

他白依隧道洞顶不稳定斜坡体变形研究

张友坤

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 都江堰 611830)

摘要:他白依隧道在穿越洞顶不稳定斜坡体时地表出现了裂缝。阐述了采用对监测资料进行分析、计算、数值模拟等手段,结合对不稳定斜坡体在隧道开挖、地下水位动态变化、各种工况下不稳定斜坡体物理力学性质影响进行分析的基础上,综合分析了不稳定斜坡体变形破坏的模式并建立了堆积体变形模型与监测网,布置了各类监测设备(钻孔测斜仪、对斜坡变形失稳进行预报预警等),结合模型,定量计算了不稳定斜坡体的稳定性及安全系数,根据计算得到的安全系数及破坏模式,有针对性地提出了工程防治措施建议。

关键词:裂缝;不稳定斜坡体;处置措施;他白依隧道

中图分类号:TV7;TV554;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2020)增 1-0068-05

Study on Deformation of Unstable Slope at the Top of Tabaiyi Tunnel

ZHANG Youkun

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

Abstract: When the tunnel passes through the unstable slope at the top of the tunnel, cracks appear on the surface of the ground. Based on the analysis, calculation and numerical simulation of monitoring data, combined with the analysis of the influence of tunnel excavation, dynamic change of groundwater level and physical and mechanical properties of unstable slope under various working conditions, the deformation failure mode of unstable slope is comprehensively analyzed, and the deformation model and monitoring network of accumulation body are established, and various monitoring equipment (borehole inclinometer, prediction and warning of slope deformation and instability, etc.) are arranged. Combined with the model, the stability and safety factor of unstable slope are calculated quantitatively. According to the calculated safety factor and failure mode, the engineering prevention and control measures are proposed.

Key words: 裂缝; unstable slope; treatment measures; Tabaiyi Tunnel

1 概述

他白依隧道位于建水(个旧)至元阳高速公路后段,设计桩号:左线起点为 Z5K62+502,洞底设计标高为 570.42 m,左线终点为 Z5K65+115,洞底设计标高为 507.39 m,全长 2 613 m;右线起点为 K62+490,洞底标高为 570.93 m,右线终点为 K65+080,洞底设计标高为 508.45 m,全长 2 590 m。建筑限界净空(宽×高)为 11.1 m×7.1 m,隧道纵坡为 2.58%(单向坡)。一般埋深 100~250 m,最大埋深 297 m,属深埋长隧道。工程区地表水主要为大气降水,通过地表径流快速向冲沟排泄,沟谷地带覆盖层透水性较好,隧道

岩体中节理裂隙较为发育,地表水易沿节理裂隙下渗补给地下水。冲沟下游侧地形低洼处可见地下水渗出形成泉点,工程区冲沟中的地表水的丰水期为 6~10 月,其流量占全年径流量的 75%,冲沟在旱季基本无水。

他白依不稳定斜坡体距离他白依隧道进口约 220 m,顺沟宽约 700 m,分布在高程 360~760 m 之间,覆盖层主要由含砾粉质黏土、页岩、杂色泥岩、砾岩组成。他白依不稳定斜坡体无区域性断裂通过,但受隧道进口左侧直线距离约 350 m 的龙岔河区域断裂 F17 及距隧道出口约 50 m 的 F14 构造影响,隧道通过区岩体主要为板岩;受区域构造影响,层间小断层、挤压及节理发育,岩体破碎,强度较低,遇水易软化,构造破碎带易富水,

收稿日期:2020-07-08

围岩稳定条件差^[1]。

根据野外地质调查并结合物探检测成果,在隧道 K62+668~K62+868 发现相对于周围介质的低阻异常区域,推测为断层破碎带及影响带或节理密集发育带,岩体较破碎,可能含有丰富的地下水,围岩稳定性差。隧道通过以上洞段时可能存在塌方及涌水等工程地质问题。

