维普资讯 http://www.cqvip.com

延安市宝塔区崩滑地质灾害发育特征与分布规律初探

张茂省，校培喜，魏兴丽
（中国地质调查局西安地质调查中心，西安 710054）

摘要：宝塔区地质灾害发育特征是数量多、密度高、变形模数大，规模以中小型为主。滑坡平面形态典型、剪出口高，基本力学模式简单；崩塌规模小、危害大、变形模式多样；不稳定斜坡坡度跨度大、坡形以直线型为主，潜在危害严重；诱发因素清楚、宏观前兆相对明显、可预防性较强。地质灾害在空间上集中分布在四区和三带内，在时间上集中在雨季。

关键词：黄土高原；地质灾害；发育特征；分布规律
中图分类号：P642.13⁺1；P642.21；P642.22 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-3665(2006)06-0072-03

宝塔区位于陕北黄土高原中部，区内黄土堆积厚度较大，黄土结构疏松，水土流失严重，沟壑纵横，地形破碎，人类工程活动强烈，滑坡、崩塌等地质灾害频发[1~3]。本文以宝塔区地质灾害详细调查为基础，在调查与区划基础上，以现代地质灾害理论为指导，以高精度遥感解译、地面调查和测绘为主要手段，采用专业调查与地方政府部门参与相结合的方法，旨在查明地质灾害及其隐患的分布、环境地质条件和发育特征，开展地质灾害风险评估和气象预警区划，为减灾防灾提供基础依据。

1 地质灾害种类

调查区突发性地质灾害包括滑坡、崩塌、泥石流和地面塌陷[4~6]。由于本区泥石流多为稀性泥流，无堆积区和堆积物，本次没有专门调查；地面塌陷仅在北部矿区零星存在，也未加叙述。本次野外调查地质灾害点共 396 处，滑坡、崩塌和不稳定斜坡（包括滑坡型和崩塌型）分别占灾害点总数的 74.0%，13.2% 和 12.8%。

1.1 滑坡

区内滑坡均为黄土滑坡。黄土滑坡按滑面发育位置可分为黄土层内滑坡、倾斜古土壤面滑坡、黄土－基岩接触面滑坡和红粘土顶面滑坡四种类型[7~8]。黄土层内滑坡分布较为普遍，滑面位于黄土层内，一般切穿数层近于水平的古土壤层，如宝塔山滑坡、柳林镇何庄水库滑坡（图 1）；倾斜古土壤面滑坡分布也较为普遍，由于古土壤层的产状继承了古地形的特征，常常形成古土壤层顺向坡，古土壤与黄土间构成软弱结构面，在降雨或人为作用下，沿倾斜的古土壤面产生滑动（图 2）；黄土－基岩接触面滑坡的数量最多，区内侏罗纪基岩出露较高，基岩产状近于水平，强度远高于黄土，黄土破坏滑动后，前缘受阻，沿着基岩顶面滑动，如青化砭镇小蒜沟滑坡（图 3）；红粘土顶面滑坡即沿着新近纪红粘土层面或层内滑动的滑坡，由于区内新近纪红粘土仅零星分布，所以该类滑坡分布较少（图 4）。

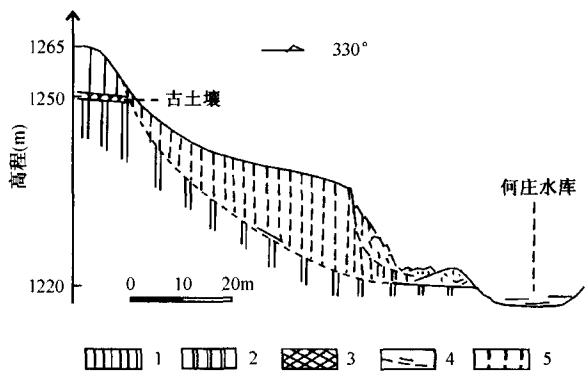


图 1 柳林镇何庄水库黄土层内滑坡剖面图

Fig.1 Cross-section of the loess landslide in Hezhuang reservoir, Liuling

1—Q_3 黄土；2—Q_2 黄土；3—古土壤；4—滑动面；5—亚粘土

滑坡多为中－浅层滑坡，滑体厚度一般在 3~20m，其中浅层滑坡 182 处，中层滑坡 106 处，大于 25m 的深层滑坡 5 处，分别占地面调查滑坡点数的 62.1%，36.2%，1.7%。区内大型滑坡 45 处，中型 157 处，小型 92 处，分别占地面调查滑坡点数的 15%，53.6%，31.4%。滑坡以古滑坡和老滑坡为主，占滑坡总数的 95%。新滑坡仅 13 处，其发生均与人类工程活动有

