

工 程 地 質

下 册

(适用水利系水工专业)

清 华 大 学

一 九 七 四 年 三 月

工程地质 (水利系小)

下 册 目 录

第六章	水利工程建设的工程地质勘察	
第一节	工程地质勘察的目的、任务与方法	(1)
第二节	工程地质勘察阶段的划分	(1)
第三节	工程地质测绘	(4)
第四节	勘探工作	(7)
第五节	试验工作和长期观测工作	(17)
第六节	天然建筑材料调查	(25)
第七章	坝址、坝型选择工程地质评价	
第一节	坝址选择的工程地质评价	(29)
第二节	坝型选择的工程地质评价	(30)
第三节	坝址选择工程地质条件评述实例	(33)
第八章	坝基和坝肩的渗流问题	
第一节	渗流通道的地质分析	(39)
第二节	渗流性指标的分析	(43)
第三节	坝基渗漏量的估算	(46)
第九章	坝基岩体的强度及稳定问题	
第一节	影响岩体稳定的地质因素	(53)
第二节	岩体力学性质参数的选定	(61)
第三节	坝基抗滑稳定分析	(72)
第十章	岩质边坡的稳定问题	
第一节	岩质自然边坡的分析	(79)

第 二 节	软弱结构面对岩坡稳定性的关系	----- (34)
第 三 节	岩坡稳定性的预测	----- (93)
第 十 一 章	隧洞 (地下洞室) 的工程地质问题	
第 一 节	影响隧洞工程的地质条件	----- (98)
第 二 节	隧洞设计岩石力学参数选择	----- (106)
第 三 节	隧洞稳定分析及处理实例	----- (122)
第 十 二 章	水库的工程地质问题	
第 一 节	水库渗漏问题	----- (126)
第 二 节	水库边坡区的浸没问题	----- (130)
第 三 节	水库的塌岸问题	----- (131)
第 四 节	库区其它工程地质问题	----- (134)

第六章 水利工程设计的工程地质勘察

第一节 工程地质勘察的目的、任务与方法

工程地质勘察是取得建筑地区工程地质条件资料的手段；其目的是对水利工程建筑地区的工程地质条件作出评价，以便水利规划合理，建筑物设计经济、安全可靠。

为此，工程地质勘察的任务是：

1. 了解区域的工程地质条件，以作为正确选择水库、坝址、坝线、隧洞、渠道、水电站和其它建筑物位置的地质依据；
2. 查明影响水工建筑物的地基和边坡稳定条件和渗漏条件，为其加固和防渗处理提供工程地质资料；
3. 根据所选定的建筑地点的工程地质条件，提出各种建筑物相互配置、建筑物的类型和结构以及施工方法的合理建议；
4. 拟定改善和防治不良地质条件的措施和方案。

为了达到上述目的和完成上述任务，一般采取下述工程地质勘察方法，如：

1. 工程地质测绘；
2. 勘探工作；
3. 试验工作；
4. 长期观测工作等。

第二节 工程地质勘察阶段的划分

水利工程地质勘察的程序，对于大型水利工程一般可分为规划（流域综合利用规划或称技术经济调查报告）、初步设计、技术设计和施工四个阶段。由于每个设计阶段的任务不同故所需之工程地质资料的详细程度也不同，所采取的勘探方法也有所区别。

2-1 规划阶段

规划阶段工程地质勘察的目的，是为河流流域（或河段）规划，选择梯级开发方案及确定第一期工程地段提供地质资料；并

指出存在的地质问题以及今后工程地质勘察中应注意的事项。

勘察前应收集该流域的各种地质图和地质报告等资料，如资料不足则应进行踏勘和普查，普查应以小比例尺工程地质测绘为主，对规划梯级及第一期工程地段的坝段进行较详细的地质测绘，并配合适当的物探、钻探、坑槽探和试验工作，编制坝段地质图；在选择适宜坝址，定建筑物的可能位置上须布置勘探剖面，对水库的地质条件（包括可能渗漏地段，库岸再造，淹没和淤积等）以及天然建筑材料等都应调查其一般情况。

