

文章编号: I006-2106(1999)04-0081-05

京九铁路孔垄至九江软基路堤工后沉降及分析

顾湘生*

(铁道部第四勘测设计院, 武汉 430063)

提 要: 对软基路堤的实测沉降数据进行了统计分析, 预测了工后沉降量、沉降速率变化。同时分析了路堤本体沉降、不同施工期以及软基加固层下卧软层对工后沉降的影响。

主题词: 软基路堤; 固结; 工后沉降

中图分类号: P642.26 **文献标识码:** A

1 工程概况

京九铁路孔(垄)九(江)软基路堤工程北起孔垄站,南至九江长江大桥北端(贯通里程:K1282+512~K1298+228,施工里程DK279+900~DK295+625),全长15.7 km。于1993年2月24日正式开工,进行软基处理和桥涵施工,同年8月局部地段开始填筑路堤。由于气候、土源等原因,路堤全面填筑施工时间为1994年2月至8月。1994年10月1日开始铺轨,1995年7月1日合九铁路

分流通过本段,正式投入运营。

1.1 工程地质条件

线路全部以路堤行经于长江北岸第四纪冲积、湖积平原之上,软土分布广泛。代表性地层从上至下为:表层粘土、砂粘土,软塑~硬塑,厚0~3.0 m,局部为粉细砂,厚0~6 m,其下为淤泥质粘土,流塑,一般厚6~12 m,局部夹0~3 m粉细砂。下伏:砂粘土、粘土,软塑~硬塑,粉细砂,厚度大于6 m。其主要物理力学参数见表1。

表1

地 层	天然含水量 W (%)	孔隙比 e	重度 γ (kN/m^3)	液性指数 I_L	快 剪		压缩模量 E_s (MPa)	固结系数	
					C_u (kPa)	ϕ_u ($^\circ$)		C_v $\cdot 10^{-3}$ (cm^2/s)	C_h $\cdot 10^{-3}$ (cm^2/s)
①粘土、砂粘土	26.5~28.6	0.76~0.84	19.35	0.78	16.5	24.5	3.8~9.7	10.7	8.8
②淤泥质粘土	37.4~50.3	1.05~1.33	17.6	0.92~1.33	7~15	3.9~9	1.4~3.2	2.5	1.98
③淤泥质粘土	37.5~45.6	1.05~1.29	17.9	1.05~1.15	7~18.5	5.5~12.4	2.3~4.1	3.5	2.3
④砂粘土	23.9~31.9	0.69~0.87	19.0	0.7	20.3	16.5	3.8~6.5	15.6	11.7

1.2 主要工程措施

一般为1.5~4 m,而软基路堤填筑临界高度为2.7~4.5 m,故路堤的工后沉降是控制本段软基路堤本段路堤填筑高度除桥头路堤为5~8 m外,设计、施工的主要因素。对工后沉降量不满足小于

* 收稿日期 1999-09-12 顾湘生 教授级高级工程师 1957年出生 铁道部第四勘测设计院副总工程师

0.3 m 要求的地段,主要采取了排水砂垫层、排水

轨至 1998 年 7 月,实测工后沉降量统计数据及工

2 路堤沉降及分析

在路堤建成后,全段路肩上设置了观测点(平均约 100 m 一个),对软基路堤建成、铺轨及通车后的沉降情况进行了近两年(1994.8~1996.4)的实际观测。1998 年 7 月对全段路堤下沉情况又进行了再一次测量。

