

文章编号: 0451-0712(2005)10-0118-04

中图分类号: U418.8

文献标识码: B

# 沪宁高速公路扩建工程中 控沉预应力管桩的施工技术

吴 云

(路桥集团第一公路工程局江浙工程处 苏州市 215151)

**摘 要:** 沪宁高速公路扩建工程以路基两侧拼接加宽为主,由原来的四车道对称拓宽为八车道,拼接部分以路基沉降控制为主要控制对象。介绍沪宁高速公路扩建工程(苏州段)软土地基的工程特性及扩建工程路基施工控制的特殊性;介绍控沉预应力管桩在沪宁高速公路扩建工程复合地基处理中的施工可行性及施工技术。

**关键词:** 沪宁高速公路; 扩建工程; 软基处理; 控沉预应力管桩; 施工技术

## 1 工程实例

沪宁高速公路建成至今,交通量增长快,至2002年底,无锡枢纽以西区段年均断面交通量绝对数已超过1.9万辆/日;以东区段年均断面交通量绝对数已大于2.8万辆/日,高峰时已达4.8万辆/日,高峰时段的服务水平已明显降低。为了满足日益增长的交通要求和提高道路服务水平,更好地为经济建设服务,有必要对沪宁高速公路进行改扩建。改扩建原则是以路基两侧拼接加宽为主,由原来的四车道对称拓宽为八车道。

沿线大部分地区为河相、海相冲积平原,分布有

大量的淤泥质粘土,地质情况复杂,软土层厚薄不均,最大厚度大于30 m。全线平均填土高度为3.7 m,最高达10 m以上;实测沉降量最大值达160 cm,一般为35~60 cm。

沿线土层主要由亚粘土层、淤泥质粘性土层、亚砂土层、粘土层和粉砂层等组成。软土地基最大含水量超过50%,淤泥质土层出现在表层30 m左右深度内。按压缩系数分类,大部分土层是中等压缩性土, $a_{v_{1-2}}$ 小于 $5 \times 10^{-4} \text{ kPa}^{-1}$ ;有少数土层为高压缩性土, $a_{v_{1-2}}$ 大于 $5 \times 10^{-4} \text{ kPa}^{-1}$ 。

基于该地区的地质特殊性,扩建工程以路基沉

收稿日期: 2005-09-01

效的防护,受雨水等自然因素长期作用,边坡局部逐渐失去稳定。

②受地形条件限制,此段路堑第1、2级边坡设计坡率较陡,自身稳定性较差。

③此段边坡坡体内存在软弱夹层和顺路线走向的节理,在外力因素的作用下,诱发变形。

④防护施工不及时,施工方法不当。

(2)高边坡施工中的注意事项。

①事前要经过现场勘察、从外观上判断是否易产生山坡变形。

②在出现地面变形迹象之后,要能判断出变形的规模及其发展的限度、当前的稳定度、变形速率、危害范围、可能的病因、破坏部位和破坏性质等,并

能大致估出防治工程数量和费用,为制定滑坡整治方案决策提供依据。

③高边坡要随开挖随支护,避免边坡坡面长时间暴露。

## 参考文献:

- [1] 高速公路丛书编委会. 高速公路设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社,1998.
- [2] 高大钊,袁聚云,主编. 土质学与土力学[M]. 北京:人民交通出版社,1995.
- [3] JTJ 033-95,公路路基施工技术规范[S].
- [4] 赵明阶,何光春,王多垠,编著. 边坡工程处治技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003.

降控制为主要控制对象。选择合理的深层软基处理方式,对提高扩建工程路基拼接质量尤为重要。

## 2 控沉预应力管桩特点

控沉预应力管桩(简称管桩或预应力管桩),由专业厂家采用先张法预应力工艺和离心成型、蒸汽养护而成,是一种细长空心等截面预制混凝土构件,目前常用规格见表 1。

表 1 预应力管桩型号

种类	混凝土等级	外径 mm	壁厚 mm	长度 m	桩身竖向极限承载力标准值/kN
PHC 型	C80	550	100、125	≤12	4 470~4 580
		600	100、110、130	≤15	4 930~6 230
		800	110	≤15	7 430~7 640
PC 型	C60	400	75	≤12	2 010
		550	100	≤12	3 650~3 490
		600	100、110	≤15	4 020~4 540
PTC 型	C60	400	70	≤12	1 610~1 830
		500	60	≤12	2 230
		600	70	≤12	3 100

