

喷射混凝土强度因素浅析

铁五局四处 郎保华

在铁路隧道衬砌中,采用新奥法施工技术,应用岩体力学理论利用其围岩的自承能力,采用支护手段,使与开挖后的围岩成为一个整体,以达到控制围岩的变形和松弛的目的。

喷射混凝土是隧道支护体系的一个重要组成部分。它的作用在于能早期封闭围岩的节理与裂隙,并能与开挖后的围岩紧密粘结,连成一体。由于喷射混凝土的早期强度增长速度快(二十四小时强度即能达到 5~10MPa),从而使开挖后的围岩应力状态得到改善和平衡,有效地控制了围岩的变形,较早保护了围岩的稳定。

喷射混凝土是由非均质材料组成的。施工中,其强度受多种因素的影响和制约。因此,强度的离散性较大。如何保证喷射混凝土强度的稳定和提高?将影响喷射混凝土强度的因素经具体分析就显得十分必要。

众所周知,喷射混凝土则由水泥、砂石、速凝剂和水等五种材料组成的。影响喷射混凝土强度的主要因素如下。

一、速凝剂掺量

速凝剂的掺量直接影响喷射混凝土早期及后期强度。

速凝剂能加快喷射混凝土早期强度的增长,但后期强度也相应的有所损失。一般讲混凝土早期强度增长愈快,其后期强度损失也愈大(见表一)。因此,速凝剂的掺量要严格控制在规定范围,(铁路隧道施工规范规定速凝剂掺量,应以水泥初凝不小于 5 分钟,终凝不早于 10 分钟为先决条件)。所以现场施工时应根据供应的水泥品种,对速凝剂作初、终凝时间测定,以制定合适掺量。

速凝剂不同掺量对混凝土强度影响

表一

配合比	速凝剂 掺量 %	抗压强度 MPa								
		2h	4h	8h	26h	1d	2d	4d	7d	28d
1 : 1.5 : 2.5	0			1.5	6.3	9.7	17.7	22.2	27.5	37.6
1 : 1.5 : 2.5	2	0.3	0.5	1.9	4.5	7.4	16.3	22.1	25.0	26.5
1 : 1.5 : 2.5	3	0.6	0.9	2.3	5.6	8.5	14.3	17.2	18.6	24.5

二、水灰比

水灰比是影响喷射混凝土强度的主要因素。

在混凝土中,水的作用主要是与水泥发生化学反应,使混凝土产生强度。但这种起作用的水仅占水泥重量约1.5~25%,而多余的水份只是在混凝土内起润滑作用,使所喷的混凝土在喷射过程中具有足够的和易性,不满足施工要求。

喷射混凝土在喷射到岩石后,在硬化过程中,多余的水份逐渐蒸发,使混凝土产生微细的孔隙,造成喷射混凝土的密实性和强度降低。因此,在满足施工条件的情况下,应将水灰比控制在较低范围。铁路隧道施工规范规定:喷射混凝土水灰比应控制在0.45~0.55范围。

另外,喷射混凝土施工时,水灰比的控制完全是由喷射手凭个人感觉和经验来判断的。因此,对提高喷射手的喷射理论水平和施工操作技术是保证喷射强度稳定的重要环节。

三、砂石料品质及级配

砂、石质量的好坏,对喷射混凝土强度有着很大的影响。

1、砂:砂子级配不良或砂子太细,都要增加水泥用量或加大水灰比。在喷射混凝土内,如水泥用量过多,将导致喷射混凝土产生收缩裂缝的可能性加大。增大小灰比则又降低了混凝土的强度。另外,砂子本身颗粒软弱与坚硬,对混凝土强度也有一定影响。所以在隧道施工规范规定:喷射混凝土应用质地坚硬,洁净,级配良好的中砂和粘砂,细度模量应大于2.5,含水率也应控制在5~7%(有利于喷射时水泥的充分水化)。

2、石子:石子在混凝土内起着骨架作用。石子的强度与级配对喷射混凝土强度都起着很大的作用。施工中,喷射混凝土所用的石子级配不良,将使石子之间的孔隙率增大,这就需要更多的砂子来填充其石子间的孔隙,相应的增大了混凝土的含砂率。而砂率的增大,又会使喷射混凝土的强度有所降低。所以,在铁路隧道施工规范中规定:喷射混凝土所用的石子,应采用坚硬耐火的碎石和卵石,粒径不大于15mm,级配应当良好。

在“铁路隧道新奥法施工指南”一书中对喷射混凝土的砂、石级配提出了规定要求(见表二),以控制砂、石级配的波动范围。

喷射混凝土骨料通过各筛孔的累计重量%。

表二

骨料粒径 (mm)	0.15	0.30	0.60	1.20	2.50	5	10	15
优	5~7	10~15	17~22	23~31	35~43	50~60	73~82	100
良	4~8	5~22	13~31	18~41	26~54	40~70	62~90	100

四、砂 率

喷射混凝土的含砂率是影响混凝土强度的重要因素。

在喷射混凝土中,石子是混凝土骨架,砂子的作用是填充石子之间的孔隙,以使混凝土达到密实状态。但它们之间要有适当的比例(即含砂率),如果在喷射混凝土内,石子过多、石子之间没有足够的砂子来填满其空隙,那么,喷射混凝土就没有足够的和易性,所喷的混凝土也不密实,同时也加大了喷射混凝土的回弹量。相反,在喷射混凝土内,如果砂率过大,则在所喷的混凝土中,就没有足够数量的石子,形不成足够的骨架,以上这两种情况,对喷射混凝土都不会产生较高的强度。所以在隧道施工规范中规定:喷射混凝土的含砂率应控制在 45~60%,范围内。根据有关资料表明(见表三)在喷射混凝土中,含砂率较低则混凝土强度就较高,如含砂率较高,则混凝土强度就较低。所以在满足规范和施工要求的情况下,应尽量减少砂率,这对提高喷射混凝土强度是占有很大意义的。

不同含砂率对喷射混凝土强度影响

表三

顺 号	配 合 比	速凝剂掺量 $\%$	砂率 $\%$	R ₂₈ 强度
1	1 : 1.5 : 2.5	2	39.1	30MPa
2	1 : 1.5 : 2.5	2	35.6	30.9MPa
3	1 : 1.5 : 2.5	2	51.0	25.8MPa

五、养 护

喷射混凝土只有硬化速度快,早期强度高的特点,在喷射过程中,如喷射厚度小于 5mm,在喷层中粗骨料数量甚少,如不及时进行洒水养护,将很快使混凝土发生干缩现象,致使水泥水化作用中止,喷射混凝土强度不再继续上升。更严重者将进一步导致喷射收缩开裂,进而破坏了混凝土和围岩的粘结,影响围岩应力状态的平衡和稳定。为了避免上述现象的发生,所以喷射混凝土应在喷射到岩层终凝 2 小时后,而应开始洒水养护,其养护时间应不少于 14 天,洒水次数,视以保持混凝土充分湿润为度。

影响喷射混凝土强度的因素除以下所说外,在喷射混凝土施工中,施工工艺的选择,施工条件的好坏,机械设备的优劣等对喷射混凝土的强度影响也是不可忽视的因素。

综合上面所述,影响喷射混凝土强度的因素是多方面的,只要我们认真执行喷射的有关规范,规则中的规定,在施工中不断总结经验,探索求新,喷射混凝土的质量就能达到一个新的水平。