

浅谈山区松散崩坡积体地质边坡动态设计的可行性及重要性

穆垚岐, 张 鹏, 田国伟

(中交路桥华东工程有限公司, 上海市 201203)

摘 要: 以四川省九寨沟(甘川界)至绵阳公路路基土建工程高边坡路基施工为依托,通过 Midas/GTS 软件建模分析,阐明高边坡通过动态设计的方式,解决高边坡崩坡积体地质、雨季施工等施工问题的可行性;并通过施工成本、进度及环境保护等方面阐述山区高边坡动态设计的重要性。

关键词: 松散崩坡积体;高边坡;动态设计

中图分类号: U419.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)10-0058-04

0 引 言

山区高边坡路基施工,存在工程地质复杂,边坡开挖、支护高度大,施工风险高等施工问题,而通过合理的高边坡动态设计可以有效解决上述问题,并从成本、进度及环境保护等方面形成积极的社会效益。因此,山区高边坡施工与动态设计相结合是非常必要的。下面通过四川省九寨沟(甘川界)至绵阳公路路基土建工程 K30+478.5~K30+586.5 左侧挖方边坡施工实例,介绍施工过程中根据现场情况进行动态设计的可行性及重要性。

1 工程地质概况

1.1 地形、地貌

四川省九寨沟(甘川界)至绵阳公路路基土建工程 K30+478.5~K30+586.5 左侧挖方该段边坡位于构造剥蚀低中山区的斜坡上,斜坡地表植被发育,地势由北东向南西倾斜,坡面倾向约 256°,地面高程 1 686~2 850 m,相对高差约 1 164 m,斜坡天然坡率约 32°,自然状态下斜坡稳定。

1.2 地层岩性

边坡表层覆盖层较薄,主要为碎石土边坡,开挖后易造成浅、表层滑塌和沿深层滑动面的滑塌,现场地质据地表调查和钻探揭露,工程区出露地层为第四系全新统崩坡积层(Q4c+dl)。该层广泛分布于工程区,主要成分为碎石,钻孔深度范围内

未揭穿。现将其简述如下:

①稍密碎石:灰白色、灰褐色等,稍湿,碎石成分主要为强~中风化灰岩、白云岩、变质砂岩等,碎石含量约 55%,粒径 2~12 cm,棱角状,其余为角砾、粉土。

②中密碎石:灰白色、灰褐色等,稍湿,碎石成分主要为强~中风化灰岩、白云岩、变质砂岩等,碎石含量约 60%,粒径 2~12 cm,棱角状,其余为角砾、粉土。

1.3 地下水文地质

工程区地下水类型主要有第四系松散堆积层孔隙水和基岩裂隙水两种类型。

第四系松散堆积层孔隙水具有含水层厚,分布广,富水性、透水性好的特征,主要赋存于下水位埋深 26.3 m,总体场地地下水贫乏。

1.4 地质构造

工程区场地地形条件复杂,不良地质发育,主要发育泥石流,且马家磨-沙尔里-魏家坝断裂东界从工程区右侧路基通过,场地稳定性差,适宜性差。

1.5 地表植被覆盖情况

本段高边坡现场考察现场地表植被覆盖率较高,且原地貌 0~6 m 范围内地表植被以低矮灌木与草本植物相混合,6~30 m 范围地表植被以高大乔木与草本植物混合,现场地表植被覆盖率达 80%~90%,地表植被发育良好,对现场边坡土体加筋、锚固作用明显,对提高边坡稳定性起到相当重要的作用^[1],具体边坡植被覆盖见图 1。

收稿日期: 2020-04-09

作者简介: 穆垚岐(1993—),男,学士,助理工程师,从事桥梁、道路工程施工工作。



图 1 边坡植被覆盖情况

2 工程区域边坡稳定性评价

2.1 岩土参数

上述岩土参数主要依据当地类似工程经验,结合野外定性判断,并参考《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)及《公路路基设计规范》(JTG D30—2015),提出工程区岩土体物理力学参数建议值见表 1。

