

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB/T 51275 – 2017

软土地基路基监控标准

Standard for monitoring of subgrade on soft ground

2017 – 12 – 12 发布

2018 – 07 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

软土地基路基监控标准

Standard for monitoring of subgrade on soft ground

GB/T 51275 - 2017

主编部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 8 年 7 月 1 日

中国计划出版社

2017 北 京

中华人民共和国国家标准
软土地基路基监控标准

GB/T 51275-2017



中国计划出版社出版发行

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

北京市科星印刷有限责任公司印刷

850mm×1168mm 1/32 2.5 印张 60 千字

2018 年 6 月第 1 版 2018 年 6 月第 1 次印刷



统一书号: 155182 · 0241

定价: 15.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1774 号

住房城乡建设部关于发布国家标准 《软土地基路基监控标准》的公告

现批准《软土地基路基监控标准》为国家标准,编号为 GB/T 51275—2017,自 2018 年 7 月 1 日起实施。

本标准在住房城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开,并由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2017 年 12 月 12 日

前 言

本标准是根据住房城乡建设部《关于印发〈2015 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2014〕189 号)的要求,由中国铁建港航局集团有限公司和广州市市政集团有限公司会同有关单位共同编制完成的。

本标准编制过程中,编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,最后经审查定稿。

本标准共分 6 章和 3 个附录,主要技术内容包括:总则、术语和符号、基本规定、监控设计、监测实施、监测资料分析与应用等。

本标准由住房城乡建设部负责管理,由中国铁建港航局集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送中国铁建港航局集团有限公司(地址:珠海市前山翠峰街 189 号,邮政编码:519070),以便今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:中国铁建港航局集团有限公司

广州市市政集团有限公司

参 编 单 位:中铁建港航局集团勘察设计院有限公司

中铁第一勘察设计院集团有限公司

天津大学

河海大学

同济大学

广东省公路建设有限公司

中交基础设施养护集团有限公司

中铁上海设计院集团有限公司

苏交科集团股份有限公司

常州金土木工程仪器有限公司

主要起草人:	安关峰	刘吉福	尹敬泽	许四发	刘齐辉
	薛新功	刘添俊	黄 腾	孙良鑫	李国维
	陈双全	范军琳	郑 刚	杨龙才	杨志余
	蒋雪琴	葛建军	谭祥韶	薛 威	
主要审查人:	刘国楠	温学钧	刘松玉	张留俊	孙红林
	陈善雄	彭向荣	曾庆军	刘事莲	

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(5)
4	监控设计	(7)
4.1	一般规定	(7)
4.2	施工期监控	(7)
4.3	运营期监控	(11)
5	监测实施	(13)
5.1	一般规定	(13)
5.2	沉降监测	(14)
5.3	水平位移监测	(16)
5.4	孔隙水压力监测	(18)
5.5	土压力监测	(19)
5.6	地下水位监测	(19)
5.7	真空度监测	(20)
5.8	巡查与裂缝监测	(20)
5.9	测点保护与恢复	(21)
5.10	监测记录	(21)
6	监测资料分析与应用	(22)
6.1	一般规定	(22)
6.2	监测资料分析	(22)
6.3	路基稳定性评估	(23)

6.4	工后沉降预测	(24)
6.5	施工时间确定	(25)
6.6	监控报告	(26)
6.7	监控验收与归档	(27)
附录 A	仪器埋设考证表	(28)
附录 B	监测原始记录表	(34)
附录 C	最终沉降推算方法	(38)
本标准用词说明		(41)
引用标准名录		(42)
附:条文说明		(43)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(5)
4	Monitoring design	(7)
4.1	General requirements	(7)
4.2	Monitoring during construction	(7)
4.3	Monitoring after construction	(11)
5	Monitoring	(13)
5.1	General requirements	(13)
5.2	Settlement monitoring	(14)
5.3	Horizontal deformation monitoring	(16)
5.4	Pore water pressure monitoring	(18)
5.5	Earth pressure monitoring	(19)
5.6	Water level monitoring	(19)
5.7	Vaccum monitoring	(20)
5.8	Patrol and crack monitoring	(20)
5.9	Protection and repairment of observation points	(21)
5.10	Monitoring records	(21)
6	Analysis and applications of monitoring datum	(22)
6.1	General requirements	(22)
6.2	Analysis of monitoring datum	(22)
6.3	Evaluation of stability of subgrade	(23)

6.4	Predcition of settlement after construction	(24)
6.5	Decision of start time of next construciton	(25)
6.6	Monitoring reports	(26)
6.7	Monitoring acceptance and filing	(27)
Appendix A	Instrument istallation tables	(28)
Appendix B	Monitoring recording tables	(34)
Appendix C	Final settlement prediction methods	(38)
	Explanation of wording in this code	(41)
	List of quoted standards	(42)
	Addition;Explanation of provisions	(43)

1 总 则

1.0.1 为规范软土地基路基监控行为,提高监控水平和质量,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于软土地基路基施工期和运营期的监控。

1.0.3 软土地基路基监控除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

- 2.1.1 路基极限填土高度** ultimate filling height of subgrade
天然地基上快速填筑的路基最大高度。
- 2.1.2 工后沉降** settlement after construction
上部结构施工后规定年限内的路基沉降。
- 2.1.3 反开挖法** excavation after preloading
路基经预压后开挖预压填料、施工桥台或涵洞等结构物的方法。
- 2.1.4 孔隙水压力系数** pore water pressure parameter
软土中超静孔隙水压力增量与荷载增量的比值。
- 2.1.5 路基监控** monitoring and control of subgrade
通过路基沉降、位移、孔隙水压力等的监测,评估路基稳定性、预测工后沉降等工作。
- 2.1.6 监控报警值** alarming value on monitoring
表征路基濒临失稳的监控值。
- 2.1.7 报警值法** alarming value method
通过对比实测值与报警值评估路基稳定性的方法。
- 2.1.8 表观法** apparent method
根据路基裂缝、隆起等现象评估路基稳定性的方法。
- 2.1.9 拐点法** inflection method
利用沉降、水平位移等与荷载的关系曲线或其他关系曲线的拐点评估路基稳定性的方法。
- 2.1.10 趋势法** trend method
路基内外部条件不变化时,利用沉降速率、水平位移速率、超

静孔隙水压力等指标的发展趋势评估路基稳定性的方法。

2.1.11 沉降速率法 settlement ratio method

通过对比实测沉降速率与沉降速率标准确定路基上部结构施工时间的方法。

2.1.12 工后沉降法 post construction settlement method

通过对比预测工后沉降与容许工后沉降确定路基上部结构施工时间的方法。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能参数：

- C_h —— 水平固结系数；
- C_u —— 软土不排水抗剪强度；
- C_v —— 竖向固结系数；
- k_h —— 水平渗透系数；
- k_s —— 涂抹区渗透系数；
- q_w —— 竖向排水体纵向通水量。

2.2.2 几何参数：

- B —— 路基底宽与顶宽的平均值的一半；
- d_e —— 竖向排水体影响直径；
- d_s —— 竖向排水体涂抹区直径；
- d_w —— 竖向排水体直径；
- H —— 最大竖向排水距离；
- H_d —— 将路面等效为填土的路基设计高度；
- H_p —— 沉降完成后的路基高度；
- H_t —— 对应 t 的路基高度；
- L —— 竖向排水体长度；
- z —— 软土厚度。

2.2.3 应变与位移：

- S —— 总沉降；

S_0 —— 对应 t_0 的沉降；
 S_1 —— 对应 t_1 的沉降；
 S_2 —— 对应 t_2 的沉降；
 S_3 —— 对应 t_3 的沉降；
 S_d —— 设计荷载对应的沉降；
 S_i —— 第 i 个沉降(mm)；
 S_{i+1} —— 第 $i+1$ 个沉降(mm)；
 S_o —— 超载在软土层中产生的主固结沉降；
 S_p —— 预压荷载对应的最终沉降；
 S_{rT} —— 工后沉降；
 S_{rTa} —— 容许工后沉降；
 S_t —— 对应 t 的沉降；
 S_u —— 瞬时沉降；
 V_s —— t 时的沉降速率；
 V_{sd} —— 等载预压沉降速率卸载标准；
 V_{so} —— 超载预压沉降速率卸载标准。

2.2.4 其他符号：

a —— 拟合直线的截距；
 b —— 拟合直线的斜率；
 F —— 固结度计算系数；
 n —— 井径比；
 t_0 —— 恒载阶段某时间点；
 t_1 —— 恒载阶段某时间点；
 t_2 —— 恒载阶段某时间点；
 t_3 —— 恒载阶段某时间点；
 β_c —— 主固结沉降速率系数；
 τ —— 修正时间起点。

3 基本规定

3.0.1 软土地基路基监控应达到评估路基稳定性、预测路基工后沉降等监控目的。

3.0.2 软土地基路基应根据路基的地质条件、路基设计、周边环境、施工安排等进行监控设计和监控实施。

3.0.3 施工期监控等级划分宜按表 3.0.3-1 确定,运营期监控等级划分宜按表 3.0.3-2 确定。

表 3.0.3-1 施工期监控等级划分

监控等级	路段类型	路 段 条 件
一级	C1.1	高度超过路基极限填土高度且采用排水固结或复合地基处理的路段
	C1.2	采用排水固结法处理且计算沉降大于 3 倍容许工后沉降的路段
	C1.3	差异沉降要求严格的路段
	C1.4	试验段工程
二级	C2	其他软基路段

注:路基极限填土高度宜采用路基设计断面、天然地基抗剪强度指标通过稳定分析确定。

表 3.0.3-2 运营期监控等级划分

监控等级	路段类型	路 段 条 件
一级	S1.1	路基有失稳风险或稳定性不确定的路段
	S1.2	工后沉降大于容许值的路段
	S1.3	路基上部结构分期修建的路段
	S1.4	环境条件变化可能对路基造成影响的路段
二级	S2	其他软土地基路段

