

# 隧道“零开挖”进洞关键施工技术

罗靖翔

攀宁攀大公司 四川 成都 610000

**摘要:** 宜攀高速公路某隧道全长近7000余米,该隧道出口坡面陡峭,为顺层边坡,洞口下方为仁义河,洞口距沟底约30m,洞口与坡面小角度相交,偏压严重。本文通过洞口稳定性分析、工艺流程、修建洞口平台、施做扇形套拱及管棚等关键施工技术分析探讨“零开挖”进洞。经过实践证明,该方法技术可行、经济合理。优化了原设计施工支洞,不仅降低了施工安全风险,还提高了施工质量、减少了对自然环境的破坏。

**关键词:** 隧道; 零开挖; 进洞; 施工技术

## 引言

在早期隧道施工中,隧道工程少、造价高,在隧道洞口选择时往往尽量压缩隧道长度,晚进洞、早出洞,节约工程造价。这样导致隧道洞口大挖大刷,坡面高、生态破坏严重,同时也产生了很多次生灾害,如滑坡、崩塌落石等坡面失稳问题。近年来,随着对隧道认识深度不断加深,隧道洞口大挖大刷产生的一系列次生灾害的不良影响凸显,同时环保要求提高,“零开挖”进洞理念越来越受到建设相关单位的重视。“零开挖”进洞其改变了传统隧道进洞的方式,减少了隧道洞口开挖,降低了边仰坡高度,对山体扰动较小,特别适用于洞口偏压陡峭的隧道。但是如何实现“零开挖”进洞,特别是洞口狭窄区域。本文以宜攀高速公路某隧道进口为工程实例,简要介绍狭窄洞口“零开挖”进洞<sup>[1]</sup>。

## 1 工程背景

宜攀高速公路,位于川、滇两省省界金沙江一带,是国家战略“一带一路”的重大项目,是“长江经济带”的重大支撑项目,是乌蒙山区、大小凉山彝族聚居区经济开发、乡村振兴的重要民生工程,是目前国内高速公路建设史上单体投资规模最大的超级工程。本隧道为该高速公路的控制性工程,隧道左线6712m,右线6678m,为分离式隧道,设计时速80km/h,隧道净宽11m,净高5m。隧道左右线均为入字坡,洞身围岩以IV级围岩为主,夹以少量的III、V围岩。该隧道地处中高山区,属构造侵蚀峡谷地貌,山势较陡峻。进口段自然斜坡较顺直,整体坡度约46°,坡表略有起伏,坡表基岩裸露。

## 2 “零开挖”进洞关键技术

### 2.1 洞口稳定性分析

该隧道位于一河谷左岸斜坡部位,横向斜坡坡度较大,介于30~40°,斜坡表部多为崩坡积碎石层覆盖,根

据洞口地质调绘成果,碎石层以松散~稍密状为主,厚度较薄,工程性质较一般,洞口下部河床部位可见基岩出露,为寒武系下统沧浪铺组粉砂岩、钙质砂岩,强风化层岩体破碎,工程性质较一般,中风化层岩体较完整,工程性质较好。为了保证施工及运营安全,清除隧道进口斜坡上不稳定块体,并在洞口上方设置落石防护措施,并加强监测<sup>[2]</sup>。

