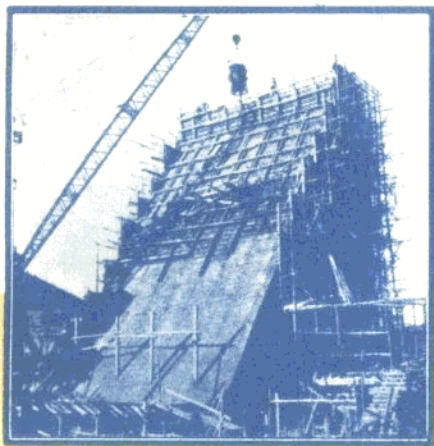




古田溪水电工程

混凝土重力坝高块浇筑法

閩江水电工程局編

水利电力出版社

PDG

前言

在學先進、趕先進、爭取先進再先進的號召下，古田溪水電工程建設者創造了混凝土重力壩一次連續澆高45米的新紀錄。這在高塊立模和高層倉面的施工工艺方面，又取得了新的成就。它是1959年繼續躍進中水電部門的一項巨大的技術革新，它是在黨的鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社會主義的總路線的光輝照耀下創造出來的。

大體積混凝土壩的澆筑分塊及溫度控制，歷來就是水工設計及施工中的一個重大技術課題。它不僅對工程的安全和經濟有一定的影響，而且使施工速度受到較大的限制。過去，為了混凝土壩散熱的需要，採用了薄層澆搗法，因而限制了施工速度。在我國社會主義建設大躍進的形勢下，各項建設都在飛躍前進，大體積混凝土壩的澆筑速度與溫度控制之間的矛盾愈益顯得尖銳。這個矛盾已經成了混凝土壩施工中貫徹多快好省方針的主要障礙之一。

1958年5月在武漢召開的長江三峽水利樞紐的科學研究工作會議上，對這方面也提出了相應的任務。象長江三峽這樣的巨大水電站，如能加快建設速度，提前發電，對國民經濟的效益是很大的。我們如能設法解決澆筑分塊及溫度控制的矛盾，能採用高塊澆搗法，估計提前一年完成是有很大可能的。如果提前一年完成，僅提前發電一項為國家增產的財富據粗略估計，約相當於三峽水利樞紐全部投資的70%。因此，那次會議決定由水利電力部研究解決大壩散熱和高塊澆搗法施工等問題。經水利水電建設總局和水利水電科學研究院選定，在福建省古田溪一級水力樞紐工程建築中進行此項試驗研究工作。

在黨的正確領導和蘇聯專家的幫助下，全體職工同志們經過

1957年的整风运动，破除了迷信，解放了思想，树立了敢想、敢说、敢干的共产主义风格，大体积混凝土坝的高块浇捣和混凝土散热问题的试验研究工作，终于获得成功。

古田溪水电工程建设者们于1958年9月开始大体积混凝土浇筑的试验工作，至1959年3月止，先后完成了一次连续浇捣4,000立方米以上的块子有5次；8,000立方米以上的块子有3次；15,000立方米以上的块子有1次。并在混凝土块子中埋有测缝、测温、测变形等用的科学仪器。

高块浇捣法的试验成功，对今后祖国水电建设事业的迅速开展将会起重要的促进作用。

我们编写本书的目的，即在于传播这一试验工作中的实地经验，供各水电工程单位与水电工作者参考。但限于我们的水平，缺点甚至错误在所难免，希望同志们予以指正。

目 录

一、古田溪一级水电站工程概况	4
二、創造了搭建多层仓面的新方法	5
三、創造边浇高边上模板拉条的混凝土小块子	8
四、混凝土拌和系統及浇捣現場布置	12
五、埋放块石	16
六、养护工作	17
七、高块浇捣与薄层浇捣的比較	17
八、結論	18
附录一 第18坝段(41.5米高块)施工措施	22
附录二 高块浇捣质量保証措施	24
附录三 第18坝段高块浇捣技术保安措施	26
附录四 古田大坝埋块石施工經驗	27
附录五 大体积高块混凝土质量檢查及試驗观测資料	37

