

工程地質學

Q Zaruba and V Menci 原著

謝敬義 傅重煥 高呈毅 譯

工程叢書

中國工程師學會出版

15週年紀念
1973-1988

中南圖書公司

工
程
叢
書

工
程
地
質
學

Q Záruba and V Menci 原著
謝敬義 傅重煥 高呈毅 譯

中國工程師學會出版

前 言

由於工程地質日趨重要，坊間已有不少有關此類應用地質學書籍出版。其中有些，對工程師而言，稍嫌偏重一般地質學，亦有一些則偏重大地技術或土壤力學的試驗方法，對工程地質本身所涉及的問題，所佔篇幅則甚少。

為瞭解工程地點的地質與工程結構物間的關係，所需的各種地質資料，作者在本書內儘可能收集編列。書內所舉的實例，大多選自作者的經驗與實際應用時所發生的問題，其目的為證明的工程地質對工程結構物在規畫、設計、施工及維護等所佔的重要性。

為求專注於這些包羅萬象的工程題材，作者特意將普通地質學與岩石學等略而不提，因這些科目在許多教科書已有很好的描敘。在土壤及岩石力學範圍內，作者在書內將討論其物理作用，過程與物理性質間的關係。這些關係在岩石周圍所發生的力學特性佔有相當重要的角色。作者認為，本書可使學習土木工程的学生領悟地質作用的基本知識，從而與所學的數理相互銜接應用。另一方面，學習地球科學的學生們在解決問題時所需的數理表達方式，尤以現代的計算方法等，亦能獲得較佳的觀念。

本書特為大學院校的土木工程系學生與自然科學修習工程地質的學生們撰寫的。斜對這兩方面的不同目的，作者在敘述地質特性時，注意到務使工科學生均能澈底瞭解。在解釋施工問題時，則特意使地質科學生們能領悟其意義。作者期望本書對規劃工作者、土木工程師以及資深的工程地質師等，亦有助益。

本書係根據捷克文第三版英譯而成。捷克文第三版在1971至1972年間曾予增補修訂。本書由兩位作者聯合執筆，全書共分十四章，其中八章（1、2、4、6、7、9、13及14）為Q. Zaruban 負責撰寫，

由 Mrs. H, Zárubová 翻譯。這八章中主要是有關地質方面的題材。其餘六章（3、5、8、10、11 及 12）則由 V. Mencl 撰寫，並自其本人親譯這六章是討論有關土壤與岩石力學方面的問題。

誌謝：作者對 Doc. J. Skopek 建設性的意見與討論，Dr. R. F. Legget 在十三章英譯稿給予善意的修正，以及 Dr. A. Absolon 對本書負責大部份最新圖面的繪製，在此表示由衷的感謝。

QUIDO ZÁRUBA 柴魯巴
VOJTĚCH MENCL 孟格爾

導論：地質師與工程師之合作

各類工程計畫的經濟性均需依賴各項配合工作能事先作深思熟慮與周全的準備，方能達成。因此，良好工程規畫的主要條件為資料準備的可靠性，對問題的充分瞭解，以及所涉及的每一因素給予適當而充分的考慮。

評估所有工程計畫的價值，必須徵諸該地區的地質構造條件，因開挖每一塊土壤、對土地上所施的每一荷重，以及打入地盤的每一基樁，均將破壞自然界原有的平衡狀態。不瞭解基礎土壤的特性，即行設計某一工程，與以未知其材料特性而設計某一結構物一樣的不合情理。因此，對於原有天然情況的瞭解，為所有規畫工作的先決條件。雖然現代的土木技術在惡劣條件下亦能毫無顧忌進行某一冒險工程，但是良好的規畫應該本乎經濟的原則，避免無謂的額外費用，以及避免遭遇事先可以防止的困難。為達到此一目的，設計工程師必須將計畫地區的地質情況加以謹慎考慮。

因此之故，某一工程計畫的第一階段為工程地點的詳細調查。這種調查即屬工程地質的領域，其研究範圍包括工程師與自然界的互相關係，工程地點的地質結構與區域構造演變、岩石的分類特性及其力學性質、以及對設計工作有關的種種目前地盤的活動情況。

雖然工程地質師必須提出能使工程師瞭解的調查報告，若工程師如能略具地質學的基本知識，則地質師與工程師的協同合作更能獲得事半功倍之效。因為只有在此種情況下，工程師才能完全瞭解地質報告，並提出正確的解釋，而所列舉的問題應配合地質調查的協助而獲得解決。基於此一觀點，即可看出學工程及學營造的學生，不應忽略普通地質學與工程地質學的課程。有些國家，有關此一學科的課程，早在十九世紀即被介紹作為教材；如布拉哥（Prague）工科學的Dr. J Krejčí在1864年即被任命為地質學教授。應注意的，工學院所講授的地質學應加強區域地質特性與工

