

# 预应力后张法施工中塑料波纹管的试验研究

王卫锋

(华南理工大学交通学院 广州市 510641)

**摘 要:** 塑料波纹管配合真空灌浆技术是提高后张预应力混凝土结构安全度和耐久性的有效措施。就塑料波纹管在后张法预应力灌浆中的应用进行了相关的试验研究,对塑料波纹管以后的应用和相关参数的取值具有一定的借鉴。

**关键词:** 后张法; 塑料波纹管; 真空灌浆

## 1 塑料波纹管的应用

随着建材业的不断发展和建筑技术的进步,一种取代金属螺旋管的塑料波纹管正在进入预应力工程领域。塑料波纹管是指以PVC、PVC-U HDPE等热塑性材料制造的管材。自从1960年世界上第一条单壁波纹管由德国赫格勒公司发明以来,塑料波纹管以它独特的轻便、省料,优质、防腐,不结垢、摩擦阻力小、使用寿命长、防地震等其他材料不可比拟的特点,在市政工程给排水、农业灌溉、电信管道铺设等多种领域已得到广泛的应用。但将其应用于预应力工程中只是近几年的事。

塑料波纹管结合真空灌浆技术,为预应力工程提供了一种全新的技术和工艺。与传统的金属波纹管相比,塑料波纹管有以下特点<sup>[1]</sup>。

(1)具有良好的耐腐蚀性。

采用的热塑性材料化学成分稳定,与水、硅酸盐水泥互相惰性,互不反应。同时也有利于预应力筋的防腐保护,可防止氯离子入侵而产生的电化学腐蚀及氧化腐蚀。

(2)具有良好的物理性能。

优良的密封性,使荷载作用后不渗透,无弯曲渗透之忧;还有良好的抗冲击性和耐温阻燃性。

(3)可提高预应力筋的耐疲劳能力,并可减少张拉过程中预应力的摩擦损失。

(4)特殊的接头密封连接设计不仅使真空灌浆技术得以有效使用,也减少了漏浆的可能。

## 2 关于塑料波纹管的试验研究

由于塑料波纹管只是近年来才用于预应力工程中,目前还没有相应的设计和施工规范,其产品性能

收稿日期:2006-01-02

## 4 终孔判断

溶洞地区的桩基础一般都采用嵌岩桩,终孔时一般要求满足2个条件:(1)桩端嵌入完整岩层一定深度(如1 m或1倍桩径等);(2)桩端以下的基岩在一定深度范围内(如3~4.5 m)无溶洞。

因溶岩发育的无规律性,给嵌岩桩嵌岩情况的判断带来很大的难度。因此,岩溶地区入岩及终孔的判断,一定要根据地质钻探资料、成孔过程中的实际地质资料、钻进过程中的进尺、所捞的岩石等做出综合判断,必要时可补加地质钻探。如具备一桩一孔的管波探测资料,对岩溶地区桩基成孔的入岩及终孔

判断会有很大的帮助。

## 5 结语

(1)探明地质情况是岩溶地区桩基础施工的前提。

(2)岩溶地区的桩基础施工技术主要是以防为主,开孔前,根据地质情况拟定具体处理措施、做好思想及物质上的准备很关键。

(3)覆盖层较深的岩溶地区,放弃嵌岩桩,采用其他基础形式,可能会对施工安全、节省成本等更有利。



参数、设计施工参数尚未确定,缺少质量检验及验收标准,只能参考金属波纹管的行业标准 JG/T3013—94《预应力混凝土用金属螺旋管》,因而限制了它的大面积推广应用。

目前,我国对应用于预应力工程中的塑料波纹管的研究不多,本文通过试验对不同曲率塑料波纹管孔道的摩擦阻力,塑料波纹管与混凝土粘结性能等进行了研究<sup>[2]</sup>。

