

# 矿井巷道 水泥浆喷射支护法

张勇毅 周文編著

煤炭工业出版社



1389

矿井巷道水泥漿喷射支护法  
张勇毅 周文編著

\*

煤炭工业出版社出版(社址:北京东长安街煤炭工业部)

北京市書刊出版业营业許可証出字第 084 号

煤炭工业出版社印刷厂排印 新华書店发行

\*

开本 787×1092 公厘 $\frac{1}{32}$  印张 2 字数 37,000

1960 年 2 月北京第 1 版 1960 年 2 月北京第 1 次印刷

統一書号: 15035·1042 印数: 0,001—4,000 册 定价: 0.23 元

## 序 言

用噴射水泥砂漿来支护岩石巷道起到支架的作用是一个大胆的嘗試，从大胆想象到試驗、再到实际使用的过程也費去了将近半年的时间。1957年底我們从文件上見到苏联用噴射混凝土来支护巷道的試驗記載，同时看到大同地区侏罗紀煤系中的岩层大多数都是砂岩和砂頁岩，十分坚固，云崗石窟就是开凿在这种砂岩之內，至今已有一千四百余年，除去表面风化以外并没有坍塌，因此考虑到开凿在这类岩石中的井筒或巷道不过使用几十年，最多也不过一百年，能不能不要支架呢？当然云崗石窟当时是用手工慢慢凿成的，而井巷却是使用炸藥开凿的，两者之間对岩石的破坏是有所不同的，但是經驗証明在井巷的施工中經過爆破的岩石表面产生裂縫，会成鱗片状剝落，为了防止这种剝落造成事故，是可以采取在岩石表面加一层保护层的方法，这就是用噴射水泥砂漿来保护巷道的起因。1958年初我們在試驗室中进行了一系列的試驗，对噴漿层的抗应力、材料处理、厚度、操作方法等得到了一些数据，因此五、六月份就在晋华宮大斜井的副井中作实验性的使用，經過一年多時間証明这一方法在大同是完全可以使用的。

这一大胆的創造得到了成功是在党的总路綫光輝照耀下，發揮了大家的积极性和敢想、敢說、敢干的精神才能

够取得的，同时在試驗和使用中也都得到各級党委的大力支持，因此成績的获得應該归功于党的領導和集体的力量。

噴漿經驗的总结經過張勇毅同志辛勤的整理，并且又增加了一些理論上的計算，編写成为这本小冊子，由于編写的時間較緊迫，写完后虽然也看过，但是限于个人知識水平，內容方面有不妥之处尚希讀者不吝指正。

大同矿務局 陈迪武 一九五九年八月  
副总工程师

# 目 录

|                   |    |
|-------------------|----|
| 序 言               |    |
| 緒 論               | 4  |
| 第一章 噴射的原理与計算      | 6  |
| 第二章 噴射材料          | 9  |
| 第三章 噴射設備的构造和制作    | 19 |
| 第四章 噴射設備的操作       | 30 |
| 第五章 噴射厚度和噴射能力的計算  | 48 |
| 第六章 錨杆支架与水泥噴漿綜合支护 | 53 |

## 結 論

用压气喷射法施工，目前在我国还是一项新技术。限于国产喷射机的性能，目前还不能喷射粗骨材的混凝土，本书所说的喷射物仅指喷射水泥砂浆，骨材的最大粒度可达8毫米，已超出一般砂浆的范围，部分已达到细集料混凝土的程度。

水泥喷射是水泥砂浆或细粒混凝土的干拌料，借压气的压力经喷嘴加水后，其本身具有粘结性质，喷射于喷射面。拌料本身经压气吹动获得动能，到喷射物表面起冲击捣固作用，同时因其有粘结性，所以造成坚固的附着物或构件本身。

这种方法的特点是机械化程度高，搅拌、浇注、捣固等工序差不多完全机械化，大大减轻了工人的繁重体力劳动，更重要的是成品的致密度和强度，远非其他方法所能达到的。

压气喷射水泥浆或混凝土的强度与质量能令人满意，较用一般方法浇灌的致密、早期强度高、喷射体内含水份少、水灰比小、附着力强。我们曾用水泥浆向荒石砌的虎皮墙上喷射，水泥浆层与石墙连成一体，三天后用锤敲击时，石块击碎亦不能将二者分离。喷射至井下岩石巷道岩体上，亦同样与岩石粘结成一体，用锤敲亦不能分开，可见其附着能力是相当大的。如喷射在钢筋混凝土与混凝

