

178544



混凝土坝的冷却

美国内务部垦务局编



水利电力出版社

目 录

第一章 緒 論

第 1 节	冷却系统的必要性	7
第 2 节	早期研究	7
第 3 节	报告的范围	8
第 4 节	理論的基础	8
第 5 节	冷却公式的性质	9
第 6 节	符号	9
第 7 节	几个定义	13
第 8 节	物理常数数值	14
第 9 节	各个坝采用的混凝土热学性质	14
第 10 节	人事	14
第 11 节	参考書籍	17

第二章 半无限体的天然冷却

第 12 节	理想化的性质	20
当表面温度等于零时的均匀初始温度分佈		
第 13 节	原理	20
第 14 节	例：均匀初始温度，表面温度为零	22
外界温度变化的半无限体的冷却		
第 15 节	温度变化	24
第 16 节	周期性的外界温度的温度分佈	25
第 17 节	最大温度范围	25
第 18 节	平均温度	26
第 19 节	最大平均温度范围例题	28
第 20 节	例：表面温度按正弦函数变化的半无限体	28
由表面向温度为零的介质辐射		
第 21 节	原理	31
第 22 节	例：半无限体向温度为零的介质辐射	32

由表面向零溫度的介質輻射, 包括日光輻射的影響

第 23 节	原理	34
--------	----------	----

第 24 节	例: 当温度为零时, 从半无限体表面向零溫度的介質輻射, 並承受日光輻射	36
--------	---	----

第三章 板、圓柱体和圓球体的天然冷却

平板冷却

第 25 节	板的理想化	38
--------	-------------	----

1. 初始温度均匀分佈的板的冷却

第 26 节	点的温度	38
--------	------------	----

第 27 节	平均温度	39
--------	------------	----

第 28 节	時間定律	41
--------	------------	----

第 29 节	例: 用平板理論來估計胡佛堤中散发过多热量所需的时间	42
--------	----------------------------------	----

2. 初始温度均匀变化, 表面温度为零的平板冷却

第 30 节	原理	45
--------	----------	----

第 31 节	例: 表面温度为零, 初始温度均匀变化的平板	49
--------	------------------------------	----

3. 外界温度变化的平板冷却

第 32 节	点温度	54
--------	-----------	----

第 33 节	平均温度	57
--------	------------	----

第 34 节	混凝土温度的迟后	59
--------	----------------	----

第 35 节	例: 板暴露于周期性变化的温度	63
--------	-----------------------	----

第 36 节	例: 板的平均温度比外温变化的迟后	67
--------	-------------------------	----

4. 初始温度均匀分佈, 四面暴露于零温的矩形截面棱柱体的冷却

第 37 节	原理	68
--------	----------	----

第 38 节	棱体的乘积法则	69
--------	---------------	----

第 39 节	例: 矩形截面棱体的天然冷却	69
--------	----------------------	----

(1) 在 23 号温度计的温度計算(71)

(2) 在 25 号温度计的温度計算(72)

