

柳南高速公路 K727 + 900 上行线路基边坡加固处理措施

韦勇生 何志勇 韦恒敏

【摘要】本文介绍柳州至南宁高速公路K727+900处上行线填方路基边坡病害的处理措施及良好效果,提供给同行一个行之有效的处治办法。

【关键词】高速公路 填方路基 化学灌浆 预应力锚固

1、前言

柳州至南宁高速公路K727+900处上行线填方路基边坡出现的病害为南方高速公路(尤其在广西区域)经常出现的典型病害——路面开裂、下陷,路肩外移,有滑坡征兆。对于该类病害,结合几年来的经验,我们总结出—条相对成本较低,但效果良好的治理办法,即采用化学灌浆和预应力锚固相结合的办法。下面以对该病害的处理为例,向同行介绍这种行之有效的方法。

2、地形地貌及病害症状

2.1 地形地貌

柳南高速公路 K727 + 805~960 上行线路基边坡原始地貌单元为剥蚀残丘,后经筑路填土整

平,形成—自北向南倾斜的边坡,坡度约 25° ,高差约 25m,边坡设有二级平台,平台宽约 3m,坡面上生长草皮及少量树木。

2.2 病害症状

自柳南高速公路通车运行以来,在其上行线 K727 + 805~960 处砼路面开裂、断板,护栏变形,路肩及下边坡出现较明显垂直沉降及侧向位移,路肩最大位移为 20~30cm,前期虽经注浆处理,但路肩仍有较大的裂缝,严重危及路基的稳定和公路行车的安全。

3、勘察结果

为查明病害原因,以便制定合理的治理方案,并采取有效的治理措施,勘察部门于2002年10月

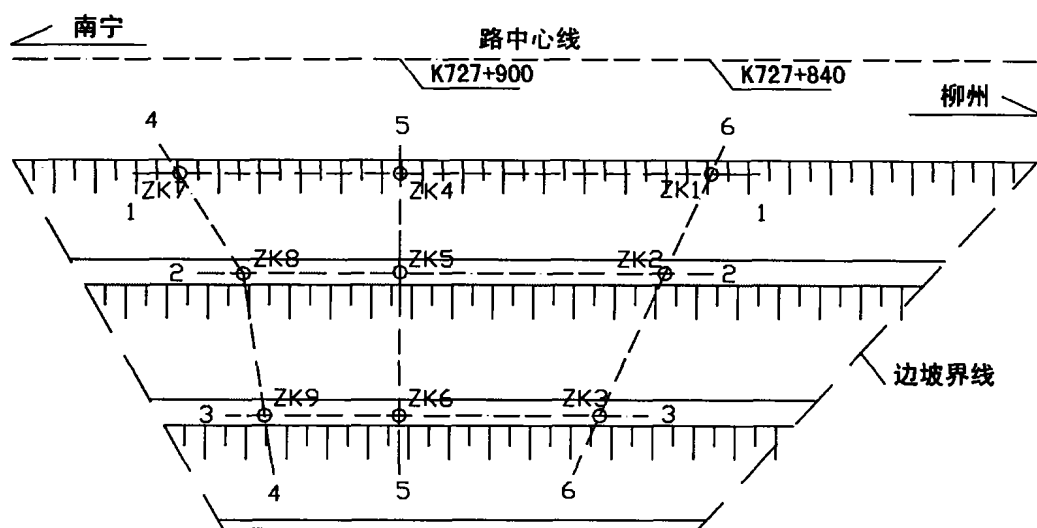


图1 钻孔平面布置图

韦勇生:柳州欧维姆工程有限公司 工程师

《OVM通讯》 2003年第5期

11 日~14 日对该路基边坡进行了岩土工程详细勘察工作。共完成如下工作量：

- A、钻孔 9 个，编号为 ZK1~ZK9（见图 1、图 2），钻探累计进尺 56.40m；
- B、采取原状土试料 15 件，扰动土大样 2 件，地下水 2 件，并进行了室内土工及水质分析试验；
- C、野外标准贯入试验 15 次/7 孔，重型（II）动力触探试验 17.90m/6 孔；
- D、测量定点 9 处。

