

# 甘肃省引洮工程泥石流地质灾害调查现状及防治对策

丑永魁, 张 翔

(甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**引洮工程是甘肃省中部地区扶贫开发的重点项目之一, 是以洮河九甸峡水利枢纽工程为水源, 重点解决甘肃省中部干旱地区缺水问题。该项目行政区划上涉及卓尼、临洮、渭源、定西、陇西和榆中等 6 县, 工程涉及范围跨西秦岭山地、陇西黄土高原和马衔山—兴隆山山地 3 大地貌单元, 主要地质灾害类型为崩塌、滑坡、泥石流、黄土湿陷等, 地质环境条件复杂。本文通过大量的野外观察与现场调查, 对评估区主要地质灾害之一泥石流进行了评估, 结合供水工程主要为线性工程和泥石流分布特点, 将其评估范围向渠道两侧适度扩展, 最后提出了相应的灾害防治措施。

**关键词:**泥石流; 地质灾害; 地质灾害评价; 引洮工程

**中图分类号:**P642.23 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)05-0077-04

**Investigation Status and Control Countermeasures of the Debris Flow Geological Hazard for Tao River Water Diversion Project of Gansu Province/CHOU Yong-kui, ZHANG Xiang** (Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730000, China)

**Abstract:** Tao River water diversion is one of the most important projects of poverty alleviation and development in central Gansu during “The Tenth Five-Year Plan” period, with Jiudianxia water control project of Taohe River as the source of water, the water shortage in arid region in central Gansu is focused on. The administrative division of this project involves 6 counties of Zhuoni, Lintao, Wei yuan, Dingxi, Longxi and Yuzhong and the project includes 3 major landform units across mountain area of West Qinling, Longxi loess plateau and mountain area of Maxian mountain-Xinglong mountain. The geological condition is quite complicated with main geological hazards of collapse, landslide, debris flow and loess collapsibility. In this paper, the evaluation is carried out on debris flow, one of the main geological hazards, through lots of filed observation and in-situ investigation, and combined with the characteristics of linear engineering and debris flow distribution in this water supply project, the evaluation range is extended at both sides of the channel, the corresponding measures of hazard prevention and control are put forward.

**Key words:** debris flow; geological hazard; geological hazard assessment; Tao River water diversion project

甘肃省中部的定西、陇西、榆中等地区地处黄土高原腹地, 气候干燥, 降雨稀少, 植被稀疏, 生态环境持续恶化<sup>[1]</sup>, 水资源的严重匮乏成为限制当地经济社会发展“瓶颈”。随着该地区社会经济的进一步发展, 对水资源的需求将不断增加, 因此水资源的供需矛盾将更加突出。为缓解该区水资源供需矛盾的现状, 20 世纪 80 年代以来, 经专家规划设计, 对比论证, 提出从洮河中游筑坝引水(引洮工程), 从而解决甘肃省中长期水资源短缺的问题<sup>[2-3]</sup>。

引洮工程是甘肃省中部地区扶贫开发的重点项目之一。该工程是以洮河九甸峡水利枢纽工程为水源, 以引洮供水工程为纽带, 该项目行政区划上涉及卓尼、临洮、渭源、定西、陇西和榆中等 6 县, 地跨西秦岭山地、陇西黄土高原和马衔山—兴隆山山地 3 大地貌单元, 地层岩性多变、地质环境条件复杂及各

类地质灾害频发, 尤其是泥石流灾害, 势必会对引洮工程的建设、运行及维护造成各种各样的困难。本文通过大量的野外观察与现场调查, 分别对评估区主要地质灾害之一——泥石流进行了评估, 结合供水工程主要为线性工程和泥石流分布特点, 将其评估范围向渠道两侧适度扩展, 最后提出了相应的灾害防治建议。

## 1 评估区气象背景

本区地形总体上为西高东低, 南、北高而中部低, 西秦岭横亘于南, 马衔山斜插于北, 中部为波状起伏的陇西黄土高原。海拔 1700~2400 m, 面积约为 5861 km<sup>2</sup>。参见图 1。

该区气候大陆性明显, 多年平均气温 5.7~7.7℃, 多年平均降水量 400~561 mm, 历年最大降水量

收稿日期: 2017-10-27; 修回日期: 2018-05-03

基金项目: 国家“十五”期间甘肃省中部地区扶贫开发重点项目

作者简介: 丑永魁, 男, 汉族, 1964 年生, 从事基础地质、工程地质勘察工作, 甘肃省兰州市城关区红星巷 123 号, 916685598@qq.com。

