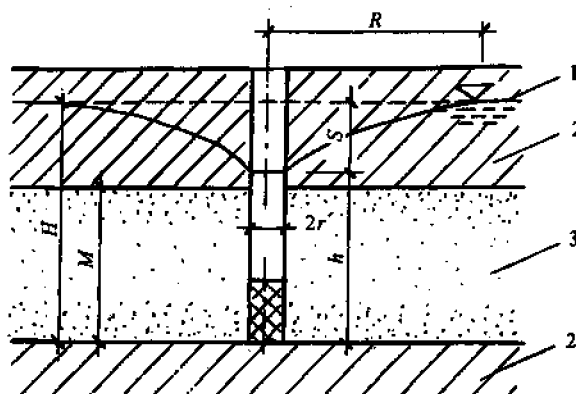


图 4-10 承压完整井涌水量计算简图

1—承压水位；2—不透水层；3—含水层

$$Q = 2.73K \frac{MS}{\lg R - \lg x_0} \sqrt{\frac{M}{1 + 0.5r}} \sqrt{\frac{2M - 1}{M}} \quad (4-30)$$

(二) 确定井点管的数量与间距

1. 井点管需要根数 可按下式计算：

$$n = 1.1 \frac{Q}{q} \quad (4-31)$$

式中 n ——井点管的根数；

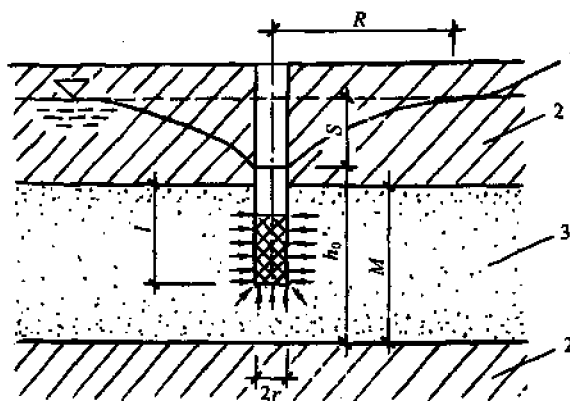


图 4-11 承压非完整井涌水量计算简图

1—承压水位；2—不透水层；3—含水层

 Q ——井点系统涌水量 (m^3/d)； q ——单根井点管的出水量 (m^3/d)，按下式计算：

$$q = 65\pi dl \cdot \sqrt[3]{K}$$

其中 d ——滤管的直径 (m)； l ——滤管的长度 (m)； K ——渗透系数 (m/d)；

1.1——考虑井点管堵塞等因素的备用系数。

2. 井点管的间距 可按下式计算：

$$D = \frac{2(L+B)}{n} \quad (4-32)$$

式中 D ——井点管的平均间距 (m)； L 、 B ——矩形井点系统的长度和宽度 (m)。求出的井点管间距应大于 $15d$ (因井点太密将会影响抽水效果)，并应符合总管接头的间距 (800、1200、1600mm) 要求。

(三) 校核水位的实际降低数值

井点数量确定后，尚应根据下式校核所采用的布置方式是否能将地下水位降低到规定的标高，即 h 是否不小于规定的数值，按下式计算：

$$S = H - h \quad (4-33)$$

$$h = \sqrt{H^2 - \frac{Q}{1.366K} \left[\lg R - \frac{1}{n} \lg(x_1 x_2 \cdots x_n) \right]} \quad (4-34)$$

如果各井点设在一个圆周上，则 $x_1 = x_2 = x_3 \cdots = x_n = x_0$ ，即等于圆的半径，代入上式，则得：

$$h = \sqrt{H^2 - \frac{Q}{1.366K} (\lg R - \lg x_0)} \quad (4-35)$$

式中 h ——滤管外壁处或坑底任意点的动水位高度 (m)，对完整井算至井底，对不完整井算至有效带深度； x_1 、 $x_2 \cdots x_n$ ——所核算的滤管外壁或坑底任意点至各井点管的水平距离 (m)；

n ——井点管数量。

S 、 H 、 Q 、 K 、 R 符号意义同前。

(四) 选择抽水设备

一般按涌水量、渗透系数、井点管数量与间距、降水深度及需用水泵功率等综合数据来选定水泵的型号(包括流量、扬程、吸程等)。水泵需用功率计算参见“4.4 基坑明沟排水计算”一节。

