

# 挤密砂石桩加固液化地基现场试验研究

姜 暑 芳

(中国水利水电第七工程局有限公司 第一分局,四川 彭山 620860)

**摘 要:**以南水北调中线工程潮河2标为背景,对采用挤密砂石桩加固液化地基的加固效果进行了现场试验。首先对采用挤密砂石桩处理后的地基进行初判,其次,根据标准贯入试验结果对消除地基液化效果进行了复判,最后根据地基土的液性指数定量评价液化等级。现场试验结果表明:挤密砂石桩能达到消除地基液化的目的;同时,作为一种经济、有效的地基液化处理方法值得推广应用,相关成果可供类似地质条件下的地基处理工程借鉴和参考。

**关键词:**挤密砂石桩;液化;现场试验;南水北调

**中图分类号:**TV553;TV68;TV522

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2014)05-0010-04

## 1 概 述

液化现象是土体在动力荷载作用下最主要的震害之一。饱和砂土是否发生液化和发生液化的程度,取决于一系列因素的综合影响,因此,饱和砂土的液化判别一直是土动力特性研究中的一个主要问题。正确评价砂土地基液化的可能性及其危害程度具有十分重要的现实意义。

采用挤密砂石桩法加固地基除具有置换作用和挤密作用进而提高地基承载力和减少沉降外,同时还能起到排水通道作用,能够加速地基土的固结,有效消散震动引起的超孔隙水压力,从而使液化现象大为减轻。笔者以南水北调中线潮河段2标为研究背景,判定采用挤密砂石桩处理后的地基液化状态,为施工提供依据,对保证南水北调工程总干渠的运行安全具有重要的价值和意义。

## 2 液化的判别

### 2.1 影响地基液化的主要因素

影响地基液化的因素很多,需要根据多项指标综合分析,才能准确判别场地土是否发生液化现象。

#### (1)地质年代。

地质年代的新老是体现土层沉积的时间长短。地质年代老的沉积土层经过长时间的固结作用并经历过大的地震影响,土就密实,胶结就愈紧密,抗液化能力就强,反之,则差。

#### (2)土中的黏粒含量。

实践证明:当粉土的黏粒(粒径 $\leq 0.005$  mm)

含量超过某一界限值时,粉土就不会发生液化。这是由于土的粘聚力增大,抗液化能力加强。当黏粒含量超过表1所列数值时就不会发生液化现象。

表1 粉土非液化黏粒含量界限值表

烈度	黏粒含量 $\rho_c$ /%
7	10
8	13
9	16

#### (3)上覆层非液化土层厚度和地下水位深度。

当砂土和粉土的上覆层非液化土层厚度超过表2所列的界限值  $d_{wj}$  时,未发现土层液化现象;当地下水位不小于表2所列的界限值  $d_{wj}$  时,未发现土层液化现象。

表2 土层不考虑液化时的覆盖厚度、地下水位界限值表

烈度	砂土		粉土	
	$d_{wj}$	$d_{wj}$	$d_{wj}$	$d_{wj}$
7	7	6	6	5
8	8	7	7	6
9	9	8	8	7

#### (4)土的密实程度。

实践证明:相对密度小于50%的砂土普遍发生液化现象,而相对密度大于70%的土层则没有发生液化现象。

#### (5)土层的埋深。

理论分析和土工试验表明:土的侧压力愈大,土层愈不易发生液化,侧压力的大小反应土层埋深的大小。土层液化的深度很少超过15 m,更多发生在浅于10~15 m埋深的土层。

#### (6)地震烈度与震级。

地震烈度愈高的地区,地面运动强度愈大,持续的时间愈长,土层就愈容易发生液化,一般在6

收稿日期:2014-08-14

度或以下的地区很少发现砂土液化,而7度以上的地区则相对普遍。

## 2.2 液化的初判

根据《水利水电工程地质勘察规范》,初判应排除不会发生地震液化的土层。对初判可能发生液化的土层应进行复判。土的地震液化初判应符合下列规定。

(1)地层年代为第四纪晚更新世  $Q_3$  或以前的土,可判为不液化。

(2)当土的粒径小于 5 mm、颗粒含量的质量百分率小于或等于 30% 时,可判为不液化。

(3)当土的粒径小于 5 mm、颗粒含量的质量百分率大于 30% 的土,其中粒径小于 0.005 mm 的颗粒含量质量百分率( $\rho_c$ )的相应地震动峰值加速度为 0.1 g、0.15 g、0.2 g、0.3 g 和 0.4 g 时分别不小于 16%、17%、18%、19% 和 20% 时,可判为不液化。

