

冶金建設先進經驗叢書

薄 壳 結 构

冶金工業部基本建設司編

內部資料·注意保存

中國工業出版社

冶金建設先進經驗叢書

薄 壳 · 結 構

冶金工業部基本建設司編

內部資料 · 注意保存

中國工業出版社

本书是由十六篇經驗总结的資料汇编而成的。扼要地介紹了“薄壳結構”这项新技术在冶金工业基本建設中推广的情况和經驗。

本书印作內部資料发行，可供基建工程技術人員、干部和工人学习参考。

冶金建設先进經驗丛书

薄壳結構

冶金工业部基本建設司編

中国工业出版社出版（北京修脚園路西19号）

（北京市書刊出版事業許可証出字第110號）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ •印张 $2 \frac{1}{8}$ •字数43,000

1961年12月北京第一版•1961年12月北京第一次印刷

印数0001-1,562•定价（9—5）0.24元

統一書号：15165•1076（冶金—217）

目 录

序

湘潭鋼鐵公司經驗簡介

保証鋼絲网砂浆結構工程质量的几个关键問題..... 7

28×34米鋼絲网砂浆大薄壳的試驗.....12

1.5×6米鋼絲网砂浆輕型壳体屋面板的試驗.....20

6×6米鋼絲网砂浆双曲扁壳.....23

湖南省冶金厅經驗簡介

怎样保証混凝土薄壳的施工质量和節約模板.....26

25.5×27米摺制混凝土双曲扁壳.....34

15米跨帶天窗的摺制混凝土筒形短薄壳.....38

4.8×1.6米預制混凝土波形拱試制經驗.....40

直径12米的混凝土圓形扁壳試制經驗.....42

包头鋼鐵公司經驗簡介

在民用建筑中广泛采用砖壳和砖拱結構.....45

3.8×5.6米預制砖薄壳.....52

四分之一砖厚的砖拱屋盖.....55

直径 27.17 米的球形砖薄壳.....57

15米跨鋼絲网砂浆波形落地拱.....61

2×12米預制鋼絲网砂浆波形板的試驗.....64

3×24米預制鋼絲网砂浆Ⅱ形薄壳的試驗.....66

冶金建設先進經驗叢書

薄 壳 · 結 構

冶金工業部基本建設司編

內部資料 · 注意保存

中國工業出版社

本书是由十六篇經驗总结的資料汇编而成的。扼要地介紹了“薄壳结构”这项新技术在冶金工业基本建設中推广的情况和經驗。

本书印作內部資料发行，可供基建工程技術人員、干部和工人学习参考。

冶金建設先进經驗丛书

薄壳结构

冶金工业部基本建設司編

中国工业出版社出版（北京修明園路丙19号）

（北京市書刊出版事業許可證出字第110號）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $2 \frac{1}{8}$ ·字数43,000

1961年12月北京第一版·1961年12月北京第一次印刷

印数0001-1,562·定价（9—5）0.24元

統一書号：15165·1076（冶金—217）

目 录

序

湘潭鋼鐵公司經驗簡介

保証鋼絲网砂浆結構工程质量的几个关键問題..... 7

28×34米鋼絲网砂浆大薄壳的試驗.....12

1.5×6米鋼絲网砂浆輕型壳体屋面板的試驗.....20

6×6米鋼絲网砂浆双曲扁壳.....23

湖南省冶金厅經驗簡介

怎样保証混凝土薄壳的施工质量和節約模板.....26

25.5×27米搗制混凝土双曲扁壳.....34

15米跨帶天窗的搗制混凝土筒形短薄壳.....38

4.8×1.6米預制混凝土波形拱試制經驗.....40

直径12米的混凝土圓形扁壳試制經驗.....42

包头鋼鐵公司經驗簡介

在民用建筑中广泛采用砖壳和砖拱結構.....45

3.8×5.6米預制砖薄壳.....52

四分之一砖厚的砖拱屋盖.....55

直径 27.17 米的球形砖薄壳.....57

15米跨鋼絲网砂浆波形落地拱.....61

2×12米預制鋼絲网砂浆波形板的試驗.....64

3×24米預制鋼絲网砂浆Ⅱ形薄壳的試驗.....66

序

在1960年轰轰烈烈的技术革新和技术革命运动中，薄壳结构开始在冶金工业基本建设工程中迅速推广起来。三月間，湘鋼試驗在冶金厂房中采用鋼絲网砂浆薄壳。五月，冶金部在湘鋼召开新技术現場會議，接着在各地掀起了一个推广薄壳结构的热潮。到年底，就有248000米²用了薄壳结构。一年以前，我們对它还感到很生疏，現在它已經为广大群众所掌握了。这是冶金工业基本建設結構革命中的一个重要的成就。