5. 初始均匀温度分佈, 六面外界温度为零的正六面体的冷却

第 40 节	原理	74
--------	----------	----

第 41 节	正六面体的乘积法则	75
--------	-----------------	----

第 42 节	例: 平行六面体的天然冷却	75
--------	---------------------	----

6. 对平板冷却的評論

第43节	討論	75
------	----	----

均匀初始温度分佈，表面在零溫的圓柱体冷却

第44节	原理	77
------	----	----

第45节	例：均匀初始温度分佈，表面保持零溫的实心圓柱体	79
------	-------------------------	----

初始温度均匀分佈，表面在零溫的球体冷却

第46节	原理	82
------	----	----

第47节	例：初始温度均匀分佈，表面保持零溫的球体	85
------	----------------------	----

第四章 用图解积分法确定温度

第48节	图解积分的使用	90
------	---------	----

第49节	近界而处的温度	90
------	---------	----

第50节	例：用图解积分法求温度	94
------	-------------	----

第五章 从澆筑层表面散失的热量

討 論

第51节	原理	97
------	----	----

第52节	水泥品种的影响	97
------	---------	----

第53节	計算方法	98
------	------	----

第54节	疊加法例題	99
------	-------	----

公式的推导

第55节	靜止的半无限体发散的热量	101
------	--------------	-----

第56节	靜止澆筑层发散的热量	102
------	------------	-----

第57节	发热澆筑层发散的热量	104
------	------------	-----

公式的使用

第58节	对計算方法的建議	106
------	----------	-----

第59节	例：从澆筑层表面发散的热量	107
------	---------------	-----

第六章 用埋設冷却水管的人工冷却

数学原理

第60节	埋設水管系統的一般关系	110
------	-------------	-----

第61节	一无限空心圓柱体中的温度分佈	110
------	----------------	-----

第62节	一无限空心圓柱体的平均温度	117
------	---------------	-----

第63节	对于 $b=100a$ 的常数値	117
------	------------------	-----

采用长埋設管的冷却

第64节	概論	121
------	----	-----

第65节	Y 曲线的推导	122
------	---------------	-----

1. 对于 $\frac{h^2 t}{D^2} = 0$ 的 Y 解(124)

2. 对于 $\frac{h^2 t}{D^2} > 0$ 的 Y 解(125)

第66节	曲线 Z 的推导	128
------	----------------	-----

第67节	曲线 X 的推导	130
------	----------------	-----

第68节	对于 b/a 不等于 100 时的 X、Y 及 Z 曲线	130
------	--------------------------------------	-----

第69节	使用 X、Y 及 Z 曲线的实例	134
------	------------------------	-----

第70节	对一给定设施的 X、Y 及 Z 曲线	136
------	--------------------------	-----

第七章 胡佛埋冷却方法的早期研究

第71节	初步研究	140
------	------------	-----

研究过的各种方法

第72节	埋设水管方法	142
------	--------------	-----

第73节	冷气槽法	142
------	------------	-----

1. 在槽内使用个体冷冻机组的空气冷却(142)

2. 使用中央冷冻工厂的空气冷却(143)

3. 使用以前开挖隧洞所用的压缩空气机供给冷气以冷却物体(144)

第74节	使用预冷骨料	145
------	--------------	-----

第75节	预制混凝土块的使用	146
------	-----------------	-----

摘 要

第76节	各种方法的比较	147
------	---------------	-----

第八章 对于胡佛埋设水管系统的研究

第77节	冷却研究的价值	148
------	---------------	-----

典型冷却研究的基本数据

第78节	初始温度	150
------	------------	-----

第79节	浇筑期间与冷却时间两者间的允许损失时间	151
------	---------------------------	-----

第80节	供冷却用的河水	151
------	---------------	-----

第81节	供冷却用的冷冻水	151
------	----------------	-----

第82节	干管系统	151
------	------------	-----

第83节	冷却管圈的尺寸	151
------	---------------	-----

一个典型冷却研究的叙述

第84节	研究的格式	152
------	-------------	-----

第85节	冷凍容量	152
第86节	冷却图	155

第九章 胡佛壩冷却系統的佈置与操作

第87节	冷却系統的佈置	158
------	---------------	-----

冷凍工厂設備

第88节	冷凍工厂的需要容量	160
第89节	概述	160
第90节	压缩机	162
第91节	高压油分离器	164
第92节	凝集器	164
第93节	收集器	165
第94节	洗滌还原器	165
第95节	儲存器	165
第96节	冷却器	165
第97节	水管及接头	166
第98节	保險鈴及控制机械	166
第99节	泵	167
第100节	冷却塔	168

冷却混凝土的費用

第101节	估計費用与实支費用	169
-------	-----------------	-----

第十章 冷却系統設計及运用的摘要

概 論

第102节	改装空气压缩机为冷凍机械的可能性	169
第103节	溫度计划的确定	170
第104节	冷却溫度的測量	170

冷却速度的控制

第105节	控制冷却速度的可能方法	172
第106节	改变水管間距的效用	172
第107节	改变供水量的效用	173
第108节	改变管圈长度的作用	175
第109节	改变冷却水管尺寸的作用	175

冷 却 系 統

第110节	冷却水管的一般佈置	176
第111节	干管的橫联結	179
第112节	干管的絕热	181
第113节	控制管圈的供水量	182
第114节	防止漏水	183
第115节	防止冷凍工厂冷凍剂的損失	183
第116节	“閉合”与“敞开”的水泵系統	184
第117节	冷却水管週围的溫度应力	184
第118节	冷却塔的成就	187

