

ICS 93.080

CCS R00/09

团 体 标 准

T/C1XXX-2022

强震区特大泥石流防治工程设计规范

Design code of prevention and control engineering for
disastrous debris flow in meizoseismal area

(征求意见稿)

2022-X-XX 发布

2022-X-XX 实施

中国国际科技促进会 发布

中国国际科技促进会(CIAPST)是1988年经中华人民共和国国务院科技领导小组批准而成立的全国性社会团体。制定团体标准、开展标准国际化和推动团体标准实施,是中国国际科技促进会的工作内容之一。任何团体和个人,均可提出制、修订中国国际科技促进会团体标准的建议并参与有关工作。

中国国际科技促进会标准按《中国国际科技促进会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国国际科技促进会征求意见稿经向社会公开征求意见,并得到参加审定会议的80%以上的专家、成员的投票赞同,方可作为中国国际科技促进会标准予以发布。

在本标准实施过程中,如发现需要修改或补充之处,请将意见和有关资料寄给中国国际科技促进会标准化工作委员会,以便修订时参考。

任何团体和个人,均可对本标准征求意见稿提出意见和建议,牵头起草单位联系方式:
huxiewen@163.com。

中国国际科技促进会

地址:北京市海淀区中关村东路89号恒兴大厦13F

邮政编码:100190

电话:010-62652520 传真:010-62652520

网址:<http://www.ciapst.org>

电子信箱:ci@ciapst.org

目 次

前 言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 强震区特大泥石流工程设计总则	6
4.1 设计总体思路	6
4.2 宽缓沟道型泥石流综合防控体系	6
4.3 窄陡沟道型泥石流综合防控体系	6
5 基本规定	7
5.1 防治工程设计阶段划分	7
5.2 防治工程设计的依据和基础资料	7
5.3 防治方案原则与要求	8
5.4 防治方案制定	9
6 强震区特大泥石流防治工程设计标准	9
6.1 强震区特大泥石流防治工程安全等级标准	9
6.2 强震区特大泥石流防治工程设计安全系数	10
7 强震区特大泥石流动力学参数	12
7.1 泥石流重度	12
7.2 泥石流流量	12
7.3 泥石流流速	13
7.4 泥石流冲击力	13
7.5 泥石流冲起高度与爬高	13
7.6 泥石流弯道超高	14
7.7 坝下冲刷深度	14
7.8 泥石流磨蚀力	14
8 强震区特大泥石流分项工程设计	14
8.1 拦挡结构设计	14
8.2 排导结构设计	18
8.3 固源护坡结构设计	22
8.4 应急通行结构	25
9 绿色环保措施设计	25
9.1 绿色环保措施	25
9.2 动态清淤设计	25
10 强震区特大泥石流治理工程效果监测设计	26
10.1 一般规定	26
10.2 防治工程施工期监测	27
10.3 防治工程效果监测	28
10.4 防治工程专项监测	29
附 录 A（规范性附录）泥石流堆积区冲刷深度计算	31
附 录 B（规范性附录）桩基承台结构计算	32
附 录 C（规范性附录）坝下消能防冲工程结构	38

附录 D (资料性附录) 泥石流流速排结构	40
附录 E (资料性附录) 泥石流磨蚀力计算方法	46
附录 F (资料性附录) 泥石流耐磨蚀混凝土材料	49
附录 G (资料性附录) 路基缺口应急通行自承载结构	50
附录 H (资料性附录) 泥石流淤埋路段应急通行战备浮桥	52
附录 I (规范性附录) 强震区特大泥石流防治工程设计内容	55

前言

本文件按GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件附录A、B、C、I为规范性附录，附录D、E、F、G、H资料性附录。

本文件是在已有泥石流设计规范《泥石流灾害防治工程设计规范》（DZT0239-2004）、《泥石流防治工程设计规范》（T/CAGHP 021-2018）的基础上，针对汶川地震强震区特大泥石流防治工程设计中面临的成灾机理不清、动力学特征参数不准、治理方案针对性不强等问题，进行的针对性增补编制。

本文件充分总结国家重点研发计划项目“强震区特大泥石流综合防控技术与示范应用”各课题的研究成果，并收集国内外有关泥石流防治技术标准，总结我国泥石流防治工程设计经验，充分吸收了较为成熟的泥石流防治技术，针对汶川地震、芦山地震和九寨沟地震大型、特大泥石流防治工程呈现出的一系列新问题编制而成的。

本文件由中国国际科技促进会标准化工作委员会提出提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：西南交通大学、四川省华地建设工程有限责任公司、枣庄学院、中国地质调查局成都地质调查中心、成都理工大学、中国地质环境监测院、中南大学、西南科技大学、四川大学、中铁第一勘察设计院集团有限公司等单位。

本文件主要起草人：胡卸文 陈洪凯 高延超 赵松江 王文沛 余斌 徐林荣 李德华 焦朋朋 余志祥 罗刚 刘波 何坤 赵世春 韩征 李为乐 苗晓岐 刘清华 姚强 常鸣 丁明涛 齐欣 赵峥 覃亮 郝红兵 蒙明辉 张友谊 高路 常鸣 苏娜 张楠

本文件由西南交通大学等编制单位共同负责解释。

强震区特大泥石流防治工程设计规范

1 范围

本文件适用于强震区特大泥石流灾害的防治工程设计，其他区域沟道内松散物源丰富的泥石流灾害防治工程设计可参照本规范执行。凡铁路、公路、水路、水利、电力、矿山、油气管线等生命线工程，对泥石流防治工程设计有特殊要求时可作专门研究。

本文件规定了强震区泥石流防治工程的术语和定义、符号、基本规定、工程设计标准、设计参数确定、分项工程设计、工程监测设计、施工组织设计与施工措施说明等。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 50007 建筑地基基础设计规范

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB 50286 堤防工程设计规范

GB 50487 水利水电工程地质勘查规范

GB 50863 尾矿设施设计规范

GB/T 38509-2020 滑坡防治设计规范

DL 5077 水工建筑物荷载设计规范

DL 5108 混凝土重力坝设计规范

DZ/T 0220 泥石流灾害防治工程勘察规范

DZ/T0239-2004 泥石流灾害防治工程设计规范

JGJ 94 建筑桩基技术规范

JTGC 20 公路工程地质勘察规范

JTGD 30 公路路基设计规范

SL 44 水利水电工程设计洪水计算规范

TB 10012 铁路工程地质勘察规范

TB 10027 铁路工程不良地质勘查规程

T/CAGHP 021-2018 泥石流防治工程设计规范（试行）

T/CI 027-2022 公路泥石流防治工程设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

泥石流 debris flow

山区沟谷或坡面在降雨、冰雪融化、水库溃决等自然和人为因素作用下发生的一种挟带大量泥砂、石块或巨砾等固体物质的特殊洪流。

3.2

泥石流灾害 debris flow hazard

对人类生命财产和生存环境已经造成危害或损失的泥石流活动过程。

3.3

潜在泥石流沟 potential debris flow valley

震前没有泥石流活动记录，震后具备形成泥石流条件（震后崩塌滑坡物源增多），且一旦发生泥石流可能造成人类生命财产损失或生存环境破坏的沟谷。

3.4

泥石流勘查 debris flow investigation

采用调查测绘、勘探试验等合适的技术方法，针对强震区泥石流形成条件的变化、泥石流活动特征，评价震后泥石流的危险区及危害性，提供防治工程设计所需地质参数及图件资料的工作过程。

3.5

泥石流灾害防治工程 prevention project for debris flow disaster

采取恰当的工程措施消除泥石流的形成条件、控制震后泥石流的形成规模、约束或引导泥石流的路径，使泥石流活动不再对受威胁区域造成危害的人类工程活动。

3.6

泥石流监测 debris flow monitoring

采用人工测量、仪器观测等技术方法，对震后泥石流活动过程的相关参数进行现场观测，查明泥石流的活动特征，为泥石流勘查设计、防灾预警和防治工程效果评价提供直接证据资料的工作过程。

3.7

窄陡型泥石流沟 V-shaped debris flow valley

指沟道纵坡坡降大于250‰、沟底宽小于40m、流域面积一般小于5km²的泥石流冲沟，具有沟谷狭窄、纵坡陡峻，多呈“V”谷，。治理方案以沟内固源固坡、沟口停淤辅以排导的工程措施。

3.8

宽缓型泥石流沟 U-shaped debris flow valley

指沟道纵坡坡降小于250‰、沟底宽大于40m、流域面积一般大于5km²的泥石流冲沟，具有沟谷较宽、纵坡较缓，多呈“U”谷。治理方案主要采用沟内固源、拦挡辅以沟口排导的工程措施。

3.9

堵溃型泥石流沟 Blocking debris flow valley

沟道因大型滑坡、崩塌堆积物发生堰塞，山洪或泥石流在该段雍塞堆积，进而发生溃决导致流量放大的泥石流。

3.10

滑坡型泥石流 landslide-debris flow

地震后沟道内或坡面形成的滑坡体，遭遇强暴雨后迅速转化成泥石流的灾害。

3.11

强震区 meizoseismal area

地震震级一般大于等于7级、实际地震烈度大于VIII度的区域。

3.12

高烈度区 High intensity area

地震基本烈度大于VIII度的区域。

3.13

物源 Material source

受降雨洪水、溃决洪水（堰塞湖、水库、冰湖）、冰雪融化等水流冲刷启动，可能参与泥石流活动并构成泥石流固体物质的地质体。包括沟域内分布的滑坡、崩塌堆积体、人工弃渣堆积体，沟道松散堆积物，斜坡风化岩土体、震裂破碎岩体等可能成为松散物质的地质体。

3.14

震裂物源 Shattering material source

由于强烈地震作用在山区分水岭附近因震动裂开的松弛岩土体（潜在不稳定坡体），以岩体为主，震后常因地震震动或降雨作用失稳作为泥石流补给物源，属于强震区特殊类型物源。

3.15

加载效应 loading effect

滑坡体剪出滑动，连续加载并堆积于下方斜坡体上部，导致斜坡体失稳并转化为碎屑流的过程。

3.16

动力侵蚀 dynamic erosion

泥石流或碎屑流运动对底部或沟谷两侧松软地层的铲刮过程。

3.17

小口径组合桩群 micropile group

单桩桩径小于半米的两排或多排桩群结构。

3.18

桩林坝 pile dam

在泥石流流通区利用桩、桩顶连梁组合结构垂直流向布置两排或多排、横向交错呈三角形或梅花形排列的拦挡工程。

3.19

桩基承台坝 Pile foundation dam

在泥石流流通区或堆积区，当基础持力层无法满足坝体承载力要求或者防止坝下细颗粒流失导致的基础不均匀沉降，采用端承桩或者摩擦桩作为桩基础、进而以筏板为承台来修筑拦挡坝。

3.20

拦挡坝 check dam

在泥石流形成区或形成流通区，以拦蓄泥石流固体物质为主要目的，并兼有调节洪峰流量、调控泥石流规模与重度等功能的大中型拦蓄工程，常用坝型有实体重力坝和格栅坝。

3.21

格栅坝 grid dam

具有横向、竖向或网格等形状格栅，能够拦蓄泥石流中粗颗粒同时能排泄水流及细颗粒的泥石流拦挡坝，可以分为刚性格栅坝和柔性格栅坝。

3.22

缝隙坝 slit dam

泥石流工程治理措施中的一种通过坝体缝隙拦粗排细的透过式坝。

3.23

谷坊坝 check dam

在窄陡沟道型泥石流流通区控制沟床侵蚀、保持沟道及岸坡稳定的小型拦挡坝，高度一般低于5m。

3.24

排导槽 diversion channel

采用人工开挖、填筑过流断面，或利用天然沟道、砌筑具有规则平面形状和横断面的一种开敞式槽型过流构筑物。

3.25

潜槛 submerged sill

在窄陡沟道型泥石流沟道内具有防止沟床下切固床功能的低槛防冲工程，也可布设于拦挡坝坝下消能工程或排导出入口的附属工程。

3.26

护坦 apmn

在拦挡坝下游冲刷区具有铺底护床、固基功能的保护工程。

3.27

停淤场 sediment stonge field

在泥石流运动线路上，利用宽阔洼地或平缓地带停蓄泥石流的工程，一般布设在沟口堆积区。

3.28

防护堤 embankment

在泥石流流通区及堆积区顺流向布置，改变泥石流运动线路，防止泥石流冲毁或掩埋保护对象的线型墙类工程。

3.29

丁坝 groyne

与沟岸正交或斜交伸入沟道中的减缓或减弱泥石流侧向侵蚀的构筑物。

4 强震区特大泥石流工程设计总则

4.1 设计总体思路

基于强震区宽缓与窄陡沟道型泥石流不同动力学特性与流量下泄及动力学控制，针对宽缓沟道型泥石流的“拦挡+排导”、窄陡沟道型泥石流“沟内固源固床+沟口拦挡停淤+排导”进行综合防控。防治工程设计应充分考虑抗冲击、耐磨蚀的结构型式与施工工艺；对强震区沟道型、高位滑坡型特大泥石流灾害链应进行全过程动态指标监测。

强震区震后泥石流设计总体思路，应参考《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》B.1，并充分考虑不同烈度区、不同地震加速度对泥石流规模与频率的影响。

4.2 宽缓沟道型泥石流综合防控体系

宽缓沟道型泥石流应基于泥石流流量下泄控制，开展“拦挡坝+导流堤+汇流槽+底越式排导槽”的综合防控。

a) 修建多级拦挡坝，根据适用条件在流通区修建多级实体坝、缝隙坝、格栅坝、梳齿坝。

b) 导流堤墙体采用钢筋混凝土或素混凝土结构防冲耐磨，导流堤端部及堤身每隔一定距离设置嵌固桩防治基础冲刷，以及导流堤内侧设置部分翼型导流结构防冲击破坏。

c) 采用底越式排导槽排泄泥石流体并防止在出口部位淤埋堵塞，将排导槽设置成纵横断面均为弧形、出口段设置成反翘，利于泥石流在排导槽里快速排泄。

4.3 窄陡沟道型泥石流综合防控体系

窄陡型泥石流束流冲蚀调控措施应充分考虑最大冲刷深度，基于泥石流流量下泄控制的“沟内固源固床+沟口拦挡停淤+排导”的综合防控成套技术，采用“固坡挡土结构+固床结构+拦挡坝或停淤场+防冲护底型排导槽”等结构。

a) 固坡挡土结构。强震形成的大规模崩滑体堵塞窄陡沟道，重点对此类起动物源进行固源固坡，考虑施工条件可进行轻型支挡结构或者就地利用崩滑体大块石的格宾石笼挡墙对比，择优选用。

b) 固床结构。基于窄陡沟道型束流冲刷、强烈揭底特点，实施固床防冲结构，采用混凝土、浆砌片石圪工以及格宾石笼等为材质的多级固床潜槛或多道谷坊坝结构防冲揭底。

c) 拦挡坝坝型。该类泥石流沟道纵坡陡、施工条件差，不宜采用大体量多级拦挡坝，且拦挡坝尽可能采用轻型结构，可采用谷坊坝、桩林坝、柔性网格坝等不同类型。

d) 停淤场结构。基于窄陡沟道型泥石流沟口堆积扇较为宽缓，在出口处布设停淤场，防止泥石流漫流淤埋居民区或交通要道乃至堵塞主河道，结构型式可以采用素混凝土或浆砌片石材质。

e) 防冲护底型排导槽。考虑窄陡沟道型泥石流地形特点及出沟口部位高流速、强冲刷揭底特点，沟口排导槽建议采用框架结构型渡槽或明洞型渡槽，渡槽横剖面形态上宽下窄、底部弧形断面，纵断面采用弧形结构并在出口部位反翘，增大泥石流冲出排导槽后的抛程。

5 基本规定

5.1 防治工程设计阶段划分

5.1.1 强震区特大泥石流防治工程按泥石流所属项目的基本建设程序划分进行分阶段设计，一般分为可行性方案设计、初步设计和施工图设计三个阶段。

5.1.2 可行性方案设计应在审定的防治工程可行性阶段勘查成果基础上，根据防治目标、保护对象和治理范围，对多种设计方案进行全面的经济、技术、社会和环境效益论证，通过比选提出推荐设计方案。设计文件应包括设计报告、设计方案图纸及工程投资估算。

5.1.3 初步设计应在审定的可行性推荐方案基础上，对防治任务进行合理分解，确定各分项工程的设计要求与边界、实现目标的可行性、工程可靠性与实现步骤和有关工程参数，编制出初步设计图册、监测初步方案、初步设计报告、设计图纸及工程投资概算。

5.1.4 施工图设计应在审定的初步设计基础上，对初步设计图中结构和构造进行扩充和细部设计，提出施工技术、施工组织和安全措施，使之满足实施的要求；对监测方案应给出准确的布点位置及要求，以利于定位实施；编制施工图设计报告、施工图册及工程投资预算。

