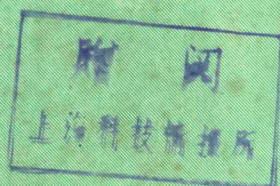


上海科技情报研究所

索取号: 109097

浙江省筑坝粘性土料试验资料

整 理 汇 编



浙 江 省
水利电力局 水利科学研究所

一 九 七 四 年



目 录

一、概述	(1)
二、试验操作方法	(2)
三、资料的整理	(3)
四、土的物理性指标及其与粘粒含量的关系	
1.各地区的主要土类	
2.土的比重	
3.土的界限含水量	
五、土的力学性指标及其与粘粒含量、干容重的关系	(3)
1.土的击实性	
2.土的抗剪强度	
3.土的渗透系数	
4.土的压缩性	
六、其 他	(5)
七、附图、附表与附录	
附图 1 全省统计资料主要工程位置分布图	
附图 2 各地区筑坝粘性土料分类及级配曲线 (共计七张)	(7 ~ 13)
附图 3 各地区筑坝粘性土最大干容重与粘粒含量的关系曲线	(14)
附图 4 各地区筑坝粘性土比重与粘粒含量的关系 (共计七张)	(15 ~ 16)
附图 5 各地区筑坝粘性土塑限与粘粒含量的关系、塑性指数与粘粒含量的关系、塑限与流限的关系 (共计二十一张)	(17 ~ 22)
附图 6 各地区筑坝粘性土击实性质指标与粘粒含量的关系、击实性质指标与击数的关系 (共计十一张)	(23 ~ 28)
附图 7 各地区筑坝粘性土饱和块剪抗剪强度与干容重的关系 (包括 7-1, 7-2, 7-3 共计九张)	(29 ~ 36)
附图 8 各地区筑坝粘性土料渗透系数、压缩系数与干容重的关系 (包括 8-1, 8-2, 8-3, 8-4 共计十张)	(37 ~ 46)
附表 1 全省统计资料工程名称	(47)
附表 4 各地区筑坝粘性土料比重指标范围值	(48)
附表 5 各地区筑坝粘性土料塑限、塑性指数指标范围值	(48)
附表 6 各地区筑坝粘性土料击实指标范围值	(49 ~ 50)
附表 7 各地区筑坝粘性土料抗剪强度指标范围	(51 ~ 56)
附表 8 各地区筑坝粘性土料渗透系数指标范围值	(51 ~ 56)
附表 9 各地区筑坝粘性土料压缩系数指标范围值	(51 ~ 56)
附表 10 浙江省筑坝粘性土料三个代表性土样试验指标值	(57 ~ 58)
附表 11 浙江省筑坝粘性土料中“铝红土”的试验指标范围	(59)

浙江省筑坝粘性土料试验资料整理汇编

说 明

一、概 述

浙江地处东南沿海，气候温和，雨量充沛，但季节间雨量分配不均衡，常有洪、旱、涝灾害出现。为充分调节水源，除害兴利，为农业高产稳产服务，历年来我省已修建了不少水库工程。根据因地制宜、就地取材的原则，其拦河大坝大多采用土坝，坝型一般皆选用均质土坝或心墙砂壳坝，斜墙砂壳坝次之。筑坝防渗土料多为残、坡积土，砂壳土料多采自河床或河滩中沉积的砂卵石。

我所土工试验工作自1956年开始，主要承担省内一些大中型水库工程的土工试验任务，积累了一定的资料。此次整编共搜集了省内九个地区，七十七个水库，计804个扰动土样的试验成果，就其主要物理力学性质指标进行统计整理，并初步提出若干指标间的相互关系曲线及指标的范围。

我们对以往资料进行整理汇编的目的，在于希望对省内各地区几种主要筑坝粘性土料的物理力学性质有一个梗概了解。因近年来我省各地兴修水利工程蓬勃发展，如果每项工程都要求进行全套土工试验，其试验力量将远远不能适应需要。考虑到一些工程在初步查勘规划阶段，为选择比较坝址坝型方案，急需了解土料物理力学特性的大致范围，并不要求立即提供精确的试验成果。为此，我们通过资料整编，提出有关土料的一定指标范围，以备选用。此外，也希望能为中小型水库设计及施工提供参考性数据，例如通过必要的类比试验，确定土料的基本性质，并适当选用有关指标，从而减轻大量的土工试验工作。

资料的整理汇编似应以土的成因及母岩性质进行分类统计较为合理。但我省各地区在地质分布上较复杂，土质差异较大，过去试验又未进行过母岩的分析工作，因此若按土的成因进行分类是困难的，故本资料根据省内水系分布，分别以金华、宁波、绍兴、杭州、嘉兴、台州、温州等七个行政地区为单元，择其主要粘性土料进行整理。舟山、丽水二地区因资料太少，故未列入。

从此次整编中，发现土的粘粒含量与物理性指标之间的关系规律性较好，点子较多而偏离较小，可列出直线方程。而粘粒含量、干容重与力学性指标间的关系，点子较少且分散，仅能从关系曲线上看出有一定的相关趋势。

为了弥补过去试验资料的不足，在整编过程中，我们又特别选择了金华地区的红壤土、嘉兴地区的黄壤土、温州地区的铝红土（又称高塑性粘土）三种比较普遍使用的代表性土样进行全套物理、力学、化学性试验及粘土矿物分析，补充在资料汇编中。（见附录10）

由于各地区土质复杂，且试验的操作方法，应用仪器、试验技术要求均有差异或变更，因此欲求试验成果达到统一的精确程度，显然是办不到的。在整编过程中，我们感到某些指标范围与通常的概念稍有出入，如粘土的比重值绝大部分均在2.71以下，平均值一般在2.68左右，似嫌偏低，有一些力学性质指标则变化幅度较大，因限于水平及时间仓促，均未能进

行深入的研究工作，探明其影响因素。为此，望大家参考或引用数据时，应结合具体情况予以修正。无容置疑，对于比较重要的工程或比较复杂的土料仍需照常进行土工试验。本汇编有不当或谬误之处，恳请批评指出，以便修正。

二、试验操作方法

我所土工试验在60年前基本上是按前南京水利实验处编的“土工试验手册”和水利部56年颁发的“土工试验操作规程”进行的，以后则根据水电部61年颁发的“土工试验操作规程”。

