



经典教材辅导用书

JINGDIAN JIAOCAI FUDAO YONGSHU

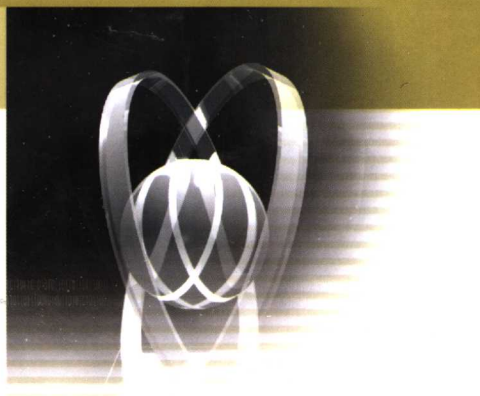
力学系列

水力学 习题详解

高教版《水力学》(第3版)(吴持恭主编)

○莫乃榕

SHUILIXUE
XITIXIANGJIE



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

TV13/11A

2007

经典教材辅导用书·力学系列丛书

水力学习题详解

高教版·《水力学》(第3版)(吴持恭主编)

莫乃榕 编

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

水力学习题详解/莫乃榕 编. —武汉:华中科技大学出版社,
2007年9月

ISBN 978-7-5609-4185-1

I. 水… I. 莫… III. 水力学-高等学校-解题 N. TV13

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第134842号

水力学习题详解

莫乃榕 编

策划编辑:周芬娜

责任编辑:周芬娜

责任校对:张 梁

封面设计:潘 群

责任监印:张正林

选题策划:基础学科事业部(027-87556654)

销售电话:027-87541791 027-87556095

027-87556097 027-87556096

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:850mm×1168mm 1/32 印张:5.75

字数:141 000

版次:2007年9月第1版

印次:2007年9月第1次印刷 定价:10.00元

ISBN 978-7-5609-4185-1/TV·12

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

这本题解的习题来源于吴持恭主编的《水力学》上、下册。习题的内容涉及水静力学、液体运动基本方程、管流、明渠流、势流、渗流等水力学问题。为了便于初学者阅读,多数题解都给出简明扼要的公式推导和化繁为简的计算技巧。本书是水力学的教学参考书,供有关专业的本科生、专科生使用,也可供高校教师、工程技术人员参考。

序 言

为了满足广大师生、工程技术人员学习水力学的需要,我们对吴持恭主编的《水力学》上、下册的习题编写了这本习题详解。习题内容包括水静力学、液体运动的流束理论、液流型态及水头损失、有压管中的恒定流、明渠恒定均匀流、明渠恒定非均匀流、水跃、堰流及闸孔出流、泄水建筑物下游的水流衔接与消能、有压管中的非恒定流、液体运动的流场理论、边界层理论基础、恒定平面势流、渗流、相似理论和模型试验基础。关于明渠非恒定流、挟沙水流、高速水流等方面的内容属于水力学专题,本书没有做这方面的题解。

本书的解题方法力求通俗易懂。一般的题解都是从水力学的基本方程(例如伯努利方程和连续性方程)出发,根据已知条件导出解题所需要的计算式。这种解题方法概念清晰,思路明确,容易掌握。对于明渠均匀流、泄水建筑物下游的水流衔接、渐变渗流等方面比较复杂的水力计算,本书采用插值法求解,比传统图表法更容易被初学者掌握。

编者学识有限,书中若有不足之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2007 年 1 月

目 录

1	水静力学	(1)
2	液体运动的流束理论	(22)
3	液流型态及水头损失	(48)
4	有压管中的恒定流	(59)
5	明渠恒定均匀流	(76)
6	明渠恒定非均匀流	(87)
7	水跃	(109)
8	堰流及闸孔出流	(115)
9	泄水建筑物下游的水流衔接与消能	(125)
10	有压管中的非恒定流	(135)
11	液体运动的流场理论	(149)
12	边界层理论基础	(156)
13	恒定平面势流	(161)
14	渗流	(165)
15	相似原理和模型试验基础	(172)

1 水静力学

【1.1】 题 1.1 图所示的为一密闭容器，两侧各装一测压管。右管上端封闭，管中水面高出容器水面 $h_1 = 3 \text{ m}$ ，液面压强 $p_0 = 78 \text{ kPa}$ 。左管与大气相通。求：

