

水工建築物的 護面外殼板与鉚接鋼筋結構

苏联M. II. 塞多夫著

電力工業出版社

水工建築物的 護面外殼板与鉚接鋼筋結構

苏联 M. II. 塞多夫著
伍修燾 呂宏基譯

科學技術博士 B. II. 儒林教授校



電力工業出版社

內 容 提 要

本書詳述应用護面外殼板与綽接鋼筋結構建造混凝土和鋼筋混凝土水工建築物的方法,並簡要地研討在設計和計算上的特點。

本書供水工建築物的設計工程師和建築工程師之用,同時也可供高等技術學校的師生參考用。

М. П. СЕДОВ
ЗАЩИТНЫЕ ОБОЛОЧКИ И СВАРНЫЕ АРМОКОНСТРУКЦИИ
В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
根据苏联國立動力出版社 1953 年莫斯科版譯

水工建築物的護面外殼板与綽接鋼筋結構

伍修巖 呂宏基譯

*

329 S 43

電力工業出版社出版(北京府右街 26 号)
北京市書刊出版業營業許可証出字第 082 号
北京市印刷一廠排印 新華書店發行

*

編輯: 孟慶沫 校對: 田德賢

787×1092 $\frac{1}{25}$ 開本 * 5 $\frac{19}{25}$ 印張 * 100 千字

1956 年 5 月北京第 1 版

1956 年 5 月北京第 1 次印刷(00001—5,100 冊)

定價(第 10 類) 0.85 元

0.9

譯者的話

關於水工建築物的耐久性的問題，一直是水力工程建築者們所注意的問題之一。

為了增進混凝土與鋼筋混凝土水工建築物的耐久性，在蘇聯已廣泛地採用了裝配式鋼筋混凝土護面外殼板，或稱為預製鋼筋混凝土模板。

採用裝配式護面外殼板建造混凝土與鋼筋混凝土水工建築物是具有很多優點的。除了是建築物的不透水外殼，保護建築物的混凝土及鋼筋免於受外界一切有害的作用和滲透水的影響外，採用裝配式護面外殼板還可以最簡單而可靠地解決大體積混凝土工作縫的滲水問題、使施工過程大大工業化而縮短工期並給予建築物以美麗雄偉的外貌。

應用裝配式護面外殼板建造混凝土與鋼筋混凝土水工建築物的先進方法，是蘇聯的水利工程師們於1938—1941年間在伏爾加河上游水力樞紐工程建築中創造出來和開始運用的。後來，又在伏爾加-頓河運河上的水閘、齊姆良水力發電廠、卡霍夫卡水力發電廠、高爾基水力發電廠以及世界上最巨大的古比雪夫水力發電廠等水力工程中廣泛地大規模地應用。

本書詳盡地介紹了應用裝配式護面外殼板與鉚接鋼筋結構建造水工建築物的經驗，特予譯出，希望能有助於我國水力工程建築者對於這一先進經驗的學習，並且將這一先進經驗運用到建築工程上去。

譯者歡迎來自各方面的批評與指正。

序 言

本書編寫時曾廣泛地採用了在1938—1941年間伏尔加河工程的混凝土与鋼筋混凝土水工建築物的設計与施工經驗，也反映了伏尔加河工程以及其他战後期間水力工程的建築經驗。

在建築實踐中运用建造混凝土和鋼筋混凝土水工建築物的新方法，是在1938—1941年間由伏尔加河工程的建築人員集体奠定的；其中首先必須提出建築工程的總工程師B. Д. 儒林，他是鋼筋混凝土護面外殼板的倡議者和製定者，又是在建築實踐中运用和掌握新的方法的領導者，以及建築工程的技術科科長Г. А. 契尔尼洛夫，技術科副科長O. B. 伐捷姆斯基，混凝土試驗室主任B. H. 曼德維捷夫，外殼板工廠廠長Л. А. 卡塞尔，及保証成功地和有效地在水工建築實踐中运用新方法的結構設計人員和建築施工人員。

在1936—1941年間，著者曾經在伏尔加河工程中的一个水力樞紐工程工作，並且直接領導过在水力工程實踐中製造与运用裝配式外殼板構件的組織工作。在本書中綜合了水力工程建築的經驗，这些經驗都說明在建造水力發電廠時应用護面外殼板的有效性。