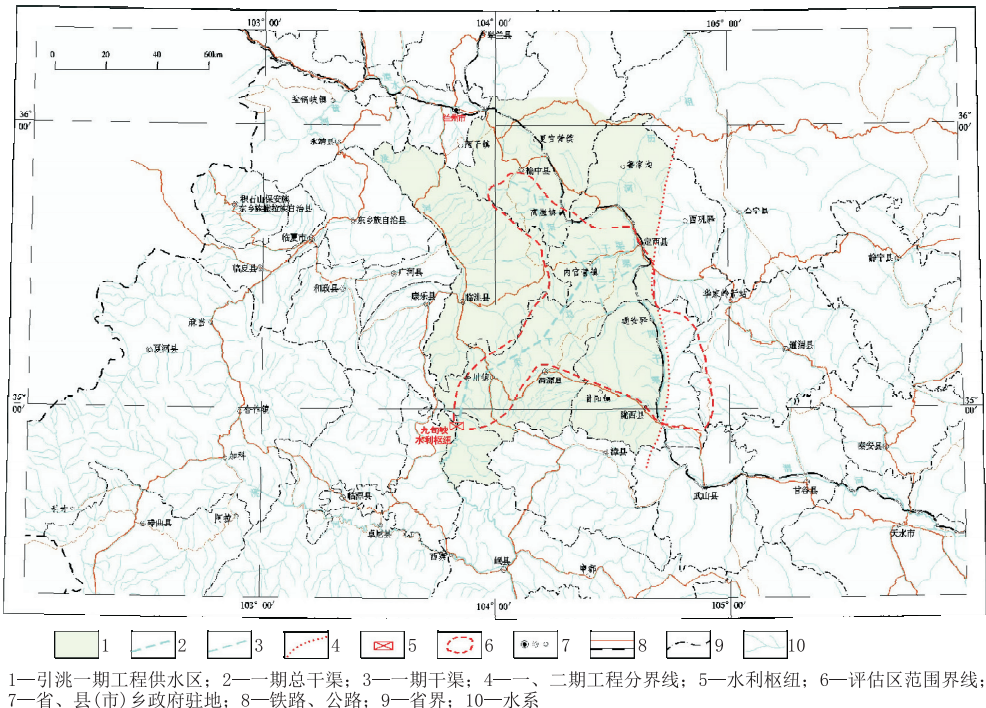


图 1 引洮工程区域位置简图

607.3~801.5 mm,多集中在 6—9 月,占全年降水量的 60%~70%,且多以大雨、暴雨为主,多年平均蒸发量 1259.3~1526.3 mm,相对湿度 66%~68%

(表 1)。区内降水总的特点是由西南向东北逐渐递减,由渠首的 650 mm 至北部榆中一带递减为 400 mm 左右。

表 1 引洮工程区域气象要素统计

| 站名 | 多年平均气温/℃ | 多年平均降水量/mm | 历年最大降水量/mm | 相对湿度/% | 多年平均蒸发量/mm | 历年极端最高气温/℃ | 历年极端最低气温/℃ | 多年平均风速/(m·s <sup>-1</sup> ) | 多年平均日照时数/h | 历年最大冻土深度/cm | 历年最大积雪深度/cm |
|----|----------|------------|------------|--------|------------|------------|------------|-----------------------------|------------|-------------|-------------|
| 临洮 | 7.0      | 561        | 801.5      | 67     | 1259.3     | 34.6       | -29.6      | 1.3                         | 2437.9     | 82          | 14          |
| 榆中 | 6.6      | 400        | 607.3      | 66     | 1406.8     | 34.5       | -27.2      | 1.5                         | 2665.9     | 118         | 16          |
| 定西 | 6.3      | 419        | 721.8      | 66     | 1526.3     | 34.3       | -27.1      | 1.8                         | 2500.1     | 97          | 17          |
| 渭源 | 5.7      | 522        | 793.0      | 68     | 1441.9     | 33.3       | -22.9      | 2.4                         | 2421.1     | 91          | 25          |
| 陇西 | 7.7      | 449        | 607.3      | 68     | 1440.7     | 35.9       | -26.9      | 1.4                         | 2292.0     | 94          | 14          |

