

水工建筑物滑动模板施工技术规范

SL32—92

条文说明

编制说明

《水工建筑物滑动模板施工技术规范》(SL32—92)是根据原水电部水利水电建设总局(83)水建技字第 47、53 号文的要求,由水利水电地质勘探基础处理公司、水利水电第一工程局负责主编,会同浙江省水电工程局、水利水电第五工程局、水利水电第六工程局、水利水电第十二工程局、北京市水利局、北京市水利科学研究所、浙江省水利厅等单位共同编制而成的。

本标准的编制过程中,进行了广泛的调查研究,认真总结了我国 15 年以来水工建筑物滑动模板施工技术的实践经验,汇编出版了《水工建筑物滑动模板技术资料汇编》文集。同时,还收集了国外混凝土拱坝和面板堆石坝面板滑模施工的资料。对设计滑动模板装置时涉及的混凝土的上托力问题,设专题开展了科学研究与试验验证工作。

编制过程中,还参考了原国家建委 1978 年颁布的《液压滑升模板工程设计与施工规定》和冶金部颁布的《液压滑动模板施工技术规定》,以及国家标准《液压滑动模板施工技术规范》(GBJ113—87)。

本规范的初稿于 1986 年 5 月提出,并以原水电部水利水电建设总局(86)技字第 57 号文发向全国有关单位征求意见。后经多次讨论修改,于 1988 年 5 月提出送审稿。

1988 年 6 月水利部建设开发司组织专家在天津对送审稿进行了审查,认为其内容基本可行,可按审查意见进一步修改整理后报主管部门审批颁布。该规范(送审稿)审查组组长为林伯诜同志,水利部建设开发司李丰、李允中和张严明等同志参加了规范(报批稿)的修改和审定工作。

鉴于该规范系初次编制,在执行过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验,注意积累资料,发现有需要修改和补充之处,请将意见和有关资料寄交水利部建设开发司或主编单位,供今后修订时参考。

1 总则

1.0.1 本条阐明了本规范的适用范围。

滑模施工是一次立模连续浇筑混凝土的新工艺。70 年代以来,我国在水工建筑物中采用滑动模板施工,已积累了较丰富的经验,并取得了十分明显的经济效益。例如:混凝土坝有苇子水双曲拱坝(高 59m)等三个工程;井筒有石头河水库输水洞闸门塔(外径 10.6m,滑升高度 53m),白山水电站进水口闸门井(外径 15m,滑升高度 46.5m),安康砂石骨料罐(直径 20.6m,滑升高度 16m),湖南镇大调压井(内径 19.5m 滑升高度 78m)等十个工程;闸墩类有引丹渠道排子河渡槽墩、白山水电站拦污栅墩等十一项工程。湖北引丹渠道排子河渡槽工程的 114 个空心墩采用滑模施工,最大滑升高度达 49m;白山水电站拦污栅墩,最大滑升高度为 50.5m,而且实现了门槽埋件安装与混凝土浇筑一次完成,不再浇筑二期混凝土,从而加快了施工进度。近几年来我国在溢流面、泄槽混凝土施工中已普遍采用滑模施工。除此之外,在隧洞底板混凝土衬砌中也有滑模施工的实例。斜洞混凝土衬砌,我国已有白山水电站、湖南黄岑水库两个工程使用滑模施工的成功经验。

1.0.2 本条是水工建筑物滑模工程的分类。此分类法概括地区分了各类滑模工程的特

点,形成了系统的概念,便于设计和施工人员在实践中应用本规范。

1.0.2.1 混凝土坝等大体积混凝土。混凝土坝等大体积混凝土工程当采用滑动模板施工时,可实现柱状垂直连续浇筑,减少了分层浇筑的层面处理,加快了施工进度。

国内实例有苇子水双曲拱坝(高 59m),紧水滩上游围堰(高 26m),白山水电站重力拱坝 7 号坝段(高 32m);国外实例有瑞典瓦格富斯拱坝(高 45m),美国特鲁布尔湖重力坝(高 42m)澳大利亚戈个墩坝拱围堰(高 25m)。

大体积混凝土一般都有温控防裂要求,在混凝土的性能、浇筑速度、脱模强度以及滑模装置等方面具有共同性,因而把大体积混凝土滑模工程归为一类。

1.0.2.2 井筒(塔)、闸墩。水工建筑物中的调压井、闸门井、闸墩、拦污栅墩、栈桥墩、渡槽墩、砂石骨料罐等钢筋混凝土工程的施工已广泛采用了滑模。这些工程的结构形体对称,滑模装置基本相似,其滑模施工的特点是:滑模提升方向垂直向上;大多数工程可利用支承杆作结构钢筋;对混凝土基本性能的要求和脱模强度大致相同等。

因弧形闸门的闸墩内布设了扇形钢筋,有碍提升架的滑升,所以在进行弧形闸门闸墩滑模施工时,一般应设置竖向导轨。

1.0.2.3 面板。面板主要是指溢流坝的溢流面、泄槽底板,堆石坝的混凝土面板,隧洞底拱或底板等。

70 年代中期,我国首先在密云水库第二溢洪道护面施工中采用了滑模,相继在潘家口、太平哨、亭下、红石等工程的溢流面施工中应用。采用滑模施工,不仅提高了工程质量、加快了施工进度,而且解决了混凝土泄水建筑物造型准确和平整度能否满足设计要求的问题。

在碧口水电站左岸泄洪洞底拱混凝土浇筑中,成功地采用了牵引式滑模,取得了较好的效果。

60 年代国外堆石坝面板的施工开始采用滑模,实现了面板的快速施工,促进了混凝土面板堆石坝的发展。如 1971 年建成的澳大利亚塞沙纳坝,其面板滑模滑行速度平均为 1.5 ~ 3.0m/h;又如 1980 年建成的佛士度阿利亚坝,采用自行式轻型滑模,其滑行速度平均为 2.5m/h。

我国已在辽宁关门山水库(1988 年)、浙江成屏水库、湖北西北口水库(1989 年)等堆石坝混凝土面板施工中使用了滑模。

采用滑模方法浇筑面板,已经形成了一套较完整的施工工艺,其滑模装置也是一个单独体系,因而划为一类。

1.0.2.4 斜洞。有倾角的隧洞谓之斜洞。我国已在黄岑水库、白山水电站的压力管道衬砌施工中成功地使用了全断面滑模。其滑模模体适应隧洞体形具有一定的锥度,以慢速卷扬机和钢丝绳牵拉模体在导轨上滑行,混凝土脱模强度由顶拱混凝土强度控制,这种滑模的施工工艺和模体受力状态不同于其它滑模类型。

1.0.3 本规范从滑模施工的角度对混凝土的施工工艺作了一些规定,这些规定是在特定条件下对《水工混凝土施工规范》的补充。因此,除遵守本规范外,还必须遵守《水工混凝土施工规范》(SDJ207—82)。

《液压滑动模板施工技术规范》(GBJ113—87)是国家专业规范,也应遵照执行。

1.0.4 有关滑模施工中的安全技术和劳动保护问题,应遵守《液压滑动模板施工安全技术规程》等现行有关规定。

1.0.5 本条是对滑模工程的设计与施工提出的要求。

2 滑模施工对工程设计的要求

本章从滑模施工的角度对工程结构物的设计提出了要求。编写本章的目的是使设计人员在设计工程结构物时，尽可能考虑滑模施工的特点，适应滑模施工的需要。也使滑模施工人员在研究工程设计图纸时及早发现问题，及时处理，以便保证顺利施工。

2.0.1 本条是对工程结构物的体形设计提出的一般要求，这些要求在满足结构、应用、经济技术条件下应尽量给以考虑。对于一般建筑物，其结构体形应力求简单，条件许可时可简化为渐变截面；对于局部“凹”形结构，一般可预制内模解决；但对于无法避免的局部突出结构，采用滑模成型十分不便，本条提出了“宜作二期施工处理”的建议。

2.0.2 本条是根据滑模施工的特点，对钢筋、预埋件、预制件的设计和布置提出的基本要求，以保证施工中模板能连续滑升。施工中应防止因钢筋、预埋件、预制件没有架设牢固或架设时间过长，而迫使滑模停歇。