管桩的桩身混凝土强度较高,配筋率较低,因此,其轴压承载力较高,在国内广泛应用于工业和民用建筑中,在高速公路软基处理中应用较少。管桩处理技术与传统的高速公路地基处理方法相比,具有质量可靠、施工工期短、承载力高、造价经济、便于质量监控等优点。在高速公路的拼接工程中,在满足软基处理要求的前提下,管桩处理技术采用疏桩结构可以节省造价。管桩处理方案的设计主要由单桩设计、疏桩复合地基设计及工艺性设计 3 个部分组成。其布置形式可采用正方形或三角形,桩与桩的中心距一般等于或大于 6 倍桩径。用作摩擦桩且穿越的坚硬土层较薄时,可选 PTC 的 A 型或 AB 型桩,其长径比不大于 100;用作端承桩且穿越的坚硬土层较厚时,可选 PHC 的 AB 型或 B 型桩,其长径比不大于 80。对一些特殊地质工程,管桩长径比可做适当调整。本工程中采用 PTC 桩,外径为  $\phi 400$  mm,壁厚为 70 mm。根据施工图设计桩长进行桩节匹配组合,一般情况下,当处理深度大于或等于 24 m 时,可采用 3 节(或更多)桩组合;当处理深度小于 24 m 时,以不超过 2 节桩为要求进行组合;同时,施工时按照“长桩在下、短桩在上”的组合顺序进行施工。

## 3 控沉预应力管桩复合地基加固原理

### 3.1 单桩垂直极限承载力

(1)进行静载荷试验时,单桩垂直极限承载力值按式(1)进行计算。

$$Q_d = \frac{Q_K}{\gamma_R} \tag{1}$$

式中: $Q_d$  为单桩垂直极限承载力值,kN; $Q_K$  为单桩垂直极限承载力标准值,当试桩数量  $n \geq 2$ ,且各桩的极限承载力最大值与最小值之比小于或等于 1.3 时,取平均值作为单桩垂直极限承载力标准值,当比值大于 1.3 时,应经分析确定,kN; $\gamma_R$  为单桩垂直承载力分项系数,一般  $\gamma_R$  取为 1.3,当地质情况复杂或永久作用所占比重较大时, $\gamma_R$  取为 1.40。

(2)不做静载荷试验的工程,可根据具体情况,采用承载力经验参数法或静力触探等方法确定单桩垂直极限承载力。

(3)按承载力经验参数法确定单桩垂直极限承载力值时,按式(2)进行计算。

$$Q_d = \frac{1}{\gamma_R} (U \sum q_{fi} l_i + q_R A) \tag{2}$$

式中: $Q_d$  为单桩垂直极限承载力值,kN; $\gamma_R$  为单桩垂直承载力分项系数,一般  $\gamma_R$  取为 1.45,当地质条件复杂或永久作用所占比重较大时, $\gamma_R$  可取为 1.55; $U$  为桩身截面周长,m; $q_{fi}$  为单桩的第  $i$  层土极限侧摩阻力标准值,kPa; $l_i$  为桩身穿过第  $i$  层土的长度,m,; $q_R$  为单桩极限桩端阻力标准值,kPa; $A$  为桩身截面面积,m<sup>2</sup>。

(4)遇到下列情况时,在基桩施工中要考虑负摩阻力的影响:

- ①桩身穿过新近沉积或人工填筑的土层,该土层在其自重作用下仍未固结稳定时;
- ②桩位附近地面有大面积堆载时;
- ③存在有其他会引起桩入土范围内的土层产生压缩的因素时。

### 3.2 控沉疏桩复合地基承载力计算

采用控沉刚性疏桩技术形成的复合地基,其承载力可按式(3)计算。

$$Q_{SP} = mQ_d/A_1 + \beta(1-m)Q_{SK} \tag{3}$$

式中: $Q_{SP}$  为复合地基承载力,kPa; $\beta$  为桩间土应力发挥系数,取为 0.9; $Q_{SK}$  为天然地基承载力,根据试验设计值求得,kPa; $Q_d$  为桩的设计承载力,kN; $A_1$  为桩帽面积,m<sup>2</sup>; $m$  为置换率。

