泥石流灾害研究. 1991.
[23]云南省地质矿产局第一、二水文地质工程地质大队. 云南省地质灾害调查及对策研究报告. 1990.
[24]云南省计委国土整治农业区划办公室，云南地质灾害研究会. 云南滑坡泥石流防治研究(第四卷；第七卷). 1990；1993.
[25]铁道部第二设计院. 小流域暴雨地面迳流及桥(涵)前积水简化计算办法. 蓝晒图号：Ⅱ水径 002. 1958.
[26]成都铁路局昆明科研所. V型槽防治泥石流研究报告. 1988.
[27]中国科学院成都地理研究所. 泥石流预警报系统研究. 1985.
[28]中国水土保持学会，云南省地理研究所，云南省计委国土办，中科院成都山地灾害与环境研究所主编，首届全国泥石流滑坡防治学术论文集. 云南科技出版社，1993.
[29]昆明铁路分局林业事务所. 成昆线大湾子段的自然本底及其泥石流生物治理的端倪. 1993.
[30]铁道部科学研究院铁建所. 泥石流警报器. 1988.

第九节　泥石流松散固体物质储量估算 …… 82

第四章　泥石流排导工程 …… 85

第一节　概　　说 …… 85
第二节　排导工程类型与功能 …… 86
第三节　V 型槽哲理思路 …… 89
第四节　V 型槽特点、模式及其排防机理 …… 90
第五节　V 型槽纵横坡度关系及水力学特征 …… 93
第六节　V 型槽工程设计技术要点 …… 102
第七节　V 型槽设计水力要素表使用说明 …… 107
第八节　V 型槽实例 …… 134

第五章　泥石流渡槽工程 …… 144

第一节　概　　说 …… 144
第二节　渡槽类型特征及其作用 …… 145
第三节　选定泥石流渡槽的特定技术条件 …… 146
第四节　泥石流渡槽设计要点 …… 148
第五节　泥石流渡槽工程实例 …… 152

第六章　泥石流拦碴坝工程 …… 157

第一节　概　　说 …… 157
第二节　拦碴坝类型和功能 …… 158
第三节　拦碴坝设计技术条件 …… 160
第四节　泥石流重力式拦碴坝 …… 170
第五节　泥石流格栏坝 …… 180

第七章　泥石流生物工程 …… 197

第一节　概　　说 …… 197
第二节　生物治理泥石流技术特点 …… 198
第三节　防治泥石流的林业技术措施 …… 202

第四节　防治泥石流的农业技术措施…… 210
第五节　防治泥石流的牧业技术措施…… 213
第六节　生物治理泥石流的综合效益…… 216
第七节　生物治理泥石流实例…… 219

第八章　泥石流地区的铁路工程…… 234

第一节　概　　说…… 234
第二节　泥石流地区的铁路选线…… 235
第三节　泥石流地区的桥梁工程…… 243
第四节　泥石流地区的涵洞工程…… 247
第五节　泥石流地区的隧道、明洞工程 …… 250
第六节　泥石流地区的路基工程…… 254

第九章　泥石流灾害预警工程…… 256

第一节　泥石流预测…… 257
第二节　泥石流预报…… 264
第三节　泥石流报警…… 267
第四节　泥石流预警报实例…… 272

附录　泥石流照片…… 276
(一)泥石流特征…… 276
(二)泥石流危害…… 281
(三)泥石流工程…… 290

第一章 概 述

第一节 概 说

泥石流是指斜坡上或沟谷中含有大量泥、砂、石的固、液相颗粒流体。是地质不良的山区常见的地质灾害现象。

泥石流常在暴雨(或融雪、冰川、水体溃决)激发下产生。具有暴发突然、来势凶险、运动快速、能量巨大、冲击力强、破坏性大和过程短暂等特点。

泥石流流体浓度介于夹砂水流和滑动土体之间,其固体物质粒径分布范围很宽,流体性质很不稳定,冲和淤是其主要危害。

水文学者认为,泥石流是比洪水密度大得多的一种特殊洪流;流变学者认为,泥石流是一种多相流体;水土保持学者认为,泥石流是水土流失的一种特殊形式;地貌学者认为,泥石流是塑造地表形态的一种造貌过程;工程学者认为,泥石流是一种不良物理地质现象;环境学者认为,泥石流是一种破坏环境的因素;灾害学者认为,泥石流是一种山地地质洪流灾害。

泥石流对山区开发和建设危害很大,尤其对点多线长的山区铁路、公路和水利等设施的危害更为突出。

由于泥石流现象的形成过程错综复杂,测试手段没有很好解决,许多泥石流的内在活动规律尚未被认识。所以,泥石流防治工作的难度很大,嫁接通常的工程技术,很难获得满意的结果。

本书作者试图在现有研究成果和实践经验的基础上,拓展出目前行之有效的泥石流防治工程技术以应急需,为泥石流学科的发展做点微薄的贡献。

第二节 泥石流分布特点

泥石流的时、空分布与地缘的关系,对泥石流的形成、运动、危

害和防治工程都是十分重要的，也是区域泥石流研究中不可缺少的内容。

我国幅员广大，又是多山国家，泥石流在山区分布很广，地域性也很突出，如图 1—1 所示。从宏观上看，我国泥石流的分布特点主要是沿山地的地质构造断裂带与地震带发育；沿河流两岸、山脉两侧及山间盆地周边的山前带分布；并且集中活跃在暴雨和融化水充沛地区以及人为活动频繁与水土流失严重区。因而常具有呈带状和片状的分布特点。

由于山区河流基本上沿地质构造线的软弱带发育，而山区铁路又多在河谷和山间盆地的山边穿行，所以山区铁路就不可避免地要将这些地质环境复杂、地形反差强烈、雨量集中强大所形成的泥石流沟串连起来。因此，铁路通过泥石流的特点常呈带状集中分布。所以铁路跨越泥石流沟的数量和类型是众多的，如图 1—2 所示(见书末)。据不完全统计，目前全国山区铁路已发现泥石流沟 1500 余条，随着山区铁路的延伸，铁路泥石流沟的数目也将不断的增加。如果处理不当，泥石流灾害亦不可避免地要扩增。

其次是铁路遭遇泥石流的类型齐全，发生率高，风险度大，灾害多而危害严重。

再次是地域差异性大，防治涉及面广，技术性强，未解决的技术问题多，数量大，费用高和治理难度大等特点。

在我国西部的云南、贵州、四川、陕西、甘肃、青海、新疆和西藏等省区的铁路泥石流是最为突出的，尤以成昆、东川、宝成、宝兰、兰青等线段更为活跃。然而东部的石太、京通、襄渝、湘黔、凤上等线段亦有表现。

一、泥石流的空间分布特点

泥石流的空间分布规律，主要与我国泥石流的成因特征的地质、地貌和水文、气象景观有关。

(一)从地质条件看

我国大陆经长期演化，由华夏断块、西域断块和西藏断块组成

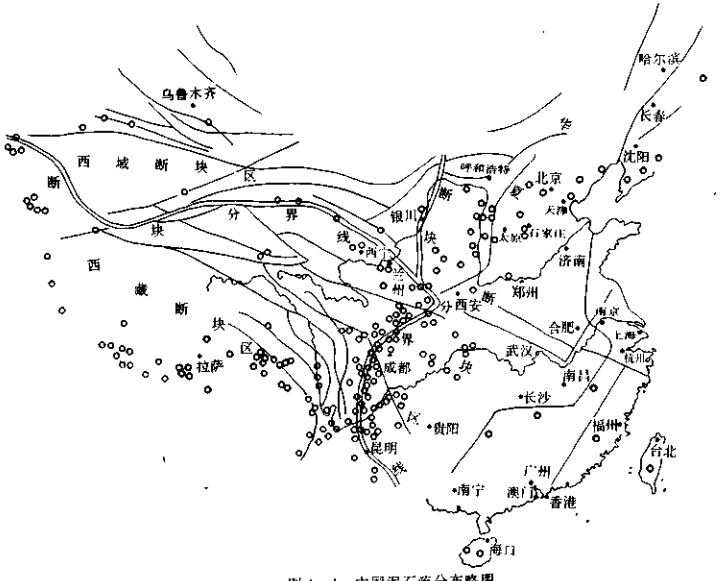


图 1—1 中国泥石流分布略图

—深断裂；○泥石流分布点；●城市。

了极其复杂的地质构造环境。在三大断块的接触带，犬牙交错，相互伸入，构成了许多巨大的错综复杂的X型和歹字型断裂体系。在板块里面又有块体在运动。特别在云南，还是大陆内部移动最快的地方，从而造成频繁而又强烈的地震和地质灾害。其真正的背景，就是正在进行中的运动。

其中断块北支沿贺兰山一六盘山一线，南支沿龙门山一横断山一线，构成了我国境内最显著最集中的南北向构造体系。西支沿昆仑山一阿尔金山一祁连山一线，在秦岭中部与南北支交汇，尔后沿秦岭向东伸入华夏断块。在这些断裂体系内，地层破碎，新构造运动强烈，地震频繁且强度大，不良物理地质现象严重而地质灾害多。无论在山坡、沟谷与河床内，都积蓄了大量松散的固体物质堆积，从而为泥石流的发育提供了充沛的固体物质来源，这是我国泥石流在空间分布上的规律性。

（二）从地貌景观看

我国地势轮廓是北高南低，西高东低，呈阶梯状下降。青藏高原为第一台阶；青藏高原外缘与大兴安岭—太行山—巫山—雪峰山一线之间为第二台阶；在该线以东为第三台阶。在台阶交接带，地形反差大，山高谷深，坡陡流急，沿地质构造带切割侵蚀成中、高山地貌，这又为泥石流的活动创造了有利的地势。尤其在第一、第二台阶地貌交接带恰与南北向地质构造带相重叠区域，泥石流也最为活跃。于是，泥石流沟就在此成片成带的集中发育和分布。穿越交接带的成昆、东川、宝成、宝天、兰青、青藏、陇海西段等线段，也就是我国铁路泥石流分布最多、活动最强烈的线段。

（三）从水文、气象因素分析

我国降雨主要受暖湿的东南季风和湿热的西南季风的影响。在西南邛崃山一龙门山一横断山一线地貌台阶的迎风坡，暖湿气流受阻抬升，形成了仅次于东南沿海的另一集中降雨区，在这些地区由于地质、地貌和立体气候的特殊作用的有效组合，构成了泥石流的强烈活动区。由此往西向北，则因降水量的沿程衰减，泥石流活动亦随之减弱。东南沿海及东北、华北等地，虽然降水量不弱，然

而在下垫面条件不利于泥石流发育的地缘情况下，泥石流活动还是少而轻的。

二、泥石流的时间分布特点

从影响泥石流的水文、气象、地质、地貌现象分析，泥石流的发生和发展，总是和洪水年度，地震周期连在一起的。这些自然现象如降雨、地震等，虽然具有偶发随机性，但又有其必然性和周期性。因此泥石流的发生和发展是具有一定周期性规律的。据大量调查观测统计资料分析发现，泥石流暴发的时间分配特点是：

1. 从南往北，自东向西推进；与雨季洪汛期重叠，同冰雪融化期一致。

2. 雨季高峰期最活跃，夜间暴发次数最多，雨大泥石流大，雨小泥石流小，与降雨季节和暴雨降落特征、时段分配相吻合。

3. 泥石流周期受地震周期与水文周期控制，当两个周期叠加或相继发生时，常常形成一个泥石流活动期的高潮。

综上所述，构成我国成为地质灾害大国的真实背景仍然是现在还在进行的板块运动。由此，我国泥石流在时空分布上构成了“南强北弱、西多东少、北轻南重、西大东小、南早北晚、东先西后”的独特格局。

第三节　泥石流分类与基本特征

一、泥石流类型特征

泥石流的分类反映了我国山区铁路泥石流的成因、类型、危害作用和活动规律，适用于现阶段，对防治泥石流的生产实践有指导意义。泥石流分类简表如表 1—1。

泥石流分类简表

表 1—1

类别	分类	内容及特征	与防治关系
地貌位置	山麓区	堆积扇位于山麓地带，不能充分发育（或缺失），扇面纵坡陡，扇形变幅大，扇面难以全面反映泥石流的发展规模和活动特征	铁路回旋余地少，综合治理与利用条件差，以排导较为有利
	山前区	堆积扇位于山前地带，能充分发育，扇面纵坡较缓，扇面特征可以全面反映泥石流的规模和活动特征	铁路有回旋余地，受累计淤积高、漫流宽控制，有综合治理与开发利用价值
流域形态	沟谷型	沟谷明显，沟长坡缓，分形成，流通和堆积区、发生、运动、堆积过程完整，堆积区呈扇形或带状，规模大，一般流域面积大于 1.0km² 颗粒有一定磨圆	危害范围大，作用强烈，防治措施要强
	山坡型	沟浅、坡陡、流短，规模小，一般流域面积小于 1.0km²，发生、运动过程沿山坡或在坡面冲沟中进行，堆积在坡脚或冲沟沟口，堆积区呈锥形，堆积物棱角明显	干扰范围小，防治措施应有余地
流体性质	粘性	流体密度大于 1600kg/m³，粘度大于 0.3 Pa·s，层流运动，有阵流，浆体浓稠，流体中常有原状土块，承浮和悬托力大，流体直进性强，堆积物无分选性，有锄床作用	来势凶猛，冲击破坏力大，对建筑物的整体性，坚固性耐磨性和流线性都要求高
	稀性	密度 1200～1800kg/m³，粘度小于 0.3Pa·s，紊流，固、液体呈不等速运动，有股流及散流现象，浆体混浊，悬浮力弱，堆积物松散而渗水性强，堆积物有分选性	漫流、淤积、磨蚀等慢性破坏作用大
物质组成	泥流	由粘粒，粉粒和砂组成，很少砾石和卵石颗粒，颗粒级配偏细，密度偏高，有稀性和粘性，分布地域主要集中在西北黄土高原	淤埋性危害为主，抗冲蚀能力弱
	泥石流	物质组成杂，颗粒级配域宽，密度幅度域大，有粘性和稀性，分布地域广，几乎散布全国山区各地，并以我国西部为主	危害形式多样，破坏作用大，防治措施要强
	水石流	堆积物分选性强，由砾石、碎块石及砂粒组成，夹少量粘粒和粉粒，颗粒级配偏粗，密度偏低，为稀性，分布地域较零散，主要集中在我国东部	危害较轻
发育阶段	发展期	幼年期地貌，山体较破碎，坡面冲蚀，崩塌、滑坡等重力侵蚀作用日趋严重，发展明显，上冲下淤，淤积速度递增，扇面新鲜，泥石流暴发规模及频度呈渐进扩增趋势，堋方面积率 1%～10%	留有充分余地
	旺盛期	壮年期地貌，沟坡极不稳定，松散物质极为丰富，堆积和堵塞现象严重，以滑坡、崩塌等重力侵蚀作用为主，泥石流暴发频繁，泥石流扇发育旺盛，扇面新鲜，规模大，上冲下淤和大冲大淤，堋方面积率＞10%	按现状防治要预留补强措施

续上表

类别	分类	内容及特征	与防治关系
发育阶段	衰退期	老年期地貌，崩滑体明显衰减、沟坡趋于稳定、物质以沟槽侵蚀、侧蚀搬运为主，沟槽有冲有淤，冲大于淤，堑面陈旧，已生长植物，植被较好，泥石流暴发频率与规模明显衰减，坍方面积率1%～10%	按现状防治
	停歇期	有老泥石流地貌而无泥石流活动的沟谷，沟坡稳定，植被恢复，出现清水流沟槽，沟槽固定，全沟下切，以冲为主，多年不见泥石流活动，扇形地常被开发与利用，坍方面积率<1%	注意预防复活措施
	潜伏期	潜伏期泥石流是指未曾发生过泥石流的沟谷，但有泥石流的潜在能力，而无泥石流的具体表征，有泥石流的周边环境，尚未出现有效的激发机遇；有宁静的表面现象，却又潜伏着一定的风险性	不能只看表面现象，要看周边环境和机遇，用发展的观点分析其前景，为工程留点余地

二、泥石流流体特征

（一）泥石流流态特征

1. 粘性泥石流流态特征

粘性泥石流含粘、细颗粒物质多，稠度浓，粘度大，密度高，浮托力强，具单相层流等速整体运动，有铺床作用和阵流现象。固体物质处于悬浮状，无垂直交换过程。大石块有浮运和翻腾现象。流路集中，直进性强，不易分散。停淤时堆积物无分选性，并能保持流动时的整体结构特征。堆积物密实，层次分明，透水性较弱。

2. 稀性泥石流流态特征

稀性泥石流含粘细颗粒少，稠度稀，粘度小，密度低，浮托力弱，呈多相不等速紊流运动，石块流速小于泥砂、浆体，呈翻滚、碰撞、跃移紊动状运动，堆积物粒径沿流程、时空均有分选性。流体堆积结构松散，层次不清，渗水性强，流向不稳定，易于漫流改道，有股流、窜流、散流、偏流、绕流、潜流现象。

（二）泥石流流量特征

泥石流流量过程线常呈多峰型，与降水特征相对应，涨落速度与幅度很大。流量变化与暴雨降落、阵流形成、堵塞崩溃形式，流程及时空分布特点有关连，一般是形成区增大，流通区较稳定，堆积

区减少。

(三)泥石流流速特征

泥石流流速主要与坡度、水深、密度、稠度、粒度有关。从能量观点看,泥石流挟带固体物质多,动能损耗大,故小于等量清水的流速。从外部阻力看,稀性泥石流沟槽粒径粗大,河床粗糙度大,故泥石流流速偏小。粘性泥石流粘性颗粒多,稠度大,密度高,凝聚力大,整体性强,惯性重力作用大,暴发时有"铺床作用",故流速大

泥石流流速在平面和垂直分布上的差异性与流体的稠度、粒度有关,稠度越大,均化程度越高;粒度差异性越大,均化程度越低。

(四)泥石流直进性特征

泥石流的直进性和冲击力大于等量的洪水。其特征是泥石流稠度越大,密度越高,直进性越强。颗粒愈粗,流速愈大,冲击力愈强。

(五)泥石流漫流改道特征

泥石流漫流改道特征,不同于宽河漫滩与平坝漫流。其特征源于直进性,总是取道于扇形地轴部高处淤积。当轴部堆高坡缓后,阻力增大,流速减小,于是取道坡陡阻力小的两翼漫流改道。当两翼淤高后,主流又淤回轴部,如此反复回旋摆动淤积,形成中间拱度大、两翼支叉多、沟槽宽浅、漫流横溢、主流改道频繁的泥石流扇。

三、泥石流冲、淤特征

冲和淤既是泥石流的主要活动特征,又是它对铁路危害的重要作用。影响冲、淤活动的因素有以下几个方面。

(一)冲、淤与水流的关系

在泥石流发生过程中是涨水冲,退水淤,先冲后淤,洪后堆积区上涨;在年度过程中是枯水期冲,洪水期淤;在运动过程中是改道时冲,阻塞时淤;集中时冲,分散时淤;归槽时冲,漫滩时淤;水深时冲,水浅时淤;大水冲滩,小水冲槽;漫滩淤槽,归槽冲底;水大冲

淤变化大，水小冲淤变化小。

（二）冲、淤与地貌的关系

泥石流沟是形成区冲，堆积区淤，流通区有冲有淤；沟槽窄深时冲，宽浅时淤；尖底槽冲，平底槽淤；沟槽收缩处冲，突然展宽处淤；沟弯冲外侧，淤内侧；沟槽冲上游，淤下游；沟坡由缓变陡时冲，由陡变缓时淤；扇顶淤积快，扇缘淤积慢；山麓区（峡谷段）泥石流冲、淤变幅大，冲大于淤，以冲为主；山前区（宽谷段）泥石流冲，淤变幅小，淤大于冲，以淤为主。

（三）冲、淤与基面的关系

冲和淤与排泄泥石流的基面密切相关。山麓区（峡谷段）泥石流主河洪水涨落幅度大，涨水时排水基面升高形成洪水顶托时为淤，反之，主河水位低落，基面下降，出口凌空时为冲。山麓区泥石流扇形地伸入主河床被切蚀时基面下降为冲；山前区泥石流扇形地不受主河水位切蚀顶托，排水基面不受影响，冲淤变化不大，以淤为主。

（四）冲、淤与泥石流发展趋势的关系

冲和淤是泥石流发展趋势的重要标志。

发展期泥石流是淤多冲少，以淤为主，沟槽展宽，坡度变缓，堆积区明显扩增；旺盛期泥石流大冲大淤，冲、淤幅度大，堆积规模大；衰退期泥石流冲多淤少，由淤转冲，逐渐形成稳定沟槽，堆积区稳定而不发展；停歇期泥石流有泥石流沟地貌，而无泥石流活动，沟槽下切稳定，以冲为主，常在古泥石流扇下游沟口出现小洪积扇。潜伏期泥石流有泥石流潜力，而无具体表征，有泥石流的周边环境，尚未出现有效的激发机遇。

四、泥石流的危害特征

冲和淤是泥石流的主要危害。冲是以巨大的冲击动力作用于建筑物而造成直接的破坏；淤是构造物被泥石流搬运停积下来的泥、砂、石所淤埋。其危害性又与泥石流的性质、类型、强度、规模、发育阶段以及建筑物处于泥石流沟的位置和工程状况有关。若能

相互适应，地缘条件优越，则可避免或减轻泥石流的危害，否则，将产生不同程度的危害，甚至摧毁或全被淤埋，以致不可收拾，造成巨大的损失。

（一）冲的危害特征

冲的危害方式主要有冲刷、冲击、冲毁、磨蚀、揭底、拉槽、弯道泥位冲高、直进性爬高、山坡切蚀、坡脚冲蚀、河岸侧蚀等多种危害形式，破坏建筑物、危害人民生命财产安全。

（二）淤的危害特征

淤的危害方式主要有淤埋、漫流、堵塞、改道、堵河阻水，挤压河道，使河床剧烈淤高，冲刷对岸山体失稳，淤塞桥涵，淤埋道路，损毁城乡建筑及农田水利设施等。直接危害工程效益和使用寿命。

第四节　泥石流工程特色

由于铁路以线段方式跨越众多的泥石流沟，因此，铁路常有毁一点而断全线的灾难。故铁路泥石流防治具有线长、点多、类型全、治理难度大的特色。实践证明，人类在和自然的关系中，不能以征服者的姿态，肆意地向大自然索取，而应和谐地相处，有索取也应有给予，要保持良好的生态平衡环境。铁路泥石流灾害不是孤立的，它与周围的地质、地貌、水文、气象和社会经济环境都有密切的联系。要使铁路对泥石流灾害的防御取得更大的成效，必须把铁路纳入社会、自然整个大系统中去考虑；必须掌握自然规律、利用自然规律回归大自然；必须工程性措施与非工程性措施并举；必须充分依靠科技进步，提高抗灾、防灾，减灾、救灾能力，以减轻灾害损失。

一、强化勘测设计防灾意识

实践证明，凡是在勘测设计中对泥石流灾害重视者，铁路建成后的抗灾能力强，运营安全有保证。反之，不但泥石流灾害多，而且还受已成工程条件的限制，选择治理方案的余地小，给整治病害带来很大的困难，费用亦远比新建时大。因此，强调勘测设计的防灾

意识，注重地质灾害选线，具有重要深远的意义，是提高泥石流工程设计质量，保证铁路泥石流防灾、抗灾、减灾效果的关键性举措。

二、防御泥石流运作的总体思路

泥石流的发生、发展与危害，有其固有的规律。治理泥石流，不但要求之于势，而且要善于因势利导，利用泥石流的活动规律，使防治系统运作自如，回归到大自然的良性循环中，以增强防灾、抗灾的能力，达到减灾的目的。

（一）防治泥石流的一般原则

治理泥石流以防为主，以避为宜，以治为辅，防、避、治相结合的方针；以生物生态为主，以工程为辅，生物与工程配套的举措；防一般、避要害，治重点，科学管理、减灾兴利五个层次；全面规划，统筹兼顾，融防灾、抗灾、减灾、救灾与国民经济建设和国土整治为一体，达到四个效益的统一；从大环境着眼，小流域着手，从上游到下游，从局部到全体，治坡与治沟相结合的思路；工程防御体系，绕避措施，生物生态防御体系，监测预报体系，环境保护与管理体系相结合的防治对策。综合国内外先进有用的技术，方能使泥石流这项复杂的防治运作体系进入最佳状态，获取最佳效果。

（二）防治泥石流的措施

泥石流治理要因势利导，顺其自然，就地论治，因害设防和就地取材，充分发挥泥石流排、拦、固防治技术特殊作用的有效联合。

1. 工程措施

工程措施主要有排、拦、固。它有见效快、费用高的特点。常是综合治理的先导工程和局部防治的有效措施。

（1）排导槽："排作槽，作V槽"。V型槽是铁道部成都铁路局昆明科研所王继康等人的最新研究成果。主要用于泥石流的堆积区。具有纵坡使用范围大，断面优化程度高，能保证高、中、低水位时的最佳排淤效果与防冲作用。实践证明，V型槽是排泄泥石流固体物质最具理想和独特功能的防淤、冲技术。

（2）拦碴坝："拦作坝，作低坝，作群坝"。坝型以透水性强，流水

面垂直，永久性建材为最佳。坝基要坚固，抗冲性要强，防止溃坝，加大危害。坝基除基岩外，还有子母坝、桥式坝、桩基坝、格栏坝等形式的非岩石基础。拦碴坝主要用在泥石流沟的流通和形成区，在扇形地上可作成腰带状。其作用主要是散流、沉砂、落石与节流，改善纵坡与抬高沟床扇面，固床稳坡，抑制泥石流发育，配合综合治理，减轻一定时期的危害。但在坝库淤满后有明显的效用锐减的缺点。

(3)V 型固床槽(坝)："固作槽(坝)，作长槽"。V 型固床槽(坝)特点是防冲不防淤，主要用于形成区和流通区，引排上游洪水，起引流归槽，顺利通行，防止河床下切、水流摆动、切蚀河岸坡脚，控制松散固体物质参与活动，促使崩塌、滑坡等不良物理地质作用缓解，稳定山体，控制泥石流发生与发展。

2. 生物生态措施

泥石流灾害不少是由于水土流失恶性发展而形成。乱砍滥伐、毁林开荒、过度牧放以及人类不合理的生产生活活动所致的生态环境破坏，又是造成水土流失的主要原因。所以生物生态措施不但能防治水土流失，而且还是回归自然、减轻泥石流危害的根本性举措。从长治久安、大环境国土整治、区域性减灾意识出发，都必须充分运作生物生态措施来防治泥石流。尽管生物措施见效缓慢，但较之于工程措施的费用要省得多，社会和经济效益也高得多。只要持之以恒、措施得力，就能获得明显的综合性效益。达到稳、保、用之目的。

(1)先试验，后推广：由于生物工程具有很强的地域性、气候性和乡土性特点，所需技术性较强，应先在点上取得物种筛选、群落配置、造林方式等试验成功后，方能在面上展开。

(2)以生态效益为主，生态效益和经济效益相结合：经济效益是人类的最终追求，而经济效益的产生和提高又依赖于生态效益。因此，具体体现在物种选择与群落配置上，应以治理为主，治理与开发相结合。

(3)草、灌、乔结合：草本层、灌木层和乔木层，这三个层次构成

的植物群落的抗逆性较强、水保效果较好。是用生物技术防治泥石流较为理想的组合形式。特别在自然条件极端恶劣的环境中，尤显其优越性和可行性。

(4)封山育林与人工造林相结合：封山育林是恢复和改善植被的重要措施，有省投资、收效快等优点。但必须妥善安排好当地人民群众的生产与生活。分别划定长期封、分期轮封和季节性封的区域。大面积造林以飞播较好，但要因地制宜，坚持一段播期。小流域造林以点种播种和栽种为佳，严格管护，提高植树造林的成活率和保存率。尽快增加植被覆盖度，发挥生物防治泥石流的作用。

(5)改良耕作技术和牲畜牧放方式：这是改善生态环境和保持水土的重要内容。主要方法有免耕法、横坡耕作法、等高带状间作法、沟垄耕作法、掏钵种植法、轮作法、间种、套种、混种法、合理密植等。其次是坡改梯、水改旱、退耕还林、还牧等。再次是改牲畜敞放为套养、圈养等。

3. 监测与预报措施

根据泥石流的活动规律和已有经验，只要领导重视，组织落实，统一规划，分工协作，土洋结合，共同努力，泥石流灾害是可以预防的，次生灾害更是可以避免的。

减灾工作应以防为主，抗、抢、救结合。监测预报体系是一项复杂的系统工程。主要是宣导、教导、监测、预报和报警等内容，需要建立严密的预警体系和信息网络，方能适时预报，起到防灾、减灾、免灾和有灾无害的作用。

(1)宣导教导：重点在增强人们的防灾意识，普及泥石流的科学知识，使防灾、减灾工作能顺利开展，认识和行动都能取得完全的共识。

(2)监测：监测工作是预警的基础，必须长期进行，积累资料，分析态势，提供可靠的预警数据。监测工作应走"专群结合"之路，充分调动专业队伍与人民群众的积极性。监测方法不强求一致，应因地制宜、土洋结合、灵活运用，以达到目的为准。

(3)预报：预报是减灾、防灾的重要阶段。要详细搜集归纳资

料，深入分析研究各种监测数据，掌握灾害形成机理、诱发因素及活动规律，才能报准。预报分区域报、单沟报、长期报、短期报和临灾报。行车用雨量值分注意警戒、危急警戒确保汛期行车安全。根据报警的对象决定不同的报警值和方法。

(4)预防：预防是减灾、免灾的最佳举措。投资省、社会经济效益高。如提高防灾意识，加强经济建设项目的前期论证，重视环境工程地质评价，搞好地质、地貌、水文、气象的铁路、公路、水渠选线、厂矿选址、城乡居住选点。对大规模泥石流灾害点，最好避让，防患于未然。对有危害性的灾害点，应进行治理，控制灾害扩增。

4. 科学管理

科学管理是充分发挥泥石流防治系统的科学运作的工作。首先是理顺和建立健全泥石流行政法规、技术规章、养护维修、宣传教育、培训交流、奖惩制度等。

其次要贯彻执行既有的相关法规：如铁路法、森林法、水土保持法、土地法、环境保护法、计划生育条例、矿产资源法、城市规划法等法规。控制人口增长，尽量减少人为破坏，促进山体稳定，增加植被，使生态良性循环，为减轻泥石流灾害创造良好环境。

第二章　泥石流调查与勘测

第一节　概　　说

调查和勘测是取得泥石流基本资料的重要手段，是判释泥石流沟的重要内容，是正确处理泥石流的科学依据。

泥石流查勘工作的深细度和成果分析，关系着防治泥石流工程的成效。

为了对泥石流工程提出统一的技术要求，满足泥石流工程各个勘测设计阶段的需要，总结泥石流的勘察经验，提高泥石流的勘测设计质量是至关重要的。

泥石流流域的查勘任务主要是查明泥石流的形成环境与周边关系及其发生、发展过程和在历史上的、现在的活动规律与规模；判明泥石流的发展趋势及其对铁路和地方建筑物的危害作用与程度；论证治理泥石流方案的可能性与可行性；对于地处泥石流区域但又未产生过泥石流而又具有潜在能力的沟谷，应作出是否有可能成为泥石流沟的判释。判识依据有暴雨指标、地形特征、地质条件、不良地质体的松散固体物质数量级、植被覆盖度和人为活动影响等主要内容。

泥石流查勘对象主要是自然景观、水文气象特征、地质构造、不良地质体、松散固体物质堆积情况、沟道地形地貌、生物生态环境以及人类社会经济活动状况等。

泥石流查勘工作方法主要有航、卫片判释、调查、测绘、观察、试验与研究、分析、归纳、评估等。

泥石流查勘工作按综合勘设各阶段资料要求内容编写，至于各勘设阶段工作深细度的分工与配合，应根据规划、论证、设计各阶段文件的组成与内容以及各地、线的具体情况和要求而定，可在勘测设计任务书和合同协议书中分阶段补充规定。查勘中的计算

精度、有效数字、允许误差、作业方法等，可参照部门间的有关作业细则进行。

第二节　区域泥石流资料搜集

一、查勘前应搜集下列资料

（一）历史资料

泥石流分布区的地方志，专业志、地质灾害的防灾、抗灾、救灾历史记录、人民群众同泥石流斗争的经验教训以及有关单位治理泥石流的规划、设计、总结、报告等资料。

（二）地形地貌资料

泥石流分布区的地形、地貌图、分区、分布图、重点泥石流局部地形图等。

（三）地质资料

泥石流分布区的地质资料、地质构造、地层岩性、地震烈度、地震频率、崩、滑、流等不良地质体的资料。

（四）水文气象资料

年降雨量及其分配、短历时（10min，1h，24h）降雨强度及其分配，气温、湿度、风速、风向，径流量、径流模数等水文气象特征值。

（五）环境变化影响泥石流活动的资料

如兴修水利、交通道路、采矿弃碴、伐木、放牧、垦植、水土保持，造林植树等情况。

（六）卫星图片

在室内运用卫片分析研究泥石流，判释区域泥石流分布规律和范围，解释区域地质构造和活动性断裂带特征，了解形成泥石流的地质背景等。是从宏观上认识泥石流的最佳方法，能在大范围内找到重点和控制点。

（七）航片

航片判释泥石流视野广，能统观泥石流沟全貌。航片比例尺越大，判释标志物越清楚。利用航片可判断沿线泥石流的分布、类型、

规模、地质构造、地貌特征、流域形态、纵、横坡度特点，新老不良地质体位置，范围和性质、沟口泥石流扇特征，沟内植被状况，泥石流发育情况和可能危害的范围等。利用航片绘制沿线航片判释草图。编制调查计划和野外验证路线等。

二、资料初步分析

野外查勘前，应对搜集的资料作以下内容的分析研究：

1. 泥石流的时空分布规律，泥石流形成的地质、地貌条件、泥石流分散与集中的特点。

2. 地震、暴雨、生物生态环境对泥石流形成的影响。

3. 历史上泥石流暴发的规模和活动规律、危害作用等。

第三节　泥石流调查

一、调查步骤

（一）收集资料

首先向泥石流地区的有关单位联系，取得既有的水文、气象、地质、地形、地貌、生态环境、工程建筑、规划、设计和历史文献资料等。并请他们介绍有关地质灾害和防、抗、救灾方面的情况。泥石流流域区内的自然村、居民点的分布，老居民姓氏住址与沿河永久性建筑物情况（如庙宇、祠堂、牌坊、楼台、坝、桥等）。

（二）工点踏勘

其次是工点踏勘。根据在当地了解的情况，组织有关专业人员进行踏勘，查看现场地形、地貌、地质与河势特征。选定形态勘测河段、作业程序和方法，以及落实内容和计划等。

（三）调查访问

在选定勘测河段后，即可根据所了解的情况，计划访问路线，进行深入细致的访问调查。在访问中，并可通过被访问者不断扩大访问范围和深度，以便更全面深入的采访资料，指认泥石流的发展情况。

二、泥石流水文调查

(一)泥石流洪痕调查

在尽可能调查到的时期内,调查总共发生泥石流的次数,并排列其大小顺序,归纳泥石流发生的节律性规律,发生的最早最晚时间及其涨落过程和运动特征等。对于用作泥石流计算的典型年洪水情况应分别确定其高度、坡度、日期、周期及其可靠性等。

泥石流洪痕调查位置,应选在流通区、多年河床冲淤变化不大之处,只有这样的洪痕,才能与现时的河床断面相吻合,计算结果方为可靠。

泥石流洪痕最好在两岸同时进行调查,在弯曲河段尤应注意泥石流泥位的弯道超高,其高差一般都较洪水流为大。

对粘性泥石流,还应注意由于其粘稠性大,有侧向收缩而形成的水拱现象,其高差也比一般洪水流为大。

由于泥石流河床冲淤变动大,还必须了解泥石流暴发时的流向,是否铺及全河。注意主流冲向一岸的泥位常高于另一岸的特点。由于泥石流河床变动大,泥位难以准确,可调查河宽、泥深的情况来加以佐证。

泥石流洪痕调查,应尽可能在沟边村庄附近进行,询问居住久、记忆力强、概念清楚、亲眼看见、关心泥石流暴发和经受泥石流危害的老居民。

在无人烟或老居民所指认泥位不可靠的情况下,可根据泥石流固体物杂质多、杀伤破坏力强的特点,用所留下来的痕迹确定泥石流的高泥位时,现场痕迹有下列种种可借判识:

1. 沉积在石缝中、树皮上、杂草间的泥石流冲淤物。

2. 滞留在树枝、岩石、杂草及河岸上的漂流物(如小枝、杂草、碎片、污泥、沙石等)。

3. 在石质岸壁上的擦伤痕条带、泥浆涂迹等。

4. 非石质陡岸上被泥石流淘刷的痕迹。

5. 河岸变坡处。

6. 泥石流洪水对两岸引起的物理、化学及生物作用的标志。

7. 植物生长分界线及其颜色变化的分界线等。

在判断泥石流洪痕的可靠性时，可观察研究其上下游各处是否有与河底纵坡约略相似的倾斜度。

由洪痕确定的泥石流高泥位，对于泥石流发生的年代及其发生率的大小，可结合访问老居民的年龄，分析不同年代的高泥位发生率，或者用附近特大暴雨降落资料来分析，抑或在上下游较远处去了解分析水情，相互比较印证而求得泥石流洪水的大概年份和发生频率。

调查泥石流暴发时间，还可结合垮山崩塌、滑坡、堵河阻水等灾害情况来分析。

(二)泥石流洪水历时过程情况调查

可联系当地老居民的生产生活，受灾时间长短、次数、危害程度等情况加以回忆。如何时开始降雨、泥石流暴发时间，何时最大，何时结束，有无阵性流现象，有无撞击声响，夜间有无火花，白天有无烟尘，每阵间隔时间，共约多少次阵流等，均可粗略调查到梗概，或者以近年代的情况去比较远年代的情景，也可大致比拟其梗概。

(三)泥石流堵塞情况的调查

泥石流流动时常因种种原因发生堵塞现象，使泥石流流量增大很多，成为设计时的控制条件。故必须详细调查、观察分析形成原因及其可能增强的限度，以便正确选择泥石流的堵塞系数。

产生泥石流堵塞现象有下列种种特征可资判断与分析：

1. 粘性泥石流运动机理可形成阵流，堵塞河道。

2. 大规模的崩塌、滑坡堵塞沟床崩溃时可形成阵性流。

3. 河槽弯曲，颗粒直径特别粗大时，流动不畅，易堵塞而形成阵流。

4. 河床断面时宽时窄，河床坡度忽陡忽缓，流速忽高忽低、冲淤变化剧烈，易发生堵塞而形成阵流。

5. 泥石流主、支沟汇流交角大，坡陡势猛，泥石流密度差异性大，固体物质下沉而导致堵塞，形成阵流。

6. 据观测资料分析，泥石流堵塞时间愈长，堵塞系数愈大。泥石流流量愈大，而堵塞系数愈小。

(四)降雨过程调查

降雨是发生泥石流的主动力条件，调查搜集降雨过程的特征值，如前期降雨，短历时降雨及其过程、强度与空间分布(平面与垂直分布)，对分析研究泥石流洪水大小，涨落快慢，危害作用与周期分析均能起到校核与印证的比较作用。

(五)气象调查

着重调查气温、蒸发量和风速、风向的年际变化、年内变化以及垂直分带变化的特征值与相互关系和对岩土的侵蚀风化作用等。

(六)泥石流沟与交汇的主河道及其周边地区的调查

主要调查泥石流沟汇入主河流洪水位的涨落幅度，河槽的演变势态，冲淤变化速度以及侵蚀基面、高低水位时排泄泥石流基面幅度以及影响泥石流发展的周边地势，如出口河段的弯曲、顺直、浅滩、深槽和冲淤变异特征，对泥石流沟出口可能引起的负面影响等。

(七)泥石流洪水频率的分析与确定

1. 调查泥石流洪水位的分析

(1)向老居民所调查的泥石流高水位作为 N 年内的最高泥石流位时，其频率可近似的等于 $P\approx\frac{70}{N}\%$；老居民指出的十分罕见的特大泥石流频率，应与已有的记述的有关文献资料进行核对，并在上下游相应广泛的老居民中得到佐证。

(2)凡在河岸两侧的台地、岩洞、树穴、石壁上留有接近于水平的层状淤积物(此种淤积物不同于当地风化的沙土)，并在上下游各处具有与河底坡降约略相同的倾斜坡度时，可以判定为泥石流洪水淤积物，此类高泥石流位可以当作 $P=5\%\sim10\%$ 的频率。

(3)泥石流洪水冲刷痕迹带，其上缘泥位频率 $P=20\%\sim25\%$，其下缘泥位可视为多年平均泥位。

(4)泥石流洪水泥位对两岸引起的物理化学及生物作用标志，通常是较为明显的，具有特殊的颜色和形态特征，如根据从淤积物中生长起来的树木、杂草的数量与树干年轮等，也可推断其年代。

上述泥痕只有在沟床冲淤变化不大的条件下方为可靠，反之，则不能机械的搬用，以免误判。

2. 设雨量与泥石流同频率

雨量与雨洪是否同频率，目前尚无定论。不过一般泥石流沟的流域面积都比较小。在小流域面积上雨量的大小与雨洪的大小是有直接相应关系的，雨洪与泥石流又仅差一泥石因素。因此，当沟内松散泥石物质储备充沛时(也是设计中最危险的情况)，根据东川、成昆等全国各地多年暴雨泥石流观测资料分析也表明雨大则泥石流大，雨小则泥石流小的关系是很明确的，这对于实用来说，目前是可设雨量与泥石流同频率的。当然，如果泥石流储量不充沛，而汇水区又超过小流域全面积汇流的计算范围时，是不能这样假定的。假定降雨和泥石流流量同频率的资料，可根据该地区最近的气象站、雨量站所记录的资料来分析确定。

3. 在计算分析泥石流洪水频率时，还应研究分析下列情况的影响和作用：

(1)与该地区的地震强度和地震频率有关系，在一定地质岩性、地形地貌和水文气象条件下，泥石流发生的大小和频数与地震的强度、频度密切相关。历史的调查和现今的观测资料均表明泥石流的发生与发展过程，都与大地震、大洪水年度有关。常常在大震之后，供给的松散固体物质特别丰富。因此，可以判定地震愈强、频数愈多之处，泥石流发生率愈高。所以，大震之后的丰水之年，必有大泥石流发生，而且将在一段时期内形成泥石流的活动高潮。

(2)与泥石流暴发的间歇时间长短有关，一般是间歇时间愈长，积蓄的储量愈多，形成的泥石流量也愈大、频率也愈高。间歇期与年际、雨季、洪水年度、地震频度、泥石流的发育阶段有关。分析泥石流洪水频率要综合考虑，方为稳妥可靠。

三、泥石流地形地貌调查

山区地形是确定形成泥石流物体储备和流出特征的重要条件，坡度愈陡，山体愈易失稳，泥石流的发生和发展也愈快，通常泥石流流域均可分为形成区、流通区和堆积区。应重点调查、搜集、核对其形成特征值，从地形地貌方面判释泥石流的类型特征和危害作用。

(一)泥石流形成区

泥石流形成区的地形特征，是评价泥石流的发生发展趋势、规模、强度和危害的重要标志。因此，应对流域平面、纵、横坡度，沟壑密度、坡面特征以及长、宽、高和崩塌、滑坡等不良地质体能演变成泥石流松散固体物质的位置、范围和界线，选择稳固措施的主要依据，从而判定泥石流的形成能力和潜在威力，以及应在形成区采取的防治举措等。

(二)泥石流流通区

流通区是泥石流沟谷的中下游，是泥石流搬运通过的区段。通常有较显著的河床与较稳定的山坡，沟槽较顺直、坡度较大，冲淤变化相对稳定，是通过线路与修筑拦碴坝的理想区段。有的流通区与形成区、堆积区相互穿插，呈串珠状河段。山坡型泥石流的流通区很短或不单独存在。流通区随着泥石流沟的发育阶段不同，可向上下游进退。因此，应调查此区段的地形地貌特征，与形成、堆积区段的可能互动范围的界线，选择泥石流计算断面位置，为地形、地质选线、主体工程设计、泥石流计算提供依据。

(三)泥石流堆积区

堆积区是泥石流固体物质停积的场所，位于流域下游或山口以外坡度较缓之处，呈扇形、锥形或带形。有些沟谷内的宽谷段也是堆积区。山前区泥石流堆积扇发育完整，而山麓区泥石流发育则不完全，山坡型泥石流规模小，堆积呈锥体，当泥石流沟陡峻能直泻主河床内，而主河水流搬运能力又很强时，泥石流堆积区又可能缺失或不明显，由于堆积扇常呈拱形，沟槽很不稳定，沟道演变剧

烈，淤积杂乱无章，地势坎坷不平。因而在调查时，应确认其目前状况，散布范围，形态特征及其活动规律和演变趋势，分析其危害性、风险度和对周边地区的影响，并归纳出有效的工程防治方案与开发利用措施。

四、泥石流地质调查

新建泥石流工程地质工作，一般分为初、定测两个阶段。需做可行性研究的项目，应进行踏勘(草测)。

控制线路方案的泥石流集中地段和严重危害的泥石流沟则是初测阶段的重点，应查明控制条件的泥石流分布范围、发育特征，危害形式，并评估其发展趋势和风险度，为稳定线路方案提供依据。定测应在初测基础上，对与线路有关的泥石流作进一步的详查，为跨沟建筑物设计及泥石流防治工程措施，提供具体的地质资料。

(一)区域泥石流地质调查

根据既有的区域地质资料，结合泥石流的分布状况和重大泥石流沟的特点，从宏观到微观，从区域到沟谷，具体分析泥石流沟的点、面、线关系及其相互作用和影响范围，归纳泥石流的个性与共性特征，判释泥石流沟的类型特性，概括区域泥石流的活动规律，提出区域性泥石流防治对策和重点泥石流沟治理措施，为方案比选，稳定线路方案与防治建筑物设计提供资料。

(二)泥石流流域地质调查

1.形成区调查

(1)地质构造和岩性。断层与沟谷的位置关系，断层活动性质及破碎带宽度，新构造运动特点、地震活动情况，岩性特征、节理、裂隙发育程度与岩体破碎情况，评价泥石流形成的地质背景。

(2)坡、沟覆盖层下伏地层岩性特征，沟的溯源侵蚀趋势与沟坡的稳定性。

(3)当滑坡、崩塌等成为泥石流的主要供给源时，应查明其规模和发展趋势。

(4)松散固体物质储量。查明流域内坍塌、滑坡、冲沟等不良地质体的位置、发展趋势及其参与泥石流活动的过程和可能的数量；沟床内不同沟段堆积物形态，物质组成及厚度、分布范围、最大粒径和平均粒径，估算其可能搬运的距离和数量；沟坡上松散堆积物成因特征，物质组成，散布范围，评估其可能参于泥石流活动的数量；查明形成区物质组成成分，粘粒含量，并评估泥石流体的性质；在主体工程附近，对泥石流影响较大的不良地质体，应查明整治的可能性和整治意义。查明地下水露头的分布与流量及其对岸坡稳定性的影响，预计形成潜在泥石流的范围和数量。查明人类活动可能引起坡面自然平衡的破坏，预计可能由此而引发的泥石流固体物质量。

据以判明泥石流形成区固体物质主要补给量和潜在能力，从而判定泥石流的发展规模和走势，以及可能采取的稳固性防治举措的工程地质条件。

2. 流通区调查

查明线路跨越沟岸、沟床的稳定性，泥石流物质组成，沟床纵坡与断面变化，及其冲淤的最不利特点、流通区进退的可能性，评价桥隧工程的地质条件。

查明设置泥石流防治工程的工程地质条件，提出防治工程位置和类型的建议意见。

查明沟床内能输移的最大固体物质粒径与颗粒级配分布情况，流体性质和密度变幅与运动特征等。

3. 堆积区调查

泥石流扇常是山区人民开发利用与线路通过的最佳场所。因此，详细查明泥石流扇的形态特征和周边环境是兴利除害，选好线路方案、提高抗灾、防灾和减灾能力的关键举措。

查明泥石流扇的地缘条件和周边环境，判释山前区泥石流与山麓区泥石流的不同活动特征和危害作用；查明泥石流堆积物的形态特征、纵横坡度、散布范围与规模以及沟道的演化情况、堆积物质组成成分、粒径沿程和剖面的沉积特征，最大粒径及其散布特

点；查明泥石流扇发育状况与主河的关系，扇缘被主河切割或泥石流扇堵江的可能性；查明泥石流扇上的人文活动和可能利用开发的条件与范围。据以判定泥石流沟的类型性质拟定防灾、抗灾、救灾和减灾措施，为综合比选经济合理的线路方案和有效的排导工程提供依据。

4. 泥石流出口河道调查

泥石流沟出口河道地缘态势是影响泥石流扇发育走势、扇缘进退、排、淤条件以及出口河道演变与冲、淤变化幅度（挤压河道、主流摆动、冲蚀对岸山体失稳、形成堵河阻水、强制河流改道、构成险流，急滩、浅滩等一系列复杂的泥石流冲淤现象）的重要因素，因此，查明泥石流出口河道地区势态（包括河流对岸）是判明主河流冲、淤性质，接纳泥石流能力，综合泥石流选线与防治泥石流为害的最佳选择。

五、人为活动调查

（一）查明人为活动而增加的松散固体物质和水源的情况。如筑路、修渠、开矿、采砂石等工程不恰当的弃碴；山坡滚石、溜木，陡坡不合理开垦、耕种和牧放，导致植被破坏、水土流失。水库、水渠崩溃和渗漏而增加的水量等。

（二）查明泥石流沟已成建筑物情况

调查泥石流沟上已成建筑物使用情况，是核对、印证泥石流计算成果和拟定防治方案设计的重要参考。

1. 建桥前后的沟道冲淤演变情况，桥涵位置、结构形式、桥孔大小、净空高低、防护设施、地基情况、基础埋置深度等，并绘制草图、照相、评估其使用情况与存在问题。

2. 调查泥石流防治工程的类型、位置、结构形式与尺寸、基础设置情况、建筑材料、工程效果及经受泥石流检验状况等，并绘制草图及说明，另附照片。

（三）调查泥石流沟天然植被覆盖结构层次和组合状态以及其演化过程。据以分析生态环境防治泥石流的可行性与作用。

第四节　泥石流测绘

一、流域平面图

（一）用途

说明流域形态与自然地理特征，计算泥石流水文数据，分析泥石流的水源条件与地质背景。

（二）内容范围

除按一般桥涵水文勘测和工程地质图要求外，尚应勾绘出泥石流形成区、流通区和堆积区的分界线等。利用既有的地形图或用航片成图时，应在现场核对。图纸比例尺 1∶5000～1∶50000。如采用较大比例尺时(1∶1000～1∶10000)，则可与坍方地貌图合并测绘。并在图上列出有关特征值。书末图 2—1 为成昆铁路上格达泥石流流域平面图。

二、坍方地形地貌图

（一）用途

选择桥位、泥石流观测站，形态调查断面位置，防治工程总布置，确定泥石流出口河流河势特征与规模。评估松散固体物质的不良地质体类型，性质，分布特征和不稳定物质的储量以及计算库容量之用。

（二）内容范围

周边测至崩塌、滑坡、裂纹、堆积区和可能不稳定地质体边界以外 100m 以及汇入主河流的河势特征。泥石流各区段分界线、水位点、沟床演变过程示意，基点、断面、导线点、泥石流泛滥线，各种建筑物、道路、植被限界、支沟、峡口、跌水、泉水、沟渠、村落、地层分界线、断层构造线、堆积物粒径分布特征、地质勘探孔位等。图纸比例尺视泥石流沟规模选用 1∶1000～1∶10000，如坍方面积较大时，则可与流域平面图合并测绘，并在图上列制特征值表，如图 2—1 所示(见书末)。

三、泥石流工程详细地形平面图

(一)用途

布置桥、隧和防治工程构造物尺寸与计算工程量及征地用。

(二)内容范围

上下游范围应包括泥石流防治工程设计需要以外 50m。如防治工程不连续,相距甚远时可分别测绘局部地形图。拦碴坝地形图则测至库容和设计淤积坡终点以外适当范围。图上注明工程地质、地形(包括水下地形)、地貌及建筑物和测量标志等。比例尺根据工程规模和沟形选用 1∶200～1∶5000。书末图 4—15 为三滩中桥泥石流两次整治设计示意图,书末图 4—16 为德钦县城泥石流防治工程平面设计示意图。

四、沟床坡度、地质纵剖面图

(一)用途

设计拦碴、排导工程并用作推算水文、库容等。

(二)内容范围

应包括上下游防治工程与库容回淤范围。图上绘制工程地质资料。比例尺视泥石流规模选用。横 1∶500～1∶5000;竖 1∶100～1∶500,参见书末图 4—17。

五、桥、隧详细纵断面图

(一)用途

桥梁、隧道和渡槽工程立面图设计并用以计算设计水位、流速以及桥下和洞顶的防护工程设计。

(二)内容范围

测量至岸边,并超过最高泥石流位加设计年限内河床淤积标高以上 2m。如堆积扇或河滩过宽以及分散设桥时,则应满足桥长、明洞长和桥头填土为原则。图纸比例尺根据泥石流规模选用 1∶200～1∶1000(纵横一致),图上并绘地质资料。图 2—2 为东川老

干沟桥梁、明洞设计纵断面图。

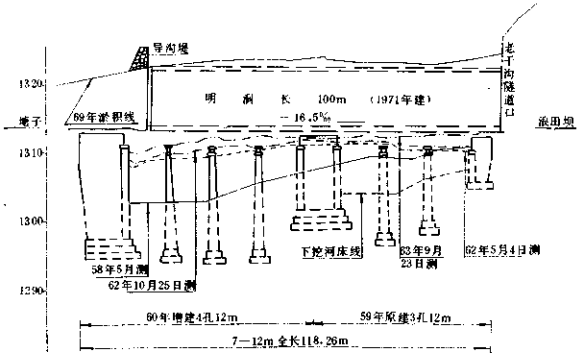


图 2—2 东川老干沟桥梁、明洞设计纵断面图

六、沟谷地质横断面图

(一)用途

评估松散物质量和展示地层构造。必要时在地形地质控制点处勘探测绘。

(二)内容范围

根据需要确定施测范围,图上绘制地质资料。比例尺视规模采用横 1∶500～1∶5000;竖 1∶100～1∶500。图 2—3 为沟谷地质横断面示意图。

七、泥石流工程横断面图

(一)用途

用于工程结构设计。

(二)内容范围

测至防治工程设计需要以外 3～5m。并在图上绘制工程地质资料及说明。比例尺根据需要选用 1∶100～1∶500(纵横一致)，参见图 4—18。

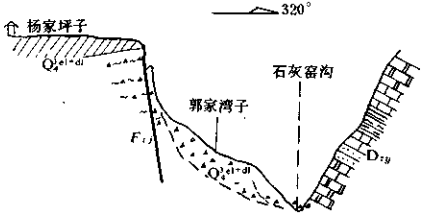


图 2—3　沟谷地质横断面示意图

八、水文断面图

(一)用途

计算流量及间接推求设计水文要素。

(二)内容范围

断面测至历史最高水位以上 2m，并详注河槽组成粒径，河滩植被情况，各种阻水建筑物特征(如地埂、堤、坝等)，斜交及串沟情况，选定河段及断面，应以越靠近工程越好，计算断面不得少于两个。计算清水流量的形态勘测断面可选在泥石流形成区上游的清水区，并满足调查河段与断面选择条件的要求。

图纸比例尺视规模而定，并绘制水位—流量关系曲线。见图 2—4。

九、摄影(或录像)

照片是反映泥石流现场真实情况的重要手段之一，要尽量采

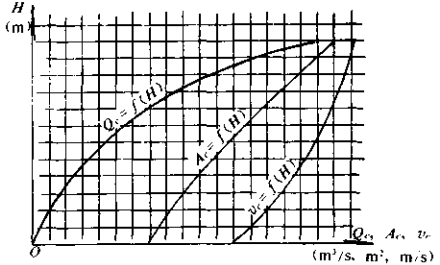


图 2—4　水位—流量关系曲线

用。对重大复杂的灾害工点，必要时用录像手段反映泥石流现场情景。

第五节　泥石流勘探与试验

在泥石流调查测绘不能满足线路控制方案比选与重大工程设计数据要求时，应进行必要的泥石流勘探与试验。

一、泥石流工点地质勘探

(一)勘探点的位置和数量应满足泥石流工程设计的需要。

(二)在查明泥石流堆积物的组成、厚度与淤积速度时，可采用钻探、挖探和物探的方法。钻孔钻入基岩的深度应超过沟内最大石块直径的 3～5m。在查明堆积物成分和堆积层序的钻探中，宜采用干钻或其他有效方法钻进。

