

2 水工模型试验

南京水利科学研究所 編
水利水电科学研究院

水利电力出版社

目 录

第一章 水工模型試驗总論	5
§1. 水工模型試驗的意义	5
§2. 水工模型試驗的定义	5
§3. 水工模型試驗簡史	6
§4. 水工模型的分类	7
§5. 水工模型所需的試驗資料	7
§6. 試驗設備	9
§7. 模型試驗的进行	10
§8. 模型試驗的驗證	10
§9. 水工模型試驗范围	11
第二章 尺度分析法	11
§10. 尺度和单位的意义及其相互关系	11
§11. 物理过程(包括水流現象)方程式的尺度和諧和齐次性質	19
§12. 一般的尺度分析法原理和具体应用	24
§13. π 定理的証明	27
§14. π 定理的具体应用	32
§15. 雷立氏尺度分析法和 π 定理应用的討論	36
§16. 結語	38
第三章 水工模型定律	38
§17. 相似性力学	38
§18. 牛頓普通相似定律	40
§19. 特种模型定律	41
§20. 佛劳德定律(重力相似定律)	43
§21. 雷諾定律(粘滯力相似定律)	46
§22. 魏伯定律(表面張力相似定律)	48

§23. 柯启定律(彈性力相似定律)	49
§24. 水力学常用公式的相似性	50
§25. 普通相似定律与特种模型定律的关系	52
§26. 模型相似定律的应用	52
§27. 算例	54

参考书目	59
------	----

第四章 河工模型設計.....60

§28. 河工模型的种类及試驗的限制条件	60
§29. 定床正态模型的设计	62
§30. 定床变态模型的设计	67
§31. 模型糙率的测定	73
§32. 定床变态模型实例	74
§33. 动床模型試驗概述	75
§34. 动床模型的设计方法	76
§35. 动床模型試驗方法	84
§36. 变态模型对水流的影响	86
§37. 动床变态模型实例	86

参考书目	87
------	----

第五章 电拟試驗.....88

§38. 电拟試驗的发展及目的	88
§39. 水电比拟与拉普拉斯位势方程式	89
§40. 电拟模型的装置条件	92
§41. 电拟模型的导电材料	95
§42. 二向电拟模型的规划与制造	100
§43. 試驗的原理及方法	104
§44. 模型边界需要調整位势的装置与試驗方法	107
§45. 无压滲流的自由面試驗方法	116
§46. 不同土质的模型布置与試驗方法	117
§47. 滲流量的試驗方法	121
§48. 不穩定滲流的試驗方法	124

§49. 考虑毛管水面升高的試驗方法	127
§50. 地下水运动的研究試驗举例	128
§51. 軸对称滲流的电拟試驗	135
§52. 三向滲流电拟試驗	136
§53. 試驗裝置与仪器的改进	142
§54. 流网的繪制	145
§55. 閘坝基底浮托力及护坦厚度的計算	146
§56. 滲流坡降及出滲速度	151

参考书目	155
------------	-----

第六章 水工試驗基本設備156

§57. 概說	156
§58. 試驗場所	157
§59. 水流系統設備	162
§60. 基本固定設備	173
§61. 測定仪器的率定設備	190
§62. 附属設備和工作間	193

参考书目	196
------------	-----

第七章 水工試驗一般測驗仪器196

§63. 概說	196
§64. 水位測量仪器	198
§65. 压力測量仪器	202
§66. 流速測量仪器	210
§67. 流向測量仪器	217
§68. 流量測量仪器	219
§69. 动力測量仪器	236
§70. 測驗仪器的率定	240

