

全國水利水电地質勘察會議叢書之三

不同岩性的 工程地質条件

水利电力部水利水电建設总局編

水利电力出版社

內 容 提 要

本書是“全國水利水电地質勘察會議”精選文件之一。本書對各種不同地質條件下修建水工建築物的方法，作了詳細的介紹。如作者對流紋斑岩夾層風化的成因、風化岩石上筑壩前的處理方法作了簡述；其次，對第四紀沉積物作為水工建築物基礎的良好反應，得出了新的論證；最後，對黃土區修建水工建築物作出了新的評價。書中舉了許多實例，內容豐富，可供各地水利水电地質勘察人員學習參考。

不同岩性的工程地質條件

水利電力部水利水电建設總局編

*

2139 S 646

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本*3%印張*80千字

1959年6月北京第1版

1959年6月北京第1次印刷(0001—3,700冊)

統一書號：15143·1715 定價(第9類)0.43元

目 录

一、花崗岩的工程地質、水文地質

特性.....水利电力部长沙勘测設計院(2)

二、华北地区花崗片麻岩的一般工程地質

特性.....水利电力部北京勘测設計院(8)

三、福建古田溪流紋斑岩夹层风化的

成因.....水利电力部上海勘测設計院(19)

四、四川紅色盆地的工程地質

条件.....四川省水利电力厅水利水电設計院(23)

五、沅水五强溪坝段地层沉积环境及

成因.....水利电力部长沙勘测設計院(38)

六、黄河中游奥陶系石灰岩地区工程地質

条件.....水利电力部北京勘测設計院(53)

七、广东北海系沉积物工程地質

条件.....广东省海南行署水利处(65)

八、紅山水庫軟基工程地質的

几个問題.....辽宁省水利电力局勘测設計院(85)

九、新疆第四紀沉积物作为水工建筑物基础的工程地質水文

地質条件的探討.....新疆维吾尔自治区水利厅(91)

十、隴西黄土区中修建大中型渠道的工程地質工作

問題.....甘肃省引洮工程局(99)

十一、宝鷄峽引渭工程干綫渠道的几个工程地質

問題.....陕西省水利厅勘测設計院(111)

一、花崗岩的工程地質、水文地質特性

水利电力部长沙勘测設計院

花崗岩为深成的酸性岩漿岩，矽酸盐含量在60%以上，由于岩石坚硬，分布范围广泛，經河流割切，往往成为修建水利工程的良好地段，因而，研究花崗岩的工程水文地質特性，对我们今后水利水电工程建設工作具有一定的实际意义。这里根据我們东江水电站的工作体会和所得資料，将花崗岩的工程水文地質特性及其研究方法介紹于后。

(一) 花崗岩的一般地質特性

1. 岩 性

花崗岩为含二氧化矽，碱質及揮发性物資很高的岩漿冷却而成的岩石，这种岩漿形成的深成岩为花崗岩，淺成岩为花崗斑岩，噴出时則成为流紋岩。

它的矿物成分大致是石英(15~40%)，正长石(40~60%)，暗色矿物为5~25%，其中以石英、白云母为最稳定的矿物，长石次之，而其他黑色矿物較易风化，当斜长石含量增多而石英含量减少时，即变为花崗閃长岩，据其暗色矿物成分的含量，又可分为黑云母花崗岩、双云母花崗岩、角閃花崗岩和輝石花崗岩等等。

2. 結構与构造

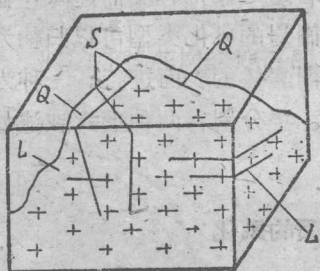
从花崗岩生成的环境条件，可以知道它的构造多为大范围的岩基、大型岩株、岩盘与厚层侵入体的大型岩体。岩石的

結構为全晶質的半自形晶等粒結構。岩石坚硬而均一，因之抵抗外力作用的能力較强。构造亦較变質岩、沉积岩簡單，节理与断裂的发育程度亦差，花崗岩中节理的成为岩浆冷却时生成的原生节理和后期外力作用生成的构造节理两种。