一、古田溪一級水电站工程概况

古田溪发源于福建省屏南县，經古田县旧城之北，流至閩清县水口鎮，汇入閩江。全长90公里，两岸高山多，耕地少，水流湍急，建立水电站最为理想，淹沒損失和移民工作量均很小。

在国民党反动政府統治时期，官僚資本家为了最大限度的利潤，曾于1947年在古田溪开始兴建水电站。历时三年，仅仅在古田溪修建了35公里长的簡易公路和两座小房子。

1949年中华人民共和国成立以后，全国进行了經濟恢复工作，福建省一解放就着手开发古田溪水力資源，先修建曹洋溪400瓩的小型水电站，作为施工动力。

全流域的水利資源采取梯級开发，一級电站又分二期开发。一期的装机容量为12,000瓩，主体工程有引水隧洞和地下厂房，并在进水口下游筑溢流式临时性木框坝，以壅高水位。厂房长83米，寬11米，高22米，装6,000瓩的机組两台，于1956年正式发电，輸送至福州和南平，供給工业和照明以廉价的电力。

1957年10月又成立电力工业部古田溪水力发电工程局，負責繼續开发工作，完成一級二期工程。装机容量为50,000瓩。主体工程有寬縫混凝土重力坝、土坝、进水口建筑物的加高、厂房和調压井的混凝土衬砌，安装12,500瓩的机組四台等等。

坝高58米，最大坝高72米，坝頂长430米，寬5.5米。共分25个坝段澆筑混凝土，整个大坝体积約为38万立方米。自1958年2月28日澆下大坝第一立方米混凝土至1959年5月，历时一年又三个月，大坝基本上完成。

至此，古田溪水流已被人們所控制和利用，变为廉价的电

力，輸送給福州、南平及三明等工業地區擴建和新建的工業用電。從而提高勞動生產率、降低產品成本。

全部費用，一期工程投資2,716萬元，二期工程投資6,420萬元，合計每瓩裝機造價為1,480元（這是計劃價格，二期實際投資將比計劃投資還要少些）。

二、創造了搭建多層倉面的新方法

1958年9月16日19點在第5壩段第一次進行高塊澆注法，自基岩低處（高程為356.8米）澆至塊頂（高程為380米），最大高度達23.2米，歷時162小時，至同月23日13點勝利完成。計澆混凝土5,740立方米。自此，古田工地創造了23.2米的高塊先進紀錄傳播全國各個水電工地。接着浙江省新安江水電站工地也計劃創造36米的高塊紀錄。這一消息傳到古田工地後，在筑壩工區全體職工中掀起了學先進、趕先進、爭取先進再先進的高潮，倡議在第18壩段創造自高程338.5~380一次連續澆高41.5米的高塊子先進紀錄。終於1959年1月18日7時在18壩段超額完成了一次連續澆攪大體積混凝土壩高達45米的世界紀錄。

在這次採用高塊澆攪法的準備工作中，創造了搭建多層倉面的新方法。

由於當時估計門式起重機橋墩如提前架成尚須養護，第18壩段開始澆筑時不能使用，勢必採用手推車運送混凝土。但是搭建倉面遇到了困難。即使用混凝土柱接長，按過去的舊辦法，最高也只能接長三根，倉面荷重支承在柱頂上，這樣的倉面，只能澆高十餘米，不能滿足要求。但是工人同志們在破除迷信，解放思想以後，樹立了敢想、敢說、敢干的共產主義風格，大膽地利用了混凝土柱與夾木之間的摩擦力來支承倉面荷重。根據經驗并經過試驗，製造了一種叫做短頭跳梁，即用兩對夾木四面夾牢混凝土柱，倉面的迭梁即擱在跳梁上，再在迭梁上放格柵鋪面板。使