5.1.5 应急治理工程可按照一阶段设计，即根据现场勘察，立即进行施工图设计，视情况进行动态设计、信息化施工，并加强施工期间的监测。

5.2 防治工程设计的依据和基础资料

5.2.1 防治工程设计的依据应包括立项任务书、泥石流灾害评估报告、防治工程勘查报告、可行性研究报告等。

5.2.2 防治工程设计的基础资料应满足各设计阶段的要求。主要包括以下方面：

- 5.2.2.1 地形资料：地形图、平面图、剖面图和高程控制点等，治理工程布置区平面图比例不小于 1:500，断面图比例不小于 1:200。
- 5.2.2.2 气象水文资料：气温、降水量（记录强降雨出现的频率和发生时间）、冻结深度、暴雨、洪水流量、淹没、冲淤等。
- 5.2.2.3 预测工程建设可能引起的新的地质灾害，以及建议预防措施。
- 5.2.2.4 防治工程勘查资料：泥石流基本特征资料，尤其是泥石流物源条件，明确不同降雨条件下物源可能补给量；场地岩土结构、类型、年代、成因、产状、分布、相关岩土体的物理力学性质；地质构造的性质、展布及对工程的影响；自然或人为不良地质现象及对工程的影响；地下水类型、水位及埋深、动态、补给排泄条件及地层渗透系数；水与土对建筑材料的腐蚀性；地震基本烈度、地震动参数；特殊岩土的测试与评价。
- 5.2.2.5 基于现场调查和搜集的基础数据，在室内试验和野外试验的基础上进行统计分析，给出各项参数的平均值、标准差和变异系数，确定其标准值。同时可与类似的工程进行对比，合理选定成果参数的设计值，并明确泥石流演化趋势。
- 5.2.2.6 人类工程活动：明确泥石流沟内土地资源利用类型，包括林地、耕地、矿山开采、道路修建、水利工程修建、工程弃渣等，指出人类工程活动对泥石流沟地貌、物源条件的影响情况。
- 5.2.2.7 其他资料：施工场地的水、电、交通条件；排水、排污条件；对噪声、振动的限制；防治工程勘察、设计及施工的地方经验；当地材料及劳务价格、拆迁及移民补偿、青苗补偿价格；防治工程影响范围内的城镇建设发展规划图；县域历史自然灾害资料等。

5.3 防治方案原则与要求

- 5.3.1 以流域为单元进行工程措施与生物措施相结合的综合治理，工程措施应重点考虑以排导为主、拦挡为辅、拦排结合。
- 5.3.2 在形成区中以抑制地震滑坡堆积体为主，阻滞泥沙输移，常用的措施有恢复植被、建造多树种多层次的立体防护林、坡面截水沟、沟谷区的拦挡坝、导流堤、护岸工程等。
- 5.3.3 在泥石流流通区段以疏导为主，保证流路通畅。主要措施有导流和护岸、护底、清障。在地形较好的地区，则采用可靠的拦挡措施，以达到减沙、减势、控制水沙下泄、控制流量的效果。拦挡工程有拦挡坝等。
- 5.3.4 对规模巨大的泥石流，公路或铁路宜采取避让措施或防冲措施。如平面绕避改道、立面绕避（渡槽、隧道、桥梁等）。
- 5.3.5 在泥石流堆积区利用停淤、分流化解泥石流水、沙集中的矛盾。主要措施有停淤场、导流工程。应加大大河排沙能力，稳定河床和沟口。采取的主要工程为导流堤、丁坝等。

5.4 防治方案制定

5.4.1 防治工程等级一、二级以及工程规模大于 1000 万元的应同时制定 2-3 个泥石流综合防治方案，进行全面的经济比较，推荐其中最优的方案。

5.4.2 防治工程等级三、四级以及工程规模小于 1000 万元的应同时制定 2 个泥石流综合防治方案，进行全面的经济比较，推荐其中最优方案。

5.4.3 对于分阶段实施的防治方案，应特别说明各阶段所采取的具体措施、所需经费、预期目标等。

5.4.4 防治方案主要有以下七种：

5.4.4.1 综合防治方案应在流域上游形成区采用防止泥石流形成体系，中下游采用调控泥石流运动和堆积体系，包括植树造林控制侵蚀的生态措施及增加泥石流能量耗散的拦挡综合方案。适用于泥石流活跃、有重要保护对象的情况。

5.4.4.2 以工程为主的防治方案在泥石流的形成、流通、堆积区内，采取以相应的拦挡、固源治理工程为主，辅以其他措施。适用于泥石流规模大，暴发频繁，中等、松散固体物源丰富，水动力条件相对集中，保护对象重要的情况。

5.4.4.3 以治水为主的方案利用蓄水、引水和截水等工程控制地表洪水径流，使水土分离，稳定山坡；辅以修建拦挡、排导工程和流域生态措施。适用于水力类泥石流治理。

5.4.4.4 以治土为主的方案利用拦挡、支护工程，拦蓄泥石流固体物质，稳定沟岸崩塌及滑坡；辅以排导、截水工程、降低地下水位和流域生态措施等。适用于土力类泥石流治理。

5.4.4.5 以排导为主的方案利用排导槽、渡槽等工程，排泄泥石流，控制泥石流的危害；辅以拦挡工程和流域生态措施等。适用于泥石流成灾范围有限、宜避让的泥石流治理。

5.4.4.6 以生物、水保措施为主的防治方案在流域内采用植树、种草等生物措施，坡改梯、截水沟、分水沟等水保措施。适用于冲沟或坡面泥石流治理。

5.4.4.7 以预警系统为主的方案在泥石流流域内布设预警报网点，设置预警报装置，建立预警报信息发布系统。适用于防治难度大、投资效益比较低、保护对象一般的泥石流沟防治。

6 强震区特大泥石流防治工程设计标准

6.1 强震区特大泥石流防治工程安全等级标准

6.1.1 依照受威胁对象的险情或受灾对象的灾情将泥石流防治工程安全等级标准分为四个级别。

6.1.2 泥石流灾害防治工程的设计使用年限根据其安全等级确定，一二级安全等级可按 50 年一遇考虑，三四级安全等级按不低于 20 年一遇考虑。当遭遇超设计标准灾害或者使用条件改变时应进行安全性鉴定，特殊工程应进行专门论证。

表 1 强震区特大泥石流灾害防治工程安全等级标准

分级标准	防治工程安全等级			
	一级	二级	三级	四级
城镇等级	省会级城市	地市级城市	县级城市	乡、镇及重要居民点
威胁或受灾对象	高速公路、一级公路及特大桥、大桥、中隧道及以上, 铁道、航道	二级公路及中桥、短	三级公路及其桥梁、隧道	四级公路及其桥梁、隧道
	大型的能源、水利、通信、邮电、矿山、国防工程、学校等专项设施	中型的能源、水利、通信、邮电、矿山、国防工程等专项设施	小型的能源、水利、通信、邮电、矿山、国防工程等专项设施	乡、镇级的能源、水利、通信、邮电、矿山等专项设施
建筑等级	一级建筑物	二级建筑物	三级建筑物	四级建筑物及以下
受威胁人数/人	>1000	1000~100	100~10	<10
死亡人数/人	>30	30~10	10~3	<3

注:表中一级建筑物为耐久年限 100 年以上的重要建筑物和高层建筑物;二级建筑物为耐久年限 50~100 年的一般性建筑物;三级建筑物为耐久年限 15-50 年的次要建筑物;四级建筑物为耐久年限 15 年以下的临时性建筑物,满足其中一项即为相应安全等级,按最高等级确定。

6.2 强震区特大泥石流防治工程设计安全系数

6.2.1 泥石流防治工程应按照防治工程安全等级、降雨强度标准、荷载组合,选择对应的泥石流防治工程设计标准。

6.2.2 泥石流防治工程设计基本组合安全系数和偶然组合安全系数的确定,应进行充分的技术、经济比较,既要安全可靠,也要经济合理。

6.2.3 泥石流拦挡坝设计工况按满库、半库和空库过流三种特征结合地震因素,共有以下六种工况组合(图 1):

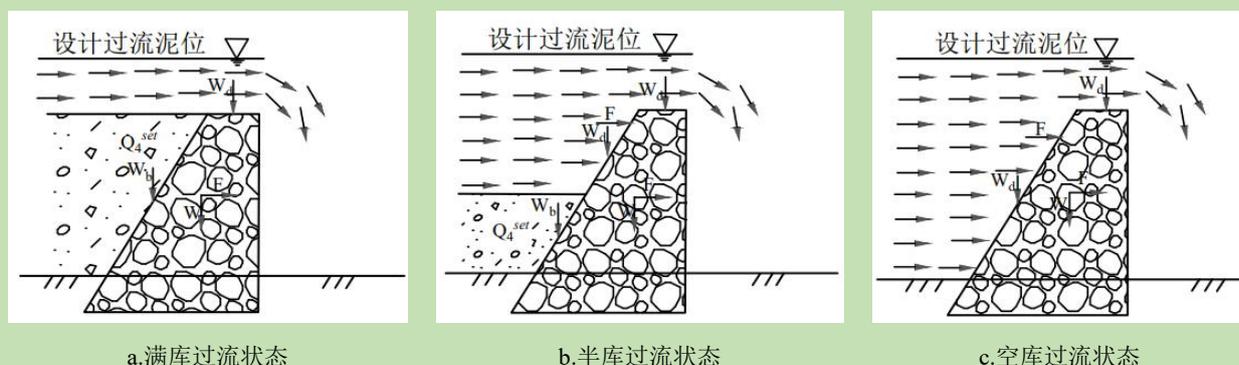


图 1 拦挡坝荷载组合示意图

6.2.3.1 工况 I 为满库过流状态(不考虑地震),荷载组合为:坝体自重+土体重+溢流体重;

6.2.3.2 工况 II 为满库过流状态(考虑地震),荷载组合为:坝体自重+土体重+溢流体重+地震力;

6.2.3.3 工况 III 为半库容过流状态(不考虑地震),荷载组合为:坝体自重+土体重+坝前泥石流体重+溢流体重+泥石流冲击力;

6.2.3.4 工况 IV 为半库容过流状态(考虑地震),荷载组合为:坝体自重+土体重+坝前泥石流体重+溢流体重+泥石流冲击力+地震力;

6.2.3.5 工况V为空库过流状态（不考虑地震），荷载组合为：坝体自重+坝前泥石流流体重+溢流体重+泥石流冲击力；

6.2.3.6 工况VI为空库过流状态（不考虑地震），荷载组合为：坝体自重+坝前泥石流流体重+溢流体重+泥石流冲击力+地震力；

6.2.4 泥石流拦挡坝工程的设计安全系数和校核安全系数，应满足抗滑和抗倾覆安全的要求（表2）。

表2 强震区特大泥石流拦挡坝设计安全系数

防治工程安全等级	降雨强度	抗滑安全系数		抗倾覆安全系数	
		基本荷载组合	偶然荷载组合	基本荷载组合	偶然荷载组合
一级	100年一遇	1.25	1.08	1.60	1.15
二级	50年一遇	1.20	1.07	1.50	1.14
三级	20年一遇	1.15	1.06	1.40	1.12
四级	10年一遇	1.10	1.05	1.30	1.10

注:保护对象为特大型工程（如高速铁路和特大型水电工程等），可以作专题论证，适当提高防治工程设计标准。

6.2.5 稳定性计算应考虑沿坝基础、地基内软弱夹层、缓倾角结构面等不利界面滑动的因素，选取最不利的情况作为控制设计。

6.2.6 泥石流拦挡坝坝体与坝基在设计荷载下应具有足够的强度和抗变形能力，坝体内或地基的最大压应力不超过建筑材料的允许值和地基的承载力，最小压应力不允许出现负值。材料强度要求:砂浆强度 \geq M7.5, 混凝土基础强度 \geq C15, 混凝土构件强度 \geq C20, 应多用钢纤维耐磨水泥砂浆和混凝土。

6.2.7 泥石流排导槽设计工况和荷载组合为以下两种情况：

6.2.7.1 工况I为泥石流过流状态（不考虑地震），荷载组合为：结构自重+泥石流流体静压力；

6.2.7.2 工况II为泥石流过流状态（考虑地震），荷载组合为：结构自重+泥石流流体静压力+地震力。

6.2.8 泥石流排导槽的设计基本组合安全系数和偶然组合安全系数，应满足抗滑和抗倾覆安全的要求（表3）。

表3 强震区特大泥石流排导槽设计安全系数

防治工程安全等级	降雨强度	抗滑安全系数		抗倾覆安全系数	
		基本荷载组合	偶然荷载组合	基本荷载组合	偶然荷载组合
一级	100年一遇	1.30	1.20	1.60	1.50
二级	50年一遇	1.25	1.15	1.55	1.45
三级	20年一遇	1.20	1.10	1.50	1.40
四级	10年一遇	1.15	1.05	1.45	1.35

6.2.9 泥石流停淤挡墙设计工况和荷载组合为以下两种情况：

6.2.9.1 工况I为泥石流过流状态（不考虑地震），荷载组合为：结构自重+泥石流流体静压力；

6.2.9.2 工况II为泥石流过流状态（考虑地震），荷载组合为：结构自重+泥石流流体静压力+地震力。

6.2.10 泥石流停淤挡墙的设计基本组合安全系数和偶然组合安全系数，应满足抗滑和抗倾覆安全的要求（表4）。

表4 强震区特大泥石流停淤挡墙设计安全系数

防治工程安全等级	降雨强度	抗滑安全系数		抗倾覆安全系数	
		基本荷载组合	偶然荷载组合	基本荷载组合	偶然荷载组合
一级	100年一遇	1.30	1.20	1.60	1.50
二级	50年一遇	1.25	1.15	1.50	1.40
三级	20年一遇	1.20	1.10	1.50	1.40
四级	10年一遇	1.15	1.05	1.45	1.35

7 强震区特大泥石流动力学参数

7.1 泥石流重度

7.1.1 泥石流重度一般介于 $13\text{kN/m}^3 \sim 24\text{kN/m}^3$ 之间。天然状态下泥石流重度可参照《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.1 中的方法确定。

7.1.2 治理工程实施后，泥石流重度应根据治理后泥石流流体特征、固体物质组成以及防治工程的类型、特征等条件综合确定。

7.1.3 对于以排导工程或防护工程为主，产砂区无拦挡、固体物质、停淤物质等工程措施的沟谷，泥石流重度仍按天然重度计取。

7.2 泥石流流量

7.2.1 泥石流流量包括泥石流峰值流量。

7.2.2 天然沟床条件下，暴雨泥石流峰值流量计算方法可采用形态调查法、雨洪法进行确定，见《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.2。

7.2.3 采用雨洪法进行计算时，如存在融雪流量补给或地下水补给地表水时，应在暴雨洪峰流量计算中叠加融雪流量、地下水流量。

7.2.4 治理工程实施后，受沟床物源条件变化、拦挡工程削峰作用以及固体物质沉积等因素影响，泥石流峰值流量减小，应根据工程实施后的沟床堵塞系数、泥砂修正系数 ψ 、下泄暴雨洪水流量参数按《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》中的流量计算方法确定。

7.2.5 工程实施后的泥砂修正系数可根据泥石流重度，按《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.1 中的方法确定。

7.2.6 在物源补给区采用工程措施有效阻止崩滑体等物源入沟的情况下，可按表5在天然沟道堵塞系数上进行折减，折减后的堵塞系数不小于1。

表5 工程治理后堵塞系数 D_c 折减率表

工程治理有效程度	治理工程对潜在堵溃的控制效果	堵塞系数折减率
整体有效	对可能起动物源的大、中、小型崩滑物源进行较为全面的固源拦挡，泥石流发生堵溃的可能性较小，针对堵溃的治理工程体系完整，治理效果良好。	0.5~0.7
部分有效	针对主要的起动物源，进行了部分固源拦挡，对中、大型崩滑堵沟物源进行有效防治，但沟内仍存在中、小型崩滑物源堵沟的可能，针对堵溃的治理工程体系基本完整，治理效果较好。	0.7~0.9
局部有效	未在物源区采取固、拦等工程措施，或仅对沟中部分小型崩滑体进行防治，物源堵沟的可能性仍较大，针对堵溃的治理工程体系不完整，治理效果一般。	0.9~1.0

注：本表主要依据部分工程经验，各地可根据地区实际进行选用。

7.2.7 工程治理后的一次性泥石流总量应根据相应断面泥石流峰值流量、泥石流持续时间、泥砂修正系数等参数，按照《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》中的方法确定。

7.3 泥石流流速

7.3.1 泥石流流速计算公式分为稀性泥石流（含水石流）、黏性泥石流两类。

7.3.2 治理工程实施后，自然沟槽泥石流流速计算应根据泥石流类型以及流体重度、沟槽糙率、坡降等参数按《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.3 进行计算。

7.3.3 稀性泥石流在排导槽中流速应采用排导槽纵坡降 i 、水力半径 R 以及排导槽糙率按《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.3.1 中稀性泥石流公式计算。

7.3.4 黏性泥石流在排导槽中流速应采用排导槽纵坡降 i 、水力半径 R 以及排导槽糙率按《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.3.2 中黏性泥石流公式计算。

7.3.5 排导槽纵坡降应按沟槽底部坡降计算。

7.3.6 水力半径 R 为泥石流过流断面面积与湿周之比，单位为 m 。

7.4 泥石流冲击力

7.4.1 泥石流冲击力包括浆体冲击力（流体动压力）和块石冲击力两种。

7.4.2 泥石流流体冲击力与泥石流流速、重度、作用角度等参数有关，应按《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.4 计算。

7.4.3 泥石流中大块石对台、墩等结构的冲击力应按《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.4 计算。