2.0.3 混凝土接缝的止水结构和灌浆设施，因其安装部位紧靠模板，细部结构复杂，应根据施工条件从结构设计、施工工艺等方面采取措施，保证顺利施工。

2.0.4 本条是对面板结构设计提出的几点要求。堆石坝的混凝土面板和溢流坝的溢流面的施工已广泛采用了滑模，其模板宽度与面板结构的分缝宽度是相同的。为有利于滑模的定型化和提高其重复使用率，要求面板结构的分缝宽度种类尽可能少、尽可能统一。

国内外混凝土面板堆石坝的面板分缝宽度参见表 2.0.4-1。

表 2.0.4-1 混凝土面板堆石坝面板分缝宽度统计表

坝名	工程地点	面板分缝宽度(m)	备注
石渊	日本	10	
野反	日本	12	
Pinzanes	墨西哥	12	
Cuga	意大利	12	
皆濑	日本	10	
Salvajina	哥伦比亚	15	
Khao Leam	泰国	15	
Wilmot	澳大利亚	12.2	
Kangaroo Creek	澳大利亚	12.2	
Paloona	澳大利亚	12.2	
Cethana	澳大利亚	12.2	
Serpentine	澳大利亚	12.2	
Aet Anohicaya	哥伦比亚	15.0	滑模 5 台
Foz do Areia	巴西	10.0	
关门山	中国	6、12	
西北口	中国	6、12	

采用滑模进行溢流面混凝土衬砌时，要求衬砌厚度不宜过大，根据国内工程经验，建议衬砌厚度为 0.5 ~ 1.2m(见表 2.0.4-2)。

表 2.0.4-2 溢流面面板分缝宽度、衬砌厚度统计表

工程名称	面板分缝宽度(m)	衬砌厚度(m)	备注
密云第二溢洪道	11	0.3	
海子水库溢洪道	4 ~ 17	1.0	
边坑水库溢流面	8	1.7	
朱庄水库溢流面	13	1.0	
碧流河水库溢流面	12	1.0	
太平哨电站溢流面	11	0.8 ~ 0.2	
大化电站溢流面	6	1.0	

葫芦口水库溢流面	14	0.8 ~ 1.2	在四川省
天车坡电站陡槽	10	0.4 ~ 0.6	在四川省
潘家口水库溢流面	18		
亭下水库溢流面	12		
红石电站溢流面	12		

溢流面底部的一期混凝土(或浆砌石)表面设计成台阶形对施工较为方便,但台阶的棱角不能是尖角,抹角可避免应力集中。

2.0.5 本条规定是从节约钢材的观点提出的,其前提条件是支承杆能满足受力钢筋的要求。

2.0.6 拦污栅槽等有安装金属结构的部位,其混凝土浇筑一般分两期施工。随着滑模施工技术的应用和发展,现可以将门槽埋件一次安装固定,一次浇筑混凝土,取消了二期混凝土的施工程序,从而加快了施工进度。例如 1982 年,水电一局在白山水电站拦污栅墩施工中成功地取消了门槽二期混凝土,将拦污栅门槽埋件(包括门框)安装和混凝土浇筑一次完成。

2.0.7 有温控要求的混凝土工程一般多采用“薄层浇筑”作为散热的主要措施之一,而在滑模施工中则要求不用或尽量少用这种措施,以充分发挥其连续浇筑混凝土的特点。这就要从多方面采取措施(如混凝土的配合比、水泥品种、外加剂、掺合料等的选用,骨料预冷、掺冰拌和等)以满足温控要求,为连续浇筑创造条件。

3 施工准备

3.1 施工组织设计

3.1.1 文意已明,勿需说明。

3.1.2 本条具体规定了滑模施工组织设计的内容。

3.1.3 本条规定了滑模施工技术设计的基本内容。

3.2 开工前的必备条件

3.2.1 本条规定了采用滑模施工必须建立严密的、统一的施工指挥系统,以及需制订的各项规章制度。

3.2.2 本条规定了滑模系统运往现场安装前必须进行的工作内容。

3.2.3 为了保证施工人员和设备的安全,本条规定对乘人电梯和罐笼等设施,必须设置安全保险机构。如防止提升罐笼钢丝绳突然断脱的“安全卡”和防止罐笼冒顶的自动限位开关等。

3.2.4 滑模施工对施工人员的素质要求较高,因此,对施工人员要专门组织培训,经考核合格后方可上岗操作。

3.2.5 本条对施工动力及照明用电规定应设双回路供电或备用电源,是为防止中途停电而影响施工造成事故,如确无上述条件,而必须停电时,应在停电前 4 ~ 5h 通知现场,以采取其他应急措施。

3.2.6 ~ 3.2.9 文意已明,勿需说明。

4 各类建筑物的滑模装置设计

4.1 一般规定

4.1.1 本条规定了滑模装置设计的几条指导原则。

4.1.2 本条规定了滑模装置设计的内容和步骤。

4.2 混凝土坝等大体积混凝土

4.2.1 本条规定了此类滑模装置的组成。

施工经验表明,使用滑模施工的建筑物,其体形精度优良者,都具有一个精心设计并行之有效的精度控制系统。这个系统包括千斤顶同步、结构物轴线、垂直度、操作平台的偏差与扭转等的控制与观测设施。因此,把施工精度控制系统列入滑模装置的一个组成部分是必要的。

4.2.2 大体积混凝土施工的特点是混凝土浇筑的工序多、仓面大、强度高。一般采用吊罐或皮带机入仓下料,设计操作平台时必须适应这一特点。

4.2.3 本条是对滑模装置设计荷载的规定,其参考值见附录 A。

4.2.3.1 混凝土对模板的侧压力。在常规立模浇筑混凝土时,侧压力的计算方法已在《水工混凝土施工规范》中作了规定。

采用滑模进行混凝土施工,模板初滑或停滑后浇筑混凝土时,模板的受力过程,与常规立模浇筑混凝土相同,但正常滑升时模板的受力过程则有所差异,由于试验研究资料不足,本规范建议以模板初滑阶段的受力过程为依据,即按《水工混凝土施工规范》附录一的规定计算侧压力。

4.2.3.2 模板滑动时与混凝土的摩阻力。模板滑动时与混凝土的摩阻力,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。影响摩阻力的因素较多,如混凝土的凝结时间、混凝土骨料的种类与形状、模板提升的时间间隔、模板表面的光滑程度及气温等。实践证明:模板滑动速度越慢,混凝土在模板中静停时间越长,则脱模强度就越高,混凝土与模板之间的粘结力就越大,摩阻力也就越大。

一般每次滑升启动瞬间的摩阻力最大,随着模板滑升逐渐减小。产生这种现象的原因一是启动瞬间混凝土与模板间存在较大的粘结力;二是随着模板滑升模板逐渐滑出浇筑面,模板与混凝土的接触面积与粘结力均随着减小。

根据我国一些单位的测试资料,正常滑升时,混凝土在模板中的静停时间为 3~4h,摩阻力值在 $1.5 \sim 2.5\text{kN/m}^2$,湖北引丹渠道排水河渡槽墩试验为 $2.0 \sim 2.6\text{kN/m}^2$,四川鲁班水库试验为 $2.0 \sim 2.5\text{kN/m}^2$ 。考虑到施工过程中可能出现的模板滑动不同步和结构变形、倾斜等原因,建议摩阻力采用 $1.5 \sim 3.0\text{kN/m}^2$,是可以满足施工要求的。

4.2.3.3 模板调坡收分时的附加压力。在紧水滩水电站上游拱围堰滑模装置设计中,假定顺坡面模板滑升时承受部分被动压力,计算得出的侧压力比正常情况下要大。大于正常情况下的那部分侧压力,就是附加压力。

对于计算附加压力的假定和方法,由于缺乏试验资料论证,目前尚有争议。附录 A 中的建议值是根据紧水滩拱围堰滑模的设计资料提出的,仅供参考。

4.2.3.4 风荷载。进行滑模装置设计时,风荷载的取值应按《工业与民用建筑结构荷载规范》(TJ9—74)中的有关规定确定。

当模板空滑时,支承杆的脱空长度增大,模板与混凝土的接触面逐渐减小,致使滑模操作平台不稳定,必须用风荷载校核操作平台的安全稳定性,并采取可靠的加固措施。

4.2.4 支承杆在荷载作用下的失稳有两种情况:

4.2.4.1 上部失稳。支承杆的弯曲点发生在其外露部分,并随即扩展到已浇筑的混凝土内部 15~30cm 处。这种失稳多由于支承杆脱空较长,荷载较大,平台产生较大的倾斜或扭转,或千斤顶不同步等引起的。这种失稳现象在施工中时有发生,若能及时发现并作处理,一般不会造成严重事故。

4.2.4.2 下部失稳。支承杆的弯曲点发生在模板中部以下部位。下部失稳的主要原因,

是滑升速度过快，混凝土强度增长与模板滑升速度不相适应，脱模强度过低，此时混凝土对支承杆不起嵌固作用，而可能发生支承杆倾斜或严重倾斜，操作不当时，将可能引起群杆失稳，混凝土倒塌，整个操作平台瞬时倾覆，后果十分严重。但是，只要严格控制滑升速度和混凝土的脱模强度，这种事故是可以避免的。

在确定支承杆的承载能力时，应以保证混凝土的强度能够正常增长、控制支承杆的脱空长度及混凝土脱模强度为前提，以支承杆上部失稳的极限状态作为考虑问题的依据。

冶金部建筑研究总院以欧拉公式和工业与民用建筑的试验资料为基础，建立了支承杆承载能力的计算公式，并纳入国标。本规范也采用了该计算公式，即“附录 B，支承杆允许承载能力与数量计算公式”。

支承杆在实际工作中不可能均匀负荷，群杆的实际承载能力不会超过单杆承载能力的总和。由于平台倾斜、扭转、千斤顶升差等原因可能会造成个别支承杆超载失稳，给相邻的支承杆增加额外负荷，这就有可能导致全部支承杆失稳。故在计算支承杆承载能力时，应乘以工作条件系数 α 。根据经验 α 取 0.7~1.0，视施工操作水平、平台结构而定。整体式刚性平台取 0.7，分割式平台取 0.8，采用工具式支承杆(带套管)取 1.0。

4.2.5 此条是根据紧水滩上游拱围堰滑模施工经验编写的。该围堰中间三个堰段长 81m，顶宽 3.6m，底宽 9.0m。仓面长宽比较大，这样大的仓面，不可能采用一个整体滑升平台，故采用了 4 套结构形式相同的滑模装置。各自独立滑升，但模板相互搭接。实践证明，这种方法是行之有效的。

4.2.6 操作平台的主梁应根据坝块或坝段体形、尺寸及细部构造特征进行布置。如重力坝可平行布置，拱坝可径向布置，其间距一般为 2.0~3.5m。确定此尺寸应考虑混凝土的浇筑方式和入仓下料的需要。

提升收分车在主梁端部工作，千斤顶紧靠提升收分车，也布置在主梁端部。此种布置结构简单、受力明确、便于纠偏。若主梁跨度较大，经计算如跨中有较大变形时，可在跨中布置一个辅助支点。

4.2.7 本条规定了支承杆(千斤顶)布置的原则和方式。对于无筋的大体积混凝土，支承杆离浇筑仓边缘的最短距离为 20cm，以防止支承杆因混凝土的嵌固作用不足而发生失稳或产生表面混凝土坍塌事故。

4.2.8 由若干主梁与连接梁构成的操作平台应该是几何稳定结构，以保证建筑物体形和尺寸的准确；施工中当操作平台发生偏差时，可保证调整效果。但操作平台的刚度不宜太大，刚度太大时支承杆的受力状态十分复杂。

4.2.9 混凝土坝的厚度随着高程的增高而变小，因而随着滑模向上滑升，操作平台外悬部分逐渐增大，产生偏心。所以，施工中应及时拆除其外悬部分，防止平台偏心，造成支承杆受力不均匀，甚至超过其设计承载能力，导致平台“飘移”以致失稳。

4.2.10 适中布置液压控制台对均匀传递压力有利。分组布置油路不仅操作管理方便，也便于调整操作平台局部不平与纠偏。一般采用并联油路并设分油器，使各组千斤顶的供油及回油均匀、压力均匀，这是保证千斤顶同步的主要措施之一。

分油管与千斤顶采用快速接头连接，可使千斤顶的拆装方便、迅速。

4.2.11 液压系统的设备包括液压控制台、千斤顶、限位阀、分油器等。不同厂家生产的同种设备的性能、质量存在着差异，因此，本条对常用液压设备的选配作了必要的规定，避免因液压设备不相匹配给施工造成被动。

4.2.12 本条是对滑模装置部件设计的规定。

4.2.12.1 组合钢模板是国家定型的工业化产品，其单位用钢量少、装拆方便、通用性强，应优先选用。根据《组合钢模板施工手册》⁹提供的资料：板宽 100~300mm、长 1500mm 的平面模板，支点间距 750mm，两端分别悬出 375mm，在 30kN/m² 均布荷载作用下，其最

大挠度值为 0.75 ~ 0.94mm。滑模施工时出现的混凝土对模板的最大压力远小于 30kN/m²，组合钢模板的变形量完全能满足本规范的要求。

• 《组合钢模板施工手册》编写组，组合钢模板施工手册，中国铁道出版社出版，1984。

大体积混凝土一般用三级配或四级配砂石骨料拌制，最大粒径为 80 ~ 150mm，浇筑层厚度至少为 30 ~ 40cm。为适应这种需要，模板高度不应太小，但也不能太大，否则增加了摩阻力。本条建议的尺寸是一般滑模装置模板常用尺寸。如苇子水双曲拱坝和白山水电站重力拱坝上游面模板高度为 1200mm，紧水滩水电站上游拱围堰为 1600mm，白山水电站重力拱坝下游面为 1300mm。

自制钢模板的面板厚度不应小于 2mm，厚度太小难以焊接，且易于变形。

模板的设计刚度应根据结构物体形精度要求确定，《组合钢模板技术规范》(GBJ214—82)规定绝对变形量为 15mm，本条建议不大于 2mm，这已能满足一般水工结构体形精度的要求。

模板的接缝必须严密，以防漏浆。

模板上口至操作平台主梁下缘高度的建议，是由拆装模板和钢筋工进行作业需要提出的。

4.2.12.2 围圈承受垂直、水平双向荷载，应验算其强度和挠度。

围圈变形的控制值是参照有关规范制定的：原国家建委批准的《液压滑升模板工程设计与施工规定》为小于 3mm；冶金部的《液压滑动模板施工技术规范》为小于 1/1000 跨度；国际《液压滑动模板施工技术规范》为不大于 1/500 跨度。若以 1/500 跨度控制，2m 跨度的围圈变形量将达到 4mm，有些偏大，而拱坝等水工建筑物滑模装置的围圈跨度一般超过 2m，因此，本规范采用 1/1000 跨度控制。

4.2.12.3 提升收分车是控制模板位置并调整模板坡度的机构。其调节丝杠需精加工，否则操作困难，根据经验，收分丝杠应达到四级精度。

立柱的变形量一般限制在 2mm 以内，以保证工程结构的成型精度。

4.2.12.4 主梁的设计刚度要适宜，刚度太大不但使支承杆的受力状态复杂，而且多耗用钢材，增加了操作平台的重量，导致增加千斤顶与支承杆的用量。刚度低时不能满足使用要求，还会影响纠偏、别扭的效果。根据经验，主梁的挠度不大于 1/500 计算跨度是合适的。

一般用两根 18 号或 20 号槽钢作主梁，便于安装千斤顶和支承杆及布设提升收分车。

提升收分车滚轮通过的部位，必须经过整直修磨处理。滚轮与槽钢之间的缝隙以 2mm 为宜，否则会影响工程结构物的成型精度。

槽钢上部应加盖密封，以防水泥砂浆和小石子落入。

部件制作允许偏差表是按《液压滑动模板施工技术规范》表 4.2.7 列出的。

4.2.13 本条规定厂精度控制系统的组成及采用的仪器。测站及标志的设计易被忽视，应引起注意。

4.3 井筒(塔)、闸墩

4.3.1 井筒(塔)、闸墩的结构型式较多，其滑模装置虽属同类，却也各有特点。

井筒结构的滑模可分为井壁、井筒两种，井壁滑模为单侧模板，后者为双侧模板。

闸墩结构的滑模分为平面闸门闸墩与弧形闸门闸墩滑模。后者因闸墩内布设了扇形钢筋，阻碍提升架的滑升，一般应设置竖向导轨进行滑模施工。竖向导轨式滑模比常规滑模装置多了一套竖向导轨系统，提升机具可采用液压千斤顶，也可采用卷扬机钢丝绳。

