

隧道塌方治理技术一例

卢彭真¹, 金国良², 施文伟³, 杨琳⁴

(1. 广州大学 土木工程学院, 广东 广州 510405; 2. 杭州宇航交通工程有限公司, 浙江 杭州 311000; 3. 浙江永和路桥建设公司, 浙江 武义 321200; 4. 杭州交通工程监理咨询有限公司, 浙江 杭州 310006)

摘要: B线隧道是104国道永嘉段的控制工程, 隧道跨度大, 地质条件差, 多次发生塌方事故, 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: 104国道; 隧道; 塌方; 注浆

中图分类号: U457+.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2004)03-0057-03

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9.0 m, 两侧各设0.75 m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60 cm砼衬砌设计。然而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Ⅱ类围岩设计: 顶层采用管棚+注浆、 $\varnothing 22$ cm砂浆锚杆、14号工字钢架(间距0.5~1.0 m), $\varnothing 8$ mm钢筋网, 25 cm厚C20喷射混凝土、400 g/m²土工布、防水卷材、45 cm厚C25号模筑钢筋混凝土衬砌。在具体进行施工时, 因地质条件出入较大及施工经验不足, 在2000年3月1日开挖至2K+933处时又发生塌方事故, 隧道顶部围岩产生陷落, 地表形成直径约8 m、深约12 m的陷坑, 给施工单位造成一定的经济损失并增加施工难度。

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, 下雨时表水沿陷坑下渗, 对隧道结构安全有一定影响。

2 塌方原因的分析

造成隧道塌方的原因确实很多, 然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, 这往往又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, 施工单位仍然按设计方案进行施工, 从而增大了施工的难度。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、施工设备的先进程度等。

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塌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。从钻探资料发现地质条件较差时, 就以Ⅲ类围岩设计, 采用60 cm砼衬砌, 其次施工队伍在开挖桩号2K+860时发现地质情况与钻探资料出入较大, 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。

通过对现场塌方情况的了解及对施工单位提供的现场施工资料的分析, 发现这次塌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。然而施工单位注浆主要采用单液水泥浆, 且注浆压力仅为0.3~0.4 MPa, 导致扩散半径不能满足加固地层的要求, 当隧道开挖到2K+933时发生塌方, 这是本段隧道出现塌方的关键原因所在。

3 治理思路

由于本段隧道在以前开挖过程中, 曾经安设了20 m的管棚, 管棚环向间距40 cm, 因注浆主要采用单液水泥浆, 且注浆压力仅为0.3~0.4 MPa, 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

收稿日期: 2003-06-23; 改回日期: 2004-02-10

作者简介: 卢彭真(1974—), 男(汉族), 浙江温州人, 广州大学硕士在读, 新型桥梁结构专业, 从事桥梁设计与检测工作, 广东省广州市广园中路248号广州大学137信箱, 13711230501, lpzin@tom.com。

预注浆加固松散土体,防止开挖中掌子面垮塌;适当加大了注浆压力,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 50 cm,网喷 25 cm 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 50 cm 并支护→上台阶开挖 50 cm 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塌方段两端的工作面,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 $\phi 6$ mm 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,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管安装见图 1、2 所示。

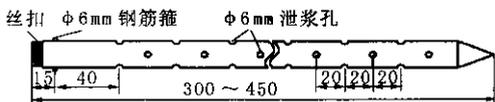


图 1 超前小导管加工图

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:水泥浆水灰比 1,水玻璃模数 2.4~2.8,浓度 30~40 Be',水泥浆:水玻璃=1:1(体积比),

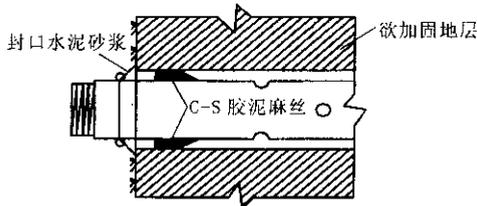


图 2 超前小导管安装图

缓凝剂掺量为水泥质量的 1.5%,凝胶时间约 2 min。

注浆压力:2.5~3.5 MPa。

扩散半径:环向注浆 40 cm,工作注浆 60 cm。

注浆段长:环向注浆 3 m,工作注浆 4.5 m。

单孔注浆量根据下式计算:

$$Q = \pi R^2 L n$$

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

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不得超过 5%,外加剂掺量误差不得超过 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 30 min 内用完,注浆前要压水 5 min 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 5 min 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。

