

# 赤水市官渡镇高台上滑坡发育特征 及其稳定性评价

张洪<sup>1, 2</sup> 尤英锋<sup>1, 21</sup>

(1 贵州省地质环境监测院, 贵州 贵阳 550081;

2 贵州地环工程有限公司, 贵州 贵阳 550081)

**【摘要】**以赤水市官渡镇高台上滑坡为例, 运用传递系数法, 在各种工况下对其稳定性进行定量分析, 并结合滑坡体发育特征对其稳定性进行评价。得出滑坡体在各种工况下都处于不稳定状态, 对附近居民危害性较大, 为该区域的地灾防治及监测提供了科学依据。

**【关键词】**高台上滑坡 发育特征 稳定性评价 传递系数法

**【中图分类号】**:P642. 2 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1003-6563(2022)04-0077-05

## 0 引言

我国地貌、地质构造多样, 是地质灾害多发的区域, 尤其是雨水充沛的西南山区尤为严重, 灾害威胁群众的生命及财产安全, 因此滑坡的稳定性问题一直是地质工程的热点问题。目前传递系数法在滑坡稳定性的分析中被广泛使用, 文章利用工程中常用的传递系数法, 以赤水市官渡镇高台上滑坡为例, 计算分析滑坡体不同部位, 在各种工况下的稳定性系数, 综合滑坡体的具体特征分析滑坡体的稳定性。

## 1 滑坡发育特征

### 1.1 滑坡体形态特征

高台上滑坡体位于习水河一级支流淹滩河左岸的斜坡地带, 该斜坡单元体坡脚即淹滩河左岸, 呈 70° 延伸, 滑坡体平面上后缘窄、前缘宽, 滑坡轴长约 300m, 面积为  $3 \times 10^4 \text{m}^2$ , 平均厚度约 6m, 体积  $18 \times 10^4 \text{m}^3$ , 整体平面呈舌型(图 1)。在滑坡体中部, 标高 410m 处有一处陡坎, 垂直高度约 3~5m, 由此从前缘到后缘, 高台上剖面可以明显地分为上部斜坡、下部斜坡和陡坎 3 大部分。滑坡平均坡度约 32°。其中陡坎下部坡度比上部坡度相对较小, 这是滑坡体下部土溜现象较多、斜坡夷平进程较快的结果。从后缘到前缘斜坡的宽度逐渐增加, 这主要是由于两侧溪沟控制周界逐渐扩大。由此可见高台上滑坡后缘窄、前缘宽特征主要由斜坡周界控制。

<sup>1</sup>**作者简介:** 张洪(1988-), 男, 汉, 贵州六枝人, 工程师, 主要从事地质灾害防治及研究工作。



图 1 高台上滑坡实景图

### 1.2 滑坡物质组成及结构特征

高台上滑坡为一堆积层土质滑坡。滑体主要为第四系崩坡积层(Q4col+d1)的含块碎石粉质黏土, 干燥-稍湿, 块碎石含量约20%, 粒径0.5~1.5cm, 土体结构松散。滑床主要为侏罗系上统蓬莱镇组(J3P)的紫红色粉砂质泥岩与砂岩, 在层序分布上呈泥岩-砂岩互层规律。由于砂岩与泥岩的抗风化能力不同, 其表现出的风化程度也不同。根据溪沟出露地层及区域内一般地质环境点调查信息可知, 滑床地层产状为320° ~325° /5° ~10° 。

### 1.3 滑坡体变形特征

高台上滑坡体变形特征明显, 主要体现在斜坡与公路拉裂缝、局部溜滑等方面。可以判断出滑坡处于不稳定状态, 在降雨条件下(尤其暴雨情况)极易发生滑坡灾害。

据现场调查, 高台上滑坡体变形特征明显, 主要体现在斜坡与公路拉裂缝、局部溜滑等方面。可以判断出滑坡处于不稳定状态, 在降雨条件下(尤其暴雨情况)极易发生滑坡灾害。

据现场调查, 滑坡体变形较强烈, 整个滑坡体上共有4处溜滑现象明显区域, 面积约300m<sup>2</sup>, 而且局部区域有变形现象, 发生溜滑的可能性较大, 滑坡体中部出露有基岩陡坎, 加之已经发生局部溜滑现象, 可以判断该滑坡并非滑坡范围内整体滑移, 而是斜坡上密集分布的多个局部溜滑体。

