

地基 锚索结构 滑动面 荷载 加固 稳定性

新型锚索结构系列及工程应用(续)

田裕甲 吕兵 黄家齐 顾寅 唐专林

编者注:本刊曾在1999年第3期和第4期刊登了本文作者的文章《压力型锚索与荷载分散型锚索在加固工程中的应用》和《锚索类型的分析》,现应部分读者要求,经作者重新整理、充实相关内容后,本刊将分两次刊登本文以饕读者。

(续上期第29页)

(1) 稳定分析

观察裂缝位置及地形地势,初步确定下滑体滑动范围,经钻孔加固区范围内的工程地质及水文地质资料表明路基滑动面的位置在填方土体下界面处,确定了滑坡体大小后即可作稳定分析和优化加固设计。钻孔揭示土体基本上从孔口往下依次为填土、粉土、粉质粘土、粉粘夹角砾或风化砂页岩,其间夹有结构松散的薄弱层,即滑动面(详见图22)。在连降十三天特大暴雨的作用下,大量雨水沿滑动面和混凝土路面与土体接触部位渗流并产生流土,这样,路基在自重荷载和车辆通行荷载的共同作用下开始出现沉陷坍塌。

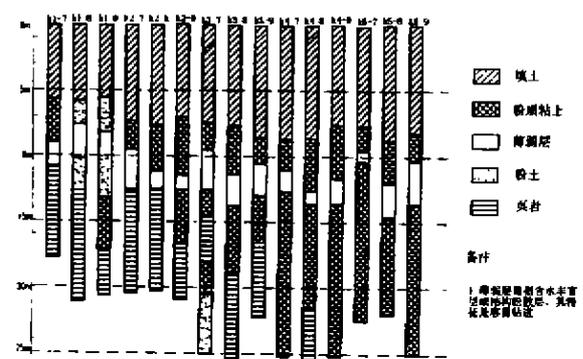


图22 典型剖面钻孔柱状图

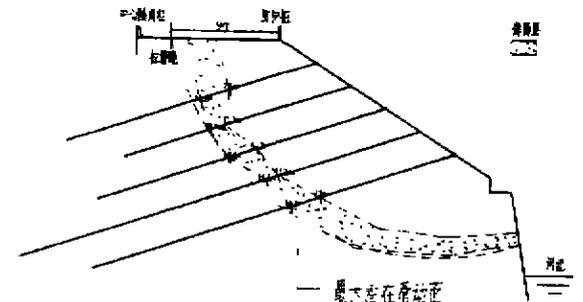


图23典型剖面(KX-8)钻孔资料稳定分析图

取典型剖面(kx-8)进行分析,用实际存在的最大潜在滑动面(详见图23)修订初步设计,最终进行稳定分析计算。

稳定安全系数:

$$K = \frac{\sum [W_i \cos \theta_i + T_i \sin(\beta + \theta_i)] \tan \phi + cL + \sum T_i \cos(\beta + \theta_i)}{\sum W_i \sin \theta_i}$$

土体力学指标取: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $C = 10 \text{ kPa}$, $\phi = 19^\circ$

① 圆弧滑动条分法稳定分析

如图24所示,按照圆弧滑动面进行稳定分析计算:

当张拉荷载 $T_1 = 320 \text{ kN/根}$ 时, $K_1 = 1.29$;

当锚固荷载 $T_2 = 600 \text{ kN/根}$ 时, $K_2 = 1.52$;

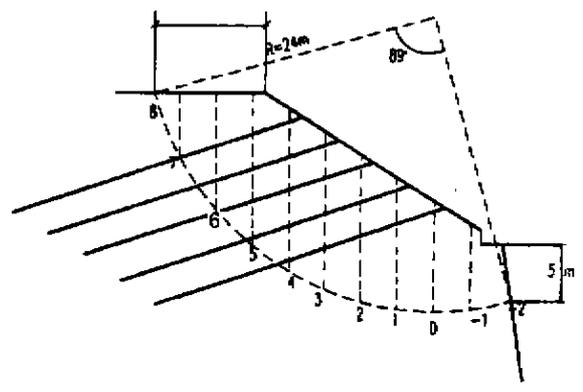


图24 圆弧滑动条分法稳定分析计算图

② 近似折面滑动法稳定分析

将圆弧滑动面简化成等效的折线滑动面,如图25所示,进行稳定分析计算:

当张拉荷载 $T_1 = 320 \text{ kN/根}$ 时, $K_1 = 1.40$;

当锚固荷载 $T_2 = 600 \text{ kN/根}$ 时, $K_2 = 1.64$;

以上两种计算结果都满足了《岩土工程勘察规范》(GB50021-94)中一级边坡工程的规定。

(2) 加固设计

田裕甲 教授级高工
吕兵 柳州欧维姆工程有限公司 工程师

岩土锚固

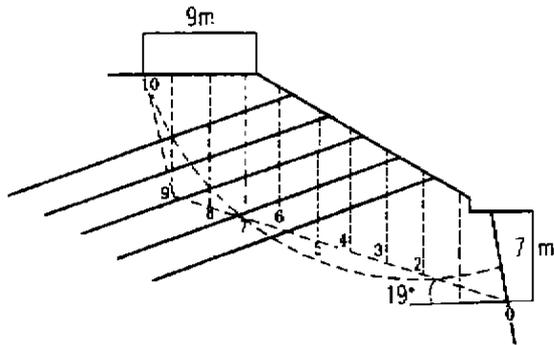


图25 折面滑动法稳定分析计算图

锚索设计五排，排间距3.5m；每排15根锚索，锚索间距3m。选用1860级无粘结钢绞线，其破断力为266kN。每根无粘结钢绞线张拉荷载80kN，安全系数为266/80=3.3；锚固荷载为150kN，对应的安全系数266/150=1.8。每排锚索用钢筋混凝土承载梁连结起来协同工作，钢筋混凝土承载梁为设计承载力600kN的连续多跨梁。(加固设计平面见图26)

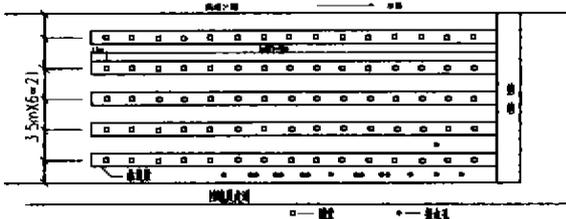
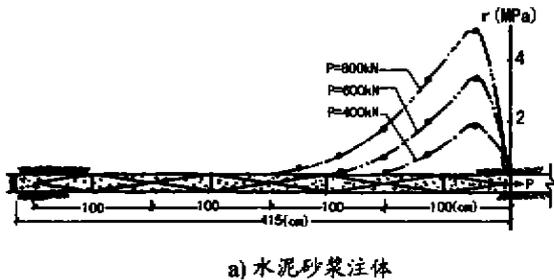


图26 K412路基加固工程竣工平面图

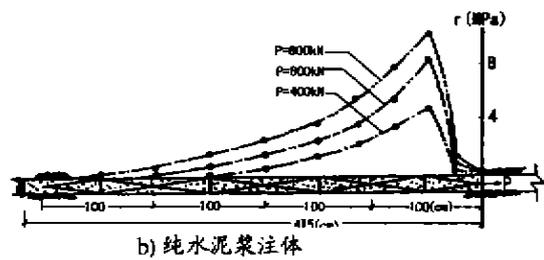
3、锚索结构

由于路基中土层的力学参数指标各不相同，因此为确保锚固效果，根据内锚固段设置在不同土层而选用不同的锚索结构形式--当内锚固段处于承载力较高的风化砂页岩层时，选用压力型锚索；当内锚固段处于承载力较低的粉质粘土层时，选用荷载分散型锚索。

压力型锚索的作用机理：与传统的拉力型锚索相比，压力型锚索有明显的优越性。传统的拉力型锚索在张拉时，在锚固段上界面处出现最大剪应力，现场试验表明，以1000KN级拉力型锚索（钢绞线索体6×7Φ5）对设置在灰岩中的4m长内锚固段施加预应力后观测表明，浆体与孔壁、钢绞线与浆体之间剪应力分布情况如下：浆体与孔壁之间锚固段上部剪应力集中，其峰值为平均剪应力的4~8倍，向深部迅速衰减，到2.5m~3.6m深处剪应力为零，如图27；钢绞线与浆体之间，在锚固段上部剪应力集中情况更为严重，为平均剪应力的8~10倍，并向深部衰减更快，影响深度只有1.5m~1.8m，如图28。随着张拉力增加，钢绞线与浆体、浆体和岩体之间发生受

