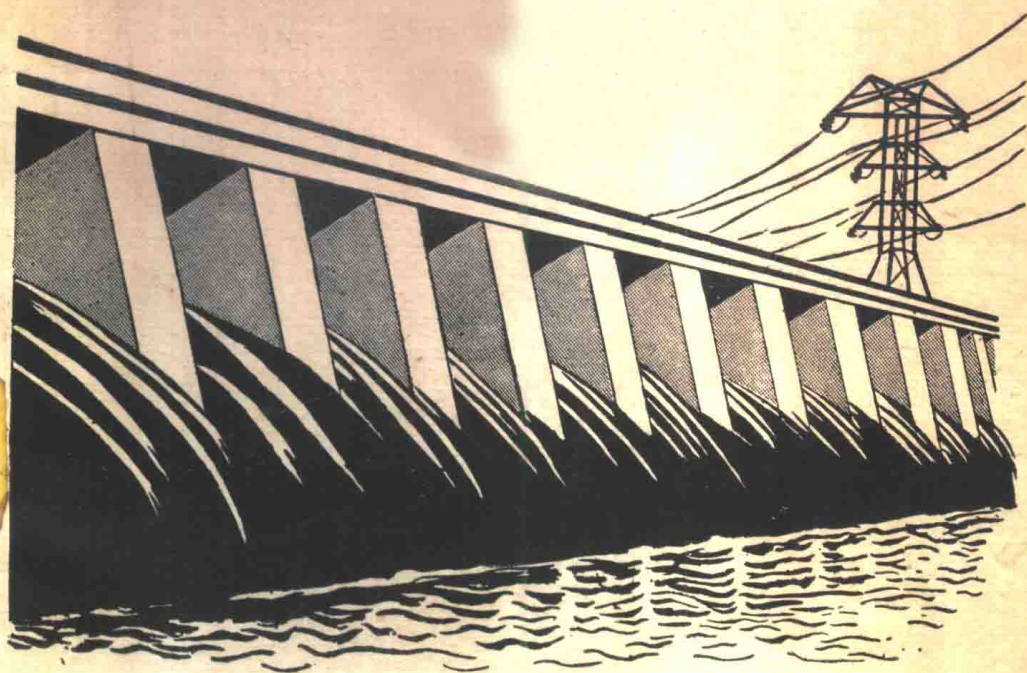


国外水电技术

第3輯



51

16062

T.3

目 录

印度近十年水利水电工程發展概况	李鶚鼎(2)
大体积混凝土的預冷和温度控制	楊德功(10)
巴克拉填的混凝土制造、处理和控制	郭 暄(62)
巴克拉填混凝土設計的研究	王治华(71)
煅燒頁岩作为大体积混凝土摻合料的使用	高士彬(85)
巴克拉填混凝土骨料的試驗研究	陈兴华(95)
巴克拉填型式的選擇、佈置及溢洪道設計	(107)
印度梅松填的設計要点和工程佈置	顧文学(129)
梅松填的混凝土工厂	顧文学(132)
梅松填的材料研究及施工質量控制	陈兴华(136)
梅松填溢洪道閘門及其控制	夏念凌(139)
梅松地下厂房概况	夏念凌(144)
梅松地下水电站	潘家鐸(151)
印度馬其肯水电工程	俞家鐸(162)

印度近十年水利水电工程發展概况

印度 K. L. Rao 著 李鵬鼎編譯

本文是印度水利电力委员会总工程师 K. L. Rao 于 1958 年 2 月在印度勒克腦城举行的工程师学会年会上的报告，并附入印度第一个和第二个五年计划水利水电工程的项目和要点。

(一)灌溉和水电

印度在 1947 年全国可耕面积约 3.15 亿英亩(18.9 亿亩)，其中灌溉面积不及七分之一(2.7 亿亩)。由于缺少灌溉，雨量不均，气候炎热，不能生产足够的粮食来满足人口不断增长的需要。因此必需充分利用河流资源，大力发展灌溉。为求得粮食自给自足，第一个和第二个五年计划中，共投资 133 亿卢比，进行约 500 个工程。这许多工程完成后，可以将全国的蓄水总量从 1947 年的 123 亿公方增加到 985 亿公方。