著者对工学博士B. Д. 儒林教授校訂本書及在本書準備付印時給予極寶貴的意見和指示，对工学碩士O. B. 伐捷姆斯基在審查原稿与提出意見方面所給的巨大帮助致以衷心的謝意。

目 錄

譯者的話

序 言

緒 論	4
第一章 水工混凝土的特點及对它所提出的要求	7
第二章 裝配式護面外殼板的實質及其用途	16
1. 裝配式護面外殼板的特點	16
2. 護面外殼板与木質模板	26
第三章 外殼板構件的設計与計算問題	35
第四章 裝配式外殼板構件的製造技術	50
3. 外殼板工廠的一般技術操作問題	50
4. 外殼板工廠的車間技術操作	52
第五章 应用護面外殼板与鉚接鋼筋結構建造混凝土与 鋼筋混凝土水工建築物的实例	68
5. 溢流壩的閘墩与胸樑的建造	68
6. 溢流壩胸樑的建造	83
7. 溢流壩的起重機棧橋的建造	95
8. 船閘的建造	123
第六章 外殼板的技術經濟效益	133
第七章 对用護面外殼板鑲面的建築物調查的結果	137
結 語	139
参考文献	141

緒 論

在 1938—1941 年間，在伏尔加河上游巨大的動力与航 运 工程的建設中，第一次在苏联与世界的實踐中，大規模地採用了用護面外殼板与鉚接鋼筋結構建造混凝土和鋼筋混凝土水工建築物的新方法。護面外殼板是用高强度的、不透水的、抗凍的及抗水的混凝土製造的。

在上述工程的建設實踐中，還會廣泛地採用了用鉚接的鋼筋結構配置鋼筋的新方法，以代替普通用單根圓鋼筋配置鋼筋的方法。聯結成剛性承重骨架的鋼筋桁架(支柱，柱，橫樑，樑等)是安裝与固定裝配式護面外殼板構件的基礎。

用鉚接的承重鋼筋骨架配置鋼筋的新方法，与用單根鋼筋按一根一根配置的舊方法相比較，鋼筋工作的过程加速了 4—5 倍，同時，在混凝土澆灌塊体中安裝鋼筋結構所需要的工人數量也減少到 $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{8}$ 。這些在建造伏尔加河上游水力樞紐時初次達到的比較數據，在以後的一些巨大的水力樞紐建設實踐中予以証實。在建築的實踐中，運用新的方法來建造混凝土与鋼筋混凝土建築物時，鋼筋模板工作就不再是混凝土綜合工作中的薄弱環節了。人們在建造混凝土与鋼筋混凝土建築物的建築實踐中，採用新型的尺寸巨大的立體式鋼筋桁架；在建築工程的鋼筋鉚接工廠的放樣間中，製造与模板和外殼板構件相配合的整個鋼筋框架。新的方法還大大地增加混凝土工作的速度，顯著地減少在塊体中安裝鋼筋結構時繁重的鉚接工作量，並簡化鋼筋結構与模板及外殼板構件的安裝及其支撐工作，為混凝土綜合工作的完全工業化，為加快建築的速度以及提高建築工作的質量創造了一切必要的條件。

在实际上實現了蘇共第十九次代表大會關於加速建築施工進度的決議。

在設計與施工的實踐中應用和貫徹這個方法上面，我們蘇維埃的技術的祖國優先權是毫無疑問的。如同祖國其他方面的一系列的技术一樣，蘇聯的科學研究思想與工程技術思想，在這個問題上也是先進的，這就是開闢新的道路通向更高的生產率，並使混凝土的施工與組織方法更趨於完善。可是，某一些美國的建築公司，他們僅在1946年在修理派克壩時應用了在外殼板中建造混凝土與鋼筋混凝土建築物的方法，竟胆敢對這一方法的優先權提出要求。這些美國商號的要求是沒有任何基礎的，並且毫無疑問，應當認為是毫無根據的。

