

大渡河上游亚喀则滑坡复活变形机理及发展趋势分析

李明辉¹, 李浩然², 王东辉¹

(1. 成都地质矿产研究所, 成都 610081; 2. 中国水电顾问集团 成都勘测设计研究院, 成都 610072)

摘要:位于大渡河上游的亚喀则古滑坡, 早期为顺层滑动, 其变形复活与表水入渗、后缘崩塌加载和河流侵蚀作用密切相关。通过 GPS 监测和现场调查, 发现滑坡变形具有同步性和变形趋势的一致性, 不均一性明显, 最大位移发生在滑坡前缘, 年均位移达 1.5 m/a, 滑坡后缘为 0.25 m/a, 滑坡表现为长期缓慢的蠕滑变形, 滑坡体上发育的多条纵张、横张与压剪性裂缝, 使滑坡部分解体、整体性破坏, 预测未来发生高速滑动的可能性不大。

关键词:滑坡; 复活变形; 蠕滑; 大渡河

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)01-0305-05

The Revival Mechanism and Development Tendency of Yakaze Landslide in the Upper Reaches of Dadu River

LI Ming-hui¹, LI Hao-ran², WANG Dong-hui¹

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China;

2. Chengdu Hydropower Investigation Design & Research Institute, CHECC, Chengdu 610072, China)

Abstract: Yakaze landslide locating on the upper reaches of Dadu river is an ancient accumulation landslide that has bedding sided at initial stage. Its revival and deformation mechanism is closely related to surface water infiltration, heap loading on the rear and river erosion. Through GPS monitoring and field investigation of the landslide show that the deformation is synchronous, consistent and unequal obviously, the biggest displacement has occurred in front edge of the landslide with an annual displacement of 1.5 m/a, the rear of 0.25 m/a, its deformation shows the characteristics of a long term creep-sliding. There are many vertical, horizontal and shearing pressure crack development, which partly disintegrated landslide and resulted in whole undermining of landslide. Based on the above results we draw a conclusion that a high-speed sliding is unlikely in the future.

Key words: landslide; deformation and revival; creep-sliding; Dadu river

自晚第三纪以来, 印度板块向欧亚大陆碰撞挤压, 青藏高原快速隆起, 不仅塑造了青藏高原东缘高山峡谷的基本地貌形态和河谷的发育历史, 而且也决定了这一地区地壳的内动力条件、新构造运动及地震活动规律、地壳浅表层改造、第四纪沉积和剥蚀作用^[1-5], 从而确定了该地区与人类活动有关的地质环境的基本状况; 也导致该地区大型地质灾害的频繁发生, 崩滑堵江事件时有发生^[6-12], 构成了影响和制约这一地区社会经济发展的一个重要环境地质问题。位于青藏高原东缘大雪山脉与邛崃山脉之间大渡河上游高山峡谷区的亚喀则古滑坡, 规模大, 成因机理

复杂, 具有多期滑动的特点, 复活变形迹象明显, 一旦下滑堵塞大渡河将形成灾害链, 严重威胁其上下游沿岸人民生命财产安全。本文通过对滑坡形成的地质环境条件、滑坡变形破坏特征、形成机理、监测数据的分析和稳定性分析, 对滑坡变形发展趋势进行分析预测, 并据此提出简易防治措施建议。

1 滑坡区地质环境条件

滑坡区位于大渡河上游, 为典型侵蚀剥蚀构造中高山峡谷地貌, 河谷深切、相对高差悬殊, 河谷地区高差 1 000~3 000 m, 为“V”型峡谷; 境内气候既受青

收稿日期: 2013-05-24

修回日期: 2013-06-24

资助项目: 国土资源大调查“甘孜地区地质灾害详细调查项目”(1212010114020); “成渝经济区环境地质调查评价综合研究项目”(12120113004400)

作者简介: 李明辉(1968—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事地质灾害调查、评价与研究。E-mail: Lmh680408@163.com

藏高原气候的影响,又受东南和西南季风的影响,从而产生既有别于高原又不同于盆地的独特的青藏高原型季风气候,区内降雨集中,多年平均降雨量约 650 mm,汛期日降雨量一般为 12~35 mm,多夜雨、局地暴雨,易于诱发地质灾害。

