

鐵道科學研究院研究報告集

路 基 土 工 研 究

第 1 集

鐵道科學研究院鐵道建築研究所編

人 民 鐵 道 出 版 社

目 錄

黃土路壘邊坡調查研究	(1)
黃土中粘土礦物的研究	(50)
關於軟土地基的抗剪強度指標和穩定分析	(75)
重力式擋土牆設計中的幾個問題	(85)
土壓盒的制造、標定和使用	(102)
沈山綫巨流河附近路基點應力野外測定報告	(117)
工地用輕便剪力儀	(130)

黃土路塹边坡調查研究

我国是世界上黃土面积分布最广的国家之一，在广大的华北平原和西北地区分布着厚度不同、类型复杂的黃土地层。在这些黃土地区，正在进行着規模宏偉的社会主义建設工程，因而在国家十二年科学规划中，將黃土（包括类黃土）工程性質的研究列为重要課題之一，要求各单位結合生产分工合作进行研究，以配合国家建設工作的需要。

在黃土地区如何正确地决定路塹边坡的陡度和形式，是修建铁路和公路時存在的一个較普遍的問題。它不仅具有經濟上的意义，并且对保証安全运输有密切的关系。根据铁道部科学技术研究计划所规定的任务，由铁道科学研究院負責，唐山铁道学院和铁道部第一設計院参加，共同进行黃土路塹边坡的調查研究，以期总结已有的建設經驗为修改和补充現有設計条文提供資料和意見。調查研究工作自1956年下半年开始，于1958年結束。工作期間在甘肅、陝北、山西和河南地区調查了黃土地层的分布，地貌特征，現有铁路、公路边坡的陡度、形式和变形的特征，并測定了各地区黃土的物理力学性質。

但是黃土路塹边坡的研究是一长期而复杂的工作，由于人力、時間和业务水平的限制，我們的工作只是为进一步工作打下基础，还有待更多的資料和細致的工作來充实它。

先后参加工作的有铁道科学研究院周鏡、張紹銀、楊灿文、高长聖、馮連昌、龔亞丽，唐山铁道学院教师王繼光、邓紹忠、韓毅、蔣爵光、楊华昆、李家珏，铁道部第一設計院賈士譚、沙洋和兰州铁路局潘恆濟等同志。

土样的化驗工作系由我院及铁道部第一設計院的土工試驗室同志們承担的。

部份土样化驗工作曾得到建筑工程部綜合勘测院試驗室的大力支援，使得整个工作得以提早完成，特致謝意。

一、概 述

1. 黄土路壑边坡历史资料描述

我国在解放前，铁路工程建筑人员通过陇海铁路的修建，已经认识到黄土路壑边坡不能作为一般土质路壑来处理。解放前一般土质路壑边坡都沿用1:1的边坡，但在1932年的陇海年鑑中关于黄土路壑边坡的記載如下：“路壑之总寬約9公尺，其两旁之坡度則隨地質而不同，自一与一之比至一与二十之比。……其填积之最高者約逾30公尺，而路壑之最深者約逾35公尺”。在鉄道年鑑第一卷中記載有“挖深路基如遇土質松者，其基面約以5.5公尺为度，亦因各段土質不同，有于基面两旁1.2公尺之水沟以外，加挖一公尺之平級者，亦有无此平級者。其两旁傾斜度有一与一，一与一·五坡之别。但在观（观音堂）陝（陝县）一段，土質堅韌，其两旁傾斜坡有一比一者，有一比二十者。惟每深五公尺則加以五公尺之平級，以防傾圮……”。在西（西安）宝（宝鷄）段工程記略中有这样的記載：“路壑边坡則視土質情形而定，斜者一比一，陡者一比十。凡高深路壑大抵分作数层級，最下一层多为一比十，最上一层則为一比一或一比二。分級处另留一公尺寬之平面”。虽然在30年代初期，工程地質学和土質学尚未成为独立的学科時，我国鉄路工程人員通过实践已認識到黄土有不同的类型，提出边坡的陡度应根据土質情况而定，从1:0.05到1:1.5，并以土質的堅韌程度作为鑑别的依据。当时也認識到了陇海綫黄土的直立性和易于崩塌的特性，因而在边坡的形式上采取了側沟平台及多級平台陡边坡。但是对黄土的特征、不同类型黄土間的区别，如何正确地判断黄土类型从而选定边坡陡度等都缺少科学的数据和系統的資料。

在日寇侵略我国的期間，日人曾在同蒲鉄路进行过調查，在調查报告中对黄土路壑边坡的陡度作了統計，提出了黄土中砂礫层及下臥紅粘土对边坡稳定性的影响；肯定了多級平台陡边坡的形式并建議修築平台截水沟以防止順平台崩塌的現象；对黄土路壑边坡破坏的現象进行了描述，如坡面冲刷、坡脚崩落、砂礫层风化崩落等。日人还曾在現丰沙綫北段开挖黄土路壑時，作过各种不同陡度和形式的比較試驗，在中間报告中对作成的边坡的局部崩坍、片状剥落、裂縫的发展等进行了記載和描述。但是这些工作都沒有能从工程地質学的观点，結合地层、地貌和岩性来研究黄土的工程性質，因此这些工作虽然提供了一些資料，但沒有、也不可能对黄土路壑边坡問題进行全面的分析。美国W.J. Turnbull曾分析了Nebraska黄土不同方向的强度及其他物理力学性質，并根据檢算和現場观察結果，認為在黄土中的挖方，可用較陡的边坡，單純地用檢算确定黄土边坡，而沒有考虑它的整个工程地質条件，就不可能象苏联那样制定出黄土地区一般路壑边坡陡度的設計规范。