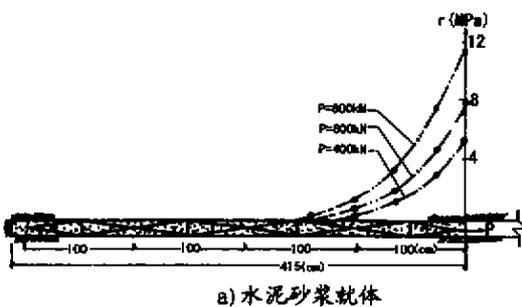


a) 水泥砂浆注体

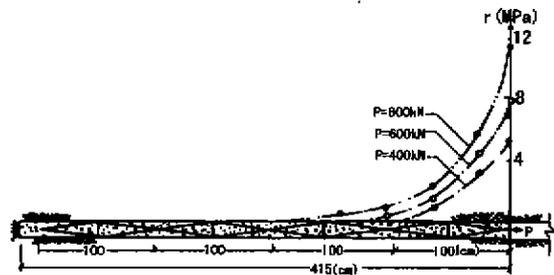


b) 纯水泥浆注体

图27 注浆体与孔壁之间的剪应力沿内锚固段长的分布状态



a) 水泥砂浆注体



b) 纯水泥浆注体

图28 注浆体与钢绞线之间的剪应力沿内锚固段长的分布状态

岩土锚固

拉、剪切变形而导致浆体被拉裂,最大剪应力向下部转移,进而导致锚固段与岩体的界面出现渐进性破坏。所以拉力型锚索不能充分利用被加固体的承载能力,而且由于浆体被拉裂致使锚索易被腐蚀而失效。而压力型锚索将张拉荷载作用于锚固段下部,剪应力形成下大上小的分布,在张拉荷载作用增加时,下部剪应力增大。因注浆材料的抗压弹性模量很大,在受压时长度变化极小,故剪应力衰减缓慢,土体承载能力得到较充分的利用。而且由于注浆材料受压将锚索紧密地包裹在其中,起到了长效防腐的作用。由以上对比可知:在相同的锚固条件下,压力型锚索比拉力型锚索有更高承载力和更好的耐久性。

压力分散型锚索的作用机理:锚索中设置两块按一定间距分布的承压板,张拉时荷载通过这两块承压板分层传递给土体,使得整个内锚固段上剪应力分布较均匀,从而充分地利用承载力较低土体的抗剪强度,确保锚固效果。

4、施工及监测

(1) 施工

施工工艺主要包括:施工准备,钻锚索孔,制索,锚索就位,注浆,钻排水孔及安装排水管,浇筑钢筋混凝土承载梁,锚索的张拉及封锚。

① 施工准备

- (a) 设备进场,接通水电;
- (b) 按合同要求确定施工范围;
- (c) 测量放线,确定具体孔位。

② 钻锚索孔

在孔位上搭建施工平台,钻机就位后着手钻孔。钻机采用三台XY-100型地质钻机和一台XY-300型地质钻机,孔径150mm,倾角 $-15^{\circ} \sim -20^{\circ}$,孔深依具体地质条件而定。

③ 制索

- (a) 按孔深及锚索结构图下料;
- (b) 按锚索结构图制索;

(c) 在锚索中间穿注浆管到前端导向帽内。

④ 锚索就位

锚索孔成孔后,将锚索用人工抬至孔口,穿索时避免锚索扭转,注意保护好注浆管和钢绞线之PE外套。

⑤ 注浆

采用注浆泵进行低压注浆,在注浆过程中压力表读数保持小于0.5MPa。边注浆边拔管,且保证注浆管口始终在浆液面以下。注浆材料选用柳州鱼峰425R普通硅酸盐水泥,中细砂和TQ外加剂,拌制比例为水泥:水:砂:TQ=1:0.4:0.5:0.1,水泥砂浆强度大于M30。

