

地下矿山手册 充填工作

Д.М.布龙尼科夫 编著
М.Н.察加洛夫
王维德 译 周叔良 校

DIXIAKUANGSHAN
CHONGTIANGONGZUO

SHOUCE

冶金部科技情报标准研究所

231
28
1

前 言

《矿山充填工作手册》一书是原苏联几位充填采矿专家总结原苏联充填采矿方法经验的基础上集体编写的。它全面地阐述了充填的作用原理和各种矿山地质开采条件下的合理应用;研究了充填材料的性质及其相应的要求;总结了充填料制备系统、充填体的形成和充填工艺操作等方面的经验;介绍了有关充填体强度和稳定性的计算方法;提供了各种不同的充填方式、工艺设计中所应采用的不同的技术经济指标的计算方法和评价方法;书中还附有許多矿山的实例及各项技术经济指标。

因此,本书在有关充填采矿方法的理论分析研究、计算方法和实际应用、实例分析等各方面均具有较强的系统性,可靠性。它有较强的实用价值,可供矿业科研、设计和矿山等部门的工程技术人员阅读和使用,也可作为教学参考书。

编 者

目 录

第 一 章	充填的作用	1—11
第 二 章	充填体的构筑方法	12—14
第 三 章	充填材料	14—34
第 四 章	充填材料的准备	35—57
第 五 章	胶结剂和新生物的结构组成	58—61
第 六 章	水硬活性工业废料水泥当量的计算方法	61—66
第 七 章	浇灌充填料流变学	66—70
第 八 章	浇灌充填料的组成	70—81
第 九 章	人工岩体的建造和形成	81—88
第 十 章	充填体的额定强度	89—108
第 十 一 章	静载和动载下人工矿柱和顶柱的稳固性	108—118
第 十 二 章	露天矿边界附近工业矿量的胶结充填法回采工艺和参数计算的特点	119—129
第 十 三 章	保安充填体	130—146
第 十 四 章	胶结充填料的制备方法	147—163
第 十 五 章	充填体的注浆胶结法	163—183
第 十 六 章	胶结充填料的水力充填法	184—189
第 十 七 章	半独立的胶结充填法	190—192
第 十 八 章	混凝土底板	192—194
第 十 九 章	浇灌充填料的输送	195—202
第 二 十 章	松散充填	203—232
第 二 十 一 章	其它类型的充填	232—234
第 二 十 二 章	充填采矿法	234—261
第 二 十 三 章	矿床的胶结充填开采特点	261—268
第 二 十 四 章	充填的技术经济评价和使用范围	269—283

第一章 充填的作用

1.1 主要术语和基本概念

采空区充填 控制矿山压力的一种方式。

充填 充填料制备、储存和排放过程的总称,亦称充填工作。

水力充填 利用水流能量往采空区输送不加粘结组分的岩石或砂料的过程。在许多情况下借助某些自然过程可能固结。

风力充填 利用压气能往采空区输送干岩石物料的过程。

保安矿柱 留在要保护对象下方的用以保护该对象不受开采有害影响的部分矿体。

充填体 在采空区内构筑的充填料块体。

胶结充填体(冻结充填体、混凝土充填体等) 充填料组分在粘结、结晶(盐)、负温和其它因素作用下形成的整体。胶结充填体能保持垂直和水平暴露面的稳定性。

混合充填体 由胶结充填料和松散充填料构成的充填体。

充填料 用来充填采空区的材料。充填料可分为两类:Ⅰ—专由采石场开采的材料。(砂、砾、卵石、破碎岩石);Ⅱ—采矿工业各部门的生产废料(开拓和采准巷道的掘进废石、选厂尾矿等)。

充填料堆场 收受、临时储存和供给充填料的构筑物。视构筑物结构和所用设备以及装卸方法的不同,堆场可分为敞露式和封闭式堆场、电耙式堆场、栈房式堆场、仓式堆场和半仓式堆场。

充填井 在地面有出口和用于往采空区输送充填料的垂直或倾斜巷道。

小充填井 深度不大的用于从地表向采空区输送充填料的垂直或倾斜巷道。

充填钻孔 用于往井下输送充填料的钻孔。

充填管道 用于输送充填料的管道,一般直径为 100~400 毫米、长 3 公里。

充填料制备系统 制备、输送和往采空区排放充填料的工业工程,有时还包含充填料原始组分的准备和临时储存系统。

1.2 充填工艺的使用条件

如表 1.1 所示,充填工艺的使用条件是多种多样的。

在任何条件下,采用充填采矿工艺都可提高矿石回采的完全程度,改善矿产资源保护和环境等。例如,在几个阶段同时采矿体不仅有助于提高采矿强度,也有助于提高矿石开采质量。

表 1.1 充填目的和使用条件

目 的	条 件
充分回收矿石和提高矿石回收质量	回采保安矿柱选别回采、开采复杂矿床； 开采贵重矿石矿床
在复杂的采矿技术条件和矿山地质条件下 开采矿床	开采含水量大的矿床；开采矿石和围岩不稳固的矿体； 开采有火灾危险的矿床；开采深部水平
强化开采	露天和地下联合开采；超前开采；上行开采
改善劳动条件	开采有岩爆危险的矿床
保护环境	保护地下资源、土地、森林和水体等 利用生产废料

