

# 浅谈隧道工程喷射混凝土施工

机筑工程有限公司 任小平

**【摘要】** 本文通过对隧道工程喷射混凝土施工过程中存在问题的探讨,并结合施工实际情况对隧道工程喷射混凝土施工提出几点建议,以供参考。

**【关键词】** 隧道施工 喷射混凝土 回弹量 厚度 强度

## 1 前言

随着国家基础建设投资力度的加大和人们对环境保护的日益重视,隧道工程建设数量呈现大规模增长的趋势。其特点主要表现在单孔隧道长度纪录不断被刷新;施工技术难度和技术含量不断加大;大断面、多孔连拱和小净距隧道不断出现;高海拔、高寒地区隧道建设也初见端倪;同时有关隧道的规范、标准也日趋规范化、技术化和逐渐统一。

## 2 喷射混凝土在隧道工程复合支护中的作用

目前隧道工程复合支护中普遍采用的是喷射混凝土或喷射钢纤维混凝土,喷射方式主要采用潮喷和湿喷。喷射混凝土具有支护及时、质量好(强度高、密实性强)、操作简单、灵活性大等优点,特别是在软弱围岩地质条件下,配合钢拱架和系统锚杆作为联合支护,其优点更为明显。就新奥法原理而言,容许围岩产生变形,同时在变形过程中,通过围岩自承能力和支护结构对围岩变形进行控制,达到让围岩变形适度释放而不是彻底释放的目的。在上述过程中,喷射混凝土的作用可以分成两个阶段:①喷射混凝土施作初期,从材料结构和力学特征而言,可以把喷射混凝土看作柔性结构,为围岩变形的适度释放提供空间;②当喷射混凝土具有一定强度后,可以把钢拱架、系统锚杆和喷射混凝土组成的支护体系看作刚性结构,用来控制围岩变形,达到保护和发挥围岩自承能力的效果。当然在所有作用过程中,也应该重视和强调支护体系的韧性概念,目前大多采用喷射钢纤维混凝土就是有力的见证。

## 3 喷射混凝土施工过程中的注意事项

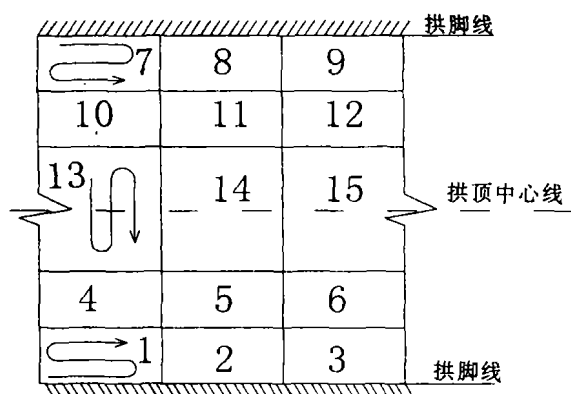
目前国内直接以喷射混凝土作为二次衬砌或永久衬砌的情况还不多见,而在隧道工程支护中被广泛使用,各种施工经验也比较成熟,但是从隧道工程质量、安全、效益和有效使用寿命而言,喷射混凝土施工还是有以下几点值得注意。

### 3.1 喷射混凝土的回弹量控制

目前隧道工程喷射混凝土施工中考虑到环境和工人健康问题,大多采用潮喷方式,其回弹量普遍较大,平均在30%以上。就施工单位而言,多数隧道工程的利润主要来自开挖和初期支护,喷射混凝土的回弹量就是其中很重要的一项。就如何通过技术改进和加强管理来降低喷射混凝土的回弹量问题,笔者对多座隧道工程、多个施工队伍施工喷射混凝土的情况进行了分析比较,认为做好以下几点可以将回弹量控制在15~24%的范围。

(1) 严格按《铁路隧道施工规范》和《公路隧道施工规范》中对喷射混凝土的要求组织施工。具体而言,要做到分段喷射,分段长度不超过6m,在段位内按先下后上的顺序进行分块,分块大小不

超过  $2\text{m} \times 2\text{m}$ , 并严格按先墙后拱、先下后上的顺序进行喷射工序, 以减少混凝土因重力作用而滑动或脱落现象。详细内容见图 1。



说 明:

1. 图中分块不是绝对的, 应根据隧道断面而定。
2. 数值大小表示喷射的先后顺序。

图 1 喷射顺序图

(2) 操作手应认真、熟练掌握喷嘴与受喷岩面的距离(喷射距离)和角度。从施工现场情况看, 喷射距离在  $0.6 \sim 1.2\text{m}$  时, 混凝土的回弹量较小, 喷射距离过大或过小都会增加回弹量。而喷头长度一般只有  $0.5 \sim 0.6\text{m}$ , 喷射手因存在骨料反弹的恐惧心理, 要将喷射距离控制在  $0.6 \sim 1.2\text{m}$  较困难。解决的办法可以将喷头长度由  $0.5 \sim 0.6\text{m}$  加长到  $1.2 \sim 1.5\text{m}$ , 这样喷射手站在距离受喷岩面  $2.0\text{m}$  左右即可进行喷射。

