

文章编号: 1008-2786-(2016)5-537-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000160

泥石流虹吸分流排水能力理论计算方法

王翔宇 尚岳全* 潘攀 魏振磊

(浙江大学建筑工程学院 浙江 杭州 310058)

摘 要: 水动力因素是导致泥石流发生的基本条件,目前在泥石流消除水动力的分流工程中,全部采用重力流形式,容易被泥石流所携带的泥沙淤积堵塞,导致分流结构失效。采用水石分离的虹吸排水技术,其可以利用虹吸效应,免泥沙淤积,并大幅提高排水分流效率,但目前水石分流虹吸管布置设计中缺乏管径与布置形式选择的相关研究。通过水力学分析以及公式的推导,得出了不同长度虹吸排水能力的计算公式,采用 PE80 管标准规格,进行虹吸管排水能力的计算,得出了可用于不同管径下虹吸管排水能力设计的基础值,针对于实际工程的复杂边坡形态提出了虹吸管排水能力的计算公式,适用于实际坡体的泥石流防治虹吸管设计。

关键词: 泥石流; 虹吸分流; 虹吸管设计; 防治方法

中图分类号: P642.23

文献标志码: A

我国是泥石流灾害频发的国家,常常造成巨大的灾难。充沛的水源、丰富的松散固体物质、有利的流域形态和沟床纵坡是泥石流形成的基本条件,其中水动力因素是泥石流爆发的激发条件^[1-3]。目前我国对泥石流灾害的防治手段主要有拦挡工程、排导工程、护坡固底工程和生物工程等^[4],主要针对特定保护对象或者泥石流松散物源而设定。将产生泥石流的地表流水控制住,也能达到控制泥石流发生的作用^[5-6]。

对于泥石流形成过程中的地表水,消除洪峰水流,防止超强水动力条件出现,即可以达到控制泥石流的目的^[7]。但目前只在少数泥石流灾害治理工程中采用分流方法,如文家沟特大泥石流治理的引水隧洞分流工程^[8-9]。当前的洪水拦截,均采用重力流型式,存在排水效率低和排水过程中容易被淤塞等问题。

使用虹吸进行泥石流的水石分流的方法可有效解决上述问题。虹吸实现过程简单,已广泛应用于各种排水工程中^[10-12]。所以利用虹吸排水方法将

泥石流形成区的水通过导水槽流入分流池中,在分流池布置若干虹吸管,通过虹吸作用将流入分流池的水沿管排到下部安全区。其有益效果是:虹吸具有免动力实现水体的跨越输送,而且流动过程和流速由液位变化自动控制;虹吸排水将重力流转变为满管流,提高排水效率;虹吸产生的抽吸作用能防止管道淤积,有效提高排水工程使用的耐久性;虹吸式排水管无须坡度控制,安装方便;不涉及大规模的土石方工程和构筑物建设,工程造价低,对环境的影响小。但目前虹吸管排水能力缺乏量化研究,制约了虹吸排水技术推广应用于泥石流治理工程。

1 水石分流泥石流治理方法

典型的泥石流沟可划分出形成区、流通区和堆积区^[13]。将形成区或流通区内汇聚的地表水引离沟谷内主要物源区,避免流水冲刷切底,则可以避免流水冲刷导致沟道下切、岸坡滑塌而产生泥石流。

沟谷内的泥沙石块是否启动,取决于水流的流

收稿日期(Received date): 2015-12-02; 改回日期(Accepted): 2016-01-29。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41272336)。[National Natural Science Foundation (41272336)]

作者简介(Biography): 王翔宇(1992-),男,研究生,主要从事地质灾害防治方面的研究。[Wang Xiangyu(1992-), male, M. Sc. candidate, major in geological disaster prevention.] E-mail: 291080182@qq.com

* 通信作者(Corresponding author): 尚岳全(1958-),男,教授,主要从事地质灾害防治方面的研究。[Shang Yuequan(1958-), male, professor, major in geological disaster prevention.] E-mail: syq@zju.edu.cn

速和流量^[14]。针对泥石流固液两相流体物性特征,在泥石流的形成区或流通区沟谷内布设分流池,进行水石分离(图1)在分流池接虹吸排水管,将泥石流沟内分离出的洪水排泄到下游安全沟道内,就可减小泥石流沟水动力条件,达到防治泥石流的目标^[15]。