1.3 充填料特性

强度、密度和孔隙度 一般以单轴抗压强度极限，有时也补充以双轴抗压、抗剪、抗拉和抗弯强度来评价充填料的强度特性。

工程计算中最通用的是根据试件试验结果确定的单轴抗压强度极限（苏联国家标准 ГОСТ310.2-76、310.3-76、310.4-81），可用下式计算：

$$\sigma_{\text{сж}} = K \frac{P}{F} \quad (1.1)$$

式中：K—考虑试件尺寸的系数，边长为 7、10、15 和 20 厘米时，分别取为 0.85、1.00、1.05 和 1.10；P—破碎负荷，牛顿；F—试件的工作表面积，毫米²。

用具有石蜡隔离层的盒子制备立方体试件。可按 28、60、90 天龄期进行试验。在常温下用湿锯木屑养护。每个龄期各取 3 个试件进行试验，求其平均值，第 10 个试件作备用。如果有一个试件的强度比另外两个试件的最大值小 15% 以上，则此试件即要报废。试验中试件的加载速度为 0.2~0.3 兆帕/秒。

为使试件加压表面所受压力均等，在试件表面与压力机施压板之间垫上涂蜡描图纸（苏联国家标准 ГОСТ8905-82）。

充填体的强度随龄期的延长而增大。例如，炉渣水泥充填体的强度为：

炉渣水泥龄期，天·····	28	90	180	360	720	1080
强度极限，兆帕·····	1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	2.0

用直径 10 毫米的杆件以劈裂法（苏联国家标准 ГОСТ10180—78）确定试件的抗拉强度极限，可用下式计算试验结果：

$$\sigma_p = 2P/(\pi l^2), \quad (1.2)$$

式中：l—立方体试件的边长，米。

可根据尺寸为 70×70×250 毫米（骨料最大粒度为 2.5 毫米时的充填料）和 100×100×300 毫米（骨料最大粒度≤30 毫米时的充填料）试件的试验结果，用下式计算抗弯强度极限：

$$\sigma_{\text{нз}} = M_n/W, \quad (1.3)$$

式中: $M_H = PL/2$ ——试件破碎时的弯曲力矩, 牛顿米; l ——试件的支点间距, 米; $W = bh^2/6$ ——试件阻力矩, 米³; b, h ——试件断面宽度和高度, 米。

抗拉强度 $\sigma_{\text{拉}}$ 和抗弯曲强度极限 $\sigma_{\text{弯}}$ 与 $\sigma_{\text{压}} = 1 \sim 6$ 兆帕的单轴抗压强度极限 $\sigma_{\text{压}}$ 之间的相互关系为:

$$\sigma_{\text{拉}} = 0.225\sigma_{\text{压}} + 0.45; \sigma_{\text{弯}} = 0.4\sigma_{\text{压}} + 0.1 \quad (1.4)$$

用细粒骨料时抗拉强度极限比抗压强度极限小 66.6~75%。随着骨料粒度的增大(>5 毫米)以及骨料为非滚圆颗粒时, 这个比值会增大到 5~6 倍。

可用压缩法确定抗剪强度。将边长 10 厘米的立方件试件置于压力机压板之间的专用楔子内, 以 30°、45° 和 60° 剪切角进行试验:

$$\tau = \frac{P}{F} \sin \alpha, \quad (1.5)$$

式中: α ——剪切角, 度。

可用简化的方法确定内摩擦, 亦即只用 45° 和 60° 两个角度进行剪切试验。将所得的 A、B 两点连线(图 1.1)。延长直线 AB 在纵坐标轴上截取线段得出抗剪切内聚力 C 值, 在无法向应力的情况下此值即为试件的抗剪切强度。直线 AB 与横坐标轴线的夹角即为充填体的内摩擦角 φ 。

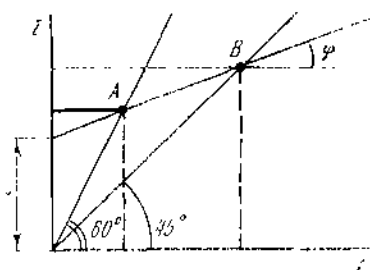
抗剪切内聚力值:

$$C = 0.38\sigma_{\text{压}} + 0.5 \quad (1.6)$$

孔隙度(ГОСТ 8735-75):

$$n = \left(1 - \frac{\rho_H}{\rho_0}\right) 100, \quad (1.7)$$

式中: ρ_H ——堆积密度, 公斤/米³; ρ_0 ——密度, 公斤/米³。



密度——在全无液体和气体包体的状态下, 绝对干燥物料的单位体积重量, 通常用比重计法确定密度。

堆积密度——在有气体包体的自然状态下物料的单位体积重量, 用表 1.2 所列规格的量杯(ГОСТ 8735-75)将物料干燥到一定重量后确定此密度。

图 1.1 内摩擦角和抗剪切内聚力值计算图

表 1.2 量杯规格

物料最大 粒度, 毫米	容积, 米 ³	直径, 毫米	高度, 毫米	物料最大 粒度, 毫米	容积, 米 ³	直径, 毫米	高度, 毫米
—10	0.005	185	185	—40	0.02	294	294
—20	0.01	234	234	+40	0.05	400	400

