

唐山地震区的喷水冒砂 及其与冲积砂体的分布关系*

吴 忱

(河北省地理研究所)

一九七六年七月二十八日,河北省唐山地区先后发生了7.8级和7.1级地震。震区所在的滦河冲积扇形平原上出现了大规模的喷水冒砂,造成了人民生命财产的重大损失。笔者怀着沉痛的心情,在震区做了调查研究¹⁾,发现喷水冒砂与冲积砂体有着极其密切的关系。可以说,冲积砂体控制着喷水冒砂的分布,地貌类型决定了喷水冒砂的特征。现分述于后,望批评指正。

一、喷水冒砂的类型及特征

唐山地震区的喷水冒砂,就个体形态说,主要有两种类型。一是圆口状喷水冒砂(照片1),喷水口呈圆形,直径从几厘米到十几厘米,最大可达几米,甚至十几米。喷砂堆也呈圆形,直径一般半米到几米,大者可达二、三十米。喷水口处的砂层较厚,一般几厘米,最厚可达半米,向四周逐渐变薄以致消失。喷砂堆上有一浅槽由中心向外伸出,是喷水口喷至后期变成涌水外流的通道。另一是裂隙状喷水冒砂(照片2)。喷水口呈长方形沿一定方向排列,一般长几厘米至十几厘米,最长可达几米,宽一般几厘米,最宽十几厘米。喷砂堆呈长脊状沿喷水口两侧分布,长一般几米,最长可达十几米,宽一米左右,最宽可达三、五米。喷水口长度不超过十厘米时,喷砂堆也基本呈圆形。喷水口处的砂层厚度半米左右,向两侧逐渐变薄、消失。砂堆上见不到涌水外流的沟槽。因其砂堆呈长脊状延伸,故又可叫作脊状喷水冒砂。

在裂隙状喷水冒砂中,有时在一条裂隙上分成几个喷水冒砂口,断续分布,绵延几百米,其喷砂堆似串珠状,因此又叫串珠状喷水冒砂(照片3),这是裂隙状喷水冒砂的变种。

就区域群体组合来说,也有两种类型。一是斑状喷水冒砂(照片4),即喷砂堆孤立的杂乱无章的均匀分布,航空照片上显示出星点状,由圆口状喷水冒砂组合而成。另一是条带状喷水冒砂(照片5),喷砂堆一个连一个的按一定方向延伸分布,航空照片上显示出各种形状的带状,主要由裂隙状喷水冒砂组成。在古河道上,也有少量圆口状喷水冒砂。

* 该文在河北省地理研究所地貌研究室“唐山地震区地裂缝喷水冒砂调查报告”基础上写成。参加调查工作的还有袁文英、胡镜荣、刘益旭、朱宣清、施德荣、徐康惠、何乃华等同志。文章写出后,徐煜坚先生提出了许多修改意见,作者表示感谢。

1) 共调查了唐山、丰南、丰润、滦县、滦南、乐亭、柏各庄农场等七个市、县的六十四个公社、九十九个大队。室内判读了震区航空照片。最后编出了十万分之一唐山地震区地貌图、喷水冒砂分布图,编写了调查报告。

