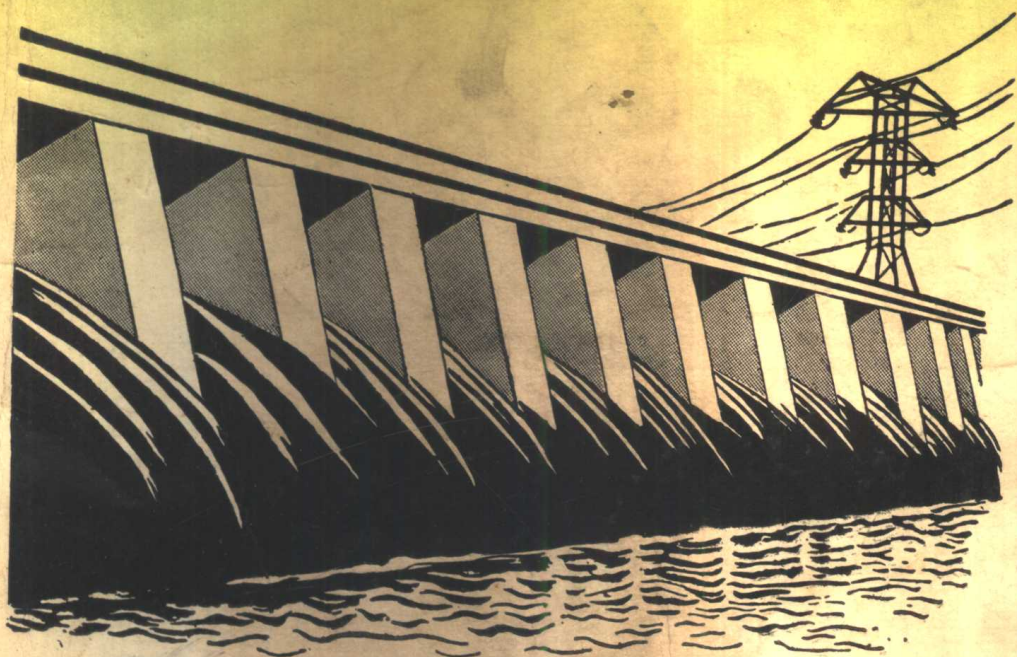


202538

国外水电技术

第 4 輯



国外水电技术

第 4 輯

水力发电編輯委员会編

*

1584S438

水利电力出版社出版(北京西郊科学路三里溝)

北京市書刊出版業營業許可證出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 7 $\frac{1}{2}$ 印張 * 154千字

1958年10月北京第1版

1958年10月北京第1次印刷(0001—3,050册)

統一書号: 15143·1236 定价(第10类)0.60元

51

1/60E2
T4

202538

1

02:44

目 录

低水泥用量的混凝土.....	2
德国如何达成新的水泥用量少、抗掺性高的混凝土.....	10
大型混凝土坝的水泥用量选择.....	14
美国垦务局建造低水泥含量大坝的高质量混凝土的发展.....	36
英国的混凝土坝水泥用量的实践经验.....	45
浇筑温度(初温)对于巨块混凝土强度影响的研究.....	57
测定混凝土试件弹性模数的声学方法.....	70
岩石水泥灌浆趋向.....	76
基础的水泥和粘土灌浆.....	84
基础压力灌浆的现状.....	98
应用粘土水泥浆的灌浆.....	107
美国乌尔特河低堰建筑物抽水挖基经验介绍.....	114
北苏格兰水力开发计划.....	140
英国格雷希拉水力发电工程.....	160

低水泥用量的混凝土

Hans Böhmer
奥地利 Alfred Wörgin 著 吳仁鏡譯

当1946年奥地利葛洛克納·卡农工程的混凝土坝开始建造时，本文作者曾尝试在满足一定混凝土质量要求下使混凝土单价尽可能地降低。这种想法在当时是正确的。混凝土总工作量达到150万立方公尺，同时水泥运输受到第二次大战期间所修建的缆索道限制，因此以上谈到的意图是可以理解的。考虑到缆索道的运输效率不高，只有降低水泥用量才能达到经济节约的目标。

