

硬岩隧道施工效率分析

赵桐远

(四川公路桥梁建设集团有限公司, 四川 成都 610041)

摘要:以米仓山特长公路隧道为背景,采用统计分析方法研究硬岩隧道施工中各工序的实际耗时,并与施工组织中的计划时间进行对比,分析施工过程中造成时间浪费的因素;针对这些因素探究解决延误的方法,得到了后续施工时的合理施工循环时间和有效工序接替秩序。

关键词:工程管理;隧道;硬岩施工;施工效率

中图分类号:U415.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)03-0186-05

长大隧道建设工期较长,且无法靠单纯地堆砌资源提高建设速度、缩短工期,如何提高隧道建设速度,设计合理的施工循环时间和有效的工序衔接来缩短建设工期成为人们关注的主要问题。李有兵等以多条隧道为例对快速施工技术机械化配套进行研究,强调通过合理机械化配套实现安全、质量、效益“三丰收”;董兆昆等针对乌鞘岭特长隧道快速施工提出了隧道建设动态管理措施;张金夫以东秦岭隧道为例,介绍了以快速施工技术为基础的正洞施工、通风等关键技术,提出了快速施工技术的综合管理办法;张燕婷以离石隧道为背景,对快速施工组织技术进行研究,提出了适合隧道建设的施工组织技术;梁胜国根据凤凰岭隧道的实际情况,优化了快速施工技术的设备选型;陈炳祥等运用工程地质系统控制理论进行长大隧道快速施工管理控制;蒋肃介绍了大别山隧道快速施工的成功做法;李自强等以虹梯关隧道为背景,对深埋硬岩特长隧道快速掘进技术进行研究,利用数据分析方法得出了理论爆破进尺,以提高一次掘进量。以上研究是从整个隧道项目的视角出发,从宏观层面讨论应用何种技术或何种措施提高隧道建设速度。该文以米仓山特长公路隧道建设为例,从细节方面提出合理的施工安排方法,提高施工效率,尽可能缩短工期。

1 工程背景

1.1 工程概况

米仓山隧道为特长隧道,横跨陕、川两省,进口位于陕西省汉中市南郑县喜神坝小坝,出口位于四川省巴中市南江县关坝乡。设计为双线分离式隧道,左线长 13 833 m,右线长 13 792 m。为双向四车道高速公路隧道,设计速度 80 km/h。车行横通

道建筑限界净宽 4.5 m、净高 5 m,衬砌内轮廓拟定为拱高 6 m 的三心圆曲边墙结构。人行横通道建筑限界净宽 2 m、净高 2.5 m,衬砌内轮廓拟定为拱高 300 cm 的单心圆直边墙结构。隧道轴线贯穿沉积岩与岩浆岩,岩层以岩浆岩及可溶性碳酸盐岩为主。围岩以Ⅲ级围岩为主。

1.2 施工技术

根据围岩情况,主洞选用全断面钻爆法施工,采用复合式衬砌。根据施工条件,选用手持式凿岩机钻孔,引进阿特拉斯湿喷车,使用无轨运输方法,采用巷道式通风。主要机械设备选型见表 1。

表 1 米仓山隧道施工主要机械设备选型

设备类型	设备名称	型号规格	数量/台
掘进设备	气腿式凿岩机	YT26	25
	台架	自制	
	空压机	80R	9
出碴设备	装载机	柳工 50CN 2 台、厦工 1 台	3
	挖掘机	沃尔沃 210B	2
	自卸车	陕汽德龙、红岩	7
支护设备	砼喷射车	阿特拉斯 ME5	
通风设备	轴流风机	160 kW	1
	射流风机	22 kW	2
衬砌设备	衬砌台车	金达	2
	搅拌站	三和建工 50	4

鉴于该隧道围岩强度高、节理裂隙不发育,在围岩稳固性允许的条件下,为减弱爆破作用对围岩的扰动,采用周边光面爆破的全断面掘进方案,爆破参数与炮孔布置见表 2、图 1。

