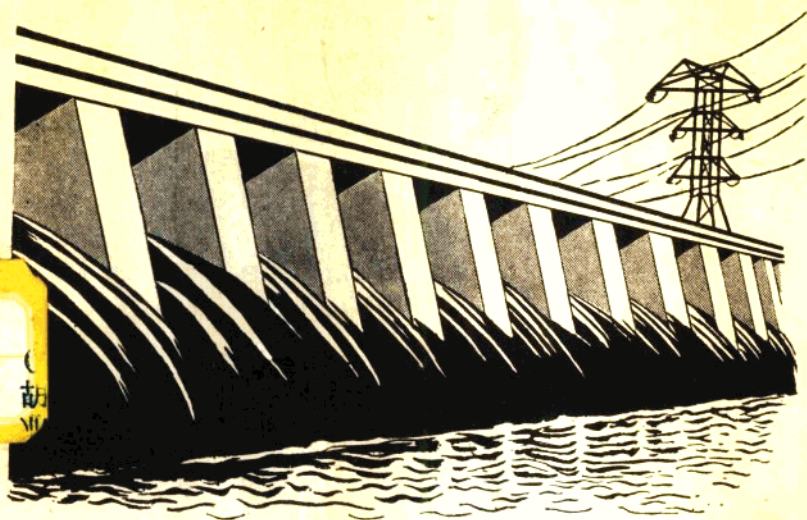


170049

基本宮藏

国外水电技术

第 1 輯



62

胡
VI

編 者 的 話

我国电力工業的長期建設方針，中央已經确定以發展水电为主，火电为輔。因此，在第二个五年計劃及今后的国民經济發展計劃中，水电建設的規模和速度都將有更大的躍進。許多規模巨大、技术复杂、对国民經济具有重大意义的工程项目均將相繼开工。这对于全体从事水电建設的工作人員來說是一个極其光荣而又極其艰巨的任务。

为了帮助从事水电建設的技术人員能够及时地吸取国外的技术經驗，不断地提高技术業務水平来更多、更快、更好、更省地完成水电建設任务，水力發電編輯委员会决定編印这个叢書性質的“国外水电技术”，有系統地介紹世界各国水电工程在設計、施工和运行等方面的技术經驗，以及各国的水电建設的重要方針。

“国外水电技术”的材料取自各国有关水电、水利和土木等方面的杂志和書刊，以及世界动力會議和大坝會議等有关文件，計劃每隔两个月出一輯，每一輯有1—3个不同的主题。这样可能有利于讀者較系統的研究某一个專題。

我們誠懇地希望从事水电工作的同志給我們以大力的支持，多多譯稿或多方面的介紹材料，并及时的提出批評和建議，以使“国外水电技术”能在我国水电建設事業中起到一定的作用。

目 录

譯自“第四次大堤會議論文集”

編者的話

1. 水泥对大堤裂縫的影响……………胡傑安譯(1)
2. 魯傑斯奈-司朱麦混凝土堤的温度, 应变与裂縫…高士彬譯(20)
3. 在大堤中由于內应力發生的裂縫……………高 济譯(36)
4. 高水头洩水道滑动門、滚动門及弧形門的
水力設計……………夏念凌譯(43)
5. 美国垦务局所設計的溢洪道和洩水道的閘門—
閘和控制設備的型式……………傅南山譯(63)
6. 水庫出水口的进口形式研究……………吳仁鏡譯(82)
7. 圓頂堰、虹吸管及漏斗狀豎井
溢洪道……………陈益焜 迟玉珊合譯(92)
8. 关于法国溢洪道問題的綜述……………郭可詮摘譯(116)
9. 关于餓馬堤选用直井式溢洪道的几个因素……………顧文学譯(132)
10. 施工期中河流的导流和圍堰問題……………高 济 高荅園合譯(140)

水泥对大坝裂缝的影响

C. M. Roberts 著 胡德安译

前 言

现代有关高坝大体积混凝土建筑的研究明确地表明，假如养护困难是可以避免的话，那么一种不透水、无裂缝而又耐用的混凝土是最迫切需要的了。

本文将参照以前大坝会议有关论文来讨论水泥用量与品种的变化对混凝土性质的影响的问题，特别是防渗性及防止裂缝的性能。本文主要取材于下列各坝的实际情况：苏格兰的黑水坝（Blackwater），热根坝（Laggan），木那朵奇坝（Mullardoch），本里畏恩坝（Benenean），渠岛的救主坝（Saviour），华尔兹的洁留坝（Clairwen）等，以及对这些坝所进行的观察。

