

泵送混凝土在小断面隧洞施工中的应用

雷 维 岳， 范 春 艳， 张 智 勇

(中国水利水电第十工程局有限公司 勘测设计院,四川 都江堰 611830)

摘 要:在雅安市铜头引水工程杨叉岗小断面隧洞施工过程中,因隧洞设计断面较小,长度较长,为了保证施工进度和施工质量,降低施工成本,缩短施工工期,采用了混凝土泵送入仓的方法进行施工,解决了小断面隧洞混凝土运输难的问题。

关键词:施工;泵送;混凝土;隧洞衬砌

中图分类号:TV431;U455.41+2;TV543+.3 文献标识码: B 文章编号:1001-2184(2019)05-0095-03

Application of Pumped Concrete in Construction of Small Section Tunnel

LEI Weiyue, FAN Chunyan, ZHANG Zhiyong

(Survey and Design Institute of Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

Abstract: During the construction of Yangchagang small section tunnel of Tongtou Water Diversion Project in Ya'an City, the design section of the tunnel is small and the length is long. In order to ensure the construction progress and quality, reduce the construction cost and shorten the construction period, the method of pumping concrete to the placement block is adopted to construct the tunnel, which solves the difficult problem of concrete transportation in the small section tunnel.

Key words: construction; pumping; concrete; tunnel lining

0 引 言

在一些引水工程或相关工程的隧洞施工中,常因隧洞断面较小、长度长等设计特点,不适宜选用大型轮式罐车或其他大型机械直接入仓的方式浇筑。而泵送混凝土作为一种有效的混凝土拌合物运输方式,有着速度快,投入劳动力少等优点,通过在泵送混凝土的配合比设计过程中,使其工作性能达到施工要求,并在泵机选型上选择能够满足施工需要的机械设备,以解决小断面隧洞混凝土运输难的问题。

1 工程概述

雅安市铜头引水工程取水口位于芦山县思延乡境内,工程取宝兴河铜头电站尾水径流,干渠经芦山县、天全县等地,以解决沿线 7 个乡镇 9.82 万亩耕地灌溉和沿线 6.71 万人的饮水等问题,同时也将作为雅安市区应急备用水源,是雅安市重点水利工程之一。在整个引水工程中的杨叉岗隧洞,全长 2 500 m,分别由铜头引水Ⅱ、Ⅲ标同时施工。其中由铜头引水工程Ⅲ标段承担施工的洞长 1 276.1 m,隧洞断面为城门洞型,洞经

成型断面面积仅为 4.9 m²,宽×高=1.8 m×2.7 m。隧洞衬砌采用现浇钢筋混凝土衬砌,洞身、底板混凝土设计强度等级为 C25。若采用轮式罐车配合泵机入仓,轮式罐车运输速度低,同时运输量仅为 0.5 m³,影响单仓混凝土浇筑效率,浇筑时间过长可能导致混凝土结构冷缝,造成质量问题。故选取泵送混凝土直接入仓方式。

2 泵送方案设计

在杨叉岗隧洞的整体衬砌施工中,选用定型模板 1 套,组合钢模 2 套,泵送入仓。混凝土振捣时,分别通过钢模台车自带的平板振动器和组合模板的人工振捣器的振捣来实现。浇筑分为两段接力浇筑,第一台泵机安置于杨叉隧洞出 1+276.10 洞口位置,第二台安置于杨叉隧洞出 0+610 位置。第二台泵机待杨叉隧洞出 0+000—杨叉隧洞出 0+605 衬砌浇筑完成后,将其移出洞外退场,混凝土两台泵机配管均在 600 m 以上同时作业。在此方案中,泵送混凝土的工作性能及混凝土泵车的选型成为整体泵送施工成败与否的关键点。

3 混凝土材料选用及配合

收稿日期:2019-05-16

3.1 混凝土原材料

泵送混凝土原材料的质量直接影响着泵送混凝土的工作效果,在原材料的选择上应在满足质量要求的基础上,优先考虑能取得良好工作效果的原材料。^[1]

3.1.1 水泥

选用四川省峨胜水泥厂的低热硅酸盐水泥 P·LH42.5,其比表面积 317 m²/kg,密度 3.01 g/cm³,初终凝时间分别为 193 min、278 min,28 d 抗压强度 44.7 MPa,抗折强度 8.4 MPa,安定性合格。

