

格形钢板桩结构 设计施工手册

毛 铠 主编

中 国 计 划 出 版 社

1996 北 京

格形钢板桩结构 设计施工手册

毛 铠 主编

中 国 计 划 出 版 社

1996 北 京

图书在版编目(CIP)数据

格形钢板桩结构设计施工手册 / 毛铠主编. —北京: 中国计划出版社, 1996.4
ISBN 7-80058-418-6

I. 格… II. 毛… III. ①钢板桩, 格形—结构设计—手册 ②钢板桩, 格形—工程施工—手册
IV. TU473.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 21437 号

1

格形钢板桩结构
设计施工手册

毛 铠 主编

☆

中国计划出版社出版

(地址: 北京市西城区月坛北小街 2 号 3 号楼)

(邮政编码: 100837)

新华书店北京发行所发行

北京华星计算机公司排版

东 华 印 刷 厂 印 刷

787×1092 毫米 1/16 14 印张 347 千字

1996 年 4 月第一版 1996 年 4 月第一次印刷

印数 1—10100 册

☆

ISBN 7-80058-418-6 / T · 84

定价: 22.00 元

内 容 提 要

本手册在总结国内外格形钢板桩结构研究成果和工程实践基础上，系统地详细介绍了设计计算方法，并附有完整的计算算例及计算机辅助设计程序框图。在施工方面不仅介绍了主要施工方法，而且附有各种完整的工序流程，还专章介绍了格形钢板桩结构的施工实例。

手册内容完整，自成体系，方便实用，是从事土木建筑结构研究、设计、施工等各类工程技术人员的参考工具书。

前 言

本手册的编写旨在总结国内外格形钢板桩结构的实践经验及研究结果，并加以分析、探讨，力求使其在理论上系统化、完善化，并具有实用性。为专业研究人员提供参考，为工程设计人员、建设人员提供方便。

格形钢板桩结构，是由钢板桩打成封闭格体，格内填充散体砂石料构成的一种建筑结构物，用途十分广泛。在场基围幕、桥梁基础、库坝基础、挡水围堰、海岸防护建筑物以及港口码头等工民建、路桥、水工、港工和海工专业中均有实用先例。

以往，由于材料、设计及施工等方面的限制，我国采用格形钢板桩结构形式的工程实践不多，并且仅限于基础、围堰、护岸等使用要求低、构造简单的临时性、辅助性建筑物中。近年来，随着国民经济的发展，材料、施工等各方面的问题逐步得以解决。不久前在新沙、深圳等地接连在大型专业化集装箱码头主体结构中成功地采用了格形钢板桩结构形式。实践表明，本结构形式对一些特定的条件有独到的适应性。其结构材料受力合理，施工机械化程度高、速度快。工程投资省，回收周期短，是一种极具发展前途的建筑物结构形式。

但是，在理论研究方面，国内对格形钢板桩结构所做的工作一直比较少。至今在各种文献中都很少涉及，更没有形成设计与施工的规范。致使各地的工程都是根据国外的资料、规程进行设计、施工的。由于资料来源不同，各工程中所采用的设计计算模式、控制标准以及施工方法等都大相径庭。由于世界各国的地理位置、自然条件、经济状况、施工能力等差距甚大，国外的规程与工程经验直接应用于国内，难免存在一些较大的问题，或造成施工不便，或留下工程隐患，或导致经济上的浪费。这不仅给工程的设计、建设及管理人员带来很大困难，而且无论对我国工程经验的总结与积累还是工程技术的发展和进步都极为不利。作者曾参加几项格形钢板桩结构建筑物的设计和施工管理工作，对此深有感触，故将多年来所收集到的有关资料、所遇到的问题以及所采取的措施加以整理，介绍给读者，并针对目前尚有争议的问题略陈管见。希望能在一定程度上解决目前工程中的燃眉之急，并起到抛砖引玉的作用。

本手册的编写，一方面力求尽可能多地吸收与格形钢板桩结构有关的内容，一方面力图使其系统化、实用化，并尽量与我国现行的其它规范取得协调。手册中不仅包括设计方面的内容，还汇集了施工方面的内容。在设计方面不仅较为详细地介绍了计算理论，而且附有完整的设计算例及计算机辅助设计程序框图。在施工方面不仅介绍了主要施工方法，而且附有各种完整的工序流程。使本手册内容完整，自成体系，既能对研究、设计、施工等各类工程技术人员有参考价值，同时又方便实用，真正起到手册的作用。

本手册适合港口工程、海岸工程及水工工程专业的研究、设计、施工技术人员与高校师生使用。对土力学、工民建、路桥和计算机辅助设计等专业的工程技术人员及上述专业的管理人员也有一定的参考价值。