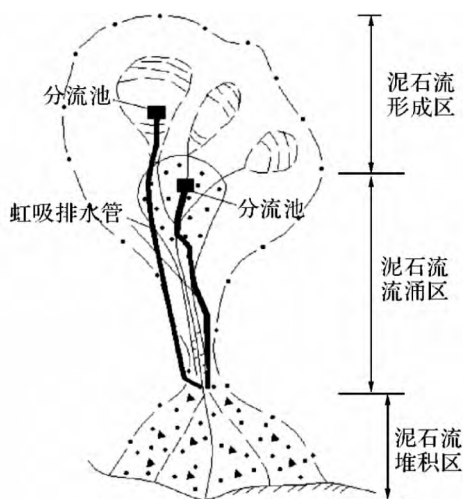


图1 虹吸分流防治泥石流示意图

Fig. 1 Siphon shunt debris flow control schematic

排水沟和分流池剖面关系如图2所示。强降雨条件下,当池内水位上升至虹吸管顶点时,引发虹吸作用,经拦污格栅进入虹吸分流池的泥沙颗粒随虹吸作用产生的高速水流携带出分流池,由虹吸排水管直接排泄到堆积区。对于分流结构而言,虹吸管的布置决定着整体分流的能力,也进一步影响这防治的成效。如果选择的虹吸管尺寸过小,使分流池中的水不能及时排出,则不能达到很好的消峰效果;如果选择的虹吸管尺寸过大,则会使分流池中虹吸管的虹吸启动变得更加困难,并相应增加工程造价。所以计算分析虹吸管排水能力是重要的基础性工作。

2 虹吸管排水能力计算方法

2.1 虹吸管排水能力的理论公式

虹吸分流过程中,分流的水通过挡污格栅,进入分流池中,分流池水中只存在少许泥沙,故计算虹吸管排水能力过程中只按照水考虑。虹吸分流工作中,分流池内液面始终保持在入水口与虹吸管扬程最高处之间,其波动相对于整体高差而言还是很小,故考

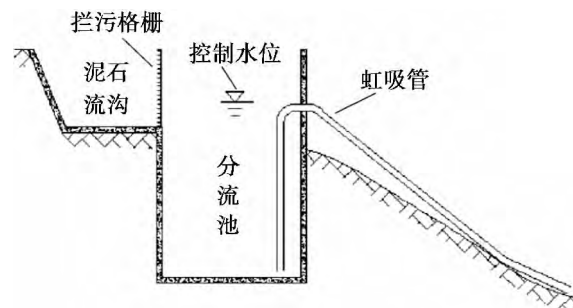


图2 排水沟和分流池剖面示意图

Fig. 2 Profile of drain and siphon drainage pool

虑过程中以恒定流进行计算。

考虑水流在水管流动中会产生的阻力,引入沿程阻力,水管的进水口阻力,弯管处的阻力^[16-18],利用谢齐公式 $v = C \sqrt{RJ}$ 计算水管的沿程阻尼系数,将其带入到达西公式^[16],并结合曼宁公式,通过推导可以得到一个关于沿程阻尼系数的计算公式:

$$\lambda = \frac{8n^2g}{\sqrt{\frac{d}{4}}} \quad (1)$$

其中 C 为谢齐系数; R 为断面水力半径,对于管道而言 $R = d/4$, d 为管道的直径; n 为粗糙系数, λ 为沿程阻尼系数。根据考虑能量损失的伯努利方程:

$$H_A + \frac{p_A}{\rho g} = H_B + \frac{p_B}{\rho g} + \left(\lambda \frac{l}{d} + \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 \right) \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

其中 H_A 、 H_B 分别为入水口和出水口处液面高程, p_A 、 p_B 分别为入水口和出水口处压强, ρ 为水的密度, g 为重力加速度, v 为平均流速, l 为虹吸管长度, ζ_1 、 ζ_2 、 ζ_3 分别为虹吸管进口断面、虹吸管弯管段以及虹吸管出口断面的局部阻力系数,这里 $\zeta_1 = 1$, $\zeta_2 = 2.414 [0.131 + 0.1632(\frac{d}{\eta})^{7/2}]$ (其为固定形式,

包括扬程处穿过分流池壁的弯管,如图3;以及与坡体布置管衔接处的弯管,如图4所示90°处),由于出水口处连接大气,故 $\zeta_3 = 0$,经过整理,可得到管内水速的公式

$$v = \sqrt{\frac{2gz}{\sqrt{\frac{8n^2gl}{3\sqrt{\frac{d^4}{4}}} + 1 + 2.414 [0.131 + 0.1632(\frac{d}{\eta})^{7/2}]} \quad (3)$$

式中 v 为虹吸管内的平均水速, l 为虹吸管总长度, z 为虹吸管布置高差, η 为虹吸管弯管的曲率半

径。

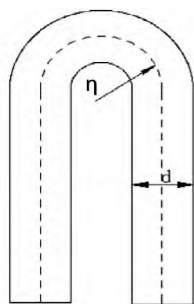


图3 虹吸管扬程弯管段计算示意图

Fig.3 Siphon bend of head calculation schematic

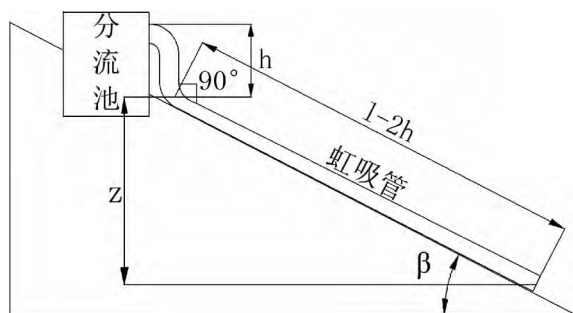


图4 假定虹吸排水管布置初始模型

Fig.4 Initial model assumed siphon drain arrangement

建立初始模型,假设虹吸管沿坡体向向下布置,

虹吸管扬程仅为 h 如图4所示,对于计算过程中虹吸管布置均较长,通过三角函数,建立长度 l 与高坡体上面的长度。因此可以将式(3)结合水力学公式差 z 的关系 $l-2h=z/\sin\beta$,其中 $l-2h$ 为虹吸管位于坡体上面的长度。因此可以将式(3)结合水力学公式 $Q=vA$ 得出虹吸管不同长度下的排水能力计算公式为:

$$Q = 0.25 \sqrt{\frac{2\pi^2 d^4 g (1-2h) \sin\beta}{\frac{8n^2 gl}{3\sqrt{\frac{d^4}{4}}} + 1 + 2.414 [0.131 + 0.1632(\frac{d}{\eta})^{7/2}]}} \quad (4)$$

其中 Q 为虹吸管排水能力; d 为虹吸管内径; g 为重力加速度; h 为虹吸管扬程; β 为坡度; n 为粗糙系数。通过公式(4),亦可以计算出不同管径虹吸管的排水能力。

2.2 结合实际管径计算

考虑 PE80 级聚乙烯管材作为虹吸排水管,利用式(4),取坡度为 17° ,计算不同管径的虹吸排水能力,计算结果如图5所示。从图中可以看到其排水能力随着管径增大而急剧增大,但是固定管径存在着排水能力临界值,而且大管径虹吸管需要达到极限排水能力所需要的长度要更长。

根据公式(4),可以把带有坡度 β 部分从公式中

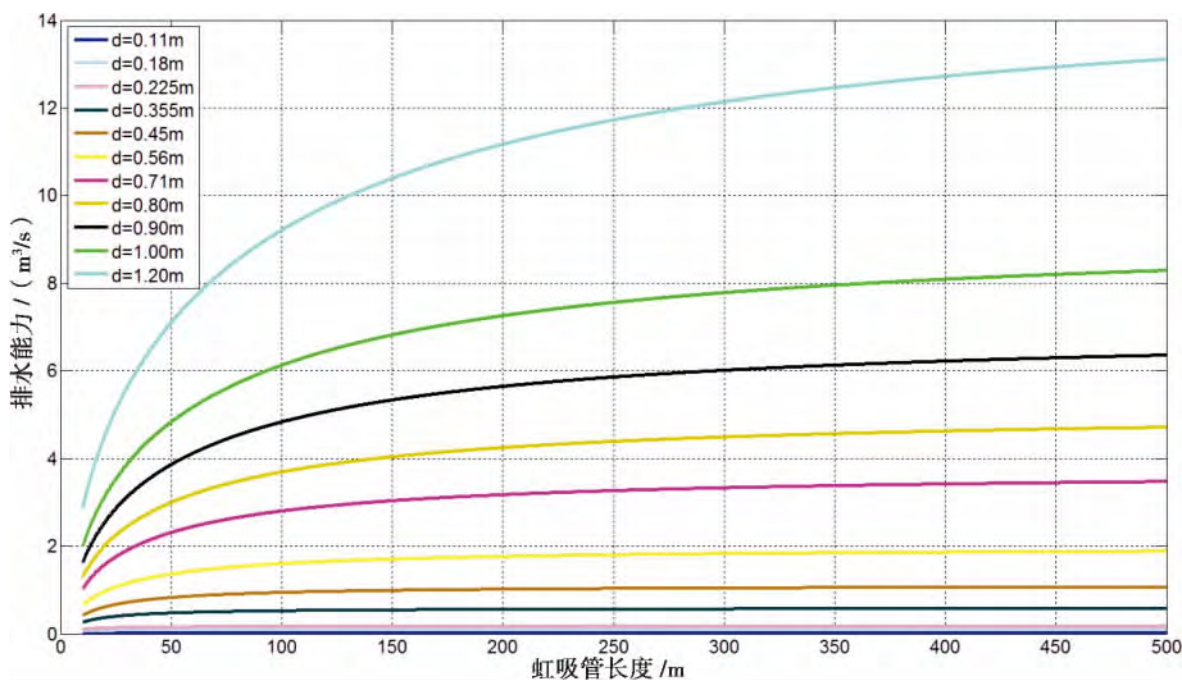


图5 规格选取下不同管径的排水能力

Fig.5 Specifications selected drainage capacity under different diameters

表 1 排水能力基础值 a 选定参考表
Tab. 1 Standard value a for drainage ability

管径/m	长度/m	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
$d=0.11$	排水能力 (m^3/s)	0.044	0.046	0.046	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
$d=0.18$		0.157	0.166	0.170	0.171	0.172	0.173	0.174	0.174	0.175	0.175
$d=0.225$		0.273	0.295	0.303	0.307	0.310	0.311	0.313	0.314	0.315	0.316
$d=0.355$		0.818	0.928	0.973	0.998	1.013	1.023	1.031	1.037	1.042	1.045
$d=0.45$		1.407	1.649	1.755	1.816	1.855	1.882	1.902	1.918	1.930	1.940
$d=0.56$		2.280	2.760	2.987	3.122	3.210	3.273	3.320	3.357	3.386	3.410
$d=0.71$		3.791	4.747	5.239	5.543	5.750	5.902	6.107	6.107	6.180	6.240
$d=0.8$		4.842	6.199	6.909	7.360	7.672	7.903	8.080	8.221	8.335	8.430
$d=0.9$		6.223	8.036	9.043	9.697	10.16	10.51	10.77	10.99	11.16	11.31
$d=1.0$		7.728	10.10	11.46	12.36	13.01	13.50	13.89	14.20	14.45	14.67
$d=1.2$		11.23	14.96	17.21	18.75	19.90	20.78	21.49	22.06	22.54	22.95

