

机动鋼絲繩冲击鉗探的 若干理論問題

郭紹什 編著

人民鐵道出版社

机动鋼絲繩冲击鉆探的 若干理論問題

郭紹什 編著

11.21
p100

本書結合實際生產對機動鋼絲繩沖擊鑽井的理論做了較為深刻地、全面的探討。全書共分為四章：第一章對鑽井工作所直接涉及到的岩石主要物理機械性質和影響岩石物理機械性質的因素作了較詳盡的分析和研究；第二章對鑽井過程中岩石在受到變形力後直到產生脆性破碎為止的過程作了較詳細的論述；第三章介紹了鑽井的主要設備和輔助設備的規格、性能、使用與維修保養等；第四章對在鑽井過程中直接影響鑽井效率的因素進行了闡述。

本書可供從事工程地質、水文地質、爆破、采矿、鐵路勘探工作等的機動鋼絲繩沖擊鑽井的工程技術人員參考。

機動鋼絲繩沖擊鑽探的 若干理論問題

郭紹什 編著

人民鐵道出版社出版

(北京市霞公府17號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

書號1679 開本787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張6 $\frac{3}{4}$ 插頁1 字數155千

1960年4月第1版

1960年4月第1版第1次印刷

印數 0,001—2,500 冊 定價(8) 0.67 元

目 录

引言.....	1
第一章 有关冲击鑽探的岩石物理机械性質及影响該 性質的因素	7
§ 1. 有关冲击鑽探的岩石物理机械性質	7
§ 2. 影响岩石物理机械性質的因素	22
§ 3. 几种主要岩石的物理机械性質	45
第二章 鑽井过程中岩石破碎理論的探討	54
§ 4. 变形力与变形概念	54
§ 5. 主应力	58
§ 6. 主应力状态	64
§ 7. 非均布应力	67
§ 8. 副应力	69
§ 9. 残余应力	72
§10. 应变	74
§11. 彈性变形	80
§12. 塑性变形	85
§13. 介質对岩石变形的影响	87
§14. 冲击鑽进中的岩石破碎分析	92
第三章 鑽井設備	99
§15. 鑽机	99
§16. 鑽桅	104
§17. 冲击机构	111
§18. 鋼絲繩	132
§19. 鑽头	163

第四章 鑽井的參變因素	193
§20. 鑽具的動能與最大降落高度	193
§21. 鑽具對井底岩石的衝擊力與切入深度	195
§22. 鑽具對井底衝擊力與鑽具重量和切入深度 之間的關係	197
§23. 每次衝擊後鑽頭的轉動角度	200
§24. 每次清除鑽屑時最合理的抽取次數	203
§25. 鑽井的沖洗	205
§26. 岩石硬度減低劑	206
§27. 鑽井井壁的地層壓力	211

引 言

鑽探工作在我国經濟建設的各个部門中都被极广泛的应用着。它多被用于勘探固体、液体、气体矿藏；亦被用来做为直接开采有用的固体、液体、气体的矿产和做为这些矿藏开采过程中的各种輔助技术工作；它还被用来勘察土壤和岩石以做为城市、工厂、堤坝、桥梁、铁路、公路等各项大型建筑物施工前的精密設計依据；并且在各项大型建筑物的施工建造过程中亦得到了应用。

鑽探工作技术早已被我国人民所掌握。根据历史資料得知，远在公元前 250 多年以前在我們祖國的四川一帶就开始使用鑽探工作来开采食盐。后来一直在广泛的使用和不断的发展着。

鑽探技术是利用鑽具給予岩石以机械力而使岩石破坏。根据破坏岩石的机械力的性質可分为动力的和靜力的。

利用动力作用破坏岩石是靠楔形鑽头所給予岩石的冲击压缩作用来进行的。

碾磨（或切削）是破坏岩石的另一种方式，用于迴轉鑽探。它所施予岩石的力被認為是靜力的。

利用冲击力来破坏岩石是鑽探方法中使用最早的一种；也是我国最先开始用来进行鑽井工作的方法。

在冲击鑽进的过程中，若所有提升和下降鑽具的操作都借助于极簡單的机械（均重杆、轆轤或手搖絞車）和人力，称之为手动冲击鑽探；若全部鑽进过程都利用机械发动机带动鑽机来进行的，称为机动冲击鑽探。