表 1 边坡稳定性物理力学参数

岩层 代号	岩土 名称	重度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)			泊松 比		粘聚力 /kPa		内摩擦角 ψ /($^{\circ}$)	
		天然	饱和		天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
①	稍密 碎石	2.05	2.1	0.17	2	1.5	32	29		
②	中密 碎石	2.15	2.2	0.2	0	8.5	35	33		

2.2 有限元折减法

针对四川省九寨沟(甘川界)至绵阳公路路基土建工程 K30+478.5~K30+586.5 左侧挖方边坡,利用 Midas/GTS 建立三维边坡模型,模型边坡拟定 30 m,模型尺寸设置:右边界宽度为边坡高度 2.5 倍,左边界为边坡高度 1.5 倍,底部边界高度为边坡高度 1 倍。根据计算精度需要,采用混合网格生成单元,模型网格划分 2 481 个单元,见图 2、图 3。

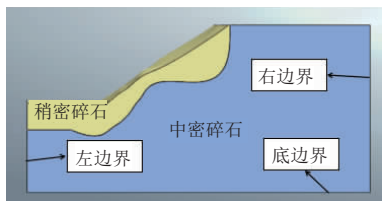


图 2 边坡剖面模型

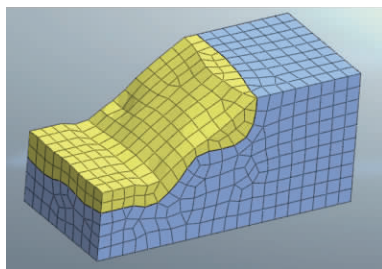


图 3 三维边坡网格单元划分

根据原设计考虑刷坡,故本模型不考虑边坡植被对土体的加筋、锚固作用,边坡稳定性验算力学参数参见表 1,边坡稳定性安全系数采用牛顿-拉夫逊法进行强度折减计算得出,过程中通过弧长法控制迭代计算效率,计算结果见表 2、图 4。

表 2 边坡稳定性系数(K)计算结果

工况	自然状态	饱水状态
稳定系数(K)	1.113 85	0.983 39

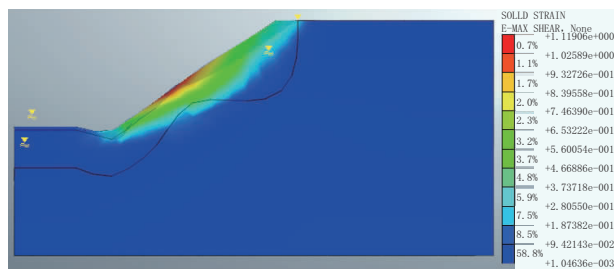


图 4 饱水状态边坡 K30+555 断面应力云图

经计算,现场松散崩坡积体边坡(刷坡后)在自然状态下,边坡稳定系数 $K=1.113\ 85$,边坡处于稳定状态;松散崩坡积体(刷坡后)在饱水状态下,边坡稳定系数 $K=0.983\ 39$,边坡处于不稳定状态。

在饱水状态下分析边坡破坏形式,选取边坡 K30+555 断面边坡剪切应力图进行分析,见图 4。边坡刷坡后植被破坏,雨季饱水状态下高边坡易在坡脚及坡顶产生浅、表层滑塌且易发生沿深层滑动面的滑塌。

3 高边坡动态设计可行性评价

通过上述分析,现场崩坡积体高边坡刷坡后,植被对土体加筋作用减小,自稳性较差,雨季易产生滑坡,现场高边坡施工风险高。

3.1 高边坡防护原设计

四川省九寨沟(甘川界)至绵阳公路路基土建工程 K30+478.5~K30+586.5 左侧挖方路基全长 105 m,原设计为深挖路堑,边坡分级高度 8 m,边坡坡率 1:1,每级边坡设 2 m 宽平台。边坡开挖后形成 3 级边坡,第一边坡采用桩板墙防护(抗滑桩高 28 m,桩间距 5 m,桩身截面 3 m×4 m),第二~三级采用锥索框架梁防护,第四级边坡采用锥杆框架梁防护。边角不足处采用挂网植草补充。

