

職業教科書委員會審查通過

實用地質學

康永孚編著



商務印書館發行

自序

吾人居處棲息之所，步履所至之地，莫不與地殼之外表接觸；其所現者：山川土石，乃地質之現象也。進而言之：人類之生活，舉凡衣食住行各種需要，亦莫不與地質發生直接關係，煤之發動機械，製備器物，鐵之鑄造工具，紡績布帛，石鹽之供人食用，石材之造屋鋪路，皆係極爲尋常之事實。然常人對於附生地殼外表之普通動植物，能別其類而呼其名者頗多，而對於地殼本質之岩石礦物，則多混稱「石頭」，不爲辨識；他若地層之性質，地質之構造，峯巒溝壑之成因，岩礦土壤之既變，則更無論矣、

近年以來，科學進步，工程所涉之範圍廣大，除採、冶兩科，直接與地質發生密切之關係外，其他土木、水利、建築各門，亦均與地質有關，隧道之穿鑿，路基之鋪砌，建築石材之選擇，蓄水壩堰之構築，在在需要學習地質，以爲基礎智識，而一般修習各該科系之學子，多視地質爲無足輕重之課程，及其擔任實際工作、計劃施工時，則感地質常識之不足，猶豫恍惚，莫知所措；甚且冒昧從事，遭致失敗，不惟曠時僨事，而經濟之損失，又不知凡幾也。

本書編制，概以初學地質者爲對象；且除闡述各種普通現象之原理外，並側重實用材料，以爲構築工程時之基礎常識，列舉適例以敘之，故稱「實用地質學」。凡高級職業學校之採鑛、冶金、土木、水利、建築各科與各該門類之專科學校，均宜採爲教本，即大學之各該科系，亦可供作參考之用。

有關地質之中文書籍，尙甚少見，即譯本亦不易多得；有志於斯科者，又往往以文字之隔閡，不能直接閱讀原文。本書各章各節之標題以及一切專門名辭，均註以英文原名，譯述力求精確普通，俾學者得以瞭解字義，並進而能閱讀原文書籍。

本書初稿爲著者在國立黃河流域水利工程專科學校所教授之講義，加以整理，乃成斯篇。謬漏錯誤，在所難免，深望專家學者，有以指正焉。

康永孚謹識於開封國立黃河流域水利專科學校

民國三十五年八月

目 次

第一章	緒論	1
第二章	太陽系中之地球	5
第三章	地殼之成分	13
第四章	地層之構造	59
第五章	岩石之風化與土壤	73
第六章	河流之發育及作用	83
第七章	地下水	106
第八章	波浪作用與海岸	125
第九章	湖沼與澤地	143
第十章	冰川之發育及作用	155
第十一章	山崩與地陷	165
第十二章	蓄水池與壩基地質	177
第十三章	路基與築路石材	190
第十四章	鑛床	202
第十五章	地史	227
附 錄	岩石分類表	243
	索引	246

實用地質學

第一章

緒論 (Introduction)

I. 定義(Definition) 地質學之英文名詞爲 Geology, 乃希臘字 Geologia 演繹而來: Geo 爲地之意, Logia 爲科學之意, 故合之而稱地質學; 乃研究地球之生成、組織、變遷、以及地球上一切生物進化歷史之科學也。舉凡地球之形成、地殼之成分、岩石之沉積剝蝕、山脈之摺疊起伏、火山之噴發、熔岩之侵入、以及地面上一切動植物之發育演化與其對於地質環境之影響, 均包羅於中, 可用地質學之原理與方法以研究而解決之。

II 地質學之分門(Parts of Geology) 地質學爲以地球爲研究對象之科學, 故其涉及之範圍頗廣。然近代科學, 研究愈精, 分科愈細; 是以氣象學 (Meteorology)、水文學 (Hydrography) 等, 均已發展而爲獨立之科學。地質學之所研究者, 僅爲地球之固體部分; 其本身之分門, 亦頗繁雜, 茲分述如下:

1. 動力地質學(Dynamic Geology) 本門係研究地面上及

地殼內一切動力之自然現象，與其對於地殼所生之影響。以其動力之來源不同，可分下列二種：

A. 內動力(Endogenic agency) 包括火山學(Volcanology)及地震學(Seismology)。

B. 外動力(Exogenic agency) 包括地文學(Physiography)及海洋學(Oceangraphy)。

2. 構造地質學 (Structural Geology) 本門係研究地球外表一部岩層之性質、成分、排列與其變化之科學。包括礦物學(Minerology)、岩石學(Petrology)及變質地質學 (Metamorphic Geology)。

3. 經濟地質學 (Economic Geology) 本門係應用地質學之原理及方法，開發天然富源，而為人類謀幸福之科學。包括鑛床學 (Ore Deposits)、燃料地質學 (Fuel Geology)、農業地質學 (Agricultural Geology)、工程地質學 (Engineering Geology) 及軍事地質學 (Military Geology)。

4. 地史學 (Historical Geology) 本門係由暴露於地表之岩層與其所含生物之遺跡，推究地球所經歷史之科學。包括地原學(Geogeny)、地層學(Stratigraphy)古生物學(Palaeontology)及古地理學(Palaeogeography)。

III. 地質學之特性(Character of Geology) 地質學為具

有地方性之科學；以同一地質原則，研究一地地質之構造、地層之序列與其所含岩石礦物之性質，則他地之一切地質現象，亦可藉以明瞭。地質現象變化不定；地球本身不斷運動，地殼內外之動力亦繼續作用，故地表各地之地質現象，時時遷易。地質變化具有長久之時間性，其在地質學中之位置，與距離在光學及天文學中之觀念相同，變化之速度雖甚緩慢，但以其時間攸久，故其所生之結果，殊為偉大。

IV. 地質學之應用 (Application of Geology) 地質學之應用頗廣，就純粹學理言：研究地質足以窮宇宙之起源與地形之變化，而生物之進化與氣候之變遷，亦賴是以有確實之證據。然其直接之應用，亦甚廣泛：若土壤之生成，乃岩石風化之結果，故研究土壤地質，可藉以改良土性，適應農事，此農業方面之應用也。開採鑛藏，必須明瞭鑛區之地質，儲量之多寡，以及鑛質之優劣，故採鑛人員如有地質智識，必能事半功倍，此採鑛方面之應用也。隧道之開鑿，壩基之選擇，以及建築石材之採掘，均須利用地質學之幫助，此工程方面之應用也。公路與鐵路等路線之勘定，築路材料之選擇，非藉地質學之常識，不能決定其各種特性，此交通方面之應用也。戰壕地道之挖掘，飲水之供給，以及軍用鑛產之探採，必須根據地質原理，研究地層之性質、潛水面之高下與鑛藏之所在，此軍事方面之應用也。

V. 地質學發達史 (History of Geology) 地質思想，肇端最古。考諸我國史乘，在五帝時代，已有鑛產與土壤之記載。禹貢言土壤最詳，九州以土色分界。春秋戰國，學術勃興，地質思想，因以萌芽。詩經有云：「高岸爲谷，深谷爲陵」。此乃風蝕輪迴之說也。唐時顏正卿作蘇姑仙壇記，有「海中揚塵，東海三爲桑田」之語，卽爲地殼升降所生之海侵海退現象。朱子語錄，言化石生成之理，頗合地質原則。是以地質學在吾國之發達最早。歐洲當希臘羅馬時代，對於地質學理，亦多所發明。十八世紀末葉，方成爲獨立之科學。1790-1820年爲地質學之偉大時代，在此時代之中，Werner、Hutton 及 W. Smith 均爲一時之斗泰，Lamarck 與 Cuvier 貢獻尤多。1833年，Lyell 作地質學通論 (Principles of Geology) 一書，精深宏博，至今猶有參考之價值。十九世紀以後，各國多設地質調查所，專司研究；各大學亦列爲專修之學科。於是地質學之發達一日千里。專精之士，輒各就範圍，分科研究，推敲愈深，分類益繁。馴至今日，各科幾有自成獨立科學之概也。

第二章

太陽系中之地球 (Earth in Solar System)

I. 太陽系 (Solar System) 太陽周圍有無數之星球，均以太陽爲中心旋轉循環，此種星羣統稱之曰太陽系。屬於太陽系之星球：有行星 (Planet)、小行星 (Planetoid)、衛星 (Satellite)、慧星 (Comet) 及流星 (Shooting Star)。其九大行星：即水星 (Mercury)、金星 (Venus)、地球 (Earth)、火星 (Mars)、木星 (Jupiter)、土星 (Saturn)、天王星 (Uranus)、海王星 (Neptune) 與冥王星 (Pluto)。前二者因在地球運行軌道以內，稱爲內行星 (Interior Planets)；後五者因在地球運行軌道以外，稱爲外行星 (Exterior Planets)。相鄰兩行星運行軌道之半徑，外者倍於內者。火星與木星之間，有一小行星羣，迄今發現者，已有千餘之多。環繞行星以運行者，即爲衛星；除金星與水星外，其餘七大行星均有之：地球有一衛星，即月球 (Moon)；火星有二衛星；木星有九衛星；土星有十衛星；天王星有四衛星；海王星與冥王星各有一衛星。慧星之已發現者，計有四百餘顆。其軌道百分之七十七爲拋物線，其餘爲橢圓。星塵受天體(或地球)吸引，飛躍於太空，與塵埃磨擦，發光發熱者，即係流星；其降落於地面者，則稱

隕石(Meteor)。

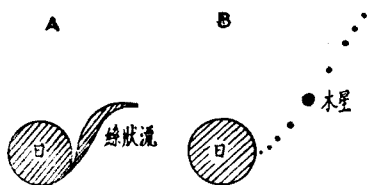
II. 地球之成因說(Hypotheses of Earth Origin) 地球之成因,根據科學研究者,約有下列三種假說:

1. 星雲說(Laplacian or Nabular Hypothesis) 此說爲十八世紀時德人 L. Kant 及法人 Laplace 所創。彼等謂太陽全系最初爲氣體星雲,嗣因自轉收縮,速度增加,其赤道地帶離心力最大,重力與之不能平衡,遂向外拋出,而成脫離母體之氣環;氣環破裂收縮,卽成行星。如是輾轉,又生衛星。然此說之缺點甚多:如(1)氣體過於稀薄,且極度高熱,恐因氣體分子個個飛散,不能生成氣環。(2)以現在各行星行駛之速度與質量,計算其動量,恐在當時不足以有發生氣環之離心力。(3)衛星駛行之方向,多不一致,應用此說亦難以解釋。

2. 星子說(Planetesimal Hypothesis) 此說亦稱小行星說,係1900年美人 T. C. Chamberlin 與 F. R. Moulton 所創。彼輩謂太陽之表面,時生爆裂現象;如其他天體駛近太陽時,卽生潮力,因此太陽之背向兩部,發生較大之爆裂作用。太陽之大爆裂凡十次,其爆出之物質,氣體、液體與固體均有,因其不能返歸太陽,故繞而行之,以成九大行星與一小行星羣。但此說亦有缺點:如(1)地球內部密度之分層,乃原爲熔體之結果,似非由爆出之物質結合而成。(2)九大行星之中,現有仍爲氣體

者，故地球整個係由氣體經液體而成固體，非由固體分子碰合而成。

3 氣體潮生說 (Gaseous Tidal Hypothesis) 此說又稱進化說 (Evolution Hypothesis)，為 1917 年英國天文學家 J. H. Jeans 與地質學家 Jefferys 所創。氏謂太陽受駛近之天體吸引，發生潮力，不生爆裂現象，而拋出氣體之舌狀長帶，謂之絲狀流 (Filament)。長帶遠離太陽部分，因係其表部物質，故密度最小；近於太陽者，因係其內部物質，故密度最大。且其中部最粗，乃正當引力最大之時期也。氣體長帶裂為十段，團聚而成行星，其中一段破碎，即成小行星羣。行星之中，以木星之體積最大，乃為舌狀長帶之最粗部分。衛星



第一圖 行星之生成

則因行星互相駛近，拋出相似之長帶而生（如第一圖）在此三種假說之中，一般均信此說。

III. 地球之層帶 (Earth Zones) 地球之圈層，可以分為五帶，茲述之如下：

1 氣圈 (Atmosphere) 大氣包圍地球之外部，高度愈增，密度愈小，根據光線屈折之道理與流星之位置，測算大氣之高度限界，約為 300 公里。其所含之成分，氮 (Nitrogen) 佔 78.1%，氧

(Oxygen) 佔 21%，其餘氫 (Argon)、氦 (Helium)、氬 (Krypton)、氖 (Neon) 與氙 (Xenon) 共佔 0.9%。此外碳酸氣與水氣，亦屬大氣之重要分子，惟其分佈隨時隨地變遷。他如塵埃，蕩漾空中，僅為其雜質也。

2. 水圈 (Hydrosphere) 江湖海洋分佈於地面，其最深之地，為菲律賓島 Mindanao 東之 Emden Deep。海洋之面積，佔 143,259,300 方哩，約為地球全面積之四分之三。如江湖海洋之水分，普通分佈於全球，則將成深二哩許之水球。

3. 岩圈 (Lithosphere) 岩圈為地殼之本部，由各種岩石構成，厚約 25 公里。地面高低不一，相差達數萬尺，可以直接觀察研究。故考察此圈之現象，即地質學之本部。

4. 火圈及微弱圈 (Pyrosphere and Asthenosphere) 地球自地表以下，入地愈深，溫度愈高。大致每降 30 公尺，溫度上升 1°C ，是為地下增溫率 (Geothermal Gradient)。美國 Michigan 之鑛井，深達 1,510 公尺，每深 41.8 公尺，方增 1°C ；英國 之坑井，每深 31.7 公尺，則增 1°C ，然世界各地之平均距離，約為 30 公尺也。根據此數，以地球之半徑為 6,378 公里計算，則地心之溫度，可達 $210,000^{\circ}\text{C}$ 。是以地球之內部，熱度甚高，可以熔融各種岩石，生成岩漿，發生侵入現象與火山作用，故稱火圈。岩層底部發生流動現象，而無有方向之壓力，即無應力 (Stress) 地帶，

謂之微弱圈。

5. 重圈(Barysphere) 此圈又稱中心圈(Centrosphere)。組成地殼岩石之比重,花崗岩(Granite)爲 2.64,閃長岩(Diorite)爲 2.85,砂岩(Sandstone)爲 2.64,玄武岩(Basalt)爲 3.05,石灰岩(Limestone)爲 2.69,頁岩(Shale)爲 2.30,各種岩石之平均比重爲 2.7。然地球之比重爲 5.6,故知地球中心之比重,必大於 10;又地殼之壓力甚大,其中部之物質,不能液化,是以中心部分之物質,必爲高熱質重之固體無疑也。

IV. 地球內部之物質 (Materials in Earth Interior) 地球內部無直接觀察方法,故學者根據種種自然現象,推測內部所含之物質。其重要學說,約有下列六種:

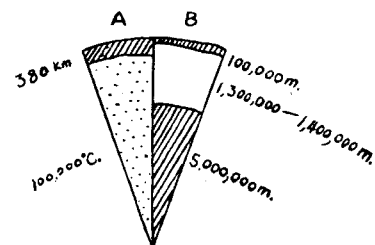
1. 熔體說 (Melting Theory) 以地下增溫率估計,由地表向下 60 哩之處,任何物質均變爲液體。火山之噴發,必係地下有熔融之岩漿存在。地震發生時,震波能傳之極遠,亦可證明地殼內部爲熔融之液體。

2. 固體說 (Solid Theory) 英國地質學家 Lyell 與 Darwin 二氏力主此說。氏謂地球內部之物質,雖至高熱,然因地殼岩層之壓力頗大,故不易液化。而且若爲熔融之液體,則地球將因潮汐作用而變形,是以其內部之物質爲堅硬之剛體。

3. 氣體說 (Gas Theory) 瑞人 Arrhaenius 創立此說。其

大意爲由地表向下，至 380 公里處，即達任何物質之臨界溫度 (Critical temperature)，故其內部之物質，不能液化，必係高熱質重之氣體。此種氣體之張力頗大，一遇地殼之裂隙，則因壓力減却而液化，噴發於地面，成爲火山。在此氣體之上，尚有極薄之

液層(如第二圖)。



第二圖 A 氣體說, B 三層說

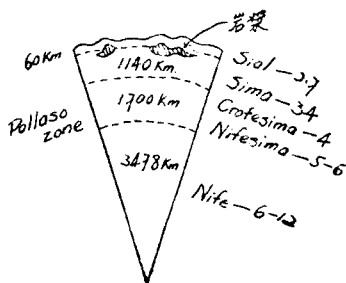
4. 三層說 (Three Zone Theory) 德人 Wiechert 與 Rittel 二氏均以地球中心,因高壓而成固體。其近於地表部分,則因溫度大減,壓力降

低,亦成固體。二者之間,雖無高大壓力,溫度却相當炙熱,故係液體。地震震波之傳動,火山之爆發,熔岩之侵入,以及山脈之摺疊,均爲此中間液體之作用。故此說又稱中間液體說(如第二圖)。

5. 大陸飄移說 (Isostasy) 此說又稱地殼平衡說,係瑞士學者 Wegner 所創。氏謂地殼表層之岩石,其最外部,近 60 公里,上爲水成岩,下爲火成岩,稱矽鋁帶 (Sial Zone),比重爲 2.7。此層之下,至 1,140 公里之處,均係火成岩組成,稱矽鎂帶 (Sima Zone),比重爲 3.4。此二層統稱爲岩殼。地球之中心,係高熱堅硬之固體,由鐵鎳質 (Nife) 組成,在半徑 3,478 公里以內,均屬

此物，其比重在 6—12 之間。岩殼與鐵鎳帶(Nife Zone)之中間部分，上為鉻鐵矽鎂質(Crofesima)組成，比重為 4；下為鎳鐵矽鎂質(Nifesima)組成，比重在 5—6 之間，統稱為石質鐵鎳帶(Pallasso Zone)。

由其組成地球物質之比重觀之，輕者在上，重者居下，即輕者浮於重者之外。換言之：即大陸浮於地底物質之上(如第三圖)。且展閱全球地圖，各地塊均略成三角狀，海峽部分之陸緣，犬牙交錯，若



第三圖 大陸飄移說

初行斷裂者然。是即大陸飄移斷折之結果也。再者，大陸岩層不斷剝蝕，由江河之運移，堆積於海盆。故大陸物質不斷減削，海盆物質繼續增加，地殼乃失平衡狀態；為使恢復其平衡起見，遂有岩漿侵入地殼，隆起而再造山脈之作用。是以地殼無時不在要求平衡之維持也。

6. 鐳說 (Radium Theory) 此說亦為固體說之一種，係 Strutt 之主張。氏謂地殼內部之熱度，乃由其所含之放射性元素而來。如地殼每立方公分之中，含鐳十萬億分之 2.6，即可保持現有之地熱。但實際上地殼每立方公分之岩石，平均含鐳十萬億分之 8 公分。較上所述，略大三倍。且鐳質之分佈，各地不同；僅

限於地表部分，至 36-54 哩之處有之。由此以下，直至地心，其溫度常保持 1600°C . 左右，故內部爲不含鏷質之固體也。

第三章

地殼之成分 (Composition of Earth Crust)

I. 礦物 (Minerals)

1. 地殼之化學成分 (Chemical Composition of Earth Crust)

地殼組成之物質，係各種化學元素，其中之最重要者據

Clarke之計算，爲十六種，列之如下：

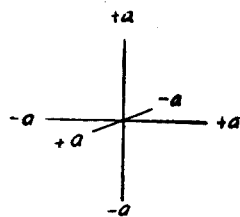
O	47.33	Ti	0.46
Si	27.74	H	0.22
Al	7.85	C	0.19
Fe	4.50	P.....	0.12
Ca	3.47	S.....	0.12
K	2.46	Ba	0.08
Na	2.46	Mn	0.08
Mg	2.24	Cl	0.06

除自然玻璃外，各種岩石均由礦物組成；其本身之性質與對於風化之抵抗力各不相同，故在工程上之價值亦不一致。

2. 礦物之定義 (Definition of Mineral) 礦物爲天然之無機物，有均一性 (Homogeneous) 及一定化學成分之固體物質。其

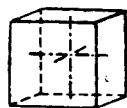
產於自然界者，有結晶體(Crystal)、晶質體(Crystalline Form)與非晶體(Amorphous form)三種。造岩之礦物甚多，而其重要者僅三十餘種。以其所含之成分別之，可以分爲酸性(Acidic)、基性(Basic)與鹽(Salt)三種。

3. 結晶(Crystal) 在適當環境之下，礦物凝結而成四面有平滑晶面(Crystal Face)之固體，對稱於其晶軸者，謂之結晶。晶軸(Crystallographic Axis)爲貫穿結晶體中心之線，而非結晶體實有之線，乃純爲研究方便起見，想像而虛設者。各種晶系之晶軸，除六方晶系有四晶軸外，



第四圖
等軸晶系晶軸之關係

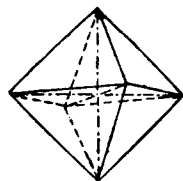
其餘均有三軸。晶軸相交於結晶之中心，其兩端連接晶體對稱之各面、各稜或各立體角 (Solid Angles)。



第五圖
方鉛礦之晶體

結晶依晶軸之關係，可分下列六系：

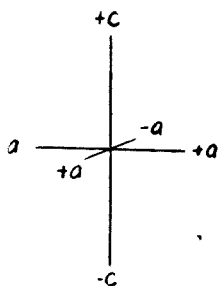
A. 等軸晶系(Isometric System) 具有等長之三軸，互相正交；通常各軸皆以 a 表之；如方鉛礦(Galena)與磁鐵礦(Magnetite) (如第四、五與六圖)。



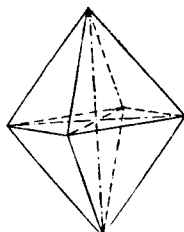
第六圖
磁鐵礦之晶體

B. 正方晶系(Tetragonal System) 具有三軸，互成正交，

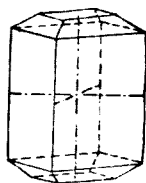
兩橫軸 (Lateral Axes) 彼此相等, 而豎軸 (Vertical Axis) 不與橫軸等長, 或長或短; 通常以 a 表橫軸, c 表豎軸; 如黃銅鑛 (Chalcopyrite) 與金紅石 (Rutile) (如第七、八與九圖)。



第七圖 正方晶系晶軸之關係

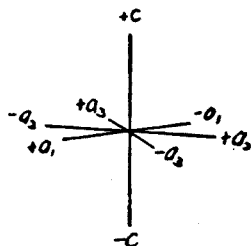


第八圖
黃銅鑛之晶體

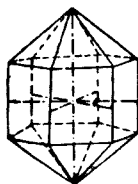


第九圖
金紅石之晶體

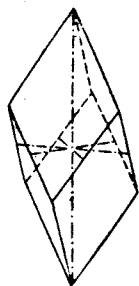
C. 六方晶系 (Hexagonal System) 具有四軸, 其中三為橫軸, 長短相等, 互成 60° 角; 通常以 a_1 、 a_2 、 a_3 表之, 其豎軸 c 與橫軸不等, 但與之均成直角; 如石英 (Quartz) 與方解石 (Calcite) (如第十、十一與十二圖)。



第十圖 六方晶系晶軸之關係



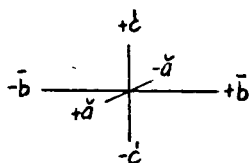
第十一圖
石英之晶體



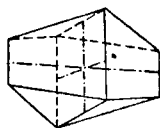
第十二圖
方解石之晶體

D. 斜方晶系 (Orthorhombic System) 具有三軸, 彼此不

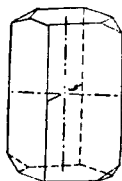
等，但互成直角；通常以 \check{a} 表短軸 (Macroaxis)， \bar{b} 表長軸 (Brachyaxis)， \acute{c} 表豎軸，如橄欖石 (Olivine) 與紅柱石 (Andalusite) (如第十三、十四與十五圖)。



第十三圖
斜方晶系晶軸之關係

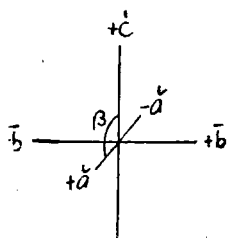


第十四圖
橄欖石之晶體



第十五圖
紅柱石之晶體

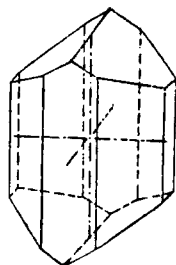
E. 單斜晶系 (Monoclinic System) 具有三軸 \check{a} 、 \bar{b} 、 \acute{c} ，長度不等，其中 \bar{b} 軸與 \check{a} 、 \acute{c} 軸相交，各成正交， \check{a} 與 \acute{c} 軸相交則成斜角 β ；如正長石 (Orthoclase) 與石膏 (Gypsum) (如第十六、十七與十八圖)。



第十六圖
單斜晶系晶軸之關係



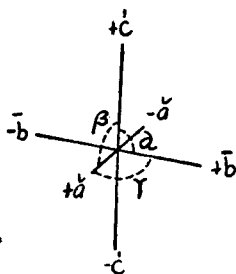
第十七圖
正長石之晶體



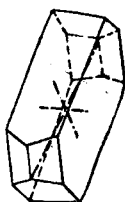
第十八圖
石膏之晶體

F. 三斜晶系 (Triclinic System) 具有三軸 \check{a} 、 \bar{b} 、 \acute{c} ，長短不等，彼此相交，互成斜角 α 、 β 、 γ ；如斜長石 (Plagioclase) 與

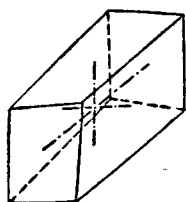
藍晶石(Cyanite)(如第十九、二十與二十一圖)。



第十九圖
三斜晶系晶軸之關係



第二十圖
斜長石之晶體



第二十一圖
藍晶石之晶體

4. 雙晶 (Twin Crystals) 雙晶非一單獨晶體，係依一定平面，旋轉一定角度後，可以恢復其固有晶體之形狀者。此一定平面，謂之雙晶面 (Twinning Plane)，迴轉軸謂之雙晶軸 (Twinning Axis)。雙晶軸之方向，或與結晶軸一致，或與結晶面垂直，而與雙晶面則成正交關係。

雙晶依其結合之方式，分爲三類：

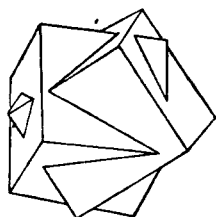
A. 接合雙晶 (Contact or Juxtaposition Twins) 依雙晶面結合之雙晶，謂之接合雙晶，如石膏之燕尾雙晶(如第二十二圖)。

B. 透入雙晶 (Penetration twins) 相同之二結晶個體，互相貫穿結合之雙晶，謂之透入雙晶，如螢石 (Fluorite) 雙晶(如第二十三圖)。

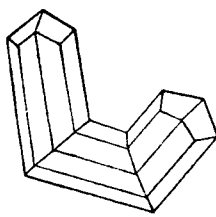
C. 反覆雙晶 (Repeated twins) 數個結晶個體，連串而成之雙晶，謂之反覆雙晶，如金紅石之雙晶(如第二十四圖)。



第二十二圖
石膏之燕尾雙晶



第二十三圖
螢石之透入雙晶



第二十四圖
金紅石之反覆雙晶

5. 鑛物之物理性質 (General Physical Properties of Minerals) 鑑別鑛物之方法，唯賴二端，即化學與物理性質也。化學方法係利用各種試劑 (Reagents) 以行定性及定量之分析；或用吹管、木炭、試藥等物，以行吹管分析 (Blowpipe Analysis)。前者謂之溼法，後者謂之乾法；然皆需要相當設備與長久時間，故頗形複雜。一般鑑定鑛物之法，均利用其物理性質，茲述其重要者如下：

A. 硬度 (Hardness) 鑛物對於磨擦之抵抗力，謂之硬度。硬度之大小，可由比較而知之，即以兩種鑛物互相磨擦，其劃有擦痕者，硬度較低。通常多以 Mohs 規定之硬度表 (Hardness scale) 為標準，茲將其列之如下：

1. 滑石 (Talc)

6. 正長石

- | | |
|-----------------|------------------|
| 2. 石膏 | 7. 石英 |
| 3. 方解石 | 8. 黃玉(Topas) |
| 4. 螢石 | 9. 鋼玉(Corundum) |
| 5. 磷灰石(Apatite) | 10. 金剛石(Diamond) |

普通在野外鑑定鑛物之硬度時，可用指甲、小刀與銅幣三物。指甲能刻劃石膏而不能刻劃方解石，故其硬度在 2 與 3 之間。銅幣能刻劃方解石，故其硬度大於 3。小刀能刻劃磷灰石，而不能刻劃正長石，故其硬度在 5 與 6 之間。鋼刀則能劃傷正長石，而不能劃傷石英，故其硬度大於 6 小於 7。

B. 解理(Cleavage) 解理又稱劈開。鑛物擊碎時，依一定之方向裂開，且裂面光滑，若天然之晶面然，此鑛物謂之有解理性質。如雲母(Mica)破裂而成片狀，平行於其底面，謂之底面解理(Basal Cleavage)。方解石擊碎時，則成菱面體之小塊，謂之菱面解理(Rhombohedral Cleavage)。方鉛鑛破裂時，則成立方體之小粒，謂之立方解理(Cubic Cleavage)。又解理面整齊顯明時，稱為解理完全(Perfect)或清皙(Distinct)，反之稱為解理不完全(Imperfect)或不清皙(Indistinct)。

C. 光澤(Luster) 鑛物表面在反射光線下所呈之現象，謂之光澤。可以分為三類：

金屬光澤(Metallic Luster) 狀如金屬所呈之光澤，多

屬不透明之礦物有之，如銅鉛等之硫化物。

b. 次金屬光澤 (Submetallic Luster) 深色礦物無充足顯著之金屬光澤者，即為次金屬光澤。如褐鐵礦 (Limonite)。

c. 非金屬光澤 (Nonmetallic Luster) 顏色較淺之非金屬光澤，其薄稜透明者，有此光澤；又可分為數種：

(1) 玻璃狀 (Vitreous) 如石英與長石。

(2) 金剛狀 (Adamanting) 礦物之折光率 (Index of Refraction) 極強者有之，如金剛石。

(3) 樹脂狀 (Resinous) 如閃鋅礦 (Sphalerite)。

(4) 油狀 (Greasy or Oily) 如霞石 (Nephelite)。

(5) 珍珠狀 (Pearly) 如雲母與滑石。

(6) 絲絹狀 (Silky) 如石棉 (Asbestos) 與纖維石膏 (Satin spar)。

(7) 黯淡狀 (Dull) 如白堊 (Chalk) 與高嶺土 (Kaolin)。

D. 條痕 (Streak) 條痕為礦物粉末之顏色。一種礦物可有數種不同之顏色，而其條痕之色，常相一致，故為鑑定礦物之重要因素。赤鐵礦 (Hematite) 之顏色，有赤黑、赤、赤褐等色，而其條痕則同為櫻紅色。他如輝銅礦 (Chalcocite) 之條痕為鉛灰色，方解石之條痕為白色。以此種性質鑑定金屬硫化物與氧化物之礦物時，較為重要；而以之鑑定淺色之矽酸鹽與碳酸鹽礦物時，

較不重要；

通常試驗鑛物之條痕時，用一粗毛瓷薄板，即條痕板，以鑛物擦劃其上，而觀其粉末之顏色，然後則知該鑛物有屬於何種之可能。

E. 顏色(Color) 即鑛物表面之顏色。此種性質與其固有之成分有關，而亦受其所含雜質之影響。前者之顏色，謂之自然色(Natural Color)；後者之顏色，謂之外來色(Exotic Color)。如石英之成分為 SiO_2 ，故係白色，但常因內部含有少許之金屬物質，而使之變為各種不同之顏色，含鐵時變紅色，稱碧玉(Jasper)；含錳時變紫色，稱紫石英(Amethyst)。

觀察鑛物之顏色時，以未經風化之表面為準，故須擊出其新面而觀之。因鑛物暴露於空氣日光之下，則表面往往變色，與其原有之顏色迥不相同。例如輝銅鑛本為鉛灰色，但經風化後之表面，則變為暗灰色。

F. 韌性(Tenacity) 鑛物對於錘擊、破裂、彎曲、磨擦與扯拉等外力所呈之現象，謂之韌性，可別為下列數種：

- a. 脆性(Brittle) 易於粉碎，不能成片者，如石英。
- b. 展性(Malleable) 如自然金與自然銀。
- c. 切片性(Sectile) 錘擊分裂而成薄片者，如石膏。
- d. 強韌性(Tough) 強韌性又稱韌性，即鑛物對於大力錘

擊之抵抗力，如綠泥石(Chlorite)。

e. 曲撓性(Flexible) 鑛物受有外力，則生彎曲現象，去其外力不能恢復其原狀者，謂之曲撓性，如石膏。

f. 彈性(Elastic) 鑛物受外力使之彎曲，去之則恢復其原狀者，謂之彈性，如雲母。

G. 比重(Specific Gravity) 鑛物之比重，即其重量與等體積水重之比數。測定鑛物之比重時，多用賈來氏秤(Jolly's Balance)。設鑛物在空氣中之重量為 x ，在水中之重量為 y ，則其比重 G 為：

$$G = \frac{x}{x-y} = \frac{\text{空氣中之重量}}{\text{水中所失之重量}}$$

H. 斷口(Fracture) 鑛物擊破後，不依一定之方向裂開者，謂之斷口。依其破裂面之形狀，可以分為六種：

a. 貝狀(Coachoidal) 貝狀斷口又稱介殼狀斷口，即鑛物破裂之斷面，成圓滑之同心曲面者，若螺殼形狀，如石英。

b. 纖維狀或多片狀(Fibrous or Splintery) 鑛物破碎而成細片者，如鈉矽灰石(Pectolite)。

c. 參差狀(Uneven) 斷面粗糙者，如薔薇輝石(Rhodonite)

d. 平坦狀(Even) 斷面平滑者，如石印石(Lithographic limestone)。

e. 鋸齒狀(Hackly) 斷面形如犬牙者，如自然銅。

f. 土狀(Earthy) 如白堊、高嶺土與水礬土(Bauxite)。

鑛物之重要物理性質，已如上述；除此以外，鑑定鑛物時，又有藉其結構(Structure)者：如大理石(Marble)有粒狀(Granular)結構；赤鐵鑛有密緻狀或乳房狀(Compact or Mammillary)結構；角閃石(Amphibole)有柱狀(Columnar)結構；矽灰石(Wollastonite)有放射狀(Radiate)結構等。有藉其磁性(Magnetism)者：如磁鐵鑛(Magnetite)與赤鐵鑛。有藉其氣味(Odor)者：如重晶石(Barite)有臭蛋(Fetid)氣味；地瀝青(Asphalt)有瀝青(Bituminous)臭味；砷硫鐵鑛(Arsenopyrite)有蒜臭(Garlic)氣味；含硒之鑛物，有馬糞(Hors-radish)氣味等。有藉其滋味者(Taste)：如石鹽(Rock Salt)有鹹味(Saline)；鹵砂(Salamoniac)有刺舌味(Pungent)等。有藉其感覺者：如自然銅，自然銀與各種寶石(Gems)均有冷感(Cold)；石墨(Graphite)與滑石均有脂感(Greasy or Soapy)；白堊有澀感(Harsh)等。凡此皆為鑛物之次要物理性質也。

6. 造岩鑛物各論(Description of Rock-forming minerals)

茲將最常見之造岩鑛物，簡列如下：

A. 石英(Quartz)—— SiO_2

晶體：屬六方晶系之透明結晶，羣生而有共同之底，上端可以見其晶形。晶面上有橫行線條，是其特點，產於岩

石中者，多為粒狀與塊狀(Massive)，無一定之形像。

硬度：7。

比重：2.65。

光澤：玻璃狀，有時略帶油狀。

顏色：有白、紫、煙黑、紅等色。

條痕：白色。

斷口：貝狀。

種類：(1)水晶(Rock crystal)——即純粹 SiO_2 之透明結晶。

(2)紫水晶——含有金屬錳之雜質。

(3)薔薇石英(Rosy quartz)——多係淡桃紅色之塊狀。

(4)乳石英(Milky quartz)——常為乳白色之塊狀。

(5)煙石英(Smoky quartz)——係煙黑色之晶體，因含碳質所致。

(6)碧玉——光澤黯淡，顏色土紅，乃因含鐵之影響所成。

(7)燧石與火石(Chert and Flint)——常產於石灰岩中，前者為灰白色，後者為黑色。

(8)蛋白石(Opal)——係淡藍色或灰色之鑛物。

產狀(Occurrence): 石英在火成岩(Igneous rocks)、水成岩(Sedimentary rocks)與變質岩(Metamorphic rocks)中,均有產出。係花崗岩之主要成分。各種片岩(Schists)及片麻岩(Gneiss)中均有之。砂岩多係石英組成,又有產於岩脈(Dyke)貫穿於岩體之中者。燧石與火石常見於石灰岩中,此種石灰岩不宜用作建築石料與石灰及水泥之原料。此項鑛物對於風化之抵抗力極大。

B. 正長石(Orthoclase)—— KAlSi_3O_8

晶體: 屬單斜晶系,晶體常為粗而厚之形狀,亦有成為長柱狀者。在岩石中,除為斑晶(Phenocryst)及完整之晶體外,普通多係無一定形體之塊狀或粒狀。

硬度: 6—6.5。

比重: 2.62。

光澤: 玻璃狀。

顏色: 肉紅色。

條痕: 白色。

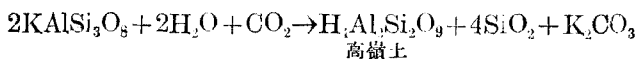
斷口: 參差狀,有時為次貝狀(Subconchoidal)。

解理: 平行於 \bar{b} 及 \bar{c} 軸,互成直角。

種類：(1)鉀微斜長石 (Microcline)——似正長石， α 與 ϵ 軸相交，成 $89^{\circ}30'$ 之角。

(2)玻璃長石 (Sanidine) —— 係白色或無色之晶塊，產於火山岩流 (Volcanic Lava) 之中。

變化 (Alteration)：正長石在風化帶 (Weathering zone) 中，易與水及二氧化碳作用，而成高嶺土或白雲母 (Muscovite)，其變化之方程式如下：



曹灰質長石 (Lime-soda feldspar) 較正長石易於風化，但二者均較石英易於崩潰分解。

產狀：正長石在各種岩石之中，均有發現。火成岩中如花崗岩、正長岩 (Syenite) 以及火山岩流，皆有產出。由此而成之片麻岩與各種結晶片岩 (Crystalline Schists) 中亦有之。水成岩若長石砂岩 (Arkose) 與角礫岩 (Breccia) 內，亦有正長石發見。

C. 斜長石 (Plagioclase) —— $m(\text{NaAlSi}_3\text{O}_8) + n(\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$

晶體：屬三斜晶系，常成塊狀產於岩石之內。

硬度：5—7。

比重：2.6—2.7。

光澤：玻璃狀或珍珠狀。

顏色：白色，亦有深灰及淡綠色者。

條痕：白色。

解理：有二方向，相交成 86° 之角。

種類：(1) 鈉長石 (Albite) —— $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 = \text{Ab}$ ，為白色
鑛物。

(2) 鈣質鈉長石 (Oligoclase) —— $\text{Ab}_{30-70}\text{An}_{10-30}$ ，為
黃色或灰白色鑛物。

(3) 中鈉長石 (Andesine) —— $\text{Ab}_{70-50}\text{An}_{30-50}$ ，為白
色鑛物。

(4) 中鈣長石 (Labradorite) —— $\text{Ab}_{50-30}\text{An}_{50-70}$ ，為
深灰色，暴露於日光下，則變為藍色及紅色。

(5) 鈉質鈣長石 (Bytownite) —— $\text{Ab}_{30-10}\text{An}_{70-90}$ ，為
白色鑛物。

(6) 鈣長石 (Anorthite) —— $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 = \text{An}$ ，為
白色鑛物。

變化及產狀：斜長石經風化後，其變化與正長石相似；含
鈣質較多者，又可變為方解石、沸石 (Zeolite) 及綠簾石
(Epidote)。

D. 雲母(Mica)

晶體：屬單斜晶系，常成六邊形之板狀晶體；產於岩石中者，多成無定形之鱗片體。

硬度：2—3。

比重：2.7—3.1。

光澤：珍珠狀。

顏色：深淺不一，有黑、白、黃、綠諸色。

條痕：白色。

解理：平行於底面，極為完全，故易於撕成薄板，彎曲而有彈性。

種類：(1)白雲母—— $H_2K(AlSiO_4)_2$ ，係無色白色至灰色或淺褐色之礦物，多產於偉晶花崗岩(Pegmatite)及花崗岩中；變質岩如片麻岩及片岩中亦有之。

(2)黑雲母(Biotite)—— $(H,K)_2(Mg,Fe^{II})_2(Al,Fe^{III})_2(SiO_4)_2$ ，係黑色礦物，其薄片為褐色、紅褐色或深綠色。產於富含長石之花崗岩及正長岩中。

(3)絹雲母(Sericite)——係綠色之絲絹狀礦物。

變化：雲母為不易風化之礦物。長石類礦物經與熱蒸氣及水分作用後，可以變為絹雲母，此種現象謂之絹雲母

化作用(Sericitization)。黑雲母因其成分含鐵，風化後則變為綠泥石及鐵之氧化物。在建築石材中，黑雲母常因風化而游離鐵之氧化物，呈不悅目之顏色。

產狀：雲母盛產於各種火成岩與變質岩中，亦有產於砂岩中者。白雲母多產於酸性火成岩中，如花崗岩及偉晶花崗岩；黑雲母則多產於各種花崗岩、閃長岩及橄欖岩(Peridotite)中。

E. 輝石(Pyroxene)

晶體：除紫蘇輝石(Hypersthene)屬斜方晶系外，其餘各種均屬單斜晶系。晶體常為短而粗之柱狀，橫剖面為八邊形或距形。其產於岩石中者，則多為粒狀或無定形之塊狀。

硬度：5—6。

比重：2.3—3.6。

光澤：玻璃狀至樹脂狀。

顏色：由白色、綠色而至黑色，視其含鐵之多寡而定。

條痕：由白色至灰綠色。

解理：平行於其柱面，甚為完全，相交成 87° 與 93° 之角，頗近正交。

種類：(1)普通輝石(Augite) —— RSiO_3 ($\text{R} = \text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mg}$,

Al), 黑色不透明, 經風化後, 即成含水氧化鐵及綠色纖維狀之角閃石。

(2) 玩火輝石 (Enstatite)—— $MgSiO_3$, 係灰色或暗綠色之礦物。

(3) 紫蘇輝石—— $(Mg, Fe) SiO_3$, 褐黑色, 多為粒狀或塊狀, 產於閃長岩及橄欖岩中。

(4) 透輝石 (Diopside)—— $CaMg(SiO_3)_2$, 白色或淺綠色, 常見於大理岩中。

(5) 鈉輝石 (Aegirite)—— $NaFe^{III}(SiO_3)_2$, 黑色, 每見於基性火成岩中。

變化: 輝石風化後, 即變為蛇紋石 (Serpentine) 與綠泥石, 且有時與碳酸鹽及鐵礦伴生。受動力變質作用 (Dynamic Metamorphism) 之後, 則變為角閃石。

產狀: 輝石發見於火成岩中, 尤以產於玄武岩及橄欖岩中者為多; 產於變質岩中之輝石較少, 僅見於結晶石灰岩 (Crystalline limestone) 與片麻岩中。建築石材中, 如有輝石, 往往影響磨光, 以其硬度較大。

F. 角閃石 (Amphibole)

晶體: 屬單斜晶系, 晶體多成細長之柱狀, 其橫剖面為六邊形。產於岩石中者, 多為細長之針狀、粒狀與小塊狀。

硬度：5—6。

比重：2.9—3.4。

光澤：玻璃狀及珍珠狀。

顏色：多為黑綠色。

條痕：白色帶綠。

解理：平行於其柱面，甚為完全，相交成 55° 與 125° 之角。

種類：(1)普通角閃石 (Hornblende)—— R_2SiO_5 ($R = Ca, Fe, Mg, Al, Na$)，係深綠色或黑色之礦物。

(2)透角閃石 (Tremolite)—— $CaMg_3(SiO_3)_4$ ，白色或灰色之礦物。

(3)陽起石 (Actinolite) —— $Ca(Mg_1Fe)_3(SiO_3)_4$ ，綠色或灰綠色之礦物。

變化：角閃石風化後，即變為蛇紋石與綠泥石，常伴生碳酸鹽、石英與綠簾石。風化過甚之最後結果，則成碳酸鹽、鐵之氧化物與石英。

產狀：角閃石為各種火成岩及變質岩之主要造岩礦物。

透角閃石與陽起石乃變質礦物 (Metamorphic minerals) 前者產於結晶石灰岩中，後者產於結晶片岩中。由輝石之變質作用所生之角閃石，謂之假像纖維角閃石

(Uralite)。

G. 石榴石(Garnet)—— $R_3''R_1'''(SiO_4)_3$ ($R'' = Mg, Ca, Fe, Mn,$
 $R''' = Fe, Al, Cr$)

晶體：屬等軸晶系，有時成晶面不完全之圓塊狀或粒狀。

硬度：6.5—7.5。

比重：3.2—4.4。

光澤：玻璃狀，有時為樹脂狀。

顏色：各不相同，有黑、紅、紫、綠、黃等色。

條痕：白色。

斷口：參差狀。

解理：不完全，平行於十二面體之面。

種類：(1)鎂鋁石榴石(Pyrope)—— $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ ，深紅
而近於黑色。

(2)鈣鋁石榴石(Grossularite)—— $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$ ，
帶綠之紫色、黃色或白色鑛物。

(3)鐵鋁石榴石(Almandite)—— $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ ，深
紅色至褐紅色之鑛物。

(4)鈣鐵石榴石(Andradite)—— $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$ ，黑
色。

變化：石榴石風化後亦可變為蛇紋石及綠泥石，後者為

其最普通之變化產物；褐鐵礦為鈣鐵石榴石最常見之風化產物。

產狀：石榴石大部產於變質岩中，產於火成岩者甚少。如結晶片岩、片麻岩及橄欖岩中，均有產出。其主要用途為研磨材料。

H. 橄欖石(Olivine)—— $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

晶體：屬斜方晶系，普通多成粒狀。

硬度：6.5—7。

比重：3.3—3.5。

光澤：玻璃狀。

顏色：橄欖綠至黃綠色。

條痕：白色，有時微帶黃色。

斷口：貝狀。

變化：橄欖石風化後，即變為褐色或帶紅色之鐵質氧化物及蛇紋石。

產狀：多見於基性火成岩中，如輝長岩(Gabbro)、橄欖岩及玄武岩岩流；有時亦見於變質之鎂質石灰岩與片岩中。

I. 磁鐵礦(Magnetite)—— Fe_3O_4

晶體：屬等軸晶系，常為八面體或菱形十二面體；在岩石

中,則每成細小之粒狀。

硬度: 5.5—6.5,

比重: 5.2。

光澤: 金屬光澤。

顏色: 暗灰色至鐵黑色。

條痕: 黑色。

斷口: 參差狀。

產狀: 磁鐵礦為分佈極廣之礦物,火成岩中皆有之;經接觸變質(Contact metamorphism)而成之變質岩石,亦含有之,有時且成較大之礦床。含有此種礦物之板岩(Slate),不宜與電接近。

J. 赤鐵礦(Hematite)—— Fe_2O_3

晶體: 屬六方晶系,普通多為柱狀、粒狀、塊狀或密緻狀,有時亦有成爲魚卵狀產出者。

硬度: 5.5—6.5。

比重: 4.9—5.3。

光澤: 金屬光澤至黯淡光澤。

顏色: 鐵黑、黑紅以至深紅色。

條痕: 櫻紅色。

斷口: 參差狀。

產狀：赤鐵礦盛產於各種岩石之中，且有時成爲可以開採之鑛床。其產於水成岩中者，常成層狀或塊狀。

K. 褐鐵礦(Limonite)—— $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ，爲非晶體，多成塊狀，泥土狀或密緻狀產出。

硬度：5—5.5。

比重：3.6—4。

光澤：密緻之褐鐵礦爲絲狀至次金屬狀，普通多係土狀。

顏色：褐色及類似鐵銹之黃色。

條痕：黃褐色。

產狀：褐鐵礦爲次生鑛物(Secondary Mineral)，由其他含鐵鑛物變化而成。火成岩與變質岩中，常有含鐵鑛物，如黃鐵礦(Pyrite)，露置於地表，則變爲黃褐色泥土狀之褐鐵礦，稱爲鐵冠(Gossan)，乃硫化物鑛體之象徵。土壤及水成岩中，如含褐鐵礦，則染爲黃色。

