

文章编号: 1006-4362(2024)01-0026-07

泥石流灾害发育的隐蔽性条件分析

——以涿鹿县岔道河村特大型泥石流为例

庾乐彬, 王振华*, 郭鑫鑫, 李振雄, 李彦彬, 解志旺

(河北省地质矿产勘查开发局国土资源勘查中心(河北矿山和地质灾害应急救援中心), 石家庄 050081)

摘要: 泥石流灾害爆发具有突发性、不易防范、破坏强度大等特点, 在未被确定隐患点的沟谷一旦发生泥石流灾害, 往往对人民的生命财产造成严重的损害。研究目的是针对泥石流在灾害发育的隐蔽性条件的判别, 研究方法是通过张家口涿鹿县岔道河村特大型泥石流发育条件(地形条件、物源条件、水源条件)和形成过程的研究, 来分析概括出泥石流灾害的隐蔽性条件。研究结果是高植被覆盖率以灌草类植被或是农作物植被为主、沟道松散堆积物厚度较大、小流域气候、降雨次序尤其是连绵小雨后转大暴雨等情况都是泥石流发育的隐蔽性条件, 要格外留意泥石流灾害的发生。对泥石流灾害发育的隐蔽性条件分析识别, 将为今后的灾害排查提供指导。

关键词: 泥石流; 发育条件; 隐蔽性条件; 分析; 识别

中图分类号: P642.23; P694; X4 **文献标识码:** A

ANALYSIS OF CONCEALED CONDITIONS OF DEBRIS FLOW DISASTER DEVELOPMENT

——EXAMPLE OF A SUPERLARGE DEBRIS FLOW IN
ZHUOLU COUNTY'S CHADAOHE VILLAGE

YU Le-bin, WANG Zhen-hua*, GUO Xin-xin, LI Zhen-xiong, LI Yan-bin, XIE Zhi-wang

(Land Resources Exploration Center of Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development
(Emergency Rescue Center for Mines and Geological Disasters of Hebei Province), Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: Debris flow disaster outbreak is characterized by suddenness, difficulty to prevent, high intensity of damage, etc. Once a debris flow disaster occurs in a gully that has not been identified as a hidden site, it often causes serious damage to people's lives and properties. The study aims to discriminate the hidden conditions of debris flow in disaster development. The research method analyzes and outlines the hidden conditions of debris flow disaster by studying the development conditions (topographic conditions, source conditions, water source conditions) and formation process of superlarge debris flow in Chadaohe Village, Zhuolu County, Zhangjiakou City. The results of the study are that the high vegetation cover is mainly shrub and grass vegetation or crop vegetation, the thickness of loose sediment in the channel is large, the climate of the small watershed, and the rainfall sequence especially the continuous light rainfall followed by heavy rainfall, are all hidden conditions for the development of debris flow. We should pay extra attention to the

收稿日期: 2023-06-05 改回日期: 2023-10-13

基金项目: 河北省重大地质灾害点勘查项目《涿鹿县大河南镇岔道河村大型泥石流勘查报告》

occurrence of debris flow disasters that has hidden conditions. Analyzing and identifying hidden conditions for debris flow disaster development will guide future disaster identification.

Key words: debris flow disaster; evlopment condition; hidden condition; analysis; identification

泥石流爆发具有突发性,不易防范,具有极高的破坏强度。在未被确定隐患点的沟谷发生泥石流灾害往往对人民的生命财产造成严重的损害^[1]。例如 2010 年 6 月 17 日,涿鹿县大河南乡岔道河村榆林寺沟和长沟涧沟突降暴雨进而引发泥石流,造成 3 人死亡,受伤 2 人,毁树 34 150 棵,农田 10 hm²,房屋毁 14 间,损坏 75 间,跨度 10 m 桥梁 1 座,引水管道 6 000 m,蓄水池 2 座,羊 450 只,直接经济损失超过 750 万元,生命财产损失和水土流失极为严重。灾害发生之前,沟内分布大面积耕地,沟底地势平缓,沟内植被较发育等条件使得泥石流灾害发育条件具有较高的隐蔽性,灾害排查时未能及时发现,未认识到灾害的潜在性和危害性。因此有必要进行泥石流发育的隐蔽性条件进行分析,有助于隐蔽性灾害条件判定和识别,为今后的灾害排查提供指导,最大程度地防灾减灾^[2]。

