

高浓度泥石流参数计算

计算泥石流的运动,主要归结为确定泥石流的表面最大速度 $v_{\text{最大}}$ 和截面平均速度 $v_{\text{平均}}$ 。这些速度跟流道的地貌特征有关,也跟泥石流的物理-力学性质有关。泥石流的物理-力学性质,则决定于所含水分、石块(粒度 $d > 1$ 毫米)和泥土(粒度 $d < 1$ 毫米)的数量。

把泥石流的固体组分分成直径小于和大于 1 毫米的两个粒度级的合理性,已得到现场观测数据^[1]和实验室研究结果的证实。因而在确定泥石流的基本物理性质及力学性质时,应当以三组分模型(水,直径小于 1 毫米及大于 1 毫米的粒度级组分)为依据,而不是象不久前那样,以二组分模型(水和固体组分)为依据^[2]。

作为定量的指标,可以利用水的浓度(按质量计,下同) $P_{\text{水}}$, 粒度 $d < 1$ 毫米的组分的浓度 $P_{\text{土}}$ 和粒度 $d > 1$ 毫米的组分的浓度 $P_{\text{石}}$, 于是

$$P_{\text{水}} + P_{\text{土}} + P_{\text{石}} = 1 \quad (1)$$

$$P_{\text{土}} + P_{\text{石}} = P_{\text{固}} \quad (2)$$

式中 $P_{\text{固}}$ 是泥石流固体组分的浓度。

考虑到以上情况,在可能的 $P_{\text{水}}$, $P_{\text{土}}$ 和 $P_{\text{石}}$ 值的范围内,高浓度湍流泥石流的容积质量应按下列关系式来确定:

$$\gamma_c = 1 / (P_{\text{水}}/\gamma_{\text{水}} + P_{\text{土}}/\gamma_{\text{土}} + P_{\text{石}}/\gamma_{\text{石}}) \quad (3)$$

式中 $\gamma_{\text{水}}$, $\gamma_{\text{土}}$ 和 $\gamma_{\text{石}}$ 分别是水,小于及大于 1 毫米粒度级的组分的容积质量。

分出粒度级小于 1 毫米的组分,对于在实验中确定具有大密度和明显流变性质的高浓度泥石流的粘度 μ_c 和初始阻力 τ_0 有重要意义。可以确定粘度和初始剪切阻力跟泥石流中石块平均直径 $d_{\text{平均}}$ (厘米),基本组分 $P_{\text{固}}$ 和 $P_{\text{石}}$ 的含量的依赖关系如下:

$$\mu_c = 10 d_{\text{平均}} F_1(P_{\text{固}}, P_{\text{石}}) \quad (4)$$

$$\tau_0 = 0.5 d_{\text{平均}} F_2(P_{\text{固}}, P_{\text{石}}) \quad (5)$$

式中 $F_1(P_{\text{固}}, P_{\text{石}}) = e^{35(P_{\text{固}} - P_{\text{石}}^{0.1})}$, $F_2(P_{\text{固}}, P_{\text{石}}) = e^{23(P_{\text{固}} - 0.8P_{\text{石}}^{0.1})}$ 。

关系式(4)和(5)适用于 $P_{\text{固}} = 0.6 - 0.9$, $P_{\text{石}} = 0.1 - 0.8$ 的情形。

将已知的 Ишведов-Bingham 关系式^[3,4]积分,不难得到泥石流的表面最大速度 $v_{\text{最大}}$ 和截面平均速度 $v_{\text{平均}}$ 如下:

$$v_{\text{最大}} = 0.5 \gamma_c i h^2 / \mu_c \quad (6)$$

$$v_{\text{平均}} = \gamma_c i H^2 F_1(h/H) / (3\mu_c) \quad (7)$$

$$h = H - \tau_0 / (\gamma_c i) \quad (8)$$

$$F_1(h/H) = (h/H)^2 (1.5 - 0.5h/H) \quad (9)$$

式中 h 是梯度层的深度。公式(9)用下列条件来校验:

$$Re_c = \rho_c v_{\text{平均}} H F_2(h/H) / \mu_c \quad (10)$$

$$F_2(h/H) = (h/H)^2 [1 / (1.5 - 0.5h/H)] \quad (11)$$

式中 $\rho_c = \gamma_c/g$ 是泥石流质量密度, 单位为(克·秒)²/厘米⁴; g 是自由落体加速度, 单位为厘米/秒²。

在不满足条件(10)的情况下, 即 $Re_c > 500$ 时, 可按已认可的湍流泥石流的任一公式^{13,14} 确定泥石流的平均运动速度。表 1 列举了 $F_1(h/H)$ 和 $F_2(h/H)$ 的值。

