第四章　路基防护与加固

路基防护与加固设施主要有边坡坡面防护、沿河路堤防护、路基的支挡工程等等。

第一节　坡面防护

坡面防护主要是保护路基边坡表面，免受雨水冲刷，减缓温差及湿度变化的影响。防止和延缓软弱岩土表面的风化、碎裂、剥蚀演变进程，从而保护路基边坡的整体稳定性。坡面防护可分为植物防护和工程防护。

一、植物防护

植物防护可美化路容，协调环境，调节边坡土的湿度和温度，起到固结和稳定边坡的作用。对于坡高不大，边坡比较平缓的土质坡面，植物防护是一种简易有效的防护设施，其方法有种草、铺草皮和植树。

1.种草

适用于边坡坡度不陡于1:1，适宜种草的土质，不浸水或短期浸水，地面径流速度不超过0.6m/s的边坡。草的品种应适应当地自然条件，最好是根系发达，叶茎低矮，多年生长，几种草籽混种。不宜种草的坡面，可铺5～10cm厚的种植土层，土层与原坡面结合稳固。

2.铺草皮

当坡面冲刷比较严重，边坡较陡，径流速度大于0.6m/s，容许最大速度为1.8m/s时，应根据具体条件分别采用平铺、水平叠置、垂直坡面或与坡面成一半坡角的倾斜叠置草皮，还可采用片石铺砌成方格或拱式边框，再铺草皮，如图4-1所示，图中 a、h 为草皮尺寸。

铺草皮需预先备料。草皮可就近培育，切成整齐块状，然后移铺在坡面上。铺时应自下而上，并用竹木小桩将草皮钉在坡面上，使之稳固。草皮根部土应随草切割，坡面要预先整平。必要时还应加铺种植土，草皮应随挖随铺，注意相互贴紧。

3.植树

主要用在堤岸边的可滩上，用来降

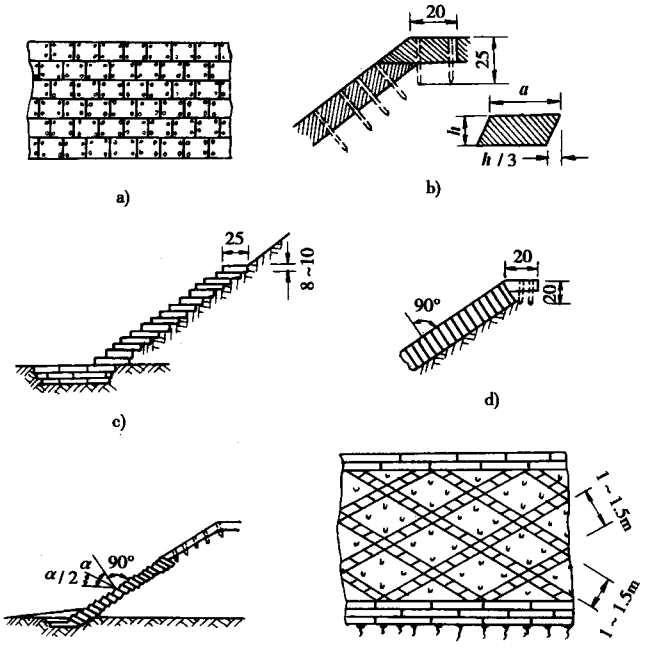


图4-1　草皮防护示意图(单位:cm)

a) 平铺平面;b)平铺剖面;c)水平叠铺;d)垂直叠铺;e)斜交叠铺;f)网格式

低流速，促使泥沙淤积。防止水流直接冲刷路堤。多排林带若与水流方向斜交，还可起排水改变水流方向的作用。沙漠与雪害地区，护林带还起阻沙防雪作用。树木的品种与种植位置及宽度，应根据防护要求，流水速度等因素，参见有关资料并结合当地经验而定。

二、工程防护

采用砂石、水泥、石灰等矿质材料进行护面的是在不宜使用植物防护或可就地取材时，常用的防护形式。它主要有砂浆抹面、勾缝或喷涂以及石砌护坡或护面墙等，这些形式各自适合于一定条件。

1.抹面防护

适用于石质挖方坡面，岩石表面易风化，但还比较完整，尚无剥落。如页岩、泥砂岩、千枚岩等，对此应及时予以封面，以防风化成害。常用的材料有水泥、石灰炉渣混合浆、三合土或四合土等。抹面厚度视材料与坡面状况而定，一般 2 ~ 10cm。操作前，应清理坡面风化层、浮土与松动碎块，填坑补洞，洒水润湿。抹面后应拍紧抹平和养生。

2.喷浆

喷浆施工简便，效果较好。适用于易风化而坡面不平整的岩石挖方边坡，厚度一般为2cm。喷浆的水泥用量较大，重点工程可选用；比较经济的可用混合砂浆，如水泥、石灰、砂、水，按质量比 1:1:6:3 配合。喷浆前后的处治与抹面相同。

3.灌浆

比较坚硬的岩石坡面，为防水渗入缝隙成害，可视缝隙深浅与大小，分别予以灌浆、勾缝或嵌铺等。

4.石砌护坡

路基坡面为防止地面水流或河水冲刷，可使用干砌或浆砌片石护坡，图 4-2 为路堤护坡示意图。主要路段或暴雨集中地区的土质高边坡和桥涵附近坡面与岸坡、地面排水沟渠等，亦可

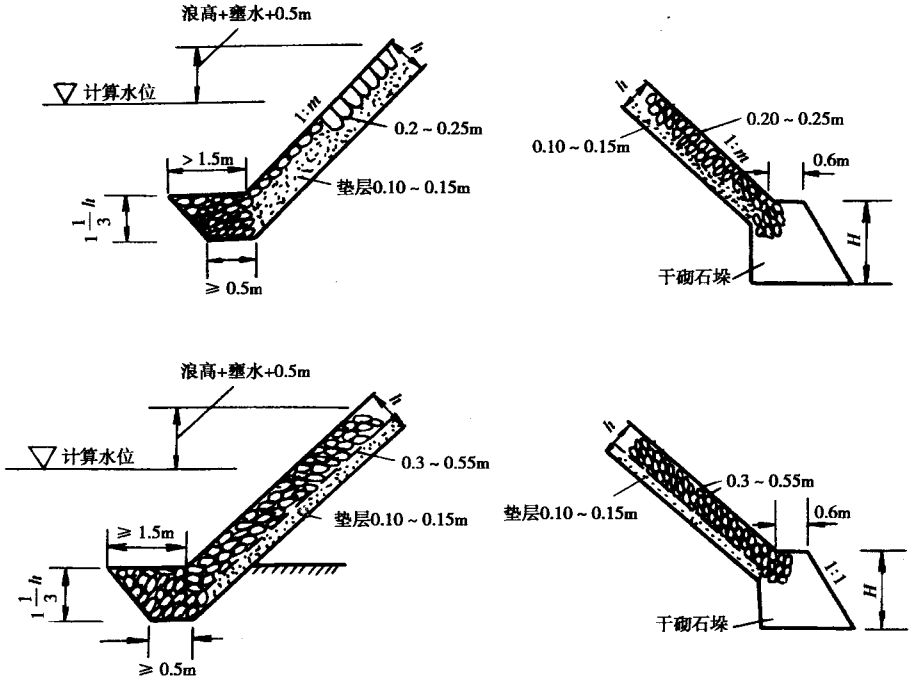


图 4-2　石砌护坡示意图

干砌或浆砌片石加固。

片石护坡，要求坡面稳固，先垫以砂垫层，然后自下而上平整地铺砌片石。片石应逐块嵌紧并错缝，厚度一般不小于 20cm。干砌要勾缝，必要时改用浆砌，护坡顶面封面，以防渗水。

