

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.03.041

隔震工程下支墩混凝土及预埋板施工技术分析

张东鹏¹, 吴应雄², 林顺建³, 许燕芳⁴, 王 铭⁵

(1. 福建省方鑫建设工程有限公司, 福建 福州 350015; 2. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350108;
3. 福建省建筑工程技术中心, 福建 福州 350008; 4. 福建省鑫东鹏建设发展有限公司, 福建 福州 350400;
5. 中交鹭建有限公司, 福建 福州 350001)

摘 要: 建筑隔震工程中下支墩混凝土及隔震支座下预埋板施工, 常出现混凝土密实度不足和预埋板安装、定位精度不合格, 影响结构安全和隔震结构减震性能。针对下支墩(柱)混凝土施工通常采取的 3 种浇筑方式进行分析, 提出宜采用高强灌浆料后灌浆或者细石混凝土二次浇筑的施工方法, 对下预埋钢板制作所涉及的开孔、套筒、螺栓、锚筋等数量及连接方式等进行分析, 建议不应采用较薄的定位板代替下预埋板, 提出套筒表面应当采用螺纹、锚筋与下预埋板采用螺纹连接、下预埋板应当设置销钉等的要求。

关键词: 建筑隔震工程; 下支墩; 混凝土密实度; 下预埋板

中图分类号: TU352.12; TU753

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2019)03-0225-06

Construction Technology Analysis of Lower Pier Concrete and Embedded Slab in Seismic Isolation Engineering

ZHANG Dongpeng¹, WU Yingxiong², LIN Shunjian³, XU Yanfang⁴, WANG Ming⁵

(1. Fujian Fangxin Construction Engineering Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350015, China;
2. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China;
3. The Technology Centre of Building Engineering in Fujian Province, Fuzhou, Fujian 350008, China;
4. Fujian Xindongpeng Construction Development Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350400, China;
5. China Transportation Lujian Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350001, China)

Abstract: In the construction of lower pier concrete and embedded slab under isolation bearing in building isolation engineering, the concrete compactness is often insufficient and the installation and positioning accuracy of embedded slab is not qualified, which will affect the safety of structure and the damping performance of isolation structure. In this paper, based on the analysis of three kinds of pouring methods which have been commonly adopted in the construction of lower pier (column) concrete, it is suggested that high strength grouting material should be adopted for post-grouting or secondary pouring of fine stone concrete. The number of holes, sleeves, bolts, anchor bars and connection modes involved in the manufacture of lower embedded steel plates are analyzed. It is suggested that the thinner positioning plate should not be used instead of the lower embedded plate, the surface of sleeve should be threaded, the anchor bars and the lower embedded plate should be connected by thread, and the pins should be set on the lower embedded plate.

Keywords: building isolation engineering; lower pier; concrete compactness; lower embedded plate

隔震是建筑结构减轻地震灾害的有效技术。建筑隔震工程是通过在建筑物的基础和上部结构之间设置水平方向完全断开的隔震层, 将建筑物分为上

部结构、隔震层和下部结构三部分^[1]。截至 2018 年底, 我国已建成了超过 8 000 栋的隔震建筑。这些隔震建筑主要以基础隔震形式为主, 少部分采用层

收稿日期: 2019-01-02

修稿日期: 2019-03-01

基金项目: 福建省住建厅科技项目(闽建办科[2019]6 号 2019-k-2)

作者简介: 张东鹏(1985—), 男, 福建泉州人, 工程师, 主要从事建筑工程施工技术方面的工作。E-mail: 381855376@qq.com。

通讯作者: 吴应雄(1969—), 男, 福建泉州人, 副教授, 主要从事工程结构减隔震理论与工程应用方面的工作。E-mail: wyxfz2006@163.com。

间隔震。隔震层通常由隔震橡胶支座(简称隔震支座)及其他相关构件(阻尼器和抗风支座)组成^[1-2]。上、下部结构大多是钢筋混凝土结构(少量钢结构),基础隔震的下部结构可能是地下室结构或者基础短柱;层间隔震的下部结构可能是单层或者多层结构。直接支撑隔震支座的下部竖向结构构件统称为下支墩(柱)^[1-3]。

