

黃土陷穴的研究

人民鐵道出版社



黄土陷穴的研究

人民铁道出版社出版

(北京市霞公府17号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第010号

新华书店发行

人民铁道出版社印刷厂印

(北京市建国门外七圣庙)

书号1096开本787×1092 $\frac{1}{2}$ 印张7 $\frac{1}{16}$ 字数71千

1958年9月第1版

1958年9月第1版第1次印刷

印数0001—10,200册

统一书号: 15043·725 定价(8) 0.08元

黃土陷穴的研究

一、概況

党和政府发出了向科学进军的号召以后，在全国范围内掀起了向科学进军的热潮，在上級领导下結合工务部門当前存在的主要問題进行了統筹安排，明确分工，有組織有领导地进行科学研究工作。关于黃土陷穴問題也是我局工务部門研究的主要对象之一。

工务处3月分成立了黃土陷穴研究小組，制定了研究黃土陷穴的實施办法和內容，結合錐探发现陷穴的原理提供研究資料。

自工作开始以来錐探組的同志們是动了一些腦筋，做了一些实验、彙总資料和实地观察分析研究工作，但是由于技术力量薄弱，水平有限，缺乏專門的地質知識，因此在提供資料的內容上缺乏有系統的分析研究，而只是一些肤浅的表面現象，距上級要求相差很远，而且沒有对土样进行化验，分析其物理学性質及化学成份（这项工作拟在58年繼續进行，本这所談錐探試地区为云田、大河、高阳間）。

二、黃土陷穴研究区域介紹

（一）测区陷穴地形总草图：（參看附图1）

本测区全部为台地，四週有碱河环绕，整个台地从西向东傾斜，形成一均匀的自然坡度（自然傾斜度为4.7%），只有在陷穴附近和台地边缘部份起伏較大，西东高差約3公尺，台地南北寬400公尺，东西长700公尺。

台地右侧，山前台地上有两条深沟，不大不长互相不连通，山岗距山前台地边缘在500公尺以外。

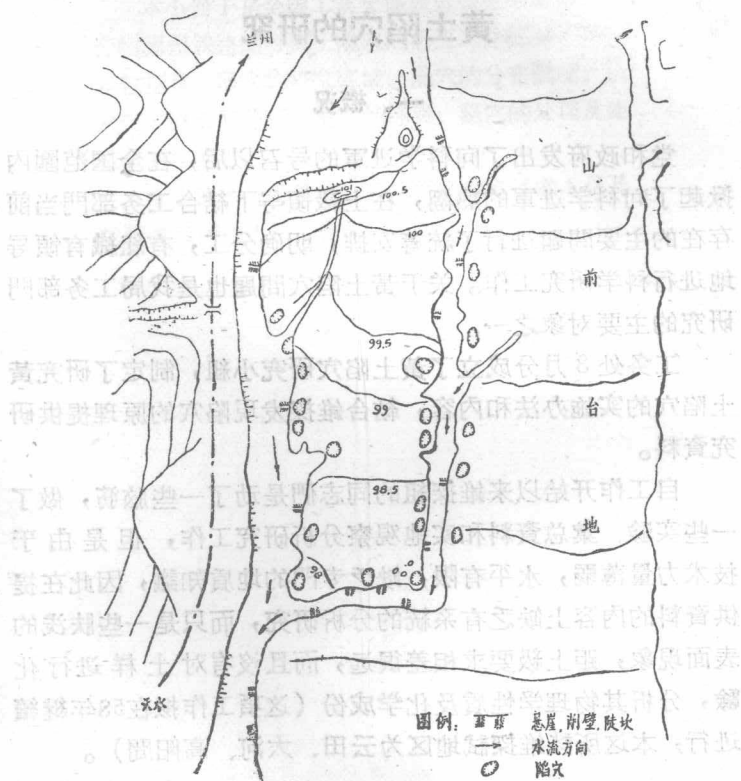


圖1. 总草圖

(二) 测区地形描述:

1. 左测区地形情况 (以铁路里程增加方向和台地的中心分左、右前、后)。

左测区中央部份有一水沟，自西向东贯通，把台地划分为南北两块，在水沟出口处有数处陷穴，台地边缘部份均为

陡坎，一般在陡坎处产生陷穴。陡坎坡脚为碱河，寬約20公尺，陡坎頂与河床的高度差在30公尺左右，河床干枯，不經常流水，河床縱坡度为14.3%，距陡坎邊緣約100公尺处为铁路綫路。

水沟南側台地，地势从西南向东北方向傾斜，水流至水沟后就不再繼續向东北方向流（沟底与沟边高差为0.3~0.5公尺），而由水沟排入河內。

2. 右側区地形情况：

右区邊緣为陡坎，陡坎邊緣处分布陷穴，陡坎坡脚为碱河，寬約20公尺，对岸为山前台地，其自然坡度自山脚向碱河方向傾斜，邊緣处也分布陷穴及坍塌現象，山脚距碱河在500公尺以上，山前台地上有两条深沟，沟不大不长互不相通。右区地形自西向东傾斜成一均匀的自然坡度。

3. 前后端測区地形情况：

前端邊緣部份为土崗，高出地3公尺，自北向南貫通台地（該处沒有台地），土崗西面为碱河的分支区，河面很寬約150公尺，河床一边为铁路綫路，一边为山前台地。

后端邊緣部份地势略高，地表微量水不能流入河內。前后端高度差約3公尺，邊緣部份为陡坎并有数处陷穴。陡坎坡脚为碱河的汇合处，河面寬約30公尺。对岸为台地。

（三）測区地質及水文地質概略：

我們在台地中部錐探結果，認為距地面4公尺处部份地区有沙夹卵石层，但不連成片，有的錐孔有，有的錐孔沒有。同时我們在河床內觀察台地壁的結果認為削壁上有明显的沙夹卵石层，在接近台地頂部沙层成层分布明显，接近河床底部沙夹卵石层分布明显，并在沙层上面有明显的黃土冲积层次，几乎成水平状态构成。这种現象說明，該阶地是由于河流冲积而成（原先为河床的可能性很大），或者由两边

黃土山坡在下大雨時坡積—洪積而成的頂部黃土层（頂部黃土层厚約3~9公尺）。

在河床內有明顯的近代卵石層，河床縱坡度為14.9%，該處地下水埋藏很深在30公尺以下。

（四）測區地貌情況概略：

該台地生長的植物大部份為農作物如紫苜蓿，另有一些野草，如枸旗子，在台地前端有一縱貫東西的水溝，溝深0.3~0.5公尺。除此以外，有些電杆。

（五）測區陷穴介紹：

1. 測區陷穴的分布情況：該台地的陷穴大都分布在台地邊緣部份，台地中央只有小型的裂縫陷穴。該台地地勢起伏不大，陷穴的匯水面積約在6000平方公尺左右，有些大型陷穴的附近地形變化很平緩，肉眼幾乎看不出來。

2. 測區陷穴一般介紹：該台地大部份為垂直陷穴，有部份為漏斗陷穴，有几處為沉陷盆陷穴，一處蛇形陷穴和一處天然橋陷穴。

有些垂直陷穴的坑壁已經倒坍，陷穴底部堵塞，再加上表水流夾帶泥淤塞而封閉了底部，陷穴底草皮旺盛，停止了發展，成為陷穴的終止階段。有些垂直陷穴的坑壁完整，底部無孔穴但也堵塞了底部，這種底部的堵塞並非是坑壁倒坍而造成，而是在開始形成陷穴時的殘留物。此種陷穴有重新擴大加深的可能（當地表集中水流，繼續浸入時），但是微量的地表水不促使陷穴有急劇的變化。漏斗陷穴一般無顯著的變化，而趨於停頓狀態。陷穴壁平緩，叢生草皮，陷穴底無殘留物。沉陷盆陷穴是陷穴發展的初期階段，它發展的最大可能是成為漏斗陷穴。其中最特出的一點是天然橋陷穴，此種陷穴靠近河岸，由於漏斗陷穴被雨水的長期浸蝕而使坑壁穿透。此種陷穴是早年形成的老陷穴，從坑壁的顏色和陷穴

