

〔日〕難波桂芳 编

化工厂 安全工程

化学工业出版社

化工厂安全工程

〔日〕難波桂芳 编

李崇理 陈振兴 孙世杰 译

化学工业出版社

内 容 简 介

本书是探讨化工厂，特别是石油化工联合企业的安全问题的专著。从地基、抗震设计、安全评价、规划和安全工程等五个方面，系统地介绍了化工厂的安全工程。其内容充实、具体，对解决怎样实现化工厂的安全，可给人们以有益的启示。本书供化工及石油化工工程技术、设计人员及企业安全技术人员、管理人员学习参考。

〔日〕難波桂芳 编

化学工場のセフティ・エンジニアリング

株式会社フジ・テフシステレ 1975年

化工厂安全工程

李崇理 陈振兴 孙世杰 译

责任编辑：林晨虹

封面设计：季玉芳

*

化学工业出版社 出版

(北京和平里七区十六号楼)

一二〇二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092¹/₁₆。印张47¹/₄。插页1 字数1,199千字 印数1—3,270

1986年3月北京第1版 1986年3月北京第1次印刷

统一书号15063·3724 定价9.60元

译 者 的 话

化工厂的安全一直是引人注目的问题。随着石油化工的出现，设备大型化的不断发展，安全问题更成为世界性的课题。但是在一般人的心目中所想的安全往往是局限在生产操作的安全上。读一读这本书，可以使我们开扩思路，眼光开放。不但能够体会到化工厂的安全工程是何等重要，而且还可以知道怎样才能实现化工厂的安全生产。

本书以较大篇幅讨论了设计规划中的安全问题，也可以说是宏观安全问题，只有把眼光放远到规划、设计工作中的安全工程，才能使一个工厂在安全环境中顺利运转。

基础工程是化工厂的安全基础。不但是化工厂，一切工厂、一切建筑物和构筑物都需要有坚实的基础。问题是工业建设往往会受到整个城市布局的限制，不能完全根据需要来选择建厂地址。在这样的条件下，如何使现有的地基符合建厂的需要就成为工厂建设中的特定的问题。从安全的角度探讨基础工程正是这本书的特点。

关于地震，日本有丰富的经验，也有惨痛的教训。在近代地震灾害中，日本的工业有一定程度的发展，所以能够根据经验提出抗震设计中的注意事项。

焊接工程是建设大型化工厂的必要手段。随着科技水平的进展，焊接难度越来越大，对焊接质量的要求也越来越高。由于焊接工作不当造成的影响是化工厂的心腹之患。目前，从焊接工艺研究焊接疵点的书籍并不罕见，但是从安全角度系统探讨焊接问题却是本书独到之处。

由于化工厂的安全问题日益受到人们的重视，如何评价一个工厂的安全就成为一个重要问题。安全的定量评价，是企业管理工作中的一个重要突破。如果我们只是笼统地说某个企业的安全好，或者说某个工厂的安全不好，是不能令人信服的。即使列出某几个具体的例子，也不能全面地说明一个工厂的安全情况。但是，如果有一个比较科学的评价制度，当我们能够说出某个工厂的安全情况是100分，而另一个厂的安全是45分的时候，就可以明显的看出两者的明显差距了。管理工作中的量化，不仅是衡量化工企业安全情况的途径，也是企业管理工作中有普遍意义的方向。

工厂的规划是个重要问题。这不但是某些科技人员辛勤劳动的成果，也是从工厂事故的惨痛教训中得出的总结。而工厂的规划又要受一个城市规划的制约。如果在城市规划中忽略了某几个安全问题，要想使一个工厂能够做出安全规划是不可能的。而如果一个工厂的总体规划有不妥之处，要想使一个建成的工厂能够安全生产也是不可能的。化工厂的安全要从宏观着眼，然后才能落实到微观的布局和措施，这恐怕就是本书作者未曾言明的主导思想。

您所在的化工厂安全吗？总体规划符合安全要求吗？您所在的城市，从规划布局方面能够保证化工厂的安全吗？如果读者在读过这本或者翻阅过这本书以后能够对上列的问题得到一个大致印象，那就可以使我们翻译这本书的几个人引以自慰了。