苏联是研究黄土工程性質的先进国家，特別注意研究黄土的成因、类型与其工程性質的关系，苏联早先鉄路設計規程中对小于12米的黄土路壑边坡的陡度，作了如

下的規定：干燥黃土，用1:0.1，黃土質砂粘土路塹边坡应不陡于1:1.5。Г. М. 沙湖年茲教授引用普里克朗斯基教授的資料：“黃土的湿度在10%以內時可保持垂直边坡；超过10%時，即不能保持垂直边坡”。在苏联的書籍中一般还采用黃土（原生黃土）和黃土类砂粘土（次生和退化黃土）这名词，提出許多特征作为鑑定黃土的标准，而当黃土丧失了其原有特征的一个或数个時即为黃土类土。当我们整理資料時收到苏联1958年新制定的铁路設計規程，其中关于小于12米的黃土路塹边坡的陡度規定进行了修改，干燥黃土用1:0到1:0.3；潮湿地区的黃土及黃土类土用1:0到1:1.5，更臻完善。关于是否采用边坡平台，則还存在着不同的意見。

解放后我国在黃土地区的路基标准設計亦参考苏联修訂前的規程，即黃土（原生黃土）用1:0.1，黃土类土（次生及退化性黃土）不陡于1:1.5。在实践中遭遇到一些問題，首先是如何鑑別黃土（原生）与黃土类土（次生及退化性）。例如兰銀綫窑峒一带的黃土，根据野外調查和室内化驗与原生黃土性質相符，試挖的1:0.1~1:0.3边坡大都坍塌，后放緩到1:0.75~1:1.0才稳定。相反地南同蒲綫黃土通过野外和室内化驗鑑定为次生黃土，却能站較陡的边坡，因而一度引起設計工作的困难。其次是早先苏联規程对黃土地区路塹边坡不允許采用1:0.1到1:1.5間的边坡，但正如前所叙述，許多路塹已很成功地采用了1:0.1到1:1.5間的边坡。1956年設計院苏联地質专家綜合苏联的資料，并結合我国修筑黃土路塹的經驗，將各类黃土分为原生、次生和退化性三个类型，并列出各类黃土的成因、結構構造、矿物成份及其物理力学性質等特征，以便野外和室内鑑別時参考。同时提出原生和次生黃土可采用1:0.1到1:0.2边坡；退化性黃土則用1:0.1到1:1.5边坡。苏联路基专家在报告中指出，并非任何黃土都能站陡坡，只有密实的干燥黃土才能站陡坡。这样使得我们对黃土的工程性質有了進一步的了解。近几年我国铁路工程師們发表了許多报告，对黃土的特征、黃土路塹边坡形式和陡度的設計、边坡变形的分类和发生的原因等作了一些分析和討論，提供了宝贵的資料。但由于黃土地区的地貌、地层和岩性的变化十分复杂，不同地区黃土的物質組成、沉积条件、层位和所处地貌条件等都直接影响到黃土的工程性質，現有的資料尚不能解决目前存在的問題，因此有必要对各地区的黃土特性进行較全面的調查分析，以便对黃土的分类、各类的工程性質提供更多的資料。

2. 工作的目的和方法

由于我国黃土分布的面积廣闊，在这些地区正全面地进行着铁路的勘测修建工程，因此必須有一个較完善的黃土路塹边坡設計条文（标准設計）来指导現場工作，現用的設計条文和黃土分类方法已不能滿足需要而且具体情况不完全符合；因此根据国家长期科学规划和铁道部科学技术规划提出的任务，进行了黃土路塹边坡的調查研究，以便为进一步修改和补充現有設計条文提供意見和資料。

黃土路塹边坡的研究是一长期而复杂的工作，为了結合铁路建設的迫切需要，从工程地質学的观点，采用了大面积地質調查和統計的方法。在黃土地区进行了地質路綫調查和重点測繪，調查黃土的地层划分及其分布規律、各地区地貌的特征、

采取原状土样和扰动土样在野外和室内测定其物理力学性质、调查已有铁路和公路路堑边坡的陡度、高度和边坡形式、调查各种黄土边坡变形的特征。然后根据这些资料，提出黄土地区路堑边坡一般设计的意见。

调查的地区东自汾河流域，西至兰州；北起榆林，南至秦岭北麓，包括了山西、陕西、甘肃及河南四省的大部份地区，该地区约在东经 113° 至 104° ，北纬 38° 至 34° 间，地质路线主要是沿着铁路和公路进行。自兰州沿兰银线到狄家台；沿兰兰线到天水；沿陇海线到洛阳；自大同沿同蒲线到风陵渡；自石家庄经太原、军渡至绥德；自榆林沿成榆公路至咸阳；自咸阳经陇东地区到定西。此外还作了一些辅助的路线调查，如从陕县经魏县沿秦岭山麓到潼关，绥德至吴堡，延安至吴旗，以及一些垂直于铁路的路线调查。在各个地区选择了一些重点处，作了较详细的测绘和取样化验工作。并填了部分铁路线的地质、地貌图。显然与黄土地区的面积比较，所做的路线和地质点的数量还是不够的。但科学院地质研究所和地质部水文地质工程地质研究所在同时期也进行了黄土的大面积调查，取得了丰富的资料，对我们的工作有很大的帮助。

现阶段的工作只是研究黄土路堑边坡稳定性的第一步，尚须作更详细的小区城工程地质调查，对各类黄土的工程性质作进一步的分析研究，以便掌握更多的资料。同时尚须对黄土的强度和变形性质及其相应的指标的测定方法进行研究，以便逐步解决黄土高边坡个别设计中存在的问题。

3. 黄土的涵义

黄土的定义迄今仍未有统一的认识，由于对黄土定义的理解不同，因而黄土的厚度，即上下限一直是地质界争论不休的问题之一。我国劳动人民习惯于将西北黄土高原的整个第四纪地层叫做黄土，同时铁路工程的特点是路堑可能通过所有的地貌单元，因此路堑边坡问题将涉及黄土地区整个第四纪地层，甚之下卧的古老地层。为此本报告所讨论的黄土，意味着几乎该地区的全部第四纪沉积物。当然黄土地区某些老第四纪沉积物如三门系及桑园子系等湖相沉积很容易与黄土区别的地层不在讨论之列。