滑坡区为一复杂斜坡体,表层滑体物质为非均质、非连续堆积体,岩性为棕黄色碎块石土,结构松散、杂乱,局部有架空现象,碎块石含量约 20%~50%,粒径一般为 10~30 cm,最大块石达 10 m;下伏滑床为志留系茂县群第四岩组(Smx⁴)二云英片岩夹石英岩、硅线二云片岩,较易风化剥蚀,浅表部分成强风化状。滑坡区构造上位于东方红复向斜北东翼近核部,地层受到强烈挤压,节理裂隙发育,风化剥蚀严重;滑坡区紧邻鲜水河活动断裂带,地震活动频繁,地震动峰值加速度 0.10 g,对应地震基本烈度Ⅷ度,区内新构造运动强烈,表现为地壳阶段性上升,河流深切与侧蚀。

滑坡体表层为第四系松散堆积块碎石土弱含水层,赋存孔隙潜水与上层滞水;下部为不透水或弱透水的志留系茂县群二云片岩夹石英岩,局部所夹硬岩含裂隙水,顺坡径流。滑坡体上无地表水体,地下水仅在滑坡南侧查农沟中下部出露形成两个季节性下降泉,水流量较小,约 0.05 L/s。

2 滑坡基本特征

2.1 滑坡边界及形态特征

滑坡地貌形态保存完好,在 Quickbird 遥感影像上形态极为清晰,滑坡位于河流侵蚀岸,前缘滑入河中,挤占河道(图 1),从图 2 可见滑坡后部有明显的两条不同期次的弧形错落陡坎,说明滑坡发生过两次明显滑动,第一次产生了较大位移的滑动,第二次为滑坡近期复活形成的新鲜滑坡,平面形态呈圈椅状,南侧以查农沟为界,北侧以风化破碎的小山脊为界,后缘高程 2 160 m,前缘高程 1 840 m,前后缘相对高差 320 m。滑坡纵向呈阶梯状,平均坡度 22°,主滑方向 220°,后缘为高约 10 m 的错落陡壁,滑体西北厚东南薄,中部埋深相对较薄,滑体平均厚 40 m,滑体宽 630 m,长 550 m,面积 27×10⁴ m²,体积 1.1×10⁷ m³,为一特大型滑坡。

2.2 滑坡结构特征

滑床为志留系茂县群第四岩组强风化二云石英片岩,风化蚀变强烈,近于顺向结构。经钻孔岩芯揭露,滑体物质极不均一,组份主要为块碎石土夹粉土、粉质黏土夹块碎石、大块石层、粉质黏土等,具有多层结构特征。而滑坡前缘 ZK5 钻孔在 48.39~69.30

m 处出现河床相物质,低于现代河床 20~40 m,下伏基岩埋深远远大于中上部 ZK6、ZK7 两钻孔基岩覆盖层界限向下延伸的深度(图 3),因此推测滑坡形成于河流深切期,滑坡前缘受到河流深切侵蚀形成较陡的原始岩质岸坡,滑坡剪出后,滑覆带堆积在古河床深厚覆盖层之上,类比川西地区河流深厚覆盖层形成时间判断,滑坡发生时期大致在 Q3 晚期至 Q4 早期^[13-18]。



图 1 滑坡 Quickbird 遥感影像

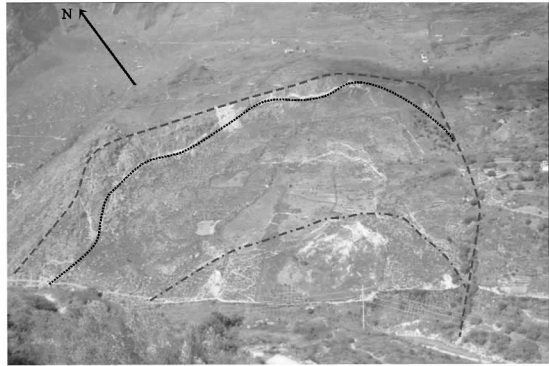


图 2 滑坡全貌及变形分区

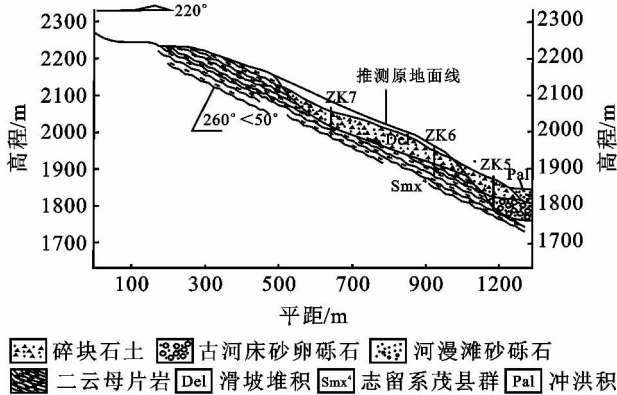


图 3 滑坡工程地质剖面图^[15]