将物料倒入称过的量杯内, 使物料在杯中的高度达到 10 厘米, 并形成圆锥体为止, 削掉(不得压实)圆锥部分与量杯边缘齐平, 然后称量盛有物料的量杯:

$$\gamma_H = \frac{g_2 - g_1}{V}, \quad (1.8)$$

式中: g_1 ——量杯重量, 公斤; g_2 ——盛有物料的量杯重量, 公斤; V ——量杯容积, 米³。

称量边棱尺寸为 7、10、15 和 20 厘米的立方体标准试件重量确定胶结充填料的密度。

弹性和变形特性 弹性模量 E 为应力, σ 及与之相应的相对变形 ϵ 的比例系数, 在数值上等于保证相对变形为 1 的应力:

$$E = \sigma / \epsilon. \quad (1.9)$$

总变形模量 E_0 具有与弹性模量类似的特性, 它表示总变形(可逆变形和不可逆变形)与引起总变形的应力之比例:

$$E_0 = \sigma_0 / \epsilon_0. \quad (1.10)$$

可在无侧面变形的条件下, 根据压缩机压缩试件的结果确定可压缩性特性。根据试验结果绘制压缩曲线(图 1.2)。

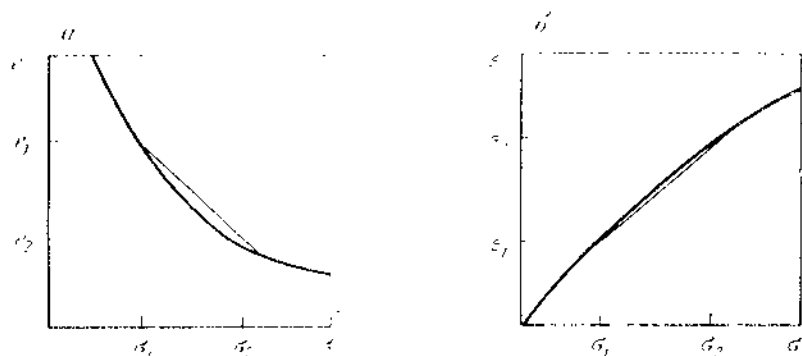


图 1.2 孔隙度 e (a) 和变形 ϵ (b) 与应力 σ 的关系曲线图

将一段压缩曲线矫直, 可得出以帕⁻¹表示的压实率说明可压缩特性:

$$a = \frac{e_1 - e_2}{\sigma_2 - \sigma_1}, \quad (1.11)$$

式中: $e = \frac{V_n}{V_T} = \frac{n}{1-n}$ ——孔隙度系数; $n-1 = \frac{\gamma_H}{\rho_0} = \frac{V_H}{\rho_0} = 1-m = \frac{e}{1+e}$ ——孔隙度; γ_H ——堆积密度, 公斤/米³; ρ_0 ——密度, 公斤/米³; $m = \frac{V_T}{V} = \frac{1}{1+e}$ ——单位体积 V 内固体颗粒体积 V_T 。

可根据压缩试验结果确定相对变形 ϵ 与压缩应力的关系:

$$\epsilon = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} = \frac{\Delta h}{h}, \quad (1.12)$$

式中: e_1 和 e_2 ——初始和最终的孔隙度系数; Δh ——初始高度为 h 的试件总收缩值。

矫直段的弹性模量:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{e_1 - e_2} (1 + e_1). \quad (1.13)$$

可借助 TA-2 型应变计(ГОСТ—24452、24544—81)用立方体试件确定静弹性模量 E_{CT} 和泊松比 μ 。为测定纵向变形可在试件加载方向上布置应变计, 为测定模向变形可垂直试件加载方向布置应变计:

$$E_{CT} = (\sigma_2 - \sigma_1) / \epsilon_{\text{纵向}}$$

$$\mu = \epsilon_{\text{поп}} / \epsilon_{\text{прод}}, \quad (1.14)$$

式中: σ_1 和 σ_2 —— 试件加载周期内的应力, 兆帕; $\epsilon_{\text{поп}}$ 和 $\epsilon_{\text{прод}}$ —— 试件的横向和纵向相对变形。

静弹性模量与单轴抗压强度极限的关系:

$$E_{\text{ст}} = 10^3 (2.3 \lg \sigma_{\text{сж}} + 0.8). \quad (1.15)$$

动弹性模量:

$$E_{\text{д}} = C_{\text{прод}}^2 \rho \frac{(1 + \mu_{\text{д}})(1 - 2\mu_{\text{д}})}{10(1 - \mu_{\text{д}})} \quad (1.16)$$

式中: ρ —— 胶结充填料密度, 公斤/米³; $C_{\text{прод}} = l/t$ —— 试件中纵波传播速度, 米/秒; l —— 试件长度, 米; t —— 试件中波传播时间, 秒。