2 隧道开挖以来不稳定斜坡体的变形情况

2.1 隧道开挖以来不稳定斜坡体的变形情况

2019年10月4日,他白依隧道右洞掌子面施工至桩号 K63+027 时,围岩为 V 级,受区域构造影响岩体破碎,自稳能力差,掌子面前方突遇渗水,在地下水影响下掌子面形成塌方。针对以上情况,施工单位立即组织各有关单位对地表进行排查,于2019年10月13日在他白依隧道上方 7-1#便道 K1+000 附近出现山体开裂,裂缝位于他白依隧道上方左线 Z5K63+095~100 段,右线 K63+058~086 段,裂缝宽度最大为 9 cm,长约 50 m。他白依隧道施工掌子面桩号左线为 Z5K63+056,裂缝位于掌子面前方 41 m;右线为 K63+027.4,裂缝位于掌子面前方 30 m。施工单位于10月17日建立了变形监测点并进行了监测,从监测数据看:2019年10月17日~2020年1月9日,各变形观测点的变形一直处于增长阶段,2020年1月10日~3月21日,各变形观测点变形趋缓,截止到2020年3月21日,其最大变形值为 90.58 mm。

2.2 变形监测及变形机制分析

为掌握不稳定斜坡体中裂缝的变化趋势,施工单位在不稳定斜坡体的主裂缝沿线布置了 8 个表观监测点,其中 DB01、DB02、DB03 位于他白依隧道左线地表,路线桩号为 Z5K63+109,隧道埋深 120 m;DB06、DB07、DB09 位于他白依隧道右线地表,路线桩号为 K63+058,隧道埋深 116 m。监测成果表明:各测点的变形发展趋势基本相同,但各测点的变形量差异较大。隧道左线顶部测点变形相对较小,隧道右线顶部测点变形相对较大。笔者认为:可根据累计变形时间曲线将变形发展过程划分为四个阶段,即匀速变形阶段—暂稳阶段—突变阶段—稳定阶段。

从地表监测点的变形规律看,地表变形与隧道涌水突泥发生的时间基本一致。在累计变形曲

线上,2019年10月17日至11月24日为匀速变形阶段,变形接近匀速增加,累计变形曲线近似为一直线。2019年12月25日14:48,隧道内 K63+035~K63+050 桩号段初支拱顶断裂坍塌,随后伴随大量涌水、突泥,对应于累计变形时间曲线上2019年12月25日8:00至12:00的突变阶段,各测点变形量突然增大,主要因为隧道掌子面发生塌方涌水突泥事故后(突泥量约为 5 000 m³)隧道轴线上方形形成较大的空腔体,初始应力及地下水系的平衡遭到破坏,因围岩应力的重组分布岩体含水率骤降,应力传输至地表,引起不稳定斜坡体地表变形开裂。

3 不稳定斜坡体的分析与计算

3.1 内容及参数取值

根据现场调查及钻探资料对不稳定斜坡体的稳定性进行定量分析时,选择主勘探剖面进行计算(图1)。对斜坡进行稳定性计算时,重度的取值主要依据现场坡体中实际土石比和室内土工试验结果综合确定^[2],边坡稳定性计算的物理力学参数取值见表1。

表1 稳定性计算参数表

地层名称	岩土体名称	重度 /kN·m ⁻³	抗剪强度	
			C /MPa	φ /°
第四系坡积层	含砾粉质黏土	18	0.045	12
第三系(N1)	泥岩夹砾岩	22	0.1	20
	炭质板岩、板岩	22	0.1	25
三叠系法郎组 (T ₂ f)	强风化砾质灰岩	23	0.15	30
	中等风化砾质灰岩	25	0.8	40

3.2 计算方法及结果分析

稳定性计算的基本思路:假定岩土体破坏是由于滑体沿滑面滑动造成的,将滑动体看成刚体,不考虑其变形,滑面上的岩土体处于极限平衡状态且满足摩尔-库仑准则。滑面的形状可以为平面、圆弧面、对数螺旋面或其它不规则面,然后通过由滑裂面形成的隔离体的静力平衡方程确定沿滑裂面滑动的可能性大小,即该滑裂面上的稳定性系数 F_s 的大小。假定不同的滑裂面即可以得到不同的稳定性系数值,其中 F_s 值最小的滑面就是最危险的滑动面,其对应的稳定性系数值即为该边坡的稳定性系数。主要采用毕肖普(Bishop)法,考虑正常工况、暴雨工况 2 种类型进行