5.护面墙

护面墙是浆砌片块石的坡面覆盖层，用于封闭各种软质岩层和较破碎的挖方边坡。要求墙面紧贴坡面，表面砌平，厚度可不同，石料应符合要求。护面墙除自重外，不承受其他荷重，亦不承受墙背土压力。其构造与布置如图 4-3 所示。墙高与厚度及路堑边坡的关系，可参见表 4-1。

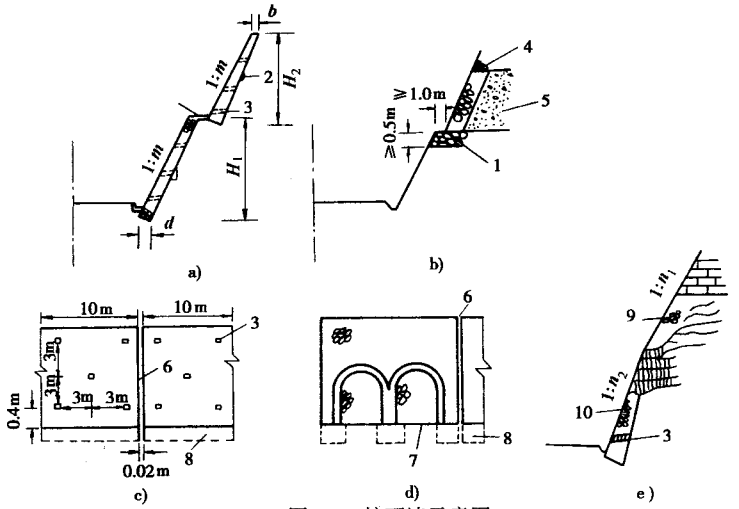


图 4-3　护面墙示意图

a)双层式；b)单层式；c)墙面；d)拱式；e)混合式

1-平台；2-耳墙；3-泄水孔；4-封顶；5-松散夹层；6-伸缩缝；7-软地基；8-基础；9 支补墙；10-护面墙

护面墙的厚度　　表 4-1

护面墙高度 H(m)	路堑边坡	护面墙厚度(m)	
		顶宽 b	底宽 d
≤2	1:0.5	0.40	0.40
≤6	陡于 1:0.5	0.40	$0.40+0.10H$
$6<H\leqslant10$	1:0.5～1:0.75	0.40	$0.40+0.05H$
$10<H<15$	1:0.75～1:1	0.60	$0.60+0.05H$

护面墙高度一般不超过 10m，可以分级，中间设平台。墙背可设耳墙。纵向每 10m 设一条伸缩缝，墙身预留泄水孔。基础要求稳固，顶部应封闭。当墙基软硬不匀，可设拱跨过。坡面常有各种不同地质现象，开挖后形成凹陷，应以石砌圬工填塞平整，称为支补墙。

第二节　沿河路堤防护

一、直接措施

沿河及滨海路堤防护的直接措施，包括植物防护、石砌防护或抛石与石笼防护，以及必要时设置的支挡(驳岸等)。其中植物防护与石砌防护，同坡面防护所述基本一致。

1)路堤冲刷主要是洪水急流，水位变迁不定，水流速度较大，当水流速度达到3.0m/s或更

高时，植树与石砌防护失效，如在盛产石料地区，可采用抛石防护。当水流速度达到或超过5.0m/s时。则改用石笼防护。

2)抛石防护类似在坡脚处设置护脚亦称抛石垛，如图4-4所示。抛石垛的边坡坡度，不应陡于抛石浸水后的休止角。边坡率 m_1 一般为1.5～2.0，m_2 为1.25～3.0。石料粒径视水深与流速而定，一般为15～50cm。

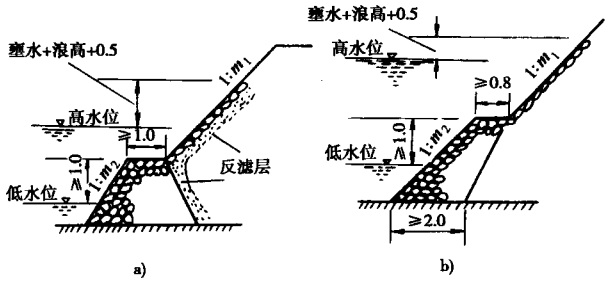


图4-4 抛石防护示意图(单位:m)
a)新堤石垛;b)旧堤石垛

3)石笼是用铁丝编织成框架，内填石料设在坡脚处，以防急流和大风浪破坏路堤，也可用来加固河床，防止淘刷。铁丝框架可以为箱形或圆柱形，如图4-5a)和b)。笼内填石的粒径最

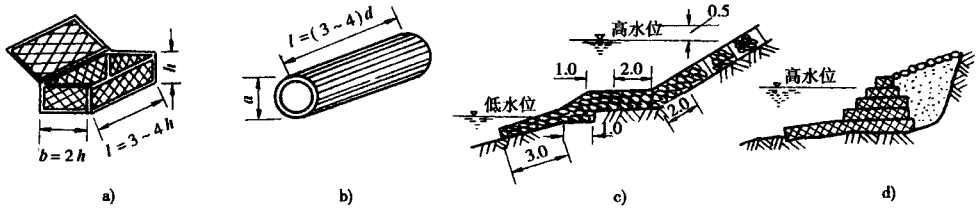


图4-5 石笼防护示示意图(单位:m)
a)箱形笼;b)圆柱形笼;c)防止淘底;d)防护岸坡

小不小于4cm，一般为5～20cm，外层用大且棱角突出石料，内层可用较小石块填充。石笼在坡脚处排列。用于防止冲刷淘底时，应平铺并与坡脚线垂直，与堤岸一端固定，淘刷后可以向下沉落贴于底面；用于防止堤岸边坡冲刷时，则垒码平铺成梯形，如图4-5c)和d)。单个石笼的大小，以不被相应速度的水流冲动为宜。铺设时须用碎(砾)石垫层铺平，底层各角可用铁棒固定于基底。