力学性试验的制备方法是过2毫米筛后，在压么仪中控制一定干容重进行。剪力试验采用应变控制式直剪仪，垂直压力一般为0.5，1，2，3，4公斤/平方厘米，以不排水剪为主，固结不排水剪次之，排水剪做得很少。压缩试验在63年前用三联式压缩仪，以后则用磅秤式压缩仪，加荷为0.25，0.5，1，2，4，6公斤/平方厘米，各级荷重历时24小时，压缩系数及固结系数取自荷重1，2，4公斤/平方厘米的平均值。渗透系数采用南55型渗透仪进行变水头及3米常水头试验。击实试验的土样是过5毫米筛后用南实处型击实仪进行的，一般采用25击，其相应击实功能为86.3吨一米/立方米。

在筑坝土料制备土样与试验过程中，都去除了砾的含量（颗分除外），而实际坝身粘性填料均含有一定比例之砾石，由于含砾对其指标的影响，故二者试验成果有所出入，为此，坝体原状土样试验资料就未并入整理。

颗粒分析是土样经加氨煮沸，用比重计测定。一般以硅酸钠对含盐土进行处理，有高价离子胶结则以草酸钠处理。比重试验采用煮沸法。流限试验用瓦西列夫锥式流限仪，塑限试验用搓滚法。

三、资料整理

1.资料统计中土的分类是以粘粒含量（土样粒径 $d < 0.005$ 毫米）来划分的，见下表：

粘 粒 含 量 (%)	土 类
>60	重 粘 土
30~60	粘土类土（包括粘土、砂质粘土、粉质粘土）
20~30	重 壤 土
10~20	中、轻 壤 土
3~10	砂 壤 土

在整理力学性及击实指标时，又将粘粒含量分为 $<30\%$ ， $30-40\%$ ， $>40\%$ 三类。

2.在整理指标关系图时，考虑到设计、施工之实际需要，物理性指标是以粘粒含量（土样粒径 $d < 0.005$ 毫米）为基础，力学性指标则以粘粒含量和控制干容重二个因素为基础。对土的物理、力学性能有影响的其他因素就未进一步考虑。

相关关系的求取，是用分段中值法加以目测而定的，因对一定数量点子的统计计算中，中值与算术平均值甚为接近，有一定精度，且统计简便，但若分段中点子较少，则再以算术平均值辅助。故我们对指标范围值的提出一般以中值线为准。

四、土的物理性指标及其与粘粒含量的关系

1.各地区的主要土类:

我省地处浙闽丘陵,土类繁多,变化万千,含砾又多寡不一,但从自然地理位置及土类指标相似性方面,大致可分为金华、丽水地区及绍兴地区西部丘陵山地之红土,一般为含少量砾或砾质的砂质粘土、粘土,呈棕红色,常有“红壤土”之称;杭州、加兴地区及绍兴地区北部为含少量砾和砾质粉质粘土、粘土,呈黄色,亦有“黄壤土”之称;温州、宁波、台州地区位于沿海地带,粘粒含量较以上几地为高,一般为含少量砾的粘土,见附图(1)。此外尚有沿海地带湿热多雨气候条件下生成的棕黄色、棕红色的坡残积土,分布在较高处,厚度较薄,粘粒含量较大,常为重粘土,亦有“铝红土”之称。

各地区筑坝土料颗粒分析级配曲线图,干容重与粘粒含量关系曲线见附图(2-1)至(2-7)及附图(3)。

2.土的比重

由各地区土的比重与粘粒含量的关系曲线,得出关系式及指标范围值,见附图(4-1)至(4-7)及表(4)。将各地区不同粘粒含量下的比重范围值汇总列表于下:

土 类	粘粒含量 (d<0.005毫米) (%)	土 的 比 重 Δs
粘 土 类 土	30~60	2.68~2.71
重 壤 土	20~30	2.65~2.69
中、轻 壤 土	10~20	2.64~2.68

“铝红土”的比重值个别可高达2.79-2.90。

3.土的界限含水量

各地区不同土类粘粒含量与塑限、塑性指数的关系以及界限含水量之间的关系,其曲线与指标范围值,见附图(5-1)至(5-21),及表(5-1)、(5-2)。由以上图表可见,粘土类土的塑限平均值在23%以上,壤土类土在18-22%之间,粘土类土的塑性指数在14以上,壤土在9-15之间。

整理后得各地区塑限 $W_p(\%)$ 与流限 $W_t(\%)$ 的关系式如下:

$$\text{杭州、加兴地区 } W_p = (0.56 \sim 0.60)(W_t + \frac{1.8}{2.0})$$

$$\text{绍兴、金华地区 } W_p = (0.50 \sim 0.52)(W_t + \frac{2.0}{2.4})$$

$$\text{宁波、台州地区 } W_p = (0.57 \sim 0.59)(W_t + \frac{1.7}{2.1})$$

$$\text{温州地区 } W_p = 0.49(W_t + 12)$$

由以上各式可总括得出我省筑坝土料流塑限的关系大致在 $W_p = (0.50 \sim 0.56)(W_t + 2)$ 范围。(其中温州地区除外)

五、土的力学性指标及与粘粒含量、干容重的关系

1.土的击实性

浙江地区对于大、中型水库的土坝碾压,一般采用东方红54型拖拉机,有时并拖带平碾

或羊足辗碾压。现场运用的辗压工具，据土质、含水量、铺土厚度、牵引机械和辗压遍数等不同而选用。一般大中型工程要求达到室内25击的击实功能，因此室内击实试验以25击为主。各地区不同土类击实指标的大致范围见附图（6-1）至（6-7）及表（6-1）。

由以上图表可见，加兴、杭州二地区的试验成果较接近，粘土类土的击实指标当含水量为18~23%时，干容重可达1.60~1.70克/立方厘米，壤土的含水量在16~19%时，干容重可达1.70~1.80克/立方厘米。金华、绍兴二地区试验成果亦较接近，其粘土类土的含水量在16~23%时，干容重可达1.60~1.75克/立方厘米，而壤土的含水量在15~17%时，干容重可达1.75~1.80克/立方厘米。宁波、温州二地区土的粘粒含量比以上地区皆高，击实试验的最优含水量也相应较高些，最大干容重较低些，粘土类土含水量在22~27%时，干容重仅达1.45~1.55克/立方厘米，壤土的含水量在20~23%时，其干容重也只能达到1.55~1.65克/立方厘米。台州地区的击实指标则介于温州、金华地区之间。各地区击实指标的大致范围（25击）见下表：