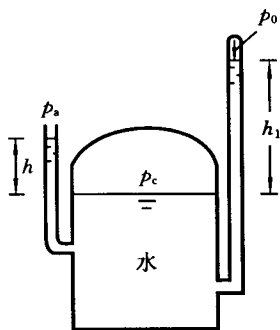
- (1) 容器内的液面压强 p_c ；
- (2) 左侧管内的水面距容器液面的高度 h 。

解 (1) 容器的液面的绝对压强为

$$p_c = p_0 + \rho g h_1 = 107400 \text{ Pa}$$

(2) 设当地大气压强(大气压强随时间、地点而变化)为 $p_a = 101325 \text{ Pa}$ ，则

$$h = \frac{p_c - p_a}{\rho g} = 0.62 \text{ m}$$

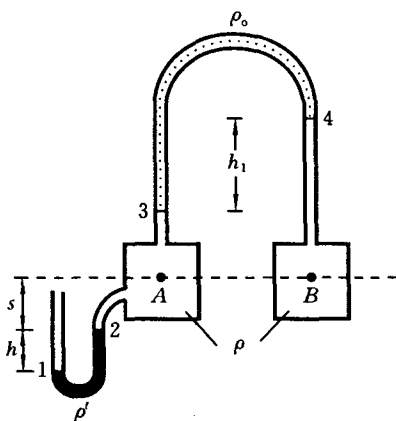


题 1.1 图

【1.2】 如题 1.2 图所示，盛有同种液体(密度 $\rho = 1132.6 \text{ kg/m}^3$) 的两容器，其中心点 A、B 高程相同。今用 U 形差压计测定 A 与 B 点之压差(差压计内盛油，密度 $\rho_o = 867.3 \text{ kg/m}^3$)，A 点还装有一个水银测压计(水银密度 $\rho' = 13600 \text{ kg/m}^3$)。已知： $s = 5 \text{ cm}$ ， $h_1 = 20 \text{ cm}$ ， $h = 4 \text{ cm}$ 。试求：

- (1) A 与 B 两点之压差 $p_B - p_A$ ；
- (2) A 与 B 两点中有无真空存在，其值为多少？

解 (1) 水银测压计的左、右液面记为 1、2，U 形压差计的左、



题 1.2 图

右液面记为 3、4。

分别从左、右两侧计算界面 3 的压强,注意到 $z_A = z_B$, $z_4 - z_3 = h_1$, 则有

$$p_A - \rho g(z_3 - z_A) = p_B - \rho g(z_4 - z_B) + \rho_0 g(z_4 - z_3)$$

$$p_B - p_A = (\rho - \rho_0)gh_1 = 520 \text{ Pa}$$

(2) 对水银测压计,建立 p_A 与当地大气压强 p_0 的关系式,则有

$$p_0 - p_A = \rho g s + \rho' g h = 5886 \text{ Pa}$$

利用 A、B 的压差可计算 B 点的真空压强:

$$p_0 - p_B = p_0 - p_A - (p_B - p_A) = 5366 \text{ Pa}$$

上面的计算表明, A、B 的压强均低于当地大气压强, 它们的真空压强分别为 5886 Pa 和 5366 Pa。

【1.3】 如题 1.3 图所示的圆柱形油槽, 内装轻油及重油。轻油密度 $\rho_1 = 663.26 \text{ kg/m}^3$, 重油密度 $\rho_2 = 887.75 \text{ kg/m}^3$, 设两种油的重量相等, 总液深 $h = 5 \text{ m}$ 。求:

- (1) 两种油的深度 h_1 及 h_2 各为多少?
 (2) 两测压管内的油液面将上升至什么高度?

解 (1) 两种油的重量相等, 设油槽底面积为 A , 则

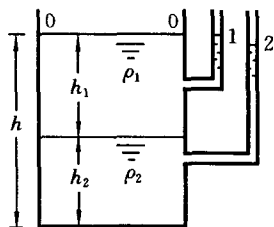
$$\rho_1 g h_1 A = \rho_2 g h_2 A$$

$$h_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1} h_2 = 1.3385 h_2$$

$$h = h_1 + h_2 = 2.3385 h_2$$

$$h_2 = \frac{h}{2.3385} = 2.138 \text{ m}$$

$$h_1 = 1.3385 h_2 = 2.862 \text{ m}$$



题 1.3 图

(2) 设基准面为油槽底面, 则油槽液面 0-0 的高程 $z_0 = 5 \text{ m}$ 。两条测压管的液面高程设为 z_{10} 和 z_{20} , 显然,