动泊松比:

$$\mu_{\text{д}} = (0.5 - R^2) / (1 - R^2), \quad (1.17)$$

式中: $R = C_{\text{поп}} / C_{\text{прод}}$ —— 试件中横波传播速度, 米/秒。

胶结充填料的动弹性模量与单轴抗压强度极限的关系:

$$\text{当 } \sigma_{\text{сж}} \geq 2 \sim 10 \text{ 兆帕时, } E_{\text{д}} = 10^3 (8.33 \lg \sigma_{\text{сж}} / 1.5) \quad (1.18)$$

胶结充填料的静弹性模量与动弹性模量的关系:

$$E_{\text{ст}} = 0.15 E_{\text{д}}^{1.4}. \quad (1.19)$$

可压缩特性即充填体在单轴压缩或三维压缩条件下受外部载荷时的收缩程度, 以相对就形量来评估此特性。

在单轴压缩条件下可按以下关系式来确定主应力 σ_1 引起的变形量 ϵ_1 :

$$\epsilon_1 = \sigma_1 / E, \quad (1.20)$$

式中: E —— 充填的弹性模量, 兆帕。

连续充填体处于三维压缩状态 (图 1.3) 下可用下列弹塑性变形理论方程描述其应力应变状态:

平衡状态:

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z \lambda = \sigma_{01} \lambda + \rho_s Z \lambda; \quad (1.21)$$

$$\sigma_z = \sigma_{01} + \rho_s Z;$$

按座标轴方向:

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] \quad (1.22)$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)]$$

$$\epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)]$$

式中: $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ —— 沿座标轴 X、Y、Z 的应力; σ_{01} —— 充填体上部的垂直应力 (作用在充填体上的压力); ρ_s —— 充填料密度, 公斤/米³; λ —— 充填体侧向推力系数; E, μ —— 弹性模量和泊松比。

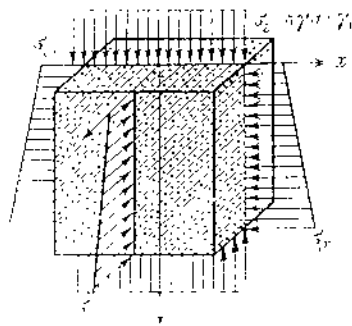


图 1.3 三维应力状态下的单元充填体

可用稳定性测定仪检测三维压缩状态下充填体的查压缩特性(图 1.4)。

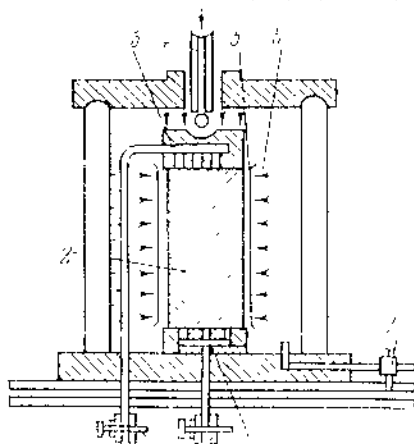


图 1.4 稳定性测量仪的结构示意图

1.7—旋塞；2—试件；3—上、下活塞；4—活塞杆；5—橡胶衬；6—加压腔

图 1.5 所示为测定充填料可压缩特性的试验装置。立方体承接套边棱尺寸为 10 厘米；圆柱形承接套高 10 厘米、内径 11.2 厘米，壁厚 20 毫米。试验时将充填混合物倒入承接套内，在正常条件正在放 180 天。与此同时制备立方体对比试件作单轴压缩试验。套内混合物的压缩过程可划分为三种状态(图 1.6)。其一，从座标原点到 I—I 线的弹性变形区一。除去负荷后完全恢复到原试件尺寸。其二，弹塑性变形区；其三，强度完全破坏区，从 I—I 线开始套内充填混合物的孔隙逐渐被压实。破碎的混合物继续承受不断增大的全负荷。在不断加大负荷的情况下，沿相对变形增长速度无明显减缓负荷曲线线段上定下 C 点。就物理实质而言，可以把这个线段描述非胶结(松散)充填料压缩和过压实过程特性。

假定的时强度 σ_{MT} 与单轴抗压强度 σ_{CK} 持续极限的相互关系与下列关系式近似：

$$\sigma_{MT} = 1.66\sigma_{CK} - 0.5. \quad (1.23)$$

长期加载时的可压缩性系数约比短期加载时大 50%(图 1.7)。短期和长期负载时可压缩性系数的全值可用下列方和近似计算：

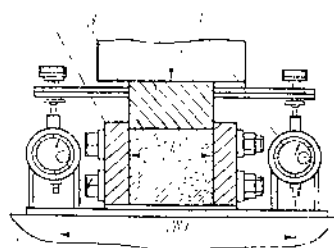


图 1.5 试验胶结充填料可压缩特性的装置

1—支承板；2—压模；3—充填料；4—压头；5—压边机活塞杆；6—时钟指示器；q—负荷

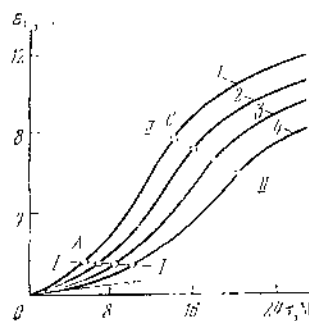


图 1.6 不同强度胶结充填料试件的应力—变形(σ—ε_k)曲线图:

1、2、3、4—试件单轴抗压强度极限分别为 2.5、3、3.5、4 兆帕；1-1、11-11—不同状态区边界线；A 和 C—曲线拐点

在 $0 \leq \sigma_t / \sigma_{Mf} \leq 1.6$ 的条件下,

$$\epsilon_{\Pi} = \epsilon_k + \epsilon_t = \epsilon_k \left\{ 1 + \left[1 - \exp \left(-0.62 \cdot 10^{-2} \frac{\sigma_t t}{\sigma_{Mf}} \right) \right] \right\}, \quad (1.24)$$

若 $\sigma_t / \sigma_{Mf} > 1.6$, 则

$$\epsilon_{\Pi} = \epsilon_k \left\{ 1 + 0.62 \left[1 - \exp \left(-0.97 \cdot 10^{-3} \frac{\sigma_t t}{\sigma_{Mf}} \right) \right] \right\}. \quad (1.25)$$

随着 σ / σ_{Mf} 比的增大, 压缩减轻(图 1.18)(表 1.3、1.4)

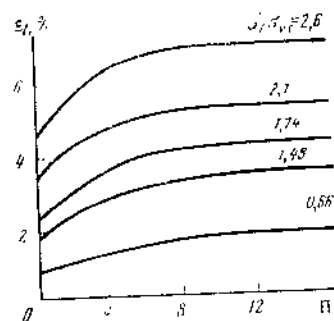


图 1.7 试件压力与其假定瞬时强度 σ_{Mf} 的比不同时变形 ϵ_t 与加载时间 t 的关系曲线

渗透率 K 。渗透率为压头梯度等于 1 时的渗透速度。在现场条件下, 借助抽水和灌水设备及根据力学分析和充填体孔隙度资料进行计算来确定渗透率。为获得观测资料, 要用 СПЕЛИГЕО 管进行试验。

根据渗水性和渗透率(米/天)可将充填体分为以下 4 类:

实际上不渗水的 $K_0=0\sim 0.01$ 的水砂充填体,乃是水泥含量高、含泥多的细粒炉渣构成的充填体;

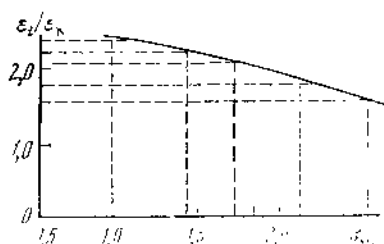


图 1.8 ϵ_i/ϵ_k 与 $\sigma/\sigma_{сж}$ 关系曲线

表 1.3 诺里尔斯克矿冶公司各矿的充填体形率

$\sigma/\sigma_{сж}$	充填体变形率 $\epsilon, \%$	
	砂+水泥	水碎渣+水泥+硬石膏胶结剂+0-5 毫米粒级碎石
1	1.3	0.8
2	2.7	1.8
3	4.0	2.3
4	5.3	3.1
5	6.7	4.2
6	8.2	5.0

表 1.4 萨特金菱镁矿床充填体的变形率(设计)

$\sigma/\sigma_{сж}$	充填体变形率 $\epsilon, \%$ (粒渣+水泥+0-25 毫米粒级碎石)	$\sigma/\sigma_{сж}$	充填体变形率 $\epsilon, \%$ (粒渣+水泥+0-25 毫米粒级碎石)
1	0.5	4	2.7
2	1.6	5	3.0
3	2.1	6	3.5

弱渗水的 $K_0=0.01\sim 20$ 的水砂充填体,乃是由细砂、含粘土和粉法混合物的选厂尾矿和细泥构成的充填体;

中等渗水的 $K_0=20\sim 500$ 的充填体,乃是由粗粒和中粒砂与粘土达 30% 的混合物构成的充填体或由炉渣水泥作胶结剂的胶结充填料构成的充填体;

易渗水的 $K_0>500$ 的充填体,乃是由含少量砂混合物的砾石和粗碎岩石构成的充填体。

充填料凝固强度 可利用直径为 1.1 毫米的固定在能沿支架自由移动的重 300 克圆柱杆件上的针(ГОСТ 310.3—76),确定充填料凝固时间。将厚 4 厘米的充填料试样放入针下方的圆筒内。如果加载时针插进充填料中未达到 1 毫米底部,则记作凝固始点;如果加载时针插进充填料内 1 毫米深,则记作凝固终点。重复这种试验 3 次。含不同胶结剂的充填料的凝固期为:

	始点	终点
炉渣硅酸盐水泥	1 小时	12 小时
含粘土的炉渣硅酸盐水泥(1:1).....	5 小时 40 分钟	32 小时
含硅酸盐水泥(3%)的一级高炉炉渣	6 小时	32 小时
热电厂电收尘器烟灰	1 小时 30 分钟	14 小时 30 分钟
含硅酸盐水泥的混合物用水拌合后过 1 小时凝固。加粘土物料使水泥浆缓凝,过 5~6 小时后开始凝固。		

