

141471

高等学校教学用书

地下結構的 計祿与設計

C. C. 达維多夫著



高等教育出版社



統一書號 15010·611

定價 ¥ 2.70

552

5/3422

552

高等学校教学用书



地下結構的計算与設計

C. C. 达維多夫著

軍事工程学院科学研究部譯

高等教育出版社

A thick, textured horizontal line at the bottom of the page.

本書系根据蘇聯國立建築書籍出版社 (Стройиздат) 出版的 達維多夫 (С. С. Давыдов) 著“地下結構的計算與設計”(Расчет и проектирование подземных конструкций) 1950 年版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等學校的教學參考書。

原書共分四篇。第一篇內容為岩石壓力；第二篇內容為地下結構主要構件的計算；第三篇為整體式地下結構的計算和設計；第四篇為裝配式地下結構的計算和設計。

本書為高等學校教學參考書，亦可作為從事地下結構設計工程師的指南。

原書所附勘誤表已在譯本中改正，在校審時，發現原書還有一些錯誤，校審人作了更改，並在譯本中用符號・注明，供讀者參考。

本書由端木陽翻譯，由王桐封、楊江滿校正、黃宣德、周家助二同志曾參加本書的整理。全稿又經唐山鐵道學院孫經曙同志作最後校訂。

地下結構的計算與設計

С. С. 達維多夫 著

軍事工程學院科學研究部譯

高等教育出版社出版 北京琉璃廠150號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第054號)

京華印書局印刷 新華書店總經售

統一書號15010·611 開本850×1165 1/32 印張18 字數149,000 印數0001—1,500
1957年12月第1版 1957年12月北京第1次印刷 定價(10) 2.70

序 言

修建地下建筑物的技术起源于上古。一般說来，技术的不同發展水平、特别是地下建筑技术的不同發展水平，是随着人类社会历史發展过程的各个不同阶段而發展起来的。

如果原始人用極簡陋的方法所修建的最簡單的地下建筑物——洞穴——仅作为住宅的話，那末在以后較晚的时代里，特别是資本主义發展的时代里，当开始出现采矿业及建筑铁路时，地下建筑物就变为采矿业中及运输業中必需的組成部分了，由于这种專門用途，地下建筑物就有了另一种更复杂的結構型式。然而，地下建筑技术即使在这一發展阶段上也还是停留在以笨重人力为基础的簡陋技术上，仅仅在个别的情况下采用了爆破作業而部分地減輕了劳动。当然，在这时期就不可能产生有科学根据的地下建筑物的理論。

只有在苏联才能为建筑技术的、特别是地下建筑技术的蓬勃發展以及为創立这种建筑的真正科学理論建立必要的前提，这一事实是完全合乎規律的。

只有在斯大林五年計劃的年代里，在新的强大的工業基础上保証把国民經济所有部門在技术上完全重新装备起来的社会主义国家的条件下，只有在人对劳动表现了新的社会主义态度的条件下，这种宏偉的地下建筑物才能在空前短的时期內实现，例如世界上最好的莫斯科地下铁道、苏联各个山区的水工隧道和运输隧道以及在采煤、采矿和石油工業中規模巨大的地下建筑物。

近年来地下建筑的蓬勃發展，使得我們必須深入地研究和科学地总结所积累起来的实际經驗，以創立地下建筑的理論和研究

由于实际需要而产生的新的理論問題。

地下建築物理論中最重要的問題是研究地下結構的計算方法，這種計算方法使有可能用理論的方法來求得地下坑道断面必需的合理形狀以及其襯砌結構構件的尺寸。

必須指出，這個問題是極其複雜和困難的。首先應當說明：正因為這樣，所以一直沿用到最近的一些計算方法所根據的理論前提是有分歧的，這些方法還不完善，並且只是在個別場合下才能適用。

現在，當蘇聯的地下建築科學擁有極其豐富的實例的時候，當蘇維埃科學家在與其相近的理論科學中（如建築力學、彈性理論、塑性理論、工程土質學等等）獲得新的巨大的成就的時候，就具備了創立新的、更精確的、同時又是最一般的地下結構計算方法的一切前提，這種方法可以代替舊的方法，舊的方法因受一定條件和假定的限制，在實踐中將使地下建築物造價不合理的提高。

必須指出，近年來在蘇聯已經出版了很多關於地下建築問題的巨著，這些著作証實了我們蘇維埃的科學比外國的科學有更高的水平，其中並包括有計算地下結構的很多建議。但可惜這些著作還不能對計算問題給以令人滿意的實際解答。

