

# 桑干河中下游泥石流的分布及成因

姚一江 谢修齐

(铁道部科学研究院西南研究所)

桑干河是永定河的最大支流，发源于管涔山东麓，自西向东流，于怀来盆地与大洋河汇合，注入官厅水库。由于受地质构造的控制和新构造运动差异性抬升作用，沿桑干河中下游河谷，从西往东形成了盆地与峡谷相间，依次为阳原盆地、桑干河峡谷和怀来盆地。桑干河峡谷区是华北泥石流活跃地区之一。1984年我们对大同一秦皇岛铁路的阳原至涿鹿段桑干河沿岸的21条泥石流沟进行了调查，其分布和成因分析如下。

## 一、泥石流的分布和特征

华北地区泥石流分布的共同特点，大致在燕山、太行山与华北平原交界处的梯级。北京西北的军都山东坡，永定河上游支流清水河及桑干河两岸，是泥石流分布较为密集、近期活动较强的地区。

桑干河流域的泥石流，主要分布于阳原盆地边缘山前区和石匣里至长町间峡谷区。更新世泥石流堆积的扇形地广泛发育，如站庄可见到发育完整的更新世泥石流堆积物所组成的扇形地，在站庄1号沟沟口泥石流堆积扇直接覆于桑干河二级阶地砾石层之上。河流形成的砾石层，由磨圆和分选较好、成分复杂的砾石组成。老泥石流堆积物厚30—40米，成分单一，多为白云岩碎屑，略具层次，向下游倾斜。每层内大小石块混杂，为结构松散的碎石砂土，含少量大块石。这说明历史上曾有过泥石流活动旺盛时期。近期泥石流活动总的表现是在减弱，来自山区策源地冲出口口的泥石流固体物质来量有所降低。泥石流类型以水石型为主。大同一秦皇岛铁路阳原至涿鹿段跨越泥石流沟计21条，分布密度平均每4.5公里1条，其中严重的3条，中等的9条，轻微的9条（图1）。泥石流的分布和特征受地形、地质条件的控制，具有明显的地区性。

**阳原盆地地区。**泥石流沟发源于盆地边缘山前地带，泥石流堆积扇形地发育充分，规模亦大，与毗邻扇形地串连成裙。沟谷宽缓，沟底堆积物较厚。泥石流沉积物特征，出山口沿程分选性较明显，粗大的块石沉积在山口以内的沟道；山口至扇缘由于沟床坡降减缓，搬运泥石流能力降低，床内物质由粗变细。在扇形地以外诸沟泥石流，大都转化为高夹沙水流，床面以淤为主。代表性沟如常家庄沟、牛坊沟（照片1）、东城2号沟。

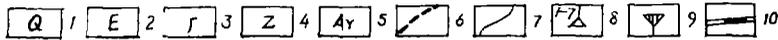
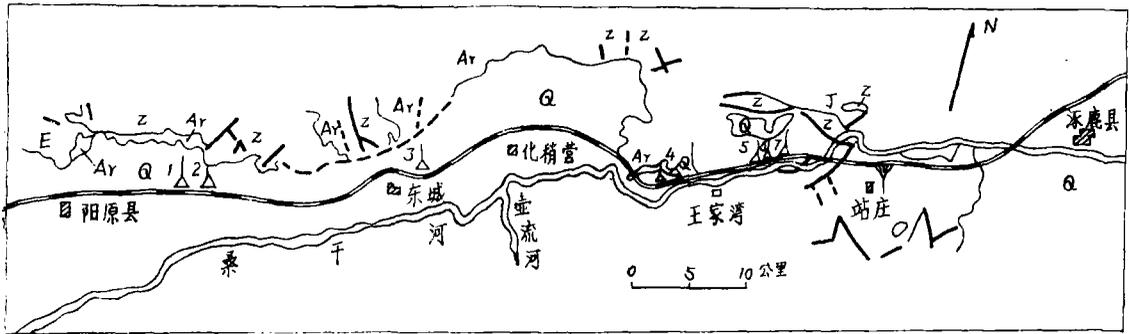