我国《建筑隔震工程施工及验收规范》^[3](JGJ 360—2015)已实施超过三年,部分省份编写了工程建设地方标准^[4]。国内外有关学者和工程技术人员对隔震工程施工技术进行了研究^[3-15],但在实际项目实施过程中出现了一系列问题:比如下支墩混凝土浇筑不密实、锚筋与支墩或拉梁钢筋有冲突、下预埋板的安装定位精度和平整度差、隔震支座安装偏位等。特别是下支墩混凝土浇筑不密实和下预埋板的安装定位精度以及平整度差这两个问题尤为突出,这将影响结构安全和隔震结构的减震性能^[1-3]。为了研究下预埋板与板底的混凝土是否密贴,中国建筑标准设计院有限公司郁银泉和文献^[6]对几种下支墩混凝土浇筑方式进行了试验研究,结果表明:采用细石混凝土二次浇筑,密实度较两段浇筑高;高强灌浆料后灌浆密实度较细石混凝土二次浇筑高,因此推荐采用高强灌浆料后灌浆的施工方法。

由以上工程应用和施工分析及研究可得,对下支墩混凝土浇筑方式和下预埋板及其埋件的制作和施工安装,虽然有施工规范及规程的初步指导,但是实际施工过程中方法各异,施工质量普遍较差。为此,本文对下支墩(柱)混凝土通常采取的 3 种浇筑方式进行分析,并对隔震支座下预埋钢板及其埋件制作所涉及到的开孔、套筒、螺栓、锚筋等数量及连接方式等等进行探讨。分析结果为建筑隔震工程的施工提供参考。

1 建筑隔震工程和隔震支座施工工艺

1.1 建筑隔震工程和隔震支座安装示意

建筑隔震工程由上部结构、隔震层和下部结构三部分组成。建筑隔震工程各部分示意图见图 1,某实际基础隔震结构如图 2 所示。

隔震支座常用直径为 500 mm~1 200 mm,高度通常为 170 mm~450 mm,其最重要的力学性能参数是水平变形性能^[1-15]。隔震支座由支座本体和上、下连接板组成,支座现场节点大样示意图见图 3。支

座通过上、下预埋钢板及其埋件与上、下支墩连接而成为整体^[1-3],隔震支座安装示意图 4。

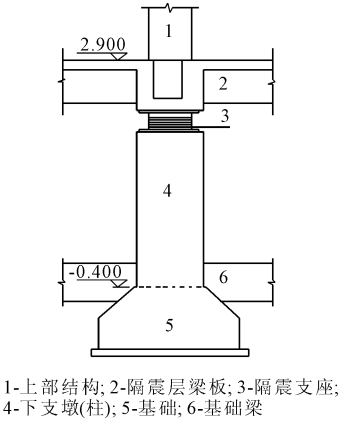


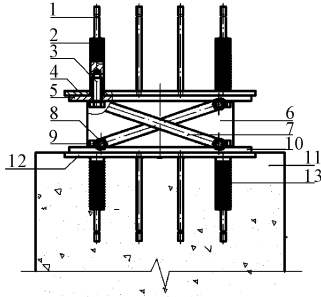
图 1 隔震工程各部分示意图



图 2 基础隔震结构



图 3 支座现场节点照片



1-锚筋; 2-上预埋螺套; 3-连接螺栓; 4-上预埋板; 5-上连接板; 6-支座本体; 7-临时支撑; 8-螺母; 9-螺栓; 10-下连接板; 11-下支墩(柱); 12-下预埋板; 13-下预埋螺套

图 4 隔震支座安装示意

1.2 隔震支座施工工艺

按照规范^[3],建筑隔震作为子分部归入主体结构分部。建筑隔震子分部及其上、下结构构件施工流程主要包括:下部结构或下支墩(柱)混凝土工程施工、隔震支座安装、隔震层梁板及上部结构混凝土工程施工。其中隔震支座施工工艺流程主要是:隔