低含灰量混凝土的制成，并加以改良使其适合坝址和施工进度各个要求，乃是避免温度裂缝的一个重要因素。

现在英国某些大坝中采用改良的或粗磨的普通波特兰水泥，以减少裂缝危险，而和浇筑方法和气候条件连系来看，使用的结果是相当满意的。此外照英国新标准所制造的真正低热水泥，现已产生了。为了利用它便于混凝土快速浇筑的优点，此种水泥已在建筑中的木那朵奇、本里畏恩和洁留各坝中使用。低热水泥的特性与普通波特兰水泥及他种水泥的比较见“大体积混凝土的水泥”一节中。

另一节则讨论英国某些混凝土坝中所见的裂缝形成，并给出它们的温度及收缩过程的有关资料。此外还比较了一些特殊实例中所采用的水泥量和水泥种类，作为引起裂缝的可能解释。

影响防渗性和裂缝的因素

当混凝土冷却后的表面受到仍在升温状态下膨胀的中间部分的应变时，便引起表面裂缝。继续冷却将在中间部分和表面引起不同的收

縮，水泥用量較多的表層混凝土因受約束作用，有使收縮縫面形成凹陷面的趨勢，并使表面裂縫更深入於中間部分。

如本文所述，減低溫度應力可使上述的不良情況得到一定程度的改進，至於對基岩附近澆筑的混凝土中的約束作用，可採用較薄的混凝土澆筑層以使之減小。曾經企圖採用硫酸鹽水泥以控制硬化期的收縮，但仍在試驗期間，而且如控制不當，仍會影響其耐久性。

對於混凝土在硬化過程中的實際情況，雖然還有許多問題等待研究，但已有一定程度的了解。經過澆筑後的初期升溫，由於基礎及冷卻表面或端點面約束影響，使中間部分的混凝土處於受壓狀態，因而在中間部分發生塑流而減低應力。在一定期限以後，混凝土因處於受束狀態，常冷卻得引起內部張力。於是塑流便在相反的方向發生，但因內部混凝土已相當硬結，此項作用非常慢緩。結果使塑性流動逐漸落後於因冷卻而發生的收縮應變，終於達到發生內部裂縫的境地。

雖然本文主要在討論水泥的用量和種類對於防滲性和抗裂性的影響，但應認識到在研究此類問題中，這只是影響因素的一部分而已。下面列出一些重要而有利的影響因素：

1. 低的水泥用量，以減少發熱量和溫度裂縫危險。
2. 採用高強度的細磨低熱水泥，以便製成富有伸展性及耐久性的混凝土。
3. 尽可能採用堅固不被浸蝕的骨料，須傳導性能好而熱膨脹係數低，以便製成不易發裂的耐久混凝土。
4. 低的水灰比，以獲得最大強度。
5. 密實搗固，以獲得最大的密度和防滲性。
6. 溫度控制，限制混凝土的初期溫度，並儘快散去多余的热量，以減少溫度裂縫。
7. 嚴格養護，尤其在開始的幾日內，以獲得最大的防滲性。
8. 加荷載要慢，以便使應力由於蠕動而得到重行分佈的最大可能。對於外加的及內在的荷載均如此，後者是因容積變化而產生的。

水泥用量

用量变化的影响：在一定的和易性下，减少水泥用量便需用较高的水灰比，但事实证明，高的水灰比将使水泥发热量大于比在较干的低水灰比所拌和的。然而这一影响是比较微小，并且和使用少量水泥所降低的发热量比较起来，可以忽略不计。

德国 1931 年完成的卜来若奇坝为使用多量水泥而引起温度裂缝的一个明显实例，部分坝体每立方码混凝土的水泥用量约 600 磅，收缩坝缝的中距为 82 呎，在使用此种混凝土的坝段完全开裂，裂缝间距约为 40 呎。

无疑的，水泥用量较高的混凝土对酸类和硫酸盐的侵蚀具有比贫混凝土为大的抗蚀性，同时也有较好的防渗性；由于这些原因，所以常用作坝及其他建筑物的护面，在此情况下厚度较小，便于混凝土仍在塑性状态下迅速散热。将来的大体积混凝土所用的水泥，比现在的更能抵抗酸类和硫酸盐的侵蚀。具有此种性能的水泥现已在美国应用。