(4)工程正常运用后,对于地下水位以上的非饱和土可判为不液化。

## 2.3 液化的复判

根据初步判别结果,需要进一步进行液化判别,可采用标准贯入试验进行综合分析、计算判别,对于符合公式(1)要求的土应判为液化。

$$N < N_{cr} \quad (1)$$

式中  $N$  为工程运用时,标准贯入点在当时地面以下  $d_s$  (m) 深度处的标注贯入锤击数; $N_{cr}$  为液化判别标准贯入锤击数临界值。

当标准贯入点深度和地下水位在试验面以下的深度(不同于工程正常运用时),实测标注贯入的锤击数应按式(2)修正,并应以修正后的标准贯入锤击数  $N$  作为复判依据。

$$N = N' \frac{(d_s + 0.9d_w + 0.7)}{d''_s + 0.9d''_w + 0.7} \quad (2)$$

式中  $N'$  为实测标注贯入锤击数; $d_s$  为工程正常运用时,标注贯入点在当时地面以下的深度(m); $d_w$  为工程正常运用时,地下水位在当当地面以下的深度(m),当地面淹没于水面以下时取 0; $d''_s$  为标准贯入试验时,标注贯入点在当时地面以下的深度(m); $d''_w$  为标准贯入试验时,地下水位在当当地面以下的深度(m),若当时地面淹没于水面以下时取 0。

液化判别标准贯入锤击数临界值应根据式(3)计算,式(3)只适用于标准贯入点地面以下 15 m 以内的深度;对于大于 15 m 的深度内有饱和砂或饱和黏性土需要进行地震液化判别时,可采用其他方法判定。

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_d - d_w)] \sqrt{\frac{3\%}{\rho_c}} \quad (3)$$

式中  $N_0$  为液化判别标准贯入锤击数基准值,按表 3 采用。郑州地区地震动峰值加速度为 0.15 g; $d_d$  为当标准贯入点在地面以下 5 m 以内的深度时,应采用 5 m 计算; $\rho_c$  为土的黏粒含量百分率,当其小于 3% 或为砂土时均采用 3%。

表 3 标准贯入锤击数基准值表

项目	地震动峰值加速度			
	0.1 g	0.15 g	0.2 g	0.3 g
近震	6	8	10	13
远震	8	10	12	15

## 3 试验点概况

潮河 2 标渠段长度为 4.4 km,渠坡由黄土状轻壤土、粉(细)砂、砂壤土等构成,挤密砂石桩加固区域纵剖面如图 1 所示,图中阴影区域为加固区段起迄里程。

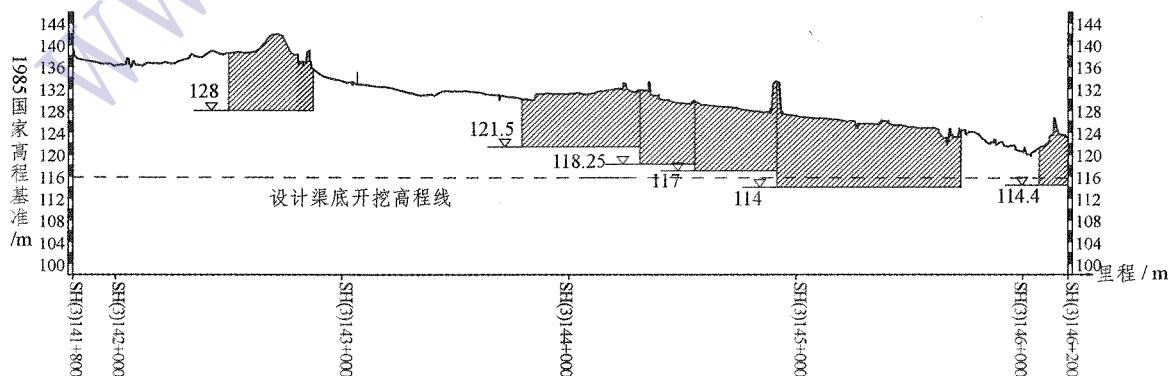


图 1 潮河 2 标挤密砂石桩加固区纵剖面图

4 试验方法

4.1 试验设备

现场对采用挤密砂石桩处理后的地基进行了

标准贯入试验,用以判定地基土的液化状态。标准贯入试验设备由标准贯入器、触探杆及穿心锤组成,其规格见表5。

表5 标准贯入试验设备规格表

钻杆		落锤			贯入器				
相对弯曲	直径	落距	锤质量	刃口单位厚度	刃口角度	长度	内径	外径	长度
/mm	/mm	cm	/kg	/mm	/°	/mm	/mm	/mm	/mm
<1/1 000	42	76	63.5	2.5	18~20	50~76	35	51	500