表 1 斜坡溜滑体特征表

编号	发生时间	分布位置	形态特征	诱发原因
LH1	2018/5/23	滑体中部	溜滑面积约40m <sup>2</sup> , 厚度可达0.3m, 所处斜坡坡度约40°, 溜滑方向为140°, 沿直线延伸。	暴雨
LH2	2018/6/12	滑体下部, 居民建筑后侧	溜滑面积约150m <sup>2</sup> , 厚度可达0.5~1m, 所处斜坡坡度约40°, 溜滑方向为155°, 整体呈长条状。	长期降雨
LH3	2019/6/15	滑体中部	溜滑面积约60m <sup>2</sup> , 厚度0.5m, 所处斜坡坡度约30°,	长期降雨

			溜滑方向为 $140^{\circ}$ , 整体呈半圆状。	
LH4	2019/6/26	滑体中上部, 陡坎后侧	溜滑面积约 $50m^2$ , 厚度可达 0.4m, 所处斜坡坡度约 $40^{\circ}$ , 溜滑方向为 $150^{\circ}$ , 整体呈半圆状。	暴雨

表 2 斜坡裂缝特征表

编号	变形迹象(形态)	分布位置	形态特征	诱发原因	发展趋势
LF01	拉张裂缝	位于斜坡后缘中部, 靠近 X374	曲线状延伸	降雨	缓慢变形, 简易监测雨季有增大趋势
LF02	拉张裂缝	位于斜坡后缘中部, 靠近 X374	曲线状延伸	降雨	缓慢变形, 简易监测雨季有增大趋势
LF03	拉张裂缝	斜坡后缘左侧, 东侧靠近居民住宅	折线状延伸	降雨	雨季无明显变形加剧迹象, 缓慢变形
LF04	拉张裂缝	斜坡后缘左侧, 东侧靠近居民住宅	折线状延伸	降雨	出现后无明显变形加剧现象
LF05	拉张、沉降裂缝	斜坡中部, 靠近滑体中部陡坎	曲线状延伸	降雨	雨季无明显变形加剧迹象, 缓慢变形
LF06	拉张、沉降裂缝	斜坡中部, 靠近滑体中部陡坎	曲线状延伸	降雨	雨季无明显变形加剧迹象, 缓慢变形
LF07	拉张裂缝	斜坡前缘	曲线状延伸	降雨	变形明显, 简易监测雨季有增大趋势
LF08	拉张、沉降裂缝	斜坡前缘	折线状延伸	降雨	变形明显, 简易监测雨季有增大趋势

滑坡坡体上现存在多条拉张、沉降裂缝, 裂缝分布范围广而不均匀, 部分裂缝被粘土填充。由于植被覆盖, 具有隐蔽性。据了解, 该滑坡始于 2003 年雨季, 主要受降雨影响而产生地面拉裂缝, 裂缝宽 5~40cm, 延伸长 20~40m, 深度 0.5~1.2m 不等。

## 2 滑坡稳定性评价

### 2.1 滑坡宏观变形分析

总体来看, 滑坡平均坡度约  $21^{\circ}$  , 其中陡坎下部坡度比上部坡度相对较小, 这是滑坡体下部土溜现象较多、斜坡夷平进程较快的结果。从后缘到前缘斜坡的宽度逐渐增加, 这主要是由于两侧溪沟控制周界逐渐扩大。由此可见高台上滑坡后缘窄、前缘宽特征主要由斜坡周界控制。综合各项条件因素, 初步判断该滑坡目前在天然状况下处于基本稳定状态, 在暴雨等不利工况下次级滑体处于基本稳定-欠稳定状态。

### 2.2 滑坡稳定性定量分析

据工程特点, 对滑体采取岩土试样进行室内岩土物理力学试验。此次勘查中, 共取滑体土样 12 件, 试验成果统计见表 3。

表 3 试验成果表

样品编号	天然	天然	饱和	饱和	粘聚	内摩	孔隙	液限	塑限	塑性	液性	比重
------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