C. C. 達維多夫教授所寫的這本書的價值，在於作者根據自己多年的理論研究和親身的設計經驗，提出了自己獨創的地下結構計算方法，這種計算方法是以嚴密的、科學的彈性理論原理為基礎，最完全地反映了這些建築物的工作特性，在應用這種方法時可以更接近於真正的、為實踐所要求的結果。

當然，這種方法以及所有更精確的方法是與現存的一些近似方法不同的，為了掌握它就須要更高的理論素養，而為了使用它就須要更複雜、更繁重的計算工作。

應當稱贊作者，他考慮到這些因素，並且沒有局限於他所制定

的方法的一般理論敘述，而在編寫計算時使應用理論的实例方面完成了很多的工作，事實上這些例子几乎都是實踐中最常遇到的情况。

此外，為了計算的合理化，作者還編制了許多輔助表格。書中所載入的這些例子和表格使學生及設計者在實踐中便於使用達維多夫教授的方法。

達維多夫教授的整個著作，是一個獨創的著作，它包括了作者很多年來在發展蘇維埃地下建築科學事業中有效工作的總括性結果，它不僅是作者對地下建築理論的巨大貢獻，而且是高等學校學生們在掌握這門科學時的寶貴參考書，也是工程師們在設計地下建築物的實際活動中的寶貴參考書。

蘇聯建築科學院院士、教授、技術科學博士

B. M. 愷爾迪實

目 录

序言	vi
緒論	1
地下結構的一般概念	1
地下結構理論發展的簡述	7

第一篇 岩石压力

概論	26
A. 垂直岩石压力	38
B. 側向岩石压力	61
B. 坑道底部的岩石压力	64
Г. 沿地下建築物長度上的岩石作用力	77
Д. 岩石的間壁	78
E. 开挖地下坑道时地表面的沉降	84

第二篇 地下結構主要構件的計算

概論	86
第一章 地下結構頂拱的計算	86
A. 曲梁的应力与变形	89
B. 整体式襯砌的無鉸拱圈的計算	103
B. 拋物綫形無鉸拱圈的計算	111
Г. 圓形無鉸拱圈的計算	140
Д. 双鉸拱圈的計算	153
第二章 地下結構側牆的計算	150
A. 彈性基礎梁的計算	162
B. 彈性層上的梁的計算	185
B. 地下結構側牆的計算	211
第三章 地下結構地板的計算	244

第三篇 整体式地下結構的計算与設計

第一章 水平坑道的整体式地下結構的型式	255
A. 坚硬岩石中的地下結構	256
B. 中等岩石中的地下結構	261
B. 松软岩石中的地下結構	263

Г. 地下結構尺寸的确定	267
第二章 水平坑道的地下結構的計算	271
A. 有剛性牆的地下結構的計算	274
B. 有彈性牆的地下結構的計算	286
B. 地下結構計算的个别情况	297
Г. 馬蹄形地下結構的計算	303
Д. 有防水層及防護襯壳的地下結構的計算特点	338
第三章 水平坑道的地下結構的設計	346
A. 整體式地下結構的計算結構	346
B. 有剛性牆的整體式地下結構的設計	356
B. 有彈性牆的整體式地下結構的設計	400
Г. 設計整體式地下結構的特殊情况	422
Д. 編制整體式地下結構的施工圖	434
第四章 垂直坑道的整體式地下結構的計算与設計	441
第四篇 装配式地下結構的計算和設計	
概論	441
第一章 水平坑道的装配式地下結構的型式	443
A. 木材装配式地下結構	444
B. 混凝土及鋼筋混凝土的装配式地下結構	446
B. 金屬的装配式地下結構	452
Г. 逐步加强的装配式地下結構	457
第二章 水平坑道的装配式地下結構的計算与設計	461
A. 有直綫形頂蓋的結構的計算与設計	462
B. 有拱形頂蓋的装配式結構的計算与設計	475
B. 有折綫形頂蓋的装配式結構的計算与設計	484
Г. 圓形装配式結構的計算与設計	498
第三章 垂直坑道的装配式地下結構	528
結語	530
附录	534
1. 各种土的强度系数(按 M. M. 普罗托奇揚科諾夫教授的分类)、容重与内 摩擦角的数值	534
2. 在各种不同的高度数值时彈性層表面的沉降	535
3. 計算剛性牆的系数值 χ_1	536
4. 計算剛性牆的系数值 λ_1 及 δ_1	537
5. 当 $H=3c=0.6h_y$ 时, 确定彈性牆对土的压力系数 X	539