在 1947 年前，麦吐尔坝(Mettur Dam, 在印南部馬德拉斯省科菲利河上，建成于 1934 年)曾是当时印度最大的坝，坝体积 153 万公方(浆砌石)，库容 24.5 亿公方。现在则有許多工程都已经大大超过这个规模；巴克拉坝(Bhakra Dam 在旁遮普省苏特里日河上)坝体积 382 万公方(混凝土)，库容 91 亿公方；那加琴那沙加坝(Nagarjuna Sagar Dam, 在印度南部海得拉巴城下游，克瑞西納河上)，坝体积 530 万公方(浆砌石)，库容 106.5 亿公方；希拉庫德坝(Hirakud Dam 在印度东部奥里薩省的馬哈那迪河上)坝体积 108 万公方，土坝土堤 1840 万公方，库容 81 亿公方；瑞罕坝(Rihand Dam, 在印中部恒河支流河床上)坝体积混凝土 172 万公方；库容 103 亿公方。

印度过去筑坝多用浆砌块石，虽然浆砌块石仍是比較便宜的办法，但由于特殊的原因，混凝土坝也在逐渐采用；例如巴克拉坝即是大型混凝土坝的一个典型。虽然在巴克拉坝初次浇筑这样大规模的混

混凝土量，混凝土的質量已經可以達到很高的水平。土堤在已往也建造過很多，但利用土作為大型水工建築物的工程材料尚不普遍。最近對於土壤科學有了較深廣的研究，並且已經建成了一些較大的土堤，例如下巴瓦尼堤(Lower Bhawani, 在南印度馬德拉斯省科菲利河上)，干加普爾堤(Gangapur, 在恒河上)，梅松堤(Maithon)，朋契脫堤(Pauchet Hill) (以上兩工程在加爾哥達附近大摩達河上)，和希拉庫德堤，這些堤皆使用大量的土料作為堤體的一部份，其中希拉庫德堤土堤部分的總體積為 1840 萬公方。美國曾建造許多大型土堤，其中如密西西比河上的歐海土堤(Oahe Dam)總體積為 6500 萬公方。更多的建造大型土堤，應當是印度筑堤工程努力的方向之一。

在印度筑堤的經驗中，在堤的基礎處理方面曾遇到過許多困難。尤其在巴克拉堤堤基上遇到極複雜的問題。剪力破碎帶，風化帶，和砂岩粘土岩的互層，都需要很慎重細致的處理。為解決一個寬 32 公尺的粘土岩軟弱帶，需將軟弱岩石挖深 43 公尺，然後以混凝土填塞。在這件工作中遇到極大的困難，曾採用分塊分層掏挖法。像挖礦一樣，先分區挖去上半部約 20 公尺深，填好混凝土後，再通過混凝土中預留的直井，向下掏挖下半部的 20 多公尺，然後再用混凝土填塞。

印度在透水基礎上建造大型節制閘，有較豐富的經驗。近幾年內，建成的有木耳河(Mohr)的馬玉拉克西水閘(Majurahshi, 加爾答達附近)，大摩達河(Damodar)的都加普爾水閘(Durgapur)，和克瑞西那河(Krishna)的克瑞西那水閘(在海得拉巴城的下游)。目前正在建造中的有柯西河水閘(Kosi, 印北部比哈爾省尼伯爾邊界)。柯西河水閘長 1150 公尺將是印度最長的水閘。在柯西河水閘未建成以前，克瑞西那水閘長 1140 公尺，是目前印度最長的水閘。自 1947 年至今所建造的水閘總計可以得到灌溉用水 1860 秒公方。

印度由於缺煤或煤礦運距太遠，需以水力發電為主來解決電力問題。水力發電的設置容量在 1947 年為 54 萬瓩。可以經濟利用的水力資源約 4000 萬瓩，為滿足目前的需要，迅速開發其中的 40%，約 1500 萬瓩是完全必需的。在印度第一、第二兩個五年計劃中，不包括綜合利用工程(指巴克拉堤等)，可以完成水力發電 150 萬瓩。

恒河支流宋河的支流瑞罕河上的瑞罕水电站，坝高 90 公尺，长 960 公尺，混凝土 176 万公方，目前正在积极建造中。基础开挖已近完成，混凝土已浇筑约 31000 公方，计划在 1960—1961 年完工。施工为高度机械化，使用跨度为 940 公尺，吊重为 20 吨的缆索起重机。孟买附近的科依那水电站(Koyna)，建造于克瑞西那河支流科依那河上，年逕流量 19 亿公方，坝高 100 公尺，然后以 4 公里长的隧洞通过西高止山脉的分水岭，将克瑞西那河流向东方孟加拉湾的水，引向西方流入阿拉伯海，获得水头 475 公尺。科依那水电站为地下式厂房，共装设 8 台 60,000 瓩的机组。