参考书目	244
------------	-----

第八章 电測仪器的原理及应用245

§71. 引言	245
§72. 电測仪器总論	246

§73. 电测仪器的感应部分	250
§74. 电测仪器的记录部分	281
§75. 試驗室常用的几种电测仪器介紹	284
第九章 水工模型的制造和安装	296
§76. 模型制造和安装的步驟	296
§77. 模型制造和安装举例	302
第十章 水工試驗操作技术	307
§78. 試驗操作的要求	308
§79. 試驗操作的程序	308
§80. 操作举例	318
第十一章 原体观测和仪器設備	325
§81. 引言	325
§82. 水力学原体观测的項目	326
§83. 仪器設備及其埋設部分	329
第十二章 試驗資料的統計	339
§84. 数学的运算和資料的表示方法	339
§85. 机率分配曲綫	349
§86. 平均值	355
§87. 变差系数	362
§88. 偏差系数和峰型系数	373
§89. 水文資料的頻率分析	378
参考书目	390
第十三章 試驗公式的作法	390
§90. 总論	390
§91. 直綫公式	396
§92. 拋物綫公式	401
§93. 双曲綫公式	413
§94. 指数曲綫公式	417
§95. 三变量試驗公式	424
参考书目	428

第一章 水工模型試驗总論*

§1. 水工模型試驗的意义

水流的运动，代表着一种非常复杂的事物发展过程。其中各种矛盾——各种作用力的存在的情况和它們发展的規律，我們至今还不能很好的掌握。通常設計水利工程，不是用数学分析的方法，就是应用經驗公式。这些都存在着一定程度的缺点。比如說为了簡化数学分析的困难，在推演理論方程式之前加上各种假設；在方程式的求解过程当中，高次項往往加以省略。因此，根据理論公式来做設計，必須經過試驗的証实，然后才能付之实施，这样才能保証工程的安全。其次，經驗公式虽属可靠，但其系数也有它一定应用的范围，并不全能任意推广。况且天然河道中水工建筑物的边界条件，各不相同，經過水工模型試驗的分析和研究，方可切合实际，更可从而提高理論，再指导实践。所以，水工模型試驗，是流体力学理論和实际水利工程中間的媒介物。

§2. 水工模型試驗的定义

模型就是仿照原体实物，根据其所受的主要作用力按一定比例关系縮小或放大的代表物。模型試驗是当原体或实际現象还没有成立或还没有发生时，如果想了解这原体或实际現象的情况、性質，或檢查其水力方面的安全性，可以用模型使它遭遇着与原体相似或近似的环境，由此模型所發生的現象，推断原体实物所發生的現象。这就是水工模型試驗的任务。水工模型試驗的实质，就在于将所注意到的現象复制成小尺度的代表物来进行研究，用以推測原体当中可能發生的現象。因此，只有应用水工模

* 編写者：姜国幹。

型試驗的方法，才可能研究設計中的建築物的安全性，才可能確定某些要素在決定整個現象中所起的影响，才可能揭露并研究原體中進行觀測時所察覺不到的現象，并且還可能对設計時所根據的理論和技术前提進行驗證。

§3. 水工模型試驗簡史

牛頓發表了相似理論后，佛勞德 (Froude) 進行了船舶模型試驗，后来法格 (Fargue) 做河道模型試驗來改善航道，雷諾 (Reynold) 在 1885 年做摩塞河 (Mersey) 模型試驗來了解潮汐河口的水流情况，費弄-哈哥特 (Vernon-Harcourt) 在 1886 年進行了塞因河口模型試驗。自恩格思 (Engels) 在 1898 年首創水工模型試驗室以后，費礼門 (Freman)、吉普生 (Gibson)、亞倫 (Allen) 对于水工模型試驗都有相当的貢獻。

苏联由于國民經濟建設的需要，有了許多規模宏大的水工試驗室。在莫斯科、列宁格勒、塔什干、哈尔克夫、基輔、埃里溫等城市都展開了大規模的試驗研究。因此，近年來在水工模型試驗和技术的发展上，苏联的學者們起了主导作用，如基尔彼契夫、巴甫洛夫斯基、波珂罗夫斯基、挨吉、札罗夫、古赫曼、沙巴涅也夫、伊茲巴什、阿勃拉摩夫、維列卡諾夫、富強斯基、彼卡洛夫、巴尔康耶夫、茲耶拉什得、叶格罗夫、哈里图林、阿尔图宁等。在模型相似律的发展和研究方面的偉大成就，則属于全苏水工科学研究所 (ВНИИГ)、中亞灌溉科学研究院 (САНИИРИ)、全苏水工和土壤改良研究所 (ВНИИГиМ)、莫斯科水利土壤改良学院、全苏給水、排水、水工和水文地質科学研究所 (ВОДГЕО)，和其他許多研究所和試驗室。