L. 黃鐵礦(Pyrite)—— FeS_2

晶體：屬等軸晶系，產於岩石中者，常爲立方體，其結晶面有直線條紋，亦有成爲塊狀或結核狀產出者。

硬度：6—6.5。

比重：4.9—5.2。

光澤：金屬光澤，但久露大氣中，則變爲暗黯狀。

晶體：屬六方晶系，常為菱面體，產於岩石中者，則為塊狀。

硬度：3。

比重：2.72。

光澤：玻璃狀。

顏色：白色。

條痕：白色至灰色。

解理：有三方向，平行於菱面體之面，甚為完全。

產狀：方解石在水成岩及變質岩中，產出極盛，亦有產於火成岩中而成岩脈者。遇酸立即發生氣泡。

O. 白雲石 (Dolomite) —— $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

晶體：屬六方晶系，成菱面體，晶面彎曲，其產於岩石中者，則為塊狀或粒狀。

硬度：3.5—4。

比重：2.8—2.9。

光澤：玻璃狀或珍珠狀。

顏色：白色、淡紅色、綠色或褐色。

條痕：白色。

解理：與方解石相同，亦有三方向，平行於菱面體之面，甚為完全。

產狀：白雲石在水成岩及變質岩中，均有產出，與方解石常相伴生，有時單獨成層。此種礦物遇稀薄之冷酸不生氣泡，但遇熱酸則生之，故與方解石可以區別。

P. 石膏(Gypsum)—— $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

晶體：屬單斜晶系，晶體常成薄板狀，但在岩石中，則多為塊狀、粒狀、葉片狀或纖維狀。

硬度：2。

比重：2.32。

光澤：玻璃狀、珍珠狀或絲絹狀。

顏色：無色或白色；含有雜質時，則為灰、黃、褐、紅等色。

條痕：白色。

種類：(1)透明石膏(Selenite)——係透明之晶塊。

(2)纖維石膏(Satin spar)——係有絲絹光澤之纖維狀塊狀。

(3)雪花石膏(Alabaster)——作密緻狀或細粒狀。

(4)石膏(Rock gypsum)——係無光彩之頁狀、粒狀或密緻狀塊體。

產狀：石膏係由內海蒸發而成，故產於水成岩中，成為層狀，並與石鹽共生；為製造水泥及刻塑之原料。

Q: 綠泥石(Chlorite)——鐵鎂鋁質之含水矽酸鹽。

晶體：屬單斜晶系，常為鱗片結合而成塊狀體。

硬度：1—2.5。

比重：2.7。

光澤：珍珠狀。

顏色：綠色或暗綠色。

條痕：淺綠至白色。

產狀：綠泥石係次生礦物，產於火成岩及變質岩中；有時在水成岩中亦可獲得，乃由含鋁之鐵鎂質矽酸鹽礦物變化而成，如輝石、角閃石與雲母等。岩石中含有此等礦物，即染污而成綠色。

R. 蛇紋石(Serpentine)—— $H_4Mg_3Si_2O_{10}$ ，係非晶體，常成塊狀、粒狀或纖維狀產出。

硬度：2.5—3。

比重：2.2—2.8。

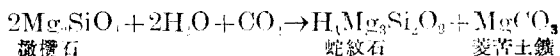
光澤：油狀或絲絹狀。

顏色：有綠、黃、褐、紅、黑各色。

條痕：白色。

斷口：貝狀。

變化及產狀：蛇紋石係由橄欖石、輝石與角閃石等之鎂質矽酸鹽變化而成，其變化之方程式如下：



故此種物質，亦係次生鑛物；常產於火成岩及變質岩中。乃古綠石(Verd Antique 即蛇紋石灰岩)之主要成分，可以用作裝飾品。

S. 高嶺土(Kaolin)—— $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$

晶體：屬單斜晶系，惟晶體少見，普通多為密緻狀及泥土狀之塊體。

硬度：1—2.5。

比重：2.6。

光澤：珍珠狀至黯淡狀。

顏色：通常為白色，且微帶黃、褐、灰色。

條痕：白色帶黃。

產狀：高嶺土係次生鑛物，乃由含鋁矽酸鹽如各種長石變化而成。其分佈甚廣，為泥土之主要成分。可為陶瓷原料。

II. 岩石(Rocks) 岩石乃鑛物之集合體，有一種鑛物組成者；亦有數種鑛物組成者。前者謂之單性岩(Simple Rocks)，如石灰岩與石英岩；後者謂之複性岩(Compound Rocks)，如花崗岩與閃長岩。構成地殼之物質，不論其堅硬與否，均以岩石名之；依其生因與產狀之不同，分為三種：(1)火成岩，係因熔融之岩漿

固結而成。(2)沉積岩，係由既成之岩石，受風化作用之破壞，經水力、風力或冰力之運移，至適宜地區沉積而成；或由生物之分泌、排洩與遺骸堆積而成。此種岩石，多在水中生成，故又稱水成岩。(3)變質岩，係由火成岩或水成岩，經地內所生高溫與高壓之影響，使其含有之鑛物分子，重新排列，或重新結晶而成。

岩石之性質、產狀、石理 (Texture) 與構造 (Structure)，對於工程之設施，頗關重要。(1)岩石之種類不一，對於建築與鋪路之價值亦各不同。(2)各種岩石對於風力之抵抗力不同，其在工程上之意義，亦不一致。(3)岩石之硬度各異，可以影響打鑽與開山工作。(4)岩石之結構不同，對於開鑿隧道、採取石料、安定斜坡以及建築堤壩之功用，關係頗大。

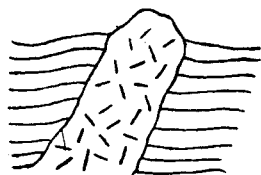
1. 火成岩之產狀 (Mode of Occurrence of Igneous Rocks)

火成岩係由岩漿固結而生，依其凝結之位置不同，可以分爲兩種：(1)岩漿上升，至地殼之內部固結者，以侵入或深成 (Intrusive or Plutonic) 名之。(2)岩漿衝至地表固結者，以噴發或火山 (Extrusive or Volcanic) 名之。

A. 侵入岩之形體 (Forms of Intrusive Rocks)

a. 岩脈 (Dyke) 岩漿上升，侵入岩石裂隙之中，固結而成狹長之火成岩體，謂之岩脈，其傾斜通常陡峻 (如第二十五圖)。

b. 岩床 (Intrusive Sheet or Sill) 岩漿上升，侵入水成岩



第二十五圖 岩脈

層理之間而固結者，謂之岩床。組成岩床之岩石，多為易於流動之玄武岩或安山岩；與火山岩流，頗相類似，惟一成多孔狀，一成密緻狀，且上下岩層，

均可因熱度關係，發生變質現象，故可區別（如第二十六圖）。

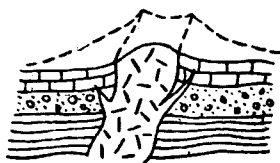
c. 火山頸 (Volcanic Neck)

火山頸係熄滅火山之故道，岩漿殘留於火山口內而凝結者。當火山活動時，下通岩漿，上接岩



第二十六圖 岩床與岩流

流；至其熄滅，上部岩流侵蝕而去，此柱狀之火山頸，則殘留於圍岩之中（如第二十七圖）。



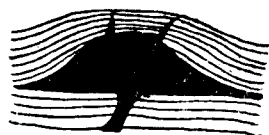
第二十七圖 火山頸

d. 岩盤 (Laccolith) 岩漿侵入水成岩中，一因其粘性較大，凝結較快，一因上部岩層之壓力較小，易於變形，

遂將圍岩掀起，而成凸鏡狀形體，是為岩盤。其底面略與層理平行，頂部則成近似半圓形（如第二十八圖）。

e. 岩基 (Batholith) 水成岩或變

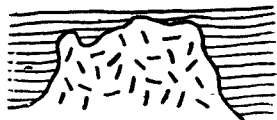
質岩之下部，有不規則之大塊火成岩



第二十八圖 岩盤

體凝結者，謂之岩基。其上部之岩層侵蝕後，即顯露於地表。岩株

或岩瘤(Stock or Bass)亦爲不規則之火成岩體，往往凸出於岩基之上。岩基之橫剖面常大於 100 平方公里；小於此者，則稱岩株(如第二十九圖)。



第二十九圖 岩基與岩株

B. 噴出岩之形體(Forms of Extrusive Rocks)

a. 岩流(Lava Flow) 岩漿衝出地表，向外流溢，若河流之傾瀉者，謂之岩流。其表部因氣體之放散，成多孔狀或渣滓狀。組成岩流之岩石，多爲易於流動之玄武岩。

b 岩種(Cupola) 富於矽質之岩漿，粘性極強，不易流動，達於地表，即行團結，成圓錐狀或鐘狀岩體，謂之岩鐘。組成岩鐘之岩石，多係流紋岩(Rhyolite)。

2. 火成岩之成分(Composition of Igneous Rocks) 火成岩之化學成分，極爲複雜，而其重要者，僅爲氧、矽、鋁、鐵、鎂、鈣、鉀與鈉八種元素。其中之後七種，均可成爲氧化物； SiO_2 又與其他六種金屬化合，即成矽酸鹽。火成岩中含 SiO_2 最多者，稱爲酸性；次多者稱中性；最少者稱基性。火成岩之種類雖多，然其所含之重要礦物成分，亦不過十餘種。以其成分言，可以分爲兩類：

矽鋁質礦物

鐵鎂質礦物

正長石(KAlSi_3O_8)

雲母($\text{K}_2(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$)

鈉長石($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)	輝石($\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$)
鈣長石($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)	角閃石($\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$)
石英(SiO_2)	橄欖石($(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$)
霞石($\text{NaAl}_3\text{Si}_3\text{O}_8$)	各種鐵鑛

組成岩石之主要鑛物成分，謂之主要成分 (Essential Component)，如花崗岩中之石英與長石。至含量甚微，與岩石之本質無關者，謂之附生成分 (Accessory component)，如花崗岩中所含之磁鐵鑛、磷灰石與鋯石 (Zircon) 等。火成岩中所含之鑛物成分，又有原生與次生 (Primary and Secondary) 之別。前者係由岩漿固結而生；後者係由原生成分變化而生，如高嶺土、滑石、絹雲母、方解石與綠簾石等。

3. 火成岩之石理 (Texture of Igneous Rocks) 火成岩之石理，乃其所含鑛物分子之大小、形狀、排列與其相互間之關係。此種性質，以其化學之成分、凝結時之溫度、壓力之大小與所含鑛化物 (Mineralizer) 之多寡而定。岩漿如含大量之鑛化物，其冷卻之溫度遲緩均勻，則所生之鑛物顆粒較大而一致，稱為粒狀 (Granular) 石理。如壓力減小，鑛化物均行放散，溫度又復驟降，岩漿速冷速結，則生玻狀 (Glassy) 石理。如岩石所含之鑛物顆粒極細，肉眼不易分辨，狀如均質者，謂之密緻狀 (Aphanitic) 石理，乃溫度下降中庸，鑛化物尚未完全放散所生之結果也。火

成岩鑛物分子之組成，亦有大小不一，互相混合者，謂之斑狀 (Porphyritic) 石理，晶體大者，稱為斑晶 (Phenocryst)，乃先期結晶之產物；晶體細者，稱為石基 (Groundmass) 乃後期結晶之產物。

4. 火成岩之構造 (Structure of Igneous Rocks) 火成岩之構造，乃指岩石較大之形像，此與石理不同者也。岩流因流動而成薄層狀，每層岩石皆由細粒組成，謂之帶狀 (Banded) 構造。熔岩達於地表，因壓力減低，其中所含之各種氣體飛散，則常在岩流之頂部，產生圓形或橢圓形孔穴，謂之氣孔狀 (Vesicular) 構造。酸性熔岩之全部變為氣孔狀構造者，稱為浮石 (Pumice)。氣孔狀岩石，遇有含鑛質之熱液經過，則往往沉積，填充於氣孔之中，甚為美觀，謂之杏仁狀 (Amygdoloidal) 構造。岩漿冷卻凝結，變為固體，體積因而收縮，則生洞穴狀 (Miarolitic) 構造。

5. 火成岩各論 (Description of Igneous Rocks)

A. 花崗岩 (Granite) 花崗岩為深成岩分佈最廣之岩石。其主要鑛物為石英與長石，前者係白色；後者多係肉紅色之正長石。其有色鑛物為雲母或角閃石，輝石、石榴石、磁鐵鑛、磷灰石、鋯石則偶或有之。比重在 2.63—2.75 之間，每立方呎平均約重 168 磅，壓碎強度 (Crushing Strength) 平均每立方吋，在 15,000—20,000 磅之間。此種岩石堅固耐久，色澤美麗，攻鏗容

易，爲常用之建築石材。風化後所成之土壤，亦甚肥沃。

B. 正長岩(Syenite) 正長岩之主要鑛物成分，係正長石，不含石英或含量極少。普通角閃石、黑雲母或輝石爲其附生成分。比重在 2.6—2.8 之間。重量與壓碎強度與花崗岩相似。以其不含石英，故易於磨光，抗火性亦較花崗岩爲佳，惟其產量不多耳。正長岩中所含斜長石之量，如與正長石相等時，則稱二長岩(Monzonite)。

C. 閃長岩(Diorite) 閃長岩係中性火成岩，其主要鑛物成分爲角閃石與斜長石。含有少量之石英者，謂之石英閃長岩(Quartz-diorite)。含有鹼性長石者，謂之花崗閃長岩(Granodiorite)。磷灰石、磁鐵鑛、鎢鐵鑛(illmenite)與石榴石爲其附生成分。比重在 2.8—3.0 之間，每立方呎約重 187 磅。此種岩石因多爲粒狀，故質地堅硬，不易崩潰，且分佈頗廣，宜作建築屋宇鋪砌道路之用。

D. 輝長岩(Gabbro) 輝長岩爲比較基性之火成岩，其主要鑛物成分卽輝石與斜長石，斜長石多屬中鈣長石，有時亦含角閃石、橄欖石或雲母等鑛物。比重在 2.9—3.2 之間。顏色爲暗黑色，或帶綠色。壓碎強度甚大，可做建築石材，惟以顏色黯淡產出不多，故應用不廣。風化後所成之土壤，多帶黃色或紅色。

E. 橄欖岩(Peridotite) 橄欖岩爲基性火成岩，其主要鑛物

成分係橄欖石、普通輝石、紫蘇輝石與普通角閃石等之鐵鎂質礦物，有時亦含少量之長石。比重在 3.0—3.3 之間。顏色為暗綠至黑色。易於變為蛇紋石及滑石。因其色澤美麗，可供建築與裝飾之用，惟其產出不富。

F. 輝綠岩 (Diabase) 輝綠岩之礦物成分與輝長岩相當。顏色為暗灰色或帶綠色，而至黑色。石理為細粒狀或斑狀，斜長石每成長條狀嵌於輝石之中。比重在 3.0—3.3 之間。此種岩石常成火山頸產出，上部與玄武岩岩流相接。

G. 玄武岩 (Basalt) 玄武岩為基性火成岩，其礦物成分亦與輝長岩相當，斜長石、輝石及橄欖石為其主要礦物。石理為極細之粒狀，顏色多係黑色，比重在 2.9—3.1 之間。其分佈甚廣，可以掩覆數十萬方哩之地面。

6. 沉積岩之生成 (Origin of Sedimentary Rocks) 沉積岩即水成岩，又稱遞積岩，係次生岩石，由火成岩、變質岩或已有之水成岩，經水力、風力或冰力之風化剝蝕，輾轉運移，沉積而成。就其沉積之方式論，可分三種：(1) 機械沉積 (Mechanical Deposit)，即在水中或大氣中，經機械的物理作用，破碎固結而成者。(2) 化學沉積 (Chemical Deposit)，即在水中，由二種以上之鹽類起化學作用，或經日光之蒸發而沉積者。(3) 生物沉積 (Organic Deposit)，即在水中或大氣中，由生物之分泌、排洩或

遺骸堆積而成者。其造岩程序，可分四步：即風化(Weathering)、運移(Transportation)、沉積(Deposition)與硬化(Consolidation)。就其沉積之地位論，亦分三種：(1)大陸沉積(Continental Deposit)，如江、湖、大氣與三角洲之沉積。(2)海濱沉積(Littoral of Beach Deposit)，乃在低潮面與高潮面間，經海浪與潮汐作用之震蕩所成之岩石。(3)海洋沉積(Marine Deposit)，即在低潮面以下，淺水範圍內所成之岩石，又稱近海沉積(Terrigenous Deposit)。

7. 沉積岩之石理(Texture of Sedimentary Rocks) 沉積岩之石理，即其所含礦物顆粒之大小、形狀、排列與其相互關係，以及其間膠結物質之沉積是也。可分三項述之：

A. 顆粒之大小(Size of Grain) 沉積岩礦物顆粒之大於豆者，稱為砂礫(Gravel)，每一砂礫則稱為礫(Pebble)；大於小瓜者，稱為漂礫(Boulder)；小於豆者稱為砂(Sand)；最細而能被風吹移者，稱為灰塵(Dust)。由其所含顆粒之大小，可以決定水成岩之種類，如礫岩(Conglomerate)係粗粒狀岩石；砂岩係中粒狀岩石；頁岩為細粒狀岩石。

B. 顆粒之形狀(Shape of Grain) 水成岩所含顆粒之形狀，以其被運移之遠近而定。運移遠者，成為圓形或似圓形；運移近者，則為稜角形，有稜角顆粒之岩石，稱為碎屑狀石理(Clastic

Texture)。

C. 膠結物質 (Cement Material) 膠結物質乃使疏鬆岩石顆粒：膝固而成堅硬岩石之物質。此種物質有由其他岩石而來者；有由沉積物之本身一部分物質溶解，重新沉積而成者；有由沉積物包裹之較細物質所組成者。砂質、石灰質與鐵質膠結物，多屬前二類；泥土質膠結物，則屬第三類。

膠結物對於岩石之孔性(Porosity)、硬度、壓碎強度與抵抗磨擦風蝕之力，均有影響。砂質膠結物之岩石，最為堅硬；泥土質膠結物之岩石，則最軟弱。有時岩石所含之顆粒，雖甚柔軟，但其膠結物如為砂質，可以使之堅硬異常。膠結物之量，有時亦可影響岩石之各種性質。

8. 沉積岩之構造(Structure of Sedimentary Rocks) 砂礫泥土運至水中，粗者先沉，細者後降，自下而上遂有粗細之分。若在流動之水中沉積，粗重之砂礫不能運載過遠，於是先行沉降，輕細者則隨水遷移，挾帶遙遠，如此則在同一平面內，亦有粗細之變異。上下兩部岩層之結構不同，有顯著之裂面，易於分劈者，謂之具有層理(Stratification)，此為在水中沉積之通性，故沉積岩又稱成層岩(Stratified Rocks)。單獨之一層，謂之層(Bed or Layer)，二層相接之面，稱為層面(Bedding Plane)，每層之厚度，由一二公分至數十公尺不等。

9. 沉積岩之成分 (Composition of Sedimentary Rocks)

沉積岩之成分，變遷甚著，就其鑛物之種類言，既由火成岩與變質岩之剝蝕遷運，重新沉積而成，則火成岩與變質岩之所含者，當然亦可見於沉積岩。惟在其剝蝕遷運時，矽酸鹽多變為簡單之氧化物、碳酸鹽、硫酸鹽以及粘土等物質。蝕變最難者為石英，次為雲母，再次為長石。至於附生鑛物，如磁鐵鑛、磷灰石、石榴石等，亦難蝕變，故每見於沉積岩中。經氧化、碳酸化及硫酸化作用所成之鑛物，如方解石、菱鐵鑛 (Siderite)、褐鐵鑛與石膏均是。此外沉積岩中尚有次生矽酸鹽，惟含量甚少。由是可知，沉積岩之成分，雖無精確統計，然就理想論，當與其他岩石之成分相似也。

10. 沉積岩之特徵 (Characteristic Features of Sedimentary Rocks) 沉積岩除具層理外，尚有其他特徵，可與他種岩石區別：(1) 化石 (Fossils)，即古代生物之遺跡，有時僅有模型刻痕，有時保存其堅硬之骨骼或體殼。(2) 足跡 (Foot-Prints)，係古代鳥獸遺留於河灘或海邊軟泥上之足印。(3) 雨痕 (Raindrop Impression)，為古代降雨之象徵。(4) 波痕 (Ripple Marks)，乃河、湖、海邊淺水部分，受水流震蕩所成漣漪之痕跡。(5) 交錯層 (Cross Bedding)，係因流水之方向不定，致使上下岩層，交斜綜錯，砂岩中常見之；風成之岩層，有時亦有之。(6) 結核

(Concretion), 爲因地層中之微量可溶性物質, 經流水溶解, 環繞固體核心而沉積者, 如白堊及石灰岩中常有砂質結核; 砂岩中常有鐵質結核; 黃土(Loess)中常有石灰質結核, 此種物質, 俗稱崑石。此外沉積岩中有時又有乾裂(Mud-crack)及鱗粒(Oolith)等特性, 亦可藉與其他岩石分別。

11. 沉積岩各論(Description of Sedimentary Rocks)

A. 礫岩(Conglomerate) 各種大小不同之石礫, 經細碎物質膠結而成之岩石, 謂之礫岩。其石礫常爲圓形或似圓形, 種類不一, 有由一種岩石或礦物組成者, 有由數種岩石或礦物混合而成者。膠結物質有砂質、石灰質、鐵質與粘土質數種。故其硬度及顏色, 各不相同。磨光之後, 頗爲美觀, 但因組成不均, 磨礪不易, 故在建築上, 價值甚小, 僅可用作鋪砌灰漿碎石路與鐵道石子之用。

B. 角礫岩(Breccia) 角礫岩與礫岩相似, 惟其所含之石礫, 均帶稜角, 乃示其在水中轉運不遠, 卽行沉積之證。此種岩石, 如係由火山物質結合而成者, 稱爲火山角礫岩或集塊岩(Tuff Breccia or Agglomerate)。在岩層之破碎帶中, 如有飽含鑛質之溶液經過, 其沉澱之物質, 亦可將破碎之岩石膠結, 此種岩石稱爲擦碎角礫岩(Friction Breccia), 斷層帶中常有之。

C. 砂岩(Sandstone) 砂岩爲砂粒結成之岩石, 除圓粒之石

英外，常含土質、石灰質及鐵質膠結物，其堅固之程度，須視此項膠結物之性質而定。顏色不一，含鐵質較高者，多呈紅棕或黃色。此種岩石通常為多孔性之岩石，其孔隙佔岩石體積 5%—30%，是以砂岩為最佳之蓄水層。比重在 2.5—2.7 之間，每立方呎重約 125—150 磅，壓碎強度每平方吋在 1,500—15,000 磅之間。砂岩因真膠結物與所含物質之不同，可以分為數種：由粘土膠結而成者，稱粘土質砂岩 (Argillaceous Sandstone)；含雲母者，稱雲母砂岩 (Micaceous Sandstone)，含長石者，稱長石砂岩 (Arkose)；除石英外，尚含其他岩石或礦物之顆粒，如頁岩、石英岩、花崗岩、玄武岩、角閃石、輝石、石榴石等碎屑者，則稱硬砂岩 (Graywacke)。砂岩分佈甚廣，開採亦易；至其耐久與否，則視膠結物之種類而定，砂質者較為堅硬，灰質者易於風化，故後者用於較大建築，實不相宜。

D. 頁岩 (Shale) 頁岩為泥土或粘土之膠結堅固者，每成薄層狀或頁狀構造，質甚細密，顆粒之種類，為肉眼所不能分辨，但根據分析之結果，知大部為石英、高嶺土以及與其相關之粘土物質組成，此外尚有雲母、方解石等。膠結物常為砂質、石灰質或鐵質；故有砂質頁岩與灰質頁岩等名稱；其富於碳質者，色黑，稱碳質頁岩。頁岩分佈甚廣，除為製磚及水泥之原料外，對於建築上無甚價值。風化後所成之土壤，甚為肥沃。頁岩因其質地堅密，故

石鹽與石膏，二者常為交互之層次，分佈頗廣。

12. 變質岩之成因(Origin of Metamorphic Rocks)

變質岩乃由原有之火成岩或水成岩受熱力，壓力以及各種氣體作用，使其內部所含之鑛物成分，一部或全部重新排列，改變其原有之組織，或重新熔融結晶，而成另一種類之新岩石，其變質之要素有三，即(1)壓力，(2)熱力與(3)液體及氣體是也。岩石受上部岩層之靜壓力，僅能使之結合堅密；但如周圍岩層之中，有強弱不均之動壓力，互相推擠，則可使岩石所含之鑛物顆粒滾轉，或使其變為柱狀，平行發展，而成變質岩所特有之片狀構造，如熱力從旁相助，則可將已成之鑛物熔融，另行構成適於此種環境之新鑛物。例如火成岩侵入石灰岩中，則石灰岩受動壓力與熱力之作用，重新結晶而成大理岩。若侵入之岩漿中，含有多量水汽及硫、氟、硼等各種氣體（鑛化物），則變化更著，當其侵入水成岩時，則與之作用，產生新鑛物，同時尚可生成重要之鑛床。

13. 變質作用之種類(Kinds of Metamorphism) 變質作用可以略分三種，分述如下：——

A. 接觸變質作用 (Contact Metamorphism) 火成岩漿侵入其他岩體之中，在二者之接觸部分常生變質作用。火成岩漿侵入之後，因其周緣與圍岩接觸，故急行冷卻，是以結晶而成之岩

石，在岩體之外緣，每較其內部密緻，是爲內成變質 (Endomorphism)。被接觸之岩石，則因高熱影響，以及岩漿所揮發之氣體與液體作用，另行構成新岩石，如石灰岩之變爲大理岩，且產生石榴石，綠簾石與矽灰石 (Wollastonite) 等變質礦物，是爲外成變質 (Exomorphism)。

B. 熱液變質作用 (Hydrothermal Metamorphism) 火成岩漿冷凝之末期，尙有大量液體分泌而出，且挾有各種氣體，放散於圍岩之中，與圍岩所含之物質化合，生成新礦物，變質岩中之一部綠泥石、綠簾石、絹雲母以及石英等，卽由此種熱液之變質作用而生，有時亦可造成有經濟價值之鑛脈。

C. 區域變質作用 (Regional Metamorphism) 深埋地下之岩層，受動壓力擠壓斷裂，岩層互相磨擦，遂生高熱，其所含之礦物分子，則重新排列，或重新熔融結晶，造成新岩石者，謂之區域變質，此種作用 壓力爲主，熱力次之；所成之變質岩，大半具有完美之片狀或帶狀構造。

14. 變質岩之構造 (Structure of Metamorphic Rocks)

變質岩之構造與火成岩大異其趣。(1) 變質岩既產生於高溫、高壓及各種氣體互相作用之環境中，則其所生之石質，均係結晶質。(2) 結晶質礦物平行排列，其晶粒粗大成爲斷續之葉片狀者，爲片麻狀 (Gneissic)。(3) 晶粒細微連續而成書頁狀者，爲

片狀 (Schistose)。(4) 鑛物顆粒平行排列，顏色遞變，相間而成層帶者，為帶狀 (Banded) (5) 層理極薄，分裂甚易，組織密緻，而以肉眼不能分辨其所含之鑛物者，為板狀 (Slaty)。此外變質岩中，尚有類似斑狀之構造者，而其粗偉之晶體係後期產物，謂之假斑狀構造 (Pseudo-porphyrific Structure)。

15. 變質岩之成分 (Composition of Metamorphic Rocks)

變質岩既由火成岩或水成岩變化而來，其化學成分，當與原來之岩石相同，然當岩石變質時，往往有岩漿所挾之液體與各種氣體作用其間，故所生變質岩之成分，與原來之岩石，又微有出入。變質岩之鑛物成分，有與火成岩相似者，如石英、長石、雲母、角閃石、輝石、綠泥石等；亦有係變質岩所特有者，如藍晶石 (Cyanite)、黝簾石 (Zoisite)、十字石 (Staurolite)、矽灰石、滑石等。

16. 變質岩各論 (Description of Metamorphic Rocks)

A. 片麻岩 (Gneiss) 片麻岩之主要鑛物成分，與花崗岩相似，亦係石英與長石，含雲母者甚多，有時又含角閃石與輝石等。顏色視其所含之鑛物而定，含石英與白雲母多者，成為白色，含長石多者，成肉紅色，含黑雲母、角閃石與輝石多者，成為黑色，但普通多係雜色頗稱美觀，比重與壓碎強度，亦與花崗岩相似，呈片麻狀構造，易於分裂，故不宜用作較大之建築石材。僅可做

鋪砌道路及製造混凝土之用。

B. 石英岩 (Quartzite) 砂岩變質後，重新結晶，則成石英岩。其性質堅硬，普通多為白色，含有雜質時，則呈紅、灰褐等色。比重在1.8—1.9之間。此種岩石與砂岩之唯一區別，即其破裂面以手擦之，不覺粗糙。其分佈甚廣，以質堅難裂，不易成為適當之大小，故不宜於建築，僅可作鐵道碎石及製造混凝土之用。

C. 板岩 (Slate) 板岩為一種細粒岩石，乃由淤泥，粘土或頁岩經壓力之變質而成，其礦物成分，不能以肉眼辨別。顏色不一，比重約為2.8。因其可以裂成薄板，故能用以蓋屋及砌牆。板岩之解理，係受壓力而生，與層面毫無關係。

D. 千枚岩 (Phyllite) 千枚岩與板岩相似，惟含雲母較多，常呈絲絹光澤。此種岩石之性質，介於石英岩與雲母片岩之間，乃由細粒岩石變質而成。

E. 大理岩 (Marble) 石灰岩或白雲岩受高溫高壓及熱液之變質，即成大理岩，其顆粒粗細不等，顏色視其所含之雜質而定。大理岩雖成於高壓環境之下，然不成何種平行排列之構造，而為塊狀，蓋以 CaCO_3 既易溶解，又易結晶，體積隨時變易，以適應其新環境，故無擠壓之現象產生。大理岩之具有花紋者，可做裝飾品，其次亦可用為建築材料。

F. 片岩 (Schist) 凡 具有片理構造之岩石，統稱為片岩，又

因其所含鑛物不同，可分數種：(1)雲母片岩 (Mica Schist)，砂岩之含有雜質者，經變質後，則生多量之雲母，成爲雲母片岩，顏色多呈灰色。變質岩以石英、長石及雲母含量之多寡各成石英岩、片麻岩與雲母片岩。(2)普通角閃片岩 (Hornblende Schist)，此種岩石之鑛物成分，含多量之普通角閃石及少量之長石，前者係平行排列之柱狀，顏色由暗綠至黑色，後者則多呈白色。(3)綠泥片岩 (Chlorite Schist)，此岩所含之鑛物，以綠泥石爲主，顏色多爲綠色，觸之有滑感。(4)滑石片岩 (Talc Schist)，此岩所含之鑛物，主爲滑石，顏色由白色至淺綠，硬度甚低，觸之亦有滑感。

第四章

地層之構造 (Structure of Strata)

I. 露頭 (Outcrop) 地層因侵蝕或其他關係，暴露於地面，與吾人以直接觀察考查之機會者，謂之露頭。火成岩與變質岩地層之造成，均在地殼深邃之處，苟無侵蝕與造山作用發生，則吾人無目擊之機會。水成岩沉積於水中，藉造山運動之力，掀起地面，經風化剝蝕之後，則成殘缺之斷塊，暴露於溝壑峯嶺之中，或成懸崖絕壁，或凸出於淨土之上，是以吾人可以直接觀察，而研究其種種特性也。

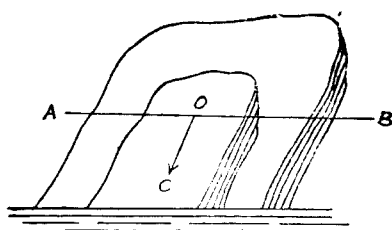
水成岩沉積之時，位於水底，故其層次，近似水平，殆至掀起成陸，經摺疊斷裂之影響，地層遂成侵斜狀態。吾人常見山間地層，位置倚斜，即此故也。地層面與水平面相交，所成交線之方向，謂之地層之走向 (Strike)；二者相交所成之最大角度，謂之地層之傾斜 (Dip)。地層傾斜之方向與其走向成正交關係（如第三十圖）。

測量地層走向與傾斜之儀器，為測角器 (Clinometer)，即普通所用之羅盤儀 (Compass)，於其中心加挂擺錘，以計斜度。通常測量走向及傾斜時，均須註明方向，如走向為 $N30^{\circ}W$ ；傾斜為

25° S 60° W。但因傾斜方向垂直於走向，若傾斜方向與傾角為已知，則僅書25° S 60° W足矣。

岩石露頭之分佈，

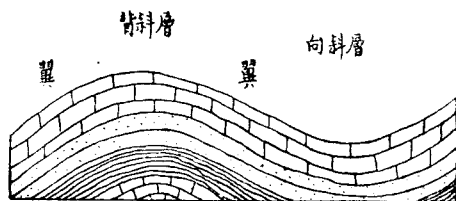
乃視地形與地層之傾斜



第三十圖 走向(AB)與傾斜(OC)

而異，若地層為水平，而地面亦為水平，則露頭為岩層之層面，然常為浮土所掩，不易見之。若地面多溝澗，則地層之露頭，常成曲線，分佈於山谷之中。如地層軟硬不同，質堅者侵蝕較難，往往突出而成露頭，質軟者則被浮土所覆不易察見。

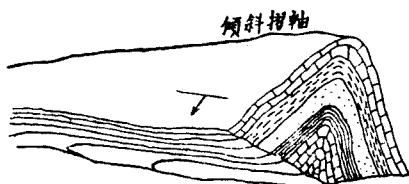
II. 摺曲 (Folds) 野外常見各種岩層，累積摺疊，若波浪之起伏者，乃地層受橫壓力結果而成之摺曲現象。其凸起若鞍狀之部分，稱背斜層 (Anticline)；凹下若槽狀之部分，稱向斜層 (Syn-



第三十一圖 背斜層與向斜層

cline)。摺曲頂部之脊線，稱摺軸 (Axis of Fold)。經過摺軸之面，而平分摺曲者，稱軸面 (Axial Plane)，摺軸兩旁之地層，稱

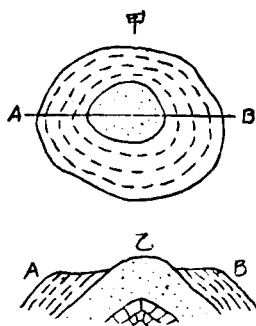
翼(Limbs)。摺軸可向水平之方向，延展甚遠；然亦可傾斜延展，而至於消滅摺曲現象，後者稱傾斜摺軸 (Pitch) (如第三十一圖與第三十二圖)。



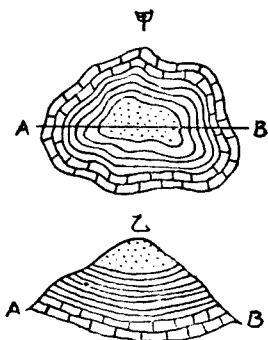
第三十二圖 摺軸傾斜之背斜層

1. 摺曲之種類(Principal Kinds of Folds)依摺曲兩翼之形狀，可分下列數種：——

A. 穹地(Dome) 穹地之地層，均向四周傾斜，走向順序而變，成近於饅頭之形狀，其露頭線亦近於圓形 (如第三十三圖)。



第三十三圖
穹地之平面(甲)及剖面(乙)圖

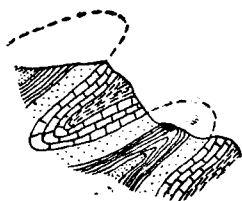


第三十四圖
盆地之平面(甲)及剖面(乙)圖

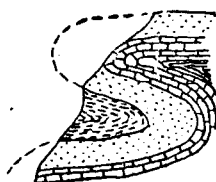
B. 盆地(Basin) 盆地之地層均向中心傾斜,走向亦順序而變,成近於盆槽之狀,其露頭線亦近於圓形(如第三十四圖)。

C. 對稱及不對稱摺曲 (Symmetrical and Asymmetrical Folds) 摺曲兩翼互相對稱者,稱對稱摺曲;否則稱不對稱摺曲,對稱摺曲中,軸面為其對稱面,左右兩翼互相對稱。

D. 倒轉及偃臥摺曲 (Overturned and Recumbent Folds) 摺曲之軸面傾斜甚烈者。稱倒轉摺曲;成水平者,稱偃臥摺曲(如第三十五與三十六圖)。



第三十五圖 倒轉摺曲



第三十六圖偃臥摺曲

E. 開展摺曲及緊合摺曲 (Open and Close Folds) 擠壓之力不強,所成之摺曲,兩翼緩傾而寬展,稱開展摺曲;若擠壓甚烈,各層密接,則稱緊合摺曲(如第三十七圖)。

F. 等斜摺曲 (Isoclinal Fold) 摺曲之兩翼互相平行,且向同一方向傾斜者稱等斜摺曲(如第三十七圖)。

G. 扇形摺曲 (Fan-shape Fold) 摺曲上寬下狹,或下寬上狹,形狀如扇者,稱扇形摺曲(如第三十八圖)。

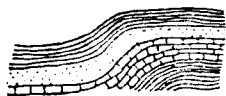
H. 單斜層(Monocline) 地層之一翼斜曲，一翼水平，或坡度均勻者，稱單斜層，亦可謂一極不對稱之背斜層，多見於高原區域（如第三十九圖）。



第三十七圖 聚合及等斜褶曲



第三十八圖 扇形褶曲



第三十九圖 單斜層

以上所述，純就地層之剖面立論。就其立體方式言之，可以分爲三類：(1)形狀簡單之褶曲，以其橫剖面觀之，如以上所舉之各型，謂之簡單褶曲(Simple Folds)。

(2) 褶曲中又有較小之背斜層及向斜層者，稱爲複合褶曲(Composite Folds)。(3) 沿橫剖面及軸面均有褶曲者，稱爲複雜褶曲(Complex Folds)。

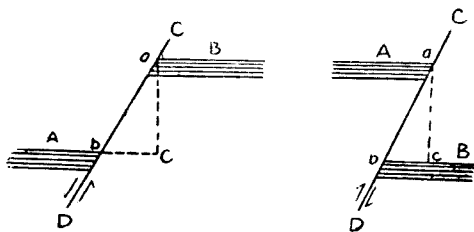
褶曲時代較新之區，地形之高低每與地層之構造有直接關係，即背斜層常成山頂，向斜層則成溝谷。然地形之主因，不僅係於構造，而且係於剝蝕，岩質強者，剝蝕較難，位於向斜層構造部分者，可逐漸殘留而成山頂；岩質弱者，剝蝕較易，雖原位於背斜層之頂部，不旋踵則可變爲溝壑。

2. 褶曲與工程設施之關係(Folding in Relation to Engi-

neering Operation) 摺曲地層對於工程設施之影響頗著，故於施工之先，必須詳察地層之構造，免受無謂之損失。(1)開鑿隧道時，須選擇適宜之位置與堅實之地層，一以適合需要，一以保證安全。背斜層之頂部，因摺曲伸張，裂隙較多，易於塌陷；向斜層之底部，雖裂隙較少，然一旦有之，即為下寬上狹之拱石(Keystone)，更易陷落。且軸部地帶，裂隙既多，遂成侵蝕較易之地，每為河流所經，流水下降，亦可促使地層坍塌，故開鑿隧道於摺曲之軸部，危險頗多。(2)在摺曲兩翼之部採掘石料時，每視其傾斜之緩急，而定施工之方式。在傾斜較緩之處，可由下而上順其走向工作，如傾斜較陡，則沿其傾向，鑿掘可用之石料，而留棄荒石於其原地。若摺曲甚烈，則縫隙必多，故缺乏巨塊也。(3)摺曲之裂隙，多為潛水循流之通道，如為挾有鑛質之溶液，則可在此裂隙之中，沉積有用之鑛床。(4)地下採鑛時，如遇地層摺曲過甚，必須棚架支柱，以防頂壁塌陷。

III. 斷層(Faults) 地層受地心吸力之影響，或受橫壓力之推擠，則失其平衡，而起變化，沿地層之裂隙，互相移動，以致本屬相接之岩層，成參差不齊狀態，是為斷層。斷裂岩層之升降，或間歇運動或突然錯滑。當突然動作發生時，地殼即生震動，可以激起地震(Earthquake)現象。斷層之變位，可自極小至若干公里。斷層之長度，亦自極小至數百公里不等。

斷層移動之面，稱爲斷層面(Fault Surface)。當斷裂時，因磨擦之故，斷層面每成光滑之表面，且有磨擦之細溝，稱爲擦痕(Slickenside)。斷層與地面相交之線，謂之斷層之走向。位於斷層面以上之地層，稱爲上盤(Hanging Wall)；位於其下之地層，稱爲下盤(Foot Wall)。因磨擦關係，斷層面間，常有岩壁之碎屑，固結而成岩石，稱爲斷層角礫岩(Fault Breccia)；其細如粉末者，稱爲岩粉(Goige)。斷層角礫岩與岩粉聚集之地，稱爲碎壓帶(Shear Zone)。斷層面與水平面所成之交角，稱爲斷層之傾斜角(Dip) 斷層面與垂直面所成之交角，稱爲斷斜角(Hade) 沿斷層面地層之變位，稱爲總變位(Slip)。上盤與下盤之垂直距離，稱爲縱斷距(Trow)；垂直距離，稱爲橫斷距(Heave)。由張力所成之斷層，使地層基底之面積伸展，上盤遂降，乃適合地心吸力之運動，謂之正斷層或張力斷層(Normal or Tension Fault)



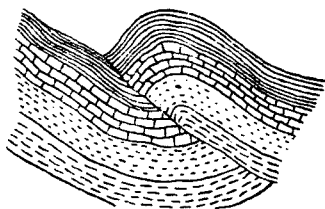
第四十圖 正斷(甲)與逆斷層(乙)

A = 上盤； B = 下盤； CD = 斷層面

$\angle abc$ = 傾角； $\angle bac$ = 斷斜角；

ac = 縱斷距； bc = 橫斷距。

(如第四十圖甲)。由壓力所成之斷層，使地層基底之面積收縮，上盤遂升，乃反乎地心吸力之運動，謂之逆斷層或壓力斷層 (Reverse or Compression Fault) (如第四十圖乙)。逆斷層之傾角，有極小而近於水平者，則上盤逆衝，較古地層反位於較新地層之上，其掩覆之面積，往往甚大，此種逆斷層，又稱逆掩斷層 (Overthrust)。(如第四十一圖)



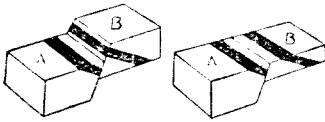
第四十一圖 逆掩斷層

1. 斷層之種類 (Principal Kinds of Faults) 無論何種岩層，均可發生斷層，惟在水成岩中者，辨別較易。斷層之種類，除上述之正斷層，逆斷層與逆掩斷層外，依地層與斷層走向之關係，可以分為下列各種：——

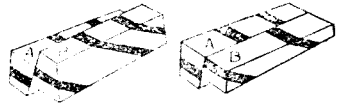
A. 走向斷層 (Strike Fault) 斷層之走向，平行或近於平行於地層之走向者，謂之走向斷層。凡露頭之層次重複或缺少者，皆為走向斷層之證明 (如第四十二圖)。

B. 傾向斷層 (Dip Fault) 斷層之走向，平行或近於平行於地層之傾斜方向者，謂之傾向斷層。斷層線兩側之地層，呈參差不齊之狀 (如第四十三圖)。

C. 斜向斷層 (Oblique Fault) 斷層之走向與地層之走向



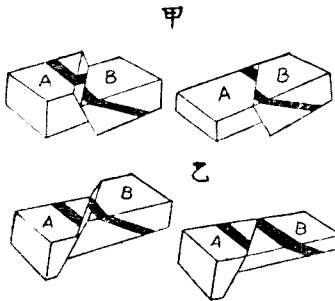
第四十二圖 走向斷層



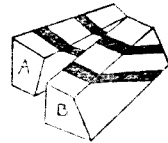
第四十三圖 傾向斷層

斜交者謂之斜向斷層。地層之露頭，在地面上顯示不連續之狀態，或彼此隔離，或互相超覆（如第四十四圖）。

D. 旋轉斷層 (Rotational Fault) 斷層之兩盤，一端連接，一端彼此錯移者，謂之旋轉斷層，斷層線兩側地層之傾角，相差極大（如第四十五圖）。



第四十四圖
斜向斷層(甲斷後隔離；乙斷後超覆)。

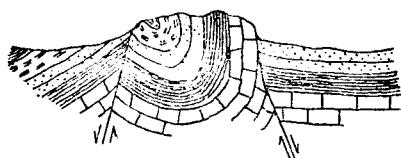


第四十五圖
旋轉斷層

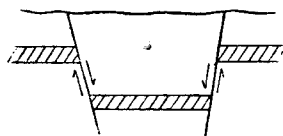
E. 層面斷層 (Bedding Fault) 斷層沿地層之層面推移者，其兩盤之走向與傾斜均屬相同，在地面上，不易識別。

F. 壘形斷層 (Horst Fault) 兩斷層中間之地塊掀起，若高台者，謂之壘形斷層（如第四十六圖）。

G. 槽形斷層(Graben Fault) 兩斷層中間之地塊陷落,若盆槽者,謂之槽形斷層(如第四十七圖)。



第四十六圖 壘形斷層



第四十七圖 槽形斷層

2. 斷層辨識之標準(Criteria of Faulting) 斷層為地質上重要之現象,地層掀起或陷落。地形必受影響。然侵蝕為造成地形之主因,岩石之構造與石理,又可影響侵蝕之速度,故所成地面之情形,綜錯複雜,非藉一定之準則,無法證明。茲將其識別之標準,列述如下:——

A. 地面上斷層之痕跡,每不易見,如發生於火成岩及變質岩中,更無法察知,遇此情形,則須藉岩脈或鑛脈位置之變移而推定之。

B. 斷層之間每因互相推移,擦落兩壁岩屑,而成斷層角礫岩與岩粉,沿斷層之走向,分佈於碎壓帶。

C. 斷層面上,每因互相磨擦,而現光滑之面與擦痕,

D. 地層排列,常有一定之次序,如遇斷層地帶,則地層常因斷裂侵蝕之故,缺少或增多一層或數層。

E. 斷層最初發生時，掀起之部即成懸崖，謂之斷崖 (Fault Scarp)，新生之斷層有之。苟掀起之部，質軟易蝕，不久即成平地；陷落之部，堅硬難蝕，歷久之後，反而巍然高峙，稱次生斷崖 (Obsequent Fault Scarp)。

F. 斷層之碎壓帶，既為易於侵蝕之地，故常為河渠溝谷之所在。

G. 地層之沉積，老者在下新者在上。如遇新舊地層位置之顛倒，則知有逆掩斷層發育其中。

3. 斷層與工程之關係 (Relation of Faulting to Engineering Work) 施工之地區，如遇斷層，則使工程進行不利，而增加其維持費用。(1)開鑿隧道，通過斷層之碎壓帶，即有塌陷之虞。且既為侵蝕較易之地帶，潛水易於通過，致使頂壁剝落，危險殊多。(2)建築溝渠時，對於地層之構造，必須詳為勘查，如遇斷層，則往往發生漏水現象。渠道工程有時亦須開鑿隧道，跨越河床之底部，如河床岩層有斷層存在，則常有坍塌堵塞之虞。(3)地震發生時，每沿斷層而起劇烈之變位現象，以致隧道錯斷，溝渠堵塞。(4)地下採鑛時，每因斷層關係，使鑛層錯變其位置，故須應用地質原則，尋覓斷裂鑛層之所在。開採煤鑛，遇斷層之碎壓帶，則無巨塊，且雜碎石，以致增加選鑛費用，或竟棄置。(5)含鑛質之溶液，經過碎壓帶，常可沉積而為有價值之鑛床。(6)自然氣體遇斷