喷射过程中应做到喷嘴与受喷岩面尽量垂直, 并偏向刚喷射部位(倾斜角控制在  $10^\circ$  内), 这样不仅使回弹量减少而且喷射效果和质量更好。

(3) 严格控制风压、水压和水灰比。风压与喷射混凝土的质量有密切关系, 过大的风压会造成喷射速度太快, 加大骨料的反弹, 从而加大回弹量和水泥损失量且让操作手的恐惧加大, 但是喷射混凝土的密实性较好; 风压过小, 会使喷射力减弱, 造成喷射混凝土的密实性较差, 甚至达不到设计和规范要求。实践经验总结, 当输料管长度为  $20\text{m}$  时, 合适的风压为  $100 \sim 130\text{N}/\text{cm}^2$ , 如果输料管需要接长, 应结合施工实际情况进行风压调整(见表 1)。

表 1 风压调节参数表

输料管长度(m)	20	40	80	120	160
风压( $10\text{N}/\text{cm}^2$ )	10~13	20	30	40	50

喷射混凝土的水压一般控制在稍高于风压即可, 施工现场可以按水压高于输料管风压  $10 \sim 15\text{N}/\text{cm}^2$  进行控制, 其目的是为了保证高压水能够从喷枪混合室(喷头处)内壁小孔高速射出, 把拌合料迅速拌合均匀。

喷射料的水灰比控制是比较困难的。主要依赖于喷射手的熟练程度, 譬如熟练的喷射手通过喷射混凝土表面光滑度即可判定水灰比的大小。理论上讲,  $0.45 \sim 0.5$  的水灰比对控制控制喷射混凝土的回弹量和质量有利。

(4) 现场要认真控制混凝土的一次喷层厚度和分层喷射的间隔时间。

### 3.2 喷射混凝土的厚度控制

(1) 喷射混凝土的厚度应达到设计厚度和规范允许的误差范围。从施工现场的情况看, 个别隧道存在喷射混凝土普遍偏薄的现象, 这是有一定风险的。我们知道初期支护是和围岩共作用同控制围岩变形的释放, 是保证下道工序施工安全和隧道结构稳定的主要因素, 是主要的受力者, 当

喷射混凝土出现裂缝时,原则上应及时进行补喷和针对具体的开裂原因采取其他补强措施,以控制围岩变形在适度范畴,而不是任其释放。当然,有人说“初期支护喷层厚度不够,可以利用二次衬砌混凝土进行补充”,这种说法从隧道总体结构尺寸而言,是可行的;但从新奥法施工原理和结构受力机理而言,却是一大误区。造成喷层厚度普遍偏薄的原因主要有:①施工作业时为了省时省事,人为地不喷够设计厚度;②以钢筋头等物作为喷层厚度标志,在喷射力的作用下容易脱落;③目前尚没有仪器可用来方便、及时地检测喷射混凝土厚度。事实上解决的办法很简单,只要将钢筋头焊接在钢拱架或系统锚杆上即可。

(2) 在有钢拱架作为初期支护的情况下,往往出现钢拱架处喷层厚,两钢拱架间喷层薄,形成纵向波浪型。这种情况将会产生如下后果:①在围岩变形较大或局部存在松动围岩时,可能由于喷层厚度不够,无法提供足够抗力而导致喷层出现裂缝甚至掉块;②在铺设防水板后浇筑二次衬砌混凝土时,容易将防水板挤破,也可能在初期支护和二次衬砌间形成空洞区。要解决这个问题,重点应放在喷射过程中,要求喷射手在全断面螺旋喷射完成后,及时对钢拱架间进行补喷;或者在挂防水板前对喷射混凝土表面进行检查,严重不够处要克服补喷困难进行补喷,因为当二次衬砌混凝土浇筑后再通过打孔(或预埋钢管)注浆填充来处理两层间的空洞,不仅费时费工,困难更大,而且还会破坏防水板,造成漏水现象。

(3) 局部喷射混凝土过厚的情况,在挂防水板前一定要将突出部分混凝土剔除。因为这种情况有可能顶破防水板,更有可能在初期支护和二次衬砌之间形成点接触,局部应力集中的情况可能导致二次衬砌表面开裂。

### 3.3 喷射混凝土的强度检测方法

目前对喷射混凝土强度试验的方法大多利用拌和料进行人工浇筑立方体试块,部分直接向试模内喷射混凝土进行试块制作。实际上,这两种试块的制作方法并不能反映喷射混凝土的真实情况,其实验结果也不能确切地反映现场喷射混凝土的强度。出现这种差异的原因在于现场喷射混凝土要受喷射力的作用且受喷面与试模面完全不同。目前有关混凝土强度检测的方法有:模筑试块法、“回弹-超声”综合法、气压射钉枪法和切割钻芯法等,就喷射混凝土而言,笔者认为切割钻芯法制作的试块接近喷射混凝土的真实情况,尽管其比较费事但作为工程质量控制手段,是有必要的。当然施工现场完全可以通过操作简单、方便的“回弹-超声”综合法和气压射钉枪法,加大采集样本数据数量,以便更加准确地反映喷射混凝土的平均强度水平和离异性信息。关于切割钻芯试块的强度可以利用下述公式进行计算:

$$R = 1/(K_1 K_2) \times R_c$$

式中  $R_c$ ——切割钻芯圆柱体( $\phi 50 \times 100\text{mm}$ )试块的单轴抗压强度;