照片1 牛坊沟

桑干河中下游重点泥石流沟概况

沟名	汇水面积 ( $\text{km}^2$ )	沟长 (公里)	沟床纵 比 (%)	流域相 对高度 (米)	山坡平 均坡度 (%)	植被覆 盖率 (%)	固体物质补给状况			沟床物 最大体积 (立方米)	泥石流 流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	容 量 ( $\text{t}/\text{m}^3$ )	泥石流分类	
							固体物质 储量 万立方米	单位面积 储量 ( $10^4\text{m}^3/\text{km}^2$ )	补给方式				按物质 成分	按严重等级
站庄1号沟	0.40	0.60	110	400	40°	30	1.50	3.80	沟槽物质再 搬运及弃渣		7.5	1.38	水石型	轻
站庄2号沟	1.91	2.00	174	800	42°	45	23.00	12.10	岩堆、崩塌 物及沟槽物 质再搬运	4.4×3.3×6.5	26.9	1.72	水石型	中
站庄4号沟	2.40	3.90	138	830	42°	25	27.00	11.30	同上	0.2×0.7×0.6	50.3	1.76	水石型	中
站庄9号沟 (杨柳沟)	2.80	2.55	162	780	50°	30	21.70	7.80	同上	1.3×0.6×0.5	108.0	1.91	水石型	严重
站庄12号沟	0.60		300	530	50°	25	1.30	2.10	同上	4.9×3.5×2.0 (沟内大粒径 巨石较多)	30.0		水石型	严重
站庄15号沟	0.60		180	300	45°	<10			同上	2.5×1.2×2.3	12.2	1.84	水石型	中
化石沟	17.00	5.25	90	840	35°	<10	8.12	0.48	沟槽物质再 搬运		446.0	1.52	水石型	主沟轻微右1 号支沟严重
			右支沟 上游290 下游230							右1支沟 2.3×2.0×1.4				

**桑干河峡谷区。**由白云岩组成山地，以尖脊陡峭为特征，沟谷纵比降大，沟底多碎石，由砂页岩组成山地则为峡谷中缓坡。桑干河断裂带大体沿峡谷延伸，两岸支沟多有泥石流活动。沟口老泥石流堆积扇发育，多层堆积扇迭置于低级阶地之上，老堆积扇规模比新堆积扇规模大。由于本区隆起抬升作用，全新世时期桑干河下切，侵蚀基准面下降，河流切割老泥石流堆积扇，多在扇前缘形成20—30米陡坎，如站庄地段。老扇面切割形成众多的新沟槽，近期具有多沟活动和小型化的特点。一些主沟内泥石流龙头状（舌状）堆积发育，支沟沟口堆积扇发育，具有分段搬运的特点。沟内储存厚层沟床堆积物，泥沙分选性差，弯道处发育成典型带状堆积。据杨树沟桥基勘探资料，沟底下8米未见基岩，沟床堆积物为碎石土，碎石成分为白云岩，粒径一般为2—10厘米，3.5米以下夹砾石，粗砂约占20%。沟床均不稳定，一次冲淤变幅约为1.5—2.0米。根据附近老农回忆，三十年代站庄杨树沟曾发生过一次较大的泥石流。文献记载，1939年夏，华北大部分地区暴雨，西山和军都山同时发生了泥石流。据当地水文地质特征，该区为碳酸盐岩类地区，沟谷流域内包括白云岩地层和松散堆积层，都具有强透水性，泥石流的发生必须要有充分的水动力条件，因此，泥石流暴发频率不高。本区典型泥石流沟如化石沟（照片2）。