的形成物来看，也可以大致判別陷穴的年令。該天然桥陷穴坑壁的土質呈暗紅色（而不是紅土顏色）而其他初期陷穴坑壁呈灰黃色。陷穴部充滿着田坑壁和地表水夾帶的泥沙堆積物，使陷穴底部完全堵塞停止了發展，並且在坑壁上有很多鴿子窩，而且深度很深。蛇形陷穴是埋藏在地表以下的陷穴，它的上游往往與垂直陷穴相接（指在山坡地帶）它的發展是很不規則的，是陷穴中最難對付的一種，因為在地表上不容易發現它。

該處陷穴的直徑一般在 2~3 公尺，大者在 8~11 公尺，深度一般在 6 公尺左右，最深有一處達 18 公尺，但是不論陷穴的深度如何，均不超過河床深度。這種現象可能由於河床逐年冲刷加深的結果，但是於台地深處黃土物理性質的改變不能沒有關係。我們認為該處陷穴的發生是在碱河形成以後而不是在碱河形成以前，其原因為：

1. 該台地是冲積而成的，在冲積、淤積的過程中是不可能形成陷穴的。

2. 由於形成了碱河把整塊台地切割為幾個部份，坡腳受河水冲刷的影響而使邊緣部份的土壤失去支撐，形成土壤向河床方向傾斜壓縮的趨勢（重力作用），形成裂紋和倒塌現象，同時由於地震作用，使邊緣部份的地層內裂隙甚多，破壞了土壤的整體性。並且由於台地是表水向河床傾瀉的結果，而使邊緣部份的土壤發生不均勻的下沉和形成冲蝕溝。

3. 由於第二個原因而使邊緣部份產生很多軟弱處所，如裂紋、裂隙、冲蝕溝等這就給形成陷穴創造了有利條件。

4. 由於黃土本身的特性是大孔性的鹽碱土壤，雨水極易滲透，當雨水滲透後，土壤孔隙收縮而形成。

三、黃土陷穴分布概略

1. 路堤、站場排水不暢地帶：由于站場建筑在高路堤上和站場排水不暢，特別是一二、二三股道之間最易存水，而造成局部坍塌或形成陷穴，如天兰錢陸家崖車站，里程K1706+047.50距綫路中心3.0公尺，距地面深度4.5公尺，陷穴直徑0.8公尺。

2. 老山沟填起地帶：此处陷穴最易沿新旧土壤結合处所发展，如夏官营車站內K1698+900附近原为老山沟填起，經錐探发现陷穴很多，其中最大者直徑达2.5公尺，严重威胁行車安全。

3. 路基填筑在老陷穴羣地帶：此处陷穴的形成是由于陷穴內未夯填坚实，和路肩裂紋滲水的結果造成。如K1647+500~700、K1563+626~700两处就是：在該地帶錐探后同样也发现很多陷穴，計16处之多。

4. 堤壩交接处和半堤半壩地帶：該处陷穴的形成与第二种情况一样是田田地表水經堤壩交接处滲入逐漸扩大造成，如K1562+710~719、K1562+300~500都存在不同类型的陷穴。