原生节理有三組。 Q 节理走向平行于与圍岩的接触界綫， S 节理走向垂直于与圍岩的接触界綫， L 节理为水平节理(图 1)。

构造断裂多发育于侵入体的边緣，形态类型取决于外力作用的性質，冲断层及正断层見于大侵入体的边緣地带，它可以切过侵入体边緣及圍岩地带作斜状排列，一般断距較小(图 2)。

从花崗岩体的构造形态可以知道花崗岩体被断裂的破坏程度，岩体边緣較岩体中心严重。



花崗岩的原生节理

图 1 花崗岩的原生节理

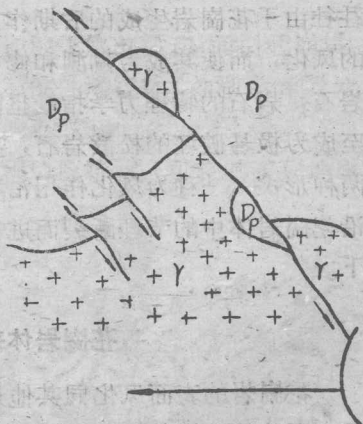


图 2 某地花崗岩与其圍岩的錯动情况

D_p —泥盆前紀变質岩；

r —白堊紀花崗岩。

(二)花崗岩的工程地質特性

我国花崗岩的分布，多集中在陆台地区（如华夏古陆、南滿地台和內蒙地盾等），地壳稳定，地震烈度不高（一般在七級以下），它的比重为2.7左右，容重为2.55~2.7之間，其大小决定于孔隙度，花崗岩的孔隙度一般均在1%以下，水饱和系数的极限值不大于0.8，抗压强度为800~3,000公斤/公分²，一般为1,200~2,000公斤/公分²，抵抗剪力的摩擦系数为0.5以上，粘聚系数为0.15以上，彈性模数为 $20 \times 10^4 \sim 60 \times 10^4$ 公斤/公分²之間，有时大于 60×10^4 公斤/公分²（上述物理力学指标为我们所进行之試驗整理而得）。

从上述之岩石物理力学指标来看，花崗岩的分布地区是可以建筑任何高度、任何結構和最輕便、最經濟的水坝，但是往往由于花崗岩生成的后期作用，使花崗岩沿构造綫或节理的风化，而使其成为勘测和修建水工建筑物时最困难的一种岩石，岩石的物理力学指标也随着岩石风化程度而递减，甚至成为极易破坏的松散岩石，花崗岩的风化类型可以归納为两种形式。一种为风化作用沿花崗岩体的表面进行；一种为沿花崗岩体中的节理断裂而进行。現分別将两种形式叙述如下。

1. 花崗岩体表面的风化

花崗岩的表面风化同其他岩石一样，与其分布的地理位置和所处的地理环境有关，若仅就岩石本身而言，則其风化的快慢与岩石的結晶大小及各种矿物成分的含量有关，晶形完全，而顆粒大的較晶形小的易风化，黑色矿物含量較高亦較含量較少的易风化，因为岩石的矿物成分愈复杂和晶形愈

大的，則其对外营力的抵抗愈不一致，故愈易分解和破坏岩石的結構，但岩石的风化往往不仅取决于岩性，而岩石的完整程度和节理的发育与否等，都直接影响着岩石的风化作用的进行，对花崗岩而言，仅仅由于岩性而引起的风化作用对岩石强度的破坏是不会延續很深的。

2. 沿花崗岩节理裂隙进行的风化作用

沿花崗岩节理裂隙进行的风化作用是破坏花崗岩完整性最厉害，而且最复杂的一种地质作用，它可以使岩石的深部风化破坏，有时形成袋状的风化体，而表面岩石依然新鮮坚硬，这就容易使我們在勘测中造成錯覺(图3及表1)。