震支座安装准备、下预埋板位置放样、下预埋板安装、下预埋板下部混凝土二次浇筑或灌浆、隔震支座安装、上预埋板安装。其中关键施工工艺是下预埋板安装、下预埋板下部混凝土二次浇筑或灌浆。

2 下支墩(柱)混凝土工程施工

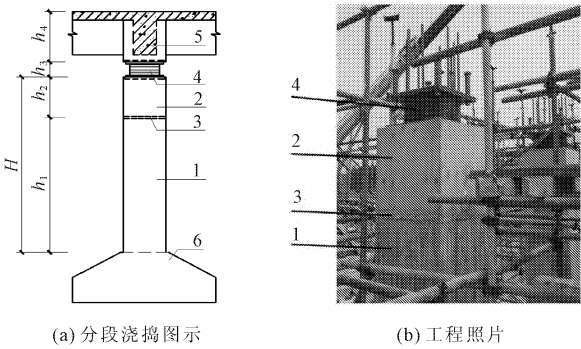
下部结构或下支墩(柱)混凝土工程施工基本同常规的钢筋混凝土工程进行施工^[7],文中不再阐述。下部结构或下支墩(柱)混凝土工程施工涉及到隔震支座下预埋钢板定位,为便于固定下预埋板,确保其安装精度,下支墩(柱)混凝土施工通常采取 3 种浇筑方式:(1) 两段浇筑^[4,7],第一段浇筑至距离下预埋板底标高 600 mm~1 000 mm,然后安装定位好下预埋板再浇筑第二段,两段浇筑示意图见图 5;(2) 下预埋板下留 60 mm~100 mm 采用细石混凝土二次浇筑,细石混凝土强度等级比原设计的普通混凝土提高一级;(3) 下预埋板下留 30 mm~40 mm 采用高强灌浆料后灌浆^[6]。已有研究表明采用细石混凝土二次浇筑,密实度较两段浇筑高;高强灌浆料后灌浆密实度较细石混凝土二次浇筑高^[5-6]。

下预埋板板底的混凝土不容易与钢板密贴,混凝土密实度不足。

(1) 如果下支墩(柱)混凝土分两段浇筑,浇筑第二段中由于泵送混凝土的坍落度较大,下支墩柱头有浮浆,应当刮除浮浆或者采用加干碎石再振捣的方法,或在混凝土初凝前进行二次振捣,同时从下支墩侧面用木槌敲击模板表面,使得混凝土更加密实,尤其是当支墩柱截面较小时,更应该重视混凝土的浇捣质量。柱头刮除浮浆及加入碎石振捣现场见图 6。

(2) 如果采用细石混凝土二次浇筑,细石混凝土的粗骨料直径为 10 mm~20 mm,因此下预埋板下预留的高度不应大于 100 mm。

(3) 如果采用高强灌浆料后灌浆,应该严格控制下预埋板下预留高度,以免灌浆料产生竖向压缩变形。



(a)分段浇筑图示 (b)工程照片
1-下支墩(柱)第一段浇筑;2-下支墩(柱)第二段浇筑;
3-水平施工缝;4-隔震支座;5-上支墩;6-基础

图 5 下支墩(柱)混凝土两段浇筑



图 6 柱头刮除浮浆、加干碎石振捣

3 支座下预埋板制作

3.1 下预埋板制作

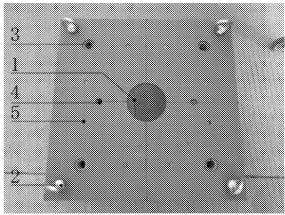
下预埋板边长配合隔震支座连接板边长尺寸,预埋板边长略大于连接板。设置下预埋板目的是为了螺栓套筒和锚筋等的定位,板厚没有具体要求,因此各个生产企业没有统一标准。预埋板厚度过薄将导致板面弯曲变形,影响隔震支座的安装精度^[5-7]。目前有多数工程采用较薄的定位板代替下预埋板,工程应用表明了,较薄的定位板虽然经济,但是存在施工定位误差太大,套筒倾斜以致螺栓无法全部旋进套筒内,焊接质量难以保证等问题。表 1 为下预埋钢板及螺栓常用尺寸和数量。

