

# 圆塔形锚垫板二级台阶对其承载力影响的试验研究

陈钰焯 蒋业东 付委 温朝臣 朱万旭

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

**摘要:**圆塔形锚垫板采用多级台阶的结构形式进行分散传递锚固力,进而提高锚垫板的承载能力。该文以OVM.M15-9D、OVM.M15-12D锚垫板为例,通过改变其结构形式,即去除末端二级台阶,采用ANSYS有限元分析和荷载传递试验的方法,对比研究了其对锚垫板承载能力的影响,并分析了多级台阶在锚下混凝土中的传力形式。

**关键词:**锚垫板 荷载传递 承载能力 多级传力

## 1 前言

圆塔形锚垫板作为柳州欧维姆机械股份有限公司成熟的专利产品,其特点是多级承载的圆塔形结构,在31孔以下的小孔位中主要采用第一级台阶和最后一级台阶为主承压体进行分散传递锚固力。

而依照GB 50010-2010《混凝土结构设计规范》和JTG D62-2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》对其进行理论计算校核时发现,规范在“局部受压承载力计算”中,仅考虑一级承压台阶面积,并未考虑其余承压台阶面积,那这样的计算方式是否全面呢?

本文以OVM.M15-9D、OVM.M15-12D锚垫板为例,通过改变其结构形式,即去除末端二级台阶,采用ANSYS有限元分析和荷载传递试验的方法,对比研究其对锚垫板承载能力的影响。

## 2 ANSYS有限元分析

### 2.1 分析对象

我们选取常用的OVM.M15-9D和OVM.M15-12D两种锚垫板,利用Ansys有限元分析软件分别对其常规结构和去除末端台阶结构进行计算,对比分析其

计算结果,推断出末端台阶对结构受力的影响。

### 2.2 计算模型及计算结果如下:

#### 2.2.1 OVM.M15-9D锚垫板计算

由图1~图4可以看出,在计算条件完全一致的情况下,有末端台阶的锚垫板最大拉应力为75.901MPa,而没有末端台阶的锚垫板最大拉应力为99.005MPa,说明末端台阶分担了一部分应力,使锚垫板第一个台阶的应力减小,结构更加安全可靠。而从混凝土的应力云图也可以看出,没有末端台阶的混凝土侧表面拉应力明显比有末端台阶的混凝土侧表面拉应力更大更集中,说明没有末端台阶的混凝土更容易因为侧表面拉应力过大而开裂产生破坏。

#### 2.2.2 OVM.M15-12D锚垫板计算

从图5~图8可以看出,在有末端台阶的工况下,锚垫板最大拉应力才75.276MPa,而去除末端台阶的锚垫板应力达到了156.61MPa,混凝土侧表面拉应力相差不多。因此,由以上结论可以得出OVM.M15-9D型锚垫板和OVM.M15-12D型锚垫板在去除末端台阶后,其锚垫板本身的安全系数降低,同时锚下混凝土拉应力也有所增加。