在本手册的编写过程中，牛恩宗、刘允召、张孙振、杜廷瑞四位副总工程师提出了许多宝贵意见，在此表示感谢。

• 1 •

目 录

前 言

第一章 概 述	(1)
第一节 格形钢板桩结构形式的特点	(1)
第二节 格形钢板桩结构建筑物的主要组成部分	(2)
第三节 施工程序	(5)
第二章 格形钢板桩结构建筑物的一般构造	(6)
第一节 钢板桩格体	(6)
第二节 散体填料	(9)
第三节 上部结构及持力基桩	(12)
第四节 其 它	(16)
第三章 格形钢板桩结构建筑物的一般计算	(18)
第一节 荷载及荷载组合	(18)
第二节 格形钢板桩结构建筑物的破坏形式及相应的计算控制方法	(21)
第三节 抗剪切变形计算	(23)
第四节 钢板桩入土深度计算	(80)
第五节 格体抗滑移稳定性计算	(85)
第六节 格体抗倾覆稳定性计算	(89)
第七节 整体稳定性计算	(116)
第八节 地基稳定性计算	(121)
第九节 地基变形计算	(125)
第十节 格形布置	(126)
第十一节 格体胀裂稳定性计算	(133)
第四章 格形钢板桩结构建筑物的附属设施设计	(145)
第一节 格形结构中附属设施的特殊性	(145)
第二节 附属设施设计计算	(146)
第五章 格形钢板桩结构建筑物施工工艺简介	(161)
第一节 概 述	(161)
第二节 格形钢板桩施工	(161)
第三节 格内填充	(167)
第四节 上部结构施工	(168)
第六章 格形钢板桩结构计算机辅助设计简介	(169)
第一节 国内外现状	(169)
第二节 CAD 工作建议	(169)
第三节 格形结构设计程序简介	(170)

第七章 格形钢板桩结构建筑物设计实例..... (174)

第一节 设计条件 (174)

第二节 构造设计 (175)

第三节 荷载组合 (176)

第四节 抗剪切变形稳定性计算 (177)

第五节 板桩入土深度计算..... (185)

第六节 抗滑移稳定性计算..... (187)

第七节 抗倾覆稳定性计算..... (192)

第八节 地基稳定性计算 (199)

第九节 格形布置 (201)

第十节 格体胀裂稳定性计算 (204)

第十一节 结构断面 (205)

第八章 格形钢板桩结构建筑物施工实例..... (207)

第一节 工程概况 (207)

第二节 施工程序 (208)

第三节 主要施工方法 (208)

第四节 检测工程施工 (213)

第五节 施工进度 (214)

参考资料 (216)

第一章 概 述

格形钢板桩结构，是由平板形钢板桩打成闭合的格形形状，格内填充砂石料构成的一种建筑物结构形式。它由钢板桩格体约束散体填料，形成直立岸壁，同时钢板桩又同内部填料一道通过抗剪切的方式抵抗建筑物所受的水平荷载，类似于板桩结构形式；同时，建筑物的自重以及竖向荷载通过钢板桩及填料传到下层地基，并且主要靠自重来抵抗建筑物的整体滑动与倾覆，又类似于重力式结构，故格形钢板桩结构可称为半重力半板桩结构。

格形钢板桩结构形式，可用于码头、防波堤、护岸等各种水工建筑物，在围堰工程中应用也很广泛。

格形钢板桩结构的设计与施工，是一项技术上比较复杂的工作。目前，国内外的有关研究成果均不太成熟，因此，进行格形钢板桩结构的设计时，往往还需要以其它的工程实践作为参照，或借助于模型试验，对设计方案进行验证。

第一节 格形钢板桩结构形式的特点

格形钢板桩结构形式的特点主要表现在对荷载的适应性、对基础的适应性及材料、施工等几个方面。

一、对荷载的适应性

在格形钢板桩结构建筑物中，因垂直荷载主要是通过填料及持力基桩传到下层基础的，因而对垂直荷载的适应性较强，当作为码头建筑物时，可适应较大的码头面超载及工艺变化。而水平荷载，由于主要是以内剪力的方式由板桩格体及格内填料承受的，故而结构对水平荷载的变化反应较敏感。

二、对基础的适应性

格形钢板桩结构形式对上弱下强的地质条件有独特的适应性。一般传统的水工建筑物结构从总体上讲，可分为桩基结构和重力式结构两大类。在上述的地质条件下，如果采用桩基结构，则桩需穿过软土层在下层硬土层中生根，由于软土层的厚度而增加桩长还是次要的，在硬土层中沉桩有时则会遇到难以克服的困难。如采用重力式结构，则要面对上面软弱土层的处理问题，从目前的各种处理方法来看，无论是挖填、爆填还是排水固结、深层搅拌都不可避免地带来造价高昂或工期冗长等问题。但如采用格形钢板桩结构形式，则只要板桩穿过软土层达到硬土层，即可满足结构的要求而无需处理地基，也无需在硬层中过深地沉桩。