4.3.2 说明见 4.2.3 条。

4.3.3 井筒结构滑模的操作平台上一一般均布设垂直运输设备，垂直运输设备在模板停滑时运行，计算提升力时必须将正常滑升时的摩阻力与垂直运输设备运行时的附加荷载分别考虑，取其中最大值作为确定支承杆和千斤顶最少数量的依据。

千斤顶和支承杆的总数应由承载力计算的数量、结构构造所需数量和调整操作平台所需数量的总和确定。

4.3.4 此条是为防止个别支承杆超载失稳和千斤顶升差不一致，引起平台倾斜或扭转而规定的。

4.3.5 井筒(塔)、闸墩结构滑模提升架的布置应与千斤顶、支承杆的布置相匹配。工程实践中布置的间距大小不一，故本条规定为：其间距一般为 1.0~1.5m，不宜超过 2m，特殊部位可视需要布置。

4.3.6 本条建议采用结构稳定的环梁式操作平台。如密云水库白河泄空洞闸门井、猫跳河五级电站调压塔等工程的滑模均采用这种平台。环梁式平台受力明确，结构合理，整体性好，千斤顶和支承杆受力均匀。

4.3.7 本条规定了闸墩滑模施工可采用多墩同步滑升。如白山水电站进水口拦污栅墩，各墩间有钢筋混凝土导水板连接，墩与板同时浇筑，采用了多墩同步滑升。因采用皮带机入仓下料，故其操作平台由型钢梁与提升架连接组成。浙江长山闸排架柱滑模的操作平台，用桁架梁与外挑平台连接。虽然操作平台的结构和形式各不相同，但都必须与提升架组成整体稳定结构。

4.3.8 本条规定了竖向导轨系统的设计原则。

4.3.9 见 4.2.10 条及 4.2.11 条的说明。

4.3.10 本条针对井筒(塔)、闸墩滑模装置的特点，对其部件设计、制作作了规定。

模板尺寸是根据工程经验提出的，我国部分工程滑模的模板尺寸见表 4.3.10-1 和表 4.3.10-2。

表 4.3.10-1 井筒(塔)滑模模板尺寸统计表

工程名称	模板尺寸(mm × mm)
密云水库白河泄空洞闸门井	300 × 1200
猫跳河五级电站调压塔	300(500) × 1000
石头河水库输水洞放水塔	250 × 1000
安康水电站砂石骨料罐	300 × 1200
湖南镇水电站竖井	300 × 1200

表 4.3.10-2 闸墩类滑模模板尺寸统计表

工程名称	模板尺寸(mm × mm)
湖南镇水电站溢洪道闸墩	300 × 1200
浙江长山闸闸墩	500 × 1000
故县水库栈桥墩	300(100) × 1200

井筒(塔)、闸墩滑模的配板，应满足结构体形精度的要求。

4.2.12.1 款的规定也适用于井筒(塔)、闸墩滑模。

围圈转角处应设计成刚结点，以保证工程结构的成形精度。

条文中推荐的几种提升架的型式，是实践中常用的，井壁滑模通常采用“Γ”形提升架。

4.4 面板

4.4.1 本条规定了面板结构滑模装置的组成。

4.4.2 本条规定了面板滑模模体结构的设计原则。

4.4.2.1 模体主梁横截面一般为矩形,并用型钢梁或桁架制成分节组合式结构。使用时,可根据实际需要和面板分缝宽度进行拆装组合。如北京海子水库溢洪道滑模,其模体主梁可分成五节,并可组成三种长度,最大长度为 17.04m。既能满足本工程的需要,又能在其它工程中使用,从而提高了滑模的使用率和经济效益。

模体面板通常采用整体面板,面板高度应根据混凝土浇筑层厚度、脱模强度、滑升速度等因素确定。根据国内工程经验(见表 4.4.2),本规范建议溢流面滑模面板高度为 1000 ~ 1500mm。

表 4.4.2 滑模模体横截面、抵抗上托力方式、面板高度统计表

工程名称	溢流面最大坡比	模体横截面	抵抗上托力方式	模体面板高度(mm)
密云第二溢洪道	1 1.5	三角形	配重	1000
海子水库溢洪道	1 1	圆筒	配重	1200
朱庄水库溢洪道	1 1	三角形	配量	1000
碧口河岸溢洪道	1 1.88	矩形	配重	1500
大化水电站溢洪道	1 1		反向轮	900
四川葫芦口水库溢洪道	1 0.7	三角形	配重	1000
太平哨水电站溢洪道	1 1	圆筒	反向轮	1200
四川天车坡水库陡槽	1 1.5			2000
长滩水库溢洪道	1 0.52	矩形	配重	2000
潘家口水库溢洪道	1 0.65	矩形	反向轮	1000
浙江亭下水库溢洪道	1 0.8	矩形	反向轮	1000
红石水电站溢洪道		矩形	反向轮	1000

4.4.2.2 对于隧洞底板或底拱滑模模体的尺寸与形式,应根据建筑物的尺寸、体型、混凝土的塌落度和模体滑动速度等因素确定。如碧口水电站隧洞底板滑模为“V”形模体,总长 8.0mm。

4.4.2.3 国内溢洪道面板滑模模体的截面形式、面板高度、模体抵抗上托力的方式和溢流面最大坡比见表 4.4.2。

由于堆石面板坝混凝土面板滑模的轨道梁座落在垫层上,锚固程度较差,且坝坡小于 1 1,宜采用加配重的方式平衡混凝土上托力。

本规范用“混凝土上托力”,而《水工混凝土施工规范》及其他资料中则用“浮托力”。因模体在斜、曲面滑动时,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,故用“上托力”一词较为准确。

4.4.3 本条是对模体设计荷载与挠度的规定。

设计荷载中将混凝土与模板的摩阻力分为摩擦力和粘结力,并分别计算。因摩擦力与上托力有关,上托力包括浮托力与挤压力,挤压力与模板的倾角、轨道曲率、模板宽度有关。滑模在斜、曲面滑动时模板受到较大的上托力,此时的挤压力也较大。

混凝土对模板的上托力,本规范按两种情况计算:

4.4.3.1 模板倾角小于 45°时,按《水工混凝土施工规范》的规定取 3 ~ 5kN/m²。

4.4.3.2 模板倾角大于 45°时,分直线段与曲线段两种情况。实测资料表明直线段的上托力小于曲线段,这是由于模板在曲线轨道上滑行时,除受浮托力外,还承受着挤压力。潘家口水库在溢流面滑模施工中实测了模板的变形,用变形资料反算混凝土上托力为 10 ~

12kN/m²；在太平哨水电站溢流面滑模施工中，实测最大上托力达 15.54kN/m²；1987 年 8 月水电六局在云峰水电站溢流面施工时，发现模板产生较大变形，而滑模承受的上托力是按 10kN/m² 设计的，证明设计采用数据偏小。太平哨水电站溢流面直线段实测上托力为 8kN/m²。

根据以上资料，当模板倾角大于 45 ° 时，建议上托力的取值为 5 ~ 15kN/m²，对曲面取大值。

水电六局在太平哨水电站溢流面施工时，对 13[#]、15[#]孔模板承受的上托力进行了测试，测试时采用了两种方法：

(1)13[#]溢流孔，在模板上安装压力盒测试，其布置见图 4.4.3-1。

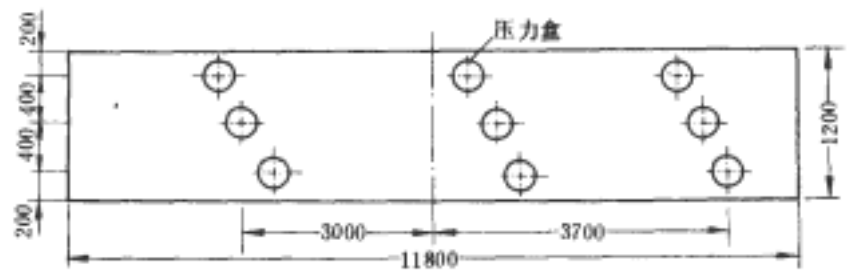


图 4.4.3-1 13[#]溢流孔压力盒布置图(单位：mm)

