

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.01.12

辽宁抚顺西露天矿南帮滑坡变形与地下水位关系

贺鑫, 崔原, 滕超, 陈奉川, 康丹, 李兵
(辽宁省第十地质大队, 辽宁抚顺 113004)

摘要: 结合抚顺西露天矿的地质环境背景, 介绍了抚顺西露天矿南帮滑坡变形监测中地下水监测系统的构建情况。从降水入渗、岩体的透水性等角度对比了汛期及非汛期地下水的监测数据, 并利用 SPSS 统计分析软件对单点地下水位变化值和滑坡位移变化值进行曲线估计回归分析并建立模型。结果表明, 汛期持续强降雨是诱发西露天矿南帮滑坡变形的重要因素; 强降雨入渗过程中, 基岩裂隙水的变化存在明显的滞后性; 单点地下水位变化值和滑坡位移变化值符合三次项曲线模型; 非汛期, 地下水位逐渐降低, 滑坡地表变形速率也减缓。

关键词: 抚顺西露天矿南帮; 滑坡变形; 地下水; 降水

中图分类号: P345; P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2018)01-0072-06

Relationship between the landslide deformation and the groundwater level in the south part of the Western Opencast Mine in Fushun, Liaoning Province

HE Xin, CUI Yuan, TENG Chao, CHEN Fengchuan, KANG Dan, LI Bing
(The 10th Geological Brigade of Liaoning Province, Fushun, Liaoning 113004, China)

Abstract: Combined the geological background, the construction of groundwater monitoring system in the landslide deformation control of the south part of the open pit of the Western Opencast Coal Mine in Fushun, Liaoning Province is introduced. The monitoring data of groundwater during flood season and non-flood season were compared with the view of precipitation infiltration and the permeability of rock mass. The SPSS statistical analysis software was used to analyze the regression of water level change value and the landslide displacement change value in single point and the model was established. The results show that the continuous heavy rainfall in flood season is an important factor to induce the deformation of the south slope of the south open pit. During the heavy rainfall infiltration process, the change of the bedrock fissure water is obviously lagging behind; the water level change value and the landslide displacement change value in single point coincides Cubic curve model; in non-flood season, the groundwater level is gradually reduced, the landslide deformation rate also slowed down.

Keywords: the south part of the Western Opencast Coal Mine in Fushun; landslide deformation; groundwater; precipitation

0 引言

在全球范围内, 降雨是触发滑坡发生的主导因素

之一^[1], 中国的典型滑坡, 大多与降雨有着密切关系^[2]。持续强降雨过后, 地下水位上升导致潜在滑面上的孔隙水压力升高进而触发滑坡产生的观点已被广

收稿日期: 2017-05-09; 修订日期: 2017-06-12

第一作者: 贺鑫(1989-), 女, 辽宁抚顺人, 硕士研究生, 地质助理工程师, 主要研究方向为地质灾害监测与防治。E-mail: hexinalice@126.com

泛接受,但是这一过程中地下水的具 体作用机理仍不明确^[3]。因此,探究岩质滑坡中地下水的动态演化规律对认识和监测滑坡的稳定性具有极其重要的意义^[4]。抚顺西露天矿位于辽宁省抚顺市的西南部,是具有百年开采历史的大型露天煤矿^[5]。2010年9月,在西露天矿南帮后缘发现两处点状单一地裂缝,后逐渐贯通向线状发展,滑坡迹象逐渐显露。由于滑坡影响范围广、涉及厂矿、企事业人口众多,地质环境条件复杂,且各部分存在变形差异性,已于2013年3月始开展了有针对性的地质灾害调查、变形监测、地质勘查等工作,并在西露天矿南帮建立了包括静态GPS监测、实时GPS监测、RTK监测、深层岩移监测、三维激光扫描监测、地下水监测、应力监测、视频监控以及地面巡查等综合监测系统。本次就地下水的监测系统情况进行详细的介绍,并对监测数据进行分析,阐明地下水对南帮滑坡变形的影响。