一直到1939年，在伏爾加河工程中開始運用新的方法建造混凝土與鋼筋混凝土水工建築物時，外國的技術書籍中絲毫也沒有發表過這一方面的技術。而建造混凝土與鋼筋混凝土水工建築物的新方法早在1940年就已經在蘇聯的技術文獻中闡明了^①。因此，當在1946年在外殼板中修理派克壩時，美國的作者故意不引述此法的來源，是一種抹煞蘇聯成就的慣常手段。這種情況，對於反映壟斷集團利益的現代美國刊物來說，是極具代表性的。

裝配式護面外殼板構件在修建伏爾加河工程的水閘、溢流壩與水力發電廠，在明蓋恰烏爾水力工程，在高爾基水力發電廠以及在蘇聯其他許多巨大的水力建築工程中都會廣泛地應用。

在1951年五月，舉行了蘇聯電站部技術會議，會上出席了蘇聯在水力建設方面許多傑出的專家。技術會議對裝配式護面外殼板的優良的施工技術質量及經濟效益作了很高的評價，並且建議

^① И. А. 克里文柯，“水力工程建築工作的工業化”，水工建設雜誌1940年第3期；М. М. 馬爾采夫，“烏格利奇水力樞紐的機械化工作”，水工建設雜誌1940年第11期；關於在鬆軟土壤上的水工建築物的會議資料，建築工程出版社，1941年。

在第聶伯河上的卡霍夫卡水力發電廠的建築中採用。

水力發電設計院為了幫助各處的設計分院，所以出版了許多根據伏爾加河工程的經驗所得到的關於應用護面外殼板的報導資料，以及關於焊接鋼筋結構的製造與安裝的技術規範與指示。

水力發電設計院擬定在許多首要的設計與建造工程中採用護面外殼板，其中必須首先指出採用外殼板的明蓋恰烏爾與高爾基水力發電廠。

由上面的敘述可知，在戰前期間（1939—1941年）完成的規模極大的伏爾加河工程的經驗，如今在按照蘇共第十九次代表大會的決議發展的現代水力工程建設中，已成為蘇聯一切水力建築工程的組成部分。

應用護面外殼板與焊接鋼筋結構建造混凝土與鋼筋混凝土水力工程建築物的新方法，在現代的設計與施工的實踐中，被廣泛的運用着，說明這個方法是非常優越的。

第一章 水工混凝土的特點及对它 所提出的要求

水工建築物与混凝土或鋼筋混凝土的工業建築物及民用建築物不一样。水工建築物經常受到水的作用——在压力下的滲透与高速水流(受水压的河道上的水工建築物)或波浪的衝擊(海港与河道的碼頭等)。

混凝土並不是絕對不透水的建築材料。在混凝土与鋼筋混凝土水工建築物的全部运用期間，水的無休止的滲透作用和混凝土表層多次的冰凍融解重複过程，以及侵蝕性水的与高速水流的物理化学作用，是加速混凝土建築物破坏过程的因素。

正如苏联学者的研究指出，在長期的即使是“清潔的”淡水的作用下，也多少会降低水工建築物混凝土的强度，因此，一切的水对混凝土都是侵蝕性的媒介物。

水通过受水压的水工建築物混凝土塊体滲透的結果，發生溶濾与变質，久而久之就引致混凝土本身的減弱与破坏。由於这些現象的結果，減低了建築物的耐久性。这些現象在某些情况下表現得非常强烈，有使建築物迅速地損坏与完全破坏的危險。在平原河流的情况下，混凝土与鋼筋混凝土的水工建築物最常与受水压的土工建築物一起工作。土工建築物的运用期限，由於它特有的特性，实际上是完全沒有限制的。因此，为了提高混凝土与鋼筋混凝土水工建築物的耐久性，自然就產生了關於有必要实行保護措施的問題。

• 水工(河道上的与海上的)建築物运用的实际經驗指出，混凝土与鋼筋混凝土建築物的破坏与变質，首先是發生在混凝土直接

与水及大气相接觸的外部表面。这些現象，在經常受到重複凍融交替的情形下，特別強烈地表現在水位变化的區域內。这就是說，一些所謂主要的混凝土与鋼筋混凝土水工建築物——溢流壩、水力發電廠与受水压的河道水工設施的水閘，遭受着自然因素破坏作用的最大危險。