	含水量	密度	密度	度	力 C /kPa	擦角 $\varphi/^\circ$	比			指数	指数	
ZK01-t1	23.7	1.98	2.06	88.99	33	14	0.743	31.5	17.0	14.5	0.46	2.79
ZK02-t1	24.1	1.97	2.05	88.76	34	15	0.758	33.0	17.5	15.5	0.43	2.79
ZK02-t2	21.6	1.99	2.07	86.38	38	16	0.693	30.0	16.5	13.5	0.38	2.77
ZK03-t1	23.5	1.98	2.06	89.01	32	14	0.734	30.5	16.0	14.5	0.52	2.78
ZK04-t1	24.8	1.97	2.05	90.16	31	14	0.767	32.0	18.0	14.0	0.49	2.79
ZK06-t1	22.0	2.00	2.08	88.82	35	15	0.684	30.0	16.5	13.5	0.41	2.76
ZK07-t1	21.2	2.01	2.09	87.61	37	16	0.670	29.5	15.8	13.7	0.39	2.77
ZK08-t1	21.9	2.00	2.08	87.67	35	15	0.694	30.0	16.0	14.0	0.42	2.78
ZK09-t1	22.6	1.99	2.07	89.06	34	15	0.700	30.5	16.5	14.0	0.44	2.76
ZK10-t1	23.2	1.98	2.06	88.38	35	16	0.730	32.0	16.5	15.5	0.43	2.78
ZK11-t1	22.3	1.99	2.07	87.50	39	16	0.709	31.5	16.7	14.8	0.38	2.78
ZK12-t1	24.9	1.97	2.05	90.35	33	14	0.769	32.5	17.0	15.5	0.51	2.79

### (1) 计算模型

用 1-1' 剖面(图 2)、2-2' 剖面进行滑坡稳定性计算和分析, 计算时基本假定如下:

- ①沿横断面方向取 1m 宽的土条作为计算的基本断面, 不计两侧摩阻力;
- ②滑坡每一分条假定为整体滑动;
- ③滑坡推力的作用方向平行于(潜在)滑动面。

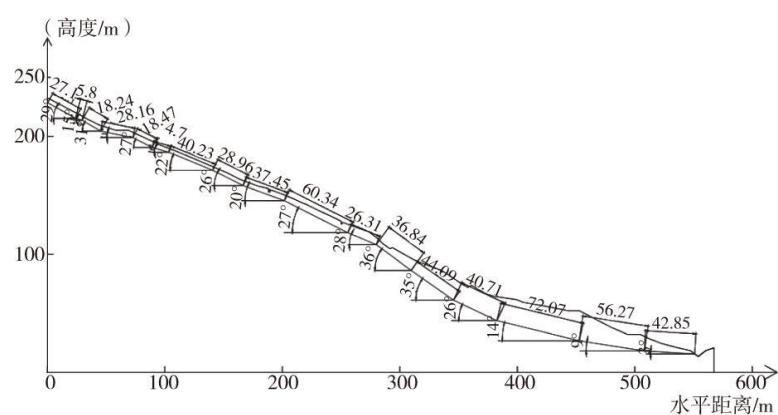


图 2 1-1' 剖面计算简图

(2) 计算方法

滑坡滑面呈折线形, 采用折线滑动法(传递系数法)计算滑坡稳定性系数, 计算公式如下(《滑坡防治工程勘查规范》(DZ/T0218—2006)):

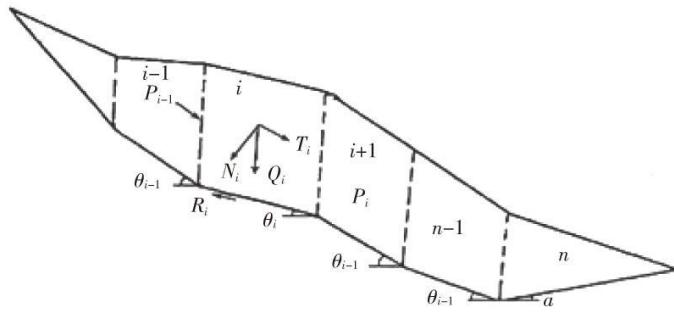


图 3 传递系数法计算简图

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left( R_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j \right) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} \left( T_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j \right) + T_n}$$