机动冲击鑽探根据所用鑽具的不同，又可分为机动鑽杆

冲击鑽探和机动鋼絲繩冲击鑽探。

作为一种独立的鑽探方法來說，机动鑽杆冲击鑽探已很少被采用，这主要是在破坏岩石的过程中它必然要产生定期的而且較長時間的停歇現象。这种停歇現象主要表現于鑽具在上下运动冲击岩石上；还表現于調換磨鈍的鑽头和从井底提升鑽具与取出鑽屑时必须裝卸較長的鑽杆。这种停歇的時間随着鑽井的加深而逐漸加多，严重的影响了鑽进的效率。同时在机动鑽杆冲击鑽进的过程中，鑽具由于冲击力的关系形成了严重的縱向弯曲力，而致使鑽具經常发生折断事故，尤其是鑽进硬质岩石时更为显著。

对机动鑽杆冲击鑽探來說，机动鋼絲繩冲击鑽探是比較进步的一种鑽探方法。它減少了破坏岩石过程中的停歇現象，也省去了起下鑽具时裝卸鑽杆的時間，同时也基本上杜絕了鑽进过程中的鑽具折断事故。

在整个的鑽进过程来看，机动鋼絲繩冲击鑽探較迴轉式鑽探亦还有着一定的优越性。

非常清楚的可以看出：

在鑽杆迴轉鑽进中，有时井口发动机发出的功率很大，但經過鑽杆傳遞到鑽头上时，鑽头所能得到的有效轉矩仅占井口发动机所发出功率的极小部份。而大量的功能皆变为鑽杆扭轉状态的位能。这种現象是随着鑽井深度的增加与工作条件的改变而更加增大。这样的結果将在鑽杆內，尤其是鑽杆柱的下部必会引起很大的扭力，这种扭力有很大可能导致发生鑽杆折断事故。

在鑽杆迴轉鑽进中，由于鑽杆柱不停的在井內旋轉着，因而它必然要产生鑽杆柱和井壁与冲洗液之間的强大摩擦，这不仅增加了鑽杆迴轉的有害阻力，消耗了大量的功率；而且还大大的引起了鑽杆的磨損，以致增加了生产的成本。

在鋼絲繩冲击鑽井中，由于不使用鑽杆，故鑽具在井底破碎岩石时，不可能产生由于鑽杆的迴轉而引起的巨大迴轉力矩，同时也不可能发生由于鑽杆柱和井壁与冲洗液摩擦而产生的巨大有害阻力。因而有可能节省很多的动力，尤其是在鑽大直徑鑽井时将更为显著。根据 И·А·奥斯特洛烏什柯的資料得知：使用鋼絲繩冲击鑽探鑽进石英岩的功的消耗为 $30 \sim 35$ 公斤·米/厘米³；鑽进花崗岩的功的消耗为 $85 \sim 110$ 公斤·米/厘米³。使用迴轉鑽粒鑽进花崗岩的功的消耗为 $200 \sim 350$ 公斤·米/厘米³；使用迴轉硬質合金鑽进頁岩的功的消耗为 $400 \sim 550$ 公斤·米/厘米³。

机动鋼絲繩冲击鑽探不需要使用鑽杆，所以省却了擰卸鑽杆的时间，使升降鑽具的时间大为縮短，并減輕了鑽具的重量；同时也省去了鑽杆及鑽杆附属設備的費用。

应用这种鑽进方法来鑽进粘土层、流砂层等松散岩层时，其鑽进效率有可能高于迴轉式鑽进。

在鑽进过程中由于冲击裝置給予冲击鑽具一定的彈力，因而加强了冲击鑽具所做的破坏岩石的功。

这种鑽探方法所采用的鑽机构造和鑽塔結構均較简单，并可緊湊的安置在一起。所以使得附属設備較少；同时，迁移方便、操作简单、节省人力。

还应当指出的是：鋼絲繩冲击鑽探所以能被广泛的应用于露天采矿場准备爆破前的深孔凿岩工作，是因为它的凿岩工作与挖掘工作及其他机械的工作互不依賴；并在剝离及采掘的梯段上，有可能准备大区段或大矿块的爆破，以保証挖掘工作长时期的連續不断的进行；并在鑽孔直徑与深度上所受的限制較小，因此可采取任何高度的梯段进行露天采矿工作。