利用 Midas/GTS 建立二维边坡模型,模型尺寸设置:右边界宽度为边坡高度 2.5 倍,左边界为边坡高度 1.5 倍,底部边界高度为抗滑桩支护高

度 2 倍。根据设计边坡防护形式分别设置锚索、锚杆、抗滑桩等边坡支护,具体边坡建模见图 5。

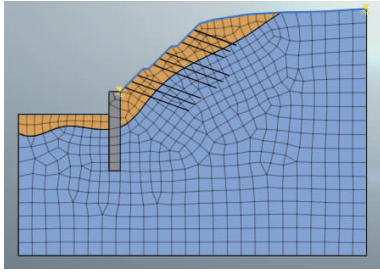


图 5 K30+555 断面原设计边坡支护建模示意图

高边坡运营阶段边坡稳定系数采用 Midas/GTS 软件通过强度折减法进行计算,计算结果见表 3。

表 3 边坡稳定性系数(K)计算结果

工况	自然状态	饱水状态
稳定系数(K)	2.525	1.6

现场高边坡经设计防护后,运营阶段边坡稳定系数 $K > 1.2$,满足相关规范要求,边坡破坏形式主要表现为沿深层滑动面破坏、二级边坡表层破坏及边坡坡脚处地面隆起三种破坏形式,具体见图 6、图 7。

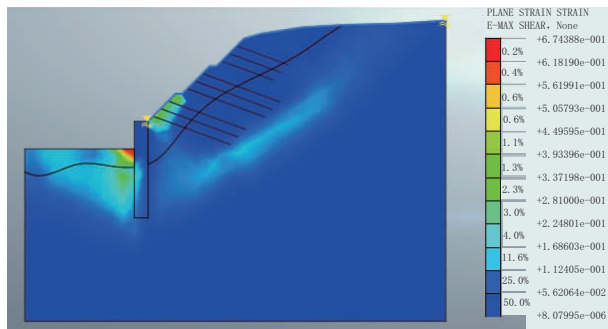


图 6 K30+555 断面边坡应力云图(自然状态)

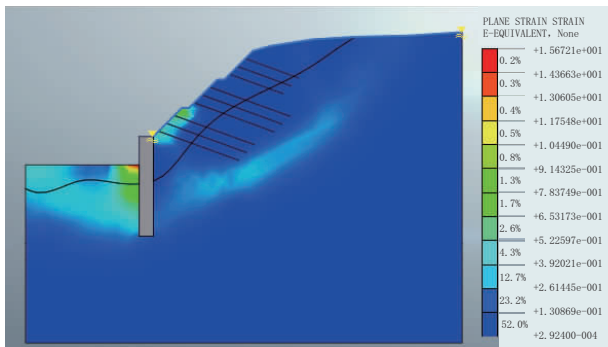


图 7 K30+555 断面边坡应力云图(饱水状态)

3.2 高边坡防护动态设计

四川省九寨沟(甘川界)至绵阳公路路基土建工程 K30+478.5 ~ K30+586.5 左侧挖方路基全长

105 m,经动态设计调整后,边坡设计防护如下:边坡分级高度 8 m,边坡坡率 1:0.75。边坡开挖后形成 2 级边坡,第一边坡采用桩板墙防护(抗滑桩高 28 m,桩间距 5 m,桩身截面 2 m × 3 m),第二级采用锥索框架梁防护,边角不足处采用挂网植草补充。