程結構物間的相互關係，而不是將一大堆地質方面的資料，作填鴨式的硬塞給學生。講授適當的工程地質學教材，講授者必須具備熟悉地質方面、工程方面、以及工程經濟方面的學識是非常必要的。

工程地質對許多工業界與不同部門的工程界方面所具有的重要性，目前已普遍受到認識。工程地質調查目前在工程地點的選擇及評定、施工方法的擬訂，以及工程本身的施工過程，已成為一項不可缺少的工作。將地質學作有系統的應用，僅在最近的數十年才開始盛行。地質學受工程界的重視有兩個原因：(1)由於更大型與艱巨而危險的結構物，如水壩、橋樑、隧道等愈來愈無法找到適當地點，故工程師們欲獲取地質方面的寶貴知識，其需要性與日俱增，(2)地質師們具有充分的能力運用思考方法，並提供其發現，俾對實際應用有所裨益。地質師從前僅在工程發生困難及工程發生事故時，才偶而參與工作，但時至今日，自工程規劃、設計、施工、運轉以及結構物的維護等均需配合地質師全盤性的協力合作。

目前，工程地質師必須擔負工程地質調查的可靠性及完整性的重大責任。工程地質師應為有才幹的地質師，他為工程計劃所撰寫的地質報告，必需能夠供給工程設計人員及其他共同合作的技術人員可靠而且使他們瞭解的各項資料。為了能勝任此種工作，工程地質師除了基本地質科學教育，尤以岩石分類學、大地構造及區域地質等之外，更應具備工程方面的工作經驗，主要為基礎及土木工程。工程地質調查亦常涉及土壤與岩石力學、地球物理學、地球化學、黏土礦物學以及其他學科的應用。鑑於這些學科包含的範圍太廣，工程地質師不可能完全精通，但至少他應該知道何時需請教某一門專家，並且應將該專門的分析結果包括在他的地質報告內。

因為地質情況相當複雜，故調查工作不能使用一般性的例行調查方法。工程地質專家對某一區域的詳細研究不能盡憑幾個鑽孔即可解決。某一工程地點，由於大規模地質作用所可能引發的危險性，實非由局部鑽孔記錄資料所能判斷。研究某一地區時，工程地質師應儘可能解釋造成目前地形形態的地質構造特性，及其發育過程所需的地質作用力。更應考慮工程的進行是否將加速對自然環境不利的地質作用力，如抽水、坡腳開挖等。

綜上所述，很顯然的，工程地質師應具有淵博的知識與經驗以判斷地質情況與計劃工程兩者間所可能引起的有關問題。因此，對該工程計劃的熟悉程度，應可使他能正確估計所需考慮的各項因素。因之，工程設計師與工程地質師必須密切配合，以獲取相互的瞭解。工程師與工程地質師之間，若無此種關係，則工程地質調查必無法圓滿達成。

工程規劃與工程經濟分析階段，地質調查的進行對許多工程的經濟性、安全性以及計劃的改良方面，具有甚大的貢獻。地質師參與區域發展規劃及重大建設、日益重要。但工程地質師必須瞭解他本身所負的職責，及其所處地位的重要性，也就是說，他們應運用所學的知識，致力於實際問題的解決，另一方面，工程師亦應儘可能瞭解地質學，並尊重地質師在地質調查所獲得的結果。

目次

前言	1
導論：地質師與工程師之合作	3
第一章 地質調查	
1.1 初期地質踏勘	1
1.2 可行性研究地質精查	3
1.3 施工期間地質調查	4
第二章 地質圖及地質剖面圖	
2.1 地質圖之類型	5
2.2 工程地質圖	7
2.3 地質危險區圖	10
2.4 地質圖繪製	10
2.5 航照在地質調查上之應用	11
2.6 地質剖面	13
第三章 岩石之力學性質	
3.1 岩石力學行態之物理狀況	23
3.2 不連續面之特性及其表示法	25
3.3 岩石之物理性質與指數性質	31
3.4 岩石之變形性質	43
3.5 岩石之強度	73
3.6 岩體內自然應力狀態	83

3.7	工程地質之靜力解析·····	97
3.8	岩石之分類·····	91

第四章 地下探查

4.1	試坑與試溝·····	96
4.2	探查橫坑·····	98
4.3	測深法·····	100
4.4	鑽孔·····	101
4.5	地下探查之評估·····	118
4.6	自鑽孔柱狀圖繪製地質剖面圖·····	126
4.7	地下探查計劃及其佈置·····	129

