

铁路基建施工技术丛书

桥涵基础施工

洪光燧 陈壁光 张浩 编

铁路基建施工技术丛书

中国铁道出版社

铁路基建施工技术丛书

桥涵基础施工

洪光燧 陈壁光 张浩 编

中国铁道出版社

1984年·北京

20
2771

内 容 简 介

本书为“铁路基建施工技术丛书”之一。

全书主要介绍桥涵各种类型基础施工的基础知识。共分八章，第一章主要叙述地基土的一些基本概念，第二章主要介绍地基的分类、地基的容许承载力以及基础的分类和适用范围，第三章至第八章分别介绍明挖基础、沉井基础、钻孔灌注桩基础、挖孔桩基础、管柱基础、打入桩及振动下沉桩基础的施工方法、步骤及有关注意事项。

铁路基础施工技术丛书

桥 涵 基 础 施 工

洪光燧、陈壁光、张浩 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 李云国

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{2}$ 印张：8 字数：176千

1981年12月 第1版 1981年12月 第1次印刷

印数：0001—4,500册 定价：0.85元

铁路基建施工技术丛书（已出版）

金属材料	龙迹云、周克绍、袁恩鸿编	0.92元
非金属材料	龙迹云、周克绍、袁恩鸿编	0.83元
物资管理	龙迹云、周克绍、袁恩鸿编	0.35元
隧道开挖	邓德祥编	0.75元
桥涵基础施工	洪光燿、陈壁光、张浩编	0.85元

目 录

第一章 地基土	1
第一节 土的工程分类	1
第二节 土的物理力学性质	10
第三节 土中应力	25
第四节 特殊土	34
第五节 岩石	39
第二章 地基与基础	44
第一节 地基的分类	44
第二节 地基容许承载力	44
第三节 软弱下卧层	55
第四节 地基沉降量计算	58
第五节 基础埋置深度	62
第六节 基础类型及适用范围	65
第七节 人工加固地基	68
第三章 明挖基础	82
第一节 基坑开挖前的准备工作	82
第二节 基坑排水	89
第三节 开挖方法	93
第四节 开挖支撑	95
第五节 基底检验与处理	103
第六节 基底出现问题的处理	106
第七节 基础圬工	108
第八节 围堰	116

第四章 沉井基础·····	129
第一节 沉井类型·····	129
第二节 沉井构造·····	131
第三节 钢筋混凝土沉井·····	135
第四节 浮式深井·····	156
第五章 钻孔灌注桩基础·····	176
第一节 冲击式钻机成孔法·····	176
第二节 旋转式钻机成孔法·····	192
第三节 冲抓锥成孔法·····	205
第四节 桩孔灌注混凝土·····	213
第六章 挖孔灌注桩基础·····	217
第七章 打入桩及振动下沉桩基础·····	220
第一节 概述·····	220
第二节 打桩机具·····	225
第三节 打入桩施工·····	232
第八章 管柱基础·····	241
第一节 管柱结构·····	241
第二节 管柱施工·····	242

第一章 地 基 土

第一节 土的工程分类

常见的土按其性质分为碎石类土、砂类土及粘性土。不常见的土有黄土、软土、冻土等，称为特殊土。土的性质是决定地基承载力的直接因素。不同性质的土，具有不同的承载能力。一般说来，作为地基，碎石类土和砂类土比其他类土优越。

一、碎 石 类 土

碎石类土可根据颗粒大小和密实程度进行分类，如表 1—1 所示。

碎石类土分类

表 1—1

土的名称	颗粒形状	土的颗粒级配
漂石土	浑圆或圆棱状为主	粒径大于 200 毫米的颗粒超过全重 50%
块石土	尖棱状为主	
卵石土	浑圆或圆棱状为主	粒径大于 20 毫米的颗粒超过全重 50%
碎石土	尖棱状为主	
砾石土	浑圆或圆棱状为主	粒径大于 2 毫米的颗粒超过全重 50%
角砾土	尖棱状为主	