当然，由于板桩需要穿过软土层，并将下卧层作为板桩及填料的重力持力层，故而格形钢板桩结构在弱土层底面较低，或是下层土承载力过小的地方难于采用。

三、材料方面

格形钢板桩结构，在外荷载的作用下，形成板桩与填料共同受力的状态，板桩以受拉为主，内部填料以受剪为主，充分发挥了各种材料的力学特长，是经济合理的。但同时，由于结构在工作时板桩及板桩锁口将产生很大的拉应力，故而对钢板桩的机械性能要求较高，从我国目前的生产能力上看，往往还达不到使用的数量和质量两方面的要求，而需进口，同时，由于钢材的使用也带来了腐蚀、使用年限低等一系列的问题。

此外，由于内部填料参与抗剪，故本结构形式在难以取得大量优质、价廉的充填砂石料的情况下，难于采用。

四、施工方面

格形钢板桩结构施工工序简单、施工速度快，但格形结构在内部填料未充填之前处于很不稳定的状态，这是很大的缺点。因此，在风浪较大，又不具备掩护条件的地区，或是在板桩格体形成后无立即进行内部填充能力的情况下，格形钢板桩结构形式从施工的角度来看是不适宜的。

第二节 格形钢板桩结构建筑物的主要组成部分

格形钢板桩结构视其作为不同类型的建筑物，其构造组成部分也不尽相同，但一般均包括有以下几个部分。

一、钢板桩格体

钢板桩格体是格形钢板桩结构的核心部分，它约束内部填料构成各类建筑物所必须的直立墙体，支承上部结构、阻挡水体、波浪与后方回填材料。它与内部填料共同构成一个整体，承受作用在建筑物上的各种荷载并将这些荷载传到下层的地基基础中。

二、格内填料

格体内部填料的作用，其一是提供板桩格体维持饱满坚挺状态所必须的侧胀力；其二是以压力、剪力的方式向地基中传递自重及上部结构荷载；其三是提供足够的自重以抵抗建筑物的滑动及倾覆。

三、导梁

钢板桩格体顶部的导梁或称圈梁，可视施工、使用的要求决定取舍。它的作用是将钢板桩顶连成整体，增强格体顶部的刚性，并弥补钢板桩桩顶的参差不齐，方便上部结构施工，避免格体内应力集中。当导梁的强度较大时还能起调整板桩锁口间剪力分配的作用。

四、剪力构件

在钢板桩格体内部填料质量较差或填料内部剪力较大的情况下，常在填料内部埋设一些抗剪能力较强的板、网、框架等构件，它的作用是增强结构的抗剪切能力。

五、持力基桩

在建筑物上部结构自重较大或上部荷载较大的情况下，常需在格体内、外加设一些桩，把上部荷载直接传入下层地基，以避免由于压力过大导致的钢板桩锁口拉力过大及上层地基承载力不足的问题，减小结构变形量。在结构顶面设有大型流动机械的建筑物中，流动机械的基础下面有时也加设持力基桩以减小格体受力。

六、胸墙

胸墙是码头、防波堤、护岸等建筑物的重要组成部分，它一方面构成一部分直立墙体，起阻止波浪进入或后方填料塌出的作用，另一方面还起着将各格体连成整体的作用。由于格体结构抵抗不均匀沉降的能力较差，这种作用更加重要。此外作为码头建筑物的胸墙，同在其它结构形式中一样，它还起着固定防冲设施、系缆设施、流动机械轨道等作用，有时还与工艺管沟等合为一体。

七、减压棱体

在岸壁式码头或护岸建筑物中，墙后需进行回填形成陆域地面。为了减小墙后填料对格体的侧压力，可在格体后方采用内摩擦角大的材料抛填减压棱体，减压棱体的设置可以有效地降低格体所受的水平力，从而大大减小格体尺寸。

八、倒滤层

作为格形钢板桩结构，尽管一般不存在后方填土流失的问题，但在格体后方设置了较大粒径的减压棱体。在后方回填料含泥或细颗粒较多的情况下，后方填料有可能进入棱体填料的缝隙中，这将造成后方地面的沉降，并对减压棱体的减压效果产生一定的影响。目前对这种影响的程度还难于断定，为慎重起见，在减压棱体与后方回填料之间应设置倒滤层进行隔离。此外在格体的顶部当格体内外部填料粒径相差较大时，在两种填料的裸交接面处也应设置倒滤层。

九、后方回填

在岸壁式建筑物中，后方进行回填以形成陆域地面，用于布置陆上设施。

十、置换基础

对于格形钢板桩结构形式，原则上一般不应该考虑基础土壤的置换，但是，在一些特殊情况下，为了满足钢板桩适当的嵌固要求，减小板桩入土深度，增强施工期的稳定性，有时也对表层的淤泥或软土进行置换。