(1)同曲率塑料波纹管孔道的摩阻力研究。

分别采用塑料波纹管和金属波纹管制作后张有粘结预应力混凝土板梁试件,进行对比试验。

梁试件主要测试小曲率塑料波纹管孔道的摩阻力。

板试件主要测试大曲率塑料波纹管孔道的摩阻力。

试件为2根梁和2块板。梁具体配筋情况见表1,板中大曲率预应力筋孔道的相关数据见表2。

表1 后张有粘结预应力梁试件配筋情况

梁编号	试件编号	截面配筋			箍 筋	备 注
		预应力筋	非预应力筋			
			受拉区	受压区		
梁 1	LS1	9 $\phi$ 15.24	5 $\phi$ 20	5 $\phi$ 12	$\phi$ 10@100	曲线预应力筋,塑料波纹管
	LJ1	9 $\phi$ 15.24	5 $\phi$ 20	5 $\phi$ 12	$\phi$ 10@100	曲线预应力筋,金属波纹管
梁 2	LS2	9 $\phi$ 15.24	5 $\phi$ 20	5 $\phi$ 12	$\phi$ 10@100	曲线预应力筋,塑料波纹管
	LJ2	9 $\phi$ 15.24	5 $\phi$ 20	5 $\phi$ 12	$\phi$ 10@100	曲线预应力筋,金属波纹管

注:(1)梁1与梁2预应力筋布置图如图1所示。

(2)试件编号S表示塑料波纹管,J表示金属波纹管。L表示梁试件。

(3)采用一端张拉,张拉控制应力 $\sigma_{con}=0.7 f_{pk}$ ,即1302 MPa。

(4)波纹管采用柳州海威姆公司生产的SBG $\phi$ 85塑料波纹管和 $\phi$ 85金属波纹管。

表2 大曲率预应力筋孔道相关数据

板编号	孔道编号	半径/m	长度/m	弧度	成孔材料	预应力筋
板1	BS1	1.55	2.434 7	1.570 8	塑料波纹管	9 $\phi$ 15.24
	BJ1	2.5	2.127 8	0.851 1	金属波纹管	9 $\phi$ 15.24
	BS2	1.55	2.434 7	1.570 8	塑料波纹管	9 $\phi$ 15.24
	BJ2	2.5	2.127 8	0.851 1	金属波纹管	9 $\phi$ 15.24
板2	BS3	1.55	2.434 7	1.570 8	塑料波纹管	9 $\phi$ 15.24
	BJ3	2.5	2.127 8	0.851 1	金属波纹管	9 $\phi$ 15.24
	BS4	1.55	2.434 7	1.570 8	塑料波纹管	9 $\phi$ 15.24
	BJ4	2.5	2.127 8	0.851 1	金属波纹管	9 $\phi$ 15.24

注:(1)板1与板2预应力布筋图如图2所示。

(2)试件编号S表示塑料波纹管,J表示金属波纹管。B表示梁试件。

(3)采用一端张拉,张拉控制应力 $\sigma_{con}=0.7 f_{pk}$ ,即1302 MPa。

(4)波纹管采用柳州海威姆公司生产的SBG $\phi$ 85塑料波纹管和 $\phi$ 85金属波纹管。

在后张有粘结预应力筋孔道两端分别架设千斤顶和振弦式压力传感器,被动端千斤顶先张拉10%,然后主动端(张拉端)张拉 $10\% \sigma_{con} \rightarrow 40\% \sigma_{con} \rightarrow 70\% \sigma_{con} \rightarrow 100\% \sigma_{con}$ 。

经回归分析可知<sup>[4]</sup>,孔道摩阻如表3所示。

从表3可以看出,采用塑料波纹管可以大大降低预应力张拉的摩阻损失,实验测试值在0.099~

表3  $\mu$ 测试值

孔道编号	LS1	LJ1	LS2	LJ2
$\mu$ 测试值	0.101	0.296	0.099	0.292
孔道编号	BS1	BJ1	BS2	BJ2
$\mu$ 测试值	0.121	0.33	0.134	0.326
孔道编号	BS3	BJ3	BS4	BJ4
$\mu$ 测试值	0.122	0.304	0.138	0.295

0.138之间。《公路桥涵施工技术规范》建议 $\mu$ 取0.14是比较合理的。同时可以看到金属波纹管 $\mu$ 的实验测试值在0.292~0.33之间,也是比较合理的。

