

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50113 – 2005

# 滑动模板工程技术规范

Technical code of slipform engineering

2005 – 05 – 16 发布

2005 – 08 – 01 实施

中华人民共和国建设部

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

**中华人民共和国国家标准**

# **滑动模板工程技术规范**

Technical code of slipform engineering

**GB 50113 - 2005**

主编部门：中国冶金建设协会

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2005年8月1日

# 中华人民共和国建设部公告

第 339 号

## 建设部关于发布国家标准 《滑动模板工程技术规范》的公告

现批准《滑动模板工程技术规范》为国家标准,编号为 GB 50113—2005,自 2005 年 8 月 1 日起实施。其中,第 5.1.3、6.3.1、6.4.1(1)、6.6.9、6.6.14、6.6.15、6.7.1、8.1.6(2)条(款)为强制性条文,必须严格执行。原《液压滑动模板施工技术规范》GBJ 113—87 同时废止。

本规范由建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国建设部

二〇〇五年五月十六日

## 前 言

本规范是根据建设部“关于印发《一九九七年工程建设国家标准制定、修订计划》的通知”(建标[1997]108号)的要求,由中冶集团建筑研究总院(原冶金工业部建筑研究总院)会同全国有关单位共同对原国标《液压滑动模板施工技术规范》GBJ 113—87全面修订而成的。

在修订过程中,编制组进行了广泛的调查研究,总结了我国滑模工程设计、施工技术和质量管理的实践经验,在原规范GBJ 113—87的基础上全面修订,以提高滑模工程质量和施工安全为重点,吸收成熟的滑模施工新设备、新材料、新工艺,拓宽滑模施工的应用范围,与国家现行的其他工程技术规范配套,并以多种方式广泛征求了有关单位和专家的意见,对主要问题进行了专题研究和反复修改,最后经审查定稿。

本规范共8章24节和4个附录,其主要内容包括:总则、术语和符号、滑模施工工程的设计、滑模施工的准备、滑模装置的设计与制作、滑模施工、特种滑模施工、质量检查及工程验收、附录。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。本规范由建设部负责管理和对强制性条文的解释,中冶集团建筑研究总院《滑动模板工程技术规范》国家标准组负责具体技术内容的解释。在执行过程中,请各单位结合工程实践,认真总结经验,如发现需要修改或补充之处,请将意见和建议寄中冶集团建筑研究总院(地址:北京海淀区西土城路33号,邮政编码:100088),以供今后再次修订时参考。

本规范主编单位、参编单位和主要起草人:

主 编 单 位: 中冶集团建筑研究总院

**参编单位：**中国京冶建设工程承包公司  
中国有色工程设计研究总院  
北京住总集团有限责任公司一分部  
中建一局建设发展公司  
首都钢铁公司建筑研究所  
江苏江都建筑专用设备厂  
中煤能源集团公司第 68 工程处  
上海住乐建设总公司  
北京市建筑设计研究院

**主要起草人：**彭宣常 罗竞宁 张晓萌 胡洪奇 毛凤林  
张良杰 董效良 王兰明 杜永深 张崇烨  
程 骐 陈 冰

# 目 次

1	总 则 .....	( 1 )
2	术语和符号 .....	( 2 )
2.1	术语 .....	( 2 )
2.2	主要符号 .....	( 4 )
3	滑模施工工程的设计 .....	( 6 )
3.1	一般规定 .....	( 6 )
3.2	筒体结构 .....	( 8 )
3.3	框架结构 .....	( 9 )
3.4	墙板结构 .....	(11)
4	滑模施工的准备 .....	(12)
5	滑模装置的设计与制作 .....	(14)
5.1	总体设计 .....	(14)
5.2	部件的设计与制作 .....	(16)
6	滑模施工 .....	(23)
6.1	滑模装置的组装 .....	(23)
6.2	钢筋 .....	(25)
6.3	支承杆 .....	(25)
6.4	混凝土 .....	(27)
6.5	预留孔和预埋件 .....	(29)
6.6	滑升 .....	(29)
6.7	横向结构的施工 .....	(33)
7	特种滑模施工 .....	(35)
7.1	大体积混凝土施工 .....	(35)
7.2	混凝土面板施工 .....	(36)

7.3	竖井井壁施工 .....	(39)
7.4	复合壁施工 .....	(41)
7.5	抽孔滑模施工 .....	(43)
7.6	滑架提模施工 .....	(44)
7.7	滑模托带施工 .....	(45)
8	质量检查及工程验收 .....	(47)
8.1	质量检查 .....	(47)
8.2	工程验收 .....	(48)
附录 A	设计滑模装置时荷载标准值 .....	(50)
附录 B	支承杆允许承载能力确定方法 .....	(52)
附录 C	用贯入阻力测量混凝土凝固的试验方法 .....	(53)
附录 D	滑模施工常用记录表格 .....	(56)
	本规范用词说明 .....	(62)
	附:条文说明 .....	(63)

# 1 总 则

**1.0.1** 为使采用滑动模板(以下简称滑模)施工的混凝土结构工程符合技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的要求,制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于采用滑模工艺建造的混凝土结构工程的设计与施工。包括:筒体结构、框架结构、墙板结构以及有关特种滑模工程。

**1.0.3** 采用滑模施工的工程施工与设计应密切配合,使工程设计既满足建筑结构的功能力要求又能体现滑模施工的特点。

**1.0.4** 在冬期或酷暑施工的滑模工程,应根据滑模施工特点制定专门的技术措施。

**1.0.5** 滑模施工的安全、劳动保护等必须遵守国家现行有关标准的规定。

**1.0.6** 采用滑模施工的工程设计和施工除应按本规范的规定执行外,还应符合国家现行有关标准的规定。



## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 滑动模板施工 slipforming construction

以滑模千斤顶、电动提升机或手动提升器为提升动力,带动模板(或滑框)沿着混凝土(或模板)表面滑动而成型的现浇混凝土结构的施工方法的总称,简称滑模施工。

#### 2.1.2 滑框倒模施工 incremental slipforming with sliding frame

是传统滑模工艺的发展。用提升机具带动由提升架、围圈、滑轨组成的“滑框”沿着模板外表面滑动(模板与混凝土之间无相对滑动),当横向分块组合的模板从“滑框”下口脱出后,将该块模板取下再装入“滑框”上口,再浇灌混凝土,提动滑框,如此循环作业成型混凝土结构的施工方法的总称。

#### 2.1.3 模板 slipform

模板固定于围圈上,用以保证构件截面尺寸及结构的几何形状。模板随着提升架上滑且直接与新浇混凝土接触,承受新浇混凝土的侧压力和模板滑动时的摩阻力。

#### 2.1.4 围圈 form walers

是模板的支承构件,又称围梁,用以保持模板的几何形状。模板的自重、模板承受的摩阻力、侧压力以及操作平台直接传来的自重和施工荷载,均通过围圈传递至提升架的立柱。围圈一般设置上、下两道。为增大围圈的刚度,可在两道围圈间增加斜杆和竖杆,形成桁架式围圈。

#### 2.1.5 提升架 lift yoke

是滑模装置主要受力构件,用以固定千斤顶、围圈和保持模板

的几何形状,并直接承受模板、围圈和操作平台的全部垂直荷载和混凝土对模板的侧压力。

#### 2.1.6 操作平台 working-deck

是滑模施工的主要工作面,用以完成钢筋绑扎、混凝土浇灌等项操作及堆放部分施工机具和材料。也是扒杆、井架等随升垂直运输机具及料台的支承结构。其构造型式应与所施工结构相适应,直接或通过围圈支承于提升架上。

#### 2.1.7 支承杆 jack rode or climbing rode

是滑模千斤顶运动的轨道,又是滑模系统的承重支杆,施工中滑模装置的自重、混凝土对模板的摩阻力及操作平台上的全部施工荷载,均由千斤顶传至支承杆承担,其承载能力、直径、表面粗糙度和材质均应与千斤顶相适应。

#### 2.1.8 液压控制台 hydraulic control unit

是液压系统的动力源,由电动机、油泵、油箱、控制阀及电控系统(各种指示仪表、信号等)组成。用以完成液压千斤顶的给油、排油、提升或下降控制等项操作。

#### 2.1.9 围模合一大钢模 modular combination steel panel form

以300mm为模数,标准模板宽度为900~2400mm,高度为900~1200mm;模板和围圈合一,其水平槽钢肋起围圈的作用,模板水平肋与提升架直接相连的一种滑动模板组合形式。

#### 2.1.10 空滑、部分空滑 partial virtual slipforming

正常情况下,模板内允许有一个混凝土浇灌层处于无混凝土的状态,但施工中有时需要将模板提升高度加大,使模板内只存有少量混凝土或无混凝土,这种情况称为部分空滑或空滑。

#### 2.1.11 回降量 slid variable

滑模千斤顶在工作时,上、下卡头交替锁固于支承杆上,由于荷载作用,处于锁紧状态的卡头在支承杆上存在下滑过程,从而引起千斤顶的爬升行程损失,该行程损失量通常称为回降量。

#### 2.1.12 横向结构构件 transverse structural member

指结构的楼板、挑檐、阳台、洞口四周的混凝土边框及腰线等横向凸出混凝土表面的结构构件或装饰线。

### 2.1.13 复合壁 combination concrete wall of two different mix

由内、外两种不同性能的现浇混凝土组成的竖壁结构。

### 2.1.14 混凝土出模强度 concrete strength of the construction initial setting

结构混凝土从滑动模板下口露出时所具有的抗压强度。

### 2.1.15 滑模托带施工 lifting construction with slipforming

大面积或大重量横向结构(网架、整体桁架、井字梁等)的支承结构采用滑模施工时,可在地面组装好,利用滑模施工的提升能力将其随滑模施工托带到设计标高就位的一种施工方法。

### 2.1.16 滑架提模施工 slipforming in variable section

利用滑模施工装置对脱模后的模板整体提升就位的一种施工方法。应用于双曲线冷却塔、圆锥形或变截面筒壁结构施工时,在提升架之间增加铰链式剪刀撑,调整剪刀撑的夹角,变动提升架之间的距离来收缩或放大筒体模板结构半径,实现竖向有较大曲率变化的筒壁结构的成型。

## 2.2 主要符号

$A$ ——模板与混凝土的接触面积;

$F$ ——模板与混凝土的粘结力;

$H$ ——模板高度;

$K_a$ ——动荷载系数;

$K$ ——安全系数;

$L$ ——支承杆长度;

$N$ ——总垂直荷载;

$P_0$ ——单个千斤顶或支承杆的允许承载能力;

$P$ ——单根支承杆承受的垂直荷载;

$Q$ ——料罐总重;

- $R$ ——模板的牵引力；
- $T$ ——在作业班的平均气温条件下，混凝土强度达到嵌固强度所需的时间；
- $V_a$ ——刹车时的制动减速度；
- $V$ ——模板滑升速度；
- $W$ ——刹车时产生的荷载标准值；
- $a$ ——混凝土浇灌后其表面到模板上口的距离；
- $g$ ——重力加速度；
- $h_0$ ——每个混凝土浇灌层厚度；
- $n$ ——所需千斤顶和支承杆的最小数量；
- $t$ ——混凝土从浇灌到位至达到出模强度所需的时间。

### 3 滑模施工工程的设计

#### 3.1 一般规定

**3.1.1** 建筑结构的平面布置,可按设计需要确定。但在竖向布置方面,应使一次滑升的上下构件沿模板滑动方向的投影重合,有碍模板滑动的局部凸出结构应做设计处理。

**3.1.2** 平面面积较大的结构物,宜设计成分区段或部分分区段进行滑模施工。当区段分界与变形缝不一致时,应对分界处做设计处理。

**3.1.3** 平面面积较小而高度较高的结构物,宜按滑模施工工艺要求进行设计。

**3.1.4** 竖向结构型式存在较大变异的结构物,可择其适合滑模施工的区段按滑模施工要求进行设计。其他区段宜配合其他施工方法设计。

**3.1.5** 施工单位应与设计单位共同确定横向结构构件的施工程序,以及施工过程中保持结构稳定的技术措施。

**3.1.6** 结构截面尺寸应符合下列规定:

- 1 钢筋混凝土墙体的厚度不应小于 140mm;
- 2 圆形变截面筒体结构的筒壁厚度不应小于 160mm;
- 3 轻骨料混凝土墙体厚度不应小于 180mm;
- 4 钢筋混凝土梁的宽度不应小于 200mm;
- 5 钢筋混凝土矩形柱短边不应小于 300mm,长边不应小于 400mm。

注:当采用滑框倒模等工艺时,可不受本条各款限制。

**3.1.7** 采用滑模施工的结构,其混凝土强度等级应符合下列规定:

- 1 普通混凝土不应低于 C20;
- 2 轻骨料混凝土不应低于 C15;
- 3 同一个滑升区段内的承重构件,在同一标高范围宜采用同一强度等级的混凝土。

**3.1.8** 受力钢筋的混凝土保护层厚度(从主筋的外缘算起)应符合下列规定:

- 1 墙体不应小于 20mm;
- 2 连续变截面筒壁不应小于 30mm;
- 3 梁、柱不应小于 30mm。

**3.1.9** 沿模板滑动方向,结构的截面尺寸应减少变化,宜采取变换混凝土强度等级或配筋量来满足结构承载力的要求。

**3.1.10** 结构配筋应符合下列规定:

- 1 各种长度、形状的钢筋,应能在提升架横梁以下的净空内绑扎;
- 2 施工设计时,对交汇于节点处的各种钢筋应做详细排列;
- 3 对兼作结构钢筋的支承杆,其设计强度宜降低 10%~25%,并根据支承杆的位置进行钢筋代换,其接头的连接质量应与钢筋等强。

4 预留与横向结构连接的连接筋,应采用圆钢,直径不宜大于 8mm,连接筋的外露部分不应先设弯钩,埋入部分宜为 U 形。当连接筋直径大于 10mm 时,应采取专门措施。

**3.1.11** 滑模施工工程宜采用后锚固装置代替预埋件。当需要用预埋件时,其形状和尺寸应易于安装、固定,且与构件表面持平,不得凸出混凝土表面。

**3.1.12** 各层预埋件或预留洞的位置宜沿垂直或水平方向规律排列。

**3.1.13** 对二次施工的构件,其预留孔洞的尺寸应比构件的截面每边适当增大。

## 3.2 筒体结构

3.2.1 当贮仓群的面积较大时,可根据施工能力和经济合理性,设计成若干个独立的贮仓组。

3.2.2 贮仓筒壁截面宜上下一致。当壁厚需要改变时,宜在筒壁内侧采取阶梯式变化或变坡方式处理。

3.2.3 贮仓底板以下的支承结构,当采用与贮仓筒壁同一套滑模装置施工时,宜保持与上部筒壁的厚度一致。当厚度不一致时,宜在筒壁的内侧扩大尺寸。

3.2.4 贮仓底板、漏斗和漏斗环梁与筒壁设计成整体结构时,可采用空滑或部分空滑的方法浇筑成整体。设计应尽可能减低漏斗环梁的高度。

3.2.5 结构复杂的贮仓,底板以下的结构宜支模浇筑。在生产工艺许可时,可将底板、漏斗设计成与筒壁分离式,分离部分采用二次支模浇筑。

3.2.6 贮仓的顶板结构应根据施工条件,选择预制装配或整体浇筑。顶板梁可设计成劲性承重骨架梁。

3.2.7 井塔类结构的筒壁,宜设计成带肋壁板,沿竖向保持壁板厚度不变,必要时可变更壁柱截面的长边尺寸。壁柱与壁板或壁板与壁板连接处的阴角宜设置斜角。

3.2.8 井塔内楼层结构的二次施工设计宜采用以下几种方式:

1 仅塔身筒壁结构一次滑模施工,楼层结构(包括主梁、次梁及楼板)均为二次浇筑。应沿竖向全高度内保持壁柱的完整,由设计做出主梁与壁柱连接大样。

2 楼层的主梁与筒壁结构同为一次滑模施工,仅次梁和楼板为二次浇筑。主梁上预留次梁二次施工的槽口宜为锯齿状,槽口深度的选择,应满足主梁在次梁未浇筑前受弯压状态的强度;主梁端部上方负弯矩区,应配置双层负弯矩钢筋,其下层负弯矩钢筋应设置在楼板厚度线以下。

3 塔体壁板与楼板二次浇筑的连接。在壁板内侧应预留与楼板连接的槽口,当采取预留“胡子筋”时,其埋入部分不得为直线单根钢筋。

3.2.9 电梯井道单独采用滑模施工时,宜使井道平面的内部净空尺寸比安装尺寸每边放大 30mm 以上。

3.2.10 烟囱等带有内衬的筒体结构,当筒壁与内衬同时滑模施工时,支承内衬的牛腿宜采用矩形,同时应处理好牛腿的隔热问题。

3.2.11 筒体结构的配筋宜采用热扎带肋钢筋,直径不应小于 10mm。两层钢筋网片之间应配置拉结筋,拉结筋的间距与形状应作设计规定。

3.2.12 筒体结构中的环向钢筋接头,宜采用机械方法可靠连接。

### 3.3 框架结构

3.3.1 框架结构布置应符合下列规定:

- 1 各层梁的竖向投影应重合,宽度宜相等;
- 2 同一滑升区段内宜避免错层横梁;
- 3 柱宽宜比梁宽每边大 50mm 以上;
- 4 柱的截面尺寸应减少变化,当需要改变时,边柱宜在同一侧变动,中柱宜按轴线对称变动。

3.3.2 大型构筑物的框架结构选型,可设计成异形截面柱,以增大层间高度,减少横梁数量。

3.3.3 当框架的楼层结构(包括次梁及楼板)采用在主梁上预留板厚及次梁梁窝做二次浇筑施工时,设计可按整体计算。

3.3.4 柱上无梁侧的牛腿宽度宜与柱同宽,有梁侧的牛腿与梁同宽。当需加宽牛腿支承面时,加宽部分可采取二次浇筑。

3.3.5 框架梁的配筋应符合下列规定:

- 1 当楼板为二次浇筑时,在梁支座负弯矩区段,应配置承受施工阶段负弯矩的钢筋。



2 梁内不宜设弯起筋,宜根据计算加强箍筋。当有弯起筋时,弯起筋的高度应小于提升架横梁下缘距模板上口的净空尺寸。

3 箍筋的间距应根据计算确定,可采用不等距排列。

4 纵向筋端部伸入柱内的锚固长度不宜弯折,当需要时可朝上弯折。

5 当主梁上预留次梁梁窝时,应根据验算需要对梁窝截面采取加强措施。

**3.3.6** 当框架梁采用自承重的劲性骨架或柔性配筋的焊接骨架时,应符合下列规定:

1 骨架的承载能力应大于梁体混凝土自重的 1.2 倍以上;

2 骨架的挠度值不应大于跨度的  $1/500$ ;

3 骨架的端腹杆宜采用下斜式;

4 当骨架的高度大于提升架横梁下的净空高度时,骨架上弦杆的端部节间可采取二次拼接。

**3.3.7** 柱的配筋应符合下列规定:

1 纵向受力筋宜选配粗直径钢筋以减少根数,千斤顶底座及提升架横梁宽度所占据的竖向投影位置应避开纵向受力筋;

2 纵向受力筋宜采用热轧带肋钢筋,钢筋直径不宜小于 16mm;

3 当各层柱的配筋量有变化时,宜保持钢筋根数不变而调整钢筋直径;

4 箍筋形式应便于从侧面套入柱内。当采用组合式箍筋时,相邻两个箍筋的拼接点位置应交替错开。

**3.3.8** 二次浇筑的次梁与主梁的连接构造,应满足施工期及使用期的受力要求。

**3.3.9** 双肢柱及工字形柱采用滑模施工时,应符合下列规定:

1 双肢柱宜设计成平腹杆,腹杆宽度宜与肢杆等宽,腹杆的间距宜相等;

2 工字形柱的腹板加劲肋宜与翼缘等宽。

### 3.4 墙 板 结 构

- 3.4.1 墙板结构各层平面布置在竖向的投影应重合。
- 3.4.2 各层门窗洞口位置宜一致,同一楼层的梁底标高及门窗洞口的高度和标高宜统一。
- 3.4.3 同一滑升区段内楼层标高宜一致。
- 3.4.4 当外墙具有保温、隔热功能要求时,内外墙体可采用不同性能的混凝土。
- 3.4.5 当墙板结构含暗框架时,暗框架柱的配筋率宜取下限值,暗柱的配筋还应符合本规范第 3.3.7 条的要求。
- 3.4.6 当墙体开设大洞口时,其梁的配筋应符合本规范第 3.3.5 条的要求。
- 3.4.7 各种洞口周边的加强钢筋配置,不宜在洞口角部设  $45^{\circ}$  斜钢筋,宜加强其竖向和水平钢筋。当各楼层门窗洞口位置一致时,其侧边的竖向加强钢筋宜连续配置。
- 3.4.8 墙体竖向钢筋伸入楼板内的锚固段,其弯折长度不得超出墙体厚度。当不能满足钢筋的锚固长度时,可用焊接的方法接长。
- 3.4.9 支承在墙体上的梁,其钢筋伸入墙体內的锚固段宜向上弯。当梁为二次施工时,梁端钢筋的形式及尺寸应适应二次施工的要求。
- 3.4.10 墙板结构的配筋,应符合 3.2.11 条的要求。

## 4 滑模施工的准备

**4.0.1** 滑模施工的准备工作的应遵循以下原则：技术保障措施周全；现场用料充足；施工设备可靠；人员职责明确；施工组织严密高效。

**4.0.2** 滑模施工应根据工程结构特点及滑模工艺的要求对设计进行全面细化，提出对工程设计的局部修改意见，确定不宜滑模施工部位的处理方法以及划分滑模作业的区段等。

**4.0.3** 滑模施工必须根据工程结构的特点及现场的施工条件编制滑模施工组织设计，并应包括下列主要内容：

- 1 施工总平面布置(包含操作平台平面布置)；
- 2 滑模施工技术设计；
- 3 施工程序和施工进度计划(包含针对季节性气象条件的安排)；
- 4 施工安全技术、质量保证措施；
- 5 现场施工管理机构、劳动组织及人员培训；
- 6 材料、半成品、预埋件、机具和设备等供应保障计划；
- 7 特殊部位滑模施工方案。

**4.0.4** 施工总平面布置应符合下列要求：

1 应满足施工工艺要求，减少施工用地和缩短地面水平运输距离。

2 在施工建筑物的周围应设立危险警戒区。警戒线至建筑物边缘的距离不应小于高度的  $1/10$ ，且不应小于 10m。对于烟囱类变截面结构，警戒线距离应增大至其高度的  $1/5$ ，且不小于 25m。不能满足要求时，应采取安全防护措施。

3 临时建筑物及材料堆放场地等均应设在警戒区以外，当需要在警戒区内堆放材料时，必须采取安全防护措施。通过警戒区的人行道或运输通道，均应搭设安全防护棚。

4 材料堆放场地应靠近垂直运输机械，堆放数量应满足施工

速度的需要。

5 根据现场施工条件确定混凝土供应方式,当设置自备搅拌站时,宜靠近施工地点,其供应量必须满足混凝土连续浇灌的需要。

6 现场运输、布料设备的数量必须满足滑升速度的需要。

7 供水、供电必须满足滑模连续施工的要求。施工工期较长,且有断电可能时,应有双路供电或自备电源。操作平台的供水系统,当水压不够时,应设加压水泵。

8 确保测量施工工程垂直度和标高的观测站、点不遭损坏,不受振动干扰。

#### 4.0.5 滑模施工技术设计应包括下列主要内容:

1 滑模装置的设计;

2 确定垂直与水平运输方式及能力,选配相适应的运输设备;

3 进行混凝土配合比设计,确定浇灌顺序、浇灌速度、入模时限,混凝土的供应能力应满足单位时间所需混凝土量的 1.3~1.5 倍;

4 确定施工精度的控制方案,选配观测仪器及设置可靠的观测点;

5 制定初滑程序、滑升制度、滑升速度和停滑措施;

6 制定滑模施工过程中结构物和施工操作平台稳定及纠偏、纠扭等技术措施;

7 制定滑模装置的组装与拆除方案及有关安全技术措施;

8 制定施工工程某些特殊部位的处理方法和安全措施,以及特殊气候(低温、雷雨、大风、高温等)条件下施工的技术措施;

9 绘制所有预留孔洞及预埋件在结构物上的位置和标高的展开图;

10 确定滑模平台与地面管理点、混凝土等材料供应点及垂直运输设备操纵室之间的通讯联络方式和设备,并应有多重系统保障;

11 制定滑模设备在正常使用条件下的更换、保养与检验制度;

12 烟囱、水塔、竖井等滑模施工,采用柔性滑道、罐笼及其他设备器材、人员上下时,应按现行相关标准做详细的安全及防坠落设计。

## 5 滑模装置的设计与制作

### 5.1 总体设计

#### 5.1.1 滑模装置应包括下列主要内容：

- 1 模板系统：包括模板、围圈、提升架、滑轨及倾斜度调节装置等；
- 2 操作平台系统：包括操作平台、料台、吊脚手架、随升垂直运输设施的支承结构等；
- 3 提升系统：包括液压控制台、油路、调平控制器、千斤顶、支承杆及电动提升机、手动提升器等；
- 4 施工精度控制系统：包括建筑物轴线、标高、结构垂直度等的观测与控制设施等；
- 5 水、电配套系统：包括动力、照明、信号、广播、通讯、电视监控以及水泵、管路设施、地下通风等。

#### 5.1.2 滑模装置的设计应符合本规范和国家现行有关标准的规定，并包括下列主要内容：

- 1 绘制滑模初滑结构平面图及中间结构变化平面图；
- 2 确定模板、围圈、提升架及操作平台的布置，进行各类部件和节点设计，提出规格和数量；当采用滑框倒模时，应专门进行模板与滑轨的构造设计；
- 3 确定液压千斤顶、油路及液压控制台的布置或电动、手动等提升设备的布置，提出规格和数量；
- 4 制定施工精度控制措施，提出设备仪器的规格和数量；
- 5 进行特殊部位处理及特殊设施（包括与滑模装置相关的垂直和水平运输装置等）布置与设计；
- 6 绘制滑模装置的组装图，提出材料、设备、构件一览表。

**5.1.3 滑模装置设计计算必须包括下列荷载：**

- 1 模板系统、操作平台系统的自重(按实际重量计算)；**
- 2 操作平台上的施工荷载,包括操作平台上的机械设备及特殊设施等的自重(按实际重量计算),操作平台上施工人员、工具和堆放材料等；**
- 3 操作平台上设置的垂直运输设备运转时的额定附加荷载,包括垂直运输设备的起重量及柔性滑道的张紧力等(按实际荷载计算);垂直运输设备刹车时的制动力；**
- 4 卸料对操作平台的冲击力,以及向模板内倾倒混凝土时混凝土对模板的冲击力；**
- 5 混凝土对模板的侧压力；**
- 6 模板滑动时混凝土与模板之间的摩阻力,当采用滑框倒模施工时,为滑轨与模板之间的摩阻力；**
- 7 风荷载。**

**5.1.4 设计滑模装置时,荷载标准值应按本规范附录 A 取值。**

**5.1.5 液压提升系统所需千斤顶和支承杆的最小数量可按式(5.1.5)确定：**

$$n_{\min} = \frac{N}{P_0} \quad (5.1.5)$$

式中  $N$ ——总垂直荷载(kN),应取本规范第 5.1.3 条中所有竖向荷载之和；

$P_0$ ——单个千斤顶或支承杆的允许承载力(kN),支承杆的允许承载力应按本规范附录 B 确定,千斤顶的允许承载力为千斤顶额定提升能力的 1/2,两者中取其较小者。

**5.1.6 千斤顶的布置应使千斤顶受力均衡,布置方式应符合下列规定：**

- 1 筒体结构宜沿筒壁均匀布置或成组等间距布置。**
- 2 框架结构宜集中布置在柱子上。当成串布置千斤顶或在**

梁上布置千斤顶时,必须对其支承杆进行加固。当选用大吨位千斤顶时,支承杆也可布置在柱、梁的体外,但应对支承杆进行加固。

**3** 墙板结构宜沿墙体布置,并应避开门、窗洞口;洞口部位必须布置千斤顶时,支承杆应进行加固。

**4** 平台上设有固定的较大荷载时,应按实际荷载增加千斤顶数量。

**5.1.7** 采用电动、手动的提升设备应进行专门的设计和布置。

**5.1.8** 提升架的布置应与千斤顶的位置相适应,其间距应根据结构部位的实际情况、千斤顶和支承杆允许承载能力以及模板和围圈的刚度确定。

**5.1.9** 操作平台结构必须保证足够强度、刚度和稳定性,其结构布置宜采用下列形式:

**1** 连续变截面筒体结构可采用辐射梁、内外环梁以及下拉环和拉杆(或随升井架和斜撑)等组成的操作平台;

**2** 等截面筒体结构可采用桁架(平行或井字形布置)、梁和支撑等组成操作平台,或采用挑三角架、中心环、拉杆及支撑等组成的环形操作平台,也可只用挑三角架组成的内外悬挑环形平台;

**3** 框架、墙板结构可采用桁架、梁和支撑组成的固定式操作平台,或采用桁架和带边框的活动平台板组成可拆装的围梁式活动操作平台;

**4** 柱子或排架结构,可将若干个柱子的围圈、柱间桁架组成整体式操作平台。

## **5.2 部件的设计与制作**

**5.2.1** 滑动模板应具有通用性、耐磨性、拼缝紧密、装拆方便和足够的刚度,并应符合下列规定:

**1** 模板高度宜采用 900~1200mm,对筒体结构宜采用 1200~1500mm;滑框倒模的滑轨高度宜为 1200~1500mm,单块模板宽度宜为 300mm。

2 框架、墙板结构宜采用围模合一大钢模,标准模板宽度为900~2400mm;对筒体结构宜采用小型组合钢模板,模板宽度宜为100~500mm,也可以采用弧形带肋定型模板。

3 异形模板,如转角模板、收分模板、抽拔模板等,应根据结构截面的形状和施工要求设计。

4 围模合一大钢模的板面采用4~5mm厚的钢板,边框为5~7mm厚扁钢,竖肋为4~6mm厚、60mm宽扁钢,水平加强肋宜为[8槽钢,直接与提升架相连,模板连接孔为 $\phi 18\text{mm}$ 、间距300mm;模板焊接除节点外,均为间断焊;小型组合钢模板的面板厚度宜采用2.5~3mm;角钢肋条不宜小于 $\text{L}40 \times 4$ ,也可采用定型小钢模板。

5 模板制作必须板面平整,无卷边、翘曲、孔洞及毛刺等;阴阳角模的单面倾斜度应符合设计要求。

6 滑框倒模施工所使用的模板宜选用组合钢模板。当混凝土外表面为直面时,组合钢模板应横向组装;若为弧面时,宜选用长300~600mm的模板竖向组装。

### 5.2.2 围圈承受的荷载包括下列内容:

1 垂直荷载应包括模板的重量和模板滑动时的摩阻力;当操作平台直接支承在围圈上时,并应包括操作平台的自重和操作平台上的施工荷载。

2 水平荷载应包括混凝土的侧压力;当操作平台直接支承在围圈上时,还应包括操作平台的重量和操作平台上的施工荷载所产生的水平分力。

### 5.2.3 围圈的构造应符合下列规定:

1 围圈截面尺寸应根据计算确定,上、下围圈的间距一般为450~750mm,上围圈距模板上口的距离不宜大于250mm;

2 当提升架间距大于2.5m或操作平台的承重骨架直接支承在围圈上时,围圈宜设计成桁架式;

3 围圈在转角处应设计成刚性节点;



4 固定式围圈接头应用等刚度型钢连接,连接螺栓每边不得少于 2 个;

5 在使用荷载作用下,两个提升架之间围圈的垂直与水平方向的变形不应大于跨度的  $1/500$ ;

6 连续变截面筒体结构的围圈宜采用分段伸缩式;

7 设计滑框倒模的围圈时,应在围圈内挂竖向滑轨,滑轨的断面尺寸及安放间距应与模板的刚度相适应;

8 高耸烟囱筒壁结构上、下直径变化较大时,应按优化原则配置多套不同曲率的围圈。

5.2.4 提升架宜设计成适用于多种结构施工的类型。对于结构的特殊部位,可设计专用的提升架;对多次重复使用或通用的提升架,宜设计成装配式。提升架的横梁、立柱和连接支腿应具有可调性。

5.2.5 提升架应具有足够的刚度,设计时应按实际的受力荷载验算,其构造应符合下列规定:

1 提升架宜用钢材制作,可采用单横梁“ $\Pi$ ”形架、双横梁的“开”形架或单立柱的“ $\Gamma$ ”形架。横梁与立柱必须刚性连接,两者的轴线应在同一平面内。在施工荷载作用下,立柱下端的侧向变形应不大于  $2\text{mm}$ 。

2 模板上口至提升架横梁底部的净高度:采用  $\phi 25$  圆钢支承杆时宜为  $400\sim 500\text{mm}$ ,采用  $\phi 48\times 3.5$  钢管支承杆时宜为  $500\sim 900\text{mm}$ 。

3 提升架立柱上应设有调整内外模板间距和倾斜度的调节装置。

4 当采用工具式支承杆设在结构体内时,应在提升架横梁下设置内径比支承杆直径大  $2\sim 5\text{mm}$  的套管,其长度应达到模板下缘。

5 当采用工具式支承杆设在结构体外时,提升架横梁相应加长,支承杆中心线距模板距离应大于  $50\text{mm}$ 。

**5.2.6 操作平台、料台和吊脚手架的结构形式应按所施工工程的结构类型和受力确定,其构造应符合下列规定:**

**1** 操作平台由桁架或梁、三角架及铺板等主要构件组成,与提升架或围圈应连成整体。当桁架的跨度较大时,桁架间应设置水平和垂直支撑;当利用操作平台作为现浇混凝土顶盖、楼板的模板或模板支承结构时,应根据实际荷载对操作平台进行验算和加固,并应考虑与提升架脱离的措施。

**2** 当操作平台的桁架或梁支承于围圈上时,必须在支承处设置支托或支架。

**3** 外挑脚手架或操作平台的外挑宽度不宜大于 800mm,并应在其外侧设安全防护栏杆及安全网。

**4** 吊脚手架铺板的宽度宜为 500~800mm,钢吊杆的直径不应小于 16mm,吊杆螺栓必须采用双螺帽。吊脚手架的两侧必须设安全防护栏杆及挡脚板,并应满挂安全网。

**5.2.7 滑模装置各种构件的制作应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 和《组合钢模板技术规范》GB 50214 的规定,其允许偏差应符合表 5.2.7 的规定。其构件表面,除支承杆及接触混凝土的模板表面外,均应刷防锈涂料。**

**表 5.2.7 构件制作的允许偏差**

名 称	内 容	允许偏差(mm)
钢模板	高度	±1
	宽度	-0.7~0
	表面平整度	±1
	侧面平直度	±1
	连接孔位置	±0.5
围 圈	长度	-5
	弯曲长度≤3m	±2
	弯曲长度>3m	±4
	连接孔位置	±0.5

续表 5.2.7

名 称	内 容	允许偏差(mm)
提升架	高度	$\pm 3$
	宽度	$\pm 3$
	围圈支托位置	$\pm 2$
	连接孔位置	$\pm 0.5$
支承杆	弯曲	小于 $(1/1000)L$
	$\phi 25$ 圆钢 直径	$-0.5 \sim +0.5$
	$\phi 48 \times 3.5$ 钢管 直径	$-0.2 \sim +0.5$
	椭圆度公差	$-0.25 \sim +0.25$
	对接焊缝凸出母材	$< +0.25$

注:  $L$  为支承杆加工长度。

#### 5.2.8 液压控制台的选用与检验必须符合下列规定:

1 液压控制台内,油泵的额定压力不应小于 12MPa,其流量可根据所带动的千斤顶数量、每只千斤顶油缸内容积及一次给油时间确定。大面积滑模施工时可多个控制台并联使用。

2 液压控制台内,换向阀和溢流阀的流量及额定压力均应等于或大于油泵的流量和液压系统最大工作压力,阀的公称内径不应小于 10mm,宜采用通流能力大、动作速度快、密封性能好、工作可靠的三通逻辑换向阀。