用在后来建坝中的胡佛坝进行方法的修正

第119节	胡佛坝的进行方法	187
第120节	縮縫的修正	187
第121节	冷却水管裝置中的修正	187
第122节	第一期冷却的修正	188
第123节	第二期冷却的修正	188

采用人工方法冷却的某些混凝土坝

第124节	文獻表	188
-------	-----------	-----

第十一章 胡佛坝至1947年的冷却經驗

第125节	研究性观测的用途	191
第126节	电阻溫度計	191
第127节	坝中的平均溫度升高	193
第128节	1933年12月1日的冷却情况	195
第129节	1934年12月1日的冷却情况	200
第130节	堵塞的冷却管圈	200
第131节	暴露溫度	213
第132节	基础的溫度	220
第133节	在1946年中的溫度分佈	220
第134节	总结	220

第一章 緒 論

第1节 冷却系统的必要性 由于胡佛坝的尺寸异于寻常且建造迅速，所以主要的问题之一就是防止或消除混凝土中过多的热量。估计标准波特兰水泥发生的热量使混凝土的温度至少升高 45°F 。初步计算指出，如不采用人工措施来消除由于水化热及高的入仓温度所产生的过多热量，若想使坝中混凝土达到热量平衡和由此所致的体积平衡，就需要 100 年以上的時間。

第2节 早期研究 在一种控制胡佛坝的混凝土温度的措施能被拟具以前，或就事实来说，在能够确定此种措施是否需要以前，必需估计出按所拟定的施工进度混凝土所能达到的温度，以及在自然情况下此项过多热量所能消散的速度。在最初的报告中^①，由水泥的化学作用所造成的混凝土的温度升高是根据以前修建水坝中的温度观测来估计的，其中以森河建设中的吉卜森坝资料特别有用。在后来的报告中，温度升高是根据当时实验室资料而估计的。从这些资料中，可以估算出胡佛坝的混凝土热学性质的影响，计划的施工进度变化，以及各种特种水泥的一些热量产生的特性。

当冷却混凝土的必要性已经确立，研究的工作就是要确定出最有效和最经济的冷却方法。研究人员曾考虑过种种方法，如使用带有冷气循环通过孔口的槽和竖井，冷却配合料并辅以延长混凝土浇筑后的洒水期；和采用各种尺寸和间距的埋设管路以循环冷却介质。最后，采用了埋设冷却水管的方法。

在拟制冷却胡佛坝的混凝土方案时，用埋设水管系统来冷却还是

① Betty, W. C., Walker, J. R., and Glover, R. E., Report on Methods of Removing Excess Heat from the Mass Concrete in the (Hoover) Dam (unpublished); Bur. of Recl. Tech. Memo, 184, Dec. 1, 1930.

一个新的方法^①。在1931年夏季，奥娃西堪作实验以校核使用冷却水管的数学原理，这方法是悬务局工程师发明的。管径为1呎，埋设间距为4呎8吋，布置在垂直截面约为28呎×28呎、长为120呎的区域内，管路放在厚度为4呎的浇筑层表面上。

在测验截面内，到处都安设了电阻温度计，用以在试验时测量一根管子周围的温度变化以及温度的分佈情况，同时，也测定混凝土内部在试验前及试验后的温度情况。在截面的中央部分，当河水通过水管循环了18天以后，其温度就从118.0°降到80.2°F。根据以前的计算数据可知，在整个范围内温度的误差不超过1.7°，且在较大范围内其误差可在1.0°以内。这项研究的成果，显示了工程师以数学计算来预告埋设水管系统的成效能力。

第3节 报告的范围 本报告的内容综合了与坝体混凝土人工冷却有关方面的理论性的探讨和实际设计的研究成果。第二章到第四章提供了理想化的热流问题的解，并列举实例以说明理论在实际上的应用。其余各章叙述了混凝土坝冷却的各种方法以及影响到冷却系统设计操作的各因素；在胡佛坝中实际采用冷却方法的历史；以及到1947年为止胡佛坝所取得的经验和结果的总结。