1 滑坡体概况

至2015年底,抚顺西露天矿南帮滑坡体在平面上呈倒扇形,垂直高差400~500m,滑坡体面积3.37km²,整个滑体约4.52×10⁸m³,为巨型滑坡。滑坡体后缘滑坡壁平滑、高陡,并形成宽度为30~100m的滑坡洼地。

滑坡体总体为岩质边坡,岩性主要为新生界古近系古新统老虎台组玄武岩及太古界花岗片麻岩。边坡倾向北,总体坡度约19°~27°;玄武岩产状倾向335°~25°,倾角23°~48°,为顺层滑坡。滑面有两层,上层滑面主要为玄武岩中的泥化破碎带(蚀变玄武岩、玄武岩夹煤线、煤矸石);下层滑面主要物质为玄武岩与花岗岩接触部位的古风化壳。

2 滑坡区水文地质条件

2.1 滑坡区地下水类型及含水层划分

矿区内地下水的主要类型为第四系孔隙潜水及基岩裂隙水。主要的含水层、区域隔水层划分情况如下:

2.1.1 含水层

(1) 松散岩类孔隙含水层

主要分布在矿坑南帮西部地面即W1000以西,厚度为2~5m以及南帮东部地面,即杨柏老河道、刘山老河道的含水层,厚度为5~6m。含水介质主要为杂填土、素填土、亚砂土、砂、砾石等。

该类型地下水的富水区段主要分布在人工杨柏河

河谷区域,含水层岩性以第四系全新统冲洪积亚砂土、砂和砾石为主,水量丰富,单井涌水量可达1000m³/d以上。

(2) 碎屑岩类孔隙裂隙层间含水层

主要分布在西露天矿坑内。该层含水介质主要有凝灰岩和玄武岩等,含水量较小。

凝灰岩含水层:厚度30~120m,主要分布在南帮EW0~W1100区间-100水平,F₂断层以下。因含蒙脱土而吸水性强导水性差。

玄武岩含水层:平均厚度90m,属裂隙含水层。主要分布在南帮,尤以W500~W1200区间-100水平以上为多。

(3) 基岩裂隙含水层

主要分布于区内太古代花岗质片麻杂岩出露位置。由于区内花岗片麻杂岩具有多方向的节理裂隙且风化较严重,节理裂隙与风化裂隙相互交错,构成导水通道和赋水空间。

2.1.2 区域隔水层

区域内的主要隔水层为古近系绿色泥岩、页岩、油母页岩、煤、煤质页岩和滑坡变形过程形成的泥化夹层。

2.2 滑坡区地下水补给、径流、排泄条件

区内地下水接受大气降水(雨量主要集中在7~9月份)补给,还接受杨柏河(人工河)、古城河的侧向补给,排泄以蒸发、地下侧向径流以及矿区疏干排水为主。

3 地下水监测系统建设

抚顺西露天矿南帮滑坡的地下水监测工作始于2012年11月,2013年初步勘查阶段建立地下水监测点5个,由于滑坡变形强烈,监测点全部被剪断;2014年的补充勘查阶段,在滑坡体的上、中、下部新建地下水监测点8个,由于矿区内道路改扩建影响,至2015年现存的地下水监测点共有6个,分别分布在E400、E800、EW0、W400及E1200五条测线上,详见地下水分布图(图1)。

4 监测数据分析

以2015年的监测情况(表1)为例,对地下水的监测情况进行说明。从对各剖面滑面埋深的统计情况来看,除E800测线外,其余四条剖面上地下水位均在滑面以上(图2)。

4.1 降雨量数据分析

根据国家气象局颁布的降雨强度等级划分标准 (以 24 h 为标准,表 2),对 2015 年汛期(7~9 月)及非汛期(10~12 月)抚顺千台山的降雨量进行统计(表 3,图 3),表明汛期降雨量更大、降雨持续时间更长。

