

文章编号:1673-0062(2009)03-0080-04

高压旋喷桩在高速公路隧道软基加固中的应用

游勇¹, 蒋习伟²

(1. 重庆育才工程咨询监理有限公司, 重庆 400060; 2. 重庆锦程工程咨询监理有限公司, 重庆 401147)

摘要:以万开高速公路某隧道工程施工过程中遇到的填充性岩溶地质问题采用高压旋喷桩进行加固处理为工程背景, 详细介绍了高压旋喷桩加固隧道软基桩的平面布置、加固深度、复合地基强度计算、室内试验与现场检测效果评价, 可为类似工程应用提供借鉴。

关键词:高压旋喷桩; 填充性岩溶; 软土地基; 加固; 检测

中图分类号:U416.1 **文献标识码:**B

Application of High Pressure Jet Grouting Pile in Strengthening Soft Foundation in Expressway Tunnel

YOU Yong¹, JIANG Xi-wei²

(1. Chongqing Yucai Engineering Consultation and Supervision Limited Company, Chongqing 400060, China;
2. Chongqing Jincheng Engineering Consultation and Supervision Limited Company, Chongqing 401147, China)

Abstract: Taking filled karst strengthened by high pressure jet grouting pile in construction process of a tunnel project of the Wan Kai expressway as an engineering background, this paper introduced the plane arrangement of the pile, the strengthening depth, composite foundation strength calculation, indoor test and field examination, which can serve as reference in this field.

Key words: high pressure jet grouting pile; filled karst, soft soil foundation; strengthening; examination

0 引言

高压旋喷桩^[1]是利用钻机将旋喷注浆管及喷头钻置于桩底设计高程, 将预先配制好的浆液通过高压发生装置使液流获得巨大能量后, 从注浆管边的喷嘴中高速喷射出来, 形成一股能量高

度集中的液流, 直接破坏土体。喷射过程中, 钻杆边旋转边提升, 使浆液与土体充分搅拌混合, 在土中形成一定直径的柱状固结体, 从而使地基达到加固。施工中一般分为两个工作流程, 即先钻后喷, 再下钻喷射, 然后提升搅拌, 保证每米桩浆液的含量和质量。

收稿日期: 2009-05-08

作者简介: 游勇(1966-), 男, 重庆人, 重庆育才工程咨询监理有限公司工程师。主要研究方向: 道路与桥梁工程。

高压旋喷桩适用于处理淤泥、淤泥质土、粘性土、粉土、黄土、砂土、人工填土和碎石土等地基。由于其具有施工设备简单、轻便、噪声和振动小、施工速度快、机械化程度高、成本低用途广等优点,在国内外得到广泛应用。

1 工程设计

1.1 工程概况

万(州)开(县)高速公路某隧道位于重庆市开县赵家镇境内,隧道全长4 828 m,隧道进口开挖揭示发育一大型全充填溶洞,主要充填有黄褐色软塑-硬塑粘土夹碎石、松散-中密块石土,隧道洞身均位于充填物中。隧道施工过程中,多次发生临时支护拱部开裂及大面积坍塌,加固前粘土地基的承载力为140 kPa,为有效加固该段软基,

保证隧道施工的安全可靠及正常运行,有必要对该段软基进行加固处理。经过仔细比较各种加固方法,如旋喷桩、粉喷桩和碎石桩等,在文献[2]的基础上,最后对隧底填充性岩溶拟采用高压旋喷桩加固方案。

1.2 注浆孔及桩位布置

根据工程勘察资料,隧底软基采用高压喷射注浆(旋喷桩)加固,间距布置:衬砌边墙外侧各采用一排Φ75斜向钢花管注浆加固,交错布置,纵向间距65 cm,横向间距100 cm;隧底采用M7.5浆砌片石换填。中间线路行车部分纵横向间距1 m,梅花型布置;基底加固深度根据岩溶深度确定:若岩溶深度小于15 m,则其加固深度进入基岩不小于50 cm;若岩溶深度大于15 m,加固深度按15 m控制;具体桩位布置示意图如图1所示。