夏拉瓦底水电站(Sharavathi 在南印买索省西部)是第二个五年计划中的另一个巨大水电工程，利用夏拉瓦底河的久哥瀑布(Jeg Fall，高 260 公尺)和急滩的落差，可得水头 455 公尺。在上游筑坝形成库容为 50 亿公方的水库，将丰富的雨量全部调节，可发电 710,000 瓩，现已开工，六七年內可以全部完成发电。

在灌溉和水电工程的开发建设方面，印度曾进行了许多工作，也遇到许多技术上的困难，从第一个五年计划所列各项工程的混凝土和圬工总数量计算，目前仅完成约四分之一，还有待于更大的努力。

(二)防洪工程

印度有些河流是经常有水患的，尤其是从喜马拉雅山流出的几条河流，几乎年年闹灾，其中主要的是恒河和布拉马普得拉河(即亚鲁藏布江)的一些支流，如戈格拉河(Gogra)，拉布地河(Rapti)，干达克河(Gandak)，卡马拉河(Kamala)，巴兰河(Balan)，柯西河(Kosi)，梯斯塔河(Tests)等，估计北方省(Uttar Pradesh)，比哈尔省(Bihar)，西孟加拉省(West Bengal)和阿萨密省，每年的受灾面积约 50,000—80,000 平方公里，损失约 4 亿卢比，并死亡很多人。布拉马普得拉河经常冲刷两岸的城镇造成灾患。恒河是一条大河，给沿河一带人民很大的利益。每年在雨季来临时虽不一定造成水灾，但经常使沿河两岸处于洪水的威胁之下。印度东南部向东流的哥达维利河(Godavari)，克瑞西那河，马哈那迪河(Mahanadi)，大摩达河，向西流的他布梯河

(Tapti), 納馬達河(Narmada)也間斷有水災發生。1953年哥達維利河曾發生過比恒河最大洪水還大的洪流量達到80,000秒公方,造成數千萬盧比的損失。有些喜馬拉雅河系的河流,如柯西河,卡馬拉河,巴蘭河,常發生改道情況;例如柯西河由於含沙量過多(約0.3%)且多為粗砂,峽谷出口處向下流和向倒面的地形坡度又很陡,因此出峽谷之後時常改道,百年內河道已向西移動130公里。向西移動的情況,為峽谷出口點和流入恒河的匯合點始終沒有改變,中間的河道則形成了一個弓形。柯西河所造成的災害,不可勝數,被稱為“印度的禍患”(與我國舊日的黃河相仿)。

多年來存在的水患問題,在1947年以前從來沒有作過有系統的研究,以尋求解決的辦法。1947年以後大摩達河的流域開發工程和馬哈那迪河上的希拉庫德水庫工程是興建造大型水庫解決水患問題的第一聲。自此以後,中央和地方皆建立防洪機構,並核准了防洪費用。至目前為止,約完成了120,000平方公里的初步地形勘測工作,水文資料也在加以整理。同時為解決眼前的問題,修建了約2700公里的堤防,在中央省已經從水患中恢復了3200個村莊。同時在防洪工程方面也有不少成績。例如為保護狄布拉哥城(Dibrugarh)免遭布拉馬普得拉河的沖毀,利用石料和木料來建造挑水壩,全部工程在困難的條件下,用了一年時間即已全部完成,是一件很傑出很少見的工程設計。修建堤防和節制閘來初步控制柯西河以應急迫的需要,雖然是暫時的措施,亦是很有創造性的設計。為研究柯西河的治理,曾充分利用了模型試驗,柯西河的模型約有 $40^m \times 210^m$,是印度最大的一個水工模型。防洪方面的問題曾引起很大的爭論。開過許多會議並曾廣泛的徵求意見加以討論。這種爭論是不可避免的,因為每條河流各有其特點,各人所建議的防洪方法多是由各人本身的經驗出發。最近四年來防洪工作進展很大,但同時也了解到需要作的工作仍然很多。卡馬拉河,拉佈地河和干達克河的治理將採取不同的辦法。

(三)研究工作

為研究河流的開發,全印有16個水工試驗研究所,各研究所主要

的工作是解决設計施工中所發生的实验問題。例如挑水坝的長度和方向，河道整治的方法，潮水河水流情况，溢流坝坝面曲綫，坝閘的排水閘門，以及消能設備等問題，都依靠模型試驗来解决。漩流虹吸溢流道(Volute si hm)是印度水工試驗的結果。在印度的試驗中証明潮水河如不加堤防約束，允許自由漫溢，則不会惡化。对于模型沙底冲蝕的情况作为决定水工建筑物下游保护的标准，正进行着广泛的試驗，因为冲蝕的形式和程度，可能与模型的比例及其他因素有关。

