

# 强夯法处理湿陷性黄土工程实践

郭春平

(山西省地勘局 214 地质队,山西 运城 044000)

**摘要:**以同煤集团塔山洗煤厂为例,探讨了强夯法在湿陷性黄土中的应用,提出了强夯法处理黄土的适用条件、强夯方案的确定原则、地基土含水量对强夯施工效果的影响等论点,尤其是用复合地基理论确定强夯地基承载力的方法。

**关键词:**强夯法;湿陷性黄土;复合地基

**中图分类号:**TU472.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)06-0059-03

**Engineering Practice of Dynamic Compaction Method for Treating Collapsible Losses/GUO Chun-ping** (214 Geological Team, Shanxi Province Bureau of Geology Exploration, Yuncheng Shanxi 044000, China)

**Abstract:** Take an engineering example of a coal preparation plant, discussion was made on the application of dynamic compaction method in collapsible losses. The applicable conditions, the scheme determination principles, the influence of foundation soil water content to dynamic compaction construction effect and especially the determination method of dynamic compaction foundation bearing capacity by composite foundation theory were put forward.

**Key words:** dynamic compaction method; collapsible losses; composite foundation

## 1 概述

黄土是一种第四系沉积物,它具有一系列特殊内部物质成分和外部形态特征,不同于同时代的其他沉积物。黄土在我国分布较广,而湿陷性黄土主要分布在黄河中游地区,它们所处的地貌单元为平原型与河谷型,此类土随着堆积时代的不同,其物理力学性质也不同,但都具有黄土状结构,大孔隙发育,且具有湿陷性等特点。堆积较早的黄土状黄土,则承载力较高。对于新近堆积黄土,一般具有承载力较低,压缩性高等特点。所谓黄土湿陷性,是指在一定压力下黄土受水浸湿后结构破坏,土体强度迅速降低而发生显著附加下沉的现象。可使建筑物产生不均匀沉降与裂缝,危害建筑物安全,对人们的生命财产造成损失。因此在工程建设中需要对此类土进行处理,消除其湿陷性。在施工中一般采用的方法是强夯法、灰土桩法或换土垫层法(防水)。在湿陷性黄土地区,采用强夯法处理地基效果明显,常被建设单位所接受。

采用强夯法处理地基,其机理为将 8~40 t 的重锤,吊至一定高度(>10 m)后自由下落,对土体进行夯实,以提高地基土的强度,降低地基土的压缩性和消除地基土的湿陷性。它具有以下特点:施工简单、效率高、工期短、造价低,但施工时振动和噪声较大。

强夯施工方案的确定,主要考虑以下几方面因素。

- (1)场地地基土的工程地质条件。
- (2)拟建建筑物的类型、特点及设计数据。必须对建筑物地基的设计参数有一定的了解。地基设计参数不同,要选择的夯击方式也不同。
- (3)施工机具的技术参数。主要包括夯击能的确定,施工机具的选择,夯击次数与夯击方式的确定等。

## 2 工程实例

### 2.1 工程概况

同煤集团塔山洗煤厂位于大同市南郊区,为新建厂房,属黄土高原,微地貌为大同盆地北部山前倾斜平原,地形较平缓、开阔。地基土为新近堆积的黄土状粉土,大孔发育,具高压缩性,湿陷性,湿陷系数 $\delta_s$ 为 0.002~0.067,总湿陷量(地面下 1.5 m 算起)约 39.1 cm,自重湿陷量为 15~18 cm。湿陷类型为自重湿陷性黄土,湿陷程度为中等,地基湿陷等级为 II 级。湿陷性土层厚度为 9.0~12.0 m。地基承载力 100~110 kPa。场地地下水位埋深 >20.0 m。

拟建厂房主要建筑包含精煤仓(圆形,直径 21 m,高 53 m)及主厂房,浓缩车间,中煤仓、矸石仓及

收稿日期:2010-11-13;修回日期:2011-05-25

作者简介:郭春平(1970-),女(汉族),山西运城人,山西省地勘局 214 地质队助理工程师,水文工程专业,从事水文工程工作,山西省运城市姚暹街,ycgcp@sina.com。

栈桥等建(构)筑物。设计单位澳大利亚约翰芬雷工程有限公司技术要求是:提高地基土的承载力与消除地基土的湿陷性,要求地基土承载力标准值 $\leq 220$  kPa;地基剩余湿陷量 $< 100$  mm。