如何识别判定泥石流发育的隐蔽性条件,识别出泥石流危险度^[3],成为灾害排查时的极为关注的方面。从 1961 年起,中国学者针对蒋家沟等地泥石流及其降雨条件的观测,提出了依据降雨量的一系列泥石流预报模型。1975 年编写的《工程地质手册》^[4]中简要从地貌、地层岩性、水文地质条件上识别泥石流。梁鑫^[5]等详细阐述了从地形地貌、地层岩性、结构构造及水文地质等条件判别潜在灾害的依据和方法。孙祥杰^[6]提出加强对小范围内局部暴雨的预报以应对暴雨对泥石流的激发。

从现有文献来看,泥石流发育的条件识别主要集中在地形地貌、工程地质条件、水文地质条件以及降雨因素等。本文基于前人研究成果,通过对张家口市涿鹿县岔道河村特大型泥石流发育条件(地形条件、物源条件、水源条件)和形成过程的研究,来分析概括出泥石流灾害的隐蔽性条件。以植被覆盖、沟道松散堆积物厚度、不良地质体发育情况、小流域气候、降雨次序等隐蔽性条件展开综合研究。

1 岔道河泥石流发育特征

1.1 地形地貌条件

岔道河村泥石流沟位于张家口涿鹿县大河南镇

岔道河村东北部,由榆林寺沟(有东、西两条大支沟)、长沟涧两部分构成。三里棚河自沟口穿过(图 1)。沟口的住户房屋两间在泥石流发生时被泥石流冲毁(图 2),家中 3 名女性被泥石流冲走而丧生,房屋的迎向沟口的墙体被泥石流携带的块石砸出直径 1 m 左右的窟窿(图 3),沟口桥梁被冲毁(图 4),沟口堆积大量的块石(图 5),一次冲出方量达 2×10^4 m³,堆积物将三里棚河道堵塞。

泥石流发生前区内植被覆盖率较高,沟内多分布耕地。

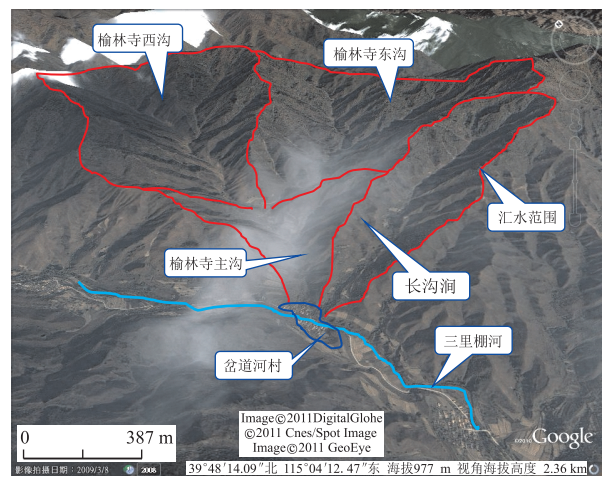


图 1 勘查区的卫星影像图



图 2 泥石流造成房屋损坏(镜向西北)

泥石流所在区域地势东北高西南低,最高山峰在榆林寺沟东西沟的分水岭最高点,海拔高程 1 818 m,最低点位于岔道河泥石流沟口,海拔 890 m,高差 938 m。



图3 房屋墙体被砸出的窟窿(镜向西)



图4 泥石流造成房屋桥梁损坏(镜向东北)



图5 长沟涧泥石流沟堆积区的块石(镜向西南)