3.1.2 粉煤灰

选用攀枝花市利源粉煤灰厂生产的 II 级粉煤灰,其细度 15.8%,烧失量 7.1%,需水量比 104%,游离氧化钙 0.79%,含水量 0.1%,三氧化硫含量 1.9%,密度 2 510 kg/m³。

3.1.3 细骨料

选用雅安铜头芦山县天然 II 区中砂。细度模数 2.71;表观密度 2 700 kg/m³,堆积密度 1 520 kg/m³,含泥量 0.6%,吸水率 1.3%,有机物合格。

3.1.4 粗骨料

选用雅安铜头芦山县人工碎石。采用 5~10 mm、10~20 mm 碎石组成的合成级配,其中 5~10 mm 碎石占比 40%,10~20 mm 碎石占比 60%;表观密度 2 690 kg/m³,孔隙率 43%,吸水

率 0.62%,含泥量 0.2%,针片状颗粒含量 2.9%。

3.1.5 外加剂

选用彭州市敖平晋川建材厂出产的 JC 聚羧酸高性能减水剂。减水率 26.3%,泌水率比 54%,1 h 经时变化量 56 mm,含气量 2.4%,凝结时间之差初凝+54 min,终凝+57 min;3 d、7 d、28 d 抗压强度比分别为 165%、157%、151%。

3.1.6 水

选用符合要求的饮用水。

3.2 泵送混凝土配合比设计

考虑到此次施工泵送的距离,在配合比设计上除了满足设计的强度等级要求外,还要求混凝土在施工过程中的水化热足够低,以保证混凝土在经过杨叉遂出 1+276.1 泵机泵送抵达第二台泵机时,坍落度损失足够小;另外要增强混凝土粘聚性,解决在泵送过程中的混凝土泌水、离析两个关键问题。通过采用低热硅酸盐水泥、掺粉煤灰达到降低水化热,达到了减少坍落度损失的效果。通过调整砂率,使用高性能减水剂,合理调整水胶比例、砂率及骨料级配以提高混凝土粘聚性的效果。^[2]为了保证有足够的胶凝材料,根据计算确定水灰比,并结合经验选取 0.45。

经反复试配,调整得到杨叉岗泵送 C25 混凝土配合比(见表 1)。

表 1 杨叉岗泵送 C25 混凝土配合比

材料名称	水泥	砂	碎石 /mm		水	JC 聚羧酸高性能减水剂	粉煤灰
			5~10	10~20			
每 m ³ 混凝土材料用量 /kg	303	815	416	624	170	8.4	72

在坍落度的选择上,通过泵送混凝土压力泌水试验,得出不同坍落度的情况下,混凝土拌合物泌水量见杨叉岗泵送 C25 混凝土受压泌水量(见表 2)。低坍落度混凝土的泌水量较小,但粘滞系数较大,同时高坍落度混凝土泌水量大,有离析现象发生。同时要保证在经过杨叉遂出 1+276 位置泵机泵送至杨叉遂出 0+610 后混凝土还有着较为良好的工作性能,最终选取 180~220 mm 坍落度为设计配合比坍落度。

4 泵机泵送能力计算

4.1 对配管的水平距离进行计算^[3]

在杨叉岗隧洞衬砌施工方案中,位于桩号杨叉遂出 1+276.1 单泵机水平距离配管 665 m;垂

表 2 杨叉岗泵送 C25 混凝土受压泌水量表			
试验序号	水胶比	坍落度 /mm	受压泌水量 /ml
1	0.45	98	5
2	0.45	151	25
3	0.45	184	40
4	0.45	266	70

直配管 0 根;锥形管 0 根,1 m 长软管 1 根,每根软管换算长度 20;变径管个数 1 个,每个变径管换算长度 16。最终,杨叉遂出 1+276.1 位置一号泵机换算后配管的水平距离为:

(1) $L_1=665+1\times 20+1\times 16=701\text{ m}$;
位于桩号杨叉出 0+610 单泵机水平距离配管 605 m;垂直配管 0 根;位于桩号杨叉遂出 0+610 单泵机水平距离配管 605 m;垂直配管 0 根;

锥形管 1 根,每根锥形管换算长度 9;软管根数 0 根;变径管个数 1 个。最终杨叉遂出 0+610 位置二号泵机换算后配管的水平距离为:

(2) $L_2=605+1\times9+1\times20=634\text{ m}$ 。

4.2 混凝土泵机的选择

在泵机上,选用了由中联重科生产的 HBT110.26.390RS 混凝土拖泵,并选择配套的直径 125 mm 的泵管。性能参数见 HBT110.26.390RS 混凝土拖泵参数表 3。

