

# 水文工程地质

第一辑

科学技术文献出版社重庆分社

一九七八

## 水文工程地质

第一辑

---

|                 |    |
|-----------------|----|
| 中国科学技术情报研究所重庆分所 | 编辑 |
| 科学技术文献出版社重庆分社   | 出版 |
| 重庆市市中区胜利路91号    |    |
| 新华书店重庆发行所       | 发行 |
| 陕西省宝鸡市人民印刷厂     | 印刷 |

---

开本：787×1092毫米1/16 印张：8 字数：25万  
1978年6月第1版 1978年6月第1次印刷  
印数：4300

---

书号：13176·35

定价：0.85元

## 简介

⑬ 《水文工程地质》系不定期刊物，每年两期。它将向广大读者介绍当今国外在该学科内的研究成果、新技术、新方法和今后的发展动向。

《水文工程地质》乃由“水文地质”和“工程地质”两大部分组成。“工程地质”部分包括“工程地质调查与勘探”、“岩土力学”、“地基基础”、“滑坡”和“泥石流”。“水文地质”包括“水文地质调查”、“地下水动力学”、“水文地球化学”、“地下水勘探、贮量计算与开采”和“地下水补给与管理”等；本刊可供广大科研人员、工程技术人员和教师参考。由于我们的水平有限，难免有错误之处，请批评指正。

# 水文工程地质

## 第一辑

1978

### 目 录

#### 工程地质下分

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 施工勘测时应用地球物理法研究土的工程地质特性····· | (1)  |
| 岩溶发育地区的工程地质勘察方法·····        | (4)  |
| 最近土工学应注意的问题·····            | (10) |
| 对具有清晰剪切带的地下洞穴的分析·····       | (13) |
| 现场楔体剪切试验—一种新的土试验技术·····     | (16) |
| 蒙特利尔岛工程地质研究中的方法·····        | (29) |
| 滑动面的位置及其形成假说·····           | (42) |
| 边坡稳定性研究中等效模型的应用·····        | (48) |
| 滑坡稳定的分析法·····               | (57) |
| 判断滑坡滑动面的测试手段·····           | (62) |
| 泥石流·····                    | (68) |
| 泥石流的调查研究现状·····             | (71) |

#### 水文地质下分

|                        |      |
|------------------------|------|
| 利用人工染色孢子示踪岩溶区地下水流····· | (77) |
| 褶皱山区地下径流的分带性·····      | (84) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 根据水的动态分析研究地表水与地下水的相互联系····· | (87)  |
| 关于秦野盆地水无川扇状地带的深层地下水问题·····  | (90)  |
| 无压地下水系的模拟·····              | (95)  |
| 海岸区淡水注水井三维淡、盐水界面的计算·····    | (99)  |
| 在地下水化学成份的形成中醋酸根离子的参与·····   | (109) |
| 地下水物理勘探·····                | (112) |

# 施工勘测时应用地球物理法 研究土的工程地质特性

B.M.朋达连科等

对岩性以及非岩性土体的物理力学性质的研究，是建筑各种构筑物时所出现的最实际的问题。同时，具有很大意义的是在考虑到土的裂隙性、非均质性、各向异性和应力状态的情况下来估价自然产状条件下的土的物理力学性质。在对庞大的工程项目（基本粒子加速器、射电望远镜和水工构筑物等）进行施工勘测时这点尤其重要，因为这时必须要充分而精确地确定土的工程地质特性和地质剖面的构造。

当前，为此目的均广泛地采用地球物理勘测法，因为这种方法特别是当确定如土的密度和弹性变形参数这样一些最重要的特性时可提供很好的结果。

**密度测定。**在测定自然产状下的密度时主要是采用三种方法：γ-射线法、重力计法和宇宙射线地下记录法。

各种类型的γ-射线法之中，最为广泛应用的是宽光束法和散射γ-射线法，其精度约为2—3%。但是，此法只能研究半径为0.1—0.15米范围的微小岩体。因此，在钻孔中进行密度γ-射线电测时，所谓的“近区”即由于井孔钻进（孔洞、粘土膜、灰浆环、套管和钻探泥浆）而经常使其改变着自己性质的岩石区，对电测结果有着很明显的影晌。若使所研究的岩石与仪器隔离开，那么近区就会大为降低方法的可靠性，而近区的非均匀性就会降低研究结果的可靠性。

**重力计法。**根据通过主要地形剖面沿线的重力测量资料或通过钻孔和竖井中重力加速度的测量，便可确定岩石的平均密度。前一种方法，很适于用来获得沉积杂岩发育区域的岩石密度的资料。后一种方法，可用来确定半径（等于该层厚度的几十倍）内诸观测点间的岩层密度。测定25—50米厚度的岩层密度的相对误差为3—2.5%。随着岩层厚度的减小，相对误差会增大，并且应用现有的重力计ГСК-110和ГСК-130实际上是不可能研究厚度小于10米的岩层的密度的。

以重力计法测定钻孔和竖井中岩石密度的经验表明，这种方法在许多情况下所提供的资料，均不同于未考虑岩石自然产状的实验室的测定结果。

**宇宙射线地下记录法（ПРКИ）**，目前在进行岩石密度测量中已逐渐被广泛采用。应用这种方法，即可以充气计数器在竖井中又可以瓦维洛夫一切连科夫检波器在钻孔中进行测量。采用ПРКИ法测定平均密度的精确度。主要取决于μ介子记录的统计误差，一般为3—5%。在测定分层的密度时，误差也是要取决于所研究岩层的厚度。但是，该方法与重力计法之所以不同，在于它在10—15米的深度上可以测定厚度为0.5—5米的岩层密度。随观测深度的增加，该方法所允许的适用性就小了。

根据所研究岩石的体积值来看，ПРКИ法则处于重力计法和γ法之间的过渡状态。该所研究的岩体可以根据表示式 $V \approx 3H^3$ 来求算，式中H—观测深度（诸记录点间的垂线距离）。因此可以认为，此法和重力计法一样，在测定钻孔中的密度时没有近区的影响。

表1内列出了以ПРКИ法和密度计法对岩石密度的测定结果。

由表1可见，除破碎带是反比值外，其余对所有类型的岩石以密度计法所获得的密度值都偏低。这就再一次地表明，在通过个别试样的测量来测定破碎带的密度时，是不可能考虑到由于破碎带发育而会形成弱化带的那些裂隙和空洞系统的。

在考虑各种方法可能性的同时，可以指出对土和岩石的密度要以某种精度进行综合研究的一些主要阶段。为了获得一般的密度资料，不仅要在切割面上对沟壑和冲沟等的方向，而且在钻孔内也要进行重力计观测。为了更精确地获得密度，应该采用ПРКИ法，诸测定薄岩层（小于0.5米）的密度时，在钻孔中可采用γ-γ电测法（用仪器ДГГК），而在竖井和露头处可采用叉式和贴靠式γ密度计。