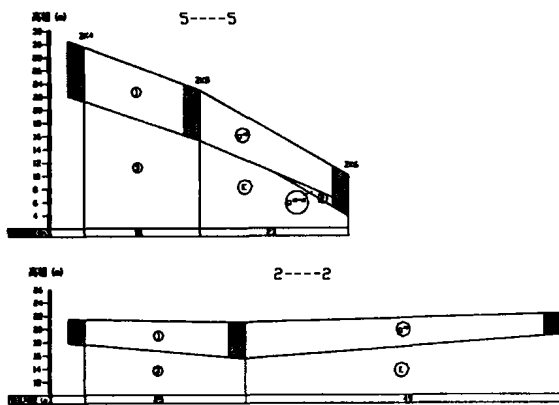


图 2 钻孔柱状图

3.1 地层岩性

根据野外钻孔揭示，场地内埋藏地层按自上而下顺序依次描述如下：

3.1.1 人工填土 (Q^{m1}) ①

为场地内主要覆盖层，褐黄、褐红色，少量褐灰色，主要由粘性土混 20~30% 的碎石及少量块石组成，碎石及块石成份为砂岩风化体，其中 ZK4 及 ZK7 号见有水泥浆凝固体，ZK5 及 ZK8 号该层底部见有薄层卵石，其为设置的反滤层排水体。该层密实程度极不均匀，一般呈湿，松散~稍密状态。整个场地均有分布，层厚 1.20~8.50m。

3.1.2 第四系坡残积 (Q^{d1+e1}) 粉质粘土②

褐黄、褐红色，系砂岩风化残积而成，原岩结构可辨，含较多强风化岩块，稍湿~湿，硬塑状态。仅分布于坡脚，ZK3、ZK6、ZK9 号遇见此层，层厚 1.50~4.70m。

3.1.3 第三系 (E) 强风化砂岩③

为本场地内基岩，褐黄、褐灰色，细粒结构，中厚层状构造，节理裂隙极发育，岩石风化显著，

表 1

| 地层名称 | 指标 统计项目 | 天然含水量 ω (%) | 质量密度 ρ (g/cm ³) | 比重 G _s | 天然孔隙比 e | 饱和度 Sr (%) | 塑限 W _p (%) | 液限 W _l (%) | 塑性指数 I _p | 液性指数 I _l | 内摩擦角 φ (°) | 凝聚力 C (kPa) | 压缩模量 E _{s1-2} (MPa) | 残余内摩擦角 φ _r (°) | 标准贯入试验锤击数 (N) | 动触试验锤击数 (N) |
|--------|------------|-------------|-----------------------------|-------------------|-------------|------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|------------|-------------|------------------------------|---------------------------|---------------|-------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 人工填土 ① | 统计个数 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 8 | 8 | 12 | 8 | 6 | 134 |
| | 范围值 | 9.4~27.2 | 2.00~2.12 | 2.66~2.72 | 0.38~0.73 | 66.0~100 | 15.8~33.9 | 26.1~48.3 | 10.1~15.8 | -0.83~-0.01 | 13.6~17.4 | 60~91 | 5.0~8.6 | 8.6~12.5 | 4~10 | 2~8 |
| | 平均值 | 20.4 | 2.08 | 2.70 | 0.565 | 93.8 | 23.8 | 36.8 | 13.0 | -0.30 | 46.2 | 76 | 6.0 | 10.2 | 7 | 3.4 |
| | 标准差 | 5.36 | 0.03 | 0.026 | 0.10 | 10.65 | 4.96 | 6.10 | 1.79 | 0.27 | 1.39 | 12.72 | 1.06 | 1.46 | 2.31 | 3.15 |
| 粉质粘土 ② | 统计个数 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | 3 | | 4 | |
| | 范围值 | 14.6~16.4 | 2.03~2.09 | 2.67~2.69 | 0.464~0.513 | 76.9~86.0 | 21.5~22.6 | 32.7~34.4 | 10.9~11.8 | -0.68~-0.53 | | | 6.6~9.5 | | 13~19 | |
| | 平均值 | 15.2 | 2.06 | 2.68 | 0.495 | 82.7 | 22.0 | 33.3 | 11.3 | -0.607 | | | 8.2 | | 16.5 | |

岩芯呈碎块状及土夹碎块状, 岩块手可折断, 冲击钻进困难, 各钻孔均入此层, 揭露厚度为 0.50~1.30m。

3.2 土的物理力学性质

根据室内土工试验及野外原位测试结果, 场地内人工填土①及粉层粘土②层主要的物理力学性质指标统计见表 1。

为查明填土的状态, 本次勘察时采取 2 件土试样进行了室内击实试验, 并进行了压实度的计算, 现将有关结果列于表 2。

根据《公路路基设计规范》(JTJ013-95), 下路堤填土压实度应 ≥ 90 , 从上表可知, 本场地约 50% 土样不能满足设计要求, 表明该路真正填土质量不均匀, 且局部地段较差。