2-2 初步设计阶段

是在规划阶段工程地质勘察基础上进行的，其目的是为了选定坝址，确定引水路线，壅水高程，主要建筑物的型式和结构，枢纽总体布置以及施工方案等提供必要的地质资料。

对水库区可能存在地质问题的地段进行较详细的勘察工作，并做出工程地质评价和结论。

在本阶段应作较大比例尺的工程地质测绘，专门性的勘探及试验工作和长期观测工作。对天然建筑材料的调查应达到B级标准。

该阶段对各坝线勘察应有足够的勘探工作和试验工作成果，作为比较和选定最优坝线和最优库址的依据。

2-3 技术设计阶段

本阶段的工程地质勘察目的，是详细查明在已选定的坝线地段的工程地质条件，提供保证建筑物设计的一切地质指标，以最终确定壅水高程、水库效益、枢纽布置及各建筑物的位置、结构形式和尺寸大小、施工方法和基础处理方案等。

本期勘察工作应力求详细具体，应以勘探及试验工作为主，工程地质测绘仅在复杂的工程地质条件地段进行必要的大比例尺的测绘补充工作。对天然建筑材料的勘察要求达到A级标准。

2-4 施工阶段

本阶段主要提供施工设计及施工过程中所需要的地质资料，研究解决专门性的工程地质问题以及与施工相配合的地质工作，如：

1. 对坝址基坑的核查（包括地基岩石完整性，稳定性；断裂破碎带及软弱结构面等具体情况的分析，提出基础处理设计的修改补充意见）
2. 对坝基及坝肩边坡稳定性分析，提出允许开挖边坡坡角；
3. 对隧洞和其他地下建筑物的岩体稳定分析及核算；
4. 对水库区主要防护地段的工程地质核算；
5. 天然建筑材料的补充勘探及试验工作；
6. 有关坝体稳定或渗漏问题的长期观测工作；
7. 施工地质编录等工作。