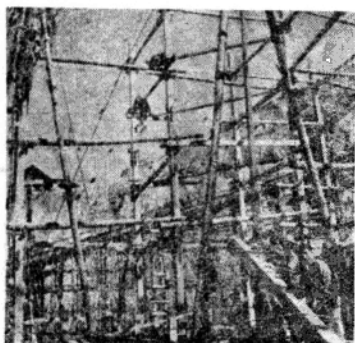
混凝土柱能穿出第一层仓面，以便照旧接长，搭建第二、三层仓面。浇筑混凝土时，逐层翻高。这样就满足了要求，解决了一层仓面高度不足的问题。

1958年12月12日在第18坝段开始搭建配合高块浇筑的三层仓面脚手。由338.5高程搭建脚手，升高至363.0高程，计高24.5米。第一层仓面高程为346.1 计高7.6米，第二层仓面高程为355.0，计高8.9米，第三层仓面高程为363.0，计高8米(见图1)。

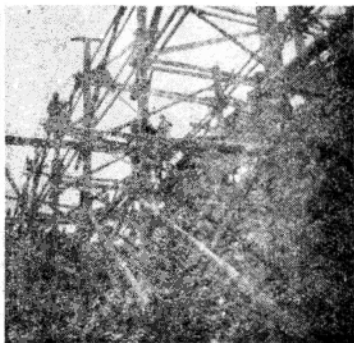
第一层仓面由9拼混凝土排柱架成，面积为525平方米。共用迭梁54根，格栅木217根，水平和斜撑半圆木325根，角铁夹板112块，螺栓1,512只。由木工15人、起重工16人、普工30人，三个工作班完成。

第二层仓面由7拼混凝土排柱架成，面积为375平方米。共用迭梁63根，格栅木162根，水平和斜撑半圆木279根，角铁夹板206块，螺栓1,694只。由木工15人、起重工16人、普工45人，二个半工作班完成。

第三层仓面由5拼混凝土排柱架成，面积为255平方米。共用迭梁30根，格栅木108根，水平和斜撑半圆木112根，角铁夹板84块，螺栓613只。由木工12人、起重工10人、普工32人，一个半工作班完成。

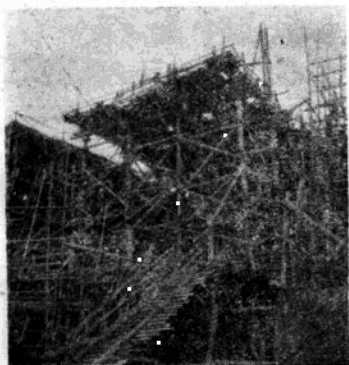


照片1-1 混凝土柱对接情况



照片1-2 混凝土柱間斜、平撑木的情况

三层仓面共用了钢筋混凝土柱(断面为 18×18 厘米,长为470厘米,4根9毫米的钢筋和6毫米的钢箍,间距为15厘米。柱两端的3只钢箍间距为7.5厘米)198根,采用平头对接,用一对角铁夹板及一对夹木,四面夹牢(见照片1)。自338.5高程接高至363.0高程。三层仓面合计面积有1,155平方米,历时168小时,至12月18日完成第一层和第二层仓面,第三层也架好了轮廓(见照片2)。



照片2 三层高仓面



照片3 左边柱上部接方木

为了避免第一层仓面承受重量过大,在混凝土柱间距4米之间,再加抵柱一根,以保安全。接近仓面高程时,改用方木代混凝土柱接长,待混凝土浇到接柱高程时再拆去方木(见照片3)。一、二层仓面搭建完成后,经技术处、技安处会同坝区技术股、工段和生产班(组),进行全面检查,并听取有经验的老工人的意见。增加了靠左边19坝块垂直面,预埋角铁三道,既拉又撑牢牢左边仓面每根混凝土柱子,以防偏移。待第一层仓面完成浇筑任务后,翻高到第二层仓面浇筑,同时开始搭建第三层仓面。

