

锚固技术在虎门大桥 东锚区边坡支护中的运用

毕孝全 黄绍全 李伟才 喻良明

【提要】 锚固支护技术以其施工快捷、节省经费、安全可靠的特点已在水电、铁道、桥梁、采矿、基坑等工程中得到了广泛的应用。本文为锚固支护技术在虎门大桥东锚区基坑边坡支护中应用的一个工程实例。

关键词 锚固技术 虎门大桥 边坡支护

一、工程概况

虎门大桥位于广东省东莞市太平镇附近,是广深珠高速公路的一项大型桥梁工程。虎门大桥东锚碇属重力式锚碇,基坑位置位于威远山东侧山凹内,三面环山,采用明挖式施工法,工期为3个月。基坑面积2883.6m²,土石方开挖量为150000m³,边坡支护面积为9058m²。基坑边坡AE段、CB段、BA段高51.6m,ED段、DC段高36.8m(见图1)。ED段边坡顶部开线距虎门要塞威远古炮台遗址(国家级重点历史文物保护单位)围墙不足10.0m。

二、锚碇基坑区工程地质状况

虎门大桥东锚区工程地质勘察报告揭示:东锚区的工程地质状况可分为全风化、强风化、中风化、弱风化四层。

全风化层(含覆盖土): 主要为亚粘土,棕红色,稍湿,硬塑。该层厚度0.0m~5.0m不等,上部0.0m~1.5m有岩块,属残坡积物,覆盖土上草木生长茂密。

强风化层: 泥质粉砂岩,紫色,粉状。层状构造,岩质稍硬,岩芯呈半岩半土状,轻度敲击即破碎,碎块大小不等。风化表面渲染铁锈色。

中风化层: 石英砂岩,灰白色,稍硬,裂隙发育,裂隙与岩层夹角30°左右,岩芯多为短柱状或块状。

微风化层: 泥质粉砂岩,紫色,岩质稍硬。

边坡岩体性能: 东锚区在一层状岩石组成的单面山凹内,山脊海拔标高为76.0m,岩层走向为NE20°~40°,倾向NW50°~70°,倾角50°

~60°,边坡岩体主要为紫红色泥质砂岩和灰白色中细粒石英砂岩,局部地段有软弱粉砂质泥岩夹层。从地质剖面可知,岩层倾向与主要边坡有一定夹角,岩体风化破碎程度不一。

地质构造: 东锚区范围内无大的构造带存在,仅ED段上有一条压性小断层,大致与岩层走向、倾向一致,断层带宽1.15m,此断层与边坡中的泥岩夹层组合易形成对边坡稳定不利的危岩块体。边坡岩体中节理发育,但贯通性较差,产状及组合关系尚不致发生大的滑动,如遇震动,可能会产生小的局部坍塌,泥岩碎块遇水易软化。

边坡稳定工程地质评价: 从地质剖面图显示,基坑周边上沿均有2.0m~3.0m的全风化带,其下为20.0m~50.0m的强风化带,再其下为弱风化带,表明基坑边坡上部及强风化泥质砂岩为重点防护地段。

三、设计方案

根据场地钻探地质资料揭示的情况,设计时我们将基坑划分为AE、ED、DC、CB四个设计段(见图1),BA段按1:1放坡,挂网喷射混凝土支护。

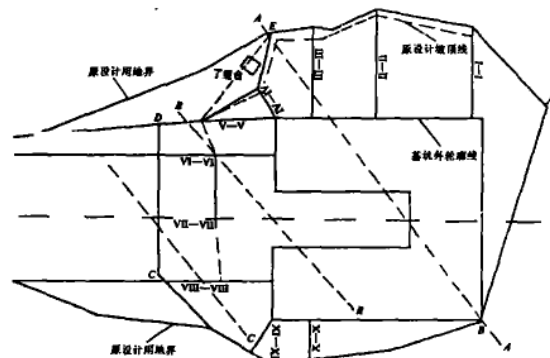


图1 锚碇基坑平面图

毕孝全 黄绍全 李伟才 喻良明

广州军区司令部建筑设计院

AE段设置砂浆锚杆16层(见图2), 锚杆呈梅花形布置, 层间距3.0m, 水平间距3.0m, 锚杆长度为4.5m。标高37.2m以上, 设置7排预应力锚索, 锚索呈梅花形布置, 层间距6.0m, 水平间距6.0m, 锚索长15.0m。