颗粒级配可用筛分法测定。密实程度目前尚无适当的试验方法测定定量指标，一般暂用野外鉴定方法进行划分，如表 1—2 所示。

碎石类土密实程度划分

表 1—2

密实程度	骨架和充填物	天然坡和开挖情况	钻探情况
密实	骨架颗粒交错紧贴, 孔隙填满, 充填物密实	天然陡坡较稳定, 坎下堆积物较少 镐挖掘困难, 用撬棍方能松动, 坑壁稳定, 从坑壁取出大颗粒处, 能保持凹面形状	钻进困难, 冲击钻探时, 钻杆、吊锤跳动剧烈, 孔壁较稳定
中密	骨架颗粒疏密不均, 部分不连续, 孔隙填满, 充填物中密	天然坡不易陡立, 或陡坎下堆积物较多, 但大于粗颗粒的安息角 镐可挖掘, 坑壁有掉块现象, 从坑壁取出大颗粒处砂类土不易保持凹面形状	钻进较难, 冲击钻探时, 钻杆、吊锤跳动不剧烈, 孔壁有坍塌现象
松散	多数骨架颗粒不接触, 而被充填物包裹, 充填物松散	不能形成陡坎, 天然坡接近于粗颗粒的安息角。锹可以挖掘, 坑壁易坍塌, 从坑壁取出大颗粒后, 砂类土即塌落	钻进较容易, 冲击钻探时, 钻杆稍有跳动, 孔壁易坍塌

二、砂 类 土

影响砂类土工程性质的物性因素和碎石类土一样是颗粒大小和密实程度。中砂以上的砂类土因土中水主要以自由水的状态存在, 可以在颗粒间自由流动, 对土承受荷载的能力影响不大; 细砂和粉砂的承载能力则受水的影响。具体分类见表 1—3。

砂类土分类

表 1—3

土 的 名 称	土 的 颗 粒 级 配
砾砂	粒径大于 2 毫米的颗粒为全重 25~50%
粗砂	粒径大于 0.5 毫米的颗粒超过全重 50%
中砂	粒径大于 0.25 毫米的颗粒超过全重 50%
细砂	粒径大于 0.1 毫米的颗粒超过全重 75%
粉砂	粒径大于 0.1 毫米的颗粒少于全重 75%

测定颗粒级配按颗粒大小分别用筛分法、比重计法、移液管法等。

碎石类土及砂类土均系按颗粒大小分类定名。因此，土的名称也就说明了它的颗粒大小。砂类土的野外鉴别方法如表 1—4 所述。

砂类土的野外鉴别方法

表 1—4

鉴别特征	砾 砂	粗 砂	中 砂	细 砂	粉 砂
观察颗粒粗细	约有 1/4 以上颗粒比荞麦或高粱粒 (2 毫米) 大	约有一半以上颗粒比小米粒 (0.5 毫米) 大	约有一半以上颗粒与砂糖或白菜籽 (>0.25 毫米) 近似	大部分颗粒与粗玉米粉 (>0.1 毫米) 近似	大部分颗粒与小米粉近似
干燥时状态	颗粒完全分散	颗粒完全分散，个别胶结	颗粒基本分散，部分胶结，胶结部分一碰即散	颗粒大部分分散，少量胶结，胶结部分稍加碰撞即散	颗粒少部分分散，大部分胶结 (稍加压即能分散)
湿润时用手拍后的状态	表面无变化	表面无变化	表面偶有水印	表面有水印 (翻浆)	表面有显著翻浆现象
粘着程度	无粘着感	无粘着感	无粘着感	偶有轻微粘着感	有轻微粘着感