二、间接措施

改变水流方向，可以消除和减缓水流对堤岸直接破坏。因此可设置导治结构物，这是桥涵和路基的重要附属工程。

1)导治结构物主要是设坝，按其与河道的相对位置，一般可分为丁坝、顺坝或格坝。图4-6是桥梁附近设置导治结构物的总体图示例。

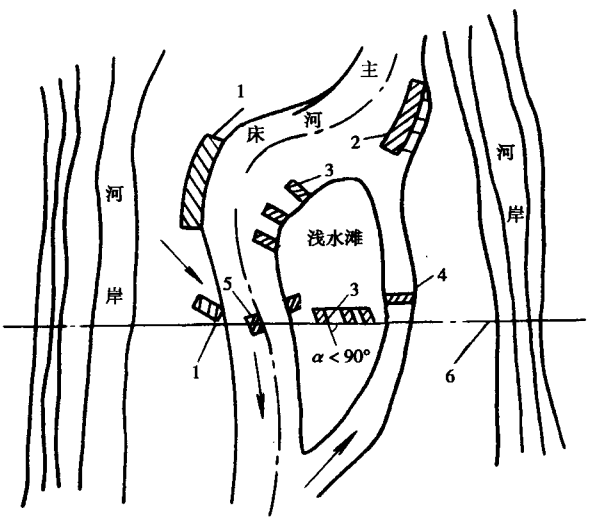


图4-6 导治结构物综合布置
1-顺坝;2-格坝;3-丁坝;4-拦水坝;5-桥墩;6-公路中心线

2)顺坝亦称导流坝，大致与堤岸平行，

主要作用为导流、束水、调整流水曲度、改善流态。格坝在平面上成网格状，设于顺坝与堤岸之间，防止高水位时水流溢入冲刷坝内岸坡和坡脚，并促进格间的淤积。丁坝亦可称排水坝，大致与堤岸垂直或斜交，将水流排离堤岸，束河归槽，改善流态。

3）顺坝与丁坝均用石块修建成梯形横断面。坝体分为坝头、坝身和坝根三个组成部分。横断面尺寸依据构造要求，施工条件和使用要求而定，并应进行稳定性计算。

4）公路工程中的改河工程，主要目的是将直接冲刷路基的水流引向旁处。路基占用河槽后，需要拓宽河道，挖滩改河，清除孤石，改移河道，以保护路基，裁弯取直，有利布置路线或桥涵。这些措施，如经论证可行，确有必要且效益高时，方可通过设计计算，最后实施。具体方法，可参阅路基设计手册等文献资料。

5）路基支挡物有简易和永久之分。除护面墙外，石砌护肩、护坡、护墙与护脚等，因其可使坡面坡度改陡，在一定范围内亦起支挡作用，可视为简易支挡措施。路基支挡的永久建筑物，主要指挡土墙。

第三节　边坡防护加固实例

一、边坡注浆加固

京沪高速公路沧县段，由于地下水位下降，天然地基承载力偏低，部分高填土路段满足不了填土荷载的变形要求，尤其是桥头路段填土时间集中，距路面施工时间很短，对原地面以下土体没有充分的时间给予预压，产生沉降的因素很多。

因此，甲方要求对桥头填土高度大于 8.0m，距铺路面时间不大于 30d 的路段，除进行路基注浆外，还在边坡坡脚两侧按 45°角，对原地面土体进行注浆。我们在 ZK40 + 990 跨线桥桥头两端的路基进行了注浆施工。

1.施工工艺

1）孔位测量放样

按照设计要求，进行注浆孔定位。在原地面上，从桥台一侧开始每米设一个孔，孔位误差不大于 ± 15cm。并尽可能紧靠桥台基础，以防路基在此形成薄弱面。注浆孔是在已填好的路基两侧坡角按 30°的角度向路基侧面打孔。因此，在注浆孔后侧 5.0m 左右处，应搭设临时支架，以便于操作。

2）锚杆机成孔

锚杆机准确定位，利用孔后的支承架，调整成设计角度，采用冲击回转的方法成孔，孔径 110 ~ 180mm。主要采用洛阳铲成孔。洛阳铲实际上是将钢管两头焊接螺丝扣，同时在钢管的一端，加工并焊接一个直径 18cm、长 30cm 的 3/4 圆。利用 3/4 圆铲，用人工在指定位置冲击 7 次左右，拔出来把圆铲内的土取出，继续重复冲击，一直冲到要求的深度为止。

注浆孔水平方向孔距允许误差不大于 50mm，垂直方向孔距允许误差不大于 100mm，孔深允许误差为 ± 50mm，倾角允许误差为 ± 5%。

3）配制注浆浆液

注浆材料采用强度等级 42.5 的普通硅酸盐水泥，水为饮用水，水灰比 1:1（质量比）。在桥台后第一排孔注浆时，浆液中加入 0.05% 的三乙醇胺，以加快凝结。注浆浆液应充分搅拌均匀，搅拌时间不少于 3min，随搅拌随使用，一次拌和的水泥浆应在初凝前用完。

4)注浆作业

接通注浆管路,把配制好的水泥浆液,用注浆泵泵入孔内,注浆压力控制在0.5~1.5MPa,浆液流量控制在50L/min,每延米注入水泥浆0.5m^3。注浆开始或中途停止超过30min以及感觉浆液注入不顺畅时,应用水或稀水泥浆润滑注浆泵及其通道。当发现有堵塞现象时,应拆卸管道进行清洗。注浆结束后,可进行闭浆封孔。

5)对原地面以下的土层采用压浆

压浆采用压浆泵和搅拌机。在打好的孔内插上一根硬塑管,硬塑管隔15cm交叉打一小孔。管内压浆后,浆液即从此小孔射出。一般砂土、粘砂土可加固直径为1.5m,粘性土可加固成劈裂形状。压浆泵的压力一般控制在2.5~4.0MPa,加固后的效果比较理想,经多次观测没有下沉的迹象。

2.施工程序

边坡注浆加固施工程序如图4-7所示。

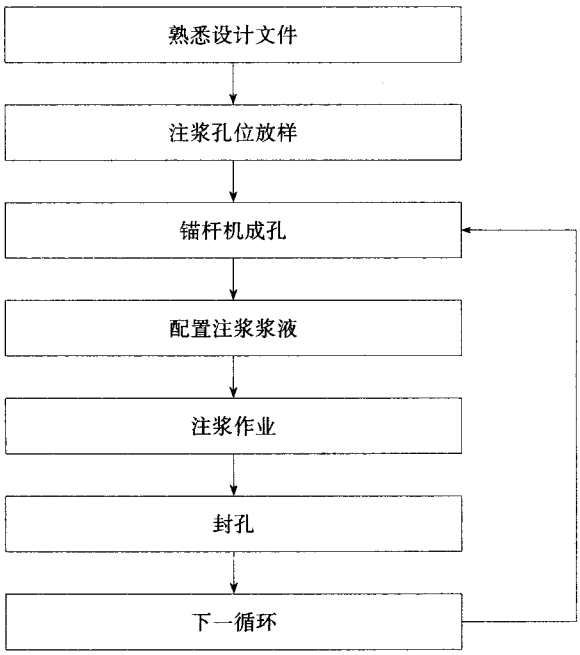


图4-7 边坡注浆加固施工程序

3.人员组织和机械设备

1)人员组织

由于工期要求很紧,于是组成50余人的施工队伍,进行三班倒轮流值班作业。从11月2日开始,于11月19日全部顺利完成。

2)机械设备

根据我们的任务量,设备配置如下。

(1)锚杆机 MGZ—50 1台

(2)注浆机 BW—250 2台

注浆机 BW—120 1台

(3)发电机 60W 1台

发电机 9kW	2 台
(4)洛阳铲	10 台
(5)搅拌机 300L	2 台
搅拌机 150L	1 台
(6)注浆配件	3 套

二、楚大高速公路深路堑边坡防护

楚大高速公路五合同段从 K230 + 550 ~ K255 + 800,全长 19.2km。其中 K240 + 416 ~ K246 + 300 段,长 5.88km,位于滇西山岭重丘区中,地质复杂,纵向起伏很大,因此,深挖路堑不可避免。其边坡防护是施工过程中遇到的主要难题。

