

# 粉喷桩在宁波地区软基处理中的应用研究

韩乾坤 宁波市交通设计研究院

**摘要:** 宁波地区的高等级公路超过 70% 均建于软土地基之上, 路桥沉降差异及地层分布不均引起的路基失稳是公路软基处理中的重要问题。粉喷桩是解决这一问题的有效途径。

**关键词:** 软土; 粉喷桩; 含灰量; 含水量; 龄期; 深度

## 1、宁波地区软土的主要特性

宁波地区软土一般是海相沉积形成的, 其特征主要有以下几方面:

1) 、孔隙比大、天然含水量高: 宁波地区的软土孔隙比较大, 一般介于 1.3~1.7 之间, 大者达 2.0~2.7; 天然含水量一般 42%~65%, 余姚、北仑等地的局部地层软土含水量高达 200%。由于孔隙比较大, 该软土的容重较小, 一般 15~19 kN/m<sup>3</sup>。

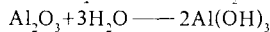
2) 、透水性差: 宁波地区软土渗透性系数一般在  $1 \times 10^{-8}$  ~  $10^{-10}$  cm/s 之间, 部分软土小于  $1 \times 10^{-8}$  cm/s。饱和状态下的软土达到最终固结往往需数年甚至数十年。

3) 、压缩性高: 该地区软土具有高压缩性, 统计表明, 该软土压缩系数均大于 0.5 MPa<sup>-1</sup>, 一般在 0.8~1.5 MPa<sup>-1</sup> 之间, 压缩模量则很小, 一般为 0.8~2.7 MPa。由于软土的高压缩性, 使得软土路基的沉降量大, 一些滨海公路路基在填筑的最初 6 个月以内沉降已超过 100 cm, 从而导致路基开裂。

4) 、承载力及抗剪强度低: 该软土的无侧限抗压强度一般为 15~37 kPa; 其抗剪强度亦低, 固结快剪的粘聚力为 5~15 kPa, 内摩擦角 6°~11°, 而不排水剪的内摩擦角一般小于 5°, 甚至为 0。

## 2、粉喷桩的工作机制

1) 、水泥的成份及特性: 一般水泥主要由石灰石与粘土矿物同共烧制、捻磨而成。普通成品水泥主要成分为氧化钙、氧化铝、硅酸铝、硅酸钙等, 它具有吸水性、水硬性等特点, 其主要反应式如下:



2) 、粉喷桩的工作机制: 水泥喷射入软土中, 遇水反应, 形成硬骨架, 提高了软土的承载力, 而且减小了软土的孔隙比与含水量, 同时, 还对搅拌桩以外的土体具有挤密作用, 从而使软土复合地基的承载力得到整体提高。

## 3、测试数据分析

数据的收集范围主要有甬金高速公路宁波段、北仑 329 国道改建、宁波联丰路延伸段等工程。通过对不同含水量(孔隙比)、不同深度软土的粉喷桩试块在不同含灰量、不同龄期的状态下的测试, 对粉喷桩的性能作出一些结论。

1) 、含灰量对粉喷桩强度的影响: 分别取含灰量为 12%、15%、18% 的三种粉喷桩试块进行抗压试验, 数据见表 1。由表 1 可知, 粉喷桩的抗压强度随着含灰量的增加而增加。

2) 、含水量对粉喷桩抗压强度的影响比较复杂。水泥的固化过程与水有着密切的关系, 有关研究表明, 当软土的含水量较小时, 水泥不能与水发生充分反应, 粉喷桩的效果不理想, 当软土含水量大于 40%~50% 时, 粉喷桩的

效果比较理想。

表 1 6 m 处不同含灰量粉喷桩 28 天龄期抗压强度 (MPa)

含水量 (%)	含灰量 (%)		
	12	15	18
40	0.58	0.92	1.57
50	0.47	0.75	1.32

3) 、龄期对粉喷桩强度的影响: 现分别取 1d、7d、14d、28d 的粉喷桩试块进行试验, 其数据见表 2。由表 2 可知, 粉喷桩强度随着龄期的增长而增大。14 天能达到粉喷桩最终强度的 80%~90%, 28 天以后增长就很缓慢了。

