

高压旋喷注浆技术控制软基桥头引路沉降

白凡义

李秀娟

(天津市赛英工程设计技术咨询有限公司) (天津市市政工程设计研究院)

摘 要:在滨海软土地区修建立交桥时,为防止地基沉降引起桥头跳车,当引路填筑在旧路面上,采用一般地基加固方法时,通常要对地基进行加固必须钻透旧路硬壳,其以下地基处理非常困难。高压旋喷注浆技术以其钻孔工艺和成桩内在质量,在解决这类问题时显得非常有效。本文以工程实例加以介绍。

关键词:软土地基 高压旋喷桩 单桩承载力 工后沉降 观测

1 前言

随着我国国民经济稳步向前发展和汽车保有量不断增加,有许多新建和改建道路正在实施。其中对软土地基的旧路进行改造时,如何既能利用好旧路地表硬壳,又能进行深层地基加固,控制桥头引路沉降,减少跳车现象发生,是工程设计中常遇到的难题。为此把建筑工程中用的高压旋喷技术引进到道路建设中来。采用高压旋喷注浆技术钻透旧路地基硬壳对其以下地基进行加固,从而提高其复合地基承载力,又能解决新、旧路面不均匀沉降问题。高压旋喷注浆技术以其内在质量有保证、复合地基承载力大、工后沉降小、相对工程造价合理等优点,在实际工程应用中取得良好效果,是值得推广应用的。

2 原理概述

高压喷射注浆法创始于日本,是在化学注浆法的基础上,采用高压水射流切割技术而发展起来的。这是利用钻机钻孔把带有喷嘴的注浆管插至土层的预定位置后,以高压设备使浆液成为 20 MPa 以上的高压射流,从喷嘴中喷射出来冲击破坏土体。当能量大,速度快呈脉动状的喷射动压超过土体结构时,土粒便从土体上剥落下来。一部分细小的土料随着浆液冒出水面,其余土粒在喷射流的冲击力,离心力和重力等作用下,与浆液搅拌混合,并按一定的浆土比例有规律地重新排列。浆液凝固后,便在土中形成一个固结体。

该方法适用于淤泥、淤泥质粘土、粘性土、粉土、黄土等地基,在高等级公路地基处理中,主要用在桥头引路和高填土路堤下的软基处理。尤其是对旧路地基硬壳下的软基加固处理更显有效,

并能充分利用硬壳,提高复合地基承载力,同时因其设备、工艺的特殊性,更显施工优点。

高压旋喷注浆的基本工艺类型有单、二重、三重及多重管施工方法,在路基下的软基处理中,为防止进一步泥化,多采用单管旋喷法。

3 加固机理

采用旋喷注浆形式,在地基中加固体成为均匀水泥土圆柱体或异形圆柱体,在软弱土层中形成水泥固结体与桩间土一起构成复合地基,从而提高地基承载力,减少地基的变形,达到地基加固的目的。加固后的地基承载力与旋喷桩的强度、单桩承载力、桩间土的性质以及面积置换率等因素有关。通常采用下列公式计算复合地基承载力。

$$f_{sp,k} = [R_k^d + \beta f_{s,k}(A_e - A_p)] / A_e \text{ 或}$$

$$f_{sp,k} = m f_k + (1 - m) f_{s,k}$$

式中: $f_{sp,k}$ ——复合地基标准承载力(kPa)

$f_{s,k}$ ——桩间土地基标准承载力(kPa)

A_e ——一根桩承担的地基面积(m^2)

A_p ——桩的平均截面积(m^2)

β ——桩间地基承载力折减系数

R_k^d ——单桩竖向承载力标准值(kN)

f_k ——单桩竖向标准承载力(kPa)

m ——面积置换率

$$m = \frac{A_p}{A_e} \text{ 或 } m = \frac{f_{sp,k} - f_{s,k}}{f_k - f_{s,k}}$$

加固机理除复合地基以外,还应考虑以下几个方面:(1) 因旋喷桩的存在,使得软基土层由原来的无侧限状态转变为有一定的边界条件的应力状态,从而提高了桩间土的强度;(2) 由于旋喷桩在自重作用下对桩周有一定的挤密压实作用,即桩的侧壁摩壁力(τ_i),也使得桩周围的软基承载