地 区	土 类	含 水 量 (%)	可达干容重(克/立方厘米)
加兴、杭州	粘土类土	18~23	1.60~1.70
	壤 土	16~19	1.70~1.80
金华、绍兴	粘土类土	16~23	1.60~1.75
	壤 土	15~17	1.75~1.80
温州、宁波	粘土类土	22~27	1.45~1.55
	壤 土	20~23	1.55~1.65
台 州	指标介于金华与温州二地区之间		

同时又对加兴、杭州二地区进行了15击击实指标的统计工作，见附图（6~1）、（6~2）及表（6~2）。其粘土类土的含水量在18~28%时，干容重达1.45~1.65克/立方厘米，壤土含水量在16~21%时，干容重可达1.60~1.70克/立方厘米。

由击实指标与击数关系曲线上看出，在15、25、40等不同击数下，最大干容重随击数的增加而提高，在15至25击下增长较快，大于25击后，增长缓慢。最优含水量则随击数增加而减小，但变化幅度不大，约在2-3%之间，详见附图（6~8）至（6~11）及表（6~3）。

通过汇总整理，建议各地区击实指标控制范围：（1）温州、台州、宁波地区粘土类土含水量控制为22~27%，干容重可达到1.45~1.55克/立方厘米，壤土为18~23%，干容重可达1.50~1.60克/立方厘米。

（2）金华、绍兴、杭州、加兴等地区粘土类土含水量控制为16~23%，干容重可达1.60~1.70克/立方厘米，壤土的控制含水量为15-19%，干容重可达1.70~1.80克/立方厘米。对于“铝红土”建议含水量控制为27~32%，干容重可达1.35~1.50克/立方厘米。

2.土的抗剪强度

土的抗剪强度随着密度的增长而提高，干容重与饱和快剪的抗剪强度关系曲线，见附图（7~1）至（7~3）及表（7~1）至（7~6）。凝聚力随密度的增高有较显著的增长，从图（7~1）至（7~3）及表（7~1）至（7~6）中明显地看出；对于不同土类（粘土、壤土）小于1.50克/立方厘米时，凝聚力值随干容重的增加提高极微，但大于1.50克/立方厘米后，凝聚力随干容重的增加而显著提高。内摩擦角随干容重的增加递增甚为缓

慢，即密度的变化对内摩擦角影响甚微。从以上图表亦可看出：内摩擦角值随粘粒含量增加而减小，一般在 $21^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间，凝聚力值随粘粒含量增加而增加，一般在 $0.08\sim 0.40$ 公斤/平方厘米。

3.土的渗透系数

干容重与渗透系数关系曲线，见附图（8~2）至（8~4），以表（8~1）至（8~6）。由以上图表可知，土的渗透系数随密度的增加而减小，亦随粘粒含量的增加而减小。渗透系数一般变化范围如下表：

干容重 γ_d (克/立方厘米) 粘粒含量 M_c (%)	1.55		1.50		1.45	
	$<\gamma_d$	$>\gamma_d$	$<\gamma_d$	$>\gamma_d$	$<\gamma_d$	$>\gamma_d$
<30	$i\times 10^{-5}$	$i\times 10^{-6}$				
30~40			$i\times 10^{-5}$	$i\times 10^{-6}$		
>40					$i\times 10^{-5}$	$i\times 10^{-6}\sim i\times 10^{-7}$

i为1~9的某数

4.土的压缩性：

粘粒含量大于30%的粘土类土，干容重与压缩系数关系曲线，见附录（8~1）及表（9~1）至（9~6）。由上可见压缩系数随干容重的增高而减小。

由以上图表得干容重在 $1.40\sim 1.70$ 克/立方厘米时，压缩系数在 $0.01\sim 0.05$ 平方厘米/公斤范围。对粘粒含量 $<30\%$ 的壤土的压缩系数，因压缩试验资料较少，且点子较为紊乱，故未提出指标。

六、其 他

1.在资料整理过程中，选取了比较有代表性的金华地区的“红壤土”、加兴地区的“黄壤土”及温州地区的“铝红土”三个代表性土样进行了全套物理、力学、化学性质试验，以供参考。其指标见附录（10）。

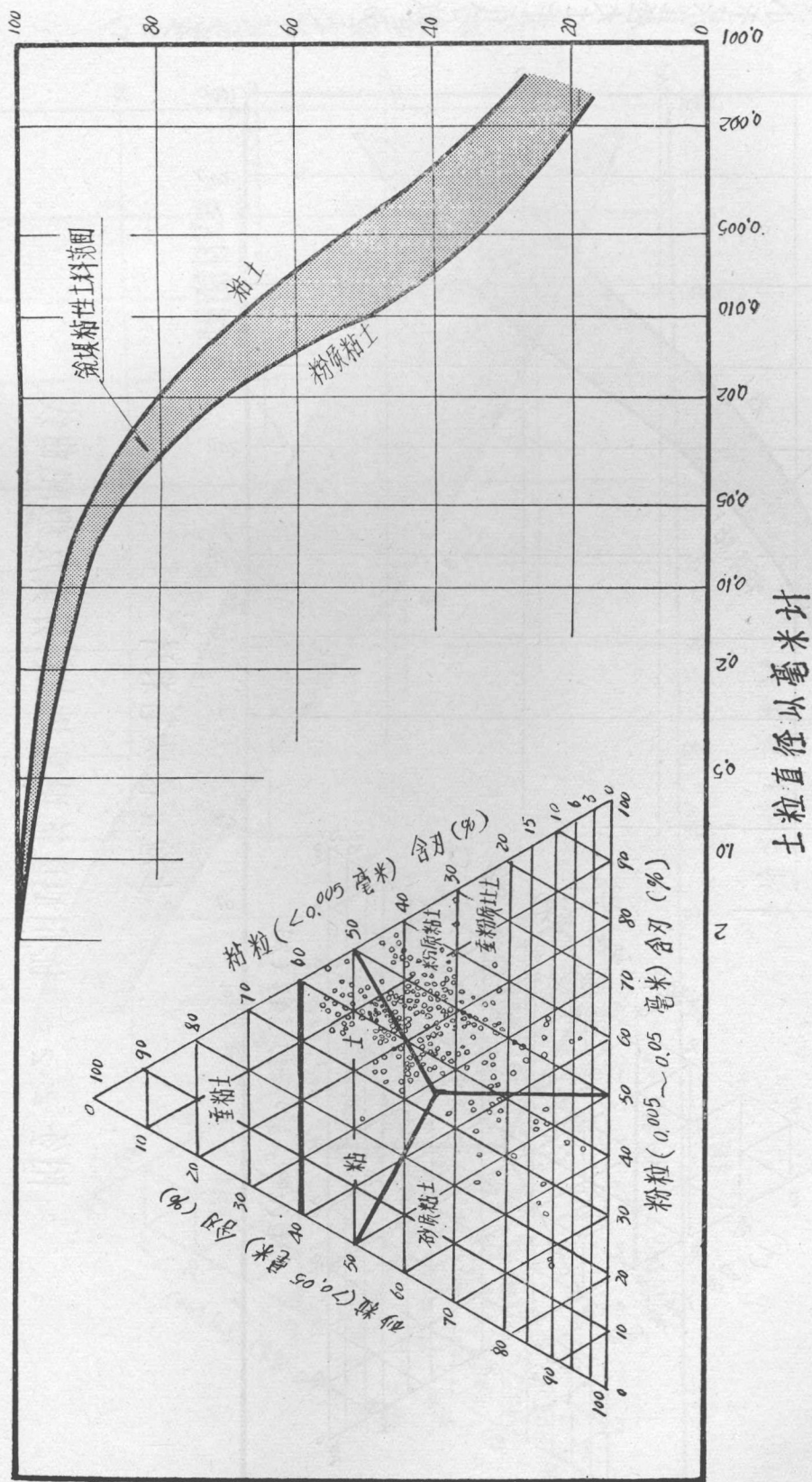
2.对于我省境内的“铝红土”，另行统计整理，其指标范围见附录（11）。该土呈棕红、棕黄色，天然含水量高达30%以上，塑限与之相近，直觉并不粘湿，流限约在50~60%，粘粒含量高达50~70%，大都属重粘土。比重在2.71以上，个别可高达2.90。天然干容重较低，在1.30克/立方厘米左右，但力学强度仍不差，凝聚力值在0.15公斤/平方厘米以上，内摩擦角在 20° 以上，压缩系数 $0.03\sim 0.06$ ，渗透系数为 $i\times 10^{-5}\sim i\times 10^{-6}$ 厘米/秒。