在综合采用上述诸方法时,必须对所得的诸资料进行对比。此时,取其中的某一方法作为“主要的方法”(并且这种选择往往是具有纯主观性的),而与其他方法所得的资料都要和它来进行对比。所出现的差异,一般均以缺少其他方法和观测误差等来作解释,而均不考虑对每种方法所采用的土的影响半径或所研究的土体积的不同,并因此也就得不到相同的结果,特别是研究非均质的岩体时。只有在特殊的情况下,即密度的非均一性距钻孔轴心的距离大于 $0.3H$  ( $H$ —岩层厚度)时,才可期望所有的这三种方法会获得相近的值。所以,综合利用 $\gamma\cdot\gamma$ 法、重力计法和ПРКИ法不仅能获得垂直方向上的,而且还能获得水平方向上的密度剖面资料。

例如对科学研究所的一座环形建筑物以碎石和灰岩所完成的土防护堤密度的研究,就是采用ПРКИ、 $\gamma$ -射线和野外容重法进行的。

表 1

| 地面以下的深度<br>米 | 岩矿特性                | 诸方法所测定的密度<br>$10^{-3}$ 公斤/米 <sup>3</sup> |      |
|--------------|---------------------|------------------------------------------|------|
|              |                     | ПРКИ法                                    | 密度计法 |
| 25           | 破碎带白云化灰岩            | 2.38                                     | 2.41 |
| 44           | 同上                  | 2.31                                     | 2.41 |
| 25           | 多金属矿体               | 2.96                                     | 2.92 |
| 218          | 砾岩、粉砂岩、砂岩           | 2.74                                     | 2.68 |
| 355          | 大理石化灰岩              | 2.62                                     | 2.63 |
| 390          | 含有驳杂性矿的<br>石英-绢云母页岩 | 3.62                                     | 3.55 |
| 410          | 同上                  | 3.05                                     | 3.00 |
| 1000         | 各种类型的页岩             | 2.80                                     | 2.77 |

利用上述三种方法所获得的平均密度值列示于表2内。由该表可见,诸土的密度特性在观测精度的范围内相互间是协调的。应该指出,其产状未破坏的整个填土层的平均密度,是利用ПРКИ法测定的。在这些研究中采用了仪器ИИКЛ-1,该仪器是放置在防护堤内的环形建筑物的内部的。 $\gamma\cdot\gamma$ 法可提供出数十厘米深度上的土的密度特性,并仅在大量试验和土在垂直方向是均一性的情况下以此法所获得的资料才能表征防护堤的整个厚度的情况。

表 2

| 方 法                                 | 测定次数 | 填土密度 $10^{-3}$<br>公斤/米 <sup>3</sup> |
|-------------------------------------|------|-------------------------------------|
| $\gamma\cdot\gamma$ 法(仪器ПГП-1)..... | 205  | $1.85 \pm 0.07$                     |
| ПРКИ法 .....                         | 34   | $1.83 \pm 0.06$                     |
| 野外容重法.....                          | 45   | $1.88 \pm 0.05$                     |

因此,若采用以地球物理法测定的原状土的密度以及这些方法与工程地质法配合使用,就能够满足对用来根据地基临界状态计算和设计构筑物基础的原始资料的精确性和可信赖性的日益增长着的要求。

**土变形参数的研究。**对整个土体性质及其在每一所给定的方向上的变化特性,直接以工程地质方法来测定是有很困难的。然而,若综合利用工程地质和地球物理研究法,那就可以获得关于土性质的较完备的资料,且花费也较小。例如,地震声法配合以统计计算和钻探,可使之获得进行构筑物计算时所需利用的弹性和变形指数。

作为例子,文中列举了在于莫斯科附近的一个地区进行施工勘测时测定土变形性质的一些结果。

地震研究,是借助于小巧轻便多道式的地震勘测(深度约达50米)站ACM-1以折射波的相关法进行的。这个勘测站是由几个部件所组成的:按其各自的作用特征可分为磁记录仪和发送信号仪以及地震信号示波记录仪。

对第一地段的海相冰川杂岩沉积层,研究了其土的诸变形参数间的相关关系,而这些参数是根据对压模(面积为 $0.5\text{米}^2$ )的实验静荷载和纵波的扩展速度(根据进行荷载试验点的地震勘探结果所获得的)来测定的。

变形模数 $E_{\dots}H/\text{米}^2$ 回归方程,根据纵波的速度 $V_p$ 米/秒具有以下形式:

$$E_{\dots} = 0.78 \cdot 10^8 V_p + 6.2$$

相关系数 $r = 0.9$ ,根据 $V_p$ 预测 $E_{\dots}$ 的标准误差为:

$$SE_{\dots} = 50 \cdot 10^8 H/\text{米}^2$$

所研究值的相关关系区域是在以下范围内:

$$190 \cdot 10^8 H/\text{米}^2 \leq E_{\dots} \leq 750 \cdot 10^8 H/\text{米}^2,$$

$$330 \text{米/秒} \leq V_p \leq 1000 \text{米/秒}$$

所探明的诸关系的可信赖性,已根据诸点的对比值〔未包括在偶相关关系内(表3)]通过依次独立的测定进行了检验。

由表3可见, $E_{\dots}$ 的相对测定误差,根据上述方程应在0—19%范围内,平均为10%。

因此,所获得的方程是十分可靠的,这就给在第二

表 3

| 组     | $E_{\dots\phi}$ , H/米 <sup>2</sup> 根据对压模的荷载 | $E_{\dots\phi}$ , H/米 <sup>2</sup> 根据方程<br>$E_{\dots\phi} = V_F 0.78 \cdot 10^3 + 6.2$ | $\Delta E_{\dots\phi} = \Delta E_{\dots\phi 1} - E_{\dots\phi 2}$ , H/米 <sup>2</sup> | $\delta E_{\dots\phi} = \frac{E_{\dots\phi}}{E_{\dots\phi 1}} \cdot 100$ |
|-------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 覆盖亚粘土 | $290 \cdot 10^3$                            | $300 \cdot 10^3$                                                                       | $10 \cdot 10^3$                                                                      | 3.5                                                                      |
| "     | $310 \cdot 10^3$                            | $370 \cdot 10^3$                                                                       | $60 \cdot 10^3$                                                                      | 19                                                                       |
| "     | $320 \cdot 10^3$                            | $350 \cdot 10^3$                                                                       | $30 \cdot 10^3$                                                                      | 9.4                                                                      |
| "     | $280 \cdot 10^3$                            | $310 \cdot 10^3$                                                                       | $30 \cdot 10^3$                                                                      | 10.4                                                                     |
| "     | $220 \cdot 10^3$                            | $250 \cdot 10^3$                                                                       | $30 \cdot 10^3$                                                                      | 13.5                                                                     |
| 海相亚粘土 | $580 \cdot 10^3$                            | $555 \cdot 10^3$                                                                       | $50 \cdot 10^3$                                                                      | 1.0                                                                      |
| "     | $510 \cdot 10^3$                            | $590 \cdot 10^3$                                                                       | $80 \cdot 10^3$                                                                      | 15.5                                                                     |
| "     | $440 \cdot 10^3$                            | $370^3 \cdot 10^3$                                                                     | $70 \cdot 10^3$                                                                      | 16.0                                                                     |
| "     | $470 \cdot 10^3$                            | $470 \cdot 10^3$                                                                       | 0                                                                                    | 0                                                                        |

$$\delta_{CP} = 10\%$$

地段（地质条件相似）进行进一步研究时提供了采用该方程的依据。

对第二地段，根据利用上述的关系方程所进行的地震详细测绘资料，计算出了其覆盖亚粘土层和冰碛层的 $E_{\dots\phi}$ 值，并绘制了这些值的分布图（见素描图）。对这些图进行分析后，就会使之明瞭变形参数在所研究地段范围内的变化规律。由图1可见，覆盖亚粘土 $E_{\dots\phi}$ 值在该地段的范围内是变化的，即由中心区到周围地区在逐步增大。这种变化，对所研究地段范围内覆盖亚粘土的密度（采用叉式 $\gamma$ 密度计以 $\gamma$ 法进行研究的）分布情况来讲，也有所见。这就定性地指明