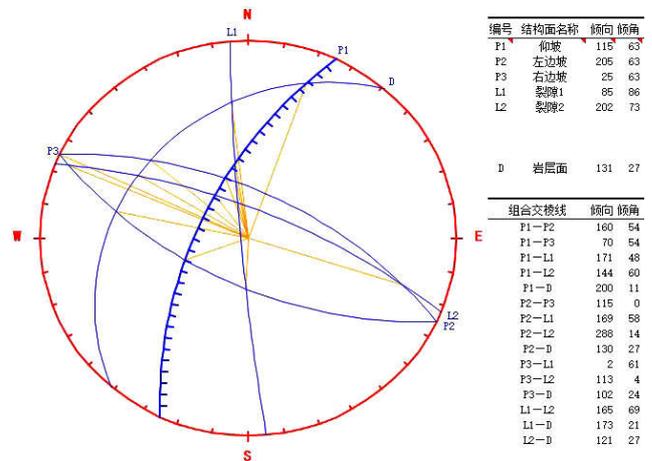


图1 隧道出口赤平投影图

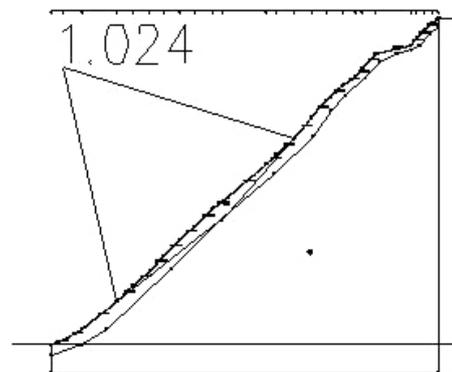


图2 出口暴雨工况出口斜坡断面推测最不稳定滑面

### 2.2 工艺流程

“零开挖”进洞主要施工工艺流程见下图。



图3 “零开挖”进洞主要施工工艺流程

### 2.3 修建洞口平台

由于洞口地形狭窄，而且距离沟底较高，需要按照最小用地确定最小洞口施工场地，其主要控制因素为施工车辆进出洞转弯半径，二衬台车、防排水台车拼装放在隧道内进行拼装。根据施工车辆进行分析计算，得到施工场地最小长度为8m，宽度较隧道最外侧开挖宽度宽2m。施工平台外侧采用U型C20衡重式混凝土挡墙，在挡墙内侧填土。将平台回填区域内修正成台阶状，台阶高度为1~2m。平台混凝土范围坡面设置斜向和竖向锚杆，锚杆采用 $\phi 22$ 砂浆锚杆，锚杆嵌入稳固基岩不小于2m，同时端头出露不小于0.5m，方便后期将出露部位浇筑在混凝土挡墙内，以增强混凝土挡墙的抗滑和抗倾覆能力。由于洞口距离沟底较高，需要设置较高的平台。

### 2.4 施做扇形套拱及管棚

洞口坡面和隧道轴线并非正交，存在一定的角度，若套拱按照常规2m进行设置，会导致坡面开挖较高或者套拱未密贴坡面。为尽量降低坡面开挖，体现“零开挖”进洞，套拱纵向最短长度保证2m，最外侧确保与隧道轴线垂直，最内侧确保与坡面密贴，这样就形成隧道边仰坡“零开挖”。套拱套拱采用型钢混凝土，套拱厚50cm，内设4榀I18型钢钢架，钢架之间采用 $\phi 22$ 钢筋连接，为预防施工过程中套拱沉降变形侵限，套拱与初期支护之间预留变形量15cm。

套拱基础位于稳固的基岩上，基础采用与套拱同级的C30混凝土。基础浇筑完毕后进行套拱钢架安装，钢架

安装需要确保4榀钢拱架高程一致，钢架位置经检查核实无误后，采用 $\phi 22$ 钢筋连接将其连接成整体。

钢拱架安装后进行管棚导向管安装，导向管 $\phi 140 \times 6$ 钢管。导向管安装需要结合隧道纵坡和外插脚进行坡度调整，确保管棚外插脚在隧道开挖轮廓以外，四榀钢架之间调坡通过设置加钢垫块的方式进行调整。导向管环向间距40cm，通过焊接的方式将其固定在钢架上。安装完毕后将其端头进行封堵，避免混凝土浇筑时灌入导向管内<sup>[3]</sup>。

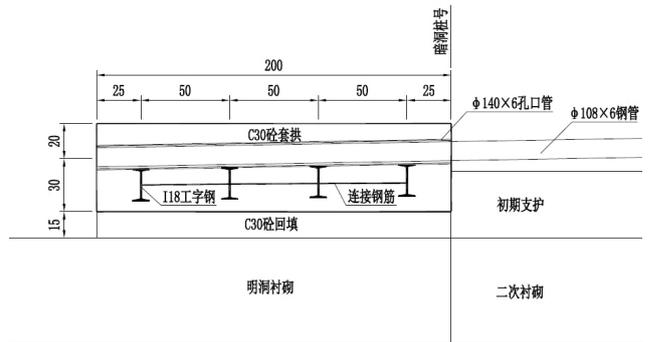


图4 导向管安装细部图

导向管安装后进行套拱混凝土模板安装，内模板采用竹胶板支撑在未开挖的核心土上，其根据地形条件布置成扇形，侧模和外模采用木模板。混凝土浇筑前需要严格检查支撑加固情况，并预留一定的变形量。当达到2.5MPa后方可进行拆模<sup>[4]</sup>。

将套拱前土体修整为钻机平台，钻孔顺序为套拱两侧向中间依次进行。由于预留导管为 $\phi 140$ ，钻孔为 $\phi 120$ ，准确控制钻孔立轴方向，确保孔向正确。当导管钻孔的孔壁未坍塌时，每钻完一孔便顶进一根钢管，当导管钻孔的孔壁易坍塌时，宜采用导管与钻头同时钻进的方法（即跟管法）。钻进时需经常采用侧斜仪量测钢管钻进的偏斜度，发现偏斜超过设计要求时，需要及时纠正。

大管棚采用热轧 $\phi 108$ mm、壁厚6mm的无缝钢花管，分段长4m，分段进行拼装，直至达到设计超前支护长度。大管棚上钻注浆孔，孔径10~16mm，孔间距15~20cm，呈梅花形布置，尾部3m留不钻孔的止浆段。钻孔完成后撤出钻杆，留下导管，联上注浆接头，即可进行地层注浆，注浆材料采用纯水泥浆。注浆压力1~2Mpa，水灰比1:0.5~1:1。注浆完成后，导管内插加劲钢筋笼，主筋4根，直径16mm，固定环采用 $\phi 42$ mm热轧无缝钢管制作，每段长4cm，间距150cm，与主筋焊接连接。再用钻具清孔、冲洗，然后插入注浆管，对导管充填M20水泥砂浆。