試驗研究所內亦进行混凝土和土壤的試驗。在德里設有光彈性試驗室，用以决定不能計算的結構受力情况。泥沙淤积对于水庫寿命的

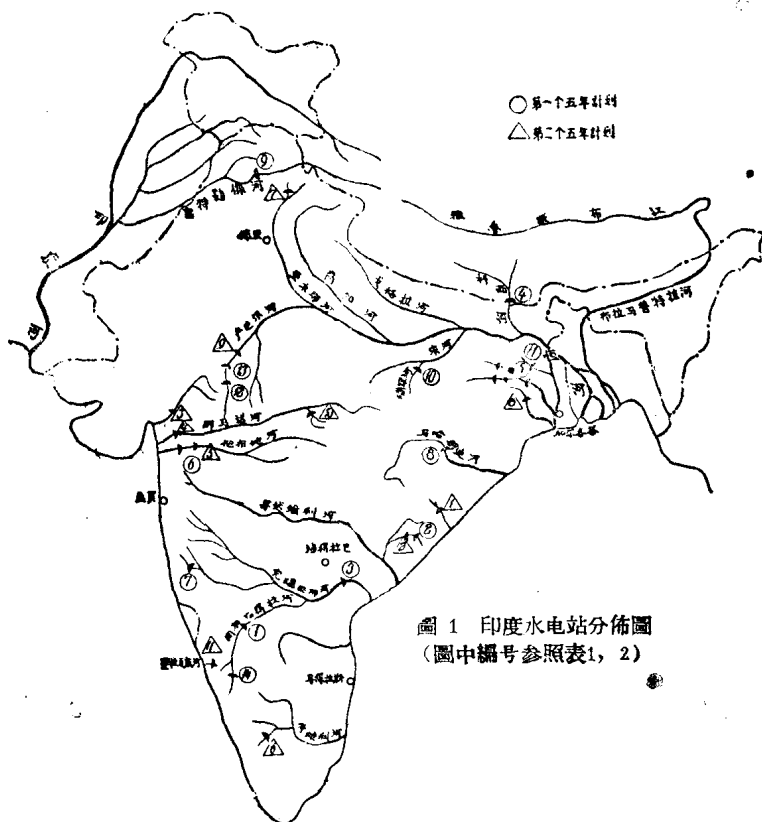


圖 1 印度水电站分佈圖
(圖中編号参照表1, 2)

表 1 印度第一个五年计划(1951—1956)开工的水利水电建設各主要工程技术经济指标

編 号	工 程 名 称	開 渠			庫容 (亿公 方)	灌 溉		發 电	建 筑	工程投資 (百万盧 比)	備 註
		渠 型	渠 高 (m)	渠 長 (m)	体 积 (万公 方)	引水量 (秒公 方)	面 积 (万市 亩)	水头 (m)			
1.	同加巴得拉	圪工重力 式土渠部分	52	1800	91	200	348	33.5	144,000(1945—1954)	600	第一期發電7.2 万瓩
2.	馬其肯	圪工重力 式	54	410	21.6 36	—	—	—	120,000(1946—1956)	263.2	第一期發電 (1956)51,000瓩
3.	那加麥那沙加	圪工重力 式土渠部分	123	1200	530	914	1720	—	160,000(1955—1966)	1220	印度最大的緊砌 地石渠
4.	科西	混凝土, 開渠	12	1150	54	430	1080	—	20,000(1957—1961)	490	印度最長的水渠
5.	大摩达流域開發	混凝土, 開渠	11	690	—	330	615	—	—	230	—
①	都加浦尔	混凝土, 重力式	46	360	24.7	8.2	—	25	60,000(1952—1956)	167.4	—
②	梅松	混凝土, 重力式	41	370	31.0	15.0	—	27	80,000(1952—1958)	182.5	第一期發電 40,000瓩
③	潘切	混凝土, 重力式	49	550	32.5	3.58	62	153	40,000(1951—1955)	99.4	發電部分未建
④	孔那	混凝土, 重力式	30	363	430	11.4	3.3	—	6,000(1950—1952)	36.6	—
⑤	提來亞	混凝土, 重力式	—	—	—	—	—	—	—	—	—