了覆盖亚粘土变形性质发生变化的基本原因——变形模数值的变化主要决定于该土密度的变化。

冰碛沉积层 $E_{\dots\phi}$ 分布图（见图2）的特征是：在所研究的地段范围内，这一参数的最小和最大的变化是有方向性的。该岩层弹性变形性质的最大变化明显地接近于南北方向，而最小变化明显地是在次宽的方向上。

因此，土的诸弹性变形参数的水平分布图，不仅可使之获得这些参数的数量值，而且还可使之在所研究的面积范围内追查其在各不同方向上的变化。这就

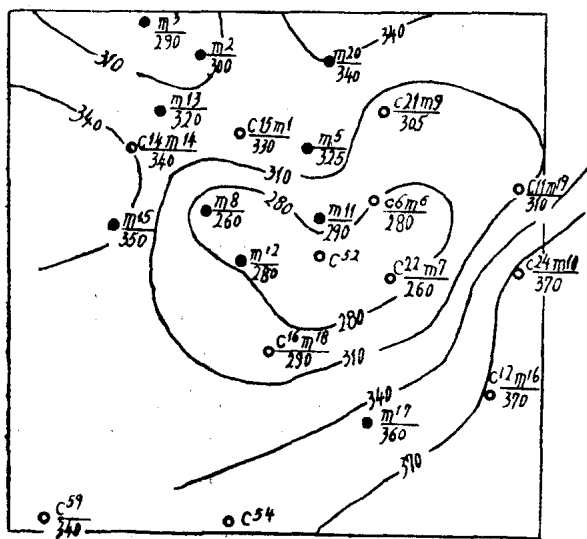


图 1

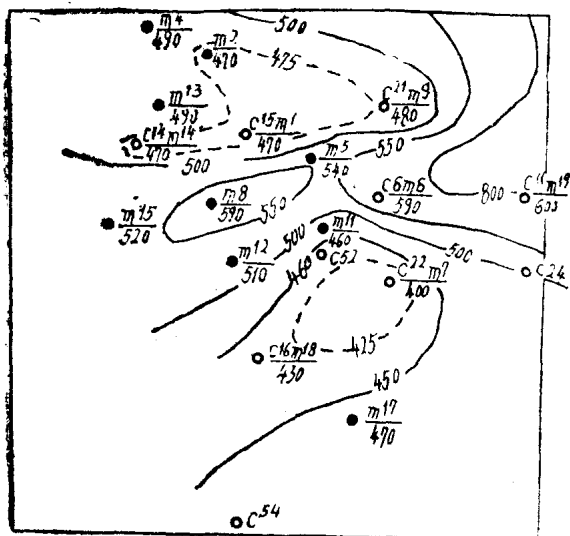


图 2

### 变形模数 $E_{\dots\phi}$ 值等高线

1. 覆盖亚粘土的；
  2. 上部冰碛和中部冰碛沉积层的。
- 图点—钻孔，数字是钻孔编号，分母是 $E_{\dots\phi} \times 10^3$  H/米<sup>2</sup>值。

# 岩溶发育地区的工程地质勘察方法

## 一 进行工程地质勘察的基本原则

工程地质条件对所设计建筑物的布局、结构、类型、施工方法和建设投资均起着决定性的影响。建筑物的稳定性、耐久性和可靠性仅在对建筑场地的工程地质条件进行适当的研究以及对实际建筑物与自然环境间的相互作用作出有足够根据和正确的预测之后才能得到保证。

对于从事研究与建筑物场地有联系的岩溶化地区的许多勘察工作者来说，应该采用什么方法还是不明确的，即对勘察方向、勘察程序和勘察细节等等的确定还很不精确。这在很大程度上是由于在岩溶化地区专门的工程地质勘察原则至今还未很完善地拟定出来以及岩溶过程显现的多样性所造成的。

必须强调指出，在岩溶化地区内，岩溶的分布及其特征和发育程度是决定建筑场地、构筑物和管线等等的初步选择的最重要因素。因此勘察工作应从岩溶地貌测绘开始，其目的在于：

1. 在平面图上确定对工程建筑物的稳定性来说是危险的地区和地段的边界；

2. 在研究地段和地区范围内，从地面上来确定岩溶塌陷的可能尺寸；

3. 在地面上确定岩溶塌陷现象的强烈程度；

工程地质勘察的基本任务是：

1. 研究岩溶岩石的地质结构、分布、成份、状态和性质，以便评价作为设计建筑物地基的可能性和合理性；

2. 确定地表水和地下水的分布和动态特性，以及确定对建筑物建设是不良的地质过程的特征、发育面积、出露的强烈程度及其变化规律；

3. 获取对评价岩溶过程所必需的与淋蚀作用有关

为根据最后的较详细的研究进行最合理地布置山地开挖和正确地布局某种构筑物提供了可能性。

采用地球物理法来测定土密度和变形模数时的经济效应，约占采用工程地质法来测定这些参数的花费的40%。地球物理法，还可使之获得自然产状下相当

的岩石和水的化学特性。

勘察的内容和工作量取决于建筑物的类型和结构，区域自然条件的特点以及地区研究程度。当岩溶明显出露时，航空方法和地表岩溶地貌测绘对于岩溶的研究就越加有意义了。

在岩溶地区内工程地质勘察与通常的勘察相比无论是按所完成的工作量或是按所采用的勘察方法都是有所区别的。由于没有研究岩溶的专门方法，所以在进行所谓的综合勘察时采用了众所周知的联合方法；这些方法可令人信服地并有根据地确定建筑地区岩溶化程度和岩溶过程的发展速度。

当在能促进岩溶现象发展的自然—历史条件下进行工程地质勘察时，必须特别规定进行以下基本的研究：

1. 在建筑场地和与其相毗邻的地区内对地表（地形和微地形）的详细研究，包括对岩溶形态（漏斗、塌陷洼地、封闭盆地、浅沟、冲沟、天然竖井、竖坑等）的详细描述和填图，并确定它们的数量和尺寸。此外，还要确定地表上岩溶形态分布的基本地带及其发育的方向，还需确定这些特有的形态形成的时间和历史发展过程；

2. 在水文网各部分间相互联系和动态方面要进行区域的一般水文地理的研究和水文网（脉状水、水体等）径流条件（要有充分的调查）的研究。水文网的径流和补给的定量评定的汇总，则要求取得地表径流资料（气象站）以及水文网流量的资料。确定建筑地区地下水与邻近露天水体间的联系。大气降水径流条件的研究以及定性评价它与水文网的联系；