- 1 — 第四系堆积层；2 — 第三系砂砾岩；3 — 侏罗系安山岩、流纹岩与砂页岩；
- 4 — 元古界（震旦亚界）雾迷山组、高于山组、大洪峪组以白云岩为主；
- 5 — 太古界桑干群片麻岩、花岗片麻岩；6 — 断层线；7 — 地层界线；
- 8 — 泥石流沟及编号；9 — 泥石流沟群及编号；10 — 新建铁路。

图1 大同—秦皇岛铁路阳原至浑源段泥石流沟分布图

## 二、泥石流的成因

桑干河中下游所经山地，系燕山山脉与太行山脉相交汇部位，盆地与峡谷相间，走向为北东70°到近东西向。大多数山地的海拔高度在1,300—1,800米左右，岭谷之间相对高度多数在500—800米，成为群山峻岭、山坡陡峭的中山地区。盆地内可见保存完整的高级阶地，峡谷区局部发

育一二级阶地。谷坡和山坡的坡度一般 $35^{\circ}$ — $50^{\circ}$ ，两岸支沟沟床纵坡 $5^{\circ}$ — $10^{\circ}$ ，最陡可达 $15^{\circ}$ ，汇流动力条件有利于泥石流的形成。

在地质构造上属燕山准地槽，次级构造单元属阳原—怀来复背斜区。出露地层岩性，阳原北山山地由太古界桑干群片麻岩、花岗片麻岩组成；峡谷以元古界大洪峪组、高于山组、雾迷山组的白云岩为主。岩层经多次构造运动，褶皱强烈，断裂发育，岩石破碎，新构造运动活跃。这为泥石流提供了丰富的固体物质条件。

**盆地内活动性断裂带多存在于或隐伏于山地与盆地接连地带。**这样的断裂带显著的特征是，一边是上升的山地，一边是下沉的新生代盆地。断层线上出现一连串的泥石流堆积扇，为漂砾和砂砾所组成，长度一般1—5公里不等。

阳原北山山前活动性断裂带，是由两条断裂连结而成。在断裂以北，北山新生代强烈抬升，主峰海拔标高二架山为1,898米，韭菜山为1,880米，高出阳原盆地1,000余米。大断裂带附近发育有北东、北西两组走向的扭性裂隙构造，沿北西或北东向众多横谷切割，沟谷出口处的泥石流堆积扇一个一个连接起来组成扇带。从常家庄到东城果园山前，扇裙毗连成片，彼此衔接迭置。扇的规模较大，扇面坡度较缓，扇顶部坡度 $5^{\circ}$ — $8^{\circ}$ ，中前部 $2^{\circ}$ — $4^{\circ}$ 。

同样，怀来—蔚县活动性断裂带控制怀来盆地北山及蔚县南山山前泥石流沟的分布和发育，在断裂基础上发育的扇形地，重迭连续地呈直线状分布。

**桑干河构造带或被破坏的桑干河箱状背斜，在阳原盆地东缘以东峡谷区。**该区构造形迹复杂。王家湾附近北北西向的东坪逆断层横切整个背斜，错断两翼纵向主断裂；王家湾以东，构造带基本由4条纵向断裂组成，两翼各2条。在两平行断裂之间，地层陡倾，地层倾角一般不超过 $20^{\circ}$ ，只在近断裂部位变陡，乃至倒转。在站庄地段，断层影响带的燧石条带白云岩产状，走向北东 $70^{\circ}$ — $80^{\circ}$ ，倾角 $40^{\circ}$ — $55^{\circ}$ ，倾向北。由于岩层褶皱、层间错动和断层影响，白云岩层间溶蚀裂隙较发育，地表呈正负地形相间；负地形山坡常发育崩塌或岩堆，在两条断层破碎带交汇部位尤其如此，如王家湾在两条断层交接部位形成大型山体变形。