对于本工程,由于地基湿陷性土层厚度比较大,消除地基土的湿陷性成为首要问题。根据本场地土的工程地质条件、现场条件等因素,采用强夯法处理地基是一种比较有效的方法。

## 2.2 试夯方案及施工

根据建筑的不同类型,在拟建场地外进行了夯前不同夯击能的试夯工作,为进行大面积强夯提供所需的技术参数,选择合理的强夯施工方案。在试夯中采用50 t履带吊,重20 t的夯锤(锤径2.5 m),进行了夯击能为3000、4000 kJ单点夯与4000 kJ群夯。

夯击方式:

点夯一遍:连续15击;

点夯二遍:第一遍连续13击,间隔7天后第二遍连续9击。

4000 kJ群夯:正方形布点,夯点间距离5.0 m,中间插点,第一次夯正方形角点(连夯15击),第二次夯插点(连夯9击),第三次1000 kJ满夯(连续夯3击)。

效果验证采用标贯、静力触探试验,并挖探井采样做土工试验,对夯前与夯后物理性质指标进行对比分析。

测试点位置的布设原则是:在夯点和夯间测试,单点夯测试点位于夯点外2.5 m,群夯测试点位于夯点、夯间。

## 2.3 试夯效果

### 2.3.1 地基土物理力学性质指标的变化

夯后5.0 m深度以上,地基土承载力标准值是夯前(100~110 kPa)的3倍。

压缩模量 $E_{s1-2}$ :3000 kJ约是夯前(约4.0

MPa)的5倍;4000 kJ是夯前的6倍。

干密度 $\rho_d$ :3000 kJ,5.0 m以上 $\rho_d > 1.6$  g/cm<sup>3</sup>;7.0 m以上 $\rho_d > 1.5$  g/cm<sup>3</sup>;4000 kJ,7 m以上, $\rho_d > 1.6$  g/cm<sup>3</sup>;8 m以上, $\rho_d > 1.5$  g/cm<sup>3</sup>。

静力触探:5 m深度内,4000 kJ, $P_s$ 是夯前3~6倍;3000 kJ, $P_s$ 是夯前的2.5~4倍。

标贯击数:5.0 m深度内,夯后是夯前的5~7倍。

### 2.3.2 不同夯击方式物性指标

单点夯,两遍夯比一遍夯提高幅度大,4000 kJ群夯物性指标与4000 kJ单点二遍夯接近。

### 2.3.3 夯后地基土的变化情况

夯后地基上形成一个5.0 m厚的硬壳层,3000 kJ影响深度为9.0 m;4000 kJ影响深度为10.0 m,湿陷性消除结果见表1。

表1 不同强夯方案消除深度与剩余湿陷量统计表

夯击方式	一遍/kJ		二遍/kJ		群夯 4000 kJ
	3000	4000	3000	4000	
湿陷消除深度/m	6	6	6	6	7.5
剩余湿陷量/mm	84	48	44	45	8.5~15

## 2.4 强夯方案及施工效果

根据试夯结果,我们制定出强夯施工方案见表2,并经设计院认可。

表2 强夯方案一览表

拟建建(构)筑物	夯击方式	夯击能级/kJ	面积/m <sup>2</sup>
精煤仓及主厂房	群夯,正方形布点,中间插点夯,第一次夯正方形各角点(15击),第二次夯中间插点(10击),第三次1000 kJ	4000	3384
浓缩车间	群夯,正方形布点,中间插点夯,第一次夯正方形各角点(15击),第二次夯中间插点(10击),第三次1000 kJ	3000	5928
中煤仓、矸石仓及栈桥	锤边相接满拍(3击)。夯点距:4000 kJ 5.5 m,3000 kJ、2000 kJ 6.0 m	2000	1200

强夯施工后,采用挖探井与标贯测试方法对夯后地基进行检测工作,结果见表3。

表3 强夯施工效果

建构建筑	影响深度/m	湿陷性		干密度		压缩模量		承载力标准值	
		消除深度/m	剩余湿陷量/mm	$\rho_d > 1.8$ g·cm <sup>-3</sup>	$\rho_d > 1.6$ g·cm <sup>-3</sup>	深度(m)/ $E_s$ (MPa)	深度(m)/ $f_k$ (kPa)		
精煤仓及主厂房	11	7.5	21	$\leq 5.0$	$\leq 7.0$	0~5/25	0~5/270		
						5~8/16.5	5~8/200		
						8~10/13.8	8~10/190		
浓缩车间	10	8.3	22	$\leq 5.3$	$\leq 7.3$	0~5/22	0~5/260		
						5~8/15.4	5~8/180		
						8~10/15.6	8~10/180		
中煤仓	9	6	53	$\leq 5.0$	$\leq 6.0$	0~5/21	0~5/250		
						5~8/12	5~8/170		
矸石仓及栈桥	7	6	63	$\leq 5.0$	$\leq 6.0$	0~5/21	0~5/250		
						5~8/12	5~8/150		