3.0.4 对一级监控等级的路段应进行监控,对二级监控等级的路

段宜进行监控。

3.0.5 软土地基路基监控应综合利用仪器量测、现场巡查等手段,并宜采用自动化监测手段。

3.0.6 软土地基路基监控应减少与路基施工、运营的相互影响。

3.0.7 软土地基路基监控信息的传递应及时。

3.0.8 路基监控应坚持动态设计、动态实施原则。

4 监控设计

4.1 一般规定

4.1.1 路基监控设计应收集下列资料：

1 新建路基应收集工程地质、水文地质、路基设计、周边环境、勘测网等资料；

2 既有路基改造工程尚应收集既有路基工程地质、路基设计、路基施工、施工期监控、工后监控、周边环境等资料；

3 运营期监控设计尚应收集路基施工、前期监控等资料。

4.1.2 路基监控设计内容应包括监控断面布置、监测项目选择、监测精度、测点布置、监控期限、监测频率、报警值等。

4.1.3 路基设计或施工方案发生重大变更时，监控设计应相应调整。

4.2 施工期监控

4.2.1 C1.4 路段及异常路段应进行专项设计。

4.2.2 监控断面布置应符合下列规定：

1 C1.1 路段的监控断面间距不宜大于 50m，且应设置在稳定性差的位置和方向；

2 C1.2 路段的监控断面间距不宜大于 100m；

3 C1.3 路段的监控断面不宜少于 2 个；

4 C2 路段的监控断面间距不宜大于 300m。

4.2.3 监测项目选择应符合下列规定：

1 监测项目确定应符合表 4.2.3 的规定；

表 4.2.3 监测项目

路段类型	地基处理方法	表面沉降	分层沉降或深层沉降	水平位移	孔隙水压力	土压力	地下水位
C1.1	排水固结	应测	可测	应测	应测	—	宜测
	复合地基	应测	应测	应测	可测	可测	可测

续表 4.2.3

路段类型	地基处理方法	表面沉降	分层沉降或深层沉降	水平位移	孔隙水压力	土压力	地下水位
C1.2	排水固结	应测	宜测	可测	应测	—	可测
C1.3	—	应测	应测	—	—	—	—
C2	—	应测	可测	可测	可测	可测	可测

2 当反开挖施工桥台、涵洞时,应监测桥台附近路基的水平位移、涵洞处路基的表面沉降;

3 对表征路基稳定性的裂缝,应监测裂缝的位置、宽度、长度等;

4 既有路基改造工程应按新建路基选择监测项目,并应监测既有路基的沉降及新旧路基之间的差异沉降。

4.2.4 监测精度应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 监测精度

监控项目	监测精度要求
表面沉降	填筑期不宜低于四等测量精度,预压期不宜低于三等测量精度
分层或深层沉降	不宜低于 2mm
边桩水平位移	监测等级不宜低于四等测量精度
深层水平位移	不宜低于 2mm
孔隙水压力	不宜低于量程的 1.0%
土压力	不宜低于量程的 1.0%
真空度	不宜低于 1kPa

4.2.5 测点布置应符合下列规定:

1 表面沉降测点应符合下列规定:

- 1)路基中线、路肩、反压护道坡肩等处应设置测点;
- 2)对反开挖施工的涵洞,沿涵洞走向的路基中线、路肩、反压护道坡肩、坡脚等处应设置测点;
- 3)当既有路基改造时,既有路肩应设置测点。

2 分层或深层沉降测点竖向间距宜为 3m~5m,地基压缩层内土层界面、加固区底面应设置测点。

3 水平位移测点应符合下列规定:

- 1) 测点宜设置在坡脚附近;
- 2) 当利用测距法测量位移时,基准点应设置在路基影响范围之外,且与边桩的连线方向宜与最大水平位移方向一致;
- 3) 对反开挖施工的桥台,测点宜设置在路基纵向坡脚附近。

4 孔隙水压力测点应符合下列规定:

- 1) 当用于评估路基稳定性时,测点宜布置在最危险滑动面附近的软土层中,竖向间距不宜大于 2m;
- 2) 当用于预测工后沉降时,测点应布置在地基压缩层内的软土层中,竖向间距不宜大于 3m。

5 膜下真空度测点应布置在相邻真空滤管中间,排水体真空度测点竖向间距不宜大于 5m。

4.2.6 施工期监控设计应明确监控期限,施工期监控期限应满足监控目的要求。

4.2.7 施工期监测频率应符合下列规定:

- 1 监测频率不宜低于表 4.2.7 的规定。

表 4.2.7 监测频率

路段类型	施工阶段	监测频率
C1.1	路基填筑期	1 次/1d
	路基填筑间歇期	1 次/3d,且不少于 1 次
	预压期前 3 个月	1 次/7d
	预压 3 个月后	1 次/15d
C1.2、C1.3、C2	路基填筑期	1 次/3d
	路基填筑间歇期	1 次/7d
	预压期前 3 个月	1 次/7d
	预压 3 个月后	1 次/15d

2 当 C1.1 路段填筑高度小于路基极限填土高度时,可采用 C1.2 路段的监测频率。

4.2.8 路基稳定性报警值应符合下列规定：

1 报警值应根据软土厚度与性质、地基处理方法、地区经验等因素综合确定。

2 对天然地基路基、排水固结法路基，当加载速率约为 5kPa/d 时，可按表 4.2.8-1 确定沉降速率报警值，可按表 4.2.8-2 确定水平位移速率报警值。

表 4.2.8-1 沉降速率报警值 (mm/d)

z \ C_u	10~20	20~35
$z \leq 10$	10	6
$10 < z \leq 20$	15	10

注： C_u 为软土不排水抗剪强度 (kPa)， z 为软土厚度 (m)。

表 4.2.8-2 水平位移速率报警值 (mm/d)

B \ C_u	10~20	20~35
$B \leq 15$	6	4
$15 < B \leq 30$	8	6

注： B 为路基底宽与顶宽的平均值的一半 (m)。

3 对天然地基、排水固结法路基，孔隙水压力系数报警值可取 $0.7 \sim 1.0$ 。

4 对散体材料桩复合地基路基，报警值宜取桩间土承担荷载的比例与天然地基、排水固结法路基报警值之积。

5 对柔性桩复合地基、刚性桩复合地基路基，桩间沉降报警值可取路基极限填土高度对应的天然地基沉降。

4.2.9 当采用沉降速率法确定路基卸载时间时，沉降速率标准应符合下列规定：

1 沉降速率标准宜根据软土性质、地基处理方法、地区经验、容许工后沉降、总沉降等综合确定。

2 对采用排水固结法的等载预压路段，可按表 4.2.9 确定沉降速率标准。

表 4.2.9 沉降速率标准 (mm/月)

$S \backslash S_{rTa}$	100	200	300
$S \leq 1000$	5	6	7
$1000 < S \leq 2000$	4	5	6
$S > 2000$	3	4	5

注: S_{rTa} 为容许工后沉降 (mm), S 为总沉降 (mm)。

3 对采用排水固结法的超载预压路段,可按下式计算沉降速率标准:

$$V_{so} = V_{sd} + 0.2\beta_c S_o \quad (4.2.9)$$

式中: V_{so} ——超载预压沉降速率卸载标准 (mm/月);

V_{sd} ——等载预压沉降速率卸载标准 (mm/月),可按表 4.2.9 取值;

β_c ——主固结沉降速率系数 (1/月),可按本标准附录 C 计算;

S_o ——超载在软土层中产生的主固结沉降 (mm)。

4.3 运营期监控

4.3.1 S1.4 路段监控应根据路段具体情况进行专项设计。

4.3.2 监控断面应符合下列规定:

1 S1.1 路段的监控断面间距不宜大于 50m;

2 S1.2、S1.3 路段的监控断面间距不宜大于 300m;属于 S1.2 的桥头路段监测断面不宜少于 2 个,断面间距不宜大于 15m,第 1 个断面与桥台的距离不宜大于 10m;

3 S2 路段的监控断面间距不宜大于 500m;

4 监控断面宜利用施工期监控断面或设置在施工期监控断面附近。

4.3.3 监测项目应符合下列规定:

1 监测项目应满足表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 监测项目

路段类型	表面沉降	水平位移	分层沉降或深层沉降	孔隙水压力	地下水
S1.1	应测	应测	—	可测	可测
S1.2、S1.3	应测	—	有软土下卧层时宜测	—	—
S2	应测	—	—	—	—

2 尚能继续监测且能实现运营期监控目的的施工期监控项目,运营期宜继续监测。

3 对表征路基稳定性的裂缝,应监测裂缝的位置、宽度、长度等。

4.3.4 监测精度应符合表 4.3.4 的规定。

表 4.3.4 监测精度

监测项目	监测精度
表面沉降	不宜低于三等测量精度
分层沉降或深层沉降	不宜低于 2mm
边桩水平位移	不宜低于三等测量精度
深层水平位移	不宜低于 2mm
孔隙水压力	不宜低于量程的 1.0%
土压力	不宜低于量程的 1.0%

4.3.5 测点应符合下列规定:

- 1 水平位移测点应设置在路基坡脚附近;
- 2 表面沉降、分层沉降或深层沉降测点宜设置在路肩附近;自动监测时,宜设置在路肩之间的最大沉降处。

4.3.6 监控期限应符合下列规定:

- 1 S1.1 路段应监测至路基稳定为止;
- 2 S1.2 路段宜监测至工后沉降小于容许工后沉降为止;
- 3 S1.3 路段宜监测至路基上部结构施工完毕,且工后沉降小于容许工后沉降为止。

4.3.7 监测频率应符合下列规定:

- 1 S1.1 路段监测频率不宜低于 1 次/30d,路基稳定性恶化时不应低于 1 次/2d;
- 2 S1.2、S1.3、S2 路段监测频率不宜低于 1 次/90d。

5 监测实施

5.1 一般规定

5.1.1 监测装置应根据监控设计、监控目的、监控期限、监测精度、地质条件等因素选择。

5.1.2 监测仪器应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定。

5.1.3 监测仪器应经检定或校准合格,并应在有效期内使用。

5.1.4 测点埋设计划应根据监控目的,结合现场条件、监测器材特点和要求等制订。

5.1.5 钻孔埋设测点时应核实地层情况,差别大时应调整监控设计。

5.1.6 用于测点埋设的钻孔应避免塌孔,垂直度偏差不应大于1%。

5.1.7 测点埋设应符合仪器埋设技术要求,测点埋设考证表应按本标准附录 A 填写。

5.1.8 测点埋设后监测次数不应少于2次,并应将稳定测值作为初始值。

5.1.9 监测初期,监测仪器和备用仪器应对比测量。

5.1.10 施工期监控应测量监控断面处路基高程。

5.1.11 监测前应确认测点,确定监测仪器完好。

5.1.12 监测时应减小或消除路基施工等干扰因素对监测的影响。

5.1.13 路基变形测量基准点、路基变形测量控制网的设置应按国家现行标准《工程测量规范》GB 50026 和《建筑变形测量规范》JGJ 8 执行,路基变形控制网宜和施工控制网联测。

