

斜井长距离混凝土泵送技术

袁华俊¹, 刘野², 刘则启²

(1. 秦皇岛市引青管理局, 河北 秦皇岛 066000; 2. 辽宁地矿井巷建筑工程公司, 辽宁 朝阳 122000)

摘要:以降云顶隧洞混凝土泵送为例, 分析了斜井长距离混凝土泵送存在的问题、堵管机理及解决的方法, 并论述了斜井长距离混凝土泵送设计与操作流程。

关键词:斜井; 长距离; 混凝土泵送; 堵管

中图分类号:TV554 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)04-0078-04

Long Distance Concrete Pumping in Inclined Shaft/YUAN Hua-jun¹, LIU Ye², LIU Ze-qi² (1. Qinhuangdao City Yin-qing Authority, Qinhuangdao Hebei 066000, China; 2. Liaoning Tunnel Corporation, Chaoyang Liaoning 122000, China)

Abstract: By the concrete pumping case in a tunnel, the paper analyzed the existing problems of long distance concrete pumping in inclined shaft and the mechanism of pipe blocking with the solution; and also discussed the design and operation process.

Key words: inclined shaft; long distance; concrete pumping; pipe blocking

0 引言

在小断面隧洞施工中, 衬砌混凝土输送方式有2种: 一是矿车运输, 该种运输操作简单, 但运输时易产生混凝土离析而影响质量, 同时生产效率低、劳动强度大; 二是混凝土泵送, 泵送混凝土质量好、生产效率高、劳动强度小, 但存在泵送距离和堵管问题。随着混凝土泵送设备与技术的发展, 混凝土泵送越来越多地使用在隧洞施工中。引青济秦东西线对接工程降云顶隧洞由斜井和主洞构成, 衬砌混凝土需经过斜井转到主洞内。本工程泵送技术的难点是斜井泵送和长距离泵送。

1 工程概况

降云顶隧洞主洞全长3217 m, 其中一标段主洞长1615 m。一标段共布置2个斜井和1个进口作为施工主洞的出入口。1号斜井长110 m, 倾角23°, 2号斜井长320 m, 倾角16°。主洞断面为马蹄形, 开挖直径3.0 m, 净直径2.4 m。隧洞平面布置图见图1。

2 混凝土泵送方案的确定

混凝土泵送方案有2种: 接力泵送和直接泵送。接力泵送就是由多台混凝土泵接力式向前泵送, 接

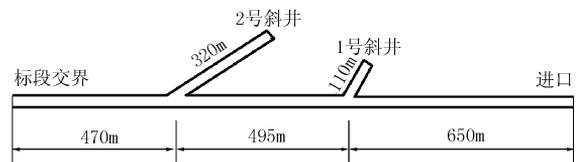


图1 隧洞平面布置图

力泵送需要将混凝土泵安放在井下主洞内。此方案优点是可解决斜井部位的堵管和长距离输送; 缺点是小断面隧洞中, 混凝土泵的体积受到限制, 每个泵的输送距离较短, 需要多台混凝土泵, 机械故障多, 管理不方便, 费用高。直接泵送就是利用地表一台混凝土泵直接将混凝土输送到衬砌工作面。此方案优点是设备用量少, 管理方便; 缺点是斜井部位和长距离输送容易堵管, 技术要求高。经综合考虑, 确定采用直接泵送方案。

3 斜井泵送存在的问题及解决方法

3.1 存在的问题

当泵送管路向下倾角大于4°时, 一般情况下, 输送管内混凝土靠自重就可以克服与管壁间的粘滞力而下滑。本工程斜井角度大于16°, 混凝土下滑是不可避免的。混凝土下滑会产生2种后果:

(1) 石子与砂浆分离, 即产生混凝土离析现象;

收稿日期: 2009-12-04

作者简介:袁华俊(1971-), 男(汉族), 湖北黄冈人, 秦皇岛市引青管理局副局长、工程师, 水工专业, 从事工程管理工作, 河北省秦皇岛市海港区八一一路7号; 刘野(1963-), 男(满族), 辽宁铁岭人, 辽宁地矿井巷建筑工程公司项目经理、高级工程师, 探矿工程专业, 从事地下工程施工管理工作, 辽宁省朝阳市长江路四段29号; 刘则启(1971-), 男(汉族), 湖北阳新人, 辽宁地矿井巷建筑工程公司项目总工程师、高级工程师, 探矿工程专业, 从事地下工程施工技术与管理工作。