2 泥石流灾害成因分析

陡峭的地形、丰富的松散固体物质和充沛的水源是泥石流形成的基本要素<sup>[4-10]</sup>。

2.1 地形条件

该区地貌类型为黄土丘陵、梁峁沟壑和基岩中山,沟谷纵横、切割强烈、地形陡峭,沟谷切割密度为 2.1~4.8 km/km<sup>2</sup>。大多数沟谷流域形态呈“瓢形”、“桃叶形”,利于清水汇集和固体物质的起动。据统计,流域面积<10 km<sup>2</sup> 的占 62.6%,以小流域为主;沟岸岸坡坡度>25°的面积占 61.5%以上;沟床纵坡降>52‰的占 60.5%(表 2),显然评估区地形条件利于泥石流的形成。

2.2 松散固体物质条件

表 2 泥石流沟地形要素统计

| 流域面积/km <sup>2</sup> | 泥石流沟/条 | 百分比/% | 山坡坡度/(°) | 泥石流沟/条 | 百分比/% | 主沟纵坡/‰  | 泥石流沟/条 | 百分比/% |
|----------------------|--------|-------|----------|--------|-------|---------|--------|-------|
| 0.2~5                | 41     | 45.0  | >32      | 18     | 19.8  | >213    | 2      | 2.2   |
| 5~10                 | 16     | 17.6  | 32~25    | 38     | 41.7  | 213~105 | 23     | 25.3  |
| 0.2 以下, 10~100       | 31     | 34.1  | 25~15    | 27     | 29.7  | 105~52  | 30     | 33.0  |
| >100                 | 3      | 3.3   | <15      | 8      | 8.8   | <52     | 36     | 39.5  |

区内以软弱岩土为主,大量的滑坡、崩塌、泻溜等重力堆积物以及斜坡开垦、工程建设的弃土弃渣,为泥石流的形成提供了充足的松散固体物质来源。根据对 91 条泥石流沟的统计,本区泥石流松散固体物质储量>10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> 以上的占 60.4%(表 3),由于本区一年中 3/4 的时间属于旱季,因而雨季

过后有足够的时间积累松散固体物质,为泥石流的发育提供了有利条件。

表 3 泥石流固体物质要素补给

| 岩 性            | 泥石流<br>沟/条 | 百分<br>比/% | 松散物质储量/<br>( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ ) | 泥石流<br>沟/条 | 百分<br>比/% |
|----------------|------------|-----------|--------------------------------------------------------|------------|-----------|
| 软岩、黄土          | 81         | 89.0      | $>10$                                                  | 55         | 60.4      |
| 软硬相间           | 6          | 6.6       | $5 \sim 10$                                            | 4          | 4.4       |
| 风化和节理<br>发育的硬岩 | 4          | 4.4       | $1 \sim 5$                                             | 9          | 9.9       |
| 硬岩             |            |           | $<1$                                                   | 23         | 25.3      |

### 2.3 降水条件

本区泥石流的形成以暴雨为主要水源,因此降水强度的大小与泥石流的形成密切相关。评估区泥石流的成灾雨强度为  $30 \text{ mm/d}$ 、 $15 \text{ mm/h}$  和  $6 \text{ mm/h}_{1/6}$ 。根据区内各气象站资料统计,其各项指标均超过或基本达到成灾雨强度,尤其是峡口,首阳地区。

综上所述,该区具备泥石流发生的主要基本要素,因此泥石流的发生频率较大,破坏能力较强,直接威胁到人民群众的生命财产安全。

## 3 泥石流特征值及分布特点

### 3.1 泥石流流量计算

本次采用雨洪法计算泥石流流量,根据原铁道部第一勘察设计院小流域暴雨洪峰流量计算方法计算百年一遇暴雨洪峰清水流量。根据评估区地形地貌和植被特征,分为 2 个区计算,即秦祁河以东的黄土丘陵区 and 以西的石质山区。

### 3.2 泥石流规模计算

泥石流规模按照一次最大冲出量来划分。本次采用径流折算法概算。评估区各主要泥石流沟中,大型泥石流 4 条,占 4.4%;中型泥石流 29 条,占 31.95%;小型泥石流 58 条,占 63.7%。

### 3.3 泥石流分布特点

受地形、岩性和降水条件的控制,本区泥石流的分布表现出明显的空间和时间上的差异性特征。

#### 3.3.1 泥石流的空间分布特点

(1)受降水和地貌控制,泥石流的分布密度和暴发频率东部大于西部、南部大于北部。渭河源头支流秦祁河及大咸河流域是本区泥石流最为发育的地段,也是渭河流域泥石流最发育的地区之一;西秦岭山地和马衔山山地一带泥石流发育密度较小,中部的广大地区泥石流发育密度则介于二者之间。根据统计结果,秦祁河及大咸河流域沟谷型泥石流的分布密度  $>10$  条/20 km;东峪沟及关川河流域泥石流

