

# 结构计算手册

( 内部参考资料 )

地下结构设计手册

北京市土建技术交流会

1965

# 地下結構設計手冊

(特 构—7)

江苏工业学院图书馆

主編单位：水利电力部北京勘测设计院

編制单位：铁道部专业设计院

北京市土建技术交流会主办

1965年7月北京

## 前 言

为了充分利用各院已有业务建设成果，编制一些比较完整的设计参考资料，以适应广大设计人员下楼出院下现场设计的需要，北京市土建技术交流会在各院的建议下，组织了这次以水电部华北电力设计院，建工部北京工业建筑设计院，五机部第五设计院为核心组的交流活动，对当前迫切需要解决的设计图表、设计手册在收集各院已有设计、计算资料的基础上，进一步组织力量，进行选编、整理、补充、统一协调、编印等工作。

这一些设计图表、设计手册共分十二大类，包括荷载、静力计算图表、排架多层刚架分析图表、钢筋混凝土梁板柱断面配筋、砖石结构、木结构、钢结构、地基基础、特种结构（烟囱、水池、水塔、煤斗、深梁、管架、挡土墙、地沟、地下结构）、建筑结构防腐设计、防振设计、设备基础设计等各类设计手册。

参加编制这些图表的设计单位有：一机部第一设计院、一机部第八设计院、三机部第四设计院、四机部第十设计院、五机部第五设计院、二机部十三局、冶金部有色冶金设计总院、冶金部黑色冶金设计总院、建材部水泥玻璃设计院（水泥院、玻璃院）、水电部华北电力设计院、建工部北京工业建筑设计院、北京市建筑设计院、水利电力部北京勘测设计院、化工部第一设计院、化工部橡胶设

计院、纺织部设计院、307 部队、总后勤部营房设计院、一轻部北京轻工业设计院、建工部北京给水排水设计院、铁道部铁路专业设计院、冶金部建筑科学研究院、以及几个外地设计院（包括一机部第二设计院、六机部第九设计院、八机部第一设计院、八机部第二设计院、沈阳铝镁设计院、东北工业建筑设计院、鞍山焦化设计院、长沙矿山设计院、中南工业建筑设计院）等共三十二个设计单位。

这些图表、手册能在短期内与大家见面，主要是由于各设计院领导的大力支持和设计院在编制中通力合作，集体努力的结果。但由于时间仓促和核心组的水平限制，难免有所错误和不足之处，希广大设计同志在使用中及时给我们提出意见，以便今后进一步修订补充。

北京市土建技术交流会  
设计图表手册编制核心组

于 1965 年 7 月

# 目 录

|                     |        |
|---------------------|--------|
| <b>第一篇 一般规定</b>     | ( 1 )  |
| §1—1 概 述            | ( 1 )  |
| §1—2 设计地下结构对基本资料的要求 | ( 2 )  |
| §1—3 地下厂房位置的选择      | ( 3 )  |
| §1—4 地下厂房断面型式的选择    | ( 9 )  |
| §1—5 衬砌设计           | ( 12 ) |
| 一、衬砌设计的一般原则         | ( 12 ) |
| 二、衬砌断面的确定           | ( 17 ) |
| §1—6 明洞及洞门设计的一般原则   | ( 20 ) |
| <b>第二篇 荷 载</b>      | ( 22 ) |
| §2—1 荷载及其组合         | ( 22 ) |
| §2—2 各种荷载的计算        | ( 24 ) |
| §2—3 施工支撑的荷载        | ( 37 ) |
| <b>第三篇 地下结构衬砌计算</b> | ( 41 ) |
| §3—1 衬砌应力分析计算公式     | ( 42 ) |
| 一、半衬砌               | ( 42 ) |
| 二、直墙式衬砌             | ( 55 ) |
| 三、曲墙式衬砌             | ( 71 ) |
| §3—2 衬砌计算实例         | ( 75 ) |
| 一、半衬砌计算实例           | ( 75 ) |
| 二、直墙式衬砌计算实例         | ( 92 ) |

