

104 国道乌牛段 B 线隧道坍方治理技术

卢彭真¹,王卫灵²,金钟声³

(1、温州市交通设计院永嘉分院,浙江 永嘉 325100; 2、天台县四通公路养护工程有限公司,浙江 天台 317200;
3、金华市婺城区公路管理段,浙江 金华 321000)

摘 要: B 线隧道是 104 国道乌牛段的控制工程,隧道跨度大,地质条件差,多次发生坍方事故,为使开挖顺利通过,采用密排超前小导管预注浆,给开挖提供棚架支撑,加固松散土体,防止开挖中掌子面垮塌,确保施工质量与安全。

关键词: 隧道;坍方;超前小导管;预注浆;棚架

104 国道永嘉段 B 线隧道按平原二级公路技术标准设计,双向双车道,行车道宽度 9.0m,两侧各设 0.75m 人行道,地质条件较差,设计建议采用侧壁导坑法或上下台阶法,横断面按Ⅲ类围岩 60cm 砼衬砌设计。然在具体的施工过程中发现隧道地质情况与原钻探结果有较大出入,故在桩号 2K+860~915 段进行了设计变更,横断面按Ⅲ类围岩设计:顶层采用管棚+注浆、 $\varnothing 22$ mm 砂浆锚杆、14 号工字钢架(间距 0.5~1.0m)、 $\varnothing 8$ mm 钢筋网、25cm 厚 C20 号喷射砼、400g/m² 土工布、防水卷材、45cm 厚 C25 号模筑钢筋砼衬砌。然在具体施工时开挖至 2K+933 处时又发生坍方事故,隧道顶部围岩产生陷落,地表形成直径约 8m,深约 12m 的陷坑,给施工单位造成一定的经济损失及增加施工难度。为了顺利完成该段隧道的开挖施工,我室会同上级有关部门协助完善该段的施工方案设计并指导现场施工。

1 工程地质及水文地质

该段围岩为山体岩石风化剥落堆积而成,多为砂粘土,粘土含量约 15%,夹有孤石。地层基本无水,下雨时地表水沿陷坑下渗,对隧道结构安全有一定影响。

2 坍方原因的分析

造成隧道坍方的原因确实很多,而最根本的原因还是设计与施工,设计方面的原因主要是设计的构造物与实地围岩类别不相符,导致设计的构造物与实地围岩的不符的原因又往往是由于地质钻探的不正确,再加上设计单位没有及时地按实际的围岩类别进行设计变更,施工单位仍然按原设计方案进行施工,这势必造成对及时地进行施工方案变更拖延了时间,从而增大了施工的难度。造成隧道坍方的另一主要原因是施工,施工的原因关键在于施工技术的好坏、施工经验的丰富与否、施工设备的先进等。

然对于 104 国道永嘉段 B 线隧道,作为设计单位从该隧道的设计及隧道施工出现坍方之前都已引起高度的重视,可以说从设计的角度看设计是没有问题的。设计从钻探资料发现地质条件较差时,就以Ⅲ类围岩设计,采用 60cm 砼衬砌,其次在施工开挖桩号 2K+860 时发现地质与钻探资料出入较大时,设计部门马上作好设计变更工作,故当时我们除了对设计原因进行分析外,着重对施工方案进行分析探讨。

通过对现场坍方情况的了解,及施工单位提供的现场施工资料的分析,发现这次坍方的主要原因在于采用的施工方案没有达到预期的目的。据开挖隧道的地质资料,本段隧道的施工关键在于要加固松散堆积层,以达到稳固地层的原则。而施工单位注浆主要采用单液水泥浆,且注浆压力仅为 0.3~0.4MPa,导致扩散半径不能满足加固地层的要求,从而当隧道开挖到 2K+933 时发生坍方,这是本段隧道出现坍方的关键原因所在。

3 治理思路

由于本段隧道在以前开挖过程中,曾经安设了 20m 长的管棚,管棚环向间距 40cm,因注浆主要采用单液水泥浆,且注浆压力仅为 0.3~0.4MPa,扩散半径不能满足加固地层要求,故治理思路就要从施工方案着手。

