桂梧高速公路高边坡加固中的框架锚索技术

骆凤涛[1,2], 王家鼎[1], 勾新平[2], 邵丽霞[3]
(1. 西北大学 地质学系 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069;
2. 中交通力公路勘察设计工程有限公司, 陕西 西安 710075; 3. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘　要: 针对公路工程高边坡治理技术中的锚索框架加固方法, 通过相应设计和施工工艺在实践中的运用, 达到经济上合理, 技术上可行的验证。从工程实践中说明了锚索框架加固高边坡技术的有效性, 为高边坡的防护治理设计及施工提供了可靠的技术经验。

关键词: 高边坡; 锚索框架
文献标识码: B　　文章编号: 1000－288X(2007)03－0059－04　　中图分类号: U417.1+2

Technology of Frame Anchor Strength for High Side Slope in Guiwu Highway

LUO Feng-tao[1,2], WANG Jia-ding[1], Gou Xin-ping[2], SHAO Li-xia[3]
(1. *Department of Geology, Northwest University and State Key Laboratory of the Continental Dynamics, Xi' an, Shaanxi* 710069, *China*; 2. *Tong-Li Highway Survey and Design Engineering Co Ltd, China Transportation, Xi' an, Shaanxi* 710075, *China*; 3. *College of Highway, Chang' an University, Xi' an, Shaanxi* 710064, *China*)

Abstract: The research aimed at the anchor cable framework method for strengthening high side slope. Successful use of the design and construction techniques in practice has proved the method to be rational in economy and feasible in technology. In addition, the authors illustrate the validity of anchor cable framework in strengthening high side slope, and provide the credible experience for protection design and construction of high side slope.

Keywords: **high slide slope; anchor cable framework**

1　工程概况

广西桂林至梧州高速公路钟山至马江段在施工过程中, 昭平县樟木乡潮江村南 7 km 处, 即该公路路线 K198＋084—K198＋282 段右侧山坡发生滑动。路段位于低山丘陵地貌, 地处山间河岸斜坡, 坡脚为砂子河。斜坡海拔高度 185.00～255.00 m, 向东或东南倾斜, 原始地形坡度一般 25°～55°。植被发育, 覆盖良好。经人工开挖堆填改造后, 斜坡植被被覆盖、地形坡度发生变化。该边坡为高陡边坡。砂子河由北向南流淌, 河岸呈弧形弯曲, 由于受强烈构造作用及河流的强烈切割而成"V"字形河谷。边坡外貌形态呈高大陡倾斜坡。

2　桂梧高速公路高边坡工程地质特征

2.1　地层

山体地层类型简单, 主要为下泥盆统莲花山组(D_{11}), 地表浅层为第四系, 残坡积层(Q^{el+dl})。

(1) 残坡积层(Q^{el+dl})。由亚黏土及碎石组成, 棕黄色, 呈干燥状态, 其表层含大量的植物根系及腐殖质, 混有粉砂岩碎石, 含量约 30%～40%, 粒径约 5～20 cm。据探槽揭露, 该层厚度约 0.4～1.00 m。

(2) 泥盆系下统莲花山组(D_{11})。泥岩和粉砂岩, 灰绿色和紫红色, 中细粒结构, 中—厚层状, 单层厚度 0.3～1.0 m, 泥岩呈夹层状, 厚度为 2～10 cm, 层理明显。岩层呈单斜构造, 顺坡倾斜, 岩层产状在坡脚处测得为 110°～115°∠29°～40°; 全风化, 强风化层较薄, 以中等风化为主, 其中粉砂岩坚硬, 裂隙发育, 间距范围在 1～3 m, 局部裂隙密集, 形成裂隙密集带。泥岩为极软岩石, 遇水容易软化, 为岩体组合中的不利组合[1]。