表 2 米仓山隧道Ⅲ级围岩全断面爆破参数

炮孔类型	孔数/个	孔深/m	孔长/m	装药长度/m	堵塞长度/m	单孔药量/kg	药卷数/个	药量小计/kg
内掏槽孔	12	2.2	2.90	1.8	1.10	1.8	9.0	21.6
外掏槽孔	12	4.0	4.60	2.0	2.60	2.0	10.0	24.0
辅助掏槽孔	10	3.8	3.95	2.7	1.25	2.7	13.5	27.0
掘进孔	69	3.8	3.80	2.7	1.10	2.7	13.5	186.3
底板孔	14	3.8	3.80	2.8	1.00	2.8	14.0	39.2
周边孔	47	3.8	3.80	3.2~3.4	≥0.40	0.9	9.0	42.3
合计	164							340.4

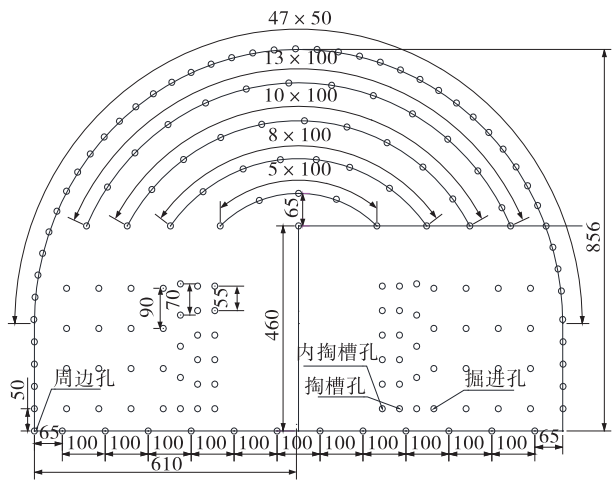


图 1 米仓山隧道Ⅲ级围岩全断面爆破炮孔布置(单位:cm)

2 隧道施工用时分析

选取右洞 3 000~3 300 段掘进中各施工循环和施工工序消耗时间进行分析。该段共 82 个施工循环,围岩为Ⅲ级。

2.1 施工循环总时间

右洞 3 000~3 300 m 段每个施工循环各工序实际用时见图 2。从图 2 可以看出:在一个正常施工循环中,相对于其他工序,开挖用时最多,平均为 300 min 左右;通风和出碴、找顶用时较均衡,平均分别为 30、200 min 左右。部分施工循环中有补炮工序,其施工时间不一,伴随补炮工序施工的还有立架和喷浆施工,虽然其他施工循环中也有喷浆施工,但其施工时间比有补炮施工的施工循环中的喷浆时间少很多。

该段施工中,一个正常施工循环用时为 550 min 左右(见图 3),实际用时比计划用时约少 100 min。82 个施工循环中,24.4%施工循环的施工时间大于 1 000 min,超出正常施工循环所用时间,这