7.4.4 当上游有拦挡工程时，块石计算粒径应按可通过上游坝体缝隙的最大块石粒径计算，一般取上游坝体最大缝宽的 $1/2$ 。

7.5 泥石流冲起高度与爬高

7.5.1 泥石流冲高及爬高应分别按《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.4 计算。

7.5.2 泥石流爬高大于冲高，一般只叠加冲高，当有直接危害对象时叠加爬高。

7.6 泥石流弯道超高

7.6.1 泥石流弯道超高应按《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.4 计算。

7.6.2 设置在弯道段凹岸的工程应在直道的基础上叠加弯道超高。

7.7 坝下冲刷深度

7.7.1 泥石流冲刷深度由泥石流流体冲刷深度和落石冲击深度两部分组成。设计时应根据情况综合分析确定采用单项计算或叠加计算。

7.7.2 流体冲刷深度及落石冲刷深度计算应按本规范附录 A 和《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.4 计算。

7.7.3 当山洪冲刷较重时，还应考虑山洪冲刷的影响，应选择山洪冲刷深度与泥石流冲刷深度较大者作为设计依据。山洪冲刷深度可按《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.4 计算。

7.7.4 防护堤基础冲刷深度可根据流体性质、流体与防护堤交角按《强震区特大泥石流防治工程勘查规范》附录 I.4 方法确定。

7.8 泥石流磨蚀力

7.8.1 强震区泥石流需考虑磨蚀力对排导槽等工程影响，计算方法可参考规范附录 E。

8 强震区特大泥石流分项工程设计

8.1 拦挡结构设计

8.1.1 一般规定

8.1.1.1 泥石流拦挡结构包括拦挡坝、停淤场等，常用泥石流拦挡坝坝型有实体重力坝和格栅坝。

8.1.1.2 坝址应根据防治目标、地形地质、消能防冲、施工、建坝材料供应等条件进行选择，一般选择在形成区中下游，口窄肚阔的谷地颈口，兼顾可控制上游支沟与崩滑体。

8.1.1.3 坝高宜按有效使用期和地形地质条件确定，拦挡坝有效坝高一般为 5m~20m；谷坊坝有效坝高一般低于 5 m。

8.1.1.4 拦挡坝具有以下功能：拦截泥沙，调节泥石流重度和流量，回淤后固沟稳坡，降低流速，抑制上游沟段纵、横向侵蚀，调节下泄泥石流流向等。

8.1.1.5 拦挡坝的静荷载包括坝体自重、土压力，水压力；动荷载包括冲击力、渗透水压力及地震荷载等。

8.1.1.6 拦挡坝稳定性验算应进行抗滑移、抗倾覆、地基承载力、坝体强度等。

8.1.1.7 拦挡坝库容计算可采用等高线法、横断面法、经验公式法。

- 8.1.1.8 坝高大于 20 m 的拦挡坝，应作专项勘查与设计。
- 8.1.1.9 高大拦挡坝天然地基无法满足承载力要求时，宜采用桩基承台，承台结构计算参考附录 B。
- 8.1.1.10 拦挡坝坝下防冲结构可参考附录 C 修建消能池和抗冲击效能结构。
- 8.1.1.11 泥石流沟内物源丰富、固相块石粒径变化较大时，可在泥石流沟内设置多级拦渣坝，泄水孔孔径从上游坝向下游坝逐渐减小，实现对固相物质的逐级拦截。
- 8.1.1.12 泥石流停淤场应选在沟口堆积扇两侧凹地，或沟道中、下游宽谷中的滩地。必须满足设计停淤量的要求，保证足够的场地面积和堆积高度，具有合适的流向纵坡，多按自流停淤方式做工程布置。
- 8.1.1.13 停淤场可分为堆积扇、沟道和跨流域三种类型。
- 8.1.1.14 如有清淤条件时，停淤场的设计停淤量宜按一次设计标准泥石流固体物质总量确定；否则按校核标准泥石流固体物质总量确定。
- 8.1.1.15 停淤场底部纵比降宜取泥石流停淤比降的 0.8~1.2 倍，泥石流停淤比降根据堆积扇型停淤泥石流的平均坡度确定。

8.1.2 重力坝

- 8.1.2.1 重力坝平面布置宜选在沟段狭窄颈口处上游侧，中心纵轴顺流向，以利于溢流段出流并稳定沟床。顺横轴中部设溢流段，两侧为非溢流段，溢流段长取下游沟床宽度或比下游沟床稍窄。
- 8.1.2.2 重力坝建筑材料可采用浆砌石、干砌石、混凝土、钢筋混凝土、钢筋混凝土箱体组装等，或不同材料组合。
- 8.1.2.3 重力坝坝体横断面一般为梯形或复式梯形，上游面坡坡比为 1:0.40~1:0.80, 下游面坡坡比为 1:0.05~1~0.20。
- 8.1.2.4 重力坝坝顶宽度的确定应综合考虑坝高、运营管理、交通、应急抢险及二次加高等，一般为 1.5m~4.0m。
- 8.1.2.5 溢流口过流能力按照宽顶堰计算，溢流口流速小于 5m/s, 单宽流量应满足：坝高<15m, $q_c < 25\text{m}^3/\text{s}$ ；坝高 15m~20m, $q_c < 15\text{m}^3/\text{s}$ ；坝高>20m, $q_c < 10\text{m}^3/\text{s}$ 。溢流口深度按照最大泥深加安全超高；设计安全超高取 1.0m。
- 8.1.2.6 拦挡坝回淤纵比降一般取沟道纵比降的 0.5~0.8 倍, 也可通过下式确定：

$$i = \tan \theta + \frac{\tan \phi - \tan \theta}{\tan^2 (45^\circ - \frac{\phi}{2})} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

i——拦挡坝回淤纵坡

θ —— 沟道原始坡度 (°)

ϕ —— 泥石流内摩擦角 (°)

8.1.2.7 溢流口过流面应用坚硬石料或钢板、钢轨作耐磨蚀处理。

8.1.2.8 非溢流段宜向两侧岸坡上斜,比降取 0.05~0.10 或按弯道超高确定并不宜小于 2.0m。非溢流段坝肩嵌入松散堆积层岸坡深度不应小于 1.5 m,基岩岸坡深度不应小于 0.5m。

8.1.2.9 重力坝坝下消能防护工程包括副坝或垂裙和护坦。坝高小于 20 m,下游沟床含大漂砾密实碎石土地基时采用护坦辅以一级副坝或垂裙消能;坝高大于 20 m,下游沟床为大块石中密碎石土地基或有软弱沙泥夹层地基时采用护坦辅以两级副坝消能,坝下消能工程示意图见附录 C。

8.1.2.10 主、副坝或垂裙间的距离按坝高、冲刷坑深度、溢流口泥深之和的 1.5~2.0 倍确定。

8.1.2.11 护坦的长度按坝高的 1.0~2.0 倍计算。

8.1.2.12 重力坝基础埋置深度按坝下冲刷深度确定,当地基承载力和抗冲刷力不足时,可采用桩基础(附录 B)。

8.1.2.13 重力坝的坝高大于 10 m 时,应进行坝基渗透变形计算,计算方法可按《水利水电工程地质勘察规范》执行。

8.1.2.14 坝基地基承载力不满足要求,可进行地基处理或采用桩基、扩大基础等,桩基础和承台结构设计可参考附录 B 进行计算。

8.1.2.15 泄水孔应布置在泄流坝段,按“品”字形交错排列,宽高比为 0.6~0.8 的矩形,纵比降一般为 0.05~0.10。

8.1.2.16 在垂直荷载差别大、地形高差悬殊、基岩软硬突变处、溢流段与非溢流段应设置沉降缝,缝间距不应超过 20m~25m,缝宽 2cm~3cm,缝内填入沥青浸渍的木板条、沥青砂浆板条或油毛毡。

8.1.2.17 坝高大于 15m 的拦挡坝坝顶应设力扶手栏杆和上、下梯步和溢流口部位凹槽梯步,以便于通行。

8.1.2.18 为观测工程效益,应埋设相应的观测标志,不得设于溢流口过流面。

8.1.3 格栅坝

8.1.3.1 格栅坝平面布置宜选在坚固地基段,坝址处应相对开阔而不宜选在狭窄的“V”形峡谷处,溢流段沟床平坦,地基均匀,便于格栅坝支墩布置。

8.1.3.2 格栅坝根据拦挡坝坝体开切口和布置过流格栅形式的不同,分为缝隙坝、梁式坝、网格坝等。

8.1.3.3 格栅坝的荷载组合应考虑坝体自重、坝库内淤积土重、水平侧压力、冲击力及地震力。

8.1.3.4 缝隙坝的受力及稳定性验算与重力坝相似；梁式坝为分离式结构，墩台应进行稳定性分析，横梁作强度验算、变形复核；网格坝应进行主绳和锚墩（梁）的受力计算。

8.1.3.5 缝隙一般布置在坝顶，采用窄深的矩形、梯形、三角形断面。

8.1.3.6 缝隙坝过流缝隙立面呈梯层布置，缝隙高度 H 取 $3\text{m}\sim 5\text{m}$ ，宽度 b 取 $0.3\text{m}\sim 1.0\text{m}$ ，宽度 b 按照限制泥石流中颗粒直径 D_m 与闭塞条件选定，一般取 b/D_m 为 $1.5\sim 2.0$ 。上下缝层之间的整体顶、底板厚度应为 $1.0\text{m}\sim 1.5\text{m}$ 。

8.1.3.7 缝隙高度一般取缝隙宽度的 $1\sim 3$ 倍。

8.1.3.8 缝隙密度一般取 $\sum b/B$ 为 $0.2\sim 0.6$ 。

8.1.3.9 梁式坝过流横缝按照限制粒径 D_m 为 $0.30\text{m}\sim 0.50\text{m}$ 设定，取缝宽度 H 为 $0.50\text{m}\sim 0.80\text{m}$ ，横梁长度 L 为 $4.0\text{m}\sim 8.0\text{m}$ 。

8.1.3.10 泥石流流域内从上至下梁式坝的缝隙间距应依次减小，以达到合理的拦粗排细效果。

8.1.3.11 若支墩为钢构支墩，横梁可按连续梁进行受力验算；若支墩为圬工结构，横梁可按固端梁进行受力验算。

8.1.3.12 格栅坝一般用于低黏性水石流，其孔、缝、洞过流部位应采用低形阻和摩阻，并加强耐磨防护层；窗洞顶钢筋混凝土板应能承受施工中板上方坍落拱荷载作用，强度满足安全性。泄流缝进、出口采用外阔的窄喇叭形，中间加速段宽度渐缩，底坡取 $0.03\sim 0.05$ ，减少阻塞。

8.1.3.13 网格坝是利用钢索编制而成的柔性网状结构物，上端通过主绳固定在沟道的两岸锚墩（梁），下部网格斜铺在沟床上。

8.1.3.14 网格坝应设置在地质条件较好、两岸岸坡主绳易于固定的流通区或减速区。

8.1.3.15 网格坝的坝高应大于最大龙头高度和冲起高度之和。

8.1.3.16 网格坝网绳在沟道内的敷设长度应为 $1.5\sim 2.0$ 倍的坝高。

8.1.4 停淤场

8.1.4.1 堆积扇型停淤场布置在泥石流沟口与主河之间的堆积扇上。根据堆积扇地形条件，宜选择扇形或圆形，主要由导流堤、围堤、分流堤等组成。两侧导流堤从流通段末端的颈口起建，扩散角一般取 $90^\circ\sim 120^\circ$ 。

8.1.4.2 沟道型停淤场布置在泥石流沟道中，与沟道平行，成带状，由引流坝、导流堤、防护堤组成。

8.1.4.3 跨流域停淤场一般选择在有停淤条件的邻近流域；在泥石流流域内布置拦挡坝，邻近停淤流域设置导流堤、围堤、分流堤，泥石流流域和停淤流域间宜设置引流槽。

8.1.4.4 停淤场停淤量应按式(8.1.4.4)进行计算：

$$\bar{V}_s = \frac{\pi\alpha}{360} R_s^2 h_s \dots\dots\dots (4)$$

式中：

V_s —停淤总量，单位为立方米（ m^3 ）

R_s 以引流口为圆心的停淤场半径，单位为米（ m ）；

h_s 平均淤积厚度，单位为米（ m ）。

8.1.4.5 引流坝的结构形式、受力与稳定性验算参照 8.1.1.7 条款执行。

8.1.4.6 导流堤可采用与圬工护坡土堤、浆砌石、混凝土、钢筋混凝土堤，土堤应采用斜坡式结构，其他可采用重力式或扶壁式结构。

8.1.4.7 导流堤的高度为设计泥位、冲起高度和安全超高之和，安全超高宜取 0.5 m~1.0m。

8.1.4.8 圬工护坡土堤顶宽宜取 1.0m~3.0m, 内边坡宜取 1:0.25~1:1.50，外边坡宜取 1:1.50~1:2.0。

8.1.4.9 重力式、扶壁式导流堤的结构和稳定性验算应进行抗滑移、抗倾覆、地基承载力验算。

8.1.4.10 导流堤基础埋深为最大冲刷深度和安全埋深之和，安全埋深宜取 0.5 m~1.0m。

8.1.4.11 围堤的高度根据设计停淤量计算确定。

8.1.4.12 围堤可采用与圬工护坡土堤、浆砌石、混凝土、钢筋混凝土堤，土堤应采用斜坡式结构，其他可采用重力式或扶壁式结构。

8.1.4.13 土堤顶宽宜取 1.0m~3.0m，当有通行要求时可适当加宽。

8.1.4.14 土堤内边坡宜取 1:1.25~1:1.50，外边坡宜取 1:1.50~1:2.0。

8.1.4.15 重力式围堤结构及稳定性验算参照重力式挡土墙设计规范执行。

8.1.4.16 扶壁式围堤结构及稳定性验算参照扶壁式挡土墙设计规范执行。

8.1.4.17 围堤还可采用格宾石笼结构、预制钢筋混凝土箱体结构等，使用时须作充分论证。

8.1.4.18 围堤应设置涵洞将尾水和山洪泄入主河。

8.1.4.19 引流槽的过流能力验算、受力荷载、稳定性验算等可参照排导槽执行。

8.2 排导结构设计

8.2.1 一般规定

8.2.1.1 排导结构设计包括排导槽、渡槽等结构形式。

8.2.1.2 排导槽宜建在泥石流流通区末端、堆积区，应能使泥石流沿规定路线排泄并与邻近的主要排泄通道衔接。

8.2.1.3 排导槽槽体应具有较好的抗冲和耐磨蚀能力，不得因冲刷、冲击作用而危及自身安全。

- 8.2.1.4 排导槽抗磨蚀材料可参考本规范附录 F “泥石流耐磨蚀混凝土材料”。
- 8.2.1.5 泥石流易堆积段及公路桥下段宜采用速排结构，包括底越式速排结构和顶越式速派结构，具体设计理论及结构可参考本规范附录 D “泥石流速排结构”。
- 8.2.1.6 排导槽可单独使用，也可与拦蓄工程结合使用。
- 8.2.1.7 渡槽适用于泥石流暴发较频繁，高含沙水流、洪水或常流水交替出现，有冲刷条件的沟道泥石流排泄，不宜用于排泄高粘度、高重度泥石流流体。
- 8.2.1.8 设置渡槽处应有足够的高差，进、出口顺畅，地基有足够的承载力并具有较高的抗冲刷能力。
- 8.2.1.9 对处在急剧发展阶段的泥石流沟或由崩塌、滑坡、阻塞溃决等成因形成的泥石流沟，在上游未采取措施使泥石流发育得到控制或不具有渡槽布设的立面条件时，不应采用渡槽。
- 8.2.1.10 渡槽设计应将对应于设计标准流量的断面面积增大 30%作为验算满槽过流能力的校核依据。
- 8.2.1.11 渡槽的布置可参考图 4 与图 5。

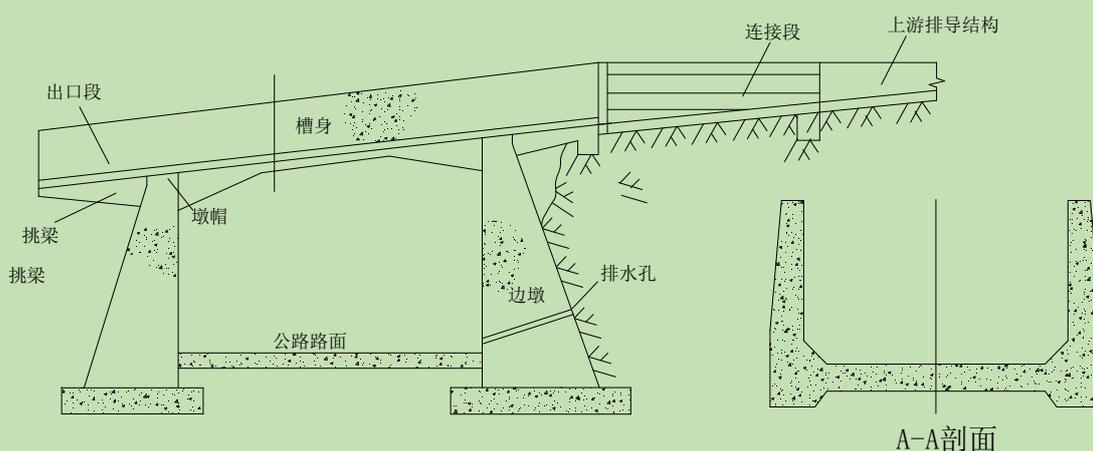


图 4 泥石流渡槽立面图

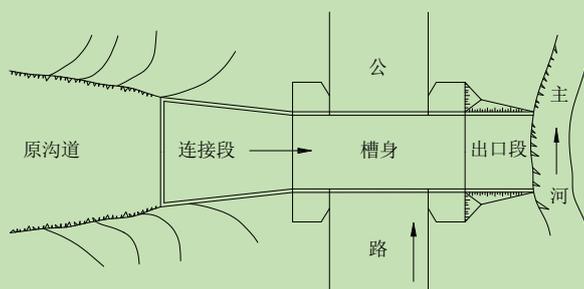


图 5 泥石流渡槽平面图

8.2.2 排导槽

- 8.2.2.1 排导槽平面布置宜符合下列要求（图 1.5.1 和图 1.5.2）：
- 8.2.2.2 排导槽由自上而下进口段、急流段和出口段三部分组成；

- 8.2.2.3 排导槽路线顺直，同时与沟道主流中心线一致。
- 8.2.2.4 布置排导槽进口段时利用上游的拦渣坝、溢流堰、低槛等控流设施；
- 8.2.2.5 进口段两侧的导流堤布设成上游宽、下游窄并成收缩渐变的喇叭口外形；
- 8.2.2.6 全长范围内采用宽度一致的直线形平面布置或以缓弧相接的大钝角相交的折线形布置；需变化宽度时，宽度采用渐宽或渐窄的联接方式，渐变段的长度不小于5倍槽宽，扩散角不小于 10° ；
- 8.2.2.7 沿程支沟汇入处，顺流向小锐角相交，夹角不大于 30° ，汇口下方扩宽过流断面或增加过流深度；
- 8.2.2.8 出口段尾部选在主河即输移能力较强处，出口主流轴线走向与下游大河主流方向以小锐角斜交，交角不超过 45° 。