3.3 地下水

勘察期间, 部分钻孔 (ZK2~ZK4、ZK7、ZK9) 遇见地下水, 埋藏方式为人工填土①及粉质粘土②层中的上层滞水类型, 水位变化因季节而异, 主要受大气降水补给。勘察期间测得地下水稳定水位埋深为 3.00~6.00m, 相当于标高为 4.66~24.00 之间。地下水位于填土层的底部, 以残积粉

表 2

| 土样编号 | 干密度 ρ_d (g/cm ³) | 最大干密度 ρ_{dmax} (g/cm ³) | 压实度 (%) |
|------|-----------------------------------|--|---------|
| 4-1 | 1.57 | 2.04 | 77 |
| 4-2 | 1.66 | 2.04 | 81 |
| 4-3 | 1.84 | 2.04 | 90 |
| 4-4 | 1.76 | 2.04 | 86 |
| 5-1 | 1.68 | 2.04 | 82 |
| 5-2 | 1.74 | 2.04 | 85 |
| 5-3 | 1.83 | 2.04 | 90 |
| 7-1 | 1.62 | 2.04 | 79 |
| 7-2 | 1.93 | 2.04 | 95 |
| 8-1 | 1.71 | 1.85 | 92 |
| 8-2 | 1.68 | 1.85 | 91 |
| 9-1 | 1.74 | 1.85 | 94 |

表 3

| 地层名称 | 抗剪强度 | | 残余内摩擦角 ϕ_r (°) | 天然重度 r (KN/m ³) | 砂浆与岩石间的粘结强度特征值 f (Kpa) |
|--------|-----------------|---------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | 内摩擦角 ϕ (°) | 凝聚力 C (Kpa) | | | |
| 人工填土① | 12 | 20 | 10 | 20.0 | |
| 粉质粘土② | 20 | 25 | | 20.0 | |
| 强风化砂岩③ | | | | | 0.15 |

质粘土及岩层顶面为隔水板的接触面上。

3.4 边坡稳定性分析与评价

勘察结果表明, 路堤边坡范围内除其坡顶路肩处开裂处, 未发现明显的边坡失稳迹象, 若不进行及时治理, 并不排除其失稳的可能性。因为场地的原始地形为中间低两边略高的“U”字形, 其汇水面积较大, 雨季到来时, 雨水会沿着裂隙进入边坡土体中, 由于反滤层不连续, 坡顶及坡面部分地段地下水水位明显, 表明其排泄不畅, 且地下水汇集于填土底部与岩层顶面的接触面上, 使土体长期浸泡变软, 力学强度降低, 下滑力增大, 抗滑力减少, 是引起边坡变形的主要原因; 此外, 从野外原位测试结果表明, 场地内人工填土层密实程度不均匀, 大部分地段未完成自重固结, 一般呈松散状态, 这也是引起边坡变形的另一原因。

3.5 结论与建议

3.5.1 勘察结果表明, 该高填方路堤边坡目前处于暂时稳定状态, 但随着时间推移, 该边坡工作状态将进一步恶化, 可能发生较大位移, 甚至滑移, 因此必须及时采取边坡治理措施。

3.5.2 根据本次勘察结果, 参照《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001) 及《公路工程地质勘察规范》(JTJ064-98), 场地内各土层有关工程特性指标建议按表 3 值采用。

4、设计方案

4.1 路基化学灌浆

根据勘察资料认为: 砟路面板开裂、断板、护栏变形, 路肩及下边坡沉陷及位移的很大原因是填土的质量不合格, 尤其是压实度。路基化学灌浆的目的: 提高路基填土的密实度, 同时改善填

土的其他一些力学性能。根据工程地质勘察报告及现场踏勘调查施工范围、路基填土高度、填土地质情况，结合灌浆设计布孔的间距、孔深、浆液扩散半径，按实际需处理的路基填土体积的5%计算灌浆工程水泥浆液用量（每吨水泥造浆量按1.4立方米计）。处理方案如下：

在上行线 K727+840~958 段中间沉陷区长45m、宽8.25m的行车道及超车道上按梅花型平行布置3排灌浆孔，孔距3m，排距为3m，孔深0.6m，共布置灌浆孔44个。