(2)混凝土在下滑力作用下,首先聚集在斜井底部,使斜井输送管形成密闭的空间,造成输送管内存储有空气。

3.2 堵管机理

斜井泵送堵管机理有2种。

(1)混凝土在输送管内下滑时,石子下滑得快,砂浆下滑得慢,从而造成石子与砂浆分离,石子将聚集在一起,由于石子没有砂浆的包裹,石子与输送管管壁之间的阻力将大增,从而造成堵管,而无法进行混凝土输送。

(2)混凝土下滑到井底后,斜井底部管路首先被堵住,造成输送管内存储有空气,当空气推动混凝土向前移动时,砂浆阻力小,走得快,石子阻力大,走得慢,从而造成砂浆与石子分离。同样,由于石子没有砂浆的包裹,石子与输送管管壁之间的阻力增大,从而造成堵管,而无法进行混凝土输送。另外气体存在后,气体将水析出,形成干节,也可造成堵管。

3.3 解决的方法

为了解决石子与砂浆分离,可增加下滑阻力和调整混凝土配合比。具体方法如下:

(1)在斜井铺管时,增加一些弯管;

(2)在开始泵送时,在输送管内塞入海绵橡胶球及浸湿的水泥袋;

(3)适当增加水泥掺量,减少石子用量,增加砂子用量,从而增加砂浆与石子的粘结力,减少石子聚集的可能性,待斜管内充满混凝土后,再改为正常混凝土泵送。

为了防止输送管内存储空气,在斜管上端安装排气阀。在开始泵送混凝土时打开排气阀;在斜管内充满混凝土后关闭排气阀。斜段布管时要保证管路坡度一致,避免高低起伏太大,以防起伏段空气无法放出,而存储有空气。若斜井坡度变化太大,在管路变坡处应安装排气阀排出输送管内的空气。

4 长距离泵送存在的问题及解决方法

4.1 存在的问题

(1)混凝土在输送管内离析是客观存在的,当输送距离短时,混凝土离析还未达到堵管程度就被泵出管外,也就没有发生堵管;当输送距离长时,混凝土离析越来越严重,达到一定程度就发生了堵管;

(2)输送管路加长后,可能堵管部位增多,堵管概率加大;

(3)混凝土在输送管内运行时间加长,会造成流动性下降,泵送阻力加大。

长距离泵送混凝土失败的原因主要是长时间处理堵管,既浪费大量的混凝土,又没有施工进度,最后不得不放弃泵送混凝土。

4.2 堵管机理

正常泵送的混凝土在管道中心形成柱状流体,流动时呈悬浮状态,表面包有一层水泥浆,水泥浆作为润滑剂与管壁接触,骨料之间基本上不产生相对运动。当某些粗骨料运动受阻时,后面的粗骨料运动速度受其影响而滞缓,致使形成粗骨料集结,而附近的砂浆被挤走,余下的间隙由小骨料填充,水泥浆润滑层被破坏,运动阻力加大,速度变慢,直至运动停止而堵管。

4.3 解决的方法

造成堵管的因素很多,主要有混凝土原材料、混凝土配合比(水灰比、砂率、坍落度、外加剂)、混凝土拌和、混凝土泵、输送管及管件、输送管布设、泵送混凝土操作等。解决堵管问题应全面考虑、统一管理。解决堵管既是技术问题,也是管理问题。

5 斜井长距离混凝土泵送设计

本标段混凝土最难泵送位置为标段交界处,其布管线路:泵站到斜井洞口80 m,2号斜井320 m(倾角 16°),2号斜井井底至标段交界470 m,合计泵送距离870 m。下面以此为例,介绍混凝土泵送设计。

5.1 输送管路

5.1.1 对输送管及管件的要求

(1)输送管路在工作状况下将承受较高压力,应具有足够的强度。

(2)为满足骨料在输送管路中的运行,应选择适当直径的输送管。输送管内径一般由混凝土中粗骨料的粒径决定。由于管路中同一截面内三个粗骨料的相互挤压可引起堵管事故。所以,可按骨料最大粒径的3~4倍选择输送管内径。此外,还应考虑管路对混凝土的摩擦阻力。混凝土排量相同时,管路内径越小,混凝土流速越高,则摩擦阻力越大,也就需要较大的推送力。

(3)为满足改变方向、口径等要求,设有各种角度的弯管和锥管。为了减小输送阻力,应尽量少使用弯管和锥管。

(4)为保证管路可靠的密封性能,应选用高压管卡和高压橡胶密封圈。输送管连接是管路敷设的重要环节,如果管卡部位密封不好,水泥浆将向管外泄漏,从而减少混凝土柱滑动所需的润滑成分,增大