續上表

編 號	工 程 名 稱	開		庫容 (億公 方)	灌 溉		發 電 容 量 (瓩)	建 築 時 期	工 程 投 資 (百萬元 比)	備 註
		填 型	填 高 (m)	填 長 (m)	填 積 (萬公 方)	引水量 (秒公 方)	水 頭 (m)			
6.	卡克拉派尔	坊工重力 式	18	620	6.5	—	—	1949—1959	116.5	
7.	柯依那	混凝土, 重力式	83	670	100	—	590	500,000 1954—1961		第一期24,000瓩
8.	希拉車德	混凝土, 坊工重力式	61	1145	108	132	269	27.5 159,000 1948—57	720	尚有渠道电站 72,000瓩
9.	巴克拉	土填土堤	59	24 300	1840	—	—	(130) 900,000 1946—1960		
		混凝土, 重力式	225	518	382	—	—			
	南加爾	混凝土開 渠	29	290	20	410	30	96,000 1946—1955	1735.4	內渠投資約500, 印度最大的混凝土 填
10.	瑞罕	混凝土重 力式	90	1000	172	—	66	300,000 1952—1961	452.6	
11.	馬玉拉克西	坊工重力 式	47	655	—	—	—	4,000 1946—1956	161	
12.	甘地沙加(产巴 尔流域开发)	坊工重力 式	65	510	73	—	—	92,000 1953—1959	224.4	
13.	庫達(产巴尔施 最开发)	混凝土, 坊工開渠	56.5	600	14.2	—	—	— 1953—1962	255.9	
14.	巴得拉	坊工重力 式	72	426	66.5	80.6	180	41,000 1947—1961	244	

表 2 印度第二个五年计划开工的 (1957-1961) 水利水电建設各主要工程技术经济指标

編 号	工 称 名 程	開 渠			庫容 (亿公 方)	灌 溉		發 电	建 筑	工 程 造 价 (百万盧 比)	備 註
		渠 型	渠 高 (公尺)	渠 長 (公尺)	体 积 (万公 方)	引水量 (秒公 方)	面 积 (万市 亩)	水 头 (公尺)	容 量 (瓩)	时 期	
1.	万沙得拉										缺
2.	西力如										缺
3.	馬意	圪工重力 式	78	1140			470			未定	140
4.	那馬达										缺
5.	尤开						50		320,000		
6.	孔达	I 圪工重力 式	①65 ②37	322 366	34 31			360	60,000	1956—1960	398
7.	亞木那	II 圪工重力 式	29	150	(5)	0.02		740	195,000	1956—1960	196
8.	因沙巴梯	土渠	38	9600	1,900 石130 混凝土 20	11	570		171,000	未定 1957 开工	252
9.	拉那普拉氏沙加 (产巴尔流域开发)										缺
10.	太瓦	重力式	①60 ②59	220 107		35	350			未定	183
11.	夏拉瓦底	圪工重力 式	①63 ②25	2160 352	115	51		455	931,000	1957开工	500 印度最大的高水 头电站

关系問題也在开始注意。已对四个水庫进行定期的观测，以研究水庫淤积的状态和程度。

(四)印度水利水电工程第一个和第二个 五年計劃的内容要点

印度在第一个五年計劃內(1951—1956)，用于水利电力(包括火电)的总投資为 66.1 亿盧比，佔总建設投資的 28%。第一个五年計劃开始时，全国灌溉面积为 3.09 亿亩，电力 230 万瓩。第一个五年計劃完成时全国共有灌溉面积 3.68 亿亩，相当于耕地的 20%，共有电力容量为 340 万瓩。其中水电約 100 万瓩。第二个五年計劃到(1957—1961)，水利电力投資为 91.3 亿盧比，佔总建設投資的 19%，計劃完成后，灌溉面积增至 4.57 亿亩，电力 690 万瓩，其中水电 330 万瓩約佔 48%。

茲將第一和第二两个五年計劃所包括的主要工程的概况列表附圖說明如上。

大体积混凝土的預冷和溫度控制

楊德功編

編者按：本文介紹了印度在筑坝方面混凝土冷却散热一些措施。在瑞罕及柯依那两个工程中采用噴水冷風的骨料冷却方法。在巴克拉坝工程，除浸水冷却骨料外，还埋設了冷却水管，以便及早进行收縮縫灌漿工作。在大体积混凝土坝的溫度控制設計上，作者提出了在 130 公尺以下的高坝，采用預冷混凝土不設縱縫的意見。由于混凝土的溫度控制問題，牽涉的因素較多，混凝土的冷却散热也有多种多样的方法。希望讀者在参考印度方面的經驗时，应結合我国的自然条件及各工程的具体情况，加以研究和創造，避免硬搬現象。在决定何种坝高不設縱縫，采用預冷混凝土时，亦須慎