常用设备有真空泵、射流泵、离心式水泵等,其性能见表 4-15~表 4-17 以及表 4-9 和表 4-13 可供参考。

真空泵型轻型井点系统设备规格与技术性能

表 4-15

名 称	数 量	规格与技术性能
往复式真空泵	1 台	V ₃ 型(W ₈ 型)或 V ₆ 型;生产率 4.4m ³ /min;真空度 100kPa,电动机功率 5.5kW,转速 1450r/min
离心式水泵	2 台	B 型或 BA 型;生产率 20m ³ /h;扬程 25m,抽吸真空高度 7m,吸口直径 50mm,电动机功率 2.8kW,转速 2900r/min
水泵机组配件	1 套	井点管 100 根,集水总管直径 75~100mm,每节长 1.6~4.0m,每套 29 节,总管上节管间距 0.8m,接头弯管 100 根;冲射管用冲管 1 根;机组外形尺寸 2600mm×1300mm×1600mm,机组重 1500kg

注:1. 地下水位降低深度为 5.5~6.5m;

2. 离心式水泵数量为一台备用。

φ50 型射流泵轻型井点设备规格及技术性能

表 4-16

名 称	型号及技术性能	数 量	备 注
离心泵	3BL-9, 流量 45m ³ /h, 扬程 32.5m	1 台	供给工作水
电动机	JO ₂ -42-2, 功率 7.5kW	1 台	水泵的配套动力
射流泵	喷嘴 φ50mm, 空载真空度 100kPa, 工作水压 0.15~0.3MPa, 工作水流 45m ³ /h 生产率 10~35m ³ /h	1 个	形成真空
水 箱	1100×600×1000mm	1 个	循环用水

注:每套设备带 9m 长井点 25~30 根,间距 1.6m,总长 180m,降水深 5~6m。

φ400mm 真空压力型隔膜泵技术性能

表 4-17

型 号	隔膜数量 (根)	隔膜频率 (次/min)	隔膜行程 (mm)	电机功率 (kW)	真空度 (kPa)	压 力 (MPa)	工作流量 (m ³ /h)
φ400mm	2	58	90	3.0	93.3~100	0.1~0.2	10

【例 4-8】 某商住楼工程地下室基坑平面尺寸如图 4-12, 基坑底宽 10m, 长 19m, 深 4.1m, 挖土边坡为 1:0.5。地下水深为 0.6m, 根据地质勘察资料, 该处地面下 0.7m 为杂填土, 此层下面有 6.6m 的细砂层, 土的渗透系数 $K = 5\text{m/d}$, 再往下为不透水的粘土层, 现采用轻型井点设备进行人工降低地下水位, 机械开挖土方, 试对该轻型井点系统进行设计计算。

【解】 (1) 井点系统的布置

该基坑顶部平面尺寸为 14m×23m, 布置环状井点, 井点管离边坡 0.8m, 要求降水深度 $S = 4.10 - 0.6 + 0.50 = 4.00\text{m}$, 故用一级轻型井点系统即可满足要求, 总管和井点