(2)塑料波纹管与混凝土粘结性能研究。

塑料波纹管与混凝土良好的粘结性能是确保塑料波纹管和混凝土共同工作的前提,是保障结构安全的一项基本要求。

粘结力试验的试件及装置如图3所示,将试件固定在已校准的试验机上,对塑料波纹管和金属波纹管内的混凝土进行加载,加载速率按0.03 MPa/s,同时用千分表测试波纹管内混凝土与波纹管的相对位移,测试出波纹管内混凝土与波纹管的相对位移为0.8 mm时的压力作为评价塑料波纹管和混凝土粘结性能的指标<sup>[5]</sup>。试验结果如表4所示。



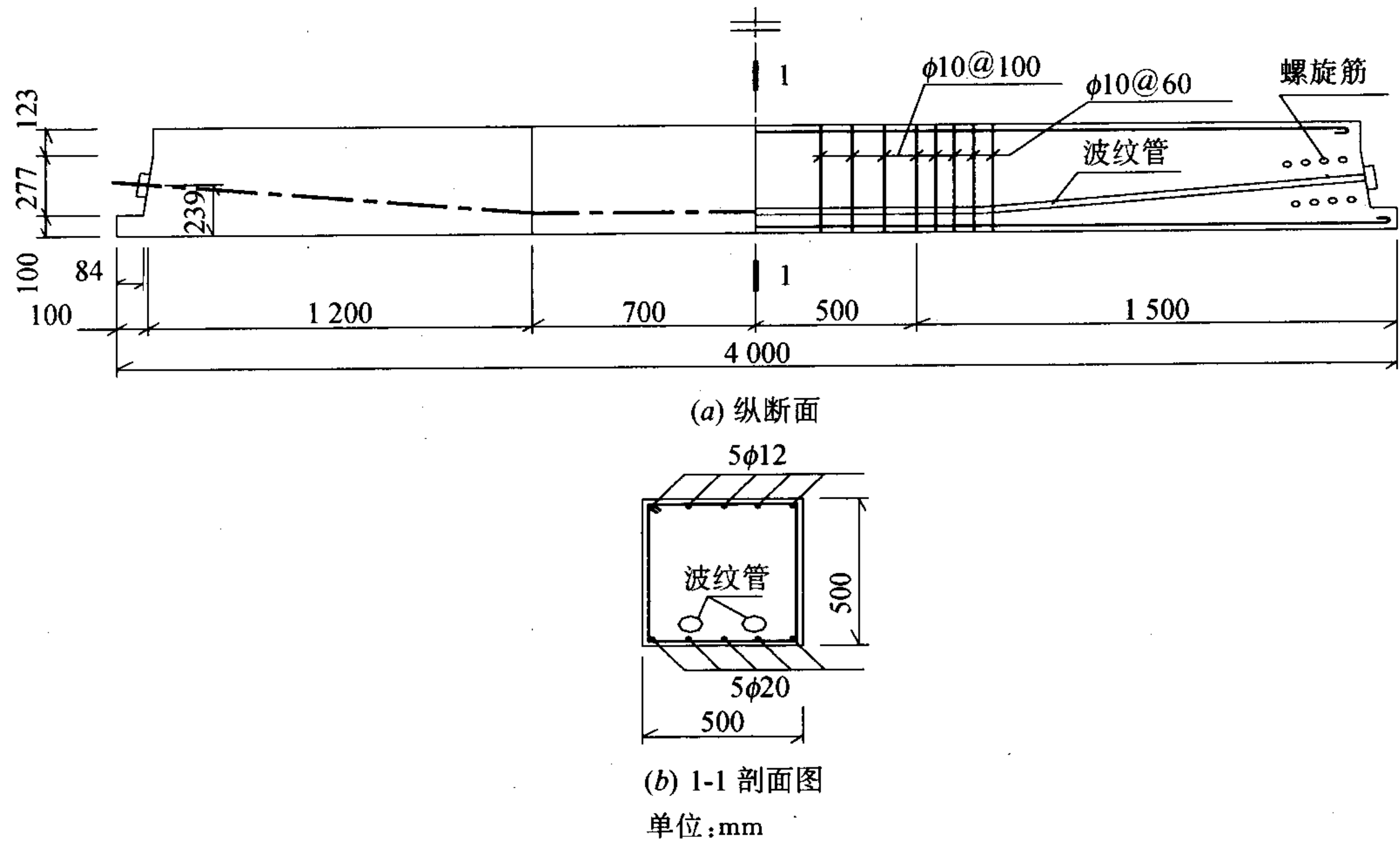