因为花崗岩被水平与垂直的节理的割切，往往使岩石形成規律的六面四方体(图4)。

随着岩石风化作用的加深和地下水的活动，而引起崩塌，并常常成为大范围的石堆、石海的堆积体(如湖南春陵水大滩坝址左岸有达0.3公里²大的石堆)。

归納前述花崗岩地区的工程地质特性，可将其工程地质

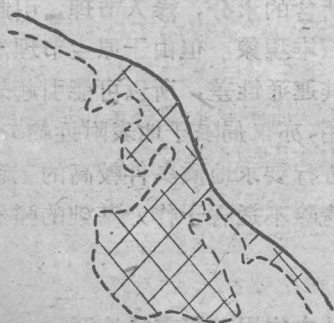


图3 花崗岩的袋状风化

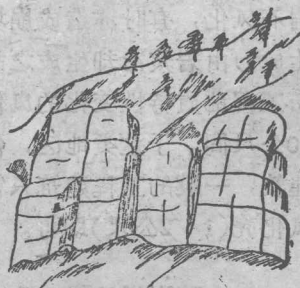


图4 花崗岩被节理切割的六面四方体

表1 湖南东水方石坝址27号鑽孔沿裂隙之风化情况

风 化 带 位 置	半 风 化 带 位 置	新 鮮 岩 石 位 置
0.00~2.00		2.00~6.12
0.12~7.30	7.30~14.20	14.20~21.00
21.00~22.80		22.80~25.40
25.40~27.50		27.50~31.20
31.20~31.80	32.50~33.80	31.80~32.50

条件分为如下类型。

1. 岩体中部岩石新鲜，构造断裂不发育的地区

在花岗岩侵入体的中部，往往因受外力作用较轻，岩石完整新鲜，其物理力学指标亦最好，故为最优越的工程建筑地区。风化作用多沿岩体表面进行。在这类地区，可以修建任何结构复杂而地质条件要求颇高的水工建筑。

2. 岩体中部，但沿产生节理有风化作用进行的地区

在某些古陆地区出露的花岗岩，因经受风化营力较久，故沿花岗岩体表面形成之风化壳所含的水分，渗入节理，引起岩石风化，有时亦造成崩塌之石堆现象。但由于原生节理的生成为由岩浆冷却生成之故，其连通性差，所以可能引起岩石工程地质特性变化的风化作用，亦仅局限于地表附近约5~10公尺间。于这类地区，仍可进行要求地质条件较高的工程建筑，一般的工程建筑只需要清除不适合于作为基础的强烈风化壳(1~2公尺)即可。

3. 花岗岩边缘部分，受外力作用较严重的地区

花岗岩体的边缘部分，往往因受构造应力的破坏，使岩

石节理裂隙加巨，互相沟通，这就为风化作用的进行創造了有利条件，因而花崗岩体边缘部分，岩石的受外营力风化作用的破坏程度甚强，沿节理风化的深度可延至数10公尺以下，往往形成地下风化范围較地表大几倍之袋状风化。在此类地区，一定要进行詳細的勘测工作，以查明其破坏情况，并选择破坏較輕地区，进行处理后，方能进行水工建筑。

(三)花崗岩地区的水文地質特性

花崗岩的本身，为結晶岩，孔隙度小于1%，因之为良好的不透水岩石，但往往由于节理裂隙的割切，破坏了岩石的完整性，加之风化作用的进行，使不稳定的黑色矿物溶解，被水带走，加大岩石的孔隙度，以致造成花崗岩透水的可能。

花崗岩地区的地下水存在条件，絕大部分为裂隙含水，其水量的丰盛与否，决定于节理裂隙的大小、延伸深度及补给条件等因素。

于前述之第一类工程地质条件地区，单位吸水量一般小于0.001，如来水东江方石坝址試驗資料可知，在距地表15公尺深度以下的岩石单位吸水量，均为小于0.0001的不透水岩石。前述第二类与第三类工程地质条件地区岩石的透水性甚强，单位吸水量有时可达每分鐘数十公升，但有时亦因节理被风化后生成的次生物质填充，而减弱其透水性能，这种現象多出現在前述之第三类地区，所以在某些情况下，第三类地区岩石透水性較第二类地区弱。往往因为节理內填充之物质为高岭土，給施工中的灌浆工作造成困难，甚至有时发生誤解，認为其不透水。

一般規律，在花崗岩体中部，为沿岩体表面之风化壳，

形成潛水，而于邊緣裂隙發育地區，多形成較大之裂隙含水，并往往有承压現象。在花崗岩體的邊緣，經常有從地深處溢出的溫泉，它的生成有兩種可能，一為由深大斷裂而構成的溫泉，一為由花崗岩冷凝時分異出的水分而成的溫泉。

