

技术创新

斜井全断面变径滑模新工艺

——在三峡工程永久船闸地下输水系统斜井砼施工中的应用

周宇, 钱兴喜, 樊启祥, 廖建新

(中国水利水电第十四工程局, 昆明 650041)

【摘要】 文章简要介绍了斜井全断面变径滑模结构、工作原理和主要技术性能指标。针对三峡工程永久船闸地下输水系统斜井具有数量多、长度短、体型复杂、边墙高度逐渐变化等特点。混凝土施工采用全断面变径滑模新工艺, 斜井直段一次浇筑成型, 洞身高度变化在滑升过程中自动完成, 并收到显著的经济效益和社会效益。

【关键词】 三峡工程; 斜井砼施工; 全断面变径滑模

【中图分类号】 TV651.3 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1009-1742(2002)09-0081-05

三峡工程永久船闸为南北双线5级船闸, 地下输水系统呈南、中、北三条线平行布置, 共有斜井12段(衬砌后为16段, 中隔墩衬砌后一分为二)。除2级斜井长为21.9 m, 断面高由5.5 m渐变至6.7 m, 底板及边顶倾角分别为 54.5° 及 57.6° 外, 3~5级斜井均为长35.2 m, 断面高由5 m渐变至5.4 m, 底板及边顶倾角分别为 56.9° 及 57.5° ; 顶拱半径均为2.5 m, 底板宽均为5.0 m, 由两个半径0.5 m的圆弧与直段连接而成。南北坡斜井设计砼厚度为0.6 m; 中隔墩斜井底板、两边墙设计砼厚度为1.0 m, 中隔墙砼厚为1.5 m, 正顶拱最大砼厚为1.2 m。混凝土设计标号为90天龄期300#。图1为3~5级南北坡斜井体型断面示意图。

永久船闸地下输水系统工程斜井具有数量多、长度短、体型复杂、钢筋粗而密集、砼表面质量要求高, 尤其是斜井上大小边墙高度逐渐变化等特点, 给砼施工带来了极大的困难, 致使斜井工期一度严重滞后, 成为控制整个地下输水系统工期的关键线路。

根据上述特点, 承担永久船闸地下输水系统工程的三峡三联总公司在斜井砼施工中先后采用了底拱滑模、边顶拱立定型小钢模及底拱、边顶拱二次滑模技术。在为攻克斜井砼施工难关奠定基础的同