水泥用量较低的优点：只要有足够的安全系数，便不应采用增加水泥用量的方法，以使混凝土强度超过设计中的规定数值，因为由此发生的额外热量将会促进原已存在的开裂趋势。况且混凝土经由蠕动而减低应力集中的性能，随着龄期而减退，使得混凝土不断地增加发生裂缝的可能。所以水泥用量的降低，以及塑性的慢慢减退，都具有有利的影响，在以后的年代中更为重要。

又因混凝土在硬化期间发出的热量与水泥用量成比例，所以使用最小量的水泥，可以减少温度裂缝。减少水泥用量并不减低其防渗性，因为在不少实例中证明：质量良好养护适宜的贫混凝土只要捣固得很密实，仍然具有优良的防渗性。

假设运用情况中并不要求混凝土具有异常高的耐久性，则水泥用量将决定于强度的要求，对于贫混凝土的强度可采用低的水灰比和新式的捣实方法来大大地提高。

贫混凝土的抗冻性在初期较低，因为发生的热量不足以使其内部

温度达到增进强度所需要的标准，在严寒时对骨料和用水预先加热，妥善地防冷和养护，直到得到适当强度为止，这样便可不必增加水泥用量，或不必用部分高热水泥代替，而且还可以避免混凝土被上层盖复后所发生的过多热量。这些方法比使用氯化钙或其类似的速凝剂更适用，因为速凝剂对混凝土的耐久性有不良影响。

最少水泥用量的获得：

(1)适当的骨料：骨料应加控制，以便获得良好的和易性，从而得到彻底的捣实，骨料还应有足够的强度以便能充分利用水泥砂浆的强度。此外，骨料无论是圆形或方形，都应坚韧，以免在拌和中破碎而增加表面面积，这将会从混凝土中吸取最小分量的水分。粉末及云母片一类的碎块吸取水分较多，更为有害。

(2)级配的控制：对所进行的混凝土工程应选择实用上最大的骨料，因为这可减少混凝土中的砂子用量，同时包裹颗粒表面所需的水泥量也就比使用较小骨料的混凝土中为少，而这种较贫混凝土强度仍可保持不变。粗骨料照不同大小分开贮存，尤其最大的为10吋骨料时，将简化成分比例的重行组合工作，并可使混凝土接近于理想的级配。

密度及和易性对于含有细料和中级粒料的混凝土配级上，存在着相反的要求，前者要求此类粒料少，而后者则要求较多。所以应该选择配级以获得最优的密度。假如设计适当，它同时具有恰好的和易性。具有足够和易性的曲线比根据最小孔隙极大密度理论所设计的曲线更为合用，因后者在一般捣固情况下，常给出过分粗糙的结果，只有水泥用量增加得相当多时才适用。

在最优的级配情况下，贫混凝土的细料需要得比富混凝土的较多；后者的水泥用量用在增加其和易性，因为过量水泥所引起的收缩比增加细骨料所引起的为大，所以就干燥时的收缩而言，最低水泥用量的混凝土该是最好的。

(3)增进和易性和减少水泥用量：近年来采用不同的施工方法，以减少混凝土中水泥用量；其方法或是对设计进行一些可能的改进，或者在已知条件下提高其和易性和强度。

在大体积混凝土工程中目前广泛地应用震动器，因此可用較低的水泥用量和低的水灰比，只須在澆筑混凝土时临时使湿。震动混凝土所發生的漏漿趋势，可采用細磨的水泥以減少之。

加气剂 and 水泥分散剂能使水泥用量在較低时具有良好的和易性和耐久性，并且不像在水泥中加入火山灰材料那样需要額外的水分。水泥分散剂并不因級配的变更而影响其效用，而加气剂則在級配控制不完善时会發生气泡过多的情况，气泡过多时，澆成的混凝土在强度上和抗抵磨蚀性上都比沒有加入任何掺剂时为小。

此外还利用防滲面層和膠質混凝土以減少裂縫，因为这都能使重力填內水泥用量減少。前者为防水薄層，在其下游面設排水，并用大体积的貧混凝土支承着。因而層很薄，不会發生温度裂縫，而排水設備又可防止滲入的水分侵蝕后面的混凝土。用作支承面層的是貧混凝土，可以节省水泥。