长沟涧在平面上呈鸟嘴形,主沟呈东西向,沟口高程 895 m,沟顶高程 1 608.91 m,高差 713.91 m,沟长 2 832 m,沟床纵坡降 252%,沟谷形态呈羽状,流域面积 1.32 km²。长沟涧沟整体较顺直,沟床坡降较大,使得泥石流迅猛直泄,造成了极大的破坏力(图 6、图 7),岔道河村泥石流灾害主要是由长沟涧沟引发。

榆林寺沟在平面上呈扇形,主沟呈近南北向,在中部偏南榆林寺沟分为东沟和西沟,主沟沟口高程 893 m,东西沟交口高程 960 m,东西沟分水岭最高点高程 1 818 m,主沟沟床纵坡降^[7]56%,东沟沟床纵坡降 263%,西沟沟床纵坡降 279%,沟谷形态呈

树枝状,汇水面积 7.921 km²。榆林寺沟东西支沟的沟床坡降大,而汇合后的主沟坡降变小,使得其破坏力降低(图 8、图 9)。

岔道河泥石流沟(长沟涧、榆林寺沟),在地形上特点为:山高沟深,地势陡峻,沟床纵横坡度大,整个沟域只有一个出口,流域的形状便于水流的汇集。形成区的地形呈三面环山一面出口的瓢状^[8],周围山高坡陡,地形上便于水和碎屑物质的集中。流通区的沟谷狭窄顺直,沟床纵坡坡度大,泥石流可以迅猛直泻。自流通区至沟口,沟谷逐渐变窄,出狭窄沟口后为开阔河流,泥石流在此堆积。在地形上为泥石流的发生提供了有利的地形条件。

泥石流灾害长沟涧沟发育情况比榆林寺沟严重,原因是长沟涧沟主沟床坡降大于榆林寺沟的主沟床坡降,而且沟床也较顺直,泥石流更迅猛直泄。

1.2 物源条件

岔道河村泥石流沟域所处地貌单元为火成岩为主的中山小区,其地势陡峭,山脊尖峭,切割强烈,沟谷为峡谷,水系曲折。其物源组成主要为崩塌堆积物^[7]、残坡积物、洪积物、泥石流堆积物^[9]。

在泥石流灾害发生前,长沟涧沟内多分布耕地,农用车可以驶入,山上牧羊较多,沟内有临时居住房屋。

泥石流发生后,沟内徒步进入都很困难,随处可见堆积的块石,基本无分选性,磨圆度差,块石呈棱角状,方量巨大,表层泥石流松散堆积物基本上没有粘粒成分,水土流失极为严重。



图6 长沟涧泥石流沟下游堆积的块石

两条泥石流沟的各类物源统计见表 1~表 4。

表 1 长沟涧总物源量汇总表

物源类型	静储量/m ³	动储量/m ³	总储量/m ³
危岩类	64 454	16 280	80 734
洪积物类	9 675	14 512	24 187
泥石流堆积物类	16 721	25 081	41 802
坡积物类	26 244	17 496	43 740
合计	117 094	73 369	190 463



图 7 长沟涧泥石流流沟中游堆积的块石



图 8 榆林寺东沟中上游堆积的块石



图 9 榆林寺西沟中上游支沟口堆积的块石

表 2 榆林寺主沟总物源量汇总表

物源类型	静储量/m ³	动储量/m ³	总储量/m ³
危岩类	14 716	3 679	18 395
洪积物类	0	4 010	4 010
合计	14 716	7 689	22 405

表 3 榆林寺西沟物源量汇总表

物源类型	静储量/m ³	动储量/m ³	总储量/m ³
危岩类	92 788	30 765	123 553
洪积物类	92 409	61 607	154 016
坡积物类	12 750	6 000	18 750
合计	197 947	98 372	296 319

