

高等级公路超载预压设计与施工技术分析

魏金霞¹, 刘吉福^{1,2}

(1. 广东省航盛工程有限公司 广州市 511442; 2. 华南理工大学 广州市 510640)

摘要: 结合多条高速公路监测资料,对 $S \sim H$ 之间的关系和超载厚度进行分析,提出了变超载设计理念及超载预压施工中需注意的问题。

关键词: 超载厚度; 变超载设计; 超载预压施工

1 问题的提出

沿海地区存在大量的淤泥、淤泥质土等软粘土。为了减小工后沉降或缩短工期,对于采用排水固结法进行地基处理的路段,或含有排水固结法的联合处理软基路段,多采用超载预压的措施。部分工程为了减小搅拌桩复合地基的工后沉降,也有采用等载或超载预压措施的。大量工程表明,超载预压对减小工后沉降具有非常显著的作用,而且施工简便、造价较低,越来越多的软基处理工程采用超载预压措施。

目前,对于超载预压效果的研究还不深入,对超载厚度的设计多是凭经验确定,关于超载预压的许多问题一直困扰着高速公路建设者。例如超载预压是否可以减小次固结变形、部分工程超载预压后工后沉降仍然较大如何解释、超载厚度如何合理确定、超载厚度需不需要过渡、超载预压在什么情况下效果更显著等。

2 超载设计

2.1 拟合 $S \sim H$ 关系式

根据多条高速公路监测资料,绘制最终沉降 S 与填土厚度 H 的关系曲线(如图 1 所示),拟合得到式(1)~式(4)。最终沉降 S 可以根据监测资料推算得到,也可以根据式(5)得到。式(5)中 U_i ,也可由式(6)计算求得。

$$S = (H + S) \alpha = H \lambda \tag{1}$$

$$S = (H + S) \alpha + b = H \lambda + c \tag{2}$$

$$S = f_H (H) \tag{3}$$

$$S = f_T (H + S) \tag{4}$$

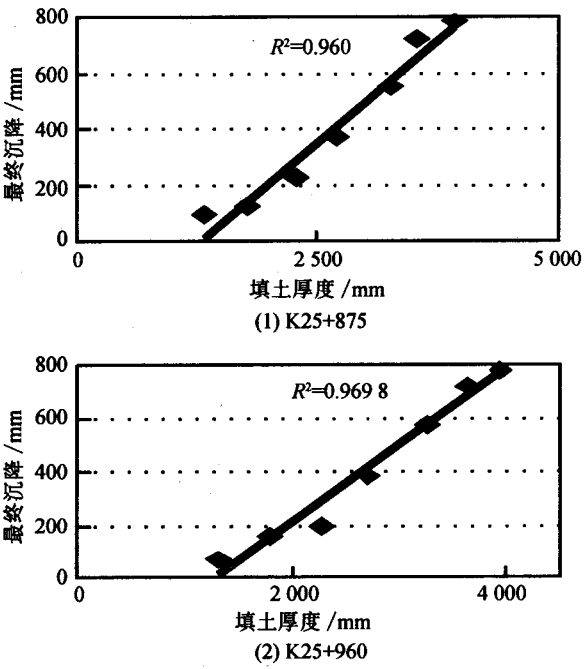


图 1 广珠高速公路北线试验段最终沉降与填土厚度的关系曲线

$$S = S_i / U_i \tag{5}$$

$$U_i = \frac{\sum_{i=1}^n T_i U_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \tag{6}$$

式中: T_i 、 U_i 分别是第 i 层土的厚度及其对应的固结度, U_i 根据实际加载情况按改进的太沙基法或改进的高木俊介法计算。

2.2 计算超载厚度 T_0

考虑到公路荷载(填土厚度)与沉降大小有关,是预先难以确定的,因此,为便于公路工程应用,本课题将超载比 R_0 定义为超载厚度 T_0 与等效填土高度 H_e 的比值,即:

$$R_0 = T_0 / H_e \quad (7)$$

$$S_e = (H_e + S_e) \alpha + b = H_e \lambda + c \quad (8)$$

对于均质土地基,超载预压卸载时的沉降为:

$$S_{0e} = (H_e \lambda + c) U_e + T_0 U_0 \alpha \quad (9)$$

式中: U_e 、 U_0 分别为卸载时等载、超载预压对应的固结度,可以计算得到,或者根据经验确定。

卸载后等载预压对应的工后沉降变为:

$$S_{re} = S_e - S_{0e} = (H_e \lambda + c) (1 - U_e) - T_0 \alpha U_0 \quad (10)$$

当 $U_e = 0.85$ 、 $U_0 = 0.75$ 、 $T_0 = 1$ m、 $\lambda = 0.5$ 时,剩余沉降 S_{re} 与路堤等效高度 H_e 的关系见图 2(1)。其他参数不变,当 $H_e = 6$ m 时,剩余沉降 S_{re} 与超载固结度(超载预压时间)的关系见图 2(2)。