ED段设置8层砂浆锚杆(见图3), 锚杆呈梅花形布置, 层间距3.0m, 水平间距3.0m, 锚杆长度为8.5m。标高54.5m~60.5m之间, 设置2层预应力锚索, 锚索呈梅花形布置, 层间距6.0m, 水平间距6.0m, 锚索长15.0m。标高66.5m以上, 设置4层预应力锚索, 锚索呈梅花形布置, 层间距3.0m, 水平间距3.0m, 锚索长25.0m。

DC段标高56.0m以下设置砂浆锚杆5层(见图4), 锚杆呈梅花形布置, 层间距4.0m, 水平间距4.0m, 锚杆长度为4.5m。

CB段设置砂浆锚杆17层(图5) 锚杆呈梅花形布置, 层间距3.0m, 水平间距3.0m, 锚杆长度为4.5m。CB段内沿地表层下4.0m~6.0m的强风化岩层中布设15根预应力锚索, 锚索层间距9.0m, 水平间距6.0m, 锚索长15.0m。

砂浆锚杆杆体采用 $\Phi 32$ mm II级螺纹钢筋制作, 其长度根据施工需要现场截取, 强度等级代号RL335。锚体为水泥砂浆, 水泥: 砂=1: 1, 水灰比为0.45, 采用全长压力注浆工艺, 注浆压力为0.6MPa~0.8MPa。

锚索采用 $7\Phi 5 \times 7$ 的低松弛度、II级钢绞线, 抗拉强度为 $1860\text{N}/\text{mm}^2$ 每股钢绞线外径为 $\Phi 15.2\text{mm}$ 。锚具采用柳州欧维姆建筑机械有限公司生产的OVM15-7锚具。锚体为水泥砂浆, 水泥: 砂=1: 1, 水灰比为0.45, 采用二次压力注浆工艺, 注浆压力为0.8MPa~1.0MPa。