土上、木材上或葦蓆上，粘着亦很牢固，噴射物致密而且早期强度高。

拌料均匀的噴射料进入机器沿管路运行，再由噴嘴噴出达到目的物上，所以不需要人力或其他搬运机械，有的地方如有底衬，象桥涵、堤壩、防水层及井下巷道支护等构筑物，可省去模板。在修补鋼筋混凝土构筑物时，只需将损坏部分清理干净，如果是平面的直接往上噴就可以了，也不需要模板。如自由面多，也可以較澆灌法省去一面模板。

噴漿的用途很广，在矿井建設中，用于井筒或井下的峒室和巷道，可以代替混凝土或石材发磁，作防水隔层、打密閉、防瓦斯或有害气体的隔层等。在建筑工程中，可用以制构件，修补混凝土或鋼筋混凝土构筑物，穀仓，儲水池以及代替抹面工程。在水利工程方面，可用于建筑堤壩防水层，涵洞水庫等工程上。此外，在铁路隧道工程，排烟(汽)孔等工程中都可采用，所以使用范围是非常广泛的。

## 第一章 噴射的原理与計算

噴射物借壓縮空氣，經過一定的輸料系統及設備噴射出去。在進行噴射時，用空氣壓縮機把壓縮空氣壓到導管內，在出口處造成壓力差，使壓縮空氣流經噴射機（或稱加料設備）流向出口。壓縮空氣流經加料設備時，具有一定的壓力與速度，可將所加入的干拌材料造成懸浮狀態，並且能沿導管將干拌料與壓縮空氣的混合物噴射出去。干拌料能造成懸浮狀態，是壓縮空氣所具有的一定壓力與速度在管路系統中流動所造成的。

噴射物在導管內運行時，並非全部都處於懸浮狀態，而是跳躍式的運動，所以導管內的集料，部分地處於懸浮狀態，部分地沿管壁滑動而過。

如果噴射材料中包含的級配是各種不同的大粒與小粒，特別是含有粘土質較多的細集料，或者細集料中含水率稍大時，則其中的微細顆粒易于粘在管壁上，造成輸料困難。為了計算方便，應按最大粒度的集料計算懸浮速度。

就利用噴射機噴射干拌料的过程來看，與利用風力運輸設備的原理無異，只不過前者噴出壓力較高、設備較小而已，故在噴射的理論計算方面均參照風力運輸進行。

噴射材料從落入噴射機起，順機器沿輸料管經噴嘴噴出，在這個運行過程中所具有的風壓與風速，是用來克服噴射材料運行中所遇到的阻力，並供給出噴嘴時所需要的

冲射力(或称射击力)。从沿管路輸送給噴嘴的材料来看, 材料的移动方式應該是以这样的一种速度为最小速度, 即在这种速度下, 材料的微小顆粒在水平或部分垂直的管路中, 仍能保持悬浮状态而不致降落, 在管路的底部这种速度称为临界速度。

在实际工作中, 不单纯是水平輸送材料; 在較多的情况下, 有的部分还需要垂直向上輸送材料。为了克服导管較細所增加的阻力, 以及在往噴射面噴射材料时能够产生冲力, 噴射设备的实际速度(工作速度)永远比临界速度高得多。

噴射时所需要的工作速度 $V$ 的标准, 根据悬浮速度 $V_n$ 选定。悬浮速度是在垂直导管內向上运行, 压缩空气流动的一种速度。在具有这种速度的时候, 一定粒度 $d$ 和一定比重 $\gamma$ 的材料顆粒, 处于悬浮状态, 既不下沉也不浮起。

参照风力运输以最大粒度材料計算出来的悬浮速度 $V_n$ 为依据, 悬浮速度之值按下式計算:

$$V_n = 3.2 \sqrt{a' \frac{\gamma_n'}{\gamma_a}} \text{ 米/秒,}$$

式中  $a'$ ——材料中最大粒度的最大横断面尺寸, 米;

$\gamma_n'$ ——材料的比重, 公斤/立方米;

