

# 浅谈降低软弱围岩隧道初喷混凝土损耗分析

刘伯男

河北建设集团股份有限公司

**【摘要】**在我国公路和铁路建设中，目前平原段的基建已经基本满足经济发展需要，而山区段还存在着交通线路密度不足，原有线路等级较低，存在着限速通行的现象。随着近20年隧道设计理念和施工水平的长足进步，在欠发达为了提高工程的建设等级和车辆通行速度，采取长隧道横贯山区特殊地段，进而裁弯取直优化线型、提高车辆运行速度是一种越发常见的手段。在隧道施工过程中，初喷混凝土施工质量对于稳定隧道围岩变形、保证开挖掌子面稳定、隧洞投入运营后安全至关重要。然而隧道初喷混凝土受损耗受施工管理水平、隧道围岩地质恶劣影响，实际施工过程中初喷混凝土损耗系数远超业主、造价所单位在编制施工图预算时采取的130%-150%的消耗率。现在公路和铁路大断面隧道每1000m初喷混凝土超耗经济成本在400万-600万之间，五级围岩水平能超损耗接近800万元，成为施工单位在隧道施工过程中潜亏的重要因素；从而发生作业班组为减少亏损，施工中可能采取采取预留孔洞、砼厚度不平整、厚度不足、欠挖等措施，导致初喷混凝土工程实体存在着质量隐患。为保证隧道初喷混凝土的质量，需要施工单位在采取措施降低初喷的损耗；业主在施工图预算过程中提高初喷的消耗率；设计单位和地质勘测单位根据掌子面实际围岩等级调整围岩级别，进而保证隧道建设工程质量、提高基建工程的整体建设质量。

**【关键词】**隧道；软弱围岩；初喷混凝土；超挖；成本；回弹量

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-6261.2020.03.354

## 1 目前隧道初喷砼损耗面临的问题

我们将隧道初喷混凝土每延米设计用量为 $a$ ，掌子面设计弧度为 $\alpha$ ，隧道设计开挖内轮廓线半径为 $r$ ，隧洞设计初支内轮廓线弧长 $l_0 = \alpha * r$ ；隧道每延米超挖厚平均厚度为 $h$ ，隧道开挖后内轮廓线弧长为 $l_1 = \alpha * (r+h)$ ，则由于超挖导致的混凝土净增加量为 $h * (l_0 + l_1) / 2$ ；混凝土施工过程中回弹率为 $c$ ，则混凝土最终实际消耗量 $S = (a + h * (l_0 + l_1) / 2) * c$ ，消耗率 $m = S / a * 100\%$ ，超耗率 $n = (S - a) / a * 100\%$ 。

根据路桥公司近几年在云川两省富水区隧道、东北地区花岗岩断层隧道、保定地区石灰岩隧道的混凝土实际消耗量统计分析，在隧道软弱围岩初喷混凝土施工过程中：采取湿喷工艺，杜绝初喷空洞、保证砼表面平顺、厚度合格的前提下，初喷混凝土实际用量远超设计初喷量在180%以上，尤其在五级围岩由于软弱破碎、裂隙严重围岩等原因，喷射混凝土消耗率普遍在设计量的250%~320%；若喷浆手水平不足、原材料集配差、管理不善会导致消耗量更大。

## 2 分析隧道初喷砼损耗超量的原因

根据最终混凝土实际消耗量 $S = (a + h * (l_0 + l_1) / 2) * c$ ，导致初喷混凝土设计消耗率超过设计值的原因主要有两个：一个是混凝土超挖值，会导致混凝土净增加量 $h * (l_0 + l_1) / 2$ 变化；而这些超挖量造成的初喷砼净增加的工程量，由于受混凝土施工中的回弹率原因，会造成混凝土亏损二次放大。另一个是混凝土回弹率过大，导致初喷混凝土的用量增加。

### 2.1 导致混凝土超挖的主要原因分析

2.1.1 围岩本身特性：隧道围岩本身存在着岩体节理发育、风化严重、软弱破碎、抗压强度低等特征，围岩在受开挖后应力释放及开挖破碎扰动影响，开挖后的实际轮廓线会大于设计轮廓线10-20cm。为保证工字钢立架作业队伍安全，

