b.刘希林等人提出的方法

综合判别指标	量级划分							
	小	得分	中	得分	大	得分	极大	得分
一次泥石流最大冲出量(万 m^3)	<1	8	1~10	16	10~100	24	>100	32
松散固体物质贮量（万 m^3）	<0.5	4	0.5~50	2	50~200	3	>200	4
最大漂砾粒径（m）	<1	4	1~3	8	3~8	12	>8	16
最大容重（t/m^3）	<1.5	6	1.5~2.0	12	2.0~2.3	18	>2.3	24
最大 12 小时暴雨（mm）	<25	5	25~50	10	50~100	15	>100	20
流域相对高差（km）	<0.5	5	0.5~1.0	10	1.0~3.0	15	>3.0	20
泥石流发生频率（%）	<10	2	10~50	4	50~100	6	>100	8
流域面积（km^2）	<0.5	7	0.5~10	14	10~35	21	>35	28

c.崔之久等人提出的方法

综合判别指标	量级划分							
	1	得分	2	得分	3	得分	4	得分
沟谷平均比降(°)	<7	8	7~9	16	9~10	24	>10	32
沟谷沉积物平均厚度（m）	<4	5	4~5	10	5~6	15	>6	20
流域相对高差（m）	<300	7	300~400	14	400~500	21	>500	28
构造（每平方米节理数）	<7	3	7~10	6	10~15	9	>15	12
堆积物最大粒径（m）	<3	4	3~4	8	4~5	12	>5	16
沟谷宽度（m）	>25	1	25~20	2	20~15	3	<15	4
山坡平均坡度(°)	<40	6	40~45	12	45~50	18	>50	24
山坡堆积物厚度（m）	<0.4	2	0.4~0.5	4	0.5~0.7	6	>0.7	8

d.马霭乃等人提出的方法

综合判别指标	量级划分				
	1	2	3	4	5
植被	乔灌为主，覆盖度为 70~100%	乔草为主，覆盖度为 50~70%	乔灌草为主，覆盖度为 30~50%	灌草为主，覆盖度为 10~30%	草为主，覆盖度为 0%~10%
沟床坡度（°）	0~2	2~8	8~15	15~25	>25
坡积物厚度（m）	0~2	2~4	4~6	6~8	>8
面积(km^2)	<1 或>15	1~3	3~6	6~9	9~15
地形切割度(沟谷数/km^2)	<0.5	0.5~1	1~2	2~4	>4
地表破裂度(断裂数/km^2)	0~0.1	0.1~0.25	0.25~0.5	0.5~1	>1
降雨强度(mm/h)	0.01~0.9	1.0~9.9	10.0~19.9	20.0~39.9	40.0~300.0
实际一次降雨量(mm/24h)	0.1~19.9	20.0~49.9	50.0~99.9	100.0~199.9	200.0~500.0
多年平均降雨量(mm)	0~550	550~600	600~650	650~700	>700
径流状况	丰水河谷	平水河谷	季节性河谷	干枯河谷	干枯沟谷
土地利用状况	平原耕地	河流阶地耕地	坡耕梯田	缓耕梯田	陡坡梯田
人口状况(人/km^2)	0~20	21~40	41~80	81~120	>120
设施状况(万元/km^2)	0~5	5.1~10	10.1~15	15.1~20	>20

4.2.2 本研究提出的方法

北京山区除了泥石流灾害以外，更大量而普遍存在的是高含沙山洪危害。因此，为了适应这一地区生产事业发展的需要，必须结合该地区的特点对山洪及泥石流各类荒溪进行预警对象的确定。北京有 2/3 的山区面积，如果对每条荒溪都进行类型判别其工作量之大，是难以想象的，而且也没有必要。防灾减灾的目的是保护预警对象，因此本研究只对北京山区有人居住和有重大建筑设施的 2280 条荒溪进行综合调查。在详细荒溪调查的基础上，根据荒溪沟底坡度、沟床泥沙堆积厚度以及集水区面积、