2.1 实测工后沉降

全段设置有效观测点 140 个,1994 年 10 月铺

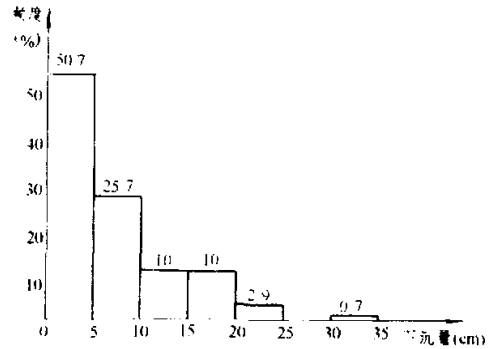


图 1 工后沉降量(频度)统计图

表 2

路堤高度 $H(m)$	统计测点数 n	平均沉降量 (cm)	最大沉降量 (cm)	标准偏差 S	主要软基处理措施
$H<2$	53	4.1	17	3.65	排水砂垫层
$2\leq H<3$	38	6.2	22	5.86	
$3\leq H<4$	27	7.5	19	4.82	
$4\leq H<5$	6	15.2	19	3.06	塑料排水板
$5\leq H<6$	7	17.3	24	3.55	
$6\leq H<7$	5	18.2	31 *	7.59	粉喷桩或塑料排水板加 土工网格
$H\geq 7$	4	15.3	18	2.75	

* 实测最大沉降值 31cm,位于严家闸大桥南台尾附近(DK286+625)。

后沉降量(频度)见表 2、图 1。

数函数式见表 3。曲线见图 2、图 3。其地层情况见表 4。

2.2 沉降数据拟合分析

通过对沉降观测数据进行双曲线、对数曲线拟合分析,结果表明对数最小二乘拟合曲线较为符合本段实际情况,而双曲线推算的最终沉降量偏差稍大,故选用对数曲线进行分析。代表性沉降拟合对

经过 12.8~23.8 年以后,路堤工后总沉降量为 13.0~25.1 cm。之后的沉降将小于 0.2 cm/y,可视已稳定。其沉降量主要由软基固结沉降和路堤本体压密沉降组成。

(1)工后沉降量分析(见表 5)

表 3

编 号	里 程	拟合对数函数	相关系数
I	DK280+000	$S=-5.6192+2.5534 \ln(t)$	0.9989
II	DK286+700	$S=-11.9652+4.7498 \ln(t)$	0.9754
III	DK295+000	$S=-12.2094+3.7579 \ln(t)$	0.9153
IV	DK286+200	$S=-8.8251+4.1449 \ln(t)$	0.9877
V	DK286+300	$S=-13.0541+4.7661 \ln(t)$	0.9542
VI	DK295+600	$S=-11.8672+3.6953 \ln(t)$	0.9967

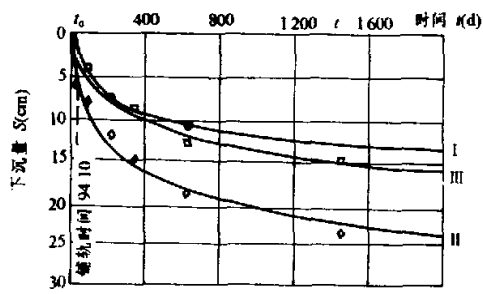


图 2 塑料排水板加固软基路堤实测沉降曲线

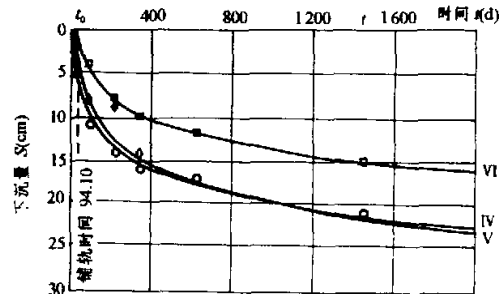


图 3 粉喷桩加固软基路堤实测沉降曲线

表 4						
层厚(m)	里程 编号	DK280+000 (I)	DK286+700 (II)	DK295+000 (III)	DK286+200 (IV)	DK286+300 (V)
地层						
①粘土,软硬型		1.1	1.8	2.6	1.4	2.8
②淤泥质粘土,流塑		9.5	6.4	2.0	5.7	3.8
③粉砂		0	3.8	1.8	1.8	3.6
④淤泥质粘土、砂粘土		0	4.2	4	4.0	5.4
⑤砂粘土、粘土,软塑		1.0	1.5	0	3.8	5.2
⑥粉细砂		>6	>10	>5	>10	>10
加固措施		塑料排水板	塑料排水板	塑料排水板	粉喷桩	粉喷桩
处理深度(m)		11	8.5	11.4	7.5	7.0