砂类土的密实程度用相对密度 D_r 数值的大小来划分。

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

式中 $e_{\max}$ ——土在最疏松状态时的孔隙比或最大孔隙比
(测定方法是将疏松的风干土样通过长颈漏斗轻轻的倒入容器，求出其最小干容重

$$\gamma_{d\min} \text{再计算出 } e_{\max}), e_{\max} = \frac{G\gamma_w}{\gamma_{d\min}} - 1;$$

$e_{\min}$ ——土在最紧密状态时的孔隙比或最小孔隙比
(测定方法是将疏松的风干土样装在金属容器内加以振动和锤击，直到密度不变为止求出其最大干容重 $\gamma_{d\max}$ 再计算出 $e_{\min}$ 。

$$e_{\min} = \frac{G\gamma_w}{\gamma_{d\max}} - 1$$

e ——土在天然状态时的孔隙比；

G ——土的颗粒比重；

γ_d ——土的干容重；

γ_w ——水的容重。

根据上述计算，其密实程度可按表 1—5 划定。

砂类土密实程度按 D_r 值划分 表 1—5

分 级		相 对 密 度 (D_r)
密 实		$D_r \geq 0.67$
中 密		$0.67 > D_r > 0.33$
松 散	稍松	$0.33 \geq D_r \geq 0.2$
	极松	$D_r < 0.2$

天然条件下的砂类土是处于从密实到疏松的不同紧密状态的。由于 $e_{\max}$ 及 $e_{\min}$ 不易测定准确，因而也有用天然孔隙比 (e) 划分砂类土的密实程度的，见表 1—6。

砂类土密实程度按 e 值划分 表 1—6

土 的 名 称	密 实 度	密 实	中 密	稍 密	松 散
砾砂、粗砂、中砂	$e < 0.60$	$0.60 \leq e \leq 0.75$	$0.75 < e \leq 0.85$	$e > 0.85$	
细砂、粉砂	$e < 0.70$	$0.70 \leq e \leq 0.85$	$0.85 < e \leq 0.95$	$e > 0.95$	

求砂类土的密实度需要采取原状土，但在砂类土中取得原状土样是很困难的。近年来触探法的应用已较普遍，《桥规》中也规定了砂类土的密实程度可以用标准贯入试验（锤重63.5公斤，落距76厘米，贯入度30厘米）的锤击数 N 来确定： $N = 30 \sim 50$ ，密实； $N = 10 \sim 29$ ，中密； $N = 5 \sim 9$ ，稍松。

三、粘 性 土

根据我国的实践经验和调查研究,说明粘性土的承载能力不仅与土的物理性质指标有关,而且与土的沉积年代和成因有密切关系。不同年代和不同成因的粘性土,尽管其物理性质指标相近,但工程性质可能相差悬殊。故对粘性土进行工程地质分类时,必须以沉积年代及成因为基础,并结合考虑土的物理力学性质。

(一) 粘性土按生成年代和成因分类

1. 老粘性土——指 Q_3 及其以前沉积的粘性土,因沉积年代较久因而且有较高的结构强度和较低的压缩性。这种粘性土一般分布于山麓、山坡及河谷高阶地等,有时伏于 Q_4 沉积的粘性土之下。如广泛分布于湖北、江西、安徽及江苏地区的下蜀系 (Q_3) 粘性土及上述地区和浙江等地的网纹状粘土 (Q_3),以及内蒙地区的下亚层等皆属。这种老粘性土的容许承载力一般大于 40 吨/米²,压缩模量 E_s 大于 150 公斤/厘米²,标准贯入锤击数 $N_{63.5}$ 大于 15。按一些地区的试验资料,其物理、力学性质指标一般为:天然含水量 $W=19\sim 25\%$;天然孔隙比 $e=0.56\sim 0.68$;液限 $W_L=30\sim 44\%$;压缩系数 $a=0.009\sim 0.18$ 厘米²/公斤;内摩擦角 $\phi=15\sim 22$;凝聚力 $c=0.45\sim 0.78$ 公斤/厘米²;容许承载力 45 吨/米² 左右;总变形模量 E_t 达 170~220 公斤/厘米²。在鉴别时,必须从地形、地貌及地层对比上分析其地质成因及年代,并与 E_s 值或 $N_{63.5}$ 值综合考虑。《桥规》上以其压缩模量 E_s 值确定其承载力。