从化学分析可得出二氧化硅(SiO_2)，三氧化二铁(Fe_2O_3)，三氧化二铝(Al_2O_3)占大多数，与一般土壤相比铝铁含量偏高，其 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ 比值 <1.4 ，胶体活动性指标介于 $0.6\sim 1.0$ 之间，属非活动性及正常活动性粘土。 P_H 值为 $5\sim 5.5$ ，呈弱酸性。

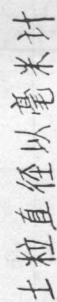
我们对于此土仅进行了一般性的试验，对于这类土的特性和合理填筑标准将有待于今后进一步试验和研究。

参 考 资 料

1. 土工试验操作规程 (水电部1961年)
2. 土坝设计 (上册)
3. 浙江省地质图
4. 土的性质指标之间的相互关系 (南科所1958)
5. 广东土类的物理力学性质指标及其相互关系的试验研究报告 (广东省水科所1964)
6. 西北黄土的性质
7. 粘性土的性质指标间关系 (成都水电设计院科试所1962)
8. 具有稳固团粒结构的南方高塑性粘土坝料特性 (水利水电技术1962年第一期)
9. 上海地区粘性土的物理力学性质指标间相互关系的探讨 (第一届全国土力学会议论文选)
10. 贵州红粘土的建筑性能 (第一届全国土力学会议论文选)
11. 粘性土的抗剪强度译文集