⑥ 钻排水孔及安装排水管

根据锚索孔地质资料确定排水孔孔位,在孔位上搭建施工平台,采用两台XY-100型地质钻机钻排水孔,孔径110mm,角度 $+2^{\circ} \sim +5^{\circ}$,孔深12~18m。

成孔后按结构设计图制排水管,安装排水管时注意使没有渗水孔的部位朝下。

⑦ 浇筑钢筋混凝土承载梁

根据设计图削坡、支模、扎筋、浇筑混凝土。钢筋混凝土承载梁每条长46.5m,分两段浇筑,中设一伸缩缝,混凝土强度C20。

混凝土浇筑完后,用水泥袋覆盖,定期淋水养护,养护期14天。

⑧ 预应力张拉及封锚

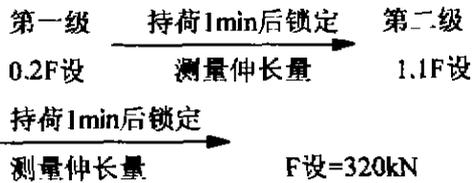
锚索设计中每根锚索的锚固力为600kN,但根据稳定分析计算,每根锚索只需施加一定的张拉力使下滑体处于稳定平衡状态,即避免过大的张拉力可能导致路基上抬、破坏土体结构的现象发生。通过张拉和观察裂缝变化最终选择了320kN作为张拉锁定荷载。

张拉施工程序采用分级、分批对角同时张拉;同一级别张拉时,先张拉里端承压板的两根无粘结钢绞线。张拉选用一台ZB4/500S油泵带动

岩土锚固

两台并联YC20Q-150型千斤顶。

张拉工艺如下:



锚索张拉结束后,从锚板外测量10cm切除多余钢绞线。支模,用1:1水泥砂浆封锚。

(2) 施工监测

严格按《土层锚杆设计与施工规范》以及《钢筋混凝土工程施工及验收规范》施工,工程质量满足了设计和甲方要求。

预应力张拉前,先对千斤顶、油泵、油表进行配套标定,按标定曲线计算张拉力。张拉时采用“双控法”,以控制油表读数为准,用伸长量校核,伸长值误差控制在+10%~-5%的范围内。

在预应力张拉过程中,采用“信息施工法”,即边施工边监测,以测量反馈回的资料指导施工。为此,在施加预应力前全面测量被加固体的

高程。锚索张拉锁定后,在路面裂缝上抹上一层水泥砂浆,通过观察其是否变化来判断施加预应力的合适。从预应力张拉前后的高程变化来看(高程变化见表1),路基面层高程基本没有变化,达到了加固的目的。

5、排水设施

为了排除路基内的滞水,改善土体力学指标,是路基稳定的重要环节,故在第四排锚索与第五排锚索之间根据钻锚索孔所得的地质资料设置了16个排水管,孔深12~18m,上仰+2°~+5°。排水管结构见图29。事实表明这16个排水管安装后就开始排水,在雨季排水效果更佳,毫无疑问这对路基稳定将起重要作用。

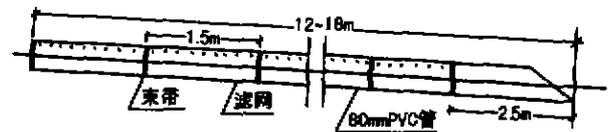


图29 排水管结构示意图

表1 K412上行线路基下沉记录表

桩号	A			B			C			D		
	张拉前 标高	施工中 标高	张拉后 标高									
+080	101.687	101.670	101.676	101.543	101.545	101.550	101.211	101.207	101.208	100.927	100.909	100.914
+085	101.783	101.506	101.601	101.487	101.475	101.481	101.175	101.169	101.172	100.881	100.883	100.881
+090	101.514	101.476	101.471	101.403	101.379	101.380	101.131	101.117	101.117	100.833	100.829	100.836
+095	101.408	101.350	101.343	101.416	101.262	101.259	101.053	101.786	101.787	100.781	100.782	100.790
+100	101.353	101.289	101.293	101.199	101.174	101.177	100.983	100.996	100.997	100.733	100.733	100.737
+105	101.291	101.243	101.239	101.168	101.134	101.140	100.929	100.923	100.920	100.676	100.669	100.667
+110	101.223	101.183	101.178	101.160	101.168	101.169	100.899	100.903	100.903	100.614	100.617	100.619
+115	101.148	101.098	101.101	101.164	101.160	101.161	100.858	100.855	100.853	100.545	100.549	100.549
+120	101.113	101.043	101.045	101.107	101.117	101.117	100.802	100.803	100.794	100.489	100.488	100.490
+125	101.157	101.136	101.135	101.066	101.071	101.071	100.725	100.728	100.733	100.400	100.418	100.418
+130	101.167	101.172	101.173	101.002	101.007	101.007	100.670	100.665	100.672	100.356	100.355	100.357