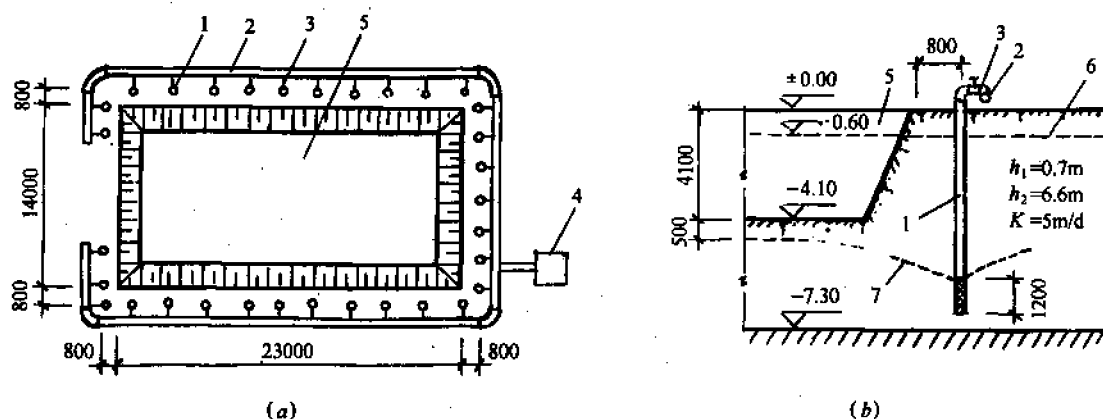


图 4-12 轻型井点布置计算实例

(a) 井点管平面布置; (b) 高程布置

1—井点管; 2—集水总管; 3—弯连管; 4—抽水设备; 5—基坑; 6—原地下水位线; 7—降低后地下水位线

布置在同一水平面上。

由井点系统布置处至下面一层不透水粘土层的深度为 $0.7 + 6.6 = 7.3\text{m}$ ，设井点管长度为 7.2m （井管长 6m ，滤管长 1.2m ），故滤管底距离不透水粘土层只差 0.1m ，可按无压完整井进行设计和计算。

(2) 基坑总涌水量计算

含水层厚度: $H = 7.3 - 0.6 = 6.7\text{m}$

降水深度: $S = 4.1 - 0.6 + 0.5 = 4.0\text{m}$

基坑假想半径: 由于该基坑长宽比不大于 5，所以可化简为一个假想半径为 x_0 的圆井进行计算:

$$x_0 = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{(14 + 0.8 \times 2)(23 + 0.8 \times 2)}{3.14}} = 11\text{m}$$

抽水影响半径:

$$R_0 = 1.95S \sqrt{HK} = 1.95 \times 4 \sqrt{6.7 \times 5} = 45.1\text{m}$$

基坑总涌水量按公式 (4-24) 计算:

$$Q = 1.366K \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg x_0} = 1.366 \times 5 \times \frac{(2 \times 6.7 - 4) \times 4}{\lg 45.1 - \lg 11} = 419\text{m}^3/\text{d}$$

(3) 计算井点管数量和间距

单井出水量:

$$q = 65\pi dl \cdot \sqrt[3]{K} = 65 \times 3.14 \times 0.05 \times 1.2 \times \sqrt[3]{5} = 20.9\text{m}^3/\text{d}$$

需井点管数量:

$$n = 1.1 \frac{Q}{q} = 1.1 \times \frac{419}{20.9} = 22 \text{ 根}$$

在基坑四角处井点管应加密，如考虑每个角加 2 根井管，则采用的井点管数量为 $22 + 8 = 30$ 根，井点管间距平均为:

$$D = \frac{2(24.6 + 15.6)}{30 - 1} = 2.77\text{m}, \text{取 } 2.4\text{m}$$

布置时,为使机械挖土有开行路线,宜布置成端部开口(即留3根井点管距离),因此实际需要井点管数量为:

$$n = \frac{2(24.6 + 15.6)}{2.4} - 2 = 31.5 \text{ 根} \quad \text{用 32 根}$$

(4) 校核水位降低数值

由公式(4-35)得:

$$\begin{aligned} h &= \sqrt{H^2 - \frac{Q}{1.366K}(\lg R - \lg x_0)} \\ &= \sqrt{6.7^2 - \frac{419}{1.366 \times 5}(\lg 45.1 - \lg 11)} \\ &= 2.7\text{m} \end{aligned}$$

