

# 神木六道沟流域的土壤侵蚀类型 强度及其分异规律

王斌科 唐克丽 张科利 张平仓\*

(中国科学院  
水利部 西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

**摘要** 应用野外实地考察和航片判读资料分析研究了位于水蚀风蚀过渡带的六道沟小流域的土壤侵蚀类型、强度及其时空分异特点,为开展试验示范和综合整治提供了环境本底数据,表明流域内风力吹蚀、坡面切沟侵蚀比较强烈,沟谷发育尚处于活跃阶段,平均侵蚀模数  $10\,890\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 。因此,在现有基础上加强坡面治理,提高生物措施质量有重要意义。

**关键词** 土壤侵蚀类型和强度 时空分布特征 六道沟流域

## Types and Intensity of Soil Erosion and Its Temporal and Spacial Distribution in Liudaogou Watershed Shenmu County

Wang Binke Tang Keli Zhang Keli Zhang Pingcang

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica  
and the Ministry of Water Resources, Yangling, shaanxi, 712100)

**Abstract** Using data of field investigation and—photo interpretaion, soil erosion types and intensity, and characteristics of their temporal and spacial distribution in the transitional zone of Liudaogou watershed are analysed, which provides environmental background data for developing experiment and demonstration research and comprehensive harnessing. The results show that wind—blow erosion and sloping gully erosion is severe, velley development is in active stage in the Liudaogou watershed. And mean soil erosion modulus is  $10\,890\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ . Therefore, on basis of present control backgroud, it is very important to strenghten sloping control and improve bio—measure quality.

**Key words** soil erosion type and intensity temporal and spacial distribution Liudaogou watershed

水蚀风蚀过渡带是干旱半干旱地区比较独特的自然单元,由于地理环境和人文要素的过渡性特点,水蚀风蚀交错发育,生态环境极为脆弱,黄土高原较强的土壤侵蚀主要发生于本区,随着神府煤田的开发和人为活动的加剧,新的人为加速侵蚀的潜在危险依然存在。为了深入研究本区的生态脆弱性和侵蚀规律并进而实施治理,选定神木县六道沟流域为实验区。该流域在整个过渡带从环境背景、自然条件及人为活动等方面都有较好的代表性和典型性,分析研究其侵蚀发育特征与分异规律,对揭示水蚀、风蚀过渡带生态环境的脆弱性和复杂性,制定合理的整治战略有重要意义。

收稿日期 1993—10—06

1 土壤侵蚀类型

1.1 土壤侵蚀类型及其划分依据

划分侵蚀类型的目的在于反映和揭示各类侵蚀的内部联系与分布规律,便于评价其发展趋势及其生态、经济后果,本文结合流域实际情况,在前人工作基础上<sup>[1,2]</sup>,遵循成因与形态综合性与主导因素、定性分析与定量统计等密切结合的原则,并考虑科学性与生产实用性的一致关系,采用三级分类系统(表 1)划分侵蚀类型。首先以外营力性质及类型分为水力、风力和重力等若干组,组内以外营力作用方式和侵蚀形态(侵蚀方式)及其发育分类。类以下根据侵蚀方式的发育程度结合主导因素的特征指标划分亚类,这些指标同时也是评定侵蚀强度的基本依据。因而不同亚类对应于一定的侵蚀强度。人为活动所导致的侵蚀是重要而独特的一种类型,但因资料有限,暂与重力侵蚀一样,用符号表示出来。

表 1 六道沟流域土壤侵蚀分类系统

外营力 (组)	侵蚀方式 (型)		代码	发育程度 (类)	主要分类依据及指标 (主导因素特征)			侵蚀强度 (t/km <sup>2</sup> ·a)
水力	片蚀	无固定流路的径流作用	Aa	高覆地	植被	750		300~500
			Ab	中覆地	覆盖	30~50	坡度 <15°	500~1500
			Ac	低覆地	度(%)	15~30		1500~3500
			Ad	缓耕地		<15		3500~5500
	细沟侵蚀	有暂时固定流路的径流作用	Ba	偶见	细沟	<10	坡度 10~15° >15°	5500~7500
			Bb	较明显	面积	10~30		7500~8500
			Bc	明显	比(%)	30~50		8500~10500
			Bd	很明显		>50		10500~13500
	切沟侵蚀	固定流路的径流作用	Ca	低切割	切割	<2.0	相对高差 30~50m 切割深度 <20m	11500~14500
			Cb	中切割	密度	2~5		14500~17500
			Cc	强切割	( $\frac{km}{km^2}$ )	5~7		17500~20500
			Cd	极强切割 剧烈切割		7~10 >10		20500~22500 22500~24500
	洞穴侵蚀	径流的潜蚀 冲淘作用	Da	陷穴				11000~13000
			Db	穿洞				13000~15000
风力	沟道侵蚀	径流冲力等 综合作用	Ea	稳定	切割	5~7	相对高差 50~150m 切割深度 20~50m	18000~20000
			Eb	较稳定	密度	7~9		20000~23000
			Ec	活跃	( $\frac{km}{km^2}$ )	9~11		23000~25000
			Ed	很活跃		>11		25000~28000
	风蚀风积	片沙地风力 吹蚀作用	Fa	高覆沙地	被覆	>75	组成物质 风积沙	1000~2500
			Fb	中覆沙地	度(%)	30~50		2500~5000
			Fc	低覆沙地		<30		5000~8000
	风力吹失	风力扬失作 用	Ga	荒地	被覆	>17	组成物质 黄土	0~1000
			Gb	农地	度(%)	<15		1000~25000
	滑坡	整体 滑动	Ha	老滑坡	物质	新老黄土 为主	坡度 >25°	10500~12500
			Hb	新滑坡				12500~14500
重力	泻溜剥落 崩塌	热力与 重力作用 块状跌落	Ia	泻溜	物质	红土、古黄土 石披砂岩等	坡度>35° 坡度>50°	6500~8500
			Ib	剥落 崩塌				8500~10500
弱营力	无明显侵蚀	高覆地 坝地 梯田	Oa		被覆度>50°		堆积为主	
			Ob		坡度→0			<300
			Oc		坡度→0			

1.2 土壤侵蚀类型的分布

根据上述划分,流域内各种土壤侵蚀类型的面积占总面积的比例及各类型的侵蚀量占总侵蚀

量的比例列于表 2,其中风力扬失(G)多与其它类型重叠分布,而一些小滑坡则主要在复合图斑中以附属成分出现,崩塌和人为侵蚀均以符号形式表示,因溅蚀在平缓部位不产生土粒的明显位移,也归入片蚀。主要侵蚀类型的扇形频率分布图分别见图 1a(面积频率)和图 1b(侵蚀量频率)。

表 2 六道沟流域土壤侵蚀类型的频率分布表

类型代码	A	B	C	D	E	F	G	H	I	O
类型名称	片蚀	细沟	切沟	洞穴	沟道	吹蚀	扬失	滑坡	泻溜	无明显
面积(km <sup>2</sup> )	1.15	1.17	0.82	0.01	1.80	0.83	1.32	0.01	0.06	1.02
面积/总面积(%)	16.69	17.00	11.96	0.23	26.11	12.05	19.16	0.20	0.87	14.80
侵蚀量(t/km <sup>2</sup> )	2632	11151	14736	142	42483	2947	1320	112	570	232
侵蚀量/总侵蚀量(%)	3.51	14.87	19.65	0.19	56.65	3.93	1.76	0.15	0.76	0.31

由表 2 和图 1 可见,无论从分布范围和侵蚀量的角度来看,沟道侵蚀均占优势。前者占 1/4 略强,后者达一半以上。风力吹蚀(风蚀风积)在两种情

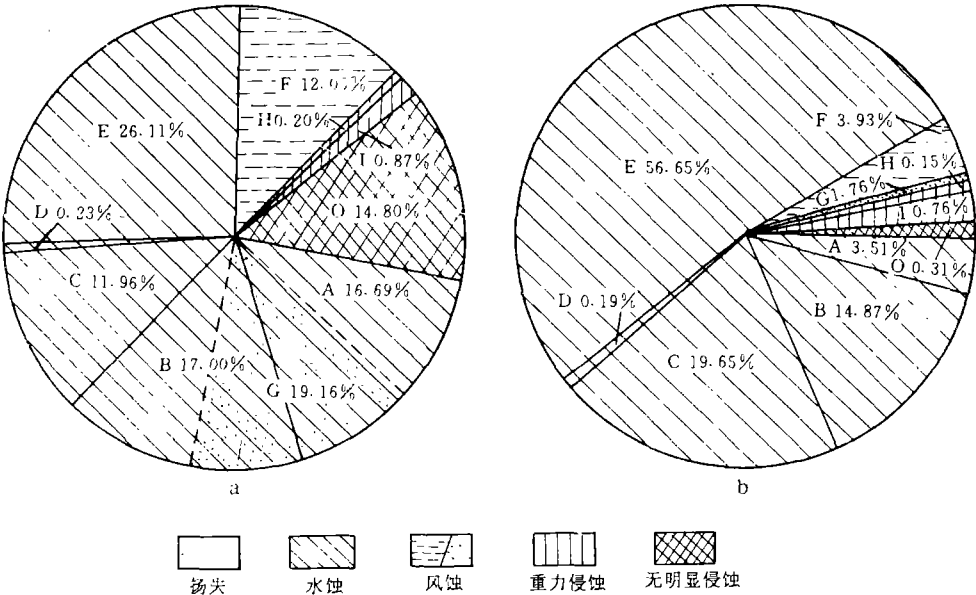


图 1 不同土壤侵蚀类型的面积(a)和侵蚀量(b)分布

况下均居第四位,分布面积约占 1/8,次于片蚀和细沟,其侵蚀量次于三种沟蚀,但风力吹失的作用范围较广,其危害不可忽视。因为它对区域生态环境和土地资源的影响不能仅用侵蚀量衡量。所以,沟道侵蚀和风蚀是该流域极为重要的两种侵蚀类型。各种侵蚀类型的基本特征与分布如下:

1.2.1 水力侵蚀 水蚀的分布范围占流域总面积的 3/4,侵蚀量占 90.6%,成为流域最重要的一组侵蚀类型,主要发育于黄土覆盖区域,它包括片蚀、细沟侵蚀、切沟侵蚀、洞穴侵蚀和沟道侵蚀,前三类以沟间地坡面为主,洞穴侵蚀偶见于沟道边缘及其附近。

①片蚀:是降雨产流初期无固定流路的薄层片流对土壤的冲刷作用。在植被稀疏的坡地,因地面抗蚀性不均匀,最容易发生这种侵蚀,其形态多为斑状,故常称为片状侵蚀。在<5°坡耕地上,因径流小,不足以形成细沟,也以片蚀为主。雨滴击溅(溅蚀)对片蚀有加剧作用,尤其是薄层片流使土体崩解分散成泥流时,这种作用十分明显。片蚀可发生于各种坡度的林草地,荒坡及缓坡耕地上,本流域以中上段靠近分水岭部位的梁顶分布最广,可占水蚀总面积的 1/4 以上。