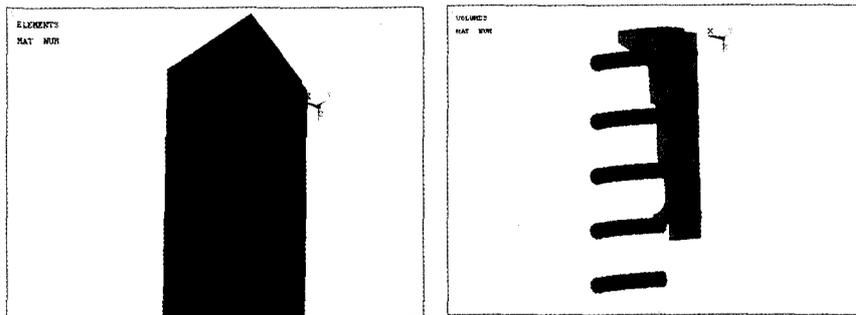


图1 OVM.M15-9D常规锚垫板计算模型

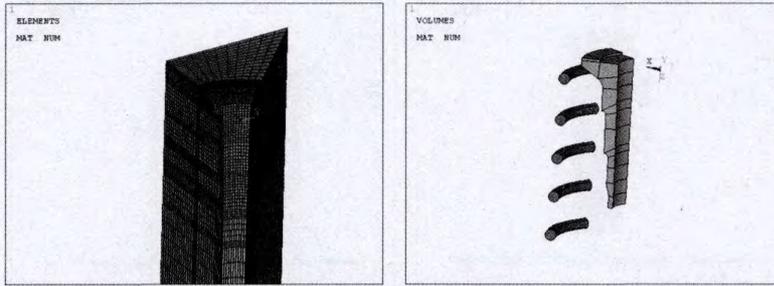


图2 OVM.M15-9D去除末端台阶计算模型

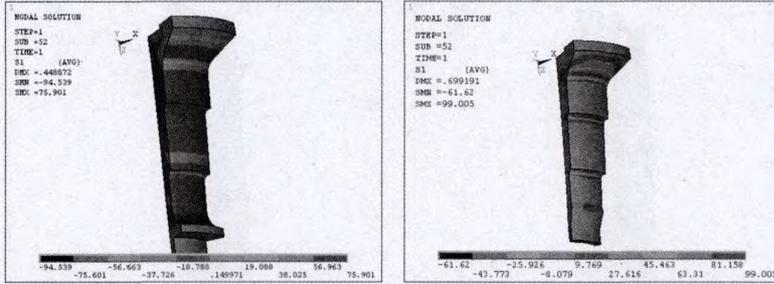


图3 两种工况下锚垫板所受最大拉应力云图

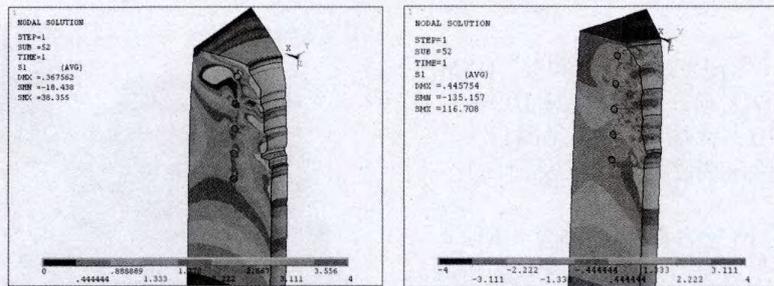


图4 两种工况下混凝土所受最大拉应力云图

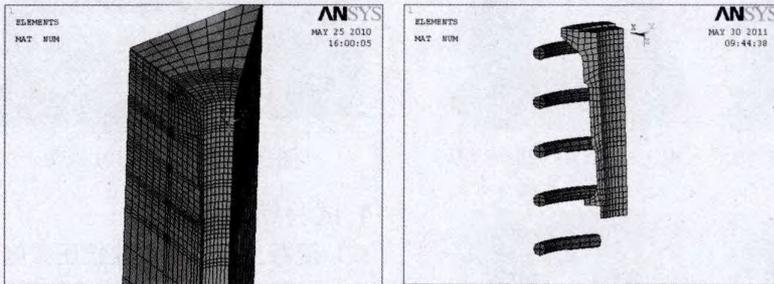


图5 OVM.M15-12D常规锚垫板计算模型

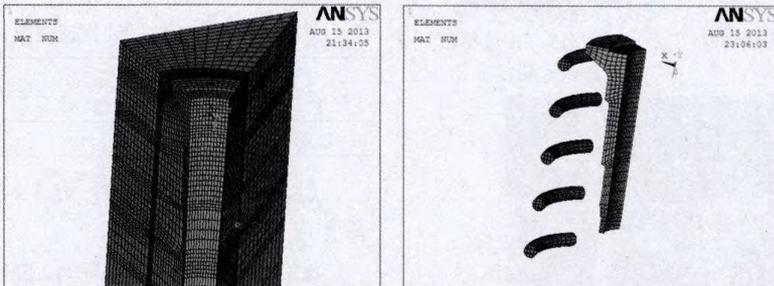


图6 OVM.M15-12去除末端台阶计算模型

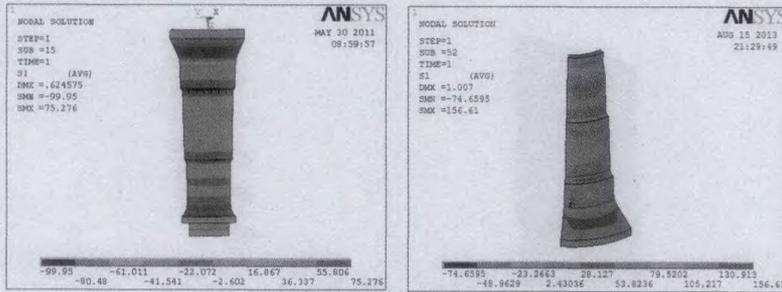