3 液压控制台的油箱应易散热、排污,并应有油液过滤的装置,油箱的有效容量应为油泵排油量的 2 倍以上。

4 液压控制台供电方式应采用三相五线制,电气控制系统应保证电动机、换向阀等按滑模千斤顶爬升的要求正常工作,并应加设多个备用插座。

5 液压控制台应设有油压表、漏电保护装置、电压及电流表、工作信号灯和控制加压、回油、停滑报警、滑升次数时间继电器等。

#### 5.2.9 油路的设计与检验应符合下列规定:

1 输油管应采用高压耐油胶管或金属管,其耐压力不得低于

25MPa。主油管内径不得小于 16mm,二级分油管内径宜为 10~16mm,连接千斤顶的油管内径宜为 6~10mm。

2 油管接头、针形阀的耐压力和通径应与输油管相适应。

3 液压油应定期进行过滤,并应有良好的润滑性和稳定性,其各项指标应符合国家现行有关标准的规定。

**5.2.10 滑模千斤顶应逐个编号经过检验,并应符合下列规定:**

1 千斤顶在液压系统额定压力为 8MPa 时的额定提升能力,分别为 30kN、60kN、90kN 等;

2 千斤顶空载启动压力不得高于 0.3MPa;

3 千斤顶最大工作油压为额定压力的 1.25 倍时,卡头应锁固牢靠、放松灵活,升降过程应连续平稳;

4 千斤顶的试验压力为额定油压的 1.5 倍时,保压 5min,各密封处必须无渗漏;

5 出厂前千斤顶在额定压力提升荷载时,下卡头锁固时的回降量对滚珠式千斤顶应不大于 5mm,对楔块式或滚楔混合式千斤顶应不大于 3mm;

6 同一批组装的千斤顶应调整其行程,使其行程差不大于 1mm。

**5.2.11 支承杆的选用与检验应符合下列规定:**

1 支承杆的制作材料为 HPB235 级圆钢、HRB335 级钢筋或外径及壁厚精度较高的低硬度焊接钢管,对热轧退火的钢管,其表面不得有冷硬加工层。

2 支承杆直径应与千斤顶的要求相适应,长度宜为 3~6m。

3 采用工具式支承杆时应用螺纹连接。圆钢  $\phi 25$  支承杆连接螺纹宜为 M18,螺纹长度不宜小于 20mm;钢管  $\phi 48$  支承杆连接螺纹宜为 M30,螺纹长度不宜小于 40mm。任何连接螺纹接头中心位置处公差均为  $\pm 0.15\text{mm}$ ;支承杆借助连接螺纹对接后,支承杆轴线偏斜度允许偏差为  $(2/1000)L$  ( $L$  为单根支承杆长度)。

4 HPB235 级圆钢和 HRB335 级钢筋支承杆采用冷拉调直

时,其延伸率不得大于 3%;支承杆表面不得有油漆和铁锈。

5 工具式支承杆的套管与提升架之间的连接构造,宜做成可使套管转动并能有 50mm 以上的上下移动量的方式。

6 对兼作结构钢筋的支承杆,应按国家现行有关标准的规定进行抽样检验。

#### 5.2.12 精度控制仪器、设备的选配应符合下列规定:

1 千斤顶同步控制装置,可采用限位卡档、激光水平扫描仪、水杯自动控制装置、计算机同步整体提升控制装置等;

2 垂直度观测设备可采用激光铅直仪、自动安平激光铅直仪、全站仪、经纬仪和线锤等,其精度不应低于 1/10000;

3 测量靶标及观测站的设置必须稳定可靠,便于测量操作,并应根据结构特征和关键控制部位确定其位置。

#### 5.2.13 水、电系统的选配应符合下列规定:

1 动力及照明用电、通讯与信号的设置均应符合国家现行有关标准的规定;

2 电源线的选用规格应根据平台上全部电器设备总功率计算确定,其长度应大于从地面起滑开始至滑模终止所需的高度再增加 10m;

3 平台上的总配电箱、分区配电箱均应设置漏电保护器,配电箱中的插座规格、数量应能满足施工设备的需要;

4 平台上的照明应满足夜间施工所需的照度要求,吊脚手架上及便携式的照明灯具,其电压不应高于 36V;

5 通讯联络设施应保证声光信号准确、统一、清楚,不扰民;

6 电视监控应能监视全面、局部和关键部位;

7 向操作平台上供水的水泵和管路,其扬程和供水量应能满足滑模施工高度、施工用水及施工消防的需要。

## 6 滑模施工

### 6.1 滑模装置的组装

**6.1.1** 滑模装置组装前,应做好各组装部件编号、操作平台水平标记,弹出组装线,做好墙与柱钢筋保护层标准垫块及有关的预埋铁件等工作。

**6.1.2** 滑模装置的组装宜按下列程序进行,并根据现场实际情况及时完善滑模装置系统。

1 安装提升架,应使所有提升架的标高满足操作平台水平度的要求,对带有辐射梁或辐射桁架的操作平台,应同时安装辐射梁或辐射桁架及其环梁;

2 安装内外围圈,调整其位置,使其满足模板倾斜度的要求;

3 绑扎竖向钢筋和提升架横梁以下钢筋,安设预埋件及预留孔洞的胎模,对体内工具式支承杆套管下端进行包扎;

4 当采用滑框倒模工艺时,安装框架式滑轨,并调整倾斜度;

5 安装模板,宜先安装角模后再安装其他模板;

6 安装操作平台的桁架、支撑和平台铺板;

7 安装外操作平台的支架、铺板和安全栏杆等;

8 安装液压提升系统,垂直运输系统及水、电、通讯、信号精度控制和观测装置,并分别进行编号、检查和试验;

9 在液压系统试验合格后,插入支承杆;

10 安装内外吊脚手架及挂安全网,当在地面或横向结构面上组装滑模装置时,应待模板滑至适当高度后,再安装内外吊脚手架,挂安全网。

**6.1.3** 模板的安装应符合下列规定:

1 安装好的模板应上口小、下口大,单面倾斜度宜为模板高度的  $0.1\% \sim 0.3\%$ ;对带坡度的筒体结构如烟囱等,其模板倾斜度应根据结构坡度情况适当调整;

2 模板上口以下  $2/3$  模板高度处的净间距应与结构设计截面等宽;

3 圆形连续变截面结构的收分模板必须沿圆周对称布置,每对模板的收分方向应相反,收分模板的搭接处不得漏浆。

6.1.4 滑模装置组装的允许偏差应满足表 6.1.4 的规定。

表 6.1.4 滑模装置组装的允许偏差

内 容		允许偏差(mm)
模板结构轴线与相应结构轴线位置		3
围圈位置偏差	水平方向	3
	垂直方向	3
提升架的垂直偏差	平面内	3
	平面外	2
安放千斤顶的提升架横梁相对标高偏差		5
考虑倾斜度后模板尺寸的偏差	上口	-1
	下口	+2
千斤顶位置安装的偏差	提升架平面内	5
	提升架平面外	5
圆模直径、方模边长的偏差		-2~+3
相邻两块模板平面平整偏差		1.5

6.1.5 液压系统组装完毕,应在插入支承杆前进行试验和检查,并符合下列规定:

1 对千斤顶逐一进行排气,并做到排气彻底;

2 液压系统在试验油压下持压 5min,不得渗油和漏油;

3 空载、持压、往复次数、排气等整体试验指标应调整适宜,记录准确。

6.1.6 液压系统试验合格后方可插入支承杆,支承杆轴线应与千斤顶轴线保持一致,其偏斜度允许偏差为  $2\%$ 。

## 6.2 钢 筋

### 6.2.1 钢筋的加工应符合下列规定：

- 1 横向钢筋的长度不宜大于 7m；
- 2 竖向钢筋的直径小于或等于 12mm 时，其长度不宜大于 5m；若滑模施工操作平台设计为双层并有钢筋固定架时，则竖向钢筋的长度不受上述限制。

### 6.2.2 钢筋绑扎时，应保证钢筋位置准确，并应符合下列规定：

- 1 每一浇灌层混凝土浇灌完毕后，在混凝土表面以上至少应有一道绑扎好的横向钢筋；
- 2 竖向钢筋绑扎后，其上端应用限位支架等临时固定；
- 3 双层配筋的墙或筒壁，其立筋应成对排列，钢筋网片间应用 V 字型拉结筋或用焊接钢筋骨架定位；
- 4 门窗等洞口上下两侧横向钢筋端头应绑扎平直、整齐，有足够钢筋保护层，下口横筋宜与竖钢筋焊接；
- 5 钢筋弯钩均应背向模板面；
- 6 必须有保证钢筋保护层厚度的措施；
- 7 当滑模施工的结构有预应力钢筋时，对预应力筋的留孔位置应有相应的成型固定措施；
- 8 顶部的钢筋如挂有砂浆等污染物，在滑升前应及时清除。

### 6.2.3 梁的配筋采用自承重骨架时，其起拱值应满足下列规定：

- 1 当梁跨度小于或等于 6m 时，应为跨度的 2‰～3‰；
- 2 当梁跨度大于 6m 时，应由计算确定。

## 6.3 支 承 杆

### 6.3.1 支承杆的直径、规格应与所使用的千斤顶相适应，第一批插入千斤顶的支承杆其长度不得少于 4 种，两相邻接头高差不应小于 1m，同一高度上支承杆接头数不应大于总量的 1/4。

当采用钢管支承杆且设置在混凝土体外时，对支承杆的调直、



接长、加固应作专项设计,确保支承体系的稳定。

**6.3.2** 支承杆上如有油污应及时清除干净,对兼作结构钢筋的支承杆其表面不得有油污。

**6.3.3** 对采用平头对接、榫接或螺纹接头的非工具式支承杆,当千斤顶通过接头部位后,应及时对接头进行焊接加固;当采用钢管支承杆并设置在混凝土体外时,应采用工具式扣件及时加固。

**6.3.4** 采用钢管做支承杆时应符合下列规定:

1 支承杆宜为  $\phi 48 \times 3.5$  焊接钢管,管径及壁厚允许偏差均为  $-0.2 \sim +0.5\text{mm}$ 。

2 采用焊接方法接长钢管支承杆时,钢管上端平头,下端倒角  $2 \times 45^\circ$ ;接头处进入千斤顶前,先点焊 3 点以上并磨平焊点,通过千斤顶后进行围焊;接头处加焊衬管或加焊与支承杆同直径钢筋,衬管长度应大于  $200\text{mm}$ 。

3 作为工具式支承杆时,钢管两端分别焊接螺母和螺杆,螺纹宜为 M30,螺纹长度不宜小于  $40\text{mm}$ ,螺杆和螺母应与钢管同心。

4 工具式支承杆必须调直,其平直度偏差不应大于  $1/1000$ ,相连接的两根钢管应在同一轴线上,接头处不得出现弯折现象。

5 工具式支承杆长度宜为  $3\text{m}$ 。第一次安装时可配合采用  $4.5\text{m}$ 、 $1.5\text{m}$  长的支承杆,使接头错开;当建筑物每层净高(即层高减楼板厚度)小于  $3\text{m}$  时,支承杆长度应小于净高尺寸。

**6.3.5** 选用  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆时,支承杆可分别设置在混凝土结构体内或体外,也可体内、体外混合设置,并应符合下列要求:

1 当支承杆设置在结构体内时,一般采用埋入方式,不回收。当需要回收时,支承杆应增设套管,套管的长度应从提升架横梁下至模板下缘。

2 设置在结构体外的工具式支承杆,其加工数量应能满足 5~6 个楼层高度的需要;必须在支承杆穿过楼板的位置用扣件卡紧,使支承杆的荷载通过传力钢板、传力槽钢传递到各层楼板上。

3 设置在体外的工具式支承杆,可采用脚手架钢管和扣件进行加固。当支承杆为群杆时,相互间宜采用纵、横向钢管连接成整体;当支承杆为单根时,应采取其他措施可靠连接。

6.3.6 用于筒体结构施工的非工具式支承杆,当通过千斤顶后,应与横向钢筋点焊连接,焊点间距不宜大于 500mm,点焊时严禁损伤受力钢筋。

6.3.7 当发生支承杆局部失稳,被千斤顶带起或弯曲等情况时,应立即进行加固处理。对兼作受力钢筋使用的支承杆,加固时应满足受力钢筋的要求。当支承杆穿过较高洞口或模板滑空时,应对支承杆进行加固。

6.3.8 工具式支承杆可在滑模施工结束后一次拔出,也可在中途停歇时拔出。分批拔出时应按实际荷载确定每批拔出的数量,并不得超过总数的 1/4。对于  $\phi 25$  圆钢支承杆,其套管的外径不宜大于  $\phi 36$ ;对于壁厚小于 200mm 的结构,其支承杆不宜抽拔。

拔出的工具式支承杆应经检查合格后再使用。

## 6.4 混 凝 土

6.4.1 用于滑模施工的混凝土,应事先做好混凝土配比的试配工作,其性能除应满足设计所规定的强度、抗渗性、耐久性以及季节性施工等要求外,尚应满足下列规定:

- 1 混凝土早期强度的增长速度,必须满足模板滑升速度的要求;
- 2 混凝土宜用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制;
- 3 混凝土入模时的坍落度,应符合表 6.4.1 的规定;

表 6.4.1 混凝土入模时的坍落度

结 构 种 类	坍 落 度 (mm)	
	非泵送混凝土	泵送混凝土
墙板、梁、柱	50~70	100~160
配筋密集的结构(筒体结构及细长柱)	60~90	120~180
配筋特密结构	90~120	140~200

注:采用人工捣实时,非泵送混凝土的坍落度可适当增大。

4 在混凝土中掺入的外加剂或掺合料,其品种和掺量应通过试验确定。

**6.4.2** 正常滑升时,混凝土的浇灌应满足下列规定:

1 必须均匀对称交圈浇灌;每一浇灌层的混凝土表面应在一个水平面上,并应有计划、均匀地变换浇灌方向;

2 每次浇灌的厚度不宜大于 200mm;

3 上层混凝土覆盖下层混凝土的时间间隔不得大于混凝土的凝结时间(相当于混凝土贯入阻力值为  $0.35\text{kN/cm}^2$  时的时间),当间隔时间超过规定时,接茬处应按施工缝的要求处理;

4 在气温高的季节,宜先浇灌内墙,后浇灌阳光直射的外墙;先浇灌墙角、墙垛及门窗洞口等的两侧,后浇灌直墙;先浇灌较厚的墙,后浇灌较薄的墙;

5 预留孔洞、门窗口、烟道口、变形缝及通风管道等两侧的混凝土应对称均衡浇灌。

注:当采用滑框倒模施工时,可不受本条第 2 款的限制。

**6.4.3** 当采用布料机布送混凝土时应进行专项设计,并符合下列规定:

1 布料机的活动半径宜能覆盖全部待浇混凝土的部位;

2 布料机的活动高度应能满足模板系统和钢筋的高度;

3 布料机不宜直接支承在滑模平台上,当必须支承在平台上时,支承系统必须专门设计,并有大于 2.0 的安全储备;

4 布料机和泵送系统之间应有可靠的通讯联系,混凝土宜先布料在操作平台上,再送入模板,并应严格控制每一区域的布料数量;

5 平台上的混凝土残渣应及时清出,严禁铲入模板内或掺入新混凝土中使用;

6 夜间作业时应有足够的照明。

**6.4.4** 混凝土的振捣应满足下列要求:

1 振捣混凝土时,振捣器不得直接接触及支承杆、钢筋或模板;

2 振捣器应插入前一层混凝土内,但深度不应超过 50mm。

#### 6.4.5 混凝土的养护应符合下列规定:

1 混凝土出模后应及时进行检查修整,且应及时进行养护;

2 养护期间,应保持混凝土表面湿润,除冬施外,养护时间不少于 7d;

3 养护方法宜选用连续均匀喷雾养护或喷涂养护液。

### 6.5 预留孔和预埋件

6.5.1 预埋件安装应位置准确,固定牢靠,不得突出模板表面。预埋件出模板后应及时清理使其外露,其位置偏差应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求。

6.5.2 预留孔洞的胎模应有足够的刚度,其厚度应比模板上口尺寸小 5~10mm,并与结构钢筋固定牢靠。胎模出模后,应及时校对位置,适时拆除胎模,预留孔洞中心线的偏差不应大于 15mm。

当门、窗框采用预先安装时,门、窗和衬框(或衬模)的总宽度,应比模板上口尺寸小 5~10mm。安装应有可靠的固定措施,偏差应满足表 6.5.2 的规定。

表 6.5.2 门、窗框安装的允许偏差

项 目	允许偏差(mm)	
	钢门窗	铝合金(或塑钢)门窗
中心线位移	5	5
框正、侧面垂直度	3	2
框对角线长度		
$\leq 2000\text{mm}$	5	2
$> 2000\text{mm}$	6	3
框的水平度	3	1.5

### 6.6 滑 升

6.6.1 滑升过程是滑模施工的主导工序,其他各工序作业均应安

排在限定时间内完成,不宜以停滑或减缓滑升速度来迁就其他作业。

注:当采用滑框倒模施工时,可不受本条的限制。

**6.6.2** 在确定滑升程序或平均滑升速度时,除应考虑混凝土出模强度要求外,还应考虑下列相关因素:

- 1 气温条件;
- 2 混凝土原材料及强度等级;
- 3 结构特点,包括结构形状、构件截面尺寸及配筋情况;
- 4 模板条件,包括模板表面状况及清理维护情况等。

**6.6.3** 初滑时,宜将混凝土分层交圈浇筑至 500~700mm(或模板高度的  $1/2 \sim 2/3$ ) 高度,待第一层混凝土强度达到 0.2~0.4 MPa 或混凝土贯入阻力值达到  $0.30 \sim 1.05 \text{ kN/cm}^2$  时,应进行 1~2 个千斤顶行程的提升,并对滑模装置和混凝土凝结状态进行全面检查,确定正常后,方可转为正常滑升。

混凝土贯入阻力值测定方法见本规范附录 C。

**6.6.4** 正常滑升过程中,相邻两次提升的时间间隔不宜超过 0.5h。

注:当采用滑框倒模施工时,可不受本条的限制。

**6.6.5** 滑升过程中,应使所有的千斤顶充分进油、排油。当出现油压增至正常滑升工作压力值的 1.2 倍,尚不能使全部千斤顶升起时,应停止提升操作,立即检查原因,及时进行处理。

**6.6.6** 在正常滑升过程中,每滑升 200~400mm,应对各千斤顶进行一次调平,特殊结构或特殊部位应采取专门措施保持操作平台基本水平。各千斤顶的相对标高差不得大于 40mm,相邻两个提升架上千斤顶升差不得大于 20mm。

**6.6.7** 连续变截面结构,每滑升 200mm 高度,至少应进行一次模板收分。模板一次收分量不宜大于 6mm。当结构的坡度大于 3% 时,应减小每次提升高度;当设计支承杆数量时,应适当降低其设计承载能力。

**6.6.8** 在滑升过程中,应检查和记录结构垂直度、水平度、扭转及结构截面尺寸等偏差数值。检查及纠偏、纠扭应符合下列规定:

1 每滑升一个浇灌层高度应自检一次,每次交接班时应全面检查、记录一次;

2 在纠正结构垂直度偏差时,应徐缓进行,避免出现硬弯;

3 当采用倾斜操作平台的方法纠正垂直偏差时,操作平台的倾斜度应控制在1%之内;

4 对筒体结构,任意3m高度上的相对扭转值不应大于30mm,且任意一点的全高最大扭转值不应大于200mm。

**6.6.9** 在滑升过程中,应检查操作平台结构、支承杆的工作状态及混凝土的凝结状态,发现异常时,应及时分析原因并采取有效的处理措施。

**6.6.10** 框架结构柱子模板的停歇位置,宜设在梁底以下100~200mm处。

**6.6.11** 在滑升过程中,应及时清理粘结在模板上的砂浆和转角模板、收分模板与活动模板之间的灰浆,不得将已硬结的灰浆混进新浇的混凝土中。

**6.6.12** 滑升过程中不得出现油污,凡被油污染的钢筋和混凝土,应及时处理干净。

**6.6.13** 因施工需要或其他原因不能连续滑升时,应有准备地采取下列停滑措施:

1 混凝土应浇灌至同一标高。

2 模板应每隔一定时间提升1~2个千斤顶行程,直至模板与混凝土不再粘结为止。对滑空部位的支承杆,应采取适当的加固措施。

3 采用工具式支承杆时,在模板滑升前应先转动并适当托起套管,使之与混凝土脱离,以免将混凝土拉裂。

4 继续施工时,应对模板与液压系统进行检查。

注:当采用滑框倒模施工时,可不受本条第2款的限制。

**6.6.14 模板滑空时,应事先验算支承杆在操作平台自重、施工荷载、风荷载等共同作用下的稳定性,稳定性不满足要求时,应对支承杆采取可靠的加固措施。**

**6.6.15 混凝土出模强度应控制在 0.2~0.4MPa 或混凝土贯入阻力值在 0.30~1.05kN/cm<sup>2</sup>;采用滑框倒模施工的混凝土出模强度不得小于 0.2MPa。**

**6.6.16 模板的滑升速度,应按下列规定确定:**

**1 当支承杆无失稳可能时,应按混凝土的出模强度控制,按式(6.6.16-1)确定:**

$$V = \frac{H - h_0 - a}{t} \quad (6.6.16-1)$$

式中  $V$ ——模板滑升速度(m/h);

$H$ ——模板高度(m);

$h_0$ ——每个混凝土浇筑层厚度(m);

$a$ ——混凝土浇筑后其表面到模板上口的距离,取 0.05~0.1m;

$t$ ——混凝土从浇灌到位至达到出模强度所需的时间(h)。

**2 当支承杆受压时,应按支承杆的稳定条件控制模板的滑升速度。**

**1)对于  $\phi 25$  圆钢支承杆,按式(6.6.16-2)确定:**

$$V = \frac{10.5}{T_1 \cdot \sqrt{KP}} + \frac{0.6}{T_1} \quad (6.6.16-2)$$

式中  $P$ ——单根支承杆承受的垂直荷载(kN);

$T_1$ ——在作业班的平均气温条件下,混凝土强度达到 0.7~1.0MPa 所需的时间(h),由试验确定;

$K$ ——安全系数,取  $K=2.0$ 。

**2)对于  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆,按式(6.6.16-3)确定:**

$$V = \frac{26.5}{T_2 \cdot \sqrt{KP}} + \frac{0.6}{T_2} \quad (6.6.16-3)$$

式中  $T_2$ ——在作业班的平均气温条件下,混凝土强度达到2.5 MPa所需的时间(h),由试验确定。

3 当以滑升过程中工程结构的整体稳定控制模板的滑升速度时,应根据工程结构的具体情况,计算确定。

**6.6.17** 当 $\phi 48 \times 3.5$ 钢管支承杆设置在结构体外且处于受压状态时,该支承杆的自由长度(千斤顶下卡头到模板下口第一个横向支撑扣件节点的距离) $L_0$ (m)不应大于式(6.6.17)的规定:

$$L_0 = \frac{21.2}{\sqrt{KP}} \quad (6.6.17)$$

## 6.7 横向结构的施工

**6.7.1** 按整体结构设计的横向结构,当采用后期施工时,应保证施工过程中的结构稳定并满足设计要求。

**6.7.2** 滑模工程横向结构的施工,宜采取在竖向结构完成到一定高度后,采取逐层空滑现浇楼板或架设预制楼板或用降模法或其他支模方法施工。

**6.7.3** 墙板结构采用逐层空滑现浇楼板工艺施工时应满足下列规定:

1 当墙体模板空滑时,其外周模板与墙体接触部分的高度不得小于200mm;

2 楼板混凝土强度达到1.2MPa方能进行下道工序,支设楼板的模板时,不应损害下层楼板混凝土;

3 楼板模板支柱的拆除时间,除应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的要求外,还应保证楼板的结构强度满足承受上部施工荷载的要求。

**6.7.4** 墙板结构的楼板采用逐层空滑安装预制楼板时,应符合下列规定:

1 非承重墙的模板不得空滑;

2 安装楼板时,板下墙体混凝土的强度不得低于4.0MPa,



并严禁用撬棍在墙体上挪动楼板。

#### **6.7.5 梁的施工应符合下列规定：**

1 采用承重骨架进行滑模施工的梁，其支承点应根据结构配筋和模板构造绘制施工图；悬挂在骨架下的梁底模板，其宽度应比模板上口宽度小 3~5mm；

2 采用预制安装方法施工的梁，其支承点应设置支托。

#### **6.7.6 墙板结构、框架结构等的楼板及屋面板采用降模法施工时，应符合下列规定：**

1 利用操作平台作楼板的模板或作模板的支承时，应对降模装置和设备进行验算；

2 楼板混凝土的拆模强度，应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定，并不得低于 15MPa。

**6.7.7** 墙板结构的楼板采用在墙上预留孔洞或现浇牛腿支承预制楼板时，现浇区钢筋应与预制楼板中的钢筋连成整体。预制楼板应设临时支撑，待现浇区混凝土达到设计强度标准值 70% 后，方可拆除支撑。

**6.7.8** 后期施工的现浇楼板，可采用早拆模板体系或分层进行悬吊支模施工。

**6.7.9** 所有二次施工的构件，其预留槽口的接触面不得有油污染，在二次浇筑之前，必须彻底清除酥松的浮渣、污物，并严格按施工缝的程序做好各项作业，加强二次浇筑混凝土的振捣和养护。

## 7 特种滑模施工

### 7.1 大体积混凝土施工

**7.1.1** 水工建筑物中的混凝土坝、闸门井、闸墩及桥墩、挡土墙等无筋和配有少量钢筋的大体积混凝土工程,可采用滑模施工。

**7.1.2** 滑模装置的总体设计除满足本规范第 5.1 节的相关规定外,还应满足结构物曲率变化和精度控制要求,并能适应混凝土机械化和半机械化作业方式。

**7.1.3** 长度较大的结构物整体浇筑时,其滑模装置应分段自成体系,分段长度不宜大于 20m,体系间接头处的模板应衔接平滑。

**7.1.4** 支承杆及千斤顶的布置,应力求受力均匀。宜沿结构物上、下游边缘及横缝面成组均匀布置。支承杆至混凝土边缘的距离不应小于 20cm。

**7.1.5** 滑模装置的部件设计除满足本规范第 5.2 节的相关规定外,还应符合下列要求:

1 操作平台宜由主梁、连系梁及铺板构成;在变截面结构的滑模操作平台中,应制定外悬部分的拆除措施;

2 主梁宜用槽钢制作,其最大变形量不应大于计算跨度的  $1/500$ ;并应根据结构物的体形特征平行或径向布置,其间距宜为 2~3m;

3 围圈宜用型钢制作,其最大变形量不应大于计算跨度的  $1/1000$ ;

4 梁端提升收分车行走的部位,必须平直光洁,上部应加保护盖。

**7.1.6** 滑模装置的组装应按本规范第 6.1 节的相关规定制定专门的程序。

**7.1.7** 混凝土浇筑铺料厚度宜控制在 25~40cm;采取分段滑升时,相邻段铺料厚度差不得大于一个铺料层厚;采用吊罐直接入仓下料时,混凝土吊罐底部至操作平台顶部的安全距离不应小于 60cm。

**7.1.8** 大体积混凝土工程滑模施工时的滑升速度宜控制在 50~100mm/h,混凝土的出模强度宜控制在 0.2~0.4MPa,相邻两次提升的间隔时间不宜超过 1.0h;对反坡部位混凝土的出模强度,应通过试验确定。

**7.1.9** 大体积混凝土工程中的预埋件施工,应制定专门技术措施。

**7.1.10** 操作平台的偏移,应按以下规定进行检查与调整:

1 每提升一个浇灌层,应全面检查平台偏移情况,做出记录并及时调整;

2 操作平台的累积偏移量超过 5cm 尚不能调平时,应停止滑升并及时进行处理。

## **7.2 混凝土面板施工**

**7.2.1** 溢流面、泄水槽和渠道护面、隧洞底拱衬砌及堆石坝的混凝土面板等工程,可采用滑模施工。

**7.2.2** 面板工程的滑模装置设计,应包括下列主要内容:

1 模板结构系统(包括模板、行走机构、抹面架);

2 滑模牵引系统;

3 轨道及支架系统;

4 辅助结构及通讯、照明、安全设施等。

**7.2.3** 模板结构的设计荷载应包括下列各项:

1 模板结构的自重(包括配重),按实际重量计。

2 施工荷载。机具、设备按实际重量计;施工人员可按 1.0kN/m<sup>2</sup>计。

3 新浇混凝土对模板的上托力。模板倾角小于 45°时,可取

3~5kN/m<sup>2</sup>；模板倾角大于或等于45°时，可取5~15kN/m<sup>2</sup>；对曲线坡面，宜取较大值。

4 混凝土与模板的摩阻力，包括粘结力和摩擦力。新浇混凝土与钢模板的粘结力，可按0.5kN/m<sup>2</sup>计；在确定混凝土与钢模板的摩擦力时，其两者间的摩擦系数可按0.4~0.5计。

5 模板结构与滑轨的摩擦力。在确定该力时，对滚轮与轨道间的摩擦系数可取0.05，滑块与轨道间的摩擦系数可取0.15~0.5。

7.2.4 模板结构的主梁应有足够的刚度。在设计荷载作用下的最大挠度应符合下列规定：

1 溢流面模板主梁的最大挠度不应大于主梁计算跨度的1/800；

2 其他面板工程模板主梁的最大挠度不应大于主梁计算跨度的1/500。

7.2.5 模板牵引力 $R$ (kN)应按式(7.2.5)计算：

$$R=[FA+G\sin\varphi+f_1|G\cos\varphi-P_c|+f_2G\cos\varphi]K \quad (7.2.5)$$

式中  $F$ ——模板与混凝土的粘结力(kN/m<sup>2</sup>)；

$A$ ——模板与混凝土的接触面积(m<sup>2</sup>)；

$G$ ——模板系统自重(包括配重及施工荷载)(kN)；

$\varphi$ ——模板的倾角(°)；

$f_1$ ——模板与混凝土间的摩擦系数；

$P_c$ ——混凝土的上托力(kN)；

$f_2$ ——滚轮或滑块与轨道间的摩擦系数；

$K$ ——牵引力安全系数，可取1.5~2.0。

7.2.6 滑模牵引设备及其固定支座应符合下列规定：

1 牵引设备可选用液压千斤顶、爬轨器、慢速卷扬机等；对溢流面的牵引设备，宜选用爬轨器。

2 当采用卷扬机和钢丝绳牵拉时，支承架、锚固装置的设计能力，应为总牵引力的3~5倍。

3 当采用液压千斤顶牵引时,设计能力应为总牵引力的 1.5~2.0 倍。

4 牵引力在模板上的牵引点应设在模板两端,至混凝土面的距离应不大于 300mm;牵引力的方向与滑轨切线的夹角不应大于  $10^{\circ}$ ,否则应设置导向滑轮。

5 模板结构两端应设同步控制机构。

7.2.7 轨道及支架系统的设计应符合下列规定:

- 1 轨道可选用型钢制作,其分节长度应有利于运输、安装;
- 2 在设计荷载作用下,支点间轨道的变形不应大于 2mm;
- 3 轨道的接头必须布置在支承架的顶板上。

7.2.8 滑模装置的组装应符合下列规定:

1 组装顺序宜为轨道支承架、轨道、牵引设备、模板结构及辅助设施;

2 轨道安装的允许偏差应符合表 7.2.8 的规定;

表 7.2.8 安装轨道允许偏差

项 目	允许偏差(mm)	
	溢流面	其 他
标 高	-2	$\pm 5$
轨 距	$\pm 3$	$\pm 3$
轨道中心线	3	3

3 对牵引设备应按国家现行的有关规范进行检查并试运转,对液压设备应按本规范第 5.2.10 条进行检验。

7.2.9 混凝土的浇灌与模板的滑升应符合下列规定:

- 1 混凝土应分层浇灌,每层厚度宜为 300mm;
- 2 混凝土的浇灌顺序应从中间开始向两端对称进行,振捣时应防止模板上浮;
- 3 混凝土出模后,应及时修整和养护;
- 4 因故停滑时,应采取相应的停滑措施。

7.2.10 混凝土的出模强度宜通过试验确定,亦可按下列规定

选用:

- 1 当模板倾角小于  $45^{\circ}$  时,可取  $0.05\sim 0.1\text{MPa}$ ;
- 2 当模板倾角等于或大于  $45^{\circ}$  时,可取  $0.1\sim 0.3\text{MPa}$ 。

**7.2.11** 对于陡坡上的滑模施工,应设有多重安全保险措施。牵引机具为卷扬机钢丝绳时,地锚要安全可靠;牵引机具为液压千斤顶时,还应对千斤顶的配套拉杆做整根试验检查。

**7.2.12** 面板成型后,其外形尺寸的允许偏差应符合下列规定:

- 1 溢流面表面平整度(用 2m 直尺检查)不应超过  $\pm 3\text{mm}$ ;
- 2 其他护面面板表面平整度(用 2m 直尺检查)不应超过  $\pm 5\text{mm}$ 。

### 7.3 竖井井壁施工

**7.3.1** 竖井井筒的混凝土或钢筋混凝土井壁,可采用滑模施工。采用滑模施工的竖井,除遵守本规范的规定外,还应遵守国家现行有关标准的规定。

**7.3.2** 滑模施工的竖井混凝土强度不宜低于 C25,井壁厚度不宜小于 150mm,井壁内径不宜小于 2m。当井壁结构设计为内、外两层或内、中、外三层时,采用滑模施工的每层井壁厚度不宜小于 150mm。

**7.3.3** 竖井为单侧滑模施工,滑模设施包括凿井绞车、提升井架、防护盘、工作盘(平台)、提升架、提升罐笼、通风、排水、供水、供电管线以及常规滑模施工的机具。

**7.3.4** 井壁滑模应设内围圈和内模板。围圈宜用型钢加工成桁架形式;模板宜用 2.5~3.5mm 厚钢板加工成大块模板,按井径可分为 3~6 块,高度以 1200~1500mm 为宜;在接缝处配以收分或楔形抽拔模板,模板的组装单面倾斜度以  $5\%\sim 8\%$  为宜。提升架为单腿“Γ”形。

**7.3.5** 防护盘应根据井深和井筒作业情况设置 4~5 层。防护盘的承重骨架宜用型钢制作,上铺 60mm 以上厚度的木板,2~3mm

厚钢板,其上再铺一层 500mm 厚的松软缓冲材料。防护盘除用绞车悬吊外,还应用卡具(或千斤顶)与井壁固定牢固。其他配套设施应按国家现行有关标准的规定执行。

**7.3.6** 外层井壁宜采用边掘边砌的方法,由上而下分段进行滑模施工,分段高度以 3~6m 为宜。

当外层井壁采用掘进一定深度再施工该段井壁时,分段滑模的高度以 30~60m 为宜。在滑模施工前,应对井筒岩(土)帮进行临时支护。

**7.3.7** 竖井滑模使用的支承杆,可分为压杆式和拉杆式,并应符合下列规定:

1 拉杆式支承杆宜布置在结构体外,支承杆接长采用丝扣连接;

2 拉杆式支承杆的上端固定在专用环梁或上层防护盘的外环梁上;

3 固定支承杆的环梁宜用槽钢制作,由计算确定其尺寸;

4 环梁使用绞车悬吊在井筒内,并用 4 台以上千斤顶或紧固件与井壁固定;

5 边掘边砌施工井壁时,宜采用拉杆式支承杆和升降式千斤顶;

6 压杆式支承杆承受千斤顶传来的压力,同普通滑模的支承杆。

**7.3.8** 竖井井壁的滑模装置,应在地面进行预组装,检查调整达到质量标准,再进行编号,按顺序吊运到井下进行组装。

每段滑模施工完毕,应按国家现行的安全质量标准对滑模机具进行检查,符合要求后,再送到下一工作面使用。需要拆散重新组装的部件,应编号拆、运,按号组装。

**7.3.9** 滑模设备安装时,应对井筒中心与滑模工作盘中心、提升罐笼中心以及工作平台预留提升孔中心进行检查;应对拉杆式支承杆的中心与千斤顶中心、各层工作盘水平度进行检查。

**7.3.10** 外层井壁在基岩中分段滑模施工时,应将深孔爆破的最后一茬炮的碎石留下并整平,作为滑模机具组装的工作面。碎石

的最大粒径不宜大于 200mm。

**7.3.11** 在组装滑模装置前,沿井壁四周安放的刃脚模板应先固定牢固,滑升时,不得将刃脚模板带起。

**7.3.12** 滑模中遇到与井壁相连的各种水平或倾斜巷道口、峒室时,应对滑模系统进行加固,并做好滑空处理。在滑模施工前,应对巷道口、峒室靠近井壁的 3~5m 的范围内进行永久性支护。

**7.3.13** 滑模施工中必须严格控制井筒中心的位移情况。边掘边砌的工程每一滑模段应检查一次;当分段滑模的高度超过 15m 时,每 10m 高应检查一次;其最大偏移不得大于 15mm。

**7.3.14** 滑模施工期间应绘制井筒实测纵横断面图,并应填写混凝土和预埋件检查验收记录。

**7.3.15** 井壁质量应符合下列要求:

1 与井筒相连的各水平巷道或峒室的标高应符合设计要求,其最大允许偏差为 $\pm 100\text{mm}$ ;