2.2　地质构造

该段在大地构造单元上, 位于华南板块南华准地台, 桂中—桂东台陷之大瑶山隆起的东南部, 区域上褶皱、断层发育, 滑坡地段则位于黄姚短轴向斜西翼, 岩层整体呈北东向倾斜的单斜构造, 岩层产状为 68°～115°∠38°～44°。K198＋084—K198＋282 段右侧山体, 南北两侧各有一条冲沟, 呈"V"字形, 边坡开挖揭露一条小断层, 断层带物质由断层泥砾、构造挤压片岩等组成。根据断层带下盘的拖曳构造判断, 该断

收稿日期: 2006-05-29　　修稿日期: 2006-08-03
资助项目: 国家自然科学基金资助项目(40572157); 高等学校博士学科专项科研基金(20050697013)
作者简介: 骆凤涛(1972—), 女(汉族), 云南省个旧市人, 博士生, 高级工程师, 主要从事公路工程、地质工程研究。E-mail: lft1231@126.com。

层属于正断层，断层产状为：330°∠85°，在断层两侧岩层出现层位错动，走向基本一致，倾角不一样。由于受构造的影响，形成一组基本倾向西南的横向张性节理裂隙，其产状为 90°∠80°。另外，滑坡体的岩层主要发育两组节理。一组为 6°～24°∠80°～85°，裂面平直，局部微弯，张开状，泥质充填或半充填，间距 0.3～2.6 m，可见长度 1～2 m，延伸性较好。另一组为 114°～120°∠82°～87°，裂面平直，半张开状，泥质充填或半充填，间距 0.3～2.6 m，可见长度 1.0 m 左右，延伸性较好。由于山体的南北两冲沟较发育，切割较深，也说明该断裂十分发育。

2.3 边坡变形情况

K198＋084—K198＋282 段，施工过程中左侧山坡上发生滑塌，2005 年 6—8 月普降大雨和暴雨，地表水大量渗入裂隙及滑面，增加土体的自重，并将导致滑面软化，岩土抗剪强度降低，失去平衡产生下滑。随着公路路堑开挖，坡脚岩石被挖除，边坡坡脚失去抗力，边坡的受力平衡被破坏；导致前缘的节理裂隙张开，岩体形成倾覆，解体。同进，路基开挖中采用爆破施工，山坡岩体被震松，岩层产状 110°～115°∠29°～40°，倾向公路，产生下滑。

边坡滑动带为顺层的软弱夹层与节理的组合贯通形成，滑动带厚 0.2～0.56 m，具有明显的糜棱状结构，含小砾石、碎石和黏土。因土体含水量较高，透水性弱，土体较软，抗剪强度低，在山体的重力作用下，则沿滑动带下滑，并沿岩层裂隙密集带剪出。

3 高边坡加固工程措施

为阻止边坡山体下滑，K198＋084—K198＋282 段左侧一、二级边坡高 10 m，坡比 1∶1.25，采用锚索框架加固，锚索长 15～23 m。锚固段长 8.0 m。

对预应力锚索框架，框架采用 C25 钢筋混凝土浇筑，竖肋间距 3.0 m，横梁间距 3.5 m。竖肋与横梁的横截面均为 0.5 m×0.5 m，框架格内采用 M7.5 浆砌片石护面，其表面与框架平齐(图 1—2)[2—4]。

锚索用 1∶1 水泥砂浆锚固，水灰比 0.45，注浆压力不小于 0.3 kPa，砂浆体强度应≥25 MPa。

3.1 预应力锚索框架设计

3.1.1 每根锚索承受拉力

(1) 取综合 $\Phi = 21°00'$，锚索纵向每级 5 根，两级共计 10 根。

$$P_a = \frac{E}{\sin(\alpha+\beta)\mathrm{tg}\varphi + \cos(\alpha+\beta)} \approx 600\ \mathrm{kN}$$