在土伦工艺品试验室中进行了多年试验才最终解决了这个问题。

作者采取措施中的第一步是将大战期间修建的混凝土骨料厂中的碎石厂拆卸，当时已普遍了解到砂粉的存在大大影响混凝土的质量。这是由于砂粉表面不均匀消耗了大量的水泥浆或水泥。即使如此，在建造林白坝时，仍不能将所有砂粉全部加以清除，但在装置了沉淀箱以后至少可以将云母质颗粒清除。只有在开始建造二座莫司保登坝（海拔高程2000公尺）时，才有可能，通过安装一套水力筛分系统，名为雷爱克斯（维也纳爱达博士专利），可以将0~3公厘部分加以分离，并筛去0~0.1公厘部分，因此得以在不降低混凝土的一定质量条件下，大大降低水泥用量。但是必需要加入一种加气剂或塑化剂以补充细颗粒的不足。

1951年底试验室完成了低水泥用量的混凝土试验工作，所以当1952年夏开始浇筑混凝土时已有可能充分利用科学研究的成果。作者从斯蒂尔氏所作的报告中得知美国方面亦存在同样趋势并且正在进行工作，因此引起作者对于水泥用量为135公斤每立方公尺，正在浇筑中的50万立方公尺混凝土写了详细报告。

莫司保登水库需要建造二座坝：一座拱坝（德洛森坝），有混凝土35万立方公尺及另一重力式坝（莫司保登坝），有混凝土65万立方公尺。其中4/5，即52万立方公尺为中心部分，其余13万立方公尺为坝

表面部分。

坝表面混凝土之成分与拱坝部分相同，上游表面厚 4 公尺，下游表面厚 3 公尺。由表层混凝土变换到中心系通过半公尺高 1.5 公尺厚的互相連鎖。由于所在地的高程（拔海 2000 公尺）以及附近的冰川影响，混凝土承受重的拉力。

除去主要的几项要求外（即抗压及抗拉强度，不透水性，低导热性能及和易性），抗冻性是混凝土最重要的性能，尤其是发热量要低。如水泥用量减低，发热量得以控制则可省去昂贵的人工冷却措施。因此可以达到双重经济效益。作者将符合这种要求的混凝土称为高质量混凝土。

斯蒂尔氏报告中也曾谈到在拌合混凝土时使用“软水”。第四次大坝会议期间，曾有人反对使用软水，作者愿在此地指出，奥地利卡农坝的混凝土用水系直接取自冰川地区，仅有 2 ~ 3 度（德国标准），属相当软的标号。但在多年的试验中并未显示不利的影响。

要得到最终的和最经济的混凝土成分，必须先试验组成混凝土的各个要素并研究其相互间的关系，各要素为：水泥、用水量、加气剂及骨料。

水 泥

谈到铁路运输，在奥地利没有单独一个水泥工厂能够供应全部需要的水泥，因此，水泥是由位于施工工地附近的二座水泥工厂供给的，并以适当方法混合，尚未观察到有任何危害性。

两种水泥的成分如下：

表 1	波 蘭 特 水 泥	
	(K)	(E)
不能溶解	0.5%	1.1%
SiO ₂	20.9%	21.6%
Al ₂ O ₃	6.4%	7.5%
Fe ₂ O ₃	2.8%	4.2%
CaO	61.1%	57.9%
MgO	4.2%	5.3%

SQ ₃	2.6%	1.7%
游离石灰	1.0%	2.2%
表面(按美国材料試驗标准		
(A.S.T.M.) C204-51	2650平方公分/克	3600
白蘭式, 測定器)	平方公分/克	

水化热, 按A.S.T.M.C186-19:

7天以后	61卡/克	58卡/克
28天以后	76卡/克	70卡/克
90天以后	84卡/克	77卡/克

两种水泥均系标准水泥, 与奥地利所生产的其他水泥比較, 所不同者仅为具有較低的水化热。作者要求尽可能的低水化热是可以理解的。

骨 料

骨料来源系坝址附近的大量冰川沉积物, 顆粒的形狀不很令人滿意, 因为发现了其中有很多長形顆粒表面很粗糙。顆粒模数, 10公厘以上的80%小于3。按照奥地利标准屬名, 顆粒模数系表示最大顆粒直徑与最小顆粒直徑之比值。就混凝土术语而言, 顆粒模数不超过3时即可以認為是滿意的。这里所說的“砂”是指通过3公厘直徑篩的顆粒(圓孔)。

其天然級配如下:

表 2

篩 孔	通过篩的重量百分比
3 公厘圓孔	100 %
1 公厘圓孔	48 %
0.5 公厘方孔	34 %
0.2 公厘方孔	13 %
0.09公厘方孔	4 %
0.06公厘方孔	1~2 %

試驗室所进行的广泛的混凝土抗冻試驗导致求出某些法则, 以便作进一步研究, 这些法则关連到:

細砂; 水泥比; 水泥来源地; 混合剂; 对混凝土的和易性应予以特別注意。

在奥地利, 抗冻試驗系將混凝土暴露在周期性地和不同

断地冻结和融化交替中，温度由 -20°C 至 $+15^{\circ}\text{C}$ 每一循环为4,8,12,24小时等。抗冻程度则由弹性模数中求得。额定荷载为5至50公斤每平方公分。

试块尺寸为 $20 \times 20 \times 30$ 公分，龄期为56天。如混凝土的弹性模量经过50次冻融试验后，不降低至最初数值的75%，即可认为是符合抗冻性能要求。主要地试验了两种混凝土，所不同的仅在“砂”的成分。M组为细砂，P组为粗砂。两组的水泥用量均为270公斤每立方公尺。和易性均相同，只是水灰比不同，M组为0.55而P组为0.50。

图1沿X-轴为交替冻结及融化次数，Y轴则为弹性模量的相应数值。插图系表明两种混凝土砂的颗粒分配。该图中X-轴为筛孔尺寸(公厘，0.06/0.09/0.2及0.5公厘为方孔，1至3公厘为圆孔)，Y轴为通过筛的砂的百分比。这张图表证明当混凝土含有较高百分数的细砂时，抗冻性能很低，而当混凝土为粗砂级配时，从一开始即显示抗冻性能。

这也同样适应于水泥用量少于270公斤的混凝土。照以上这些推论，0~0.09公厘的颗粒将全部去除，即可得出低水泥用量的混凝土。同时水泥用量不致显著影响到混凝土的抗冻性，很好地说明了这一事实。

由表3和图2中可以看出混凝土的水泥用量虽增加了140%，但其抗冻性能并未得到改善。和现在的假设正好相反，水泥用量并不太重要，同时通过此例亦可理解目前为达

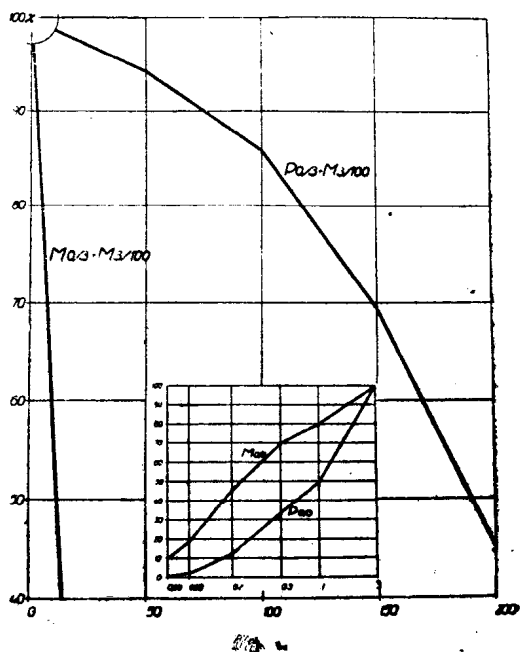


图1 砂的级配对混凝土抗冻性能的影响

到最低水泥用量的趋势。

当然，水泥来源即水泥牌号会影响抗冻性，因此为了选择最合适用的水泥必须进行试验。

表 3

水泥种类	水泥用量 (公斤/立方公尺)	相当于图 2 中的曲线
1	125	a
2	150	a
3	175	b
4	200	b
5	250	c
6	275	d
7	300	e

气剂为增加混凝土抗冻性的最有效措施，但必须保留说明的是使用的砂不能太细，因而可防止混凝土中产生微细空气泡。只有将砂子里的粉末颗粒全部清除后，这种掺合剂的效用才能得到保证。

在去除细颗粒后需要加入一些加气剂，这一点也可着重解释为由于要求具有一定和易性的混凝土，因此骨料需要这种掺合剂。对混凝土质量来说重要的是使用有塑性作用的加气剂，可以更多地减少水的用量。下面这个概念已得到证实：使用加