在上行线 K727+840~958 段长118m、宽

18.49m的一级边坡上按梅花型平行布置6排灌浆孔，孔距3m，排距为3m，孔深要求灌至填挖交界面，共布置灌浆孔234个。见图3、图4。

4.2 预应力锚固

4.2.1 边坡滑移分析

根据勘察资料和现场踏勘，按主滑面与层面的关系，该滑坡属于沿填土底面和岩层顶面的接触面上的顺层滑坡，滑坡的发展阶段属于滑坡的前期即蠕动阶段，其主要的诱发因素是：场地的原始地形为中间低两边略高的“U”字形，其汇水面积较大，雨季到来时，雨水会沿着裂隙进入边

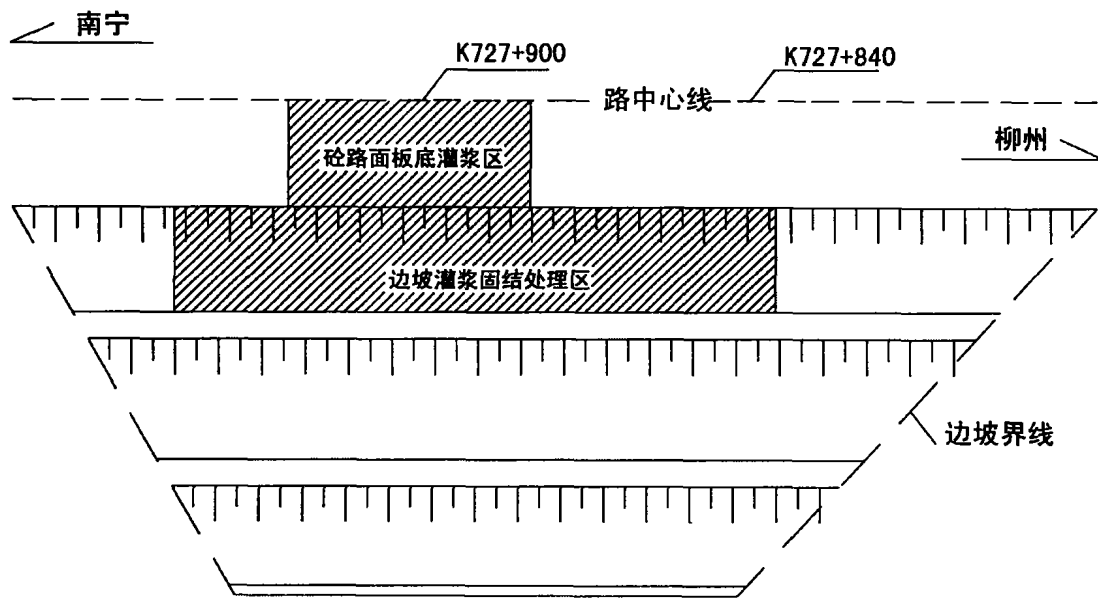


图3 化学灌浆处理区平面图

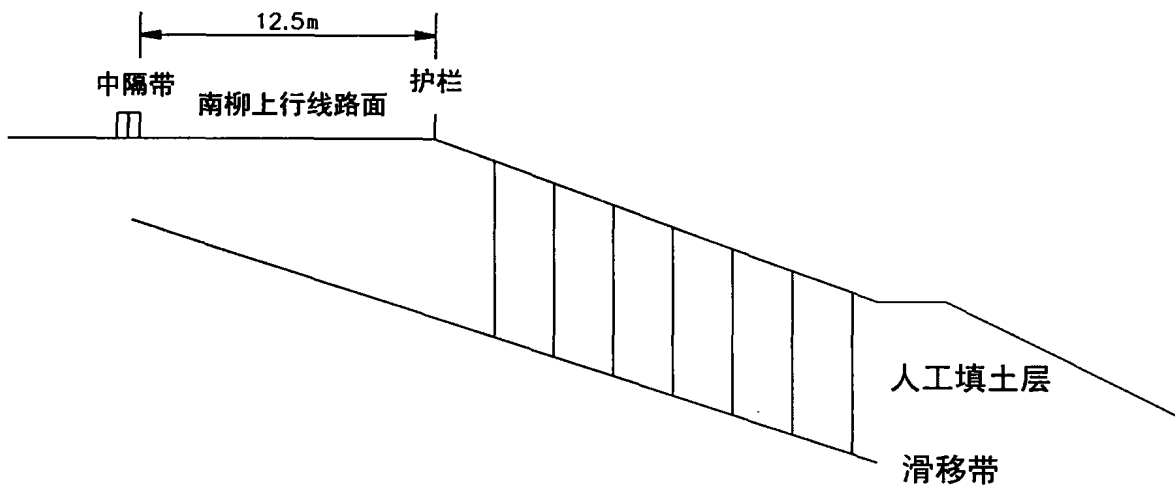


图4 路基边坡灌浆孔断面图

坡土体中,由于反滤层不连续,地下水排泄不畅,且地下水汇集于填土底部与岩层顶面的接触面上,使土体长期浸泡变软,力学强度降低,下滑力增大,抗滑力减少。

4.2.2 加固方案

经过分析和滑坡推力计算(推力传递法),并结合数年的边坡治理经验,提出如下边坡加固方案。

在上行线 K727 + 840~958 段,重点对路基的上级边坡进行预应力锚固,将外部滑坡层锚固在深部基岩上,并结合微型钢管桩的抗滑作用和路基内的排水措施,锚固、抗滑、排水三种措施结合使用,就能稳定上级边坡。上级边坡稳定后,

就去除了其对中、下级边坡的滑坡推力传递,使下级边坡得以自稳。这样就达到了稳定整个路基边坡的目的。具体为:在路基的上级边坡布置2排共58根压力分散型预应力锚索、2条横地梁和81根钢管抗滑桩,在上级边坡坡脚设置15根排水管。第一排锚索布置区间为K727+840~958,设34根,第二排锚索的布置区间为K727+858~942,设锚索24。两排锚索成梅花形交错布置。第一排锚索距路肩顶斜长3.5米,两排锚索沿坡面斜长间距4米,各排中锚索水平间距3.5米。锚索孔径 ϕ 130mm,倾角 13° ,孔深24m,均为600KN级。加固方案见图5、图6。