里程 编号	DK295+600 (VI)
③粉砂	2.0(软粘土)
④淤泥质粘土、砂粘土	4.8
⑤砂粘土、粘土,软塑	2.6
⑥粉细砂	>6
加固措施	粉喷桩
处理深度(m)	11.2

表 5					
编 号	路堤高度 (m)	1994.10(t_0)~1998.07(t)		推算总沉降量 ($S_{\infty}-S_0$) (cm)	推算沉降时间 (y)
		实测沉降量 (cm)	计算沉降量 (cm)		
I	3.39	10	9.96	12.93	12.8
II	5.58	18	16.60	25.10	23.8
III	4.85	14	14.14	20.00	18.8
IV	5.72	17	17.34	24.19	20.7
V	6.27	18	16.63	25.18	23.8
VI	7.08	14	14.03	19.71	18.5

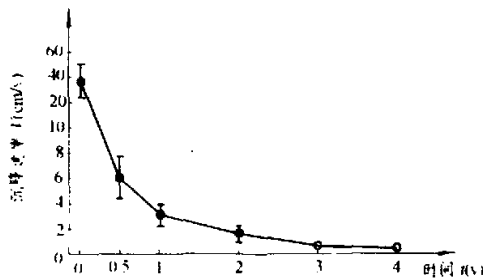


图 4 沉降速率变化曲线图

(2)工后沉降速率变化(见图 4)

铺轨第一年后沉降速率急剧下降,从铺轨时 25.18~47.02 cm/y 降至 2.31~4.33 cm/y。第二年后平均沉降速率降至 2 cm/y 以下。

2.3 路堤本体压密沉降

本段路堤填料主要为粘土、砂粘土,属 C 组填料。最大干重度 $\gamma=16.3\sim17.8$ kN/m³,最佳含水量 $\omega=15\sim21.5\%$ 。填土密实度采用 K 值控制。实测 $K\geq 90\%$ 。

通过对铺轨后三个观测点(DK286+065(A)、

+650(B)、+735(C),路堤高度 $H=4.79$ m、 5.82 m、 5.45 m)路基面沉降观测数据与地基面沉降观测数据对比及数学分析,路堤本体压密沉降量 $S_A=2.1$ cm、 $S_B=4.65$ cm、 $S_C=5.72$ cm。分别为路堤高度的 0.44% 、 0.80% 和 1.05% 。一年后其压密沉降分别完成 88.1% 、 98.5% 和 64.9% 。其压密沉降变化见图 5。

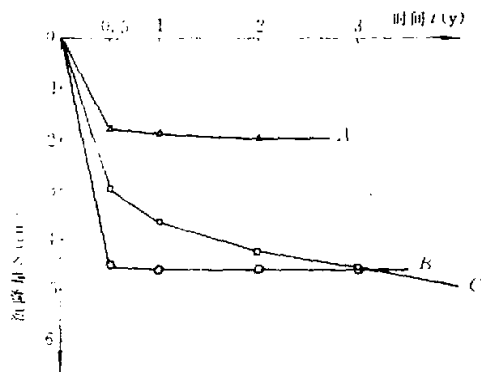


图 5 路堤本体压密沉降变化曲线

2.4 不同施工工期对工后沉降的影响

DK288+300~DK289+700 段,路基高度 1.9

表 6

里 程	路堤高度 (m)		估算总沉降量 (cm)			固结 时间 (d)	铺轨时 固结度 (%)	推算工后 沉降量 (y)	第一年平 均沉降速 率 (cm/y)
	H	\bar{H}	填土	填土、 轨道	填土、轨道 及单活载				
DK288+300~+850	1.84~3.32	2.72	27.0~44.7	34~51	44.2~59.6	90	78.8	15.85	5.5
DK288+850~DK289+700	1.90~3.38	2.50				335	99.7	7.90	2.9