二、泥石流工点地质试验

(一)取代表性土样作泥石流流体密度(ρ_c)和颗粒分析试验。

(二)取样作试验或用比拟法确定固体颗粒密度(ρ_H)。

(三)对大型重点控制性泥石流沟，应取主要补给区的土样作

天然含水量(ω_n)和天然密度等试验，必要时取泥石流堆积物土样作粘度(η)和静切力(τ)试验。

(四)在黄土和粘土地区，泥石流堆积物作工程地基时，应取泥石流堆积物土样做物理力学性质、湿陷性或湿化性试验。

三、泥石流主要试验方法

(一)泥石流流体密度(ρ_c)的测定

1. 现场调查试验法

现场请当地曾亲眼看见过该沟泥石流暴发的老居民多人次，在需要测试的沟段，选取有代表性的堆积物搅拌成暴发时的泥石流流体状态，进行样品鉴定，然后分别测出样品的总质量和总体积，按下式求出泥石流流体密度

$$\rho_c=\frac{G_c}{V} \qquad (2—1)$$

式中 ρ_c——泥石流流体密度，kg/m³；

G_c——样品的总质量，kg；

V——样品的总体积，m³。

2. 形态调查法

在泥石流沟现场多人次请当地亲自目睹过该沟泥石流暴发或受过灾害的村民描述泥石流流体特征和流体运动状况。然后按下表特征确定泥石流流体密度。

泥石流流体稠度特征表　　表 2—1

特征 / 密度	稀浆状	稠浆状	稀粥状	稠粥状
ρ_c(kg/m³)	1200～1400	1400～1600	1600～1800	1800～2300

在使用上述办法时，应慎重。泥石流流体密度应根据调查分析和试验结果作综合研究后确定。

(二)颗粒级配分析

1. 体积法

在需要试验的沟段,选择有代表性的试验点,清除表层杂质、量取 $1m^2$,深约 0.5～1.0m 的取样坑,取出全部土、砂、石,挑出粒径大于 200mm 以上的石块,单个分别称重,其余按粒径分筛为 200～150mm,150～100mm,100～50mm,50～20mm,20mm 以下若干级,每级分组称重,计算分组质量与总质量之比,绘制颗粒级配曲线,求算颗粒级配特征值。此方法较准确,但劳动强度较大。

2. 方格网法

在取样地段,选出代表性河段画出 100 个 1m×1m 的小方格,取每个小方格交点上的一石块(个别大孤石剔除)来作统计,量取每个石块的三边尺寸(长宽高),计算三边尺寸的几何均值 $d_{cp}=\sqrt[3]{Lbh}$,作为该石块的平均直径。然后按粒径大小分成若干个粒径组,称出各粒径组的质量与总质量之比,绘制颗粒级配曲线,求算颗粒级配特征值。此法较简单,但精度较差。

(三)泥石流流体的粘度(η)和静切力(τ)测试

取泥石流浆体,使用标准粘度计或旋转粘度计和泥浆静切力计测试。

1. 泥浆取样法

(1)实测法

在泥石流暴发时取样,取样方法、取样容器目前尚无统一标准。此法在观测站时可用。

1)在沟槽边岸人工取样:用绳索套上铁桶抛入沟槽泥石流流体中,在沟岸上提取,或直接下到河滩边吸取。此法简单,但沟中样品不易取到,还要特别注意人身安全。

2)机械取样:先在取样断面架设缆索,悬挂滑车,用铅鱼将取样器沉入泥石流流体中,可选取断面线上任一部位的泥石流样品。样品代表性强,此法要求设备复杂,是目前最理想的取样手段。

(2)取土样搅拌法

在泥石流发生后,于沟床或沟边堆积物中清除表面杂质,挖取

具有代表性的细颗粒 2～3kg，投入桶内，加水搅拌成泥浆，存放一段时间(24h 以上)，观察浆体，如无固液两相物质分离现象，即可当作实验用的泥石流浆体样品。

2. 泥石流粘度(η)的测试

(1)漏斗粘度计测定法

用量杯取通过筛网(小于 0.2mm)的泥浆，置 700cm³ 浆体于漏斗中，让泥浆经内径为 5mm 的管子从漏斗流出，注满 500cm³ 容器所需的时间(以 s 计)，即为测得的泥浆粘度。此法无法测得精确的绝对粘度和屈服值，但在野外条件下比较浆体稠度的变化仍是一种简单可用的方法。

(2)旋转粘度计测定法

此法是使圆筒在流体中作同心圆旋转，测定其扭矩。也可连续改变旋转的角速度，测定各剪切速率下的剪应力，从而测得流体的流变曲线。根据有关公式可求得流体的粘度。

(3)形态调查法

现场调查、观察形成泥石流的山坡、沟床、土壤特征和访问老居民所见的暴发泥石流时的流体形态描述，按下表选定泥石流粘度。

泥石流稠度、土壤与粘度对照表　　表 2—2

土壤特征	轻质砂粘土	粉土及重质砂粘土	粉土及重质砂粘土	粉土及重质砂粘土	粘土
泥石流体稠度	稀浆状	稠浆状	稀泥状	稠泥状	稠粥状
粘度(Pa·s)	0.3～0.8	0.5～1.0	0.9～1.5	1.0～2.0	1.2～2.5

此法简单，用时慎重，具有很大的经验性。应根据调查分析和试验结果综合比选确定。

3. 泥石流静切力(τ)测试

采用 1007 型静切力计测量。将过筛的泥浆倒入外筒，把带钢

丝的悬柱挂在支架上，钢丝要悬中，泥浆面和悬柱顶面相平。静止1min或10min，分别测定钢丝扭转角度，此读数乘以钢丝系数即为1min或10min的剪切力。

第六节　防止泥石流沟的漏判与错判

泥石流沟的判识问题，关系到山区经济建设的质量和速度，如将非泥石流沟错判为泥石流沟，无疑要增大很多工程量，造成浪费。反之，若将泥石流沟漏判，则将后患无穷，甚至造成不可估量的损失，这种事例在我国已屡见不鲜。所以在勘测设计阶段，正确判识泥石流沟，提高抗灾防灾能力，减少隐患，是具有特别重要的科学意义和经济价值。

泥石流沟的评判方法，目前国内不少单位已作过许多工作，取得了一些成果。其主要方法有泥石流多因素定量打分法；暴雨泥石流沟简易判别法；泥石流危险度区划法；暴发泥石流的临界雨量法；危险雨情区法；固体物质聚集量法等等。这类方法的野外工作量都较大，且多数还是对较典型泥石流沟的判识。但对似是而非的非典型泥石流沟（即潜伏性泥石流）则判断难。因此，单凭形成泥石流的三项基本条件来区别何者为泥石流沟、何者为清水流沟，这显然是不够充分的。所以，需要补充拟定一些条件来作为这两种沟谷区别的准则。

表2—3是供野外勘测调查时，区别非典型性泥石流沟（或潜伏性泥石流沟）与清水沟的判断条件。当然，大自然是千变万化的，某些沟谷从一些特征看，属于泥石流沟，而从另一些特征看，又不属于泥石流沟。在这种情况下，就要进行综合分析比较，不能机械套用。尤其在对发生泥石流的条件基本具备时，在最不利的自然因素组合情况下，完全有可能发展成为泥石流沟的。由于自然因素的组合条件，目前还难以准确预测和控制。因此，在评估泥石流的发展趋势时，应对当前看不到的，而又可能发生的质变状态进行合理的推测，从最坏处着想，有备无患，可能对铁路建设更为有利些。

潜伏性泥石流沟与清水流沟的判别条件　　表 2—3

内容	潜伏性泥石流沟	清水流沟
环境特征	处于泥石流集中区或位于零散分布的典型泥石流沟周边地区有形成泥石流的内因，尚需有效的激发外因	距典型泥石流沟较远
地貌特征	有古泥石流地貌而无泥石流活动的沟谷；山沟与主河汇合处无明显的堆积扇，但在偏下游方向有主河流挤向对岸，有堆积物形成急滩，其粒径、磨圆度、堆积特征、石块岩性均有异于主河床上下游一定范围内的分布性质与形态特征，这有可能是山沟泥石流堆积体被主河洪水切割后的残留物；植被较差，水土流失现象趋向严重，坡面不平顺，欠稳定性感，床面粒径差异性大、欠固定，磨圆度较差，有危机感，沟形大，流量小	无古泥石流地貌特征，沟口主河床质特征与其上下游相一致，植被良好，仅有一般水土流失现象，坡面平整，稳定性强，床面固定，磨圆度好，沟形小，流量大
地质特征	区域地质构造影响大，流域还有局部构造存在，岩层较坚硬，但没有明显的不良地质体，有厚层堆积物而又欠稳定，有可能是较长间歇期泥石流的积零成整的过程	区域地质影响小，无不良地质现象，岩层坚硬，堆积物稳定，沟床冲淤量小，床面稳固
固体物特征	磨圆度小，堆积物松散，粒径分选性差，石块无嵌固作用，床面粗化度小，耐冲性小，松散物质储量大于 10000m³/km² 流体密度有增大趋势，浆体稠度不稳定，有堵塞现象	磨圆度大，粒径分选性强，鱼鳞状嵌固明显，床面粗化，耐冲性强，松散体储量小于 10000m³/km² 流体密度小于 1200kg/m³ 浑浊流体性质稳定，无堵塞现象
人为活动特征	人为活动有增无减，生物生态环境日趋恶化，不合理的砍伐，陡坡垦植，水库塘埝标准质量低，渠道渗漏，开山修路，采矿弃碴等行为，已经或即将提供大量松散物质者，有可能引发成为泥石流沟	沟内无不良人为活动，生态环境呈良性循环
地震与降雨特征	强地震加大暴雨是促进潜伏性泥石流发展速度的重要条件，调查时要综合分析泥石流沟的地震与降雨的组合形式，从而评估泥石流的发展进程	清水沟影响不明显

泥石流沟调查表

表 2—4

线K　+	沟	省　市(县)　乡　村

水　系		最高气温(℃)	坡度(‰)	形成区	淤积(m)	年平均	
流域面积(km²)		最低气温(℃)		流通区		一次最大	
主沟长(km)		平均气温(℃)		堆积区	冲刷(m)	平均	
主沟纵坡(‰)		Q_{B100}(m³/s)	长度(m)	形成区		一次最大	
最大降雨量(mm)	年雨量	Q_{c100}(m³/s)		流通区	输移粒径	平均(m)	
	日雨量	V_{c100}(m/s)		堆积区		最大(m)	
	60min雨量	h_{c100}(m)	沟槽断面形状	形成区	坍方面积	面积(km²)	
	10min雨量	扇面完整性		流通区		面积率(%)	
雨季雨量(m/s)		近期能参与活动的物质量(万m³)		堆积区	塌面积(m²)		
最大风速(m/s)			密度ρ	流体(kg/m³)	堵塞系数		
风　向				固体(kg/m³)	不稳定物质储量(万m³)		

植被特征		泥石流活动与暴发特点	
既有建筑物状况		地质特征	
人为活动评估		不良地质体评估	
危害性风险度分析		水文地震频率分析	
防治建议		备　注	

泥石流类型	区	型	性	期	流

调查者　　年　月　日　　复查者　　年　月　日

第三章　泥石流计算

泥石流的水文、泥砂和水力计算，是泥石流工程设计的基础。无疑基础不固，势必导致泥石流工程的偏颇。过大则造成工程的巨大浪费，过小则不满要求而前功尽弃。因此，如何正确应用现有的计算方法，将是提高泥石流工程设计的唯一途径。

泥石流计算方法目前还是比较多的，有理论公式，有经验及半经验公式和实验公式。这些方法在一定条件下，都有一定的价值，而且有一定的局限性和地域性。因此，常常在泥石流界发生争议。作者认为当前在理论与观测试验研究未取得突破性进展之前，争议是无用的。但也不能等待，既不能不算，也不能死算，只有从实际出发，在现有方法运用效果的基础上，采取提高、充实和完善办法，使之能更符合实际，以解决当前泥石流的工程设计。

泥石流工程设计，必须依据调查勘测与观测试验资料进行泥石流计算，对历史上灾害性的泥石流动态也应认真的分析，并按规定的设计标准加以运用。

我们推荐自 50 年代以来，在东川、成昆等铁路以及一些地方防治泥石流工程实践中，用大量的调查勘测与观测试验资料，对几种常用公式进行过 35 年的工程验证基础上，结合实际情况进行的改进，供泥石流工程设计之用。

第一节　泥石流流量计算

泥石流流量计算方法：可分雨洪修正法与形态调查法两种。在无人烟地区和没有条件进行形态勘测的小流域，只有用雨洪修正法求算泥石流流量后，再用形态法反算设计需要的各项水力特征值。在有条件时，应尽可能两法同时进行以资核对，效果更好。

一、雨洪修正法(东川泥石流流量公式)

雨洪修正法认为,泥石流流量为雨洪流量和固体流量之和,即

$$Q_C = Q_B + Q_H = Q_B(1+\phi) \tag{3—1}$$

按定义,泥石流密度 ρ_C 为

$$\rho_C = \frac{Q_B \times 1 + Q_H \times \rho_H}{Q_B + Q_H} \tag{3—2}$$

将式(3—1)与式(3—2)联立求解,得

$$\phi = \frac{\rho_C - 1}{\rho_H - \rho_C} \tag{3—3}$$

自 1959 年以来,在验证各家泥石流流量计算公式的基础上,考虑粘性泥石流有堵塞因素的实际,将东川泥石流流量公式改为

$$Q_C = Q_B(1+\phi)D_C \tag{3—4}$$

式中 Q_C——泥石流流量,m^3/s;

Q_B——泥石流沟的清水流量,m^3/s;

Q_H——泥石流固体流量,m^3/s;

D_C——泥石流堵塞系数。粘性泥石流有堵塞,可查表(3—1),稀性泥石流无堵塞为 1;

ϕ——泥石流修正系数;

ρ_C——泥石流流体密度,kg/m^3;

ρ_H——泥石流固体颗粒密度,kg/m^3。

(一)清水流量 Q_B

用泥石流沟所在地区的小径流公式计算清水流量。此类公式繁多,铁路、公路、水利、城建部门都有小流域暴雨径流计算办法。设计洪水可根据资料及地区特点,采用多种方法计算,经分析论证后,选用其合理的公式。

(二)泥石流堵塞系数 D_C

泥石流的阵流堵塞现象,成因复杂,形成特殊。经多年实践,粘性泥石流有阵流堵塞,而稀性泥石流则无阵流堵塞。可用下述方法确定:

1. 查表法

粘性泥石流阵流堵塞系数 D_c 值如表 3—1 所示。

粘性泥石流阵流堵塞系数 D_c 值表 表 3—1

堵塞程度	特征	密度 ρ_c (kg/m³)	粘度 (Pa·s)	堵塞系数 D_c
严重的	河槽弯曲，河段宽窄不均，卡口、陡坎多。大部分支沟交汇角度大，形成区集中。物质组成粘性大，稠度高，沟槽堵塞严重，阵流间隔时间长	2300 ～ 1800	2.5 ～ 1.5	>2.5
中等的	沟槽较顺直，河段宽窄较均匀，陡坎、卡口不多。主支沟交角多数小于 60°。形成区不太集中，河床堵塞情况一般，流体多稠浆、稀粥状	1800 ～ 1500	1.5 ～ 0.5	2.5 ～ 1.5
轻微的	沟槽顺直均匀，主支沟交汇角小，基本无卡口，陡坎，形成区分散，物质组成粘稠度小，阵流间隔时间短而少	1500 ～ 1200	0.5 ～ 0.3	<1.5

2. 计算法

$$D_c = 0.87t^{0.24} \tag{3—5}$$

$$D_c = \frac{5.8}{Q_c^{0.21}} \tag{3—6}$$

式中 t——堵塞时间，s；

其余符号意义同前。

(三)泥石流修正系数 ϕ

1. 查表法

ρ_c 值与 ϕ、α 值如表 3—2 所示(表内数字可以内插使用)。

2. 计算法

$$\phi = \frac{\rho_c - 1}{\rho_H - \rho_c}$$

式中 ρ_H 可查用表 3—3。

式中 ρ_c 值取得见第二章。应用多种方法印证比较，使取值更为合理可靠。如差缺现场资料，可用坍方地貌图按下述经验公式计算：

ρ_C 值与 ϕ、a 值表　　表 3—2

ρ_H (kg/m³)	ϕ、a \ ρ_C (kg/m³)	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300
2400	ϕ	0.167	0.272	0.400	0.556	0.750	1.000	1.330	1.800	2.500	3.670	6.000	13.000
	a	1.180	1.29	1.40	1.53	1.67	1.84	2.05	2.31	2.64	3.13	3.92	5.68
2500	ϕ	0.154	0.250	0.364	0.500	0.667	0.875	1.140	1.500	2.000	2.750	4.000	6.500
	a	1.180	1.28	1.38	1.50	1.63	1.79	1.96	2.18	2.45	2.81	3.32	4.15
2600	ϕ	0.143	0.231	0.333	0.454	0.600	0.778	1.000	1.280	1.670	2.200	3.000	4.330
	a	1.17	1.26	1.37	1.48	1.60	1.74	1.90	2.08	2.31	2.55	2.96	3.50
2700	ϕ	0.133	0.214	0.308	0.416	0.545	0.700	0.890	1.120	1.430	1.830	2.400	3.250
	a	1.17	1.26	1.35	1.46	1.57	1.70	1.84	2.01	2.21	2.44	2.74	3.13

岩石、土壤 ρ_H 值表　　表 3—3

名　称	石　英	高岭石	白云石	石　膏	石英岩	白　垩
ρ_H(kg/m³)	2650～2660	2600～2650	2800～2900	2310～2320	2650	2630～2730
名　称	石灰岩	黄　土	粘　土	土夹石	石英砂	
ρ_H(kg/m³)	2700	2680～2700	2730	2680	2650	

$$\rho_C=\frac{1}{1-0.0334AI_c^{0.39}} \qquad (3—7)$$

式中　A——坍方程度系数，见表 3—4；

I_c——坍方区平均坡度，‰。

当上式 $A=1.4$，$I_c>800‰$时，公式无意义。

坍方程度系数(A)值表　　表 3—4

坍方程度	坍方区岩性及边坡特征	坍方面积率(%)	I_c (‰)	A
严重的	坍方区经常处于不稳定状态，表层松散，多为近代坡积，残积层，第三系半胶结粉，细砂岩，灰色泥灰岩。松散堆积层厚度大于 10m。坍方集中，多滑坡，冲沟发育，其沟头多为葫芦状	20～40	≥500	1.1～1.4
较严重的	山坡不很稳定，岩层破碎，坡积，残积层厚 3～10m，中等密实，表层松散，坍方区不太集中，沟岸冲刷严重，但对其上方山坡稳定性影响较小	10～20	350～500	0.9～1.1
一般的	山坡为砂页岩互层，风化较严重。堆积层不厚，表土含砂量大，有小型坍塌和小型冲沟，且分散	5～10	270～400	0.7～0.9
轻微的	坍方区边坡一般较缓，或上陡下缓，有趋于稳定的现象，沟岸等处堆积层趋于稳定，少部分山坡岩层风化剥落，其他多属死坍方，死滑坡	3～5	250～350	0.5～0.7

注：本表根据多年勘测设计的经验归纳提出，可供参考使用。

（四）不同频率设计流量的换算

小径流公式计算的流量都有一定设计频率标准的。对于不同频率的设计流量，可按表 3—5 乘以频率换算系数求得。

不同频率换算系数表　　表 3—5

频率 P(%)	0.2	0.33	1	2	2.86	3.0	3.33	4	5	6.67	10	20
周期 T(年)	500	300	100	50	35	33	30	25	20	15	10	5
换算系数	1.76	1.50	1.20	1.00	0.85	0.83	0.80	0.75	0.68	0.59	0.50	0.38

二、泥痕形态法

根据泥石流泥痕和沟槽形态断面调查，按下式计算泥石流流量 Q_C。

$$Q_C = W_C v_C \tag{3—8}$$

式中　W_C——泥石流过流断面面积，m^2；

v_C——泥石流过流断面流速，m/s。

泥石流泥痕形态调查法基本与洪水调查法相同。泥石流流量计算断面的选择，应按第二章的要求，以免引起过大误差。

若调查到几个历史泥痕洪水资料并能确定它们的重现期，则可用机率格纸点绘成经验频率曲线，将曲线外延即可粗略读出泥石流设计洪水值。

若调查到的历史洪水泥痕资料较少，则估算设计洪水值可按下列方法进行。

因
$$Q_{C\cdot P} = \overline{Q}_C(1 + C_V \phi_P) = \overline{Q}_C K_P \tag{3—9}$$

得
$$Q_{C\cdot P} = Q_{C\cdot N}\frac{1 + C_V \phi_P}{1 + C_V \phi_N} = Q_{C\cdot N}\frac{K_P}{K_N} \tag{3—10}$$

式中　$Q_{C\cdot P}$——规定频率的设计泥石流流量，m^3/s；

$\overline{Q}_C$——多年平均的最大泥石流流量，m^3/s；

$Q_{C\cdot N}$——相当于某一频率的调查历史泥石流流量，m^3/s；

K_P, K_N——相应于 $Q_{C\cdot P}$ 及 $Q_{C\cdot N}$ 的模量系数；

若能调查到两个不同重现期的流量 $Q_{c\,T_1}$ 和 $Q_{c.T_2}$ 则可分别代入公式(3—9)，并令相除即可得到两个不同重现期泥石流流量的比值。其公式如下：

$$f\left(\frac{T_1}{T_2}\right)=\frac{Q_{c.T_1}}{Q_{c.T_2}}=\frac{\overline{Q}_c(1+C_V\phi_{T_1})}{\overline{Q}_c(1+C_V\phi_{T_2})}=\frac{1+C_V\phi_{T_1}}{1+C_V\phi_{T_2}}$$

$$=\frac{K_{T_1}}{K_{T_2}} \qquad (3—11)$$

参考地区性 C_V，C_S 经验资料(可向当地水利，水文部门收集)选取适当的 C_V，C_S 后，根据两次不同重现期的 T_1 和 T_2 从表 3—6 中查得 ϕ_{T_1} 及 ϕ_{T_2} 值，代入(3—11)式的右边，如右边计算的结果适等于左边流量比值 $f\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$，则 C_V，C_S 就可确定，设计泥石流流量即可按(3—10)公式计算。所以

$$Q_{c.P}=\frac{K_P}{K_{T_2}}Q_{c.T_2}=f\left(\frac{P}{T_2}\right)Q_{c.T_2} \qquad (3—12)$$

为了减少试算工作量，按照 C_S 为平均数时，P—Ⅲ型曲线的 K_P 值(“桥涵水文”附录五之二)，编制了各种不同重现期组合的 $f\left(\frac{T_1}{T_2}\right)=\frac{K_{T_1}}{K_{T_2}}$ 表，表 3—7～表 3—17 两次不同重现期流量推求设计流量换算系数 $f\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$ 值表，供查用。

当比值 $f\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$ 及重现期 T_1 及 T_2 为已知时，查该表即直接得 C_V 值。此时应注意由于泥石流流量稍有误差，影响 C_V 值出入很大，故仍须将查出的 C_V 值与地区经验资料进行比较分析，才作最后选定。按选定后的 C_V 值，查出 $Q_{c.T_1}/Q_{c.T_2}$ 的换算系数 $f\left(\frac{P}{T_2}\right)$ 即可按(3—12)式计算泥石流设计洪水流量。

如果能调查到两个以上历史泥痕泥石流洪水流量时，可将其中任意两个组合，按上述方法求算 C_V 值，进行相互比较，并参考地区 C_V，C_S 的经验资料选定较为合理的 C_V 值，再按其中一个较可靠

的历史泥石流洪水流量推求设计泥石流流量。

若只能调查到一个可靠的历史泥石流流量，则只能利用该地区经验或参考邻近类似泥石流沟选定 C_V 值。从表(3—18)查得换算系数 $f\left(\frac{P}{T_2}\right)$，按公式(3—12)计算求得泥石流设计流量。

【算例 3—1】

根据泥痕调查到的三个历史泥石流流量分别为 $Q_{C.20}=150.0$，$Q_{C.10}=112.0$，$Q_{C.8}=97.0$，m^3/s。求算 $Q_{C.100}=?$

1. 计算 $f\left(\frac{20}{10}\right)=\frac{Q_{C.20}}{Q_{C.10}}=\frac{150}{112}=1.34$

$$f\left(\frac{20}{8}\right)=\frac{Q_{C.20}}{Q_{C.8}}=\frac{150}{97}=1.55$$

$$f\left(\frac{10}{8}\right)=\frac{Q_{C.10}}{Q_{C.8}}=\frac{112}{97}=1.15$$

2. 查表 3—14，$T_1=20$，$T_2=10$，得 $f=1.34$，$C_V=1.1$

查表 3—13，$T_1=20$，$T_2=8$，得 $f=1.55$，$C_V=1.3$

查表 3—13，$T_1=10$，$T_2=8$，得 $f=1.15$，$C_V=1.6$

经分析研究，C_V 选用 1.3 较为合理。

3. 在 $T_2=8$ 表 3—13 中，$C_V=1.3$ 的同横行中查得 $K_{100}/K_8=f\left(\frac{100}{8}\right)=2.58$，则所求的泥石流设计流量为

$$Q_{C.100}=97\times2.58=250m^3/s$$

【算例 3—2】

已知调查历史泥石流洪水 $Q_{C.N}=120m^3/s$，重现期为 10 年，由地区资料得 $\overline{Q}_C=50.0m^3/s$，求 $Q_{C.50}=?$

1. 按公式(3—9)得 $K=Q_{C.N}/\overline{Q}_C=120/50=2.4$

2. 查表(3—18)在 $T=10$ 纵行下 $K=2.4$ 时，$C_V=1.1$ 经分析 C_V 值尚属合理。

3. 查表(3—14)在 $T_2=10$，$C_V=1.1$ 的横行上查得 $f\left(\frac{50}{10}\right)=1.79$，则 $Q_{C.50}=1.79\times120=215m^3/s$。

皮尔逊Ⅲ型曲线的离均系数 ϕ_P 值表

表 3--6

C_s \ P(%)	0.01	0.1	0.2	0.33	0.5	1	2	5	10	20	50	75	90	95	99	P(%) \ C_s
0.0	3.72	3.09	2.88	2.71	2.58	2.33	2.05	1.64	1.28	0.84	0.00	−0.67	−1.28	−1.64	−2.33	0.0
0.1	3.94	3.23	3.00	2.82	2.67	2.40	2.11	1.67	1.29	0.84	−0.02	−0.68	−1.27	−1.62	−2.25	0.1
0.2	4.16	3.38	3.12	2.92	2.76	2.47	2.16	1.70	1.30	0.83	−0.03	−0.69	−1.26	−1.59	−2.18	0.2
0.3	4.38	3.52	3.24	3.03	2.86	2.54	2.21	1.73	1.31	0.82	−0.05	−0.70	−1.24	−1.55	−2.10	0.3
0.4	4.61	3.67	3.36	3.14	2.95	2.62	2.26	1.75	1.32	0.82	−0.07	−0.71	−1.23	−1.52	−2.03	0.4
0.5	4.83	3.81	3.48	3.25	3.04	2.68	2.31	1.77	1.32	0.81	−0.08	−0.71	−1.22	−1.49	−1.96	0.5
0.6	5.05	3.96	3.60	3.35	3.13	2.75	2.35	1.80	1.33	0.80	−0.10	−0.72	−1.20	−1.45	−1.88	0.6
0.7	5.28	4.10	3.72	3.45	3.22	2.82	2.40	1.82	1.33	0.79	−0.12	−0.72	−1.18	−1.42	−1.81	0.7
0.8	5.50	4.24	3.85	3.55	3.31	2.89	2.45	1.84	1.34	0.78	−0.13	−0.73	−1.17	−1.38	−1.74	0.8
0.9	5.73	4.39	3.97	3.65	3.40	2.96	2.50	1.86	1.34	0.77	−0.15	−0.73	−1.15	−1.35	−1.66	0.9
1.0	5.96	4.53	4.09	3.76	3.49	3.02	2.54	1.88	1.34	0.76	−0.16	−0.73	−1.13	−1.32	−1.59	1.0
1.1	6.18	4.67	4.20	3.86	3.58	3.09	2.58	1.89	1.34	0.74	−0.18	−0.74	−1.10	−1.28	−1.52	1.1
1.2	6.41	4.81	4.32	3.95	3.66	3.15	2.62	1.91	1.34	0.73	−0.19	−0.74	−1.08	−1.24	−1.45	1.2
1.3	6.64	4.95	4.44	4.05	3.74	3.21	2.67	1.92	1.34	0.72	−0.21	−0.74	−1.06	−1.20	−1.38	1.3
1.4	6.87	5.09	4.56	4.15	3.83	3.27	2.71	1.94	1.33	0.71	−0.22	−0.73	−1.04	−1.17	−1.32	1.4
1.5	7.09	5.23	4.68	4.24	3.91	3.33	2.74	1.95	1.33	0.69	−0.24	−0.73	−1.02	−1.13	−1.26	1.5
1.6	7.31	5.37	4.80	4.34	3.99	3.39	2.78	1.96	1.33	0.68	−0.25	−0.73	−0.99	−1.10	−1.20	1.6
1.7	7.54	5.50	4.91	4.43	4.07	3.44	2.82	1.97	1.32	0.66	−0.27	−0.72	−0.97	−1.06	−1.14	1.7
1.8	7.76	5.64	5.01	4.52	4.15	3.50	2.85	1.98	1.32	0.64	−0.28	−0.72	−0.94	−1.02	−1.09	1.8
1.9	7.98	5.77	5.12	4.61	4.23	3.55	2.88	1.99	1.31	0.63	−0.29	−0.72	−0.92	−0.98	−1.04	1.9
2.0	8.21	5.91	5.22	4.70	4.30	3.61	2.91	2.00	1.30	0.61	−0.31	−0.71	−0.895	−0.949	−0.989	2.0
2.1	8.43	6.04	5.33	4.79	4.37	3.66	2.93	2.00	1.29	0.59	−0.32	−0.71	−0.869	−0.914	−0.945	2.1
2.2	8.65	6.17	5.43	4.88	4.44	3.71	2.96	2.00	1.28	0.57	−0.33	−0.70	−0.844	−0.879	−0.905	2.2
2.3	8.87	6.30	5.53	4.97	4.51	3.76	2.99	2.00	1.27	0.55	−0.34	−0.69	−0.820	−0.849	−0.867	2.3
2.4	9.08	6.42	5.63	5.05	4.58	3.81	3.02	2.01	1.26	0.54	−0.35	−0.68	−0.795	−0.820	−0.831	2.4
2.5	9.30	6.55	5.73	5.13	4.65	3.85	3.04	2.01	1.25	0.52	−0.36	−0.67	−0.772	−0.791	−0.800	2.5

续上表

C_s \ $P(\%)$	0.01	0.1	0.2	0.33	0.5	1	2	5	10	20	50	75	90	95	99	$P(\%)$ \ C_s
2.6	9.51	6.67	5.82	5.20	4.72	3.89	3.06	2.01	1.23	0.50	−0.37	−0.66	−0.748	−0.764	−0.769	2.6
2.7	9.72	6.79	5.92	5.28	4.78	3.93	3.09	2.01	1.22	0.48	−0.37	−0.65	−0.726	−0.736	−0.740	2.7
2.8	9.93	6.91	6.01	5.36	4.84	3.97	3.11	2.01	1.21	0.46	−0.38	−0.64	−0.702	−0.710	−0.714	2.8
2.9	10.14	7.03	6.10	5.44	4.90	4.01	3.13	2.01	1.20	0.44	−0.39	−0.63	−0.680	−0.687	−0.690	2.9
3.0	10.35	7.15	6.20	5.51	4.96	4.05	3.15	2.00	1.18	0.42	−0.39	−0.62	−0.658	−0.665	−0.667	3.0
3.1	10.56	7.26	6.30	5.59	5.02	4.08	3.17	2.00	1.16	0.40	−0.40	−0.60	−0.639	−0.644	−0.645	3.1
3.2	10.77	7.38	6.39	5.66	5.08	4.12	3.19	2.00	1.14	0.38	−0.40	−0.59	−0.621	−0.624	−0.625	3.2
3.3	10.97	7.49	6.48	5.74	5.14	4.15	3.21	1.99	1.12	0.36	−0.40	−0.58	−0.604	−0.606	−0.606	3.3
3.4	11.17	7.60	6.56	5.80	5.20	4.18	3.22	1.98	1.11	0.34	−0.41	−0.57	−0.587	−0.588	−0.588	3.4
3.5	11.37	7.72	6.65	5.86	5.25	4.22	3.23	1.97	1.09	0.32	−0.41	−0.55	−0.570	−0.571	−0.571	3.5
3.6	11.57	7.83	6.73	5.93	5.30	4.25	3.24	1.96	1.08	0.30	−0.41	−0.54	−0.555	−0.556	−0.556	3.6
3.7	11.77	7.94	6.81	5.99	5.35	4.28	3.25	1.95	1.06	0.28	−0.42	−0.53	−0.540	−0.541	−0.541	3.7
3.8	11.97	8.05	6.89	6.05	5.40	4.31	3.26	1.94	1.04	0.26	−0.42	−0.52	−0.526	−0.526	−0.526	3.8
3.9	12.16	8.15	6.97	6.11	5.45	4.34	3.27	1.93	1.02	0.24	−0.41	−0.506	−0.513	−0.513	−0.513	3.9
4.0	12.36	8.25	7.05	6.18	5.50	4.37	3.27	1.92	1.00	0.23	−0.41	−0.495	−0.500	−0.500	−0.500	4.0
4.1	12.55	8.35	7.13	6.24	5.54	4.39	3.28	1.91	0.98	0.21	−0.41	−0.484	−0.488	−0.488	−0.488	4.1
4.2	12.74	8.45	7.21	6.30	5.59	4.41	3.29	1.90	0.96	0.19	−0.41	−0.473	−0.476	−0.476	−0.476	4.2
4.3	12.93	8.55	7.29	6.36	5.63	4.44	3.29	1.88	0.94	0.17	−0.41	−0.462	−0.465	−0.465	−0.465	4.3
4.4	13.12	8.65	7.36	6.41	5.68	4.46	3.30	1.87	0.92	0.16	−0.40	−0.453	−0.455	−0.455	−0.455	4.4
4.5	13.30	8.75	7.43	6.46	5.72	4.48	3.30	1.85	0.90	0.14	−0.40	−0.444	−0.444	−0.444	−0.444	4.5
4.6	13.49	8.85	7.50	6.52	5.76	4.50	3.30	1.84	0.88	0.13	−0.40	−0.435	−0.435	−0.435	−0.435	4.6
4.7	13.67	8.95	7.57	6.57	5.80	4.52	3.30	1.82	0.85	0.11	−0.39	−0.426	−0.426	−0.426	−0.426	4.7
4.8	13.85	9.04	7.64	6.63	5.84	4.54	3.30	1.80	0.84	0.09	−0.39	−0.417	−0.417	−0.417	−0.417	4.8
4.9	14.04	9.13	7.70	6.68	5.88	4.55	3.30	1.78	0.82	0.08	−0.38	−0.408	−0.408	−0.408	−0.408	4.9
5.0	14.22	9.22	7.77	6.73	5.92	4.57	3.30	1.77	0.80	0.06	−0.379	−0.400	−0.400	−0.400	−0.400	5.0

续上表

C_s \ $P(\%)$	0.01	0.1	0.2	0.33	0.5	1	2	5	10	20	50	75	90	95	99	$P(\%)$ \ C_s
5.1	14.40	9.31	7.84	6.78	5.95	4.58	3.30	1.75	0.78	−0.05	−0.374	−0.392	−0.392	−0.392	−0.392	5.1
5.2	14.57	9.40	7.90	6.83	5.99	4.59	3.30	1.73	0.76	−0.03	−0.369	−0.385	−0.385	−0.385	−0.385	5.2
5.3	14.75	9.49	7.96	6.87	6.02	4.60	3.30	1.72	0.74	−0.02	−0.363	−0.377	−0.377	−0.377	−0.377	5.3
5.4	14.92	9.57	8.02	6.91	6.05	4.62	3.29	1.70	0.72	−0.00	−0.358	−0.370	−0.370	−0.370	−0.370	5.4
5.5	15.10	9.66	8.08	6.96	6.08	4.63	3.28	1.68	0.70	−0.01	−0.353	−0.364	−0.364	−0.364	−0.364	5.5
5.6	15.27	9.74	8.14	7.00	6.11	4.64	3.28	1.66	0.67	−0.03	−0.349	−0.357	−0.357	−0.357	−0.357	5.6
5.7	15.45	9.82	8.21	7.04	6.14	4.65	3.27	1.65	0.65	−0.04	−0.344	−0.351	−0.351	−0.351	−0.351	5.7
5.8	15.60	9.91	8.27	7.08	6.17	4.67	3.27	1.63	0.63	−0.05	−0.339	−0.345	−0.345	−0.345	−0.345	5.8
5.9	15.78	9.99	8.32	7.12	6.20	4.68	3.26	1.61	0.61	−0.06	−0.334	−0.339	−0.339	−0.339	−0.339	5.9
6.0	15.94	10.07	8.38	7.15	6.23	4.68	3.25	1.59	0.59	−0.07	−0.329	−0.333	−0.333	−0.333	−0.333	6.0
6.1	16.11	10.15	8.43	7.19	6.26	4.69	3.24	1.57	0.57	−0.08	−0.325	−0.328	−0.328	−0.328	−0.328	6.1
6.2	16.28	10.22	8.49	7.23	6.28	4.70	3.23	1.55	0.55	−0.09	−0.320	−0.323	−0.323	−0.323	−0.323	6.2
6.3	16.45	10.30	8.54	7.26	6.30	4.70	3.22	1.53	0.53	−0.10	−0.315	−0.317	−0.317	−0.317	−0.317	6.3
6.4	16.61	10.38	8.60	7.30	6.32	4.71	3.21	1.51	0.51	−0.11	−0.311	−0.313	−0.313	−0.313	−0.313	6.4

两次不同重现期流量推求设计流量换算系数 $f(T_1/T_2)$值表

（算式：$f(T_1/T_2)=\frac{K_{T_1}}{K_{T_2}}$）

$T_2=2$

表 3—7

T_1 / T_2 / Cv / f	5	6	7	8	9	10	12	15	17	20	25	30	33	40	50	100	300
	2																
0.3	1.30	1.35	1.40	1.44	1.47	1.50	1.55	1.61	1.66	1.70	1.76	1.81	1.84	1.88	1.95	2.12	2.40
0.4	1.42	1.49	1.55	1.61	1.65	1.70	1.78	1.87	1.91	1.98	2.07	2.13	2.18	2.24	2.33	2.59	3.00
0.5	1.54	1.63	1.71	1.79	1.85	1.91	2.01	2.13	2.20	2.28	2.40	2.49	2.56	2.64	2.76	3.14	3.65
0.6	1.68	1.80	1.90	2.00	2.08	2.16	2.28	2.43	2.52	2.63	2.79	2.90	2.98	3.10	3.25	3.71	4.45
0.7	1.80	1.95	2.09	2.20	2.30	2.40	2.55	2.74	2.85	2.99	3.19	3.33	3.42	3.58	3.76	4.35	5.25
0.8	1.96	2.14	2.30	2.45	2.58	2.68	2.87	3.11	3.24	3.42	3.66	3.84	3.95	4.15	4.37	5.10	6.24
0.9	2.14	2.35	2.56	2.72	2.88	3.02	3.24	3.53	3.68	3.89	4.18	4.40	4.54	4.78	5.05	5.95	7.33
1.0	2.36	2.63	2.87	3.08	3.24	3.42	3.68	4.05	4.23	4.47	4.85	5.12	5.30	5.56	5.91	7.01	8.73
1.1	2.57	2.87	3.16	3.40	3.62	3.81	4.14	4.55	4.77	5.10	5.52	5.84	6.05	6.38	6.80	8.13	10.21
1.2	2.86	3.21	3.55	3.86	4.10	4.35	4.74	5.24	5.51	5.87	6.40	6.79	7.05	7.45	7.93	9.56	12.07
1.3	3.02	3.43	3.79	4.14	4.42	4.70	5.16	5.73	6.03	6.45	7.05	7.50	7.77	8.25	8.83	10.67	13.60
1.4	3.51	4.02	4.47	4.90	5.25	5.59	6.16	6.88	7.26	7.80	8.55	9.10	9.45	10.03	10.79	13.11	16.78
1.5	3.98	4.57	5.14	5.66	6.05	6.46	7.16	8.05	8.50	9.14	10.01	10.71	11.14	11.87	12.75	15.58	20.10
1.6	4.54	5.28	5.92	6.56	7.05	7.56	8.41	9.49	10.05	10.82	11.90	12.78	13.29	14.20	15.26	18.72	24.30
1.7	5.14	6.00	6.77	7.52	8.11	8.72	9.75	11.00	11.70	12.61	13.92	14.99	15.57	16.65	17.95	22.10	28.88
1.8	6.07	7.16	8.14	9.00	9.77	10.50	11.77	13.38	14.19	15.39	16.99	18.30	19.08	20.43	22.07	27.30	35.81
1.9	7.08	8.38	9.54	10.66	11.58	12.49	14.03	16.00	17.10	18.50	20.50	22.10	23.08	24.78	26.80	33.29	43.90
2.0	8.76	10.48	12.0	13.49	14.68	15.90	17.90	20.50	21.95	23.85	26.48	28.62	29.94	32.15	34.84	43.40	57.50
2.1	11.50	13.89	16.0	18.0	19.70	21.38	24.20	27.80	29.8	32.42	36.18	39.20	41.0	44.2	47.8	60.1	80.0
2.2	15.59	18.75	21.73	24.67	27.0	29.33	33.33	38.40	41.20	44.80	50.0	54.3	56.9	61.25	66.5	83.9	111.7
2.3	26.7	32.43	37.87	43.0	47.30	51.40	58.6	67.8	72.9	79.8	88.9	96.9	101.5	109.5	119.1	150.5	201.8
2.4	63.0	76.9	90.0	102.4	112.7	123.4	140.8	163.8	176.0	192.5	215	234.3	246	265.5	289.3	366	492

$T_2=3.3$

表 3--8

T_1 / T_2 / Cv / f	4	5	6	7	8	9	10	12	15	17	20	25	30	33	40	50	100	300
	3.3																	
0.3	1.055	1.11	1.155	1.192	1.230	1.256	1.283	1.320	1.376	1.412	1.450	1.504	1.541	1.569	1.605	1.660	1.802	2.015
0.4	1.065	1.143	1.196	1.250	1.294	1.330	1.367	1.429	1.50	1.535	1.590	1.660	1.714	1.750	1.803	1.875	2.08	2.41
0.5	1.08	1.175	1.245	1.307	1.369	1.412	1.456	1.535	1.622	1.675	1.736	1.832	1.902	1.956	2.02	2.106	2.367	2.79
0.6	1.095	1.209	1.295	1.374	1.443	1.504	1.556	1.643	1.755	1.818	1.895	2.008	2.095	2.15	2.234	2.348	2.679	3.207
0.7	1.12	1.252	1.356	1.453	1.530	1.600	1.670	1.773	1.903	1.982	2.08	2.218	2.311	2.382	2.486	2.619	3.026	3.66
0.8	1.13	1.283	1.405	1.509	1.604	1.690	1.759	1.879	2.032	2.120	2.240	2.395	2.516	2.585	2.715	2.861	3.215	4.086
0.9	1.137	1.317	1.444	1.572	1.675	1.770	1.854	1.990	2.17	2.264	2.392	2.572	2.709	2.794	2.940	3.119	3.66	4.515
1.0	1.153	1.35	1.504	1.641	1.760	1.855	1.956	2.110	2.316	2.419	2.563	2.778	2.930	3.034	3.188	3.38	4.018	5.000
1.1	1.162	1.384	1.547	1.700	1.829	1.949	2.05	2.231	2.452	2.572	2.742	2.973	3.145	3.257	3.437	3.668	4.379	5.500
1.2	1.18	1.418	1.589	1.760	1.914	2.033	2.152	2.350	2.60	2.734	2.914	3.17	3.367	3.49	3.69	3.94	4.73	5.98
1.3	1.198	1.457	1.655	1.827	2.000	2.13	2.27	2.49	2.77	2.91	3.11	3.40	3.62	3.75	3.98	4.26	5.16	6.56
1.4	1.219	1.509	1.73	1.92	2.105	2.255	2.40	2.65	2.96	3.12	3.35	3.67	3.91	4.06	4.32	4.63	5.63	7.21
1.5	1.219	1.535	1.76	1.98	2.185	2.33	2.49	2.76	3.11	3.28	3.52	3.87	4.14	4.30	4.575	4.92	6.005	7.75
1.6	1.239	1.566	1.82	2.045	2.265	2.43	2.62	2.90	3.28	3.47	3.73	4.10	4.41	4.59	4.90	5.27	6.46	8.39
1.7	1.25	1.607	1.875	2.12	2.35	2.535	2.72	3.045	3.44	3.66	3.95	4.35	4.675	4.87	5.20	5.61	6.90	9.01
1.8	1.284	1.67	1.97	2.24	2.48	2.69	2.89	3.24	3.68	3.91	4.23	4.68	5.03	5.25	5.625	6.07	7.51	9.85
1.9	1.302	1.737	2.06	2.34	2.61	2.84	3.07	3.44	3.92	4.18	4.53	5.03	5.42	5.66	6.07	6.58	8.16	10.76
2.0	1.308	1.770	2.115	2.42	2.72	2.96	3.21	3.61	4.14	4.43	4.82	5.35	5.78	6.04	6.49	7.04	8.76	11.61
2.1	1.340	1.840	2.21	2.56	2.88	3.15	3.42	3.87	4.45	4.77	5.19	5.78	6.27	6.56	7.06	7.65	9.62	12.80
2.2	1.326	1.909	2.297	2.665	3.02	3.31	3.59	4.08	4.71	5.04	5.49	6.12	6.65	6.97	7.50	8.14	10.28	13.67
2.3	1.375	1.948	2.370	2.76	3.14	3.45	3.75	4.27	4.95	5.315	5.815	6.48	7.06	7.40	7.98	8.69	10.99	14.70
2.4	1.40	1.968	2.43	2.84	3.23	3.56	3.90	4.44	5.17	5.55	6.08	6.79	7.40	7.75	8.38	9.14	11.56	15.52
2.5	1.445	2.09	2.58	3.02	3.47	3.85	4.20	4.80	5.60	6.03	6.62	7.42	8.08	8.50	9.18	10.05	12.76	17.23
2.6	1.483	2.17	2.69	3.17	3.68	4.06	4.44	5.07	5.96	6.42	7.06	7.92	8.65	9.10	9.86	10.78	13.75	18.58
2.7	1.531	2.30	2.88	3.42	3.95	4.43	4.84	5.58	6.56	7.08	7.80	8.77	9.58	10.10	10.94	12.00	15.37	20.90
2.8	1.55	2.33	2.94	3.51	4.05	4.55	5.00	5.79	6.80	7.38	8.12	9.14	10.01	10.56	11.45	12.6	16.15	22.00
2.9	1.621	2.50	3.19	3.83	4.45	5.00	5.52	6.40	7.55	8.16	9.02	10.18	11.14	11.77	12.80	14.10	18.11	21.75
3.0	1.70	2.63	3.36	4.06	4.75	5.36	5.93	6.88	8.14	8.85	9.78	11.05	12.14	12.82	13.97	15.39	19.81	27.21

$T_2=4$

表 3—9

T_1 / T_2 / c_V / f	5	6	7	8	9	10	12	15	17	20	25	30	33	40	50	100	300
	4																
0.3	1.052	1.095	1.13	1.165	1.191	1.218	1.251	1.305	1.34	1.373	1.426	1.461	1.487	1.521	1.574	1.713	1.910
0.4	1.076	1.125	1.176	1.219	1.251	1.285	1.344	1.412	1.445	1.496	1.563	1.614	1.647	1.698	1.765	1.957	2.268
0.5	1.090	1.155	1.212	1.269	1.310	1.350	1.423	1.504	1.552	1.610	1.70	1.765	1.813	1.870	1.95	2.185	2.584
0.6	1.104	1.182	1.254	1.317	1.373	1.420	1.50	1.603	1.659	1.730	1.834	1.913	1.960	2.040	2.112	2.445	2.93
0.7	1.116	1.210	1.295	1.365	1.426	1.488	1.580	1.698	1.770	1.852	1.976	2.062	2.125	2.215	2.335	2.70	3.26
0.8	1.137	1.245	1.336	1.420	1.496	1.556	1.664	1.802	1.878	1.985	2.12	2.23	2.29	2.405	2.53	2.96	3.62
0.9	1.158	1.270	1.384	1.474	1.555	1.632	1.752	1.910	1.99	2.105	2.26	2.38	2.46	2.59	2.74	3.22	3.97
1.0	1.170	1.304	1.423	1.526	1.606	1.696	1.830	2.01	2.095	2.22	2.41	2.54	2.63	2.76	2.93	3.48	4.33
1.1	1.19	1.33	1.463	1.574	1.676	1.764	1.918	2.11	2.21	2.36	2.56	2.71	2.80	2.95	3.15	3.76	4.73
1.2	1.203	1.348	1.493	1.623	1.725	1.825	1.99	2.20	2.32	2.47	2.69	2.85	2.96	3.13	3.34	4.01	5.07
1.3	1.215	1.381	1.525	1.668	1.775	1.89	2.08	2.31	2.43	2.60	2.84	3.02	3.13	3.32	3.55	4.30	5.475
1.4	1.238	1.416	1.576	1.726	1.85	1.97	2.17	2.43	2.56	2.75	3.01	3.21	3.33	3.51	3.80	4.62	5.92
1.5	1.259	1.446	1.625	1.791	1.915	2.045	2.26	2.55	2.69	2.89	3.17	3.39	3.53	3.75	4.03	4.93	6.36
1.6	1.264	1.471	1.650	1.826	1.965	2.107	2.34	2.64	2.80	3.01	3.31	3.56	3.70	3.95	4.25	5.21	6.78
1.7	1.286	1.50	1.692	1.88	2.03	2.18	2.43	2.75	2.93	3.15	3.47	3.74	3.89	4.17	4.48	5.52	7.22
1.8	1.30	1.535	1.742	1.927	2.09	2.25	2.52	2.87	3.04	3.29	3.64	3.92	4.08	4.38	4.73	5.85	7.68
1.9	1.334	1.58	1.796	2.01	2.18	2.35	2.65	3.01	3.22	3.49	3.87	4.17	4.35	4.67	5.05	6.27	8.27
2.0	1.352	1.62	1.852	2.08	2.265	2.45	2.766	3.17	3.39	3.68	4.08	4.42	4.62	4.96	5.38	6.70	8.88
2.1	1.373	1.65	1.91	2.15	2.35	2.55	2.89	3.32	3.56	3.87	4.31	4.67	4.89	5.27	5.71	7.17	9.56
2.2	1.410	1.69	1.97	2.22	2.43	2.65	3.01	3.47	3.72	4.04	4.51	4.90	5.13	5.52	6.00	7.56	10.1
2.3	1.416	1.72	2.01	2.28	2.51	2.73	3.11	3.60	3.87	4.23	4.71	5.14	5.38	5.80	6.32	7.99	10.70
2.4	1.405	1.736	2.03	2.31	2.54	2.78	3.17	3.69	3.96	4.33	4.85	5.29	5.54	5.98	6.53	8.26	11.10
2.5	1.446	1.785	2.09	2.40	2.66	2.91	3.32	3.87	4.18	4.58	5.14	5.60	5.88	6.35	6.96	8.84	11.01
2.6	1.461	1.814	2.14	2.48	2.74	2.99	3.44	4.02	4.33	4.75	5.34	5.83	6.14	6.64	7.27	9.26	12.53
2.7	1.50	1.877	2.235	2.58	2.89	3.16	3.64	4.28	4.63	5.10	5.73	6.26	6.60	7.15	7.85	10.01	13.65
2.8	1.504	1.895	2.265	2.61	2.93	3.23	3.74	4.39	4.76	5.24	5.89	6.46	6.81	7.38	8.12	10.42	11.19
2.9	1.543	1.966	2.36	2.74	3.085	3.405	3.95	4.65	5.03	5.56	6.275	6.87	7.27	7.89	8.70	11.17	15.28
3.0	1.546	1.975	2.39	2.79	3.15	3.49	4.05	4.79	5.20	5.76	6.50	7.14	7.55	8.21	9.05	11.66	16.02

$T_2=5$

表 3—10

T_1 / T_2 / C_V / f	6	7	8	9	10	12	15	17	20	25	30	33	40	50	100	300
	5															
0.3	1.04	1.07	1.11	1.13	1.16	1.19	1.24	1.27	1.31	1.36	1.39	1.41	1.45	1.50	1.63	1.84
0.4	1.05	1.09	1.13	1.16	1.19	1.25	1.31	1.35	1.39	1.45	1.50	1.53	1.58	1.64	1.82	2.11
0.5	1.06	1.11	1.16	1.20	1.24	1.30	1.38	1.43	1.48	1.56	1.62	1.66	1.72	1.79	2.04	2.38
0.6	1.07	1.14	1.19	1.25	1.29	1.36	1.45	1.50	1.57	1.66	1.73	1.78	1.85	1.94	2.22	2.65
0.7	1.08	1.16	1.22	1.28	1.33	1.42	1.52	1.58	1.66	1.77	1.85	1.90	1.99	2.09	2.42	2.92
0.8	1.09	1.17	1.25	1.32	1.37	1.46	1.58	1.65	1.75	1.87	1.96	2.01	2.11	2.23	2.61	3.18
0.9	1.10	1.20	1.27	1.35	1.41	1.51	1.65	1.72	1.82	1.95	2.06	2.12	2.23	2.36	2.78	3.43
1.0	1.11	1.22	1.30	1.37	1.45	1.58	1.71	1.79	1.90	2.06	2.17	2.25	2.36	2.51	2.98	3.70
1.1	1.12	1.23	1.32	1.41	1.48	1.61	1.77	1.86	1.98	2.15	2.27	2.35	2.48	2.65	3.16	3.98
1.2	1.12	1.24	1.35	1.43	1.52	1.66	1.83	1.93	2.05	2.23	2.37	2.46	2.60	2.78	3.34	4.22
1.3	1.14	1.25	1.37	1.46	1.56	1.71	1.90	2.00	2.14	2.34	2.48	2.57	2.73	2.92	3.54	4.51
1.4	1.14	1.27	1.40	1.50	1.59	1.76	1.96	2.07	2.22	2.43	2.59	2.69	2.86	3.07	3.73	4.77
1.5	1.15	1.29	1.42	1.52	1.62	1.80	2.02	2.14	2.29	2.52	2.70	2.80	2.98	3.21	3.92	5.05
1.6	1.16	1.30	1.45	1.55	1.67	1.85	2.09	2.21	2.38	2.62	2.82	2.93	3.13	3.36	4.13	5.36
1.7	1.17	1.32	1.46	1.58	1.70	1.89	2.14	2.28	2.46	2.71	2.91	3.03	3.24	3.49	4.29	5.62
1.8	1.18	1.34	1.48	1.61	1.73	1.94	2.20	2.34	2.53	2.80	3.02	3.14	3.37	3.64	4.50	5.90
1.9	1.19	1.35	1.50	1.63	1.76	1.98	2.26	2.41	2.61	2.90	3.12	3.26	3.50	3.79	4.70	6.19
2.0	1.20	1.37	1.54	1.68	1.81	2.04	2.34	2.50	2.72	3.02	3.27	3.42	3.67	3.98	4.95	6.56
2.1	1.20	1.38	1.57	1.71	1.86	2.10	2.42	2.59	2.82	3.14	3.41	3.57	3.84	4.16	5.23	6.96
2.2	1.20	1.40	1.58	1.73	1.88	2.14	2.46	2.64	2.88	3.21	3.49	3.65	3.93	4.27	5.38	7.17
2.3	1.22	1.42	1.61	1.77	1.93	2.19	2.54	2.73	2.99	3.33	3.63	3.80	4.10	4.46	5.63	7.55
2.4	1.22	1.43	1.62	1.79	1.96	2.23	2.60	2.79	3.05	3.42	3.72	3.90	4.22	4.59	5.87	7.81
2.5	1.23	1.45	1.66	1.84	2.01	2.30	2.68	2.90	3.17	3.55	3.86	4.07	4.40	4.82	6.10	8.25
2.6	1.24	1.47	1.70	1.87	2.05	2.35	2.77	2.97	3.26	3.66	3.99	4.21	4.55	4.97	6.35	8.58
2.7	1.25	1.49	1.72	1.93	2.11	2.43	2.85	3.08	3.40	3.82	4.17	4.40	4.77	5.23	6.69	9.10
2.8	1.26	1.51	1.74	1.95	2.14	2.48	2.92	3.16	3.49	3.92	4.30	4.53	4.91	5.40	6.93	9.44
2.9	1.28	1.53	1.78	2.00	2.21	2.56	3.02	3.27	3.61	4.07	4.46	4.72	5.12	5.64	7.24	9.93
3.0	1.29	1.54	1.80	2.04	2.25	2.62	3.10	3.36	3.72	4.21	4.62	4.88	5.31	5.85	7.54	10.35