唐山地震区不同地貌类型喷水冒砂统计表

数量 地貌 类型	冲 积 扇 形 平 原						冲积-湖积平原		海积平原		洪积扇和洪积-冲积平原		扇缘洼地		总计	
	洪积-冲积扇		冲积扇		陡河冲积扇		面积		面积		面积		面积		面积	
	面积	%	面积	%	面积	%										
喷砂类型	2,119.95		2,006.35		137.55		1,037.45		354.55		1,974.16		118.50		7,748.51	
有喷砂面积	881.22	41.6	1,227.32	56.1	50.64	36.7	736.92	71.0	327.24	92.1	45.92	2.3	12.98	11.0	3,282.24	42.3
	425.94	48.3	462.72	37.7	5.72	11.2	340.85	46.2	271.03	82.8	30.09	65.4	0.19	1.5	1,536.54	46.8
	212.94	24.1	269.52	21.9	34.51	67.6	168.05	22.8	56.21	17.2	13.44	29.2	6.67	51.3	761.34	23.2
	217.56	24.7	455.08	37.0	10.09	19.7	158.71	21.5	0	0	2.21	4.8	6.12	47.2	849.77	25.9
	24.78	2.9	40.00	3.4	0.32	1.5	69.31	9.5	0	0	0.18	0.6	0	0	134.59	4.1
实际喷砂面积	130.9	6.17	220.1	1.79	8.65	6.27	124.5	12.0	22.0	6.19	4.27	0.22	2.58	2.16	513.25	6.6
喷砂厚度	轻微和较轻喷砂 0.023, 较重和严重喷砂 0.046															
喷砂量	4,796,742		8,662,024		272,239.5		47,560.78		505,609		115,609.5		107,686		19,215,987	
平均砂压厚度	0.00226		0.00431		0.00197		0.00458		0.00142		0.00006		0.0009		0.00247	

说明: ①“总面积”指唐山、丰南、丰润、滦县、滦南、乐亭、柏各庄七县、市的平原部分。②面积单位: 平方公里。厚度单位: 米。喷砂量单位: 立方米。③“较轻喷砂”, 指喷砂面积占该类型面积的 1—10%, “较轻喷砂”占 11—20%, “较重喷砂”占 21—40%, “严重喷砂”大于 41%。④“实际喷砂面积”, 用各类喷砂面积乘以其百分数的平均值相加求得。其余面积用求积仪在十万分之一图上量得。⑤各类喷砂面积的“%”系各类喷砂面积占有喷砂面积的百分比。有喷砂面积的“%”系有喷砂面积占总面积的百分比。⑥“喷砂厚度”指每个喷砂堆的平均厚度。喷砂厚度 $H = \frac{\text{喷砂堆截面积} A - \text{喷水口截面积} A'}{\text{喷砂堆直径} R}$

据唐山、丰润、丰南、滦县、滦南、乐亭、柏各庄农场的初步统计,七县、市共有各种类型的喷砂面积 3,282 平方公里, 占其总面积的 42.3%, 实际砂压面积 513 平方公里, 占总面积的 6.6%, 共喷出 1,921 万立方米的砂子, 平均每平方公里的砂层厚度 0.00247 米 (附表)。

二、冲积砂体的分布及地貌

近代地质历史时期内, 滦河先后以丰润、迁安、滦县为顶点, 向南发育了三个洪积-冲积扇, 构成了燕山南麓冲积扇形平原的主体。它西界还乡河, 东界饮马河, 南至欢喜庄、宣庄镇、王兰庄、尖字沽、西葛各庄、八分场、东黄坨、柏各庄一线, 是冲积砂体广泛分布的地区(图 1)。