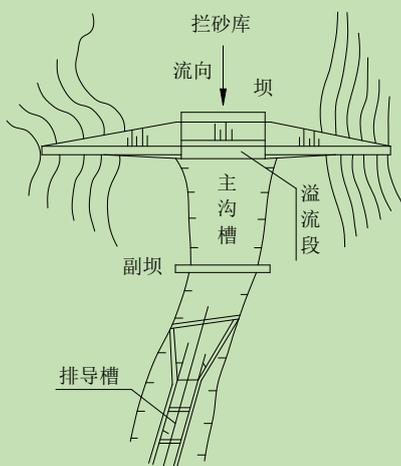


图2 进口段形式及平面布置

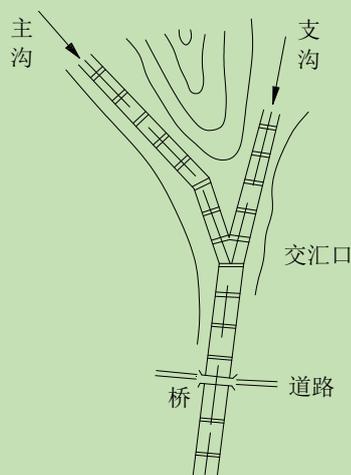


图3 急流弯道及汇口布置

8.2.2.9 排导槽纵断面设计宜符合下列要求：以顺直、狭窄、形状尺寸稳定的泥石流沟流通段作为泥石流排导槽设计类比，排导槽纵坡略大于泥石流流通段的纵坡；排导槽纵坡和宽度不变或仅有小幅变化；纵坡按表6取值。

表6 排导槽纵坡取值

泥石流性质	稀性				黏性																	
	重度 (kN/m^3)		类型		纵坡 (%)		重度 (kN/m^3)		类型													
1.3-1.5	泥流	泥石流	3	3-5	1.5-1.6	泥流	泥石流	3-5	5-7	1.6-1.8	泥流	泥石流	5-7	7-10	1.8-2.0	泥流	泥石流	5-15	8-12	2.0-2.2	泥石流	10-18

8.2.2.10 排导槽横断面设计宜符合下列要求：排导槽的过流能力大于设计流量；排导槽的设计流速小于允许流速，对天然沟床，允许流速取 $3\text{m/s} \sim 5\text{m/s}$ ；对浆砌石结构，允许流速取 $6\text{m/s} \sim 8\text{m/s}$ ，对混凝土结构，允许流速取 $10\text{m/s} \sim 12\text{m/s}$ 。

8.2.2.11 排导槽横断面形状取梯形、矩形、三角形、复式断面。取梯形或矩形断面时，宽深比取 2~6；取三角形断面时，宽深比取 1.5~4.0；取复式断面时，宽深比取 3~10。

8.2.2.12 排导槽宽度的上限按下式（2）计算：

$$B_{\max} \leq \left(\frac{I_b}{I_f} \right)^2 B_b \dots\dots\dots (2)$$

式中：

B_{\max} ——排导槽的上限宽度（m）；

I_b ——排导槽设计纵坡（%）；

B_b ——流通段沟道宽度（m）；

I_f ——流通段沟床纵坡（%）。

8.2.2.13 5 排导槽宽度的下限按下式计算：

$$B_{\min} \geq (2.0 \sim 2.5) D_m \dots\dots\dots (3)$$

式中：

B_{\min} ——排导槽的下限宽度（m）；

D_m ——沟床物质最大粒径（m）。

排导槽的高度取设计泥深、常年淤积厚度、安全超高三者之和。安全超高取 0.5m~1.0m。有弯道时，还应加上弯道超高。

8.2.2.14 排导槽细部构造宜符合下列要求：采用侧墙加防冲肋板或全衬砌两种结构：防冲肋板与墙基础成整体，肋板顶部与沟底平齐。

8.2.2.15 边墙按挡墙进行设计，基础深度取 1.0m~1.5m，底用混凝土或浆砌块石铺砌。肋板用钢筋混凝土，厚取 1.0m，其间距可按下式进行计算：

$$L = \frac{H - \Delta H}{I_0 - I'} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

L ——防冲肋板间距（m）；

H ——防冲肋板埋深（m）取 $H=1.5m \sim 2.0m$ ；

ΔH ——防冲肋板安全超高（m）取 $\Delta H = 0.5m$ ；

I_0 ——排导槽设计纵坡（%）；

I' ——肋板冲刷后的排导槽内沟槽纵坡（%），取 $I' = (0.25 \sim 0.5) I_0$ 。

8.2.2.16 全衬砌排导槽的侧墙及槽底均用浆砌石护砌，槽宽不大于 5.0m，比降较大的小型槽，横断面采用 V 型，槽底横向斜坡取 300%~150%。

8.2.3 渡槽

8.2.3.1 渡槽进口段采用上宽下窄的梯形或圆弧形状的喇叭口型，连续渐变，渐变段长大于 5 倍渡槽宽度且大于 20m，渐变段收缩角小于 $8^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。

8.2.3.2 槽身为均匀的直线段，在跨越障碍物时，跨越后延伸长度取 $1.0 \sim 1.5$ 倍槽宽。

8.2.3.3 出口段的出流口设悬跌—扩散尾部或增加人行上下梯道。

8.2.3.4 排泄水石流、稀性泥石流的渡槽纵坡可按下式计算：

$$I_b = 0.59 \frac{D_m^{2/3}}{H_c} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

I_b ——渡槽槽底纵坡；

D_m ——石块平均粒径 (m)；

H_c ——平均泥深 (m)。

8.2.3.5 排泄水石流、稀性泥石流的渡槽纵坡也可按表 7 取值。

表 7 纵坡与 H_c/D_{90} 的关系

H_c / D_{90}	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5
纵坡范围 (%)	24.6~21.4	21.4~18.0	18.0~14.8	14.8~11.4	11.4~8.0
纵坡中值 (%)	23.0	19.5	16.5	13.0	10.0

注： H_c 为平均泥深 (m)， D_{90} 为按石块个数计 90%的石块粒径比其小或与其相等的粒径 (m)。

8.2.3.6 排泄粘性泥石流的渡槽纵坡不宜大于 15%，但应大于泥石流流通段的平均沟床纵坡。

8.2.3.7 渡槽横断面可采用梯形、矩形、三角形、圆弧形，槽底宽度应大于排泄泥石流流体中最大颗粒的 2.0 倍，横断面积应取对应于设计流量的面积与对应于安全超高的面积之和。

8.2.3.8 槽体下方用排架或墩、桩支承；

8.2.3.9 进口段和出口段与槽身之间或简支梁—排架支承端均设置沉伸缝，渡槽单节长度应小于 20m，接缝作防渗处理。

8.2.3.10 出口段的边墩采用重力式结构，并设置止推墩台。

8.2.3.11 槽底和侧墙过流面采用钢板、钢轨、钢筋混凝土和钢纤维混凝土作防磨蚀处理。

8.3 固源护坡结构设计

8.3.1 一般规定

- 8.3.1.1 固源护坡结构包括桩林坝及固床、护岸、小口径组合桩群等结构类型。
- 8.3.1.2 桩林一般布置在泥石流沟道中、下游，一般沿垂直向布置两排或多排桩，纵向交错成三角形或梅花形。
- 8.3.1.3 固床稳坡工程在紧靠滑坡或沟岸不稳定段的下游修建的拦渣坝时采用。
- 8.3.1.4 当滑坡变形较大且不宜进行大截面抗滑桩开挖施工时，可采用小口径组合抗滑桩。

8.3.2 桩林

- 8.3.2.1 桩林的桩间距：

$$b/D_m = 1.5 \sim 2.0 \dots\dots\dots (6)$$

式中， b 为桩的行距和排距； D_m 为泥石流最大粒径。

- 8.3.2.2 地面外露部分桩高 h 为： $h = (2-4) b$ ，且 $3m \leq h \leq 8m$ 。桩基应埋在冲刷线以下，且埋置深度不应小于总长度的 $1/3$ 。
- 8.3.2.3 桩体采用钢轨、钢管或组合钢构件和钢混桩体，用挖孔或钻孔的方法施工。
- 8.3.2.4 桩体的受力分析与结构设计，类同悬臂梁，可参见相关规范。

8.3.3 固床与护岸

- 8.3.3.1 固床稳坡工程设计中，拦渣坝的坝高应由下式确定：

$$H_d = L_s I_b + h_s - L_s I_s \dots\dots\dots (6)$$

式中：

H_d ——沟底以上拦挡坝的有效高度 (m)；

L_s ——上游坡需要掩埋处距拦挡坝坝顶上游侧的距离 (m)；

I_b ——沟床原始纵坡；

I_s ——淤积纵坡，一般取 $(1/2 \sim 3/4) I_b$ ；

h_s ——沟底以上需要淤埋的深度 (m)。

- 8.3.3.2 固床稳坡工程在泥石流流域内沟岸、沟床不稳定段修建的梯级谷坊时采用，谷坊净高宜取 $3.0m \sim 5.0m$ ，基础埋深宜取 $2.0m \sim 3.0m$ 。
- 8.3.3.3 护底宜采用水泥砂浆砌块石铺砌，砂浆强度等级不低于 M10，铺砌厚度不小于 $0.5m$ (图 6)。在非重要的沟段，也可采用干砌块石，用丁砌法铺砌，厚度不小于 $0.5m$ (图 7)。

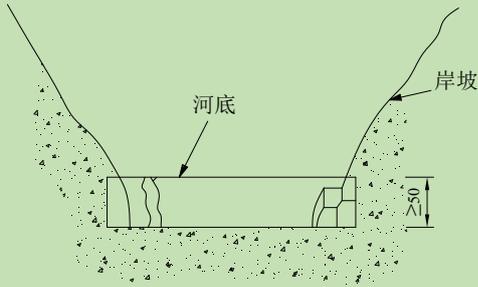


图 6 水泥砂浆砌块石护底示意图

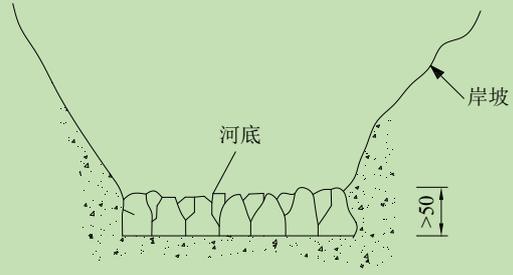


图 7 干砌石护底示意图

8.3.3.4 护底肋板（图 8）可采用 M10 水泥砂浆砌块石或 C15 混凝土，在重要地段宜采用钢筋混凝土，其宽度不应小于 1m，埋深应超过冲刷线，且不应小于 1.5m，顶面应与河底齐平或不超过河底 0.5m，必要时可埋设竖筋。肋板应垂直于流向布置，间距宜为河底宽的 2~3 倍。

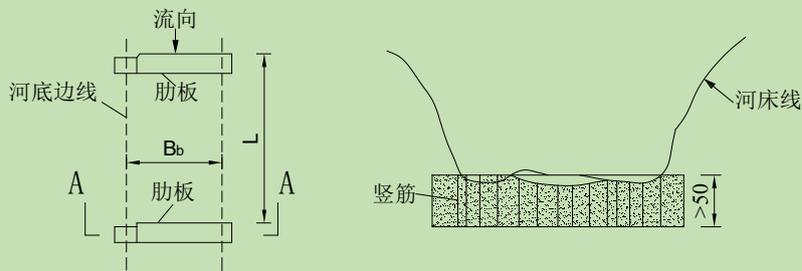


图 8 肋板平面布置及剖面示意图（单位：cm）

Bb—河底宽；L—肋板间距

8.3.3.5 沟岸宜采用不低于 M10 的水泥砂浆砌石沿遭冲刷的坡脚附近进行表面护砌（图 9），护坡高度不应低于设计最高泥位。背水面坡度宜与岸坡平行，迎水坡度可略缓，护砌厚度在顶部不宜小于 50cm，在底部不宜小于 100cm，埋入基础深度应大于冲刷深度且不应小于 100cm。

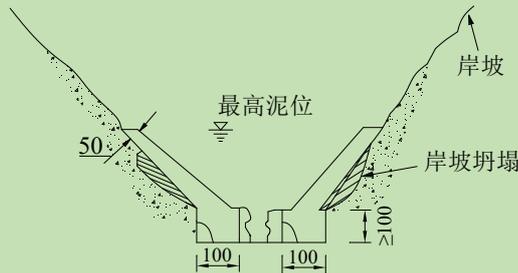


图 9 水泥砂浆砌石护坡示意图（单位：cm）

8.3.4 小口径组合桩群

8.3.4.1 小口径组合抗滑桩单桩桩径不宜大于 500mm。

8.3.4.2 小口径组合抗滑桩可采用垂直或倾斜布置，当采用垂直布置时，宜采用多排布置方式，单桩桩间应成“品字型”错开布置，间距不宜小于5倍桩径，且应在桩顶设置连系梁等连接构件。将各单桩连成整体，使其共同受力及变形。当采用倾斜布置时，宜采用斜向交叉网状布置。

8.3.4.3 对于硬质岩层滑坡，可假定作用于小口径组合抗滑桩的水平推力均匀分布于各排桩，按桩的抗剪断强度进行设计计算。对于软质岩或风化严重的岩层滑坡，其水平推力计算应考虑作用于各排桩的不均匀性。

8.3.4.4 对土质滑坡，应考虑作用于小口径组合抗滑桩的水平推力作用于各排桩的不均匀性，其中，临坡顶一侧的第一排桩承受的水平推力最大，向后依次递减。递减系数可根据土质类型确定。

8.3.4.5 设计计算与构造规定参见规范《滑坡防治设计规范》（GB/T 38509-2020）。

8.4 应急通行结构

8.4.1 强震区泥石流发生后，应考虑应急通行措施。可参考本规范附录G“路基缺口应急通行自承载结构”。

8.4.2 泥石流淤埋路段应急通行，可考虑采用应急通行战备浮桥。浮桥结构及施工可参考附录H“石流淤埋路段应急通行战备浮桥”。

9 绿色环保措施设计

9.1 绿色环保措施

位于景区、公路沿线等环境要求较高的地区实施的泥石流拦挡坝、排导槽等工程体其外观需要进行绿色生态美化，研究适宜的美化设计方法。

9.2 动态清淤设计

泥石流拦挡坝在满足防灾库容的基础上，进行动态清淤设计，明确清淤警戒库容。

9.2.1 拦挡坝库容

适用于强震区或大流域多物源沟道，可以按照不同设计要求，拦挡一次或多次冲出物，具备较大的承灾库容，同时具备清库的基础交通条件，宜在泥石流沟道中下游开展。

9.2.2 堆积物利用

拦挡坝内堆积物可按照岩性进行分类利用。岩浆岩、灰岩、石英砂岩等硬岩可作为建筑材料进行加工利用；泥岩、千枚岩、板岩等软岩或富含黏土矿物的堆积物不能作为建筑材料。

9.2.3 翻坝路

9.2.3.1 拦挡坝设计时应能拦截设计标准要求内一次大规模泥石流冲出物；

9.2.3.2 拦挡坝必须布设翻坝路时，且翻坝路沿线不在泥石流可能淤埋范围内的沟道两侧，翻坝路宽度 6-8m，上下游段纵坡 100-120%，翻坝路外侧按 1:2.0 坡率放坡，坡脚设置护脚墙；翻坝路采用碎石土填筑而成，路基需分层压实，回填压实度不得低于 0.93，每层填土厚度宜为 300mm；

9.2.3.3 护脚墙根据防治工程具体布设，参照防护堤设计。护脚墙应布设泄水孔，护脚墙每隔 10m 设置一道伸缩缝，缝宽 2cm，缝内填沥青麻丝，施工中可根据实地情况适当调整沉降缝位置。护脚墙待混凝土强度达到 70% 以上后，方可回填路基填料，填料应符合设计要求，避免采用膨胀性和高塑性土壤；护脚墙可充分利用护坦边墙结构于一体、且注意护坦与坝体连接处的自然顺接，保证施工质量。