$T_2=6$

表 3···11

T_1 / T_2 / f / Cv	7	8	9	10	12	15	17	20	25	30	33	40	50	100	300
	6														
0.3	1.03	1.06	1.09	1.11	1.14	1.19	1.22	1.25	1.30	1.33	1.36	1.39	1.44	1.56	1.77
0.4	1.04	1.08	1.11	1.14	1.19	1.25	1.28	1.33	1.39	1.43	1.46	1.51	1.57	1.74	2.01
0.5	1.05	1.10	1.14	1.17	1.23	1.30	1.34	1.39	1.47	1.53	1.57	1.62	1.69	1.92	2.24
0.6	1.06	1.11	1.16	1.20	1.27	1.36	1.40	1.46	1.55	1.62	1.66	1.73	1.81	2.07	2.48
0.7	1.07	1.13	1.18	1.23	1.31	1.40	1.46	1.53	1.64	1.70	1.76	1.83	1.93	2.23	2.70
0.8	1.08	1.14	1.20	1.25	1.34	1.45	1.51	1.60	1.70	1.79	1.84	1.93	2.04	2.38	2.91
0.9	1.09	1.16	1.22	1.28	1.38	1.50	1.57	1.66	1.78	1.88	1.94	2.04	2.15	2.53	3.13
1.0	1.09	1.17	1.23	1.30	1.40	1.54	1.61	1.70	1.85	1.95	2.02	2.12	2.25	2.67	3.32
1.1	1.10	1.18	1.26	1.33	1.44	1.58	1.66	1.77	1.92	2.03	2.11	2.22	2.37	2.83	3.56
1.2	1.11	1.20	1.28	1.36	1.48	1.63	1.72	1.83	2.00	2.12	2.19	2.32	2.48	2.98	3.76
1.3	1.11	1.21	1.29	1.37	1.50	1.67	1.76	1.88	2.06	2.19	2.27	2.40	2.57	3.12	3.96
1.4	1.11	1.22	1.30	1.39	1.53	1.71	1.81	1.94	2.12	2.26	2.35	2.50	2.68	3.26	4.17
1.5	1.12	1.24	1.32	1.41	1.57	1.76	1.86	2.00	2.19	2.35	2.44	2.60	2.79	3.41	4.40
1.6	1.12	1.24	1.33	1.43	1.59	1.80	1.90	2.05	2.25	2.42	2.52	2.69	2.89	3.54	4.60
1.7	1.13	1.25	1.35	1.45	1.62	1.83	1.95	2.10	2.32	2.49	2.59	2.78	2.99	3.68	4.81
1.8	1.14	1.26	1.36	1.46	1.64	1.85	1.98	2.14	2.37	2.55	2.66	2.85	3.08	3.81	5.00
1.9	1.14	1.27	1.38	1.49	1.67	1.91	2.04	2.21	2.44	2.64	2.75	2.95	3.20	3.97	5.23
2.0	1.15	1.29	1.40	1.52	1.71	1.96	2.09	2.28	2.53	2.73	2.86	3.07	3.33	4.14	5.49
2.1	1.16	1.30	1.43	1.55	1.75	2.01	2.16	2.35	2.61	2.84	2.97	3.20	3.46	4.36	5.80
2.2	1.16	1.33	1.44	1.56	1.78	2.05	2.20	2.39	2.67	2.90	3.04	3.27	3.55	4.47	5.95
2.3	1.17	1.33	1.46	1.58	1.80	2.09	2.25	2.46	2.74	2.99	3.13	3.37	3.67	4.65	6.22
2.4	1.17	1.33	1.46	1.60	1.83	2.13	2.28	2.50	2.79	3.05	3.19	3.45	3.76	4.75	6.39
2.5	1.17	1.34	1.49	1.63	1.85	2.17	2.34	2.56	2.88	3.13	3.30	3.56	3.90	4.95	6.69
2.6	1.18	1.37	1.51	1.65	1.89	2.22	2.39	2.62	2.94	3.21	3.38	3.66	4.01	5.11	6.91
2.7	1.19	1.37	1.54	1.68	1.94	2.28	2.46	2.71	3.05	3.33	3.51	3.81	4.17	5.34	7.26
2.8	1.19	1.38	1.55	1.70	1.97	2.31	2.51	2.77	3.11	3.41	3.60	3.90	4.28	5.50	7.50
2.9	1.20	1.39	1.57	1.73	2.01	2.36	2.56	2.83	3.19	3.50	3.70	4.01	4.43	5.69	7.76
3.0	1.21	1.41	1.60	1.77	2.05	2.43	2.53	2.92	3.29	3.62	3.82	4.16	4.58	5.91	8.11

$T_2=7$

表 3--12

T_1 / T_2 / Cv \ f	8	9	10	12	15	17	20	25	30	33	40	50	100	300
	7													
0.3	1.03	1.05	1.08	1.11	1.15	1.18	1.22	1.26	1.29	1.32	1.35	1.39	1.52	1.72
0.4	1.04	1.06	1.09	1.14	1.20	1.23	1.27	1.33	1.37	1.40	1.44	1.50	1.66	1.93
0.5	1.05	1.08	1.11	1.17	1.24	1.28	1.33	1.40	1.46	1.50	1.55	1.61	1.83	2.13
0.6	1.05	1.10	1.13	1.20	1.28	1.32	1.38	1.46	1.53	1.56	1.63	1.71	1.95	2.34
0.7	1.05	1.10	1.15	1.22	1.31	1.37	1.43	1.53	1.59	1.64	1.71	1.80	2.08	2.52
0.8	1.06	1.12	1.17	1.25	1.35	1.40	1.49	1.59	1.67	1.71	1.80	1.90	2.22	2.71
0.9	1.07	1.13	1.18	1.27	1.38	1.44	1.52	1.64	1.72	1.78	1.87	1.98	2.33	2.87
1.0	1.07	1.13	1.19	1.29	1.41	1.48	1.56	1.69	1.79	1.85	1.94	2.06	2.45	3.05
1.1	1.08	1.15	1.21	1.31	1.44	1.51	1.61	1.75	1.85	1.92	2.02	2.15	2.57	3.23
1.2	1.09	1.16	1.23	1.33	1.48	1.55	1.65	1.80	1.91	1.98	2.10	2.24	2.69	3.40
1.3	1.09	1.16	1.24	1.36	1.51	1.59	1.70	1.86	1.98	2.05	2.18	2.33	2.82	3.59
1.4	1.10	1.17	1.25	1.38	1.54	1.63	1.75	1.91	2.04	2.11	2.24	2.41	2.93	3.75
1.5	1.10	1.18	1.26	1.40	1.57	1.66	1.78	1.95	2.09	2.17	2.31	2.48	3.03	3.91
1.6	1.11	1.19	1.28	1.42	1.60	1.70	1.83	2.01	2.16	2.24	2.39	2.58	3.16	4.11
1.7	1.11	1.20	1.29	1.44	1.62	1.73	1.86	2.05	2.21	2.30	2.46	2.65	3.26	4.27
1.8	1.11	1.20	1.29	1.45	1.65	1.75	1.89	2.09	2.25	2.34	2.51	2.71	3.36	4.41
1.9	1.12	1.21	1.31	1.47	1.68	1.79	1.94	2.15	2.32	2.42	2.59	2.81	3.49	4.60
2.0	1.12	1.22	1.32	1.49	1.71	1.83	1.99	2.21	2.39	2.50	2.68	2.90	3.62	4.79
2.1	1.12	1.23	1.34	1.51	1.74	1.86	2.03	2.26	2.45	2.56	2.76	2.99	3.76	5.00
2.2	1.13	1.24	1.35	1.53	1.77	1.89	2.06	2.30	2.50	2.62	2.82	3.06	3.86	5.14
2.3	1.14	1.25	1.36	1.55	1.79	1.92	2.11	2.35	2.56	2.68	2.89	3.15	3.98	5.32
2.4	1.14	1.25	1.37	1.56	1.82	1.95	2.14	2.39	2.60	2.73	2.95	3.22	4.07	5.47
2.5	1.15	1.27	1.39	1.59	1.85	2.00	2.19	2.45	2.67	2.81	3.04	3.33	4.22	5.70
2.6	1.16	1.28	1.40	1.61	1.88	2.02	2.22	2.49	2.72	2.87	3.11	3.40	4.33	5.86
2.7	1.16	1.29	1.41	1.63	1.92	2.07	2.28	2.56	2.80	2.95	3.20	3.51	4.50	6.11
2.8	1.16	1.30	1.42	1.65	1.93	2.10	2.31	2.60	2.85	3.01	3.26	3.59	4.61	6.27
2.9	1.16	1.31	1.44	1.67	1.97	2.13	2.36	2.66	2.91	3.08	3.35	3.69	4.74	6.48
3.0	1.17	1.32	1.46	1.70	2.01	2.18	2.41	2.73	2.99	3.16	3.44	3.79	4.88	6.71

$T_2=8$

表 3－13

Cv	T_1 / T_2 / f	9	10	12	15	17	20	25	30	33	40	50	100	390
		8												
0.3		1.02	1.04	1.07	1.12	1.15	1.18	1.22	1.25	1.28	1.31	1.35	1.47	1.67
0.4		1.03	1.06	1.10	1.16	1.19	1.23	1.28	1.32	1.35	1.39	1.45	1.61	1.86
0.5		1.03	1.06	1.12	1.19	1.23	1.27	1.34	1.39	1.43	1.47	1.54	1.75	2.04
0.6		1.04	1.08	1.14	1.22	1.26	1.31	1.39	1.45	1.49	1.55	1.63	1.86	2.22
0.7		1.05	1.09	1.16	1.24	1.29	1.36	1.45	1.51	1.56	1.62	1.71	1.98	2.39
0.8		1.05	1.10	1.17	1.27	1.32	1.40	1.49	1.57	1.61	1.69	1.78	2.09	2.55
0.9		1.06	1.11	1.19	1.30	1.35	1.43	1.53	1.62	1.67	1.75	1.86	2.18	2.69
1.0		1.05	1.11	1.20	1.31	1.37	1.46	1.58	1.66	1.72	1.81	1.92	2.28	2.84
1.1		1.06	1.12	1.22	1.34	1.41	1.50	1.63	1.72	1.78	1.88	2.00	2.39	3.01
1.2		1.06	1.12	1.23	1.36	1.43	1.52	1.66	1.76	1.82	1.93	2.06	2.47	3.13
1.3		1.06	1.13	1.24	1.38	1.46	1.56	1.70	1.81	1.87	1.99	2.13	2.58	3.28
1.4		1.07	1.14	1.26	1.40	1.48	1.59	1.74	1.86	1.93	2.05	2.20	2.67	3.42
1.5		1.07	1.14	1.26	1.42	1.50	1.62	1.77	1.90	1.97	2.10	2.25	2.75	3.55
1.6		1.07	1.15	1.28	1.44	1.53	1.65	1.81	1.94	2.02	2.16	2.32	2.85	3.70
1.7		1.08	1.16	1.30	1.46	1.56	1.68	1.85	1.99	2.07	2.22	2.39	2.94	3.84
1.8		1.09	1.17	1.31	1.49	1.58	1.71	1.89	2.03	2.12	2.27	2.45	3.03	3.98
1.9		1.09	1.17	1.32	1.50	1.60	1.73	1.92	2.08	2.16	2.32	2.52	3.12	4.12
2.0		1.09	1.18	1.33	1.52	1.63	1.77	1.97	2.12	2.22	2.39	2.59	3.22	4.27
2.1		1.10	1.19	1.34	1.55	1.66	1.80	2.01	2.18	2.28	2.45	2.66	3.34	4.45
2.2		1.10	1.19	1.35	1.56	1.67	1.82	2.03	2.20	2.31	2.48	2.70	3.40	4.53
2.3		1.10	1.20	1.36	1.58	1.69	1.85	2.07	2.25	2.36	2.55	2.77	3.50	4.69
2.4		1.10	1.20	1.37	1.60	1.72	1.88	2.10	2.29	2.40	2.59	2.83	3.58	4.81
2.5		1.11	1.21	1.38	1.62	1.74	1.91	2.14	2.33	2.45	2.65	2.90	3.68	4.98
2.6		1.11	1.21	1.39	1.62	1.75	1.92	2.15	2.35	2.48	2.68	2.93	3.74	5.06
2.7		1.12	1.22	1.41	1.66	1.79	1.98	2.22	2.43	2.56	2.77	3.04	3.89	5.29
2.8		1.12	1.23	1.43	1.68	1.82	2.01	2.26	2.47	2.61	2.83	3.11	3.99	5.43
2.9		1.12	1.24	1.44	1.70	1.84	2.03	2.29	2.51	2.65	2.88	3.17	4.07	5.57
3.0		1.13	1.25	1.45	1.72	1.86	2.06	2.33	2.56	2.71	2.95	3.24	4.17	5.74

$T_2=9、10$

表 3 -14

T_1 / T_2 / C_V / f	10	12	15	17	20	25	30	33	40	50	100	300	12	15	17	20	25	30	33	40	50	100	300
	9												10										
0.3	1.02	1.05	1.09	1.12	1.15	1.20	1.23	1.25	1.28	1.32	1.44	1.63	1.03	1.07	1.10	1.13	1.17	1.20	1.22	1.25	1.29	1.41	1.59
0.4	1.03	1.07	1.13	1.15	1.20	1.25	1.29	1.32	1.36	1.41	1.57	1.81	1.04	1.10	1.12	1.16	1.22	1.25	1.28	1.32	1.37	1.52	1.76
0.5	1.03	1.09	1.15	1.19	1.23	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.70	1.98	1.05	1.11	1.15	1.19	1.26	1.31	1.34	1.39	1.45	1.64	1.92
0.6	1.03	1.09	1.17	1.21	1.26	1.34	1.39	1.43	1.49	1.56	1.78	2.13	1.06	1.13	1.17	1.22	1.29	1.35	1.38	1.44	1.51	1.72	2.06
0.7	1.04	1.11	1.19	1.24	1.30	1.39	1.44	1.49	1.55	1.64	1.89	2.29	1.06	1.14	1.19	1.24	1.33	1.39	1.43	1.49	1.57	1.81	2.19
0.8	1.04	1.11	1.20	1.25	1.33	1.42	1.49	1.53	1.61	1.69	1.98	2.42	1.07	1.16	1.21	1.27	1.36	1.43	1.47	1.54	1.63	1.90	2.32
0.9	1.05	1.12	1.23	1.28	1.35	1.45	1.53	1.58	1.66	1.76	2.07	2.55	1.07	1.17	1.22	1.29	1.39	1.46	1.51	1.58	1.68	1.97	2.43
1.0	1.05	1.14	1.25	1.30	1.38	1.50	1.58	1.64	1.72	1.82	2.16	2.70	1.08	1.18	1.24	1.31	1.42	1.50	1.55	1.63	1.73	2.05	2.56
1.1	1.05	1.14	1.26	1.32	1.41	1.53	1.61	1.67	1.77	1.88	2.24	2.82	1.09	1.20	1.25	1.34	1.45	1.53	1.59	1.68	1.79	2.13	2.68
1.2	1.06	1.15	1.28	1.34	1.43	1.56	1.66	1.72	1.82	1.94	2.33	2.94	1.09	1.21	1.27	1.35	1.47	1.56	1.62	1.71	1.83	2.20	2.78
1.3	1.06	1.17	1.30	1.37	1.46	1.60	1.70	1.76	1.87	2.00	2.42	3.08	1.10	1.22	1.29	1.37	1.50	1.60	1.65	1.76	1.88	2.27	2.90
1.4	1.07	1.17	1.31	1.39	1.49	1.63	1.73	1.80	1.92	2.05	2.50	3.20	1.10	1.23	1.30	1.40	1.53	1.63	1.69	1.80	1.93	2.34	3.00
1.5	1.07	1.18	1.33	1.41	1.51	1.66	1.77	1.84	1.96	2.11	2.58	3.32	1.11	1.25	1.32	1.42	1.55	1.66	1.73	1.84	1.98	2.41	3.11
1.6	1.07	1.19	1.34	1.42	1.54	1.69	1.81	1.89	2.01	2.16	2.66	3.45	1.11	1.26	1.33	1.43	1.57	1.69	1.76	1.87	2.02	2.47	3.22
1.7	1.07	1.20	1.36	1.44	1.56	1.72	1.84	1.92	2.05	2.21	2.72	3.56	1.12	1.26	1.34	1.45	1.60	1.72	1.79	1.91	2.06	2.53	3.31
1.8	1.08	1.20	1.37	1.45	1.57	1.74	1.87	1.95	2.09	2.26	2.80	3.67	1.12	1.27	1.35	1.46	1.62	1.74	1.82	1.95	2.10	2.60	3.41
1.9	1.08	1.21	1.38	1.47	1.60	1.77	1.91	2.00	2.14	2.32	2.87	3.79	1.12	1.28	1.37	1.48	1.64	1.77	1.85	1.98	2.14	2.66	3.51
2.0	1.08	1.22	1.40	1.49	1.63	1.80	1.95	2.04	2.19	2.38	2.96	3.92	1.12	1.29	1.38	1.50	1.66	1.80	1.88	2.02	2.19	2.73	3.61
2.1	1.08	1.23	1.41	1.51	1.65	1.83	1.99	2.08	2.24	2.43	3.05	4.07	1.13	1.30	1.40	1.52	1.69	1.83	1.92	2.07	2.24	2.81	3.74
2.2	1.09	1.23	1.42	1.53	1.66	1.85	2.01	2.11	2.27	2.46	3.10	4.14	1.14	1.31	1.40	1.53	1.70	1.85	1.94	2.09	2.27	2.86	3.81
2.3	1.09	1.24	1.43	1.54	1.68	1.88	2.05	2.14	2.31	2.52	3.19	4.27	1.14	1.32	1.42	1.55	1.73	1.88	1.97	2.13	2.32	2.92	3.92
2.4	1.09	1.25	1.45	1.56	1.71	1.91	2.08	2.18	2.36	2.57	3.25	4.36	1.14	1.33	1.43	1.56	1.74	1.90	1.99	2.15	2.35	2.97	3.98
2.5	1.09	1.25	1.46	1.57	1.72	1.93	2.10	2.21	2.39	2.62	3.32	4.47	1.14	1.33	1.43	1.57	1.77	1.92	2.03	2.19	2.40	3.04	4.10
2.6	1.09	1.26	1.47	1.58	1.74	1.95	2.13	2.25	2.43	2.66	3.38	4.57	1.15	1.34	1.45	1.59	1.78	1.95	2.05	2.22	2.43	3.10	4.18
2.7	1.09	1.26	1.48	1.60	1.76	1.98	2.16	2.28	2.47	2.71	3.46	4.72	1.15	1.35	1.46	1.61	1.81	1.98	2.09	2.26	2.48	3.17	4.32
2.8	1.10	1.27	1.49	1.62	1.79	2.01	2.20	2.32	2.52	2.77	3.55	4.83	1.16	1.36	1.47	1.62	1.83	2.00	2.11	2.29	2.52	3.23	4.40
2.9	1.10	1.28	1.51	1.63	1.80	2.04	2.23	2.36	2.56	2.82	3.62	4.96	1.16	1.37	1.48	1.63	1.85	2.20	2.14	2.32	2.56	3.28	4.49
3.0	1.11	1.29	1.52	1.65	1.83	2.06	2.27	2.39	2.61	2.87	3.70	5.08	1.16	1.37	1.49	1.65	1.87	2.05	2.16	2.36	2.60	3.34	4.60

T_2=12、15　　表 3--15

C_V	T_1 / T_2 / f	15	17	20	25	30	33	40	50	100	300	17	20	25	30	33	40	50	100	300
		12										15								
	0.3	1.04	1.07	1.10	1.14	1.17	1.19	1.22	1.26	1.37	1.55	1.03	1.05	1.09	1.12	1.14	1.17	1.21	1.31	1.49
	0.4	1.05	1.08	1.11	1.16	1.20	1.22	1.26	1.31	1.46	1.69	1.03	1.06	1.11	1.14	1.17	1.20	1.25	1.39	1.61
	0.5	1.06	1.09	1.13	1.19	1.24	1.27	1.31	1.37	1.56	1.82	1.03	1.07	1.13	1.17	1.20	1.24	1.30	1.47	1.72
	0.6	1.07	1.10	1.15	1.22	1.28	1.31	1.36	1.43	1.63	1.95	1.03	1.08	1.14	1.19	1.22	1.27	1.34	1.52	1.83
	0.7	1.07	1.12	1.17	1.25	1.30	1.34	1.40	1.48	1.71	2.06	1.04	1.09	1.16	1.21	1.25	1.30	1.37	1.59	1.92
	0.8	1.08	1.13	1.19	1.28	1.34	1.38	1.44	1.52	1.78	2.17	1.04	1.10	1.18	1.24	1.27	1.33	1.41	1.64	2.01
	0.9	1.09	1.14	1.20	1.29	1.36	1.40	1.48	1.56	1.84	2.27	1.04	1.10	1.19	1.25	1.29	1.35	1.43	1.69	2.08
	1.0	1.10	1.15	1.21	1.32	1.39	1.44	1.51	1.60	1.90	2.37	1.04	1.11	1.20	1.27	1.31	1.38	1.46	1.73	2.16
	1.1	1.10	1.15	1.23	1.33	1.41	1.46	1.54	1.64	1.96	2.47	1.05	1.12	1.21	1.28	1.33	1.40	1.49	1.78	2.24
	1.2	1.11	1.16	1.24	1.35	1.43	1.49	1.57	1.68	2.01	2.54	1.05	1.12	1.22	1.29	1.34	1.42	1.52	1.82	2.30
	1.3	1.11	1.17	1.25	1.37	1.45	1.51	1.60	1.71	2.07	2.63	1.05	1.13	1.23	1.31	1.35	1.44	1.54	1.86	2.37
	1.4	1.12	1.18	1.27	1.39	1.48	1.53	1.63	1.75	2.13	2.72	1.06	1.13	1.24	1.33	1.37	1.46	1.57	1.91	2.41
	1.5	1.12	1.19	1.28	1.40	1.50	1.56	1.66	1.78	2.17	2.81	1.06	1.14	1.25	1.33	1.38	1.48	1.59	1.94	2.50
	1.6	1.13	1.20	1.29	1.42	1.52	1.58	1.69	1.81	2.23	2.89	1.06	1.14	1.25	1.35	1.40	1.50	1.61	1.97	2.56
	1.7	1.13	1.20	1.30	1.43	1.54	1.60	1.71	1.84	2.27	2.96	1.06	1.15	1.26	1.36	1.41	1.51	1.63	2.01	2.63
	1.8	1.14	1.21	1.31	1.44	1.55	1.62	1.74	1.88	2.32	3.05	1.06	1.15	1.27	1.37	1.42	1.53	1.65	2.04	2.69
	1.9	1.14	1.22	1.32	1.46	1.58	1.64	1.77	1.91	2.37	3.12	1.07	1.16	1.28	1.38	1.44	1.55	1.68	2.08	2.74
	2.0	1.15	1.23	1.33	1.48	1.60	1.67	1.80	1.95	2.43	3.21	1.07	1.16	1.29	1.39	1.46	1.57	1.70	2.11	2.80
	2.1	1.15	1.23	1.34	1.49	1.62	1.70	1.83	1.98	2.49	3.31	1.07	1.17	1.30	1.41	1.48	1.59	1.72	2.16	2.88
	2.2	1.15	1.24	1.35	1.50	1.63	1.71	1.84	1.99	2.52	3.35	1.07	1.17	1.30	1.41	1.48	1.59	1.73	2.18	2.91
	2.3	1.16	1.24	1.36	1.52	1.65	1.73	1.87	2.03	2.57	3.44	1.07	1.17	1.31	1.43	1.50	1.61	1.75	2.22	2.97
	2.4	1.16	1.25	1.37	1.53	1.67	1.75	1.89	2.06	2.60	3.50	1.08	1.18	1.31	1.43	1.50	1.62	1.77	2.24	3.00
	2.5	1.17	1.26	1.38	1.55	1.68	1.77	1.91	2.09	2.66	3.59	1.08	1.18	1.32	1.44	1.52	1.64	1.79	2.28	3.08
	2.6	1.17	1.26	1.39	1.56	1.70	1.79	1.94	2.12	2.70	3.65	1.08	1.18	1.33	1.45	1.53	1.63	1.81	2.30	3.12
	2.7	1.17	1.27	1.40	1.57	1.72	1.81	1.96	2.15	2.75	3.75	1.08	1.19	1.34	1.46	1.54	1.67	1.83	2.34	3.18
	2.8	1.18	1.28	1.41	1.58	1.73	1.83	1.98	2.17	2.79	3.80	1.08	1.20	1.35	1.47	1.55	1.68	1.85	2.38	3.24
	2.9	1.18	1.28	1.41	1.59	1.75	1.84	2.00	2.21	2.83	3.87	1.08	1.20	1.35	1.48	1.56	1.70	1.87	2.40	3.28
	3.0	1.18	1.28	1.42	1.60	1.76	1.86	2.03	2.23	2.88	3.96	1.09	1.20	1.36	1.49	1.57	1.71	1.89	2.43	3.34

$T_2=17、20$

表 3-16

T_1 / T_2 / C_V / f	20	25	30	33	40	50	100	300	25	30	33	40	50	100	300
	17								20						
0.3	1.03	1.06	1.09	1.11	1.14	1.18	1.28	1.45	1.04	1.06	1.08	1.11	1.15	1.25	1.41
0.4	1.04	1.08	1.12	1.14	1.17	1.22	1.35	1.57	1.04	1.08	1.10	1.13	1.18	1.31	1.52
0.5	1.04	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.43	1.67	1.05	1.10	1.13	1.16	1.21	1.38	1.61
0.6	1.04	1.10	1.15	1.18	1.23	1.29	1.47	1.77	1.06	1.10	1.13	1.18	1.24	1.41	1.69
0.7	1.05	1.12	1.17	1.20	1.25	1.32	1.53	1.85	1.07	1.11	1.15	1.20	1.26	1.46	1.76
0.8	1.06	1.13	1.19	1.22	1.28	1.35	1.58	1.93	1.07	1.12	1.15	1.21	1.28	1.49	1.82
0.9	1.06	1.14	1.19	1.23	1.30	1.37	1.62	1.99	1.08	1.13	1.17	1.23	1.30	1.53	1.89
1.0	1.06	1.15	1.21	1.25	1.32	1.40	1.66	2.07	1.08	1.14	1.18	1.24	1.32	1.57	1.95
1.1	1.07	1.16	1.22	1.27	1.34	1.42	1.70	2.14	1.08	1.15	1.19	1.25	1.33	1.59	2.01
1.2	1.07	1.16	1.23	1.28	1.35	1.44	1.73	2.19	1.09	1.15	1.20	1.27	1.35	1.62	2.05
1.3	1.07	1.17	1.24	1.29	1.37	1.46	1.77	2.25	1.09	1.16	1.20	1.28	1.37	1.66	2.11
1.4	1.07	1.18	1.25	1.30	1.38	1.48	1.80	2.31	1.09	1.17	1.21	1.29	1.38	1.68	2.15
1.5	1.08	1.18	1.26	1.31	1.40	1.50	1.83	2.36	1.10	1.18	1.22	1.30	1.40	1.71	2.20
1.6	1.08	1.18	1.27	1.32	1.41	1.52	1.85	2.42	1.10	1.18	1.23	1.31	1.41	1.73	2.25
1.7	1.08	1.19	1.28	1.33	1.42	1.53	1.88	2.46	1.10	1.18	1.23	1.32	1.42	1.75	2.29
1.8	1.08	1.20	1.29	1.34	1.44	1.55	1.92	2.53	1.11	1.19	1.24	1.33	1.44	1.77	2.33
1.9	1.08	1.20	1.29	1.35	1.45	1.57	1.96	2.57	1.11	1.19	1.25	1.34	1.45	1.80	2.37
2.0	1.09	1.21	1.30	1.36	1.47	1.59	1.98	2.62	1.11	1.20	1.25	1.35	1.46	1.82	2.41
2.1	1.09	1.21	1.31	1.37	1.48	1.60	2.02	2.69	1.11	1.21	1.26	1.36	1.47	1.86	2.47
2.2	1.09	1.22	1.32	1.38	1.49	1.62	2.04	2.71	1.12	1.21	1.27	1.37	1.48	1.87	2.49
2.3	1.09	1.22	1.33	1.39	1.50	1.63	2.07	2.77	1.12	1.21	1.27	1.38	1.49	1.89	2.53
2.4	1.09	1.22	1.33	1.40	1.51	1.64	2.08	2.80	1.12	1.22	1.28	1.38	1.50	1.90	2.56
2.5	1.10	1.23	1.34	1.41	1.52	1.67	2.11	2.86	1.12	1.22	1.29	1.39	1.52	1.93	2.60
2.6	1.10	1.24	1.35	1.42	1.53	1.68	2.14	2.89	1.12	1.23	1.29	1.40	1.53	1.95	2.63
2.7	1.10	1.24	1.35	1.43	1.54	1.70	2.17	2.95	1.12	1.23	1.29	1.40	1.54	1.97	2.68
2.8	1.10	1.24	1.36	1.43	1.55	1.71	2.19	2.98	1.13	1.24	1.30	1.41	1.55	1.99	2.71
2.9	1.10	1.25	1.37	1.44	1.57	1.73	2.22	3.04	1.13	1.24	1.31	1.42	1.56	2.01	2.75
3.0	1.11	1.25	1.37	1.45	1.58	1.74	2.24	3.08	1.13	1.24	1.31	1.43	1.57	2.03	2.78

T_2=25、30、33、40、50、100　　表 3…17

T_1 / T_2 / Cv \ f	30	33	40	50	100	300	33	40	50	100	300	40	50	100	300	50	100	300	100	300	300
	25						30					33				40			50		100
0.3	1.02	1.04	1.07	1.10	1.20	1.36	1.02	1.04	1.08	1.17	1.33	1.02	1.06	1.15	1.30	1.03	1.13	1.27	1.09	1.23	1.13
0.4	1.03	1.05	1.09	1.13	1.25	1.45	1.02	1.05	1.09	1.21	1.41	1.03	1.07	1.19	1.38	1.04	1.15	1.34	1.11	1.29	1.16
0.5	1.04	1.07	1.10	1.15	1.30	1.52	1.03	1.06	1.10	1.26	1.47	1.03	1.08	1.22	1.43	1.04	1.19	1.38	1.11	1.32	1.16
0.6	1.04	1.07	1.11	1.17	1.33	1.60	1.03	1.07	1.12	1.28	1.58	1.04	1.09	1.25	1.50	1.05	1.20	1.43	1.14	1.37	1.20
0.7	1.04	1.07	1.12	1.18	1.36	1.65	1.03	1.07	1.13	1.31	1.59	1.04	1.10	1.27	1.53	1.05	1.22	1.47	1.15	1.10	1.24
0.8	1.05	1.08	1.13	1.19	1.40	1.70	1.03	1.08	1.14	1.33	1.62	1.05	1.10	1.29	1.58	1.05	1.23	1.50	1.17	1.13	1.22
0.9	1.05	1.09	1.14	1.21	1.42	1.75	1.03	1.09	1.15	1.35	1.67	1.05	1.11	1.31	1.61	1.06	1.25	1.54	1.17	1.15	1.23
1.0	1.05	1.09	1.15	1.22	1.45	1.80	1.04	1.09	1.16	1.37	1.71	1.05	1.11	1.33	1.65	1.06	1.26	1.57	1.19	1.18	1.24
1.1	1.06	1.10	1.16	1.23	1.47	1.85	1.04	1.09	1.17	1.39	1.75	1.06	1.13	1.35	1.69	1.07	1.27	1.60	1.19	1.50	1.26
1.2	1.06	1.10	1.17	1.24	1.49	1.89	1.04	1.10	1.17	1.40	1.78	1.06	1.13	1.36	1.71	1.07	1.28	1.62	1.20	1.52	1.26
1.3	1.06	1.10	1.17	1.25	1.51	1.93	1.04	1.10	1.18	1.42	1.81	1.06	1.14	1.38	1.77	1.07	1.29	1.65	1.21	1.51	1.27
1.4	1.07	1.11	1.18	1.26	1.53	1.97	1.04	1.11	1.19	1.44	1.85	1.06	1.14	1.40	1.78	1.07	1.30	1.67	1.22	1.56	1.28
1.5	1.07	1.11	1.18	1.27	1.55	2.00	1.04	1.11	1.19	1.45	1.87	1.07	1.15	1.40	1.80	1.08	1.31	1.69	1.22	1.58	1.29
1.6	1.07	1.12	1.19	1.28	1.57	2.04	1.04	1.11	1.19	1.46	1.90	1.07	1.15	1.41	1.83	1.08	1.32	1.71	1.23	1.59	1.30
1.7	1.07	1.12	1.20	1.28	1.59	2.07	1.04	1.11	1.20	1.47	1.93	1.07	1.15	1.42	1.85	1.08	1.33	1.73	1.23	1.61	1.31
1.8	1.08	1.12	1.20	1.30	1.60	2.11	1.04	1.12	1.21	1.49	1.96	1.07	1.16	1.43	1.88	1.08	1.34	1.75	1.24	1.63	1.31
1.9	1.08	1.13	1.21	1.31	1.62	2.14	1.04	1.12	1.21	1.50	1.98	1.07	1.16	1.44	1.90	1.08	1.34	1.77	1.24	1.64	1.32
2.0	1.08	1.13	1.21	1.32	1.64	2.17	1.05	1.12	1.22	1.52	2.01	1.08	1.17	1.45	1.92	1.08	1.35	1.79	1.25	1.65	1.33
2.1	1.09	1.13	1.22	1.32	1.66	2.22	1.05	1.13	1.22	1.54	2.04	1.08	1.17	1.47	1.95	1.08	1.37	1.81	1.26	1.67	1.33
2.2	1.09	1.14	1.22	1.33	1.68	2.23	1.05	1.13	1.23	1.54	2.05	1.08	1.17	1.48	1.96	1.08	1.37	1.82	1.26	1.68	1.33
2.3	1.09	1.14	1.23	1.34	1.70	2.27	1.05	1.13	1.23	1.55	2.08	1.08	1.17	1.49	1.99	1.09	1.38	1.84	1.26	1.69	1.34
2.4	1.09	1.14	1.23	1.35	1.70	2.29	1.05	1.13	1.23	1.56	2.10	1.08	1.18	1.49	2.00	1.09	1.38	1.85	1.27	1.70	1.34
2.5	1.09	1.15	1.24	1.36	1.72	2.32	1.05	1.14	1.24	1.58	2.13	1.08	1.18	1.50	2.02	1.10	1.39	1.88	1.27	1.71	1.35
2.6	1.09	1.15	1.25	1.36	1.74	2.35	1.05	1.14	1.25	1.59	2.15	1.08	1.18	1.51	2.04	1.10	1.39	1.89	1.27	1.72	1.35
2.7	1.09	1.15	1.25	1.37	1.75	2.38	1.05	1.15	1.26	1.60	2.18	1.09	1.19	1.52	2.07	1.10	1.40	1.91	1.28	1.74	1.36
2.8	1.10	1.16	1.25	1.38	1.77	2.41	1.06	1.15	1.26	1.61	2.20	1.09	1.19	1.53	2.08	1.10	1.41	1.92	1.28	1.75	1.36
2.9	1.10	1.16	1.26	1.39	1.78	2.44	1.06	1.15	1.27	1.62	2.22	1.09	1.20	1.54	2.10	1.10	1.42	1.93	1.28	1.76	1.37
3.0	1.10	1.16	1.26	1.39	1.79	2.46	1.06	1.15	1.27	1.63	2.24	1.09	1.20	1.55	2.12	1.10	1.42	1.95	1.29	1.77	1.37

当 C_S 为平均数时皮尔逊Ⅲ型曲线纵坐标 K_P 表　表 3—18

C_V \ $P\%$	C_S	0.33	1	2	2.5	3	3.3	4	5	5.88	6.67
	T	300	100	50	40	33	30	25	20	17	15
0.3	1.35	2.23	1.97	1.81	1.75	1.71	1.68	1.64	1.58	1.54	1.50
0.4	1.50	2.70	2.33	2.10	2.02	1.96	1.92	1.86	1.78	1.72	1.68
0.5	1.63	3.18	2.70	2.40	2.30	2.23	2.17	2.09	1.98	1.91	1.85
0.6	1.75	3.69	3.08	2.70	2.57	2.47	2.41	2.31	2.18	2.09	2.02
0.7	1.87	4.21	3.48	3.01	2.86	2.74	2.66	2.55	2.39	2.28	2.19
0.8	1.97	4.74	3.88	3.32	3.15	3.00	2.92	2.78	2.60	2.46	2.36
0.9	2.07	5.28	4.28	3.64	3.44	3.27	3.17	3.01	2.80	2.65	2.54
1.0	2.17	5.85	4.70	3.96	3.73	3.55	3.43	3.25	3.00	2.83	2.71
1.1	2.28	6.44	5.12	4.29	4.02	3.81	3.68	3.48	3.21	3.01	2.87
1.2	2.35	7.00	5.54	4.61	4.32	4.08	3.94	3.71	3.41	3.20	3.04
1.3	2.46	7.61	5.98	4.94	4.62	4.35	4.20	3.95	3.61	3.38	3.21
1.4	2.55	8.22	6.42	5.28	4.92	4.63	4.46	4.18	3.82	3.56	3.37
1.5	2.63	8.84	6.85	5.61	5.22	4.90	4.72	4.41	4.02	3.74	3.54
1.6	2.72	9.48	7.30	5.95	5.93	5.18	4.98	4.64	4.22	3.92	3.70
1.7	2.79	10.10	7.73	6.28	5.83	5.45	5.24	4.87	4.42	4.10	3.85
1.8	2.86	10.74	8.19	6.62	6.13	5.72	5.49	5.10	4.61	4.26	4.01
1.9	2.94	11.40	8.65	6.97	6.44	6.00	5.75	5.33	4.81	4.44	4.16
2.0	3.04	12.08	9.11	7.32	6.75	6.28	6.01	5.56	5.01	4.61	4.31
2.1	3.15	12.80	9.62	7.65	7.06	6.56	6.27	5.78	5.19	4.77	4.45
2.2	3.19	13.40	10.06	7.98	7.35	6.83	6.52	6.00	5.38	4.94	4.61
2.3	3.27	14.11	10.54	8.34	7.66	7.10	6.78	6.22	5.58	5.10	4.75
2.4	3.31	14.75	10.98	8.68	7.96	7.37	7.03	6.45	5.77	5.27	4.91
2.5	3.40	15.50	11.49	9.05	8.26	7.65	7.27	6.68	5.95	5.43	5.04
2.6	3.46	16.17	11.94	9.38	8.57	7.92	7.52	6.89	6.14	5.59	5.18
2.7	3.56	16.92	12.44	9.73	8.87	8.18	7.76	7.10	6.32	5.74	5.31
2.8	3.61	17.60	12.92	10.07	9.16	8.45	8.01	7.31	6.50	5.90	5.44
2.9	3.68	18.32	13.40	10.43	9.47	8.72	8.25	7.53	6.67	6.04	5.58
3.0	3.75	19.06	13.89	10.77	9.77	9.98	8.50	7.74	6.85	6.19	5.70

续上表

C_V \ C_S \ T \ $P\%$		8.34	10	11.1	12.5	14.3	16.6	20	25	30	50
		12	10	9	8	7	6	5	4	3.3	2.1
0.3	1.35	1.44	1.40	1.37	1.34	1.30	1.26	1.21	1.15	1.09	0.93
0.4	1.50	1.60	1.53	1.49	1.45	1.40	1.34	1.28	1.19	1.12	0.90
0.5	1.63	1.75	1.66	1.61	1.56	1.49	1.42	1.34	1.23	1.14	0.87
0.6	1.75	1.89	1.79	1.73	1.66	1.58	1.49	1.39	1.26	1.15	0.83
0.7	1.87	2.04	1.92	1.84	1.76	1.67	1.56	1.44	1.29	1.15	0.80
0.8	1.97	2.18	2.04	1.96	1.86	1.75	1.63	1.49	1.31	1.16	0.76
0.9	2.07	2.33	2.17	2.07	1.96	1.84	1.69	1.54	1.33	1.17	0.72
1.0	2.17	2.47	2.29	2.17	2.06	1.92	1.76	1.58	1.35	1.17	0.67
1.1	2.28	2.61	2.40	2.28	2.14	1.99	1.81	1.62	1.36	1.17	0.63
1.2	2.35	2.75	2.52	2.38	2.24	2.06	1.86	1.66	1.38	1.17	0.58
1.3	2.46	2.89	2.63	2.47	2.32	2.12	1.92	1.69	1.39	1.16	0.56
1.4	2.55	3.02	2.74	2.57	2.40	2.19	1.97	1.72	1.39	1.14	0.49
1.5	2.63	3.15	2.84	2.66	2.49	2.26	2.01	1.75	1.39	1.14	0.44
1.6	2.72	3.28	2.95	2.75	2.56	2.31	2.06	1.77	1.40	1.13	0.39
1.7	2.79	3.41	3.05	2.84	2.63	2.37	2.10	1.80	1.40	1.12	0.35
1.8	2.86	3.53	3.15	2.93	2.70	2.44	2.15	1.82	1.40	1.09	0.30
1.9	2.94	3.65	3.25	3.01	2.77	2.48	2.18	1.84	1.38	1.06	0.26
2.0	3.04	3.76	3.34	3.08	2.83	2.52	2.20	1.84	1.36	1.04	0.21
2.1	3.15	3.87	3.42	3.15	2.88	2.56	2.21	1.84	1.34	1.00	0.16
2.2	3.19	4.00	3.52	3.24	2.96	2.61	2.25	1.87	1.33	0.98	0.12
2.3	3.27	4.10	3.60	3.31	3.01	2.65	2.27	1.87	1.32	0.96	0.07
2.4	3.31	4.22	3.70	3.38	3.07	2.70	2.31	1.87	1.33	0.95	0.03
2.5	3.40	4.32	3.78	3.46	3.12	2.72	2.32	1.88	1.30	0.9	——
2.6	3.46	4.43	3.86	3.53	3.20	2.76	2.34	1.884	1.29	0.87	——
2.7	3.56	4.52	3.92	3.59	3.20	2.77	2.33	1.86	1.24	0.81	——
2.8	3.61	4.63	4.00	3.64	3.24	2.81	2.35	1.865	1.24	0.80	——
2.9	3.68	4.73	4.08	3.70	3.29	2.83	2.36	1.85	1.20	0.74	——
3.0	3.75	4.82	4.15	3.75	3.32	2.81	2.35	1.84	1.19	0.70	——

注：1. 本表系根据我国长江、黄河、淮河、海河、东南沿海各省的大中河流上，大于15站年的52个水文站的历年实测最大流量，分别计算出该河的 C_V、C_S 及 C_S/C_V 之关系值，并在对数格纸上点绘 $C_V \propto C_S/C_V$ 的关系曲线，最后在该曲线上定出 $C_V \propto C_S$ 的关系值。

2. 根据 C_V、C_S 数值在 $P-\Pi$ 型曲线 ϕ 值表中查出各种频率下的 ϕ 值代入 $K_P=1+C_S\phi$ 式，求出各种 C_V、C_S 和各种频率的 K_P 值。

第二节　泥石流流速计算

泥石流流速是泥石流工程设计中的重要数据。其计算方法按泥石流流体性质不同可分为粘性与稀性两大类。

本节推荐的计算公式，是近35年来在铁路和地方有关部门的大量泥石流工程实践中经反复验证修改建立起来的，实践证明，误差较小，实用性较强，有的已列入设计规范。

一、粘性泥石流流速公式

(一)82-1式

$$v_c = K_c \cdot H_c^{2/3} \cdot I_c^{1/5} \tag{3—13}$$

式中　v_c——粘性泥石流流速，m/s；

H_c——泥石流泥深(或泥石流水力半径R_c)，m；

I_c——泥石流流面(或沟底)坡度，‰；

K_c——粘性泥石流流速系数，如表3—19。

粘性泥石流流速系数K_c值　　表3—19

H_c(m)	<2.50	2.75	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	>5.50
Kc	10.0	9.5	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0

本式以西南、西北五条典型粘性泥石流沟的多年观测资料为基础，以成昆、东川线特大粘性泥石流灾害资料为控制，并与成昆线泥石流的十年专项整治相结合，加上数以百计的泥石流工程的实践检验证明，效果较好，无明显差错，可供使用。本式由作者于1982年提出。

(二)粘性泥石流流速西北公式

$$v_c = 45.5 H_c^{1/4} \cdot I_c^{1/5} \tag{3—14}$$

式中符号意义同前。

二、稀性泥石流流速公式

(一)泥石流动力平衡流速公式

公式是假设清水动能与挟砂水流(泥石流)动能相等,按恒定均匀流理论建立的。

$$v_c=\frac{1}{a}\cdot\frac{1}{n}\cdot R_c^{2/3}\cdot I_c^{1/2} \qquad (3—15)$$

式中 $\frac{1}{n}$——清水河槽糙率(用大家熟悉的清水流河床糙率来计算泥石流流速,便于不熟悉泥石流的人工作);

R_c——泥石流水力半径,m;

I_c——泥石流水面(或沟底)坡度,‰;

a——泥石流阻力系数,$a=(\rho_H\phi+1)^{1/2}$;

其中 ϕ——泥石流修正系数;

ρ_H——泥石流固体颗粒密度,kg/m³。

本式理论性较强,使用方便。但实践中发现在大水深、大坡度时流速有偏大现象,这有待于进一步验证和提高。

(二)东川泥石流流速改进式

$$v_c=\frac{m_c}{a}\cdot R_c^{2/3}\cdot I_c^{1/2} \qquad (3—16)$$

式中 m_c——Л·В·巴克诺夫斯基糙率系数,见表 3—20。

其余符号意义同前。

Л·В·巴克诺夫斯基糙率系数(m_c)表 表 3—20

类别	沟槽特征	m_c 值		坡度
		极限值	平均值	
1	糙率最大的泥石流沟槽。沟槽中堆积有难以滚动的棱石或稍能滚动的大石块。沟槽被树木(树干、树枝及树根)严重阻塞,无水生植物。沟底以阶梯式急剧降落	3.9～4.9	4.5	0.375～0.174
2	糙率较大的不平整的泥石流沟槽。沟槽无急剧突起,沟槽内均堆积大小不等的石块。沟槽被树木所阻塞,沟槽内两侧有草本植物,沟床不平整,有洼坑,沟底呈阶梯式降落	4.5～7.9	5.5	0.199～0.067
3	较弱的泥石流沟槽,但有大的阻力。沟槽由滚动的砾石和卵石组成。沟槽常因稠密的灌丛而被严重阻塞,沟槽凹凸不平,表面因大石块而突起	5.4～7.0	6.6	0.187～0.116

续上表

类别	沟槽特征	m_c值		坡度
		极限值	平均值	
4	流域在山区中、下游的泥石流沟槽，沟槽经过光滑的岩面，有时经过具有大小不断的阶梯跌水的沟床。在开阔河段有树枝，砂石停积阻塞，无水生植物	7.7～10.0	8.8	0.220～0.112
5	流域在山区或近山区的河槽，河槽经过砾石、卵石河床，由中、小粒径与能完全滚动的物质所组成，河槽阻塞轻微，河岸有草本及木本植物，河底降落较均匀	9.8～17.5	12.9	0.090～0.022

本式特点是直接用泥石流沟床糙率，适宜于较长期泥石流工作者。但这类公式均因泥石流沟槽形态变化大，稀性泥石流长期观测站又少，其糙率系数的编制精度、描述和选用都存在困难，人为因素影响甚大。因此，采用泥石流糙率的计算公式都有待于进一步的深化、改进和提高。

（三）西北公式

$$v_c=\frac{M_0}{a}\cdot R_c^{2/3}\cdot I_c^{3/8} \qquad (3—17)$$

式中 M_0——未考虑泥石流特征的糙率，铁道部第一勘测设计院推存用 15.5。

其余符号意义同前。

三、弯道泥位超高法

根据弯道处两岸的泥位高差，可以求算弯道处近似的泥石流流速。

$$v_c=\sqrt{\frac{\Delta H_c\cdot r\cdot g}{B_c}} \qquad (3—18)$$

式中 r——弯道中心线曲率半径，m；

ΔH_c——两岸泥位高差，m；

g——重力加速度，m/s²；

B_c——沟槽泥面宽度，m。

此法已在多处泥石流灾害点得到验证。如在1981年7月9日成昆线利子依达泥石流特大灾害的计算中用此法计算的情况与用其他多种方法计算结果相符，有使用价值。使用时注意弯道外侧沟岸的圆滑性与超高值的匹配真实性。

第三节　粗颗粒起动流速计算

粗颗粒石块起动流速计算，是泥石流排导工程设计中必不可少的内容。尤其是稀性泥石流的固体物质呈不等速运动状态，粗粒径的起动速度，有控制性作用。粘性泥石流因呈整体运动，粗颗粒呈悬浮状，起动流速不是控制条件；因此，稀性泥石流排导槽设计流速，必须大于泥石流体中最大石块的起动流速，即 $v_c > v_d$，此时泥石流固体物质不致在槽内产生淤积。反之，$v_c \leqslant v_d$ 时，排导槽就会产生淤积，影响泥石流的排导效果。所以，泥石流粗颗粒起动流速计算，是衡量泥石流排导槽效果的重要指标。

一、经验公式

$$v_d = K \cdot \sqrt{d_c} \qquad (3—19)$$

式中　K——考虑河槽比降、摩阻力、颗粒形状及泥、砂、石密度等的系数。

各家对 K 值的分歧较大。据M·Φ·斯里布内依教授对山区小河进行的研究 K 为5.0。C·M·伏列曼研究 K 在3.5～4.5范围内，平均定为4.0。我国工程界习惯用 K 为5.5。

由于式(3—19)形式简单，使用方便，甚得野外勘测设计者欢迎。结合成昆铁路泥石流整治工程，我们作了比较计算，选取 K 值为5.0较为合适。

如果将颗粒直径 d_c 换为颗粒的质量代入式(3—19)中，由于颗粒的质量与其粒径的三次方成正比，因此，颗粒的质量在其极限平衡状态下，与流速的6次方成正比，这也就是著名的艾里定律。

为方便使用起见，现列表于下，见表(3—21)泥石流粗颗粒起

动流速 v_d 值表。

泥石流粗颗粒起动流速 v_d 值　　表 3—21

d(m)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
v_d(m/s)	2.2	3.2	3.9	4.5	5.0	5.5	5.9	6.3	6.7	7.1
d(m)	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
v_d(m/s)	7.4	7.7	8.1	8.4	8.7	8.9	9.2	9.5	9.7	10.0
d(m)	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0
v_d(m/s)	10.2	10.5	10.7	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2
d(m)	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0
v_d(m/s)	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2

注：表内数字可内插使用。

二、Г·И·沙莫夫起动流速公式

$$v_d = 3.6\sqrt{\frac{\rho_H}{\rho_c} - 1}\, d_c^{1/3} \cdot H_c^{1/6} \qquad (3—20)$$

式中　V_d——泥石流体最大石块起动流速，m/s；

d_c——泥石流体最大石块直径，m；

其余符号意义同前。

第四节　泥石流冲、淤计算

冲和淤既是泥石流的主要活动特征，又是泥石流危害的重要形式。冲、淤计算问题复杂，目前尚缺乏实际资料，无法结合泥石流的特点建立新的公式。只好借用一般常用的清水流冲、淤公式来加以改进，以应急需。但在这类公式中，均系采用平均流速计算冲刷。而泥石流流速的特点，是沿垂线分布的均化程度很高，甚至呈整体运动。即当平均流速一定时，底速则有所增大，由于运动形式和阻力改变，也使平均流速增大。更由於泥石流密度的增加，底砂具有较大的活动性和挟运泥砂的起动流速也有减小。从实际观测和调查分析，泥石流的冲、淤现象是先冲后淤，所以许多建筑物常先遭冲刷，而后又被淤埋，因而实际上决定冲刷的是河底流速。所以冲

刷允许流速包括平均流速与河底流速之间的关系，在泥石流中，由于泥砂的原因，河底流速比相应的清水河底流速要大，因而同一种土壤的冲刷允许流速就应该减小。

按 E·K·拉勃柯夫的资料表明，当 $\rho_c=1200\text{kg/m}^3$ 时，泥石流造成的冲刷深度比"净"水流所造成的冲刷增大 $1.2e^{0.47}=1.9$ 倍。

据 Д·Д·赫尔赫乌利泽的意见，在泥石流沟上计算冲刷时，应减小土壤的冲刷允许流速 20%，即乘 0.8。

拉波卡娃娅则认为根据泥石流的密度 ρ_c，其平均流速应增大 K 倍，如下表 3—22。

泥石流平均流速增大系数 K 值　　表 3—22

$\rho_c(\text{kg/m}^3)$	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200
K	1.27	1.42	1.60	1.73	1.88	2.08	2.30	2.38	2.52	2.70	2.85

综上所述，泥石流冲刷主要取决于底速，因此，泥石流冲刷比相应的清水流冲刷为大。这一问题虽尚未合理解决，有待继续研究。但在目前条件下，为安全起见，在上述诸办法中，建议用后两者办法较为适宜。

一、冲刷计算

（一）桥墩冲刷计算

1. 改进包尔达可夫冲刷公式

(1)减小土壤不冲刷流速 v_H 的办法。

① $$h_m=P\cdot h_c\left(\frac{v_c}{0.8v_H}\right)^n \qquad (3—21)$$

② $$h_B=P\cdot h_c\left[\left(\frac{v_c}{0.8v_H}\right)^n-1\right] \qquad (3—22)$$

(2)根据泥石流密度增大设计流速的办法。

① $$h_m=P\cdot h_c\left(\frac{Kv_c}{v_H}\right)^n \qquad (3—23)$$

② $$h_B=P\cdot h_c\left[\left(\frac{Kv_c}{v_H}\right)^n-1\right] \qquad (3—24)$$

式中 h_m——一般冲刷及局部冲刷之和，m；

h_B——局部冲刷深度，m；

P——冲刷系数，见表 3—24；

h_c——建桥前桥下设计泥深，m；

v_c——泥石流设计流速，m/s；

v_H——土壤不冲刷流速，m/s，见表 3—23；

n——墩台形状指数，见表 3—25；

K——泥石流平均流速增大系数，见表 3—22。

包氏公式土的不冲刷流速 v_H 表(m/s)　　表 3—23

土的种类	淤泥	细砂	砂粘土	粗砂	粘土	砾石	卵石	漂砾
不冲刷流速 v_H	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0

容许冲刷系数 p 值表　　表 3—24

河流类型		冲刷系数	附　注
山区	峡谷段	1～1.2	河谷窄深无滩，岸壁稳定，水位变幅大，桥台不宜伸入河槽，桥孔不宜压缩
	开阔段	1.1～1.4	有河滩，桥孔可适当压缩河滩部分断面
山前区	半山区稳定段	1.2～1.4	河段大体顺直，滩槽明显，河谷较为开阔，岸线及河槽形态也较为稳定
	变迁性河段	1.2～1.8	滩槽不明显，甚至无河滩，河段微弯或呈扇状扩散，洪水时此冲彼淤，岸线和主槽形态位置不稳多变，在断面平均水深≤1m 时方可采用接近 1.8 的较大值。
平原区		1.1～1.4	

指数 n 值表　　表 3—25

顺号	墩台类型和斜交度	n
1	半流线型墩台和高桩承台，当斜交不超过 5°～10°	1/4
2	非流线型的墩台和基础	1/3
3	非流线型的墩台和基础，其斜交在 20°以内	1/2
4	在摆动河流河槽区范围内的墩台，斜交在 45°以内	2/3

2. 冲刷极限值法

山麓区(狭谷段)泥石流，由于扇形地遭受主河水流切蚀，形成泥石流沟出口排水基面凌空的剧烈变化，当主河水位低落，支沟发生泥石流时，会产生沟床揭底式朔源下切冲刷，这种冲刷深度常在5～15m之间。如成昆线遮步苦泥石流1966年一次冲刷13m。上格达1号大桥1981年在第8孔桥下一次冲深7～13m。利子依达1981年　泥石流在上游200～3000m的沟槽内，沟槽一次被冲深3～5m，宽20～30m。东川线发窝大桥，拖沓沟大桥桥位均处于扇缘被主河洪水切割地段。当扇缘切割凌空时，一次冲深可达5m。甚至桥墩被跌落于主河床内，遭受主河流的冲刷。显然这类冲刷是不适宜于用一般桥墩冲刷公式计算的。只能按桥位处于泥石流沟的类型特征和地缘条件，从排水基面的变化幅度等，由调查分析其最大可能的极限冲刷值。