$$z_{10} = z_0 = 5 \text{ m}$$

轻油、重油分界面的相对压强为

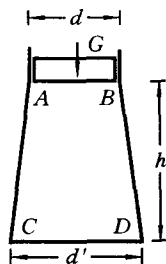
$$p - p_a = \rho_1 g h_1$$

对重油应用静压强基本方程, 则有

$$h_2 + \frac{p}{\rho_2 g} = z_{20} + \frac{p_a}{\rho_2 g}$$

$$z_{20} = h_2 + \frac{p - p_a}{\rho_2 g} = h_2 + \frac{\rho_1}{\rho_2} h_1 = 4.276 \text{ m}$$

【1.4】 如题 1.4 图所示, 在盛满水的锥台式容器盖上, 施加 6154 N 的荷载 G (包括盖重)。盖子与容器侧壁完全密合。已知盖子直径 $d = 1 \text{ m}$, 容器底面的直径 $d' = 1.5 \text{ m}$, 容器高 $h = 2 \text{ m}$ 。试求 A、B、C、D 各点的相对静水压强。



题 1.4 图

解 A、B 的压强相等, 其相对压强为

$$p_A - p_a = \frac{G}{\pi d^2/4} = 7835.5 \text{ Pa}$$

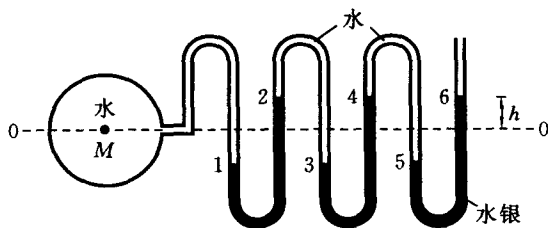
C、D 的压强也相等,其相对压强为

$$p_C - p_a = p_A - p_a + \rho gh = 27435.5 \text{ Pa}$$

【1.5】 如题 1.5 图所示,利用三组串联的 U 形水银测压计测量高压水管的压强,测压计顶端盛水。当 M 点压强等于大气压强时,各支水银面均位于 0-0 水平面上。当 M 点压强高于大气压强时,测得最末一组测压计的右水银面在 0-0 平面以上的读数为 h 。试求 M 点的相对压强 $p_M - p_a$ 。

解 水的密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, 水银的密度 $\rho' = 13600 \text{ kg/m}^3$ 。三组 U 形测压计的左、右液面分别记为 1、2、3、4、5、6, 根据题意,当 $p_M = p_a$ 时,各水银面高程相同。当 $p_M \neq p_a$ 时,各水银面偏离水平面 0-0 的高差都是 h 。设水平面 0-0 高程为 z_0 。考虑界面 3 的压强,有

$$\begin{aligned} p_a + \rho'g(z_6 - z_5) - \rho g(z_4 - z_5) + \rho'g(z_4 - z_3) \\ = p_M + \rho g(z_0 - z_1) - \rho'g(z_2 - z_1) + \rho g(z_2 - z_3) \\ p_M - p_a = 6\rho'gh - 5\rho gh \end{aligned}$$



题 1.5 图

【1.6】 U 形差压计如题 1.6 图所示。其下端为截面积等于 A 的玻璃管,上端为截面积 $A_0 = 50A$ 的两个圆筒。左筒盛水,密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, 右筒盛油,密度 $\rho' = 950 \text{ kg/m}^3$ 。当 $p_1 = p_2$ 时,油

和水的交界面在水平面 0-0 上；当 $p_2 > p_1$ 时，油和水的交界面下降高度 $h = 25 \text{ cm}$ 。求 $p_2 - p_1$ 的值。