本书第一章及第二章曾由萧毓麟工程师审校，第四章中树木名称曾经秦祝洵教授订正，特此表示感谢。

本书译者分工如下：第二章、第三章孙世杰，第四章陈振兴，其余各章李崇理。

译 者

目 录

总论 化工厂的安全问题和今后的措施	(1)
1 安全问题	(1)
2 紧急状态的分类及其危险性的评价	(1)
3 防灾问题的综观	(2)
第一章 构筑物地基的加固及基础的结构	(5)
第一节 软弱地基的调查、设计与施工	(5)
1 关于软弱地基的几个问题	(5)
2 土的力学性质	(6)
3 土质调查	(18)
4 设计	(22)
5 施工管理	(27)
第二节 地基加固及稳定处理	(28)
1 序言	(28)
2 地基加固的种类及其适用情况	(28)
3 粘性土地基的加固方法	(30)
4 松散砂质土地基的加固方法	(37)
5 地基加固的新动向	(40)
6 表层稳定处理	(49)
7 结语	(50)
第三节 浅基础的沉降及其与上部结构刚性的相互关系	(52)
1 容许沉降及其有关问题	(52)
2 由荷载而产生的地基内部弹性应力和沉降	(55)
3 粘土地基上的浅基础的各种沉降计算法和必要的土质试验	(60)
4 砂地基上的浅基础的各种沉降计算法及必要土质试验	(74)
5 上、下部结构与地基的相互作用	(82)
第四节 地震时引起的地基液化	(87)
1 液化机理	(87)
2 地震时地基内的应力状态	(89)
3 液化的室内实验	(90)
4 影响液化的有关因素	(93)
5 砂的抗液化强度	(95)
6 液化的分析	(97)
7 地震现场的推断	(99)
8 防止液化的对策	(99)

第五节 采用电法勘探查明地基加固的效果	(101)
1 序言	(101)
2 电法勘探概要	(102)
3 电测现场的实况	(107)
4 测定结果	(108)
5 结语	(112)
第六节 大型贮罐基础	(113)
1 序言	(113)
2 贮罐基础的形式	(113)
3 地基勘查	(114)
4 设计条件	(114)
5 贮罐基础的设计计划	(115)
6 各种基础的设计	(119)
7 压砂挤桩法建设大型贮罐基础的实例	(143)
8 结语	(144)
第二章 抗震设计	(146)
第一节 化工装置的抗震设计〔I〕	(146)
1 有关化工装置抗震设计的几个问题	(146)
2 软弱地基的地震振动	(152)
3 基础构筑物的抗震设计	(162)
4 贮罐类(圆筒)的抗震设计	(167)
5 塔类的抗震设计	(175)
6 球形贮罐的抗震设计	(180)
7 应用振子和摆杆作用的球形贮罐的免震装置	(182)
第二节 化工装置的抗震设计法〔II〕	(186)
1 基本考虑方法	(186)
2 静态设计和动态设计	(186)
3 重要度分类	(196)
4 容许应力	(200)
5 衰减率	(204)
6 模型实验法	(209)
7 设计用的输入地震	(212)
第三节 塔槽类的抗震设计	(218)
1 序言	(218)
2 设计基准	(218)
3 计算模型	(226)
4 抗震与结构设计	(237)
第四节 配管的抗震设计	(238)
1 序言	(238)
2 原子能配管的抗震设计法	(239)