但是，这种鑽进方法也有着較严重的缺点：

首先表現在破坏岩石的方式上：我們都知道岩石一般的抗張力都很小，抗剪力較大，抗压力最大（由实验得知岩石抗压力为抗剪力的十数倍），但在鑽探方法上我們不能利用張力来破坏岩石，而只能使用剪力和压力来破坏岩石——旋轉鑽进中鑽头与岩石的接触就是剪切接触；冲击鑽进中鑽头与岩石的接触就是冲压接触。故使冲击鑽进破坏岩石的效率較用迴轉鑽进破坏岩石的效率低的多，并且在鑽进过程中鑽具在鑽井內是做往复运动的，这必然会有定期的停歇現象，使鑽头与岩石的接触時間減少。而迴轉鑽进則是鑽头在井底做快速的不間断的迴轉运动，同时鑽屑不間断的被冲洗液帶到地面上来。因此得知冲击鑽进是不能形成高速的鑽进，这在致密而坚硬的块状岩石中鑽进时将更突出。

由于这种鑽进方法不使用鑽杆，故控制鑽进方向的可能性很小，以致容易产生鑽井弯斜現象，既便在鑽头上安有导向装置，鑽井的弯斜率也要大大的超过迴轉鑽进。很显然，这种鑽进方法很难，甚至認為不可能进行非垂直鑽井的鑽进工作。

在冲击鑽进过程中，每次冲击后鑽具不能在鑽井內做規律的轉动，致使鑽进后的鑽井底部很不平整，尤其是在坚硬的岩层和硬度不同的薄层岩石互层中鑽进时更为严重，这給井底的整理工作增加了困难。

我們都知道，机动鋼絲繩冲击鑽井时，鑽具在鑽井中下降是遵循着自由落体的方式，但在鑽井壁不規則与鑽井較深的情況下，鑽具在鑽井內的降落必将受到一定的阻力，致使鑽具降落速度降低，因而也就減小了鑽具对井底岩石的冲击力，使鑽进效率減低。

在鑽具每次对井底岩石进行冲击后，都会因反作用力的关系，而使鑽具产生强烈的振动，这种振动力对鑽具和鑽机

的正常工作有着严重的不良影响，增加了鑽机和鑽具损坏的可能，为了减少这些不良因素，必須在鑽机上設置工作效能良好的緩冲裝置。

机动鋼絲繩冲击鑽井也有可能发生类似于鑽杆迴轉鑽井的一些有害于鑽进的現象。这主要的是在鑽井时，若当工作着的鑽头遇到較大的阻力或被卡住时，由于冲击机构的照常工作必然要使拖攜鑽具的鋼絲繩产生位能的大量积聚。若当鋼絲繩不能承受这巨大的拉力时，定会发生折断。若鋼絲繩不产生折断，則这巨大的拉力就要使鑽机的傳动机构与冲击机构产生不良的后果，严重时会使机件损坏。設若順利的克服了鑽头的被卡阻力，这样大量的位能就必轉变成成为动能，而形成强烈的彈性振動，使鑽具与拖攜鑽具的鋼絲繩发生急剧的强迫振動，尽管鑽机上設有緩冲裝置，往往也不能很快的減低这种不利于鑽进和鑽机机件的有害因素，而使鑽进工作趋于正常。这种現象的发生在很大程度上是随着鑽井的加深和鑽井工作条件的改变而加剧的。

在鑽进过程中鋼絲繩要拖攜鑽具作往復的运动，这样必然是大大的增加了鋼絲繩的耗損。并且为了避免发生鋼絲繩折断的事故起見，还要特別的注意在工作过程中对鋼絲繩做經常的仔細观察与保护。这种观察与保护尤其是在鑽井深度增加时，将具有更重要的意义。

为了保証鑽井工作的正常进行，經常要将鑽头的直徑随着鑽井的加深而改小。在这种情况下想要使鑽具对井底的冲击力保持一定，那就势必要增长鑽具。这样的結果：一方面增加了鑽具在鑽井中的降落阻力；另一方面增加了鑽具破断的可能。