2 井筒的最终深度,不得小于设计值;

3 井筒的内半径最大允许偏差:有提升设备时不得大于 50mm,无提升设备时不得超过 $\pm 50\text{mm}$ ;

4 井壁厚度局部偏差不得大于设计厚度 50mm,每平方米的表面不平整度不得大于 10mm。

## **7.4 复合壁施工**

**7.4.1** 复合壁滑模施工适用于保温复合壁贮仓、节能型高层建筑、双层墙壁的冷库、冻结法施工的矿井复合井壁及保温、隔音等工程。

**7.4.2** 复合壁施工的滑模装置应在内外模板之间(双层墙壁的分界处)增加一隔离板,防止两种不同的材料在施工时混合。

**7.4.3** 复合壁滑模施工用的隔离板应符合下列规定:

1 隔离板用钢板制作;

2 在面向有配筋的墙壁一侧,隔离板竖向焊有与其底部相齐



的圆钢,圆钢的上端与提升架间的联系梁刚性连接,圆钢的直径为 $\phi 25 \sim 28$ ,间距为 $1000 \sim 1500\text{mm}$ ;

3 隔离板安装后应保持垂直,其上口应高于模板上口 $50 \sim 100\text{mm}$ ,深入模板内的高度可根据现场施工情况确定,应比混凝土的浇灌层厚减少 $25\text{mm}$ 。

7.4.4 滑模用的支承杆应布置在强度较高一侧的混凝土内。

7.4.5 浇灌两种不同性质的混凝土时,应先浇灌强度高的混凝土,后浇灌强度较低的混凝土;振捣时,先振捣强度高的混凝土,再振捣强度较低的混凝土,直至密实。

同一层两种不同性质的混凝土浇灌层厚度应一致,浇灌振捣密实后其上表面应在同一平面上。

7.4.6 隔离板上粘结的砂浆应及时清除。两种不同的混凝土内应加入合适的外加剂调整其凝结时间、流动性和强度增长速度。轻质混凝土内宜加入早强剂、微沫剂和减水剂,使两种不同性能的混凝土均能满足在同一滑升速度下的需要。

7.4.7 在复合壁滑模施工中,不宜进行空滑施工,除非另有防止两种不同性质混凝土混淆的措施,停滑时应按本规范第6.6.13条的规定采取停滑措施,但模板总的提升高度不应大于一个混凝土浇灌层的厚度。

7.4.8 复合壁滑模施工结束,最上一层混凝土浇筑完毕后,应立即将隔离板提出混凝土表面,再适当振捣混凝土,使两种混凝土间出现的隔离缝弥合。

7.4.9 预留洞或门窗洞口四周的轻质混凝土宜用普通混凝土代替,代替厚度不宜小于 $60\text{mm}$ 。

7.4.10 复合壁滑模施工的壁厚允许偏差应符合表7.4.10的规定。

表 7.4.10 复合壁滑模施工的壁厚允许偏差

项 目	壁厚允许偏差(mm)		
	混凝土强度较高的壁	混凝土强度较低的壁	总壁厚
允许偏差	$-5 \sim +10$	$-10 \sim +5$	$-5 \sim +8$

## 7.5 抽孔滑模施工

7.5.1 滑模施工的墙、柱在设计中允许留设或要求连续留设竖向孔道的工程,可采用抽孔工艺施工,孔的形状应为圆形。

7.5.2 采用抽孔滑模施工的结构,柱的短边尺寸不宜小于300mm,壁板的厚度不宜小于250mm,抽孔率及孔位应由设计确定。抽孔率宜按下式计算:

1 筒壁和墙(单排孔):

$$\text{抽孔率}(\%) = \frac{\text{单孔的净面积}}{\text{相邻两孔中心距离} \times \text{壁(墙)厚度}} \times 100\%$$

2 柱子:

$$\text{抽孔率}(\%) = \frac{\text{柱内孔的总面积}}{\text{柱子的全截面积}} \times 100\%$$

3 当模板与芯管设计为先提升模板后提升芯管时,壁板、柱的孔边净距可适当减少,壁板的厚度可降至不小于200mm。

7.5.3 抽孔芯管的直径不应大于结构短边尺寸的1/2,且孔壁距离结构外边缘不得小于100mm,相邻两孔孔边的距离应大于或等于孔的直径,且不得小于100mm。

7.5.4 抽孔滑模装置应符合下列规定:

1 按设计的抽孔位置,在提升架的横梁下或提升架之间的联系梁下增设抽孔芯管;

2 芯管上端与梁的连接构造宜做成能使芯管转动,并能有5cm以上的上下活动量;

3 芯管宜用钢管制作,模板上口处外径与孔的直径相同,深入模板内的部分宜有0~0.2%锥度,有锥度的芯管壁在最小外径处厚度不宜小于1.5mm,其表面应打磨光滑;

4 芯管安装后,其下口应与模板下口齐平;

5 抽孔滑模装置宜设计成模板与芯管能分别提升,也可同时提升的作业装置;

6 每次滑升前应先转动芯管。

7.5.5 抽孔芯管表面应涂刷隔离剂。芯管在脱出混凝土后或做空滑处理时,应随即清理粘结在上面的砂浆;再重新施工时,应再刷隔离剂。

7.5.6 抽孔滑模施工允许偏差应符合表 7.5.6 的规定。

表 7.5.6 抽孔滑模施工允许偏差

项 目	管或孔的 直径偏差	芯管安装 位置偏差	管中心 垂直度偏差	芯管的 长度偏差	芯管的 锥度范围
允许偏差	±3mm	<10mm	<2‰	±10mm	0~0.2%

注:不得出现塌孔及混凝土表面裂缝等缺陷。

## 7.6 滑架提模施工

7.6.1 滑架提模施工适用于双曲线冷却塔或锥度较大的筒体结构的施工。

7.6.2 滑架提模装置应满足塔身的曲率和精度控制要求,其装置设计应符合下列规定:

1 提升架以直型门架式为宜,其千斤顶与提升架之间联结应设计为铰接,铰链式剪刀撑应有足够的刚度,既能变化灵活又支撑稳定;

2 塔身中心位移控制标记应明显、准确、可靠,便于测量操作,可设在塔身中央,也可在塔身周边多点设置;

3 滑动提升模板与围圈滑动联结固定,而此固定块与提升架为相对滑动固定,以便模板与混凝土脱离,但又能在混凝土浇灌凝固过程中有足够的稳定性。

7.6.3 采用滑架提模法施工时,其一次提升高度应依据所选用的支承杆承载能力而定。模板的空滑高度宜为 1~1.5m。模板与下一层混凝土的搭接处应严密不露浆。

7.6.4 混凝土浇灌应均匀、对称,分层进行。松动模板时的混凝土强度不应低于 1.5MPa;模板归位后,操作平台上开始负荷运送

混凝土浇灌时,模板搭接处的混凝土强度应不低于 3MPa。

**7.6.5** 混凝土入模前模板位置允许偏差应符合下列规定:

- 1 模板上口轮圆半径偏差 $\pm 5\text{mm}$ ;
- 2 模板上口标高偏差 $\pm 10\text{mm}$ ;
- 3 模板上口内外间距偏差 $\pm 3\text{mm}$ 。

**7.6.6** 采用滑架提模法施工的混凝土筒体,其质量标准还应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求。

## **7.7 滑模托带施工**

**7.7.1** 整体空间结构等重大结构物,其支承结构采用滑模工艺施工时,可采用滑模托带方法进行整体就位安装。

**7.7.2** 滑模托带施工时,应先在地面将被托带结构组装完毕,并与滑模装置连接成整体;支承结构滑模施工时,托带结构随同上升直到其支座就位标高,并固定于相应的混凝土顶面。

**7.7.3** 滑模托带装置的设计,应能满足钢筋混凝土结构滑模和托带结构就位安装的双重要求。其施工设计应包括下列主要内容:

- 1 滑模托带施工程序设计;
- 2 墙、柱、梁、筒壁等支承结构的滑模装置设计;
- 3 被托带结构与滑模装置的连接措施与分离方法;
- 4 千斤顶的布置与支承杆的加固方法;
- 5 被托带结构到顶滑模机具拆除时的临时固定措施和下降就位措施;

6 拖带结构的变形观测与防止托带结构变形的技术措施。

**7.7.4** 对被托带结构应进行应力和变形验算,确定在托带结构自重和施工荷载作用下各支座的最大反力值和最大允许升差值,作为计算千斤顶最小数量和施工中升差控制的依据之一。

**7.7.5** 滑模托带装置的设计荷载除按一般滑模应考虑荷载外,

还应包括下列各项:

1 被托带结构施工过程中的支座反力,依据托带结构的自重、托带结构上的施工荷载、风荷载以及施工中支座最大升差引起的附加荷载计算出各支承点的最大作用荷载;

2 滑模托带施工总荷载。

**7.7.6** 滑模托带施工的千斤顶和支承杆的承载能力应有较大安全储备;对楔块式和滚楔混合式千斤顶,安全系数不应小于 3.0;对滚珠式千斤顶,安全系数不应小于 2.5。

**7.7.7** 施工中应保持被托带结构同步稳定提升,相邻两个支承点之间的允许升差值不得大于 20mm,且不得大于相邻两支座距离的  $1/400$ ,最高点和最低点允许升差值应小于托带结构的最大允许升差值,并不得大于 40mm;网架托带到顶支座就位后的高度允许偏差,应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定。

**7.7.8** 当采用限位调平法控制升差时,支承杆上的限位卡应每 150~200mm 限位调平一次。

**7.7.9** 混凝土浇灌应严格做到均衡布料,分层浇筑,分层振捣;混凝土的出模强度宜控制在 0.2~0.4MPa。

**7.7.10** 当滑模托带结构到达预定标高后,可采用一般现浇施工方法浇灌固定支座的混凝土。

## 8 质量检查及工程验收

### 8.1 质量检查

8.1.1 滑模工程施工应按本规范和国家现行的有关强制性标准的规定进行质量检查和隐蔽工程验收。滑模施工常用记录表格见本规范附录 D。

8.1.2 工程质量检查工作必须适应滑模施工的基本条件。

8.1.3 兼作结构钢筋的支承杆的连接接头、预埋插筋、预埋件等应做隐蔽工程验收。

8.1.4 施工中的检查应包括地面上和平台上两部分：

1 地面上进行的检查应超前完成，主要包括：

- 1) 所有原材料的质量检查；
- 2) 所有加工件及半成品的检查；
- 3) 影响平台上作业的相关因素和条件检查；
- 4) 各工种技术操作上岗资格的检查等。

2 滑模平台上的跟班作业检查，必须紧随各工种作业进行，确保隐蔽工程的质量符合要求。

8.1.5 滑模施工中操作平台上的质量检查工作除常规项目外，尚应包括下列主要内容：

1 检查操作平台上各观测点与相对应的标准控制点之间的位置偏差及平台的空间位置状态；

2 检查各支承杆的工作状态；

3 检查各千斤顶的升差情况，复核调平装置；

4 当平台处于纠偏或纠扭状态时，检查纠正措施及效果；

5 检查滑模装置质量，检查成型混凝土的壁厚、模板上口的宽度及整体几何形状等；

- 6 检查千斤顶和液压系统的工作状态;
- 7 检查操作平台的负荷情况,防止局部超载;
- 8 检查钢筋的保护层厚度、节点处交汇的钢筋及接头质量;
- 9 检查混凝土的性能及浇灌层厚度;
- 10 滑升作业前,检查障碍物及混凝土的出模强度;
- 11 检查结构混凝土表面质量状态;
- 12 检查混凝土的养护。

#### 8.1.6 混凝土质量检验应符合下列规定:

1 标准养护混凝土试块的组数,应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求进行。

2 混凝土出模强度的检查,应在滑模平台现场进行测定,每一工作班应不少于一次;当在一个工作班上气温有骤变或混凝土配合比有变动时,必须相应增加检查次数。

3 在每次模板提升后,应立即检查出模混凝土的外观质量,发现问题应及时处理,重大问题应做好处理记录。

8.1.7 对于高耸结构垂直度的测量,应考虑结构自振、风荷载及日照的影响,并宜以当地时间 6:00~9:00 间的观测结果为准。

## 8.2 工程验收

8.2.1 滑模工程的验收应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求进行。

8.2.2 滑模施工工程混凝土结构的允许偏差应符合表 8.2.2 的规定。

钢筋混凝土烟囱的允许偏差,应符合现行国家标准《烟囱工程施工及验收规范》的规定。特种滑模施工的混凝土结构允许偏差,尚应符合国家现行有关专业标准的规定。

表 8.2.2 滑模施工工程混凝土结构的允许偏差

项    目			允许偏差(mm)
轴线间的相对位移			5
圆形筒 体结构	半径	≤5m	5
		>5m	半径的 0.1%,不得大于 10
标    高	每层	高层	±5
		多层	±10
	全    高		±30
垂 直 度	每层	层高小于或等于 5m	5
		层高大于 5m	层高的 0.1%
	全高	高度小于 10m	10
		高度大于或等于 10m	高度的 0.1%,不得大于 30
墙、柱、梁、壁截面尺寸偏差			+8,-5
表面平整 (2m 靠尺检查)		抹灰	8
		不抹灰	5
门窗洞口及预留洞口位置偏差			15
预埋件位置偏差			20



## 附录 A 设计滑模装置时荷载标准值

### A.0.1 操作平台上的施工荷载标准值。

施工人员、工具和备用材料：

设计平台铺板及檩条时，为  $2.5\text{kN/m}^2$ ；

设计平台桁架时，为  $2.0\text{kN/m}^2$ ；

设计围圈及提升架时，为  $1.5\text{kN/m}^2$ ；

计算支承杆数量时，为  $1.5\text{kN/m}^2$ 。

平台上临时集中存放材料，放置手推车、吊罐、液压操作台，电、气焊设备，随升井架等特殊设备时，应按实际重量计算。

吊脚手架的施工荷载标准值(包括自重和有效荷载)按实际重量计算，且不得小于  $2.0\text{kN/m}^2$ 。

A.0.2 振捣混凝土时的侧压力标准值。对于浇灌高度为  $80\text{cm}$  左右的侧压力分布见图 A.0.2，其侧压力合力取  $5.0\sim 6.0\text{kN/m}$ ，合力的作用点约在  $2/5H_p$  处。

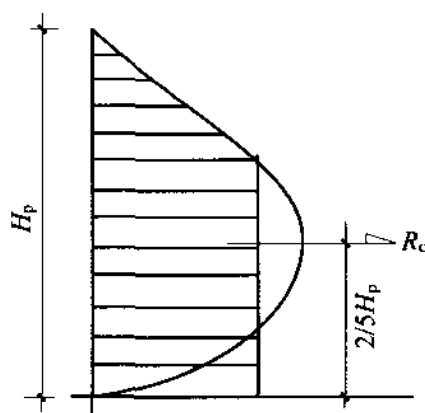


图 A.0.2 混凝土侧压力分布

注： $H_p$  为混凝土与模板接触的高度。

**A.0.3** 模板与混凝土的摩阻力标准值。钢模板为 $1.5\sim 3.0\text{kN/m}^2$ ；当采用滑框倒模法施工时，模板与滑轨间的摩阻力标准值按模板面积计取 $1.0\sim 1.5\text{kN/m}^2$ 。

**A.0.4** 倾倒混凝土时模板承受的冲击力。用溜槽、串筒或 $0.2\text{m}^3$ 的运输工具向模板内倾倒混凝土时，作用于模板侧面的水平集中荷载标准值为 $2.0\text{kN}$ 。

**A.0.5** 当采用料斗向平台上直接卸混凝土时，混凝土对平台卸料点产生的集中荷载按实际情况确定，且不应低于按式(A.0.5)计算的标准值 $W_k(\text{kN})$ ：

$$W_k = \gamma[(h_m + h)A_1 + B] \quad (\text{A.0.5})$$

式中  $\gamma$ ——混凝土的重力密度( $\text{kN/m}^3$ )；

$h_m$ ——料斗内混凝土上表面至料斗口的最大高度(m)；

$h$ ——卸料时料斗口至平台卸料点的最大高度(m)；

$A_1$ ——卸料口的面积( $\text{m}^2$ )；

$B$ ——卸料口下方可能堆存的最大混凝土量( $\text{m}^3$ )。

**A.0.6** 随升起重设备刹车制动力标准值可按式(A.0.6)计算：

$$W = [(V_a/g) + 1]Q = K_d Q \quad (\text{A.0.6})$$

式中  $W$ ——刹车时产生的荷载标准值(N)；

$V_a$ ——刹车时的制动减速度( $\text{m/s}^2$ )；

$g$ ——重力加速度( $9.8\text{m/s}^2$ )；

$Q$ ——料罐总重(N)；

$K_d$ ——动荷载系数。

式中 $V_a$ 值与安全卡的制动灵敏度有关，其数值应根据不同的传力零件和支承结构对象按经验确定，为简化计算因刹车制动而对滑模操作平台产生的附加荷载， $K_d$ 值可取 $1.1\sim 2.0$ 。

**A.0.7** 风荷载按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定采用，模板及其支架的抗倾倒系数不应小于1.15。

**A.0.8** 可变荷载的分项系数取1.4。

## 附录 B 支承杆允许承载力确定方法

**B.0.1** 当采用  $\phi 25$  圆钢支承杆,模板处于正常滑升状态时,即从模板上口以下,最多只有一个浇灌层高度尚未浇灌混凝土的条件下,支承杆的允许承载力按式(B.0.1)计算:

$$P_0 = \alpha \cdot 40EJ / [K(L_0 + 95)^2] \quad (\text{B.0.1})$$

式中  $P_0$ ——支承杆的允许承载力(kN);

$\alpha$ ——工作条件系数,取 0.7~1.0,视施工操作水平、滑模平台结构情况确定。一般整体式刚性平台取 0.7,分割式平台取 0.8;

$E$ ——支承杆弹性模量( $\text{kN}/\text{cm}^2$ );

$J$ ——支承杆截面惯性距( $\text{cm}^4$ );

$K$ ——安全系数,取值不应小于 2.0;

$L_0$ ——支承杆脱空长度,从混凝土上表面至千斤顶下卡头距离(cm)。

**B.0.2** 当采用  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆时,支承杆的允许承载力按式(B.0.2)计算:

$$P_0 = (\alpha/K) \times (99.6 - 0.22L) \quad (\text{B.0.2})$$

式中  $L$ ——支承杆长度(cm)。当支承杆在结构体内时, $L$  取千斤顶下卡头到浇筑混凝土上表面的距离;当支承杆在结构体外时, $L$  取千斤顶下卡头到模板下口第一个横向支撑扣件节点的距离。

## 附录 C 用贯入阻力测量混凝土 凝固的试验方法

**C.0.1** 贯入阻力试验是在筛出混凝土拌合物中粗骨料的砂浆中进行。以一根测杆在  $10 \pm 2$ s 的时间内垂直插入砂浆中  $25 \pm 2$ mm 深度时,测杆端部单位面积上所需力——贯入阻力的大小来判定混凝土凝固的状态。

**C.0.2** 试验仪器与工具应符合下列要求:

1 贯入阻力仪:加荷装置的指示精度为 5N,最大荷载测量值不小于 1kN。测杆的承压面积有 100、50、20mm<sup>2</sup> 等三种。每根测杆在距贯入端 25mm 处刻一圈标记。

2 砂浆试模:试模高度为 150mm,圆柱体试模的直径或立方体试模的边长不应小于 150mm。试模需要用刚性不吸水的材料制作。

3 捣固棒:直径 16mm,长约 500mm,一端为半球形。

4 标准筛:筛取砂浆用,筛孔孔径为 5mm,应符合现行国家标准《试验筛》GB/T 6005 的有关规定。

5 吸液管:用以吸除砂浆试件表面的泌水。

**C.0.3** 砂浆试件的制备及养护应符合下列要求:

1 从要进行测试的混凝土拌合物中,取有代表性的试样,用筛子把砂浆筛落在不吸水的垫板上,砂浆数量满足需要后,再由人工搅拌均匀,然后装入试模中,捣实后的砂浆表面低于试模上沿约 10mm。

2 砂浆试件可用振动器,也可用人工捣实。用振动器振动时,以砂浆平面大致形成为止;人工捣实时,可在试件表面每隔 20~30mm,用棒插捣一次,然后用棒敲击试模周边,使插捣的印穴

弥合。表面用抹子轻轻抹平。

3 把试件置于所要求的条件下进行养护,如标准养护、同条件养护,避免阳光直晒,为不使水份过快蒸发可加覆盖。

#### C.0.4 测试方法应符合下列要求:

1 在测试前 5min 吸除试件表面的泌水,在吸除时,试模可稍微倾斜,但要避免振动和强力摇动。

2 根据混凝土砂浆凝固情况,选用适当规格的贯入测杆,测试时首先将测杆端部与砂浆表面接触,然后约在 10s 的时间内,向测杆施以均匀向下的压力,直至测杆贯入砂浆表面下 25mm 深度,并记录贯入阻力仪指针读数、测试时间及混凝土龄期。更换测杆宜按附录表 C.0.4 选用。

表 C.0.4 更换测杆选用表

贯入阻力值(kN/cm <sup>2</sup> )	0.02~0.35	0.35~2.0	2.0~2.8
测杆面积(mm <sup>2</sup> )	100	50	20

3 对于一般混凝土,在常温下,贯入阻力的测试时间可以从搅拌后 2h 开始进行,每隔 1h 测试一次,每次测 3 点(最少不少于 2 点),直至贯入阻力达到 2.8 kN/cm<sup>2</sup> 时为止。各测点的间距应大于测杆直径的 2 倍且不小于 15mm,测点与试件边缘的距离应不小于 25mm。对于速凝或缓凝的混凝土及气温过高或过低时,可将测试时间适当调整。

4 计算贯入阻力,将测杆贯入时所需的压力除以测杆截面面积,即得贯入阻力。每次测试的 3 点取平均值,当 3 点数值的最大差异超过 20%,取相近 2 点的平均值。

#### C.0.5 试验报告应符合下列要求:

1 给出试验的原始资料。

- 1)混凝土配合比,水泥、粗细骨料品种,水灰比等;
- 2)附加剂类型及掺量;
- 3)混凝土坍落度;

4)筛出砂浆的温度及试验环境温度;

5)试验日期。

2 绘制混凝土贯入阻力曲线,以贯入阻力为纵坐标( $\text{kN}/\text{cm}^2$ ),以混凝土龄期( $\text{h}$ )为横坐标,绘制曲线的试验数据不得少于6个。

3 分析及应用。

1)按规范所规定的混凝土出模时应达到的贯入阻力范围,从混凝土贯入阻力曲线上可以得出混凝土的最早出模时间(龄期)及适宜的滑升速度的范围,并可以此检查实际施工时的滑升速度是否合适;

2)当滑升速度已确定时,可从事先绘制好的许多混凝土凝固的贯入阻力曲线中,选择与已定滑升速度相适应的混凝土配合比;

3)在现场施工中,及时测定所用混凝土的贯入阻力,校核混凝土出模强度是否满足要求,滑升时间是否合适。

## 附录 D 滑模施工常用记录表格

表 D-1 滑模施工预埋件检查记录表

编号:

[illegible]

负责人:

复检人:

记录人:

注:1~5项在施工开始前填写;6~8项在施工过程中填写。

表 D-2 贯入阻力试验记录表

编号:

工程名称						试验日期				试验部位				天气情况			
混凝土	水灰比	坍落度	水泥	附加剂品种		混凝土配合比(kN/m <sup>3</sup> )						备 注					
设计强度	(%)	(cm)	品种	掺合料	外加剂	水泥	砂	石子	水	掺合料	外加剂						
测 试 记 录																	
测试环境						筛出砂浆时温度(℃)								贯入阻力曲线			
测试时间																	
测试温度																	
测杆面积																	
贯 入 力 (kN)	1																
	2																
	3																
	平均值																
贯入阻力值 (kN/cm <sup>2</sup> )																	

负责人:

审 核:

计 算:

测试人:

注:1 按本规范附录 C 进行试验,绘制曲线的试验数据不得少于 6 个;

2 贯入阻力平均值达到 2.8kN/cm<sup>2</sup> 时可以停止;

3 贯入阻力 3 点数值的最大差异超过 20%时,取相近 2 点的平均值。



表 D-3 提升系统工作情况记录表

编号:

工程名称					施工单位				
日期		作业 班次			操作平台 标高	接班时			
						交班时			
混凝土浇捣开始时间			时 分		混凝土浇捣完成时间			时 分	
提升次数	时间	提升行程数	实测提升高度		平均高度(mm/次)				
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
本班提升总高					最高油压				
说明									

负责人:

审核人:

填表人:

表 D-4 滑模平台垂直度测量位移记录表

编号：

工程名称			施工单位	
施工部位			日 期	
测点 序号	时间		标高	
	位移值(mm)		方 向	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
简  图				
建 议				

负责人：

复核人：

测量人：

表 D-5 滑模平台水平度测量记录表

编号:

工程名称			施工单位	
施工部位			日 期	
测点	时间		基准标高	
序号	高程差 $H_i$ (mm)		相对高程差 $\Delta H_i$	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
简  图				
建  议				

负责人:

复核人:

测量人:

注:“基准标高”指本次测量时所取参考水平面的标高值;

“高程差  $H_i$ ”指被测点与基准参考水平面的高差,高于参考平面为(+),低于为(-);“相对高程差  $\Delta H_i$ ”指被测点高程差( $H_i$ )与各测点高程差平均值( $\bar{H}_i$ )之差,即:

$$\Delta H_i = H_i - \bar{H}_i$$

$$\bar{H}_i = \sum H_i / n$$

式中  $\sum H_i$ ——各测点高程差之和; $n$ ——同一参考平面的测点总数。

表 D-6 纠偏、纠扭施工记录表

编号：

工程名称		施工单位	
纠偏(扭)部位			
纠偏(扭)原因			
技术要点与 方法要求			
执行时间			
执行结果			

审核人：  
负责人：

编制人：  
现场工程师：

## 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国国家标准

滑动模板工程技术规范

**GB 50113 - 2005**

条文说明

# 目 次

1	总 则 .....	( 67 )
2	术语和符号 .....	( 74 )
2.1	术语 .....	( 74 )
2.2	主要符号 .....	( 74 )
3	滑模施工工程的设计 .....	( 75 )
3.1	一般规定 .....	( 76 )
3.2	筒体结构 .....	( 83 )
3.3	框架结构 .....	( 85 )
3.4	墙板结构 .....	( 88 )
4	滑模施工的准备 .....	( 90 )
5	滑模装置的设计与制作 .....	( 92 )
5.1	总体设计 .....	( 92 )
5.2	部件的设计与制作 .....	( 107 )
6	滑模施工 .....	( 113 )
6.1	滑模装置的组装 .....	( 113 )
6.2	钢筋 .....	( 115 )
6.3	支承杆 .....	( 116 )
6.4	混凝土 .....	( 119 )
6.5	预留孔和预埋件 .....	( 122 )
6.6	滑升 .....	( 123 )
6.7	横向结构的施工 .....	( 138 )
7	特种滑模施工 .....	( 142 )
7.1	大体积混凝土施工 .....	( 142 )
7.2	混凝土面板施工 .....	( 143 )

7.3	竖井井壁施工 .....	(144)
7.4	复合壁施工 .....	(146)
7.5	抽孔滑模施工 .....	(149)
7.6	滑架提模施工 .....	(150)
7.7	滑模托带施工 .....	(152)
8	质量检查及工程验收 .....	(155)
8.1	质量检查 .....	(155)
8.2	工程验收 .....	(158)



# 1 总 则

**1.0.1** 滑模工艺是混凝土工程施工方法之一。与常规施工方法相比,它具有施工速度快,机械化程度高,结构整体性能好,所占用的场地小、粉尘污染少,有利于绿色环保及安全文明施工,滑模设施易于拆散和灵活组配,可以重复利用等优点。通过精心设计和施工,使滑模和其他施工工艺相结合(如与预制装配、砌筑或其他支模方法相结合),就能为进一步简化施工工艺创造条件。因此,滑模工艺在我国工程建设中已被广泛应用,并取得了较好的经济效益和社会效益。滑模工艺与普通的现浇支模方法比较有许多不同的特点,它主要表现在:

**1** 滑模结构混凝土的成型是靠沿其表面运动着的模板(滑框)来实现的,成型后很快脱模,结构即暴露在大气环境中,因而受气温条件及操作情况等方面因素的影响较多。

**2** 滑模施工中的全部荷载是依靠埋设在混凝土中或体外刚度较小的支承杆承受的,其上部混凝土强度很低,因而施工中的活动都必须保证与结构混凝土强度增长相协调。

**3** 滑模工程是在动态下成型,为保证工程质量和施工安全,必须及时采取有效措施严格控制各项偏差,确保施工操作平台的稳定可靠。

**4** 滑模工艺是一种连续成型的快速施工方法,工程所需的原材料准备,必须满足连续施工的要求,机具设备的性能要可靠,并保证长时间地连续运转。

**5** 滑模施工是多工种紧密配合的循环作业,要求施工组织严密,指挥统一,各岗位职责要明确。

近十多年来,随着我国高层建筑、新型结构以及特种工程的增

多,滑模技术又有了许多创新和发展,例如:“滑框倒模”技术的应用,“围模合一大钢模”的应用,大(中)吨位滑模千斤顶的应用,支承杆设在结构体外或结构体内、外混合使用技术的应用,滑模高强度等级(高性能)混凝土的应用,泵送混凝土与滑模平台布料机配套技术的应用,以及竖井井壁、滑模托带、复合壁、抽孔滑模、滑架提模等特种滑模施工,均在工程中得到了成功应用,证明技术上是成熟的,应予以肯定并规范化。

“滑框倒模工艺”是传统滑模施工技术的发展,该工艺对改善滑模工程表观质量有重要作用。其构造是在原滑模装置的围圈和模板之间加设“滑轨”,将提升架、围圈、滑轨组成滑框,模板用横向板组合,由“滑轨”支承,且能沿“滑轨”滑动。当混凝土充满模板提升滑框时,由于模板与滑轨之间的摩阻力小于模板与混凝土之间的摩阻力,滑轨随着提升架向上移动而模板维持原位。当最下一块横向模板露出滑轨下口时,即将其取下,并装入滑轨的上口,然后浇灌混凝土,再提升滑框,如此循环作业,成型竖向混凝土结构。由于施工中避免了模板与混凝土之间的相对运动、摩擦,而且可以随时对取出的模板涂刷脱模剂,从而较好地解决了早期滑模工艺由于管理不到位易发生的表面粗糙、掉楞掉角、拉裂等缺陷。“围模合一大钢模”是将常用的与围圈用挂钩连接的小块钢模板,改变为以 300mm 为模数,标准宽度为 900 ~ 2400mm,高 900 ~ 1200mm;模板与围圈合一的大型钢模板,其水平槽钢肋起围圈的作用并与提升架直接相连;由于这种模板刚度大,拼缝少,装拆较简便,对保证施工精度起到了积极作用。其他如大(中)吨位千斤顶的使用,支承杆布置在结构体外或体内外混合使用,高强度(高性能)混凝土的应用,混凝土泵送工艺和平台布料机的应用等新工艺、新装备、新材料在滑模施工中的使用,对提高滑模施工技术水平有着重要的作用,因此,本规范肯定了这些新的技术成果,并有相应的条款作出技术规定。

本规范原名称是《液压滑动模板施工技术规范》GBJ 113—

87,现改名称为《滑动模板工程技术规范》,这里取消了原名称“液压”二字,并将“施工技术规范”改为“工程技术规范”,理由如下:

1 “液压滑动模板”指的是采用“液压”为动力来提升滑模装置进行滑模施工,尽管目前采用“液压”的情况已很普遍,本规范也主要就液压提升系统作出了相应规定,但仍然有采用其他方式(如手动、电动、气动千斤顶或其他机械牵引)作为动力的滑模施工,由于它们用于滑模时的工艺原理基本相同,在操作平台结构布置、施工操作以及对工程质量的控制方法上也都基本一样,因此,完全可以参照本规范进行设计和施工。将规范名称取消“液压”二字更有利于扩大本规范的覆盖面。

2 滑模施工通常并不给工程带来特殊的设计计算问题,但是国内外滑模施工都证明,工程施工一开始就应与设计单位紧密结合,设计人员应对滑模工艺有所了解,使设计的工程符合滑模工艺的特点,满足施工条件的要求,才能达到最佳的技术经济效果。例如:滑模施工适宜于竖向结构的成型,但又对竖向布置有所限制,因为模板通过之前,任何物件都不允许横穿模板的垂直轨迹,故所有横向结构的施工方法设计时都需要作特殊考虑;平面布置时应尽可能使各层构件沿模板滑动方向投影重合,梁、柱截面尺寸尽量减少变化,避免模板系统在施工中作大的调整;滑模工程的横向钢筋只能在提升架横梁至模板上口之间,仅在几十厘米高的区段内安装、绑扎,这要求设计的钢筋尺寸和形状能够在施工中放置就位,不妨碍模板的滑动;汇交于节点处的钢筋必须详细排列各占其位,互不矛盾;又如框架柱或筒壁的壁柱,通常受到布置千斤顶提升架的干扰,制约纵向钢筋的定位;较高的框架梁不宜设置弯起钢筋等等。以上所述远未包括所有情况,可见滑模施工很需要设计的关注。

因此本规范编写的着眼点不仅仅是要告诉人们施工时怎样做才能达到“快速、优质、安全”的要求,而且还要告诉人们在从事工程设计时怎样体现出滑模的工艺特点。为此本规范在总则中强调

了设计与施工需要密切配合外,规范的第三章中还专门规定了对滑模工程在设计上的要求,它在本规范技术条款中约占有 20% 以上的篇幅,这也许是本规范与其他施工规范的一个重要区别之所在。鉴于上述情况,原来的规范名称不能概括规范所涉及的并占有较大篇幅的设计内容,因此将规范名称改为《滑动模板工程技术规范》更为简明确切。

从事滑模工程的技术人员必须切实掌握滑模工程的特点,否则可能会出现工程设计不适于滑模,造成施工困难而降低综合效益;或因施工不当使工程质量低劣,出现混凝土掉楞掉角,表面粗糙、拉裂,门窗等洞口不正,结构偏斜等问题,影响结构的安全使用,甚至在施工中发生操作平台坍塌,造成人身伤亡、国家财产遭受严重损失等恶性事故。制定本规范是为了使滑模工程的施工和验收有一个全国统一的标准,使工程能够做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的要求,更好地推动滑模施工工艺的发展。

**1.0.2** 本规范主要用于指导采用滑模施工的混凝土(不含特种混凝土或有特殊要求的混凝土)结构工程的设计与施工,所考虑的工程对象,包括滑模施工的竖向或斜向的工程,如混凝土筒体结构(包括烟囱、井塔、水塔、造粒塔、电视塔、筒仓、油罐、桥墩等),框架结构(包括排架、大型独立混凝土柱、多层和高层框架等),墙板结构(包括多层、高层和超高层建筑物)。近年来,滑模施工的应用范围有了较大的扩展,这些工程对象大多出现在工业建设中,它们都是以滑模施工为主导工艺,但又附有一些其他特殊要求,需要在制定滑模方案的同时予以研究,增加或改变一些附加的技术和管理措施才能顺利完成。这类滑模工程的施工,我们统称为“特种滑模施工”。这里所指的“特”主要考虑两个方面,一是施工的结构对象比较特殊,二是所使用的滑模方法比较特殊。随着国民经济的发展,工业生产的扩大,这类工程结构不断增加,有必要将那些技术上比较成熟的特种滑模施工工艺列入规范中,例如滑架提模施工(薄壁曲线变坡滑模)、竖井井壁施工(沿岩邦单侧滑模)、复合壁滑