三、創造邊澆高邊上模板拉條 的混凝土小塊子

過去對高塊澆搗法立模存在着二大問題：一是普通模板不容易上高，而且愈高走動愈大，不能符合設計要求；二是倉內模板拉條密密層層，混凝土吊罐降落遇到困難，只好在超過自由卸落的高度將混凝土卸落，從而影響了混凝土質量。

現在高注塊的立模方法，有了很大的改進。採取輕型模板，每塊模板寬50厘米，長200厘米，重僅27公斤，便於高空上模。同時，採取邊澆高，邊上模，邊裝模板拉條的方法，拉在預制混凝土小塊子上。拉條長約4米，澆沒混凝土中2米左右，就能起到固定和校正立模偏差的作用。它在任何高程都能校正立模偏差，只要擰緊或放鬆螺絲就行（見圖2）。

這種裝模板拉條用的預制混凝土小塊子，也是工人們動腦筋、找竅門想出來的。它有效地節約了鋼材。因為混凝土中埋設了大量塊石，壓住了預制混凝土小塊子。這樣作亦使混凝土的半流動性減小，模板所受的側壓力也就相應地減小了。

澆搗塊子的左右兩邊的垂直模板，須事先搭好立模用的2米寬的竹腳手架（見照片4），上下游埧面斜坡部分的模板，須在澆搗前先立好4~5米高，並在倉內用混凝土柱和拉條鋼筋相間拉牢和撐牢，以防走樣。澆高以後可從斜面上去做上模工作，無須搭竹腳手架。但到了斜坡以上垂直面部分的立模工作，仍須搭接竹腳手架（見照片5）。

竹腳手架成為立模主要的工作，既輕便，又經濟。在澆筑混凝土大埧、進水口建築物加高、地下廠房和調壓井混凝土衬砌等工程施工中，架子工動腦筋找竅門，創造了著名的竹拱橋，跨度達36米，節約了很多木材和鐵件，並用自行加工的竹篾代替高價的子藤。