9.2.3.4 翻坝路及护岸墙（护脚墙）后回填土体可利用坝基坝肩、护岸墙（护脚墙）基础开挖、排导槽基槽开挖及坝体下游沟道整理提供的弃渣。

9.2.3.5 翻坝路护脚墙应进行稳定性验算，验算方法同挡土墙，应进行抗滑移和抗倾覆稳定性验算。

10 强震区特大泥石流治理工程效果监测设计

10.1 一般规定

10.1.1 在充分利用现有资料的基础上，建立精密仪器与简易监测相结合，地面监测与地下监测相结合，专业监测与群防群测相结合的系统化、立体化监测系统，及时测定防治工程的治理效果。

10.1.2 监测系统应具备数据采集稳定可靠，综合评价科学快捷，所得监测数据与结果应能够为泥石流防治工程效果评价提供依据。

10.1.3 治理工程效果监测按动态监测进行设计，根据防治工程设计标准等级进行划分：安全等级为一级~四级的项目应做相应监测，监测项目应按表 8 进行。

表 8 泥石流监测项目表

监测项目		一级	二级	三级	四级
位移及	拦挡坝	应测	应测	应测	应测
应力监	谷坊坝	应测	应测	可测	应测

测	潜槛	应测	宜测	可测	可测
	护坦	应测	宜测	可测	可测
	桩林	应测	宜测	可测	可测
	排导槽	应测	宜测	宜测	可测
	渡槽	应测	宜测	宜测	可测
	停淤场	应测	宜测	可测	可测
降雨量监测		应测	宜测	可测	可测
冲击力监测		应测	宜测	可测	可测
地表水动态监测		应测	宜测	可测	可测
流量监测		应测	宜测	可测	可测
宏观巡查		应测	应测	应测	应测

10.1.4 监测网的建立应保证测量精度及施测便捷，合理布设基准点、工作基点和变形监测点。

10.1.5 综合整理、归纳、分析各种监测数据，结合地质环境条件，研究其内在联系和规律准确评价泥石流动态，对工程变形和危险做出正确预警。

10.1.6 应分别编制位移、应力、降水等单因素历时曲线图。直观表达其变化趋势，根据分析需要，可编制多因素关系图。

10.1.7 泥石流治理工程效果监测设计中，根据工程阶段和安全等级，可以分为施工期监测、效果监测、专项监测。

10.1.8 安全等级为一级的重大泥石流项目，根据需要可布置专项监测措施。

10.2 防治工程施工期监测

10.2.1 一般规定

对施工期进行安全分析评估，及时预警，以便采用必要的预防或改进措施，避免或减少工程质量或安全事故的发生。掌握泥石流施工过程中防治工程的整体稳定性和工程扰动因素对泥石流的影响。施工过程中应进行跟踪监测，超前预报，反馈设计，指导施工。施工期监测兼顾防治工程效果监测以及专项监测的需要。

10.2.2 监测项目应按表 8 选择。

10.2.3 监测内容及精度要求

监测内容和手段应以能够监控泥石流防治工程施工安全和泥石流危害为目标，同时结合防治工程施工过程中的变形情况增加监测密度（见表 9）。泥石流防治监测应采用专业监测与群测群防相结合

的办法。

10.2.4 监测期和监测频率

监测工作应贯穿于防治工程施工过程。监测频率应根据防治工程施工阶段、环境条件变化等确定。非汛期监测频率不低于每 2 天 1 次；汛期不低于每天 1 次；20 年一遇暴雨及以上情况，应连续监测，须专人严密巡查宏观现象。出现异常情况，宏观巡查时，发现危险征兆，区域内发生 3 级以上地震等情况时，应加大监测频率。

表 9 泥石流监测内容及精度指标表

监测内容	精度指标
水文气象监测	参照《崩塌、滑坡、泥石流监测规范》（DZ/T 0221-2006）。
地表位移监测	宜采用全站仪监测方法，也可用 GNSS 监测方法，水平位移精度不应小于 5 mm，垂直位移精度不应小于 10 mm。
冲击力监测	可采用电阻应变式测力传感器等进行监测，测量分辨率 $\leq 0.1\%FSR$ 。
地下水动态监测	可采用水位计、流速仪、流量计等设备，监测泥石流沟道内的水位、流速、流量等动态变化。
流量监测	可采用物（泥）位计等设备，监测泥石流爆发时通过排导槽时的过流能力，最测量分辨率 $\leq 0.1\%FSR$ 。
宏观巡查	应对泥石流防治工程的宏观变形迹象和相关的各种异常现象进行定期观测、记录。

10.2.5 监测（站）网布设

10.2.5.1 监测（站）网布设应以控制治理工程支挡建筑物总体变形为原则，可根据实际情况布设网型，复杂的工程宜采用预埋监测设备隐蔽监测测点，形成立体网。

10.2.5.2 监测剖面是监测网的重要组成部分，应布设在拦挡坝等构筑物轴线以及能反映其变形特征的位置。监测点应布设在设计监测剖面上。受通视条件或其他原因限制，可单独布点。

10.2.5.3 拦挡坝水平位移监测点间距不宜大于 20 m，每条剖面监测点数目不应少于 2 个，水平和竖向位移监测点宜为自供电型，监测点宜设置在坝肩顶上。排导槽、渡槽：水平位移监测点间距宜为 20 m~50 m，每条剖面监测点数目不应少于 2 个。宜考虑在起始段或者转角较大处布置。

10.2.5.4 降雨量监测点宜布设在清水区及物源区范围内，不应少于 1 台。

10.3 防治工程效果监测

10.3.1 一般规定

10.3.1.1 通过泥石流防治工程效果监测评价防治工程的工程质量。

10.3.1.2 通过泥石流防治工程效果监测评价泥石流在监测期间的稳定性及未来发展趋势。

10.3.1.3 通过防治工程效果监测，提供主体工程在监测期间的位移变形情况，作为防治项目最终验收的重要组成部分。

10.3.2 监测项目应按表 8 选择。

10.3.3 监测内容及精度要求应按 10.2.3 选择。

10.3.4 监测期和监测频率

10.3.4.1 监测工作应贯穿于防治工程全过程。

10.3.4.2 监测频率应根据防治工程环境条件变化等确定。非汛期监测频率不低于每月 1 次；汛期不低于每月 2 次；20 年一遇降雨及以上情况下，应连续监测。须专人严密巡查宏观现象。

10.3.4.3 出现异常情况，宏观巡查发现危险征兆。区域内发生 3 级以上地震等情况时应加大监测频率。

10.3.5 监测（站）网布设

10.3.5.1 网型应按 10.2.5.1 选择。

10.3.5.2 监测剖面应按 10.2.5.2 选择。

10.3.5.3 监测点应按 10.2.5.3 选择。

10.4 防治工程专项监测

10.4.1 泥石流专项监测目的是为了充分认识泥石流的暴发及运动发展的规律，及时捕捉到灾害发生时的前兆信息，最终为积累泥石流爆发与运动发展的规律总结并为减灾防灾服务。长期监测内容和方法见表 10。

10.4.2 气象水文条件监测。可采用地面降雨量观测、气象雨量预测、测雨雷达监测。

10.4.3 泥石流固体物源监测。应在对泥石流流域地质环境认识的基础上，对泥石流流域内的总体物源情况进行监测，主要监测内容包括宏观前兆监测、地表变形监测、倾斜仪监测、深部位移监测和次生报警仪监测等。

10.4.4 泥石流运动要素监测。泥石流运动可从动力和动态两个角度监测。动态要素监测包括泥石流暴发时刻、泥石流持续时间、泥石流类型、泥位、流速、流量、爬高、阵流次数、泥石流冲淤变化和堆积情况监测等。现场进行取样分析、测定颗粒级配、泥石流重度或其他泥石流动要素等。泥石流动力要素监测有直接和间接两种方法，直接方法包括监测泥石流流体动压力、龙头冲击力、石块冲击力等；间接方法可监测泥石流动力过程产生的各种信号包括泥石流地声频谱、振幅监测等。

表 10 泥石流专项监测仪器和方法

监测内容	主要监测方法	主要监测仪器
气象水文条件监测	地面降雨量观测	翻斗式雨量计，压电式雨量计
泥石流支挡措施监测	地表监测	全站仪、测距仪、GNSS、测缝计、伸缩自计仪、位移计、表面倾角计、卷尺、三维激光扫描、无人机
	内部监测	孔隙水压力计、地下水位计、钻孔倾斜仪、多点位移计
泥石流运动要素监测	动态要素	声学测速仪、多普勒测速仪、超声泥位计、断线报警器、视频、地声监测仪、次声监测仪
	动力要素	土压力盒
泥石流流体特征监测	物理、化学特征	取土器、秤盘、卷尺、筛分仪
宏观地质现象巡查	巡视检查	相机、卷尺、地质锤、地质罗盘
注：根据泥石流的类型进行监测仪器和方法选择。		

10.4.5 泥石流流体特征监测。泥石流流体特征监测宜对于泥石流物质本身的监测，包括泥石流固体物质组成（岩性或矿物成分）、块度、磨圆、颗粒级配和重度等物理化学特性。

10.4.6 对泥石流活动全过程进行较全面的观测和监测，应根据不同泥石流沟的下垫面因素特点，运用先进的多种监测方法建立泥石流沟全流域监测体系。

10.4.7 监测期和监测频率参见 10.2.4。

10.4.8 监测（站）网布设参见 10.2.5。

附录 A (规范性附录) 泥石流堆积区冲刷深度计算

泥石流堆积区为松散泥石流堆积物，其冲刷深度计算公式为：

$$H_B = P * H_C \left[\left(\frac{K * V_C}{V_H} \right)^{1/2} - 1 \right] \dots \dots \dots (A.1)$$

式中： H_B —局部冲刷深度 (m)；

P —冲刷系数，一般取 1.1—1.4m；

H_C —设计泥深；

V_C —泥石流设计流速；

V_H —土壤不冲刷流速；

K —泥石流平均流速增大系数，根据内插法。

附录 B (规范性附录) 桩基承台结构计算

在强震区区域,大量泥石流沟域内往往堆积有巨量的高位崩滑形成的松散物源,堆积体厚度大、结构松散、颗粒不均一,形成泥石流后规模大、冲击力大。为控制固体物质的启动或拦挡大规模泥石流形成的固体物质出沟,需在沟域内设置高度 20m 及以上的高大拦挡工程,由于沟道堆积物松散、承载力不够,拦挡坝基础需采用桩基承台结构,其沉降变形控制计算公式如下。

B.1 一般性规定

在地震强震区域,泥石流沟防治设计的拦挡工程往往需采用高大拦挡坝控制固体物质,高大坝体体量大,加之沟道物质松散,需采用桩基承台结构。

坝体与桩基承台结构及配筋见图 B.1。

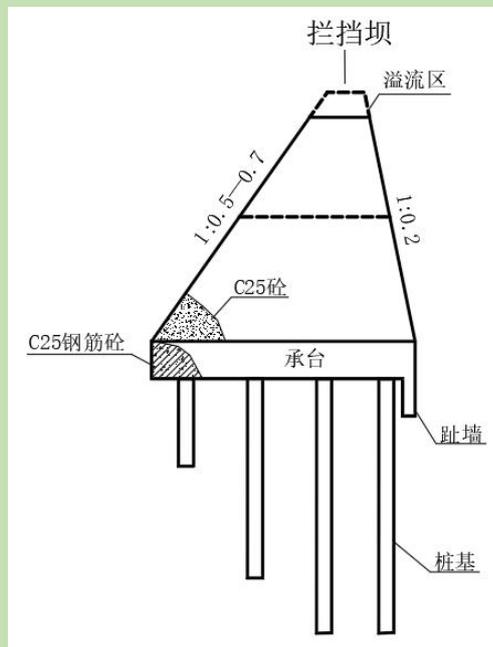


图 B.1 大型拦挡坝坝体及桩基承台结构示意图

B.2 承台实际荷载组合计算公式

B.2.1 坝体自重

$$G_k = \gamma AL \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

γ —钢筋混凝土结构的容重 kN/m^3 ;

A—坝体的横截面面积 m^2 ;

L—坝的长度 m ;

B.2.2 泥石流淤积层土压力

$$E_{a1} = \frac{1}{2} \gamma' H^2 K_a L \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\psi}{2}) \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

- γ' — 泥石流淤积层的浮重度；
- H — 泥石流的淤积厚度；
- K_a — 主动土压力系数；
- E_{a1} — 淤积层对大坝的主动土压力合力；
- L — 坝的长度；

B. 2. 3 满库情况下泥石流体的水平压力

$$E_{a2} = \frac{1}{2} \gamma' h^2 L \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

- E_{a2} — 满库情况下泥石流流体的水平土压力合力；
- γ' — 泥石流的浮重度；
- h — 泥石流的厚度；
- K_a — 主动土压力系数；
- L — 坝的长度；

B. 2. 4 泥石流整体冲击力

$$P = \zeta \gamma_c v_c^2 L \sin \Theta / g \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中： P — 泥石流的整体冲击力；

- ζ — 物体的形状系数，按建筑物形状取值，一般 1.33；
- γ_c — 泥石流的重度；
- V_c — 泥石流的流速；
- θ — 受力面与泥石流冲压力方向的夹角；
- g — 重力加速度；

B. 2. 5 承台底所受总弯矩

$$M = M_1 + \Psi \times (M_2 + M_3) \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

$$M_1 = E_{a1} h_1 \quad \dots\dots\dots (B.6.1)$$

$$M_2 = E_{a2} h_2 \quad \dots\dots\dots (B.6.2)$$

$$M_3 = p h_3 \quad \dots\dots\dots (B.6.3)$$

式中： Ψ — 可变荷载分项系数,取值 1.2；

- M_1 — 泥石流淤积层主动土压力对承台底的弯矩；
- h_1 — 泥石流淤积层主动土压力合力作用点到承台底的距离。
- M_2 — 泥石流水平压力对承台底的弯矩；

- h_2 —泥石流水平压力合力点距承台底的距离；
- M_3 —泥石流整体冲击力对承台底的弯矩；
- h_3 —泥石流整体冲击力合力点对承台底的距离。

B. 2. 6 地震工况下承台底所受弯矩

$$M_{EK} = Ga_h h_e \dots\dots\dots (B.7)$$

- 式中： M_{EK} —地震工况下承台底所受弯矩标准值；
- G —坝体的质量；
- a_h —水平向设计地震加速度代表值；
- h_e —坝体质心到承台底的距离。

B. 3 桩基设计偏心竖向力

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} \times y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} \times x_i}{\sum x_j^2} \dots\dots\dots (B.8)$$

- 式中： N_{ik} —荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第*i*根基桩的竖向力；
- M_{xk} 、 M_{yk} —荷载效应标准组合下，作用于承台底面，绕通过桩群形心的*x*、*y* 主轴的力矩；
- n —桩基中的桩数；
- x 、 y —第*i*、*j* 基桩至*x*、*y* 轴的距离；

B. 3. 1 基桩最大竖向力

$$N_{max} = \frac{F_k + G_k}{n} + \frac{M_{xk} \times y_{max}}{\sum y_j^2} \dots\dots\dots (B.8.1)$$

B. 3. 2 基桩平均竖向力

$$N = \frac{F_k + G_k}{n} \dots\dots\dots (B.8.2)$$

B. 4 基础沉降量检算公式

B. 4. 1 不设桩基时基础的沉降量检算

据《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) 计算地基最大沉降量：

$$s = \Psi_s \times s' = \Psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \dots\dots\dots (B.9)$$

- 式中： s —地基最终变形量
- s' —按分层总和法计算出的地基变形量；
- Ψ_s —沉降计算经验系数，取 1；
- n —地基变形计算深度范围内所划分的土层数；
- p_0 —对应于荷载效应准永久组合时的基础底面处的附加压力；
- E_{si} —基础底面下第*i*层土的压缩模量；

z_i 、 z_{i-1} —基础底面至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面的距离；

$\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ —基础底面计算点至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面范围内平均附加应力系数。

B. 4. 2 设桩桩基沉降计算

大型拦挡坝地基基础面积大，顺沟方向及横向上的基础地质结构变化较大，可能有基岩基础、有松散层基础、有老堆积层基础。需设计布置桩基承台结构，设计时根据基础地质结构的变化进行分段布置，各段沉降差应控制在一定范围内，因此需计算不同坝段的最终沉降量。同时，设计的桩型不同，考虑承台不均匀沉降，承台横向需设置沉降缝，并计算各段桩基的最终沉降量。

最终沉降量计算按建筑桩基技术规范（JGJ94—2008）采用等效作用分层总和法。沉降缝左侧部分承台中心的最终沉降量计算如下：

$$s = \Psi \times \Psi_e \times s' = \Psi \times \Psi_e \times \sum_{j=1}^n p_{oj} \sum_{i=1}^n \frac{z_{ij} \bar{\alpha}_{ij} - z_{(i-1)j} \bar{\alpha}_{(i-1)j}}{E_{si}} \dots \dots \dots \quad (\text{B.10})$$

s —桩基最终沉降量（mm）；

s' —按实体深基础分层总和法计算出的桩基沉降量；

Ψ —桩基沉降计算经验系数；

Ψ_e —桩基等效沉降系数；

m —脚点法计算点对应的矩形荷载分块数；

p_{oj} —第 j 块矩形底面在荷载效应准永久组合下的附加压力；

n —桩基沉降计算深度范围内所划分的土层数；

E_{si} —等效作用面以下第 i 层土的压缩模量（MPa）；

α_{ij} 、 $\alpha_{(i-1)j}$ —桩端平面第 j 块荷载计算点至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面深度范围内平均附加应力系数；