(2)15[#]溢流孔，在反向轮吊杆上贴电阻片，测吊杆应变、根据吊杆应变推算吊杆拉力，根据吊杆拉力推算模板上的平均上托力。

实测混凝土对模板的上托力见表 4.4.3。

表 4.4.3 混凝土对模板上托力表

桩号	模板倾角	实测上托力(kN/m ²)		备注
		15 [#] 孔用吊杆测	13 [#] 孔用压力盒测	
轴下 0+22.5	26 °	6.92	3.28	反弧段(反弧半径 R=12.5m)
0+21.5	31 °	9.58	—	
0+20.5	36 °	15.54	2.32	
0+19.5	42 °	13.47	6.92	
0+18.5	48 °	12.78	5.16	
0+17.5	51.5 °	8.28	6.08	直线段
0+16.5	50.5 °	8.85	7.75	正弧段
0+15.5	49 °	10.79	7.96	
0+14.5	48 °	10.26	6.52	
0+13.5	46 °	8.07	5.31	
0+12.5	43 °	8.50	7.05	
0+11.5	39 °	7.44	6.30	
0+10.5	35 °	5.18	5.86	
0+9.5	31 °	5.08	3.18	
0+8.5	30 °	4.84	—	

在溢流面反弧段、直线段和正弧段测得的上托力平均值图形见图 4.4.3-2。

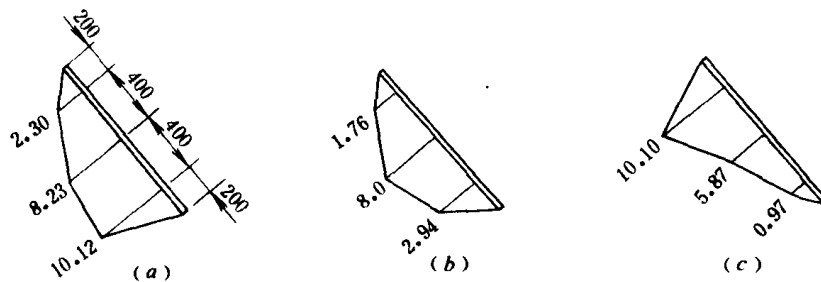


图 4.4.3-2 上托力平均值分布图(尺寸：mm；力：kN/m²)

(a)反弧段倾角 42°；(b)直线段倾角 51.5°；(c)正弧段倾角 42°。

以上三个压力图说明：直线段的上托力较正弧段、反弧段小。反弧段模板下部和正弧段模板上部产生较大的上托力，这是由于模板将高于设计面的混凝土挤压下去所致。

面板类滑模主梁的跨度较大，模板结构不仅要满足强度要求，还必须满足刚度要求，因溢流面承受高速水流冲刷，对平整度的要求较高，故对溢流面滑模的刚度规定较严格一些。我国已设计的溢流面滑模主梁的最大挠度一般控制在 1/500～1/1000 计算跨度间，本规范对溢流面取 1/800 计算跨度，对其他面板结构取 1/500 计算跨度，即满足一般钢梁设计标准。

4.4.4 面板滑模牵引力的计算过去没有统一的公式。在编写本规范过程中，曾对水电六局、00619 部队、四川水电设计院等单位使用过的计算公式进行了深入地研究。本条所列公式，是以水电六局等单位使用过的计算公式为基础确立的。

公式的第一项为粘结力，其值大小和模体与混凝土的接触面积的大小成正比；第二项是模体系统自重牵引方向上的分力；第三项是摩擦力，此项取绝对值；第四项是滚轮或滑块与轨道间产生的摩擦力。公式中仅包括了主要荷载，而模板前沿堆积混凝土的阻力、轮子卡轨时的阻力等，因较难用数据表示，所以没有列入计算公式，一并在安全系数中考虑。这样实测的牵引力往往比计算值要大，例子见表 4.4.4。

表 4.4.4 太平哨水电站溢流面滑模牵引力比较表

桩号	13#溢流孔用压力盒实测			15#溢流孔用吊杆拉力实测		
	计算值 T	实测值 T'	$K=T'/T$	计算值 T	实测值 T'	$K=T'/T$
轴下 0+22.5	4.366	9.777	2.239	6.957	8.681	1.248
0+20.5	5.602	11.107	1.983	14.395	17.874	1.242
0+19.5	9.009	13.109	1.455	13.790	14.160	1.027
0+18.5	8.468	17.039	2.012	10.808	15.102	1.397
0+17.5	9.588	16.500	1.721	11.600	14.379	1.240
0+16.5	10.594	14.942	1.410	12.871	13.706	1.065
0+15.5	10.574	15.509	1.467	12.329	15.404	1.249
0+14.5	9.435	16.810	1.782	10.659	17.707	1.661
0+13.5	8.345	18.365	2.200	10.738	16.414	1.529
0+12.5	9.223	15.549	1.686	9.632	18.886	1.961
0+11.5	8.198	16.470	2.009	7.541	13.896	1.843
0+10.5	7.380	13.322	1.805	6.972	12.774	1.833
0+9.5	4.956	13.284	2.680	6.219	14.514	2.334

注：表中牵引力单位为吨。

式中安全系数 K 值，浙江亭下水库溢流面滑模用爬轨器牵引， K 值取 1.2～1.5；太平哨、潘家口溢流面滑模用千斤顶牵引， K 值取 1.56～1.73。据实际经验，本规范规定 K 值取 1.5～2.0。

4.4.5 滑模的牵引机具主要有慢速卷扬机、液压千斤顶和爬轨器三种。爬轨器可沿轨

道爬行，能适应曲面变化需要和自行锁定，因此，对于溢流面滑模的牵引机具，建议优先采用爬轨器。

当滑模牵引点及牵引方向不合适时，模板滑动过程中其尾部将上下摆动，导致脱模的混凝土呈波浪形。牵引点过高可能造成模体倾覆，理论牵引点应设在下滑力的合力作用点上，牵引方向应与牵引力在一条直线上，这在实践中是难以做到的，尤其在溢流面施工时，牵引力的大小、方向随着溢流面的曲线而变化，根据施工实践经验，牵引点一般不得高出模板底面 30cm。

模体两端设同步行走的调整或控制机构，可保证模体不歪斜。

4.4.6 在面板结构滑模施工中，轨道是控制面板线形的关键部件。因工字钢或钢轨的受力条件较好，一般常用作滑模轨道。滑模轨道的分节长度通常为 4~6m，这有利于运输和吊装，也有利于弯曲成型。

对轨道变形量的限制，是根据设计对溢流面不平整度要求提出的。

必须把轨道的接头放在支承架的顶板上，否则，两节轨道要靠连接板连接，连接板会阻碍滚轮或爬轨器运行。

4.4.7 根据施工经验，本条提出几种建议采用的架立轨道的方法。

4.5 斜洞

4.5.1 本条规定了斜洞滑模的适用范围。城门形以及其他断面的斜洞混凝土衬砌，目前尚没有采用滑模施工一次成型的实例，所以本条规定只适用于“圆形斜洞全断面钢筋混凝土衬砌的施工”，关于洞径和倾角的限制，是根据黄岑水库及白山水电站两个典型的斜洞工程实例而制定的。黄岑水库斜洞内径 2.5m，平均衬砌厚度 0.8m，斜洞倾角 40°；白山水电站斜洞内径 7.5m，衬砌厚度 0.6m，施工设计中考虑超挖，取其平均厚度为 1.1m，斜洞倾角为 60°。当斜洞混凝土衬砌内径大于 8m 或其倾角小于 40°时，目前尚无工程实例，如采用滑模施工时，必须经充分论证。

4.5.2 斜洞采用滑模施工的启衬桩号，要从单项工程施工设计的合理性和提高滑模施工的效率考虑，一般宜从斜洞下弯段与斜洞交接面处作为启衬桩号。终止桩号一般确定在上弯段与斜洞交接面以下，这是给模体的脱空和拆除留有足够的场地。保留的长度一般为模板系统的总长度再加上 1~2m 的安全拆除距离。