边坡的高度一般都在 20m 以上,有的路堑甚至高达 60 余 m,而土层性质较差,严重影响了施工进度。下面就几处边坡处置的方案,作扼要的叙述。

1.膨胀土边坡处理

K239 + 380 ~ K239 + 460 为膨胀土地段,膨胀土一直分布到路基顶面以下 9.0m,此处路堑深达 25.0m 以上,如图 4-8 所示。

所谓膨胀土,即指土的粘土矿物成分中含有亲水性粘土矿物,如蒙脱石、伊利石等,具有吸水后显著膨胀软化,失水后急剧收缩硬裂以及往复湿胀干缩特性的高液限粘土。本段膨胀土均为黄色,属碳酸盐岩残积形成。

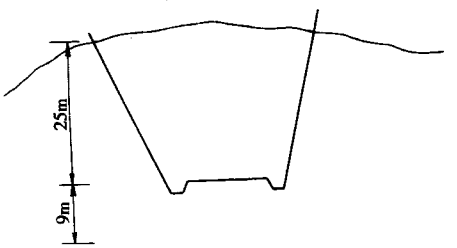


图 4-8 膨胀土分布示意

1)当我们对路堑开挖基本成形后,发现路堑边坡产生了下列几个问题。

(1)边坡土的液限大于 50%,个别的甚至高达 100%,这与开工前试验的结果,基本相似。

(2)下雨后边坡沿路线方向开裂,边坡碎落、滑塌时有发生。

(3)下雨后部分地段路堑隆起,形成坑洼不平,经实测最高隆起达 50cm 之多。

(4)晴天失水后变得坚硬,不易碾碎,随着时间的延长,裂缝逐渐由细变粗。基本上由陡倾角的垂直裂缝、缓倾角的水平裂缝及斜交裂缝三种裂缝组成,将土体分割成一定几何状态的块体。

(5)已建好的上挡土墙发生移动,为整体内移,有垂直于路线方向的裂缝数条。经观察,裂缝宽度有发展的趋势。

2)针对以上情况,有关专家、甲方及监理进行了现场考察,经多方调查研究,决定采取以下方法,对膨胀土的病害进行处理。

(1)按规定要求,边坡顶部做好截水沟,以拦截上方流来的地面水,并距路堑顶边缘不小于 10.0m,使上方的水不致渗入边坡内。

(2)放缓边坡,增加土层自身的稳定性,达到减载的目的。因此,在清除塌方、碎落及边坡修整的过程中,我们将边坡放缓到 1:3。

(3)在边坡土中掺入生石灰,进行改性砂化,以提高土层的强度,然后在边坡上覆盖一层土工布封闭,减少了自然气候等的影响。再在土工布上面铺土植草,从而避免了受水浸入渗透的危害。

(4)上边坡下部修建浆砌片石重力式挡土墙,墙背部分填筑 1.0m 厚的砂砾层。

(5)对于路基部分的处理,可见图 4-9。在距路面顶 1.8m 处,设置了纵、横向的碎石盲沟,并在横向碎石盲沟上面浇筑了 C20 混凝土地梁。地梁处将膨胀土清理挖除,换填山坡土并夯实,然后再在地梁上面回填一层好土,紧接着铺筑结构层。地梁间距为 5.0m,横断面为 80cm × 80cm。

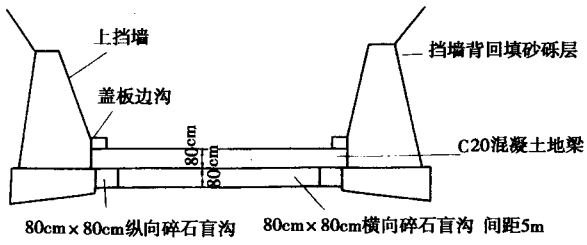


图 4-9 路基部分处理

通过上述方法的处理,其边坡和路基逐渐趋于稳定,并未发现有不良病害的痕迹。这就表明,我们的处理方案是成功的。其中最关键的是排水问题,即使有水渗入,也要能及时排出,使之不与土发生作用,这样就能保证土体的稳定。

2.路基滑坡

K250 + 000 ~ K250 + 140 段,全长 140m,路基全部处于半填半挖地段,由于山坡较陡,外侧边缘部分填高 2 ~ 3m,而内侧挖方后,边坡高度达 30 余 m。

通过仔细观察,我们发现整个边坡体较为松散,属河谷淤积形成的堆积物。土质组成杂乱无章,变化无序,虽以细质土为主,但其中夹有砾卵石及碎屑等物质或砂质透镜体,本身就不稳定。当边坡在下部开挖时,上部边坡失稳,而产生滑动。

整个滑动面在路基下 4.0m 深处,内侧边坡宽度为 50m,高度为 30m。边坡以扇形状开裂,最大裂缝宽 50cm,深达 7.0m,属滑动面整体滑移并伴有局部坍落的现象,如图 4-10 所示。

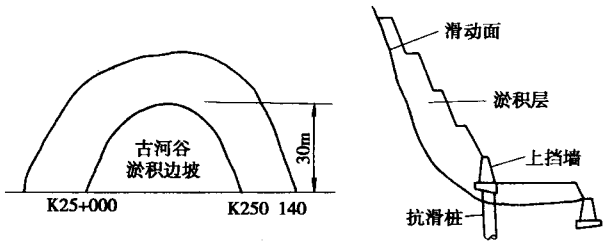


图 4-10 滑坡段处理

对于这种高大的滑动边坡,我们在处置前,先让边坡暴露一定时间后,充分观察其滑动范围和滑动面的深度,然后通过地质勘探收集的资料,决定处理方案。

具体处理方法包括如下几个方面。

1)减载。这种较大的不稳定边坡必须进行减载,以减少自身重量,有利于坡脚的稳定,而且土方坍塌也需进行土方外运和清理,可在减载工序中一次完成。而使下一步对边坡的处理,比较容易进行。

2)在边坡的外侧设置半环形截水沟,使水不再流向边坡;在边坡内侧设置纵、横向排水沟,使水能够及时排出,以免浸泡后疏松。

3)边坡形式采用平台台阶式,边坡坡度 1:2 ~ 1:3。其优点主要是把高边坡降低为矮边

坡,不仅减轻了高边坡土体对坡脚的压力,而且减弱了表水对坡面的冲蚀与对坡脚的浸湿,同时平台对坡脚有一定支撑,对边坡变形有一定减缓作用,对稳定边坡有利。

4)由于滑坡面已深入路基以下,因此,在坡脚处设置了抗滑桩(挖孔桩)。抗滑桩的埋置深度与所受外力如:滑坡推力、受荷段地层抗力、摩阻力、桩底应力等因素有关。经业主、设计单位、监理和施工单位验算,并通过协商后,决定将抗滑桩设于上边坡坡脚处,直径 1.0m,中心间距 4.0m,埋置深度 8.0m,并在抗滑桩上设置系梁,作为上挡墙的基础。