3. 按矿物岩性标志对某些岩层（能形成岩溶的）进行详细分层，并详细划分岩溶化和裂隙化程度，即精确地确定所有裂隙、洞穴等在平面和剖面上的分布。同时应特别注意那些位于最利于发生溶蚀条件（即上部为裂隙化和岩溶化的含水层等）的地带和岩层；

大的岩体所需要的资料，并且在许多情况下是很详细的。

参考文献3种（略）

译自《Основания, фундаменты и механика грунтов》，1976年，1期，18—21页

4.详细研究覆盖在岩溶岩上的岩石综合体的岩性成分(即其在剖面上的分层和在平面上的分布),须特别注意砂土沉积层,确定其厚度和埋藏条件,尤其是它们与岩溶岩的接触部位。当按透水程度分层时,则要求根据渗透性说明每个不同地层的详细特征。同时含水层与补给区联系的规律性的研究具有很大意义。

5.岩溶岩埋藏条件的研究:距地表的深度、表面特征、相对于天然排泄通道的研究点的高程位置、揭露程度、埋藏的破坏性等等;

6.地下水动态的详细研究:补给来源、运动方向和速度、裂隙带中不同地层的相互联系和水位升降等等。

## 二 勘察阶段

工程地质勘察应该在所揭示的岩溶现象的现有区域或区域的地质和水文地质资料的基础上进行。

建筑场区详细的工程地质勘察是必需的,即要完成工程地质的综合研究(包括使用现代的地球物理方法)。

第一(初步)阶段,勘察应在设计项目所分布的地段上确定岩溶岩的埋深和厚度、水文地质条件以及溶洞的存在与其位置和大致的范围。根据勘察结果应该拟定对付岩溶的可能的解决办法。第二(详细)阶段,勘察的工作量须满足所拟定的对付岩溶的设计要求。

这时最重要的任务是要拟定出适合于可靠的设计所需要的方法和手段并确定勘察区岩溶化程度、实际岩洞、洞室及落水洞等的分布位置 and 范围、岩性特征、组成岩层的化学成份,以及岩溶过程现象的强烈程度和岩溶形态随时间的形成过程。

地区的详细平面布置所用的基本图的比例尺应为1:2000,而个别房屋和建筑物的设计则绘在1:2000—1:500的平面图上。

在进行工程地质勘察的野外工作过程中,须进行勘探点、地质和水文观测的座标测定,同时对该地区最复杂的地段还应进行仪器法测绘。

## 三 为方案设计和详细工程地质勘察所用的工程地质资料的搜集和整理

所需资料的搜集、研究、整理和综合是整个工程地质勘察的第一步。资料研究包括:详细了解设计中的任一建筑物的技术任务以及对所经过选择和处理的原始

勘察资料的详细了解。航空相片、略图、标有建筑场地(线路)设计方案的地形图等属于原始勘察资料。在了解技术任务时要弄清所设计的工业与民用建筑物的特征和用途,其中最重要的是建筑物的配置。而在工程地质和水文地质方面存在着复杂问题的地段在研究河谷、岩溶、滑坡等的原始勘察资料时要通过航空相片进行室内判读。

在各种文献资料中最有价值的是:各种比例尺的国家地图及其说明书,区域的地质、地貌、第四纪冲积层、水文地质、有用矿藏的描述,阐述所研究地区的工程、水文地质问题及勘察区地表动态的以单独论文的形式发表的专著。

当有区域性的综合著作或手册时,文献资料的研究应从这些开始,因为它们通常包含大量的材料并有关于所研究的问题的资料目录。

在搜集和研究文献资料和基础资料时,必须注意勘察区的气相特点,地形形成的因素与历史、地形形成中地球物理过程现象的性质和强度、裂隙性和大地构造、地质结构、岩石的岩性成分,水文地质条件、有无作供水使用的钻孔及其特征。

在勘察区内对于早先进行过各种建筑物设计或施工的地段,要搜集设计和施工文件和使用单位的技术报表。施工文件是很有价值的。在这些资料中反应了地质结构、岩石的埋藏条件和分布、岩石状态(裂隙性、构造破坏、风化性)及充水量等。

在缺少某种材料时,则需利用向居民访问的结果。当目睹者观察的可靠性不会引起疑问,而观察的事物(如塌陷)对实质问题的揭示及历史过程的恢复提供重要线索时,在这种情况下访问的结果还要吸收其他的现象见证人的意见并必须有两方面的凭证;即要有塌陷现象的统计和其它现象的旁证。

在建筑物建设条件的工程特性方面所获得资料的完备程度,决定着岩溶化区域所需要进行的野外勘察的工作量。

## 四 岩溶化地区的岩溶——地貌测绘

研究地表岩溶形态的分布(与一定的地貌单元有关)并确定其时代是岩溶——地貌测绘的任务。在测绘过程中应测定岩溶塌陷的平面和垂向尺寸,以及记录具有吸水作用的落水网的漏斗。在岩溶化地区内当存在岩溶形态特别发育的地段时,建议在这些地段上进行仪器测量。

进行线路建设时,对沿线路所通过的地带要进行

岩溶——地貌测绘。该地带的宽度每边不应小于0.5公里。

观测结果要绘在相应比例尺的地形图上,当然,这要根据地表的岩溶出露程度对研究地区要进行区划。

活动的岩溶出露带是以岩溶形态在地表上最大的发育来区分,可以首先近似地确定其平面上的边界。

在测绘中主要注意力应放在自然环境的特点上,因为它影响着建设条件 and 设计建筑物的使用。在对它进行勘察的基础上,可以予测由设计的建筑物与周围天然介质相互作用的结果而发展的工程地质过程。

在勘察的每一个阶段,测绘的内容是一定的,但野外观测的详细程度以及将它们标在图上的精度,则随着所采用的比例尺而变化。

测绘的任务是:

- 1.研究区域的地质结构、区域构造、地层、岩性(当有相同或较大比例尺的地质图和第四纪沉积层图时,区域地质结构、构造和地层的研究不包括在测绘任务中);

- 2.研究地貌特征、水文地质条件和对设计建筑物的影响方面要研究地球物理现象(岩溶、湿陷性等);

- 3.区域工程地质评价以及设计建筑物稳定性的论证。

在野外勘察的勘察纲要中,岩溶——地貌测绘应在综合勘察中的所有其它部分之前进行。这些测绘资料将作为正确选择工作内容、方法以及进行物探、勘探、野外试验、室内试验、长期观测和其它勘察工作顺序的基础,这些勘察工作是为了充分满足建筑物设计依据的需要,并能对建设场地的工程地质条件加以阐述。

在选择线路建设方案时,岩溶——地貌测绘资料是主要的文献。

进行施工图设计勘察时,仅在前一设计阶段中未充分查明的那些地段上进行测绘工作。

在岩溶形态发育的地段上进行周期性的岩溶——地貌测绘,可以确定岩溶出露的速度和强烈程度以及发现新的塌陷。

地表岩溶形态发生的活动及后来其地质形态随时间逐渐的变化特征,是与地质结构特点以及可溶岩同地下水和地表水相互作用的条件,即与岩溶化地区所产生的过程紧密相联系的。因此,对岩溶出露的形态和所有发育条件的全面考虑,是评价岩溶的现代活动性及予测进一步发展的基础。