表 4 榆林寺东沟物源量汇总表

物源类型	静储量/m ³	动储量/m ³	总储量/m ³
危岩类	16 150	4 038	20 188
洪积物类	53 544	35 696	89 240
坡积物类	720	480	1 200
合计	70 414	40 214	110 628

长沟涧泥石流流沟的物源量达 $19 \times 10^4 \text{ m}^3$, 榆林寺主沟物源量为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$, 榆林寺西沟物源量达 $29 \times 10^4 \text{ m}^3$, 榆林寺东沟物源量为 $11 \times 10^4 \text{ m}^3$, 榆林寺沟总物源量达 $42 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

1.3 水源条件

岔道河泥石流流域位于太行山主峰小五台山迎风坡,属于高山森林气候,多年降雨量平均值约 500 mm,多集中在 6~9 月份,约占全年的 80% 左右。山区降雨量受地形影响,雨量分布不均,易在局部形成暴雨。流域(图 10)西南低,东北高,东北边界海拔 1 636~1 828 m,构成该地区分水岭,自西南方向来的水汽沿迎风坡迅速抬升,易在流域内形成暴雨。该区水源^[10,11]主要是大气降水,暴雨是泥石流的激发条件。降水形成的地表水和基岩裂隙水,对坡面的冲刷、入渗增加土体重度、软化土体及岩体、降低其抗剪强度。在沟谷形成的洪流侧蚀、下切沟谷松散土体及由此引起的岸坡崩塌,在强度大的暴雨作用下短时间内汇集,为泥石流提供充足的物源,易激发泥石流。

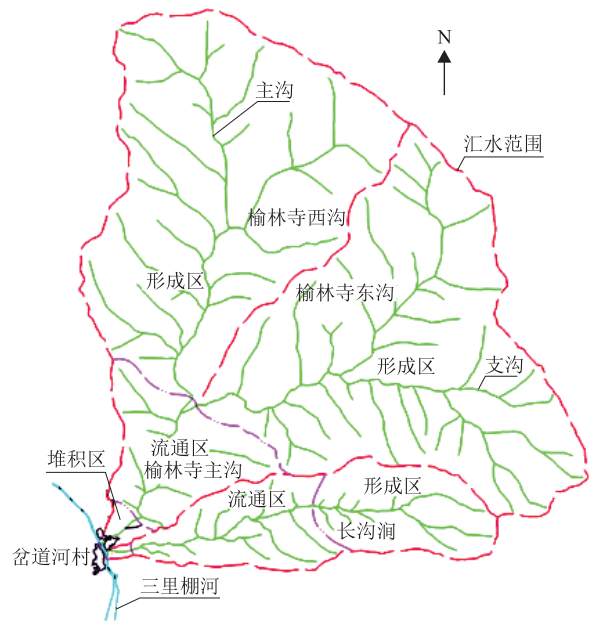


图 10 泥石流流域分区图

2 岔道河泥石流发育隐蔽性条件分析

2.1 植被覆盖率高的隐蔽性条件

通常认为植被较发育的沟域不易发生泥石流,

其实不然,受植被类型根系发育深度的影响,有些植被不能起到水土保持和阻滞泥石流灾害发生的作用,如草类和灌木,灌木草类根系较浅,根系发育深度0.5~1.5 m,而坡脚松散堆积物厚度多在1~2 m,在较大的降雨条件,松散堆积物连同表层植被沿基覆面被水流冲刷携带形成泥石流物源。

研究区植被覆盖率整体较高,形成区受海拔影响的植被类型多为灌木和草类,沟底及坡脚松散堆积物全部启动,为泥石流提供了大量的物源。流通区和堆积区开始出现乔木,植被类型为草灌乔,乔木的发育会减小泥石流的侵蚀,榆林寺沟下游主沟内多分布生长成片的乔木林(杨树林)(图11、图12),减缓了泥石流流速和侵蚀,泥石流携带的固体物质多沿沟道带状堆积,未形成较大的灾害。长沟涧沟内多分布耕地,为季节性农作物植被,受人为耕种影响较大,在雨季作物植被覆盖率很高,但这些植被受耕层厚度(0.2 m)的影响,其水土保持能力更差,耕层及其下部的松散堆积物在发生泥石流时更容易启动成为物源。