地质、地形、植被、土地利用现状、水土流失的程度及强度等因素，按山洪或泥石流对冲积扇上建筑物的危害作用大小，参照奥里茨基(Aulitzky.H, 1980)荒溪分类方法，按荒溪对其流域内防护对象的危害作用划分，将北京山区的荒溪类型分为四类（见表 4-4）：①破坏力强的泥石流荒溪；②泥石流荒溪；③高含沙山洪荒溪；④一般山洪荒溪。

表 4-4 北京山区荒溪类型及主要特征

Tab 4.4 The torrent types and its character in Beijing mountain region

荒溪危险等级类型	主要特征
冲击力强的泥石流荒溪	此类荒溪在泥石流阵性(地垒式)运动中，不再遵守一般的水力学法则(牛顿定律)。黏性的泥石流在极端情况下，流速可达 11—12m/s。这种泥石流的流速、冲击力及其动能距离沙砾形成区及堵塞溃决区愈近则愈大。此类荒溪中形成的泥石流，其水文流态特征为水与固体物质形成粘稠性混合体，液相和固相混杂一起，作等速无垂直交换的整体性层流态直线运动，能使比重大于泥浆的石块漂浮滚动而行，沉积物无分选性。由于此类泥石流呈整体性直线运动，不易转向，撞击力大，对冲积圆锥上的，特别是沟口附近的建筑物的淤埋和破坏作用很大。其容重大于 1.7t/m^3，极端冲击力 15~30t/m^2。
泥石流荒溪	当发生泥石流灾害时，在荒溪中形成粘稠的混凝土状的流体，但不存在阵性流(没有堵塞条件)。这类荒溪中出现的泥石流流速较小，冲击力较小。淤埋作用的危害大于冲击作用。在石山区形成这种流体的流通区最小临界坡度为 15°。此类泥石流运输石块不大，与冲击力强的泥石流荒溪相比，冲击圆锥的表面坡度较小。其容重大于 1.5~1.7t/m^3，极端冲击力 11~15t/m^2。
高含沙山洪荒溪	在此类荒溪中，当发生洪水时，水中含有大量泥沙及块石(主要为底沙)，但水与固体物质形成浑浊性两相体，液相和固相分离，作不等速有垂直交换的紊动乱流态波浪运动，沉积物有分选性。流体的运动符合水力学法则(牛顿定律)，表面流速小于 10m/s，石块沿沟床作推移或跃移运动，含沙山洪暴发突然，来势很猛。大冲小淤，以冲为主，对建筑物基础的冲刷和破坏作用甚大。其容重大于 1.1~1.5t/m^3，极端冲击力 7~10t/m^2。
一般山洪荒溪	此类荒溪流域中植被良好，无大型的崩塌、滑坡等不良地质现象，沟床仅有个别的沟岸坍塌作用。沟床中的沉积物磨圆度大。山洪暴发时，山洪的容重小 1.1t/m^3。此类山洪的危害作用只表现为冲刷作用，极端冲击力一般为 3~5t/m^2。

4.2.2.1 分类指标与数量化评分

北京山区各类荒溪成因复杂，影响因素众多，主要取决于荒溪流域的地形、降雨、地质、沟道特征和砂砾等因素。在北京地区，降雨特别是大暴雨是山洪泥石流发生的诱发因素。泥石流的暴发与降雨和降雨强度密切相关。根据已有研究成果北京山区泥石流的发生和降雨及降雨强度的关系（周金星，2001），在日降雨量＞200mm 范围内常发生泥石流，尤其在暴雨中心泥石流灾害最严重。暴雨中心一日降雨量达 400~500mm，在这个范围内，泥石流发生的频率最大。发生严重泥石流灾害的日降雨量大多数大于 200mm，而降雨强度大于 60mm/h 时灾害尤为严重，有的降雨强度甚至达到 150mm/h。因此，对历史上发生过山洪泥石流灾害的荒溪进行实地调查，并收集引发灾害的日降雨量和降雨强度以及灾害情况等有关资料。