3 一般化工装置配管的抗震设计	(256)
附录Ⅰ 配管的热应力分析方法的说明	(270)
附录Ⅱ 采用变换矩阵式法, 分析配管振动中的变换矩阵式	(273)
附录Ⅲ 利用特性曲线法, 所做的水锤分析法的说明	(280)
第三章 装置的损坏和对腐蚀所采取的措施	(295)
第一节 应力腐蚀裂纹及其防止措施	(295)
1 序言	(295)
2 应力腐蚀裂纹	(295)
3 石油炼制和石油化工中的应力腐蚀实例和存在的问题	(298)
第二节 贮罐用钢材脆性开裂的原因及对策	(333)
1 序言	(333)
2 脆性破坏的特征	(334)
3 脆性破坏的发生	(334)
4 贮罐用钢	(350)
5 防止脆性破坏的措施	(366)
6 结语	(370)
第三节 与焊接有关的设备事故举例及其防止措施	(371)
1 化工设备与焊接	(371)
2 与焊接有关的设备事故举例	(372)
3 焊接造成的事故的原因	(375)
4 发生事故的可能性的预测与评价	(381)
5 防止事故的措施	(383)
第四章 规划设计	(391)
第一节 化工联合企业的工艺评价	(391)
1 关于工艺评价	(391)
2 化工联合企业的工艺评价概述——三菱工艺评价法, TISAM法	(393)
3 化工联合企业的安全评价	(403)
4 工艺评价与计划	(417)
第二节 化工联合企业的环境评价	(419)
1 化工联合企业概况	(419)
2 化工联合企业的环境和布局	(420)
3 化工联合企业的环境影响因素	(438)
4 环境评价的基本方法	(456)
5 环境评价及其今后任务	(465)
第三节 化工厂的平面布置规划	(466)
1 序言	(466)
2 安全对策与布置规划的各种条件	(466)
3 工业城市和联合企业灾害	(472)
4 联合企业的布置规划和安全对策	(485)
5 布置规划的基本条件和国内的法律规定	(502)

6 欧美等国对于设备布置的安全距离	(517)
7 结语	(542)
第四节 根据贮罐火灾的特性考虑消防布置	(544)
1 序言	(544)
2 油罐的火灾特性及其防火平面布置	(544)
3 高压气体贮罐的火灾特性及其消防布置	(550)
4 冷冻液化气贮罐的火灾特性及其消防布置	(551)
第五章 化工厂的安全工程	(555)
第一节 化工厂的危险性评价和安全工程	(555)
1 序言	(555)
2 化工企业的爆炸事故及分析	(555)
3 爆炸火灾危险性的评价标准	(558)
4 化学物质的物理化学危险性和评价	(559)
5 物料的危险评价和实际状况	(564)
6 装置危险性的评价	(568)
7 装置的安全措施	(570)
8 工艺开发的程序	(571)
9 事故发生的预测和人与物的安全	(571)
10 结语	(573)
第二节 高压气体装置的安全工程	(573)
1 序言	(573)
2 高压气体的物性	(574)
3 由于可燃性气体大量泄漏而引起的爆炸	(575)
4 高压爆炸极限	(578)
5 高压气体容器的破裂	(580)
6 高压气体的分解爆炸	(580)
7 高压空气系统的爆炸	(582)
8 液化气的扩散	(584)
第三节 低温液化气装置的安全工程	(587)
1 序言	(587)
2 低温液化气的特性	(587)
3 对人体的影响	(587)
4 物理危险性	(589)
5 化学危险性	(599)
6 火灾	(605)
7 灭火	(609)
8 实验室的安全	(612)
9 装置的安全	(614)
10 结语	(617)
第四节 炼油装置的安全工程	(618)

1 炼油装置在安全方面的特殊性	(618)
2 石油装置的安全设计	(620)
3 安全措施	(629)
第五节 炼油装置的静电事故及其防止措施	(658)
1 静电的产生与带电	(658)
2 静电现象与故障、灾害	(659)
3 静电与危险界限	(662)
4 静电事故实例及其分析	(665)
5 防止带电的基本措施	(669)
6 防止静电的接地措施	(671)
7 用静电消除器防止带电	(674)
8 防止静电事故的具体措施实例	(677)
9 静电的安全管理	(682)
附属资料	(684)
I 欧美化学工业的防灾	(684)
1 序言	(684)
2 化学工业的损失统计	(684)
3 在化工企业、石油工业中的危险因素	(689)
4 化工企业与石油工业的防灾措施	(693)
5 结语	(718)
II 石油工业的安全标准和保险费率	(718)
1 石油工业的潜在危险与保险	(718)
2 石油化工厂的安全标准和火灾、爆炸保险费率	(729)
3 炼油厂的安全标准和保险费率	(741)

总论 化工厂的安全问题和今后的措施

1 安全问题

安全是个很独特的问题，它不但在过去就有，现在依然存在。其所以如此，是因为人并不是万能的。随着技术不断发展，本来应当是能够达到防患于未然的地步，但是，实际上却很难做到，往往只能是亡羊补牢，以致不能杜绝事故。