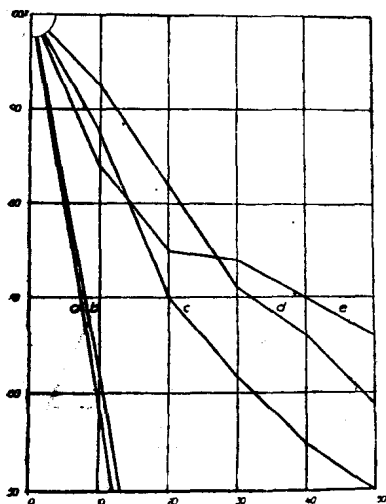


图2 水泥用量对混凝土抗冻性的影响

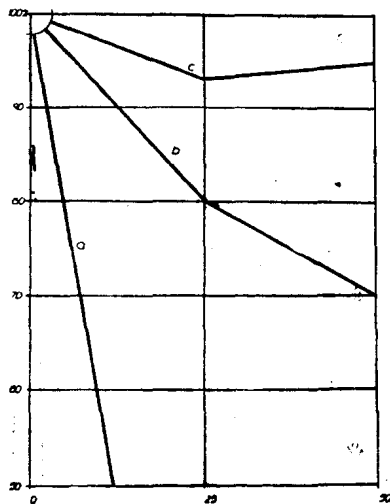


图3 加入掺合剂及使用不含粉末的砂对混凝土抗冻性的影响

由图 3 可以看出减少水泥用量，加入掺合剂以及不含粉末的砂对混凝土抗冻性的重要影响。

曲线 *a* 与图 2 中曲线 *a* 相同，混凝土中未加掺合剂水泥用量为 125 公斤，砂中仍含粉末颗粒。曲线 *b* 为相当于曲线 *a* 的混凝土，但加入了加气剂。曲线 *c* 表明混凝土除加入加气剂外并去除了砂粉末。从而得以制成水泥用量为 125 公斤的抗冻的混凝土。

当然，对大体积混凝土承受较低压力的情况，水泥用量的减少亦有一定限度。此项极限系取决于混凝土的水密性及和易性。

作者在卡农工程中，规定当试块尺寸为 $40 \times 40 \times 20$ 公分能承受向上水压力作用面积为直径十公分的圆形时，即可认为混凝土是符合不透水要求的。

压力分级如下

1 个大气压	24 小时
5 个大气压	24 小时
10 个大气压	24 小时
15 个大气压	7 天

试验时试块表面不允许出现水珠或水点。试验完成后立即切开试块，此时可见到的水点不应多于试块高度之半。

当混凝土之水泥用量为 225 公斤时，可以满足上项要求。水泥用量渐减时，表面水分出现渐多，当水泥用量为 125 公斤时，经过第一期压力试验其表面则全部浸透。

使用显然增加和易性的掺合剂可以在一定程度上改善混凝土的水密性，例如，水泥用量为 125 公斤的混凝土内，如加入掺合剂，则仅在第二期才会浸透。

重力式坝中心部分混凝土的水密性并无决定性意义，表层混凝土用量为 250 公斤已可以认为满足不透水要求。

对浇筑混凝土而言，混凝土的和易性是很重要的。由经验得知，一块 70 公分厚的混凝土只有在充分震捣 25~30 秒钟才能在 70 公分的圆周范围内固结，在进行大量混凝土浇筑时，震捣时间延长势必增加费用。使用加气剂可大大改善混凝土的和易性，但只有在砂粉去除后，

空气泡才能更有效的发生作用。

就现在已知的情況，任何工地还不能將砂粉全部去除。同时，砂粒分类也未越过 1 公厘。正由于这个原因，要求保持骨料的級配均

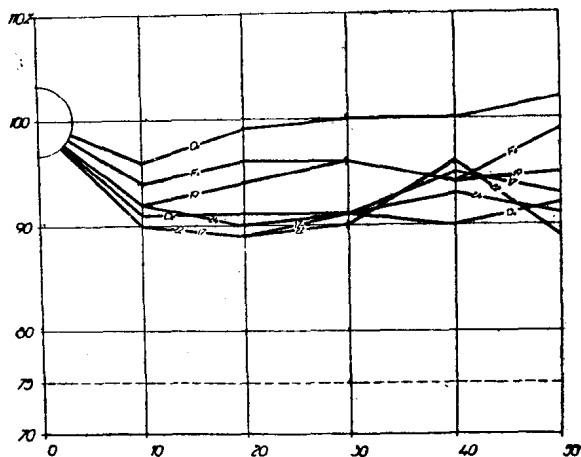


图4 由莫司保登壩面所取鑽蕊的抗凍試驗(水泥用量250公斤)