由于黄土包括的范围甚广，工程地质性质变化较大，为了适于工程的需要，必须将黄土根据工程的要求进一步分类。在铁路工程中曾使用过数种分类名词，但在实用的过程中都发现存在着一些缺点。如将黄土分为原生黄土和次生黄土是一种地质学的分类法，一般理解原生是第一次沉积的物质，而次生是再沉积的意思。这种分类法不能符合工程地质的要求，在野外辨别时亦很困难。同时目前对原生和次生黄土所归纳的一些特征及岩性指标，也和名词本身不相符合。同一土层从地质上调查应属原生黄土，但根据化验数据可能鉴别为次生黄土。至于退化性黄土的涵义更不够明确。

另一种分类法是将黄土地层分为黄土和黄土类土（黄土状土），主要是根据岩性特征来区别，一般资料叙述了黄土的岩性特征，不完全具有这些特征时，则属于黄土类土。这样，在陕北绥德一带表层复盖的黄土（相当马兰黄土）由于含砂量特

高，应划为黃土类土。同時分类中黃土类土的涵义过于广泛，包括了不同地質年代的黃土类砂到黃土类粘土的各种土。因此这种分类法没有考虑到黃土在地层上的分布規律，也不能很好地反映铁路工程的需要。例如，修筑路堑边坡時，同一条件下，黃土和黃土类土二者比較何者较为稳定，不能从分类上得到反映。

从工程地質的观点，最好的分类法是按成因类型分类。但是目前采用还有一定的困难，黃土的成因仍未取得一致的意見，国内对黃土的調查研究工作还很不够。尚須积累更多的資料，进行更多的野外和室内分析工作才能逐步解决这一問題。同時目前完全用成因类型分类在現場使用時較难辨别。

为了便于現場辨别和使用，目前我們建議將黃土分为松散結構黃土和密实結構黃土两类。它的优点是反映了黃土在地层上的分布規律，反映了两类黃土岩性的主要特征，反映了用在路堑边坡時的評价，同時易于辨别和使用。松散結構黃土在地层上包括 Q_{III} 和 Q_{IV} 两个年代，复盖在黃土地区各种地形的表面，工程地質性質較差；密实結構黃土主要是 Q_{II} 的沉积物，都在松散黃土的下部是黃土地区地层的主要組成部份，工程地質性質較好与前者有显著的不同，在野外亦易于和前者区别。詳細的敘述将在以后几章中論及。黃土地区河谷及冲沟中低阶地底部底礫层以上的河床沉积物，实际上已不能当作黃土考虑，但有时也和铁路路堑边坡有关，为便于敘述，暫称之为冲积黃土。

显然建議采用的分类是不够完善的，如前所述，黃土类型十分复杂，进一步的划分尚有待进行更多的工作。

二、黃土地區地貌特征

地貌类型划分的原则，目前还没有取得統一的意見。根据不同的原则和标准，在同一地区內可以划分出不同的地貌类型。一部分学者主张采用形态分类的原则。形态分类法比較簡單，易于了解，因而長時間被大家采用。但是形态分类不能反映出不同地貌的起源和发展过程，再者不同成因的地貌，在一定的发育阶段可能产生偶然相似的外部形态，而在形态分类中便可能把它們划在同一分类单位。另一种分类原则是以成因为分类的标准。成因分类可以体现出地質营力的作用，避免上述形态分类的缺点。目前地貌的成因分类原则已为多数的地理学家和地質学家所贊成。在地貌分类中，也有些学者采用成因和形态的綜合分类法。

至于黃土地区地貌类型的划分，許多学者曾根据上述不同分类原则提出了各种意見。目前从中型地貌的分类來說，反映黃土区域形态的黃土壩、梁和峽已在現有的資料中被广泛的采用，而且这些名詞也为黃土地区居民所熟习，被用来称呼黃土地区的地名。为了使铁路工程地質調查時調查人員容易掌握和認識黃土地区地貌特点，我們將采用这种分类的方法。

根据野外調查并參考已有的資料，結合铁路工程的特点，我們將黃土地区分为

五个中型地貌类型，黄土塬型、黄土梁型、黄土峁型、河谷阶地型、洪积冲积平原型。在分类时考虑到下述三点原则：

1. 能够反映出黄土地区的面貌；
2. 分类简单而明确，野外工作人员易于识别；
3. 能够反映黄土路堑边坡的工程地质特点。

在五个中型地貌类型内，由于各处地质作用和生成环境不同，地层和黄土性质也各异，因而有必要根据地理位置不同将上述基本类型又分为不同的型区。例如在黄土塬型中可分为皋兰黄土塬型区和陕北黄土塬型区。皋兰黄土塬型区是由灰黄色的均质松散黄土、浅黄色石质黄土和甘肃系红色地层或南山系变质岩组成，表层是浅黄色的松散黄土且以粉土颗粒为主。陕北黄土塬型区则由浅黄色的均质松散黄土、红黄色的密实黄土和三趾马红土或中生代砂页岩组成，表面浅黄色均质黄土微砂含量较多。各个型区的命名都冠一地名或山名，这样便于了解，至于各个型区的成因则未加说明，一方面由于对黄土的成因尚无统一的意见，再者我们在这方面的工作做得很少。在各种地貌类型中也可以根据部位和形态以及对铁路工程的不同影响而分为数个亚型，兹将各种地貌类型的分布情况及特征简要介绍于下，较详细的叙述已另文发表*。