在钢拱架安装之前、会对受到扰动后的隧道围岩进行排险，凿除松动、破碎掉块的围岩，会再次造成开挖后的内轮廓线再次增加5-10cm左右。

2.1.2 炮工开挖效果不佳：在使用凿岩机钻孔周边眼时，由于工人需手扶凿岩机作业空间因素，钻杆本身与掌子面存在着一定的斜交角度。有的施工队伍时为了加快施工进度，每开挖每循环进尺超过1.5m时，周边眼末端位置明显超过轮廓线、向外倾斜；工人为了避免开挖后出现挂口欠挖而进行二次补炮的现象出现，也往往会自行调大开挖轮廓线。

2.1.3 超前支护效果不理想：五级加强围岩隧道施工过程中，超前小导管存在着钻孔深度不足、钢管搭接长度未达到设计值、注浆量不足设计量，超前支护难以起到加固岩体的作用。这样岩体就会经常易出现掉块、微型垮塌情况，这种微型掉块、垮塌深度一般在30-60公分之间；这种亏掉的工程量又不能通过变更索赔工程量。

2.1.4 围岩级别判定不够精细：隧道围岩分级主要是以定性与定量相结、以定性为主的方法。定性判定隧道围岩级别主要指标是岩体坚硬程度，岩体的节理发育状态、岩体的整体性与节理发育程度、风化程度。这种定性指标随勘察人员的水平和经验的不同，对同一围岩会作出级别不同的判断并常出现与实际差别1个等级影响；例如四级加强围岩和五级普通围岩，这种界限是很模糊的。若围岩级别判定成低级别、设计图纸时支护参数按照低级别设计；在开挖时，围岩会出现得不到充足的加固、开挖进尺大的现象，导致开挖轮廓线出现掉块、深坑、超挖等情况，导致初喷混凝土用量增加。

### 2.2 导致初喷混凝土回弹率居高不下的主要原因分析

2.2.1 建立模型，找出关键因素：我们可以将混凝土喷射过程简化为在黏性弧面上的碰撞问题，最理想的状态是喷

射后的混凝土通过速凝剂的粘结力、自身动能、凝土集料的嵌挤力抵消喷射碰撞力、自身重力后,恰好将混凝土悬挂在岩壁上。通过这个模型我们得出影响回弹率的主要因素有喷浆机风压、喷嘴至岩壁的距离、喷嘴与岩壁的角度、混凝土的质量、施工中每次喷层的厚度、速凝剂的掺加量和质量等因素。

2.2.2 喷浆机风压、喷嘴至岩壁的距离、喷嘴与岩壁的角度、喷层的厚度分析:混凝土喷射到岩壁上速度会较大,混凝土回弹率大;风压小,混凝土速率低,混凝土密度不足,在施工中风压的控制边墙一般宜在0.4MPA左右、拱顶宜造0.5-0.6MPA之间。喷嘴与岩壁的角度宜为90度时混凝土回弹率最小,不垂直时难以发生正面碰撞,回弹率较大。喷嘴到喷射面距离过大时,混凝土抵达喷射面时速度会降低,混凝土难以有效密实;距离太近时,混凝土喷至喷射面时速度过大、回弹量大;喷浆机喷嘴至喷射面的距离宜控制在0.8-1m之间。五级围岩喷射混凝土一般设计厚度在24-28cm之间,混凝土喷射时宜从两侧拱脚向拱顶喷射,每次喷射厚度宜在5公分,通4-5次喷射完成施工。

2.2.3 喷浆手工人工操作水平、喷射混凝土设备选择问题:目前在中铁、中交等央企负责施工的高铁、高速公路上已经逐步实现小型湿喷机向智能化湿喷机械臂过度阶段;采用湿喷机械臂通过智能操作系统,可以有效控制喷射混凝土喷射角度、喷射距离、自动调整风压、速凝剂的掺加比列,能将湿喷回弹率可以控制在15%-20%之间。由于每台湿喷机械臂造价高达120万以上,大量地方性企业由于隧道工程承接不连续的原因,难以均摊设备成本,目前在隧道施工中还常常选择干喷,喷射角度、喷射距离、自动调整风压、速凝剂的掺加比列主要靠工人经验和熟练水平掌握;同时干喷工艺本身回弹率就比湿喷回弹率大15%以上,综合下来混凝土回弹率在30%-40%之间。