膠質混凝土为压实的干骨料就地以灰漿填灌，它只要貧混凝土水泥用量的三分之二，但根据著者經驗，其强度比通常的混凝土为低。初期的水化热將使已經压实的骨料受到压应力，此为本法的主要优点之一；以后冷却时在拉力裂縫發生以前，必須先行抵消此項压应力，而照通常所用的先行拌和而后澆注的方法，在未澆注前混凝土拌合物的塑性却能防止此項压应力的产生。

大体积混凝土的水泥

理想的水泥：适用于大体积混凝土的一种理想水泥，應該是在任何發热情况下，都具有很大强度，而且磨得很細，以使制成的混凝土容易拌和，不滲水，又不漏漿。此外它还能产生較高的抗拉强度和塑性，以及对風化，酸类和硫酸鹽具有較高的防蚀性。

如采用人工冷却或較長的澆筑循环，則在間歇期間，水泥將發散出总热量之最大可能的部分，而不使温度升高。此項措施將使在二三日自澆筑層的表面迅速發散热量；假如采用人工冷却，便將縮短冷却过程所須持續的时间，总热量中經減少后的剩余部分，在以后發散較慢，延續时期較長，混凝土向空气中發散这剩余热量，不会引起温

度的显著上升，也不会引起裂縫。

在另一情況下假如不使用人工冷却設備，而輪流澆注的間歇期限又減為 3 至 4 日，則在此期間內，天然的冷却只能發散過多熱量的一部分，那么就必須使發散的熱量相當的低，而且能延續一個較長時期，以便在長時間的冷却期中，整個的填體能以發散所必須散出的熱量，而不使溫度有過分的升高。

實用的水泥：對於大體積混凝土工程，有多種水泥可供選擇，它們在發熱量，強度增進率，抗裂性和防止化學作用侵蝕性種種方面，具有各不相同的性能。

(1)普通波特蘭水泥使用得最為普遍，就強度增長和適應嚴寒氣候條件而言，效用都很滿意，但沒有化學防蝕性。由於此種水泥原有的抗裂性能就比較低，在初期大量發熱下，常使所澆制的建築物發生大量的裂縫，如粗磨水泥，在 170 號英國標準篩上的余存量大於 7% 時，則因熱量發散率減緩，在一定程度上有減輕開裂的傾向。但欲避免裂縫的發生，尚須進行深入的控制研究。

(2)低熱波特蘭水泥是照英國標準(1370—1947)制造的，它是改良的波特蘭水泥，具有較低的初期發熱率和較高的抗裂性，但初期強度增長則被減低。它比普通波特蘭水泥磨得更細，對化學抗蝕性也同樣薄弱。所有的低熱水泥規範都限制各齡期間發熱的限度，各個國家對這些限度的規定都大致相同。

(3)抗硫酸鹽水泥也是普通波特蘭水泥改良而成的，在美國創制，用以增加混凝土對於硫酸鹽侵蝕的耐久性。就抗裂性和發熱量而言，它沒有低熱水泥所具有的優點。

(4)過硫酸鹽水泥(Supersulphated)是一種比較新型的礆礆水泥，它具有非常低的發熱率，很高的化學抗蝕性，和優良的早期強度。現正對其長期干燥的收縮情形和抗裂性進行研究，假如這些性能都能令人滿意的話，這將是大體積混凝土工程中的一種理想水泥。

(5)波特蘭礆礆水泥的性能，介於普通波特蘭水泥和過硫質水泥之間，但在應用上缺乏低熱水泥的優點。

(6)火山灰水泥是磨研極細的波特蘭水泥和火山灰材料的混合

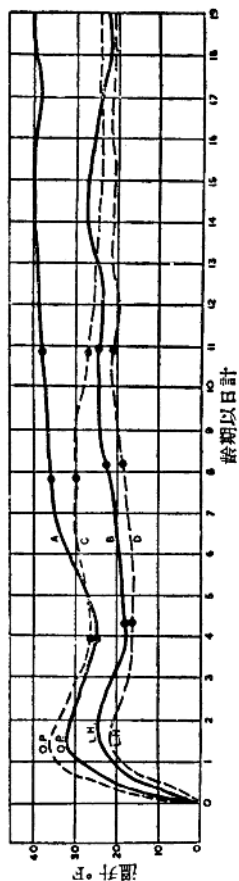
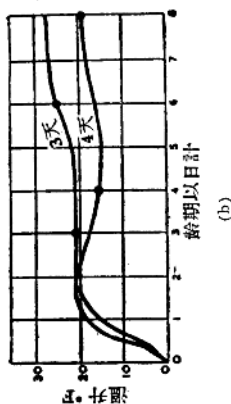
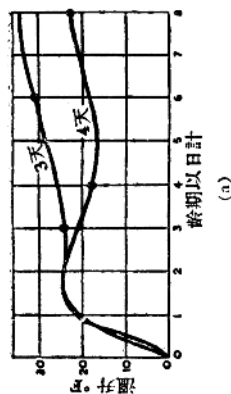