综上所述可以看出水利工程地质勘察工作，在不同的设计阶段，有不同的目的和任务；使用的勘察手段和方法的比重也不相同，大致情况如图6-1所示。

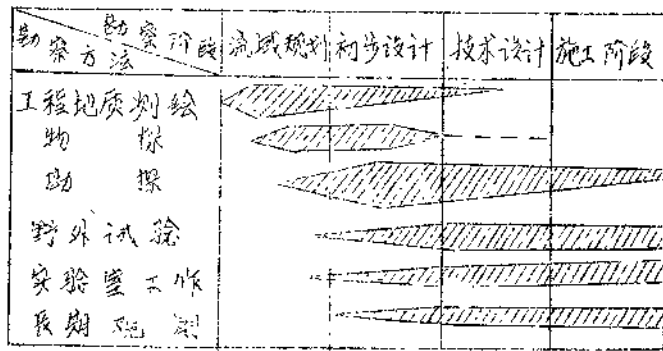


图6-1 不同勘察阶段各种勘察方法比重示意图

最后应指出的是：对于中小型水利工程，由于建筑物及水库规模较小，以及其它具体情况，设计阶段和勘察阶段都应适当合并和缩减。

第三节 工程地质测绘

工程地质测绘是整个工程地质勘察工作中最早进行和最基本的一项综合性工作，其目的在于绘制云水工建筑地区的各种工程地质图件。

3-1 地质测绘的工作内容

水利工程地质测绘一般包括下述内容。

1. 地貌条件：查明河谷纵横剖面，研究河谷构造及阶地的性质，古河床是否存在？分析河谷的形成及发育历史，以及第四纪河流沉积层的分佈规律等。

2. 地层及岩性：根据区域地质资料、褶皱地层时代及其成层规律，分层研究其岩石性质，成因类型，风化程度及工程特性等。

3. 地质构造：根据区域地质构造资料，判号岩层产状，勘察构造形迹及主要构造线方位，分析构造体系，确定构造类型。重要的地段还应做节理裂隙的调查研究与测绘工作。

4. 物理地质现象：调查滑坡、崩塌、泥石流、冲沟和岩溶等物理地质现象的分布，形成及发育规律。并用图例反映在地质图上。

5. 水文地质条件：调查井、泉等地下水露头的分布，含水地层及隔水地层的分布规律，分析地下水类型，必要时做野外简易水质分析，确定地下水矿化类型。

6. 天然建筑材料调查及矿产资源调查：在库区范围内的可用砂石料，土料及矿产资源等地质资源都应在地质测绘期间，通过调查或测绘反映出来。

3-2 工程地质测绘的工作方法

在测绘以前应首先搜集并分析测绘地区已有的地形地质资料，根据工程设计要求，确定测绘的比例尺、范围及工作内容。然后再进行野外工作，在野外测绘阶段一般应做下列工作：

1. 在测绘时，通常先作几条具有代表性的实测地质剖面，其做法是在已选定的剖面线方向上，依据地形坡度变化分段，然后在各段用地质罗盘（要求精确时需用经纬仪等）测定方位和地形

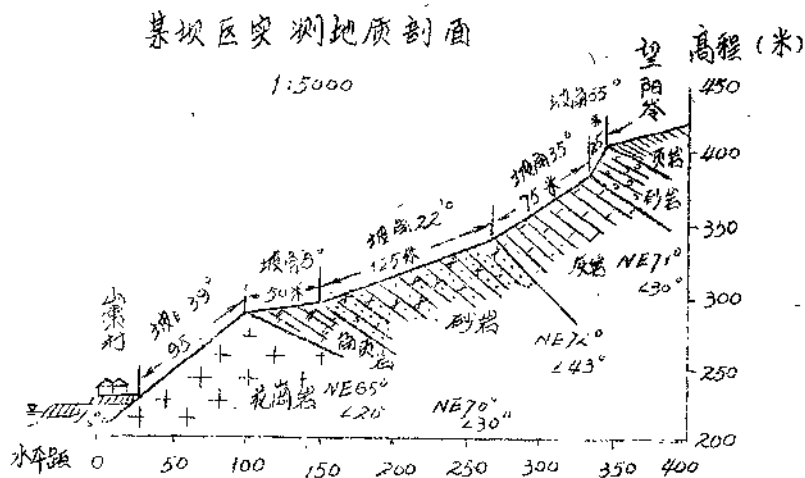


图 6-1 某坝址区实测地质剖面图

坡度，用皮尺测量距离，并详细分层描述，测定岩层产状、地质构造、露头宽度，用符号表示在剖面图上，见图 6-1。如实测剖面方位与岩层不垂直时，绘制地质剖面时应对岩层真倾向按移成在剖面上的视倾向。