模施工(同一截面内两种不同性质混凝土滑模)、滑模托带施工(结构的支承体系在滑模施工时托带重、大结构如桁架、网架等就位)、抽孔滑模施工(在滑模施工的混凝土截面内同时抽芯留孔)等等。与 GBJ 113—87 规范相比,本规范修订中特殊滑模施工一章的内容有了较大的扩充。

**1.0.3** 采用滑模施工并不需要改变原设计的结构方案,也不带来特殊的设计计算问题。关于滑模施工的特点以及施工与设计配合的重要性在第 1.0.1 条条文明已有较详细叙述,此处不再重复。采用滑模施工的工程如果设计方面参与不够,既会增加施工方面的困难,也使设计方面失去了对滑模施工的影响力,且无法利用滑模施工的特点来发挥结构设计方面的优势。只有设计和施工两方面的积极性都发挥出来了,才能使工程在设计上既体现滑模施工的特点,在施工上又能满足设计对建筑功能和质量的要求,工程建设综合效益明显。为此,除本条强调设计与施工密切配合外,在本规范的第三章中还专门提出了对滑模施工的工程在设计上的有关要求。

**1.0.4** 在气温较低情况下,混凝土强度增长十分缓慢,为保证滑模工程施工安全和工程质量,滑升速度既要与混凝土强度增长速度相适应,又要使出模混凝土不受冻害,施工速度将会受到很大影响。而滑模施工一般多为高耸建筑,冬期施工中为改善混凝土硬化环境和人员操作等条件,需要采取的保温、加热、挡风等措施则更为复杂,施工控制更加困难,施工费用也更高。因此滑模工程一般不宜安排在冬期施工。如果在冬期进行滑模施工,施工单位必须特别重视滑模冬施的技术和管理工作,保证根据滑模施工特点制定的专门技术措施得到完全落实。

滑模冬期施工的技术措施,除了要满足一般冬施要求的条件,如组织措施(包括:方案编制、人员培训、掌握气候变化等等),现场准备(包括有关机具、混凝土外加剂和保温材料准备、搭设加热用的临时建筑设施、临时用水及材料的保温防冻以及混凝土、砂浆及

外加剂的试配等)、安全与防火(包括防滑措施、积雪清扫、马道平台松动、下沉处理,防烫伤、防腐蚀皮肤,防食物及毒气中毒,防火灾、爆炸,防触电、漏电等)外,在施工技术上重点要研究两个问题,一是混凝土应该在什么技术条件状态下才能满足拟定的滑升速度要求?二是在拟定的滑升速度下已脱模的混凝土应在什么温度条件下经过多长时间才能达到该混凝土必需的抗冻强度?关于第一个问题本规范第 6.6.16 条已得到解决,关于第二个问题在《建筑工程冬期施工规程》JGJ 104 第 7.1.1 条已有明确规定。当掌握了所使用的结构混凝土在不同温度下的强度发展关系(通过试验),我们就可以计算出:

- 1 在要求的滑升速度下混凝土硬化所需环境温度的下限;
- 2 出模混凝土的抗冻强度;
- 3 在不同温度条件下混凝土达到抗冻强度所需的时间(h);
- 4 根据滑升速度要求、选用的保温材料性能等条件确定供热量值、上暖棚和下暖棚的长度和高度;
- 5 确定有关暖棚结构形式和有关设备、管线的配置等。

总之不论采用何种冬施方案都应通过热工计算,确保效果。可是,滑模冬期施工不但技术要求高,而且施工费用也会大幅度增加。因此多在不得已的情况下采用。由于我国幅员辽阔,冬施的自然条件差异很大,而冬施对策又各有千秋,一地的成功经验,不一定能适应其他地方,因此本规范对冬施的技术要求和措施未做出具体规定,仅指出在冬期施工时必须制定专门技术措施妥善处理施工中的各种问题。

在气温很高的情况下,混凝土强度增长又十分快速,表层混凝土失水很快,易发生裂缝,为保证滑模工程施工安全和工程质量,必须采取针对措施,使滑升速度与混凝土强度增长速度相适应,并重视滑模在酷暑条件下的各项管理工作,保证根据具体工程特点制定的专门技术措施得到完全落实。

**1.0.5** 滑模工艺是混凝土工程施工方法中的一种,对施工中的安

全、劳动保护等要求必须遵守国家现行的有关规定(包括有关专业安全技术规程),原国家劳动人事部组织编制、国家建设部批准实施的《液压滑动模板施工安全技术规程》JGJ 65 是滑模施工安全工作的重要指导文件,它针对施工中的现场、操作平台、垂直运输、设备动力及照明用电、通讯与信号、防雷、防火、防毒、施工操作、装置拆除等的安全技术和管理,都作了全面、系统的规定。因此有关这方面的具体要求本规范未予规定。涉及有关其他专业的安全技术问题,还应遵守国家现行的其他有关专业规范和专业安全技术规程的规定。

**1.0.6** 滑模施工是混凝土工程的一种现浇连续成型工艺。本规范是针对滑模施工特点编写的,有关混凝土工程的设计和施工中的一般技术问题未予涉及,因此采用滑模施工的工程,在设计和施工中除应遵守本规范外,还应遵守国家现行其他有关规范中适用于滑模施工的规定,如《混凝土结构设计规范》、《混凝土结构工程施工质量验收规范》、《烟囱工程施工与验收规范》等,对于矿山井巷工程应遵守《矿山井巷工程施工及验收规范》,对于水工建筑应遵守《水工建筑物滑动模板施工技术规范》等等。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

本规范给出了 16 个有关滑模工程设计、施工、设备制造等方面的专用术语,并从滑模工程的角度赋予了其特定的涵义,但涵义不一定是其严密的定义。本规范给出了相应的推荐性英文术语,该英文术语不一定是国际上的标准术语,仅供参考。

### 2.2 主 要 符 号

本规范给出了 20 个符号,并对每一个符号给出了定义,这些符号都是本规范各章节中所引用的。



### 3 滑模施工工程的设计

编写本章的主导思想如下：

1 在施工技术为主要内容的规范内规定了有关工程设计的条款，这本身表明滑模施工和结构设计紧密关联。滑模施工为结构设计提供了新的条件，同时也需要设计吸取滑模施工的基本要素，为施工创造必备的条件。本章的主要作用和目的在于：

1)指导设计。对设计方面来说，以此章为依据，遵照滑模工艺的基本要求，充分应用滑模施工的特点，设计出适宜于采用滑模施工的结构物。

2)服务施工。对施工方面来说，也需要清楚滑模施工对设计的要求。在研究一项工程采用滑模施工方案时，以此章为依据对设计图进行审查，澄清设计条件是否适合于滑模工艺和确定滑模施工的区段，提前理顺滑模区段内全部细节，采取必要措施满足设计的特殊要求。

3)协调共识。滑模施工的程度如何？应做哪些必要的修改？需把握修改范围限定在必须改的和值得改的，以此章作为有关各方谋取共识的基础。

2 本章条款内容的选定及限定尺度，综合遵循技术上可行、安全可靠、质量有保障、经济效益好、总体工期短的原则。不局限于提供解决具体技术疑难的方法。对待施工限制设计的要求，要区别是否具有共性，注意向前发展，避免停滞不前。

3 滑模工程的设计与施工，两者应该相辅相成。在总体结构方案上，应该遵循施工服务于设计，但在具体结构细节上，设计应照顾施工的需要，设计方面应积极地关注施工的变化，在维护设计效果的前提下，多为滑模施工创造一些有利于施工作业的条件。

4 本次修订规范重点在提高工程质量,保证施工安全,防止那些低水平的滑模施工队伍出现在建筑市场,应积极发展能提高滑模施工质量的新工艺,实事求是地对待滑模施工,把这一工艺用在最适合采用滑模施工的工程上,确保每项滑模工程施工质量合格。

### 3.1 一般规定

3.1.1 滑模工程对建筑物的平面形态的适应性较强,这是滑模工艺的又一个特点,因此,对建筑物的平面设计不需作限定,可给设计以更大的灵活性。但是对建筑物的竖向布置有些限制,模板向上滑升通过之前,任何物件不能横穿模板的垂直轨迹,因此力求平面布置时使各层构件沿模板滑动方向投影重合,尽量避免滑升过程中对模板系统做大的变更。本次规范修订中取消了“立面应简洁,避免有碍模板的局部突出结构”的提法,改为“应做设计处理”,这是为了避免过多地制约设计。事实上,对于建筑功能上要求必须设置的局部凸出的横向结构,如民用住宅建筑挑出的阳台、公共建筑中的挑檐等,在滑模施工方案上做某些处置也是完全可以实现的。施工中遇到局部的突出结构要做特殊处理,采取何种处理方式规范未作具体规定,但处理的效果应符合设计要求。

3.1.2 如果一次滑升的面积过大,由于各道工序的工作量、设备量增大,施工人员增多,现场的统一指挥协调工作变得复杂或困难,以致使工程质量和施工安全难以得到有效保证,在这种条件下,我们可以将整个结构物分若干个区段进行滑模施工,也可以选择一段最适合滑模施工的区段进行滑模施工,另一部分结构采用其他工艺施工。本条重点在指出分区段问题不能完全由施工单位自行处理,需要从设计上创造条件,尽可能利用结构的变形缝(如沉降缝、伸缩缝、抗震缝等),变形缝的宽度一般不小于 250mm。如因施工限制,分界线与结构变形缝的位置不一致时,则可能要在结构的配置或构造上做某些局部变更,因此要求设计单位对分界

处做出设计处理。

**3.1.3** 本条对设计提出的要求虽不具有定量的规定,但表明了最为体现滑模施工优势的是面积小而高度大的结构。滑模用的模板板面高度一般为1~1.2m,用以成型建筑物的竖向结构,因此,结构物愈高,每立方米混凝土滑模设施的摊销费用就愈低,一般结构物高度大于15m(对于圆形混凝土结构,直径在10m左右,高度在10m以上)采用滑模施工是经济的。当建筑平面相同,滑模施工的高度为60m,每平方米墙体模板费用仅为施工高度10m时的1/3左右。对于一次滑升面积的大小,并无严格限制,主要视施工能力、装备情况及工程结构特点而定,一般为200~800m<sup>2</sup>,这不是说技术上的可能性,而是从改进工程质量、提高综合经济效益方面考虑的。一次滑升的面积小一点,一次投入使用的机具数量和模板组装机量较小,其重复利用率高,经济效益更显著。且较小的面积便于现场统一指挥,施工作业相互影响的因素较少,各工序协调的难度降低,从而也降低了施工管理的难度。这对保证工程质量和施工安全都是有益的。因此在这种条件下采用滑模施工,更能发挥这一工艺的优势。

**3.1.4** 采用滑模施工要因结构条件因地制宜,可以多种方法相结合,不强调单一扩大滑模施工面积和范围,避免过多地制约设计和增加施工的复杂性。例如:与塔楼相连接的裙房可采用其他现浇或预制方法施工,而塔楼采用滑模施工;多层或高层建筑的电梯井、剪力墙采用滑模施工,其他外围结构及墙板采用其他工艺施工等。

**3.1.5** 对某些高层建筑或高耸筒体结构,有时采取先滑模施工竖向结构(如外墙或柱、筒体外壁等)后,再施工横向结构(如楼板平台、内部横梁结构或筒体隔板等)的做法,这会使结构物在施工过程中改变原设计的结构工作状态,大大增加了竖向结构的自由高度,这涉及一次滑升结构的整体稳定问题。横向结构的二次施工方案,包括二次施工结构的制作安装方案和与滑模结构间的连接

方案,处理不好会影响结构的受力性状,降低结构可靠性或耐久性。本条的规定是提醒设计与施工双方都应重视横向结构的施工程序与方案导致的设计条件的变化,防止损害原结构设计的质量及可能带来的施工安全问题。条文中把“施工单位”写在前面,有意指出应由施工单位采取主动,因为有关横向结构施工的程序和方案问题最终怎么解决,设计常处于被动地位。条文中规定“共同商定”,意在表明施工单位不应单方面自行其事,设计单位也不能回避滑模施工带给设计的特殊问题。

**3.1.6** 常规的滑模施工是指模板处于和结构混凝土直接接触状态,当模板提升时,在已浇灌的混凝土与模板接触面上存在着摩阻力,使混凝土被向上拉动,这需要由结构混凝土的自重去克服这一摩阻力,模板的移动就可能把混凝土带起,使结构混凝土产生裂缝。因此设计结构截面时,应考虑这个因素。影响摩阻力的因素很多,主要有:模板材质和粗糙程度、温度、模板和混凝土的持续接触时间等。本条规定的各种结构的最小尺寸,符合国内、国外的成功实践,但在实际工程应用中应注意具体工程的实际条件,采取相应的措施。

本条维持了 GBJ 113—87 规范的提法,但对第 5 款进行了修订,由于方形截面柱短边和长边相同,因此实际上也规定了方形的截面不应小于  $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ 。

如采用滑框倒模施工,提升平台时,模板停留在原位不动,不存在模板对混凝土的摩阻作用,且“框”与模板间的摩擦力很小。因此结构截面尺寸可不加限制。

本条中对结构截面尺寸的要求是按采用钢模板的条件提出的。

**3.1.7** 关于滑模工程混凝土最低强度等级的要求,现行设计规范所规定的强度等级下限已可满足滑模施工的工艺需要。考虑到滑模施工的对象主要是体形较大的结构,在实际设计中混凝土等级已没有低于 C20 的,而且在高层建筑物中采用高强度等级混凝土

(或高性能混凝土)乃是今后的发展趋势,因此本条对混凝土强度等级的上限未作规定。目前滑模施工中采用 C40 等级混凝土已常见,C60 等级混凝土已有一些成功的实例。对滑模工程来说,设计采用较高的强度等级,也有利于在施工期内结构强度增长的需要。但是采用通常的高强度等级混凝土,其初期凝结性能和强度发展规律有可能与通常的混凝土有所不同,因此应在滑模施工的准备阶段通过滑升试验,检验该混凝土性能是否满足滑模工艺的要求,否则应对其“改性”,使之既满足结构的需要也能满足滑模施工的需要。

要求同一标高上的承重构件宜采用同一强度等级的混凝土,是考虑到滑模施工速度快,每一浇灌层厚度较薄,滑升区段全范围成水平分层布料,而且先后浇灌的顺序又不是固定的,如果同一标高上使用几种不同强度等级的混凝土,势必要延缓浇灌时间,影响滑升速度,更严重的是直观上不易区分,极易在搅拌、运输、浇灌等几个环节中被弄混,而又很难被发现,这对结构安全的影响很大。

**3.1.8 受力钢筋混凝土保护层厚度对保证结构的使用寿命具有重要意义**,因为对有代表性的结构物损伤调查分析显示,影响结构寿命的就是混凝土的“中性化”碳化。即混凝土与空气中的二氧化碳或存在于水中的碳酸钠或酸的作用,使混凝土中的氢氧化钙变成碳酸钙,硬化水泥的 pH 值由 12~13 的强碱性状态,降低到 pH 值为 11.5 以下。此时如果有水和氧的入侵条件,混凝土内的钢筋就会产生锈蚀。混凝土碳化由表及里,因此通常把混凝土碳化深度作为结构老化程度的一个重要指标。

本规范规定滑模施工的墙、梁、柱混凝土保护层最小厚度(在室内正常环境)比常规设计所要求的增加 5mm。这是考虑到模板提升时,由于混凝土与模板之间存在着摩阻力,如果控制不好,混凝土表面有可能因此出现微裂缝。虽然混凝土出模后要求经过原浆压光,对这种缺陷会有很大程度上的弥补,但要百分之百避免却十分困难。此外,由于梁一般不设弯起钢筋,箍筋直径有时较粗,

柱子的纵筋需要焊接或机械连接,都涉及到保护层厚度的实效。从维护结构的耐久性考虑,将保护层厚度增加 5mm 是必要的。

**3.1.9** 滑模施工中若要较大地改变竖向结构截面尺寸,需要移动模板、接长围圈、增补墙体模板面积和平台铺板等,这是一项十分费时费力且不安全的高空作业。在一定条件下,优先考虑变动混凝土的强度等级及配筋量去适应结构设计的需要,从工程的综合效益出发,尽量减少竖向结构截面变化次数,则十分有利于施工作业。本条的意图在于使设计注意到这一情况。条文规定是“减少变化”,并非不允许变化,对于高耸建(构)筑物,如限定设计上完全不变截面,会使得设计显得不合理,也非必要。

**3.1.10** 本条第 1、2 款提到的对结构钢筋的要求,是滑模施工特定的操作条件所带来的问题。尤其是第 2 款,对交汇于节点处的上、下、左、右的纵横钢筋,必须在施工前做详细的排列检查,使每根钢筋各占其位,不相矛盾。因为在滑模施工中各种钢筋是随着滑升施工逐渐进行绑扎的,当横向梁的钢筋出现时,柱子纵向钢筋已经固定于混凝土中,不可能进行任何调位。发生这种情况必然迫使整个区段的滑模施工陷于停顿,处理的难度较大,故必须事先予以理顺。设计者应在施工图中有所处置,施工人员亦应在开始滑升前,对此进行仔细检查。

第 3 款关于结构钢筋兼作支承杆的规定,作了较大的修订,将 GBJ 113—87 规范中 2.1.9 条第 3 款的第一句话“宜利用结构受力钢筋作支承杆”取消了,不再强调利用结构钢筋作支承杆,这是从保障施工质量出发,也随着社会经济发展和滑模工艺技术发展,出现大吨位千斤顶,在结构体外设置支承杆,利用结构钢筋的必要性降低了。

对兼作钢筋使用的支承杆能否满足结构受力钢筋的性能要求,过去曾做过一些试验并得到以下结论:

1 由于卡头对支承杆有冷加工的作用,其屈服点有明显提高,极限强度也有所增大,但接头焊接时,增加的强度又会得而

复失；

2 卡头对支承杆的压痕会减少其截面积，滚珠式卡头和楔块的卡头对  $\phi 25$  Q235 支承杆造成的相应最大截面损失分别为 6%~7% 和 3.3%；

3 混凝土在初凝前支承杆负载颤动，有助于提高混凝土对支承杆的握裹力，混凝土进入终凝后（常温约 6h）颤动会降低握裹力，并认为“对一般要求的结构构件支承杆与混凝土的握裹力能够保证两者的共同工作”；

4 支承杆受到油污后使混凝土对钢筋的握裹力有明显影响，当油污面积达到 50% 时，握裹力可降低 40%；

5 施工中支承杆接头的位置较低，焊接操作条件较差较难保证接头质量。

另外，法国 SNBATI 编制的《滑动模板设计和应用建设》中指出：“支承杆在结构设计中不作钢筋受力，因其连续性和粘着性是不定的。”

基于上述理由，在编写 GBJ 113—87 规范时，作出了“其设计强度宜降低 10%~25%”使用的规定。例如，设计时  $\phi 25$  支承杆降低为  $\phi 22$  钢筋计算，以弥补因压痕、油污、颤动等不利因素带来的影响，同时又能节约一些钢材。但是上述处理方式有些设计单位的同志提出了不同看法。主要有：

1 既然支承杆代替结构钢筋使用存在着一些对质量不确定的因素，因此，不宜在规范中鼓励这种代用。

2 GBJ 113—87 规范中规定“对兼作支承杆的受力钢筋，其设计强度宜降低 10%~25%”，问题是其降低的幅度应如何掌握？由施工单位自己确定？还是设计监理单位确定？

3 钢筋对构件承载力的作用，不仅与其数量有关，与其所在位置也有密切关系，而支承杆的位置却由施工要求确定，这两者的位置多数情况很难做到一致，如果不一致，就存在着支承杆能否代替钢筋或如何确定其代用量的问题？这里必须弄清楚在设计的内

力下,用支承杆代替结构钢筋的截面与原设计截面之间在作用(应力)方面存在什么差别,才能确定这种代用是否有效或有效到什么程度。显然这已经不是单独由施工一方所能解决的问题,而需要有设计单位的协助和认可。

可见,用支承杆代替结构钢筋使用虽然是可行的,但代用的条件又是苛刻的,因此在 GBJ 113—87 规范第 2.1.9 条第 3 款基础上修改为:“对兼作结构钢筋的支承杆,其设计强度宜降低 10%~25%,并根据支承杆的位置进行钢筋代换,其接头的连接质量应与钢筋等强。”

本条第 4 款是针对二次施工的楼板连接的“胡子筋”说的。直径大于 8mm 的“胡子筋”不易调直,其外露部分有弯钩,施工中易钩挂模板,也不易事后从混凝土中拉出。锚入混凝土中的部位宜有弯折(U 型),是为了防止钢筋被外力作用时产生旋转,而完全丧失锚固性能,同时弯折部分应满足锚固长度的要求。

**3.1.11** 在滑模施工中由于条件的变化,预埋铁件不便于埋设操作,设置较多的埋件往往要占用较长的作业时间,影响滑升速度,而且也容易产生遗漏、标高不准确、埋件阻碍模板提升、被模板碰掉或埋入混凝土中不靠近构件表面等问题,这说明预埋铁件的方式是陈旧了。采用在构件上用膨胀螺栓、锚枪钉、化学螺栓、钻孔植筋等后置方式,则要灵活得多,所以需要设计上尽量减少预埋件,这样既有利于施工,也使设计主动。有效的后锚固技术有多种多样,在规范中不必具体指定。

必须设置预埋铁件时,其设计应便于滑模施工中安装、固定。预埋件的竖向尺寸不应大于模板上口至提升架下横梁的净空距离,一般不宜大于 400mm,柱上的预埋件宽度宜比柱宽度小 50mm 以上。

**3.1.12** 为了避免因设置预埋件或预留孔洞的胎模使滑升工作产生过多的停歇,也为了便于施工管理,建议设计上尽量将各种管线集中布置,使这些预埋件能沿垂直和水平方向排列,而且按一定规



律排列的预埋件,在施工中也不易遗漏。

**3.1.13** 为防止因预留孔洞位置的偏差,使二次施工的构件不能顺利进行安装,这些预留孔洞(如梁窝、板窝等)的尺寸宜比设计尺寸每边增大 30mm。

### **3.2 筒体结构**

**3.2.1** 大面积贮仓群采用整体滑模施工,在技术上是完全可以做到的。但是搞大面积的一次滑升存在经济效益低,质量不易保证的缺陷。因为一次滑升的面积过大,所需的机具设备量多,一次投入的人力、物力过于集中,滑模装置周转利用率低,滑模施工的经济效益明显降低。从施工质量方面考虑,一次滑升面积过大,使用的机具和千斤顶的数量增多,千斤顶的同步控制更加困难,液压系统和施工机具出现问题(故障)的几率增大。每道工序的工作量、单位时间要求供应的物料量以及施工人员数量都要增大,现场的统一组织和指挥的难度都加大。其结果易使施工人员常处于对付各类设备的故障处理或待料停工状态之中,迫使全系统经常出现非计划停歇,措施不当易使混凝土出现表面拉裂、掉楞掉角、冷缝等质量缺陷,设计应该关注这种局面。

贮仓主要是环向结构,不宜采取在筒壁上留竖向通长施工缝的办法去分割滑模施工区。需要设计上予以创造分成小群体滑模施工的条件。

**3.2.2~3.2.6** 这些规定都是贮仓滑模施工中常遇到的问题,需要设计人员进行结构方案设计时尽可能予以配合和创造条件,几点要求也是提供设计处置不同情况的几种方式选择。条文是把滑模施工作为有效施工方法之一,并非限制性条文,不强调设计按照一套滑模装置从基础顶滑升到顶。

**3.2.7** 井塔的筒壁在结构形态及受力条件等方面都不同于一般的筒体构筑物。一般在其顶部安装有大型提升设备,塔体内有楼层,井塔的平面小,高度大(一般为 40~60m,少数达 70m),在冶

金、煤炭等系统中的数量不少,采用滑模施工是优越的。根据井塔的结构特点,采用带肋壁板结构,以保持壁板厚度不变,必要时可调整壁柱截面的长边尺寸,既满足受力的设计要求,又有利于滑模施工。

壁柱与壁板、壁板与壁板连接处的阴角设置斜托,一方面可加强转角的刚度,另一方面也有利于保证滑模施工质量。

**3.2.8** 井塔内部楼层结构的二次施工,是滑模施工的特定现象,工作量很大,结构设计条件多变,多种结构构件的相互连接,既分为二次施工又要符合整体结构的受力性状,而且跨度、截面、荷载等条件是多变的。因此条文规定必须由设计确定二次施工的方式及节点大样,不得由施工单位自行处理。本文内容上作了较多补充,针对常见的几种不同的二次施工方案作了具体规定。这既提醒设计落实这些特定要求,也有益于施工单位核查设计条件。

关于第1款所说的仅塔身筒体结构一次滑升,连接楼层的主梁也为二次施工时,几十米高的塔体暂时成为无内部横向结构支撑的空心筒体,壁板为直线形平板,长度常为12~15m,有时达18m,塔体又是承受竖向压力为主的结构,必须慎重对待施工期的结构稳定性问题。带肋壁板中的肋对维护壁板稳定性起重要作用,必须保持肋沿高度范围内的完整,不得采取预留梁窝而使肋被分割。

壁柱与楼层主梁二次施工的连接构造比较复杂,在焦家金矿主井井塔工程中,主梁的跨度为12m,截面尺寸为350mm×2000mm,成功地实践了主梁的二次施工。本条规定由设计做出主梁与壁柱连接大样,意在促进设计认真地处理这种构造,也促进施工单位认真地对待主梁的二次施工。

**3.2.9** 本次修订将原规范第2.1.3条的内容作了删减。保留了电梯井道采用独立滑模施工时关于适当扩大净空尺寸的要求。但将扩大尺寸由每边放大50mm修改为30mm。这是因为要预防万一发生施工偏差过大时,为设备安装留出调整余地。

**3.2.10** 带内衬的钢筋混凝土烟囱,设计上大多采用在筒壁上设置斜牛腿支撑内衬。不少单位为缩短工期,采用筒壁与内衬同时滑模施工(即双滑)。筒壁上的斜牛腿给施工带来一定困难,在实际工程中多改为矩形牛腿。牛腿的隔热处理是烟囱结构中的薄弱点,设计与施工双方都应重视。

**3.2.11** 筒体结构钢筋采用热轧带肋钢筋,是为了搭接时可不设弯钩,避免滑升时弯钩挂模板,有助于绑扎的钢筋不向下滑动,也有利于模板滑升时阻止混凝土随模板带起。直径小于 10mm 的竖向钢筋容易弯曲,施工固定比较困难,建议不予采用。关于双层钢筋网片之间的拉结筋的设置,需考虑结构受力特性,应在图纸上予以规定。在筒仓类结构中,以环向钢筋受拉为主,拉结筋在施工中起控制钢筋网片的定位作用。但在井塔类结构中,是以竖向钢筋受压为主,拉结筋的作用除了在施工中起定位作用外,还要保证受压钢筋不屈曲,应参照柱子箍筋的要求设置。

另外,以适当间距增设八字形拉结筋,可以有效地阻止钢筋网片的平移错位。

**3.2.12** 筒体结构中的环向钢筋为主要受力方向,其接头应优先采用性能可靠的机械连接方式。

### **3.3 框架结构**

**3.3.1** 本条各款是为了尽量避免在高空重新改装模板系统或简化模板改装工艺所作的规定。

**3.3.2** 本条是新增补的。意在促进设计理解在框架结构滑模施工中,希望增强柱子的刚度,加大柱子的层间高度,减少横梁的数量。采用异形截面的柱子,可以实现其刚度比相同截面积的常规矩形或圆形柱子大几倍,设计出最适合于滑模施工的框架结构,充分发挥滑模的优势。已有工程实例如安庆铜矿主井塔架高 48.7m,柱设计为四根角型柱,层高 10m 及 12m,横梁跨度为 3.6m。这种结构设计就很富有滑模施工的特性。

**3.3.3** 次梁二次施工,在主梁上预留梁窝槽口进行二次浇筑混凝土,对主梁承受弯曲及槽口处受剪切性能是否有影响,为此,在金川做过12根梁的对比破坏性试验(梁窝为锯齿状,次梁的高度占主梁高度的 $1/3\sim 4/5$ ),没有发现二次浇筑与整体浇筑有区别,故指明仍可按整体结构计算。

**3.3.4** 本条规定柱上无梁侧的牛腿宽度宜与柱同宽,有梁侧的牛腿与梁同宽,是为了简化牛腿模板的制作安装,使施工时只需插入堵头模板即能组成柱和牛腿的模板。如果牛腿的支承面尺寸不能满足要求时,加宽部分可设计成二次施工,形成T型牛腿。

**3.3.5** 本条所列各项都是针对滑模施工特定条件提出的。

1 在楼板二次浇筑之前,梁的上部钢筋是外露的,不能承担施工期间的负弯矩,设计必须将梁端的负弯矩钢筋配置成二排,让下排负钢筋在施工期发挥作用,以承受施工期的负弯矩。

2 在滑模施工中,梁的主筋又粗又长,在高空作业穿插就位比较困难,若为弯起筋就更难穿插了。现行设计规范是允许梁中不设弯起钢筋的。

3 由于不设弯起筋,强化了箍筋间距一般较密,有时直径也较粗。采用分区段按不同间距设置对施工没有困难,在梁端剪力较大区段,箍筋间距密一些,随着剪力的减小,在梁的跨中区段箍筋间距疏一些是合理的。

4 由于梁主筋较长,如钢筋端头有较大的弯折段,施工中不便向柱头内穿插,特别是梁的主筋端头有向下的弯折段时,由于柱内已浇灌有混凝土,后安设梁的主筋,其向下的弯折段常无法埋入混凝土中,因此设计上需将弯折段朝上设置。

5 主梁上的预留槽口处,截面受压的混凝土空缺过大,涉及梁在施工期间的弯曲强度问题,应防止二次施工时次梁和楼板发生事故。例如在槽口部位适当加粗主筋直径,增设粗的短钢筋,必要时可减少槽口深度,保留部分梁宽截面,都可以保持主梁在二次浇灌前的抗弯能力。

**3.3.6** 本条是采用劲性骨架或柔性钢筋骨架支承梁底模时,对骨架设计提出的要求。骨架挠度值不大于跨度的  $1/500$ ,是根据《混凝土结构工程施工及验收规范》GB 50204—92 规定关于梁、板模板起拱值( $1/1000 \sim 3/1000$ )确定的。在设计骨架时,应考虑侧模板对混凝土的负摩阻力和梁体自重共同作用下,不使梁底下挠。骨架应设计成便于安装的形式,故宜采用端腹杆向下斜形式。骨架的上弦杆如作为梁配筋的一部分,在框架节点或连续梁的情况下,弦杆伸入支座内的长度应满足锚固要求。

**3.3.7** 本条为柱的配筋规定。

1 为了适应在柱内布置千斤顶,纵向钢筋的根数少一些,容易避开千斤顶底座及提升架横梁所占的位置。一般千斤顶底座宽度为  $160\text{mm}$ ,提升架横梁宽度为  $B=160 \sim 210\text{mm}$ ,如支承杆设置在提升架横梁的中间位置,则横梁两侧的纵向钢筋至支承杆中心的距离应大于  $B/2 + \text{纵向钢筋直径}$ 。

2 纵向受力筋采用热轧带肋钢筋,有利于箍筋的定位;当其兼作支承杆使用时,其握裹力受油污、振动的影响较小。这都是相对而言的,故在条文中用了“宜采用”一词。在滑模施工中柱子纵筋在竖向就位后,不能立即绑扎箍筋,如直径小于  $16\text{mm}$  容易发生弯曲和定位困难。

3 保持纵向钢筋根数不变,而调整直径来适应配筋量变化的要求,在设计上不会有什么困难,却能给施工提供方便。

4 由于有千斤顶、提升架横跨在柱头上,柱子的箍筋不能按常规施工那样由上向下套入纵钢筋,只能在提升架横梁以下的净空区段从侧面置放箍筋,这是滑模施工的特定条件。关于箍筋的组合形式,由于柱子的尺寸及配筋情况变化很大,不宜具体规定,只写明了原则要求。

**3.3.8** 主次梁的二次施工连接构造是滑模施工中特有的最常见的问题。主次梁的各自截面尺寸、跨度、配置及荷载大小等等条件是多变的,而且差别很大。设计中应注意主梁槽口处在施工期间

的弯曲强度、剪切强度,次梁端部钢筋的锚固性能,支座接触面的剪切强度,并注意二次浇灌的易操作性,确保混凝土密实,防止锚固钢筋锈蚀。以往滑模施工中,各地都有一些行之有效的做法,本规范中不便具体规定用哪一种。

**3.3.9** 要求设计上注意这两点是容易做到的。这样能够在施工中使用工具式胎模,简化施工工艺,并有利于保障施工质量。

### **3.4 墙板结构**

**3.4.1** 关于墙板结构的布置,要求上、下各层平面的投影重合,是为了避免施工中在高空重新组装模板。

关于对地下室部分的设计要求,在本规范中已经删除,这是考虑到高层建筑的地下部分,其使用性质包括人防、停车、商场及配置各类机电设备等等,常使地下结构配置不同于地上结构的配置,而且在结构条件方面,地下部分结构的截面尺寸及钢筋保护层厚度、防水等要求亦不同于地上部分。过多地强调扩大滑模施工范围,向设计提出过多限制性要求是不适宜的,实际上多数工程也是做不到的。设计不能削弱使用功能效果去适应滑模施工的要求。因此删除了原规范关于对地下部分墙板的提法。

**3.4.2** 要求各层门窗洞口位置一致,是为了便于布置提升架,避免支承杆落入门窗洞口内。对梁底标高等方面的要求,是为了减少滑升中停歇的次数,有益于加快施工进度。

**3.4.3** 一个楼层的横向结构工作量是比较大的。滑模施工每遇一个楼层必停顿较长时间,要做一定的技术性处理。这对滑模施工的效率影响较大,也是滑模施工质量方面的薄弱环节,规定要求在同一滑升区段避免错层,以减少滑模停顿次数,提高作业效率。

**3.4.4** 在我国北方地区墙板结构的高层建筑中,为满足热工性能要求,多采用轻质混凝土外墙,普通混凝土内墙。在滑模施工中对两种不同性质的混凝土,能在外观上直观地加以区别,同时采取相应措施做到不搞错、不混淆,质量上能够得到保证。本条意在提醒

设计者可以如此设计。

**3.4.5~3.4.10** 这里所提到的墙体配筋只是涉及到与滑模施工有关的构造问题,其基本内容都是要求在设计钢筋的布置和形状时考虑到施工中便于实际操作,使钢筋不妨碍模板的滑升,各种钢筋不相互矛盾。

## 4 滑模施工的准备

**4.0.1** 滑模施工是一种现浇混凝土的快速施工方法。其工艺特点决定了要保证工程质量必须满足施工作业连续性,避免过多或无计划的停歇,因为无计划的停歇常常会造成粘模现象,使结构混凝土掉棱掉角、表面粗糙,甚至拉裂,或者在停歇位置形成环带状的酥松区,使结构混凝土的质量遭受很大损失。经验告诉我们,滑模施工中切忌“停停打打”、“拉拉扯扯”,不能按计划对模板进行提升。由于滑模施工各工序之间作业要求配合紧凑,各种材料、机具、人员、水电、管理准备到位的要求就愈为重要,过去某些工程为此付出很大的代价。为了强调滑模施工准备工作的重要性,也为了使滑模施工负责人在检查施工准备工作时发现问题,以便进一步完善施工准备,本条列举了施工准备工作应达到的标准。这些标准写得比较原则,因为对不同的工程对象其施工准备的内容会有所不同,不宜写得过于具体。本条的目的:一是提请施工的组织者要十分重视准备工作;二是提出了应从哪几个方面来进行施工准备工作的检查。显然,在进行准备工作检查前尚应根据工程具体情况拟定检查大纲,检查过程中应有记录,检查结束后应有结论,提出尚有哪些不足,以及确定改正时间和正式开始滑升日期。

**4.0.2** 施工单位拿到了设计图纸后,首先是认真学习设计图纸,了解设计意图,掌握结构特点,对图纸进行全面复查。滑模工程的设计人员虽然对滑模工艺有所了解,但毕竟有局限性,因此施工单位总难免会有一些图纸上的问题需要与设计共同协商解决办法。如:适当对设计做局部修改,就能既满足结构上的功能要求,又能简化施工,便于保证工程质量;确定某些不宜滑模施工部位(如某