層裂隙，可致自由放散；石油遇之，可致流溢，亦有變為地瀝青 (Asphalt)，密封裂隙者。(7)海底電線之鋪設，常因斷層錯移而斷裂。(8)斷層錯動，往往引起山崩 (Landslide) 現象，以致影響工程設施。

IV. 節理 (Joints) 組成地殼之岩石，常具裂縫，長短不一，寬狹各異，或互相平行或縱橫交錯，致將岩石分成巨塊，或不規則之形狀，稱為節理，節理兩方之岩層，或緊密接合。或互相展裂，在其下部，往往為沉積物填充。惟不論其緊合、開裂或填充，其間必無移動現象。如因移動而變位，則成斷層。

1. 水成岩之節理 (Joints of Sedimentary Rocks) 水成岩之節理，常互相平行，其具有二種或二種以上之方向者，則互相垂直，或近於垂直，與天然之層面聯合，則將岩層分成密接之岩塊。岩石之顆粒愈細，節理之發育愈為完全，故頁岩與石灰岩之節理，極為清皙。至其生成；有因張力而生者；有因壓力而生者；又有因地震之震波，經過岩石，發生擠力與拉力互相移變之作用而生者。

2. 火成岩之節理 (Joints of Igneous Rocks) 火成岩之節理，乃由岩漿冷卻時，凝縮而生。其產生在岩石固結之後，其形狀乃視冷卻之速度、火成岩之形體與大小而異。因此火成岩中之節理，常縱橫交錯，切割岩體，或成板狀，或成柱狀。細粒火成岩之

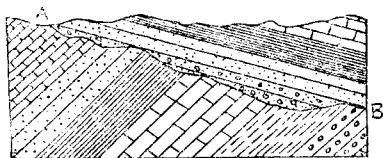
節理，常成層片狀。穹形之侵入體中，常有介殼狀之節理，平行於其圓形冷卻面。岩流中之節理，多為柱狀；岩脈中之節理，則多水平之柱狀，乃因柱體之發育，常與主要之冷卻面成垂直之方向所致。

3. 變質岩之節理 (Joints of Metamorphic Rocks) 變質岩之節理，視其種類而異，片麻岩與花崗岩相似，片岩與板岩則與水成岩相似。

V. 不整合 (Unconformity) 地層之累積，未受變動，新地層在上，舊地層在下，表示連續沉積者，即均係同一時期之產物，稱為整合 (Conformity)。反之二時代不同之地層，互相累積，不成平行方式之接觸者，稱為不整合。考其成因，乃下部地層沉積之後，發生摺曲或斷層作用，使之浮出海面；經侵蝕之後，又下沉海底，繼續沉積；再經穹起，即有不整合線，暴露於地層之中。故其所包括之地層，係兩時代之產物，且成斜角相交。不整合現象，為分別地層系統及時代之重要基礎。

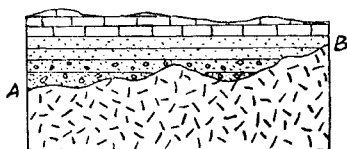
不整合地層，可以分為兩類：(1) 斜交不整合 (Nonconformity)，即上層與下層，互相斜交；或一屬水成岩，一屬火成岩或變質岩，彼此接觸，層次構造，皆不平行。(2) 假整合 (Disconformity)，亦稱平行不整合，即上層與下層之間，無論侵蝕痕跡顯明與否，層理均互相平行。如侵蝕痕跡不顯明，欲辨別是否有不整

合之現象，須藉其所含化石之種屬與岩石之性質而定之（如第四十八、四十九與五十圖）。



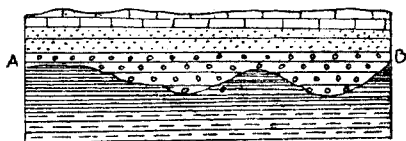
第 四 十 八 圖

斜交不整合(上下兩部地層均爲水成岩,AB爲不整合面)。



第 四 十 九 圖

斜交不整合(上部爲水成岩,下部爲火成岩,AB爲不整合面)。



第 五 十 圖

假整合(AB爲假整合面)

第 五 章

岩石之風化與土壤 (Rock-weathering and Soils)

岩石暴露於大氣之中，久受自然力之侵蝕，或破裂崩潰，或溶解變化，結果變為砂礫粘土混合之疏鬆物質，掩覆於地面，是為土壤。地面敷土之厚度，以其所在地之地形，氣候與風化力強弱之不同，而有差異。其所含之成分，亦因母岩之性質而不同。

風化作用之發生，近於地表，乃因大氣之中，挾有二氧化碳及氧氣，與岩石作用，可使其改變固有之性質，即發生化學變化者，是為分解 (Decomposition)。地表岩層，僅受風力、水力與冰力之磨損，使岩石崩潰，改變其物理性質者，是為崩解 (Disintegration)。風化作用進行於風化帶中 (Weathering Belt) 中，即由地表至潛水面間，可以循流大氣之部分也。

岩石風化對於純粹學理之研究與工程之應用，均甚重要。故有關各種工程之工程師，必須了解風化原理，藉以考察施工之地區，應用工程原則，以圖工程事業之發展。若地面鑛床之殘留沉積；建築石材之採掘；母岩與土壤之關係；給水問題之解決，莫不應依據風化原理，以定施工程序也。

I. 機械力之崩解作用 (Disintegration from Mechanical

Agents) 岩石裂成碎塊，各種礦物散為細砂。但其成分不受何等變化，換言之：即係純由物理或機械力作用，而無化學變化雜乎其間者，可分三項述之。

1. 溫度之變化(Temperature Changes) 岩石露置空中，晝則烈日蒸薰，夜則冷風侵削。在氣候乾燥或沙漠之區，熱之幅射極強，晝夜溫度之變遷，常達攝氏 50° 至 75° 。於是岩石表面之露出部分，日間受熱膨脹，夜間急冷收縮。且岩石之傳熱速度極低，約等於 0.4—0.6(以銀為 100 計算)。故岩石向日部分，溫度雖高，而背日部分，仍甚冷却：外部雖已開始膨脹，而內部則未受熱力之影響。反之，夜間放熱時，外部雖已冷却收縮，而內部則熱度未散，仍持膨脹狀態。由此兩種相反壓力，繼續反覆作用，岩石外殼，遂兆剝落之象。組成岩石之礦物成分。既不相同，則其膨脹係數，亦難一致，因之分裂之象，愈益顯著。結果裂隙遂生。潛水經流其間，則又兆化學分解之現象也。

冬夏氣候不同，溫度差異甚大，岩石之崩解現象更著。露結成霜，水凝為冰，容量驟增。100 立方公尺之水分，結成冰後，容積增至 109 立方公尺，壓力因而激增；對每平方呎之岩石表面，即生 150 磅之壓力。岩石之裂隙垂直寬展，冰結之後，體積雖脹，然可推擠而出，故岩石所受之影響較小，而岩石之裂隙，多為次毛細管狀(Subcapillary)之細孔，故冰結之後，擠壓之勢力極大。岩石

裂隙所含之水分，一經冰凍，張力驟生，每脹一次，岩石均生若干破裂現象。但當冰凍之時，岩石固結，雖破裂之兆已呈，而崩潰之象未至，必待冰融霜釋之後，全體始裂，成爲無數碎塊，聚積山坡，稱爲崖錐(Talus)。凡在高山之頂，或寒帶之地，岩石風化，皆以此種動力爲主。

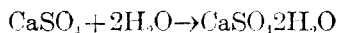
2. 風之磨擦 (Abrasion of Wind) 風因挾帶砂粒，故侵蝕岩石甚爲有力，其尤者更可飛砂走石，將重達數公斤之石塊，由高崖吹落平原，潮濕之地，雨量充足，植物茂密，砂礫不易揚起，故風之破壞力，比較有限。若乾燥地區，則其削蝕作用，甚爲猛烈，可將柔軟之地層，削成平原，堅硬部分，變爲崗丘。由風挾帶之砂礫，在空中飛揚時，又可互相磨擦，使之渾圓而削小。風力破壞，能助長風化之進行，蓋地面散砂，爲風吹移，卽有新面與大氣接觸，而另起作用矣。

3. 生物之破壞 (Destruction of Living Organism) 熱帶與多雨之地，植物茂密，對於疏鬆之岩石，剝削甚易。論其作用，能直接或間接破碎岩石，分解礦物，而構成土壤。植物之根透入岩石，以極大之壓力，向四圍擴張，以資發育，故將岩石破碎。如紫花苜蓿(Alfalfa)，其根能透入地下，達三十餘呎之深，破壞之力，可想而知。且植物之根，又能分泌酸液，促進岩石之化學變化。地下棲息之動物，亦能破壞岩石，據達爾文(Darwin)之估計，一畝

土地之中，約合我國六畝之廣，棲息蚯蚓之數，有五萬之多，在半世紀內，如將其翻掘之土壤，完全舖於地表，則將佔全陸之半，而有一呎之厚度，其作用殊可驚人。他如人類之耕播稼穡，開河鑿井，修路採鑛，莫不與風化作用有連帶之關係。

II. 化學力之分解作用 (Decomposition from Chemical Agents) 大氣中能發生化學作用之氣體，為氧與二氧化碳。此等氣體未溶於水中時，助長岩石風化之力甚小。但若與濕氣及熱力伴和，則對於岩石之風化，助力殊大。岩石化學力之分解作用，因地而異，亦因環境而不同；在潮濕地區與熱帶最強，溫帶較差，寒帶最弱。其作用可分下列四種：——

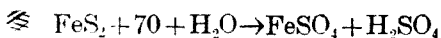
1. 水化作用 (Hydration) 鑛物攝取水分，由無水化合物變為含水化合物，或吸收其一部或全部結晶水，統稱水化作用。如硬石膏遇水後，即變為石膏，其變化之方程式如下：——



水化作用與氧化作用相併而行，岩石水化之後，體積往往增大，硬石膏之變為石膏，容積可增33%。其他物質之水化，尚有增加其容積80%者。故岩石極易脹裂。岩石經過脹裂，其硬度變低，光澤變暗，更可促進風化作用之進行。含水之矽酸鋁，如高嶺土、蛇紋石、滑石、綠泥石與沸石等，均為水化作用所成之鑛物，

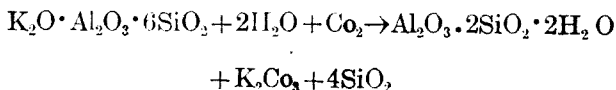
2. 氧化作用 (Oxidation) 氧化為風化作用與土壤生成最

重要原因之一。雨水及地下水均含氧氣，故岩石露置空中，或埋伏地內，經雨水或地下水浸潤，皆有氧化機會，含硫化鐵，鐵碳酸鹽與鐵矽酸鹽之岩石。其作用甚為顯著。如岩石含有黃鐵礦，則易氧化而成硫酸鐵，同時發生硫酸，其變化式如下：——



硫化物變為硫酸鹽，溶於水中，隨水遷流，達於地殼之深處，且體積膨脹，促進岩石之破壞；硫酸分子更可腐蝕岩層。岩石與土壤之顏色，有呈紅色或黃褐色者，乃含鐵物質，由低價氧化而為高價之象徵。

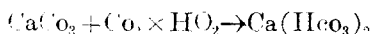
3. 碳酸化作用(Carbonation) 凡一鹽基與碳酸作用，而成碳酸鹽，謂之碳酸化作用。在岩石之中，此種作用之主要者，係將矽酸鹽礦物中之矽酸分子去之，而代以簡單之碳酸分子。因此如長石、角閃石、橄欖石與雲母等之矽酸鹽礦物，遇含二氧化碳之水溶液時，即行分解。茲將正長石碳酸化作用之變化式，列之如下：——



同時水化作用亦可發生，體積亦行膨脹，促使岩石之物理崩解作用。

4. 溶解作用 (Solution) 水為優良之溶劑，如其中含有二

氧化碳，則溶解力更大；時間愈長，接觸面愈廣，溶解之量亦愈增加。岩石中最易溶解者，莫過於碳酸鹽，如石灰岩與白雲岩，尤以前者溶解最易。石灰岩遇含有二氧化碳之水分，如壓力增高，則變為重碳酸鈣之溶液，其變化式如下：——

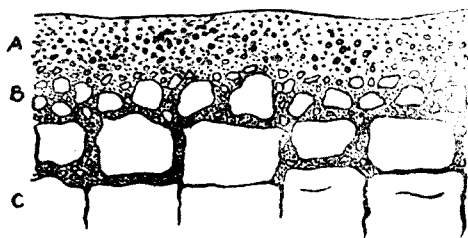


此種變化同時亦係碳酸化作用。如壓力減卸，重碳酸鈣又可逆變而為碳酸鈣。石灰岩洞穴中之鐘乳石 (Stalactite) 與石筍 (Stalagmite)，即係此種成因。岩石中所含之溶液，一部流於海中；一部滲流於潛水面之下，膠固岩石；一部則在風化帶中，沉積各種鑛床。

III. 風化之速度 (Velocity of Weathering) 岩石風化之速度，除與氣候有關外，與岩石所處之地位，岩石之結構與其性質，均有密切關係。(1) 岩石之石理有粗細之分，粗粒岩石較細粒岩石風化為易，因岩石受高低不同之溫度後，粗粒者漲縮之力，較細密者為大，且粗粒岩石，其間之空隙甚多，水分易於滲透，故風化較快。是以岩石之成分相同，結構不同，其風化之速度，大異其趣。(2) 結構相同之岩石，基性者易於風化，因其所含之成分，大部為鐵鎂質鑛物，風化之速度較快；且其顏色較深，易於吸收熱量，故漲縮之力亦大。至酸性岩石之成分，多半為矽鋁質，且顏色較淺，故不易風化也。(3) 岩石因其生成地位之不同，風化亦有快

慢之別。如同一山嶺，南坡之岩石風化較快，北坡反是，因其吸收之熱量不同，風化之速度，遂有差異。有時易於風化之岩石，因其上部有堅硬岩層覆蓋，故可保存。此種現象在野外常可見之。

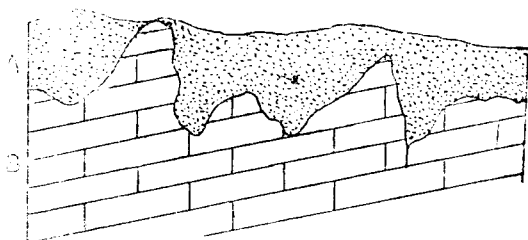
IV. 各種岩石之風化 (Weathering of Rocks) (1) 火成岩初期之風化，即將岩石破裂，除大部屬於物理性之崩解以外，亦間有化學性之分解作用。由低鐵氧化之染色現象，可為明證。含長石質之岩石，則經水化與碳酸化作用，發生高嶺化 (Kaolinization) 現象。水量增加，更可促進其化學作用之進行。至其後期，碳酸化、氧化與溶解作用，成為優越之風化動力，結果岩石變為雜有石英、雲母、角閃石與氧化高鐵混合之砂礫粘土（如第五十一圖）。(2) 水成岩既由原有之岩石風化沉積而生，再經風化之後，又成與原來性質相同之砂礫，故其作用多屬物理之崩解，如砂岩與頁岩常變為石英、雲母與角閃石等混合之細砂。惟石灰岩與白雲岩則將其可溶性之物質，溶解而去，殘留其不溶解之雜



第五十一圖 花崗岩之風化剖面

(A = 殘留粘土; B = 粘土與岩石碎塊之混合層; C = 未風化之花崗岩)。

質，故其風化面爲尖銳之曲面（如第五十二圖）。(3)變質岩之風化與火成岩相同，因其成分相似也。



第五十二圖 石灰岩之風化剖面
(A = 殘留粘土；B = 未風化之石灰岩)

V. 土壤(Soils) 風化爲造成土壤之主要原因，即地面沉積物經氣候、地形及生物三者相互作用，變化而成者。

1. 土壤之成分 (Composition of Soils) 無論何種土壤，其主要化學成分，俱以二氧化矽爲最多，其次爲三氧化二鋁，再次即爲鐵、鈣、鎂等之氧化物與鉀鈉等之化合物。此外又有微量有機物，混和其中。岩石之富於二氧化矽及三氧化二鋁者，以風化較難，故能殘存於土中。若將土壤之成分，與原生岩石比較，則大相懸殊，因當其風化時，可溶性之物質，隨水而去，所餘者僅爲無足輕重之雜質，土壤中之礦物成分，以石英及長石最爲重要，成大小不一之顆粒；此外雲母、角閃石、輝石、方解石、氧化鐵錳、其他矽酸鹽、碳酸鹽與氧化物等，均可有之。此等礦物，皆係原生。

而岩石土化時，亦可產生新礦物，如高嶺土、褐鐵礦、水礬土、水鋁石(Gibbsite)等均屬之。

2. 土壤之性質(Characters of Soils) 土壤之性質，異於其原生岩石。就其物理性質言之：如結構之粗鬆與孔度之大小，均為其最顯著者。每公分重量之土壤內，其顆粒之數目，約自 2,000,000 至 15,000,000 之多，前者為砂土，後者為粘土。顆粒之間，常充以空氣及水分，其孔隙與全部體積之比，謂之孔度，各種土壤，殊不一律，平均約為 50%，就農事言：顆粒愈細，暴露之面積愈大，而受流水之浸潤或根枝之吸收亦愈易。據約略計算，每立方呎土壤中，其顆粒暴露之面積，共有 5,000,000 平方呎之廣。以此巨大之面積，日受大氣與水分侵削，其變化固亦宜矣。土壤之顏色，以其所含之成分而異，富於碳質者，俱成灰色或黑色，含氧化鐵多者，則成黃、褐、棕、紅等色，深淺不一，均與其原生岩石有關，故辨察土壤之顏色，亦可推斷其下部原生岩石之種類。

3. 土壤之分類(Classification of Soils) 土壤之分類，可大別為理論與實用二種。實用分類法甚多，要不外依其礦物或農業上之特性，作鑑別之資。如習於農事者，常分土壤為輕土與重土(Light Soil and Heavy Soil) 二種。凡土性堅韌不易耕治者，謂之重土，否則謂之輕土。故輕重之分，不在重量，而在韌性。地質學者又分土壤為殘積土與運積土(Residual Soil and Tra-

nsported Soil)二種。前者土壤之位置未變，殘留於母岩之上；後者乃經重力、水力、風力或冰力之轉運，易地而沉積者。

地質家與土壤家共同有一極俾實用之分類，即依其顆粒之大小與鏽物之成分，分土壤為六種：

- (a) 礫土 (Gravel Soil)——含石塊最多，且石礫較大。
- (b) 砂土 (Sand Soil)——富於砂質之土壤。
- (c) 壤土 (Loam)——即壩埤，其所含之砂質與粘土質約略相等。
- (d) 灰土 (Marl)——富於石灰質之土壤。
- (e) 殖土 (Clay)——即粘土，為粘性極高之土壤。
- (f) 腐殖土 (Peaty)——富含有機質，呈黑色之土壤。

第六章

河流之發育及作用(Development and Work of Rivers)

空中之水汽，凝結成雲，降而爲雨。雨水着地，據約略估計，三分之一滲入地內；三分之一蒸發上升，還歸空中；三分之一流經地表，成爲表流(Run-off)。滲入地內之水分，輾轉遷徙，復於低窪之處流出，與表流相合，彙注成川。故雨浸成壑，壑廣爲澗，聚澗水而成川流，蒼衆流而爲巨注，終則成爲江河，注流入海。多數河流之水分，固得之於表流與潛水，然亦受湖沼、雪野、冰川之助。河水在乾燥時期，常流無間者，其水源多賴潛水、湖泊與冰雪融消之水分；僅流之於濕潤季節者，則惟雨水是依也。

改良河道，便利航行；修築渠堰，以利灌溉；應用急流，發生水電；分析飲水，消毒防疫。凡此均爲利用河流造福人類之工程事業。故工程師必須明瞭河水之性質，河床與河岸岩層之結構，以及其所生之各種地質作用，然後方可從事計劃也。

I. 河川之形成(Stream Formation)

1. 降水量(Rainfall) 雨水之降落，源於蒸發；而蒸發量之多寡，又係於溫度之高低，風力之強弱，植物之有無，與夫土壤之

性質。氣候寒冷風力微弱之地，其蒸發量當較氣候燥熱風力強大之區爲小，植物稀少，土質疏鬆，均可促進蒸發之進行。一地雨量之多寡，與其位置及風向大有關係。陸地比於海洋，水蒸汽凝結較盛；海岸地方，雨量尤多；山嶽常爲水蒸汽凝結之媒介；濕風之側，大雨瀕降。自低緯海面而來之風，富於濕汽，吹向高緯之地，則冷凝降落，故降水量甚大；若風自大陸之內部而來，則甚乾燥，故降水量必小。雨量之平均數，以全年 750mm. 爲適中，過此爲多雨區 (Humid)，少此爲半乾燥區至乾燥區 (Arid)。我國各地之全年降水量，亦不一致，瀋陽爲 383mm.，北平爲 635mm.，南京爲 1069mm.，香港爲 2162mm.。

2. 表流 (Run-off) 全年雨水降落於各地之總量，估計約有 35,000 立方哩之水。此大量之水分，一部循環蒸發，一部彙集成川。新雨之後，流經地面之水分，稱暫時流水 (Immediate Run-off)，潛水復湧出地面，聯絡暫時流水，而入於溪澗江河。凡在河流之水，無論其曾否浸滲於地內，均稱表流。表流量之多寡，乃視右列諸種情形而定：(1) 雨量及其強度；夏日雷雨，傾盆瀉注，易生表流；如細雨濛濛，則不待表流發生而均浸滲於地內。(2) 土壤之性質，乾燥疏鬆，毛孔遍佈，則易吸收水分，阻止表流之發生。(3) 地面之坡度；雨水降落地面，即受重力作用，使之就下，故坡度大者，易使雨水聚集而成表流。(4) 植物之分佈；森林雜

草，吸收水分而為食物，故森林茂密與水草豐美之區。可以阻止表流之發生。(5) 風力之大小；強暴之燥風，掃蕩地面，易使水分蒸發，減却表流發生之機會。

3. 河川(Stream) 雨水由不規則之地表，彙集於一定之溝壑，發育而成細流(Rivulets)；細流聚集，乃成溪澗(Brooks)；溪澗合併，則為河川(Streams)；河川之大者，稱為江河(Rivers)；江河下流，朝宗於海。其水量之入於海洋者，據一般估計，每年為6500立方哩，可謂巨矣。就河水之持續性言之，河流可以分為三種：(1) 河流之水分，由雨水與泉水供給，河面常在附近地區潛水面之下，終年流動不息者，謂之恆流河(Permanent or Perennial Stream)。(2) 多數乾燥地帶之河流，水分之供給，直接仰賴於雨後之表流，故以季節與雨量為轉移，全年之中，流水有時中斷者，謂之間歇河(Temporary or Intermittent Stream)。(3) 河水循一定之河道流動，其中一段潛入地內，在石灰岩構成之峯林地區，往往見之，謂之斷續河(Interrupted Stream)。

II. 侵蝕作用(Work of Erosion) 大陸表面，常覆有一層土壤，土壤之下，即為岩石。此種土壤與岩石，均受流水、冰霜之破壞作用，使之崩潰破碎，由重力關係，挾帶於河流之中，遷運於海洋之內。流水之破壞岩石，不外機械之磨蝕作用(Corrasion)與化學之溶蝕作用(Corrosion)。二者同時互相進行，惟前者之

力勝於後者。

1. 磨蝕(Corrasion) 河流自其起源,以至於海,挾帶兩岸與其底部之砂礫泥土,隨水遷運。因流水之冲刷與砂礫之磨擦,遂使經過之地,日漸剝削。江河之蝕成深偉河谷,即因磨擦之力,有以致之。至其效果之大小,乃以下列諸種情形而定之:——

A. 磨蝕之工具 (Tools of Corrasion) 河流之侵蝕作用,不僅因水力之洗刷,而尤特其中所挾帶之砂礫以助之。河水若清,祇能冲刷岩層,激盪岩石,溶解石質;至侵削河床之兩岸,殊難奏效。然若挾帶砂粒,則其作用有似剉刀之削削,使河床日漸剝蝕,而其所挾之砂礫,亦自相磨礪,化為細砂,河流經過強弱相間之地層時,則堅實之部,溝深谷狹,鬆軟之部,谷寬岸廣。我國之長江三峽,即為此種作用剝蝕之實例。他如美國之 Niagara 瀑布,每秒鐘下瀉之水量,達數千噸之多,惟水質清潔,故在其流經之岩石上,尚有植物生長;若其含砂量巨大,磨蝕甚厲,則生長之植物,早被掃除殆盡。

B. 挾帶物質之量與大小 (Volume and Size of Substance) 河流含砂礫愈多,則侵蝕力與之俱增。然挾砂量亦不能過多,因不克搬運,侵蝕力反而減小。砂礫之大小,亦與侵蝕有關,如速度一定,顆粒愈大而愈重者,侵蝕力愈強。

C. 流速 (Velocity of Flow) 河流之侵蝕力,隨流速之增

加而增強，因流動急速，其中所含砂礫之磨擦較大，而於一定時間與空間之內，擦過之砂礫亦較多。據水力學之計算，河流之侵蝕力，如所含顆粒之大小與分布相等，等於其流速之平方，稱磨蝕力定律(Law of Corrasive Power)。設流速為 V ，磨蝕力為 C ，則

$$C \propto V^2。$$

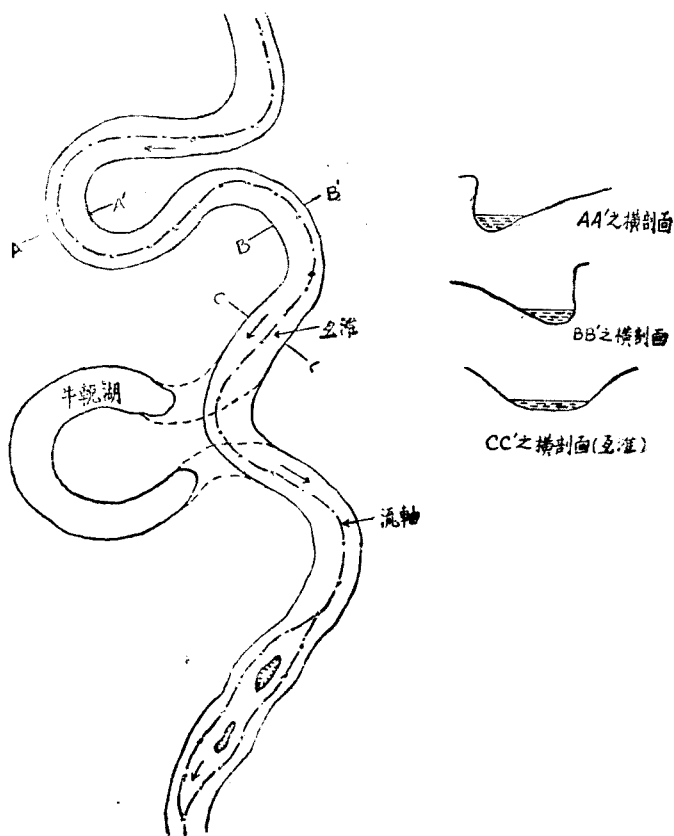
D. 圍岩之性質(Character of Country-rock) 河流所經之區域，其兩岸與河床之性質，亦與侵蝕有關。若岩層質軟或膠結力不大，其侵蝕速度較堅密之岩石為快。地層褶曲斷裂，縫隙必多，侵蝕必甚，故其結構亦為侵蝕之重要因素。

2. 溶蝕(Corrosion) 河流之溶蝕現象，普通不若磨蝕作用顯著。川水流經一地，則多少挾帶其地岩層之鑛物質，溶解於河流之中；由潛水供給之河流，挾帶鑛物質之量尤多，以其曾經潛流地內，所受之壓力較大，接觸岩質之面較廣，故可促進溶解。河川流經石灰岩或白雲岩地區，則溶解之力甚大，故可造成峯巒奇偉風景優雅之峯林地形。

3. 河流之蜿蜒(Stream Meanders) 河流之速度，以中部為最快，兩側及底部較慢，以其一部能力，消耗於磨擦也。普通所謂河流之流軸(Axis of Flow)者，乃指河水最深流速最快之線；河為直流時，流軸居其中部，河曲彼亦曲之；因其流經之部，有強大之水量，最快之速率，故其侵蝕力最強。當河流發生蜿蜒

時，流軸沖擊之線，侵蝕力既大，故外灣處，沖刷最甚，河岸成爲懸崖，峭壁矗立，河床經砂礫旋流之刻鑿，削爲深淵。內灣部分，沖擊甚微，且因水淺流慢，不但無強烈破壞之力，且挾帶之泥砂，難以前運，遂行淤積，歷時愈久，彎曲愈甚，終則成爲圓圈形。兩灣中間之河流，河道寬展，流速較小，挾運之砂量，亦可沉積，而成平坦凸起之堆，是爲互灘（Crossing）。圓圈蜿蜒之中間地帶，經河流之猛衝，逐漸剝削，一旦水漲，必沖成新道，趨直而流；或兩圈侵蝕，漸相逼近，直使河流穿越而過。河灣中心之殘基，屹立如島，而其所遺之弧形河道，則可逐漸淤塞成爲湖泊，謂之牛軛湖（Ox-bow Lake）（如第五十三圖）。大河流之沖積平原，此湖甚多。牛軛湖乃一臨時之地質現象，常由後列情形混合作用而填充：（1）由淺岸生長植物之侵入；（2）由意外汎濫而使淤泥填塞；（3）自四圍陸地經表流或湖水之洗刷填充；與（4）由風吹之泥砂淤積其中。凡一河流流經平原之上，甚易發生蜿蜒現象；其結果流域漸廣，河谷漸寬，附近地方因灌溉便利，常成富庶之區。

4. 急流與瀑布（Rapid and Fall） 急流者，乃一河流至某一地區，河床之坡度變大，而超乎尋常者。瀑布者，乃河床之一段，爲懸崖絕壁，以致河水墜落之謂也。急流與瀑布之生成方式不一，茲舉其重要者言之：（1）若一河流，由湖泊之汎濫而成，流經之地爲險峻之斜坡或陡立之懸崖，結果則可生成急流或瀑布。

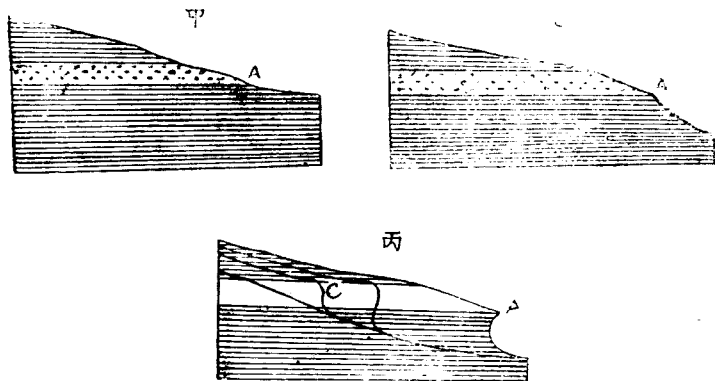


第五十三圖 河流之彎曲

(2)若一主谷被冰川深切，而支谷則否，以後冰跡融消，主谷之河床，則較支谷之出口為低，在支谷之出口處，極易產生急流或瀑布。由於此種原因生成之急流或瀑布，在美國西部之山地中，甚

爲普通。(3)若在河床之中，有一堅硬之岩層出露，而其上下皆爲軟質岩層，則河川流經其上，因穿鑿軟者較易，結果產生急流；河流繼續侵蝕，堅硬岩層在河床之上，愈趨陡峻，於是急流漸漸變爲瀑布。由前二因所成之瀑布，以順流於先成之斜坡地形上，稱爲順流瀑布 (Consequent Falls)，由後一原因所成者，主爲侵蝕作用，故稱侵蝕瀑布 (Subsequent or Erosive Falls)。

侵蝕瀑布之生成，可由第五十四圖解釋之：河流由陡坡下瀉，多爲挾砂甚多侵蝕力甚大之河流，如甲圖所示，A 處磨損河床較速，因其岩層質軟，而在上部則爲質硬之岩層，結果在 A 處之坡度變大，如乙圖所示，此時即生急流。急流繼續侵蝕，坡度逐漸陡峻，最後在 A 處生成懸崖，河川流經其上，一落千丈，而成瀑布。瀑布傾瀉之水，磨損軟質岩石較覆於其上之硬質岩石爲速。



第五十四圖 侵蝕瀑布之生成

故後者常稍突出。時日輕久，此不能支持之突出部分，因流水之切蝕 (Undercutting) 作用，日漸剝落，瀑布則向上流倒退。由瀑布下流之水，遂重新侵蝕其坡度，以達挾砂量與流速平衡之狀態，如丙圖所示。瀑布向上退至質硬岩層或造瀑層 (Fall Making Layer) 之底部時，即停止倒退，因其已達平衡狀態，侵蝕不易也。此時將其最高點 C 破壞，水由陡坡下降，又成急流。最後河流直接流於造瀑層之頂部，則急流又復消滅矣。若岩層向上流傾斜，情形亦甚相同，惟瀑布倒退之距離較短，壽命較小。在瀑布與急流之底部，因水流之漩激作用，轉動砂礫，碰擊其底部岩層，常能蝕成圓形深洞，稱為甌穴 (Potholes)。今若於無水之處見之，則知昔日曾有瀑布或急流。瀑布之最著者，為美國之 Niagara 大瀑布，飛泉下注，約一百六十餘呎，形如巨練，極為壯觀。其向上流退移之速度，每年約四五呎，現距原處已十六公里。我國之龍門廬山等地，均有瀑布，惟規模較小耳。

5. 狹谷 (Narrows or Water Gaps) 山谷兩側之岩石，性質軟硬不等，則山谷因河流之侵蝕向兩旁加寬時，各處速率不等。若岩石之性質相差極大，則軟弱者先行磨蝕崩潰，堅硬者成爲狹窄之深溝。如一地河谷之寬度，較其正常者狹隘，即稱狹谷。其最著名者，若美國 Appalachian 山脈區域之 Delaware Water Gap。狹谷之生成，與岩層之構造有關，常出現於地層傾斜陡峻

之區域。

6. 峽(Canyon or Gorge) 河谷之寬度與深度相差懸殊者，稱之爲峽，如美國黃石公園之Grand Canyon，卽爲世界最大之峽。此峽下切甚深。因其地形係一高原之故。考峽之生成原因，不外三端：(1) 河流經過異常堅硬之石層，兩岸磨蝕頗爲不易，結果兩壁直立，遂成深峽。(2) 河流自濕潤地區，轉入乾燥地帶，該地兩岸石層，風化不深，磨蝕不易，然向下侵削，仍復猛進不已，亦能成爲峽谷地形。(3) 河流有時能直穿山脈而過，絲毫不因地形之阻礙而變其流向，乃爲地殼上升，河流下切之結果，如此其所經山谷之處，則成大峽。是以山峽之生成，除與岩層之堅鬆有關，卽氣候之變遷，地殼之升降，亦與有力焉。我國之山峽甚多，著名者如揚子江之三峽及黃河之龍門是也。他如米倉峽，兩岸絕壁高聳，形勢雄偉，江水中流，宛若小溪，風景之美，殆無倫比。

7. 由侵蝕不均而成之高地 (Elevations due to Unequal Erosion) 軟質岩層，侵蝕較速，故其相伴而生之堅實岩層，常殘餘而成高地。此種現象，甚屬常見。若岩層掀起甚劇，抵抗力強者常遺留而成脊狀山嶺，稱爲蝕餘嶺 (Hog-back)。如岩脈之岩石，抵抗力甚強，則往往生成脈脊 (Dyke Ridge)。若岩層水平，所成之山嶺，多爲平台狀，其高度不大而範圍較廣者，稱爲方山 (Mesia)。方山平頂之一部或全部，侵蝕崩潰後，則成尖頂，是爲

孤山(Buttes)。

III. 遷運作用 (Work of Transportation) 河流不僅有侵蝕作用，且能遷運其所挾帶之物質。此等搬運物 (Load) 可分三類：(1) 溶解於水中者 (In Solution)，(2) 混雜於水中者 (In Suspension)，(3) 接近河底，隨水滾動者 (By Traction)。河流之最後歸宿為海洋，其所挾之搬運物，至此即行轉卸沉積。其運挾之物質，以溶解與滾動者較少，混雜者較多。至其所能挾帶顆粒之大小與重量，則視河流之性質、流速及比重而定。茲分述於後：——

1. 河流之性質 (Character of Stream) 若河流水體之流動，異常均勻，則自河流之中心以至兩岸，自河流之表面以至河床，各水之分子，均在同一速度下，向前移動，其所挾帶者。必為極細之物質；此種物質，混雜於水中，必分佈均勻，且能保持長久之時間。然河流之性質，並非如是，其中心部分之流速，往往較底部及兩側為快，同時其上下及前後，各以不同之流速，錯綜交互，故其挾帶之砂礫，旋轉前運；甫落於河底則又反躍河中，混雜遷運。

2. 流速 (Velocity) 河流之速率，不僅與坡度有關，即與水量亦有關係，如兩河之坡度與河床之形狀相同，則水量大者，速度較快，其所運移之物質亦較多。通常每小時之速率為 $\frac{1}{5}$ 哩者，

僅能挾帶粘土；每小時 $\frac{1}{2}$ 哩者，能搬運砂粒；每小時 1 哩者，能滾動砂礫，每小時 2 哩者，則能掃蕩如卵狀大小之礫石。據水力學定律，河流之遷運力等於其流速之六乘方，如流速增加一倍，則其搬運泥砂之量，必增 64 倍。設 T 為搬運力， V 為流速，則

$$T \propto V^6。$$

3 比重之影響(Effect of Specific Gravity) 河流在一定速度時，所挾物質之大小，乃以其比重而定。普通河流能挾運比重在 2.5—3 之間之砂礫，雖較等體積之水為重，然因物體浸入水中，必失去其等體積之水重；且河流之水，混有粘土等細碎物質，其比重亦絕非純水可比，因此河流之搬運力殊大也。

河流之搬運力，與其所挾物質之重量相等時，吾人稱此河流達均夷(Graded)狀態。若所挾物質之重量，超過搬運力時，則一部分物質沉降河底，稱河流達沉積(Aggrading)狀態。若所挾之物質甚少，尚有餘力侵刷其兩岸及河床，則稱河流達陵削(Degrading)狀態。故均夷者，為河流之侵蝕與沉積已達均衡之謂也。

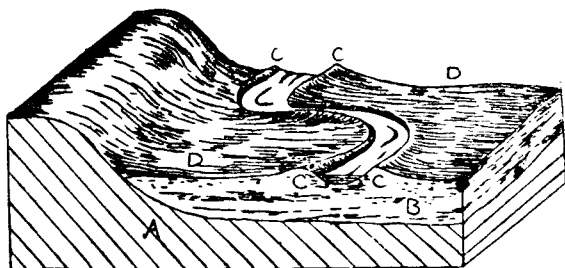
IV. 沉積作用(Work of Deposition) 河流之運砂率，與其流速、坡度及水量直接間接均有關係，倘流速等稍有變遷，運砂率即隨之而異，至水力不能勝載時，沉積之現象遂生。大抵河之上流，奔騰沖刷，主為磨蝕作用；及至低地，坡度變緩，水體廣佈，流速頓減，所挾泥砂，漸行沉降。但河流之速度與水量，隨時隨地

而變遷，往往在同一地點，先行沉積，繼而又有剝蝕，將已積之物，冲刷而去。河流沉積之所以層次零亂，厚薄不均者，即此故也。考其沉積原因，不外右列諸端：(1) 河床之斜度減小。尤其在河谷之中下流，流速可以變為極小，運載物質遂行沉積。(2) 河流經過雨量缺乏之區域，由於急劇蒸發與浸滲於地下之結果，致水分損失，水量減少。則河流之速率與其挾帶能力，同時並減，挾帶物質，隨而沉積。(3) 在河流之出口處，水流被阻，沉積即生。(4) 支流之坡度普通均高，常挾帶大量之物質，入於緩慢之主流中，在其出口之主流底部，往往產生沉積。(5) 河床之形狀改變，亦可沉積泥砂。例如挾帶搬運物之河流，經狹直而平坦之河床，入於寬闊彎曲而不規則之河道時，則河流之速度減低，且水流與河床之磨擦增加，結果產生沉積。由河流沉積作用所生之地質現象，種類甚多，茲述其重要者如下：——

1. 冲積丘 (Alluvial Cone) 澗水暴發，沿陡坡流至山麓谷底時，流速頓減，所挾之泥砂石礫，漸漸淤積，愈下愈寬，堆積成丘，是為冲積丘。大致在近溝口處，停積最厚，愈下愈薄，所含砂石，大小夾雜無層次之分。丘之斜面甚陡，有超越 10° 者。此種現象多見於半乾燥區域山谷之底部，因雨量無常，且多暴雨，以致產生臨時急流，故適於冲積丘之形成也。若其斜度甚緩，面積狹長，成半橢圓形之冲積丘，即稱冲積扇 (Alluvial Fan)。冲積扇

彼此鄰接毗連，經久之後，合併而成廣大之厚層，稱為複沖扇 (Compound Alluvial Fan)。

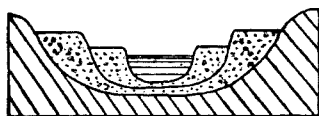
2. 沖積平原 (Alluvial Plain) 河流經平原之上，河道寬展，如遇霖雨或水源之冰雪融消時，則河水暴漲，釀成汎濫，附近地區，盡成澤國。因速率驟減，所挾泥砂，遂沉積於河之兩岸，積久成爲厚層。是爲沖積層 (Alluvium)。其造成之地，稱沖積平原或洪積平原 (Flood Plain)。當河流汎濫時，濱河之處，流速銳減，沉積最多，富於粗砂石礫，積久之後，順沿河道之兩岸，則成平緩傾斜之邊脊，向河之部，坡度稍大，是爲自然堤 (Natural Levees)，距河稍遠，沉積漸細，地勢亦低，有時亦可積水而成沼澤。平原中之土壤，大部均甚肥美，概爲良田也 (如第五十五圖)



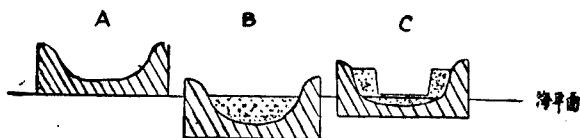
第五十五圖 沖積平原 (A = 岩層; B = 沖積層; C = 自然堤; D = 平原)。

3. 台地 (Terraces) 河流兩岸，常有平坦而狹長之陸緣，形如階梯，或二三級或四五級不等，相距約數公尺，是爲台地。論其成因，約有二種：(1) 前期之河流，因挾帶物質太多，當坡度低緩

時，沉積而成沖積平原。其後又因挾帶搬運物減少，遂產生新力，開始侵蝕，將前期之平原，再行切割，在較低之平面上。又復新建沖積平原，舊者殘留則成階梯狀之地形。如此輾轉循環，即成數級台地（如第五十六圖）。(2)地盤升降，亦可生成台地。河床在海平面上，祇有侵蝕，而無沉積；若該處陸地漸漸沉降，至海平面以下，則谷中將為沉積物填充，此後陸地又復上升，侵蝕再起，將河床中之沉積層，深切成谷，兩岸遺留之殘基，則為台地。若地盤數度升降，亦可造成數級台地（如第五十七圖）。



第五十六圖 台地之剖面



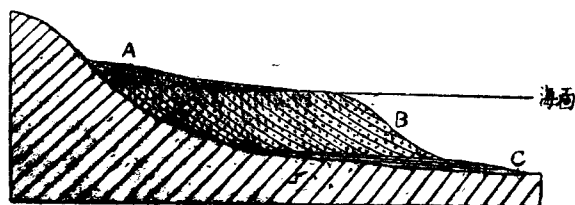
第五十七圖

台地由地盤升降作用生成之秩序 (A 地盤在海平面以上；

B 地盤下降至海平面以下；C 地盤重新升起)。

4. 三角洲(Delta) 當河流入海或入湖時，河床幾與海面或湖面之高度相同，即已達侵蝕基準(Base Level)。河面變寬，河速降低，所挾泥砂紛紛沉積，日積月累，造成砂灘，因其形狀頗似希

臘字 Δ ，故稱三角洲。其沉積體常有特異之層次，大致可分三層：(1)底層(Bottom Set)，平舖於海底，質細而整齊，厚度較小。(2)前層(Fore Set)，所含之物質稍粗，微向海方傾斜，其傾角之大小，視沉積時水面之深淺而定。(3)頂層(Top Set)，覆於前層之上，成水平層次，因沉積時已出水面，故大部屬於大陸沉積。普通頂底二層，佔地最廣；前層之體積最大，惟以傾斜關係，不易察見(如第五十八圖)。



第五十八圖 三角洲 (A—頂層；B—前層；C—底層)。

三角洲生成之條件有三：即(1)河流入海或入湖處，潮汐微弱，海浪之激盪作用甚小。(2)河流挾帶之泥砂為量至巨。(3)海岸附近海底之坡度甚小，可以使大量之泥砂沉積。世界三角洲之最著名者，如我國揚子江三角洲，面積達數萬平方公里；美國 Mississippi 河之三角洲，長約二百餘哩。面積達一萬二千方哩。三角洲發育之速度，與挾砂量成正比，而與海底深度及潮汐強度成反比。據計算結果：揚子江三角洲，每六十年向前伸展一哩；Mississippi 河三角洲，每十六年即伸長一哩。

V. 流域 (River Drainage) 組成地殼之岩石，頗不一致；地面坡度之大小，又各不相同。如山坡之上，有細小之凹陷，雨水着地，必流經其上；水量愈多，流速愈快；流速愈快，則侵蝕愈強，下切愈深。此種凹陷，漸漸成爲細谷 (Gully)，細谷增廣，則爲小谷 (Ravine)；細谷小谷之流水，匯爲溪澗，再入主流，而至於海洋。故大多數之河流，均有支流 (Tributaries)，如樹之分枝。主谷與支谷合組而成谷系 (Vally System)；主流與支流合之而稱水系 (River Syetem)。一水系流經之區域，卽爲流域。

1. 河谷 (Valley) 河谷乃經河流之切鑿作用，侵蝕而成；然河流亦有流經向斜層之槽形地帶者，而使其成爲谷狀窪地。前者稱爲侵蝕谷 (Erosion Vallay)；後者稱爲構造谷 (Structural Valley)。河谷深度、長度與寬度三方面之發育，常在某種情形之下，各受限制，不能儘量發展。先就河谷之深度言之：江河下流，朝宗於海，故海面爲其深度之極限，是以河流之近海一段，其河床與海面之高度一致。至於河谷之長度，則漸向大陸伸展，乃所謂向源侵蝕 (Headward Erosion) 也。其上進之止點，常爲其他河谷所阻。兩河之流向相背，向源侵蝕相向；若其水量、坡度及河床之性質均屬相同，則分水嶺 (Divide) 僅垂直下降，而無遷移之現象發生。就其寬度言之：河谷兩岸，受風化作用及雨水侵刷，堅硬岩石多變爲鬆土，墜落河床，運移而至其下流，故漸向兩岸

加寬，其間之分水嶺，亦逐漸下降也。是以水系綜錯之地方，河谷經長期發展，必能使之夷為廣闊之平原。

2. 河谷地形之發育 (Stages in Topographic Development)

河谷地形之發育，可以分為三期，各期之中。均有其特殊之形狀，以資識別。(1) 幼年期 (Young Stage)，河谷之坡度較陡，常有少數不完全之支流，谷面深狹狀，如V字形。兩河中間之地形，多為巍峩之山嶺，乃未受深刻侵蝕之象徵。(2) 壯年期 (Mature Stage)，河流繼受侵蝕，寬度與深度均行加大，坡面較平，狀如U字形，支流亦復增多，谷間之地形，陂陁起伏，均成邱陵，流域線之分佈甚廣。(3) 老年期 (Old Stage)，此期河床已達基準，河流之下切工作已漸消滅，而兩側之侵蝕力較強，介於兩水系中間之分水嶺，降落甚低；分佈於此種波式平原之地形，尚有斷丘殘崗，或為難以風化之岩石，或其地位不利於侵蝕，此種地形，謂之殘丘 (Monadonks)。若殘丘漸形削蝕，陸地表面幾等於海平面時，則稱侵蝕平原 (Peneplain)，至此地形則成廣闊之原野矣。

