学兔兔 www.xuetutu.com

公路隧道通风竖井全断面爆破开挖施工方法介绍

姜芝坤[1]，洪祥水[2]

（1. 浙江省金丽温高速公路有限公司，杭州 310005；2. 浙江省交通工程建设集团，杭州 310053）

摘 要：公路交通网络逐渐向山区拓展，特长公路隧道不断增多，对隧道通风竖井的修建提出了更高要求。竖井往往位于地理条件恶劣的高山峻岭中，施工难度较大，因此，如何制定行之有效的竖井开挖方法，是目前急需解决的一个课题。以云景高速公路西周岭隧道竖井施工开挖为例，介绍全断面爆破开挖法。该方法具有安全性好、工期短、效率高的特点，与传统导洞扩孔开挖法相比具有降耗节能优势，可推广应用。

关键词：隧道；通风竖井；施工；爆破开挖

文章编号：1009－6477(2011)05－0121－04 **中图分类号**：U455.8 **文献标识码**：B

Introduction to Construction Methods for Full-section Blast and Excavation of Ventilating Shafts in Highway Tunnels

JIANG Zhikun[1], HONG Xiangshui[2]

1 工程概述

云景高速公路是浙江省“两纵两横十八连三绕三通道”公路主骨架中龙丽温泰高速公路的一段，西周岭隧道位于云景高速公路上，其左线长6 750 m，右线长6 765 m。考虑隧道需风量、紧急救援及地形地质条件等因素，经综合分析，确定在隧道中部设置竖井。该竖井设置在中心桩号外侧70 m处，井口设计标高496.7 m，井底设计标高279.30 m，井深217.40 m。

竖井断面为圆型，内轮廓线直径7.0 m，中间设置钢筋混凝土隔板；井口段设计为钢筋混凝土衬砌结构；井身段衬砌结构按新奥法原理采用复合式支护结构形式，以锚杆、钢筋网及喷射混凝土组成联合支护体系；2次衬砌采用模注混凝土，初期支护和2次衬砌之间设置防水排水夹层；2次衬砌混凝土抗渗要求为S8。

2 开挖施工方法

2.1 施工准备

1）施工前，对井口场地范围和竖井的工程地质、水文情况进行研究，认真分析设计提供的地质勘察报告，掌握围岩地质构造赋存状况。

2）修通施工便道，接通施工用水、用电、供风，平整场地，建成满足竖井施工需要的配套设施。

3）制订爆破开挖试验方案并进行论证。

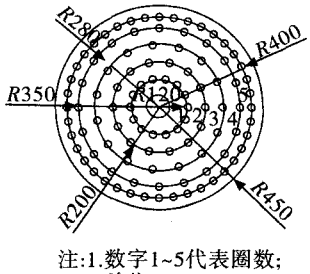
2.2 施工测量放样

竖井往往位于高山中，因此，西周岭隧道竖井施工放样时，首先用GPS定出导线控制点，然后通过全站仪定位竖井中心点，最后用钢尺定出各级围岩的开挖轮廓线。竖井井架有2层平台，为了方便施工放样，在井架上刻画十字线，从中心孔下放垂线测量放样。竖井封口盘拼装后，方法是采用垂准仪激光指向法测量，在封口盘上用全站仪精确定位，钻Φ5 mm小孔，垂准仪激光穿过小孔，指向开挖工作面，用钢尺量出开挖轮廓。

2.3 全断面钻眼爆破

竖井设计断面内进行全断面开挖布眼，炮眼平面布置图见图1，剖面图见图2、图3。

炮眼平面布置：在一般岩层中开挖圆形竖井时，炮眼按同心圆排列。本竖井同心圆的数目采用



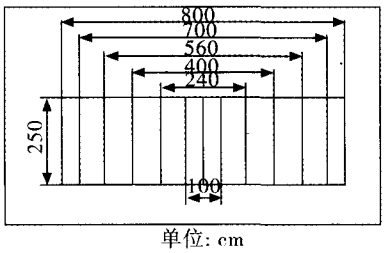
注：1.数字1~5代表圈数；
2.单位：cm。

图1 全断面开挖直眼掏槽炮眼平面布置

收稿日期：2011－07－15

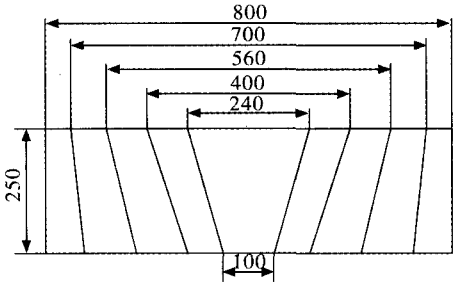
作者简介：姜芝坤(1969－)，男，浙江省江山县人，本科，高工.