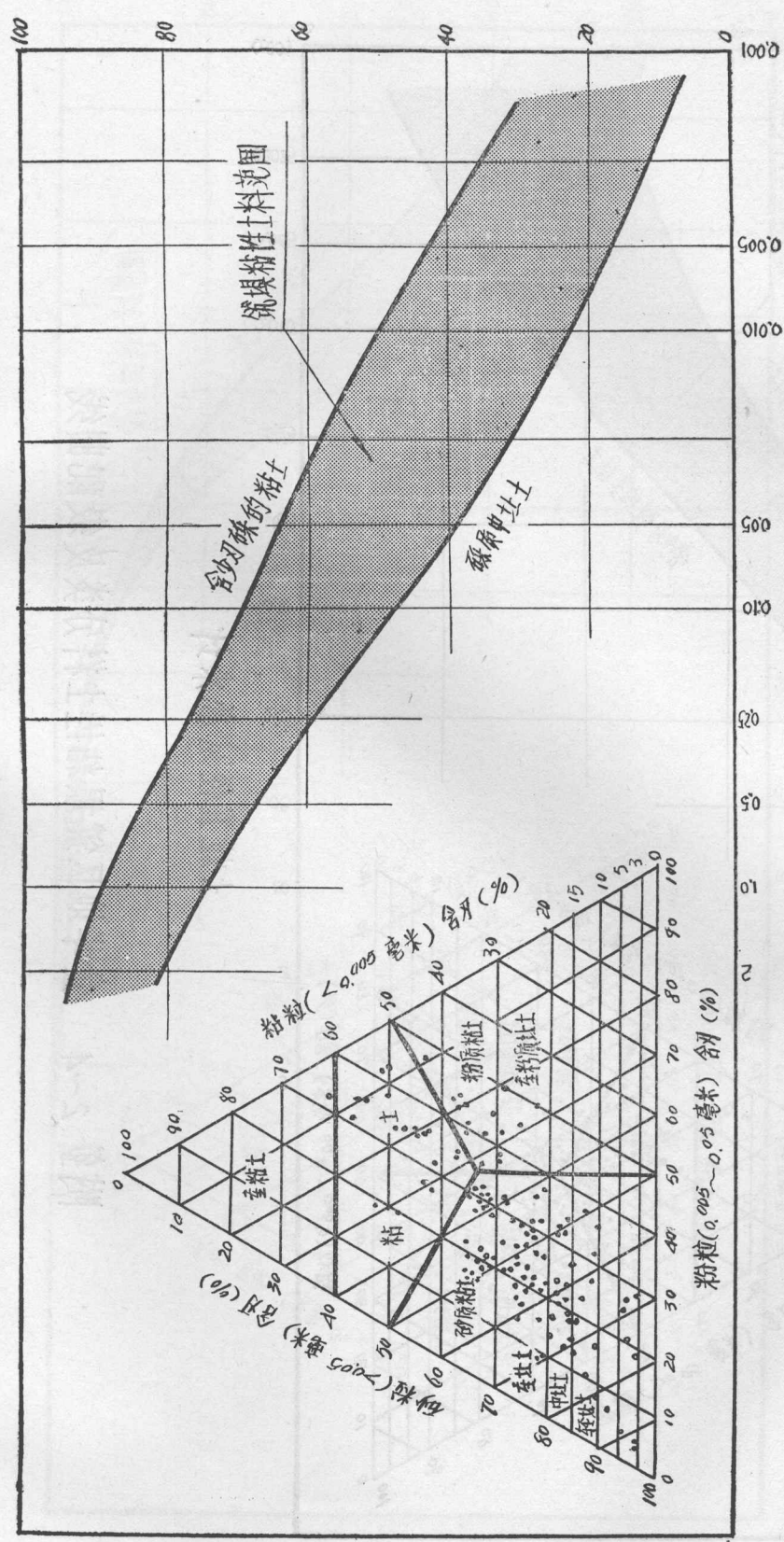


附录 2-1 加兴地区筑堤粘性土料分类及级配曲线



附录 2-2 杭州地区筑堤粘土料分类及级配曲线

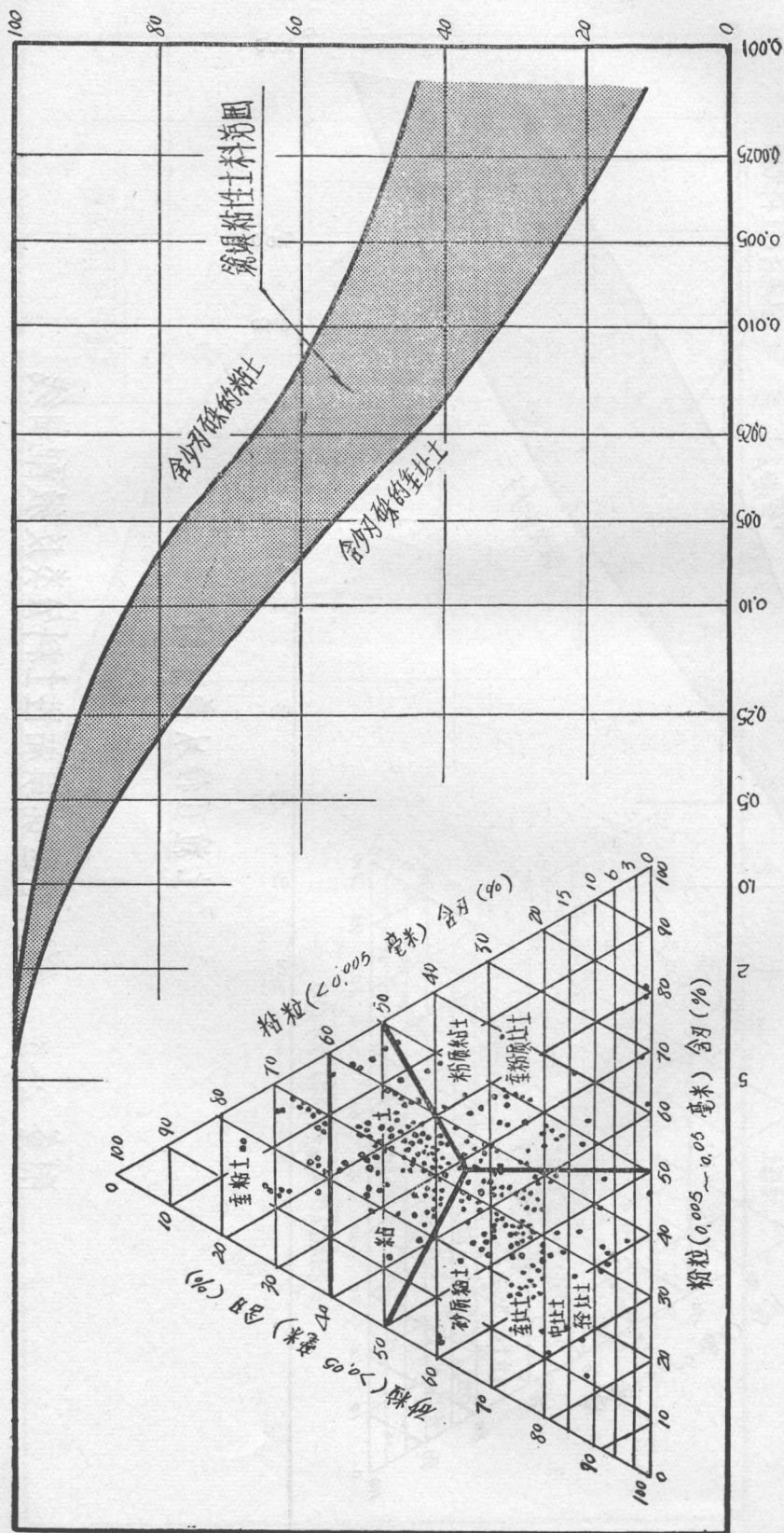
小于某直径之土重百分数 %



土粒直径以毫米计

附录 2~3 绍兴地区筑堤粘性土料分类及级配曲线

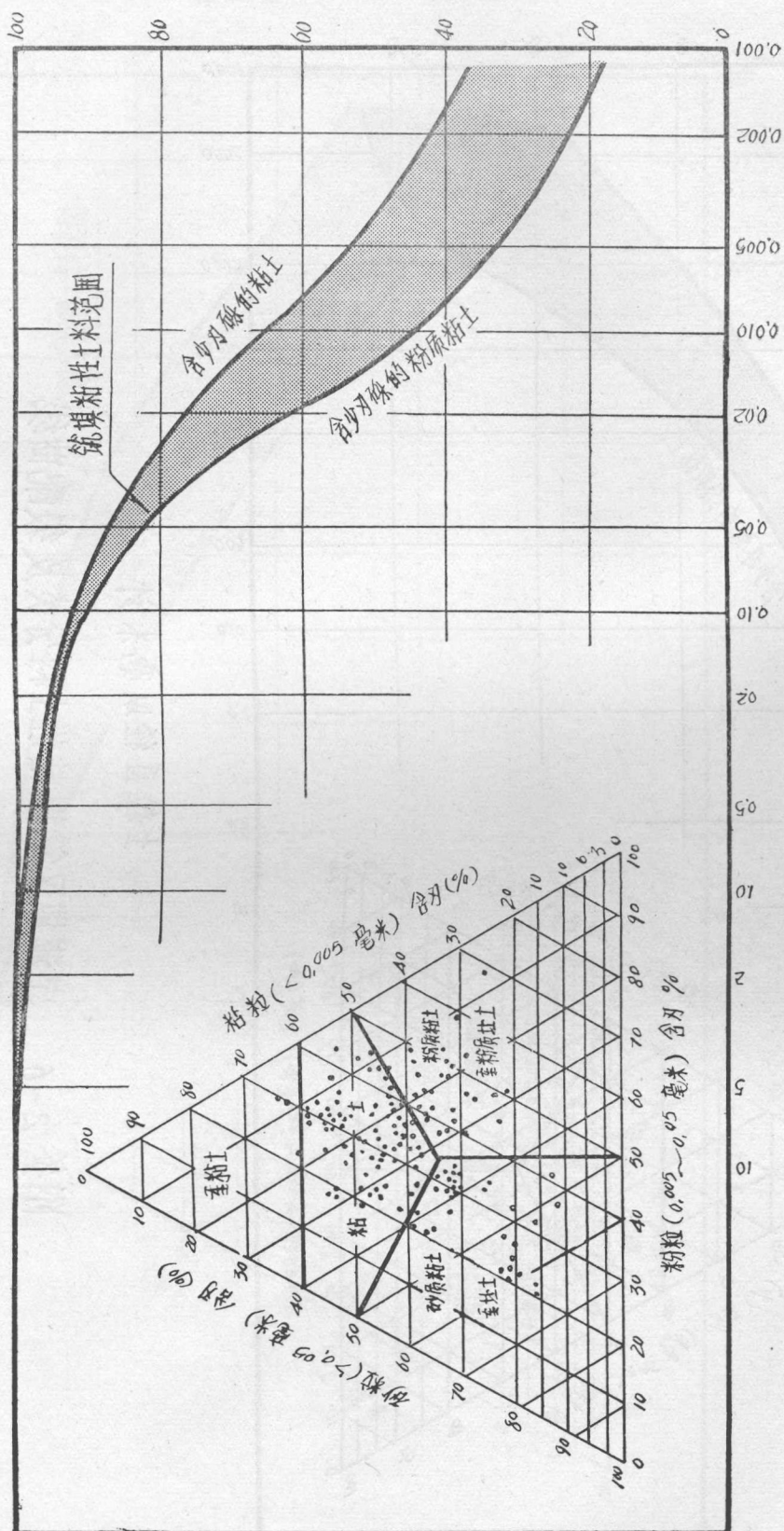