第五章 地球物理探查法

5.1	工程地點地質調查中使用之地球物理探查法·····	134
5.2	岩石性質之測定·····	138
5.3	應用在水文地質研究之地球物理探查法·····	139

第六章 岩石之風化作用

6.1	物理風化作用·····	141
6.2	更新世物理風化作用之產物·····	145
6.3	化學風化作用·····	150
6.4	風化帶調查法·····	155

第七章 邊坡滑動、山崩

7.1	邊坡滑動之經濟意義·····	159
7.2	產生土石滑動之因素·····	160
7.3	邊坡滑動之分類·····	163
7.4	表層堆積物之邊坡滑動·····	166

7.5	粘土質岩石之滑動	176
7.6	堅硬岩石之滑動	185
7.7	特殊形態之邊坡滑動	192
7.8	山崩區邊坡穩定方法	195

第八章 岩石之開挖及其可挖性

8.1	岩石對開挖之抵抗性	201
8.2	岩石之可鑽性	205
8.3	岩石之可工性	207
岩石	岩石之體積變化(體積之增大)	207

第九章 工程用石料之地質調查

9.1	礦床之初步踏勘	209
9.2	礦床詳細地質調查之目的	211
9.3	採石場開採之基本原則	221
9.4	砂、礫石礦床	225
9.5	石材之開採與環境之保護	227

第十章 建築物及工業結構物之基礎

10.1	結構物基礎之要求條件	230
10.2	基礎土壤之力學行態	239
10.3	基礎與地下水	252
10.4	基礎開挖	256
10.5	基礎結構之選擇	260
10.6	建築地點之調查	269
10.7	工程地點之評估	270
10.8	與區域地質有關之基礎條件	271
10.9	結構物變形之測定	278

第十一章 公路與鐵路

11.1	設計運輸路線所需之地質條件·····	282
11.2	路線一般位置之初步調查·····	283
11.3	路線位置之詳細調查·····	284
11.4	開塹路基與半填挖路基·····	287
11.5	路堤（填方路基）·····	295
11.6	公路與路基·····	297
11.7	橋樑與其他結構之地質調查·····	298
11.8	工程地質師在施工中及維護時之任務·····	302

第十二章 隧道與地下發電廠

12.1	緒言·····	303
12.2	工程地質調查之任務·····	306
12.3	區域地質調查與隧道之一般佈置·····	307
12.4	水文地質調查·····	309
12.5	隧道定線之地質詳查·····	314
12.6	岩石之力學行態及隧道襯砌之壓力·····	319
12.7	隧道開鑿法·····	327
12.8	岩石溫度與通風·····	329
12.9	水利工程隧道·····	331
12.10	地下鐵道隧道·····	342

第十三章 水力結構物之工程地質調查

13.1	初步踏勘·····	346
13.2	詳細地質調查·····	347
13.3	施工期間工程地質師之配合工作·····	349
13.4	壩址調查·····	350

13.5	壩址之地形及其地質情況.....	351
13.6	火成岩與變質岩之壩址.....	358
13.7	沉積岩上之壩址.....	364
13.8	重力壩之基礎.....	381
13.9	拱壩之基礎.....	389
13.10	土壩之地質調查.....	391
13.11	壓力透水試驗與試驗灌漿.....	402
13.12	水庫區域之調查.....	421
13.13	水庫之水密性.....	421
13.14	水庫岸壁之穩定性.....	429
13.15	水庫之淤積.....	436
13.16	水庫蓄水之經濟效益.....	441
13.17	水庫水之排放.....	442
13.18	發電廠廠址之工程地質調查.....	447

第十四章 區域發展計畫與環境保護政策之地 質調查工作

14.1	人爲之地質作用.....	452
14.2	區域發展計畫.....	454
14.3	地質學上之分析.....	456
14.4	水文地質分析.....	459
14.5	居住區之規畫與建築所需之地質調查.....	462

文獻目錄.....	470
-----------	-----

第一章 地質調查

地質調查之工作項目及性質，係根據某一工程計畫之開發階段、所設計工程結構物之重要性、計畫區域之地質構造，以及現有基本地質調查資料之詳略而不同。基於上述之原則，地質調查可區分為：