圖 1

- (a) 一輪流澆筑週期對中間部分中心的溫度影響;
 (b) 一輪流澆筑週期對中間部分邊緣的溫度影響;
 (c) 一升溫標準曲線: 曲線 A 普通水泥混凝土, 溫度計設在中間部分的中心;
 曲線 B 低熱水泥混凝土, 溫度計設在中間部分的中心;
 曲線 C 普通水泥混凝土, 溫度計設在中間部分的邊緣;
 曲線 D 低熱水泥混凝土, 溫度計設在中間部分的邊緣。

物，混合比例約為 4:1 至 1.5:1。它的發熱率和強度增長都比純波特蘭水泥來得低，但對化學抗蝕性卻很高，抗裂性也和低熱水泥相近。至於強度的增長則因與溫度有密切關係，可能在寒冷氣候下受到嚴重的阻礙。

像美國及其他國家所用的加氣劑，在大體積混凝土工程中，可使用普通水泥而略微降低其發熱量，這是因減少水泥用量而導致的結果。

熱量發散：當中間部分的混凝土每立方碼的水泥用量為 375 磅時，如骨料具有普通的導熱性，並使它自然冷卻，則低熱水泥將使初期溫度比澆製溫度上升 20° 至 25°F 。在同樣條件下普通波特蘭水泥將使溫度增加 10° 至 15°F ，見圖 1(c)；如水泥用量增加，相差的溫度愈大。增加磨細的程度，對於防滲性和初期強度都有有利的影響，但是由於加速了水泥成分間的相互作用，致使發熱率略有增大。

工作上的配合：近來的研究表明，和易性及水灰比對於熱量發散有微小的影響，較干的或水灰比小的混凝土的發散熱量較小。但在實際工作中，此項影響可以忽略不計。

(1)澆筑溫度：在初期內混凝土的發熱率隨澆筑溫度而穩定地增長，但在七天以上的齡期時，這一影響便告終止，此後混凝土溫度超出澆筑溫度的數值便只隨齡期而變化，和暴露情況，澆筑時的條件就再無關係。採用骨料或水的預冷法來降低澆筑溫度，將會直接減低混凝土的溫度高峯，但減低的數量相當於它們在七天齡期後的溫度。

(2)澆筑週期：輪流澆筑週期上的變動，對於升溫有很大的影響，因為混凝土的每一澆筑層對於下層而言，實具有隔熱層的作用。在輪流澆筑中過早的澆筑這具有隔熱作用的一層，將使大量的熱量潛伏於混凝土之內。此熱量只有用人工冷卻設備或延長自然冷卻的時間，才能發散。所以在建築物完成時，中間部分的混凝土處於相當高的溫度狀態下，經過後來的冷卻很可能發生裂縫。同時，輪流澆筑範圍太寬時，因為混凝土約在 10 天後便失去其主要的塑性，以及因它對於澆筑在上面的一層發生約束影響，也會增加發裂的危險。

輪流澆筑週期以 8 至 10 天為最好，既許可熱量極大地散失，又可使約束影響為極小，在此情況下層高為 4 或 5 呎時，低熱水泥混凝土

土中間部分的溫度有充分時間使之降低到初期溫度高峯以下約 8° 至 10°F 。

圖 1(a)及圖 1(b)表示不同輪流澆筑週期對於低熱混凝土的升溫影響。圖 1(a)表示在中間部分中點處的情況，圖 1(b)表示靠近伸縮縫面邊緣處的情況。

每圖中的兩條曲綫表示對混凝土中相同位置上的觀測溫度，輪流澆筑週期分別為 3 天和 4 天。在每一圖中 3 天週期的混凝土塊在齡期為 3 日時，溫度都比 4 天週期的高出 3°F 。這一溫度似乎是因兩塊混凝土所用的水泥而引起，與它們的热量發散無關。某廠低熱水泥热量發散的变化示於圖 4。