岩溶的近期活动性及其进一步发展的予测,是对地区进行最充分的工程地质区划的基础资料。

在有建筑物的岩溶化地区,特别是大工业中心,

在测绘过程中可以收集说明岩溶近期活动的补充资料。应当注意,侵蚀性废水和工业废水排入岩溶漏斗、浅沟和洼地会促进地下水的溶蚀作用并引起岩溶的活动。

在对通过岩溶地区的运输干线进行勘察时,应对下述内容进行描述和填图:

- 1.路堤和路堑处可观察到地表周期性的沉降和塌陷从而必须进行经常的修整工作;

- 2.火车要以慢速通过的铁路地段;

- 3.靠近运输干线的岩溶形态,等等。

## 五 钻探

钻探是能直接获得岩溶过程进度方面资料的基本方法之一,在覆盖型岩溶条件下尤其如此。根据钻探资料可确定勘察地区的地质结构、岩溶形态与构造单元的联系、岩石的含水性 and 地下水的化学成分的联系,以及查明地下岩溶形态。

目前在研究岩溶时还没有一种通用的钻探工作方法。一般是用无冲洗液岩心钻进法来进行钻探工作。

钻探工作通常是在两个阶段内进行。第一阶段可根据钻探资料来查明这种或那种岩溶化岩体范围内岩溶发展的一般条件,并在利用其它辅助方法的情况下在平面上和沿深度大致确定岩溶活动带的界限。在高于岩溶现象基准面之上并具有地下水溶滤活动遗迹(洞穴、孔隙等)的易溶岩的存在,是根据钻探结果确定岩溶活动带的主要标志。钻探的第二阶段直接在建筑地区获得岩溶活动带更为精确的界限。

必需的钻探点的深度要根据岩溶发育的特点来确定。为确定下伏灰岩中承压水对岩溶发育可能的影响则用深孔。

## 六 地球物理勘察方法、种类和功用

目前在岩溶研究中,地球物理勘察方法得到了相当广泛的应用。这些方法的根据是:当大地上部地层为非均质结构时,应研究自然地或人工地在大地中所建立的物理场所产生的效应。地面下各种深度处岩溶化地带、地下洞穴、个别的岩洞就有这样的不均匀性。

在各种物探方法中,地电法最有可能用于研究岩溶。对于工程地质目的电探方法,许多作者曾做过广泛的理论和实际研究。

物探方法可用于解决以下问题,即确定沉积岩的岩性界限及火成岩的边界和厚度,查明构造破碎

和裂隙发育的地带以及确定地下水的流向和流速等等。在建设目的而进行的工程地质勘察中,研究岩溶的地球物理方法是勘察工作中必不可少的部分。

**工程电探方法** 它具有众所周知的、由电法本质所决定的、可能的用途和局限性。电探的实质是在地面或钻孔中研究人工或天然形成的电场。

工程电探通常应在钻探、井探工作之前进行。及时获得物探资料可以经济而有目的地组织勘察工作,正确地布置勘察网,以及使工作量减少到必需的最小限度。

电探在所有勘察阶段内都要进行。在第一阶段用其可对工程地质和水文地质条件作一般的了解,而第二阶段则要进行详查。

控制性的物探资料对电探的合理组织及对以后的野外观测的解释均具有重大的意义。这些资料乃是勘察地区的岩石电阻率、孔壁测深曲线、典型的电测深曲线及电剖面等等。

根据电探资料可得到在所研究的条件下的定性和定量特征。若给出的是定性结论,则因它们是等值的,所以必须要充分符合实际条件。例如,有一定矿化度的饱和砂和粘土就可能具有同一电阻率值。在这样的和类似的情况下,就必须准确地(等值地)确定该电阻率反映的是何种地层。在进行定量评价时,比如按垂向电测深曲线确定所研究地层的埋藏深度时,就可用数字来表示成果的精度。在没有控制孔时,电探资料的误差可能达到 $\pm 20\%$ 。

电探点的布置、确定座标以及整个勘探网的定线是物探工作的重要组成部分。垂向的电测深点应有平面座标和高程,其余物探点仅有平面座标即可。必须注意到使地形测量工作在电探之前进行。譬如,在没有高程资料时是不能进行电测深曲线的解释的。

目前所用的直流工程电探有以下主要方法:(1)垂向电测深;(2)电剖面;(3)电测井;(4)充电法;(5)过滤电场法。

使用电测深可以确定岩溶化岩石的埋藏深度和埋藏条件,覆盖层的厚度和大致成份及其透水性。

应用测深和电剖面可以确定断裂线和划出大的构造破碎带、背斜地带、岩层单斜产状的地段等。在所有情况下,电测法的优点是像立体的方法一样能够研究整个岩体。为了查明岩溶的发育规律需用环形电测深来确定的各种深度上岩石裂隙发育的主导方向及其相对强度。

研究水文地质条件时,可合理地应用测井法以及充电法和过滤电场法。用电测井可确定岩性剖面并查明剖面上岩石的成份和状态。例如可在剖面上划分出钻探中会往往漏失的起、阻水作用的粘土和粘土质页

岩薄夹层。此外,孔内的研究有可能确定地下水的矿化度和评价岩石的富水性。还可查明裂隙水循环带以及确定裂隙沿深度的发育特征。充电法可以确定地下水流向和流速。过滤电场法是用以查明具有较高渗透性的地点。低的自然电位值是这些地点的特征。承压水在地表的露头可根据电位的极大值来发现。

发现和圈定溶洞或溶洞群、位于岩溶化岩石顶部的被淤塞的漏斗等类型的各种形成物,是研究岩溶的最困难的任务之一。由上述形成物产生的电场异常是如此之小,以致难以确定它们。

被次生物质或地下水充填的溶洞的电阻率值比其围岩小,如同导体一样易于被发现。未充填的溶洞如具有很高电阻的物体,通常难以查明它们。

对球状岩溶形成物计算表明,仅在其半径不小于埋藏深度时才能查出(由球状岩溶表面至地表的距离)。这样,只有大尺寸的或者尺寸小但靠近地表的这些岩溶形态才能被发现。

此外,在某些情况下由埋藏很深的岩溶形成物所引起的电场异常(由岩溶形成物所歪曲的效应)。均可被发现,而用仪器是记录不到的这种现象可解释为岩溶过程不仅在岩溶化岩石中,而且也在覆盖它们的地层中造成了破坏。

**交流电法** 在这些方法中最有意义的是感应法和无线电波法(无线电检定和定向)。无线电波法是以对工作着的无线电广播电台的电磁场的研究为基础的。感应法和无线电波法用于对构造断裂带、岩石垂直接触带、岩堆和崩塌体的底板的填图,查明岩溶带、探查超深的河谷、永久冻土层中的融化区以及咸水中的淡水。

**地震勘探** 在工程地球物理方面,地震勘探因其设备的笨重和工作的复杂性而未得到广泛应用。目前已有携带式地震仪和简化的勘探方法。地震勘探(在工程地球物理中——微地震测量)可用于确定松散层的厚度并对其进行划分,研究坚硬和半坚硬岩石的埋藏条件和状态,研究水文地质条件、确定岩石的弹性常数等等。所谓音响法也属于微地震测量。为此制成了可以探测10—15米深的水体底部的超声地质勘测仪。