花崗岩地區地下水的化學成分多為重碳酸鉀鈉水， pH 值在5~8之間，硬度不高，對混凝土有侵蝕性。

二、華北地區花崗片麻岩的 一般工程地質特性

水利電力部北京勘測設計院

前 言

花崗片麻岩(包括火成岩變質和沉積岩變質)在華北地區是前震旦紀變質岩系中占比例最大，分布面積最廣的一種岩石。因此，在本區研究花崗片麻岩的一般工程地質特性，對評價水工建築物的工程地質條件有着重大的實際意義。

下面簡單介紹華北地區變質岩系的分布情況及主要構造綫：

花崗片麻岩由於岩層時代較老，一般構成當地的基底岩層，埋藏也較深，常出露於地台(地盾等)中的隆起地段，以及切割較深的河谷地段，主要分布于以下幾個山區。

(1)太行山區。花崗片麻岩在本區構成太行大背斜的核心部分。出露在河北山西二省交界處較多。其中有時有小的花崗岩體侵入。岩層走向一般均近 $SN(NNE)$ 。近 $SN(NNE)$ 的構造綫較為發育。有些地區內表現為該方向的連續褶曲。較大的斷裂構造則以此方向的正斷層為主，但伴生有部分的

近 EW 向构造。輝綠岩脉常沿近 SN 构造带侵入。岩层中含各色的大理岩数层。

(2) 西山区。即指桑干河一带的花崗片麻岩 (通常所謂“桑干片麻岩”)。岩层走向 NEE , 沿片理方向也发生有錯动成为一組共軛的断裂。其中以平行片理面的正断层为主, 而与片理面傾向相反的逆断层为副。岩层中有很标准的串珠体构造。輝綠岩脉沿片理及 NNW 向剪力构造侵入。在沿剪力构造侵入时还因圍压的关系岩脉表现为捻珠状。

(3) 五台山区。本区花崗片麻岩仅成小块出露, 混杂于五台系 (綠色片岩系) 之中。其中有部分眼球状片麻岩, 除夹有片岩外, 有时还含鞍山式鉄矿。岩层走向 (构造綫的方向) 主要是 NEE 。地区内构造常表现为复杂的褶皺。此外基础及盖层构造中还有二組明显的断裂: 一組是 $NEE \sim SWW$, 常为逆断层, 少数是正断层; 另一組是 $NNW \sim SSE$, 为横断层。

由于花崗片麻岩系的时代較老, 所經過的构造运动多, 在其中有多次的构造体系相复合, 关系甚为复杂, 上面所述仅是較为明显和普遍的部分。

(一) 花崗片麻岩的一般工程地質特性

1. 岩性

花崗片麻岩本身主要由长石、石英及少量云母、角閃石、綠泥石組成, 并含有少量磁鉄矿、柘榴子石、绿帘石、蛇紋石、电气石、石墨及矽綫石等矿物, 結晶多为粗粒至中粒, 少部分为細粒, 具片麻状构造。其中云母多沿片理方向分布, 因此片理发育的程度随着云母含量的增加而加剧。从花崗片麻岩本身來說, 在岩性上值得注意却是花崗片麻岩层

中的一些夹层捕虏体和串珠体，沉积岩变质成的副片麻岩系中更为显著。

常見的夹层是：

(1)角閃石片麻岩通常呈黑色及灰黑色，大部由角閃石、长石及少量云母、石英等矿物組成，一般风化較淺。

(2)云母片麻岩，主要由云母、长石及較少石英組成，由于云母含量多，片理一般甚为发育，由于砂質成分的减少，常常风化剧烈。

(3)云母片岩，由云母及較少石英組成，由于云母量较多片理特别发育，因之除了风化問題以外还有沿此种岩层产生机械潛蚀与滑动的可能。

(4)云母石英片岩，主要由細粒石英片岩組成，矿物成分以石英为主，含少量云母及綠泥石，其中有綠泥石片岩夹层。

(5)綠泥石片岩，主要为綠色綠泥石片岩，片理极发育，矿物成分以綠泥石为主，并含石英及云母，其中并有含鉄石英岩凸鏡体。

(6)大理岩、鈣質片岩、鈣質片麻岩等可溶岩石，矿物成分主要为方解石，結晶完整、解理清晰，有的并含少量角閃石、云母、蛇紋石和矽綫石等矿物。在副片麻岩系中較多，且成层分布，对工程意义較大，由于岩层在整个岩系中的水化学稳定性較差，其中有許多作为地下水流运动的通道，可漏走大量的水，因此在水文地質中是一个需要注意的地层。而在正片麻岩系中則將成捕虏体的形式出現，崗南水庫坝基及隧洞出口处即有此現象。