力提高;(3)旋喷结束后,当水泥土浆尚未凝结时,这种浆液将产生挤压力,对四周土有压密作用,并使部分浆液进入土粒之间的空隙中,形成脉冲板状结石体。当水压喷射流在土介质中喷射时,压力呈衰减,桩边缘喷射切割土体所产生的剩余的压力,即在桩周以外,对桩间土形成渗透及挤密,扩散半径可达0.5~1.5 m,因而使桩间土的强度迅速提高,通常提高1.2~1.5倍。

4 杨北公路立交桥头引路地基加固的实际应用

4.1 地质资料

杨北立交桥坐落于天津塘沽区北塘镇附近,原位置为杨北公路与京山铁路平交道口。杨北公路已有60多年历史,但宽度仅为9 m(1 m路肩+7 m路面+1 m路肩)。京山铁路为双股正线,列车已全面提速,平均3 min就要封闭一次使该路口堵车严重,平均堵车一次长度100 m以上。为此,根据实际需要在此铁路道口建立立交工程。该立交位置临近渤海,用地范围内多为虾池和洼地,土壤中含碱量高,公路两旁为排水沟。地质钻探资料如下:

- ① 人工填土层(Q_{ml}):分布不均匀,杨北公路路基填土厚约1.0~1.5 m,层底标高2.40~2.97 m。公路路基填土下部及其余场地表层为素填粘性土,厚1.5~3.3 m,黄褐色,含云母、铁质、松散、高压缩性。
- ② 上部陆相层(Q_{4al}):厚约1.5~3.0 m,层底标高-2.21~-0.87 m,为褐灰~灰色淤泥质粘土夹粘土,含云母、铁质、有机质、腐植质,呈流塑~软塑状态,高压缩性。
- ③ 第一海相层(Q_{4al}):厚12.0~14.0 m,层底标高-14.98~-14.21 m,以灰色粉质粘土及淤泥质粉质粘土为主,夹粉土透镜体,含云母、贝壳、有机质,软塑~流塑状态,中~高压压缩性。

- ④ 中部陆相层(Q_{4al}):厚约8.0~10.0 m,层底标高-24.53~-22.57 m,该层可分为两个亚层:
 - ④-1层:浅灰~灰黄色粉质粘土,含粘土局部层顶夹粉土透镜体,含云母、铁质、礞石,可塑状态,中压缩性,厚约2.0~7.5 m。
 - ④-2层:灰黄~黄褐色粉土夹粉砂,含云母、铁质,呈密实状态,低~中等压缩性,厚约2.0~6.0 m。
- ⑤ 第二海相层(Q_{3m}):灰褐~黄褐色粉质粘土夹粘土,含云母、有机质,硬~可塑状态,中压缩性,厚度1~3.0 m,层底标高为-26.42~-24.21 m。
- ⑥ 下部陆相层(Q_{3al}):厚约9.0~13.0 m,层底标高-37.21~-34.98 m。约可划分两个亚层:
 - ⑥-1亚层:黄褐色粉质粘土夹粉土,含云母、铁质,呈可塑状态,中压缩性,厚度2.0~7.0 m。
 - ⑥-2亚层:灰黄色粉、细砂夹粉土薄层,含云母、铁质,饱和,低~中等压缩性,厚度4~10.0 m。
- ⑦ 第三海相层(Q_{3m}):该层土未揭穿,最大揭示厚度12.5 m。约可代分四个亚层:
 - ⑦-1亚层:灰色中、细砂夹粉砂,含云母,饱和,低~中等压缩性,厚度0~9.0 m。
 - ⑦-2亚层:灰~黄褐色粉质粘土夹粉土,含云母、铁质,呈可塑~硬塑状态,中压缩性,厚度1.0~8.0 m。
 - ⑦-3亚层:灰白色细砂夹粉砂,含云母、石英,饱和,低~中等压缩性,厚度0~3.0 m。
 - ⑦-4亚层:灰黄色粉质粘土夹粉土,含云母、铁质、礞石,硬塑状态,中等压缩性,最大揭示厚度1.5 m。