实际可降低水位:

$$S = H - h = 6.7 - 2.7 = 4.0\text{m}$$

与需要降低水位数值4.0m相符,故布置可行。

4.8 喷射井点降水计算

喷射井点降水是在井点管内部装设特制的喷射器,用高压水泵或空气压缩机通过井点管中的内管向喷射器输入高压水(喷水井点)或压缩空气(喷气井点),形成水气射流,将地下水经井点外管与内管之间的间隙抽出排走。本法由于具有设备较简单,排水强度大(可达8~20m),比使用多层轻型井点降水设备少,基坑土方开挖量节省,施工速度快,费用低等特点,应用较为广泛。

一、井点布置

喷射井点管布置、井点管的埋设等与轻型井点相同。基坑面积较大时,采用环形布置;基坑宽度小于10m时,采用单排线型布置;大于10m时作双排布置。井点间距一般为2.0~3.5m;采用环形布置,施工设备进出口(道路)处的井点间距为5~7m;冲孔直径为400~600mm,深度比滤管底深1m以上。

二、井点计算

喷射井点的涌水量计算及确定井点管数量和间距、抽水设备等均与轻型井点相同。

三、水泵工作水需用压力计算

喷射井点水泵工作水需用压力按下式计算:

$$P = \frac{P_0}{\alpha} \quad (4-36)$$

式中 P ——水泵工作水压力 (m);

P_0 ——扬水高度,即水箱至井管底部的总高度 (m);

α ——扬水高度与喷嘴前面工作水头之比。

4.9 电渗井点降水计算

电渗井点降水是在轻型井点或喷射井点管的内侧加设电极,通以直流电,利用粘土的

电渗现象和电泳特性,使渗透系数较小 ($K < 0.1\text{m/d}$) 的粘土空隙中的水流动加速,从而使地基排水效率得到提高。

一、构造及布置

电渗井点一般是利用轻型或喷射井点管本身作阴极;沿基坑(槽、沟)外围布置,用直径 $50 \sim 70\text{mm}$ 钢管或直径 25mm 以上钢筋作阳极,埋设在井点管环圈内侧 1.25m 处,上端露出地面 $20 \sim 40\text{cm}$,入土深度比井点管深 50cm 。阴阳极间距:对轻型井点为 $0.8 \sim 1.0\text{m}$;对喷射井点为 $1.2 \sim 1.5\text{m}$,并成平行交错排列;阴阳极数量应相等,必要时阳极数量可多于阴极;阴阳极分别用 BX 型钢芯橡皮线或扁钢、钢筋等连成通路,并分别接到直流发电机的相应电极上,如图 4-13 所示。一般可用 $9.6 \sim 20\text{kW}$ 的直流电焊机代替直流发电机使用;工作电压为 45V 或 60V ,土中电流密度为 $0.5 \sim 1.0\text{A/m}^2$ 。为减少电耗,可在阳极上部涂以沥青绝缘。

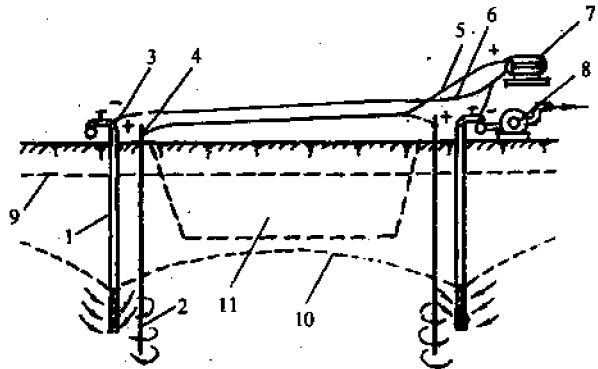


图 4-13 电渗井点构造与布置

- 1—阴极(轻型或喷射井点管); 2—阳极(钢管或钢筋);
- 3—连接阴极电线(或扁钢); 4—连接阳极钢筋或电线;
- 5—阳极与发电机连接电线; 6—阴极与发电机连接电线;
- 7—直流发电机(或直流电焊机); 8—水泵; 9—原地下水位线;
- 10—降低后地下水位线; 11—基坑

二、电渗井点计算

电渗井点的计算(以电渗喷射井点为例,电渗轻型井点基本相同),内容包括以下几项:

1. 总吸水量计算

电渗井点总吸水量可按潜流完整井(图 4-14)用下式计算:

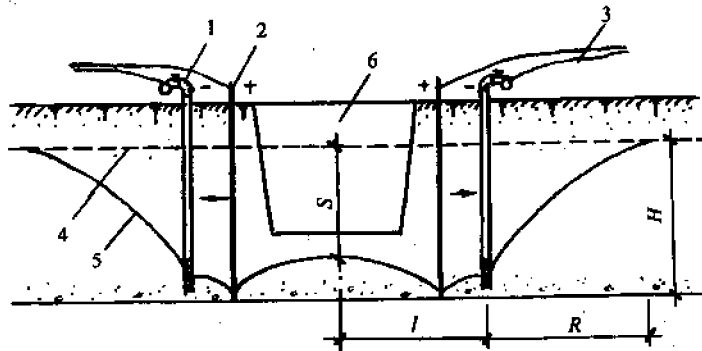


图 4-14 电渗井点按潜流完整井计算简图

- 1—喷射或轻型井点管; 2—钢筋或钢管; 3—接直流发电机或直流电焊机;
- 4—原地下水位线; 5—降低后地下水位线; 6—基坑

$$Q = 1.366K \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg x_0} \quad (4-37)$$

式中 Q ——电渗井点总吸水量 (m^3/d);

K ——土的渗透系数 (m/d);

H ——含水层厚度 (m);

R ——抽水影响半径 (m);

x_0 ——基坑的假想半径 (m), 对于矩形基坑, 当其长宽比不大于 5 时, 可将其化成一个假想半径为 x_0 的圆形井, 按下式计算:

$$x_0 = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

A ——基坑井点管所包围的平面面积 (m^2);

S ——水位降低值 (m)。

2. 井点间距、井管长度和需用水泵数量

井点管间距一般为 $1.2 \sim 2.0\text{m}$ 。

井点管需要长度 $L \geq H + h + 0.5$ (m)。

式中 H ——基坑开挖深度;

h ——地下水降落坡度高差, 取 $l/10$ 。

井点管分组设置, 每组 30~40 个井管, 各由一个水泵系统带动, 每组设 2 台水泵 (一台备用)。

3. 泵压计算

泵送工作水压力须达到井点回水扬程需要, 按下式计算:

$$P_1 = \frac{P_2}{\beta} \quad (4-38)$$

式中 P_1 ——需要工作水压力, 以扬程 m 计;

P_2 ——回水需要扬程, $P_2 = l + y$

l ——井管长度;

y ——工作水箱高度;

β ——压力比系数, 一般取 0.20。

4. 电渗系统功率计算

电渗功率 (N) 按下式计算:

$$N = \frac{UJA}{1000} \quad (4-39)$$

式中 N ——电焊机功率 (kW);

U ——电渗电压, 一般取 45V 或 60V;

J ——电流密度, 取 $0.5 \sim 1.0\text{A}/\text{m}^2$;

A ——电渗面积 (m^2), $A = H \times L$;

H ——导电深度 (m);

L ——井点管布置周长 (m)。

【例 4-9】 商贸大厦地下室工程, 位于地面下 10.5m, 基坑开挖面积为 $40\text{m} \times 50\text{m}$,

土层为淤泥质粉质粘土,含水层厚度 $H=12\text{m}$,渗透系数 $K=0.054\text{m/d}$,井点影响半径 $R=60\text{m}$,采用电渗喷射井点降水,要求降水深度 $S=11\text{m}$,试计算总吸水量,并确定井点间距、井点管长度、需要水泵水压及电渗的功率。

【解】 基层假想半径 $x_0 = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{40 \times 50}{3.14}} = 25\text{m}$

总吸水量由式(4-37)得:

$$Q = 1.366K \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg x_0} = 1.366 \times 0.054 \frac{(2 \times 12 - 11) \times 11}{\lg 60 - \lg 25} \\ = 27.8\text{m}^3/\text{d}$$