收稿日期：2006-06-02；**修订日期**：2006-07-03
基金项目：国土资源大调查项目(121010541106-3)
作者简介：张茂省(1962-)，男，陕西乾县人，研究员，长期从事水工环地质调查与研究。
E-mail:xazmaosheng@cgs.gov.cn

维普资讯 http://www.cqvip.com

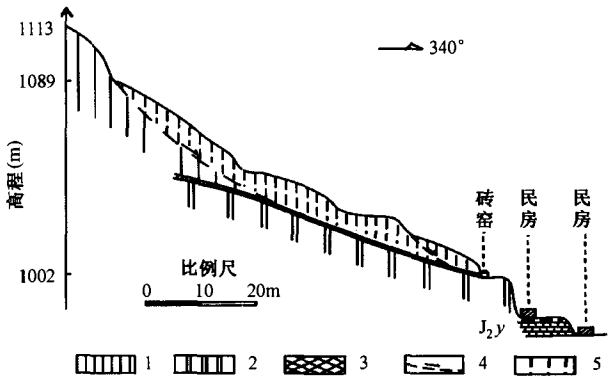


图 2　柳林镇东七里铺古土壤滑面滑坡剖面图

Fig.2　Cross-section of the landslide in paleosoil in Qilipu, Liuling

1—Q_3 黄土;2—Q_2 黄土;3—古土壤;4—滑动面;5—亚粘土

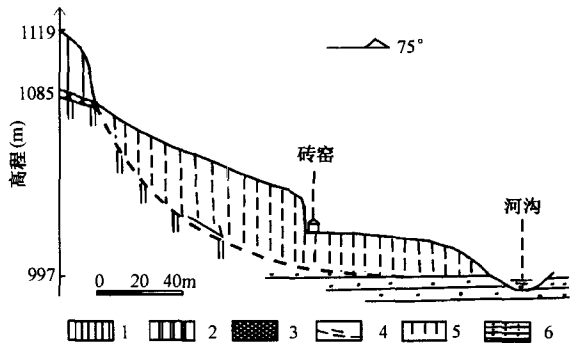


图 3　青化砭镇小蒜沟黄土－基岩接触面滑坡剖面图

Fig.3　Cross-section of the landslide over the interface of loess and bedrock in the Xiaosuan gulley, Qinghuabian

1—Q_3 黄土;2—Q_2 黄土;3—古土壤;4—滑动面;5—亚粘土;6—砂岩

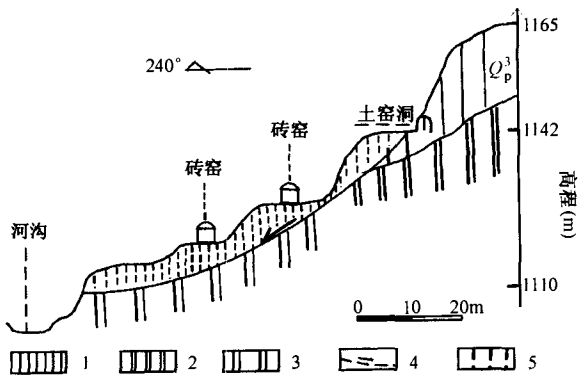


图 4　桥儿沟镇烟洞沟红粘土顶面滑坡剖面图

Fig.4　Cross-section of the landslide in the red clay in the Yandong gulley, Qiao'ergou

1—Q_3 黄土;2—Q_2 黄土;3—红粘土;4—滑动面;5—亚粘土

关,均属工程滑坡,主要为削坡、斩坡引起,多属牵引式滑坡。

1.2　崩塌

崩塌调查点 52 处,其中黄土崩塌 49 处,基岩崩塌 3 处。

大型崩塌 6 处,中型崩塌 27 处,分别占崩塌总数的 51.9%;小型崩塌 19 处,占崩塌总数的 11.52%,51.9%,36.6%。

基岩崩塌以倾倒式为主,坡面卸荷裂隙对基岩崩塌的产生和斜坡变形破坏具显著作用;黄土崩塌以错落(滑移)式和倾倒式为主。

2　地质灾害发育特征

2.1　崩塌滑坡数量多、密度高、变形模数大,规模以中小型为主

调查区面积 3 556km^2,遥感解译和野外调查共发现滑坡、崩塌及各类斜坡变形点达 1 069 处,平均点密度达 0.301 处/km^2。其中滑坡点 964 处,密度 0.271 处/km^2;崩塌点 52 处,密度 0.015 处/km^2;不稳定斜坡点 53 处,密度 0.015 处/km^2。具有灾害数量多,密度高,变形模数大的特点。调查的中小型滑坡、崩塌占总数的 85.0%和 88.5%,具有规模以中小型为主的特征。