利用 Midas/GTS 建立二维边坡模型,具体边坡建模见图 8。

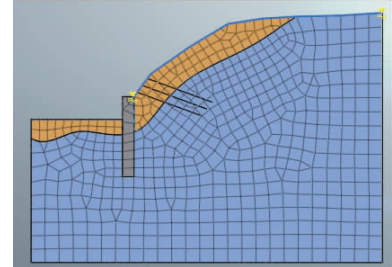


图 8 K30+555 断面边坡支护建模示意图(变更后)

由于与地貌边坡坡面植被覆盖率高,考虑植被加筋、锚固作用,地表草本植被的浅根系对边坡碎石土粘聚力提高效果显著,现场边坡碎石土较裸露边坡土体的粘聚力提高 1 ~ 2 kPa,裸露边坡土体的物理力学参数见表 1;地表高大乔木的深根系类似于等长度的摩擦性锚杆,对边坡起锚固作用^[3]。

高边坡运营阶段边坡稳定系数采用 Midas/GTS 软件通过强度折减法进行计算,计算结果见表 4。

表 4 边坡稳定性系数(K)计算结果

工况	自然状态	饱水状态
稳定系数(K)	2.562 5	1.313 28

现场高边坡经设计防护后,运营阶段边坡稳定系数 $K > 1.2$,满足相关规范要求,边坡破坏形式主要表现为沿深层滑动面破坏、边坡坡顶表层破坏、边坡坡顶沿深层滑动面破坏及边坡坡脚处地面隆起 4 种破坏形式,具体见图 9、图 10。

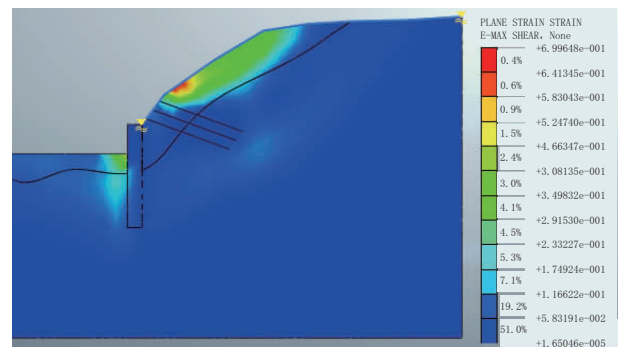


图 9 K30+555 断面边坡支护应力云图(自然状态)

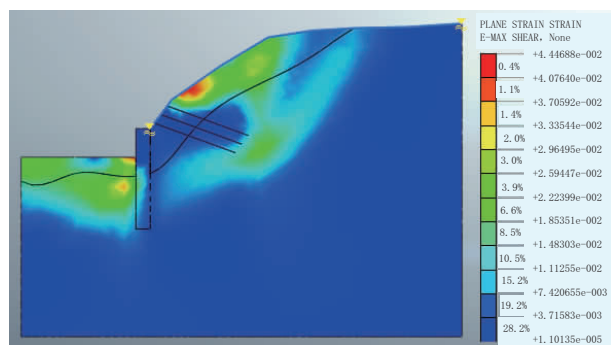


图 10 K30+555 断面边坡支护应力云图(饱水状态)

3.3 高边坡防护动态设计可行性评价

通过 Midas/GTS 软件分析,经动态设计调整后最不利运营状态下边坡稳定系数为 $1.313\ 28 > 1.2$ 规范要求,可保证高边坡完工后的运营要求,高边坡动态设计可行。

4 高边坡动态设计重要性评价

4.1 工程成本效益评价

四川省九寨沟(甘川界)至绵阳公路路基建设工程 K30+478.5 ~ K30+586.5 左侧挖方路基,原设计主要工程量如下:预应力锚索 $6\phi^*15.2$ 锚索 5 592 m、锚索框架梁现浇 C30 混凝土 232 m^3 、边坡植被恢复 2 039 m^2 。

通过高边坡动态设计调整,现场主要工程量变更为:预应力锚索 $9\phi^*15.2$ 锚索 1 944 m、锚索框架梁现浇 C30 混凝土 107 m^3 、边坡植被恢复 987 m^2 。