这种鑽进方法只能取得鑽屑，且在軟薄岩层中鑽进时会产生鑽屑的混乱現象，不易获得正确的鑽井地質資料。

在鑽进过程中一般的來說不能使用冲洗液，更不宜使用泥浆，因此套管的消耗量較多。

冲击鑽探在排除事故上所需的時間是較长的。

应当提到的是，机动冲击鑽探在鑽凿气体、液体、固体矿产开采矿井与輔助技术工程，以及大型建筑物的基础工程等方面曾使用了很久。早在前一世紀的中叶，就曾在某些矿山上使用机动冲击鑽井方法在坚硬岩石內鑽凿过直径达4.4米以上、深度达400米以下的采矿用井筒。直到1922年在苏联巴庫石油矿場上才开始用迴轉鑽代替了机动冲击鑽，到1930年在苏联的石油矿場上迴轉鑽已成为唯一的鑽井方法。并且从1939年开始在苏联所有的主要石油矿場上使用渦輪鑽具鑽井。

机动冲击鑽探不适合于矿产地質勘探工作。但目前在水文地質工作上还被应用；它还被广泛的用做露天采矿場大型爆破前的深孔凿岩工作；它更广泛的使用在建筑大型堤坝、桥梁、棧桥碼頭、防浪堤和使用期限不长的海上建筑物，工业建設中修建高炉、軋鋼厂、选炼厂、热电站、水电站、高塔架、給水与蓄水建筑、固体矿藏开采用与輔助用豎井等等的巨大工程的施工建造上。

众所周知，世界桥梁基础建筑上最先进的武汉长江大桥桥墩基础鑽岩工作就是使用机动鋼絲繩冲击鑽探方法进行的。同时，在世界上很多的露天采矿場与开山建筑等工程的大型露天爆破上，也都极为大量的广泛的应用着机动鋼絲繩冲击鑽探进行爆破前的深孔凿岩工作。

第一章 有关冲击鑽探的岩石物理机械性質及影响該性質的因素

§1. 有关冲击鑽探的岩石物理机械性質

1. 岩石的比重、容重、紧密度、孔隙度

比重等于绝对坚密的材料的单位体积重量。意思也就是說干燥的岩石之重量与該岩石在坚密状态下，即在沒有孔隙的状态下之体积比。

容重是岩石在自然状态下（包含气孔）的单位体积的重量。也就是干燥的岩石之重量与岩石外形所测定的体积比。

紧密度是岩石体积內固体物质所充实的程度。即是岩石在绝对坚密状态下之体积与岩石連同孔隙之体积比。还可以說是容重与比重之比。

孔隙度是岩石体积被孔隙充实的程度。或者說是岩石中所有孔隙的总体积与岩石外形所测定之体积比。

岩石的孔隙度决定于組成岩石的顆粒的大小、形状、均質性、矿物成分以及組成的紧密度等。

岩石的孔隙度与岩石的比重、容重、紧密度之間有着相互依存的关系。

大致的說来，一般沉积岩的孔隙度均較火成岩与变质岩为大。

沉积物的孔隙度一般均在1%至50%之間。等体积圓球形顆粒所紧密“堆积”（孔隙未被充填）的沉积物之孔隙度为25.95%。粗細顆粒混合的沉积物由于細小顆粒均填充于粗粒之間，故其孔隙度可大为降低。胶結作用亦能使岩石之孔隙度降低。而节理的发育及地下水溶液的溶滤作用均能使