**重力测量和磁测法** 有时用重力测量法探查与上覆岩层密度不同的岩石顶板的起伏,以及查明大溶洞。如果被测物体按其磁性与围岩有差异时可用磁测法。沉积岩是没有磁性的。主要的火成岩的特点是具有相当高的磁感受性。变质岩的磁感受性一般居中。因而在火成岩和某些变质岩发育的地区内,可以用磁测法来查明和追索接触带与构造破碎带。

关于孔内探测,其中除电测井外,放射性测井有很大意义。

## 七 大区域岩溶化程度的 评价（航空测易法）

对大区域的岩溶现象的研究具有重大的科学意义，特别是具有实际意义。

可根据对地形的分析，确定地表岩溶形态出露的规律性。借助于航测法可以最有效地作到这一点。应注意到，在工程地质中航空目测和航摄相片判读都属于航测法。上述几种工作方法中的任何一种方法均可单独应用，但在综合应用这些方法时会得到最好的效果。

用航空方法解决各种地质问题主要是以区域地质结构、地形、水文地质、水文地理、土壤、植被以及感色和荫复效应之间（亦即在景观所有组成部分之间）的相互关系为基础的。也就是说，地区的地形和地质结构是紧密联系的，地下水的存在及其埋藏深度同地质结构和地形有关，植被情况同地下水和土壤有关。

工程地质判读是以地面法为基础的。此法的前提是：即使地形构成中某个部分的变化，也会引起其余部分的变化。

景观构成的某些部份在航摄相片上是作为直接或间接判读标志反应出来的。工程地质判读一般是按这些标志的总体进行的，而对其大量的使用就会提高判读的精度。

在基岩出露很好或地质结构简单的地区，直接的判读标志起主要作用，据此可划分岩石类型：火成岩、变质岩、沉积岩和松散层。在各类岩石中其物质成份的判读大部分可根据间接标志的总体来进行。

在进行线路建设或评定大区域的岩溶化程度时，应用航空目测法和工程地质判读有助于缩短勘察期限。

对辨认和鉴定勘察目标提供很大可能性的航空目测法，可对地面进行直接的研究。

但是，较之基本方法——系统的地表填图来说，航空方法只起辅助作用，虽然它在研究地表的地球物理现象方面是很有效的方法。

过高地评价航空方法的可能性并与地面勘察方法相脱离，就会导致错误，也会使这个很有效的勘察方法失去威信。

进行岩溶地貌测绘时，航空方法和地面勘察方法相配合会取得最好的效果。

岩溶景观是如此特殊，以致容易在航空相片的初步判读中加以辨认。以岩溶漏斗、岩溶竖坑、岩溶湖等形式表现的封闭性的负的微地貌形态都属于1：

25000或更大比例尺的航测相片上有反映的岩溶形态。在森林和开阔地区的航空相片上岩溶漏斗是按航测图上的小斑点来判读的。“斑点”的色调可能是浅灰的、灰的、深灰或黑的，这取决于在岩溶斜坡上灌木丛的存在，而且也取决于在漏斗本身中泥炭和水的存在。在后一情况下，岩溶漏斗将呈现黑的色调。

举几个实例。将所采用的比例尺列入表一。

图1所画的是山区（中哈萨克斯坦）出露的岩溶。根据航摄相片将溶沟场面可很好地判读出来。深的洼地以及分割它们的山脊和齿状峰按色彩浓淡来判读。根据平行和交叉的直线可判读出断裂，沿着这些断裂发生过个别地段的下降，从而形成了地下水地表水有利的排泄条件。在陡坡附近，能判读出水量大的一些泉。它们汇合于同一地点，被断裂带所吸收。岩溶泉根据航摄相片上反映为深的色调的亲水植

表一

| 工程地质<br>测绘比例尺 | 航测相片比例尺 |         | 复制相片的比例尺 |
|---------------|---------|---------|----------|
|               | 最佳的     | 允许的     |          |
| 1:200,000     | 1:25000 | 1:50000 | 1:50000  |
| 1:100,000     | 1:17000 | 1:50000 | 1:25000  |
| 1:50,000      | 1:10000 | 1:25000 | 1:25000  |
| 1:25000       | 1:6000  | 1:25000 | 1:25000  |
| 1:10000       | 1:6000  | 1:10000 | 1:10000  |
| 1:5000        | 1:3000  | 1:10000 | 1:5000   |



图1. 在石灰岩地区(哈萨克)出露的中欧型岩溶图

1—构造岩溶盆地，2—有溶槽的石灰岩；3—断层；4—在盆地中出露的地下通道网；5—与地下水露头相毗邻的沼泽地段；6—盲洞溪；7—落水洞

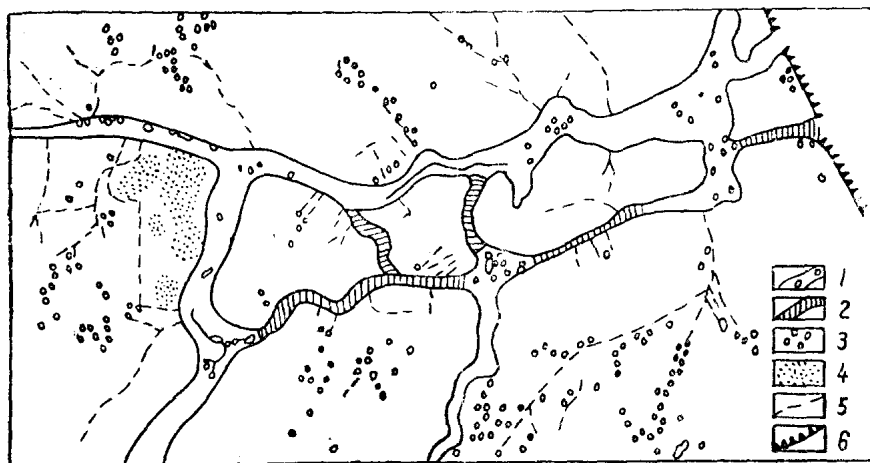


图2 根据航摄相片资料编绘的干岩溶河谷图

1—谷地；2—悬谷；3-4——与塌陷型和地表淋蚀相适应的岩溶漏斗；5—小的干河床；6—别洛莫尔斯克-库洛依阶地。

物来判读。

可使用室内判读法按成因、大小和发育强度进行岩溶形态的分类。

根据从航摄相片上得到的航片结构和形态参数可以确定岩溶形态的成因类型。地表溶蚀漏斗其尺寸不大，且具有较柔和的园边，其底部为残积一坡积物所覆盖。在有稀疏树木的地段，系按小的点状图将它们区分出来的。塌陷型漏斗较大，在平面上是不对称的，其直径在4—95米和深度在2—20米之间。

对于岩溶谷的研究，可提供有关裸露岩溶区在第四纪期间演变方面的有意义的资料。靠近白海—库洛依阶地的干谷得到了最完整的反映（见图2）。具有岩溶漏斗，且在底部有溶槽的干谷，通常切入40—50米。有水的河床仅在阶地附近出现。河谷以陡峭的，其上部往往具有悬崖的岸坡（局部呈双层结构）所限定。

## 八 施工测绘工作的类型、比例尺和用途

工程地质测绘工作按其比例尺可分为下列基本类型：踏勘（1:100000）、线路（1:50000—1:25000）、小比例尺（1:50000—25000）、中比例尺（1:10000—1:5000）和大比例尺（1:2000—1:500）测绘。测绘类型的选择取决于勘察和设计阶段、所设计的建筑物的特点、工程地质的复杂性和施工地段的大小。