分布密度为 4~7 条/20 km,马衔山山前及漫坝河流域泥石流分布密度则少于 4 条/20 km。泥石流的暴发频率以秦祁河流域为最高,为 2~3 年一次,较大支沟甚至每年暴发数次。评估区其余地段泥石流暴发频率较低,一般几年甚至十几年发生一次。

(2)泥石流的空间分布受地层条件控制而略显差异。本区的秦祁河、大咸河中下游、关川河等流域,均为黄土丘陵地带。多分布黄土和新第三系红层,因而多发育泥石流,其中秦祁河流域以粘性泥石流为主,大咸河流域、关川河流域则以稀性泥石流为主。根据调查,秦祁河流域北寨等地暴发的粘性泥石流,一般重度均在  $18 \text{ kN/m}^3$ ,堆积物中含有大量的泥球。在内官盆地山前、榆中盆地以及大咸河上游流域,岩土体类型多以软硬岩相间为主,因而多发育泥石流,如内官盆地丁家峡、李家峡等沟谷暴发的泥石流,冲出的块石直径达 4~5 m;而在西秦岭、兴隆山、马衔山山地南部地区以硬岩为主且植被覆盖率较高的地段,一般发育水石流或洪水,偶发泥石流。

#### 3.3.2 泥石流的时间分布特征

降水多的年份或年内雨量集中的年份为泥石流的多发年份。评估区泥石流以暴雨型为主,暴雨多集中于 7—9 月,而泥石流的发生则主要集中于此期间,约占全部泥石流暴发频率的 90% 以上。评估区泥石流的暴发存在 3~5 年的周期,个别沟谷甚至一年暴发几次。

#### 3.3.3 泥石流危害特征

根据引洮工程的走经和区域内泥石流的发育特征,泥石流对引洮工程的危害方式主要为冲毁、淹埋等。一旦泥石流形成灾害,将直接影响引洮工程的正常运行。危害程度严重,危险性大。

## 4 泥石流的防治对策

对泥石流灾害的防治,应遵循“预防为主、防治结合”的原则<sup>[11-15]</sup>,根据以泥石流对渠道的危害特征和泥石流固体物质的堆积特征,结合拟建工程布置特点,区内诱发或加剧泥石流的主要因素为:隧洞、明渠、暗渠的开挖,渡槽架设,道路建设,料石场开挖,产生大量的弃土、弃渣;工程建设对周围环境的扰动、挖损、压埋及振动等作用,诱发崩滑体或大量松散物质。根据对评估区泥石流沟谷的调查,结合拟建工程布置特点,提出如下防治措施。

### 4.1 减少扰动,合理堆放弃土、弃渣

本次工程总弃渣量为  $3479.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其中总干渠弃渣量  $584.03 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,干渠弃渣量 1328.27



$\times 10^4 \text{ m}^3$ , 支渠弃渣量  $1427.49 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。固体物质质量非常大, 应将弃土弃渣堆放在台阶处, 避免堆放在沟道内, 预防泥石流的发生。

**4.2 采用避让措施, 利用渡槽、倒虹吸、涵洞等工程, 防止泥石流对渠系的直接危害**

对渠道通过泥石流沟谷的地段, 应设计符合标准的渡槽、倒虹吸、涵洞等工程, 防御泥石流的危害。根据泥石流与渠系工程的关系, 主要提出以下防治措施。

#### 4.2.1 渡槽工程

对于总干渠的渡槽工程, 为防御泥石流的冲击、冲刷等危害, 建议采用排架支承型式, 下部为现浇 C20 钢筋砼的空心墩, 墩顶上设排架的组合结构形式, 排架、空心墩基础须置于砂砾石层或基岩之上, 对黄土等软弱层较厚的地基均采用现浇砼井桩基础, 持力层亦为砂砾石或基岩, 空心墩均置于冲刷深度以下。对于干渠、支渠涉及的渡槽工程, 架空高度  $< 15 \text{ m}$  的, 采用单排架支承型式, 架空高度  $> 15 \text{ m}$  的, 采用双排架支承型式。对于架空高度  $> 20 \text{ m}$  的, 采用空心墩, 以提高抗冲刷、冲击能力。当渡槽位于泥石流的堆积区时, 应预留足够的排架净空高度, 防止因泥石流的淤积导致泻洪不畅形成灾害。