十一、流机基础

在码头建筑物中，码头面上常设有大型流动机械：吊机，火车等。对有轨的流动机械，一般在轨道下面设有基础构件，目的是支承轨道，分散荷载集度，避免局部沉降，这与一般结构形式中是相同的。在格形钢板桩结构形式中，唯一不同的是为了减小后方荷载对格体的

水平力，在后方流机基础的下面，常常加设持力基桩，形成所谓的复合基础。

十二、护底、护道

在格体趾、踵部潮流、波浪底流速较大的码头、防波堤、防浪护岸等建筑物中，在格体外侧海底面以上常加设大块石层或人工块体，称为护底，护底可以防止由于冲刷引起的板桩、基桩的嵌固长度的损失。在围堰等挡水建筑物的背水面，常于格体趾部抛填一定宽度、高度的台体，称为护道，护道的作用除提供前方被动土抗力，增强结构整体稳定性的作用外，有时还兼起抗渗、防流沙的作用。

格形钢板桩结构建筑物的主要组成部分示意图 1.2.1。

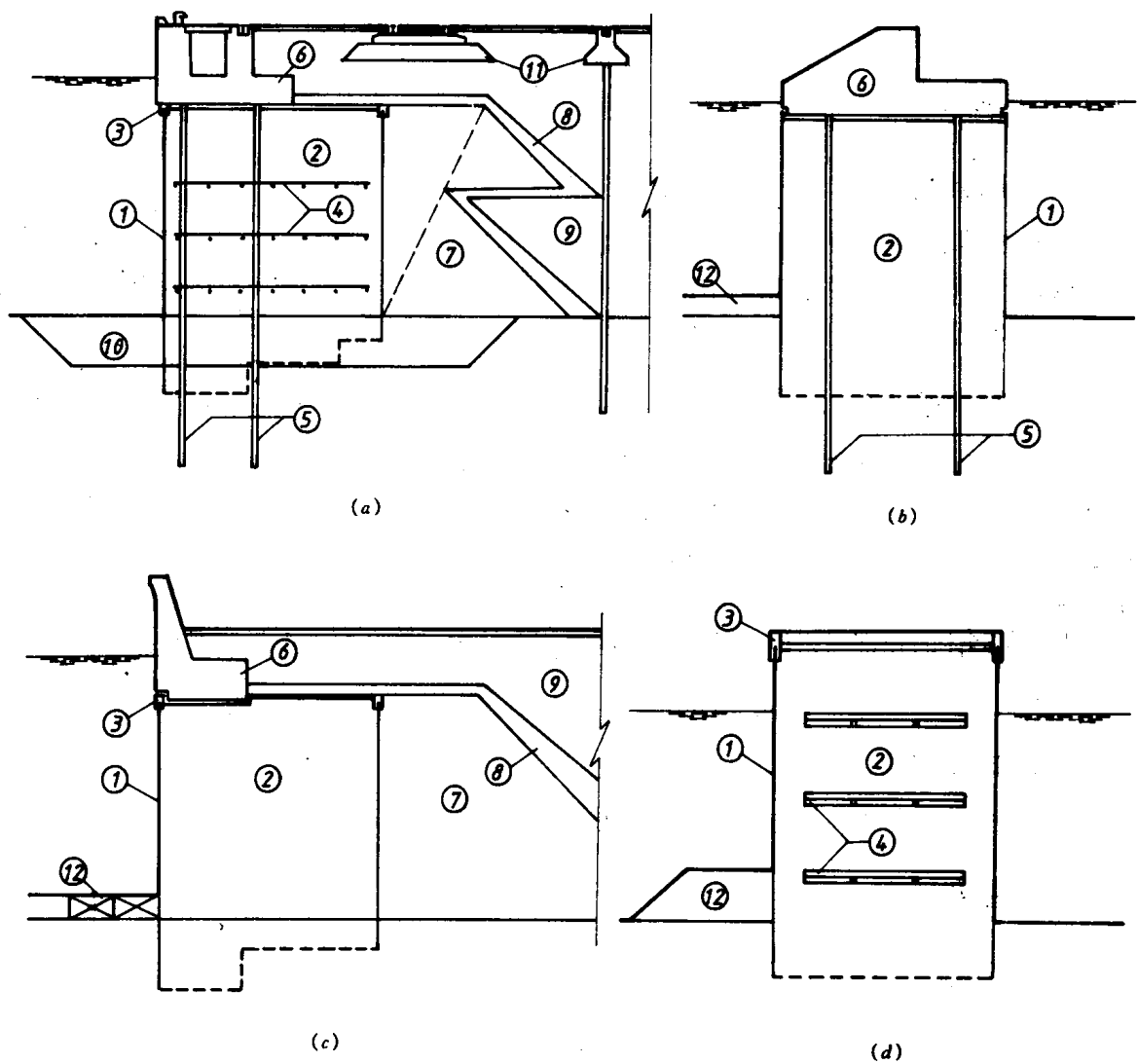


图 1.2.1 格形结构建筑物的主要组成部分

(a) 码头；(b) 防波堤；(c) 护岸；(d) 围堰

1——钢板桩格体；2——格内填料；3——导梁；4——剪力构件；5——持力基桩；6——胸墙；

7——减压棱体；8——倒滤层；9——后方回填；10——置换基础；11——流机基础；12——护底、护道

第三节 施 工 程 序

格形钢板桩结构建筑物的施工工序一般包括以下几个步骤:

- (1) 上部预制构件, 剪力构件, 持力基桩的制作。
- (2) 格形板桩导向围囹架及吊具的制作。
- (3) 开挖置换基槽。
- (4) 回填基础置换料。
- (5) 拼装钢板桩格体。
- (6) 钢板桩、持力基桩沉桩。
- (7) 清除格内淤泥、软土。
- (8) 充填格体内部填料, 安放剪力构件。
- (9) 浇注导梁或安装导梁。
- (10) 抛填减压棱体, 铺设倒滤层。
- (11) 后方回填。
- (12) 安装或浇注胸墙及流机基础设施。
- (13) 铺设面层, 安装工艺设备。

第二章 格形钢板桩结构建筑物的一般构造

由格形钢板桩作为主体结构的水工建筑物，与其它结构形式的建筑物一样，除具有足够的强度及稳定性外，尚应满足各种使用要求，要坚固耐久和便于施工。在设计过程中，首先要根据当地的地质、水文、气象等自然条件，结合现场的施工经验、能力、机具设备及建筑材料的来源和建筑物的使用要求，按照安全耐久、经济合理的原则，拟定各种适宜的构造措施，即进行构造设计。