### 2.5 洞身开挖及二次衬砌浇筑

管棚和套拱施工完毕后,进行洞身开挖,本洞口为强风化砂岩与砂质页岩互层,采用两台阶预留核心土开挖方法。

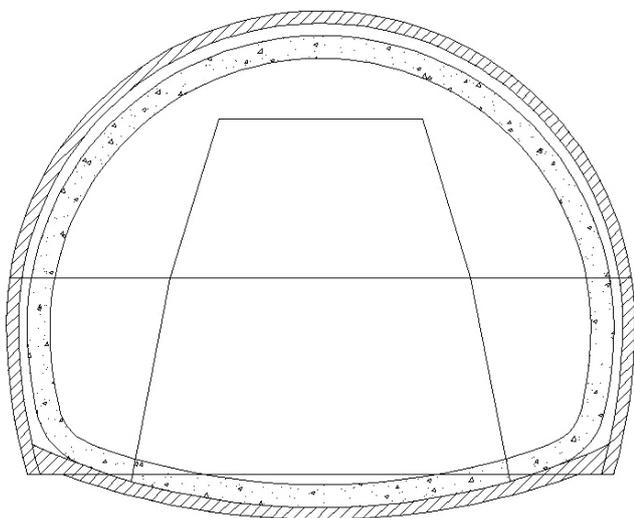


图5 两台阶预留核心土开挖立面图

施工采用台阶法开挖,开挖断面尺寸应符合设计要求,必须预留足够的变形量,开挖断面应以包括预留变形量在内的设计轮廓线为基准,考虑贯通测量误差和施工误差等因素适当放大。

上台阶掌子面稳定性差,采用预留核心土环形开挖(核心土面积 $\geq 50\%$ 断面面积的)。开挖作业顺序为自上而下,衬砌施工顺序为自下而上,环形开挖进尺不超过1榀钢架间距,边墙开挖进尺不超过2榀钢架间距;仰拱开挖进尺不超过3m。

锁脚锚杆与初期支护钢架配合使用。相邻开挖断面初期支护钢架要连接平顺,牢固连接螺栓,钢拱架应立于稳固基础上。若拱脚标高不足,可采用设置钢板的方式进行调整,必要时还可用预制混凝土块对基底进行加固。拱部钢架与两侧壁钢架的连接,要确保在同一个垂直面内,防止钢架发生扭曲变形,影响受力。同时,需及时做好洞内临时防排水,防止地下水长时间浸泡拱墙脚基础<sup>[5]</sup>。

下台阶开挖时,开挖和封闭要采用单侧落底或双侧交错落底,不得出现上台阶初期支护相对应的两侧拱脚

同时悬空,视围岩状况宜控制落底长度为1~2m,不超过3m。必要时,可采取扩大拱脚、打设拱脚锚杆、加强纵向连接等措施。

仰拱施工时,配备自行式液压栈桥,整体进行浇筑<sup>[6]</sup>,仰拱距离掌子面的距离控制在不超过25m<sup>[7]</sup>。仰拱循环开挖长度控制在2~3m,洞口浅埋段仰拱分段长度控制在4~6m,深埋段仰拱分段长度控制在6~8m。仰拱浇筑要在开挖后立即施作,形成稳固闭合的支护体系。

二衬台车长12m,由于洞口平台狭窄,二衬台车拼装需要占用部分洞内空间。确保洞口段二衬距离掌子面的距离不大于40m。

### 3 结语及展望

该隧道进口陡峭,地形狭窄,采用上述方法顺利进洞,较原设计通过施工支洞进洞工期节约3个月,投资节约1000万余元。同时还降低了施工安全风险、提高了施工质量、减少了对自然环境的破坏,受到建设各方的好评,取得了良好的社会、经济效益。

随着交通建设的高质量发展,日趋紧张的地面空间资源和逐步降低的环境承载能力,促使交通向地下要空间。山区隧道越来越多,面对类似的洞口施工问题,“零开挖”进洞以其具有工期短、造价低、施工方便、安全质量有保障等优势,具有广阔的运用前景。

### 参考文献

- [1]刘保成.高速铁路偏压隧道高边坡零开挖进洞施工技术[J].铁道建筑技术,2022(1):105-108.
- [2]聂信辉.温州雁荡山地区铁路隧道施工地质问题探讨[J].铁道建筑技术.2021(2):85-89.
- [3]张战友,李彬.南隧道“零开挖”进洞成套施工技术及应用[J].低碳世界.2020,10(6):189,192.
- [4]赵凯.隧道洞口浅埋偏压明洞暗做施工技术的应用[J].工程机械与维修.2023(1):55-57.
- [5]余胜蓝,祁博文,唐旭.浅埋偏压隧道施工技术[J].科技视界.2023(7):29-31.
- [6]唐开军.偏压浅埋大断面隧道进洞施工技术研究[J].现代工程科技.2024,3(12):37-40.
- [7]夏侯腾福.浅埋偏压软岩段隧道半明拱进洞施工控制研究[J].运输经理世界.2021(19):118-120.