#### 4.2.2 倒虹吸工程

当渠线所跨沟道呈宽浅式, 泥石流流量大, 地基条件不良等条件时, 应采用倒虹吸工程, 管桥支架采用排架型式, 尽量采取大跨度, 减少墩基对泥石流阻挡。

#### 4.2.3 暗渠工程

对于顶部低于沟道者, 在工程完成后回填恢复原沟道即可。高于沟底时用浆砌石将暗渠顶部做成滚水坝, 上下游做齿墙, 下游抛大块石抗冲。

#### 4.2.4 明渠工程

外侧采用浆砌石重力式挡土墙, 尤其注意傍山渠道的衬砌与施工。

#### 4.2.5 涵洞、涵管工程

对于渠道跨越天然河道、冲沟时均设置立体交叉排洪建筑物, 以保证洪水、泥石流的顺畅通行, 保护渠道安全, 如涵洞、涵管、排洪渡槽等。

### 4.3 布置拦挡工程

在泥石流的形成区布置拦挡工程, 将固体物质拦蓄在沟道内, 减少泥石流重度, 减轻泥石流对渠道的冲击作用。

### 4.4 生物与工程措施

积极结合当地的农业、林业等措施, 采取生物措施和工程措施相结合的方法, 对泥石流进行综合治

理。生物措施主要包括在坡度  $25^\circ$  以上坡耕地进行退耕还林, 种树种草。工程措施主要为坡改梯、修建各类拦挡工程, 如谷坊、浆砌石坝、淤地坝等。

## 5 结语

(1) 泥石流灾害是引洮工程沿线中最具危害的自然灾害之一, 评估区内以软弱岩土为主, 降水多, 雨季过后有足够的时间积累松散固体物质, 是泥石流易发频发的主要因素。

(2) 泥石流的流量和规模分析, 大型泥石流 4 条, 占 4.4%; 中型泥石流 29 条, 占 31.95%; 小型泥石流 58 条, 占 63.7%。泥石流的分布密度和暴发频率东部大于西部、南部大于北部, 以暴雨型为主, 集中发生于每年度 7—9 月。

(3) 在分析泥石流诱因基础上, 提出在施工过程中合理堆放弃土、弃渣, 采用渡槽、倒虹吸、涵洞等工程, 布置拦挡工程和利用生物与工程措施进行泥石流灾害防治。

## 参考文献:

- [1] 尚新明. 定西市引洮入定后水资源利用及节水技术[J]. 甘肃科技, 2010, 26(20): 16—17.
- [2] 周拓. 引洮供水一期工程外调水资源配置分析[J]. 甘肃农业, 2003, (4): 51—52.
- [3] 李晓青. 浅谈引洮工程建设对甘肃中部地区经济社会发展的积极作用[J]. 甘肃行政学院学报, 2004, (3): 119—120.
- [4] 倪化勇, 李宗亮, 巴仁基, 等. 四川泸定县泥石流灾害成因、特征与防治建议[J]. 工程地质学报, 2010, 18(1): 91—99.
- [5] 周必凡, 李德基, 罗德富, 等. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [6] 王伟. 兰州地区滑坡泥石流分布及灾害特征[J]. 甘肃科技纵横, 2007, 25(6): 56—57.
- [7] 刘希林, 苏鹏程. 南水北调西线工程泥石流灾害及危险区划[J]. 地学前缘, 2007, (6): 188—196.
- [8] 祁元, 刘勇, 杨正华, 等. 基于 GIS 的兰州滑坡与泥石流灾害危险性分析[J]. 冰川冻土, 2012, 34(1): 96—104.
- [9] 舒和平, 齐识, 宁娜, 等. 甘肃省南部武都区泥石流灾害风险评估研究[J]. 自然灾害学报, 2016, 23(6): 34—41.
- [10] 刘希林, 庙成, 田春山. 区域滑坡和泥石流灾害两种危险性评价方法的比较分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2017, 37(1): 71—78.
- [11] 李阔, 唐川. 泥石流危险性评价研究进展[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 106—111.
- [12] 尚科科, 贾洪全. 山区泥石流特点及其防治方法探讨[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(11): 207.
- [13] 张国平, 徐晶, 毕宝贵. 滑坡和泥石流灾害与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 653—658.
- [14] 邓晓飞, 于漂罗, 唐书君, 等. 青海大通西山滑坡稳定性分析及防治方案[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(10): 16—21.
- [15] 张楠, 方志伟, 韩笑, 等. 近年来我国泥石流灾害时空分布规律及成因分析[J]. 地学前缘, 2018, 25(2): 1—10.