遗憾的是，几乎所有的安全措施都被看成是事后的补救措施。每当在某一个地方发生问题，有关的人都应该及时得到情报，并且应当考虑到在自己所在的工作地点也会出现这样的事故。当查明事故的原因之后，就需要采取措施。虽然最好是能够预料到将来有可能出现什么样的问题，提前采取措施，但是，如果能够及时取得查明事故原因的情报，然后采取安全措施，仍然不失为可取的对策。

安全问题还有另外一个特点，它是一个看起来虽然简单，做起来却很困难的事。任何人对安全都各有己见，根据各人的亲身体会，也可以发表恰如其分的看法。每个时刻都有安全问题，每个人在每天的生活中都以各种各样的方式直接接触它。当发生事故以后或在未发生事故之前，有关的人考虑到安全问题的时候，本应检查自己的一方有无不安全的地方，以便采取有效的安全措施，但是往往却会情不自禁地认为自己的一方没有什么问题，反过来指责对方的过失。如果有人看到了在某一个工厂发生的灾害，不去考虑在自己的一方会不会也这样，不去尽力防止灾害发生，那将是一件非常可惜的事。

安全问题的难点还在于不能对安全所付出的努力进行评价。最显示安全效果的当然是不发生任何事故，经常保持正常的安全状态。所谓的安全，也就是谁也不会去考虑它的存在状态。在这种状态下，为了安全所付出的辛勤劳动根本不为别人所承认。可是，如果每隔一定的时间发生一定程度的事故或灾害，或者是遇到国外有重大的灾害发生的时候，却会显示出为了安全所付出的劳动的价值。

2 紧急状态的分类及其危险性的评价

以上采用了“事故”和“灾害”两个术语，为了方便起见，对这两个术语作下列的定义：

在编制高压气体保安协会“联合企业的安全防灾技术指南”（1974）时，对设备的紧急状态的类别划分为以下五个等级。

1. 运转失灵：是指正常控制发生紊乱，但通过换接备用设施，就可以在尚未达到发生故障或事故之前恢复正常运转。

2. 故障：是指需要停止设备运转，采取维修措施，但同时又未发生其他损坏的状态。

3. 异常：是指如果不对工艺过程采取相应的措施，就可能会发生事故，但通过采取相应的措施，就可以不发生事故的状态。

4. 事故：是指设备损坏泄漏发生火灾或爆炸等一类的现象，对此必须采取紧急措施。可能会损坏一些设备。由于在单元设备上采取了紧急措施，没有发生人身事故，并且对第三者未造成威胁。凡是达到“事故”的紧急状态，应该立即报告有关的政府机关。

5. 灾害：是指不但发生了事故，设备受到了损坏，同时还发生了人身伤亡的状态。同时对第三者也造成了威胁。如果需要采取紧急措施，需要得到外部的支援。遇到这种情况，

应该立即与有关机构取得联系，向他们报告受灾情况。有关的监督机构应进行调查，待查明原因之后再采取措施。

虽然把紧急状态分成五个级别，但是故障状态总是不可避免的。为了不使故障恶化达到异常的程度，应该对故障、异常状态进行调查，采取相应措施，力求不要达到事故状态。

化工厂中紧急状态的五个等级必须要成为尽人皆知的常识。如果惧怕外界对厂内的事故灾害产生反应，就连异常状态也设法不让外界知道，那是无助于改变危险状态的。

即便是有几年不发生事故，也不能认为这就是安全的证据。在每次发生事故后调查原因时经常发现：曾经有几年因为采用了某种方法根本就没有出现过事故，因此，一直就认为是安全的。对于这种现象，只能认为是由于幸运而没有发生事故，不能认为这就是安全的证据。现在举一个比较老的例子，举世闻名的1921年德国奥帕奥（Oppau）的硫硝铵爆炸事件是由于硫铵中混入了硝铵化肥，结成大块，为了炸碎这些大块，造成了大爆炸事故。据说把大块硝铵炸碎的办法已经做过两万次左右，都没有出现过引起大爆炸的事件。要想推断在这种情况下危险程度是很困难的，但是却应当考虑到硝铵是有爆炸性的，如果将硝铵稀释，再对大量的这样的物料施加大量的能量就会有发生爆炸的可能性。1952年在名古屋在制造己内酰胺的过程中，由于副产品硫铵中混入了硝铵，也发生过爆炸事件。