**桑干河下游峡谷区，新构造运动十分显著，属隆起区。**河床曲折蜿蜒，两岸陡立，南北两侧支流河床陡斜，一些沟谷多梯状小悬崖。受泥石流排泄影响，桑干河河槽拓宽，河水浅，漫滩多，携带泥沙能力低。化石沟上游约4公里的麦地湾一带，有一个具下更新统泥河湾组的小表生盆地。此盆地标高1,150米，而桑干河河床标高已深切为703米，比高达400余米，表现出自更新世中晚期直至全新世地壳为较强烈地持续回升，河谷相对深切的运动状态。老泥石流堆积扇面已隆起，高出桑干河河床50—60米，加剧支沟的溯源侵蚀，因而两岸中浅切割的支沟发展成为泥石流沟。老泥石流堆积扇第四系松散地层成为泥石流的固体物质新的补给场所（照片3）。

由于活动断裂的存在，地震较频繁，阳原—怀来复背斜区历史上曾发生多次地震（表2），地震基本烈度为Ⅷ度。据县志记载，阳原盆地1483—1662年180年间共发生过14次地震；明末清初有几次“地大震，声如雷”。这些历史的记载，亦反映了近代地壳较强烈的活动性。在地震作用下，斜坡岩土体结构遭破坏，常沿某些破裂面形成重力破坏，造成本区沟谷内岩



照片3 老泥石流堆积体以崩塌向沟床提供松散固体物质

表 2

阳原—怀来复背斜区地震历史简表

编号	地震时间 (年.月.日)	震 中 位 置			震 级	震中烈度
		地 名	北 纬	东 经		
1	1337.9.8	怀 来	40.4°	115.7°	6 $\frac{1}{2}$	VIII度
2	1338.8.24	涿 鹿	40.4°	115.2°	5	VI度
3	1578.7.17	怀 来	40.4°	115.7°	5	VI度
4	1720.7.12	沙 城	40.4°	115.5°	6 $\frac{3}{4}$	IX度
5	1724.	涿 鹿	40.4°	115.2°	5	VI度
6	1957.1.1	涿鹿东	40.41°	115.3°	5	VI度
7	1967.7.28	怀来东北	40.39°	115.5°	5 $\frac{1}{2}$	VI度

土体崩塌，岩堆发育，由此产生的大量松散物质，乃是本区泥石流的主要补给来源。

从降雨条件分析，华北地区的降雨80—90%出现在6—8月，主要集中在7—8月，其中又以7月下半月和8月上半月为最集中，而且一个月降雨量的多少常取决于几场暴雨。一次暴雨过程的日降雨量，常达月降雨量的50%以上。由于暴雨在月降雨量中和季降雨量中占很大比重，如果暴雨多而集中，就会出现泥石流灾害。

据阳原、涿鹿两县气象站统计的降雨资料（阳原为22站年，涿鹿为25站年）基本一致，各特征值见表3。从年总降水量和最大60分钟雨强分析，就形成泥石流而言有些偏小。因此，该区水源条件不够充分。

表 3 阳原、涿鹿两县降雨资料特征值表

特征值 (毫米)	阳 原 站	涿 鹿 站
年平均总降水量	362.8	383.02
年最大总降水量	517.6	526.4
最大一日降雨量	71.8 (1975年8月12日)	67.8 (1962年8月26日)
最大10分钟降雨量	24.7	18.0
最大60分钟降雨量	28.0	28.4

### 三、泥石流的防治要点

我国第一条以运煤为主、开行重载列车的现代化新干线——大同一秦皇岛铁路，西段通过桑干河中下游泥石流活跃区。防避泥石流对铁路运营的危害，主要一环是在勘测设计阶段。这就要求在勘测设计阶段，按地质、地形、水文条件分析产生泥石流的可能性，并采取必要的预防措施，争取在与泥石流斗争中的主动局面。铁道部第三勘测设计院作了大量的工作。

1、绕避。绕避是勘测设计阶段防止泥石流及其他病害的主动措施之一。为绕避桑干河下游峡谷北岸（石湖沟至武家沟）侏罗系砂页岩地层分布的严重不良地质区段，铁道部第三勘测设计