5.2 沉降监测

5.2.1 表面沉降监测装置应符合下列规定：

1 沉降测量基准点应设置在不受路基沉降影响的部位；路基附近桥涵桩基础施工后，可设置在沉降稳定的桩基础上；

2 沉降板底板宜采用钢板，底板边长不宜小于 0.5m，厚度不宜小于 5mm；

3 沉降观测桩长度不宜小于 0.3m；钢筋直径不宜小于 20mm，顶部应磨圆；

4 剖面沉降管直径变形量与直径的比值应小于 5%，环向稳定性抗力系数不应小于 2.0，失圆度应小于 1.0mm；

5 剖面沉降仪应符合现行行业标准《大坝观测仪器 测斜仪》SL 362 和《滑动式岩土测斜仪》JB/T 12204 的规定。

5.2.2 沉降板宜采用反挖法埋设，坑深不宜小于 0.5m，测杆垂直度偏差不应大于 1%。沉降观测桩周围应浇筑混凝土固定。

5.2.3 表面沉降监测应符合下列规定：

1 测杆接长前后应分别测量测杆顶面标高；路基填筑过程中应校正测杆，测杆垂直度偏差不应大于 1%；

2 监测时应避免施工机械产生的振动影响。

5.2.4 剖面沉降管埋设应符合下列规定：

1 剖面沉降管应开槽埋设，槽深不宜小于 0.5m，槽底宜铺设厚度约为 0.1m 的中细砂找平；

2 当采用加速度计式剖面沉降仪时，剖面沉降管的一对导槽连线应垂直于地面；

3 当仅一端能观测时，应埋设两根平行的剖面沉降管，并在另一端设置 U 形管；

4 剖面沉降管安装完成后，应将剖面沉降仪测头在剖面沉降管内往返拉动 2 次，剖面沉降管畅通后方可回填；

5 剖面沉降管上方回填中细砂的厚度不应小于 0.2m；

6 剖面沉降管测试端应设置保护墩和沉降观测桩,宜设置平整干净的工作平台。

5.2.5 剖面沉降仪监测应符合下列规定:

- 1 每次监测均应测量沉降观测桩的高程;
- 2 监测前剖面沉降仪测头应在剖面沉降管内静置至读数稳定;
- 3 剖面沉降仪往返测试不应少于2次。

5.2.6 分层沉降测点装置应符合下列规定:

1 分层沉降管环向抗压强度和环向刚度应根据分层沉降管内外最大压力差确定;

2 分层沉降管宜采用平接头;当采用凸接头时,接头与其上方沉降环的间距应大于其上方沉降环的沉降量;

3 当分层沉降管接头处不能伸缩时,分层沉降管纵向抗压能力应根据分层沉降管外侧摩擦力确定;

4 分层沉降仪应符合现行国家标准《大坝监测仪器 沉降仪 第2部分:电磁式沉降仪》GB/T 21440.2的规定。

5.2.7 分层沉降管和沉降环埋设应符合下列规定:

1 分层沉降管接管和底端不应进入泥浆,接头不应影响沉降环下沉;

2 沉降环埋设前应利用探头检查确认工作正常,沉降环埋设应使沉降环与地基土沉降相同;

3 真空和堆载联合预压路段宜预留分层沉降管与土体之间沉降差需要的密封膜,并将其放在分层沉降管的保护管内。

5.2.8 分层沉降监测应符合下列规定:

- 1 分层沉降仪应与沉降环匹配;
- 2 分层沉降管口高程应与地基沉降同步监测;
- 3 分层沉降监测应先自下而上逐点测量,再自上而下逐点测量,取上下两次测量结果的算术平均值;

4 对真空和堆载联合预压工程,分层沉降监测后应密封分层

沉降管管口；

5 分层沉降管接长前后均应观测 1 次。

5.2.9 深层沉降标埋设应符合下列规定：

1 测标、测杆、隔离管应一起放入孔底；

2 回填膨润土泥球或中细砂前应提起隔离管 0.3m~0.5m。

5.2.10 深层沉降测杆接长、监测、保护应采用与表面沉降相同的方法。

5.3 水平位移监测

5.3.1 边桩水平位移监测方法宜符合下列规定：

1 边桩水平位移可采用测距法、视准线法、小角法、反演小角法、测边角法、前方交会法或极坐标法等，应根据现场条件和监测精度要求等选择；

2 垂直路基方向平坦空旷时，宜采用测距法；

3 桥台附近路基的纵向水平位移宜采用视准线法；

4 路基坡脚方向视线良好且软基路段长度小于 250m 的路基横向水平位移，宜采用视准线法、小角法等。

5.3.2 边桩、基准桩、水平位移监测器材应符合下列规定：

1 边桩、基准桩宜采用钢筋混凝土预制，桩长不宜小于 1.3m；

2 当采用测距仪时，宜采用激光测距仪、红外线测距仪或精度不低于 $1\text{mm} + \text{测距 } D \times 2\text{ppm}$ 的全站仪；

3 视准线法、小角法的边桩、水平基准桩宜设置强制对中设备；

4 小角法边桩偏离基准线的偏角不应超过 $30''$ ；

5 测边角法采用的全站仪监测精度不应小于 $2''$ 。

5.3.3 边桩、基准桩埋设应符合下列规定：

1 边桩、基准桩埋置深度不宜小于 1.2m，冻胀土地区应埋入冻结深度以下不宜小于 0.5m；

2 当采用测距法时,基准桩与边桩连线方向应与地基最大水平位移方向一致,桩顶高程宜一致;

3 采用测边角法时,边桩与视准线两端基准桩的距离宜相等;

4 小角法基准线的方向应垂直于最大水平位移方向;

5 基准桩应设置在路基影响范围之外,边桩、基准桩周围宜浇筑混凝土固定。

5.3.4 边桩水平位移监测应符合下列规定:

1 边桩水平位移监测应定期检验基准线或基准桩的稳定性;

2 测回数 and 测量精度应根据边桩水平位移精度要求确定;

3 采用钢卷尺测量水平位移应避开大风时间,每次拉力应相同,并应测量温度;

4 当采用活动站牌法时,每个测点应按确定的测回数进行往返测,并应根据距离进行加权平均;往返测均不应少于 2 个测回,每个测回应观测 4 次;

5 当采用小角法时,应在两个基准桩分别设站观测,每个测站宜测 4 个测回,并应根据距离进行加权平均;

6 当采用测边角法时,宜以边桩为测站观测视准线端点的边长和角度。

5.3.5 测斜管和测斜仪应符合下列规定:

1 以淤泥、流泥为主的地基宜采用 ABS 塑料、聚乙烯等材料制作的测斜管;

2 测斜仪应符合现行行业标准《大坝观测仪器 测斜仪》SL 362 和《滑动式岩土测斜仪》JB/T 12204 的规定。

5.3.6 测斜管埋设应符合下列规定:

1 测斜管底端进入压缩层底面以下土层的深度不应小于 3m,进入岩层时不应小于 1m;

2 测斜管接头处、底端不应进入泥浆;

3 测斜管的一对导槽连线方向应与路基最大水平位移方向一致;

4 测斜管下放到位后,应利用模拟测头检查确认导槽畅通后方可回填;

5 岩层孔壁与测斜管之间宜采用水泥砂浆回填,土层孔壁与测斜管之间宜采用风干膨润土泥球回填密实;

6 在管桩内设置测斜管时,测斜管和管壁之间应设置居中器或回填中粗砂。

5.3.7 深层水平位移监测应符合下列规定:

- 1 测斜仪测头下放时应避免将泥砂带入测斜管;
- 2 测斜仪测头应放入管底静置至读数稳定后再开始测量;
- 3 每对导槽应正反两个方向测量;
- 4 两对导槽方向的位移均宜监测并合成得到总位移。

5.4 孔隙水压力监测

5.4.1 孔隙水压力计应符合下列规定:

1 应根据孔隙水压力大小、监测精度、监测期限、土层渗透性等选择;

- 2 宜具有温度测试功能;
- 3 制作后宜存放半年以上;
- 4 在埋设前应率定并检验防水密封性能。

5.4.2 孔隙水压力计埋设应符合下列规定:

1 流泥中孔隙水压力计应避免与土体不同步沉降;

2 孔隙水压力计安装透水石前应测量初始频率并记录现场温度;

3 当地基中有竖向排水体时,孔隙水压力计宜布置在竖向排水体平面分布的中心处;

4 当采用钻孔埋设时,每个钻孔埋设的孔隙水压力计宜为 1 支;

5 孔隙水压力计宜采用先钻孔后压入的埋设方式,压入深度不宜小于 0.5m;

6 孔隙水压力计埋设前,透水石应煮沸排气 2h 以上,并在不

接触空气的状态下移入充满水的钻孔中；

7 压入孔隙水压力计的过程中，应利用读数仪监测孔隙水压力，孔隙水压力不应大于其量程；

8 孔隙水压力计的电缆应编号、标识并避免电缆受损。

5.4.3 孔隙水压力接收仪应与孔隙水压力计相匹配。

5.5 土压力监测

5.5.1 土压力计应符合下列规定：

1 宜具有温度测试功能；

2 制作后宜存放半年以上；

3 应满足监测期限等要求；

4 包含应力集中、施工荷载等因素影响的最大应力应小于土压力计量程；

5 埋设前应逐一率定并检验防水密封性能；

6 除应采用气体或液体率定外，还宜在砂中率定；

7 导线不宜有接头。

5.5.2 土压力计埋设应符合下列规定：

1 埋设前应测量初始频率并记录现场温度；

2 宜在填筑 0.5m 后反开挖埋设，反开挖边长或直径不应小于反开挖深度的 3 倍；

3 当采用现浇桩帽时，土压力计顶面宜与桩帽顶面齐平；

4 土压力计的电缆应编号、标识。

5.5.3 土压力接收仪应与土压力计相匹配。

5.6 地下水位监测

5.6.1 地下水位观测管应符合下列规定：

1 沉淀段长度不应小于 0.5m；

2 进水段开孔率宜为 10%~20%，土工布渗透系数应大于 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ ，且应满足有效孔径 $O_{95} < 0.075 \text{mm}$ 。

5.6.2 地下水位观测管埋设应符合下列规定：

- 1 地下水位观测管的位置和深度应符合设计要求；
- 2 管节接头不应渗水，管顶应有管盖；
- 3 进水段与孔壁之间应回填洁净中粗砂，其余部分宜采用风干膨润土泥球回填密实；
- 4 管内水位稳定后，向管内注入清水的高度为 3m~5m 时，水位恢复时间不应大于 120h。

5.6.3 地下水位观测应符合下列规定：

- 1 测量水位应同时测量管口高程；
- 2 真空预压路段地下水位观测时应保证管内地下水与大气隔离。

5.7 真空度监测

5.7.1 真空表精确度等级不应低于 1.6，并应符合现行国家标准《一般压力表》GB/T 1226 的规定，检定应按现行行业标准《弹性元件式一般压力表、压力真空表和真空表检定规程》JJG 52 执行。