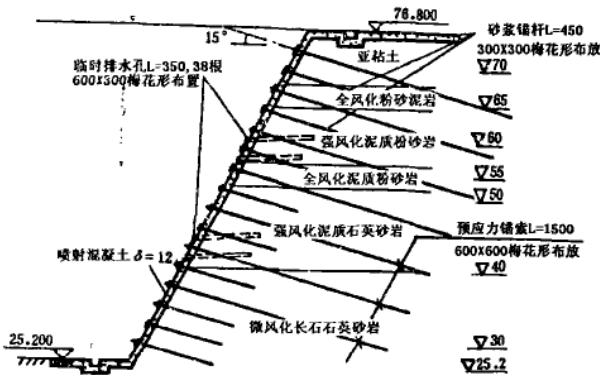


图2 AE段边坡支护设计图

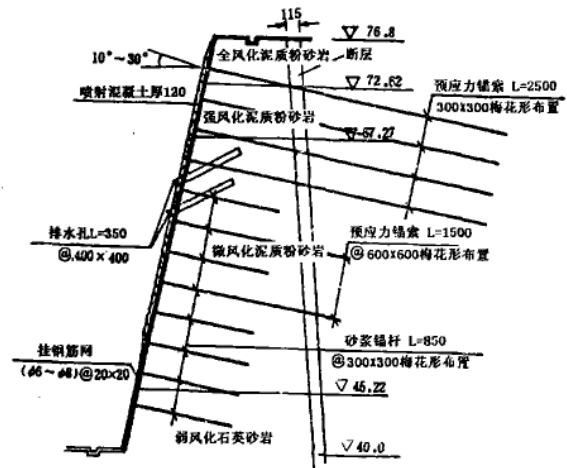


图3 ED段边坡支护设计图

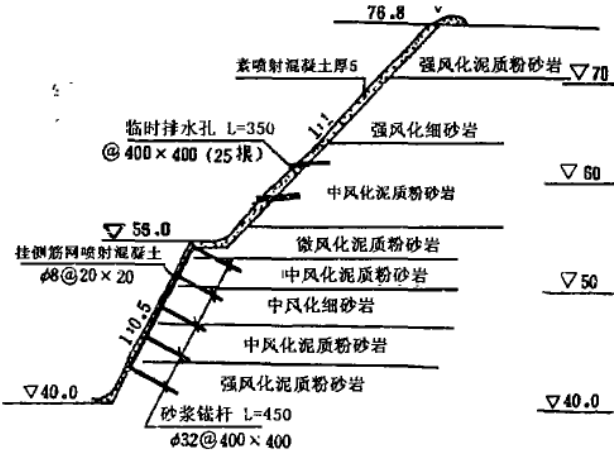


图4 DC段边坡支护设计图

图2、3、4、5注: 标高单位一律为m。

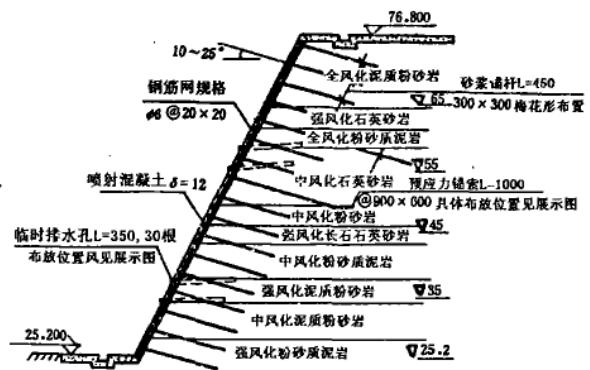


图5 CB段边坡支护设计图

基坑边壁挂网喷射混凝土支护,挂网钢筋直径为6mm,网格为200mm×200mm,层、列两砂浆锚杆间用2Φ16螺纹钢筋加强,喷射混凝土配比为水泥:砂:石=1:2:2.5,外加水泥用量3%的速凝剂,喷射混凝土标号为C20,喷射厚度120mm。

四、边坡稳定分析

1. 计算参数的确定

根据中、微风化岩的单轴抗压强度反算的岩石的粘聚力C值并考虑现场岩层体裂隙结构等综合因素,其计算参数重力密度γ、粘聚力C、内摩擦角Φ、变形模量E₀选取如下:

残积层:

γ=19kN/m³, C=35kPa, Φ=24°, E₀=30MPa;

强风化粉砂岩:

γ=20kN/m³, C=150kPa, Φ=28°, E₀=100MPa;

中风化粉砂岩:

γ=21kN/m³, C=250kPa, Φ=30°, E₀=400MPa;

微风化粉砂岩:

γ=22kN/m³, C=500kPa, Φ=32°, E₀=1000MPa;

强风化石英砂岩:

γ=20kN/m³, C=200kPa, Φ=32°, E₀=300MPa;

中风化石英砂岩:

γ=22kN/m³, C=500kPa, Φ=34°, E₀=2000MPa;

微风化石英砂岩:

γ=23kN/m³, C=1000kPa, Φ=36°, E₀=5000MPa。

2. 断面的选择

根据地质情况,选择最具代表性的II-II剖面(计算简图见图6)和IV-IV剖面(计算简图见图7)进行滑弧稳定分析。

3. 分析计算方法

该基坑为分层开挖,每层开挖深度为3m~4m。因此,分析计算时,亦分层进行。II-II剖面 and IV-IV剖面逐层开挖时的安全系数见表1。

由此可见,II-II剖面全断面开挖后,其安全系数为1.72,IV-IV剖面全断面开挖后,其安全系数为1.42,在整个边坡开挖过程中,最小安全系数为1.35,说明边坡在开挖的自始至终过程中均不会产生整体滑移。