时, 为了寻求变径斜井施工的更好方法, 通过技术创新又进一步研制了斜井全断面变径滑模。

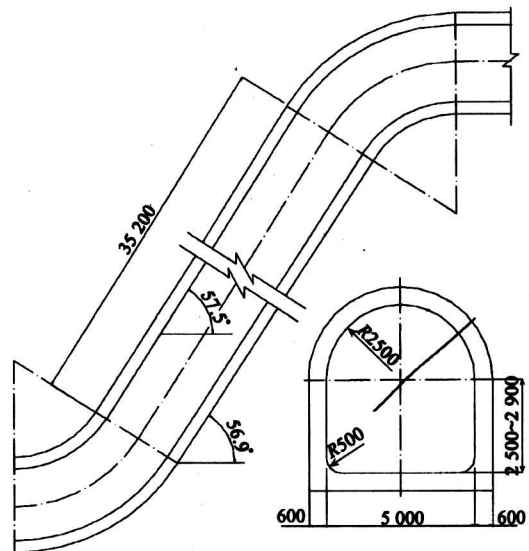


图1 斜井断面结构图

Fig.1 The variable structure of inclined shafts

1 滑模结构及工作原理

2.1 滑模结构

斜井全断面变径滑模主要由模板、中梁、行走

【收稿日期】 2001-11-15; **修回日期** 2002-07-08

【作者简介】 周宇(1961-), 男, 云南思茅市人, 中国水利水电第十四工程局教授级高级工程师

轮、尾部锁定架、平台、牵引系统及轨道装置等组成。滑模系统布置见图2。

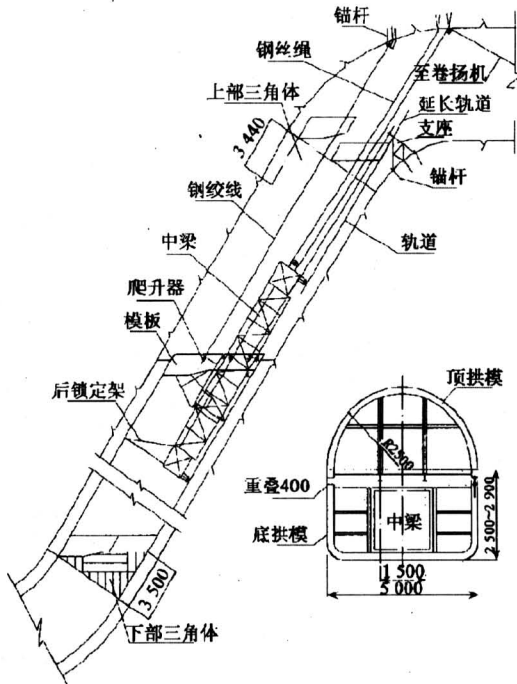


图2 斜井全断面滑模布置图

Fig.2 The structure about the full-face variable slipforms of inclined shafts

1) 模板。模板分为底拱模板和边顶拱模板两部分。底拱模板长1.2 m, 宽5 m, 面板厚6 mm。边顶拱模板比底模宽12 mm, 边顶模板套着底拱模板, 在边墙部位相互重叠40 cm, 与斜井高度的变化值相同。两模板在滑升时相互独立, 在中梁滑升时连为一体。

2) 中梁。中梁为渐变截面是本滑模的又一大特点, 顶模和底模以中梁为依托。中梁上部轨道与顶拱母线平行, 下部轨道与底板面平行, 即上下轨道之间有 0.60° 的夹角。中梁长14.7 m, 每次有效行程为6 m。中梁与行走轮及尾部锁定架相连。

3) 牵引系统。牵引系统分为中梁牵引系统和模板牵引系统两部分。中梁用1台8 t慢速卷扬机进行牵引, 模板滑升用4只15 t液压爬升器进行牵引。8 t卷扬机固定于斜井上平洞, 经顶拱天轮进行转向; 爬升器沿 $\phi 15.24$ mm钢绞线进行爬升, 钢绞线铆固于斜井上口。

4) 轨道。中梁移动时, 行走轮在[12槽钢轨道上行走, 轨距为2 m。前行走轮轨道固定于底板内层钢筋上, 并用拉筋与底板锚杆进行加固; 后行

走轮轨道置于已浇成型底板砟面上, 避免砟面被压损, 轨道可重复使用。

1.2 滑模工作原理及主要技术指标

由于斜井高度是由下往上逐渐变大的, 中梁做成与斜井同样的锥度并设有上部和下部轨道, 顶模和底模是相互独立的两部分。滑升时, 顶模及底模分别沿上部轨道及下部轨道运行。顶模与底模在边墙结合处的面板相互搭接包容, 即顶模的部分侧面板紧贴在底模侧面上, 滑升时这两部分模板产生相对位移, 其结果便形成了衬砌断面逐渐变大的收分效果。

1) 模板滑升时, 把中梁定位好, 前端用卷扬机拉住, 后端把尾部锁定架调整受力, 顶紧成型砟面。顶模与底模是相互独立的两部分, 各由2只爬升器牵引, 既可同步运动, 又可单独进行滑升。

2) 模板滑完一个行程后, 把顶模及底模联固为一体, 把模板支架调整受力、顶紧底板砟面, 松开中梁尾部锁定架及其他连接件, 然后中梁用8 t慢速卷扬机进行牵引就位。

3) 中梁就位后, 把尾部锁定架支撑好, 把顶模行走轮调至中梁上轨面, 解除顶模与底模之间的连接, 松开模板支架, 至此模板又可进行下一循环的滑升。

由于中梁长度的限制, 模板沿中梁的有效行程每次约为6 m, 但只要经过“模板滑升→提升中梁→模板滑升”这样的多次循环, 就可以完成整条斜井的全断面砟衬砌。

滑模的主要技术性能指标示于表1。

表1 斜井全断面变径滑模主要技术性能指标

Table 1 The main technical performance about the full-face variable slipforms of inclined shafts

