

隧道工程喷射混凝土施工的探讨

任小平

(中铁二局机筑公司长沙火星大道项目部 湖南长沙 410117)

摘要 通过对隧道工程喷射混凝土施工过程中的回弹量、厚度、检测等问题的探讨，并结合施工实际对隧道工程喷射混凝土施工提出建议。

关键词 喷射混凝土 回弹量 厚度 强度 检测

1 前言

随着国家交通基础建设投资力度的加大和人们对环境保护的日益重视，隧道工程建设呈现较大增长趋势。据有关资料显示，我国已建成铁路隧道 5 300 余座，总长度约 4 000 km；公路隧道 1 800 余座，总长度约 750 km，是世界上隧道工程最多的国家。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、高寒地区隧道建设很突出；各部门有关隧道的技术规范、标准也逐渐统一。

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，喷射方式主要有潮喷和湿喷。喷射混凝土具有支护及时、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，同时在围岩变形过程中，通过围岩自承体系和支护结构对围岩变形进行控制，达到让围岩变形的适度释放而不是彻底释放的目的。

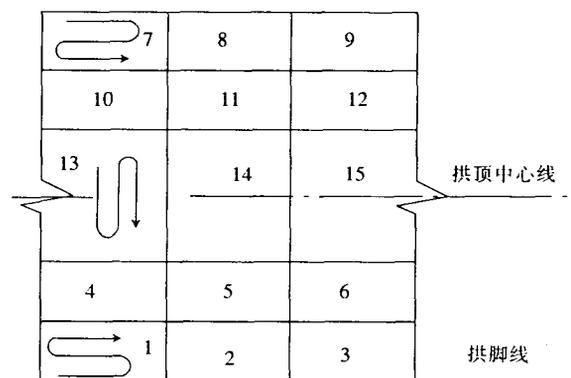
在上述过程中，喷射混凝土的作用可分成两个阶段：①喷射混凝土施作初期，从材料结构和力学特征，可把喷射混凝土看作柔性结构，为围岩变形的适度释放提供空间；②当喷射混凝土具有一定强度后，可把钢拱架、系统锚杆和喷射混凝土组成的支护体系看作刚性结构，用来控制围岩变形，达到保护和发挥围岩自承能力的效果。当然在所有作用过程中，也应该重视和强调支护体系的韧性概念，目前施工大多采用喷射钢纤维混凝土，就是这种概念发展的必然结果。

3 喷射混凝土施工的关键技术

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，为保护环境和维护工人健康，大多采用潮喷，其回弹量普遍较大，平均在 30% 以上，损失较大。一般隧道工程的利润主要来自开挖和初期支护的喷射混凝土。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，笔者通过对多座隧道工程、多个施工队伍施工情况的分析比较，认为做好以下几点可以将回弹量控制在 15% ~ 24% 的范围。

(1) 分段分块喷射。分段长度不超过 6 m，分块大小不超过 2 m × 2 m，严格按先墙后拱、先下后上的顺序进行喷射，见图 1，以减少混凝土因重力而滑动或脱落。



说明：

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

图 1 喷射顺序图

(2) 控制喷嘴距离（喷射距离）和角度。喷射距离在 0.6 ~ 1.2 m 时，混凝土回弹量较小，喷射距离过大或过小都会增加回弹量。喷头长度一般只有 0.5 ~ 0.6 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 ~ 1.2 m 较困难。解决的办法可将喷头加长到 1.2 ~ 1.5 m, 这样喷射手站在距离喷岩面 2.0 m 左右即可进行喷射。

喷嘴与喷岩面应尽量垂直, 并偏向刚喷射部位 (倾斜角控制在 10° 内), 这样不仅回弹量少, 而且喷射效果和质量更好。

(3) 严格控制风压、水压和水灰比。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, 但混凝土密实性较好; 风压过小, 会使喷射力减弱, 造成混凝土密实性较差, 甚至达不到设计和规范要求。总结实践经验, 当输料管长度为 20 m 时, 合适的风压为 100 ~ 130 N/cm²。如果输料管长度增加, 增加的风压可利用式 (1) 计算:

$$\Delta p = 2.5 \Delta L \quad (1)$$

式中: Δp ——增加的风压值, N/cm²;

ΔL ——输料管增加的长度, m。

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 ~ 15 N/cm² 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。熟练的喷射手通过喷射混凝土表面的光滑度可判定水灰比的大小。理论上讲, 0.45 ~ 0.50 的水灰比对喷射混凝土的回弹量和质量是有利的。