正是为了要防止与保護混凝土与鋼筋混凝土建築物外部表面免於过早地破坏，由伏尔加河工程的總工程師 B. Д. 儒林首倡，並在他的指導下，在 1938 年進行了護面外殼板混凝土配合比的試驗室內的研究工作，製定了外殼板構件的結構，外殼板工廠的設計和施工圖樣，並把它們实行运用到施工中去。在 1939 年初，在水力樞紐的施工現場，開始了外殼板工廠的建造与安裝，並在同年的十月，在水力工程的(苏联的以及全世界的)實踐中，应用護面外殼板建造的第一个建築物——水力樞紐的溢流壩，由於伏尔加河的流量流过这个建築物而開始运用了。

外殼板的製定与运用到施工中去 of 的適宜性和正確性，已被繼續的實踐所証实。

鑑定水工鋼筋混凝土結構成一个整体地工作的主要条件，是在鋼筋混凝土中存在有混凝土与鋼筋之間所產生的粘着力。当混凝土与鋼筋的粘着力被破坏時，就会沿着設計構件的長度產生裂縫，这些裂縫垂直於主鋼筋分佈。这些裂縫的形成致使鋼筋發生腐蝕的現象，並使受腐蝕部分的鋼的体積增加一倍多；而正由於这种过程的結果，造成裂縫沿着鋼筋發展以及混凝土保護層的脫開。从這一點上看，配有鋼筋的混凝土的使用期限(或損坏期限)系以它的保護層損坏的時間來估算。因此，毫無疑問的，水工鋼筋混凝土最容易受伤害的地方是它的保護層。

当然，混凝土越密实，水滲入混凝土的深度越小，受腐蝕的破坏亦愈小。

混凝土的密实性与堅固性的直接判断標準是它的滲透性——

首先是对於水，以及与水同时存在的化学侵蚀剂通过的渗透性。由於这些原因，对水工钢筋混凝土建築物的外部表面的質量所提出的要求，应当比混凝土建築物的本体还要更高一些。

按照某些苏联專家的結論，外部表面沒有特种外殼保護的水工钢筋混凝土建築物的寿命是很有限的。在某些場合下，例如海上水工建築物，不超过 20—25 年。

对巨型水工混凝土建築物的混凝土所引起的憂慮也不是不嚴重的。大家知道，混凝土越密实，滲透水進入建築物的深度愈小，因而，由於游离氧化鈣 (CaO) 被浸析出所形成的破坏愈小。根据在試驗室中与实际施工条件中的許多試驗研究材料所獲得的众所週知的數據，水工混凝土在各个期間的抗水性，依滲透過建築物的水从混凝土中帶出來的容易溶解的氧化鈣的程度与數量來决定。按照这些數據，混凝土損失氧化鈣達 40% 時，混凝土强度降低達 50%。

对水工混凝土所提出的基本要求是：

(1) 密实性与不透水性；

(2) 抗凍性；

(3) 抗水性，即混凝土抵抗从混凝土中帶出氧化鈣 (CaO) 过程的能力；

(4) 適度的收縮，即以收縮係數鑑定的收縮，此值对混凝土結構应为 0.0002，对钢筋混凝土結構应为 0.00015 (國定全苏标准 ГОСТ 4286-48)；

(5) 强度，即承受計算荷載的能力；

(6) 抗磨力；

(7) 適度的發熱性，符合於國定全苏标准 ГОСТ 4797-49 与 4801-49 “水工混凝土”的規定。

水工建築物与它的个别結構的式样非常之多，在运用期間其周圍环境水的特點和性質又不同，使得有必要根据下列情况區別

对水工混凝土提出的要求：

- (1) 施工条件；
- (2) 結構物在水力樞紐的綜合建築中的工作条件；
- (3) 建築物的等級。

影响混凝土的質量的有：製造混凝土的方法，运输、澆灌和在澆灌混凝土的塊体中搗固混凝土的方法，以及混凝土澆灌在塊体中以後对它的养護和塑製塊体所採用的施工方法的性質。

对水工混凝土所提出來的要求和影响所要求的質量指标的條件，常常是互相矛盾的。因此混凝土的配合比与标号通常要按全部施工与运用的因素的總合在每一个單獨的情況下个别地確定。