图11 榆林寺东沟下游流通区杨树林



图12 榆林寺主沟杨树林可见泥痕

2.2 沟道松散堆积物厚度较大的隐蔽性条件

河北省太行山区泥石流的分布具有一定的规律性。主要分布在西部的中低山区,沟谷相对高差多大于300 m以上的地区、构造裂隙发育带、地震活动带及风化程度较强的地区,并且在风化作用强烈

的变质岩、岩浆岩、碎屑岩区较发育。

沟道内第四系厚度较大,且多分布为耕地,耕地表层约0.2 m厚的耕植层,粘质颗粒较高,下部为碎石块石,泥石流一旦启动,耕植层连同下部碎石块石将全部成为泥石流物源。遇强暴雨时洪水携带沟内松散堆积物向沟口排泄,在长沟涧沟口沟床比降大,自沟口向上产生向源侵蚀,形成水石流。

沟道内有较厚的松散堆积物往往不能直观判断,需要借助山地工程进行勘探。灾害排查时先进行定性的识别,再借助探槽或探井进行定量判定。

2.3 极端降雨的隐蔽性条件

研究区的多年降雨量平均值为500 mm,多集中在6~9月份,约占全年的80%左右。据访问调查在2010年6月17日以前,建国以来没有大河南镇岔道河村暴发泥石流的记录。受多年统计降雨量的影响,认为该区域常年降雨量不足以引发泥石流灾害,忽略了极端降雨条件,在灾害排查时未将该沟列为隐患点进行群策群防。

2011年8月和9月又发生了一次大的降雨,在长沟涧和榆林寺东沟引发洪水,长沟涧内的原有大面积的块碎石堆积物上被重新覆盖一层颗粒较小碎石,同时堆积体向前延伸,与前面的碎石、块石堆积物连成了一体,沟口地段下切2 m左右,堆积扇冲刷出深1.5 m、宽2 m冲沟,榆林寺东沟内的原先分段的堆积物也自沟口到沟头连成了一体。现在沟内已具备了形成泥石流的物源和地形条件,只要具备形成泥石流的水源条件就会再次暴发泥石流。致使岔道河村泥石流沟的暴发频率^[9]发生了变化,已经不再是极低频。

在灾害排查时不能被多年降雨量统计的极值不致灾给蒙蔽,一定要将具备泥石流发育地形条件和物源条件的沟谷给予足够的重视,将其列为隐患点进行群测群防。

2.4 小流域气候的隐蔽性条件

岔道河泥石流沟流域位于太行山主峰小五台山迎风坡,属于高山森林气候,易形成小流域降雨气候^[14]。泥石流所在流域东北高,西南低,东北边界海拔1 636~1 828 m,构成该地区分水岭,受地形影响自西南方向来的水汽沿迎风坡迅速抬升,易在流域内形成暴雨,汛期太行山东麓存在暴雨中心^[14]。且雨量分布不均,易在局部形成暴雨,在地形条件和物源条件都具备的情况下激发泥石流灾害的发生。

在灾害排查时一定要结合当地的地形条件和气象资料,识别和判断小流域气候的非常规降雨对泥石流灾害激发的关键作用。

2.5 降雨次序引发灾害的隐蔽性条件

泥石流的发生取决于降雨强度,但是泥石流暴发前的降雨^[11]又促进了泥石流的发生,泥石流的暴发前的阴雨连绵天气,促使形成区松散堆积物内水分饱和,摩擦力降低,同时也会诱发沟谷两侧破碎岩体塌落。然后是短时集中降雨,将会激发泥石流,如果在降雨时叠加冰雹将更加激发泥石流,冰雹参与到泥石流的启动和流动将减小固体之间的摩擦力,使得冰水、泥、石混合流体流动摩擦力减小。