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| 三、曲墙式衬砌计算实例 .....                 | (111)        |
| §3—3 明洞的设计和计算 .....               | (134)        |
| §3—4 平交岔段的设计和计算 .....             | (150)        |
| §3—5 竖井和斜井的设计和计算 .....            | (154)        |
| §3—6 地震区地下结构的设计和计算 .....          | (160)        |
| <b>第四篇 設計參考資料 .....</b>           | <b>(169)</b> |
| §4—1 我国已建成的若干地下厂洞参考资料 ...         | (169)        |
| §4—2 施工注意事项 .....                 | (173)        |
| §4—3 防排水设计参考资料 .....              | (176)        |
| <b>第五篇 附 录 .....</b>              | <b>(204)</b> |
| §5—1 各国地层压力的计算方法介绍 .....          | (204)        |
| §5—2 塑性平衡理论在地下结构设计<br>方面的运用 ..... | (245)        |
| §5—3 其他参考表 .....                  | (255)        |

# 第一篇 一般規定

## § 1-1 概 述

一、本手册是收集铁道、水电部门部分隧道（洞）设计资料汇编而成，供工业与民用建筑地下厂房和地下仓库设计时参考使用。

二、地下结构是指用来支固地下坑洞的结构。地下厂房和地下仓库的永久性衬砌和它们开挖时的支撑均为地下结构物。

埋置在地层中的结构与地面上的结构有很大不同：

（一）地下结构需要根据不同用途（工艺）和工程地质条件来选择不同的隧道（洞）的规模和型式，从而也使施工方法和计算方法有所不同；

（二）地下结构的计算要考虑衬砌和其周围土壤（岩石）的共同变形；

（三）隧道（洞）一般用矿山法开挖，施工条件比较困难，而在建成后要想改建或加固就更为困难和复杂。

由于上述特点，特别是作用在衬砌上的主要荷载的地层压力计算方法，到目前为止还没有很好的解决。没有正确的地层压力的估计，就不能作出合理的设计，这是关系到如何多快好省地建设的问题。因此，设计地下结构时应当周密考虑，并且不断探索、总结、提高。在目前的技术

条件和理论水平的情况下，一般可参照本篇所叙述的一般原则进行设计。

## § 1-2 設計地下結構对基本資料的要求

地下结构设计最重要的原始资料是工程地质和水文地质资料。

地质资料的成果要能解决以下的问题：

- 一、岩石成分和岩石的埋藏条件；
- 二、岩石状况（裂隙、紧密度、湿度等）；
- 三、水文地质条件；
- 四、岩石的物理技术性质；
- 五、坑洞內的温度；
- 六、坑洞內岩石压力的预报；
- 七、安全施工条件。

地质勘测一般分选点设计阶段、初步设计阶段、施工设计阶段三部分：

一、选点设计阶段，设计和地质人员共同进行查勘，查勘前应收集有关部门已有的该工程地区的小比例地形图、工程地质图、地方志等资料。如果缺乏上述资料，根据工程大小，适当做一些地质勘探或地球物理勘探。

以取得的勘查资料为基础，拟定几个可能设置地下厂房预定线的方案，作技术经济比较。

二、初步设计阶段，根据工程的规模和性质在预定地区分别进行较详细的工程地质测量、地质勘探或地球物理勘探等勘测工作，这些勘测应该提供一切设计所必需的资

料。

地质勘测报告所必需的图表附件有：比例尺 1:1000 预定洞线的地质剖面图；比例尺 1:500 进出口段的地质剖面图；地下水规律观测曲线图；地下水化学成份变化曲线图及其温度；地温观测曲线；岩石试验研究资料等。

三、施工设计阶段，在导洞开挖或全断面坑洞开挖的过程中，应查清岩体的物理力学性质、重新鉴定地质、进行一系列研究工作和工程地质记录。

在施工过程中所进行的地质和水文地质记录以及所有研究结果，应编制带有图表、照相、最后的工程地质剖面图的野外记录和研究报告。

根据工程的性质和规模，对基本资料的要求和做多少地质工作应有所不同，因为有些野外试验是要花很大的财力物力和需要很长的时间的。

### § 1-3 地下厂房位置的选择

一、地下厂房和地下仓库(以下统称地下厂房或厂房)一般由水平洞室及供通风或交通用的竖井、斜井和横洞组成。

其平面布置主要根据生产要求，结合地形、地质、水文地质、施工方法等条件进行合理布置。可以有很多布置形式(参看图 1—1)，图 1-1(A)为一字形布置形式，图 1-1(B~D)示二个洞室的布置举例。