②细沟侵蚀:是坡耕地上最常见的侵蚀形态,其深度在数至数十厘米之间,无固定汇水面积,是片流进一步加强发展,形成临时性股状径流对土壤产生冲刷的结果,多呈网状分布。它可为耕作活

动消灭,在流域右岸中下段分布较广。细沟主要发生在大于 $5^{\circ}$ 的黄土质坡耕地,其植被覆盖一般都比较差,因而导致细沟侵蚀强度变化的主要因素是地形坡度和地面组成物质或土壤可蚀性。在一定范围内,坡度越大,侵蚀越强,据在延安—安塞一带调查,在 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 坡面,其细沟侵蚀量达 $5\,000\sim 7\,000\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 。黄土物质组成越粗,结构越松散,越容易发生细沟侵蚀,因而新黄土上的细沟侵蚀远较老黄土上为强,本区黄土沙性大,结构松散,更易发生细沟侵蚀。东沟左岸一块不到 $15^{\circ}$ 的荞麦地上细沟密度达 $6\sim 8$ 条/m,平均宽度约为10cm,深度可达30cm以上。虽然由于流域内地形本身较缓,坡耕地也少,现有耕地的坡度不是很大,细沟侵蚀在面积和侵蚀量上都还不很强烈,但因土质松散,暴雨较多,细沟侵蚀的潜在危害不可忽视。同时,从地埂和侵蚀现状推断,目前流域梁面许多天然荒坡,原来多为耕地,因侵蚀强烈,砾石砾化严重而被迫弃耕撂荒,从而说明细沟侵蚀的严重。

③切沟侵蚀:细沟的进一步袭夺兼并可发展为浅沟,但受地形和组成物质的影响,浅沟在本流域较少,而切沟比较发育,尤以石窑湾和蛇圪塔一带最广,炭窑沟等处也较多见。切沟系较固定股流冲刷所致,有一定汇水面积和明显沟缘,深度在几米到几十米不等,纵断面常与坡面一致。新黄土中的切沟横断面多为U型,老黄土中可呈V型,底部多跌水(如图2),发展迅速,为沟蚀的活跃阶段。切沟在坡耕地和撂荒地都较发育,地形和组成物质是其发育的主导因素,尤其是坡长和集水面积。本流域坡面平坦宽大,集水区广、坡长大、植被差,土质松,极易发生切沟侵蚀。其密度可达 $7\sim 15\text{km}/\text{km}^2$ ,最长者约在200m以上(如表3)。而深度多仅10~30m之间,有人称之为条沟<sup>[2]</sup>或小切沟,可由主细沟直接发育而来。此外,流域的道路侵蚀也很强烈,一些 $10^{\circ}$ 左右的马路,一次暴雨即可冲成宽30—50cm,深70~100cm的切沟,所以,从长远看,固边保梁,防止切沟侵蚀,是本流域水土保持工作的重要任务。

表3 主要支沟的沟壑密度

沟道名称	沟道面积 ( $\text{km}^2$ )	沟壑密度( $\text{km}/\text{km}^2$ )	
		>100m	>20m
炭窑沟	0.39	8.56	20.3
强家岭前沟	0.31	7.19	19.00
强家岭后沟	0.38	5.18	13.67
蔡芹沟	0.57	5.13	12.67
水沟	0.58	3.54	9.24
东沟	0.44	5.45	12.85
老爷满	0.56	5.32	14.24
蛇圪塔	1.11	7.42	17.05
石窑湾	1.00	8.32	17.30
平均	5.34(总计)	6.45	15.25

此外,在一些切沟底部或沟道边缘还可见到因地面径流沿黄土裂隙下渗,或沿跌水冲刷而成的陷穴或穿洞,与沟蚀相互促进,不断加剧。

④沟道侵蚀:本文的沟道侵蚀是指冲沟、河沟及其边坡上的悬沟等的水力冲刷和重力崩塌等综合作用,其侵蚀方式包括沟头前进、沟岸扩张和沟底下切。冲沟多由现代沟壑切穿古基底而成,因而宽深度均比较大,本区宽一般为50~80m,深20~50m。河沟和干沟的切割深度及空间规模更大,二者之别是干沟尚未切至地下水层而无常水流,这在本区较少,由于黄土沙性大、多片沙及下伏古积沙的存在和坡面宽大、集水区广,本区的沟道侵蚀十分活跃,其沟壑切割密度达 $4\sim 8\text{km}/\text{km}^2$ ,平均达 $6.45\text{km}/\text{km}^2$ (如表3),不仅沟头前进迅速,许多沟缘悬沟密布,崩塌频繁,沟底下切也很旺盛,特别是右岸和左岸下段,沟底下切至基岩30~50m,而这种岩石以披砂岩为主,其剥落、泻溜及崩塌更加剧了侵蚀过程。所以区内目前采取的打坝固沟的措施通过抬高侵蚀基准,减弱冲刷,对防治沟道

侵蚀和增产增收都有重要意义。

1.2.2 风力侵蚀 风蚀是风力对土壤物质的破坏搬运作用,包括风力吹蚀、风蚀风积、扬失和风沙流的磨蚀等侵蚀作用<sup>[1]</sup>,在本区以前两种最常见。风速与地面起伏、组成物质及植被覆盖是影响风力侵蚀的主要因素。本区的临界起沙风速约为 5m/s,风速越大,风蚀力越强。本县年均风速 2.5~2.7m/s,最大风速月平均 9.68~14.75m/s(约 6 级),全年大于 5 级(8~10m/s)风日数 45 天,大于 8 级风日 16.2 天,秋末冬春盛行西北风,风速 3.9m/s,夏季东南风,风速 2.9m/s。加之本流域地势西高东低,在其左岸及左岸的沟掌风影区形成了大面积片沙,其厚度一般为 3~5m。虽经一定治理,其植被盖度仍然较低,风蚀风积(片沙)面积约为 0.83km<sup>2</sup>,占流域总面积的 12.05%,其风力扬失范围更广,多与吹蚀和水蚀重迭分布,接近流域面积的 1/5。

风蚀深以层状剥蚀为主,在风蚀较强部位可见风波纹、片痕、风蚀槽和残丘形态,局部调查资料(表 4)表明,流域风积沙上的最大风蚀深可达 2.16cm/a,折合风蚀量 3 万 t/km<sup>2</sup> 以上。虽然该调查样点不是随机抽样,而且主要在风口、梁顶等典型地段,其调查基准的根茬和灌丛沙墩,也有自然长高或因拦截沙粒增高的可能,因而略微偏大。但也说明该地风蚀的强烈和危害程度。其风蚀风积主要分布于左岸和右岸高粱背风沟掌等风影区,风力扬失在分水岭梁顶和右岸迎风坡面均很广泛,常于片蚀一起加剧地面砾质化过程。流域中段两侧的梁顶,有大片布满沙碛的劣地,礞石突出地面 10 多公分。风蚀不仅直接增加沟道侵蚀产沙,而且对作物及林灌幼苗、土壤水分、养分、表土颗粒粗砾化等造成极大危害和影响。

表 4 六道沟流域风蚀深度调查表

点号	坡向	地形 坡度	植被	造林年限 (年)	样本数	平均风蚀深* (cm)	年平均深 (cm)
1		<3°风口	杨树	15	7	42.14	2.81
2		沟掌	杨树	15	3	28.67	1.91
3	N20°E	迎风坡	杨树	15	11	70.18	4.68
4		<3°	杨树	12	8	23.50	1.96
5		<5°	沙蒿	11	19	8.26	0.75
6	N45°W	7°沟掌风口	沙蒿	11	16	26.63	2.42
7		迎风坡	沙蒿	11	14	31.14	1.64
8	N10°E	<3°	沙蒿	15	13	24.62	1.64
9	S10°W	10°	柠条	10	13	14.69	1.47
10	N30°E	12°	柠条	10	11	11.55	1.16
平均						28.14	2.163

\* 树木以树干基部最高根茬为原始地面,柠条、沙蒿以内沙墩为原始地面,组成物质为风积沙。

1.2.3 重力侵蚀 区内重力侵蚀以崩塌、披砂岩剥落和红土泻溜较为频繁。前者广见于蛇圪塔、石窑湾、炭窑沟和强家峁沟各级冲沟和大切沟沟缘,主要呈线状分布。其裸岩集中出露于六道沟

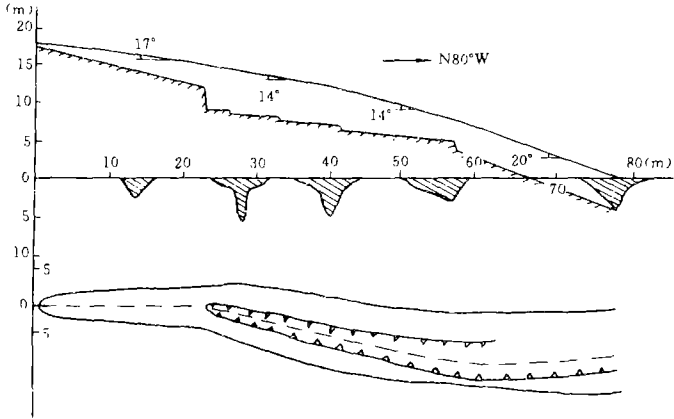


图 2 六道沟流域的坡面切沟剖面图

村以下的干流左岸坡面,露头高度约 10~40m,蛇圪塔沟口,石窑湾沟中下段也有一定分布,总面积约 0.06km<sup>2</sup>,岩性以沙岩、沙页岩和泥页岩(即披砂岩)为主。风化强烈,剥落严重,为沟道侵蚀产沙的重要来源之一。区内出露的红色土中三趾马红土较少而以古黄土(午城黄土)为主。其颗粒组成较前者为细,礫石层多,直立性强,泻溜较弱,主要见于右岸支沟和左岸中下段支沟的沟坡上。受这种地层结构影响,流域的滑坡较少,且以小滑坡为主。石窑湾沟有一滑坡,面积约为 0.01km<sup>2</sup>,后壁高约 12m。滑坡体为几条切沟分割,上覆 1~2m 厚的风积沙层,据判断为古滑坡。