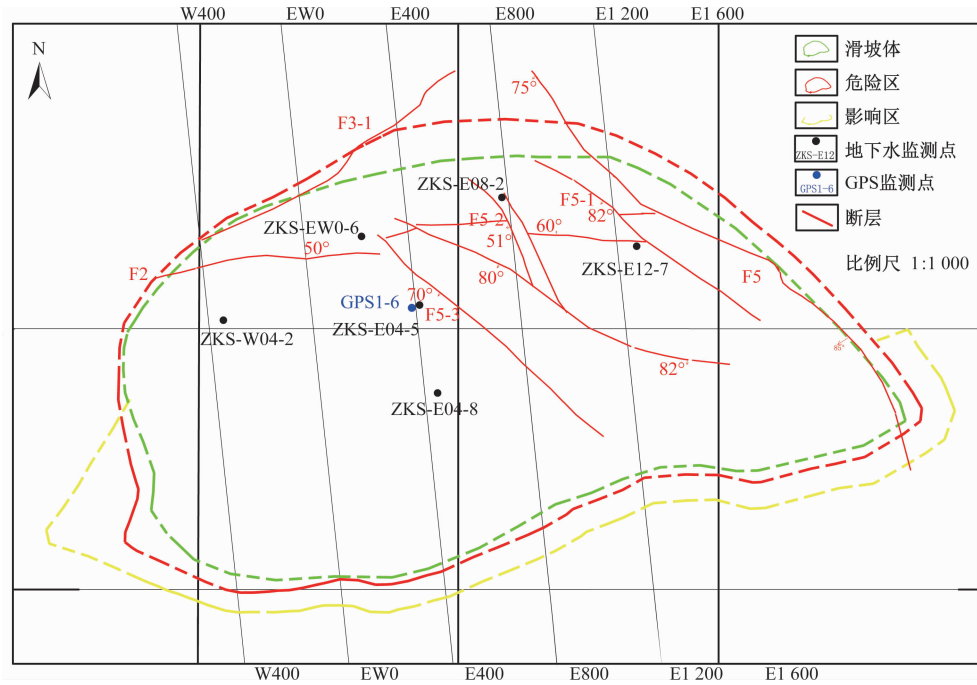


图 1 地下水监测点分布图

Fig.1 Distribution of groundwater monitoring points

表 1 地下水监测点统计表(以 2015 年为例)

Table 1 Statistics of groundwater monitoring sites (2015 as an example)

位置	点号	钻孔深度/m	水位埋深/m	滑面埋深/m	观测时段	监测期次	水位变幅/m
E400 测线 - 129 m 标高处	ZKS-E04-5	201	121.85 ~ 167.33	上层:145.6 ~ 190.8 下层:211.3 ~ 241.3	2015.1.12 ~ 2015.12.31	7 728	45.48
E400 测线 - 234 m 标高处	ZKS-E04-8	114	76.56 ~ 90.38		2015.8.31 ~ 2015.12.31	2 952	13.82
E800 测线 - 261 m 标高处	ZKS-E08-2	96	28.32 ~ 30.5		2015.9.8 ~ 2015.12.31	2 640	2.18
W400 测线 - 65 m 标高处	ZKS-W04-2	129	103.98 ~ 112.31	80.9 ~ 138.6	2015.4.10 ~ 2015.11.24	5 304	8.33
EW0 测线 - 186 m 标高处	ZKS-EW0-6	141	79.78 ~ 84.63	上层:109.7 ~ 121.9 下层:195.2 ~ 251.6	2015.11.10 ~ 2015.12.29	1 200	4.85
E1200 测线 - 188 m 标高处	ZKS-E12-7	117	83.48 ~ 115.49	上层:176.0 ~ 182.3 下层:206.6 ~ 234.6	2015.1.1 ~ 2015.12.31	8 304	32.01

表 2 国家气象局颁布的降雨强度等级划分标准(内陆部分)

Table 2 The intensity of rainfall grading standards issued by national bureau of meteorology (inland part)

降雨强度等级	24 h 降水总量/mm	12 h 降水总量/mm
小雨、阵雨	0.1 ~ 9.9	≤4.9
中雨	10.0 ~ 24.9	5.0 ~ 14.9
大雨	25.0 ~ 49.9	15.0 ~ 29.9
暴雨	50.0 ~ 99.9	30.0 ~ 69.9
大暴雨	100.0 ~ 249.9	70.0 ~ 140.9
特大暴雨	≥250.0	≥140.0