2. 构造及裂隙

花崗片麻岩是一种甚为古老的岩石，經過的运动較多，地質构造极为复杂，常发生一些裂隙破碎带、褶曲及断层等等，破坏了岩石的完整性。

本区岩层走向主要为 $NNE \rightarrow NEE$ ，构造及裂隙的发育方向則以近 $SN(NNW)$ 与近 $EW(NNE)$ 两组为最发育。

(1)片理在副片麻岩系中甚为明显，这种原生的軟弱面

在經過地表風化作用的影响以后，就發生了沿片理的張開，使風化作用有條件加劇。

(2) 褶曲。在堅硬岩層內伴隨着褶曲構造，經常有很多節理裂隙發生，花崗片麻岩內亦不例外，在褶曲的軸部位置上有時就見到很多特別是平行褶軸的寬大的裂隙帶，這些裂隙帶可以造成嚴重的集中滲漏。

(3) 斷層。大斷層尤其是逆掩斷層的上盤，岩石破碎的程度和寬度往往是驚人的。如石匣里填址花崗片麻岩內大逆斷層上盤的裂隙密集破碎帶寬達10~100公尺。

(4) 串珠體構造(也稱為柵狀構造)。在變質作用進行的過程中同時造成。一些深色岩脈或深色的沉積岩層(在副片麻岩系內)，在壓力很大而本身處在熔融狀態下時被揉擠、轉輾以後，形成了一種有規律分布的大小不等的各種柱狀體(一般較大，柱狀體中心綫平行岩石的片理方向)和凸鏡體(一般較小透鏡體的中心綫平行於片理方向)，分布于片麻岩系中。這些柱狀體或透鏡體往往呈黑色，由角閃石、輝石、長石、石英等組成，這些個體的周圍都出現岩石程度不同的偉晶岩化，每個個體的成分由外往內的变化，個體外圍深色礦物以角閃石為主，往內以輝石為主(分別命名為變質閃長岩及變質輝長岩)，而在個體甚小時，則其中心成分也變為變質閃長岩。

在個體的周圍片麻岩的片理，常常由於串珠體的存在而呈圍繞串珠體彎曲的情況，容易沿片理產生張裂，並且還沿節理發生坍塌。在此種串珠體的周圍與片麻岩交界處，常常風化較劇，有一風化皮存在。串珠體本身則由於岩性關係也較易風化，且增加了片麻岩的不均一性，但由於大部分的串珠體還都未出露，它們都在片麻岩的包圍之中，故直接與工

程有关的是已出露于地面的这一部分。

較为主要的一点，是按串珠体本身的平行于片理方向分布的規律来查明构造。因为有时在片麻岩系內并不是都可发现很好的标准层来解决构造問題的。在沒有較明显的夹层和岩脉时，串珠体构造是值得利用的。

(5) 岩脉。在花崗片麻岩系中侵入的岩脉常見的有石英岩脉、偉晶花崗岩脉、細晶岩脉和輝綠岩脉。前三者多沿片理或斜交片理方向穿插于片麻岩系，而后者則多沿近SN(NNW)构造綫方向侵入，傾角甚陡与圍岩接触不甚紧密。

片麻岩內裂隙主要有三个方面：

(1) 片理和岩脉的节理裂隙有定向性；

(2) 与构造伴生的裂隙具有一定的方位，部分节理与构造平行，在不同高程上有相同方位之节理裂隙；

(3) 风化作用形成的裂隙尽分布于地表附近。

另外在峡谷地区应注意岸边剪切裂隙的現象，但这不是普遍性的。往往有一部分还是沿着相近方向的构造裂隙而发展起来的。

研究裂隙主要是調查岩层裂隙的性質——产状要素、延伸情况、寬度、长度、間距和裂隙分布的規律与性質，充填物的性質和成分，要測定岩石裂隙率和裂隙比，并注明出水处、潮湿处和岩层松散处。