些横向结构等)的处理方法、连接设计和构造要求;对因划分滑模作业区段带来的某些结构变化进行处理等等。这些问题的合理解决,对加快滑模施工速度、保证工程质量起到重要作用。因此,在施工准备中首先应关注此事,为充分发挥滑模技术优势,提高施工的经济效益创造条件,也为设计提供较充裕的时间对设计图纸进行修改。

**4.0.3~4.0.5** 滑模施工是在动态下连续成型的施工工艺,又是一种技术含量高,施工管理水平较高的施工方法。因此,根据滑模施工工艺的特点,对滑模工程的施工组织设计、施工总平面布置、施工技术设计等内容及要求做了一般性规定。本次修订,强调了滑模施工安全和质量的重要性,如将“施工安全技术、质量保证措施”明确作为施工组织设计的一项主要内容之一;增加了“对于烟囱类变截面结构,警戒线距离应增大至其高度的  $1/5$ ,且不小于  $25\text{m}$ ”;增加了“绘制所有预留孔洞及预埋件在结构物上的位置和标高的展开图”及“通讯联络方式”;增加了“制定滑模设备在正常使用条件下的更换、保养与检验制度”、“烟囱、水塔、竖井等滑模施工,采用柔性滑道、罐笼或其他设备器材、人员上下时,应按现行相关标准做详细的安全及防坠落设计”等内容。

## 5 滑模装置的设计与制作

### 5.1 总体设计

**5.1.1** 将整套滑模装置根据作用不同划分为若干个部分,一方面可以使施工的组织者对一个庞大的施工装置的各个部分的作用和相互之间的联系有一个清晰的认识,另一方面也便于防止各部件在具体设计时不至于“漏项”。本条在修订中增加了以下内容:

1 近年来高层建筑应用滑模工艺不断增加,高层建筑结构截面随高度上升而变化,同烟囱等构筑物一样,高层建筑滑模设计时必须考虑截面变化方法,设置可调节装置。因此本条第1款“模板系统”中包括的“模板”不仅指模板板面,也包括适应模板截面变化要求的模板可调节装置。

2 滑模施工中模板倾斜度是影响滑升和保证墙面质量的重要因素。初始设定的倾斜度,由于荷载影响滑模装置变形,易造成模板“倒锥”或倾斜度过大、墙面“穿裙”等现象,因此,必须经常进行倾斜度的检查和校正,所以在第1款中明确规定了包括倾斜度调整装置。

3 随着滑模技术的发展,滑模装置除必备的动力照明外,信号、广播、通讯早已广泛应用,近年来一些大型滑模工程已采用了电视监控,并逐步向全天候全自动监控方向发展。由于平台始终趋于动态中,向操作平台提供施工用水,不仅要求送水高度大,又存在着混凝土早期脱模等特殊问题,使电气系统和供水系统都已成为滑模施工不可缺少的部分。针对这种情况,本条增加水、电配套系统一款。

**5.1.2** 本条提出滑模装置设计的基本内容和具体步骤,与GBJ 113—87规范第4.1.2条比较有以下三点改变:其一是强调

了滑模装置设计除应符合本规范外,还应遵守国家现行有关专业标准的规定。其二,将原第 1 款中“绘制各层结构平面的投影叠合图”改为“绘制滑模初滑结构平面图及中间结构变化平面图”。因“各层”仅适用于高层建筑,对构筑物而言不确切,另外投影叠合到一起的图也没有实际意义,而起滑、终止及中部结构变化,对滑模设计至关重要,如墙、柱、梁的截面变化,位置变化,形状变化等,都与滑模装置设计及滑模施工有关。其三,本条第 5 款,过去随升井架是附着在操作平台上的,但现在有了布料机以后,“特殊设施”与滑模的关系已超出了“操作平台”范围,故修订后的第 5 款局部改为:“包括与滑模装置相关的垂直和水平运输装置等”,着重指出是“相关”而不一定是“附着”。

**5.1.3、5.1.4** 规定了设计滑模装置时必须计算的各种荷载和标准取值方法(见本规范附录 A)。现说明以下几点:

**1** 关于操作平台上的施工荷载标准值。施工荷载包括施工人员、工具和临时堆放用料的荷载,在结构设计中,对板、次梁、主梁、柱等根据所承担的有效荷载,按最大负荷值存在的频率,不同类型的构件允许有不同的荷载组合系数,承受范围愈大组合系数愈小,荷载折减愈多。滑模施工操作平台布置比较紧凑,平台上出现异常荷载情况的机会也较多,根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定,将 GBJ 113—87 规范附录二中关于“施工人员、工具和存放材料”一项中设计平台桁架、围圈及提升架、支承杆数量的荷载修订为:

施工人员、工具和备用材料:

设计平台铺板及檩条时,为  $2.5\text{kN/m}^2$ ;

设计平台桁架时,为  $2.0\text{kN/m}^2$ ;

设计围圈及提升架时,为  $1.5\text{kN/m}^2$ ;

计算支承杆数量时,为  $1.5\text{kN/m}^2$ 。

吊脚手架的施工荷载,原 GBJ 113—87 规范未列出,考虑到滑模施工时,在正常情况下,吊脚手架上有混凝土表面抹灰、修饰、检

查、附着混凝土养护用水管等作业,当出现质量问题时到脚手架上检查、观察和处理操作的人员较多,且很集中,因此规定了“吊脚手架的施工荷载标准值(包括自重和有效荷载)按实际重量计算,且不得小于  $2.0\text{kN/m}^2$ ”, $2.0\text{kN/m}^2$  系参照装修用脚手架施工荷载标准值确定的。

2 关于混凝土对模板的侧压力。侧压力是设计模板、围圈、提升架等的重要依据。混凝土对模板的侧压力与很多因素有关,如一次浇筑高度、振捣方式、混凝土浇筑速度和模板的提升制度等等。所以要精确计算施工中模板所承受的混凝土侧压力是困难的,国内外在计算侧压力时,都在实测的基础上提出多种简化的近似计算方法,但彼此间的计算结果出入较大。

滑模施工中,模板在初滑和正常滑升时的侧压力是不同的,初滑时一般是在分层连续浇灌  $70\sim 80\text{cm}$  高度,混凝土在模板内静停  $3\sim 4\text{h}$  之后进行提升,因此在这个高度范围内均有侧压力存在。四川省建研院和省建五公司曾在气温为  $+26^\circ\text{C}$  条件下,用坍落度  $3\sim 5\text{cm}$ ,强度等级为 C20 的混凝土,以  $20\text{cm/h}$  的速度分层浇灌  $70\text{cm}$  高度,用插入式振捣器振捣,实测模板侧压力分布见图 1。

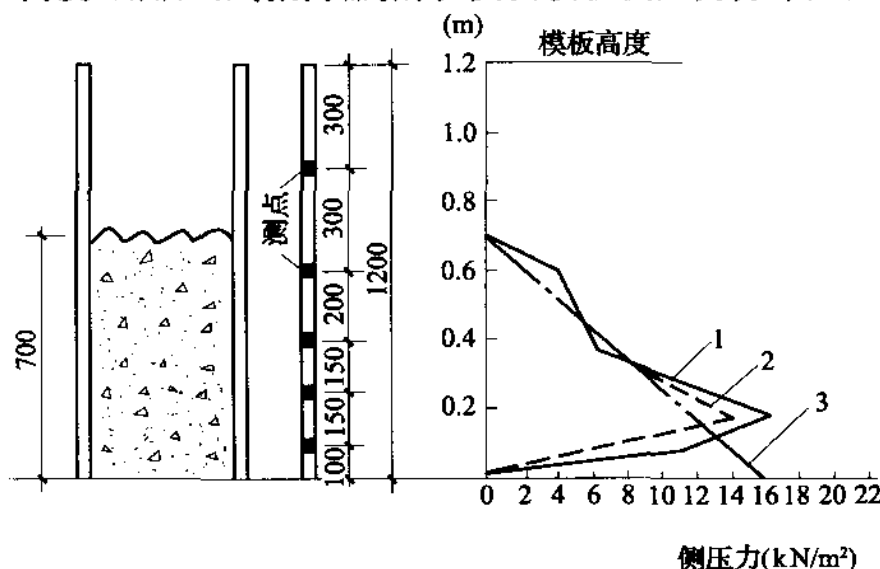


图 1 初滑时混凝土侧压力

1—机械振捣后侧压力曲线;2—未振捣时侧压力曲线;3—液体静压力线

由图 1 可见,混凝土上部 2/3 高度范围内的侧压力分布,基本上接近液体静压力线;下部的 1/3 高度压力线呈曲线状态,压力最大值约为  $17\text{kN/m}^2$ ,作用在模板下口 1/3 高度处,总合力值为  $5.9\text{kN/m}^2$ 。

在模板正常滑升时,由于模板存在着倾斜度,且模内下部混凝土逾期已达  $4\sim 5\text{h}$ ,模板的下部与混凝土实际上已脱离接触,侧压力趋近于零,只有模板上部高度范围内有侧压力存在。

根据原民主德国、罗马尼亚及我国一些单位的实测资料,可以认为,振动捣实混凝土时,侧压力按图 2 曲线分布。

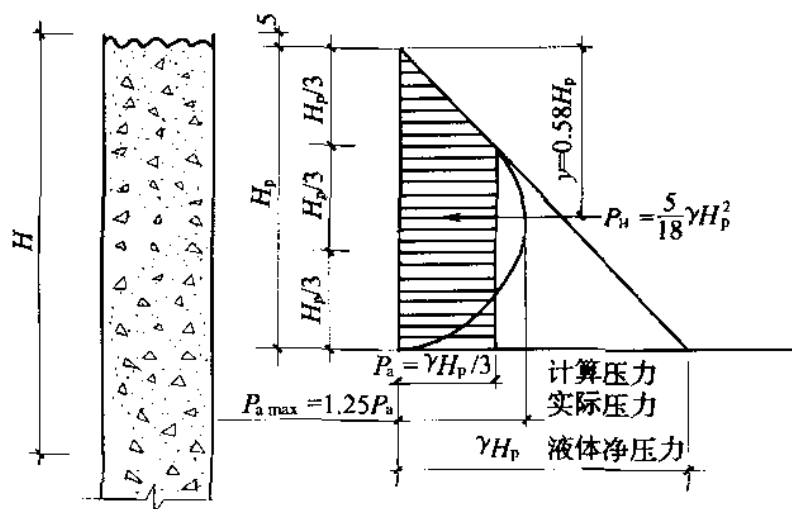


图 2 侧压力分布曲线

侧压力作用高度  $H_p$  为混凝土与模板的接触高度,在  $H_p$  上部 1/3 范围的侧压力与液体静压力吻合,压力最大值是在下部 1/3 处,侧压力的合力为  $P_H$ 。并认为可将此种压力分布简化为一等量的梯形分布替代;

混凝土容重为  $\gamma$ ;

上部  $1/3 H_p$  处液体静压力  $P_a$ ,  $P_a = \gamma H_p/3$ ;

最大侧压力  $P_{a \max}$ ,  $P_{a \max} = 1.25 P_a$ ;

侧压力的合力  $P_H$ ,  $P_H = 5/18 \times \gamma H_p^2$ ;

合力的作用点在混凝土表面以下的距离  $y$ ,  $y = 26/45 H_p \approx$

$0.58H_p$ 。

由于正常滑升时的侧压力小于初滑时的侧压力,所以应以初滑时的侧压力作为设计依据,取  $5.0\sim 6.0\text{kN/m}$ ,合力的作用点约在  $2/5H_p$  处,  $H_p$  为模板内混凝土浇筑高度。

3 关于模板滑升时的摩阻力。模板滑动时的摩阻力主要包括新浇混凝土的侧压力对模板产生的摩擦力和模板与混凝土之间的粘结力。影响摩阻力的因素很多,如混凝土的凝结时间、气温、提升的时间间隔,模板表面的光滑程度,混凝土的硬化特性、浇灌层厚度、振捣方法等等。实践证明,混凝土在模板中静停的时间愈长,即滑升速度愈慢,则出模混凝土的强度就高,混凝土与模板间的粘结力就大,摩阻力也就越大。

通常认为摩阻力由模板与混凝土之间的摩擦力和粘结力两部分组成。即:

$$Q=M+T=M+PF \quad (1)$$

式中  $Q$ ——摩阻力;

$M$ ——切向粘结力;

$T$ ——摩擦力;

$P$ ——混凝土对模板的侧压力;

$F$ ——混凝土与模板间的摩擦系数。

根据 Z. Reichverger 的试验,不同温度和不同接触持续时间,钢模板与砂浆的切向粘结力  $M$  如图 3 所示。钢模板与砂浆之间的摩擦系数与接触时间长短的关系不大,而与试验时的正压力有关,见表 1。

表 1 钢模板与砂浆之间的摩擦系数表

接触持续时间(min)		5	60	120	240
试验压力值 ( $\text{N/cm}^2$ )	0.025	0.52	0.57	0.50	0.50
	0.05	0.49	0.49	0.48	0.47
	0.1	0.38	0.37	0.36	0.35

试验条件:砂浆配比  $w/c=0.55, c/s=0.5, t=20^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$ 。

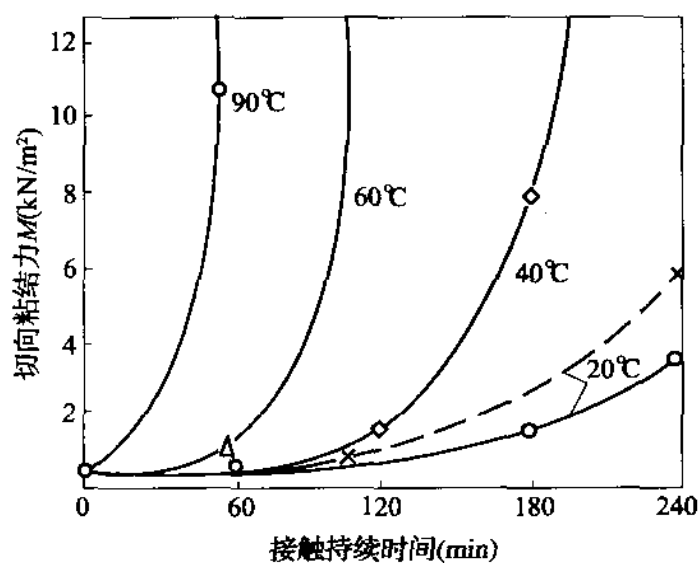


图 3 切向粘结力与温度、接触持续时间的关系  
 ——  $w/c=0.55, c/s=0.5$ ; ----  $w/c=0.45, c/s=0.5$

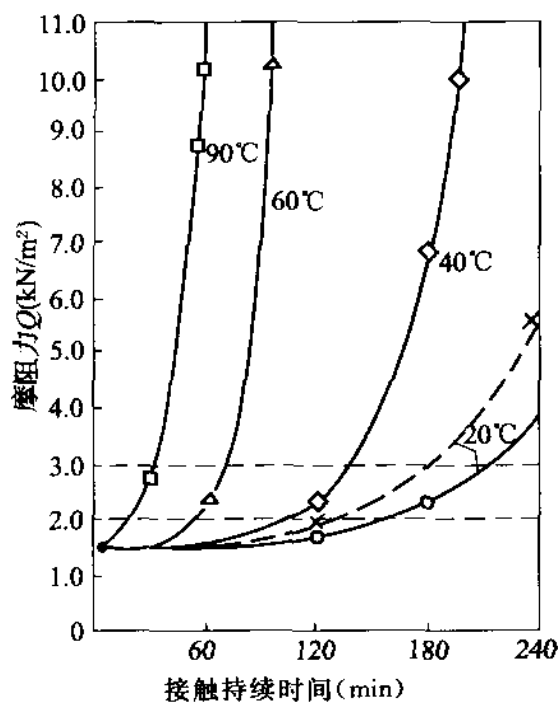


图 4 滑升时摩阻力与接触时间、温度的关系  
 ——  $w/c=0.55, c/s=0.5$ ; ----  $w/c=0.45, c/s=0.5$

引用上述资料,并设正常滑升时平均的模板侧压力为  $4.7\text{kN/m}^2$ ,摩擦系数为  $0.35$ ,则摩阻力  $Q$  在不同温度和接触持续时间下有如图 4 的关系。可以看出,当  $t=20^\circ\text{C}$  时,模板与混凝土的持续接触时间在  $1.5\text{h}$  时  $Q$  约为  $1.5\text{kN/m}^2$ ,  $2\text{h}$  时  $Q$  约为  $1.8\text{kN/m}^2$ ,  $3\text{h}$  时  $Q$  约为  $3.0\text{kN/m}^2$  左右。

北京一建公司的试验结果见下表:

表 2 实测摩阻力表

混凝土在模板内滞留时间(h)	2.5	3~4	5	6~7
摩阻力( $\text{kN/m}^2$ )	1.5	2.28	4.04	6.57

四川省五建采用  $1.2\text{m}$  高的钢模板方柱体试件,混凝土初凝时间为  $2.8\text{h}$ ,终凝时间为  $5.5\text{h}$ ,模板滑升速度为  $30\text{cm/h}$ 。在模板正常滑升时,摩阻力沿模板高度呈曲线分布,如图 5 所示,钢模板的平均摩阻力为  $2.0\sim 2.5\text{kN/m}^2$ 。

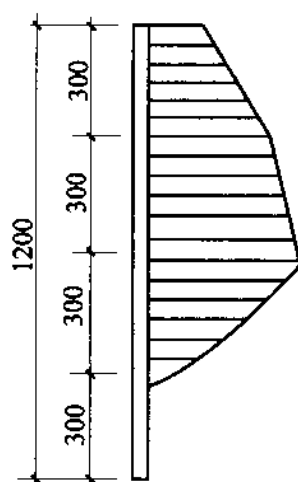


图 5 摩阻力分布曲线

一般说,混凝土在模板中停留时间最长的情况发生在模板初滑或是滑空后开始浇灌混凝土时。正常情况下,混凝土在模板内的静停时间为  $3\sim 4\text{h}$ 。从上述试验结果可以看出,在这个范围内,摩阻力值在  $1.5\sim 2.5\text{kN/m}^2$  之间。考虑到施工过程中可能出现



由于滑升不同步、模板变形、倾斜等原因造成的不利影响,摩阻力取  $1.5 \sim 3.0 \text{ kN/m}^2$  是适宜的。施工中因故停滑时,必须采取相应的停滑措施。

4 关于采用滑框倒模法时的摩阻力。采用滑框倒模时,混凝土与模板之间无相对移动,摩阻力不表现在混凝土与模板间的摩擦和粘结,而是表现在钢模板与钢滑轨间的摩擦和机械咬合,其摩阻力要比混凝土与钢模板之间的摩阻力小得多,据首钢建筑公司实践结果表明,模板与滑轨间的摩阻力标准值取  $1.0 \sim 1.5 \text{ kN/m}^2$  是合适的。

5 倾倒混凝土时,模板承受的水平冲击力,系参照原《混凝土结构工程施工及验收规范》GB 50204—92,用溜槽、串筒或  $0.2 \text{ m}^3$  的运输器具倾倒混凝土时,作用于模板侧面的水平集中荷载标准值为  $2.0 \text{ kN}$ 。

6 当采用料斗向操作平台卸料时,对平台会产生较大的集中压力,在原 GBJ 113—87 规范和其他有关规范中都没有指出这一集中力是否应在操作平台设计中予以考虑,也没指出该力的大小应如何确定。但实践证明,由于滑模施工平台一般柔性较大,在滑模平台结构设计时必须考虑这一集中力的影响,因此在规范中应对其作具体规定。关于该力的取值,目前尚未找到有关资料可供借鉴,本次规范修订中所采用的计算方法是基于以下理由确定的。

设混凝土是一种不可压缩的流体,下卸到操作平台上的混凝土压力由两部分组成。一部分为当漏斗中混凝土处于最高顶面时对平台造成的压力,另一部分是落下至平台上且尚未被移走的混凝土造成的压力。则总的压力应为两者之和。

混凝土最高顶面至平台的距离设为  $H$ ,则:

$$H = h_0 + h \quad (2)$$

根据流体稳定运动的伯努利方程可得到流体提供的单位面积上的压力  $\omega_0$  为:

$$\omega_0 = 1/2 \times \rho v^2 = 1/2 \times \gamma/g \times v^2 \quad (3)$$

式中  $\gamma$  ——单位体积的重力(重力密度),混凝土一般取  $2.4\text{kN}/\text{m}^3$ ;

$v$  ——质点下落至平台上的速度( $\text{m}/\text{s}$ )。

已知质点自由下落至平台时的速度  $v$  为:

$$v = (2H \times g)^{1/2} \quad (4)$$

公式(4)代入公式(3)得:

$$\omega_0 = 1/2 \times \gamma/g \times 2H \times g = \gamma H$$

当卸料器的面积为  $A_1$  时,则混凝土下卸至平台的压力  $\omega_1$  应为:

$$\omega_1 = \gamma H A_1 = \gamma(h_0 + h) A_1 \quad (5)$$

混凝土卸至平台上,尚未移开之前堆存的混凝土量,即每次开启卸料口至关闭卸料口之间下卸的混凝土量为  $B(\text{m}^3)$ 。因此造成的平台压力  $\omega_2$  为:

$$\omega_2 = \gamma B$$

施加在平台上总的压力  $\omega_k$  (标准值)为:

$$\begin{aligned} \omega_k &= \omega_1 + \omega_2 \\ &= \gamma(h_0 + h) A_1 + \gamma B \\ &= \gamma[(h_0 + h) A_1 + B] \end{aligned} \quad (6)$$

式中  $h_0$  ——料斗存料的最大高度( $\text{m}$ );

$h$  ——卸料口至平台间的距离( $\text{m}$ );

$A_1$  ——卸料口的截面积( $\text{m}^2$ );

$B$  ——卸料堆存的最大混凝土量( $\text{m}^3$ )。

由于该集中力为可变荷载,其设计值应乘以分项系数  $\gamma_c = 1.4$ ,作用点在漏斗口的垂直下方的平台上。

**5.1.5** 本条中对总垂直荷载的计算方法与 GBJ 113—87 规范第 4.1.4 条的规定有较大区别。原规范第 4.1.4 条要求计算千斤顶和支承杆布置最小数量时,要根据两种状态来计算总的垂直荷载。一种情况是当操作平台处于静止状态时,只考虑滑模装置的自重、施工荷载和平台上附着的起重运输设备运转时的附加荷载;另一

种情况是当操作平台处于滑升状态时,只考虑装置的自重、施工荷载、模板提升时混凝土与模板之间的摩阻力,但不须考虑平台上起重设备运转时的附加荷载。总的垂直荷载取两者之中的最大者,这是因为当时强调了提升时平台上的起重运输设备是不允许运行的。现在的情况不同,为了保证滑模工程的外观质量,人们认识到应以滑升过程作为滑模施工的主导工序,实现微量提升,减短停顿,这样会使得提升过程中不仅不会使平台上的各种施工作业停顿,同时使用平台上的起重运输设备成为不可避免。因此,计算千斤顶和支承杆可能承受的最大垂直荷载应是全部垂直荷载的总和(包括混凝土与模板间的摩阻力和平台起重运输设备的附加荷载,即应按第 5.1.3 条中第 1~6 款之和)计算。

从千斤顶设备承载能力来说应不大于其额定承载能力的一半,是考虑因施工工艺控制方面造成的荷载的不均衡性以及设备制造中可能存在的缺陷。千斤顶在使用中至少应有不小于 2.0 的安全储备。

目前工程中使用的穿芯式滑模用千斤顶有两种,一种是额定承载能力为 30kN、35kN 千斤顶,与之配套的是  $\phi 25$  圆钢支承杆;另一种是额定承载能力为 60~100kN 千斤顶,与之配套的是  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆。根据研究分析,施工中支承杆失稳时,其弯曲部分首先发生在支承杆上部的外露段,随即扩展到混凝土的内部,这种情况多是由于支承杆脱空长度较大,平台有较大倾斜或扭转,相邻千斤顶升差较大等原因引起的,这种失稳施工中出现较多,如能及时发现处理,一般不会造成严重后果。下部失稳,弯曲首先发生在模板中部以下部位(混凝土内),产生的主要原因多是支承杆脱空长度较小,入模后的混凝土强度不能正常增长,滑升速度过快,出模混凝土强度过低,两者不相适应,混凝土对支承杆不能起到稳定嵌固作用,或支承杆严重倾斜或提升操作失误等。如因此引起群杆失稳,混凝土大片坍落,可造成整个平台倾翻,后果非常严重。但只要在施工中注意掌握混凝土强度的增长规律,适时调

整滑升速度,严格对混凝土原材料质量进行检查,这种情况是完全可以避免的。

在滑模装置设计中确定支承杆的承载能力是以保证混凝土强度正常增长,控制支承杆脱空长度和混凝土出模强度为前提的。因此,应以上部失稳的极限状态作为确定支承杆承载能力的依据(见本规范附录 B)。

在编写 GBJ 113—87 规范时,曾收集到 6 个单位模拟滑模施工条件,对  $\phi 25$  支承杆承载力试验结果(模板下口处混凝土强度控制在  $5 \sim 30 \text{ N/cm}^2$ ),经研究综合分析整理给出了  $\phi 25$  支承杆极限承载能力的计算式:

$$P_k = 40EI / (L_0 + 95)^2 \quad (7)$$

式中  $L_0$ ——支承杆的脱空长度(cm);

$E$ ——支承杆钢材的弹性模量,为  $2.1 \times 10^4 (\text{kN/cm}^2)$ ;

$I$ ——支承杆的截面惯性矩。

应注意,上式虽然具有欧拉公式的形式,而实质是以试验结果为基础归纳所得,其适用范围是:

1 公式(7)适用于一端埋入混凝土中的  $\phi 25$  支承杆,不能用于其他形式和截面的支承杆;

2 脱空长度  $L_0$  取混凝土上表面至千斤顶下卡头之间的距离;

3 适用于  $L_0$  在  $60 \sim 250 \text{ cm}$  之间。

群杆的承载能力会低于单杆承载力的总和,因群杆不能做到均匀负载。此外,施工中由于平台的倾斜、中心飘移、扭转、千斤顶升差等原因,也会造成个别杆子超载,故在计算支承杆数量时,杆子的承载能力应乘以工作条件系数  $\alpha$ 。根据经验, $\alpha$  视操作水平和平台结构情况等条件而定,一般整体式刚性平台取 0.7,分割式平台取 0.8,此外尚应取不小于 2.0 的安全系数  $K$ ,由此得出 GBJ 113—87 规范附录三中关于  $\phi 25$  支承杆承载能力的计算式:

$$P_0 = \alpha 40EI / [K(L_0 + 95)^2] \quad (\text{kN}) \quad (8)$$

式(8)有较多的试验资料为依据,在 GBJ 113—87 规范颁布后

使用了十余年,未反馈回什么不同意见或问题,因此在修订中仍维持该式不变,但删去了 $\alpha$ 取值中“采用工具式支承杆取 1.0”的规定,因结构设计师不提倡使用带套管的工具式支承杆。

近年来出现的中吨位穿芯式千斤顶,配套使用 $\phi 48 \times 3.5$ 钢管作支承杆。关于该种支承杆承载能力的确定,因没有足够多的试验资料和统一的计算方法,各单位在使用中是根据自己的经验来确定其承载力。据调查,目前主要有以下三种计算方式:

方法 1:认为支承杆两端为固定取 $\mu=0.5$ ,杆下端嵌固于混凝土的上表面以下 95cm 处,上端嵌固于千斤顶下卡头处,套用《钢结构设计规范》GB 50017 中关于轴心受压构件的稳定性计算方式确定长细比 $\lambda=0.3165(L_0+95)$ :

$$P_0=48.9\psi$$

式中  $L_0$ ——支承杆脱空长度,即下卡头至混凝土上表面的距离(cm);

$P_0$ —— $K=2.0$ 、 $\alpha=1.0$  时支承杆的允许承载力(kN)。

方法 2: $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆在结构体外使用时,认为杆子一端为铰支,另一端为半铰支状态, $\mu=0.75$ ,其承载能力按欧拉公式确定:

1 对大柔度杆( $\lambda \geq \lambda_1$ ):

$$P_0=(\alpha/K)[\pi^2 EI/(\mu L)^2]$$

当  $K=2.0$ 、 $\alpha=1.0$  时:

$$P_0=(1505.1/L)^2$$

式中  $L$  取千斤顶下卡头到模板下口第一个扣件节点距离。

2 如为中柔度杆( $\lambda < \lambda_1$ )时,按下式计算杆子的稳定性,确定杆子的允许承载力:

$$P_0=(\alpha/K)A(a-b\lambda)=(\alpha/K)(148.656-0.26L)$$

当  $\alpha=1.0$ 、 $K=2.0$  时:

$$P_0=74.328-0.13L$$

注: $\lambda_1=\pi^2 E/\sigma_p$

式中  $\sigma_p$ ——比例极限, Q235 钢为  $20\text{kN/cm}^2$ ;

$a$ ——常数( $a=3.040\text{kN/cm}^2$ );

$b$ ——常数( $b=0.112\text{kN/cm}^2$ )。

$\phi 48 \times 3.5$  焊接钢管特性:

截面面积  $A=4.89\text{cm}^2$ 、截面惯矩  $I=12.296\text{cm}^4$ ;

截面回转半径  $r=1.58\text{cm}$ , A3 钢弹性模量  $E=2.1 \times 10^4 \text{kN/cm}^2$ 。

方法 3: 假定支承杆一端为铰, 另一端为半铰(即取  $\mu=0.75$ ), 杆子的计算长度  $L$  取千斤顶下卡头至混凝土上表面间的距离, 套用《钢结构设计规范》GB 50017 中关于轴心受压稳定公式确定支承杆允许承载力(长细比  $\lambda=0.474L$ , 当  $\alpha=1.0, K=2.0$  时), 即:

$$P_0 = 48.9\phi$$

以上三种关于  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆的承载力确定方法是目前比较具有代表性的, 经同条件下这三种方法进行计算分析, 并将结果绘于同一图中(图 6)进行比较, 可以得出:

直接采用欧拉公式计算钢管支承杆允许承载力(方法 2)要比套用《钢结构设计规范》GB 50017 中关于压杆稳定计算结果偏高 40% 左右, 这是因为该方法是以欧拉公式为基础并考虑了材料的残余应力、几何缺陷、杆件的初弯、作用力初偏等多种不利因素, 直接用欧拉公式计算的结果肯定要偏高。事实上, 在实际工程中采用理想压杆的假定计算承载力偏于不安全。

方法 1、方法 3 均按《钢结构设计规范》GB 50017 方法计算, 但对钢管支承杆工作状态的假定不同(方法 1 假定  $\mu=0.5$ , 自由长度为  $(L_0+95)$ ; 方法 3 假定  $\mu=0.75$ , 自由长度为  $L_0$ ), 两者承载力计算结果比较接近(当  $L_0$  较小时, 方法 3 比方法 1 的结果约低 8% 左右; 当  $L_0$  较大时, 结果约高 12% 左右)。

由于  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆的试验资料较少, 这种情况下认为采用较为安全的方式确定支承杆的承载力是必要的。为了实用简便, 经综合分析归纳并实例演算, 可用直线形式来表示  $P_0-L$  之间的关系(见图 6, 本规范采用方法), 当  $L$  在  $80 \sim 280\text{cm}$  之间时, 偏差不大于  $\pm 4\%$ 。

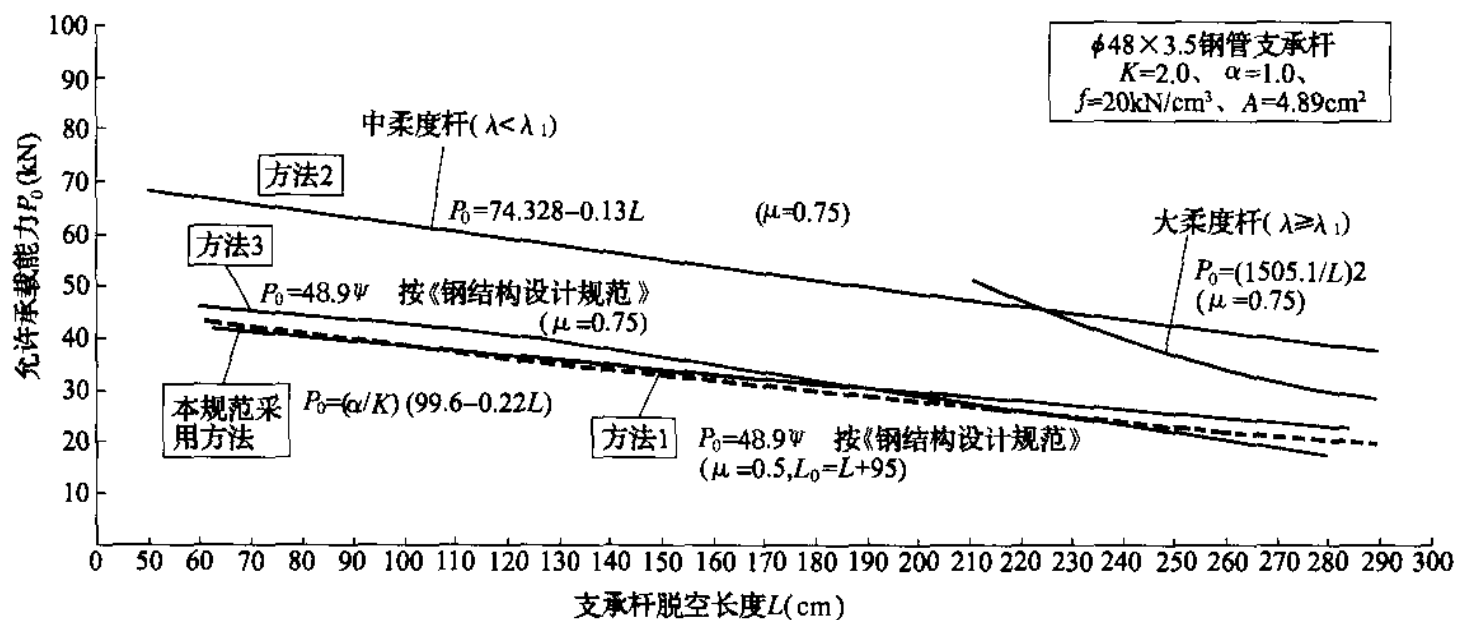


图 6  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆承载力试算结果比较

据此,本规范附录 B 第 B.0.2 条规定  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆的允许承载能力  $P_0$  为:

$$P_0 = \alpha / K \times (99.6 - 0.22L) \quad (\text{kN})$$

式中  $\alpha$ ——群杆工作条件系数;

$K$ ——安全系数;

$L$ ——支承杆自由长度(cm)。

1 当支承杆在结构体内时, $L$  取千斤顶下卡头至混凝土上表面的距离;

2 当支承杆在结构体外时, $L$  取千斤顶下卡头至模板下口第一个横向支撑扣件节点的距离。

支承杆和千斤顶布置的总数量,除根据上述承载力计算所需最小数量外,尚应考虑结构平面布置形状和操作平台等实际状况,按构造要求调整所需的数量。

5.1.6、5.1.7 含义已很清楚。第 2 款中补充了:由于大吨位千斤顶和  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆的推广应用,在梁、柱滑模施工时可以将支承杆布置在结构体外,杆子用脚手架钢管进行加固,操作方便,节约钢材,但应根据工程结构的具体情况来做。第 3 款中考虑到某些结构的洞口较宽,当必须在其中布置千斤顶时,应是允许的,但支承杆应进行加固或增加布置支承杆。增加了第 4 款,在平台上设有较大的固定荷载时,应增设支承杆数量来满足这一荷载的需要。

提升能力必须与荷载相适应,当荷载增加就必须增加支承杆的数量。

电动、手动的提升设备应进行专门设计。

5.1.8 提升用的千斤顶放置在提升架的横梁上,因此两者的位置必须相适应。在结构的某些部位(例如在梁的部位)也放置一些不设千斤顶的提升架,用以抵抗模板侧压力。对于筒体结构或墙板结构,当采用 30~35kN 的千斤顶时,提升架的间距建议不大于 2.0m。对于框架结构、独立柱等常采用非均匀布置或集中布置提