表 3 汛期及非汛期降雨情况统计

Table 3 Rainfall statistics in flood season and non-flood season

项目	总累积降雨量/mm	最大日降雨量/mm	最大降雨强度/(mm·h ⁻¹)	一次降雨过程最大累积雨量/mm	最大降雨持续时间/h
汛期	268.9	34.9	1.37	99.9	168
非汛期	55.8	31.8	1.325	31.8	48

4.2 地下水监测数据分析

4.2.1 汛期地下水位监测数据分析

因 E400 测线上的地下水监测孔 ZKS-E04-5 的监

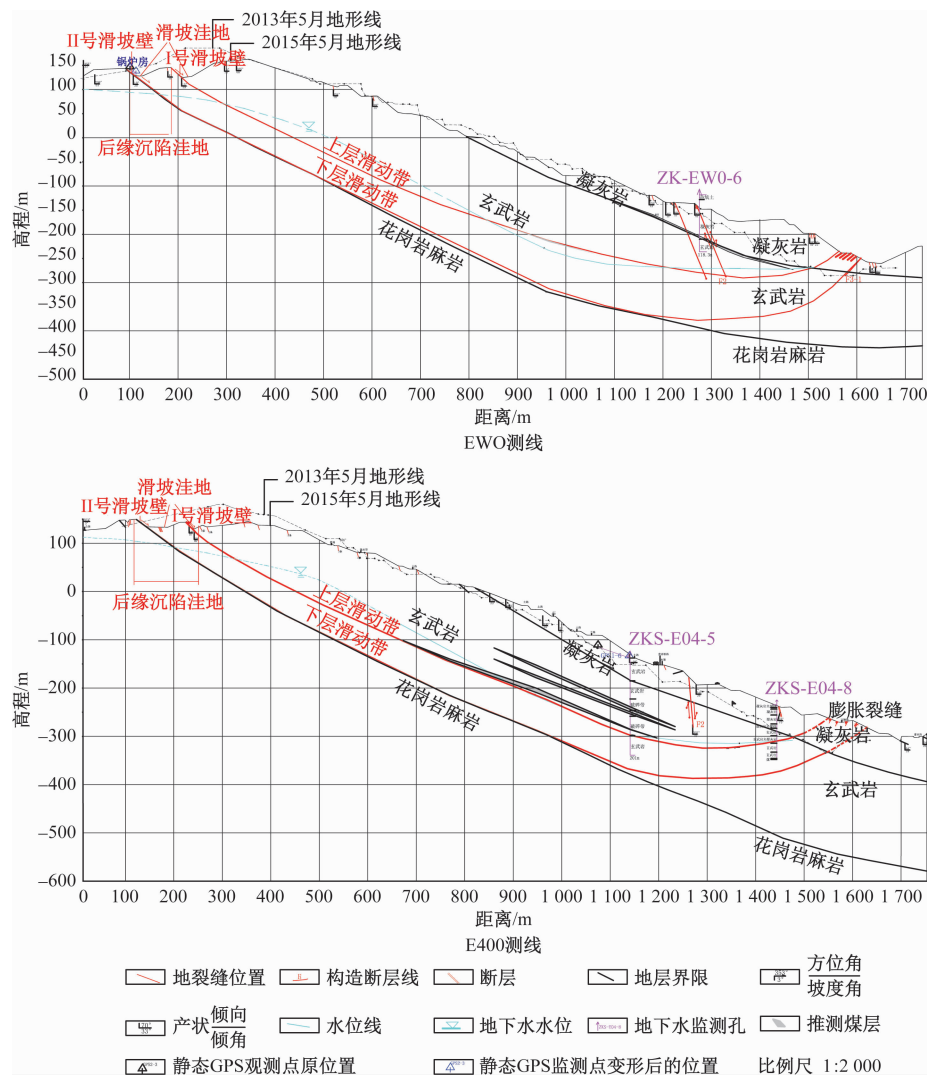


图 2 E400、EW0 测线剖面图
Fig. 2 Profile of E400 and EW0

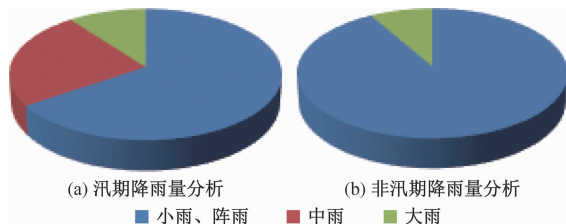


图 3 降雨量组成分布图
Fig. 3 Distribution of rainfall composition

测时段满足一个完整的水文地质年,能够较好的体现出地下水的变化周期,故对该孔地下水监测数据进行了分析。由图 4 可见,伴随着汛期降雨,地下水位随之增高,但明显存在滞后性。如 2015 年 7 月 30 日~8 月 5 日之间发生强降雨,但是地下水位至 8 月 6 日达到阶段最高水位(79.15 m)后 24 h 内回落至 65.24 m。

结合 ZKS-E04-5 较近的静态 GPS 监测点 GPS1-6 的数据进行分析发现,汛期期间地表合位移累积量一直不断增加(图 5),说明坡体一直处于向临空面蠕滑的状态。并且通过 SPSS 统计分析发现,累积降雨量与累积位移值之间的 Pearson 相关性系数达 0.931(样本数为 118,表 4),说明累积降雨量与累积位移值之间存在显著正相关关系,随着降雨的累积,坡体变形不断增加。