(1) 桩基等效沉降系数：

$$\Psi_e = C_0 + \frac{n_b - 1}{C_1(n_b - 1) + C_2} \dots \dots \dots \quad (\text{B.11})$$

$$n_b = \sqrt{n \times B_c / L_c}$$

n_b —矩形布桩时的短边布桩数；

C_0 、 C_1 、 C_2 —根据群桩距径比 S_a/d 、长径比 L/d 及基础长宽比 L_c/B_c ；

L_c 、 B_c 、 n —分布为矩形承台的长、宽及总桩数。

(2) 沉降计算深度

基桩沉降计算深度 Z_n 应按应力比法确定，即计算深度处的附加应力 σ_z 与土的自重应力 σ_c 应符合下列公式要求：

$$\sigma_z \leq 0.2\sigma_c \dots \dots \dots \quad (\text{B.12})$$

$$\sigma_z = \sum_{j=1}^m a_j p_{oj}$$

a_j —附加应力系数；

据建筑桩基技术规范（JGJ94—2008），当高耸结构自室外地面算起的建筑物高度小于等于 100m 时，高耸结构基础的沉降量的允许值为 350mm。

B. 4. 3 端承摩擦桩基桩的最大沉降量

桩端平面以下地基中由基桩引起的附加应力，按考虑桩径影响的明德林解计算确定，将沉降计算点水平面影响范围内各基桩对应力计算点产生的附加应力叠加，采用单向压缩分层总和法计算土层的沉降，并计入桩身压缩，桩身的最终沉降量可按如下公式计算：

$$s = \psi \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zi}}{E_{si}} \Delta Z_i + s_e \dots \dots \dots (B.13)$$

$$\sigma_{zi} = \sum_{j=1}^m \frac{Q_j}{l_j^2} [\alpha_j I_{p,ij} + (1 - \alpha_j) I_{s,ij}] \dots \dots \dots (B.13.1)$$

$$s_e = \xi_e \frac{Q_j l_j}{E_C A_{PS}} \dots \dots \dots (B.13.2)$$

ψ —沉降计算经验系数，无当地经验时，可取 1.0；

σ_{zi} —水平面影响范围内各基桩对应力计算点桩端平面以下第 i 层土 1/2 厚度处产生的附加竖向应力之和；

E_{si} —第 i 土层的压缩模量；

ΔZ_i —第 i 计算土层厚度；

Q_j —第 j 桩在荷载效应准永久组合作用下，桩顶的附加荷载；

l_j —第 j 桩桩长；

A_{PS} —桩身截面面积；

$I_{p,ij}$ 、 $I_{s,ij}$ —分别为第 j 桩的桩端阻力和桩侧阻力对计算轴线第 i 计算土层 1/2 厚度处的应力影响系数；

E_C —桩身混凝土的弹性模量；

ξ_e —桩身压缩系数。端承型桩，取 $\xi_e=1$ ，摩擦型桩，当 $l/d \leq 30$ 时，取 $\xi_e=2/3$ ；当 $l/d \geq 50$ 时，取 $\xi_e=1/2$ ；介于两者之间可线性插值。

B. 4. 4 嵌岩桩基桩的最大压缩量

$$s_e = \xi_e \frac{Q_j l_j}{E_C A_{PS}} \dots \dots \dots (B.13.3)$$

Q_j —第 j 桩在荷载效应准永久组合作用下，桩顶的附加荷载；

l_j —第 j 桩桩长；

A_{PS} —桩身截面面积；

E_C —桩身混凝土的弹性模量；

ξ_e —桩身压缩系数。端承型桩，取 $\xi_e=1$ ，摩擦型桩，当 $l/d \leq 30$ 时，取 $\xi_e=2/3$ ；当 $l/d \geq 50$ 时，取 $\xi_e=1/2$ ；介于两者之间可线性插值。

B. 5 桩基与承台配筋建议

B. 5. 1 承台桩桩间距宜 3~5m 之间，桩直径宜 1. 2-1. 5m 之间。

B. 5. 2 承台桩桩身及承台配筋，可按照参考《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）。

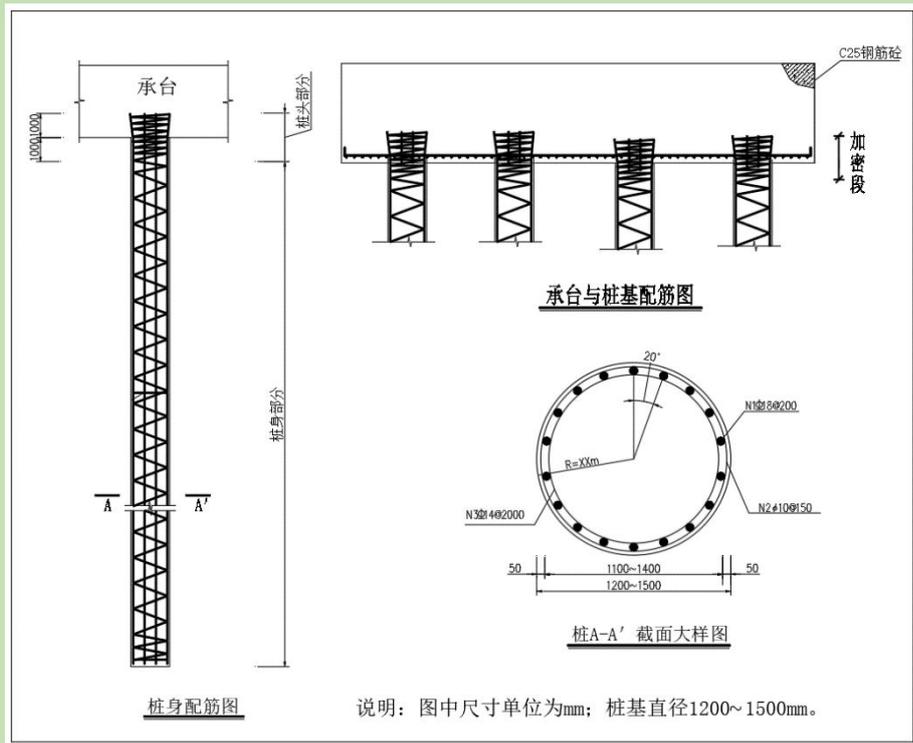


图 B. 2 桩基及承台配筋示意图

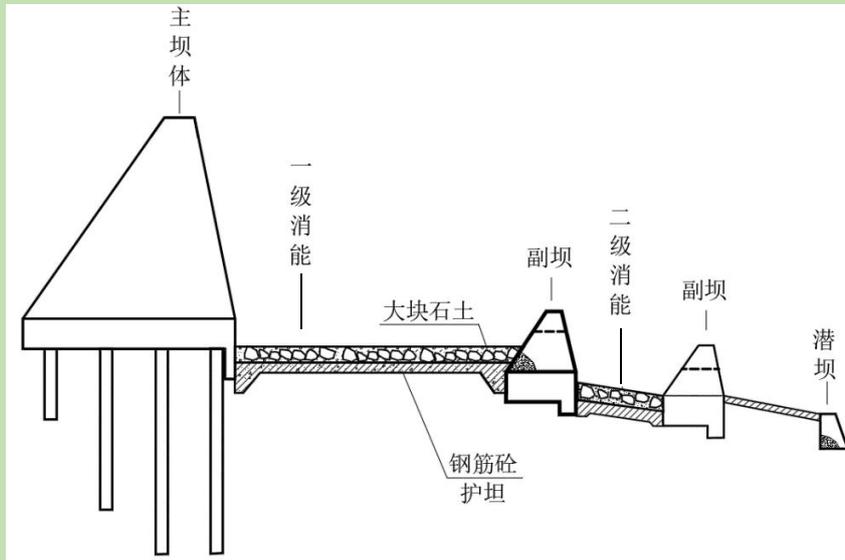
附录 C (规范性附录) 坝下消能防冲工程结构

高大拦挡坝工程坝下冲刷严重,需布置多级防冲(撞击)工程进行消能,消能结构有多种结构型式,本标准中提供两种最有效的结构组合,见图 C.1、C.2。

C.1 消能池结构组合

C.1.1 本结构主要采用一级或多级副坝形成消能池进行消能,消能池底部采用钢筋砼形成护坦,护坦厚度一般超过1.0m。护坦与主坝交接段嵌固深度应大于规范7.7条计算深度。

C.1.2 护坦上方均匀铺设粒径大于1.0m以上的大块石,块石就近取用沟道内的漂砾。



说明:主要是利用一级或多级副坝形成消能结构进行消能。当沟道纵坡坡降小于150%,采用一级效能结构即可;大于150%,需要二级消能及以上结构。

图 C.1 副坝(一级或多级)+钢筋混凝土护坦+大块石堆填

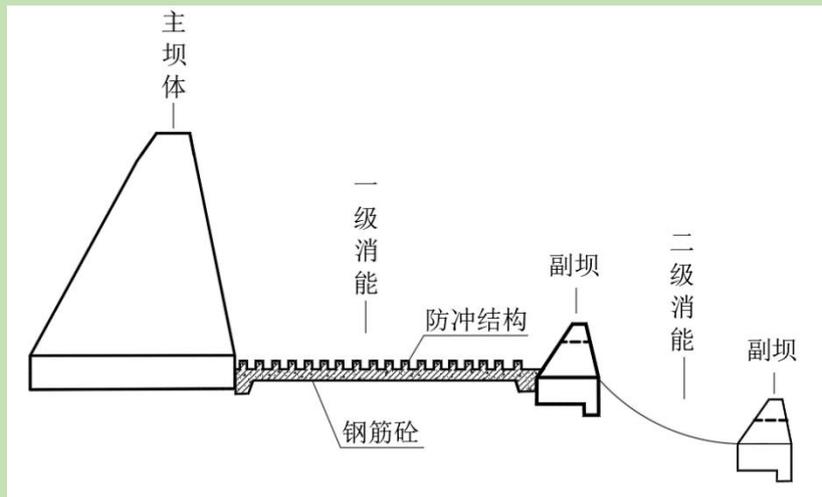
C.2 抗撞击消能结构

C.2.1 本结构主要采用一级或多级副坝形成消能池进行消能,消能池底部采用钢筋砼形成护坦,护坦厚度一般超过1.0m。护坦与主坝交接段嵌固深度应大于规范7.7条计算深度。

C.2.2 防冲结构有方形、条形钢筋混凝土结构或大块石(卵石)镶嵌结构。

C.2.3 方形防冲墩尺寸:宽0.5-0.8m,高0.8-1.0m。

C.2.4 条形防冲尺寸:长与沟谷宽度一致或大于溢流口2-3m,宽0.5-0.8m,高0.5-0.8m。



说明：主要是利用一级或多级副坝形成消能结构进行消能。当沟道纵坡坡降小于 150%，采用一级效能结构即可；大于 150%，需要二级消能及以上结构。

图 C.2 副坝（一级或多级）+一级防冲击结构+沟道消能

D.1 结构型式

泥石流速排结构是将泥石流流体归并后快速运输的一种结构型式。

根据排导结构横穿公路的方式, 可将跨公路排导结构分为底越式速排结构和顶越式速排结构, 如图 D.1 所示。底越式速排结构是指排导结构从公路路面结构以下以涵洞或桥孔的形式穿越, 而顶越式速排结构是指排导结构从公路顶部以渡槽的形式穿越。

速排结构组成: 倒八字形的汇流槽+矩形速流槽, 汇流槽的作用在于归并来自于泥石流中上游、处于散流状态的泥石流流体, 并通过速流槽快速运输泥石流流体。

速排结构速流槽横断面结构型式: 弧形底板+矩形侧墙。

速排结构速流槽纵断面结构型式: 弧形结构, 出口段反翘, 反翘角度 $8^{\circ} \sim 14^{\circ}$, 优化取值 12° 。

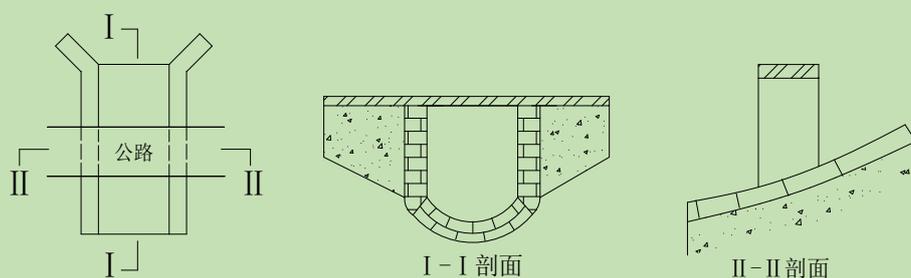


图 D.1 泥石流速排结构

D.2 结构布置原则

泥石流速排结构在平面上由进口段、急流段、出口段三部分组成, 如图 D.2 所示。

D.2.1 进口段

进口段是速流槽与自然沟道的连接部分, 由两道倒八字形导流堤组成, 称为汇流槽。导流堤应与上游流通区或山口稳定部分沟岸相接, 顺应沟床流势布设成直线或大半径曲线。由于速流槽的宽度通常都比上游自然沟床宽度要小, 故进口段两侧的导流堤应布设成上游宽、下游窄 (与急流槽断面一致) 并成收缩渐变的倒八字喇叭口外形, 具有逐渐压缩泥石流过流断面的作用。导流堤轴线方向与泥石流主流方向之间的夹角 (α) 与泥石流性质有关, 粘性泥石流及含大量巨砾的水石流取 $8^{\circ} \sim 12^{\circ}$, 高含沙水流及稀性泥石流取 $13^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 。

如果速流槽上游段已建有拦挡坝、潜槛等控流设施, 则在布置汇流槽时, 应加以合理利用, 使导流堤与相应的控流设施末端连接, 并使其与入流方向保持一致; 若上游无控流设施, 为防止出现严重冲刷沟槽, 应在进口段适当部位设置相应的控流工程, 如潜坝、潜槛、矮桩林、铺砌等。

D.2.2 急流段

急流段是速流槽的主体部分, 平面线型尽可能为直线, 若无法回避弯曲沟段时, 应尽量裁弯取直, 以较大的弯道半径缓慢过渡, 稀性泥石流沟的弯道半径应 $8 \sim 10$ 倍泥石流流体宽度, 粘性泥石流沟的弯道半径应为 $15 \sim 20$ 倍泥石流流体宽度。

D.2.3 出口段

出口段布置宜靠近交汇大河的主流线位置，使泥石流能通过速流槽直接送入江河、山谷或停淤场。出口段末端与大河以锐角方式相交，交角越小，泥石流流体在泥石流沟口停积、堵塞河道的几率越小。

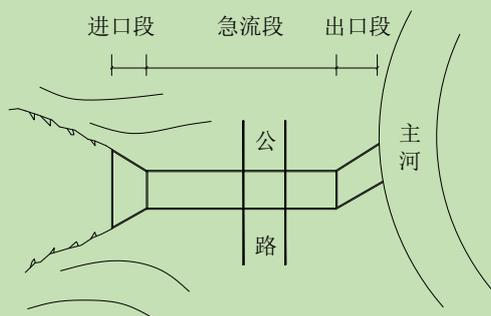


图 D. 2 速排结构布置图示

D. 3 结构设计

D. 3.1 汇流槽

荷载组合：结构自重+泥石流浆体冲击力+块石冲击力

汇流槽由侧墙和嵌固桩现浇而成，可简化为悬臂梁，其力学模型如图 D.3 所示。

运用材料力学方法求解即可得到结构内力，据此进行结构计算，并依据所得的 Q 图和 M 图进行结构设计。

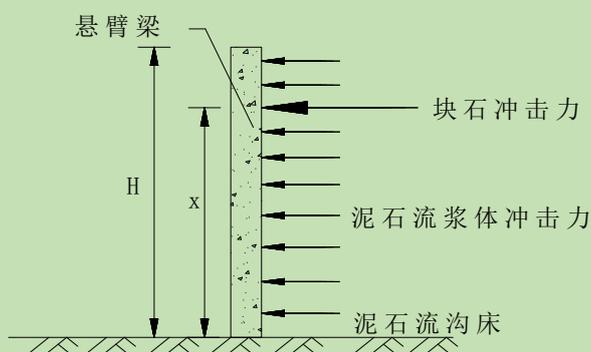


图 D. 3 汇流槽力学模型

D. 3.2 速流槽

由于速流槽可分为顶越式和底越式两种，前者的结构设计采用传统结构力学予以计算、设计，后者需考虑地基反力。该技术针对底越式速流槽。

荷载组合：泥石流流体自重+结构自重+地基反力+泥石流流体摩阻力

将地基视为均匀介质，不考虑泥石流磨蚀力对排导结构内力的影响，仅在结构设计时从构造措施上考虑结构抗御泥石流磨蚀问题。

精确计算时，基于弹性地基梁理论将底越式速排结构的地基土体视为半无限弹性体，单位长度的排导结构视为弹性地基梁。等分地基梁，引入 Winkler 假定，在每段的中点设置垂直 Winkler 元（图 D.4），据此进行超静定结构分析。