5.7.2 连接真空表与真空度测头的软管不应有接头。

5.7.3 真空度测头和真空表安装应符合下列规定：

- 1 膜下真空度测头应埋设在设计位置；
- 2 软管应预留与差异沉降相适应的长度，穿过密封膜时不应漏气。

5.7.4 真空度监测应符合下列规定：

- 1 当真空度明显低于附近真空度时，应检查真空表与软管连接处的密封性，漏气时应进行密封；
- 2 真空度监测宜定期检查真空表的零位误差，并应更换不符合要求的真空表。

5.8 巡查与裂缝监测

5.8.1 巡查应符合下列规定：

1 巡查内容应包括路基及其附近的裂缝、隆起、周围环境变化等,排水固结路段还应检查排水垫层出水、排水情况;

2 巡查记录应包括巡查时间、巡查人员、巡查情况等。

5.8.2 裂缝监测应符合下列规定:

1 应绘制裂缝平面图,裂缝平面图应标示裂缝位置、测点等;

2 监测内容应包括裂缝宽度、裂缝长度、裂缝深度、裂缝错台等。

5.9 测点保护与恢复

5.9.1 测点保护装置和保护措施应根据测点类型、位置、监测期限等确定。

5.9.2 表面沉降板测杆、分层沉降管、深层沉降标测杆、测斜管等应设置保护管,保护管上宜设醒目标志,夜间施工时宜设反光标志。

5.9.3 每次监测后,保护管管口应密封。

5.9.4 当孔隙水压力计、土压力计电缆线牵引到坡脚时,应挖沟埋设,填石路基电缆线应穿入钢管中进行保护。外露的电缆线应采取防水防老化措施。

5.9.5 准基点、测点破坏后应修复或补埋,并应补充测量,做好记录。

5.10 监测记录

5.10.1 监测记录应包括监测仪器、监测日期、监测人员、监测数据,以及天气、监测断面附近路堤施工、周边环境变化、路基及其附近地面裂缝或隆起等。

5.10.2 书面监测记录应符合下列规定:

1 监测记录内容应完整、齐全、规范、真实;

2 使用的图式符号应规格统一、注记清楚;

3 监测原始记录应真实并满足可追溯性要求。

5.10.3 书面监测数据应按本标准附录 B 记录。

6 监测资料分析与应用

6.1 一般规定

6.1.1 监测资料应用前,应先对监测数据进行校对、整理、分析,发现异常现象应查找原因、采取对策。

6.1.2 监测资料整理分析应及时。

6.1.3 软土地基路基监控应结合勘察、设计和施工等资料进行监测资料分析与应用。

6.2 监测资料分析

6.2.1 监测数据应进行误差分析、处理和修正,并应符合下列规定:

1 沉降、边桩水平位移宜进行平差计算和处理,并宜评定精度;

2 孔隙水压力、土压力宜进行温度修正;

3 深层水平位移宜利用测斜管位置曲线与其初始位置曲线相减得到;当存在测斜仪不稳定、更换过测斜仪或者更换测斜管等情况时,深层水平位移应采用位移增量累加值;

4 对路基裂缝应分析裂缝分布和发展规律。

6.2.2 监测资料分析宜绘制下列关系曲线:

1 包含路基荷载的沉降、水平位移、孔隙水压力等的时程曲线;

2 包含路基荷载的沉降速率、最大水平位移速率等的时程曲线;

3 瞬时沉降、孔隙水压力增量、最大水平位移等与荷载的关系曲线;

4 路基荷载、深度与分层沉降的关系曲线;

5 分层沉降、水平位移、孔隙水压力等与深度的关系曲线;

- 6 沉降、工后沉降、工后转角等与里程或长度的关系曲线；
- 7 深度与排水体真空度的关系曲线；
- 8 裂缝宽度、长度、错台等的时程曲线。

6.2.3 对各种监测项目,应通过检查监测指标变化幅度和变化规律的合理性、与其他监测项目的关联性,结合勘察、设计和施工等资料判断监测数据的合理性、可靠性,存在问题时应查找原因、采取对策。

6.3 路基稳定性评估

6.3.1 路基稳定性评估方法选择应符合下列规定：

1 当路基荷载增加时,排水固结法路基、散体材料桩复合地基路基稳定性评估宜采用表观法、报警值法、拐点法等,柔性桩复合地基路基、刚性桩复合地基路基稳定性评估宜采用表观法、报警值法等；

2 当路基荷载不增加时,路基稳定性评估宜采用表观法、趋势法等。

6.3.2 采用表观法评估路基稳定性应符合下列规定：

1 当根据裂缝、隆起等现象评估路基稳定性时,应先分析裂缝、隆起等现象的性质和原因；

2 裂缝的性质和原因可根据裂缝的位置、数量、间距、走向、宽度和长度等确定；

3 当路基稳定性恶化导致路基开裂、隆起时,应对路基稳定性进行危险报警。

6.3.3 采用报警值法评估路基稳定性应符合下列规定：

1 对排水固结法路基、散体材料桩复合地基路基,报警值法宜采用沉降速率、水平位移速率、孔隙水压力系数等指标；对柔性桩复合地基路基、刚性桩复合地基路基,宜采用桩间沉降；当监测结果大于报警值时,应进行危险报警；

2 当连续两天的沉降速率或水平位移速率大于报警值的

60%，或连续三天的沉降速率或水平位移速率大于报警值的 40% 时，应进行危险报警；

3 当沉降速率、水平位移速率接近报警值时，宜利用其他监测项目和方法综合分析，评估路基稳定性。

6.3.4 采用拐点法评估路基稳定性应符合下列规定：

1 拐点法宜利用路基荷载-瞬时沉降关系曲线、路基荷载-水平位移关系曲线；当拐点不明显时，可采用双对数曲线等；

2 路基荷载应包括路基沉降土方荷载；

3 瞬时沉降可由路基填筑当天的沉降速率累加得到；

4 深层水平位移宜采用最大位移；

5 对排水固结法路基，极限填土高度后的路基荷载-瞬时沉降曲线或路基荷载-位移曲线出现拐点，且拐点后斜率大于拐点前斜率的 2 倍时，应进行危险报警。

6.3.5 采用趋势法评估路基稳定性应符合下列规定：

1 当路基荷载、周边条件不变，沉降、水平位移、孔隙水压力等与时间的关系曲线出现拐点，且拐点后斜率大于拐点前斜率的 2 倍时，宜进行危险报警；

2 当路基荷载、周边条件不变，沉降速率、水平位移速率、孔隙水压力等增大的时间超过 60d 时，宜进行危险报警。

6.3.6 路基稳定性评估应利用监测断面上所用监测点的监测资料，并应根据各监测点的评估结果综合判断路基稳定性。

6.3.7 当路基内外部条件发生变化时，路基稳定性评估应分析路基条件变化的影响。

6.3.8 当可利用多种方法评估路基稳定性时，应根据各种方法评估结果综合判断路基稳定性。

6.4 工后沉降预测

6.4.1 路基预压荷载对应的最终沉降预测应符合下列规定：

1 恒载预压时间不宜少于 6 个月；

2 最终沉降预测方法应根据行业特点、容许工后沉降、地质条件、预压时间、监测期限等,结合经验选择本标准附录 C 中的沉降预测方法。

6.4.2 工后沉降预测应符合下列规定:

1 工后沉降预测前,应复测路基顶面高程,并按下式计算沉降完成后的路基高度:

$$H_p = H_t - S_p + S_t \quad (6.4.2-1)$$

式中: H_p ——沉降完成后的路基高度(m);

H_t ——对应 t 的路基高度(m);

S_p ——预压荷载对应的最终沉降(m);

S_t ——对应 t 的沉降(m)。

2 当竖向排水体打穿软土层时,工后沉降宜按下列公式计算:

$$S_{\text{工}} = \frac{S_d - S_t}{1 - \frac{S_p}{H_p}} \quad (6.4.2-2)$$

$$S_d = S_p \frac{H_d}{H_p} \quad (6.4.2-3)$$

式中: $S_{\text{工}}$ ——工后沉降(m);

S_d ——设计荷载对应的沉降(m);

H_d ——将路面等效为填土的路基设计高度(m)。

3 对软土厚度超过 15m 或下卧层软土厚度大于 3m 的路基,宜结合分层或深层沉降监测资料预测工后沉降。

6.5 施工时间确定

6.5.1 当可利用监测资料预测工后沉降时,宜采用工后沉降法确定路基上部结构施工时间。路基上部结构施工前的工后沉降不应大于容许工后沉降。

6.5.2 当采用沉降速率法确定路基上部结构施工时间时,沉降速率标准应根据实际预压荷载按本标准第 4.2.9 条确定。路基上部

结构施工前的沉降速率不应大于沉降速率标准。

6.5.3 过渡段路基上部结构施工时间宜同时根据工后沉降和工后差异沉降折角确定。过渡段路基上部结构施工前的工后沉降和工后差异沉降折角应小于容许值。

6.5.4 当根据桥台附近路基剩余沉降或剩余位移确定桥台桩基施工时间时,剩余沉降或剩余位移应根据监测资料推算。桥台桩基施工前的桥台附近路基剩余沉降或剩余位移的预测值不应大于容许值。

6.5.5 运营期过渡段养护时间宜根据差异沉降折角确定。养护前的差异沉降折角不应大于容许值。

6.6 监 控 报 告

6.6.1 监控报告应根据工程要求和需要编制,宜有周报、月报、阶段报告、监控总结报告、报警报告、卸载报告等监控报告。

6.6.2 监控报告应符合下列规定:

1 监控报告应根据监控目的、报告类别编制;

2 周报、月报、卸载报告、阶段报告、总结报告宜包括项目概况、监测过程和方法、监测成果、结论与建议等内容;

3 周报和月报应包括每个监测断面的填筑高度、沉降、位移、沉降速率、位移速率等;

4 阶段报告应包括前期监控工作总结和后期监控工作的完善建议;

5 总结报告应对监测路段稳定性和工后沉降给出结论和建议;

6 报警报告应包括报警路段、原因、存在的隐患、建议措施等;

7 卸载报告应包括路基设计高度、路基填筑高度、工后沉降确定方法、卸载标准、可卸载的路段等;

8 监控报告应附相应的图表,并应说明监测期间出现异常或

特殊情况等；

9 监控报告内容应真实、完整，重点突出，结构应清晰，文理应通顺，结论应明确。

6.7 监控验收与归档

6.7.1 监测资料应经验收和归档。

6.7.2 监测验收和归档材料应包括下列主要内容：

1 监控合同；

2 监控设计；

3 监控实施方案；

4 监测器材出厂合格证、检定合格证书、校准或标定报告、安全技术交底材料、测点埋设考证表、监测器材检修记录等；

5 周报、月报、报警报告、卸载报告、阶段总结报告、监测总结报告等监控报告；

6 监测数据。

6.7.3 应根据工程需要确定原始监测资料保存时间。

附录 A 仪器埋设考证表

表 A.0.1 水准点埋设考证表

工程名称						
桩 号						
引测基 点情况	编号		等级		位置	
	高程(m)		接测距离(m)		基础情况	
水准点编号			坐标	X= Y=		
埋设时间			天气		气温(℃)	
测定日期			基点高程(m)		天气与气温(℃)	
埋设 示意图 及说明						
技术负责：		校核：		埋设及填表：		日期：
监 理：		日期：				
备 注：						