第4节 理论的基础 因估算混凝土所可达到的最大温度而需用的估算浇注块面上散发热量的消失的公式，以及估算混凝土在天然条件下冷却所需时间的公式，都是从应用热传导的数学原理的方法得来的。这些并不是什么新的方法，远在一世纪以前数学家就已经知道，但是像现在这样把它应用到实际当中去却是以前所没有的，所以把这项工作又重新加以详细地介绍。对于估算季节温度变化和在埋设管路内用冷水循环的冷却速度的公式，也都同样地加以介绍。

原来已推导和使用的关于热传导方程式的数学处理，在本书中已按照经验所指出的那种合适的情况加以引伸和重编。这些重编上的变动，只是为了便于使用资料，因为从各种不同公式所得的结果，已经

① 当1931年时，阿塞尔堪坝体一部分是用相对地很大的直径主管中循环水冷却的，可参见“Ariel Dam, an Example of Modern Dam-Construction Practice,” Eng. News-Rec., March 12, 1931, p. 425.

和在所有可作比較的情況下所得到的實際經驗的結果是一致的。

各章中所提供的公式都應用到實際的問題上，因此這些公式的使用方法就更清楚。然而讀者將會找到不只一個計算例題，因為每一個應用，都是用來說明在技術上的一些重要觀點，以得出新的數據，或者求得一個實驗室觀測與現場成果的相关關係的。因此，這些例題有着双重作用。

第5节 冷却公式的性質 关于研究天然冷却及人工冷却的数学基础，将分別在下面的五章里來認。这里，將看到每种分析代表着一種孤立的因素或效果。因之研究者很難找到一個能符合該問題提出的全部要求的特別解，因此，就必須將幾個基本解疊加起來，以便求得所需要的解。假如應用到問題中的基本微分方程式是綫性的，而假如此最終解能夠滿足微分方程式和已知初始條件及邊界條件，那麼這種方法就是允許的。由於在隨后的基本分析中的微分方程式都是綫性的，就可以把那些結果，像建築砌磚一樣地建造出一個能滿足一個特殊問題的已知條件的解。

在各章內尽可能地製備了各種圖表，以方便於基本成果的應用。一般說來數據是以無因次參變數來表示的，因此，可以使用於任何一種單位的系統。對於確定平板、球體、圓柱體及空心柱體的平均溫度，已經製備了圖表，在圖中採用了四個特殊橫座標，以使表示各變量間關係的結果曲綫是一直綫，綫中包括了解的極限點在內。

第6节 符号 本報告所用的符号是用英制表示的：呎、磅、小時、華氏度數及 B.t.u.。雖然如此，所推導的公式對於任何一種單位系統都是適用的。在報告中的所有公式里：

α —冷却管直徑(呎)，

A —常數，

A' —系數(見方程式43)，

A_m —任定常數，

A_n —任定常數，

A_{nm} —任定常數，

A_T —溫度變幅($^{\circ}\text{F}$)，

A_w —任意常数,

b —寬度(見第三章)(呎),

b —圓柱半徑(見第六章)(呎),

B —一常数,

B' ——系数(見方程式43),

C_1 ——常数(見第六章),

c —單位質量混凝土的比热(B.t.u./磅-°F),

c_w —單位質量水的比热(B.t.u./磅-°F),

C' ——系数(見方程式43),

d —寬度(呎),

D ——球体直徑(見第三章)(呎),

D ——澆层厚度(見第五章)(呎),

D —圓柱体直徑(見第三章)(呎),

D' ——系数(見方程式43),

E_1 —混凝土楊氏彈性系数(磅/呎²),

E —表面放射常数(B.t.u./呎²-时-°F),

$$G = \int_0^t R \left[(t-\lambda) \frac{h^2}{D^2} \right] \frac{\partial V}{\partial \lambda} d\lambda \text{ (見方程式129),}$$

$h^2 = \frac{K}{c\rho}$, 传导材料的扩散常数(呎²/时),

H —單位面积总热量(見第二章)(B.t.u./呎²),

H_0 —从无限空心圆柱体的单位长圆柱体, 单位時間內通过的热流(見方程式111)(B.t.u./呎-时),

H_L —从有限空心圆柱体的单位长圆柱体, 在单位時間內通过的热流(見方程式116)(B.t.u./呎-时),

H_T —从有限空心圆柱体单位時間內通过的总热流(見方程式117)(B.t.u./时),

$$I = \int_0^t \frac{e^{-\frac{D^2}{4h^2t}}}{\sqrt{\frac{4h^2}{t}}} dt \text{ (見方程式77),}$$