$\gamma_a$ ——自由空气的比重(按导管噴嘴出口处計算)  
公斤/立方米。

在輸料导管噴嘴出口处的工作速度, 也就是在运输粒度比重都較大的集料时的自由空气速度, 在风力运输中, 工作速度定为悬浮速度的1.5~2倍, 而在噴射中工作速度

至少应为悬浮速度的8倍以上，即工作速度 $V > 8V_{\text{悬}}$ 米/秒。

工作速度 $V$ 与下列各因素有关，如材料的含水率，材料中粒度較小的物質，水泥粉、細砂及粘土的含量，輸料管长度以及噴嘴超出噴射机的高度等。在輸料及噴射困难的情况下，則应考虑增大工作速度。

为了保証噴射工作順利进行，必須使供料工作連續，这与噴射机的生产能力与輸料导管直径以及品种有关。如果在噴射机和导管为一定規格的条件下，就必须調整每次加料量来达到連續噴射的要求，也就是說應該保持风与材料的按重量計的一定浓度（在单位時間內所运料的重量与同一時間內使用空气重量的比），以下列公式表示：

$$\mu = \frac{1}{\varepsilon} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_B}$$

式中  $\varepsilon$ ——一立方米噴射材料所需的通常大气压力下的空气量，立方米/立方米；

$\gamma_M$ ——充填材料散集重量，公斤/立方米；

$\gamma_B$ ——外界空气之比重，公斤/立方米。

$\varepsilon$ 之数值应根据下列設備的使用条件选定(或測定)：  
輸料管长度、所用噴射材料的性質、噴射机器系統运输的情况。根据書中所述的噴射机器，此值在210~270立方米/立方米的范围內。

根据噴射材料数量計算的自由空气每分鐘的消耗量应为：

$$V = \varepsilon \frac{V_M}{60} \text{ 立方米/分,}$$

或

$$V = \varepsilon \frac{V_m}{3600} \text{ 立方米/秒}$$

式中  $V_m$ ——噴射設備的生產率，立方米/小時。

根據空氣消耗量計算，工作的導管必要的直徑，以下式求算：

$$V = \frac{\pi d^2}{4} v \text{ 立方米/秒，}$$

式中  $v$ ——壓縮空氣在導管內運行速度米/秒。

由上式求出的導管直徑往往較大，因為採用固定設備及金屬導管輸送材料，所選用的工作導管直徑，不小于貨載最大塊的2~2.5倍；而在噴射的小型移動設備及以橡膠軟管作導管的情況下，往往首先選用導管，而後根據設備來限制所用材料的粒度，如選用1吋內徑的橡膠軟管，所用噴射材料中的骨材最大粒度就不得超過管直徑的1/2.5，也就是說粒度不能超過1厘米。式中 $V$ 、 $d$ 、 $v$ 三個未知數，知道其中二個，即可利用上式求出另一未知數。

## 第二章 噴射材料

噴射材料是依靠壓氣獲得動能，借高標號粘結材料——水泥的粘着力附着於噴射面。根據這個特點，對於所使用的材料要求是比較嚴格的。只有按照要求選擇材料，才可以保證質量，並節約原材料。

## 第1节 水 泥

噴射材料是借水泥粘結力附着凝結在噴射物上，与噴射底层凝成一体。因此，要求水泥应具有較好的和易性及早期强度高的特点。

粘結力：噴射材料与底层之間，以及噴射材料与噴射材料之間的凝結与联接，都必須借粘結材料——水泥来完成，尤其是表現在一次噴射厚度的問題上，如果水泥的粘結力强，那么噴射物与底层的附着能力也就强，所以噴射物的附着厚度也就可以增加。一次最大噴射厚度的决定，就是根据噴射物的重力小于噴射物对底层的附着力，这当然是指素水泥砂漿或素混凝土而言。因此，粘結力强的水泥，可以保证噴射質量，使噴射物致密、牢固，不易塌落与剝落。如果噴射物很厚，水泥的粘結力又强，就可以减少噴射次数。在噴射防腐、防水及密閉隔层等，对噴射物不要求很大强度时，同样数量的水泥，可以多掺些骨材。在同样数量的配合比情况下，水泥粘結力强的，在噴射时回弹的损失量就少，所以水泥的粘結力，对节约水泥具有重要意义。而水泥的粘結力是决定于水泥的和易性，和易性好的水泥才具有这个良好的粘結性。