(4) 控制一次喷层厚度和分层喷射的间隔时间。

3.2 喷射混凝土厚度的控制

(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, 这是有风险的。因为初期支护将会和围岩共同控制围岩变形的释放, 保证下道工序施工安全和隧道结构的稳定, 是主要受力者。若喷射混凝土出现裂缝, 原则上也应及时进行补喷和采取其他补强措施, 以控制围岩变形在适度范畴, 而不是任其释放。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”, 这种说法只是从隧道总体结构尺寸满足了要求, 但从新奥法施工原理和结构受力机理而言, 却是一大误区。

(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, 严重不够的必须及时进行补喷, 否则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, 而且还会破坏防水板, 造成漏水现象。

(3) 对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, 造成局部应力集中而导致二次衬砌表面开裂。

3.3 喷射混凝土强度检测

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, 试验结果也不能确切地反映现场喷射混凝土的强度。这种差异的原因在于现场喷射的混凝土受喷射力的作用影响大, 且受喷面与试模面完全不同。目前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。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, 施工现场也可通过操作简单、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用式 (2) 进行计算:

$$R = K_1 \cdot K_2 \cdot R_c \quad (2)$$

R_c ——切割钻芯圆柱体 ($\phi 50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$) 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 0.80。

4 几点建议

(1) 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, 事先可将包括水在内

高速公路填石路堤施工质量控制

方 磊

姜在田

周伯明

(东南大学交通学院 江苏南京 210096) (江苏省交通规划设计院) (江苏省高速公路建设指挥部)

摘 要 填石路堤的施工质量控制是高速公路填石路堤施工过程的关键, 是一个值得深入研究的问题。通过比较填石路堤施工质量控制的方法的研究, 结合国内施工的实际情况, 较系统地提出了符合高速公路填石路堤施工的质量控制方法。

关键词 填石路堤 质量控制 施工质量

1 概述

为合理利用自然资源, 将不可避免利用石料作为路基填料, 一则就地取材, 少占田地, 其社会效益相当显著, 另一方面, 石料透水性强、抗剪强度高、压实密度大、沉陷量小等, 是良好的填方材料。因此, 填石路堤在我国高速公路建设中将愈来愈多的被采用。

填石路堤指的是由不易风化的石料填筑而成的路堤, 要求石料强度不应小于 15 MPa。为了确保填石路堤的工程质量, 必须从两个方面进行质量控制; 一是填料的要求, 二是施工工艺。

路基压实费用在整个工程费用中所占的比例不大, 但压实质量的好坏对道路的使用有着决定性的影响。高质量的压实能显著提高填方的承载力和稳定性, 大大减少公路运营时的维修费用。因此, 填

的各种材料正确计量, 0.45 ~ 0.50 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。

(2) 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, 骨料粉尘量过大时, 就应该在加工场骨料出口安置抽风机, 在材料源头进行控制和处理。

(3) 做好光面爆破设计, 保证光面爆破质量。光面爆破应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, 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, 保证开挖质量。圆顺的开挖轮廓既有利于保证喷射混

石路基施工质量控制是一个关键的问题。

2 填石路堤施工前期准备工作

(1) 施工单位应全面熟悉设计文件, 进行现场核对和施工调查, 对不符合实际情况的设计可根据施工管理程序, 向有关部门提出修改意见。

(2) 根据工程数量和工期要求, 制定施工组织设计。做到材料、机械设备、劳动力、临时工程、生活供应等全面落实。

(3) 应按设计图表, 恢复路线中桩, 定出路堤坡脚、及边沟等位置, 以便清理现场和施工。

(4) 在路堤施工前, 应按现行《公路路基施工规范》的规定, 将路堤范围内原地面的淤泥、杂草等进行清理和整修。若路堤位于水塘、水沟等局部低洼积水地段, 应清淤回填至基底标高。

(5) 施工基本机械要求见表 1。

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试验检测方法对喷射混凝土强度进行检测。大板切割即向木板或竹夹板(板的大小根据取样组数多少而定)上喷射 13 ~ 15 cm 厚的混凝土并进行养护, 待达到一定强度后切割取样。这样取得的试块可以代表洞内喷射混凝土的实际情况, 方法简单, 也不破坏支护结构。

5 结束语

在全国公路和铁路迅速发展、路网等级不断提高和环境保护意识日益加强的今天, 隧道工程施工更要理论结合实际, 各道工序步步为营, 质量层层把关, 消除隐患, 保证施工顺利进行和效益不断增长。

收稿日期: 2004 - 07 - 08