地盤非永久不變，深谷為陵，高岸為谷，其升降現象，實為地質史中常見之事實。故河流雖循其步驟，由少年經壯年而至老年，然地盤上升，則侵蝕復興，又自幼年而達老年，週而復始；或侵蝕未至老年，地盤則遭上升，亦可回復幼年期之地形。此種作

用, Davis 稱爲侵蝕循環(Cycle of Erosion)。

3, 分水嶺之移動(Migration of Divide) 分水嶺兩側河流所具之條件,若水量、速度、河床之坡度與岩石之性質構造等,均屬相同,則分水嶺祇有下降而無遷移之可能;但此種情形甚屬罕見;兩方稍有差異,其侵蝕力則有強弱之分,由此分水嶺遂有移動之現象,茲將其原因,列述如下:——

A. 水量不同 (Unequal Volume of Water) 兩河向背或平行而流,水量不同,侵蝕自異。兩河背流,其水量大者,常將分水嶺推移於對方。兩河平行,則水量大者,破壞其與之鄰接河流之分水嶺,而吞併之。

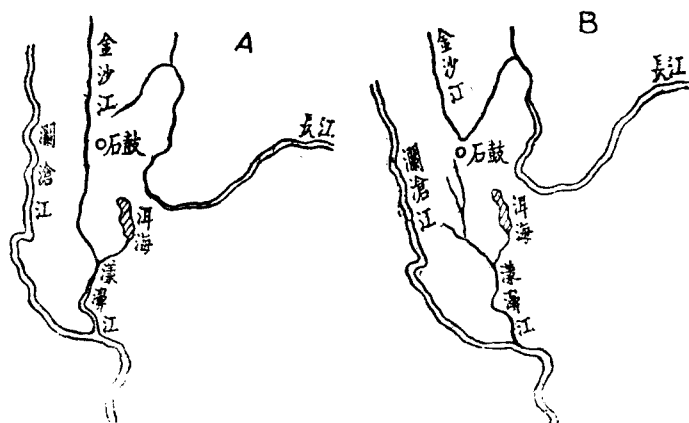
B. 岩石性質不同(Different Characters of Rocks) 分水嶺之兩側,如有兩種以上硬度不同之岩石組成,則軟者先行侵蝕,故分水嶺多向硬者之方向移動。

C. 地層構造不同 (Different Structures of Strata) 分水嶺如係單斜層、向斜層或背斜層,則其移動多向岩層之侵斜方向,以其裂縫與層理之方向,多與河流之流向一致,故侵蝕不易也。

D. 河床坡度 (Slope) 兩河床之坡度,相差愈多,則分水嶺之移動,愈爲顯著。坡度陡者,因向源侵蝕甚強,故分水嶺往往向坡度較小之方向移動。

E. 地殼運動(Movement of Earth Crust) 地殼起摺縐或斷裂運動,分水嶺往往受其影響,就所成之地形移動其方向。

4. 河流之襲奪現象(Stream Piracy) 大山兩側之河流常有爭奪分水嶺之現象,以致河流改道者,謂之河流襲奪現象。影響改道之河流,稱為襲奪河(Pirate);其遭受損失之河流,稱為奪流(Beheaded Stream);此種河道之變遷,謂之改流(Stream Capture)。襲奪河因水量突然增加,可在老河谷之底部,又切成新谷,老河谷遂殘留而成台地。奪流之舊河道,遺存於山嶺之中者,稱為風隙(Wind Gap)。河流襲奪現象在我國之實例甚多,如長江上流之金沙江,在雲南石鼓以北之一段,原為瀾滄江支流漾濞江之上流,後經襲奪現象發生,改流長江入海(如第五十九



第五十九圖 長江襲奪金沙江(A襲奪以前之形勢;B現在之形勢)。

圖)。漢水原來發源於甘肅之蟠冢山，後因嘉陵江之襲奪，將其上源西漢水，於略陽附近，改流於嘉陵江。洪水與壩基 (Floods and Dam Foundation)

1. 洪水 (Floods) 河流之水量，失其調節，非特無法利用，更是釀成火災，生命財產，悉赴東流。水量不足，影響航行，機械動力，爲之減却，水量過大，河谷無法容納，流溢汎濫，遂遭洪水之災矣。考洪水發生之原因，不外右列諸端：(1)夏季雨量太大；(2)積雪突然融消；(3)河床坡度陡峻，流速過大；(4)河岸附近，無植物生長，(5)土壤不透水分；(6)無調節水量之蓄水地區；(7)冰之壅塞；與(8)自然河堤之破壞。

湖泊爲自然調節河流水量之地區。霖雨時期或暴雨之後，水量驟增，河谷無法容納，則過剩之水量，可以流洩於湖泊之中；乾旱季節，水源枯竭，河水減小，以至無法利用，則將湖泊之水，灌注於河流之中，以資補助。若是既無洪水之災，又收調節之效，對於人羣之幸福，殊非淺鮮。惟地面之河流，不必均有湖泊，而湖泊之位置，又未能盡爲適宜。故防止洪水汎濫，調節水量利用，又須講求人事也。

治河之方法，約有數種：(1)建築蓄水庫，以收人工調節水量之效；(2)廣植森林雜草於河岸斜坡之上，防止侵蝕，促進吸收；(3)使土壤乾燥，雨季時可以吸收大量之水分；(4)順山坡之走向

築溝，阻止急流；(5)建築人工河堤；(6)裁灣取直，增進河流之洩水量；(7)疏濬泥砂，使河水流動不受阻滯；與(8)如有冰塊壅塞河流之現象，則利用炸藥炸裂，或用破冰船衝擊，務使河道暢通無阻。

2. 壩基 (Dam Foundation) 建築堤壩，滯積河水，必須利用地質原則，測勘河谷附近之地層，選擇不致滲漏大量水分之地區，以作蓄水庫之位置；利用組織堅實載重量強大之岩石，以作壩基。故在施工之前，必須鑽探岩層，考查構造，庶幾不致妄費工料，藉免無謂之損失。

A. 岩石基礎 (Bed-rock Foundation) 河流所經地區之岩層，各不一致，或為浮土所掩，或為泥砂所覆，故須詳為考查。石灰岩地層，易於溶蝕，故多洞穴溝紋，需要填塞；夾有頁岩之砂岩地層，受潛水之循流作用，頁岩為之破壞，如構築堤壩於其上，則因重力作用，砂岩易於滑動；火山岩之孔隙甚多，如不擋塞；亦易促成塌陷之虞；結晶片岩則片理密接，易致滲漏，故選擇蓄水庫之位置時，必須注意其方向。

B. 鬆散物質 (Unconsolidated Materials) 鬆散物質即砂礫泥土等物，或互成層次，或互相混雜，乃河流、湖沼或冰川之沉積物。此種物質之滲漏性甚強，惟各不一致，如純係粘土，膠結之後，則滲漏性又復甚小；且支持力不大，不宜作為壩堰之建築基

礎。

選擇蓄水庫之位置，在地質方面，應注意三點：即(1)河谷兩岸與河床岩層之滲透性，(2)溶解性以及(3)河谷附近地區之潛水面。石灰岩、石膏層、玄武岩與砂礫層四者，透水性甚大；前二者且有溶解性，可使其裂隙增展，滲漏更易。花崗岩、片麻岩、頁岩與密緻之泥砂混合層次，除非裂隙較多，透水性甚小，無滲漏之虞。挾有大量細微沉積物質之河流，亦可堵塞岩層之縫隙，防止滲漏。河谷附近地區之潛水面，必須較高，如此方可瀦積大量之水分。

第七章

地下水(Subsurface Water)

雨水降落地面，浸滲於土壤或岩石之內部，是為地下水。由鑿井、打鑽或開鑛等經驗，得知地殼之中，均有多量或少量之水分。此種水分，或以靜止狀態，存留於地內；或重新流出地面，成為泉源；或與地下之物質化合，成為新礦物；或經土壤之毛細管及植物吸收，蒸發而至空中；或由地下水道，注流於海洋。地下水之產生狀況、水量多寡與在地內存在之情形，悉以該地雨量、地形以及地質之環境而異，關係頗為複雜。是以美國之地質調查所，設有水利地質部，專司研究，並將全國劃為若干地下水區，以資利用。

水之原始，大部導源於雨雪，然雨量之分佈，各地殊不一致，有幾於終年無雨者，如澳洲之中部與非洲之北部，亦有全年雨量不足十吋者，是皆砂漠之地。故在雨量缺乏之區，須求之於地下。

I. 潛水 (Groundwater) 浸漬於地內之雨水，一部流積於表土之內，一部順岩石之罅隙下降，透滲於底部岩層，日積月累，停滯環流，遂成飽和狀態；此等飽浸水分之範圍，謂之飽和帶

(Zone of Saturation), 飽和帶岩層內所滲之水分, 稱為潛水。潛水係湖沼井泉之水源, 故鑿井取水, 必須深入潛水, 方無枯竭之虞。

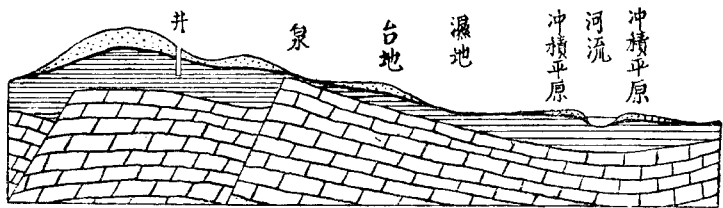
1. 潛水之來源 (Sources of Ground water) 地內蓄積之潛水, 大部來自雨雪, 然亦有得之於岩漿或封存之古代地層者, 茲分別述之於下:——

A. 岩漿水 (Magmatic or Juvenile Water) 岩漿之中, 滲蓄水汽甚多, 當冷卻凝固時, 可以結成大量之水分, 或由其中所含之氫氧二氣, 發生化學變化, 結合而成水分, 隨岩石之裂隙, 週流各部, 成為潛水。往往與地面下降之水互相混合, 故分辨不易。此種潛水, 有時成為溫泉 (Hot Springs), 或含有豐富之礦質, 可供醫療之用。惟在地層之內, 含量不多, 非潛水之重要來源。

B. 封存水 (Connate Water) 即古海水, 或稱化石水 (Fossil Water), 乃古代海洋之水分, 當沉積作用進行時, 混合於泥砂之中, 或封閉於岩層裂隙之中者。因無出口, 雖經若干年代, 亦無消失之機。以言來源, 亦自地面, 但非現在之地面水, 而為地質時代所殘留之海水。此項潛水, 為量最少。

C. 天水 (Meteoric Water) 即地面水或雨水之滲積於地內者, 為潛水之重要來源。但江河湖澤之水, 亦能有一小部, 沿地層之裂隙, 漸次降落, 而入於潛水之內; 而其原始亦導之於雨水。

2 潛水面(Water Table) 雨水由地面下降,浸及土壤孔隙之間與岩石裂縫之內,在一定之面以上,土壤與岩石雖可潤濕,而其裂隙並未填滿;但在此面以下,水分則達飽和狀態,即係潛水之範圍;此一定之面,稱為潛水面。潛水面之外形(Contour),與地形有密切之關係,其水位之高低,略與地表一致。近山丘處,水面較高,惟丘頂與水面之距離稍大,近溝谷處,水面低降,溝谷與水面之距離較小。如地面正切於潛水面,則成泉源。如地面與潛水面一致,則成濕地。在湖泊河流之中,潛水面每較地面稍低(如第六十圖)



第六十圖 潛水面與地形之關係(粗線為潛水面)

潛水面在地表下之深度,與地形氣候均有關係。多雨潮濕之地,潛水面距地甚近,不過數尺,亦有竟不盈尺者,若在乾燥高旱區域,則往往深達數百尺,甚或數千尺不等。潛水面之上,水皆循環下流,不稍停頓,故土壤與岩石之裂隙中,含水不多。但因水流常常經過,每與附近岩層接觸,使其蝕變,故潛水面以上之地

區，稱為風化帶。潛水面以下，水流阻滯，一切裂縫孔穴，皆飽侵水分。而此項潛水，在風化帶中，已飽溶鑛質。至潛水面以下，非特無再溶之力，抑且有沉澱之機。鬆散泥砂。賴以膠結，零碎礫石，粘合堅固，故潛水面以下之地區，稱為膠結帶 (Zone of Cementation)。

潛水深度之分佈，究至何處為限，殊不明瞭。惟就理想言之：岩石距地愈深，所受擠壓之力愈大，沉澱膠結之機亦愈多，故罅隙必行減少，終至於無，潛水至此，恐將不復存在矣。觀美國上湖區之銅鑛，鑛井之深，達數千餘呎，愈深則水分愈少，甚至須由地面灌水入井，以供工作之用，即為潛水難達深處之明證。

3. 岩石之蓄水量(Water Capacity of Rocks) 岩石瀦蓄水量之多寡，以其孔穴裂隙而異；而其孔隙之多少，則又以右列各種情形而不同：(1)沉積層如經充分選擇，以其顆粒之大小排列，大者居下，小者在上，層次整齊，不稍凌亂，則其下部之岩層，必較上部者孔隙為多。若岩石均為等體積之圓形顆粒，整列組成，各顆粒之間，彼此相接，則其孔度在理論上，可由 25·95% 至 47·64%。然此種情形，甚屬罕見。通常岩石顆粒之排列，絕不整齊，且大小不一，壅塞雜沓，顆粒之間，又往往有膠結物質填充，故其孔度之差異極大。(2) 岩石顆粒間之填充物質與膠結物質，可以影響其孔度，此種物質愈多者，岩石之孔隙愈少。(3)組成岩

石之物質，如係可溶性成分，可使孔隙擴大，成爲洞穴或連通之孔管，增加孔度，滲積多量之水分。(4)摺曲斷裂之地層，罅隙必多，較之密緻而無裂縫之岩石，孔度必大。下表示 Fuller 氏估計各種土壤與岩石之孔度：

壤土	55%
粘土	50%
砂土	30%
白堊	50%
砂岩	10+%
板岩及頁岩	4%
石灰岩及大理岩	4.5±%
花崗岩	1%
石英岩	0.5%

4. 潛水之流動 (Movement of Groundwater) 潛水之流動，與地面水相同，均受重力影響，使之就下，以達於海洋，惟速度殊小耳。在粗粒之砂岩與礫岩內，流動之速率較大，此種岩石，水分易於滲透，故稱透水層 (Pervious Beds)。若岩石堅實密緻，則流動甚慢，水分滲透頗難，故稱不透水層 (Impervious Beds)，如壓緊之粘土、頁岩及泥灰岩等均屬之。若透水層位於不透水層之間，則水分得以保存。稱蓄水層 (Reservoir Beds)。潛水之流

動速率，依右列三種情形而定：(1)岩層之透水性(Permeability)愈大者，速率愈快；(2)單位距離之內，高度相差愈大者，壓力相差亦愈大，即坡度愈大，流動愈速；(3)潛水之溫度愈高者，速率愈大，據 Slichter 之計算；該坡度每哩爲十呎，則潛水在細砂岩中之速率，每年 53 呎，粗砂岩中，每年 845 呎，細砂礫中，每年 5386 呎。

潛水既可流動，則潛水面之高下，亦非終年不變者。其變遷之原因，可分自然與人爲二種。前者與雨量、洪水、潮汐、氣壓、溫度等有關；後者則爲開渠、築壩或過量抽吸之結果。霖雨之際，雨水滲入地內者甚多，潛水面往往驟高，甚或高出地面，成爲洪水。惟因地層引收水分常需相當時日，故潛水面升降之時期，每與降雨最高與最低之時期，相差若干時日。潮汐之影響，頗爲顯著，濱海之地，尤易覺察，該地井水之面，潮進則高，潮退則低，往往又在高潮時期，發生噴水現象。氣候寒冷，氣壓降低，潛水面隨而上升，以冬日井水之上漲，即可證明。溫度之變化，能影響水之表面張力 (Surface Tension)，溫度降低，水之表面張力增大，潛水面則可增高。開渠築壩與過量抽吸之結果，均可使潛水面在一定區域之內，有顯著之變化。

II. 泉 (Springs) 潛水得自地面，爲人類所利用者，泉與井是也。泉乃潛水面與地表相切，經天然之裂隙，循一定之出口，流

滲於地面者。其性質與蓄水層岩石之結構及位置，均有密切之關係。至其產狀，甚為不一，高山之側，峭壁之崖，平原之上，河床兩岸，均有產出；其水量之多寡，鑛質之有無，變遷更著。且溫度亦顯有高下，故有冷泉與熱泉之分。

1. 冷泉之分類 (Classification of Springs) K. Kielkack
氏就泉水之產出狀態，分普通冷泉為兩大類：

A. 下降泉 (Descending Springs) 下降泉乃獲水於上部，而於下部流出，順乎水性之一切條件。又可分為下列三種：——

a. 接觸泉 (Contact Spring) 蓄水層受侵蝕而暴露於地面，泉水即可從其底部，不透水層之面上流出；或蓄水層之上下均為不透水層，潛水由其下部接觸處流進出。其進水處 (Intake) 與出水點 (Discharge) 之垂直距離愈大，水之壓力愈大，流出之水量亦愈多。

b. 裂隙泉 (Fissure Spring) 地層雖甚密緻，但因溶解關係，易沿其節理侵蝕，而成連通之孔管或洞穴，潛水循之而流出者。此種泉源，多見於石灰岩中，水量甚大。水質有時混濁，大風之後尤甚，因其流經之地，無滲濾作用所致。

c. 斷層泉 (Fault Spring) 蓄水層位於不透水層之間，潛水封閉，無法流洩，則滲流成水。

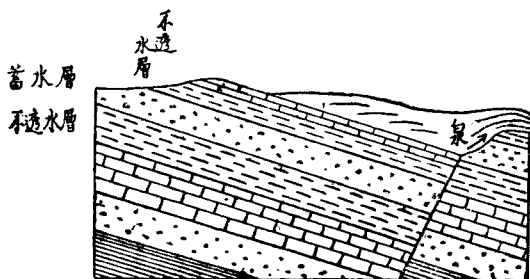
B. 上升泉 (Ascending Springs) 水流之方向，由下而上，

背乎常性，其所以如此者，乃因水之壓力或其下部有上升之氣體推動所致，依其構造之不同，又可分為二種：——

a. 上升接觸水(Ascending Contact Spring) 在摺曲之向斜層中，蓄水層夾於不透水層之間，經侵蝕之後，一翼之位置較高，成為進水區，一翼之位置較低，成為出水層，潛水則沿其接觸部，受水之靜壓力，湧出成泉。

b. 上升斷層泉(Ascending Fault Spring) 此泉多見於斷層之區，其生成為蓄水層夾於不透層之間，經斷折後，蓄水層適與不透層接觸，潛水受傾斜層中水之靜壓力作用，迫之沿斷層線上升，而成水源。其分佈常成線狀，有時延展甚遠。水之來源往往甚深，水質清冷，不含濁物（如第六十一圖）。

2. 溫泉(Hot or Thermal Springs) 火山附近地區之潛水，受熔岩中高溫水汽之影響，使之變熱，沿地層裂隙，湧出地



第六十一圖 上升斷層泉

面，則成溫泉。水之來源，10%得之於岩漿，90%得之於地面。然無火山之處，如我國臨潼、南京、清水等地，亦有溫泉流出，乃因水源甚深，受地中高熱之影響，將其變熱，而流出之孔道，又係捷徑，不待溫度降低，即已流出，故亦可成爲溫泉。

3. 溫泉之分類 (Classification of Hot Springs) 溫泉以其熱度與所含之鑛質以及噴流之情形，可以分爲四種：——

A. 微溫泉 (Tepid Spring) 溫度不高，約在 36°C 左右。

B. 沸泉 (Boiling Spring) 溫度甚高，在 100°C . 以上。

C. 鑛泉 (Mineral Spring) 溫泉以溫度較高，故其溶解力較大。普通含鑛質在 0.05% 以下者，稱爲純泉 (Simple Spring)，超過 0.05% 甚或至 5% 者，均以鑛泉名之。鑛泉又以所含鑛質種類之不同，分爲下列七種：

a. 酸性泉 (Acidic Spring) 含碳酸氣，多產於有火山餘勢存在之地。

b. 鹼性泉 (Alkaline Spring) 含碳酸鈉、硫酸鈉、碳酸鉀、硫酸鉀或硫酸鎂之鑛泉。

c. 鹽泉 (Saline Spring) 溶有石鹽之溫泉。

d. 硫黃泉 (Sulphureous Spring) 含硫化氫、二氧化硫或硫酸等物質，此種溫泉，可以治療皮膚病。

e. 鐵質泉 (Ferruginous Spring) 溶有氧化鐵、碳酸鐵與

硫酸鐵各種物質之鑛泉。

f. 石灰泉 (Calcareous Spring) 含碳酸鈣，可於泉口附近，沉積石灰華 (Calcareous Sinter)。

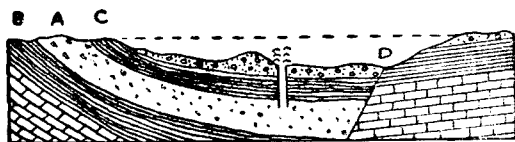
g. 矽酸泉 (Siliceous Spring) 此泉常產於火山附近，因其溫度甚高，足以溶解矽質，在泉口周圍，可以沉積矽華 (Siliceous Sinter)。

D. 間歇泉 (Geyser) 噴泉隔一定之時期，熱水與蒸氣交互噴出者，謂之間歇泉。因其溫度甚高，蒸發頗烈，歷時既久，則顯有盛衰，故與粘土混合，可以變為噴泥泉。若性質膠粘，氣體無法外洩，則往往爆裂而為泥火山。世界著名之間歇泉，首推美國之黃石公園，溫泉凡三千，間歇泉有數百之多。1847年，Bunsen氏觀察冰洲島之大間歇泉 (Great Geyser)，測得其表面之溫度為 212°F ，下部之溫度為 266°F ，遂解釋間歇泉之原因，係由對流作用而生。下部之熱水，勝於上部水柱壓力時，即澎湃汽化，挾上部之水分，與之俱升，遂行噴發。至孔穴內之熱水噴發殆盡，即暫時停止。待地面噴發之水分，冷卻後重復滲入孔內，被熱上湧，則又生汽化噴發之現象，如是循環不已。

III 自流水 (Artesian Water) 自流水初在法國之 Artois 省第一次掘出，故因以得名。凡水分自行噴流不需抽吸之井。謂之自流井 (Artesian Well)。滲積潛水之地層，名為自流水蓄水

層(Aquifer);蓄水層吸收雨水之部,謂之入水區;其出水區爲天然裂隙或人工開掘之井。

1. 自流水之必要條件 (Requisite Conditions of Artesian Flow) 自流水之必要條件有五,茲分述如後:(1)吸水區須有充分之面積與雨量,則潛水之來源無窮,自流井自無枯竭之虞。(2)須有石質疏鬆分佈遼闊之自流水蓄水層,若厚層之砂岩與砂礫層。(3)蓄水層之上下,須有堅密之不透水層,使水分不得外溢,但實際上無絕對不透水之地層,惟求其結構緻密,不能減小潛水上升之壓力者即可,若頁岩與粘土層等。(4)地層須有相當傾斜,俾能發生較大之壓力,潛水方可得以上升。(5)蓄水層須有適當之滯水構造,潛水方可停積,不致流洩,如爲斷層之粘土封閉(如第六十二圖);或其一端尖滅(Thinning out)(如第六十三圖);或其一端變爲不透水之岩層(如第六十四圖)均是。

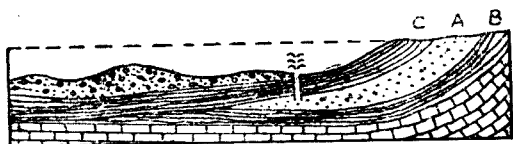


六 十 二 圖

自流水蓄水層爲斷層之粘土封閉

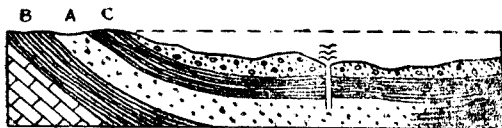
(A=蓄水層;B,C=不透水層;D=斷層)。

2. 自流水產水量變化之原因 (Factors Affecting Artesian Water Supplies) 自流井之產水量,每因入水區之雨量充足,



第六十三圖

自流水層蓄水層之一端尖滅(A=蓄水層;B,C=不透水層)



第六十四圖

自流水蓄水層之一端變為不透水層(A=蓄水層;B,C=不透水層)

而使其供給豐富。有時水質本甚清潔，大風之後，突然混濁，乃因氣壓降低，水流增速，井內泥砂，隨而浮起之結果。又有噴水吸收氣體，使之發生泡沸現象者。據西人鑿井之經驗，自流井當初鑿成時，水量之供給，多甚充足，但歷時稍久，則往往枯竭，推其原因，不外右列數端：(1)蓄水層含水不多，如抽吸過甚，則供不應求，遂致乾涸。(2)附近自流井，抽吸過甚，或有多數新井開鑿，致潛水之量，求過於供。(3)蓄水層中之罅隙，為粘土擋塞。(4)井內鐵管，裝置失宜，以致井壁塌陷，壅塞水流，或鐵管破漏，潛水失散，以致枯竭。

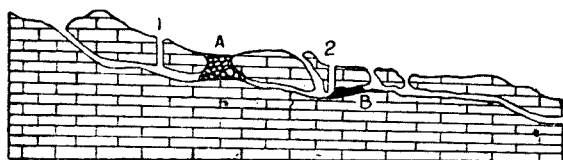
3. 水成岩中之自流水 (Artesian Water in Stratified Ro-

cks) 自流水之產於水成岩層之中者，較爲常見，因其常有適宜之構造與疏鬆之蓄水層。砂岩與砂礫層結構疏鬆，蓄水甚多，且有時分佈遼遠，入水區面積廣大，故若構造適當，則可滲積大量之水分。世界上自流井最多產水量最大之區域，多爲此等岩石分佈之地區。但蓄水之砂岩，可以移變而爲不蓄水之頁岩。故在同一區域之內，雖相距密邇，而鑿井結果，常大相逕庭。是以僅憑觀察，頗難明瞭，非多鑽試井，方不致失敗。

地層中之蓄水層，有時不祇一層，各層之間，往往夾有不透水之頁岩或粘土；而各蓄水層之中，所含之水分，亦不一律。在此種情形之下，當將各層之水量水質，詳爲考驗，以作取用之標準。如遇某層之內，水質混濁，或不合衛生，則當裝置鐵管以封閉之。

石灰岩爲比較密緻之岩石，故其蓄水能力，不若砂岩，但亦可產生自流水，考其原因約有二端：(1)石灰岩富於節理裂縫，如與頁岩交互成層時，可以成爲良好之蓄水層。(2)岩質易於溶解，經潛水濕潤，常能蝕成孔穴，滲積多量之水分，而在某一地點，則可將蝕餘之殘渣堆積，壅塞水流，使之不易失散（如第六十五圖）。

沖積層中，多礫岩或砂礫層，亦爲良好之蓄水地層，在平原之上，所掘之淺井，多屬此類。如其上下均有粘土層，封閉嚴密，



第六十五圖

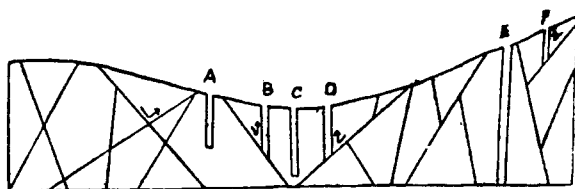
石灰岩地層中之自流水 (1,2=自流井; A=陷落石礫堆積物;
B=淤塞粘土)

並有適當之構造,使水壓充足,亦可供給自流水。

冰磧層為砂礫粘土等混合而成,其中有透水者,有不透水者,如透水層為不透水層封閉,則水量集中,開井自然上升。惟此項自流水之分佈,頗不規則。

4. 結晶岩石中之自流水 (Artesian Water in Crystalline Rocks) 此項岩石包括火成岩與變質岩,其結構細密,蓄水不易,但若裂隙豐富,亦可產出自流水。惟其分佈,殊少規則,地面鑿井,頗少把握,往往相距咫尺,一則水量甚豐,一則滴水毫無,此純因裂隙位置與方向不同,難於預料所致 (如第六十六圖)。

IV. 潛水之成分 (Composition of Groundwater) 潛水中皆混有雜質與溶解物;前者如砂土、枝葉與微生物,後者則為各種礦物質。礦物質大部由附近岩層之溶解而來,如鉀鈉得自長石,鈣鎂得自石灰岩,而鐵鋁矽各物質,均為各種土壤與岩石之主要成分,更易溶解於潛水之中,其溶解量之多寡,當視後述三



第 六 十 六 圖

結晶岩石中之自流井(A,C,E=無水井;B,D,F=自流井)

種情形而不同：(1)岩石顆粒與潛水接觸面之大小；接觸面愈大者，愈易溶解。(2)潛水所受之壓力；與溶解量成正比。(3)潛水之流速；速率增加，可以溶解多量之鑛質。

潛水所含之雜質，多少不一，而影響於潛水之之用途者，關係殊大。美國地質調查所定潛水溶解物之總量為四級，列之如下：——

級 別	溶解物總量 (百萬分之一，即一呎潛水水中所含溶解物之毫克數)
低 級	0 — 150.
中 級	150 — 500.
高 級	500 — 2000
最高級	2000以上。

大致言之；砂礫層中之潛水，含鑛質不多，因其成分以 SiO_2 為主，難於溶解；但富於鹼性成分者，如乾燥地帶之砂漠沉積，溶

解性較大，粘土之顆粒較細，與潛水之接觸面甚大，故溶解較易。砂岩與礫岩常含碳酸鈣與氧化鐵等物質之膠結物，潛水環流其中，殊易溶解。石灰岩為岩石中之極易溶解者，故由此流出之潛水，普通均含碳酸鈣與重碳酸鈣，可使其硬度增加。含鹽地層、石膏層或其他大陸沉積，潛水流經其間，亦可溶解，增加其含鹽量。普通化驗水質時，應注意之化合物及元素，計有十四種：

氧化物	SiO_2 ; Fe_2O_3 ; Al_2O_3 .
基性根	Fe ; Al ; Ca ; Mg ; Na ; K .
酸性根	CaO_3 ; HCO_3 ; SO_4 ; Cl ; NO_3 .

此外尚應鑑定其硬度，檢查微生物，後者於飲料上，當特為注意，不過潛水經地層之毛孔環流，一若過濾作用，其所含之大量細菌，大部可以濾除。

飲料用水，鈣鹽無害；鈉次之；氯化物為害最大，其限度應在百萬分之二百五十以下。含有碳酸鎂之水分，可作瀉劑，有醫藥上之功效。

V. 地下水之地質作用 (Geological Work of Subsurface Water) 地下水之地質作用，頗為重要，可以造成特殊地形，茲分破壞與建設述之：——

1. 破壞作用 (Destruction)

A. 喀斯特地形 (Karst Topography) Karst 爲 Adriatic Sea 東岸, Dinaric Alps 之一部地區。該地爲石灰岩分佈, 經地面水與潛水之溶解作用, 而成一種幽美壯觀之峯林地形, 因以得名。此種地形之生成, 與氣候、潛水、附近河流之水位差以及岩層之位置均有密切關係。風化帶中之水分, 溶有多量之二氧化碳及有機酸, 故侵蝕力甚大, 循岩石之罅隙環流時, 對於岩石之礦物分子, 常起溶解與置換作用。石灰岩地區, 此種現象, 特爲顯著。潛水由裂隙逐漸溶解, 可成巨大之洞穴 (Caverns)。有時洞穴溝通, 皆爲地下河道。洞穴擴張過大, 不能支持上部岩層之壓力, 因以陷落, 則在地面上形成漏斗狀之深淵, 稱爲石灰窠 (Sink Holes)。美國 Kentucky 州附近與我國廣西桂林以及陝西鞏坪, 均有此種地形, 所成山嶺, 險峻巍峩, 風景絕佳。

喀斯特地形生成之條件有二: 一爲岩層係石灰岩; 一爲侵蝕力以溶蝕作用顯著。凡屬此種地區, 雨水降落地面, 立即順沿罅隙, 滲流地內, 地表河谷, 甚爲缺乏, 而溪流或斷或續, 此皆因與地下潛水聯通所致。

B. 山崩 (Landslide) 由山頂滲流之水分, 如遇不透水之傾斜岩層, 即自山側流出, 成爲泉源。若久經大雨, 泉源不足以排洩巨量之水分, 於是一部水分, 展佈於不透水層之上面, 使之成爲粘性泥漿, 如是山頂之傾斜岩層, 則不免滑落, 發生山崩現象。或

掩埋村落，或阻滯交通，爲害甚烈；其所生之各種現象，於十一章述之。

2. 建設作用(Construction)

A. 洞穴沉積物 (Deposits in Caves) 潛水經過石灰岩之裂隙，使其溶解，輾轉滲流，而達洞穴。因壓力驟減，二氧化碳揮發而去，水量亦逐漸蒸發，碳酸鈣乃行沉澱，在洞穴之中，起初祇有石灰質白色圈環遺留。潛水不斷滲流，此種現象繼續發生，碳酸鈣依次疊積，在洞穴之頂部，漸漸積成小柱，宛如寒冬簷前之冰錐，即爲鐘乳石。潛水滴於洞穴之底部，沉澱日趨上長，形如竹筍，即爲石筍。若二者互相連接，則成石灰柱 (Calcaveous Column)。此項沉積物，在石灰岩洞穴中甚多。我國之著名者，如江蘇宜興之張公洞及權善洞，陝西南鄭之小南海洞穴，其中之鐘乳石與石筍，奇形怪狀極爲壯觀。

B. 泉旁沉積物 (Deposits of Springs) 當泉水流達地表時，溫度與壓力同時降低，水分蒸發，其中所含之二氧化碳逸出，鈣質及鐵質之酸性碳酸鹽，則變爲碳酸鹽，逐漸凝聚，在泉流之出口附近，形成石灰華與鐵華 (Iron Ocher)。火山區域之中，因潛水之溫度甚高，矽質溶解較多，故有矽華之沉澱。

C. 假化石 (Dendrite) 石灰岩或其他細粒岩石之裂縫或層面之上，經含有碳酸鐵與碳酸錳之潛水環流而過，如溫度與壓力

之環境適宜，則沉澱碳酸鐵與碳酸錳，而成狀如蘚苔形頗美麗之黑色花紋，類似化石，故稱假化石，又稱忍草石。

第八章

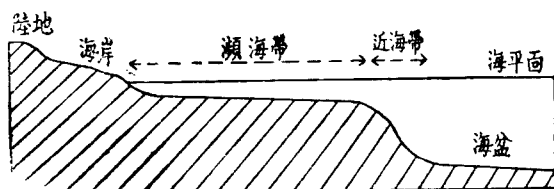
波浪作用與海岸

(Wave Action and Coasts)

近世各國，商運頻繁，海上交通之維持，專賴良好之港口；而海港之興建，須有適宜之自然條件，配以人爲之改善修築，方可臻於繁榮。曲折之海岸，良好之港灣，每爲海浪冲刷，河流淤積，崩潰壅塞，逐漸廢棄；或以地盤上升，海水退縮，以致無法利用。然亦有不須人力之自然良港，乃岩岸地帶，地盤逐漸下沉，而無泥砂淤積之處所。風浪作用於海面，衝擊海岸，剝落附近岩層，隨海流遷運於海底；河流挾帶泥砂，入於沉靜之大海，堆積於河口附近之地帶；潮汐作用激動海底沉積物，使之選擇適宜之位置，重新沉積，在在均係海洋之地質作用，故善謀改良港口維持海運之工程師，必須熟悉海岸之各種特性，明瞭海浪、海流、潮汐與夫海洋沉積之各種變化現象，方可着手施工並藉以尋求利用之途。

地球表面，海洋之面積，佔四分之三；其平均深度爲三哩餘，約一萬六千呎。海水之分佈，愈近於大陸者愈淺。大陸與海洋之接觸地帶，稱爲海岸。由海岸至海深百碼(=600呎)地區，稱爲瀕海、陸海或陸架(Littoral Sea; Epicontinental Sea or Cont-

inental Shelf)。自此以下，海底斜度變陡，漸漸深下，以至千
 噶之處稱為近海 (Intermediate Slope)。千噶以下，即為海盆
 (Ocean Basin)，乃深海地帶也 (如第六十七圖)。



第六十七圖 由大陸邊緣至海洋盆地之剖面。

海水之成分，以其地區、氣候與深度之不同而異，熱帶區域，
 植物繁茂，河流經過，可以溶解多量之物質，挾運於海水之中，寒
 帶則否。海岸附近之海水，如入海之河流較多，則所含之鹽分較
 少，以其水量大增，其中鹽質必行沖淡。無出口之內海，蒸發頗
 著，溶解之鹽分必多。海水中所含之鹽分，一部係由大陸而來，一
 部為地球初成時，瀟留於海水之中者。其主要之成分，以食鹽為
 最多，約佔鹽類總量四分之三，其次即為鎂鈣鉀等鹽類。海水含
 鹽之平均量，約為 3.5%，即百磅之海水，含鹽約為 3.5 磅；而百
 磅之鹽類中，其所含之成分與重量如下：

NaCl.....77.8磅

MgCl..... 10.7

MgSO₄..... 4.7

CaSO ₄	3.6
K ₂ SO ₄	2.5
CaCO ₃	0.3
其他.....	0.2
合計	100.0

此外海水之中，尚有碳氧二氣，前者由海棲動物呼出，再由藻類植物吸收；後者得自空氣，海水愈深含量愈微。

海水之比重，隨其所含之鹽類與溫度之變化而異，通常海面之水，一公升之重量，約自 1024 公分，至 1028 公分，故其比重約在 1.024 至 1.028 之間。

海底之地形，與大陸相似，為起伏不平之表面。海盆為廣闊之低地，與大陸之平原相當；瀕海係狹長之高地，與大陸之高原相當；海中之山峽，突出水面，即為島嶼。此兩種地形不同之點，乃陸地受風化侵蝕之剝削，峯嶺溝壑之界線顯明，易於識別；而海底因係沉積地區，雖稍受海流海浪之侵蝕，各部地形，大致相若，較為平坦。

I. 波浪 (Waves)

1. 波浪之生成 (Cause of Wave) 普通波浪多由風之作用生成；勁風駛過水面，則其表部之每一水分子，忽起忽伏；前後擺動。在縱斷面中，水分子之活動軌道，近似圓形。若前進之波浪較

爲平緩，其運動之軌道爲橢圓形。然風浪之運動軌道，非密閉圓形，故每個水之分子，可以互相推擠，成波動式之前進狀態。波浪之最高點，稱爲波峯(Crest)，最低點稱爲波谷(Trough)，風浪進行時，波峯部分之水分子，向前移動，而波谷部分之水分子，則向後退却；但其前進之距離遠過於後退之距離，故風吹於水面時，即與波前進；惟其速度較風速殊小。

風暴(Gale)之前，每有巨浪(Swell)，非由風之直接作用而生，乃以氣壓之變化所致也。其水分子之運動軌道，概爲閉合圓形，故風波無顯著之前進運動。他如地震發生與海底火山之爆發作用，均可激動海水，使之生成狂濤駭浪，但此種情形，僅係偶然之現象。

風浪係由海面之水分生成，其擺動之強度，隨海水之深度遞減；前進之速度，亦隨深度低降。

2. 波浪之特質(Characteristics of Wave) 波浪前進，將達海岸時，則改變其常性，水之前進分子速度增加，兩波之距離減短，波峯增高而變尖銳，達最高點時，則波峯折斷，驟落海面，浪花四濺，碎爲白波，稱爲破浪(Breakers)。一定高度破裂之波浪，其發生之地位，必在海水之同一深度。前進波浪崩裂之線，謂之破波線(Line of Breakers)。若波浪甚爲洶湧，則破波線之發生，必距海岸甚遠。當海水之深度，減至波峯與波谷間之距離時，

則波浪破裂，觀砂洲附近之波浪，即可證明。高約八九呎之波浪，必在平均水深八九呎之砂洲附近破裂。然此並非一定不移之原則，因尙有其他因素，若底流與台地等，均可影響波浪之前進。

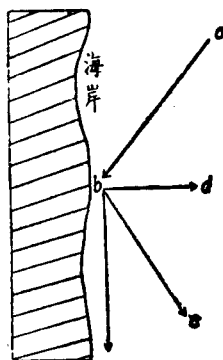
波浪之影響，往往不能達於海水較大之深度，因其運動之軌道，隨深度銳減。普通在水面以下，波浪運動軌道之直徑，僅爲表面之 $\frac{1}{5345}$ 海港工作之工程師，嘗見地中海之水下建築，達五公尺之深度，即無擾動現象；在大西洋者，則達八公尺；可見在此深度以下，波浪之運動，即已減滅。惟波浪所及之深度，以風力之強度與其持續之時間而定。巨礫岩石往往滾動於海底，達 150 呎之深度；海深百疇之細泥，常有波痕發見，均爲有洶濤駭浪之海水所生之現象。

波浪之大小不一，其發生於開展之海面，由暴風作用而起者必大。波浪波峯間之水平距離，謂之波長 (Length of Wave)；波峯與波谷間之垂直距離，謂之波高 (Height of Wave)；一波峯起後，至次一波峯起於原處之時間，謂之週期 (Period)。最大之波浪，波長可 500 公尺，波高可 15 公尺，週期 18 秒。波浪前進之速度，普通每小時 20—27 哩 (1 哩 = $3\frac{1}{3}$ 呎)，如遇暴風，可至 60 哩之多。

波浪之壓力有二：即由於水分子運動所生之動壓力與由於水重所生之靜壓力。前者對於海岸之衝擊與海港之破壞，較後者

爲大，據 Gaillard 測算，在美國 Lake Superior 附近，波浪之波高爲 10 呎，波長爲 150 呎，於波峯之下 9 呎深度之海水中，測得其靜壓力，每平方呎僅爲 450 磅，而動壓力則由 460 磅至 960 磅；暴風起時，動壓力每平方呎竟達 2500 磅之多。

3. 底流與岸流 (Undertow and Shore Current) 波浪前進，抵達海岸時，即沿海底產生一種回轉脈搏之運動，垂直於海岸，不受任何斜向波浪之影響，是爲底流。底流向海運動，可以挾帶波浪剝落海岸之物質，暴露海岸之岩層，促進侵蝕作用之進行，使海岸逐漸退縮。波浪斜抵海岸時，又產生一種沿岸波流，是爲岸流，乃沉積物運移之主要動力。

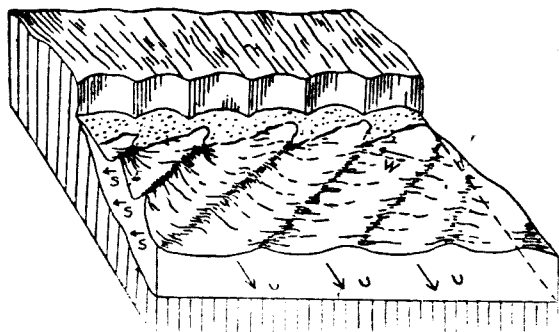


第六十八圖

波浪底流及岸流之關係
 (ab 爲波浪之運動方向；
 bd 爲底流之運動方向；
 bc 爲岸流之運動方向；
 be 爲沉積物之堆積方向)

如第六十八圖所示：ab 爲將抵海岸波浪運動之方向，bd 爲底流之方向，bc 爲岸流之方向。由波浪運移而至 b 點之沉積物，再由岸流與底流共同作用，沿 be 之方向遷運，因其爲前二者之合力方向也。但波浪接踵而來，其強度大小不同，故海底之沉積物，受此錯綜複雜之運動共同作用，遂使其進行之方向，成曲折之鋸齒狀，沿岸堆積（如第六十九圖）。

II. 波浪之侵蝕作用 (Work Perfor-



第六十九圖 波浪 W, 底流 U 及岸流 S 之運動實體

med by Wave Erosion) 海岸之侵蝕，以波浪之強度而定，而波浪之強度，又以風力之大小、海水之深度以及其所影響之水面範圍而定。海浪衝擊海岸，主為海水之壓力，與其所挾帶碎屑物質之磨蝕力，共同作用，惟後者之影響殊大。如係未挾泥砂之清水，則侵蝕力殊小。波浪襲擊海岸，剝落巨塊岩石，穿鑿而為漂礫，漂礫崩潰而成石礫，石礫破壞則成砂粒，砂粒磨蝕則成淤泥。淤泥震盪於水中，或者又成磨蝕海岸之工具，或者浮泳於海中，沉積而為他日之水成岩層。

組成海岸之岩石，對於波浪之侵蝕，影響殊大。如海岸為未固結之物質或稍經膠結之碎屑物組成，則水之衝擊力，足以使其崩潰。若海岸為軟硬相間之岩層，且適在波浪侵蝕範圍之內，則軟者破壞之後，硬者隨即崩潰。海岸岩層之富有節理裂縫者，可

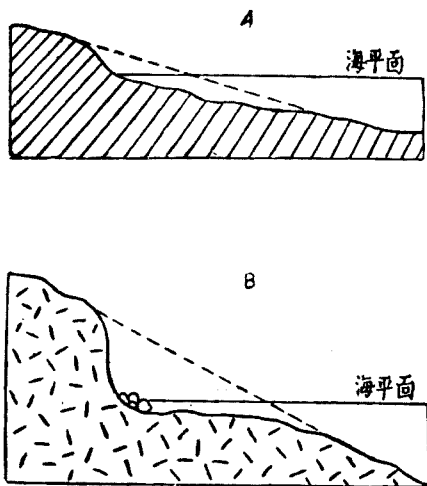
爲海水壓迫與砂礫磨刷之途徑，使巨塊岩石，沿之而崩裂。坡度陡峻之海崖，其基址爲波浪沖擊穿掘，成爲凹陷，可使其上部之岩石，崩落海中，臨時保護海岸，抵抗波浪，但終則破碎，遷運而去。

波浪直接侵蝕海岸之範圍，限於沿岸狹長之地帶，在波浪水平之下，無破浪之沖擊，在波峯水平以上，亦不受破浪之直接影響。

1. 海崖 (Sea Cliff) 海崖爲一波蝕地形。海岸爲波浪侵蝕，成爲陡峻之絕壁，即稱海崖。懸崖之高度，以沿岸大陸之高度而定，其坡度或陡或緩。凡堅實之岩層與急速之侵蝕，均可造成陡峻之峭壁。如沿岸之岩石，富有節理裂隙，經波浪穿鑿，以致成爲柱形，矗立於海面者，稱爲煙囪岩 (Chemney-rock)。更可殘留岩石斷塊，散佈於海岸附近，是爲小島 (Islets)。

2. 波蝕台地 (Wave Cut Terrace) 懸崖之底部，往往被海浪穿切，造成海濱洞穴 (Sea Caves)；終則崩塌，延展而成平台狀之地形，上爲淺水掩覆，是爲波蝕台地。如地盤上升，則可暴露於海面，而成海蝕台地 (Bench)。在美國 California 之南部海岸，即有此種地形（如第七十圖）。

3. 海岸外形 (Coast Outline) 海岸線之變化，視其組成海岸之岩石，岩層之構造與原始外形而定。若岩層直立，軟硬相



第七十圖 波蝕合地(A 海岸緩傾; B 海岸陡傾)

間，則軟者凹陷，成爲海灣(Bays)，硬者突出，成爲海岬(Headlands)，結果造成鋸齒狀之海岸線。若海岸之岩層大致相同，惟有一部裂隙集中，則在此地帶，亦可單獨成爲海灣或海峽。若原始之海岸，極不整齊，但爲性質相似之岩石組成，則經過侵蝕之後，可以成爲比較整齊之海岸。

III, 海岸附近之沉積地形 (Shore Deposition Topography)