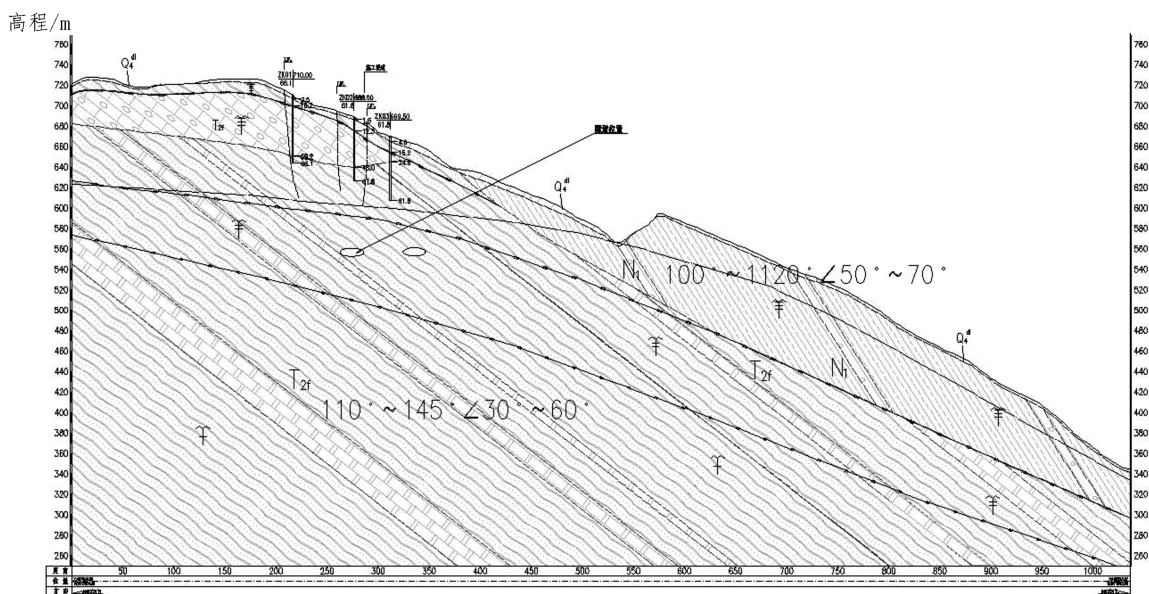


图 1 不稳定斜坡体稳定性计算 1-1' 剖面图

计算^[3]。计算结果表明:①在正常工况下,不稳定斜坡体的安全系数为 1.447,边坡整体稳定;②在暴雨工况下,不稳定斜坡体的安全系数为 1.134,边坡处于基本稳定状态。

考虑其定性分析与定量计算结果表明:他白依不稳定斜坡体整体处于稳定状态,按现阶段变形状况考虑,其计算结果与现场实际情况基本吻合。受制于刚体极限平衡分析的计算收敛问题和地形精度,无法准确模拟冲沟陡壁的崩塌过程。现场调查发现:靠近冲沟陡壁附近的坡体稳定性较差,易发生垮塌。综上所述:现状条件下,他白依不稳定斜坡体整体稳定,但靠近冲沟陡壁的坡体易发生局部塌滑。

4 变形监测与监测预警

4.1 变形监测

为掌握他白依不稳定斜坡体的深部变形情况,分别在不稳定斜坡体开裂范围内布置了上中下 3 个变形监测点 ZK01、ZK02、ZK03。其中 ZK01 于 2020 年 4 月 27 日投入运行并取得初始值,截止 2020 年 6 月 18 日,沿孔深位移~时间曲线、累计位移方位角~时间曲线见图 2。

ZK01 测斜孔的监测成果表明:

(1)孔内的相对位移均小于 5 mm。4 月 30 日至 5 月 21 日位移变化量较小,表明钻孔附近坡体的深部变形在该段时间内处于稳定状态。5 月 21 日至 6 月 5 日,孔深 27 m 处的位移由 0.54

mm 增大到 3 mm,变形方向为 128°,由钻孔指向隧道塌方段位置,位移速率为 0.164 mm/d;6 月 5 日至 6 月 18 日,孔深 27 m 处的位移由 3.08 mm 减小到 0.36 mm。通过对数据进一步分析可以判定此次变形为环境因素引起的测量误差,表明该处坡体目前处于稳定状态。