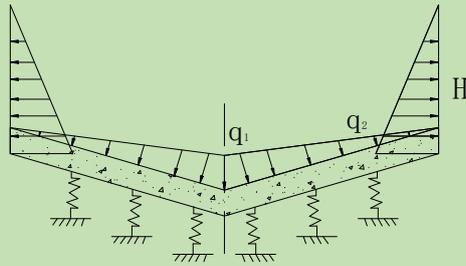


图 D.4 底越式速排结构 Winkler 模型

槽底内力计算：

取单位槽底长度为计算单元，利用 Winkler 弹性地基梁理论，得到任意截面的弯矩和剪力计算式：

$$M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2} = 2\beta^2 EI [e^{\beta x} (c_1 \sin \beta x - c_2 \cos \beta x) - e^{-\beta x} (c_3 \sin \beta x + c_4 \cos \beta x)] \quad \dots\dots (D.1)$$

$$Q = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} = 2\beta^3 EI \left\{ \begin{aligned} &e^{\beta x} [c_1 (\cos \beta x + \sin \beta x) - c_2 (\cos \beta x - \sin \beta x)] - \\ &e^{-\beta x} [c_3 (\cos \beta x - \sin \beta x) + c_4 (\cos \beta x + \sin \beta x)] \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (D.2)$$

式中， M 为弯矩 (kN.m)； Q 为剪力 (kN)； E 为梁的弹性模量 (MPa)； I 为梁截面惯性矩 (m⁴)； β 为结构特征系数，由式 (D.3) 计算。

$$\beta^4 = \frac{k}{4EI} \quad \dots\dots (D.3)$$

式中， k 为地基反力系数，在无实测资料时按表 D.1 取值。

将式 (3) 的计算结果和边界条件代入式 (1) 和式 (2)，得系数 c_1 、 c_2 、 c_3 和 c_4 ，进而得到槽底内力计算公式。

表 D.1 地基反力系数推荐值

土的种类		k (N/cm ³)
扰动砂土，未经压实的新填土		1~5
流塑黏性、淤泥质土、有机质土		5~10
粘土及粉质粘土	软塑	10~20
	可塑	20~40
砂土	松散或稍密的	10~15
	中密的	15~25
	密实的	25~40
碎石土	稍密的	15~25
	中密的	25~40
黄土及黄土类粉质黏土		40~50
硬塑性粘性土及粉质粘土		40~100
密实碎石土		50~100
人工压实的粉质粘土、硬粘土		100~200
冻土层		200~1000

注：地基反力系数推荐值应根据防治工程的重要性进行选取，即重要工程取小值，次要工程取大值。

槽底内力简化计算方法为：

假定地基反力呈直线规律分布，其地基反力图在对称荷载作用下呈矩形分布，在偏心荷载作用下呈梯形分布。简化计算时，取单位长度的槽底为研究对象。为了确定地基反

力的直线分布图形，只须先求出梁端的地基反力集度 P_1 和 P_2 。 P_1 和 P_2 可根据力平衡和力矩平衡联合求出。据此，排导结构槽底可简化为静定问题进行求解，如图 2 所示。

联合式 (4) 和式 (5)，可求得 P_1 和 P_2 ，据此采用材料力学方法可求得槽底任意截面的内力。

$$\frac{p_1 L^2}{2 \cos^2 \alpha} + \frac{(p_2 - p_1) L^2}{6 \cos^2 \alpha} + \frac{3 p_1 L^2}{2 \cos \alpha} + \frac{2(p_2 - p_1) L^2}{3 \cos \alpha} = \frac{q_A L^2}{2} + \frac{4 q_A L^2 \cos \alpha}{3} + \frac{(q_C - q_A) L^2}{3} + \frac{2(q_C - q_A) L^2 \cos \alpha}{3} \dots \dots \dots (D. 4)$$

$$p_1 L \cos \alpha + \frac{(p_2 - p_1) L}{2} \cos \alpha = q_A L + \frac{q_C - q_A}{2} L \dots \dots \dots (D. 5)$$

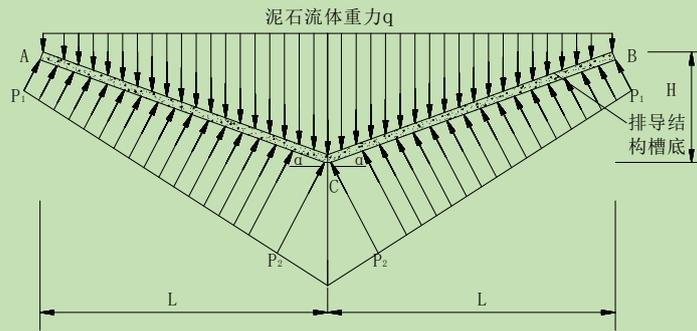


图 D. 5 槽底简化计算模型

D. 4 结构施工

D. 4.1 一般规定

(1) 固相颗粒较大且含量多的泥石流，应在速排结构上游适当位置建造拦挡坝、栅栏等拦挡结构，拦截粗大砾石。

(2) 速排结构位于泥石流沟谷出口处，施工期间不可避免地存在溪流。为导流溪水，需在速排结构工程施工范围以外的上游侧筑坝截水，采用明渠或管道绕过施工场地将溪水排至下游。

(3) 速排结构施工过程中，应做到汇流槽和速流槽的合理衔接，衔接部位应结实、光滑、平顺。

(4) 汇流槽结构宜采用浆砌片石、浆砌条石、片石混凝土或素混凝土，根据泥石流冲击力作控制设计；速流槽结构则宜采用钢筋混凝土和预应力混凝土。

(5) 施工过程中，不得将建筑弃渣堆放在汇流槽的入口处或入口处的上游侧，特别是粒径较大的粗砾石，以免阻碍泥石流体的导流。

D. 4.2 汇流槽施工

(1) 汇流槽迎冲面应按设计要求采用抗冲消能材料，增强结构的抗冲击性能。

(2) 汇流槽施工中，应做好汇流槽结构与泥石流沟岸坡的有效连接，避免泥石流冲刷沟岸，确保泥石流流体顺利进入速流槽内。

(3) 当地下水位较高、地基土体渗透性较强时，宜采用竖向集水井降低地下水位。

(4) 汇流槽基坑开挖至设计标高后，应进行地基承载力测试，承载力满足要求以后，才能进行基础施工。

(5) 土地基承载力测试可采用触探法，岩石地基应采用试压法测试地基的强度，若为

比较完整的中风化或弱风化岩石地基可不进行地基承载力测试。

(6) 当地基承载力不满足设计要求时, 应停止施工, 并立即通知设计单位进行变更设计。

(7) 汇流槽施工中, 应进行基础防渗处理, 避免管涌等次生病害产生。

(8) 汇流槽砌体工程应按以下基本要求施工:

1) 石料或混凝土预制块的质量和规格应符合有关规范和设计要求。

2) 砂浆所用的水泥、砂、水的质量应符合有关规范的要求, 并按规定的配合比施工。

2) 地基承载力必须满足设计要求。

4) 砌筑应分层错缝, 浆砌坐浆挤紧嵌填饱满密实无空洞, 勾缝平顺无脱落, 缝宽大体一致。

(9) 当汇流槽长度较长, 断面积较大时, 可根据地形采用分段施工, 施工缝一般设在分段位置, 以便减少施工缝的处理。

(10) 必须按规范规定和设计要求的位置设置沉降缝和伸缩缝, 缝线须竖直, 缝宽大体一致, 表面密实平整。在缝墙体两侧严禁存在狼牙齿表面, 以免地基产生不均匀沉降时墙体端部受到过大的拉应力而开裂破坏, 影响汇流槽结构的正常使用和耐久性。

(11) 永久缝的止水可采用沥青麻绳或橡胶止水带, 若采用沥青麻绳止水时, 应在永久缝墙体的内外侧设置, 且止水沥青麻绳外侧还应用沥青灌缝, 沥青灌缝深度不得小于 2.0cm。

D. 4. 3 速流槽施工

(1) 速流槽表面应采用抗冲磨消能材料或铺砌大理岩、玄武岩、石英岩、花岗岩等硬质岩石抗冲磨面层或采用钢轨排等抗磨设施, 增强结构的耐久性。面层结构施工时应满足设计要求, 若设计无明确规定时应符合以下三点要求:

1) 当采用面层抗冲磨消能材料时, 面层的厚度不得小于 20.0cm, 宜采用粒径为 1.0~2.0cm 的硬质碎石作为混凝土粗骨料, 面层施工以前需用强度不小于面层结构强度的水泥浆涂抹主体结构表面, 增强面层材料与主体结构粘结性。

2) 当采用铺砌大理岩等硬质岩石抗冲磨面层时, 石材宜采用长方形状, 宽度不得小于 20.0cm、厚度不得小于宽度的 5cm, 长度不得小于 60.0cm, 砌筑砂浆强度不得低于 M7.5, 缝宽不得大于 2.0cm, 条石的长度方向需与速流槽的轴线方向一致。砌筑抗冲磨面层以前, 主体结构表面应凿毛、清洁, 用标号不小于 M10 的水泥砂浆涂抹主体结构表面, 增强面层材料与主体结构粘结性。

3) 当采用钢轨排抗磨措施时, 钢轨的布置方向应当与速流槽轴线方向一致, 且钢轨必须同主体结构上的预埋件焊接, 每个联结点需双侧施焊, 每条焊缝长度不得小于 10.0cm。

(2) 速流槽基坑开挖至设计标高后, 应进行地基承载力测试, 承载力满足要求以后, 才能进行基础施工。

(3) 土地基承载力测试可采用触探法, 岩石地基应采用试压法测试地基的强度, 若为比较完整的中风化或弱风化岩石地基可不进行地基承载力测试。

(4) 当地基承载力不满足设计要求时, 应停止施工, 并立即通知设计单位进行变更设计。

(5) 若速流槽结构被置于填方地段时, 填方地基的压实度不小于 90%。

(6) 当速流槽结构地基由填方地段和挖方地段组成, 特别是挖方段为岩基时, 施工中应在地质变化处设置过度地基或在速流槽结构上设置沉降缝。

(7) 必须按规范规定和设计要求的位置设置沉降缝和温度缝, 缝线须竖直, 缝宽大于纵向施工缝不得设置在速流槽结构底板与侧墙的交接处, 应间隔一定距离, 最好设置在底

板里，

(8) 永久缝的止水可采用沥青麻绳或橡胶止水带，若采用沥青麻绳止水时，应在永久缝墙体的内外侧设置，且止水沥青麻绳外侧还应用沥青灌缝，沥青灌缝深度不得小于 2.0cm。

(9) 使用在速流槽底板钢筋网的砂浆垫块强度不得小于速流槽主体结构混凝土的强度，钢筋与底模间的砂浆垫块和钢筋网与钢筋网间的支承板凳筋的设置间距不得大于 50.0cm，应按梅花形布置，砂浆垫块与板凳筋需对应布置。

(10) 底板混凝土的坍落度宜采用 2.0~3.0cm，侧墙混凝土的坍落度宜采用 3.0~4.0cm。

(11) 速流槽段的锁固桩与速流槽应整体浇筑。

附录 E (资料性附录) 泥石流磨蚀力计算方法

(1) 把泥石流中粒径大于 2 mm 的固相颗粒视为固相物质, 其余视为等效浆体, 即把泥石流流体概化为由等效均质浆体和粒径相同的固相颗粒组成的两相流体。

(2) 把泥石流流体视为与沟槽平行的一维两相流运动体系, 固、液两相的运动速度分别为 v_s 和 v_f , 并且固、液两相以相同的角度磨蚀防治结构和岸坡。

(3) 泥石流在运动过程中, 不考虑外部质量源, 即不考虑岸坡对泥石流流体的物源补给, 泥石流在沟槽内冲淤平衡。

E.1 泥石流液相浆体流速

$$v_f = \frac{M}{G} v_s \dots\dots\dots (E.1)$$

$$M = \frac{1}{(1-\alpha)^4} \dots\dots\dots (E.2)$$

$$G = G(\alpha, L, h) \dots\dots\dots (E.3)$$

式中: α 为泥石流流体的固相比; G 为固相颗粒流速差异系数, 是固相比 α 、分析断面上流通区长度 L 和泥石流流体厚度 h 的函数, G 可由泥石流固相流速差异系数曲线确定, 其余参数见文献冲淤变动型沟谷泥石流防治结构抗撞关键技术研究报告。

E.2 泥石流液相加速度

令泥石流排导槽为矩形排导槽, 其内分析部位平均宽度为 b , 过流断面面积为 A , 排导槽的底坡为 i , 水半径为 R , 泥石流的体积流量为 Q , k 为考虑泥石流与一般流体的差异修正系数, β 为动能修正系数, n 为排导槽的粗糙系数, 则泥石流液相加速度 a_f 为

$$a_f = \frac{v_f^{(i-B)}}{C+D} \dots\dots\dots (E.4) \quad B =$$

$$\frac{kQ^2}{K} \dots\dots\dots (E.5) \quad C = -$$

$$\frac{Q}{bv_f^2} \dots\dots\dots (E.6)$$

$$K = \frac{AR^{2/3}}{n} \dots\dots\dots (E.7)$$

$$D = \frac{\beta v_f}{g} \dots\dots\dots (E.8)$$

E.3 泥石流固相颗粒流速

$$v_s = \sqrt{\frac{100Ax}{[(1-\alpha)\rho_s - M^2\alpha\rho_f]G^2}} \dots\dots\dots (E.9)$$

$$A = 2\left\{ \frac{\alpha}{100} [(1-\alpha)\rho_s - (2-\alpha)\rho_f] \cos\theta + \frac{3\alpha(1-2\alpha)}{2d_e} W \right\} \dots\dots\dots (E.10)$$

$$W = \frac{[\alpha\rho_s + (1+\alpha)\rho_f]gh}{200 \cos^2\theta} \dots\dots\dots (E.11)$$

泥石流固相加速度

$$a_s = \frac{G}{M} a_f \dots\dots\dots (E. 12)$$

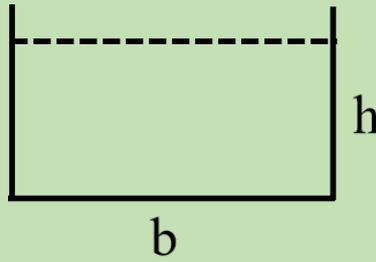


图 E. 1 矩形泥石流排导槽

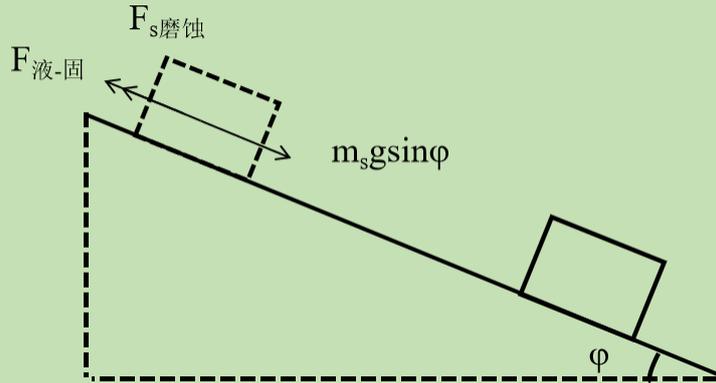


图 E. 2 泥石流在排导槽内运动过程中固相的受力分析

泥石流固相部分在流动过程中服从牛顿第二定律，可得

$$m_s g \sin \varphi + F_{固-液} - F_{s磨蚀} = m_s a_s \dots\dots\dots (E. 13)$$

式中 m_s 为单位体积泥石流中固相颗粒的质量， φ 为泥石流排导槽与水平方向的夹角， $F_{固-液}$ 为固相与液相之间存在切应力， $F_{s磨蚀}$ 为泥石流中固相对排导槽的磨蚀力。

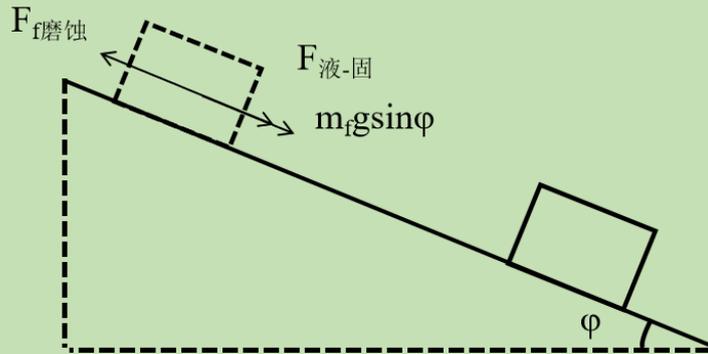


图 E. 3 泥石流在排导槽内运动过程中液相的受力分析

泥石流液相部分在流动过程中服从牛顿第二定律，可得

$$m_f g \sin \varphi - F_{固-液} - F_{f磨蚀} = m_f a_f \dots\dots\dots (E. 14)$$

式中 m_f 为单位体积泥石流中液相的质量， $F_{f磨蚀}$ 为泥石流中液相对排导槽的磨蚀力。

根据式 (1) 与式 (9) 可知，固相与液相的速度不等，显然式 (13) 与式 (14) 中的切应力 $F_{固-液}$ 方向相反，大小相等。以泥石流流动的方向为正方向，联立式 (13) 与式 (14)，可得

$$F_{f磨蚀} + F_{s磨蚀} = (m_f + m_s) g \sin \varphi - (m_f a_f + m_s a_s) \dots\dots\dots (E. 15)$$

$F_{f磨蚀} + F_{s磨蚀}$ 即为泥石流受到来自于排导槽的摩擦阻力 $F_{磨蚀}$ 。

$$F_{\text{磨蚀}} = mg \sin \phi - m_f \frac{v_f \left(i - \frac{nkQ^2}{AR^{2/3}} \right)}{\frac{Q}{bv_f^2} + \frac{\beta v_f}{g}} \left(1 + \frac{m_s}{m_f M (1-\alpha)^4} \right) \dots\dots\dots (E. 16)$$

