

# 旋挖挤扩灌注桩设计方法探讨

陈 飞<sup>1,2</sup>, 陈立宏<sup>2</sup>

(1. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 武汉 430010; 2. 北京交通大学土木建筑工程学院, 北京 100044)

**[摘要]** 桥梁和房屋建筑受力特点不同,因此铁路、公路以及工民建行业在桩基承载力计算上有着不同的认识和理解,特别是在桩端阻力的处理上很不一样。三岔双向挤扩灌注桩是近年来兴起的一种多点支承的新型变截面桩,其盘阻力占到了总承载力较大的比例,往往超过 30%。在设计该桩型时,采用不同行业规范将出现较大的差异。通过研究不同规范中的计算方法,并依据已有详细准确资料的 18 个工程,对 DX 桩在铁路工程中的设计方法进行了研究。

**[关键词]** DX 桩;承载力;规范;设计方法

**[中图分类号]** TU473 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)01-0060-05

## 1 前言

DX 桩由主桩和多个承力盘组成。承力盘是通过专用的 DX 旋挖挤扩设备旋转切削或者旋转碾压形成的上下对称的腔体,在浇筑混凝土后与桩身形成整体,共同受力。在旋挖挤扩过程中,三岔的旋挖挤扩臂随设备转动缓慢张开,运动轨迹成螺旋线型。整个运动过程中,3 个挤扩臂能始终托住盘腔土体,保证盘腔的完整性<sup>[1,2]</sup>。对于 DX 桩的承载机理已经有不少学者进行了研究。魏章和、周青春等通过现场静载试验对 DX 桩的承载力以及荷载传递特点进行了研究<sup>[3,4]</sup>;陈轮等通过大比例尺的现场模型 DX 桩静荷载试验对 DX 桩的承载力机理和荷载传递规律进行了详细的研究<sup>[5,6]</sup>,同时还对 DX 桩的抗拔承载力机理进行了研究<sup>[7]</sup>;沈保汉对 DX 桩的承载机制和影响承载力的各个因素进行了广泛的研究<sup>[8-11]</sup>。这些研究表明,DX 桩承力盘增大了桩身的有效承载面积,同时挤扩时对周围土体有挤密作用。与普通直孔等截面灌注桩相比,DX 桩因桩身多个承力盘而使有效承载面积大幅度增大,充分利用了良好土层的地基承载力,单桩承载力比普通直孔灌注桩一般可提高 1 倍以上,并具备良好的抗压

和抗拔能力。近年来 DX 桩已经应用于房屋建筑、高速公路大桥、发电厂、LNG(液化天然气)等多个领域,工程效益和经济效益良好。2009 年建设部发布了《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171-2009<sup>[12]</sup>,提出了 DX 桩的设计计算方法,但在铁路桥梁和公路桥梁设计规范中对于桩端承载力的计算有很大的不同。由于 DX 桩承力盘承担较大的荷载,因此不同的方法得到的结果有很大差异。铁路工程建设中少见使用 DX 桩的实例。文章主要研究 JGJ 171-2009 和 TB 10002.5-2005《铁路桥涵地基和基础设计规范》<sup>[13]</sup>这两个规范中单桩竖向抗压承载力的计算方法,并依据已有详细资料的 18 个工程实例,对 DX 桩在铁路工程中的设计方法进行研究。

## 2 两种规范中的设计方法比较

在《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171-2009 中规定单桩竖向抗压承载力特征值  $R_a$  的计算方法如下:

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad (1)$$

当进行初步设计时,应根据土的物理指标与承

**[收稿日期]** 2011-10-15

**[基金项目]** 铁道部重点科技项目(2009J010-F)

**[作者简介]** 陈 飞(1988—),男,湖南郴州市人,助理工程师,主要从事岩土与隧道工程设计研究工作;E-mail:magic\_fei@yahoo.cn

承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向抗压极限承载力标准值  $Q_{uk}$ , 可按下式估算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{Bk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + \eta \sum q_{Bik} A_{pD} + q_{pk} A_p \quad (2)$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (3)$$

$$A_{pD} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (4)$$

式(1)~式(4)中各参数所代表的物理意义参见规范说明<sup>[12]</sup>。在该规范中,认为DX桩的承载力由三部分构成,即侧摩阻力、盘端阻力、桩端阻力。