岩石的孔隙度增加。

在火成岩中有时矿化剂伴随着熔岩噴到地面后，由于压力的降低可以全部由熔岩中逃出。因而在熔岩内留下了很多的气孔，这也将增加了該岩石的孔隙度。

在某些情况下，岩石的容重可以作为孔隙度較大的岩石——石灰岩、砂岩等的强度的一定指标。

但应指出，容重并不一定能完整的給出岩石强度的正确概念。有时同容重的岩石其强度可能相差很大。

然而，我們若拿許多只是孔隙度不同的同名岩石来做比較，我們会发现岩石的强度和容重之間都是有着一定的密切关系。这关系是：与容重增加的同时，岩石的强度也会随之而增加。

孔隙度減小时，构成岩石的矿物顆粒之間的距离便縮小了，顆粒間的接触面或顆粒与胶結物間之接触面也因之而增加，所以岩石的强度自然会加大。例如：当石灰岩容重由1.5增至2.7时，其抗压强度就由50公斤/厘米²增至1800公斤/厘米²；而当砂岩的容重由1.87增至2.57时，其抗压强度就由150公斤/厘米²增至900公斤/厘米²。根据同样的理由可知，埋藏在地表下很深的粘土的强度比距地表近的粘土的强度要大，这是因为在一般情况下，岩石的孔隙度随其埋藏深度的增加而減小，而强度則随之增加。

曾有人对一种頁岩进行过研究。其結果是当頁岩埋藏深度为30米时，其孔隙度为50%；在埋藏深度为300米时，其孔隙度降为30%；在埋藏深度为600米时，其孔隙度降为23%；在埋藏深度为900米时，其孔隙度降为18%；而当埋藏深度达2400米时，其孔隙度則仅約为8%。并且在孔隙度減低的同时，其强度及抵抗风化的能力亦随埋藏深度的增加而增高。

表 1

岩石名称	平均比重	平均孔隙度 (%)	岩石名称	平均比重	平均孔隙度 (%)
細粒花崗岩	2.65	0.05~0.45	石英	2.5~2.65	
粗粒花崗岩	2.6	0.36~0.85	鉄质 (假象赤鉄) 石英	3.3	
黑花崗岩	2.74	0.5~0.6	长石	2.5~2.8	
閃长岩	2.86	0.25	鉄长石	3.8	
石英閃长岩	2.75		响岩	2.6	
文象閃长岩	2.7		黑曜岩	2.29	
輝长岩	2.9~3.0	0.6~0.7	角閃石岩	3.21	
錫輝长岩	3.0		磷灰岩	3.16~3.22	
橄欖輝长岩	3.0		致密砂岩	2.65	
正长岩	2.7		砂岩		3.0~30.0
霞石正长岩	2.6		粘土质頁岩	2.65	0.54~0.7
粗面岩	2.58		硅质砂岩	2.2~2.6	0.85~0.91
粗面玻璃	2.4~2.5		石灰岩	2.3~2.7	0.53~20.0
安山岩	2.62		泥质灰岩	1.8	
安山玻璃	2.4~2.6		砂		6.0~30.0
玄武岩	2.8~3.0	0.63~1.18	粘土	2.46	> 8
玄武玻璃	2.7~2.85		黄土	2.64	
斑岩	2.67		岩盐	2.36	
流紋岩	2.49		白云石		
流紋斑岩	2.62		方鉛矿	7.3~7.6	
輝綠岩	2.94		閃鋅矿	3.9~4.2	
片麻岩	2.7~2.9		鎢鉄矿	7.1~7.5	
大理岩	2.7~2.85		黄鉄矿	4.9~5.2	
板岩	2.7~2.8		磁鉄矿	4.9~7.2	
純橄欖岩	2.6		剛玉	3.9	
綠橄欖岩	3.2~3.3		电气石	3.1~3.24	
蛇紋岩	2.5		云母	2.76~3.1	
云母片岩	2.7~2.9		黝銅矿	5.0	
粘土质片岩	2.5		石膏	2.3	
煤质片岩			瀝青	1.1~1.2	
石灰质片岩	2.6		无烟煤	1.34~1.46	
石英质片岩	2.7		泥煤	1.05	
角閃片岩			石		
綠泥片岩	2.8		墨	2.1~2.3	

还应指出，深带变质岩的容重有较火成岩容重为大的可能。例如玄武岩的容重约为3，但其变质为榴辉岩后，则约为3.5。反之，在极浅带变质的岩石，均较相关的火成岩为轻，而较相关的沉积岩为重。