1.2.4 无明显侵蚀 包括高被覆坡地、梯台地、川坝地等。面积约 1.02km<sup>2</sup>,占总面积 14.80%。这种类型不仅侵蚀强度均小,而且还有些其它共性可臻归并。首先,相对于上述各组,可视为常态侵蚀(无害侵蚀),与加速侵蚀的内部机理有所不同;其次,属弱营力作用,不仅侵蚀量小,而且有堆积,难以笼统划入上述成因类型;从与人类活动关系上,多系尚未开发扰动的处女地(如原始高覆林草地)或人为治理(正向作用)的结果(如梯田、坝地、人工草等),改造利用方向以保护、培育和推广为主,无需再施用其它水保措施。而且是良性循环的标志和水土保持的目标,本组类型主要分布于流域中上段。

1.2.5 人为侵蚀 它包括人为植被破坏,过度放牧、陡坡垦殖和不合理利用土地等间接作用及不合理开矿弃渣,采石挖土,修路建窑等直接作用,本流域以直接作用为主,尤以开矿弃渣和建窑采土造成的影响为大。

## 2 土壤侵蚀强度及其分异

土壤侵蚀强度是反映侵蚀特征的重要数量指标,它不仅能进一步揭示各种土壤侵蚀类型的发育程度和发展趋势,而且综合反映侵蚀对资源环境和区域经济的影响。本文采用定性半定量结合的方法分组综合确定强度数值,并用流域淤积资料作了拟合验算,结果比较可靠。

### 2.1 土壤侵蚀强度的确定

片蚀和细沟侵蚀主要参考前人在附近和其它地区所作的类似研究<sup>1)</sup>及有关经验关系根据流域的具体情况,通过调整有关参数,确定各种方式的大致范围,而后再由其主导因素特征内插推算出各亚类的强度值。

坡面切沟和沟道各类沟壑,都有明显而稳定的侵蚀形态,分布范围广,侵蚀强度较大,且与地面起伏切割程度、组成物质、植被覆盖和降雨侵蚀力等密切相关。因而主要参考下述经验关系<sup>2)</sup>确定其侵蚀强度:

$$P = 4.5 / (\frac{g}{G} + \frac{y}{Y} + \frac{r}{R} + \frac{l}{L})$$

其中  $P$  为加权总分, $G$ 、 $Y$ 、 $R$ 、 $L$  分别为物质组成、植被、降雨和地形因子评分, $g$ 、 $y$ 、 $r$ 、 $l$  为它们的权重参数。黄土区一般为 1,1,1.5,1。应用  $P$  值,可由  $P$ — $Me$  关系确定可能侵蚀强度  $Me$ ,该关系根据若干河道的实测输沙模数和小流域观测资料作出,有一定的可靠性。洞穴侵蚀和重力侵蚀的分布范围有限,参照上述方法确定。

风蚀主要取决于与风力有关的近地面风速和地面物质可蚀性。后者又与地面物质颗粒大小和结构,植被类型与盖度等直接相关,而近地面风速除受区域气候条件制约外,还受局部地形起伏及其相对于风场的位置等因素有关,所以在参考前人工作<sup>[3]</sup>的基础上,本流域的风蚀强度由表 5 确定。

1)江忠善等:陕北土壤侵蚀的定量评价,1991。

2)黄土高原 1/50 侵蚀图组:土壤侵蚀制图大纲,1990。

表 5 六道沟流域的风蚀强度评定依据及指标

风蚀类型	地面形态	组成物质	风蚀痕迹	植被度(%)	风蚀深(mm/a)	风蚀强度(t/km <sup>2</sup> ·a)
Ga	迎风坡、梁顶	黄土+砾石	无明显痕迹	15~30	<0.2	<300
Gb	迎风坡、鞍部	黄土	片痕、石砾化	<15	0.2~0.7	300~1000
Fa	背面低洼梁面	局部结片皮沙	沙坡纹、片痕	>50	0.1~1.5	1000~2500
Fb	平缓开阔坡面	风积片沙	片痕、风蚀槽	30~50	1.5~0.3	2500~5000
Fc	突出梁顶、沟边	松散片沙	风槽、残墩	<30	3.0~6.0	5000~8000

高原侵蚀强度制图组:黄土高原侵蚀类型与强度制图土纲,1990

2.2 土壤侵蚀强度分级及各级面积

针对本流域侵蚀类型复杂多样,侵蚀强度大小悬殊的特点,根据流域不同侵蚀强度的面积分布频率采用可变级差,把流域各种类型的侵蚀强度分为 10 级(如表 6)。其级差随着等级的提高而增大。其无明显侵蚀的上限为 300t/km<sup>2</sup>·a,相当于 0.22mm/年,强度(5 级)侵蚀的下限亦为 5000t/km<sup>2</sup>·a,与水电部颁布的分级标准和许多专家的方案相似<sup>[4]</sup>。只是低值区级差减小,目的是有利于反映土壤侵蚀的微小差异并便于检验水土保持措施的效果。

表 6 六道沟流域土壤侵蚀的分级标准

等 级	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
强度(t/km <sup>2</sup> ·a)	300	500	1000	2500	5000	8000	12000	17000	23000	

根据上述评价方案和分级标准,可以得出以图斑为单元的各种侵蚀类型与强度等级的面积(表 7 和图 3)。

表 7 六道沟流域各等级侵蚀强度面积及其主要方式

强度级	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	总
面积(km <sup>2</sup> )	1.02	0.23	0.25	0.87	0.46	0.56	0.70	0.70	0.66	1.34	6.89
占总面积(%)	14.80	3.34	5.08	12.63	6.68	8.13	10.16	10.16	9.58	19.45	100.00
主要类型	0	Aa	AbG	AcFa	BbFa	BabFc	Bed	CabEa	CcdEd	CcdEd	

由图 3 可见,流域有三个明显占优势的侵蚀强度等级。比例最大的为第 9 级异常剧烈侵蚀,强度在 23 000t/km<sup>2</sup>·a 以上,主要由活跃的沟道侵蚀所致,接近流域总面积的 1/5;其次,为第 3 级中度侵蚀,主要为有一定植被覆盖的片状侵蚀,约占总面积的 14.5%;由于流域治理有一定基础,其(0 级)无明显侵蚀面积也比较大,占 14.80%。以细沟侵蚀和切沟侵蚀为主的第 6、7 级面积居中,均为 10.16%。而以高覆盖片蚀为主的微度侵蚀(1 级)面积却很小,仅占 3.34%。大于 5 000t/km<sup>2</sup>·a 的强度侵蚀面积和大于 12 000t/km<sup>2</sup>·a 的剧侵蚀面积分别占 57.48%和

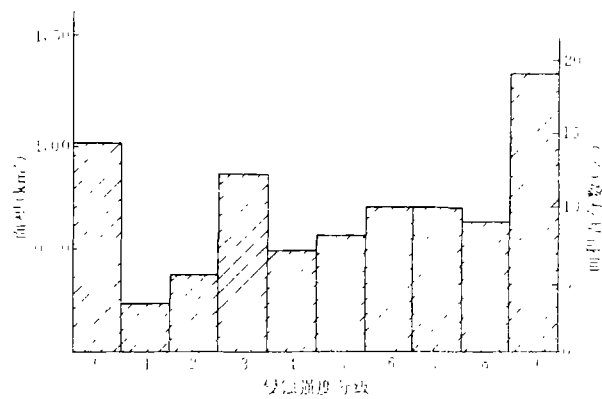


图 3 各级侵蚀强度面积占总面积的比例分布

39.19% , $<5\,000\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$  者占 45.52%。从而说明,本流域沟道侵蚀十分强烈,为侵蚀产沙的主要方式;细沟、切沟侵蚀也比较强烈,而且有一定的潜在危害;同时,虽然治理取得了一定成绩,无明显侵蚀占一定比重,但治理标准低,植被覆盖差,且坝地只能保证“泥不出沟”,难保“土不下坡”。因而低覆盖度的片蚀面积较大,而高覆盖地很少。此外,风蚀现象也较普遍,虽然其侵蚀产沙比重不很明显,但对资源环境的危害依然不可忽视。

3 土壤侵蚀类型、强度的时空分布规律

由于各种环境背景的过渡性和复杂性特点,虽然流域范围不大,但其侵蚀类型,强度仍然具有明显的区域分异规律和独特的时间变化。不仅表现在流域上下段的不均匀性,左右岸不对称性(见本集附图)和沟谷与坡面的悬殊对比,而且表现在时间上的复杂变化。

3.1 上下段的不均匀性

本流域大体上为一羽状水系,大于  $0.3\text{km}^2$  的主要支沟有 9 条。由左岸沟口、沟掌到右岸沟口依次为炭窑沟—水沟—石窑湾等。大致以六道沟村—强家崾为界可分为上下段。其上下段左右两岸各有二条沟。支沟总面积  $5.34\text{km}^2$ 。约占流域面积的 77.5%,由这些沟道的侵蚀特征可以看出全流域侵蚀状况的不均性(表 8),由表 8 可见,除面积和长度外表中各支沟的侵蚀强度及其切割参数由中心向上下两侧均呈增大趋势。即土壤侵蚀由上段向下段增强,尤以侵蚀强度、纵向高差和沟壑密度最为明显。其上下段分异更为突出(表 9)。上段左右岸侵蚀强度分别为  $0.929$  和  $0.983$  万  $\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ ,而下段分别  $1.282$  和  $1.351$  万  $\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 。上段相对高差低,切割密度小,因而坡面比较平缓,完整。其左岸系流域片沙集中分布区域,风蚀虽强,水蚀较弱;而其右岸治理程度较高,除梯田较多外,植被覆盖面积亦大,梁面以片蚀为主,切沟发育甚少,沟道侵蚀相对亦弱;而下段高差和切割程度均较上段为大,不仅沟道侵蚀活跃,坡面切沟发育,也有一定重力侵蚀,治理程度差,坡耕地广泛,细沟侵蚀亦较强烈。

表 8 主要支沟的土壤侵蚀强度与地形切割参数

沟名	支沟面积 ( $\text{km}^2$ )	沟道长度 ( $\text{km}$ )	相对高差		切割深度 ( $\text{m}$ )	沟壑密度 ( $\text{km}/\text{km}^2$ )	侵蚀强度 ( $\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ )
			纵向	横向			
炭窑沟	0.39	1.21	133.9	5.83	33.1	8.56	13770
强家崾前沟	0.31	1.18	143.8	53.2	32.8	7.19	12770
强家崾后沟	0.38	1.25	14.00	50.5	26.7	5.18	7590
蔡芹沟	0.57	1.35	115.1	55.6	34.2	5.13	10890
水沟正沟	0.58		106.8	62.8	23.5	3.54	6680
东沟	0.44	1.15	104.7	62.9	18.3	5.45	8410
老爷满	0.56	1.18	1211.1	68.7	26.7	5.32	11250
蛇圪塔	1.11	1.61	135.0	72.4	28.9	7.42	13950
石窑湾	1.00	1.67	161.2	77.1	30.0	8.32	13060
平均	5.34		129.1	62.4	28.2	6.45	11400