分离出来 将剩余部分设为排水能力基础值 a 表示为:

$$Q = a\sqrt{\sin\beta} \tag{5}$$

对应 PE80 的不同虹吸管 ,可以得到各个管径不同长度排水能力基础值 ,如表 1 所示。设计时只需要得到坡度、布置长度、预排干水量这 3 个预定值 ,即可以根据表 1 进行相应的管径以及选用排水管的数量选择。实际计算过程中 ,首先需要计算出所需基础值 ,然后根据基础值来进行管径的选择 ,计算出来的管径应尽量避免选择单根布置 ,并且选择多根管进行设计布置是 ,也应尽量选择管径相差不大的多根管进行实际布置。

3 非直线布置形式的虹吸管排水能力

实际工程中 ,坡面地形起伏 虹吸管一般不能够顺坡向直线布置 根据实际可能遇到的坡体情况 虹吸管可能呈不规则型式布置 ,所以通过分段式的划分 ,将虹吸管布置归纳为直线布置以及圆弧线布置两大类 ,归纳为弧线和直线布置的组合形式。

虹吸管排水能力计算过程中 ,针对各段分别进行参数选择以及设置 ,就可以对不同坡面以及坡体布置型式泥石流虹吸管排水能力进行计算。

如图 6 的虹吸管布置型式 ,坡面的拐点处以及坡面的拐点处均在同一水平线上 ,其坡面图以及剖面可以从两图观察到 ,设置虹吸管沿非坡向布置 ,两

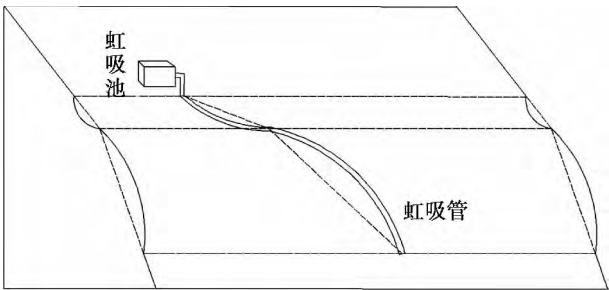


图 6 实际坡体虹吸管布置形态模型
Fig. 6 Actual slope shape model of siphon arrangement

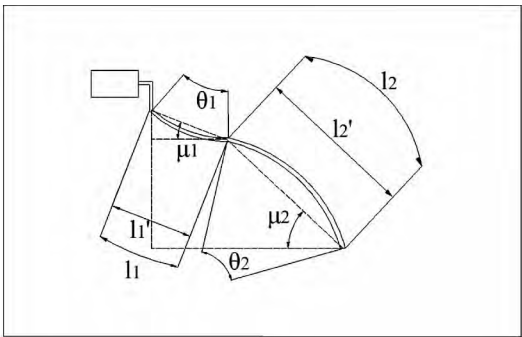


图 7 非平面坡面虹吸管弧线布置样式坡面图
Fig. 7 Non-planar slope siphon arc slope style layout diagram

段弧线布置虹吸管所对应的弦不再同一直线上;而坡面呈与两段虹吸管相对应的同高差圆弧面 ,从剖面图看 ,两段圆弧所对应的弦也不在一条直线上。通过这样设定模型的方式 ,可以反映出弧线布置以及直线布置的虹吸管 ,弧面形态以及平面形态的坡

面,能较完整地反应坡体型式。

建立圆弧与所对应曲率半径几何关系,利用公式 $\eta_i = \frac{180m_i(1-2h)}{\theta_i\pi}$,通过对公式(4)加入更多损

失因素的考虑,可以得到图6所示坡体型式虹吸管排水能力计算式(6):

$$Q = 0.25 \sqrt{\frac{2\pi^2 d^4 gz}{\frac{8n^2 gl}{3\sqrt{\frac{d^4}{4}}} + 1.185 + 0.208\left(\frac{d}{\eta}\right)^{7/2} + \sum_{i=1}^2 \left[\left(0.131 + 0.1632\left(\frac{d\theta_i\pi}{180m_i(1-2h)}\right)^{7/2}\right) \left(\frac{\theta_i}{90^\circ}\right)^{0.5} + \left(0.131 + 0.1632\left(\frac{d\theta_{i+2}\pi}{180m_{i+2}(1-2h)}\right)^{7/2}\right) \left(\frac{\theta_{i+2}}{90^\circ}\right)^{0.5} \right]}} \quad (6)$$