(1)有桩帽的单桩组合形成复合地基的置换率

(正方形布桩)为:

$$m = A_1 / A \quad (4)$$

式中:  $A$  为加固区域总面积,  $\text{m}^2$ 。

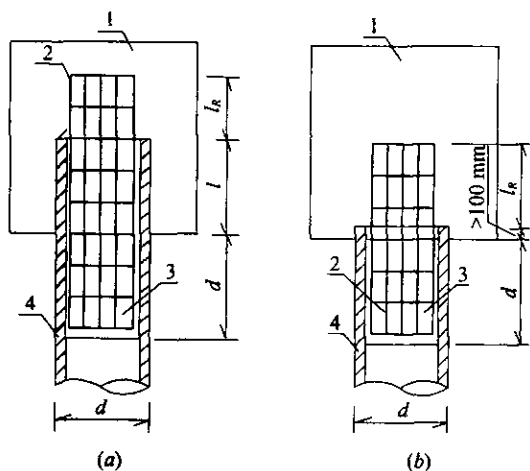
(2) 当仅采用单桩加固地基时, 式(3)中的  $m$  用式(5)表示。

$$m = A_p / A \quad (5)$$

其中:  $A_p$  为桩的截面积,  $\text{m}^2$ 。

### 3.3 管桩与桩帽连接工艺

管桩与桩帽的连接为固接时, 采用图 1(a) 的连接形式。



注: 1——桩帽或横梁; 2——桩芯钢筋笼; 3——桩芯水泥混凝土; 4——管桩。

图 1 管桩与桩帽连接

管桩与桩帽连接按固接设计应满足下列要求。

(1) 管桩伸入桩帽的长度不得小于 0.75 倍桩径。

(2) 在管桩顶内部浇筑桩芯水泥混凝土时, 桩芯水泥混凝土伸入桩帽底面以下不得小于 1 倍桩径, 水泥混凝土的强度等级不低于桩帽水泥混凝土强度等级。

(3) 桩芯纵向钢筋通过计算确定, 且其配筋率不应低于 1%, 钢筋采用 II 级钢筋。桩芯箍筋宜采用直径为 7~10 mm 的 I 级钢筋, 间距可取为 200~250 mm。纵向钢筋伸出桩顶的长度  $l_0$  应满足锚固要求。

(4) 桩帽襟边不应小于 0.4 倍桩径, 且应考虑打桩偏位的影响。桩帽的钢筋做成封闭式箍筋。

当管桩与桩帽或横梁的连接按铰接设计时, 可采用图 1(b) 的连接形式。在铰接时, 管桩伸入桩帽或横梁的长度不得小于 100 mm。桩芯水泥混凝土及纵向钢筋配筋率等可按固接形式配置, 桩帽外包宽度不宜小于 0.25 倍桩径。同样, 设计桩帽襟边宽度时应考虑打桩偏位的影响。

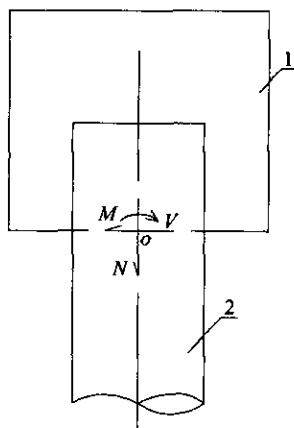
管桩与桩帽连接按设计要求, 需要注意以下 2 条。

(1) 在计算轴向受拉时, 连接处轴向抗拔力设计值按式(6)计算。

$$N = f_y A_s \quad (6)$$

式中:  $N$  为轴向抗拔力设计值,  $\text{N}$ ;  $f_y$  为钢筋的抗拉强度设计值,  $\text{N}/\text{mm}^2$ ;  $A_s$  为桩芯钢筋截面面积,  $\text{mm}^2$ 。

(2) 在验算管桩受弯时, 连接节点(图 2)的受弯承载力按式(7)计算。



注: 1——桩帽或横梁; 2——管桩。

图 2 管桩与桩帽连接计算图式

$$\frac{6M}{dl^3} + \frac{4V}{dl} \leq a f_c \quad (7)$$

式中:  $M$  为作用于桩帽底管桩中心的弯矩设计值,  $\text{N} \cdot \text{mm}$ ;  $l$  为管桩伸入桩帽的长度,  $\text{mm}$ ;  $V$  为作用于桩帽底的剪力设计值,  $\text{N}$ ;  $d$  为管桩外径,  $\text{mm}$ ;  $a$  为桩帽水泥混凝土挤压强度系数, 取为 2.7;  $f_c$  为桩帽水泥混凝土的轴心抗压强度设计值,  $\text{N}/\text{mm}^2$ 。