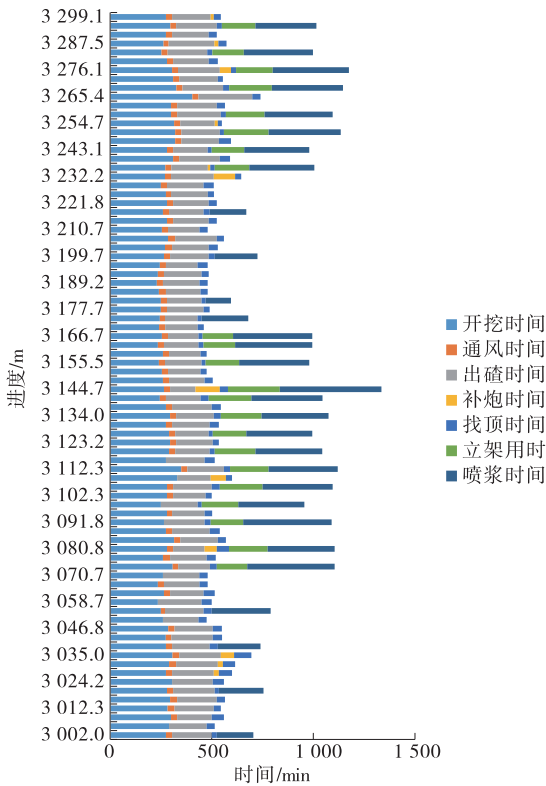


图 2 右洞 3 000~3 300 m 段掘进各工序用时

些施工循环集中在 3 075~3 175 和 3 225~3 300 m 两个区段,这是因为这两个区段的围岩级别较高,岩石坚硬,施工难度较大,需进行补炮施工。

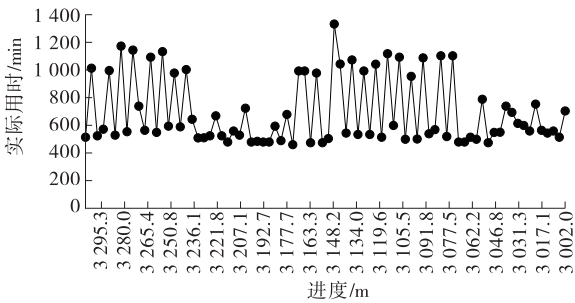


图 3 右洞 3 000~3 300 m 段施工循环总用时

2.2 各工序用时分析

2.2.1 开挖用时

右洞 3 000~3 300 段开挖用时见图 4。开挖计划用时为 330 min。从图 4 可看出:各开挖工序所用时间无明显规律,3 130~3 200 m 段开挖用时较集中且用时较少,3 100、3 265 m 附近用时较突出。在 3 100 附近开挖施工时,由于出现岩爆现象,隧道内需挖机重新排险,因而耗时较多;在 3 265 m 附近,打钻孔时斜井交叉口压钻导致打钻时间延长,开挖时间增加。

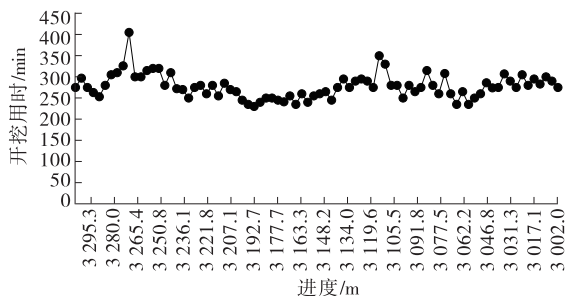


图 4 右洞 3 000~3 300 m 段开挖用时

2.2.2 通风用时

右洞 3 000~3 300 段通风用时见图 5。从图 5 可看出:3 000~3 030 m 段通风用时稍多,达 35 min。82 个施工循环中,10 个施工循环的通风时间达 35 min,其余循环的通风时间都为 30 min,与计划通风时间 25 min 相同的施工循环只有 5 个。可见,该隧道的一个施工循环中通风需 30 min,即正常施工过程中通风工序时间应为 30 min,而不是施工计划提出的 25 min。

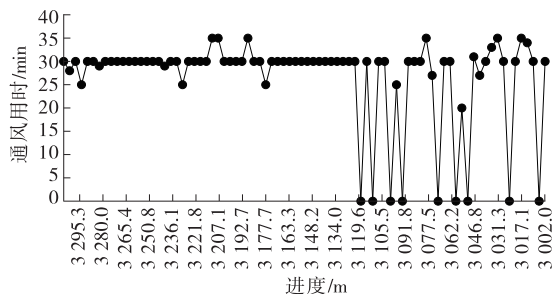


图 5 右洞 3 000~3 300 m 段通风用时

2.2.3 出碴用时

隧道施工中出碴工序容易出现问題,如出碴车调配、损坏及工序接替失序等。该隧道右洞 3 000~3 300 段各施工循环的出碴用时见图 6。计划出碴用时为 120 min。从图 6 可看出:实际出碴用时为 175~200 min。出现这种现象的主要原因是出