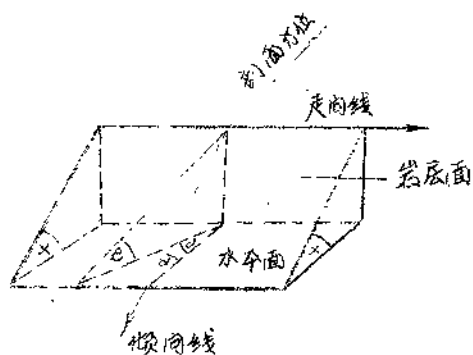


图 6-2 真假倾向按移示意图

见（图 6-2）。真假倾向的按移可查表或用如下公式计算：

$$\tan \beta = \cos \theta \tan \alpha$$

- 式中：
- β — 视倾向角（剖面上要画的）
 - α — 真倾向角（野外实测的）
 - θ — 剖面方位与岩层倾向方位的夹角。

2. 编制全区综合地层柱状图；它是根据若干个实测地质剖面图，分析、对比、综合而成（图6-3）。以了解全区地层时代、岩性、地层接触关系和地质构造特征。

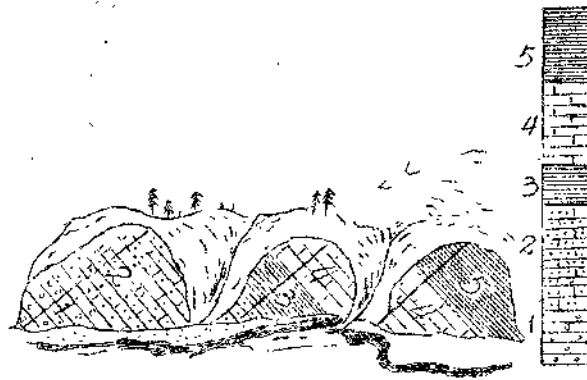


图6-3 根据三个露头剖面编制的综合地层柱状图

3. 布置观察点（或地质点）和勘察路线

1) 勘察点——应布置在地层界线及构造点上，每个观察点应做下列工作：

① 应统一编号，用目测或仪测将点的位坐标尺在地形图上。

② 作野外记录，内容见前述工程地质测绘内容，具体到每一个点应根据当地条件进行记录。

③ 观察时应多作素描图、剖面图或必要的照像，以帮助说明各种地质地貌现象。

④ 采集岩石、化石等标本以供地层对比分析用，有地下水露头的井泉，可酌量取样进行水质分析。

2) 勘察路线的布置——根据具体情况采用下列方法之一或综合应用：

① 路线穿越法——即垂直于地层走向穿越路线，每隔一定距离布置一条路线，沿线作地质点勘察，将路线上相应的地质界限

相联即可编成地质平面图，见（图6-4）。此法一般适用于沉积岩地区。

② 界线追索法——即沿地层界线或构造线方向追索其界线延伸情况，此法多用于断裂构造比较发育以及岩类岩分布地区。

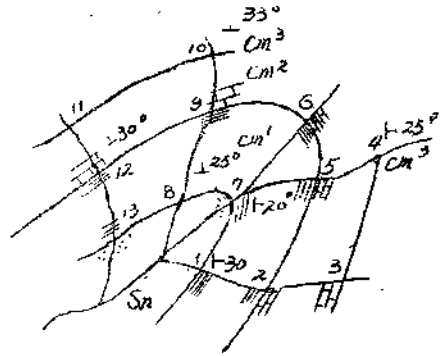


图6-4 路线穿层法地质测绘示意图
（路线以点号1、2、3、4……13为序穿越各地层）

③ 全面布点法——即将全区观察点按方格网布置，逐点详加观察研究，然后通过分析再联结各地质界限，此法一般在地质

构造比较复杂或大比例尺地质测绘时采用。观察点网的密度应根据比例尺的大小及地质条件的复杂程度定。

第四节 勘探工作

在地面工程地质测绘的基础上，为了取得地表深部工程地质资料，就必须进行勘探工作，广义的勘探工作包括山地工作、钻探工作和地球物理勘探工作等。

4-1 勘探工作布置的一般原则

1. 勘探工作应在地质测绘的基础上布点，根据水工设计要求，对每一个勘探点要有明确的目的性，任务要具体，勘探步骤也应有计划的统筹布局。

2. 勘探布置应与勘察阶段相适应。

在规划阶段选择坝段时，除主要进行地面地质踏勘及地质测绘工作外，还可进行少量适当的物探与小型山地工作。

在初步设计阶段，应在主要坝段布置勘探线，勘探点分布开始较疏（钻孔间距一般在100米左右），以后逐步加密，钻孔深

度应根据水工设计要求确定（一般深度为坝高左右，重要的地段应当加深），每个钻孔应尽量做一些水文地质或岩石物理力学性质的试验，以取得更多的地质资料。

此外，还应根据设计意图布置一些较深山地工作和现场试验工作以及长期观测点。

在技术设计阶段，勘探范围一般仅限于各水工建筑物的轮廓范围之内，并按其地质构造和建筑物轮廓形状，在原有勘探线点布置的基础上加密勘探点，同时加强结合勘探工作的试验工作和长期观测工作。