3. 桥基埋置深度的确定

(1)山前区泥石流由于扇形地不受主河水流切蚀，冲刷不受排水基面变化的影响。因此，冲刷表现为先冲后淤，洪后总是为淤。如成昆线西昌至漫水弯段。桥基埋置深度按下式计算。

$$H_m = h_m + (c - \Delta) \qquad (3—25)$$

式中　H_m——桥墩埋置深度，m；

h_m——按桥墩冲刷公式计算的桥下最大冲刷线深度，m；

c——按桥规规定的基底最小埋置深度，m；

Δ——考虑以淤为主的特点，安全值适当减小的数值，m。

(2)山麓区泥石流由于扇形地受主河水流切蚀，冲刷受排水面基面变化的影响，因此，冲刷受一次最大可能的极限冲刷值控制。其桥基埋置深度按下式计算。

$$H_m = h_m + 2.5 \qquad (3—26)$$

式中符号意义同前。

(3)山麓区泥石流桥位处于扇缘切割地带，桥墩台位置有可能在扇缘切割后，跌落于主河床内时，桥墩台冲刷深度应按主河床冲刷线埋置，其桥基埋置深度按下式计算。

$$H_m = h_P + 2.5 \tag{3—27}$$

式中 h_P——主河床冲刷深度，m；

其余符号意义同前。

（二）坝下冲刷计算

当泥石流拦碴坝淤满后，上游泥石流体挟带巨石翻越坝顶，飞坠坝下，对坝基产生严重的局部冲刷和破坏。其计算如下：

1. 泥石流跌落坝下流速计算

忽略接近坝顶的流速和空气的阻力。

（1）水平流速公式

$$v_1 = \sqrt{2gh_1} \tag{3—28}$$

式中 v_1——水平流速，m/s；

h_1——坝顶上游漫流泥深，m；

g——重力加速度，m/s²。

（2）垂直流速 v_2。

$$v_2 = \sqrt{2gh_2} \tag{3—29}$$

式中 v_2——垂直流速，m/s；

h_2——跌落高度，m，即坝上坝下泥位差；

g——重力加速度，m/s²。

故泥石流跌落速度为：

$$v_c = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \sqrt{2g(h_1 + h_2)} \tag{3—30}$$

其方向与水平面的夹角 $\alpha = \text{arctg}\,\frac{h_2}{h_1}$。

越坝泥石流所能搬运的最大石块粒径，根据拉斯来（Leslie）的近似公式为

$$d_c = \frac{v_1^2}{\xi^2} \tag{3—31}$$

式中 d_c——搬运石块的最大粒径，m；

v_1——泥石流水平流速，m/s；

ξ——系数，对天然石块一般可取为 4。

如越坝泥石流的流速近似地按式（3—28）确定，并将（3—28）

式代入(3—31)式，得

$d_c=\frac{v_1^2}{\xi^2}=2gh_1/\xi^2$。对天然石块，将 $\xi=4$ 代入得：

$$d_c=2\times 9.81\times h_1/4^2=1.226h_1$$

所以搬运最大石块的泥深为

$$h_1=\frac{d_c}{1.226}=0.816d_c$$

跌落石块的体积和重量。如将石块近似的看作球体，则体积 $\overline{V}$ 为

$$\overline{V}=\frac{\pi}{6}d_c^3=\frac{\pi}{6}(1.226h_1)^3\approx 0.96h_1^3 \qquad (3—32)$$

因此，跌落石块的质量为

$$\overline{w}=\overline{V}\rho_H \qquad (3—33)$$

式中 ρ_H——石块的密度，一般取 2700kg/m³。

2. 泥石流跌落石块的动能计算

$$E=\frac{1}{2}mv_c^2 \qquad (3—34)$$

式中 E——跌落石块的动能(即跌落石块的破坏力)，J；

m——跌落石块的质量，kg；

v_c——跌落速度，m/s。

将泥石流流速及石块质量代入，则跌入下游河床的最大石块动能为

$$E=\frac{1}{2}m(\sqrt{2gh_2})^2=mgh_2=v\rho_H gh_2 \qquad (3—35)$$

将 $\overline{V}$ 值，ρ_H 及 g 代入，得

$$E=0.96h_1^3\times 2700\times 9.81\times h_2=25427h_1^3\cdot h_2 \quad (J) \qquad (3—36)$$

如拦碴坝泥深 h_1 为 2.0m，坝高为 10m，则所搬运的最大石块跌入下游河床具有的动能可达 2034201J，其破坏力是巨大的，因此，坝下应有坚强的措施。

3. 坝下冲刷深度计算

图 3—1 为越坝泥石流冲刷示意图。

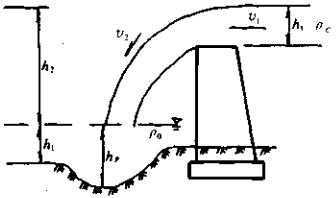


图 3—1　越坝泥石流冲刷示意图

(1)利地格(Riediger)公式

$$h_p = h_0 \frac{\rho_c}{3\rho_0 - 2\rho_0} \tag{3—37}$$

式中　h_p——泥石流坝下冲刷深度，m；

ρ_c——泥石流体密度，kg/m³；

ρ_0——下游侧泥石流体的密度，kg/m³；

h_0——上下游泥石流体密度相等时的冲刷深度，$h_0 = 2h_2$；

h_2——上下游泥位差。

(2)肖克里希特实验式

$$h_p = \left(\frac{4.75}{d_m^{0.32}}\right) h_2^{0.2} q^{0.57} \tag{3—38}$$

式中　d_m——河床标准砂石的直径，以 mm 计，即 90%的粒径小于该粒径，10%的粒径大于该粒径；

q——单宽流量，m³/s；

h_2——上下游水位差。

(3)柿德市简化公式

$$h_p = 0.6h_2 + 3h_1 - 1.0 \tag{3—39}$$

式中符号同前。

(4)按跌落石块的动能计算冲刷深度公式。图 3—2 为越坝跌落石块冲击示意图。

$$h_s = 0.815\rho_H \cdot h_2 \cdot h_1/\delta_s \tag{3—40}$$

式中 h_s——下游河床的冲刷深度，m；

ρ_y——跌落石块的密度，kg/m³；

δ_s——下游河床质或垫层的允许承载力，Pa；

其余符号同前。

4. 坝下冲刷长度计算

图 3—3 为坝下冲刷长度示意图。

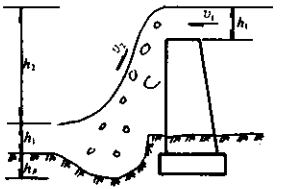


图 3—2 越坝跌落石块冲击示意图

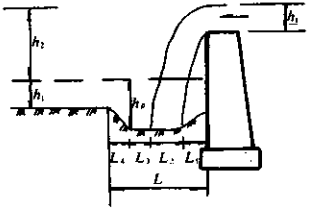


图 3—3 坝下冲刷长度示意图

(1)利地格公式

$$L=L_1+L_2+L_3+L_4 \tag{3—41}$$

$$L=v_1\sqrt{\frac{2(h_2-h_1)}{g}}+h_s\frac{v_1}{\sqrt{2g(h_2-h_1)}}+\frac{h_2}{\operatorname{cotarctg}\sqrt{2g(h_2-h_1)}}+n(h_s-h_1) \tag{3—42}$$

式中 L——冲刷坑长度，m；

v_1——越坝泥石流水平流速，m/s；

h_2——上下游水位差，m；

h_1——坝顶上游溢流水深，m；

n——冲刷坑边坡坡度。

其余符号同前。

(2)安格荷尔兹(Angerhalzen)公式

$$L=(v_1+\sqrt{2gh_1})\sqrt{\frac{2h_2}{g}}+h_1 \tag{3—43}$$

式中符号同前。

5. 副坝位置公式

根据(3—42)式副坝距主坝的最近距离 l 为

$$l=L-l_4=L-n(h_p-h_1) \tag{3—44}$$

(三)排洪道、导流堤(坝)冲刷计算

1. 在直道中冲刷计算

$$h_p=\frac{0.1q}{\sqrt{d_{cp}}\left(\frac{h_c}{d_{cp}}\right)^{1/6}} \tag{3—45}$$

式中 h_p——冲刷后泥深,m;

q——单宽流量,m^3/s;

d_{cp}——泥石流体固体物质平均粒径,m;

h_c——设计泥深,m。

2. 在弯道凹岸处冲刷计算

$$h_p=\frac{0.17q}{\sqrt{d_{cp}}\left(\frac{h_c}{d_{cp}}\right)^{1/6}} \tag{3—46}$$

式中符号意义同前。

二、淤积计算

在泥石流地区影响路肩、桥、隧设计标高的主要因素是泥石流的淤积速度和泥石流水位。它关系到铁路运营的安全、稳定、造价及使用年限。同时也涉及到线路走向和前后地段的大型建筑物,因素较为复杂。对此要通过周密的调查研究和分析论证,用多种计算方法互相印证确定淤积值。

(一)河床(堆积扇)的淤积计算

河床(堆积扇)淤积值,是确定线路标高与桥下净空的基本数据。计算分析淤积时,要特别注意淤积时间(过去、现在、将来)、地点(所处部位)、速度(泥石流沟发展趋势)以及河相因素(河槽宽、窄、坡度陡、缓、淤积范围)与淤积环境及其变化,结合防治规划,用多种办法计算,相互比较,选取较为符合实际的结果。

1. 多年平均淤积值计算

(1)调查法

$$\bar{h}=\frac{\sum h}{n} \tag{3—47}$$

式中 $\bar{h}$——多年平均淤积值，m；

$\sum h$——调查(挖探、钻探、观测)年限内的淤积总值，m；

n——调查(观测)年限的年数，年。

(2)成因分析法

$$\bar{h}=\frac{H}{N} \tag{3—48}$$

式中 N——设计年限，年；

H——设计年限内总淤积数，m；其值

$$H=\frac{\overline{W}-NW}{A}$$

其中 $\overline{W}$——全流域在设计年限内可能补给的松散物质的储备量，m^3，

W——估算每年随水冲走的固体物质体积数，m^3，

A——沉积范围的面积，m^2，要注意堆积扇被切割的变化情况；

$\bar{h}$——年平均淤积值，m。

(3)数理统计法

有几年观测资料，已取得年淤积值的系列 $h_1,h_2,h_3,\cdots,h_n$ 的数值时，可以用数理统计法计算多年平均淤积值 $\bar{h}$。

$$\bar{h}=\frac{\sum_{1}^{n} h_i}{n} \tag{3—49}$$

由此求得频率为 $P\%$ 的年淤积值 h_p：

$$h_p=\bar{h}(\phi_p c_v+1)=K_p\bar{h} \tag{3—50}$$

式中 c_v——变差系数，其值

$$c_v=\frac{1}{\bar{h}}\sqrt{\frac{\sum_1^n(h_i-h)^2}{n-1}};$$

ϕ_p——频率为 p 时的离均系数，其值

$$\phi_p=\frac{K_p-1}{c_v};$$

K_p——频率为 $p\%$ 时之淤积值与平均值之比。

2. 设计年限 N 年内累计淤积值 H_N 的计算

(1)平均年值法

$$H_N=K\cdot N\cdot\bar{h} \qquad (3—51)$$

式中 H_N——设计年限累计淤积值，m；

N——设计年限，年；

$\bar{h}$——年平均淤积值，m；

K——淤积趋势系数，要根据过去和现在的淤积值，推测将来的淤积总量。按泥石流的发展趋势、人为活动、工程治理措施与通过位置等情况综合分析确定 K 值，见表 3—26。

淤积趋势系数 K 值表 表 3—26

泥石流发展趋势	淤积趋势系数
发展期	1～1.5
衰退期	0.5～1

(2)极限淤积值法

山麓区泥石流沟，由于受地形、地质、主河水文等自然条件的制约，其淤积值总在一定变化幅度范围内，或者有一个极限值。极限淤积法目前主要是调查研究泥石流的类型、性质和冲淤变化规律，从冲淤坡度、长度，排水基面升降幅度等综合分析，得出可能出现的最大极限淤积值，作为建筑物的设计淤积值。

(二)路肩设计标高计算

1. 泥石流地区沿河线路标高计算

$$H_r = H_N + h_r + 0.5 \qquad (3—52)$$

式中 H_r——设计年限内要求的路肩标高，m；

H_N——设计年限内总淤积高度，m；

h_r——设计频率泥石流水位，m；

0.5——安全值，m。

2. 泥石流沟桥下净空计算

$$H_r = H_B + H_{C100} + H_N + H_4 + H_w + H_Z + C \qquad (3—53)$$

式中 H_r——桥梁梁底最低标高，m；

H_B——沟底基准面标高，m；

H_{C100}——百年一遇的泥石流水深，m；

H_N——设计年限内总淤积高度（或极限淤积高），m；

H_4——巨大石块超出 H_{C100} 泥位的数值，m；

H_w——泥石流泥位在弯道外侧的超高值，m；

H_Z——泥石流遇阻冲高（爬高）值，m；

C——桥下净空的安全值，按桥规选用，m。

第五节 泥石流流量合并计算

当两个或数个汇水区的泥石流流量，在地形、地质条件许可，在技术上可能，在经济上合理时，可用改沟办法，将流量并入邻近河沟，或在上游将清水流量截流引入另一流域。如成昆线峨边车站内的马嘶溪泥石流在上游约 30m 处并入祠堂沟泥石流渡槽排出车站；沙木拉打隧道北口的源头沟在下游 30m 处与普歪沟泥石流用 V 型槽并流后效果都很好；东川的红砂沟泥石流从上游截流引入小石洞泥石流沟，使下游公路危害明显改善；云南德钦县城泥石流，在县城五中桥前将水磨房河稀性泥石流并入只曲河粘性泥石流，既省工程费用，又稀释了泥石流的密度，还有利于排导，更节约了土地，为发展城市建设创造了条件。总之，实践证明，泥石流沟在技术条件允许时，仍然是可以改沟并流的。并流时，两沟交角宜小不宜大，以小于 45°为佳。图 3—4 为泥石流沟并流交角示意图。

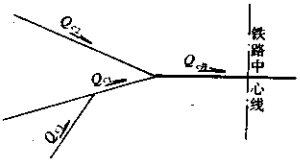


图 3—4　泥石流沟并流交角示意图

一、伊万诺夫法

$$Q=Q_1+0.75(Q_2+Q_3+\cdots) \tag{3—54}$$

式中　Q——合并后的设计流量，m^3/s；

Q_1——设置建筑物的主沟设计流量，m^3/s；

Q_2，Q_3——各被合并沟的设计流量，m^3/s。

此经验公式，计算简便，但比较粗糙。被合并的流量在两个以上时，合并后的流量不宜小于本沟流量加被合并中任何一个最大的流量。

二、洪峰流量过程线叠加法

将设置建筑物的流域与合并的邻近流域的洪峰流量过程线，绘于同一坐标纸上，叠加绘出设置建筑物处的合并流量过程线，求得叠加的洪峰流量即为设计流量。这个方法计算较精确合理，但计算复杂繁锁，适用于计算径流过程的个别较大的流域。

第六节　V 型槽弯道泥位超高计算

泥石流在排导槽弯道上，明显产生泥位超高，其主要原因是泥石流流速的离心力。设弯道泥石流横比降与离心力成正比，则重力

和离心力的合力与倾斜水面相垂直，由弯道泥石流横断面超高示意图(图 3—5)得出几何关系：

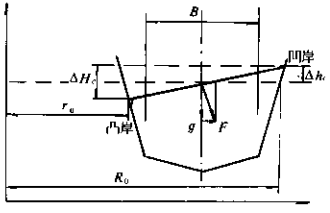


图 3—5　弯道泥石流横断面超高示意图

$$\frac{\Delta H}{B}=\frac{F}{mg}=\frac{m\cdot\frac{v_c^2}{R}}{mg} \tag{3—55}$$

$$\Delta H=\frac{v_c^2 B}{gR} \tag{3—56}$$

$$\Delta h_c=\frac{1}{2}\Delta H \tag{3—57}$$

式中　ΔH——槽内两岸泥石流泥位差，m；

R——弯道中心线曲率半径，取凹岸与凸岸曲率半径的平均值，m；

B——槽内水面宽，m；

g——重力加速度，m/s²；

Δh_c——凹岸泥位超高值，m。见表 3—27，表内数值可内插使用。

V 型槽弯道水位超高 Δh_c 值表　　表 3—27

B/R / Δh_c(m) / v_c(m/s)	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/12	1/14	1/15	1/16	1/18	1/20
3.0	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
4.0	0.16	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04

续上表

B/R / Δh_c(m) / v_c(m/s)	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/12	1/14	1/15	1/16	1/18	1/20
5.0	0.26	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06
6.0	0.37	0.31	0.26	0.23	0.20	0.18	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09
7.0	0.50	0.42	0.36	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.17	0.16	0.14	0.12
8.0	0.65	0.54	0.47	0.41	0.36	0.33	0.27	0.23	0.22	0.20	0.18	0.16
9.0	0.83	0.69	0.59	0.52	0.46	0.41	0.34	0.29	0.28	0.26	0.23	0.21
10.0	1.02	0.85	0.73	0.64	0.57	0.51	0.42	0.36	0.34	0.32	0.28	0.25
11.0	1.23	1.03	0.88	0.77	0.69	0.62	0.51	0.44	0.41	0.39	0.34	0.31
12.0	1.47	1.22	1.05	0.92	0.82	0.73	0.61	0.52	0.49	0.46	0.41	0.37
13.0	1.72	1.44	1.23	1.08	0.96	0.86	0.72	0.62	0.57	0.54	0.48	0.43
14.0	2.00	1.67	1.43	1.25	1.11	1.00	0.83	0.71	0.67	0.62	0.55	0.50
15.0	2.30	1.91	1.64	1.43	1.28	1.15	0.96	0.82	0.76	0.72	0.64	0.57
16.0	2.61	2.18	1.87	1.63	1.45	1.31	1.09	0.93	0.87	0.82	0.72	0.65
17.0	2.95	2.46	2.11	1.84	1.64	1.47	1.23	1.05	0.98	0.92	0.82	0.74
18.0	3.31	2.76	2.36	2.07	1.84	1.65	1.38	1.18	1.10	1.03	0.92	0.83
19.0	3.68	3.07	2.63	2.30	2.05	1.84	1.53	1.31	1.23	1.15	1.02	0.92
20.0	4.08	3.40	2.92	2.55	2.27	2.04	1.70	1.46	1.36	1.27	1.13	1.02
21.0	4.50	3.75	3.21	2.81	2.50	2.25	1.87	1.61	1.50	1.40	1.25	1.12
22.0	4.94	4.12	3.53	3.09	2.74	2.47	2.06	1.76	1.64	1.54	1.37	1.23
23.0	5.40	4.50	3.86	3.37	3.00	2.70	2.25	1.93	1.80	1.69	1.50	1.35
24.0	5.88	4.90	4.20	3.67	3.27	2.94	2.45	2.10	1.96	1.83	1.63	1.47
25.0	6.38	5.31	4.56	3.99	3.54	3.19	2.65	2.28	2.12	1.99	1.77	1.59

第七节　泥石流冲起爬高计算

一、桥墩冲高计算

泥石流在运动过程中，若突然受阻会产生冲起爬高，如桥墩、挡坝、陡壁等。

$$\Delta Z=\alpha\frac{v_c^2}{2g} \tag{3—58}$$

式中　ΔZ——泥石流冲起爬高值，m，见表 3—28；

v_c——泥石流设计流速，m/s；

g——自由落体加速度，m/s²；

α——动能改正系数，$\alpha=1.05\sim1.1$，泥石流 $\alpha=1.1$。

泥石流冲起爬高值 ΔZ 表 (m)　　表 3—28

v_c	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ΔZ	0.22	0.5	0.9	1.40	2.02	2.75	3.59	4.54	5.61	6.79
v_c	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
ΔZ	8.08	9.48	11.0	12.62	14.36	16.21	18.18	20.25	21.58	23.79

注：表内数值可以内插。

二、导流堤斜流冲高计算

泥石流导流堤(坝)和束流堤轴线与泥石流流向不平行时，斜流向在堤(坝)边坡上局部冲高可按下式计算。

$$\Delta Z=\frac{\bar{v}_c^2\sin^2\beta}{g\sqrt{1+m^2}} \tag{3—59}$$

式中　ΔZ——斜流在导流堤边坡上的局部冲高值，m；

$\bar{v}_c$——冲向导流堤的水流或股流的平均流速，m/s；

m——导流堤的边坡坡度；

β——流向与导流堤边坡上水边线所成的平面夹角，°；

g——自由落体加速度，m/s²。

第八节　泥石流冲击力计算

泥石流冲击力比水流大得多。在成昆、东川等铁路线上，有多处桥梁墩、台被冲断。而且在成昆线还作过多处桥墩防护墩，防御泥石流冲击力。因此，在泥石流沟中的桥梁墩台设计，应将泥石流的冲击力作为主力进行检算。实践表明，引用桥规中船筏撞击力的公式，计算单个巨石的撞击力来检验成昆线利子依达、东川达德两桥墩台能被撞断所需之力相近，因此，目前在泥石流冲击力公式尚不完备之前，暂行引用船筏撞击力公式来计算泥石流冲击力较为适合。

$$F=rv_c\sin\alpha\sqrt{\frac{W}{c_1+c_2}} \qquad (3-60)$$

式中 F——泥石流巨石集中冲击力，N，见表 3—30；

r——动能折减系数，对圆端属正面撞击，采用 $r=0.3$；

v_c——泥石流流速，m/s；

W——巨石质量，kg；

α——桥墩受力面与泥石流冲击力方向所夹的角，°；

c_1,c_2——巨石及桥墩圬工的弹性变形系数，m/kN，采用船筏与墩台撞击的数值 $c_1+c_2=0.005$。

桥墩墩形系数表 表 3—29

墩　形	圆形、圆端形、尖端形	方　形	矩　形
λ	1.0	1.47	1.33

泥石流大石块对圆形桥墩冲击力 F 值表(10^4N)

表 3—30

d(m) / F / v_c(m/s)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
3	5	15	28	43	60	79	99	121	144	169	195	222	251
4	7	20	37	57	80	105	132	161	193	226	260	297	334
5	9	25	46	71	100	131	165	202	241	282	325	371	418
6	11	30	56	86	120	157	198	242	289	338	390	445	502
7	12	35	65	100	140	183	231	282	337	395	455	519	585
8	14	40	74	114	160	210	264	323	385	451	521	593	669
9	16	45	83	128	179	236	297	363	433	508	586	667	752
10	18	50	93	143	199	262	330	404	482	564	651	741	836
11	20	55	102	157	219	288	363	444	530	620	716	816	920
12	21	61	111	171	239	315	396	484	578	677	781	890	1003
13	23	66	120	185	259	341	429	525	626	733	846	964	1087
14	25	71	130	200	279	367	462	565	674	790	911	1038	1170

续上表

d(m) / F / v_c(m/s)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
15	27	76	139	214	299	393	495	605	722	846	976	1112	1254
16	29	81	148	228	319	419	528	646	770	902	1041	1186	1338
17	30	86	158	243	339	446	562	686	819	959	1106	1260	1421
18	32	91	167	257	359	472	595	726	867	1015	1171	1134	1505
19	34	96	176	271	379	498	628	767	915	1072	1236	1409	1588
20	36	101	185	285	399	524	661	807	963	1128	1301	1483	1672
21	37	106	195	300	419	550	694	847	1011	1184	1366	1557	1756
22	39	111	204	314	439	577	727	888	1059	1241	1431	1631	1839
23	41	116	213	328	459	603	760	928	1108	1297	1497	1705	1923
24	43	121	222	342	479	629	793	969	1156	1354	1562	1779	2006
25	45	126	232	357	499	655	826	1009	1204	1410	1627	1853	2090

注：表内数值可以内插使用。

第九节　泥石流松散固体物质储量估算

能参与泥石流活动的松散固体物质的数量级、性质和分布，是衡量泥石流规模、性质、频率与发展走势的主要依据之一。因此，评估泥石流松散固体物质储量，应着重于可直接参与泥石流活动的近期方量，以及次稳定的远期方量。由于影响泥石流固体物质的因子，系灰色因素，具有联动性、动态性和随机性的特征，体态表征千差万别，因此，评估泥石流松散固体物质储量，也是一个灰色系统的预测方法，要综合性的分析和恰当的归纳，才能取得较为可信的资料。评估内容主要有崩塌、滑坡、错落与沟床和扇面堆积等不良地质体以及水土流失等。

一、坍方、滑坡等不良地质体计算

一般利用既有图纸资料补充测绘填出各种不良地质体的周边

关系和地形平面与断面，用地探法探测或调查分析推测其厚度，然后根据几何图形分别计算其体积，评估其活动性成分。

（一）单体储量计算

$$\overline{W}=A\overline{h} \tag{3—61}$$

式中 $\overline{W}$——单体储量体积，m；

A——不良地质体在平均长、宽上的垂直投影面积，m^2；

$\overline{h}$——不良地质体平均厚度，m。

（二）沟道储量计算

根据沟道横断面形状，可采用下列近似计算公式。

1. 沟道横断面近似三角形时

$$\overline{W}=\frac{LBH}{6} \tag{3—62}$$

2. 沟道近似抛物线形时

$$\overline{W}=\frac{LBH}{4.5} \tag{3—63}$$

3. 沟道横断面近似梯形时

$$\overline{W}=\frac{(B+b)LH}{6} \tag{3—64}$$

式中 $\overline{W}$——沟道内松散固体物的可能储量，m^3；

B——沟道横断面平均宽度，m；

L——沟道松散堆积物长度，m；

H——评估可能参与活动的厚度，m；

b——沟道横断面底部平均宽度，m。

（三）扇形地近似计算

$$\overline{W}=\frac{1}{2}LRH \tag{3—65}$$

式中 $\overline{W}$——扇形地储量，m^3；

L——扇形地下缘周长，m；

R——扇形地半径，m；

H——扇形地平均厚度，m。

二、水土流失计算

目前我国许多省市自治区都有侵蚀模数的资料可供利用。其计算公式为

$$\overline{W}=Am \tag{3—66}$$

式中 $\overline{W}$——水土流失总质量，kg/km^2；

A——水土流失面积，km^2；

m——侵蚀模数，kg/km^2。

第四章　泥石流排导工程

第一节　概　　说

排导工程是防治泥石流使用最为广泛的工程措施。其特点是工程简单、效果好，就地取材、施工方便，不影响行车。在成昆铁路泥石流病害整治工程中，以排导工程最多，其中南段占 95%，北段占 86%。在其他铁路线上亦不例外。

在 70 年代以前所设计施工的泥石流排导工程，基本上是按一般洪水规律，参照流量、流速和桥、涵孔径及地形条件，作成传统式平底的梯形和矩形排导槽，遇陡坡时设缓流井或消力池。槽形具有宽、浅、平（槽宽、槽浅、槽底平）的特点。长期的工程实践中证明，这种排导工程对排泄洪水有效，而对排泄泥石流固体物质则很不利，会经常产生淤积、堵塞桥孔、淤埋涵洞等。年年防洪，抢险清淤，对工务部门压力很大。成昆铁路自通车以来，泥石流有较大发展，灾害愈演愈烈，翻车断道时有发生，严重威胁着行车安全。在此期间增建和改造了许多泥石流排导工程。虽作了取消缓流井和消力池设施的改进，但仍保持了排导槽传统的形态。因此，排导槽宽、浅、平与排淤效果这个矛盾根本无法解决，泥石流灾害仍是有增无减，工务部门的困扰越来越大。西昌铁路分局 1977 年曾在成昆线乐跃车站内采用过圆形底排导槽，改造 5#、6#、9# 泥石流沟，取得了一定效果。但由于圆形底部施工困难，还是未能得到推广使用。

1975 年初，作者曾在成昆线三滩泥石流的防治工程研究中，提出过用 V 型槽防治泥石流的雏形设想。但因种种原因，未能实现。尔后在 1980 年三滩泥石流平底排导槽试验工程失利后，作者于 1981 年立题重新研究 V 型槽。在平底槽长期不利于排泄泥石流固体物质的启示下，从泥石流的冲、淤规律找出路，针锋相对的试验研究以窄、深、尖为特点的 V 型槽。在经历近十年时间的调查

研究和工程的观测试验基础上，再结合成昆铁路的大量泥石流病害整治，从百余处V型槽的工程实践中，都表明V型槽的排泄防淤效果，格外显著。对排泄泥石流固体物质有独到之处。从而减轻了成昆线的泥石流灾害，为防治泥石流排导工程拓展出创新的设计。

第二节　排导工程类型与功能

泥石流排导工程主要有槽、堤、坝三大类型。

一、排 导 槽

排导槽可分尖底槽、平底槽和V型固床槽。而尖底槽又有V形和圆形之分。平底槽则有梯型形与矩形之别。V型固床槽则呈阶梯门坎形。

（一）尖底槽（V底形、圆底形、弓底形）

用于泥石流堆积区，有改善流速，引导流向，排泄固体物质，防止泥石流淤积为害之独特功能。尖底槽断面形式如图4—1所示。

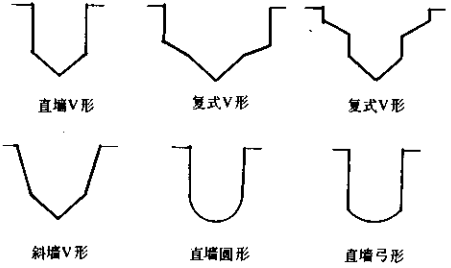


图4—1　尖底槽断面形式

（二）平底槽（梯形、矩形）

用于清水流的排洪道和引水渠道。但这类平底槽很不利于排泄泥石流固体物质。在成昆线泥石流沟上大量使用的结果证明，平

底槽排泄泥石流是不可取的。平底槽断面形式如图 4—2 所示。



图 4—2　平底槽断面形式

(三)V 型固床槽(阶梯门坎型)

用于泥石流的集中形成区,引排上游清水区洪水,以免通过泥石流形成区时切蚀沟槽、侧蚀沟岸或冲刷坡脚。起固定沟床、稳定山体、减少崩塌、滑坡和河床堆积物参与泥石流的活动,控制泥石流的规模和发展走势,减轻泥石流危害。图 4—3 为 V 型固床槽示意图。

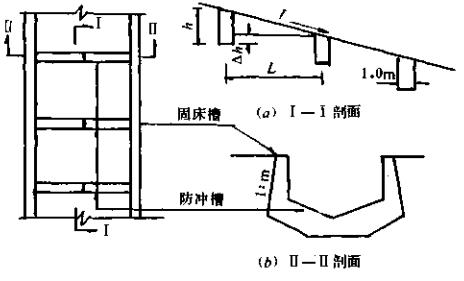


图 4—3　V 型固床槽示意图

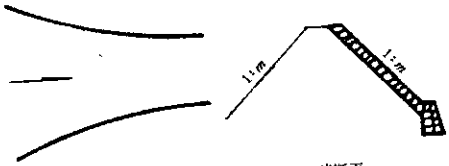
二、导 流 堤

导流堤通常分为束流堤和顺流堤两种。迎水面作防护,有改善流向、流速、防止漫流与保护河岸、坡脚之功能。

(一)束流堤

用于压缩河道,限制流路宽度、归顺流向、引流入槽。防止乱

流、偏流、绕流和横向侵蚀，有增强排导能力的效用，图 4—4 为束流堤示意图。



(a) 平 面　　(b) 半断面

图 4—4 束流堤示意图

(二)顺流堤

常与流向平行修建，用于引流导向，顺流归槽，起到控制河势，防止漫流改向、防护河岸侧蚀等作用。图 4—5 为顺流堤示意图。

三、导 流 坝

导流坝可分顺流坝和挑流坝。有强制性的作用，坝身较短，坝体要强。

(一)顺流坝

用于改沟堵口，起截流、引流、河弯顺流，带强制性归顺流向、引流入槽(桥)之作用。图 4—6 为顺流坝示意图。

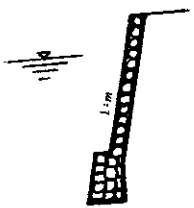


图 4—5 顺流堤示意图

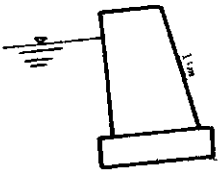


图 4—6 顺流坝示意图

(二)挑流坝

强制性改变流向，缓和流势，限制流路宽度。防止乱流、偏流、绕流与横向冲刷或堆积，保护重点建筑物工程。图4—7为挑流坝示意图。

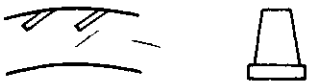


图4—7 挑流坝示意图

由槽、堤、坝有效组合构成的最佳排导工程体系，能充分发挥排泄泥石流的流通效应。让泥石流循指定的方向和流路前进。防止泥石流的漫流改道与淤积，减轻泥石流灾害。

第三节 V型槽哲理思路

一、泥石流地貌形态与V型槽

泥石流在地貌形态上可划分为形成区、流通区和堆积区。

(一)形成区

其特征是坡陡流急、沟窄水深，沟槽断面呈V形，崩塌、滑坡集中，泥石流松散固体物质堆积多。沟槽以冲蚀搬运为主，有强大的侵蚀排泄能力。

(二)流通区

坡度较形成区缓，沟槽逐渐向下游展宽。沟槽由V形转U形，水力要素、冲淤变化、流通效应较为稳定，无大起大落现象。但当堆积区增扩或退缩时，流通即发生转换，往上下游进退。

(三)堆积区

堆积区位于山口山麓地带，呈泥石流扇形地。有坡缓、槽宽、水浅、沟底平、水流不归槽，呈漫流、乱流、偏流、散流、绕流、潜流等特点。水力要素迅速下降，流速递减，泥石大量落淤，流向极端不稳定。由于泥石流扇地势开阔，铁路、公路、农田、水利和城镇居民点常在此区域开发活动，泥石流灾害也多在堆积区发生。

显然在堆积区采取通常的宽、浅、平的平底槽(梯形、矩形)来

排泄泥石流是十分艰难的，因为这种槽形正符合泥石流的自然堆积律。恰恰相反，我们应该运用形成区和流通区的冲、淤态势、断面呈窄、深、尖的特点，利用大自然的回归律，就可以有效的在堆积区改变泥石流的冲淤环境，求势任势的排导泥石流。

二、V 型槽哲理思路

孙子曰："故善战者，求之于势，不责于人，故能择人而任势。任势者，其战人也，如转木石。木石之性，安则静，危则动，方则止，圆则行。故善战人之势，如转圆石于千仞之山者，势也"

由此观之，孙子兵法的哲理思想，正符合于 V 型槽的创建思路。求泥石流形成区和流通区有利于排之势和水石之性，造就一个危则动、圆则行、使固体物质在 V 型槽内处于极不稳定的势态，而后任势于泥石流的堆积区。达到顺利排泄泥石流之目的。也是我们建立 V 型槽的哲理思路。

第四节　V 型槽特点、模式及其排防机理

一、V 型槽特点

V 型槽特点是窄、深、尖。这是在总结研究 70 年代以前大量使用宽、浅、平的梯形、矩形排导槽的教训及通过试建一批 V 型泥石流排导槽获得成功经验的基础上，针对泥石流的冲、淤危害，以排泄泥石流固体物质为目标，根据束水冲砂原理，而提出的新结构。这种 V 型槽，具有明显的固定输砂中心和良好的固体物质运动条件。实践证明，V 型槽是能有效排泄各种不同量级的泥石流固体物质而又不致于堆积淤塞的理想的泥石流排导槽。

二、V 型槽平面模式

泥石流沟堆积区的天然平面模式呈扇形向下游展布，由归槽水流展宽成散乱漫流，明显降低水流输砂条件而产生堆积。反之，如将排导槽平面布设成倒喇叭形模式。从平面上改变堆积区为形

成区、流通区的水流条件。重新组合动力束流，增大水深，加大流速，防止漫流改道，形成集水归槽，束水冲砂，归顺固体物质列队运行的作用。图 4—8 为 V 型槽平面模式。

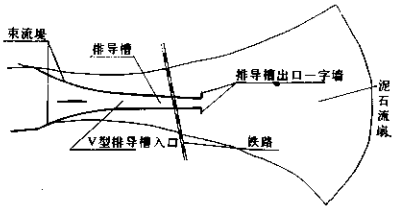
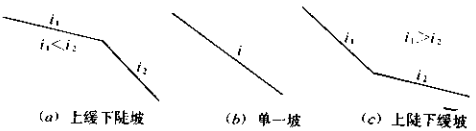


图 4—8　V 型槽平面模式

三、V 型槽纵坡模式

泥石流沟的天然纵坡模式，一般都是上陡下缓，呈凹形坡。由于地形坡度变缓，水力要素下降，泥石流流速衰减，泥砂石停淤形成泥石流扇。因此，V 型槽纵坡设计，最好是上缓下陡或一坡到底。若受地形控制，纵坡需设计成上陡下缓时，则必须从平面上配套设计成倒喇叭形模式，使之能随着纵坡的变缓而过流断面宽度相应减小，以增大水深，加大流速，保持缓坡段与陡坡段流速有同等的输砂能力和流通效应。图 4—9 为 V 型槽纵坡模式。



(a) 上缓下陡坡　　(b) 单一坡　　(c) 上陡下缓坡

图 4—9　V 型槽纵坡模式

四、V 型槽横断面模式

泥石流沟的天然沟槽横断面模式，基本上由形成区的狭窄 V 形逐渐转换成堆积区的宽、浅、平梯(矩)形。由集中深水流渐变成宽浅漫流。由冲蚀搬运过程演化成停淤堆积过程。起由量到质的变化。这种天然泥石流沟槽断面的冲淤规律、完全符合 V 型槽窄、深、尖的冲与梯(矩)型槽宽、浅、平的淤的特点。图 4—10 为 V 型槽横断面图。

五、V 型槽排防机理

从防治泥石流的意义上讲，V 型槽完全改变了平底槽的流通效应，其机理是：

(一)V 型槽在横断面结构上构成了一个固定的最低点，也是泥石流的最大水深和最大流速所在点和固体物质的集中点。从而成为一个固定的动力束流、集中冲砂的中心。

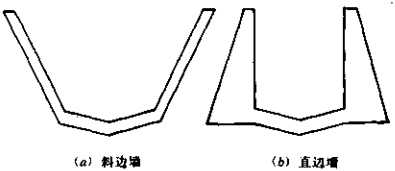


图 4—10 V 型槽横断面图

(二)V 型槽底能架空大石块，使大石块凌空呈梁式点接触状态，以线摩擦和滚动摩擦形式运动。沟心尖底部位的泥石流浆体的润滑浮托作用强。因而阻力小，速度大，这是排泄泥石流固体物质成功之关键。

(三)V 型槽底是由纵、横向两斜面构成，松散固体物质在斜坡上始终处于不稳定状态，泥石流体在斜面上运动时，具有重力沿斜坡合力方向挤向沟心最低点的集流中心，呈立体束流现象。从而形成 V 型槽的三维空间重力束流作用，使泥石流输移能力更加稳定强劲，流通效应更佳。

反之，泥石流体在平底槽内的水深基本上是平摊等深，形不成集流冲砂中心和立体重力束流，加之槽底和粗大石块又是平面接触，底部泥浆润滑作用微弱等原因，故平底槽阻力大，速度小。特别在频繁的中、小泥石流时，泥石流浓度偏稀，水流宽浅散乱，容易在平底槽内产生偏流和分流的绕道停淤现象。造成泥石流固体物质在槽内溯源叠加式堆积，进而恢复到天然河道的堆积特征。故其排泄防淤效果极差。这就是平底（梯形、矩形）槽不能排泄泥石流的根本原因。

第五节　V 型槽纵横坡度关系及水力学特征

一、V 型槽纵、横坡度关系式

V 型槽底部由含纵、横坡度的两个斜面组成重力束流坡，其关系式如下：

$$I_{束}=\sqrt{I_{纵}^2+I_{横}^2} \qquad (4-1)$$

式中　$I_{束}$——重力束流坡度，‰；

$I_{纵}$——V 型槽纵坡坡度，‰；

$I_{横}$——V 型槽底横向坡度，‰。

由上式可以看出 V 型槽纵横关系成反比，与泥石流固体物质颗粒粗度成正比。因此，合理组合 V 型槽的纵横坡度，则是使 V 型槽达到理想的排泄防淤效果的关键。

$I_{纵}$ 值：$I_{纵}$ 值的大小，常取决于泥石流堆积区的地形条件，是控制泥石流 V 型槽输砂能力的主要因素。$I_{纵}$ 增大则排淤能力增强；反之则减弱。

$I_{横}$ 值：$I_{横}$ 值的大小，常取决于理想的 V 型槽排淤效果 $I_{束}$ 值。是控制泥石流的束流集石能力的重要因素。$I_{横}$ 值愈大，则束流集石性能愈好，磨蚀范围愈小，反之，则集石性能愈差，磨蚀范围愈大。

$I_{束}$ 值：$I_{束}$ 值的最佳值，取决于 $I_{纵}$ 和 $I_{横}$ 的合理组合。$I_{束}$ 值越大，泥石流的流通效应越佳，反之，则排泄防淤效果也越差。若 $I_{束}$

值为定值时，$I_{纵}$ 值增大。$I_{横}$ 值减小；$I_{纵}$ 值减小，$I_{横}$ 值增大。成反比关系，两者有机的结合就能使 $I_{综}$ 值达到最佳效果值。

结合成昆铁路 200 多处以及云南地方上用 V 型槽整治泥石流的工程实践资料（见表 4—1）可以归纳出如下规律值：

1. 排淤效果好的 V 型槽，其 $I_{综}$ 值≥200(‰)；$I_{纵}$ 值区域 10～344(‰)；$I_{横}$ 值区域 100～300(‰)。

2. 在 $I_{纵}$ 值不变的条件下，改变 $I_{横}$ 值（由平底变尖底），$I_{综}$ 值增大，排泄防淤效果显著提高，由淤变不淤，对较平缓的泥石流沟更为有效，对颗粒粗大的泥石流也有意义。

由于铁路通过泥石流沟常在堆积区，$I_{纵}$ 值都比较小，而又难以用人工增大 $I_{纵}$，故有赖于增大 V 型槽的 $I_{横}$ 值，弥补 $I_{纵}$ 值过小之不足。

3. 根据工程试验资料，在 $I_{纵}$ 值达到 344‰时，$I_{横}$ 为零的平底槽，也有很好的排泄防淤效果，这表明是 V 型槽 $I_{纵}$ 值的上限阀值。而 $I_{纵}$ 的下限阀值，尚需试验工程来逐步逼近。目前的试验工程的最小 $I_{纵}$ 为 10‰

因此，归纳目前铁路和地方使用 V 型槽的经验和研究成果，建议 I 值参数暂定为下列范围：

$350 \geqslant I_{综} \geqslant 200$(‰)；$350 \geqslant I_{纵} \geqslant 10$(‰)；$300 \geqslant I_{横} \geqslant 100$(‰)

上述限度值的阀值，应随试验工程与运作效果的增多进行补充修改，使之更臻完美。

二、V 型槽水力学特征

槽形和材质的变换，对泥石流的水力学特征值有影响。根据现有的泥石流流速公式的通式 $u_c = K_c \cdot H_c^{n} \cdot I_c^{m}$ 分析，影响最大的因子，是阻力系数(K_c)、水深(H_c 或 R_c)、水力坡度(I_c)及其指数。

（一）阻力系数（粗糙系数）的大小，与泥石流流速成反比（除泥石流体内部阻力外）

1. 首先是槽形变换影响固体物质的运动态势和摩阻力。当泥石流大石块在 V 型槽内运动时，其搁置形式多呈梁式点状接触，

成昆铁路泥石流V型槽统计表

表 4-1

项目 / 里程	Q_{C100} m³/s	ρ_C kg/m³	底宽 m	墙式	$I_{纵}$ ‰	$I_{槽}$ ‰	$I_{原}$ ‰	长度 m	槽底形式	有无淤积	效果	备注
K221+438	缺	缺	6.0	直	70	250	260	43	V	无	良	干溪沟，1992年建
K224+933	70.5	缺	6.0	斜	320	200	377	145	V	无	良	太平沟，1992年建
K247+099	缺	缺	25.2	斜	220 150	200	297 250	283	V	无	良	大火夹沟，1989年建
K253+500	315.0	缺	13.0	斜	140	130	191	170	V	无	良	双风溪沟，，1989年建
K295+378	425.0	缺	22.1	斜	220	170	278	100	V	无	良	黑西洛沟，1989年建
K311+651	210.3	缺	6.0	斜	170 120	200	262 233	190	V	无	良	拉古子沟，1989年建
K315+802	缺	缺	20.0	斜	200 130	250	320 282	175	V	无	良	内侧沟，1989年建
K317+157	143.0	缺	7.0	斜	120	200	233	166	V	无	良	岩洞沟，1989年建
K390+536	缺	缺	19.6	斜	60	120	134	112	V	无	良	拉白2号
K457+466	310.0	1500	8.0 6.0	斜	63 112	250	258 274	1051	V	无	良	瓦碴沟
K470+818	缺	缺	12.0	斜	280 120	200	344 233	100	V	无	良	1990年建
K470+978	缺	缺	8.0	斜	310 120	200	369 233	96	V	无	良	1991年建

续上表

项目 / 里程	Q_{C100} m³/s	ρ_C kg/m³	底宽 m	墙式	$I_{纵}$ ‰	$I_{横}$ ‰	$I_{原}$ ‰	长度 m	槽底形式	有无淤积	效果	备注
K483+966	469.0	2100	16.0	斜	94 107	0	94 107	180	梯形	有	很差	马厂沟，1989年改明洞
K512+851	缺	缺	4.0	斜	90 61	250	266 257	320	V	无	良	秩草坝，1992年改V型涵
K595+902	401.0	1600	35 30	斜	60	0	60	70	梯形	有	很差	蔡家沟，原平底槽
K595+902	401.0	1600	15 10	斜	68 90	250	259 266	870	V	无	良好	蔡家沟，1990年平改尖
K602+058	894.0	1200	32	直	50 77	200	206 214	200	V	无	良	阿月沟
K634+543	缺	缺	5.9	斜	317 103	250	404 270	185	V	无	良	乐跃车站4号沟，1992年改V型槽
K736+291	缺	缺	3.0	斜	250 194	250	354 316	76	V	无	良	牛坪子1号，1992年改V型涵
K736+374	缺	缺	6.0	斜	250 150	250	354 292	87	V	无	良	牛坪子2号，1992年改V型涵及槽
K777+847	8.7	1700	3.0	直	270 190	200	336 276	80	V	无	良	老鸦滩大桥
K778+012	17.3	1500	4.0	斜	230 190	200	305 276	202	V	无	良	老鸦滩中桥
K779+205	106.7	2100	4.0	斜	198	200	281	173	V	无	良	上格达1孔1号槽
K779+205	124.2	1990	6.0	直	193	200	273	93	V	无	优	上格达8孔2号槽

续上表

项目 / 里程	Q_{C100} m^3/s	ρ_C kg/m^3	底宽 m	墙式	$I_{纵}$ ‰	$I_{横}$ ‰	$I_{槽}$ ‰	长度 m	槽底形式	有无淤积	效果	备注
K779+503	119.4	1500	6.0	直	266 177	250	365 306	230	V	无	良	上格达中桥
K784+462	39.6	1300	6.0	斜	220 133	200	297 243	439	V	无	良	花棚子站内,1982年平改尖
K786+944	218.0	1400	8.0	直	145 170	200	247 262	331	V	无	良	白沙沟1号桥
K789+360	15.3	1400	4.0	直	140 227	200	244 303	262	V	无	良	白沙沟2号桥
K787+955	5.2	1350	3.0	斜	376 200	200	426 283	169	V	无	优	三滩1号小桥
K788+761	49.8	1400	8.0 10.0 8.0	斜	229 175	0	229 175	358	梯形	有	很差	三滩中桥,1979年按模型试验设计施工
K788+761	86.8	1900	4.0	斜	213 164	250	328 229	220	V	无	优	三滩中桥,1990年由梯槽改V型槽
K801+237	缺	1350	3.0	斜	344	0	344	35	梯形	无	良	鱼棚子明洞顶上平底槽系V型槽上限两值
K802+211	1.3	1300	3.0	直	600 200	250	650 320	43	V	无	良	鱼棚子小桥
K816+662	25.5	1500	4.0 5.0	直	180 120	200	269 233	190	V	无	优	大弯子中桥,1986年平改尖
K816+662	25.5	1500	2.5 5.0	直	220 120	200	297 233	107	V	无	优	大弯子中桥支沟桥前并流
K816+938	49.9	1500	4.0 3.5	斜	200 100	250	320 269	300	V	无	优	大弯子站内2号槽.1992年改V型涵建槽

续上表

项目 / 里程	Q_{C100} m³/s	ρ_C kg/m³	底宽 m	墙式	$I_{纵}$ ‰	$I_{横}$ ‰	$I_{渠}$ ‰	长度 m	槽底形式	有无淤积	效果	备注
K817+234	43.7	1500	10.0 4.0	直	150 100	250	292 269	170	V	无	优	大弯子站内3号槽1992年新建V型涵和槽
K817+550	131.7	1500	8.0 4.0	直	190 107	250	314 272	315	V	无	优	大弯子站内4号槽，1992年改V型涵和槽
K817+734	缺	1500	12.0 2.0	直	130 70	250	282 260	67	V	无	优	大弯子站内5号槽，1992年改V型涵和槽
K817+894	缺	1500	5.0 2.0	直	230 46	250	340 254	84	V	无	优	大弯子站内6号槽，1992年改V型涵和槽
K818+128	缺	1500	4.0 2.2	直	72 150	250	260 292	66	V	无	优	大弯子站7号，1992年改V型槽
K826+811	缺	1400	3.0	直	200 250	200	283 320	80	V	无	良	江头村隧道口
K878+394	21.1	1400	4.0 3.0	斜	150	300	335	151	V	无	良	石膏箐2号，1987年平改尖
K880+261	38.4	1400	14.4 4.4	斜	230 35	200	305 203	350	V 梯形	无 有	良 差	羊臼河站内，1981年部分平改尖
K884+304	70.0	1500	11.8 3.0	斜	90	250	266	306	V	无	良	楠木坡中桥
K896+948	140.4	1500	5.4 5.0	斜 直	250 150	250	354 292	163	V	无	优	麻栗树2号大桥，1984年平改尖
K897+335	缺	1300	2.8	斜	280 90	200	344 219	187	V	无	良	麻栗树小桥
K902+950	2.5	1350	2.0	直	200 120	250	320 277	45	V	无	良	大树村大桥，1985年平改尖

续上表

项目 / 里程	Q_{C100} m^3/s	ρ_C kg/m^3	底宽 m	墙式	$I_{纵}$ ‰	$I_{横}$ ‰	$I_{泵}$ ‰	长度 m	槽底形式	有无淤积	效果	备注
K909+915	368	1400	13.0	直	90 75	200	219 214	122	V	无	良	法拉中桥，1988年堤改V型槽
K912+200	46.9	1400	4.4	直	130	250	282	15	V	无	优	龙骨甸站内中桥，1988年平改尖
K914+782	177.0	1500	6.0	直	80 144	250	262 322	80	V	无	优	伏井中桥，1984年平改尖
K915+476	40.5	1300	5.0 3.0	斜	135	133 267	190 299	58	V	无	良	伏井小桥 1985年平改尖
K916+228	124.4	1500	6.0	斜	120	250	277	130	V	无	优	石笼村中桥 1988年平改尖
K918+259	48.6	1400	4.0 3.0	直	160	200	255	161	V	无	良	黑井小桥 1981年平改尖
K919+560	266.0	1300	10.0 7.0	直	65 60	200 250	210 257	279	V	无	良	红石岩大桥 1992年建
云南省德钦县城	224.1	1350	11.0 6.0	斜	140 50	250	286 254	310	V	无	优	水磨房河在五中桥并流
云南省德钦县城	221.6	2000	12.0 8.0	斜	63 100	250	258 269	1942	V	无	优	只曲河在五中桥并流
云南省云龙县城	177.0	1500	14.0 10	直	50 10	250 100	255 102	1561	复式V型	无	优	国内最小纵坡值

两端置于槽底的两边斜坡上，石块架空，减小了摩擦力，石块处于不稳定状态，呈滚动或线性摩擦运动。平底槽则与之相反，呈平置或面接触的较稳定状态。要求起动平置式面接触石块所需的力，远比搁置式点接触石块的力要大得多，这是不难理解和用力学证明的。所以V型槽与平底槽固体物质运动不同的根本原因就在此。

2. 其次是建筑材料及其表面粗糙度的影响。各种材质有其不同的摩擦系数，各种粗糙面也有不同的糙率。因此，选择材质和施工质量对排淤效果有一定的影响。特别对水石流固、液相不等速的流体，更有明显的作用。

(二)水深(水力半径)

在泥石流流速公式中，流速与水深(水力半径)成正比。当水深增大时，水力半径和流速亦随之增大，反之，则流速亦随之减小。因此，增大水深是加大流速，增强排导的又一有效方法。要增大水深，只有变换槽形，缩小槽宽，才能达到此目的。

1. 槽形与水深关系

通过水力计算与工程试验以及施工方便等全面经济技术比较，以V型槽排淤效果最佳，施工亦很方便，槽形水力条件虽居第二，但综合槽形最好。圆形槽水力要素最好，排淤效果也不错，但施工难度很大，综合槽型次之。平底槽施工条件最好，但水力条件与排淤效果太差，排泥石流不可取。详见表4—2中各种槽形水力计算比较结果。

2. 槽宽与水深关系

通过水力计算比较(表4—2)，在槽形与过流面积一定的条件下，槽宽与水深(水力半径)成反比。因此，在满足排泄泥石流最大石块顺利通行的边界条件下，压缩槽宽争取水深有价值。

3. 边墙斜坡与水深关系

同样的水力计算比较，在槽形、槽宽、过流面积一定的条件下，边墙坡度与水深成反比。所以边墙坡度愈陡愈有优越性。

(三)水力坡度

在泥石流流速公式中，流速与水力坡度成正比。当水力坡度增

槽形与水力特征比较

表 4－2

项目名称			单位	尖底V型	圆底圆形	弧底弧形	平底梯形	平底矩形
槽底横向坡 $I_{横}$			‰	250	圆形	弧形	0	0
槽底纵坡 $I_{纵}$			‰	100	100	100	100	100
边墙坡度			1∶m	1∶0	1∶00	1∶0	1∶1	1∶0
槽底宽度			m	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
水深	槽底	h_1	m	1.0	4.0	1.0	0	0
	槽身	h_2	m	4.5	1.87	4.33	3.49	5.00
	总深	H	m	5.5	5.87	5.33	3.49	5.00
	水深系数			1.000	1.067	0.969	0.634	0.909
过水断面面积			m^2	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
湿周(x)			m	17.25	16.29	17.09	17.86	18.00
水力半径(R)			m	2.31	2.46	2.34	2.24	2.22
按R计算	$R^{2/3}$		m	1.75	1.82	1.76	1.71	1.70
	u_C		m/s	11.03	11.47	11.09	10.77	10.71
	Q_C		m^3/s	441.2	458.8	443.6	430.8	423.4
	流量误差		%	±0	+4	+0.05	−23.6	−2.9
按H计算	$H^{2/3}$		m	3.12	3.25	3.05	2.30	2.92
	u_C		m/s	17.30	17.40	17.10	14.49	16.92
	Q_C		m^3/s	692.0	696.0	684.0	579.6	676.8
	流量误差		%	±0	+0.06	−1.10	−16.24	−2.2

附注

1. 槽形与水力特征值用粘性泥石流流速公式

$$u_C = KR^{2/3}I^{1/5}$$

作计算比较。

2. V型槽水力特征值仅次于圆形而优于弧形与梯形、矩形。

3. 圆形，弧形底均不易施工。

4. V型槽水力条件既优而又便于施工。

5. 综合比较V型槽是排泥石流的最佳选择

大时，流速随之加大，反之，流速随之减小。因此，增大坡度也是加大流速的有效方法。但是，由于地形条件的限制，常常是不易增大坡度，如若强行增坡，就意味着加大工程，这是很不经济的。我们可以根据前面的分析，采取变换槽形的方式，用V型槽、增大槽底的横坡，也就相应增强了水力束流坡度。这也是增强V型槽排泄防淤效果的另一种形式。

第六节　V型槽工程设计技术要点

V型槽工程设计，要因地制宜，因势利导，顺其自然。在准确的泥石流水文泥砂数据与地质地貌资料基础上，重视泥石流沟的周边环境与出口地缘优势，综合经济技术比较，选择理想的平面、纵坡和横断面，做到三者的最佳有效组合，获取最好的流通效应。

一、V型槽平面设计

(一)平面布置

平面设计应由上而下，随纵坡的变缓，逐渐收缩槽宽，呈倒喇叭形，检算水文泥砂控制断面设在出口最窄处。上游入口用15°～20°扩散角束流堤顺接原沟槽，防止上游沟槽漫流改道，联结部要圆顺渐变，从平面上形成束水攻砂，稳定主流动力线，理顺粗大石块列队归槽，控制大石块并行堵塞。

(二)出口走向

V型槽出口走向应与下游大河主流方向斜交。交角以不大于60°为佳。有利于输送泥石流固体物质，避免泥石流堵河阻水的危害。

(三)V型槽长度

V型槽上游要顺接沟槽，不使泥石流漫流改道为原则。桥址下游长度、除因保护物需要加长外，一般则不宜过长，并适当抬高出口，为出口留有充分的堆积场所和发挥V型槽出口能量集中的特点，使之能自由冲刷，降低出口排水基面，在泥石流堆积区拉沟成槽，以利排导，防止泥石流出槽后漫流堆积。

