

昌波水电站 2 条平行引水隧洞施工进度 仿真模拟研究

李 昆

(华电金沙江上游水电开发有限公司苏洼龙分公司,四川 成都 610041)

摘 要:昌波水电站采用引水式开发,2 条引水隧洞并行长约 11 km,隧洞开挖为电站的关键线路工程。为有效控制项目施工进度,选择最优施工方案,考虑项目长大引水隧洞特点,对隧洞不同开挖方式以及横通洞布置数量等进行施工进度仿真模拟研究,探明了开挖方式和横通洞布置数量对施工强度、施工进度的影响,给出了进度控制管理的优化方案和改进对策,提高了工程进度管理水平,对类似工程项目具有一定的借鉴意义。

关键词:昌波水电站;引水隧洞;仿真系统;模拟研究

中图分类号:[TM622];TV67;TV672+.1;TM743 **文献标识码:** A **文章编号:**1001-2184(2022)02-0041-05

Simulation Study on the Construction Progress of Two Parallel Headrace Tunnels in Changbo Hydropower Station

LI Kun

(Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610041)

Abstract: As a diversion-type hydropower project, two headrace tunnels with a length of about 11km are constructed in parallel in Changbo Hydropower Station, and excavation of the headrace tunnels is the critical path of the project. In order to effectively control the construction progress of the project and select the optimal construction plan, this paper carries out simulation study on the construction progress when applying different excavation methods and arranging different amounts of horizontal shafts taking consideration on the characteristics long diversion tunnel, explores the impact of excavation methods and the number of horizontal shafts on the construction intensity and construction progress, gives the optimization plan and improvement counter-measures of the progress control management, and improves progress management. This paper has certain reference significance for similar projects.

Key words: Changbo Hydropower Station; headrace tunnel; simulation system; simulation study

1 工程概况

昌波水电站地处川藏交界的金沙江干流上,为规划中的金沙江上游川藏段 13 个梯级电站中的第 11 级,计划于 2022 年年底核准开工。其上游为苏洼龙水电站,下游为旭龙水电站。电站采用王大龙坝址闸坝+河床式厂房+左岸引水系统+麦曲河口地下厂房的开发方案,正常蓄水位 2 387 m,装机容量 826 MW(其中引水式电站装机 740 MW,河床式电站装机 86 MW)。

工程项目采用长引水开发,引水建筑物位于左岸山体中,采用“一洞两机”供水方式。2 条引水主洞,单洞平均长约 11 152 m(隧洞起点至调

压室处),轴线间距 51 m,隧洞纵坡 1.39~1.41‰,隧洞为内径 13 m 的圆形断面,采用全断面钢筋混凝土衬砌。Ⅲ类围岩约占总洞段的 55.9%,Ⅳ类围岩约占总洞段的 39.7%,Ⅴ类围岩约占总洞段的 5.4%。

该工程 2 条长引水隧洞施工对电站建设起着决定性作用,具有规模大、工期长的特点,控制整个工程工期和主要投资。为有效控制项目施工进度,选择技术成熟可靠、施工风险小、工期保障率较高、投资合理的开挖方案^[1]。考虑到项目长大引水隧洞特点,针对 2 条平行引水隧洞不同开挖方式以及横通洞布置数量等进行施工进度仿真模拟研究,探明隧洞开挖方式和横通洞布置数量对

收稿日期:2022-03-05

施工强度、施工进度的影响,为项目建设提供合理的施工方案选择和优化对策,节约项目投资。

2 仿真模拟系统

该项目采用四川大学水电学院开发的 UCCSS 施工仿真系统进行模拟研究。UCCSS 系统包括物料子系统、交通子系统、设备子系统、仿真模拟子系统,具有循环网络计算机模拟、可视化资源建模、动态演示等特点,其仿真流程见图 1。