其中 m_1, m_2 为各个弧段虹吸管长度 l_1, l_2 占坡面上虹吸管总长度的比率,即 $m_1 = l_1/l - 2h, m_2 = l_2/l - 2h$; θ 为各个弧段所对应圆心角;如图7、图8所示。

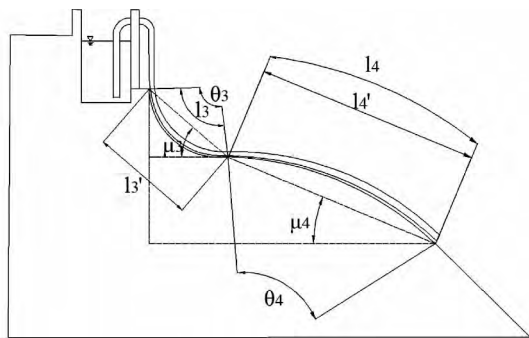


图8 非平面坡面虹吸管弧线布置样式剖面图

Fig. 8 Non-planar slope siphon sectional view of the curved layout style

通过公式(6)可以计算图6所示坡体模型的排水能力。在计算过程中,假定了弧段衔接处是平直的,所以夹角 μ 对整体并没有过多的影响,其存在只间接反映管长与高差间的关系。对于布置过程中可能存在的转折坡面,如图9所示,或者遇见障碍需要在很短的距离内改变很大的方向时,两管之间需要使用预置件进行联通,此时需要考虑连接处可能带来的水头损失,故按照最不利与水输送的折线联通装置,考虑其连接处可能存在的虹吸管折管损失 ζ_z , $\zeta_z = 0.946\sin^2(\theta/2) + 2.05\sin^4(\theta/2)$, 计算形式如图10所示,对于如图9所示的布置形式中 $\theta = |\mu_3 - \mu_4|$ 。

当虹吸管布按照弧段以及折线布置的数量变多的时候,将公式(9)进行归纳推导并进行简化,令 b_i 代表 $\left(0.131 + 0.1632\left(\frac{d\theta_i\pi}{180m_i(1-2h)}\right)^{7/2}\right)\left(\frac{\theta_i}{90^\circ}\right)^{1/2}$ 表示弧段弯管处的弯管阻尼系数;令 c_x 代

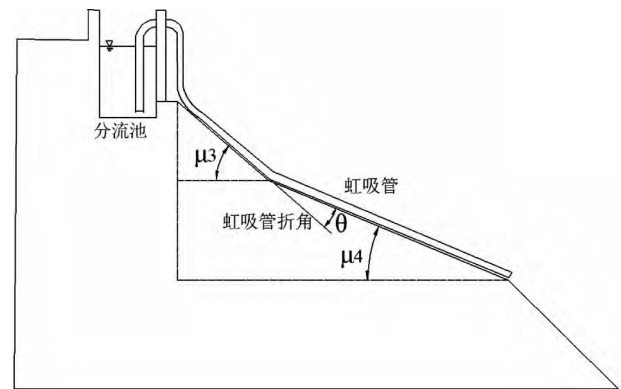


图9 坡面折线示意图

Fig. 9 Line slope schematic

表 ζ_z ($c_1 = 0$)。如果存在折线布置时,则予以计算,大多数情况坡体呈阶梯状时此项会予以考虑。 j 代表坡面上虹吸管分段计算段数; $i+j$ 代表第 i 段虹吸管所对应的坡面; k 代表需要考虑折管阻力的数量。通过这几个参数的引入,不同坡面形态虹吸管排水能力计算式为:

$$Q = 0.25 \sqrt{\frac{2\pi^2 d^4 gz}{\frac{8n^2 gl}{3\sqrt{\frac{d^4}{4}}} + 1.185 + 0.2308\left(\frac{d}{\eta}\right)^{7/2} + \sum_{i=1}^j (b_i + b_{i+j}) + \sum_{x=1}^{k+1} c_x}} \quad (6)$$

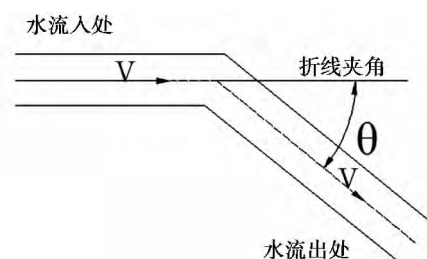


图10 虹吸管折线示意图

Fig. 10 Line siphon pipe schematic

4 虹吸管弧线布置对排水能力的影响

考虑图 11 所示布置形式 ,对比分析虹吸管弧线布置与等高差、同长度的直线布置条件下的虹吸管排水能力。以虹吸管径 0.355 m 作为计算对象 ,利用公式(10) 进行计算。