影响荒溪发育的地形地貌因子较多，主要有荒溪流域的山坡坡度、沟道纵坡坡度、流域的相对高差、流域面积、流域形状等。地形取决于地质构造、岩石种类和气候因素，又决定着山洪泥石流的运动特征。

荒溪沟道固体物质量是泥石流发育的物质基础。荒溪泥沙主要来源于山坡体的

崩塌和滑坡，沟谷坡积层和堆积物，荒溪流域内的梯田、沟坝地等，因此必须对山坡体的稳定性进行判别。在估算泥沙量时这些都是要考虑的因素。山洪泥石流的发育不仅与可能的产沙量有关，而且与泥沙在沟道内的分布特征也密切相关。因此，要绘制荒溪的泥沙平衡图，来反映泥沙在荒溪中侵蚀、运动、沉积等特征，为荒溪分类提供可靠的依据。

泥石流运动和山洪的一个明显区在于泥石流运动具有阵流性，而泥石流的阵流性与沟道的堵塞状况有密切关系。在荒溪沟道内如果有大量的巨石、乱石，混杂着树木、柴草等堵塞物，或者是沟道断面狭窄，弯曲度大，则会造成泥石流的堵塞和雍高，使其规模和破坏性大大增加。堵塞性泥石流具有巨大的规模、携带能力及破坏性。沟道堵塞也会使一般山洪出现大冲大淤的现象，增强其破坏性。

荒溪的地层岩性和土壤的性质对泥沙量、土壤水分入渗量和降雨径流的形成有至关重要的作用，并最终影响荒溪洪水量和产沙量，从而影响荒溪类型。因此，必须调查荒溪地表层的岩层组成、结构和土壤种类。

历史上荒溪内发生的灾害情况对荒溪分类有重要参考作用，调查分析洪痕和山洪泥石流所造成的灾害情况，能充分了解荒溪近几十年（或近百年）的大致活动状况、性质和规模，这种方法体现了地学中“反推法”的思想，这项内容作为荒溪分类的补充因子。

北京山区荒溪分类就是根据上述 6 类指标进行分类的。上述 6 类指标就其可度量性来看，可分为定量变量和定性变量。前者可以用不同的单位量度量，度量值为某一特定的数，用数的大小表示数量的变化，如降雨量，沟道比降，沟道砂砾量等；后者很难用单位量度量，只能在一定范围内定性取值，如沟道堵塞的可能性，荒溪历史灾害情况评估都是无法定量的，只能定性的描述和评估。在荒溪分类工作中，力图使定性变量转化成定量变量，使比较复杂的分类工作转化为某种判别数学模式。数量化理论和方法便是处理定性变量的工具，它不仅可以利用定量变量，而且可以利用定性变量，从而充分利用可能搜集到的荒溪流域资料信息，更全面地进行荒溪分类工作。利用数量化评判方法对荒溪流域判别因素指标进行量级划分，各量级取定量值，然后根据各项判别因素指标值之和，判别荒溪类型。

定量因素（变量）量级划分方法是在设定区间内，视区间内各值为各一级（量级），虽然定量数值不同，但属于同一性质，取同一指标值。如降雨量大于 200mm/日，可能引发山洪泥石流的可能性最大；降雨量 150mm—200mm/日，引发的可能性次之；降雨量 100mm—150mm/日，引发的可能性更小；降雨量小于 100mm/日，可能性轻微。这四个区间各取一值，用 4 分、3 分、2 分、1 分数量表示，这样定量因素可以转换为某一区间指标值。