在头 3 个月内强度急剧增长。用加有水泥的复合胶结剂时,3 年内充填体的强度可增长 40%。计算中通常取 3 个月龄期的强度作标准强度,而把以后增长的强度看作是安全系数。

1.4 煤矿充填料的物理力学性质

主要采煤区通常用煤层的沉积岩,如砂岩、泥质板岩、粉砂岩等作充填材料。表 1.5 所列
为库兹涅茨煤田各企业所用充填料的物理力学性质。

表 1.5 库兹涅茨煤田各企业所用充填料的物理力学性质

物理力学性质	0~60 毫米粒 级岩石(库兹 涅茨岩系)	下列粒级烧岩,毫米		0~60 毫米粒级 岩石(科克斯、 诺格拉德矿)	阿巴古尔烧 结厂废渣
		0~5	0~10		
岩石种类	砂岩、泥质 板岩、粉砂岩	烧变砂岩、泥质板 岩、粉砂岩		砂岩、泥质 板岩、粉砂岩	绿泥绢云母片 岩、黄铁矿
粒度组成(毫米)%					
60	3~7	—	—	3~7	—
10~60	60~75	—	—	60~75	—
5~20	—	—	16	—	—
1.2~5	16~35	15~20	16	16~35	0.9~1.8
1.2	0.7~1.2	10~25	5~16	0.7~1.2	8.1~49.5
密度,公斤/米 ³	2600	2700	2700	2600	3600
堆积密度,公斤/米 ³					
堆积物料	1450	1420	1420	1450	1900
冲积物料	1550	1430	1430	1430	1950
抗压强度极限,兆帕	31~35	96~123	96~123	35~50	—
压力为 7 兆帕时的变形,%	25~33	16.6	17	25~33	15.7
渗透率,米/秒	0.012	0.0027	0.029	0.012	—
自然坡面角,度	32	33	33	32	31
可燃物含量,%	—	3.5	3.5	3.5	12

顿涅茨煤田各矿的主要充填材料是巷道掘进废石和排土场废石(表 1.6)。顿巴斯煤田中心区开采急倾斜煤层时也可用选煤厂废渣和地区发电厂炉渣以补充废石的不足。

表 1.6 顿涅茨煤田各矿所用充填料(砂岩、泥质板岩)的物理力学性质

物理力学性质	采准巷道掘进废石 (缓倾斜)			采准巷道掘进废石 (急倾斜)		矿山排土场	
	扎西 雅迪 科矿	加里 宁矿	高尔 基矿	加耶 夫矿	红十 月矿	加耶 夫矿	红十 月矿
粒度组成(毫米),%							
60	6.8	6.2	7.0	7.6	7.2	2.8	2.6
40~60	20.6	20.0	21.6	21.0	22.0	19.0	18.5
20~40	27.3	26.7	28.3	27.9	27.2	25.7	25.9
10~20	19.1	19.9	18.1	18.0	18.4	24.0	24.5
5~10	20.4	20.2	16.9	17.6	16.6	18.0	17.9
2.5~5	2.8	3.2	3.8	3.9	4.1	4.4	4.5
1.2~2.5	1.2	1.8	9.2	2.4	2.8	3.6	3.7
1.2	1.8	2.0	2.1	2.0	2.1	2.9	2.8
密度,公斤/米 ³	2600	2800	2620	2700	2680	2450	2410
堆积密度,公斤/米 ³	1600	1700	1650	1650	1650	1600	1600
抗压强度极限兆帕	13~25	51~67	40~50	—	29~67	16~47	15~46
压力为 8.6 兆帕时的变形, %	30	28	30	—	29	30	30
渗透率,米/秒	—	—	—	1.27	1.20	1.25	1.21
自然坡面角,度	28	28	28	28	28	29	29
可燃物含量, %	4~6	—	4~10	7~12	6~11	10~15	10~15

卡拉甘达煤田各企业采用砂岩、泥质板岩和粉砂岩含量大致相同的岩石作充填料(表 1.7)。也用索库尔斯克砂作水砂充填料,但其使用前景不妙。往采空区输送水砂充填料是充填体的强度比初始强度约下降 20%。

表 1.7 卡拉甘达煤田各企业所用充填料的物理力学性质

性 质	砂 岩		泥质 板岩	粉砂岩	烧岩	索库尔 斯克砂
	细 粒	中 粒				
密度,公斤/米 ³	2480	2460	2660	2490	2390	2700
堆积密度,公斤/米 ³	1450	1450	1500	1450	1400	1600
抗压强度极限,兆帕	38~64	29~34	23~39	47~68	74~117	—
在下列压力(兆帕)下的变形(%):						
2.8	7.7	10.0	18.2	12.9	10.5	—
7.0	14.1	18.5	26.8	20.8	15.3	—
11.2	19	22.4	—	26.4	11	—
自然坡面角,度	41~42	41~42	35	35	32	30
渗透率,米/秒	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003	0.002