假设在坡体上存在着 10 段等长弧线布置的虹吸管 ,每段圆弧对应弧度均为 180° ,通过计算并与所得原数据对比 ,得到了两者计算数据的相差率。

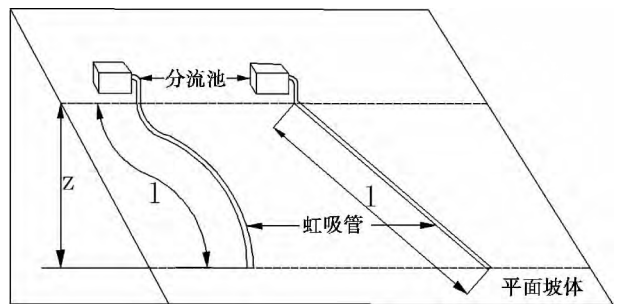


图 11 虹吸管等长等高差沿弧线以及沿直线布置示意图

Fig. 11 Siphon as long as high-fat arranged along a straight line along the dotted line and schematic

通过表 2 可以看到随着虹吸管布置长度的增加 ,虹吸管等高差同长度虹吸管的同弧线布置同直线布置排水能力相差变小 ,虹吸管布置长度 100 m 时 ,图 11 所示两种布置形式虹吸管排水能力相差 7%。进一步研究 ,增加考虑了虹吸管弧线圆弧角 90°、布置段数为 5 段、2 段 ,弧线布置与直线布置虹吸管排水能力的对比 ,得到如图 12 所示曲线。

可以看到 ,随着虹吸管布置长度的增加 ,虹吸管弧段数量不变的条件下 ,同一种管径虹吸管弯管阻力对虹吸管整体排水能力的影响呈负相关 ,随着弧段布置处的减小 ,其影响会相应减小;对于相同长度以及弧段布置数量条件下 ,虹吸管弯管阻力与虹吸管径呈正相关 ,如对于 100 m 管长 ,10 段圆弧对应弧度均为 180° 布置条件下 ,0.11 m、0.355 m、0.56 m 管径弧线以及直线布置的排水能力相差率分别为 1.62%、6.88%、9.95% (图 13) ,对于 0.355 m、0.56 m 管径虹吸管而言排水能力相差较大;从图中还可以观察到 ,随着虹吸管圆弧弧度或者布置数量的减小 ,弯管阻力影响率虽然也变小 ,但对于排水能力的设计计算而言仍然需要考虑。

表 2 管径 0.355 m 弧线布置与直线布置同高差等长度的虹吸管排水能力比值

Tab. 2 0.355m diameter arc arrangement with a linear arrangement siphon drainage capacity ratio with equal height and length

管径 长度/m 比值										
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
d = 0.355m	0.890 9	0.931 2	0.949 7	0.960 3	0.967 3	0.972 0	0.975 9	0.978 6	0.980 8	0.982 4

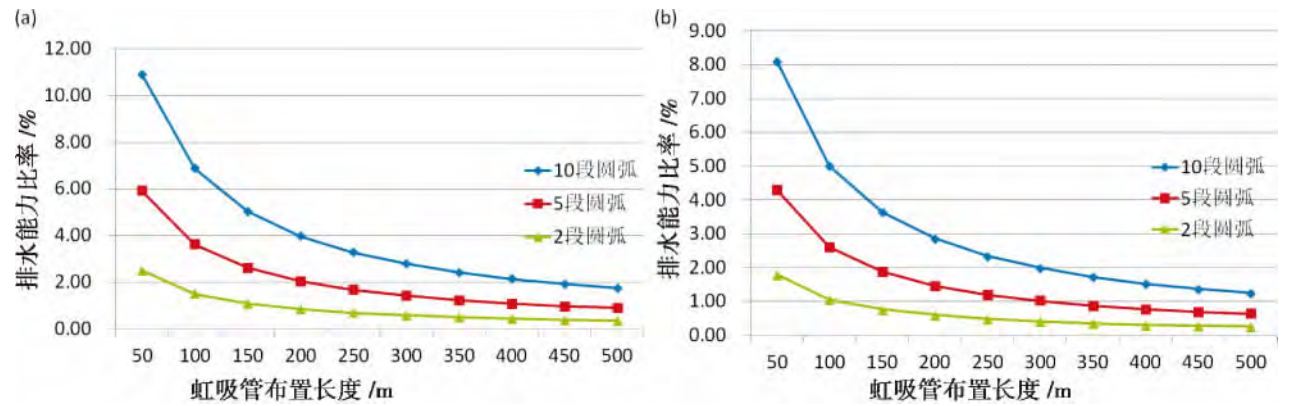


图 12 管径 0.355 m 等高差同长度不同弧线布置与直线布置虹吸管排水能力相对比

(a) 各段弧线对应弧度为 180°; (b) 各段弧线对应弧度为 90°

Fig. 12 0.355m diameter ace arranged siphon pipe compares with linear arrangement capacity in the same height and length;