根据工程清单单价相关工程造价节省如下:

(1)预应力锚索工程: $(5\ 592\ \text{m} \times 45.63\ \text{元}/\text{m}) - (1\ 944\ \text{m} \times 68.45\ \text{元}/\text{m}) = 12.209\ 6$ (万元);

(2)锚索框架梁现浇 C30 混凝土: $(232\ \text{m}^3 - 107\ \text{m}^3) \times 773\ \text{元}/\text{m}^3 = 9.662\ 5$ (万元);

(3)边坡植被恢复:

a. 路堑边坡锚索框架梁挂铁丝网喷有机基材: $(2\ 039\ \text{m}^2 - 987\ \text{m}^2) \times 38.02\ \text{元}/\text{m}^2 = 3.999\ 7$ (万元);

b. 路堑边坡液压喷播植草: $(2\ 039\ \text{m}^2 - 987\ \text{m}^2) \times 13.04\ \text{元}/\text{m}^2 = 1.371\ 8$ (万元);

综上,通过动态设计调整,本段路基边坡防护工程成本降低 27.23 万元,工程成本节省效益显著。

4.2 工程进度效益评价

本段边坡通过动态设计调整,原设计四级边坡调整为两级边坡,现场减少锚索钻孔 3 684 m,根据现场实际施工进度推算,仅预应力锚索施工一项可缩短施工进度约 50 d。

4.3 工程风险管控效益评价

原设计高边坡为四级边坡,边坡开挖高度达 28 m,且现场边坡施工由于工期影响,无法避开雨季施工。结合上述施工条件,通过建设规模、地质条件、工程特点、诱发因素、施工环境、资料完整性对该段原设计高边坡安全总体风险进行评估,路堑高边坡施工安全总体风险评估值 $F=48.38^{[4]}$,现场施工风险等级评估为 III 级(高度风险)。

动态设计后边坡为两级边坡,且边坡开挖高度调整为 8 m,现场建设规模总体风险评估值降低,路堑高边坡施工安全总体风险评估值 $F=43.21^{[4]}$,现场施工风险等级评估为 II 级(中度风险)。

综上,通过动态设计调整,本段路基风险管控效益明显。

4.4 环境保护效益评价

现场原地貌植被覆盖率高,高边坡施工对原地表植被破坏严重,碎石土边坡土体粘聚力折减、降低,现场施工由于工期问题无法避开雨季,现场边坡开挖后难以马上形成完善的防护体系。如遇降雨雨水不能就地消纳、顺势下流、冲刷土壤,导致边坡水土流失,具体实例见图 11。



图 11 雨季降水对边坡冲刷示意图

以有效减少隧道工程项目施工过程中的安全问题,杜绝事故现象,减少工程项目的建设成本,提高工程项目的建设效益。因此,需要加强对隧道穿越断层破碎带安全施工工艺的研究,明确施工过程中所需要注意的事项和问题,并结合具体的工程项目建设特点和要求合理选择施工方案,保证施工进行的稳定性、可靠性、安全性和持续性。

通过动态设计调整边坡开挖、支护形式,最大限度保证原地貌植被免遭破坏,并有使边坡尽早形成有效的防护体系,从而减轻降水对边坡的冲刷破坏,从而避免边坡水土流失风险,收到良好的环境保护效益。

(下转第 80 页)

