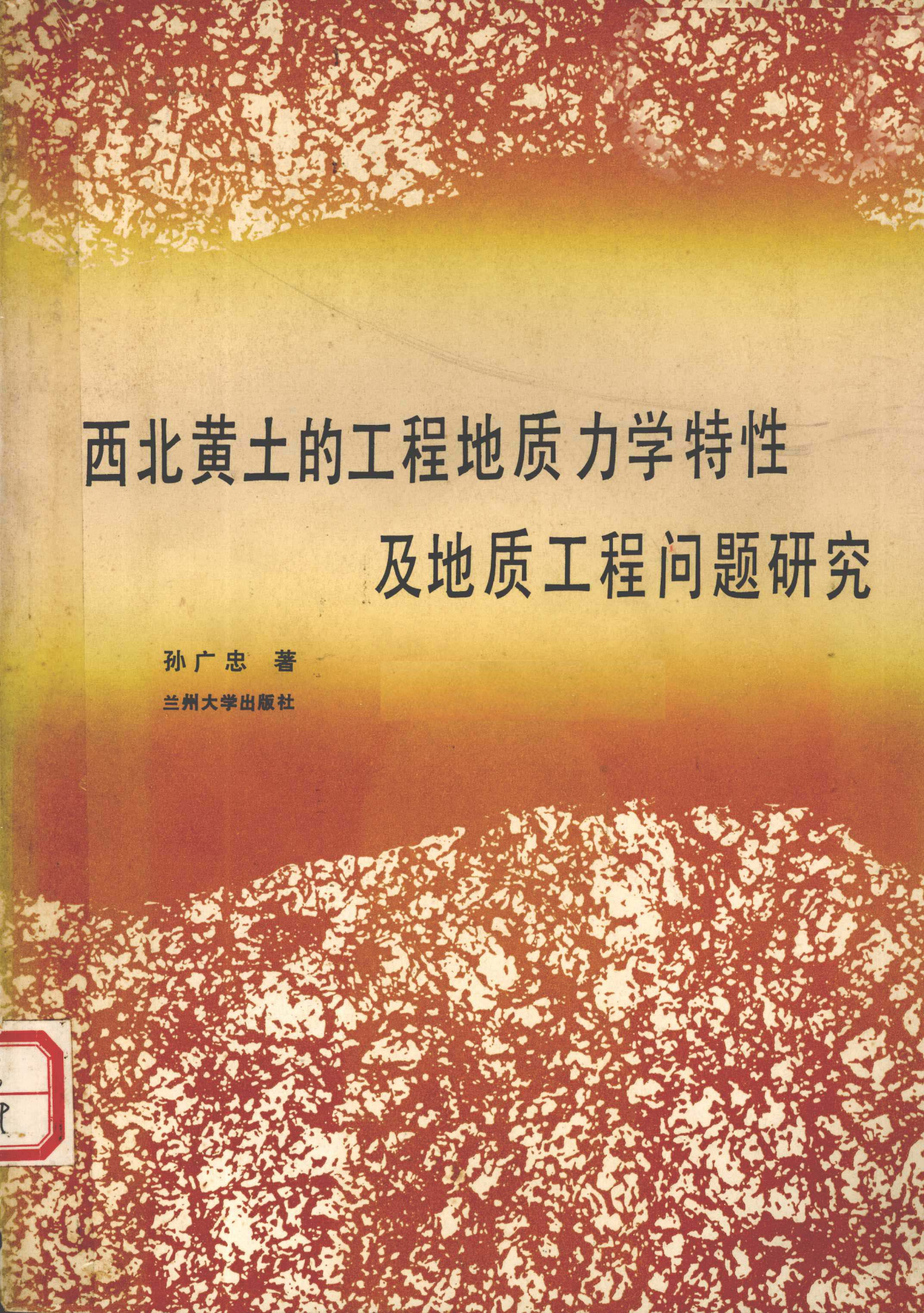




西北黄土的工程地质力学特性 及地质工程问题研究

孙广忠 著

兰州大学出版社

西北黄土的工程地质力学特性 及地质工程问题研究

孙广忠 著

兰州大学出版社

1989·兰州

前 言

本书总结了1954年到1984年期间作者从事黄土工程地质研究的基本成果。下面五点是作者对中国西北黄土工程地质特性的基本认识:

1. 西北黄土可分为新黄土和老黄土两层:老黄土是冰水沉积物,新黄土为风积物、冲积物及坡积物。现状的西北黄土是气候带的产物。这是西北黄土工程地质力学性质形成的地质基础,也是黄土工程地质研究宏观判断的依据。

2. 黄土的分布与地貌单元密切有关,它标志黄土的形成过程和工程地质力学特性与水作用过程密切有关。抓地貌单元认识是研究西北黄土工程地质性质的重要方法。

3. 新黄土中发育有柱状节理,老黄土中发育有构造节理。老黄土中构造节理控制着黄土地质工程稳定性,也是西北黄土中喀斯特及地裂缝形成的内在原因。老黄土的工程地质力学研究要重视老黄土中的构造节理研究。

4. 干容重、含水量及粘土粒组含量是黄土工程地质力学性质的基本指标,是黄土工程地质条件对比的物理力学基本依据。

5. 黄土怕水。从地层上说,主要表现在新黄土层上。从物理力学性质来说,干容重可以做为黄土水稳定性预测的一个基本指标。如干容重小于 $1.28\text{g}/\text{cm}^3$ 时,黄土浸水后普遍产生塌陷(或称为自重湿陷),干容重大于 $1.35\text{g}/\text{cm}^3$ 时,则不产生塌陷;干容重大于 $1.40\text{g}/\text{cm}^3$ 时湿陷性很微弱。干容重大于 $1.40\text{g}/\text{cm}^3$ 可做为黄土遇水稳定的一项界限指标。

当然还可以列出几条,但上列五条是作者多年来从事黄土研究形成的工作方法和对黄土地质工程问题进行经验判断的基本依据。它可以帮助我们以比较少的工作量,比较快地在现场对所研究的问题做出初步判断。这样,可以节省开支和时间。