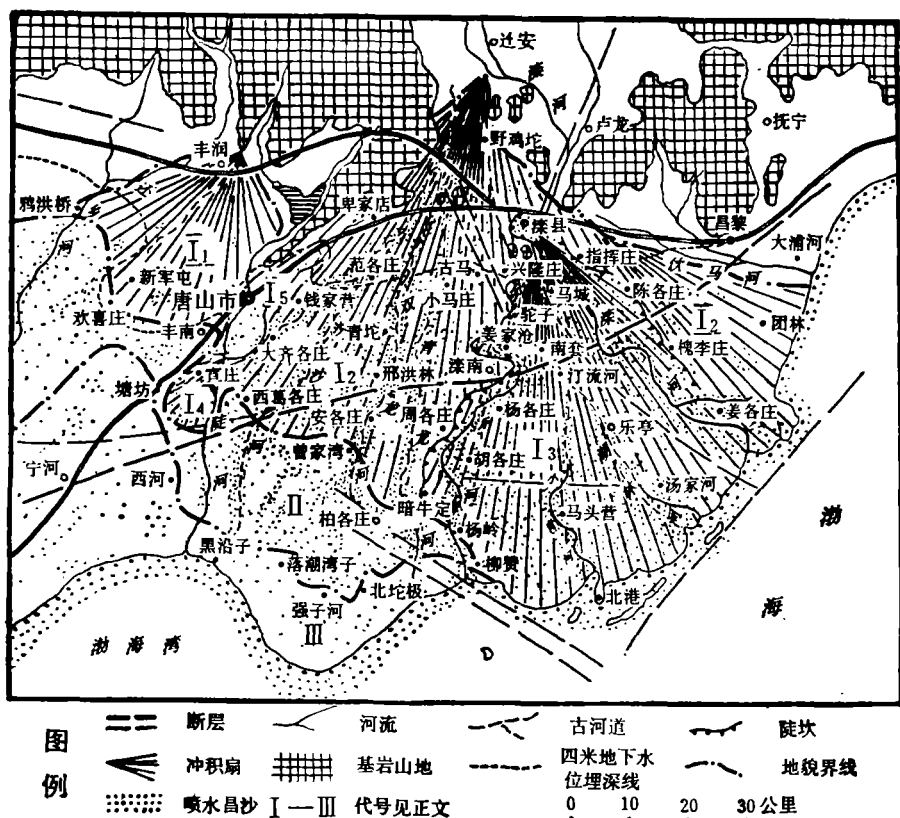


图 1 唐山地震区地貌及喷水冒砂分布图

第一个洪积扇(I₁)最老。它西界还乡河,东界陡河,前缘达到鸦洪桥、新军屯、丰南、唐山一线。为滦河由丰润流出山口后堆积形成,因此其组成物质主要是砾卵石,砾径一般 5—10 厘米,最大 0.5 米,砾石堆积厚度 40 米以上¹⁾。砾石层之上的覆盖层,厚 10 米左右。随着燕山的掀升,洪积扇面已在海拔 20 米以上,因此洪积扇前缘坡度较陡(1/300—

1) 河北省地质局水文地质工程地质大队: 滦河变迁与冀东平原第四系, 1979 年, 未刊稿。

500), 扇面坡度较缓 (1/700—800), 形成了燕山南麓一级洪积扇形地。因遭受切割(切割深度 2—3 米), 地下水位埋深均大于 5 米。

第二个洪积-冲积扇 (I_2) 较新。它西界陡河, 东界饮马河, 南至西葛各庄、八分场、东黄坨、柏各庄一线, 由滦河在迁安南流形成。其中范各庄、小马庄、李兴庄、指挥庄一线以北为上部, 主要由洪积形成, 海拔 30 米以上, 地面坡度 1/500—600, 除去现代河道为细粉砂堆积并出露地表外, 其它为粗中砂、卵砾石堆积, 上覆 5—10 米的覆盖层。地下水位埋深大于 4 米。上述一线以南为下部, 主要由冲积形成, 海拔 5—30 米, 地面坡度 1/750—1500, 冲积砂体的粒度较细(细粉砂), 埋藏较浅 (2—5 米)。地下水位埋深 1—4 米。地面残存着多条南北向的古河床洼地和古自然堤缓岗, 相对高差 3—5 米, 从其地面保留有明显的弯曲河道和牛轭湖来看, 该冲积扇发育的后期是一个相对宁静的高海面期。

第三个冲积扇 (I_3) 最新。它以滦县为顶点切入第二个冲积扇内部深达 3—5 米, 形成迭置冲积扇, 因此它的东西两侧均是陡坎。东界指挥庄、陈各庄、槐李庄, 西界兴隆庄、驼子、滦南县城、周各庄、暗牛淀, 南至海边 (当时的冲积扇前缘已伸至海内)。它又以杨岭、马头营、汤家河、姜各庄一线为界, 以北为冲积扇上部, 地表为 1—5 米厚的灰黑色淤泥质粘土, 往下是 2—10 米厚的粉细砂, 再往下是河卵石, 底板埋深 30 米。地下水位埋深 2—4 米。以南为冲积扇下部, 地表是 0.5—2 米厚的亚砂土, 往下是 5—20 米厚的青灰色、黑色淤泥质细粉砂, 再往下是中细砂, 底板埋深 30 米, 地下水位埋深均小于 2 米。从其切割程度及地表普遍有一层灰黑色淤泥质来看, 该冲积扇形成于一个低海面期和一个高海面期之间。