为使隧道继续开挖安全通过,本次采用密排超前小导管预注浆,给开挖提供棚架支撑作用;工作面预注浆加固松散土体,防止开挖中掌子面垮塌,注浆适当加大了注浆的压力,以保证浆液的扩散半径。开挖分成 3 个台阶进行,初期支护型钢间距缩小到 50cm,网喷 25cm 厚 C20 混凝土,并设径向锚杆。即采用“管超前,预注浆,短进尺,早封闭,强支护,快衬砌”的方针来完成本段隧道开挖及衬砌工作。

4 施工步骤及方法

4.1 施工工序

施作止浆墙—工作面小导管预注浆—环向密排超前小导管预注浆—上台阶开挖 50cm 并支护—上台阶开挖 50cm 并架设初期支护型钢—第二排环向超前小导管预注浆—网喷 C20 混凝土—注浆—开挖下一循环。

重复上述步骤,直至完成上台阶开挖。然后完成中部及下部开挖。

中部及下部台阶开挖时应注意先完成一侧边墙开挖,再进行另一边开挖,不能两边同时进行,以防掉拱。

4.2 超前小导管安设及注浆

工作面超前小导管及环向超前小导管施作以前,应先喷射混凝土封闭坍方段两端的工作面,形成混凝土止浆墙,避免在注浆过程中浆液流失,不能起到有效加固松散地层的作用。

超前小导管顶端加工成锥形,便于顶进,尾部焊 $\varnothing 6$ 钢筋箍

是为了在顶管时冲击套不破坏丝扣部分。钻孔成孔后,顶管前要用粘有 C-S 胶泥的麻丝在靠近尾部缠成纺锤形,钢管顶进后,孔口部分用加有速凝剂的水泥砂浆封好,注双液浆。同时封口是一个关键步骤,如果在注浆过程中孔口漏浆,则该孔就成为废孔。这直接影响注浆的效果。另外,由于注浆压力较高,所有注浆管路连接部位都必须牢固,以防管路脱开伤人,因而管尾用丝扣连接以保证注浆施工安全。具体的超前小导管加工图及超前小导管安装见图 1、图 2 所示。

4.3 注浆参数

注浆材料:水泥—水玻璃双液浆(又称 C-S 浆),缓凝剂为磷酸氢二钠。

配合比:水泥浆 W/C=1:1,水玻璃模数 2.4~2.8,浓度 30~40Be,水泥浆 水玻璃=1:1(体积比),缓凝剂掺量为水泥重量的 1.5%,凝胶时间约 2min。

注浆压力:2.5~3.5MPa。

扩散半径:环向注浆 40cm,工作注浆 60cm。

注浆段长:环向注浆 3m,工作注浆 4.5m。

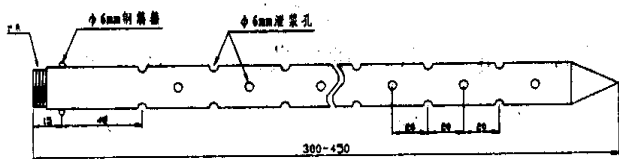


图 1 超前小导管加工图

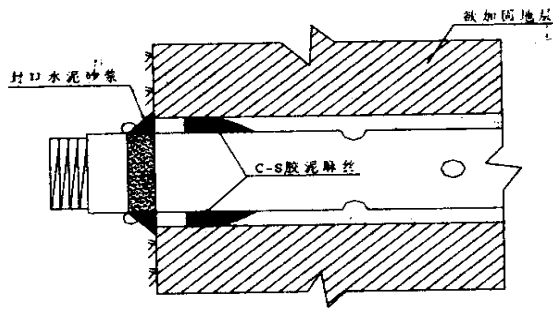


图 2 超前小导管安装图

单孔注浆量:

$$Q = R^2 L n$$

式中:Q——注浆量;

R——浆液扩散半径;

L——注浆加固长度;

n——地层孔隙率(此处 $n=0.2$)。

由公式计算环向单孔注浆量 $Q=0.3\text{m}^3$,工作单孔注浆量 $Q=1.02\text{m}^3$ 。

4.4 注浆机具连接及布置

注浆泵压力应为注浆最大压力的 1.5 倍,压力表应选用耐震压力表,量程为注浆最大压力的 2 倍。注浆胶管耐压应为注浆最大压力的 2 倍。孔口进浆阀及泄浆阀应选用高压球阀,同时水泥