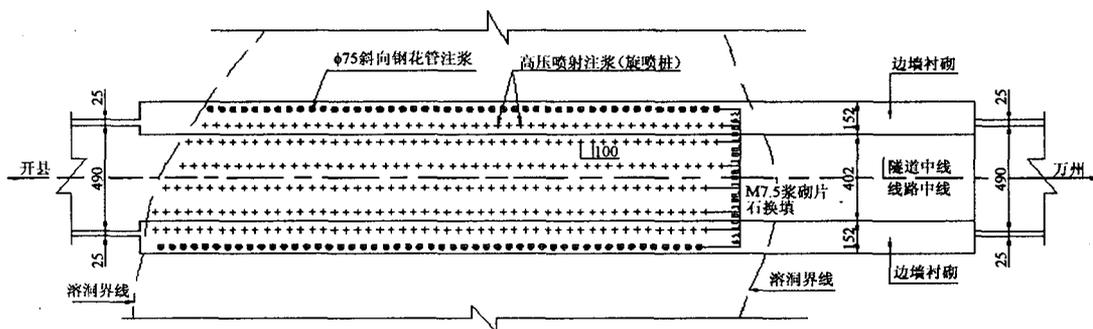


图1 隧底加固高压旋喷桩位布置图

Fig.1 Arrangement plan of the high pressure jet grouting pile at the tunnel bottom

1.3 水泥浆的配制

注浆材料采用PO.325普通硅酸盐水泥浆为主剂^[3],并掺入2%~3%速凝早强剂CaCl₂,施工中采取的水灰比W:C=1:1~1.5:1。

1.4 注浆压力

根据该隧道岩溶揭示的充填物岩性特征,隧底采用高压喷射注浆(旋喷桩)加固,注浆压力>25 MPa。旋喷注浆治理过程中,压力选择为:0~3 m时,采用27 MPa;3 m以下时,采用25 MPa。

1.5 注浆量

注浆量受围岩条件、浆液类型、注浆技术水平及围岩裂隙分布各向异性等多种因素影响。因此,计算注浆量往往与实际的注入量相差很大,一般通过试验注浆予以修正。设计时可用下式计算:

$$Q = An\alpha(1 + \beta) \quad (1)$$

式中:Q——总注浆量,m³;

A——注浆范围岩层体积,m³;

n——围岩空隙率,%;

α ——浆液充填系数,一般在0.7~0.9之间;

β ——注浆材料损耗系数,通常0.1左右。

可把 $n\alpha(1 + \beta)$ 统称为填充率,土质地层及岩石地层的填充率相差较大,表1为不同地层填充率的经验数值。

表1 土质和岩石地层填充率

Table 1 Filling rate of soil property and rock layer

	地质条件	填充率/%
土质地层	粘土质地层	20~40
	砂砾质地层	40~60

该隧道隧底为溶洞,溶洞内有填充物和回填岩层,地质条件为粘土、碎石土、块石土和人工填筑土等地层。

土质地层(粘土质地层)每米的注浆量为:

$$Q = An\alpha(1 + \beta) = 3.14 \times \frac{0.45^2}{4} \times 0.40 = 0.064(\text{m}^3)$$

土质地层(砂砾质地层)每米的注浆量为:

$$Q = An\alpha(1 + \beta) = 3.14 \times \frac{0.45^2}{4} \times 0.60 = 0.096(\text{m}^3)$$

因为隧底每根桩的地质条件为:

粘土质地层: 砂砾质地层 = 0.55:0.45, 所以该段旋喷桩的平均每米注浆量为:

$$Q = \frac{0.064 \times 0.55 + 0.096 \times 0.45}{1} = 0.078(\text{m}^3)$$

因浆液配合比为 1:1, 根据现场试验配合比确定每方水泥浆液水泥用量为 750 kg, 则每米旋喷桩的水泥用量为:

$$750 \times 0.078 = 58.5(\text{kg})$$

根据现场施工情况, 修正系数取 3.4, 则每米旋喷桩的水泥用量为:

$$S = 3.4 \times 58.5 = 198.9(\text{kg})$$

根据《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB50202-2002), 桩径为 450 mm 的高压喷射注浆地基每米的水泥(强度为 32.5 普硅水泥)用量经插入法计算为 150~200 kg. 则现场施工的水泥用量与规范相符合, 则修正系数符合要求.