表1 II-II、IV-IV剖面逐层开挖安全系数表

开挖层数	II-II剖面		IV-IV剖面	
	开挖深度(m)	安全系数	开挖深度(m)	安全系数
01	2.80	2.47	3.10	1.77
02	5.60	1.73	6.20	1.40
03	9.60	1.73	10.00	1.35
04	13.61	2.42	14.00	1.75
05	21.00	1.82	18.00	1.62
06	25.00	1.62	21.80	1.65
07	29.00	1.68	25.80	1.62
08	34.80	1.69	29.80	1.62
09	38.00	1.65	33.80	1.39
10	42.80	1.67	37.80	1.39
11	46.80	1.67	49.80	1.42
12	50.90	1.72		

五、支护施工

1. 开挖、修坡。覆盖土、全风化层开挖用挖掘机施作,挖掘机开挖应离预定边坡线0.4m以上;强风化以上岩层用爆破法施工,较大的爆破松动作业范围应控制在距边坡0.5m以内,余下部分采用人工(风镐)修坡,以保证土(石)方开挖过程少扰动边坡壁的原状土(岩层)。一次开挖深度为锚杆(索)的设计层间距加0.50m~0.70m,正面宽度不宜超过20.0m。边坡修整时,在确保边坡幅员尺寸的前提下,尽量保持边坡壁面的粗糙,以提高喷射混凝土时的粘结度。

2. 初喷混凝土。边坡修整后,立即喷射5cm厚的混凝土层,使暴露的土体、岩层及时封闭。

3. 成孔。按设计所确定的孔位、孔径、孔深及倾斜度成孔。孔层间距、水平间距误差应不大于100mm,俯角不大于2°,孔深不得小于设计深孔。成孔机具为CM351型潜孔钻,配套动力为VHP700英格索兰20m³空气压缩机。

4. 清孔。锚杆(索)孔内的粉尘,先用清水在钻孔内充分冲洗,尔后用压缩空气将孔内积水吹干。

5. 安装锚杆(索)。清孔后,应及时将锚杆(索)边同注浆管送入孔中。锚杆(索)间隔3.0m设置一个对中支架,每个对中支架下方设置一块船形铁皮,以方便推送锚杆(索)。止浆袋

岩土锚固

设在离坡壁孔口0.3m~0.5m处。

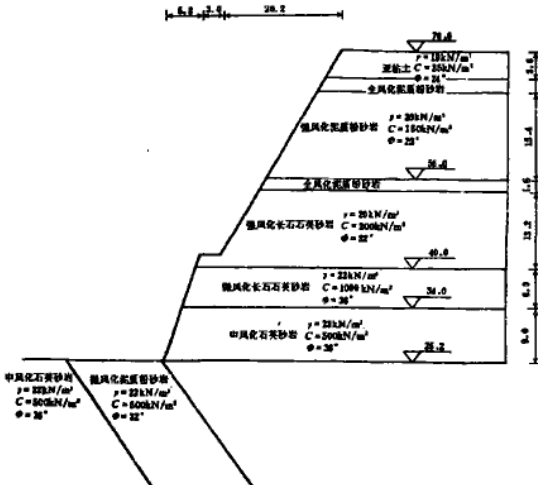


图6 II—II剖面计算简图

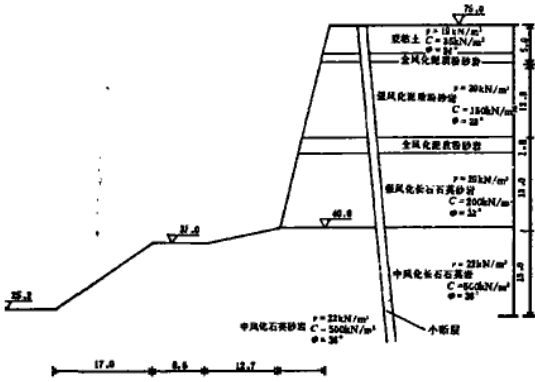


图7 IV—IV剖面计算简图

图6、7注：标高单位一律为m

6. 注浆。注浆时先高速低压从孔底注浆，当水泥砂浆从孔口溢出后，再低速高压从孔口注浆。注浆压力0.6MPa~0.8MPa，为增加浆液的和易性和水泥砂浆的早期强度，在浆液中掺入适量的外加剂。