表 1 2号钻孔的土工试验结果

成因年代	厚度(m)	深度(m)	岩土描述	含水量 w %	湿容重 r g/cm ³	孔隙比 e	液限 wl %	塑性指数 lp	液性指数 IL	压缩系数 a ₁₋₂	压缩模量 Es MPa
Q _{ml}	1.5	1.5	杂填土、含碎石子等								
	2.0	3.5	素填粘土,含云母,可软塑	36.2	17.8	1.09	40.8	17.5	0.72	0.72	2.84
Q _{3m}	2.0	5.5	灰褐色,含云母、有机质,流塑,高压压缩	44.2~49.0	17.1~17.4	1.29~1.34	37.6~52.5	15.6~24.4	0.89~1.42	0.85~1.05	2.2~2.6
Q _{3m}	13.0	18.5	灰色,含云母、贝壳,流塑,中高压压缩	25.5~39.0	17.8~19.3	0.75~1.13	32.4~35.9	12.4~16.8	0.87~1.63	0.49~0.84	2.5~10.8
Q _{3m}	7.0	25.5	浅灰色,含云母、礞石、铁质,可塑,中压缩	23.2	20.3	0.57~0.68	26.8~35.4	9.0~14.2	0.3~0.87	0.27~0.59	4.5~11.1

在旧路基上桥头引路 2 号钻孔的土工试验结果如表 1 所示。

经过对现状地质和土工试验结果分析,在旧路表层 1.5 m 为泥结碎石和石灰土,非常密实和坚硬。而在旧路面下 15 m 内,为粉质亚粘土和粉土,呈流塑,高压缩性,e 值为 1.09~1.30,为典型软土地基,是沉降量的主要发生地层。在路面 18 m 以下,基本为粘土和粉土,e 值 1.57~0.68,呈可塑,中低压缩性。要解决桥头引路工后沉降,减少跳车问题,必须要对旧路硬壳下的软土地基进行加固处理。

4.2 地基加固方法

原公路路基宽度只有 9 m,两侧均为大排水沟,沟底高程平均比旧路面高程低 2.0~2.5 m。新建跨铁路桥梁和引路,全宽为 17.5 m,主线引路外侧规划均为地面辅道,目前仅实施东侧辅道。因此主线引路边坡下采用放坡形式而用加筋土挡墙。桥头引路在旧路面上填土 2.5 m,而在原路旁排水沟内则填土 4.5~5 m。如图 1 所示。

根据计算,填土为 5.0 m 时,总沉降量为 84.5 cm,按《规范》规定,工后沉降应控制在 10 cm 以内,根据施工期为 1 年的要求,必须采用确实可行的施工方法,加固桥头地基,控制桥头沉降,以减少跳车现象的发生。经过研究,认为若采用软土地基一般处理方法,如采用塑料排水板、粉喷桩或水泥搅拌桩,因其设备和工艺,是难以钻透旧路地基硬壳,若不进行地基深层处理,就会造成较大的工后沉降,产生桥头跳车现象;若只处理旧路两旁边沟的地基,就会造成新、旧路面下地基不均匀沉降,造成路面发生纵向裂缝的现象。在这种情况下,我们引进高压旋喷注浆技术,利用其设备

和工艺上的优点,对旧路面硬壳下的地基进行加固处理,同时又不破坏硬壳,并且又加以利用。(见图 2)

