

钢筋混凝土双曲线冷却塔的施工

水利电力部基本建设司



钢 筋 混 凝 土

双曲线冷却塔的施工

水 利 电 力 部 基 本 建 设 司

水 利 电 力 出 版 社

2W38/05

内 容 提 要

本书系统地介绍我国大型钢筋混凝土双曲线冷却塔的施工方法。内容除详细介绍施工前的准备工作、施工过程中的安全保护和质量检验,以及各项施工工艺外,还重点阐述施工专用设施,如竖井架、悬挂式三角架和方框架、吊桥、模板等的强度计算和校核方法。为了提高工效,本书还介绍了竖井架在国产TQ-16型计算机上的全部计算程序,以及施工进度安排的关键路径法。

本书供火电建设部门以及化工、冶金、轻纺等有关部门土建工程师、技术员阅读。

钢筋混凝土双曲线冷却塔的施工

水利电力部基本建设司

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 17.5印张 465千字

1984年9月第一版 1984年9月北京第一次印刷

印数 0001—8680册 定价 2.15元

书号 15143·5407

前 言

随着经济建设的迅速发展，双曲线冷却塔的应用越来越广泛，其规模也越来越大。广大工程技术人员迫切需要一本能系统地指导冷却塔施工的书籍。

一九七八年山东电力建设公司第一工程处，在总结我国第一座5000平方米双曲线冷却塔建设的基础上，由顾玉麟同志编写了《冷却塔施工》初稿。一九八〇年我司在江苏镇江市曾召开全国冷却塔、烟囱施工技术交流会，各地代表交流了许多冷却塔施工的新技术、新工艺，希望并要求组织编写一本适合我国国情的冷却塔施工书籍，以适应广大技术人员的需要。为此，我司组织了山东电力建设一处、西北电力建设局第四工程公司等单位，在广泛收集各地冷却塔施工、设计资料的基础上，参考顾玉麟同志的初稿，编写了《双曲线冷却塔施工》一书。

本书第一、二、三、四、五、九章由山东电力建设一处李勤耘同志编写，第六、七、八、十章及第五章的装配式结构部分，第四章的电梯部分由西北电力建设局四公司强振兴同志编写。第七章由电力建设研究所张积瑜、徐爱民同志作了补充；第二章的结构设计部分、第四章的竖井架计算及实例部分由水电部基建司金祖兆同志编写；第三章的混凝土配比设计部分由水电部基建司宋国秉同志作了补充；第四章的竖井架的电子计算机程序由华北电力设计院徐耀东、葛天行同志编写。在编写过程中东北电业管理局第三工程公司、内蒙电力建设公司、山东电力建设二处、天津电力建设公司、江苏电力建设一处、安徽电力建设一、二公司、山西电力建设一、三公司、华东电力设计院、西北电力设计院、东北电力设计院、中南电力设计院、北京电力设计院、河北电力设计院、河南电力设计院、永昌发电厂等单位提供了许

多宝贵的实践资料。赵加铭、马秀敬、周棣、黄林林、潘维雄等同志参加了本书的审稿。水电部科技司黄伟谋同志、规划设计院何蓬江同志曾对本书提出许多宝贵意见，谨此致谢。

全书由水电部基建司宋国秉、金祖兆同志定稿。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，请广大读者批评指正。

水利电力部基建司

目 录

前 言

第一章 绪论	1
1-1 火力发电厂与双曲线冷却塔	1
1-2 逆流塔与横流塔	5
1-3 双曲线冷却塔技术发展概况	8
1-4 双曲线冷却塔施工方案简介	13
第二章 双曲线冷却塔构造与设计简介	25
2-1 双曲线冷却塔的组成及构造	25
2-2 双曲线冷却塔结构设计	29
第三章 施工准备	38
3-1 施工现场布置	38
3-2 抗冻抗渗混凝土的配制与试验	43
3-3 劳动组织	70
3-4 综合进度	75
第四章 专用设施及机械	82
4-1 金属竖井架的构造与设计	84
4-2 竖井架计算实例	108
4-3 竖井架的电子计算机程序	135
4-4 吊桥的构造与计算	170
4-5 乘人电梯	178
4-6 竖井架及其附属设施的施工	197
4-7 环行吊车的设计	208
4-8 多嘴喷油机	212
第五章 环梁以下部分施工	214
5-1 测量放线	215
5-2 土方施工与地基处理	217
5-3 基础施工	247