图 1 梁预应力筋布置示意

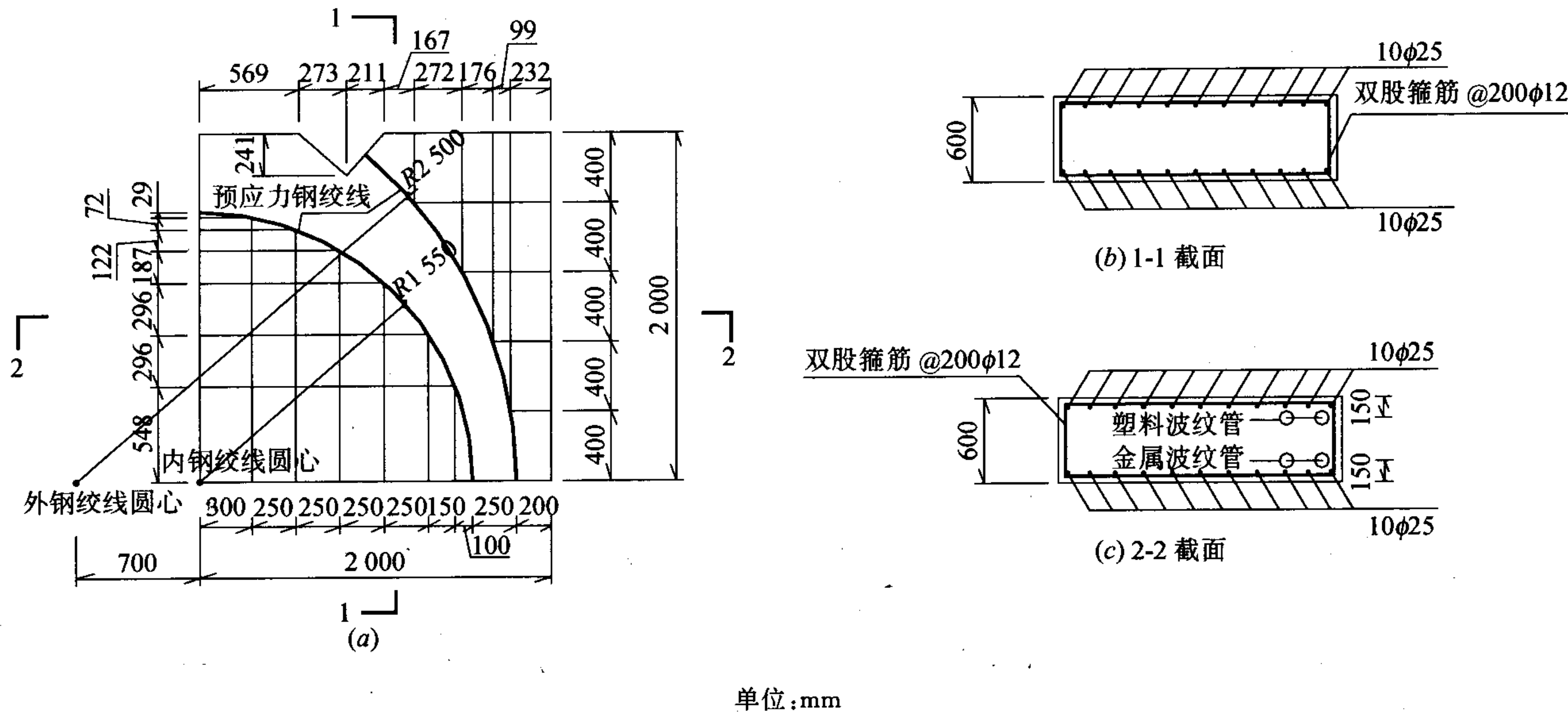


图 2 板预应力筋布置示意

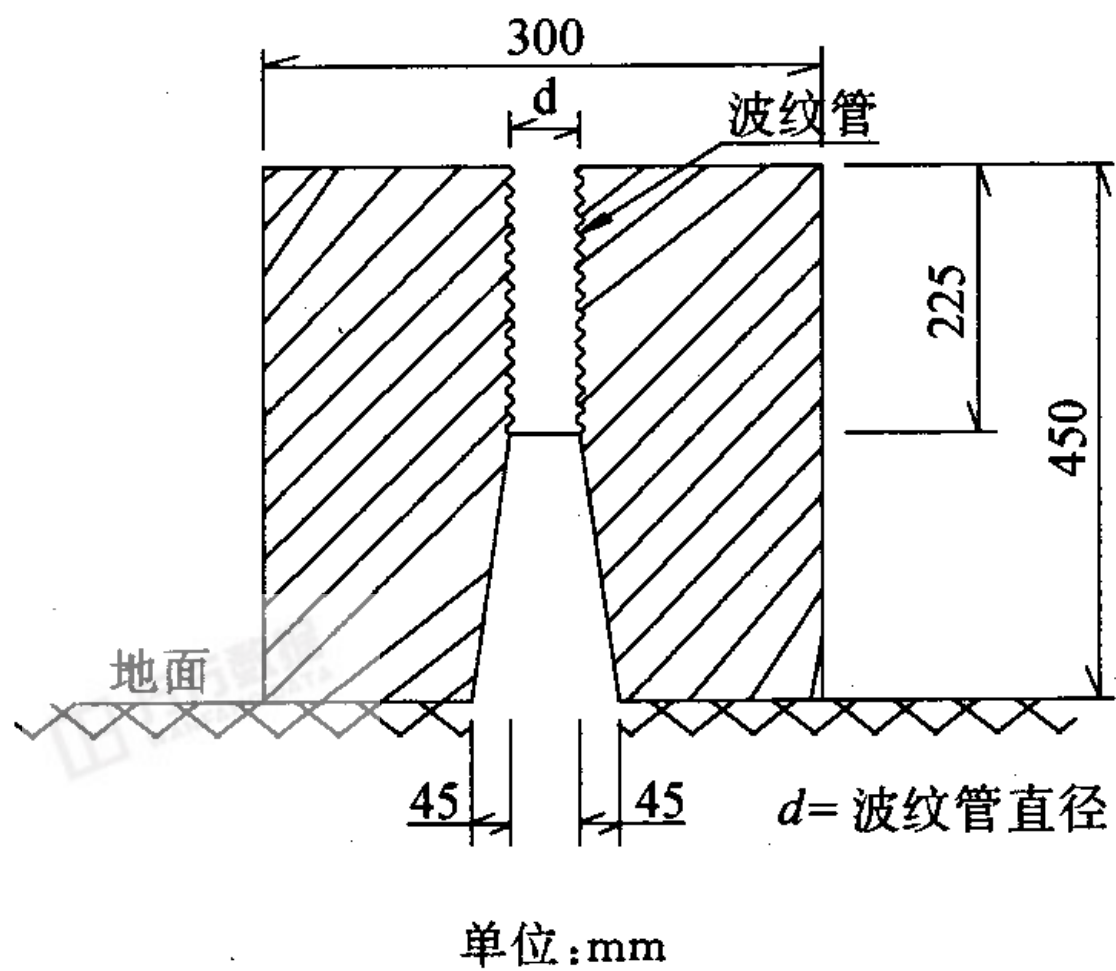


图 3 试验加载测试示意

表 4 波纹管与混凝土的粘结性能

编号	试件 1	试件 2	试件 3	试件 4
压力/MPa	50.22	59.74	51.08	44.94

注: (1) 试件 1 和试件 2 为塑料波纹管, 试件 3 和试件 4 为金属波纹管。  
(2) 压力值为测试压力除以波纹管内混凝土的面积之比值。  
(3) 真空灌浆与普通灌浆对比试验<sup>[3]</sup>。

经过试验验证, 塑料波纹管与混凝土的粘结性能和金属波纹管与混凝土的粘结性能基本等同, 完全可以应用于工程实践中。

真空灌浆是后张预应力混凝土结构施工中的一项新技术, 其基本原理是: 在孔道的一端采用真空泵



对孔道进行抽真空,使之产生 $-0.1\text{ MPa}$ 左右的真空度,然后用灌浆泵将优化后的特种水泥浆从孔道的另一端灌入,直至充满整条孔道,并加以 $\leq 0.7\text{ MPa}$ 的正压力,以提高预应力孔道灌浆的饱满度和密实度。采用真空灌浆工艺是提高后张预应力混凝土结构安全度和耐久性的有效措施。