- (1) 初期工程規畫研究之地質踏勘。
- (2) 可行性研究階段之地質精查。此項調查必須提供可靠之基本資料，作為將來工程規畫、工程費用估計以及施工進度之依據。
- (3) 施工期間之地質調查。此項調查尤應注重基礎之開挖情況，以及初期地質踏勘與可行性研究階段之地質精查所獲得判斷，相互對照印證，隨時提供施工人員所需各項資料。

上述工程規畫所實施之地質調查，可自現有全國性有系統之地質圖繪製，及水文地質（hydrogeological）研究等之基本地質調查中加以引用。因為一般之基本地質調查通常均能廣泛討論大區域性地質構造、地層層序、岩石年代以及岩石成因（genesis）等問題。此種地質調查之成果，均經彙集整理繪製成地質圖，並由當地主辦地質調查有關機構刊行出版。例如某一地區之地質，若有詳細之瞭解，則可避免結構物建築在礦床地帶或主要地下水集水區域或礦泉周圍之保護區內。本書第十四章區域規畫之地質調查將詳細討論此項問題。

1.1 初期地質踏勘

就一般而言，地質初勘是一項責任非常繁重而且頗為困難的工作。因為在此階段常需根據殘缺不全之資料中決定結構物之位置。並擬定其施工方法。因此，地質初勘應由對計畫地區之地質有充分瞭解與工作經驗之工

2 工程地質學

程地質師來擔任。

地質初勘之調查方法及其應用，與基本地質調查者相似。調查方法計包括：

(a) 收集基本地質調查之成果，如地質圖（參看第二章）、地質報告以及工程地質圖等。該等資料係由檔案保管機構所出版或保存。其中尤以工程地質圖在此調查階段，最為有用。

(b) 計畫地區現場細部勘查。所有岩石露頭（outcrops and exposures），地貌（morphological forms）以及所有可供推定地質構造與地貌演變之有關現象，均需加以詳細研究。

(c) 收集有關鑿井、採石、礦坑、結構物、地下水等資料。當地之地下水情況可自建築物基礎施工人員之經驗中獲得。

根據上述所獲得之資料，工程地質師應加以整理歸納，以瞭解計畫地區地質構造。工程地質師所下論點與推理，必須使用歸納與演繹（inductive and deductive）等方法。若有充分理由必需進行進一步調查，而調查費用所需不致過份龐大時，則調查工作事先應加以謹慎計畫，同時必須擬定可能獲致結論之各種假設。

因為由上述調查方法所蒐集之資料，通常均不能獲得滿意之結論，因此初步之假設僅是一種臆測，此項臆測可能與實際情況相符，亦可能完全不同。

(d) 上述(c)項所臆測之正確性，應以適當之試坑（pit）或鑽孔加以證實。同時探明表層覆蓋層之厚度以及風化深度等實際數量之資料。在此階段之調查工作，鑽探工程之多寡應視其經濟性與否而加以決定。

(e) 應用地球物理探查方法以決定岩盤之深度、地下水位、以及相關之地下地質特性。

(f) 與施工有關之地表水，以及地下水等之化學特性，亦屬此階段之勘測工作。若水質對工程具有不利之疑慮，則應採取水樣送往研究機構作詳細之化學分析。分析結果，即可據以決定採取保護結構物基礎措施之必要方法。

在初期之地質調查中，工作方法雖屬正確，其結果往往與所假設者不相符合之情形，是無法避免的。因此，在地質初勘階段之研究工作，僅能對土木設計工程師提供工程可行性之一般資料，協助工程師選擇工程地點以及進一步調查計畫之建議。初步之地質調查報告尚不足以作為工程之詳細施工計畫、施工佈置、工程成本估計以及施工進度等的可靠依據。

1.2 可行性研究地質精查

此階段之地質調查計畫、調查數量等，主要係根據地質初勘階段之研究結果與計畫工程佈置而擬定者。此項地質精查，通常均包括工程地點及其附近地區之測量、地質調查、以及選用適宜之方法，進行地下地質探查。正確地下探查之工作計畫，應根據所設計結構物之形式而異，其目的為判斷岩石力學特性對工程開挖之影響、判斷可能遭遇之基礎情況、以及適當工程材料地點之尋覓等。基礎岩層之承載力 (bearing capacity) 可自未破壞樣品在試驗室之試驗結果，或以現場載重試驗 (loading test) 之結果加以判斷 (參看第十章)。工程地質調查應同時輔以計畫地區水文地質之詳細研究資料。

前述詳細之地質調查結果，應由工程地質師、設計工程師及其他有關之工程人員加以綜合評定。所撰寫之報告應詳述地表地質情況、地下地質探查之分析與評估結果；決定基礎之深度、基礎處理方法、或在某一特殊情況下必須採取之特殊施工方法。例如，某一危險坡面的安定措施，或需大量填方之基礎所需採取之保護措施等等，均需在報告內加以詳細說明。