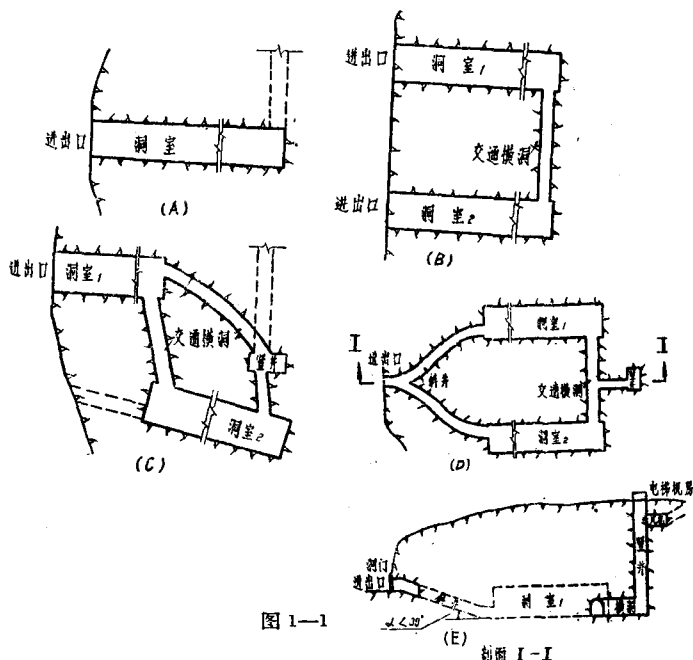


图 1—1

平面布置时应注意以下各点：

(一) 平面形状应力求简单，以一字形最经济，如果一个洞室不够使用，可二个洞室并列布置，并列的洞室也可用交通横洞连通。

当平行布置二个或二个以上的洞室时，相邻洞室的间壁（岩柱）应具有足够的宽度以保持岩体的稳定。一般根据地质条件、洞室横断面尺寸、施工条件来确定。

间壁的合理宽度，下列几个计算方法可供参考：

1. M.M. 普罗托奇扬科诺夫公式（图 1-2a）

$$L \geq 0.65 \sqrt{\frac{raH}{f}} (m) \quad (1-1)$$

式中:  $L$ ——间壁最小距离( $m$ );

$r$ ——地层单位体积重量( $t/m^3$ );

$a$ ——洞室跨度之半( $m$ );

$H$ ——洞室顶至地面高度(m);

$f$ ——普氏地层坚固系数。

如二个洞室跨度不同时,则洞室半跨度可按下式求出:

$$\sqrt{a} = \frac{1}{2}(\sqrt{a_1} + \sqrt{a_2}) \quad (1-2)$$

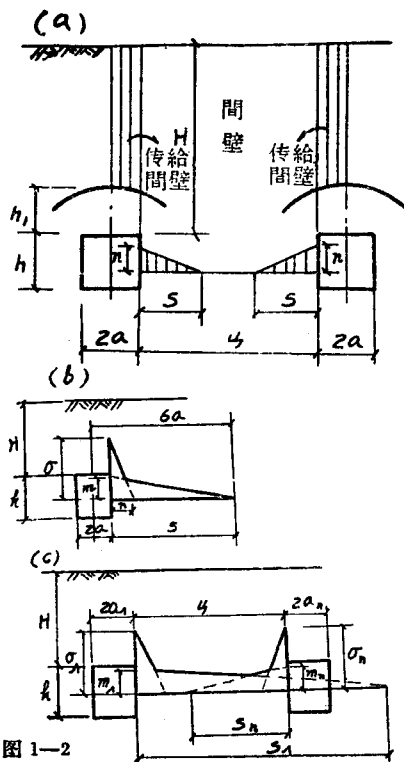


图 1—2

## 2. П.М. 秦巴列维奇方法 (图 1-2b,c)

压力在间壁上按折线形分布, 其分布距离为,

$$S = 5a \quad (1-3)$$

折线部分倾斜角的截距按下式确定,

$$\left. \begin{aligned} m &\leq 0.5(K-1) \\ n &\leq 0.6 \times 2a \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

式中:  $K$ ——洞室侧壁中点上的应力集中系数, 其值列于表 1—1 中。

$K$  值 表

表 1—1

| 断 面 型 式  | 圓    | 橢 圓  |     | 短 形 |     |     |      |
|----------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|
| 高度与跨度的比值 | -    | 2:3  | 3:2 | 3:1 | 1:1 | 1:3 | 1:5  |
| K值       | 2.75 | 3.75 | 2.2 | 1.0 | 1.3 | 2.0 | 2.23 |