我国在 1935 年就有了水工試驗机构，一就是南京水利科学研究所的前身，但一直沒有得到很好的发展，解放以后由于中国共产党和人民政府重視科学，和国家大規模水利建設的需要，才能擴建成現在的規模。其余規模較大的水工試驗机构，有西北水工試驗所、西南水工試驗所、黄河水利科学研究所、淮河水利科学

研究所、沈阳水工試驗所和长江水利科学研究院。1956年水利部成立了北京水利科学研究院，领导水利科学研究工作。这样，今后便走向更有计划的科学分工的道路，因而对我国水利科学研究事业将会作出更加辉煌的贡献和成就。

§4. 水工模型的分类

水工模型試驗都根据一定的相似力学原理。其主要的相似性有三种：1. 几何相似性，指原体和模型形状的相似。2. 运动相似性，两者除了几何性相似外，其相应质点速度比恆等。3. 动力相似性，是两者质量和力相似。水工模型可按它们的相似性，做出不同的分类。

原体各部分尺寸都按同一比例缩小而成为模型，即两者具有几何性的相似，谓之正态模型。水工建筑物的模型，都采用正态模型。但如为条件限制，使模型的水平比例和垂直比例不能相等，或在其他水力学性质方面有不相似存在时，谓之变态模型。河工模型大部分属于这一类型。

为了試驗水工建筑物的流量系数、河渠洪水水面綫等問題，使模型的各部分固定不变，谓之定床模型。研究河床泥沙的冲淤現象的河床模型，須用可冲动的模型沙作为底质，谓之动床模型。

按照所受主要作用力及水流的特殊性质，可分为管流模型、水力机械模型、水工结构模型、河工模型、潮浪模型及渗透模型等。

如按照模型范围，又可分为整体、半整体、局部及断面模型等。河工問題多采用整体模型。水工结构往往采用二元的断面模型。

§5. 水工模型所需的試驗資料

水工模型的制造，須有足够的測量資料和水工建筑物設計詳圖。进行試驗时，更須有充分的水文資料，才可将原体河道中已

发生的水文现象和水力情况，全部复演于模型上。不如此，試驗結果将来就很难全部推广到原体。因此，試驗資料就需要有全份的計劃任务书及附图和技术設計及附图等。茲将各种模型所需要的資料分述如下。

一、水工建筑物模型

1. 建筑物上下游2,000公尺以内的地形图，比尺为1:1,000~1:5,000，等高綫間距为1~2公尺。建筑物上下游300公尺以内的地形图，比尺为1:500~1:1,000，等高綫間距为0.5~1公尺。横断面图，比尺为1:200~1:500，断面間距为10~20公尺，并在地形图中注明其位置。

2. 工程总平面图，比尺为1:2,000~1:500。各个建筑物的平面图，比尺为1:500~1:200。工程的纵横断面图，比尺为1:500~1:200。鋼质构造的結構图，比尺为1:50，其中各組成要素的比尺为1:20。

3. 河床表面沉积物的粒徑分布及比重，河床地质构造、岩层性质及分布状况图。

4. 上下游水位流量关系曲线，須包括非常洪水、常年洪水、枯水的水文資料在內。

5. 詳細的水力計算。

6. 其他特殊資料：*a.* 潮汐河流应附各期全潮流量資料。*b.* 若为多泥沙的河流，应附河流含沙量測量結果及河床历年变迁資料。*c.* 若为船閘試驗，应附船舶形式、吨位、吃水深度及全年各季运轉量統計資料。*d.* 若为有筏道的滾水坝，須附上游木材下輸数量、大小、种类及性质的統計資料。*e.* 若属水电工程，須附水輪机性能、式样、尾水变化等資料。