$J_0(x)$ —第一类零阶貝塞尔函数,

$$k = \frac{a}{b},$$

K —材料的导热系数(B.t.u./呎-时-°F),

l —长度(呎),

L —板厚(見第三章)(呎),

L —圆柱体或冷却管的长度(見第六章)(呎),

$$L_c^2 = \frac{L^2}{h\gamma} \text{—无因次量,}$$

m —整数(見第三章),

m —常数(見第五章)(1/小时),

n —整数,

$P(x)$ —变量 x 的机率积分,

q —单位表面积散失的热量(B.t.u./呎²),

q_w —在冷却管内单位时间通过的水流(磅/时),

q_1, q_2, q_3 —浇层的各种散失热量(B.t.u./呎²),

Q —瞬时热源的热量单位中强度(°F·呎),

r —球体中至任一点的半径(見第三章)(呎),

r —圆柱体中至任一点的半径(見第六章)(呎),

R —阳光辐射(見第二章)(B.t.u./呎²-时),

R —球体半径(見第三章)(呎),

R —单位长度圆柱体单位时间内通过热流与 $K\theta_0$ 的比(見第六章),

R_m —平均温度范围(見方程式17)(°F),

R_0 —当 $\frac{h^2 t}{D^2} = 0$ 时的 R 值(見第六章),

R_T —最大温度范围(°F),

t —时间(一变数)(小时),

$$t_c = \frac{h^2 t}{L^2} \text{—无因次时间变数,}$$

t_0 —时间常数, 是对于平板的热流问题, 介于平均和零时之间的温度变化的时间相差校正数(小时),

T_m —波状温度变化的最大变幅(°F),

u ——变数, 是 r 的函数(見方程式58),

u ——变数, 是 αr 的函数(見方程式85及88),

u_1, u_2 ——零阶貝塞尔函数的自变綫性解,

u_0 ——零阶貝塞尔函数(見方程式96),

v ——变数,

w ——整数,

x, y ——坐标(变数),

$Y_0(x)$ ——第二类零阶貝塞尔函数,

X ——无因次比值(見第六章定义),

Y ——无因次比值(見第六章定义),

Z ——无因次比值(見第六章定义),

α ——常数(1/呎),

β ——积分变数,

$\gamma = \frac{2\pi}{\omega}$ ——溫度变化循环週期(小时),

γ ——尤拉氏常数(見第六章),

δ ——混凝土平均溫度較变化外溫延迟的全部溫度变化週期的分数值,

ξ ——积分变数,

$\eta = \frac{q_s}{c\rho D J_0}$ ——无因次比值(見方程式84),

θ ——溫度($^{\circ}\text{F}$),

θ_a ——气温($^{\circ}\text{F}$),

θ_m ——平均溫度($^{\circ}\text{F}$),

θ_0 ——初始溫度($^{\circ}\text{F}$),

θ_w ——在已知時間內, 距离冷却管进口一已知距离处的冷却水溫度($^{\circ}\text{F}$),

λ ——一个時間变数(小时),

μ ——混凝土波桑比,

ν ——混凝土热膨胀有效系数($1/^{\circ}\text{F}$),

$$\xi = \frac{KL}{c_w \rho_w \tau_w} \text{--- 无因次比值,}$$

ρ —传导材料的密度(磅/呎³),

ρ_w —水的密度(磅/呎³),

σ —应力(磅/呎²),

τ —温度升高(°F),

τ_0 —混凝土试样在绝热状态下, 由于水泥凝固散发热量而引起的极限温度升高(°F),

$\phi(t)$ —时间的任意函数(°F),

$\psi(t)$ —时间的任意函数(°F), 及

ω —单位时间的圆週频率(以弧度计, 1/小时)。

第7节 几个定义 在这个报告中所用的名词一般是不易混淆的。但某些名词可能造成使用上的困难, 所以在本节里将其定义肯定下来。

质量单位和力的单位 在工程上, 经常以“磅”作为质量单位及力的单位。这里所叙述的冷却公式是以“磅”来表示质量单位的。这样使用就是简单地把它解释为确定一定量物质的一基本单位。