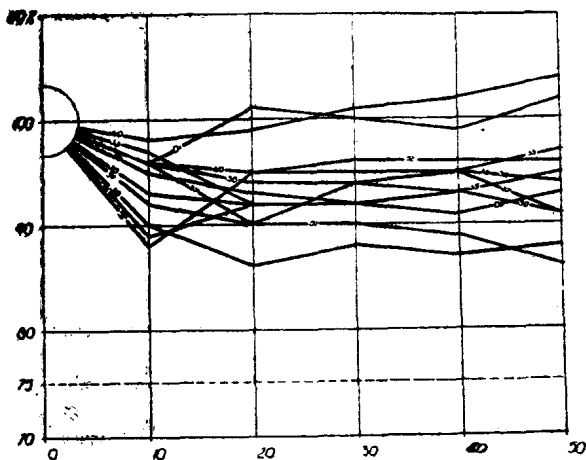


图 5

图4和图5表明250公斤水泥用量的表层混凝土和150公斤水泥用量的中心混凝土的試驗結果。在这二种混凝土之間，看不出有何顯著差別。

勻，任何变化均极不利。在兩年所澆制的混凝土和易性均无显著差异（中心混凝土30万方，其中15万方水泥用量为150公斤，其余为135公斤；此外，有7万方混凝土水泥用量为250公斤/方）。

1953年初，在莫司保登重力坝中鑽孔取出直徑为150公厘的混凝土（1952年澆制的）。从这些試驗中表层混凝土和中心混凝土二者間并无显著差别。將140~160天齡期試样切断成30公分的長度并进行冰冻試驗。图4和图5系試驗成果。

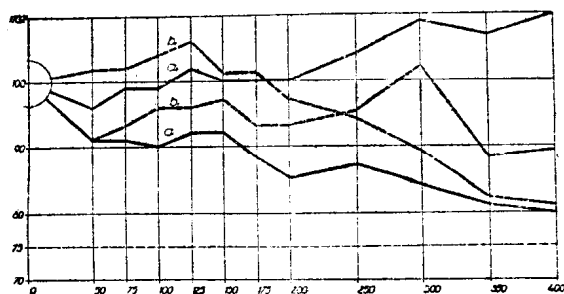


图6 由表层和中心混凝土鑽孔取样的冰冻試驗
(表层混凝土250公斤水泥每方，曲綫 a_1 及 a_2 ，
中心混凝土150公斤水泥每方，曲綫 b_1 及 b_2)

這項試驗，繼續进行至400次冰冻和融化（图6）証明混凝土已具有抗冻性能，在这一点上，两种混凝土也沒有区别。

在試驗室研究工作未得出結果之前，曾考虑將中心混凝土水泥用量定为200公斤每方。如以混凝土总量52万方計算，水泥用量減为150公斤和135公斤，經濟效益很大。此外还帶來了一項附加效益，即省去水化热所需要的特殊設施。

（譯自第5次大坝會議論文集）

德國如何達成新的水泥用量少、 抗滲性高的混凝土

B.魏德曼著 郭可銓譯

在拌和混凝土時應在一定數量內摻用最少限度的水泥使其耐久堅固同時應使收縮、徐變、以及水化熱等最少。水泥用量不能少於一定的成份否則會損害混凝土的堅固性及抗撓和抗拉強度等。但是還沒有能抗大量侵蝕和受自然環境長期作用的混凝土。

1936年已建成的一些壩雖然在裂隙髮裂，銳緣剝落漏滲，表面剝落和失沙等方面均未達到使壩不能繼續使用的地步，但是當時所有的混凝土都不能使人滿意，當不斷的改進混凝土的質量。上述缺點是隨時間而加劇，應認真的看待。

