

# 边坡有侧限支护方法研究及应用

张华员<sup>1</sup>, 吴 歌<sup>2</sup>

(1.广西地矿建设集团有限公司, 广西南宁 530023; 2.河南省诚城岩土工程有限公司, 河南 郑州 450002)

**摘要:**通过对边坡现有支护方法总结及锚索施加的预应力所产生的附加应力影响因素的系统分析,结合岩体边坡地质构造特征及附加应力分布性质研究,在确保边坡自然生态和谐环境不改变的前提下,提出了边坡有侧限支护方法,经过实施及运营等工作结果验证了该种方法的合理性,有效地防治了滑坡的产生。

**关键词:**有侧限;预应力锚杆;岩体变形;附加应力;边坡支护

**中图分类号:**P642.2;TU853.34 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)02-0073-04

**Research on Slope Lateral Confinement Method and the Application/ZHANG Hua-yuan<sup>1</sup>, WU Ge<sup>2</sup>**(1.Guangxi Geology Construction Group Co., Ltd., Nanning Guangxi 530023, China; 2.Henan Sincere Geotechnical Engineering Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450002, China)

**Abstract:** Through the summary of existing slope support methods and the analysis on additional stress influence factors of pre-stress produced by anchor cable, and combined with the geological structure characteristics of the rock mass slope and the research on additional stress distribution, under the condition of ensuring the slope ecological harmony and not changing the natural environment, slope lateral confinement method is put forward, by which, landslide is effectively prevented and controlled in the application.

**Key words:** lateral confinement; pre-stress anchor; rock mass deformation; additional stress; slope support

## 0 引言

根据目前山体边坡支护几何形式,将其支护的形式分为两种类型,大多数情况下按照面状(混凝土喷锚、挡土墙等)、线状(锚索加混凝土梁等)等几何方式布置。两种支护结构的布置方式均能对其中的边坡破碎岩体起到完全地侧限作用,但是支护结构的面积在边坡面上占有相当大的比例,支护结构掩盖部分或全部的边坡坡面,尽管多数情况下在支护结构之间采取人工植草等措施,但是支护结构存在如下问题:(1)严重影响边坡坡面植物生态的和谐性;(2)掩盖了地质结构观赏性和教育意义;(3)支护结构产生的附加应力的扩散特性没有充分利用,导致应力叠加面积较大和支护结构平面面积增加。为了减少支护结构在坡面所占的面积比例,削弱支护结构对边坡生态和谐性的影响,充分利用锚索预应力在边坡下产生附加应力的影响以及岩体对附加应力的扩散特点,并对附加应力影响因素系统分析,结合岩体边坡地质构造特征及附加应力分布性质研究,为有效地防治了滑坡以及快速恢复原生态植被,提出了边坡支护的新方法和支护结构——点状有侧

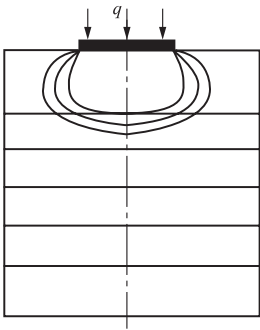
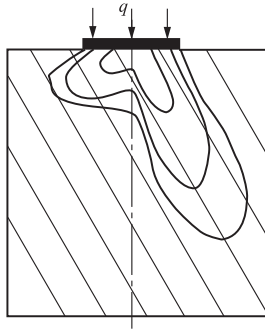
限支护结构,并对其实施、运营、测试跟踪验证,显示其具合理性、有效性、节约性、环保性等。

## 1 边坡支护的附加应力分析

与土质边坡不同点在于岩质边坡内部存在各种结构面,其将岩石切割为不同尺寸的块状且其具有一定几何形状:柱状、层状、圆形等。块状岩石具有几何尺寸远大于土颗粒直径且不均匀和各向异性、应力传递效率大于土体颗粒的传递效率、应力传递方向与切割的结构面发育方向相同等特征。根据岩体力学中研究成果可知当其受到外部荷载的作用时,在上述规律性的影响下,导致岩体内部附加应力等值线的分布与岩石中的差别较大。岩石中附加应力分布符合均匀和对称的分布规律(见图 1),但是岩体中的附加应力分布状态受两个因素影响,第一是外部荷载  $q$  作用的方向与岩体内结构面夹角  $\beta$  的大小,第二是结构面抗剪强度大小,且非对称分布,一般规律是附加应力沿着结构面传递,即沿着结构面向岩体内部延伸(见图 2)<sup>[1]</sup>。

收稿日期:2017-06-29; 修回日期:2017-10-25

作者简介:张华员,男,汉族,1963年生,高级工程师,水文地质专业,长期从事水文地质、岩土工程勘察和边坡治理工作,广西南宁市青秀区湖北路 21 号, zhyht668@126.com。