## 4 控沉预应力管桩施工

### 4.1 施工工艺流程

施工工艺流程为: 整平→填前地表土翻松 20~30 cm, 掺灰 50%, 压实至 87%→填筑 20 cm 灰土, 整平压实至 90%→桩位放样→静压机就位→调整垂直度→静压第一节桩→起吊第二节桩→电焊接桩→检查焊接质量和垂直度→静压第二节桩→重复前面的压桩工艺直至设计标高→检查整桩质量→开挖桩帽土体形成土模→绑扎桩帽钢筋, 现浇水泥混凝土并养护→铺筑第一层碎石垫层, 整平压实→铺筑钢筋网→铺筑第二层碎石垫层, 整平压实。

### 4.2 设备要求

PTC 桩的施工必须配备性能可靠、符合标准、种类齐全的施工机械和设备,在施工前做好机械设备的保养、试机工作,确保在施工期间正常作业。PTC 桩施工需配置的主要施工机械和设备如下:

(1)静力压桩机,设计压桩力为 600 kN,要求静压机压桩力大于 1 000 kN,压桩速度 $\geq 1$  m/min,一次压桩行程为 1.5 m~2.0 m,静压机自带压力表并应经过标定;

(2)起重机(起吊重量 $\geq 30$  kN)和长挂车;

(3)全站仪、水准仪、经纬仪、钢尺、直尺、3 m 直尺和锤球绳。

#### 4.3 PTC 桩的施工方法

(1)桩位放样:根据设计文件和桩位图所确定的坐标控制点和布桩界限进行桩位放样,采用全站仪定出桩位中线和边界线;用钢尺按设计桩间距量出布桩中心,用石灰做出桩位圆形标记;圆心位置用小木桩标记,并注意保护。

(2)压桩:用钢绳绑住桩身单点起吊,小心移入桩机,然后调平桩机并移动桩机调整对中,同时利用相互垂直的 2 个方向经纬仪检查垂直度;第一节桩入土 30~50 cm 后检查和校正垂直度,垂直度控制在 0.5% 以内;开动压桩装置,记录压桩时间和各压力表读数,保持连续压桩并控制压桩速度为 1~2 m/min;最大压桩力不大于单桩强度的竖向承载力设计值(800~1 000 kN)。

(3)接桩及焊接要求:在接桩时,下节桩的桩头高出地面 1.0 m 左右;在接桩前将下节桩的桩头加上定位板,然后将上节桩吊放在下节桩端板上,依靠定位板将上下桩接直,其错位偏差不大于 2 mm;上下桩如有空隙,用楔形铁片全部垫实并焊接牢固;管桩焊接之前,上下端表面要用铁刷清理干净,直至其坡口处刷出金属光泽;焊接时分层焊接,在坡口四周先对称点焊 6 点,由 2 个焊工对称焊接;焊接层数不得少于 2 层,层间焊皮要清理干净,焊缝应达到二级焊缝要求;焊接好的桩接头自然冷却,冷却时间至少

8 min,严禁用水冷却。

(4)送桩:在送桩前用水准仪确定地面标高,在送桩杆上做记号;在送桩过程中进行跟踪,动态检查送桩深度;送桩器下端设置桩垫,桩垫厚度均匀并与桩顶全断面接触。

(5)终止压桩:正常情况按设计压桩力送桩,达到设计高程后持荷(正常压力)10 min,且沉降速度不超过 2 mm/min 后方可结束送桩;在同一地质类型的地段,若送桩时出现静压力显著增加或静压力显著减小等异常情况,需暂停施工并及时报告监理,在分析和找出原因后提出处理措施。

(6)截桩:如需截桩,必须有截桩后确保管桩质量的措施,严禁使用大锤硬砸;可先将不需要截除的桩身端部用钢箍包紧,然后沿钢箍上沿凿槽打穿后,用锤打碎水泥混凝土,再用气割法切断钢筋。

(7)桩帽的施工:PTC 桩施工结束并报请监理验收合格后,在桩头位置地面以下按桩帽设计尺寸开挖土模,按照设计要求绑扎钢筋,浇筑水泥混凝土并养护。

#### 5 结语

针对沪宁高速公路扩建工程的特殊性及其重要程度,部分地段软基处理采用控沉预应力管桩施工,可以大大减小路基工后沉降,克服路基拼接施工新老路基的沉降差异。经过施工总结,采用控沉预应力管桩施工具有施工工艺可靠、施工质量容易控制、施工便捷快速、综合经济指标合理等优点。特别是采用静压法施工,噪音小、扰民少,施工的环保效果显著。采用控沉预应力管桩施工,因其在软基处理施工中良好的技术性能和工艺条件,必将在高速公路改扩建工程中被广泛应用。

#### 参考文献:

- [1] JC 888—2001,先张法预应力混凝土薄壁管桩[S].
- [2] JGJ 94—94,建筑桩基技术规范[S].