经近40 a 资料统计表明:河北省泥石流多发生在前期降雨量大于200 mm,一次性降雨量(日降雨量)一般大于160 mm,而激发雨量一般大于80 mm/h 的强降雨条件下^[11]。

据调查,2010年6月16日开始,岔道河附近开始下小雨,2010年6月17日凌晨3点半,岔道河村长沟涧及榆林寺沟突降冰雹强暴雨,历时10~15 min,大部地区冰雹地面堆积厚度5~10 cm,局部地区达15 cm,崩塌堆积物、沟道堆积物以及斜坡残积物在强暴雨及冰雹的激发作用下,顺沟而下,4点左右在长沟涧暴发泥石流。

该泥石流的暴发就是前期小雨连绵后期强暴雨冰雹诱发的。降雨时发生冰雹,冰雹降落到形成区岩石谷坡坡面,由于谷坡坡度大,冰雹弹跳着向下滚落,冰雹和水形成面流沿坡面向沟底汇流,形成区的沟床比降大,冰雹间的摩擦力小,冰雹和水混杂在沟底形成冰水混流,冰水混流迅速向下游流动,在流动过程中带起沟底和沟岸堆积物质,使其加入洪流,在沟道内堆积物数量较大,流通区地形适宜条件下,加速冲向沟口暴发泥石流。

在汛期地灾核排查过程中特别注意长时间降雨,前期为小雨连绵后期变为暴雨,极易发生泥石流灾害。在群测群防传达防灾注意事项时,传达到位,使老百姓理解到位,尽最大可能减小灾害损失程度^[14]。

2.6 不良地质体发育引发泥石流灾害的隐蔽性条件

不良地质体包括崩塌、滑坡等,这些不良地质体在降雨条件下启动将激发泥石流的发生。在该泥石流沟的形成区存在大量的危岩崩塌体(带),降雨使得崩塌危岩裂隙静水压力增大而失稳,发生崩塌。降雨已经使沟道内岩土体饱和时,如果再叠加大规模崩塌,就会激发岩土体震动液化,饱和岩土体和崩塌体混在一起,在滚动的崩塌体和水流的带动下,沿沟道向下游流动,在沟床比降大的条件下,石块、土、水混合物运动逐渐加速,冲向沟口,形成泥石流。

灾害调查和排查时要格外注意沟域内不良地质体的发育情况。详细观察其发育程度、规模及稳定性。

3 结论

通过张家口市涿鹿县岔道河村特大型泥石流的发育条件(地形条件、物源条件、水源条件)和形成过程,来分析概括出泥石流灾害的隐蔽性条件,包括:

(1) 以往观念认为高植被覆盖率不易发生泥石流,其实不然,高植被覆盖率也可能发生泥石流灾害,如果以灌草类植被或是农作物植被为主尤其要注意,此类植被根系不能达到堆积物或风化层厚度以下,不能起到水土保持的作用。

(2) 沟道松散堆积物厚度较大,岩体风化壳厚度大,大量的松散堆积物将为泥石流发生提供物源。

(3) 降雨条件下应综合研究极端降雨条件、小流域气候、降雨量次序,降水次序中特别注意先连绵绵小雨后转大暴雨情况下的灾害防范,即前期降雨时间长,且降雨量使当地土体接近饱和,再有二次降雨或小雨转大雨的情况就要格外留意泥石流灾害的发生。