这些就使得对水工混凝土所提出的一些基本要求非常複雜。像一切的建築材料一样，混凝土不是如通常所想像的那样非常耐久的。混凝土的耐久性首先依混凝土組成材料的耐久性而定。

从事於研究一般混凝土性質的苏联学者，特別是研究水工混凝土的学者，証明硬化後的混凝土的密实性与它的結構，依水泥結石的性質与結構以及拌在混凝土混合物中的粗細集料的性質与數量來決定，並最後依水灰比來決定。水灰比愈小，則足以降低混凝土密实性的多餘水量也愈少。

由於水化作用的結果，水泥只能与拌製混凝土時所加水量的20—30%相結合。剩餘的80—70%的水是多餘的，其所以需要，僅僅是因为要在混凝土混合物运输、澆灌和搗固時，使混凝土混合物具有流動性，以期獲得建築物的勻質的混凝土，而沒有被空气填充的孔隙与空穴。但是当混凝土混合物已澆灌在塊体中並加搗固後，这些多餘的水就只有害处。

由於水泥顆粒以及粗細骨料顆粒的比重較大，在自然沉实的作用下，多餘的水分从水泥漿中离析，並逐漸地从漿中排出。析出的多餘水分聚集在表面上，聚集在澆灌混凝土的水平工作縫中，並部分的滯留在混凝土層內，填充在由於水泥沙漿沉陷而在

粗集料下面所形成的孔隙中。由於这些現象，硬化後的混凝土的結構就变坏了。

在混凝土混合物拌製時加入的水愈少，即水灰比愈小，則因多餘水分而降低混凝土密实性的影响就愈小。但是減少水量只能容許到一定的限度，超过了这个限度就会使混凝土的澆灌与搗固困难和複雜，在很大的程度上增加了混凝土分佈的不均匀性，結果可能得到結構与密实性非常坏的混凝土。增加水泥用量可以降低水灰比，即增加与水泥起作用的水量，減少多餘的水量。但是这一措施是不适当的，因为这样使得贵重的水泥消耗过多(超过了按混凝土强度的条件所必要的用量)。此外，增加混凝土中水泥的含量，会使得其他的混凝土質量指标变坏，使混凝土中發出的總熱量(發熱性)增加，並增加收縮現象。由於在水泥水化过程中沒有起作用的滯留在一定地位的多餘水分，降低了混凝土的不透水性与抗凍性。

混凝土的密实性按下列指數鑑定：

在 28 天齡期高度密实的混凝土·····	87—92%
在 28 天齡期較高密实的混凝土·····	84—86%
在 28 天齡期中等密实的混凝土·····	81—83%

这說明最密实的混凝土本身也是含有孔隙(微孔与毛細孔)的多孔体，其中有 8—13% 是被水与水蒸汽填充的。

高的孔隙率是水工混凝土的主要缺點。

混凝土的不透水性用滲透係數來鑑定，平均为 10^{-6} — 10^{-7} 公分/秒，大約为密实的壤土滲透係數的 $1/10$ 。

影响混凝土不透水性的有：混凝土混合物的粒度組合，混凝土搗固的方法与質量，尤其是在应用强力的与高頻率(每分鐘達 6000—7000 次振動)的振動器澆灌時。

水泥種類对不透水性的影响，当用試件試驗時，其結果如表 1。

表 1

水 泥 种 類	在压力下通过試件渗透的水量(立方公分/小時)		
	2 大 气 压	4 大 气 压	6 大 气 压
火山灰質矽酸鹽水泥	9.3	16.0	81.0
礦渣矽酸鹽水泥	419.5	1209.0	1828.0
矽酸鹽水泥	2705.0	3325.0	4270.0
礬土水泥	627.0	1103.7	1656.7

試驗証明，滲透是沿着具有大量細孔且本身成为一种特殊引綫的水泥結石進行的。

在乾燥酷熱地區，乾濕交替頻繁，混凝土体積多次發生变化，由於这种强烈的風化过程的結果，混凝土發生破坏。

在同時受水与周圍大气作用的情况下，頻繁的凍融交替是混凝土的表層由於多孔性而破坏的原因。

由於水在混凝土空隙中冰凍而發生的破坏現象，沿着混凝土的厚度是不一样的。起先，冰凍是逐漸地以平行於冷却表面的層次一層一層地進行的。当溫度繼續降低到零度以下，大的孔隙中的水急速地結冰，而微小孔中的水則經由过冷的階段以後才逐漸結冰。此時逐層地形成冰凌結晶，在固定的結冰溫度下，沿着垂直於冷却面的方向往深处發展。当冰凌結晶停止時，这些已經結冰的區域的溫度下降，而冷波向着內部的次一層推進。冰凌結晶在孔壁上的压力逐漸增長，能達到 2000 公斤/平方公分並造成混凝土的破坏。