所用的低熱水泥符合英國 1370—1947 的標準，水泥用量約為：每立方碼凝固後的混凝土用 375 磅，在齡期到達 8 日時，它的極大溫度差，在中間部分的中點為 12.5°F ，在靠近伸縮縫部分為 8.5°F 。對 3 日齡期的異常情況加以改正後，則上述溫度差分別為 9.5°F 及 5.5°F ，這些應認為是極小值。

(3)澆筑層高：層高並不影響到混凝土的最終發热量，但促使热量的迅速發散，能顯著地降低溫度高峯。層高非常小時，溫度的升高極為微小，因為热量一發生便可立即從表面上散失。假如採用習慣上常用的 5 呎層高，讓它露留於空氣中，則層高增加一倍，將使初期的溫度高峯增加約 30%。

(4)露面情況：在拆去模壳以後，對於露面的情況應有一定程度的控制，這將會因溫度和濕度的變化而影響到冷卻的快慢，而溫度的影響尤為重要。如若採用鋼模，則因鋼模沒有隔熱作用，拆模的影響可不考慮。

在上層澆筑以前應盡量設法使此層冷卻，在自然散熱能夠發生效益以前，便常常出現溫度高峯。在溫度高峯期間進行拆模和淋澆冷水養護，將使混凝土中的溫度坡降突然變化，以致造成裂縫。在溫度高峯以前用冷水澆護和拆模，將有利於及早冷卻，並能使溫度高峯降低在不拆除木模時所保持的以下。對於中等高度的填，中間部分的混凝土約在 1.5 至 2.5 日之間出現第一次溫度高峯；而低熱水泥混凝土一

般在 12 小時後便可拆模。木那朵奇填和本里畏恩填均採用自然冷卻，從它們的建築中發現，由於發熱率低，只要溫度大約在 40°F 以上，讓它獲得足以支撐模板的強度，則低熱水泥混凝土是可以採用較快的輪流澆築週期澆制的。

(5) 低熱水泥和普通波特蘭水泥的比較：照英國 1370—1947 的新標準，將粗磨普通波特蘭水泥混凝土和低溫水泥混凝土升溫的比較示如圖 1(c)。此兩種水泥是分別在熱根填和本里畏恩填的建造中所採用的，溫度的記錄均取自相似的位置上，一種情況表示中間部分的中點，另一情況則表示靠近填的伸縮縫表面的中點，此處會發生很快的冷卻。凝固後的混凝土每立方碼的水泥用量約為 375 磅，至於澆築層高度，和易性以及空氣溫度都很相似。兩種混凝土的澆築溫度相差不超過 5°F ，所以對最初升溫的影響可以忽略不計。至於輪流澆築週期都非常相似，其影響亦可不計。

由於兩座填在建築條件上有相似性，故而可以假定兩座填中觀測曲線間的差別是全因水泥品種不同而引起。

兩種水泥在中間部分中點上的最大溫度高峰相差 15°F (圖上未示出)，在邊界處為 14°F ，前者的極大溫度較高，此處溫度計均設在暴露面較遠。又在前者情況下第二次溫度高峰亦較高，這是因熱量散失較少所致。在靠近邊界處因混凝土迅速冷卻，最初的溫度高峰並不一定出現。

在中間部分中點上的第二次亦即最大的溫度高峰，用普通波特蘭水泥則發生在第 52 日，用低熱水泥則發生在 32 日。因為兩種情況下的熱量散失率是可以比較的，故而有理由假定低熱水泥較低的發熱率在初期是被自然冷卻所抵制。

在兩種位置下，均於溫度計安裝後的 4 至 5 日澆築低熱水泥混凝土的上層，在此期間的溫度降低約為 6°F ，此數值相當於上述理想澆築週期暴露 8 至 10 日後的 10°F 降溫。同時還可看出，在第一第二兩層澆築的 4 天前未發現降溫情形，而且以後澆築的各層對於溫度計埋設層的冷卻沒有影響。

低熱水泥 7 日齡期以後比普通波特蘭水泥發熱較多，但是到達一

年的齡期時，仍舊比後者約小每克 15 卡的热量。

抗變性較低的膨脹係數，較低的彈性模數和較高的塑性都能減少混凝土中的應變。膨脹係數主要地是視骨料而異，與水泥本身無關。

彈性模數在很大程度上與混凝土的塑性有關，因為蠕動作用能減少一部分應力，從而降低彈性模數的有效數值。塑性高的混凝土能自行適應應變而不受到損害影響，它們的延伸性很強，所謂延伸性是以使其破裂時發生彈性的和塑性的變形所需張力的總量表示之。