5. 人工凹地回填帶：由于深沟高涵的緣故，而把原山沟填起，就上游凹地填起部份，形成局部下沉和裂紋而造成陷穴，如1562+680~700。

6. 排水设备的下游地帶：由于排水沟、側沟、吊沟洩床等的下游地帶坡度变化大，逐漸冲蝕而成。如K1569+410。

7. 地形坡降变化地帶：如K1428+995一涵洞之上游与坡降变化剧烈处之陷穴口相接。

8. 山沟地帶：在山沟地帶往往容易在山凹处所发生垂

直陷穴，一个接一个成阶梯形发展，如附图2。

9. 深沟两侧边缘地带：如K1562+300右侧台地，在台地边缘部份产生很多陷穴，如附图3。

10. 道碴陷槽和路肩裂纹渗水地带：如1560+450由于路肩裂纹渗水和道碴陷槽渗水而形成直径为0.3公尺的陷穴。

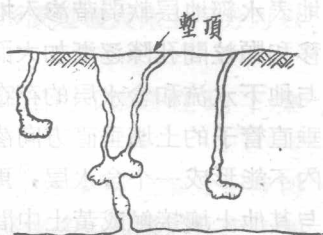


圖2. 剖面圖

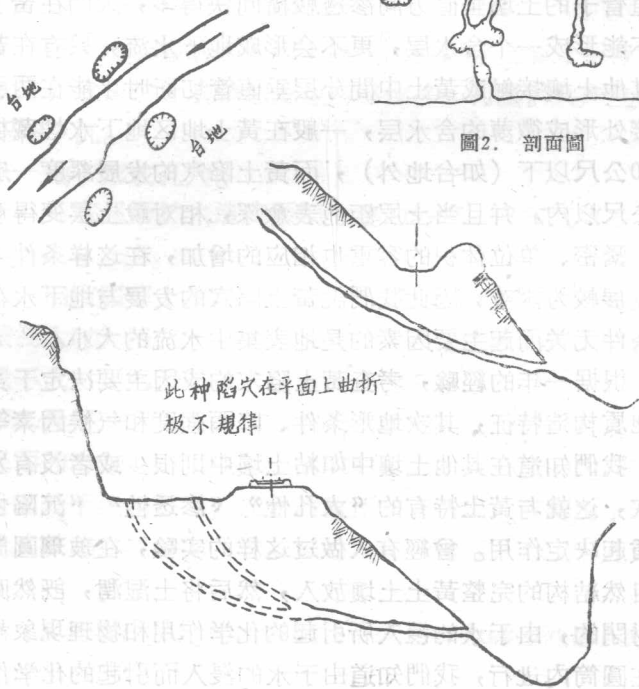


圖3. 断面圖

11. 地层节理和路塹坡面断裂带：由于表面水或坡面水的渗入逐渐扩大而成，如K1563+194起先为小型冲蚀沟雨后形成直径为0.6公尺的冲移陷穴，从山坡一直发展坡脚路肩旁边。

四、黄土陷穴形成原因分析

黄土陷穴的形成是黄土壤中地表水的潜蚀过程，表现在地表水经地层软弱带渗入地层内部，水使土壤颗粒的内部位移和颗粒间孔隙逐渐加大而形成各种表面坍塌。陷穴的形成与地下水流和含水层的存在无关，因为黄土类土壤是大孔隙垂直管子的土壤垂直方向渗透较横向快得多，因而在黄土层内不能形成一个含水层，更不会形成地下水流，只有在黄土与其他土壤接触或黄土中间分层垂直管切断时才能在两层的交接处形成微薄的含水层，一般在黄土地区地下水埋藏很深在30公尺以下（如台地外），而黄土陷穴的发展深度一般在20公尺以内，并且当土层距地表愈深，相对说土层变得愈坚实、紧密、单位体积的容重也相应的增加，在这样条件下陷穴发展较为困难，因此我们说黄土陷穴的发展与地下水存在的条件无关而起主要因素的是地表集中水流的大小。

根据一年的经验，考查黄土陷穴的成因主要决定于黄土的地质构造特征，其次地形条件、降雨强度和气候因素等有关，我们知道在其他土壤中如粘土壤中则很少或者没有发生陷穴，这就与黄土特有的“大孔性”“渗透性”“沉陷性”性质起决定作用。曾经有人做过这样的实验，在玻璃圆筒中把自然结构的完整黄土土壤放入，然后将土湿润，既然圆筒是封闭的，由于水的浸入所引起的化学作用和物理现象都只能在圆筒内进行，我们知道由于水的浸入而引起的化学作用即盐类的溶解是不会走失的，但是圆筒内的土层还是发生很