在施工阶段，勘探工作主要是结合基础处理工作做一些必要的勘探和试验补充工作。

4-2 山地工作

山地工作系指山地开挖工作，在水利工程地质勘察中，常用的有以下几种，现分述如下。

1. 剥土：在斜坡厚盖层不厚处，常用剥土揭露基岩，以了解地质构造特征，如剥土距离长，可采用阶梯式剥土。

2. 探坑与探槽：是一种长方形开口的槽子，用来了解基岩岩性、风化层、岩层接触带及断层破碎带等地质条件。布置的轴线

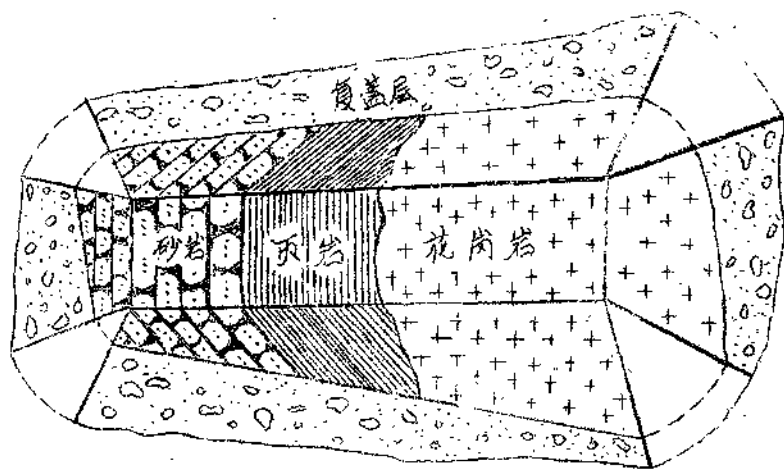


图6-5 探槽展示图

一般应垂直地质构造线方向。开挖后编制探坑或探槽展示图，如(图6-5)。

3. 竖井：是一种比较深的探井，主要为了解较深处的地质情况，其断面大小以一人可以下去开挖和观察为原则。开挖深度根据工程需要确定，我国水利工程地质勘察中，有的竖井在二三十米以上。竖井还可以用以做现场试验或基础灌浆等质量检查工作。因竖井工程投资较大而施工较复杂，一般在特殊需要时进行。

4. 平洞：为勘探用的水平隧洞，其用途较多如：

① 可查明坝肩两岸或隧洞等地下建筑物岩石的性质，裂隙发育情况，风化带深度，断层破碎带和软弱夹层等；

② 可直接在洞内做岩石的各项物理力学性质的试验。

③ 可作为大爆破工程试验的炸药室等。

洞探的断面一般也以能允许人直接工作为宜，深度可根据工程需要，我国水利工程地质平洞有的深达百米以上，必要时还可打支洞。洞探布置可沿坝轴线在不同高程进行，如(图6-6)所示。