2. 一般粘性土

一般粘性土指第四纪全新世 (Q_4) 沉积的工程性质一般的粘性土,广泛分布于河谷各级阶地 (主要在低阶地)、

山前及平原地区，有冲积、洪积和坡积的。多呈黄褐色或褐色，分布稳定，厚度不一，有时含有铁锰质状结核，但圆度较差，亦较疏松。其容许承载力一般为 $12\sim 35$ 吨/米²，压缩模量 E_s 为 $40\sim 150$ 公斤/厘米²，标准贯入锤击数 $N_{63.5}$ 小于15。

实践证明，对于一般粘性土能比较明显地反映其强度的主要因素是土的颗粒组分、密实度和软硬程度。其直接涉及的物理性质指标是液性指数 I_L 和天然孔隙比 e 。

在湖、塘、沟、谷和河漫滩地段，以及超河漫滩低阶地、古河道地段、洪积冲积锥（扇）、山前倾斜坡地的顶部，常沉积着一种年代较新的粘性土——新近沉积粘性土。它是在近代文化期沉积的粘性土，一般未经过很好的压密固结作用，结构性较差，其工程性质与一般粘性土有明显的差别。根据一些地区的资料，新近沉积粘性土的压缩模量 E_s 一般小于75公斤/厘米²， N_{10}^* 小于22，容许承载力一般为 $8\sim 14$ 吨/米²。由于新近沉积粘性土的物性指标与一般粘性土的指标交错，所以划分新近沉积粘性土的主要依据是年代鉴定与地层划分，力学指标的界限值只供判断时参考之用。只有从对地形、地貌的历史考察和对土层的野外特征的鉴别相结合，并参考试验指标综合加以分析，才能得到比较可靠的结论，野外鉴别方法如表1—7所示。

3. 残积粘性土

我国云贵高原、四川东部、两广北部和部分中南地区分部有一种碳酸盐类岩层的残积红土。这种土一般呈褐红、棕红、黄褐等颜色，统称为红粘土（对于母岩、成因类型、物理力学性质相似的其他地区的红粘土可以类比），其天然孔隙比大于1.0，在一般情况下含水量接近塑限（ W_P ），饱和

* N_{10} 为轻便触探试验锤击数，见触探试验。

新近沉积粘性土的野外鉴别方法 表 1—7

沉积环境	颜色	结构性	含 有 物
河漫滩和山前洪、冲积扇(锥)的表层 古河道 已填塞的湖、塘、沟、谷 河道泛滥区	颜色较深而暗,呈褐、暗黄或灰色,含有机质较多时带灰黑色	结构性差,用手扰动原状土时极易变软,塑性较低的土还有振水析现象	在完整的剖面中无原生的粒状结核体,但可能含有圆形及亚圆形的钙质结核体(如姜结石)或贝壳等,在城镇附近可能含有少量碎砖、瓦片、陶瓷、铜币或朽木等人类活动的遗物

度 (S_r) 大于85%。承载力的确定按其 E_r 值。

(二) 粘性土的塑性

粘性土含水很多时,土粒与水混合在一起成为泥浆,称为流塑状态;泥浆中的水分蒸发减少到一定程度就可捏塑成一定形状,称为可塑状态;水分再蒸发减少到一定程度就不再是可塑的了,称为半干硬状态。