提前初凝時間：水泥的初凝和終凝的時間，是有一定范围的，它根据水泥的品种不同而不同。一般在施工中对水泥制品的要求是在拌和入模之前，不希望凝固太快，亦不希望入模之后，历时太久方能凝固。但对噴射物的要求則略有不同，要求噴射物噴至底层后，能迅速凝結，因为

噴射物与底层，噴射物与噴射物之間，是靠附着力与粘結力結合的，如果硬化快，就可以增加噴射厚度，并可节省噴射時間（在噴射层数比較多时）。

噴射材料只有具备提前初凝的条件，才能在噴射时互相附着，使其自身形成一个可以自己支持自身重量的壳体，維持到一定厚度而不需用胎膜及模板。

早期强度高：一般的水泥工程都希望早期强度高些，能很快达到使用目的。对于噴射水泥漿或混凝土來說更是这样，例如将噴漿用于井下打密閉、打防火、防气隔层等，都是比較紧急需用的工程，除了要求在最短時間內作完外，还要求能够很快地达到要求强度。如果作为井巷支护，由于工作面过小，也要求迅速噴完，以便承重或支承小块浮岩，以利通风。如果早期强度很低，就会因此遭到破坏而造成損失。在其他防水或修补工程上，水泥早期强度高，也具有同等重要意义。在預制构件和土建施工中，水泥的早期强度高，也同样能达到多、快、好、省的目的。

要选用一种各项条件俱全，而且都达到最高要求的水泥，有时由于某些条件的限制，因此还不可能作到，但是我們可以按照上述这些要求去选用，使其尽量符合要求。首先标号必須在 400 号以上，以使用矾土水泥为最好，因为它硬化快、早期强度高，在 12 小时内可达 28 天强度的 50%，24 小时可达 28 天强度的 80~90%，一般 3 天即可达到 28 天的极限强度；但是矾土水泥比較昂貴，而且生产不多。在无法使用矾土水泥的情况下，一般可采用矽酸盐水泥。如果用于有侵蝕水的工程中，可用矽酸盐的变种水

泥，如矿渣砂酸盐水泥等，但应采用更高的标号，并加塑化剂和促凝剂。

## 第2节 細集料(砂子)

噴射物所用的砂，必須經過各种試驗与測驗，一般应符合下列各項要求。

1. 有机物：应当采用中色度比較法，測定其中所含的有机雜質。測定方法是將 3 % 苛性鈉溶液注入砂中，与砂量之比为 1 : 1，攪拌后靜置 24 小时，如呈亮黃色（不較标准溶液为深）为最佳。

2. 粘土或淤泥、碎石屑的含量：最好不超过 5 %（按重量計）。

3. 砂中  $SO_3$  的含量最好在 1 % 以下。

4. 砂中的云母含量最好在 0.5 % 以下。

5. 粒度：粒度大小影响噴射物的强度，砂子粒度愈小、重量愈輕，其質量也就愈差，所以粒度对噴射物强度的高低有直接关系。在使用中，砂的平均粒度最好在 0.25 毫米以上，单位重量不得小于 1600 公斤/立方米。在級配上也应注意选用粒度在 5 毫米以下，各种粒度混合的，粒度大的占的比重应大些。

6. 含水率：噴射物要求細集料的含水率必須适宜，这与所用細集料的粒度大小有关，与配合比也有关。选用时应參看試驗資料，如果选用不当，含水率小則噴出噴嘴后，水泥粉末飞揚，会增加損失；含水率过大，則易发生噴射間歇現象，使噴嘴出料不勻，甚至发生料在軟管内壁

积存堵塞。

配合时,如果砂子用量多,含水率就应相应降低。如果喷射水泥砂浆,砂的最大粒度为6毫米时,配合比为1:3,砂的含水率以4~4.5%为最合适,配合比为1:4时,砂的含水率以3.5%为宜。