在设计抗泥石流建筑物的实践中, 会遇到高浓度泥石流变化多端的物理-力学性质、流变性质和流道特征的不同组合形式。考虑到泥石流跟一系列因素的依赖关系(这些因素是预先给定的, 或依据现场观测数据或实验确定的), 可按关系式(3), (6), (7)以表格形式适当进行计算。

表 1 函数 $F_1(h/H)$ 和 $F_2(h/H)$ 的值

h/H	$F_1(h/H)$	$F_2(h/H)$	h/H	$F_1(h/H)$	$F_2(h/H)$	h/H	$F_1(h/H)$	$F_2(h/H)$
0	0	0	0.34	0.1537	0.0869	0.68	0.5363	0.3985
0.02	0.0005	0.0002	0.36	0.1710	0.0981	0.70	0.5631	0.4260
0.04	0.0023	0.0010	0.38	0.1891	0.1102	0.72	0.5909	0.4517
0.06	0.0052	0.0024	0.40	0.2080	0.1230	0.74	0.6018	0.4695
0.08	0.0093	0.0043	0.42	0.2275	0.1367	0.76	0.6169	0.5157
0.10	0.0144	0.0068	0.44	0.2478	0.1512	0.78	0.6753	0.5481
0.12	0.0207	0.0100	0.46	0.2687	0.1666	0.80	0.7039	0.5818
0.14	0.0280	0.0137	0.48	0.2903	0.1828	0.82	0.7329	0.6168
0.16	0.0363	0.0180	0.50	0.3125	0.2000	0.84	0.7620	0.6553
0.18	0.0456	0.0229	0.52	0.3352	0.2180	0.86	0.7913	0.6912
0.20	0.0559	0.0285	0.54	0.3568	0.2370	0.88	0.8208	0.7305
0.22	0.0672	0.0348	0.56	0.3825	0.2570	0.90	0.8504	0.7714
0.24	0.0734	0.0417	0.58	0.4070	0.2780	0.92	0.8802	0.8138
0.26	0.0926	0.0493	0.60	0.4320	0.3000	0.94	0.9101	0.8578
0.28	0.1066	0.0576	0.62	0.4574	0.3230	0.96	0.9400	0.9035
0.30	0.1215	0.0666	0.64	0.4833	0.3471	0.98	0.9760	0.9508
0.32	0.1372	0.0764	0.66	0.6096	0.3723	1.00	1.00	1.00

算例 原始数据: $P_{石} = 0.7$, $P_{土} = 0.16$, $\gamma_{石} = 2.65$ 克/厘米³, $\gamma_{土} = 2.2$ 克/厘米³, $d_{平均} = 5$ 厘米, $H = 200$ 厘米, $i = 0.1$ 。

1. $P_{固} = 0.16 + 0.7 = 0.86$; 2. $P_{水} = 1 - 0.86 = 0.14$; 3. 按公式(3), $\gamma_c = 1/(0.14/1 + 0.16/2.2 + 0.7/2.65) = 2.09$ 克/厘米³; 4. 按公式(4), $\mu_c = 10 \times 5 \times 0.029 = 1.45$ (克·秒)/厘米²; 5. 按公式(5), $\tau_0 = 0.5 \times 5 \times 7.6 = 19$ 克/厘米²; 6. 按公式(7), $h = 200 - 19/(2.09 \times 0.1) = 109.09$ 厘米; 7. 按表 1, $h/H = 109.09/200 = 0.55$, 相应的 $F_1(h/H) = 0.37$; 8. 按公式(6), $v_{最大} = 2.09 \times 0.1 \times 109.09^2 / (2 \times 1.45) = 8.58$ 米/秒; 按公式(7), $v_{平均} = 2.09 \times 0.1 \times 200^2 / (3 \times 1.45) = 711.08$ 厘米/秒 = 7.11 米/秒; 9. 确定了 $\rho_c = \gamma_c/g = 2.09/981 = 0.0021$ 克·厘米²/厘米⁴, 按表 1, $F_2(h/H) = 0.2469$, 校验满足条件 $Re_c = 0.0021 \times 711.08 \times 200 \times 0.2469 / 1.45 = 50.67 < 500$ 。