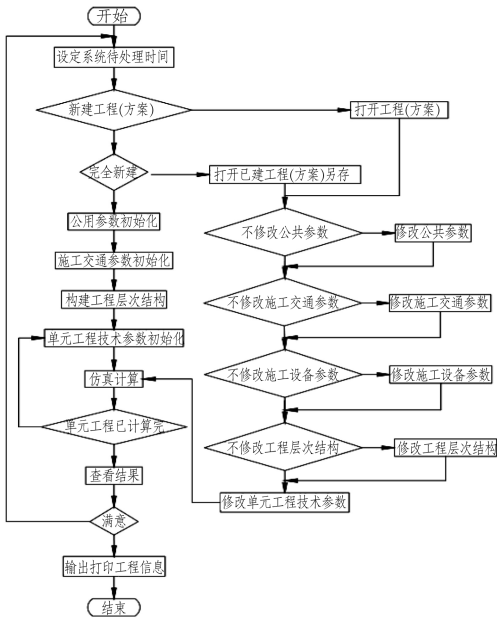


图 1 仿真流程图

2.1 物料子系统

物料子系统包括洞控料弃渣场和衬砌混凝土生产系统,可构建、更改物料规划方案,自动统计、更新、查询物料存取过程强度、供需总量等。

2.2 交通子系统

交通子系统包括明线道路、洞内主线、洞内支线三个层次,可构建、更改交通运输布置方案,自动统计、更新、查询不同路径上不同车型的过程车流量、运输强度、峰值及其出现时间、持续时间等。根据水利水电工程施工组织设计要求以及矿山施工规定,本次施工仿真平洞施工的小时车流量按照不超过 25 辆进行控制^[2]。

2.3 设备子系统

设备子系统包括地下工程开挖的钻孔、装载、运输、喷混凝土、掘进机以及衬砌的模板运输等主要工序所需的施工机械设备,可构建、更改施工机械设备配置方案,自动统计、更新、查询过程需求量等。

2.4 仿真模拟子系统

仿真模拟子系统包括开挖仿真模拟和衬砌仿真模拟两个系统,可构建、更改施工方案、仿真计算、更新单元工程的施工工期、施工强度、施工交通、施工设备等。

3 平行隧洞施工仿真模拟

3.1 模拟方案设置

考虑到本工程引水隧洞围岩成洞条件一般,有较多Ⅳ、Ⅴ类围岩(约 45%),圆形隧洞开挖断面达到 14.2~15 m,属于特大断面,一般施工机械设备难以满足全断面开挖要求^[3],因此,不宜采用全断面开挖的方法,宜采用上下分层开挖法或先挖导洞、后进行分层分部开挖的施工方案。

为进一步控制施工工期,考虑通过在平行隧洞之间设置若干横通洞,将 2 条独立的平行隧洞构成一个施工系统,通过横通洞将该施工段分成更小的单元,增加施工工作面,缩短施工工期。通过对比分析,本阶段横通洞断面均布置成 2 m×2 m。

为较好地分析开挖方式和横通洞布置对施工进度综合影响,根据引水隧洞布置情况、地形地质条件和施工资源投入等各种因素,采用控制变量法选择 6 种模拟方案加以比较。开挖方式分为上下分层开挖法和导洞先行法,横通洞布置数量逐一递增,断面均为 2 m×2 m。其中,方案 1 采用分层开挖法,不布设横通洞;方案 2 至方案 5 采用分层开挖,布设横通洞,且布置数量递增;方案 6 采用导洞先行法,布设横通洞最多。

方案 1:采用上下半洞分层开挖的方案进行施工,不布设横通洞。

分别从 1 号施工支洞、2 号施工支洞、3 号施工支洞、4 号施工支洞进入主洞施工。1~4 号施工支洞长度分别为 0.54km,1.97km,0.96km,0.41km,从而进入主洞施工开始时间分别为第一年 4 月、第二年 4 月、第三年 8 月、第一年 4 月。进入主洞后,分别从支洞位置向两边开挖,当上层开挖贯通后,再进行下层开挖,下层开挖贯通后,再进行衬砌、固结灌浆与回填灌浆。