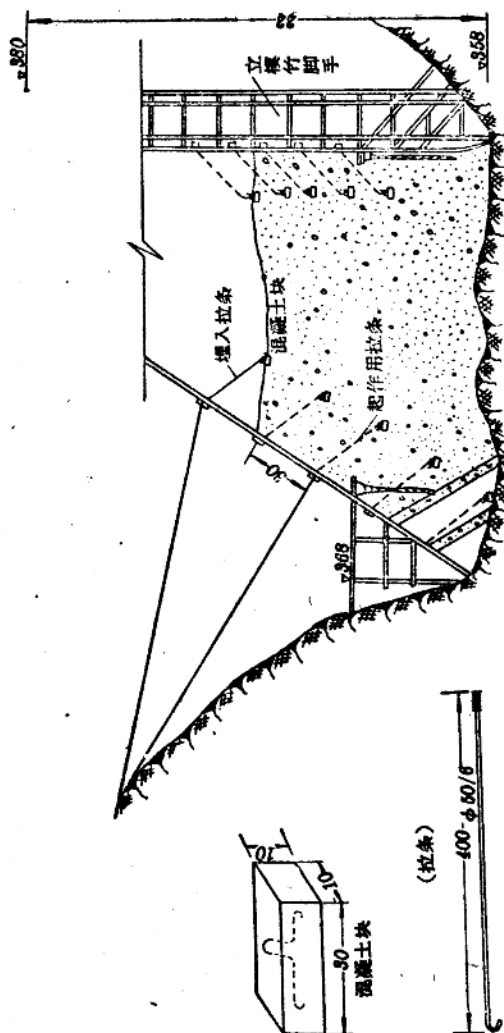
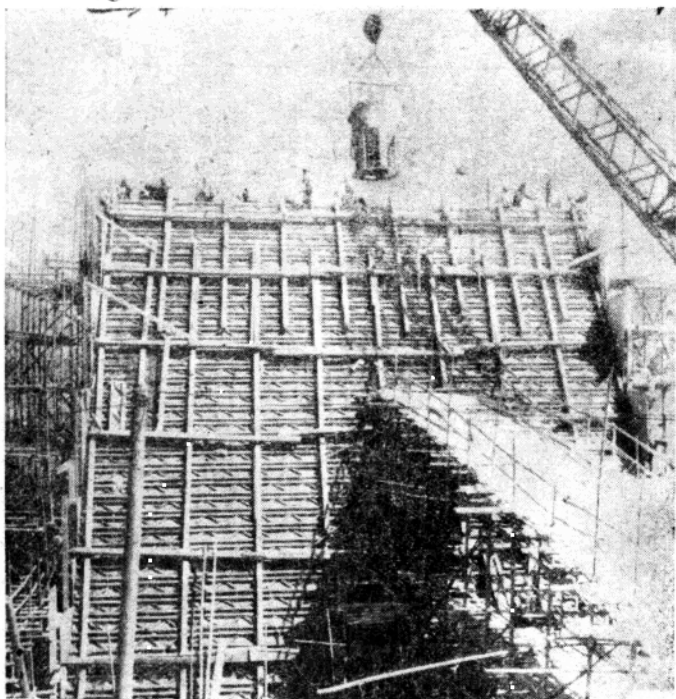
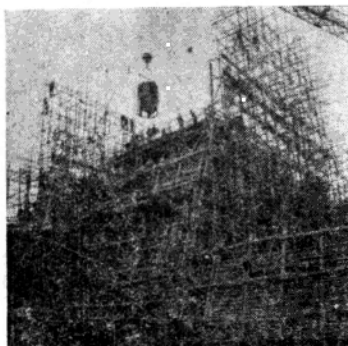


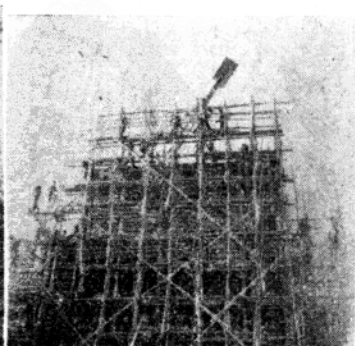
图 2 第五坝段边滩高边立模的拉条和混凝土小块子



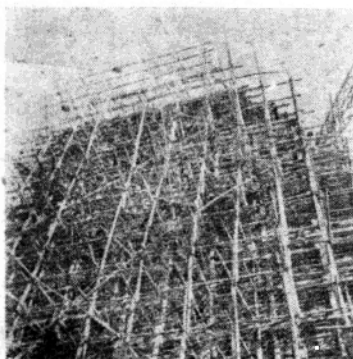
照片 4 斜坡部分装模板。



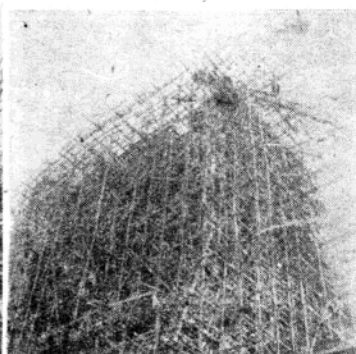
照片 5-1 左右两边立模的竹脚手架



照片 5-2 靠第1块侧面立模的竹脚手架



照片 5-3 靠第17块側面立模的
竹腳手架



照片 5-4 上游面垂直部分立模
的竹腳手架

立模方面的改进有以下几点:

1. 原有标准模板过重不适用, 改为高50厘米, 宽200厘米的輕型标准模板, 每块模板重量仅27公斤, 便于高空立模(見照片6)。

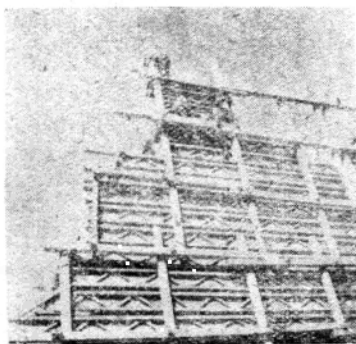
2. 改用方木做橫的和直的圍令木, 先将橫、直圍令木架立起来, 并用鋼絲浪风繩拉住, 圍令木的間隔为2米、在下游斜面上的橫圍令木的間距为3米。

3. 模板拉条每高3米一行(水平間距2米), 随澆高随拉, 拉在預制混凝土小块子和圍令木上, 但第一层照普通立模法先拉好, 这就改进了过去高块子立模, 仓內拉条密密层层的缺点。

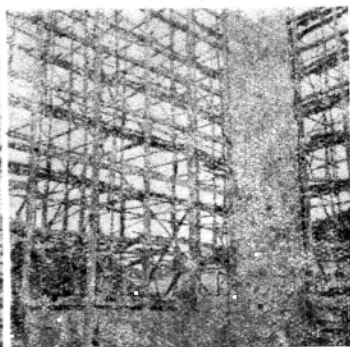
4. 边澆高边拉的拉条, 长4米, 用直徑为16毫米的圓鋼筋作成, 一端穿出圍令木(預先鉗好孔), 一端勾在預制混凝土小块子上。預制混凝土小块子的尺寸为 $10 \times 10 \times 30$ 厘米。每层拉条澆沒2米許, 因埋大块石之故, 重重的压住拉条, 就能起到拉紧和校正模板偏差的作用。仓外有时也用拉条或鋼絲繩拉住, 同时并用圓木撑住, 又拉又撑, 就牢牢的固定了模板。經過几次測量檢查, 走動很小, 只有1~2厘米左右。

5. 下游面基础部分立模, 用混凝土柱及鋼筋拉条在仓內相間推牢并拉住。混凝土柱高4米左右, 断面为 18×18 厘米, 水平錯

开，間距为 4 米。其余三面基础部分即在仓外支撑，不在仓内用拉条，以节约鋼材。



照片 6 高空立模



照片 7 止水銅片部分的立模

6. 为了边澆高边在圍令木上安装模板，須在块子周圍預先搭好 2 米寬的竹脚手架，以便安装。但有止水銅片部分的模板，須一次立好(見照片 7)。又下游面可从斜面上去立模板，脚手架可稍低。其余三面的脚手架須立到澆筑高程。

四、混凝土拌和系統及 澆搗現場布置

(一) 混凝土拌和系統

左岸設 0.4 立方米的拌和机 5 台，右岸設 0.4 立方米拌和机 4 台，1.5 立方米的 1 台，0.8 立方米的 2 台，由皮帶机和手推胶輪車配合运送混凝土，担任供应 338.5~359.4 高程的澆筑任务。此外，設在右岸下游的自动化方形拌和楼及六角形拌和楼，亦担任供应澆筑 338.5~359.4 高程的混凝土。

澆至 359.4 高程以后，由于皮帶机送高有困难，全部由自动化方形拌和楼和六角形拌和楼供应混凝土，直澆至高程 383.5 米。

自动化拌和系統最高供应澆筑混凝土速度为240立方米/班，平均供应澆筑混凝土速度为152.3立方米/班，小拌和系統最高澆筑混凝土速度为179.3立方米/班，平均供应澆筑混凝土速度为85.3立方米/班。

(二)混凝土运输路线

1.由338.5澆至345.0高程，采用上游左岸五台0.4立方米的拌和机(出料高程为346.1)，經手推胶輪車(容积0.17立方米)运到346.1高程仓面的卸料筒，卸落入仓；此外，还有自动化拌和楼出料，經762毫米輕軌用机关車运至左岸下游350綫上，卸落儲存箱內，再由手推胶輪車推到346.1高程仓面卸料筒，卸落入仓(见图4剖面甲-甲)。