审研究和論証。

預冷骨料与水管冷却

当大体积混凝土坝的高度增加，施工速度加快后，混凝土的散热措施逐渐成为高坝建筑中一个重要的問題。

預冷骨料与水管冷却是目前解决混凝土散热常用的措施。

为了减少散热量的来源，在大体积混凝土中，降低水泥用量，埋大塊石，采用低热水泥，加掺合料是解决散热問題的基本措施。同时也可降低混凝土的制造成本。在設計混凝土的散热时，应首先考虑这些基本措施。

由于水管冷却需要埋設大量的鋼材（在代用品未試驗成功的条件下）及縱縫灌漿管材，同时还需一套供給冷水的設備、灌漿設備及水泥；在目前筑坝技术中，130公尺以下的高坝，有采用預冷混凝土，不設縱縫的施工方法的趨勢，像印度最近在建設中的瑞罕坝（高83公尺）及柯依那坝（高81公尺）均系采用整塊澆筑預冷砂石料的方法。美国已建成的第却而第坝（高125公尺）和潘佛萊第坝（高134公尺）亦系用預冷骨料的施工方法。

这二种散热方法，各有它的优缺点，具体采用何者，必須根据坝体尺寸及应力条件、施工进度、当地的气温、水温情况，以及混凝土拌合料的热力特性等加以分析比較后，才能获得經濟合理的解决。

根据我們的了解，二种方法的优缺点如下：

骨料冷却：

优点：节省鋼材，施工工序簡化，可以满足温度控制的要求。

缺点：混凝土澆筑以后，無去再对混凝土进行冷却。在沒有縱縫的高坝，或橫縫須进行灌漿的混凝土坝中，不能提供及早灌漿的条件，影响坝体整体性，仍須借助于水管冷却或其他措施。

水管冷却：

优点：可以灵活的、均匀地控制混凝土的温度。在收縮縫需进行灌漿的混凝土坝中，通过水管冷却，可以及早进行灌漿，及时蓄水。

缺点：消耗鋼材較多，施工工序复杂，容易發生漏冷的現象。收

縮縱縫的灌漿工作亦較復什。总的冷却費用較高。

为了节省鋼材，降低 造价，簡化 施工，在 填高 130 公尺 以下，（仅根据現行經驗，不是算出来的）采用預冷骨料和取消縱縫的施工方法，是比較恰当的。

印度巴克拉填，采用二种冷却措施。預冷骨料使澆筑温度不超过 18°C，同时埋設水管，用以冷却混凝土，进行收縮縫灌漿工作。最大澆筑尺寸为 18×43 公尺。根据施工預算，兩种方法的造价如下：

水管冷却：

埋設水管及附件	1590 吨	2,625,000 盧比
冷却費	324 万方	1,325,000 盧比
共計		3,950,000 盧比

包括縱縫灌漿費用約 2,000,000 盧比，每公方合 1.8 盧比。共消耗金屬材料 1890 吨。

骨料冷却

包括設備折旧、安裝、工資、電力、附件等每公方 1.78 盧比。

如果管材价格高，則水管冷却費用更貴。預冷骨料的施工設備在巴克拉編制預算，75—90% 均已拆掉，实际上許多設備如氨壓縮机，冷却器、冷却塔、凝聚器是可以拆移其他工地重复使用的。

美国軍部工程局在 1950 年設計大約瑟夫填的 混凝土 散熱時，認為冷却水管的造价为預冷骨料的 2 倍，具体分析数字如下：

項 目	預冷骨料(美元)	水管冷却(美元)
1. 設備購置及安裝費	300,000	
2. 运行費	384,000	
3. 回收(按 25% 計)	75,000	
4. 冷却水管購置及 安裝 488,000 公尺，每公尺 1.31 元		640,000
5. 冷却費用		375,000
总价	609,000	1,015,000
每公方混凝土价格	0.65	1.33

因此从造价方面看水管冷却加設縱縫的方法是比較貴的。

采用預冷混凝土，可以加大填塊的澆筑面积和厚度，为加速混凝土施工速度提供条件。

混凝土的散热設計的目的，是为了減少温差，預防不利的温度裂縫發生。

混凝土的温差表现为两个方面：

1. 填塊混凝土的最高温度与填体混凝土“稳定温度”間的差別；
2. 填塊混凝土内部的温度与外部温度的差額及其温降梯度。

前者引起較深的裂縫，例如黃壇口填塊的裂縫以及美国奧瓦希填塊的裂縫均平行于填軸綫。后者多引起混凝土的表面裂縫。

在混凝土散热設計中，以怎样防止第一个方面的裂縫为主要目标。

关于大体积混凝土中由于水化热所产生的温度裂縫，以及不發生裂縫填塊允許的澆筑尺寸，苏联正进行大量的科学研究工作，走在世界的最前列，为將來实践提供了理論依据。

根据美国第却而第和潘佛萊第兩個填的实践結果，証明135公尺以下的高填，可以整塊澆筑，每塊尺寸大到15公尺×100公尺是可行的。这二个填混凝土的澆筑温度限制在 $10^{\circ}-4.5^{\circ}\text{C}$ 之間。