浆要严格按设计要求的配合比拌制,水、水泥和水玻璃用量误差 5%,外加剂掺量误差 3%。水泥浆搅拌后,必须过滤后放入贮浆桶,未经过滤的水泥浆严禁进入注浆泵,以免堵塞,掺外加剂时,要先放水,然后加外加剂,待外加剂完全溶解后,再放入水泥搅拌均匀。掺外加剂的水泥浆必须在 30min 内用完,注浆前要压水 5min 检查注浆泵,确认正常后方可开始注浆。开始注浆时,要先打开泄浆阀,关闭进浆阀,待泄浆阀流出水泥浆后再打开进浆阀,关闭泄浆阀进行注浆。注浆结束时,要先打开泄浆阀,关闭进浆阀,吸浆管放入清水桶中吸清水 5min 洗泵,结束。每次注浆结束后,都要认真检查注浆泵,保证运转正常,为下次注浆做好准备。压力表、阀门和注浆胶管都要有备用量。

4.5 注浆

环向超前小导管注浆孔深 3m,孔距 20cm,圆弧部分以上全环布置,浆液扩散半径 0.4m,单孔注浆量 0.3m^3 ,注浆终压 2.5~3MPa。工作面预注浆孔深 4.5m,孔距 1m,排距 1m,圆断面部分呈梅花型布置,浆液扩散半径 0.6m,单孔注浆量 1.02m^3 ,注浆终压 3~3.5MPa。浆液类型为水泥—水玻璃双液浆,浆液配比为水泥浆 W/C=1:1,水玻璃模数 2.4~2.8,浓度 30~40Be,水泥浆与水玻璃体积比为 1:1,缓凝剂磷酸氢二钠的掺量为水泥重量的 1.5%。

4.6 开挖

工作面及环向超前小导管注浆完成后即可进行上台阶开挖。由于小导管本身承载力有限,开挖进尺应控制在 0.5m 以内,开挖时尽量采用风镐,需要爆破时要严格控制装药量,以免震动过大造成新的塌方。

开挖后要迅速架立型钢支撑,并挂网喷射混凝土,减少围岩暴露时间。上台阶开挖完成后,在中台阶及下台阶开挖前,锁脚锚杆和径向锚杆必须先行施作,以免危及初期支护安全。

隧道开挖应在工作面注浆及第一环超前小导管注浆完成后进行。开挖分成三个台阶。上台阶贯通后,开中槽,施作上台阶径向锚杆及锁脚锚杆。然后进行中台阶一侧开挖,开挖同时完成锚杆施工,贯通后,开挖中台阶另一侧。施工中严禁两边墙同时开挖,以防掉拱。上台阶第一环超前小导管注浆完成后进行开挖,进尺 0.5m,开挖 1m 后,施作下一环超前小导管,注浆开挖,直至上台阶贯通。由于小导管承载力有限,开挖时要严格控制爆破装药量和开挖进尺,避免产生新的塌方。

4.7 衬砌

开挖全部完成后,隧道衬砌仍按原设计施工,具体衬砌见图 3 所示。

5 地表处理

隧道衬砌全部完成后,要立即将拱顶陷坑填满,并作好排水设施,防止雨季地表水下渗危及隧道安全。

6 结束语

要减少、控制隧道塌方的发生,首先应从设计入手,在选线时尽可能避开不良地质地段,选择地质条件较好的地段作为隧道的轴线。施工单位应根据实际情况确定合理的施工方案,施工单位一旦发现地质情况与设计有出入时应及时与设计单位取得联

(下转第 119 页)

引有轨运至作业地点,正洞采用压入式通风,因此,此投料孔又兼做通风孔用。

3 辅助坑道方案优化后

(1) 工期上:寺则河隧道 3[#]斜井于 4 月 16 日开工,5 月 10 日进入正洞施工,主攻进口端,彻底缓解了出口段的工期压力。寺则河隧道 2[#]斜井于 1999 年 9 月 22 日进入正洞施工后,平均月进度在 135m 左右,其中 2000 年 7 月份出口全断面开挖 196m,大大提高了单线隧道全断面开挖的进度,1[#]斜井也按施工组织设计的时间安排提前施工至分界里程,通过此三个斜井方案的优化,彻底缓解了寺则河隧道的工期压力,为寺则河隧道提前一个月达到铺轨条件奠定了坚实的基础。

(2) 施工技术上:本方案中正洞采用无轨装碴、有轨运输,在斜井井底设碴仓转换为无轨装碴、无轨运输模式,保证了隧道施工的出碴能力,进而加快了施工进度,是今后单线长隧斜井设计、施工的方向,本项目作为重点工程,在技术上是领先的;同时在斜井设计、施工的思路上也值得推广。