2.由345澆至359.4高程，采用上游左右岸的拌和系統和下游自动化拌和楼供料。左岸小拌和机出料由手推胶輪車运給皮带輸送机送到366高程处的儲存箱，再由手推胶輪車送到仓面，通过卸料筒卸落入仓；右岸小拌和系統出料，由345.5高程皮带輸送机过河，送到366高程皮带輸送机，再由手推胶輪車送到仓面卸料筒卸落入仓。至于方形拌和楼和六角形拌和楼出料由762毫米輕軌用机关車运送到下游左岸350綫儲存箱，然后由皮带机轉送至365高程处的儲存箱，再由手推胶輪車送至仓面卸料筒卸落入仓(见图4之剖面甲-甲，剖面乙-乙，剖面丙-丙)。

3.在359.4高程至383.5高程，則全部由自动化拌和楼来料，經762毫米輕軌用机关車送至門式起重机的有效起吊半徑範圍內，用起重机将其吊入仓面进行澆筑(图4見插頁)。

(三)澆筑情况及所用混凝土級配

第18坝段由338.5高程一次連續澆到383.5高程，計澆高45米，最大澆筑面积为708.5平方米，平均澆筑面积为363.3平方米，共計澆筑块石混凝土核实体积为15,363立方米。其中140^{*}混凝土2,903立方米，90^{*}混凝土9,514立方米，砂浆13立方米，块

石2,933立方米。由于抬运块石随着浇筑高程升高而增加困难,据统计:344高程以下平均埋石率达到34%,随着浇筑升高,埋石率逐渐减少,全部平均埋石率为19~20%。

上游面2~3米范围内为140*混凝土,其余部分为90*混凝土。所用水泥有江南水泥厂、南平水泥厂和本溪水泥厂出品的300*和400*火山灰水泥。平均每立方米用水泥165.4公斤。混凝土配合成分级配表见表1。

表1 第18坝段浇筑混凝土级配表

高程338.5~383.5 日期29/12 7:40~18/1 10:00

水泥 种类	水泥 标号	混凝土 标号	级配 (公斤/立方米)									福州 塑化剂 (%)	黄土 (公斤)
			水泥	黄砂	骨料粒径 (毫米)			水	水灰比	砂率 (%)			
					5~20	20~40	40~80						
火山	300	90	186	568	337	460	735	149	0.68	27	0.37		
火山	400	140	207	560	338	461	737	147	0.60	26.5	0.41		
火山	400	90	180	585	336	459	734	150	0.70	27.5	0.36		
火山	300	90	188	576	296	444	741	152	0.70	28	0.38		
火山	300	140	206	541	308	462	770	137	0.57	28	0.41		
火山	400	90	173	586	332	452	774	145	0.70	28	0.35		
火山	400	90	168	574	325	442	709	156	0.71	28	0.37	19	
火山	300	140	213	517	341	465	744	142	0.56	25	0.43		
火山	300	140	205	521	344	469	751	138	0.56	25	0.41		
火山	300	90	181	553	337	460	735	146	0.58	26.5	0.36		
火山	400	140	194	555	330	450	720	149	0.62	27	0.41	10	
火山	300	140	220	540	299	449	748	150	0.59	26.5	0.44		
火山	300	140	210	540	307	461	768	138	0.56	26	0.42		
火山	300	90	170	559	341	465	744	140	0.68	26.5	0.34		
火山	400	140	200	560	333	455	727	143	0.60	27	0.34		
火山	300	90	178	576	304	456	760	142	0.68	27.5	0.34		

浇筑日期原计划进度自1958年12月18日至31日完成。但因水泥供应不上,不能按期进行浇筑,而仓面手脚和模壳等已按计划完成,又不能久等,最后推迟至12月29日7时35分开始浇筑。在浇筑过程中注意严格地控制了速度,不使因水泥供应不上而中断,浇筑历时20天,至1959年1月18日7时胜利完成45米高坎子