1951年滲流的水已開始損毀史魏曾巴赫壩，壩頂部分須重做防滲工程。1952年壩上游面自頂部起12公尺高的一段須重做。護面後的混凝土有些已浸蝕達50公分深。在布萊洛赫壩下游面同樣要全部重做，因混凝土塊體中的破壞深度已達50公分。這兩座壩都用流性混凝土澆筑。

1930年到1940年間德國已不大推薦流性混凝土而用大量減少拌和水量的塑性混凝土代替。在此時期中並未順着可以導向長期保持混凝土質量的途徑進行研究。德國工程師認為加大骨料的尺寸來減少沙量和需要的拌和水量能造成膨脹，是不利於抗滲性的。

這種成見使研究工作離開了可能改善水泥膠漿的成功方向。

震搗混凝土的緊密度不是一般搗筑方法所能達到的。在第一次大戰初停時(1918)，人們已使用震搗方法，凡蒙(Rermont)壩是按照前一派施工的。由於冰川沖積層中的沙量只有預計數量的一半，補救的方法是增加50到60公厘卵石骨料的成份。這種做法可加強沙漿作用的優點。

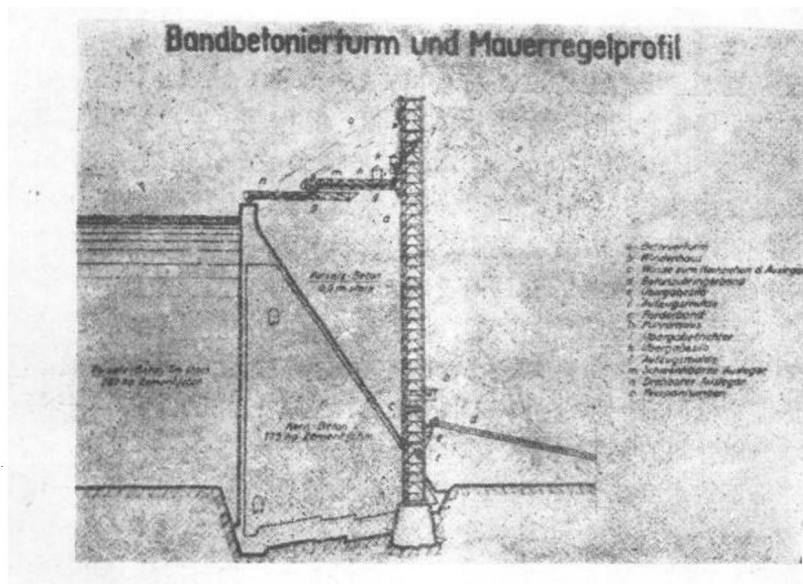


图 1

使用震搗设备后，在减少混凝土的空隙面积方面有很大的进步。在不降低混凝土抗渗性和强度下，降低了水和水泥的用量。由于强力震搗了使贫水泥的配合比获得最可能的防渗性能。在一个封闭空间内加以震动的混凝土都可称为震搗混凝土。这种做法可以获得震搗混凝土的预期优点。从流态混凝土起所有的混凝土均可震搗，但如果它仍保持与现时相同的水量细骨料以及沙量的成份比率时，结果还是不能满意的。

德国从1936年到目前只造了四座坝。首先是1935,到1940年间造的尤般 (Eupen)重力拱坝长350公尺高65公尺。外部表面混凝土的水泥用量是350公斤/公方，块体中部的的水泥用量是230公斤/公方。最大的骨料是150公厘，浇筑时是震搗的。

这两项措施的可能性并没有充分地利用起来。

波尔克 (Pirk)坝是在1938年完全按照老的方式建造的。坝高23公尺，长250公尺，蓄水5,000公方。施工说明书上规定混凝土须含40%的0—7公厘的沙子和250公斤的水泥，30—60公厘的卵石不得超

过25%。混凝土由站桥入仓用人工捣筑。

艾斯克塔尔坝的建造采用另一种方法。

在这个坝上使用的大骨料达300公厘，混凝土的裕默尔模数 (Modulef, d'apre' shummet) 是220到230之间，但国家标准筛分模数是在105到184之间变化。为了注意防止混凝土在输送过程中发生分离现象，采用了由输送塔径皮带输送机输送。为了使混凝土获得完善的抗渗性，工地上使用了10,000週的高频率内部震动机。