(2)累计位移随时间整体变化不大,相对位移方位角有明显波动,主要是由于其相对位移较小,没有明显朝某一方向的集中位移,表明不稳定斜坡的上部坡体目前基本处于稳定状态。需要说明的是:该不稳定斜坡体岩体较破碎,造孔过程中垮孔严重,导致出现了一定的偏斜,造成钻孔的基准累计位移过大。但因变形趋势主要通过位移随时间的变化来反映,累计位移初始值的大小对测量结果无影响。

4.2 监测预警

为调查与评价隧道开挖对不稳定斜坡体变形的影响程度,保证不稳定斜坡对他白依村不存在威胁并确保施工便道的安全,施工单位建立了全天候全方位的自动化安全监测预警系统,对可能发生的斜坡变形失稳进行了预报预警,尽可能地消除、减少斜坡变形失稳带来的危害,最大限度地降低灾害造成的损失,同时为评价隧道开挖对不稳定斜坡的影响和斜坡对高速公路后期运行是否存在威胁提供科学的评价依据。采用国际最新的微芯桩技术对不稳定斜坡进行了自动化监测工

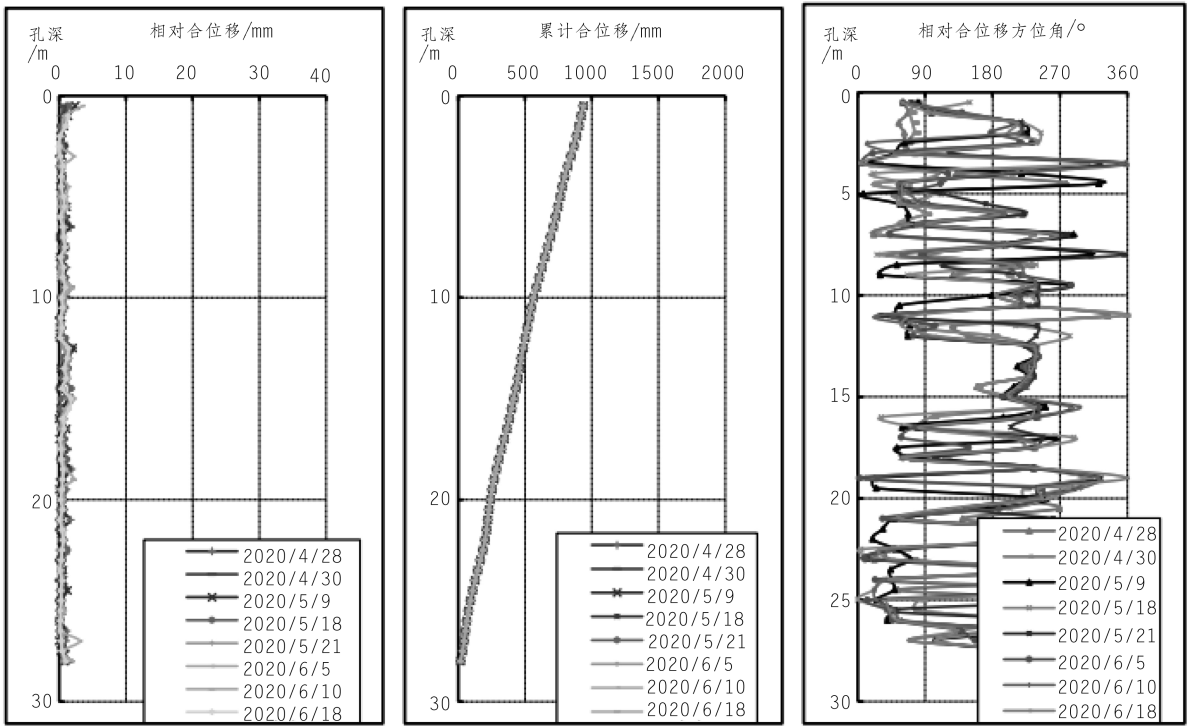


图2 测斜孔沿孔深位移~时间曲线、方位角~时间曲线图

作。根据相关变形监测的规范及设计图纸,结合滑坡的实际情况,沿隧道掘进断面共布设了20套

微芯桩,实时监测滑坡的形变,其中JC20桩的相关数据如图3所示。

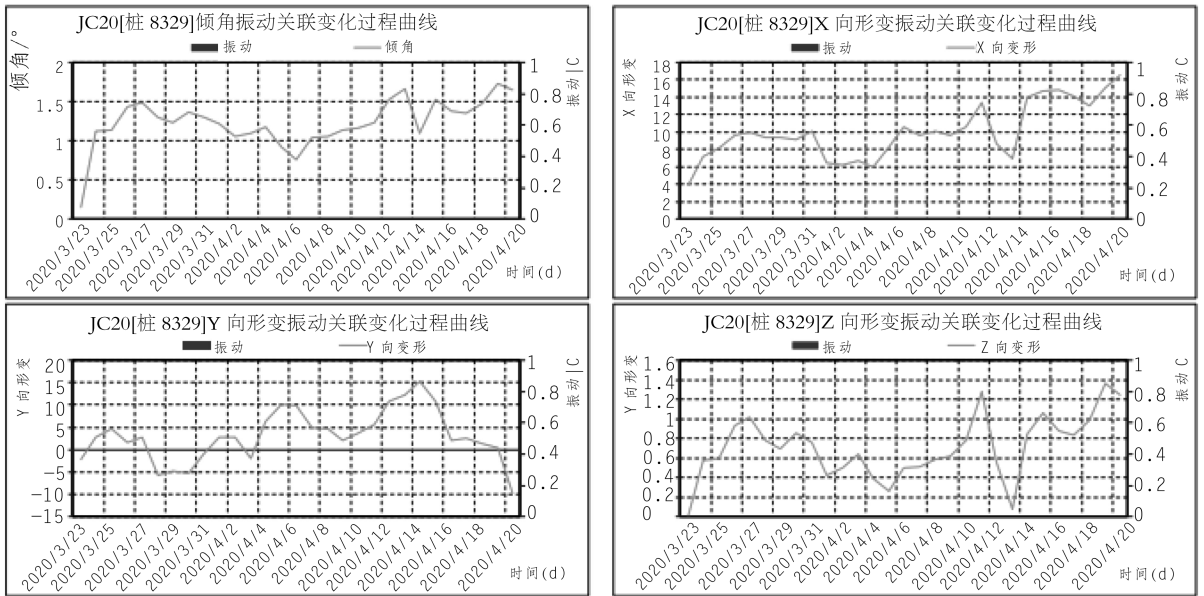