图7 两种工况下锚垫板最大拉应力云图

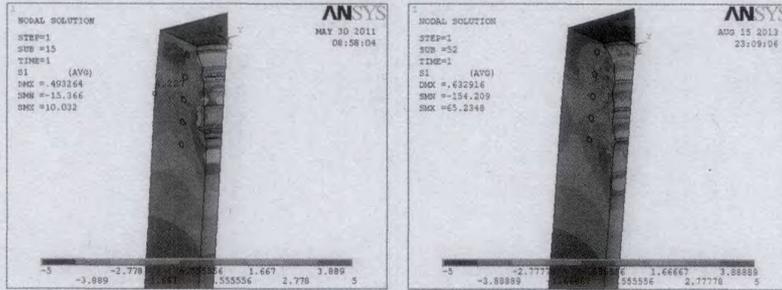


图8 两种工况下混凝土最大拉应力云图

### 3 荷载传递试验

#### 3.1 试验对象

OVM.M15-9D (常规) 2件 (见图9)、OVM.M15-9D (去除末端台阶) 2件 (见图10)；

OVM.M15-12D (常规) 2件 (见图11)、OVM.M15-12D (去除末端台阶) 2件 (见图12)；

#### 3.2 试验方法

试验参照国际预应力混凝土协会 (FIP) 1993年发表的《后张预应力体系验收建议》中的有关规定进行。混凝土试件装配图见图13、14。



图9 OVM.M15-9D锚垫板 (常规)



图10 OVM.M15-9D锚垫板 (去除末端台阶)



图11 OVM.M15-12D锚垫板 (常规)



图12 OVM.M15-12D锚垫板 (去除末端台阶)