事實證明低熱水泥混凝土所具的延伸性比他種混凝土高出很多。此外，它們較低的發熱量又使混凝土中的初期壓應力較小，所以在後來塑性流動的反向逆轉，也因混凝土延伸性能夠適應而減少。

耐久的防滲的混凝土製造：水泥磨研得很細能增加其防滲性，但此一效用和水灰比養護及搗實的影響相比，則微不足道。低熱水泥比普通波特蘭水泥更容易泌水，但這一損失往往比細磨上的收獲要小。

現時低熱水泥混凝土對於抵抗含酸及含硫酸鹽水的侵蝕應該具有較好的抗蝕性，以作為基本性能之一。現在對此問題尚未研究成功。一般說來，此種混凝土的抗蝕耐久性在較早齡期或養護不當時，比其他種的為低。須在十二月以上的齡期時，它和別種混凝土在耐久性上的差別方才消失。

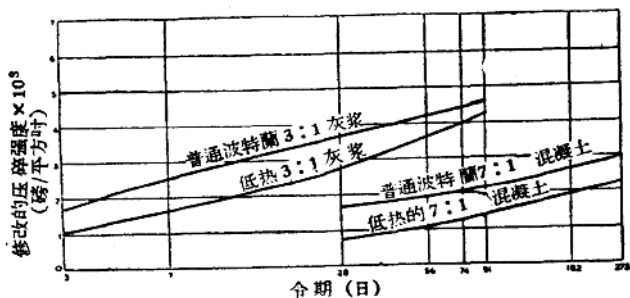
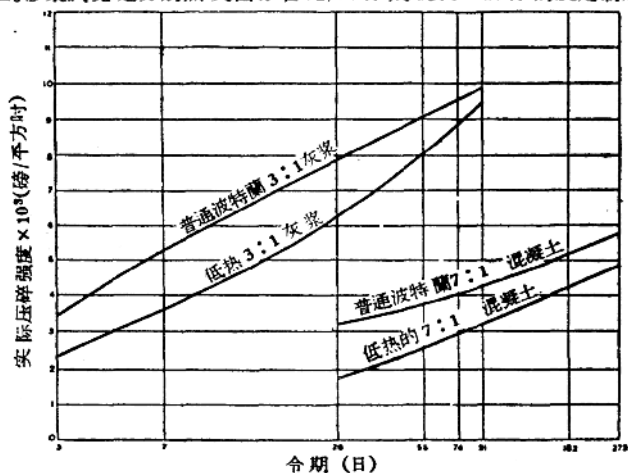
關於混凝土耐久性和抗裂性的另一要求為骨料和水泥須在化學作用上相容；此一問題最近方始明確。凡含多量鹼類氧化物水泥將和某些骨料發生化學作用，致使混凝土膨脹很多，終而引起裂縫。同樣的高鹼水泥用之于不起化學變化的骨料時，則能製成良好的混凝土。當骨料的成分弄不清楚時，使用含鹼低的水泥，火山灰水泥或在高鹼水泥中摻入火山灰材料，可以有效地防止由於化學成分或級配原因而引起的化學作用。

強度問題：

(1) 隨齡期而增加——在固定溫度下，以齡期描繪於對數紙上，所得水泥強度和齡期的關係近乎直綫形狀。觀測證明須在很長的時間此關係才成為曲綫形狀。

圖 2 (a) 為粗磨普通波特蘭水泥混凝土和低熱水泥混凝土對 6 吋

立方试样所得的实际抗压强度关系曲线。两种混凝土中的容积比均为 7:1, 凝固后的混凝土 每立方碼的水 泥用量为 375 磅。为了便于比较起見, 对用同样水泥做成的砂浆试塊所进行之压碎試驗的結果, 亦繪于圖上。砂浆试塊是分別照 英国标准 12/1947 及 1370—1947 的規定制成。



(b)