澆搗任务。

第一层仓面布置卸料筒(緩降器)36只,手推双輪車25輛,連同儲料箱卸槽4人,帮倒料6人,扫仓面跑道5人等共配备手推車工59人,仓内平仓震动工32人,电动震动器10台(三馬力6,000轉/分,直徑75毫米),平仓工每3人为1組,共4組,每組担任澆筑面积約为180~200平方米,配备手推車約6輛,震动工每台2人,运输块石工120人,块石备料工64人。第一层澆筑面积約700平方米,澆筑混凝土速度約为600立方米/班。自12月29日上午7时35分开始澆筑至同月31日下午4点30分,开始拆第一层仓面。配备木工15人,普工45人,由下游向上游拆,共用6小时拆完。

第二层仓面布置卸料筒28个,双輪手推車20輛,手推車工45人(包括扫道5人,帮倒料8人,卸槽12人),电动震动器10台,平仓震动工32人,运块石工150人,备块石64人。第二层澆筑面积約为500平方米,澆筑混凝土速度約为300立方米/班。因第二层仓面較高,同时控制了速度,防止水泥供应中断,以致造成初凝現象。所以直至1月6日17点15分才开始拆第二层仓面,配备木工15人,普工50人,历时4小时拆完。先拆下游靠第17块的1/4,再拆靠第19块的1/4,再向上游拆。因材料向下游抛下,干扰很大,故停止澆搗2小时。

第三层仓面布置卸料筒16个,双輪手推車18輛,配备手推車工28人(包括卸槽工4人,帮倒工2人,扫道工4人),震动器8台,平仓震动工25人,抬运块石140人,块石配料70人。澆筑面积約为350平方米,澆筑混凝土速度約350立方米/班。至1月8日上午8点澆到359.4高程时,开始拆第三层仓面。配备木工15人,普工20人,历时4小时拆完。

359.4~383.5高程,全由自动化拌和楼来料,經762軌道由机关車送至門式起重机有效半徑范围内,用起重机吊入仓进行澆筑(見图4之第18坝段高块澆搗布置平面图)。配备平仓震动工18人,开斗門1人,震动器6台,抬运块石装入鋼絲繩网内共用20人,挂鈎2人,仓内抬运、分布块石6人,养护工4人,打旗手

2人，澆筑速度約為170立方米/班。

高程380米以上，配備平倉震動工18人，開斗門1人，打旗手2人，掛鈎2人，抬運塊石工16人，養護工4人，震動機4台，澆筑速度約為75立方米/班。

第18填段一次連續澆高實際進度表(見表2)。

表2 *18填段一次連續澆高實際進度表

高 程		實際體積 (立方米)	速 度 (立方米/班)	澆 注 日 期													
起 點	訖 點			29	17	30	31	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9~18
338.5	345.0	4151	630	——													
345.0	353.0	4175	300			——											
353.0	359.4	2461	400											——			
359.4	383.5	4591	140													——	

五、埋 放 塊 石

埋放塊石是降低大體積混凝土溫升的主要措施之一。一般能降低溫升 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。通過各試驗填段中所埋放的觀測儀，已經得到了証實。但這一工作在过去存在着很大困難，認為埋放塊石會影響澆攪混凝土的速度。事實証明：正因為埋放塊石，才創造了超過拌和機最高生產能力的澆筑台班記錄。同時，節約了水泥，在水泥供應緊張時期，意義更大。

立模時須為運輸塊石預留出入便道。塊石由人工抬運入倉(或用鋼絲繩網吊運入倉，再由人工分布開)，分布在已震動好的混凝土面上。塊石重約100公斤左右，間距和位置有專人負責檢查處理。待混凝土充滿塊石間隙，並埋住塊石時即可進行震搗。混凝土澆搗厚度約為 $35\sim 50$ 厘米，經震動器(三馬力6,000轉/分，