

京珠高速公路大悟段高边坡加固设计方法探讨

陈建平,唐辉明,刘佑荣,胡新丽,王亮清,张志波

(中国地质大学工程学院,武汉 430074)

[摘要]根据岩体结构特征与岩石物理力学特性,采用现代化的计算手段对岩体稳定性分析计算,并在此基础上进行加固结构设计是一种代替传统设计的新方法,结合京珠高速公路大悟段岩质高边坡加固设计,分析了这种方法的具体步骤与优越性,根据该设计在实施后的结果,肯定了设计的成功之处。

[关键词]岩体结构 边坡加固 高边坡 设计 稳定性分析

[中图分类号]TV223.3⁺4 [文献标识码]A [文章编号]10495-5331(2000)02-0045-04

1 引言

京珠高速公路是一条贯穿我国南北的主干国道,其湖北段穿越大悟县,并有长约800 m、高10 m~40 m的岩体高边坡,分布在湖北段K32+600~K33+000和K34+000~K34+400两个区段内。受湖北交通规划设计院委托,中国地质大学工程学院承担了高边坡的勘察与设计任务。目前高边坡正按设计的要求进行施工,实践证明,由于采用了科学合理的设计方法,施工在快速、优质、顺利中进行,经济效益明显,本文就该高边坡的设计方法进行探讨。

2 设计思想

为了使得设计与实际结合紧密,我们将勘察与设计结合一体,即设计人员先到现场实地勘察,收集第一手资料,再进行室内设计计算,从而改变过去设计人员靠勘察单位提供勘察报告在室内进行设计的做法。

具体做法是,先收集该区域的前期工作资料,如地形图、地质图等。在此基础上经过工程地质测绘、绘制工程地质平面图及工程地质纵剖面图。对于岩质高边坡而言,边坡的稳定性是加固设计的前提,而边坡的稳定性主要决定于结构面和岩体的物理力学性质。本次在设计中特别重视结构面的现场调查、测量,并对岩体中的结构面进行室内Monte-Carlo模拟,通过模拟可以建立岩质边坡的几何模型。经过结构面力学实验、岩体物理力学实验、岩体RMR分类和Q分类,可以获得边坡稳定性计算的可靠参数。在几何模型和物理力学参数确定的基础之上,并使用计算机软件(Sarma法和剩余推理法)对每条

纵剖面在各种可能工况下进行稳定性计算,为使用何种加固手段提供可靠的依据。

显然加固设计的前提是稳定性分析的结果,但加固设计中十分重视边坡的开挖方法,因为开挖(爆破)与加固是矛盾的统一体,开挖方法不当将严重影响边坡的稳定性能,因而在设计中同时规定了开挖方法并提出了开挖爆破参数,但这并不够,设计中提出了“信息化施工”的要求,即要求设计、开挖、加固、量测与信息反馈成为一个整体实施,从而达到设计和施工最优化。

3 工程勘察

作为一项岩土工程设计,工程勘察是十分重要的。由于工程线长面广,加之设计委托方提供的资料十分有限,故工程勘察工作量较大。

工程勘察的重点在于了解岩(土)体的工程地质问题,从而找到可能影响岩体边坡稳定性的各种因素,所以尽可能地采用多种勘察手段。

工程勘察的内容分现场工程地质和水文调查、槽探、地质剖面测量、绘制工程地质图、结构面测量、试件取样、实验室试验及编写勘察报告等。考虑到覆盖层少而薄,边坡区域采石场及人工开挖边坡较多,基岩面暴露较多,加之勘察经费紧张,没有采用钻探手段。但由于做了详细的工程地质和水文地质调查,适当的槽探手段,有针对性地取样分析,因而不影响勘察结果,节省勘察费用50%以上。

工程地质和水文地质调查在边坡沿线1 km范围内展开,绘出1:2000的工程地质平面图和1:500的地质剖面图。槽探主要分布在地质剖面线上和地质构造复杂区域,为了节省经费,更多地利用现有的

采石场和其它人工开挖面。

岩体结构面的现场测量与描述是一件量大面广的工作,通过测量分析,得出结构面的产状、单位密度、长度和连续性等特征。现场取样和实验室测试得出结构面的 C 、 Φ 值和充填物。