严禁V型槽伸入下游大河最高洪水位，预防受洪水顶托回淤。

(四)弯曲半径

V型槽平面布设要尽量顺直。必须弯曲时，曲线半径不要小于槽底宽度的10～20倍。

二、V型槽纵坡设计

(一)V型槽纵断面设计

纵断面设计，应由上而下设计成上缓下陡或一坡到底的理想坡度，这有利于泥石流固体物质的排泄。若受地形坡度限制，需设计成上陡下缓时，必须按输砂平衡原理，从平面上配套设计成槽宽逐渐向下游收缩的倒喇叭形，使水深亦逐步加大，保持缓坡段与陡坡段具有相同的水力输砂功能，确保V型槽的排淤效果。纵坡值通常用30‰～300‰。阈值为10‰～350‰

纵坡设计可略缓于泥石流扇纵坡，使出口抬高出地面1m左右，有利于排泄和减轻磨蚀。

(二)坡度联结

当相邻纵坡设计的代数差大于等于50‰时，纵坡设计用竖曲线联结。竖曲线半径尽量大，使泥石流体有较好的流势和减轻泥石流固体物质在变坡点对槽底的局部冲击作用。

(三)增坡设计

1. 当纵坡过缓时，可在桥前设拦碴坝，提高泥石流位能，增大势能，以增强排导。或用人工增坡，加大桥下局部河段纵坡，增强桥下输送能力，提高排淤效果。

2. 利用V型槽横坡加强纵坡。因为V型槽的纵、横坡度与流通效应成正比关系。在纵坡一定的条件下，加大横坡也有增排效应。因此，要注意选择有效的横坡设计值。

(四)V型槽出入口设计

V型槽入口以15°～20°扩散角用曲线顺接沟槽两岸，连接处须牢固可靠，以防淘刷改道。见图4—8。槽前接堤迎水面防护基础

埋深 1～2m。槽的入口垂裙埋深 1～2m。出口设一字墙，拦挡槽后填土，出口垂裙深度视地质、地形和流速确定，一般埋深 2.5～4.0m。图 4—11 为 V 型槽出口平面布置示意；图 4—12 为 V 型槽出口一字墙图；图 4—13 为 V 型槽变高度边墙出口图。

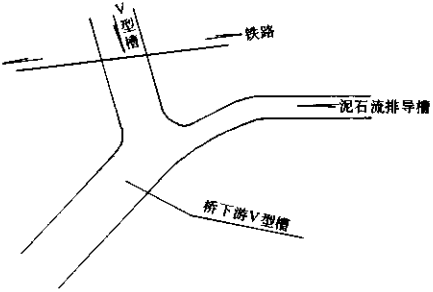


图 4—11　V 型槽出口平面布置示意图

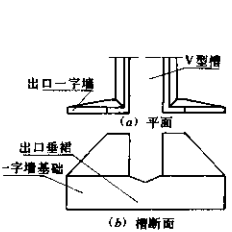


图 4—12　V 型槽出口一字墙图

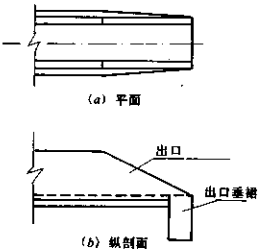


图 4—13　V 型槽变高度边墙出口图

（五）注意事项

禁止在排导槽出口纵坡延长线以下 1.5～2.0m 深度范围内设防冲消能措施，以免受阻形成顶托、漫流回淤影响排泄效果。

（六）V 型槽槽顶，在桥下一般应留有 1.5～2.0m 的净空，满

足泥石流的特殊要求。

三、V 型槽横断面设计

(一)V 型槽底横坡设计

V 型槽底部呈 V 形，其横坡通常用 200‰～250‰。限值为 100‰～300‰。横坡与泥石流颗粒粗度成正比，与养护维修、加固范围有关，横坡愈陡，固体物质愈集中，磨蚀、加固、养护范围愈小，在纵坡不足时加大横坡更有意义。特殊设计可用公式(4—1)进行纵、横坡组合计算，获取最佳效果值。

(二)V 型槽槽宽设计

V 型槽宽度设计，要有适度的深宽比控制，槽底过宽，水深就小，不利于排，槽底磨蚀范围大、维修养护工作量大。但是，槽宽亦不能过小，过小将影响泥石流体内的最大石块的并排运行，导致堵塞漫流危害。因此，V 型槽出口槽宽设计最小不得小于 2.5 倍泥石流流体的最大石块直径。通常深、宽比以 1∶1～1∶3 为宜。

(三)V 型槽槽深设计

1. V 型槽设计水深 H_C 计算

根据 V 型槽流速 $u_c \geqslant$ 泥石流流通区流速 u_t 的选定条件，求算 V 型槽的最小水深；拟定槽深，计算槽宽；选择适宜的深、宽比作设计。最小水深算式如下：

(1)粘性泥石流 V 型槽(铺底槽，考虑铺床作用，K 值相似)

$$H_C \geqslant \left(\frac{I_t}{I_C}\right)^{0.3} \cdot H_L \qquad (4—2)$$

(2)稀性泥石流 V 型槽(铺底槽)

$$H_C \geqslant \left(\frac{I_t}{I_C}\right)^{0.75} \cdot \left(\frac{n_C}{n_t}\right)^{1.5} \cdot H_L \qquad (4—3)$$

式中 C,t——脚标，分别代表 V 型槽和流通区；

$H(R)$——水深(水力半径)，m；

I——纵坡坡度，‰；

n——糙率。

2. V 型槽设计水深 H_c，必须大于 1.2 倍泥石流流体的最大石块直径。防止最大石块在槽内停淤，影响 V 型槽的输砂效果。

3. V 型槽设计流速 u_c，必须大于泥石流流体内最大石块的起动流速，防止最大石块在槽内停积，影响 V 型槽的流通效应。起动流速按 $u_c=5\sqrt{d}$ 计算是偏于安全的，见表 3—21。

(四)安全高度设计

由于泥石流流动时的特殊性，流面常呈现波状阵流运动，固体物质有漂浮表面现象，波涛凶涌，石块碰撞，泥砂飞溅，危害性大于洪水。因此，安全高设计，应按保护物的重要性设置不同的安全值。在地势不利，桥下净空不足，受泥石流控制的重要保护物，安全高用 0.5～1.0m。其余用 0.25m。

当 V 型槽通过能力大于设计流量的 20%时，可不另加安全高。

(五)V 型槽边墙设计

V 型槽边墙分直墙式和斜墙式。设计边墙应视地质、地形、水文、泥砂情况，综合经济技术比选而定。通常直边墙受力较大，适宜在曲线外侧和填方地段。有降低泥石流弯道超高值的作用，抗侧压力较好的优势。斜边墙适宜于挖方和直线段，按护墙受力设计，有省圬工的优越性。

(六)V 型槽设计主要尺寸及圬工规格

V 型槽设计主要尺寸及圬工规格见图 4—14。

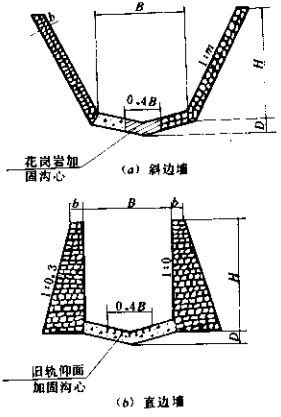


图 4—14 V 型槽设计主要尺寸及圬工规格图

1. 当 $u_c<8$m/s 时，沟心最大厚度用 0.6m。边墙顶宽用

0.5m。槽底用M10.0级水泥砂浆砌片石、块石镶面。边墙用M5.0级水泥砂浆砌片石；沟心设马鞍面。

2. 当 $8 \leqslant u_c \leqslant 12$m/s 时，沟心最大厚度用 0.8m。边墙顶宽用0.6m，槽底用M10.0级水泥砂浆砌片石，并在沟心0.4B槽宽范围内用坚硬块石镶面，或用C15级混凝土，钢纤维混凝土护面0.2m，并在沟心0.4B槽宽范围内设纵向旧钢轨滑床防磨蚀，钢轨底面向上，增大防磨面积，轨距5～10cm。边墙用M7.5级水泥砂浆砌片石。

3. 当 $u_c > 12$m/s 时，沟心最大厚度用1.0m。边墙顶宽用0.7m。槽底用C20级混凝土、钢纤维混凝土护面0.3m，沟心0.4B槽宽范围内用坚硬块石或铸石镶面，或设纵向旧钢轨滑床防磨蚀，钢轨底面向上，增大防磨面积，轨距5～7cm，或采用钢板防护沟心。边墙用M10级水泥砂浆砌片石。

(七)V型槽实践经验

根据成昆线二百余条V型槽十多年来的实践证明，当前排泄泥石流固体物质的效果是好的，但较普遍存在的问题是沟底磨蚀大。为了克服这一缺陷，建议：

1. V型槽纵坡设计，可略小于堆积扇纵坡，以减小流速和磨蚀力。

2. V型槽横坡适当用陡些，使固体物质尽量集中，以缩小磨蚀范围。

3. 集中力量加强沟心0.4B范围内的防磨蚀措施和在沟心设马鞍面，尽可能减小维修养护范围。

第七节　V型槽设计水力要素表使用说明

为了方便V型槽设计时的比选，我们根据最常用的泥石流流速公式，计算出V型槽水力要素表，供设计、施工和管理部门的工程技术人员使用。如表4—3和表4—4所示。

一、设计流速计算公式

第三章已提到粘性和稀性泥石流流速公式，即：

粘性泥石流流速公式

$$V_c = KR^{2/3} I^{1/5}$$

稀性泥石流流速公式

$$V_c = \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

式中 $I_{纵}$——V 型槽底纵向设计坡度，‰；

$I_{横}$——V 型槽底横向设计坡度，‰；

V_c——V 型槽设计流速，m/s；

Q_c——V 型槽设计流量，m^3/s；

K——粘性泥石流流速系数，见第三章表 3—19；

$1/n$——V 型槽清水流糙率（一般为 40）；

R——V 型槽水力半径，m；

a——见本书第 62 页式 3—15；

ρ_c——泥石流流体密度，kg/m^3（粘性 1600～2300，稀性 1500）；

B——V 型槽底口宽度，m；

m——V 型槽边墙坡度；

H——V 型槽设计深度，m；

D——V 型槽底部设计厚度，m；

b——V 型槽槽顶边墙宽度，m。

二、V 型槽设计水力要素表使用方法

（一）根据泥石流沟地形条件确定 V 型槽设计纵坡 $I_{纵}$；

（二）根据泥石流沟地质条件及填、挖方的经济技术比较，确定两侧边墙坡度（1∶m）；

（三）计算泥石流设计流量 Q_c；

（四）根据上述（一）、（二）、（三）项查表确定 V 型槽底宽 B 及

粘性泥石流 V 型槽设计水力要素表

表 4—3

B (m)	H (m)	流速、流量	$I_{纵}$ (‰)	10			15			20			25			30		
			$I_{槽}$ (‰)	250			250			250			250			250		
			边坡	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
1	1		v_c	2.0	2.2	2.3	2.1	2.4	2.5	2.2	2.5	2.7	2.3	2.6	2.8	2.4	2.7	2.9
			Q_c	1.8	2.6	3.0	2.0	2.8	3.3	2.1	2.9	3.5	2.2	3.1	3.7	2.3	3.2	3.8
2	1		v_c	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	2.8	3.0	3.1	3.0	3.1	3.2	3.1	3.2	3.3
			Q_c	4.3	5.0	5.4	4.7	5.4	5.9	5.0	5.7	6.2	5.2	6.0	6.5	5.4	6.2	6.7
	2		v_c	3.1	3.5	3.7	3.3	3.8	4.0	3.5	4.0	4.2	3.7	4.2	4.4	3.8	4.3	4.6
			Q_c	11.5	16.2	19.3	12.5	17.5	21.0	13.2	18.6	22.2	13.8	19.4	23.2	14.3	20.1	24.1
3	2		v_c	3.6	3.9	4.0	3.9	4.2	4.3	4.1	4.4	4.6	4.3	4.6	4.8	4.5	4.8	5.0
			Q_c	19.5	24.0	26.8	21.1	26.0	29.1	22.3	27.6	30.8	23.4	28.9	32.2	24.2	29.9	33.4
	3		v_c	4.0	4.6	4.8	4.4	5.0	5.2	4.6	5.3	5.5	4.8	5.5	5.8	5.0	5.7	6.0
			Q_c	33.9	48.0	57.1	36.8	52.1	62.0	38.9	55.2	65.6	40.7	57.7	68.6	42.2	59.8	71.2
4	2		v_c	3.9	4.1	4.2	4.3	4.5	4.6	4.5	4.8	4.8	4.7	5.0	5.1	4.9	5.2	5.3
			Q_c	27.6	31.8	34.3	29.9	34.5	37.2	31.7	36.5	39.4	33.1	38.2	41.2	34.4	39.6	42.7
	4		v_c	4.9	5.5	5.8	5.3	6.0	6.3	5.6	6.4	6.7	5.8	6.6	7.0	6.1	6.9	7.2
			Q_c	72.9	103.4	122.8	79.0	112.1	133.2	83.7	118.7	141.1	87.5	124.2	147.5	90.8	128.8	153.0
5	2		v_c	4.2	4.3	4.3	4.5	4.7	4.7	4.8	4.9	5.0	5.0	5.2	5.2	5.2	5.4	5.4
			Q_c	35.2	38.7	40.7	38.2	41.9	44.1	40.5	44.4	46.7	42.3	46.4	48.8	43.9	48.2	50.7
	4		v_c	5.3	5.9	6.1	5.8	6.4	6.6	6.1	6.8	7.0	6.4	7.1	7.3	6.6	7.3	7.6
			Q_c	98.3	128.7	146.9	106.6	139.6	159.3	112.9	147.8	168.7	118.1	154.6	176.4	122.5	160.3	182.9

续上表

B (m)	H (m)	流速·流量 \ 边坡	$I_{纵}$(‰)	10			15			20			25			30		
			$I_{横}$(‰)	250			250			250			250			250		
				1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
6	2	v_c		4.3	4.4	4.4	4.7	4.8	4.8	4.9	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.5
		Q_c		41.9	45.2	46.5	45.5	49.0	50.5	48.2	51.9	53.5	50.4	54.2	55.9	52.2	56.3	58.0
	4	v_c		5.7	6.2	6.3	6.2	6.7	6.9	6.5	7.1	7.3	6.8	7.4	7.6	7.1	7.7	7.9
		Q_c		123.8	153.8	171.1	134.3	166.8	185.6	142.2	176.6	196.5	148.7	184.7	205.5	154.2	191.6	213.1
8	3	v_c		5.5	5.7	5.7	6.0	6.2	6.2	6.4	6.5	6.6	6.6	6.8	6.9	6.9	7.1	7.1
		Q_c		110.7	120.7	126.1	120.0	130.9	136.8	127.1	138.6	144.9	132.9	145.0	151.5	137.9	150.3	157.1
	5	v_c		6.8	7.2	7.4	7.3	7.9	8.0	7.8	8.3	8.4	8.1	8.7	8.8	8.4	9.0	9.2
		Q_c		243.6	295.6	323.6	264.2	320.6	351.0	279.9	339.6	371.8	292.6	355.1	388.7	303.5	368.3	403.2
10	3	v_c		5.7	5.8	5.9	6.2	6.3	6.3	6.6	6.7	6.7	6.9	7.0	7.0	7.1	7.2	7.3
		Q_c		136.2	143.4	147.9	147.7	155.5	160.4	156.4	164.7	169.9	163.5	172.2	177.7	169.6	178.6	184.3
	5	v_c		7.2	7.4	7.4	7.9	8.0	8.0	8.3	8.5	8.5	8.7	8.9	8.9	9.0	9.2	9.2
		Q_c		317.0	354.5	376.9	343.8	384.5	408.7	364.1	407.3	432.9	380.7	425.9	452.7	394.9	441.7	469.5
12	4	v_c		6.8	7.0	7.0	7.4	7.6	7.6	7.8	8.0	8.1	8.2	8.4	8.5	8.5	8.7	8.8
		Q_c		265.5	284.8	296.9	287.9	308.9	321.9	305.0	327.2	341.0	318.9	342.1	356.6	330.7	354.8	369.8
	6	v_c		7.5	7.4	7.4	8.1	8.1	8.1	8.6	8.6	8.5	9.0	8.9	8.9	9.3	9.3	9.3
		Q_c		470.2	514.4	543.1	509.9	557.9	589.0	540.1	590.9	623.9	564.7	617.9	652.4	585.7	640.8	676.6

注：流量单位为 m^3/s，流速单位为 m/s，下同。

续上表

B(m)	H(m)	流速、流量	$I_{底}$(‰)	35			40			45			50			55		
			$I_{墙}$(‰)	250			250			250			250			250		
			边墙坡	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
1	1	v_c		2.5	2.8	3.0	2.6	2.9	3.0	2.6	3.0	3.1	2.7	3.0	3.2	2.7	3.1	3.2
		Q_c		2.4	3.3	3.9	2.4	3.4	4.0	2.5	3.5	4.1	2.5	3.5	4.2	2.6	3.6	4.3
2	1	v_c		3.2	3.3	3.4	3.3	3.4	3.5	3.3	3.5	3.6	3.4	3.6	3.7	3.5	3.6	3.8
		Q_c		5.5	6.4	7.0	5.7	6.6	7.1	5.8	6.7	7.3	6.0	6.9	7.5	6.1	7.0	7.6
	2	v_c		3.9	4.4	4.7	4.0	4.6	4.8	4.1	4.7	4.9	4.2	4.8	5.1	4.3	4.9	5.2
		Q_c		14.8	20.8	24.8	15.2	21.3	25.5	15.5	21.9	26.1	15.9	22.3	26.7	16.2	22.7	27.2
3	2	v_c		4.6	5.0	5.1	4.7	5.1	5.3	4.8	5.2	5.4	4.9	5.3	5.5	5.0	5.4	5.6
		Q_c		25.0	30.9	34.5	25.7	31.7	35.4	26.3	32.4	36.2	26.8	33.1	37.0	27.4	33.8	37.7
	3	v_c		5.2	5.9	6.2	5.3	6.0	6.4	5.4	6.2	6.5	5.5	6.3	6.6	5.7	6.4	6.8
		Q_c		43.5	61.7	73.4	44.7	63.4	75.4	45.8	64.9	77.2	46.8	66.3	78.8	47.7	67.5	80.3
4	2	v_c		5.1	5.3	5.4	5.2	5.5	5.6	5.3	5.6	5.7	5.4	5.7	5.8	5.5	5.8	5.9
		Q_c		35.4	40.9	44.1	36.4	42.0	45.3	37.3	43.0	46.3	38.1	43.9	47.3	38.8	44.7	48.2
	4	v_c		6.2	7.1	7.5	6.4	7.3	7.7	6.6	7.5	7.9	6.7	7.6	8.0	6.8	7.8	8.2
		Q_c		93.6	132.8	157.8	96.1	136.4	162.1	98.4	139.6	165.9	100.5	142.6	169.5	102.5	145.4	172.7
5	2	v_c		5.4	5.5	5.6	5.5	5.7	5.7	5.6	5.8	5.9	5.8	5.9	6.0	5.9	6.0	6.1
		Q_c		45.3	49.7	52.2	46.5	51.0	53.7	47.6	52.2	54.9	48.6	53.3	56.1	49.6	54.4	57.2
	4	v_c		6.9	7.6	7.8	7.0	7.8	8.0	7.2	8.0	8.2	7.4	8.1	8.4	7.5	8.3	8.6
		Q_c		126.3	165.3	188.7	129.7	169.8	193.8	132.8	173.8	198.4	135.7	177.5	202.6	138.3	181.0	206.5

续上表

B (m)	H (m)	流速、流量 \ 边墙坡	$i_{底}$(‰)	35			40			45			50			55		
			$i_{壁}$(‰)	250			250			250			250			250		
				1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶05
6	2	v_c		5.5	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	6.0	6.0	5.9	6.1	6.1	6.0	6.2	6.2
		Q_c		53.9	58.0	59.8	55.3	59.6	61.4	56.6	61.0	62.9	57.8	62.3	64.2	59.0	63.5	65.4
	4	v_c		7.3	7.9	8.1	7.5	8.1	8.4	7.7	8.3	8.6	7.9	8.5	8.7	8.0	8.7	8.9
		Q_c		159.1	197.6	219.8	163.4	202.9	225.8	167.3	207.7	231.1	170.8	212.2	236.1	174.1	216.2	240.6
8	3	v_c		7.1	7.3	7.4	7.3	7.5	7.6	7.5	7.7	7.7	7.6	7.9	7.9	7.8	8.0	8.1
		Q_c		142.2	155.1	162.0	146.0	159.3	166.4	149.5	163.0	170.4	152.7	166.5	174.0	155.6	169.7	177.4
	5	v_c		8.7	9.3	9.4	8.9	9.6	9.7	9.1	9.8	9.9	9.3	10.0	10.1	9.5	10.2	10.3
		Q_c		313.0	379.8	415.8	321.5	390.1	427.0	329.2	399.4	437.2	336.2	407.9	446.5	342.6	415.7	455.1
10	3	v_c		7.4	7.5	7.5	7.6	7.7	7.7	7.7	7.9	7.9	7.9	8.0	8.1	8.1	8.2	8.2
		Q_c		174.9	184.2	190.1	179.7	189.2	195.2	183.9	193.7	199.9	187.9	197.8	204.1	191.5	201.6	208.0
	5	v_c		9.3	9.5	9.5	9.6	9.8	9.8	9.8	10.0	10.0	10.0	10.2	10.2	10.2	10.4	10.4
		Q_c		407.3	455.5	484.2	418.3	467.8	497.3	428.2	479.0	509.1	437.4	489.2	520.0	445.8	498.6	530.0
12	4	v_c		8.7	9.0	9.1	9.0	9.2	9.3	9.2	9.4	9.5	9.4	9.6	9.7	9.6	9.8	9.9
		Q_c		341.1	365.9	381.4	350.3	375.8	391.7	358.7	384.8	401.1	366.3	393.0	409.6	373.4	400.5	417.5
	6	v_c		9.6	9.6	9.5	9.8	9.8	9.8	10.1	10.1	10.0	10.3	10.3	10.2	10.5	10.5	10.4
		Q_c		604.0	660.9	697.8	620.4	678.8	716.7	635.2	695.0	733.8	648.7	709.8	749.4	661.2	723.4	763.8

续上表

B(m)	H(m)	流速，流量	$I_{纵}$(‰)	60			65			70			75			80		
			$I_{横}$(‰)	250			250			250			250			250		
			边墙坡	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
1	1		v_c	2.8	3.1	3.3	2.8	3.2	3.4	2.9	3.2	3.4	2.9	3.3	3.5	3.0	3.3	3.5
			Q_c	2.6	3.7	4.4	2.7	3.7	4.4	2.7	3.8	4.5	2.7	3.8	4.6	2.8	3.9	4.6
2	1		v_c	3.5	3.7	3.8	3.6	3.8	3.9	3.6	3.8	3.9	3.7	3.9	4.0	3.7	3.9	4.0
			Q_c	6.2	7.1	7.7	6.3	7.2	7.9	6.4	7.3	8.0	6.5	7.4	8.1	6.5	7.5	8.2
	2		v_c	4.4	5.0	5.2	4.5	5.0	5.3	4.5	5.1	5.4	4.6	5.2	5.5	4.6	5.2	5.6
			Q_c	16.4	23.1	27.7	16.7	23.5	28.1	17.0	23.9	28.5	17.2	24.2	28.9	17.4	24.5	29.3
3	2		v_c	5.1	5.5	5.7	5.2	5.6	5.8	5.3	5.7	5.9	5.4	5.8	6.0	5.4	5.9	6.0
			Q_c	27.8	34.4	38.4	28.3	34.9	39.0	28.7	35.4	39.6	29.1	35.9	40.1	29.5	36.4	40.7
	3		v_c	5.8	6.6	6.9	5.8	6.7	7.0	5.9	6.8	7.1	6.0	6.9	7.2	6.1	6.9	7.3
			Q_c	48.5	68.7	81.8	49.3	69.8	83.1	50.0	70.9	84.3	50.7	71.9	85.5	51.4	72.8	86.6
4	2		v_c	5.6	5.9	6.0	5.7	6.0	6.1	5.8	6.1	6.2	5.9	6.2	6.3	6.0	6.3	6.4
			Q_c	39.5	45.5	49.1	40.1	46.2	49.9	40.7	46.9	50.6	41.3	47.6	51.3	41.8	48.2	52.0
	4		v_c	7.0	7.9	8.3	7.1	8.0	8.5	7.2	8.2	8.6	7.3	8.3	8.7	7.4	8.4	8.8
			Q_c	104.3	147.9	175.7	105.9	150.3	178.6	107.5	152.5	181.2	109.0	154.7	183.8	110.4	156.7	186.2
5	2		v_c	6.0	6.2	6.2	6.1	6.3	6.3	6.2	6.3	6.4	6.3	6.4	6.5	6.3	6.5	6.6
			Q_c	50.4	55.3	58.2	51.2	56.2	59.1	52.0	57.0	60.0	52.7	57.8	60.8	53.4	58.6	61.6
	4		v_c	7.6	8.4	8.7	7.8	8.6	8.9	7.9	8.7	9.0	8.0	8.8	9.1	8.1	8.9	9.2
			Q_c	140.7	184.1	210.1	143.0	187.1	213.5	145.1	189.9	216.7	147.1	192.5	219.7	149.0	195.0	222.6

续上表

B(m)	H(m)	流速，流量 \ $i_{纵}$(‰)	60			65			70			75			80		
		$i_{横}$(‰)	250			250			250			250			250		
		边墙坡	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
6	2	v_c	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.3	6.5	6.5	6.4	6.6	6.6	6.5	6.7	6.7
		Q_c	60.0	64.6	66.6	61.0	65.7	67.7	61.9	66.6	68.7	62.7	67.6	69.6	63.5	68.5	70.5
	4	v_c	8.1	8.8	9.1	8.3	9.0	9.2	8.4	9.1	9.3	8.5	9.2	9.5	8.6	9.4	9.6
		Q_c	177.2	220.0	244.8	180.0	223.6	248.8	182.7	226.9	252.5	185.3	230.1	256.0	187.7	233.1	259.3
8	3	v_c	7.9	8.1	8.2	8.0	8.3	8.3	8.2	8.4	8.5	8.3	8.5	8.6	8.4	8.6	8.7
		Q_c	158.4	172.7	180.5	160.9	175.5	183.4	163.3	178.1	186.1	165.6	180.6	188.7	167.8	182.9	191.2
	5	v_c	9.7	10.4	10.5	9.8	10.5	10.7	10.0	10.7	10.9	10.1	10.8	11.0	10.3	11.0	11.1
		Q_c	348.6	423.0	463.1	354.3	429.8	470.6	359.6	436.3	477.6	364.6	442.3	484.2	369.3	448.1	490.5
10	3	v_c	8.2	8.3	8.4	8.3	8.5	8.5	8.5	8.6	8.6	8.6	8.7	8.8	8.7	8.8	8.9
		Q_c	194.8	205.2	211.7	198.0	208.5	215.1	200.9	211.6	218.3	203.7	214.6	221.4	206.4	217.3	224.2
	5	v_c	10.4	10.6	10.6	10.5	10.7	10.8	10.7	10.9	11.0	10.8	11.1	11.1	11.0	11.2	11.2
		Q_c	453.6	507.3	539.3	460.9	515.5	548.0	467.8	523.2	556.2	474.3	530.5	563.9	480.5	537.4	571.2
12	4	v_c	9.7	10.0	10.1	9.9	10.1	10.2	10.0	10.3	10.4	10.2	10.4	10.5	10.3	10.6	10.7
		Q_c	379.9	407.5	424.8	386.0	414.1	431.7	391.8	420.3	438.1	397.3	426.1	444.2	402.4	431.7	450.0
	6	v_c	10.7	10.7	10.6	10.9	10.8	10.8	11.0	11.0	11.0	11.2	11.1	11.1	11.3	11.3	11.3
		Q_c	672.8	736.1	777.2	683.6	748.0	789.8	693.9	759.2	801.6	703.5	769.7	812.7	712.6	779.7	823.3

续上表

B(m)	H(m)	流速、流量	$I_{纵}$(‰)	90			100			110			120			130		
			$I_{横}$(‰)	250			250			250			250			250		
			边墙坡	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5
1	1	v_C		3.0	3.4	3.6	3.1	3.5	3.7	3.2	3.5	3.7	3.2	3.6	3.8	3.3	3.7	3.9
		Q_C		2.8	4.0	4.7	2.9	4.1	4.8	3.0	4.1	4.9	3.0	4.2	5.0	3.1	4.3	5.1
2	1	v_c		3.8	4.0	4.1	3.9	4.1	4.2	4.0	4.2	4.3	4.1	4.3	4.4	4.1	4.3	4.5
		Q_c		6.7	7.7	8.4	6.8	7.9	8.6	7.0	8.0	8.7	7.1	8.2	8.9	7.2	8.3	9.0
	2	v_c		4.8	5.4	5.7	4.9	5.5	5.8	5.0	5.6	5.9	5.0	5.7	6.0	5.1	5.8	6.1
		Q_c		17.8	25.1	30.0	18.2	25.6	30.6	18.6	26.1	31.2	18.9	26.6	31.8	19.2	27.0	32.3
3	2	v_c		5.6	6.0	6.2	5.7	6.1	6.3	5.8	6.2	6.4	5.9	6.3	6.5	6.0	6.5	6.6
		Q_c		30.2	37.3	41.6	30.8	38.1	42.5	31.4	38.8	43.3	32.0	39.5	44.1	32.5	40.1	44.8
	3	v_c		6.2	7.1	7.5	6.4	7.3	7.6	6.5	7.4	7.8	6.6	7.5	7.9	6.7	7.6	8.0
		Q_c		52.6	74.5	88.7	53.7	76.1	90.5	54.8	77.6	92.3	55.7	78.9	93.9	56.6	80.2	95.4
4	2	v_c		6.1	6.4	6.5	6.2	6.6	6.7	6.4	6.7	6.8	6.5	6.8	6.9	6.6	6.9	7.0
		Q_c		42.8	49.3	53.2	43.7	50.4	54.4	44.6	51.4	55.4	45.3	52.3	56.4	46.1	53.1	57.3
	4	v_c		7.5	8.6	9.0	7.7	8.8	9.2	7.8	8.9	9.4	8.0	9.1	9.6	8.1	9.2	9.7
		Q_c		113.1	160.4	190.6	115.5	163.8	194.6	117.7	167.0	198.4	119.8	169.9	201.9	121.7	172.7	205.1
5	2	v_c		6.5	6.7	6.7	6.6	6.8	6.9	6.8	6.9	7.0	6.9	7.1	7.1	7.0	7.2	7.2
		Q_c		54.7	60.0	63.1	55.8	61.3	64.4	56.9	62.4	65.7	57.9	63.5	66.8	58.9	64.6	67.9
	4	v_c		8.3	9.1	9.5	8.5	9.3	9.7	8.6	9.5	9.8	8.8	9.7	10.0	8.9	9.8	10.2
		Q_c		152.6	199.7	227.9	155.8	203.9	232.7	158.8	207.9	237.2	161.6	211.5	241.4	164.2	214.9	245.3

续上表

B (m)	H (m)	流速·流量 / 边坡	$I_{纵}$(‰)	90			100			110			120			130		
			$I_{横}$(‰)	250			250			250			250			250		
				1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
6	2	v_c		6.7	6.9	6.9	6.8	7.0	7.0	6.9	7.1	7.1	7.1	7.3	7.3	7.2	7.4	7.4
		Q_c		65.1	70.1	72.2	66.4	71.6	73.7	67.7	73.0	75.2	68.9	74.2	76.5	70.0	75.4	77.7
	4	v_c		8.8	9.6	9.8	9.0	9.8	10.0	9.2	10.0	10.2	9.4	10.1	10.4	9.5	10.3	10.6
		Q_c		192.2	238.6	265.5	196.2	243.7	271.2	200.0	248.4	276.4	203.5	252.8	281.2	206.8	256.8	285.8
8	3	v_c		8.6	8.8	8.9	8.8	9.0	9.1	8.9	9.2	9.3	9.1	9.4	9.4	9.2	9.5	9.6
		Q_c		171.7	187.3	195.7	175.4	191.3	199.3	178.8	195.0	203.7	181.9	198.4	207.3	184.9	201.6	210.7
	5	v_c		10.5	11.2	11.4	10.7	11.5	11.7	10.9	11.7	11.9	11.1	11.9	12.1	11.3	12.1	12.3
		Q_c		378.1	458.8	502.2	386.1	468.5	512.9	393.6	477.5	522.8	400.5	485.9	532.0	406.9	493.8	540.6
10	3	v_c		8.9	9.0	9.1	9.1	9.2	9.3	9.3	9.4	9.5	9.4	9.6	9.6	9.6	9.7	9.8
		Q_c		211.3	222.5	229.6	215.8	227.3	234.5	219.9	231.6	239.0	223.8	235.7	243.2	227.4	239.5	247.1
	5	v_c		11.2	11.5	11.5	11.5	11.7	11.8	11.7	11.9	12.0	11.9	12.1	12.2	12.1	12.3	12.4
		Q_c		491.9	550.2	584.8	502.4	561.9	597.3	512.1	572.7	608.8	521.1	582.8	619.5	529.5	592.2	629.5
12	4	v_c		10.6	10.8	10.9	10.8	11.0	11.2	11.0	11.3	11.4	11.2	11.5	11.6	11.4	11.6	11.8
		Q_c		412.0	442.0	460.7	420.8	451.4	470.5	428.9	460.1	479.6	436.4	468.2	488.0	443.5	475.7	495.9
	6	v_c		11.6	11.6	11.5	11.8	11.8	11.8	12.1	12.0	12.0	12.3	12.2	12.2	12.5	12.4	12.4
		Q_c		729.6	798.3	842.9	745.2	815.3	860.8	759.5	831.0	877.4	772.8	845.6	892.8	785.3	859.2	907.2

续上表

B(m)	H(m)	流速·流量	$i_{纵}$(‰)	140			150			160			170			180		
			$i_{横}$(‰)	250			250			250			250			250		
			边墙坡	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
1	1	v_c		3.3	3.7	3.9	3.4	3.8	4.0	3.4	3.8	4.0	3.4	3.9	4.1	3.5	3.9	4.1
		Q_c		3.1	4.3	5.2	3.2	4.4	5.2	3.2	4.5	5.3	3.2	4.5	5.4	3.3	4.6	5.4
2	1	v_c		4.2	4.4	4.5	4.2	4.4	4.6	4.3	4.5	4.6	4.3	4.6	4.7	4.4	4.6	4.8
		Q_c		7.3	8.4	9.2	7.4	8.5	9.3	7.5	8.7	9.4	7.6	8.8	9.5	7.7	8.9	9.7
	2	v_c		5.2	5.9	6.2	5.3	6.0	6.3	5.3	6.0	6.4	5.4	6.1	6.5	5.5	6.2	6.5
		Q_c		19.5	27.4	32.8	19.8	27.8	33.2	20.0	28.2	33.7	20.3	28.5	34.1	20.5	28.8	34.5
3	2	v_c		6.1	6.5	6.7	6.2	6.6	6.8	6.2	6.7	6.9	6.3	6.8	7.0	6.4	6.9	7.1
		Q_c		33.0	40.7	45.5	33.4	41.3	46.1	33.9	41.8	46.7	34.3	42.3	47.3	34.7	42.8	47.8
	3	v_c		6.8	7.8	8.2	6.9	7.9	8.3	7.0	8.0	8.4	7.1	8.1	8.5	7.2	8.2	8.6
		Q_c		57.5	81.4	96.8	58.3	82.5	98.2	59.0	83.6	99.5	59.7	84.6	100.7	60.4	85.6	101.8
4	2	v_c		6.7	7.0	7.2	6.8	7.1	7.3	6.9	7.2	7.3	6.9	7.3	7.4	7.0	7.4	7.5
		Q_c		46.8	53.9	58.2	47.4	54.7	59.0	48.0	55.4	59.7	48.6	56.0	60.5	49.2	56.7	61.2
	4	v_c		8.2	9.4	9.9	8.3	9.5	10.0	8.5	9.6	10.1	8.6	9.8	10.2	8.7	9.9	10.4
		Q_c		123.5	175.2	208.2	125.2	177.7	211.1	126.8	180.0	213.8	128.4	182.2	216.4	129.9	184.3	218.9
5	2	v_c		7.1	7.3	7.4	7.2	7.4	7.5	7.3	7.5	7.6	7.4	7.6	7.6	7.5	7.7	7.7
		Q_c		59.7	65.5	68.9	60.6	66.4	69.9	61.4	67.3	70.8	62.1	68.1	71.7	62.8	68.9	72.5
	4	v_c		9.0	10.0	10.3	9.2	10.1	10.5	9.3	10.3	10.6	9.4	10.4	10.7	9.5	10.5	10.9
		Q_c		166.7	218.1	249.0	169.0	221.2	252.4	171.2	224.0	255.7	173.3	226.8	258.8	175.3	229.4	261.8

续上表

B(m)	H(m)	流速、流量	$I_{底}$(‰)	140			150			160			170			180		
			$I_{侧}$(‰)	250			250			250			250			250		
			边墙坡	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
6	2	v_c		7.3	7.5	7.5	7.4	7.6	7.6	7.5	7.7	7.7	7.6	7.8	7.8	7.7	7.9	7.9
		Q_c		71.1	76.6	78.9	72.1	77.6	80.0	73.0	78.6	81.0	73.9	79.6	82.0	74.7	80.5	82.9
	4	v_c		9.7	10.5	10.7	9.8	10.6	10.9	9.9	10.7	11.0	10.0	10.9	11.2	10.1	11.0	11.3
		Q_c		209.9	260.7	290.0	212.8	264.3	294.1	215.6	267.7	297.9	218.2	271.0	301.5	220.7	274.1	305.0
8	3	v_c		9.4	9.7	9.7	9.5	9.8	9.9	9.6	9.9	10.0	9.8	10.0	10.1	9.9	10.1	10.2
		Q_c		187.6	204.6	213.8	190.2	207.4	216.8	192.7	210.1	219.6	195.0	212.7	222.3	197.3	215.1	224.8
	5	v_c		11.5	12.3	12.5	11.6	12.5	12.6	11.8	12.6	12.8	11.9	12.8	13.0	12.1	12.9	13.1
		Q_c		413.0	501.1	548.6	418.8	508.1	556.2	424.2	514.7	563.5	429.4	521.0	570.3	434.3	527.0	576.9
10	3	v_c		9.7	9.9	9.9	9.9	10.0	10.1	10.0	10.1	10.2	10.1	10.2	10.3	10.2	10.4	10.4
		Q_c		230.8	243.1	250.8	234.0	246.5	254.3	237.1	249.7	257.6	239.9	252.7	260.7	242.7	255.6	263.7
	5	v_c		12.3	12.5	12.6	12.5	12.7	12.8	12.6	12.9	12.9	12.8	13.0	13.1	12.9	13.2	13.2
		Q_c		537.4	601.0	638.9	544.8	609.4	647.7	551.9	617.3	656.2	558.6	624.8	664.2	565.1	632.0	671.8
12	4	v_c		11.5	11.8	11.9	11.7	12.0	12.1	11.9	12.1	12.3	12.0	12.3	12.4	12.1	12.4	12.6
		Q_c		450.1	482.8	503.3	456.3	489.5	510.2	462.3	495.9	516.9	467.9	501.9	523.2	473.3	507.7	529.2
	6	v_c		12.7	12.6	12.6	12.8	12.8	12.8	13.0	13.0	12.9	13.2	13.1	13.1	13.3	13.3	13.2
		Q_c		797.0	872.1	920.7	808.1	884.2	933.5	818.6	895.7	945.7	828.6	906.6	957.2	838.1	917.0	968.2

续上表

B (m)	H (m)	流速·流量	$I_{纵}$(‰)	200			220			240			260			280		
			$I_{横}$(‰)	200			200			200			200			200		
			边墙坡	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
1	1	v_c		3.5	4.0	4.3	3.5	4.1	4.4	3.6	4.1	4.4	3.7	4.2	4.5	3.7	4.3	4.6
		Q_c		3.3	4.7	5.8	3.4	4.8	5.9	3.4	4.9	6.0	3.5	5.0	6.1	3.5	5.1	6.2
2	1	v_c		4.6	4.8	4.9	4.7	4.9	4.9	4.7	5.0	5.0	4.8	5.0	5.1	4.9	5.1	5.2
		Q_c		8.2	9.5	10.3	8.4	9.7	10.5	8.5	9.9	10.7	8.7	10.0	10.8	8.8	10.2	11.0
	2	v_c		5.6	6.4	6.7	5.7	6.5	6.9	5.8	6.6	7.0	5.9	6.7	7.1	6.0	6.8	7.2
		Q_c		21.2	30.4	36.5	21.6	31.0	37.2	22.0	31.6	37.9	22.3	32.1	38.5	22.7	32.5	39.1
3	2	v_c		6.5	7.1	7.3	6.6	7.2	7.5	6.8	7.4	7.6	6.9	7.5	7.7	7.0	7.6	7.8
		Q_c		36.2	45.6	51.2	36.9	46.5	52.2	37.5	47.3	53.1	38.2	48.1	54.0	38.7	48.8	54.8
	3	v_c		7.3	8.3	8.8	7.5	8.5	9.0	7.6	8.6	9.2	7.7	8.8	9.3	7.8	8.9	9.5
		Q_c		62.6	89.5	107.9	63.8	91.2	110.0	64.9	92.8	111.9	66.0	94.3	113.7	66.9	95.7	115.4
4	2	v_c		7.2	7.6	7.8	7.3	7.8	7.9	7.4	7.9	8.0	7.6	8.0	8.2	7.7	8.1	8.3
		Q_c		51.7	60.7	65.8	52.7	61.8	67.0	53.6	62.9	68.2	54.4	63.9	69.3	55.3	64.9	70.3
	4	v_c		8.8	10.1	10.7	9.0	10.3	10.9	9.2	10.4	11.0	9.3	10.6	11.2	9.5	10.8	11.4
		Q_c		134.4	192.3	231.0	137.0	196.0	235.4	139.4	199.5	239.6	141.6	202.7	243.4	143.8	205.7	247.1
5	2	v_c		7.6	8.0	8.0	7.8	8.1	8.2	7.9	8.3	8.3	8.0	8.4	8.5	8.1	8.5	8.6
		Q_c		66.6	75.2	79.5	67.9	76.6	81.0	69.1	78.0	82.4	70.2	79.2	83.8	71.2	80.4	85.0
	4	v_c		9.7	10.7	11.2	9.9	10.9	11.5	10.1	11.1	11.7	10.2	11.3	11.8	10.4	11.5	12.0
		Q_c		182.1	240.6	279.5	185.6	245.2	284.9	188.9	249.5	289.9	191.9	253.6	294.6	194.8	257.3	299.0

续上表

B(m)	H(m)	流速，流量	$I_{底}$(‰)	200			220			240			260			280		
			$I_{槽}$(‰)	200			200			200			200			200		
			边坡	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
6	2	v_c		7.9	8.2	8.2	8.1	8.3	8.3	8.2	8.5	8.5	8.3	8.6	8.6	8.5	8.8	8.8
		Q_c		80.6	88.4	91.6	82.1	90.1	93.3	83.6	91.7	95.0	84.9	93.1	96.5	86.2	94.5	97.9
	4	v_c		10.4	11.3	11.7	10.6	11.5	11.9	10.7	11.7	12.1	10.9	11.9	12.3	11.1	12.1	12.5
		Q_c		230.1	290.2	326.5	234.5	295.8	332.8	238.6	301.0	338.6	242.5	305.9	344.1	246.1	310.4	349.2
8	3	v_c		10.1	10.5	10.7	10.3	10.7	10.9	10.5	10.9	11.0	10.7	11.1	11.2	10.9	11.2	11.4
		Q_c		211.1	233.8	247.4	215.1	238.3	252.2	218.9	242.5	256.6	222.4	246.4	260.7	225.7	250.1	264.6
	5	v_c		12.3	13.3	13.4	12.6	13.6	13.7	12.8	13.8	13.9	13.0	14.1	14.1	13.2	14.3	14.4
		Q_c		453.4	561.3	612.4	462.1	572.1	624.2	470.3	582.2	635.2	477.8	591.5	645.4	485.0	600.4	655.1
10	3	v_c		10.6	10.8	10.9	10.8	11.0	11.1	11.0	11.2	11.3	11.2	11.4	11.5	11.3	11.6	11.6
		Q_c		264.5	282.9	293.5	269.6	288.4	299.2	274.4	293.4	304.4	278.8	298.2	309.3	283.0	302.6	314.0
	5	U_c		13.3	13.5	13.5	13.5	13.7	13.8	13.8	14.0	14.0	14.0	14.2	14.2	14.2	14.4	14.4
		Q_c		596.9	671.5	715.9	608.3	684.5	729.7	619.0	696.5	742.5	629.0	707.7	754.4	638.4	718.3	765.7
12	4	v_c		12.6	13.0	13.0	12.9	13.2	13.3	13.1	13.5	13.5	13.3	13.7	13.7	13.5	13.9	14.0
		Q_c		514.5	559.8	583.4	524.4	570.6	594.6	533.6	580.6	605.1	542.3	590.0	614.8	550.4	598.8	624.0
	6	v_c		13.6	13.5	13.5	13.9	13.8	13.8	14.1	14.0	14.0	14.3	14.3	14.2	14.5	14.5	14.5
		Q_c		880.8	969.9	1031.2	897.8	988.5	1051.1	913.5	1005.9	1069.5	928.3	1022.1	1086.8	942.1	1037.4	1103.0

稀性泥石流 V 型槽设计水力要素表

表 4—4

B(m)	H(m)	流速，流量 \ $I_{槽}$(‰) \ $I_{沟}$(‰) \ 边墙坡	10			15			20			25			30		
			250			250			250			250			250		
			1：0	1：0.3	1：0.5	1：0	1：0.3	1：0.5	1：0	1：0.3	1：0.5	1：0	1：0.3	1：0.5	1：0	1：0.3	1：0.5
1	1	v_c	1.3	1.5	1.6	1.6	1.8	1.9	1.9	2.1	2.2	2.1	2.4	2.5	2.3	2.6	2.7
		Q_c	1.2	1.7	2.1	1.5	2.1	2.5	1.8	2.5	2.9	2.0	2.8	3.3	2.2	3.1	3.6
2	1	v_c	1.7	1.8	1.8	2.1	2.2	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0	3.1
		Q_c	2.9	3.4	3.7	3.6	4.1	4.5	4.2	4.8	5.2	4.6	5.3	5.8	5.1	5.9	6.4
	2	v_c	2.1	2.4	2.5	2.6	2.9	3.1	2.9	3.3	3.5	3.3	3.7	3.9	3.6	4.1	4.3
		Q_c	7.8	11.0	13.2	9.6	13.5	16.1	11.1	15.6	18.6	12.4	17.4	20.8	13.5	19.1	22.8
3	2	v_c	2.4	2.6	2.7	3.0	3.2	3.3	3.4	3.7	3.8	3.9	4.2	4.3	4.2	4.5	4.7
		Q_c	13.2	16.3	18.3	16.2	20.0	22.4	18.7	23.1	25.8	20.9	25.8	28.9	22.9	28.3	31.6
	3	v_c	2.7	3.1	3.3	3.3	3.8	4.0	3.9	4.4	4.6	4.3	4.9	5.2	4.7	5.4	5.7
		Q_c	23.1	32.7	38.9	28.2	40.0	47.6	32.6	46.2	55.0	36.5	51.7	61.4	39.9	56.6	67.3
4	2	v_c	2.7	2.8	2.9	3.3	3.4	3.5	3.8	4.0	4.1	4.2	4.5	4.5	4.6	4.9	5.0
		Q_c	18.8	21.6	23.3	23.0	26.5	28.6	26.5	30.6	33.0	29.7	34.2	36.9	32.5	37.5	40.4
	4	v_c	3.3	3.8	4.0	4.0	4.6	4.8	4.7	5.3	5.6	5.2	6.0	6.3	5.7	6.5	6.8
		Q_c	49.6	70.3	83.5	60.7	86.1	102.3	70.1	99.4	118.1	78.4	111.2	132.1	85.8	121.8	144.7
5	2	v_c	2.8	2.9	3.0	3.5	3.6	3.6	4.0	4.1	4.2	4.5	4.6	4.7	4.9	5.1	5.1
		Q_c	24.0	26.3	27.7	29.4	32.2	33.9	33.9	37.2	39.1	37.9	41.6	43.7	41.5	45.5	47.9
	4	v_c	3.6	4.0	4.1	4.4	4.9	5.1	5.1	5.7	5.9	5.7	6.3	6.6	6.3	6.9	7.2
		Q_c	66.9	87.5	99.9	81.9	107.2	122.3	94.6	123.8	141.3	105.7	138.4	157.9	115.8	151.6	173.0

续上表

B (m)	H (m)	流速，流量 \ $I_{纵}$(‰)	$I_{横}$(‰) \ 边墙坡	10			15			20			25			30		
				250			250			250			250			250		
				1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5
6	2	v_c		2.9	3.0	3.0	3.6	3.7	3.7	4.1	4.3	4.3	4.6	4.8	4.8	5.1	5.2	5.2
		Q_c		28.5	30.7	31.7	34.9	37.6	38.8	40.3	43.4	44.8	45.1	48.6	50.0	49.4	53.2	54.8
	4	v_c		3.9	4.2	4.3	4.7	5.1	5.3	5.5	5.9	6.1	6.1	6.6	6.8	6.7	7.3	7.5
		Q_c		84.2	104.6	116.4	103.2	128.1	142.5	119.1	147.9	164.6	133.2	165.4	184.0	145.9	181.2	201.6
8	3	v_c		3.8	3.9	3.9	4.6	4.7	4.8	5.3	5.5	5.5	6.0	6.1	6.2	6.5	6.7	6.8
		Q_c		75.3	82.1	85.8	92.2	100.5	105.1	106.5	116.1	121.3	119.0	129.8	135.6	130.4	142.2	148.6
	5	v_c		4.6	4.9	5.1	5.6	6.0	6.2	6.5	7.0	7.2	7.3	7.8	8.0	8.0	8.5	8.8
		Q_c		165.7	201.1	222.8	203.0	246.3	272.9	234.4	284.4	315.1	262.0	317.9	352.3	287.1	348.3	385.9
10	3	v_c		3.9	4.0	4.0	4.8	4.8	4.9	5.5	5.6	5.6	6.2	6.3	6.3	6.8	6.8	6.9
		Q_c		92.6	97.5	100.6	113.4	119.5	123.3	131.0	137.9	142.3	146.1	154.2	159.1	160.4	168.9	174.3
	5	v_c		4.9	5.2	5.3	6.0	6.3	6.5	7.0	7.3	7.5	7.8	8.2	8.3	8.5	9.0	9.1
		Q_c		215.6	248.1	268.1	264.1	303.9	328.4	304.9	350.9	379.2	340.9	392.3	424.0	373.5	429.7	464.4
12	4	v_c		4.6	4.7	4.8	5.7	5.8	5.9	6.5	6.7	6.8	7.3	7.5	7.6	8.0	8.2	8.3
		Q_c		180.6	193.7	201.9	221.2	237.3	247.3	255.4	274.0	285.6	285.5	306.3	319.3	312.8	335.6	349.8
	6	v_c		5.6	5.8	6.0	6.8	7.2	7.3	7.9	8.3	8.4	8.8	9.2	9.4	9.7	10.1	10.3
		Q_c		351.4	404.1	435.7	430.4	494.9	533.6	497.0	571.4	616.1	555.7	628.9	688.9	608.7	699.9	754.6

续上表

B(m)	H(m)	流速·流量	$i_{纵}$(‰)	35			40			45			50			55		
			$i_{槽}$(‰)	250			250			250			250			250		
			边墙坡	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5
1	1		v_c	2.5	2.8	2.9	2.7	3.0	3.1	2.8	3.2	3.3	3.0	3.3	3.5	3.1	3.5	3.7
			Q_c	2.3	3.3	3.9	2.5	3.5	4.1	2.6	3.7	4.4	2.8	3.9	4.6	2.9	4.1	4.9
2	1		v_c	3.1	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	4.1	3.9	4.1	4.3
			Q_c	5.5	6.3	6.9	5.9	6.8	7.4	6.2	7.2	7.8	6.6	7.6	8.2	6.9	7.9	8.6
	2		v_c	3.9	4.4	4.7	4.2	4.7	5.0	4.4	5.0	5.3	4.7	5.3	5.6	4.9	5.5	5.8
			Q_c	14.6	20.6	24.6	15.6	22.0	26.3	16.6	23.3	27.9	17.5	24.6	29.4	18.3	25.8	30.8
3	2		v_c	4.6	4.9	5.1	4.9	5.3	5.4	5.2	5.6	5.7	5.4	5.9	6.1	5.7	6.2	6.4
			Q_c	24.8	30.6	34.1	26.5	32.7	36.5	28.1	34.7	38.7	29.6	36.5	40.8	31.0	38.3	42.8
	3		v_c	5.1	5.8	6.1	5.5	6.2	6.6	5.8	6.6	7.0	6.1	7.0	7.3	6.4	7.3	7.7
			Q_c	43.1	61.1	72.7	46.1	65.3	77.7	48.9	69.3	82.4	51.6	73.0	86.9	54.1	76.6	91.1
4	2		v_c	5.0	5.3	5.4	5.4	5.6	5.7	5.7	6.0	6.1	6.0	6.3	6.4	6.3	6.6	6.7
			Q_c	35.1	40.5	43.7	37.5	43.3	46.7	39.8	45.9	49.5	42.0	48.4	52.2	44.0	50.7	54.7
	4		v_c	6.2	7.0	7.4	6.6	7.5	7.9	7.0	8.0	8.4	7.4	8.4	8.8	7.7	8.8	9.3
			Q_c	92.7	131.5	156.3	99.1	140.6	167.1	105.1	149.2	177.2	110.8	157.2	186.8	116.2	164.9	195.9
5	2		v_c	5.3	5.5	5.5	5.7	5.8	5.9	6.0	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.9	6.9
			Q_c	44.8	49.2	51.7	47.9	52.6	55.3	50.8	55.8	58.7	53.6	58.8	61.8	56.2	61.7	64.9
	4		v_c	6.8	7.5	7.8	7.3	8.0	8.3	7.7	8.5	8.8	8.1	9.0	9.3	8.5	9.4	9.7
			Q_c	125.1	163.8	186.9	133.8	175.1	199.8	141.9	185.7	211.9	149.5	195.7	223.4	156.8	205.3	234.3

续上表

B (m)	H (m)	流速、流量 \ $I_{纵}$(‰)	35			40			45			50			55		
		$I_{横}$(‰)	250			250			250			250			250		
		边墙坡	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
6	2	v_c	5.5	5.6	5.6	5.8	6.0	6.0	6.2	6.4	6.4	6.5	6.7	6.7	6.9	7.0	7.0
		Q_c	53.3	57.5	59.2	57.0	61.4	63.3	60.5	65.2	67.1	63.8	68.7	70.8	66.9	72.0	74.2
	4	v_c	7.2	7.9	8.1	7.7	8.4	8.6	8.2	8.9	9.1	8.7	9.4	9.6	9.1	9.8	10.1
		Q_c	157.6	195.7	217.7	168.5	209.2	232.8	178.7	221.9	246.9	188.3	233.9	260.2	197.5	245.3	272.9
8	3	v_c	7.0	7.2	7.3	7.5	7.7	7.8	8.0	8.2	8.3	8.4	8.7	8.7	8.8	9.1	9.1
		Q_c	140.8	153.6	160.5	150.6	164.2	171.6	159.7	174.2	182.0	168.3	183.6	191.8	176.6	192.5	201.2
	5	v_c	8.6	9.2	9.5	9.2	9.9	10.1	9.8	10.5	10.7	10.3	11.0	11.3	10.8	11.6	11.9
		Q_c	310.1	376.2	416.8	331.5	402.2	445.6	351.6	426.6	472.7	370.6	449.6	498.2	388.7	471.6	522.5
10	3	v_c	7.3	7.4	7.4	7.8	7.9	8.0	8.3	8.4	8.4	8.7	8.8	8.9	9.1	9.3	9.3
		Q_c	173.3	182.5	188.3	185.2	195.1	201.3	196.5	206.9	213.5	207.1	218.1	225.0	217.2	228.7	236.0
	5	v_c	9.2	9.7	9.9	9.9	10.3	10.6	10.5	11.0	11.2	11.0	11.6	11.8	11.6	12.1	12.4
		Q_c	403.4	464.2	501.7	431.2	496.2	536.3	457.4	526.3	568.8	482.2	554.8	599.6	505.7	581.9	628.9
12	4	v_c	8.7	8.9	9.0	9.3	9.5	9.6	9.8	10.1	10.2	10.4	10.6	10.7	10.9	11.1	11.2
		Q_c	337.9	362.4	377.8	361.2	387.5	403.9	383.1	411.0	428.4	403.8	433.2	451.5	423.5	454.3	473.6
	6	v_c	10.4	10.9	11.1	11.2	11.7	11.9	11.8	12.4	12.6	12.5	13.1	13.3	13.1	13.7	14.0
		Q_c	657.5	755.9	815.1	702.9	808.1	871.4	745.5	857.2	924.2	785.9	903.3	974.2	824.2	947.6	1021.8