方案 2:在方案 1 的基础上,对引水隧洞开挖进行优化。在引水隧洞控制段布置 2 条横通洞,横通洞位于 4+500 处,6+200 处。

方案 3:在方案 2 基础上,在控制段处布置 3 条横通洞,横通洞位置分别位于 4+500,6+200,5+

500 处,与方案 2 原理相同,借由横通洞可提前开 挖下层,缩短工期,横通洞布置位置见图 2。

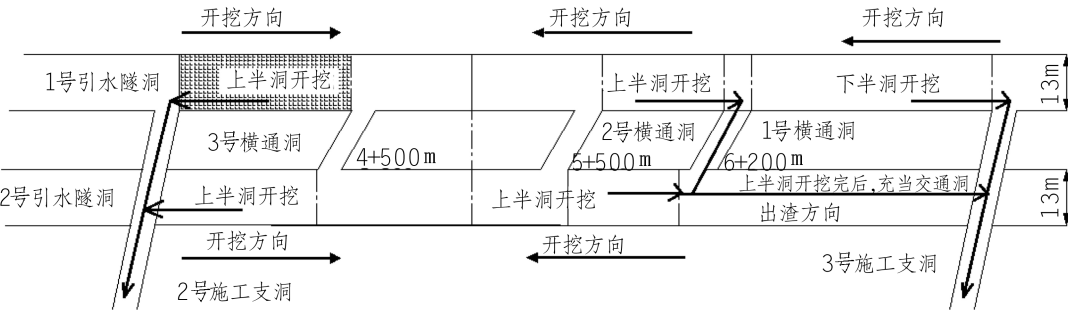


图 2 横通洞布置图

方案 4:在方案 3 基础上,在控制段处布置 4 条横通洞,横通洞位置分别位于 4+280、5+280、5+700、6+300 处。

方案 5:在方案 4 基础上,在控制段处布置 5 条横通洞,横通洞位置分别位于 4+280、4+720、5+280、5+700、6+300 处。

方案 6:控制段处采用上导洞先行法(导洞采用 8 m×7 m(宽×高)m²),7 条横通洞位置分别布置于 4+000、4+400、4+700、5+300、5+600、

6+050、6+570 处。

3.2 仿真参数

3.2.1 方案 1~5 施工仿真进尺参数

上层开挖Ⅲ类围岩进尺 100 m/月,Ⅳ类围岩进尺 70 m/月,Ⅴ类围岩进尺 40 m/月^[4]。

苏洼龙—王大龙—曾大同断层、王大龙断层等区域性断层附近、罗绒西沟跨沟洞段存在涌水风险,涌水处理时间按 4 个月考虑。方案 1~6 各施工段综合进尺参数见表 1。

表 1 方案 1~6 各施工段综合进尺参数表

序号	桩 号	上层开挖 综合月进尺 /m	下层开挖 综合月进尺 /m	拱圈衬砌 月进尺 /m	底板衬砌 月进尺 /m
方案 1~5	0—0+481	72	140	120	300
	0+481—0+700	54	140	120	300
	0+700—2+460	72	140	120	300
	2+460—3+000	72	140	120	300
	3+000—3+483	60	140	120	300
	3+483—5+300	54	140	120	300
	5+300—7+373	68	140	120	300
	7+373—11+038	90	140	120	300
方案 6	3+483 — 5+300 上导洞	72	140	120	300
	7+373 — 5+300 上导洞	84	140	120	300
	3+483 — 5+300 上导洞扩挖	90	140	120	300
	7+373 — 5+300 上导洞扩挖	109	140	120	300

3.2.2 方案 6 施工仿真进尺参数

上导洞开挖Ⅲ类围岩进尺 120 m/月,Ⅳ类围岩进尺 100 m/月,Ⅴ类围岩进尺 60 m/月^[4]。

3.2.3 单工作面综合进尺计算方法

0+ 481—3+ 000 段(Ⅲ 85%、Ⅳ 10%、Ⅴ 5%),综合进尺=100/(85/100+10/70+5/40)=89.46。

将 1 号施工支洞~2 号施工支洞涌水处理时

间分配到每天,经施工仿真模拟,该段综合进尺为 72 m/月。

3.3 模拟条件分析

3.3.1 横通洞

横通洞在隧洞施工中一方面可用来增加施工断面,另一方面可作为 2 条平行隧洞之间的施工避险通道。本次施工仿真仅方案 1 没有布置横通洞,方案 2、方案 3、方案 4、方案 5、方案 6 在控制

段分别布置 2、3、4、5、7 条横通洞。

3.3.2 施工程序

方案 1~5 均采用先上半洞开挖,再下半洞开挖,最后进行衬砌。在方案 1 中,上半洞开挖、下半洞开挖、衬砌均占用直线工期。方案 6 为导洞先行法,上导洞开挖—上导洞扩挖—下半洞开挖—衬砌。

3.3.3 衬砌程序

方案 1~6 中,1 号、2 号引水隧洞所有洞段均采用先拱圈,再底板的衬砌方式。

3.3.4 运输方式

本次施工仿真运输全部为无轨运输,4 条施工支洞、2 条引水隧洞和横通洞均是运渣和运混凝土的通道。方案 1~6 隧洞开挖运渣采用 20 t 自卸汽车出渣,衬砌混凝土运输采用 6 m³ 泵车运输^[5]。