碴车调配不合理,造成出碴时间有长有短,同时爆破后碴石的大小也会影响出碴车的出碴效率。

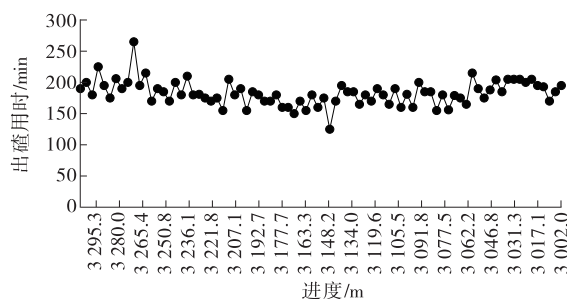


图 6 右洞 3 000~3 300 m 段出碴用时

2.2.4 补炮用时

施工计划中并没有补炮这一工序,实际施工中由于部分区段岩石坚硬,初次爆破未达到爆破效果,需增加补炮工序。补炮工序的频率和时间见图 7。从图 7 可看出:右洞 3 000~3 300 段开挖中共进行了 12 次补炮施工(1 次工序 2 次补炮算作 1 次),部分工序出现 2 次补炮,有的为 3 次补炮后再次出碴。12 次补炮工序共用时 592 min,相当于在该段隧道开挖中补炮工序浪费了 592 min。

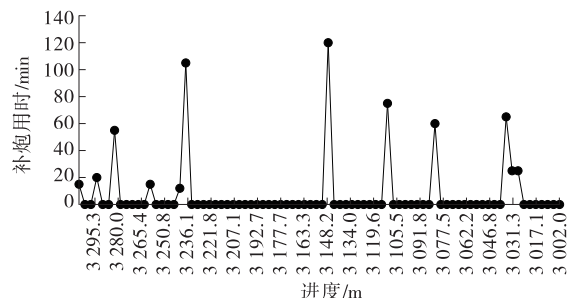


图 7 右洞 3 000~3 300 m 段补炮用时

2.2.5 找顶用时

右洞 3 000~3 300 段找顶施工用时见图 8。正常施工循环中计划找顶时间为 25 min。从图 8 可看出:实际施工中只有 14 个施工循环的找顶用时为 25 min;48 个施工循环的找顶用时超过 25 min,最高用时超过 60 min;其他施工循环的找顶用时多

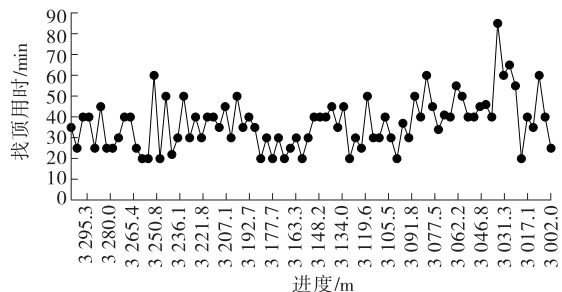


图 8 右洞 3 000~3 300 m 段找顶用时

为 20 min, 少于 25 min 计划时间。出现这种情况的原因是爆破次数不尽相同, 爆破影响范围及爆破产生的危石大小也不同。

2.2.6 立架、喷浆用时

在施工计划中立架、喷浆是一道工序, 用时为 160 min。实际施工中立架、喷浆频次和用时见图 9、图 10。从图 9、图 10 可看出: 立架和喷浆施工循环基本是重合的, 一次立架用时约 200 min, 一次喷浆用时约 300 min; 在有立架、喷浆工序的施工循环中, 实际立架、喷浆用时远大于计划用时; 82 个施工循环中, 立架、喷浆计划总时间为 13 120 min, 实际施工总时间为 13 524 min, 尽管每次立架、喷浆时间都超过计划时间, 但实际施工总时间与计划总时间相差并不大。这是因为该段隧道围岩为Ⅲ级, 并不是每个施工循环中都有立架、喷浆工序, 更多的是每隔几个循环进行一次立架、喷浆。