6. 当 $H = \infty$ (彈性半平面) 时彈性牆对土的压力	547
7. 計算剛性牆用的系数值 α, α_1 及 α_2	555
8. 确定彈性牆頂端变位的系数 $H_T = 3c = 0.6 h_y$	556
9. 确定彈性牆頂端变位的系数 $H_T = \infty$	560
10. 計算彈性基础上的長梁的系数值	564
中俄名詞对照表	566

緒 論

地下結構的一般概念

用来支固地下坑道的結構叫做地下結構。地下結構与修建在地面上或基坑中的結構不同,它不露出地面,在它上面盖着大量未扰动的土(岩石)。

地下結構或地下坑道的襯砌有各种不同的型式,其跨度从足以通过一个人的 0.7 公尺起到能通过大型运输工具(例如在水路交通綫上的隧道)及可以設置地下鐵道車站等所必需的 25 公尺以上。

根据建筑的方法,地下結構分为装配式的及整体式的。装配式結構是由單个預制的構件所組成,在坑道中进行安裝;整体式結構則为与其周圍的土有联系的整体結構。

按照其相对于地面的位置的特点,地下坑道可以是水平的、傾斜的及垂直的(或豎井)。

水平的或傾斜的地下坑道的装配式襯砌是用木材、金屬、鋼筋混凝土或混合材料等做成的,其頂板的形式有直綫形的、折綫形的或曲綫形的(圖 1)。

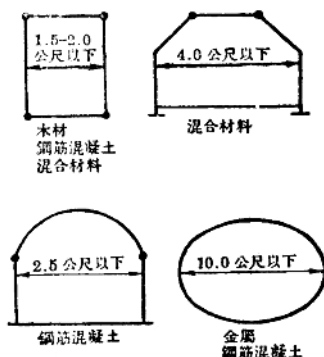


圖 1. 水平和傾斜地下坑道的
装配式結構簡圖。

整体式襯砌是用石料、混凝土或钢筋混凝土砌筑而成，由頂拱、側牆和直綫形或曲綫形的底板組成(圖 2)。

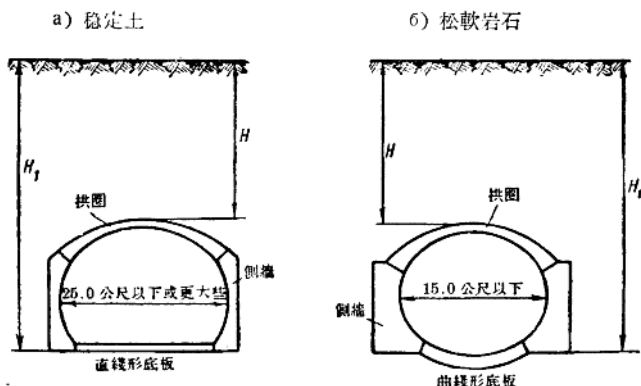


圖 2. 水平和傾斜地下坑道的整体式地下結構簡圖。

地下坑道的橫断面可以达到很大的尺寸。如莫斯科地下鉄道“列宁圖書館”車站就是一个例子，它建筑在困难的土質条件下，坑道的跨度是 19.8 公尺，高 11.66 公尺。在苏联的建筑实践中，曾有過跨度大于 25 公尺而高度超过 30 公尺的地下結構。修建在坚硬土質中的洛夫斯基地下运河(法国)，其坑道的跨度为 24.4 公尺，高为 17.0 公尺。

垂直坑道(豎井)的地下結構和建筑物的型式有关：临时豎井用木材来支撑，其橫断面为 1×1 到 3×6 公尺的矩形；永久豎井用石料、混凝土、钢筋混凝土或金属来支撑，其橫断面通常是圓形的，其直徑为 2 到 8 公尺，或者更大些。