表 A.0.2 表面沉降测点埋设考证表

工程名称										
桩号										
水准 基点	编号		等级			位置				
	高程(m)		接测距离(m)			基础情况				
测点 编号	埋设日期			埋设位置		初值测定日期			初始高程 (m)	备注
	年	月	日	X	Y	年	月	日		
平面、 剖面图 及说明										
技术负责：		校核：		埋设及填表：		日期：				
监 理：		日期：								
备 注：										

表 A.0.3 剖面沉降管埋设考证表

工程名称							
桩号				埋设日期			
引测基 点情况	编号		等级		位置		
	高程(m)		接测距离(m)		基础情况		
沉降管编号							
管内、外径(mm)							
管长(m)							
管口高程(m)							
地面高程(m)							
埋设深度(m)							
天气							
气温(℃)							
平面、 剖面图 及说明							
技术负责:		校核:		埋设及填表:		日期:	
监 理:		日期:					
备 注:							

表 A.0.4 分层沉降管埋设考证表

工程名称						
桩号				埋设时间		
引测基 点情况	编号		等级		位置	
	高程(m)		接测距离(m)		基础情况	
沉降管编号			位置			
地表高程(m)			管口高程(m)			
管埋深(m)			管内、外径(mm)			
钻孔直径(mm)			孔底土层			
沉降环 编号	所在土层	初始深度(m)			初始高程 (m)	备注
		第一次	第二次	平均		
平面、 剖面图 及说明						
技术负责：		校核：		埋设及填表：		日期：
监 理：		日期：				
备 注：						

表 A.0.5 测斜管埋设考证表

工程名称				
桩号				
测斜管编号				
管内、外径(mm)				
测斜管位置				
管口高程(m)				
地面高程(m)				
埋设深度(m)				
埋设日期				
钻孔直径(mm)				
孔底土层				
平面、 剖面图 及说明				
技术负责：	校核：	埋设及填表：	日期：	
监 理：	日期：			
备 注：				

表 A.0.6 孔隙水压力传感器埋设考证表

工程名称										
桩号					位置					
地面高程(m)					地下水位(m)					
传感器编号										
传感器系数(kPa/Hz ²)										
量程(kPa)										
高程(m)										
埋设日期										
所在土层										
出厂频率(Hz)										
埋入前频率(Hz)										
封孔后频率(Hz)										
气温(℃)										
孔内温度(℃)										
封孔情况										
平面、 剖面图 及说明										
技术负责:	校核:		埋设及填表:				日期:			
监 理:	日期:									
备 注:										

附录 B 监测原始记录表

表 B.0.1 分层沉降监测原始记录表

工程名称：

桩号与位置：

管口高程：

路基土高程：

监测日期			监测日期			监测日期			监测日期		
孔口高程			孔口高程			孔口高程			孔口高程		
填土高程			填土高程			填土高程			填土高程		
测头系数			测头系数			测头系数			测头系数		
沉降环编号	钢卷尺读数		沉降环编号	钢卷尺读数		沉降环编号	钢卷尺读数		沉降环编号	钢卷尺读数	
	第 1 次	第 2 次		第 1 次	第 2 次		第 1 次	第 2 次		第 1 次	第 2 次
1			1			1			1		
2			2			2			2		
3			3			3			3		
4			4			4			4		
5			5			5			5		
6			6			6			6		
7			7			7			7		
8			8			8			8		
9			9			9			9		
10			10			10			10		
、 备注			备注			备注			备注		

测记：

复核：

技术负责：

监理：

表 B.0.2 深层位移监测原始记录表

工程名称:

桩号与位置:

管口高程:

路基高程:

测斜仪型号和编号:

时间	监测值(mm)		时间	监测值(mm)		时间	监测值(mm)	
深度 (m)	正向	负向	深度 (m)	正向	负向	深度 (m)	正向	负向
0.5			0.5			0.5		
1.0			1.0			1.0		
1.5			1.5			1.5		
2.0			2.0			2.0		
2.5			2.5			2.5		
3.0			3.0			3.0		
3.5			3.5			3.5		
4.0			4.0			4.0		
4.5			4.5			4.5		
5.0			5.0			5.0		
5.5			5.5			5.5		
6.0			6.0			6.0		
6.5			6.5			6.5		
7.0			7.0			7.0		
7.5			7.5			7.5		
8.0			8.0			8.0		
8.5			8.5			8.5		
9.0			9.0			9.0		
9.5			9.5			9.5		
10.0			10.0			10.0		
10.5			10.5			10.5		
11.0			11.0			11.0		
11.5			11.5			11.5		
12.0			12.0			12.0		
12.5			12.5			12.5		
13.0			13.0			13.0		
13.5			13.5			13.5		
14.0			14.0			14.0		
14.5			14.5			14.5		
15.0			15.0			15.0		
15.5			15.5			15.5		
16.0			16.0			16.0		
16.5			16.5			16.5		
17.0			17.0			17.0		

测记:

复核:

技术负责:

监理:

附录 C 最终沉降推算方法

C.0.1 采用双曲线法推算最终沉降应符合下列规定：

1 恒载阶段的监测数据应采用下式拟合：

$$\frac{t-t_0}{S_t-S_0} = a + b(t-t_0) \quad (\text{C.0.1-1})$$

式中： t_0 ——恒载阶段某时间点(d)；

S_0 ——对应 t_0 的沉降(mm)；

S_t ——对应 t 的沉降(mm)；

a ——拟合直线的截距(d/mm)；

b ——拟合直线的斜率(mm^{-1})。

2 最终沉降应按下式计算：

$$S_p = S_0 + \frac{1}{b} \quad (\text{C.0.1-2})$$

式中： S_p ——预压荷载对应的最终沉降(mm)。

C.0.2 采用星野法推算最终沉降应符合下列规定：

1 恒载阶段的监测数据应采用下式拟合：

$$\frac{t-\tau}{(S_t-S_u)^2} = a + b(t-\tau) \quad (\text{C.0.2-1})$$

式中： S_u ——瞬时沉降(mm)；

τ ——修正时间起点(d)；

a ——拟合直线的截距(d/ mm^2)；

b ——拟合直线的斜率(mm^{-2})。

2 最终沉降应按下式计算：

$$S_p = S_u + \sqrt{1/b} \quad (\text{C.0.2-2})$$

C.0.3 采用三点法推算最终沉降应符合下列规定：

1 用于沉降推算的 3 个沉降数据应位于恒载预压阶段，且应

符合下式要求：

$$t_3 - t_2 = t_2 - t_1 \quad (\text{C. 0. 3-1})$$

式中： t_1 ——恒载阶段某时间点(d)；

t_2 ——恒载阶段某时间点(d)；

t_3 ——恒载阶段某时间点(d)。

2 最终沉降应按下式计算：

$$S_p = \frac{S_3(S_2 - S_1) - S_2(S_3 - S_2)}{(S_2 - S_1) - (S_3 - S_2)} \quad (\text{C. 0. 3-2})$$

式中： S_1 ——对应 t_1 的沉降(mm)；

S_2 ——对应 t_2 的沉降(mm)；

S_3 ——对应 t_3 的沉降(mm)。

C. 0. 4 采用 Asaoka 法推算最终沉降应符合下列规定：

1 用于沉降推算的沉降数据应位于恒载预压阶段，且时间间隔应相等；

2 选定的监测数据应采用下式拟合：

$$S_{i+1} = a + bS_i \quad (\text{C. 0. 4-1})$$

式中： S_i ——第 i 个沉降(mm)；

S_{i+1} ——第 $i+1$ 个沉降(mm)；

a ——拟合直线的截距(mm)；

b ——拟合直线的斜率。

3 最终沉降应按下式计算：

$$S_p = a/(1 - b) \quad (\text{C. 0. 4-2})$$

C. 0. 5 采用沉降速率法推算最终沉降应符合下列规定：

1 最终沉降应按下式计算：

$$S_p = S_t + V_s/\beta_c \quad (\text{C. 0. 5-1})$$

式中： V_s —— t 时的沉降速率(mm/d)；

β_c ——主固结沉降速率系数(d^{-1})。

2 β_c 宜利用监测资料反算，也可根据地基中固结系数最小的土层并考虑涂抹效应和井阻效应按下列公式计算：

$$\beta_c = \frac{\pi^2 C_v}{4H^2} + \frac{8C_h}{Fd_c^2} \quad (\text{C. 0. 5-2})$$

$$F = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln n - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} + \left(\frac{k_h}{k_s} - 1 \right) \ln \frac{d_s}{d_w} + \frac{\pi^2 L^2}{4} \frac{k_h}{q_w} \quad (\text{C. 0. 5-3})$$

$$n = \frac{d_c}{d_w} \quad (\text{C. 0. 5-4})$$

式中: C_v —— 竖向固结系数 (cm^2/d);

H —— 最大竖向排水距离 (cm);

C_h —— 水平固结系数 (cm^2/d);

F —— 固结度计算系数;

d_c —— 竖向排水体影响直径 (cm);

n —— 井径比;

k_h —— 水平渗透系数 (cm/s);

k_s —— 涂抹区渗透系数 (cm/s);

d_s —— 竖向排水体涂抹区直径 (cm);

d_w —— 竖向排水体直径 (cm);

L —— 竖向排水体长度 (cm);

q_w —— 竖向排水体纵向通水量 (cm^3/s)。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《工程测量规范》GB 50026

《一般压力表》GB/T 1226

《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406

《大坝监测仪器 沉降仪第 2 部分：电磁式沉降仪》GB/T
21440.2

《滑动式岩土测斜仪》JB/T 12204

《建筑变形测量规范》JGJ 8

《弹性元件式一般压力表、压力真空表和真空表检定规程》
JJG 52

《大坝观测仪器 测斜仪》SL 362

中华人民共和国国家标准

软土地基路基监控标准

GB/T 51275 - 2017

条文说明

编制说明

《软土地基路基监控标准》GB/T 51275—2017,经住房和城乡建设部 2017 年 12 月 12 日以第 1774 号公告批准发布。

本标准制订过程中,编制组进行了大量的调查研究,总结了我国工程建设软土地基路基监控的实践经验,同时参考了国外先进技术法规、技术标准。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,《软土地基路基监控标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总 则	(49)
2	术语和符号	(51)
2.1	术语	(51)
3	基本规定	(53)
4	监控设计	(55)
4.2	施工期监控	(55)
4.3	运营期监控	(58)
5	监测实施	(59)
5.1	一般规定	(59)
5.2	沉降监测	(59)
5.3	水平位移监测	(60)
5.4	孔隙水压力监测	(61)
5.5	土压力监测	(62)
6	监测资料分析与应用	(63)
6.2	监测资料分析	(63)
6.3	路基稳定性评估	(64)
6.4	工后沉降预测	(67)
6.5	施工时间确定	(67)
6.6	监控报告	(68)