编制供建筑设计使用的工程地质图所依据的基本原则是：工程地质是与建筑力学直接相邻的学科，研究的对象是岩石和作为建筑物地基的地段以及在其中进行施工的介质。因此非常明显，在进行专门制图

时，必须表示出以定量的形式反映的地区的地质结构、物理地质状态（风化性、裂隙性、岩溶化程度等）、岩石的物理力学性质、水文地质条件以及各种过程和现象。仅在这种情况下，图与本身的专门资料的效用才相称，而工程地质勘察本身才会从根本上区别于单纯的地质勘测。

区域规划阶段所绘制的略图，可用来选择线状结构物的方向，或者初步评价各种工业、民用建筑物的建设条件。

根据小比例尺和中等精度的图可以选择施工地段的方案 and 在该地段上最合理的布置建筑物，并可在选择的施工场地上获得用于设计的某些基础资料，还可以编制进一步详细勘察的纲要。

在详图上可将岩石分为工程地质诸类型，并根据精确的物理力学勘察再分为诸亚类。小区域的划分可按最重要的现象（岩溶、滑坡、土的湿陷和非湿陷性、冻土等），也要按由地质结构所决定的建筑物地基总的条件（活动带或影响带内的岩质、半岩质及松散土）来进行。

工程地质测绘应看成为某种由多方面的勘察和勘察所构成的相互补充的综合方法，这些观察和勘察包括野外的和航空相片的研究和在图上给出地质结构、水文地质、及地貌条件、物理地质过程和现象等要素，还包括探寻和设计阶段及工程类型相协调的区域规划的适合标准。

同一种或者更大比例尺的地形图、航空相片、相片略图和相片平面图可做为进行工程地质测绘和编图的地形底图。

所推荐的填图原则

表二

| 设计阶段         | 必须填图的地区                                                  | 测 绘          |                            | 工程地质图类型 |
|--------------|----------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|---------|
|              |                                                          | 类 型          | 比例尺                        |         |
| 区域规划<br>勘 察  | 线状构筑物的个别地段、大型桥址工业建筑<br>场地                                | 踏 勘          | 1:10000,0<br>或者<br>1:50000 | 简 图     |
| 建 筑 物<br>设 计 | 线状构筑物、线路枢纽站和地区车站工业建<br>设场地等的方案、工程地质条件复杂的地段<br>(滑坡和岩溶化等等) | 线路和场地的小比例尺测绘 | 1:50000<br>或者<br>1:25000   | 小比例尺图   |
|              |                                                          | 场地的中比例尺测绘    | 1:10000<br>或者<br>1:5000    | 中等详图    |
| 技术设计<br>和施工图 | 具体建筑物的施工场地、车间建筑物、个别<br>的工业建筑物                            | 场地的比例尺测绘     | 1:2000<br>或者<br>1:500      | 详 图     |

译自《Инженерно-геологические изыскания в  
областях развития карста в целях строитель-  
ства》一书，第三部分，1—8段曹炳恒译 陈廷章校

## 最近土工学应注忌的问题

松 冈 元

### 一 颗粒构造的重要性

砂粒状土的抗剪强度，凭经验都认为是按表示平均颗粒密实程度的孔隙比或相对密度如何而规定的。然而，认为砂的排水抗剪强度、非排水抗剪强度、压缩性、应力—应变特性和液状位势（对液状化的潜在阻力）等所有力学特性都是按孔隙比或相对密度来论述的，那就大错而特错了。由于这些力学特性要实际应用于水坝、基础和桩等构筑物上，所以正确认识这个问题是很重要的。本文用图解来通俗地说明上述问题。图1的(a)和(b)是在相同大小的四角形方框中使颗粒排列完全相同的图。所以说，颗粒部分所占面积之和与孔隙部分面积之和在(a)与(b)图中是相等的。孔隙比和相对密度也相等。但是，看一下此图，可能谁也没有想到这种排列会具有完全相同的压

缩性或液状化位势吧？近年来，已经取得这类颗粒实际捣固(actual packing)即表示颗粒构造重要性的资料了。例如拉得(Ladd, 1974)对潮湿捣固和干燥振动准备的两种砂试样指出，即使相对密度相同，但在可引起应力比和液状化的反复荷载次数上却有着很大的差别。玛母德(Mahmood)、米谢尔(Mitchell)和林布隆(Lindbom, 1975)根据一维压缩试验的结果也曾讲过，用两种捣固方法取得的略为相同的相对密度的砂，却会呈现出不同的压缩特性。

近60年来就粘土的构造问题开始议论起来了，同时近年来对原状砂构造的重要性也有认识了。粘土的液性限可起着力学特性指标的作用，但是砂就没有根据其扰动状态的特性来判断现场上砂的力学特性的方法吗？从这一设想出发，第一阶段试用了下列简单试验法。如图2所示，用规定的方法往金属漏斗中装

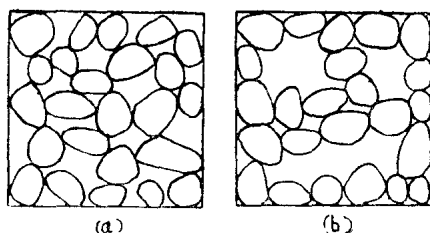


图1 孔隙比相同的两种颗粒的排列式

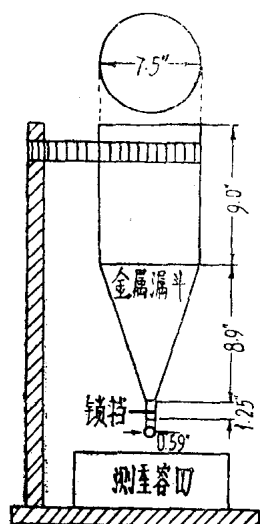


图2 流动性试验装置

砂，拔掉下面的锁挡，测定流出砂的重量。这叫流动性试验。查明用这种试验所测定的流量速度（厘米<sup>3</sup>/秒）与液状化位势有非常好的相关关系，因而得知流量速度可成为液状化的良好指标。这恐怕是因为砂的液状化特性与砂的流动性有密切的关系。

## 二 应力滞后和应变滞后后的影响

下面强调的问题是关于予应力对粒状土动态的影响。予应力对粘性强度的影响已为人所熟知，最近还认识到对粒状土也有着重大的影响。予应力之所以重要，是因为砂可以予加应力。这是基于这样一种设想，即予加应力所引起的颗粒构造的变化对粒状土后来的性状可产生本质上的效应。在这个意义上可以认为，应变滞后比应力滞后会更直接地影响到土的力学性状。