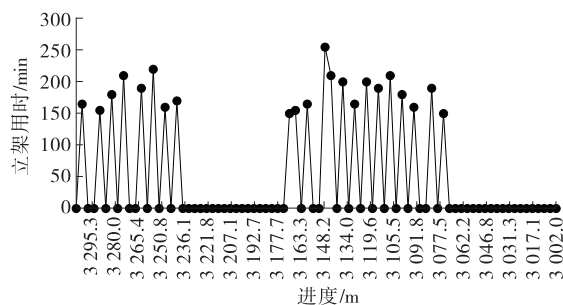


图9 右洞 3 000~3 300 m 段立架用时

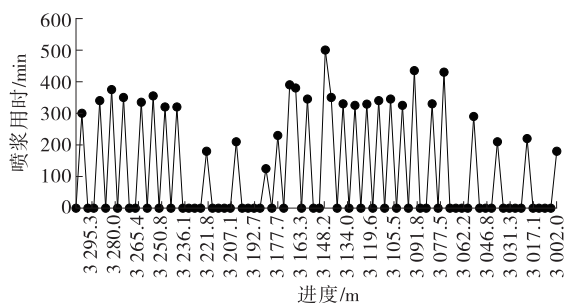


图10 右洞 3 000~3 300 m 段喷浆用时

3 各工序耽误的时间及因素分析

受多种因素影响, 该隧道施工中出现了非正常施工时间消耗, 如出碴车调配、监理检查、线路整改等人为和非人为因素。下面通过对右洞 3 000~3 300 段施工用时分析, 找出出现非正常时间消耗的工序及影响因素。

3.1 各工序耽误的时间

右洞 3 000~3 300 段施工中各工序出现的非正

常时间消耗占比见图 11。从图 11 可看出: 开挖工序耽误的时间最长, 占比达 77%, 占据了绝大部分误时, 说明施工中开挖工序很容易发生误时事件, 应加强开挖工序管理; 其次为喷浆工序, 其误时比例为 10%, 时长为 800 多 min; 第三是出碴和立架工序, 误时比例均为 6%, 主要为设备故障所引起; 找顶误时只占很小一部分, 而补炮误时和通风误时都为零, 表明该隧道通风条件好, 通风设施维护正常。

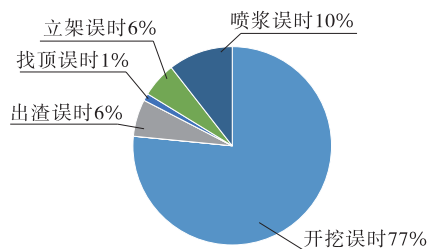


图11 右洞 3 000~3 300 m 段各工序误时比例

3.2 误时因素分析

各因素误时比例见图 12。从图 12 可看出: 外界因素和设备管理因素是引起施工误时的主要因素, 分别占 50%、29%; 而自然因素、地质因素、施工因素、人员管理因素所占比例很小。

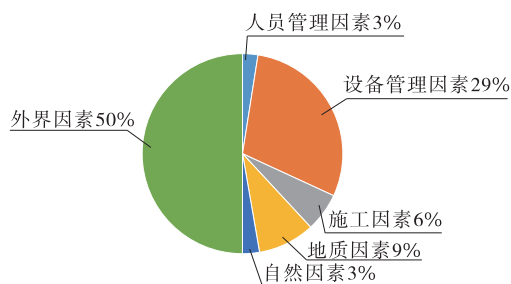


图12 各因素误时比例

上述误时因素可分为人为因素和非人为因素两大类, 其中: 人员管理、设备管理、施工为人为因素, 地质、自然、外界因素为非人为因素。人为因素占 38%, 非人为因素比例达 62%。人为因素中的主要误时因素是设备管理不当, 占总误时的 29%; 非人为因素中主要是外界干扰等给隧道施工带来影响, 如上级检查、地方协调(风景区电缆处理)等。因此, 隧道施工中应加强人员管理和机械设备维护, 尤其是要经常检查、维修机械设备。

4 结论

(1) 隧道施工中, 施工计划时间与实际施工时间相符的施工循环并不多, 只有开挖实际用时少于计划用时, 而其他工序实际用时多大于计划用时。

应根据施工计划重新设计计划施工循环时间,并合理调整资源配置。

(2) 围岩过于坚硬会给施工带来很大困难,将导致开挖初次爆破不能达到计划效果,需增加补炮工序,造成工序接替混乱并引起时间增加。应合理调整爆破方案,提高初次爆破效果,尽量避免补炮。

(3) 在造成施工误时的各因素中,非人为因素所占比例远大于人为因素。非人为因素主要为外界因素,可通过具体分析,采取协调等多种手段降低外界因素的干扰程度。人为因素主要为设备管理,可通过加强施工管理降低或消除其影响。