解 将基准面选为水平面 0-0。

当 $p_1 = p_2$ 时，设左筒的水面高程为 z_{01} ，右筒的油面高程为 z_{02} ，则

$$\rho g z_{01} = \rho' g z_{02}$$

当 $p_1 < p_2$ 时，设左、右筒的液面高程分别为 z_1 和 z_2 ，此时，右管的水和油的交界面下降 h 。

$$p_1 + \rho g(z_1 + h) = p_2 + \rho' g(z_2 + h)$$

或

$$p_1 + \rho g(z_1 - z_{01} + h) = p_2 + \rho' g(z_2 - z_{02} + h)$$

由于两个圆筒的液体体积变化量都等于 U 形差压计右侧玻璃管内油液体积的增加量，故有

$$(z_1 - z_{01})A_0 = (z_{02} - z_2)A_0 = hA$$

$$z_1 - z_{01} = z_{02} - z_2 = \frac{A}{A_0}h = \frac{1}{50}h$$

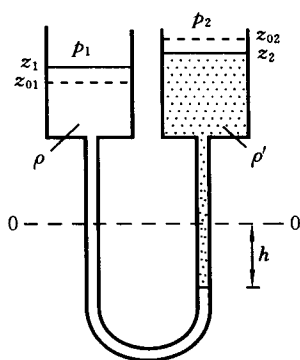
因而

$$p_2 - p_1 = \rho g h \left(1 + \frac{1}{50}\right) - \rho' g h \left(1 - \frac{1}{50}\right)$$

将 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\rho' = 950 \text{ kg/m}^3$, $h = 0.25 \text{ m}$ 代入上式，得

$$p_2 - p_1 = 218.05 \text{ Pa}$$

【1.7】 如题 1.7 图所示，盛有同种液体的两容器，用两根 U 形差压计连接。上部差压计内盛密度为 ρ_1 的工作液体，其左右液面高差为 h_1 。下部差压计内盛密度为 ρ_2 的工作液体，左右液面高



题 1.6 图

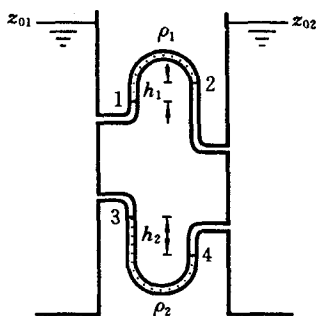
差为 h_2 。求容器内液体的密度 ρ (用 ρ_1 、 ρ_2 及 h_1 、 h_2 表示)。

解 设左、右容器的液面高程分别为 z_{01} 和 z_{02} ，两个差压计左、右液面高程分别为 z_1 、 z_2 和 z_3 、 z_4 ，由静压强分布公式，得

$$\begin{aligned} & \rho g(z_{01} - z_1) \\ &= \rho g(z_{02} - z_2) + \rho_1 g(z_2 - z_1) \\ & \rho g(z_{01} - z_3) \\ &= \rho g(z_{02} - z_4) - \rho_2 g(z_3 - z_4) \end{aligned}$$

两式相减，得

$$\begin{aligned} \rho g(z_3 - z_1) &= \rho g(z_4 - z_2) + \rho_1 g(z_2 - z_1) + \rho_2 g(z_3 - z_4) \\ \rho(h_1 + h_2) &= \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 \\ \rho &= \frac{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2}{h_1 + h_2} \end{aligned}$$



题 1.7 图

【1.8】 一个长方体形状的容器内盛有密度 $\rho = 930 \text{ kg/m}^3$ 的液体，该容器长 $L = 1.5 \text{ m}$ 、宽 $B = 1.2 \text{ m}$ ，液体深度 $h = 0.9 \text{ m}$ 。试计算下述两种情况下容器侧壁及底部的压强分布，并计算容器底部所受到的液体作用的总压力。

(1) 容器以等加速度 $a = 9.8 \text{ m/s}^2$ 垂直向上运动；

(2) 容器以等加速度 $a = 9.8 \text{ m/s}^2$ 垂直向下运动。

解 建立运动坐标，坐标原点在液面上， x 轴沿水平方向， z 轴垂直向上。

液体相对静止时，两邻点的压强差 dp 的表达式为

$$dp = \rho(f_x dx + f_y dy + f_z dz)$$

(1) 当容器以等加速度 a 垂直向上运动时，液体所受到的质量力为

$$f_x = f_y = 0, \quad f_z = -g - a$$

由此得压强分布:

$$dp = -\rho(g+a)dz$$

$$p = C - \rho(g+a)z$$

坐标原点的压强为当地大气压强 p_a , 因此,

$$p = p_a - \rho(g+a)z, \quad 0 \geq z \geq -h$$

压强分布仅与坐标 z 有关。等压面为水平面。上式也是侧壁的压强分布式。

在容器底部, $z = -h$, 压强为

$$p = p_a + \rho(g+a)h$$

底面受到的液体总压力为

$$F = (p - p_a)A = \rho(g+a)hBL = 29529 \text{ N}$$

(2) 容器以等加速度 a 垂直向下运动时, 质量为

$$f_x = f_y = 0, \quad f_z = -g + a = 0$$

因而

$$dp = 0$$

$$p = p_a$$

液体内部每一点的压强与大气压相等, 底面所受到的液体总压力为零, 即

$$F = (p - p_a)A = 0$$

【1.9】 一圆柱形容器静止时盛水深度 $h = 0.225 \text{ m}$, 筒高 $H = 0.3 \text{ m}$, 底面直径 $D = 0.1 \text{ m}$, 若圆筒绕中心轴作等角速度旋转, 试问:

(1) 不使水溢出容器, 最大角速度为多少?

(2) 不使容器底中心露出, 最大角速度为多少?

解 液体随容器作等角速度旋转时, 液面为漏斗形状的旋转抛物面。若将运动坐标原点放在液面最低点, 则液面方程为

$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g}$$

(1) 如果旋转时液体体积与静止时液体体积相等,且旋转抛物面与容器口相交,此时的角速度就是不使液体溢出的最大角速度。设此时液面最低点到底面的距离为 h_0 ,利用液面方程,则有

$$r = \frac{D}{2}, \quad z = H - h_0, \quad H - h_0 = \frac{\omega^2}{2g} \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

旋转抛物面所围的体积等于同高圆柱体体积的一半。旋转时液体体积为

$$h_0 A + \frac{1}{2} (H - h_0) A$$

式中, A 为容器底面积。由于液体没有溢出,因此,

$$hA = h_0 A + \frac{1}{2} (H - h_0) A$$

$$h_0 = 2h - H = 0.15 \text{ m}$$

不使液体溢出的最大角速度为

$$\omega = \frac{2}{D} \sqrt{2g(H - h_0)} = 34.29 \text{ rad/s}$$

(2) 当液面最低点抵达底面中心,且液面曲面与容器口相交时,液面方程为

$$H = \frac{\omega^2}{2g} \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

由此得到不使底面中心露出的最大角速度

$$\omega = \frac{2}{D} \sqrt{2gH} = 48.5 \text{ rad/s}$$

【1.10】 如题 1.10 图所示,有一小车,车上有一个长方体形状的水箱。试证明当小车以等加速度 a 沿地面作直线行驶时,液面将成为与水平面相交成 α 角的倾斜面,导出 α 的表达式以及静水压强的计算公式。若静止时水深为 h ,水箱高为 H ,长度为 L ,试问要

使水不溢出水箱,最大的加速度的值为多少?

解 建立如题 1.10 图所示的动坐标,其原点在液面的中心点。

$$f_x = -a, \quad f_y = 0, \quad f_z = -g$$

$$dp = -\rho(ax + g dz)$$

液面(倾斜面)方程为

$$z = -\frac{a}{g}x$$

液面与水平面交角 α 的正切为

$$\tan \alpha = \frac{a}{g}$$

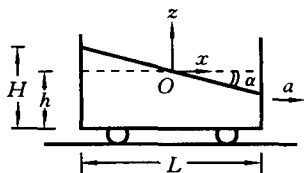
相对静止的液体的压强分布为

$$p = p_a - \rho(ax + gz)$$

如果没有液体溢出,则坐标原点与水箱底面的高差必为 h 。当液面抵及水箱口时,车子的行驶加速度就是不使水溢出箱外的最大加速度,即

$$x = -\frac{L}{2}, \quad z = H - h, \quad H - h = -\frac{a}{g}\left(-\frac{L}{2}\right)$$