学兔兔 www.xuetutu.com



单位: cm

图 2 全断面开挖直眼掏槽炮眼布置剖面



单位: cm

图 3 全断面开挖斜眼掏槽炮眼布置剖面

5 圈,其中靠近开挖中心的 2 圈为掏槽眼,最外 1 圈为周边眼,其余的为辅助眼。

炮眼布置剖面:离井口 50 m 范围内采用直眼掏槽方式(图 2);在竖井开挖爆破对井架及井口设施没有安全威胁时(离井口超过 50 m),采用楔形斜眼掏槽方式(图 3),以加快施工进度。

钻眼作业实行定人、定机、定眼位,分区域包干。每个孔眼钻完后,将眼口临时堵塞,防止碎石掉落眼内。

楔形斜眼掏槽方式与直眼掏槽工艺原理基本相同,主要区别是掏槽眼呈楔形,中心 2.2 m 范围不钻炮眼。

2.4 通风排烟

爆破后本竖井采用压入式通风,根据国内竖井通风的实践,选用 SZW 型隧道子午加速轴流通风机,其风机功率 55 kW,叶轮直径 600 mm,通风量可达 640 m^3/min,能满足通风要求。

2.5 提升出渣与排水

1) 人工配合机械装渣,采用气动式抓岩机(图 4),抓斗为 0.4 m^3,抓岩机由地面绞车悬吊。装渣时,先抓高处渣堆,然后分层抓完;清底时,尽量用人工扒出井帮石渣堆积在一起,为抓岩机工作创造条件。抓岩机将石渣装入吊桶(图 5),用提升机将其提出井外,倒入运渣车中。

2) 排水分为井口施工场地排水和井下排水 2 种。

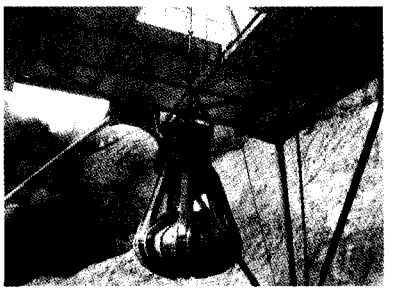


图 4 0.4 m^3 抓岩机

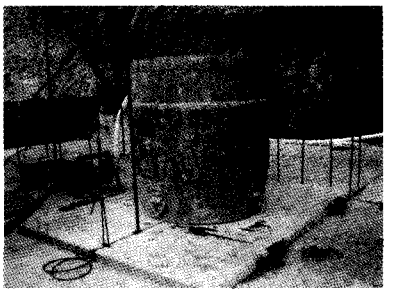


图 5 1.5 m^3 提升吊桶

(1) 井口工作场面的防排水是在边坡开挖线以外 2 m 处设置截水沟,在坡底处再设置排水沟,引排到施工场地范围外;竖井口浇筑锁口圈要比截水沟位置高出 50 cm,且竖井井架上方设置雨棚,防止雨水直接进入井内。

(2) 竖井下水源来自 2 个方面,一是施工用水,如湿式凿眼水;二是井壁渗水。施工用水处置:在开挖掌子面底部设置集水坑,采用吊泵排水。井筒渗水处置:在渗水点下方设置集水桶,渗水通过透水管引流到集水桶内,再采用自动泵排到地面排水沟中。

2.6 井壁初期支护

初期支护必须紧跟,既利于安全又便于施工。操作前先对井壁松石、浮石进行排危,确保无掉块危险后才能进行初期支护作业。工字钢拱架、网片、锚杆、纵向连接筋等全部在施工现场按设计尺寸统一加工制作,现场安装。喷射混凝土按施工配合比计量,机械拌和,采用潮喷工艺,送料采用喷料混凝土输送管。喷射混凝土作业完成后,拆除喷射机上的压风软管,将喷射机吊至安全高度。

3 监控量测

1) 量测项目。以井内外观察检查、净空尺寸、围岩水平收敛量测为必测项目,井外量测地表下沉量。

2) 量测方法。竖井开挖支护时,及时埋入观测计。围岩收敛采用断面仪和收敛仪量测,井内外观

学兔兔 www.xuetutu.com

察检查则由有经验的工程师和地质人员进行,并详细记录观测结果。

3)测点布置。每个量测断面各布置 2 条净空水平垂直交叉收敛量测测线,可根据实际情况增加。

4)断面分析。在获得量测数据后,同一断面将各种量测数据互相验证,以确认量测结果的可靠性;对位移等物理量随时间变化的时态曲线进行回归处理,分析围岩变形的空间分布规律,了解围岩的稳定性特征。