参考文献:

- [1] 李有兵.长大隧道机械化配套安全快速施工技术[J].现代隧道技术,2012,49(5).
- [2] 方勇,符亚鹏,杨志浩,等.公路隧道下穿煤层采空区开挖过程相似模型试验[J].土木工程学报,2015,48(2).
- [3] 董兆昆.乌鞘岭特长隧道快速施工管理研究[D].兰州:兰州大学,2006.
- [4] 方勇,符亚鹏,周超月,等.公路隧道下穿双层采空区开挖过程模型试验[J].岩石力学与工程学报,2014,33(11).
- [5] 张金夫.东秦岭隧道快速施工技术[D].成都:西南交通大学,2007.
- [6] 张燕婷.复杂条件下超长隧道快速施工技术研究[D].淮南:安徽理工大学,2013.
- [7] 梁胜国.长大隧道快速施工综合技术探讨[J].科技传播,2010(21).
- [8] 陈炳祥,易国华.长大隧道快速施工管理技术应用研究[J].铁道工程学报,2004(3).
- [9] 崔戈,方勇,徐晨,等.公路隧道下穿3层采空区施工模型试验研究[J].岩土力学,2014,35(增刊2).
- [10] 蒋肃.大别山隧道快速施工技术及管理问题探讨[J].铁道工程学报,2009,26(11).
- [11] 李自强,于丽,王明年,等.深埋硬岩特长隧道快速掘进技术研究[J].隧道建设,2015,35(3).
- [12] 方勇,何川.全长粘结式锚杆与隧道围岩相互作用研究[J].工程力学,2007,24(6).
- [13] 黄成俊.秦岭终南山特长公路隧道钻爆法快速施工技术探讨[D].成都:西南交通大学,2003.

收稿日期:2018-01-15

(上接第173页)

- [3] 赵景彭.节理倾向对层状岩体大断面隧道稳定性研究[J].铁道建筑,2011(9).
- [4] 王余岩.节理岩体中大跨度隧道的离散元法分析[D].重庆:重庆大学,2014.
- [5] 索超峰,石益东,李军.节理特征对破碎围岩稳定性影响的模型试验[J].公路交通科技,2013,30(4).
- [6] 王永甫,唐晓松,郑颖人,等.岩体节理对隧道开挖稳定性影响的数值分析[J].岩土工程学报,2013,35(增刊2).
- [7] 彭双喜.节理岩体隧道的稳定性分析及破坏机理[J].公路工程,2014,39(5).
- [8] 张志强,何本国,关宝树.节理岩体隧道围岩稳定性判定指标合理性研究[J].现代隧道技术,2012,49(1).
- [9] JTG C20-2011,公路工程地质勘察规范[S].
- [10] JTG D70-2010,公路隧道设计细则[S].
- [11] 姚杨.基于现场监控量测的隧道围岩稳定性分析[J].公路与汽运,2017(1).
- [12] 凌同华,李毅,欧阳磊,等.底部隐伏溶洞隧道施工阶段围岩稳定性分析[J].公路与汽运,2017(4).
- [13] 叶英.岩溶隧道施工超前地质预报方法研究[D].北京:北京交通大学,2006.
- [14] 邓超,郑卫华,吴琼,等.锚杆锚固质量检测试验研究及应用[J].公路与汽运,2018(2).
- [15] 姚杨.基于现场监控量测的隧道围岩稳定性分析[J].公路与汽运,2017(1).
- [16] 刘江昊.岩溶隧道围岩节理分布特征对围岩变形影响研究[D].成都:成都理工大学,2014.

收稿日期:2017-11-25

(上接第183页)

- 制办法[S].
- [4] JTG/T B06-02-2007,公路工程预算定额[S].
- [5] JTG/T B06-03-2007,公路工程机械台班费用定额[S].
- [6] DB 43/T 858-03-2014,公路养护工程预算编制办法及定额[S].
- [7] 刘哲.高速公路养护预算定额编制及原始数据分析研究[D].西安:长安大学,2012.
- [8] 李冠平.《公路养护工程预算定额》测算与分析[J].湖南交通科技,2005,31(1).

收稿日期:2017-12-28