波浪破壞海岸，挾帶其碎屑物，至適宜之環境下，亦可沉積，造成特異之地形；且回轉之底流與沿岸之岸流，從旁相助，促使沉積作用，繼續進行。

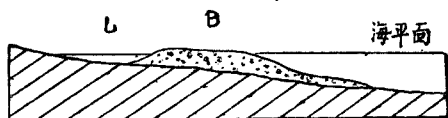
1. 海濱與堤洲(Beach and Barrier) 海濱居於海陸之間，爲一狹長之海岸漂積(Shore Drift)地帶，其高度達暴風波浪之波峯平面，往往高出靜水面數尺，其底邊略在破波線以外之地點。底流之力，常較波浪爲小，由波浪運積之海濱物質，細碎者往往再由底流搬運而去，故海濱上部之砂礫較粗，下部較細。如海岸底部之坡度較爲平緩，底流之力遠小於前進之波浪，則海濱物質往往向岸堆積，而成海濱長脊(Beach Ridge)(如第七十一圖)。



第七十一圖 海濱剖面

瀕海地帶之底部，如坡度極爲平緩，則破浪發生於離岸較遠之地，使其所挾之碎屑物質沉積，是爲堤洲。離岸返折之底流，因被堤洲所阻，流速頓減，所挾之泥砂，亦沉積於其上，增加其體積。他如潮汐岸流，均可幫助其生成。堤洲逐漸增高，突出海面，則與海岸大陸，共圍海水，成爲瀉湖(Lagoon)。瀉湖一方被大陸洗刷之物質填充，一方被潮汐所帶之泥砂沉積，往往成爲濕地(Marsh)(如第七十二圖)。

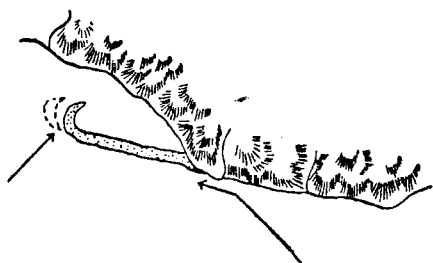
2. 砂角、砂鈎及砂洲(Spits Hooks and Bars) 砂角、砂鈎



第七十二圖 堤洲剖面(B = 堤洲; L = 瀉湖)

及砂洲三種地形之造成，主由潮汐與岸流之力，且沉積於深水之處，此為與海濱及堤洲之不同者。岸流往往順延海岸橫跨海灣而運動，故一旦達於深水，流速頓減，泥砂沉積，則在海灣附近之海底，造成狹長之泥砂壟脊，是為砂角、砂角之造成地帶，在海浪激動範圍之內，故亦可受波浪之影響，使其高度增加，突出於海面。砂角之前端，若岸流或風向變動，均可使其轉變，而成鈎形砂角，是為砂鈎。砂鈎常受岸流或風向之影響，改變其位置。砂角延長，幾乎橫跨全部海灣之出口，或兩砂角相對延伸，彼此重疊超越，封鎖海灣，則成砂洲。砂洲與大陸中間之低窪地帶，時有潮流侵入，造成出口。其間之海水，一旦與大海隔絕，則成淺海或瀉湖。砂洲常為海上交通之障礙，故須設法改善，以利航運（如第七十三與七十四圖）。

IV. 潮汐作用 (Work of Tides) 潮汐發生於日月之吸引力，在二十四小時內凡兩次，因海水被吸引之後，其所生之波濤運動，係在地球相對之兩面，同時作用。此種現象對於海岸之剝削與沉積，遠小於波浪，然以作用之時間攸久，亦不可忽視也。



第七十三圖 鉤形砂角之生成



第七十四圖

砂角相對延伸，封鎖海灣（箭頭表示風挾海流之流動方向）

開闊之大海，發生潮汐作用，海水雖漲，然因易於流溢擴散，海面似無顯著之變化。但在海岸附近，則潮流湧進，發生洪潮與干潮 (High Tide and Low Tide) 現象。當潮流澎湃，湧過海濱、堤洲或海灣之出口與兩島中間之缺陷時，挾帶之泥砂，可以沉積，助長

海濱地形之發育。

潮流之速度，通常每小時由一哩至十二哩不等。怒潮 (Bore) 發生，湧入海灣，海面可以升高五六十呎，若 Fundy 海灣與我國之錢塘江口。潮汐泥砂，往往淤塞港口，阻礙航運、美國 Boston 海港之潮流淤泥，竟達 25 呎之厚度，Fundy 海灣亦有潮流紅色。

淤泥，填積壅塞。

V. 海岸線之變化(Changes in Shore Line) 地盤上升，海水退縮，海岸附近之海水，逐漸變淺，波浪挾運之泥砂，因而沉積，海濱、堤洲、砂角、砂洲等各種地形，迅速造成，海灣淤塞，瀉湖填積，遂致海岸線簡化，往日之海港，因而廢棄，此之謂砂岸也。美國大西洋沿岸，Marthas Vineyard 附近，與我國錢塘江口以北，江蘇省沿海，洲灘林立，海水淺涸，即屬此種海岸。反之，地盤下降，海水伸進，沿岸地形，海崖、海岬發育良好，海灣、海峽曲折迴環，海水深越，港灣良好，既有停船之利，而無淤塞之患，是為岩岸也。美國太平洋沿岸，Moro Rock 附近，與我國錢塘江口以南，浙江省沿海，水深岸陡，港灣遍佈，即屬此種海岸。

VI. 海港與河口 (Harbor and River Mouth) 海港往往被海濱漂積之泥砂淤積，而使海道變淺，阻滯航運，故從事海港建設者，必須明瞭海岸與海底之各種地形，以及促成淤積之波浪、海流等各種性質，方可着手設計。砂角砂洲，多為海岸附近之臨時地形，位置隨時遷易，大風之後，可以迅速造成，或致封鎖海岸，而風向改變，則可遷移甚遠，甚或竟致消滅。美國之 New Jersey 海岸，常有此種現象。

河口附近，常有砂洲，其造成之碎屑物質，一部來自河流挾運，一部來自海浪與潮流。挾運泥砂甚多之 Mississippi 河與 Ni-

河，當其入海時，因瀉流於海洋靜水之中，速度銳減，泥砂沉降，而成砂洲。海浪與潮流，當其挺進海岸時，可以造成砂洲。然自瀉湖或海灣迴轉運動時，又可掃蕩砂洲之泥砂。挾之反沉於海中，是以海流又常保護河口，使之與大海暢通。如海流傾瀉於喇叭形之潮流河口 (Tidal Estuary)，則因渦流與海浪互相作用，亦可形成砂洲。

河流之泥砂沉積，潮汐之汎濫，岸流之淤塞，以及風浪之海岸漂積，相互作用，可使河口之位置變遷，如英格蘭東部之 Yare 河，其河口之位置，近年向南遷移四哩，美國 Aransas 河口，五十年中，向西南移動一哩。此外尚有每日移動之現象者，如 Hoogly 河口，在其附近，僅白日可以通航，且須經常測量海底。

精密測量河口之地形，不斷研究海圖，而探求泥砂淤積之原因，可使從事海洋工作之工程師，充分解決航行與停泊等問題。

改良潮流河口之主要原則，不外右列數端：(1) 使潮流自由逆河而上，以期阻挫潮流之原因，減至極小。(2) 澄清河水，大量傾瀉。(3) 儘量保持潮流河口，使之成爲有規則之三角形，出口寬展，俾潮汐湧進，不受限制。

淺海之中，常有海岸漂積之碎屑物質，堵塞港口，此種物質乃由波浪挾捲而來，雖在無海流運動影響之靜水中，亦可浮泳甚遠。美國之 Madras 海港，曾築防浪堤 (Jetty or Breakwater)，

阻滯波浪之前進；在海岸與防浪堤之中間地帶，侵蝕劇烈，造成海岸之崩潰現象，海水亦隨之變深，航運自可維持。而在其向風一側，則泥砂堆積，逐漸升高，終至越堤而過，故須繼續高築，所費甚巨。此外利用挖泥機，疏濬港口；或建築防浪堤；與挖掘泥砂，同時並進，均係維持港口航運之重要方法。

VII. 洋流 (Ocean Currents) 海水依一定之方向，終年流動不息者，謂之洋流。洋流多由海水之溫度不同，因對流現象而生；然亦有由於方向保持一定之風力而生者，但僅限於局部之海面，殊不重要。海水之溫度大部得自日熱，而日光熱力之影響，僅能達於海水 300 公尺之深度，故自此以下，海水之溫度，鮮有超越 0°C 者，因海水均含鹽分，所以不致結冰。海面之溫度，又因緯度高低，而有差異，在赤道附近，約為 25°C ，在兩極地帶，均約在零下 1°C — 2°C 之間。海面以下，大部寒冷。赤道附近之海水，因熱上漲，流向兩極者，是為暖流；兩極海水，因冷下沉，潛移深處，徐向赤道流動者，是為寒流。洋流因不能達於海底，故其侵蝕之力甚微，僅當其流經狹隘之海峽時，有輕微磨擦作用。洋流之侵蝕力，在 Gibraltar 附近，達 500 呎之深度，在 Canary Islands 附近，竟達 1000 呎，然此僅屬局部現象，就整個之海洋論，實渺乎其微也。洋流之遷運與沉積能力，亦甚微小，因其不能達於海底，所挾之物質，多屬漂浮海中之輕微灰塵，且一經沉落，則

無法再行挾起，不若河流海浪之既能沉積，又可隨而摘拾也。

VIII. 海洋沉積 (Marine Deposits) 沉積岩大部均係海洋沉積，今日海洋之中，雖有大量之沉積體，然據約略估計，若將大陸夷為平地，高度與海平面相等，而移大陸之物質於海中，則海洋之深度，不過減少七百呎左右。大陸之泥砂，經河流作用移至海中，僅能沉積於淺海之部，能達於海盆者殊少。海洋沉積可以分爲兩大類，即淺水沉積與深水沉積。

淺水沉積	{	海岸沉積……砂礫最多，稍有泥質。	}	由大陸 而來之 物質
		淺海沉積……砂礫泥土石灰質均有。		
深水沉積	{	近海沉積……火山噴發之物質及有機質。	}	深海中沉 澱之物質。
		遠海沉積……海生動物之軟泥——		

1. 海岸沉積 (Littoral Deposits) 高潮面與低潮面間之地帶，稱海岸帶 (Litoral Zone)；海岸帶與其距海岸線稍遠地區之沉積，均屬海岸沉積之範圍。其沉積體之特徵，因係淺水地區，有波痕遺跡，且因洪潮與干潮互相作用，故有乾裂雨痕及鳥蹄獸跡。沉積體之物質，以砂礫最多，泥土最少，近岸者較粗，遠岸者較細。全世界海岸線之長，約爲 125,000 哩，故海岸沉積帶，雖係狹長之地區，然所包括之面積，亦相當廣大。

2. 淺海沉積 (Shallow-sea Deposits or Extralittoral Deposits) 低潮面以下，至百呎海深之地帶，均屬淺海沉積。但有

時暴浪發生，亦可影響於百呎以外之地區。沉積體因屬淺水性質，故其特徵有波漣痕跡，交錯層尤為常見。其所含之化石，動植物均有，皆係淺海種屬。沉積體之粗細界線頗難劃分，因地盤之升降，海水之進退，皆可發生超覆或退覆 (Overlap or Offlap) 現象，使粗細物質間互產出；而數千公尺厚度之砂岩層或礫岩層之產出，亦賴地盤下降或海水升進之作用而成也。沉積體除砂岩、礫岩與泥土質之石灰岩外，尚有由於化學或生物作用所造成之岩石，如石灰岩 (CaCO_3)、石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、食鹽 (NaCl)、鉀鹽 (KCl) 以及鎂鹽 (以氯化物及硫酸鹽為最多) 等。淺海沉積體所佔之面積，約 10,000,000 方哩。

3. 近海沉積 (Intermediate Slope Deposits) 海深百呎以下，至千呎中間之地帶，海底傾斜甚陡，是為近海沉積之地區。其沉積體之特徵，無植物化石，僅有少數之動物化石種屬。沉積物多為極細之粘土，自大陸遷運而來，有藍泥及綠泥 (Blue Mud and Green Mud)；又有夾雜火山與珊瑚物質之紅泥 (Red Mud)• 此部所佔之面積，約 18,000,000 方哩。

4. 遠海沉積 (Deep-water Deposits) 千呎以下之海盆，均屬遠海沉積。其最深之處，可達 30,000 呎。僅有微小之藻類生長其中。沉積體皆係細微之軟泥，其性質隨區域而異，約有三類：(1) 火山噴出之灰塵，由風力吹至海中，沉積而成。(2) 天空之隕

石塵埃，散佈於海中者。(3)海中動物之遺骸。至由陸上遷運而來之泥砂，則絕無僅有。軟泥之最普通者，有紅色粘土(Red clay)，太平洋中最多；其次為鈣質軟泥(Calcareous Ooze)，由微生物組成，如抱球蟲軟泥(Globerina Ooze)，大西洋中最多；他若矽質軟泥(Siliceous Ooze)，如矽藻軟泥(Diatom Ooze)與放射蟲軟泥(Radiolaria Ooze)，則多產於南北冰洋之中。

吾人在陸上所見之沉積岩石，大部為礫岩、砂岩。頁岩、石灰岩等類，均係淺海或近海沉積。深海沉積之物質，在陸上所發見之岩層，尙無可與其比擬者，由此可知，深海地區不能變為大陸。

第九章

湖沼與澤地 (Lakes and Swamps)

I. 湖沼 (Lakes) 凡停滯於地表低窪部分之水體，統稱爲湖。湖之小者，稱爲沼 (Ponds)；最大者稱爲內海 (Inland Sea)。湖之深度不一，可自數呎以至數千呎不等，西伯利亞南部之 Lake Baikal，深達 1430 公尺，而我國洞庭湖，僅深 10 公尺。其分佈之地區，亦各不同，有在海平面以下者，如 Dead Sea，有在海拔 12,500 呎以上者，如 Lake Titicaca；且不論緯度高低，均有存在。

1. 湖沼與工程之關係 (Relation of Lake to Engineering Work) 湖沼與工程之關係頗屬密切。(1)湖沼常爲城市與蒸氣用水之水源，故其體積，成分以及有關衛生之各種特性，必須詳爲研究。(2)範圍廣闊之湖沼，可擅航行之利者，每爲風浪與岸流作用，淤塞填積，使湖岸變化，航運困難，故湖岸必須設法保護，港口方可暢通無阻。(3)湖沼常因蒸發乾涸，淤泥填積，變爲澤地，每使鐵路與公路之建築與養路，感覺困難。

2. 湖沼之類型 (Types of Lakes) 湖沼之成因，綜錯複雜，一湖造成之後，往往仍受各種自然動力之作用，繼續變化。凡與

河流上下皆行連通之湖泊，概爲淡水，因其所挾之鹽類，未曾沉澱即行隨流而去，稱爲淡水湖 (Fresh-water Lake)：無出口之湖泊，河流所挾之鹽類，俱行沉澱，且經蒸發作用，水量漸減，湖水所含之鹽分，遂行增多，謂之鹹水湖 (Saline-water Lake)。前者如 Lake Superior；後者如 Salton Lake。此不過就湖水所含之鹽分而言也。就其形成之原因論，可分四種類型：

A. 構造湖 (Structural Lakes) (1) 由於地殼之曲撓，而成構造盆地，或在槽形地帶之兩端，曲撓上升，衆水匯聚，即成湖泊。前者如 Lake Superior，後者如 Lake Timiskaming。(2) 因地殼斷裂，發生傾動現象，匯瀦河流之水分，而成湖泊，如 Lake Warner。(3) 石灰岩地區，被潛水溶蝕而成石灰穿，每爲塌陷之泥土石塊，堵塞地下河道，水分聚積，即成湖泊。但有時地下河道，不能完全堵塞，然以入水量超過洩水量，亦可保持水面，不至降落。此種湖泊，普通均甚狹小，峭壁環列，深度頗大。如 Lake Miccosukee。(4) 熄滅火山之火口，常爲流水匯積，形成湖泊，稱火口湖 (Crater Lake)，在火山之火口原地帶，亦往往積水而成環形湖泊，稱火口原湖 (Atrio Lake)。如我國吉林長白山支脈，白頭山頂之天池，即爲火口湖。火口湖之水面，尙有發生氣泡，若沸騰現象者，乃因氣體洩發所致。此種湖泊往往甚小，而無經濟價值。

B. 堰塞湖(Dammed Lake) (1)河床之一段每爲天然之障礙物所阻，因而積水成湖，屬此類者，最爲普通，其障礙物或爲山崩之散碎石塊，或爲河床淤積之泥砂礫石；或爲火山之灰燼；或爲冰河之砂礫。西安終山前之翠華山，其山麓之湖泊，即係山溝旁之山崩石塊，將山溝之流水堰塞而成。日本富士山下之湖泊，係由熔岩偃止而成。歐洲 Alps 山中之冰河湖 (Glacial Lake)，係由冰河物質壅塞河谷而成。在河流之洪水平原中，因汎濫之故，河水往往蓄積於自然堤以外之低窪地區，成爲湖泊。又河流因蜿蜒現象，棄置舊河道，即成牛軛湖。(3) 海岸地帶，每因海浪與岸流作用，造成砂洲壅塞海水。滯留而成瀉湖。美國沿大西洋海岸，此湖特多。(4) 江河支流，在海岸地帶，爲主流所造成之三角洲淤塞，流水匯聚，即成湖泊。吾國杭州之西湖，原爲錢塘江下游之一支流，後因江口三角洲日漸增廣，水道淤塞，遂與江分；同時海岸上升，潮汐冲刷之力，爲堤洲所阻，遂成湖泊。現在湖之四周，皆有沖積層乃係當日淤積之痕跡。

C. 侵蝕湖 (Erosion Lakes) (1)流水旋渦每易侵蝕河床，造成低窪地區，河水衆積，即成湖泊。(2)冰河挾帶礫石，侵削河床與兩岸之岩石，亦可形成窪地，滯水成湖。在美國北部與歐洲之高山地帶，此湖最多，惟其面積多不廣大耳。(3)由風力作用，將地面之碎屑物質，吹移而去，在砂丘之中間地帶，形成低窪盆

地，積水亦可成湖。此種湖泊，多見於乾燥或砂漠地區，如非洲 Sahara 及我國新疆大戈壁中之湖泊，多屬此型。(4)海岸地帶，因風浪之冲刷，而成窪陷，上覆海水，如地盤上升，此種淺窪，即可成湖。如 Florida Lake 即是。

D. 人造湖 (Artificial Lakes) (1) 由人工開濬，引水成湖。如北平頤和園之昆明湖與城內之三海；遼寧撫順煤鐵，一部由露天開採，將地面掘成廣大之窪地。一旦瀦水，即可成湖。(2) 修堰築壩，蓄水利用，即可成爲湖泊。如河北保定天津間之東西二淀，其一部當爲人工開築。

3. 波流與冰之作用 (Lake Currents and Ice Action) 湖泊之中，由波浪作用所生之各種破壞與沉積現象，與海洋相同，茲不復贅，綜合其各種波流，約有四種，惟均運動微弱，不易引人注意。(1) 由河流之入口而至湖之出口，湖水之一般運動，謂之湖體波流 (Body Current)，流速甚慢，且非直接流動，而係漣漪之波動。(2) 因風而生之湖面波流 (Surface Current)，流動方向，與風相同。(3) 回折波流 (Return Current)。大量湖水向出口湧進，如不能全部容納，即生回轉之返流。(4) 駭浪澎湃，沿岸發生泥砂漂積；波浪斜達湖岸，則生岸流。

湖泊與海洋之不同者，爲冰壘 (Ice Ramparts) 之發育。多數湖沼，冬日給冰，設其覆冰之溫度，由 20°F 。降至 -10°F ，則因收

縮作用，冰體向中心擁擠，結果而致破裂，其所生之裂縫，湖水擠入，隨即冰凍。溫度上升時，水體膨脹。向湖岸推移，或在冰體之某一部分，發生撓曲。若湖岸岩層之組織疏鬆，則產生泥砂礫石混雜之脊壟。此種地形，與海濱砂洲之性質迥異，以其非經任何選擇也。在美國 Wisconsin 各湖湖岸之建築，常因冰壘之錯動，而致損壞。

4. 湖面之遷易 (Variations in Lake Level) 任何湖泊之水面，皆常變動，其變動之情形與原因，約有下列三端：

A. 逐漸變動 (Gradual Variation) 此種變動，與湖泊上游地區之雨量有關。在雨季時，流入湖泊之水量較流出者為多，故湖面可以升高數吋或數呎。此種變化，不僅小湖有之，即較大之湖泊，亦常發生。在一年之內，湖泊水面有高低水位之差，高水位時期，當在六七月之中；即在數十年或數百年之內，湖面亦有顯著之升降現象。如 Lake Michigan 在 1886 年較 1906 年之水面高 2 呎，而在 1896 年則較 1906 年之水面低 3 呎；在 1838 年最高，較 1896 年約升 6 呎。若將湖泊各年水位高低之曲線，作於雨量曲線之下，則旱澇與水位之關係，殊甚明顯。

B. 突然變動 (Sudden Variation) 湖水對於大氣壓力之變化，感覺甚敏。在平靜天氣時，一小時之內，湖面可有數呎之升降，此種變異，稱為常定振動 (Seiches)。小湖之常定振動甚為微

弱，不易察覺。

C. 暴風影響 (Effect of Strong Wind) 暴風以一定之方向，吹過湖面，則湖水被迫，流向一端。結果湖面之兩極端，顯有高低之差異。如 Lake Erie 之湖面，經暴風吹過，其兩端之水位，可差至 15 呎。

5. 湖之溫度 (Temperature of Lakes) 湖面受日光之蒸曬，或與熱空氣接觸，均可增高湖水之溫度。然水為熱之不良導體，且為一弱輻射物，故不如固體岩石受大氣溫度之易於改變其體積。淺水湖沼，受日熱作用。夏日溫暖，冬日寒冷，而較大氣之溫度，異常平均。若湖水之深度甚大，則在距水面 50 呎深度以下，季節之影響甚微，溫度之變化極小。當溫暖之夏季時，淡水湖深層之溫度，仍甚寒冷，因水在 39.2°F 時，密度最大，在冬季時，此等寒冷之水分，皆沉於湖底；且因水為熱之不良導體，當夏日時，表面雖熱，密度變小，既不能下沉，又不能將熱傳之而下，故深層湖水，終年寒冷。茲將在不同溫度時，水之密度，列之如下：——

水之溫度	度 密
32°F .	0.99987
39.2°	1.00000
50°	0.99974

70°	0.99800
86°	0.99577

深度小於 25 呎之淺湖，因風浪之擾動，可以波及湖底，故湖水溫度之差異甚小。深度較大之湖泊或蓄水庫，每年三月冰開之後，湖面溫度，上升甚快，至 $39\cdot 2^{\circ}\text{F}$. 時，密度最大，下沉極速，湖水即生對流現象。因深湖之中，湖底水分之溫度，近於 $32\cdot 2^{\circ}\text{F}$.，依次往上，溫度漸增，在湖面數呎之內，冬季溫度忽然寒冷，而致結冰；故冰解之時，下層之溫度尚高，密度較小，是以發生對流現象也。至湖水上層之溫度，依次高於下層時，則對流停止，達於穩靜狀態，是為湖水之停滯時期 (Stagnation)。至十一月中，天氣寒冷，湖面溫度降低，則又生對流現象。至 $39\cdot 2^{\circ}\text{F}$. 以下，此種運動逐漸停止，而湖面則又結冰矣。

在湖水上下運動終止後之停滯時期，若湖中之有機物甚多，則聚積湖底，繼續腐爛，而至湖水變黑，發生惡臭。待至秋後，運動開始，此等分解之產物，則挾運而達湖面，湖水遂致污濁，影響衛生頗著。避免之途，約有三端：(1) 湖水之中，不使之發生有機物質。(2) 由河流挾運而至湖中之有機物質，已為充分氧化者。(3) 湖水中裝置衛生設備；如安放鐵管，抽吸污水。然無論如何，在秋末之際，湖底之水分，極不若湖面清潔。

6. 湖水之成分 (Composition of Lake Water) 湖水之成

分，甚不一致。淡水湖因有出口，故與河水之成分相同；若流入之河流甚多，其成分不過係各河流之平均成分耳。內陸湖因無出口，故其鹹度甚高。所含之鹽類，有氯化物，以氯化鈉最多；碳酸鹽，以碳酸鈉最多；他如硫酸鹽、氧化鈉、氧化鐵、硼砂等，亦均有之。砂漠與乾燥地區，常有一種無出口之週期性湖泊，雨季時滯留雨水，否則蒸發乾涸，是為間歇湖（Playas），其湖底之上，往往覆有厚層之鹽層。淡水湖並非絕無鹽分，惟含量甚小，其中以碳酸鹽較多。

7. 湖泊之消滅(Obliteration of Lakes) 湖泊為暫時地質現象，歷久之後，必被侵蝕或淤積，消滅其形跡，故其壽命頗為短促；茲將其消滅之原因，列述如下：——

A. 蒸發消滅(Obliteration by Evaporation) 砂漠與乾燥區域之湖泊，多無出口，水分之消失，皆因蒸發所致。若干鹹水大湖，湖水極深，結果竟被蒸發乾涸，餘留小部水分。如 Lake Bonneville 之原有面積，達 17,000 方哩，深約 1000 呎，因蒸發之故，現在僅餘一小部分，Great Salt Lake 即為其殘餘體。

B. 出口下切消滅(Obliteration by Cutting-down of Outlet) 湖岸之堤洲，如多係岩石組成，傾瀉之湖水，經流其上，則下切甚緩。挾帶泥砂之河流，瀉入湖中，可將其挾帶之物質沉積於湖底，殆其流出時，則成清水，沖擊堤洲之工具，已行失去，故侵蝕

甚慢。若堤洲之岩層，係鬆軟物質組成，則侵刷較快，出口逐漸變低，湖水洩盡之時期，當較短暫也。

C. 填積消滅 (Obliteration by Filling) 泥砂之淤塞填積現象，為湖泊消滅最普通之原因。但除小湖之外，往往須經長久之時間，方可消滅。其淤積之原因有二：一為沉積作用；一為植物之生長。

瀉入湖泊之河流，常挾帶大量之沉積物，至河口時，即墜落而成三角洲，且逐漸延長而達湖中。同時較細之物質，散佈於湖底。如湖泊之範圍甚小，短期內即可填積消滅。此外在石灰岩地區，湖泊尚有沼澤灰質 (Bog Lime) 之聚積填塞，而致消滅者，惟其進行緩慢，且僅限於特殊地帶有之。

植物淤塞湖泊，亦甚普遍。湖岸邊緣，常有水生植物，繁殖其上，且漸向中部延展，故湖岸逐漸淤淺，湖沼終被填塞。

泥砂沉積與植物生長相互並行，則湖沼漸漸變為澤地，乃湖沼消滅之末期代表也。其剖面之上層，為泥炭質物質，下層為泥砂交互之層次，有時尚有沼澤灰質，全部均被水分浸漬鬆軟。

D. 潛水面降低消滅 (Obliteration by Lowering Ground-water Level) 潛水面常與湖面一致。若潛水面降低達於湖底之下，則湖泊消滅。開墾農田，清除森林，以增表流，即為潛水面降低之原因。潛水面之下降，在多孔砂礫或砂層之中，最為顯

著。

8. 湖泊之沉積(Deposits of Lake) 湖沼沉積之種類與海洋相似，一部爲機械性質，一部爲化學性質，一部爲生物性質。河流入湖，在海岸附近造成之三角洲與沿岸堆積而成之台地，均爲砂礫泥土，屬於第一類。由沉澱或置換作用而成之石灰岩、沼鐵礦、石膏、石鹽及礫砂等，屬於第二類，其中之最重要者，爲食鹽、鉀鹽與石膏，如 Elton Lake，每年產鹽達十萬噸左右。由此可知地層中之鹽層，必係古代含鹽之內海或鹽湖所成。湖中動植物死亡後之介殼與腐爛之纖維質，可以造成介殼細泥、白堊以及泥炭與褐炭，均屬第三類。

鹽湖中鹽類沉積之次序，以溶解度而定。通常 CaSO_4 最先， NaCl 繼之，最後爲鉀鎂等化合物。故在自然界產出之鹽層中，最下層爲石膏及硬石膏，繼之以石鹽，最上爲含鉀鎂質之鹽類，如鉀鹽(KCl)。

我國鹽湖，以青海、甘肅、新疆、內蒙古爲最多；內陸鹽湖，則以山西運城之解池爲最大，長約 30 公里，寬約 8 公里，池內泥底有數處出露，產石膏結晶。青海省東北部，祁連山南麓青海湖，面積約 2300 方哩，含氯化鈉最多，硫酸鈉次之。西藏尚有礫砂湖，除礫砂外，尚產食鹽及其他鹽類。

II. 澤地(Swamps) 在一年之內，多半飽和水分而未浸漬

於水中之地區，謂之澤地。其出現之高度，大部近於海面，且往往與河流、湖泊或內海共生；但在山坡之側或高山地帶，亦每有發現。澤地之形成，或因排水不良，或因阻止循環，或因蒸發停滯。近於海平之低地，水分往往不能排洩他去；不透水之地層，可以阻止流水之循環；森林茂密，常能減却蒸發。不論在何種地區，地面水如爲上述原因之一而致阻滯流洩者，則澤地造成矣。

1. 澤地之種類(Kinds of Swamps) 澤地可以分爲兩組：一爲內陸澤地(Inland Swamps)，又稱淡水澤地(Fresh-water Swamps)；一爲沿岸澤地(Coastal Swamps)，又稱鹹水澤地(Salt-water Swamps)。茲分述於下：——

A. 內陸澤地(Inland Swamps)

a. 湖沼澤地(Lake Swamps) 泥砂與植物填塞湖沼，即成湖沼澤地。有時其填塞物或完全爲植物質；或由漂浮之植物質，層層發育，掩覆湖面，厚度普通均爲數呎，然亦有厚達 70 呎之多者。在此地區所築之鐵路與公路，每因車輛之重力而折斷。

b. 河流澤地(River Swamps) 此種澤地常與河流共生，大部發育於洪水平原及三角洲之上。(1)牛軛湖澤地(Oxbow Swamp)，由泥砂與植物淤塞牛軛湖而成。(2)淤流澤地(Backwater Swamp)，發育於河流洪水平原之上，以自然堤與河流分隔，由植物之填積而成。(3)三角洲澤地(Delta Swamp)，因三角洲之泥

砂淤積，並混雜植物質填塞物而成。(4)三角江口澤地(Estuarine Swamp)，發育於潮流江口附近之平原上。

c. 泉流澤地(Spring Swamps) 泉水沿不透水層浸滲於地面，爲薄層之植物質填塞而成。

d. 平原澤地(Flatland Swamps) 在排水不良之地區產生，面積甚大。若 New Jersey 以南，大西洋沿岸平原上之澤地。

e. 高地沼澤(Raised Bogs) 包括高原與高緯地帶之沼澤，凡寒冷濕潤之地，有蘚苔植物發育填充者，均屬此型，在 Newfoundland 甚爲普通。

B. 沿岸澤地 (Coastal Swamps) 發育於高潮面與低潮面之間，不受海浪沖刷之海岸地區或潮流江口之沿岸地帶。

2. 澤地與工程(Swamps and Engineering Works) 澤地因性質鬆軟，每使鐵路與公路之鋪設，感受困難。若植物質之沉積物，過於雄厚，堅實之路基每不易得；但當微薄時，可以於其下部，尋獲比較堅實之泥土層，以爲基地。故在築路之先，必須詳細勘查，是否可得堅硬之路基，然後方可施工。鋪設於澤地之路線，因基址柔軟，每致填積之砂土碎石，逐漸下沉，或致彎曲。故在養路方面，亦感困難。

第十章

冰川之發育及作用(Development and Work of Glaciers)

大氣中濕氣之溫度，達於冰點，則結雪下降，故酷寒之地，終年蓄雪，赤道及低緯地方，雖氣候炎熱，然在高山地帶，亦常積雪，逾夏不消。積雪既厚，壓力遂增，漸壓漸堅，終成巨硬之冰塊，順山谷向下推移，是為冰川，

冰川對於工程，除少數之區域外，似不重要；然地質時代之冰川沉積體，分佈廣大之面積，故從事有關各種工程之工程師，必須明瞭冰川沉積之特性，以收事半功倍之效能。冰川之於開隧、築壩、構渠、給水等工程，性質特殊，與其他沉積體迥異，且有時亦可含有富於經濟價值之資源。

I. 冰川之發育(Development of Glaciers) 高山區域與兩極地帶，氣候寒冷，降雪既多，融消甚微，積雪累聚，遂成厚層，是為雪野。其雪量之大小，視(1)蒸發量之多寡，蒸發盛者，雪量可以減少，否則可以增多；(2)高峯與懸壁之積雪每致崩落，移積於溝壑之內，是為雪崩(Avalanches)，因此懸崖陡壁之積雪減少，山谷部分之雪量增多；(3)溫暖季節，可以減少雪量；(4)積雪

轉變而成冰川，推移下降，亦可減少雪野之雪量。雪野分佈之面積，大小不等，北美西部之山嶺中，小雪野極多，其數目與面積，愈北愈增，亞洲、歐洲與非洲等地，亦多見之。除高山地帶外，雪野在兩極之分佈，甚為偉大，例如 Greenland，大部為冰雪所掩，面積約有 300,000 至 4000,000 方哩；在南極者尤大，確實面積尚未可知，至少大於 Greenland 六倍至八倍。

雪野之最下邊緣，稱為雪線 (Snow Line)。雪線之分佈，近於夏季 32°F 之同溫線；然非屹立不動，隨降雪量與氣溫而轉移，且與濕度及氣流，均有密切之關係。若氣候溫暖，降雪量較小，雪線即向上移動。濕度增加，氣流轉向，均可影響其蒸發量，而使雪線降低。赤道附近之雪線，約高於海面 15,000 至 16,000 呎；在美國之 Rocky 山脈一帶，約高 1000 呎左右；至兩極地帶，即與地面一致。雪線之在南美洲 Andes 山東面者，高約 16,000 呎，而在其西面，則升至 18,000 呎；在喜馬拉亞山脈之兩側，山南較低於山北，蓋以海風挾帶濕氣而來，被阻於山嶺，遂使降雪量不同所致也。

2. 雪變成冰 (Change of Snow to ice) 雪落地面，漸積漸厚，其下部之積雪，因其本身之壓力，可使溶解點降低，而致融化，旋以體積變小，壓力減却，遂又凍結；且其表面之積雪，因天氣有時變暖，吸熱較多，往往融消，流水循環下降，浸滲於其裂隙

之內，則又冰凍。如此反覆凍結融化，在其下部，則成粒狀物質，是爲冰雪 (Névé)。冰雪積厚，依重力之關係，逐漸下移，而生緩慢運動，即成冰川。殆至低地，氣候變暖，冰川隨流隨化，至化盡之處，則成河流。

冰川生成之條件：須(1)大氣中有充分之濕氣；(2)一年中之氣溫，有若干時期低降，足使濕氣凝結成雪而降落；(3)每年之降雪量至少超出其夏季之融雪量。若是每年累積，雪消結冰，冰川方可生成，而不至枯竭。

3. 冰川之類型 (Types of Glaciers) 冰川因其所處地形之不同，累積方式各異。大致言之，約有三類：

A. 大陸冰川 (Continental Glaciers) 大塊陸地，盡爲冰雪所覆，狀若冰海。其移動之情形，以一地爲中心，成輻射蠕動，向外移進。此種偉大之冰層，又稱冰台 (Ice Cap)。在地質史中，頗不乏例；惟在今日，僅 Greenland 與南極地帶，可以見之。

B. 山谷冰川 (Valley Glaciers) 山地雪野，積雪漸多，歷久成冰，順山谷而下，勢若江河，是爲山谷冰川。凡高山峻嶺之地，積雪終年不消者，均可有之。歐洲之 Alps 一帶，分佈最廣，故又稱阿爾伯士式冰川 (Alpine Glacier)，該地大小冰川二千餘處，最長者達十哩。我國西康省之大雪山，在瀘定以南百里之地，有冰川五處，最長者達十六公里。

C. 山麓冰川 (Piedmont Glaciers) 山谷冰川流達谷口之平原地帶。則各方展布，輻射進行，佔領較大之面積，是為山麓冰川。此種冰川，殊不多見，僅限於高緯地帶有之。其最負勝名者，即為 Alaska 之 Malaspina Glaciers 掩覆面積約 1500 方哩，厚達 1000 至 1500 呎。

4. 冰川之流速 (Velocity of Glaciers) 冰川移動之速率，以雪量之增加、冰層之厚薄，移動面之坡度與性質、冰之溫度以及含水量之多寡而定。若降雪量大增，冰層之厚度加大，移動面為陡峻光滑之山坡，溫度升高，含水量增加，則移動之速率變大，否則變小。其流動亦非全部一致，中部較快於兩側，表面較快於底部，經流之道，復多彎曲，一若河流之蜿蜒。此種緩急差異之流速謂之等差流動 (Differential Motion)。冰川流動之性質，有與河流不同者，即壓力增加，而致溶解點之降低作用 (Regelation)。冰雪成粒狀聚積體，前已言之；若壓力加大，其表面立刻溶解，所成之水分，循流於下部孔隙之中，顆粒之間，遂生移動現象。然冰雪一經融化，壓力即行減小，隨而又行凍結，恢復其原狀，將小冰塊彼此聯結，而成大塊。故冰川處於高壓之下，一部可以保持原形，一部被壓力征服，發生變態現象，而致逐漸移動。

Alps 山冰川流動之速率，夏季每日平均一二吋至十五吋，冬季僅達此數之一半。然在 Alaska 之冰川，中夏季節，每日有達

70 呎者。Greenland 之冰川，在夏季時，每日亦達 50—60 呎，其最高紀錄，每日為 100 呎。冰川流達低地，若其融化之量與上部冰川之前進量相等，則達平衡狀態，停滯不動；若融化量小於前進量，則逐漸向前移動；否則冰川退縮，而至消滅。

冰川之前進，有時可以損毀森林，傷害人畜，造成災禍，此種現象，在地質時代，屢見不鮮，而在現代，却甚少有；但在 Alaska，亦曾有之。冰川沿山谷下降，往往堰塞河流，使之成為湖泊，一旦氣候轉變，冰川融消，常生洪水之災。瑞士之 Dranse 河谷，在 1818 年，曾為長達半哩，寬達 600 呎，高達 400 呎之冰層所阻，成為湖泊，積水 800,000,000 立方呎，後於冰層之中，開一隧道，使堵塞之水漸漸流竭，下部之平原地帶，方免於禍。在 Alaska 之 Valdez，曾有此種洪水發生，毀損建築物，沖斷沿 Copper 河之鐵路。且冰川每因溫度之影響，而至融化；冬季寒冷，冰川前進，夏季變暖，遂至解凍，附近河流之水量，因以大增，每成汎濫之災。故在臨近冰川之地帶，構築各種工程時，須特為留意。

5. 冰川之特質 (Characteristic Features of Glacier) 冰川本體，受不均等之融化作用，使其表面，造成忽起忽伏崎嶇不平之狀，旅行其上，頗覺困難。此外其表面往往有寬展而深邃之裂隙，是為冰隙 (Crevasse)。冰隙之寬度，有時六七公尺左右，深度竟有至三四十公尺者。其最常見者，為橫冰隙 (Transverse

Crevasses), 與其流動之方向垂直, 乃因冰川由平緩之地帶, 流入陡峻山谷時, 斜度驟變, 發生拉力, 遂成上寬下狹之楔狀裂隙。若坡度過陡, 近於垂直, 則冰川直墜而下, 所成之橫冰隙尤多, 是為冰川瀑布 (Glacial Fall)。雪崩現象亦常見於此地。冰川流動之速度, 中部快於兩側, 表部快於底部, 故因張力作用, 在其表面及底部, 均可生成斜冰隙 (Oblique Crevasses)。在山麓冰川之內與其他冰川之末端, 常有一種成輻射狀之縱冰隙 (Longitudinal Crevasses), 亦為流動時拉力所致。各種冰隙, 均可被後來之冰塊填充而消滅。冰川流動時, 與山谷之兩側及底部, 磨礪甚烈, 其脫落之礫石, 挾運於冰川之中, 或在其底部, 或在其兩側, 或在其表面之中部, 是為冰磧石 (Moraines)。

II. 冰川之地質作用 (Geological Work of Glaciers) 冰川之地質作用, 可分侵蝕、運移與沉積三種。茲分述於下:——

1. 侵蝕 (Erosion) 冰川之侵蝕作用, 可使地面形成各種特異之地形, 殆氣候轉暖, 冰川退縮之後, 藉此地形, 則可推知當日冰川之一切情形。冰川之侵蝕, 隨其所處之環境而異; 依其流動之速率, 冰層之厚度, 河床所受之壓力, 岩石之性質, 以及凍結於冰川中礫石之量而定。若冰川之厚度甚大, 移動之速率較快, 凍結於冰川中之礫石較多, 則河床之岩石雖硬, 其所受之壓力甚大, 磨擦力亦較著, 侵蝕自甚快也。

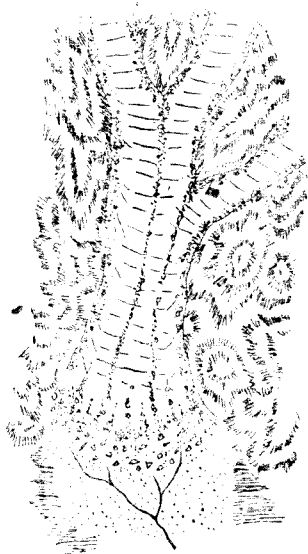
崇山之內，高緯之地，冰川移動之速度較小，其主要之侵蝕作用，乃使岩層分裂，碎為小塊，蓋因日夜溫暖之變遷，冰體重壓之結果，遂使岩石逐漸破碎。此種礫石碎屑，混雜於冰川之中，挾運而去。岩石基盤，則成深窪之盆形，三面峭壁，一面開展，是為冰圍地 (Cirque)。冰川之下流，移動較速，侵蝕方式，以磨擦為主。冰川之底部，膠結石塊，與河床接觸時，則因移動作用，擦劃傷痕，其方向可以代表冰川移動之方位，是為磨擦痕 (Striae)。冰川侵蝕所成之山谷；常為 U 字形，與河谷之 V 字形者不同，乃因其磨擦力特大所致。山谷兩旁之山坡，往往成為懸崖，其橫剖面成倒寫 V 字形。冰川之主谷，侵蝕較速，常與支谷之地形不相銜接，故有冰川瀑布之產生，若冰川融消，則成懸谷 (Hanging Valley)。

2. 運移 (Transportation) 冰川運移之能力甚大，有時重至數百噸之漂礫，亦可搬運而至極遠之地方。搬運之物質，或負載於冰川之表面，或拖曳於其底部，或包裹於冰層之中。負載於冰川之表面者，多屬山坡懸崖崩落之物質；拖曳於其底部者，係河床之物質，經磨擦作用剝落者；包裹於冰層之中者，或為表面負載之物質，滾落於冰隙之內，或為雪野聚積之礫石碎屑，又經降雪而封閉者。冰層可以保護此種被包裹之物質，使之暫時不受侵蝕作用，故冰融之後，仍係稜角狀之原形。

3. 沉積 (Deposition) 冰川沉積常成帶狀，分佈於山谷之

中，即為冰磧石。其聚積於冰川之兩側者，多係山坡磨蝕剝落之碎屑，稱為側磧石 (Lateral Moraine)。冰川合流之後，山谷兩側之側磧石合而為一，位於冰川之中部，稱為中磧石 (Medial Moraine)。山谷底部受冰川壓榨磨擦，較軟岩岩石變為碎礫細土，分佈於河床之中，是為底磧石 (Ground Moraine)。各種冰磧石會合於冰川之尾部，或分散於接觸河流之地帶，是為尾磧石 (Terminal Moraine) (如第七十五圖)。冰磧層之性質，與普通之水成岩不同，因其所含之石礫，大小混雜，無自然選擇之現象，至冰消石留，絕無整齊之層理，且其石礫，多具擦痕與光滑之表面，隨處散佈。石礫體積之大者，直徑可十餘公尺，河流之搬運，既力不能勝，而附近之岩層，又絕無與之類似者，故必為冰川作用之結果也。

III. 冰川河流之沉積 (Glacial water Deposits) 冰川順山谷流動，至雪線以下，地勢漸低，溫度漸增，遂行融消，而成河流。其挾帶之泥砂礫石，粗重者沉降，



第七十五圖
冰川各種礫石之位置
與水蝕沉積平原

輕細者漂浮於水中，使河流成混濁狀。沉降之泥砂礫石，如在山谷之中，離冰川之邊緣不遠，則發育而成沖積平原，是為山谷拖曳沉積 (Valley Trains)。若在寬展之平原中沉積廣佈於尾礫石之前，是為水蝕沉積平原 (Outwash Plain or Frontal Apron)。此種沉積與山谷拖曳沉積之所不同者，即較短而寬，且其位置多不在山谷之內（如第七十五與七十六圖）。冰川之下，常有河流，穿掘而成隧道，可為冰蝕碎屑填充，冰川融消之後。即在河床之上，成為砂礫堆積之狹長彎曲壟脊，是為冰礫堤 (Eskers)；此種地形，甚屬罕見，因冰川河床之坡度，往往甚大，水流湍急，故沉積不易。在尾礫石附近，或在其邊緣地帶之凹陷處，常有砂礫堆積之岡丘，是為冰礫丘 (Kames)。凡冰川河流之沉積體，均稍具層理，冰礫堤與冰礫丘因與冰川直接伴生，且常受冰川與尾礫石推挫之影響，故其層理不若山谷拖曳沉積與水蝕沉積平原之完全。



第七十六圖

尾礫石與水蝕沉積平原之關係剖面

(A = 尾礫石；B = 水蝕沉積平原)

當冰川遷流至海，尙未融化，則裂成巨塊，盪漾於海面，隨波

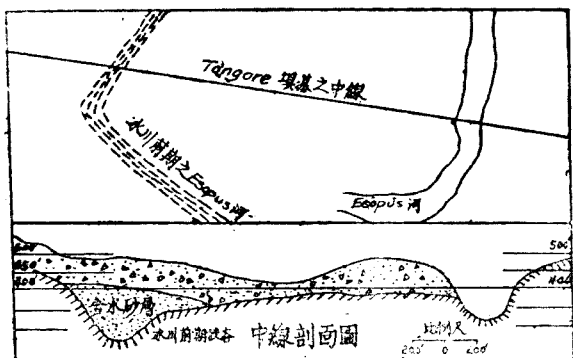
漂流，有若海中之小島，是爲冰山 (Iceberg)。其在水面之下者，爲露出水面部分之九倍，而在水面上者，往往高約一二百呎，可見其全部體積之大也。南北冰洋與大西洋北部，常可見之。寒帶附近之海水，亦常結成薄冰，厚十餘呎，漂泊遷流，一若冰山，是爲浮冰 (Floatices)。冰山與浮冰皆能乘潮浪而反擊海岸，使岩層剝落；且能挾帶多量砂石，沉積深海。當冰山與浮冰順洋流漂浮之際，船誤觸之，不免破損，故常爲航海之障礙。然冰山與浮冰之附近，氣溫驟降，濃霧常生，航海人員，預測景象，可以改變航道以避之。

IV. 冰川作用與工程 (Glaciation and Engineering Works)

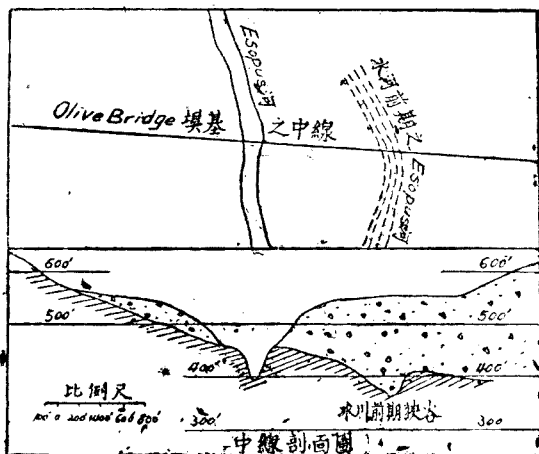
冰川沉積之地形，往往掩覆較大之面積。在此地區之中，有廣闊之冰積砂礫層低地，周圍頗少出口；其冰礫石之高度，有達五六十呎者，亦有竟達一百呎以上者，寬度普通在一哩左右；附近地區，因冰川之剝削，或冰積層之堆積，往往匯水成湖。若歐洲與美洲之北部，此種地形，頗爲常見。故設計各種工程，必須考慮冰積層之厚度、組織以及其滲漏蓄水之情形，方可着手施工。(1) 冰川前期之山谷，常爲冰積層填積；而冰積層填充之地區，又常爲現代河流所經之河道。如在此種填積溝谷 (Buried Channels) 之內，穿鑿隧道時，或在其附近地區修壩築堰堵積河水時，須注意冰積層是否堅實，滲水之情形如何，以及蓄水能力之大小。美國