井点按常规2m的间距布置。井点系统的矩形周长为180m,共用喷射井点管 $180/2 = 90$ 根。

井点管需要长度 $l = 10.5 + \frac{1}{10} \times 20 + 0.5 = 13\text{m}$ 。

用11.5m长井管再加过滤器及总管埋深在内,实际有效长度可达13m。

喷射井管90根,分为3组,各由一个水泵系统带动,每组设2台水泵(其中1台备用)。

泵送需要工作水压由式(4-38)得:

取 $y=4.4\text{m}$, 则 $P_2 = l + y = 11.5 + 4.4 = 15.9\text{m}$

$$P_1 = \frac{P_2}{\beta} = \frac{15.9}{0.2} = 79.5\text{m}$$

选用150S-78型水泵,扬程78m。

阳极采用直径25mm,长11.5m钢筋,布置于紧靠基坑旁与井管相距1.25m,为减少能耗,钢筋上部5.5m涂以沥青绝缘,则

$$A = H \times L = (11.5 - 5.5) \times 180 = 1080\text{m}^2$$

用 $U=45\text{V}$, $J=1\text{A/m}^2$

电渗功率由式(4-39)得:

$$N = \frac{UJF}{1000} = \frac{45 \times 1 \times 1080}{1000} \\ = 48.6\text{W}$$

采用AX-500型,功率为20kW的直流电焊机3台。

4.10 深井(管井)井点降水计算

深井(管井,下同)井点,又称大口径井点,系由滤水井管、吸水管和抽水设备等组成。具有井距大,易于布置,排水量大,降水深($>15\text{m}$),降水设备和操作简单,可代替多组轻型井点作用等特点。适用于渗透系数大($20 \sim 250\text{m}^3/\text{d}$),土质为砂类土,地下水丰富,降水深,面积大、时间长的降水工程应用。

一、井点构造及布置

深井井点构造有图4-15所示两种。一般沿工程基坑周围离边坡上缘0.5~1.5m呈环形布置;当基坑宽度较窄,亦可在一侧呈直线布置。井点宜深入到透水层6~9m,通常还

应比所需降水的深度深 6~8m, 间距一般相当于埋深, 由 10~30m。基坑开挖深 8m 以内, 井距为 10~15m; 8m 以上井距为 15~20m。

二、井点计算

深井井点涌水量的计算与轻型井点计算基本相同。

深井(管井)井点计算内容包括: 计算井点系统总涌水量、深井进水过滤器需要的总长度、群井抽水单个深井过滤器浸水部分长度、群井总涌水量、选择抽水设备和深井井点的布置等。

1. 深井井点系统总涌水量计算

深井井点涌水量的计算与轻型井点计算基本相同, 根据井底是否达到不透水层, 亦分为完整井与非完整井。

对无压完整井深井井点涌水量按下式计算:

$$Q = 1.366K \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg x_0} \quad (4-40)$$

对无压非完整井深井井点涌水量按下式计算:

$$Q = 1.366K \frac{(2H_0 - S)S}{\lg R - \lg X_0} \quad (4-41)$$

式中符合意义及 x_0 、 X_0 、 R 、 K 值的确定与轻型井点计算相同。

2. 深井进水过滤器需要总长度计算

深井单位长度进水量 q 可按下式计算:

$$q = 2\pi r l \frac{\sqrt{K}}{15} \quad (4-42)$$

深井进水过滤器部分需要的总长度 L 为:

$$L = \frac{Q}{q}$$

式中 K ——渗透系数 (m/s);

l ——过滤管长度 (m);

r ——深井井点半径 (m);