大的下陷，这就說明黃土所以有很大的沉陷性的原因并不是完全因为鹽类的溶解而造成而是黃土的大孔性和容重有关，而黃土陷穴的形成与这种严重的自身压缩不能没有关系，根据我們多次观察初步分析結果，认为陷穴形成的过程大体上可归納为 3 种情况：

第一种情况：陷穴的形成先在地层内部进行，雨后由于地层内部孔隙扩大的結果，而造成頂层土壤的坍塌，如 K 1561+450 左侧路堑边坡上，它的形成过程大体上可分为以下几个步骤：

1. 地表水經地层軟弱带渗入地层内部渗透在地下集中。

2. 由于地表渗透水地地下集中而使部分土壤处于特别松软状态，水流使土壤顆粒发生内部位移，孔隙扩大产生急剧的压缩下沉。

3. 地下形成孔穴。

4. 孔穴逐渐扩大造成頂层土壤的坍塌。陷穴底堵塞形成露天陷穴。

5. 陷穴底部土壤繼續渗水，重新复活而陷穴（当地表水繼續浸入时）陷穴不断扩大加深（如果地表水不浸入或浸入水量不大时則陷穴不会有显著的变化）。

第二种情况：陷穴的形成首先在地表，这种情形最易发生在暴雨的时候，由于地形成集中的巨大水流，使一定深度內的土壤处于饱和状态，加水的重压力而造成，或者由于水位差造成跌落形式冲刷而成。它的发展过程可分为以下几个阶段：

1. 地表集中水流經地层軟弱带或遇有裂縫强烈渗入地层內形成垂直孔穴。

2. 孔穴逐渐扩大加深。

3. 地表相应部份的土壤发生剧烈下沉，形成漏斗形或不成漏斗形。

4. 由于陷穴繼續扩大加深造成原先坑壁的倒塌，陷穴底部堵塞。

5. 陷穴底部土壤繼續渗水重新复活形成陷穴。

第三种情况：由于黃土节理形成陷穴，經過我們的考查和地質人員的判断黃土內部与岩石一样有各种橫直节理貫通，从表面也看得很明显，这种节理是个薄弱环节，也是发生陷穴的一个原因，它的发展过程是：

1. 表面水通过节理渗入直鑽。

2. 逐漸扩大。

3. 遇見了橫的节理就看橫鑽，使直洞套橫洞。

五、黃土陷穴的种类（按形狀来分）

1. 裂隙陷穴：如附图 2

此种陷穴多在路塹边坡老陷穴周圍和地层內各部份，是陷穴发展的初期阶段，起先不大約数公分，它的发展过程是表面水經地层节理或路塹坡面断裂帶浸入，先形成小型冲蝕沟，而后发展为連續性陷穴如 K 1563 + 194 左側山坡，先为冲蝕沟而后发展为直徑 0.6 公尺的連續性陷穴，从半山坡一直发到山坡脚路肩旁边，又如 K 1561 + 460 左側路塹边坡上，距路基面 15 公尺处，形成一寬約 2.0 公尺、长 5.0 公尺、深 3.0 公尺的陷穴，据了解該处原为一弧形断裂帶长約 2.0 公尺、寬約 20 公分，先形成細小裂紋，坡面水經裂紋渗入，地层內部形成陷穴，塹面仍完整。并无下沉現象，当巡山工在此做坡面补修工作时，不小心一脚踏上，踩破了表层，发现里面陷穴很大，經实地观察陷穴頂有一层 2 公寸厚的土层頂住，陷穴壁流水痕跡十分明显，都从陷穴壁垂直向下渗流，