图3 JC20(桩8329)倾角振动关联变化过程线图

综合2020年4月21日~5月20日他白依隧道不稳定斜坡各测点的监测成果,同时结合现场检查结果分析表明:他白依隧道不稳定斜坡受力基本平衡,结构稳定、无异常。

(1)各测点最大倾角、X向变形、Y向变形、Z向变形的变化趋势基本一致,变化较小,过程线均表现平稳且各项指标的变化基本不受振动的影响;

(2)从整体看,各测点受振动的影响较小,且各项指标均未出现异常突变,表明各测点相对应的位置稳定。

5 结 语

他白依隧道洞顶斜坡表部的岩体均呈全强风化且覆盖厚度大,岸坡深切冲沟发育,冲沟两侧崩塌后形成陡倾临空面,导致斜坡抗滑力减小,稳定性降低,引起冲沟陡壁外侧一定范围内的坡体出现变形开裂。随着冲沟的溯源冲蚀,变形逐渐向上牵引,范围不断扩大,形成不稳定斜坡体^[4]。隧道掌子面发生塌方涌水突泥事故后,隧道轴线上方形成了较大空腔,岩体中的应力及地下水系的平衡遭到破坏,围岩应力的重组分布、岩体含水率的骤降、应力传输至地表引起不稳定斜坡体局部地表变形开裂。

定性分析与定量计算结果表明:他白依不稳定斜坡体整体处于稳定状态,按现阶段变形状况,计算结果与现场实际情况基本吻合。受制于刚体极限平衡分析的计算收敛问题和地形精度,无法准确模拟冲沟陡壁的崩塌过程。现场调查发现:靠近冲沟陡壁附近的坡体稳定性较差,易发生垮