对岩体稳定性而言,该地区的岩体结构特征比岩石的物理力学特征更为重要,但后者也是岩体分类中的重要参数,所以勘察中同样重视其取样和实验室测试。

4 工程地质条件与岩体结构构造

根据勘察,该区基岩为元古界红安群变质岩。K32 边坡段基岩主要为风化较强的含云母石英片岩和部分片麻岩,上面覆盖厚约 0.4 m~1.0 m 的黄色粉质粘土。与 K32 段岩性比较,K34 边坡段岩石同类,但风化相对较弱,覆盖层较薄。两段岩石片(麻)理发育,其中 K32 地段斜坡属片理倾角大于坡角的顺向坡,坡高 10 m~20 m;K34 地段呈陡缓相间,但整体看上陡下缓,斜坡结构属逆向坡,坡高 20 m~40 m。强风化片岩的湿抗压强度在 3 MPa~10 MPa 之间, $C \approx 0.78$ MPa, $\Phi \approx 45^\circ$;研究区段中风化片岩湿抗压强度在 25 MPa~30 MPa 之间, $C \approx 1.5$ MPa, $\Phi \approx 45^\circ$ 。结构面的 C 值仅为岩石的 1/10, Φ 值约为岩石的 1/2。

从现场调查来看,边坡沿线未发现大的断层,仅见采石场上缘因人工开挖因素造成较大范围的开裂和滑移。

通过岩体结构面网络模拟,得到岩体的结构特征:①岩体结构以层状结构为主,局部为层状碎裂结构,层理与片(麻)理方向一致,倾向一般在 $150^\circ \sim 165^\circ$ 之间,倾角一般在 $30^\circ \sim 55^\circ$ 之间;②岩体的节理影响边坡稳定的最重要的因素,在 K34 段节理与坡面夹角较小,倾向坡外,对边坡岩体稳定性最为不利;③结构面长短交错,半迹线长多在 1.0 m 以下,少数超过 2.0 m,测到的最长裂隙达 15 m;结构面隙宽多在 5 mm 以下,以 1 mm~2 mm 居多,且少充填,多张开,常有地下水渗出;④结构面平均间距为 10 cm~30 cm,线密度 4 条/m~10 条/m。总体分析,开挖后的边坡会有局部破坏,产生大面积大量的滑坡的可能性不大。

5 边坡稳定性分析

边坡稳定性分析是边坡加固设计的前提,边坡开挖前后是否稳定决定采用何种加固方法。稳定性

分析的依据是岩体结构面和岩石物理力学参数。本设计对边坡的稳定性采用剩余推力法与 Sarma 法进行计算。

剩余推力法在计算滑坡推力时,假定沿滑面取单位宽度计算,不计两侧摩擦力和滑坡体自身挤压力,滑动面和破裂面分别按直线计算,整体呈折线滑动。

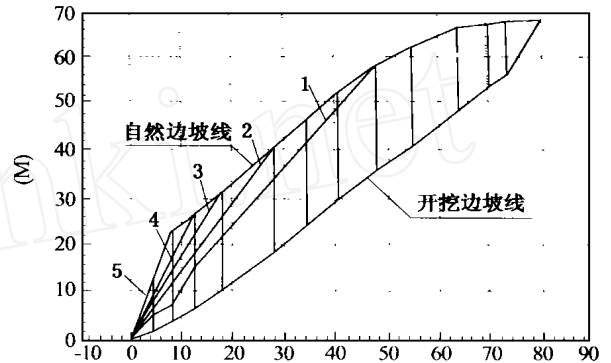


图1 K34 段剖面 IV- IV剖面图

1—边坡角度为 50° ; 2—边坡角度为 55° ; 3—边坡角度为 60° ; 4—边坡角度为 65° ; 5—边坡角度为 70°

Sarma 法是一种考虑边坡强度的极限平衡方法,它的基本思想是:边坡岩土体除非沿一个理想的平面或圆弧而滑动,才可能作为一个完整刚体运动, Sarma 法是在一般的刚体极限平衡方法的基础上针对滑坡体内部剪切错动的实际情况提出的。用刚体极限平衡方法确定斜坡岩土体的稳定性一般是采用条分的方法来进行,具体的计算方法也从最初不考虑各条块间的作用力逐步发展为考虑或部分考虑条块间的作用力,但总体思想是保证滑面上力的平衡。

另外,该方法成功地引进了临界加速度的概念,用来评价斜坡的稳定性,这样就能在考虑爆破振动时更容易直接用来比较。

图1所示的剖面即为用 Sarma 法计算的 K34 段 IV- IV剖面图,分析的开挖坡角为 $50^\circ \sim 70^\circ$ 之间,间隔为 5° 。

利用剩余推理法和 Sarma 法对 K32 段和 K34 段边坡进行稳定性计算,得出如下结论:K32 段和 K34 段自然边坡稳定性尚好,不产生整体滑移,但会产生局部滑移。因此在边坡治理关键是治理局部小台阶边坡。