在《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5-2005中规定的灌注桩单桩竖向抗压承载力为

$$[p] = \frac{1}{2} U \sum f_i l_i + m_0 A [\sigma] \quad (5)$$

式(5)中各参数所代表的物理意义参见规范说明<sup>[13]</sup>。从上述的计算公式来看,承载力公式中的第一项为桩身侧摩阻力,第二项为桩端地基土的允许承载力。这个公式是将荷载、承载力看成不变的定值,以单桩竖向极限承载力除以安全系数作为单桩的竖向容许承载力,安全系数就是度量桩基可靠度的指标,这种设计方法叫做“定值设计法”。因为桩基础的工作性状与地基土的性质有关,而桩基础的施工条件也使其质量变异性很大,另外铁路工程中桩基础桩长较大,桩端阻力并不能得到充分发挥,再加上铁路工程中对桩基础的沉降控制很严格,所以《铁路桥涵地基和基础设计规范》继续沿用以前的“定值设计法”,这样既能保证桩的正常使用,又能有效控制沉降。

铁路规范中没有盘端阻力的计算公式,只有端阻的计算公式,而且对于灌注桩的端阻、铁路规范与建筑规范的设计方法也不同。针对DX多节挤扩灌注桩,单桩竖向抗压承载力可按照下面3种方法进行计算:

1) 按照《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171-2009的规定进行计算,即

$$R_a = \frac{1}{2} (u \sum q_{sik} l_i + \eta \sum q_{Bik} A_{pD} + q_{pk} A_p) \quad (6)$$

2) 按照《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5-2005的规定计算桩端阻力和桩身侧摩阻力,借用该规范桩端阻力的计算方法,计算盘端阻

力,即

$$[p] = \frac{1}{2} U \sum f_i l_i + m_0 A [\sigma]_1 + m_0 A_{pD} [\sigma]_2 \quad (7)$$

3) 按照《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5-2005的规定计算桩端阻力和桩身侧摩阻力,借用《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171-2009的规定计算盘端阻力,即

$$[p] = \frac{1}{2} U \sum f_i l_i + m_0 A [\sigma] + \frac{1}{2} \eta \sum q_{Bik} A_{pD} \quad (8)$$

式(6)~式(8)中的参数均与前述公式一致。

### 3 结合工程实例进行计算方法的研究

为了对比分析各种方法,对18个有详细准确资料的工程实例采用如上所述3种方法分别进行计算,并与实测的单桩极限承载力进行对比分析,求出计算值与实测值之间的比值,以确定各种计算方法的误差。

根据DX桩现场静荷载试验结果将这些工程分为两类:一类是加载达到单桩极限承载力的情况,另一类是未达到单桩极限承载力的情况。

#### 3.1 试桩时达到极限承载力

现场静荷载试验达到单桩极限承载力的工程一共有9个,每个工程的具体试桩参数见表1,其按照3种方法计算的结果见表2。各工程计算值与实测值比值的统计结果如图1所示。

表1 试桩参数表(试桩时达到极限承载力)  
Table 1 Parameters of test piles (reached the ultimate bearing capacity)

工程名称	桩长/m	桩径/mm	盘径/mm	承力盘数/个
唐山	40	1 200	2 200	3
武汉	31	620	1 400	4
天津1	19.7	700	1 400	3
天津2	40	1 000	2 050	4
王滩	34.3	700	1 500	2
东营	26	600	1 400	5
德州	28.5	650	1 400	3
淮安	29.4	700	1 400	4
忻州	25	650	1 400	3

表 2 计算结果(试桩时达到极限承载力)

Table 2 Calculated results (reached the ultimate bearing capacity)