为了保证模体安全顺利地脱空、拆除，在拆除场地应设置支承架、托辊、轨道及操作平台等设施，这些设施都应在滑模正式启滑前安装验收完毕。

4.5.3 启衬方式可以根据洞径大小、衬砌厚度、模体长度以及各工序的施工要求等选定。本条提出两种启衬方式。

黄岑水库斜洞采用了套模启衬环，这种方式的优点是：模体容易定位，模体沿启衬环中心滑行可起导向作用；新浇混凝土在模体上有足够的停留时间；当模体套入启衬环后就可以开始正常施工。但在施工时必须注意：当模体套入启衬环后，严防在浇筑混凝土时砂浆及骨料流入套模缝隙内而发生“卡模”事故；应控制底拱混凝土的下料量，避免下料过多，尽量与顶拱浇筑保持均衡，以防止模体受力不均而发生偏离。

白山水电站斜洞滑模施工，在模体安装前，先浇好下弯段混凝土衬砌作为滑模的启衬基座，并使模体的下口对接混凝土启衬基座。采用这种启衬方式，可避免套模启衬的缺点，但模体启动时所受阻力较大。

4.5.4 本条规定了斜洞滑模装置的组成。

4.5.5 本条规定了“应将模体设计成上口大、下口小的锥体”，这主要是为了减少滑升时钢模与混凝土间的摩阻力。

本条中有关参数的建议取值范围均是根据现有工程经验确定的。

湖南黄岑水库斜洞滑模模体长 3.8m, 锥度为 8%, 使用效果良好; 吉林白山水电站斜洞滑模模体长 5m, 锥度为 1%, 在模体滑升距离较大时, 钢模表面与混凝土之间缝隙较大, 有时漏淌水泥砂浆, 使出模的混凝土表面不平整。

顶拱混凝土(A 点到 A 点)的脱模时间, 白山斜洞设计为 12h 黄岑斜洞控制在 7~10h。

4.5.6 混凝土脱模时必须达到足够的强度, 以保证不塌顶、不掉块、不产生裂缝。应计算脱模后拱圈在混凝土衬砌自重及腰线以下山岩反力的共同作用下产生的内力, 据以确定混凝土脱模时应达到的强度, 并经试验加以核定。黄岑斜洞考虑安全系数后取压应力值为 0.45MPa; 使用东江矿渣水泥, 掺加 2.5% 氯化钙速凝剂, 实测 8h 龄期强度为 0.67MPa。白山水电站斜洞计算值为 0.72MPa, 使用抚顺矿渣水泥, 龄期 12h 平均抗压强度为 1.08MPa, 脱模强度实际确定为 0.8MPa。故本条规定一般不宜低于 0.7~0.8MPa。

4.5.7 本条规定了模体设计荷载的内容。对于施工荷载, 如作业人员、材料、设备等应尽量减少, 设计时应明确规定。

模体与混凝土之间的粘结力和摩擦力取值见 4.5.9 条。

4.5.8 牵引系统的设计、配套、安装必须安全可靠, 进行方便灵活, 滑升时平稳慢速。

根据黄岑、白山两个斜洞工程滑模牵引力计算情况来看, 钢丝绳的安全系数为 5.0~9.5, 牵引滑升速度为 1.25~15cm/min。在斜洞滑模施工中, 要求模体的滑升速度较慢, 太快了不仅容易拉裂混凝土, 而且需要较大的牵引力; 太慢则工效低, 一般以控制在 5~12cm/min 范围内为宜, 因此, 牵引力的确定必须满足此要求。

设计中应尽量使牵引力平行洞轴线, 这样可保证模体受力均匀, 滑升中不致产生偏斜。

4.5.9 采用对口启衬时, 由于模体被新浇混凝土包裹, 钢模埋进面积大, 存模时间长, 因而初滑启动时的摩擦力及粘结力都较大。如白山斜洞采用这种启衬方式, 据观察, 初滑启动时的摩阻力几乎增加了一倍。如果按启动时的摩阻力确定牵引力, 不但设备配套容量增大, 而且滑升效率大为降低。为解决这个问题, 采用了辅助牵引设施。辅助牵引设施可按设计牵引力的 1~1.2 倍考虑。白山 2[#]斜洞滑模启动前, 以 8 个 10t 千斤顶为其辅助牵引设施, 并以在下弯段混凝土启衬基座内圈均匀埋设的 8 个 20 号工字钢为其支座。

4.5.10 本条对模体牵引装置的设计作了规定。

根据模体的受力条件, 牵引装置的结构型式宜设计成圆盘形。拉杆宜用圆钢制作, 因型钢的抗扭能力低, 如使用时必须对其进行抗扭校核。为防止产生超载和偏载而拉断拉杆或使受力盘变形, 根据白山斜洞滑模施工经验, 拉杆及受力盘应在设计中加大安全系数, 故本条规定全部拉杆设计的总荷载为滑模牵引力的 3~5 倍。

4.5.11 模体导向一般是采用沿着两条轨道设导向轮的方法。安装导向轮的支承构架应同模体牢固地连结为一体。当模体直径较小时(如黄岑斜洞), 采用型钢同模体内部的构架连接作为支承构架即可满足要求。但当模体及导向轨距较大时(白山斜洞), 设计时应提高支承构架的刚度, 避免支承构架因承受较大压力而失稳。

4.5.12 本条规定了模体滑升轨道及其支承结构的设计原则。轨道及其支承结构一般是埋入斜洞底拱混凝土内, 不拆除。

4.5.13、4.5.14 混凝土下料系统、上下吊物系统、人员上下交通系统及供水、动力、照明系统等应统筹布置, 避免相互干扰, 不但要使各自畅通无阻, 便利施工, 又要保证下部作业人员及设施的安全。

从斜洞上部向仓面输送混凝土, 可根据斜洞倾角和施工现场的情况采用不同方式。黄岑斜洞采用“马槽”形溜槽, 并每隔 8~10m 设一道“蝶形”挡板(加配重)做缓冲, 效果良好。白山斜洞采用混凝土缓降筒, 并每隔 15~20m 设一缓冲漏斗, 效果亦良好。

沿斜洞上下运输物料, 常常是在下部滑模施工作业人员不撤离岗位的情况下进行的, 所以必须采取可靠的措施保证安全。白山斜洞采用“走线滑轮”吊送, 严密封包, 专人管

理。必要时撤离下部作业人员。

人员上下交通系统，应结合混凝土供料、动力、照明、供水及轨道等设施的检修维护方便加以布置。黄岑斜洞上下交通，是在斜洞底拱两侧布设两道混凝土踏步，结合混凝土支墩及下料溜槽布置的。白山斜洞采用分段钢梯，结合混凝土供料及供水、照明线路等布置的。总之，交通系统的布置必须保证行人方便，安全可靠。必须设置防护栏杆，当斜洞倾角较大时，还应加设安全网。

5 各类建筑物的滑模施工

5.1 一般规定

本节为水工建筑物滑模施工时一般应遵守的条文。

5.1.1 文意已明，勿需说明。

5.1.2 本条规定现场安装滑模前必须做好的准备工作。

5.1.3 本条强调浇筑混凝土前，要对滑模装置进行总体检查，具体办法是试滑升。通过试滑升可以全面检查滑模系统设计和安装的质量，还可以检查工程结构基面、侧壁是否满足设计要求或有无阻碍滑升的部位，发现问题必须及时处理。

5.1.4 本条是从滑模施工角度对混凝土的性能提出了一些要求。

滑模施工混凝土的配合比，除满足工程设计和水工混凝土的一般要求外，还必须根据施工期内的气温，通过试验掌握几种混凝土早期强度从 0.1MPa 增长到 1.0MPa 的规律，使其满足滑升工艺的要求。

为使混凝土的塌落度适应于滑模施工，应根据工程结构的特点、钢筋含量、混凝土的运输、浇筑方法和气候条件等确定塌落度。

为了改善混凝土的和易性，延缓或缩短混凝土的凝结时间，节约水泥，可在混凝土中掺加缓凝剂、早强剂、减水剂及粉煤灰等。外加剂的品种、掺量，必须在使用前通过试验确定。

5.1.5 本条对滑模混凝土的浇筑作了规定。

分层、平起、对称、均匀地浇筑混凝土，是防止操作平台产生偏差和扭转的重要措施。各层混凝土允许间隔时间应通过试验确定。如该层混凝土的浇筑时间超过允许间隔时间，则应按施工缝的要求进行处理。

操作平台自重及施工荷载，全部由低强度混凝土包裹的支承杆承担。振捣混凝土时，如触及支承杆、钢筋和模板，将会破坏混凝土对支承杆和钢筋的握裹力，从而影响滑模装置的稳定和工程质量。