在未使用塑料波纹管之前,由于金属波纹管的密封性较差,真空灌浆技术的效果受到影响。如今这一问题已得到有效解决。有关试验表明结合塑料波纹管的使用,真空灌浆与压力灌浆相比较具有以下技术优点<sup>[6]</sup>:

(1)在真空状态下,孔道内的空气、水分以及混在水泥浆中的气泡被消除,减少了孔隙、泌水现象;

(2)灌浆过程中孔道具有良好的密封性,使浆体保压及充满整个孔道得到保证;

(3)工艺及浆体的优化,消除了裂缝的产生,使灌浆的饱满性及强度得到保证;

(4)真空灌浆过程是一个连续且迅速的过程,缩短了灌浆时间。

为了比较真空灌浆与普通灌浆的效果,选用 $\phi 85$ 的塑料波纹管和 $\phi 85$ 的金属波纹管进行灌浆试验。灌浆完成后养护 $7\text{ d}$ ,剥开波纹管,切割成 $\phi 85 \times 255\text{ mm}$ 的试件,分成两组:一组为塑料波纹管,采用真空灌浆;另一组为金属波纹管,采用普通灌浆,每组3个试块。试验内容为试块的密度试验和试块的强度试验,试验结果如表5所示。

表5 真空灌浆与普通灌浆对比试验

试块编号	1	2	3	平均值	备 注
密度	22.9	23.4	22.8	23.03	塑料波纹管, 采用真空灌浆
抗压强度	46.5	47.4	45.3	46.40	
试块编号	4	5	6	平均值	备 注
密度	15.1	17.5	16.6	16.4	金属波纹管, 采用普通灌浆
抗压强度	35.7	38.4	31.9	35.36	

注:(1)密度的单位为 $\text{kN/m}^3$ ,抗压强度的单位为 $\text{MPa}$ 。

(2)试验在灌浆完毕水中养护 $28\text{ d}$ 后进行。

从表5可以看出,采用塑料波纹管和真空灌浆技术制作的试块密度和抗压强度明显比采用普通灌

浆和金属波纹管制作的试块要高,说明真空灌浆有效地提高了预应力孔道灌浆的饱满度和密实度,提高了后张拉预应力混凝土结构安全度和耐久性,特别是预应力筋布设较多的梁体采用塑料波纹管和真空灌浆技术具有明显的优越性。

### 3 结语

(1)由于预应力混凝土结构在实际工程中得到广泛应用,而在预应力结构设计、施工中普遍出现的一些问题也越来越引起研究者的注意。目前普遍采用的后张有粘结预应力成孔材料——金属波纹管存在容易堵浆、摩阻力过大等问题,影响施工质量。有必要研究新型塑料波纹管的性能,在此基础上提出设计建议,是提高后张预应力混凝土结构安全度和耐久性的有效措施。

(2)从试验结果来看,在预应力工程中采用塑料波纹管的摩阻力明显比金属波纹管小,采用塑料波纹管配合真空灌浆技术后,预应力孔道灌浆的饱满度和密实度也明显提高了,而塑料波纹管与混凝土粘结性能和金属波纹管相比,基本一致。因此塑料波纹管配合真空灌浆技术可以提高预应力孔道灌浆的饱满度和密实度,减少了孔隙、泌水现象;而且真空灌浆过程是一个连续且迅速的过程,缩短了灌浆时间。因此采用真空灌浆工艺是提高后张预应力混凝土结构安全度和耐久性的有效措施。

### 参考文献:

- [1] 周江平,王卫锋,朱志刚.后张法施工预应力筋的防腐技术与探讨[J].广州建筑,2004,(4).
- [2] 刘纯平,威胜利.塑料波纹管的应用与其摩阻系数的测定[J].城市道桥与防洪,2004,(3).
- [3] 刘家彬,金华.塑料波纹管留孔真空辅助压浆新技术的应用[J].施工技术,2000,(12).
- [4] 张秋陵,肖光宏.塑料波纹管曲线预应力束摩阻损失系数的试验研究[J].重庆交通学院学报,2004,(1).
- [5] 孙荣,陈忠汉.预应力混凝土用PVC塑料波纹管试验研究[J].福建建筑,2001,(1).
- [6] 徐明兴.真空辅助压浆在预应力工程中的应用[J].公路与汽运,2005,(3).