修築由 Catskill 山至 New York 城之地下水道時，曾遇數條冰積層填積之溝谷，以致必須利用倒虹吸，使水道通過。(2)冰積層可以停蓄大量之潛水，如地層之構造適宜，為發展自流水與人工掘井之良好地帶。(3)構築壩堰工程於冰川沉積填充之山谷，必須試探各處冰積層之性質，以得堅密不透水之基礎，因在此區域之內，常有可以滲漏水分之疏鬆砂礫層或團塊，散佈其中；至少應當在所擇定之壩基地點，其下部與周圍地帶，均無浸滲之虞。美國構築由 Catskill 山至 New York 水道之蓄水庫時，曾擇定二壩基位置：一在 Olive Bridge，一在 Tongore。二者在外視上之地形方面視之，均屬適宜。但經開掘試井、試溝與鑽探之後，始知下部底岩之表面，均起伏不平，且有深邃之冰川前期溝谷，為冰積層掩埋，在其狹谷部分，冰積層之厚度，達二百呎之多。後經詳細考慮，確定在 Olive Bridge，施工築堰，其理由：(a) 冰積層普通較薄，底岩之表面較高；(b) 冰積層之性質比較一致，且透水性較小；(c) 冰積層與底岩膠合，較為堅固；(d) 疏鬆砂礫僅限於冰積層之上部有之。二者之剖面，如第七十七圖與七十八圖。(4) 冰川懸谷之中，如有河流，則成瀑布，可以發展水電工程，或為其他工程之動力。(5) 冰川沉積之中，往往不乏有價值之資源。冰川盆地或各種礫石之內，常有製磚所用之陶土；冰川沉積之砂礫，可用以製造灰漿、混凝土。翻砂模型、玻璃以及過濾物質，又可作

爲鐵道碎石與其他築路材料。



第七十七圖 Tongore 壩基之地質



第七十八圖 Olive Bridge 壩基之地質

第十一章

山崩與地陷

(Landslide and Land Subsidence)

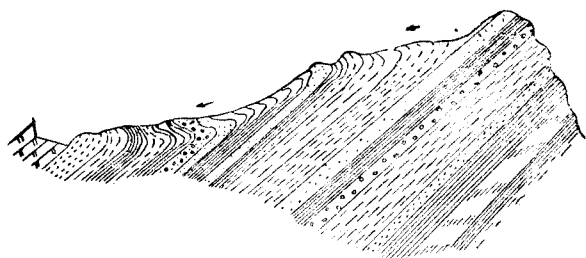
I. 山崩(Landslide) 土壤、砂礫或岩石裂塊，順沿山坡滑瀉墜落之現象，謂之山崩。促成此種現象之發生者，厥為重力作用；而在散碎物質之中。浸以水分，亦可增進其運動。

山坡之上，土壤緩慢匍匐滑瀉，或岩層之散碎裂塊，突然墜落；河湖海洋之沿岸，粘土泥砂傾塌，往往對於附近工程，發生嚴重影響。故山崩現象之於工程設施，頗屬重要。

1. 山崩之分類 (Classification of Landslides) 山崩依其發生情形與物質，可以分為四類，分述於下：——

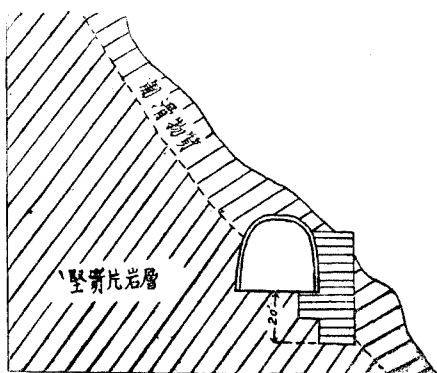
A. 匍滑(Creeping Slides) 此種類型，包括一切土壤或其他散碎物質，由山坡向下緩慢匍匐滑瀉之現象，普通亦稱匍行(Creep)。其滑瀉之傾角，除山坡特別低緩者外，均可發生；傾瀉之物質。不僅為粘土砂礫，且混合各種稜角狀之風化產物。

陡傾地層，每因突出地表之部，發生匍滑現象，使之曲折，故地層傾斜之方向，往往遽變。野外調查時，須確實注意（如第七十九圖）。



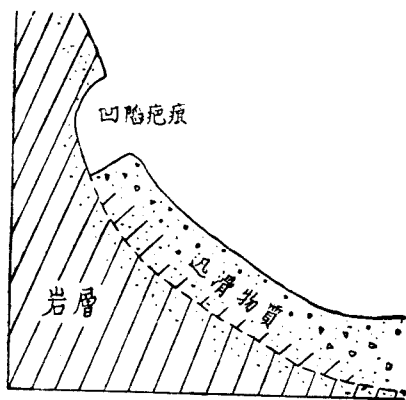
第七十九圖 崩滑影響地層之傾斜

在崩滑現象發生之地帶，建築道路時，因土石之錯滑運動，每致路線彎曲；或因泥土吸水，體積膨脹，沿山之壁；因以坍塌。開鑿所鑿之平窿直井，穿越此種地層時，亦常有擠壓壅塞之現象。舉例言之：歐洲建築 Brenner 鐵路之 Mühlthal 隧道時，穿越泥質片岩地層；方其施工之際，即發現山坡附近一帶，有崩滑之錯動現象。於是爲防止塌陷計，乃沿隧道之外壁，向下深鑿 20 呎，建築堅實之壁壘，以資撐持，耗費殊大（如第八十圖）。



第八十圖 Mühlthal 隧道之剖面

B. 邊滑(Slides of Swift Movement) 岩石碎塊與泥土混合之山坡表層物質，大規模之迅速滑瀉現象，謂之邊滑。其山坡之傾斜，不必過陡，惟其滑瀉物質之頂端，須高於附近之地形。此種現象，常見於山嶺地帶。山坡原有之森林雜草，常為滑落之碎石泥土層，挾之俱瀉；而使其上部之山坡，留一缺陷痕跡。此種現象之發生，乃以久經雨水浸潤與冰霜凍結，使之疏鬆開裂，一旦無法支持，則沿重力方向，突然崩落矣（如第八十一圖）。



第八十一圖 發生邊滑之山坡剖面

⑤

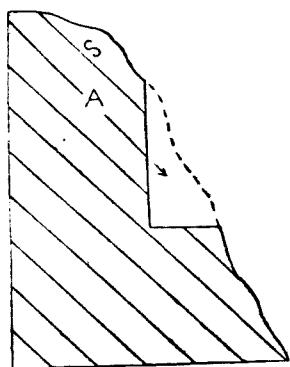
粘土物質邊滑現象之發生，常見不鮮。其滑落之原因，約有數種：(1)全部土層為雨水浸濕，以致失其結合力；(2)地表下面之某一地層濕潤光滑，以致上部之物質易於滑落；(3)水分浸滲於光滑而陡傾之岩層上，使其停積之泥土易於向下運動；(4)某

種柔軟地層，久為水分浸漬而崩潰，上部之地層，遂易錯動，幫助泥土之崩落。此種大規模之邊滑現象，如 Buckingham 之 Lièvre 河附近所發生者，為絕佳之例證。該地係冰河沉積之地形，上為泥土之台地所覆，經連綿不絕之霖雨後，泥土為雨水通體浸濕，遂有 100 畝廣大面積之台地泥土層，突然崩落。

堅硬岩層覆於疏鬆多孔質岩層之上，成為懸崖時，亦常發生邊滑之山崩現象。如 Washington 以北之 Cascade 山，其頂部為四五百呎厚之火山岩流層，下部係泥土、砂礫與火山灰礫混合之地層，經侵蝕之結果，形成懸崖之地點頗多。故山崩現象，沿懸崖之脚部，因其不勝支持之關係，每有發生。

C. 岩石滑瀉 (Rock Slips) 此型山崩，限於成層之岩石有之，其地層之傾斜與山坡之方向一致者，可以發生，岩石之層面，即為其滑動面。但若地層之節理清皙，發育完整，向山谷傾斜者，亦可發生山崩現象。人工之開路採石，常使岩層裸露，如層面或節理，向山谷下傾，則下部失却支撐，一遇冰融或水浸，滑瀉山崩即開始發生（如第八十二與八十三圖），美國 Colorado 之 San Juan 山所發生之山崩，即屬此種。其一部地層，為火山組成；山崩發生時，曾將長約 $\frac{3}{4}$ 哩，寬約 $\frac{1}{3}$ 哩，厚由 50—100 呎之巨層岩石，滑瀉山下，其總體積約 13,000,000 立方碼。

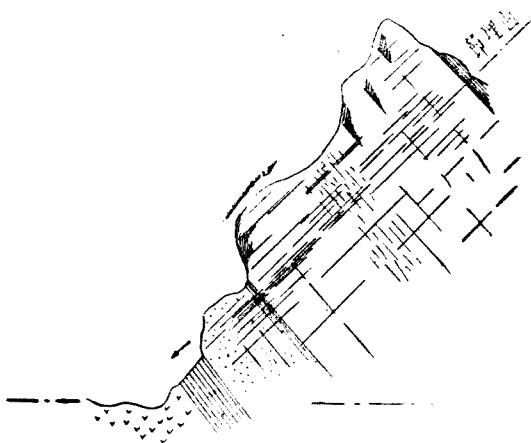
D. 岩石突墜 (Rock Falls) 此種山崩之發生，往往掩埋村



第八十二圖

沿地層面發生岩石滑瀉山崩之剖面 (S=地層面; A=易於滑瀉之區域)

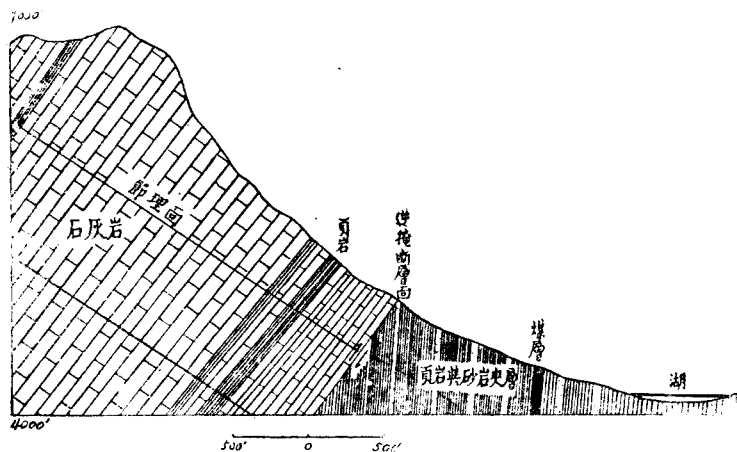
落，壓斃生命，堵決河流，阻滯交通，造成慘重之災害。1903年，發生於 Frank Alberta 者，即為此種山崩，由該地 Turtle 山之頂部，突然墜落半哩見方四五百呎厚之岩石碎塊。Turtle 山之上部，係向西南傾斜之石灰岩，下部係砂岩與頁岩，且前者逆掩於後者之上；各層之中，均有發育完整之裂隙與節理，縱橫排列；下部岩層之中，



第八十三圖 沿節理面發生岩石滑瀉山崩之剖面

尚有正在開採之煤層（如第八十四圖）。其發生山崩之原因，據

研究結果，約有四端：(1) Turtle 山之山勢陡峻，基底軟弱，且節理繁多；(2) 1901年地震時所生之波動，已影響此山之岩石，使之破碎；(3) 曾受長期雨水之浸漬與冰霜之凍結；(4) 山麓地帶煤層之採掘；減縮岩石之支持能力。有此四因，宜乎其發生岩石突墜之現象也。當山崩發生時，曾掩埋山谷附近之牧場及 Frank 街市之一部。在 Turtle 山巔之北部，且生寬展裂隙。後經調查研究，乃建議將 Frank 街市，移於山谷之上游，並停止開採煤礦，以免再遭山崩之災害。



第八十四圖 Turtle 山之剖面

岩石與泥土混合之突然墜落現象，常發生於山谷之兩旁或湖海之沿岸，乃因在此地帶，峭壁之下，每有河流或波浪之冲刷所致也。此項山崩，發生於陸上者甚少，大部發生於水面之下。其

在湖海沿岸者，往往激動波浪顛覆船隻，毀壞建築，傷害人畜，損失殊大。

2. 山崩與工程(Landslides and Engineering Works) 山崩現象，既易隨築路、採石、開鑛、構渠而發生，故從事工程者，必須依照地質原理，詳察組成山嶺之岩石與構造，以定開鑿挖掘之安定斜度，方可維持工程之各項設備。

安定角(Angle of Repose) 山坡與水平之最大交角，散碎物質可以停滯其上而不滑落者。此項角度，隨土壤與岩石之性質而異。壤土之最大限度，由 30° 至 45° ；潮砂與壤土略同；粘土由 25° 至 35° ；砂礫由 30° 至 40° ；濕砂由 15° 至 30° ；罅隙甚少而無柔軟夾層之礫岩、砂岩及石英岩，最高可達 40° ；板岩及頁岩等之細粒土質岩石，在乾燥時，須不超過 28° 。

滑動角(Angle of Slide) 山坡之上，散碎物質，不能停留而開始滑瀉者，其與水平所成之角，謂之滑動角。滑動角大小之變化，隨右列各端而異：(1)滑動面上物質之重量；(2)滑動面之光滑程度與乾燥程度(3)滑動面以下物質之特性，是否與濕潤粘土相同，經壓力作用，即生流動現象。

鑿掘變形(Excavation Deformation) 鑿掘變形者，乃因刻鑿穿掘地層之結果，影響附近岩石之穩定性，而使其發生運動之破壞現象。此種運動所及之範圍，謂之破壞地帶。其發生之原

因，可分自然與人爲二種。前者如河流之侵蝕、溶解與斷崖等；後者如地面挖掘、地下開採與水下鑿掘等。

破壞地帶所及之範圍，有時甚廣，依右列情形而定：(1) 地層所受之壓力與張力，以及組成地層各種岩石之理化特性。如地層爲細粒之岩石組成，且彼此接合緊密，則經鑿掘之後，縱成懸崖，亦不至坍塌。如裂隙甚多，或夾有頁岩與煤炭等光滑柔軟之層次，或斷層面含有滑石與綠泥石等石質，則山崩現象極易發生。(2) 潛水之量與性質。挖掘地層，可以變化潛水面之位置，潛水之中，如含多量之碳酸氣或有機酸時，更可促進岩石之溶解與破壞，而使之成爲碎粒。潛水增加，則增加岩石之重量，並增進岩石物質之活動性，故能促使山崩發生。(3) 地震與轟炸波動之影響。如 Turtle 山所發生之岩石突墜山崩，即受地震影響之結果。開山採石工作，往往利用炸藥，轟擊地層，其震波之所及，可以動搖岩層。他如火車行駛之震動，亦足使附近軟弱之地層，發生危險。(4) 已爲鑿掘之地層附近，有宏大建築；地層之裂縫，擠入水流凍結；氣壓之變化；潮汐之推進，均可逼使地層發生範圍較小之山崩現象。

3. 山崩物質(Landslide Masses) 山崩之物質，包括一切土壤與岩石碎塊。此種石塊，角具稜角，似與冰河沉積相同，且常共同產出。然二者在生因上既不相同，實質上自有差異。山崩物質

之表面無擦痕；其體積大小之差別，亦不若冰川沉積之大，絕無巨大之漂礫；且因運移不遠，所含石塊，均係附近山嶺岩層之物質，不若冰川沉積，來自遠方，所含物質，均係廣大區域岩層之石質也。

II. 地陷 (Land Subsidence) 地表大面積岩層，陷落於地內之現象，謂之地陷。其發生之原因，或因石灰岩與石鹽層之溶解；或因地下鑛產之採掘，尤以開採煤鑛之發生者，次數最多，所及之範圍，亦最偉大。

地陷之影響，可以破壞道路，毀損農田，消滅城市，故地層之穩定性質，必須明瞭；地下之支撐問題，必須研究。

地陷之發生，視右列地質條件而定：(1) 岩石之性質與地層之傾斜；(2) 斷層、節理與裂隙；(3) 地下採掘工作對於節理之方向；(4) 岩石之壓碎強度；(5) 岩層之容許載重量 (Bearing Power)；(6) 當岩層受有壓力時，其破裂之方向。

大規模之地下採掘工作，須特別注意，方不致發生地陷現象。不至發生地陷之地下鑿掘深度，當視岩石之性質而異，普通由 50 呎至 2400 呎不等。英格蘭 Sutherland 之煤鑛，深由 1400 呎至 1800 呎，其上部之岩石 50% 係堅實強硬者，開採已七十餘年，不稍傾陷；而 Midland 與 York 州之地下工作深度，達 2000 呎，但因其上部之地層，係柔軟頁岩，故已發生傾陷現象。在地下

工作時，傾斜前進較水平前進，不易影響地層之穩定性；但二者必須妥為支柱，是以支柱之材料、性質、位置，大小以及其間隔之距離，均當詳細研究也。堅脆之岩石破裂後，體積可以增加；而柔弱之岩石，乃因由可塑性物質造成，故易於粘合，縮小其體積。是以用前者填塞洞穴，能阻止地層之傾陷作用；而用後者時，則因粘合收縮作用，逐漸進行，地層每有緩慢之傾陷運動。

水平地層，裂隙縱橫劃分，陷落時可沿裂縫，使整個劃分之地塊沉降。如地層傾斜陡峻，因地下開掘而頂壁所生之塌陷現象，不至延至地面；縱可延伸，其地面傾陷之面積，亦不若洞穴頂壁塌陷者為廣。不論地層之位置如何，如上部覆有散碎物質時，其傾陷之面積，往往比較下部岩層為大，以其易於活動也。

第十二章

蓄水庫與壩基地質

(Geology of Reservoir and Dam Sites)

近年以來，蓄水庫與壩堰基址，常因地質之環境失當，以致發生漏水現象與坍塌廢棄者，屢有所聞。是以從事此項工程之建設，應在設計施工之前，詳細考慮各種地質條件，以期獲得堅實穩定之基址，增進蓄水之效能，維持壩堰之壽命。但從事地質考查時，須經相當之時間，耗大量之費用，而其所得之結果，確可補償其所費。

蓄水庫與壩堰，在工程方面，雖為互相倚連之問題，然其基址之地質，須分別討論。蓄水庫之範圍較大，概括水面掩覆之地區，其中岩層之發育，地質之構造。以及一切滲漏陷落諸現象均屬之。壩基之地質限於極小之地區，不特岩石之強度與穩定性，須詳為考慮，即其透水性與由水之壓力作用所生之一切行為，悉當事先探討也。

壩堰基址之堅固安全，遠較蓄水庫重要。因蓄水庫雖可發生滲漏之虞，而不致釀成災變；壩堰崩潰，往往促成汎濫之災，人畜淹斃，財產毀滅，損害甚大。美國California之St. Francis壩場陷

時，洪流突堤而出，淹斃二百餘人，其他農田之毀滅，財物之損失，可想而知矣。

適於構築蓄水庫與壩基之地質條件，約有數端：(1)廣闊緊密之地盤；(2)出口狹窄，地層堅定，可以建築經濟而安全之壩堰，(3)有適於建築穩固溢道 (Spillway) 之地位，以資流散過剩之水分；(4)附近有可以利用之築壩石材；(5)蓄水庫之內，在短期中，不致為泥砂淤積；(6)有可以利用之廣大水源；(7)底部有不透水之厚層泥土或岩石。

I. 蓄水庫基址 (Reservoir Site)

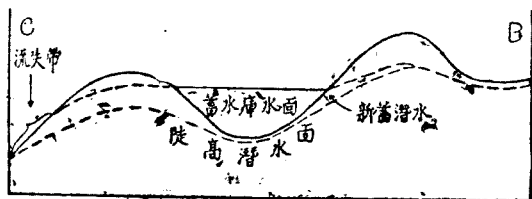
1. 蓄水庫與潛水之關係 (Relation of Reservoir to Ground-water) 蓄水庫基址之地質。以潛水作用最為重要，因蓄水庫積水之後，至少有一部分水分，滲流地內。此項水分，是否對於蓄水計劃，發生影響，則視建築蓄水庫之目的而定。如蓄水之目的，係供給城市用水或發生水電，當以不滲漏大量水分為宜；如為控制洪水，則滲失水分，無甚防礙；如其目的，在收灌溉之益，則水分順渠道或出口流失一部，亦不至發生嚴重影響。

考查蓄水庫基址附近之潛水位置以及其流動情形，決定蓄水之效能，頗屬重要；故潛水面之狀況，首當注意。如前所述，潛水面之位置，略如地形，近山丘處，水面較高，近溝谷處，水面較低。然在裂隙甚多之岩層中，則為例外，潛水面之位置，普通深邃

平緩。故潛水之情形，可分兩種：一係潛水面陡高者，為水量較大或地層緊密之表徵；一係潛水面低平者，為水量較小或地層疏鬆之表徵。

2. 潛水面之高低(High and Low Water Table)

A. 陡高潛水面之蓄水庫 (Reservoir With High Water Table) 河谷之中，構築堤壩，蓄積河水之後，則一部分水分，滲入地內，增加附近之潛水，故潛水面可以升高。若蓄水庫之水面，低於潛水面，則潛水向蓄水庫流動，水分無滲失之虞；且在新舊潛水面之間，可以滯蓄大量潛水。此種新舊潛水之量，當視蓄水庫之水面與原潛水面而定，且與該地地層之孔度，亦有密切關係。若潛水之分水部，低於蓄水庫之水面時，則潛水在地下有自然溢流之水道，於山丘之對方發生滲漏作用而流失（如第八十五圖）。水分流失之量，以組成山丘岩層之性質而定：若為細粒之岩層，則潛水不至流失甚多；若為粗粒而裂隙縱橫或孔穴聚集之岩層，則流失之量必大，且可降低潛水之分水部。



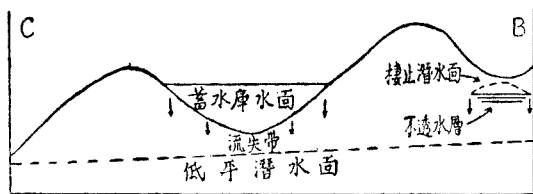
第八十五圖 蓄水庫水面與陡高潛水面之關係剖面

潛水在地層之孔隙中移動，其流速與孔隙之量、剖面之大小以及流動面之斜度成正比。若潛水在洞穴中或開展之裂縫中流動，則其流動之情形，與地面之河川相同。陡高潛水面之潛水，向兩旁之山谷流動，谷中河川，則吸收其滲出之水分，此種河流，謂之吸收滲流(Effluent)。蓄水庫基地之中，有泉水流出，為潛水面傾向山谷之象徵。但其流洩之壓力，須特別注意，因其壓力如不足以使流出之水分升至蓄水庫之水面時，則當蓄水庫積水後，可使潛水反向流動，影響蓄水庫之水量。此種情形，須預測附近地區潛水面之高低，方可間接推知。

蓄水庫水分之滲失，與岩石之性質有關。玄武岩中滲失之水分，經常有一定之量，縱使增加，亦甚有限。在可溶性之岩鹽、石膏或石灰岩地層中，其滲失之量，隨地層之溶解、孔隙之擴大與洞穴中殘遺物質之掃蕩而增加。砂礫層中，常因細微物質被水洗去，促成塌陷作用，或致上層之岩石，發生山崩現象，均可使水分流失。然蓄水庫岩層之裂隙，可因淤泥之填積，阻止水分之流失，此種情形，在具有裂隙之岩石中，比疏鬆或具有洞穴之岩石，較為有效。

B. 低平潛水面之蓄水庫(Reservoir with Deep Water Table) 多孔或裂隙豐富之岩石，潛水面往往深邃而平緩，如在可溶性岩層、玄武岩岩流、角礫狀或鑛滓狀岩石與斷裂地帶中，均

有此種現象。低平潛水面之分佈不一，有延展開面積廣闊者，亦有限於局部地區者。其流動之速率，皆甚緩慢。構築蓄水庫於此種地帶之山谷，水分往往滲失。河川之流水，浸滲於地下者，謂之滲入流失 (Influent) (如第八十六圖)。美國 Indáho 之 Jerome 蓄水庫，位於厚達數百呎之玄武岩岩流之上，其潛水面距地表頗深，雖其上部有厚約十呎之土壤，普遍掩覆，而其滲漏甚大，遂致廢棄。又美國 New Mexico 之 Hondo 蓄水庫，底部係頁岩與石膏層，周圍係石灰岩地層，成一天然窪地，潛水面之深度，達 200 呎，亦以滲漏過大，而致廢棄。滲漏現象，亦有由於地層潛水之逐漸飽和而致減少者，如 Indaho 之 Deer Flat 蓄水庫，因地層不甚緊密，起初有相當之滲失，嗣後潛水逐漸飽和其底部之粘土、砂礫與火山凝火岩，且灌溉之水分，滲流地內，又增進其飽和作用之進行，遂使潛水面增高，維持蓄水庫之效能。



第八十六圖 蓄水庫水面與低平潛水面之關係剖面

山谷地層之中，如有局部之不透水層，則潛水在此地層之上，亦可局部飽和，但與普通飽和帶之間，隔一乾燥地帶：此局部

飽和帶之潛水面，謂之棲止潛水面 (Perched Water Table)。此項潛水，可以逐漸向兩方流失。山谷之中，如有河流經過，可以變為局部恆流河，謂之棲止河 (Perched Stream)，如普通潛水面逐漸上升，達於棲止潛水下部之不透水層，則成半棲止河 (Semi-perched Stream)。美國 Pecos 河之支流 Rio Penasco 河，流於孔穴累累之石灰岩地區，潛水面之深度，達數百呎，而有數哩之一段，係恆流河。此段河流之河床附近、滲泉甚多，其沉積之石灰華，密封兩岸岩層之裂隙，故其滲漏現象，不甚嚴重。但遇洪水發生，沖刷河床及兩岸，則膠結之砂粒與縫隙，立刻破壞，大量水分，於以滲失。故興築蓄水庫於此種地帶，危險殊多。

3. 建築蓄水庫之各種岩石 (Rock Types in Relation to Reservoir Construction)

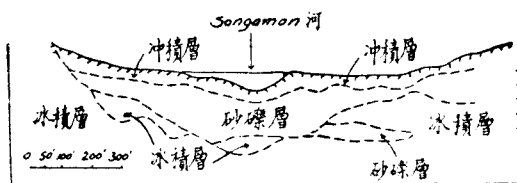
A. 透水性低弱之岩石 (Rocks of Low Permeability) 適於構築蓄水庫之岩層，厥為能抵抗水分滲流之岩石，即透水性低弱不致發生滲漏現象之地層。屬於此者，有花崗岩與石質與其相似之結晶片岩、片麻岩、板岩、石英岩、頁岩以及其他細粒岩石。其中之數種，有不適於壩墩 (Dam Abutment) 之建築者，然構成蓄水庫時，能發生嚴重之滲漏現象，不過為極少數之情形耳。砂岩之本身，雖為透水性甚大之岩石，但其孔隙若為淤泥填充，亦可於其上部，構築蓄水工程。

B. 透水性高強之岩石(Rocks of High Permeability) 促成蓄水庫嚴重滲漏之岩石，即透水性高強之地層。屬於此者，有玄武岩與其他火山噴發物、石灰岩與其他可溶性之岩石、冰積層與沖積而成之砂礫層。玄武岩及其他噴發岩之內部，雖甚密緻，而其頂部與底部，往往因揮發物質之放散，孔隙聚集；且數層累積，孔隙尤多，以致滲漏甚易。如遇薄層疊合，更不宜構築蓄水工程。但侵入之玄武岩，有時孔隙甚少；厚層玄武岩，達一百呎以上者，往往孔隙限於局部，漏水之現象，不致十分嚴重。酸性與中性火成岩，每較玄武岩不易滲漏，但亦有例外，如黑曜石(Obsidiane) 與流紋岩，普通時代較老之火成岩比較時代較新者，不易透水。石灰岩、白雲岩與大理岩，為可溶性之岩石，沿其層面、節理或罅隙，常有溶蝕之水道，縱橫交錯。而在其表面視之，每成堅實穩定之岩層，故從事測勘者，須為特別注意。石膏層亦易於溶解，能造成險惡之滲漏現象。粗粒砂礫層，常為蓄水庫漏水之主要原因，其分佈不均，成因不一，或為冰礫石，或為沖積層；有時可為蓄水庫之一部自然堤壩，其外形亦頗難決定。此種堤壩，如在蓄水庫之上流，較在下流時，不易漏水，然寬度不大者，亦常發生塌陷現象。

4. 裂縫滲漏(Leakage through Fissures) 岩石之裂隙，雖可滲漏水分，然在堅密穩固之岩層中，如為淤泥填積，可以逐漸

減少其裂縫，而至完全停止滲漏。英格蘭之 Yorkshire，有一蓄水庫，每日由於裂縫之滲漏量，達 440,000 加侖，但在建築後兩年之中，裂縫全為淤泥填塞，阻絕滲漏。

5. 冰積層 (Glacial Drift) 冰積層掩覆之區域，建築蓄水庫時，須注意其厚度及與底岩之關係。冰河前期之河谷為密緻之冰積泥土或疏鬆之冰積砂礫填充者，頗不乏例。且冰河後期之河谷，橫越冰河前期之溝谷者，亦往往有之。故其河岸之一部，在橫越地帶，常為疏鬆透水物質。冰積石多包含砂礫凸鏡體，或其下部掩覆水蝕沉積砂礫層。在此地帶，構築蓄水工程，常致失敗（如第八十七圖）。



第八十七圖 Sangamon 河谷之剖面

6. 蓄水庫之淤塞 (Silting of Reservoir) 河流挾帶泥砂，傾瀉於蓄水庫中，因流速頓減，遂生沉積作用，時間經久，往往招致淤塞之患，故當特為注意。美國西部之灌溉蓄水庫，有在數十年中，完全淤塞廢棄者，如 Texas 州 Austin 之蓄水庫，建築後二十年之內，已淤塞全面積之 95%，工程之遺棄，可謂速矣。在冰

積層地區，如多疏鬆細粒泥土，為河流挾至蓄水庫時，可隨流水汎越溢道而出。但為膠結堅韌之泥土時，則不易如此溢流，結果遂使蓄水庫易於淤塞。

7. 蓄水庫址之地質考查(Geological Examination of Reservoir Site) 考查蓄水庫地質之首當注意者，為岩層之不透水性與不溶解性。此項條件確定之後，再選擇壩基與壩墩之位置，務期獲得狹窄谷口，以便構築最經濟之壩堰，但須注意附近之高度，蓄水時不致自然溢流，越山脊而過之。遇石灰岩、白雲岩、大理岩與石膏地層時，應設法探知其地下水道，地層下部之構造，往往不能表現於外形。遇玄武岩或其他火山岩時，其厚度、孔性以及與下部岩層之關係，均須測定。附近地帶潛水面之高下，泉流之位置，洩水之情形，均應留意；有時勘測潛水面，須鑽井試探。山谷之底部，如為沖積之砂礫層覆蓋，當考查其性質、厚度以及與底岩之關係。

II. 壩基(Dam Site) 壩基範圍較小，在地質方面，包括測勘底岩之深度、岩石之強度以及堤壩附近地帶之滲漏性質。構築壩堰工程，為得穩固之基礎，咸欲直接築壩於底岩之上；然在河谷之中，底岩之上，往往為厚層泥砂覆蓋，泥砂之上，又為河水所佈。故在此種情形之下，則須於砂礫層中設計建築。是以砂礫之性質與分佈，均須特別注意也。

1. 各種岩石與壩基(Rock Types and Dam Foundation)

壩基之岩石，以堅密者優於疏鬆者，堅固之岩石，如花崗岩、片麻岩、砂岩與石灰岩，若其所含之裂隙節理甚少，則容許載重量甚大。片岩之強度不一，石英片岩與普通角閃片岩較大，雲母片岩因易於劈裂，強度較小。砂質頁岩堅硬異常，而土質頁岩浸水後，則鬆軟崩潰。砂岩或石灰岩之間，夾有頁岩時，常因水分浸漬，而致基礎岩石，發生錯動結果，危險至大，膠結不固之砂岩、多孔性之石灰岩、疏鬆之凝灰岩與集塊岩等，均可成爲偉大之地層，然強度殊小。疏鬆之砂礫泥土層，一般不若固結之岩石堅強，但其強度以乾燥程度與顆粒之大小形狀而定，孔隙雖甚普遍，然可建築隔水牆(Cut-off Wall)，堵絕水流之通過。實際上在砂礫層中建築壩堰，高度須低，寬度須大。甚有壩堰之重力，超過砂礫層之容許載重量者，如美國 California Berkeley 東部之 Lafayette 壩，惟其壽命，自不能持久也。疏鬆砂礫浸濕時，可以使其容許載重量減小；堅固之岩石水浸後，亦可使其壓碎強度減低，California 之 St. Francis 壩之崩潰，即由於壩基之岩石，係多量土質膠結之礫岩，且含薄層石膏，浸水後鬆軟溶解所致也。以單獨固結之岩層，試其壓碎強度時，往往甚大；但若沿其層面、節理或裂隙，有泥土填充時，則可變小。且水分滲入，更可使之錯動。故從事工程者，須就地試驗，對於膠結不固或其他疏鬆之岩

石，尤當如是。建築 California 之 Iron Canyon 壩時，在野外試驗集塊岩層之壓碎強度，每平方呎約 40 噸；但在施工建築時，為安全起見，僅用此力之一半，蓋因(1)試驗工作，祇做過一次，(2)試驗時岩石乾燥，與(3)岩層長期支承壩重，抵抗力必漸減小故也。

2. 岩層強度與構造之關係(Rock Strength in Relation to Structure) 在成層岩中，壓力所施之方向，垂直於天然之層面時，抵抗力最強，故水平岩層之上，建築堤壩，似甚適宜；但堤壩垂直之重力與水流水平之壓力，共同作用，則生向下流傾斜之合力，故地層向上流傾斜，傾角在 10° — 30° 之間者，最為適宜。因地層之錯移現象，多沿其層面發生，故必須使其層面，垂直於壓力之方向，即須選擇地層之走向橫越河谷者，方為合用。若在地層之走向平行於河流之山谷中，建築壩堰，則地層一旦錯移，壩堰隨而崩潰，危險甚大，由此塌陷之壩堰，頗不乏例。此外築壩於水平堅實之地層表面，其崩潰者，大半非由壓力，而多因傾瀉水分，衝擊壩堰基脚所致也。

3. 壩底滲漏(Leakage under Dam) 壩底滲漏之原因，殊不一致，如有多孔疏鬆之砂礫，洞穴縱橫之石灰岩，杏仁孔穴之玄武岩，以及一切富有裂縫、斷層與摺皺之岩石，均可發生。此種作用，亦可促成壩堰之崩塌現象。建築 Tennessee 河之 Hales Bar

壩時，曾用 10,000,000 磅之水泥，堵塞石灰岩孔穴；其他一部孔穴中之泥砂，復為水流沖出，又用大量之瀝青堵塞之，然後方行減少滲漏現象。在石灰岩上所築之壩堰，亦有穩定而不漏水者，如西班牙南部與美國 Iowa 之 Keokuk 等地者均是，惟不多見耳。壩堰底部之細微砂礫，可由流水沖刷而去，增加孔隙之量，促使滲漏之進行。在透水砂礫之中，建築隔水牆，使流水阻滯或迂迴而行，磨擦增加，速度減小，由是壩底之滲流作用，可以減却。

4. 節理與斷層(Joints and Faults) 岩石中之節理，或為鑛物質封閉，或為粘土填塞，或寬展開裂，其孔隙之容量，各不相同，排列方向，殊難一致，均須一一測量，詳為記載。橫越河谷之斷層，對於蓄水堤壩之建築，無甚妨礙；但若發生錯動，或具有寬闊之壓碎帶時，則須避免，切勿於其上，構築工程。節理與斷層二者，皆可成為岩石之弱面，滲漏水分；且在壩堰之下部，水分輾轉流出，對於其底面，施以等於蓄水庫水深之壓力，向上衝擊，極易使之崩潰。

5. 壩基地質考查 (Geological Examination of Dam Site) 壩基地質考查之所應注意者，包括決定河床之性質，填充砂礫之厚度與分佈，底岩之種類，節理斷層與壓碎帶之性質及方向，岩石層序之排列，風化之程度，透水性之大小，以及對於壓力之抵抗能力等。地面觀測無法確定時，須藉鑽探之助；鑽孔位置之

排列，由地質之構造決定，無須以相等之距離，列成直線。適用之鑽機，以旋轉鋼鑽，最為合宜，因費用較小，可得較粗之岩柱，其節理孔穴，一目了然。試探潛水面之高度時，須作時停，以待潛水流入鑽孔，藉得確實之潛水面。鑽孔又可充作壓力試驗之用，以定漏水節理與孔穴之方向及容量。衝擊鑽機，不甚合用，因較大之漂礫，往往誤為底岩。測桿 (Sounding Rods) 之報告，亦不盡可靠，細粒膠結之砂礫，亦常誤為底岩。近年以來，利用電力探鑽，可以測知底岩上部鬆散物質之厚度，特別在冰積層分佈之區域，其表面之地形與底部岩石之外形，完全不同時，確為有效。壩基之面積，遠小於蓄水庫，而在構築工程時，壩基之重要性却遠勝於蓄水庫；故考查壩基之地質時，應精細詳盡也。

第十三章

路基與築路石材

(Road Foundations and Road Materials)

道路工程之所研究者：一部爲地質問題；一部爲純粹工程問題，以前之從事築路事業者，往往祇研究工程方面之工作，而對於地質問題，漠然視之，故築成之道路，每因路基不穩或洩水不良，以致不能持久者。近年以來，觀念改變，在道路工程之中，地質問題，已獲相當重視。地質方面之所研究者；一爲路基穩固性與持久性之自然條件以及排水問題等；一爲築路石材，如砂礫岩石之種類、性質、變化與分佈等。前者對於各種道路，性質相同；而後者則有選擇取捨之必要也。

I 路基(Road Foundation) 鋪設道路之岩層。有疏鬆散碎者，若粘土、砂、砂礫、冰河砂礫與泥炭層等；有堅硬固結者，如各種火成岩、沉積岩與變質岩。

1. 填積之窪地(Filled Depression) 築路所經之窪地，卽河谷，湖岸與澤地。此種地區之表面，底岩不能直接暴露，往往爲厚度不等容許載重量不同之疏鬆物質。河谷之填積物，多係砂礫沖積層或粘土。湖岸之填積物，多係砂與粘土，有時或有植物質腐

爛所生之泥炭。澤地則多係泥炭層，且每有完全覆蓋於水面之上者。是以動工之先，必須詳為考查；道路橫越時，此種地區，是否可做橋墩與橋柱之基礎，或其容許載重量，是否可以支承道路，使之不生凹陷之現象。結合堅密之乾燥砂層或砂礫層，可以負載偉大之重量；而濕潤之砂層，砂礫層或粘土，則容許載重量遠小，故此種地帶之道路，常有彎曲凹陷之現象。舉例以言：乾燥砂層之容許載重量，每平方呎在二噸與四噸之間，而潮濕者，僅由半噸至一噸，所差頗多。

鐵路橋樑之橋墩與橋柱基礎，面積稍廣，而公路與鄉鎮車路，則面積自小；但不論何種道路，橋墩與橋柱必須置於堅實穩固地層之上。山谷兩岸之地層，往往有富於滑動性之物質，在重大壓力之下，不能穩定。向河侵斜之地層中，夾有頁岩或粘土時，多易滑動，橋墩或橋柱置於其上，每因載重關係，沿其層面，向下錯動，故當特為注意。

2. 設置斜坡(Exposure of Slopes) 依山築路，或為減小道路本身之坡度，開鑿壕溝，使道路通過，岩層之構造，均不可忽視。不論在何種情形之下，地層均須挖掘一部，故無此部物質，斜坡是否穩定，須為留意。粘土常有強大吸收水分之性質，經水浸漬之後，易於傾圮。有時縱未充分吸收水分，而致滑瀉，亦往往體積膨脹使道路發生彎曲或凸起之現象。若其附近地區之排水良

好，則可避免此種弊病之發生。砂層與砂礫層，以透水性較大，初行開掘時，似可穩定，然經透入水分，則可坍塌，惟多孔而膠結堅固者，可以保持原形。冰積砂礫之斜坡，在乾旱氣候中，可以穩定，一旦潮濕，更易滑落。是以在疏鬆物質之中，設置斜坡，須使傾斜極小，然以經濟之限制，又不能使之太小，故通常在 30° — 35° 之間，即可達安定程度。

堅硬之岩石，可以穩定直立；然其構造方面，如有節理或層面，陡傾於通過道路所挖掘之壕溝時，則危險甚大。軟硬相間之地層，如砂岩或石灰岩之間，夾有頁岩時，因後者風化較快，前者往往失却支撐，以致場陷。此種現象，對於鐵道之影響，每較公路或其他道路為嚴重。

II. 築路石材 (Road Materials) 宜於建築各種道路之石材，包括粘土、砂、礫石、冰河砂礫與碎石等。此種物質之產出，須在築路地帶之附近，不需長途運輸，且產量豐富，採掘容易。故從事工程者，應注意沿途之局部產區，研究其石質之各種性質與產量，至少普通岩石之各種特性，須充分瞭解。

1. 粘土 (Clay) 粘土有時用於築路，但其沉積體之性質，相差甚大。在美國西部與西南部各州之所用者，極為粘結，稱膠粘土 (Gumbo)，在 Texas 者，稱黑膠土 (Black Waxy Soil)；此種粘土之透水性甚小。其他有砂質粘土 (Sandy Clay)，膠粘性甚

小；所築成之道路，當乾燥時，若久經車馬之踐踏，則塵土飛揚，故不若前者之合用。最適於築路者，係砂與粘土之混合物，粘土之顆粒可以填塞砂粒孔隙，使之膠着。若二者之成分，配合適當，可得良好之排水性。砂與粘土之比率，常為 6:4 或 7:3。其所用之粘土，須收縮性甚小。

2. (Sand) 砂築路所用砂礫之大小。包括在 10—200 篩孔 (Mesh) 之間之碎粒。200 篩孔以下之物質，謂之淤泥 (Silt)，其直徑在 0.07—0.01mm. 之間。淤泥當乾燥時，無結合性質，濕潤時稍具支持力，若飽和水分，則如流砂 (Quick Sand)，鬆散異常，故單獨使用，殊屬不宜，必須摻和其他物質，方有築路價值。砂粒當潮濕時，雖可團聚成塊。然亦不能單獨使用。建築砂粘土路、(Sand-clay Roads)，砂礫路 (Gravel Roads)、地瀝青路面 (Asphalt Pavements) 與混凝土路面 (Concrete Pavement) 之所用者，均係砂粒之混合物。砂粒之大小、形狀以及其鑛物成分，皆不可忽視。砂粘土路所用之砂粒，最多為 70 %，顆粒之大小，當在 20—60 篩孔之間，因在此種情形之下，其牽合力最強。除此以外，砂粒不規則或稜角狀之外形，亦可影響牽合力，增加築路價值。雲母與有機物質，為不宜於築路之成分，因此種物質，或易於剝落或易於磨蝕；鐵質氧化物則可為砂粒之膠合物質。下表為舖路砂顆粒大小組成百分數之標準：——

篩 孔	輕 運 輸 路	重 運 輸 路
過 200 篩孔	0-5(%)	0-5(%)
„ 100 „	10-15	10-25
„ 80 „	6-15	10-20
„ 50 „	10-40	5-40
„ 40 „	10-30	5-30
„ 30 „	10-20	10-15
„ 20 „	10-15	5-10
„ 10 „	5-12	2-8
„ 8 „	0-5	無

砂之成因有二；一係殘留；一係沉積。前者之產出甚少，且乏抵抗力強大之鑛物成分，惟多屬稜角狀。後者則包括由水力冰力與風力沉積之物質，產出豐富。海濱砂 (Sea-beach Sands) 因形多渾圓，顆粒普通在 50 - 80 篩孔之間，故不宜築路。湖濱砂 (Lake-beach Sands) 之顆粒，較不規則，大致均為次稜角狀，且其大小之排列，亦大於海濱砂，故常用以舖路。河川砂 (River Sands) 之用於築路者最多，惟其石質之特性，各不相同。普通所謂洲灘砂 (Bank Sands) 者，包括冰河砂、砂丘砂與古河川砂。甚至產於一洲灘之砂粒，其鑛物成分與石理性質，頗不一致。壤土薄層 (Loamy Layers) 有時產於冰河或河川沉積之砂層中。砂粒之產出既錯綜複雜，故分別選擇採掘，以圖獲得良好之品質，為切要之事。是以從事道路工程者，必須藉助地質常識，以事測

探。

3. 礫石(Gravel) 礫石包括一切不能通過 4 篩孔篩之疏鬆物質。其產狀有五：(1)冰積砂粒層之組成物質；(2)河流沉積體；(3)不限於河谷之廣闊水體沉積；(4)三角洲沉積；(5)砂洲沉積；運積之礫石成渾圓形，或次稜角形；而殘留之礫石，則成稜角形。礫石之純潔者甚少，一般均有砂與粘土混合其中，故須洗滌或篩分。不摻和砂粒之渾圓礫石，缺乏結合力，故無築路價值。

礫石之性質，隨地而異，或含石英礫石較多，或含燧石礫石較多，或純為石灰岩之礫石，或純為矽酸鹽礦物質組成之岩石礫石。其不同之石質，影響於築路價值者頗大。石英礫石硬度雖大，但無結合力，故其含量不得超過 50%；石灰岩礫石結合力雖大，而性質柔軟，易於磨損。有稜角之礫石，大小混雜，可於短期之內，經車輛之壓軋，人畜之踐踏，擠壓而成極為穩固之道路。

最適於築路之礫石，其必要之條件有四：(1)礫石大部為硬性及韌性較大之物質；(2)能抵抗磨擦與衝撞；(3) 75% 係礫石，其大小須在 $\frac{1}{4}$ — $1\frac{1}{2}$ 或 2 吋之間；(4) 25% 係砂與粘土，其中 8—15%，係膠結性物質，如粘土、壤土、鐵之氧化物與碳酸鈣等。

4. 碎石(Broken Stone) 碎石之所含者，即火成岩，沉積岩與變質岩之破片。其所含之礦物成分，可以別為兩類：即原生成分與次生成分。屬於前者之礦物，有石英、長石、輝石、角閃石、黑

雲母、白雲母、方解石、白雲石、石榴石、橄欖石等；屬於後者之鑛物，有綠泥石、高嶺土、絹雲母、褐鐵鑛、蛇紋石、綠簾石，有時尚有次生方解石與石英。含有少量次生鑛物之碎石，可以增進其結合力；但含量過大，則生不良影響。風化程度頗為重要，係依其所含鑛物成分而定，而非全視其硬性與韌性之大小。鑛物顆粒集合疏鬆之碎石，缺乏粘着力，且孔性甚高，亦不勝磨擦與壓軋；鑛物顆粒緊密牽合之碎石，則較前者堅硬，縱其膠結力低弱，亦比前者合用。易溶之岩石，如石灰岩碎石，不宜於使用。其他剝理較強之變質岩，如綠泥片岩與雲母片岩，因性質柔軟，且其構造極易分裂，故亦非築路之良好石材。

普通選擇築路碎石，當研究之性質有六：即(1)磨損抵抗力 (Abrasive Resistance)，(2)硬性 (Hardness)，(3)韌性 (Toughness)，(4)膠結力 (Cementing Value)，(5)吸收性 (Absorption) 與(6)比重 (Specific Gravity)。磨損抵抗力之大小，雖大部隨硬性與韌性變化，然非此二者之絕對函數。其表示方法，係以經磨損試驗後所生在 $\frac{1}{16}$ 吋以下粉末物質之百分數表之；French 之磨損係數，為前項磨損百分數除 40 所得之商，如磨損百分數為 4，French 之磨損係數則為 10。最宜於築路之石材，其磨損係數在 20 左右。磨損係數在 8 以下之碎石，謂之低級；在 8—13 之間者，謂之中級；在 14—20 之間者，謂之高級；超過 20 者，則為最