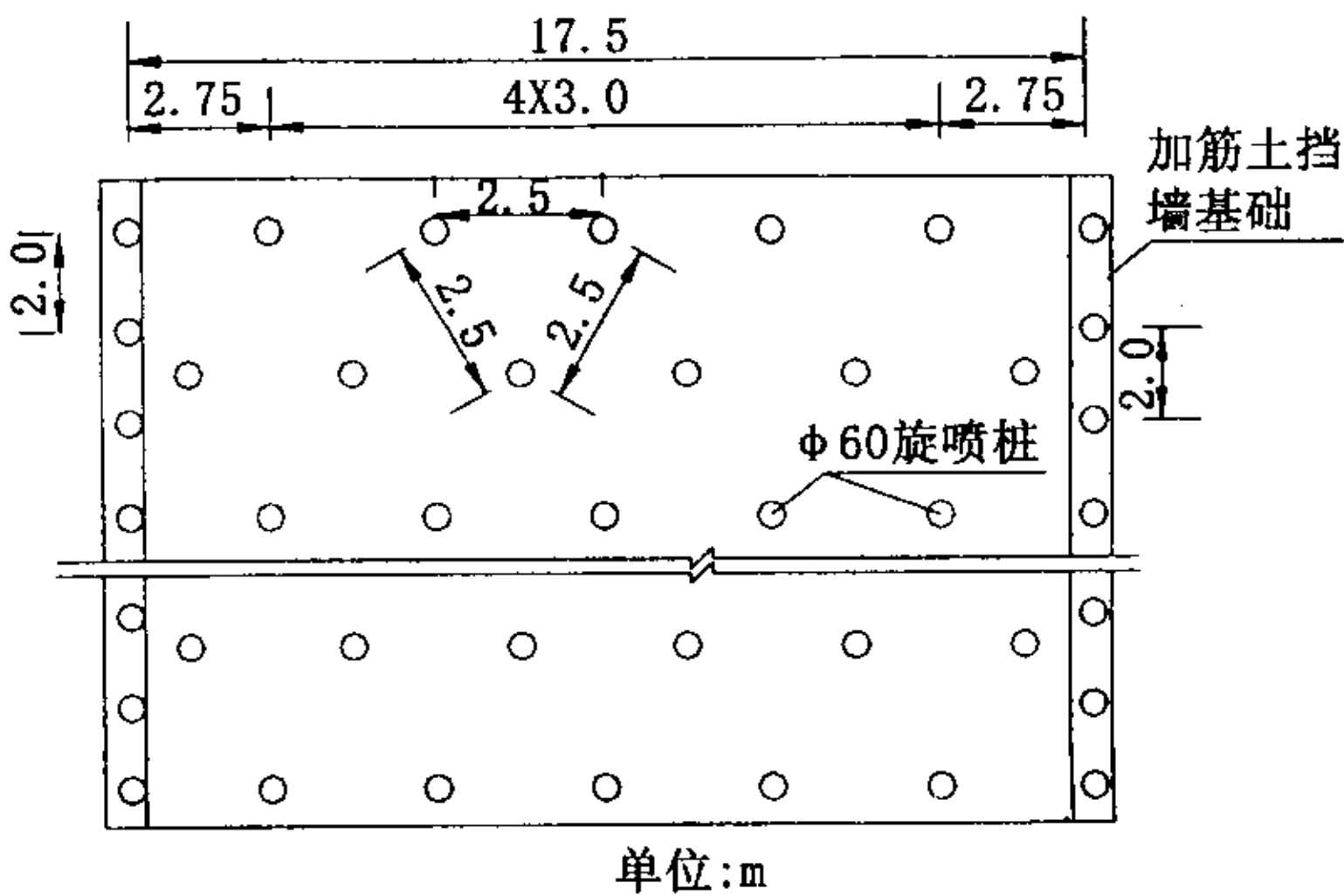


图 2 旋喷桩平面示意图

旋喷注浆方法如下:钻机放置于旧路面上定位,用直径 5 cm 的钻杆,从现有路面下钻,穿透硬壳下行至设计深度后,开始旋转喷浆,同时按一定速度提升钻杆,并控制压力数值,从而形成直径 0.6 m 的水泥旋喷桩。当提升至 1.5 m 厚硬壳底时,关闭压力阀门,提出钻杆,完成成桩。这样就在旧路硬壳下形成间距 2.5 m 梅花布置的群桩,从而组成复合地基,提高地基承载力。用同样原理在旧路两侧边沟位置进行地基处理,并在桩尖顶填 0.4 m 碎石和 0.4 m 的粉煤灰石灰土(8%)。这样处理后,就在新、旧路基的地基下同等深度进行了地基处理,获得同等的地基承载力,从而避免纵向不均匀沉降的发生。处理后的地基承载力可达到 180 kPa 以上,桥头路基沉降可控制在 1~2 cm 内,从而消除了困扰多年软土地基桥头跳车的问题。