路基坡面经过多次夯实后,具有一定排泄地表水的能力,但为确保坡面不被雨水冲刷流失应尽快种植植被。

(三) OVM拉压分散型锚索在边坡加固中的应用

1、工程概况

广西桂柳高速公路K412+200~254路基加固工程位于桂林地区永福县城西6km、洛清江龙溪电站溢流坝坝肩处。路基下面为浆砌石挡土墙,墙高8~12m,挡土墙至路肩坡角 32° ,坡距12m。该处路基沉陷塌滑长度为36m,路面最大裂缝宽为19mm,路肩最大沉降25.5cm,路基下挡土墙最大外移6cm。路基处于滑移状态,见图30。

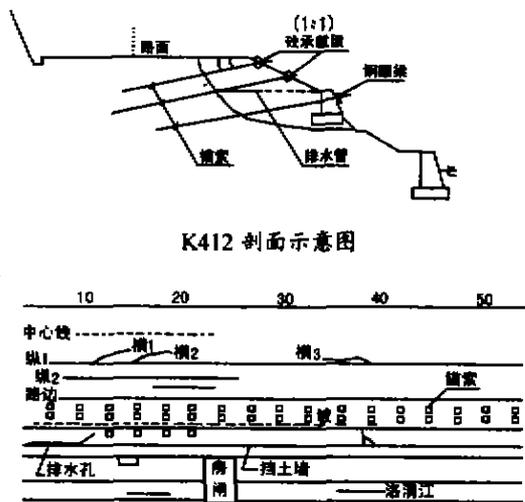


图30 桂柳高速公路 K412 路段图(坡面)及锚索加固图

2、勘测及设计

由于该路段缺乏必要的地质资料,经补充钻探,收集有关路基及滑动面参数,分析判断造成滑坡的原因,提出加固设计。

(1) 钻孔勘测。该路基段土层变化比较大。从路面中心往下,土层大致分布为:0~5.8m为杂填土,主要为黄色或褐红色粘土、浅黄色粉土,夹有小颗粒砾石;5.8~10.4m为褐红色硬质粘土,部分地段夹有粉砂段,遇地下水后呈泥

浆状。

(2) 稳定性分析

按照圆弧滑动面进行下滑稳定分析。(见图31)土体力学指标综合取值为 $C=20\text{KPa}$, $\varphi=20^\circ$, $\gamma=19\text{KN/m}^3$ 。计算出锚索加固后边坡稳定安全系数 K 为:

当每根锚索张拉力 $F_1=320\text{KN}$ 时, $K_1=2.22$

当每根锚索锚固力 $F_2=600\text{KN}$ 时, $K_2=2.87$

以上计算结果皆满足了《岩土工程勘察规范》(GB50021-94)中一级边坡的稳定要求。

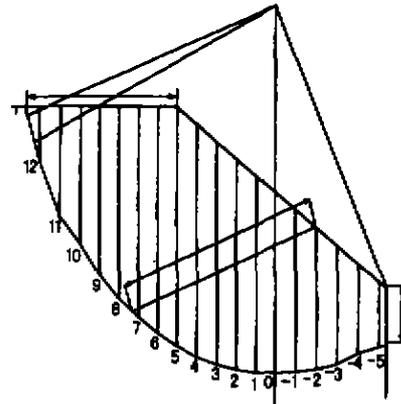


图31 圆弧法稳定分析图

(3) 加固设计

锚索设置为三排。排间距为 $4 \times 3\text{m}$ 。每根锚索由4根 $\Phi_{15.2}$ 、强度1670MPa级无粘结平行钢绞线组成。每根锚索的设计锚固力为600KN,即保证边坡变形时,锚索受力逐渐增大到600KN时仍不致破坏。实际张拉时,每根锚索只施加320KN的张拉力时即可满足稳定安全要求。为避免过大的张拉力导致路面上抬破坏路面结构的不良后果,所以选定320KN为最终的张拉锁定荷载。