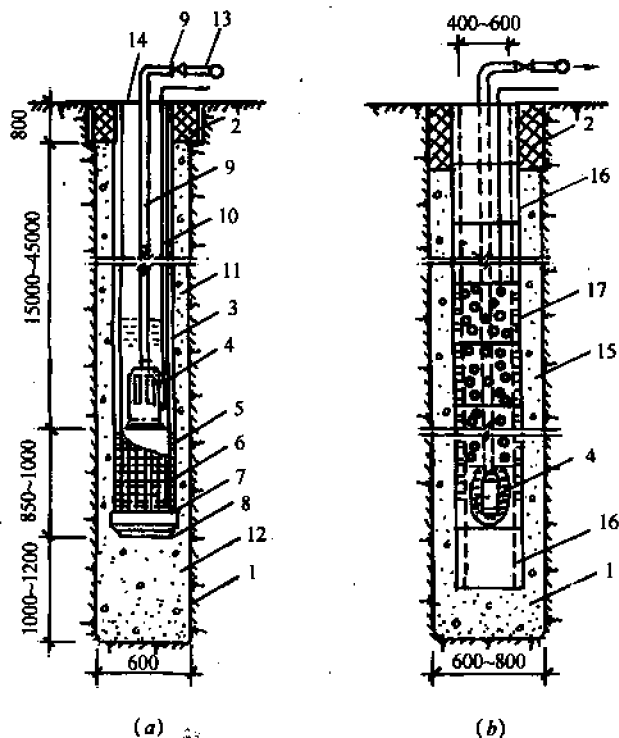


图 4-15 深井井点构造

(a) 钢管井点; (b) 混凝土管井点

- 1—井孔; 2—井口(粘土封口); 3— $\phi 300 \sim 375$ mm 钢管井管;
4—潜水电泵; 5—过滤段(内填碎石); 6—滤网; 7—导向段;
8—井孔底板(下铺滤网); 9— $\phi 50$ mm 出水管; 10—电缆;
11—小砾石或中粗砂; 12—中粗砂; 13— $\phi 50 \sim 75$ mm 出水总管;
14—20mm 厚钢板井盖; 15—小砾石;
16—沉砂管(混凝土实管); 17—混凝土过滤管

Q ——深井系统总涌水量 (m^3/d)。

3. 群井抽水单个深井过滤器长度计算

群井抽水单个深井 (管井) 过滤器浸水部分长度可按式计算:

$$h_0 = \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi K n} \cdot \ln \frac{x_0}{nr}} \quad (4-43)$$

式中 Q ——深井系统总涌水量 (m^3/d);

H ——抽水影响半径为 R 的一点水位 (m);

n ——深井数 (个);

x_0 ——假想半径 (m);

r ——深井半径 (m)。

4. 群井涌水量计算

多个相互之间距离在影响半径范围内的深井井点同时抽水时的总涌水量可按式计算:

$$Q = 1.366K \frac{(2H - S)S}{\lg R - \frac{1}{n}(\lg x_1 + \lg x_2 + \dots + \lg x_n)} \quad (4-44)$$

式中 S ——井点群重心处水位降低数值 (m);

x_1, x_2, \dots, x_n ——各井点至井点群重心的距离。

其他符号意义同前。

【例 4-10】 某写字楼工程平面为 L 形, 尺寸如图 4-16, 该地基土层为粉土, 已知渗透系数 $K=1.3\text{m/d}$ ($=0.000015\text{m/s}$); 影响半径 $R=13\text{m}$, 含水层厚为 13.8m , 其下为淤泥质粉质粘土类粘土, 为不透水层。要求建筑物中心的最低水位降低值 $S=6\text{m}$, 取深井井点半径 $r=0.35\text{m}$, 试计算建筑物范围内所规定的水位降低时的总涌水量和需设置的深井井点数量及井的布置距离。