詳細地質調查之實施，必須注意時效。一般而言，大多在定案工程計畫之準備工作或施工開始之前加以完成。因為詳細地質調查之各別工作項目，通常均費時費力，故需有充分時間，俾能完成調查工作。

若地質調查考慮用較經濟的方法來實施，最好能分成不同之階段加以進行，從一般性調查，再進而詳細調查。前一階段之調查工作完成後，再進行下一階段之工作。為了縮短調查工期，省略初期階段之調查工作而動用大量機械與人力，是不應該的。因為用於詳細調查工作之龐大經費，可

4 工程地質學

能由於地質條件或其他因素證明計畫地點或工程師佈置之不適宜而徒勞無功。

但省略詳細之調查工作，尤以地下地質調查，亦屬不智之舉。工程規畫初期以及施工前作週密而確實之調查，是避免設計工程師錯誤判斷之最佳保證。為使施工進度能如期完成，則提供工程師計算之數據、施工設計、以及工程費估算之所有資料，應盡其可能，力求確實與可靠。

1.3 施工期間地質調查

對所有主要之工程結構物，如壩、隧道及橋樑等在施工期間均應實施工程地質檢驗。工程地質師應該檢驗所有開挖面，將基礎開挖情況加以記錄，同時將實際情況與初期勘查及地質精查時所假定之結論加以對比與印證。

工程地質師應與工程師共同決定基礎開挖深度，選擇工程材料、監督爆破與灌漿程序等工作。工程地質師應採取岩石標本以供試驗，並負責將地質資料作有系統的分類整理，俾使所有地質特性能毫無遺漏而一目了然的記錄下來。他必須協助現場之試驗工作，及地球物理之測定。灌漿工作，必須在工程地質師之監督下進行。其中最重要的工作之一為，處理由地質因素所引起之突發情況（如裂縫之形成、滲漏水、地盤下陷等）。若情況發生，必須建議計測儀器埋設的位置。工程地質師應共同協助測定地盤下陷以及其他變形現象，並分析其結果。對於主要之工程設施，工程地質師應盡其所能詳細觀察保護基礎以及確保地盤的不透水性等所採取措施之效果。

上述工程地質師與工程師之共同合作，不僅可使工程師對地質有更深入之瞭解。相對的，亦能使工程地質師增加對土木工程上之知識。

在施工期間，工程地質師應向負責施工之工程師提供附有詳細圖表配合工程進度之地質報告。此種報告之副本，應妥為保存於適當之檔案室，因為在此報告內之經驗不僅可供將來其他工程之參考，亦可作為區域性地質研究工作之珍貴資料。

第二章 地質圖及地質剖面圖

2.1 地質圖之類型

地質圖 (geological maps) 爲代表呈現於地球表面某一區域之地質情況與地質構造。地質圖係將有系統之地質調查所獲得之資料描繪於適當之地形圖上所製作而成者。地質圖之繪製，與野外現場勘查，爲地質調查之基本工作。一幅良好之地質圖，應包括岩石露頭之分佈情況與顯明之層序與地質構造 (stratigraphy and tectonic structure)。具有經濟價值之重要岩石與礦物之產地應加以標明，以協助該區域礦產資源評鑑之依據。對於礦床、煤碳、石油資源以及建築用之石材、細砂與採石等之探勘，地質圖是絕不能缺少的資料。

地質圖依據其適用之目的而製作成不同之比例。十萬分之一地質圖爲概略地質示意圖；二萬五千分之一至五萬分之一者爲基本地質圖；而二千分之一至一萬分之一者則屬詳細地質圖。僅表示第四紀以前岩石露頭分佈之地質圖，稱爲基岩地質圖 (solid or bedrock map)，而表示地表附近堆積物之分佈者，稱爲表層地質圖 (drift map)。

早期之地質圖大多根據野外之調查繪製而成。若岩石之露頭豐富而完整，地質師亦受過專業訓練，則此種地質圖尚能令人滿意。若調查地區大部份由時代較新之堆積物或風化物質所覆蓋，則所繪製之地質圖常與實際情況不能脗合。由於地質圖被廣泛利用；作爲技術性與經濟性等研究分析之依據，故地質圖之正確性與可靠性，其要求亦隨之增高。基於此種理由，現代之地質圖，尤以工程地質圖，不僅必需根據詳細之野外調查，而且更需根據詳盡之鑽探並輔以地球物理測定之地下探查資料。對於被較深之