

浅谈高速铁路路基湿陷性黄土地基处理措施

孙文渊

(中铁十九局第三工程有限公司 辽宁沈阳 110000)

【摘要】湿陷性黄土是我国西北地区常见的一种工程地质, 主要分布在陕西、甘肃、山西大部分地区, 宁夏、河北、内蒙古及青海地区也有分布。本文以作者参建的新建铁路银川至西安(甘宁段)工程实践情况作为案例, 从施工方角度, 对高速铁路路基中湿陷性黄土地基处理方法及存在问题进行讨论, 希望对后续高速铁路路基施工有所帮助、借鉴。

一、湿陷性黄土特性及危害

黄土主要为黄色的特殊第四季沉积物, 是在干旱气候条件下形成的特种土, 一般为浅黄、灰黄或黄褐色, 色调有深浅差异, 具有目视可见的大孔和垂直节理。颗粒级配均匀, 颗粒成分中粉土粒组含量高达50%—60%以上, 且以粗粉土粒组(0.05—0.01 mm)为主。黄土覆盖着全球陆地表面的11%左右, 中国黄土的分布面积达44万km²。

由于黄土遇水后土的结构迅速破坏, 发生显著的附加下沉, 故称之为湿陷性黄土。根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025—2004)的规定, 湿陷系数 ≥ 0.015 时, 称为湿陷性黄土。湿陷性黄土分为自重湿陷性和非自重湿陷性两种。

黄土湿陷所造成的建筑物地基的湿陷变形往往是不均匀的, 属于失稳型的地基变形, 一般在1—2 d内就可能产生20—30 cm的变形量。这种数量大、速度快、而又不均匀的地基变形正是建筑物所难以适应的, 因此高速铁路路基中黄土湿陷性的消除与否, 直接影响铁路运营的安全。

二、案例工程情况

工点区地层主要为第四系全新统人工填筑土, 上更新统风积黏质黄土, 中更新统风积黏质黄土。工点位于二级构造单元陕甘宁台坳中的陕北台坳, 厚层的第四系地层覆盖。属于自重湿陷黄土, 地基湿陷等级为Ⅱ级。

施工图中地基处理措施主要为以下几种:

工点区地基处理措施设计参数统计表

序号	地基处理形式		桩径	桩间距	桩长	布置形式
1	水泥土挤密桩		0.4m	1m	8	正三角形
2	柱锤冲扩桩		0.6m	1.4m	12	正三角形
3	长短桩	水泥土挤密桩	0.4m	1m	8	正方形
		CFG桩	0.4m	2m	16	正方形

以上三种处理措施均采用了挤密桩法进行黄土湿陷性消除, 根据《高速铁路路基工程施工质量验收标准》(TB10751—2010)要求, 挤密后桩间土挤密系数不小于0.90, 桩间土湿陷系数 < 0.015 , 桩体水泥土填料压实系数不小于0.97。

三、挤密桩法处理措施分析

挤密桩法适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土地基, 且含水量12%—22%的湿陷性黄土和人工黄土, 处理深度可达5—15米。挤密桩是利用锤击打入或振动沉管的方法在土中形成桩孔, 然后在桩孔中分层填入水泥土或灰土等填充料, 在成孔和夯实填料的过程中, 原来处于桩孔部位的土全部被挤入周围土体, 通过这一挤密过程, 从而彻底改变土层的湿陷性质并提高其承载力。其主要作用机理分两部分:

(1) 机械打桩成孔横向加密土层, 改善土体物理力学性能

在土中挤压成孔时, 桩孔内原有土被强制侧向挤出, 使桩周一定范围内土层受到挤压, 扰动和重塑, 使桩周土孔隙比减小, 土中气体溢出, 从而增加土体密实程度, 降低土压缩性, 提高土体承载能力。

(2) 挤密桩与桩间挤密土合成复合地基

上部荷载通过它传递时, 由于它们能互相适应变形, 因此能有效而均匀地扩散应力, 地基应力扩散得很快, 在加固深度以下附加应力已大为衰减, 无需坚实的下卧层。

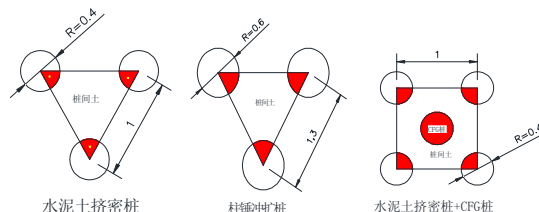
四、工点区地基处理设计参数分析(挤密桩间距)

挤密桩的成桩质量、桩间土挤密效果与现场土质、成桩设备、周围环境因素等有直接关系, 设计参数能否达到消除湿陷性目标, 实现设计意图, 需要核核现场地质情况进一步验证。目的是从源头避免地基处理方案与地质条件不符的问题, 若问题不能及时发现, 造成工程质量达不到技术要求, 后期将不得不采取一些补救措施。

地基处理完成后, 黄土湿陷性的消除与否, 主要取决于桩间土处理效果。首先要从理论上确认该设计参数下桩间土挤密效果是否能够满足验标要求。根据挤密桩消除湿陷性的原理, 我们可以通过计算施工前与施工后桩间土的体积比, 进一步计算该设计参数下桩间土的理论压实系数。

首先由试验人员选取工点区土样, 同时采用静力触探试验对该段路基进行地质核查, 地基承载力及地质情况与设计相符。复查黄土的天然干密度, 最大干密度(轻型击实)及湿陷厚度、湿陷系数(浸水饱和和压缩试验)、天然含水量、饱和度。设自然土干密度 $\rho_{自}$, 通过轻型击实试验确定土的最大干密度为 ρ_{max} 。本工点区测定的 $\rho_{自}=1.4g/cm^3$, $\rho_{max}=1.82g/cm^3$ 。设成桩前桩间土面积为 $S_{前}$, 设成桩后桩间土面积为 $S_{后}$, 计算区域内桩体面积 $S_{桩}$, $S_{后}=S_{前}-S_{桩}$ 。