图1  $\beta=90^\circ$ 应力分布图2  $\beta=60^\circ$ 应力分布

岩体中附加应力传递实际与结构面几何和力学属性相关,例如其发育宽度、内部充填物、延伸长度、结构面之间的夹角、裂隙度等诸多因素对其均有影响,总结以后得出以下与本文研究相关联的附加应力传递影响因素。

(1)附加应力延伸深度与结构面抗剪强度相关,抗剪强度越高,深度越浅;抗剪强度越低,深度越深。

(2) $\beta$ 越大,应力沿着首层层面扩散,若岩体强度较高,扩散角变大,传递到深部的应力值越小。

(3) $\beta$ 越小,部分应力直接沿着层面传递,若岩体中结构面强度较低,扩散角变小,传递到深部的应力值越大。

(4) $\beta$ 为 $0\sim 90^\circ$ 时,应力分布等值线呈现分叉现象,即直接沿着倾斜层面发育方向传递应力,在平面上呈现两个较大的应力方向。

(5)应力分布等值线与荷载作用方向的夹角明显高,表明即使在破碎的岩体中,向岩体内部传递应力的深度有限。

(6)岩块的几何参数和排列方式控制着荷载传递方向与扩散角的大小。

(7)扩散角越大,对风化层以下岩体的约束现象越明显,反之则异。根据“河南省济源市泥卵石和变质岩地质构造风貌保护与滑坡灾害防治”的静载荷试验数据,中等风化岩体的附加应力扩散角 $\geq 45^\circ$ 。

## 2 现行支护结构与边坡体的分析

岩质边坡的变形到滑动存在3个阶段:初始变形阶段、稳定变形阶段、加速变形阶段。每个阶段对应诱因诸多,即使相同的地质构造类型,其变形也受到后期各种地质应力的影响。就边坡的滑动而言是岩体侧向变形的结果,是岩体边缘附近主应力发生偏转的规律,也是侧向限制减弱的行为特征。

支护结构施加到岩体边坡,实质上是对坡面添加侧向变形控制结构,通过结构的自重或自重和锚固力等增加侧向应力到坡面。在通常设计中,只是将这种力或力的组合作为抵抗下滑力一种考虑,经过研究发现有如下的几个问题。

### 2.1 面状支护结构附加应力特征忽略

(1)面状支护结构设计没有考虑支护结构自重产生的附加应力及其分布状态,不把自重产生坡面以下附加影响作为设计的参数。例如:扶壁式挡墙,整个坡面100%为墙体覆盖,墙体重力引起坡面内部附加应力的作用没有作为设计依据和考虑的因素。

(2)产生滑动的坡面下往往是强风化层,表面分布多为坡积碎石,附加应力扩散角的作用及影响范围同样没有在支护结构中考虑。例如:坡积碎石的变质岩体中,经过实测坡面下的应力扩散角为 $36^\circ$ ,坡面单边宽度为 $b$ 时,其应力一定深度 $z$ 内,应力扩散宽度的增量为 $\Delta d$ <sup>[2]</sup>:

$$\Delta d = z \tan 36^\circ = 0.73z \quad (1)$$

按照附加应力分布范围特征计算,扩散角越大,支护结构对边坡变形控制效果越强。

### 2.2 面状支护结构交换中断性

(1)对于面状支护结构而言,100%阻断了边坡体的开放性,隔断了物质、能量、信息等交换,对边坡内部发育信息无法有效探测。例如:块石挡墙墙面上除了排水孔外,没有植物生存的风化层或强风化层出露的面积,植物失去了生存基础;100%阻碍了生物和植物生存,甚至完全改变了边坡自然属性,成为纯粹人工结构。

(2)面状支护结构改变了坡面的地质构造景观观赏性。例如在沉积岩构造发育地区,褶皱作为地质构造,其本身就具备观赏性和地壳应力变化表征,尤其公路坡面延伸距离长,涉及众多地质构造,可以形成地质遗迹画廊。然而受到支护理论和计算方法的影响,往往忽略此类的自然和谐性。

(3)附加应力在坡面下相互叠加,虽然有利于坡体的稳定性,增加了坡体的稳定安全系数,但实际上应力叠加面积过大,根据坡面测试结果:叠加面积 $> 56\%$ ,导致支护造价增加。

### 2.3 线状支护结构交换中断性

(1)线状支护结构一般由格构和锚索组成,在设计过程中往往按照单位面积上滑动力计算支护构件

的内力,没有考虑支护构件作用在边坡面下产生的附加应力及其分布状态。例如:混凝土格构加锚索,锚索产生的抗拔力与格构重力同时作用在坡面上,此引起坡面内部附加应力的作用没有作为设计依据和考虑的因素。