二、河工模型

1. 試驗河段地形图，河寬小于100公尺时，比尺为1:2,000~1:5,000，河寬为100~500公尺时，比尺为1:5,000~1:10,000，河

寬大于500公尺时，比尺为 $1:10,000 \sim 1:25,000$ ，其等深綫間距为 $0.5 \sim 2$ 公尺。橫断面图，比尺为 $1:500 \sim 1:2,000$ ，断面間距为 $50 \sim 200$ 公尺。在河道变化地段須加測断面，并在地形图上注明其位置。無論地形图或橫断面图，均須包括全部河床，并达洪水以上的堤岸綫。如为冲淤試驗，应在洪水前后各測地形一次，并須有數年記錄。在冲淤严重的河段，每隔三、四月或在中水位时均須加測地形或橫断面一次。

2. 模型范圍应包括試驗河段上下游两个以上的弯道。約隔 $3 \sim 15$ 公里須設一处水文站，經常觀測水位、流量、含沙量、水面比降、水流方向等，洪水时期的觀測資料尤为重要。需要沿河各站水位流量关系曲綫、全年水位流量过程綫、中水位及洪水位两岸水边綫等。如为潮汐河流，須測量全潮流量水面曲綫，并須具备水位流量受潮汐影响的水文分析資料。

3. 試驗河段护岸及其他水工建筑物布置細节图。

§6. 試驗設備

水工模型試驗的設備，除了模型本身外，須包括：

1. 水流系統設備：一般地分为循环式和重力式两种，其中有供水、配水、进水的設備及尾端下游的回水設備。

2. 量水設備：試驗室所常用的量水設備有文杜里水計、量水堰等。

3. 模型前池：使模型的用水水面平稳地进入模型。

4. 沉沙池：紧接在模型下端，积聚活动河床的沙礫，可避免流入蓄水池。

5. 尾門：控制模型下游水位。

6. 測驗設備：包括測驗水位、压力、流速、流向、河床冲刷等方面的測驗仪表。而仪表的率定設備也占有重要地位。由于水利科学研究的发展，更有广泛地采用电測仪器等現代化的工具的需要。

§7. 模型試驗的進行

根據試驗資料及設計機關所提出的問題，首先應考慮試驗室的地位、水量、時間及經費等四個條件。模型所占地位和水量的供應，往往控制了模型的比例尺。

模型与原体的相似，具有一定的界限。超过了界限，就不能相似，因此这时模型上所得結果就不能应用到原体上。愛司婁(Eisner)歸納各方面意見，定出了下述的界限：1. 共同作用；2. 表面流速；3. 紊動流和層流；4. 射流及緩流；5. 推移質運動；6. 糙率程度；7. 氣蝕作用等七界限。嗣後沙斐特(R. Seifert)又找到了：8. 表面張力和毛細管作用；9. 捲氣兩個界限。

通過上述四個條件九種界限的考慮和計算，就可以決定模型的比例，繪制模型布置圖，根據原体尺寸繪制製造詳圖，選用適合的模型材料製造模型，並隨時校驗尺寸保持一定的精度。然後選定水準點控制高程，定立中綫控制方位。最後安裝模型，完成後並須進行複核測量。接着進行原布置試驗、各種修改布置試驗及終結試驗。並運用尺度分析、統計原理、試驗公式等方法，隨時進行分析研究，編寫試驗研究報告。最後經過討論和批准，及時地向委託單位提出試驗報告，並編寫試驗研究的工作總結。

§8. 模型試驗的驗證

試驗報告送到委託機關以後，進行研究考慮，向試驗研究機關提出意見(包括正面和反面的)。工程完工以後，應該了解所做的建議被工地採納的情況以及效果如何。並搜集工程竣工詳圖和工程附近的地形圖等，並以委託機關為主地經常進行下列各項觀測：