3.3.5 通风

在每条施工支洞口位置布置一台 88—I 型 150 kW 可逆式轴流通风机,每隔 500 m 加装一台 88—I 型 150 kW 通风机,每次爆破结束后采用吸出式通风,通风散烟时间为 30~40 min,其余时间采用压入式通风处理,送风管采用直径为 60 cm 的柔性风管,排风管采用直径为 100 cm 的硬质风管。

3.3.6 排水

1~4 号引水施工支洞开挖时,每掘进 200 m 布置一个集水坑 0.6 m×0.6 m×0.4 m(长×宽×高)并采用 WQ65-15-5.5 型潜水泵抽水排出。当施工支洞进入主洞工作面后,向上游方向掘进为顺坡,采用自流排水,向下游方向掘进为倒坡,每隔 200~300 m 布置一集水坑,采用水泵逐级抽出。经洞外污水处理池处理后再排放到指定位置。

4 仿真结果对比分析及建议

4.1 仿真结果

通过对 2 条引水隧洞施工进度仿真模拟研究,显示方案 1 中 1 号引水隧洞需要 77.5 个月才能具备通水发电条件。方案 2 是在方案 1 的基础上,增加 2 条施工横通洞,优化下层开挖工期,需要 70 个月 1 号引水隧洞才具备发电条件。方案 3 在方案 2 的基础上,布置 3 条横通洞,1 号引水隧洞需要 68 个月具备通水发电条件。方案 4 在方案 3 的基础上布置 4 条横通洞,仅需要 67.5 个月就能具备通水发电条件。方案 5 是在方案 4 的基础上布置 5 条横通洞,1 号引水隧洞需要 66 个月具备通水发电条件。方案 6 是在方案 1 的基础上对控制段开挖部分进行优化,采用上导洞先行法,布置 7 条横通洞,1 号引水隧洞需要 63.5 个月具备通水发电条件。方案 1~6 进度仿真结果见表 2。

表 2 方案 1~6 进度仿真结果

方案名称	下层开挖完成时间		衬砌完成时间		具备通水发电时间	
	1 号隧洞	2 号隧洞	1 号隧洞	2 号隧洞	1 号隧洞	2 号隧洞
方案 1	第 5 年 9.17	第 5 年 10.15	第 7 年 2.16	第 7 年 3.26	第 7 年 6.17	第 7 年 7.26
方案 2	第 5 年 1.26	第 5 年 6.13	第 6 年 6.27	第 6 年 11.21	第 6 年 10.27	第 7 年 3.21
方案 3	第 4 年 11.30	第 5 年 3.30	第 6 年 4.30	第 6 年 8.30	第 6 年 8.30	第 6 年 12.30
方案 4	第 4 年 11.14	第 5 年 1.7	第 6 年 4.14	第 6 年 6.16	第 6 年 8.14	第 6 年 10.16
方案 5	第 4 年 9.28	第 4 年 12.22	第 6 年 2.26	第 6 年 5.30	第 6 年 6.26	第 6 年 9.30
方案 6	第 4 年 7.13	第 4 年 9.17	第 5 年 12.13	第 6 年 2.25	第 6 年 4.13	第 6 年 6.25

在施工强度仿真结果中,方案 1 的 1 号引水隧洞开挖强度在第 4 年 1 月达到最大值 69 630.53 m³,其中平均开挖强度为 3.8 万 m³;方案 2 开挖强度在第 3 年 10 月达到最大值 84 107.72 m³,平均开挖强度为 45 155.1 m³;方案 3 开挖强度在第 4 年 1 月最大值 84 907 m³,其中平均开挖强度为 4.7 万 m³;方案 4 开挖强度在第 5 年 3 月

达到 98 424.87 m³,平均开挖强度为 48 098.59 m³;方案 5 在第 3 年 4 月出现开挖强度最大值 98 534.24 m³,开挖强度平均值为 49 798.57 m³;方案 6 开挖强度在第 4 年 5 月出现 117 317.02 m³,平均开挖强度为 52 796.31 m³。方案 1~5 施工强度见表 3。