7. 编钢筋网、焊接锚杆头。钢筋网Φ6@200×200，编钢筋网时，层与层之间的竖筋用对钩连接，竖筋与横筋之间用扎丝固定。锚杆头先与垫板施焊，尔后用2Φ16mm螺纹钢与邻近锚杆相焊接。

8. 喷射混凝土。水泥、砂、石等灰料在进入喷射机料斗前应充分拌合均匀，拌和的灰料要随拌随用。喷枪头至边坡壁距离以1.0m~1.5m为佳，喷射轴线与边坡壁面的夹角应保持在45°~135°之间，喷射气压为0.3MPa~0.7MPa之间。

为确保喷射混凝土厚度，喷射前应在待喷边坡壁面设置厚度标尺。

9. 构筑锚索混凝土垫墩。

10. 预拉、锁定。当锚索体的水泥砂浆及混凝土垫墩的强度达到30MPa以上时，即可进行预张拉。张拉用YCW200型千斤顶分级加载，按设计的预应力不同，初始加载力和分级加载力也不尽相同。加载后用OVM15—7锚具锁定。

六、边坡水平位移、垂直沉降分析与监测

边坡水平位移，用解析法及有限元分别进行计算。边坡的II—II剖面 and IV—IV剖面为控制剖面，用解析法计算II—II剖面边坡的最大水平位移为33mm，位置处于60m高程处；用有限元计算的最大水平位移为32mm，位置处于60m高程处，其计算结果接近。

边坡地表沉降的垂直位移的近似计算式为：

$$S = \sum (\mu / E_i) A_{qi}$$

式中：

S——垂直位移量；

E_i——各岩土层的变形模量；

μ_i——泊松比；

A_{qi}——相应岩土层侧向压力的面积。

用此式算得II—II剖面的垂直位移为11mm。

用同样方法分析IV—IV剖面边坡，算得其最大水平位移为32mm，位置处于60m高程处，垂直位移为11mm。

为确保国家级重点历史文物和基坑边坡的安全，基坑边坡的水平位移与垂直沉降的监测，虎门大桥工程指挥部第二施工处委托广东省水利水电科学研究所实施。按边坡的控制变形要求，在边坡AE段、ED段、CB段各设置了一个测斜孔，孔深分别为40m、35m、27m，孔中安置测斜仪，以监测边坡随着挖深进度的水平位移变化情况。在AE段、ED段设置了13个水平位移和垂直沉降监测点（见图8），用经纬仪监测水平位移，用水准仪监测垂直沉降。每天测量一次，监测结果当天报质检部和监理处。