5)信息反馈。分析目测和位移测量结果,对围岩稳定状态、施工方法和支护措施的安全情况进行评判,并将评判结果反馈到设计和施工中,以便及时调整施工方法和支护参数。

4 质量控制措施

4.1 爆破开挖

1)开挖放样时要预留变形量,具体视围岩情况确定,并通过监控量测信息及时调整。

2)当前方地质出现变化或接近围岩分界线时,应进行工程地质和水文地质分析,无异常后方可继续开挖。不良地质段开挖做好预支护,支护方式有超前导管、超前锚杆等。

3)实施光面爆破技术,周边眼采用空气间隔装药、导爆索引爆的爆破方式,炮眼的存痕率要达到 80% 以上,井壁无明显爆破裂缝。

4)合理确定周边眼的间距。本项目根据围岩情况,选取周边眼的间距为 0.45 ~ 0.55 m,光爆层的距离按周边眼间距 1.2 倍比例选取。

5)严格控制欠挖,发现欠挖必须处理。允许超挖值平均 10 cm,发现超挖 20 cm 以上时必须进行分析,及时调整爆破方案。

4.2 初期支护质量控制

1)钢架支撑。Ⅴ级围岩采用工字钢钢架支撑。钢拱架在井外按设计尺寸加工成型,井下安装在初喷混凝土之后架设,拱架必须与围岩密贴,空隙处用垫块楔紧,再用喷射混凝土喷填。

2)锚杆支护。锚杆孔应沿竖井径向设置并且轴线与岩面垂直,孔位偏差不大于 50 mm。锚杆眼钻好后,用高压风吹净孔内杂物,随后插入符合设计要求的锚杆。

3)钢筋网支护。初喷混凝土完成后,立即安排挂设钢筋网。钢筋网安装在台架上进行,网片接头应搭接一个网格,并与锚杆头焊接牢固,且应尽量平顺与岩面紧贴。

5 注意事项

1)竖井施工必须采用新奥法开挖,尽可能保持围岩稳定。

2)开挖后及时进行初期支护,锚喷支护质量必须满足规范要求。

3)开挖过程必须安排专人进行井壁检查和排险工作,排除周边所有活动的浮石,并对新的岩石活动面进行补喷加固。

4)每个工序施工前,安全员必须检查竖井围岩的稳定情况,发现有离层的给予及时排除或加打应急锚杆加固等办法进行处理。

5)搞好竖井围岩位移量测工作,在条件具备的前提下尽早进行 2 次衬砌作业。

6 结束语

1)公路隧道通风竖井采用全断面爆破开挖具有以下特点:

(1)开挖进度快,可缩短工期。全断面开挖一次成井,比导坑扩挖法进度加快 50%,且全断面开挖断面大,限制因素少,采用楔形斜眼掏槽方法,可提高循环进尺,从而可缩短工期。

(2)安全可靠性好。初期支护紧跟掌子面施作,井壁得到及时支护增强了岩石自稳性,施工安全性提高。

(3)经济效益显著。全断面开挖法与中心扩孔法相比具有投入设备少、造价低的优点,尤其是高山峻岭中施工便道长的竖井,设备进出场费用明显降低。

(4)环保节能效果明显。全断面开挖减少了 2 次开挖成井临时支护施工环节,避免 2 次爆破对环境的破坏和临时支护水泥、砂石料、锚杆等的消耗。

2)存在问题和建议。

(1)竖井表土层厚,锁口圈未开挖至基岩,增加了井架基础、绞车基础等浇筑工程量,且因土层松散引起锁口处防水效果差,渗漏水严重,恶化竖井开挖环境和影响 2 次衬砌浇筑质量。建议在类似情况下设计时降低井口标高,使锁口底部嵌入基岩。

(2)爆破时产生冲击波和岩渣将吊盘顶起,损坏吊盘部分设施,影响开挖。建议钻眼过程中密切注意岩层结构变化,及时调整炸药用量,同时控制好吊盘与爆破点间距。

(下转第 128 页)

学兔兔 www.xuetutu.com

由图中曲线可看出，风机不同布置形式对测点相对气压影响较大，当2台风机同时布置于远离斜井端时，测点相对负压较其他几种布置形式大，且随风仓长度增加而增大。

5.3 计算结果分析

轴流风机的轴功率和电机功率可按下式计算：

$$S_{kw}=\frac{Q_a\cdot p_{tot}}{1\,000\eta}\cdot\left(\frac{273+t_0}{273+t_1}\right)\cdot\frac{p_1}{p_0}。$$