5-4	底板与竖井施工	251
5-5	池壁、人字柱、环梁现浇施工	254
5-6	装配式人字柱及环梁施工	264
第六章	筒壁施工	287
6-1	模板设计计算	290
6-2	悬挂式脚手架计算	298
6-3	筒体分节计算	315
6-4	模板工程	327
6-5	对中装置及操作要求	340
6-6	钢筋工程	350
6-7	混凝土工程	357
6-8	刚性环施工	365
6-9	塔体附件安装	370
6-10	施工过程中筒体屈曲验算参考资料	373
第七章	筒壁防水	377
7-1	筒壁防潮涂料	377
7-2	涂料的施工准备及施工要求	390
7-3	质量与安全措施	397
第八章	淋水装置	400
8-1	构件预制	401
8-2	水泥网格板加工	419
8-3	淋水构架吊装	427
8-4	水泥网格板安装	457
8-5	喷溅装置	461
8-6	除水器	473
8-7	横流塔淋水装置施工	479
第九章	工程质量	481
9-1	质量标准及要求	481
9-2	冷却塔施工中常见的质量问题和处理方法	493
9-3	越冬保护	496
9-4	冬季施工	497
第十章	安全技术	499

10-1	一般安全规定	499
10-2	分项工程安全技术	501
10-3	竖井架及其附属设施	507
10-4	钢丝绳及其使用	515
附录一	悬挂三角架制作图	529
附录二	悬挂方框架制作图	533
附录三	I 型模板制作图	538
附录四	II 型模板制作图	541
附录五	III型模板制作图	543
附录六	双曲线冷却塔概算指标	546
附录七	双曲线冷却塔工料消耗量	547
附录八	已建双曲线冷却塔工程量及工期	548

第一章 绪 论

1-1 火力发电厂与双曲线冷却塔

电能是工农业生产的主要能源。电厂是电能的制造厂。近代电厂按能源资源分为：火力发电厂、水力发电厂、核电厂及太阳能发电厂、风力发电厂等。由于火力发电厂具有投资少，收效快的特点，目前仍不失为电能的重要来源之一。

在采用闭式循环的发电厂中，汽轮机的蒸汽冷凝一般依靠循环水来完成。循环水的温度，在一定程度上将直接影响汽轮机的效率。一般使用化石燃料的中压发电机组，循环水温度每降低 1°C 能提高效率 0.47% ，高压发电机组能提高 0.35% ，使用核燃料的发电机组能提高 0.7% 。循环水温度在以双曲线冷却塔作为冷却设备的发电厂中，主要取决于双曲线冷却塔的效率。由于双曲线冷却塔能大大节约电厂用水，因此它在缺水地区是火力发电厂不可缺少的构筑物。同时在电站建设中，由于冷却塔塔高壁薄，施工难度大，技术要求高，其建设周期在发电厂建筑物中仅次于主厂房，故对双曲线冷却塔设计施工的研究，在国内外受到广泛的重视。为了能使广大读者对双曲线冷却塔有一全面的了解，现分以下几部分对其冷却原理、作用等作一扼要叙述。

一、发电厂冷却水的供水形式和冷却塔的地位

火力发电厂冷却水的供水形式，一般可分直流供水和循环供水两种。所谓直流供水就是从水源送来的经过凝汽器以后变热了的水直接排入江河或农田沟渠。这种形式在水源丰富的江河地区采用较多。循环供水是将经过凝汽器变热的水，通过专门设备进行冷却后再循环重复使用。循环过程中的水损失由补给水供给。这是一种节约用水的有效措施。

双曲线冷却塔就是将经过凝汽器而变热的水冷却后供循环使

用的一种设备。随着现代工业的发展，人们对水的需求量正在不断增长。我国人口众多，幅员辽阔，水力资源的分布极不均匀，因此保护水力资源正在引起各方面的重视。节约用水，尽可能地压缩用水量，以适应工农业用水量增长的需要是当务之急。在这种情况下，双曲线冷却塔不但在北方缺水地区被普遍采用，即使在南方由于大机组所需的冷却水量大，一般小河道难以满足，采用冷却塔的发电厂也将逐渐增多。因之，它在我国电力建设和生产中必将引起广大工程技术人员的重视。