3.2 下预埋板开孔

下预埋板主要孔洞有:混凝土浇注孔、套筒孔、排气孔、锚筋穿孔和起吊孔等^[5-7]。下预埋板开孔见图 7,开孔具体说明如下。

表 1 下预埋钢板及螺栓常用尺寸和数量

隔震支座 直径/mm	预埋板 边长/mm	厚度(预埋板 /定位板)/mm	螺栓个数 × 直径/mm	螺栓长度/mm	套筒直径 φ × 长度/mm	(预埋板锚筋/ 销钉数量)/根
500	600	≥14/6	4× M24 或 M27	65	45×120	8/4
700	800	≥18/8	8× M27 或 M30	95	50×150	12/4
1000	1100	≥20/10	12× M33 或 M36	125	55 或 60×200	20/8
1200	1400	≥25/10	12× M36 或 M39	150	60 或 65×250	24/8



1-混凝土浇注孔；2-起吊孔；3-套筒孔；4-排气孔；5-锚筋穿孔

图 7 下预埋板及开孔布置

(1) 混凝土浇注孔。为了使下预埋板底面与混凝土密贴,同时方便混凝土的下料,下预埋板中部必须留有混凝土浇注孔,浇注孔的直径大小不影响下预埋板受力,直径通常大于 150 mm,常用的浇注孔直径和数量如表 2 所示。

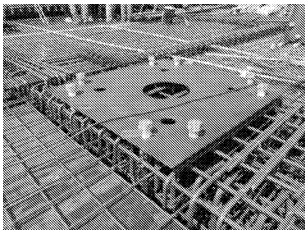
(2) 起吊孔。起吊孔结合吊具的吊环和螺栓,不锈钢吊环螺栓直径通常采用 M20 和 M24 两种。建议起吊孔数量和螺栓直径见表 2。工程应用表明,螺栓套筒与下预埋板在现场连接,利用套筒孔来作为起吊孔,这样下预埋板不必设置起吊孔。

(3) 套筒孔。螺栓插上套筒旋紧后使得隔震支座与上、下支墩连接成为整体。常用的套筒孔直径和长度见表 1。套筒孔与下预埋板应该采用螺纹连接,这样才能保证套筒的垂直度。

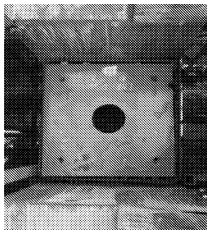
(4) 排气孔。下预埋板底面的混凝土浇筑需要排出气体,排气孔设置的数量和直径取决于预埋板边长。常用的下预埋钢板开孔及尺寸等见表 2。施工中下预埋钢板有无排气孔示意图见图 8。

表 2 下预埋钢板开孔数量及尺寸

预埋板 边长/mm	浇注孔数量× 直径/mm	起吊孔数量× 螺栓直径/mm	排气孔数量× 直径/mm
≥600	1×150	≥4×20	2×30
≥800	1×200	≥4×20	4×30
≥1100	2×200	≥4×24	4×30
≥1400	4×200	≥(4~6)×24	4×30