4.3 施工工艺和参数

在旋喷桩施工前,首先进行试桩,以确定其施

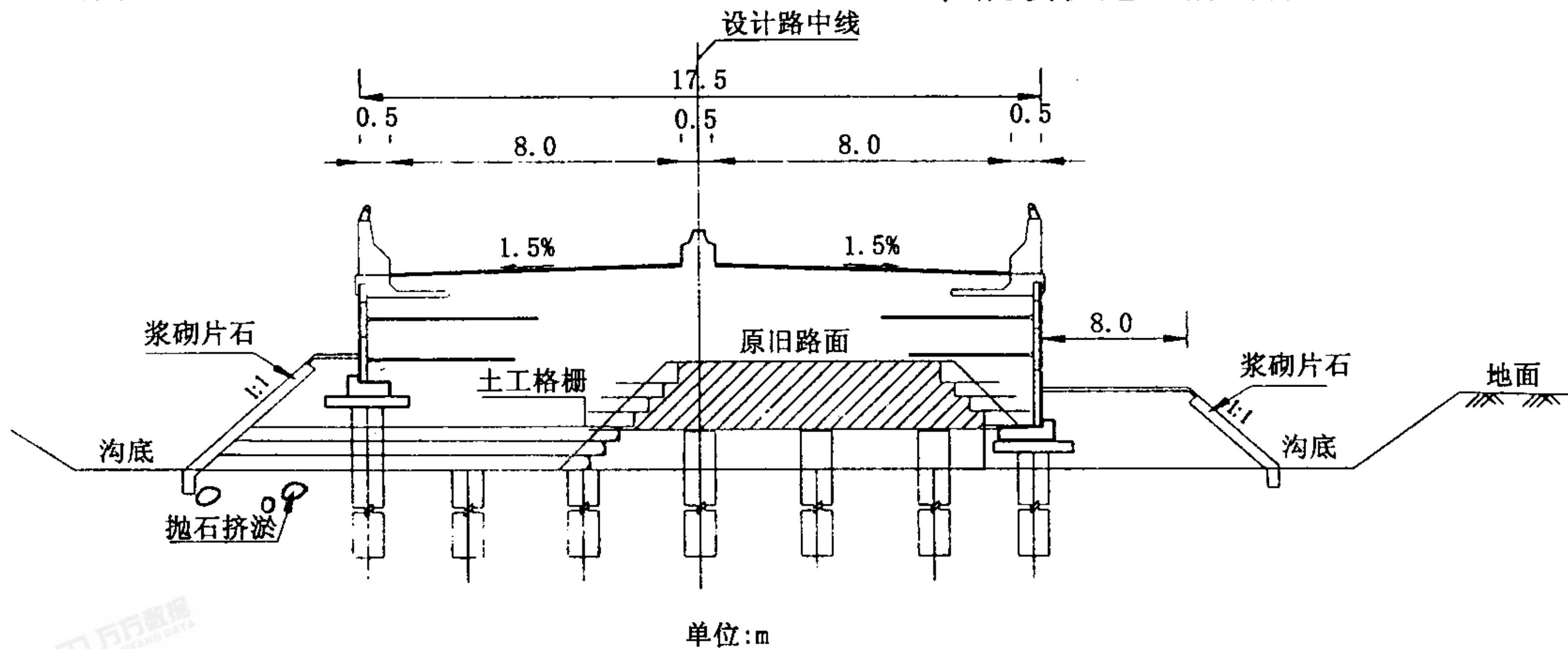


图 1 桥头地基处理示意图

工工艺、参数、浆液配比。试桩为 3 个桩,在旧路面上布置呈三角形间距 2.5 m,桩长 11.5 m,直径 0.6 m,待完成 28 d 后,进行检测。本工程检测结果如表 2、表 3 所示。

表 2 单桩静压结果(1)