1. 閘門開啟高度、流量和上下游水位間的關係。
2. 水流情況，包括水躍、回流、漩渦、波浪、流向、噴射情況等。
3. 通過各級主要流量後的消能效果和河床沖淤情況。

4. 压力分布及解除負压的通气管的效果。

5. 船閘灌泄水時間及水力冲击力(說明水位差的大小、船只型式、載重及吃水深度)。

6. 震动情况及高速水流掺气的观测。

通过原体的实测来验证模型試驗的結果，找出缺点。这样才能提高理論水平和試驗技术。

§9. 水工模型試驗範圍

水工建筑物模型經常所解决的問題为：流量系数、防冲設備、負压、浮托力、墩座及翼牆形式、渠首位置及防淤設備、船舶出入船閘时水流激动的影响、灌泄水時間等。

河工模型試驗所解决的問題为：改善河渠工程、避免洪水漫溢、裁弯取直的影响、丁順坝的作用、建筑物上游回水高度、河渠水流方向及淺滩对航运的影响等。

其他的研究問題有：气蝕研究、高速水流研究、高速流掺气影响、負压問題、冲刷問題、水庫淤积問題、异重流的研究及泥沙运动等。

第二章 尺度分析法*

§10. 尺度和单位的意义及其相互关系

我們要量度某“量”时，在一般的应用上是将这“量”和它同一“类”的而且是預先选定了作为一个量度单位的量相比較，所以量的量度是具有相对意义的，通过这种量度便能得出相对于这个单位的倍数。

例如我們要量某一物体“长度”，則必須用預先选定的“公尺”或“公分”来和它比較，因而得出这物体的“长度”是“公尺”的或

* 編写者：侯暉昌，陈惠泉。

“公分”的多少倍。因此，为了量度必须先选定单位。

这个“长度”(也包括其他一切物理“量”，如時間、質量、力等等)是表示物理量的类别，我們称它为“尺度”。表示尺度的符号是 $[]$ ，例如質量尺度为 $[M]$ 。而用以量度“尺度”的单位量(如上面所說的“公尺”)則称之为“单位”。經過量度得出的数值，名为具体数值。

因为单位可以完全由人們預先选定，同一物理量人們可选定任何种标准量来度量該物理量的数值。因此，在原則上講，同一物理量可有任意种单位。例如物理量长度，其单位有：公尺、公分、公厘、呎、市尺……等。

一切物理量(尺度)可分为两大类，一是基本尺度，二是誘导尺度。基本尺度在实用上具有三个性质完全不同的尺度，就是說它們中間任何一个尺度都不可能由其余二个尺度来表示。同样，基本单位的意义也是如此，它在實質上就是独立单位。基本尺度有两种，一是理論尺度，包括“长度”($[L]$)，“時間”($[T]$)和“質量”($[M]$)；另一是实用尺度，包括“长度”、“時間”和“力”($[F]$)。

尺度和单位的数目并不一定是三个，甚至并不一定是“ MLT ”和其相应的单位，它們的数目取决于我們所研究的对象。这里的三个基本尺度和基本单位是一般力学中所出現的。从尺度分析的角度來說，可以一般地不規定基本尺度和基本单位的数目和类别，并在这基础上来探求諸物理量的尺度属性。

相应于尺度的有基本尺度和誘导尺度，单位也有基本单位和誘导单位。公制的基本单位也有二种，一是理論单位即公尺、千克、秒；二是实用单位即公尺、公斤、秒。这里，单位和尺度經常相应的意义是一种尺度只能用同一性质的单位来量度，但是同尺度的物理量可以具有不同的物理意义。

上面已說过基本尺度的意义。以下我們要說明，当基本尺度决定后，其他(誘导)尺度便可以用基本尺度来表示。有两种誘导尺度，一种是按其定义便可以引导出来的，例如速度是单位時間