则桩间土理论压实系数: $K_{桩间土}=S_{前}/S_{后} \cdot \rho_{自}/\rho_{max}$ 。



(1) 水泥土挤密桩在设计参数下的布置情况, 如上图所示:

$$S_{前} = \sin 60^\circ \times 1 \div 2 = 0.433 \text{ m}^2$$

$$S_{桩} = 180 \pi r^2 / 360 = 0.0628 \text{ m}^2$$

$$S_{后} = S_{前} - S_{桩} = 0.3702 \text{ m}^2$$

$$K_{桩间土} = S_{前}/S_{后} \cdot \rho_{自}/\rho_{max} = 0.433 \div 0.3702 \times 1.4 \div 1.82 = 0.8997 \approx 0.90$$

由计算结果可知该设计参数下桩间土理论压实系数基本满足验标中不小于 0.90 的要求。

根据上述计算，水泥土挤密桩在正三角形布置、桩间距 1m 的参数下，桩间土理论压实系数为 0.90，施工现场永远也做不到这么完美，施工工艺及施工过程中孔位偏差、桩孔垂直度、土体含水率大引起的局部缩孔等多种常见因素，都可以导致桩间土挤密效果达不到理论值。

(2)柱锤冲扩桩在设计参数下的布置情况，如上图所示：

$$S_{前} = \sin 60^\circ \times 1.4 \times 1.4 \div 2 = 0.8487 \text{ m}^2$$

$$S_{桩} = 180 \pi r^2 / 360 = 0.1413 \text{ m}^2$$

$$S_{后} = S_{前} - S_{桩} = 0.7074 \text{ m}^2$$

$$K_{桩间土} = S_{前} / S_{后} \cdot \rho_{自} / \rho_{max} = 0.8487 \div 0.7074 \times 1.4 \div 1.82 = 0.923 > 0.90$$

由计算结果可知该设计参数下桩间土理论压实系数满足验标中不小于 0.90 的要求。

(3)长短桩（水泥土挤密桩+CFG 桩）在设计参数下，布置情况如上图所示：

$$S_{前} = 1 \text{ m}^2$$

$$S_{桩} = \pi r^2 = 0.1256 \text{ m}^2$$

$$S_{后} = S_{前} - S_{桩} = 0.8744 \text{ m}^2$$

$$K_{桩间土} = S_{前} / S_{后} \cdot \rho_{自} / \rho_{max} = 1 \div 0.8744 \times 1.4 \div 1.82 = 0.8797 < 0.90$$

由计算结果可知该设计参数下，桩间土理论压实系数不满足验标中不小于 0.90 的要求。此种情况，需及时与设计沟通，是否可以适当调整桩间距，以满足桩间土压实系数的检测指标。

$$K_{桩间土} = L^2 \div (L^2 - 0.1256) \times 1.4 \div 1.82 = 0.90$$

$$\text{求解：} L = 0.9297$$

由上述计算公式反推，可知当压实系数为 0.90 时，水泥土挤密桩正方形布置间距不应大于 0.93m。

五、挤密桩有效处理面积分析

以挤密桩正三角形布置为例，前面已经计算过，当桩间土理论压实系数达到验标要求的 0.90 时，桩间距为 1m，正三角形面积为 0.433 m²，三角形内包含 60° 扇形桩身共计 3 个，因此每根桩的有

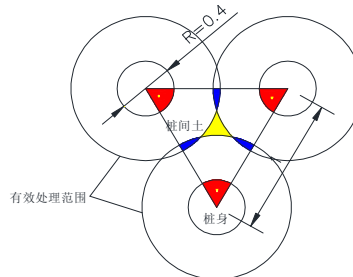
效处理面积为： $S = 0.433 \times 360^\circ \div 60^\circ \div 3 = 0.866 \text{ m}^2$ 。

水泥土挤密桩施工过程采用隔排跳打，每根桩对周围土体的挤密效果呈圆形扩散，理论情况下有效处理圆形面积 $S = 0.866 \text{ m}^2$ 。

$$\pi r^2 = 0.866 \text{ m}^2, \text{ 求解：} r = 0.525 \text{ m}.$$

由上述计算可知：单根挤密桩有效处理面积半径为 0.525m。

根据挤密桩有效处理半径，绘出三角形内处理效果模拟图：



水泥土挤密桩

由上图可以看出，在相邻桩孔挤密区交界处挤密效果相互叠加，挤密系数叠加后大于 0.90；桩间土三角形中心部位处于有效处理半径之外，即挤密效果薄弱区，挤密系数小于 0.90；根据计算叠加区面积与薄弱区面积相等，均为 0.0161 m²。且相同地质条件下，桩间距越小，相邻桩孔挤密效果叠加越显著，挤密效果薄弱区越小。因此，为了使检测结果满足验标要求，应适当减小设计桩间距。

结束语

本文以案例工点的地质条件为例，对湿陷性黄土特性及危害、挤密桩消除湿陷性机理、地基处理前的地质核查、设计参数的复核、技术指标的实现等方面，发表了一些个人看法，希望对以后的黄土地基处理有所帮助、借鉴，不到之处期待批评、指正。

孙文渊（1983.09-），性别：男，籍贯：黑龙江省巴彦县，民族：汉，学历：本科，职称或职务：工程师，研究方向：