院采取两跨桑干河方案，在南岸行走17公里，因而从整体上，线路避开了大量崩塌、滑坡、泥石流、采空塌陷及古煤窑群集中段。在阳原至化稍营段，线路绕行在泥石流堆积区以外，桥位附近泥石流已转化为夹沙水流，避开泥石流的威胁。

**2、桥涵设施。**为确保大量高浓度泥石流流体能在桥涵下通过，设计中遵循泥流动力学原理，留足宣泄断面和充分的高度，防止淤积。站庄地区最大一次淤积厚度约1.5—2.0米。在设桥困难时，用双孔涵，如站庄4号沟。选择代表性工点通过试验确定桥涵上下衔接合理平纵剖面，使泥石流流体顺畅地通过桥涵，在桥下不致发生淤积或冲刷。

在泥石流沟床内，桥墩考虑巨石猛烈冲击和挤压的破坏力，墩前宜建防护墩。一般在严重的泥石流沟床中线不宜设墩，如站庄K166+915，尚可见沟口沟心滞留有泥石流冲入的巨石数十块，大者体积为 $4.9 \times 3.5 \times 2.0$ 立方米。沟床纵坡300‰，一旦泥石流发生，沟内泥石流巨石石龙头，可能直接撞击桥墩。

桥位附近来自支沟泥石流的威胁，也是本区考虑防范内容之一。如化石沟是轻微的泥石流沟，但桥位上游西侧1号支沟是一条严重的泥石流沟，沟内固体物质丰富，最大体积 $2.3 \times 2.0 \times 1.4$ 立方米，沟床纵坡 $13^\circ - 16^\circ$ ，且近期活动频率，对沟口新堆积扇下方化石沟大桥安全具有潜在威胁。又如天沟(K151+846)在1985年8月12日6时许，一场暴雨不到30分钟，引起桥位附近西1号支沟泥石流暴发，冲出泥砂石块达数千立方米，将正在施工中的天沟大桥2号墩和3号墩淤埋，淤积物厚达3—4米（照片4）。



照片4 天沟右1号支沟

沟，但桥位上游西侧1号支沟是一条严重的泥石流沟，沟内固体物质丰富，最大体积 $2.3 \times 2.0 \times 1.4$ 立方米，沟床纵坡 $13^\circ - 16^\circ$ ，且近期活动频率，对沟口新堆积扇下方化石沟大桥安全具有潜在威胁。又如天沟(K151+846)在1985年8月12日6时许，一场暴雨不到30分钟，引起桥位附近西1号支沟泥石流暴发，冲出泥砂石块达数千立方米，将正在施工中的天沟大桥2号墩和3号墩淤埋，淤积物厚达3—4米（照片4）。

**3、拦挡措施。**本区泥石流类型主要为水石型，在地形上有拦挡条件者，宜采用格栅坝。这类坝拦挡具有破坏力的粗粒物质，放走细粒物质，人为降低泥石流浓度和输沙粒径，使之向破坏性小的洪水转化，从而减少或避免对桥涵设施的危害。在站庄2号沟涵址上游500米卡口处及化石沟西1号支沟沟内，均具有修建格栅坝的地形条件。

**4、泥石流地区沟道及沟口不宜设置职工住宅、厂房建筑物及生产设施。**即使在洪水沟中，考虑防洪和山间沟谷的演变，亦不宜集中分布在沟道上，受地形条件限制时，则必须预留足够的排洪道。随着铁路的修建，两侧建筑群将日益增多，应事先予以充分注意。对已建在河道上的临时性施工住房、办公室及机具设施，在7—8月暴雨天气应密切注意安全，严防泥石流和山洪的袭击。

**5、要充分估计铁路建设中，人为对自然条件的破坏和弃碴直接堆放于沟床，大量土石不合理的堆放而引起人为泥石流的可能性，要事先加以防范。**