从这里可以发现一个问题，陷穴的形成最初是在土层内部扩大而当顶部土层不能维持时才坍落下来。

2. 直通路基的老陷穴（即水沟、蛇形陷穴）如附图 3。

此种陷穴的特点是上游往往与垂直陷穴的底部相通，地下多岔多弯，极不规律，并且各个互相连通，陷穴沟底的倾斜坡度大约与地面倾斜度相适应，一般产生在地面自然倾斜角大于20度的地段（阶地除外）垂直陷穴下游的自然倾斜角愈大则产生蛇形陷穴。在山坡上更是有利条件，如K1562+300右侧台地，有一陷穴的上游是于陡坎下的垂直陷穴相接，在垂直陷穴的底部与蛇形陷穴相通。该处蛇形陷穴是处在自然倾斜角大于20度的小坡上。

在路基内部的蛇形陷穴大都在路堑部份距路基面较深，一般在10公尺以下，如K1561+650、K1561+680两处就是对路基危害性来说并不严重。

3. 垂直陷穴：如附图（4）

此种陷穴的特点是陷穴壁边坡几乎接近零，与地面成垂直下去，陷穴壁底一般无岔洞，口径和深度大小不一，垂直深度一般在20公尺以内，该种陷穴的初期阶段陷穴壁无倒塌现象，同时它的发展受垂直

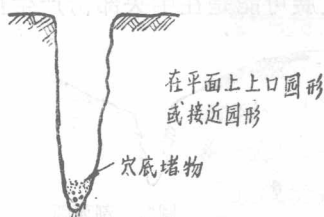


圖 4

收缩裂隙的控制，大都发生在台地边缘和坡降变化大的地方，如排水沟的下游和山沟山壑地带，此种陷穴的后期阶段穴壁倒塌，底部堵塞。

值得注意的是有些大型陷穴自发生在地形变化很细微的地方，如K1567+300右侧台地，地形很平缓，而形成的垂

直陷穴深達 1~18 公尺，陷穴壁完整，穴底堆積部份殘留並生長樹木草皮，但也有些垂直陷穴的底部無殘留物。經錐探結果有些穴底無洞穴，而且土質十分堅硬，這就產生疑問，這些被水浸蝕的土粒是如何被帶走的呢？當然與土粒的自身壓縮有關係，但必竟壓縮不會這樣嚴重。

4. 漏斗陷穴：如附圖（5）

此種陷穴的特點是單生獨立，互不相通，上口成漏斗形，口特大底部小，深度在 10 公尺以內，上口直徑在 2~10 公尺，陷穴壁非常平緩在 1:0.4~1:1 之間，坡面叢生草皮，這種陷穴的發展速度很緩慢危險性小。

但如此種陷穴接近河邊而且深度較大時，能在河岸下穿過去形成天然橋。如 K1562+300 石側台地有一處。

5. 沉陷盆陷穴：如附圖 6

此種陷穴的形成是由於大片水的浸濕使土層局部下沉而造成，它的形狀如淺鍋底，深度在 0.5~1.0 公尺，口徑在 5~10 公尺之間。沉陷盆的中央無垂直下陷現象，它的最大發展可能是在中央部份產生垂直下陷形成漏斗陷穴。



圖5. 剖面圖



圖6. 剖面圖

六、黃土陷穴的處理

從陷穴形成的原因來看，主要是由於地表水滲透地層內部所引起的破壞作用，因此如何把地表水有系統的排出路基以外，不使在路基附近滲入，這就是加強路基附近的排水設備，特別是排水設備坡降變化大的地方如側溝、吊溝、洩床

等排水設備的下游地帶。

去年我們錐探過的地段，對於發現的陷穴也作了處理，今年有些地段重新發生陷穴，如 K1562 + 300 ~ 400 的側溝里面又形成了小型陷穴，這種事實說明在處理陷穴上還存在問題，其他如同填方式和填料的選擇上都要進一步研究（值得注意的是在處理陷穴地段必須做好地面排水系統來配合，以免排水不暢而重新造成陷穴）。目前我們還未找出妥善的辦法，目前我們對陷穴的處理，除了解決排水系統外，對於陷穴本身是採用人工開挖或灌漿兩種方法，對於陷穴範圍較大、距路基面較深的橫向陷穴，也採用橫向导洞回填，不論採用何種方法回填坑壁每隔 2.0 公尺必須用堅強的支撐撐好，以確保行車和人身安全。