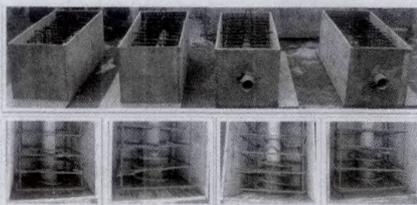


图13 OVM.M15-9D混凝土试件装配图

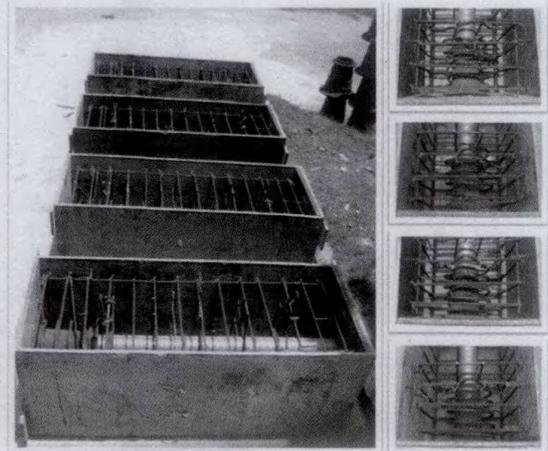


图14 OVM.M15-12D混凝土试件装配图

### 4 试验结果及分析

#### 4.1 混凝土立方体试块抗压强度

试验开始时同条件养护混凝土立方体试块 (150mm × 150mm × 150mm) 抗压强度见表1。

表1 立方体试块抗压强度 单位: MPa

试件抗压强度			立方体试块平均抗压强度
1	2	3	
42.0	40.7	41.8	41.5

$f_{cm,e} = 41.5 \text{ MPa}$ ,  $1.3f_{ck,0} = 1.3 \times 50 \text{ MPa} = 65 \text{ MPa}$ ,  
 满足  $f_{cm,e} \leq 1.3f_{ck,0}$ ;  
 $0.85f_{ck} = 0.85 \times 50 \text{ MPa} = 42.5 \text{ MPa}$ , 满足  $f_{cm,e} \leq 0.85f_{ck}$ 。

## 4.2 荷载传递性能试验结果及分析

### 4.2.1 OVM.M15-9D混凝土试件试验结果

OVM.M15-9D混凝土试件试验结果见表2，混凝土试件裂缝分布见图15、16。

### 4.2.2 OVM.M15-12D混凝土试件试验结果

OVM.M15-12D混凝土试件试验结果见表3，混凝土试件裂缝分布见图17、18。

表2 OVM.M15-9D混凝土试件试验数据汇总表

检测项目	试件编号			
	M15-9D-1	M15-9D-2	M15-9D-3	M15-9D-4
第一次达到上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时裂缝宽度 (mm)	0	0	0	0
最后一次达到下限荷载 $0.12F_{pk}$ 时裂缝宽度 (mm)	0.06	0.06	0.06	0.04
最后一次达到上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时裂缝宽度 (mm)	0.12	0.12	0.12	0.10
第八~第十循环下限荷载 $0.12F_{pk}$ 时裂缝增量 (mm)	0	0	0	0
第八~第十循环上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时裂缝增量 (mm)	0.02	0	0	0.02
第八~第十循环下限荷载 $0.12F_{pk}$ 时纵向应变增量 (%)	4.6	3.2	4.8	4.2
第八~第十循环上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时纵向应变增量 (%)	0.7	0.6	0.5	1.2
第八~第十循环下限荷载 $0.12F_{pk}$ 时横向应变增量 (%)	4.2	1.1	4.6	3.8
第八~第十循环上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时横向应变增量 (%)	2.3	1.9	1.2	2.0
破坏荷载 $F_u$ (kN)	2130	2150	2700	2660
$F_u/F_{pk}$	0.91	0.92	1.15	1.13

备注:

M15-9D-1 采用去除末端台阶的OVM.M15-9D锚垫板; M15-9D-2 采用去除末端台阶的OVM.M15-9D锚垫板;

M15-9D-3 采用常规的OVM.M15-9D锚垫板; M15-9D-4 采用常规的OVM.M15-9D锚垫板;

$F_{pk}=260.7 \times 9=2346.3$  (kN)  $F_{pk}(f_{cm,e}/f_{ck,o})=2346.3 \times (41.5/50)=1947.4$  (kN)  $1.1F_{pk}=1.1 \times 2346.3=2580.9$  (kN)