(3) 施工安全上:采取无轨运输模式的斜井,未出现一起由于斜井运输引起的安全事故。

(4) 投资上:在本项目单价较低的被动局面下,通过优化方案,节省了大量的土建、机械设备、工期等方面的费用投入,施工单位积累了施工经验、丰富了施工技术,项目成本还略有盈余。

(5) 质量方面:在项目工期、投资均得到缓解的情况下,为确保工程质量提供了思想保证。

(6) 社会效益和经济效益均很明显:此方案在神延线为我单位赢得了声誉,同时也为以后类似工程施工提供经验。

4 结论

(1) 辅助坑道方案是否需要优化,要综合性的从:原设计方案能否满足工期需求、进度计划是否适合本单位的施工生产能力、是否有更有利的地形条件、能否妥善处理弃碴、安全、投资、拟投入的人员、机械设备、材料与工程规模、均衡施工,以及其它实际需要等等多方面进行经济技术分析后确定。

(2) 在铁路单线或小断面长隧施工中,若地形、地质条件允许,正洞采用无轨装碴、有轨运输,在斜井井底设碴仓转换为无轨运输模式,能达到提高施工进度,缩短工期,减少提升、有轨运输设备的投入,保证施工安全的目的。

(3) 在地质、地形条件允许、工期紧张的情况下,尤其是在隧道进洞受地质条件、拆迁等多方面因素制约不能按期进洞时,选择坡度 10%,长度较短的无轨运输斜井,能起到提前进洞施工、缓解工期压力的作用。

(4) 辅助坑道和正洞的平面交角视运视输方式而定:若斜井采取有轨运输,则角度在 40°~45°左右,若因洞口地形条件困难,可通过在井底处设置曲线段来满足有轨运输的需要;若斜井采取无轨运输,则可不受平面交角的限制。

(5) 设计单位应主动与施工单位密切配合,做好方案优化,施工单位应加强施工组织管理,严格按既定设计意图施工,从而保证全面履约。

参考文献:

- [1] 铁道部第二工程局. 隧道[M]. 北京:中国铁道出版社,1999.

(上接第 116 页)

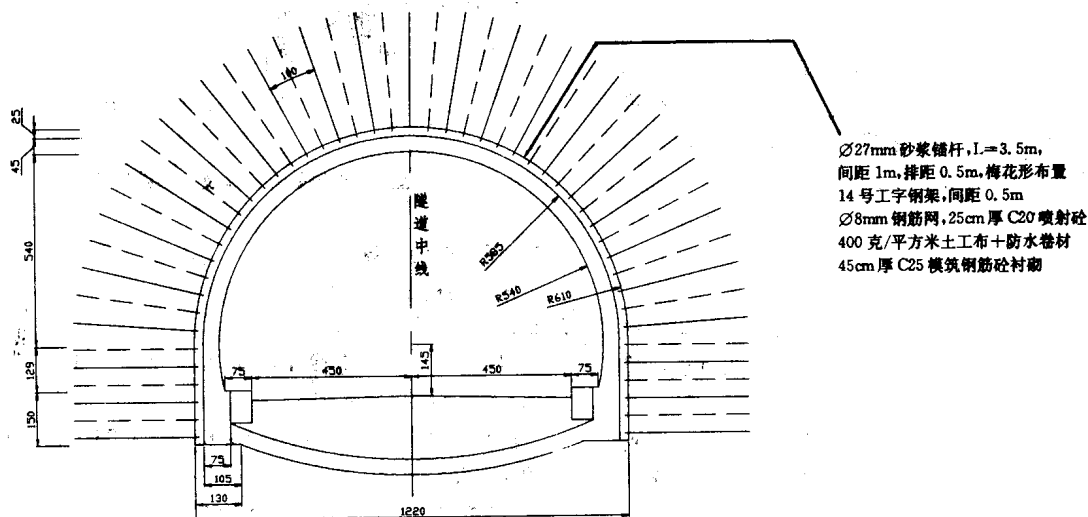


图 3 坍方段隧道支护结构图

系,进行设计变更,同时对施工方案进行调整。要因地制宜,随机应变,以保证施工的质量和安全。

参考文献:

- [1] 姜云. 华蓥山隧道及其主要工程地质问题[J]. 铁路隧道, 地下工程科技信息, 1997, 5.