图8（希奥纳尔得绘制的）是渥太华砂的三轴压缩试验时的应力经路与变形系数。应力经路图纵轴表

示主应力差 $\sigma_1 - \sigma_3$  (Psi)，横轴表示侧压 $\sigma_3$  (Psi)， $K_f$ 为破坏线， $K_0$ 意味着 $K_0$ 压密线。（a）图表示的是，在 $\sigma_3 = 2$  (Psi) 恒定的情况下使 $\sigma_1$ 增加到 $K_0$ 线，然后沿着 $K_0$ 线再增大到 $\sigma_3 = 5$  (Psi) 的状态为初期状态，使 $\sigma_1$ 增加时的变形系数 $E$ 为1.2 (Ksi)。其中1 Ksi = 1000 Psi  $\approx$  70 公斤/厘米<sup>2</sup>。（b）图表示与（a）相同的试验，但沿着 $K_0$ 线增大到 $\sigma_3 = 8$  (Psi) 之后，再减少到 $\sigma_3 = 5$  (Psi) 的状态为初期状态，使 $\sigma_1$ 增加时的 $E$ 则变成14.3 (Ksi)。其次。（c）图表示的是，在由 $K_0$ 线开始的 $\sigma_3 = 5$  (Psi) 恒定的情况下使 $\sigma_1$ 减少的状态为初期状态，使 $\sigma_1$ 增大时的 $E$ 值因应力级的不同而不同（如图所示）。（d）图表示的是，在 $K_0$ 线的 $\sigma_3 = 8$  (Psi) 恒定的情况下，使 $\sigma_1$ 减少，然后使 $\sigma_1$ 再增大，使 $\sigma_3$ 减少，恢复到 $K_0$ 线上的 $\sigma_3 = 5$  (Psi) 的应力状态，以它为初期状态，使 $\sigma_1$ 增加时的 $E$ 变成8.3 (Ksi)。根据上面的实验事实可以推测，土的变形特性并非按最终的约束应力来决定，而是要受达到该点的应力经路的很大影响。

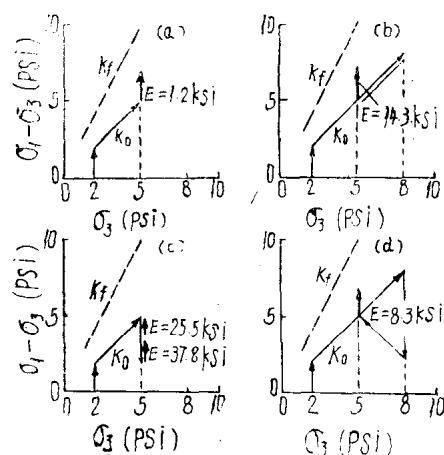


图3 承受各种应力滞后的砂的变形系数

下面介绍吉见等人（1975年）所感兴趣的研究。调节图4所示装置的水池A、B，使之引起流砂，以取得虽然其孔隙比不同，但其压缩性可大致相同的试样。也就是说，图5表示丰满砂液状化后的压缩、膨润和再压缩特性。与其他砂液状化后的压缩试验结果CD相比较，尽管孔隙比不同，但在 $e - \log P$ 关系图上却大致平行。这表明决定砂的压缩性的并非孔隙比，而是因液状化这种应力滞后所形成的颗粒构造。

取得现在所述的疏松砂的构造（Fabric）的资料，只靠现在常做的标准贯入试验是不够的。必须建立可以判断现场自然沉积状态的砂压缩性和液状化位势的新调查法。

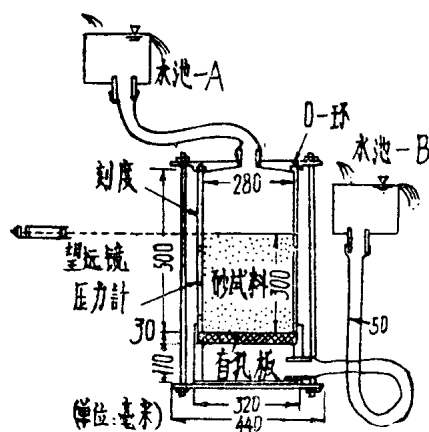


图4 渗透试验装置

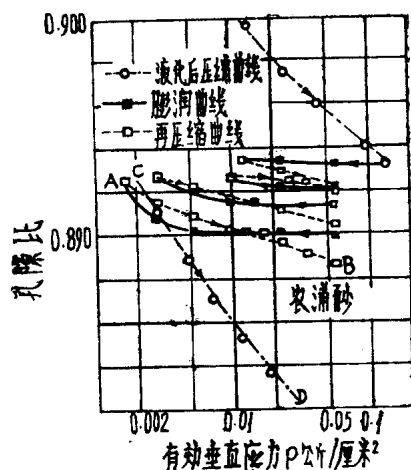


图5 低应力下的压缩，膨胀试验结果

### 三 压密屈服应力对时间的依存性

1950年曾进行过关于某仓库基础问题的研究。该地基为大致近于正规压密的粘土。调查结果是，予测沉降值为23厘米，但三年后观测的沉降值则为5厘米。这一差异的原因是否因为实验所用的试样有所扰动，所估计的压密屈服应力比实际的要小。于是，实验研究了试样扰动对压密屈服应力的影响，但未取得予料的结果。这可能与压密屈服应力对时间的依存性有关。

克劳福德 (Crawford, 1964年) 曾指出过压密现象对时间的依存性。即如图6所示，压密荷载的加载时间越长，越能达到较小的压密屈服应力。布捷隆 (Bjerrum, 1973年) 也曾叙述过同样的压密时

间效果和二次压密效果。这些情况意味着应力与应变并不是1对1的对应关系，必须认识影响应力—应变关系的应变速度效果。沙尔夫斯 (Sällfors, 1975年) 在各种恒定应变速度之下进行了压密试验，同时还测定过剩余孔隙水压，研究了应变速度对压密屈服应力的影响。

据上述即可理解，予测压密沉降值时必须要注意压密现象对时间的依存性。要正确地求得压密屈服应力，必须花费足够的时间，一点一点地增加荷载。

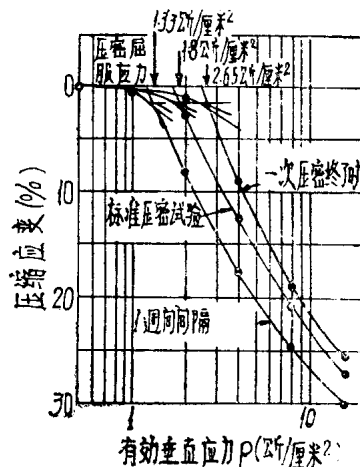


图6 荷载时间长短所引起的压缩曲线差异

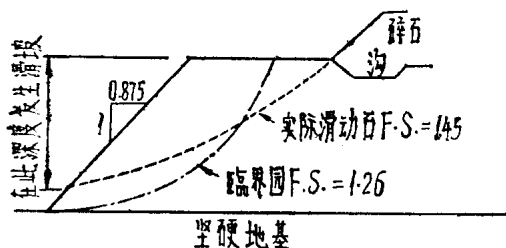


图7 旧金山湾开挖泥土时发生的滑坡

### 四 稜定分析方百的问题

最后的话题是关于开挖和填方所引起的软弱地基的稳定性问题。首先是详细观察粘土的滑动面照片，可见孔隙的分布和颗粒的方向不一定是均匀的。这便暗示着地基中抗剪强度的非均质性和各向异性。所以，对于地基滑动的安全系数来说，也必须要注意它终究是平均性的评价值，但局部上还有所变化。这点根据土的变形和强度特性对时间的依存性便可容易地推测到。对于地基的稳定分析也必须考虑到时间效果的影响。