(a) 有排气孔



(b) 无排气孔

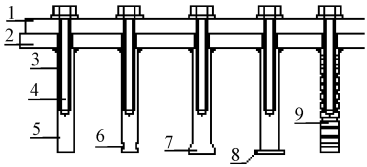
图 8 下预埋钢板有无排气孔

4 下预埋板埋件

4.1 套筒

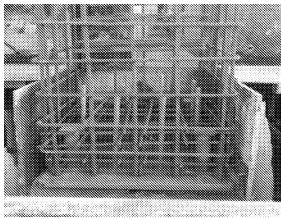
套筒通常采用 Q235B 或 45 号钢制作,其表面是

光滑的,为了使套筒与混凝土更有效的粘结,套筒表面的几种(见图 9 中由左至右)处理方式有:(1) 套筒表面光滑无处理;(2) 套筒末端内凹刻痕;(3) 套筒末端墩头;(4) 末端加端板,端板边长大于套筒直径;(5) 套筒表面刻痕处理成螺纹状。工程应用表明,套筒直径较大,本身与密集的钢筋交叉,如果末端加端板,这样钢筋安装非常不便。因此推荐套筒采用表面刻痕处理成螺纹状的方法。图 10 为套筒末端处理方式的现场实景图。

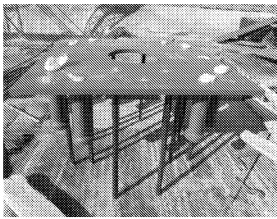


1-下连接板；2-下预埋板；3-螺栓；4-螺栓杆；5-螺栓套；6-内凹刻痕；7-墩头；8-端板；9-表面刻痕

图 9 套筒表面几种处理方式



(a) 末端端板



(b) 末端墩头

图 10 套筒末端处理方式

4.2 锚筋

下预埋板锚筋。锚筋直径和数量由设计确定,常用的参数可参考表 1。锚筋根据抗剪强度设计,直径通常 $d \geq 16 \text{ mm}$,长度 $\geq 20d$ 。锚筋与下预埋板连接方式(见图 11 中由左至右)有:

(1) 锚筋弯折并与下预埋板焊接。这样增加了下预埋板底面钢筋的用量,混凝土浇筑困难,同时下预埋板如果改为定位板,因为定位板薄,焊缝强度难以保证,因此不应采用。

(2) 锚筋与下预埋板采用周边焊接,周边焊缝的高度和强度难以保证,因此建议不应采用。

(3) 锚筋和预埋板穿孔塞焊,焊缝质量较高,但是工序复杂。

(4) 在下预埋板开螺纹孔,钢筋与其利用直螺纹连接,直螺纹长度为预埋板厚度,直螺纹连接在工厂制作方便,因此推荐使用直螺纹连接方式。图 12 为锚筋与下预埋板连接实例。

4.3 套筒接长锚筋

套筒采用与锚筋接长的连接方式^[5-7],益处有:减少下预埋钢板与下支墩连接锚筋的数量,节约钢

材;减少锚筋与上、下支墩节点区钢筋交错。套筒采用与锚筋接长的连接方式见图 13,主要有 3 种,分别是:(1)套筒表面刻痕处理成螺纹状,并焊接锚筋;(2)套筒表面刻痕处理成螺纹状,并穿孔塞焊锚筋;(3)套筒表面刻痕处理成螺纹状,并旋入锚筋。同上述分析,推荐使用套筒表面刻痕处理成螺纹状旋入锚筋的方式。

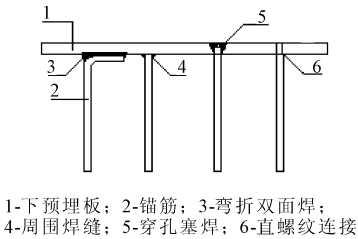
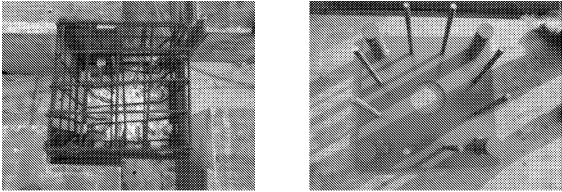
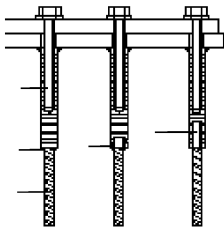