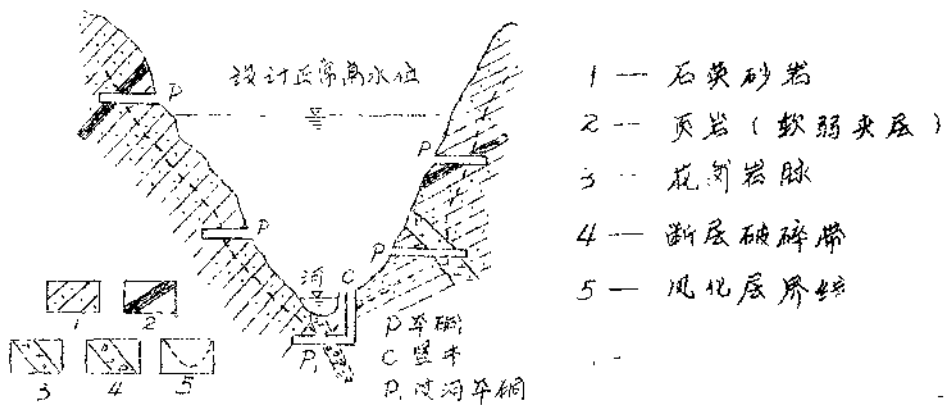
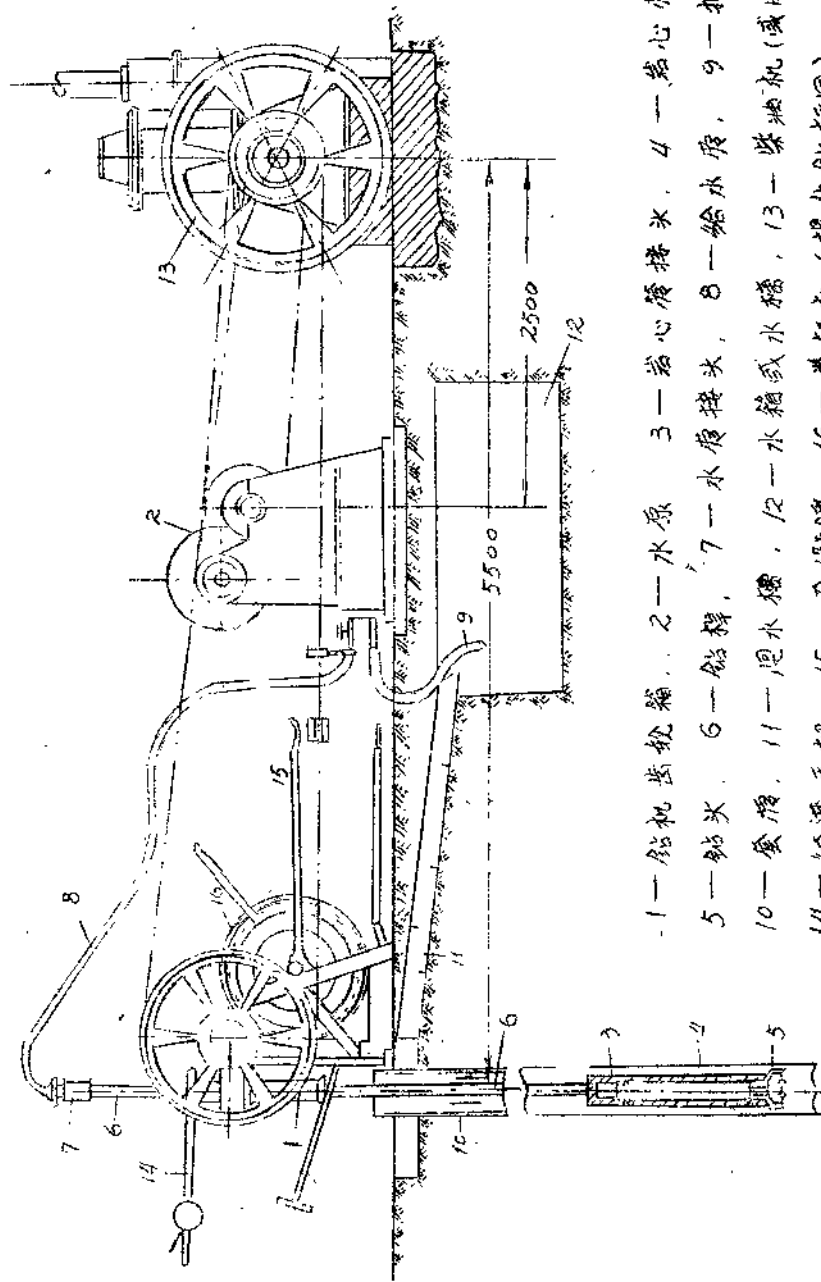


图6-6 某坝址平洞布置示意图

4-3 钻探工作

钻探乃是利用动力机械带动钻头旋转或冲击，以切割或磨碎岩石，不断向岩层深处钻进，再取出岩样(岩心)，以了解深部



- 1—钻机齿轮箱，2—水泵，3—岩心管接头，4—岩心管，
 5—钻头，6—钻杆，7—水管接头，8—给水管，9—轴水管，
 10—水箱，11—尾水箱，12—水箱或水槽，13—柴油机(或电动机)，
 14—给进手把，15—平衡锤，16—卷扬机(根升能杆用)。

图 6-7 回转钻机示意图

地层的岩石和构造情况。此外通过钻孔还可以测知地下水的埋藏条件，以及进行水文地质的及岩石物理力学性质的试验。

我国水利工程地质勘察中常使用的钻探机械有二种类型。

1. 回转式钻机：如（图6-7）所示，为钻探的装置，钻机的钻进主要依靠钻头的旋转作用，用合金或钢砂钻头研磨岩石，其优点是能在各种不同硬度的岩石中钻进，并能打不同斜度的钻孔和获取岩心。

我国水利工程常用的回转钻机有手把式和油压式二种，钻进深度有100型，300型，500型（米）各种。在大型水利工程中还有用大直径（1米以上）口径的磨盘钻机，人可以直接下入钻孔观察描述。

随着我国社会主义科学事业的飞速发展，在钻孔中应用现代物探技术，如电测井，钻孔照相及地下电视等也逐步得到应用和推广。

2. 冲击式钻机：钻机的钻进主要借助于钻具垂落，上下冲击破碎岩石。这种钻机主要用在冲击河床砂卵石层，不能取天然结构的原状岩心，但可以做水文地质试验，我国水利工程多用在打井取水和作坝基的防渗处理。常用钻机有（YKC-20，YKC-22型等），可打百米以上深度，孔径最大可达1米左右。