在该工程中,我们应用了一种新型的预应力

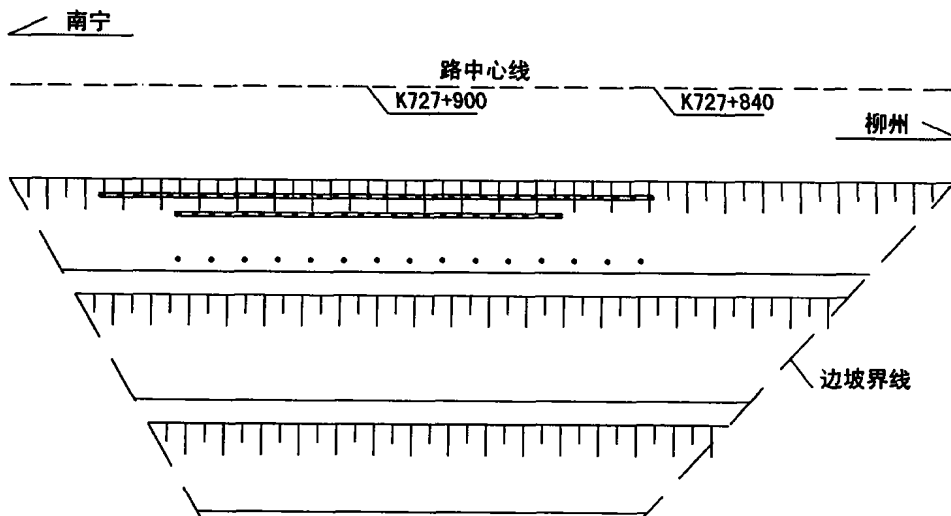


图5 锚索、地梁、钢管桩、排水管平面布置图

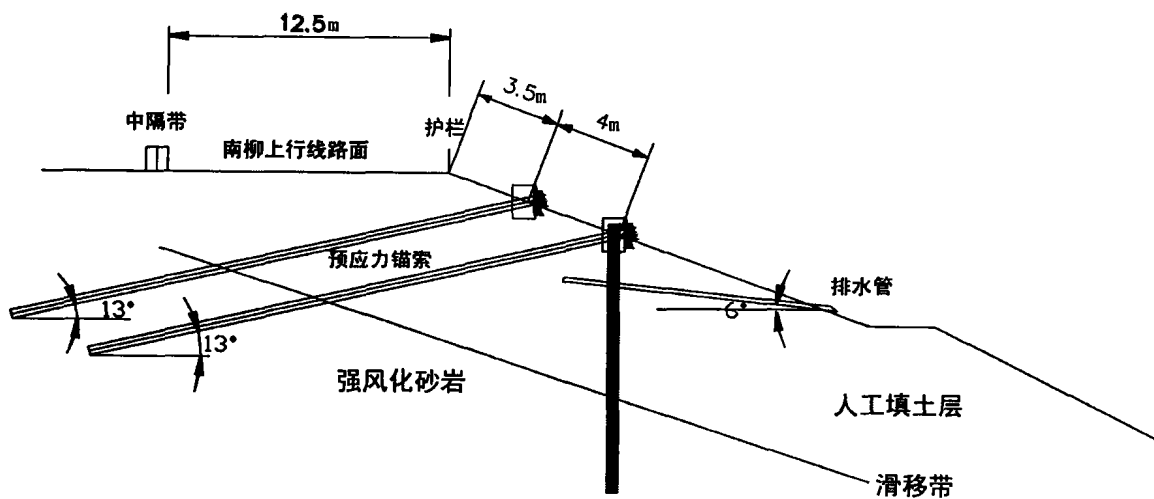


图6 锚索、地梁、钢管桩、排水管剖面图

锚索—压力分散型锚索。该锚索结构型式如图 7 所示。

该锚索的特点是：注浆体受到压缩应变，浆体与孔壁的摩擦剪应力分散到几个承载板上，对应每个承载体的剪应力分布从孔底到孔口递减。它比传统拉力集中型锚索受力机制更合理，解决了注浆体与孔壁的摩擦剪应力过于集中，无法提高松软岩土体承载力的难题。在相同吨位下，它可以减少锚固段长度，受力更加安全。而且防腐性能更好、寿命更长。它更适用于承载力低和富含地下水的松软复杂地层的永久加固。

5、施工要点

施工程序：**化学灌浆**→**预应力锚固**

5.1 化学灌浆施工

5.1.1 主要施工设备见表 4。

5.1.2 灌浆材料及配比

本工程采用的主要灌浆材料为：水、325 普通硅酸盐水泥及化学添加剂（水玻璃），浆液配比依次为：0.8:1.0:(0.02~0.05)。

5.1.3 灌浆次序及技术要求

(1) 灌浆次序

K727+840~958 段一级边坡灌浆施工次序按自下而上、逐渐加密的原则进行，灌浆孔深度要求灌至路基填挖交界面。行车道及超车道砗路面板底灌浆按先超车道后行车道进行，灌浆孔深度要求灌至砗路面板下 0.6m。灌浆压力 0.1~0.5MPa，浆液扩散半径按 1.5~1.8m 计，各灌浆孔施工过程应在注浆孔四周沿砗路面板间伸缩缝布设临时沉降观测点，单孔注浆量视沉降点及灌浆压力的变化情况及时调整。

(2) 技术要求