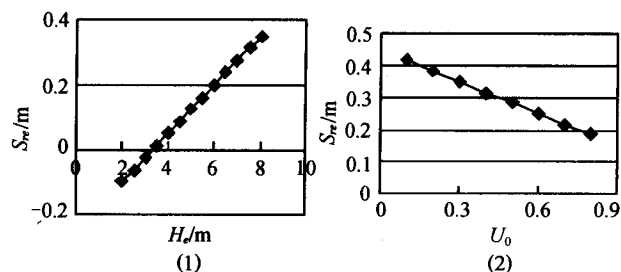


图 2 剩余沉降与路堤等效高度、超载固结度的关系曲线

由式(10)和图 2 可知,在超载厚度等其他条件相同的情况下,路堤等效高度越小,剩余沉降越小,超载预压效果越显著。在超载厚度等其他条件相同的条件下,超载固结度越大(超载预压时间越长),剩余沉降越小,超载预压效果越好。因此,超载预压对于低路堤效果更显著,预压时间越长效果越好。

设桥涵处等效填土高度为 H_{ea} ,距离桥涵 x 处的等效填土高度为 H_{ex} ,卸载时等载固结度为 U_{ex} 、超载预压固结度为 U_{0x} ,由式(10)可得距离桥涵 x 处的剩余沉降 S_{rx} :

$$\begin{aligned} S_{rx} &= (H_{ex} \lambda + c) (1 - U_{ex}) - T_{0x} \alpha U_{0x} \\ &= (H_{ex} \lambda + c) (1 - U_{ex}) - R_{0x} H_{ex} \alpha U_{0x} \end{aligned} \quad (11)$$

设距离桥涵 x 处容许工后沉降为 S_{rax} ,令 $S_{rax} = S_{rx}$,由式(11)可得距离桥涵 x 处的超载厚度 T_{0x} 、超载比 R_{0x} :

$$T_{0x} = \frac{(H_{ex} \lambda + c) (1 - U_{ex}) - S_{rax}}{U_{0x} \alpha} \quad (12)$$

$$R_{0x} = \frac{(H_{ex} \lambda + c) (1 - U_{ex}) - S_{rax}}{H_{ex} U_{0x} \alpha} \quad (13)$$

当 $R_{0x} \leq 0$ 、 $T_{0x} \leq 0$ 时, x 处不需要超载预压。

当 $c = 0$ 、 $U_{ex} = 0.85$ 、 $U_{0x} = 0.75$ 、 $\lambda = 0.5$ 、 $S_{rax} = 0.1$ 时, R_{0x} 、 T_{0x} 与 H_{ex} 的关系见图 3。

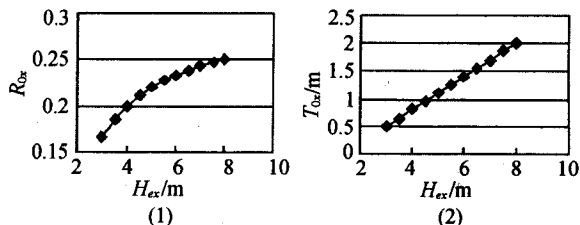


图 3 超载比、超载厚度与路堤等效高度的关系

由式(12)、式(13)和图 3 看出:路堤高度越大,超载厚度越大;容许工后沉降越小,需要的超载厚度越大; U_{ex} 、 U_{0x} 越小,需要的超载厚度越大。

为了减缓跳车程度,应使桥台与路基之间的工后沉降逐渐过渡,设 $S_{rax} = S_a + x \Delta i_{za}$ 、 $H_{ex} = H_{ea} - x i_z$,则:

$$R_{0x} = \frac{(H_{ea} \lambda + c) (1 - U_{ex}) - S_a - x [(1 - U_{ex}) i_z \lambda + \Delta i_{za}]}{(H_{ea} - x i_z) U_{0x} \alpha} \quad (14)$$

$$T_{0x} = \frac{(H_{ea} \lambda + c) (1 - U_{ex}) - S_a - x [(1 - U_{ex}) i_z \lambda + \Delta i_{za}]}{U_{0x} \alpha} \quad (15)$$

当 $H_{ea} = 7$ 、 $\lambda = 0.5$ 、 $c = 0$ 、 $U_{ex} = 0.85$ 、 $U_{0x} = 0.75$ 、 $S_a = 0.01$ 、 $i_z = 2\%$ 、 $\Delta i_{za} = 0.5\%$ 时, R_{0x} 、 T_{0x} 与 x 的关系见图 4。其他参数相同,当 $i_z = 0\%$ 时, R_{0x} 、 T_{0x} 与 x 的关系见图 5。

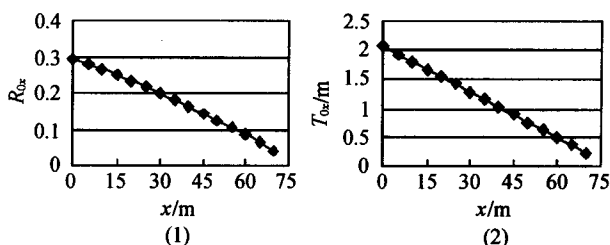


图 4 超载比、超载厚度与距台背距离的关系 ($i_z = 2\%$)