续上表

B (m)	H (m)	$I_{纵}$ (‰)	60			65			70			75			80		
		$I_{横}$ (‰)	250			250			250			250			250		
		流速、流量 \ 边墙坡	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5
1	1	v_c	3.3	3.6	3.8	3.4	3.8	4.0	3.5	3.9	4.2	3.6	4.1	4.3	3.8	4.2	4.4
		Q_c	3.1	4.3	5.1	3.2	4.4	5.3	3.3	4.6	5.5	3.4	4.8	5.7	3.5	4.9	5.9
2	1	v_c	4.1	4.3	4.4	4.3	4.5	4.6	4.4	4.7	4.8	4.6	4.8	5.0	4.7	5.0	5.1
		Q_c	7.2	8.3	9.0	7.5	8.6	9.4	7.8	8.9	9.7	8.0	9.3	10.1	8.3	9.6	10.4
	2	v_c	5.1	5.8	6.1	5.3	6.0	6.4	5.5	6.2	6.6	5.7	6.5	6.8	5.9	6.7	7.0
		Q_c	19.2	27.0	32.2	19.9	28.1	33.5	20.7	29.1	34.8	21.4	30.1	36.0	22.1	31.1	37.2
3	2	v_c	6.0	6.4	6.6	6.2	6.7	6.9	6.4	6.9	7.2	6.7	7.2	7.4	6.9	7.4	7.7
		Q_c	32.4	40.0	44.7	33.7	41.7	46.5	35.0	43.2	48.3	36.2	44.7	50.0	37.4	46.2	51.6
	3	v_c	6.7	7.6	8.0	7.0	7.9	8.4	7.2	8.2	8.7	7.5	8.5	9.0	7.7	8.8	9.3
		Q_c	56.5	80.0	95.2	58.8	83.3	99.1	61.0	86.4	102.8	63.1	89.5	106.4	65.2	92.4	109.9
4	2	v_c	6.6	6.9	7.0	6.8	7.2	7.3	7.1	7.5	7.6	7.3	7.7	7.9	7.6	8.0	8.1
		Q_c	46.0	53.0	57.2	47.8	55.1	59.5	49.7	57.2	61.7	51.4	59.2	63.9	53.1	61.1	66.0
	4	v_c	8.1	9.2	9.7	8.4	9.6	10.1	8.7	10.0	10.5	9.0	10.3	10.8	9.3	10.6	11.2
		Q_c	121.4	172.2	204.6	126.3	179.3	213.0	131.1	186.0	221.0	135.7	192.6	228.8	140.2	198.9	236.3
5	2	v_c	7.0	7.2	7.2	7.2	7.5	7.5	7.5	7.7	7.8	7.8	8.0	8.1	8.0	8.3	8.3
		Q_c	58.7	64.4	67.7	61.1	67.0	70.5	63.4	69.6	73.2	65.6	72.0	75.7	67.8	74.4	78.2
	4	v_c	8.9	9.8	10.1	9.3	10.2	10.6	9.6	10.6	11.0	9.9	11.0	11.3	10.3	11.3	11.7
		Q_c	163.8	214.4	244.7	170.5	223.2	254.7	176.9	231.6	264.3	183.2	239.7	273.6	189.2	247.6	282.5

续上表

$I_{纵}$(‰)			60			65			70			75			80		
$I_{横}$(‰)			250			250			250			250			250		
B(m)	H(m)	流速、流量 \ 边墙坡	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5
6	2	v_c	7.2	7.4	7.4	7.5	7.7	7.7	7.7	8.0	8.0	8.0	8.2	8.2	8.3	8.5	8.5
		Q_c	69.8	75.2	77.5	72.7	78.3	80.7	75.4	81.3	83.7	78.1	84.1	86.7	80.7	86.9	89.5
	4	v_c	9.5	10.3	10.5	9.9	10.7	11.0	10.2	11.1	11.4	10.6	11.5	11.8	11.0	11.9	12.2
		Q_c	206.3	256.2	285.1	214.7	266.7	296.7	222.8	276.7	307.9	230.7	286.5	318.7	238.2	295.9	329.2
8	3	v_c	9.2	9.5	9.6	9.6	9.9	9.9	10.0	10.2	10.3	10.3	10.6	10.7	10.6	11.0	11.0
		Q_c	184.4	201.1	210.1	191.9	209.3	218.7	199.2	217.2	227.0	206.2	224.8	234.9	212.9	232.2	242.6
	5	v_c	11.3	12.1	12.4	11.7	12.6	12.9	12.2	13.0	13.4	12.6	13.5	13.9	13.0	13.9	14.3
		Q_c	406.0	492.6	545.8	422.5	512.7	568.1	438.5	532.0	589.5	453.9	550.7	610.2	468.8	568.8	630.2
10	3	v_c	9.6	9.7	9.8	9.9	10.1	10.1	10.3	10.5	10.5	10.7	10.8	10.9	11.0	11.2	11.3
		Q_c	226.9	238.9	246.5	236.1	248.7	256.6	245.0	258.1	266.3	253.6	267.1	275.6	262.0	275.9	284.6
	5	v_c	12.1	12.7	12.9	12.6	13.2	13.5	13.0	13.7	14.0	13.5	14.2	14.5	13.9	14.6	14.9
		Q_c	528.2	607.8	656.8	549.7	632.6	683.6	570.5	656.4	709.5	590.5	679.5	734.4	609.9	701.8	758.4
12	4	v_c	11.3	11.6	11.7	11.8	12.1	12.2	12.3	12.5	12.7	12.7	13.0	13.1	13.1	13.4	13.6
		Q_c	442.4	474.5	494.6	460.4	493.9	514.8	477.8	512.6	534.3	494.6	530.6	553.0	510.8	548.0	571.2
	6	v_c	13.7	14.3	14.6	14.2	14.9	15.2	14.8	15.5	15.8	15.3	16.0	16.3	15.8	16.5	16.9
		Q_c	860.9	989.8	1067.2	896.0	1030.2	1110.8	929.8	1069.1	1152.7	962.5	1106.6	1193.2	994.0	1142.9	1232.3

续上表

B(m)	H(m)	$I_{纵}$(‰)	90			100			110			120			130		
		$I_{横}$(‰)	250			250			250			250			250		
		流速，流量 \ 边墙坡	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
1	1	v_c	4.0	4.5	4.7	4.2	4.7	5.0	4.4	4.9	5.2	4.6	5.2	5.4	4.8	5.4	5.7
		Q_c	3.7	5.2	6.2	3.9	5.5	6.6	4.1	5.8	6.9	4.3	6.0	7.2	4.5	6.3	7.5
2	1	v_c	5.0	5.3	5.4	5.3	5.6	5.7	5.6	5.8	6.0	5.8	6.1	6.3	6.1	6.3	6.5
		Q_c	8.8	10.1	11.0	9.3	10.7	11.6	9.7	11.2	12.2	10.2	11.7	12.8	10.6	12.2	13.3
	2	v_c	6.3	7.1	7.5	6.6	7.5	7.9	6.9	7.8	8.3	7.2	8.2	8.6	7.5	8.5	9.0
		Q_c	23.5	33.0	39.5	24.7	34.8	41.6	25.9	36.5	43.6	27.1	38.1	45.6	28.2	39.7	47.4
3	2	v_c	7.3	7.9	8.1	7.7	8.3	8.6	8.1	8.7	9.0	8.4	9.1	9.4	8.8	9.5	9.8
		Q_c	39.7	49.0	54.8	41.8	51.7	57.7	43.9	54.2	60.5	45.8	56.6	63.2	47.7	58.9	65.8
	3	v_c	8.2	9.3	9.8	8.6	9.8	10.4	9.1	10.3	10.9	9.5	10.8	11.4	9.9	11.2	11.8
		Q_c	69.2	98.0	116.6	72.9	103.3	122.9	76.5	108.3	128.9	79.9	113.2	134.6	83.1	117.8	140.1
4	2	v_c	8.0	8.4	8.6	8.5	8.9	9.1	8.9	9.3	9.5	9.3	9.8	9.9	9.7	10.2	10.3
		Q_c	56.3	64.9	70.0	59.3	68.4	73.8	62.2	71.7	77.4	65.0	74.9	80.8	67.7	78.0	84.1
	4	v_c	9.9	11.3	11.9	10.4	11.9	12.5	11.0	12.5	13.1	11.4	13.0	13.7	11.9	13.6	14.3
		Q_c	148.7	210.9	250.6	156.7	222.4	264.2	164.4	233.2	277.1	171.7	243.6	289.4	178.7	253.5	301.2
5	2	v_c	8.5	8.8	8.9	9.0	9.2	9.3	9.4	9.7	9.8	9.8	10.1	10.2	10.3	10.5	10.6
		Q_c	71.9	78.9	83.0	75.8	83.1	87.5	79.5	87.2	91.7	83.0	91.1	95.8	86.4	94.8	99.7
	4	v_c	10.9	12.0	12.4	11.5	12.7	13.1	12.0	13.3	13.7	12.6	13.9	14.4	13.1	14.5	14.9
		Q_c	200.6	262.6	299.7	211.5	276.8	315.9	221.8	290.3	331.3	231.7	303.2	346.0	241.1	315.6	360.2

续上表

B(m)	H(m)	流速·流量 \ $I_{纵}$(‰)	90			100			110			120			130		
		$I_{横}$(‰)	250			250			250			250			250		
		边坡	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5
6	2	v_c	8.8	9.0	9.0	9.2	9.5	9.5	9.7	10.0	10.0	10.1	10.4	10.4	10.5	10.8	10.8
		Q_c	85.5	92.2	95.0	90.2	97.1	100.1	94.6	101.9	105.0	98.8	106.4	109.6	102.8	110.8	114.1
	4	v_c	11.6	12.6	12.9	12.2	13.3	13.6	12.8	13.9	14.3	13.4	14.5	14.9	14.0	15.1	15.5
		Q_c	252.7	313.8	349.2	266.3	330.8	368.0	279.3	346.9	386.0	291.8	362.3	403.2	303.7	377.1	419.6
8	3	v_c	11.3	11.6	11.7	11.9	12.2	12.3	12.5	12.8	12.9	13.0	13.4	13.5	13.6	14.0	14.1
		Q_c	225.8	246.3	257.4	238.1	259.6	271.3	249.7	272.3	284.5	260.8	284.4	297.2	271.4	296.0	309.3
	5	v_c	13.8	14.8	15.2	14.6	15.6	16.0	15.3	16.3	16.8	15.9	17.1	17.5	16.6	17.8	18.3
		Q_c	497.2	603.3	668.4	524.1	635.9	704.6	549.7	666.9	739.0	574.1	696.6	711.9	597.5	725.0	803.4
10	3	v_c	11.7	11.9	11.9	12.3	12.5	12.6	12.9	13.1	13.2	13.5	13.7	13.8	14.1	14.3	14.4
		Q_c	277.8	292.6	301.9	292.9	308.4	318.2	307.2	323.5	333.8	320.8	337.9	348.6	333.9	351.7	362.8
	5	v_c	14.8	15.5	15.8	15.6	16.4	16.7	16.3	17.2	17.5	17.1	17.9	18.3	17.8	18.6	19.0
		Q_c	646.9	744.3	804.4	681.9	784.6	848.0	715.1	822.9	889.3	746.9	859.5	928.9	777.4	894.6	966.8
12	4	v_c	13.9	14.2	14.4	14.6	15.0	15.2	15.4	15.7	15.9	16.0	16.4	16.6	16.7	17.1	17.3
		Q_c	541.8	581.2	605.8	571.1	612.6	638.6	599.0	642.5	669.7	625.6	671.1	699.5	651.2	698.5	728.1
	6	v_c	16.7	17.5	17.9	17.6	18.5	18.8	18.5	19.4	19.8	19.3	20.3	20.6	20.1	21.1	21.5
		Q_c	1054.3	1212.2	1307.0	1111.4	1277.8	1377.7	1165.6	1340.1	1445.0	1217.4	1399.7	1509.2	1267.2	1456.9	1570.9

续上表

B(m)	H(m)	$I_{纵}$(‰)	140			150			160			170			180		
		$I_{横}$(‰)	250			250			250			250			250		
		流速·流量 \ 边墙坡	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5
1	1	v_c	5.0	5.6	5.9	5.1	5.8	6.1	5.3	6.0	6.3	5.5	6.1	6.5	5.6	6.3	6.7
		Q_c	4.7	6.5	7.8	4.8	6.7	8.0	5.0	7.0	8.3	5.1	7.2	8.5	5.3	7.4	8.8
2	1	v_c	6.3	6.6	6.8	6.5	6.8	7.0	6.7	7.0	7.3	6.9	7.3	7.5	7.1	7.5	7.7
		Q_c	11.0	12.6	13.8	11.4	13.1	14.3	11.8	13.5	14.7	12.1	13.9	15.2	12.5	14.3	15.6
	2	v_c	7.8	8.8	9.3	8.1	9.1	9.6	8.3	9.4	10.0	8.6	9.7	10.3	8.8	10.0	10.6
		Q_c	29.3	41.2	49.2	30.3	42.6	50.9	31.3	44.0	52.6	32.2	45.4	54.2	33.2	46.7	55.8
3	2	v_c	9.1	9.8	10.1	9.4	10.2	10.5	9.7	10.5	10.8	10.0	10.8	11.2	10.3	11.1	11.5
		Q_c	49.5	61.1	68.3	51.3	63.3	70.7	52.9	65.4	73.0	54.6	67.4	75.3	56.1	69.3	77.4
	3	v_c	10.2	11.7	12.3	10.6	12.1	12.7	10.9	12.5	13.1	11.3	12.8	13.5	11.6	13.2	13.9
		Q_c	86.3	122.2	145.4	89.3	126.5	150.5	92.2	130.7	155.4	95.1	134.7	160.2	97.8	138.6	164.9
4	2	v_c	10.0	10.5	10.7	10.4	10.9	11.1	10.7	11.3	11.5	11.1	11.6	11.8	11.4	11.9	12.2
		Q_c	70.2	80.9	87.3	72.7	83.8	90.4	75.1	86.5	93.3	77.4	89.2	96.2	79.6	91.8	99.0
	4	v_c	12.4	14.1	14.8	12.8	14.6	15.3	13.2	15.1	15.8	13.6	15.5	16.3	14.0	16.0	16.8
		Q_c	185.4	263.1	312.6	191.9	272.3	323.6	198.2	281.3	334.2	204.3	289.9	344.4	210.2	298.3	354.4
5	2	v_c	10.6	10.9	11.0	11.0	11.3	11.4	11.4	11.7	11.8	11.7	12.1	12.2	12.1	12.4	12.5
		Q_c	89.7	98.4	103.5	92.8	101.8	107.1	95.9	105.2	110.6	98.8	108.4	114.0	101.7	111.5	117.3
	4	v_c	13.6	15.0	15.5	14.1	15.5	16.0	14.5	16.0	16.6	15.0	16.5	17.1	15.4	17.0	17.6
		Q_c	250.2	327.5	373.8	259.0	339.0	386.9	267.5	350.1	399.6	275.7	360.9	411.9	283.7	371.4	423.3

续上表

B(m)	H(m)	流速，流量 \ $I_{纵}$(‰)	140			150			160			170			180		
		$I_{横}$(‰)	250			250			250			250			250		
		边墙坡	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
6	2	v_c	10.9	11.2	11.2	11.3	11.6	11.6	11.7	12.0	12.0	12.1	12.4	12.4	12.4	12.8	12.8
		Q_c	106.7	114.9	118.4	110.4	119.0	122.6	114.1	122.9	126.6	117.6	126.7	130.5	121.0	130.3	134.3
	4	v_c	14.5	15.7	16.1	15.0	16.3	16.7	15.5	16.8	17.2	16.0	17.3	17.8	16.4	17.8	18.3
		Q_c	315.1	391.4	435.5	326.2	405.1	450.8	336.9	418.4	465.5	347.3	431.3	479.9	357.3	443.8	493.8
8	3	v_c	14.1	14.5	14.6	14.6	15.0	15.1	15.1	15.5	15.6	15.5	16.0	16.1	16.0	16.4	16.5
		Q_c	281.7	307.2	321.0	291.6	318.0	332.3	301.1	328.4	343.2	310.4	338.5	353.7	319.4	348.3	364.0
	5	v_c	17.2	18.4	18.9	17.8	19.1	19.6	18.4	19.7	20.3	19.0	20.3	20.9	19.5	20.9	21.5
		Q_c	620.1	752.4	833.7	641.9	778.8	863.0	662.9	804.3	891.3	683.3	829.1	918.7	703.1	853.1	945.3
10	3	v_c	14.6	14.8	14.9	15.1	15.3	15.4	15.6	15.8	15.9	16.1	16.3	16.4	16.5	16.8	16.9
		Q_c	346.5	365.0	376.5	358.7	377.8	389.8	370.5	390.1	402.5	381.9	402.2	414.9	392.9	413.8	427.0
	5	v_c	18.4	19.4	19.8	19.1	20.0	20.5	19.7	20.7	21.1	20.3	21.3	21.8	20.9	21.9	22.4
		Q_c	806.8	928.4	1003.3	835.1	960.9	1038.5	862.5	992.5	1072.6	889.0	1023.0	1105.6	914.8	1052.7	1137.7
12	4	v_c	17.3	17.7	17.9	17.9	18.4	18.6	18.5	19.0	19.2	19.1	19.5	19.8	19.6	20.1	20.3
		Q_c	675.7	724.9	755.6	699.4	750.3	782.1	722.4	774.9	807.7	744.6	798.8	832.6	766.2	821.9	856.7
	6	v_c	20.9	21.9	22.3	21.6	22.7	23.1	22.3	23.4	23.8	23.0	24.1	24.6	23.7	24.8	25.3
		Q_c	1315.0	1511.9	1630.2	1361.1	1564.9	1687.4	1405.8	1616.3	1742.7	1449.0	1666.0	1796.4	1491.1	1714.3	1848.4

续上表

B(m)	H(m)	$i_{纵}$(‰) / $i_{横}$(‰) / 边墙坡 / 流速，流量	200			220			240			260			280		
			200			200			200			200			200		
			1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5	1∶0	1∶0.3	1∶0.5
1	1	v_c	5.8	6.7	7.1	6.1	7.0	7.5	6.4	7.3	7.8	6.6	7.6	8.1	6.9	7.9	8.5
		Q_c	5.5	7.9	9.7	5.8	8.3	10.2	6.0	8.7	10.6	6.3	9.0	11.1	6.5	9.4	11.5
2	1	v_c	7.6	8.0	8.1	8.0	8.4	8.5	8.4	8.8	8.9	8.7	9.1	9.3	9.0	9.5	9.6
		Q_c	13.7	15.9	17.2	14.4	16.7	18.0	15.0	17.4	18.8	15.7	18.1	19.6	16.2	18.8	20.4
	2	v_c	9.3	10.7	11.3	9.8	11.2	11.8	10.2	11.7	12.3	10.6	12.2	12.8	11.0	12.6	13.3
		Q_c	35.4	50.8	61.0	37.2	53.3	64.0	38.8	55.7	66.9	40.4	58.0	69.6	41.9	60.1	72.2
3	2	v_c	10.9	11.9	12.2	11.4	12.4	12.8	11.9	13.0	13.4	12.4	13.5	13.9	12.9	14.0	14.5
		Q_c	60.5	76.2	85.6	63.4	79.9	89.8	66.3	83.5	93.8	69.0	86.9	97.6	71.6	90.2	101.3
	3	v_c	12.2	13.9	14.8	12.8	14.6	15.5	13.4	15.3	16.2	13.9	15.9	16.8	14.5	16.5	17.5
		Q_c	104.6	149.6	180.3	109.7	156.9	189.1	114.6	163.9	197.5	119.2	170.5	205.5	123.7	177.0	213.3
4	2	v_c	12.0	12.7	13.0	12.6	13.3	13.6	13.1	13.9	14.2	13.7	14.5	14.8	14.2	15.0	15.3
		Q_c	86.3	101.3	109.9	90.5	106.3	115.2	94.6	111.0	120.4	98.4	115.6	125.3	102.1	119.9	130.0
	4	v_c	14.8	16.8	17.8	15.5	17.7	18.7	16.2	18.4	19.5	16.8	19.2	20.3	17.5	19.9	21.1
		Q_c	224.6	321.4	386.0	235.5	337.0	404.8	246.0	352.0	422.8	256.1	366.4	440.1	265.7	380.2	456.7
5	2	v_c	12.7	13.3	13.4	13.3	14.0	14.1	13.9	14.6	14.7	14.5	15.2	15.3	15.0	15.8	15.9
		Q_c	111.3	125.6	132.8	116.7	131.8	139.3	121.9	137.6	145.5	126.9	143.2	151.4	131.7	148.6	157.1
	4	v_c	16.2	17.9	18.8	17.0	18.8	19.7	17.8	19.6	20.6	18.5	20.1	21.4	19.2	21.2	22.2
		Q_c	304.3	402.0	467.0	319.1	421.6	489.8	333.3	440.4	511.6	346.9	458.4	532.5	360.0	475.7	552.6

续上表

B(m)	H(m)	$i_{底}$(‰)	200			220			240			260			280		
		$i_{墙}$(‰)	200			200			200			200			200		
		流速、流量 \ 边墙坡	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5	1:0	1:0.3	1:0.5
6	2	v_c	13.2	13.7	13.7	13.8	14.4	14.4	14.5	15.0	15.0	15.1	15.6	15.6	15.6	16.2	16.2
		Q_c	134.6	147.7	153.0	141.2	154.9	160.5	147.5	161.8	167.6	153.5	168.4	174.4	159.3	174.7	181.0
	4	v_c	17.3	18.9	19.5	18.2	19.8	20.4	19.0	20.7	21.4	19.7	21.5	22.2	20.5	22.4	23.1
		Q_c	384.5	485.0	545.6	403.2	508.6	572.2	421.2	531.3	597.6	438.4	552.9	622.0	454.9	573.8	645.5
8	3	v_c	17.0	17.6	17.8	17.8	18.4	18.7	18.6	19.2	19.5	19.3	20.0	20.3	20.1	20.8	21.1
		Q_c	352.7	390.7	413.4	369.9	409.8	433.6	386.3	428.0	452.8	402.1	445.5	471.3	417.3	462.3	489.1
	5	v_c	20.6	22.3	22.9	21.6	23.4	24.0	22.6	24.4	25.1	23.5	25.4	26.1	24.4	26.4	27.1
		Q_c	757.6	937.9	1044.2	794.6	983.7	1095.2	829.9	1027.4	1143.9	863.8	1069.4	1190.6	896.4	1109.7	1235.5
10	3	v_c	17.7	18.0	18.2	18.5	18.9	19.1	19.4	19.8	19.9	20.2	20.6	20.7	20.9	21.4	21.5
		Q_c	442.0	472.8	490.5	463.6	495.8	514.4	484.2	517.9	537.3	504.0	539.0	559.2	523.0	559.4	580.3
	5	v_c	22.2	23.4	23.9	23.2	24.5	25.0	24.3	25.6	26.1	25.3	26.6	27.2	26.2	27.7	28.2
		Q_c	997.3	1164.0	1264.5	1046.0	1220.8	1326.2	1092.5	1275.1	1385.1	1137.1	1327.2	1441.7	1180.0	1377.3	1496.1
12	4	v_c	21.1	21.7	21.8	22.1	22.7	22.9	23.1	23.7	23.9	24.0	24.7	24.9	24.9	25.6	25.8
		Q_c	859.8	935.4	974.9	901.7	981.1	1022.4	941.8	1024.7	1067.9	980.3	1066.5	1111.5	1017.3	1106.8	1153.5
	6	v_c	25.1	26.4	27.0	26.3	27.7	28.3	27.5	28.9	29.6	28.6	30.1	30.8	29.7	31.2	32.0
		Q_c	1624.5	1893.2	2061.1	1703.7	1985.6	2161.7	1779.5	2073.9	2257.9	1852.2	2158.6	2350.1	1922.1	2240.1	2438.8

三滩泥石流主要特征值表 表 4-5

项目名称	单位	数值	项目名称	单位	数值	项目名称	单位	数值
流域面积	km^2	1.5	植物覆盖度	%	90	实测 60min 雨量	mm	44.6
流域长度	km	2.12	堆方面积率	%	2.66	实测 30min 雨量	mm	28.4
流域平均宽度	km	0.71	松散物质储量	万 m^3	77.5	实测 10min 雨量	mm	12.1
桥上游平均河床宽	m	25	主河槽坡度	‰	425	Q_{p100}	m^3/s	40.5
桥下游平均河床宽	m	30	桥上游河床坡度	‰	213	Q_{c100}	m^3/s	86.8
桥上游河床质中值粒径	mm	67	桥下游河床坡度	‰	201	Q_c 实测	m^3/s	38.0
桥下游河床质中值粒径	mm	39	年平均雨量	mm	700	μ_c 实测	kg/m^3	1530
最大石块直径	m	2.0	雨季雨量占年雨量	%	85～90	μ_c 设计	kg/m^3	1900

槽深 H。然后按第六节要求检查所选定的数据是否均满足设计边界条件，直至符合要求为止；

（五）根据查表确定的 V_c 值，决定槽底沟心厚度，构筑材料和加强措施；

（六）表内数字可以内插使用；

（七）查表举例：

某粘性泥石流沟地形纵坡为 80‰～60‰，沟岸自然边坡为 1∶0.3至 1∶0.5，沟床宽 10.0m，最大石块直径 1.0m，泥石流设计流量 100.0m³/s，求 V 型槽设计尺寸。

根据泥石流沟资料，确定 V 型槽设计纵坡为上陡下缓 $I_{纵}=80$～60‰，采用槽底挖，边墙填，边墙坡用 1∶0.3，平面布置为倒喇叭形，出口最小断面控制设计。

查粘性泥石流 V 型槽设计水力要素表：$I_{纵}=60‰$，$I_{横}=250‰$，边墙坡 1∶0.3，用内插法得 $Q_c=103.2m^3/s$，$v_c=6.9m/s$，$B_c=4.0m$，$H_c=3.0m$。采用 $H=3.0+0.25=3.25m$。

检查：$H_c>1.2d_{max}$，$v_c>5\sqrt{d_{max}}$。满足所有设计的边界条件。

（八）粘性、稀性泥石流 V 型槽设计水力要素表于后。

第八节　V 型槽实例

一、成昆铁路三滩中桥泥石流

（一）概　况

三滩泥石流位于成昆南段 K788＋761，在四川省攀枝花市南郊金沙江右岸中山深谷区，坡陡流急，具有侵蚀性沟谷与构造性地貌特征，在地史上已有Ⅳ期泥石流堆积扇地貌，是条继承性的古泥石流沟的新发展。区域地质构造受南北向的元谋——绿汁江大断裂和北东向的断裂交错控制。并在三滩附近铁路一侧切割成 2～3km 的方块地形两块。三滩泥石流正处在这两个方块构造之间，沟内还有三条小断裂。由于三滩紧靠拉鲊地震中心，烈度高达 9 度而频繁。平均 7 年有一次较强地震，因而新构造运动强烈、岩层破碎、

节理发育、地壳上升、河流下切、崩坍、滑坡等不良地质体发育严重，为泥石流的反复活动创造了有利的地质地貌基础。根据两年的野外泥石流实地观测，三滩处于金沙江大拐弯围椅地形迎风面上，受地形雨影响十分明显，多次查勘及泥石流观测模型试验资料（见表 4--5），均表明三滩泥石流是一条典型的山麓区沟谷型暴雨高频泥石流，正向旺盛期推进，由稀性向粘性泥石流过渡。

由于铁路在堆积扇上部泥石流沟的急拐弯的下游以 1—32m 栓焊梁桥跨过，桥南为 4603m 长的莲地隧道控制，桥北有 460m 长的三滩大桥制约。因此，桥下净空仅有 6.0m，流向又不通顺，三滩中桥处于极为不利的地势。从 60 年代建桥以来，泥石流暴发频繁，灾害愈演愈烈，成为成昆南段突出的病害工点。

（二）三滩泥石流整治

1. 根据前交通部（74）交科技字 672 号文件关于“铁路泥石流病害整治”的任务的安排，由原昆明铁路局和铁道科学研究院西南研究所（简称西南铁科所）共同负责进行，并邀请四川省地理研究所组成《三滩泥石流观测实验组》，于 1975 年 3 月进行全面调查，5～9 月进入汛期观测，1976 年汛期观测到近 50 年一遇的较大泥石流资料。1975 年 11 月至 1977 年 9 月在峨嵋西南铁科所进行泥石流模型试验，对几种可能整治的排导方案进行了 235 次比较试验。最后提出可供设计的有关数据。

2. 昆明局设计所根据试验推荐的平底槽方案作了第一次实施性病害整治工程设计（见表 4—6）。于 1980 年 8 月 27 日验工的次日，暴发了较大泥石流，将桥下 35m 以外的 133m 长的梯形排导槽全部淤埋，尾部冲毁槽长 9m。为继续观察后效，派人看守报警。1981、1986、1988、1989 年都有较大泥石流暴发。平均每两年一次灾害，每次清淤量在 3800～15000m³ 左右，先后冲毁排导槽 70 余米。1989 年泥石流将全槽埋没，桥下净空仅剩余 1.8m。三滩中桥泥石流灾害愈演愈烈。第一次治理失效。

3. 为了控制三滩泥石流灾害的恶化，1990 年成都铁路局昆明设计院，研究比较了渡槽、改沟与 V 型槽等多种治理方案，最后采

用在成昆线试验研究成功的和行之有效的V型槽方案进行重新设计(表4--6)。改造竣工后,在当年9月大弯子车站、新江车站和三滩中桥间,突遭特大泥石流袭击,大弯子车站淤埋货车一列、新江车站被淤埋、冲毁房屋、堵塞桥涵等。就在这种特大泥石流灾害情况下,并没有将大弯子站内的大弯子中桥泥石流和三滩中桥泥石流(两桥都是由梯形槽改V型槽的)两条泥石流沟的V型槽损毁。恰恰相反,不仅安然无恙,而且还显示出其独特的排导效果。槽中未呈现任何淤积物。由此可见,在同一地区泥石流沟的不同槽形和在同一泥石流沟的先后不同槽形上,都鲜明的对比了V型槽排导泥石流远比梯形槽排导泥石流的效果要好得多。可见,V型槽是治理泥石流的理想工程措施,已不容置疑。事后,大弯子和新江车站内的泥石流沟桥涵,均改为V型槽或V型涵如图4—15所示(见书末)。三滩中桥泥石流两次整治设计示意图

(三)三滩中桥泥石流排导工程效果对比分析

见表4—6。

三滩中桥泥石流排导工程效果对比分析 表4-6

项目名称	单位	1979年梯形槽方案				1990年V型槽方案			
设计泥石流流量 Q_{c100}	m^3/s	49.8(模型试验值28.9~53.0)				86.8			
设计泥石流流速 v_{c100}	m/s	试验值7.42--7.21--7.30--7.35				计算值10.5—10.4			
设计泥石流水深 h_{c100}	m	1.4--1.6				2.2—2.5			
设计槽(宽度/长度)	m	8/140	10/100	8/118		4/220			
设计槽(纵坡/长度)	‰/m	175/90	229/50	220/100	180.5/118	接原沟/20	212.5/80	163.9/120	
设计最大槽深	m	2.5				3.0—4.0			
泥石流密度 ρ_c	kg/m^3	1400(试验值1420~1800)				1900			
检算最小泥石流流量 Q_{c5}	m^3/s	27.4				27.4			
检算最小泥石流流速 v_{c5}	m/s	4.72				7.5			

续上表

项目名称	单位	1979年梯形槽方案	1990年V型槽方案
检算最小泥石流水深 h_{min}	m	0.67	1.15
一次性最大淤积值	m	试验值2.2、实淤值4.2	无
设计最大石块粒径	m	2.0	2.0
模型试验次数	次	235	V型槽未作模型试验
竣工日期	年月	1980.8.	1991.5
泥石流暴发情况	次	1980、1981、1986、1988、1989年、平均两年一次	1991年遇特大泥石流
工程效果分析	1. 排淤效果很差 2. 工程量较大 3. 每年仍需派人看守，不能缓解泥石流危害，无抗灾能力 4. 梯形槽不符合排泥石流的要求		1. 排淤效果很好 2. 工程量较小 3. 已撤消看守人员，已具抗灾能力控制了泥石流危害 4. V型槽符合排泥石流的固体物质的规律
结束语	在同一泥石流沟上，先后作平底梯形槽与尖底V型槽的对比工程试验，经多次较大泥石流检验，得出了截然不同的排淤效果，这最有力的说明了V型槽是排泄泥石流固体物质具有独到之功效		

二、云南省德钦县城泥石流

德钦位于云南省西北角，是滇、川、藏三省区的交点。县城海拔3300m，是云南省地势最高的县，并以藏族为主的多民族聚居的边远贫困县。距昆明889km。县城被东、西两条泥石流沟所围困，并将县城分割成三块，泥石流灾害频繁，有愈演愈烈之势，给县城带来极大的危害，严重影响民族地区的经济发展和社会安定。县城地处峡谷，既无避让场所，更无搬迁之选择，是非治不可的泥石流沟。为此，云南省计委国土办将其列入"八五"计划，并委托我所在云南水文地质二队勘测资料基础上进行规划设计。采用V型槽改河并流稀释泥石流流体为主的排导整治方案。实践证明，治理泥石流效果明显，社会经济效益显著，具有典范示例意义。

(一)泥石流概况

德钦地处横断山纵谷澜沧江左岸一级支流军打河上游，地势北高南低，山高谷深，周围雪峰林立。县城被雪山怀抱，水磨房河与只曲河两条泥石流又将城区围困，并在城南 1.5km 处合流，沿军打河直泻澜沧江。

1. 从泥石流水源条件看

德钦属高原寒温带山地季风气候，受纬度和垂直高度影响，呈立体气候特色，高山终年积雪，使泥石流沟长年流水。澜沧江河谷干热，又是盛产稻谷之区。由于德钦地处青藏高原末梢，北面受高原气候影响，南面为印度洋孟加拉湾暖湿气流控制，金沙江和澜沧江成为调节气候的两大通道。因而，这种季风气候的最大特点是干湿季分明，年雨量小，日雨量大，降雨集中，强度大，在前期降雨与最大降雨高度 3500～4000m 的配合下，最是激发德钦泥石流暴发的最佳有效组合的水源条件。根据德钦气象站 35 年观测资料的统计分析，德钦泥石流为暴雨型泥石流。其活动规律与降雨特征密切关连。多夜间泥石流，集中时间 5～10 月，7 月是高潮，雨季城区人民惶恐不安。

德钦县城气象特征值　　表 4--7

项目	单位	数值	项目	单位	数值
年均气温	℃	4.7	气温递减率	℃/m	0.6/100
年温差	℃	9～11	年雨量	mm	373.4 805.7
日温差	℃	20～25	年均雨量	mm	661.3
最低气温	℃	－13	5～10 月占	%	76.3
最高气温	℃	26.9	雨日占	%	64.7
年均蒸发量	mm	1234.9	年均降雪日	日	58.3
全年无霜期	日	100	积雪日	日	55.3
最大降雨高度	m	3500～4000	平均一次最大雨量	mm	94.5

续上表

项目	单位	数值	项目	单位	数值
日雨量	mm	20.4～74.7	一小时雨量	mm	8～15.5
平均日雨量	mm	35.7	小时平均雨量	mm	10.2
一次最大雨量	mm	15～265	30分钟雨量	mm	5.3～12.7
最大风速	m/s	24	30分钟平均雨量	mm	7.7
平均风速	m/s	2.1	10分钟雨量	mm	2.3～5.3
夜雨	%	52.5	10分钟平均雨量	mm	3.7

2. 从泥石流的地质地貌条件分析

德钦泥石流地处三江(金沙江、澜沧江、怒江)褶皱带中部，地质构造线总体方向呈北北西向格局，受澜沧江和德钦——中甸两大断裂控制，致使区内断层、节理发育、岩层破碎、继承性新构造运动表现强烈、地震频繁、寒冻突出，各种不良地质体十分严重。纵观德钦泥石流形成区划清楚，沟谷形态明显。山势陡峻，规模强大，是较为标准的山区大、中型沟谷型泥石流。县城位于两条泥石流沟混杂的新、老堆积体上，对县城的危害作用颇大、风险程度颇高。是两条较为难治的泥石流沟。

从东面围绕县城的水磨房河泥石流，流域面积大，区内是一套不易风化、含粘土成分少的硬质岩层，具有清水流量大，泥石流流量小，松散固体物质储量少，流体密度小，浓度低，颗粒大，级配分选性强，流态紊乱等特点，是明显的稀性水石流沟。由于地质地貌等环境的原因，当前尚处在有继承性的古泥石流新发展阶段。但从发展前景看，目前虽属低频水石流，然而却颇具潜力，还有愈趋频繁之势，在大环境小气候等最不利因素的有效组合下，完全有可能发展成为比现在更为严重的泥石流。因此，水磨房河泥石流具有相当程度的潜在风险度。

从西面包抄的只曲河泥石流，流域面积虽较小。但区内却是一套较容易风化成碎屑的变质岩层，含粘土成分高，冰积、堆积层深

厚，松散固体物质储量大，具有清水流量小，泥石流流量大，流体密度大、稠度高，颗粒细小，级配分选性差，直进性强、呈整体流动，有阵性流等特点，是典型的粘性泥石流。目前正处于发育旺盛阶段，属高频暴发鼎盛时期，是条危害作用大，破坏力强，治理难度大的泥石流沟。

（二）泥石流工程治理方案

1. 工程治理原则

在"坚持一切从实际出发，讲求实效、因害设防，因势利导，随时制宜地利用自然规律，选出经济合理的防治方案"的思想指导下，按照全面规划，统筹兼顾，突出重点，抓住要害的治理原则。以期在一定范围内控制泥石流的危害，达到防灾、减灾、抗灾的目的。

(1)全面规划，统筹兼顾：就是要综合治理，同城市发展与经济开发相结合，与交通、水利、农、林、牧和环保相连系，互相协调，通过地方政府，制定地方法规，用远近期结合的方法，采取长计划短安排的措施，分步实施和持之以恒的举措。

(2)突出重点，抓住要害：首先突出以保护县城安全为中心的治理重点。因县城人口密集，又是德钦的政治、经济、文化中心，地势狭窄，无法避让。尤其对夜间突发性泥石流防不胜防。为此，必须提高县城防治设计标准。在工程治理未见成效之前应做好监测预报与临时报警的工作，健全城镇管理体系，确保城区人民生命财产安全和稳定人心。其次，抓住保护交通和水电水利设施为主体的要害治理，这才有利于发展城乡建设和保障城乡人民的生活供给，确保安定团结。第三，突出保护下游农田为目的的治理规划，德钦农田，主要在下游河谷，由于山高坡陡，田地十分宝贵，除了防止泥石流淤埋农田外，还要采取淤地造田为主体的民办公助的疏浚办法。有利于发展生产。第四，在形成区着重以水土保持生物为主的治理措施，一是植树造林，二是改善农作和放牧方式。在流通、堆积区采取以排为主的治理工程措施，将水磨房河水石流改河并流到只曲河以稀释粘性泥石流流体，这既有利于改善排导效果，又有利于节约工程费用，更有利于县城的安全保障。在堆积区下游以淤地

造田和取沙采石相结合的办法，变害为利。

2. 工程治理方案

(1)改河并流集中治理方案

本方案从德维桥起，顺河势用V型槽将水磨房河水石流改河350m，在只曲河粘性泥石流五中桥前合流。将两河并作一河集中治，并河集中排导槽总长2250m，比分河治理节约槽长1196m，省投资35%。更重要的是淡化了只曲河稠度极高的粘性泥石流流体浓度，可由密度2000kg/m³浓度淡化到1560～1860kg/m³，改善了泥石流流体性质，增强了排导能力，有效的减轻了淤积的危害作用。

综合德钦县城泥石流工程治理诸方案的比选，以改河并流集中治理方案最为理想，优点最多，工程最省，经济环境效益最高，技术亦最先进，对发展泥石流防治科学具有重要意义。

本方案的最大优点和效益如下：

①据计算分析(见表4—8)，改河并流后，无论出现何种流量组合，均能改善泥石流流体性质，对增强泥石流的排导效应，减轻泥石流灾害的风险度，都有明显的效果。尤其在中、小水位时，可充分利用水磨房河的清水流量大，泥石流频率低，浓度小的特性，可在V型槽出口河段，起拉槽腾空河道淤积的作用，克服泥石流出槽后漫流顶托回淤的困扰，保持下游泥石流河道有良好的排淤条件，使治理工程能持久的发挥其流通效应。

②本方案通过只曲河650m的试验段证明，技术先进可行，排淤效果表现突出，经济合理可取，具有很强的操作性，是主动性进攻型防治措施。

③两河并作一河治的总体工程量和投资与分河治理比较，排导槽减少1196m，投资节省35%，其经济效益是可观的。

④能把水磨房河宽阔的老河道泥石流堆积滩地，规划改造为县城发展用地共80余亩，变害为利，为德钦县城发展创造了条件和财富，亦是一项不可低估的社会、经济与环境效益。

⑤本方案工程集中，比分河治理战线短，薄弱环节少，从长远

泥石流基本特征值与计算成果表

表 4 8

项目名称	单位	水磨房河		只曲河		改河并流	附注
		县城	汇合口	县城	汇合口		
流域面积	km^2	32.25	36.75	7.38	8.38	39.63	1. 清水流量用铁二院 Q_1 值法，洪峰法，公路规程法、云南水文手册法四种方法计算比较后采用 Q_1 值法。 2. 泥石流流量计算用形态法与东川泥石流公式比较，采用东川公式 3. 泥石流并流流量计算用三种方法比较，采用过程线叠加法 4. 合并泥石流流体密度稀释计算用四种不利组合情况，其淡化范围在 1530～1810 之间，对排泄泥石流有很大价值
主河床坡度	‰	157.0	150.0	143.6	132.0		
泥石流 ρ_c	kg/m^3	1350	1350	2000	2000	1530～1810	
泥石流 ρ_H	kg/m^3	2700	2700	2700	2700	2700	
最大颗粒直径	m	1.0～1.5	1.0～1.3	0.8～1.2	0.8～1.2	1.5	
松散固体物质储量	万方	>132		>5000		>5132	
清水流量 Q_{859}	m^3/s	193.6	202.2	60.8	64.0		
清水流量 Q_{85}	m^3/s	72.6	75.8	22.8	24.0		
泥石流流量 Q_{c50}	m^3/s	224.1	225.0	221.6	233.8	408.0	
泥石流流量 Q_{c5}	m^3/s	91.5	95.6	83.1	87.5	159.8	
泥石流堵塞系数		1.0		1.5			
V 型槽设计泥深	m	3.5		3.5		3.5	
V 型槽设计流速	m/s	9.4～12.3		12.0		13.0	

看，养护维修管理工作量小，费用低，也是很经济的表现。

⑥本方案可充分利用只曲河下段右岸靠山脚基岩外露的地缘优势。适当降低右侧V型槽边墙高度，以节约工程量。同时此段支沟短小而又少，它是节省泥石流治理工程量的优点。

⑦本方案避开了原水磨房河左岸三个大滑坡坡脚的冲刷，能使这三个大滑坡更加稳定，减少治理工程，增强滑体上既有建筑物的安全性，也是一项可观的间接经济效益。

⑧本方案最大缺点是改河时，要占好地4.3亩，拆迁民房三户。但可用水磨房河河滩地换取，总的比较，还是值得的。

2. 分河治理方案

水磨房河单独治理方案：由德维桥起沿河岸作V型槽或作双侧导流堤至两河交汇处，全长1504m。

只曲河单独治理方案：由德盐桥起沿河岸作V型槽至两河交汇处，槽长1942m。

分河治理排导槽总长为3446m。较改河并流方案槽总长1196m。总投资高35%。

分河与并河治理方案的优缺点，正是它们优缺点的互换。故不再赘述。图4—16(见书末)为德钦县城泥石流防治工程平面设计示意图。图4—17(见书末)为德钦县城泥石流防治工程纵剖面设计示意图。图4—18(见书末)为德钦县城泥石流防治工程横断面设计示意图。

第五章　泥石流渡槽工程

第一节　概　　说

泥石流渡槽工程是在泥石流沟的特定地形条件下，将泥石流排导工程架空与铁路、公路、渠道、管线、城镇设施等建筑物呈立体交叉的形式来绕避与排导相结合而以排为主的工程措施。由于泥石流渡槽为一种凌空架设结构物，槽体依靠墩、墙支撑，槽身为空腹，结构脆弱、构造复杂、施工困难，跨度、过流断面形式受泥石流固体物质运动的特殊要求和泥石流的不确定性因素影响。因此，渡槽规模常受地形、地质和泥石流流体特性所控制，通常只适宜于架空地势较为优越的中、小型泥石流沟。一般在线路通过泥石流沟时，上游沟槽明显，易于引导，建筑物处于浅挖方、半挖方、桥（涵）下净空不够以及下游沟槽坡度平缓，排导泥石流不通畅时，用以抬高排泄泥石流的基面，藉此提高位能，增强排导势能为目的的凌空排导工程。

实践证明，泥石流渡槽工程效果效好。在泥石流的特定地形、地质条件下，使用泥石流渡槽有其特殊的意义。目前已为铁路、公路等部门所接受，从而克服了一些长期以来作桥净空不足、作隧道又埋深不够之类的不易解决的泥石流病害工点的老、大、难问题。如成昆铁路峨边车站内的祠堂沟泥石流梁式四线V型渡槽。宝成铁路红花铺车站内的庙沟泥石流刚架拱跨站矩形渡槽等等，全路不下十数座之多。

但泥石流渡槽设计要慎重，因泥石流的不确定性因素较多，设计标准应高于一般排水渡槽，必须确保槽内通畅，不能有淤积现象，如若发生淤塞、漫流，泥石流凌空飞坠所造成的破坏作用远比一般泥石流灾害要大，后果更加严重。

为了确保泥石流在渡槽内的流通效应和养护维修，槽形最好

采用V型槽断面，这既有利于增强输砂排淤效果，更有利于集中加固防磨部位。对提高泥石流渡槽的安全性和使用寿命均有明显的优越性。

第二节　渡槽类型特征及其作用

当泥石流明洞（棚洞）式渡槽，洞顶有回填土时，为非凌空架构建筑物，可按通常的V型槽设计。其余都是凌空架设的排泄渡槽。然而其功用都是用立体交叉来绕避泥石流危害的。

一、泥石流渡槽类型特征

泥石流渡槽工程类型较多，但还在试用阶段，规模一般都较小，费用也比较高。目前常用的有如下几种：

（一）按渡槽结构形式分

1. 梁式渡槽

（1）简支梁（板）式

（2）连续梁式

2. 拱式渡槽

（1）单拱式

（2）连拱式

（3）双曲拱式

3. 框架式渡槽

（1）整体浇灌式

（2）拼装焊接式

（二）按渡槽建筑材料分

1. 钢筋混凝土渡槽

2. 圬工渡槽（石砌、砖砌、混凝土）

3. 钢材渡槽

（三）按渡槽过流断面形状分

1. V型断面渡槽：渡槽纵坡适应范围较大，适应泥石流流体性质较强（见第四章），有集中防磨范围小的优势。既有排导泥石流固

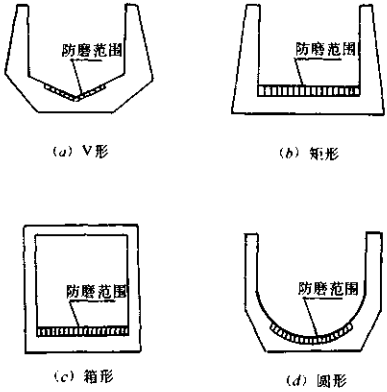
体物质的独特功能，又无需预留残留层厚度的加高高度。既无清淤工作的需要，又有施工方便的构造。

2. 矩形断面渡槽：渡槽纵坡要求较大，一般应大于 150‰。适宜于颗粒细小的稀性泥石流、既要全槽底加强防磨措施，又要考虑予留残留层加高高度和清淤条件。但施工方便是其特点。

3. 箱形断面渡槽：渡槽纵坡要求比矩形槽更大，净空亦要更高。适宜于颗粒细小的水石流，全槽底均需加强防磨措施，要预留足够的残留层厚度和方便的清淤设施。特点是结构性能较好。

4. 半圆形断面渡槽：渡槽纵坡适应范围大，流体性质适应性强、槽底圆形加固防磨范围比 V 形大，无需预留残留层厚度和清淤条件。利于排泄泥石流固体物质，但施工难度大，不易推行。

各种渡槽过流断面形状见图 5—1。



(a) V形　(b) 矩形　(c) 箱形　(d) 圆形

图 5—1　渡槽过流断面形状示意图

第三节　选定泥石流渡槽的特定技术条件

选定泥石流渡槽的基本技术要求是要有足够的地形高差，良好的地基基础，确切的泥石流数据。

一、地形条件

1. 线路通过泥石流沟是浅路堑或半路堑，可利用地形高差架空作渡槽。

2. 用桥(涵)跨越泥石流沟，桥(涵)下净空严重不足，下游又无地形条件可用开挖满足净空者，可在桥前设栏挡坝，提高沟槽床面，人工造就地形高差，用泥石流凌空渡槽通过。

3. 桥(涵)前，泥石流沟槽弯曲，排泄不畅，易堵塞，净空又偏低，可利用地形高差截弯取值，改移泥石流沟道，作泥石流架空渡槽。

4. 桥(涵)进口紧靠陡壁跌水，地形高差较大、泥石流体能飞溅跌落桥上、路基时，可利用地形作架空渡槽排泄泥石流。

5. 车站内泥石流沟当为半挖半填，下游沟床平缓、桥(涵)下净空不足，排泄不畅，清淤困难时，可提高沟床架空作多线泥石流渡槽。

6. 渡槽末端孔跨的槽下净空必须满足通过车辆和建筑限界的最低高度要求。

二、地质条件

1. 刚性渡槽，地基条件要好。如拱式、框架式和连续梁式渡槽，不允许地基变形，也可就地取材。

2. 地基条件较差者，宜用简支梁式或钣梁式渡槽。

3. 地基基础太差者要慎用或不宜采用。如高填方、淤泥地基。否则地基要作特殊处理后方可作架空泥石流渡槽。

三、泥石流特征条件

1. 泥石流渡槽设计的流量、流速、密度、泥深、最大颗粒直径、阵流堵塞系数以及残留层厚度等基本数据，必须科学、准确、可靠。

2. 泥石流处于急剧发展阶段，其前景莫测无法控制，规模较大的高频泥石流沟，不宜采用泥石流架空渡槽。而应以较长的明洞

渡槽通过为佳。

3. 泥石流渡槽进口挡墙和出口悬空跌落部位，其跌落冲刷深度，跌落射流长度等可按第六章处理。

第四节　泥石流渡槽设计要点

泥石流渡槽是排导槽、拦挡坝、桥梁三为一体的混合构造物，因此，泥石流渡槽设计既有三者的共同性，又有三者的特殊性，本设计要点着重讨论其特殊性要求，而共同性部分可参考第四、六章及桥梁设计的内容。

泥石流渡槽设计必须做到结构稳定安全，水文泥砂数据准确可靠，进口流向通顺，槽内要只排不淤，出口跌落冲刷无害的最佳理想设计。

一、泥石流渡槽平面设计

（一）渡槽进口段平面必须与原沟岸用倒喇叭形束流堤顺直平滑衔接，连接段长度最好是渡槽宽度的2～5倍。且不小于20m。

（二）渡槽槽身应按直线等断面宽度设计，不允许设弯道，以利用桥式结构设计和排导通畅。

（三）渡槽出口悬空部分，宜用悬臂梁或托盘支撑延伸，将泥石流射流距离尽量挑出远离渡槽末端墩柱，避免跌落冲刷坑影响渡槽安全。或者加深渡槽末端墩柱基础至最大跌落冲刷线以下2.0m。亦可在射流跌落范围外设柔性防冲设施，保护渡槽墩柱的安全。若渡槽出口不是悬空跌落，则用V型排导槽方法连接原沟处理。

二、纵、横断面设计

（一）渡槽纵坡设计

1. 渡槽纵坡设计必须满足槽下梁底最低净空要求（可按隧道限界规定）。

2. 槽身纵坡应设计成单一的坡度，不应有多坡段变坡点，避

免泥石流在变坡点产生不稳定的冲击作用和不确定的冲击荷载。

3. 槽身纵坡的设计泥石流流速不得小于泥石流流体内的最大颗粒的起动流速，即 $u_{c100}>u_{dmax}$，就能确保槽内无泥石流淤积物。可用第三章表 3—21 与第四章 V 型槽设计水力要素表作比较选定。

4. 渡槽槽身边墙高度应留有高出设计泥石流水深 1.0m 的安全高，并用高一级的设计泥石流流量校核其风险度。

（二）渡槽断面设计

1. V 型槽断面设计：泥石流渡槽横断面设计形式虽有多种类型，但从理论研究与实践经验来看，只有 V 型槽断面形式（见第四章）最适合于排泄泥石流固体物质与集中加固防磨蚀范围最小的优越性，以及施工容易，纵坡适应范围大等优点。V 型断面在西南用得多，效果显著。

2. 平底槽形断面（矩形、梯形、箱形）设计：平底槽排泄泥石流固体物质条件最差，尤其对中、小泥石流与大泥石流后期，容易在槽内发生淤积，因此，槽身边墙高度设计对粘性泥石流应预留残留层高度，对稀性泥石流要考虑中、低水位后的清淤工作。否则，必须加大渡槽纵坡。一般纵坡设计应大于 150‰，渡槽出口悬空，才能顺利排泄泥石流而不淤积。如若渡槽出口不能悬空，而是原地面接原沟时，则渡槽纵坡设计还应加大到 180‰～230‰，方能排泄泥石流顺畅。加之平底槽防磨蚀范围大，要在整个平底槽范围内都应加强防磨措施。故平底槽断面没有 V 型槽断面优越。只有在坡度很大时才宜采用。平底槽在西北泥流地区用得较多，对于陡纵坡度，效果也不错。

3. 半圆形断面（弧形、锅底形）设计：圆形底槽排泄泥石流固体物质条件与 V 型槽相似，但缺点主要是施工困难，防磨范围略大于 V 型槽，因不易推广，目前还没有实例。

三、泥石流渡槽结构设计

（一）荷载组合

1. 槽身重力；

2. 满槽时泥石流流体重力；

3. 含大漂砾泥石流体作整体运动时的冲击力，其冲击系数按泥石流总重量计算取 1.3。拱形渡槽的拱顶至泄床面之间有填料，其厚度超过 1m 时，可不计算冲击力；

4. 墩身重力(包括基础)；

5. 槽身横向风力(顺河谷风力很大时，应考虑)；

6. 地震力和温度应力。

荷载组合应按地域条件、设计标准、结构类型，参照有关规范分别计算其最不利的组合形式与控制条件。

(二)渡槽结构设计

1. 拱形渡槽

拱形渡槽受力条件好，超负荷能力很强，最适合于泥石流渡槽荷载的多不确定性因素，对路堑边坡和上游拦挡有较强的支护作用，还能就地取材，节约钢料，常是优先采用的构造物。但它对地基的承载力要求较高。也可用双曲拱来减轻渡槽重量。

2. 梁式渡槽

梁式渡槽，泄床与边墙形成整体结构，采用高标号的钢筋混凝土整体施工，泄床加强防磨蚀措施(参照第四章)。梁式渡槽对地基要求较低，可用桩基、扩大基础以及排架墩、空心墩等来减轻对地基的要求。

3. 框架式渡槽

框架式渡槽要求整体性强，采用高标号的钢筋混凝土整体施工，地基要好，半路堑、外侧地形悬空、内侧陡壁、作框架紧接山坡型泥石流沟较理想。如采用厂制构件拼装，注意连接点的强度，渡槽规模宜小不宜大。

(三)渡槽防水处理

1. 渡槽进、出口和槽身连接处应设置沉降缝和伸缩缝，伸缩缝应作防渗处理。

2. 渡槽跨端梁缝应有良好防水密封处理，以免渗漏锈蚀墩台

和妨碍槽下作业以及钢轨、电缆等的安全。

(四)渡槽防磨措施

泥石流渡槽的最低要求是只能排不能淤，淤则漫槽，其危害远比磨损为大。要排就必然要产生磨损，而渡槽防磨又比一般的泥石流排导槽重要。由于渡槽槽身是悬空受荷载结构，磨蚀过多，将影响槽身结构的安全，因此，泥石流渡槽防磨措施应比一般排导槽要求要高。