1. 黄土塬型：

黄土塬型处于鄂尔多斯地台南部黄土分布地区的中心。子午岭将它划分为两个型区，西为隴东塬型区，其范围大致西自平凉，东至正宁，南自那县，北至豫旺；子午岭以东为陕北黄土塬型区，其范围大致西起子午岭下，东至洛川、南自宜君、北至鄜县。黄土塬型地区系由许多被河流沟谷切割成的黄土塬组成的，如董志塬、长武塬、洛川塬等。塬的面积较大，自塬上远眺为一望无际的辽阔平野，地面具有很小的起伏，其中深切割的沟谷数量较少。构成塬的地层皆有一定的共同性，下伏基岩较为平缓，仅在切割很深的沟谷和河流谷中出露。黄土沉积最厚的地区，厚度达170米以上。组成塬的主要地层是红黄色的密实结构黄土，其厚度60~120米。其上常复盖着一层厚度不等的浅黄色的松散结构黄土。

黄土塬地区河流较多，沟谷切割深度很大，最深的达200米。沟谷一般呈宽谷的形态，但冲沟分布的密度和地面裂度较黄土梁型地区为小。

2. 黄土梁型：

黄土梁是黄土地区占面积最大的一种地貌类型，多分布在塬的外围，逐渐转变为峁型地区。梁型地区在平面图上看，系由许多长条形的黄土梁组成。在梁型地区也可以看到少量属于峁形态的地形。梁顶窄长而平缓，纵向坡度一般小于 10° ，较塬型地区倾斜为大。梁顶大致保持在同一高度，兰州黄河南岸地区，梁顶标高约2200米，而在陕北地区则为1400米左右。梁的两侧为深沟，梁顶以下斜坡坡度较缓，随坡长的增长，坡度增加至沟谷陡崖。黄土梁地区沟谷切割深度较塬地区为小，但沟谷的

* 铁道科学研究处路基土工室“铁路工程适用黄土地貌分区图（说明书）”，1958年。

密度和地面裂度則較塬地区大得多，下伏基岩起伏变化較大且在黃土下部普遍出露。黃土的厚度較塬地区為小，随地区和部位的不同而变化甚大，也有超过一百米的。

黃土梁东自汾河流域，西至皋兰，包括了山西高原、鄂尔多斯地台和隴西地块等三个構造单元。因而在地质上，黃土的厚度和岩性上都有显著的差别，形成复杂的工程地质条件。为了便于工程的使用，將黃土梁型地区分为隴中、隴东、陕北和晋南四个梁型区。

(1) 隴中梁型区：分布在六盘山以西的隴中盆地南部。在黃土沉积期前在盆地中普遍沉积有甘肃系紅层，紅层的高差和起伏較大，其上局部地沉积有湖相的杂色土，这些組成黃土的底部，在盆地的东南及南部普遍出露。黃土地层由表层的淺黃色均質松散黃土和下部的紅黃色或淺黃色的石質黃土組成。均質松散黃土一般厚度小于30米，以粉土粒为主，松散而沉陷性較大，并含有較多的易溶盐。不能形成較高的陡坡。石質黃土中未見到古土壤层但有黑色斑点，質地紧密、呈块状崩落。黃土地层的厚度变化較大，在寒水岔、醴儿岔梁頂厚仅十余米，但在兰州附近可达百米。

(2) 隴东梁型区：分布在隴东盆地黃土的四周山前地带，处于盆地河流的上游。基岩出露較高，多为白堊紀、侏罗紀或第三紀地层。黃土的厚度較大，主要由夾有古土壤层的紅黃色密实結構黃土組成，其上复盖着淺黃色的松散結構黃土，厚度不超过40米。但較隴中地区的松散結構黃土为密实，不見陡坎。梁的斜坡和沟谷坡上有較厚的残积坡积黃土，稳定性較差，有沉陷性。冲沟发育，切割深度达100米，成V型。密实結構黃土中的古土壤层有向河谷的傾斜，分布紊乱有显著的不延續性。在六盘山东麓及永寿梁北麓近山部分，这层黃土中常夾有山麓堆积的角砾或碎石，力学性質較塬上的老黃土差。在支沟中多重力堆积的近代黃土，陷穴发育。植被条件較隴中地区好，在黃土层中有层間水出露。

(3) 陕北梁型区：分布在陕北黃土塬的四周，基岩出露較低，系由中生代砂頁岩組成，起伏不大。黃土厚度較大，常超过一百米。主要系由夾有古土壤的密实結構黃土組成。表层松散結構黃土較薄，含微砂較多，但較兰州地区同类黃土紧密。松散結構黃土都成緩坡，陡坎較少。斜坡多坡积层，可看到坡积层理。冲沟发育，切割深度較大，也比較寬，冲沟阶地常以密实結構黃土为基座。陷穴在沟头发育，但較隴东和隴中为少。在基岩与黃土接触处有时可見到地下水出露，植被条件較好。

(4) 晋南梁型区：分布在山西高原呂梁山、太岳山和中条山地带，多为河流的上游，基岩是由寒武奥陶紀石灰岩、中生代砂頁岩和三趾馬紅粘土組成，基岩起伏較大普遍出露。黃土的厚度較小，一般不到一百米，主要由夾有古土壤的紅黃色密实結構黃土組成，但其底部古土壤条带不明显。梁頂和斜坡上为淺黃色松散結構黃土的坡积物所复盖，厚度从数米到二十米左右。坡积物中常夾有砂砾或紅色粘土屑。冲沟切割深度达100米，冲沟密度和地面裂度較大。冲沟切割到紅粘土和基岩時則下部多成基岩峡谷，但其上的紅粘土和黃土則仍为較緩的山坡。冲沟常为V

型，无明显的阶地。紅粘土与黃土的接触面向沟谷傾斜，形成不良的工程地質条件，引起順接触面发生坍塌現象。密实結構黃土多順节理崩塌現象。表层的均質松散黃土力学性質較好，能形成不高的陡壁。陷穴多发育在沟头水流集中处，或位于上游沟坡低凹处。