地下結構的荷载是由开挖地下坑道所形成的岩石的压力，称为岩石压力。通常作用在襯砌上的不是全部位于建筑物上面的岩石，而仅仅是位于所謂压力拱范围以内的一部分岩石。

岩石压力有垂直压力、側向压力和坑道底部压力(圖3)。其大小与土的性質、地下坑道的尺寸及地下工作的施工方法等有关,它是用專門的方法來決定的。

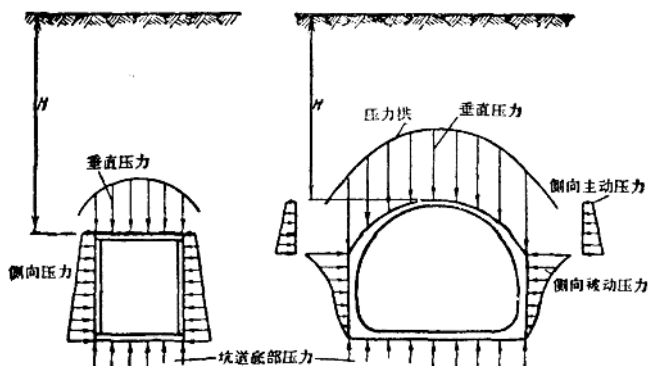


圖 3. 水平或傾斜地下坑道的地下結構上的岩石压力。

在开挖两个平行的坑道时,坑道上面各形成一个压力拱,拱上岩石的重量傳到鄰接建筑物的土上。在两个相鄰坑道間承受兩側附加压力的未扰动的岩石,称为中間牆壁,或者簡称为間壁(圖4)。間壁应具有足够的宽度以保持所有由它支持的岩体的稳定状态。此宽度可以由計算來決定。

地下建筑物周圍的岩石不仅如荷載一样作用在襯砌結構上,并且还像介質一样与襯砌結構相互作用,此介質的变形对包括襯砌及其周圍的土在內的整个体系的应力状态有很大的影响。

因此地下結構的計算应考虑襯砌和其周圍的土的共同变形。这就是地下結構計算与一般建筑力学課程內結構計算的主要与本質上的差别。

現有的一些地下結構計算方法是根據研究地下坑道襯砌的單

个構件的应力状态作出的：頂拱——視為支承在柔軟支座上的彈性結構；側牆——視為位于整片彈性基礎上的梁；底板——視為保證建築物底部穩定性的構件。

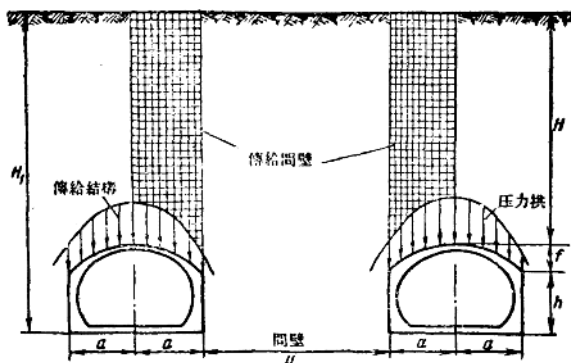


圖 4. 水平或傾斜地下坑道之間的間壁。

开挖地下坑道所采取的方法，对于地下坑道横断面形狀的選擇、地下坑道的襯砌、以及襯砌的計算方法的選擇，有很大的影响。

在地下建筑的實踐中，有兩個主要的开挖地下坑道的方法：矿山法和盾構掘進法。

用矿山法建筑豎井、傾斜坑道及水平坑道（水平導坑）時，對豎井、断面不大的水平坑道及傾斜坑道，可立即开挖全部断面（即全工作面一次开挖），这时，地下結構可以是整体式的，或者是由預制的構件組合而成。

横断面大于 $12-16$ 公尺² 的地下坑道（傾斜的及水平的），在使用矿山法時，通常都不是一下子开挖全部断面，而是分部进行开挖，先开挖前进導坑，然后进行上部扩大，以后再开挖断面其余部分。

在穩固岩石中，前進導坑可沿坑道軸線在上部進行開挖，當坑道斷面很大時，則在下部進行開挖。此時下部導坑可作運輸用。這時地下結構系分部砌築——先築拱圈，後築側牆。

在松軟岩石中，常常先開挖二個下部的側導坑，並砌築襯砌的側牆，然後開挖上部導坑，進行上部擴大，再砌築拱圈（圖 5）。

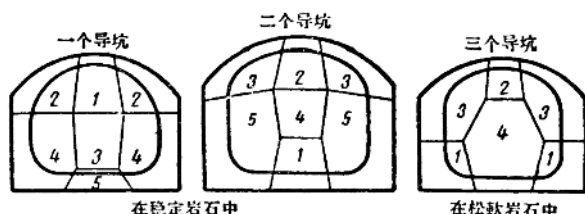


圖 5. 礦山法時，地下坑道斷面的劃分。

在開挖面開挖岩石可用機械化工具、爆炸方法、機器及人力等進行，依岩石的硬度及現有的機械化工具來決定。

在工作的進程中，每段新的坑道都要用圓木、木板或標準金屬構件做成的臨時支撐來支固。礦山法的主要缺點，在於它限制和阻礙了工作的全面機械化。在用礦山法時，永久襯砌通常是用整體式的。