(註): 高度与跨度为其他比值时,  $K$  值可用插入法求得。

当间壁宽度  $II \geq S$  时, 最大应力为,

$$\sigma = (K-1)rH \quad (1-5)$$

当  $II > S$  时, 应力图互相重迭 (图 1-3c), 最大应力为,

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_x &= \sigma_x + m_x \sigma_n \left( 1 - \frac{II}{S_n} \right) \\ \sigma'_n &= \sigma_n + m_n \sigma_x \left( 1 - \frac{II}{S_x} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

若括号内的式子是负值时, 应使  $\sigma' = \sigma$ ,

按秦巴列维奇的方法计算时, 间壁宽度可以采取小于一个  $S$ , 但间壁中最大应力不应超过岩石容许应力。

### 3. 经验公式(图 1—3)

洞室中心间距

$$B = 2a_1 + G \quad (1-7)$$

式中:  $a_1 = a + h \tan(45^\circ - \varphi/2)$

$G$ ——多保留的安全  
距离

石质  $G = 3 \sim 6 \text{ m}$

土质  $G = 8 \text{ m}$

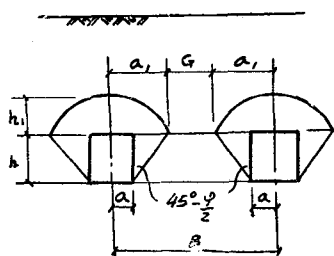


图 1—3

决定间壁宽度因牵涉因素较多，特别是地质条件非常复杂，尚难明确规定，目前除参考计算外很大程度上要参照地质条件的好坏凭经验来确定。水电部门的地下厂洞一般都处于  $f > 2$  的地层中，间壁宽度定为，

$$L \geq \text{一倍洞室宽度}$$

铁道部门规定，单线隧道(开挖宽度  $5 \sim 8 \text{ m}$ ) 间壁宽度为：

坚硬整体岩层不宜小于  $10 \sim 15 \text{ 米}$ ；

中等岩层(包括原生黄土)不宜小于  $15 \sim 20 \text{ 米}$ ；

松软地层不宜小于  $20 \sim 30 \text{ 米}$ 。

(二) 厂房应布置于地质条件好的地层中，如果埋置较深使出口有困难，可利用斜井作为交通出口(见图 1—1D)。斜井与地层(视为水平)的垂直交角应小于  $30^\circ$ ，通行汽车时交角应不大于  $7^\circ$  (或 12% 坡度) 横洞与洞室的水平交角应尽可能做成直角。

(三) 洞室内如需通行汽车或起重车辆，则应注意车辆转弯半径的要求。

(四) 平面布置时应同时考虑通风、排水、防潮、防噪声等等要求。

(五) 布置通风豎井、横洞和交通横洞应根据地形、通风方式、施工需要、防空等结合起来综合考虑，应尽量利用开挖时的辅助巷道（开挖支洞）作为交通和通风洞，节约工程投资。

(六) 应考虑防火及防空上特殊要求。

二、根据厂房规模、防空要求、地质情况、以及施工条件，厂房一般应埋设在距地面 2~3 倍以上厂房宽度的地层深度处，一般在 20~50 米以下的深度处，有些应超过 100 米。

三、地下厂房的位置不受地面建筑物的限制，有很大的选择余地，故应尽可能选择在地质构造简单、山体稳定、坚硬的或中等坚硬的岩层中，尽量避开地层压力大、地下水位高、来水量很大和可能产生滑坡等地方(图1-4)，对于难于避开的不良地段，应进行特别详细的地质勘测并在选择衬砌结构和施工方法时予以专门的研究。

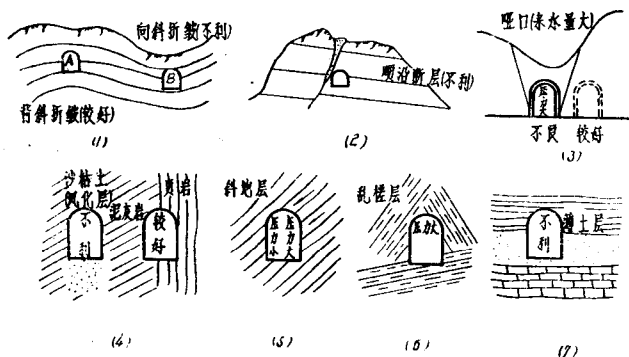


图 1—4

当坑洞的纵轴线与岩层的走向成垂直相交，这样的布置是最有利的。

当坑洞布置在岩体的背斜褶皱的中心处，这是最良好的地方，地层压力比在背斜褶皱的翼缘内来得小。

当坑洞的纵轴线与非水平的岩层走向成一致时，应详细研究接触的层间裂隙，因为沿裂隙可能有水流入坑洞和可能发生顶板坍落。如岩层倾角小于层理平面上的岩石的摩擦角，则岩层将处于稳定状态，侧向地层压力也不会发生，如倾角大于摩擦角，则岩层有可能滑动，如果还有水，则滑动就将不可避免。