按美国夏瓦西填的觀測結果，混凝土可承受 11°C 左右的急驟温降与 17°C 的緩慢温降，不致于發生温度裂縫。初期混凝土每天曾降低了 6.5°C ，亦未發現裂縫。

加拿大填塊的澆筑尺寸，为 12×42 公尺，但塊子的高度达到15公尺以上，每塊的体积达到11500方。混凝土的拌合料是采用預冷的。

实践告訴我們，采用預冷混凝土，可以加大澆筑塊的面积和高度，这时加快混凝土施工进度，加速社会主义的水利电力工程建設是有鉅大意义的。

1955年在巴黎召开的第五次世界大填會議中，日本的筑填人員提出了科学試驗报告，証明降低澆筑温度可以提高混凝土强度。因此采用預冷混凝土，并不致影响混凝土的强度。

从防止温度裂縫的角度来看，混凝土的澆筑温度低，填体内混凝土的最高温度也随着降低，因之温度差变小，温度应力的数值也可以

降到混凝土允許抗拉强度以內，故不致引起裂縫。

混凝土的温度拉应力，是由于受着基础岩石或老混凝土的限制而产生的，可用下式估算。

$$f = E\alpha R(t_p + t_r - t_f)$$

式中 f ——温度拉应力；

E ——有效彈性模数；

R ——基础限制系数；

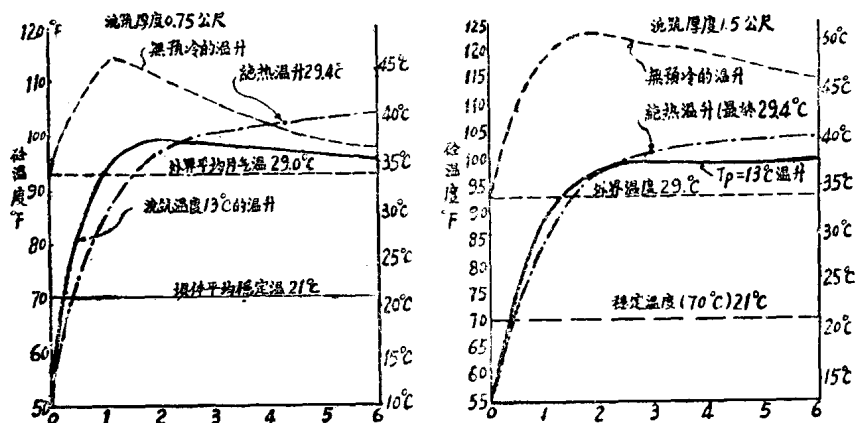
α ——混凝土膨脹系数；

t_p ——混凝土澆筑温度；

t_r ——水化热所产生的温度升高；

t_f ——坝体混凝土最后稳定温度。

在上列公式中，温差的数值为 $t_p + t_r - t_f$ ，如果使混凝土的澆筑温度降低的幅度，比当时的月平均气温（混凝土不預冷时的大約澆筑温度），約达到了水化热所引起的絕热上升温度值，那么混凝土在暴露于空气过程中，縱然吸收一部分外热，总的混凝土最高温度与最后稳定温度的差額，將大大地减小（見圖 1 所示）。这样小的温差，可以在



正圖 1

$h=2\frac{1}{4}$ 呎 水泥 标准

外界温度93°F 用量 390公斤/公方

$T_p=13^{\circ}\text{C}$ h^2 0.00046 平方公尺/时

当厚度为1.5公尺时，無預冷混凝土最高温度比0.15公尺高5.5°C，預冷时，澆筑厚度的最高温度几乎相等。

允許範圍以內。例如混凝土的允許抗拉強度採用 17 公斤/平方公分，在緊靠基礎部分， $R=1$ ，允許的溫差可達 $12-15^{\circ}\text{C}$ ，離基礎面較高的混凝土，甚至可以达到 28°C 。

如果混凝土的澆筑溫度在 $10^{\circ}\text{C}-4.5^{\circ}\text{C}$ 以內時，澆筑塊的高度和間歇時間對混凝土的溫度的影響，至為輕微。平常施工中所規定的 1.5 或 3 公尺澆筑厚度，就變成不必要了。