经灌浆抬板处理后的路面平整度不大于 8mm/30m，抬板施工过程中不得出现新的断板；浅层固结灌浆时标准贯入试验不少于 25 击；灌浆施工范围内抽检土样中化学浆液含量不少于设计含量，质量保证责任期壹年。

5.1.4 施工工艺

(1) 现场踏勘，按有关规定要求布设施工标志警示牌及临时工地设施，按设计图要求测放注浆孔位置。

(2) 钻机就位，按现场放样点位置准确就位，并校正钻杆（或注浆管）的垂直度，按设计要求成孔到预定深度。

(3) 埋管，将灌浆管垂直安装放置孔内。

(4) 灌浆设备就位，利用高压水循环冲洗注浆管内及管口附近的泥砂等杂质，保证注浆管通畅。

(5) 水泥浆液搅拌、过滤及化学浆液调配备用。

(6) 采用两台高压注浆泵分别将水泥、化学浆液按设计压力沿注浆管同时注入路基土体中，水泥、化学浆液在压力作用下，以渗透、压密和劈裂等多种运动方式作用于路基人工填土的土体，在土体颗粒的间隙、土层的界面及砗板底迅速扩

表 4

| 序号 | 设备名称 | 型号规格 | 单位 | 数量 | 额定功率(KW) | 备注 |
|----|------|--------|----|----|----------|----|
| 1 | 工程钻机 | XY-100 | 台 | 2 | 16KW | |
| 2 | 注浆泵 | BW250 | 台 | 2 | 20KW | |
| 3 | 注浆泵 | BW150 | 台 | 1 | 8KW | |
| 4 | 抽水机 | BW160 | 台 | 2 | 12KW | |
| 5 | 发电机组 | 20KW | 台 | 2 | 20KW | |
| 6 | 搅拌机 | 200L | 台 | 2 | 5KW | |