总之黃土梁型地区地形切割破碎，远較塬型地区严重。冲沟切割深度較塬型地区小，但分布的密度和地面裂度較大。

3. 黃土塬型：

主要分布在黃土地区的北部，与黃土梁地区的界限是漸变的。从形态上来看，在平面图上成圆形或椭圆形。远看象許多小山聳立在地面上，縱坡較陡，两山相連处成鞍形。斜坡多成凸形坡，但在鞍处則成凹形坡。基岩形成喀斯特状或波浪状的原形地形，一般很少出露。黃土的厚度較塬和梁型地区为薄。在梁的地区，冲沟切割深度較小，从数米到数十米，但分布的密度和地面裂度甚大，因此地形支離破碎。塬型地区几乎表面全为坡积、残积的浅黃色松散黃土复盖，較老的地层很难見到。冲沟多呈V型，坡面冲沟发育是黃土地区水土流失最严重的地区。普遍分布的坡积黃土，由于它的土質不均匀、有坡积层理、含水量变化大、較松散、不能形成陡坡、稳定性較差，沉陷性亦大。斜坡上的凹形坡是坡面水流集中地带，下切作用和冲移作用均大，易于引起冲沟和陷穴。在梁型地区也应注意这种現象。

塬型地又可分为皋兰和陝北两个塬型区，皋兰塬型区的表层黃土力学性質較陝北差，且含易溶盐較多，表面剝落現象严重，陷穴亦較陝北普遍。

塬型地亦可分为塬脊、斜面和沟谷三个亚型。其中斜面和沟谷对铁路工程关系較大，同时工程地質条件也較差。

4. 河谷阶地型：

河谷阶地成条带状分布在河流的两侧，与铁路工程的关系最为密切。由于各河流发育的时期不同，所处的構造单元不同，各地区地壳升降运动是不一致的，所以河谷阶地的多少也因而不同。在黃土地区几条主要河流像黄河、渭河、洛河、泾河、汾河等河谷阶地都很发育，一般可見到二級到四級超河漫滩阶地。組成阶地的物質变化較大，不同的阶地或同一阶地在垂直和水平方向都有变化，在黃土地区的阶地有侵蝕阶地、堆积阶地、侵蝕—堆积阶地三个类型。无论那种类型的阶地都可以分为台面、台緣和河床三个亚型，阶地台面一般較平坦，宽度变化大，最寬的可达数公里，一般台面是冲积黃土，岩性較好，沒有湿陷性，如果台面为均質松散黃土所复盖，台面也近于水平，但表层数米到11~13米，則有湿陷性。由于台面平坦，从地形上來說对铁道工程也最为有利。但是成层黃土中的各个土层的岩性差别較大，路堑边坡坡面易于形成不同程度的冲刷或剝落現象，特别是在第三紀紅粘土或松散砂和砾石层出露時，在紅粘土頂部或松散砂砾层中可能有地下水存在，造成不良的工程地質条件。阶地前后緣地段常呈傾斜的緩坡，有的也形成陡坎，一般坡积物較厚，坡积层理傾向河谷，易于发生坍塌、陷穴、沉陷等不良的物理地質現象，河床及其河漫滩地段則常由于河流的側向侵蝕而引起河岸冲刷和坍塌現象。由于铁路綫

路經常是沿河谷階地進行，因此在工程地質勘測時，詳細研究河谷階地地貌特點具有十分重要的意義。

5. 沖積洪積平原型：

沖積洪積平原型可分為河流沖積洪積平原和山前沖積洪積平原兩個亞型。前者分布在大河流的下游，主要是黃河在洛陽以東的地區，地面平坦。這一地區我們工作做得較少。山前沖積洪積平原分布在山脈與河谷間的山前平緩地帶，成條帶分布，具有向河谷的輕微傾斜，在地形上具有單向平原或波狀的地形，在這地帶發育有與山脈近垂直的大沖溝，切割較深，有時呈寬谷形，它的兩側又發育尚在發展階段的支溝，支溝多V型、溝坡多坍塌作用。山前沖積洪積平原表層有淺黃色的均質黃土，下部為夾有古土壤的紅黃色密實結構黃土。密實結構黃土在近山部分有時直接露出地面，其中常夾有山麓堆積的角礫和碎石，常可見到地下水出露。

三、黃土地層分布及其岩性特征

1. 黃土地層

在我國華北、西北廣大地區覆蓋著黃土，不同區域的黃土或同一區域的黃土從垂直方向來看，它的性質顯然都是不相同的，所以在勘測過程中劃分黃土地層是很重要的。

鐵路路基工程與黃土地層的關係最為密切，因為鐵路常通過許多不同的地貌單元，如河谷階地、分水嶺等，然而在不同的地貌單元內，由於黃土地層的沉積時代與沉積條件不同，各層的岩石性質是不相同的。在進行工程地質勘測時，首先應該確定地層，地貌及層位條件，然後配合野外及室內的試驗（干容重、無側限抗壓強度等）。地層的確定對設計路塹边坡坡度與高度是有很大的作用。

關於我國黃土成因和黃土地層的劃分問題，曾有許多中外學者們進行這方面的研究，但直到目前還沒有一個統一劃分的原則。

最早研究中國黃土的李希霍芬他首先提出我國黃土的厚度300余米以上的論點，並沒有劃分地層的概念，將第三紀末和所有第四紀的沉積物全部都稱為黃土。B·A·奧布魯契夫曾將中國黃土劃分為兩層，黃土（相當於馬蘭期沉積），及紅色黃土（相當於中更新世的沉積）。後來德日進、楊鍾健等又把黃土的上部仍稱為黃土（馬蘭黃土）歸入上更新世，把它下部稱為紅色土，是黃土期前簋帶期後的沉積，將這一層又進一步劃分為A、B、C三層。

1955年格拉西莫夫將中國西北黃土分為下列層次：

最下部為淡色成層的砂層組成的複雜岩層及紅褐色重粘土，相當於三門系時期的沉積；中部為淡紅色黃土，相當於周口店期沉積；上部為黃褐色黃土，相當於馬蘭期沉積。在馬蘭期黃土沉積之後，則有河谷再沉積黃土，是為現代的沉積。