2.3 滑面及滑带特征

滑坡体主剖面 3 个钻孔中,中、后部两个钻孔在堆积物与基岩接触处中见到明显的滑带物质,中部滑带物质为含砾灰色粉质黏土、粉质砂土,后部滑带物质为含砾灰白色黏土,呈坚塑状,见有明显的擦痕,滑带土之下滑床为强风化二云片岩,从两个钻孔滑带物

质的差异可知,滑带物质是非均一的;而滑坡前缘钻孔中未见明显滑带,说明此处为滑坡剪出后的滑覆带。由此表明,由于该处为近于顺向斜坡,基岩与上覆松散堆积层含水性和透水性的巨大差异,造成了地下水长期沿该带活动,顺坡径流,产生渗透压力并软化侵蚀强风化基岩和上覆松散堆积物,使其强度逐渐降低,逐步发展为一软弱面带,最终滑面滑带沿此带发育而成。

2.4 滑坡变形破坏特征

地面调查和钻孔揭露表明,滑坡总体上沿基覆界面产生滑动,滑坡复活与人类工程活动密切相关。从 1990 年开始,滑坡中后部开垦为苹果园,引水灌溉,随着表水不断渗入,一方面增大了斜坡土体含水量,使其重力势能增大,另一方面水在土体中运移,产生渗透压力,同时软化土体,引起土体不均匀变形,使其稳定性进一步变差,进而导致滑坡复活,坡体上出现裂缝,引水渠拉裂破坏,后缘下挫距离逐渐扩大,形成 3~5 m 高,平均 4 m 的滑壁,壁面光滑,擦痕明显,滑壁产状 220°~235°∠50°~70°。

滑坡复活以来变形破坏从宏观上大致可分为 3 个区(图 2):前缘鼓胀滑塌区:由于老滑坡剪出口深埋河床下,主滑面贯通,无法整体剪出,使下滑受阻,从而产生明显的隆起鼓胀,发育鼓胀裂缝,地表破碎产生滑塌,时有松散块石顺坡滚落,坡体前缘乡村公路扭曲变形;中后部牵引变形区:由于前缘滑塌卸荷松弛,对中部产生牵引,以发育横向弧形拉张裂缝为特征,横张裂缝有外侧下坐与内侧塌落式,裂缝可见长度数米至 100 m 不等,宽度数厘米至 1.5 m,可见深度 0.2~1.5 m,裂面新鲜,无充填;后缘蠕滑拉裂区:由于后部表水入渗首先沿原有滑面产生蠕滑下挫,老滑壁地形陡峻,卸荷强烈,产生局部坐落体、滑塌体和落石对后部进行堆载。总体而言滑坡前缘位

移较小,后缘位移大,以垂直位移为主,后缘沿原有滑面滑动,中前部主要在浅表部产生局部解体式蠕滑变形,使滑坡整体性破坏,况且滑坡前缘河床堆积物阻挡作用明显,因而滑坡难以产生整体性剧滑,由此表明滑坡活动的非整体性、不均一性以及变形破坏的复杂性。

3 滑坡监测数据分析

于 2007—2009 年对亚咯则滑坡进行 GPS 监测,共布设了两个基准点和 12 个监测点(图 4),采取人工定期静态相对定位观测,逐点采集,通过后期处理获得各期之间的变形,监测数据见表 1,各监测点位移的差异性反映了各测点位移量随时间的变化特征,观测结果表明:从平面上看,滑坡变形较大部分主要集中在滑坡中部,而滑坡两侧变形相对较小,尤其滑坡左侧中部 sp08 监测点变形最小,两年累计变形仅 0.18 m,该处地貌为一小鼓丘,为一阻滑块体,地表变形迹象不明显,而最大位移发生在滑坡前缘 sp10、sp11 监测点,年均位移量近 1.5 m/a,滑坡中部 sp06、sp07 年均位移量达 1.3 m/a,中后部 sp04 达 1.0 m/a,滑坡后缘及两侧约 0.25 m/a,与地面调查滑坡后壁平均下挫速率近似。