第一节 钢板桩格体

钢板桩格体是格形钢板桩结构建筑物的主体部分，它将直接关系到建筑物的强度、稳定性、耐久性、施工难易程度及使用特性，甚至于直接左右着工程造价。在设计中，针对钢板桩格体在构造方面应考虑以下几个问题：

一、钢板桩顶高程

对于围堰等无上部结构的建筑物，板桩顶高程可直接根据使用要求来确定。对于码头、防波堤等上部需设置胸墙的建筑物，一般来说从结构的整体性出发，降低板桩顶高程即可加大胸墙的高度，从而增强建筑物的整体刚性，并有利于胸墙上的防冲、系泊等工艺设施的设置，同时也可以减少钢板桩在强腐蚀区的暴露长度。但对于胸墙或钢板桩桩顶导梁需要现场浇注的情况，板桩顶高程则应适当高出施工水位，以保证现浇工作水上施工。施工水位应根据现浇部分的工作量、施工能力以及水位变化的情况确定，我国有潮港的施工水位一般可采用平均潮位。此外，板桩顶高程还应综合考虑上部构件自身的稳定性及使用要求，且应用时兼顾对经济合理性的影响。

二、钢板桩

1. 形式

用于格形结构的钢板桩通常为直腹式钢板桩，当格体曲率半径很小，钢板桩锁口偏折角无法满足格体的曲度要求时有时采用小折角的曲腹式钢板桩。钢板桩格体之间的接头处通常需要少量的 Y 形、X 形钢板桩。

2. 宽度

从尽量减少钢板桩根数，简化施工和减少钢板桩锁口局部薄弱环节的数量方面来考虑，板桩宽度越大越好。但从格体拼装及沉桩的角度来看，板桩越宽，在同样曲率半径的情况下板桩锁口之间的偏折角也越大，拼装难度加大，同时，板桩越宽，单根板桩沉入阻力也越大，打桩难度随之加大。故设计中应对上述因素综合加以考虑。此外，钢板桩的宽度还很大

程度地受到生产厂家产品规格的限制。

3. 厚度

钢板桩的厚度直接关系到格体的强度与耐久性，直接左右着工程造价。钢板桩的厚度一般应根据强度计算的结果加一定的防腐蚀余量来确定，根据板桩在格体不同部位受力及腐蚀条件的不同，钢板桩厚度在同一格体中可采用不同的几个档次，但应注意锁口的吻合问题。

三、防腐蚀

钢材的锈蚀是格形钢板桩结构的主要缺点之一，它影响着建筑物的耐久性，因此，在设计中必须加以重视。板桩的锈蚀，主要是由其表面的局部微电池造成的电泳反应和氧化反应造成的，它与钢板桩材质、水体、土体的化学成分、空气湿度以及干湿状态等均有关系，具体设计中应该根据上述各种因素综合考虑保护年限、施工、管理及经济等情况，选用相应的防腐蚀措施，进行防腐蚀设计。