式中 m 为单位体积泥石流的质量。可以利用 (16) 式计算泥石流对排导槽的磨蚀力。

附录 F（资料性附录）泥石流耐磨蚀混凝土材料

F.1 一般规定

耐磨蚀混凝土材料用于泥石流排渡槽或排导槽底板表层铺装，减轻泥石流对排导结构的磨蚀作用，延长结构服役寿命，也可铺装拦渣坝泄水孔表层、穿越泥石流沟桥梁墩台迎冲面，减轻泥石流对结构的磨蚀作用。

F.2 材料组成

F.2.1 材料组成

耐磨蚀混凝土材料由基础材料和辅助材料两部分组成，基础材料包括水泥、碎石、砂和水；辅助材料包括杜拉纤维、环氧树脂粉、减水剂和粉煤灰。

F.2.2 材料配比

耐磨蚀混凝土材料配合比（重量份）：水泥：砂：碎石：水 = (360~370) : (736~743) : (1080~1100) : (200~210)。

F.2.3 辅助材料掺量

耐磨蚀混凝土材料辅助材料掺量：杜拉纤维为水泥重量的 0.9~1.0%，抗拉强度大于 800MPa；环氧树脂粉为水泥重量的 0.3~0.5%，比重不低于 1.6g/cm³、附着力 0-1 级；减水剂为水泥重量的 0.23~0.25%；粉煤灰为水泥重量的 17~20%。

F.3 配制方法

F.3.1 配制方法

耐磨蚀混凝土材料的配制方法：将水泥、砂、碎石混合拌匀→加入粉煤灰并拌匀→加入环氧树脂粉并拌匀→加入杜拉纤维并拌匀→加入水并拌匀→加入减水剂并拌匀，得到泥石流耐磨蚀混凝土材料。

F.3.2 施工时间

配制完成的泥石流耐磨蚀混凝土材料，应在 1 小时内完成在泥石流防治结构表层的铺装。

附录 G (资料性附录) 路基缺口应急通行自承载结构

G.1 结构型式

路基缺口应急通行自承载结构属于特大型山洪泥石流灾害公路交通应急通行专用设备,适用于山洪泥石流引发的路基缺口、冲失断道部位公路交通的快速修复技术。采用构件预制,灾后现场组装。

路基缺口应急通行自承载结构的结构型式为:

(1) 由钢架、拉绳系统和路面板三部分组成,其中钢架和拉绳系统组成该技术的承载系统,路面板为该发明的道路通行构件,如图 G.1 所示。钢架包括立方体形组件(图 G.2)和三角棱柱形组件(图 G.3),拉绳系统包括承载钢绳和稳固钢绳。

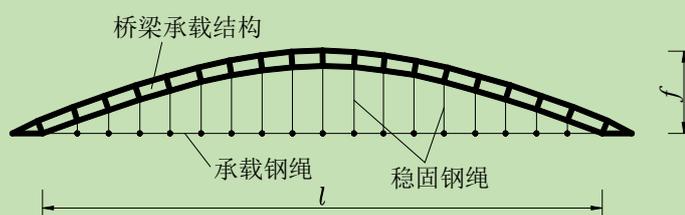


图 G.1 路基缺口应急通行自承载结构图示

(2) 在立方体形钢架的八个角点及三角棱柱形钢架矩形侧面的四个角点处设置连接锁孔,便于钢架组件之间的机械连接,在三角棱柱形钢架底面的四个角点处设置承载钢绳锁孔,便于固定承载钢绳。

(3) 钢架组件沿道路延伸方向尺寸为 b 、沿道路宽度方向尺寸为 a 、高度为 h ,其尺寸 a 取 3m, b 取 2m, h 取 1m。

(4) 钢架由普通钢轨焊接而成,承载钢绳为直径 15.2mm 的普通钢绞线,稳固钢绳为直径 5mm 的普通钢绞线。

(5) 钢架相邻立方体形组件在连接锁孔处采用连接螺杆(图 G.4)和连接螺帽(图 G.5)机械锁固。

(6) 连接锁孔直径 24mm,承载钢绳锁孔直径 45mm,连接螺杆直径 d 为 24mm、长度 t 为 300mm,连接螺帽孔径 24mm、外径 D 为 80mm。

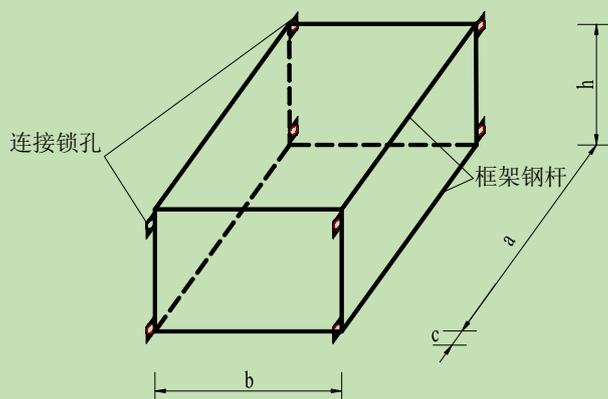


图 G.2 钢架立方体形组件

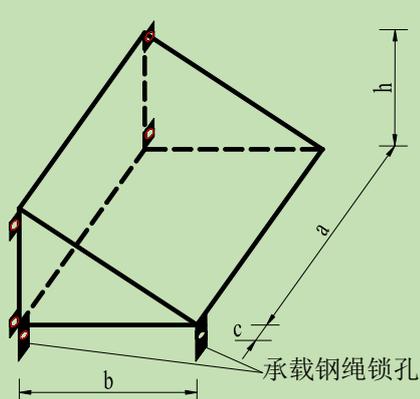


图 G.3 钢架三角棱柱形组件

(7) 路基缺口应急通行自承载结构长度包括 10m、15m、20m、25m、30m、40m 等六个尺寸,适用于路基缺口或路基冲失段长度 35m 以内的断道灾害应急通行。

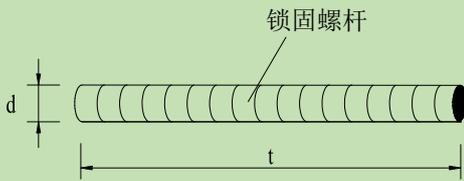


图 G.4 钢架连接螺杆

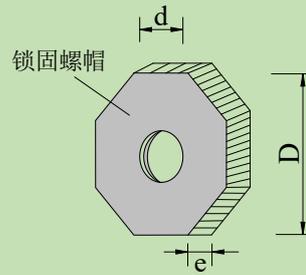


图 G.5 钢架连接螺帽

G.2 结构工作原理

路基冲失灾害发生后，路基缺口或冲失段长度小于 35m 时（如图 G.6 所示），可采用路基缺口应急通行自承载结构实现公路交通应急通行，并从 10m、15m、20m、25m、30m、40m 等长度型号中选用合适的路基缺口应急通行自承载结构（如图 7 所示），其工作原理简述如下：

（1）承载钢绳与组合式钢架组成超静定自承结构体系，连接组合式钢架与承载钢绳之间的稳固钢绳属于辅助构件，限制钢架与承载钢绳体系发生竖向变形。

（2）路面结构位于钢架顶部，钢架既是传力构件，也是承载构件，连接钢架两端的承载钢绳属于结构自承体系，连接钢架和承载钢绳之间的稳固钢绳属于体系的稳固措施。

（3）当车辆及行人在桥梁路面板上行进时，钢架产生轴向压力并向钢架结构两端传递，传递到桥梁端部三角棱柱形组件的荷载由承载钢绳拉力平衡。

（4）结构自重及其车辆和行人荷载利用简支梁原理传递到路基缺口部位或路基毁损地段两端稳定岩土体上。

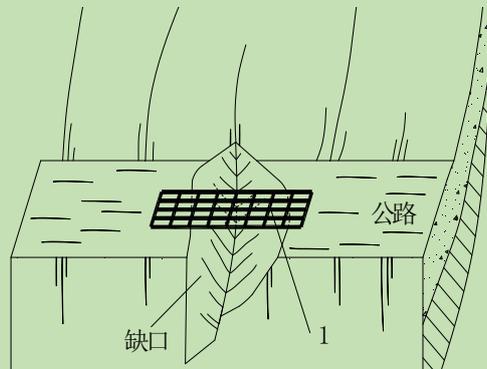


图 G.6 路基缺口部位架设路基缺口应急通行自承载结构

附录 H (资料性附录) 泥石流淤埋路段应急通行战备浮桥

H.1 结构型式

泥石流淤埋路段应急通行战备浮桥属于特大泥石流灾害公路交通应急通行专用设备，适用于厚度超过 3m 的粘性泥石流淤埋路段公路交通的快速修复技术。采用构件预制，灾后现场组装。

泥石流淤埋路段应急通行战备浮桥的结构型式：

(1) 由承载墩和连系杆综合组成，如图 H.1 所示。

(2) 承载墩由充气室和稳定柱组成，承载墩顶部有锁固栓和充气阀门，底部为四根稳定柱（图 H.2 至图 H.5）；充气室为密闭的车胎质橡胶制品，稳定柱为轻质实心铝合金制品。

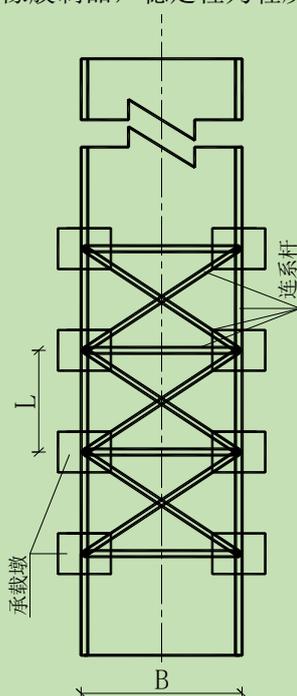


图 H.1 战备浮桥平面布置图

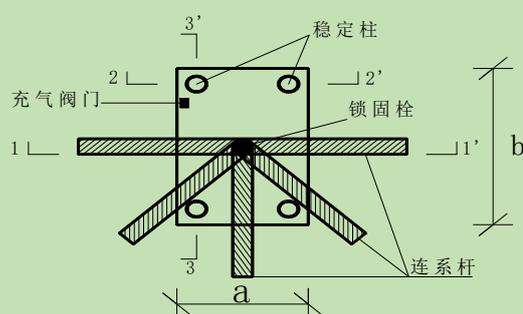


图 H.2 承载墩构造详图

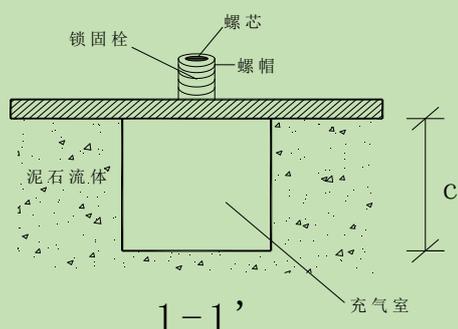


图 H.3 承载墩 1-1' 剖面示意图

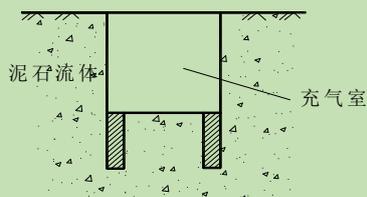


图 H.4 承载墩 2 - 2'剖面示意图

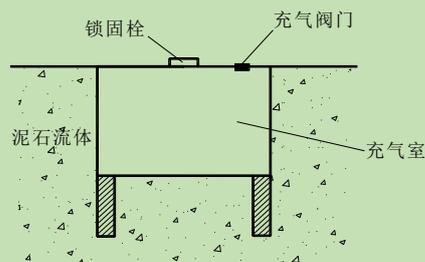


图 H.5 承载墩 3 - 3'剖面示意图

(3) 承载墩尺寸：宽 $a=50\sim 100\text{cm}$ ，长 $b=100\sim 150\text{cm}$ ，高 $c=50\sim 80\text{cm}$ 。

(4) 锁固栓由配套的螺芯和螺帽组成，螺芯直径 $8\sim 15\text{cm}$ ，高度不小于 15cm ，底部固定在充气室顶部。

(5) 稳定柱直径 $10\sim 15\text{cm}$ ，长度 $30\sim 50\text{cm}$ ，顶部固定在充气室底部。

(6) 连系杆可为两种材质：用高强金属制品如钢轨时，断面尺寸 $5\text{cm}\times 8\text{cm}$ ；用硬质木板材，断面尺寸 $5\text{cm}\times 10\text{cm}$ 。连系杆长度分 3m 、 4m 和 5m 三种尺寸，端部开孔，孔径与承载墩顶部的螺芯相匹配。

H.2 工作原理

(1) 针对巨厚层粘性泥石流淤埋路段，在道路泥石流沉积体表面整平一定宽度的交通便道，使泥石流沉积物地基承载力基本均匀。

(2) 承载墩是该技术的核心，依靠置于泥石流体内的充气室在泥石流体内的浮力提供支承力，符合阿基米德浮力定律。

(3) 运用连系杆将所有承载墩联合组成一个整体承载竖向荷载的结构体系。

(4) 承载墩底部稳定柱的功能在于防止承载墩在上部车辆及行人荷载作用下发生侧滑和侧翻。

(5) 在泥石流沉积物固结到具备承受相应交通及行人荷载时，松动锁固栓，拆卸所有的连系杆，打开承载墩顶部的充气阀门，从沉积物内取出承载墩结构，将承载墩和连系杆放置在相应的战备器材仓库，以备下一次使用，体现该技术的战备性和重复利用特征。

(6) 该结构能承受汽-20 级荷载，单向通行，满足应急抢险需求。

H.3 结构施工

(1) 针对淤积厚度超过 3m 、清淤工作量巨大的厚层粘性泥石流淤埋路段，确定泥石流处于基本停止流动状态、表层承载力不低于 80kPa 后，使用该技术实施公路交通快速修复。

(2) 将被泥石流沉积物淤埋路段泥石流沉积物表层人工整平出宽度不小于 3m 的交通便道。

(3) 沿交通便道纵向方向每隔 $2.5\sim 3.0\text{m}$ 、沿宽度方向每隔 $3.0\sim 3.5\text{m}$ ，安设承载墩，其稳定柱全部插入泥石流流体（泥石流整平面）以下。

(4) 采用空压机给承载墩充气室充气，使其内压力始终保持在 $2\sim 3$ 个大气压，充气压力达到要求后关闭充气阀门，气压不足时随时补充。

(5) 采用交叉方式，铺设相邻墩与墩之间的连系杆，连系杆在承载墩锁固栓处组装锁固，使承载墩-连系杆构成快速修复技术的结构承载体系。

(6) 在结构承载体系表面铺设普通木板，即可实现公路交通的快速修复。

(7) 施工注意事项：

1) 明确判定泥石流流动状态及承载力，合理选定泥石流战备浮桥架设时间，应在泥石流处于基本停止运动状态时实施战备浮桥。

- 2) 泥石流战备浮桥施工过程中，应派专人观察施工场地泥石流体的变形情况及泥石流沟内泥石流的发育特征，防止泥石流再次突然爆发造成施工灾难。
- 3) 泥石流战备浮桥施工过程中，承载墩的安设是关键，应确保充气室三分之二进入泥石流体中，充气室气体充满并达到要求后应确保充气阀门密闭。
- 4) 泥石流战备浮桥施工过程中，高度重视连接承载墩的连系杆接头的稳定，确保有效传递荷载。
- 5) 应严格控制泥石流战备浮桥的交通安全荷载大小，通行车辆荷载控制在公路Ⅰ—Ⅱ级荷载以内。

1.1 可行性研究阶段设计内容

1.1.1 设计说明书

概述、项目的必要性与紧迫性、地理地质环境、泥石流形成条件与基本特征,泥石流防治工程技术方案比较、工程监测设计、施工组织设计、工程实施效果评价。

1.1.2 设计图

不同方案的工程布置总平面图、分项工程布置平面图、工程纵剖面图、代表性横断面图。

1.1.3 估算书(另册装订)

1.2 初步设计阶段设计内容

1.2.1 设计说明书

概述、项目的必要性与紧迫性、地理地质环境,泥石流形成条件与基本特征,泥石流防治工程设计、工程投资概算、工程监测设计、施工组织设计、环保规划设计、工程实施效果评价。

1.2.2 设计图

推荐方案的工程布量总平面图、分项工程布置平面图、工程纵剖面图、代表性横断面图、分项工程初步的结构设计图,施工组织平面图。

1.2.3 计算书(另册装订)

1.2.4 概算书(另册装订)

1.3 施工图设计阶段设计内容

1.3.1 设计说明书

概述、项目的必要性与紧迫性、地理地质环境,泥石流形成条件与基本特征、泥石流防治工程设计、工程投资预算、施工安全防护设计、工程监测设计、施工组织设计、环保规划设计、工程实施效果评价。

1.3.2 设计图

工程布置总平面图、分项工程布置平面图、工程纵剖面图、代表性横断面图、分项工程结构设计图与细部构造大样图、特殊工程与辅助工程设计图、施工组织设计平面布置图、监测设计平面布置图。

1.3.3 计算书(另册装订)

计算依据的规范或标准和地质参数、泥石流防治工程设计参数计算、工程稳定性与结构验算。

1.3.4 预算书(另册装订)