小于某直径之土至百分数 %



土粒直径以毫米计

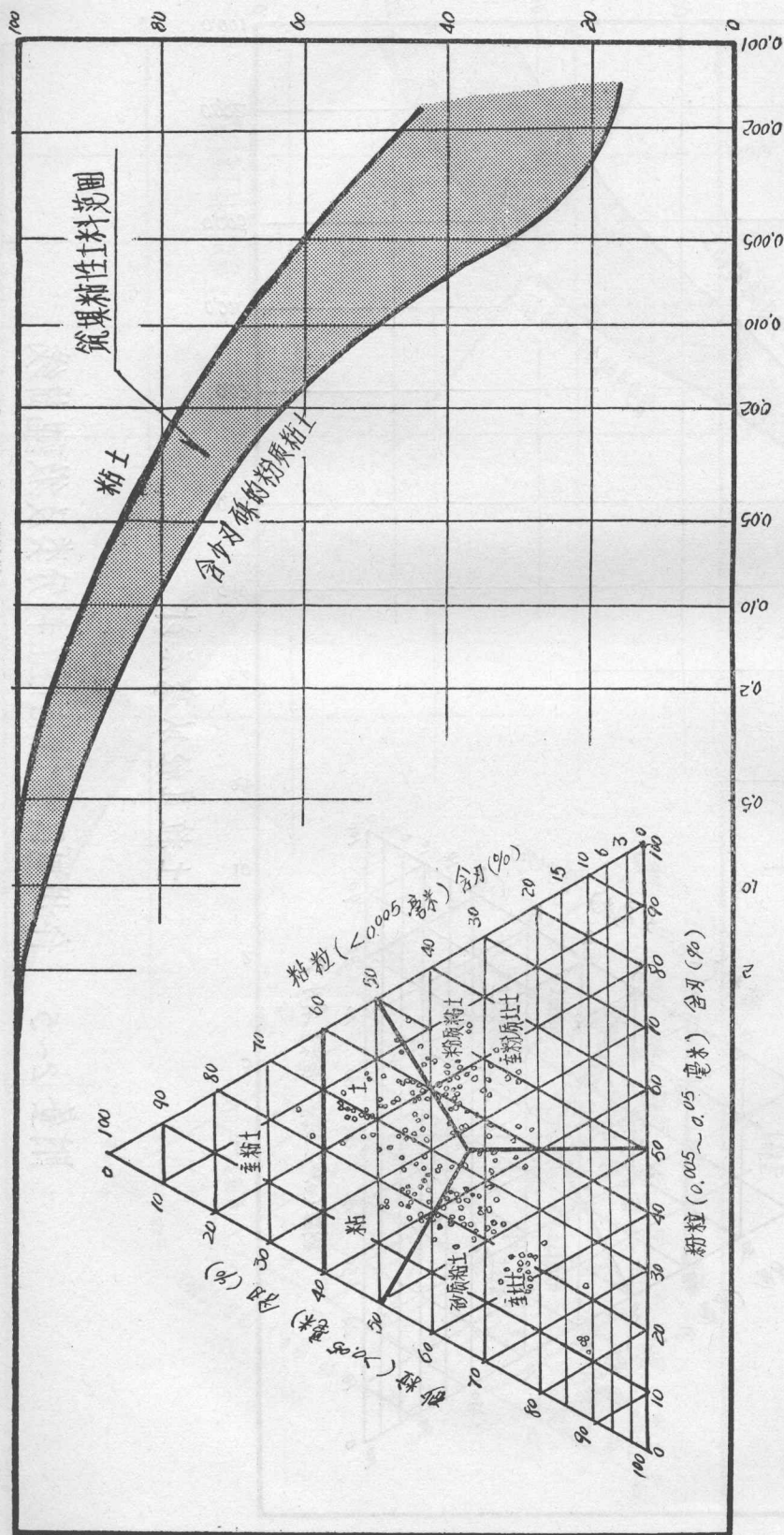
附录 2~4 金华地区筑填粘性土料分类及级配曲线

小于某直径之土至百分数 %



附录 2~5 台州地区筑堤粘性土料分类及级配曲线

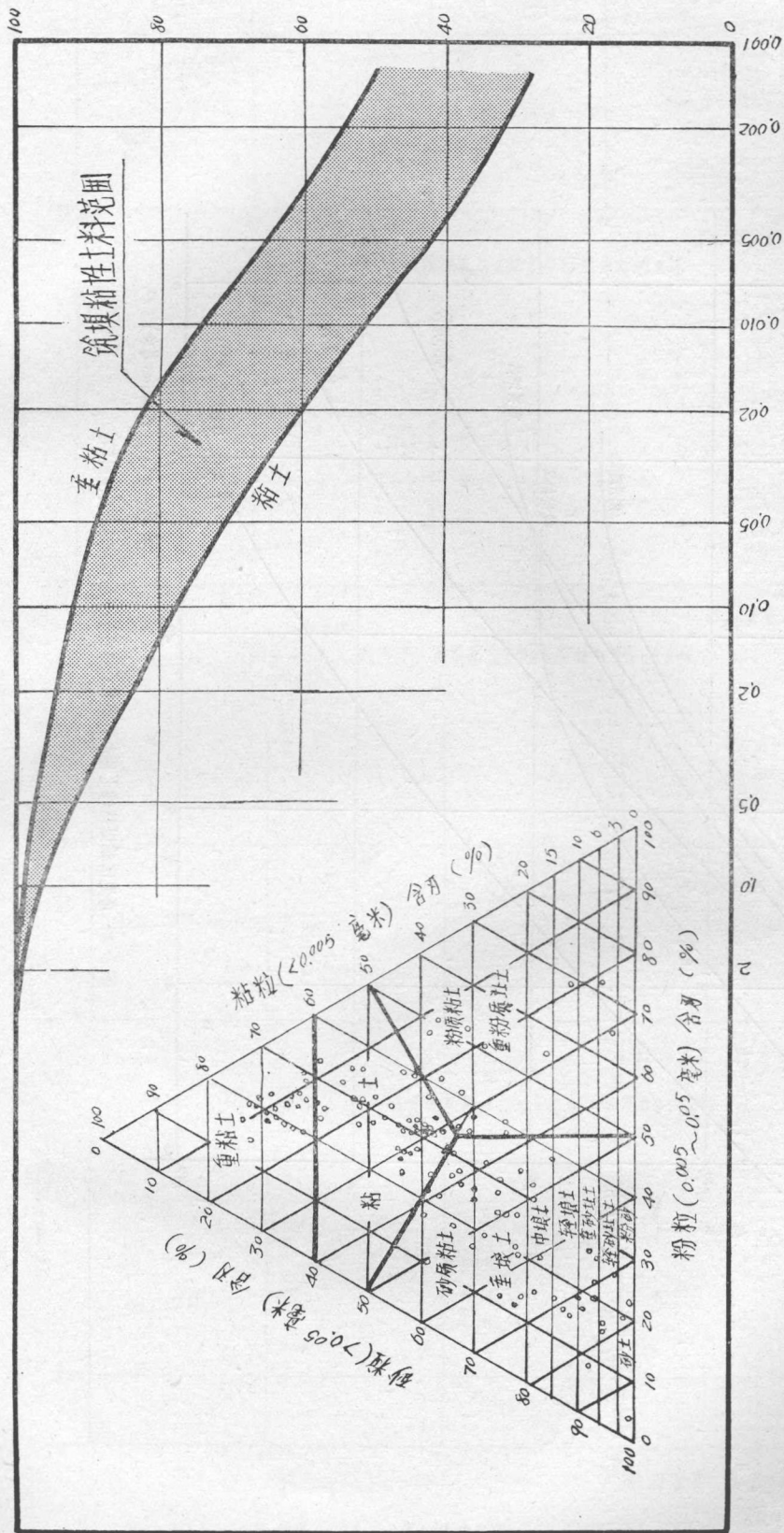
小于某直径之土重百分数 %



土粒直径以毫米计