升架。提升架的设计应根据结构部位的实际情况进行,例如,设计成Π型、Γ型、X型、Y型或开字型等,在框架结构中的柱头或主、次梁相交处,至少应布置2榀提升架,组成刚度较大的提升架群。在连续变截面结构中,为满足直径变化的需要,一般将提升架布置在成对的辐射梁之间,用收分装置使其变径,以改变提升架的位置。

由于大吨位千斤顶和围模合一大钢模的应用,使提升架的间距扩大了。其合理的间距必须满足:

1 根据结构部位的实际需要,当计算间距较大,但按构造要求需增加提升架时,应以构造要求的为准;

2 千斤顶的吨位选择和提升架的间距应与模板围圈的刚度相适应。

**5.1.9** 操作平台的结构布置,应根据建筑物的结构特点、操作平台上荷载的大小和分布情况、提升架和千斤顶的布局、平台上起重运输设备情况和是否兼作楼盖系统的模板或模板的支托等施工条件来确定。本条中介绍的各类结构操作平台布置方案是我国滑模常用的方案,这里只做推荐,并非限制性条文。

## **5.2 部件的设计与制作**

**5.2.1** 模板主要承受侧压力、倾倒混凝土时的冲击力和滑升时的摩阻力,因此模板应具有足够的刚度,保证在施工中不发生过大变形且拼缝紧密。考虑经济效益,模板应具有通用性、互换性,装拆方便。本条增加了围模合一大钢模和滑框倒模工艺所使用的模板内容,有关模板设计具体要求是根据我国工程实践经验提出的。

**5.2.2~5.2.5** 设计围圈和提升架部件时应按荷载进行计算,对两种部件的结构性能和构造要求是根据我国工程实践经验提出的。

5.2.3条第7款是指采用滑框倒模工艺时,滑轨与围圈要相对固定,并有足够刚度保证滑轨内的模板不变位、不变形。滑轨的

材质可选用钢管或角钢。当结构截面为弧形时,滑轨应适当加密。

5.2.4 条强调了多次重复使用或通用的提升架,不仅宜设计成装配式,还应考虑到工程结构截面变化的范围,一般 50~200mm 的变化可通过提升架立柱与围圈间的支顶螺栓进行调节,大范围的变化通过横梁孔眼位置调节两立柱之间的净间距,施工中立柱的平移可通过立柱顶部的滑轮和平移丝杠进行调节。

5.2.5 条第 2 款关于模板上口至提升架横梁底部的净距离要求,修改为按  $\phi 25$  支承杆和  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆两种情况来区分,因这两者的刚度相差较大。同时考虑到施工时此距离设置太小会影响钢筋绑扎,太大则降低支承杆的稳定性和承载力,故本条明确了使用这两种支承杆时这一净距离的上下限。

第 3 款强调了对所有情况都应在提升架立柱上设有内外模板距离和倾斜度的调节装置,因为即使结构不是变截面结构,施工中模板倾斜度也可能发生变化,也都需要调节单面倾斜度,且设置的调节装置对于“粘模”问题也能做出应急处理。

增加的第 5 款是考虑当支承杆设在结构体外(即模板的外侧)时,要留出安装支承杆所需要的位置,提升架横梁必须适当增长。

5.2.6 设计操作平台时,一定要注意使整个平台有足够的强度和适当的刚度。因为,有时要靠调节操作平台的倾斜度来纠偏,如果操作平台刚度不足,则调整建筑物的垂直度和中心线的效果将会降低,带来施工困难,而且由于千斤顶的升差容易积累,造成平台和围圈的杆件产生过大变形;如果刚度太大,则易引起支承杆超载。

此外,操作平台在水平面内也应具有足够的整体性,以保证建筑物几何尺寸的准确。如果平台上设有提升塔架或平台塔吊时,这部分的平台和千斤顶数量应进行专门的设计和验算,本条提出的构造要求是以我国工程实践经验为基础的。

GBJ 113—87 规范第 4.2.6 条内容基本不变。第 3 款中将外挑脚手架或操作平台的外挑宽度改为不宜大于 800mm,并应设安

全网。实践表明,外挑宽度大于 800mm,易引起提升架立柱变形,改变模板锥度影响模板质量,而且结构外侧悬挑太宽,易产生“兜风”作用,不利于平台稳定和安全。由于平台外挑部分常设有人孔,除设置防护栏杆外,尚应设安全网。

**5.2.7** 本条规定的各类构件制作时的允许偏差,基本上沿用 GBJ 113—87 规范中提出的要求。根据以往施工经验,这些允许偏差要求能够保证滑模装置组装的总体质量,满足施工要求,各施工单位一般也是可以做得到的。

GBJ 113—87 规范对钢模板宽度的允许偏差定为  $-2\text{mm}$ ,如模板加工均按此偏差,则组装后会使得结构尺寸偏差超过标准,故按现行国家标准《组合钢模板技术规范》GB 50214 的质量标准确定。支承杆的直径分为  $\phi 25$  和  $\phi 48 \times 3.5$  两种,其允许偏差同液压千斤顶卡头允许偏差相适应。

**5.2.8** 目前国内在滑模施工中所用的液压设备种类较多,不同厂家生产的同种设备在性能、质量上存在着差距。为此,本条对常用于滑模施工的液压控制台的选用和检验作出了规定:

1 滑模用液压控制台内,油泵的额定压力应与使用的液压千斤顶的额定工作油压相适应,故规定为不小于  $12\text{MPa}$ 。

目前滑模液压千斤顶系列内增加了不少品种,它们的油缸容积不同,流量与千斤顶油缸容积直接相关。随着单位工程滑模施工面积的增大,液压系统流量需求越来越大,为适应这种需要,一是扩大单个控制台的流量直至  $100\text{L}/\text{min}$ ,另一种办法是多种控制台连用。

2 阀的公称内径不小于  $10\text{mm}$ ,是考虑内径太小会增加提升千斤顶的进回油时间。三通逻辑换向阀使用故障率低,应用技术已趋成熟。

3 油箱有效容量,GBJ 113—87 规范中规定“应为千斤顶和油管总容量的  $1.5 \sim 2$  倍”。实际施工中往往在充满油管后再往油箱补油,正常换向操作时油管中始终有油液存留其间,所以油管容

油量也作为油箱有效容量计算依据欠合理。油箱有效容量与油泵排油量有一定的经验数据可循。

4 我国供电系统已在若干大城市实行三相五线制,控制台采用三相五线制,即可适用于这些地域,也可适用尚在执行三相四线制的地区。在控制台上加设多个插座,是考虑一旦需要就可方便地接电使用。

5.2.9 输油管的通径稍大,对加快进、回油速度,减少油路故障,降低油温有利,事实上有许多施工单位使用的油管已突破了 GBJ 113—87 规范的要求,适当加大油管的通径是必要的。油路出现破裂引起液压油泄漏,极易污染混凝土和结构钢筋,处理很困难,滑模施工中操作平台经常活动,人员和设备较集中,油管遭受损伤的机会较多,经验表明应适当加大油管的耐压能力,以保证油路的正常使用。

液压油应符合国家现行标准 GB 1118.1 的有关规定。其粘度应根据压力要求及气温条件选用。

液压油污染度测定标准是:

1 《液压油箱液样抽取法》JG/T 69—1999;

2 《油液中固体颗粒污物的显微镜计数法》JG/T 70—1997。

5.2.10 本条是对滑模千斤顶提出的要求。

1 不同的液压系统压力将形成不同的千斤顶提升能力,因而有必要统一,并形成系列。实际上真正衡量千斤顶提升能力的是活塞承力面积和千斤顶的密封性能。按我国密封、耐压能力区分规定,8~16MPa 为中高压级,密封耐压能力最大为 16MPa,只要选用这一级别的元件都能满足上至 16MPa 的液压力。当前施工使用的液压千斤顶,绝大多数是以 8MPa 的工作压力乘上活塞面积的积作为其提升能力,所以系列千斤顶的提升能力计算依据宜为 8MPa。随着滑模施工的发展,还可能出现更多更大提升能力的千斤顶,目前大致划出一个系列,以便规划开发。

2 液压千斤顶空载启动除了克服活塞复位弹簧预压缩力(该

力是活塞复位并完全排油所必须的,通常其产生的压力为 $0.3\sim 0.4\text{MPa}$ 之外,还要克服活塞与缸筒、缸盖处密封的摩擦阻力,空载启动压力实际上可以衡量千斤顶的制造质量及千斤顶密封寿命。

**3** 本款明确了检验荷载为额定荷载的 $1.25$ 倍,有利于检验工作的实际操作,也明确了千斤顶操作压力不得超过 $10\text{MPa}$ 。

**4** 本款规定了液压千斤顶超压试验压力为 $12\text{MPa}$ ,该压力比千斤顶最大工作压力高出 $20\%$ ,比千斤顶额定压力提高了 $50\%$ ,因而严格限制了千斤顶的上限,它保护了千斤顶和相关设备。实际现场千斤顶压力超过 $12\text{MPa}$ ,强行使粘连的模板提升的现象屡有发生,这是不允许的。

**5** 液压千斤顶的实际行程是千斤顶设计行程(即活塞相对于缸筒运动的行程,又称理论行程)与上下卡头锁固的损失行程之差。由于上卡头锁固平稳,行程损失量稳定,可以通过增大设计行程的办法来弥补,不同于下卡锁固时受冲击作用,行程损失量大,而且损失量不稳定造成千斤顶群杆的不同步,所以特别指出下卡头锁固时的回降量。

多年来的生产实践证明,GBJ 113—87 规范规定滚珠式千斤顶的回降量不应大于 $5\text{mm}$ ,这一点过去对部分厂家有一定难度,因回降量还与支承杆的材质情况、回降冲击、加工情况等因素有关,但随着技术的进步和认识的提高,一般厂家经过努力是可以达到的。

**6** 任何形式的千斤顶,下卡头锁固时的回降量随所受荷载的增加而增大,回降量的波动也随之增大。本款所指的是在筛选使用的千斤顶时要通过试验,在施工设计荷载下行程差不大于 $1\text{mm}$ ,以限制提升时操作平台不致因千斤顶固有行程差过大,造成升差积累,而出现过大变形。

**5.2.11** 本条对支承杆的选用与检验提出了要求。

**1** 千斤顶依靠其卡头卡固在支承杆上,支承杆的表面如有硬

加工或采用硬度高的材料制造,不利于卡头钢珠和卡块齿的嵌入,形成较大的支承力,严重时卡头机构在支承杆上打滑,也影响卡头寿命。

2 支承杆在使用中长度太小,会使杆的接头数量增多;长度过大,使用中易弯曲变形,这都会在施工时不利于保证质量。

第3~5款是根据施工经验提出的,第6款是根据结构钢筋原材料检验的要求提出的。

5.2.12 本条对滑模精度控制仪器、设备的选用提出基本要求。

5.2.13 水、电系统是滑模装置系统工程中不可缺少的部分,但过去一些单位往往重视不够,影响混凝土外观质量和施工进度,本条文明确规定了动力、照明、通讯、监控与滑模施工相关的主要部分,应符合国家现行标准《液压滑动模板施工安全技术规程》JGJ 65、《建筑工程施工现场供用电安全规范》GB 50194 的要求。

## 6 滑模施工

### 6.1 滑模装置的组装

6.1.1 本条是对滑模装置组装前的准备工作提出的基本要求。

6.1.2 本条是对滑模装置组装程序提出的一般要求。

1 滑模装置的组装宜按建议的程序进行,这里只提“宜”,没有提“必须”,是考虑到具体工程千变万化,组装时根据实际情况进行某些调整也是必要的。

2 安装内外围圈时,要调整好其位置,主要是指上、下两道围圈对垂线间的倾斜度,因为模板的倾斜度主要是靠围圈位置来保证的。

3 采用滑框倒模工艺时,框架式滑轨是指围圈和滑轨组成一个框架,框架限制模板不变位,但这个框架又能整体地沿模板外表面滑升,滑轨同样需要有正确的倾斜度来保证模板位置的正确。

4 第8款中提到的“垂直运输系统”,主要指与滑模装置有联系的垂直运输系统,例如:高耸构筑物施工中采用的无井架运输系统,设在操作平台上的扒杆、布料机等,它们的重量和安装工作量都较大,其支承构件又常常与滑模装置结构相连,因此,在滑模装置组装时应考虑垂直运输系统的安装问题。

6.1.3 组装好的模板应具有使上口小、下口大的倾斜度,目的是要保证施工中如遇平台不水平或浇灌混凝土时上围圈变形等情况时,模板不出现反倾斜度,避免混凝土被拉裂。但安装的倾斜度过大,或因提升架刚度不足使施工中的倾斜度过大,提升后会在模板与混凝土之间形成较大的缝隙,新浇混凝土沿缝隙流淌,而使结构表面形成鱼鳞片(俗称穿裙子),影响混凝土结构外观。法国国家钢筋混凝土和工业技术联合会曾对模板倾斜度作出原则建议,即

模板倾斜度视以下因素确定：

- 1) 模板表面材料的特性；
- 2) 混凝土硬化速度与提升速度的比值，随比值的增大，模板倾斜度增大，并考虑模板的长度；
- 3) 工程的几何尺寸；
- 4) 混凝土的组成情况。

我国不少施工单位以往常采用混凝土浇灌层厚度为 30cm 左右的作业方式，混凝土浇灌和提升的时间均较长，混凝土在模板中停留时间长，滑升速度慢。采用 0.2%~0.5% 的模板倾斜度比较适应，可以基本上避免表面拉裂和“穿裙子”两种情况发生。近年来大家都认识到，采用薄层浇灌、均衡提升、减短停顿的作业方式，对保证结构施工外观质量有重要意义，相应地对模板的单侧倾斜度修订为宜在 0.1%~0.3% 较为合适。如前所述，合适的倾斜度尚受到其他因素的制约，因此，条文中指出“宜为”，也允许根据施工的实际情况适当增大或减少倾斜度。

关于模板保持结构设计截面的位置，各施工单位的经验不完全相同，一般当使用的提升架和围圈刚度较大，混凝土的硬化速度较快（或滑升速度较慢）时，结构设计尺寸位置宜取在模板的较上部位，例如取在模板的上口以下  $1/3$  或  $1/2$  高度处；当提升架和围圈刚度较小，混凝土的硬化速度较缓慢（或滑升速度较快），结构设计尺寸位置宜取在模板的较下部位，例如取在模板上口以下  $2/3$ ，甚至模板下口处。即除了要考虑新浇筑混凝土自重变形的影响，还应考虑浇灌混凝土时胀模的影响。已有调查说明滑模施工的结构截面尺寸出现正公差的情况较多，故本条规定在一般情况下，将模板上口以下  $2/3$  模板高度处的净距与结构设计截面等宽。

**6.1.4 滑模装置组装的允许偏差要求**，基本上是按照 GBJ 113—87 规范列出，经征求有关单位意见后，有以下两点改动：

1 圆模直径、方模边长的偏差，原规范定为  $\pm 5\text{mm}$ ，事实上，浇灌混凝土后都有所增大，故修改为  $-2 \sim +3\text{mm}$ ；



2 相邻两块模板平面平整偏差,原规范定为 2mm,按目前社会评优对墙面平整度的严格要求,相邻两块模板平面平整偏差如达到 2mm,则很难达到优质工程的标准,因此本次修订中,改为 1.5mm。

**6.1.5** 本条规定了液压系统组装完后进行试验和检查时的一般要求。

1 安装的千斤顶如排气不彻底,在使用中将造成千斤顶之间不同步(增大千斤顶之间的升差),导致部分支承杆超载,平台构件产生扭曲变形,可影响结构的外观质量,因此排气是一项重要工序。

2 液压系统安装以后,支承杆插入之前,应经一次耐压试验,保证在使用时系统无漏油、渗油现象。

**6.1.6** 插入的支承杆轴线与千斤顶轴线偏斜超差时,支承杆侧向挤压千斤顶活塞,造成排油不畅,延长回油时间。严重时甚至使排油不彻底,使在进油时活塞行程小于设计行程,因而会加大千斤顶之间的升差。

## **6.2 钢 筋**

**6.2.1** 对横向钢筋加工长度提出原则上应满足设计要求。本条提出的不宜大于 7m,主要是考虑施工时加工容易,运输绑扎方便,太长会造成运输、穿插、绑扎困难。筒体结构的环筋,在施工时如有条件连续布筋,显然不受此限制。竖向钢筋加工长度主要考虑要保证钢筋位置准确,利于钢筋竖起时的稳定。在 GBJ 113—87 规范中提出“直径小于或等于 12 的钢筋长度不宜大于 8m”。实践表明, $\phi \leq 12$ 、8m 长的钢筋施工中是立不起来的。因此修订为“不宜大于 5m”,并指出在有措施的情况下,如具有双层操作平台并有固定架时,其长度不受限制。

**6.2.2** 钢筋位置不正确会影响工程质量,因此应有具体措施保证。

1 混凝土表面以上至少有一道绑扎好的横向钢筋,以便借此确定继续绑扎的横向钢筋位置。

2 提升架横梁以上的竖向钢筋,如没有限位措施会发生倾

斜、歪倒或弯曲,其位置变动会带来工程质量上的问题,施工中应设置限位支架等临时固定。这种限位支架应不妨碍竖向钢筋在限位装置中竖向滑动。如采用临时固定措施,则应适时拆除,不要影响模板的正常滑升。

**3** 配有双层钢筋的墙或筒壁,钢筋绑扎后用拉结筋定位。从施工角度说,目的是要保证两层钢筋网之间的距离和保护层的厚度。拉结筋的间距一般不大于 1m,拉结筋的形状,如仅仅采用直线型(S 型)一种,只能保证两层钢筋网片之间距离不增大,尚不足以保证两层钢筋网片之间的距离不会变小。为阻止浇灌混凝土时挤压内侧钢筋,使其不出现平行错位,需要设置一定数量的 V 字型拉结筋,或利用对应钢筋网片间增设 W 型拉结筋形成钢筋骨架定位。

**4** 钢筋弯钩背向模板面,是为了防止钩挂模板,造成事故。

**5** 钢筋保护层厚度对结构使用寿命有很大影响。滑模施工中,由于模板提升时受摩阻力的作用,混凝土表面易产生微裂缝,保证保护层的厚度要特别注意施工中应有相应的措施,例如,设置竖向钢筋架立的支架、钢筋网片之间设置 V 字型拉结筋,在模板上口设置带钩的圆钢筋来保证最外排钢筋与模板板面之间的距离。

**6.2.3** 采用承重骨架配筋的梁,其起拱值应保证施工后的梁不致产生向下挠曲现象,配合本规范第 3.3.6 条对骨架设计的挠度限制,梁跨度小于或等于 6m 时,取跨度的 2‰~3‰,跨度大于 6m 时由计算确定。

## **6.3 支 承 杆**

**6.3.1** 接头处是支承杆的薄弱部位,因此不允许有过多的接头出现在同一高度截面内。接头过多会过大地影响操作平台支承系统的承载能力,因此,要求第一次插入的支承杆的长度应不少于 4 种,保证以后每次需要接长的支承杆数量不超过总数的 1/4。支承杆的接头需要错开,错开的距离应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求,其最小距离应不小于 1m。

采用设置在结构体外的钢管支承杆,其承载能力与支承杆的调直方法、接头方式以及加固情况等有关,因此在使用时应对其作专项设计,以保证支承系统的稳定、可靠。

**6.3.2** 滑模施工中千斤顶漏油是不能允许的,必须及时更换这种千斤顶。支承杆表面被油污染后,如不处理,将降低混凝土对支承杆的握裹力及混凝土强度。因此应认真对待油污问题。据四川省建筑科学研究所的试验表明,当支承杆(埋在混凝土中的)被油污染面积在 15% 时,比同样压痕条件下,但无油污者的握裹力(粘结力)降低  $11.2 \sim 156.5 \text{ N/cm}^2$ ,降低幅度为 2.82%~36.26%;比既无油污又无压痕的母材降低  $46.8 \sim 201.9 \text{ N/cm}^2$ ,降低幅度达 10.54%~45.45%。油污面积每增加 5%,支承杆的握裹力约降低  $15 \sim 80 \text{ N/cm}^2$ ;油污面积达 75% 时,握裹力降低至一半。黑龙江低温建筑研究所等单位试验结果表明,涂油的支承杆与混凝土的粘结力降低 2.2%~17%。因此被油污的支承杆应将油污清除干净。

本条规定“对兼作结构钢筋的支承杆其表面不得有油污”有两层含意,其一是遇这种情况应对使用的千斤顶油路(包括管路接头)有更高的质量要求和日常的维护检查,保证不会产生支承杆被油污染的情况;其二是如果万一被油污染,必须将油污彻底清除干净,例如在擦洗后再用喷灯加热烘烤,至油迹完全除净为止。

**6.3.3** 采用平头对接、榫接的支承杆不能承受弯矩。采用螺纹连接的支承杆,经原西安冶金建筑学院等单位试验在垂直荷载作用下,其破坏荷载可达无接头支承杆的 90%,但据有关资料介绍,其承受弯矩的能力很差,当试件产生弯曲时,杆的一侧出现应力,压杆即迅速破坏。因此都要求接头部位通过千斤顶后及时进行焊接加固。当其连接质量符合国家现行的《钢筋锥螺纹接头技术规程》JGJ 109 等要求时,可不受此条的限制。

当采用设置在结构体外的钢管支承杆时,应根据该套支承系统的专项设计要求及时进行加固。

**6.3.4** 本条规定了用钢管做支承杆时的基本要求。

1  $\phi 48 \times 3.5$  焊接钢管是一种常用做脚手架使用的钢管,市场采购比较方便。 $\phi 25$  的实心圆钢和  $\phi 48 \times 3.5$  的钢管比较,其截面积基本相同,而钢管比实心圆钢的惯性矩约大 6 倍,这对压杆的稳定是十分有利的,因此当采用额定承载能力在  $60 \sim 100 \text{kN}$  的穿芯式千斤顶时,大都使用  $\phi 48 \times 3.5$  钢管做支承杆与之配套。管径的公差要求是根据配套使用的千斤顶卡头性能确定的。

2 第 2、3 款是埋入式和工具式  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承接长时常用的方法(并非唯一的方法)。

3 支承杆对千斤顶的爬升运动起导向作用。因此对支承杆本身的平直度和两根支承杆接头处的弯折现象严格要求,这对减少操作平台中心线飘移和扭转有重要作用。

4 要求工具式支承杆长度小于建筑物楼层的净高是为了使支承杆在事后易于拆出。

6.3.5 本条是根据使用  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆时取得的经验撰写的。

6.3.6、6.3.7 筒体结构一般壁较薄,非工具式支承杆与横向钢筋点焊连接,可以缩短杆子的自由长度,对提高支承杆的稳定性十分有利。当发现支承杆有失稳或其他异常情况时,例如被千斤顶带起、弯曲、过大倾斜等,都会大幅度降低支承杆的承载能力,应立即进行处理,以防连锁反应,导致群杆失稳,造成恶性事故。

6.3.8 分批拔出工具式支承杆时,每批拔出的数量不宜超过总数的  $1/4$ ,这是考虑到当一批拔出  $1/4$  的支承杆后,其余支承杆的荷载将平均增大 33%。

根据首钢的二烧结框架滑模施工支承杆受力情况实测结果,支承杆的平均荷载为实际可能发生的最大荷载的 59.3%,如支承杆的荷载为  $12 \text{kN}$ ,若抽拔去总数的  $1/4$ ,则杆子的平均荷载将达到  $16 \text{kN}$ ,支承杆的最大荷载可达  $28 \text{kN}$ ,扣除提升时的摩阻力(当拔支承杆时模板不提升,摩阻力约占平台总荷载的  $1/3$ ),则支承杆的最大荷载为  $24 \text{kN}$ 。按各单位对支承杆承载能力试验结果统计,当支承杆的脱空长度为  $1.4 \text{m}$ (模板上口至千斤顶下卡头的距离  $1.1 \text{m}$

再加0.3m),支承杆的极限承载能力约为30kN,此时,当拔出1/4支承杆后,受荷载较大的支承杆的安全系数为 $30/24=1.25$ 。因此建议一批拔出的支承杆数量不应超过总数量的1/4。

## 6.4 混 凝 土

**6.4.1** 根据滑模施工特点,混凝土早期强度的增长速度必须满足滑升速度的要求,才能保证工程质量和施工安全(见第6.6.16条说明)。因此,在进行滑模施工之前应按当时的气温条件和使用的原材料对混凝土配合比进行试配,除了要满足强度、密实度、耐久性要求外,还必须根据施工工期内可能遇到的气温条件,通过试验掌握几种所用混凝土早期强度(24h龄期内)的增长规律,保证施工用混凝土早期强度增长速度满足滑升速度的要求。

在滑模施工中要特别注意防止支承杆在负荷下失稳(特别是支承杆下部失稳),使早期强度增长速度与滑升速度相适应。由于普通硅酸盐水泥早期硬化性能比较稳定,因此宜采用普通硅酸盐水泥。

为了便于混凝土的浇灌,防止因强烈振捣使模板系统产生过大变形,滑模施工的混凝土坍落度宜大一些。采用泵送混凝土时,其坍落度是按泵车的要求提出的。

化学外加剂和掺合料在我国已广泛使用,但过去施工中,因外加剂使用不当造成的工程事故确有发生。鉴于滑模施工多用于高耸结构物,故本条中强调外加剂或掺合料的品种,掺量的选择必须通过试验来确定。

**6.4.2** 本条规定了滑模施工混凝土浇灌时的一般要求。

1 滑模混凝土采取交圈均匀浇灌制度,是为了保证出模混凝土的强度大致相同,使提升时支承杆受力比较均衡。滑模操作平台空间变位的可能性较大,混凝土浇灌中,平台上混凝土运输时的后座力、浇灌时的冲击振动,以及浇灌混凝土时的侧压力等,将会引起滑模装置结构系统的变形或位移。有计划、匀称地变换浇灌方向,可以防止平台的空间飘移造成的结构倾斜和扭转。

2 关于混凝土的“浇灌层厚度”问题,GBJ 113—87 规范中规定,混凝土分层浇灌的厚度以 200~300mm 为宜,各层浇灌的间隔时间不应大于混凝土的凝结时间(相当于混凝土贯入阻力值为  $0.35\text{kN/cm}^2$ );当间隔时间超过时,对接茬处应按施工缝的要求处理。这是基于人们把浇灌混凝土——绑扎钢筋——提升模板作为三个独立的工序来组织循环作业的做法而规定的。即模板的提升应在一圈钢筋绑扎完毕和一个浇灌层厚度范围内的混凝土全部浇灌完毕后,才能允许进行模板提升,然后再进行下一个作业循环。模板的提升高度也就是混凝土浇灌层的厚度。当时在确定“浇灌层厚度”时,考虑到了“浇灌层厚度”定得太大固然不好,定得太低会使操作人员在操作平台上的穿插过于频繁,不利于施工组织和劳动效率的发挥,参考国内外经验确定为 200~300mm。而事实上,随着现代化的施工机械设备的大量普及应用,在施工中“浇灌层厚度”大多采用 300mm 甚至更多达 500mm。现在大家都体会到,混凝土浇灌层盲目加厚确实给施工带来很多不利的影响(问题):

- 1)会较大地增加支承杆的脱空长度,降低支承杆的承载能力;
- 2)模板中的混凝土对操作平台的总体稳定是一个有利的因素,滑空高度大,会削弱这一有利因素;

- 3)浇灌层过大会增大一次绑扎钢筋、浇灌混凝土的数量以及提升模板所需的时间,实际上是增大了混凝土在模板内的静停时间。这会增大模板与混凝土之间的摩阻力,提升时易造成混凝土表面粗糙、出现裂缝或掉楞掉角等质量缺陷;

- 4)一次提升过高,易产生“穿裙子”现象;

- 5)对有收分要求的筒体结构,由于提升时模板对初浇灌的混凝土壁有一定的挤压作用,如果一次提升过高,较难保证筒壁混凝土的质量;

- 6)浇灌层厚度过厚,施工组织管理协调的难度加大。

已有的工程实践已经表明,浇灌层过大带来的一系列问题,其中最突出的是管理跟不上,混凝土表面粗糙、外观质量不好。因此,本规范将分层浇灌的厚度修订为“不宜大于 200mm”。

模板的“提升”操作是滑模施工的主导工序,其他作业均应在满足提升制度要求的前提下来安排,才能保证事先计划好的滑升速度和出模混凝土的质量。滑模施工讲究提高平台上作业人员的劳动效率,减少作业人员;讲究缩短作业时间实行不间断的正常滑升。国内外的经验表明,只要支承杆系统有足够负荷能力,完全可以不必为提升过程限制过多的条件(如停止其他工序的作业或物料的运输等等),即钢筋、混凝土和其他作业允许不停顿地进行,也无需太多地顾虑工序之间的穿插搭接等。但是要做到这一点,要求滑模施工的支承杆系统应有足够的安全储备,以抵抗更大的意外荷载。现在将浇灌层厚度控制在 200mm 及以下,实行“薄层浇灌、微量提升、减少停歇”的提升制度,如还套用 GBJ 113—87 规范第 4.1.4 条计算千斤顶和支承杆的数量,由于提升过程的条件变化,荷载计算不全,其计算结果会偏于不安全,因此本规范第 5.1.4 条对荷载计算方法也做出了相应的修改。

支承杆系统工作的可靠性是保证滑模施工成功与否以及工程安全和质量的首要条件,因此应得到施工人员特别的重视。

**3** 为使浇灌时新浇灌的混凝土与下层混凝土之间良好结合,浇灌的间隔时间不应超过下层混凝土凝结所需要的时间,即不出现冷接头。混凝土凝结时间系指该混凝土贯入阻力值达到 3.5MPa 所需的时间,当间隔时间超过凝结时间,结合面应做施工缝处理。因此,施工中应防止无计划地随意停歇。

**4** 高温季节时的混凝土浇灌顺序,也应考虑到使出模混凝土强度能基本一致。其他几点要求是根据工程实践经验提出的,先浇灌较厚部位(如墙角、墙垛厚墙等)的混凝土,对减少模板系统的飘移是有利的。

**5** 预留孔洞等部位,一般都设有胎模。强调在胎模两侧对称均匀地浇灌混凝土,是为了防止因胎模两侧浇灌混凝土时,其侧压力作用不对称使胎模产生过大的位移。

**6.4.3** 滑模施工中采用布料机布送混凝土,由于布料机要随着操

作平台的提升而升高,在使用上有其独特的条件,因此应进行专项设计,以解决布料机的选型、覆盖面范围、机身高度、支撑系统、爬提方式、布料程序、操作方法、通讯、安全措施等一系列技术组织问题。

**6.4.4** 滑模操作平台自重及施工附加荷载全部由刚度较弱,且靠低强度混凝土稳定的支承杆承担。在振捣混凝土时,如果振捣器直接接触及支承杆、钢筋和模板,可能使埋入混凝土中的支承杆和钢筋握裹力遭到损坏,模板产生较大变形,以致影响滑模支承系统的稳定和工程质量。

振捣器插入深度,以保证两层混凝土良好结合为度,插入下层混凝土过深,可能扰动已凝固的混凝土,对保证已成型的混凝土质量和支承杆的稳定都不利。

**6.4.5** 由于滑模施工中脱模后的早期混凝土即裸露在大气环境中,这是滑模施工特有的情况,若养护不当,对混凝土强度增长是不利的,因此,应特别认真地对待养护工作。本条第1款是强调对所有混凝土表面进行养护,即不能因为某些局部喷水养护困难或喷水养护时影响下面工作面作业等就放弃对混凝土的养护,也不能在浇水养护时出现有水浇不到的地方。第2款的养护时间是根据现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204要求规定的。第3款是提出适用于滑模施工混凝土的两种主要养护方法,浇水养护改为喷雾养护,因喷雾养护节水,对混凝土表面湿润均匀,而喷水(浇水)则大量水流失,且混凝土表面受水湿润不均匀;喷涂养护液是近年发展较快、性能较好的一类混凝土养生剂。

## **6.5 预留孔和预埋件**

**6.5.1** 本条对预埋件的安装提出的基本要求是:固定牢固、位置准确、不妨碍模板滑升。允许偏差应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求。

**6.5.2** 预留孔洞的胎模(或门窗框衬模)厚度,应略小于模板上口



尺寸,保证胎模能在模板间顺利通过,避免提升时胎模被模板卡住,使胎模被带起或增大提升时的摩阻力。按经验,门、窗胎模厚度比模板上口尺寸宜小 5~10mm。门、窗框预先安装的允许偏差,参照《建筑工程质量检验评定标准》GBJ 301—88 给出。

## 6.6 滑 升

**6.6.1** 以往不少施工单位在滑模施工中仅对绑扎钢筋、浇灌混凝土、提升模板这三个主要工序重视,而对滑模施工的时间限定性常重视不够,即从事各工序操作的施工人员只考虑如何去完成本工序的工作,而对应该在什么限定时间内完成却注意较少,或者说要努力在最短时间(指定时间)内完成作业的意识并不十分强烈。常常因施工材料运输跟不上,施工设备维修不及时而无法运转,水、电系统故障,施工组织不合理等原因使滑模施工无计划地超常停歇时有发生,使计划的滑升制度得不到保证。应该提出,滑模施工的时限性要求是这一施工方法的显著特性之一。因此,“滑升”这个工序应是滑模施工的主导工序,其他操作应在满足提升制度要求的前提下安排。合理的“滑升制度”是综合了许多施工因素制定的,如气温条件、结构条件、原材料条件、施工装备和人员条件,特别是滑升速度和混凝土硬化速度相匹配条件等。破坏了“滑升制度”,就会直接影响滑模工程的质量和安。例如:任一工序增加了作业时间,实际上就增长了在模板内混凝土的静停时间,也就增大了混凝土的出模强度,增大了混凝土与模板之间的摩阻力,增大了支承杆荷载,这样既增加了支承杆失稳的可能,也易使混凝土出现表面粗糙、掉楞掉角,甚至拉裂等质量缺陷。因此,在滑模施工中必须保证计划“滑升制度”的实现,其他作业都必须在限定时间内完成,不得用“停滑”或减缓滑升速度来迁就其他作业。

**6.6.2** 滑模施工的重要特点之一,就是滑模施工时的全部荷载是依靠埋设在混凝土中或体外刚度较小的支承杆承受的,其上部混凝土强度很低,因而施工中的一切活动都必须保证与结构混凝土

强度增长相协调。即滑升程序或平均滑升速度的确定,至少应考虑以下两个主要条件:一是支承杆在承受可能发生的最大荷载作用下,杆子不会出现上部或下部失稳现象,以确保施工安全。二是出模的混凝土既不产生流淌或坍塌,也不至因过早脱模而影响混凝土的后期强度,以确保施工质量。因此,施工前应根据现场的实际情况对滑升程序或平均滑升速度进行选择。本条提出了四个方面:当气温高、混凝土早期强度发展较快,可适当加快滑升速度,反之则需要降低滑升速度;混凝土原材料(如水泥品种、外加剂等)及强度等级都直接影响混凝土本身的早期强度发展的情况;此外,结构形状简单、厚度大、配筋少、变化小,有可能适当加快滑升速度;模板条件好,如光滑平整,吸水性小,也有可能加快滑升速度。

**6.6.3 “初滑”**是指工程开始时进行的初次提升阶段(也包括在模板空滑后的首次提升),初滑程序应在施工组织设计中予以规定,主要应注意两点:

1)初滑时既要使混凝土自重能克服模板与混凝土之间的摩阻力,又要使下端混凝土达到必要的出模强度,因此,应对混凝土的凝结状态进行全面检查;

2)初滑一般是模板结构在组装后初次经受提升荷载的考验,因此要经过一个试探性提升过程,同时检查模板装置工作是否正常,发现问题立即处理。

本条提出的初滑程序和要求,是根据以往施工经验编写的,并非限制性条文。初滑时混凝土的出模强度宜取规范规定的下限值。

混凝土贯入阻力值测定方法,是参照美国 ASTM C403 和国家现行标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 等有关标准修订的,其单位为“ $\text{kN}/\text{cm}^2$ ”而不采用“MPa”,主要是考虑与通常所称混凝土强度区别。