提升模板时，操作平台处于动态，支承杆处于最大受力状态，此时严禁振捣混凝土，以保证支承杆的稳定。

滑模施工中，应防止千斤顶漏油。如漏油浸污支承杆，则将降低混凝土对支承杆的握裹力。黑龙江省低温材料建筑科学研究所等单位的试验结果表明：混凝土与涂油支承杆的粘结力比无油支承杆的粘结力低 2.2% ~ 17%。

对脱模后的混凝土表面必须及时修整，以弥补表面的蜂窝、麻面掉角等缺陷，并通过抹平压光，消除其表面的细微裂缝，以提高工程结构的质量。

5.1.6 脱模后的混凝土，极易因干燥产生裂缝，必须认真做好养护工作。目前主要有喷水和喷刷养护液形成薄膜两种养护方法。采用喷水养护应符合《水工混凝土施工规范》第 4.8.3 条的规定。

5.1.7 在滑模施工中要按设计图纸及时、准确、牢固地安装预埋件，使其不影响混凝土的浇筑和模板的滑升。要求预埋件出模后及时外露，是因为混凝土出模后强度尚低，出

露较易；及时检查能防止遗漏，发现问题时也能及时进行处理。

5.1.8 每次滑升前应检查并排除妨碍滑升的障碍物，否则会导致提升设备受力不均，操作平台偏移。本条规定应保证所有千斤顶均能充分进油、回油，其目的是防止因进油、回油不充分使各千斤顶之间产生累积差。

5.1.9 滑模起滑后，一般不要中途停滑。因故停滑时，必须采取停滑措施，以防止模板与混凝土粘结。重新浇筑时，因停滑所造成的水平施工缝，在按有关规定或设计要求妥善处理，方可继续浇筑混凝土和滑升。

5.1.10 我国幅员辽阔，南北方气温相差很大，冬季或夏季滑模施工的经验不多，故本规范未作具体规定，只提出原则性的要求。

5.1.11 文意已明，勿需说明。

5.2 混凝土坝等大体积混凝土

5.2.1 本条规定了滑模装置的现场安装顺序和要求。滑模装置在现场安装前应在制造厂内进行预组装，发现的问题应在厂内解决，否则不能运至施工现场。

5.2.2 安装滑模装置的允许偏差值(表 5.2.2)，系参照《液压滑动模板施工技术规范》，并结合水工建筑物滑模施工经验确定的。大体积混凝土滑模操作平台的主梁，因两端安装提升收分车，不允许主梁中线有较大的偏差。

5.2.3 浇筑混凝土铺料层厚度应根据浇筑能力、仓面大小等因素确定，本规范建议值为 25 ~ 40cm。

采用吊罐直接入仓下料时，要有专人负责指挥，不允许吊罐碰撞滑模平台。故本条规定“混凝土吊罐底部至操作平台顶部的安全距离不得小于 60cm”。

5.2.4 竖直部位混凝土的脱模强度，过去控制值为 0.05 ~ 0.25MPa，这是从保证脱模的混凝土不坍塌、不流淌、不被拉裂，并可对混凝土表面进行修饰加工的角度提出的。近几年来在工业与民用建筑部门施工实践中发现：混凝土的脱模强度较低时，在其上部混凝土自重作用下，脱模后的混凝土会发生塑性变形，影响其后期强度。冶金部建筑研究总院的试验研究结果证明：过低的脱模强度，会造成 28 天抗压强度降低，滑升速度越快降低的比例愈大。当滑升速度为 10 ~ 20cm/h，脱模混凝土的最低强度控制在 0.2MPa 以上时，混凝土 28 天强度仅降低 2% ~ 5%，脱模强度达到 0.4MPa 时，混凝土 28 天的强度基本不降低。

为了不过分影响混凝土的后期强度，适当提高混凝土的脱模强度是必要的。故本规范建议用国际规定的 0.2 ~ 0.4MPa，作为竖直部位混凝土的脱模强度。

5.2.5 本条是对大体积混凝土滑模的滑升作出的规定。

大体积混凝土滑模的滑升速度，是根据苇子水双曲拱坝和紧水滩拱围堰的施工经验提出的，一般为 0.05 ~ 0.1m/h。滑升时间间隔如超过 1.5h，混凝土可能会把模板粘住，使摩阻力增大，继续滑升是困难的。故应在施工中适当增加提升次数，以减少混凝土对模板的摩阻力。每次提升的速度只需要千斤顶的 1 ~ 2 个行程即可。

对连续变截面结构，每提升一次应进行一次调坡、收分，收分的数值不能太大，以免影响混凝土的质量。因此，施工中应严格按照在施工组织设计时作出的精度计算控制数据进行调坡、收分。

根据大仓面滑模分段滑升的经验，在混凝土浇筑中要控制分段铺料高差，如高差过大，由于模板受力不均，平台之间容易发生很难处理的“错位”或“卡死”事故。

5.2.6 键槽、止浆片、止水片、灌浆管等预埋件的埋设，需要与混凝土浇筑同时进行，施工比较复杂，必须制定有效的施工技术措施，否则不能保证施工正常进行。

5.2.7 在滑模施工中，对操作平台应做到“勤观察、勤调整”，避免偏差积累过大。纠偏调整必须逐步地、缓慢地进行，不能操之过急。

操作平台倾斜太大会导致支承杆承载能力降低，模板产生反倾斜度以及滑模装置部件出现较大的变形。冶金部建筑研究总院的研究结果证明：在标准荷载(15kN)作用下，当支承杆的脱空长度为 170~230cm 和操作平台倾斜 1%时，支承杆的承载力降低 22%~23.5%。建议对操作平台的倾斜度控制在 1%以内。

本条规定的操作平台偏移量(5cm)是极限值，达到此值尚不能调平时，应停止滑升，采取有效措施进行处理。

当成型的结构垂直度产生较大偏差时，纠偏工作应徐缓进行，急速纠偏会使滑模结构产生较大的纠偏力，使滑模装置产生较大的变形以及支承杆倾斜等情况。

5.2.8 当模板滑升至工程结构物的顶部时，为防止混凝土终凝前粘住模板，应采取停滑措施，即每小时将模板提升 1~2 次，每次升高 1~2 个千斤顶行程。待混凝土达到脱模强度后，再将模板脱开，脱开过程中应对操作平台及时加固。

5.3 井筒(塔)、闸墩

5.3.1 本条分别就井壁、井筒(塔)及闸墩滑模装置的安装程序作了规定。安装中还应注意以下问题：

5.3.1.1 滑模装置应一次组装好，直到施工完毕。因此，其组装工作一定要认真、细致、严格地按照设计要求及有关规定进行。

5.3.1.2 因为模板的倾斜度是靠围圈的位置保证的，所以安装内、外围圈时，一定要调好其倾斜度。

5.3.1.3 竖向导轨式滑模，在其导轨系统安装前应做好导轨柱基座。

5.3.2 为保证在操作平台发生倾斜或浇筑混凝土时围圈变形等情况下，模板不出现反倾斜度和拉裂混凝土，故本条规定“模板的倾斜度应有利于滑升”。模板的倾斜度如太小，不利于滑升；如太大，提升后模板与混凝土之间的缝隙则较大，水泥砂浆可沿缝隙流淌，使工程结构表面形成“鱼鳞状”，影响结构外观。根据施工经验，本规范建议单侧模板的倾斜度为模板高度的 0.1%~0.3%。

为便于计算和安装，本条规定“以模板 1/2 高度处的净距值为结构截面设计宽度”。

5.3.3 本条是井筒(塔)、闸墩采用滑模施工时钢筋作业的规定。

每个浇筑层面上，最少外露一道绑扎好的水平钢筋，以便根据它确定继续绑扎钢筋的位置。

水平钢筋的加工长度是从加工、运输、绑扎方便提出的，太长会造成运输和绑孔穿插的困难。竖直钢筋长度的规定，主要是为保证钢筋竖起时的稳定和其位置准确。

提升架模梁以上的竖向钢筋应有限位措施将其固定，否则钢筋将倾斜、歪倒，位置变动。

支承杆的接头是其薄弱部位，同一截面支承杆的接头过多，会影响支承系统的承载能力。因此规定第一批插入千斤顶的支承杆应加工成四种长度，且交错排列，以使接头错开。保证任一截面支承杆的接头，不超过其总数的 1/4。