4.2 试验要点

(1)在进行标准贯入试验前,使用回转钻头钻孔至试验标高以上15 cm处,避免对目标土层发生扰动作用,并量测深度尺寸。

(2)采用自动脱钩的自由落锤法进行锤击,并减少导向杆与锤间的摩阻力,避免锤击偏心和侧向晃动,保持贯入器、探杆、导向杆连接后的垂直度。

(3)以每分钟不小于30击的速度将贯入器打入试验土层中,先打入15 cm不计击数,继续贯入土中30 cm,记录锤击数 $N$ ;若地层比较密实、贯入击数较大时,也可记录贯入深度小于30 cm的击数,这时,需按式(5)换算成贯入深度为30 cm的锤击数 $N$ 。

$$N = 30 n / \Delta s \quad (5)$$

式中  $n$  为所选取的任意贯入数的锤击数; $\Delta s$  为对应锤击数 $n$ 的灌入量。

(4)拔出贯入器,取出贯入器中的土样进行鉴别、制样,随后进行室内试验。

(5)标注贯入深度应穿透液化土层,在完成1次标贯试验后钻探到下一个标高处,重复上述步骤,每1 m进行1次标贯试验。

5 试验成果分析

判定挤密砂石桩地基处理后的液化状态,我们在现场共选择了两个试验区域。

(1)试验I区。

本试验区共布置了40个挤密砂石试验桩,分两组进行试验(其中间排距2 m、桩长10 m布置了20根;间排距1.8 m、桩长10 m布置了20根),具体布置情况见图2。

现场试验桩(共40根)长度为9.8~10.2 m。充盈系数为1.17~1.38,平均充盈系数为1.22。在规定的间隔消散期过后进行标准贯入试验,取样点均位于3个挤密砂石桩的中间位置,以检验

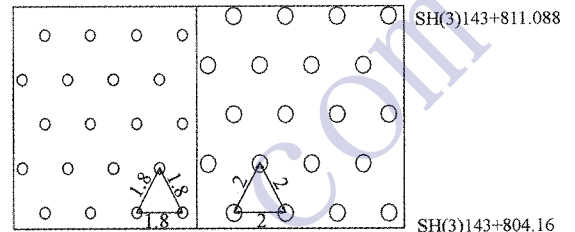


图2 现场试验桩布置图

其是否满足消除地震液化的要求。

(2)试验II区。

本试验区共布置了18个挤密砂石桩试验桩,分两组进行试验(其中间排距2 m、桩长13 m,布置了9根,间排距1.8 m、桩长13 m布置了9根),具体布置情况见图3。

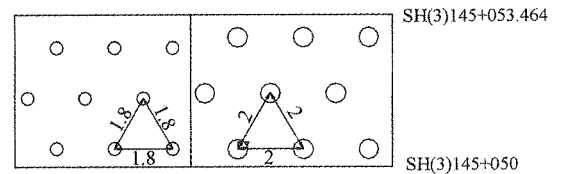


图3 现场试验桩布置图

现场试验桩(共18根)长度为11.8~13.01 m。充盈系数范围为1.34~1.46,平均充盈系数为1.4。在规定的间隔消散期过后进行标准贯入试验,取样点均位于3根挤密砂石桩位的中心点,以检验其是否满足消除地震液化的要求。现场取样试验结果见表6、7。

通过在以上两组试验区进行的现场试验及对试验前后取样结果进行的分析,表明:

试验I区试验前共检测33组,其中9组液化,24组不液化;试验区施工完成后,检测28组,其中0组液化,28组不液化。

试验II区试验前共检测36组,其中12组液化,3组不液化;试验区施工完成后,共检测42组,其中1组液化,41组不液化。



表6 试验结果表(桩间距2 m)

序号	标贯深度 /m	标贯击数实 测值/击	施工期标贯击数 临界值(远震)	施工期标贯击数 临界值(近震)	液化判别 (近震)	运行期标贯击数 临界值(远震)	运行期标贯击数 临界值(近震)	标贯击数 修正值	液化判别 (近震)
1	1.15	4	3.4	2.6	不液化				
2	2.15	5	3.5	2.7	不液化	3.3	2.5	2.5	不液化
3	3.15	5	3.7	2.8	不液化	3.4	2.5	2.5	不液化
4	4.15	7	4.1	3.1	不液化	3.8	2.8	3.6	不液化
5	5.15	13	4	3	不液化	3.7	2.8	6.8	不液化
6	6.15	12	4.7	3.5	不液化	4.4	3.3	7	不液化
7	7.15	12	4.9	3.7	不液化	4.6	3.4	7.5	不液化
8	8.15	15	4.8	3.6	不液化	4.5	3.4	10	不液化
9	9.15	12	5	3.8	不液化	4.7	3.5	8.3	不液化
10	10.15	13	5.1	3.8	不液化	4.8	3.6	9.4	不液化