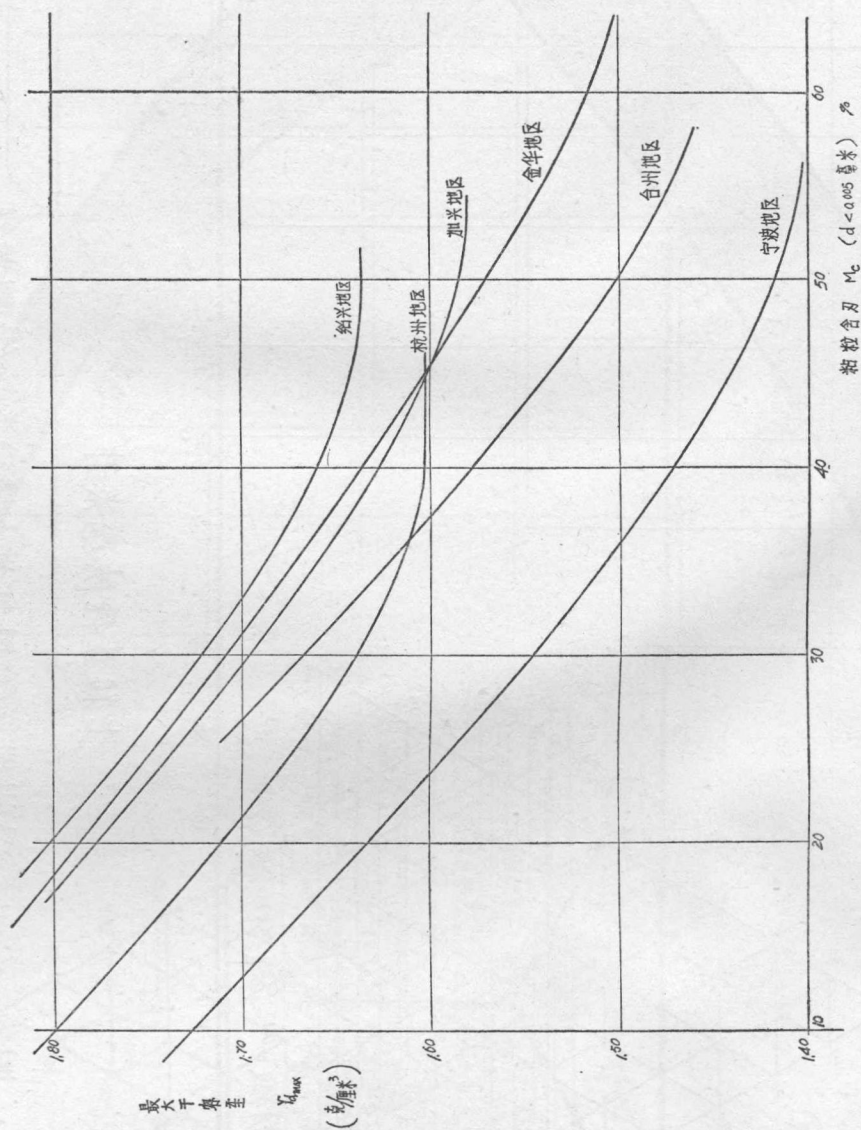
附录 2~6 宁波地区筑填粘性土料分类及级配曲线

小于某直径之土重百分数 %

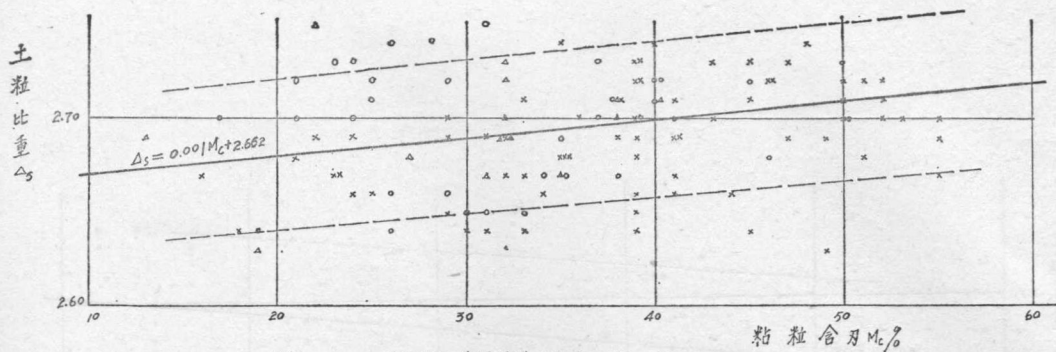


土粒直径以毫米计

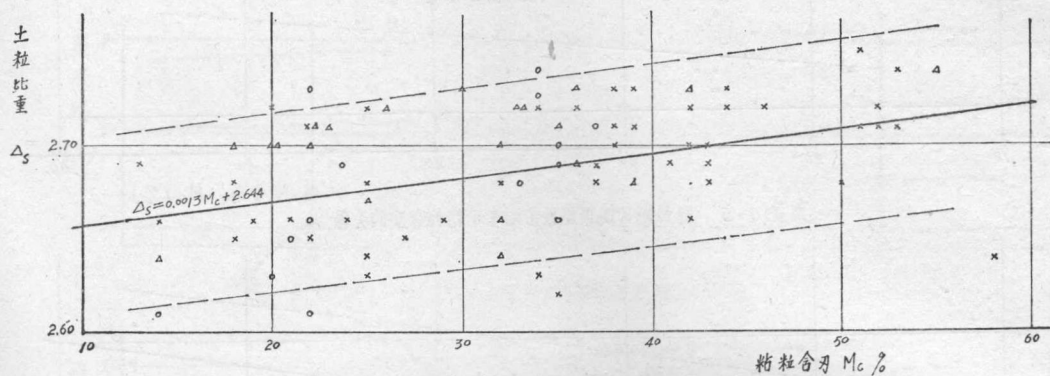
附录 2~7 温州地区筑填粘性土料分类及级配曲线



附录 3 各地区筑填粘性土最大干密度 (25 击) 与粘粒含量的关系曲线