2 加固效果评价

2.1 室内试验

根据文献[4], 在设计过程中, 先进行现场地质调查, 并取得现场地基土, 以标准稠度求得理论配合比, 在室内制作标准试件, 进行各种物理力学性能的试验, 以求得设计所需的理论配合比. 在施工完成后, 对桩身强度进行室内试验, 以得到相关性的参数. 在室内制作了 3 组标准试件进行无侧限抗压强度, 具体试验结果如表 2 所示:

表 2 水泥土试验结果
Table 2 Test result of cement

28d 无侧限抗压 强度/MPa	容重 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	C /MPa	Φ /($^\circ$)	泊松比	割线模量 /MPa	平均模量 /MPa
5.4~18.8	17~21.5	1.2~3.5	41~45	0.28~0.35	4.1~20.7	6.3~18.5

2.2 旋喷桩加固后复合地基强度计算

确定加固后复合地基的承载力时, 首先要明确其破坏模式, 根据文献[5]介绍, 属于纵向增强的复合地基主要具有桩身破坏和桩体与桩间土组成的复合地基的整体失稳两种破坏模式. 根据室内试验与地质勘察资料, 旋喷桩加固该填充性岩溶复合地基的承载力计算如下.

1) 单桩竖向承载力标准值

根据上述室内试验成果与地质勘察资料, 旋喷桩加固地基后, 水泥土桩若按第一种破坏模式, 单桩竖向承载力标准值的计算, 分别按式(2)与(3)计算, 然后取两式计算值的较小者.

$$R_k^d = \eta \cdot f_{cu,k} \cdot A_p \quad (2)$$

$$R_k^d = \pi \cdot \bar{d} \sum_{i=1}^n h_i \cdot q_{si} + A_p q_p \quad (3)$$

公式(2)中:

R_k^d ——单桩竖向承载力标准值(kN);

$f_{cu,k}$ ——旋喷桩桩身试块(边长为 70.7 mm 的立方体)的无侧限抗压强度平均值, 根据上述室内试验, 取 28 d 强度值为 5 400 kPa;

η ——强度折减系数, 取为 0.40;

A_p ——桩的截面积;

$A_p = \pi \times 0.5^2 / 4 = 0.196(\text{m}^2)$;

代入以上数据, 求得粘土时

$$R_k^d = 0.4 \times 5400 \times 0.196 = 424(\text{kN}).$$

公式(3)中:

\bar{d} ——桩的平均直径, 取为 0.50 m;

n ——桩长范围内所划分的土层数, 取为 1;

h_i ——桩周第 i 层土的厚度, 取为 18 m;

q_{si} ——桩周第 i 层土的摩擦力标准值, 可采用钻孔灌注桩桩侧壁摩擦力标准值, 取为 15 kPa;

q_p ——桩端天然地基土的承载力标准值, 取 140 kPa. 代入以上数据, 得

$$R_k^d = 3.14159265 \times 0.50 \times 15 \times 15 \times 15 + 0.196 \times 140 = 452(\text{kN})$$

因此, 将公式(2)与式(3)计算结果取小值, 则单桩竖向承载力标准值 R_k^d 按 424 kN 来计算.