薄壳结构是一种先进的建筑結構。由于它的良好結構形式，使用建筑材料能在結構中合理地充分地發揮效用，因此有很大的節約效果。一般地說，用鋼筋混凝土薄壳代替鋼筋混凝土梁板，可以節約鋼材30%，混凝土50%；用薄壳代替木屋盖，可以節約大量木材。同时，它还有如下三大特点：第一、材料来源广，混凝土的、鋼絲网砂浆的、砖的都可以做，因此各个地方都可以就地取材，大量推广；第二、它的形式多种多样，跨度可大可小，适用的范围很广；第三、它和一般結構比較，主要是結構形式的改变，不需要特殊的施工設備，既可預制也可搗制。这些特点說明薄壳結構是符合多快好省原則的結構，完全适合于当前我国冶金工业基本建設的具体条件。所以当我們認識和掌握了它，就必然使它迅速发展起来。

經过去年的实践，証明薄壳結構是能够在冶金工业基本建設中大量应用的。去年推广的薄壳，有42%用于工业建筑。各类中小型冶金厂房，包括轉炉煉鋼厂、軋鋼厂、有色金属冶炼厂、各种机修車間和輔助車間等，都有采用薄壳屋盖的实例，质量基本上是良好的。几个大型冶金厂房，也已經作了比較系統的結構試驗，很多技术問題已經肯定下来，确定了采用薄壳結構的設计方案。可以看出，薄壳結構将发展成为冶金厂房屋盖結構的主导形式。去年的实践为冶金工厂屋盖結構实现薄壳化打下了初步基础，今年應該在这个胜利基础上繼續前进，巩固已有的成就，并且更加提高一步。

为了更好地更广泛地推广薄壳结构，我們收集了十几篇短文，汇编成这本小册子。这本小册子的材料，仅仅取自湘鋼、包鋼和湖南省冶金厅三个单位，这是因为这三个单位去年薄壳结构推广得比较多（共199000米²，占总数的80%），同时我們也没有来得及广泛地收集每个单位材料。从这些单位材料中，我們选择了各种不同的结构形式，簡略地介绍了它的构造和施工方法，并且說明它的特点和优越性。我們认为这三个单位有如下一些經驗值得大家在今年进一步推广薄壳结构中很好地考虑：

第一、薄壳结构推广得这样快，这是职工們在技术革新和技术革命运动中充分发揚敢想敢干和科学分析精神的結果。湘鋼的經驗表現得很突出。湘鋼开始做鋼絲网砂浆薄壳的时候，既无技术资料可作参考，又无实际經驗可供学习，很多人不相信能搞得成功。但是在党委领导下，他們坚持一定要干，沒有經驗沒有理論，从实践中去找經驗找理論，就干起来了。他們先做試件，进行試驗，逐步修改，再做出設計来，終于闖过了难关，掌握了技术。經過实践，結合学习外部經驗，理論也逐步建立起来，最后还試驗成功跨度34米的大薄壳。沒有敢想敢干的精神，是不会拿主要厂房屋盖来作首先試驗的；沒有反复的认真的試驗研究，也是搞不成的。这个精神永远需要。現在我們已积累了一定的經驗，繼續发揚敢想敢干和科学分析精神，敢于攀登高峰而又实事求是，我們就一定能更快地前进。

第二、这项新结构去年才运用到我国冶金工业基本建設中来，历史很短，严格保証工程质量确是十分需要注意的問題。去年推广的薄壳，质量基本上是好的。为什么能够保証质量？根本一条是极大多数单位兢兢业业，謹慎从事，貫徹

了“一切經過試驗”的方針。湘鋼對大厂房的大薄壳就做了一系列試驗，並且組織了設計審查，反復修改，才最後定案。包鋼和湖南省冶金廳也是項項新結構都做試驗，環環扣緊，步步設防，並且從實際中總結出保證質量關鍵措施，做到保證質量。另一方面，這些材料中也反映出一些質量事故，那主要是粗心大意所造成的。