高級。最高級磨損力之碎石，祇宜於建築重運輸路。硬性為岩石對於研磨作用之抵抗力。一般多以 20 減去其試驗損失重量公分數之 $\frac{1}{3}$ 表之，如經試驗後，其所失之重量為 6 公分，則此岩石之硬性為 $20 - \frac{6}{3} = 18$ 。硬性小於 14 者，謂之軟弱；在 14—17 之間者，謂之中常；大於 17 者，謂之堅硬。韌性為岩石對於衝撞碰擊之抵抗力，如馬蹄之踐踏等；係以重錘下落，致使試驗之岩石碎塊衝擊破裂時，所達最低高度之公分數表之。碎石之韌性小於 13 者，謂之低級；在 13—19 之間者，謂之中級；大於 19 者，謂之高級。膠結力即岩石碎塊之結合力，有種岩石之粉末，可以固結而成光滑堅密韌性強大之團塊，而其他岩石之粉末，則全無此性。其試驗之方法，係以石材小片裝入球磨機 (Ball Mill) 中，加水磨粉，然後取出，捏成圓壩形，待乾透後，以小錘擊之，至破裂時所衝擊之次數，即為表示膠結力之方法。通常衝擊之次數，小於 10 者，謂之低級；在 10—25 之間者，謂之中級；在 26—75 之間者，謂之高級；在 76—100 之間者，謂之甚高級；大於 100 者，謂之最高級。築路石材之膠結力，大部在 25—200 之間，小於 25 者，不宜於建築水固碎石路 (Water-bound Macadam)；大於 25 者，方易於膠合而成堅固塊體。吸收性係以每立方呎之石材，所能吸收水分之量表之。比重之表示，與普通所用之方法無異。此外石材之重量 (Weight)，係以岩石單一固體每一立方呎之磅數表之，而

非碎塊之重量也。

石材之磨損蝕耗，係以其石理、鑛物成分與新鮮程度而定；硬性與韌性最大之石材，含石英最多，且為堅密之細粒石理。次生鑛物生成豐富之石材，不宜於築路，以其風化較速；然由深成變質作用生成之次生鑛物，如假像纖維普通角閃石（Uralitic Hornblende），則可增加石材之強度。用於築路之岩石，種類繁多，每種石材各項性質之試驗，其最高與最低數字，相差極大，故從事築路工程之人員，須根據試驗結果，確定石材性質，加以選擇，不應祇以石材之種類而定取捨。茲將常用石材各種性質之最高與最低數值，列表如下：——

5. 各種岩石之性質 (Qualities of Different Classes of Rocks)

A. 火成岩(Igneous Rocks) 火成岩韌性之最高者，為綠岩(Trap)，包括基性深成岩與基性火山岩，如安山岩、玄武岩、輝綠岩等；次為細粒長英岩與其他酸性岩，如流紋岩、石英斑岩等；再次為輝長岩及與其相關之深成岩；最低為花崗岩與正長岩。其磨損抵抗力之最高者，首推輝綠岩與玄武岩；次為閃長岩與輝長岩，再次為安山岩與流紋岩；最低為花崗岩。膠結力以基性深成岩大於酸性深成岩，火山岩大於粗粒深成岩。

各種石材之築路價值，與其鑛物成分、石理及變化，均有一

岩石名稱	比重	重量 (磅/呎 ³)	吸水性		French 磨損係數		硬 性		韌 性		膠結性	
			最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低
安山岩	2.70	168	6.59	0.05	26.0	4.90	19.4	7.9	44	6	500+	11
玄武岩	2.85	178	6.32	0.04	30.4	2.7	19.2	5.9	39	6	500+	4
輝石岩	2.55	159	11.10	0.26	14.6	1.4	19.7	12.7	26	5	500+	2
輝綠岩	2.90	181	2.73	0.03	36.4	6.4	19.4	12.3	54	4	500+	2
閃長岩	2.85	178	1.03	0.05	25.0	5.5	19.4	16.6	38	5	148	5
白雲岩	2.75	172	9.40	0.07	33.3	2.2	18.4	1.8	27	3	179	9
細粒長 英岩	2.65	165	3.13	0.02	21.3	11.8	—	—	—	—	—	—
正長岩	2.70	168	4.21	0.08	23.5	2.8	19.2	17.3	34	8	375	16
輝長岩	2.95	184	0.97	0.04	30.8	6.8	18.8	16.2	23	9	115	6
片麻岩	2.75	172	1.24	0.02	23.0	2.4	19.3	9.0	25	2	110	1
花崗岩	2.65	165	2.77	0.01	37.0	1.6	19.6	13.6	33	2	255	2
石灰岩	2.70	168	13.22	0.02	21.7	1.2	19.1	0.0	25	2	500+	10
大理岩	2.75	172	1.04	0.10	16.0	2.8	17.3	7.1	23	3	85	15
石英岩	2.70	168	1.89	0.05	24.5	5.3	19.7	16.5	30	5	45	0
流紋岩	2.55	159	7.15	0.03	23.0	4.1	19.7	15.3	42	6	500+	10
砂 岩	2.65	165	11.60	0.02	40.8	1.0	19.5	0.0	60	2	500+	1
片 岩	2.90	181	1.35	0.06	31.7	2.2	19.0	0.9	35	3	232	5
頁 岩	2.65	165	4.84	0.50	12.6	2.5	17.7	1.39	12	3	367	28
板 礫	2.75	172	2.10	0.05	22.4	3.2	19.7	1.1	56	1	500+	1
礫 岩	2.60	162	3.71	0.60	11.6	3.2	18.4	9.3	10	10	500+	20

定之關係。普通輝石與普通角閃石含量豐富之火成岩，較雲母含量豐富者耐久性大；粗粒火成岩，則不若細粒全品質(Holocrystalline) 岩石，易於持久。次生變化之產生綠簾石與假像纖維角閃石者，能增加其耐久性，而產生高嶺土與綠泥石者，則能減小其耐久性。全品質深成岩中，膠結力隨石英含量之增加而減小，隨次生變化之程度而增大。在火山岩與深成岩中，輝綠岩、玄武岩、玻璃含量甚少之粗面岩與流紋岩，不易磨耗，其耐久性甚高。石材之韌性，係由細粒結晶質成分，互相牽合而生、通常以無解理性質之細粒岩石，最為高強。

B. 沉積岩(Sedimentary Rocks) 石灰岩與白雲岩為在水成岩中使用最廣之築路石材。其耐久性中庸，不宜用於建築重運輸路但若摻和適量之瀝青或水泥，作為碎石之膠結物，則其所得之結果，比較堅韌之火成岩往往甚好。細粒與等粒之石灰岩與白雲岩，較能持久。砂岩對於築路，使用不廣，因其顆粒之形狀與膠結之物質，各不相同，可以影響其耐久性。數種粘土質、石灰質或鐵質膠結之砂岩，可以建築佳善之水固碎石路，而大多數之種屬，皆無築路價值。頁岩之富於鐵質而堅硬者，雖亦可用於建築輕運輸路，但其他各種則均不宜。

C. 變質岩(Metamorphic Rocks) 片麻岩之耐久性甚小，不宜用於築路，然亦有數種與花崗岩組成相當者，堅韌強硬，可

以合用。以普通角閃片岩建築道路，比較雲母或綠泥片岩，常能得較好之結果。大理岩、石英岩與板岩之石塊，均不宜於建築較高級之道路。

6. 冰川漂礫沉積 (Glacial Boulder Deposits) 冰河沉積區域之中，冰川漂礫散佈於野外，可以成爲有價值之築路石材。利用此種石材所築之道路，往往因石塊之表面不平，以致道路之某一部分，磨損較易，而使路面成爲崎嶇凹凸之形狀。數地區之冰河砂礫，可以同係一種岩石，亦可爲各種不同岩石，以不同之比量組成。故採用此種石材築路時，須詳細選擇；風化程度較深之漂礫，當摒棄不用。在選擇石材時，可將產出漂礫之地帶，先行作圖，漂礫集中之地點，一一繪置，然後估計其產量；直徑在一呎上下者，尤當注意；各種岩石組成之分量，亦應測算，以備選擇使用。可爲公路石材者，其所含片岩、頁岩、脆弱砂岩以及風化程度較深石塊之總量，不得超過 10%。

7. 築路石材岩質之檢查 (Pyrographic Examination of Road Materials) 築路石材在顯微鏡之下檢視，可知其組成顆粒之形狀；大小、鑛物成分與純潔程度。以石材之薄片，置於偏光顯微鏡之下視之，舉凡各種組成鑛物之比量、彼此牽合之形狀、所經變化或破壞之程度以及一切顯微裂隙、解理與孔泡之排列，均可一目了然，於選擇使用時，幫助甚大。

第十四章

鑛床 (Ore Deposits)

鑛床乃含有經濟上有價值之一種或數種鑛物之集聚體，產於地殼之中者。狹義之鑛床，係指有用之金屬鑛物而言；而廣義者，乃指含有金屬鑛物或非金屬鑛物而言。中石(Protore)係含有金屬鑛物之岩石，本身無開採之價值，但經自然富集之後，可以採掘獲利者。

鑛石(Ore Minerals) 鑛石乃在目前經濟情況之下，以獲利為目的，由鑛床開採而得之主要鑛物，或鑛物之集合體。一鑛床可由一種鑛石或數種鑛石組織而成，或其組成之物質，係同種金屬或同種非金屬之數種鑛石。如方鉛鑛 (PbS) 與白鉛鑛 (Cerussite PbCO_3) 均為鉛鑛；輝銅鑛 (Cu_2S)、黃銅鑛 (CuFeS_2) 與藍銅鑛 (Azurite $2\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$) 均為銅鑛；磁鐵鑛 (Fe_3O_4)、赤鐵鑛 (Fe_2O_3)、褐鐵鑛 ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 與菱鐵鑛 (FeCO_3) 均為鐵鑛。在自然界中，僅有少數鑛石，係由元素之單體組成，若金、銀、鉑、銅、汞等；其餘大多數鑛石，則為硫化物、氧化物、碳酸化物、硫酸化物、矽酸化物、氯化物或磷酸化物。

脈石(Gangue Minerals) 與鑛石共生之普通鑛物，無經濟

上之價值者，謂之脈石；此種鑛物，多屬非金屬物質。鑛石與脈石，有時不易區別；例如普通為脈石之石英，在金鑛脈中，則為含金石英，乃重要之鑛石。脈石中最普通者為石英，其次為方解石與白雲石，再次為重晶石、螢石、長石、角閃石、石榴石、絹雲母、高嶺土、綠泥石等。鑛石與脈石，有時彼此混合，密切牽連；有時分別排列，界劃顯明。前者可以機械方法，利用比重之關係分離；後者在採鑛時，即可分別取捨也。

鑛物之共生(Paragenesis) 各種鑛物，由於互有生因之關係，相伴產出之現象，謂之共生。此種現象，在鑛床學上，非常重要，最有助於採鑛工作。例如雞冠石(Realgar)與雄黃(Orpiment)，常相伴產出。又如黃鐵鑛、黃銅鑛、磁黃鐵鑛(Pyrrhotite)、硫砷鐵鑛(即毒砂Arsenopyrite)亦常共生。茲更舉數例如下：——

- (a) 黃鐵鑛——金——石英。
- (b) 含銀方鉛鑛 (Argentiferous Galena) ——閃鋅鑛 (Sphalerite)。
- (c) 磁鐵鑛——石榴石——黃銅鑛——輝石。
- (d) 輝銀鑛 (Argentite) ——淡紅銀鑛 (Proustite) ——濃紅銀鑛 (Pyrrargyrite) ——角銀鑛 (Cerargyrite) ——黝銅鑛 (Tetrahedrite) ——菱鐵鑛 ——菱錳鑛 (Rhodochrosite) ——薔薇輝石 (Rhodonite)。

(c) 鐵鑛——錳鑛。

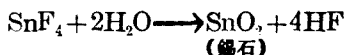
鑛物之生成順序(Succession) 在鑛床中,常見有一鑛物爲他一鑛物被覆;或一鑛物之孔隙,爲他一鑛物填充:或一鑛物被他一鑛物之細脈貫穿等現象,此種事實乃證明作爲鑛床本源之溶液與化學成分,逐漸變化;或本身溫度與所受之壓力,升降不定,結果所生之鑛物,遂有先後之分。被覆之鑛物較受被覆之鑛物,生成在後;填塞之鑛物較基底具有孔隙之鑛物爲新;貫穿之鑛物較被貫穿之鑛物爲新。如是一鑛床中,鑛物生成先後之次序,謂之生成順序。如德國 Erzgebirge Saxony 地方,產於花崗岩中之錳鑛脈,最先產生者,爲紅雲母(Lepidolite),沿鑛脈邊部排列,作條紋狀;其次產出富於黃玉,錳石(Cassiterite)、鐵錳重石(Wolframite)等之石英;最後在鑛脈之中間部分,產生螢石與重石(Schaelite)等。由此可知鑛物之生成,有先後次序,同時又可推知其溶液之化學成分,已起顯著之變化也。

I. 鑛床之成因 (Origin of Ore Deposits) 地殼中所含有用之元素,如鉑、金、銀、鐵、銅、鉛、鋅等,爲量至微;然能聚集而成偉大之鑛床,足資開採者,必有賴於特殊作用。此種作用,約有七種,分述如下:——

1. 岩漿分化作用 (Magmatic Differentiation) 岩漿固結而成火成岩時,金屬與非金屬各自集合,其中各種鑛物之個別成

分，分別集中者，謂之岩漿分化作用。由此生成之鑛床稱為岩漿分化鑛床或火成鑛床(Igneous Deposit)。

2. 氣化作用(Pneumatolytic Process) 岩漿在地下深處，因溫度與壓力之變化，逐漸固結時，其中所含之氯、氟、硼等氣體，與岩漿所含之微量金屬化合，而成氯化物、氟化物、硼酸鹽等物質；雖不在高溫狀態，亦頗揮發，故可與他種氣體或水蒸氣混合放散。在適當環境之下，與圍岩發生化學作用，則將金屬析出，集中於地殼之某一部分，成為鑛床，故稱氣成鑛床(Pneumatolytic Deposit)。如大多數之錫鑛脈，均係由於此種作用而成；下列方程式，可資證明：



3. 接觸變質作用(Contact Metamorphism) 火成岩岩漿，在地殼之深處，侵入水成岩或其他火成岩中固結時，放散熱量甚多，同時又有各種氣體及水蒸氣析出。若放散之氣體甚少，而高熱之作用甚強時，則原有岩石分子之排列，發生變化，生成種種變質岩。如是由火成岩岩漿之接觸，化學成分雖無大變，但因分子之重新排列，而變為外觀上與原形不同之岩石，謂之接觸變質作用，前已言之。由此而成之鑛床，不獨鑛物分子重行排列，且有將所含各種金屬集中之作用，故常產生極富之鑛石。如花崗岩岩漿與石灰岩接觸時，不獨石灰岩可以變為結晶石灰岩或大理

岩，且在接觸帶中，常有不規則之塊狀石榴石、綠簾石等接觸礦物與磁鐵礦、黃銅礦、黃鐵礦等金屬礦物之集合體。

4. 交代作用及鑛染作用(Metasomatism and Impregnation)

交代作用者，乃由化學作用，將原有物質之一部，與新鑛物成分之一部，交換而生新鑛物之現象。普通含有種種金屬化合物之溶液。通過易受化學作用之岩石，如石灰岩、頁岩與凝灰岩之縫隙時，常有顯著之化學交代作用發生，集中金屬物質。例如石灰岩中，常產生大塊不規則之閃鋅礦，即由此種作用生成，其所生之鑛床，謂之交代鑛床(Metasomatic Deposit or Replacement Deposit)。

鑛染作用者，乃含有鑛物質之溶液，浸滲於岩石之中，一方起多少之交代作用，一方有微細之鑛石沉澱，結果在岩石之中，鑛石滲染散佈；其有開採之價值者，即成鑛床，謂之鑛染鑛床(Impregnation Deposit)。

5. 化學沉澱作用(Chemical Precipitation)

含有種種金屬化合物之水溶液，在適當環境下，將金屬鑛物沉澱而成金屬鑛床之現象，謂之化學沉澱作用。此種現象，在金屬之集中作用中，最為重要；可以分為裂隙沉澱與地面沉澱二種。

鑛床中最普通之鑛脈(Vein)，乃由自地下深處上升之高熱水溶液，通過岩石之裂隙時，將其中所溶之鑛物成分，沉澱而填

充者也。在高壓之下，普通認為不溶解之物質，如各種金屬及金屬硫化物，亦能溶解。溶解於高熱溶液之種種金屬與非金屬化合物，有自岩漿直接放散者，有於溫度上升時，將途中各岩石成分之一部，溶解挾帶而來者。當其上升時，如遇壓力減低或溫度下降之種種情形，則因溶解度變小，而將其所溶之鑛物沉澱。

地面水中溶解之物質，因蒸發作用或其他化學作用而沉澱者，謂之沉積鑛床 (Sedimentary Deposit)。以其常成層狀，故又稱層狀鑛床 (Stratified Deposit)。在湖沼之底部，常可見之，如沼鐵鑛 (Bog Iron) 之沉澱；又黑海之淺海底，有與泥土混合之硫化鐵鑛；美國南部之半砂漠地方及亞洲之砂漠地方，其鹽湖之中，常有食鹽與礫砂等沉澱，皆為地面沉澱之例也。

6. 露天化作用 (Weathering) 露出地表之岩石，受風化作用之結果，則變為疏松土壤。如岩石含有多量之長石，則因風化作用而變為耐火土 (Fire Clay) 或水礫土。若含有多量之鐵質，則一小部分被溶解流失，大部分殘留而成塊狀之褐鐵鑛或赤鐵鑛。此種鑛物有時集中甚多，有開採之價值，謂之殘留鑛床 (Residual Deposit)。

7. 機械堆積作用 (Mechanical Sedimentation) 由露天化作用而生之土壤，為大雨冲刷，流水搬運，而至於山谷；再經自然流水之淘洗，輕者運移而至下流，重者則殘留於上流地帶，或集

中於河床之上。故上流山地，如有含金鑛脈，則附近河床之中，常產砂金。此種分別選擇運移與沉積現象，謂之機械堆積作用；其所成之鑛床，謂之漂砂鑛床或砂礫鑛床 (Detrital or Placer Deposit)。

II. 鑛床之形狀與構造 (Forms and Structures of Ore Deposits)

1. 鑛床之形狀 (Forms of Ore Deposits) 鑛床就其成因論，可以分爲二種：即原生鑛床 (Syngenetic Deposit) 與後生鑛床 (Epigenetic Deposit) 是也。原生鑛床中，鑛石與周圍之母岩同時生成；後生鑛床中，則鑛石生於母岩之後。茲將其各種形狀，分別述之於下：——

A. 原生鑛床之形狀 (Forms of Syngenetic Deposits)

- a. 火成鑛床常爲不規則之塊狀、球狀、有時呈凸鏡狀，或略近板狀，常與母岩漸次移變。
- b. 鑛層爲夾於水成岩間之層狀鑛床，故常爲板狀，擴展甚廣，有時亦呈凸鏡狀。此種形狀，受地殼變動之影響，可以發生傾斜或摺曲現象。
- c. 砂礫鑛床普通多在河床或海濱之砂礫中，廣厚無定，常夾於種種地層之間與鑛層同形。

B. 後生鑛床之形狀 (Forms of Epigenetic Deposits)

- a. 由熱水溶液或氣體作用而成之鑛脈，大致皆為板狀，且多傾斜陡峻，貫穿於岩石之中。
- b. 交代鑛床常為不規則之塊狀，或近似板狀，或有移變而為鑛脈狀者。鑛染鑛床亦然。
- c. 接觸鑛床與交代鑛床相同，多係不規則之塊狀，亦有近似板狀者。
- d. 殘留鑛床常產於地表之上，或近於地表，呈不規則形狀。

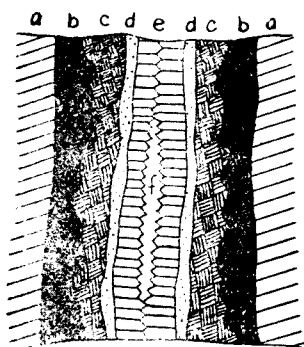
2. 鑛床之構造(Structures of Ore Deposits) 鑛床之構造，係指造成鑛床之鑛石、脈石與中石，成種種不同之排列而言。茲分述於下：——

A. 塊狀構造(Massive Structure) 不同之鑛石、脈石、中石等不規則混合而成塊狀者，謂之塊狀構造。其組成鑛床之個體鑛物，綜錯複雜，生成順序，不易辨別。此種構造，多在鑛脈交代鑛床中見之。又有粒狀構造(Granular Structure)者，亦塊狀構造之一種，係同等大小之鑛物顆粒，集合密緻之鑛床也。

B. 帶狀構造(Banded Structure) 不同之鑛石，脈石或中石，成帶狀排列者，謂之帶狀構造，鑛脈中常有之。若與鑛物之條帶垂直，有無數之結晶排列而成櫛狀，有時突出於空隙之中者，謂之櫛狀構造(如第八十八圖)。鑛物條帶對稱排列者，謂之對

稱帶狀構造 (Symmetric Banded Structure)。鑛物條帶成同心圈層，環繞排列者，謂之同心帶狀構造 (Concentric Banded Structure)，在石灰岩或白雲岩中，所產之洞穴填充鑛床，或交代鑛床，常有此種構造。

C. 角礫狀構造 (Brecciated Structure) 角礫狀構造與角礫岩相似，乃多角狀之破片，由其他物質膠合而成之構造。有時母岩之破片，為鑛石膠結；有時已成之鑛床，經地盤運動結果，成為碎塊，後被溶液沉澱其間，而使之膠結。如鑛石等破片之周圍，被種種不同之鑛石或脈石，作同心圓狀包被時，名為鑛輪 (Ring Ore)。



第 八 十 八 圖
 帶狀構造(對稱帶狀鑛脈)
 a. 母岩; b. 鑛石;
 c. d. e. 脈石; f. 空窩。

D. 晶洞構造 (Drusy Cavity Structure) 鑛床有大小之晶洞時，稱為晶洞構造。在此晶洞中，有時鑛石與脈石密生，成為鐘乳狀；有時晶體簇生，成為晶簇 (Drusy)。普通洞穴有原生與次生二種，前者與鑛床同時生成；後者係鑛床生成後所生。

III. 鑛床之變化與次生富
 化作用 (Alteration and Secon-

dary Enrichment of Ore Deposits) 鑛床之露出地表部分及與地表接近部分, 普通受風化作用與潛水作用之影響, 使之發生顯著變化。潛水常含大量碳酸氣及氧氣, 可使鑛床發生強烈之氧化作用。硫化鑛物則成可溶性之硫酸鹽類, 溶解其中, 如是潛水繼續下降, 失其所含之氧氣, 以致氧化力減小, 反起還原作用。是以前所溶解之金屬化合物, 還原沉澱, 集中而成次生之豐富鑛石。此種現象, 謂之次生富化作用。

鑛床因氧化作用所生之變化, 與岩石之風化作用, 大致相同。在不含硫化物之鑛床中, 變化甚為簡單, 僅有腐蝕與氧化現象。如赤鐵鑛變為褐鐵鑛, 菱錳鑛變為軟錳鑛 (Pyrolusite) 與硬錳鑛 (Psilomelane), 方解石溶解失散, 矽鋁質鑛物變為高嶺土等。而含有硫化物之鑛床, 則有顯著之變化, 其變化之層帶, 自地表達於深處, 可分三帶:

- (a) 氧化帶 (即風化帶)
 - (i) 表面氧化帶。
 - (ii) 滲濾帶。
 - (iii) 氧化鑛富化帶。
- (b) 次生硫化鑛富化帶。
- (c) 不變硫化鑛帶。

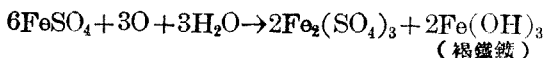
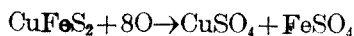
1. 氧化帶 (Zone of Oxidation) 鑛床之露頭, 受風化作用, 使鑛石及脈石起化學變化。普通金屬硫化物, 因天水作用, 而

成種種氧化物、氫氧化物、碳酸鹽、硫酸鹽、氯化物及自然金屬等，其中最普通者，為氫氧化鐵，即成褐鐵鑛之鐵冠。其形狀視鑛床之性質與圍岩之情形，而成凸出嶺脊，或凹陷溝槽，此即表面氧化帶(Surface Zone of Complete Oxidation)。

鐵冠之下，有時殘留金銀。其他可溶性之金屬溶液，則一方滲濾，一方更行溶解途中之可溶性物質，此乃所謂滲濾帶 (Zone of Complete Leaching)。此帶以下之金屬溶液，若遇石灰質脈石，或遇氧化矽鑛物分解而成之氧化矽溶液時，遂相化合，產出豐富之金屬氧化物、碳酸鹽、含水矽酸鹽等鑛物，供給品位較高之鑛石，此帶一般稱為氧化鑛富化帶 (Zone of Oxide Enrichment)。

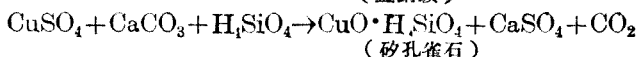
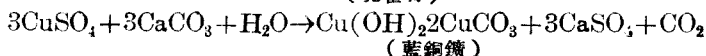
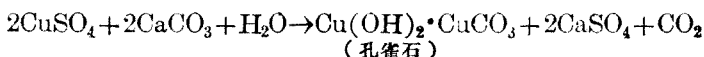
氧化帶之深淺，乃以潛水面之高低而異；而潛水面之高低，又隨各地之氣候及地形而不同。普通氧化帶之範圍，係指地表與潛水面中間之空間。

氧化帶鑛物之變化，以黃銅鑛為例言之：黃銅鑛受氧氣、硫酸及硫酸高鐵之作用，極易氧化，生成硫酸銅及硫酸低鐵；硫酸低鐵再行氧化，則成褐鐵鑛而沉澱。

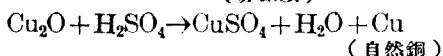
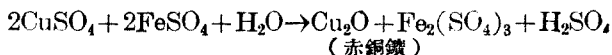


硫酸銅易於溶解，隨潛水下降。若鑛床之脈石，含有多量方

解石或氧化矽鑛物時，則在氧化帶之下部，起種種化學作用，而有豐富之種種銅鑛沉澱。

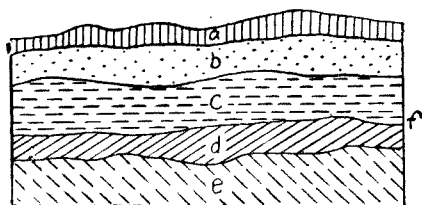


又硫酸銅溶液，由於硫酸低鐵與硫酸之作用，可以變為赤銅鑛(Cuprite)與自然銅(Natural Copper)。



如此孔雀石(Malachite)、矽孔雀石(Chrysocolla)、藍銅鑛、赤銅鑛、自然銅等，混合而成豐富之鑛床，集中於氧化鑛富化帶。

第八十九圖表示硫化物鑛床變化之各帶。

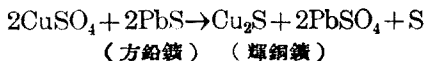
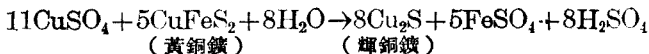
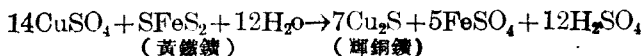


第八十九圖 硫化物鑛床之變化

- a. 鐵冠 (即表面氧化帶)
 - b. 滲濾帶
 - c. 氧化鑛富化帶
 - d. 次生硫化鑛富化帶;
 - e. 不變硫化鑛帶;
 - f. 潛水面。
- } 氧化帶;

2. 次生硫化鑛富化帶(Secondary Sulphide Zone) 氧化帶之下，即為次生硫化鑛富化帶；二者之分界，有時明顯，有時不清，普通其接觸面，與潛水一致，次生硫化鑛富化帶之成因，乃在氧化帶中，由於溶有各種硫酸鹽之潛水，漸次下降，至潛水面之下，則失去氧化能力，反起還原作用，沉澱各種金屬之硫化物。其最主要之氧化劑為黃鐵鑛。故含有多量黃鐵鑛之鑛床，常有廣大之硫化鑛富化帶。

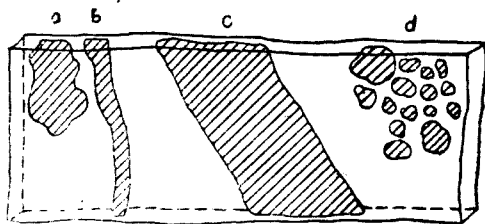
茲再以銅鑛為例言之：銅鑛床在氧化帶中，產生硫酸銅為天水溶解而至潛水面以下，則此溶液因黃鐵鑛、黃銅鑛，方鉛鑛等之還原作用，而成次生硫化銅鑛床。



3. 不變硫化鑛帶，(Zone of Primary Sulphide) 不變硫化鑛帶，乃硫化物鑛床最下之一部。與次生硫化鑛富化帶之分界，多不規則。不變硫化鑛帶之裂縫內，時有富化帶插入。此帶之鑛物，自生成以後，未受變化，其成分依深度而不同。惟吾人所見者，僅係近於地表之一部耳。

IV. 富鑛體(Ore Shoots) 由於天水作用生成之次生富化鑛石，以及由於上昇鹼性熱水溶液沉澱而成之富化鑛石，常集中於

鑛床之某一部分，作種種之形狀者，是為富鑛體。鑛床全體有同等之鑛石分佈，均有採掘之價值者甚少。故從事鑛業者，必須探求品位較高之鑛石，即富鑛體之所在。富鑛體之分佈，至不規則，尤以鑛床為鑛脈時為然。富鑛體之形狀，約有右列四種：(1)大塊鑛石，散佈於鑛脈或其他鑛床之中者，稱為大鑛團 (Bonanza)。(2)小塊鑛石集中於鑛床之一部，或散佈於各部者，以其形體而有鑛巢 (Nest)、鑛房 (Bunch) 及鑛囊 (Pocket) 等名稱。自上而下，如同帶狀傾斜者，稱為鑛道 (Ore Course)。(3)鑛石作圓筒狀，由上延展而下者，是為鑛筒 (Ore-chimney or Ore-Pipe)。(4)在鑛脈或其他鑛床中，成條層狀者，稱為鑛條 (Pay-Streak) (如第九十圖)。



第九十圖 鑛脈中富鑛體之形狀
a. 大鑛團；b. 鑛筒；c. 鑛條；d. 鑛巢。

V. 鑛床之分類 (Classification of Ore Deposits) 以前鑛床之分類，均以所含之鑛物成分與產出形狀為標準。而今則多以其成因為準則，惟方法甚多，各有優劣，一般尚無一致之分法。茲

將 1920年 W. H. Emmons 所擬定之方法，略述如下：⁴——

1. 岩漿分化鑛床 (Magmatic Segregation) 此類鑛床之形狀，頗不規則，皆生於火成岩中。其附生鑛物為石英、長石、輝石、角閃石、橄欖石、雲母等。鑛質為鐵、鎳、鎳、鉻、鉑等。鑛石結構，甚為密緻，與火成岩相似。此類鑛床之著名者，為瑞典之 Kirunavara 之磁鐵鑛鑛床，儲量約四億八千萬噸；其次為加拿大 Sudbury 鑛山之鎳鑛，佔世界鎳鑛總產額之大半。

2. 偉晶岩脈鑛床 (Pegmatite Veins) 此類鑛床，又稱氣成鑛床，為火成岩結晶之餘液，侵入圍岩而成，故其成因，與普通岩脈相同。見於深成岩附近，而呈不規則形狀者甚多。鑛物種類與火成岩相似；長石、石英、白雲母等，常有甚大之結晶。尤富於各種寶石，如黃玉，綠柱玉 (Beryl)、紅寶石 (Ruby)、藍寶石 (Sapphire) 及紅綠各色之電氣石，美國 California 之 San Diègo 及錫蘭島等地產之。至於各種金屬鑛物，亦多含之，如美國 South Dakota 省 Black Hills 之錫石鑛，我國雲南東川巧家之銅鑛，以及福建永泰之輝銅鑛 (Molybdenite)，皆為此類鑛床之例。

3. 接觸變質鑛床 (Contact Metamorphic Deposits) 此類鑛床之鑛體，大致不十分規則，生於火成岩與水成岩之接觸帶中，並有接觸變質鑛物產生。火成岩多屬酸性或中性者，水成岩則以石灰岩或石灰質岩石最為普通。鑛質大部為氧化物或硫化

物，以銅、鐵、鋅、鎢爲最多，金、銀、鉛等次之。附生鑛物有石榴石、透輝石、鈣輝石、綠泥石等。我國山東金嶺鎮之磁鐵鑛鑛床，卽爲通例，儲量約一千萬噸。

4. 深成鑛脈鑛床 (Deposits of Deep Vein Zone) 此類鑛床又稱深造熱液鑛床。就鑛質言，與接觸變質鑛床極相類似，且同爲高熱高壓下之溶液所成；惟其形狀，較有規則，略具脈形。因其結晶時，地位甚深，故每接近古代深成岩，而與近代之淺成岩無關。凡金、錫、鐵、鋅、銅、鉬、鎢等質多屬之。德國 Erzgebirge 之錫鑛脈，卽爲此種鑛床。我國四川彭縣之銅鑛與湖南郴縣金船塘之鉛鋅鑛，亦屬此類。

5. 中深鑛脈鑛床 (Intermediate Veins) 此類鑛床又稱中溫熱液鑛床，乃上升熱液，沉澱於地位較淺之裂縫中者，常成脈形。如圍岩爲石灰岩，則因交代作用，每成複雜之囊袋狀；有時成爲細粒，滲染於圍岩中。鑛質以銅、銀、金、鉛、鋅、銻、砒等爲主。美國西部一帶之重要銅、鋅、金、銀諸鑛，以及我國西南部之銀、鉛、鋅、銅等鑛，皆爲此類。如湖南常寧水口山之鉛鋅鑛與湖南西部之銅鑛均是。

6. 淺成鑛脈鑛床 (Shallow Veins) 此類鑛床又稱淺成熱液鑛床，亦爲上升熱液所成。惟當沉澱時，距地面甚近，壓力不大，且岩層裂縫甚多，故鑛床常生於裂縫或礫岩、砂岩及火山岩之孔

穴中，多成爲脈形。附生鑛物爲螢石、石髓、重晶石等。鑛質爲金、銀、汞、銻、鉍、鎢、鉛、鋅等，常有帶狀或櫛狀構造，脈中且多孔隙。美國 Lake Superior 之銅鑛，Nevada 之 Comstock lode 之金銀鑛，我國雲南、貴州、四川之汞鑛，以及湖南之銻鑛，均屬此類鑛床。

7. 天水鑛床 (Deposits Formed by Meteoric Water) 地面之流水，溶解岩層中之鑛質，滲入地內，如遇裂縫，或爲有機物還原時，則沉積成脈。鑛質之來源，係由下降之天水，經溶解沉澱而成。所遇環境，壓力甚小，溫度頗低，與成之於熱液者，大不相同。脈中之附生鑛物，有方解石、燧石、雲母、重晶石等。鑛質爲鉛、鋅、銅、鈾、釷、鐵、錳等，多成簡單之硫化物。如美國 Mississippi 河一帶著名之鉛鋅鑛與我國西南各省之銅鑛均屬之。

8. 殘留鑛床 (Residual Deposits) 此類鑛床又稱侵蝕鑛床，係暴露地表之岩石，經侵蝕作用後，其抵抗力減弱，易於溶解之部分，被水遷徙而去，不易爲水挾帶之物質，如鐵錳、鋁等，則逐漸殘留富集，經久卽成鑛床。美國 Lake Superior 及古巴之鐵鑛，法國 Beaux 之鋁鑛，我國廣東防城縣及欽縣之錳鑛，山西晉城潞澤一帶之鐵鑛，均屬此類鑛床。

9. 水成鑛床 (Sedimentary Deposits) 此類鑛床，乃由古代岩層，崩解遷流，沉澱於水中而成者。論其沉積時之狀態，則又有沖積、化學及有機物沉積之分。金、鉑、錫、鐵爲沖積之最重要者。

鐵錳及鹽類，為化學沉澱之重要者。煤與石油為有機物沉積之重要者。鑛床之形狀，每成層狀，與水成岩相似。鑛石有呈鱗狀或豆狀之結構者。如四川綦江與察哈爾宣化、龍關之鐵鑛，川西滇北黔西一帶之水成銅鑛，均為此類鑛床。

VI. 重要鑛床概論 (Description of More Important Ore Types)

1. 鐵鑛 (Iron Ores) 組成鐵鑛鑛床之鑛石，係下表所列各種鑛物。其含鐵之百分數，往往甚難達到理想標準，蓋因所含脈石之量過多故也。其所含之雜質，係氧化鋁、氧化鈣、氧化鎂、氧化矽、錒、砷、銅、硫、磷等物；其中之後六者，可以影響鐵之性質。黃鐵鑛普通用作硫鑛，以製硫酸，所餘殘渣，或鑛石先經焙燒脫硫後，亦可煉鐵。

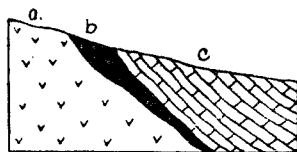
鐵	鑛	成	分	含鐵百分數
磁	鐵	鑛	Fe_3O_4	72.40
赤	鐵	鑛	Fe_2O_3	70.00
褐	鐵	鑛	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	59.80
菱	鐵	鑛	FeCO_3	48.27

各類鐵鑛鑛床如下：——

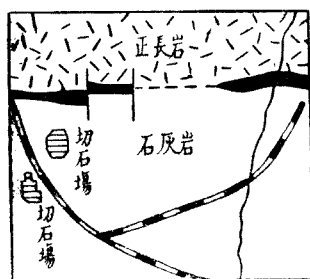
(1) 岩漿分化鑛床——此型鐵鑛之形體，多不規則，亦有略似脈狀者，惟不多見。鑛石常為磁鐵鑛；產於基性火成岩之中者，

均含鑛質。前者如美國 New York 州 Mineville 地方之鐵鑛，後者如 Lake Sanford 之鐵鑛即是。

(2) 接觸變質鑛床——此型鐵鑛常為囊袋形，鑛質係磁鐵鑛與赤鐵鑛，有時且含微量之銅質，如我國山東金嶺鎮之磁鐵鑛鑛床，即為一例（如第九十一圖）。此鑛生於奧陶系（Ordovician System）之濟南石灰岩與正長岩正長斑岩之接觸部，成為楔狀。鑛石大部為密緻之磁鐵鑛，又含若干赤鐵鑛，且伴有石榴石、綠簾石等接觸鑛物。鑛床之最厚處達 60 尺。湖北大冶之鐵鑛，亦為接觸鑛床，多係赤鐵鑛，產於石灰岩與正長岩之接觸帶（如第九十二圖）。其他若安徽繁昌縣桃冲之鐵鑛，亦屬此類。



第九十一圖
山東金嶺鎮鐵鑛鑛床斷面
(a 正長岩；b 鐵鑛床；c 石灰岩)



第九十二圖
湖北大冶鐵鑛鑛區略圖
(黑色為鑛床)

(3) 水成鑛床——即層狀鑛床，其鑛石為赤鐵鑛、菱鐵鑛或褐鐵鑛（沼鐵）。如我國綦江、宣化、龍關等地之鱗狀赤鐵鑛鑛

床，均屬此類。

(4) 天水鑛床——由於天水侵蝕或交代作用富集之鐵鑛鑛床，常為赤鐵鑛。如美國 Lake Superior 之 Mesabi 山脈附近之鐵鑛即是。

(5) 殘留鑛床——此種鑛床，常產於殘留粘土之中，成為結核狀或層殼狀，鑛石多為褐鐵鑛。如我國湖南、湖北、江西各省之所產者，稱為鄉寧式結核鑛床。

2. 銅鑛 (Copper Ores) 銅鑛鑛床中，多含其他金屬之雜質。因近代選鑛方法之改良，冶煉方法之進步，鑛石之含銅百分數，低至 2% 者，亦可開採獲利，但此鑛石限於硫化物。銅鑛易受天水之侵蝕，在鑛床之表面，褐鐵鑛鐵冠之中，常混有赤銅鑛；而其大量鑛質，隨水下降，至潛水面之下，沉澱而為豐富之次生鑛床；其次生之硫化物，多係輝銅鑛。組成銅鑛鑛床之重要鑛石，如下表之所列：——

銅	鑛	成	分	含銅百分數
黃	銅	鑛	Cu Fe S_2	34.50
輝	銅	鑛	Cu_2S	79.80
斑	銅	鑛	$\text{Cu}_5 \text{Fe S}_4$	63.30
黝	銅	鑛	$\text{Cu}_8 \text{Sb S}_7$	52.06
自	然	鑛	Cu	100.00
藍	銅	鑛	$\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{CuCO}_3$	55.10

孔 雀 石	$\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$	57.27
矽 孔 雀 石	$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	36.06
赤 銅 鑛	Cu_2O	88.80
膽 礬	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25.40

各類銅鑛鑛床如下：——

(1) 接觸變質鑛床——此種鑛床常產於含有石榴石之石灰岩與火成岩之接觸部分。如美國 Arizona 省 Clifton-Morenci 之鑛床，產生極富之氧化銅鑛。花崗岩與輝綠岩侵入於石灰岩及頁岩之中，鑛床之氧化帶，含有多量孔雀石。藍銅鑛、矽孔雀石等。他如該省之 Bicee 鑛，亦爲此型。

(2) 滲染鑛床——此種鑛床係由岩漿水沉澱硫化物，浸染而成，須經次生富集之後，方有開採之價值。如美國 Utah 省 Bingham 之銅鑛，即屬此種。

(3) 鑛脈鑛床——此種鑛床與圍岩接觸之部，均有熱液變質作用發生。脈石以石英爲主，不含電氣石。主要鑛石爲黃銅鑛與斑銅鑛。如美國 Montana 省 Butte 之銅鑛即是。與銅鑛脈關聯之交代鑛床，在不變帶有黃銅鑛與黃鐵鑛，在氧化帶則有豐富之氧化銅鑛。如日本之小坂鑛山，即爲此型。

3. 鉛鋅鑛 (Lead and Zinc Ores) 鉛鋅鑛往往共生，且有時含有金、銀、銅等金屬；其重要鑛石，列如下表：——

鑛	名	成 分	含 鋅 百 分 數
閃	鋅 鑛	ZnS	67.00
菱	鋅 鑛	ZnCO ₃	51.96
異	極 鑛	2ZnO·SiO ₂ ·H ₂ O	54.20
紅	鋅 鑛	ZnO	80.30
矽	鋅 鑛	2ZnO·SiO ₂	58.50

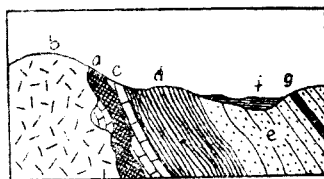
鑛	名	成 分	含 鉛 百 分 數
方	鉛 鑛	PbS	86.40
白	鉛 鑛	PbCO ₃	77.50
硫	酸 鉛 鑛	PbSO ₄	68.30

各類鉛鋅鑛鑛床如下：——

(1) 鑛脈鑛床——此種鑛床之鑛石，以方鉛鑛與閃鋅鑛為主，且含少許之銀。脈石以石英為主，或以碳酸鹽為主，或以重晶石為主。鑛脈之上部，多為方鉛鑛，愈深則閃鋅鑛之量愈增。故初以採取鉛銀鑛為主之鑛山，終則變為鋅鑛山。如美國 California之鉛鋅鑛，即為此型。

(2) 接觸變質鑛床——此類鑛床之鑛石，亦以方鉛鑛與閃鋅鑛為主。如我國湖南水口山之鉛鋅鑛，鑛床生於黑雲母花崗岩與古生代石灰岩之接觸部（如第九十三圖）。其所含之鑛石，除大部為方鉛鑛與閃鋅鑛之外，尚伴有黃鐵鑛及黃銅鑛。

(3) 交代鑛床——此種鑛床呈不規則形，或一部為滲染狀



第五十三圖 水口山鉛鋅礦床之剖面
 (a 鉛鋅礦床；b 花崗岩；c 石灰岩；
 d 紅砂岩；e 含煤砂岩 f 台地；
 g 煤層)。

態。世界各國，均有產出。礦石多為方鉛礦、閃鋅礦，白鉛礦、硫酸鉛礦、菱鋅礦等。脈石為方解石、白雲石、重晶石、硬石膏等。如瑞典之 Sala 礦床，美國 Montana 省之 Eureka 礦床，均係此類。

(4) 殘留礦床——殘留於粘土之中，如產於美國 Virginia 及 Tennessee 東部者均是。

4 金銀礦 (Gold and Silver Ore) 金銀可得自多種礦石之內，此種礦石，或含金較多；或含銀較多；或金銀均含，且有砷、銻、碲等礦質。金之產出，或係自然金，或係碲化物。前者常與黃鐵礦、黃銅礦、閃鋅礦、磁黃鐵礦等共生，在礦床之次生富集帶與不變帶中，均有產出；而後者則多產於不變帶。銀之產出，如係自然銀，則與硫化物共生，尤以方鉛礦為多。金銀礦之重要礦石，列表如下：——

金 鑛	成 分	含 金 百 分 數
自 然 金	Au	100.00
碲 金 鑛	Au Te ₂	45.00
碲 金 銀 鑛	(Au Ag)Te ₂	20.00

銀 鑛	成 分	含 銀 百 分 數
自 然 銀	Ag	100.00
輝 銀 鑛	Ag ₂ S	87.10
濃 紅 銀 鑛	Ag ₂ S·Sb ₂ S ₃	59.90
淡 紅 銀 鑛	Ag ₂ S·As ₂ S ₃	65.50
斜方硫碲銀鑛	5Ag ₂ S·Sb ₂ S ₂	68.50
角 銀 鑛	AgCl	75.30

各種金銀鑛床如下：——

(1) 鑛脈鑛床——金銀鑛之鑛脈鑛床，就其性質之不同，可以分爲石英鑛脈(Quartz Veins)與粒狀安山岩鑛脈(Propylitic Veins)二種。

石英鑛脈大部由乳白色密緻狀之石英造成，鑛石以自然金爲最重要，其他有碲金鑛、紅銀鑛、角銀鑛、輝銀鑛等，有時尙產合銀方鉛鑛與閃鋅鑛。美國 California 與 Alaska 等地之金銀鑛均屬此類。

粒狀安山岩鑛脈之主要鑛石，係碲金鑛與其他金銀鑛，脈石爲石英、方解石、白雲石、菱錳鑛等，且與種種硫化物共生。如美

國 (Colorado 之 Cripple Creek 及 Nevada 之 Goldfield 等地之金銀鑛，均屬其例。

(2) 砂礫鑛床——金鑛脈因風化作用，破壞腐蝕，金粒沉積於砂礫層之中者，即成砂礫鑛床。如產於美國 (Cordilleran 區與 Black Hills，以及我國江西、湖南、祁連山一帶者，均爲此型。

第十五章

地史 (Historical Geology)

凡研究地球自古迄今之歷史，如海陸之變遷生物之進化者，稱爲地史。組成地殼之岩石，層層疊合，其上下之界線，顯明易識，老者居下，新者在上；即因地殼之變化，層序混淆，亦可藉各種地質現象，間接推定，岩石之性質，各層不一，根據石質之變化，可以明瞭海陸之進退現象。如地層之累積，由下而上，先爲淺海沉積，愈上愈進而爲深海物質，則可斷定海水曾有侵入陸地之現象。且各層之中，均含化石，依其繁殖之種屬，器關之發育，可以確定地層之年代，又可藉以推斷其進化過程也。

除火成岩以外，各種岩層之中，均可保存化石。但產於沉積岩之中者，較爲完整，且有時甚爲豐富。產於變質岩之中者，比較稀少，或形體變化，或殘缺不全，因岩石受變質作用時，熱力與壓力均可使之毀滅。火山灰燼掩埋生物之遺跡，如環境適宜，亦可保存化石。