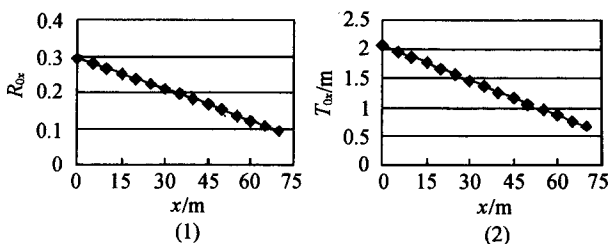


图 5 超载比、超载厚度与距台背距离的关系 ($i_z = 0\%$)

由式(14)、式(15)、图 4 和图 5 可知,假设桥台、涵洞、通道附近地质条件、处理方法、参数和施工情况均相同,桥台、涵洞和通道附近路基 U_x 也相等,

则 R_{0x} 随 x 增加而呈双曲线变化, T_{0x} 随 x 增加而线性减小, 并且 i 越大(纵坡越陡), T_{0x} 减小越快。因此, 超载设计时不宜采用相同的超载厚度, 否则不利于减轻或消除桥台跳车现象。这一原则在施工图设计和施工中均应遵守。

2.3 轻质填料换填厚度 T_{lx}

当推算的剩余沉降大于容许工后沉降且不能继续预压时, 可以采用轻质填料换填一部分路基土。设轻质填料容重为 γ_l , 由式(10)可以得:

$$S_{rax} = [H_{ex} - \frac{T_{lx}}{\gamma_s}(\gamma_s - \gamma_l)]\lambda + c - (H_{ex}\lambda + c)U_{ex} - T_{0x}\alpha U_{0x} \quad (16)$$

因此:

$$T_{lx} = \frac{[(H_{ex}\lambda + c)(1 - U_{ex}) - T_{0x}\alpha U_{0x} - S_{rax}]\gamma_s}{(\gamma_s - \gamma_l)\lambda} \quad (17)$$

3 超载预压施工

3.1 避免“假象超载”

为了避免出现“假象超载”, 超载预压填土施工时, 可以按照填土厚度为 $H_e + S_e + T_0$ 控制, 也可以按照填土高度为 $H_e + S_e + T_0 - S_t$ 控制。其中 S_t 为超载完毕时的沉降。

3.2 预留沉降

填砂路基一般均在路槽下设置一层厚度不小于 80 cm 的粘性土、石粉或碎石作为封顶层, 以保证路床密实度和弯沉值。对于等载或超载预压, 封顶层可以在卸载后施工, 也可以在等载或超载预压前施工。在等载或超载预压前施工时, 存在预留沉降的问题。水载法预压已经在广东省公路建设中得到推广应用。采用水池式水载法时, 不易增大荷载。为避免因沉降造成等载或超载预压不足, 应在水载前预留沉降。

预留沉降量 T_p 可以按照式(18)计算:

$$T_p = (H_e\lambda + c)U_e + T_0U_0\alpha - S_t \quad (18)$$

式中: S_t 为封顶层施工前的沉降; U_e 、 U_0 为卸载时等载与超载预压对应的固结度。

3.3 路堤稳定性控制

超载预压施工时, 路堤填土高度往往很高, 路堤稳定性较差, 应特别注意加强施工监测, 并根据施工监测资料决定填土速率。

4 结语

(1) 结合多条高速公路监测资料绘制最终沉降与填土厚度关系曲线, 二者成正比关系。

(2) 超载预压设计时不宜采用相同的超载厚度, 这一原则在施工图设计和施工中均应遵守。

(3) 超载预压施工要避免出现“假象超载”, 重视预留沉降的问题, 注意加强动态监测。

参考文献:

- [1] 广东省航盛工程有限公司岩土分公司. 京珠高速公路广珠段(坦尾~金鼎)软基工后沉降监测总结报告[R]. 2003.
- [2] 京珠高速公路广珠段有限公司, 广东省航务工程总公司. 京珠高速公路广珠段灵山软基试验工程总结报告[R]. 1997.
- [3] 广东省航盛工程有限公司. 台山二标软基试验段总结报告[R]. 2002.
- [4] JTJ 017-96, 公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].
- [5] 龚晓南. 高等土力学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1996.
- [6] 地基处理手册编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
- [7] 王晓谋, 袁怀宇. 高等级公路软土地基路堤设计与施工技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [8] 深厚层软土路堤控制后期沉降加固方法的研究[A]. 软土地基试验研究文集[C]. 武汉: 中国地质出版社, 2001.
- [9] 刘代全, 刘晓明, 龙正聪. 桥头跳车力学分析及台背刚柔过渡设计参数[J]. 公路, 2002, (6).
- [10] 郑士暄, 胡胜飞. 杭甬高速公路桥头跳车的处理[J]. 公路, 2003, (8).
- [11] 旷开萃, 黄宏伟. 高等级公路桥头跳车的综合分析和防治[J]. 华东公路, 2001, (5).