(2) 地层与锚固体粘结长度。

$K = 2.0$ 取系数 $\xi = 1.0$，$f_{\gamma b} = 320$ kPa

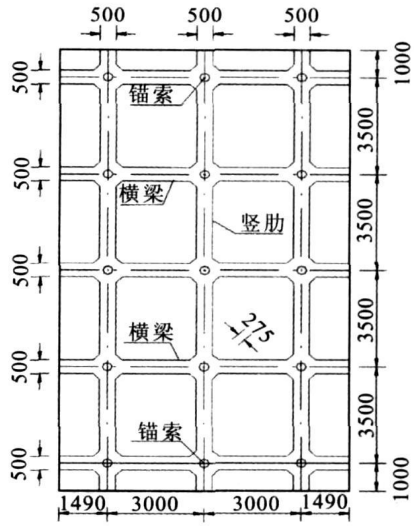

图 1 预应力锚索框架正面图

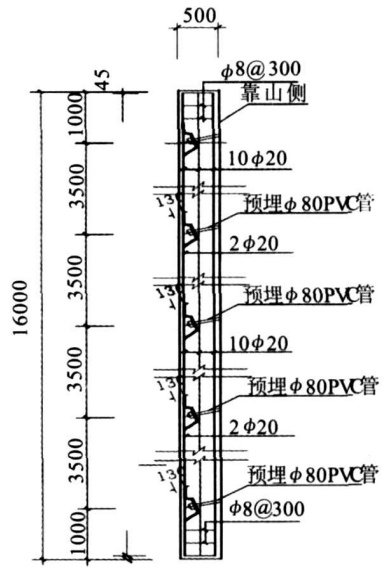

图 2 竖肋结构图

注：@表示竖肋间距。

$$L_\gamma = \frac{KP_a}{\xi\pi d f_{\gamma b}} = 7.96 \approx 8.0\ \mathrm{m}$$

(3) 锚索体截面。

$$A = \frac{KP_a}{F_{ptk}} = 816\ \mathrm{mm}^2 < 881.13\ \mathrm{mm}^2$$

(4) 注浆体与锚索间粘结长度。

系数 $\xi = 0.6$，$K = 2.0$

$$L_g = \frac{KP_a}{\xi n\pi d_g f_b} = 4.41\ \mathrm{m}$$

(5) 纵梁底承受的垂直荷载。

$$q = 600 \times \cos 26°20'/16 \approx 168.0\ \mathrm{kN}$$

3.1.2 框架断面尺寸及配筋计算

(1) 梁受力计算。梁承受的均布荷载为 168.0 kN，荷载分布如图 3 所示。

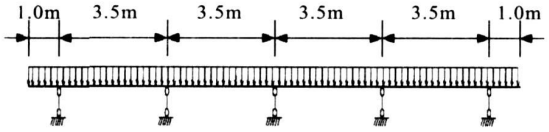

图 3　框架梁荷载分布图

(2) 梁钢筋配置计算。纵梁采用 C25 钢筋混凝土, 钢筋采用 Ⅱ 级光面钢筋, 断面尺寸采用矩形 $b\times h=50\,\text{cm}\times 50\,\text{cm}$。最大设计弯矩为 $=196.5\,\text{kN}\cdot\text{m}$。

① C25 混凝土的安全系数为 $\gamma_c=1.25$, Ⅱ 级光面钢筋安全系数为 $\gamma_c=1.25$, C25 混凝土抗压设计强度为 $R_a=14.5\,\text{MPa}$, 钢筋抗拉设计强度为 $R_g=14.5\,\text{MPa}$, $\xi_{jg}=0.55$。

② 设 $a=40\,\text{mm}$, 则有效高度

$$h_0=h-a=500-40=460\,\text{mm}$$

③ 受压区高度

$$M_j=\frac{1}{\gamma_c}R_a hx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)$$

即

$$19.65\times 10^7=\frac{1}{1.25}\times 14.5\times 500X\left(460-\frac{X}{2}\right)$$

解此方程得:

$X_1=839.0\,\text{mm}$,

$X_2=80.7\,\text{mm}<\xi_{jg}h_0=253\,\text{mm}$

④ 求所需钢筋数量 A_g

$$A_g=\frac{R_a bx}{R_g}=1\,720.8\,\text{mm}^2$$

⑤ 选择并布置钢筋

采用 8 Φ20 mm^2(1 884 mm^2) 保护层厚 $C=40$ mm, 有效高度 $h_0=500-40-11=449$ mm。

钢筋净间距:

$$S_n=\frac{h-2\times c-4\times d}{3}=57.6(\text{mm})>C=30\,\text{mm}$$

配筋率: $\mu=\frac{A_g}{bh_0}=0.839\%>\mu_{\min}=0.15\%$

单筋正截面最大承载力:

$$M_u=\frac{1}{\gamma_c}R_a bh_0^2\xi_{jg}(1-0.5\xi_{jg})=466.25\,\text{kN}\cdot\text{m}\gg M_j=196.5\,\text{kN}\cdot\text{m}$$

所以单筋截面已可以承受, 为了安全起见在混凝土受压区配置 2 根与受拉区同样尺寸的钢筋, 如图 4 所示[5]。

3.2　预应力锚索框架施工工艺

3.2.1　*施工流程*　锚索框架施工分片进行, 每片框架施工工序为: 整理坡面—测放孔位—钻孔—锚索制安—注浆—挖槽—支模—绑扎钢筋—浇注框架梁、肋—养护—张拉锁定—框架内砌筑浆砌片石[6-7]。

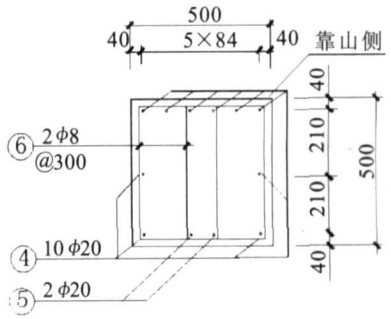

图 4　框架横梁横断面图

注: @表示横梁间距。

3.2.2　*施工注意事项*

(1) 锚索设计荷载 600 kN, 锁定荷载 480 kN。锚索施工前, 按要求进行了锚索拉拔试验[8]。

(2) 锚索孔测放力求准确, 偏差不得超过 ±5 cm, 钻孔倾角允许误差为 ±20; 考虑沉碴的影响, 为了确保锚索深度, 实际钻孔深度应该大于设计锚索长度0.4 m。

(3) 锚索成孔禁止给水钻进, 以确保锚索施工不致于软化边坡岩体。钻进过程中应对每孔地层变化(岩芯情况)、进尺速度(钻速、钻压等)及一些特殊情况作现场记录。

(4) 锚索孔径 150 mm, 成孔后的孔径不得小于该值。钻孔完成之后必须使用高压空气(风压 0.2 ~ 0.4 MPa)清孔, 将孔中岩粉或地下水全部清除出孔外, 以免降低水泥砂浆与孔壁岩土体的粘结强度。

(5) 锚索材料要求顺直、无损伤、无死弯。

(6) 锚段钢铰线必须除锈、除油污, 按设计要求绑扎架线环和箍线环(箍线环采用 Φ8 钢筋焊接成内径为 4.0 cm 的圆环, 钢铰线由其内穿过); 自由段除锈后, 涂抹黄油并立即外套波纹管, 两头用铁丝扎紧, 并用电工胶布缠封, 以防注浆时浆液进入波纹管内。

(7) 锚索下料采用砂轮切割机切割, 避免电焊切割。考虑到锚索张拉工艺要求, 实际锚索长度要比设计长度多留 2.0 m, 即锚索长度 $L=L$ 锚固段 $+L$ 自由段 $+2.0$ m(张拉段)。锚具采用 OVM15—6 型。

(8) 锚索孔内灌注 M25 水泥砂浆, 水灰比 0.45, 灰砂比 1∶1, 砂浆体强度不低于 25 MPa。采用从孔底到孔口返浆式注浆, 注浆压力不低于 0.30 MPa, 并应与锚索拉拔试验结果相一致。当砂浆体强度达到强度 80%后, 方可进行张拉锁定。

(9) 框架梁采用 C25 钢筋混凝土现场浇注, 浇注时预埋 OVM 锚垫板及孔口 PVC 管。

(10) 框架施工时, 以每片框架为一单元, 整体浇灌, 一次完成。两片框架之间设置 2 cm 伸缩缝, 内填浸沥青木板。待框架梁混凝土达到设计强度后方能对锚索进行张拉锁定。框架梁中间的空格用 M7.5 浆砌片石填补并与梁平齐。