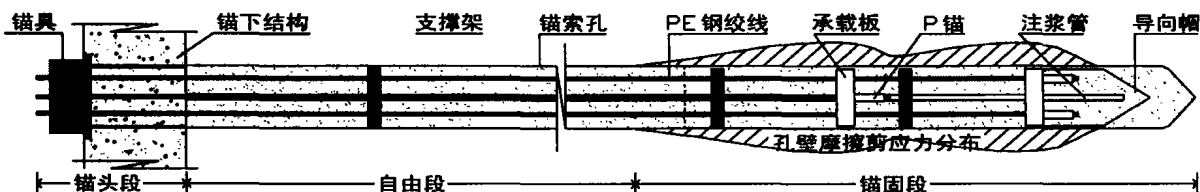


图 7 OVM 压力分散型锚索结构图

散、胶凝、固化，形成固结体均匀分布于路基土体中，和原人工填土土体构成一种强度高、承载力强、渗透性弱的复合土体，从而达到加固路基土体、防止路面板沉降开裂的目的。

(7) 各灌浆孔施工前应在注浆孔四周沿砼路面板间伸缩缝布设临时沉降观测点，单孔注浆量视沉降观测点及灌浆压力的变化情况适时调整，并均匀提升注浆管，确保注浆孔四周及砼板底吃浆均匀饱和。

(8) 现场记录各工点灌浆孔施工的孔深、灌浆起止时间、压力及水泥用量，交甲方现场管理人员和监理人员及时签证。

(9) 施工场地清洗复原。

5.1.5 主要完成工程量见表 5。

5.2 预应力锚固施工

5.2.1 主要施工设备见表 6。

5.2.2 预应力锚固施工按下面程序进行

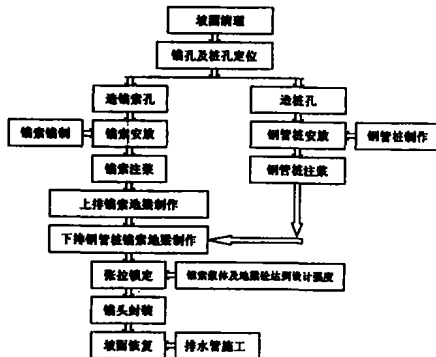


表 5

| 序号 | 工程项目 | 单位 | 数量 | 理论用量 | 备注 |
|----|----------------|-------------------|-----|------|-----------|
| 1 | 一级边坡灌浆加固工程水泥用量 | t | 409 | 413t | 196 孔 |
| 2 | 砼路面板底灌浆 | (m ²) | 383 | 38t | 44 孔, 24t |

表 6

| 序号 | 设备名称 | 型号规格 | 单位 | 数量 | 额定功率(KW) | 备注 |
|----|-------|-------------------------------|----|----|----------|----|
| 1 | 发电机组 | 50KW | 台 | 2 | 50KW | |
| 2 | 发电机组 | 20KW | 台 | 2 | 20KW | |
| 3 | 空压机 | 0.7Mpa, 12m ³ /min | 台 | 2 | | |
| 4 | 钻机 | MGJ-50 | 台 | 2 | 18KW | |
| 5 | 钻机 | KQJ-100 | 台 | 2 | 3KW | |
| 6 | 汽吊 | 10 吨 | 辆 | 1 | | |
| 7 | 砂浆搅拌机 | 1m ³ | 台 | 1 | 4KW | |
| 8 | 注浆泵 | 3SNS | 台 | 1 | | |
| 9 | 张拉机具 | OVM | 套 | 1 | | |

各分项施工方法如下：

(1) 坡面清理

将上级坡面加固区内杂草清除，注意树苗可不用清除。人工将坡面清平。

(2) 锚孔及桩孔定位

按图纸在坡面上定锚索及钢管桩孔位，孔位水平和竖向误差不大于 5cm。

(3) 锚索造孔

130mm 冲击钻成孔，如遇塌孔，套管护壁钻进。钻孔深度比设计深度深 30cm，钻孔完成后用高压风清孔。

(4) 锚索编制

按设计图纸进行锚索编制，索长比设计长度长 80cm 作为张拉作业长度，索尾端各对无粘结钢绞线做标识以方便区分。注意不可损伤无粘结筋的 PE 外套。尾端 2 米捆成一束。锚索的各项长度误差不大于 15cm。