(上接第 8 页)

验算,并由专业焊工施焊,确保吊装设备改装后的使用安全。

(2)由于安装空间相对狭窄且高达 12 m,在吊装及安装过程中,应特别加强对施工人员的班前安全教育工作。

参考文献:

- [1] 朱晓强.毛家河水电站引水隧洞全圆针梁式台车的应用[J].时代报告,2012,3(5):260-261.
- [2] 陈廷康.全断面针式钢模台车在玛依纳水电站隧洞混凝土衬砌施工中的应用[J].四川水力发电,2011,30(4):56-

塌。在现状条件下,他白依不稳定斜坡体整体稳定,但靠近冲沟陡壁的坡体易发生局部塌滑。

由于他白依隧道未开挖段处于地下水位以下,且围岩主要以板岩及灰岩呈不等厚互层分布,受区域构造影响,中小构造发育,岩体破碎,围岩产状混乱,岩体透水性较好,隧道内围岩强度低,开挖山体初始应力平衡遭到破坏后围岩应力的重组分布导致初期支护易收敛变形,围岩松动圈范围增大,连通周边含水层,在水岩相互耦合作用下^[5]易形成涌水、塌方,隧道未开挖段存在涌水塌方的风险,需加强监测。

参考文献:

- [1] 《公路工程地质勘察规范》(JTJG C20-2011);
- [2] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994;
- [3] 许强,黄润秋,巨能攀,等.边坡岩体块体稳定性分析系统的开发与研究[J].工程地质学报,2001,9(4):408-513;
- [4] DZT 0218-2006.滑坡防治工程勘查规范[S].
- [5] 刘华丽,朱大勇,刘德富,等.边坡安全系数的多解性讨论[J].岩土力学,2007,28(8):1661-1664.

作者简介:

张友坤(1984-),男,江西瑞安人,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

58.

- [3] 姚桂禄.大型全断面针梁式钢模台车在大山口二级水电站引水隧洞混凝土衬砌中的应用[J].红水河,2014,33(6):44-48.
- [4] 宋 巍,张新兰.全圆针梁台车无扩挖后退出快速安装方法[J].四川水力发电,2016,35(3):11-14.
- [5] 段海林.针梁式钢模台车在庙林水电站引水隧洞施工中的应用[J].云南水力发电,2011,27(2):63-65.

作者简介:

骆红兵(1982-),男,四川简阳人,项目经理,高级工程师,学士,从事水利水电工程土建公路与市政工程施工技术及管理工作。(责任编辑:李燕辉)

由成都院承担的广元三江白龙江大桥工程 T 梁架设完成

2020 年 9 月 30 日上午,随着最后一块 T 梁缓缓落至白龙江大桥 0 号台至 1 号墩的垫石上,标志着白龙江大桥 T 梁架设圆满完成。这一节点的实现,为项目后续工作的顺利开展争取了宝贵的时间,向通车目标迈进坚实的一步。白龙江大桥工程为旧桥拓宽工程,全长 620 米,其中大桥 448 米,北侧引道 92 米,南侧引道 80 米,既有桥梁宽 12 米,新建桥梁宽 24 米,拓宽后桥梁总宽为 36 米,上部结构采用预应力混凝土(后张)简支 T 梁、下部结构桥台采用 U 型台、桥墩采用柱式墩、墩台采用桩基础。为加快梁片架设施工进度,确保 T 梁架设作业按期完成节点目标,项目管理团队在疫情爆发复工后紧紧围绕“疫情防控”和“安全质量”这两个中心要素,积极与当地政府、业主、监理等相关单位进行沟通,科学有效地整合资源,全面部署疫情防控期间的生产任务,多次召开专题研讨会,优化了 T 梁架设方案,合理调配人员机械,克服了运梁道路不畅、大风、持续降雨等诸多难题,确保了整个制作梁、架梁过程安全质量可控,实现了施工零事故并通过了安全生产标准化工地专家组复查,圆满完成了白龙江大桥 T 梁架设施工节点目标。大桥建成后,将带动沿线区域经济社会发展,形成“一心两翼、东西联动”的城市发展格局,促进广元市三江新区土地开发和沿线居民出行,打造川北交通枢纽。

(邱小耕 供稿)