在车辆强度仿真结果中,方案 1 的 20 t 自卸

表 3 方案 1~5 施工强度

方案名称	1 号引水隧洞		1 号支洞	2 号支洞	3 号支洞	4 号支洞	20 t 自卸汽车 月度需求(辆)	6 m ³ 泵车月度 需求(辆)
	月开挖强度	月衬砌强度	20 t 自卸汽车车流量峰值(辆)					
方案 1	69 630.53	18 627.1	18	22	24	17	92	26
方案 2	84 107.72	23 703.94	18	23	24	17	106	34
方案 3	84 907	23 697.12	18	24	24	17	114	34
方案 4	98 424.87	23 713.79	18	24	24	17	112	34
方案 5	98 534.24	23 724.41	18	24	24	17	110	34
方案 6	117 317.02	27 360	18	32	33	17	144	39

汽车峰值为 92 辆/月,方案 2 为 106 辆/月,方案 3 为 114 辆/月,方案 4 为 112 辆/月,方案 5 为 110 辆/月,方案 6 为 144 辆/月;方案 1 的 6 m³ 泵车峰值为 26 辆/月,方案 2 为 34 辆/月,方案 3 为 34 辆/月,方案 4 为 34 辆/月,方案 5 为 34 辆/月,其中方案 6 峰值为 39 辆/月。方案 6 施工洞内车流量超过限制。

4.2 方案选择

根据施工进度、施工强度、资源投入综合分析,方案 5 通过横勇洞优化施工工期,满足了施工工期目标。建议方案 5 作为推荐方案。方案 5 投入了 5 条横通洞,相对于方案 1、2、3、4,1 号引水隧洞工期分别提前了 12、4、2、1.5 个月,且 2 号引水隧洞工期也有相应缩短。方案 6 采用导洞先行法,虽然施工工期较方案 5 提前 2.5 个月,但对导洞施工进度要求比较高,施工强度大,且额外增加支护成本,施工洞内车流量超过限制,因此建议方案 5 为推荐方案。

5 结 语

昌波水电站采用长引水式开发,2 条平行引水隧洞平均长约 11km,隧洞开挖工程具有规模大、地质条件复杂的特点,且为本工程施工的关键线路项目,对昌波水电站建设起着控制性的作用。

通过对项目引水隧洞不同开挖方式及横通洞布置数量下的施工进度仿真模拟研究,表明合理布置横通洞数量可有效控制隧洞施工工期。采用导洞先行法虽然施工工期最优,但是对导洞施工进度要求较高、施工资源投入增加明显,经济性较差。采用分层开挖法资源投入相差较小,且能满足施工进度、施工强度控制要求。通过本次研究,探明了开挖方式和横通洞布置数量对项目施工强度、施工进度的影响,给出了进度控制管理的优化方案和改进对策,提高了工程进度管理水平及项目经济性,对类似工程项目具有一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 梁自强. 偏桥水电站引水隧洞施工全过程离散单元法仿真模拟研究[J]. 道隧建设,2009,29(1):45-53.

[2] 水利水电工程施工组织设计规范,SL303-2017[S]. 09. 08.

[3] 胡连兴. 复杂长距离引水隧洞群施工全过程仿真优化与进度控制关键技术研究[D]. 天津大学,201.

[4] 水利水电工程可行性研究报告编制规程,SL618-2013[S]. 11. 20.

[5] 王天兴,张继勋,等. 基于 BIM 技术的水工隧洞施工进度仿真研究[J]. 长江科学院院报,2020. 37(11):149-155.

作者简介:

李 昆(1993-),男,四川广安人,学士,助理工程师,从事水利水电项目建设管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

=====

水工 ECC 高延性混凝土在金上巴塘电站首次成功应用

日前,历经 6 个多小时施工,金沙江上游巴塘电站坝基廊道首仓水工 ECC 高延性混凝土顺利浇筑完成,这是水工 ECC 高延性混凝土在国内水利水电施工中的首次应用。

据介绍,国内外已建深厚覆盖层心墙堆石坝工程中,坝基廊道普遍存在开裂及渗水现象,为解决巴塘电站深厚覆盖层心墙堆石坝坝基廊道防裂防渗这一技术难题,巴塘公司联合科研院所开展技术攻关,经过反复研究论证,提出了在廊道结构中采用水工 ECC 高延性混凝土设置塑性铰接段,形成铰链式廊道结构,从而从根本上解决坝基廊道开裂及渗漏问题的技术设想。作为新材料、新技术在水工结构中首次应用,巴塘电站坝基廊道首仓水工 ECC 混凝土成功浇筑为廊道大规模施工奠定了坚实基础。

(摘自华电金上公司网)