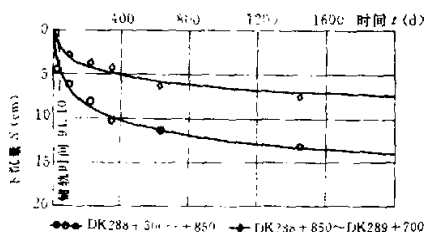


图 6 不同固结时间路堤实测沉降对比曲线

2.5 未加固的下卧软层对工后沉降的影响

从表 5 中可以看出,断面 II 的工后沉降量分别

~3.4 m。地层:表层砂粘土,软塑,厚 1.6~2.0 m;其下为淤泥质粘土,软~流塑,厚 11 m;下伏粘土,软塑~硬塑,夹粉砂。软基采用塑料排水板加固(长 13 m,间距 1.5 m)。路堤填筑采用相同填料、相同碾压机械及相同碾压工艺。但 DK288+850~DK289+700 填土施工时间为 1993 年 9 月 20 日~1993 年 11 月底,1994 年 10 月铺轨时其固结时间为 335 天。而 DK288+300~+850 段 1994 年 4 月初开始填筑路堤,铺轨时固结时间为 90 天。根据两段(各六个观测点)平均实测数据得出沉降对数拟合曲线见图 6。

DK288+850~DK289+700 段的平均工后沉降量以及铺轨后第一年的沉降速率均只有 DK288+300~+850 段的 50% 左右。有关对比数据详见表 6。

根据实测数据分析,本段线上荷载引起的工后沉降量略为 7 cm,与考虑轨道荷载估算沉降量 6.3~7.0 cm 接近,而与考虑轨道荷载加单线活载估算沉降量 14.9~17.2 cm 偏差较大。

是断面 I、II 的 1.9 倍和 1.3 倍,断面 IV、V 的工后的沉降量分别是断面 VI 的 1.3 倍。主要原因是由于断面 II、IV、V 软基加固层之下仍有一层淤泥质粘土(厚 4.0~5.4 m)及软塑粘土(厚 1.5~3.2 m)压缩层(见表 4 层①、层⑤),铺轨时其平均固结度仅 25%~46%,剩余沉降量达 12.3~17.1 cm,对工后总沉降量产生较大影响。

3 结论及建议

(1)实测沉降数据及其数学分析结果表明,京九铁路孔九段软基路堤工后沉降量满足不大于 0.3

m 的规定要求。

(2)路堤本体压密沉降量 $2.1\sim 5.7$ cm,占路堤高度的 $0.44\%\sim 1.05\%$,铺轨后第一年本体压密沉降量完成 $65\%\sim 98\%$ 。对于工后沉降标准极高、沉降速率控制较严的高等级路基,路堤本体压密沉降控制是一个不可忽视的问题。

(3)软基路堤建成以后,应有一定的自重预压时间(如 $3\sim 6$ 个月)。这对控制工后沉降量,防止填土压密沉降与软基沉降叠加而造成工后沉降速率过快等是大有益处的。

(4)深层搅拌法对控制软基总沉降和工后沉降是行之有效的办法。但应尽量将搅拌桩桩底置于硬底之上,以减少柱下软层沉降的影响。此外,须注意到实际复合地基沉降量往往远大于估算(通常采用复合模量法)的沉降量。(如DK288+120断面铺轨前实测复合地基范围沉降 10.2 cm,而估算量仅 3 cm)。这主要是由于现行的施工机械、工艺问题以及地层深处 $5\sim 6$ m以下成桩条件较差、水泥土固

化时间较长等原因,造成复合地基下部搅拌桩压缩模量值降低、压缩时间增长。因此,它对于施工期短、及时铺轨的软基路堤的工后沉降亦会产生影响。断面N、V、W工后沉降量中均含有这部分沉降。