1 总 则

1.0.1 监控工作包括监测与控制两部分工作。监测是获取沉降、水平位移、超静孔隙水压力等资料的工作;控制是利用监测资料评估路基稳定性、预测工后沉降等,进而指导施工和运营养护的工作。路基经评估处于濒临失稳状态时,可通过采取停止加载、卸载、反压、加固等措施避免路基滑塌;路基经预测工后沉降不满足设计要求时,可通过采取延长预压时间、超载预压、换填轻质材料、加固等措施使工后沉降满足设计要求;运营期路基工后沉降较大时,可通过采取路面加铺、调轨、加固等措施提高行车安全和舒适性。

监控对评估路基稳定性、预测工后沉降等作用很大,但是路基稳定性评估、工后沉降预测不能完全依赖监控。正常的勘察、计算、设计、施工、检测等工作是监控作用有效发挥的基础。如果软土空间分布出入较大,可能导致监控断面设置不当;如果软土物理力学指标差别较大,可能导致报警标准不合适。上述情况都会削弱监控的作用,甚至使其失效。

1.0.2 软土地基路基涉及公路工程、市政工程、铁道工程、轨道交通工程、水利水电工程、水运工程等行业。目前对软土尚无很明确的界限,并且各个行业对软土的鉴别标准也不完全相同。软土通常作为软黏土的简称,是天然含水率高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低的饱和细粒土。软土含义具有一定相对性,对于路堤高度较大的山区路基,软塑甚至可塑细粒土也往往被作为软土进行处理和监控。

软土地基路基监控通常包括路基填筑阶段、预压阶段、路面或轨道施工阶段、运营阶段的监控。路基填筑阶段、预压阶段、路面

或轨道施工阶段的监控统称为施工期监控。通常情况下,地基处理阶段不进行监控,但是路基填筑与地基处理交叉时,地基处理阶段也进行监控。地基处理施工期间对地基处理施工参数如深层搅拌桩搅拌速度、喷浆量的监控属于质量控制的范畴,不属于本标准中路基施工监控的范畴。

软土地基路基附近可能存在房屋、管线、地铁、桥涵等建(构)筑物,路基导致上述建(构)筑物产生沉降、不均匀沉降、水平位移等,并可能导致上述建(构)筑物破坏或影响其使用功能,需对受影响的建(构)筑物进行监控。现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8、现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 等对建(构)筑物监控有相应的规定,因此本标准对路基附近的建(构)筑物监控未作规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 极限填土高度往往利用条形均布荷载对应的均质地基极限承载力公式计算,对荷载断面为梯形或台阶形、影响深度内包含多个土层的路基不适用;另一方面,极限填土高度这个术语多用于路基工程。路基极限填土高度由稳定性控制,路基极限填土高度不但与地基土层组成、土体物理力学指标有关,而且与路基设计断面有关。对于相同的地基,不同的路基设计断面对应的极限填土高度不同。因此,将路基极限填土高度作为术语。

2.1.2 不同行业的工后沉降对应的年限不完全相同。公路、城市道路的工后沉降是指路面设计使用年限内的沉降;铁路的工后沉降指铺轨后的沉降,其实质是铺轨时的剩余沉降。当竖向排水体穿透软土层时,由于在上部结构设计年限内沉降近似完成,各行业的工后沉降大小基本相同;当存在软土下卧层时,铁路路基的工后沉降大于公路、城市道路的工后沉降。

2.1.5 工程实践中经常将监控与检测混淆。监控与检测既有区别,又有联系,两者相辅相成,缺一不可。对软土地基路基而言,检测是地基处理后通过静力触探试验、十字板试验、标准贯入试验、载荷试验、钻芯、土工试验等手段检验地基处理质量,评价地基处理是否满足设计要求的工作;施工监控是在地基处理检测后,路基填筑期间通过各种监测仪器监测路基沉降、水平位移、土压力、孔隙水压力等,并评估路基稳定性、预测工后沉降等工作。路基稳定性和工后沉降不但取决于地基处理效果,还取决于路基填筑速度、路基预压荷载和预压时间等因素。因此,地基处理检测质量合格,并不一定能保证路基稳定、工后沉降满足要求,还需要通过监

控进行保证。检测对象往往是地基的某些点,而监控的沉降、水平位移等项目能反映地基整体状态。因此,监控不但可以评估路基稳定性、预测路基工后沉降,而且也有检验地基处理整体效果的作用。

2.1.8 工程实践表明,路基失稳前通常会出现裂缝、隆起、地物倾斜等表观现象。根据国外工程经验,路基出现裂缝时的路基荷载与极限荷载的比值多为 $0.8 \sim 0.9$ 。因此,可借助表观现象评估路基稳定性。

2.1.9 理论和工程实测均表明,天然地基、排水固结法路基的瞬时沉降、侧向位移等指标与路基荷载(路基填土厚度)、填土速率有关。当路基处于稳定状态时,上述指标与路基荷载(填土厚度)基本呈线性关系;当路基濒临失稳时,上述指标与路基荷载(填土厚度)的关系曲线出现拐点。因此,可以利用拐点法评估路基稳定性。

2.1.10 趋势法通常用于评估预压期或运营期路基的稳定性。由于次固结沉降、路基附近地基固结变形等原因,路基的沉降、水平位移持续增大的时间可能达到几十年,因此不能根据路基沉降、水平位移增大与否评估路基稳定性。如果路基内外部条件不发生变化,路基的沉降速率、水平位移速率、孔隙水压力逐渐减小。因此,可以根据路基的沉降速率、水平位移速率、孔隙水压力增大与否评估路基稳定性。

3 基本规定

3.0.1 不同软土地基路基的监控目的不同,软土地基路基监控目的通常有:

- (1)评估路基稳定性,以保证路基稳定、快速地填筑;
- (2)预测工后沉降、工后差异沉降折角等,以合理确定预压时间,指导路面加铺,确保行车安全性和舒适性;
- (3)评价地基处理效果,验证设计与施工方案,优化设计或施工参数,实行动态设计、信息化施工;
- (4)利用监测资料确定沉降土方数量;
- (5)利用监测资料确定路基填筑厚度;
- (6)评估路基对周围建(构)筑物、管线的影响,避免产生不可接受的影响;
- (7)为科研提供监测资料。

其中前两个目的是路基监控的常见目的,也是应实现的目的。

3.0.3 本条规定了各路段监控等级的划分标准。

(1)涉及软土路基的行业众多,包括公路工程、市政工程、铁道工程、城市轨道交通工程、水利水电工程、水运工程等行业,各个行业关于路基等级、容许工后沉降、容许安全系数的规定不完全相同;不同工程的软土性质、软土厚度、路基高度、地基处理方法等千差万别。但是,软土地基路基的核心问题是路基稳定性和工后沉降,行业要求、路基等级等均可通过容许工后沉降体现,路基的高度、软土性质、软土厚度、地基处理方法均可通过路基稳定性体现,因此,将路基稳定性和容许工后沉降作为划分监控等级的主要依据。

(2)综合考虑下列因素,将采用排水固结法且计算沉降大于 3

倍容许工后沉降的路段列为一级监控路段：

1)多条高速公路的监控经验表明,路基填筑速率受路基稳定性(施工监控)制约时,路基填筑施工期间完成的沉降与总沉降的比值通常大于 $2/3$;路基填筑速率不受路基稳定性(施工监控)制约时,路基填筑施工期间完成的沉降与总沉降之间的比值往往小于 $2/3$ 。因此,当计算沉降大于 3 倍容许工后沉降、路基稳定性较好时,路基快速填筑后直接施工上部结构极可能出现工后沉降超过容许工后沉降的情况。因此,对这种情况规定进行监控,以预测工后沉降,指导上部结构施工时间。

2)由于以下原因,计算沉降可靠度不高,需要通过监测进行路基沉降预测：

①地质勘察难以全面准确地揭示各路段的地层情况,也难以准确给出反映真实状态的计算指标；

②沉降计算方法尚有许多不足之处；

③路基实际荷载往往与计算取值不一致。

(3)工程实践表明,由于对路堤下柔性桩复合地基、刚性桩复合地基的作用机理和破坏模式的认识尚不清晰,其设计理论尚不完善,设计、计算不能完全保证路基稳定,且施工质量往往难以完全达到设计要求,不少验算稳定的柔性桩复合地基、刚性桩复合地基路基发生滑塌事故。另一方面,柔性桩复合地基、刚性桩复合地基路基滑塌损失较大。因此,将路基高度超过路基极限填土高度、采用柔性桩复合地基或刚性桩复合地基处理的路段列为一级监控路段。

4 监控设计

4.2 施工期监控

4.2.2 本条规定了监控断面设置的要求。

(1)大量路基滑塌事故表明,滑塌路段长度通常为 50m~100m,小于 50m、大于 100m 的不多。为避免相邻监控断面之间的路基发生滑塌,对存在失稳风险的路段,监控断面间距不宜大于 50m。

(2)设置过渡段路基的目的是实现工后沉降逐渐过渡,过渡段路基监控的目的是预测工后差异沉降,因此过渡段监控断面不应少于 2 个。

(3)监控断面通常与路基走向垂直。山间沟谷中的路基稳定性往往沿沟谷走向最不利,当路基走向与山间沟谷走向斜交时,路基稳定性最差的方向不与路基走向垂直。因此规定监控断面设置在稳定性差的位置和方向。

4.2.3 桥台附近路基预压后再施工桥台桩基的主要目的是减少路基水平位移对桩基的不利影响,因此应监测桥台附近路基的水平位移。

4.2.4 根据误差传递规律,深层水平位移偶然误差的累加为测点数的平方根,系统误差的累加为测点的倍数。SlopeIndicator 公司大量实测数据表明,每点测量的偶然误差一般不大于 0.16mm,系统误差为 0.11mm,对于 25m 长的测斜管共需测量 50 个测点,偶然误差累计为 1.13mm,系统误差累计为 5.5mm,累计总误差约为 6.6mm。深层位移是测斜管位置曲线与测斜管初始位置曲线的差值,如系统误差不变,系统误差可以抵消。对于绝大多数工程,最大位移位置与测斜管底端的距离小于 25m,因此,通过严格