图 11 锚筋与下预埋板连接方式



(a) 锚筋弯折与下预埋板焊接 (b) 锚筋与下预埋板直螺纹连接

图 12 锚筋与下预埋板连接



1-套筒; 2-锚筋; 3-周围焊缝; 4-穿孔塞焊; 5-直螺纹连接

图 13 螺栓和锚筋及其套筒连接

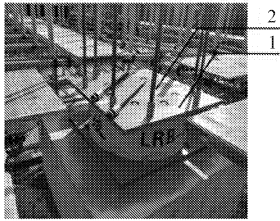
螺栓套筒锚筋接长减少了下预埋钢板与下支墩连接锚筋的数量,锚筋充分利用了套筒的长度,从图 14 可得,预埋板减少了 8 根锚筋。但是从图 14 进一步分析,目前国内工程施工中采用大直径少量锚筋,虽然抗剪承载力满足设计要求,但是锚筋与下预埋板连接数量不足,锚筋的间距不满足 16G362《钢筋混凝土结构预埋件》预埋件对于抗剪锚筋的要求,应当在锚筋间距超过要求的位置加设普通锚筋,同时应当按照规范设置栓钉,如图 14 所示。图 14 的错误做法改进后如图 15 所示。

经过大量现场调研,在工程施工中大量采用图 16 的螺栓和锚筋及其套筒连接方式。经过分析认为存在两个主要问题:

(1) 套筒采用非标产品。套筒没有采用标准产

品,套筒长度应当为开孔孔深加底座高度组成,目前套筒底座高度被省略了。套筒采用 45 号钢或 Q235B 钢材,而螺杆是 M8.8 级高强度钢,两者存在强度的不匹配,这个问题值得关注。

(2) 套筒长度不足。根据《钢筋机械连接技术规程》^[16] (JGJ 107—2016),锚筋螺纹长度不少于 $2d$, 又根据《钢结构高强螺栓连接技术规程》^[17] (JGJ 82—2011) 高强螺杆长度不少于 $2.5d$ 。图 16 的套筒长度不足,套筒长度计算值应为 135 mm,实际 110 mm。不满足以上相关规范要求。



1-外围缺少普通锚筋; 2-内部缺少栓钉

图 14 锚筋穿孔和螺栓套筒锚筋接长

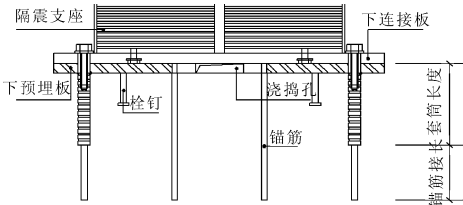
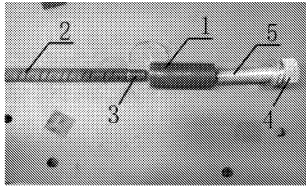


图 15 螺栓套筒锚筋接长、套筒表面刻痕



1-套筒; 2-锚筋; 3-直螺纹; 4-高强螺栓; 5-螺杆

图 16 螺栓和锚筋及其套筒连接

5 结 语

本文对下支墩(柱)混凝土施工通常采取的 3 种浇筑方式,以及对隔震支座下预埋钢板及埋件的制作所涉及的开孔、套筒、螺栓、锚筋等数量及连接方式进行详细的分析,结论如下:

(1) 下支墩顶面与下预埋板应保证密贴。建议优先采用高强灌浆料后灌浆或者细石混凝土二次浇筑的施工方法。

(2) 下预埋板不应采用较薄的定位板代替。以免钢板翘曲变形,影响埋件及隔震支座安装质量。

(3) 套筒长度是螺栓和锚筋连接质量的重要参

数。应预留足够的套筒长度,套筒表面宜设置螺纹。建议预埋螺栓套筒来接长锚筋,减少下预埋钢板连接锚筋的数量。

(4) 锚筋与下预埋板的连接是保证节点抗剪强度的重要因素。建议采用螺纹连接,同时下预埋板设置销钉。

(5) 下预埋钢板的开孔需要改进。建议加大浇注孔直径和数量以及增设排气孔。

说明:本项目的研究合作单位尚有,福建泉大建设有限公司、厦门市同安区第一建筑工程公司。

参考文献:

[1] 建筑抗震设计规范:GB 50011—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.