造成这种区域分异的原因很多,除人为治理因素外,也与流域地形起伏大势和侵蚀发育阶段有关。本流域最高点在其左岸中上部的圪柳沟崾(蔡芹沟与强家崾沟头分水岭处)海拔  $1\,273.94\text{m}$ ,而干沟正岔水沟分水岭东西两崾分别为  $1\,256.5\text{m}$  和  $1\,267.1\text{m}$ ,右岸中部蛇圪塔则达  $1\,256.2\text{m}$ 。因而形成左岸分水岭高差上下段倒置和右岸近乎水平的局势,而干沟总长约  $4.01\text{km}$ ,总落差  $105\text{m}$ ,



平均比降达 26.18%,这对流域上下段这种侵蚀切割的分异产生了深刻的影响。

此外,这种现象也与流域系统能量传递的滞后现象<sup>[5]</sup>有关。小流域作为一个侵蚀系统,包括了地貌的完整侵蚀过程。其动力释放主要是通过对地面形态塑造和物质搬运。因而处于同一地质构造单元,地壳活动以整体抬升为主的流域,侵蚀发展总是由下游向上游逐渐进行。侵蚀发展初期,下游的侵蚀强度总是大于中游和上游,当侵蚀发展到一定程度,下游流域的物质和能量关系逐渐接近动力平衡,侵蚀慢慢减弱,而中上游则开始加强。在侵蚀强烈的黄土高原腹地(如子洲岔巴沟),侵蚀强度往往是中游最大,上游次之,下游较弱。由此意义上讲,本流域的侵蚀发展尚属初期。

3.2 两岸不对称性

除上述上下段不同外,流域侵蚀的水平分异还表现为左右两岸的不对称性(表 9)。由表 9 可见,除纵向高差和切割深度外,各种参数和侵蚀强度均以右岸较左岸为大,下段的纵向高差也以右岸为大。横向高差和侵蚀强度在各段的左右分异均很明显,侵蚀类型亦然。

表 9 六道沟左右两岸的土壤侵蚀特性

岸别	段别	相对高差		切割深度 m	沟壑密度 >100m(km/km <sup>2</sup> )	侵蚀强度 (t/km <sup>2</sup> ·a)	主要侵蚀类型
		纵向	横向				
左岸	下段	138.9	55.8	33.0	7.88	12820	E、B、C
	上段	127.6	53.1	30.5	5.16	9290	F、E、A
	平均	133.2	54.4	31.7	6.52	11187	
右岸	下段	106.8	62.8	23.5	3.54	668	B、A、F
	上段	130.5	70.3	26.0	6.62	12394	
	平均	112.9	65.8	22.5	5.39	9830	A、B、E、G
水沟	下段	148.1	74.8	29.5	7.87	13505	E、C、B、G
	上段						
	平均						

除上所述的地形因素在左右岸的差异外,这种分异还与组成物质的不同有关。由于流域盛行西北风和东南风,而其地势又以西南方偏高,风沙流受地形阻滞在风影区产生涡流并泻载。形成大量片沙,使流域 90% 以上的片沙都分布在左岸坡面,而在右岸的片沙仅零星散布于沟道或低洼处。片沙和沙性较大的黄土因渗透性大而对坡面径流有一定缓冲作用。使其侵蚀切割相对减弱。这便是左右岸侵蚀不对称性的原因之一。但是,由于片沙厚度小,一般为 2~3m 左右,加之下伏地形崎岖,在雨强较小时则有一定拦蓄作用,减弱了径流和侵蚀,而当雨强和历时增高到一定程度时,则因可蚀性高,容易形成饱和泥流而产生更强的侵蚀切割或滑坡,尤其在沟谷较大时潜在危险更大,这便是片沙和沙黄土上侵蚀也比较强的原因之一。

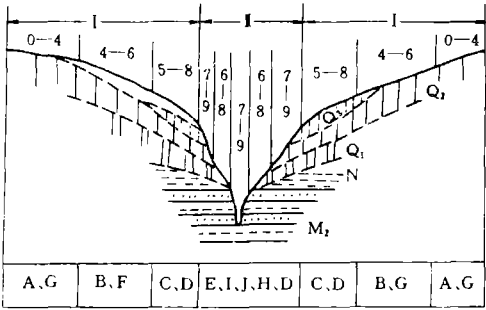


图 4 六道沟流土壤侵蚀强度垂直分异示意图

I 沟间地      II 沟谷地  
0—4, 7—9 分别为 0 级到 4 级和 7 级侵蚀强度, A、G 和 E、I 分别表示主要侵蚀类型为片蚀, 扬失和沟道侵蚀、滑坡

3.3 土壤侵蚀的垂直分异特点

流域土壤侵蚀的垂直分异主要表现在受地形结构、组成物质和坡面流水作用过程制约的侵蚀自梁顶至沟底的规律性变化(图 4)。沟间地的侵蚀类型依次为片蚀、细沟侵蚀和切沟侵蚀。上段左岸有较大范围的吹蚀,右岸则表现为扬失。局部发育

有洞穴侵蚀。沟道边缘以悬沟、崩塌和滑坡等为主。沟坡和沟底以崩塌、剥落、泻溜和沟底下切等为主。其沟谷地面积约 2.25km<sup>2</sup>。不及全流域面积的 1/3,而侵蚀量却达总侵蚀的一半以上,侵蚀模数为沟间地的 2.83 倍(表 10)

表 10 沟谷地和沟间地土壤侵蚀的垂直分异

项 目	全流域	沟谷地	沟间地
面积(km <sup>2</sup> )	6.89	2.25	4.64
占总面积(%)	100.00	32.66	67.34
侵蚀量(万 t)	7.50	4.35	3.15
占总侵蚀量(%)	100.00	57.87	42.14
侵蚀模数(t/km <sup>2</sup> ·a)	10890	19286	6810

3.4 土壤侵蚀的时间变化

时间变化包括年内变化,年际变化和长周期变化,限于资料和流域空间,本文只涉及前者,其它有待进一步研究。土壤侵蚀的年内变化主要取决于外营力的年内分配(表 11)。该流域的年降水

表 11 神木县若干气候要素的年内分配

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
降雨	2.4	3.9	9.4	20.5	27.9	46.4	110.4	124.7	57.2	24.5	8.4	1.7	437.4
平均风速(m/s)	2.0	2.2	2.6	3.0	2.8	2.5	2.1	1.9	1.7	1.8	2.0	1.9	2.6
主风向	NW	NW	NW	NW	MW/ SSE	SSE	SSE	NW	NW	NW	NW	NW	NW
大风日数(天)	0.1	0.7	1.6	3.1	2.7	2.8	1.7	0.7	0.6	0.5	1.0	0.7	16.2
日较差	14.2	14.4	14.1	15.2	15.4	14.9	12.7	12.0	13.1	13.8	12.8	13.0	13.8

437.4mm,7—9 月占 66.83%,6—9 月达 77.44%,而且几乎所有暴雨出现于这一时期,因而这是水力侵蚀的主要时期。据窟野河温家川断面实测,年输沙模数 15 098t/km<sup>2</sup>·a,6—9 月输沙量达全年的 94%以上;流域年平均风速 2.5~2.7m/s,以 3—5 月为甚。秋末冬春盛行西北风,平均风速 3.9m/s。年大风日数 16.2 天,以 4—6 月为多。因而风蚀几乎全年进行,以冬春为强;披砂岩剥落和泻溜与温差有密切关系,加上流水影响则更甚,因而也是全年甚行,而以秋末冬春更为强烈;重力滑坡,崩塌与水力和温差均有关系,因而在夏秋、春末都较频繁,而以前者为多。

\* 参加野外考察的还有查轩、杨勤科和郑粉莉同志,谨表示感谢。

参考文献

[1] 朱显谟. 黄土区土壤侵蚀的分类. 土壤学报,2.No. 4,1956

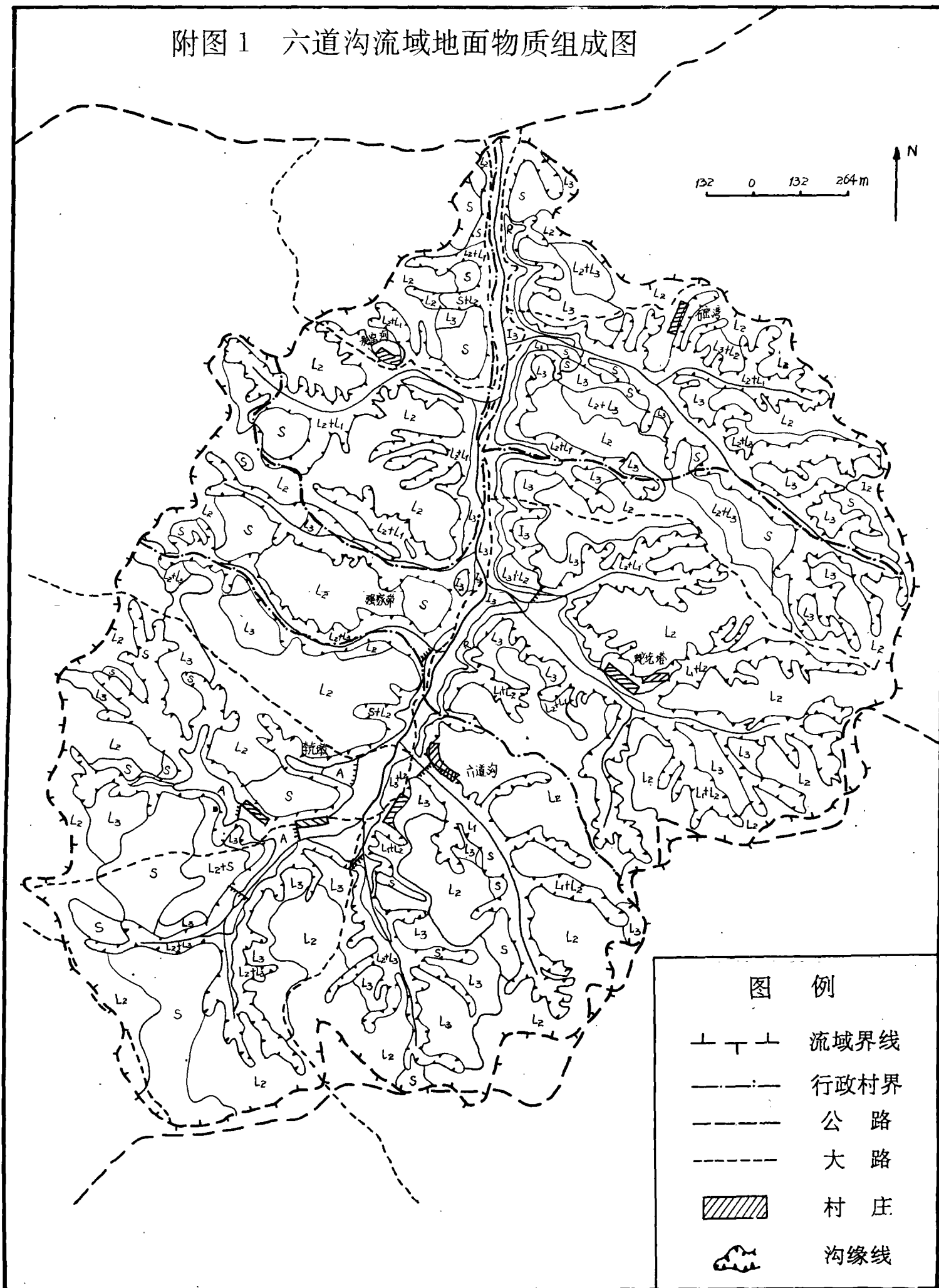
[2] 陈永宗等. 黄土高原现代侵蚀与治理. 科学出版社,P33. 1988

[3] 赵羽等. 内蒙古土壤侵蚀研究. 科学出版社,P45—48,1989

[4] 唐克丽等. 黄土高原土壤侵蚀区域特征及其治理途径. 科技出版社 P79—80,1990

[5] 陈永宗. 黄土地貌发育历史及其与现代侵蚀的关系,黄河泥沙来源及侵蚀机理研究文集,气象出版社,1988

附图 1 六道沟流域地面物质组成图



附图 1 图例:

$L_1$  Q 黄土

$L_2$   $Q_2$  黄土

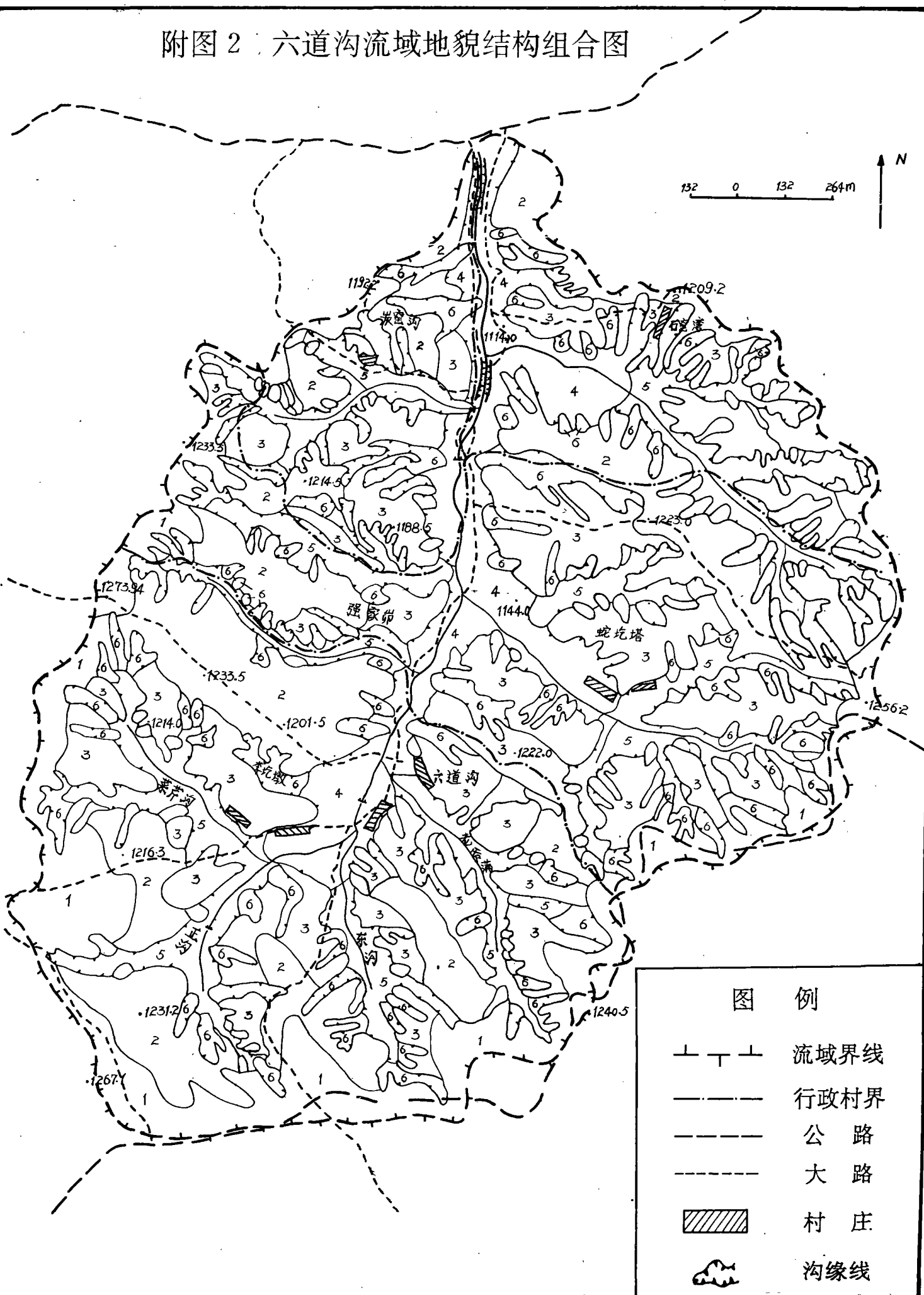
$L_3$   $Q_3$  黄土

S 风积沙

A 现代中冲积物

/// 土坝

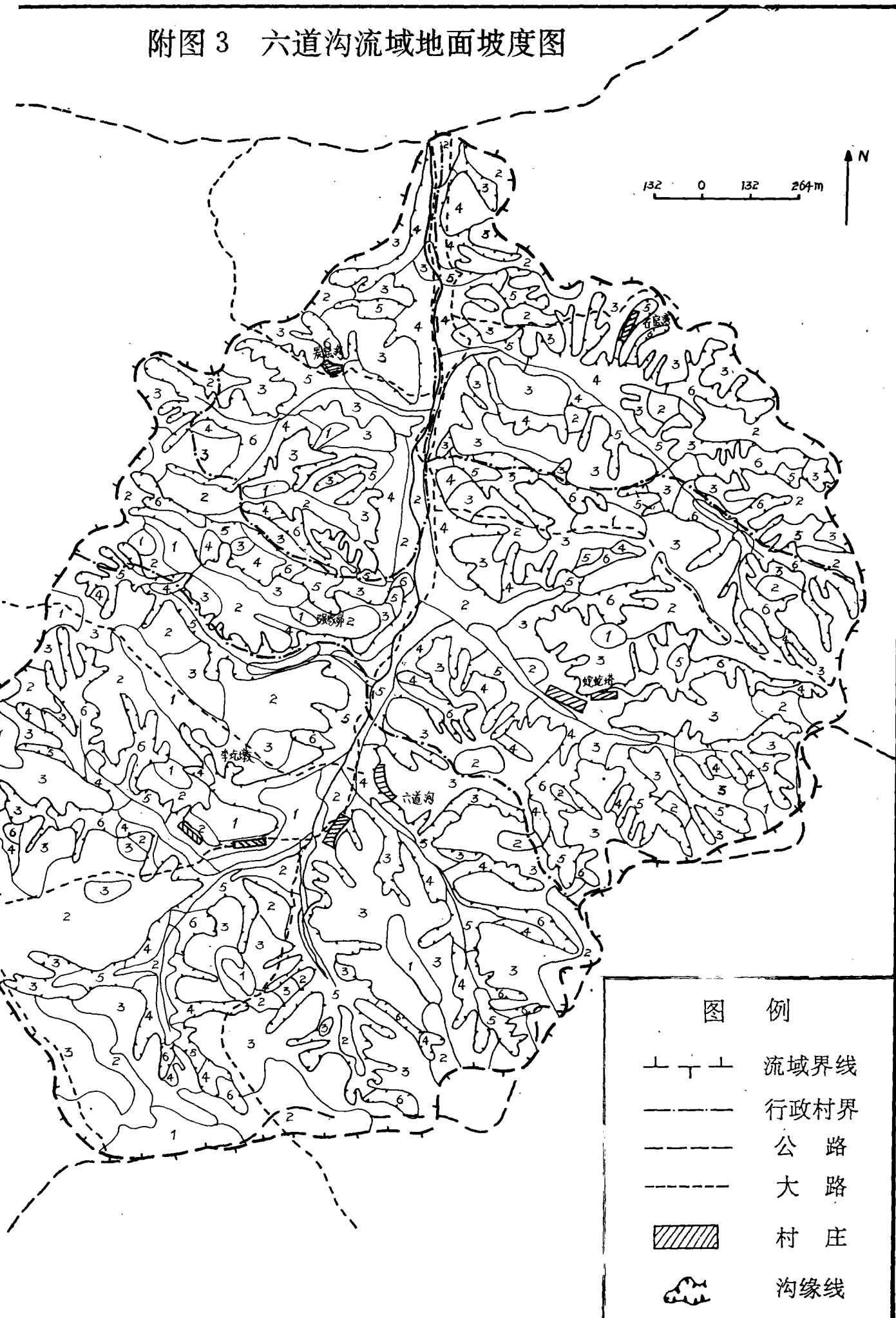
附图2 六道沟流域地貌结构组合图



附图 2 图例:

- 1 头道梁
- 2 二道梁
- 3 三道梁
- 4 河沟
- 5 冲沟
- 6 切沟
- N 跌水
- 1256 高程点

附图 3 六道沟流域地面坡度图

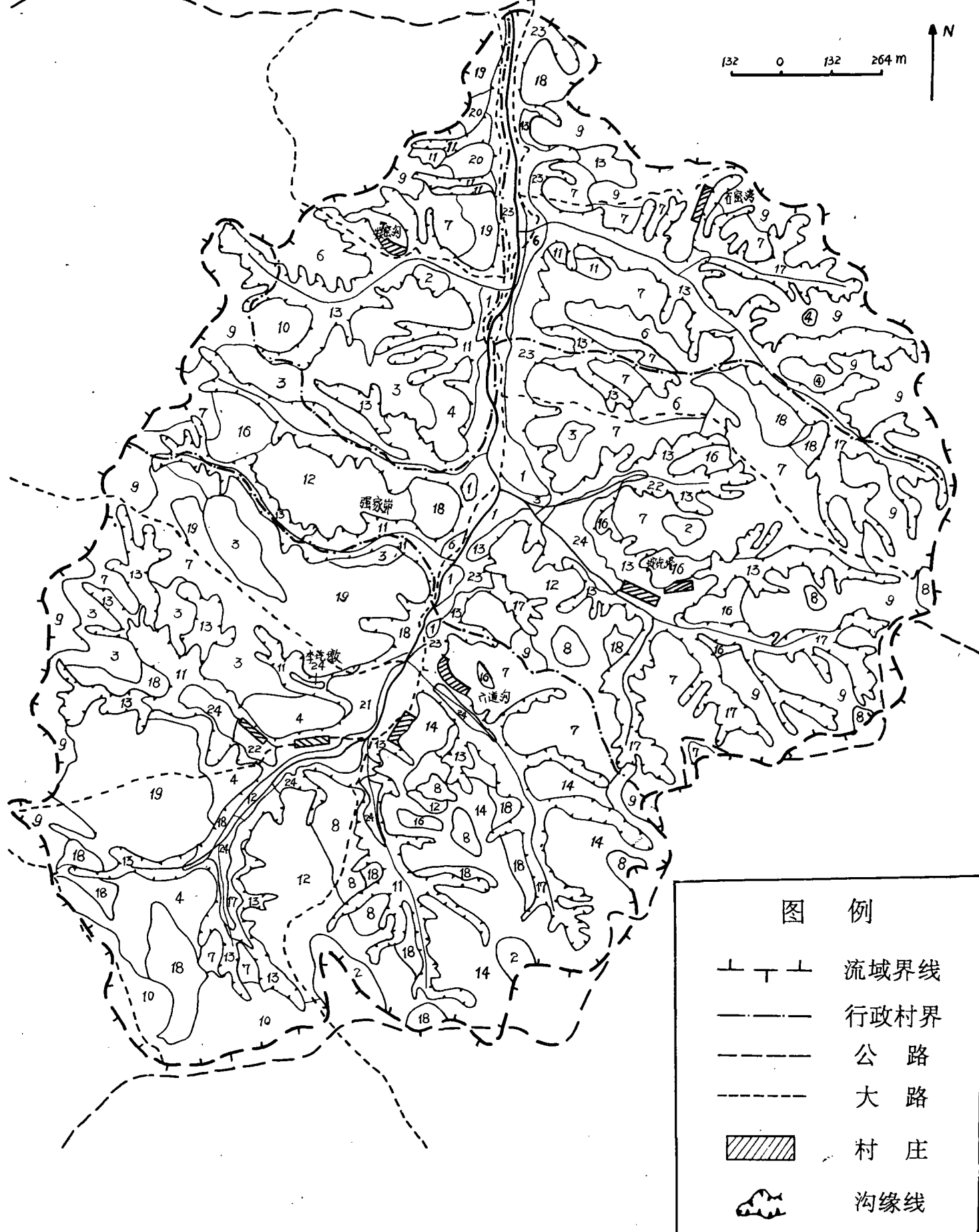


附图 3 图例

- 1 0~3°
- 2 3~4°
- 3 8~15°
- 4 15~25°
- 5 25~35°
- 6 >35°



附图4 六道沟流域土壤类型图



附图 4 图例

绵沙土

- 1 台绵沙土
- 2 梯绵沙土
- 3 草漠绵沙土
- 4 薄沙盖绵沙土
- 5 沟坡绵沙土
- 6 砾底绵沙土

红黄土

- 7 坡红黄土
- 8 梯红黄土
- 9 料疆红黄土
- 10 薄沙盖料疆红黄土

- 11 沟坡红黄土
- 12 料疆硬黄土
- 13 沟坡硬黄土
- 14 坡硬黄土

- 15 红胶土
- 16 坡红胶土
- 17 沟坡红胶土

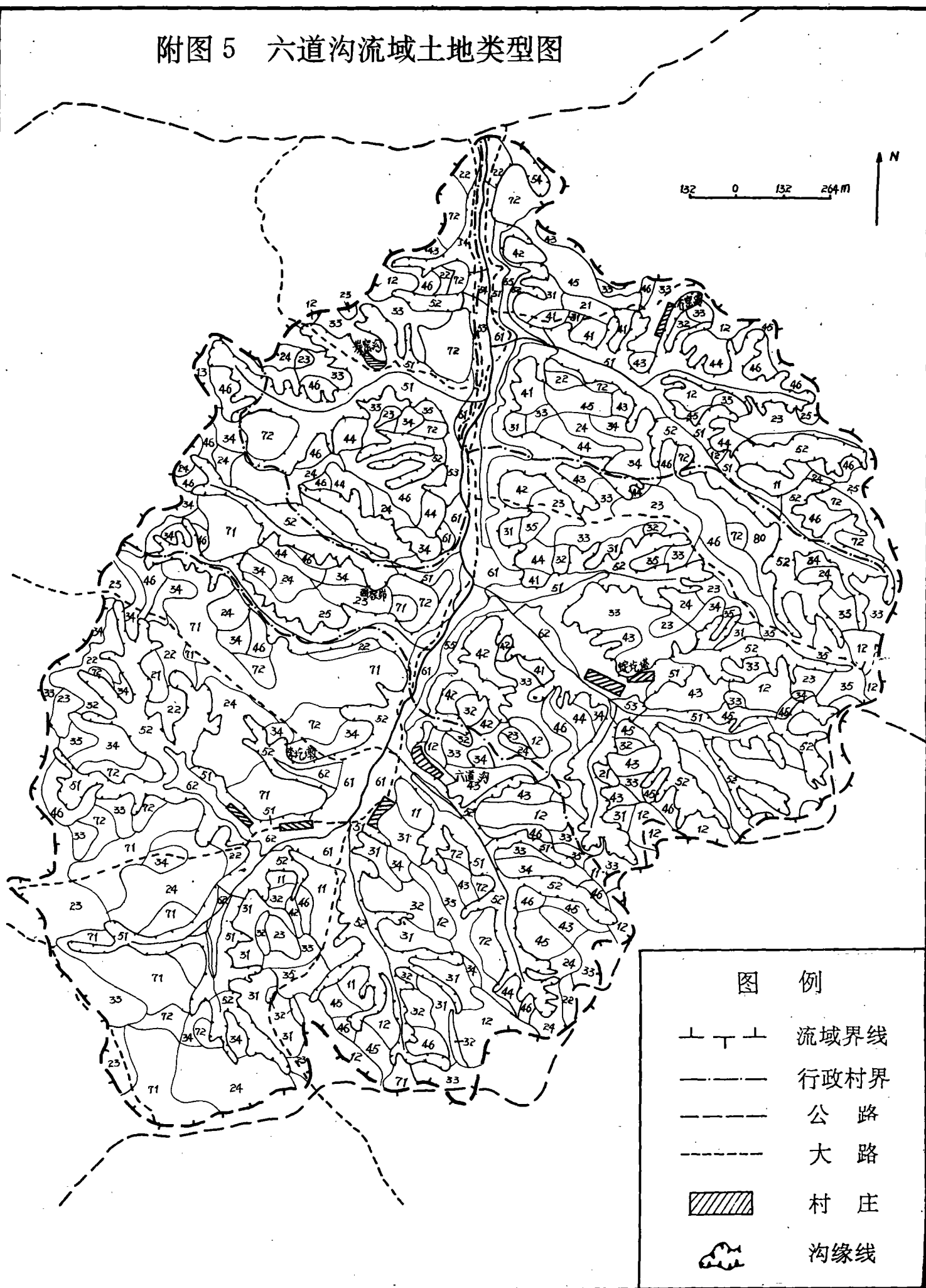
风沙土

- 18 流动风沙土
- 19 半固定风沙土
- 20 固定淤沙土

淤土

- 21 坝淤绵沙土
- 22 淤红黄土
- 23 裸岩
- 24 水面

附图 5 六道沟流域土地类型图



附图 5 图例

黄土沟谷地

黄土丘陵坡地

5 坡地

1 梯田

11 新黄土梯田

12 老黄土梯田

2 平缓坡地( $<8^{\circ}$ )

21 新黄土平缓坡耕地

22 新黄土平缓坡林地

23 老黄土平缓坡耕地

24 老黄土平缓坡林地

25 料礓质平缓坡地

3 缓坡地( $8\sim 12^{\circ}$ )

31 新黄土缓坡耕地

32 新黄土缓坡林地

33 老黄土缓坡耕地

34 老黄土缓坡林地

35 料礓质缓坡地

4 陡坡地( $12\sim 25^{\circ}$ )

41 新黄土陡坡耕地

42 新黄土陡坡林地

43 老黄土陡坡耕地

44 老黄土陡坡林地

45 料礓质陡坡地

46 侵蚀劣地

51 缓沟坡荒草坡地( $<25^{\circ}$ )

52 陡沟坡荒草坡地( $>25^{\circ}$ )