环向超前小导管注浆孔深 3 m,孔距 20 cm,圆弧部分以上全环布置,浆液扩散半径 0.4 m,单孔注浆量 0.3 m^3 。工作面预注浆孔深 4.5 m,孔距 1 m,排距 1 m,圆断面部分呈梅花形布置,浆液扩散半径 0.6 m,单孔注浆量 1.02 m^3 ,注浆终压 3~3.5 MPa。具体见图 3 所示。

4.5 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 0.5 m 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。

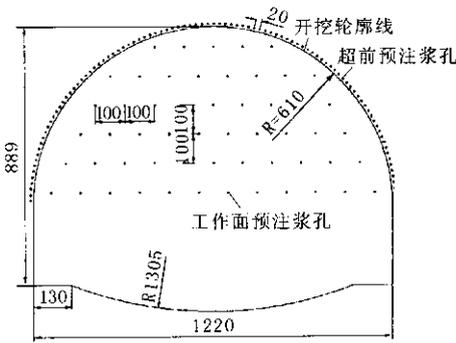


图 3 超前小导管孔位布置图

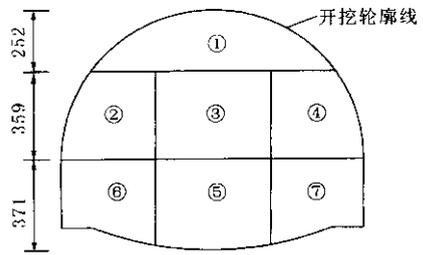


图 4 隧道开挖步序图

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 3 个台阶,按图示顺序施工。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 0.5 m,开挖 1 m 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,隧道开挖具体见图 4 所示。

4.6 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 5 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,做好排水设施,防止雨季地表水下渗危及隧道安全。

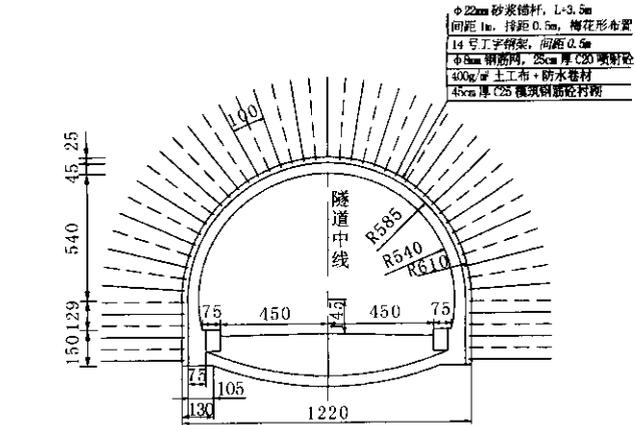


图 5 塌方段隧道支护结构图

6 结语

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

参考文献:

- [1] JTJ 042-94,公路隧道施工技术规范[S].
- [2] 于书翰,等.隧道施工[M].北京:人民交通出版社,1999.

碾压混凝土高拱坝研究取得系列成果

本刊讯 广西大学土木工程学院博士生导师张仲卿教授及课题组经过 20 年的持续努力,在碾压混凝土高拱坝研究方面取得了一系列显著成果,总体达到国际先进水平。

碾压混凝土(以下简称 RCC)筑坝技术自问世以来,因具有水泥用量小、水化热温升较低、施工工艺简单、工期较短、经济等优点,而被世界各国广泛采用。1984 年,由张仲卿领导的科研小组就 RCC 拱坝建筑展开了一系列研究。他们通过模型试验和理论分析,于 1986 年 3 月首次阐述了利用碾压混凝土材料建造拱坝的概念,并在岩滩上游围堰工程获得成功,拉开了深入研究 RCC 拱坝的序幕。

据介绍,近年来,张仲卿带领课题组通过参与国家重

点科技攻关与国家自然科学基金资助项目,较系统地研究、总结了 RCC 筑坝技术,提出了中低 RCC 拱坝不分缝、通仓薄层碾压连续浇筑会产生温度裂缝,但对拱坝安全不会造成严重影响的见解,并通过对 RCC 拱坝仿真结构模型试验,揭示了高 RCC 拱坝的破坏形态和规律。他们在国内外首次开展了碾压混凝土拱坝仿真结构模型试验研究,直接采用与工程相同的筑坝材料和施工工艺,整体模拟原型拱坝,避免了复杂的模型材料的相似转换,比较真实地反映了碾压混凝土拱坝的本构关系和碾压混凝土分层施工所形成的呈层结构特征,开创性地揭示了碾压混凝土拱坝可能沿层面破坏的机理。