1. 采用 10～15mm 厚度的钢板铺底防磨

(1)V 型槽在沟心 0.4B 槽宽范围内，将钢板四周和板中间预焊带钩的锚固栓，在灌注渡槽槽身梁时埋入防磨层内，在两斜面钢板交接的沟心、用焊接将板缝焊牢，这种防磨措施重量轻，整体性强，排导效果好。图 5—2 为 V 型槽钢板防磨示意图

(2)平底槽则用同法将槽底全部用钢板平铺。用料没有 V 型槽省，效果也没有 V 型槽好，原因在于固体物质和水都不能集中所致。图 5—3 为平底槽钢板防磨示意图

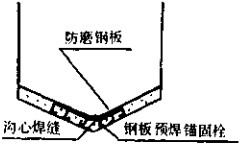


图 5—2 V 型槽钢板防磨示意图

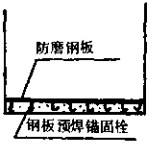


图 5—3 平底槽钢板防磨示意图

2. 采用废旧钢轨滑床防磨

(1)V 型槽在沟心 0.4B(槽宽)范围内，用废旧钢轨将轨底面向上密布成钢轨滑床，轨距以混凝土碎石能下落捣固为准。在灌注渡槽槽身梁时埋入防磨层内。这种防磨措施在铁路上使用有条件。图 5—4 为 V 型槽钢轨滑床防磨示意图。

(2)平底槽可用同法在槽底全部用废旧钢轨将轨底面向上密布成钢轨滑床，灌注在槽身防磨层内。平底槽用料大，排导效果差。图 5—5 为平底槽钢轨滑床防磨示意图。

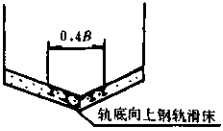


图 5—4 V 型槽钢轨滑床防磨示意图

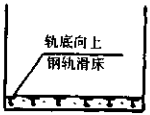


图 5—5 平底槽钢轨滑床防磨示意图

第五节 泥石流渡槽工程实例

一、成昆线峨边站祠堂沟泥石流渡槽

(一)概况

祠堂沟在成昆线 K232+238.9 处。位于峨边车站内右侧,居该车站泥石流沟群之首,与 K231+988 的马嘶溪沟泥石流相邻,与 K231+633 的疏砂槽泥石流沟仅一沟之隔。整个车站处于大渡河峡谷段左岸,地势陡峻、山高谷深,坡陡流急,有利于泥石流发育的良好地形。

区内为单斜构造,出露地层有上二迭统峨眉山玄武岩和宣威组紫红色砂岩、页岩;下二迭统茅口组灰岩和砂岩。下三迭统飞仙关组紫红色砂页岩、泥灰岩、白云岩。沟谷下游在大渡河Ⅱ、Ⅲ级洪积阶地上,局部厚度大于 10m。玄武岩节理发育,沿节理面崩塌、滑坡发育,易形成悬岩峭壁和沟溶跌水,紫红色砂页岩易风化,软硬相间,不良地质发育,是形成泥石流的有利条件。

区内年雨量较大,为 1090.9mm,年平均 824.0mm,日雨量大,为 156.2mm,日平均 46.5mm,雨量集中在 5~9 月,7 月份是高峰。因而暴雨是激发泥石流的重要因素。

成昆线勘测设计时对峨边站泥石流群均未按泥石流沟考虑,以致铸成今日之大患。通车后,随着人为活动的增加,坡面普遍耕种,植被破坏,更是雪上加霜,终于在 1974 年 7 月引发了多年不发

的泥石流灾害，毁田 30 余亩，冲埋房屋 10 余幢、淤埋车站 150m，淤厚 1.0～1.5m，中断行车 52 小时。灾害愈演愈烈，越发不可收拾，到了非治不可的程度。

（二）泥石流基本特征

1. 祠堂沟泥石流属山区暴雨沟谷型高频粘性泥石流，流体密度高达 2050kg/m³，$Q_{c100}=251.0m^3/s$，流域面积 2.0km²，河床坡度 250～300‰，区内局部堆积厚度大于 10m，玄武岩节理发育，页岩易风化，距沟口 1300m 处有牵引性切层滑坡，滑体约 40 万立方米，在沟内有较多堆积，约 10 余万立方米。评估总松散固体物质不下 50 万立方米。最大颗粒直径 1.0～1.5m。历史上曾于 1841 年、1934 年两次较大的泥石流冲毁村舍和农田。成昆铁路通车后，于 1974 年、1984 年又多次暴发泥石流，几度中断行车，每次淤积量 0.1～0.8 万立方米。成为峨边车站泥石流群中的主要灾害点。

2. 马嘶溪沟泥石流属暴雨山坡型高频过渡性泥石流，流域面积 0.24km²，设计流量 $Q_{c100}=36.7m^3/s$，岩层节理发育，沿节理面崩塌强烈，山坡陡峻、植被差，评估总松散固体物质约 15 万立方米。历史上泥石流暴发不多，1984 年规模较大，造成堵涵埋线。该沟位置在车站，沟口房屋甚多，纵坡平缓，治理难度大。

由于两沟相邻，有条件从上游采取改沟并流治理，既省工程，又能稀释泥石流浓度。经计算分析结果，并流设计泥石流流量 $Q_{c100}=264.8m^3/s$；$v_{c100}=10.68m/s$；校核流量 $Q_{c300}=433.0m^3/s$；$v_{c300}=11.75m/s$。

（三）祠堂沟泥石流工程整治措施

1. 1974 年 7 月祠堂沟泥石流灾害发生后，于 1976 年在上游 104m 处修建拦碴坝一座，拦淤 4500m³，1981 年加高 3.0m 又淤满失效。1982 年在此坝上游 50m 再作第二道拦碴坝，库容不大，又被淤满又失效。严重危及行车安全。

2. 1989 年再次进行工程治理，经多方论证比较，利用地形在沟口设挡墙，提高沟床标高，采用梁式 V 型架空渡槽。同时将相邻的马嘶溪沟泥石流从上游改沟并流入祠堂沟，两沟并作一槽渡的

凌空排导方案。槽身为C30钢筋混凝土5孔不等跨桥式V型渡槽，飞架车站股道与公路，将泥石流从空中直接倾泻大渡河中。图5—6为成昆线峨边车站祠堂沟泥石流渡槽整治示意图。

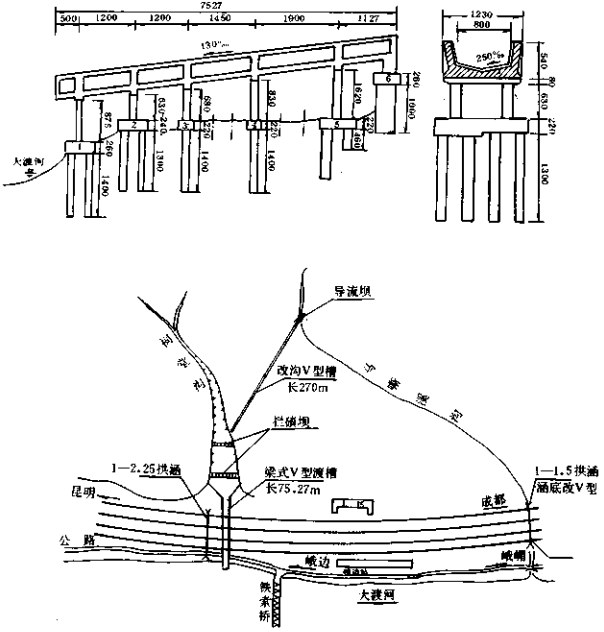


图 5—6　成昆线峨边车站祠堂沟泥石流渡槽整治示意图

马嘶溪沟泥石流在上游利用地形用导流坝将原沟堵死，沿地形改沟用V型槽在渡槽前方引流段并入祠堂沟泥石流，改沟V型槽槽长270m。全部工程于1992年雨季前竣工。经两个雨季的初步检验，基本解除了祠堂沟泥石流对峨边车站的多年危害，社会和经

济效益都十分明显。

同时对马嘶溪沟下段及涵洞，也采取V型槽改造。因此，马嘶溪沟的既有涵洞危害亦得到改善。

二、宝成线红花铺车站庙沟泥石流拱形渡槽

红花铺车站在宝成线K66＋500处，车站建在庙沟沟口堆积扇上，是低填方车站，庙沟位于车站左侧，源于秦岭主峰南侧，是嘉陵江上游宽谷区左岸一条支沟，流域呈羽毛状分布，流域面积4.3km²，沟长5.5km，沟床平均纵坡180‰，相对高差850m，区内年平均降雨量613mm，多集中在6～9月份。

流域内出露大片中一细粒结构花岗岩，由于地处秦岭纬向构造带上，断裂节理发育，岩体因风化剥蚀后形成滑坡3处，错落4处，岩堆5处，沿沟有大量花岗岩漂卵石堆积，最大颗粒直径3～4m，一般0.2～0.5m，是泥石流固体物质主要来源。

1954年勘测设计时，该沟未按泥石流沟设计，以1—6.7m小桥改到站外通过，通车后沟床中和桥下常有松散物淤积，加之后来的开矿弃碴堆积，人为的开荒垦植、水土流失，终于在1981年8月21日暴发了一场规模较大的泥石流，冲出固体物质5万多立方米，堵塞沟口，掩埋了车站股道和7辆货车，淤厚达3～5m，中断行车数十小时。

灾情发生后，经现场勘测分析，认为灾害原因是沟床中积聚了多年固体松散物，在长时间的前期降雨和特大暴雨的组合下，暴发了建路以来最大的泥石流灾害。

评估庙沟泥石流属暴雨沟谷型低频稀性泥石流。工程治理从铁路现状和地形条件两方面，曾考虑过桥和渡槽两种方案，由于车站地形控制，设桥净空严重不足，仅3.7m，纵坡缓、仅50‰，出口受嘉陵江水位顶托，排泄困难，灾害难平息。经分析比较，最后决定采用1—30m刚架拱式矩形渡槽，横跨站场。

泥石流渡槽纵坡为100‰，槽宽12m，直边墙，墙高约2.5m，墙身用C30钢筋混凝土刚架拱，重力式桥台、抬高上游沟床，明挖

基础，为满足槽底净空要求，提高了渡槽进口高度，将槽台与挡墙结合为一体，进口用倒喇叭形导流堤连接沟岸，让泥石流自然填淤、提高沟床。并在宝鸡侧导流堤上留有排水孔道排泄小洪水。此方案能抵御较大泥石流灾害，在设计泥石流流量规模内，能保障铁路畅通无阻。图 5—7 为宝成线红花铺车站庙沟泥石流渡槽整治示意图。

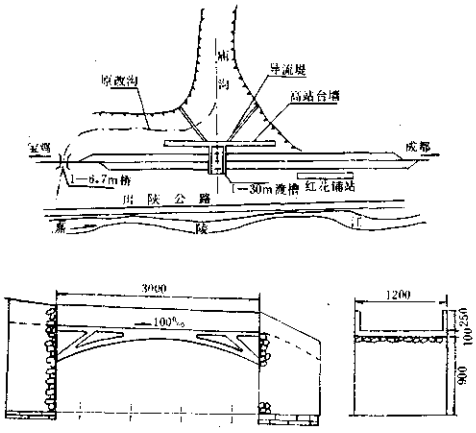


图 5—7　宝成线红花铺车站庙沟
泥石流渡槽整治示意图

第六章　泥石流拦碴坝工程

第一节　概　　说

泥石流拦碴坝是防治泥石流危害的又一主要工程措施。它是修建在泥石流沟上的一种横向拦挡建筑物，主要起拦泥石流固体物质而不拦泥石流浆体的作用。有泄洪、拦碴、调节、固床，稳坡和控制固体物质补给量与防止沟道下切及沟壑发展的功效。常是泥石流综合治理的先导工程，有见效快与使用时效短的特点。

在泥石流拦碴坝库容淤满后，其效用将明显降低，因此，泥石流拦碴坝是一种持续性建设工程，或需定期进行清淤的工程，才能巩固其长期效用。所以，对于在泥石流固体物质储量十分丰富、沟道坡陡，沟谷库容不大的泥石流沟上，使用时要填重，否则，收效甚微，所起的拦蓄作用非常有限。

泥石流拦碴坝主要设在泥石流沟的上、中游区段。要因地制宜地选择瓶颈地形，坝基坚实、沟道平缓，库容大的地缘优势为坝址。

泥石流拦碴坝常在坝高小于 5.0m 时称谷坊，一般宜低不宜高，应分期分批地建造成群坝，并在下游末端设立骨干坝，防止上游发生溃坝时的连锁反应而加大泥石流危害。

泥石流拦碴坝必须透水性要大，坝体坚固性要强，流水面防磨性要高，使用寿命要长，总的目标是削弱泥石流，控制泥石流，是配合综合治理泥石流的重要工程措施。

泥石流拦碴坝与水工坝主要不同之点是：前者拦碴，后者蓄水；作用的荷载不同；坝库回淤方式不同；流体过坝的破坏作用不同；坝下冲刷能力与消能方式不同；运作效能时限不同。

第二节　拦碴坝类型和功能

一、泥石流拦碴坝类型

泥石流拦碴坝的类型繁多，可以从几何形体、结构型式、受力状态、建筑材料、透水性能、作用时限和施工方法等方面来区分类型(表 6—1)。随着防治泥石流科学技术的发展，新型拦碴坝还将不断出现，形成独具特色的泥石流拦碴坝系列。

由于我国泥石流分布甚广，地域差异性很大，灾害频繁，受灾部门多，防治重点各不相同，治理能力有限等特点。因而在修建拦碴坝时，要因地制宜，选取就地取材，施工方便，技术先进，经济合理的坝型为佳。

泥石流拦碴坝类型特征简表　　表 6—1

分类	拦碴类型	特征及效用
几何形体	平面形坝 立体形坝	结构简单，不宜过高，省材料，效用小 结构复杂，越高越费料，效用大
结构型式	实体坝，轻型坝，格栏坝，混合结构坝，梁式坝，桥式坝，拱形坝，桩林坝，钢索坝，框架坝，笼装石坝，堆砌坝，桩基坝等	坝型随地形，地质，时间，地点，效用与经济能力，施工技术水平而定，与泥石流危害有关，一般以防冲，耐用，经济实惠为佳
受力状态	刚性坝，柔性坝，拱坝，重力坝，三维应力分析直线坝，支墩坝	以受力条件能稳定安全性高为宜
建筑材料	土坝，石坝，圬工坝，混凝土坝，钢筋混凝土坝，金属坝，混合材料坝，木料坝，铁丝笼坝，竹笼坝	以就地取材，经久耐用，经济实惠，施工方便为好
透水性能	透水性坝：格栏坝，网索坝，洞隙坝 不透水性坝：土坝，实体坝	透水性强，可减小动水压力与坝下冲刷，并能增强调节作用，符合泥石流特性
使用寿命	永久性坝：浆砌石坝，混凝土坝，钢筋混凝土坝 半永久性坝：金属坝，格栏坝 临时性坝：笼装石坝，木料坝，柴梢编篱填石坝	经久耐用，能巩固效用，不增大危害 使用一段时间后，需加固补强，有后患 只能用作临时抢险救灾、安全性小
施工方法	现场制作：圬工坝，土坝，混凝土坝 预制构件装配：格栏坝，框架坝等	适合于就地取材 厂制质量好，但运输要求高

二、拦碴坝功能

（一）拦碴滞流，形成泥石流库，降低泥石流的水动力条件，减小泥石流流体密度，调节泥石流下泄峰量和固体物质总量，对泥石流体起削弱调节作用。

（二）抬高河床，提高侵蚀基准面，对不良地质体坡脚起掩埋与支护作用，增强山坡与沟床的稳定性。防止沟床切蚀，减少泥石流固体物质补给量，起抑制泥石流发育的作用。

（三）减缓坝上游河床纵坡，降低流速，减小泥石流下泄固体物质粒径，有利于下游输砂排泄，对下游淤积和沟道演变有调节控制作用。

拦碴坝在建成后，拦碴、滞流立即见效。但随着泥石流库区的淤积，拦碴、滞流作用也逐渐减弱。但对固床、护坡作用却又逐渐加强。当拦碴坝库容完全淤满后，其调节量常在原沟床纵坡的(0.5～0.75)I的范围内活动。图6—1为拦碴坝调节量示意图。此时泥石流在沟内的漫流，横向侵蚀、冲刷坡脚等危害现象又渐次恢复、展开和增强。据此，从拦碴坝的滞洪、拦碴、节流、稳坡等效能与使用时限的意义来讲，无疑拦碴坝的作用属半永久性的。具有很强的时间性、而不是一劳永逸的工程措施。尤其对巨型重点泥石流沟的拦碴坝工程措施更不能使治理出现断代现象。因此，当拦碴坝失效之时，应该是其他综合治理发挥作用之日。所以，在严重泥石流沟上作一次性拦碴坝工程意义不大，必须持之以恒，方能达到长治久安之目的。

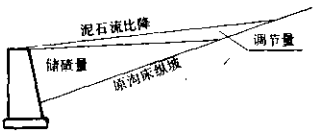


图6—1 拦碴坝调节量示意图

第三节　拦碴坝设计技术条件

一、拦碴坝坝址选择

坝址选择应根据建坝的主要用途、目的、地形、地质周边环境和施工难度、坝型、建材以及经济技术条件而定：

（一）以拦碴节流为主的坝址应选在上游地形开阔，坝址地势狭窄，上游沟道平缓、库容大的瓶颈位置，这有利于满足运作期间的拦蓄要求，起工程省、造价低、效益高的作用。

（二）以固床护坡为主的坝址应布置在强烈侵蚀的沟段或对不良地质体有控制作用的下游，这有利于起直接支护的最佳作用。

（三）以保护物为重要目标的坝址：应设计在保护物的上游，以控制泥石流的流动走向，利于疏导与防止下游沟道冲淤演变而产生的危害作用。

（四）骨干拦碴坝必须选在坝群的最下游或地质基础良好、地形条件优越之处，以利上游溃坝时有较大的调节缓解作用与抵御能力，更要有利于与下游的排导工程相联接的作用。

（五）一般拦碴坝应选在支沟交汇和河弯的下游，陡坡陡坎的上游，坝体避开凹地和冲沟，坝轴布置应考虑流向、地形、岩性、构造对承载及稳定有利的地势。

（六）选择在有利于坝下游消能和防冲刷之处。

（七）选择在运输方便，距就地取材较近，易于施工与方便管理养护之处。

（八）选择在不影响铁路、公路、矿山、水利和城镇等部门的有关规定之处。

（九）严禁在不良地质体上、陡坎下面和地形开阔与地层承载力严重不均之处建坝。

二、拦碴坝坝型选择

在选择泥石流拦碴坝类型时，要考虑多种因素的组合条件。如

泥石流的类型特征、地形条件、地质情况、施工技术水平、建材产地状况，防护目标，社会经济效益以及综合利用的远景规划等等。

（一）选定泥石流拦碴坝坝型必须适应泥石流的类型特点，力求达到最佳的使用效果与最长的使用时间。

（二）选定泥石流拦碴坝坝型时应结合坝址处的地形与地质条件，充分发挥地缘优势，修建 适应性强、技术先进，施工简单、管理方便、经济实惠、效益高的拦碴坝。

（三）选定泥石流拦碴坝坝型时应尽量满足就地取材、方便施工、技术可行、经济合理、符合因地制宜的原则。

（四）选定泥石流拦碴坝坝型时，宜选用结构简单、安全可靠，适应泥石流的危害性质，满足因害设防的原则。

（五）选定泥石流拦碴坝坝型时，优先采用流线性好，耐磨性高、防冲性强的坝型构造，达到顺其自然、尊重自然规律，符合因势利导的原则。

（六）根据泥石流防治学科的发展与生产的需要，选择典型防治工点，进行新坝型、新结构、新材料、新方法的科学试验，是推进泥石流防治技术发展的重要举措。

（七）泥石流拦碴坝以透水型为佳，因其可以减少动水压力，增强调节性能，有降低冲刷与磨蚀的作用；以耐久性建材为好，因其使用寿命较长，即使库容淤满后，效能减弱了，也不至于导致溃坝而增大危害。低坝型比高坝型要经济，因几个低坝高度之和比一个同高度高坝工程要省得多。总之，因地制宜、因害设防、尊重自然规律、顺其自然，实事求是，讲求实效，经济合理地选取坝型是防治泥石流随时制宜的总体思路。

三、拦碴坝坝高、坝距的确定

拦碴坝高度常根据其坝型，坝址、坝距以及所用建筑材料来决定。主要以能承受泥石流流体压力和土压力、冲击力和坝下冲刷力而不被破坏为原则。

坝高与坝间距离是两个互相制约的指标。在通常情况下坝高

与坝距成正比，坝距又与沟道坡度成反比，沟道坡度再与颗粒粗度成正比，因此，控制条件常取决于坝址、坝型，沟道坡度与颗粒粗度，当两个优良坝址确定后，根据坝距求坝高，当坝址不控制时，根据坝型定坝高求坝距。总之，实事求是，因事因地制宜地按需确定坝高和坝距则是最佳效果的选择。计算坝高和坝距常用下列方法：

（一）回淤坡度计算

实践证明，在泥石流拦碴坝淤满之后，其淤积物表面的河床坡度不可能是水平的，必然成为一个回淤坡度，回淤坡度的大小与堆积物粒径有关，与冲淤坡度的稳定性有关。目前要准确估定这一稳定性坡度，还有一定的困难。因此，根据经验常用以下几种方法来选定较为稳定的回淤坡度 I_0，其值：

1. 实测回淤坡度法

根据我国已建多年拦碴坝的回淤坡度资料分析，坝前稳定的回淤坡度 I_0，都小于原沟床的纵坡 I，因此，可归纳成下式：

（1）无经常性水流作用的泥石流沟

$$I_0 \approx 0.75I \qquad (6—1)$$

（2）有经常性水流作用的泥石流沟

$$I_0 \approx 0.5I \qquad (6—2)$$

式中 I_0——泥石流拦碴坝回淤坡度，‰；

I——泥石流沟原沟床天然坡度，‰。

2. 瓦兰亭（Valentine）公式法计算泥砂稳定坡度

$$I_0 = 0.093d/H \qquad (6—3)$$

式中 d——泥砂的平均粒径，m；

H——泥石流平均水深，m；

I_0——泥砂稳定坡度，‰。

一般说，对粒径较大的非粘性土壤，可使用此式。

3. 土质分类查表法

根据土质不同来决定拦碴坝顶面的稳定（不冲刷）坡度，见表6—2 沟道土质稳定（不冲刷）坡度表。

（二）拦碴坝坝距计算

$$L=H/(I-I_0) \qquad (6-4)$$

式中 L——坝间距离，m；

I——原沟床坡度，‰；

I_0——拦碴坝淤满后回淤成的稳定坡度，‰。

沟道土质稳定（不冲刷）坡度表 表 6—2

土壤名称	砂土	粘壤土	粘土	粗砂兼有卵石
坡度 I	0.005	0.008	0.01	0.02

按前述诸法中比较选定。

拦碴坝坝高与间距关系图见图 6—2。

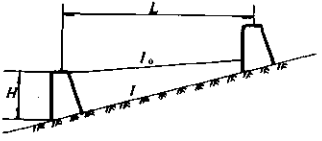


图 6—2 拦碴坝坝高与间距关系图

当拦碴坝坝下局部冲刷不稳定时，按式（6—4）的计算值缩短坝间距离，使回淤线淤埋上游坝下冲刷坑，或设置坝下防护工程。总之，坝高与坝距应视具体情况作技术经济比较确定。

四、泥石流拦碴坝溢流道

设置溢流道是使泥石流拦碴坝安全通过设计的泥石流流量的重要项目。溢流道的位置要根据坝型、地形、地质和坝下防冲条件而定。如坝基地质条件好，或坝型为桥式，坝下防冲条件好的，溢流道应设在坝身上。如坝端地形、地质条件好，流向也通顺，溢流道也可放在坝的端部，具体位置最好通过经济技术的比较。

溢流道过流深度不宜过大，以宽、浅为宜，尽可能减低对坝下的冲刷破坏能力。

溢流道大小，按泥石流设计流量进行设计，设计流量标准照各部门的规定办理，不强求一致。

溢流道设计，通常设计成矩形、梯形、V形等断面形式，并应与坝型、坝下防冲条件结合。

（一）矩形断面溢流道计算公式

$$Q_c = mBH^{3/2} \tag{6—5}$$

式中 Q_c——溢流道能通过的泥石流流量，m^3/s；

B——溢流道的底宽，m；

H——溢流道过流深度，m；

m——流量系数。通常取1.45～1.55，溢流道表面光滑者用较大值，表面粗糙者用较小值，一般取$m=1.5$。

根据(6—5)式求溢流道水深时可变为：

$$H = 0.765\left(\frac{Q_c}{B}\right)^{2/3} \tag{6—6}$$

式中符号意义同前。

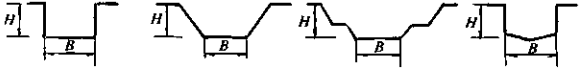
（二）梯形断面溢流道计算公式

为方便施工与计算，梯形溢洪道侧面斜坡多设计成1∶1，此时计算流量公式则为：

$$Q_c = (1.77B + 1.42H)H^{3/2} \tag{6—7}$$

式中符号意义同前。

近年来，也有人将溢流断面作为复式断面的。总之，溢流道设计应以不漫坝、不掏刷坝端、有利于坝下冲刷的处理，能确保坝体安全，顺利通过泥石流的设计流量为原则。溢流道断面形式图，见图6—3。



(a) 矩形　(b) 梯形　(c) 复式　(d) V型

图6—3　溢流道断面形式图

五、泥石流拦碴坝贮量计算

泥石流拦碴坝贮量的多少，是衡量拦碴坝所起效果大小的一

项重要指标。一般在确定坝高坝位时，应计算拦蓄坝库容作为建坝的主要依据。其计算方法，有下列种种。

（一）实测横断面法

$$V=\frac{1}{2}[(A_1+A_2)L_1+(A_2+A_3)L_2+\cdots+(A_{n-1}+A_n)L_{n-1}] \quad (6—8)$$

式中 V——拦蓄坝库容，m^3；

$A_1, A_2, \cdots, A_n$——各横断面内的贮蓄面积，m^2；

$L_1, L_2, \cdots, L_{n-1}$——各横断面之间的距离，m。

（二）等高线法

$$V=\frac{1}{2}[(F_1+F_2)h+(F_2+F_3)h+\cdots+(F_{n-1}+F_n)h] \quad (6—9)$$

式中 V——拦蓄坝库容，m^3；

$F_1, F_2, \cdots, F_n$——坝高以下等高线所圈库区面积，m^2；

h——坝区地形图的等高距，m。

（三）沟道纵断面法

$$V=\frac{1}{2}\cdot\frac{bH^2}{I-I_0} \quad (6—10)$$

式中 V——拦蓄坝库容，m^3；

b——淤蓄地段平均宽度，m；

H——拦淤厚度，m；

I——天然沟床坡度，‰；

I_0——回淤坡度，‰。

（四）近似计算法

1. 沟道横断面近似三角形时

$$V=\frac{1}{6}LBH \quad (6—11)$$

2. 沟道横断面近似抛物线形时

$$V=\frac{1}{4.5}LBH \quad (6—12)$$

3. 沟道横断面近似梯形时

$$V=\frac{1}{6}(B+b)HL \qquad (6—13)$$

式中 V——拦碴坝库容，m^3；

B——相应于坝高的沟道横断面的上宽，m；

b——坝址处沟道横断面底宽，m；

H——溢流道底以下的坝高，m；

L——相应于坝高的回水线长度，m。

六、拦碴坝排水孔(洞)布设

泥石流拦碴坝主要是拦碴而不拦水，因此，在拦碴坝坝体上设置排水孔(洞)，有许多好处

(一)设置排水孔(洞)的优缺点

1. 减少坝前的动水压力；

2. 调节输送泥石的功能，增长拦碴坝的使用时限；

3. 增大坝体中、下部排水量，可减少坝顶溢流道流量，从排水孔喷出的流体与坝顶溢流互相撞击可起消能作用，降低坝下的冲刷能力；

4. 减少施工中的排水难度；

5. 缩短拦碴坝蓄水时间和便于以后坝顶养护维修与施工的作用；

6. 其主要缺点是排水孔容易成为坝体本身结构上的弱点，所以要特别注意排水孔的大小，数量和布置。

(二)排水孔(洞)的布置

1. 尽量将排水孔布置在溢流道坝段；

2. 排水孔的大小，数量和位置，要在仔细勘测输送石块的大小后，根据上述某一目的决定；

3. 排水孔应布置成梅花状交错排列，相邻排水孔之间应留适当的间距，以免过分削弱坝体结构；

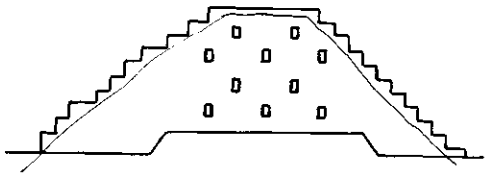
4. 排水孔设计可按全部或部分设计流量设计排泄孔横断面面积，一般单孔孔径可取过流中最大石块粒径的 1～2 倍。孔形多

取成宽高比为 0.6～0.8 的矩形，顶部视孔径大小用盖板或砌成拱形；

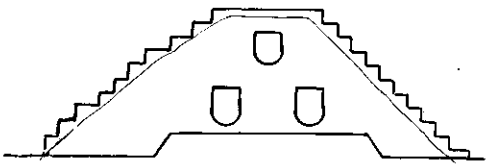
5. 根据设置排水孔的实践经验有少而大的趋向，尽量争取在不同高度都能排泄较多的泥石流体，以延长拦碴坝的使用时限。

6. 最大排水孔（洞）可按不成灾的泥石流流量设计，即在一般中、小泥石流时，可全部排出，控制成灾泥石流起调节、拦碴作用，可增强防灾功能和延长拦碴坝的使用寿命。

图 6—4 为拦碴坝排水孔布置示意图。



(a) 大孔少孔布置



(b) 小孔多孔布置

图 6—4 拦碴坝排水孔布置示意图

七、坝下防护

在泥石流拦碴坝下，由于流体和粗大颗粒的飞坠坝下，常常使坝基受到局部冲刷与巨石的冲击作用，这是拦碴坝受灾遭破坏的重要原因。尤其是建筑在泥石流堆积物的砂砾石基础上的坝。常因坝下冲刷引起的坝基掏空从而导致坝体倾斜、破坏、崩溃以致造

成连锁反应的更大崩溃危害者更是屡见不鲜。因此，对泥石流拦碴坝来讲，坝下防护是非常重要的，一点也不容忽视。

通常的坝下防护工程有缩短坝距、掩埋坝基，设副坝和护坦等多种措施。具体作法，要根据泥石流沟的类型特征、坝址、坝型以及施工环境、建筑材料等，通过具体计算与技术经济比选决定。

(一)缩短坝距与加高下游坝高

缩短坝间距离和加高下游坝高，都是为了使坝顶泥石流堆积物的回淤坡度线淤埋上游坝下的冲刷坑，在坝下形成砂石柔性垫层，保持坝下冲刷深度不危及坝基安全为目的。其坝距和加高坝高的重合高度是非常重要的选择，具体数据要通过计算与技术经济比选而定。

(二)副坝工程

在坝下射流范围外的适当位置设副坝，形成砂石垫层的柔性消力池的方法来吸收与缓和飞坠下落的冲击力，以防止深冲刷的破坏作用。所以，主坝和副坝之间的间隔和重合高度对削弱坝下冲刷力十分有效，而且较为经济。见图 6—5。

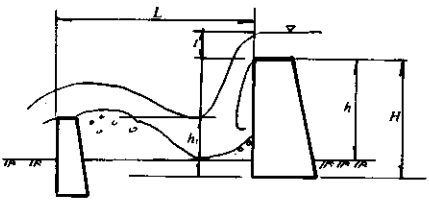


图 6—5　副坝间距和重合高度示意图

1. 重合高度计算

$$h_i=(0.33\sim0.25)H \qquad (6—14)$$

式中　H——主坝高度，m；

h_i——重合高度，m。

2. 主副坝的间距计算

$$L=(1.5\sim2.0)(h+t) \qquad (6-15)$$

式中 H——主副坝的间距，m；

h——冲刷坑底至主坝顶高度，m；

t——溢流深度，m。

上述经验公式适合于坝高 15m 以下，公式中的系数取值与坝高成反比，与溢流水深成正比。

当副坝下游还有较大冲刷时，应设多道副坝，直至控制冲刷危害为止。实践结果证明，冲刷深度与冲刷形态随主、副坝之间的距离而变化，主、副坝之间的距离短时，冲刷坑朝坝基靠近，会带来不良影响。因此，应该特别注意不使冲刷逼近坝基为宜。

(三)护坦工程

护坦工程系刚性防护，一般来讲，对泥石流拦碴坝是不可取的。成昆铁路曾在拦碴坝下作过 2m 多厚的混凝土整体护坦，仅几年时间就被泥石流坠石击碎成碎块冲走。因此，只有在颗粒很细的细砂泥石流沟上才有使用的价值。其设计方法，基本上是按清水流设计。因此，在泥石流沟上使用时要慎之又慎。通常是不宜采用。

(四)改变坝基形式的方法

根据拦碴坝坝址的地形、地质条件，充分利用其地缘优势，恰当地改变拦碴坝的坝基类型也能起到预防坝下冲刷破坏的作用。

1. 桥式拦碴坝

在两岸基岩出露，中间无基岩的峡谷地形时，可利用地形、地质条件，将拦碴坝筑成拱桥式(简支梁式)，并将拱座(或支座)置于两岸基岩上，沟中以桥式坝无基础跨越。将溢流道设在无基的桥式坝中心位置，这样可以防止坝下冲刷和巨石坠落的破坏作用。见图 6—6。

2. 桩基坝

在坝基不良，坝下防护处理有困难时，采取挖(钻)孔桩坝基，将桩基置于坝下设计冲刷线以下，按高桩承台设计，这种桩基坝比整个坝基埋深要经济，而且施工也较为容易。这种坝基既能防止坝下冲刷，也能克服承载力之不足。如云南省盈江县浑水沟泥石流一

号桩基重力式拦碴坝已修建十余年，迄今使用良好，效果显著。见图 6—7。

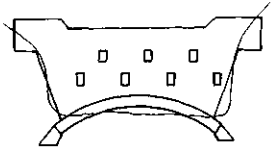


图 6—6　桥式坝示意图

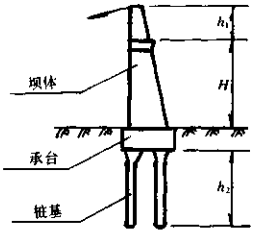


图 6—7　桩基坝示意图

第四节　泥石流重力式拦碴坝

泥石流重力式拦碴坝是依靠其本身的自重来保持稳定的一种坝型结构，在平面上作成一字形、构造简单、就地取材、施工简易，可用于高、中、低坝，是目前我国防治泥石流使用最为广泛的坝型，在铁路部门也不例外。

一、坝体断面

重力式拦碴坝设计，应充分考虑发挥建坝设定的机能、结构上的安全，建造上的经济和施工养护上的方便等问题。

（一）坝体断面型式

泥石流拦碴坝和蓄水坝不同，因有砂、石溢过坝顶，对坝顶和溢流背水坡都有强烈的磨损冲击作用，必须加以特别考虑。因此，采取的背水坡和断面形状与蓄水坝相反，背水面要很陡，顶宽较大，断面形状有异，经稳定计算后，按最不利情况选用坝体断面型式。

1. 背水坡设计

为了使泥石流固体物质过坝落下而不损坏背水面，通常处理的方法有两种：

(1)把背水坡度作得比落下石块的轨迹坡陡。图 6—8 为背水坡示意图。以不损坏背水坡坡面为原则。

背水坡可按下式求算

$$n \leqslant v_g \sqrt{\frac{2}{gh}} \qquad (6—16)$$

式中 v_g——在损坏背水面的石块中最小石块的临界流速(假定石块是以此速度从坝顶水平抛出),m/s。其值为

$$v_g = \sqrt{\frac{\beta f b(\rho_H - \rho_c)\cos\theta}{\rho_c}}$$

其中 f——摩擦系数,

ρ_H——石块的密度,kg/m³,

θ——河床坡降,°,

b——石块流动方向的长度,m,

β——石块的形状系数,$\beta = \frac{2g}{K_1 + K_2}$,($K_1 + K_2$ 为 1.0 左右);

式中其它符号意义同前。

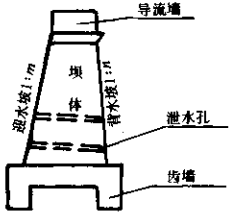


图 6—8 背水坡示意图



图 6—9 托盘式溢流坝顶

实际上,大多数坝都将背水坡设计成 1∶0.2 的标准。低坝和流出泥砂的粒径小,而且其量也少时,可以把背水坡度放缓到 1∶0.3。

(2)放缓背水坡,溢流坝顶作成托盘式,如图 6—9 为托盘式溢

流坝顶示意图。

为了有利于坝体设计的稳定性，可将背水坡放缓后而又不使背水坡遭受冲损磨蚀，就应将溢流道顶部作成托盘式溢流顶，将泥石流流体挑出坝体背水坡外跌落，这可同样起到背水坡防冲磨的作用。

非溢流部位的断面，视其长短和工程量的大小，可设计为与溢流部位断面的形状相同的或不相同的都要从经济技术和施工方便等方面进行综合比较来定。

2. 坝顶宽

坝顶宽度设计，除应满足受力需要外，还应考虑坝址附近河床物质组成，流出泥石流固体物质运动状态和设计对象的流量、流速等水文、泥砂要素来决定坝体顶宽。

通常顶宽可按表 6—3 所示值选取或通过计算决定之。

坝 顶 宽 度　　表 6—3

顶宽(m)	1.5～2.5	2.0～4.0
河床的物质组成	砂夹砂砾石～卵石夹砂砾石	卵石～漂石
流出的泥石形态	水石流，流出泥砂细少、水量大，泥砂少的泥石流沟	稀性～粘性泥石流及粒径粗大的泥石流沟

3. 溢流顶防磨

泥石流拦碴坝溢流顶由于有固体物质通过，溢流顶磨损一般都很严重，为了加强防磨措施，通常按流速和颗粒粗度来考虑选取加固办法。若是 V 型断面可在沟心的 $0.5B$ 宽范围加固。

(1)$v_c<8.0$m/s 时，溢流顶可用坚硬的块石浆砌镶面加固；

(2)$8.0<v_c<12.0$m/s 时，溢流顶可用钢纤维混凝土或铸石镶面加固；

(3)$v_c>12.0$m/s 时，溢流顶可用钢板、废钢轨、型钢等钢材作面层加固。

溢流顶加固，要因地制宜、因害设防、就地取材，以经济实惠解决实际问题为原则。

二、坝体结构

在保证拦碴坝结构安全性能方面，必须满足以下三个结构设计条件，以免失事后造成更大灾害。

（一）倾覆安全是重力坝的首要条件，即在坝体受力后，坝底不能产生拉应力，作用于坝体的合力作用线必须在坝底中心 1/3 范围内。

（二）坝体内，坝底与地基的接触面或者在地基内不发生滑动。

（三）坝体内产生的最大应力不超过坝体材料的容许应力，同时，地基受到的最大应力也不得超过地基的允许承载力。

三、重力坝受力特征

使坝体产生倾覆、滑动及应力超过而溃裂的荷载组合有下述几种情况：

（一）空库时过流情况

前期空库或少量积水，然后突发设计泥石流流量冲击坝体，跃过坝顶溢流，泥位达到设计高程。这种情况应考虑泥石流的冲击力，而不计入土压力和超荷载。图 6—10 为空库过流示意图。

然而这种情况常成为控制设计的最不利条件。

（二）满库时过流情况

在多次泥石流淤满库后，发生设计泥石流流量，坝顶溢流达到设计高程，这种情况考虑淤满的土压力和超荷载而不考虑冲击力。图 6—11 为满库过流示意图。因此满库过流一般偏于安全状态。



图 6—10　空库过流

（三）介于上述两种情况之间

多次小泥石流在坝前逐次淤高不满库。图 6—12 为部分淤库过流示意图。

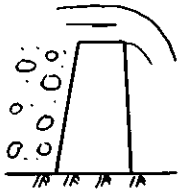


图 6—11　满库过流

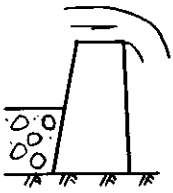


图 6—12　部分淤库过流

暴发设计流量，冲击坝体上部，并跃过坝顶，达到设计高程溢流。这种情况应考虑泥石流冲击坝体上部的冲击力、土压力以及超荷载，其安全度控制情况也在两者之间。

因此，坝的结构设计，坝体断面尺寸，应按其受力情况检算确定。

四、坝的荷载组合及各种荷载的计算

(一)坝的荷载组合

图 6—13 所示为重力坝荷载示意图。

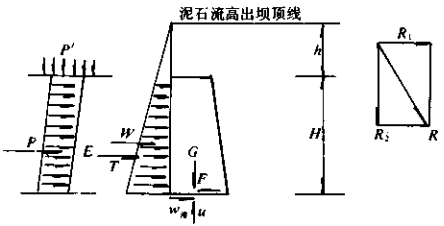


图 6—13　重力坝所受荷载示意图

图 6—13 中符号意义为

P、P' ——偶然堆积于坝上淤的超荷载，N；

E——堆积物的土压力，应分别情况进行计算，N；

T——泥石流冲击力，N，按第三章公式计算；

W——水压力，N，按设计泥位计算；

$w_{渗}$——坝基渗透压力，N；

F——坝基底摩阻力，N；

μ——水的浮托力，N；

G——坝体重力，N；

R_1——水平方向的合力，N，其值为：$R_1=P+E+W-F$；

R_2——垂直方向的合力，N，其值为：$R_2=G-\mu$。

此外还应根据具体情况，考虑坝承受渗透压力、地震力及温度应力等的影响。

（二）各种荷载计算

1. 堆积物的土压力计算

（1）堆积物满库与坝顶齐平时的土压力

$$E=\frac{1}{2}\rho_c H^2 \mathrm{tg}^2(45°-\frac{\varphi}{2}) \qquad (6—17)$$

式中 ρ_c——泥石流流体密度，kg/m³；

H——坝高或坝后堆积物高度，m；

φ——泥石流内摩擦角，°；

如 $\varphi=0$ 时，

$$E=\frac{1}{2}\rho_c H^2 \qquad (6—18)$$

（2）堆积物不满库距坝顶深 Zm 处的土压力

$$E_z=\frac{1}{2}\rho_c Z^2 \mathrm{tg}^2(45°-\frac{\varphi}{2}) \qquad (6—19)$$

式中 E_z——不满库距坝顶 Zm 处的土压力，N；

Z——距坝顶 Zm 的高度，m；

如 $\varphi=0$ 时，

$$E_z=\frac{1}{2}\rho_c Z^2 \qquad (6—20)$$

(3)堆积物满库泥石流溢过坝顶时的土压力

$$E=\frac{1}{2}\rho_c[(h+H+a)^2-(h+a)^2]$$

$$=\frac{1}{2}\rho_c[H^2+2(h+a)H] \qquad (6-21)$$

式中 H——坝顶高度，m；

h——泥石流高出坝顶的高度，m。如取坝的单位长度进行计算时，$h=\frac{q}{v_c}$；

q——单位长度的泥石流流量，m^3/s；

v_c——泥石流设计流速，m/s；

a——泥石流动能高度，m，其值为：

$$a=\frac{v_c^2}{2g}$$

g——自由落体加速度，m/s^2，取值 9.81。

(4)当泥石流深度较坝高虽低，但因泥石流动能作用，可能以波浪形态跃过坝顶时

$$E=\frac{\rho_c q^2}{gh_c}+\frac{\rho_c h_c^2}{2}-\frac{\rho_c q\cos\theta}{q}\sqrt{\frac{q^2}{h_c^2}-2g(H-h_c)} \qquad (6-22)$$

式中 ρ_c——泥石流流体密度，kg/m^3；

q——溢流单宽泥石流流量，m^3/s；

g——自由落体加速度，$g=9.81m/s^2$；

H——坝顶高度，m；

h_c——泥石流的深度，m；

θ——坝上游河床坡度，°。

2. 静水压力

$$W=\frac{1}{2}\rho_w H_w^2/\cos\theta \qquad (6-23)$$

式中 W——静水压力，N；

ρ_w——水的密度，kg/m^3；

H_w——从水面到坝底的水深，m。

3. 坝基渗透压力

$$M_{静}=\frac{1}{2}\rho_{水}\alpha Bh \qquad (6—24)$$

式中 $\rho_{水}$——水的密度，kg/m³；

α——基础接触面积系数，取值 0.8；

B——坝底宽，m；

h——坝前淤积厚度，m。

其余特殊荷载，如地震、温度等可参照有关规范计算。

五、重力坝的结构计算

结构计算主要有倾覆稳定、滑动稳定、坝基应力和坝体应力等计算。在合理组合设计荷载并满足断面要求的诸条件下进行检算。图 6—14 为作用于拦碴坝断面的力的示意图

（一）倾覆稳定计算

重力式拦碴坝是靠其本身重量来保持稳定的。因此，泥石流拦碴坝在运用过程中必须保证稳定不倾覆。

$$K\geqslant\frac{\sum M_{y}}{\sum M_{0}} \qquad (6—25)$$

式中 K——抗倾覆安全系数，一般 $K=1.30\sim1.60$；

M_{y}——抗倾覆力矩，N·m；

M_{0}——倾覆力矩，N·m。

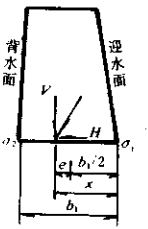


图6—14 作用于拦碴坝断面的力的示意图

（二）抗滑稳定计算

为使坝体内或坝底与地基的接触面不发生滑动，根据下式进行滑动检算。

$$K\leqslant\frac{f\cdot\sum V+\tau_{0}\cdot l}{\sum H} \qquad (6—26)$$

式中 K——抗滑稳定安全系数，一般 $K=1.05\sim1.15$；

$\sum V$——作用于每单宽断面上各垂直力的总和，N；

$\sum H$——作用于每单宽断面上的各水平力之和，N；

f——坝体与地基的摩擦系数，见表 6—4；

τ_0——坝体或地基中最小的剪切强度，Pa；

l——有效抗剪长度，m。

地基承载力和摩擦系数　　表 6—4

地基的种类		容许承载力 10^4Pa	摩擦系数	注　明	
				单轴抗压强度 10^4Pa	N 值
基岩	裂隙少的均一坚硬岩石	100	0.7	1000 以上	——
	裂隙多的坚硬岩石	60	0.7	1000 以上	——
	软岩，泥岩	30	0.7	100 以上	——
砾石层	密实的	60	0.6	——	——
	不密实的	30	0.6	——	——
砂质地基	密实的	30	0.6	——	30～50
	中等密实的	20	0.5	——	15～30
粘性土地基	非常坚硬的	20	0.5	20～40	15～30
	坚硬的	10	0.45	10～20	8～15
	中等坚硬的	5		5～10	4～8

当坝高不到 15m 时，剪切强度 τ_0 略去不计，用下式计算：

$$K \leqslant \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} \qquad (6—27)$$

此时，把安全系数 K 取为 1.2。

当坝高大于 15m 的岩石基础，在(6—26)式中使 $K=4$；砂砾石基础(原则上不用这种基础)的情况下，在不计剪切强度的(6—27)式中，取 $K=1.5$ 来计算。剪切强度要根据现场试验等方法来决定。

(三)坝体强度计算

在设计荷载作用下，必须使坝体和地基承受的力不能超过容许应力。

1. 坝底垂直力应力计算

$$\sigma = \frac{\sum V}{b}\left(1 \pm \frac{bl}{b}\right) \qquad (6—28)$$

式中 σ——坝底上游端或下游端的垂直应力，Pa；

$\sum V$——作用于每单宽断面上的垂直力的合力，N；

b——坝底宽，m；

l——荷载合力作用线与坝底交点到坝底中心的距离，m。

$l=x-\frac{1}{2}b$，x 为荷载合力作用点与坝底交点到坝底上游端的距离，m。

(1)由式(6—28)计算的坝底下游端的正应力，应比表(6—4)所示的容许承载力要小。

(2)作用于坝的荷载之合力作用线通过从坝底下游端起的⅓点时，可用下式表示：

$$\sigma_2=\frac{2\sum V}{b} \tag{6—29}$$

(3)合力作用点应位于截面的三分点以内，$l\leqslant\frac{b}{6}$，满库时上游端，空库时下游端的最小压应力 σ_{min} 不容许出现负值。

(4)坝址位于 7 度以上的地震区，坝高大于 15m 时，应参照《水工建筑物抗震设计规范》检算。低坝则着重采取抗震结构和加固工程措施。

2. 边缘主应力计算

(1)坝体上游面的一对主应力

$$\sigma_{a_1}=\frac{\sigma'-\rho_c g\cos^2\theta_{d_1}}{\sin^2\theta_{d_1}} \tag{6—30}$$

$$\sigma_{a_2}=\rho_c g \tag{6—31}$$

(2)坝体下游面的一对主应力

$$\sigma_{b_1}=\frac{\sigma''}{\sin^2\theta_{d_2}} \tag{6—32}$$

$$\sigma_{b_2}=0 \tag{6—33}$$

式中 σ'，σ''——分别为同一水平截面的上、下游边缘正应力，Pa；

θ_{d_1}，θ_{d_2}——分别为上、下游坝面与计算水平截面的夹角，°；

g——计算断面以上泥石流深度，m；

ρ_c——泥石流密度，kg/m³。

3. 边缘剪应力 τ 的计算

(1)坝体上游面的边缘剪应力

$$\tau_a=\frac{\rho_c y-\sigma'}{\mathrm{tg}\theta_{d1}} \tag{6—34}$$

(2)坝体下游面的边缘剪应力

$$\tau_b=\frac{\sigma''}{\mathrm{tg}\theta_{d2}} \tag{6—35}$$

式中 ρ_c——泥石流密度，kg/m³；

y——计算断面以上泥石流深度，m；

σ'，σ''——同一水平截面的上、下游边缘正应力，Pa；

θ_{d1}，θ_{d2}——上、下坝面与计算水平截面的夹角，°。

上述边缘应力计算值应低于建坝材料的容许应力。

第五节 泥石流格栏坝

格栏坝是具有横向或竖向格栅，平面或立体网格和整体格架结构等拦挡坝的总称，有拦排兼备的特点。是由实体坝的泄水孔(洞)与溢流口不断演变而形成的。图 6—15 为格栏坝溢流口演化示意图。

格栏坝具有在坝前选择拦蓄的特点，能改变坝前堆积组构，延长坝库时限，提高工程效益等优点。

格栏坝结构较简单，节省材料，节约投资、施工方便，有利于抢险应急和养护维修工作。

一、格栏坝类型特征及功用

格栏坝类型繁多，从受力特性分，有刚性和柔性；从几何形状分，有平面和立体；从结构型式分，有格栏式、格子式，笼框式和桩林式；从建材分，有圬工、钢筋混凝土和金属的。

近年来，新型格栏坝的结构形式正在蓬勃发展，其中大多属柔性格栏坝，特点是轻巧、简易，造价低廉、施工简易、速度快。

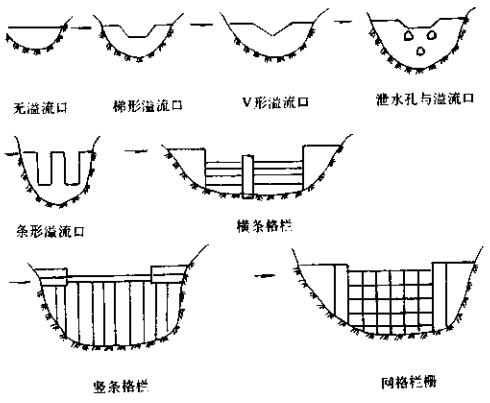


图 6—15　格栏坝溢流口演化示意图

柔性格栏坝是用钢丝索编制成一个网状结构物，其主索锚固在河道两岸上，藉以拦挡泥石流的固体物质，网的下部斜铺在上游的河床上。图 6—16 为柔性格栏坝示意图。

铁路上有充分利用废旧钢轨的优越条件，自 1981 年以来在格栏坝的开发应用方面作了大量的试验研究，先后在兰青、大秦、青藏、兰新、襄渝等铁路干、支线上建造了 16 座试验性格栏坝，并开展了现场观测试验，试验坝采用平面型、人字型和立体型等种类。格栏间隙设计了 0.26m、0.30m、0.37m、0.47m 和 1.3m 等数种。其中大部分已经受了大小不等的泥石流考验。

平面型格栏坝结构简单，受力较明确，各部分受力分析的准确度较高，因系平面结构，整体抗弯能力较差，抗泥石流冲击力较低，坝体不宜太高，拦蓄量不大，一般多用于较小的泥石流沟。但这类平面型格栏坝在国内的使用却较为广泛。

立体型格栏坝能抗御较大的泥石流袭击，因采用立体框架，受

力整体性强，承载能力比平面型坝大。同时因坝体内部空框能拦截大量泥石流石块，形成自然坝体，增加稳定性。但由于坝体内杆件密布，将影响石块的穿透能力。因此，在相同的允许过坝粒径时，迎水面的间隙应增大。这种坝型适应性较强，能工厂化生产，施工速度快，坝高和净跨都可以增大，使用上有优越性。

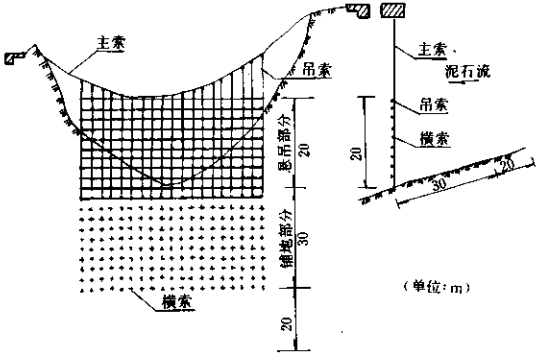


图 6—16　柔性格拦坝

格拦坝最适用于拦蓄巨石，大漂砾的水石流，颗粒粗大的稀性泥石流，泥流和粘性泥石流体内有粗大石块者也可布置。但不适用于拦稳崩滑体。

格拦坝选型要因地制宜，讲求实效，从使用寿命、养护维修，材料供应、施工方便、投资效果等方面作综合性的经济技术比选。图 6—17 为平面格拦坝示意图，图 6—18 为立体格拦坝示意图。

二、格拦坝设计技术条件

格拦坝可用各种型钢或钢筋混凝土构件进行设计，其技术要求除照前述要求外，还要突出以下要点：

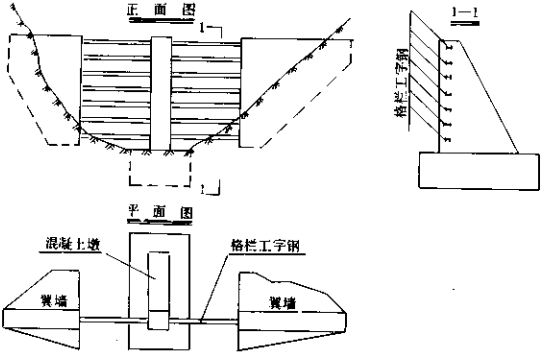


图 6—17 平面格栏坝

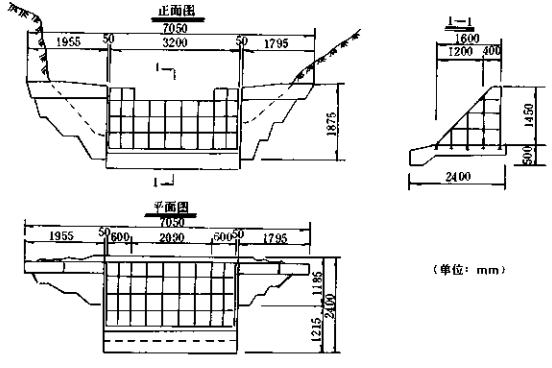


图 6—18 立体格栏坝

(一)格拦坝数量布置

为保证下游铁路建筑物安全，防止溃坝时危害建筑物，在同一泥石流沟上建造格拦坝不应少于两座。在靠近铁路附近的1号格拦坝，必须确保铁路安全所需的技术条件设计。而最上游的一座格拦坝，因处于防治的前沿，其设计必须满足防冲要求。