53 土质沟坡林地

54 沙质沟坡林地

55 石质沟坡裸地

6 沟底地

61 沟台地

62 沟坡地

63 沟床

黄土丘陵盖沙地

7 固定半固定林灌片沙地

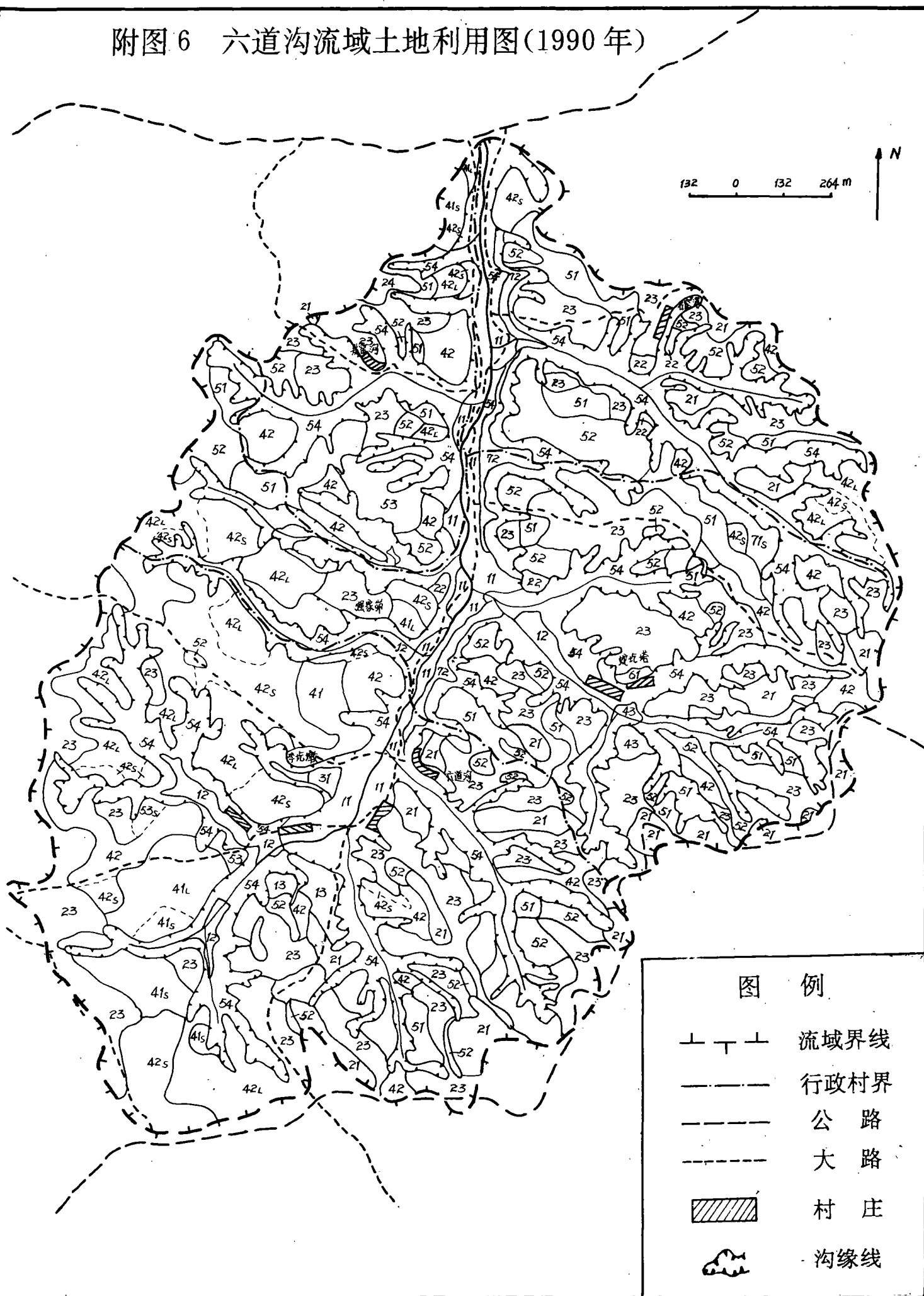
71 平地( $<8^{\circ}$ )

72 坡地( $>8^{\circ}$ )8 裸沙地

8 裸沙地

r 水域 d 居民点

附图6 六道沟流域土地利用图(1990年)



附图 6 图例:

水浇地

- 11 沟台地
- 12 沟坝地
- 13 梯田

旱耕地

- 21 梯田
- 22 台地
- 23 坡地

园地

- 31 果园

林地

- 41 有林地
- 42 灌木林
- 43 疏林

草地

- 51 天然草地
- 52 人工草地
- 53 疏林灌木草地
- 54 荒草地

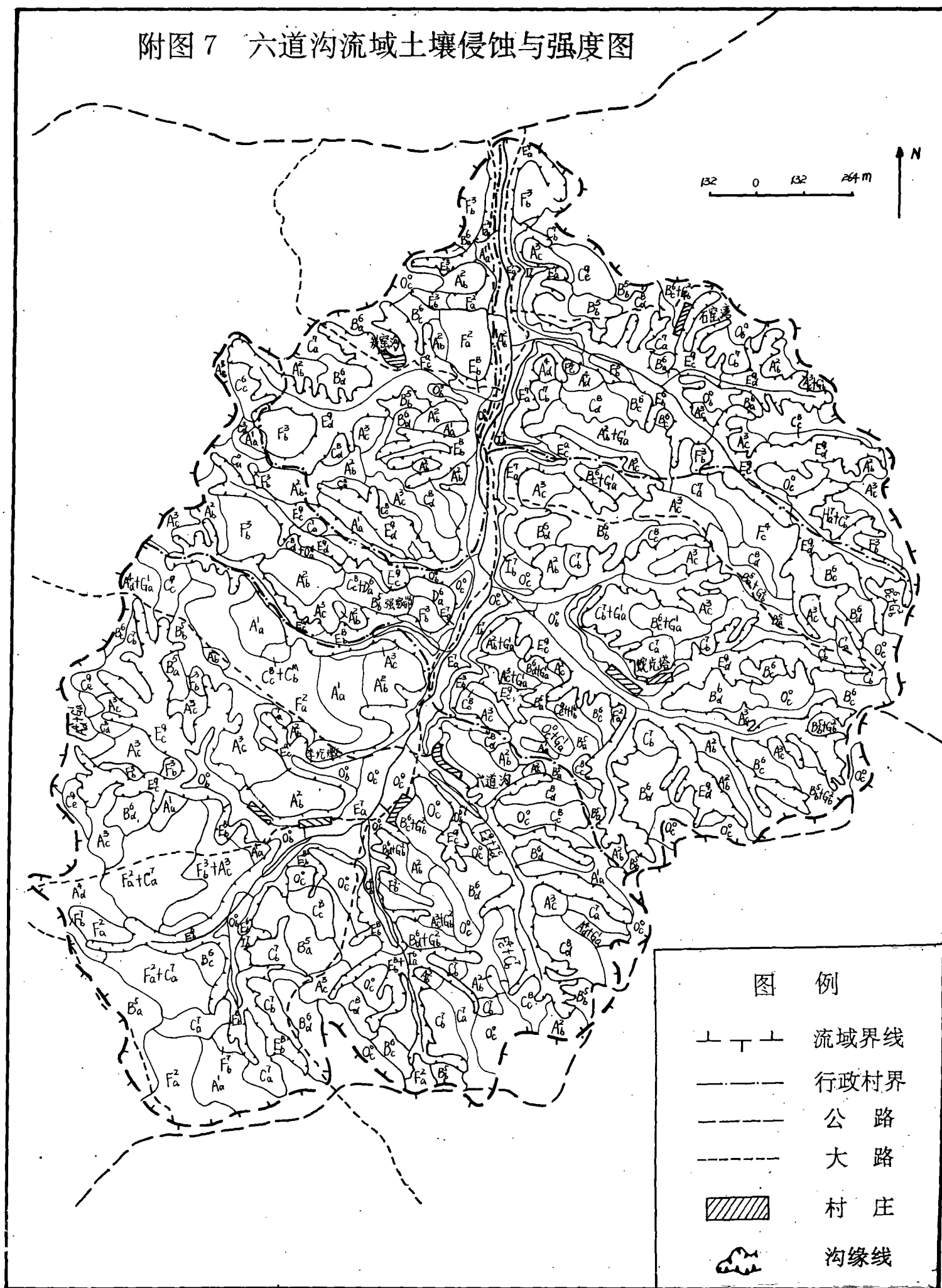
非生产用地

- 61 居民地
- 62 工矿用地

未利用地

- 71 流沙
- 72 裸岩
- S 沙地
- L 黄土地
- R 基岩

附图7 六道沟流域土壤侵蚀与强度图



附图 7 图例.

- 1 侵蚀类型(大写字母)
- 2 发育程度(小写字母)
- 3 侵蚀强度(阿拉伯数字)

侵蚀类型

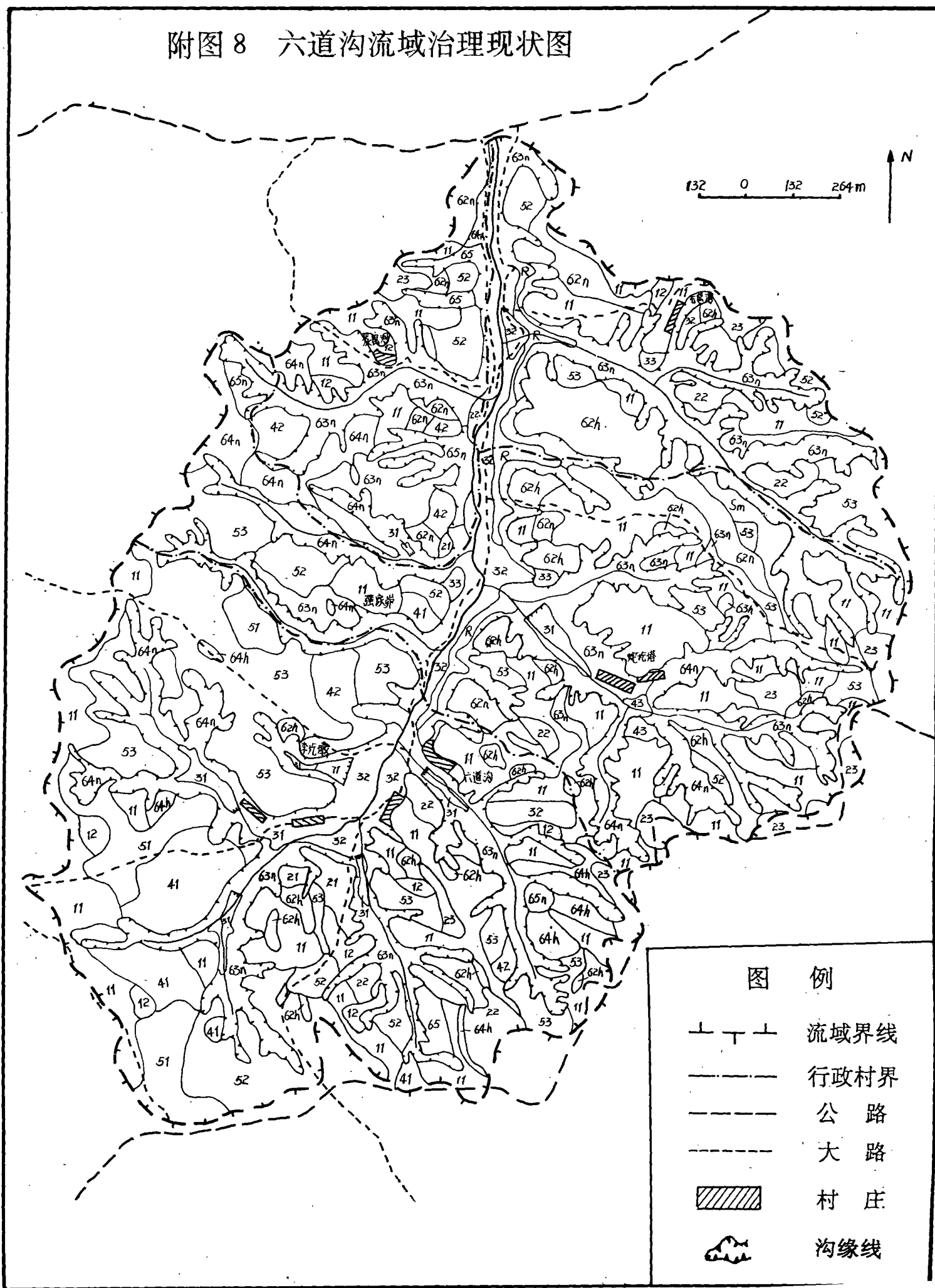
- A 片蚀
- B 细沟
- C 切沟
- D 洞穴
- E 沟道
- F 风蚀风积
- G 吹失
- H 滑坡
- I 泻溜
- O 无明显