3.锚固防护

K250 + 560 ~ K250 + 860 段,由于地形的限制,此处与广大铁路、楚大公路相距很近,又是同时进行施工,水平距离仅为 50.0m,而落差达 45.0m。

针对以上两路相距近、落差大的施工特点,且边岩层又较破碎,如剥落、冲蚀、泥流、溜坍、碎落等病害常有发生等情况,我们采用了下列的边坡处理方案,如图 4-11。

1)施工过程中严格控制放炮数量,对于大、中炮一律禁止,以免附近边坡受震而破坏。

2)铁路路基以下设置深 20.0m、直径 1.0m 的抗滑桩。

3)公路路基上边坡逐台修整,两台间距不超过 8.0m。

4)边坡防护以锚索、锚杆、锚桩等三种形式,以梅花形布置,形成菱形网格进行防护。锚索桩由 4 根预应力钢绞线及其附属配件组成。其断面形式如图 4-12 所示。

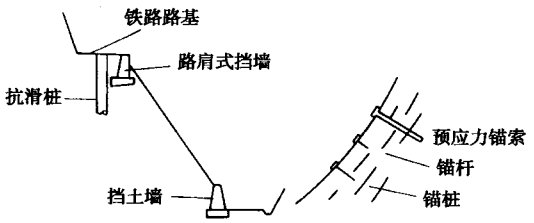


图 4-11 锚固防护处理

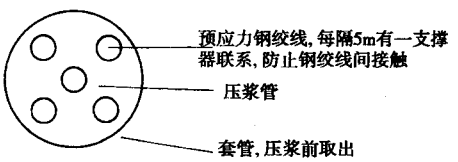


图 4-12 锚索桩示意

其施工方法为钻孔后清理孔壁、孔底,放入组装好的锚索桩材料,张拉钢绞线,通过压浆管压浆,最后封锚。锚杆和锚桩都是由直径 30mm 的 II 级钢筋制成,锚长为 3 ~ 4m,锚桩长为 10.0m,施工方法与上述基本相似,都是先成孔后放入钢筋,压浆后封锚。压浆时,应有一定的压力,使浆液饱满,以便渗入细小的裂缝中去。

锚索、锚杆、锚桩都是利用自身,并通过浆液的粘结将软弱、破碎的岩层与稳定岩层组成一个稳定的结合体,以保证边坡的稳定。

4.施工体会

针对膨胀土的工程特性,结合路堑边坡稳定的必要条件,提出以下关于防护施工的要点。

1)为保持边坡土体天然含水状态的相对稳定,应防止地面水与地下水渗入路堑边坡,同时防止土中水分被蒸发,防止土体产生湿胀干缩变形。

2)为保持边坡土体结构的相对完整性,应防止土体的风化作用,尽可能减小降雨、蒸发和蒸腾、日照、地温与气温等对土体的影响。

3)为保持边坡土体足够的抗剪强度,应防止土体强度的衰减。

4)边坡土体若分布有强膨胀土夹层,或遇土层中风化界面清晰完整时,常在界面或层面处产生边坡滑动,对此应适当加固,以防滑动产生。

5)防护工程应能适应边坡膨胀土体可能产生的胀缩变形与膨胀力,因此,以柔性结构为

宜，切不可盲目采用刚性结构。

三、三维植被网边坡防护

（一）概述

近年来交通建设达到了史无前例的高峰，因此，如何对公路进行有效的边坡防护显得尤为重要。

以往的公路边坡防护方法虽多种多样，如有单一植被、平面网植被、抹面、喷浆、石砌护面以及采用混凝土、沥青、抛石等，但都具有致命的弊病。单一植被及平面网植被，在草的生长早期草籽及幼苗极易被雨水冲刷掉，草长成后抗冲刷能力也十分薄弱；而采用抹面、喷浆、石砌护面造价极高，且雨水易于渗入防护层下面并形成水流，防护层被架空，导致防护措施失效。

采用三维植被网进行边坡防护，既克服了植草在生长早期易被水冲刷掉的缺陷，又能保证在植草长成以后，其发达的根系与三维网及边坡土层形成一个牢固的复合整体，大大减缓了水流流速，同时避免地表直接受雨水冲刷，可有效地防止边坡被雨水冲毁。

商开高速公路13标段所经路段土质多为粉砂性土，养分少、粘性差。土方工程在雨季到来之前虽能施工完毕，但路面结构层要在雨季期间或雨季之后才能施工。在雨季期间路基边坡极易遭受水流冲刷，引起浅层滑动和冲刷沟，从而导致边坡失稳，路基受到破坏。为了解决这个问题，我们根据三维植被的作用机理和功能，决定采用此种方法进行边坡加固防护，这种方法工程造价低廉，既能防护边坡，又能美化周围环境。

（二）三维植被网的作用机理

三维植被网是由多层塑料凸凹网和高强度平网复合而成的立体网结构。面层外观凸凹不平，材质疏松柔韧，留有90%以上的空间可填充土壤及草籽，将草籽及表层土壤牢牢固定在立体网中间。同时，由于网垫表面凸凹不平，可使风及水流在网垫表层产生无数小涡流，起到缓冲消能作用，并促使其携带物沉积在网垫中，这样就有效避免了草籽及幼苗被雨水冲走流失，大大提高了植草覆盖率。

当植草生长茂盛后，植物根系可从网垫中舒适均衡地穿过，深入地下，与网垫、泥土形成了一个牢固复合整体。植被根系可增加土壤的透水性能，一旦遇有雨水可迅速渗透。植被的覆盖可使地表土壤免受雨水的直接冲刷，并缓冲雨水流速，阻止水流的形成，即使形成水流也几乎是清澈而不含任何泥土的。同时三维网垫及植物根系还可起到浅层加筋的作用。因此，这种复合体系有极强的抗冲刷能力，能达到有效防护边坡的目的。三维植被网防护的复合体如图4-13所示。

（三）三维植被网的功能

1.由于网包的作用，能降低雨滴的冲击能量，并通过凸出的网包阻挡坡面雨水的流速，从而有效地抵御雨水的冲刷。

2.在边坡表层土中起着加筋加固的作用，从而有效地防止了表面土层的滑移。

3.在边坡防护中使用三维植被网能有效地保护坡面不受风、雨、洪水的侵蚀。三维植被网的初始功能是帮助植被生长，随着植被的形成，它的功能是帮助草根系统增强其抵抗自然水土流失能力。

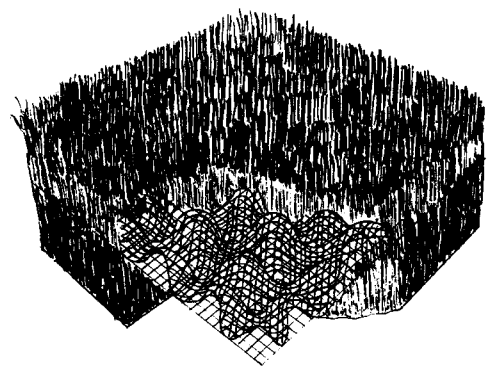


图4-13　三维植被网复合体示意

4.三维植被网能做成草毯进行异地移植,能解决快速植被防护工程的要求。

(四)工艺流程和施工方法

1.工艺流程

边坡整理成型→细平整→挂网→固定→覆土→播种→再覆土→覆盖纤维布或稻草、秸秆→浇水养护→后期管理。

2.施工方法

1)边坡整理成型和细平整

(1)在路基土方已经完工并经监理验收后,由测量人员首先放出路基边桩,即边坡坡脚桩。直线段路基坡脚桩间距不超过20m,进入曲线段可加密到5.0~10.0m,以保证路基边坡线平滑圆顺。