本书共分两大部分。第一部分是西北黄土的工程地质力学特征。这部分是在3000公里长的路线黄土普查和工程地质勘测及千余次黄土工程地质实验资料的基础上,讨论了西北黄土地层、分布、岩石学特征、结构及构造,以及工程地质特点,并分析了黄土工程地质性质指标与其基本控制指标间的关系,提出了一些相关性经验公式。第二部分是几个黄土地质工程问题的预报原理及方法的探讨。这部分是在大量的已建成的渠道及水库、铁路、公路等工程中产生的工程地质作用考察及部分野外实验工作基础上,讨论了黄土边坡、黄土渠道、黄土隧洞、用原湿度黄土修筑土渡槽的稳定性以及水库塌岸等问题的预报原理、方法及经验资料。讨论中侧重于实际资料的归纳,对部分问题进行了一些理论假定的探讨。

张咸恭教授对本书的编写和出版给予了很大的鼓励和支持,李毓瑞、古迅、李菊英同志给予很大帮助,作者表示诚挚的感谢。文中不当之处,敬请指正。

孙 广 志

1987年7月21日于北京

绪 论

一、西北黄土研究史略

我国黄土分布很广,东到黄海西至昆仑面积约 380840km^2 ,尤以西北地区最为发育,论其质地之纯,厚度之大,是世界其他各国无法比拟的。因此,一向是国内外地质工作者所注意的问题。

一般所指的黄土是指分布在长城以南、秦岭以北、祁连山以东、太行山以西黄河中游陕、甘、晋境内的黄土。同时,也包括河南省境内部分地区的黄土。本书只涉及其中的一部分,即甘肃、陕西及山西三省境内的黄土。

这一广大的黄土区是中华民族的文化发祥地。我们的祖先在这里勤奋劳动有五千余年的悠久历史,对黄土的特性很早就有了一定认识。如在《禹贡》中就曾记载过:“黑水西河唯雍州,弱水既西,泾属渭纳,……厥土唯黄壤,厥田唯上上,……”。这里所指的“黄壤”就是黄土,意思是说我国西北广泛地分布着黄土,是一片良好的耕田。这一记载表明,我们祖先在两千三百余年前对黄土的耕种性质就已经有了某些了解。此外,人们为了定居,在黄土中开挖了大量的窑洞,利用黄土做建筑材料修建了大量的房屋及城市建筑物;为了灌溉农田修建了大量的渠道工程。在这些工程实践对黄土工程性质获得了许多重要认识,并根据黄土工程地质特点对黄土进行过分类。如陕北地区至今还流传着“砂黄土”和“粘黄土”,甘肃地区流传着“大白土”,“吃劲土”和“立土”、“平土”等民间黄土分类,并流传着在砂黄土、大白土、立土中不宜开挖窑洞、修筑渠道和利用它筑坝打墙,而粘黄土、吃劲土和平土是开挖窑洞、修筑渠道的优良环境等议论。这些朴素的认识是我们祖先长期在黄土上进行工程建筑实践所取得的经验总结。很可惜,这些宝贵的认识由于封建制度长期统治,使生产长期处于落后状态。勤奋的劳动人民在实践中所取得的经验没有得到发展,也没有记载下来,使这方面的科学技术长期处于落后状态。

1840年鸦片战争后,帝国主义列强侵入中国,中国的社会由封建社会变成了半封建半殖民地社会,在政治上和经济上遭受到帝国主义侵略的同时,在科学和文化方面也遭到了很大的摧残。

第一个到中国进行黄土研究的是R·庞培利(Pumpelly, 1862~1865)。后来F·V·李希霍芬(Richthofen, 1865—1872)、T·W·金斯密尔(1866—1871)、B·A·奥勃鲁契夫(Обручев, 1892年—1894)、B·维理士(Willis, 1903—1904)、P·德日进(1930)、富田达和柴田秀贤(1944)等也相继来中国对西北黄土进行了研究。他们的工作主要侧重于西北黄土的分布、地层和成因方面的探讨,对于中国西北黄土与工农业生产有关的问题没有做出任何直接的贡献。在这个时期内,中国也出现了一些关心和热心于西北黄土研究的科学家。中国科学家的研究工作明显的与外国学者不同。他们继承了中国科学的传统精神,即研究工作结

合工农业生产。其中,结合农业生产需要进行研究的有李学清(1928)、马溶之(1944)等;结合工程建设进行研究的有李仪祉等。李学清和马溶之等曾结合土壤研究对西北黄土的物质成分、分布及成因进行过研究。李仪祉等结合黄河水利工程建设需要对西北黄土工程性质进行过研究。此外,水利部南京水利实验处在此时期内为了探讨在西北黄土区进行水利工程建设条件也曾对西北黄土的工程性质进行过研究。

中华人民共和国诞生以后,在宏伟的社会主义建设中,党和政府十分关心西北黄土区的农业发展和工程建设工作,组织了规模巨大的水土保持、农田灌溉、道路建筑、各种工业及民用建筑工程等的建设。在这些宏伟的工程建设中提出了一系列的黄土工程地质问题。党和政府及时地组织了大量科学技术工作者参加研究和解决这些问题。为了防治黄土区水土流失,1955年以来中国科学院地质研究所刘东生等对黄河中游大面积的黄土区进行了水土流失考察工作,对本区域内黄土的地层、分布、岩石学特征等进行了大量的研究。结合黄河中游水库、水坝、渠道等工程建设,水利电力部的工程地质勘测部门、水利水电科学研究院及武功水利科学研究所等单位曾进行了大量的水利工程地质问题的研究工作。在修建天兰路、兰银路等铁路和一系列的公路的过程中,铁道部和交通部的勘测设计部门及铁道科学研究院等单位曾组织了大量的黄土边坡、填方及隧洞等的黄土工程地质问题研究。建筑工程部的勘测设计部门和建筑科学研究院等单位结合在西北黄土区修建工业及民用建筑工程,开展了大规模的黄土地基稳定性,特别是黄土湿陷问题的研究。地质部水文地质工程地质局和水文地质工程地质研究所、中国科学院地质研究所以及一些高等院校也曾积极地参与了上述研究工作。在研究解决各种工程地质问题的过程中获得了大量的和极其丰富的资料和经验,大大地推动了黄土工程地质问题研究的进展。