(5) 锚索安放

人工抬索至孔口，检查后匀速推入孔内。孔口外留 0.8 米。如套管护壁，则在套管内下索，下索后拔套管，注意拔套管时不可带动锚索。

(6) 锚索注浆

注浆采用孔底返浆的注浆方式，注浆材料为水泥砂浆，强度 M30，注浆至孔口返出水泥砂浆为止。

(7) 钢管桩造孔

165mm 冲击钻成孔，垂直造孔，钻孔深度比设计深度深 30cm，钻孔完成后用高压风清孔。

(8) 钢管桩制作

将 6 米一根的 140mm 直径的厚壁钢管切割，按设计图纸进行焊接，组成 10 米长桩身。在桩头按设计要求制作桩头锥帽，用氧气枪割出注浆孔，焊接上桩尾端板。钢管桩焊接完成后除锈，在桩外刷油沥青进行防腐处理。

(9) 钢管桩安放

用 10 吨汽吊进行钢管桩的孔内就位,用水准仪控制桩尾标高一致。

(10) 钢管桩注浆

从钢管桩尾端注浆口向桩孔内注 M20 纯水泥浆,至桩孔返出浓浆后停止注浆。

(11) 地梁制作

地梁分段现浇,每段梁长 15~20m,分隔缝设在相邻的两个锚索孔中间。采用钢制模板以保证构件的外形平整。混凝土现场机械拌制或采用商品混凝土,强度 C25,人工入模,注意振捣锚垫板下面高应力区段。3 天后脱模,构件浇水养护 14 天。

(12) 张拉锁定

锚索注浆体和地梁的强度都达到设计强度后方可进行张拉作业。为保证地梁受力均匀,可靠地把锚固力传给坡体,每段地梁上的锚索分 2 次张拉,第 1 次将该段地梁上的全张锚索依次张拉到 0.5 倍设计荷载并临时锁定,第 2 次依次将锚索张拉到设计荷载后锁定。每次张拉作业分级进行,每级作业采用拉力为主、伸长值校核的双控法进行过程控制,张拉到 100% 设计荷载持压 5~10 分钟后锁定锚索。

(13) 锚头封装

锚索张拉锁定后即可进行锚头封装作业。锚板后钢绞线外留 15cm,用手持砂轮切割机切除多余钢绞线。支模后用水泥砂浆进行封锚,支模保证锚头保护层厚度不小于 30mm。

(14) 排水管施工

排水孔冲击成孔,孔径 110~130mm,钻到设计深度后立即拔杆,紧接着将预先按设计做好的排水管人工插入孔内,插入时注意透水孔朝上。到位后用粘土将孔口 60cm 段的管孔间隙充填密实。

(15) 坡面恢复

将坡面上的施工废弃物清理出场,坡面上的施工开挖平台回填夯实,使坡面平整。

6、施工效果

6.1 化学灌浆

2002 年 12 月 10 日进场施工,2003 年 1 月 14 日完工。完工后根据检测孔检测、原位测试、路面拉线测量及工后观察的结果表明,填方路基边坡的填筑土的力学性能得到了较大的提高;路面板底吃浆饱满。加固效果明显。

6.2 预应力锚固

2003 年 2 月 10 日进场施工,5 月 20 日完工。到目前,由于处治得当和压力分散型预应力锚索的作用,路面及路肩不但没有再发生开裂、下陷和外移,而且原来的裂缝慢慢的恢复闭合。更重要的,边坡已经经受了今年南方雨季的考验,目前安然无恙的承载着日夜奔驰的一辆辆汽车。

参考文献

- [1] 中国有色金属工业长沙勘察设计院,柳南高速公路 K727+805-960 边坡岩土工程详细勘察报告,2002 年 10 月。
- [2] 广西交通规划勘察设计院,柳南高速公路 K727+900 上行线下边坡锚固(灌浆部分)工程竣工资料,2003 年 1 月 20 日。
- [3] 柳州欧维姆工程有限公司,柳南高速公路 K727+900 上行线下边坡锚固工程竣工资料,2003 年 3 月 30 日。
- [4] 韦勇生等,压力分散型锚索在大坝坝基加固工程中的应用,柳州欧维姆机械有限责任公司《OVM 通讯》总第 37 期,2003 年 4 月。
- [5] GB50021-2001,岩土工程勘察规范。
- [6] JTJ064-98,公路工程地质勘察规范。
- [7] JTJ013-95,公路路基设计规范。
- [8] CECS-22:99,土层锚杆设计及施工规范。
- [9] JTJ018-97,公路排水设计规范。
- [10] GBJ10-89,混凝土结构设计规范。