处于不同状态的粘性土具有显然不同的工程性质。流塑状态与可塑状态分界处的含水量称为液限 (W_L),可塑状态与半干硬状态分界处的含水量称为塑限 (W_P),均用百分比表示。测定液限用瓦西里也夫锥式液限仪,先在杯内装满调匀的土浆,刮平表面,将锥体放于土浆表面中心,让它在自重作用下徐徐沉入土中,如果锥体恰好沉入土内10毫米,这时候土的含水量即为液限。测定塑限用搓捻法,用手将土样放于毛玻璃板上搓成细条,如果细条直径到达3毫米而土适断成数断,这时候土的含水量即为塑限。

粘性土的工程性质(主要是承载能力和压缩性)当其天然含水量 (W) 在液限 (W_L) 与塑限 (W_P) 之间时还有中间的分级差异,其分级差异用液性指数 I_L 表示之。

$$I_L = \frac{W - W_P}{I_P}$$

$I_p = W_L - W_P$ 称为塑性指数

塑性指数愈大，粘性土表现塑性状态的含水量变化范围也愈大，说明其塑性愈强；反之，说明其塑性愈弱。

从 I_L 的计算式可以看出：

$I_L > 1$ 表明天然含水量大于液限；

$I_L = 1$ 表明天然含水量等于液限；

$0 < I_L < 1$ 表明天然含水量在液限与塑限之间，值愈小愈接近塑限；

$I_L = 0$ 表明天然含水量等于塑限；

$I_L < 0$ 表明天然含水量小于塑限。

表 1—8 系粘性土潮湿程度按 I_L 之值划分的四种状态，在确定粘性土的承载力时一般又按 I_L 之值分为十个等级。

粘性土潮湿程度划分

表 1—8

分 级		液性指数 (I_L)
半 干 硬 状 态		$I_L < 0$
可塑状态	硬塑状态	$0 \leq I_L < 0.5$
	软塑状态	$0.5 \leq I_L < 1$
流 塑 状 态		$I_L \geq 1$

状态划分也可以用华西里耶夫平衡锤上的四个刻度实测在原状土上平衡锤下沉深度而确定。野外粗略区分，在液限与塑限之间还有一个粘着界限。粘性土的含水量超过液限，土呈厚层状流坍；在液限与粘着界限之间，土具有塑性但粘着其他物体；在粘着界限与塑限之间，土具有塑性但不粘着其他物体；在塑限以下，土失去塑性而具有半固体性质。

(三) 粘性土按塑性指数分类

天然土中有纯净的粘土，也有含一定数量砂质的粘性

土。纯粘土塑性强，含砂质愈多塑性愈弱。塑性的强弱在工程应用上有很重要的意义，

粘性土按塑性指数分类

区分的指标按其塑性指数 (I_p)。表 1—9 为粘性土按塑性指数分类，表 1—10 为野外鉴定粘性土的方法。

表 1—9

土的名称	塑性指数 (I_p)
粘土	$I_p > 17$
砂粘土	$17 \geq I_p > 7$
粘砂土	$7 \geq I_p > 1$

粘性土与砂性土的野外鉴别方法

表 1—10

鉴别土类	肉眼直接观察的情况	用手捻摸时的感觉	粘着程度	湿土搓条搓球试验
粘土	大多是很细的粉末，断面表面光滑	湿土用手捻摸有滑腻感，当水分较大时极为粘手，感觉不到有颗粒的存在	湿土极易粘着物体（包括金属与玻璃），干燥后不易剥去，用水反复洗才能去掉	加水搓捏至将要粘手而还没有粘手的程度。用手能搓成直径 < 1 毫米的细长土条且弯曲时也不断裂
砂粘土	细土末中有砂粒，断面表面粗糙，有砂粒痕迹	仔细捻摸感觉到有少量细颗粒，稍有滑腻感，有粘滞感	能粘着物体，干燥后较易剥掉	能搓成直径为 1 ~ 3 毫米的土条但弯曲时发生断裂；能搓成表面光滑的小球
粘砂土	砂粒比粘土颗粒多	感觉有细颗粒存在或感觉粗糙，有轻微粘滞感或无粘滞感	一般不粘着物体，干燥后一碰就掉	不能搓成细土条，只能搓成表面不光滑的小球
砂土	看到绝大部分是砂粒	感到是砂粒	不粘着物体	不能搓成细土条和小球