四、格形形式

板桩格体可根据具体情况选择不同的平面形状，通常有以下的几种形状可供选择，见图 2.1.1。

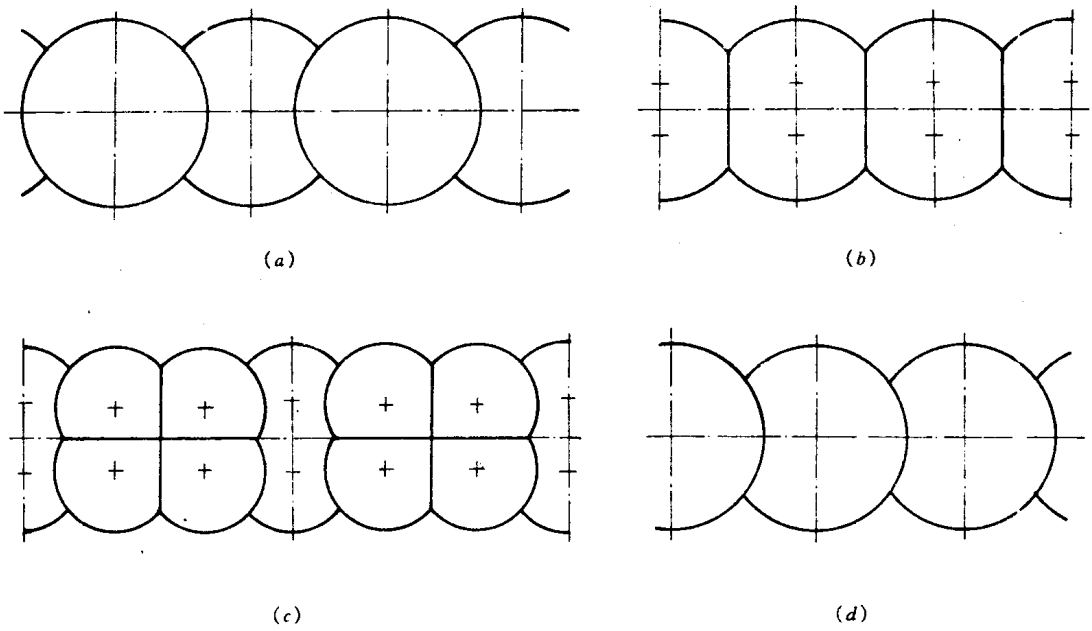


图 2.1.1 格形布置形式

(a) 圆格形；(b) 扁格形；(c) 四分格形；(d) 偏圆格形

1. 圆格形

圆格形布置的优点是可以按照逐个格子依次顺序施工，施工过程中格体的稳定性较好；缺点是壁体的宽度受到板桩锁口拉力的限制。此外，圆格形布置形式还有一个突出的特点，就是钢板桩的用量与格形的平面尺寸基本无关。

2. 扁格形

扁格形布置的优点是在几种格形中，钢板桩用量最省，且可以在不增大的板桩锁口拉力的情况下，增大壁体的宽度。但在该格体的施工中，各格体只能同时填充，难度很大，只有在结构岸线短，格数很少且填料填充施工能力很强的情况下才有可能采用。

3. 四分格形

四分格形又称玫瑰格形，该格形布置的优点是各格体可以单独填充，壁体的宽度不受板桩锁口拉力的限制，且施工过程中格体的稳定性好，但其最大的缺点是板桩用量大。除非壁体宽度特别大，其它布置形式无法满足要求，否则，是不经济的。

4. 偏圆格形

偏圆格形布置的特点与圆格形比较类似，并且格体拼装更简单，所不同的是，在施工过程中，必须每两个格子同时填充。此外，这种格形的最大缺点是接头处板桩锁口拉力过大，在较大尺度的格体中不宜采用。