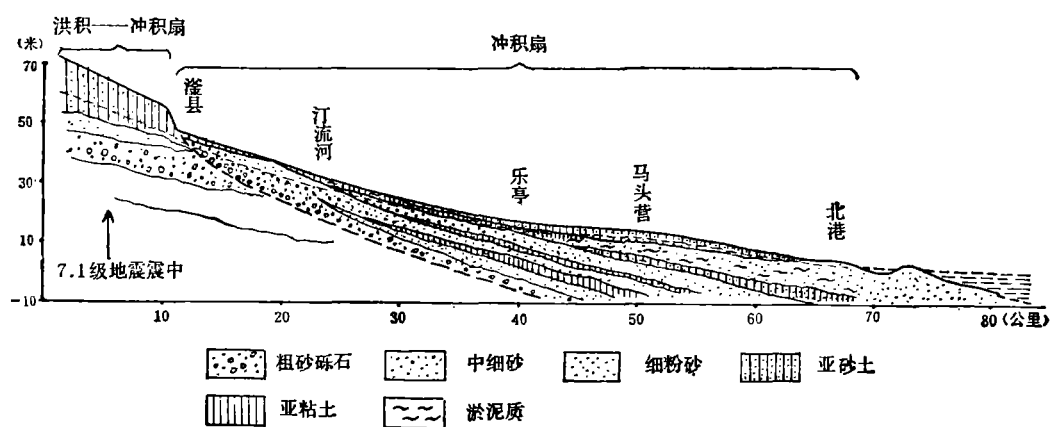


图 2 滦河冲积扇冲积砂体分布图(根据民井与访问资料)

陡河流在第一个洪积扇与第二个洪积-冲积扇之间的交接洼地 (I_3) 里, 该洼地主要由厚层粘质土组成, 陡河带下来的细粉砂在宣庄镇以下开始堆积, 形成了与第三个冲积扇大约同时期的陡河冲积扇 (I_4)。

欢喜庄、宣庄镇、王兰庄、尖字沽、西葛各庄、曾家湾、柏各庄一线以南至塘坊、西河、黑沿子、落潮湾子、北坨极、柳赞一线, 是古河流尾间泻湖三角洲相的冲积-湖积平原区 (II)。该区地面平坦, 坡度 1/5000 左右, 地表有牛轭湖、沙坨地残存。表层为 10 米厚的粉砂质轻亚砂土, 往下是 3—15 米的粉砂, 再往下是厚层粘土。地下水位埋深 1—2 米。

塘坊、西河、黑沿子、落潮湾子、北坨极、柳赞一线以南为海积平原区(Ⅲ)。地面极为平坦,坡度 1/10000 左右。表层是 7—10 米厚的淤泥质粘土,往下是 10—15 米的粉砂。地下水位埋深小于 1 米。

总之,从洪积扇到冲积扇,从冲积扇顶部到冲积扇前缘,冲积砂体的粒度越来越细,细粉砂的厚度越来越大,覆盖层越来越薄,地下水位埋深越来越浅。从冲积扇前缘到海积平原,冲积砂体的分布也基本是这个趋势,但覆盖层厚度因海积粘土的覆盖而逐渐增厚(图 2)。

三、喷水冒砂与冲积砂体的分布关系

将喷水冒砂的分布与地貌类型对照分析(图 1),很明显地看出二者之间有着密切的关系。表现在:

1. 冲积砂体控制着喷水冒砂的分布

喷水冒砂主要分布在丰润、卑家店、迁安、滦县、昌黎一线以南的山前冲积扇形平原中。在该线以北的基岩山地,仅在河流的河漫滩上有零星分布。这是与冲积砂体的有无有直接关系的。

在冲积扇形平原中,喷水冒砂主要分布在新军屯、丰南、唐山(第一个洪积扇前缘)、范各庄、小马庄、古马(第二个洪积-冲积扇中腰)、兴隆庄、指挥庄(第三个冲积扇顶部)一线以南的地区。该线以北在现代河道的河漫滩上和一级阶地上以及古河道上只有少量分布。这是与北部冲积砂体的粒度较粗(粗中砂、卵砾石),覆盖层较厚(5 米以上),地下水位埋藏较深(大于 4 米)有关。