二、黄土定义

“黄土”从做为一个地质问题研究时起,便被做为科学术语运用起来。在早期,一般极笼统的把具有黄色、颗粒细而均匀、疏松、有大孔、具垂直劈理、含有植物根茎和石灰质成分的一种土称为“黄土”。这个定义不够确切,因为在自然界中具有上述特征的土是很多的,很容易把具有与上述特征相近的某些非黄土的土划到黄土范围内来,使黄土的本质特征受到混淆。另一方面,又有可能把某些在外观特征上发育不够完全的黄土划到黄土之外,限制了对黄土特性的全面认识。

从事黄土研究的工作者,根据自己对黄土的认识,给黄土这个术语下了许多定义。在这些定义中采用较广的、特别是在黄土工程地质研究工作中起有重要作用的是苏联学者IO·M·阿别列夫(1948)所提出黄土定义。他认为黄土应具备如下四个特征:

- (1) 粉土颗粒为主要组成部分,颜色以黄色为主;
- (2) 有肉眼可见的大孔构造和垂直孔道,孔隙度高;
- (3) 有腐烂的植被根茎遗迹,并含有碳酸盐成分,遇盐酸起泡,含有钙质结核;
- (4) 在天然剖面上常有垂直劈理。

他认为,凡具备上述全部特征的土称为“黄土”,缺少上述特征之一者称为“黄土状土”。

许多学者和工程技术人员，大体上同意这一定义，并在实际工作中，全部或部分的运用这一定义来进行土类划分。张宗祜于1956—1957年在对陇东黄土研究的基础上，认为上述定义仍欠确切。他根据陇东黄土研究获得的资料，从黄土的外部特征和内部性质分析出发，提出了典型的黄土必须具备如下六个特征

- 1) 外观颜色以黄色为主，如灰黄、褐黄等；
- 2) 成岩作用程度较低，可用肉眼看到大的孔隙，而且孔隙率较高（45%以上），岩性较松软，天然固结压密程度不定。大孔隙有两种：一为沉积时及成岩作用过程中形成的原始构造；二为生物（动、植物）的破坏作用所形成，多为管状或其中充填钙质、泥质或方解石类物质；
- 3) 颗粒成分以粉土（0.05~0.002mm）为最多，常在60%以上或达80%左右，而且粉土中以粗粉土（0.05~0.01mm）为主，其含量在50%以上，不含>0.25mm的颗粒；
- 4) 富含碳酸钙成分，遇盐酸起泡。碳酸钙有三种存在方式：（1）以胶结物状态存在，成为颗粒之间的胶结物；（2）以矿物颗粒状存在，如方解石、白云石；（3）以结核状存在，成圆形、长条形，或厚层状钙质结核；
- 5) 具有程度不同的遇水湿陷特征，即具有湿陷性；
- 6) 容重比较小，一般在1.5—1.6g/cm³左右。

他认为凡是具备上述特征的沉积物，均可称之为“黄土”，不完全具备上述特征，尤其是颗粒成分中粗粉土含量小于50%，容重大于1.7g/cm³以上，或没有湿陷性，或不含碳酸钙成分，但外部特征近似“黄土”的，称之为“黄土类土”。此外，根据颗粒成分又将黄土类土分为：黄土类亚砂土，黄土类亚粘土，黄土类重亚粘土。在陇东地区主要的黄土沉积是：黄土、黄土类亚粘土及黄土类重亚粘土。

这个定义明显地较以前所有的定义都前进了一大步。还有一些与上述内容相类似的定义，这里不拟一一罗列。分析一下到目前为止已有的黄土定义，可以看出经常包括如下一些内容：

- 1) 颜色以黄色为主；
 - 2) 颗粒成分以粉土粒组为主；
 - 3) 含有大量的碳酸盐及钙质结核；
 - 4) 无层理；
 - 5) 具有肉眼可见的大孔和动物洞穴；
 - 6) 含有腐烂的植物根和茎的遗迹；
 - 7) 具有垂直劈理；
 - 8) 成岩作用程度较低；
 - 9) 密度小，孔隙度较高；
 - 10) 具有湿陷性等。
- 此外，还可列出一些有关的条文，但上面十条是最常见到的。有的研究工作者利用上述条文中的这几条给黄土下定义，有的则利用那几条给黄土下定义。定义的确不少，那

么、黄土的定义究竟应该包括一些什么内容呢？为了回答这个问题，我们在西北黄土区进行黄土工程地质研究过程中，曾对上列黄土定义中经常见到的一些标志做过一些考察。考察中，不仅注意了黄土区存在的一般称之为黄土的“土”的特征，同时也注意考察了大家公认不是黄土的“土”的特征，并做了对比。这样便使我们形成了如下一些看法。

首先，我们注意到，黄土这一名词原系我国西北黄土区居住的群众对当地存在的一种黄色土的俗称，地质工作者把它做为地质课题进行研究时，便接受了这一俗称作为地质名词。显然，黄土乃是具有地区特征的岩石学名词或土名。它既不是地层名词，也不是岩层名词。在给黄土这一名词下定义或者确定黄土定义的内容时，必须以公认的我国西北黄土区内分布的黄土所具有的特征为依据。也就是说，应该以它和一般土共同具有的通性和异于一般非黄土的各种土的特性来确定黄土定义内容。

基于上述认识，我们认为，前述黄土定义内容条文中的前三条，即：（1）颜色以黄色为主，（2）颗粒成分以粉土为主，（3）含有大量的碳酸盐，是黄土定义内容中不可缺少的部分。凡是到过我国西北地区的人都会看到，这里广泛分布着的大家公认的黄土，总的来说，都具有这三个基本特征。