第一、二排锚索外锚头设置钢筋砼承载梁,梁的设计强度为C20;第三排则设计为钢腰梁,采用25#槽钢,布置在浆砌石挡土墙上。钢腰梁与挡土墙间设置细石砼垫层。锚索设计长度19~27.5m。内锚头锚固在褐红色硬质粘土层。锚索设计参数见表2。

表2 锚索设计参数表

编排	锚索根数	锚索组成	锚索孔径(mm)	钻孔深度(m)	钻孔角度(°)	单索设计张拉力(KN)	单索设计锚固力(KN)	总锚固力(KN)	总张拉力(KN)
第一排	18	4Φ15.2	Φ150	21.5	18	320	600	10800	5760
第二排	18	4Φ15.2	Φ150	17	18	320	600	10800	5760
第三排	4	4Φ15.2	Φ150	19	16	320	600	2400	1280

3、锚索结构

由于路基中锚固段土体力学参数指标变化大,因此选用了一种新型OVM拉压分散型锚索,以确保锚固效果,如图32。这种锚索结构为拉力分散与压力分散的结合。它具有独特的传力机制和良好的工作特性。即通过力的分层传递、拉应力与压应力的叠加,使得锚固体内应力及锚固体与周围土体间的粘结摩阻力分布更趋均匀,从而充分调用了土体的承载力,缩短了锚索长度。

OVM拉压分散型锚索是在压力分散型锚索的基础上,利用承载板下部的裸钢绞线与浆体的粘结力及压力分散结构共同作用,使得承载板上面的锚固体受压,而后一个承载板下有粘结钢绞线段受拉,二者共同抵抗张拉力,其方向与张拉力方向相反。这样,拉应力与压应力相互叠加。使得整个锚固体内应力及锚固体与周边土体间的剪应力分布较均匀,应力峰值得以大幅度降低。从而可以充分利用土体的承载力,锚固效果将更加理想。OVM拉压分散型锚索结构,如图32。

4、锚索防护

OVM拉压分散型锚索采用涂有建筑油脂的钢绞线外包裹高密度聚乙烯防护套的无粘结筋作为受力筋,具有良好的防护功能。安装锚索时,又沿钻孔全长设置了内、外支撑,以保证浆体保护层厚度达到设计要求。外锚头处用水泥砂浆将预留的钢绞线和外锚头严格封闭好。因此,锚索的防护能力大为增强。

5、监测

在预应力张拉过程中,实行“信息施工法”,即边监测边施工,以反馈回的监测资料指导施工。因此,在施加预应力前全面测量被加固体高程及路面裂缝宽度。在张拉锚索过程中和锁定后,严格监视裂缝变化。由表3可见张拉锁定前后路面基本没有发生位移变化。在整个施工过程中裂缝发展3.5~7.5mm,张拉锁定后裂缝没有发展。