1956年劉東生將山陝高原的黃土劃分為兩層：上部為新黃土，相當於馬蘭期沉

积；下部为老黄土，相当于馬兰期以前的沉积。并将有关黃土地层划分的意見編成表以資对比。从所編的对比表看来，目前对于黃土地层上限和下限的划分尚未統一。但是从黃土路塹边坡稳定性的观点出发，根据几年来野外調查資料，黃土地层可以划分为二层：

(1) 密实結構的黃土，属于中第四紀的沉积，包括隨中一带的石質黃土，山陝一带的夾有古土壤条带的紅黃色黃土。这层黃土愈向下成岩作用愈深，結構更为密实。

(2) 松散結構的黃土，包括黃土地区的淺黃色均質黃土（馬兰黃土），近代河流相冲积——洪积物，坡积——残积物。不过近代河流相冲积——洪积物和坡积——残积物在不同的条件下設計路塹边坡時應該分別对待。

这两类土的物理力学性質指标的差別，将在下节討論。在野外观察時，二者之間也有显著的不同特征，这些差別可主要归納为表 1 所列几点：

兩类黃土的野外鑑定特征

表 1

	松散結構黃土（不包括現代冲積黃土）	密实結構黃土（不包括隨中石質黃土）
1.	顏色为淺黃、灰黃色	棕黃、棕紅、褐黃色
2.	結構松散大孔隙發育	結構較密实，愈向下部成岩作用愈深
3.	土質均勻，手搓有粉末感	夾有古土壤条帶，粘土粒含量較高
4.	一般沒有或含有少量的小塊鈣質結核	一般在古土壤底部有成層的鈣質結核
5.	表面有垂直節理，自然坡較緩，有不高的陡坎，多陷穴	多柱狀節理，天然坡較陡，常成陡壁，多順節理崩落現象，少見到陷穴

由密实結構黃土組成的边坡，一般稳定性較好，但松散結構黃土組成的边坡，則稳定性較差，特別是坡积的松散結構黃土常易发生坍滑現象。

黃土地层划分

表 2

分層 時 代	李希霍芬	莫布魯切夫	安德生	維日遜 楊德隆	格拉西 莫夫	帕甫林 斯夫	劉東生	以修築黃土路塹边坡為目的的分層
現代 (全新世)			次生黃土				新黃土	
新第四紀 (上更新世)		黃土	原生黃土 (馬蘭黃土)	馬蘭黃土	馬蘭黃土	淺白色壤土 灰黃土	新黃土	松散黃土 黃土粉層
中第四紀 (中更新世)		紅黃土		紅色土	三門黃土	黃褐色黃土 含石灰質	老黃土	密实結構 老黃土 黃土
老第四紀 (下更新世)						棕黃紅色 壤土		
第三紀								

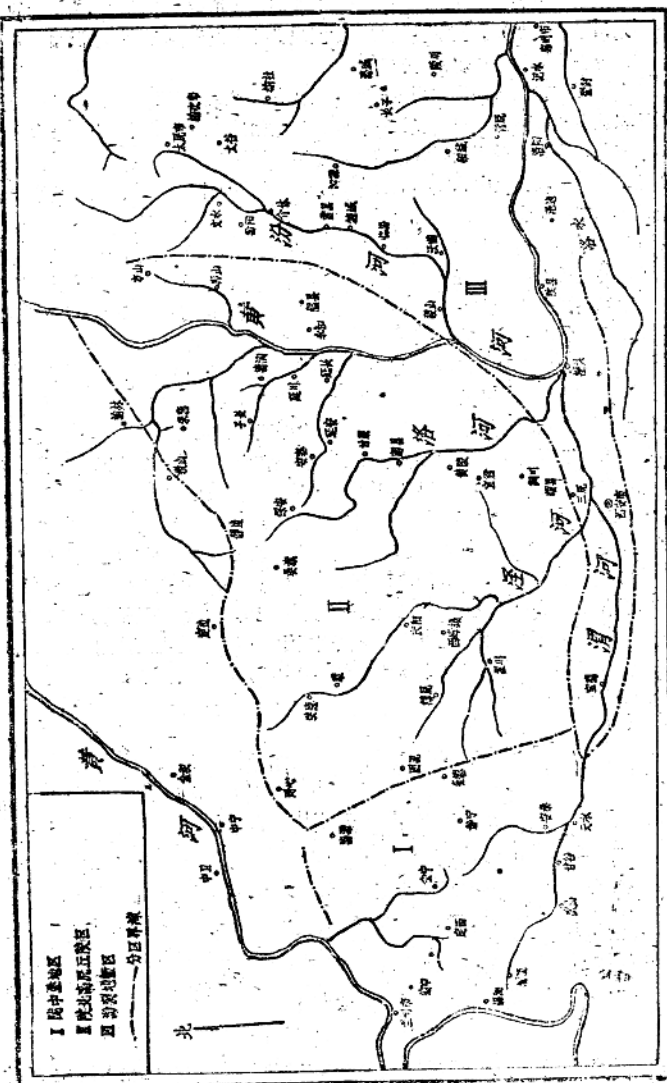


图1. 陕西省土地分区示意图

茲將劉東生編的黃土地層划分對比表與我們以修筑黃土路壩边坡為目的的黃土分類對比如下(表2)。至于各層黃土的區域性分布規律將在下一節討論。

2. 黃土地層的分布規律與特征

從上節可知我們所研究的對象只限于現代各種成因類型的黃土，新第四紀淺黃色均質松散黃土(馬蘭黃土)、以及中第四紀密實結構黃土(石質黃土及夾古土壤條帶的紅黃色黃土)。關於老第四紀地層，各地區岩性差別較大(礫石、砂、紅粘土及雜色土)，一般都被中第四紀地層所覆蓋，它的工程性質與黃土也截然不同，所以我們這里不討論它。

黃土除了垂直剖面上有層次變化外，且同一類地層在水平方向的分布也不相同。根據區域的岩性對鐵路工程的影响，構造地質，沉積條件及自然地理環境，此等特征等，可將我國西北黃土地區基本上分為三個區域，即①汾河渭河地區；②陝北高原丘陵區；③隴中盆地(圖1)。