项目	内容
模板	模板长1.2 m, 宽5 m, 高5~5.4 m, 分为底模及边顶模两部分
中梁	中梁长14.7 m, 锥度 0.6° , 每次有效行程6 m
卷扬系统	JM-8, 速度8 m/min, 额定拉力8 t; 钢丝绳 $\phi 28$ mm, 滑轮倍率4
液压爬升器	公称压力14 MPa、拉力15 t、行程10 cm, 钢绞线 $\phi 15.24$ mm
轨道	轨道[12槽钢, 轨距2 m

2 液压爬升器结构特点

爬升器的使用是本滑模的又一大特点。液压爬

升系统主要由液压泵站、爬升器、管路、钢绞线及固定支座等组成。液压系统工作压力为 14 MPa, 4 只爬升器既可联动, 又可单独运行。

爬升器每只额定牵引力为 15 t, 每次行程 10 cm, 沿 $\phi 15.24$ mm 钢绞线进行爬升。钢绞线从爬升器中间穿过, 用铆座固定于斜井井口支架上。爬升器主要由杆体、活塞杆及前后夹爪等组成 (图 3)。

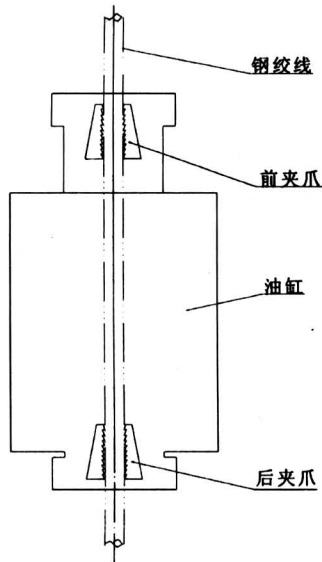


图3 爬升器示意图

Fig.3 The machine of climbing

爬升器工作时, 杆体腔进油, 后部夹爪抱紧钢绞线, 前部夹爪松开, 杆体顶着模板往上运行; 回油时, 杆体腔进油, 前部夹爪爬抱紧钢绞线, 后部夹爪松开, 活塞杆往上收缩, 完成一次爬升。循环往复, 便实现模板的连续滑升。爬升器具有重量轻, 结构紧凑, 爬升力大, 运行平稳, 操作方便等特点。

3 施工实践

2001年4月21日至5月4日, 全断面变径滑模首次应用于永久船闸地下输水系统北4斜井, 历时两周时间, 顺利完成了整条斜井的混凝土衬砌。2001年9月1日至9月15日又成功地完成了北5斜井砼施工。斜井滑模砼施工主要包括下部三角体、直段及上部三角体, 特别是上部三角体的施工, 一改以往拆除滑模后重新架立小模板浇筑的方法, 全部采用滑模进行施工。

3.1 下部三角体施工

滑模安装就位后, 模板与下弯段之间形成了长

约 3.5 m 的三角块体, 需用拼模进行浇筑。为保证砼的成型质量, 消除底拱砼水汽泡及麻面, 斜井下部三角块体底拱部分采用小翻模抹面的施工工艺, 边顶拱部分则采用架立小钢模进行浇筑。

当底拱浇筑砼初凝强度达到约 0.3 MPa 时, 即可把底拱模按浇筑顺序由下往上逐渐拆除, 并对底拱直段及反弧面进行人工抹面、压光, 消除水汽泡及麻面。另外, 为便于更好地掌握模板初滑时间, 当砼浇至滑模时, 需停料 2~3 h 后再进行下料, 然后按正常速度将砼浇筑至距离滑模上口约 30 cm, 等待起滑。同时, 拆除三角体处的边顶模板及支撑, 解除各部与滑模之间的约束。

3.2 直段砼施工

1) 模板滑升。当砼强度达到 0.1~0.3 MPa 时, 模板即可进行滑升。滑升时, 底模及边顶模分别用 2 只液压爬升器进行牵引。首次滑升由于摩擦阻力较大, 可以增加 2 只 5 t 手动葫芦来辅助牵引。滑升按“多动少滑”的原则进行。根据现场施工经验, 滑模区砼浇筑完 5~6 h 后即可对下部三角块体拆模, 8 h 左右即可进行模板滑升。