喷射混凝土中砂的含水率可大些,可以为4~6%,甚至还可以高一些,因为混凝土中所含集料较多,而且有些是较大的。

测定砂的含水率,在试验室是用烘干箱来测定的,用这种方法的优点是准确,缺点是需要时间较长。如果在夏季,砂中水分蒸发很快,取样测定后,现场砂中含水率可能又有变化,所以最好能用设备简单,需要时间最短的测定方法,以采用红外线灯泡作的烘干器来测定较好。如果条件仍不允许的话,就采用最简便的办法,即所谓酒精烧测法。将定量的砂放入容器,然后加适量的酒精,使得每

电爐烘干与酒精烧测法测定砂之含水率比較表 1

| 大<br>数<br>数 | 项目<br>数据 | 测定方法 | 测 前          | 测 后          | 损失量   | 含水率 | 酒精烧测 |
|-------------|----------|------|--------------|--------------|-------|-----|------|
|             |          |      | 重 量<br>( 克 ) | 重 量<br>( 克 ) | ( 克 ) | %   | 法误差% |
| 1           | 电爐烘干     | 100  | 97.9         | 2.1          | 2.1   | 0   |      |
|             | 酒精烧测     | 500  | 489.5        | 10.5         | 2.1   |     |      |
| 2           | 电爐烘干     | 100  | 96.7         | 3.3          | 3.3   | 0.2 |      |
|             | 酒精烧测     | 500  | 484.5        | 15.5         | 3.1   |     |      |

粒砂子上都能附有酒精薄膜，然后用火点着，酒精燃烧完后，再秤其重量，二者比較即可計算出其含水率。这种測定方法的缺点，是会将砂中所含的一部分有机物揮发，这种測定与試驗室測定比較，誤差不超过  $0 \sim 0.2\%$ 。一般重要工程在条件允許的情况下，应尽量避免采用酒精燒測法。表 1 所示为在試驗室中用烘干箱及酒精燒測法測定砂的含水率的实例。

### 第 3 节 粗集料（石子）

为了避免机器及胶皮軟管遭受严重磨損，不宜采用楞角尖銳的碎石，而应用細卵石（松子石）。卵石的粒度應該根据机器型式分別选择不同的粒径。本書所談的这种机器，选用卵石的粒径应在 9 毫米以下，如果超过这个限度，容易在机器下部出料口或軟管以及噴嘴处卡住。

当发现卡住堵塞現象时，首先应关闭入气閥，并将机器内存气排出，再将軟管卸下。若是机器下部出料口堵塞，可用 8# 鉛絲勾出堵塞物。如果拆下后发现不是这里堵塞，再将噴嘴卸下检查，用同样方法处理。若是胶皮軟管堵了，处理就比較麻煩，因为压气已将噴射原料致密地堵塞在軟管内，用加大风压来吹，容易将軟管崩裂。若堵塞段很长，是通不出来的，只会愈通堵塞的愈紧。遇到这种情况，应立即把軟管从堵塞的一段当中悬吊起来，两个管口向下，用棍敲打，使管中的堵塞物逐漸松散掉出来，直到干淨为止。在发现軟管堵塞后，决不可迟延時間要立即处理，因为砂石中水分經過一定時間后，很快就会使噴射原

料凝固，那时就更难处理。

对卵石的要求如下：

1. 粒径：根据现有机器条件，最大粒径应在9毫米以下。

2. 卵石中针状颗粒和扁平状颗粒的含量宜少，最多不得超过其总重的15%。

3. 粘土、淤泥、碎石细屑含量，不得超过2%，而且在卵石中亦不得含有成块的粘土。

4. 硫酸盐的含量，以  $\text{SO}_3$  计，不得超过1%。

5. 有机物含量的要求与试验方法，与砂子要求相同。

6. 卵石的石质强度要求：其中卵石的软弱颗粒含量，不得超过10%。

卵石在过筛时应特别注意，绝不能有一粒颗粒大于限制粒径的混入其中，否则容易造成堵塞，从而造成停工处理。

#### 第4节 水

喷射物中所用的水，可能是井下的涌水或地面的河水、积水等。水的质量和含杂质多少，是影响喷射物品质的因素之一，因此用的水必须经过化验，符合下列条件者才能使用。

1. 水中氢离子浓度〔PH〕值不小于4，应当是〔PH〕=4~9。

2. 酸质含量：所含硫酸盐换算为  $\text{SO}_4$  之重量，大于1.5克/公升的不宜使用。