特基布利—沙奥尔煤田各矿有发展前景的充填材料是破碎的石灰石和矿山废石(表 1.8、1.9)。

表 1.8 特基布利-沙奥尔煤田各矿所用充填料的物理机械性质

物理力学性质	破碎的石灰石, 0~25 毫米粒级	矿山废石, 0~40 毫米粒级
密度, 公斤/米 ³	2690~2790	2660~2770
堆积密度, 公斤/米 ³	1570	1470
在下列压力(兆帕)下的变形(%)		
5	9.0	16
10	15.0	22
15	18.0	23
20	18.5	25
自然坡面角, 度:		
堆积物料	41	40
冲积物料	37	35
渗透率, 米/秒	0.012	0.008

表 1.9 水力充填时充填体的密度和孔隙度

充填料类型	密度, 公斤/米 ³	孔隙度, %
块石充填料(库兹涅茨地层)	1550~1650	35~40
特基布利—沙奥尔煤田砂岩	1340~1890	40~49
顿涅茨煤田巷道掘进废石	1430~1580	37~56
顿涅茨煤田排土场废石	1460	36~53.6

充填体的湿度平均为 8~12%。

表 1.10 所列为充填料粒级的水力粗度值(静态液体中颗粒的均匀下降速度; 相当于在空气中的飘浮速度)。

表 1.10 充填料粒级的水力粗度

充填料粒级	密度, 公斤/米 ³	颗粒尺寸, 毫米	相对下列介质的水力粗度(米/秒)	
			液体(水)	气体(空气)
粉尘粒级	2500~2800	0.05~0.25	0.147×10 ⁻² 0.249×10 ⁻¹	0.09~0.9
砂粒级	2500~2800	0.25~1.0	0.249×10 ⁻¹ 0.108	0.9~4.0
细粒级	2500~2800	2.5~5.0	0.212~0.300	8.5~14.3
粗粒级	2500~2800	5~10	0.300~0.425	14.3~18.0
块石级	2500~2800	10~15	0.425~0.520	18.0~22.0
		15~25	0.672~1.09	22.0~27.5
		15~40	0.672~1.09	27.5~36.0
		40~75	1.09~1.49	36.0~50.2
		75~100	1.49~1.73	50.2~60.3

第二章 充填体的构筑方法

2.1 充填体类型

按照物理力学性质,充填体可分为胶结充填体、松散充填体和胶结与松散混合充填体。

人工矿柱 人工矿柱有各种各样的形状和尺寸,可用胶结充填料、混凝土块或混凝土构筑。大尺寸人工矿柱可用胶结充填料充填采空的矿房;尺寸不大的矩形矿柱可用边长约 $3 \times 3 \times 3$ 米或 3×5 米的模板浇灌混凝土;直径为 3 米的圆形人工矿柱可用混凝土块砌筑,随后在顶板下打入楔子构筑而成。

在总充填量中,人工矿柱约占 10~15%。使用这类人工矿柱时,余下的采空区通常用松散充填料充填,这种充填体称为混合充填体。

连续胶结充填体 这是最常用的充填体类型。在分层或矿房范围内,用胶结填料充填采空区,结果形成彼此邻接的人工岩体。

混合充填体 沿走向和深度周期性交替地用胶结充填料和松散充填料形成的系列充填体。一般每隔一种充填体构筑另一种充填体。可按每米 3 混合充填体的最低费用确定以宽度计的两种类型充填体的最优尺寸比。

2.2 充填体的构筑方法分类

矿床的多种多样开采技术条件势必会形成各种各样的充填体构筑方法,表 2.1 为几种充填体的构筑方法。

表 2.1 充填体的构筑法分类(引自 M、H、齐加洛夫资料)

充填类型和构筑方法	特 点
胶结充填	含与水起反应的胶结剂
浇灌法	将制备好的充填料排放到采空区
注入胶结浆液法	将胶结浆液注入已排放到采空区的骨料堆内
半分隔法	将骨料和胶结剂分别排到采空区,并在采空区内混合
加胶结剂的水力充填法	用水作骨料的承载介质
冻结充填	
固有的冻结体与砂、碎石等的冻结充填法	多年冻土条件下的分层冻结
块石充填	用胶结浆液加固块石
松散充填(水力充填法)	用水沿管道混合和输送充填料
干式充填	
自溜法	充填料依自重排放到采空区
机械法	用机械往采空区排放充填料
风力法	用压气沿管道输送和向采空区排放充填料

2.3 各种充填方法的基本特点

胶结充填 采用浇灌法时,若胶结充填料的单位胶结剂用量很大,并含水(每米³充填米含水 300~400 长)和细米骨料(砂)。充填混合物组分的选配要保证达到必要的充填体强度、充填的经济合理性和依借静压头或利用压缩空气能沿水平管道长距离自溜输送的轻便性。充填料的特点要使其浓度的选择能保证骨料有承载介质(胶结浆液)中处于悬浮状态。尽量减少用水量可以减少最昂贵组分——胶结剂的用量。