圖 2 砂浆及混凝土强度增加比較曲线

为使获得和其他水泥试块进行比较的共同基础，所有结果均照比值换算修正，此比值系以7日龄期的抗碎强度除以英国标准规定最小强度。低热水泥试块在7日龄期的平均实际强度为3700磅/平方吋，而在同样龄期英国标准规定为1600磅/平方吋。所以所有低热水泥试验的结果，包括砂浆和混凝土试块，均应除以3700/1600。

圖2(b)表示经过换算修正后的强度，所期望于水泥的结果甚为良好，和英国标准的规定很是符合。

试验中所用的低热水泥均为同一制造厂的出品。把另一厂的出品照英国标准1370—1947的规定进行试验时，则表示两种不同的低热水泥的实际抗碎强度和龄期关系曲线，互相平行，在7日龄期以后的强度常差约为900磅/平方吋。

修正后的强度关系曲线上也表示了在28日龄期后波特兰水泥和低热水泥的结果，由于后者发热率较大而成收缩形状；同时表明因水泥种类不同而发生的影响，以在7至28日的龄期间为最大。由于试验中不幸发生机械故障，未能获得混凝土7日龄期的强度，但这并不重要，因砂浆试块的曲线已给出足够资料。

随着龄期的增大，上面三条曲线的坡度也稍有增加，这说明试块在进向极限强度快慢上稍为减小。在非对数的通常比例图纸上绘得的结果，则表明在各种情况均约在2个月龄期以后迅速地接近一条水平线。

在90日龄期时，含灰量较多的低热水泥混凝土和普通波特兰水泥混凝土，在某些情况下，可能具有同一强度（例如圖2(a)及圖2(b)所示的砂浆曲线），但在此龄期时低热水泥混凝土常较低约600至700磅/平方吋。

7:1的混凝土试块系采用0.65的水灰比拌和，并在45°至60°F温度范围内养护，普通水泥混凝土和低热水泥混凝土的强度比值在28日龄期为2.12，在91日为1.53。另一组相同的试块使用0.55的水灰比，在相同龄期的比值则分别为1.47及1.33，由此得知水灰比对任何一种混凝土都很能影响其结果。然而对实用上而言，在三个月以后此项影响便微不足道。

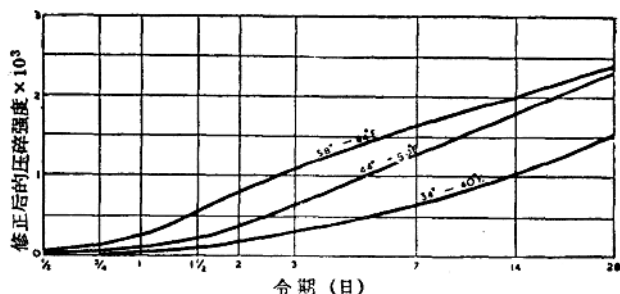


圖 3 3:1低热水泥砂浆试块干化期温度与强度关系曲线

(2) 随温度而增加——圖 3 表示三組相同的低热水泥砂浆试块在修正后的强度关系曲线，砂浆试块系照英国标准 1370—1947 的规定做成。其中一組是在标准温度范围 58° — 64°F 下养护，其他的则分别在较低温度 44° — 50°F 及 34° — 40°F 下养护。7 日龄期的砂浆试块强度与养护温度关系极大，一般地说低热水泥混凝土落后于普通水泥混凝土的强度，以在 7 日龄期为最大。当使用低热水泥时，对于暴露于空气中的任何浇筑层的表面，都应使养护的期限延长到 14 日或更多，这种意见从这里可以得到强有力的论证。

(3) 与水化热的关系：圖 4 表示 50 个低热水泥样品的试验结果，样品系自一家厂商大量产品中取出，并用以代表万吨以上的水泥。这些试验是依照英国标准 1340—1947 的规定进行，对于 3:1 的砂浆试验规定在 3 日及 7 日龄期的最小抗碎强度分别为 1000 及 1600 磅/平方吋，对于水泥本身，7 日龄期的最大水化热为每克 60 卡。

从圖上可以看出，强度和水化热的变化都很大，但却符合英国标准的规定，3 日和 7 日龄期的强度分别为 2597 和 3890 磅/平方吋，7 日龄期的平均水化热为每克 55.7 卡。圖上表示 7 日龄期时当强度每增加 1000 磅/平方吋，其平均发热量为每克 14.3 卡，但在此龄期发热量的范围则在每克 12.0 卡至 25.0 卡之间；同时又表示，在相同的养护条件下，强度增进一定的数值时，某些试样發生的热量比其他