在冷却工厂操作一章的某些部份里, 是以磅/吋²来表示压力。自然, 在这样的例题中, 可以采用力——磅作单位的。在任何地方使用这个词时, 上下文中都要表示出所拟采用的单位。

辐射 本报告里“辐射”这个名词, 是以一般解释来说明, 当交换作用在物体被表面所包围的外部发生时, 从表面传入或传出热量的现象。如此, “日光辐射”这个名词即表示阳光照射在一表面上, 其热量为表面所吸收; 至于在冷却公式中的名词“辐射”, 则表示表面与其周围之间存在着温度差而引起的热交换作用。这样的一种热交换可以说是包括辐射, 经过空气的传热作用和对流, 这也就是物理学家所谓的热交换机械作用。由于混凝土中温度变动范围较小, 不必要将热交换作用分解成上述的各个部分, 而且, 由于风对放射因素的巨大影响, 也更会使这样的分解尝试不会有结果。需要说明的一点是从表面向周围散发的热, 是假定与其间的温度差成比例的。

第8节 物理常数数值 为了讀者方便起见，现将分析问题时所常用的各种物理常数和换算因子，列入第1表。

第1表 物理常数和换算因子

$1^{\circ}\text{C}=1.8^{\circ}\text{F}$,
1 B.t.u.=252.0 克, 卡,
1 磅=453.6 克,
1 呎水头=0.433 磅/吋 ² ,
1 磅/吋 ² =2.308 呎水头,
1 磅/呎 ³ =0.01602 克/立方公分,
1 立方呎水=7.481 加仑,
1 加仑水=0.1337 呎 ³ ,
1 呎 ³ 水/秒=148.8 加仑/分置,
1 加仑水/分置= 2.228×10^{-3} 呎 ³ /秒,
1 加仑水/分置=500.2 磅/小时,
1 吨冷冻容量=12,000 B.t.u./小时,
冰溶解热=143.5 B.t.u./磅,
冰溶解热=79.7 卡/克,
1 年=8,760 小时,
1 月=730 小时,
1 週=168 小时,
$[1 \text{ B.t.u./呎} \cdot \text{小时} \cdot ^{\circ}\text{F}] = [4.134 \times 10^{-3} \text{ 卡/公分} \cdot \text{秒} \cdot ^{\circ}\text{C}]$,
$[1 \text{ 卡/公分} \cdot \text{秒} \cdot ^{\circ}\text{C}] = [241.91 \text{ B.t.u./呎} \cdot \text{小时} \cdot ^{\circ}\text{F}]$,
1 呎 ² /小时=0.2581 公分 ² /秒,
1 公分 ² /秒=3.875 呎 ² /小时,
1 B.t.u./磅, $^{\circ}\text{F}=1.0$ 卡/克, $^{\circ}\text{C}$,
1 磅/小时=0.12 克/秒,
$\log_e N = 2.303 \log_{10} N$,
水密度=2.4 磅/呎 ³ .