一般来说，该区域内存在的大家公认的黄土的颜色都属黄色，但色调并不一样。有的为淡黄、灰黄色；有的为深黄、褐黄，甚至为红黄、棕黄色。它在地区或地理上，或在地貌单元上，甚至在分布标高上，都存在着很大的变化。这种变化与区域气候特征密切相关，气候潮湿地区色调较深，干寒气候区色调较浅。如陇东及陇西的南部地区内分布的黄土色调就较深，多为深黄、褐黄甚至红黄色，该地区的潮湿系数一般大于0.4。陇西北部及陕北地区的黄土多为淡黄和灰黄色，这些地区的潮湿系数多小于0.2。与此标准地区内存在的公认的黄土相比较时，可以看到，我国其他地区分布的非黄土的土，有的颜色与此截然不同，也有的具有与此相近的颜色。由此可见，黄土的黄色是气候带的产物，它是黄土特征之一，但不是黄土的唯一特征。凡不具有黄色的土不能称为黄土，而具有与此相近颜色的土亦不一定都为黄土。因此，黄色只是黄土必备特征之一，但是，它并不是划分是否是黄土的充分条件。

与颜色是黄的一样，几乎所有的已有黄土定义的内容中，都包含有其颗粒成分以粉土粒组为主这样一项内容。我们完全同意把这一特征做为黄土定义内容之一。对我国西北公认的黄土的颗粒成分进行分析研究后可以看出，正如张宗祜已经指出过一样，更确切些说，黄土的颗粒成分中的粉土粒组含量多大于50—60%，且以粗粉土粒组为主，细粉土粒组含量远远低于粗粉土粒组含量，一般多低于15%，少数的可低至25%左右。这一特征大大地限制了黄土这一术语所能描述的土类范围。西北被公认的黄土，几乎全部具有这种特征。尽管如此，在自然界中也经常发现具有与此相似特征的土。如大型河流台地的冲积物中就经常发现具有这种颗粒成分特征的土，并且，其颜色有时亦是黄色的。这种土是否也应当视为黄土呢？显然不能。因为上述两个特征尽管是西北被公认的黄土的两个主要特征，但是，并不是它的主要特征的全部内容。我国西北黄土区被公认的黄土还有一个更主要的特征，就是它的物质成分中含有大量的碳酸盐。我们认为这一内容也是西北黄土的基本特征之一。

对我国西北黄土中含有的可溶盐研究得知,该区域内分布的黄土中碳酸盐含量一般皆高达8~15%,个别有低至6%。而且碳酸盐存在方式并不一样。如陇东地区黄土中较普遍的存在有钙质结核及钙质胶结层;而在陇西地区黄土中则很少见到钙质结核及钙质胶结层,该区域内黄土中的碳酸盐存在方式主要为分散粒状的或隐晶质的泥灰质混合状态。不论其存在方式如何,西北黄土普遍地含有碳酸盐,这是一个确凿的事实,并且其含量多高达6~8%以上。

上述三个特征,即颜色是黄的,颗粒成分中以粉土粒组为主并含有大量的碳酸盐,是西北黄土区存在的被公认的黄土的共性。这三个特征,特别是后二者,也是与非黄土相区别的基本特征。因此,我们认为,这三个特征是黄土定义中不可缺少的内容。

在许多文献中,我们时常见到,不少学者把“无层理”列为黄土定义的内容之一。我们认为,这一特征不是黄土的共性。因此,它也就不是黄土定义中必须具备的内容之一。如果稍微注意一下我国西北黄土层的构造特征的话,就会很容易地看到,西北黄土中约有1/2以上是具有明显的或不太明显的层理的。B. A. 奥勃鲁契夫(1958)也曾指出过这一事实。但是,他仍然把这种土称为黄土。

也有一些学者把“具有肉眼可见的大孔和动物洞穴,含有腐烂的植物根茎的遗迹”作为区分黄土和非黄土的重要标志之一。我们认为,这个特征不具备作为黄土定义内容的条件。实际上,黄土以外的陆相第四纪沉积物同样具有肉眼可见的大孔和洞穴及腐烂的植物根茎。因此,把它列入黄土定义的内容里是没有意义的。

关于“垂直劈理”问题应当注意,不是所有的黄土都具有“垂直劈理”。我们知道,西北黄土中“垂直劈理”最发育的是河南黄土,陕县黄土可以作为典型的例子。这一特征在陕西、甘肃境内并不常见。同时,在河南境内,不仅黄土中发育有垂直劈理,某些非黄土的土亦具有垂直裂缝或称垂直劈理。因此,把它作为黄土定义的内容是无益的。

有的研究者把“成岩作用程度较低”作为黄土定义的内容之一。我们认为,这一条是可有可无的,其理由如下:

(1) 黄土是一种土。在中国人的概念中,土和岩石在本质上是不同的。所谓成岩作用应该理解为是土转变为岩石的过程。一般来说,所谓土,当它与水作用时,或者崩解为散粒,或者在重塑时具有可塑性(粘性土)。岩石不具有这种特征。土的成岩作用程度是很低的。这一特征不仅对非黄土的土来说是如此,对黄土来说亦是如此。因此,把它作为区别黄土和非黄土的土的特征标志是没有意义的。

(2) 成岩作用是土转变为岩石的一种过程。它不能说明土转变为岩石的状况,即成岩程度。成岩作用程度只能用强弱高低来说明。我们知道,成岩程度的高低,在目前来说,并没有什么明确的标志。何况,从相对的定性来说,黄土的成岩作用高低也不相同,新黄土低些,老黄土高些。黄土如此,非黄土亦如此。因此,把成岩作用程度高低作为黄土定义内容也是没有多大必要的。

“密度小,孔隙度高”可否作为黄土定义的一项内容呢?我们认为它也不具备作为黄土定义内容的条件。理由很简单。大家公认的我国西北黄土,其密度以干容重来表示时,低者有的低至 1.15g/cm^3 ,高者可达 1.7g/cm^3 以上。表层黄土干容重一般很小,常

为 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 左右,而底层黄土干容重经常可高达 $1.5\text{—}1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 。一般陆相第四纪沉积物的干容重也介于 $1.1\text{—}1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 之间,且多数为 $1.3\text{—}1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。显然,黄土干容重与一般第四纪陆相沉积物间并无什么特殊的地方。

在一些黄土定义中,把“具有湿陷性”作为黄土定义的内容之一。这一特征和上述那些不能作为黄土定义的特征标志一样,也不具备作为黄土定义内容的条件。有如下两点理由:

(1) 作为我们考察黄土定义的标准对象的我国西北黄土,一般来说,当它的干容重大于 $15\text{g}/\text{cm}^3$ 或者天然含水量大于其塑限含水量时,实际上已不具有明显的湿陷性了。有这种特征的黄土在我国西北黄土区广泛的分布着。实验资料表明,老黄土绝大多数都不具有湿陷性。显然,湿陷性并不是我国西北黄土的一个普遍特征。

(2) 对许多非黄土的土的研究得知,当其天然含水量很低、干容重较小时,在一定的正压力作用下,浸水亦出现有湿陷性。云南的红土便是一个例子。

上述事实表明,湿陷性不仅不是黄土的一般的或普遍的特征,而且也不是黄土所特有的特征。这个特征是粘性土所共有的,它与土的状态特征密切相关。显然,把它作为黄土定义的内容是不适宜的。

基于上述讨论,我们认为,黄土定义的基本内容应该是:黄土是一种土,它具有如下三个基本必备特征:

- 1) 颜色是黄的,色调可以有深浅差异;
- 2) 颗粒级配均匀,颗粒成分中粉土粒组合最高达50—60%以上,且以粗粉土粒组为主;
- 3) 含有大量的碳酸盐,其含量一般高达6—8%以上。凡具有上述基本特征的土都可称为黄土,否则不能称为黄土。同时,黄土可以根据它的某些特别发育的特征及对其研究的特殊目的需要,在黄土名词之前冠以一定的形容词。如亚砂土质黄土、亚粘土质黄土、粘土质黄土、干黄土、湿黄土、湿陷性黄土、非湿陷性黄土、塌陷性黄土、非塌陷性黄土、大孔性黄土、新黄土、老黄土、风成黄土、洪积-坡积黄土……等等。

在此顺便也提一下,我们认为“黄土状土”、“类黄土”等不是黄土。本文中讨论的对象范围,便是依据上述定义来圈定的。

三、黄土地质工程问题的研究任务及其解决途径

工程地质工作的主要目的在于通过研究建筑地区地质环境的工程性质,预报由于工程建筑作用可能产生的工程地质现象类型、发展过程和规模,以及评价它对工程建筑物稳定性影响程度和其他方面的国民经济利益的破坏作用程度;寻找防护措施,尽量提高工程建筑物的稳定性,使它的破坏作用减低到最低程度。

修建任何一项工程可能引起的工程地质现象往往不是一种,而是一组或很多种。如修建渠道时,由于工程地质勘测不够详细或工程设计、施工不正确,以及运用上不合理等原因,可能产生的工程地质现象有渠道边坡破坏、渠道湿陷、边岸塌陷及渠堤决口等等。

这些现象的发生和发展彼此间往往有一定的相互关系。这就要求我们研究解决地质工程问题时,必须从整体出发来考虑。

实践经验表明,在解决黄土地质工程问题时,首先必须对产生各种类型的黄土工程地质现象的工程作用和黄土的地质结构及黄土工程性质特点有较明确的认识。只有这样,才能正确的确定出进行工程地质预报时所必需的工程地质力学模型。这是地质工程问题预报的基础,也是工程地质勘测工作的基本任务。

黄土的一般特点是密度小,湿度低,具有遇水不稳定的结构联结。在遇到水作用时,其强度显著降低,变形量剧烈增大,即具有湿陷性。我国西北陕甘晋地区分布的黄土,特别是新黄土,这一特点表现尤为突出。这是黄土地质工程问题异于一般地质工程问题的一个主要方面。因此,在为建立黄土地质工程力学模型而进行的工程地质勘测中,必须注意对黄土在水作用下的反应做仔细的研究。

工程作用及工程地质现象发展范围,并非限于一小块黄土上,而往往波及到数个黄土层或相当大的深度和广度上。因此,在进行黄土地质工程力学模型研究时,绝不应该死板的按一般规程上简单的规定而把勘察工作限定在某种过于狭小的范围内,而应该把勘察工作布置到能够控制住工程作用或工程地质现象发展可能波及到的所有黄土层内。这样,勘察费用是高一些。但如果不这样,就会因勘察工作量不足,工程建筑地区黄土地质特性没有研究清楚,而造成工程建筑失败,其损失必将数倍于应该开支的勘察费用。因此,在对黄土或黄土层进行工程地质研究时,绝不应该认为测定了黄土某些工程性质指标就算完成任务,更重要的是必须对黄土或黄土层的结构和构造进行仔细的研究。这些研究不仅有助于分析黄土或黄土层的均一性,而且可以帮助我们正确的确定进行黄土地质工程问题分析时所必需的工程地质力学模型。

黄土的工程性质是在黄土形成过程中形成的,现阶段的水文地质条件对黄土工程性质也具有重要的影响。这种影响主要表现在现阶段黄土的状态特征(湿度及密度)上。因此,要想正确的掌握黄土的工程性质,必须对黄土的地质、地理及水文地质条件进行研究。

黄土地质研究的主要任务是正确的划分黄土层、查清各层黄土的产状、厚度及接触关系,仔细的研究黄土或黄土层的结构和构造特征,以及它的岩石学特征形成时代及过程。

黄土的地理研究的主要任务是调查黄土的地理分布规律,特别是地貌特点以及工作区的气候特征等。有必要强调指出,在黄土工程地质研究工作中,工作区地貌特点的研究具有极其重要的意义,它可以帮助我们进行黄土地层对比、认识黄土层分布及黄土工程性质特征。

黄土区水文地质研究的主要任务是掌握工作区的地下水和土壤水动态及其对黄土工程性质变化的影响。这方面的资料在黄土地质工程问题研究中具有十分重要的意义。

所有这些研究,都必须贯彻地质工程观点,即其目的是为了正确地掌握黄土或黄土层的工程性质,为编制黄土地质工程问题预报的力学模型提供资料。

据此,我们认为,黄土地质工程研究的基本任务和工作程序应该是:

1) 分析工程作用特征,确定工程作用因素及必须进行的工程地质工作范围,即确定工程地质勘察工作区域轮廓及必须研究的土层深度;