$$\psi_j = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \phi_{i+1}$$

$$\prod_{j=1}^{n-1} \psi_j = \psi_i \cdot \psi_{i+1} \cdot \psi_{i+2} \cdots \psi_{n-1}$$

$$R_i = N_i \tan \phi_i + c_i l_i$$

$$T_i = W_i \sin \theta_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \theta_i) + P_h \cos \theta_i$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i + P_{wi} \sin(\alpha_i - \theta_i) - P_h \sin \theta_i$$

$$W_i = V_{iu} \gamma + V_{id} \gamma' + F_i$$

$$P_{wi} = \gamma_w I V_{id}$$

$$P_h = G_z * K_h * W_i$$

$$I = \sin |\alpha_i|$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

式中:  $F_s$  为滑坡稳定性系数;  $\psi_i$  为传递系数;  $R_i$  为第  $i$  计算条块滑体抗滑力 (kN/m);  $T_i$  为第  $i$  计算条块滑体下滑力 (kN/m);  $N_i$  为第  $i$  计算条块滑体在滑动面法线上的反力 (kN/m);  $c_i$  为第  $i$  计算条块滑动面上岩土体的粘结强度标准值 (kPa);  $\phi_i$  为第  $i$  计算条块滑带土的内摩擦角标准值 (°);  $\alpha_i$  为第  $i$  计算条块地下水水流线平均倾角, 一般情况下取浸润线倾角与滑面倾角平均值 ( $\alpha$ ), 反倾时取负值;  $W_i$  为第  $i$  计算条块自重与建筑等地面荷载之和 (kN/m);  $\theta_i$  为第  $i$  计算条块底面倾角 (°), 反倾时取负值;  $P_{wi}$  为第  $i$  计算条块单位宽度的渗透压力, 作用方向倾角为  $\alpha_i$  (kN/m);  $I$  为地下水渗透坡降;  $\gamma_w$  为水的容重 (kN/m³);  $V_{iu}$  为第  $i$  计算条块单位宽度岩土体的浸润线以上体积 (m³/m);  $V_{id}$  为第  $i$  计算条块单位宽度岩土体的浸润线以下体积 (m³/m);  $\gamma$  为岩土体的天然容重

( $\text{kN}/\text{m}^3$ ) ;  $\gamma'$  为岩土体的浮容重 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ) ;  $\gamma_{\text{sat}}$  为岩土体的饱和容重 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ) ;  $F_i$  为第  $i$  计算条块所受地面荷载 ( $\text{kN}$ ) ;  $G_i$  为综合影响系数, 考虑到综合影响系数为对地震加速度的折减, 本工程  $G_i$  取 0.25;  $K_i$  为水平地震力系数, 根据《中国地震动参数区划图》GB18306—2015 国家标准第 1 号修改单, 本场地地震动峰值加速度为  $0.20g$  ( $g$  为重力加速度)。  $W_i$  为第  $i$  计算条块自重与建筑等地面荷载之和 ( $\text{kN}/\text{m}$ )。

### (3) 计算工况

根据场地情况, 滑坡稳定性计算选择工况 I 天然状态滑体自重+地表荷载+地下水, 工况 II 滑体自重+地表荷载+暴雨, 工况 III 滑体自重+地表荷载+地下水+地震三种工况进行(表 4)。

表 4 滑坡稳定性计算工况类型表

工况	荷载组合	安全系数
I	自重+地表荷载+地下水(天然工况)	1.15
II	自重+地表荷载+暴雨(暴雨工况)	1.1
III	自重+地表荷载+地下水+地震(地震工况)	1.05

### (4) 计算结果

根据勘查和现场调查情况, 对高台上滑坡进行了整体稳定性计算, 并对次级滑面进行了验算。计算结果见表 5。

表 5 滑坡体稳定性计算结果

计算剖面	工况	块号	抗滑力/kN	下滑力/kN	安全系数	稳定性系数	稳定性
1-1' 剖面	天然	1	41523.57	78435.89	1.15	0.5294	不稳定
		2	9793.53	8961.87	1.15	0.5830	不稳定
		3	27403.03	56083.94	1.15	0.5144	不稳定
		4	48289.02	32066.50	1.15	0.6953	不稳定
		5	28818.51	50059.67	1.15	0.6458	不稳定
		6	24704.16	24189.66	1.15	0.6742	不稳定
		7	65261.84	89970.43	1.15	0.6612	不稳定
		8	45571.99	75790.51	1.15	0.6338	不稳定
		9	61554.00	76467.67	1.15	0.6452	不稳定
		10	94147.74	163540.91	1.15	0.6071	不稳定