在新军屯、丰南、范各庄、兴隆庄、指挥庄一线以南,又以冲积扇的中下部、洪积-冲积扇的下部及冲积平原为最严重,如唐山地震区乐亭县的中南部,滦南县的中北部,唐山市南郊,丰南县南部和柏各庄农场最严重。因为这些地方覆盖层厚 1—3 米,地下水位埋深 1—4 米,最有利于喷水冒砂,液化砂体主要发生在 5—20 米的河流相的细粉砂中。

海积平原次之,如乐亭县、滦南县、丰南县的滨海地区较严重。它们的覆盖层厚度 7—10 米,为饱水的淤泥质粘土,较有利于喷水冒砂,液化砂体主要发生在 10—20 米的青灰色的滨海相(少量泻湖三角洲相)的粉砂中。

冲积扇的上部、洪积-冲积扇的中腰部分较轻,如丰南县北部、唐山市北郊、滦县南部较轻。其地下水位埋深 2—4 米,覆盖层厚度 2—5 米,不利于喷水冒砂,液化砂体主要发生在 10—20 米的河流相的粉细砂中。

在冲积扇和洪积-冲积扇的中下部地区,又集中分布在现代河道和古河道带上,因此喷水冒砂沿河流方向呈条带状分布,如范各庄、钱家营、大齐各庄、宣庄镇、塘坊桥喷水冒砂带是与沙河河道带相一致的,小马庄、青坨营、邢洪林、安各庄、曾家湾喷水冒砂带是与双龙河、青龙河河道带相一致的。马城、马庄子、姜家泡、南套、杨各庄、胡各庄、暗牛淀喷水冒砂带是与沂河河道带相一致的,汀流河、乐亭、汤家河喷水冒砂带是与湖林河、长河河道带相一致的。这些河道带都曾经是滦河的古河道,有大量的河流相细粉砂,地下水位埋深 1—2 米,覆盖层厚度 0—1 米,因此,最有利于喷水冒砂。

2. 地貌类型决定了喷水冒砂的特征

乐亭县、滦南县、丰南县的滨海地区和柏各庄农场的冲积-湖积平原以及现代河流河漫滩上和古河道内,主要为圆口状喷水冒砂分布区,也即航片上显示的斑状喷水冒砂地区。滨海地区喷砂堆较小,直径多在半米或一米左右,但喷水口较多,平均每平方百米几十个乃至上百个,越远离滨海,喷砂堆越大,直径一般几米,最大可达十几米,但喷水口较少,平均每平方百米十几个,最多几十个。圆口状喷水冒砂在乐亭县、滦南县北部和滦县南部古河道的某些地段上,也有少量分布,但喷水口减少(每平方百米几个,最多十几个),喷砂堆变大(直径一般几米,最大可达几十米)。圆口状喷水冒砂的共同特点是覆盖层厚度薄(0—1米),液化砂体喷出地表时,不需克服厚层覆盖层的阻力。至于离海越远,喷水口越少,喷砂堆越大,是由于砂的粒度越来越粗,地下水位埋藏越来越深,不利于喷水冒砂之故。但是由于越来越接近于极震区,在强大的地震力作用下,在少数几个喷砂点上也放出极大的能量,则必然是喷出的砂子多,砂堆大。在滦县城南滦河一级阶地上,地下15—30米深的河卵石(直径3—5厘米)喷出了地表(照片6),在滦县城北沂河(滦河古河道)左岸阶地上,一圆口形喷水冒砂的喷水口直径达33米,喷砂堆直径达70多米(照片7),这就是临近或处于7.1级地震的极震区的两个例子。