**6.6.4** 在滑模施工中能否严格做到正常滑升所规定的两次提升间隔时间(即混凝土在模板中的静停时间)的要求,是直接关系到防止混凝土出现被拉裂、出现“冷接头”,保证工程质量的关键。因

此,本条对两次提升的时间间隔作出了一般规定,以防止超时间停歇。

规定两次提升的间隔时间不宜超过 0.5h,是考虑到在通常气温下,混凝土与模板的接触时间在 0.5h 以内,对摩阻力无大影响(见第 5.1.3 条说明)。当气温很高时,为防止混凝土硬化太快,提升时摩阻力过大,混凝土有被拉裂的危险,可在两提升间隔时间内增加 1、2 次中间提升,中间提升的高度为 1~2 个千斤顶行程,以阻止混凝土和模板之间的粘结,使两者之间的接触不超过 0.5h。

**6.6.5** 提升时要求千斤顶充分进油、排油,是为了防止提升中因进油回油不充分,各千斤顶之间产生累积升差。进油、排油时间应通过试验确定。

提升模板时,如果将油压值提高至正常滑升时油压值的 1.2 倍,尚不能使全部液压千斤顶升起,说明已发生了故障。一般可能是系统中有油路堵塞、控制阀失灵、千斤顶损坏;两次提升间隔时间太长,混凝土与模板之间摩阻力显著增大;模板出现了反倾斜度;模板被钢筋钩挂或被横置在模板间的杂物阻挡;提升时固定在平台上的绳索未松开;部分支承杆已经失稳弯曲等等。此时应立即停止提升操作进行检查,找出故障原因及时处理。盲目增大油压强行提升,可能造成千斤顶或液压系统超负荷工作而漏油、结构混凝土被拉裂,操作平台千斤顶升差过大,滑模装置严重变形。如果引起大量支承杆失稳,可能出现重大质量和安全事故。因此应禁止盲目增压强行提升。

**6.6.6** 滑升中保持操作平台基本水平,对防止结构中心线飘移和混凝土外观质量有重要意义,因此每滑升 200~400mm 都应对各千斤顶进行一次自检调平。目前操作平台水平控制方法主要有:限位卡调平,在各支承杆上安装限位挡板(或挡圈),并使其固定在同一标高位置处,当限位阀(或触环)随千斤顶上升至与限位挡板(或挡圈)接触,限位阀就切断油路(或顶开上卡头),千斤顶则停止爬升,直至全部千斤顶在限位挡板位置处找平,提升才告结

束。然后再移动挡板至下一个找平的标高上。此法简便易行,但需要经常移动挡板并找平。联通管自动调平系统,在各提升架上设水杯,杯内设长短不同的电极,水杯底端用联通管与平台中心水箱相连,电极与水面之间的相对位置控制着相应千斤顶的油路电磁阀的状态,使之开启或切断。当某千斤顶爬升较快时,该水杯中的水位下降,短电极脱离水面,切断该千斤顶油路,而停止爬升。待水位恢复正常后,千斤顶再开始爬升,如此保持平台的水平。经验表明,此法可使各千斤顶的高差控制在 20mm 左右(相当于一个提升行程)。此外,激光自动调平及手动调平等方法也可供选用。

**6.6.7** 根据一些施工单位的经验,连续变截面结构的滑升中一次收分量不宜大于 6mm。变坡度结构(如烟囱、电视塔等)施工习惯上是每提升一次进行一次收分操作。提升过程中内模板有托起内壁混凝土的趋势,收分过程中外模板又有压迫外壁混凝土的趋势,而一次提升高度和收分量愈大,对混凝土质量的影响也愈大。按上述数值,如每次提升高度 200mm,则结构的坡度应在 3.0% 以内;如结构坡度大于 3.0%,则在 200mm 的提升高度内应增加收分次数,以满足一次收分量不大于 6mm。连续变截面结构的支承杆一般均向变径方向倾斜,而且在进行收分操作时,也有水平力作用于支承杆的上端。因此在确定支承杆数量时,应适当降低支承杆的设计承载能力。

**6.6.8** 滑模工艺是一种混凝土连续成型的快速施工方法,模板和操作平台结构由刚度较小的支承杆来支承,因此整个滑模装置空间变位的可能性较大,过去有些工程由于对成型结构的垂直度、扭转等的观测不够及时,导致结构物的施工精度达不到要求的情况时有发生。而偏差一旦形成,消除就十分困难。这不仅有损于结构外观,而偏差大的还会影响受力性能。因此,要求在滑升过程中检查和记录结构垂直度、扭转及结构截面尺寸等偏差数值,及时分析造成偏差的原因并作纠正。

施工实践表明,整体刚度小,高度较大的结构,施工中容易产生垂直偏差和扭转。因此,每滑升一个浇灌层高度,都应进行一次自检,每次交接班时,应全面检查记录一次。要求填写提升过程记录的目的,不仅是作为作业班质量进度的考核资料,更主要是根据记录,分析滑升中存在的问题,平台飘移的规律,以及各种处置方法是否恰当,以便及时总结经验,进一步提高工程质量。

针对偏差产生的原因,如能在出现偏差的萌芽阶段就采取纠正措施,一般都是比较容易纠偏的(无需施加很大的纠偏力)。但应注意,当成型的结构已经产生较大的垂直度偏差时,纠偏应徐缓进行,避免出现硬弯。这主要是考虑急速纠偏,势必要对结构施加较大的纠偏力,有可能造成滑模装置出现较大变形,如模板产生反锥度、围圈扭曲、支承杆倾斜等不利情况,严重时还可能导致发生安全事故。另一方面,出现硬弯也有碍结构外观。因此,滑模施工精度控制应强调“勤观测、勤调整”的原则。

滑模施工中(特别是筒体结构)垂直度出现偏差后,常常有意将操作平台调成倾斜以纠正偏差。这种纠偏方法,除了利用模板对混凝土的导向作用和千斤顶倾斜改变支承杆的方向的作用外,还利用滑模装置的自重及施工荷载对操作平台产生的水平推力来达到纠偏的目的。操作平台倾斜角愈大,产生的水平推力也愈大,该水平力通过提升架,由支承杆和模板内混凝土产生的反力来平衡。当操作平台倾斜度小于 1.5% 时,通过模板传至混凝土的那部分水平力,一般不会使混凝土破坏,问题是通过千斤顶作用在支承杆上端的水平力,将使支承杆的工作条件变差。根据计算,当操作平台倾斜为 1%,支承杆在标准荷载(15kN)条件下承载力约降低 22%~23.5%。为避免因平台倾斜造成支承杆承载力损失过大,本条规定操作平台的倾斜度应控制在 1% 以内。此外,操作平台倾斜度过大还会引起模板产生反锥度,以及滑模装置的某些构件出现过大变形。

筒体结构在滑模施工中若管理不当很容易产生扭转,扭转的

结果不仅有损于结构外观,更重要的是会导致支承杆倾斜,从而降低其承载能力。根据计算,支承杆在 1m 高度内扭转 10mm,其承载力约降低 10%,从确保施工安全出发,并考虑到施工的方便,故规定任意 3m 高度上的相对扭转值不大于 30mm,且全高程上的最大扭转值不应大于 200mm,即不允许发生同一方向上的持续扭转。

**6.6.9** 滑升过程中,整个操作平台装置都处于动态,支承杆也处于最大荷载作用状态下,模板下口部分的混凝土陆续脱离模板,因此要随时检查操作平台、支承杆以及混凝土的凝结状态。如发现支承杆弯曲、倾斜,模板或操作平台变形、模板产生反锥度、千斤顶卡固失灵、液压系统漏油、出模混凝土流淌、坍塌、裂缝以及其他异常情况时,应根据情况作出是否停止滑升的决定,立即分析原因,采取有效措施处理,以免导致大的安全质量事故的发生。

**6.6.10** 要求框架结构柱模板的停滑标高设在梁底以下 100~200mm 处,是考虑到停滑时为避免混凝土与模板粘结,每隔一定时间需要将模板提升 1~2 个行程,如果把框架结构柱的停滑标高设在梁底处,则继续提升起来的模板将妨碍钢筋的绑扎和安装。如把停滑位置设在梁底标高以下 100~200mm,就能为梁钢筋的绑扎或安装提供一定的时间,而不致妨碍其操作。

**6.6.11** 对施工过程中落在操作平台上、吊架上以及围圈支架上的混凝土和灰浆等杂物,每个作业班应进行及时清扫,以防止施工中杂物坠落,造成安全事故。对粘结在模板上的砂浆应及时清理,否则模板粗糙,提升摩阻力增大,出模混凝土表面会被拉坏,有损结构质量,尤其是转角模板处粘结的灰浆常常是造成出模混凝土缺棱少角的原因。变截面结构的收分模板和活动模板靠接处,浇灌混凝土时砂浆极易挤入收分模板和活动模板之间,使成型的结构混凝土表面拉出深沟,有损结构的外观质量,因此,施工中应特别注意清理。由于这些部位的模板清理比较困难,有时需要拆除模板才能彻底清除。已硬结的灰浆落入模板内或混入混凝土中,

会造成上下层混凝土之间出现“烂渣夹层”，如混入新浇混凝土中会严重影响混凝土的质量。

**6.6.12** 液压油污染了钢筋或混凝土会降低混凝土质量和混凝土对钢筋的握裹力(见第 6.3.2 条说明)，施工中如果发生这种情况应及时处理。处理方法：对支承杆和钢筋一般用喷灯烘烤除油，对混凝土用棉纱吸除浮油，并清除掉被污染表面的混凝土。

**6.6.13** 本条基本上是按 GBJ 113—87 规范第 5.6.10 条编写的，将原规范第 2 款中“模板的最大滑空量，不得大于模板全高的  $1/2$ ”，修改为“对滑空部位的支承杆，应采取适当的加固措施”。这是考虑到对滑空量的限制往往很难统一，但过大的滑空量会较大程度降低支承杆的承载能力，甚至造成安全事故。因此，规范中规定滑空时应对支承杆采取加固措施。

使用工具式支承杆时，由于支承杆一般都设置在结构截面的内部，模板提升时，其套管与混凝土之间也存在着较大的摩阻力，即产生的总的摩阻力要比使用非工具式支承杆时更大，因此在这种情况下应在提升模板之前转动和适当托起套管，以减小由此引起的荷载(摩阻力)，防止混凝土被拉裂。

**6.6.14** 正常施工中浇灌的混凝土被模板所夹持，对操作平台的总体稳定能够起到一定的保证作用。空滑时，模板与浇灌的混凝土已脱离，这种保证作用就会减弱或丧失，且支承杆的脱空长度有时 would 达到 2m 以上，抵抗垂直荷载和水平荷载的能力都很低，因此“空滑”是一个很危险的工作状态，必须事先验算在这种状态下滑模结构支承系统在自重、施工荷载、风载等不利情况下的稳定性。对支承杆和操作平台加固的方法很多，也可以适当增加支承杆的数量，相应减少支承杆荷载的方法来解决支承杆稳定性问题，本规范未一一列举各种加固方法，但事先都应有周密的设计。

**6.6.15** 关于出模混凝土强度的要求，人们常以保证出模的混凝土不坍塌、不流淌、也不被拉裂，并可在其表面进行某种修饰加工的要求提出来的，因此在早期的滑模施工的技术标准中都把这个

值定得较低(如 0.05~0.25MPa)。根据近年来的研究和工程实践表明,出模混凝土强度的确定,至少还应考虑脱模后的混凝土在其上部混凝土自重作用下不致过分影响其后期强度这一重要因素。

国外有试验资料表明,即使具有 0.1MPa(1fk<sub>g</sub>/cm<sup>2</sup>)强度的混凝土,在受到 1~1.2m 高的混凝土自重压力作用下(2.5N/cm<sup>2</sup>)也会发生较大的塑性变形,且 28d 强度平均损失达 16%;当强度大于或等于 0.2MPa(2fk<sub>g</sub>/cm<sup>2</sup>)时,在自重作用下不仅塑性变形小,对 28d 抗压强度基本上无影响,试验结果见表 3。

表 3 混凝土出模强度对 28d 强度的影响

组别	出模强度(MPa)								
	0.1			0.2			0.3		
	28d 强度		相差率 (%)	28d 强度		相差率 (%)	28d 强度		相差率 (%)
	对比 试件	加荷 试件		对比 试件	加荷 试件		对比 试件	加荷 试件	
1	12.7	10.8	-13.4	14.2	15.8	+6.2	16.2	16.1	-0.6
2	13.9	10.6	-23.7	16.0	15.2	-4.3	12.1	12.5	+3.5
3	15.0	12.4	-17.3	13.3	14.4	+8.3	14.1	14.4	+2.1
4	16.3	13.7	-15.9	13.8	13.8	0	15.5	16.8	+8.5
5	15.6	14.2	- 9.0	14.8	15.3	+3.3	14.1	13.7	-4.6
6	13.8	11.4	-17.2	15.2	16.4	+3.4	15.8	15.5	-1.9

注:表中“加荷试件”系指 10×10×40(cm<sup>3</sup>)试件,脱模后按每平方厘米加 2.5N 荷载,相当于混凝土 8h 出模所受的力(每班滑升 1m),加荷连续 24h,最后 8h 增加至 7.5N/cm<sup>2</sup> 的压力,测定变形值后,再停放 24h,经养护后测得 28d 抗压强度。“对比试件”系指相同尺寸、相同养护条件,不加荷的试件。

原冶金部建筑研究总院曾对早龄期受荷载混凝土的强度损失和变形进行了试验研究。试验时模拟滑升速度分别为 10cm/h、20cm/h 和 30cm/h 对试件分级加荷,同时测其变形值,直至荷载达到 7.5N/cm<sup>2</sup>。荷载保持 24h 后卸荷,再与未加荷的试件同时送标准养护室养护。待混凝土龄期达到 28d,取出试验,



确定试件的强度。结果见表 4 及图 7。

表 4 早期受荷混凝土对 28d 强度的影响

模拟 滑升 速度 (cm/h)	试件受荷混凝土对 28d 强度的影响(MPa)								
	0.1			0.2			0.3		
	28d 强度		差率 (%)	28d 强度		差率 (%)	28d 强度		差率 (%)
	受荷	未受荷		受荷	未受荷		受荷	未受荷	
10	28.57	32.63	-12.44	33.13	33.80	-1.98	35.87	35.90	-0.09
20	29.23	34.03	-14.11	34.63	36.53	-5.2	33.43	34.17	-2.15
30	29.20	36.73	-20.51	30.50	34.07	-10.47	33.50	34.20	-2.1

注：每个数据系 9 个试件的平均值。

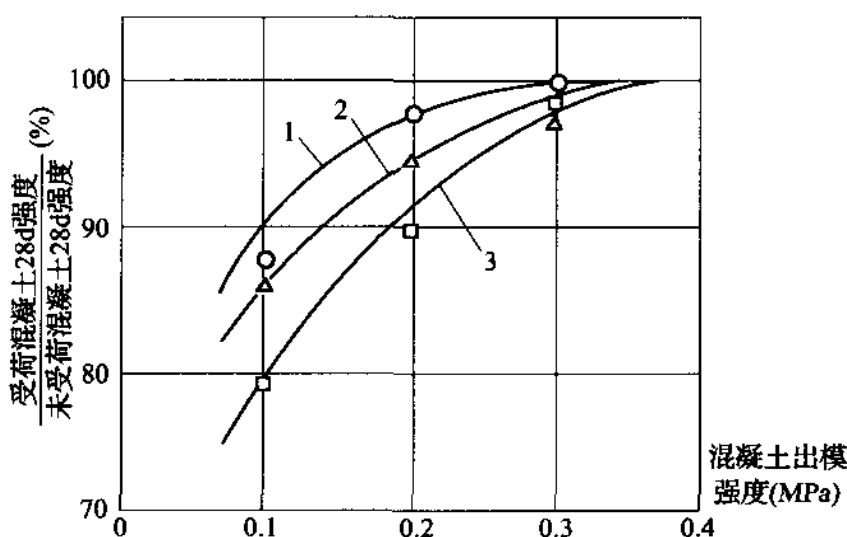


图 7 不同滑升速度和出模强度对 28d 强度的影响

1—滑升速度为 10cm/h; 2—滑升速度为 20cm/h; 3—滑升速度为 30cm/h

从试验结果可以看出,混凝土出模强度过低,会造成 28d 抗压强度降低,且滑升速度愈快降低的比例也愈大。当出模的最低强度控制在 0.2MPa 以上,滑升速度在 10~20cm/h 时,混凝土的 28d 抗压强度仅降低 2%~5%,出模强度达到 0.3MPa,混凝土 28d 强度则基本不降低。

早龄期混凝土在荷载作用下的相对变形,随混凝土的初始强度的

提高而减少,与荷载速度的关系不大,早期受荷混凝土变形结果见表 5。

表 5 混凝土早期受荷时的相对变形

模拟滑升速度 (cm/h)	混凝土早期受荷初始强度(MPa)					
	0.1		0.2		0.3	
	28 d 强度		28 d 强度		28 d 强度	
	试件相对变形( $\times 10^{-2}$ )					
	受荷	未受荷	受荷	未受荷	受荷	未受荷
10	6.35	7.33	2.17	4.05	0.75	3.24
20	5.18	6.19	1.72	4.34	0.92	3.07
30	5.46	7.18	1.77	3.58	0.82	4.33

注:相对变形值为试验荷载加至  $7.5\text{N}/\text{cm}^2$  时测定的平均值。

国外对出模强度的要求很不一致,从  $0.05\text{MPa}$  至  $0.7\text{MPa}$  者均有。为了不过分影响滑模混凝土后期强度或不致为弥补这种损失而提高混凝土配合比设计的强度等级,也不因强度太高过分增大提升时的摩阻力而导致混凝土表面拉裂,因此,混凝土出模强度定为  $0.2\sim 0.4\text{MPa}$  或混凝土贯入阻力值为  $0.3\sim 1.05\text{kN}/\text{cm}^2$ 。

采用滑框倒模施工时,由于仅滑框沿着模板表面滑动,而模板只从滑框下口脱出,不与混凝土表面之间发生滑动摩擦,因此只规定混凝土出模强度的最小值为  $0.2\text{MPa}$ 。

**6.6.16** 在我国滑模施工史上曾发生过几起重大安全事故,总结教训,认为在施工中支承杆失稳是导致发生事故的最主要原因,或者说是滑升速度与混凝土凝固程度不相适应的结果,因此规范中对滑升速度的控制提出了具体要求。

**1** 当滑模施工中支承杆不会(不可能)发生失稳情况时,可按混凝土出模强度要求来确定最大滑升速度。例如,采用吊挂支承杆滑模或支承杆经过加固在任何时候都不可能因受压失稳时,则滑升速度的控制只需满足出模混凝土不流淌、不拉裂,混凝土后期强度不损失等条件,即保证达到出模混凝土要求的强度即可,滑升速度可按下式确定:

$$V=(H-h_0-a)/t$$

式中  $V$ ——模板允许滑升速度(m/h);

$H$ ——模板高度(m);

$h_0$ ——每浇灌层厚度(m);

$a$ ——混凝土浇灌完毕后其表面到模板上口的距离取 0.05~0.1(m);

$t$ ——混凝土达到出模强度 0.2~0.4MPa 所需的时间,应根据所用水泥及施工时气温条件经试验确定。

2 当支承杆受压且设置在结构混凝土内部时(一般滑模多属这种情况),滑升速度由支承杆的稳定性来确定。前已述及,支承杆的失稳有两种情况,一种是杆子上部在临界荷载下弯曲,失稳时弯曲部位发生在支承杆的脱空部分;另一种是支承杆的弯曲部分发生在混凝土内部,这种情况一般是在混凝土早期强度增长很缓慢,杆子脱空长度较小时较易发生,一旦出现,模板下口附近的混凝土被弯曲的支承杆破坏,造成混凝土坍塌,甚至平台倾覆等恶性事故。因此,我们在确定支承杆承载力时,是以滑升速度与混凝土硬化状态相适应(即不发生下部失稳)为前提,求得支承杆在不同荷载、不同混凝土的硬化状态下与滑升速度的关系。

1)对于  $\phi 25$  圆钢支承杆,附录 B 第 B.0.1 条中建议按下式确定支承杆的允许承载能力:

$$P_0=40\alpha EJ/[K(L_0+95)^2]$$

式中  $L_0$ ——支承杆的脱空长度;

$\alpha$ ——工作条件系数,取 0.7~0.8;

$K$ ——安全系数,一般取  $K=2.0$ 。

所以控制支承杆上部不失稳的条件是(见图 8):

$$L_0 \leq \sqrt{40\alpha EJ/(KP_0)} - 95$$

式中  $L_0$ ——为千斤顶下卡头至模板上口的距离  $L_1$  与一个混凝土浇灌层厚度  $L_2$  之和,即  $L_0=L_1+L_2$ 。

上式说明,控制支承杆上部失稳的条件取决于支承杆的荷载

和脱空长度,这些数值应在滑模工艺设计中予以保证。

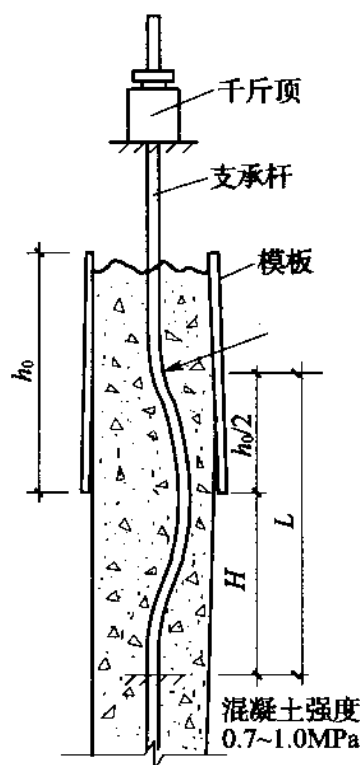


图8 支承杆下部失稳示意图

滑模施工中滑升速度之所以要进行控制是因为支承杆下部混凝土强度太低,不足以嵌固杆子阻止其在纵向弯曲时产生的变形。如果我们能够确定混凝土需要达到多大的强度才能嵌固住支承杆,以及被嵌固点的位置,我们就能够近似的确定允许的滑升速度。

为简化计算,我们可以假定:

- ① 支承下部失稳是在上部不失稳的条件下发生的;
- ② 混凝土对  $\phi 25$  圆钢支承杆的嵌固强度取  $0.7 \sim 1.0 \text{ MPa}$  (这一结论已由原冶金部建筑研究总院、四川省建筑研究院试验研究以及常州、天津两座烟囱因支承杆下部失稳事故的调查结果所证实);
- ③ 不考虑支承杆与横向钢筋联系等有利作用;
- ④ 杆子下部失稳时,上弯曲点的位置在模板的中部(由于模板

有倾斜度,模板下部 1/2 的混凝土已与模板脱离接触)并处于半嵌固状态。其下端被 0.7MPa 强度的混凝土完全嵌固,见图 8。

通过上述假定就把一个很复杂的问题简化为一个上端为半铰,下部全嵌固的理想压杆来处理。

按欧拉公式:

$$L = [\pi^2 EI / (\mu^2 P)]^{1/2}$$

对  $\phi 25$  圆钢支承杆,  $\mu = 0.6$ , 则杆子的极限长度为:

$$L = 10.5 / P^{1/2} \quad (\text{m})$$

上述说明,施工中只要保证从模板中点到混凝土强度达到 0.7~1.0MPa 处的高度  $L$  小于  $10.5 / P^{1/2}$ , 就可以保证支承杆不会因下部失稳破坏,由此得出极限滑升速度如下:

$$V = (L + 0.5 h_0) / T = 10.5 / (TP^{1/2}) + 0.5 h_0 / T$$

如模板高度为 1.2m 并取支承杆安全系数  $K = 2.0$ , 则允许滑升速度  $V_0$  可写为:

$$\begin{aligned} V_0 &\leq 10.5 / [T(KP)^{1/2}] + 0.6 / T \\ &= 7.425 / (TP^{1/2}) + 0.6 / T \quad (\text{m/h}) \end{aligned}$$

式中  $V_0$ ——采用  $\phi 25$  圆钢支承杆时,允许滑升速度(m/h);

$T$ ——在该作业班平均气温下,混凝土达到 0.7~1.0MPa 强度所需的时间(h),由试验确定。

2)对  $\phi 48 \times 3.5$  钢管受压支承杆,在施工应用中有两种情况,一是支承杆设置在结构混凝土体内,一是支承杆设置在结构体外。前已述及这两种情况均可用同一方式表达  $P-L$  之间的关系:

从附录 B 第 B.0.2 条可知  $\phi 48 \times 3.5$  支承杆的极限承载能力与杆子的脱空长度的关系如下:

$$P = 99.6 - 0.22L$$

当支承杆设在结构混凝土体内时, $L$  为千斤顶下卡头至混凝土表面的距离。

当支承杆设在结构体外时, $L$  为千斤顶下卡头至模板下口以下第一个横向支撑扣件节点的距离。

因此控制支承杆上部失稳的条件是：

$$L \leq (99.6 - P_k) / 0.22 = 452.73 - 4.55 P_k$$

当支承杆设置在结构混凝土体内，我们可仿照前述方法来确定极限滑升速度，但应重新确定  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆的稳定嵌固强度值  $\tau_{\phi 48}$ 。遗憾的是目前这方面的试验资料没有见诸报道，原冶金部建筑研究总院利用  $\phi 25$  圆钢支承杆试验的稳定嵌固强度结果  $\tau_{\phi 25}$  对其进行了理论上的研究，推定结果为 2.5MPa。

其推导过程简介如下：

对于  $\phi 25$  圆钢支承杆利用力的平衡原理和欧拉公式可以得出在临界力作用下其混凝土稳定嵌固强度为：

$$\tau_{\phi 25} = DI_{\phi 25} / L_{\phi 25}^4 d_{\phi 25}$$

式中  $D$ ——当支承杆材质、工作方式相同时为常数；

$I_{\phi 25}$ —— $\phi 25$ Q235 支承杆的惯性矩；

$L_{\phi 25}$ —— $\phi 25$ Q235 支承杆的自由长度；

$d_{\phi 25}$ —— $\phi 25$ Q235 支承杆的外直径。

而原冶金部建筑研究总院、四川省建筑研究院试验的结果为 0.7 ~ 1.0MPa，即：

$$\tau_{\phi 25} = DI_{\phi 25} / L_{\phi 25}^4 d_{\phi 25} = 0.7 \text{MPa}$$

对于  $\phi 48 \times 3.5$  支承杆，在临界力作用下其稳定嵌固强度应为：

$$\tau_{\phi 48} = DI_{\phi 48} / (L_{\phi 48}^4 d_{\phi 48})$$

$$\tau_{\phi 48} / \tau_{\phi 25} = DI_{\phi 48} / (L_{\phi 48}^4 d_{\phi 48}) L_{\phi 25}^4 d_{\phi 25} / (DI_{\phi 25})$$

$$\text{则：} \quad \tau_{\phi 48} = \tau_{\phi 25} I_{\phi 48} d_{\phi 25} / (I_{\phi 25} d_{\phi 48}) (L_{\phi 25} / L_{\phi 48})^4$$

已知： $\tau_{\phi 25} = 0.7 \text{MPa}$ ， $I_{\phi 48} / I_{\phi 25} = 6.36$ ， $d_{\phi 25} / d_{\phi 48} = 0.521$ ，则：

$$\tau_{\phi 48} = 0.7 \times 6.36 \times 0.521 \times (L_{\phi 25} / L_{\phi 48})^4$$

$$= 2.319 (L_{\phi 25} / L_{\phi 48})^4 \quad (\text{MPa})$$

当  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆的自由长度与  $\phi 25$  圆钢支承杆的自由长度相同时，则  $(L_{\phi 25} / L_{\phi 48})^4 = 1$ ，此时  $\phi 48 \times 3.5$  支承杆的稳定嵌固强度  $\tau_{\phi 48} = 2.319 \approx 2.5 \text{MPa}$ 。

因为实际上  $L_{\phi 48}$  要大于  $L_{\phi 25}$ , 当没有其他试验数据时, 可用  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆的稳定嵌固条件为  $2.5 \text{ MPa}$ 。

与  $\phi 25$  圆钢支承杆相同, 确定  $\phi 48 \times 3.5$  支承杆的允许滑升速度按其下部失稳条件进行控制, 即杆子失稳时的上端弯曲点在模板的中部, 处于半铰结状态, 下端被  $2.0 \text{ MPa}$  强度的混凝土完全嵌固。按欧拉公式:

$$L = [\pi^2 EI / (\mu^2 P)]^{1/2}$$

对  $\phi 48 \times 3.5$  钢管支承杆  $\mu = 0.6$ , 则杆子的极限长度  $L$  为:

$$L = [\pi^2 \times 2.1 \times 10^4 \times 12.1898 / (0.6^2 \times P)]^{1/2}$$

$$= 2649 / P^{1/2} \quad (\text{cm})$$

$$\text{或} \quad = 26.5 / P^{1/2} \quad (\text{m})$$

由此得出利用  $\phi 48 \times 3.5$  管支承杆时的极限滑升速度如下:

$$V_{\max} = (L + 0.5h_0) / T_2 = 26.5 / (T_2 P^{1/2}) + 0.5h_0 / T_2 \quad (\text{m/h})$$

则允许滑升速度为:

$$V = 26.5 / [T_2 (KP)^{1/2}] + 0.6 / T_2$$

式中  $T_2$ ——在作业班的平均气温条件下, 混凝土强度达到  $2.5 \text{ MPa}$  所需的时间, 由试验确定(h)。

**3** 根据施工过程中滑模工程结构或支承系统的整体稳定来控制滑升速度, 一般是在以下情况时需要: 结构的自重荷载相对较大; 施工中为保证结构稳定的横向结构后期施工(如高层建筑后做楼板、框架结构后做横梁等); 或支承杆系统组成一个整体结构。为防止整个工程结构或支承结构系统在施工中发生失稳才进行这种验算。验算中除了要考虑工程结构形式、滑模结构系统支承等具体情况, 还涉及对混凝土强度增长速度的要求, 因而需要对滑升速度做出限制。

**6.6.17** 当  $\phi 48 \times 3.5$  管支承杆受压且设置在结构体外时, 支承杆四周没有混凝土扶持。其上端千斤顶卡固, 假定为半铰状态, 下端为铰支(即取  $\mu = 0.75$ )。按欧拉公式, 其临界荷载  $P$  为:

$$P = \pi^2 EI / (\mu L)^2$$

杆子的极限自由长度为：

$$L_{\max} = [\pi^2 EI / (\mu^2 P)]^{1/2}$$

对  $\phi 48 \times 3.5$  钢管：

$$\begin{aligned} L_{\max} &= [(\pi^2 \times 2.1 \times 10^4 \times 12.1898) / (0.75^2 \times P)]^{1/2} \\ &= 2120 / P^{1/2} \quad (\text{cm}) \end{aligned}$$

当荷载安全系数为 2.0 时，则支承杆允许的自由长度(千斤顶下卡头至模板下口第一个横向支撑扣件节点的允许距离) $L_{\text{允许}}$  为：

$$L_{\text{允许}} = 21.2 / (KP)^{1/2} = 15 / P^{1/2}$$

施工中必需从滑模工艺上保证支承杆的自由长度  $L$  在任何情况下都应小于  $L_{\text{允许}}$  的要求。

按上式公式结合实例计算结果列于下表：

支承杆荷载(kN)	10	20	30	40	50	60	70
允许的自由长度(m)	4.74	3.35	2.74	2.37	2.12	1.94	1.79

我国曾发生过两起因支承杆下部失稳而引发的重大安全事故，因而规范中比较明确地规定滑升速度控制的要求十分必要。应该说目前提出的滑升速度的计算方法，其理论和试验都不够完善。为了解决当前一些实际问题，上面所做的探索特别是通过试算出来的结果，还要在理论和实践中进一步完善。

## 6.7 横向结构的施工

**6.7.1 按整体设计的横向结构**(如高层建筑的楼板、框架结构的横梁等)对保证竖向构件(如柱、墙等)的稳定性和受力状态有重要意义。当这些横向结构后期施工时，会使施工期间的柱子或墙体的自由高度大大增加，因此应考虑施工过程中结构的稳定性。另外，由于横向构件后期施工会存在横向和纵向结构间的连接问题，这种连接必须满足按原整体结构设计的要求，如果需要改变结构的连接方式(如梁、柱为刚接设计改变为铰支连接)，则应通过设计认可，并有修改以后的完整施工图，才能实施。



**6.7.2** 本条指出滑模施工的建筑物其楼板结构的几种可行的施工方案。可根据结构的具体情况和施工单位的习惯选用。

**6.7.3** 墙板结构采用逐层空滑现浇楼板工艺施工时,本规范提出三点要求:

1 要保证模板滑空时操作平台支承系统的稳定与安全。措施是对支承杆进行可靠加固,并加长建筑物外侧模板,使滑空时仍有不少于 200mm 高度的模板与外墙混凝土接触。

2 逐层现浇的楼板,楼板的底模一般是通过支柱支承在下层已浇筑的楼面上,由于一层墙体滑升所需的时间比较短,下层楼面混凝土浇筑完毕,只能停顿 1~2d,即需要在其上面堆放材料,架设支柱,而此时混凝土强度较低,应有技术措施来保证不因此而损害楼板质量,例如在楼板混凝土中掺入适量早强剂,采用真空脱水处理浇筑的楼板混凝土等措施。

3 楼板模板的拆除应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求,高层建筑的楼板模板采用逐层顶撑支设时,顶层荷载是依次通过中间各层楼板和支柱传递到底层楼板上的。因此,本规范要求拆除支柱时的上层楼板的结构强度应满足上部施工荷载的要求。

在上部施工荷载作用下,底层支柱究竟承受到多少荷载,综合冶建院、上海建院及美国、日本等对下层支柱传递下来的施工荷载进行研究的结果,得出如下结论:

1 最下层支柱所承受的最大施工荷载,以作用在最上层支柱的荷载为单位荷载来表示荷载比为 1.0~1.1;

2 作用在最下层支柱所承受的楼板或梁上的最大荷载(即传递给最下层楼板的最大荷载)如连其自重计算在内,一般荷载比为 2.0~2.1;

3 最大荷载比与使用多少层支柱、隔多少天浇筑混凝土无关,也基本上不受支柱刚性大小、楼板与其周边梁的刚度比例及其他因素的影响。

因此可求出楼板设计荷载与施工荷载的比值  $\gamma$ :

$$\gamma = [2.1(\rho d + \omega_i)] / (\rho d + \omega_L)$$

式中  $\rho$ ——混凝土的重力密度( $\text{kN/m}^3$ );

$d$ ——板厚(m);

$\omega_i$ ——楼板模板单位面积上的重量( $\text{kN/m}^2$ );

$\omega_L$ ——设计用活荷载( $\text{kN/m}^2$ )。

用逐层顶撑支模方法施工对于  $\gamma$  值超过 1.5 时,不仅要 对钢筋补强,还要待混凝土达到设计强度要求后才能拆模。

**6.7.4** 墙板结构采用逐层空滑安装预制楼板时,主要应注意两个问题:

1 支撑楼板的墙体模板空滑时,为防止操作平台的支承系统失稳发生安全事故,要求在非承重墙处模板不要空滑(要继续浇筑混凝土);如稳定性尚不足时,还需要对滑空处支承杆加固;

2 安装楼板时,支撑楼板的墙体的混凝土强度不得低于  $4.0\text{MPa}$ ,是为了保证墙体承压的混凝土在楼板荷载作用下不致破坏,也不造成后期强度损失。本条对混凝土最低强度要求是参照国家现行标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 提出的。在混凝土强度低的墙体上撬动楼板易破坏混凝土,因此,施工中不允许这样做。

**6.7.5** 横梁采用承重骨架进行滑模施工时,对设计骨架的荷载、挠度、施工起拱值等要求,在本规范第 3.3.6 条、第 6.2.3 条均作了相应规定。本条强调要根据安装处结构配筋和滑模装置的情况绘制施工图,是因为横梁支座处纵向、横向构件来的钢筋密布,承重骨架的支承方式、位置、安装顺序、施工时穿插的可能性都应事先做周密考虑,并绘制施工图,才能保证现场安装工作顺利进行。悬吊在骨架下的梁底模板宽度应小于滑模上口宽度  $3\sim 5\text{mm}$ ,是为了便于安装底模,并防止在提升模板时侧模卡住底模,造成质量事故。对于截面较小的梁,采用预制安装时,梁的支承点除应按设计图纸做好梁和竖向结构彼此钢筋的连接外,还应视情况在竖向