		11	42379.74	61372.41	1.15	0.6065	不稳定
		12	52310.29	129274.43	1.15	0.5665	不稳定
		13	63369.75	150975.24	1.15	0.5352	不稳定
		14	64585.64	102712.59	1.15	0.5364	不稳定
		15	122232.17	104088.81	1.15	0.5849	不稳定
		16	97110.43	52551.33	1.15	0.6354	不稳定
		17	74752.85	13388.30	1.15	0.6898	不稳定
		1	36012.14	78435.89	1.1	0.4591	不稳定
		2	8495.66	8961.87	1.1	0.5080	不稳定
		3	23764.59	56083.94	1.1	0.4559	不稳定
		4	41891.15	32066.50	1.1	0.6177	不稳定
		5	24994.58	50059.67	1.1	0.5766	不稳定
		6	21430.05	24189.66	1.1	0.6029	不稳定
		7	56607.72	89970.43	1.1	0.5938	不稳定
		8	39525.89	75790.51	1.1	0.5702	不稳定
	暴雨	9	53393.26	76467.67	1.1	0.5812	不稳定
		10	81655.27	163540.91	1.1	0.5478	不稳定
		11	36759.30	61372.41	1.1	0.5475	不稳定
		12	45357.86	129274.43	1.1	0.5116	不稳定
		13	54949.28	150975.24	1.1	0.4834	不稳定
		14	56018.12	102712.59	1.1	0.4847	不稳定
		15	106034.70	104088.81	1.1	0.5283	不稳定
		16	84245.33	52551.33	1.1	0.5736	不稳定
		17	64851.26	13388.30	1.1	0.6221	不稳定
		1	40961.30	81973.45	1.05	0.4997	不稳定
		2	9729.28	9798.02	1.05	0.5542	不稳定
		3	27000.98	58417.42	1.05	0.5072	不稳定
	地震	4	48059.15	36190.70	1.05	0.6835	不稳定

	5	28459.65	52515.86	1.05	0.6425	不稳定
	6	24530.75	26298.64	1.05	0.6712	不稳定
	7	64616.87	95537.54	1.05	0.6633	不稳定
	8	45028.68	79675.35	1.05	0.6391	不稳定
	9	61005.83	81720.00	1.05	0.6514	不稳定
	10	92975.37	171565.08	1.05	0.6164	不稳定
	11	41939.79	64987.02	1.05	0.6162	不稳定
	12	51383.57	133722.71	1.05	0.5780	不稳定
	13	62287.47	156365.62	1.05	0.5477	不稳定
	14	63849.34	108219.29	1.05	0.5492	不稳定
	15	121485.99	114525.74	1.05	0.5970	不稳定
	16	96733.71	60846.23	1.05	0.6462	不稳定
	17	74656.87	19774.89	1.05	0.6986	不稳定

续表 5

计算剖面	工况	块号	抗滑力/kN	下滑力/kN	安全系数	稳定性系数	稳定性
2-2' 剖面	天然	1	11396.60	22417.35	1.15	0.5084	不稳定
		2	19924.92	8359.66	1.15	1.0505	基本稳定
		3	94506.68	150296.96	1.15	0.6188	不稳定
		4	302570.35	459515.93	1.15	0.5853	不稳定
		5	76152.67	84474.83	1.15	0.6094	不稳定
		6	38845.31	30632.87	1.15	0.6308	不稳定
		7	6562.11	16814.47	1.15	0.6242	不稳定
		8	53549.51	19232.76	1.15	0.6873	不稳定
		9	117404.60	145850.08	1.15	0.6899	不稳定
		10	67488.90	107329.74	1.15	0.6716	不稳定
		11	34037.47	12224.84	1.15	0.7010	不稳定