用盾構法開挖時，使用可移動的金屬支撐，在它的保護下，在開挖面進行挖土、砌築襯砌、清除岩石及用機械化方法完成其他工作。也可以在可移動金屬支撐上安裝專門的機具以供開挖面挖土用。

利用盾構就有可能一下子挖出坑道的全部斷面，並使各個主要作業——開挖面中的挖土、清除岩石及安置襯砌等——互相接近，大量使用機械化工具能很快的依次完成各工作。

盾構是一個金屬的中空圓筒，直徑為 1.5—10 公尺，長 3.5—5

公尺(圖 6)。

盾構的安裝是在地下專門的裝配室內進行，坑道開挖完畢後，將其拆卸，送往大修，留作以後使用。由於建築裝配室、安裝及拆

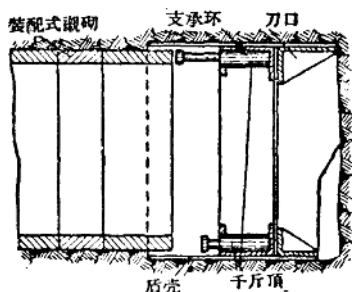


圖 6. 地下坑道盾構開挖簡圖。

除盾構等要花費很多時間，所以盾構掘進法僅適用於建築很長的及斷面不變的地下建築物。

在這種情況下，地下結構具有圓形斷面，用預制的構件——混凝土砌塊和金屬管片——安裝而成。金屬管片的安裝可借助於特種起重機——舉重器。

這樣，地下建築的特點之一，就是在建築物的容量、設計方法及構造方法與地下工作的施工方法之間有着直接關係。

襯砌的砌築方法對於其構造圖的特性以及與此有聯繫的計算及構造方法有着重要的影響。襯砌材料的影響不大，可在設計過程中加以考慮。

詳細地研究地下結構的各種不同型式以及說明其計算方法，可首先根據這些結構的建築方法合理的進行，首先區分成石、混凝土及鋼筋混凝土的整體式襯砌，然後區分成木材、金屬、鋼筋混凝土的裝配式襯砌及混合式襯砌來進行。

地下結構理論發展的簡述

地下建築物的原始形狀出現在堅固的岩石中，主要是在石灰岩、白云石及石膏層等岩石中天然形成的洞穴及空洞。

地下工作的藝術在上古時代就出現了，並為人們用作各種各樣的目的。

還在石器時代，就已用地道方法開采岩石以取得當時用以製造勞動工具的燧石。布茲比（阿布哈吉亞）河上的發現物證明了我們人類的祖先在三千年以前，就已經知道了用銅、錫、鉛、鎳等合金製造各種制品的優良方法，可見他們已經能采得這些礦物了。

那時，在格魯吉亞和阿爾明尼亞境內，已經在凝灰岩中築成了很多巨大的地下建築物，這些建築物組成了整個地下城市。居住在遼闊高原上的阿爾明尼亞人就是住在設置有梯子及傾斜入口的寬闊地洞中。在偉大的斯大林的故鄉哥里城附近，還保存有用專門隧道與庫拉河溝通的古代地下城市的遺迹。為了利用地下水及雨水作為給水，建築了深豎井體系，在這些豎井間用地下通道連接，而這些通道則位於離地面 50 公尺的地方。

地下坑道通常都沒有襯砌，只是在個別的情況下才用天然石塊來加固。

地下工作在古代的其他國家里也是知道的。

進行地下工作需要很大的毅力和高深的知識，這個繁雜的技術在古俄羅斯就已經有很高水平了。在 1945 年發掘維杜布茨基寺院（於十一世紀由基輔侯爵伏雪沃洛得修建的）地方時，發現了埋藏在巨大地下坑道中的遺迹。看來在十一世紀以前（大教堂建築時代），在教堂下面就已經建築了寬大的地道。