水平位移每3天测一次，垂直沉降每6天测一次，测量时间为120天，测得最大水平位移值为24.02mm，最大垂直沉降值为12mm，其位置均

在D₁₅处。测得最小水平位移为2.2mm, 最小垂直沉降为1.0mm, 且均发生在D₅处。监测结果表明, 水平位移和垂直沉降值与原分析计算结果基本吻合。

测斜仪测斜时间为80天, 测得最大水平位移为23.5mm, 位置处于2号测斜孔。

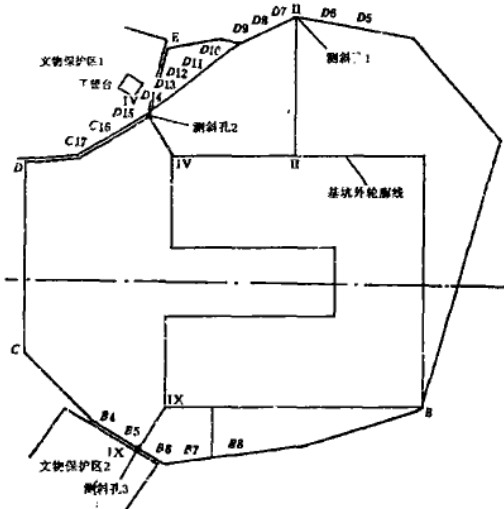


图8 水平位移、垂直沉降监测点布置图

七、施工中的难点与对策

1. 对地质断层的处理

在基坑北侧距开挖线2.0m~6.0m处, 有一条与边坡开挖线大致平行的压缩性地质断层, 断层宽带1.15m, 此断层倾向角与边坡倾向形成小夹角, 但断层与边坡的泥岩夹层组合易形成对边坡稳定不利的危岩块体。根据断层情况, 在设计施工中采用了以下措施:

(1) 在开挖前, 从断层以外的2.0m处至开挖线的地表面, 全部用C10水泥砂浆覆盖, 以防止地表面水从断层处下渗。

(2) 设计海拔标高60.0m~76.8m部分的锚(索)杆受力时, 将断层至边坡的强风化岩土视为荷载作用于锚(索)杆端部, 海拔标高60.0m(预留4.0m通路)以下部分岩土视为独立稳定体。

(3) 在设计锚(索)杆长度时, 将断层至边坡部分长度视为不可锚固区。

(4) 为防止爆破开挖时断层开挖面部分岩体塌落, 采用先预裂、再松动爆破、后用机械开挖的办法, 保持边坡的平整性。

通过以上措施, 虽然边坡高达51.60m, 但未发现断层对边坡安全造成不利影响, 只发现顺着断层方向, 由于爆破施工的振动影响, 使坡顶覆盖的水泥砂浆表面产生了一条微细的水平裂缝, 对边坡的安全不构成危害。

2. 锚索穿透山梁的处理

在AE段标高60.00m以上, 因山梁厚度仅有23m, 因此, 该段有5根锚索出现穿透山梁的情况。为了确保锚索质量, 采取了以下措施:

(1) 清除穿透孔一侧周围直径约1.00m范围内的覆盖层至强风化层。

(2) 按正常锚索长度加0.80m的预留长度制作锚索。

(3) 锚索在穿透孔的后侧将锚索端头打筑在直径1.00m, 厚度0.40m的钢筋混凝土块内, 三天后用锚具将锚索锚固。

(4) 按正常程序完成另一侧锚索的灌注工作后, 回填穿透孔一侧的清挖处, 恢复原植被。

经上述处理后, 这5根锚索, 每根施加1000kN的预应力, 正常使用两年未发现异常。

3. 基坑边坡中间预留通路的特殊加固

该基坑坑底标高25.20m, 坡顶标高76.80m。由于施工的需要, 在标高60.00m处需预留一条宽4.00m可通过60吨的汽车通路。由于受虎门炮台文物保护的限制, 高度51.60m的边坡坡度只有1: 0.15。为保障边坡在动载作用下的安全, 采取了以下措施:

(1) 路面按常规设计打筑0.25m厚混凝土, 在混凝土面上加铺Φ10@20×20的钢筋网从路面顺边坡往下延伸1.50m, 并打筑0.10m的混凝土。

(2) 从路面往下的1.50m和4.50m处, 顺通路每间距3.00m设置一根长25.00m、预应力1000kN的水平锚索, 在两根预应力锚索之间设置一根长9.00m、Φ28mm的砂浆锚杆, 预应力锚索与砂浆锚杆成梅花形布置。

该通道是后续锚碇坑施工材料的主要运输通道, 也是安装鞍构件的唯一通道, 经上述处理, 在后续两年的使用中, 该通道未发现不稳定迹象。