暴雨	1	9883.67	22417.35	1.1	0.4409	不稳定
	2	17285.48	8359.66	1.1	0.9195	不稳定
	3	81970.01	150296.96	1.1	0.5580	不稳定
	4	262438.34	459515.93	1.1	0.5299	不稳定
	5	66058.32	84474.83	1.1	0.5518	不稳定
	6	33698.09	30632.87	1.1	0.5711	不稳定
	7	5689.75	16814.47	1.1	0.5651	不稳定
	8	46456.04	19232.76	1.1	0.6213	不稳定
	9	101839.28	145850.08	1.1	0.6240	不稳定
	10	58536.25	107329.74	1.1	0.6076	不稳定
	11	29528.67	12224.84	1.1	0.6339	不稳定
地震	1	11075.19	24358.75	1.05	0.4547	不稳定
	2	19805.07	11763.86	1.05	0.8974	不稳定
	3	92351.83	166412.60	1.05	0.5876	不稳定
	4	295982.15	511120.41	1.05	0.5616	不稳定
	5	74941.53	97474.17	1.05	0.5829	不稳定
	6	38406.12	37267.14	1.05	0.6015	不稳定
	7	6321.04	17930.15	1.05	0.5959	不稳定
	8	53273.76	28382.13	1.05	0.6502	不稳定
	9	115313.51	165886.07	1.05	0.6526	不稳定
	10	65950.09	118838.21	1.05	0.6371	不稳定
	11	33862.20	18040.43	1.05	0.6622	不稳定

从计算结果中可以看出：滑坡整体在工况 I 、 II 、 III(自重、自重+暴雨、自重+地震)下基本处于不稳定状态。

### 2.3 成因机制分析

根据边坡的地质条件和变形特征分析，该滑坡形成的主要因素有以下三个方面：

1) 从地貌上，滑坡整体处于斜坡上，地形坡角平均为  $32^\circ$ ，为滑坡的形成创造了有利的空间形态；

---

2)滑坡体物质为含碎石粉质粘土,基岩为泥岩、砂岩,岩土界面形成了斜坡中的软弱面,这些条件为滑坡的形成提供了一个连续的活动面;

3)由于滑坡体汇水面积较大,雨季时,降雨量较大,降雨尤其是暴雨形成的地表径流大面积的渗进入土体,软化了土体,其下伏基岩为相对隔水层,地下水运移受阻易在土体中滞留聚集,增大了地下水对土体的侵润作用,触发土体变形。因此,降雨使边坡变形进一步加剧。

### 3 结论

通过稳定性计算结果,并结合勘查和现场调查情况综合分析,可以得出:斜坡整体在工况Ⅱ、Ⅲ(自重+暴雨、自重+地震)下处于不稳定状态,正发生缓慢滑动。暴雨及地震会导致滑坡坡体加速滑动,此外,暴雨对该滑坡稳定性的影响要大于地震对滑坡的影响。随着前缘雨季受地面径流冲刷不断崩滑变形,在人类工程活动、暴雨和地震等诱发因素的影响下,滑坡将有可能发生大面积快速滑动,滑坡失稳后危害较大,应对其进行及时治理。

#### 参考文献:

- [1]任帮政,冷洋洋,尤英锋,等.贵州省赤水市官渡至石堡重点区域地质灾害详细调查及风险评价成果报告[R].贵阳:贵州省地质环境监测院, 2020.
- [2]李应平.贵州省印江县罗场中学滑坡的影响因素及稳定性分析[J].贵州科学, 2018, 36(2):68-72.
- [3]郑志威,张莉丽,代一鸣,等.基于极限平衡理论的滑坡稳定性分析[J].防灾科技学院学报, 2021, 23(4):43-49.
- [4]张军,田冉.重庆武隆区某滑坡稳定性分析及防治措施[J].云南水利发电, 2021, 37(11):28-30.
- [5]苏爱军,冯明权.滑坡稳定性传递系数计算法的改进[J].地质灾害与环境保护, 2002, 13(3):51-55.
- [6]国土资源部地质环境司.滑坡防治工程勘查规范: DZ/T0218—2006[S].北京: 中国标准出版社, 2006.