乐亭县、滦南县北半部,丰南县中部,唐山市、滦县南部,古河道比较发育的冲积扇上,是裂隙状喷水冒砂分布为主的地区。裂隙的走向与古河道方向完全一致,因此表现在航片上的群体组合为条带状。由于各段河道的走向及地貌类型的不同,裂隙的走向和类型也不同。顺直段河道是平行带状延伸的喷水冒砂(照片5);决口扇或入海尾间三角洲处是树枝状的喷水冒砂(照片8);弯曲河道内侧的迂迴扇(点砂坝)上是半圆形的喷水冒砂(照片9);牛轭湖处是马蹄形的喷水冒砂(照片10);决口扇以下的平铺砂地上是鱼鳞状的喷水冒砂(照片11)。

同一条古河道的不同微地貌类型,喷水冒砂的类型也不相同。一般开垦较久的古自然堤缓岗,因覆盖土层较厚,多为裂隙状喷水冒砂;而覆盖较薄或砂层直接出露地表的古河槽内,多为圆口状喷水冒砂;介于二者之间的过渡地区,则为串珠状喷水冒砂。

从调查中得知,喷出的砂源多埋藏在地下5—20米。有的地方把深15—30米的河卵石喷出地表。乐亭县、滦县等地还喷出了咸水和热水。看来地下砂土液化层不限于5—10米深的一层。

四、喷水冒砂的过程与条件分析

地震时大地先是上下跳动,然后左右摇摆。上下跳动是地震力(通过地震波)对地面的直接作用力。左右摇摆是液化了的砂层对地面蠕动的结果。前者使液化砂体直接冲出地表形成圆口状喷水冒砂。后者使液化砂体在地下的位置、结构发生变化,从而使地表土层产生不均匀的位移形成裂缝,液化砂体便乘隙而出,形成裂隙状喷水冒砂。

喷水冒砂时,先冒气泡,随之水由细孔(或裂缝)喷出地面数米高,随着能量减弱,喷水孔变粗,水柱也逐渐变低。最后水由喷口向外翻涌,由一条浅槽流出,一般喷三、五个小时,最长可喷三、五天。

喷水冒砂是由一定地震力的作用,使地下饱水砂层发生液化运动,突破覆盖层冲出地表的结果。因此形成喷水冒砂必须具备四个条件: ①地下埋藏有厚层细粉砂;②细粉砂被水所饱和;③细粉砂之上没有或有薄层粘土覆盖层;④具有一定能量的地震力^[1]。

所谓厚层细粉砂,指厚度一般要大于3米。小于3米的细粉砂或大于3米的粗砂砾石层,不易形成蠕动的砂基液化层。所谓被水饱和,是说地下水位埋深一般要在4米以上,尤其埋深1—2米,最易发生喷水冒砂。所谓薄层粘土覆盖层,是说粘土覆盖层厚度一般要小于3米。3—1米的厚度多为裂隙状喷水冒砂,小于1米,多为圆口状喷水冒砂。3—5米时,多发生干裂缝,很少喷水冒砂。大于5米时,不易形成裂缝(构造裂缝除外)和喷水冒砂。所谓地震力,包括两个含义: 一是一般要大于六级的地震才能形成喷水冒砂,上述情况均是指大于六级,并距离震中同样远的情况下而言;二是震级大于六级,但距离震中的远近不同,条件也就相应的严格或放宽。前述33米直径的喷水口和河卵石的喷出,就是位于(或近于)极震区,条件相应放宽的一例。

上述四个条件中,厚层饱水细粉砂是基本条件,决定喷水冒砂的有无。地震力是动力因素,决定什么时候产生喷水冒砂以及喷水冒砂个体的大小。覆盖层是抑制因素,其厚薄既能在一定程度上决定喷水冒砂的有无,又能决定单个喷水冒砂的形态特征,也能决定群体组合喷水冒砂的形态特征。因此从这个角度说,喷水冒砂又是在一定地震力作用下,地下液化砂层与地表覆盖抑制层相互矛盾相互斗争的结果。覆盖层的抑制作用以震级或距极震区的远近为转移,震级大或距极震区近,抑制作用就小,反之就大。因此5米厚的覆盖层仅适用于唐山地震区,并不是有普遍意义的极限值。