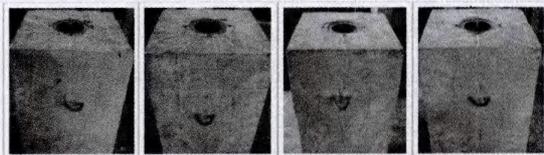


图15 OVM.M15-9D混凝土试件裂缝分布图

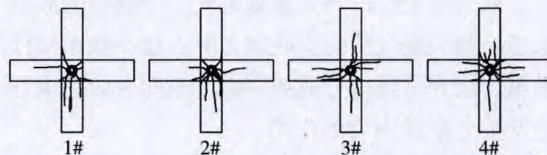


图16 OVM.M15-9D混凝土试件裂缝分布示意图

表3 OVM.M15-12D混凝土试件试验数据汇总表

检测项目	试件编号			
	M15-12D-1	M15-12D-2	M15-12D-3	M15-12D-4
第一次达到上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时裂缝宽度 (mm)	0	0	0	0
最后一次达到下限荷载 $0.12F_{pk}$ 时裂缝宽度 (mm)	0.06	0.04	0.04	0.04
最后一次达到上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时裂缝宽度 (mm)	0.1	0.1	0.1	0.1
第八~第十循环下限荷载 $0.12F_{pk}$ 时裂缝增量 (mm)	0	0	0	0
第八~第十循环上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时裂缝增量 (mm)	0	0.02	0.02	0
第八~第十循环下限荷载 $0.12F_{pk}$ 时纵向应变增量 (%)	4	1.2	1.8	5
第八~第十循环上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时纵向应变增量 (%)	2.6	1.1	0.9	4.6
第八~第十循环下限荷载 $0.12F_{pk}$ 时横向应变增量 (%)	4.2	4.8	2.8	3.8
第八~第十循环上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时横向应变增量 (%)	1	2	2.6	4.7
破坏荷载 $F_u$ (kN)	2760	2850	3550	3520
$F_u/F_{pk}$	0.88	0.91	1.14	1.13

备注:

M15-12D-1 采用去除末端台阶的OVM.M15-12D锚垫板; M15-12D-2 采用去除末端台阶的OVM.M15-12D锚垫板;

M15-12D-3 采用常规的OVM.M15-12D锚垫板; M15-12D-4 采用常规的OVM.M15-12D锚垫板;

$F_{pk}=260.7 \times 12=3128.4$  (kN)  $F_{pk}(f_{cm,e}/f_{ck,o})=3128.4 \times (41.5/50)=2596.6$  (kN)  $1.1F_{pk}=1.1 \times 3128.4=3441.2$  (kN)

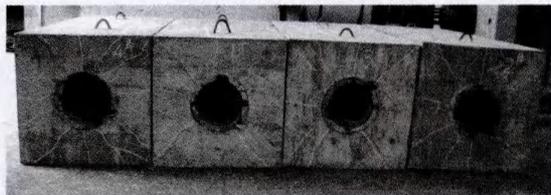


图17 OVM.M15-12D混凝土试件端面裂缝分布图

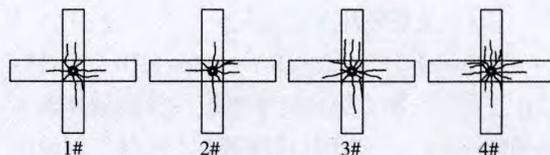


图18 OVM.M15-12D混凝土试件裂缝分布示意图

### 4.2.3 试验结果分析

#### (1) 最大裂缝宽度对比

a) OVM.M15-9D混凝土试件: 当第二次达到上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时, M15-9D-1、M15-9D-2、M15-9D-3、M15-9D-4试件均出现了裂缝, 裂缝最大宽度均为 $0.04\text{mm}$ , 裂纹宽度并无太大差异。循环加载, 当最后一次到达上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时, 试件的最大裂缝宽度分别为 $0.12\text{mm}$ 、 $0.12\text{mm}$ 、 $0.12\text{mm}$ 、 $0.10\text{mm}$ , 裂纹宽度仍无太大差异;

b) OVM.M15-12D混凝土试件: 当第三次达到上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时, M15-12D-1、M15-12D-2、M15-12D-3、M15-12D-4试件均出现了裂缝, 裂缝最大宽度分别为 $0.08\text{mm}$ 、 $0.04\text{mm}$ 、 $0.06\text{mm}$ 、 $0.06\text{mm}$ , 裂纹宽度并无太大差异。循环加载, 当最后一次到达上限荷载 $0.8F_{pk}$ 时, 所有试件的最大裂缝宽度均为 $0.10\text{mm}$ , 裂纹宽度仍无太大差异。