6、结论

OVM拉压分散型锚索结构合理,可缩短锚索长度,节省工程材料,降低工程造价。同时,由于受力更加均衡,避免了由于应力集中导致锚

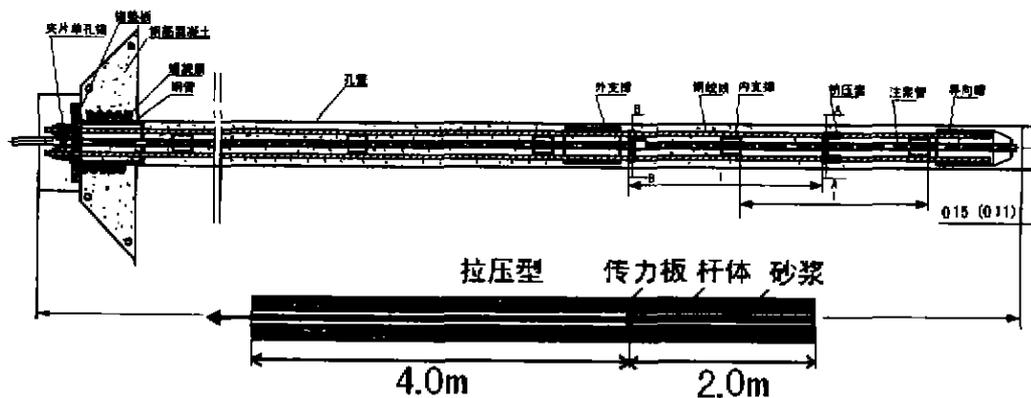


图32 拉压分散型防护锚索图

索失效, 延长了锚索寿命。近年来, 土层锚杆的应用越来越广泛, 但由于地质条件千变万化, 很难准确选取土体力学指标值, 给设计者提出了一

道难题。无疑, 随着OVM拉压分散型锚索的开发与应用, 对解决软土地基的承载力问题提供了一种新思路。(全文完)

表3 裂缝宽度监测表

测点	79#	97#	103#	8#	9#	10#	319#	323#	325#	329#
08/26	3	0	0	5(10)	4.5	1	9.5	9.5	10.5	4
10/24	6	5	3	8(18)	8	2	16	19	19	9
11/10	6	5	3	8(18)	8	2	16	19	19	9
11/16	6.2	5.3	3.1	8(18)	8	2	16	18.5	19	9.2
11/18	6.4	5.5	3.4	8(18)	8	2	16	18.3	18.5	9.4
11/21	6.5	5.5	3.5	8(18)	8	2	16	18	18	9.5
11/24	6.5	5.5	3.5	8(18)	8	2	16	18	18	9.5

参考文献:

[1] 周增富译 田裕甲校 《VSL锚固施工法设计施工规范》草案

日本VSL锚固协会

[2] 阮孝刚译 田裕甲校 《荷载分散型锚固结构》日本土工学会研究发表会资料

[3] 田裕甲 吕兵 黄家齐 唐专林 《锚索类型的分析》

注: 1) 97#和103#处有8月26日用砂浆抹平, 故初值为9mm.

2) 8#处括号内数字为高差值.

3) 张拉开始日期为1997年10月24日.

《OVM通讯》1999年第4期

[4] 田裕甲 吕兵 黄家齐 唐专林 《桂柳高速公路K432边坡加固工程》

《OVM论文集》-岩土锚固技术

[5] 田裕甲 吕兵 黄家齐 唐专林 《压力型锚索与荷载分散型锚索在路基加固工程中的应用》

《OVM通讯》1999年第3期

[6] 田裕甲 易著伟 顾寅 《拉压分散防护锚索在路基边坡加固工程中的应用》

《桂柳高速公路K412路基加固工程竣工报告》

[7] 《岩土工程师勘察规范》(GB50021-94)

[8] 王建宇等 《按共同变形原理计算锚固工程中粘结石型锚头内力》

《岩土锚固新技术》人民交通出版社

[9] 顾金才 明治清 沈俊 陈安敏 《预应力锚索内锚固段受力特点现场试验研究》

《岩土锚固新技术》人民交通出版社

(上接第16页)

运行信息正确无误, 所有机械动作正确, 不出现异常情况并提升到预定高度;

10、制作与构件连接安装的支称建筑结构;

11、操作提升设备调整构件完成安装就位工作;

12、就位安装验收完毕, 按机械操作工艺卸载; 完成整个提升操作;

13、为保证提升安全进行, 必须对应每一步可能出现的问题制定应急措施。

六、结束语

LSD 液压提升系统适用于建筑施工中需用高

平衡度吊装的工程, 这类工程包括大型建筑钢结构整体吊装、大吨位桥拱钢梁结构整体吊装等等。而现代空间结构设计多样化更使整体提升施工拥有更广大的使用空间, 类似穹顶结构施工或建筑中需逆作法施工的工程均可运用液压提升技术。LSD 液压提升技术已成功运用于东方明珠电视塔天线桅杆的整体提升、北京西站主站房钢桁架整体提升、首都机场四机位库屋盖钢结构提升及上海大剧院钢屋架整体提升。创造了超高、超大、超重构件整提升的成功范例。