化石產於岩層之中，保存之方式不同。大致言之，可分右列數種：(1) 生物實體之保存。如產於西伯利亞或北美冰雪中之毛象 (Mammoth)，其肉體尙未腐爛，可以作爲其他動物之食品，他

如脊椎動物之骨骼，珊瑚之體殼，均可直接保存，而無實質之變化。(2) 生物遺跡之化石化 (Petrifaction)。潛水溶解生物之遺體，而使其所含之鑛質沉澱，生物之形未變，而質已變，如木質纖維之矽化即是。草木之枝葉埋於地中，因受熱力與壓力之影響，使其所含之水分及二氧化碳揮發，結果祇留碳質或痕跡於岩石之中，如筆石之化石即是。(3) 印模與印型 (Casts and Molds) 乃生物遺體，經溶解或沉積之後，所保存之印跡。(4) 生物之印跡與行跡 (Trails) 以及其排泄之糞積 (Coprolite)，均可成爲化石。

生物死後，如有適當之環境，方可成爲化石；否則或經迅速之分解，腐敗潰爛，或爲其他生物吞食，形體消滅，均無造成化石之機會。生物死後，須有泥砂等細粒物質，立即掩埋，故海洋沉積之地層，較大陸沉積者，含化石爲多。生物之軀體，須有堅硬部分，方可不因泥砂之壓力破壞；故蠕行動物之成爲化石者甚少。

化石對於地質之應用，甚爲重要，在學說方面之貢獻尤大。茲略述之：(1) 地質時代之推斷。地層之沉積，有一定順序，在地殼發生變動之區域，此種順序，往往紊亂。故在此種情形之下，可以依據各層產出之化石種屬，推斷地層造成之時代，因每一時代，均有其特殊化石種屬也。(2) 滄桑之變化，地表水陸之分佈，每有變動，海侵海退之現象，時常發生。今日陸上地層之中，每有

海生動植物化石產生，如此則可推知該地今日雖為陸地，而在地質時代，曾一度為海洋也。(3)古代氣候之變化。生物繁殖，須受氣候之控制，故化石之種類，為古代氣候變化之重要論證。如珊瑚之繁殖，必在溫暖之海水中，而 Alaska 與 Spetzbergen 等地之地層中，均有珊瑚化石產出，故知該地在古代時，當不若今日之寒冷也。(4)生物之進化。由地層之次序與產出各種化石之種屬，推知生物之演化，係由下等變為高等，由簡單進為複雜，故化石為進化論之重要論據。

I. 地質時代之劃分 (Divisions of Geologic Time) 地史分期之大段落有二：即天文時代 (Cosmic Eon) 與地質時代 (Geologic Eon)。前者之歷史，現尚未明，每多臆說；後者則依據化石之種屬，不整合之現象，以及地層之各種岩石性質，劃分其時代，排列其地層。地質時代與地層之相互關係如下：——

時 代	地 層
代(Eon)	大統(Group)
紀(Period)	系(System)
世(Epoch)	統(Series)
期(Age)	層(Stage)

舉例言之，如產於志留紀 (Silurian Period) 時代之岩石，謂之志留系 (Silurian System) 地層。地質時代之分期表如下：——

地 質 時 代 表

代	紀 與 世	生 物 演 化 與 氣 候 變 遷	植 物 時 期	動 物 時 期	
新 生 代	現 代	思想發達	被 子 植 物 時 期	人 類 時 期	
	第 四 紀 或 洪 積 世	歐美冰期；人類集合生活之始； 中國乾旱；巨大哺乳動物消滅。		哺 乳 動 物 時 期	
	第 三 紀	上 新 世		氣候漸寒；猿人進化爲人。	物 時 期
		中 新 世		哺乳動物及陸生植物之全盛時代。	
		漸 新 世		猿人之始；古生哺乳動物之末。	
		始 新 世		現代生物之始，現代哺乳動物 傳佈；草類五穀葉類繁殖甚盛。	
紀	古 新 世	小部山谷有冰河現象；古生哺 乳動物傳佈。	菊 石 類 及 爬 蟲 類 時 期		
中 生 代	白 堊 紀	菊石動物消滅；恐龍、翼龍、齒 龍絕種。古生哺乳動物及鳥類 開始繁殖。			
	下 白 堊 紀	有花植物及現代昆蟲傳佈。			
代	侏 羅 紀	齒鳥發生；翼龍傳佈；原始哺乳 動物傳佈；菊石類全盛。		裸 子 植 物	
	三 疊 紀	恐龍翼龍及原始哺乳類動物發 生；蘇鐵及松柏類植物傳佈。			

古	二疊紀		南半球有數次冰期。三葉蟲及古生珊瑚消滅；原始昆蟲及兩棲類動物傳佈。	時期	兩棲類時期
	石炭紀	上石炭紀	氣候溫濕；造煤期極廣。孢子植物全盛；爬蟲類傳佈。		
		下石炭紀	古生沙魚傳佈；海百合全盛。	植物時期	魚類時期
生	泥盆紀		兩棲類、海生魚類及原始菊石發生；林木繁殖。		
	志留紀		陸生無脊椎動物發生；古生礁石珊瑚傳佈；陸生植物發現。		
代	奧陶紀		淡水魚類及珊瑚類發生；軟體動物傳佈；三葉蟲全盛。	植物時期	
	寒武紀		介殼軟體動物繁殖，三葉蟲類盛；海生動物初繁。		
	元古代		二期冰期；原始海生動物生。	原生物時期	
	太古代		地史不明；無化石發現。		

II. 寒武前紀(Pre-cambrian Period) 寒武前紀包括太古代及元古代。地層極度變質，多係複雜之變質岩類，與火成岩類，以偉大之不整合構造，掩覆於一切地層之下。其分佈之地區頗廣，佔全世界五分之一以上之面積。露頭部分，成爲片狀，西人稱爲核心(Shields)。產出之地區，如加拿大東部，哈得遜灣附近，澳洲東部及中部之沙漠地帶，西伯利亞，斯干得納維亞半島，以及我國之山東、蒙古、西藏、山西、安徽、陝西等地均有之。

太古代(Archeozoic Era)之地層，多係火成岩之變質岩，以

各種片麻岩及片岩最多，且有火成岩侵入體，偉晶花崗岩脈及石英脈縱橫貫穿，無化石產生，地層之厚度亦極難比較，故稱底部複雜層(Basal Complex)。在我國之研究早者，爲山東之秦山地層，故通常謂之泰山系。

元古代(Proterozoic Era)之地層，多屬水成岩之變質岩，以雲母片岩大理岩，石英岩最多，亦有各種岩脈貫穿其中。我國之山西五台山地層，爲生代之標準岩石，故稱五台系。五台系地層造成之末，我國北方之地殼曾有運動，呂梁山脈崛起，是爲呂梁造山運動。

五台系之後，寒武系之前，在中國有普遍之震旦系(Sinian System)地層產出，底部爲砂岩層，上部爲砂質石灰岩及頁岩，且有藻類化石 *Collenia* 產生。故知呂梁運動之後，中國曾有海水侵入，如南口一帶，以及秦嶺、五台、義眉、三峽等地，均有分佈。在宜昌附近，泰山系黃陵花崗岩之上，復有南陀冰積層，故在震旦紀時代，華中一帶，尙有氣候轉變之現象。

寒武前紀之地層，既有藻類植物化石產生，其他大理岩中之石墨花紋以及鱗狀鐵鑛，亦均係生物變化之象徵；且寒武系中，除脊椎動物化石之外，其他各門類，均有代表，故寒武前紀雖無充分之化石產出，亦不能謂無生物，或因環境不適，無法造成也。

寒武前紀之鑛產，甚爲豐富，一般均爲五金鑛。鐵鑛如美國上湖區，爲世界第一，產量佔全世界三分之一。我國宣化龍關煙筒山一帶之鐵鑛，亦屬此紀。他如美國 Sudbury 之鎳鑛，非洲南部 Rand 地方之金鑛、美國 Onteria 之銀鑛，均產於寒武前系之地層。

III. 古生代(Paleozoic Era) 古生代地層，一般不整合於寒武前紀之上；而在我國，則與震旦系成假整合接觸。但二者之區別，爲古生代地層富有化石。

1. 寒武紀(Cambrian Period) 寒武系分佈於中國者頗廣，凡山東、河北、河南、陝西、遼寧、湖北、雲南各省，均有產出。其產於山東者，由下而上，有饅頭頁岩、張夏石灰岩、簡山頁岩、炒米店石灰岩及高里石灰岩 厚約數千尺，三葉蟲化石 *Redlichia* 繁殖頗盛，

寒武紀初期侵入大陸之海水，分爲三區，完全隔離。(1)印度洋海水向西侵入喜馬拉亞山，向北入緬甸，經雲貴及沿海各省，而至遼寧。其化石羣爲 *Redlichia*。(2)太平洋海水，以北極海爲中心，向南侵入北美之西部，在亞洲侵入西伯利亞之伊爾庫次克區，在歐洲侵入英格蘭。其化石羣以 *Olenellus* 爲代表。(3)大西洋海水，向東侵入英格蘭南部、波羅得海及地中海；向西侵入北美之 New Brunswick。其化石羣以 *Holmia* 爲代表。至寒武紀末

期，印度洋與太平洋兩區之海水，彼此連接混合，而大西洋則始終隔離。

本紀之化石羣，最重要者爲三葉蟲，次爲腕足類、珊瑚類、筆石類以及蘚蟲類，其器關之發育，若頭、腹、尾、觸角，眼等，與現代之生物羣比較，已達 60% 以上。惟脊椎動物化石，尚未發見。由寒武海之產生古盃珊瑚(Archaeocyathids)與三葉蟲，且造成厚層之石灰岩，可知此紀之氣候，普遍溫和。

2. 奧陶紀 (Ordovician Period) 奧陶系與寒武系地層之間，或成不整合，或成不連續之接觸。我國之奧陶系地層，可以分爲南北二式；北部者普遍於遼、冀、晉、魯、豫、鄂北及蘇北各地；南部者分佈於川、陝、鄂之邊界以及大江下游諸地。前者地層之代表爲馬家溝石灰岩，產頭足類之珠角石 (Actinocera) 化石；後者爲艾家山頁岩，產直角石 (Orthocera) 化石。下奧陶紀與中奧陶紀之間，有造山運動，使大秦嶺穹起，在安徽者，稱懷遠運動。若是即將我國之奧陶海，分爲南北二部：北部海水，經北極海，與北美相連；南部海水，經喜馬拉亞山，與歐洲相連。二者在湖北境內，略相溝通，因興山縣之鷄心嶺石灰岩中，珠角石與直角石均有發見也。

本紀化石之產出，更全於寒武紀。可疑之脊椎動物痕跡，已爲發見，如原始魚類之甲片。無脊椎動物、綱目更繁。頭足類產出

極多。根據化石羣之種類，推知地表有一普遍平均溫和之氣候：北極地帶，並無結冰現象。且厚層之石灰岩廣佈，乃氣候溫暖，海風與海流各地暢達之明證。

3. 志留紀(Silurian Period) 奧陶紀之末，我國曾生造陸運動，使海水退縮。大秦嶺以北，陸地普遍升出海面，經長期之風化剝蝕。且石炭系地層，直接掩覆其上，故志留與泥盆二紀時代，均無海水侵入。至大秦嶺以南，則普遍均有志留系地層產出，如滇西永昌附近之施甸，陝西漢中附近之梁山，南京附近之崑山，均有志留系之單筆石頁岩。滇東曲靖志系之妙高山層，為頁岩與石灰岩互層，產小型石燕(Spirifer)。

我國志留系之化石羣，與產於歐洲該系者，大同小異。珊瑚類與腕足類種屬，略有區別，筆石類完全相同，是以我國與歐洲之志留海，頗為暢通，由喜馬拉亞山大地槽侵入，向北分為二股，一至陝西，一達南京。志留紀初期，我國氣候，普通溫和；至其後期，北部各省，概為陸相之乾旱氣候。在北美一帶，尚有鹽層造成，亦為乾燥象徵。

志留系之末，由英格蘭，經斯干得納維亞半島，至 Spetzbergen 一帶，造成火山，且褶曲甚烈，崛起東北西南走向之山脈，是為 Caledonian 造山運動。我國則有秦嶺運動及廣西運動，惟不甚顯明。

4. 泥盆紀 (Devonian Period) 我國泥盆系之分佈，與志留系相似，均在秦嶺區及華南一帶，至秦嶺以北則無之。Caledonian 運動之後，我國東南部成爲高地，中部下窪，在廣西沿西江流域，成東西橫走之山脈。風化物質堆積於廣西雲南一帶，造成翠峯山層，大部係砂岩與泥質灰岩，產羊齒類 *Arthrostroma* 及魚類化石，是爲陸相地層。其上部之婆西層、曲靖層以及大西地層，含盒珊瑚 (*Calceofa*) 與古代蛙 (*Stegocephalian*) 化石，則屬海相。

泥盆紀初期海水之侵入，見於西伯利亞之 *Kasnezsk* 及阿爾泰山中之 *Salaris*。至於我國本部，則無海侵。中泥盆紀後，海水由喜馬拉亞山地區，經緬甸侵入中國。至其末期，喜馬拉亞山地區之地盤上升，海水退縮。而西方海水之侵入，改經崑崙山南山（祁連山）地帶，達秦嶺區，又向東南兩方分佈，而抵雲貴，是爲南山海侵。

本紀爲魚類時期，如甲冑魚、沙魚、節頸魚、肺魚、甲鱗魚等，均有化石。節鱗魚中有 *Crossopterygen* 者，爲兩棲類之始祖。無脊椎動物，以珊瑚及腕足類甚盛；三葉蟲已不常見；海蠟之長達六呎。陸生植物化石，在中泥盆紀發現，如 *Arthrostroma*，木質無葉，至其末期，又見有葉之羊齒類、子生羊齒類以及下等鱗木，泥盆紀初期之地層，有紅色砂岩，是爲大陸性氣候而有季節性雨

水之象徵，至末期時，則概爲和暖之氣候矣。

5. 石炭紀(Carboniferous Period) 我國之石炭系，在中南部者，多覆於泥盆系之上。而在北方，則覆於奧陶系之上，成不連續之接觸。前者屬於海相，不含煤層；後者爲陸相，故有煤層。華北區之石炭系，不整合於奧陶系馬家溝石灰岩之上；由下往上，有本溪系，爲砂頁岩之互層，時有石灰岩發見，含蕈科化石之 *Staffella* 及 *Neofusulinella*；次爲太原系，乃砂頁岩與石灰岩之互層，亦含蕈科化石，且有薄煤層，最上爲山西系，係砂頁岩互層，是爲產煤之主要地層，煤層之數目不等，最厚者可達三十尺，一般均以爲石炭二疊系。華中一帶之地層，由下往上，有下頁岩、金陵石灰岩、上頁岩、和州石灰岩、黃龍石灰岩及棲霞石灰岩，概爲海相地層。

石炭紀初期，海水之侵入我國者，僅限於中南部，至於北部，則仍屬平坦之陸地。海水之來，似由喜馬拉亞大地槽侵入，並未越過秦嶺。中石炭紀時，海水由中亞細亞經甘新而來，侵入華北，分佈頗廣，惟時間不長。嗣後歐洲發生激烈之 *Hercynian* 造山運動，美洲亦發生 *Appalachian* 造山運動，波及華北地層，使之升降不定，淪沒無時。至太原系沉積時，華北不復爲海水所侵，但華南尙有海水。華北遂成窪濕沼澤分佈之地區，造煤植物因以廣佈。

本紀之動物，魚類頗為發達，兩棲類及爬蟲類化石，亦已發現。無脊椎動物，以海蕾、海百合、蘚蟲為最多，長身貝 (Productus) 亦發見；三葉蟲則寥寥無幾矣。植物化石，羊齒類最為發達，如鱗木類、節頸類、胡留陀木類等，均為造煤植物。此種植物羣之普遍繁殖，幹部粗大而無年輪，以及紡錘蟲與珊瑚之廣佈，均為氣候溫暖濕潤之象徵。至石炭紀末期，有又紅色地層產出，且夾有石膏沉積，孢子植物減少，則又為氣候轉旱之現象。

6. 二疊紀 (Permian Period) 我國之二疊系，亦分南北二式。南式二疊系，分佈於大江流域及雲貴兩廣等地，與印度之 Salt Range 以及喜馬拉亞山地區之地層相連，是為古地中海 (Tethys) 東端之大窪陷地帶。其下部為海相堆積，多石灰岩。中部為陸相堆積，含煤層；上部亦為海相石灰岩。北式二疊系，遍佈華北各省，以發育於山西者最厚，其下部稱石盒子系，大半為泥灰岩、頁岩、砂岩與煤層，含銀杏及大羽羊齒化石。上部稱石千峯系，係砂岩、石膏、粘土層及泥灰岩組成，不含化石。

石炭紀末期發生之 Hercynian 運動，造成橫貫歐洲之大山，謂之 Palco Alps，分歐陸為南北二部。此山向東延展，過裏海，經高加索，越新都庫什，而至崑崙天山，或稱大阿爾伯斯，其南即為古地中海。古地中海以南之大陸，包括印、非、澳各洲，稱 Gondwanaland 大陸。二疊紀之氣候，古地中海以北乾燥，堆積紅色地

層；降至末葉，南部地方，氣候驟冷，產生冰河現象。

二疊紀之陸生植物，極為繁茂，除已發現之羊齒類外，又有舌羊齒、松柏類、蘇鐵類發生。陸生動物，兩棲類中，有甲頭蛙出現，蟲類則遍佈各地、繁殖甚盛。海生動物頭足類之菊石，達於全盛，而蕨科化石、三葉蟲、蜂巢狀之珊瑚、海百合與海蕾等，至本期之末，均行消滅。

IV. 中生代 (Mesozoic Era) 二疊紀末期造山與造陸運動發生以後，至三疊紀時，陸地廣佈，為地史中罕見之現象。三疊紀初期，古地中海環繞西藏古陸以南，再由南方侵入我國。上中三疊紀之 Ladinian 時期，海水侵入我國者，分佈於滇、桂、粵、川、鄂、湘、皖、贛、蘇、浙等省。由末期海退之後，至侏羅紀，則僅有 Bathonian 時期之海水，侵入滇桂兩省。此後我國土地，則不復為侵入。故中生代地層之在我國者，僅底部為海相，其餘均為陸相堆積。

1. 三疊紀 (Triassic Period) 我國之海相三疊系，均在中南部。湖北省該系地層，為巴東系，乃頁岩、泥灰岩、石灰岩及砂岩薄層組成；上覆侏羅紀之香溪煤系；最上為歸州系之紅色層；後二者均為陸相。華北各省，除河北、河南、江蘇、安徽四省沖積之下，略有三疊紀之海成地層以外，其餘在大秦嶺以北，自石炭二疊之海水退出後，即無海水侵入。

三疊紀之無脊椎動物，三葉蟲完全消滅，蛻足類逐漸絕跡，斧足類頗為發達，如假髯蛤 (Pseudomono) 繁殖甚多。脊椎動物之爬蟲類，盛於地面，亦有返歸海洋者，前者如恐龍 (Dinosaurs)，獸齒龍 (Theriodonts)，後者如魚龍 (Ichthyosaurs)，鼈龍 (Plesiosaurs)。植物類鱗木絕跡，胡留陀木消滅，蘇鐵及椎實二類最多，羊齒及木賊亦甚常見。

2. 侏羅紀 (Jurassic Period) 我國之海生侏羅系，產於滇西怒江及香港之陀羅海峽一帶，概為礫岩與頁岩，含蛻足類化石與香港角石 (Hongkongites)。陸生侏羅系，在四川者，多為砂岩、頁岩及菱鐵鑛，且有煤層夾於其中，假整合於巴東系之上，其他湘、鄂、陝、晉、冀、豫等省，均有分佈。

侏羅紀之末，白堊紀之初，我國有主要之造山現象，是為燕山運動，使大部地盤，遭受強烈之摺曲與斷裂，且有火山作用，噴發安山岩、粗面岩及流紋岩。

侏羅紀之海生動物，以菊石最多。陸生動物恐龍之繁殖最盛，軀體龐大，形狀奇特，食肉與食草者均有；始祖鳥 (Archaeopteryx) 亦於此時發生。本紀氣候，大致溫和，因巨大動物，必須和暖，方能活動；且煤層之造成，亦需和暖之氣候也。

3. 白堊紀 (Cretaceous Period) 白堊紀在古生代之後，為海侵最廣之時期。然我國因受燕山運動之影響，各地均未見之。

白聖海浸侵歐洲大陸，北美連山區、太平洋沿岸及墨西哥沿海，均爲海相地層沉積之區。古地中海自歐洲東漸，僅達喜馬拉亞山一帶。

我國地層，受燕山運動之影響，在白聖紀時代，造成四川、山東及蒙古三大盆地，其間以燕山、太行及秦嶺之高地完全隔離。盆地之中，遂爲風化物質堆積之區，形成白聖紀之陸相地層。至其後期，四川與山東二盆地，微相連屬，蒙古盆地，則始終未與前二者溝通。

我國四川之白聖紀地層，由下往上，有自流井系之砂岩、粘土及薄層灰岩，次爲嘉定系之紅色粘土及砂岩互層，最上爲蒙山紅色砂岩層。產於山東者，最下爲萊陽層，係砂頁岩互層，中部爲青山層，係凝灰礫岩及紅色粘土，上部爲王氏層，係紅色粘土。

現代植物，大部出現於白聖紀，落葉喬木、被子植物以及五穀，蔬菜，菓實等，均發生於此時。動物以爬蟲類最盛，哺乳類有食蟲類及有袋類，鳥類由始祖鳥進化而成有齒鳥，無脊椎動物有菊石，箭石以及斧足類與腕足類等；均具有現代之性質。

V. 新生代 (Cenozoic Era) 新生代爲距今最近之時代，當時之地形，已與現代相似。歐洲中部、亞洲北部及喜馬拉亞山一帶，於第三紀 (Tertiary Period) 時，尙有海水侵入，而中國本部，則均係陸相，沉積之地層，概爲疏鬆砂礫。第三紀末期，歐洲發生

造山運動，Alps 山脈隆起；我國此時亦有強烈之造山運動發生，現代之喜馬拉亞山脈，即於此時形成。至於氣候，初期尚甚和暖，至上新世 (Pliocene) 之末，逐漸寒冷。北美北歐之地面，均有廣大雄厚之冰層掩覆。據最近研究，我國之湘、桂、鄂、黔等地，亦有局部冰河發生。

第四紀 (Quaternary Period) 之黃土層，遍佈於華北各省，乃風力運移之堆積物，厚達二百公尺。其上部之被水沖積者，稱次生黃土。黃土層中，產蝸牛、駝鳥卵，巨齒象及其他哺乳類動物之骨化石。

新生代之生物，與中生代絕不相同。因氣候改變，冰期屢生，稱雄一時之巨大爬蟲，不能生存，遂行絕滅，僅餘蜥蜴與鼉鼉等類。其他菊石與斧足類動物，亦多消滅。哺乳類在上新世以前，曾盛極一時，至第四紀，消滅者極多；除人類之外，以第三紀與現代比較，現代即為哺乳類之窮蹙時期。漸新世 (Oligocene) 時，猿人發生。在英國、德國、爪哇、非洲等地，均有早期人類之骨化石發現，我國河北省房山縣之砂礫層洞穴中，亦曾發見猿人化石，定名為北京人 (Sinanthropus Pekinensis)，考其時代，屬於洪積世初期。

附錄 岩石分類表

I. 火成岩分類表

		酸性←淺色之矽鋁質鐵物較多						深色之鐵鎂質鐵物較多→基性					
產狀	石理	正長石		正長石及斜長石		斜長石		長石		石		有斜長石	無斜長石
		有石英	無石英	有石英	無石英	有石英	無石英	有石英	無石英	有石英	無石英		
深成	粒狀	花崗岩	正長岩	花崗閃岩	二長岩	石英閃岩	閃長岩	閃長岩	—	輝長岩	長岩	輝長岩	橄欖岩
		花崗岩	正長岩	花崗閃岩	二長岩	石英閃岩	閃長岩	閃長岩	—	輝長岩	長岩	輝長岩	橄欖岩
淺成	斑狀	花斑岩	長岩	花崗閃岩	粗面安山岩	石山安山岩	安山岩	安山岩	—	斑狀岩	斑狀岩	斑狀岩	斑狀岩
		花斑岩	長岩	花崗閃岩	粗面安山岩	石山安山岩	安山岩	安山岩	—	斑狀岩	斑狀岩	斑狀岩	斑狀岩
噴出	密緻狀	流紋岩	粗面岩	粗面岩	粗面安山岩	石山安山岩	安山岩	安山岩	—	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩
		流紋岩	粗面岩	粗面岩	粗面安山岩	石山安山岩	安山岩	安山岩	—	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩
噴出		黑曜石, 松脂岩, 珍珠岩, 浮岩(玻璃斑岩)											
噴出		各類凝灰岩及角礫岩											

【註】 准長石類鐵物=霞石, 方解石, 螢石, 鈣霞石, 白榴石等。

II. 沉積岩分類表

化 學 沉 積		機 械 沉 積		
溶 液 沉 澱	生 物 沉 積	水 成 沉 積	風 成 沉 積	冰 成 沉 積
1. 硫酸鹽 石膏及硬石膏	1. 碳酸鹽 石灰岩及白雲岩	1. 礫岩及角礫岩	1. 黃土 2. 砂丘 3. 火山灰	1. 冰礫岩
2. 氯化物 石鹽	2. 砂質 砂藻土及相關之岩石	2. 砂岩		
3. 矽質 矽華及相關之岩石	3. 磷酸鹽岩石	3. 頁岩		
4. 碳酸鹽 石灰華及相關之岩石	4. 煤、石油及地瀝青等			
5. 各種水成鐵礦				

III. 變質岩分類表

與 火 成 岩 有 關 者		與 沉 積 岩 有 關 者	
火 成 岩	變 質 岩	沉 積 岩	變 質 岩
粗粒含長石類岩石： 如花崗岩等……………	片麻岩	礫岩……………	片麻岩及各種片岩
細粒含長石類岩石： 如細粒長英岩等……………	板岩及片岩	砂岩……………	石英岩及各種片岩
鐵鎂質岩石： 如輝長岩及玄武岩等	普通角閃片岩、滑石片岩及蛇紋岩	頁岩……………	板岩及各種片岩
		石灰岩……………	大理岩及各種片岩

索 引

A

Actinocera 珠角石	234
Actinolite 陽起石	31
Adamantine 金剛狀	20
Aegirite 鈉輝石	30
Age 期	229
Agglomerate 集塊岩	51
Aggrading 沉積	94
Agricultural geology 農業地質 學	2
Alabaster 雪花石膏	38
Albite 鈉長石	27
Alluvial cone 沖積丘	95
,, fan 沖積扇	95
,, plain 沖積平原	96
Alluvium 沖積層	96
Amethyst 紫石英	21
Amorphous form 非晶體	14
Amphibole 角閃石	30
Amygdoloidal 杏仁狀	45
Andalusite 紅柱石	16
Andesine 中鈉長石	27
Andradite 鈣鐵石榴石	32
Angle of repose 安定角	173
Angle of slide 滑動角	173
Anorthite 鈣長石	27

Anticline 背斜層	60
Apatite 磷灰石	19
Aphanitic 密緻狀	44
Archaeopteryx 始祖鳥	240
Archocyathids 古系珊瑚	234
Archeozoic era 太古代	231
Arenaceous limestone 砂質石灰 岩	53
Argentite 輝銀礦	203
Argillaceous limestone 土質石灰 岩	53
Argillaceous sandstone 土質砂 岩	52
Arkose 長石砂岩	26
Arsenopyrite 硫砷鐵礦	23
Artesian well 自流井	115
,, water 自流水	115
Arthrostigma 羊齒類化石之一種	236
Asbestos 石棉	20
Asphalt 地瀝青	23
Asthenosphere 微弱圈	8
Asymmetric folds 不對稱褶曲	62
Atmosphere 氣圈	7
Axial plane 軸面	60
Axis of flow 流軸	87
Avalanches 雪崩	155
Azurite 藍銅礦	202

B

Banded 帶狀	56
Barite 重晶石	23
Barrier 堤洲	134
Bars 砂洲	134
Barysphere 重圈	9
Basalt 玄武岩	47
Base level 侵蝕基準	97
Basen 盆地	62
Batholith 岩基	42
Beach 海濱	132
,, deposit 海濱沉積	48
Bed 層	49
Bedding fault 層面斷層	67
,, plane 層面	49
Bench 海蝕台地	132
Beheaded stream 奪流	102
Beryl 綠柱玉	216
Biotite 黑雲母	28
Bituminous 瀝青質	23
,, limestone 瀝青質石 灰岩	53
Blowpipe analysis 吹管分析	18
Bonanza 大礦園	215
Boss 岩瘤	43
Bottom set 底層	98
Boulder 漂礫	48
Bog lime 沼澤灰質	151
Brachy axis 長軸	16
Breccia 角礫岩	51

Buttes 孤山	93
Bytownite 鈉質鈣長石	27

C

Calcaëla 盒珊瑚	236
Calcareous sinter 石灰華	115
Calcite 方解石	36
Cambrian period 寒武紀	233
Canyon 峽	52
Carboniferous period 石炭紀	237
Casts 印模	228
Cenozoic era 新生代	241
Cerargyrite 角銀礦	203
Cerussite 白鉛礦	200
Chalcopyrite 黃銅鐵	15
Chalcocite 輝銅礦	20
Chalk 白堊	20
Chemney-rock 煙囪岩	132
Chert 燧石	24
,, limestone 燧石石灰岩	53
Chlorite 綠泥石	38
,, schist 綠泥片岩	58
Cirque 冰圍地	161
Chrysocolla 砂孔雀石	213
Clastic texture 碎屑狀石理	48
Clay 粘土; 殖土	82
Clinometer 測角器	59
Cleavage 解理	19
Close folds 緊合摺曲	62
Coal 石炭; 煤	53
Collenia 藻類化石	232

Columnar 柱狀.....	23	種.....	236
Comet 彗星.....	5	Crushing strength 壓碎強度.....	45
Compression fault 壓力斷層.....	66	Crystal 結晶.....	14
Compact 密綫狀.....	23	,, face 晶面.....	14
Complex folds 複雜摺曲.....	63	Crystalline form 晶質體.....	14
Composite ,, 雜合摺曲.....	63	,, limestone 結晶石灰岩.....	30
Compound alluvial fan 複沖扇.....	96	Crystalline schists 結晶片岩.....	26
Compound rocks 複性岩.....	40	Crystallographic axis 晶軸.....	14
Conchoidal 貝狀.....	22	Cupola 岩鐘.....	43
Concretion 結核.....	51	Cuprite 赤銅礦.....	213
Conformity 整合.....	71	Cyanite 藍晶石.....	17
Conglomerate 礫岩.....	51	D	
Connate water 封存水.....	107	Dam abutment 壩墩.....	182
Consequent falls 順流瀑布.....	90	,, site 壩基.....	185
Consolidation 硬化.....	48	Degrading 陵削.....	94
Contact metamorphism 接觸變質		Delta 三角洲.....	97
作用.....	54	Decomposition 分解.....	73
Continental deposit 大陸沉積.....	48	Dendrite 假化石.....	123
Continental glaciers 大陸冰川.....	157	Deposition 沉積.....	48
Coprolite 糞積.....	228	Devonian period 泥盆紀.....	236
Corrasion 磨蝕.....	86	Diabase 輝綠岩.....	47
Corrosion 溶蝕.....	87	Diamond 金剛石.....	19
Corundum 鋼玉.....	19	Diapside 透輝石.....	30
Cosmic eon 天文時代.....	229	Diatom ooze 矽藻軟泥.....	142
Creep 爬行.....	167	Dinosaurs 恐龍.....	240
Cretaceous period 白堊紀.....	240	Diorite 閃長岩.....	46
Crevasse 冰隙.....	159	Dip 傾斜.....	59
Crofesima 鉻鐵砂鐵質.....	11	,, fault 傾向斷層.....	66
Cross bedding 交錯層.....	50	Disconformity 假整合.....	71
Crossing 互濶.....	88	Disintegration 崩解.....	73
Crossopterygen 節鱗魚化石之一			

- Dolomite 白雲石.....53
- Dome 穹地.....61
- Drusy 晶簇.....210
- Dull 黯淡狀.....20
- Dust 灰塵.....48
- Dyke 岩脈.....41
- , ridge 脈脊.....92
- Dynamic geology 動力地質學.....1
- Dynamic metamorphism 動力變質
 作用.....30
- E**
- Earth 地球.....5
- Earthquake 地震.....64
- Earthy 土狀.....23
- Easkers 冰礫堤.....163
- Economic geology 經濟地質學.....2
- Endogenic agency 內動力.....2
- Endomorphism 內成變質.....55
- Engineering geology 工程地質
 學.....2
- Enstatite 玩火輝石.....30
- Eon 代.....229
- Epidotite 綠簾石.....27
- Epigenetic deposit 後生礦床.....208
- Epoch 世.....229
- Erosive falls 侵蝕瀑布.....90
- Evolution hypothesis 進化說.....7
- Exogenic agency 外動力.....2
- Exomorphism 外成變質.....55
- Exotic colour 外來色.....21
- Extrusive 噴發.....41
- Even 平坦狀.....22
- F**
- Fall 瀑布.....88
- , making layer 造瀑層.....91
- Fan shape fold 扇形褶曲.....62
- Fault 斷層.....64
- , breccia 斷層角礫岩.....65
- , surface 斷層面.....65
- , scarp 斷層崖.....69
- Fetid 蛋臭.....23
- Fibrous 纖維狀.....22
- Filament 絲狀流.....7
- Fire clay 耐火土.....207
- Flint 火土.....24
- Flood plain 洪積平原.....96
- Fluorite 螢石.....17
- Folds 褶曲.....60
- Foot wall 下盤.....65
- Foot-prints 足跡.....50
- Fore set 前層.....98
- Fossils 化石.....50
- Fossil water 化石水.....107
- Fracture 斷口.....22
- Friction breccia 擦碎角礫岩.....51
- Frontal apron 水蝕沉積平原.....163
- Fuel geology 燃料地質學.....2
- G**
- Gabbro 輝長岩.....46

- Gaceous tidal hypothesis 氣體潮
 生說 7
- Galena 方鉛礦 14
- Gangue minerals 脈石 202
- Garlic 蒜臭 23
- Garnet 石榴石 32
- Gems 寶石 23
- Geogency 地原學 2
- Geologic eon 地質時代 229
- Geology 地質學 1
- Geothermal gradient 地下增溫率 8
- Gibbsite 水鋁石 81
- Glassy 玻狀 44
- Globerina ooze 抱球藻軟泥 142
- Gneiss 片麻岩 56
- Gneissic 片麻狀 55
- Gorge 峽 92
- Gonge 岩粉 65
- Gossan 鐵冠 35
- Graben fault 槽形斷層 68
- Graded 均夷 94
- Granite 花崗岩 45
- Granodiorite 花崗閃長岩 46
- Granular 粒狀 44
- Graphite 石墨 23
- Gravel 砂礫 48
 ,, soil 礫土 82
- Graywacke 硬砂岩 52
- Greasy 油狀 20
- Grossularite 鈣鋁石榴石 32
- Ground moraine 底礫石 162
- Ground water 潛水 106
- Group 大統 229
- Gully 細谷 99
- Gypsum 石膏 78
- H**
- Hackly 鋸齒狀 22
- Hade 斷斜角 65
- Hanging wall 上盤 65
- Hardness 硬度 18
 ,, scale 硬度表 18
- Headlands 海岬 133
- Headward erosion 向源侵蝕 99
- Hematite 赤鐵礦 20
- Hexagonal system 六方晶系 15
- Historical geology 地史學 2
- Hog-back 蝕餘嶺 92
- Holmia 三葉蟲之一種 233
- Holocrytalline 全晶質 200
- Hongkongites 香港角石 240
- Hooks 砂鈎 134
- Hornblende 普通角閃石 31
 ,, schist 普通角閃片岩 58
- Horse radish 馬糞 23
- Horst fault 壘形斷層 67
- Hot Spring 溫泉 107
- Hydrography 水文學 1
- Hydrosphere 水圈 8
- Hydrothermal metamorphism
 熱液變質作用 55
- Hypersthene 紫蘇輝石 29

I

Iceberg 冰山	164
Ice cap 冰台	157
Ice ramparts 冰壘	146
Ichthyosaurs 魚龍	240
Igneous rocks 火成岩	25
Ilmenite 鐵鐵礦	46
Impregnation 礦染作用	206
Intermittent stream 間歇河	85
Interrupted stream 斷續河	85
Intrusive 侵入	41
,, sheet 岩床	41
Isoclinal folds 等斜褶曲	62
Isometric system 等軸晶系	14
Isostasy 大陸飄移說	10

J

Jasper 碧玉	21
Joints 節理	70
Jupiter 木星	5
Jurassic period 侏羅紀	240

K

Kames 冰礫丘	163
Kaolin 高嶺土	20
Kaolinization 高嶺化作用	79
Karst topography 喀斯特地形, 峯林地形	122

L

Labradorite 中鈣長石	27
Laccolith 岩盤	42
Lagoon 瀉湖	134
Landslide 山崩	167
Land subsidence 地陷	175
Laplacian hypothesis 星雲說	6
lateral axis 橫軸	15
,, moraine 側積石	162
Lava flow 岩流	43
Layer 層	49
Lepidolite 紅雲母	204
Limbs 翼	61
Lime-soda feldspar 灰曹質長石	26
Limestone 石灰岩	9
Lithographic limestone 石印石	22
Limonite 褐鐵礦	20
Lithosphere 岩圈	8
Littoral deposit 海濱沉積	48
Loam 壤土, 壟埤	82
Loess 黃土	51
Luster 光澤	19

M

Macro axis 短軸	16
Magnetism 磁性	23
Magnetite 磁鐵礦	23
Malachite 孔雀石	213
Mammillary 乳房狀	23
Mammoth 毛象	227
Marble 大理岩	57
Marl 泥灰岩, 灰土	53

Marine deposit 海洋沉積48
 Mars 火星 5
 Marsh 濕地 134
 Massive 塊狀24
 Meanders 彎曲87
 Medial moraine 中積石 162
 Mercury 水星 5
 Mesia 方山92
 Mesozoic era 中生代 239
 Metamorphic geology 變質地質
 學 2
 Metamorphic minerals 變質礦物31
 ,, rocks 變質岩 25
 Metasomatism 交代作用 206
 Meteor 隕石 6
 Meteoric water 天水 107
 Meteorology 氣象學 1
 Mica 雲母 28
 Micaceous sandstone 雲母砂岩52
 Mica schist 雲母片岩58
 Microcline 鉀微斜長石26
 Milky quartz 乳石英24
 Military geology 軍事地質學 2
 Mineralizer 礦化物44
 Mineralogy 礦物學 2
 Molybdenite 輝鉬礦216
 Monocline 單斜層63
 Monoclinic system 單斜晶系16
 Mozonite 二長岩46
 Moon 月球 5

N

Nabular hypothesis 星雲說 6
 Narrows 狹谷91
 Natural colour 自然色21
 ,, levees 自然堤96
 Neofusulinella 蕚科化石之一種 ... 237
 Nephelite 霞石20
 Neptune 海王星 5
 Névé 冰雪 157
 Nifesima 綠鐵砂鐵質11
 Nife zone 鐵鐵帶11
 Nonconformity 斜交不整合71
 Normal fault 正斷層85

O

Oblique fault 斜向斷層66
 Obsequent fault scarp 次生斷崖 ... 69
 Obsidine 黑曜石 183
 Occurrence 產狀25
 Offlap 退覆 141
 Oily 油狀20
 Olenellus 三葉蟲之一種 233
 Oligocene 漸新世 242
 Oligoclase 鈣質鉀長石27
 Olivine 橄欖石16
 Oolith 鱗粒51
 Oolitic limestone 鱗狀石灰岩53
 Opal 蛋白石25
 Open folds 開展褶曲62
 Ordovician period 奧陶紀 234

- Ore deposits 礦床學 2
 ,, minerals 礦石 202
 Orpiment 雄黃 203
 Orthocera 直角石 234
 Orthoclase 正長石 16
 Orthorhombic system 斜方晶系 15
 Outcrop 露頭 59
 Outwash plain 水蝕沉積平原 163
 Overlap 超覆 141
 Overthrust 逆掩斷層 66
 Overtured folds 倒轉摺曲 62
 Oxbow lake 牛軛湖 88
- P**
- Palaogeography 古地理學 2
 Palaeontology 古生物學 2
 Paleozoic era 古生代 233
 Pallaso zone 石質鐵線帶 11
 Paragenesis 礦物共生 203
 Pearly 珍珠狀 20
 Peaty 腐殖土 82
 Pebble 礫 48
 Pectolite 鈉矽灰石 22
 Pegmatite 偉晶花崗岩 28
 Penplain 侵蝕平原 100
 Perched stream 棲止河 182
 ,, water table 棲止潛水面 182
 Perennial stream 恆流河 85
 Permanent stream 恆流河 85
 Permeability 透水性 111
 Permian period 二疊紀 238
 Peridotite 橄欖岩 46
 Period 紀 229
 Petrification 化石化 228
 Phenocryst 斑晶 25
 Phyllite 千枚岩 57
 Physiography 地文學 2
 Piedmont glaciers 山麓冰川 157
 Piracy 襲奪現象 102
 Pirate 襲奪河 102
 Pitch 傾斜摺軸 61
 Plagioclase 斜長石 26
 Planet 行星 5
 Planetesimal hypothesis 星子說 6
 Planetoid 小行星 5
 Playas 間歇湖 150
 Plesiosaurs 龍龍 240
 Pleocene 上新世 242
 Pluto 冥王星 5
 Plutonic 深成 41
 Porosity 孔性 49
 Porphyritic 斑狀 45
 Pothole 齔穴 91
 Pre-cambrian period 寒武前紀 231
 Productus 長身貝 238
 Propylitic veins 粒狀安山岩礦脈 225
 Proterozoic era 元古代 132
 Proustite 淡紅銀礦 203
 Pseudomono 假管蛤 240
 Pseudoporphyritytic structure
 假斑狀構造 56
 Psilomelane 硬鈣礦 211

Pungent 刺舌味23
Pyrrargyrite 濃紅銀礦 203
Pyrite 黃鐵礦35
Pyrolusite 軟錳礦 211
Pyrope 鎂鋁石榴石.....32
Pyrosphere 火圍 8
Pyroxene 輝石.....29
Pyroxenite 輝石岩.....36
Pyrrhotite 磁黃鐵礦.....203
Pytology 岩石學 2

Q

Quaternary Period 第四紀 242
Quartz 石英15
Quartz-diorite 石英閃長岩.....46
Quartz veins 石英脈 225
Quartzite 石英岩.....57

R

Radiated 放射狀.....23
Radiolaria ooze 放射蟲軟泥 142
Raindrop impression 雨痕50
Rainfall 降水量83
Rapid 急流88
Ravine 小谷.....99
Realgar 鷄冠石 203
Recumbent folds 偃臥摺曲62
Redlichia 三葉蟲化石之一種 233
Regional metamorphism 區域變質作用.....55
Reservoir beds 蓄水層 110

Resinous 樹脂狀20
Reverse fault 逆斷層.....66
Rhodochrosite 菱錳礦 203
Rhodonite 蔷薇輝石22
Ripple marks 波痕.....50
River drainage 流域.....99
 ,, system 水系.....99
Rivulets 細流85
Rock 岩石40
 ,, crystal 水晶24
 ,, gypsum 石膏.....38
 ,, salt 石鹽.....23
Rosy quartz 蔷薇石英.....24
Rotational fault 旋轉斷層.....67
Ruby 紅寶石 216
Run-off 表流84
Rutile 金紅石15

S

Sal ammoniac 鹵砂25
Sand 砂.....48
 ,, soil 砂土.....82
Sandstone 砂岩..... 9
Sanidine 玻璃長石26
Sapphire 藍寶石 216
Satellite 衛星.....5
Satin spar 纖維石膏38
Saturn 土星 5
Schists 片岩.....25
Schistose 片狀56
Sea cliff 海崖 132

- Secondary mineral 次生礦物 35
- Sedimentary rocks 沉積岩, 水成
岩 25
- Seiches 常定振動 147
- Seismology 地震學 2
- Selenite 透明石膏 38
- Sericite 絹雲母 28
- Sericitization 絹雲母化作用 29
- Series 統 229
- Serpentine 蛇紋石 39
- Shale 頁岩 52
- Shear zone 壓碎帶 65
- Sheelite 重石 204
- Shell limestone 介殼石灰岩 53
- Shooting Star 流星 5
- Shore current 岸流 130
- ,, drift 海濱漂積 134
- Sial zone 矽鋁帶 10
- Siliceous sinter 矽華 115
- Silky 絲絹狀 20
- Sill 岩床 41
- Silurian period 志留紀 235
- Silurian system 志留系 229
- Sima zone 矽鎂帶 10
- Simple fold 簡單摺曲 63
- ,, rocks 單性岩 40
- Sinanthropus pekinensis 北京人 242
- Sinian system 震旦系 232
- Sink holes 石灰窪 122
- Slate 板岩 57
- Slaty 板狀 56
- Slickenside 擦痕 65
- Slip 總變位 65
- Smoky quartz 煙石英 24
- Snow line 雪線 156
- Solar system 太陽系 5
- Sounding rods 測桿 189
- Specific gravity 比重 22
- Sphalerite 閃鋅礦 20
- Spits 砂角 134
- Splintery 多片狀 22
- Spillway 溢道 178
- Spirifer 石燕 235
- Staffels 蕨科化石之一種 237
- Stage 層 229
- Stalactite 鐘乳石 78
- Stalagmite 石筍 78
- Staurolite 十字石 56
- Stegocephalian 古代蛙 236
- Stock 岩株 43
- Stratification 層理 49
- Stratified rocks 成層岩 49
- Stratigraphy 地層學 2
- Streak 條痕 20
- Striae 擦痕 161
- Strike 走向 59
- Strike fault 走向斷層 66
- Structural geology 構造地質學 2
- Structure 構造 23
- Subconchoidal 次貝狀 25
- Subsequent falls 侵蝕瀑布 90
- Subsurface water 地下水 106

renite 正長岩.....46
 rmmetrical folds 對稱摺曲.....62
 rncline 向斜層.....60
 rngenetic deposit 原生礦床 .. 208
 rstem 系.....229

T

alc 滑石.....36
 schist 滑石片岩.....58
 alus 崖錐.....
 amporary stream 間歇河.....
 enacity 親性.....21
 ension fault 張力斷層.....65
 Terminal moraine 尾礦石.....162
 erraces 台地.....96
 Terrigenous deposit 近海沉積.....48
 Tertiary period 第三紀.....239
 tetragonal system 正方晶系.....14
 tetrahedrite 黝銅礦.....203
 Texture 石理.....41
 Theriodents 獸齒龍.....240
 Throw 縱斷距.....65
 Topaz 黃玉.....19
 Top set 頂層.....98
 Transportation 運移.....48
 Tremolite 透角閃石.....31
 Triassic period 三疊紀.....239
 Triclinic system 三斜晶系.....16
 Tuff breccia 集塊岩.....51
 Twin Crystals 雙晶.....17
 Twinning axis 雙晶軸.....17

Twinning plane 雙晶面.....17

U

Unconformity 不整合.....71
 Undertow 底流.....130
 Uneven 參差狀.....22
 Uralite 假像纖維角閃石.....32
 Uralitic hornblende 假象纖維青
 通角閃石.....198
 Uranus 天王星.....5

V

Valley glaciers 山谷冰川.....157
 ,, system 谷系.....99
 ,, trains 山谷拖曳沉積.....163
 Vein 礦脈.....206
 Venus 金星.....5
 Verd antique 古綠石.....40
 Vertical axis 豎軸.....15
 Vesicular 氣孔狀.....45
 Vetricious 玻璃狀.....20
 Volcanic lava 火山岩流.....26
 ,, neck 火山頸.....42
 Volcanology 火山學.....2

W

Water bound macadam 水固碎
 石路.....197
 Water-gaps 狹谷.....91
 Water table 潛水面.....108
 Weathering 風化.....48

Weathering zone 風化帶	26
Wind gap 風隙	102
Wolframite 鐵錳重石	204
Wollastonite 矽灰石	23

Z

Zeolite 沸石	27
Zircon 鋯石	44
Zoisite 黝鐵石	56

END