(11) 框架竖肋测量放线时, 按竖肋对应的公路里程放线, 并使竖肋垂直于水平面; 横梁放线时, 以每片框架的右竖肋标注为准, 横梁与此同时竖肋垂直。

(12) 锚索张拉作业前必须对张拉设备进行标定。正式张拉前先对锚索进行 1 ~ 2 次试张拉, 荷载等级为 0.1 倍的设计拉力。

(13) 锚索张拉分 5 级进行, 每级荷载分别为设计拉力的 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.1 倍, 除最后一级需要稳定 10 ~ 20 min 外, 其余每级需要稳定 5 min, 并分别记录每一级钢铰线的伸长量。在每一级稳定时间里必须测读锚头位移 3 次。

(14) 当张拉到最后一级荷载且变形稳定后, 卸荷至锁定荷载锁定锚索。锚索锁定后, 切除多余铰线, 采用 C25 混凝土及时封闭锚头坑。

3.2.3 锚索试验

(1) 试验目的。锚索拉拔试验的目的是取定锚索的极限承载力, 验证有关设计参数的合理与否。

(2) 拉拔试验要求。① 拉拔试验数量每处为 3 根锚索, 锚索长分别为 15, 17, 23 m, 锚固段长度分别为 4, 6, 8 m, 注浆压力≥0.30 MPa。② 试验位置根据现场实际情况选定。④ 试验时最大加荷不应超过钢铰线强度标准值的 0.8 倍。⑤ 本试验为破坏性试验, 达到下列情况之一者, 即可终止试验: a. 加荷量已超过设计拉力值的 2 倍; b. 后一级荷载产生的锚头移增量达到或超过前一级荷载产生的位移增量的 2 倍; c. 锚头位移不收敛。

4 方案比较

加固工程方案的选择, 不仅要考虑技术、经济因素, 还要考虑到施工现状、施工环境、对工期的影响以及对周围地质环境的影响。通过对放缓边坡方案、挡土墙方案、锚索框架方案的综合分析, 认为对类似这样的高边坡采取放缓方案将使边坡开挖宽度较大, 对现有植被破坏严重, 占地较多, 并且开挖后同样需要增加坡面防护等; 挡土墙方案混凝土体积较大, 不美观, 同时支护效果不理想, 相比较这 2 种方法不利于加固目的的实现。因此, 通过对技术可行、经济合理、实施效果等方面的对比, 对于此类高边坡宜采用框架锚索进行加固。

在广西桂梧高速公路钟山至马江段高边坡滑塌治理施工过程中, 所采用的锚索框架梁治理方案经过现场监测表明, 治理措施实施后该高边坡达到稳定状态, 确保了其施工和工后运营的安全。通过预测该边坡, 结果认为将长期稳定。

[参 考 文 献]

[1] 徐绍能. 山区高等级公路路堑边坡设计探讨[J]. 云南交通科技, 2000, 16(2): 14—15.

[2] Mettananda D C A, Premarathna B D H, Iyanatha H M S. The use of soil nailing technique in stabilization of slopes [P]. Final Year Project Report at University of Moratuwa, 2001.

[3] Graig R F. 岩土力学(第六版)[M]. Chapman & Hall, 1997.

[4] Firat. S 边坡稳定公式分析和应用于边坡稳定的关键性评估[D]. PH. D. Thesis. Glamorgan 大学 U. K. 1998.

[5] Ayse Edincliler, et al. Determination of static and dynamic behavior of recycled materials for highways[J]. Resources Conservation and Recycliny, 2004, 42: 223—237.

[6] 交通部第二公路勘察设计院. 公路设计手册(路基)[M]. 北京: 人民交通出版社, 1996.

[7] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.

[8] Fernadez Merode J A, et al. Modeling of diffuse failure mechanisms of catastrophic landslides[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2004, 193 (27—29): 2911—2939.