工程名称	极限承载力 /kN	方法 1		方法 2		方法 3	
		计算值/kN	比值/%	计算值/kN	比值/%	计算值/kN	比值/%
唐山	8 000	7 453	93.16	5 404	67.55	7 096	88.70
武汉	5 886	4 921	83.60	3 199	54.34	4 793	81.43
天津 1	3 800	3 827	100.72	2 864	75.37	3 702	97.41
天津 2	10 833	10 718	98.94	7 900	72.93	10 340	95.45
王滩	4 500	4 334	96.30	2 567	57.04	4 200	93.34
东营	4 250	3 407	80.17	2 354	55.38	3 384	79.63
德州	2 860	2 337	81.72	1 971	68.90	2 225	77.81
淮安	5 500	3 449	62.70	2 487	45.22	3 299	59.99
忻州	6 000	3 598	59.97	2 533	42.22	3 468	57.80

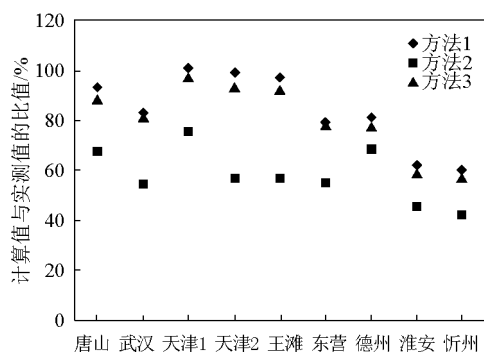


图 1 不同工程 3 种计算值与实测值的比例统计 (试桩时达到极限承载力)

Fig.1 Statistics of ratios of calculated values to measured value (reached the ultimate bearing capacity)

### 3.2 试桩时未达到极限承载力

对于那些试桩时未达到单桩极限承载力的工

程,采用逆斜率法估算其单桩极限承载力。这些试桩的参数见表 3,其计算结果见表 4。计算值与实测值比值的统计结果如图 2 所示。

表 3 试桩参数表(试桩时未达到极限承载力)

Table 3 Parameters of test piles (not reached the ultimate bearing capacity)

工程名称	桩长/m	桩径/mm	盘径/mm	承力盘数/个
大广	53	1 500	2 400	4
唐曹	50	1 500	2 500	4
沿海	19.5	1 100	2 000	2
槐荫	25.5	650	1 400	4
高唐	26.5	650	1 400	2
济南	12	700	1 500	3
聊城	12	500	1 200	2
西安	27	700	1 400	4
长山	22.7	650	1 400	2

表 4 计算结果(试桩时未达到极限承载力)

Table 4 Calculated results (not reached the ultimate bearing capacity)

工程名称	逆斜率法外推 极限承载力/kN	方法 1		方法 2		方法 3	
		计算值/kN	比值/%	计算值/kN	比值/%	计算值/kN	比值/%
大广	17 913	12 841	71.69	10 087	56.31	12 162	67.89
唐曹	10 501	10 679	101.70	10 508	100.06	10 414	99.17
沿海	5 099	3 090	60.59	2 517	49.36	2 870	56.29
槐荫	3 665	3 742	102.09	2 489	67.92	3 658	99.81
高唐	2 550	2 472	96.95	1 819	71.35	2 447	95.96
济南	3 217	2 030	63.11	1 502	46.68	1 985	61.70
聊城	1 463	1 440	98.45	845	57.73	1 356	92.69
西安	4 044	3 438	85.02	2 795	69.11	3 352	82.90
长山	2 702	2 442	90.37	1 877	69.46	2 367	87.59

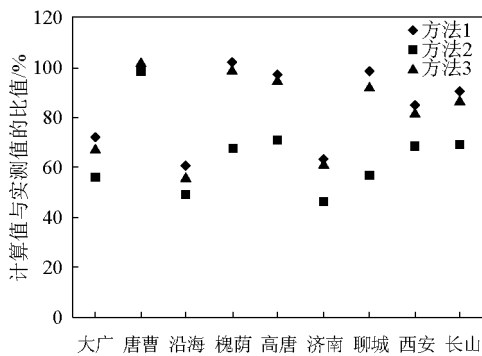


图2 不同工程3种计算值与实测值的比例统计  
(试桩时未达到极限承载力)