表 2 6 m 处含灰量 15% 的粉喷桩不同龄期的抗压强度 (MPa)

含水量 (%)	龄期 (d)			
	1	7	14	28
40	0.26	0.62	0.83	0.92
50	0.21	0.55	0.68	0.75

4) 、深度对粉喷桩强度的影响: 现分别取含灰量 15% 的粉喷桩在 1m、2m、4m、6m、8m、10m、12m 处的试块进行试验, 其数据见表 3。由表 3 得知, 粉喷桩在 2~8m 处的抗压强度较高。顶部 1~2m 内由于土的围压力较小, 搅拌过程中土体扰动后重新凝聚不够, 水泥喷射不够均匀, 导致搅拌质量较差; 8m 以下, 由于围压过大, 致使水泥喷射受阻, 喷射效果亦不好。根据现场芯芯及试验表明, 粉喷桩处理软土路基一般不宜超过 10。

表 3 含灰量 15% 的粉喷桩不同深度的抗压强度 (MPa)

含水量 (%)	深度 (m)						
	1	2	4	6	8	10	12
40	0.42	0.89	0.94	0.92	0.86	0.75	0.54
50	0.39	0.68	0.72	0.75	0.69	0.64	0.52

## 4、结论

1) 、粉喷桩的抗压强度指标与软土含水量、粉喷桩的含灰量、龄期及深度有关;

2) 、当软土含水量一定时, 粉喷桩的抗压强度随含灰量与龄期的增加而增加, 当 28 天以后, 粉喷桩的抗压强度随龄期的增加不明显;

3) 软土的含水量与粉喷桩的抗压强度的关系比较复杂, 有关研究表明, 含水量大于 40%~50% 时, 采用粉喷桩处理软土的效果比较理想;

4) 、粉喷桩处理软土的厚度一般不宜大于 10m, 在 2~8m 范围内, 粉喷桩对软土的

处理效果较好。

5) 、除了以上因素外, 影响粉喷桩强度如水泥的类型、标号、软土的有机质含量、地下水类型等其它因素仍待研究。

## 参考文献

- [1]、《地基处理手册》编写委员会, 地基处理手册 (第二版), 北京: 中国建筑工业出版社, 2000。
- [2]、顾晓鲁、钱鸿缙、刘惠珊、汪时敏, 地基与基础 (第三版), 北京: 中国建筑工业出版社, 2004。
- [3]、周京华, 地基处理, 成都: 西南交通大学出版社, 1997。

(上接第 187 页)

则进行内力组合。

以下部水平桁架的竖腹杆为例, 计算如下:

经计算, 梁上荷载如图四所示, 图中所示荷载均为标准值。

杆件局部弯矩: 经计算, 杆件最大弯矩设计值为 21.7 kN·m, 初选杆件断面为 HN200 × 100, 加上自重作用, 截面最大应力为 127 N/mm<sup>2</sup>, 剪应力为 34 N/mm<sup>2</sup>, 均在容许范围之内。

杆件轴向力计算: 在下部水平桁架平面内主要是风荷载, 经计算, 其最大拉力设计值为 2.3 kN, 最大压力设计值为 -3.3 kN。

内力组合、断面验算: 将杆件轴向力按风荷载与述作用力进行组合, 按拉弯和压弯构件进行计算, 计算结果表明, 所选断面符合要求。

## 七、小结

在通廊桁架的设计过程中, 我们深深体会到, 设计时必须全面掌握相关规范, 根据结构的实际受力状况, 进行多方案比较, 确定合理的结构方案, 计算模型力求接近实际, 只有如此, 结构设计才能做到既安全, 又经济。

## 参考文献

- 1、罗邦富、魏明钟、沈祖炎、陈明辉 编著, 《钢结构设计手册 (第二版)》, 中国建筑工业出版社
- 2、《热轧 H 型钢设计应用手册》, 中国计划出版社
- 3、钟善桐编, 《钢结构》, 中央广播电视大学出版社
- 4、《钢结构设计规范 (GBJ17-88)》, 中国建筑工业出版社
- 5、《建筑结构荷载规范 (GB50009-2001)》, 中国建筑工业出版社