由此可見，採用預冷混凝土，只要在施工條件允許時，可以澆大而高的填塊。這時，控制混凝土的澆筑塊大小，不受混凝土的散熱要求的限制，而是受各項施工准备工作，如模板、埋設件、鋼筋、砂石料及拌合澆筑運輸等的限制了。

例如，新安江工程的混凝土，絕熱溫升為 22.7°C ，八月份的平均溫度為 29°C ，5 公尺高的塊子間歇三天，混凝土的溫升約 21°C ，塊體最後平均穩定溫度為 14°C 。如果八月份混凝土的澆筑溫度為 10°C ，最高溫度假設為 32°C ，較之最後穩定溫度僅高了 18°C ，還是可以允許的。混凝土的澆筑厚度也可以加大，例如 6—12 公尺。把混凝土的澆筑溫度降到 10°C 是可以辦到的。

預冷混凝土，系將食品工業的冷凍或紡織部門的通風工程應用到建築大壩混凝土工程方面來。有關冷凍及通風的工程技術我國是完全掌握了。設備也沒有什麼困難（氨壓縮機單位容量小一些，台數要多一些而已）。現在尚未大量施工的工程，建議考慮採用這一施工方法。

在採用預冷混凝土塊體施工過程中要注意：

1. 相鄰填塊的高差，除非留作導流梳齒時，最好保持在 6—9 公尺以內，這樣可以減少填塊內部與外部的溫差，以避免表面發生裂縫。

2. 塊體內所留廊道、洩水孔、鋼管孔，在拆模以後，必須兩端封住（用門亦可），以防止因空氣的自然流通和孔洞內部氣溫的降低而發生裂縫。因為這些孔洞，像一些冷卻洞一樣，塊體澆筑後內部溫度較高，如果讓自然通風，則在洞內溫度降低後，孔洞周圍的混凝土與塊子內部混凝土之間將有較大的溫差和較大的溫度梯度，以致發生裂縫。

3. 關於拆模的時間，一方面要考慮混凝土有足夠的強度，另一方

面要防止在外界寒流到来期間拆模，以免發生急驟的溫降，引起裂縫。

骨料預冷設備容量的確定

骨料預冷設備容量決定于混凝土的澆筑溫度、外界氣溫、水溫、水泥溫度以及澆筑的強度、骨料的比熱特性等因素。

(1) 混凝土澆筑溫度

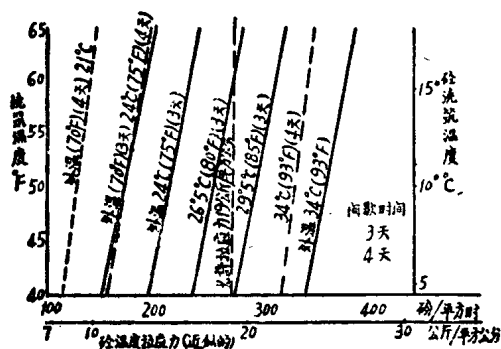
混凝土澆筑溫度的確定，不僅與整個混凝土溫度控制設計密切相聯，而且與混凝土的溫度應力、徐變特性等科學研究工作聯系着。在具體工作中，可採用簡略近似的方法，以減少計算工作量。

為了較準確地決定骨料預冷容量，首先按下列步驟求混凝土的澆筑溫度。

1. 按夏季和秋季的氣溫情況(中國大部分的情況)，計算不同澆筑層高度、間歇時間以及混凝土不同澆筑溫度條件下的混凝土溫度變化的歷時特性。計算時應採用填體混凝土的熱力試驗資料，並標明填體最後穩定溫度(可採用填體下半部的平均數值)。

2. 繪制夏季與秋季內不同澆筑溫度下所產生的溫度拉應力關係曲綫(見圖2)。溫度拉應力可按下列近似公式計算：

$$f = E \alpha R (\Delta T)$$



正圖 2 澆筑溫度與外溫關係，溫度拉應力關係
 $h=0.75$ 公尺，標準水泥每公方 390 公斤， $\alpha=0.00001$

根據實際觀測結果(美國海瓦西等填觀測結果)，每降低 1°C 的

如欲詳細計算混凝土的應力，則須考慮混凝土的徐變影響，彈性模數的時間變化用有限差分法進行計算。由於計算工作量較大，而混凝土的穩定溫度常為大略數值。因此將徐變影響包括在有效彈性模數以內，在具體工作中是允許的。