而地下水却出现了随着降雨量增加先增大后减小的现象,分析认为基岩裂隙的张开度、延展方向的连通率的发育不同造成基岩中的含水系统具有不均匀性和各向异性,宽大连通性好的裂隙成为地下水流通的主要通道^[4]。当雨水渗入基岩裂隙中时产生了静水压力,同时增加了坡体的浮托力,随着降雨量的不断累积,水头不断增高,水压不断增大,当达到滑坡启动的临界水头高度时,滑坡在静水压力和浮托力的共同作用下加速

滑动,由此裂隙发生变形,导致水头不断降低,孔压不断下降,滑坡逐渐制动,在这个过程中地表受到深部基岩变形影响发生位移。

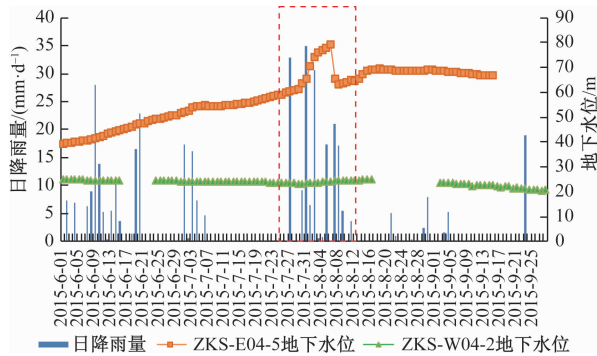


图4 汛期日降雨量与地下水位关系图

Fig.4 Relationship between daily rainfall and groundwater level in flood season

对比 ZKS-E04-5 监测点与位于南帮西部的地下水监测孔 ZKS-W04-2,从地下水对降雨的反应情况来看,位于南帮西部的地下水监测孔 ZKS-W04-2 在降雨之后地下水位并没有出现迅速上升后又明显下降的现象。两处岩体的透水性不同是导致了地下水对降雨的反应时间有差异的重要影响因素之一,正是因为透水性越小,反应时间愈长^[6],因此可以得出,W400 测线岩体的透水性较 E400 测线岩体的透水性好。

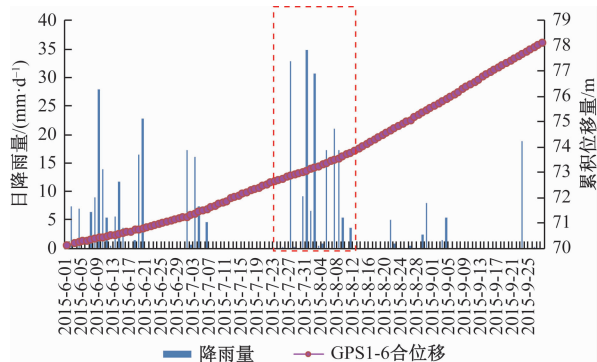


图5 汛期日降雨量与累积位移量的关系图

Fig.5 The relationship between daily rainfall and accumulated displacement in flood season