Fig.2 Statistics of ratios of calculated values to measured value (not reached the ultimate bearing capacity)

### 3.3 结果分析

通过上述计算可以看出,计算方法1、3的计算值与实测值比较接近,而计算方法2的计算值比实测值偏小很多。假如采用方法2进行设计会相对保守,造成工程上不必要的浪费。对于铁路工程来说,由于桩身较长,当超过其临界长度后端阻力的发挥就达不到端阻的极限承载力。另外,铁路工程中对沉降控制严格,通常是地基承载力还有潜力可挖,而地基的变形却已经达到或超过按正常使用的限值,因此在铁路工程的设计方法中,桩端阻力还是采用桩底地基土的容许承载力进行设计比较符合实际情况。

## 4 结语

上述18个工程实例的计算分析表明,在铁路工

程中进行DX桩设计时,考虑到铁路工程中对桩身长、桩基础沉降量有严格控制,在计算桩端阻力时采用现行的铁路规范中的计算公式更为合理,因此DX多节挤扩灌注桩在铁路工程中按照方法3来进行设计更为符合实际情况。

### 参考文献

- [1] 张德华,王梦恕. DX挤扩灌注桩技术在铁路桥梁工程中的应用[J]. 中国工程科学, 2009, 11(7): 92-96.
- [2] 贺德新,沈保汉. DX挤扩装置及DX多节挤扩桩的应用[J]. 工业建筑, 2001, 31(1): 27-31.
- [3] 魏章和,李光茂,贺德新. DX桩的试验与研究[J]. 岩土工程界, 2000, 3(5): 12-17.
- [4] 周青春,于南燕. DX桩的试验研究[J]. 岩土力学, 2001, 22(3): 298-302.
- [5] 陈 轮,王海燕,沈保汉,等. DX桩承载力及荷载传递特点的现场试验研究[J]. 工业建筑, 2004, 34(3): 5-8.
- [6] 陈 轮,王海燕,沈保汉,等. DX桩单位侧阻力和单位端阻力的现场试验研究[J]. 工业建筑, 2004, 34(3): 15-18.
- [7] 陈 轮,蒋 力,王海燕,等. DX桩抗拔承载力机理的现场试验研究[J]. 工业建筑, 2004, 34(3): 33-35.
- [8] 沈保汉,陈 轮,王海燕,等. DX桩侧阻力和端阻力的现场试验研究[J]. 工业建筑, 2004, 34(3): 9-14.
- [9] 沈保汉,贺德新,孙君平,等. 影响DX挤扩灌注桩竖向抗压承载力的因素[J]. 工业建筑, 2008, 38(5): 32-38.
- [10] 沈保汉,钱力航,孙君平. DX挤扩灌注桩的桩身承载力研究[J]. 工业建筑, 2008, 38(5): 23-27.
- [11] 沈保汉. DX挤扩灌注桩的荷载传递特点[J]. 工业建筑, 2008, 38(5): 5-12.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 171-2009 三岔双向挤扩灌注桩设计规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009.
- [13] 中华人民共和国铁道部. TB 10002.5-2005 铁路桥涵地基和基础设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社, 2005.

# Discussion on design method of DX pile

Chen Fei<sup>1, 2</sup>, Chen Lihong<sup>1</sup>

- (1. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China;  
2. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

[ **Abstract** ] Different industry has different calculation method for bearing capacity of pile. Industry of railway, high way and building treat the tip bearing capacity of pile in different ways. DX pile is a new kind of varied cross-section pile. Applying calculation methods in the specification of these three industries on DX pile will induce significant different results. Based on 18 case of DX pile, the difference of calculation methods were discussed and a new design method for DX pile of bridge was proposed.

[ **Key words** ] DX pile; bearing capacity; specification; design methods