2) 对确定的工作区及深度范围内的黄土进行地质、地理及水文地质条件研究;

3) 根据地质、地理及水文地质研究结果及工程作用因素特点, 确定必须研究的工程性质指标及勘探线、网布置, 进行必需的勘察试验工作;

4) 根据黄土区的地质、地理、水文地质条件、黄土工程性质、工程作用特点, 确定各种黄土地层工程问题分析必须的工程地质力学模型和工程地质预报的原理及方法;

5) 密切地与工程技术人员协作, 根据所拟定的各个黄土地质工程问题预报力学模型, 进行工程地质现象发展可能性的预报;

6) 根据预报结果, 结合工程造价、工程结构安全、合理、施工技术可能性等条件, 提出较可靠的工程结构方案, 供工程设计和施工部门参考。

基于上述认识, 本文在第一部分内讨论西北黄土的工程地质特征。这一部分包括: 西北黄土分层、地理分布、岩石学特征, 黄土结构、构造特征及其工程性质特点。在此基础上, 在第二部分内讨论几个黄土地质工程问题的预报原理和方法。作者认为, 在实际工作中这两部分必须很好的结合起来, 其中黄土地质部分是整个工作的基础, 尤其应当重视。

目 录

前言	(1)
绪论	(1)
一、西北黄土研究史略	(1)
二、黄土定义	(2)
三、黄土地质工程问题的研究任务及其解决途径	(6)
第一章 西北黄土区新生代地层及黄土分层	(1)
一、简述	(1)
二、西北黄土区第三纪地层特点	(3)
三、陇西黄土区第四纪地层一般特点	(4)
四、陇东、陕北黄土区第四纪地层一般特点	(8)
五、西北黄土区第四纪沉积层形成时代及黄土层位	(10)
第二章 西北黄土的地理分布特点	(13)
一、西北黄土区地貌特征及黄土分布一般特点	(13)
二、西北黄土的厚度	(19)
第三章 西北黄土的岩石学特征	(23)
一、颜色	(23)
二、可溶盐	(24)
三、有机质	(26)
四、交换阳离子	(27)
五、粘土矿物	(29)
六、颗粒成份	(31)
七、成岩作用状况	(35)
第四章 西北黄土结构及构造特征	(38)
一、概述	(38)
二、微结构—土质结构特征	(38)
三、显结构及构造特征	(39)
四、构造节理及其控制作用	(42)
五、斜节理与黄土隧道周围土体坍塌的关系	(48)
第五章 西北黄土工程性质的一般特征	(51)
一、比重	(51)

二、天然含水量	(52)
三、塑性	(55)
四、干容重	(57)
五、膨胀性	(60)
六、压缩变形	(64)
七、抗剪强度	(73)
八、渗透性	(80)
第六章 西北黄土边坡稳定性问题	(86)
一、考察中获得的一些认识和经验资料	(86)
二、无构造节理控制的边坡稳定性分析原理及方法	(90)
三、构造节理控制下的边坡稳定性分析方法	(96)
第七章 西北黄土渠道的稳定性问题	(99)
一、总述	(99)
二、黄土渠道湿陷变形预报原理及方法	(100)
三、西北黄土渠道边岸塌陷考察资料分析	(104)
四、黄土渠道边岸塌陷的力学分析方法	(110)
五、傍山及掘边渠道决口问题	(115)
第八章 用原湿度黄土修筑土渡槽的稳定性设计及施工控制问题	(120)
一、问题的提出	(120)
二、西北黄土区已建成的土渡槽(填方工程)考察	(121)
三、填筑土的工程性质一般特点及其对土渡槽稳定性的影响	(124)
四、用原湿度黄土修筑土渡槽的设计及施工质量控制标准和依据	(125)
五、用低含水量的原湿度黄土建筑土渡槽的施工控制问题	(127)
第九章 黄土区水库塌岸预报原理及方法问题	(129)
一、库岸外形变化分析	(129)
二、塌岸剖面位置、库岸外形变化与塌岸量间的关系	(133)
三、水库蓄水不同时间岸壁后退尺度或塌岸范围和塌岸速度问题	(134)
四、冲沟发育地段塌岸预报问题	(137)
五、预报中所用的计算最大波高确定问题	(138)
小结和讨论	(141)
参考文献	(143)
附图	

第一章 西北黄土区新生代地层及黄土分层

一、简述

在黄土区进行的工程建筑实践中,我们不止一次的见到过由于对黄土做了错误的分层,对建筑区的黄土的工程性质做了错误的分析,而引起工程建筑失败的例子。兰银铁路建筑中产生的边坡破坏事故便是许许多多例子中的一个。事实表明,要想对在黄土中修建工程时产生的工程地质作用做出正确的预报,必须在正确的黄土分层基础上对 layers 黄土的工程性质做出足够的研究。黄土分层是进行黄土工程地质研究工作中首先应予以解决的一个问题。

西北黄土分层问题,曾有过不少研究。在对我国西北黄土进行研究的早期,大部分研究工作者的注意力集中在西北黄土成因问题的探讨方面,对认识区域地质发展过程的基础工作之一的地层划分问题很少注意。仅有极少数的研究工作者对这一工作进行过尝试,B. A. 奥勃鲁契夫便是其中之一。

B. A. 奥勃鲁契夫在对我国西北黄土研究的早期工作中曾将西北黄土划分为上、下两部分。下部为红色黄土,又称为老黄土。上部为标准的褐黄和灰黄色黄土。二者呈不整合接触。

在对西北黄土研究的中期,许多研究工作者开始着手进行区域新生代地层,特别是黄土地层的研究。其中大家熟知的有P. 德日进,J. G. 安特生,G. B. 巴尔博,杨钟健等。其中,P. 德日进和杨钟健对山西西部,陕西北部新生代地层的研究对解决西北黄土分层做出了重要贡献。他们将该区第三纪红土以后的地层划分为两大层,即红色土和黄土层。并将红色土层又划分为A、B、C三层。A层时代与上新世晚期相当;B层属早更新世;C层为中更新世。黄土层时代属于晚更新世。并指出,红色土在岩性上介于真正红土和真正黄土之间,与黄土不同之处在于红色土粘性大,色稍红,成层状,多结核,有时含有石膏。黄土与红土相比,则色较淡,不甚粘结,田螺化石壳尚留有白色之皮,与在红土中所见者无论在保存上或在性质上均不相同。