第9节 各个坝采用的混凝土热学性质 在各个由垦务局及其他部門筑造的水坝中所用的混凝土热学性质表，如下列第2表所示。

第10节 人事 关于说明冷却方法的第一篇报告^④，是由俾替、握客和葛樓佛三人执笔，並在斯替立指导下完成的。这篇报告包括了冷

④見第2节註1。

第2表 各場中所用的混養土熱學性質

電	導熱係數 K			比 C		熱 (飽和) ρ 磅/呎 ³	擴散常數 $h^2 = \frac{K}{C\rho}$		
	B.t.u./呎·小時·°F			B.t.u./磅·°F			呎 ² /時		
	50°F.	70°F.	90°F.	50°F.	70°F.	90°F.	50°F.	70°F.	90°F.
西明諾 (Seminole)	1.994	1.972	1.951	0.214	0.213	0.222	0.0628	0.0593	0.0597
諾爾斯 (Norris)	2.120	2.105	2.087	0.234	0.239	0.247	0.0531	0.0548	0.0520
惠爾 (Wheeler)	1.815	1.800	1.785	0.223	0.229	0.236	0.0550	0.0540	0.0520
胡佛 (Hoover)	1.699	1.688	1.677	0.212	0.216	0.221	0.0514	0.0521	0.0486
吉森 (Gibson)	1.676	1.667	1.657	0.218	0.222	0.227	0.0495	0.0484	0.0435
海娃西 (Hewessee)	1.505	1.491	1.478	0.218	0.225	0.233	0.0414	0.0426	0.0408
奧西 (Oxyhee)	1.375	1.373	1.369	0.208	0.214	0.222	0.0435	0.0422	0.0415
波克 (Parker)	1.409	1.402	1.395	0.213	0.216	0.221	0.0427	0.0418	0.0405
歐舍爾冠西 (O'shughnessy)	1.316	1.338	1.351	0.217	0.218	0.223	0.0397	0.0402	0.0397
福特 (Friant) (全部波得蘭泥)	1.312	1.312	1.312	0.214	0.214	0.217	0.0320	0.0329	0.0343
福特 (Friant) (22%浮石)	1.229	1.232	1.231	0.216	0.221	0.227	0.0379	0.0382	0.0351
毛瑞斯 (Morris)	1.211	1.204	1.203	0.214	0.216	0.222	0.0342	0.0351	0.0371
巴梯立梯 (B. rillet)	1.293	1.291	1.289	0.216	0.222	0.230	0.0384	0.0371	0.0359
七個毛個 (Chickamunga)	1.287	1.277	1.263	0.225	0.229	0.233	0.0335	0.0337	0.0317
大古李 (Gr and Coulee)	1.075	1.077	1.079	0.219	0.222	0.227	0.0311	0.0307	0.0300
阿里爾 (Ariel)	0.842	0.884	0.915	0.228	0.235	0.244	0.0252	0.0257	0.0251
布爾嫩 (Bull Run)	0.835	0.847	0.860	0.215	0.225	0.231	0.0244	0.0237	0.0231

却填体的几种计划方法的估价。在准备这篇报告时，估价是由俾替和提客两位先生担任，至于对冷却系统实践的估计和在天然条件下冷却速度的计算公式和图表，是由葛樓佛先生供給的。其中后者的数字計算工作是由波令潤和福瑞第、莽梯哥灭瑞帮助进行的。

这一报告的原文是經顧問工程师久軟得和卡斯它芬单独校閱的。久軟得博士所作的結論是：埋管的方法是保証填体在建造过程中，达到所要求的热控制的最經濟和最有效的方法。卡斯它芬博士校閱了数学計算部分，並推导出独立校核的近似公式，同时又貢獻了計算冷却管周圍發生的溫度應力的公式。关于冷却工厂实践方面的詳細研究是由俾替、葛樓佛和代維斯在斯替立的指导下进行的。

早先的研究工作，是根据分析吉布森具的資料所取得的混凝土热学性質来进行的。这个工作是由胡克指导，並根据斯替立、葛樓佛、和莽梯哥灭瑞三位先生在邓佛所完成的实验資料进行的。奥娃西具的冷却試驗是在施工工程师仲克的指导下完成的。

在以后的研究工作中，更多地得到了較精确的实验室的研究成果的裨益，这些資料在报告的第Ⅶ部份，第Ⅰ分册，“混凝土的热学性質”中有所叙述。葛樓佛、克策潤斯、拉好司和福瑞第、莽梯哥灭瑞对于用一根长的埋設水管，通以冷却流体的冷却措施，采用一种更精确的方法来計算，並制成更大量的图表。在本报告里，一組完全新的主要图表的数据是由金司登先生計算的。

胡佛具的冷却操作是在施工工程师楊的監督下实行的。檢查工作是由斯納德和乔治戴列登完成的。此处所罗列的工作，曾得到薩凡奇的指导和教益，薩氏在胡佛具的設計工作完成时，是愚务局的設計总工程师。冷气工厂的供应和运轉是由六家承包大具施工的公司担任的。

本报告是在邓佛事务所的工程技术分析組的葛樓佛指导下編制的，同时表现出組中許多工作人員的努力合作的結果。瑞因維列和斯維因致力于数学工作，並有卜罗支曼帮助繪制了一些图表。第二章到第六章的主要部分是由斯維因作最后定稿。其余部分是由爱地文罗斯及李歐克瑞司尔編制的。溫度和阳光热的資料是由瑞查森及好罗維茲准