5.3.4 文意已明，勿需说明。

5.3.5 本条是井筒(塔)、闸墩采用滑模施工时浇筑混凝土作业的规定。这些规定是为了保证混凝土的施工质量、脱模混凝土的强度能大致相同、滑升时支承杆受力比较均衡，以防止操作平台产生定向位移时造成倾斜、扭转。据井筒(塔)、闸墩采用滑模施工的经验，分层浇筑厚度一般为 20~35cm，并应与滑升高度相适应。

5.3.6 与 5.2.4 条和 5.2.7 条说明相同。

5.4 面板

5.4.1 本条规定了面板滑模装置的安装顺序和技术要求。

面板结构的线形主要由轨道控制，安装轨道必须按设计要求进行，安装后需经检查验收合格后，再进行模体结构、牵引机具、操作平台等项安装工作。

轨道支承架的位置与顶部高程是控制轨道安装精度的关键，施工中常因支承架的位置不准，致使轨道接头落在支承架外，或因顶部高程不准，给轨道安装及调整工作带来困难。

因设计对溢流面线形精度的要求较高，故在表 5.4.7 中分别规定其允许偏差值。溢流面滑模轨道安装的允许偏差值，根据设计要求的体形精度而定。其他面板滑模轨道安装的允许偏差是参考《水工混凝土施工规范》中有关规定，并结合施工经验规定的。

面板滑模轨道的接头不允许有突变，否则就会发生滚轮卡轨和爬轨器不能通过等事故。

爬轨器下卡块与轨道翼缘的间隙，是参考亭下水库和红石水电站溢流面施工经验而定的。

5.4.2 本条规定了面板滑模装置部件制作和组装的允许偏差。

模板长、宽及局部平整度按《水工混凝土施工规范》中钢模板的制作允许偏差取用。轨道中心线、轨道长度的偏差，是指单节轨道而言。轨道中心的偏差过大，容易使滚轮脱轨或卡轨。

爬杆接头直径不允许大于千斤顶孔径，也不能过小，过小时千斤顶卡不住爬杆。爬杆接头直径的允许偏差，应符合千斤顶对爬杆直径精度的要求。

模板行走装置一般在工厂内组装，要控制滚轮中心距。组装模体时要控制相邻模板面的高差值，并控制模板总长以及模板整体不平整度。

表 5.4.2-1 及表 5.4.2-2 中规定的允许偏差值是根据施工经验而定的。

5.4.3 固定轨道支承架的预埋件如有漏埋或位置不准时，必须采取措施补救。预埋件固定不牢或浇筑混凝土后其位置移动均会对安装轨道造成困难。

溢流面后浇块施工时，依靠在先浇块内预埋的套筒螺栓固定轨道套筒螺栓应埋入混凝土面内 2cm。模板滑过后用环氧砂浆填塞抹平即可保证溢流面平整光滑。

5.4.4 施工过程中模板上浮将影响面板结构的成型精度和质量。除在设计中采取措施外，在混凝土振捣作业中也应采取有效措施，避免模体上浮或产生较大的变形。

5.4.5 面板滑模混凝土的脱模强度与模体倾角有关。参照施工经验本规范建议：当模体倾角小于 45° 时，取 $0.05 \sim 0.1\text{MPa}$ ；大于 45° 时，取 $0.1 \sim 0.3\text{MPa}$ 。

5.4.6 在陡坡上进行滑模施工，一旦模体失控急速下滑，后果十分严重。因此，应设置安全保险措施。

5.4.7 文意已明，勿需说明。

5.5 斜洞

5.5.1 本条是斜洞滑模模体在施工现场安装前必须做好的准备工作的具体规定。表 5.5.1 所列的允许偏差，是参照白山、黄岑两个工程的模体制作安装经验提出的。

5.5.2 本条是斜洞滑模装置现场安装程序和要求的规定。

5.5.3 为了提高新浇混凝土的早期强度，即在规定的时间内使混凝土达到设计要求的脱模强度，一般采用在混凝土内掺加早强剂或提高混凝土入仓温度和环境温度等措施。上述措施都必须经过试验和论证，方能在现场应用。根据白山斜洞经验，本条建议的混凝土入仓温度和仓面环境温度，可满足混凝土脱模强度要求。

5.5.4 本条是斜洞采用滑模施工时浇筑混凝土作业的规定。

在混凝土浇筑的全过程中，必须保持模体顶部埋入混凝土的长度(即施工设计规定的顶拱新浇混凝土的脱模长度)，这是保证混凝土脱模强度、不塌拱、不掉块的关键措施。斜洞滑模浇筑混凝土的顺序与一般隧洞施工不同，即先浇筑顶拱，而后浇两侧边拱和底拱，这

是为了尽量加大混凝土工作坡度角。当两侧边拱混凝土厚度不同时,先浇混凝土少的一侧(即超挖少的一侧),防止因先浇混凝土量大的一侧产生较大的侧压力,使模体偏移。

5.5.5 斜洞混凝土衬砌的伸缩缝及止水结构,一般均是垂直洞轴线环形布置的。由于混凝土的浇筑是从一侧推进,对伸缩缝及止水有较大的压力,故要求其安装必须牢固可靠。为了减少混凝土的侧压力,可以从伸缩缝及止水结构两侧同时均匀浇筑。

5.5.6 当滑模系统全部安装、试滑并经验收,以及浇筑完启动所要求的混凝土时,对模体进行一次启动滑升。这是一项非常重要的工序,这一工序是对整个滑模装置系统性能的总检验。

本条规定了滑模启动的程序和要求。

5.5.7 本条提出了减少模体启动时的摩阻力的措施。

5.5.8 滑模启动时应慢速平稳,遇到阻力过大或“卡模”时,应立即停车检查,找出原因,排除障碍后再启动。同时对各系统的受力变形情况严密观测,做好记录。第一次启动滑升为 5~10cm,即停车检查,如一切正常,可以连续滑升 5~10cm。白山斜洞滑模滑升时间间隔一般为 1.5~2.0h,证明是可行的。

模体滑升中受力比较复杂,随时可能发生偏移,所以每次滑升后都必须测量检查一次模体中心位置,发现产生偏差时,应立即按“多次少量”原则纠偏,勿使偏差积累过大。

5.5.9 文意已明,勿需说明。

5.5.10 斜洞滑模封拱工作是一项很关键的工序,必须予以重视,否则,就有可能造成混凝土衬砌的塌拱、掉块和裂缝,也可能产生“卡模”事故。封拱时首先应预埋堵头模板的拉筋,堵头模板安装要牢固可靠。封堵混凝土时,可先从支立底拱的堵头模板处开始,然后封拱,到顶拱部位可预留封拱“窗口”。封拱时,模体滑动应以“勤滑少拉”为原则,并加快混凝土的入仓强度。一般每 0.5~1.0h 滑升一次,每次 3~5cm。

在脱出模体过程中,应慢速平稳,要防止因模体偏移、翘尾等而损伤混凝土。在模体全部脱出后,应将斜洞上口封堵。

6 质量检查

6.0.1 因滑模施工具有施工速度快和连续作业的特点,所以应在施工的全过程中加强质量检查,发现问题及时纠正和处理,否则就难以保证工程质量。

施工过程中的质量检查内容,应包括对滑模装置、混凝土质量(包括钢筋、预埋件、止水、伸缩缝等)、工程结构体形尺寸等。必须遵守部颁质量检查制度和规程。

6.0.2 本条是为保证滑模施工顺利进行而作的规定。

6.0.3 《水工混凝土施工规范》中对止水、排水、伸缩缝和预埋件的施工已有明确规定,应按其要求进行检查。本条针对滑模施工的特点,规定了一些必须检查的内容。

6.0.4 文意已明,勿需说明。

6.0.5 施工中对工程体形应进行测量检查,一般是每滑升一定高度检查一次。《液压滑动模板施工技术规范》规定每滑升 1m 检查一次,鉴于水工建筑物规模较大和已有的工程经验,所以本条建议每滑升 1~3m 测量检查一次。如白山水电站闸门井采用滑模施工时,其结构中心偏差采用激光投点与前方交会点相结合的方法进行控制,每滑升 3m 左右实测点位中心误差,基本上满足了施工精度的要求。

6.0.6 文意已明,勿需说明。