在工程竣工几年以后由于有了伦哈德 (Lenhard) 和裕默尔计算块体体积的新方法方获得实际效果的确实资料。由于0—0.2%的细料成份非常低同时拌和水量只使混凝土有湿土的密实度，它与一般用100公厘骨料的混凝土不同。在石子下面没有由细料构成层面，混凝土完全不透水。在干硬混凝土内插入高频震捣器当时在德国是一项新技术。

在艾斯克塔尔坝上，30%的混凝土成份是大于30公厘的，其效果出于意料之外。混凝土的水泥用量是171公斤/公方，抗压强度为220公斤/平方公分，比重是2.73，浇成混凝土完全不透水。混凝土所能达到如此质量是由于水泥量少和大骨料成份高。大体积混凝土所有的缺欠。此项混凝土之内不全出现。

艾斯克塔尔工地除了供给250—300公斤/公方的天然砂外，所有的卵石骨料都用当地的斑岩轧碎筛分而得。为了每天要生产100公方的混凝土，须安装10台轧石机和4台柱状碎石机。此坝并未应用已积累的增大骨料尺寸的知識，因为须将土地的施工设备全部改装。

艾斯塔尔坝在1940年竣工，直到现在仍未发现失沙和任何轻微的渗透现象。自从水库充水以来，坝的可见部分始终是干燥的。而且也没做过任何修繕工作，在艾斯克塔尔坝上一直做到35公方大的块体試驗。結果可选择大于7公厘(最大可达300—500公厘)的骨料，配合成份达71%。这样可使沙漿的成份降到20%以下。如果采用一般的水泥含量还可將水泥量降低到能得出所要求的抗压强度。試驗中看到在捣制紧密混凝土时，使用第一二兩道轧碎过程中的碎石比筛分过的碎石还要容易些。这种新的制造和捣捣混凝土的方法我們称为“机械泥水工

作”。这种方法使施工和工地设备的运行均方便经济。

欧克塔尔拱坝高73公尺，厚仅8公尺，所用的混凝土含40%的细骨料混凝土及60%200到400公厘的大块石，拌和用水量只有干料的3.2%。细骨料混凝土用泵输送，直接由采石场的石块用旋臂塔式起重机输送。强力内震捣是用由一到二人操作的4.5马力内插震动器进行，浇筑的混凝土保证完全不透水。坝面未另采用特殊的混凝土，全部的水泥用量均为每公方165公斤。试验所得的28天强度是每平方公分300公斤。

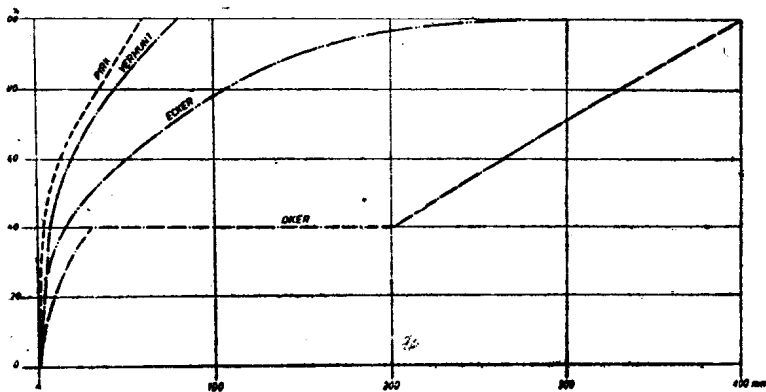


图 2

在卡尔斯露里大学用5000吨的压力试验机进行了一立方公尺试块的试验，另外在工地上补充试验了20个浇筑块的细混凝土。

这种大骨料混凝土在德国创造一次新技术，用以避免大型混凝土建筑物上迄今所出现的缺点。

提 要

德国在艾斯克和欧克尔 (Ecker, Oker) 两座坝上所采用的大骨料和震捣，水泥用量低而抗压强度低，抗渗性优良，以及过去从未达到过的比量大于2.6，并且比迄今在建造坝时所用的混凝土在不受天然环境及化学侵蚀方面要优良甚多。（译自第5次大坝会议论文集）

大型混凝土壩的水泥用量選擇

J.R. 杰尔柏脱和B.W. 司梯里 潘家铮译

一般的实际經驗

在美国多年来混凝土的水泥含量是根据結構上的需要按早期强度决定的。这观念逐渐被修正，因为后来发现仅仅强度并不能保证耐久性。现在混凝土結構已按其各部分使用和暴露条件分区决定最佳水泥用量。