(2)定出坡脚桩后,用白灰定出控制线,然后开始刷坡,刷坡时可以用人工配合挖掘机按1:1.5的坡度进行。挖掘机刷坡时,要预留20cm宽,由人工清除干净以保证路基边坡的密实度。人工刷坡时要挂线操作,并不时用坡度尺检验坡度,以保路基边坡的外观线型。之后将边坡上的土块粉碎,仔细平整,并施入底肥。经监理验收合格后方可进行下一道工序。

2)开挖沟槽

在坡顶及坡脚处,按照施工图纸设计尺寸,人工开挖预埋植被网的沟槽并平整。注意开槽和刷坡一次不要过长,以防止雨水、气温、风沙等作用破坏路基与边坡坡面。

3)覆网

边坡整理完工并经监理验收后,必须及时进行人工铺设EM3型三维植被网。覆网时,先将网置于坡顶沟槽内,然后从坡顶到坡脚依次进行。网尽量与坡面贴附紧实,防止悬空,使网保持平整,不产生褶皱。网块之间要重叠搭接10cm左右。

4)固定三维植被网

覆网后按照一定的密度和方式,采用25cm长竹钉或25cm长钢筋打入边坡内进行固定。然后再将植被网预埋于沟槽中,再回填土夯实。

5)覆土

在三维植被网固定完以后,在网上覆一层薄土,使土一定要进入网包,可以用木条刮入,土壤要求细碎、肥沃、pH值适中。

6)撒播草籽

(1)根据当地气候、土质、含水量等因素,选择易于成活、蔓面大、根系发达、茎低、多年生、便于养护和经济的草籽种类。本标段采用高羊茅与狗牙根两种草混合播种,其用量高羊茅为$8g/m^2$,狗牙根为$12g/m^2$。

(2)撒播草籽应在无风天气,气温宜在15℃以上进行,避免在干燥的风季和暴雨季节播种。为使草籽均匀分布,草籽应掺加细砂或细土粒搅拌均匀后撒播。

7)再覆土

撒播草籽后,网上面再均匀覆盖一薄层土壤,并适当拍实,使边坡表面平整,并保证土盖住草籽。网上覆土总厚度约为2cm左右。

8)覆盖纤维布或稻草、秸秆

为了让草籽尽快发芽,边坡上面要考虑采用纤维布、稻草、秸秆等覆盖,使土壤保持湿润和适宜草籽生长的温度。

9)浇水养护

种植草籽后应适时进行撒水施肥，清除杂草等养护管理，直到草籽成活并覆盖地面。浇水时最好采用雾状喷施，防止形成径流，造成草籽分布不均匀影响覆盖率和美观。

10)养护期的管理

应有效地养护所有种植面的植物和种植面，预防人为破坏直到养护期终止。

三维植被网如图 4-14 所示。

(五)应用效果

商开高速公路经过 2000 年 7、8 月雨季(其中有四次暴雨和一次特大暴雨)的冲刷后，从现场发现，施工中采用三维植被网的路段没有冲刷痕迹，而未进行三维植被网防护的路段却出现多处较大的冲沟。冲沟深达 2.0m以上。

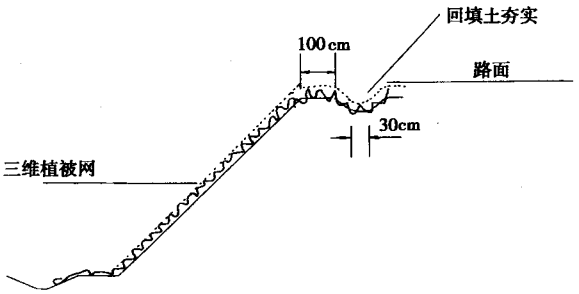


图 4-14　三维植被网

我们分析认为，采用三维植被网施工的路段获得了较高的植被覆盖率，阻止了水流的形成，避免了坡面直接受雨水冲刷，且植草、网垫与土壤三者形成稳定的复合整体，提高了耐冲刷能力。而未进行三维植被网防护的路段，却因坡面直接受雨水冲刷而破坏严重。

实践证明，采用三维植被网进行公路边坡防护，施工简便、劳动强度小、效率高，大大降低了工程造价，同时又美化了公路沿线的环境，具有非常广阔的应用前景。

四、锚杆喷射混凝土支护在公路边坡防护中的应用

(一)概述

锚杆喷射混凝土支护在 20 世纪 60 年代开始出现，已有近 40 年的施工历史。

原来的锚喷支护技术主要应用于矿山井巷、交通隧道、水工隧洞和各类洞室等地下工程。近年来，随着我国高速公路的发展，锚喷支护技术也在公路路堑石质边坡防护中得到广泛应用。如京沈、京福高速公路及正在施工的铜黄一级公路，都采用了该技术来处理路堑石质边坡。通过实践证明，该项技术先进、经济合理、安全适用、能够确保施工质量。

(二)锚喷支护技术在铜黄一级公路中的应用

1.地质情况

铜黄公路位于陕北黄土高原南部边缘地带，属于山岭重丘区。该地区出露的地层主要为三叠纪上部的砂岩和泥质页岩互层。层面倾角一般在 10 ~ 15°，近似为水平岩层，岩体软硬不均。砂岩多为厚层或巨厚层，细粒结构，钙质胶结，石质致密坚硬，强度高，耐风化。泥质页岩多为薄层或极薄层，含有紫红色直径 1 ~ 3cm 的泥质，钙质结构，局部夹 5 ~ 10cm 厚的黑色灰质页岩，颗粒成分以粘土为主，半固结状态，遇水泥化、崩解，在天然状态下易风化剥落，强度低，尤其是抗剪强度低。

岩体软硬不均，除层间弱面外，其间主要发育两组基本正交的陡倾裂隙。受层面及两组陡倾裂隙切割，岩体多呈层状碎裂结构，边坡稳定性较差。但边坡的稳定主要受层间及陡倾结构面所控制，不存在较深层的滑移破坏问题，其破坏形式主要为层部的膨胀、脱落及浅层的倾倒性坍塌。地质剖面如图 4-15 所示。