### 3 强夯法处理湿陷性黄土地基的几点认识

#### 3.1 强夯法处理黄土的适用条件

夯前必须查清场地所处的地貌单元,地下水位的埋藏条件,地基土的湿陷等级,以及地基土堆积的时代。对于新近堆积的非饱和黄土状土(粉土),强夯效果明显,此种地基土在强夯过程中,一般不会有隆起现象。而堆积较早的老黄土,强夯后则会出现虽然可以消除地基土的湿陷性,但存在承载力没有提高,甚至有降低现象,分析原因主要是因为老黄土本来强度较高,结构致密,被夯后,其结构发生破坏,导致承载力降低。

#### 3.2 强夯方案的确定原则

结合场地土的工程特性、拟建建筑物的重要性及设计参数,施工机具技术参数等在夯前就进行试夯工作,为大面积强夯选择适当的夯击方法与夯击参数。

#### 3.3 地基土含水量对施工效果的影响

根据经验,场地土进行强夯施工的最优含水量一般比地基土的塑限高出2个百分点,但经过多处强夯地基土的检验结果,地基土的含水量只要不低于最优含水量5个百分点,强夯后地基土一般均能满足设计要求。对于含水量过低则要求人为调整,使之接近最优含水量,达到夯击效果。对于含水量高于最优含水量,要采取适当措施降低含水量,避免夯击后变成橡皮土,造成强夯施工失败。对于稍湿的湿陷性黄土,因没有或有很少自由水,在强夯过程中不存在孔隙水压力消散的问题。因此无须象夯击饱和土那样采用间歇多遍的夯击方式,可以在一个夯位上连续夯到所需的击数,而后再移到下一个夯位上,依次一遍夯成。

#### 3.4 关于强夯影响深度与有效处理深度

在施工中二者概念应加以区别,影响深度是指夯击能所能达到的深度,该深度范围内地基土湿陷性减小,强度有不同程度的提高。而有效处理深度应该是消除湿陷的深度,二者应区别开。

#### 3.5 强夯地基土的承载力确定方法

对于采用强夯方法处理地基,由于其夯击能比

较大,每个夯击点间有一定的间距,强夯处理后,夯点与夯间物理力学性质指标差异比较大。对于强夯最后一道工序满夯(低能击、锤边相接),仅仅夯实强夯后表层松散土。因此应该按复合地基来确定强夯地基的承载能力,即分别测定夯点、夯间土的承载能力,最后按地基处理规范确定复合地基承载力。

对承载力的确定可采用以下方法:(1)采用原位载荷试验;(2)采用原位标贯、静探试验结合探井指标综合确定。对于采用第(2)种方法确定承载力,由于目前还没有强夯地基土的承载力标准值的有关成熟取值,因此对于强夯土,在有效处理深度范围内可按老黄土、一般粘性土来考虑,但应对所提出的承载力值进行修正。一般经验是乘以系数0.6来修正,或采用地基土的无侧限抗压强度指标来修正,具体方法是对夯后地基土在室内进行非饱和与饱和状态下无侧限抗压强度试验,采用无侧限抗压强度的降低系数来折减。在本工程中,笔者曾测定饱和状态下无侧限抗压强度为非饱和状态指标的50%~60%。

#### 3.6 隔震措施

强夯场地距离已有建筑物较近(<50 m)时,一定要挖隔震沟。但距离若为20 m以内,不但要挖隔震沟,还应对已有建筑物地基进行特别处理(如锚固、挡土墙),避免因强夯施工对已有建筑物造成损坏。

### 4 结语

对于采用强夯法进行地基处理,虽然现在已有成熟经验,但还存在着地基土承载力如何选取、土性指标如何选取及应用等问题。以上只是本人在施工中的一些经验总结,由于水平有限,错误和不足在所难免,敬请批评指正。

#### 参考文献:

- [1] GJG 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [2] GB 50025-2004,湿陷性黄土地区建筑规范[S].

## 华北油田钻获 6027 m 高产油井

国土资源网消息(2011-06-15) 近日,中国石油天然气总公司华北油田分公司在河北省雄县境内成功钻探出一口6027 m深的石油探井,钻探工作耗资1.6亿元人民币,可

实现日产原油649 t、天然气56万m<sup>3</sup>,预测该井原油产量为华北油田近20年来深层油井之最。