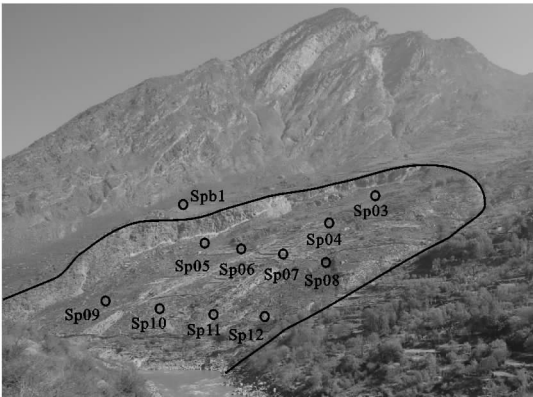


图 4 亚咯则滑坡 GPS 监测点平面布置

监测点	表 1 监测点位移量								mm	
	2007 年 6 月	2007 年 8 月	2007 年 10 月	2007 年 12 月	2008 年 5 月	2008 年 8 月	2008 年 10 月	2008 年 12 月	2009 年 4 月	2009 年 7 月
sp03	0.0	53.1	117.0	161.8	248.8	310.5	355.8	387.6	449.4	518.7
sp04	0.0	252.3	549.6	691.1	938.8	1140.6	1359.0	1521.5	1742.5	1955.0
sp05	0.0	49.3	109.8	148.0	223.8	280.1	323.5	351.1	407.1	469.9
sp06	0.0	362.1	771.4	938.3	1220.0	1484.5	1813.3	2044.0	2335.3	2621.9
sp07	0.0	361.7	780.2	946.4	1231.1	1498.4	1820.1	2061.6		2645.1
sp08	0.0	22.2	45.6	62.2	92.4	120.1	136.8	148.3	166.3	188.1
sp09	0.0	59.1	126.7	166.7	236.7	299.4	348.0	382.1	438.4	508.5
sp10	0.0	397.5	858.8	1015.8	1288.2	1573.9	1961.6	2198.4	2483.8	2812.4
sp11	0.0	414.1	891.0	1054.3	1333.4	1644.0	2076.0	2331.0	2619.1	2973.3
sp12	0.0	53.5	103.2	135.1	196.2	241.4	291.1		378.5	468.0

根据滑坡两年来的阶段性监测数据可得出:

- (1) 各监测点变形具有同步性和变形趋势的一致性;
- (2) 滑坡变形的不均一性,不同部位位移量差异较大;
- (3) 滑坡变形纵向上主要表现为中前部强烈,后缘微弱;
- (4) 滑坡变形从横向上看以中部强烈,两侧微弱;
- (5) 在观测期间,各个测点的阶段性位移量变化相差不大,雨季变形略有加大,表明变形与降雨相关,总体表现为长期缓慢的蠕滑变形特征^[19];
- (6) 滑坡后缘监测数据可代表滑坡整体下滑速率;
- (7) 滑坡监测数据与现场调研的滑坡变形情况基本一致。

4 滑坡复活因素分析

滑坡复活受滑坡体本身的性状、岩土结构及地下水 and 地应力条件等因素控制,降水、地震和人类工程活动有诱导或加速作用,滑坡变形复活影响因素主要有以下几个方面:

(1) 人类工程活动:人为在古滑坡上开荒种植,引水灌溉,破坏了滑坡的自然形态和原有的天然排水系统;大量漫灌的表水入渗,使坡体长期处于湿润或饱水状态,产生强烈的水岩作用,一方面增大了土体的重力势能,另一方面软化滑动带和软弱土层,同时产生孔隙水压力和渗透压力,对滑坡的复活起到了重要的作用;

(2) 易滑岩土结构:滑坡体物质为土石混杂堆积,结构无序,层次多,岩性变化大,物质组分为粉砂质黏土、碎块石土等,结构松散,力学强度低,稳定性差,在地下水等外力作用下容易产生变形破坏,况且滑带和堆积物富含云母,云母为亲水性矿物,遇水膨胀强度极易降低;

(3) 河流侵蚀:滑坡处于河流的侵蚀岸,河流掏蚀坡脚,形成滑坡前缘较陡岸坡,洪水季节水位陡涨陡落,在坡体内产生动水压力和浮托力的急剧变化,水位快速回落时,动水压力的异常增大和浮托力的迅速减小对坡体的破坏起到了较大的触发作用,牵动其前缘局部变形解体,不利于古滑坡的稳定;