荒溪分类的定性判别因素（变量）指标值，是按一定的方法，变定性因素为定

量因素，如荒溪土壤及岩石的透水性项目，可以分为较弱、中等、较强、很强4种情况，并分别约定用4分、3分、2分、1分数量表示，这样定性判别因素便可转换为定量值。下面对降雨、地形地貌、沟道产沙量、沟道堵塞的可能性、岩石土壤透水性、历史灾害情况等六类因子进行分析讨论，并用数量化评判方法确定各指标值。

1）历史上荒溪内山洪泥石流灾害情况

荒溪内山洪泥石流历史灾害，是确定荒溪类型的重要依据之一，是了解荒溪的一面镜子，对历史上荒溪灾害因素指标值的评定如下：

a.荒溪沟道内和沟口处房屋等建筑物有特别严重的破坏和屋内有人员伤亡或无人居住的沟道冲积圆锥遭到严重破坏 (4分)

b.荒溪内房屋建筑有较严重破坏，无人员伤亡 (3分)

c.荒溪内新建筑物遭到破坏，老建筑物遭到轻度破坏 (2分)

d.荒溪内财产损失轻微，无严重破坏 (1分)

2）沟道纵坡

据前人研究成果和实地调查结果，地形地貌的众多因子中，沟道的纵坡坡度是影响荒溪类型的主要因素。沟道纵坡坡度决定着泥石流的起动和沉积。

根据理论分析和实际调查结果，沟道纵坡比降（预警对象附近）指标评分如下：

a.沟道纵坡比降≥15° (4分)

b.沟道纵坡比降8～15° (3分)

c.沟道纵坡比降3～8° (2分)

d.沟道纵坡比降<3° (1分)

3）荒溪流域内的可能产沙量

通过荒溪调查，绘制荒溪的泥沙平衡图，反映泥沙在荒溪活动中可能被侵蚀、搬运和沉积的具体位置和数量，为荒溪分类提供可靠的依据（如图4-1）。

荒溪内可能产沙量的评分方法：

a.大量的砂砾从沟道出口一直延伸到沟道的上部，可能产沙量大于100000m^3，沟道没有基岩裸露，横断面呈三角形，河段较窄。 (4分)

b.沟道内有大量的砂砾沉积在沟谷的上部，沟底坡度虽陡但沟道不太窄，或者可能产沙量为10000～100000m^3。 (3分)

c.沟道上半部有砂砾沉积，沟道中部沉积面积较大，或者可能产沙量在1000～10000m^3。 (2分)

d.砂砾主要沉积在沟口的冲击圆锥处，或者可能产沙量在1000m^3以下。 (1分)

4）沟道造成堵塞的可能性

在荒溪沟道内如果有大量的巨石、乱石，混杂着树木、柴草等堵塞物，或者是沟道断面狭窄，弯曲度大，则会造成泥石流的堵塞和雍高，使其规模和破坏性大大增

加。如 1982 年密云县汗峪沟泥石流的龙头高达 7～10m，其流量达 800m^3/s，将重

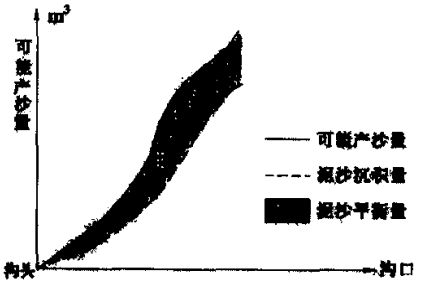


图 4—1　沟道泥沙累积平衡图

Fig 4.1 The balance map of the sediment cumulated in the torrent

达数吨的大石块搬上沟边，下游的村庄全部被毁，死伤数十人。沟道堵塞的可能性，主要由沟道的弯曲度及沟道内的树木、杂草、巨石等杂物来决定。弯曲度用“K”表示。见图 4-2。