总之,从地貌角度看,在同等震级、同样大小地震力的作用下,有厚层(大于3米)细粉砂分布,覆盖层厚度小于5米,地下水位埋深小于4米的地方容易发生喷水冒砂。在唐山地震区,这样的地方多属于冲积扇形平原的中下部、冲积-湖积平原和海积平原。其中覆盖层厚度小于1米、地下水位埋深也小于1米的浅部埋藏古河道,又是喷水冒砂的严重地区。因此在冲积平原地区进行厂址选择、交通选线、水利工程布设等,要特别注意浅部埋藏的古河道,这乃是地震时的隐患。

参 考 文 献

- [1] 朱海之、王立功: 大地震与喷水冒砂,《科学实验》,1976年9期。

RELATIONSHIP OF WATER AND SAND ERUPTION TO ALLUVIAL SAND BODY IN TANGSHAN EARTHQUAKE AREA

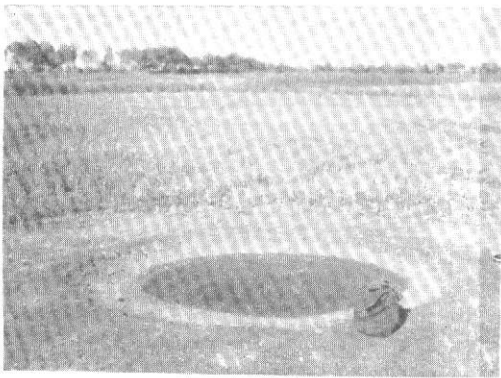
Wu Chen

(*Geographical Institute of Hopei Province*)

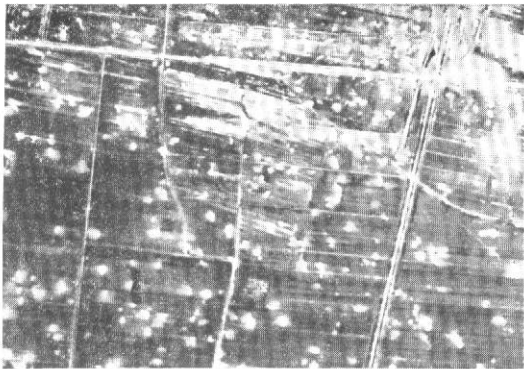
Abstract

During the 1976 Tangshan great earthquake with magnitude 7.8, the large scale of water and sand eruption had occurred on the ground surface of Tangshan district. On the basis of field survey and aerial photo interpretation, it is evident that the spatial distribution of water and sand eruption, including the eruption density, morphological character and various extending orientation and their figuration, was associated not only with the sand bodies of macro-geomorphic units, but also with the micro-geomorphic types, especially the ancient river channels. Accordingly, we concluded that the distribution of water and sand eruption is controlled by alluvial sand bodies, and the nature of water and sand eruption is determined by geomorphic types.

As for the occurrence of water and sand eruption, beside shock-force with relevant energy, a thicker layer of shallow buried and water saturated fine silt, which was covered or uncovered by clayey loam, is a necessary condition. Since some geomorphic types, such as river flood plain, mid and peripheral portions of alluvial fan, marine plain and shallow buried ancient river channel, comprise above described sedimentary structure, and a strong earthquake give a forcefull shock to those geomorphic types, water and sand may easily erupt from underground to surface. Therefore, in seismological research, the geomorphologists should accurately demarcate the above mentioned geomorphic types, whereas the engineers should pay particular attention to shock-proof measures on such geomorphic types.



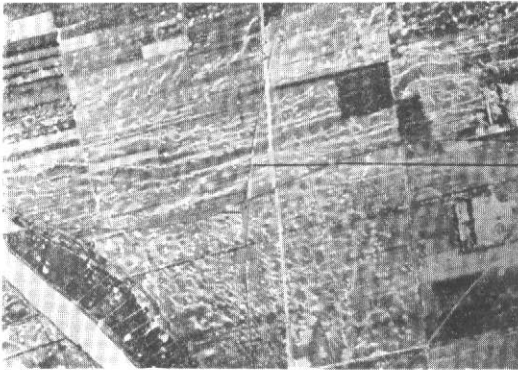
照片 1 圆口状喷水冒砂(吴忱摄)