1970年，在平塚生产硝酸胍的过程中发生爆炸。在此以前的二十年间一直采用间歇法生产，从没有发生过事故，因而也就认为不会发生问题。后来为了提高产率，改为自动化生产，结果引起了爆炸。由于当时认为间歇法一直未发生事故，所以就放心地改为自动化生产。实际上当时应当考虑到工作条件的变化。即便是这种生产工艺多年来未出现过事故，原料和产品的危险性也不大，却应该对硝酸铵和双氰胺会在加热熔融状态下进行反应，以及对反应过程的危险性要充分加以考虑，而对于反应条件，特别是温度控制等更应该采取慎重态度。

即便是很危险的工艺，只要加以周密的注意，也不会引起重大事故。

处理危险品或是进行危险反应的工艺，过去曾经出现过各种重大事故，例如，以爆炸危险为例，诺贝尔开始了硝化甘油的工业生产，从用于爆炸到发明了甘油炸药的期间，有过相当多的牺牲者。在发明了甘油炸药以后，牺牲的人大大减少。后来，随着每年经历的重大事故，逐步制订了安全措施。近几年来，从硝化甘油的合成到甘油炸药的包装都改为自动化、机械化，自此以后，事故大大减少。也就是说，目前已经掌握了能够处理这类非常容易爆炸、容易分解的物质的安全技术。通过多年来积累的经验，对于非常危险的工艺，只要给予充分注意，几乎完全可以避免出现重大事故。

近几年来出现的重大事故，多是在处理认为没有危险的物品以及进行认为没有危险的反应时发生的。所以应该对物料本身的危险性进行评价，还要对杂质的影响，副反应的影响以及其他反应方面的问题进行评价。

3 防灾问题的综观

日本化工厂的安全情况与其他先进国家相比有很大的差异。日本的困难所在是人口密度大，面积小，周围虽然有农业耕地，但是住宅和工厂都非常靠近。在新建的联合企业中，情况也不两样。因此，如果设想在日本也发生象近年来在欧美发生的那样的重大事故，其危害程度之大，特别是对第三者危害程度之大，一想起来就令人触目惊心。在日本这样窄狭的土地上，一旦发生事故，就会制订出更为严格的法律规章。

然而，化工厂的安全，无论有多么严格的规章也是约束不住的。只有依靠工厂本身找出达到安全目标的最佳手段，并且付诸实施，再没有其他办法。在这样的思路下，尽管这些工厂自订的规章不够全面，工厂的各级管理部门都根据厂内规章的精神制订了一些制度。最近，这些制度都被废止了，这是最令人感到遗憾的事。这固然由于1973年在公认的管理部門发生了多起灾害事故所造成的，但实在是令人感到遗憾。

在制订有关安全规章的工作中，最近越来越感到化工厂的安全问题不只是一个企业或一个工厂的问题，而是全面性的问题。一个工厂发生问题，不仅是对自身造成影响，而且对所有各方面都会带来影响。1973年，日本有关的化工厂频繁发生爆炸事故。1974年英国弗利克斯波罗的环己烷空气氧化发生爆炸。自此以后，两国的规章都作了相应的变更，这个例子可以作为上述情况的明显论据。也就是说，有关双方应该互相交流如何保持安全的经验，把保持安全的水平提高到同样的程度。在今后的技术革新过程中，虽然要想对危险物品运用自如必须要克服苛刻工艺条件的困难，虽然安全问题是企业的最大秘密，但是，如果新建企业准备将相同的工艺用于工业化生产，如果先建厂不齐心协力，防止新厂发生事故，那么，一旦发生事故，大家会一同遭殃。

另外一个问题是：凡是未经法律规定的事项，也应和已有法律规定的事项给予同样的重视，并应采取相应的措施。

日本对于安全所做的规定，并没有一项综合性的法律，而是根据不同的目的、制订各种不同的法律。因而对于某一种物质，有时可能在不同的法律中作了重复的规定，而对另一些物质，却不论在哪一种法律中都没有作过规定。

因此，为了确保安全，就必须要不拘泥于法律的规定，而是应该根据各种法律的精神，考虑所有的危险性。

经过在各种工厂中参观学习，得到的印象是：最近被认为有问题的贮罐和管线都已经结合法律中的有关规定，分别对其中规定的危险物品及高压气体给予了充分的重视；但是，对其他方面则重视不够，更严重的是有时会令人感到已经不需要考虑安全问题了。