每下完一车料, 仓面砼均匀上升 20~30 cm, 每次滑升距离以 10~20 cm 为宜, 并将每次滑升间隔时间控制在 60~120 min 以内, 以减少因每次滑升距离过大造成砼面不光滑、漏浆及时间过长致使滑升阻力过大, 同时又能使出模后能方便地抹面。正常滑升后, 每天滑升距离约 2.5~3.5 m。

在滑升过程中出现爬升器夹爪打滑时, 要及时对夹爪进行检修或更换, 此时可借助在中梁上备用的手拉葫芦进行模板牵引。当滑升间隔不超过 4 h 时, 手拉葫芦能较轻易地进行模板滑升。

2) 中梁提升。模板每次在中梁上的有效行程为 6m, 每个循环时间约 2 天。当模板行走轮行至中梁轨道端头时, 就要进行中梁的提升工作。

中梁提升时, 先把独立的顶模与底模连成整体, 把模板锁定支架两边的丝杆调整顶紧在已浇筑的底板砼面的垫块上, 同时用 2 只 5 t 手动葫芦将模板组与边顶锚杆相连固定, 防止模板下坠; 松开中梁尾部锁定架, 解除中梁各部约束, 然后就可以利用卷扬机将中梁向上提升了。中梁提升到位后, 在顶模行走轮与中梁轨道之间将会拉开一个空隙, 每次约为 7 cm, 把顶模行走轮调整至中梁轨道并固定, 解除底模与顶模之间的连接, 然后便可开始下一循环的滑升。

3) 模板滑升控制和纠偏。模板滑升按“多动少滑”的原则。滑升过程中用水平管或水平仪经常检查模板面是否水平,吊垂球检查模板中心是否偏离了底板轨道中心线。若发生偏移,及时用爬升器及手拉葫芦进行调整。

砼浇筑过程中必须保证下料均匀,两侧高差最大不得大于40 cm,并及时进行分料。当因下料导致模板出现偏移或扭转时,应适当改变入仓顺序并借助于手拉葫芦等对模板进行调校。

每次中梁提升后,必须把顶模行走轮调整紧贴于中梁轨道面,不得留有空隙,以免因存在间隙而致使顶拱下塌,低于设计线。同时,应使中梁中心与轨道中心保持一致,防止模板左右偏移。

4) 抹面与养护。模板滑升后应及时进行抹面,滑后拉裂、坍塌部位,要仔细处理,多压几遍,保证接触良好,底模与顶模在边墙产生的6 mm系统错台应及时按1/30坡度修整处理,同时将预埋灌浆管找出。距滑模底部2 m以外的混凝土应随时进行洒水养护。

3.3 上部三角体的施工

斜井上部三角体采用模板直接滑出方案,底模与顶模分开滑升并滑出结构分缝线。浇筑前把轨道延长出直段,堵头模板安装时离砼设计线5~10 mm,以便模板滑出时不会碰到堵头模板及对砼产生扰动。这样整条斜井便全部采用滑模施工完成,砼表面光滑平整。

3.4 滑模砼运输与入仓

砼运输采用6 m³搅拌罐车,砼入仓除上部三角体采用泵车外,其余部位皆通过阶梯形溜槽缓降入仓。砼坍落度控制在14 cm左右,并进行现场取样。正常滑升后,砼入仓时按先低后高进行布料,使两侧边墙及底板、顶拱的砼均衡上升,每次浇筑层厚以20~30 cm为宜。下料时应及时分料,严禁局部堆积过高,保证模板整体向上滑升,避免产生砼质量及模板发生侧向位移。

经全断面变径滑模施工后的斜井表面光滑平整,无错台、麻面及施工缝,大大减少了工序,加快了施工进度,平均每天滑升速度达约2.5 m,最高日滑升达3.5 m;同时,由于采用液压爬升器进行牵引,操作简便、省力;滑升中,模板高度顺利地实现了自动变化,满足了斜井体形的要求。

4 存在的问题及处理对策

由于斜井全断面变径滑模在水电施工行业中属国内首创,虽然在北4、北5斜井砼施工中得到了成功的应用,但尚有如下问题需进一步完善:

1) 液压爬升器夹爪与钢绞线在模板滑升过程中经常出现夹爪打滑现象,夹爪磨损严重。需进一步提高夹爪的制作质量及配合精度,选用耐磨及韧性较好的材料,以期使夹爪的使用寿命达到模板滑升20 m。

2) 底模与顶模的搭接重叠段为6 mm厚钢板,虽然对其进行了削坡处理,但在施工过程中局部出现了错台逐渐变大的现象,致使局部抹面后平整度稍差。可在底模与顶模搭接部位设置调紧装置,使重叠部分紧密贴合无间隙,避免混凝土浆进入。

3) 中梁提升后,顶模行走轮垫板更换较为困难,调整时间较长。可设置丝杆调整装置,减轻更换难度,缩短调整时间。

以上问题在以后的施工中通过完善模板设计及改进施工工艺,均能得到较好的解决。

5 滑模的技术经济分析

目前地下输水系统斜井直线段砼施工主要采用以下3种施工方法:一是底拱采用滑模,边顶拱采用搭满堂脚手架立小钢模;二是底拱及边顶拱采用二次滑模;三是采用全断面滑模。

第一种方法由于整条斜井边顶拱搭设满堂脚手架并拼装小钢模,模板安拆、钢筋运输绑扎及砼施工困难,既费工、费时、成本高,施工又不安全、表面质量差、工期长;第二种方法分两次滑升,虽施工安全、表面质量好、方便钢筋运输及绑扎,但工序重复、施工时间亦较长。而且以上两种方法由于分两次施工,均需在底板预设插筋,而且还增加了对纵向施工缝的处理。同时由于工期长,导致需增加模板套数才能满足施工要求。第三种斜井全断面滑模由于滑升过程中自动完成收分,使底拱和边顶拱一次浇筑成形,大大减少了工序、缩短了工期,单人工费一项就减少了许多,而且由于没有施工缝,质量得到了极大的提高。表2为斜井三种施工工艺的主要经济性能指标分析表。

表2 斜井三种施工工艺的主要经济性能指标分析表

Table 2 The main economics analysis about three constructional technique inclined shafts' pattern

项目	模板形式	质量 /t		工期 /d		备注
		单重	总重	分部	总体	
1	底拱滑模	5	68	40	140	1. 本表以南北坡 3~5 级斜井为例; 2. 表中质量已包括轨道及支座; 3. 除边顶小钢模未考虑拆模时间外, 其余工期已包括安装、运行及拆模时间。
	边顶小钢模	63		100		
2	底拱滑模	5	21	40	90	
	边顶滑模	16		50		
3	全断面滑模	23	23	65		

6 结语

斜井全断面变径滑模由于整体成形, 砼表面光滑平整, 无错台及施工缝, 极大地提高了砼表面质量。三峡工程建成通航后, 可减少隧洞在高速水流冲刷下发生气蚀的可能性, 提高洞室的使用寿命, 减少维修的概率, 具有显著的经济效益和社会效

益。斜井全断面变径滑模在三峡永久船闸地下输水系统斜井中的成功应用, 得到了业主、监理等国内外专家的高度评价。

斜井全断面变径滑模由于构思新颖, 在国内水电施工中尚属首创, 特别是其模板自动收分变径的思想和钢绞线液压爬升器技术在未来同类斜井及其他施工中将得到很好的借鉴和拓展。

Development and Application of Full-face Variable Diameter Slipforms of Inclined Shafts

Zhou Yu, Qian Xingxi, Fan Qixiang, Liao Jianxin

(The Fourteenth Construction Bureau of Water Resources & Hydropower, Kunming 650041, China)

[Abstract] The construction, principle and main technical performance of the full-face variable diameter slipforms of inclined shafts are concisely introduced. In underground water conveyance system for Three Gorges Project's permanent lock, the inclined shafts are large in number, short in length, complex in structure, changeable in height and so on. Some new techniques of the full-face variable diameter slipforms are taken in concrete construction. The inclined shafts are accomplished with single-pass pouring practice and the change of height is finished automatically with slipping. Its economic and social effect is obvious.

[Key words] Three Gorges Project (TGP); inclined shafts concrete construction; full-face variable diameter slipforms for inclined shafts