2.2　滑坡平面形态典型、剪出口高,力学模式简单

调查区内滑坡平面形态具有明显的圈椅状形态,后缘滑壁保留一般较完好,滑体滑移特征明显,部分滑坡具有典型的双沟同源现象。滑床、滑带完整,由于下伏基岩的限制,倾覆的古土壤和新近系红土等易滑地层的存在,导致区内滑坡的剪出口位置相对较高,一般未及沟谷底部。

调查区滑坡力学模式以牵引式为主,即绝大多数滑坡属于前部受人类不合理工程活动以及河流侧蚀影响,在前部产生临空和变形,牵引后部土体变形破坏;推移式滑坡分布较少。

2.3　崩塌规模小、危害大,变形模式多样

调查的崩塌点数量相对较少(规模较小者未调查),共调查 52 处,以黄土崩塌为主,在延河的深切河谷段,分布有基岩崩塌。崩塌规模虽无大型,但是由于瞬间发生,速度快,不易躲避,因此造成的危害很大,尤其是区内窑洞数量较多,人为不合理地改变了坡体的形态,致使坡体应力发生变化,局部应力集中,常常导致崩塌发生,造成较严重的灾害。黄土崩塌变形模式存在倾倒式、鼓胀式、滑移式和错落式等四种类型,基岩崩塌主要存在倾倒式和拉裂式两种类型。

2.4　不稳定斜坡坡度跨度大、坡形以直线型为主,潜在危害严重

维普资讯 http://www.cqvip.com

调查区不稳定斜坡统计结果表明，不稳定斜坡坡度跨度较大(40 ~ 90°)。在不稳定斜坡中，阶形坡占37.2%，直线型坡占49.0%，凹形坡占2.0%，凸形坡占11.8%，直线型和阶型坡所占比例明显较高。不稳定斜坡变形模式既有滑坡的变形模式，也有崩塌的变形模式，加之其分布较广和发生的不确定性，导致潜在危害严重。

2.5 诱发因素清楚、宏观前兆明显、可预防性较强

在地质灾害的控制与影响因素中，地形、地貌、地层岩性、地质构造、斜坡类型、植被以及地下水等一般变化较小，降雨和人类工程活动则是最活跃的因素。区内近年发生滑坡和崩塌频次与多年月平均降水量呈明显的正相关关系；13 处滑坡中有 10 处与削坡建窑(房)有关，2 处与公路铁路建设有关，1 处由水利工程引发；16 个崩塌灾害点，有 9 处是与建窑(房)削坡过陡有关，7 处与公路建设边坡处理不当有关。地质灾害发生前常有某些易为人类感知的斜坡变形或其它伴生现象(后缘拉张和前缘鼓起、变形破坏的声音、房屋窑洞裂缝等)。

3 地质灾害分布规律

3.1 空间分布规律

地质灾害分布规律是其控制与影响因素及其形成机理的综合体现。区内地质灾害分布规律严格受自然地质条件和人为因素双重制约，有相对集中和条带状展布的特点。

区内地质灾害主要集中分布在四个区和三个带内(图 5)。四个区分别是Ⅰ - 张坪区、Ⅱ - 枣园区、Ⅲ - 城区、Ⅳ - 柳林区，三带是Ⅴ - 马四川带、Ⅵ - 蟠龙川带、Ⅶ - 延河带。四区三带占全区总面积的 1/3，而灾点占总数的 88%。

3.2 时间分布规律

延安市宝塔区 2000 ~ 2004 年发生的 13 次新滑坡和 16 次崩塌，其发生频次均与 2000 ~ 2004 年月平均降水量呈良好的正比关系，滑坡、崩塌集中发生在 6 ~ 9 月份的雨季，集中降雨是其主要诱发因素之一。

4 结论

(1)本次试点调查中充分发挥遥感影像视域广阔、宏观性强、时效性好、信息量丰富等优势，始终重视地质灾害及其隐患的形成地质条件，地质灾害发育与分布规律以及形成机理的调查。笔者认为，本次调查所采用的技术方法是可行的，详细调查成果必将在宝塔区地质灾害防治中起到重要的作用，有必要在我国地质灾害多发区全面开展地质灾害详细调查。