测量裂隙寬度时，建議采用“楔形尺”，尺子按△原則制作，AB边按公制公厘、公分划分刻度。而在其上注明高度。AB边上的公厘变化反映至BC边的各平行綫上則为0.2公厘，在精度上是足够的，使用时仅需将尺垂直于裂隙插入，即可讀得各裂隙精确寬度(图5)。

裂隙測定結果的表示方法，除現在使用最广的玫瑰图、

2) 岩石碎裂的程度和性質;

3) 矿物成分;

4) 岩石的力学强度。

(2) 风化带依照上述标准可划分四带

1) 殘积紅土带: 此带岩石的特征是极度破碎, 风化最剧烈, 岩石組織结构已完全破坏, 基本上是由风化矿物組成, 原生矿物碎裂极細, 长石和云母都已风化成土状或亚砂土, 顏色暗紅, 質地松軟, 手指稍用力即能折断或劈开, 鉆进时可視為土类而干鉆。其渗透系数实际上已近于零。压縮性急剧地增加, 抗剪强度减少, 岩石具有塑性和凝聚力。

2) 全风化带: 根据其特征又可分为二个亚带来叙述。

第一亚带风化較前者为輕, 岩石外形与母岩完全不同, 全部岩石均由細碎块或甚至是各个顆粒的砂和角砾組成, 通常一触即碎, 云母及长石多已风化, 表层具良好之吸湿性。其渗透系数較前者稍大(一昼夜不超过数公分), 抗压和抗剪强度很低。

第二亚带岩石中风化矿物較多, 且分布于裂隙面上, 色彩不鮮, 无光泽, 表面粗糙有較大之吸湿性, 风化裂隙发育, 錘击之易成碎块裂下, 岩心采取率一般小于40%, 具有稍大之透水能力(一昼夜不超过数十公分或数公分), 抗压和抗剪强度低。

3) 半风化带: 此带一般位于全风化带与新鮮岩石之間, 其风化程度亦有强弱之別, 前者沿片理及一些节理有張开現象, 表面可以見到部分长石风化之高岭土, 云母风化之絹云母、褐鉄矿色彩不鮮, 光泽减低, 錘击多沿片理及裂隙面成碎块裂开, 具有較大之渗透能力, 抗压和抗剪强度較低, 后者云母及磁鉄矿等鉄質矿物有輕微风化, 而染上风化色, 岩

心采取率一般在60%，外形上与新鲜岩石相同，但易于沿着肉眼看不出的面碎裂，组织仍很致密，岩石物理技术性质除去抗压和抗剪强度稍弱以外，在其他方面与新鲜岩石无大差异。

4)新鲜岩石：岩石新鲜，表面光泽强，面上无风化矿物，组织致密，坚硬完整，锤击之，甚不易裂开，岩心采取率达90%以上，岩石物理技术性质良好，只有个别地段因构造裂隙发育，岩石较破碎，采取率也相应有所降低。裂隙面或有铁氧及 CaCO_3 之沉淀，但厚度极微。

应当指出，并不是任何一地区都全部存在上述各种风化带，常有缺少个别带的情况。

(3) 风化带的某些规律

1) 风化带符合于地貌的规律

a. 岩石的风化是由暴露面逐渐向内部发展的，在垂直地表方向，风化程度随着深度的增加而减弱；

6. 河流两岸山坡及分水岭地带的现代风化壳常较厚，而河床部分较浅，但应注意有古风化壳的存在。

2) 表现在剖面上露出的风化带界线往往并不是完全与地面一致，而是呈不规则的锯齿状或夹有口袋状的。这个界线上的凹下处，一般都是所说的地质上软弱带的地方。现说明于后。

a. 风化带沿软弱夹层、粗粒结构及云母、长石含量多而集中的地方和二种岩石的接触带，片理发育的规律，如花崗片麻岩内的一些云母片岩、钙质片岩、绿泥石片岩、云母片麻岩和粗粒结晶的片麻岩等等，在岩性上都是比较容易风化的，除了矿物成分和结构的原因以外，另外这些岩层常常片理极为发育，也对此有影响。