了输送阻力,严重时会出现混凝土离析现象,成为干混凝土,而发生堵管事故。另外在长距离混凝土输送时,泵送压力较大,易产生管卡损坏。

(5)管路内壁应光滑,无锈蚀,无压瘪等缺陷,以减小输送阻力。

5.1.2 输送管及管件的选择

根据工程特点、施工现场情况,输送管均选用壁厚4.5 mm的高压无缝钢管,输送管直径125 mm,每根长度3.0 m。详细输送管及配件用量见表1。

表1 输送管及管件用量一览表

名称	规格	单位	用量	换算水平长度 (m·根 ⁻¹)
水平直管	Ø125 mm × 3.0 m	根	180	3
斜井直管	Ø125 mm × 3.0 m	根	105	4
短直管	Ø125 mm × 1.0 m	根	5	1.5
锥管	Ø150 → Ø125 mm	根	1	10
弯管	45°, R = 1.0 m	根	3	4.5
软管	Ø125 mm × 5.0 m	根	1	30
截止阀		个	1	
放气阀		个	1	
高压密封圈		个	350	
高压管卡		个	350	

5.2 泵送设备

5.2.1 泵送设备的选择

衡量混凝土泵技术性能的主要指标是:最大理论混凝土输送量和最大泵送混凝土压力。降云顶隧洞断面小,设计每延米衬砌混凝土方量3.0 m³,每次浇筑20 m,包括超挖回填共需混凝土75 m³,每次浇筑混凝土方量不大。然而本工程要求的最大泵送距离为870 m,其中包含320 m斜井,折算成水平距离为1021 m,属长距离输送。根据最大泵送距离,结合施工现场情况,最终选用ZLJ5110THB型柴油车载混凝土泵1台。

5.2.2 混凝土泵的技术性能

最大理论混凝土输送量:87/58(低压/高压)m³/h;最大泵送混凝土压力:14/9(高压/低压)MPa;额定功率:174 kW;允许最大骨料粒径:碎石40 mm,卵石50 mm;混凝土输送管内径:Ø125/150 mm;外形尺寸(长×宽×高):8890 mm×2490 mm×3000 mm;总质量:11020 kg。

5.2.3 混凝土泵的最大水平输送距离验算

根据混凝土泵的最大出口压力、配管情况、混凝土性能和输量,按下式进行计算:

$$L_{\max} = P_{\max} / \Delta P_H$$

式中: L_{\max} ——混凝土泵的最大水平输送距离,m;
 P_{\max} ——混凝土泵的最大出口压力,14 MPa;

ΔP_H ——混凝土在水平输送管内流动每米产生的压力损失,Pa/m。

$$\Delta P_H = \frac{2}{r} [k_1 + k_2(1 + \frac{t_2}{t_1})V]\beta$$

式中: k_1 ——粘着系数, $k_1 = (3 - 0.1S) \times 100$,Pa;
 k_2 ——速度系数, $k_2 = (4 - 0.1S) \times 100$,Pa/m/s;
 t_1 ——在活塞推动下混凝土流动的时间; t_2 ——分配阀的阀门转换时混凝土停止流动的时间; t_2/t_1 的比值约为0.2~0.3,取0.3; S ——混凝土的坍落度,取22 cm; β ——径向压力与轴向压力之比,取0.9; V ——输送管内混凝土平均流速,取0.83 m/s。

计算得: $\Delta P_H = 7.9 \times 10^{-3}$ MPa/m

$$L_{\max} = 1772 \text{ m} > 1021 \text{ m}$$

计算结果表明ZLJ5110THB型柴油车载混凝土泵能满足施工要求。

5.3 混凝土原材料及配合比

5.3.1 粗骨料

粗骨料的粒径与混凝土输送管径之比要控制在一定数值之内,目的是防止混凝土泵送时堵管。粗骨料的形状对混凝土的泵送性能也产生影响,一般表面光滑的圆形或近似圆形的粗骨料比尖锐扁平的要好,因为后者单位体积的表面积比前者大,也就需要更多的砂浆去包裹其表面。根据混凝土泵、输送管及工程实际情况,粗骨料选用Ø5~25 mm连续级配的碎石。

5.3.2 细骨料

细骨料对混凝土可泵性的影响远大于粗骨料。混凝土在输送管中顺利流动是砂浆润滑管壁和粗骨料悬浮在砂浆中的缘故。实践证明,中砂更适宜泵送。

5.3.3 水泥、粉煤灰与引气剂

水泥采用42.5级普通硅酸盐水泥,对水泥的要求是和易性好,不易泌水。

泵送混凝土对细粉含量要求较大,为了减少水泥用量,在拌合物中掺入粉煤灰,粉煤灰掺量为水泥用量的10%~15%。掺入粉煤灰后可提高混凝土的和易性及可泵性,减少泌水和离析。