(a) Arc corresponding to each segment radians is 180°; (b) Arc corresponding to each segment radians is 90°

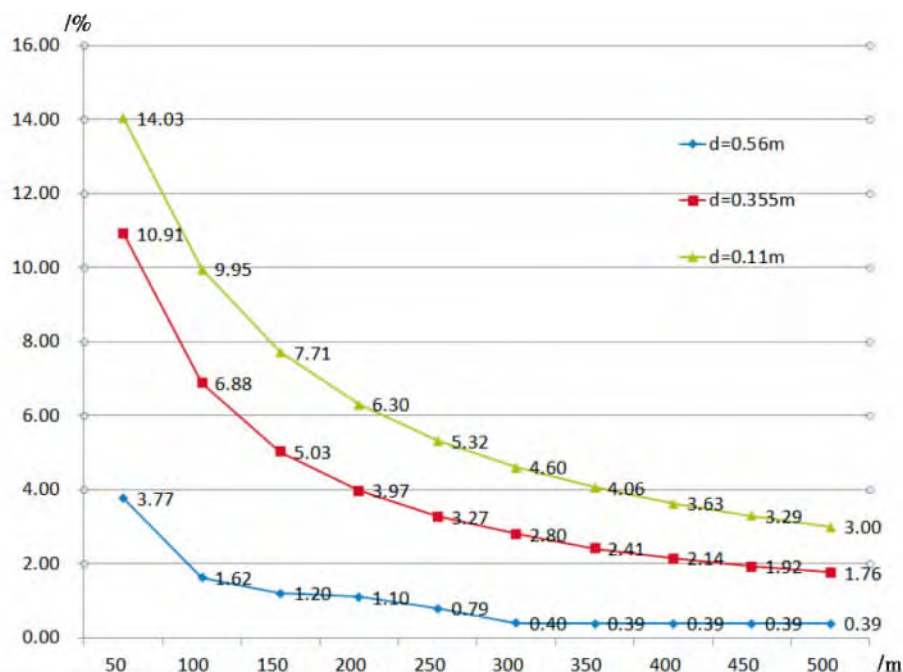


图 13 不同管径 10 段弧线布置与直线布置虹吸管排水能力相对比

Fig. 13 Different diameters of siphon arranged by 10 arcs lines compared drainage capacity with linear arrangement

5 结论

泥石流虹吸排水方法中排水管能够将导水槽流入分流池中的水在定时间内排走,是泥石流虹吸排水方法中重要的一个环节,通过水力学分析以及结合 PE80 管标准规格,进行了分析计算,得到了如下结论:

1) 通过水力学分析以及公式的推导,得出了不同长度虹吸排水能力的计算公式,通过理论计算,可以得到不同管径虹吸管的排水能力,不会随着虹吸管入水口以及出水口的高差增加而无限增大的,会在某一高差(或者虹吸管长度下)达到临界值,超过这个值之后,虹吸管内排水速度能力将近乎不变。

2) 根据 PE80 管标准规格,进行了虹吸管排水能力的计算,在剔除部分变量的条件下,给出了不同管径下虹吸管排水能力的基础值 a ,为工程设计计算提供了参考依据。

3) 针对于实际工程中可能存在的不同坡体形态,通过简化归纳,提出了虹吸管排水能力的计算公式,并传统虹吸管排水能力计算方法进行对比,给出了两者之间的差距,为今后各种坡体型式虹吸管的排水能力设计提供了依据。

参考文献 (References)

- [1] Hu Xiangde, Bi Yuanhong, Wei Jie, Conditions leading to the destructive debris flow at the Sanyanyu Gully and its occurrence trend [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(2): 55-60 [胡向德, 毕远宏, 魏洁. 甘肃舟曲三眼峪沟泥石流的形成条件与发展趋势[J]. 中国地质灾害与防治学报 2011, 22(2): 55-60]
- [2] Kang Zhicheng, Li Zhuofen, Ma Ainai, et al. The research of Chinese debris flood [M]. Beijing: Science Press, 2004. [康志成, 李焯芬, 马蔼乃, 等. 中国泥石流研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.]
- [3] Wu Qiang, Xu Linrong, Zhou Kai, et al. Starting analysis of loose accumulation of gully-startup debris flow [J]. Journal of Natural Disasters, 2015, 24(2): 89-96 [吴强, 徐林荣, 周凯, 等. 沟道启动类泥石流松散堆积物启动分析[J]. 自然灾害学报 2015, 24(2): 89-96]
- [4] Fei Junxiang, Shu Anping. Debris mechanism and disaster prevention [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 248-268 [费俊祥, 舒安平. 泥石流运动机理与灾害防治 [M]. 北京: 清华大学出版社 2004: 248-268]
- [5] Wen Lianrong, XIE Yu, LI Dong, et al. Light Compaction Test of Saline Soil Reinforced with Wheat Straw and Compressive Property of Compacted Specimen [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(5): 16-20, 31 [文联勇, 谢宇, 李东, 等. “水石分离”在泥石流灾害防治工程中的应用[J]. 长江科学院院报 2012, 29(5): 16-20, 31]
- [6] C M Fleischmann. Translated by Yao Deji. Debris flow [M]. Beijing: Science Press, 1986: 169-171 [(苏) C M 弗莱施曼 著; 姚德基译. 泥石流 [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 169-171]

