

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2021.04.032

张肃公路(梨园口—康乐镇)沿线地质灾害发育特征及致灾因子分析

吴刚,廖志为,高点

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司,湖北武汉430010)

摘要:采用地面测绘、野外调查、工程钻探、工程物探和室内试验等多种手段相结合的方法对张肃公路(梨园口—康乐镇)沿线进行了大比例尺的地质灾害详细调查,对沿线地质灾害类型、发育规律和致灾因子进行了归纳分析总结。沿线共发育地质灾害52处,其中崩塌24处,落石15处,泥石流11处,不稳定斜坡1处。崩塌破坏机理以倾倒式为主,泥石流均属暴雨沟谷型稀性泥石流,不稳定斜坡稳定性受软弱夹层控制。地质灾害发育具有链式效应,且具有群发特征。地形地貌、地层岩性、地质构造、降雨作用和人类工程活动是该区地质灾害产生的重要致灾因子。研究成果为拟建公路的建设提供了有力的技术支持,对丹霞地貌区内的工程建设和地质灾害防治具有指导和借鉴意义。

关键词:地质灾害;张肃公路;发育特征;致灾因子

中图分类号:P642.2

文献标识码:A

文章编号:1672-1144(2021)04-0199-06

Development Characteristics and Factors of Geological Hazards Along Liyuankou-Kangle Town Section of Zhangsu Highway

WU Gang, LIAO Zhiwei, GAO Dian

(Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430010, China)

Abstract: A large-scale detailed investigation of geological hazards along Liyuankou-Kangle town section of Zhangsu highway is carried out by means of ground mapping, field surveying, drilling, geophysical exploration and laboratory test. The types, development characteristics and factors of geological hazards along the line are summarized. There are 52 geological disasters in this section, including 24 collapses, 15 rockfalls, 11 debris flows and 1 unstable slope. The collapse failure mechanism is mainly toppling, and the debris flow belongs to rainstorm gully type, and the stability of unstable slope is controlled by weak intercalation. The development of geological disasters has chain effects and group characteristics. Topography, lithology, geological structure, rainfall and human engineering activities are the important disaster causing factors. The research results can provide favorable technical support for the construction of the proposed highway, and have certain guidance and reference significance for the engineering construction and geological disaster prevention and control in Danxia landform area.

Keywords: geological hazards; Zhangsu Highway; development characteristics; factors

张肃公路张掖至康乐段项目位于张掖市和肃南县,全长54.4 km,采用一级公路技术标准建设,其中,梨园口至康乐镇段位于丹霞地貌区,全长约8 km。

丹霞地貌^[1]是在我国多数地区均有分布的一

种特殊的地貌类型,具有坡度陡、地形起伏大、沟谷切割深、岩性较软、垂直节理较发育等特征,易形成崩塌、落石等地质灾害。姜伏伟等^[2]对龙虎山丹霞地貌的景观危岩进行调查分析并对危岩的防治给出了合理的建议,张林生^[3]对丹霞山世界地质公园的

实地调查显示,区内地质灾害高易发区主要地质灾害类型为崩塌和滑坡,李铁松等^[4]分析认为地质灾害是凌云山地质公园地质环境不稳定的重要因素之一。目前关于丹霞地貌区地质灾害的研究主要集中于丹霞地貌地质景观保护及开发方面,且多为点状工程,随着社会经济的发展,愈来愈多的大型民生工程建设逐渐深入此类区域,如公路、隧道等大型的线状工程,地质灾害的类型、发育特征及其沿线路的分布规律存在一定的差别。此外,诸多学者对线状工程如公路、隧道等沿线地质灾害的发育规律、致灾因子及防治措施进行了归纳总结分析,但研究成果多集中于高寒高海拔地区^[5-8]、强震区^[9-12]等,此类区域的地质条件与丹霞地貌区存在较大的差别。

本次采用地面测绘、野外详细调查、工程钻探、工程物探和室内试验等多种手段结合的方法,对处于丹霞地貌区的张(掖)肃(南)公路的梨园口至康乐镇段进行了大比例尺的详细调查,对该区域的地质灾害类型、发育特征和致灾因子形成了系统的认识,为公路的建设提供了有力的技术支撑,对丹霞地貌区内的工程建设和地质灾害防治具有一定的指导和借鉴意义。

1 自然地理及环境地质条件

1.1 气象水文

项目区属典型的温带大陆性干旱气候,年平均气温为 7.5℃,年平均降雨量 131 mm,日最大降雨量 46.7 mm,标准冻土深度 123 cm。本项目沿线地表径流属黑河水系,主要河流有黑河、梨园河和大磁窑河。