从目前国内外的情况看，除了圆格形外，其它的格体布置形状几乎无采用的先例。

五、格体排水设施

由钢板桩构成的格体墙壁，一般来说是不透水的。由于板桩中极大的拉力，锁口之间咬合的很紧，并且在刚施工完毕时即使有些漏水，但经过一段时间后，由于锁口锈蚀产生的氧化物及渗流中夹带的细颗粒物质会很快把缝隙堵死。这样，在水位变化较大的情况下，在板桩格体内及格形壁体后侧将出现很大的剩余水头，此水头产生的剩余静水压力增加了板桩锁口的拉力及格体所受的水平力。为了减小或消除剩余水压力，可考虑在板桩壁上设置排水孔。排水孔的孔径和间距应根据墙前水位变化幅度及填料的渗透性来确定，孔径一般可采用 4~6cm，间距竖向可采用 1~2m，横向可采用 2~4m，排水孔应设在低水位以下。因格形结构存在前后二层板桩墙，为实现泄水，前后壁均应设排水孔，后壁开孔率一般可取与前壁相同或略大。在格内填料颗粒较细的情况下在前壁排水孔后侧应设置倒滤棱体，以防止格内填料流失；在格内与格后填料粒径相差较大的情况下，后壁排水孔处也应设置倒滤棱体，以防止细颗粒填料进入粗颗粒填料的缝隙内，此时棱体通常设置在粒径较小的填料一方。排水孔倒滤棱体的作用不仅要保证填料的隔离、防漏，同时还要保证渗水性良好，故不宜采用土工布等编织材料取代，以防细颗粒及有机物质沉积，影响透水性能。倒滤棱体构造见图 2.1.2。

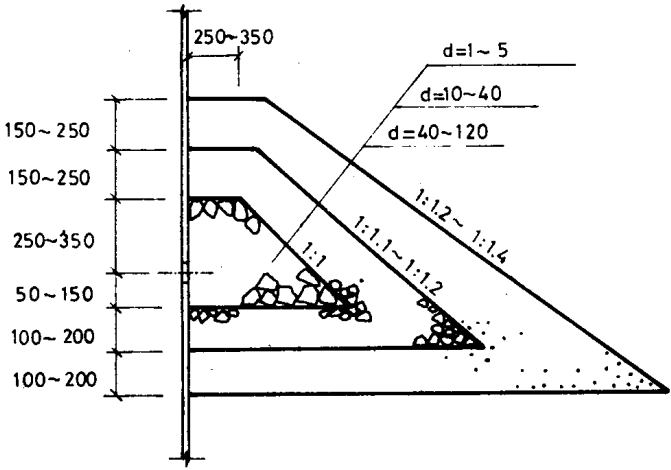


图 2.1.2 排水孔倒滤棱体构造图

第二节 散 体 填 料

格形结构建筑物所涉及的散体填料一般包括：格内填料，减压棱体填料，倒滤层料，后方回填料，基础置换料及护底，护道材料等部分。因为散体填料的工程量大，往往在工程造价中占很大的比例。在格形钢板桩结构建筑物中，特别是格内填料及后方回填料，因在结构工作中或直接参与抗剪或直接左右作用在格体上的水平力的大小，因而，其质量好坏也至关重要。因此在工程设计中应根据具体的结构要求，经济合理性与现场材料来源的情况综合考虑，慎重地选择构造方案。

一、格内填料

无论从提高结构抗剪切变形性能，还是从降低板桩锁口张力的角度考虑，都希望格内填料的力学性能良好。工程中可根据材料来源、价格、质量几个方面的因素择优选。但从目前国内外的实践情况看，格内填料多数采用中砂或中粗砂，这主要是出于施工方面的考虑，当采用砂作为格内回填料时，通常可使用机具机械化填筑，施工速度快，格体施工期不稳定时域短。故应优先考虑。当现场砂料不足时也可以考虑采用级配良好的石料填充格体，使用块石作格内填料，内摩擦角有所增加，由于需要人工水上抛填，施工速度较慢，并且在抛填过程中，大块石对钢板桩及其表层防腐涂料也可能有一定的损坏作用，从这方面考虑块石的单块重量不宜超过 50kg。关于粘性土作为格内填料的问题，一般的看法是：由于粘性土填充的格体在计算理论方面尚有许多不明之处，并且由于粘性土的塑性大，作为受力结构材料来使用，将产生较大的变形，因此格内填料应尽量避免采用粘性土。如不得已非采用不可时，则应通过模型试验、实体试验等进行充分的论证，取得其抗力、变形等确实的依据。

二、减压棱体填料

在格形钢板桩结构建筑物中，由于不存在壁体漏砂问题，故格后的抛石棱体主要是为了减小土压力。从减小土压力的经济效果来看，作为格形结构，由于它的稳定性大部分是靠格内填料的自重，因而设置减压棱体的效果可能不那么显著，特别是当地石料比较缺乏时，造价可能反会上升。但从技术的角度来看，由于格形壁体的尺度主要是由其抗剪切变形稳定性决定的，对水平荷载相当敏感，过大的水平力往往导致格体计算尺度超大，格体超大虽然经济指标并无显著的变化，但施工却可能遇到难于克服的困难，在这种情况下，减压棱体的设置与否常常对方案的可行性起决定性的作用。总之，是否设置减压棱体应综合技术、经济两方面的因素确定。通常在格体尺寸不是很大的建筑物中，可不设减压棱体。从国外的情况看，设置减压棱体的实例很少，分析其原因可能是目前已有的建筑物均属中小型，并且像日本、德国这样的国家施工能力一般较强，尚未遇到格体尺寸过大造成的施工技术问题。另一方面则可能对大块石抛填时对钢板桩的损坏问题存在疑虑。对此，作者以为：一方面用作减压棱体的石料块重较小，一般不超过 100kg，另一方面由于是水下抛填，块石不仅受到浮托力并且受到较大的流体阻力，下落的速度较慢，且是竖向下落，估计对钢板桩的损伤问题不大。并且在建筑物建成之后，后排板桩均埋在填料内部，局部损伤造成的强化腐蚀作用也不是很严重。作者参与设计的深圳盐田港 5 万吨级集装箱码头中即采用了减压棱体，有效地缩