为进一步探究滑坡变形与地下水位的关系,本次对汛期典型的降雨过程进行统计,分别统计了地下水位峰值、地下水位变化值、单次累积降雨量及滑坡位移变化值等特征值(表5)。通过 SPSS 统计分析软件对地下水位变化值和滑坡位移变化值进行了相关性分析,发现二者 Pearson 相关性系数达 0.947(样本数为 7,表6),说明两者之间存在显著正相关关系。

表4 累积降雨量和累积位移值的相关性分析

Table 4 Correlative analysis of accumulated rainfall and cumulative displacement

项目	累积降雨量	累积位移值
Pearson 相关性	1	0.931 *
显著性(双侧)		0.000
N	118	118
Pearson 相关性	0.931 *	1
显著性(双侧)	0.000	
N	118	118

注: * 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

表5 ZKS-E04-5 汛期典型降雨过程特征值统计

Table 5 Characteristic value statistics during typical rainfall process of ZKS-E04-5

降水日期	孔号	水峰峰值/m	地下水位变化值/m	单次累积降雨量/mm	滑坡位移变化值/mm
7.1 ~ 7.4		54.7	2.59	41.3	0.19
7.27 ~ 7.28		61.28	0.82	33	0.06
7.30 ~ 8.5	ZKS -	79.15	15.61	99.9	0.35
8.7 ~ 8.9	E04 -	65.17	2.05	43.7	0.14
8.21 ~ 8.22	5	68.69	0.04	5.9	0.09
8.29 ~ 8.30		69.24	0.55	10.4	0.06
9.3 ~ 9.4		68.49	0.1	6.8	0.08

表6 地下水位变化值和滑坡位移变化值的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of water level change value and the landslide displacement change value

项目	地下水位变化值	滑坡位移变化值
Pearson 相关性	1	0.947 *
显著性(双侧)		0.001
N	7	7
Pearson 相关性	0.947 *	1
显著性(双侧)	0.001	
N	7	7

注: * 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

通过曲线回归分析发现,两者的二次项曲线和三次项曲线回归模型拟合较好,综合 R 方、F 值和 Sig. 值判断,地下水位变化值和滑坡位移变化值使用三次项曲线模型进行拟合效果好(图6,表7)。

$$\text{即 } y = 0.6 + 0.043x - 9.97 \times 10^{-5}x^3$$

式中: y——滑坡位移变化值/mm;

x——地下水位变化值/m。

由三次项曲线分析,当地下水位变化值达到 11.99 m 时,该点滑坡位移开始出现明显的变化。

4.2.2 非汛期地下水位监测数据分析

ZKS-E04-5 在非汛期的地下水埋深为 65.5 ~ 67.52 m,较汛期地下水埋深 121.85 ~ 148.89 m 呈明显的下降趋势。由于非汛期总累积降雨量较汛期减少近 80%,随着时间的增加,地下水位的变化曲线趋于

平缓(图 7)。同时结合其附近的静态 GPS 监测点 GPS1-6 的数据进行分析发现,非汛期滑坡的水平变形速率为 76.12 ~ 78.51 mm/d,较汛期水平变形速率 78.03 ~ 78.95 mm/d 呈现下降的趋势。

表 7 曲线回归分析的模型汇总和参数估计值

Table 7 Analysis model summaries and parameter estimates of curve regression

方程	模型汇总					参数估计值			
	R 方	F	df ₁	df ₂	Sig.	常数	b ₁	b ₂	b ₃
线性	0.896	43.189	1	5	0.001	0.084	0.018		
二次	0.946	35.009	2	4	0.003	0.060	0.046	-0.002	
三次	0.949	37.549	2	4	0.003	0.060	0.043	0.000	-9.97 × 10 ⁻⁵