1.2 地形地貌

张掖市位于河西走廊中部,南侧为祁连山脉,北邻龙首山,市区位于两山之间,市区海拔高程一般 1 456 m~1 459 m,具西高东低、南高北低之势。

项目路线走廊带地貌由东向西依次划分为 3 个地貌单元^[13],分别为黑河冲洪积平原区、梨园和河谷阶地区和中低山区。梨园口至康乐镇段(K46—K54)属中低山区,沿线地面高程 1 780 m~1 920 m,以河谷侵蚀剥蚀为主,地形陡峻,坡度多大于 35°,部分地段呈悬崖陡壁,植被不发育,基岩大多裸露。

1.3 地层岩性

项目沿线勘探揭露的地层主要为第四系上更新统冲洪积卵石(Q_3^{al+pl})、白垩系下统新民堡组泥岩、泥质砂岩、砾岩(K_1xn)和三叠系中下统含砾粗砂岩(T_{1-2}),基岩层主要出露于梨园口—康乐镇段(K46

—K54),岩性较软,属极软岩和软岩,且呈互层或混层分布。

1.4 地质构造

项目走廊带分属临泽张掖槽地和祁吕弧形挤压带两个构造单元,穿越的断裂主要为梨园堡西断层、小勒巴断层和大勒巴断层^[14]。

走向节理玫瑰花图显示(见图 1),场区内优势节理的走向为 10°~50°和 320°~330°,两组优势节理走向大角度斜交或正交,且多数节理倾角较陡,将项目区沿线基岩深切割为碎裂岩体,导致地质灾害较发育。

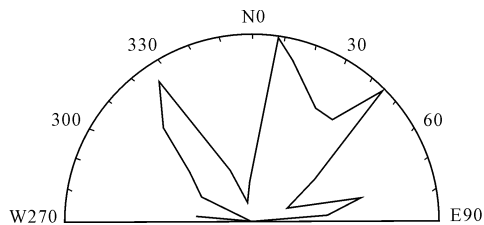


图 1 项目区沿线节理走向玫瑰花图

1.5 新构造运动及地震

项目区新构造运动强烈,是中国主要地震带之一,以差异上升和不均匀沉降为主,具有震荡式上升的特点。

项目区位于河西走廊地震带附近。距离本项目距离约 60 km 的山丹地区历史上曾发生多次地震。根据《中国地震动参数区划图》^[15](GB 18306—2015)相关规定,项目区地震动峰值加速度值为 0.15g~0.20g,基本地震动加速度反应谱特征周期为 0.40 s~0.45 s。

1.6 人类工程活动

项目区人类工程活动主要为原线路扩建及梨园河堤防的修筑,工程量的增加及施工开挖的爆破工艺严重破坏了原始斜坡的自然状态,且存在大量工程弃渣不合理堆放的现场,导致该区域地质灾害的危害性和风险性进一步增高。

2 地质灾害类型、发育特征及规律

2.1 地质灾害类型

经调查,张肃公路梨园口至康乐镇段(K46~K54)段发育的地质灾害主要为崩塌、落石、泥石流和不稳定斜坡,共计 52 处。其中,崩塌 24 处,落石 15 处,泥石流 11 处,不稳定斜坡 1 处(见图 2)。

2.2 地质灾害发育特征

(1) 崩塌。张肃公路梨园口至康乐镇段

(K46—K54)崩塌(见图 3)共 24 处,占地质灾害总数的 47.06%,沿线平均分布 3 处/km,其中,构造破碎段(K48—K49)和河流凸岸段(K51—K52)分布最密(见图 4),达 5 处/km。研究区内卸荷裂隙发育,多为共轭 X 型剪节理(见图 5),将基岩深切割为碎裂岩体,加之岩性为砾岩、砂岩和泥岩互层等软质岩石,危岩体所处斜坡坡度多大于 50°,且多数后壁节理已贯通,极易致灾。