(2)产生滑动的坡面下往往是中风化岩层,甚至是轻微风化的岩体,附加应力的扩散角的作用及影响范围同样没有在支护结构中考虑。例如中等风化的灰岩岩体中,经过实测坡面下的应力扩散角为 $45^\circ$ ,坡面单边宽度为 $b$ 时,其应力一定深度 $z$ 内,应力扩散宽度的增量为 $\Delta d$ <sup>[2]</sup>:

$$\Delta d = z \tan 45^\circ = z \quad (2)$$

由式(1)和式(2)分析可知:按照附加应力分布范围特征计算,扩散角越大,支护结构对边坡面以下一定深度变形控制范围越宽,与深度 $z$ 成线性递增关系,且不同岩体的扩散情况变化相对较大。

### 3 有侧限支护结构简介

根据有侧限地基基础研究成果,本文将控制垂直于主应力方向变形的结构称为有侧限支护结构。为了研究的方便,将有侧限支护结构的一种也简称点状支护结构,除了与面状或线状区分外,另外的目的如下。

(1)对岩土体侧向变形进行控制,使之保持承担主应力的有效性,由于在主应力作用下,材料属性决定了其侧向变形量的大小和稳定期限。

(2)将支护结构产生的预加应力作为坡面下的附加应力,与岩块应力扩散角结合,增加支护结构的间距,同时满足以下内容:

①在坡面支护构件上添加一定数量的预应力,该应力数值等于其锚索的握裹力;

②坡面岩体扩散角、切割度等参数测试,并对坡面划分为不同的参数区域。

(3)减少支护构件的数量和形状以及对边坡表面自然生态环境的影响:

①支护结构的数量:按照施加预应力值的大小进行坡面附加应力扩散范围的计算,并且量值控制在附加应力影响面积叠加 20% 以内。

②支护结构的形状:在坡面按照点状布置锚索,并将锚索及相应的结构视为点状支护结构(见图 3),点状支护结构由有侧限构件、紧丝帽垫块、紧丝帽、花管等组成。有侧限构件作为锚固端,其为内倾

角预制混凝土构件,内倾角等于岩土体附加应力扩散角。根据有侧限地基的研究成果<sup>[3]</sup>,预加应力等于附加应力,通过有侧限内倾角二次扩散并与岩体扩散角叠加形成坡面下的应力拱层,其控制着岩体的侧向变形。

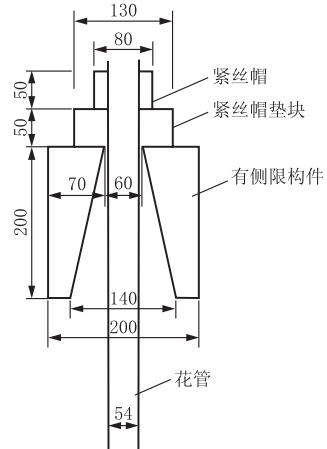


图 3 有侧限构件剖面示意

③勘察与设计:对岩体坡面进行详勘,查明裂隙集中发育地带,制作坡面裂隙分布图;选择典型区域进行静载试验确定边坡附加应力扩散角,在满足统计标准的前提下,确定坡面区域岩体切割度和扩散角等参数。

④点状支护结构施工方法:预应力锚索按照常规施工,锚索的端部采用预制方法制作锚头;锚索施工完毕满足龄期规定后,安装锚头。通过紧丝添加预应力,达到设计值终止。

⑤环境保护:采用上述勘察、设计、施工等新理念后,坡面上人工破坏面积积极小,大多数植被和植被层受到保护,因为只是对局部施工,影响范围较小,一年的周期内锚索周边就可以被植物覆盖,形成自然调节的生态环境,且免去人工植草的费用。

## 4 有侧限支护的实例

### 4.1 工程概况

河南省济源市山区公路为景观集中通道,且沿途自然及地质环境特征独特。由于太行山整个上升,岩层呈现不同倾斜状态,加上沿途公路走向与地质构造走向的不同角度切割,使得地质构造遗迹清晰且多样性而且类型丰富,充分展示了地质构造运动宏伟性和科学意义,具有较高的地质构造路途观赏价值和科研价值,采用点状有侧限结构的支护方

法对公路边坡支护,节约边坡治理的投入,又可将边坡安全等级提高。达到技术创新,环境自然、公路与边坡和谐的效应。

场地岩体为变质岩,颜色缤纷,褐红色、瓷白色、灰黄色等呈层状显现,地层厚度不等。对此场地进行两项试验和踏勘工作得出场地坡面附加应力扩散角 $42^{\circ}\sim 47.5^{\circ}$ ,坡面覆盖层厚度为 $0.5\sim 1.6\text{ m}$ ,裂隙受到3个主要构造运动的挤压呈米字型分布,切割度为0.56的占整个场地面积69%,切割度为0.4的占整个场地31%。