表 3 HBT110.26.390RS 混凝土拖泵参数表

最大理论混凝土 输送量(低压/ 高压)/MPa	112/73	混凝土输送压力 (低压/高压) /MPa	16/26
分配阀形式(/)	S 管阀	高低压切换(/)	转阀
输送缸规格× 行程/m	200×2 100	料斗容积× 上料高度 /m	800×1 410
出料口直径 /mm	φ160	混凝土输送管 内径 /mm	φ125

4.3 混凝土泵车最大输送距离计算及验证^[3]

泵送最大水平距离 $L_{\max}$ 、泵车最大出口压力 $P_{\max}$ 及混凝土在水平输送管内流动每米的压力损失 ΔPH 之间的关系为:

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

其中: $\Delta PH=(\frac{2}{r_0})[K_1+K_2(1+\frac{t_2}{t_1})V_0]\alpha_0$

$$K_1=(3.00-0.01S)\times10^2$$

$$K_2=(4.00-0.01S)\times10^2$$

式中 r_0 为混凝土输送管半径,m; K_1 为粘着系数,Pa; K_2 为速度系数,Pa/m/s; S 为混凝土坍落度,cm; $\frac{t_2}{t_1}$ 为混凝土泵分配切换时间与活塞推压混凝土时间之比,一般取 0.3; V_0 为混凝土拌合物在输送管内的平均流速(m/s),均选取 0.8 m/s; α_0 为径向压力与轴向压力之比,对普通混凝土取 0.90。

则杨叉遂出 1+276.1 一号泵机中:

$$K_1=(3.00-0.01\times18)\times10^2=282\text{ Pa};$$

$$K_2=(4.00-0.01\times18)\times10^2=382\text{ Pa};$$

$$\Delta PH=(\frac{2}{0.0625})\times[282+382(1+0.3)\times$$

$$0.8]\times0.9=17\,945.86\text{ Pa/m}$$

该型号泵车输送压力为 16 MPa/26 MPa(低压/高压),为了保证泵送施工中混凝土的泵送稳定,选取较低的工作压力 16 MPa。则该功率一号

泵车的最大输送距离为: $L_{\max}=16\,000\,000/17\,945.86=891.57\text{ m}$,远大于换算后配管的水平距离 701 m。

由于选用了低热水泥,并掺和能降低混凝土水化热的粉煤灰。经实测,混凝土的坍落度损失在经由第一台泵机泵送 600 余米后仅有 4~6 cm 的损失。

则杨叉遂出 0+610 二号泵机中:

$$K_1=(3.00-0.01\times15)\times10^2=285\text{ Pa};$$

$$K_2=(4.00-0.01\times15)\times10^2=385\text{ Pa};$$

$$\Delta PH=(\frac{2}{0.0625})\times[285+385(1+0.3)\times$$

$$0.8]\times0.9=19\,739.52\text{ Pa/m}$$

也选取较低的工作压力 16 MPa,则该功率二号泵车的最大输送距离为: $L_{\max}=16\,000\,000/19\,739.52=810.56\text{ m}$,也远大于换算后配管的水平距离 634 m。

5 泵送混凝土施工

5.1 做好防震防爆

在泵管连接过程中,要做好接头处、弯管处的防震工作。在泵送混凝土前检查泵管枕木是否有松动现象,确保泵管在泵送过程中,不会出现较大偏移,导致有爆管情况发生。如有条件时,尽可能的将泵管在保持密闭的情况下,安装在水下,能有效降低泵管工作时的热量,从而降低混凝土坍落度损失;

5.2 严格按照要求入仓

此次泵送混凝土施工中,采用商品混凝土,在混凝土送到施工现场后,应将滚筒高速旋转几转,使混凝土进一步均匀,而后才能出料。现场工地试验室应按规定要求检测混凝土坍落度是否达到要求,是否有离析现象。确保入仓混凝土工作性能达到要求。水灰比调整应由搅拌站试验检测人员进行,在现场严禁任意加水;

5.3 掌握好混合比例

在泵送混凝土正式浇筑开始前,应依次泵送拌合用水 1~2 m³,以检查泵管气密性;然后泵送同标号水泥净浆 1 m³,使全泵管均匀挂浆,以减少混凝土与泵管之间的摩擦力;最后泵送 1:1 的水泥砂浆 0.5 m³,^[4]有效填充泵管之间的空隙;