(二)紧靠铁路的1号格拦坝设计条件

1. 格拦坝的泥石流设计流量 Q_{cK}≤桥下最大通过流量 Q_{cB}；

2. 格拦坝的最大通过石块粒径 d_K≤桥下最大通过石块粒径 d_B；

3. 格拦坝溢流口满足溢流高度。

(三)最上游的一座格拦坝的设计条件

1. 按冲击力条件进行坝体稳定设计；

2. 过流和过砂能力按诸坝的调节能力进行重分配，其调节幅度不宜超过1/3；

3. 坝高宜先低后高采取逐步加高的方案。

(四)格拦坝格拦间隙的确定

1. 1号坝的格拦间隙(b)常常根据桥下输砂能力来定，以确保桥下不发生较大的冲、淤危害为原则；

2. 其余格拦坝的格拦间隙(b)，应按坝址上游河段泥石流堆积体中巨砾的90%比之小的粒径 d_{90}来设定；

3. 平面型格拦坝格拦间隙(b)=d_{90}；

4. 立体型格拦坝格拦间隙 $b=(1.5\sim2.0)d_{90}$。

(五)格拦坝溢流口的设计

格拦坝虽属透水性拦挡工程，但在泥石流物体堆满坝库后，泥石流体仍需溢流过坝，因此，格拦坝必须设溢流口，保证泥石流过坝时对坝端和坝下的安全。其溢流口流量设计可根据格拦间隙大小，适度降低溢洪流量的设计标准。

(六)格拦坝跨度设计

格拦坝设计，目前国内外尚无一套较完整成熟的计算方法，实践经验也不多，因此，有待进一步的研究和完善。

1. 平面格拦坝

(1)支墩为钢支墩时,平面格拦按连续梁计算;

(2)支墩为圬工结构时,平面格拦可近似按固端梁计算。

为了增大跨度,平面格拦可用斜撑支护加强。

2. 立体格拦坝

立体格拦坝一般按桁式结构设计

(七)格拦坝基本荷载

1. 格拦横梁主要荷载

(1)梁体重力;

(2)上游堆积体侧压力;

(3)水压力;

(4)空库时的泥石流冲击力。

2. 支墩主要荷载

(1)支墩重力;

(2)堆积体侧压力;

(3)水压力;

(4)泥石流冲击力;

(5)格拦横梁传递的集中荷载;

(6)地震力;

(7)温度应力;

(8)地基应力;

(9)扬压力等。

3. 检算坝体抗滑、抗倾、材料和基底应力是否满足安全使用要求。

4. 检算最不利荷载组合时的安全性。

5. 应考虑钢材腐蚀磨损等问题。

(八)格拦坝护底问题

格拦坝支墩为墩式构造,格拦为梁式结构,坝体透水泄流能力大,故一般护底可取消。在陡坡沟道上,如若冲击力较大时,在竣工空库时,可在坝上游侧予堆填 1～2m 高的砾石防冲垫层。

三、废旧钢轨格拦坝设计

利用废旧钢轨作格拦坝是铁路部门的优势，为此，铁道部科学研究院西南研究所研究设计了以磨耗报废的 43kg/m 钢轨为材料的各种不同高度的系列平面格拦坝和立体格拦坝，以及各种不同跨长的桁式格拦坝。此外，还设计了钢笼式格拦坝，正棱锥体档槎式格拦坝及桁框式钢筋混凝土格拦坝等共计 31 种，可供设计时选择使用。现将其设计参数分述于下：

1. 平面格拦坝

平面格拦坝有两种，泥石流设计荷载均为 50kN/m²，图(6—19)为 43kg/m 钢轨格拦片石混凝土支墩平面格拦坝，地基为软质岩，坝高 1.5～12m(间差 1.5m)，格拦分无斜撑和有斜撑两种，格拦间距有 0.5、0.75、1.0m。按不同格拦间距，无斜撑格拦的混凝土支墩间距为 3.6～4.8m；有斜撑格拦的则为 4.8～6.0m，支墩及基础均为 C20 片石混凝土，施工简便。

另一种是 43kg/m 钢轨平面格拦坝，地基为砂夹卵石，坝高 3～5m，坝体用钢轨杆件拼成，边墙和支架基础均为 C20 片石混凝土。书末图 6—19 为 43kg/m 钢轨格拦片石混凝土支墩平面格拦坝。

2. 立体格拦坝

立体格拦坝按两套系列设计

(1)43kg/m 钢轨立体格拦坝，泥石流设计荷载按 100kN/m²，地基为软质岩，体坝为网状纲结构，各种杆件之间均用节点板和螺栓拼接。坝高可由 2m 增至 12m，也可按坝址地形选择相应的支架高度和数量组成坝体，坝长可按支架间距成倍增加，支架间距按不同支架高度为 2.3～3.0m，基础为 C20 片石混凝土整体坝，藉予埋锚杆与坝体支座连为一体。此坝特点是用种类不多的杆件和节点板可拼成不同坝高和坝长的坝体，杆件可厂制、便运输、易拼装，现场施工期短。图 6—20 为 43kg/m 钢轨立体格拦坝示意图。

(2)43kg/m 钢轨桁式立体格拦坝

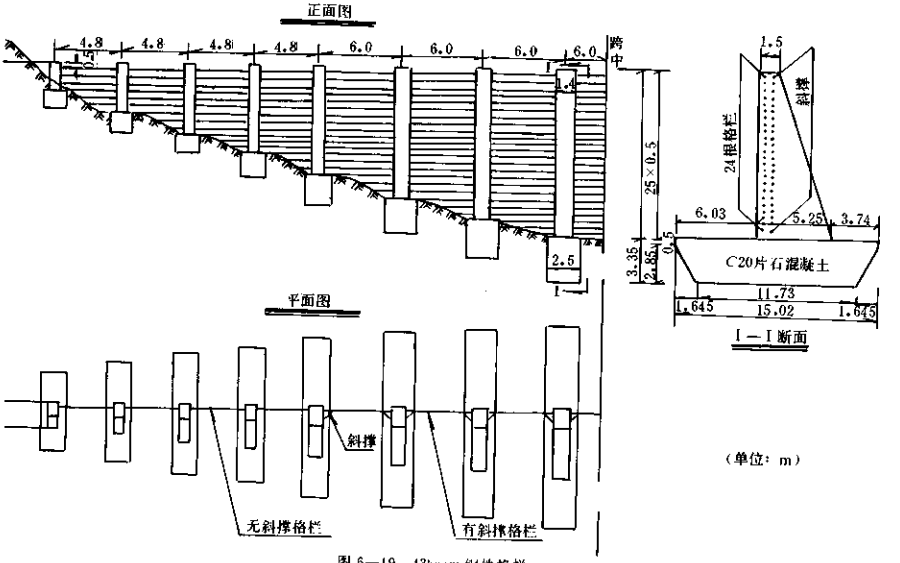


图 6—19　43kg/m 钢轨格栏
片石混凝土支墩平面格栏坝

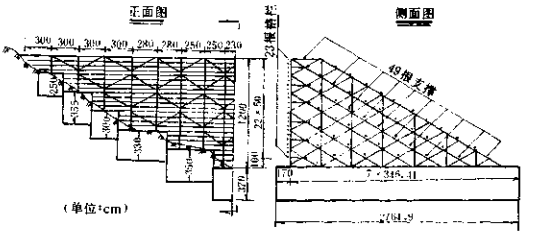


图 6—20　43kg/m 钢轨立体格栏坝

泥石流设计荷载 100kN/m²，地基为砂夹卵石，坝体为多层平面桁架，杆件为钢轨，用节点板和螺栓拼接，坝高可用增设桁架层次由 3m 增至 5m，若地质条件好，则可增加层次至所需高度，桁架间长 4m，坝长可按不同节间数量由 8m 增至 20m。图 6—21 为 43kg/m 钢轨桁式立体格栏坝示意图。

格栏间距可用竖向和水平钢轨加以调节，此坝特点是由于地基较差，可在跨中不设中支架或混凝土墩，省造价、安全可靠。

3. 铁笼式格栏坝

铁笼式格栏坝是供现场拦挡泥石流应急抢险之用。由 1.2×1.2m 见方的铁笼相互重叠，笼与笼之间用螺栓连接，并在笼内填充石块，组成坝体。铁笼由外表片、上表片和内片，剪力撑用螺栓连接而成，坝高 3～5m，分别由四层(二排)、五层和六层(三排)铁笼组成。此种无基础、仅在河床上挖一条长方形基坑，深度按不同坝高 1.8～2.2m，把组装好的铁笼放入坑内，放一层填一层石块，直至所需坝高。此种坝的特点是施工简易、速度快。为防止溢流冲刷，应选择地形地质条件好的部位，设溢流道，保证铁笼格栏坝的使用安全。图 6—22 为铁笼式格栏坝示意图。

格栏坝的泥石流设计荷载按 50kN/m²，地基为砂夹软石。

4. 正棱锥体构槎式格栏坝

正棱锥体构槎式格栏坝分有格栏钢轨和无格栏钢轨两种形

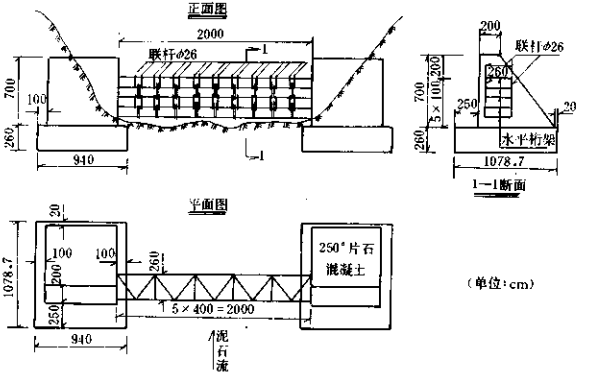


图 6—21　43kg/m 钢轨桁式立体格栏坝

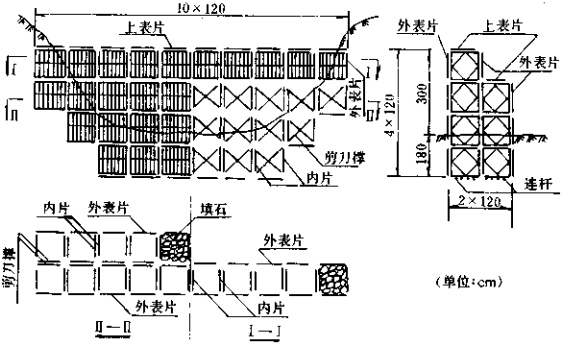


图 6—22　铁笼式格栏坝

式，承力主体均为三脚分叉正棱锥体式三角架，材料用 43kg/m 钢轨，三脚顶部用钢板相连，底部与预埋在基础内的锚联结，基础为深 3.2m 的挖孔桩，坝高 3m，泥石流设计荷载用 50kN/m²，地基为砂夹卵石，图 6—23 为正棱锥体栅槎式格拦坝示意图。

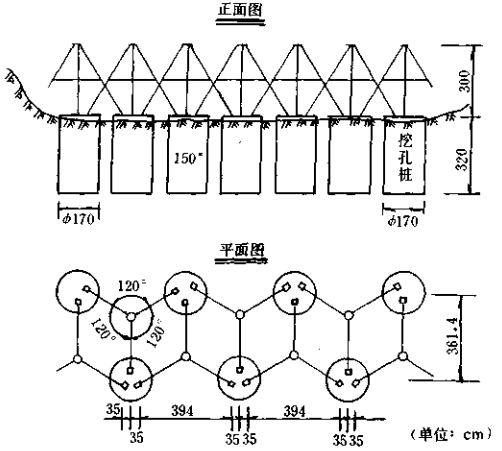


图 6—23　正棱锥体栅槎式格拦坝

5. 桁框式钢筋混凝土格拦坝

桁框式钢筋混凝土格拦坝由钢筋混凝土构件、垫块和钢轨立柱组成。基础为 C20 级片石混凝土。立柱底部与基础固接，杆件按秩序分层重叠组成平面桁架形式，杆件与立柱用螺栓连接，垫圈为杆件找平之用，坝高 3m。泥石流设计荷载按 50kN/m²，地基为砂夹卵石。图 6—24 为桁框式钢筋混凝土格拦坝示意图。

四、切 口 坝

切口坝是格拦坝的一种异化。图 6—25 为切口坝过流断面示

意图。其目的是防止常年泥石流淤埋坝的存砂空间，有效的储留和调节在较大泥石流情况下泥砂流出量，控制较大泥石流危害，延长使用年限。

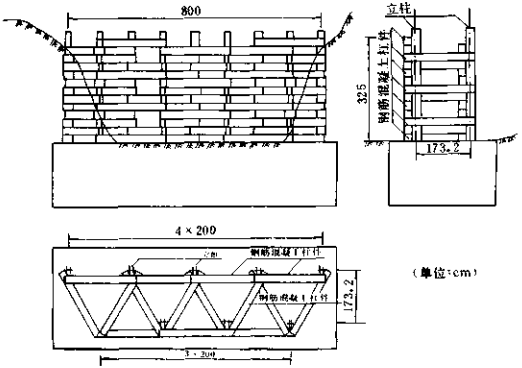


图 6—24　桁框式钢筋混凝土格栏坝

切口坝目前尚在试验阶段，实践经验不多，计算方法也难准确认定，效果如何有待进一步研究。

（一）切口宽度的确定

切口坝的单个切口宽度一般应满足下列条件：

$$3d_1 \leqslant B \leqslant 1.5d_2 \qquad (6—36)$$

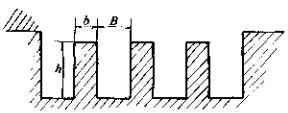


图 6—25　切口坝过流断面示意图

式中　B——切口宽度，m；

d_1——常年泥石流所能移动的最大石块粒径，一般以 5～10 年周期的泥石流规模为对象，m；

d_2——大于 10 年～设计泥石流周期的泥石流规模所能移

动的最大石块粒径，m。

确定 d_1 和 d_2 比较复杂，应仔细调查现场沟道与泥石流物源地，并通过水文泥砂计算，分析决定。

（二）切口数目

$$\overline{Q}_c = nBhv \qquad (6-37)$$

式中 $\overline{Q}_c$——常年泥石流流量，m^3/s；

n——切口数目，个；

B——切口宽度，m；

h——切口高度，m；

v——泥石流平均流速，m/s。

以切口部闭塞为前提，一般 h 在 5m 以下。切口顶端上部则是设计流量的过流断面。

（三）切口支墩宽度、厚度、高度

切口支墩的大小，应根据受力条件、材料性能，结构型式而定，一般可参照圆端形支墩受冲击来计算。

五、桩林、鱼嘴羊圈、腰带堤

主要用于泥石流的堆积区，迫使泥石流流体分散，改变水力要素，达到停砂落石、减轻下游泥石流灾害，充分利用泥石流堆积区和控制泥石流堆积区扩展之目的。

（一）桩林

桩林一般布设在泥石流堆积区的中、上部，避开狭窄沟槽，沿垂直流向纵向交错布置成三角、梅花形排列。图 6—26 为桩林平面示意图。

1. 桩距

$$b = (1.5 \sim 2.0)d_m \qquad (6-38)$$

式中 b——桩间距离，m；

d_m——泥石流体中的最

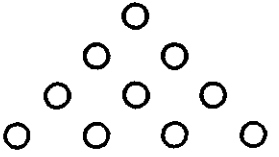


图 6—26 桩林平面示意图

大颗粒直径，m。

2. 桩高

$$h=(2\sim4)b \tag{6—39}$$

h——地面外露部分的桩高，m。

3. 桩埋深

一般桩基应在冲刷线以下，或桩长的 1/3。

（二）鱼嘴羊圈

适宜于堆积扇中部，泥石流势力较弱地带。平面上组成鱼嘴羊圈分流群，尽量使泥石流体分散，改变泥石流水力要素，达到落石停淤之目的。

鱼嘴羊圈一般用木桩埋入地下，呈等腰三角形，用木板或枝条编织成圈形，就地取大石块填入来促使泥石流落淤，方法简易可行，有一定的效果。鱼嘴羊圈淤埋后，根据需要可持续性的作。图 6—27 为鱼嘴羊圈平面示意图。

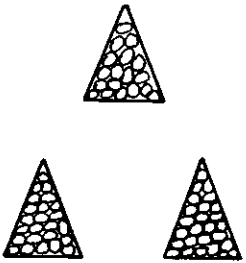


图 6—27　鱼嘴羊圈平面示意图

（三）腰带堤

腰带堤适宜于堆积扇中、下部，沿扇形地等高线作弧形带状透水性拦碴堤（称为腰带堤），使泥石流在堤内绕流分散落淤。腰带堤一般用笼装石块码砌，图 6—28 为腰带堤示意图。淤埋后可加高或另作。达到泥石流固体物质下泄量减少的目的。尤其对山前泥石流无出路的情况，效果最为明显。

六、钢索网格坝

钢索网格坝是用钢索编织成的网状柔性结构物，见图 6—16。网格坝上端通过主索固定在沟道两岸锚固体上。下部网格斜铺在沟床上，绳头可联结在大的活动石块上，成为自由端。这种柔性坝，

消能性好，抗泥石流冲击力强，能“捕捉”泥石流体中的巨石。促使泥石流在坝上游自然堆积。有结构简单，加工容易，安装方便、施工期短、造价低廉等特点。

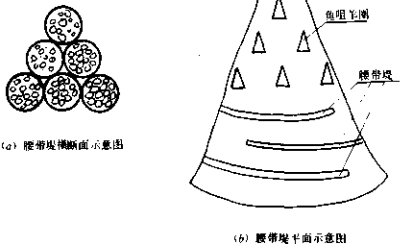


图 6—28 腰带堤示意图

(一)钢索网格坝设计技术要求

1. 地形、地质条件好，两岸易于锚固网格主索的泥石流流通区和泥砂石的缓冲沟段。不宜选在河谷开阔、锚固困难之处。

2. 网格坝坝高应根据泥石流设计水深和需要拦蓄的高度以及使用时限而定。

3. 网格坝的网孔大小，取决于需要拦截泥石流固体物质石块尺寸及流速等水文、泥砂因素。根据日本实验资料，有如下关系可供参考。

$$b=(1.5\sim2.0)d_{max} \qquad (6—40)$$

式中 b——网孔宽度，m，一般设正方形；

d_{max}——泥石流体内石块的最大直径，m。

为了增大泥石流固体物质的淤积效果，也可适当缩小网孔。

4. 由于网格坝系柔性结构，受力后变形很大，不考虑溢流道和基础等附属设施。

(二)网格体钢丝索设计

泥石流通过网格坝的力学特征是十分复杂的，许多问题尚待进一步观测、实验和研究。但是，只要知道泥石流作用于网格坝的力后，就可用有关结构理论计算出钢索上各个部位受的张力，从而进行钢丝索大小、锚固支座、连接点夹具等设计。

1. 吊索与横索设计

作用于钢索网格上的泥石流冲击力，一般按下式计算：

$$F_c=\frac{\rho_c v_c^2 A}{g} \tag{6—41}$$

式中 ρ_c——泥石流体密度，kg/m³；

v_c——泥石流设计流速，m/s；

A——投影面积，m²；

g——自由落体加速度，m/s²。

根据现场实验结果，吊索与横索可采用同一型号的钢索。

2. 主索设计

将吊索上的各个集中荷载，简化为均布荷载，则主索的张力用下式计算：

$$F=\frac{(q_1+q_2)l^2}{8f\cos\alpha} \tag{6—42}$$

式中 F——主索张力，N；

q_1——主索的均布荷载，N/m；

q_2——单位长度的重力，N/m；

l——跨度长，m；

f——垂度长，m；

α——主索锚固点处的方向与两端锚固点联线之间的夹角，度。

3. 钢索磨蚀与处理

由于泥石流体中固定物质的棱角尖锐，流速大，对钢索的撞击磨损作用强烈，加以降雨水流的时干时湿的锈蚀作用，所以对钢索的磨蚀很严重，据实际观测，有30～50%被磨损，时间愈久、磨损愈大。因此，必须采取适当措施，以延长其使用寿命。其措施有：

(1)考虑磨损量而增大钢索的直径；

(2)选用外层钢丝直径大的钢索；

(3)在钢索表面加保护层，如用短钢管套在钢索上以防磨损，或用高分子耐磨涂料涂于钢索表面等各种措施。

4. 钢索在沟道上的敷设长度计算

钢索网格坝敷设在泥石流沟道上的长度主要与网格坝坝体高度和泥石流的性质有关。目前的经验关系如下：

$$L=(1.5\sim2.0)H \qquad (6—43)$$

式中 H——钢索网格坝坝高，m。

一般敷设在沟道上的钢索网格体末端以不固定死为佳，末端绳头可联接在大的活动石块上，成为自由端。这样柔性网格坝的消能性能好，能抵御巨大的泥石流冲击力，能"捕捉"泥石流体中的巨石，并促使泥石流在坝上游自然堆积。如敷设网格体过短会被泥石流掀起，从而失去对泥石流的消能作用，达不到使泥石流体中的巨石在坝上游自然堆积的目的。

5. 钢索连接点夹具

由于钢索网格系柔性体结构，应保证其在垂直及水平方向的移动，能自由调节在集中荷载下的平衡。所以，一般连接点都应用铰接(水平铰或垂直铰)。通常网格体边用T字形夹具(包括主索、吊索和横索)。中间采用十字形夹具。具体选型可参照有关规范进行。

第七章　泥石流生物工程

第一节　概　　说

泥石流生物生态工程，实质上是指以植物为手段，按泥石流发育的不同类型特征和分布特点，因地制宜地营造一系列组合不同、结构不一、功能各异的各种植物群落。如水源涵养林、水土保持林、固沟稳坡防冲林、护岸护滩林、经济林、薪炭林、生物谷坊和生物篱等所共同组成的一种以防治泥石流发生、发展与危害为目的生物防护体系。再加上与人类社会经济活动密切相关的管理措施，共同构成的生物生态环境工程系统，俗称生物治理。它有别于一般为某一单一经济或观赏为目标而进行的绿化造林工作。这种生物工程可结合国土整治与土地的合理利用，以及改善山区经济开发和生态环境为目标，达到稳、保、用之目的。

生物防治和工程防治是治理泥石流的两大支柱，二者相辅相成。并应以生物措施为主，工程措施为辅的原则。这是因为两者相比，生物工程有明显的投资省，效益高，风险小，防治作用持续时间长，使用范围广和促进生态平衡，改善自然环境的优势。

虽然生物工程有周期长，见效慢和管护工作麻烦的特点。然而从宏观意义上讲，用生物生态工程防治泥石流，仍不失其为治本的特色。

生物工程防治泥石流的最终目标是稳、保、用。即稳定泥石流的发展；保住水土流失；用于经济开发。因此，只有强化管护才能实现最终目标。

生物工程是“植树造林、绿化祖国、功在当代、利及千秋”，整治国土，造福子孙的重大战略方针。因此，必须提高人民群众的防灾意识，充分认识到“山上开荒、山下遭殃”，“乱砍滥伐、慢性自杀”，“造林植树、平丰益寿”的道理。用生态观点指导山区建设；用环境

保护意识发展山区经济，具有重要深远的防灾、抗灾和减灾的现实意义。

第二节　生物治理泥石流技术特点

一、生物防治原理

生物防治泥石流的基本原理是用植被学的观点，利用植被对地表具有滞洪固土，截留雨水(表 7—1)，缓减地表径流以及改善土壤入渗和保水等有效作用的特性，因地制宜地组建各种多功能的植物群落，以实现对土壤的保护和调节洪水的作用，从而达到防治泥石流的目的。

(一)利用植物群落的整体结构，通过林冠的层层截留，对下垫面的改变，增加地面的粗糙度，减缓雨滴的溅蚀力，延长集流时间，降低水流速度，减少地面迳流，削弱洪峰流量，减小水流冲蚀输沙能力。

(二)利用植物的有机残体和根系的穿透力(表 7—2)，以及分泌物作用，可以促进土壤形成，增强土壤水分的渗透性，潜水量和储水力。从而减轻灾害性的地表水源。

植被对降水的阻滞作用表

表 7—1

降水量(mm)	阻滞率(%)			
	灌林	松林	水青冈林	草被和草场
>20	24	8	10	21
20～15	31	25	13	14～25
15～10	44	23	19	—
10～5	57	38	29	45
<5	71	49	28	42～100

树木根系长度表

表 7—2

树种	树龄	1000cm³ 土体中的根长(m)
青杨	4	15.6～24.5
旱柳	4	21.5～67.3
刺槐	5	1.0～2.4
酸刺	3	19.5

(三)利用植物群体根系的整体网络结构，加强固土防蚀能力，改善松散土质的抗冲性。

总之，通过植物群落的地上和地下的共同作用，达到“土蓄水、

水养树、树固土"的目的。这样既可起到保持水土防治泥石流，又可增加生物产品，兴利除弊，有一举两得之功效。

二、生物生态治理泥石流的特点

（一）应用范围的广泛性

只要植物能生长繁衍的地方，就可以采取生物措施和开展群众性活动来防治泥石流，因其不受地形、地质、气候和技术条件的限制。故而具有普遍性和广泛性的应用价值。

（二）有综合性效益

生物生态工程，不仅可以防治泥石流，起防灾、减灾作用，而且还是回归自然，促进生态平衡，保持水土，调节气候，净化环境，增加生物产品和收回投资并能长期获取经济效益。

（三）有持久性的防治作用

生物生态工程实施成功后，只要坚持科学管理与利用，就能长期地发挥其效用。而且经济效益和生态环境效应都会与日俱增。

（四）生物工程的区域性

独特的自然环境，造就出特殊的生物生态优势，在复杂的山区地形、地质和气候条件下，具有很强的区域性特征，世代生殖繁衍在这里的乡土性植物，具有特殊的生衍繁殖能力。因此，因地制宜的利用自然发育规律，紧密结合当地实际，将治理与开发联系起来，提高干部群众生态意识与解决人民生活实际结合起来、治本与开发并重，制定相应的保护措施和有利于维护自然生态环境的规章制度，就能最大限度的发挥区域性生物生态作用，从而取得开物成务的效果。

（五）有投资省，效益高，时间长，风险小的特点

在泥石流防治工程中，生物生态工程的费用远比土建工程的费用小得多。而且还不会在一旦失事后，造成前功尽弃甚或酿成更大灾害的恶果。如若生物治理成功，就有明显和长期的综合经济效益。虽然治理的时间用得长，然而防治的效果却能持久。总之，生物工程防治泥石流乃是大环境、大面积、大效益、小风险之所需。是

功在当代，利及子孙的最佳选择。

三、生物防治类型

(一)按防治效能分类

1. 预防型

用生物治理泥石流，应以防为主。预防型就是这个目的和作用。为了减少形成泥石流的物质来源，防止土壤侵蚀和冲刷，分散与减缓地面迳流，削减洪峰流量，用生物动作，是防止泥石流的发生和发展的预防性措施，因此，生物生态防治泥石流，是治理泥石流的根本性举措。

预防型措施，适宜于潜在性泥石流，停歇期泥石流以及泥石流发生区以外的欠稳定性沟、坡范围和大面积的防护林带。这类林型以水源涵养林、水土保持林、固沟护坡林、经济林、薪炭林等林型为主。

2. 防御型

防御型生物措施，主要是在泥石流已经发生的前题下，在泥石流发生区内所采取的林型。目的是尽可能的减轻泥石流危害，控制和缩小泥石流的发生和发展规模。这类林型要有层次，选取抗逆性强，能速生速长，根系发达，枝叶茂盛者；如采用草、灌、乔相结合的生物坊、生物篱，生物带和生物群等。种植方法要因地制宜的采取特殊有效而又可行的方式。

(二)按生物种植行业分类

1. 林业措施

植树造林是山区水土保持和防治泥石流的最有效的措施之一。森林对于水土保持和防治泥石流所起的作用，主要是林冠截雨，死地被层吸水，林地土壤透水，根系固土等作用。

植树造林要按当地的自然、社会经济、土壤植被条件以及水土流失状况和泥石流的发生发展趋势，分别采取不同的造林和育林方式；如封山育林，飞播造林，人工造林等，尽快恢复和增加森林覆盖度，以防治水土流失，稳定山体，控制泥石流发展为目的。

2. 农业措施

防治泥石流的农业措施，就是运用农业技术合理的利用和经营土地，增加土壤的吸水能力，使雨水就地入渗，以减少地表径流、土壤流失和冲刷作用。改良农作物的种植形式和耕作方法，以及调整农业结构等，既可促进农业增产，又能改善水土流失状况。

农业措施，区域性特征很强，人的因素很大，既要按照当地的自然条件，更要尊重当地的耕作习性，用科学的方法，实事求是的态度，全面的观点，达到开物成务的目的。

3. 牧业措施

童山秃岭和种有牧草的山坡上，其地表径流与土壤流失量相差是很显著的。所以保护和种植坡地草被，增加裸露地区草类覆盖面积，是控制冲沟发育，水土流失和不良地质体发展，遏制泥石流进程的重要举措，也是发展山区畜牧业的基本条件。

以上措施，要因地制宜的综合运作，注重生物、气候、地形的平面和立体结构，充分发挥乔、灌、草和林、农、牧的有效联合作用，使之达到既治理又开发的稳、保、用的目的。

四、生物生态工程规划

生物生态工程虽然费用省，但它的涉及面却非常之广，是一项极为复杂的系统工程，只要有一个环节没有打通，就很难实施。凡事预则立，如若没有一个精细的规划设计和坚强的组织领导，尤其在目前条件下，实施起来，难度是很大的。

为了搞好生物生态工程防治泥石流的规划，一般应按任务要求照以下工作程序框图展开。

泥石流生物生态工程治理工作程序示意如下：

摸清本底
- 社会经济：人口、民族、习俗、农、林、牧生产、收入等
- 自然景观：地质、地貌、水文、气象、土壤、植被等
- 人为活动：砍伐、耕种、开荒、牧放、开发、采石、修路、水渠、厂矿、村落、建设规模等
- 泥石流特征：类型、性质、规模、分布、风险度、频度、危害性质、水文、泥砂特征值等

治理规划
- 生物生态工程：生物坊、生物篱、生物链、水源林、水保林、薪炭林、经济林、生物种类等
- 泥石流工程：拦蓄坝、V型槽、固床槽、导流堤、护坡、挡墙、停淤场等
- 分期分批实施：生物与泥石流工程分阶段实施计划、投资规模、完成日期等

建立防卫体系
- 生物工程建设：物种筛选，种植技术，群落结构，育苗培植等
- 泥石流工程建设：排、拦、固工程分期分批实施与生物工程的配合等
- 泥石流观测：降水、流速、流量、密度、输沙率、灾害预测预报等
- 管护措设：规章制度，宣导教导、管护组织，人员设置等

效益分析
- 经济效益：生物量，生物产品，林、农、牧、副业产值等
- 生态效益：水土效应，环境效应，生态平衡等
- 社会效益：建设开发，交通发展，居住与生活，人心与精神面貌改观等

第三节　防治泥石流的林业技术措施

植树造林，绿化祖国，是国土整治，防治泥石流，控制山地灾害，造福子孙的战略决策。根据当代的国情民情，必须把这项任务落实到政府和有关单位领导肩上并切实的负起责任。要使干部和群众认识到"毁林开荒，自己遭殃"，"乱砍滥伐，慢性自杀"，"造林植树，年丰益寿"的道理。因此，用生物生态观点指导山区建设，用环境保护意识发展山地经济，是防灾、抗灾、减灾和山区开发兼顾的最佳选择。

造林技术，是造林能否成功的关键。由于树木的生长周期较长，影响范围较广，如若造林技术运用不当，便会在很长时间内起着不良的影响，甚至会失去信心。所以造林必须根据目的与需求，结合当地自然条件谨慎的、恰当的运作并认真的作好造林技术的规划设计，就能取得事半功倍的效果。

一、树种选择

（一）根据泥石流沟的立地条件和泥石流活动区域的局地自然特征，以及能在当地生长良好的乡土树种，或经试验成功的引种优良树种，应优先选为造林的先锋树种。表 7—3 为西南地区生物治

理泥石流的主要树种，可供选择使用。

西南地区生物防治泥石流的主要树种　　表 7—3

树　种	立地条件、树种习性及种植特点
杉　木	海拔 2000m 以下、略耐阴，喜温暖湿润、雨量充足，分布均匀，肥沃湿润的酸性土。速生，萌芽力强，插条萌芽更新或种子繁殖。可与油桐，油茶混交、初栽三年可种农作物
马尾松	海拔 1500m 以下，适生于雨量丰富，气候温暖地区，喜酸性土，耐干旱瘠薄，造林先锋树种。根深、速生，寿命可长达 300 余年
云南松	海拔 1000～2800m、对土质要求不严。西南主要绿化树种，喜光，根深，速生，种子繁殖
云　杉	海拔 2000m 以上、耐阴、耐寒，喜凉爽气候，适于土层深厚，排水良好的酸性土
冷　杉	海拔 2000～4000m，耐阴，宜于气候凉爽湿润的高山地带和酸性土，排水良好的地方
栓皮栎	海拔 2000～1600m 以下，喜光，耐旱，石灰性，中性至酸性土壤均可，幼时生长慢，以后变快，萌芽力强，根深，播种繁殖
华山松	喜凉润气候，稍耐阴，年雨量 800～1500mm，对土壤要求不高，酸性，微石灰性土均可，以排水较好的半阳坡、阴坡为宜，速生，浅根性树种，寿命长，分布于中山地形
苦　楝	喜光，喜温湿气候，不耐严寒，不耐干旱，对土壤要求不严，对土质要求不严。寿命短，生长快，根蘖力强，适应性大，低山及道路沿线，河岸低湿地与四旁植树
麻　栎	海拔 2200m 以下，乔木，喜光，喜干燥空气及湿润深厚土壤，也耐贫瘠，对土壤要求不严，根深，命长。初时生长慢，以后加快，播种繁殖。萌芽力强
槲　栎	海拔 2500m 以下。乔木，喜光，稍耐阴，阳坡生长好，喜酸性、中性、湿润、肥厚、排水良好的土壤。萌芽力强。
刺　槐	强阳性树种，根系强大，适应土壤及大气干旱的能力很强，耐贫瘠，不耐水湿。具根瘤，可改良土壤，对土壤酸碱性要求不严。根系发达，主根不明显，大量支根，毛根多分布在 20～30cm 深的土层内，根可伸出 10～20m。根蘖性很强，生长快，属速生树种，对固定冲沟效果好。不适于作混交和护田树种
柏　木	海拔 1100～2000m 以下。乔木，耐干旱瘠薄，稍耐水湿，主根细浅，侧根发达。中性，微酸性及石灰性土壤均可生长，最宜石灰性土壤。主要栽植
臭　椿	海拔 2000m 以下。喜光，极耐干旱瘠薄土壤，耐酸碱性，根深，速生，根蘖力强，抗病虫害能力很强，不宜水湿及土质粘重排水不良的地方生长，适宜于冲刷严重的悬崖陡壁，也是石质山地干旱瘠薄的荒山造林先锋树种，以播种繁殖为主
木　荷	海拔 1000～2000m。根系发达，耐干旱瘠薄，半阳性，在空旷荒山上，天然下种更新能力很强，各类酸性土壤均可生长，常和马尾松，杉木，麻栎，栓树，油茶等混交成林，是防火及荒山造林的先锋树种，与其它树种带状混交，可起防火隔离作用。以种子繁殖为主

续上表

树　种	立地条件，树种习性及种植特点
紫穗槐	豆科落叶灌木，耐水湿亦耐干旱，在岩石裸露的荒山和瘠薄土壤上均可生长。速生，萌芽力强，固土保土，改良土壤的优良树种，有多种经济价值，可作混交树种及护田林，定保护道路、堤坝树种，枝条密集，光滑，耐割刈，可作绿肥，副业，饲料，密源植物等
合　欢	海拔1600～1900m，耐干旱瘠薄，根系很发达，可作荒山瘠薄地区造林先锋树种
马　桑	海拔1600～2500m，根系发达，固土力强，耐瘠薄，喜湿润
密油枝	阳性深根性灌木，耐旱耐瘠薄能力强
木棉	低海拔干热河谷分布较多，耐湿耐旱能力强，高大乔木，成林后，对泥石流有阻滞作用
板　栗	落叶乔木，喜光，喜凉干环境，宜深厚排水良好的砂质土，酸性，石灰性土壤均可，根深，中速生长，根蘖力强，插种或植苗，亦可嫁接繁殖，是优良的水土保持经济林木
楤　木	喜肥湿土壤，速生，具根瘤，枝叶茂盛，可改良土壤。萌生力强，可作薪炭林及农田防护林，分布于低山、中山及堆积扇较湿润处
山麻柳	速生，新开挖的生土上生长极快，分布于低山及道路的绿化造林
核　桃	落叶大乔木，根深速生树种，喜光，适于湿肥、排水良好，微酸到微碱的砂质壤土或壤土上生长。以中低山地带背风向阳，土层深厚的山腰山麓为好，长寿可达300年，根系发达，是护坡的优良经济林木
花　椒	落叶大灌木，喜光，喜温凉气候，喜深厚、湿、肥的砂质壤土、中、酸性土生长良好，石灰质山地生长尤佳。以中山坡度较缓处栽培为宜，可林、粮间作。以播种为主，亦能插条
漆　树	落叶乔木，速生阳性树种，宜于深、湿、肥、排水良好的腐殖质土上生长。萌芽力和根的萌蘖力强，植苗或分生造林。不宜于风口处，过干燥瘠薄或透水不良的地方栽植。以中山地带为主
银合欢	海拔1800m以下，耐旱耐贫瘠，叶可作饲料、木材，地板和烧柴等，在西南地区干热河谷效果较好
沙　青	海拔1800m以下，药用，饲料，耐旱，耐贫瘠，纬度高，海拔低，主要用于黄土地区
余甘子	海拔500～2000m，适宜于干热地区，属经济植物
小铜子	海拔500～1800m干热河谷，耐旱，耐贫瘠，插条繁殖，种子有经济价值

（二）局地土质条件不同生长树种不同，如杨、柳喜欢在低湿地，油松、荆条能在荒山长，柽柳、紫穗槐可在碱地生等等。故我国各地都有不同的谚语；如南方有“松树岭，杉树凹，栎树高山把根扎”。陕西的“阴坡油松阳坡槐，洋槐阴阳回弯，桑树插地畔，臭椿立崖

头，核桃栽沟边，榆杏满地跑，杨柳沟渠道”等等谚语都反映了树种与其自然环境之关系。

（三）泥石流沟造林与一般地区造林并不完全相同，因为泥石流活动区，表土流失严重，山地瘠薄，不良地质体多而不稳定，造林不易成活，因而必须特别强调适地适树的选择树种。

（四）童山秃岭，要选耐旱、耐瘠薄土壤树种。表 7--3 可供植树选择之用。

（五）沟底、沟岸、源头应选枝多根密，生长快、耐水、耐酸、耐盐碱的树种。

（六）在不良地质体上要选择生长迅速，繁殖容易，根系发达，匍匐性强，固土性大的树种。

（七）在泥石流物源区周边，宜种植草、灌、乔相结合，抚逆性强，根系发达，密生根须，枝叶茂盛，能形成松软的死地被物垫层的树种。这有利于改良土壤，增强土壤的抗蚀能力。遏制泥石流物源区的扩增，控制泥石流的发展。

二、林型配置

防治泥石流的林型，应按泥石流的类型特征和立地条件结合群落树种功能，选择生态效益好的混交林型。这有利于防灾（水灾、火灾），避害（病、虫害）和治理的全方位效应。

（一）生物谷坊

一般应在泥石流的支沟和不良地质体上进行。主要选择大枝萌根力强的树种，如滇白杨、小桐子、聚果榕等，用密植的方式构成带状横植于沟、坡段上，起固床稳坡之作用。

（二）生物篱

主要设置在耕地边缘和坡面上，选择种植简单，根系发达的植物树种，组成篱笆状的生物篱，起固土防冲，增加地面抗剪强度，以保持水土。

（三）护岸护坡林

布置在沟道两岸及坡地上，用各种大型竹丛、新银合欢、赤桉、

蓝桉、大叶桉、黑荆树等组成混交群落，沿沟道栽种，视地形调整行数，从而构成护岸护坡林。

（四）薪炭林兼水保林

目的是解决村民的燃料，可成片的配置在缓坡地带，选择生长快，繁殖力强，改土性能好的树种，有三叶豆，桉树、圣诞树、坡柳、山毛豆等构成混交林型。而后分期分块采伐，既补充民用燃料之不足，又兼有水土保持之作用。

（五）水源涵养林兼用材林

一般布置在沟头，分水岭及坡面上，起调节水源与用材的作用。宜选长命，根深和速生树种。有云南松，思茅松、马尾松、华山松、西南桦、西南木荷、旱冬瓜、余甘子等，同时播配一定的改土与牧草植物，如新银合欢、相思树、马鹿花、山黄麻、坡柳、小冠草、卡松狗尾草、剑麻、龙须草等，按多种多层次配搭构成的以保为用、保土蓄水的森林植被，并使之能长期保存与发展，有改善环境与防治结合和用材的共同作用。

（六）经济林

可利用退耕还林的缓坡地，有计划的规划发展大果型植物、柑桔、芒果、石榴、葡萄、毛叶枣等耐旱喜热的果树。

总之，要因地制宜的采取各类林型的配置与建设，以达到既能改变泥石沟的童山秃岭现象，又能改善自然的生态环境，从根本上控制泥石流之危害。

三、造林整地

造林整地，应随地形坡度与侵蚀情况采取不同的整地措施，目的是使新种植的树木易于成活生长，发挥绿色植物的蓄水保土功能。

（一）当为坡度大于 45°的急陡坡时，由于施工困难，松土难以稳固，很多植物难于定根生长，应以保护为主，适当加以点播、撒播进行补植，使其尽快加大植被覆盖面，以减少水土流失。

（二）25°～45°的陡坡时，按阴、阳坡与山脊、山麓、泥石流形成

区和堆积区等不同的生境条件，运用不同的植物种类与群落组合，以 0.5×2m² 株行距用鱼鳞坑的整地方式采取育苗移栽或直播，通常每隔 15～20m 设一条水平截留生物篱的基础上营造不同的水源林与水保林。

（三）15°～25°的缓坡时，根据需要用保持水土兼薪炭林的群落结构，以远坡水保林、近坡薪炭林的布局，采用水平沟的整地方式进行育苗移植与直播，并在一些较完整的坡面上每隔 15～20m 配置一定数量的水平截留生物篱，增强坡面的滞洪能力。

（四）小于 15°的平缓坡地与耕作地以及堆积扇等，均可改种经济林木和滩涂利用，依地形土质成带或成块的整地成水平梯田以减少水土流失。

四、造林技术

（一）采种

种子是造林的物质基础，良种出壮苗，这是造林的首要条件，因而应把握住以下环节：

1. 种子来源：应以乡土优良树种为主，适当引用与本地自然条件相宜的良种作试种，按就地采种、就地育苗、就地造林的原则。

2. 建立母树基地：选择发育良好，无病虫害的母树为采种对象。灌木以 3～8 年，乔木用 10～25 年的母树的种子才饱满充实，育出的苗才健壮。

3. 采种要适时：树木结种，常受天灾人祸的干扰，亦有大年小年之别。所以采种必须适时，过早或过晚都会影响树苗的发育与成长，不能掉以轻心。

4. 种子配置与管理：采集的种子要精心的配置与提纯，使种子颗粒均匀饱满，提高出苗率。同时更要保管好，防止霉烂，以免影响造林质量。浪费人力物力和失去时机。

（二）育苗

育苗是造林技术中的重要环节，应遵循苗木的生长规律和习性，精心细致培育，才能使苗壮生长快。

1. 选择最佳育苗地：苗圃地一般应就地选造，不可离造林地点太远，以免因两地的自然条件差异过大，而造成林苗的不能适应造林地的新环境，影响林苗的成长。另一方面亦是为了运输方便，少使幼苗受损。

2. 深耕细作：是为苗木生长创造良好的环境。

3. 苗木繁殖：一般采取苗床式和大田式育苗。苗床式适宜于播种颗粒特别小和要求育苗技术高的种子，如落叶松、杉、桉树、柏、桑等。苗床要因地制宜的选用高床、低床和平床，一般湿地宜高床，旱地宜低床。

大田式育苗较简单，可在整好的土地上，直接开沟播种，其优点有中耕除草与使用机具方便，苗木易健壮成长等。

4. 幼苗抚育：育苗必须要有充足的水和肥；幼苗出土后要遮荫，不能过分曝晒；除害主要是除草、除虫、防病、防旱、防涝以及松土，培土等精心培育的措施。

5. 苗木出圃：是育苗的最后工序。要周到的安排，起苗与植苗的时间要紧密衔接，相间时间越长，成活率越低。如若注意不够，将导致前功尽弃。

(三)造林季节

造林季节，随地区气候、土质、树种等条件不同而异。有四季可造，但以春、秋造林为主。总之，离不开因地，因时制宜的原则。和种庄稼一样，要不误林时，才能获得最佳的成活率。

(四)造林方法

造林方法通常可分直播、栽种和分殖三种。具体做法。要按泥石流沟的具体条件和要求选用。

1. 直播造林：适宜于大面积造林，地广人稀和劳力缺乏而又急需的地区，以及地形陡峻和泥石流形成区。优点是省工省时，缺点是成活率较低。但只要持之以恒，强化管护，亦能很快见效。

播种方式有飞播、人工撒播、条播和穴播等，其中以点播最为可靠。

2. 植树造林，实际是挖坑栽树，坑深大小，要与树苗大小相适

应。植种时期最好在雨季、起苗与栽种的时间要紧密衔接，以提高成活率。需假植时，假植时间不宜太长。

3. 分殖造林：分殖造林是将易于萌芽的树种，采用分枝、插条、压条、埋条、地下茎分殖等法分殖于适合之处，如杨、柳、紫穗槐、葛藤以及竹类、杉木等。

（五）造林管护

林木是生物，造而不管，难以成林。尤其在泥石流地区，自然环境恶劣，更需要采取强有力的特殊管护措施。俗话说："三分造，七分管"，"有林无林在于造，多活少活在于管"。由此可见，最赋决定性意义的就在于管了。

1. 松土、除草、保墒：造林之初，杂草对幼树生长不利，与幼树争水争肥，应及时清除，直至郁闭为止。但对直播的幼苗，又需草被保护才能活，所以管护方法又要视播种的方式而定。

2. 补植：是保持林木正常生长密度的措施，当成活率在90%以下，分布又不均匀者，都应补植。如成活率太低在20%以下者，应分析其原因，及时采取措施，改变树种和造林方法，重新造林。

3. 在狂风暴雨之后，应及时检查幼林生长状况，扶正培土，使之恢复正常。

4. 间苗：用伐根萌芽培育的林木，要按去小留大，去劣留强，密留稀，稀留双的原则，直播过密的苗木，在适当时间也应适当间拨，使之抽壮成长。

5. 修枝打杈：为了促进林木长高长快，对过分枝多的林木，要适当修枝打杈，留壮去弱，以免占挤养份，有碍林木生长。

6. 间伐：是对幼林生长的抚育性采伐，间伐要根据树种生长快慢以及影响阳光水分养分情况而定。最后达到阔叶标每亩150株左右，针叶林每亩200株左右为佳。

7. 制定政策，建立各种林业责任制：

由于造林初期，泥石流沟的生态环境和幼树都很脆弱，必须结合当地实际，制定一系列既有利于造林植树，又有利于人民生活安排的政策和各种林业生产责任制。如贯彻森林法、水土保持法，土

地管理法，计划生育条例，铁路法以及谁造谁有、国家、集体、个人一起上等等行之有效的规章制度，目的在于管护好森林的健康成长，防治泥石流危害。

（六）封山育林

封山育林是使荒山自然成林和保持水土的最有效办法。也是最经济、最简单和最可行的方法。特别在泥石流发育区，山多人少，不良地质体和水土流失严重，一时难以全面造林，只有采取封山育林育草，才可以迅速恢复植被，保持水土，使土壤结构，水肥条件得到改善，进而为人工造林创造有利条件。

封山育林应按当地实际，建立一套切实可行的管护办法和地方法规，强化管理，使封山育林落到实处。封山育林可按需要分别划定为长期封，分期轮封和季节性封等区域。封山之后，不要只封不育，还要注意育林和次生林的改造，利用地衣的恢复，用飞播和人工种植相结合的更新办法以培植新林，使封山育林效果更佳。

第四节　防治泥石流的农业技术措施

运用农业技术治理坡面水土流失和坡面泥石流，不仅可以促进农业增产，而且还可以减少地面迳流，防止泥石流的发展。

按其作用来讲，一是采用特殊的耕作方法，改变地形条件，减缓坡度，增加地面粗糙度，以减小地表迳流和流速，加强地面蓄水能力，起就地拦蓄水土的作用；二是在同一块地面上种植不同的作物，利用其成熟期不同，使地面经常有植物覆盖。或利用其植株的疏密关系，防止雨滴冲击土壤，同时还可利用作物来改善土壤结构，增加土壤的保水能力。

由于农业生产具有很强的地域性，必须以当地的实践经验为准，随时制宜的合理利用和经营土地，切不可以生搬硬套他地经验，导致不良后果。

用农业技术防治水土流失和坡面泥石流比较有效的有下列几种方法可供选择：

一、横坡耕作法

此法是在坡面上沿等高线进行耕作的方法。这种耕作法比顺坡耕作的保水保土作用强得多。特别在3°～5°的坡面上，坡长不超过100m的情况下，增产与保土作用特别明显。

二、等高带状间作法

等高带状间作，就是在坡地上顺等高线方向，将疏生作物与密生作物或牧草，横坡成带相隔种植。它比一般间作具有更好的水土保持作用。带宽与坡度、雨量、土壤、作物性质等有关，通常坡度12°～15°时，带宽10～20m；坡度15°～20°时，带宽5～10m。

三、沟垄耕作法

在播种或中耕时，在坡地上沿等高线做成沟垄状，起拦泥蓄水，延长渗透时间，使雨水就地入渗，防止在沟内发生横向流动引起冲刷。

沟垄耕作，一般适宜于2～20°的坡地上，坡度过大过小都不好。这种耕作法适用在干、湿季分明的坡地。

四、轮作法

这种方法是经常轮换农作物，以改良土壤，增加植物被覆，提高土壤肥力和增加吸水能力。

轮作制要按当地的立地条件，经济发展状况，作物生长条件等而定，地域性很强，要从实际出发，讲求实效。

五、间作、套种、混播法

间作、套种和混种，是一套较简单而又易行的水土保持耕作方法。它的突出特点是"根不离土，土不离根"，有费工少，收效快的功效。可以增加作物覆盖面积，加强土壤中的根系，改良土壤，延长作物生长期，达到增产，保持水土之目的。

六、合理密植法

合理密植，可以充分利用地力，提高单位面积产量。同时亦使地面覆盖度增加，减少地面径流量、冲刷量和土壤流失量。合理密植的程度应根据当地土壤肥度，气候特征，作物品种，生长状况等条件来决定，否则，将适得其反。

七、免 耕 法

免耕法特别适宜于山区水土流失严重的地区，其主要特点是：在作物收割后不翻耕，在苗茬的土地上用特制的免耕播种机直接播种下一茬的作物，尽量减少地面作业次数，减少对土壤结构的破坏，使作物有一个较好的生长条件。

免耕法的水土保持效应特别明显，尤其对那些退耕还林的地带。

免耕法应按当地人民生活，经济发展，生态环境，土壤肥度，生产习性等自然条件而定。但从开发山区经济的长远观点来看，从预防水土流失的方式方法来讲，推行免耕法在经济上是合理的，在技术上是先进的，是一个有前途的发展方向。推行前要结合当地实际，因时、因地制宜的进行试验，探索和研究。

八、开发泥石流堆积扇

山区泥石流堆积区，常是开发与利用的最佳场所。本来有的就是原来的良田沃土，在遭泥石流破坏而被淤埋的。因此，可根据泥石流沟的发育状态和风险度以及治理进展情况，可逐步分期分批的开发与利用，回收部分成本。

九、坡改梯、水改旱

泥石流物源区的坡地和水田，是防治泥石流的大敌，它很容易引起崩塌、滑坡等不稳定的地质体。因此，必须采取强有力的坡地改梯地，水田改旱地的农业技术措施，使山体稳定性增强，从根本

上稳固泥石流物质源地。

十、预防挖沟引水、开山修路引发泥石流

水是生命之泉，山区人民的生活生产都离不开水。因此，挖沟引水，随处可见，常是引发泥石流的一个重要因素。“要得富，先修路”，修路切坡和不合理的弃碴，也是激发泥石流的又一个重要原因。为防止人为泥石流的发展，应于特别重视与农业经济发展活动有关的防渗、防漏、防溃、防滑、防垮的有效措施。防治泥石流的农业措施，涉及农民的切身利益，面广、问题错综复杂，相互关联，互相制约，应从系统工程的角度来协调各业之关系，才有事半功倍之效果。

第五节　防治泥石流的牧业技术措施

泥石流流域多数都是童山秃岭，没有植被的裸露山体。如与种有牧草的山坡相较，其地面迳流和水土流失差别是很大的，所以结合牧业技术的发展，种好牧草，管好牲畜，亦是保持水土，防止泥石流扩展的主要举措。

一、牧草品种与功用

（一）选择牧草品种既要满足水土保持的要求，又要适合牧业生产的需要。只有两者紧密结合，才有明显的经济与防治效益。才能为当地的农、牧民所接受，便于推行，达到目的。

1. 选择能适应当地自然环境和抗逆性强的品种；

2. 选择根系发达，根须强大，能长成丛密的地衣，生长块，覆盖面大，并能抗御杂草侵入的品种；

3. 选择产子多，易于自身繁殖，根、枝、叶均易于发育，繁茂和覆盖面较大的品种；

4. 选择多年生习性，可借匍匐茎、地下茎、根蘖与分根等繁殖的品种；

5. 选择营养成分高、含物质丰富，牲畜喜欢，收割和牧放之后

又有迅速恢复和再生能力的品种；

6. 选择耐旱，耐热、耐寒并兼有工业经济价值的品种。

(二)牧草种类繁多，约有500余种。由于习性和功用的不同，种植和管护方法亦随之而异。其中最主要的可分为禾本科和豆科牧草。就其功用而言。应按照防治目的和畜牧业生产选种：

1. 适宜于放牧的草有爬根草、三叶草、鸡眼草、黄花苜蓿、草木樨葛藤等；

2. 适用于割刈的牧草有龙须草、苜蓿草木樨、葛藤等；

3. 适于排水道的牧草有爬根草等；

4. 适合于沟壑治理的牧草有爬根草，芦苇、葛藤等；

5. 适应于旱地坡地的牧草有苜蓿、黄茅、旱茅等；

6. 适用于工业生产的牧草有龙须草、桐麻等。

二、水保牧草种植的方式方法

水保牧草的种植方式方法，是多种多样的。但必须是科学的，因地制宜的依照当地自然及社会条件进行选取，才能获得最佳效果。现介绍几种主要方式方法，供选择使用。

(一)封山育草

封山育草是防治泥石流，治理荒溪荒坡，自然育草恢复地衣草被，最简易最经济和最有效的方式方法。具有普遍性的推广意义，即使在很干旱的黄土高原，干热河谷，封育数年后，亦可取得明显的减轻水土流失的效应。并可提高产草量几倍。

封山育草也要有计划的进行，可按牧畜量，各种用草量和荒山面积，来安排封山育草地面积和范围，实行轮封轮牧，定期封定期牧以及长期封与不放牧等措施。达到既能保持水土又要牧放的目的。同时应保持牧草覆盖度在70%以上。因而制定一些必要的管护措施，是十分重要的，是封山育草能否成功的关键。

(二)更新草带

当草场退化后，植被明显稀疏，应及时更新草带，否则将导致严重的水土流失，恶化环境，影响畜牧业的发展。

更新草带，常在雨季后分条带用犁划破草皮，密播草种，次年便可生出新草。更新草带宽度，视地形、草种等具体条件而定。如此轮流进行 2～3 年更新后，又可恢复变成兴旺发达的新草地，还原其功用。

（三）草带防蚀

根据草带的功用，可分为下列几种形式：

1. 缓冲草带

可在休闲的荒坡地上，每隔 10～30m 横坡种植一条缓冲草带，带宽 2.0～5.0m，原则上是坡陡距小，以利拦蓄水土，生长牧草；

2. 沟（塬）边草带（生物篱）

由于沟（塬）边是降水聚集归槽之处，常冲切成毛沟，破坏耕地。为制止冲沟发育，可种植多年生的牧草生物篱，如根须强大的岌岌草等以固结土壤，防止沟岸坍塌；

3. 沟头防护草带（生物坊）

沟头是坡面水流汇集往下流必经之路，所以沟头侵蚀作用也最为强烈，使沟头不断向上游伸展，形成泥石流物原区的不断扩增。生物草带，是遏制源头发展的最佳选择。种草应用密集型，沿等高线带状撒播，构成草织生物谷坊，用根系发达，匍匐性强，固土能力大的草种，是封沟头保源头的理想措施。若与造林、截留措施结合，更显其优越性。

4. 边坡种草

边坡种草，是指在铁路，公路路基边坡和沟渠坝坡上植草。这类种草以固结土壤，防止雨水冲蚀为主，选取根茎性、缠绕性与匍匐性强的草类较好，种植方法，也要因地制宜而为之。

三、调整畜牧业结构

在生物治理初期，为了加快生物建设速度，减少人为干扰，必须制定政策，编制畜牧业规划，调整畜牧业结构，大力减少山羊数量，以减轻畜牧对生物环境的压力。