$K_1$ ——现场取样条件系数,可取 0.85;

$K_2$ ——圆柱体试块形状系数,可取 0.8。

## 4 几点建议

(1) 施工现场应重视混凝土的喷射方式,积极推广湿喷技术的运用。在湿喷过程中,事先可以将包括水在内的各种材料正确计量,这较潮喷和干喷而言,0.45~0.5的水灰比容易控制,从而容易达到减少回弹量和粉尘的目的。另外,喷射料在进入喷射机前,已经是包括粗细骨料、水、水泥、外加剂的均匀拌和物,这有利于保证喷射混凝土的质量。

(2) 应加强喷射混凝土配合比的调整和控制,骨料尽量采用连续级配。施工应重点控制好骨料的级配,这除了要求工地实验室定期定量检测外;还要求加强骨料加工和采集,采取多种措施保证骨料的连续级配。譬如,骨料粉尘量过大的情况,就应该采用在加工场骨料出口处安置抽风机等办法,切实做好材料源头控制。

(下转第 38 页)

从表中可以看出,12 条边中,大部分都在中误差(4.2mm)范围,全部测边较差均在限差内,说明测量精度较高。

对于 GPS 测量角度检核比距离检核要复杂一些,因为 GPS 测量与常规测量分属于法线和垂线系统,不像距离可以比较点与点之间的空间距离(但一般仍是比较平面上的距离以便使用),要改正垂线偏差对角度的影响。如果测线俯仰角不大,则可忽略垂线偏差的影响。GPS 测量角度误差可以取用 GPS 测量成果中评定的角度误差(由方位误差推求);常规测角精度可取经验值。二者较差中误差的 2 倍为限差。J 隧道群 GPS 洞口子网检测了部分角度,用 J2 级经纬仪方向观测 4 测回,测角精度可取为  $2.5''$ (见表 3)。

表 3 GPS 测量角度常规测量检核比较表

后视	测站	前视	GPS 角度	实测角度	差值( $''$ )	角度闭合差分配后的角度差值( $''$ )
G4	G1	G2	47-22-48.64	47-22-47.75	-0.89	+0.46
G1	G2	G3	108-56-02.0	108-56-01.6	-0.4	+0.95
G2	G3	G4	81-47-22.63	81-47-21	-1.63	-0.28
G3	G4	G1	121-53-46.73	121-53-44.25	-2.48	-1.13
G5	G8	G7	38-38-35.07	38-38-35.0	-0.07	
G7	G5	G8	58-08-17.71	58-08-19.0	+1.29	

1# 隧道进口子网(G1、G2、G3、G4)检测时测了四边形的四个角,经简单平均分配角度闭合差后,与 GPS 测量角度符合更好。由表中看出,所有角度较差都没有超出  $2.5''$ ,可见 GPS 测量成果精度比较高,是可靠的。

## 7 结语

青藏铁路 J 隧道群 GPS 控制测量,达到了预期效果。根据高原及山区铁路隧道控制测量的特点,按照相关规范,结合现场情况,精心组织策划与严格实施;数据处理细致谨慎,除作内部精度符合检验外,还宜用常规测量等外部手段来验证 GPS 成果的可靠性。这样方能确保在高原及山区隧道 GPS 测量应用万无一失。

(上接第 33 页)

(3) 认真做好光面爆破设计,保证光面爆破质量。光面爆破要针对不同等级围岩单独设计,要考虑到炮眼布置、深度和角度、单孔装药量和装药结构、起爆顺序等因素,通过光面爆破参数的改变和修正,保证不同围岩地段光面爆破轮廓圆顺,即保证开挖质量。圆顺的开挖轮廓既有利于保证喷射混凝土的质量更有利于减少喷射混凝土的回弹量。

(4) 尽量采用大板切割的实验检测方法对喷射混凝土强度进行检测。大板切割即是向木板或竹夹板(板的大小根据取样组数的多少而定)上喷射 13~15cm 厚的混凝土,并对其进行养护,待达到一定强度后进行切割取样。这样取得的试块可以代表洞内喷射混凝土的实际情况,且其切割简单还不破坏原支护结构。

## 5 结束语

在隧道工程喷射混凝土施工中,要理论结合实际,采取有效措施降低喷射混凝土的回弹量和粉尘,同时把好工序质量关并加强质量检测,做到各道工序工程质量有保证,不留任何隐患,才能保证施工顺利进行和预期经济效益的实现。