下面分別將以上三個區域黃土地層的分布與特征描述如下：

(1) 汾河渭河地區

位于太行山以西，呂梁山以東，秦嶺以北地區，包括汾河盆地和渭河盆地。本區第四紀地層發育較完善，保存得也很好，地層在本區域內的分布很有規律。在汾河流域近代河流的沖積，洪積層沿河谷兩岸分布，一般在Ⅰ、Ⅱ級階地上。從分布的面積及厚度上來看最主要的是紅黃色密實結構黃土和淺黃色均質松散結構黃土，分布于高階地及山前沖積洪積平原。渭河流域內渭河盆地及黃河自潼關至三門峽一帶具有四級階地(圖2)，近代沖積和洪積層分布于低階地上。紅黃色密實結構黃土出露于第Ⅱ、Ⅳ級階地上，其上覆蓋有新第四紀的淺黃色松散結構黃土。而在紅黃色密實結構黃土層的下部還有一層時代相當于老第四紀的泥河灣期(三門期)沉積的地層，常在河谷或溝谷兩岸呈點狀或綫狀出露，岩性較复杂。

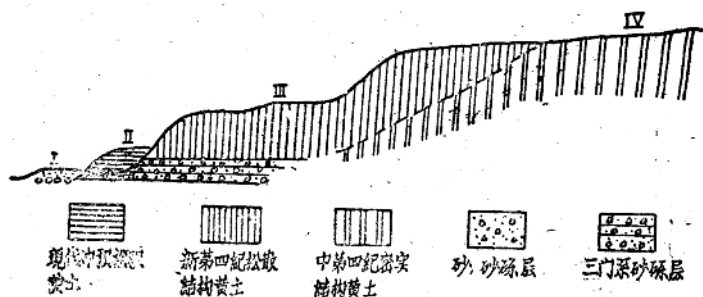


圖2. 西南黃土階地近黃河右岸河谷橫剖面

紅黃色密實結構黃土，無論從分布及厚度來看都是本區第四紀中最主要的一層。常覆蓋于基岩上，或覆蓋于泥河灣和三門層之上。顏色為紅黃色逐漸向下顏色

变紅，土質比較密实堅硬，愈向下密实度逐漸增大，有大孔隙和柱状节理。中間夾有数条棕紅色的含粘土粒較多的古土壤层，其中有鈣質菌絲，底部有一层鈣質結核。

新第四紀浅黃色松散結構黃土分布也很广泛，厚度約20~30米，顏色为浅黃和灰黃色，土質均匀无层理、松软、粉砂含量較高。有草孔和大孔隙，表面有垂直节理，一般沒有鈣質結核。但經過坡积堆积作用后，土中有時夾有零乱分布的小块鈣質結核。

分布在低阶地頂部的近代坡积洪积黃土，其岩性与新第四紀均質松散黃土相似，但顏色一般略帶紅，顆粒組成常有局部的变化，結構和構造亦多变化。分布在坡地上的近代坡积黃土，有時夾有碎石土块和小块的鈣質結核，土質松散。

(2) 陝北高原丘陵区

位于呂梁山以西，六盤山以东，鄂爾多斯以南，渭河盆地以北地区。本区面积最大，第四紀地层发育較完善，在这个区域内分布最广和厚度最大的是紅黃色密实結構黃土及均質的松散結構黃土。前者相当于中第四紀地层，后者相当于新第四紀地层（馬兰期黃土）。这两层岩性与汾河渭河地区不完全相同。在紅黃色密实黃土下面还有一层相当于老第四紀泥河湾和三門期沉积层，和汾河渭河盆地东部的三門系地层相似。此外有近代河流相的洪积，冲积黃土、与近代坡积、残积黃土（图3）。

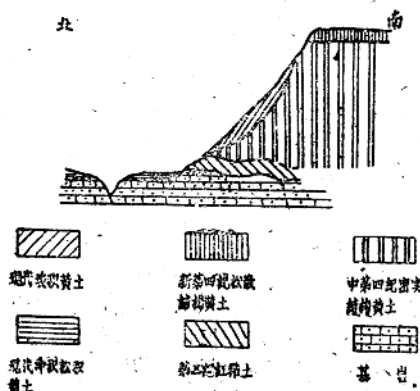


图3. 陝北鄜縣來坊至道縣附近黃土地層剖面

紅黃色密实結構黃土是本区主要地层，厚度較大，約150米左右。自北向南逐漸增加，东西方向厚度上沒有显著变化。本层复盖于第三紀以前地层的波状侵蝕地形之上，有時复盖于中生代地层之上，或复盖于第三紀三趾馬紅土和老第四紀沉积之上該层上部常被浅黃色均質松散黃土所复盖。顏色为紅黃色、緻密堅硬、成岩作用較深、含粘土成分多、容重較上部浅黃色松散黃土大。中間夾有深紅色的古土壤层和鈣質結核层。鈣質結核一般成柱状，大小不等，常位于古土壤层的下部。总的来看，紅黃色密实黃土上部和下部的顏色，以及所夾古土壤层的間隔都不一样，上面顏色較下面浅，上面可見大孔，而下面大孔少見，古土壤层在本区之西南部較多約10层左右，都在該层上部，古土壤层在东部較少有7层左右。

浅黃色松散黃土分布最广，普遍复盖在紅黃色密实黃土或更老的岩层之上，此

层黄土北部含微砂较多，逐渐向南含微砂量减小，颜色比较浅，一般呈浅灰黄色，多大孔，粉土占颗粒组成中绝对多数，疏松；植物根也很多，垂直节理较发育。这层黄土北部较厚南部薄，厚度约15~25米左右，在分水岭上比较薄，而在平缓的坡地上较厚。近代冲积物、洪积物及坡积物岩性从外表看来和浅黄色松散黄土相近似，但是颗粒组成、结构和构造以及层位条件等都比较复杂。