2) 复合地基承载力标准值

若按第二种破坏模式, 即按复合地基考虑, 则复合地基承载力标准值如式(4)所示:

$$f_{sp,k} = \frac{1}{A_e} [R_k^d + \beta \cdot f_{s,k} (A_e - A_p)] \quad (4)$$

式中:

$f_{sp,k}$ ——复合地基承载力标准值(kPa);

A_e ——1 根桩承担的处理面积, 经计算 $A_e = 0.937(\text{m}^2)$;

A_p ——桩的平均截面积,

$$A_p = \pi \times 0.5^2 / 4 = 0.196 \text{ m}^2;$$

$f_{s,k}$ ——桩间天然地基土承载力标准值,取为40 kPa;

β ——桩间天然地基土承载力折减系数,可根据试验确定,在无试验资料时,取为0.40;

R_k^d ——单桩竖向承载力标准值,按上述计算结果取值。

代入以上数据,则得:

$$f_{sp,k} = \frac{1}{0.937} \times [424 + 0.40 \times 40 \times (0.937 - 0.196)] = 465 \text{ (kPa)}.$$

综上所述可知,加固后复合地基的承载力比加固前粘土的承载力140 kPa提高了2倍多。大于按设计要求的承载力要求值400 kPa,这说明选用高压旋喷桩加固可以提高隧底填充性岩溶软基的承载力,其加固效果非常显著。

2.3 旋喷桩加固后复合地基检测试验

1) 开挖检查

旋喷完毕,待凝固具有一定强度后,即可开挖。由于固结体完全暴露出来,因此能比较全面地检查旋喷固结体的质量,也是检查固结体垂直度和固结体形态的良好方法。开挖检查20个旋喷桩,从开挖出来的桩来看,旋喷桩垂直较好,固结体形态呈圆柱状,扩径与缩径现象不明显,桩径>550 mm,6根,占检查桩总数的30%;桩径>500 mm,4根,占检查桩总数的20%;桩径>450 mm,10根,占检查桩总数的50%;桩径最大值为580 mm,最小值为465 mm,开挖检查结果,符合设计要求(桩径 \geq 450 mm)。

2) 钻孔检查

钻孔检查主要是钻取旋喷固结体的岩芯,通过在已旋喷好的固结体中钻取岩芯,间断观察其固结整体性和固结体的长度,并将所取岩芯做成标准试件进行室内物理力学性质试验,求得治理工程其强度特性,或检查其施工质量,鉴定其是否符合设计要求。钻孔位置在旋喷桩半径的一半处。钻孔检查了22根旋喷桩,从钻取岩芯来观察旋喷固结体整体性好,最好的岩芯长达3 m多,其旋喷

桩长度都达到设计要求。

3) 荷载试验

对旋喷桩进行了2组荷载板试验。检查结果为单桩承载力大于280~320 kN,桩间土的承载力大于260~280 kPa,满足设计要求(经高压喷射注浆处理后的复合地基承载力 $F_{spk} > 400$ kPa)。

综上所述,填充性岩溶经过旋喷桩注浆处理后,填充体内部桩体的均匀程度、强度及单桩承载力都有较大的提高。填充体变得致密,桩体完整性提高,达到了高压旋喷注浆加固的目的。

3 结论

1) 旋喷桩加固隧底填充性岩溶具有施工简单,加固效果好,投资省的优点,本工程填充性岩溶软基处理费用是其它方法的1/3~2/3;

2) 隧底溶洞经高压喷射注浆,大大改善了填土的强度,增强了公路岩溶路基基底土的整体性,使得溶洞的位移变形量以及地表土体沉降变形量则明显减少,大大增强了地基的稳定性,提高了地基的承载力;

3) 旋喷桩作为充填性大型溶洞的处理方法,可以有效降低换填的巨大工程量,也可以利用旋喷桩群桩的摩擦性能及桩体的高强度,加大地基承载力,为隧道内软弱地基处理提供了一个新思路,尤其是高深基底无法换填时不失为一个较优的加固方法。

参考文献:

- [1] 左名麒. 地基处理实用技术[M]. 北京:中国铁道出版社,2005.
- [2] 李治国. 隧道岩溶处理技术[J]. 铁道工程学报,2002(4):61-67.
- [3] 于 洋,周海鹰. 高压旋喷桩在工程中的应用研究[J]. 四川建筑,2007(S1):41-43.
- [4] 谭世霖. 高压旋喷桩在高速公路软基处治中的试验研究[J]. 水运工程,2007(11):33-36.
- [5] 李小杰. 高压旋喷桩复合地基承载力与沉降计算方法分析[J]. 岩土力学,2006(4):58-60.