胶结充填的优点是充填体的质量高,缺点是破碎充填用排土场废石的费用高,充填料的制备和输送工艺复杂。

浇灌法 在回采保安矿柱、用露天和地下联合法开采矿床、开采贵重矿石以降低贫化损失以及构筑人工平巷上部矿柱、顶柱和下向分层采矿的人工顶板时,可采用浇灌法构筑充填体。

注入胶结浆液法 从地表用管道向采空区已充填的废石或回采矿房自然崩落的岩石充放胶结浆液。浆液渗入到碎石堆的空隙内,使碎石胶结成具有预定强度的整体。浆液注入方法有:1) 1.0~2.5 兆帕高压注入法;2) 0.2~0.4 兆帕低压(借助压气)注入法,可利用注射器注入浆液进行全面胶结或局部胶结。

这种方法的优点是管道输送浆液的条件更有利,可以终止岩石进一步冒落过程,可用井下废石作充填料而无需将其运至地表进行破碎。

这种方法的缺点是难以控制浆液在松散介质中的分布,因此充填体的强度不均。

在不同的条件下应用这种方法有很大发展前途。许多矿山的采掘废石量占开采矿石量的 20% 以上,将这些废石排放到采空区而不必运往地表是经济合理的。

此法的另一用途是可恢复自然崩落岩石的稳定性,这对在要保护的地面下回采矿石具有重要意义。这是为排除自然崩落后果的唯一可靠方法。可通过钻孔用松散充填料或胶结充填料充填自然崩落所形成的空洞,并可在高压下注入胶结浆液进行胶结。将松散充填料分区注入胶结浆液构成整体充填体的方法可用于回采房间矿柱。

半分隔法 这种方法由两条工艺组成。其一,用于制备胶结浆液和沿管道将其输送到采空区;其二,用于制备和输送骨料,可用压气沿管道或用带式运输机、矿车、铲运机输送骨料。在充填料排放到采空区之前或往采空区排放的同时,于要充填的矿房前 150~200 米处连接输送管道进行混合或向采空区抛掷时进行混合。

这种方法的优点是用风力输送可保证充填料完全接顶,这对缓倾斜薄矿体的房柱法开采很有意义;利用大块充填料(废石)可以节省胶结浆液和降低骨料制备(破碎)费用。

这种方法的缺点是要用充填料和胶结浆液两套输送系统,充填料搅搓拌质量低。

水力充填 与普通水力充填法的区别在于视充填体额定强度的不同,可按 1:2 到 1:30 的重量配比往骨料中添加胶结剂。用水输送骨料,流速应超过临界值,以免发生堵管。浆体中固体重量占 70%,单位耗水量为 600~700 长/米³,多余的水应经由充填体和岩体渗透或通过排水设施从充填矿房中排出。要连续排放充填料。

这种方法的优点是可以利用未完全脱水的选厂尾矿,因而可减少尾矿处理费用和粗粒

(20~40毫米以上)级骨料使用量。

这种方法以的适用条件是容量不大的采空区和渗透性大的多裂隙围岩以便于排出多余的水。

冻结充填 此法的实质是通过供给充填料和冷空气,与骨料一分层冻结一层冰或几层以冰。其主要优点是成本不高。缺点是长期负载时承载能力几乎会降低50%。用破碎岩石与水一起冻结可加速冻结过程提高充填料体强度。

冻结充填的基础在于利用通风机往充填区压入冷空气。有许多脉金矿床由于采幅不大,特别在围岩接触带充填料有冻结危险,有终止水解和水合过程危险时,往往不太可能用普通法进行充填。

块石充填 此法是用胶结浆液固结不同尺寸的块石(类似于砌砖)。其优点是用水量最少,因而在超深矿井中对于降低大气相对湿度很有意义。缺点是实现作业机械化困难。

印度有些超深矿井(深度约3.5公里)采用块石充填。不充填整个采空区,只充填与相邻矿块交界部分,这与局部注入胶结浆液的方法很类似,矿块的其余部分则用松散充填料充填。

松散充填 用不同方法(机械法、水力法等)向采空区排放松散充填料。

在金属矿床开采(占充填量的10%)和煤田开采(占采煤量的1%)中容积不大的采空区多采用松散充填。这种充填工艺作为混合充填的组成部分,以及用注入胶结浆液法构筑胶结充填体时很有使用前途。在钾盐矿床开采中,充填料受外部负荷作用易形成整体的情况下,这种工艺仍保有其独立形态。

第三章 充填材料

3.1 充填材料分类

表 3.1 充填材料的用途和类类型

用 途	类 型
胶结剂	硅酸盐水泥、磨细的冶金炉渣、烟灰、与填 料(粘土、泥)混合的水泥、制碱废料、天然 材料(酞、石膏、沸石等)
活化剂	水泥、石灰、制碱废料等
骨料	井下和排土场废石、选厂尾矿、水碎渣和废渣、天然砂、砾石
增塑剂	天然砂中含的粘土、矿泥、化学剂
承载介质和固结剂	矿坑水、选厂尾矿废水、工业用水、消防饮用水, pH=4~10