小了格体尺寸，大大减小了施工难度。该码头目前已竣工，状态良好。

减压棱体填料的要求同一般结构形式中基本一致，通常选用当地量大、价廉、质轻、内摩擦角大和比较坚固的材料。当选用块石时，单块重量以不超过 100kg 为宜，而其级配与质量可不必要求过于严格，在水平浸泡不发生软化、破碎即可。

减压棱体的断面一般采用梯形或锯齿形，尺寸按减压范围及主动破裂面确定，见图 2.2.1。

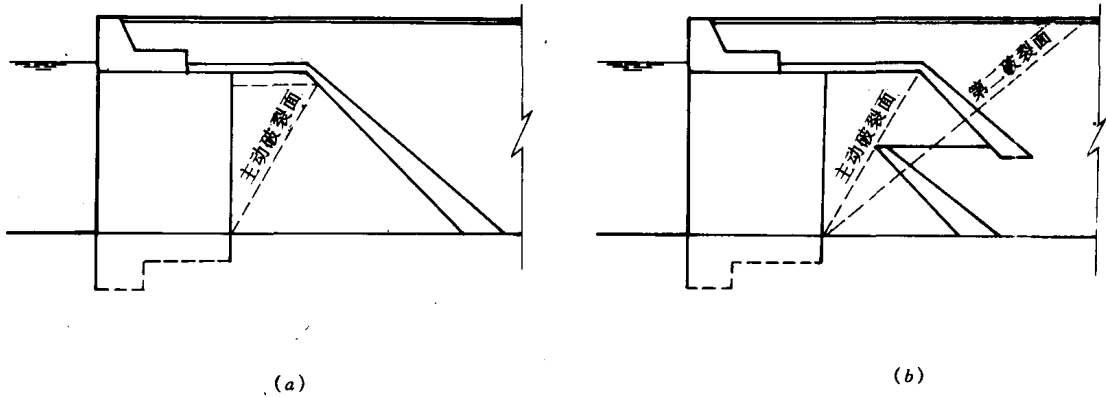


图 2.2.1 减压棱体的断面形式

(a) 梯形；(b) 锯齿形

锯齿形比梯形断面减压棱体填料用量少，但施工工序多，影响工期且质量不易保证，除非墙体很高且棱体填料单价较贵，可不考虑该形式。当采用锯齿形时，下级棱体的宽度也不宜过小，以超过墙后主动破裂面并保证后方填料区的第二主动破裂面内有一半以上的棱体填料区为宜。此外，锯齿形也不宜多于两级，最多不超过三级，每级棱体以不小于 5m 高为宜。

棱体外坡度通常可选用棱体填料的水下休止角，对块石一般取用 1:1。棱体顶面一般可与格体顶面齐平或略高，以便倒滤层的施工。

三、倒滤层

为了隔离不同粒径的填料，防止细颗粒填料流失，在减压棱体顶面和坡面，格内回填大粒径填料时的格体顶面、胸墙变形缝的后面均应设置倒滤层。倒滤层的设置应根据所要隔离的两种填料的粒径确定，当两种填料粒径差异小时可不分层铺设，否则，最好分层铺设。但无论采用哪一种，在块石与倒滤层之间均应铺设一层二片石，以防止倒滤层材料漏入块石的缝隙中。分层倒滤层一般由碎石层和瓜米石、石屑或粗砂层组成。不分层倒滤层一般采用天然级配较好的砂卵石、石场石碴或其它天然材料，也可以采用人工级配碎石或碎石机破碎后不经筛分的碎石，倒滤层的坡度可按材料的水下休止角确定，碎石一般采用 1:1.25~1:1.4，粗砂一般采用 1:1.3~1:1.5，当施工期可能遭受波浪作用时应适当放缓。常规的倒滤层构造见图 2.2.2。

近年来有的工程采用化纤编织布或无纺土工布来代替倒滤层。目前存在的主要问题是这种化纤编织布或无纺土工布的局部冲击强度和老化，有待于进一步研究，如能推广应用，具有很大的经济意义。