应当设法避开各种断裂和构造破坏带，因为这些地方最易产生塌陷。当坑洞布置在构造凹陷区时，就有可能出现非常大的地层压力。

当坑洞的纵轴线与向斜轴一致时，可能遇到极大湧水量，地下水对地下厂房是极不利的。这些都应当在布置时考虑到的。

## § 1-4 地下厂房断面型式的选择

一、地下厂房横断面的型式及其尺寸由下列因素决定：

- (一) 生产使用上（工艺）要求；
- (二) 地质和水文地质条件；
- (三) 衬砌的静力工作条件；
- (四) 施工条件；
- (五) 工程造价。

二、地下厂房横断面的形状对地层压力（或称山岩压力）的影响很显著，一般都采用长圆形、圆形和半圆形断面。横断面的型式可以有很多（见图1—5），建议采用下列型式：

- （一）地质条件好用(1)~(4)型式；
- （二）地质条件中等用(5)~(7)型式；
- （三）地质条件差用(8)，(12)型式；
- （四）跨度很大时用(9)~(11)型式；
- （五）竖井用(13)~(15)型式；
- （六）斜井用(1)~(7)，(12)型式。

三、洞室的宽度（开挖直径）与地层压力之间的关系是：宽度极小时，压力急剧减小；中等宽度时，宽度与压力近似直线比例增长关系；宽度极大时，压力将迅速增加。故一般洞室宽度大于20~30米时，应设置在坚硬的岩层中（一般指 $f > 6$ ）。如果地质条件较差，则洞室的宽度不宜定得过大。一般在坚硬的岩层中开挖一条大断面的坑洞的费用比开挖二条小断面的坑洞的费用可省投资20~25%。反之，在地质条件不利于开挖大断面的坑洞时，应考虑设计二条坑洞的方案。

如果地层压力和横断面尺寸均很大时，则应通过专门研究来选择。

横断面的最小尺寸应根据施工条件来决定。一般圆形断面的衬砌内径不小于2米，非圆形断面高度和宽度均不小于2米，如果洞很长时则非圆形断面的宽度不小于2.5米。竖井的直径不小于3米。

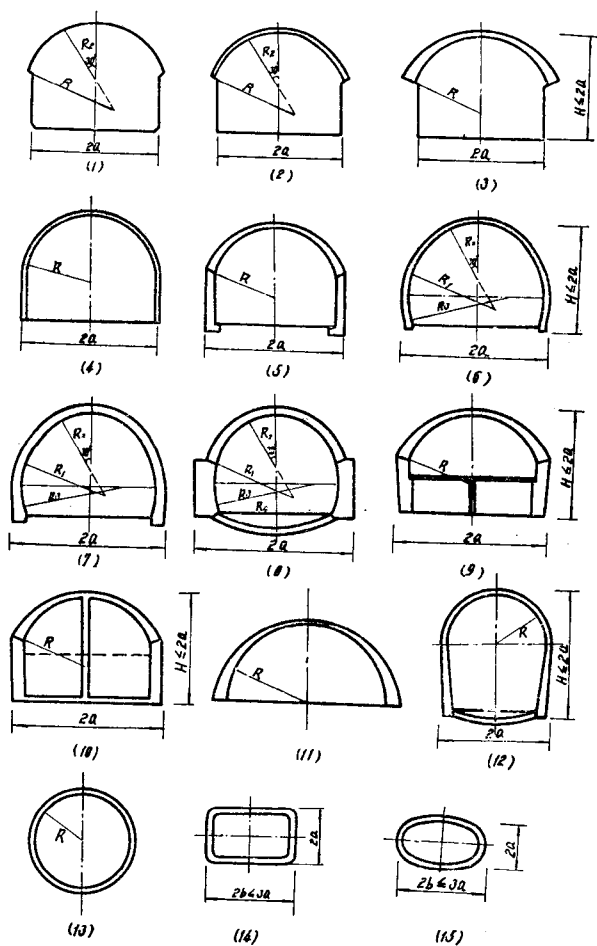


图 1—5