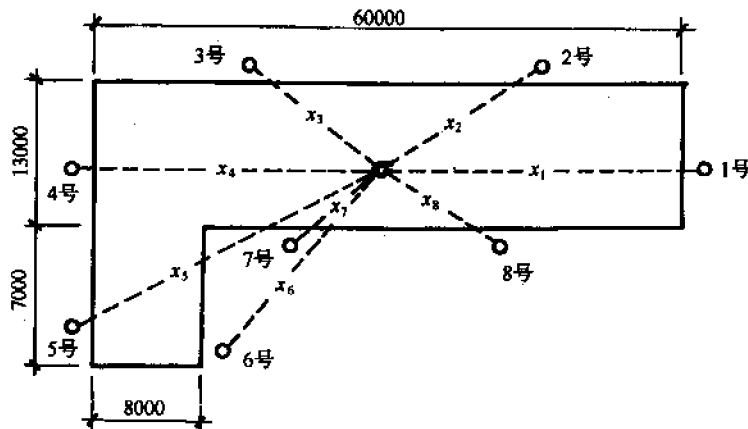


图 4-16 写字楼工程平面尺寸及降水深井井点布置简图

【解】 根据平面计算假想半径 x_0 为:

$$x_0 = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{60 \times 13 + 7 \times 8}{3.14}} \approx 17\text{m}$$

降水系统的总涌水量, 可采用潜水完整井计算, R 用抽水影响半径 $R_0 = 13 + 17 =$

30m 由式 (4-40) 得:

$$Q = 1.366K \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg x_0} = 1.366 \times 1.3 \frac{(2 \times 13.8 - 6) \times 6}{\lg 30 - \lg 17}$$

$$= 932.9 \text{ m}^3/\text{d} = 0.0108 \text{ m}^3/\text{s}$$

深井过滤器进水部分每米井的单位进水量由式 (4-42) 得:

$$q = 2\pi r l \frac{\sqrt{K}}{15} = 2 \times 3.14 \times 0.35 \times 1 \times \frac{\sqrt{0.000015}}{15}$$

$$= 0.00057 \text{ m}^3/\text{s}$$

深井过滤器进水部分需要的总长度为:

$$\frac{Q}{q} = \frac{0.0108}{0.00057} = 18.95 \text{ m} \approx 19.0 \text{ m}$$

按式 (4-43) 假定深井数进行试算确定深井井点数量, 当井数为 8 个时, 取 $H = 13.8 - 6 = 7.8 \text{ m}$, 则:

$$h_0 = \sqrt{7.8^2 - \frac{932.9}{3.14 \times 1.3 \times 8 \ln \frac{17}{8 \times 0.35}}} = 3.0 \text{ m}$$

此数值符合 $nh_0 = (8 \times 3 = 24) \geq \frac{Q}{q}$ ($= 18.95 \approx 19 \text{ m}$) 条件。井的深度钻孔打到不透水层, 取 16m。

深井井点的布置要考虑工程的平面尺寸经多次试排后, 确定的 8 个深井井点距建筑物中心的距离如下 (图 4-16):

$$\begin{aligned} x_1 &= 30 \text{ m}, \lg x_1 = 1.477; & x_5 &= 34 \text{ m}, \lg x_5 = 1.532 \\ x_2 &= 10 \text{ m}, \lg x_2 = 1.000; & x_6 &= 30 \text{ m}, \lg x_6 = 1.477 \\ x_3 &= 10 \text{ m}, \lg x_3 = 1.000; & x_7 &= 10 \text{ m}, \lg x_7 = 1.000 \\ x_4 &= 30 \text{ m}, \lg x_4 = 1.477; & x_8 &= 10 \text{ m}, \lg x_8 = 1.000 \\ \therefore \lg x_1, x_2 \cdots x_8 &= 1.477 + 1.000 + 1.000 + 1.477 + 1.532 \\ &\quad + 1.477 + 1.000 + 1.000 = 9.963 \end{aligned}$$

再根据式 (4-44) 计算总涌水量:

$$Q = 1.366K \frac{(2H - S)S}{\lg 30 - \frac{1}{n}(\lg x_1, x_2 \cdots x_8)}$$

$$= 1.366 \times 1.3 \frac{(2 \times 13.8 - 6) \times 6}{\lg 30 - \frac{1}{8}(9.963)}$$

$$= 992 \text{ m}^3/\text{d} \approx 0.0114 \text{ m}^3/\text{s}$$

按图 4-16 布置计算的总涌水量与前式计算的总涌水量相近, 故总涌水量、深井井点数和布置距离满足本工程降水要求。