式中，S_{kw} 为轴流风机的功率，kW；Q_a 为轴流风机的风量，m^3/s；p_{tot} 为轴流风机的全风压，N/m^2；η 为风机效率；t_0 为标准温度，℃，取20 ℃；t_1 为风机环境温度，℃；p_0 为标准大气压，N/m^2，取101 325 N/m^2；p_1 为风机环境大气压，N/m^2。

由上式可知，风机环境压力影响轴流风机的功率。因此，本次研究重点对在不同风仓长度、不同风机布置形式及隔板长度情况下，对风机环境大气压的影响。风机的环境大气压越大，则轴流风机效率越高。

根据计算结果，风仓长度大于25 m、2台轴流风机同时布置于远离斜井端（气流进口）且隔板长度取10 m时，风机环境大气压最大，此时轴流风机的风机效率达到最高。最佳风仓模型及风机布置见图13。

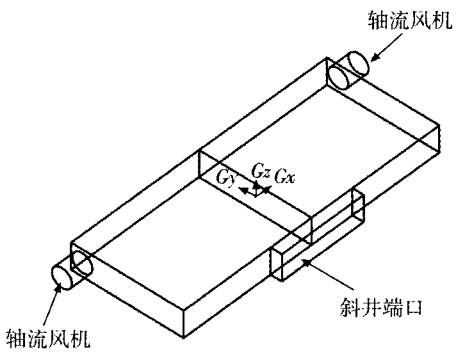


图13 最佳风仓模型及风机布置

6 结论

本文通过数值模拟，对长洪岭隧道斜井通风方案进行了优化，得出了轴流风机通风效率随各因素的变化规律，提高了轴流风机通风效率，改善了隧道现场通风效果，并得出如下结论：

1）风仓长度对轴流风机效率影响较大，随着风仓长度增加，风机效率升高，当风仓长度大于25 m时，对风机效率影响较小。

2）风机位置对轴流风机效率影响较大，风机远离斜井端布置时，风机效率最大。

3）风仓长度大于20 m时，隔板长度对风机效率影响较小，风仓长度不足20 m时需设置与风仓等宽的隔板。

目前该隧道已顺利贯通，施工过程中通风效果良好。

参 考 文 献

[1] 朱秀娟. 有限元分析网格划分的关键技巧[J]. 机械工程与自动化，2009(1)：185－186.
[2] 赵耀华，胡家鹏，樊洪明，等. 地铁火灾CFD模拟时边界条件的研究[J]. 工程热物理学报，2007，28(2)：310－312.
[3] 重庆交通科研设计院. JTJ 026.1—1999 公路隧道通风照明规范[S]. 北京：人民交通出版社，1999.
[4] 苑郁林. 乌鞘岭铁路隧道施工通风特点及其对施工组织的制约性[J]. 公路，2003(8)：166－169.
[5] 夏永旭. 我国长大公路隧道通风中的几个问题[J]. 公路，2003(5)：146－149.
[6] 赵喜军. 圆梁山隧道进口非煤系地段施工通风与瓦斯治理[J]. 现代隧道技术，2003，40(2)：41－45.
[7] 王福成. 附壁射流通风工业试验研究[J]. 中国矿业，1996(1)：73－76.
[8] 高孟理. 公路隧道射流通风的模型试验[J]. 兰州铁道学院学报，1989，8(1)：1－13.
[9] 高孟理. 公路隧道射流通风原理和计算方法的探讨[J]. 兰州铁道学院学报，1989，8(4)：14－22.

（上接第123页）

参 考 文 献

[1] 中交第一公路工程局有限公司. JTG F60—2009 公路隧道施工技术规范[S]. 北京：人民交通出版社，2009.
[2] 交通部公路科学研究所. JTG F80/1—2004 公路工程质量检验评定标准[S]. 北京：人民交通出版社，2004.
[3] 董文奇，翁 岭. 苍岭隧道1号通风竖井施工技术[J]. 科学之友，2008(5)：36－37.
[4] 翟宏波. 长大隧道竖井施工技术[J]. 山西建筑，2004(12)：195－198.
[5] 杨书江. 地铁隧道竖井施工技术[J]. 隧道建设，2004(4)：24－26.
[6] 路增祥. 俄罗斯的竖井施工技术[J]. 黄金，1996(8)：15－19.
[7] 梁永忠. 明月山隧道通风竖井施工技术[J]. 山西建筑，2008(28)：339－340.
[8] 王寿强. 浅谈地铁竖井施工技术方案的优化[J]. 山西建筑，2005(12)：110－111.
[9] 何卫华. 竖井施工技术与机械化配套[J]. 新疆有色金属，2008(5)：33－35.