正如許多研究証明，当混凝土飽和状态達到 85% (臨界飽和状态) 時，混凝土開始急剧地破坏；此時，水泥的礦物成分对混凝土抗凍性的影响是不大的。

混凝土的抗凍性与水泥用量成正比，並依水灰比決定。抗凍

性用表 2 的指數鑑定。

表 2

抗凍性極限與指數	混凝土能够經受的凍融循環數 當水灰比為下值時			
	0.80	0.65	0.52	0.45
最 小	90	245	330	370
最 大	270	365	440	510
平 均	180	305	385	440

在巨型水工建築物的混凝土表面，裂縫的形成與發展，主要是因為在混凝土的內層與外層存在有顯著的溫度差而引起的。在硬化的混凝土中發展着的發熱現象因為收縮而更加厲害。這些共同作用的現象，決定表面裂縫的發展，這些裂縫促使水進入大塊混凝土的深處。

假如說對工業建築與民用建築的混凝土所提出的基本要求是混凝土的強度，即承受計算荷載的能力，那末對水工混凝土來講，正如上面已經講過的，僅僅這個條件是不夠的。水工建築物的混凝土巨塊能夠滿足強度方面的一切條件，但終究還是破壞了。正如已經指出的，混凝土與鋼筋混凝土的水工建築物的最重要的部分乃是它的外層。

為了增加建築物的耐久性，保護混凝土的外部表面不受破壞，已經研究出並採用了許多措施，就是：

- (1) 在混凝土外部表面鋪設防水層；
- (2) 將建築物的混凝土巨塊劃分成各個區域，以便分別選用混凝土的配合比與標號；
- (3) 為了從混凝土的表層吸出多餘的水分，在建築物的混凝土表層進行真空作業與應用吸水模板；
- (4) 加做噴漿層；

(5) 为了增加混凝土的密实性，使混凝土的外層碳化。

这些措施僅僅可以完成保護層的某幾個功用，但其中沒有一个措施能够完全解决所提出的問題。在外表鋪設防水層，例如在混凝土表面裱糊瀝青毡，在建築物要回填土的一面的表面，实际上是比較容易做到的，但是在建築物的正面是完全不可能的。

为了減少護面措施的費用，与區別对建築物各部分混凝土所提出的要求，应依照建築物环境的物理化学条件与建築物的工作性質劃分成各个區域來採取護面措施。

一般的建築物劃分成下列各个區域：

(1) 建築物水下部分區域 这个區域的特點是沒有顯著的溫度狀況的变化。侵蝕性的水对混凝土表層的作用可能引起建築物的破坏，並使水進入混凝土巨塊的深处。对受水压的水工建築物，这一區域是主要的區域。

这一區域也受到高速水流的机械作用，混凝土表面受到泥沙，船隻，冰凌等的磨耗。

(2) 水位变化區域 这个區域的主要特點是在水力樞紐的上下游水位有周期性的变化，引起頻繁的乾濕与凍融交替。这个區域是建築物的混凝土表面破坏最厲害的區域。

(3) 建築物的水上部分區域 主要特點是大气条件(溫度、濕度等)有頻繁更替的可能性。

对水工鋼筋混凝土建築物來講，在水位变化區域中，对混凝土造成最嚴重的情形；而在水下部分的區域中，对鋼筋造成最嚴重的情形，因为在此區域，当混凝土保護層破坏的時候，鋼筋可能腐蝕。

將建築物劃分區域，須得在同一个建築物中或在同一个塊体中同時澆灌多种不同标号的混凝土。这一种措施在施工上非常困难，只有在巨型的無鋼筋的結構中才可能实行；在鋼筋稠密的塊体中，这一措施是完全不可能办到的。