工况一、三减少了 66.3%, 71.6%。为此, 采用工况二的配重方式可以有效地减少墩顶不平衡弯矩。

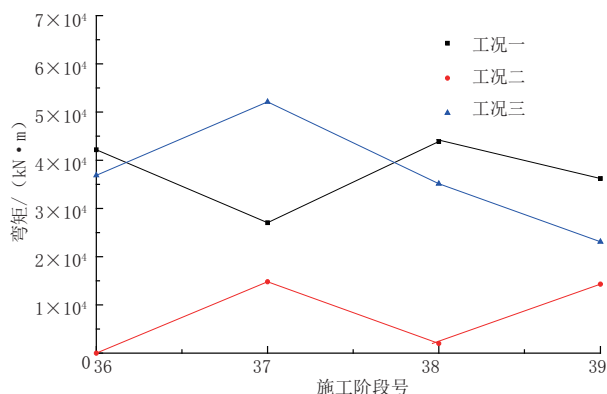


图 8 施工阶段墩顶不平衡弯矩图

综上所述, 在悬臂施工不对称边跨梁段时, 合理的中跨配重对桥梁成桥阶段内力和线性影响较小, 但是却能够有效地减小墩顶不平衡弯矩。

6 结 论

依托实际工程并建立 Midas 模型, 对成桥状态的受力和位移影响较大的因素进行计算分析, 得到以下结论:

(1) 施工过程中的合龙误差对桥梁位移和应力均有较大影响, 其中误差为 5.4 cm 时, 其荷载

作用位置处的位移较理想状态下偏差可以达到 2 倍左右, 对主梁成桥状态下的应力影响较为有限, 仅为理想状态下的 1.14 倍。因此, 在实际施工过程中, 应特别注意对桥梁线性进行精确监控, 避免由于施工误差导致成桥线性不够平顺。

(2) 对比三种合龙温度作用下桥梁成桥状态的上下缘应力可以发现, 虽然在三种荷载工况作用下桥梁降温 23℃ 引起的应力可以达到降温 13℃ 的 1.9 倍之多, 但是由于系统温度本身对桥梁内力影响较为有限, 因此在实际情况下可以忽略不计。但是, 需要注意合龙温度将对支座引起较大的位移, 在实际施工过程中应该在合理的温度下合龙, 并为支座预留预偏量。

(3) 通过对不同压重方式的分析, 发现不同压重对成桥状态影响较小, 但对临时固结墩影响较大。工况二配重方式可以有效地减小墩顶不平衡弯矩, 保证桥梁施工过程中的稳定和安全。

参考文献:

- [1] 邵旭东. 桥梁工程(第四版)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [2] 王邓旭, 杨美良, 许国龙. 不对称悬臂施工时配重对连续梁桥应力和线形的影响[J]. 湖南交通科技, 2019, 45(01): 72-76.
- [3] 周光伟, 陈得良, 刘榕. 连续刚构桥合拢温度的合理确定及高温合拢对策[J]. 长沙交通学院学报, 2006(03): 15-19.
- [4] 姚玲森. 桥梁工程(第二版)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.

(上接第 61 页)

5 结 论

(1) 对山区高边坡实行动态设计, 可以在保证边坡运营要求的同时, 取得良好的成本、进度、风险管控及环境保护等收益。

(2) 山区植被对提高边坡稳定性起到重要作用, 高边坡设计、施工过程中需尽量避免对原地貌植被产生破坏。

(3) 山区高边坡刷坡完成至边坡防护施工完成期间边坡稳定性最为薄弱, 如遇雨季施工, 极易发生边坡滑塌等破坏, 高边坡通过合理动态设计、

科学的施工安排等措施可有效缩短此期间施工周期, 保证施工安全。

参考文献:

- [1] 孙红, 吴刚, 李波, 等. 植被边坡稳定性的影响因素分析[J]. 地下工程与空间学报, 2009(增 2): 1837-1841.
- [2] 程洪, 颜传盛, 李建庆, 等. 草本植物根系网的固土机制模式与力学研究实验[J]. 水土保持研究, 2006(1): 62-65.
- [3] 安然, 柴军瑞, 覃源, 等. 植被根系形态对边坡稳定性的影响分析[J]. 水利水电技术, 2018, 49(3): 150-156.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. 高速公路路堑高边坡工程施工安全风险评估指南[Z]. 2015.