二、火力发电厂生产系统与双曲线冷却塔的冷却原理

火力发电厂是将燃料送到锅炉中燃烧、放热，加热锅炉中的给水，产生具有一定温度和压力的蒸汽；再将具有一定压力和温度的蒸汽送入汽轮机内，冲动汽轮机转子旋转，带动同一轴上的发电机旋转而发出电能供给用户。其生产系统主要包括汽水系统，燃烧系统及电气系统。电能生产过程是一个能量转换的过程，这个过程是由发电厂的锅炉、汽轮机、发电机三大主要设备和一些辅助设备来实现的，即在锅炉中，将燃料的化学能转换为蒸汽的热能；在汽轮机中，将蒸汽的热能转换为汽轮机轴的旋转机械能；在发电机中，将机械能转换为电能。

火力发电厂的整个生产过程及主要设备和系统连接概况见图1-1。

双曲线冷却塔是火力发电厂汽水系统中一个重要组成部分，它的主要作用是促使被冷却介质（热水）和冷却介质（空气）之间进行有效的热交换，其作用原理如图1-2所示。

冷却塔的冷却过程是：经过凝汽器变热了的循环水，沿压力进水管8送到塔内竖井11内，通过配水装置5，将水流分散，再经过设在分水槽下的喷嘴等将水流分散成水滴。水滴下落经过淋水填料4时，与从冷空气进口6进入塔内的空气对流，进行热交换。此时吸热后的空气，借助风筒1的抽拔力上升后自塔顶排出。已经冷却的水滴则下落到贮水池2集中，再通过滤水装置，从回水沟9流经循环水泵送往凝汽器，如此循环工作。在这个过