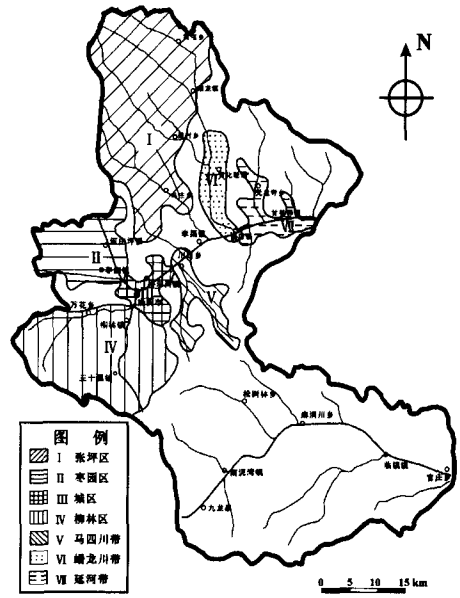


图 5 延安市宝塔区地质灾害多发区分布图

Fig.5 Distribution of area prone to geo-hazard in Baota district, Yan'an

(2)降雨和人类不合理工程活动的双重作用，是诱发黄土高原区地质灾害的最积极因素。只有增强防灾减灾意识，规范人类工程活动，杜绝不合理的工程活动，才能避免或有效地控制地质灾害的发生。如何针对工程类型和地质环境特征提出一套能够避免或控制地质灾害发生的设计与施工指标，将是进一步深入研究的课题。

参考文献：

[1] 张宗祜. 中国黄土[M]. 石家庄：河北教育出版社，2003.

[2] 孙建中. 黄土学[M]. 香港：香港考古学会，2005.

[3] 王景明. 黄土构造节理的理论及其应用[M]. 北京：中国水利水电出版社，1996.

[4] 马寅生. 黄河上游新构造活动与地质灾害风险评价[M]. 北京：地质出版社，2003.

[5] 刘玉海，张俊，倪万魁，等. 延安城市工程地质[M]. 北京：中国地质大学出版社，1988.

[6] 张宗祜. 黄土高原区域环境地质问题及治理[M]. 北京：科学出版社，1996.

[7] 吴玮江，王念秦. 黄土滑坡的基本类型与活动特征[J]. 中国地质灾害与防治学报，2002,13(2)：36 - 40.

[8] 杨涛，周德培. 考虑层间作用的多层滑坡分析方法[J]. 岩石力学与工程学报，2005,24(7)：1 129 - 1 133.

(下转第 79 页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

An experiment study of monitoring sinkhole collapse by using BOTDR optical fiber sensing technique

JIANG Xiao-zhen[1,2], LEI Ming-tang[2], CHEN Yuan[3], GE Jie[4]

(1. *China University of geosciences, Beijing* 100083, *China*; 2. *Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin* 541004, *China*; 3. *Yokogawa Shanghai Traning Co., LTD, Shanghai* 200120, *China*; 4. *Shanghai Optoelectronic Sensor Equipment Co., LTD, Shanghai* 200233, *China*)

Abstract: As a distributed and real time monitor technique, BOTDR gives engineers a great expectation to carry out monitoring and prediction of sinkhole collapse in covered karst areas. This paper introduces the application of BOTDR to measurement of the process of sinkhole collapse in a large-scale modeling experiment. In the test, sinkholes are induced by karst water drainage, and the real time strain change of the optical fiber and soil breakage are measured. In order to analyze the final position of the optical fibers and their relation to the soil deformation, a soil section with optical fibers was excavated after the test. The results show that ① the position of peak strain in optical fibers corresponds to the area of disturbance and cavern formation in the soil, ② the change of optical fiber strain in different soil layers indicates the vertical boundary of disturbed area in soil, ③ the time series of optical fiber strain shows the progress of soil disturbed area formation, and ④ the BOTDR will become a reliable function to monitoring and predicting sinkhole collapse or subsidence, especially along the linear infrastructure constructions, such as highway and railway.

Key words: BOTDR; optical fiber; sinkhole collapse; monitor; modeling experiment

编辑:汪美华

(上接第 74 页)

A preliminary discussion of the occurrence of landslide in the Baota district of Yan'an City

ZHANG Mao-sheng, XIAO Pei-xi, WEI Xing-li

(*Xi'an Geological Survey Center, China Geological Survey, Xi'an* 710054, *China*)

Abstract: A detailed survey in the Baota district, Yan'an City indicates that the landslide are numerous in amount and are of high density and great distortion modulus, and most of the geological disasters are of medium-size. The plane shape of the landslides is very typical, with a high cut-way-out and a simple basic mechanic pattern. As for landslips, they are characterized by small-scale, dangerous and diversiform distortion pattern. The gradient span of instable slopes is very wide and their figures give priority to linearity. Instable slopes are of high potential danger. The inducement of the landslides is clear, and their macroscopical portent is visible correspondingly. Thus, they may be prevented easily. Landslides occur mainly in 4 areas and 3 belts in linear or gibbous high-steep slopes, easily glided lithology combination positions or easily falling stratum, riversides, fracture-developed places, and northern areas of sparse vegetation. In addition, landslides often occur in rainy seasons.

Key words: loess; geology hazards; developing character; distributing rule

编辑:汪美华