编号	桩号	龄期 (d)	最终荷载 P(kN)	最终沉降 S(mm)	Pu (kN)	Su (mm)	Pa (kN)	Sa (mm)
1	1 号	29	672	18.65	604.48	9.40	300	1.30
2	2 号	24	672	14.43			(268)	(9.98)
3	3 号	30	672	20.28	604.48	14.31	268	9.30

表 3 单桩静压结果(2)

1 号桩		2 号桩		3 号桩	
深度 (m)	强度 (MPa)	深度 (m)	强度 (MPa)	深度 (m)	强度 (MPa)
1.5	4.92	0.7	6.02	1.9	5.09
3.4	5.36	2.5	11.9	3.5	5.85
5.2	6.03	5.7	5.75	5.3	10.02
7.7	8.52	8.3	4.48	7.1	13.1

确定工艺参数为:

浆液配比(水:灰:添加剂)为 1:0.96:0.04,浆液比重为 1.5 g/cm³ 左右,水泥为 425 号矿渣硅酸盐水泥,水为一般人畜饮用水。

高压旋喷压力 P=20~22(MPa)

钻杆提升速度 V=30(cm/min)

喷头旋转速度 V=20(r/min)

浆液流量 q=100~120(l/min)

施工工艺要求如下:

(1) 钻机就位:

钻机安放在设计的孔位上并应保持垂直,施工时旋喷管的允许倾斜不得大于 1.5%。

(2) 钻孔:

单管旋喷常使用 76 型旋转振动钻机,钻进深度可达 30 m 以上。钻机口位置与设计位置的偏差不得大于 50 mm。

(3) 插管:

插管是将喷管插入地层预定的深度。在插管

过程中,为防止泥砂堵塞喷嘴,可边射水边插管,水压力一般不超过 1 MPa。

(4) 当喷管插入预定深度后,由下而上进行喷射作业,值班人员必须按设计要求操作,并随时作好记录。

(5) 冲洗:

喷射施工完毕后,应把注浆管等机具设备冲洗干净,管机内不得残存水泥浆。凡不合格的桩,应在不合格点位附近进行补喷或采取有效措施。

(6) 移动机具:

将钻机等机具设备移到新孔位上。

4.4 沉降观测

在距桥头 2 m 处,在横断面中间和两边,共设 3 个观测点,观测有 6 个月时间,测量沉降平均沉降 0.4~0.6 cm,最大不到 1.0 cm。

5 结束语

杨北公路跨京山铁路立交桥桥头引路软土地基采用高压旋喷注浆技术进行地基处理,这在天津地区的公路工程还是首次,就目前运行效果来看,效果还是很不错的。在经济方面而言,高压旋喷桩的单价虽然是水泥搅拌桩或粉喷桩的 4~5 倍,但高压旋喷桩间距大,为 2.5 m,桩身为 11.5 m,而搅拌桩和粉喷桩间距小,为 1.1 m,桩身较长,为 14 m。所以,总的费用来讲,旋喷桩较搅拌桩或粉喷桩可节省 5%~10% 的工程费用,并且旋喷桩处理后的复合地基承载力是搅拌桩或粉喷桩处理的复合地基承载力的 1~2 倍,且高压旋喷桩内在质量、工艺控制、检测手段都是搅拌桩或粉喷桩无法比拟的。因此,高压旋喷桩在处理桥头引路地基,减少不均匀沉降和避免桥头跳车,有其独特的效果,其处理方法是值得推广的。

(收稿日期:2001-04-12)

南京长江三桥可望定址大胜关

继长江大桥、二桥通车后,南京长江段又将建设长江三桥。长江三桥工程可行性研究报告已通过了专家评审,三桥桥位,桥型已确定。据介绍,专家建议南京长江三桥桥位定址在大胜关,这样长江三桥将北起宁合高速公路江浦境内张店附近,终点在主城区长江南岸的刘村互通立交,全长 14.8 km,投资概算为 29.6 亿元。专家从工程规模、使用功能等方面考虑后推荐三桥采用斜拉桥方案。长江三桥为双向 6 车道高速公路,建设工期 4 年,预计 2005 年左右建成通车。