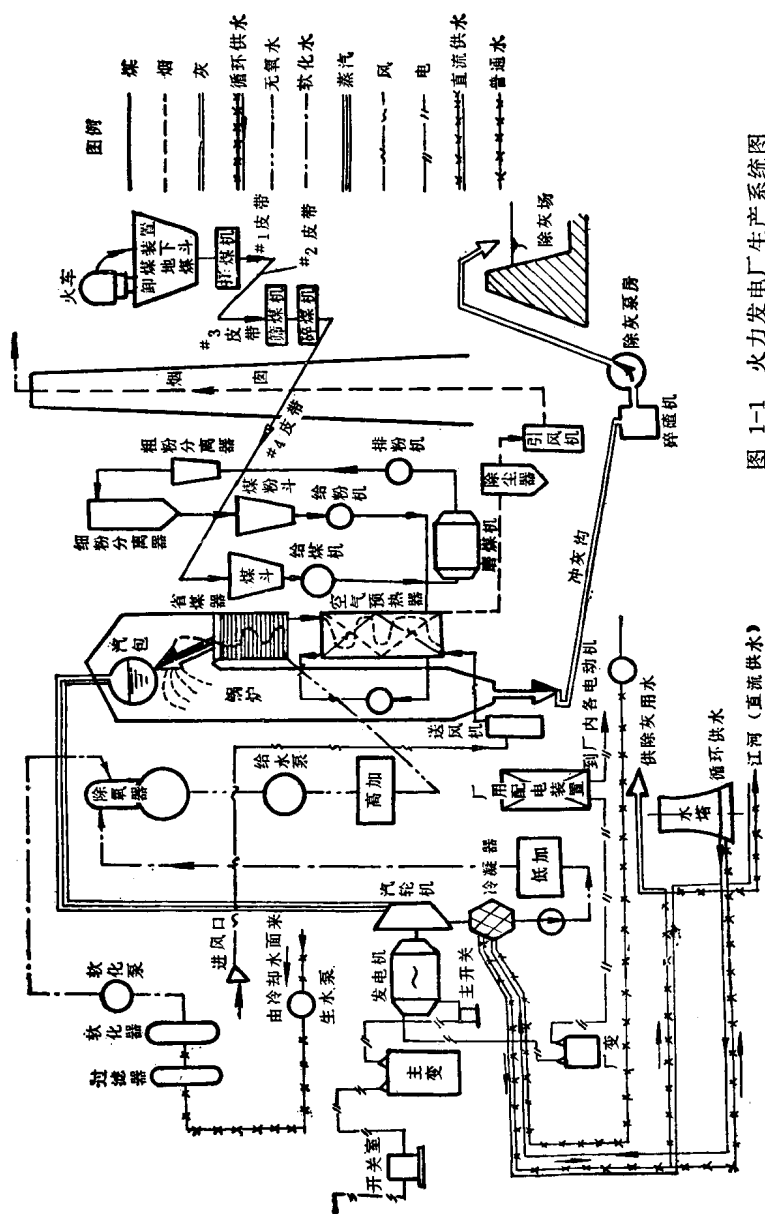


图 1-1 火力发电厂生产系统图

程中从凝汽器到竖井的沿程阻力由循环水泵的扬程来克服，其水量大小靠凝汽器的出口闸门调节。循环过程中的水损失由补给水

供给。如此周而复始，以保证发电机组正常运行。

三、装机容量与塔的规模

火力发电厂可以按照其发电能力大致划分为大、中、小三种类型。目前我国的划分方法如下：

大型发电厂——总装机容量在25万千瓦以上，一般安装单机容量为10万千瓦以上的机组；

中型发电厂——总装机容量为2.5万

千瓦到25万千瓦，一般安装单机容量为2.5万千瓦到10万千瓦的机组；

小型发电厂——总装机容量在2.5万千瓦以下，一般安装单机容量为0.6万千瓦到1.2万千瓦的机组。

在设计确定双曲线冷却塔的淋水面积的大小时，应考虑建塔地区在历年最炎热时期(一般以6, 7, 8三个月计算)频率为10%的昼夜平均最高气温条件下汽轮机能满负荷运行，以及在全年运行中有最好的经济性。在满足上述条件下兼顾厂区的总体布置、一次投资费用及最小的年运行费用，并考虑施工条件等因素。在确定冷却面积时也同时决定循环水倍率与冷却塔的合理组合。一般情况下，冷却塔所宜选用的淋水面积大致如表1-1所示。

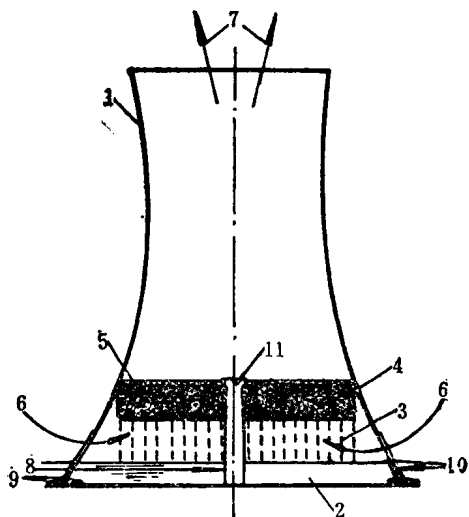


图 1-2 双曲线冷却塔的冷却原理图

- 1—风筒；2—贮水池；3—淋水构架；4—淋水填料；
5—配水装置；6—冷空气进口；7—热空气出口；
8—压力进水管；9—回水沟；10—补给水进水管；
11—塔内竖井

表 1-1 不同机组不同地区双曲线冷却塔淋水面积表

机 组 容 量 (千瓦)	严 寒 地 区 (米 ²)	寒 冷 地 区 (米 ²)
6000~50000	400~1500	500~2000
100000~125000	2500~3000	3500~4000
200000	3000~4000	4500~5000
300000	6000	6500~7000

1-2 逆流塔与横流塔

双曲线冷却塔根据空气和水流的热交换方式分为横流式冷却塔（以下简称横流塔）和逆流式冷却塔（以下简称逆流塔）。我国目前在火电厂采用逆流塔比较普遍，横流塔也开始采用。

逆流塔与横流塔热交换方式的根本区别在于：逆流塔中水和空气逆向流动，水由上向下，空气由下向上。横流塔中水和空气是交叉流动，水由上向下，空气则是水平流入。在横流塔中，由于淋水密度和空气流速较大，使淋水填料的散热能力明显提高，通风筒可相应减小。有关资料表明，同样的冷却效果，横流塔通风筒面积仅为逆流塔通风筒面积的一半，因而降低了冷却塔的造价。