注:因变量:滑坡位移变化值

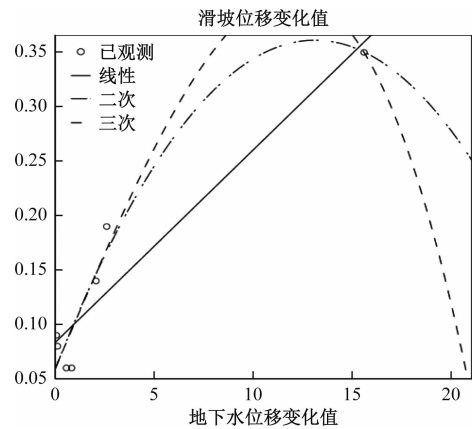


图 6 地下水位变化值和滑坡位移变化值的曲线拟合图
Fig. 6 Curve fitting of the water level change value and the landslide displacement change value

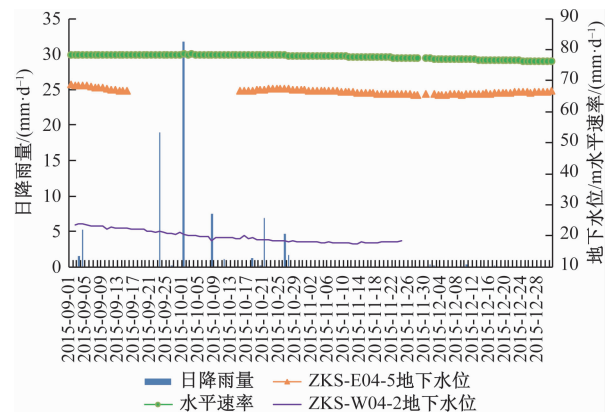


图 7 非汛期日降雨量与地下水位、水平速率关系图
Fig. 7 Relationship between daily rainfall and groundwater level and horizontal rate in non-flood season

5 结论

- (1) 通过对抚顺西露天矿汛期地下水监测数据的分析,累积降雨量与累积位移值之间存在显著的正相关关系,随着降雨的累积,坡体变形不断增加;对于持续强降雨,基岩裂隙水相对于松散孔隙水存在明显的滞后性。
- (2) 通过对抚顺西露天矿汛期典型降雨过程的特

征进行统计分析发现,ZKS-E04-5 地下水监测点的地下水位变化值和滑坡位移变化值存在显著的正相关关系,运用 SPSS 进行曲线估计回归分析发现两者符合三次项曲线模型,并得出当单次地下水位变化值达到 11.99 m 时,该点滑坡位移开始出现明显的变化。

(3) 通过对比分析抚顺西露天矿非汛期地下水位监测数据发现,非汛期滑坡区地下水位呈明显下降趋势,滑坡地表变形水平速率逐渐降低。

参考文献:

[1] VAN Asch Th W J, BUMA J, Van BEEK L P H. A view on some hydrological triggering systems in landslides [J]. Geomorphology, 1999,30(1-2): 25-32.

[2] 殷跃平. 中国典型滑坡[M]. 北京: 中国大地出版社, 2007.

YIN Yueping. Landslides in China-Selected case studies[M]. Beijing: China Land Press, 2007.

[3] Prokešová Roberta, Medve'ová Alžbeta, Táborík Petr, et al. Towards hydrological triggering mechanisms of large deep-seated landslides [J]. Landslides, 2012 (10): 239.

[4] 李文辉. 岩质滑坡地下水动态演化规律及对滑坡稳定性影响研究[D]. 成都理工大学, 2014: 19-20.

LI Wenhui. Rock landslide groundwater dynamic evolution rule and its influence on the stability of landslide[D], 2014: 19-20.

[5] 申力. 雨季露天煤矿边坡岩体变形破坏的调查与分析[J]. 露天采煤技术, 1998(S1): 30-33.

SHEN Li. Investigation and analysis on deformation and failure of rock mass in slop of open cast[J]. Opencast Coal Mining Technology, 1998(S1): 30-33.

[6] 王兰生, 张倬元, 王士天. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 2009.

WANG Lansheng, ZHANG Zhuoyuan, WANG Shitian. Principles of engineering geological analysis [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009.