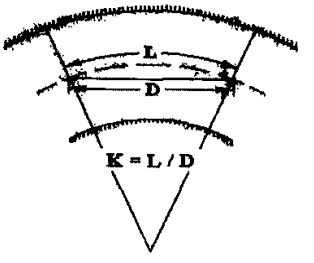


图 4—2　沟道弯曲度示意图

Fig 4.2 The sketch map of measuring a channel curve degree

造成沟道堵塞的可能性指标评分：

a.因沟岸冲淘，滑坡可能将一定量的大树置于沟道中，或 K＞2.0　(4 分)

b.只有少量的大树可能置于沟道中，或 1.5＜K≤2.0　(3 分)

c.只有伐根或小树有可能置于沟道中，或 1.0＜K≤1.5　(2 分)

d.没有树木等杂物,沟道通直 K=1.0　(1 分)

5）荒溪流域内土壤及岩石的透水性

如果岩石风化严重，裂隙多，则地表层透水性强；土壤的结构和组成也影响水分的入渗。一般地说，土壤中细粒的粘壤越多，结构越紧密，透水性能就越差；随着大颗粒沙粒的增加，透水性能就逐渐改善；沙壤土和沙土的透水性最强。因此，把荒溪地表层的岩层组成、结构和土壤种类作为地表层透水性的评定内容。

荒溪内土壤及岩石的透水性评定指标：

a.没有冲积层覆盖的大块基石或泥灰质石板层，或地表层是细粒为主的黏土壤——砂岩表面　(4 分)

b.很少叠加的强风化基岩，岩层是陡峭的页岩，泥灰质或表层为长年堆积的黏

性沙和黏土 (3 分)

c.破裂岩石或砂子、砾石、没有黏土，中度的透水性 (2 分)

d.强列破碎的岩石,有渗漏洞的岩石，没有细粒物质,具有很强的透水性 (1 分)

6）降雨因子

从历史上发生过山洪泥石流灾害的荒溪进行实地调查，收集到引发灾害的日降雨量和降雨强度的情况看（见表 3-1），发生严重泥石流灾害的日降雨量大多数大于200mm，而降雨强度大于 60mm/h 时灾害最严重，有的降雨强度甚至达到 150mm/h。因此，把历史上发生过的或将来可能发生的日降雨量和降雨强度作为分类指标，并把一定范围的指标评定为一个值，最高分为 4 分，依次为 3 分，2 分，1 分。

历史上发生过的或将来可能发生的日最大降雨量指标评分

a.大于 200mm/日，或雨强大于 2mm/分，持续 1 小时以上 (4 分)

b.150—200mm/日，或雨强 1.5—2mm/分,持续 1 小时以上 (3 分)

c.100—150mm/日，或雨强 1—1.5mm/分,持续 1 小时以上 (3 分)

d.小于 100mm/日，或雨强低于 1mm/分，持续 1 小时以上 (1 分)

4.2.2.2 分类方法

北京山区荒溪分类是在分析和借鉴国内外荒溪分类方法和经验的基础上，根据荒溪形成、发育和灾害活动特点结合历史灾害事件进行发推，采用数量化综合评判方法，计算荒溪分类综合指数 P，根据 P 值大小，确定荒溪类型。即在对六个判别因子分别评分的基础上，计算出荒溪分类综合指数 P，并根据 P 值的范围确定荒溪的类型。

具体方法是：

1）实地调查，分析荒溪的各项判别因子，按照荒溪判别因子的评分指标，逐项评分。

2）计算荒溪分类综合指数 P: $P=\sum_{i=1}^{6}\sum_{j=1}^{4}a_{ij}/6$

a_{ij}：荒溪分类判别因子评分值；

i：判别因子数，i=1……6；

j：判别因子区间，j=1……4。

3）荒溪分类

根据荒溪分类综合指数 P 值的大小确定荒溪类型：

P≥3.0	破坏力强的泥石流荒溪
2.7≤P<3.0	泥石流荒溪
1.9≤P<2.7	高含沙山洪荒溪
P<1.9	一般山洪荒溪

注：如果判别因子(3)评分为 1 分，综合指数虽然大于等于 2.7，仍然属于山洪荒溪。