5.4 控制泵管温度

(下转第 100 页)

混凝土采用预算定额中的一个固定标准进行预算是不准确的。见表 2。

表 2 不同坍落度的混凝土单位体积的材料用量

标准	混凝土强度等级(级配)	坍落度/mm	水泥品种强度等级	混凝土材料用量 /kg·m ⁻³			
				水泥	砂	卵石	水
水电建筑工程预算定额 (2004 年版) ^[5]	C20(2)	—	P·O42.5	261	757	1376	157
	C20(2)	50—70	P·O42.5	261	757	1376	157
	C20(2)	70—90	P·O42.5	268	749	1372	161
	C20(2)	90—110	P·O42.5	277	744	1363	166

2.2 混凝土水灰(胶)比

在水电工程项目的混凝土配合比设计中,《水工混凝土施工规范》(DL/T5144—2015)和《水工混凝土配合比设计规程》(DL/T5330—2015)对混凝土配合比的水灰(胶)比都有限制性的要求,要求最大的水灰(胶)比≤0.65;在水电建筑工程预算定额(2004 年版)中,混凝土的水灰(胶)比达到了 0.75;水灰(胶)比的不同限制直接影响混凝土单位体积的胶凝材料用量。

2.3 混凝土胶材用量

在水电建筑工程预算定额(2004 年版)中,泵送混凝土的胶凝材料最低用量为 253 kg·m⁻³,在《水工混凝土配合比设计规程》(DL/T5330—2015)中对泵送混凝土的胶凝材料用量的规定是不宜低于 300kg·m⁻³,两者差距达 47 kg·m⁻³之多。

3 结 语

在水电工程项目投标过程中,不可避免的涉及到混凝土的单价预算,因水电工程项目的混凝土方量大,所以混凝土的单价预算额直接关系到

(上接第 97 页)

在泵送混凝土施工过程中,应随时观察整条泵管线路的运行情况,其中要密切关注泵管温度变化,应采取喷水冷却法对泵管进行冷凝降温。^[5]且要求现场试验检测人员密切关注中继泵机处混凝土拌合物的工作性能,保证第二台泵机的稳定运行。

6 结 语

雅安市铜头引水工程杨叉岗隧洞采用泵送混凝土衬砌施工方案后,有效的缩短了施工工期,确保了整体工程的施工进度。全程 1 276.1 m 的浇筑过程中混凝土性能良好,无出现堵管现象,混凝土强度经后期材料试验也能满足设计要求。

参考文献:

工程项目的投标总额。试验室作为专业的混凝土原材料和混凝土配合比设计技术分析、解决和处理中心,可根据项目招标书的技术文件资料、实地勘察结果和多年的试验经验对混凝土的原材料进行合理的技术分析,做出混凝土原材料的最佳选择;提出混凝土配合比的合理参数;显现试验室在水电工程项目投标阶段的技术作用。

参考文献:

[1] DL/T5330—2015.水工混凝土配合比设计规程[S].中国电力出版社.2015.

[2] 水电建筑工程预算定额(2004 年版)[S].中国电力出版社.2005.

[3] 水电工程工程量清单计价规范(2010 年版)[S].中国电力出版社.2010.

[4] 党春祥.浅谈原材料品质对混凝土质量的影响[J].黑龙江科技信息.2009,(30):58—59.

[5] 吴浩.浅谈原材料品质对混凝土质量的影响[J].科技咨询导报.2007,(8):101—102.

作者简介:

范正春(1974-),男,重庆忠县人,工程师,从事建筑工程材料试验检测技术与技术管理.

(责任编辑:卓政昌)

[1] 混凝土泵送施工技术规程,JGJ/T 10—2011[S].

[2] 普通混凝土配合比设计,JGJ 55—2011[S].

[3] 江正荣等.建筑施工计算手册(第四版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.

[4] 吴昊,王利民.浅析长距离泵送混凝土[J].江西建材,2016,38(24):99—100.

[5] 罗雯,邓华.浅谈长距离泵送混凝土的改善工艺[J].西部交通科技,2009,4(6):58—60.

作者简介:

雷维岳(1983-),男,河南洛阳人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

范春艳(1976-),女,湖北洪湖人,工程师,从事水利水电工程建设技术与试验检测管理工作;

张智勇(1984-),男,河北遵化人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作.

(责任编辑:卓政昌)