表1中所列为几种常见岩石的平均比重与平均孔隙度。

2. 岩石的机械强度

强度是固体物质抵抗机械破坏的能力。

岩石的机械强度由岩石抗压强度、抗张强度、抗弯强度的数值来表示。所谓岩石的抗压强度、抗张强度、抗弯强度仍是表示岩石变形的性质以及与变形相应的应力状态。

岩石的机械强度是用仪器经多次测定而得来的。

岩石的机械强度取决于许多因素，它的变化范围是很大的。处在不同自然环境的同名岩石的机械强度也是不同的。

应当指出，任何岩石的机械强度绝不能大于该岩石的组成矿物中具有最大机械强度的矿物之机械强度，而要远远的小于它。

岩石的异向性对岩石的机械强度有着重大的意义，尤其是对抗压强度更为显著。由实验指出，岩石的各个不同的方向具有着不同的机械强度。这种特性在成层状的变质岩和沉积岩中表现的很为明显。一般的火成岩若没有受到大的地质构造作用，其机械强度的异向性表现的不很显著。

岩石的异向性往往是与地质构造特征相关连的，并且很显明的存在于一个大的地区内。在小的区域内多是变化不大的。因之，这种性质对钻井过程中岩石破坏的影响，并不是特别显著的。

受过风化的岩石的机械强度较未受过风化的岩石的机械强度要小一些。

具有均匀颗粒结构的小颗粒岩石，若其各个晶体间的接

触面很不平整，并且岩石中的矿物晶体間相互交錯而生，則該岩石比其他結構的同質岩石具有較高的机械强度。例如細粒花崗岩的抗压强度达2600公斤/厘米²，甚至还可能超过这一数字，而粗粒花崗岩的抗压强度則仅为1200公斤/厘米²。

还应当指出，岩石的容重、湿度、裂隙等所有因素都与其强度有着极为密切的关系。并且岩石在单向、双向、三向的不同受压下，也表現着不同的强度。

总之，影响岩石机械强度的因素很多，其数值的变化亦很大。

一般的來說，岩石的极限抗压强度值、极限抗弯强度值和极限抗張强度值三者之間存在着很大的差別。这由于岩石是脆性体。一般岩石的抗压强度最大，抗弯强度次之，抗張强度最小。例如花崗石的抗張强度最大不会超过其抗压强度的3~4%，而其抗弯强度則最大不超过其抗压强度的8~9%。

表2所列系作者对几种常見岩石的机械强度的实验結果。

表 2

岩 石 名 称	极限 抗压 强度 公斤/厘米 ²	极限抗弯强度 公斤/厘米 ²	极限抗張强度 公斤/厘米 ²
坚 硬 花 崗 岩	1200~2600	90	20~40
松 軟 花 崗 岩	450~1000		
花 崗 斑 岩	1900		
流 紋 岩	1470		
正 长 岩	1500~2000	50	
坚 硬 內 长 岩	1300~3000		
松 軟 內 长 岩	750~1300		
閃 长 斑 岩	500~2600		
輝 长 岩	1200~3600		
輝 綠 岩	1300~2100		

續上表

岩 石 名 称			极限抗压强度 公斤/厘米 ²	极限抗弯强度 公斤/厘米 ²	极限抗张强度 公斤/厘米 ²
玄 武 岩			1000~2850~5000		
砾 岩			2075		
灰 质 砂 岩			400~1500	80~120	20~30
坚 硬 石 英 质 砂 岩			3000		
石 灰 岩			500~1500	80~150	20~70
白 云 质 石 灰 岩			1890		
泥 灰 岩			670		
泥 质 片 岩			140~650		
石 英 岩			1400~2600~5000		
大 理 岩			800~2100		
片 麻 岩			1400~2400		
岩 盐			220~420		
石 膏			150~500		

3. 岩石的硬度与岩石分类

岩石的硬度通常被认为是岩石对另一物体切入的反抗特性。某些学者亦认为岩石的硬度与岩石的抗压强度在涵义上来說是相类似的，只不过在表示方式上不同。

表 3

莫司硬度	矿 物 名 称		絕 对 硬 度 公斤/厘米 ²
1	滑	石	500
2	石	膏	1400
3	方 解	石	9200
4	螢	石	11000
5	磷 灰	石	23700
6	长	石	25300~27400
7	石	英	30800
8	黄	玉	52500
9	剛	玉	115000
10	金 剛	石	