$$a = \frac{2(H-h)}{L}g$$

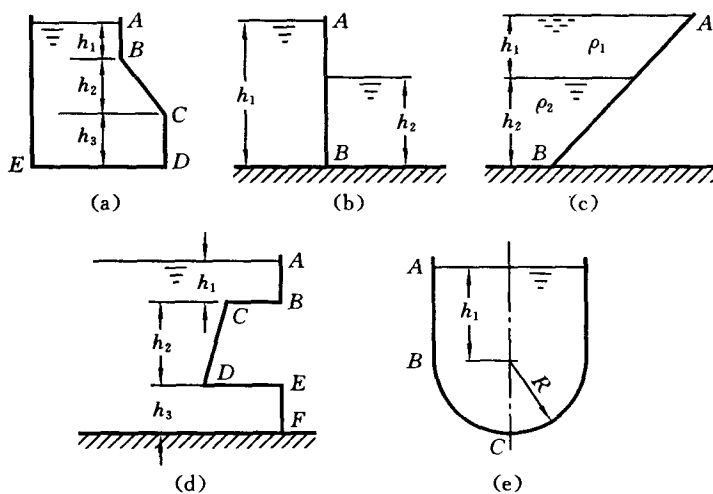


题 1.10 图

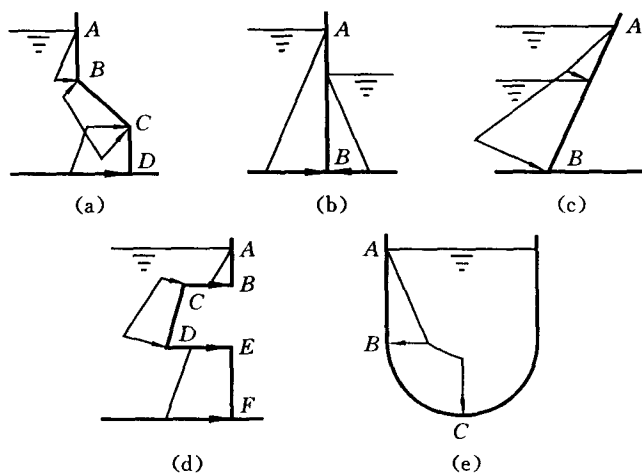
【1.11】 画出题 1.11 图 I 所示标有字母的受压面上的静水压强分布图。

解 题 1.11 图 I 所示标有字母的受压面上的静水压强分布图如题 1.11 图 II 所示。

【1.12】 混凝土重力坝如题 1.12 图所示,为了校核坝的稳定性,试分别计算下游有水或无水两种情况下,宽度 $B = 1 \text{ m}$ (垂直于纸面) 的坝体受到的水平方向和垂直方向的总水压力。已知数



题 1.11 图 I



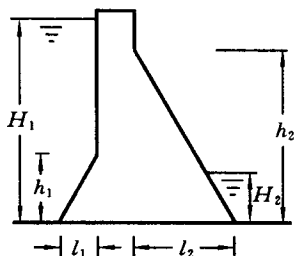
题 1.11 图 II

据为:上游水深 $H_1 = 26 \text{ m}$, 下游水深 $H_2 = 0$ 或 $H_2 = 6 \text{ m}$; 上游坡高 $h_1 = 8 \text{ m}$, 下游坡高 $h_2 = 24 \text{ m}$; 上游坡底长度 $l_1 = 4 \text{ m}$, 下游坡底长度 $l_2 = 12 \text{ m}$ 。

解 坝体上游面所受到的总水压力的水平分量 F_{x1} 和铅直分量 F_{z1} 分别为

$$F_{x1} = \frac{1}{2} \rho g H_1 B H_1 = 3312400 \text{ N}$$

$$F_{z1} = \rho g V_1 = \rho g B \left(H_1 - \frac{h_1}{2} \right) l_1 \\ = 862400 \text{ N}$$



题 1.12 图

当下游无水, 即 $H_2 = 0$ 时, 坝体只承受上游的水压力。

当下游水深 $H_2 = 6 \text{ m}$ 时, 下游坝面受到的总水压力的水平分量 F_{x2} 和垂垂分量 F_{z2} 分别是

$$F_{x2} = \frac{1}{2} \rho g H_2 B H_2 = 176400 \text{ N}$$

$$F_{z2} = \rho g V_2 = \rho g B \cdot \frac{1}{2} H_2 \cdot \frac{l_2}{4} = 88200 \text{ N}$$

此时, 坝体上游和下游都受到静水压力。水平方向和铅直方向的总水压力分别为

$$F_x = F_{x1} - F_{x2} = 3136000 \text{ N}$$

$$F_z = F_{z1} + F_{z2} = 950600 \text{ N}$$

【1.13】如题 1.13 图所示, 小型水电站的水深 $H = 10 \text{ m}$, 压力管道的进口装有一块矩形平板闸门, 板长 $L = 1.8 \text{ m}$, 宽 $B = 2.5 \text{ m}$, 闸门自重 $G = 1860 \text{ N}$ 。平板的水平倾角 $\alpha = 75^\circ$, 闸门与门槽之间的摩擦因数 $f = 0.35$, 求启动闸门所需的拉力 F 。

解 平板所受到的总水压力为