6 边坡加固设计

根据边坡稳定性分析结果可知,K32 和 K34 段边坡沿线无论是自然坡还是开挖后的人工边坡都不存在整体滑移的可能,但由于岩体结构面发育,岩体

较风化,产生局部破坏是难以避免的,尤其是当开挖方法或爆破方法不当时,局部失稳的现象将较严重,这是本设计在确定加固方法时考虑的重点。

6.1 设计原则与加固方案

本设计考虑了以下几个原则:①以边坡稳定性计算结果为设计依据,在开挖边坡总体稳定的前提下,对局部不稳定边坡进行治理;②选择最优开挖边坡角度,使开挖与加固工程量最小,经济合理;③设计方案易于实施,施工简便易行;④加固措施与开挖方法和综合治水有机结合。

按此原则确定的总体加固方案如下:

(1)按类比法分析,设计采用分层开挖与光面爆破、锚喷(网)加固、综合治水措施的三者一体的设计、施工总方案。

(2)根据剩余推力法和 Sarma 法计算结果,K32 公里段边坡角为 55° ,K34 公里段边坡角为 60° 时,多数边坡地段处于稳定状态,不加固时的稳定性系数大于 1.25。所以锚喷支护设计的目的仅是加固因边坡结构面的存在和因爆破应力波对坡表层产生的破坏而导致的边坡失稳。所以,采用砂浆短锚杆,以锚为主,锚喷网结合的支护方案,以增大其稳定性系数。对于局部稳定性系数较低地段,采用增加锚喷网支护强度的方法提高边坡岩体稳定性。

(3)按类比经验,分层开挖以台阶法开挖利于边坡稳定,故采用低台阶(台阶高度为 2.5 m)水平分层开挖法,即从上向下分台阶开挖,台阶边坡光面爆破,严格控制爆破对边坡的破坏与震动。

6.2 最优坡角的确定

设计确定最优坡角从两方面进行,一是从稳定性方面分析,即分别按剩余推力法和 Sarma 法计算各边坡剖面的各种开挖坡角的稳定性系数,在满足有关规范要求(安全系数 ≥ 1.25)的条件下的最大坡角作为稳定最优坡角 $\alpha_{优1}$ 。二是从经济方面分析,对边坡开挖而言,坡角越缓,边坡稳定性系数越大,支护量越少,但开挖量却越大;反之,坡角越陡,支护量越多,但开挖量越小,这里确定最经济坡角的关系如图 2。该最经济坡角可看成从经济角度考虑的最优坡角 $\alpha_{优2}$ 。

当 $\alpha_{优2} > \alpha_{优1}$ 时,取最优坡角 $\alpha_{优} = \alpha_{优2}$;当 $\alpha_{优2} < \alpha_{优1}$ 时,取 $\alpha_{优} = \alpha_{优1}$ 。

本设计确定经济最优坡角值,采用国家相应定额预算分析确定的。根据分析结果,在满足稳定性安全系数前提下,K32 段边坡的最优开挖坡角为 55° ,K34 段边坡的最优开挖坡角为 60° 。

6.3 确定锚喷支护参数

本设计采用素喷砼锚喷和锚喷网 3 种支护类型,3 种支护类型的使用视边坡稳定性系数、边坡高度和坡角等因素确定。

设计要求边坡加固必须紧随开挖,要求每挖完一层台阶,迅速加固其产生的边坡,防止边坡产生过大的位移变形。

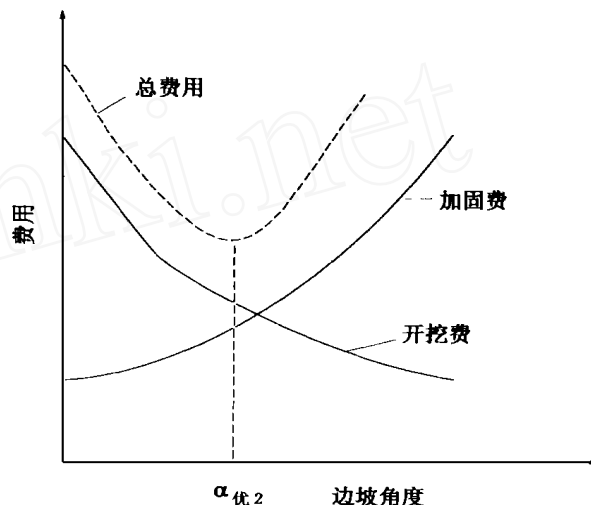


图2 坡角与开挖加固费用关系图

6.3.1 锚杆参数

- (1)锚杆深度为 3 m,局部 6 m;
- (2)锚杆间距 2 m;
- (3)最大锚固力 3.12 t;
- (4)锚杆孔径与直径分别为 $\Phi 40$ mm 和 $\Phi 20$ mm。