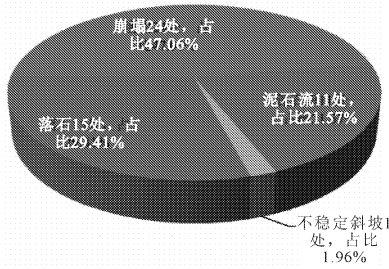


图 2 地质灾害类型统计分布图

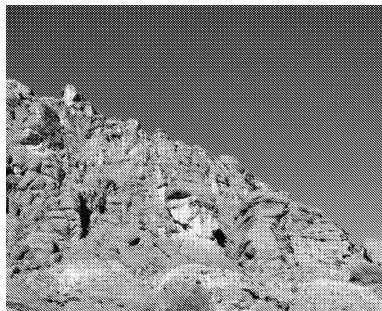


图 3 典型崩塌体

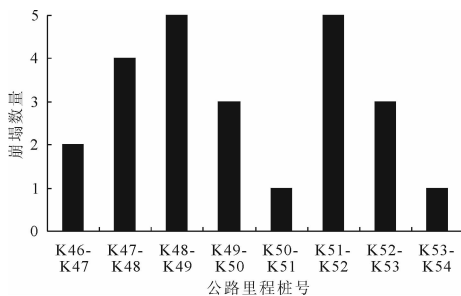


图 4 崩塌数量沿线分布图

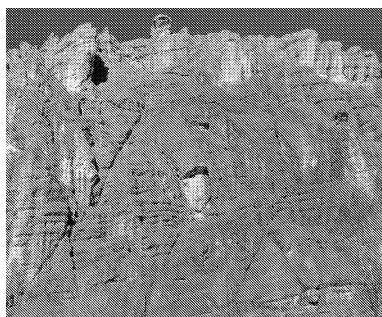


图 5 典型裂隙切割图

调查结果显示,危岩体一般位于现状地面以上 6 m~15 m,少部分位于现状地面 2 m~4 m,灾害发生时,高势能转换为强大的冲击能,对人民生命财产安全将造成极大的危害。根据野外调查,研究区内崩塌全为岩质崩塌,形成机理以倾倒式为主,占总数的 79.17%,少部分为推移式和坠落式^[16],受密集节理深切割影响,区内崩塌体均为小型崩塌。

(2) 落石。研究区沿线的落石是危害公路安全的第二大地质灾害,共 15 处,占地质灾害总数的 29.41%,沿线平均分布 1.9 处/km,主要为危岩体失稳后堆积而成,部分凌空(见图 6)。平面上一般沿路线方向纵向分布,少部分呈三角形或扇形,堆积物主要为岩体崩落碎屑,以块石为主,堆积厚度一般 0.5 m~2.0 m,结构较疏松,大部分靠大体积块石骨架叠加而成目前基本稳定或欠稳定状态,平均天然休止角在 15°~25°之间。调查结果显示,落石块体最大体积为 8.0 m×4.0 m×2.5 m。

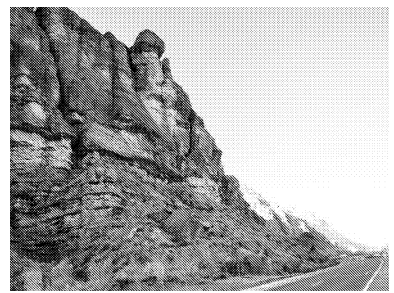


图 6 典型落石

(3) 泥石流。研究区沿线的泥石流共 11 处(见图 7),占地质灾害总数的 21.57%。区内构造切割严重,沟谷普遍分布,沟源处沟床纵坡较大,为泥石流的形成提供了良好的地形条件。构造裂隙将区内基岩切割为碎裂岩体,加之坡度较陡,易形成崩塌等地质灾害,崩塌后松散堆积于沟谷内或坡表面,为泥石流的形成提供了良好的物源条件,当地夏季集中降雨为泥石流提供了水源条件,且区内植被不发育,变相的增加了降雨及水流冲刷的强度,从而导致该区域出现“逢沟必泥石流”的现象。

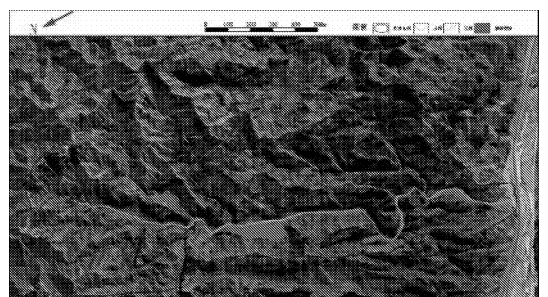
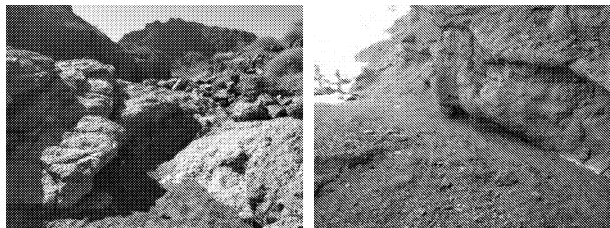