的测试和合理的资料分析,深层位移测量精度可以达到 1.13mm,因此要求位移精度不大于 2mm 是可行的,也是必要的。

4.2.5 软土路基滑动时,在滑动面附近形成剪切带,剪切带形成过程中软土产生超静孔隙水压力。剪切带内软土超静孔隙水压力增长往往预示着路基濒临滑塌,因此用于评估路基稳定性的孔隙水压力测点宜设置在滑动面附近。

涵洞对差异沉降导致的转角较敏感,涵洞工后沉降较大时会导致涵洞内积水,工后差异沉降导致的转角较大时会导致涵洞节段之间开裂,路基土进入涵洞。因此规定沿涵洞走向不同位置设置测点以预测涵洞差异沉降。

4.2.7 C1.1 路段路基填筑间歇期监测不应少于 1 次的原因有:

(1)表面沉降、水平位移、孔隙水压力等监测项目变化有一定的滞后性,表面沉降、水平位移、孔隙水压力等可能在路基填筑一层后 2d~3d 内仍维持较大的增长速率,这种现象在路基稳定性差时更普遍、更明显。

(2)沉降速率包含不排水沉降速率和固结沉降速率,不排水沉降速率是评估路基稳定性的重要指标。为得到不排水沉降速率,通常需要在填筑间歇期监测表面沉降速率,将其近似作为固结沉降速率。

4.2.8 本条对路基稳定性报警值进行了规定。

(1)工程实践中常用的路基稳定性报警值为:沉降速率 10mm/d,位移速率 5mm/d。但是不少路基沉降速率或位移速率大于上述报警值时仍稳定,部分路基沉降速率或位移速率小于上述报警值时却失稳。除了未区分地基处理方法外,未考虑加载速率、软土性质和厚度、路基宽度等因素的影响也是导致这种现象的重要原因。在研究了大量公路软土地基路基监控资料及多个滑塌工程的基础上,以工程经验为主,推荐了沉降速率报警值、水平位移速率报警值。

(2)散体材料桩复合地基桩土沉降基本一致,复合地基沉降与

天然地基沉降的比值近似等于桩间土承担荷载的比例,因此,散体材料桩复合地基路基的报警值宜取桩间土承担荷载的比例与天然地基或排水固结法路基报警值之积。

(3)滑塌工程调查、离心模型试验均表明,柔性桩、刚性桩主要通过桩顶反力和桩侧负摩擦力减小路堤作用于桩间土的荷载而提高路基稳定性,可称之为减荷桩。刚性桩常见破坏模式有受弯断裂、倾斜等,柔性桩还会发生桩身压碎、桩身剪切等破坏模式。采用柔性桩复合地基或刚性桩复合地基的路基失稳过程是个渐进性过程,初始阶段是桩身受弯断裂、桩身压碎、桩身倾斜、桩身剪切等,在上述过程中桩间土承担荷载不断增大,最终导致桩间土失稳。因此,复合地基路基失稳时的沉降和水平位移接近天然地基在极限荷载下产生的沉降和水平位移,可将路基极限填土高度对应的天然地基的沉降作为桩间沉降的稳定报警值。

4.2.9 大量监测结果表明,沉降速率与剩余沉降之间近似为两段直线组成的折线关系,两段直线的交点近似为主固结沉降与次固结沉降的分界点,沉降速率与剩余沉降的关系为:

$$V_s = \beta_c (S_r - S_s) + \beta_s S_s \quad (1)$$

式中: V_s —— 沉降速率(mm/d);

β_c —— 主固结沉降速率系数(1/d),可按本标准附录 C 计算;

S_r —— 剩余沉降(mm);

S_s —— 次固结沉降(mm);

β_s —— 次固结沉降速率系数(1/d)。

由于 β_c 计算值往往与根据监测资料反算值差别较大,且 β_s 、 S_s 的取值尚待进一步研究,因此未将式(1)纳入标准。等载预压路基主要根据工程经验给出沉降速率标准建议值,并体现了式(1)反映的规律。软土地基总沉降量越大,次固结沉降量越大,因此沉降速率标准建议值随总沉降增大而减小。对超载预压路基,在等载预压基础上结合式(1)考虑了超载的影响,其中系数 0.2 是在统

计 β_c 计算值与反算值的比值的基础上适当折减后给出的。

4.3 运营期监控

4.3.2 本条对监控断面进行了规定。

1 工程实践表明,施工期、运营期路基滑塌长度均多在 50m~100m,因此对存在稳定风险的路段,运营期的监控断面间距规定与施工期相同。

2 运营期监控表明,桥台附近 30m 范围内路基工后沉降沿路基纵向多为抛物线形状或马鞍形状,其中桥台附近 10m~15m 的路基工后沉降变化最为剧烈,对行车舒适性影响最严重。为监测得到最大工后差异沉降率,桥台附近应至少设置 2 个监控断面,且间距不宜大于 15m,第 1 个断面与桥台的距离不宜大于 10m。

5 监测实施

5.1 一般规定

5.1.9 路基监控期限较长,监测仪器会出现故障、损坏,现场需要配置备用仪器。测量初期对主测仪器和备用仪器对比测量的目的是找出两者关系,以便更换时能保证监测数据的连续性和完整性。

5.1.10 路基填筑期间测量监控断面处路基高程的目的是确定路基荷载,利于稳定性评估、预测设计沉降;预压期间测量监控断面处路基高程有利于准确预测工后沉降。

5.2 沉降监测

5.2.1 沉降板具有足够的尺寸和刚度有利于保证测杆竖直。

5.2.2 沉降板采用反挖法埋设易于保证测杆竖直、牢固。

5.2.4 剖面沉降管口设置工作平台利于避免将泥砂带入剖面沉降管内。

5.2.5 剖面沉降仪在剖面沉降管中静置一定时间的目的是使剖面沉降仪与剖面沉降管内温度稳定一致,减少监测误差。加速度计式剖面沉降仪往返测试时应调转方向的目的是消除零偏位的影响。

5.2.6 目前分层沉降管有平接头和凸接头等接头形式,平接头处分层沉降管管壁厚度变薄,其厚度与连接管壁厚之和等于沉降管中部壁厚。也有分层沉降管采用公母端,公端外径小,母端内径大,两者之间可以采用粘结剂粘合,也有在接头处增加暗扣的。沉降管采用平接头利于保证沉降环下沉时不受接头的限制。

5.2.7 本条对分层沉降监测装置埋设进行了规定。

(1)分层沉降埋设时沉降环之间泥球回填密实对沉降环位置

稳定并与地基土沉降相同非常重要,相对可靠的埋设方法为:

1)每个沉降环下方分层沉降管与孔壁之间的空隙采用直径为5mm~10mm的风干泥球充填,并利用长度为1m~2m、管径与沉降环基本相同、顶端栓系尼龙绳或铅丝的送环钢管将泥球充填密实、顶面水平;

2)沉降环簧片采用橡皮筋收拢,并用尼龙绳系住橡皮筋。沉降环簧片朝下沉放到位后,利用送环钢管压住沉降环并通过尼龙绳拉断橡皮筋,然后利用送环钢管冲击沉降环2~3下,使沉降环簧片插入孔壁土体并保持沉降环水平。

(2)分层沉降管的沉降小于地表面沉降,对于真空和堆载联合预压路段,如果分层沉降管处不预留密封膜,会导致此处密封膜受拉破裂。

5.2.8 由于沉降环具有一定厚度,自下而上测量和自上而下测量时,沉降仪发出蜂鸣声的位置会有少许不同;当沉降环磁性衰退时,发出蜂鸣声的位置也会不同。因此规定分别自下而上、自上而下测量然后取平均值,以消除测量方向不一致和磁性随时间衰退带来的系统误差。

5.3 水平位移监测

5.3.2 小角法边桩偏离基准线的偏角不超过 $30''$,在观测时不需要转动仪器照准部,而只用全站仪(经纬仪)的微动机构照准读数,实践证明这样可以有效提高测角精度。

5.3.3 测边角法测量角度时两边相等有利于消除调焦误差对测角的影响。

5.3.5 测斜管的常用材料有聚氯乙烯、聚乙烯、ABS塑料和铝合金等。目前使用较多的是聚氯乙烯管,适用于一般软土地基。对于淤泥、流泥为主的地基宜采用聚氯乙烯、ABS塑料等较柔软材料制成的测斜管。铝合金管刚度较大,一般不用于软土地基监测。

5.3.6 测斜管接头处、底端等处密封良好可以避免泥土进入测斜管,保证测试深度,减少对测头的磨损和冲击。

5.3.7 本条对深层水平位移监测进行了规定。

2 测斜仪放在孔底至读数稳定可以减少温度变化导致零点偏移量的变化。

3 每对滑槽采用正反两个方向测量的目的是消除系统误差,并可以用于检验仪器稳定性。

4 测斜管的导槽方向可能与路基最大位移方向不一致,由于制造和现场安装等方面的原因,测斜管不可避免地发生一定扭曲。通过监测两对滑槽对应的位移合成得到总位移可减少监测误差。

5.4 孔隙水压力监测

5.4.1 本条对孔隙水压力计进行了规定。

2 埋设前孔隙水压力计在空气中的温度与埋设后在地下水中的温度不同,地下水温度随着季节也发生一定变化。温度变化对孔隙水压力测试结果有一定影响,因此宜采用具有温度测试功能的电测式孔隙水压力计。

3 孔隙水压力计存放半年以上的目的是消除加工应力、装备应力对测头性能的影响,否则测头可能产生零漂,导致初始频率随时间变化、测头重复性差,这些往往不能通过标定发现。

4 目前部分孔隙水压力计质量差、性能不稳定,因此埋设前需要率定。

5.4.2 本条对孔隙水压力计埋设进行了规定。

1 路基下存在吹填形成的流泥等地层时,孔隙水压力计可能在自重作用下不断下沉,需采取措施避免孔隙水压力计与土体沉降不同步。

4 一个钻孔埋设多个孔隙水压力计时,经常由于泥球颗粒太大、级配不好、泥球膨胀性不足等原因导致不同深度处的孔隙水压力计水力连通的现象,因此采用钻孔埋设时建议每个钻孔只埋设

1 支孔隙水压力计。

5 压入法利于保证孔隙水压力计周围土质与附近土质相同。

6 对孔隙水压力计透水石煮沸排气的主要目的是减小气体对孔隙水压力监测的影响。为避免泥土堵塞,透水石的结构与孔隙大小具有反淤堵功能,其孔隙很小,其中气体必须通过长时间煮沸才能排除。