- [6] M Berti ,R Genevois ,R LaHusen ,et al. Debris flow monitoring in the Acquabona watershed on the Dolomites (Italian alps) [J]. Phys. Chem. Earth (B) 2000 25(9) : 707 – 715
- [7] Chen Xiaoqing , Cui Peng , YOU Yong , et al. Layout methods of control works preventing large scale debris flows in Wenchuan earthquake area [J]. Journal of Hydraulic Engineering , 2013 44(5) : 586 – 593 [陈晓清, 崔鹏, 游勇, 等. 汶川地震区大型泥石流工程防治体系规划方法探讨 [J]. 水利学报 2013 44(5) : 586 – 593]
- [8] Zhang Shengkun , PENG Min , Wenjiagou serious geological disaster prevention design and construction of diversion tunnel dynamic for Wenchuan earthquake [J]. Exploration Engineering: Rock & Soil Drilling and Tunneling , 2013 40(3) : 71 – 74 [张盛鲲, 彭敏. 汶川地震灾区文家沟特大地质灾害防治引水隧洞设计与动态施工 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程) 2013 40(3) : 71 – 74]
- [9] Li Weiren , Tao Keyu , Application of siphon pipe in rescue of Longyan reservoir [J]. Guang Xi Water Resources & Hydropower , 2007 4(4) : 52 – 54 [李维仁, 陶柯宇. 虹吸管在龙岩水库抢险中的应用 [J]. 广西水利水电 2007 4(4) : 52 – 54]
- [10] Li Weiren , Tao Keyu . Application of siphon pipe in rescue of Longyan reservoir [J]. Guang Xi Water Resources & Hydropower , 2007 4(4) : 52 – 54 [李维仁, 陶柯宇. 虹吸管在龙岩水库抢险中的应用 [J]. 广西水利水电 2007 4(4) : 52 – 54]
- [11] M Öztürk , A Yücel , M C Tuna. The investigation of side-weir siphons flow along a curved channel [J]. Journal of Engineering Research , 2015 , 3(1) : 51 – 77
- [12] Zhou Bifan , Li Deji , Luo Defu , et al. Debris flow prevention guide [M]. Beijing: Science Press , 1991. [周必凡, 李德基, 罗德富, 等. 泥石流防治指南 [M]. 北京: 科学出版社 1991.]
- [13] D J Wilford , M E Sakals , J L Innes , et al. Recognition of debris flow , debris flood and flood hazard through watershed morphometrics [J]. Landslides 2004 , 1(1) : 61 – 66
- [14] Sun Hongyue , Shang Yuequan , Yu Yang , et al. In-trench water-stone separation siphoning-drainage debris flow control method , CN 0039280. 8 [P]. 2014. 6. 4 [孙红月, 尚岳全, 于洋, 等. 一种沟内水石分离虹吸排水防治泥石流方法, 中国, 0039280. 8 [P]. 2014. 6. 4]
- [15] Wu Chigong. Hydraulics [M]. Beijing: Higher Education Press , 2008. [吴持恭. 水力学 [M]. 北京: 高等教育出版社 2008.]
- [16] Mao Genhai , Shao Weiyun , Zhang Yan , Applied fluid mechanics [M]. Beijing: Higher Education Press 2006. [毛根海, 邵卫云, 张燕. 应用流体力学 [M]. 北京: 高等教育出版社 2006.]
- [17] Gao Haiying , Ma Jinxia , Li He. Hydraulics [M]. Nanjing: Southeast University Press , 2011. [高海英, 马金霞, 李贺. 水力学 [M]. 南京: 东南大学出版社 2011.]

Siphon Drainage Capacity Theoretical Calculation for Debris Flow

WANG Xiangyu , SHANG Yuequan , PAN Pan , WEI Zhenlei

(College of Civil Engineering and Architecture , Zhejiang University , Hangzhou 310028 , China)

Abstract: Hydrodynamic factor is an important condition causes debris flow. At present , for debris flow control means all using gravity flow drainage form , such kind of form often makes the cut drainage structures failure due to siltation. Water-sediment separation by water siphon drainage technology uses siphon phenomenon to drainage , avoiding the power , in the form of full pipe flow of water across space transmission. However , in present , doesn't have a clear research on siphon drainage pipe's arrangement design for the selection of size and number. With hydraulics analysis and formulas derivation , summarized a formula for siphon drainage ability with given length , Calculated with PE80 grade polyethylene pipes , gives reference standard value siphon drainage capacity of different diameters. Moreover , summarized a formula suit for complex slope mode for designing of actual slope debris flow prevention.

Key words: debris flow; siphon drainage; siphon drainage pipe design; Control methods