表7 试验结果表(桩间距1.8 m)

序号	标贯深度 /m	标贯击数实 测值/击	施工期标贯击数 临界值(远震)	施工期标贯击数 临界值(近震)	液化判别 (近震)	运行期标贯击数 临界值(远震)	运行期标贯击数 临界值(近震)	标贯击数 修正值	液化判别 (近震)
1	1.65	3	3.8	2.8	不液化				
2	2.65	4	3.5	2.7	不液化				
3	3.65	5	4.3	3.2	不液化	3.6	2.7		不液化
4	4.65	7	3.6	2.7	不液化	3	2.2	2.3	不液化
5	5.65	8	4.4	3.3	不液化	3.7	2.8	2.8	不液化
6	6.65	20	9	6.7	不液化	7.6	5.7	9.3	不液化
7	7.65	12	5.2	3.9	不液化	4.5	3.3	6.2	不液化
8	8.65	11	4.8	3.6	不液化	4.1	3.1	6.2	不液化
9	9.65	13	5.5	4.2	不液化	4.8	3.6	7.8	不液化

## 6 结 语

土的地震液化判别是岩土工程勘察中的重要工作内容之一,其结果直接影响工程的经济性、安全性、稳定性等。南水北调工程潮河段挤密砂石桩地基处理要求地基处理应消除地震液化并保证原有地基的完整性,以保证浇筑后的渠道边坡及底板的运行安全。笔者对采用挤密砂石桩处理后

的地基进行了现场试验,结果表明:挤密砂石桩能达到消除地基液化的目的,具有良好的加固效果,作为一种经济、有效的地基液化处理方法,值得推广应用。

作者简介:

姜暑芳(1980-),男,安徽黄山人,项目总工程师,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工。 (责任编辑:李燕辉)

## 2014年电力系统技术国际会议在成都召开

10月20日起,为期3天的2014年电力系统技术国际会议在四川成都召开,会议以“走向绿色、高效、智能的电力系统”为主题,汇聚了460余名来自美国、加拿大、丹麦、日本、美国、南非等17个国家和地区的电力系统领域的专家、学者和工程技术人员、论文作者,围绕面向未来的电力系统前沿技术和热点问题进行了广泛交流和深入探讨。大会主席、中国电机工程学会理事长郑宝森致开幕辞。电气电子工程师学会电力与能源分会(IEEE PES)主席 Miroslav Begovic、四川大学副校长许唯临、国网四川省电力公司总经理王抒祥先后在开幕式上致辞。本届会议由中国电机工程学会和电气电子工程师学会电力与能源分会共同主办,国网四川省电力公司、四川省电机工程学会协办,四川大学承办。郑宝森在致辞中指出,加快能源变革转型已成为全人类的共同任务。基于这个大背景,在世界范围内兴起了一轮以电力为中心、以新能源大规模开发利用为特征的能源变革,正在深刻改变世界能源格局,也为全球电力系统创新发展指明了方向:一是促进新能源规模应用;二是建设坚强智能电网;三是推动全球能源互联网发展。Miroslav Begovic在致辞中回顾了IEEE PES与中国电机工程学会的合作经历,并表示今后将继续办好共同参与的国际会议,增进合作,为推动全球电力系统技术的发展作出新的贡献。王抒祥在致辞中介绍了四川省能源和电力的基本情况,并指出本届会议的主题与四川清洁能源的发展实践高度契合,必将对四川电网进一步加快绿色发展产生重要的推动作用,他希望大家在会议中充分交流思想、奉献智慧。开幕式后举行了主旨报告会。与会专家学者分别作了《IEEE PES为实现新能源的未来所做的努力》、《坚强智能电网支撑绿色、高效社会》、《南方电网运行面临的挑战及应对措施》、《高压直流电网及2014年高压直流电网介绍》、《在线动态安全评估技术在实现更智能的电网运营中的运用》的主旨报告。1998年,由中国电机工程学会与电气电子工程师学会电力与能源分会(IEEE PES)共同发起的电力系统技术国际会议每两年举办一次,在中国和亚太国家轮流分开,在国际同行中享有盛誉,今年是第九届。会议致力于搭建交流观点、研讨技术、了解全球电力先进技术成果、展示最新电力技术发展的平台。