3. 隴中盆地

位于六盘山以西，即隴中盆地，在这个区域内黄土地层主要有两层，其一是沉积时代上相当于前两个地区红黄色密实黄土层的石质黄土层其二是相当于马兰期黄土的浅黄色黄土以及近代各种成因类型的黄土沉积物。根据野外调查，在兰州桑园峡第四级阶地底部砾石层及砂砾层（图4）、醋儿岔、寒水岔一带的杂色土，从岩性

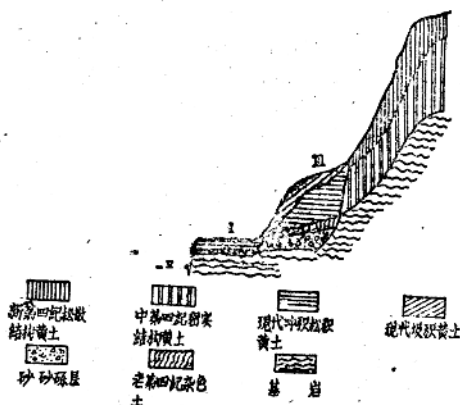


图4. 隴中盆地于黄河河谷剖面图

来看相当于三门系时期的沉积物，为老第四纪地层。在兰州、榆中一带高阶地底砾层以上的石质黄土，醋儿岔顶部的石质黄土、甘谷天水间高阶地以上具有古土壤的黄土层皆为中第四纪地层。在区域内复盖于山梁顶部或高阶地上部的浅黄色均质松散黄土应属新第四纪马兰期黄土。除上述地层之外，还有近代冲积，坡积和洪积黄土；分布在河谷低阶地上面或者分布在山梁及阶地的坡地上以及冲沟沟口上。下面将本区两个主要黄土地层加以描述。

石质黄土在沉积时代上相当于前两区域的红黄色密实结构黄土，从兰州至甘谷间高阶地的底砾层以上都是浅黄色石质黄土，甘谷以西至天水间则为具有古土壤的浅红色石质黄土。石质黄土极为坚硬，在新鲜面上可看到有黑色小斑点，性脆，用手锤击下落的土块常成贝壳状，有时可看到沿节理缝穿入石膏脉，微显层理。有古土壤的黄土在岩性上与前两地区的密实结构黄土也不同，颜色较浅古土壤的层数较少，

粘土粒含量少，土質較堅硬，含水量甚小。

淺黃色均質松散黃土其厚度一般在20米左右，南部較厚、北部較薄，復蓋在石質黃土或具古土壤的黃土以及老第四紀以前的地層之上，無論是分水嶺、盆地邊緣、河流兩岸的高階地表面以及間地內均有這類黃土分布。顏色為灰黃和淺黃，顆粒較粗、松散、具有大孔隙、草根、岩性均勻，一般很少鈣質結核，垂直節理發育。與六盤山以東地區的同一地層比較，密度較小，粘土粒含量少，天然含水量低，土中含有較多的易溶性鹽。

3. 各種成因類型的黃土與地貌的關係

松散結構黃土包括新第四紀和近代兩個年代的沉積物，分布在黃土地區各個地貌單元的表面，但所處的地貌條件不同，它的年代和成因也不相同，二者之間有着密切的關係。黃土的成因類型很多，但最常見的有坡積的、殘積—坡積的、沖積的和洪積坡積的等。不同成因的黃土具有不同的工程地質性質，對路塹边坡的穩定性亦不相同。

坡積黃土多堆積在河谷階地邊緣的坡地上和高山山坡地帶，產狀並非完全水平，特別是在下部，常可見到與坡面平行的斜層理。坡積黃土以不整合關係復蓋在較老的黃土地層上，或者是復蓋在第四紀以前的地層上。岩性與淺黃色均質松散黃土相類似，顏色差別也不大。土質不甚均勻，常夾有分布極不均勻的圓粒狀及碎塊狀的土粒，具有大孔隙，垂直節理發育。其厚度各處不等，在較高的地方和較陡的地方坡積黃土較薄，而在低凹或山坡較平緩的地方坡積黃土較厚，一般坡積黃土的厚度自上而下逐漸增厚。坡積層與坡向也有一定的關係，通常是向北坡（陰坡）的坡積層較向南坡（陽坡）的坡積層發育，因此常常形成陰坡緩陽坡陡的不对称地形。在這種類型的堆積物中修築路塹边坡很不穩定。

殘積—坡積黃土多分布在山坡的斜坡上和前第四紀基岩出露的山坡與頂部。這是一種與前述坡積黃土在成因上不同而外觀十分類似的沉積物。它的分布沒有坡積黃土那樣廣泛，只限于山頂部分，和下部黃土地層沒有明顯的界限，而岩性與下部黃土截然不同，土質較均勻，有大孔隙和垂直節理，松散但粘土粒的含量較多。這種類型所分布的位置比較高，現有鐵路很少通過此層黃土。

洪積黃土分布在山前地帶。如六盤山、中條山前的這類黃土沉積物，以地形和層位來看應屬新第四紀沉積物。沉積層微傾斜，它們的岩性變化是非常明顯的，離山麓遠的較細，而靠近山麓的較粗，靠近山麓地帶較厚，向下逐漸變薄，組成物質複雜，常夾有礫石、沙及黃土塊等。

近代坡積洪積黃土多分布于河漫灘和低階地上，位置在干溝溝谷的出口處，岩性不均勻常夾有碎石塊及砂粒等。但是分布在較寬闊的階地表面的坡積洪積黃土，在外觀上和新第四紀的均質松散黃土相似，比較均勻顏色為淺黃色但略帶紅。它的工程地質性質較坡積黃土為好。這類黃土的厚度變化很大，各處不同。

沖積黃土都分布在河谷及溝谷階地的下部。呈水平層理，具有砂礫及粘土夾層，級不均勻。其岩性隨所含的物質組成不同而異，但如無地下水出露時，一般土