(4) 后缘崩塌加载:滑坡后缘滑壁破碎,强烈卸荷拉裂,常发生崩塌不断堆积在滑坡后缘,起到加载作用,增加下滑推力;

(5) 降雨入渗:雨水沿坡体裂缝入渗,产生渗透压力,使坡体重力势能进一步增大,稳定性进一步降低。

5 滑坡稳定性分析及其变形发展趋势预测

据现场调查亚喀则滑坡为一个复活的古滑坡,滑

坡复活以来总体继承老滑面,滑坡后缘顺着老滑壁继续缓慢下挫,由于滑坡原有剪出口位于河床下,使滑坡下滑受阻,中前部鼓胀,在浅表层产生新的滑移面,坡体裂缝进一步发展,后缘滑坡陡坎强烈卸荷拉裂,处于不稳定状态,滑塌、垮落、坐落时有发生,对滑坡后缘进行冲击和堆载,坡体前缘受到河流冲刷淘蚀,种种迹象表明,滑坡变形有继续发展的趋势,变形强烈部位主要集中在滑坡中前部,与 GPS 监测结果一致。

从滑坡体物质组成和结构特性来看,属土石混杂堆积,结构松散,局部架空,物质之间胶结程度低,性质脆弱,很难成为一个整体,难以产生整体式变形破坏,主要为局部失稳滑移,与滑坡 GPS 监测数据的差异性明显一致。

从滑坡的规模来看,为特大型,其物质组成、边界条件的不均一性和地下水位及应力场等因素的多变性,决定了该类边坡变形破坏的复杂性,由于滑坡已局部解体,其变形失稳往往不是整体下滑,而是在边坡最薄弱部位形成局部滑移^[20]。监测数据表明滑坡薄弱部位位于滑坡中前部地形陡峭处,变形最大,年均达 1.5 m/a。滑坡位于河流的侵蚀岸,河流对坡脚的淘蚀作用已经造成滑坡前缘卸荷松动,并产生浅表层滑动,后缘陡坎有明显的错落迹象,后缘仍以 25 cm/a 的速度下挫,表现为持续缓慢的蠕滑变形,滑坡上发育大量裂缝,表明滑坡已部份解体,其整体性被破坏,预测未来发生整体高速滑动的可能性不大。

6 结论

(1) 亚喀则滑坡是一个复活的古滑坡,先期为顺层滑移拉裂破坏,变形表现为缓慢的蠕滑拉裂。

(2) 滑坡变形复活与表水灌溉、易滑的岩土结构、后缘崩塌加载和河流侵蚀切割紧密相关。

(3) 监测结果表明各监测点变形具有同步性和变形趋势的一致性,变形的不均一性明显,变形较大部位主要集中在滑坡中前部,滑坡两侧和后缘变形相对较小,前缘最大达 1.5 m/a,最小在滑坡左侧中部仅 0.09 m/a;滑坡变形与降雨呈正相关。

(4) 滑坡复活以来后部继承了先期滑动面,由于原有剪出口深埋河床下,因而前缘剪出不明显,中前部变形表现为滑体内部浅表层破坏和局部滑移;况且滑坡体裂缝发育,已局部解体,未来发生整体失稳和高速滑移的可能性不大,表现为长期的蠕滑和局部的滑移破坏;现阶段应加强监测,并作好坡体排水和裂缝填埋,减小雨水入渗,同时在前缘采取适当的护坡支挡,以减少河流侵蚀,增加滑坡的稳定性。

参考文献:

- [1] 潘桂棠,王培生,徐耀荣,等. 青藏高原新生代构造演化[M]. 北京:地质出版社,1990.
- [2] 蒋复初,吴锡浩. 青藏高原东南部地貌边界带晚新生代构造运动[J]. 成都理工大学学报,1998,25(2):162-168.
- [3] 李廷栋. 青藏高原隆升的过程和机制[J]. 地球学报:中国地质科学院院报,1995(1):1-9.
- [4] Huang M H, Buick I S, Hou L W. Tectonometamorphic evolution of the eastern Tibet Plateau: Evidence from the central Songpan-Garze orogenic belt, western China[J]. Journal of Petrology,2003,44(2):255-278.
- [5] Xue Dianjun, Jiang Mei, Wu Liangshi, et al. East-west division of regional gravity and magnetic anomalies on the Qinghai-Tibet Plateau and its tectonic features[J]. Geology in China,2006,33(4):912-919.
- [6] 李德威,庄育勋. 青藏高原大陆动力学的科学问题[J]. 地质科技情报,2006,25(2):1-10.
- [7] Chen W P, Yang Z. Earthquakes Beneath the Himalayas and Tibet: Evidence for strong lithospheric mantle[J]. Science,2004,304(5679):1949-1952.
- [8] Kumar S, Wesnousky S G, Rockwell T K, et al. Earthquake recurrence and rupture dynamics of Himalayan Frontal Thrust, India [J]. Science, 2001, 294 (5550): 2328-2331.
- [9] Chevalier M L, Ryerson F J, Tapponnier P, et al. Slip-Rate measurements on the Karakorum fault may imply secular variations in fault motion[J]. Science,2005,307(5708):411-414.
- [10] Zhang Pei-zhen, Molnar P, Downs W R. Increased Sedimentation rates and grain sizes 2-4 ma ago due to the influence of climate change on erosion rates[J]. Nature,2001,410(6831):891-897.
- [11] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(3):433-454.
- [12] 柴贺军,刘汉超,张倬元. 大型崩滑堵江事件及其环境效应研究综述[J]. 地质科技情报:2000,19(2):87-90.
- [13] 许强,陈伟,张倬元. 对我国西南地区河谷深厚覆盖层成因机理的新认识[J]. 地球科学进展,2008,23(5):448-456.
- [14] 石金良. 大渡河深厚覆盖层及其工程地质问题[J]. 四川水力发电,1986(3):10-15.
- [15] 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院,中国科学院地质与地球物理研究所. 四川省大渡河猴子岩水电站库尾段古雕群一带斜坡稳定性评价报告[R],2006.
- [16] 王运生,黄润秋,段海澎,等. 中国西部末次冰期一次强烈的侵蚀事件[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2006,33(1):73-76.
- [17] 罗守成. 对深厚覆盖层地质问题的认识[J]. 水力发电,1995(4):21-25.
- [18] 杨天俊. 深厚覆盖层岩组划分及主要工程地质问题[J]. 水力发电,1998(6):17-20.
- [19] 张清志,郑万模,刘宇平,等. GPS 在滑坡监测中的应用:以四川省丹巴县亚喀则滑坡为例[J]. 沉积与特提斯地质,2010,30(1):109-112.
- [20] 贺可强,李显忠. 大型堆积层滑坡剪出口形成的力学条件与综合位移力学判据[J]. 工程勘察,1995(5):13-16.
-
- (上接第 304 页)
- [9] 韦梦鹏. 城市总体规划实施评估的内容探讨[J]. 城市发展研究,2010,17(4):54-58.
- [10] 明开宇,雷国平,张慧,等. 基于 RS 的城市居住用地集约利用评价:以大庆市龙凤区为例[J]. 水土保持研究,2013,20(1):202-205.
- [11] 夏春云,严金明. 土地利用规划实施评价的指标体系构建[J]. 中国土地科学,2006,20(2):19-23.
- [12] 张琳,薛冰,鹿晨昱,等. 基于 AHP 与 GIS 的城市可持续性测度与空间比较研究:以东北地区 35 市(州)为例[J]. 水土保持研究,2013,20(2):86-92.
- [13] 官冬杰,苏维词. 城市生态系统健康及其评价指标体系研究[J]. 水土保持研究,2006,13(5):70-73.
- [14] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,1994:115-119.
- [15] 苏为华. 多指标综合评价理论与方法问题研究[D]. 福建厦门:厦门大学,2002:44-46.
- [16] 张雪松,张莹,瞿振华. 基于效用函数综合评价法的土地利用总体规划实施评价研究:以京山县为例[J]. 华中师范大学学报:自然科学版,2008,42(4):631-635.
- [17] 晏晓红. 土地利用总体规划实施评价研究[D]. 武汉:武汉大学,2005.
- [18] 宋戈,梁海鸥,林佳,等. 黑龙江省垦区耕地利用综合效益评价及驱动力分析[J]. 经济地理,2010,30(5):835-840.
- [19] 宋成舜,崔薛华,柯新利,等. 城市土地集约利用综合效益演化研究:以湖北省咸宁市为例[J]. 水土保持研究,2013,20(1):230-234.
- [20] 姜英朝. 嵩山地质公园保护与可持续发展研究[D]. 北京:中国地质大学,2009.
- [21] 谢萍. 泰山地质公园地质遗迹保护与利用协调性研究[D]. 北京:中国地质大学,2006.