照片 4 斑状喷水冒砂(航空照片)



照片 2 裂隙状喷水冒砂(吴忱摄)



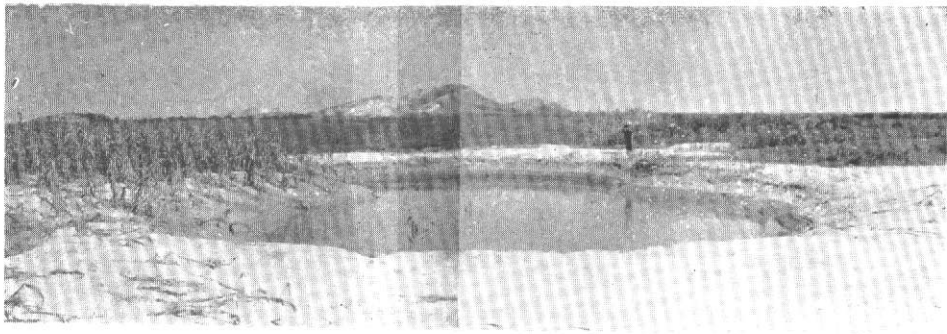
照片 5 平行条带状喷水冒砂(航空照片)



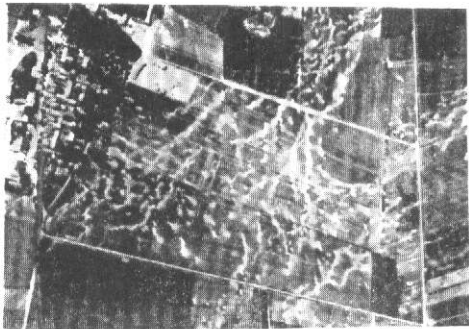
照片 3 串珠状喷水冒砂(吴忱摄)



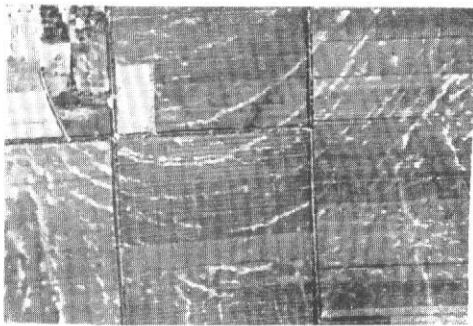
照片 6 滦县东三里庄卵石喷出地表(刘益旭摄)



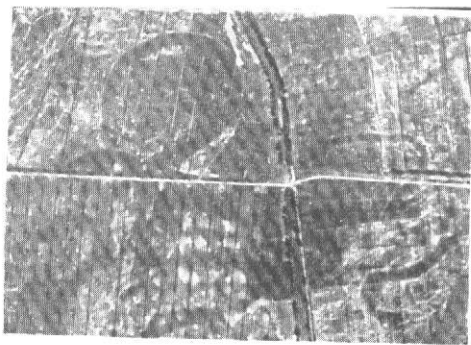
照片 7 滦县三山院附近，沂河左岸的喷水冒砂口，直径 33 米。（吴忱摄）



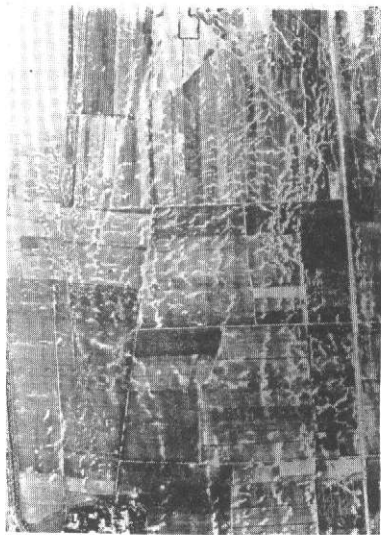
照片 8 树枝状喷水冒砂(航空照片)



照片 9 半圆状喷水冒砂(航空照片)



照片 10 马蹄状喷水冒砂(航空照片)



照片 11 鱼鳞状喷水冒砂(航空照片)