[2] 潘 毅,时胜杰,常志旺,等.近断层脉冲地震动对基础隔震结构放大效应的量化分析[J].土木工程学报,2018,51(11):8-16.

[3] 建筑隔震工程施工及验收规范:JGJ 360—2015[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.

[4] 福建省工程建设地方标准.福建省建筑工程隔震橡胶支座和装置施工及验收规程:DBJ/T 13—252—2016[S].福建:福建省住房和城乡建设厅,2016.

[5] 日本免震构造协会编.JSSI 隔震施工规范 2009[S].陈禧耘,汪向荣译.台湾:科技图书出版社,2011.

[6] 宋俊杰,李志民,邓 烜,等.隔震支座下支墩及其埋件

施工方法研究[J].建筑施工,2017(5):598-600.

[7] 吴应雄,张东鹏,苏文庭,等.建筑隔震工程隔震橡胶支座安装施工工艺分析[J].施工技术,2018,47(16):143-146.

[8] 许 勇,张季超,陈 原.广东科学中心巨型钢结构基础隔震施工技术[J].施工技术,2009(8):100-102.

[9] 杜永锋,赵丽洁,张 韬,等.超长复杂隔震结构施工力学及全过程检测研究[J].工程力学,2015,32(7):1-10.

[10] 袁秦标,袁美翠,张 雷,等.高烈度区域新型限位隔震支座安装工艺研究[J].施工技术,2017,46(9):67-70.

[11] 李海兵,刘汉朝,张显达,等.北京新机场航站楼减隔震系统施工技术[J].建筑技术,2018,49(9):956-958.

[12] 唐际宇,吴代奖.昆明新机场航站楼大直径橡胶隔震支座施工技术[J].施工技术,2009,38(11):3-5.

[13] 潘 毅,季晨龙,韩徐扬,等.隔震支座主要参数对基础隔震结构双向地震响应的影响[J].土木建筑与环境工程,2014,36(4):28-35.

[14] 吴应雄.某工程底层柱顶隔震结构抗震性能评价[J].水利与建筑工程学报,2015,13(5):41-46.

[15] 吴应雄,黄 净,祁 皓,等.建筑隔震构造设计与应用现状[J].土木工程学报,2018,51(2):62-73.

[16] 钢筋机械连接技术规程:JGJ 107—2016[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.

[17] 钢结构高强螺栓连接技术规程:JGJ 82—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.



(上接第 211 页)

[9] 关永平.隧道开挖对周边建筑物变形的影响分析[J].水利与建筑工程学报,2017,15(6):227-232.

[10] 夏永发.输水管道顶管施工在不同因素下的地表沉降分析[J].水利技术监督,2017,25(4):108-112.

[11] 何 桥,叶明亮,田 凯,等.浅埋暗挖隧道施工过程数值模拟分析[J].水利与建筑工程学报,2015,13(6):36-41.

[12] 任 毅.顶管施工穿越城市道路实测变形分析[C]//中国城市科学研究会数字城市专业委员会智慧结构学组、中城科数智慧城市规划设计研究中心.第二届

全国智慧结构学术会议论文集.北京:北京国建信文化发展中心,2016:4.

[13] 刘航军,曹振生,刘宗志,等.顶管施工土体扰动的实测分析研究[J].混凝土与水泥制品,2016(6):78-81.

[14] 董晓娟,林 峰.顶管施工对市政道路工程的影响分析[J].市政技术,2018,36(4):179-182.

[15] 韩国良.顶管施工引起的地面变形问题研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.

[16] 潘建立.顶管施工引起土体变形的计算方法及应用[J].吉林大学学报(地球科学版),2016,46(5):1458-1465.