2.2.4混凝土性能和速凝剂问题:影响喷射混凝土质量的主要原因是集料的集配、含泥量、水泥用量。合理的水泥用量可以保证混凝土的和易性、提高混凝土粘结力;而若较少混凝土的水泥用量会造成喷浆料堵管、混凝土喷射后粘结力差进而掉块。喷射混凝土的集料主要是中砂和5-10mm粗集料两种粒料,由于喷射混凝土一般设计强度较低,通常在施工过程中低档次的集料也能保证混凝土强度,存在着喷射混凝土原材料往往采购抵挡材料的现象。采购的集料虽符合质量标准总体粒径要求,但3mm以下粒径含量过高细、粗集料粒径集中在7-10mm左右;中砂里面含泥量高;粗粒叫里针片状含量高;均会造成混凝土离析,增加喷射混凝土的回弹率。

### 3 降低隧道初喷混凝土的措施

3.1 在隧道掌子面开挖过程中,要将“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”的开挖措施开挖措

施落实到位;避免开挖循环进尺大及超前措施薄弱导致的拱顶岩层大规模掉块、微型塌方形成大量的超挖。钻爆作业是隧道施工控制工期、保证开挖轮廓的关键。为了充分发挥围岩的自承能力,减轻对围岩的振动破坏,采用微振控制爆破技术,并根据围岩情况及时修正爆破参数,达到最佳爆破效果,形成整齐圆顺的开挖断面,减少超欠挖。对采取炮工主观意识上的超挖采取奖罚考核措施,严格控制好周边眼位置、周边眼间距及倾斜角度准确;严控为了隧道进尺而放大炮的行为,处理好循环进尺进度与超挖成本关系。

3.2隧道技术人员及地质人员要根据掌子面超前地质预报、掌子面开挖后真地质情况准确及时地做好掌子面实际围岩级别判定,若实际隧道围岩判定级别与设计勘测围岩有出入时,要及时联系设计单位、监理单位,变更调整围岩级别和加强支护措施;若出现可定四级强、五级弱的有争议情况,要收集好现场真实数据,联系第三方地勘院,调整围岩级别、增强支护参数;

3.3喷射混凝土采用湿喷工艺,混合料在拌和站拌和,准确计量,特别是水泥、外加剂的掺量精确控制;喷射混凝土中的骨料应采用坚硬耐久的碎石或卵石,不得使用弱碱性骨料;喷射混凝土中的骨料径不宜大于15mm;骨料宜采用连续级配,细骨料应采用坚硬耐久的中砂或粗砂,细度模数宜大于2.5。喷锚支护做到喷料随拌随用,时间不超过规定。喷射前清理岩面,用高压水冲洗受喷面,当受喷面遇水易泥化时,用高压风吹掉岩面杂物。开挖后先初喷厚4cm砼进行围岩面封闭,在待钢架、锚杆系统完成后,再复喷混凝土将钢架覆盖,达到设计喷护厚度要求,喷射混凝土采用先下后上S形喷射方式分层喷射。喷射时严格控制风压同时保证喷射速度适当,喷嘴与受喷面距离保持在0.8~1m,喷射角度接近90°,正确掌握喷射顺序,不得出现蜂窝。

### 4 结语

综上所述,高铁隧道和公路隧道的初喷混凝土损耗易受现场地形地质、开挖工艺、喷射砼施工方法、工人操作水准、机械水平、材料质量等多重因素的影响;如果在施工中项目管理方缺乏合理有效的控制措施,必将发生大量的初喷混凝土亏损。对于初喷混凝土的管控措施的处理必须以发生原因为立足点,制订可行的处治方案,由专业人员展开处治工作。实践表明,本文所用的隧道隧道初喷混凝土损耗管理措施处治方案可行、有效,可以有效的降低隧道开挖超挖和混凝土回弹率,降低初喷混凝土损耗系数。

### 参考文献

- [1]马明.降雨条件下隧道塌方的变形规律研究[J].测绘与空间地理信息,2019,43(08):177-179+184.
- [2]杨波,任尚强.详解回填处理隧道掌子面塌方方法[J].高速公路交通技术,2018,36(04):90-93.