为了经济和技术上双重理由，只要能达到所需性质，混凝土的水泥量以越少越好。对于混凝土所要求的各种性质在不同的混凝土坝中基本上是一样的，虽然对于不同的結構这些性质的比重也各不同。混凝土的“工作性”对各种坝（不论什么型式）都是需要的。耐久性则对重力坝的外表面，对拱坝及对梁坝的上游面板是需要的，而在重力坝内部和梁坝的梁壁中较次要。抗渗性对各种重力坝、拱坝和梁坝上游面板都需要。强度则对拱坝及梁坝较重要，在重力坝中则为次要。

拱坝 拱坝很少是厚到可以考虑在其内部采用低水泥量的混凝土的。因此拱坝水泥用量主要由抵抗气候侵蚀及需要足够的强度所决定。在薄拱坝中企图使用低水泥含量的混凝土将招致施工上的困难，所引起总造价的增加反而会比自水泥中节省的为多。高水泥用量所引起的不利影响（体积变率）可借预冷混凝土因而减少温度降低值和开裂的影响来抵销。

仔细的布置和适宜的施工方法是这种坝型能够顺利运转的主要因素。就这点上，美国有两个坝是值得参观和今后观测的。即杰柏遜（Gibson）蓄水坝和太阳河导水坝，均建造在蒙太那（Montana）太阳河（Sun River）上。导水坝是一个极薄的拱，120呎高，约建于1915年。这坝采用极干的混凝土经良好捣实后建成的，约含水泥470磅/立方碼（279公斤/立方公尺）。骨料是細粒石灰岩及砂岩。此坝现在情况甚好无任何表面裂缝等情况，而在过去25年我們所建筑的許多

其他坝中这些情况是屡见不鲜的。也没有当时建筑的坝中常见的沿水平层接缝渗流现象。杰柏遜坝建于1928年，是一个195呎高的拱坝，位于导水坝上游约3哩处。混凝土约含425磅/立方碼的水泥（252公斤/立方公尺）和同样的骨料。系用深槽浇筑，混凝土较稀。砂子较粗，混凝土的泌水性很大。原来拟制造细料以降低泌水性但不成功。最后决定用白土（diatomaceous earth）来改正过大的泌水性和改进工作性，这一改变获致满意的结果。现在该坝混凝土的情况甚好，在采用白土部分坝体中并无沿浇筑层接缝渗水情况，但不如13年前所建的导水坝的混凝土好。这两拱坝用同样骨料建在同一河中，所采用的建造的步骤无疑的反映在它们目前的情况中。

坝坝 坝坝上游面是倾斜的，有些象重力坝的下游面，而要求混凝土有很高的抗气候侵蚀性及抗渗性。坝坝面板水泥的经济性较不重要，因为和坝壁相比，方数不多。坝壁的水泥则影响经济性很可观，因为其应力一般并不大到能决定水泥含量的程度而且坝壁只有下游面是暴露需考虑抗气候侵蚀因素。但如坝上设有溢洪道，泄水建筑及输水管时则在决定水泥量时结构细节设计常比抵抗气候侵蚀所需的更为重要。

重力坝 美国过去采用各种不同水泥量的混凝土建筑重力坝，作为过去经验的结论，对于表面混凝土不赞成用低于376磅/立方碼（223公斤/立方公尺）的水泥量。为了耐久性和抗渗性，这种表面混凝土，设其后部系具有合理的抗渗性的内部混凝土，有5到8呎厚已够了。在美国经常冰冻和溶解地区的坝提供了很多的经验，即经过很好的设计、拌和、浇筑和养护的混凝土对任何的实际情况可有足够的抗气候侵蚀性。过去整个坝体混凝土至少含376磅/立方碼（223公斤/立方公尺）的水泥。目前，重力坝内部的混凝土系按其工作性，强度及合理的抗渗度来设计的，而表面混凝土则主要按抗气候侵蚀性设计，因为在任何重力坝中，具有抗气候侵蚀性及有满意的抗渗度的混凝土对应力来讲将会有足够的安全因数的。考虑在坝的内部减少水泥量时不应引起任何危险的部位。每个坝的当地条件将决定可以安全采用的最小水泥用量。这一最小值将根据设计和施工中许多因素而定，而必须由现