#### 4.2 有侧限结构支护设计

按照扩散角 $42^{\circ}\sim 47.5^{\circ}$ ,附加应力影响深度 $z=1.6\text{ m}$ ,按照式(1)计算, $\Delta d=1.44\sim 1.74\text{ m}$ 。

有侧限构件的几何尺寸作为安全储备,单根锚索的影响半径 $r=1.4\sim 1.6\text{ m}$ ,分别对场地划分不同岩体切割度区域,针对性布置锚索孔,按照一般工况施工后,安装有侧限构件。

为了实现短时间施工完毕,达到控制边坡岩土体变形的目标,有侧限构件为现场C30素混凝土预制件(见图3),花管为工厂加工件,花管紧丝采用标准件,根据场地情况选择如下类型和加工工艺。

有侧限结构的坡面布置见图4,图中的公丝接头、紧丝帽、紧丝帽垫块在坡面上以外,其余均覆盖于坡体内部,构件坡面间距 $2.2\sim 3.0\text{ m}$ ,点状布置,点与点之间没有任何结构连接。

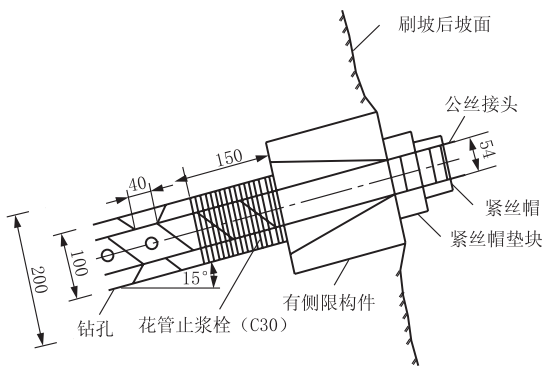


图4 有侧限结构坡面剖面示意图

在整个坡面上有侧限构件的表面积为1.2%,与传统的支护方式相比较表积极小。

利用公丝接头施加预应力达到每根锚索预加应力值为460 kN。

根据岩体出露处的切割度和扩散角布置支护结构,其位置处采用简单清理覆土到中风化层面即可。

#### 4.3 试验测试及绿化结果

对场地内有侧限构件选择6组进行验收试验,分为3组,对有侧限结构的影响半径进行测试,深度1.5 m部位的测试结果显示:影响半径 $\geq 1.6\sim 1.9\text{ m}$ ,局部达到2.1 m,说明附加应力影响在实际工程中大于设计值,满足实际工程要求。工程效果见图5。

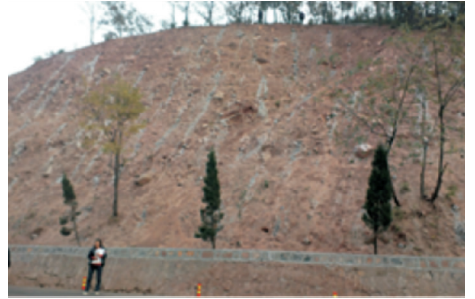


图5 有侧限结构坡面加固后照片

局部稳定性方面:在影响半径范围内由于附加应力及岩块之间的嵌固作用等,起到了防止边坡表面松动岩体的滑动效应和表层岩体的应力松弛效应。

整体稳定性方面:边坡经过3个雨季监测显示,其侧向变形量最大值 $\leq 6\text{ mm}$ ,坡肩没有新的张裂缝产生,原有裂隙没有持续增加宽度,公路路侧向挤压现象消失。

绿化方面:植被按照自然恢复方法,无人为种植,在第一年当地的草本植物已经开始全面生长,绿化率达到92%,坡面没有受到支护治理的影响,在6—9月份的雨季时坡面不再继续发生泥石流和泥石流;第二年属地部分灌木苗在坡面可见到局部分布,由于坡面强风化层在施工过程保持一定厚度,故灌木苗有足够的生存条件;第三年坡面已经存在大量属地灌木,生态系统良好。

#### 4.4 坡底沟渠内雨季地表水测量

(1)坡面内沟渠汇集的雨水含泥量 $< 0.05\%$ 。

(2)经过施工和竣工后3年的变形观测,边坡的最终水平变形量为 $4\sim 6\text{ mm}$ 。

## 5 结论

(1)结合岩体切割度、岩体内发育的裂隙分布特征、块体内附加应力分布特征,形成点状有侧限支护方法在工程实例中证明是合理的、适宜的;

(2)边坡支护方法众多,本文本着最小限度的

(下转第92页)