第三、推廣薄壳結構和推廣一切新技術一樣，都要因地制宜，不能強求一律。這方面去年也有許多經驗。湖南省冶金廳系統去年曾大力推廣薄壳結構，其中很重要的一條經驗是他們抓住了材料來源廣闊的混凝土薄壳和磚薄壳。他們本來也想大量推廣鋼絲網砂漿薄壳，但是條件不具備，就沒有等待，而另找了出路。去年也有一些單位一定非搞鋼絲網砂漿薄壳不可，但是鋼絲網來源無着，結果還是用了舊結構，推廣薄壳的計劃落了空。薄壳結構本來就有材料來源廣，結構形式多的特點，因此更應該因地制宜，充分利用這些優點，加速它的發展。

第四、推廣薄壳中還需注意綜合經濟效果，特別是要注意節約模板。由於初次推廣薄壳，有的單位模板用料消耗得多，節約了鋼材水泥，卻多用了木材。這個問題是推廣薄壳的一大障礙。但是根據去年的經驗，並不是推廣薄壳結構一定得多用木材不可的。包鋼很注意節約木材，主要是推廣預制薄壳，連磚薄壳也是預制，用土胎模成型，木材用得省。湖南省冶金廳在搗制薄壳中大量推廣使用定型模板，木材用量比搗制梁板結構還要省得多。這些都是很好的經驗。

由於編寫匆忙，這些經驗還是很不系統的，只能提供讀者參考。我們相信，在今年進一步推廣中，將會總結出更多更好的經驗，把薄壳結構的水平更加提高一步。

湘潭鋼鐵公司經驗簡介

保證鋼絲網砂漿結構工程質量的

幾個關鍵問題

湘鋼工程技術處

1960年我公司推廣了 12480米^2 鋼絲網砂漿薄殼和一批鋼絲網鋼筋混合配筋結構。這種新型結構我們過去不熟悉，怎樣保證它的質量是個新問題。我們在黨的領導下，兢兢業業，首先在思想上重視質量，同時採取一定的技術措施來保證質量。從已經施工的工程來看，質量都是良好的。在實踐中，對怎樣保證這種新結構的質量初步摸到一些經驗。

鋼絲網砂漿結構是鋼筋混凝土結構的一種，它和普通鋼筋混凝土結構有共同之處，也有不同之處。共同之處，如保證尺寸準確、強度合格、震搗密實、養護良好等，一般都比較容易注意。這裡只就它的特殊方面談談我們的體會。

首先，薄殼結構的特點在於它能夠將外力荷載轉變為沿壳体軸綫方向的壓應力，從而充分利用混凝土的抗压性能，所以它的造型是曲綫的，結構斷面是很薄的，與普通梁板式結構不同。而它之所以具有優異的承載能力，是由於壳面和邊肋的共同作用。壳體的壓應力傳遞到邊肋，邊肋起箍的作用，產生拉應力，壓力與拉力平衡，才成為穩定的結構。所以必須保證壳面的力能很好傳到邊肋上去，並保證邊肋牢固。

其次，鋼絲網配筋的特點是絲綫網密，和混凝土結合好，可將結構中有害的裂縫分散為細密的沒有危險的裂紋。

它在結構中既起抗拉作用，又起抗裂作用，与鋼筋的作用是不完全相同的。

从这些特点出发，設計、施工、材料都要特別注意由此而引起的問題，才能保証质量。

設計方面

一、当壳体曲率正确，有足够的厚度可以保証稳定时，壳体結構的主要关键在于正确地处理壳体实际的边界条件和計算边缘构件，这样，壳面才会發揮它最大的承載能力。

为了符合設計的簡支边界条件，壳体的边缘构件在水平方向的刚度可以做得弱些，在垂直方向的刚度應該很大。边缘构件所承受的荷載以壳面传来的剪力及其自重为主，进行单独結構的計算。当考虑吊車作用时，應該在最后組合好的拉力中按最不利条件将柱端反力累加进去。

二、应当保証壳面与边缘构件的牢固連接，使壳面产生的剪力可靠地传递給边缘构件，計算时必须校核由于純剪所引起的主拉应力。

三、构造問題。对薄壳結構进行周密的計算是非常复杂的，因此对于由壳面变位、曲率改变及水平方向位移所产生的干扰弯矩可以做近似估計，并从构造上加以补救，在壳面四周配置适当的构造鋼筋以承受干扰弯矩。在壳面与边缘构件連接处，鋼筋應該伸入边缘构件內一定长度，以起一定的錨固作用。除干扰弯矩外，还可能产生干扰拉力，因此四角除配有承受主拉应力的斜筋外，应适当配置承受干扰应力的鋼筋，使既能承受干扰弯矩，又能承受干扰拉力，以及混凝土收縮徐变和溫度应力的影响。