在设计锚杆参数时,①在确定锚杆深度和间距时,除按常规的类比法计算外,重点考虑了贯通结构面的间距和密度,目的是设计的参数更切合实际。②在计算最大锚固力时,考虑了爆破破坏对结构面产生的松动,及加固不及时,受雨淋使结构面裂隙内充水等几种因素,结构面粘结力 c 忽略不计。设计参数在 K32 段实施后,没有因锚杆参数的不当造成加固后的边坡滑移。

6.3.2 喷砼与钢筋网参数

- (1)喷砼厚度根据《公路路基设计规范》要求定为 10 cm,在稳定性系统较低的边坡定为 15 cm;
- (2)喷砼强度按要求定为 C20;
- (3)钢筋网格为 20×20 (cm)²。

设计喷砼的目的是防止表面岩体进一步风化及阻止局部小块岩石下滑,同时与锚杆共同作用,对边坡起表里共同加固作用,所以喷砼参数按类比法确定。

7 结论

(1) 设计步骤、方法正确,设计参数合理,完全达到经济、快速、最优化的要求,这说明加固施工图设计与勘察紧密结合,有助于设计选取合理参数。

(2) 在岩质边坡设计中,对边坡稳定而言,岩体结构面参数与特性比岩石物理力学特性更为重要,这是本次设计成功的关键。

(3) 对岩体结构面的 Monte - Carlor 模拟和对边坡使用计算机软件 (Sarma 法和剩余推理法) 进行稳定分析是一种快速而切合实际的方法。

(4) 岩质边坡加固设计的参数选取既要考虑岩体结构面特征和岩石物理力学参数,又要重视开挖方法与开挖参数,并在设计中确定重要的开挖参数,这样才能使设计参数更为合理。

[参考文献]

[1] E. Hoek,等. 岩石边坡工程[M]. 北京:冶金出版社,1983.

DISCUSSIONS ON DESIGN METHODS OF REINFORCEMENTS IN HIGH SLOPE OF JINGZHU HIGHWAY IN DAWU SECTION

CHEN Jian - ping, TANG Hui - ming, LIU You - rong,
HU Xin - li, WANG Liang - qing, ZHANG Zhi - bo

Abstract :A new designing method is proposed to replace the traditional designing method, by which stability analysis of rockmass are analyzed and the reinforcements designed by a means of modern computing method on the basis of the rockmass structure and the rock physical mechanics. The paper presents the detailed procedure and the advantages of the method, combining reinforcements design of the high rocky slope of Jingzhu highway in Dawu section. It is a successful design according to the results of construction.

Key words :rockmass, slop reinforce, high slop, design, stability analysis



第一作者简介:

陈建平(1958年-),男。中国地质大学(武汉)工程学院土木工程系教员、副教授,毕业于中国地质大学探矿工程系。从事地下建筑工程设计与施工研究,曾获原地矿部科技进步二等奖。

通讯地址:武汉市 中国地质大学工程学院 邮政编码:430074

中国工程勘察协会中南、西北地区理事会在广西北海市召开

中国工程勘察协会中南、西北地区理事会于1999年11月16日至19日在广西北海市召开,参加会议的理事和代表共86人。会上,黄于定院长致开幕词:林宗元秘书长作了工作报告;吴奕良理事长就工程勘察单位的改革问题、建立岩土工程体制和延伸问题、关于注册岩土工程师和注册制度等问题作了精辟的分析和深入浅出的阐述;侯石涛副理事长在会上作了题为“近年来工程勘察与岩土工程动向”的专题报告;赵道忠副秘书长对当前贯标工作作了介绍;张春旭同志就勘察设计条例和工程勘察分级标准的起草情况作了说明;上海张富根院长和深圳张健康副院长分别结合本院二级单位改革介绍了经验;张绅纶副秘书长就当前工程单位改革作了“加大结构调整力度,适应市场经济需要”的发言。

与会代表认为,协会自换届以来做了大量工作,在创优评优、新技术开发、推行注册工程师制度、贯

标工作、行业立法、体制改革、传递信息以及建立服务网络等方面都取得了卓有成效的业绩。讨论中,代表建议:

- 1) 把片会分的再小一些,时间再短一些(一年一次或半年一次);
- 2) 关于注册岩土工程师工作希望加快进行,同时通过一定渠道及时通报情况;
- 3) 体制改革经验交流的面要扩大,交流的频率要提高,从而推动中小单位的改革;
- 4) 收费标准问题请协会再作努力取得国家的支持;
- 5) 通过换证进一步严格审批,规范市场,使协会能起到应有的作用。

大会得到冶金部武汉勘察研究院、中南勘察设计院、中国有色工业长沙勘察院以及广西各理事单位的支持和赞助。