(5)预留沉降量。通常铁路铺轨后,经逐步补碴、起道、整道至轨顶达到设计标高,一般需要 $2\sim 4$ 个月。因此根据不同的软基情况、路堤高度、填料及填土时间,预留轨道荷载(加填土)在这段时间内引起的沉降加高值,可使轨道顶标高在达到设计值时,既能保证道床厚度,又可避免沉降过大而大量“补碴”,增加工程费用。孔九软基路堤在铺设基床表层 0.5 m渗水土之前,根据不同情况分别预留了 $15\sim 25$ cm沉降加高值,铺轨前下沉了 $2\sim 12$ cm,剩余超高值 $11\sim 18$ cm。至1998年7月实测路肩标高与设计标高差值在 ± 10 cm以内的占 63% ,效果明显。

SETTLEMENT AFTER CONSTRUCTION OF EMBANKMENT WITH SOFT ROADBED IN KONGLONG-JIUJIANG SECTION OF JING-JIU RAILWAY AND ITS ANALYSES

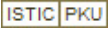
GU Xiang-sheng

Fourth Survey and Design Institute of MOR.

Abstract: The statistic analyses on practically measured settlement data for the embankments with soft roadbed have been put forward. The amount of settlement after construction and the change of the speed of settlement are forecasted. At the same time, the author analyzes the factors which influence the settlement after construction as follows: the settlement of the main body of embankment, the different periods of construction, and the soft soil layers beneath the consolidated layer of the soft roadbed.

Keywords: embankment with soft roadbed; consolidation; settlement after construction

京九铁路孔垄至九江软基路堤工后沉降及分析

作者：[顾湘生](#)
作者单位：[铁道部第四勘测设计院, 武汉, 430063](#)
刊名：[铁道工程学报](#) 
英文刊名：[JOURNAL OF THE RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期)：1999 (4)
被引用次数：3次

本文读者也读过(7条)

1. [尹洪波](#), [刘俊新](#), [YIN Hong-bo](#), [LIU Jun-xin](#) 基于蠕变试验路堤工后沉降的数值模拟[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2006 (5)
2. [尹银轩](#), [崔俊杰](#), [李国和](#), [YIN Yin-xuan](#), [CUI Jun-jie](#), [LI Guo-he](#) 路基工后沉降控制在秦沈客运专线的应用[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2007, 24 (2)
3. [裴立军](#), [吴连海](#), [PEI Li-jun](#), [WU Lian-hai](#) 黏质黄土地基基静置时间对工后沉降的影响[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2010 (8)
4. [冯志刚](#), [张博](#), [Feng Zhigang](#), [Zhang Bo](#) 应用弹粘塑性模型对软土工后沉降的预测[期刊论文]-[路基工程](#) 2008 (6)
5. [郑明辉](#), [曹小林](#), [袁明](#), [ZHENG Ming-Hui](#), [CAO Xiao-lin](#), [YUAN Ming](#) 新加宽路基填筑对既有路堤工后沉降的影响分析[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2005 (3)
6. [魏永幸](#), [WEI Yong-xing](#) 客运专线无砟轨道铁路工后沉降评估技术[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2008 (z1)
7. [张功新](#), [莫海鸿](#), [曾庆军](#), [刘吉福](#), [ZHANG Gong-xin](#), [MO Hai-hong](#), [ZENG Qing-jun](#), [LIU Ji-fu](#) 土工合成材料对路堤长期稳定性及工后沉降的负面影响分析[期刊论文]-[岩土工程学报](#) 2005, 27 (6)

引证文献(3条)

1. [胡启军](#), [谢强](#), [王春雷](#) 红层泥岩填筑路堤本体沉降特性研究[期刊论文]-[水文地质工程地质](#) 2006 (5)
2. [陈志辉](#) 路基最终沉降推算方法与实例[期刊论文]-[土工基础](#) 2011 (1)
3. [周青爽](#) 江珠高速公路深厚软基固结度探讨[期刊论文]-[路基工程](#) 2009 (4)

引用本文格式：[顾湘生](#) 京九铁路孔垄至九江软基路堤工后沉降及分析[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 1999 (4)