四、在采用形式特殊或荷重特殊的壳体时，我們用試驗

来修正設計。在当前还不能从理論上充分掌握壳体計算时，我們认为这是一个有效的可靠办法。

施工方面

一、首先必須树立精密、准确观念。普通鋼筋混凝土结构一般說比薄壳结构“粗糙”，絕对不能同等对待。普通鋼筋混凝土结构中不要紧的誤差，在薄壳结构中可能造成很大的危險。这一点必須反复強調。必須保証壳体的厚度，尤其是保証曲率的正确。我們曾生产一大批 6×6 米无拉力双曲扁壳、承载力很大，但其中曲率不合要求的，承载力就低得多。

我們在施工中注意了模板必須支撐牢靠，不使发生沉降而产生模板变形。搞制大壳施工中，曲面采用預制的模胎控制，安装前在地面先組立校正。薄壳的边肋是受拉构件，支模时要考虑在浇灌过程中由于薄面传来荷重产生拉力的影响，要用横拉杆綁牢，以免发生水平变形。

二、浇灌混凝土时最好不留施工縫，不得不留时要注意不能留在剪应力和拉应力很大的部位。根据壳体的受力特点，边肋和壳板交接处剪应力最大，壳面四角拉应力最大，都不能留施工縫。小跨度薄壳可从壳面的中心开始，螺旋状向外进行，使模板受力均匀，以免由于偏重使模板变形。大跨度薄壳先浇灌边肋，然后浇灌壳面。边肋的施工縫可留在整个结构豎杆的中部，或者先施工整个边肋的一半再施工另一半。

砂浆的水灰比以0.35为宜。由于鋼絲网孔眼密，浇灌时要注意拍打压抹密实，保証砂浆漏到网下。模板要严密，不能因漏浆而产生露筋。

鋼絲網和鋼筋混合配筋的构件可采用混凝土。澆灌時先鋪一層砂漿，以保證砂漿附着在鋼絲和鋼筋上，又有足夠砂漿包住鋼絲網。混凝土要有較高的砂率，一般以40%為宜，使震搗過程中有足夠的砂漿透過鋼絲網形成側面保護層。

三、在鋼絲網和鋼筋混合配筋的結構中，鋼絲網主要起抗裂作用。為此對保護層有新的要求，在砂漿能包住鋼絲網的條件下，保護層越薄越好，一般以2毫米為宜。因此鋪設鋼絲網時必須平直，要很自然地靠在模板上，轉角不應太大，網要彎折得很規矩，這樣不致有過厚的保護層而降低結構的抗裂性。

在鋪設壳面的鋼絲網時，對鋼絲網鼓突不易靠近模板的地方，可用小釘子把它釘在模板上。混合配筋的构件中，只要將鋼絲網包在鋼筋骨架外面即可，不需釘釘，震搗時鋼絲網受石子和砂漿的擠壓，能很自然的靠近模板。

由於鋼絲網靠近模板，因此任何鋼絲網砂漿結構的模板都不應塗油，以免粘污鋼絲而降低它和砂漿的粘結力。

四、壳面很薄，砂漿澆灌後極易脫水干裂，必須特別注意復蓋養護。拆模時砂漿強度應達到設計強度的90%，此時還不允許承受施工荷載。

拆模時要避免撞擊和劇烈的震動，以保護砂漿層。薄壳的模板必須均勻對稱地拆除。大跨度薄壳先拆壳面模板，後拆邊肋模板，以免壳面模板尚未拆除時邊肋突然變位，引起結構沿邊肋處開裂。總之，拆模時應力求各點均勻下降。薄壳拆模時應多加檢查，以免一時疏忽而影響質量。

建築材料方面

一、鋼絲直徑以0.7~1.2毫米為宜，過細則含鋼量減

少，过粗則編織和鋪設不便。如設計要求含鋼量較大時，在保證澆灌方便的條件下，盡量用大直徑小網格的鋼絲網，或與焊接鋼筋網混合配筋。

鋼絲網用于双向受力的构件（如薄壳、压力管）時，应用正方形网格，一般为 8×8 、 10×10 、 12×12 毫米。 5×5 毫米以下的网格太小，施工不便。用于单向受力的构件（如梁、拉杆）時，宜用 $1:2$ 、 $1:3$ 的矩形网格，一般为 8×16 、 8×24 、 10×20 、 10×30 、 12×24 毫米，使受力方向鋼絲多而另一方向少，節約鋼材。