钻探工作过程应进行地质记录，并绘制钻孔柱状图如（图6-8）。这种图是工程地质勘察中重要地质资料，也是水工设计的地质依据，水工设计人员应学习应用这种图件。根据一条勘探线上的几个钻孔柱状图还可以编制地质剖面图，如（图6-9）。

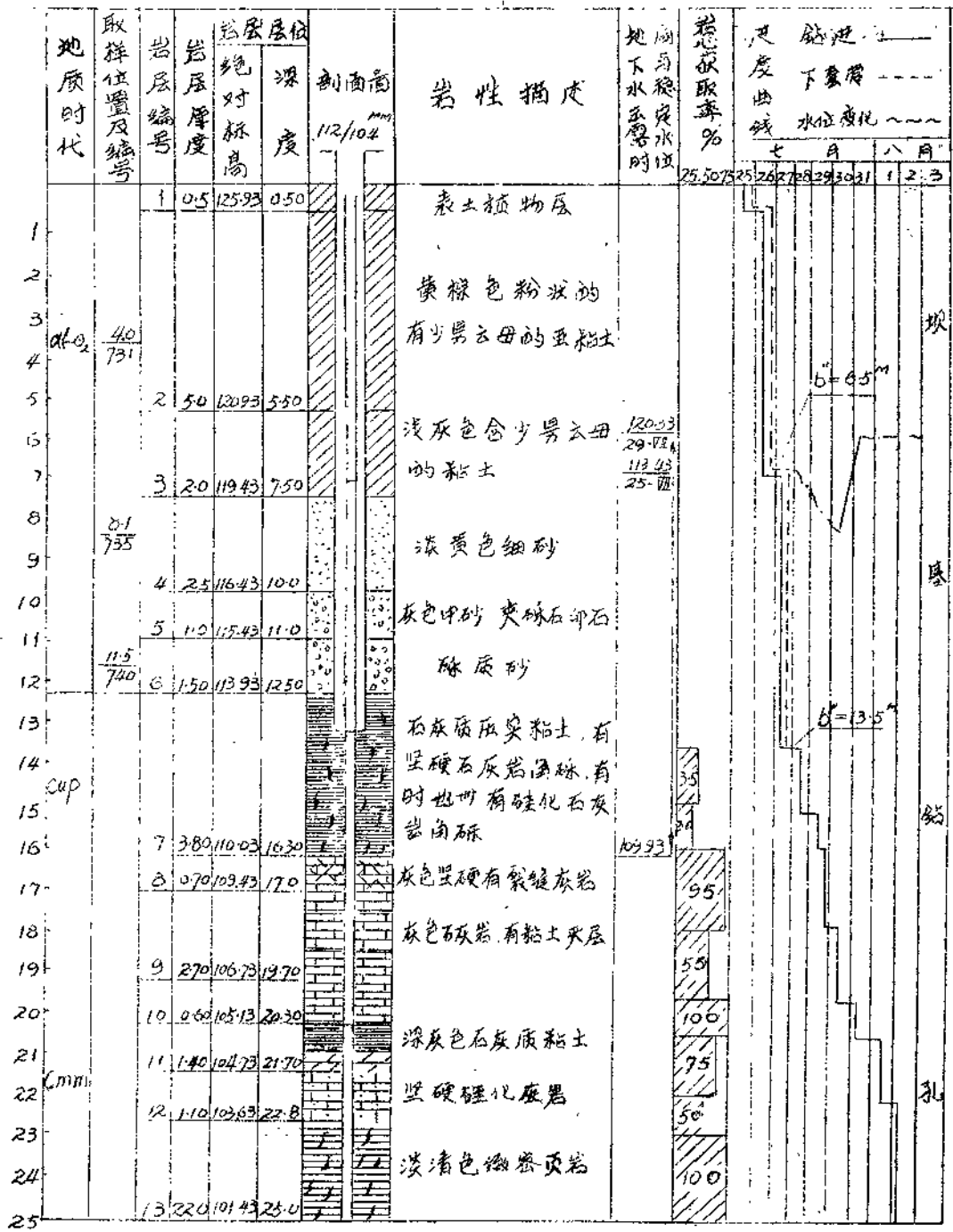
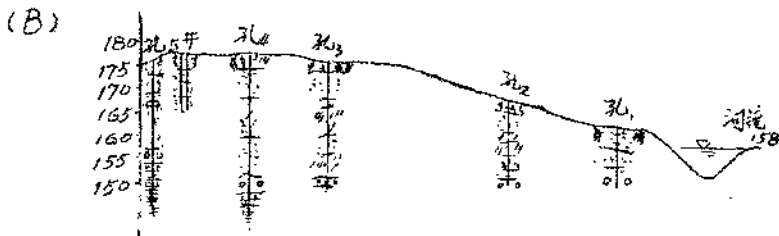
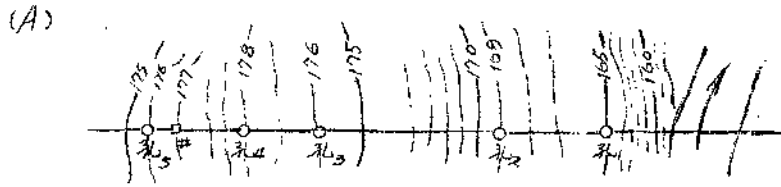