(4) 不良地质体发育,要对沟域内的不良地质体进行充分的调查,其对泥石流灾害发生的有较大的促进作用。

在泥石流灾害调查和排查时需要注意这些隐蔽的泥石流发育条件,在群测群防中要让当地群众知晓这些隐蔽性条件,最大程度地防灾减灾。

参考文献

- [1] 朱静. 泥石流沟判别与危险程度评价研究[J]. 干旱区地理, 1995, 18(3): 63-71.
- [2] 赵建业, 王旭影. 丰宁县对窝子沟泥石流灾害基本特征及防治建议[J]. 河北地质大学学报, 2019, 42(5): 69-74.
- [3] 刘希林, 唐川, 张松林. 沟谷泥石流危险度评价研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(2): 20-25.
- [4] 《工程地质手册》编写组, 工程地质手册(第一版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1975.
- [5] 梁鑫, 范文, 苏艳军, 等. 秦岭钼矿集中开采区隐蔽性地质灾害早期识别研究[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 208-214.
- [6] 孙祥杰. 泥石流的形成机理与其安全防护措施[J]. 黑龙江科技信息, 2012, (13): 5.
- [7] 余斌, 马煜, 吴雨夫. 汶川地震后四川省绵竹市清平乡文家沟泥石流灾害调查研究[J]. 工程地质学报, 2010, 12(04): 8-9.
- [8] 徐建芳, 武强, 王欣宝. 河北太行山泥石流分布规律及其危险程度评价[J]. 勘察科学技术, 2003, (3): 18-22.
- [9] 柴艳. 河北省太行山区泥石流灾害的分类及预测模型的研究[D]. 石家庄: 石家庄经济学院, 2011.

- [10] 高素琴. 浅谈河北省土石山区泥石流成灾原因与防治措施[J]. 河北水利科技, 2001, 22(3): 1-3.
- [11] 管建军, 王俊豪, 王双厅, 等. 无人机倾斜摄影在黄土地区泥石流灾害调查与评价中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(4): 137-145.
- [12] 中华人民共和国国土资源部. 泥石流灾害防治工程勘查规范 (DZ/T 0220-2006)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [13] 王振华, 赵金召, 张冀鲁, 等. 崇礼县泥石流地质灾害形成机制和易发性分析研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2020, 31(04): 21-25.
- [14] 魏风华, 尤凤春, 张树刚, 等. 河北省地质灾害分布特征及预报[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(2): 123-125.

作者简介: 庾乐彬(1994—), 男, 河北石家庄人, 助理工程师, 工学学士, 主要研究方向为水文地质、环境地质、工程地质。
E-mail: 854703520@qq.com

通讯作者: 王振华(1985—), 男, 河北邯郸人, 高级工程师, 工学学士, 主要研究方向为水文地质、环境地质、工程地质。
E-mail: 910924505@qq.com

《地质灾害与环境保护》征订启事

本刊主管单位: 四川省教育厅; 主办单位: 成都理工大学、地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室。学术性期刊, 季刊。1990 年创刊, 国内外公开发行人。大 16 开, 每期 112 页, 约 22 万字。欢迎订阅。

定价: 2008~2024 年每期定价 15 元, 全年 4 期, 年定价 60 元; 2005~2007 年每期定价 10 元, 全年 4 期, 年定价 40 元; 1991~2004 年过刊每套定价 154 元(包括: 总第 3 期~总 28, 30~53 期, 计 42 册); 也可分年分期选订: 1991~1993 年, 半年刊, 每册定价 1.00 元; 1994~1997 年, 季刊, 每册定价 2.00 元; 1998~1999 年, 季刊, 每册定价 3.00 元; 2000~2001 年, 季刊, 每册定价 4.00 元; 2002~2004 年, 季刊, 每册定价 5.00 元。

订阅办法

- 2000 年起开始邮发, 邮发代号 62-140, 可在全国各地邮局订阅。
- 本刊已参加“全国非邮发报刊联合征订”, 代号 5314 号。
- 向本刊编辑部订阅: 请用邮局汇款。收款单位: 《地质灾害与环境保护》编辑部。
地址: 成都市成华区二仙桥东三路 1 号 成都理工大学; 邮政编码: 610059。
编辑部联系电话: (028)84078481。

《地质灾害与环境保护》编辑部

2024 年 3 月 25 日