逆流塔，参数符号见图1-3，其表示方式为：

$$F \text{——} H/H_0,$$

参数符号意义如下： F ——淋水面积， $F = \pi R_0^2$ ， R_0 为塔零米处的半径；

H ——风筒高度；

H_0 ——进风口高度。

横流塔，参数符号见图1-4，其表示方式为：

$$L \text{——} F \text{——} H/2,$$

参数符号意义如下：

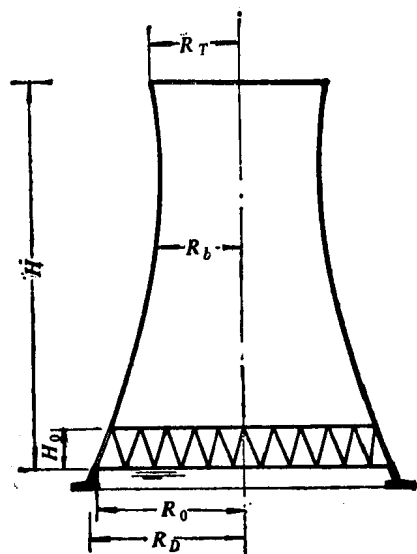


图 1-3 逆流式冷却塔参数符号示意图

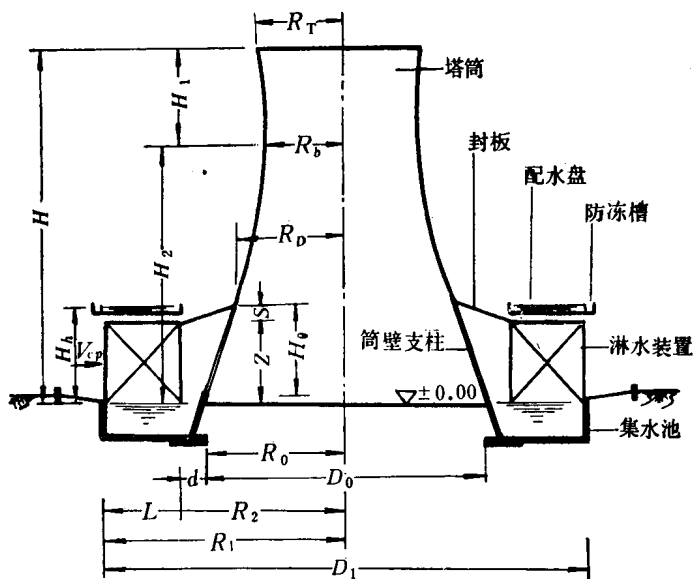


图 1-4 横流塔参数符号示意图

表 1-2 横流与逆流两种塔型概算指标比较表 (概算投资)

机 组 (万千瓦)	地 区	逆 流 塔		概算投资(万元)		钢 材 (吨)		水 泥 (吨)		占 地 面 积 (亩)		冷 却 水 温 度 (°C)	
		横 流 塔	逆 流 塔	数 值	差 值	总 值	差 值	总 值	差 值	总 值	差 值	P = 10%	4~10月 平 均
10	神 头	2500-75/5		129.5	0	400	0	1510	0	4.7	0	27.4	21.4
		6-1250-60/8		85.7	-43.8	360	-40	1460	-50	6.2	+1.5	27.8	21.3
	北 京	3000-85/5.6		158.1	0	478	0	1930	0	5.4	0	29.8	23.7
		7-1500-70/8		97.8	-60.3	391	-87	1621	-309	6.7	+1.3	30.4	24.0
20	开 封	3500-90/5.6		180.5	0	557	0	2284	0	6.2	0	31.4	24.6
		8-1750-80/8		114.0	-66.5	474	-83	1853	-431	7.1	+0.9	32.0	25.0
	神 头	3500-90/5.6		180.5	0	557	0	2284	0	6.2	0	27.8	21.8
		6-1500-80/8		123.2	-57.3	511	-46	2038	-246	8.6	+2.4	28.0	21.4
20	北 京	4000-100/7.6		224.2	0	829	0	2964	0	7.1	0	30.2	24.3
		7-1750-90/10		146.7	-77.5	658	-171	2322	-642	8.8	+1.7	30.1	23.6
	开 封	4500-105/7.6		225.8	0	910	0	3654	0	8.2	0	31.8	25.1
		8-2000-100/10		168.4	-87.4	824	-86	2632	-1022	9.0	+0.8	31.9	25.0