內的位移，即：

$$V = \frac{dS}{dt}$$

所以，速度的尺度便是：

$$[V] = \frac{[L]}{[T]}$$

属于这一类的誘导尺度的有加速度、重力加速度、面积、体积、流量、密度等等。

还有一种誘导尺度，在“誘导”問題上是和上述那种誘导尺度是有質的差別的。

一般說，自然現象(其中包括各种水流过程)是代表各种不同的尺度(包括基本尺度和誘导尺度)“量”的变化的。这些“量”的变化之間可能有一些是沒有直接的和主要的相互关系的，但有一些“量”之間是有着一定的相互关系的。这种尺度量之間的一定的相互关系，就是自然界的規律性的表現形式之一。而这种規律性有时可以用数学形式表現出来。

这些描写物理过程的数学形式是多种多样的，可以是简单的代数式，也可以是微分方程式，一般說它應該是函数式，但它又不是一般的数学函数式。数学形式的簡單和复杂，相应地反映客观水流过程的簡單和复杂。

依靠这种表現自然現象最簡單最基本的規律性的数学式，我們便可以决定其他一些量的“誘导尺度”。例如根据牛頓第二运动定律，力的尺度便是等式 $F = ma$ 右边量的尺度的組合，如采用理論尺度制，則力的尺度便是

$$[F] = [M] \times \left(\frac{L}{T^2} \right) = [MLT^{-2}]$$

如采用实用单位，則質量的尺度应为

$$[M] = [FT^2L^{-1}]$$

在力的尺度的基础上，按照定义又可引导出比重、功和功率等的尺度。

又如根据牛頓层流粘性定律 $\tau = -\mu \frac{dV}{dl}$, τ 是单位面积的切应力值, 所以动力粘滯系数 μ 的尺度便是

$$\left(\frac{MLT^{-2}}{L^2}\right) = -[\mu] \left(\frac{L}{T}\right) \left(\frac{1}{L}\right)$$

$$[\mu] = [ML^{-1}T^{-1}]$$

由上可見, 虽然 $[\mu]$ 和 $[F]$ 同样是誘导单位, 但 $[\mu]$ 的单位的誘导是在肯定了牛頓第二运动定律的基础上, 即肯定了力 F 的尺度是 $[MLT^{-2}]$ 之后, 不然 μ 的尺度便不可能是 $[ML^{-1}T^{-1}]$ 。

所以虽然 F 和 μ 的尺度同属于誘导尺度, 但 μ 尺度对于力 F 还是具有誘导意义的。

在 μ 的尺度已决定的基础上, 便可求出运动粘滯系数 ν 的尺度为

$$[\nu] = \frac{[\mu]}{[g]} = \frac{[ML^{-1}T^{-1}]}{[ML^{-2}]} = [L^2T^{-1}] \quad (2-1)$$

誘导尺度的求法以后还要詳細研究。因为单位和尺度是相应的, 所以誘导单位也就是将 $[M]$ 、 $[L]$ 、 $[T]$ 換以公尺(或公分)、千克(或克)和秒而已。例如运动粘滯系数 ν 的单位为公分²/秒或公尺²/秒。

各物理量的尺度見表2-1。

虽然单位和尺度是相应的, 但每一种尺度(不管是基本的还是誘导的)只是代表一种不同类别即不同質的量, 而每一种不同类别即不同質的量都可以以不同的基本单位(例如用千克、公尺、秒或用克、公分、秒)或因而也不同的誘导单位来量度它。那么, 用一种单位所量度出的某尺度的具体数值, 如何轉換成用另一单位所量度的这尺度的具体数值呢? 这就是要将具体数值乘以一单位与另一单位的相互轉換的系数。基本单位变换的具体例子如下:

$$5[\text{公尺}] = 5[100 \text{ 公分}] = 5 \times 100[\text{公分}] = 500[\text{公分}]$$

$$5[\text{呎}] = 5[0.3048 \text{ 公尺}] = 5 \times 0.3048[\text{公尺}]$$

$$= 1.5240[\text{公尺}] = 152.4[\text{公分}]$$

表2-1 水工模型試驗之重要物理量尺度及其模型定律关系

物理量	尺度	比 例				柯 伯 启
		正 态	特 变 态		雷 諾	魏 伯
		正 态	特 变 态	变 态		
几何量						
长寬	L	L_r	L_r	y_r	L_r	L_r
深度						
水平面积	L^2	$(L_r)^2$	$(L_r)^2$	$(L_r)^2$	$(L_r)^2$	$(L_r)^2$
垂直面积						
体积	L^3	$(L_r)^3$	$(L_r)^3$	$(L_r)^3$	$(L_r)^3$	$(L_r)^3$
运动量						
时间	T	$(L\rho/\gamma)_r^{1/2}$	$[Ly^{-1/2}(\rho/\gamma)_r^{1/2}]_r$	$(L^2\rho/\mu)_r$	$(L^2\rho/\sigma)_r^{1/2}$	$[L(\rho/K)_r^{1/2}]_r$
速度	LT^{-1}	$(L\gamma/\rho)_r^{1/2}$	$(\gamma\gamma/\rho)_r^{1/2}$	$(\mu/L\rho)_r$	$(\sigma/L\rho)_r^{1/2}$	$(K/\rho)_r^{1/2}$
加速度	LT^{-2}	$(\gamma/\rho)_r$	$(\gamma\gamma/L\rho)_r$	$(\mu^2/\rho^2L^2)_r$	$(\sigma/L^2\rho)_r$	$(K/L\rho)_r$
流量	L^2T^{-1}	$[L^{5/2}(\gamma/\rho)^{1/2}]_r$	$[Ly^{3/2}(\gamma/\rho)^{1/2}]_r$	$(L\mu/\rho)_r$	$[L^{5/2}(\sigma/\rho)^{1/2}]_r$	$[L^2(K/\rho)^{1/2}]_r$
运动粘滞系数	L^2T^{-1}	$[L^{5/2}(\gamma/\rho)^{1/2}]_r$	$[y^{5/2}(\gamma/\rho)^{1/2}]_r$	$(\mu/\rho)_r$	$(L\sigma/\rho)_r$	$[L(K/\rho)^{1/2}]_r$

續表

物 理 量	尺 度	比 例		
		雷 諾	魏 伯	柯 启
		正 态	特 变	
質量	M	$(L^3\rho)_r$	$(L^2y\rho)_r$	$(L^3\rho)_r$
力或重量	MLT^{-2}	$(L^3\gamma)_r$	$(L^2y\gamma)_r$	$(L^3K)_r$
密度	ML^{-3}	ρ_r	ρ_r	ρ_r
单位重	$ML^{-2}T^{-2}$	γ_r	γ_r	$(K/L)_r$
动力粘滯	$ML^{-1}T^{-1}$	$[L^{3/2}(\rho\gamma)^{1/2}]_r$	$[y^{3/2}(\rho\gamma)^{1/2}]_r$	$[L(K\rho)^{1/2}]_r$
系数	MT^{-2}	$(L^2\gamma)$	$[y^2\gamma]_r$	$(LK)_r$
表面張力	$ML^{-1}T^{-2}$	$(L\gamma)$	$(y^2\gamma/L)_r$	K_r
容积彈性	$ML^{-1}T^{-2}$	$(L\gamma)_r$	$(y\gamma)_r$	K_r
压力强度	MLT^{-1}	$[L^{7/2}(\rho\gamma)^{1/2}]_r$	$[L^2y^{3/2}(\rho\gamma)^{1/2}]_r$	$[L^{3/2}(K\rho)^{1/2}]_r$
动量	ML^2T^{-1}	$(L^4\gamma)_r$	$(L^3y^2\gamma)_r$	$(L^3K)_r$
功能	ML^2T^{-2}	$(L^{7/2}\gamma^{3/2}/\rho^{1/2})_r$	$[Ly^{5/2}\gamma^{3/2}/\rho^{1/2}]_r$	$[L^2K^{3/2}/\rho^{1/2}]_r$
功率	ML^2T^{-3}			