从裂缝宽度的测量结果推断, 当施加的荷载未超出第一级台阶的承载能力时, 锚垫板单纯依靠第一级台阶进行分散锚固力, 末端台阶并未开始发挥分散锚固力的作用。

#### (2) 裂缝分布情况对比

对破坏后的试件进行检查, 所有试件的顶面及侧面均出现裂缝, 但通过对裂缝的分布情况进行对比后发现: M15-9D-1、M15-9D-2试件与M15-9D-3、M15-9D-4试件相比, M15-12D-1、M15-12D-2试件与M15-12D-3、M15-12D-4试件相比, 其裂缝分布的均匀性较差, 反映出除了末端台阶的锚垫板对力的分散性能较差。由此推测, 当施加的荷载超出锚垫板第一级台阶的承载能力时, 末端台阶开始发挥分散锚固力的作用, 使应力集中区的应力程度减小, 将其应力控制在混凝土局部承载力范围之内, 锚垫板的传力形式由单纯的依靠第一级台阶分散锚固力转为第一级台阶和末端台阶同时分散锚固力, 使锚下应力扩散更趋均匀。

#### (3) 最终破坏荷载对比

M15-9D-1、M15-9D-2、M15-12D-1、M15-12D-2去除末端二级台阶锚垫板试件的最终破坏荷载 $F_u < 1.1 F_{pk}$ , 证明其极限承载力较低, 不能满足规范要求; M15-9D-3、M15-9D-4、M15-12D-3、

M15-12D-4试件的最终破坏荷载 $F_u > 1.1 F_{pk}$ , 证明其极限承载力较高, 能很好的满足规范要求。由此推测, 当施加的荷载超出锚垫板的第一级台阶的承载能力时, 第一级台阶和末端台阶将同时分散锚固力, 从而提高了锚垫板的极限承载能力, 进而提高了整个混凝土构件的安全度。这一试验结果与有限元分析结果一致, 表明采用有限元模型计算所得结果是准确、可靠的。

## 5 结语

通过上述有限元分析和平行对比试验, 可得出以下结论:

(1) 当荷载未超出圆塔形锚垫板第一级台阶的承载能力时, 锚垫板单纯依靠第一级台阶进行分散锚固力, 末端台阶并未开始发挥分散锚固力的作用。

(2) 当施加的荷载超出圆塔形锚垫板第一级台阶的承载能力时, 末端二级台阶开始发挥分散锚固力的作用, 使应力集中区的应力程度减小, 将其应力控制在混凝土局部承载力范围之内, 锚垫板的传力形式由单纯的依靠第一级台阶分散锚固力转为第一级台阶和末端台阶同时分散锚固力, 使锚下应力扩散更趋均匀。

(3) 有限元分析计算结果与荷载传递试验结果基本一致, 进一步验证了有限元模型计算是一种实用、高效的锚下结构受力分析方法, 为今后的锚下结构设计提供理论依据和技术支持。

(4) 圆塔形锚垫板采用多级台阶传力的形式, 提高了锚垫板的承载能力, 同时证明GB 50010-2010《混凝土结构设计规范》和JTG D62-2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》在“局部受压承载力计算”中, 仅考虑一级承压台阶面积, 并未考虑其余承压台阶面积, 这样的计算方式是不够全面的, 建议以后标准修编时, 予以适当修改。

#### 参考文献

- [1] GB 50010-2010《混凝土结构设计规范》[S].
- [2] JTG D62-2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》[S].
- [3] 陈绪刚, 赵斌, 卢文胜. 多级传力预应力端锚荷载传递性能试验研究与分析[J]. 结构工程师, 2009, 25(6):104-110.
- [4] 朱万旭等. 预应力锚具锚下病害原因分析及控制[J]. 施工技术: 下半年, 2012, 41(3): 10008-10010.
- [5] FIP-1993《后张预应力体系验收建议》[S].