因此，边坡的防护设计，根据边坡的不同岩质结构类型，视边坡高度和坡度，分别采用素混凝土喷护或局部布设系统锚杆辅以挂网喷护混凝土等浅表层防护处理措施，而且可根据边坡

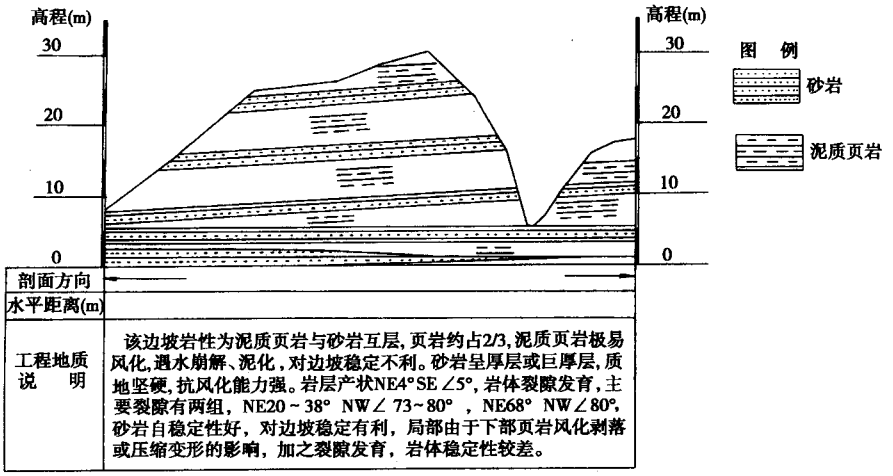


图 4-15　第 11 标段 K137 + 160 ~ K137 + 350 工程地质剖面图

注：图中高程以现公路开挖路面标高为零标高。

破坏程度选择不同长度的锚杆，同时加强边坡排水。

2. 铜黄公路 K137 + 160 ~ K137 + 350 边坡防护设计

此段边坡防护原设计为浆砌防护。采用了喷锚支护技术后仍保留了第一级(10 m)边坡的浆砌防护，而对于第二、第三、第四级边坡则视其高度和坡度采用挂网喷射混凝土或喷射素混凝土防护措施。喷护原则：高差大于 8 m 的边坡采用挂网喷护；高差小于 8 m 的边坡采用喷射素混凝土防护，如图 4-16 ~ 图 4-18。

1)锚杆：选用全粘结系统锚杆，ϕ25mm 螺纹钢筋，锚杆单根长 310cm，其中入岩 300cm，外露 10cm，用于绑扎钢筋网，锚杆间排距为 300cm × 300cm。

2)钢筋网：选用 ϕ6mm 网格筋，网格间距 20cm × 20cm，钢筋网必须与锚杆绑扎连接。

3)混凝土：选用 C20 号混凝土，配合比为 1∶1.98∶2.28，水灰比为 0.44。

4)水泥砂浆：水泥∶砂为 1∶1，水灰比为 0.4。

5)排水孔：布设排水孔的目的是为了能够有效地排除混凝土喷护层内侧积水而不致影响已喷混凝土的永久稳定性。排水孔孔径为 60mm，单孔深 200cm，间距为 300 cm，排距为 500 cm，梅花形布置。其最底层排水孔距其下方平台约 1.2m，便于施工即可。造孔方位是水平位置上仰 10°。

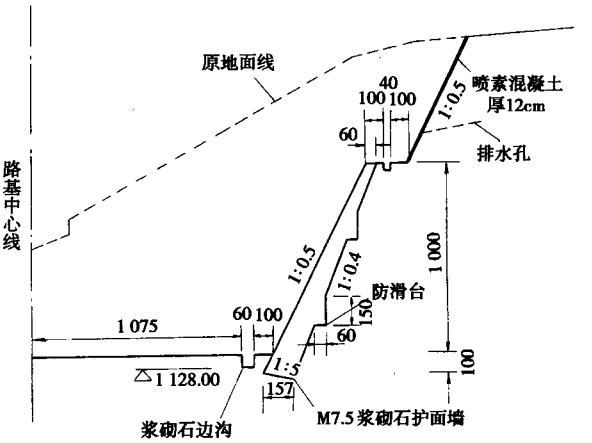


图 4-16　K137 + 210 防护图(单位：cm)

(三)边坡锚杆喷射混凝土施工技术要求

1. 对原材料及混合料的要求

1)水泥强度等级不低于 42.5，其性能指标应符合现行的水泥标准，对每批水泥，应做检验。

2)砂石料最大粒径为 15mm，级配应满足表 4-2 的要求。

喷射混凝土骨料级配表　　表 4-2

序　号	通过各种筛孔的累计质量百分数(%)					
	0.6mm	1.2mm	2.5mm	5mm	10mm	15mm
1	17 ~ 22	23 ~ 31	35 ~ 43	50 ~ 60	73 ~ 82	100
2	13 ~ 31	18 ~ 41	26 ~ 54	40 ~ 70	60 ~ 90	100

3)可以使用速凝、早强、减水等外加剂。但喷射混凝土的各项性能指标不得低于设计要求。在使用速凝剂时,水泥初凝时间不得大于 5min,终凝时间不得大于 10min,室内还应进行速凝剂与水泥、水、石、砂的相溶性实验。符合规定或无不相溶反应时,方能配制使用。

4)水要使用澄清水,水质应满足混凝土拌制用水要求。

5)C20 混凝土抗拉强度为 1.5MPa,混凝土与岩石粘结强度 0.5 ~ 1.0MPa。抗渗强度不应低于 0.8MPa,密度不应低于 $2.20 \times 10^3 kg/m^3$,弹性模量为 $2.1 \times 10^4 MPa$。

6)各种原材料按质量计量,允许差值规定,水泥和外加剂为 2%,砂、石为 +5%。

7)配合比应符合下列规定:

(1)水泥:砂石 = 1:4 ~ 1:4.5;

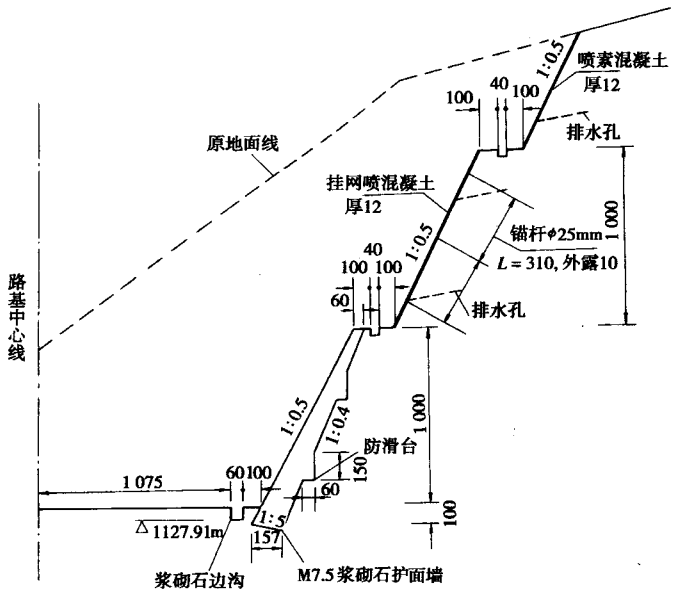


图 4-17　K134 + 240 防护图(单位:cm)

(2)砂率 = 45% ~ 55%;

(3)$\frac{w}{c} = 0.4 \sim 0.45$;

(4)速凝剂掺加量占水泥的 3% ~ 5%。

8)喷射有干喷法和湿喷法两种,此段施工使用的是干喷法施工,其混合料的拌制和使用符合下列规定:

(1)采用含水量小于 4%的干砂拌料时,速凝剂可在拌料时掺入,拌好的混合料应在 20min 内使用完;

(2)采用含水量为 4% ~ 10%的混砂拌和时,在速凝剂放入后,必须立即进行喷射;