B. A. 奥勃鲁契夫(1958)在他的晚年,根据他两次来中国黄土区考察获得的资料及中国研究者对西北黄土地层的研究结果,发表了《华北黄土》一文。在该文的结论中他指出,中国地质学家最近关于华北第三纪晚期和第四纪沉积的区域地层,成分和动物化石的研究,证明必须将它们分为包括下列成分和时期的四个岩系(自下往上):

1) 上新世早期(一部分也可能是中期)含有三趾马化石的红粘土岩系,这种岩系主要由不成层的粘土和亚粘土组成。沉积物中含有某些基底巨流相和河流相。

2) 三门系和红色黄土系,属于上新世晚期或更新世早期产物。由含有黄土结核层,矿巢及砂土与砾石夹层的红色和淡红色黄土组成,也有巨流相,河湖相和风成相。

3) 黄土岩系,属于更新世中期和晚期产物。主要为成层的黄土。有黄土结核层。

某些地方有巨流相和呈基底砾岩和层状黄土的河湖相。风成相占多数。

4) 近代岩系, 主要为风成黄土。但也有层状黄土、河湖沉积和巨流沉积。

在该文中, B. A. 奥勃鲁契夫又把红色黄土称为古老黄土, 把黄土岩系称为黄色黄土。

现在看来, B. A. 奥勃鲁契夫所提出的分层, 在岩相方面, 大体上是正确的。但在时代方面, 尚有值得商榷的地方。在这方面, 我国的第四纪和黄土研究者提出了许多有价值的认识。其中, 刘东生、张宗祜等在这方面曾进行过大量而系统的研究。

张宗祜等(1957)根据岩性, 剥蚀面, 古土壤层特征、蜗牛化石特征及地貌分析, 在1956—1957年对西安以北, 定边以南, 平凉以东, 宁县以西的陇东黄土综合研究的基础上提出, 陇东地区黄土沉积地层可以划分为四组。第一组为浅红色, 有黑斑点, 富含钙质, 坚硬, 无层理之黄土类亚粘土及河流相砂砾石层, 时代相当于早第四纪(Q_I)。第二组为浅棕色, 无大孔结构, 较坚实, 无层理, 富含钙质之黄土类亚粘土, 时代属于中第四纪(Q_{II})。第三组为灰黄或浅褐黄色粉土质, 富含CaCO₃盐类及钙质结核的黄土, 夹有7—13层古土壤层, 为栗钙土型, 时代属于晚第四纪(Q_{III})。第四组成分复杂, 下有砂砾石层之冲积黄土类亚粘土, 亚砂土及坡积, 重力堆积之黄土类亚粘土, 时代相当于新第四纪(Q_{IV})。

刘东生于1955—1961年6年内大规模地组织了黄河中游的晋西、陕北、陇东及陇西等地区的黄土普查和重点研究工作。早在1956年就提出中国西北黄土可以划分为两大层, 即老黄土和新黄土。1959年在地质月刊第5期上发表了“新黄土和老黄土”一文, 专门讨论了新黄土和老黄土的地质标志, 进一步又把老黄土划分为上、下两部分。并根据岩性, 层位、接触关系、古土壤层和生物化石, 确定新黄土为晚第四纪产物, 老黄土为中第四纪产物。他在与张宗祜联名发表的“中国的黄土”一文中, 将新黄土恢复为原来的命名称“马兰黄土”老黄土取名为“离石黄土”; 并将老黄土下面存在的一层棕色或红黄色亚粘土亦视为黄土, 取名为“午城黄土”, 时代定为早第四纪(刘东生、张宗祜, 1962年)。

作者基本上同意刘东生和张宗祜提出的西北黄土地层划分方案, 但在黄土地层命名上仍采用“新黄土”和“老黄土”。因为, 第一, 用新黄土和老黄土作为黄土地层命名可以明显的令人顾名思义的理解到黄土地层的先后次序; 第二, 新黄土和老黄土在西北很多地方可见到不整合的接触关系, 很容易划分开来; 第三, 新黄土和老黄土作为黄土地层命名也象征性地表明着它们的工程性质特点, 如与新黄土比较, 老黄土的强度和浸水稳定性较高, 可以互相对应; 第四, 新黄土和老黄土名称在西北和许多部门已经通用, 不宜多作改动。此外, 对这个方案中提出的“午城黄土”作者缺乏研究, 暂不作为黄土地层看待。

综合上述各方面的研究结果, 大多数研究者比较一致地认为我国西北黄土是中、晚第四纪产物。但我们知道, 黄土是地质历史发展过程中一定阶段的产物, 它的形成密切受形成时的古地理环境及地质作用控制。在它形成以后又受到后期地质作用改造。因此, 为了认识黄土地层和黄土形成的地质发展过程和黄土工程性质特征, 不仅需要研究黄土本身, 而且也需要研究黄土形成前和形成后的地层和地质发展过程。这样, 才能对黄土的地质发展过程和黄土的工程地质特征有正确的认识, 对黄土的工程地质问题才能做出正

确的预报。在这一章我们首先讨论西北黄土区的第三纪地层，然后再来讨论本区内的第四纪地层特点；在这个基础上，再来讨论西北黄土分层。

二、西北黄土区第三纪地层特点

本区第三纪地层简称为第三纪红层，其分布大体上以六盘山为界，在陇西与陇东、陕北地区发育情况大不相同。

陇西地区内出露的第三纪红层可以划分为两层，即（1）砾岩、砂岩或砂砾岩夹红色粘土层；（2）红色粘土层。砾岩、砂岩或砂砾岩夹红色粘土层大多数出露于基岩山地周围地区。在秦岭北麓沿渭河河谷几乎到处可见到。这里见到的砾岩有的为灰色，有的为红色。组成砾岩的砾石颗粒圆滑。成分各地不一，有石英岩、石灰岩及片麻岩等。分选性较差。厚度一般为30—50m。呈半胶结状态，也有的被钙质胶结。在地形上常构成陡峻的悬崖。砂岩的砂粒成分为石英。由于含有红色粘土成分故呈砖红色。单层厚多为2—3m。粘土夹层色鲜红，单层厚为20—30cm，个别的厚达1m左右。此套岩层总厚度达200—300m。在甘肃的天水、甘谷、武山、陇西、渭源、岷县、临洮、临夏、皋兰、榆中等县境内存在有良好的露头。