图 7 沿线典型的泥石流沟

根据详细的野外调查,研究区内泥石流的堆积区较明显,在沟口处一般呈扇形堆积,无明显的形成区和流通区,两者往往合二为一。泥石流物源主要为崩塌堆积于沟谷内的松散堆积体,少量为坡面侵蚀物质。区内泥石流沟汇水面积一般 $0.29 \text{ km}^2 \sim 0.72 \text{ km}^2$,最大 1.85 km^2 ,受区内无植被覆盖影响,降雨时水流可快速汇集于沟谷内,对沟谷内坡面和松散堆积区形成强大的冲刷作用。泥石流沟主沟长度一般为 $0.4 \text{ km} \sim 1.2 \text{ km}$,最长 2.5 km ,均存在多条支沟,平均纵比降一般 $30\% \sim 90\%$,最大纵比降约 130% ,沟内形成区和流通区多存在有跌流坎,一般高 $0.5 \text{ m} \sim 2.0 \text{ m}$,最大可达 8.0 m ,增加的水流的冲击力,流通区和堆积区内多见跌流坎、侧蚀凹腔和侧蚀水痕(见图 8),堆积物质以碎石、砂砾为主。综合以上分析,研究区内泥石流属沟谷型泥石流,按物质组成特征属水石流,按物质状态分类属稀性泥石流,按水源类型属暴雨泥石流,规模属小型泥石流^[16]。



(a) 跌流坎

(b) 侧蚀凹腔

图 8 跌流坎及侧蚀凹腔

(4) 不稳定斜坡。研究区内不稳定斜坡发育较少,仅一处,分布于梨园口处(K46)。

该不稳定斜坡整体平面形态呈“三角”形(见图 9、图 10),纵向长约 220 m ,横宽约 170 m ,平面面积约 2.4 万 m^2 ,斜坡体厚度 $3 \text{ m} \sim 5 \text{ m}$,总方量约 10 万 m^3 。斜坡体整体坡度约 35° ,主要由白垩系下统新民堡组(K1xm^b)含砾砂岩组成,呈灰黄色,岩层产状 $35^\circ \angle 42^\circ$,倾向坡外。斜坡体上部存在历史崩滑堆积形成的碎块石,厚度约 2 m ,松散堆积。受水流冲刷影响,斜坡体上存在数条冲沟,部分被崩滑体填充。斜坡体下部存在软弱夹层,厚约 15 cm ,呈黑灰色(见图 11),岩性主要为砂质泥岩,呈碎块状。根据现场调查,斜坡前缘未发现鼓胀和滑动迹象,自然状态下斜坡处于基本稳定或欠稳定状态。受后期持续性降雨及项目主线施工扰动影响,可能产生局部的浅层溜塌或整体滑移破坏。建议平时应加强监测工作,避免扰动该斜坡,如有必要,可采用削方减载

+ 截、排水的防护措施。

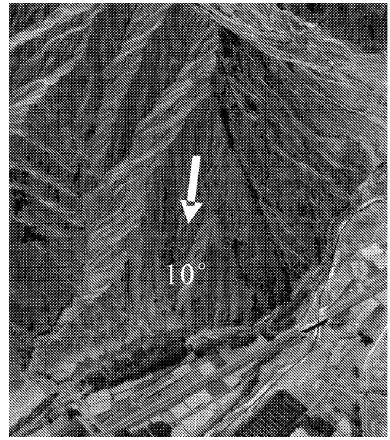


图 9 不稳定斜坡卫星影像图

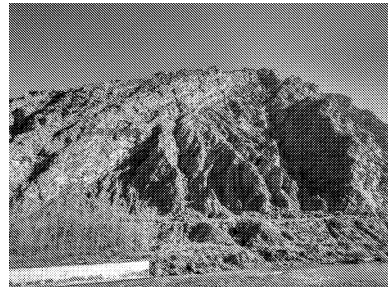


图 10 不稳定斜坡侧视图

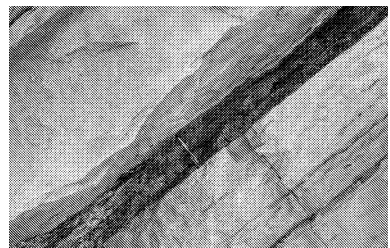


图 11 软弱夹层

2.3 地质灾害发育规律

通过详细野外地质调查及搜集相关资料,项目主线梨园口—康乐镇段沿线地质灾害发育呈现以下几方面的规律:

(1) 地质灾害类型以崩塌和落石为主,不稳定斜坡最少。项目区优势节理走向呈大角度斜交或正交,将基岩深切割为碎裂岩体,加之多数节理倾角陡,极易形成小规模的崩塌和落石,较难孕育规模较大的不稳定斜坡。

(2) 地质灾害具有链式效应,形成灾害链。项目区地形切割强烈,易形成崩塌、落石等地质灾害,致灾后松散堆积于沟谷内,为泥石流提供了丰富的物源条件。

(3) 据调查访问,地质灾害多发生于 6 月—8

月,与项目区降雨集中时间相契合,且具有群发性的特点,表明持续性强降雨为本区地质灾害诱发的主要因素之一。

2.4 致灾因子分析

通过调查分析,项目主线梨园口—康乐镇沿线地质灾害致灾因子主要包括地形地貌、地层岩性、地质构造、降雨作用和人类工程活动等。其中,地形地貌、地层岩性和地质构造作用属于内在致灾因子,对主线沿线地质灾害的形成具有控制作用,降雨作用和人类工程活动属于外部因素,对主线沿线地质灾害的形成起诱导作用。

(1) 地形地貌。项目主线梨园口—康乐镇段沿线地貌以河谷侵蚀剥蚀为主,地形陡峻,坡度多大于 35° ,易形成崩塌、滑坡等地质灾害。区内构造切割剥蚀作用也导致沿线沟谷普遍分布,沟源处纵坡一般较大,易于汇水,且沟谷坡面无植被覆盖,导致汇水速度加快,同时对沟谷坡面存在较大的侵蚀作用。

(2) 地层岩性。项目主线梨园口—康乐镇段沿线出露的白垩系泥岩、泥质砂岩、砾岩等互层或混层分布,岩性较软,差异性风化严重,易形成陡壁及纵向深切裂隙,导致崩塌地质灾害普遍分布,也是该区域崩塌破坏机理以倾倒式为主的主要因素。

(3) 地质构造。项目主线梨园口—康乐镇段沿线跨越了两条断层,受构造断层活动影响,该区域两组优势节理走向呈大角度斜交或正交,将沿线基岩深切割为碎裂岩体。同时,节理的深切割也方便了后期雨水的浸润,导致其强度逐渐降低、张开度逐渐增大,最终诱发地质灾害。

(4) 降雨作用。项目区降雨主要集中于6月—8月,年平均降雨量较少,但日降雨量最大46.7 mm,接近于暴雨级别。降雨对岩体的软化作用,尤其是对泥岩软弱夹层和深切节理的软化,同时致灾体本身裂隙充水,产生静水压力和动水压力,导致坡体趋于失稳破坏,区内夏季集中强降雨也为泥石流的孕育提供了水源条件。

(5) 人类工程活动。项目区内工程建设日益增多,施工严重破坏了原始斜坡的自然状态,卸荷作用导致岩体松弛,同时形成较多的临空面。大量工程弃渣不合理的堆放,为泥石流的孕育提供了物源条件。

综合以上分析,内部致灾因子对沿线地质灾害的发育具有决定性作用,外部致灾因子具有诱导性作用,两者相互影响,相互作用,导致项目主线梨园口—康乐镇沿线地质灾害的频发。

3 结 语

本文结合大比例尺的详细野外调查,对项目主线梨园口—康乐镇段的地质灾害类型、发育特征和致灾因子进行了系统性的分析,得出以下几点认识和结论:

(1) 梨园口—康乐镇段沿线发育地质灾害共计52处,其中崩塌24处、落石15处、泥石流11处和不稳定斜坡1处,崩塌+落石的数量占总数的76.5%。通过典型地质灾害归纳及分析认为沿线崩塌破坏机理以倾倒式为主,且均属小型崩塌,泥石流属暴雨沟谷型稀性泥石流,不稳定斜坡稳定性受软弱夹层控制。

(2) 项目区地质灾害发育具有链式效应,且具有群发的特征。崩塌、落石和不稳定斜坡致灾后松散堆积于沟谷内,为泥石流灾害的孕育提供了丰富的物源条件,同时各种类型的地质灾害易受降雨的集中诱发。

(3) 项目区地质灾害的致灾因子主要包括地形地貌、地质构造、地层岩性、降雨作用和人类工程活动等,各致灾因子有机结合,相互作用,导致地质灾害的产生。

(4) 针对于不同类型的地质灾害,应在分析清楚其对工程的影响、致灾因素和形成机理的基础上选取处置措施。

参考文献:

- [1] 齐德利,于蓉,张忍顺,等.中国丹霞地貌空间格局[J].地理学报,2005(1):41-52.
- [2] 姜伏伟,郭福生,姜勇彪,等.龙虎山丹霞地貌危岩景观成因及保护[J].山地学报,2011,29(2):202-209.
- [3] 张林生.丹霞山世界地质公园地质灾害评价[J].四川地质学报,2013,33(3):313-317.
- [4] 李铁松,李剑,何文录,等.南充凌云山省级地质公园地质环境敏感度研究[J].地质学刊,2009,33(4):429-433.
- [5] 周小军,向灵芝,胡伟.西藏G4218公路白衣错~莫格段地质灾害调查与分析[J].公路,2020,65(1):7-13.
- [6] 刘洪博,佟磊,张龙,等.S303公路边坡崩塌灾害体发育特征及其危险性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(4):34-38.
- [7] 央金卓玛,郭永春,田荣燕.拉萨周边重要公路沿线地质灾害发育特征及其规律研究[J].公路,2017,62(3):44-49.
- [8] 成永刚,范安军,李兵,等.川藏高速公路汶(川)马

- (尔康)段崩塌危岩发生机制与防治[J]. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(6): 18-24.
- [9] 徐煜, 赵其华, 王旭. 松坪沟地质灾害发育分布及主控因素研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(1): 22-27.
- [10] 甘建军, 黄润秋, 李前银, 等. 都江堰—汶川公路汶川地震次生地质灾害主要特征和形成机理[J]. 地质力学学报, 2010, 16(2): 146-158.
- [11] Fan X M, Scaringi G, Xu Q, et al. Coseismic landslides triggered by the 8th August Ms 7.0 Jiuzhaigou earthquake (Si-chuan, China): factors controlling their spatial distribution and implications for the seismogenic blind fault identification[J]. Landslides, 2018, 15: 967-983.
- [12] Chang M, Tang C, Xia C H, et al. Spatial distribution analysis of landslide triggered by the 2013 - 04 - 20 Lushan earthquake, China [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2016, 15(1): 163-171.
- [13] 中国市政工程中南设计研究总院有限公司. S18 张掖至肃南公路张掖至康乐段项目两阶段初步设计工程地质勘察报告[R]. 武汉: 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 2018.
- [14] 中华人民共和国区域地质调查报告张掖幅 J-47-X1(1: 200000)、肃南幅 J-47-X(1: 200000) [M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2012.
- [15] 中国地震动参数区划图: GB 18306—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [16] 工程地质手册编委会, 工程地质手册 [M]. 5 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.

(上接第 198 页)

- [13] 张叶, 魏俊, 黄森军, 等. 基于湿周法的济南山区中小河流生态流量研究[J]. 人民黄河, 网络首发. 2021-03-26; 1-5.
- [14] 吉利娜, 刘苏峡, 吕宏兴, 等. 湿周法估算河道内最小生态需水量的理论分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006(2): 124-130.
- [15] 尚松浩. 确定河流生态流量的几种湿周法比较[J]. 水利水电科技进展, 2011, 31(4): 41-44.
- [16] 李梅, 黄强, 张洪波, 等. 基于生态水深-流速法的河段生态需水量计算方法[J]. 水利学报, 2007, 38(6): 738-742.
- [17] 徐建, 董杰华, 徐中来, 等. 基于改进 AHP-模糊综合评判方法的露天矿边坡稳定性评价[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(6): 213-218.
- [18] 樊进娟, 贾艾晨. 基于模糊层次分析法的生态护岸形式优选研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(4): 96-100.
- [19] 欧传奇. 水电站下游河道生态流量核定要点研究[J]. 人民长江, 2020, 51(9): 56-61.
- [20] 张越, 张洁, 刘星辰, 等. 基于指示物种的生态流量研究进展和展望[J]. 人民珠江, 2020, 41(7): 95-100.
- [21] 李洋. 筑坝河流鱼类产卵生态流量研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2019.
- [22] 高雪山, 关帅, 刘树锋, 等. 基于生态保护目标的武江流域生态流量定值研究[J]. 水文, 2020, 40(5): 1-6.
- [23] 王煌, 周买春, 刘远, 等. 水力学法估算广东省山区小水电站减脱水河段生态需水量的探讨[J]. 水力发电学报, 2014, 33(2): 154-161.