结构的主筋上加焊支托或另设临时支撑,并在梁的支承端底部预埋支承短角钢或钢垫板,以加强其支承处的强度。

**6.7.6** 采用降模法施工楼板(或顶盖)时,利用操作平台作为楼板的模板或作为模板的支承,可以简化施工工艺。但在模板装置设计时,应周密考虑操作平台与提升架之间的脱离措施,以及脱离以后处于悬吊状态时,操作平台构件的自重和施工荷载作用下的强度和刚度。楼板混凝土的拆模强度应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定,并不得低于 15MPa。

**6.7.7** 采用在墙体上预留洞,现浇牛腿支承预制板时,预制板的支撑应待现浇牛腿混凝土强度达到设计强度的 70% 以上时才能拆模,是考虑到牛腿是受力的关键部位,拆除支承后牛腿即可能承受荷载,因此参照了现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

**6.7.8** 本条是提醒施工人员注意到后期施工的现浇楼板可采用早拆模板体系,即利用早拆柱头以加快拆模时间和模板周转,减少模板的投入。也可利用已成型的结构,在墙、梁或柱子上设置支承点来悬吊支模,以简化支模工艺。

**6.7.9** 二次施工的构件与滑模施工的构件(已施工完毕的构件)之间的连接,为保证其受力需要,使结构形成整体,通常在节点处都做了必要的结构处理,如留设梁窝、槽口、增加插筋、预埋件、设置齿槽等等。这些部位比较隐蔽,设置时需要十分精心,使这些结构措施做到形状准确、位置及尺寸无误、混凝土密实完整。由于再施工是在后期进行,节点处理部位仍然存在被浮渣、油脂、杂物等污染的可能,因此二次施工之前必须彻底清理这些部位,并在二次施工时,按要求做好施工缝处理,加强二次浇筑混凝土的振捣和养护,确保二次施工的构件节点和构件本身的质量可靠。这里强调指出,二次施工点常为结构的重要部位,又多是设计变更的部位,二次施工点可能成为结构成败的关键,施工时应特别予以重视。

## 7 特种滑模施工

### 7.1 大体积混凝土施工

**7.1.1** 本条是根据我国现阶段的工程经验,规定了可采用滑模施工的大体积混凝土的工程范围。

我国在水工建筑物中的混凝土坝、挡土墙、闸墩及桥墩等大体积混凝土的滑模工程中已取得了成功经验。

**7.1.2** 大体积混凝土工程施工的特点是混凝土浇筑的工序多、仓面大、强度高。一般多采用皮带机、地泵等机械化作业方式入仓下料,滑模装置设计必须适应这一特点,且应注意结构物的外型特征和施工精度控制装置的有效性。

**7.1.3** 本条根据我国水工施工经验,对仓面长宽较大的情况,采用几套滑模装置分段独立滑升,实践证明是行之有效的。

**7.1.4** 本条规定了大体积混凝土中滑模施工支承杆和千斤顶布置的原则和方式。对支承杆离边距 200mm 的限制,主要是为了防止因混凝土的嵌固作用不足使其发生失稳或混凝土表面坍塌或裂缝。

**7.1.5、7.1.6** 这两条规定是根据大体积混凝土滑模施工中,滑模装置设计、组装的实践经验及工程现场试验作出的一般规定。

**7.1.7** 大体积混凝土的浇筑厚度应根据仓面大小、混凝土的制备能力、机械运输及布料等因素确定;当相邻段的铺料厚度高差过大时,由于模板受力不均,平台间易发生错位或卡死现象。对于采用吊罐直接入仓下料,应设有专人负责安全,600mm 仅为警戒高度。

**7.1.8、7.1.9** 对出模强度的规定是根据普通滑模施工对混凝土出模强度的要求而定的,对滑升速度、预埋件等的规定是根据大体积混凝土滑模施工的实践经验作出的。

**7.1.10** 在大体积混凝土滑模施工中,对操作平台也应做到“勤观察、勤调整”,避免累积误差过大;纠偏调整必须按计划逐步地、缓慢地进行,当达到控制值还不能调平时,应立即停止施工另行处理。

## **7.2 混凝土面板施工**

**7.2.1** 本条规定了混凝土面板工程施工的范围。

20 世纪 40 年代美国工程兵就在渠道护面工程中采用滑模施工,其他如堆石坝的面板、溢洪道、溢流面、水工隧洞等在我国也普遍采用滑模施工,工程质量良好。

**7.2.2** 由于面板滑模装置及支承方式和一般滑模不同,例如模板结构一般采用梁式框架结构,支承于轨道上,牵引方式有液压千斤顶、爬轨器或卷扬机等形式,因此特别对滑模装置设计作了规定。

**7.2.3、7.2.4** 模板结构设计中,要求考虑浇灌时混凝土对模板的上托力(侧压力在垂直于滑动面上的分力)的影响,并特别对影响工程外观的模板结构的刚度提出了明确要求,这是根据水电系统已往工程设计经验、现场试验综合确定的。

本规范采用的“混凝土的上托力”不同于其他资料中的“浮托力”,因滑模装置在斜面或曲面上滑动时,模板前沿堆积了混凝土,混凝土对模板不仅有浮托力,模板对混凝土还有挤压力。上托力按模板倾角大小分两种情况计取。

**7.2.5~7.2.9** 是根据水工建筑滑模施工中滑模装置设计、组装的实践经验及工程现场试验作出的一般规定。

**7.2.10** 本条规定的出模强度,对坡面很缓的护面(例如倾角小于  $30^\circ$ ),因试验数据较少暂不作规定,可不受此约束。

**7.2.11** 在陡坡上采用滑模施工,一旦失控急速下滑,后果十分严重,因此,应设置多种安全保险装置。

**7.2.12** 水工建筑中的溢流面不平整度,设计详图中一般有规定。但根据已往工程实践经验在本规范中明确允许偏差,是为了表明

滑模施工可以达到的质量标准,有利于施工现场质量控制。通常滑模施工的溢流面表面平整光滑,尤其是在解决大面积有曲率变化的表面平整光滑方面突显优势。

对于没有溢流要求的面板工程则相对放宽控制尺度。

### 7.3 竖井井壁施工

**7.3.1** 混凝土成型的各种竖井(也称立井)井壁,包括煤炭、冶金、有色金属、非金属矿山、核工业、建材、水利、电力、城建等各个行业工程建设中的竖(立)井,均可采用滑模施工。

尤其是煤炭系统的立井采用滑模施工已有 20 余年的历史,已是一种比较成熟的井壁混凝土施工技术。

现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204中有关混凝土、模板、钢筋工程和季节性施工的规定和《矿山井巷工程施工及验收规范》GBJ 213 中有关边掘边砌时的规定,在本规范中不再重复,井壁滑模施工时都应遵照执行。

**7.3.2** 滑模施工的竖(立)井混凝土强度不宜低于 C25,这是因为:井壁一般为圆形,按 GBJ 113—87 规范墙板厚度不宜小于 140mm,圆形筒壁厚度不小于 160mm。本条规定井壁厚度不宜小于 150mm,是比较恰当的。此外井壁内径若小于 2m,由于其摩阻力会增大,易给施工质量带来问题。

竖(立)井的井壁根据井深和地质条件一般分为单层或两层结构,特殊情况分为三层结构。外层井壁在掘进时起到加固井壁岩(土)帮和防水作用,常用凿井与井壁主体并行方法(即边掘边砌)施工;内层井壁(内套壁)主要承受地层压力和安装各种设备,也起防水作用。当井筒内地下水丰富、渗水严重或地层压力较大时,还应增加一层井壁。此时各层的井壁厚度均不应小于 150mm。

**7.3.3** 本条提出了竖(立)井滑模与常规滑模所需要的不同施工设施,以便施工前做好准备。

**7.3.4** 井壁滑模时只有内模板、施工经验表明,模板提升时,其单

侧倾斜度会变小;施工时如按常规滑模倾斜度要求  $0.1\% \sim 0.3\%$  组装,则滑升时易产生“抱模”现象,易将混凝土拉裂。因此,井壁滑模的模板倾斜度应大于一般滑模时的倾斜度。现行国家标准《矿山井巷工程施工及验收规范》GBJ 213 中规定的倾斜度为  $0.6\% \sim 1.0\%$ ,实践表明,倾斜度过大井壁表面易形成“波浪”或“穿裙子”,而且“挂蜡”现象也较严重。因此本规范适当减小了模板倾斜度值的要求。

**7.3.5** 本条对防护盘的设置提出了较具体要求。其他配套设施是指绞车、钢丝绳、提升设备、绳卡、通风、排水、给水、供电等设施的选择和使用,应按国家现行有关规范执行。

**7.3.6** 外层井壁采用边掘边砌时,井壁滑模的分段高度宜为  $3 \sim 6\text{m}$ ,主要考虑并行作业比较安全方便,凿井时井壁可不用临时支护。另外分段高度还应考虑竖向钢筋的进料长度,尽量减少接头,避免浪费。

**7.3.7** 竖(立)井滑模施工,宜采用拉杆式支承杆,一般设置在结构体外,一方面可回收重复使用,另一方面避免使用电焊来处理支承杆接头和对支承杆加固。

用边掘边砌方法,滑模施工外层井壁时,如能采用升降式千斤顶,并在模板及围圈系统增加伸缩装置可将滑模装置整体下降到一工作段上使用,这样就更能减少滑模装置的装拆时间。

压杆式支承杆设在井壁混凝土体内,作用与普通滑模支承杆相同,技术要求也一样。

**7.3.8** 井筒内工作面狭小,又常禁止使用电气焊,必须防止加工好的滑模装置各种部件运至井下组装时出现调整、改动等情况,因此必须在地面进行组装,保证井下组装时能一次成功。

**7.3.9** 对安装设备的竖(立)井井筒的内径,施工完毕后不能小于设计尺寸,考虑到混凝土对模板侧压力的作用,有可能会使模板直径变小,因此在组装模板时,其控制直径宜比设计井筒直径大  $20 \sim 50\text{mm}$ 。

**7.3.10、7.3.11** 井筒外壁多是分段施工,最后一茬炮的碎石留下,经过整平,一方面作为滑模装置组装的工作面,另一方面留下的碎石,其孔隙可积存一部分地下水,方便滑模装置的组装。

滑模装置组装前,要沿井壁四周安放刃脚模板,通过刃脚模板,可将上、下两段井壁的接头处做成  $45^\circ$  的斜面便于接茬,并防止渗漏。

刃脚模板一般用  $8\sim 10\text{mm}$  钢板制作,断面为  $45^\circ$  等腰三角形,上口开口的宽度同外层井壁厚度,一条直角边靠近井壁。刃脚模板与井壁基岩之间的间隙宜用矸石充填密实。模板斜边面向井筒中心,其上按竖向受力钢筋的位置及直径打孔,竖向钢筋可通过模板斜面上的孔插入碎石中,钢筋插入的长度应满足搭接的要求。在每一段井壁的底部,其竖向钢筋的接头位置允许在同一平面上。刃脚模板安装并临时固定牢固后,再在其上安装滑模装置。

滑升时不得将刃脚模板带起,刃脚模板拆下后可转到下一段使用。

**7.3.12** 本条是竖(立)井滑模施工中遇有横向或斜向出口时,应采取的加固措施,这些措施应在竖(立)井支护设计中予以体现。

**7.3.13** 竖(立)井壁采用滑模施工时,同样应按“勤观测、勤调整”的原则,控制井筒中心的位移,保证井筒中心与设计中心的偏差不大于  $15\text{mm}$ 。

**7.3.14、7.3.15** 提出了竖(立)井壁施工时的检查记录、允许偏差。

## **7.4 复合壁施工**

**7.4.1** 复合壁滑模施工是指两种不同材料性质的现浇混凝土结合在一起的混凝土竖壁,采用滑模一次施工的方法。采用复合壁的工程一般多是由于结构有保温、隔热、隔声、防潮、防水等功能要求的建筑物(结构物)。例如有保温要求的贮仓、节能型高层建筑外墙等。



**7.4.2、7.4.3** 复合壁采用滑模一次施工,最重要的是要使两种不同性质的混凝土截然分开,互不混淆,成型后两者又能自动结合成一体。在内外侧模板之间设置隔离板的目的是分隔两种不同性质的混凝土,以实现同步双滑,因此设计并安装好隔离板是复合壁滑模施工成功的关键。隔离板上的圆钢棍起到悬挂隔离板,固定其位置、增强隔离板的刚度、控制结构层混凝土钢筋保护层厚度,增加两种混凝土材料结合面积的作用。为方便水平钢筋的绑扎,悬吊隔离板高于模板上口 50~100mm,是防止两种不同性质混凝土在入模时混淆。隔离板深入模板内的高度比混凝土浇筑层厚度减少 25mm(即模板提升后,隔离板下口的位置应在混凝土表面以上 25mm),浇灌时使结构混凝土可以从此缝隙中稍有挤出,以增加两种混凝土之间的咬合。此外,应使圆钢棍的上端与提升井架立柱(或提升架之间的横向连系梁)有刚性连接,以保证在隔离板的一侧浇筑混凝土时,隔离板的位置不会产生大的变化。

**7.4.4** 强度低的混凝土对支承杆的稳定嵌固能力低,因此支承杆应设置在强度较高的混凝土内。

**7.4.5** 先浇灌强度较高的结构混凝土,可使结构混凝土通过隔离板下口的缝隙,少量掺入轻质混凝土内,起到类似“挑牛腿”的作用,使两者良好咬合,同时对轻质混凝土也起到增强的作用。先振捣强度较高的混凝土,一方面是防止振捣混凝土时隔离板向强度较高侧的混凝土方向变形,减小结构混凝土层的厚度,影响结构安全和质量;另一方面,先振捣较高强度一侧的混凝土,可使模板提升后钢棍留下的孔道和隔离板留下的空间由强度较高的结构混凝土充填,有利于两种不同性质混凝土的结合。

每层混凝土浇灌完毕后,必须保持两种混凝土的上表面一致,否则隔离板提出混凝土后,较高位侧的混凝土有向较低位侧的混凝土流动的趋势,从而造成两种不同性质混凝土混淆。

**7.4.6** 隔离板的内外两侧均与混凝土相接触,其表面如粘结有砂浆等污物,会变得粗糙,这将大幅度增加隔离板与混凝土之间的摩

阻力,从而在提升中将混凝土拉裂或带起,造成质量问题。因此应随时保持隔离基线的光洁和位置正确。

复合壁滑模施工是两种不同性质的混凝土“双滑”成型,两种混凝土的滑升速度相同,因此,这两种混凝土都应事先进行试验,通过掺入外加剂(如早强剂、微沫剂、减水剂、缓凝剂、塑化剂等)调整它们的凝结时间、流动性和强度增长速度,使之相互配合,不出现一侧混凝土因凝结过于缓慢或过于迅速,使该侧混凝土坍塌或拉裂等有损结构质量的现象发生。

混凝土的浇灌及两次提升的时间间隔应符合本规范第 6.4.2 条、第 6.6.4 条的规定;混凝土的出模强度应符合本规范第 6.6.15 条的规定。

**7.4.7** 复合壁模板提升时,其内、外侧模板及隔离板同时向上移动,而隔离板的下口仅深入至内、外侧模板上口以下 175mm。当每次提升 200mm 时,隔离板下口脱离混凝土表面并与表面形成 25mm 间隙,如提升高度增大,间隙也加大,隔离板将失去对两种不同性质混凝土的隔离作用,高位一侧的混凝土将向低位一侧流动,使两种混凝土混淆。对这一点,施工中应特别注意:其一,每次混凝土的浇灌高度和提升高度都应严格控制;其二,采用本工艺成型复合壁时不宜进行“空滑”施工,除非有防止空滑段两种不同性质混凝土混淆的措施。

当需要停滑时,应按本规范第 6.6.13 条规定采取停滑措施,即混凝土应浇灌至同一水平,模板每隔一定时间提升 1~2 个千斤顶行程,直至模板与混凝土不再粘结为止。复合壁滑模施工在停滑时,还必须满足模板的总的提升高度不应大于一个浇灌层厚度(200mm),因为提升高度大于一个浇灌层厚度,会使隔离板下口至混凝土表面间的间隙大于 25mm,从而造成两种混凝土混淆。

**7.4.8、7.4.9** 施工结束要立即提起隔离板,使之脱离混凝土,然后适当振捣混凝土,使出现的隔离缝弥合,否则混凝土强度增长后已形成的隔离缝无法用振捣方法弥合,不能形成整体。

孔洞四周的轻质混凝土用普通混凝土代替,主要是为了对洞口起加强作用,另外也便于洞口四周预埋件的设置。

**7.4.10** 复合壁滑模工程的施工质量应符合本规范第 8.2 节的有关条款和现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定,本条仅对复合壁滑模施工的壁厚规定了允许偏差。

## **7.5 抽孔滑模施工**

**7.5.1** 筒仓的立壁、电梯间井壁、某些建筑物的柱及内、外墙,如果设计允许留设或要求连续留设竖向孔道的工程(即在能够满足结构抗力需要的前提下),可采用抽孔滑模施工,具有防寒、隔音、保温作用的围护墙更宜采用抽孔滑模工艺施工。

**7.5.2** 规定结构的最小边长和厚度,主要考虑使模板和成孔芯管在滑升时所产生的摩阻力,不致使结构混凝土产生拉裂等问题。滑模设计抽孔率时,应考虑混凝土的自重大于混凝土与模板和抽芯管之间的摩阻力。目前滑模工程常采用的抽孔率在 15%~25% 之间。

**7.5.3** 确定孔的大小、位置时,除了要考虑因在混凝土内部设置了芯棒,增大了提升时的摩阻力,易产生将混凝土拉裂、带起等影响质量的问题,还应考虑不影响结构钢筋的配置、钢筋绑扎、混凝土浇灌及振捣等,使施工能有较方便的条件。

**7.5.4** 抽孔滑模与通常滑模的不同处是在两侧面模板之间增加了芯管,提升时侧模板和芯管与混凝土之间都存在着摩阻力,而且芯管的存在还分割了两侧面模板间的混凝土,使相应的混凝土厚度变薄,从而易使结构混凝土拉裂或带起,造成质量问题。因此,施工中尽量减小芯管与混凝土之间形成的摩阻力,是保证质量的一个十分重要的措施。采用能够转动并能适量上下移动的芯管,就能在浇灌混凝土后适时活动芯管,避免芯管表面与混凝土之间的粘结,大大降低两者之间的摩阻力。

用于抽孔芯管的钢管,如需在车床上加工出锥度,则钢管的壁厚不应小于 5mm;如锥度为零时,可用壁厚较薄的钢管做芯管。如采用锥度为零的芯管时,应设有能使芯管转动和适量上、下移动的装置,并控制好滑升的间隔时间,及时清理芯管,涂刷隔离剂,防止混凝土被带起的现象发生。

抽孔芯管在模板内的长度,取决于混凝土的强度增长速度、滑升间隔时间、混凝土的出模强度等,要保证成孔质量,防止坍孔和将混凝土带起。一般芯管的下口与模板的下口齐平,为装组方便,也可能芯管比模板下口高 10~20mm,但在模板内的长度不宜短于 900mm。

将两侧模板与芯管设计成能够分别提升,则可将两者的提升时间错开,而分别提升时的摩阻力远小于两者同时提升时的摩阻力,从而减小了结构混凝土被拉裂的危险。

**7.5.5 抽孔滑模施工**,由于混凝土内部有芯管存在,同时提升时,总的摩阻表面要比正常滑模时大得多,故抽孔滑模施工若管理不当,混凝土易被拉裂或带起,造成质量问题。因此应特别注意及时清洁粘在芯管上的砂浆并涂刷隔离剂,以减小芯管与结构混凝土之间的摩阻力。

## **7.6 滑架提模施工**

**7.6.1 滑架提模施工法**,是在绑扎完一段竖向钢筋后,利用滑模施工装置整体提升就位模板,然后浇灌混凝土,并绑扎其上段钢筋,待混凝土达到必要强度后脱模,再整体提升就位模板,如此分段循环成型混凝土结构的施工方法。此法应用于双曲线冷却塔或圆锥形变截面筒体结构施工时,应在提升架之间增加铰链式剪力撑,调整剪力撑夹角,改变提升架之间的距离来缩小或放大筒体模板结构半径,实现竖向有较大曲率变化的筒体结构的成型。

**7.6.2 采用直型门架的优点是**,不论所施工的筒壁曲率如何变化,门架均处于垂直状态,这样附着的操作平台也始终保持水平,

使工人操作更为习惯。采用直门架时,其千斤顶与提升架横梁之间的连接必须设计成铰接,使通过千斤顶的支承杆能够适当改变其方向,以适应圆锥形变截面筒体结构或双曲线冷却塔在不同标高上曲率的变化。

设置在提升架之间的剪力撑是控制提升架之间距离,改变变截面筒体结构的周长,使整个模板系统的直径放大或缩小,实现竖向曲率连续变化的关键部件,因此它必须具有足够刚度,使用中杆件不变形。这个由铰接连接起来的杆件系统,在调整状态时应轻便灵活,在稳定状态时又有足够的支撑能力。其性能需由优良的设计与精确的加工来予以保证。

滑模施工的双曲线冷却塔,不仅应混凝土密实,而且应外形曲线变化流畅,断面变化均匀对称。因此在施工中,每一个浇灌高度段的圆周半径、筒体表面坡度、断面厚度等参数,均应在施工前精确计算,列表或输入计算机内,以便施工控制。

滑模施工中要求围圈带动模板在提升架之间能整体松动脱离混凝土表面,空滑提升至一定高度又能整体紧固至混凝土断面设计位置。这要求模板应能收分、围圈应能伸缩、围圈与提升架的连接应能横向移动,采用调节丝杆来拉开或推动围圈和模板是一种较简易的方法,模板就位后,丝杆紧固的强度应能足够抵抗混凝土入模后的振捣力和侧压力,以保证模板位置准确不变形。

**7.6.3** 模板一次提升高度的确定是依据支承杆承载能力,经分析计算后确定(支承杆的承载能力与许多因素有关,如支承杆的截面形状与尺寸、材料类型、混凝土早期强度增长情况,包括施工中的气温和混凝土的品质、荷载偏心情况、杆子的最大脱空长度等等)。支承杆的最大允许脱空长度也就确定了模板允许的一次提升高度。另外,决定模板一次提升高度的因素是所选用模板的高度,这一点与变截面筒体结构或双曲线冷却塔的曲面曲率有关。因采用的直线型模板来实现坡度为双曲线筒体的成型,当使用于双曲线表面曲率较大的筒体时,模板长度应适当短一些,曲率较小时,模

板长度可适当长一些。

**7.6.4** 采用滑架提模法施工变截面筒体结构或双曲线冷却塔,应视施工季节、大气温度和所要求的速度试配出适宜的混凝土配合比,严格掌握脱模时混凝土的强度和开始浇灌混凝土时的强度。本条规定的混凝土脱模强度与开始浇灌时的混凝土强度是根据施工经验确定的。

**7.6.5** 采用滑架提模法施工的混凝土筒体,其质量标准还应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求。

## **7.7 滑模托带施工**

**7.7.1** 钢网架、整体钢桁架、大型井字梁等重大结构物,如果其支承结构(如墙、柱、梁)采用滑模施工时,则可利用一套滑模装置将这种重大结构物随着滑模施工托带到其设计标高进行整体就位安装。该结构物是滑模施工的荷载,也可以作为滑模操作平台或操作平台的一部分在滑模施工中使用。滑模托带施工的显著优点是把一些位于建筑物顶部标高的特大、特重的结构物,在地面组装成整体,随滑模施工托带至设计标高就位,这样就使大量的结构组装工作变高空作业为地面作业,从而对提高工程质量、加快施工进度、保障施工安全有十分重要的意义。采用滑模施工托带方式来提升结构物,不仅省去了大型吊装设备,也省去了搭架安装等一系列作业。因此这是一种优质、安全、快速、经济的施工方法。

**7.7.2、7.7.3** 由于被托带的结构是附着在其支承结构(墙、柱或梁)的滑模施工装置上,因此滑模托带装置不仅要满足其支承结构混凝土滑模施工的需要,同时还应满足被托带结构随升和就位安装的需要。本条指出了托带施工技术设计应包括的主要内容,这里至少应包括整个工程的施工程序(包括滑模施工到被托带结构的就位固定)设计、支承结构的滑模装置设计、被托带物与滑模装置连接与分离方法和构造设计、整个提升系统的设计(包括千斤

顶的布置和支承杆的加固措施等),被托带结构到顶与滑模装置脱离后,对托带结构的临时固定方法以及在某些情况下,被托带结构需要少量下降就位的措施,施工过程中被托带结构的变形观测(包括各杆件的变形和各支座点的高差等),如施工设计中发现支座高差在施工允许范围内,而某些杆件出现了超常应力时,应该在施工之前对那些杆件进行加固。鉴于托带施工使滑模受力系统增加了很大荷载,而且在施工过程中对操作平台的调平控制和稳定提升要求更高,因此施工的前期准备和技术设计应做到更加完善和可靠。

**7.7.4** 被托带结构往往是在地面组装好的具有较大整体刚度的结构,如在地面已经装组成整体的空间钢网架、钢桁架、混凝土井字梁等等。被托带物由多个支承点与其支承结构的滑模装置连接。可见在滑模托带提升时,由托带物施加到滑模装置上的荷载,也既是托带物支承点的反力。计算该支点反力时,其荷载除应包括托带结构的自重、附着在拖带结构上的施工荷载(施工设施和施工人员的荷载)、风荷载等外,还应包括提升中由于各千斤顶的不同步引起的升差,导致托带结构产生附加的支承反力,鉴于施工中各千斤顶的升差在所难免,控制不好有时还会较大。由此产生的附加支承反力的变化必须做到心中有数。千斤顶的升差(即被托带结构支承点不在同一标高上)一方面会导致被托带结构的杆件内力发生变化,升差过大时,可使某些杆件超负荷,甚至使结构破坏。另一方面是使某些支座的反力增大,使托带物施加到滑模装置上的荷载增大,甚至导致出现滑模支承杆失稳等情况。因此,在滑模托带工程的施工设计中,充分考虑到施工中可能发生的种种情况,对托带结构构件的内力进行验算,并对施工中提出相应的控制要求是十分必要的,例如提升支座点之间的允许升差限制、托带结构上荷载的限制、对某些杆件进行加固等等。

**7.7.5** 本条规定了滑模托带装置设计应计取的荷载。

**7.7.6** 滑模托带工程,由于在滑模装置上托带了重量较大、面积

较大,且具有一定刚度的结构物,任何使托带结构状态(包括支座水平状态、荷载状态等)发生变化的情况都会影响到滑模支承杆的受力大小。因此,滑模托带施工时其支承杆受力大小的变化幅度,往往比普通滑模时变化的幅度更大,为适应这种情况,本条规定托带工程千斤顶和支承杆承载能力的安全储备,比普通滑模时要大。对楔块式或滚楔混合式千斤顶安全系数应取不小于 3.0,对滚珠式千斤顶取不小于 2.5。由于滚珠式千斤顶随荷载大小而变化的回降量比楔块式千斤顶要大,因此滚珠式千斤顶在使用时,对不平衡负荷的调整能力比楔块式千斤顶更强,故两者的安全储备提出了不同要求。

**7.7.7、7.7.8** 滑模托带施工的被托带结构一般是具有相当大刚度和多个支承点的整体结构,其支承点的不均匀沉降(即支承点不在同一标高)对被托带结构的杆件内力变化有很大影响。因此施工中必须严格控制托带结构支承点的升差。第 7.7.7 条规定了施工中支承点允许升差值的限制。要满足第 7.7.7 条规定的要求,施工中,必须做到“勤观察、勤调整”。经验表明,千斤顶的行程在使用前调整成一致的前提下,采用限位调平法控制升差时,如限位卡每 150~200mm 限位调平一次,是可以满足第 7.7.7 条要求的。

此外,应指出第 7.7.7 条是指施工过程中,支承点的允许偏差要求。但当托带到顶,支座就位后的高度允许偏差,对于网架则应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

**7.7.9、7.7.10** 托带工程支承结构的滑模施工,其混凝土浇灌与普通滑模施工的技术要求基本相同。但由于施工过程中被托带结构的杆件内力,对支承点的升差十分敏感,更要求做到支承杆受力均衡,因而对混凝土的布料、分层、振捣等的控制更要严格,混凝土的出模强度宜取规范规定的上限值。



## 8 质量检查及工程验收

与一般的现浇结构或预制装配结构工程现场检验工作不同,滑模工程的现场检验工作,大部分只能在施工过程中的操作平台上,配合各工种的综合作业及时进行检查。作为成型的构件可供检查的区段不足 1m 高,通常没有专供检查人员进行复查的停顿时间,这给现场质量检查工作带来新的情况和困难。此外,滑模施工是一种混凝土连续成型工艺,各工序之间频繁穿插,各工序的作业时间要求严格,要保证工程获得优良质量,不仅施工操作正确与否很重要,施工条件和施工准备工作是否周全到位更是应受重视的工作,即是说滑模工程的质量检查,不仅在于要查出质量漏洞,更在于查出可能出现质量问题的因素,重在预防。因此,滑模施工中的现场检验应根据施工速度快和连续作业的特点进行。

### 8.1 质量检查

**8.1.1** 指出了滑模工程质量检查及隐蔽工程验收的依据,本规范附录 D 列出了 6 种滑模施工常用的记录表格。

**8.1.2** 滑模施工的特殊条件是指其施工过程由绑扎钢筋——提升模板——浇灌混凝土三个主要工序组成的紧密的循环作业,各工序之间作业时间短,衔接紧,检查工作是在动态条件下进行,施工中不能提供固定的或专门的时间进行检查工作。这些特点要求检查工作必须是跟班连续作业。

滑模工艺要求施工能连续进行,不允许有无计划的停歇,因为无计划停歇的出现意味着施工组织出现了问题,不是施工质量失控,就是施工条件准备工作跟不上滑升速度的需要,而滑升速度跟不上时混凝土在模板内静停时间超长,又会导致结构被拉裂、缺楞

少角等质量缺陷发生,这又会导致施工过程中出现非正常停歇,结果整个施工过程会在一种停停干干的状态下进行,工程质量必然会受到很大影响。因此应强化超前检查,即施工条件的检查是十分必要的。

此外,滑模施工是一种技术性较高的施工方法,检查人员不仅应能迅速发现施工存在的质量问题,而且应能分析问题发生的原因,并能提出中肯的改进意见供施工主管参考,以便问题得到及时处理。因此,要求滑模施工的检查不仅要有高度的责任感,而且应有高水平的技术素质。为此,施工前必须强调对检查人员的培训工作,即检查人员应熟知滑模施工工艺、工程的施工组织设计和本规范对工程质量的具体要求,并能针对工程的结构特点提出质量检查作业指导书。

**8.1.3** 兼作结构钢筋的支承杆,必须满足作为受力钢筋使用的性能要求,因此该支承杆的材质、接头焊接质量以及所在位置等都应进行检查,并做隐蔽工程验收。

**8.1.4** 本条指明在施工中的检查包括地面上和平台上两部分的检查工作。地面上的检查强调了要超前进行,平台上的检查强调了要跟班连续进行。

**8.1.5** 本条是针对滑模工艺特点提出的在操作平台上进行质量检查的一些主要内容。显然这些不是检查工作的全部内容,也未包括一些普通混凝土施工质检的常规项目。

**1** 检查操作平台上各观测点与相对应的标准控制点位置偏差的方位和数值,掌握平台的空位位置状态,如偏移、扭转或局部变形等;

**2** 检查各支承杆的工作状态与设计状态是否相符。如支承杆有无失稳弯曲、接头质量缺陷、异常倾斜现象(倾斜方向及倾斜值)、支承杆加固措施是否到位、支承杆的压痕状态是否正常、油污是否处理干净等;

**3** 检查各千斤顶的升差情况,复核调平装置是否正确有效;

**4** 当平台处于纠偏或别扭状态时,检查纠正措施是否到位,纠正效果是否满足要求;

**5** 检查模板结构质量情况,如模板有无反倾斜、伸缩模板与抽拔模板之间有无夹灰、支设的梁底模板是否会漏浆、提升架有无倾斜、围圈下挠等情况;检查成型混凝土的壁厚,模板上口的宽度及整体几何形状等;

**6** 检查千斤顶和液压系统的工作状态,不符合技术要求的千斤顶或零部件是否已经修复或更换,如千斤顶漏油、行程偏差大于允许值、卡头损坏、回油弹簧疲劳、丢失行程、油管堵塞、接头损坏、油液泄漏等;

**7** 检查操作平台的负荷情况,保证荷载分布基本均衡,防止局部超载;

**8** 除应按常规要求对钢筋工程进行质量检查外,应特别注意节点处汇交的钢筋是否到位,竖向钢筋是否倾斜,钢筋接头质量是否满足技术要求;

**9** 混凝土浇灌过程中应注意检查下列情况:每层混凝土的浇灌厚度是否大于允许值,有无冷缝存在以及处理质量,是否均衡交圈浇灌混凝土,模板空滑高度是否超过允许值,混凝土的流动性是否满足要求,钢筋保护层厚度是否有保证措施,混凝土是否做了贯入阻力试验曲线,总体浇灌时间是否满足计划要求等;

**10** 提升作业时,应注意检查平台上是否有钢筋或其他障碍物阻挡模板提升、平台与地面联系的管线绳索是否已经放松、混凝土的出模强度是否满足要求等,提升间隔时间是否小于规定的时间;

**11** 检查结构混凝土表面质量状态,是否存在有表面粗糙、混凝土坍塌、表面拉裂、掉楞掉角等质量缺陷,混凝土表面是否用原浆抹压(刷浆抹压)或抹灰罩面等;

**12** 检查混凝土养护是否满足技术要求。

对检查出的有关影响质量的问题应立即通知现场施工负责

人,并督促及时解决。

**8.1.6** 滑模工程混凝土的质量检验,应按照本规范及现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关要求进行。由于滑模施工中为适应气温变化或水泥、外加剂品种及数量的改变而需经常调整混凝土配合比,因此要求用于施工的每种混凝土配合比都应留取试块,工程验收资料中应包括这些试块的试压结果。

对出模混凝土强度的检查是滑模施工特有的现场检测项目,应在操作平台上用小型压力试验机和贯入阻力仪试验,其目的在于掌握在施工气温条件下混凝土早期强度的发展情况,控制提升间隔时间,以调整滑升速度,保证滑模工程质量和施工安全。

滑升中偶然出现的混凝土表面拉裂、麻面、掉角等情况,如能及早处理则效果较好,并且可利用滑模装置提供的操作平台进行修补处理工作,操作也较方便。对于偶尔出现的如混凝土坍塌、混凝土截面被拉裂等结构性质量事故,必须认真对待,应由工程技术人员会同监理和设计部门共同研究处理,并做好事故发生和处理记录。

**8.1.7** 在施工过程中,日照温差会引起高耸建筑物或建筑结构中心线的偏移,这将给结构垂直度的测量及施工精度控制带来误差。为减小日照温差引起的垂直度的测量及施工精度控制的误差,规定以当地时间 6:00~9:00 间的测量结果为准。这一规定是根据四川省建筑科学研究所、原西安冶金建筑学院在钢筋混凝土烟囱滑模施工过程中,对日照温差的测试结果确定的。从测试结果可以看出,由于日照的影响,结构物的温差在昼夜 24h 里,始终处在变化的过程中。在 6:00~9:00 之间,日照温差变化较小且较缓慢,故规定以此时间范围测得的结果作为标准。其他时间的测量结果应根据温差大小进行修正。

## 8.2 工程验收

**8.2.1** 滑模工艺是钢筋混凝土结构工程的一种施工方法,按滑模

工艺成型的工程,其验收应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求。

**8.2.2** 本条列出的滑模工程混凝土结构的允许偏差规定(表 8.2.2)主要是根据现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的要求提出的,但某些项目的要求要比 GB 50204 严格些,例如轴线位移偏差、每层的标高偏差、每层的垂直度偏差等。考虑到滑模施工特点,对建筑全高的垂直度 GB 50204 要求为  $H/1000$  且  $\leq 30\text{mm}$ ;本规范规定为当高度小于 10m 时,为 10mm;高度大于或等于 10m 时,规定为高度的 0.1%,不得大于 30mm。这里的差别是:GB 50204要求,全高在 10m 以内时允许偏差为高度的 1/1000,例如高度为 5m 时,则允许偏差应小于 5mm,这对于滑模施工而言要达到此要求是有一定困难的。因此本规范规定高度在 10m 以下时,允许偏差按 10mm 要求比较合理;而大于 10m 时则与 GB 50204 规范的要求相同。