表 2 列出了在泥石流宽度 B 和深度 H 的不同比值下, 相应于最常见流道特征值和基本组分浓度值的高浓度泥石流的平均速度。

表 2 渠道坡度 $i = 0.2$ 时高浓度泥石流流平均速度 $v_{平均}$ (厘米/秒) 与基本组分浓度 $P_{水}, P_{土}, P_{石}$ 的依赖关系

$P_{石}$	$P_{土}$	ν_c 克/厘米 ³	μ_c 克·秒/厘米 ²	τ_0 克/厘米 ²	h 厘米	$v_{平均}$ (厘米/秒)											
						$B/H(H=50\text{厘米})$			$B/H(H=100\text{厘米})$			$B/H(H=300\text{厘米})$					
						0.5	1	2	0.5	1	2	0.5	1	2			
0.40	0.46	2.00	10.65	49.78	125.45	—	—	—	—	—	—	36.97	107.89	185.92			
0.5	0.36	2.03	4.85	34.08	83.94	—	—	3.31	5.22	7.33	87.11	225.65	462.31	—			
0.6	0.26	2.06	2.5	24.8	60.19	—	—	13.80	30.19	52.62	177.6	469.76	1002.72	—			
0.7	0.16	2.10	1.45	18.93	45.07	1.57	2.30	2.78	29.99	70.89	135.99	276.61	871.72	—			
0.8	0.06	2.13	0.85	14.93	35.05	8.96	17.74	28.06	56.83	144.12	288.01	574.35	1570.35	—			
0.4	0.42	1.92	2.65	19.83	51.64	—	—	—	14.16	33.19	35.05	163.45	439.6	924.2			
0.5	0.32	1.95	1.20	13.58	34.82	5.96	11.87	18.92	36.85	93.46	186.77	302.87	611.0	2181.9			
0.6	0.22	1.97	0.6	9.90	25.13	16.36	38.45	69.72	78.37	206.78	133.017	764.36	2090.39	—			
0.7	0.12	2.02	0.35	7.55	18.69	32.15	79.82	158.95	140.068	363.48	761.15	1343.0	—	—			
0.8	0.02	2.04	0.2	5.95	14.58	38.31	154.92	317.65	257.2	6.98	1506.75	1973.0	—	—			
0.4	0.4	1.88	1.3	12.5	33.84	5.70	11.56	18.83	33.36	84.22	168.75	336.66	906.25	1974.22			
0.5	0.3	1.90	0.6	8.58	22.58	16.71	40.41	76.15	76.85	202.93	425.39	737.2	2016.1	—			
0.6	0.2	1.93	0.3	6.25	16.20	36.47	94.20	192.57	161.26	133.62	927.74	1520.0	—	—			
0.7	0.1	1.96	0.25	4.78	12.20	47.57	123.37	258.49	199.66	537.08	1170.99	1853.0	—	—			

结论 1. 本文计算方法考虑了三组分介质各种形式泥石流的容积质量和其他基本物理-力学性质, 这就能够更精确地反映泥石流的本质; 2. 高浓度泥石流的表面最大速度公式和截面平均速度公式的应用范围, 取决于各基本组分的浓度; 3. 本文确定粘度和初始剪切阻力的公式和函数值, 可用来计算抗泥石流建筑物设计所必需的基本泥石流参数。

参考文献 (4篇, 略)

董务民译自: Тевзадзе В.И., Кухалашвили Э.Г., Квирквелия И.Б.,
Гидротехника и метиорация, 8 (1982): 42—44.