类型发育程度

- a 轻度
- b 中度
- c 强度
- d 极强度



附图 8 六道沟流域治理现状图



附图 8 图例：

坡耕地耕作措施

1 等高耕种

11 缓坡地等高耕种

12 陡坡地等高耕种

工程措施

2 坡面工程措施

21 高质量梯田

22 中质量梯田

23 低质量梯田

3 沟道工程措施

31 坝地

32 高质量沟台地

33 中质量沟台地

生物措施

4 乔木林

41 低覆盖乔木林

42 疏林

5 灌木林

51 中覆盖灌木林

52 低覆盖灌木林

53 稀疏灌木林

6 牧草地(h—人工,n—天然)

61 高覆盖牧草地

62 高中覆盖牧草地

63 中低覆盖牧草地

64 低覆盖牧草地

65 荒坡荒草地

经济林

7 果园

71 苹果园

附图9 六道沟流域林业现状图

132 0 132 264 m

图例

- 流域界线
- 行政村界
- 公路
- 大路
- 村庄
- 沟缘线

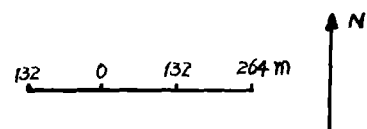








图 例

- |   |      |
|---|------|
|  | 流域界线 |
|  | 行政村界 |
|  | 公 路  |
|  | 大 路  |
|  | 村 庄  |
|  | 沟缘线  |

附图 9 图例:

- 1 树种
- I 柠条

II 沙柳

III 小叶杨

IV 旱柳
- 2 履盖度
- A 41%~60%

B 21%~40%

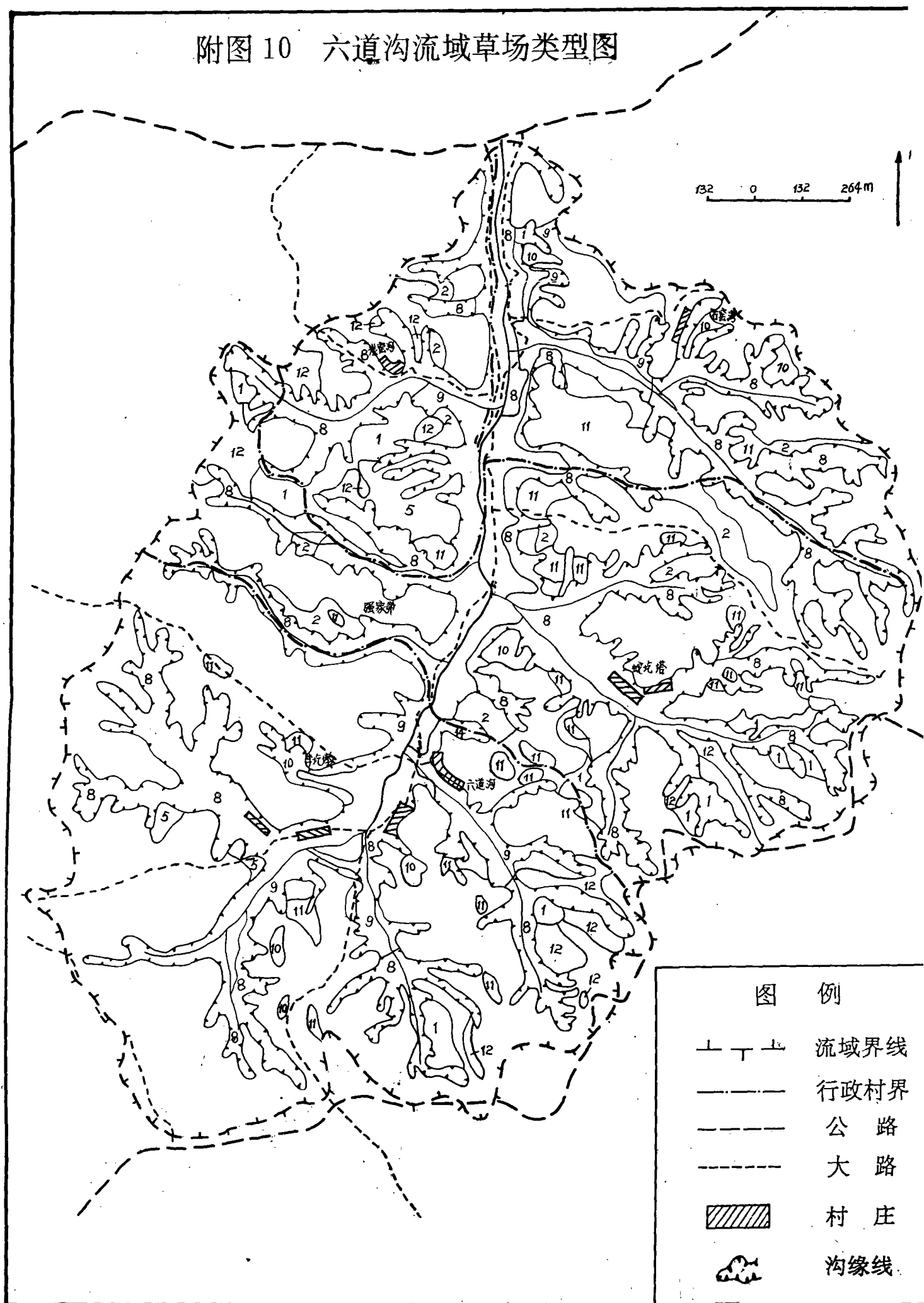
C 0%~20%
- 3 林龄
- a 0—5 年

b 6—10 年

c 11—15 年

d 16—20 年

附图 10 六道沟流域草场类型图



附图 10 图例

丘陵干草原草场

- 1 长芒草
- 2 长芒草+草木樨状黄芩
- 3 达乌里胡枝子
- 4 铁杆蒿

沙地灌丛草场

- 5 沙蒿—牛心卜
- 6 柠条锦鸡儿
- 7 沙柳—沙蒿

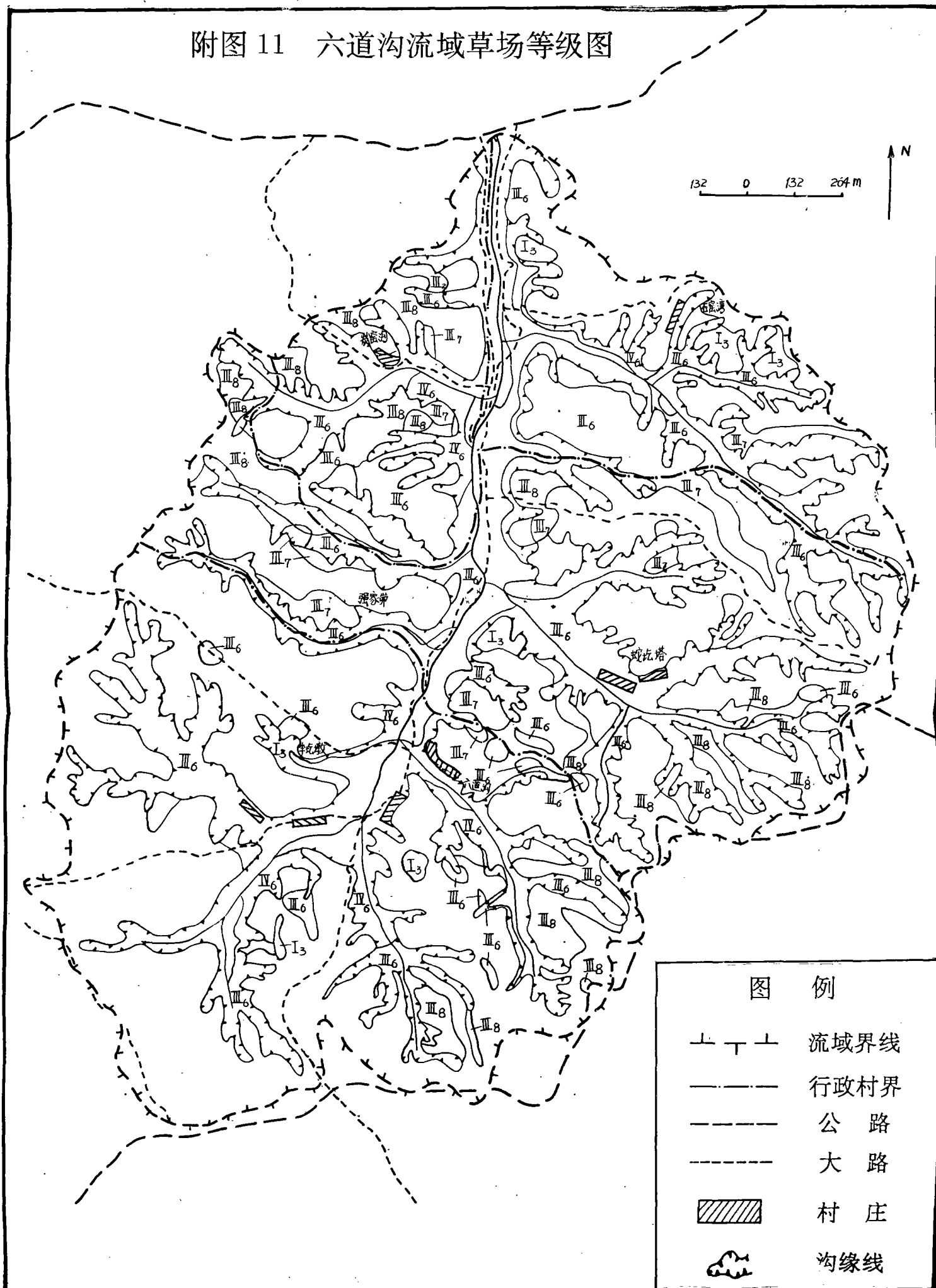
农林间隙草场

- 8 荒地杂类草
- 9 低湿地杂类草

人工草场

- 10 紫花苜蓿
- 11 紫花苜蓿—长芒草
- 12 长芒草—紫花苜蓿
- 13 沙打旺

附图 11 六道沟流域草场等级图



附图 11 图例：

- I 一等
  - I<sub>3</sub> 人工草场(3 级)
- II 二等
  - II<sub>3</sub> 人工草场
- III 三等
  - III<sub>5</sub> 沙地灌丛草场(5 级)
  - III<sub>6</sub> 沙地灌丛草场  
农村间隙草场  
人工草场
  - III<sub>7</sub> 丘陵干草原草场  
沙地灌丛草场
  - III<sup>3</sup> 丘陵干草原草场  
人工草场
- IV 四等
  - IV<sub>6</sub> 农村间隙地草场
  - IV<sub>7</sub> 丘陵干草原草场