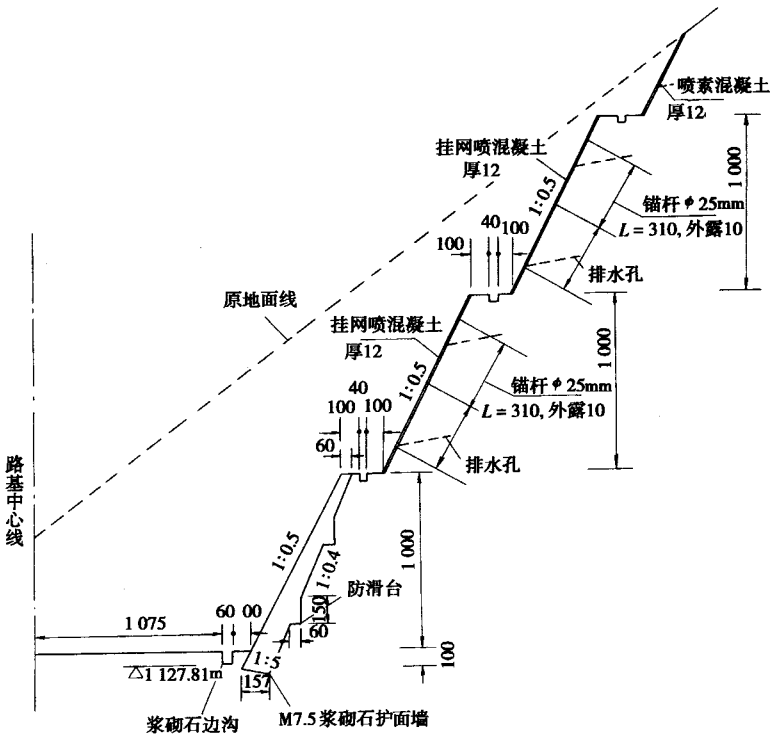


图 4-18　K137 + 212 防护图(单位:cm)

(3)不掺速凝剂的混合料,停放时间不宜超过 2h;

(4)骨料的含水量应进行抽测,并作详细记录,扣除骨料含水量的全部用水量可以从喷头或输料管中的适当位置加入。

2.对施工机具及喷射前准备工作的要求

1)优先选用强制式搅拌机,通风条件良好的露天场地可采用自落式搅拌机。

2)喷射机密封性能良好,输料连续均匀,产生能力为 3 ~ 5m^3/h。

3)输料管应能承受 0.8MPa 以上的内压力,并具有良好的耐磨性能。

4)水泵、水箱或其他供水系统,应具有 0.2MPa 以上的承压能力。

5)选用的空压机应满足喷射机工作风压和耗风量的要求,压风进入喷射机前,必须进行油水分离。

3.对喷射混凝土施工的要求

1)在受喷区分片分段,自下而上,先凹后凸进行作业,且不得漏喷。

2)喷射混凝土平均厚度不得小于设计厚度,最薄处不得小于设计厚度的 75%。

3)昼夜平均气温低于 5℃时,露天喷射作业一律停止。

4)喷层终凝后 2h 开始喷水养生,在 14d 天之内应使喷层表面经常处于湿润状态。

5)下雨天,不宜进行喷护施工。

6)边坡上大光面喷射混凝土,先用水泥砂浆喷 2cm 左右,间隔 24h 后,再转入正常混合料喷射至设计厚度。

7)喷射混凝土后 2h 内,在其 30m 范围内不应进行爆破。

4.对加挂钢筋网喷射混凝土的施工要求

1)挂网所用钢筋的规格、质量、网格尺寸,必须满足设计要求。

2)钢筋网与岩石距离为3~5cm,钢筋网接头搭接长度大于20cm。

3)钢筋网应绑扎牢固,要求与所布置锚杆焊接或绑扎为一体。

4)喷射混凝土必须填满钢筋与岩面之间的空隙,不能有"架空"现象,以保证钢筋与壁面之间的密实性,并要求与钢筋粘结良好。

5)喷射中如有脱落的混凝土被钢筋网架住,应及时清除。

6)喷射完成后,钢筋网外的喷层厚度应满足保护层厚度不小于3cm。

5.全长粘结性锚杆施工要求

1)按照设计要求的间排距布置锚杆孔位。

2)锚杆孔径大于45mm,孔深应大于设计深度20cm。

3)锚杆体使用前进行调直、除锈、除油处理。

4)锚杆孔内灌注材料为水泥砂浆,其配合比为:水泥:砂=1:1~1:2,水灰比宜为0.38~0.45。

5)注浆时,注浆管应插至距孔底5~10cm,随砂浆的注入缓慢匀速拔出,杆体插入后,若孔口无砂浆溢出,应及时补注。

6)杆体插入孔内长度不应小于设计长度的95%,锚杆安装后,不得随意敲击,3d内不得悬挂重物。

(四)锚喷支护的具体施工及注意问题

1.施工工艺流程

清理坡面→搭架→描杆孔及排水孔成孔→下锚杆→绑扎钢筋网→喷射混凝土→养生→拆排架。

1)清理坡面:将坡面上的危石、杂草、树木、松土、浮渣等清理干净。

2)搭架:喷射混凝土是高空作业,所以要求排架必须牢固稳定,必要时要备安全绳及安全防护网。

3)锚杆孔及排水孔成孔:除满足设计要求外,还要注意成孔角度,锚杆孔尽量垂直于自然坡面,利于挂网;排水孔要水平位置上仰10°,以保证排水通畅。

4)下锚杆:成孔后先进行注浆,注浆时若孔口无砂浆溢出应及时补浆,之后插入锚杆,注意锚杆稳定后,不要随意敲击,不准悬挂重物。

5)绑扎钢筋网:铺设钢筋网时要随坡面起伏而变化,搭接要牢固,并注意与锚杆连接牢固,最好采用焊接。

6)喷射混凝土:喷混凝土前还要做好排水孔保护,以保证喷混凝土后排水畅通。喷前受喷面要设立控制喷射厚度的标志,喷射混凝土每次喷射厚度为5~7cm,喷射距离80~100cm。喷射时按直径为20~25cm的圆圈轨迹运行,一圈压一圈,应尽量避免回弹,不流不淌。

7)养生:喷射混凝土终凝后2h即可开始养生,养生期得小于14d,以防止开裂,并提高强度及表面光洁度。

2.锚喷支护施工时注意事项

1)要注意锚杆孔及排水孔成孔角度;锚杆孔要垂直坡面,排水孔要上仰。

2)注浆要注满,下锚杆要牢固。

3)钢筋网布设要均匀,防止混凝土不均匀收缩。

4)排水孔要通畅,防止岩体内水排不出产生膨胀,破坏混凝土。

5)混凝土喷射厚度要满足设计要求。

(五)喷射支护的优点

1.技术先进、成本低

与浆砌防护相比更加先进,而且比浆砌防护成本降低20%。

2.施工速度快

施工简便,不受部位和方向的限制,不象浆砌防护那样受影响条件较多,加快了施工进度。

3.质量有保证

喷射混凝土具有较好的力学性能和整体性,可在坡面形成封闭的具有较高强度的混凝土保护壳,防止雨水对坡面的冲刷破坏。