注: 本表选自横流塔设计研究组报告。

L ——水池宽度;

F ——淋水面积, $F = \pi(R_1^2 - R_2^2)$;

H ——风筒高度;

Z ——淋水装置高度。

横流塔与逆流塔的概算指标比较如表1-2所示, 供参考。

1-3 双曲线冷却塔技术发展概况

钢筋混凝土壳体用于双曲线冷却塔从1910年荷兰学者依特尔松提出以钢筋混凝土建造冷却塔壳体以来, 仅有七十二年的历史, 但是七十二年来, 国内外从事冷却塔设计施工的工程技术人员作了大量的研究和工程实践, 使冷却塔技术日趋完善, 这一发展进程如表1-3所示:

表 1-3 双曲线冷却塔技术发展史

标 志	年 代、 地 点	
	外 国	中 国
提出钢筋混凝土壳体用于冷却塔	1910年 荷兰依特尔松	
第一个双曲线冷却塔工程实践	1938年 德 国	*1952年辽源电厂
第一个预制(装配式)双曲线冷却塔	1949年 匈 牙 利	1968年山西太原
第一个高百米的双曲线冷却塔	1958年 美 国	1977年山东辛店电厂
第一个滑模施工的双曲线冷却塔	1966年 东 德	1977年首都钢厂(小塔) 1978年陕西韩城电厂

* 为我国自己设计和施工的第一座双曲线钢筋混凝土冷却塔。

目前世界上已建成的最大的冷却塔之一是比利时的第尔核电站冷却塔, 由西德巴尔克-杜尔公司设计, 1976年8月开工, 1978年底竣工。塔全高167.5米, 底部直径142米, 塔顶出口处直径84

米，环向肋的尺寸为 0.4×1.5 米，肋距 $40 \sim 50$ 米。

我国1977年在辛店电厂建成淋水面积为 5000米^2 ，高105米，底部直径88.96米的冷却塔。该塔由西北电力设计院设计，山东电力建设第一工程处施工。配备60万千瓦机组，高150米，壳底直径111.5米的 9000米^2 大塔和配备30万千瓦机组高130米的大塔正在设计中。 3000米^2 收敛型塔，设计已经完成。

双曲线冷却塔的施工技术发展较快。国外大塔的高人字柱均为预制装配，施工组装采用可伸缩的钢桁架支承，环梁为现浇，第一层高 $50 \sim 80$ 厘米，采用工具式桁架底模。从60年代至今，西德大部分冷却塔的筒壁施工仍采用悬挂脚手架，即使用两节悬挂式模板，支承架靠对销螺丝固定在下面两节已脱模的筒壁混凝土上，用电动葫芦整体提升，通常称为杜尔体系，参见图1-5。

美国冷却塔施工大多采用比利时哈蒙公司自升跳跃式提升装置，见图1-6。其基本原理与悬挂式模板相似，但支承架采用内外套筒式，由气动千斤顶操作提升。采用一节模板，模板与内套筒相连，外套筒用螺丝固定在已脱模的混凝土上。当固定外套筒提升内套筒时，模板就随之提升。浇完混凝土后，横向分段松开外套筒的螺丝，提升外套筒，如此往复上升。

我国双曲线冷却塔施工技术近年来发展也比较快，预制装配式人字柱已开始推广，环梁大部分仍为现浇，其支模方式仍以排架为主。预制带局部小环梁人字柱取消排架的方法，也有采用。筒壁施工普遍采用悬挂式脚手架的施工方法。装配式风筒仅在 2000米^2 以下水塔（包括 2000米^2 ）有所采用。滑模施工由于质量问题未全解决，近年来已较少采用。但在滑模试验基础上改进而成的液压提升模板法施工筒壁，在秦岭二期2号塔试验中已初见成效。我国双曲塔施工技术发展情况如表1-5所示。

综上所述，尽管我国自己设计和施工的双曲线冷却塔比国外迟40年，但是经过30多年的努力，与国外的差距已经缩短。为了进一步探讨双曲线冷却塔的受力特点，国内有关单位已经开始大塔风荷动力特性及施工稳定与屈曲的研究，以及筒壁涂料及定型