當陷穴較小或裂隙直徑在 0.1 ~ 0.3 公尺之間，體積在一立方公尺左右，距路基面在 5 公尺以下，距綫路中心在 3.0 公尺以內時，可以採用灌漿，總之在人工開挖不合算的時候才採取灌漿，如何使灌漿達到預期效果，還沒有取得很成熟的經驗，我們的體驗認為一次灌漿是不能灌滿的，可採用復灌。泥漿凝固後與周圍土壤的接合問題也值得研究，據我們試驗結果，泥漿凝固後是不能與周圍土壤緊密接合的，（當時採用土為黃土，水土比為 1:2.5，試坑距地面深一公尺，詳細情況見後）這就要從泥漿成份上選擇什麼樣的泥漿成份，能使凝固後與周圍土壤緊密接合，有待今後探討。

七、處理試驗概略（灌漿方法處理陷穴）

以灌漿方法堵塞陷穴空間，在黃河堤上取得了一定的效果，他們並主張大量推行，但由於鐵路建築物與堤堰要求不同，所以在鐵路上廣泛推行灌漿堵塞陷穴方法尚待研究，為了找出灌漿對路基的影響所產生的結果提供一點材料，因此

于56年9月19日在K1561+440之石側做了一个試坑，現將試驗經過介紹如下：

(一) 試坑处的地質情况：試坑位置处于平坦无水浸入地点，其地質为黃土堆积层，坚实程度次于坚土而强于松土。

(二) 試坑的式样：該坑为1公尺見方，半公尺深，距地面1公尺以下。

(三) 泥浆比例为1:2.5（水1土2.5）土为普通的干燥黃土。

(四) 灌浆方法：系采用漏斗以一次灌滿。

(五) 开挖后观察的現象：該坑在10.8号开挖，其状态如图7所示。

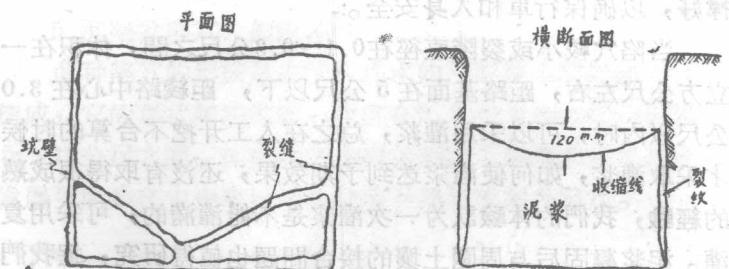


圖 7

見所灌浆达21日之久，仍未达到干燥状态，潮湿程度可用手捏成泥团，其承压力每平方公分为0.7公斤，泥浆与周圍土壤脱离，裂紋最寬达40公厘，深度一直到坑底，中間两条裂紋也是如此。泥浆的收縮性很大，达五分之一，其表面收縮形状成弧形（見断面图）。水份的渗透性也很大，上升为0.3公尺，兩側渗透0.35底部渗透0.4公尺。

根据上述情况此次試驗收效不大，未能达到予其效果，我們的希望是泥浆干燥的快、收縮小，与周圍土壤接合密貼，沒有裂紋，至于如何达到理想的效果，有待今后研究，

以提高我們的理論水平，更好的解決實際問題。

茲將我們對試驗工作的幾點不成熟的意見提供如下，供參考：

1. 泥漿在陷穴內收縮只要周圍達到密貼程度，其上层收縮問題不大，可以採取復灌。

2. 泥漿的成份需要研究，我們初步意見可採用粘土、沙、及黃土混合攪拌試驗之，因我們此次試驗泥漿收縮情況很壞，分析其原因可能是土壤問題。