上述岩系在六盘山中部及北部两侧出露亦很广泛。这里所见到的砾岩为棕红色，呈半胶结状态，厚度不等。在偏城至固原间见到其厚度仅为0—30m。在其上为杂色砂岩或砂砾岩与红色粘土互层，厚度达200—300m。砂岩中有交错层理。在西吉、海原、固原以及环县的部分地区见有零星分布。在六盘山南麓隆德杨家店见到它以假整合的接触关系覆于白垩系陆相沉积层之上（图1·1）。

上述砾岩、砂岩或砂砾岩夹红色粘土层，在陇东、陕北地区，除了在六盘山山麓的固原及环县境内见有出露外，其他地区很少发现。

红色粘土层与上述的粗碎屑岩层不同，在区域内，不论陇西、陇东或陕北地区，分布极为广泛。

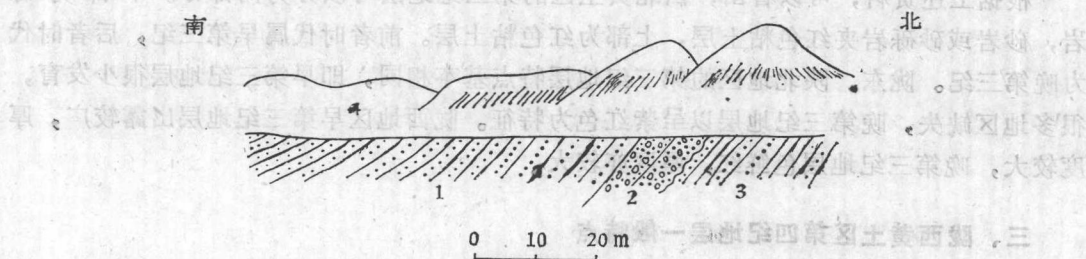


图1.1 六盘山南麓隆德杨家店地质剖面

1. 固原统红色砂岩；2. 固原统底岩；

3. 白垩系砾岩、页岩互层（青灰色）；4. 黄土。

在陇西地区，红色粘土层色深红至桔红，致密坚硬，但浸水时可崩解。节理发育，常见到沿着节理面夹有石膏层，在定西附近被作为石膏矿开采。红色粘土层内有时见到夹有厚约30—50cm的灰绿色或褐黄色粘土夹层。底部常见有砾石或薄砂层。红色粘土层又可分为上下两部分：下部无层理，含有石膏夹层，偶含有钙质结核；上部见有层

理。此套红色粘土层厚度各地不一，就作者观察，常见到的为30—40m，最大厚度可达300—400m。

在陇东地区，红色粘土层呈紫红色。有时夹有钙质结核层。在泾河流域，其厚度一般为60—70m，在洛河流域仅20~30m。

在陕北一带，红色粘土层同样为紫红色，处于半成岩状态。厚度一般为20—40m。具有层理。

上述的砾岩、砂岩或砂砾岩夹红色粘土层的一套沉积与上部的红色粘土层的接触关系，严格来说，还是不够清楚的。根据个别地区见到的现象看来，很可能是不整合接触。如经常见到仅一梁之隔，一侧为砾岩和砂岩层或砂砾岩夹红色粘土层，而另一侧则出现红色粘土层。图1·2是白银市北独山子附近见到的一个剖面。剖面的上部为新黄土，中部为含石膏的红色粘土层，下部为红色砂岩层，明显地呈不整合接触。根据上述资料看来，红色粘土岩与砾岩和砂岩或砂砾岩与红色粘土互层岩系在沉积过程中存在着一个沉积间断。很明显，它们是两期沉积岩。

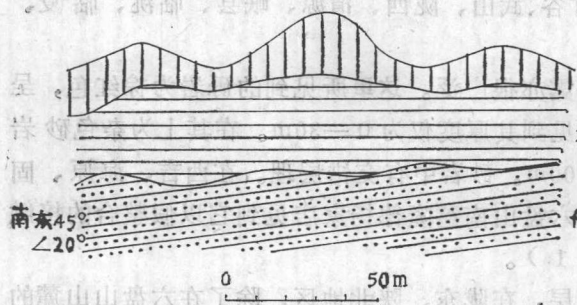


图1·2 白银市独山子地质剖面

1. 红色砂岩层；2. 含石膏夹层的红色粘土；3. 新黄土。

粘土层，其层位完全可以与陕北地区的红色粘土层对比，其时代亦当属晚第三纪。

根据上述资料，可以看出，西北黄土区的第三纪地层可以分为两部分。下部为砾岩，砂岩或砂砾岩夹红色粘土层，上部为红色粘土层。前者时代属早第三纪，后者时代为晚第三纪。陇东、陕北地区的第三纪地层特点基本相同，即早第三纪地层很少发育，很多地区缺失，晚第三纪地层以呈紫红色为特征。陇西地区早第三纪地层出露较广，厚度较大，晚第三纪地层层色鲜红，厚度亦较大。

三、陇西黄土区第四纪地层一般特点

本文以六盘山为界把西北黄土区分为两大区：即陇东—陕北为一区，陇西为一区。

通过对六盘山以西广大黄土区的工程地质调查，获得了如图1.3所示的陇西黄土区第四纪沉积层层序的基本资料。这个资料表明，陇西黄土区的第四纪沉积层由上向下可以划分为五层：（1）近代堆积层；（2）新黄土层；（3）老黄土层；（4）湖相沉积层；（5）角砾及砾石层（冰碛层）。

各层特征略述如下：

1) 近代堆积层 这一层堆积物具有一个共同的特征是含有与人类活动有关的