鋼絲網不需要一律都是高强度的。对使用阶段不允許裂縫的第一类抗裂性构件，不需高强鋼絲，要求細而密，均匀分布，与砂浆結合良好即可。在混合配筋构件中，鋼筋沒有特殊要求，但用高强度鋼筋比較合适。

二、水泥可用硅酸盐水泥、矿渣水泥、火山灰水泥或混合水泥。用火山灰水泥時，要采取防止干裂的措施。

为了避免細鋼絲的銹蝕，不允許在鋼絲網砂浆結構中掺加氯化鈣、氯化鈉等有侵蝕性的外加剂。

* * *

以上是我們在1960年施工中的几点主要体会，詳細办法可參閱冶金部建筑研究院編的“鋼絲網砂浆結構設計及施工暫行規程”。我們对这种新的建筑材料和建筑結構的規律还掌握得很不够，很多問題尙有待进一步研究。

28×34米鋼絲网砂浆大薄壳的試驗

湘鋼工程技術处

(一)

1960年，我們成功地应用了鋼絲网砂浆薄壳以后，进而在主厂房中采用了34×28米的鋼絲网砂浆变曲率双曲扁壳。这样大的鋼絲网砂浆薄壳是初次試作，在設計和施工中既无資料可作参考，也无实践經驗可供学习，不能說沒有困难。为此，我們本着敢想敢干与科学分析相結合的精神做了一系列壳体結構試驗来驗證这个設計的正确性，从而使这个大胆的設計建立在可靠的科学試驗基础上。

34×28米薄壳，一块壳体的面积即达 952 米。这样大的壳体要做实物試驗是相当困难的，尤其是我們要想利用这个試驗壳，要使試驗后不至报废，壳的支柱有18米高，使試驗工作更为困难。另一方面，又考虑到模型試驗总不能完全反映結構的真实状况，因此决定既做大壳試驗，又做模型試驗。大試驗壳与实物一样大，为 34×28 米，1:3 模型試驗壳为 11.7×9.2米。通过大壳試驗驗證壳体在均布荷重与集中荷重下的承載能力；邊緣构件强度、刚度与抗裂能力；設計計算的正确性。通过1:3模型壳試驗观察薄壳对支座不均匀沉降的抵抗能力与壳体对邊緣构件承受水平集中荷載的影响。

薄壳的三个方向設計为空腹边梁，已經滿足通风采光要求，只要上述試驗結果良好，就能基本証明这种薄壳还能够适应車間跨度大，吊車重以及可能发生的不均匀沉降的要

求。試驗結果是十分令人滿意的，不僅証明了設計的可靠性，同時通過這次試驗又使我們在掌握鋼絲網薄壳客觀規律的道路上大大前進了一步，明確了好多新問題。

(二)

大試驗壳的設計與車間設計圖完全一樣（圖1）。壳板的厚度為2.5厘米，根據核算，已足夠保證壳面的穩定，但考慮壳体跨度較大，車間有較大的動荷載，為了進一步加強壳面的穩定性和剛度，沿壳的对角綫方向布置有楔形小肋，配筋和斷面按構造選定，未予計算。試驗時，分三階段觀察：拆模階段觀察壳体在自重作用下的工作情況；壳体在計算均勻荷載及集中荷載作用下的受力性能；卸除荷載后，觀察壳体的情況。

采用砂子均勻復布作為均布荷載。原設計300公斤/米²，試驗時壳体自重174公斤/米²，加砂子重150公斤/米²，共324公斤/米²，稍大於設計荷載。

集中荷載共計8個，每個荷載600公斤，其位置是根據車間中的遮陽板來布置（圖2）。設計計算時，集中荷載對於壳面局部的影響是十分巨大的。

由於壳体邊緣构件的重要性，以及為了測量變形的精確起見，電阻片、引伸儀裝置在邊緣构件的鋼筋上。

1:3模型壳（11.7×9.2米）按均布荷載300公斤/米²設計。其外形尺寸是實際工程上所用的變曲率雙曲扁壳的三分之一，但考慮了施工的实际問題，某些尺寸如壳板及邊梁的厚度未能按比例縮小。壳面沿9.2米跨長方向為常曲率，沿11.7米方向是變曲率，兩個方向均採用圓弧曲綫。四邊的矢高分別為1.0米、1.7米、1米和0.67米，中央矢高為2.168