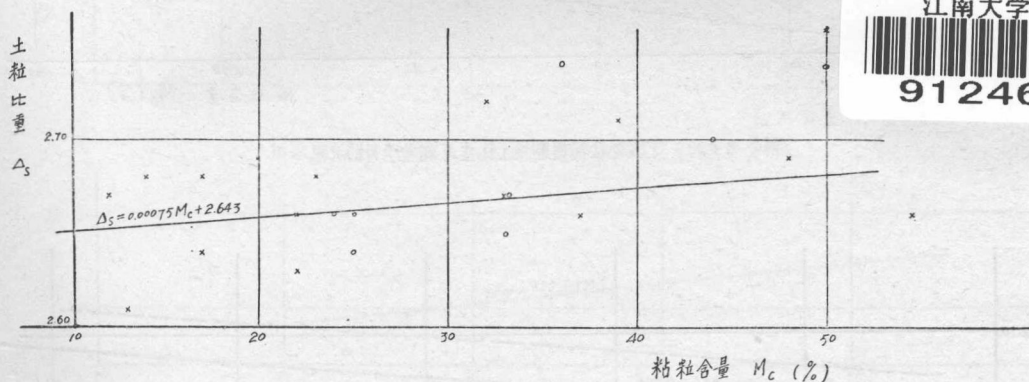


附录 4-1 嘉兴地区筑坝粘性土比重与粘粒含量的关系

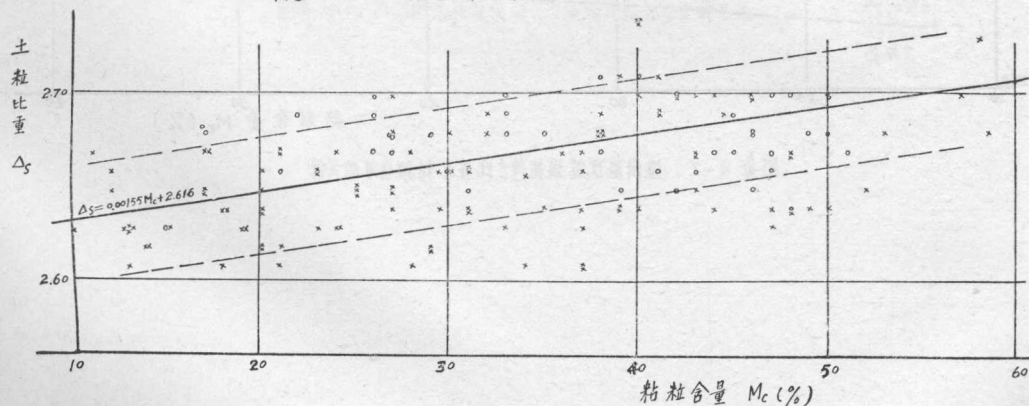


附录 4-2 杭州地区筑坝粘性土比重与粘粒含量的关系

不含砾的土 x
含中砾的土 o
砾质土 Δ



附录 4-3 绍兴地区筑坝粘性土比重与粘粒含量的关系



附录 4-4 金华地区筑坝粘性土比重与粘粒含量的关系