（四）经验数据

表 1—11 是各类粘性土主要物理力学指标的经验数据。

粘性土的有关物理力学性质指标 表 1—11

土 类	指 标	孔隙比	液性 指数	含水 量	液限	塑性 指数	承载力	压缩 模量	内聚力	内摩
		e	I_L	W %	W_L %	I_P	$[R]$ 吨/米 ²	E_s 公斤/厘米 ²	c 公斤/厘米 ²	擦角 φ 度
下蜀系粘性土		0.6 ~0.9	<0.8	15 ~25	25 ~40	10 ~18	30~80	>150	0.4 ~1.0	22 ~30
一般粘性土		0.55 ~1.0	0~1.0	15 ~30	25 ~45	5 ~20	10~45	40 ~150	0.1 ~0.5	15 ~22
新近代粘性土		0.70 ~1.2	0.25 ~1.2	24 ~36	30 ~45	6 ~18	8~14	20~75	0.1 ~0.2	7 ~15
淤泥或 淤泥质土	沿海						4~10	10~50		
	内陆	1.0 ~2.0	>1.0	36 ~70	30 ~65	10 ~25	5~11	20~50	0.05 ~0.15	4 ~10
	山区						3~8	10~60		
云贵红粘土		1.0 ~1.9	0~0.4	30 ~50	50 ~90	>17	10~32	50 ~160	0.3 ~0.8	5 ~10

注：1. 内聚力即凝聚力。

2. 本表摘自中国建筑工业出版社出版的《工程地质手册》1975年版。

第二节 土的物理力学性质

一、土的基本物理性质指标

天然状态下的土大都是三相的。如果取一个单位体积的土，把其中的固体颗粒部分、液体部分（水）、气体部分（空气）都理想地分别集中起来形成如图 1—1 所示的形式，利用这个假想的图式就可以比较方便的进行分析计算。在工程应用中气体的重量可略去不计。

1. 由试验直接测定的指标

(1) 含水量 (w)

一块土中水分的重量对其固体颗粒重量之比称为含水量。若这个含水量是在天然状态下的含水量，则称为天然含水量，以百分比 (%) 表示，其计算式为

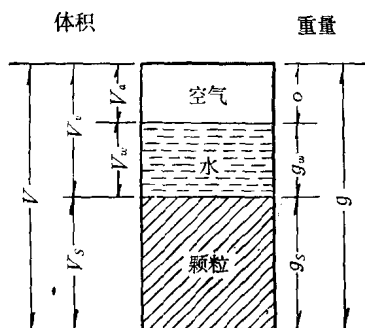


图 1-1 土的三相组成

V_a ——空气体积； V_w ——水的体积； V_s ——颗粒体积； V_v ——空隙体积， $V_v = V_a + V_w$ ； V ——总体积， $V = V_v + V_s$ 。

g_w ——水的重量； g_s ——颗粒重量； g ——总重量， $g = g_w + g_s$ 。

$$w = \frac{g_w}{g_s} \times 100\%$$

一般土的天然含水量约为15~40%。

(2) 容重 (γ)

容重指单位体积土的重量。如这块土的容重是在天然状态保持其原来结构及含水量的情况下测得，则称为天然容重，其计算式为

$$\gamma = \frac{g}{V} \text{ (克/厘米}^3\text{) 或 (吨/米}^3\text{)}$$

一般土的天然容重在1.6~2.2克/厘米³之间。

(3) 颗粒比重 (G)

颗粒比重是指土的固体颗粒重量对同体积水的重量之比，计算式为

$$G = \frac{g_s}{V_s \gamma_w}$$

γ_w ——水的容重 (克/厘米³) 或 (吨/米³)

因 $\gamma_w = 1$ ，故上式又可以简写为