引气剂可以提高混凝土的流动性和可塑性,减少泌水和离析。混凝土流动性增加后,可减小泵送压力,从而提高泵送距离。引气剂还可降低混凝土坍落度损失。因管路太长,混凝土从泵送开始到衬砌工作面,约需要40 min,若泵送过程中出现意外造成泵送中断,时间会更长,所以引气剂选用缓凝型,保证混凝土搅拌后3 h内不初凝。

5.3.4 混凝土配合比

泵送试验表明,泵送距离小于560 m时,坍落度可选19 cm;当泵送距离大于560 m时,坍落度控制在22 cm比较适宜。如果加大坍落度,混凝土易泌水,容易产生离析并形成堵管;如果减小坍落度,将增大泵送压力,混凝土泵送困难,泵送距离受限制。泵送混凝土配合比见表3。

表3 C25 泵送混凝土配合比

碎石 粒径 /mm	每立方米混凝土用料/kg						水灰 比	砂率 /%	坍落 度/cm
	水泥	砂	石子	粉煤 灰	水	外加 剂			
5~25	337	825	1005	33	195	32	0.53	45	21~23

注:外加剂包括 UEA 防水剂和引气剂。

6 斜井长距离混凝土泵送操作流程

混凝土泵车启动后,应先泵送适量的水以湿润混凝土泵车的料斗、混凝土缸及输送管内壁等直接与混凝土接触的部位。经泵水检查,确认混凝土泵和输送管中无异物后,再泵送水泥浆、泵送1:2水泥砂浆、泵送与混凝土内除粗骨料外的其他成份相同配合比的水泥砂浆,其目的是进行混凝土泵和输送管内壁润滑。

在泵送水泥浆前,需将用海绵球及水泥袋捆扎好的堵塞物塞入输送管内,使水泥浆在管内处于满管状态,保证润滑管路的整个管壁。正常施工中,泵送水泥浆3罐后改泵送水泥砂浆,水泥砂浆由稀渐变浓,泵送5罐左右,水泥用量逐渐接近设计用量,泵送无异常后,按设计配合比正常泵送。

开始泵送时,混凝土泵应处于慢速、匀速并随时可反泵的状态。正常泵送时,泵送要连续进行,避免停顿。遇有不正常情况,应放慢泵送速度。当混凝土供应不上时,宁可降低泵送速度,也要保持连续泵送。慢速泵送时,不能超过从搅拌到浇筑的允许延续时间。

短时间停泵,再运转时要注意观察压力表,逐渐地过渡到正常泵送。长时间停泵,应每隔4~5 min开泵一次,使泵正转和反转各两个冲程。同时开动料斗中的搅拌器,使之搅拌3~4转,以防止混凝土离析。停泵时间超过2 h(视气温、坍落度而定),宜将混凝土从混凝土泵和输送管中清除。

斜井泵送时,为防止输送管内存储空气,应将设

置在管路中的排气阀打开,在斜管内充满混凝土后再关闭排气阀。

当混凝土泵出现压力升高且不稳定,油温升高、输送管明显振动等现象时,不得强制泵送,应立即查明原因,采取措施排除。可先用木槌敲击输送管弯管、锥形管等易堵塞部位,并进行慢速泵送或反泵。

混凝土泵送结束前,应计算尚需混凝土的数量。输送管内的混凝土可采用泵水的方法泵送入仓。泵水前应从进料口塞入海绵球及捆扎紧的水泥袋,以免压力水越过海绵球及水泥袋混入混凝土中,造成管路中的混凝土离析。泵水产生压力可将混凝土推出同时清洗管壁。

最后,拆开混凝土管路,并对输送管进行人工清洗。

7 其它注意事项

(1) 严格执行操作规程。在泵送前应作好施工准备,不能因其它原因造成停泵。

(2) 斜井段输送管要用锚杆固定好,用导链拉紧,防止泵送时管路下沉。

(3) 坍落度不符合要求时,要及时将混凝土从料斗底部放掉,强行泵送极易造成堵管,切忌在料斗中加水搅拌。

(4) 在进行反泵、正泵操作后仍未排除堵管时,应及时拆管清洗,否则会使堵管更加严重。

(5) 加强管理,要将技术措施落实到实处。

8 结语

影响混凝土泵送的根本原因是堵管,斜井长距离泵送与常规泵送相比只是堵管机理的不同和增加了堵管的可能性。造成堵管的原因很多,我们应通过查找原因,分析机理,最终找到解决的方法。另外应加强管理,确保各项措施的落实。降云顶隧洞泵送实践证明,斜井长距离泵送混凝土是可行的。

参考文献:

[1] JGJ/T 10-95,混凝土泵送施工技术规程[S].

[2] JGJ 55-2000,混凝土配合比设计规范[S].

[3] GB 50119-2003,混凝土外加剂应用技术规范[S].