图6-8 钻孔柱状图



孔口距离	120	100	240	190	100(米)
孔口标高	176	178	176	169	165



孔口距离	120	100	240	190	100(米)
孔口标高	176	178	176	169	165

(A) 井孔平面布置图 (B) 井孔柱状剖面图 (C) 已编制成的地质剖面图

图6-9 根据钻孔编制的地质剖面图

4-4 地球物理勘探

地球物理勘探是近代地质勘探部门一个专业，其中有电法勘探，地震勘探，重力勘探，磁力勘探和放射性勘探等。目前引用在我国水利工程地质勘探工作中最常用的是电法勘探和地震勘探二类。下面做一些简略的介绍：

1. 电法勘探 (目前土工上多采用电阻法)

① 电法 (电阻法) 勘探的原理

由于岩石的矿物成分、含水量、温度以及成层结构各向异性等不同原因, 故各种岩石具有不同的电阻率 ρ_k , 电阻法勘探的原理就是根据测量岩石电阻率的差别来推断地质构造情况。各种典型岩石的电阻率见表 6-3, 一般含水的岩石 ρ_k 较低, 而具较多孔隙的裂隙空洞则 ρ_k 升高。地层电阻率的测定方法如 (图 6-

表 6-3 各种典型岩石的电阻率

岩石	电阻率(欧姆-米)	岩石	电阻率(欧姆-米)
砂砾石	20~5000	花岗岩	500~10 ⁵
粘土(含盐分)	0.5~20	比麻岩	500~10 ⁴
砂岩	30~1000	玄武岩	500~10 ⁵
页岩	10~1000	辉长岩	500~10 ⁵
贝壳石灰岩	5~200	辉绿岩	500~10 ⁵
石灰岩	100~5000	含硫化物岩石	10 ⁻³ ~1.0
石膏	10 ⁴ ~10 ⁵		

—10) 所示, 通过 AB 两个供电电极, 将电流通入地下岩层, 使之造成一定电场。MN 为测量电极, 用特制的电位计可测出 MN 两点间的电流强度 (I) 以及电位差 (ΔV)。这样即可计算出电阻率。

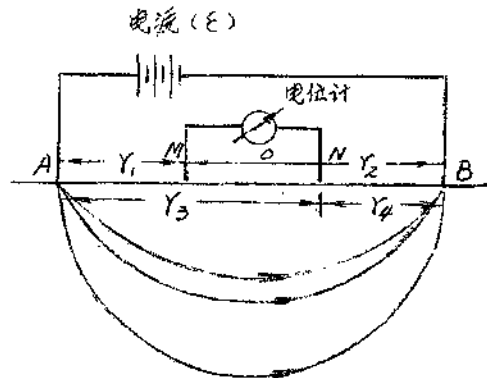


图 6-10 电阻率测定装置示意图

但计测的介质假定为均质体和岩向同性的。而实际上自然界多为非均质体和岩