5.5 土压力监测

5.5.1 土压力计在砂中标定更符合土压力盒在工程应用中的实际受力状态。

5.5.2 采用挖坑法埋设土压力计利于避免路基填筑时导致土压力计压力过大,挖坑边长或直径不小于坑深的 3 倍的目的是减少土拱效应的影响。

6 监测资料分析与应用

6.2 监测资料分析

6.2.1 利用测斜管监测深层位移时,每次监测均可得到测斜管的位置曲线,该位置曲线与测斜管的初始位置曲线的水平距离就是测斜管的位移。

深层位移可采用两种计算方法:①每次监测得到的位置曲线与初始曲线相减;②对位移增量进行累加。第一种方法可减少误差累积。当测斜仪不稳定、更换过测斜仪或者更换过测斜管时,第一种方法可能出现较大误差,此时应采用第二种方法。

6.2.2 只绘制时间-沉降等过程线不便于分析监测结果合理性、路基稳定性等,因此应绘制时间-沉降和荷载等关系曲线。分层沉降或深层沉降绘制如图 1 所示的荷载、深度-分层沉降关系曲线更利于分析地基沉降分布和发展规律。

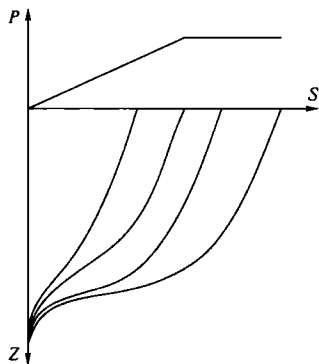


图 1 荷载、深度-分层沉降关系曲线

6.3 路基稳定性评估

6.3.1 柔性桩复合地基、刚性桩复合地基桩间土承担荷载与土拱效应、单桩承载力等有关,桩间土荷载与路堤荷载关系见图 2,A 点时土拱形成,B 点时土拱出现屈服点,C 点时达到单桩极限承载力,OA、CD 段斜率接近 1,AB、BC 段斜率取决于土拱效应。桩间部分荷载通过中性面以上的桩土负摩擦力转移到桩身,桩身部分荷载通过中性面以下的正摩擦力转移到桩间土。因此柔性桩复合地基、刚性桩复合地基瞬时沉降、孔隙水压力、侧向位移等与路基荷载关系非常复杂。另外,路基可能在上述四段直线任何一段范围内发生滑塌。因此,柔性桩复合地基、刚性桩复合地基路基稳定性评估不推荐拐点法。

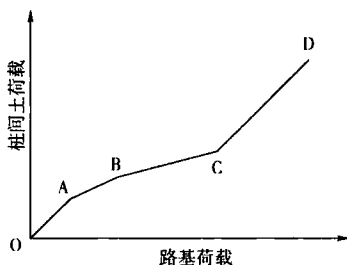


图 2 刚性桩复合地基桩间土荷载与路基荷载的关系

6.3.2 路基开裂的原因有不均匀沉降、干缩、路基稳定性差等,路面开裂的原因还有交通荷载、施工接缝等方面的原因。因此,利用表观法首先应分析裂缝出现的原因。通常情况下,弧形裂缝、裂缝错台、张性裂缝等是路基稳定差产生裂缝的特征。但是,有时差异沉降产生的裂缝也具有上述特征。

6.3.3 通常情况下路基填筑一层产生的瞬时沉降、水平位移一天内就完成了,但有时填筑一层后瞬时沉降、水平位移持续两三

天,虽然沉降速率、水平位移速率小于报警值,但是仍可能发生滑塌事故。现行国家标准《海岸软土地基堤坝工程技术规范》GB/T 50943 对沉降速率和位移速率的连续三天累计值提出报警值也是基于相同的原因。因此,提出连续多天的沉降速率或位移速率达到一定数值时也应进行报警。时间越长,固结变形速率所占比重越大,因此要求连续多天的监测指标之和大于报警值。

6.3.4 本条对拐点法评估路基稳定性进行了规定。

1 瞬时沉降、水平位移、超静孔隙水压力等与路基荷载的曲线均会出现拐点。瞬时沉降、水平位移与路基荷载的曲线在极限填土高度之后出现拐点后继续加载往往出现路基失稳事故;超静孔隙水压力与路基荷载的曲线的拐点与路基失稳的关系尚不明朗,尚需进一步研究。

2 对排水固结法路基,沉降土方与路基填土厚度的比值较大,拐点法的路基荷载不计入沉降土方可能导致误判。

3 拐点法严谨的做法是利用不排水沉降(饱和软黏土的瞬时沉降)判断路基稳定性。监测实践表明,瞬时沉降主要发生在加载当天,且加载当天的沉降主体为瞬时沉降,为分析简便起见,瞬时沉降可由加载当天的沉降速率累计得到。

4 水平位移沿深度大小不同,采用拐点法判别路基稳定性时利用最大水平位移更容易发现拐点。

5 广东省西部沿海高速公路试验段表明,路基濒临滑塌时荷载-瞬时沉降累计值曲线出现拐点,拐点两侧斜率比值为 3.1~3.6。广东省开平-阳江高速公路某软基加固段荷载-瞬时沉降曲线在滑塌前出现拐点,拐点两侧斜率比值为 3.2~3.9。黄埔港新沙港专用铁路软土地基加固对比填筑试验表明,天然地基、土工布地基、砂井地基、砂井+土工布地基在产生大变形或坍塌时,边桩水平位移速率为 30mm/d~50mm/d,但之前水平位移速率为 10mm/d 左右,两者比值为 3~5。陇海铁路徐连段连云港铁路技

术改造第一期西段 DK30+600~DK+870 试验段临近破坏前一天(天然地基)或前 1 天~2 天(土工布地基)边桩水平位移速率较平日增大 1 倍~2 倍。广茂铁路腰古试验路段表明,路堤边桩水平位移速率小于 10mm/d(砂井地基)或 61mm/d(砂井+土工布地基)是安全的,接近极限状态时最大水平位移速率达到 67mm/d(砂井地基)或 405mm/d(砂井+土工布地基),比值高达 6~7。未进行地基处理的福建省莆田北洋海堤试验段监测表明,一侧坡肩处地基表面沉降-荷载曲线出现拐点,拐点两侧斜率比值为 3.9;距离坡脚 2m 范围内的边桩位移-荷载曲线出现拐点,拐点两侧斜率比值为 2.4~12.6。综合考虑上述成果,瞬时沉降速率、水平位移速率报警值取正常速率的 2 倍。

对于均质软土地基,荷载-瞬时沉降曲线、荷载-水平位移曲线可能出现两个拐点。第一个拐点前为压密阶段,两个拐点之间为剪切阶段,地基中出现塑性区且范围不断扩大,第二个拐点后为破坏阶段,地基中塑性区基本贯通。第一个拐点对应软土层的前期固结压力或临塑压力,第二个拐点对应极限荷载。因此,要求利用极限填土高度之后的拐点进行稳定性评估。

6.3.5 由于预压期或运营期的监测频率较低、监测误差所占比重较大,且路基受到内外部条件变化的影响,路基沉降速率、水平位移速率、孔隙水压力增大并不代表路基会失稳,这已被不少工程证实。因此,根据监测经验,对趋势法报警条件进行了限定,以免引起不必要的惊慌或采取不必要的工程措施。

6.3.6 滑动面位置和范围与软土空间分布、路基断面形状和尺寸等因素有关,为避免误判,应分别利用监测断面不同位置的测点的监测结果评估路基稳定性。

6.3.7 路基附近水塘水位降低、路基附近开挖作业、路基病害处治等均会导致路基沉降、位移、孔压及其速率的变化,上述因素对路基稳定性可能有害,也可能有利,应根据工程情况具体分析。

6.4 工后沉降预测

6.4.1 利用预压阶段的监测资料推算最终沉降是工程常用的方法,常用的推算方法有 Asaoka 法、三点法、双曲线法和星野法等。不同行业、不同地方习惯采用的推算方法有所区别。软土地基次固结沉降不可忽略,且持续时间很长。Asaoka 法、三点法、沉降速率法等均基于固结理论,推算的最终沉降偏小。双曲线法、星野法等属于曲线拟合法,推算的最终沉降包含了部分次固结沉降,往往更接近实际沉降。

6.4.2 本条对工后沉降预测进行了规定。

1 工程实践表明,实际工后沉降往往大于预测的工后沉降,其主要原因有:

(1)目前的工后沉降预测方法存在一定缺陷;

(2)推算工后沉降通常未考虑次固结沉降;

(3)实际预压荷载往往不足,未按运营期长期荷载推算最终沉降和剩余沉降;

(4)通常未考虑交通荷载、工后沉降处置荷载产生的沉降。

2 利用预压期的沉降监测资料推算的最终沉降是预压荷载对应的最终沉降,不是设计荷载对应的最终沉降。或者说,根据预压期的沉降监测资料推算的最终沉降是对应沉降完成后的路基高度对应的最终沉降,不是路基设计高度对应的最终沉降。研究表明,路基中线附近最终沉降与沉降完成后的路基高度近似成正比关系,可以据此推算路基设计高度对应的最终沉降,进而得到工后沉降。

3 软土厚度超过 15m、加固区下面软土层厚度大于 3m 时仅利用表面沉降监测资料推算的工后沉降往往误差较大,且推算结果偏小,结合分层沉降或深层沉降监测资料推算工后沉降准确性更大。

6.5 施工时间确定

6.5.1 部分工程或路段,监测时间较短,无法推算工后沉降,或者

推算工后沉降的可靠性较低,无法采用工后沉降法确定施工时间,只有采用沉降速率法。沉降速率是控制工后沉降的辅助指标,因此能够预测工后沉降时,建议直接利用工后沉降法确定路面、轨道施工时间。

6.5.2 由于各种原因,实际超载往往小于设计超载,应根据实际超载计算沉降速率标准。

6.5.3 工后差异沉降折角往往是影响行车舒适性、安全性和结构安全或使用的主要因素,因此过渡段建议根据工后沉降、工后差异沉降折角综合确定路基上部结构施工时间。

6.5.4 路堤荷载在路基附近地基中产生附加应力,该附加应力对应的土体压缩大部分发生在运营期。工后监测表明,路基附近地基软土的压缩变形导致路基坡脚产生水平位移。路基坡脚水平位移速率不但与路基荷载大小有关,而且与路基附近地基排水条件有关。当路基附近地基设置竖向排水体时,水平位移速率较大;当路基附近地基未设置竖向排水体时,水平位移速率很小。因此,桥台附近剩余水平位移应根据监测资料推算得到。

6.5.5 运营期过渡段监测的主要目的是指导运营养护,避免差异沉降折角过大影响行车安全和舒适性。因此,运营养护前的差异沉降折角不应大于允许值。

6.6 监控报告

6.6.1 监控报告包括周报、月报等周期性报告,也包括阶段报告、监控总结报告等总结性报告,也可能需要预警报告、卸载报告等。