保证化工厂安全，也就是设法不引起事故，所用的方法不是唯一的和绝对的。如果把安全目标比作是一座高山，则登山的途径可以考虑多条。同时，这个登山的出发点也随着各工厂的具体情况不尽相同，其原因是各工厂的所在地区以及占地面积的不同而造成。

此外，登上山顶也不一定非要采用走路的方式不可，利用直升飞机直接登上顶峰的方法也是不能否定的。然而，为了安全，似乎又应当以缓步的方式达到登山的目的，但有时也应该改变考虑问题的方式。在这里联想起来一件事：在第六次防止产业灾害措施审议会的安全管理分会上，讨论过在可燃气体泄漏时，是否应立即采取点火措施的问题。当时正处在刚刚生产液化石油气（L.P.G）低温平底大贮槽的时代，有人提到有大量泄漏时，是不是立即点火可以解决问题，可是又有人认为，如果失败就可能以纵火罪论处，因此决定不作采取这种措施的建议。但是，从近几年来化工厂灾害的趋势来看，这种措施可能还有讨论的必要。

最后，如果不综合考虑问题，安全是不能成立的。

安全问题，是非常广泛的问题，先不说去考虑整个安全问题，仅从安全工程学、技术方面来考虑，如果不以宽广的视野观察、采取措施，可能会从没有考虑到的方面发生事故，也可能出现认为是安全的措施，却反而起到了相反的作用。技术开发完全是为达到某一目的而进行的。人不是万能的，在这种情况下，就不可能同时考虑对所有方面的影响，然而如果不以此为目标去努力就会出现大问题。对安全就是需要这样来综合考虑，而最近大家都热衷讨论

的技术评价 (Technologe Assessment) 方法刚刚开始的安全方面采用, 这无疑是从事安全工作的各个方面的工作做得不够, 说起来令人感到惭愧。如果能够将技术评价整理成一种系统方法, 有可能达到安全的目的。

<難波桂芳>

第一章 构筑物地基的加固及基础的结构

第一节 软弱地基的调查、设计与施工

1 关于软弱地基的几个问题

新泻地震和水岛石油贮罐一类的事故是由于地基所引起的灾害，一般报道都说是由于地基软弱造成的。软弱地基的字义，用工程材料的术语来说，就是强度不够的地基。地基与一般的工程材料相同，它的强度可以用地基受到荷载的作用所引起的变形表示，即用沉降量表示。也就是说，当地基承受一定的荷载作用时，如果沉降量小，或者说，如果使地基产生剪切破坏所需的荷载大时，就称为地基的强度大。未受风化的盘石是最牢固的地基。将含粘土份额较多的土，用泥浆泵吹填的土地，是最软弱的地基。

但从土力学的观点来看，并不存在什么软弱地基，只不过是地基的软弱程度能够根据地基上所建造的构筑物的设计条件进行判断罢了。在一般情况下，纵然是称为牢固的地基，如果用它来承载设计条件苛刻的构筑物，仍然需要加强。这时，这种岩盘地基的强度就显得不够了。另一方面，纵然是含粘土的份额较多，又是经泥浆泵吹填的土地，如果只是作为绿化等用地，也不需要在地基上多费功夫。

因此，虽然在土力学上没有天生的软弱地基，但是在实际上的确有软弱地基的问题。那就是含水多的粘土地基。也就是说，是含有象粘土一样的微小土粒子的地基和含水量达到饱和程度的松散砂土地基。然而，这两种有代表性的地基，遇到地震的时候，有的发生振动，有的不发生振动，表现并不一样。

所以说含水多的粘性土地基强度不足，主要是指地基与构筑物荷载的关系。总之，当构筑物沉降量过多，长期持续沉降，以及构筑物荷载过大等等原因，都会使基础地基产生全面剪切破坏，这就是造成设施崩溃的技术问题。但是当发生地震的时候，地基的强度并没有显著的变化，而在地震以后多数会造成沉降，沉降的程度大小不一。

砂质地基完全不会由于构筑物本身的重量产生问题。其沉降量比粘土地基的小。它的沉降过程在短时间內即可完了。另外，由于构筑物荷载的作用，使地基产生剪刀破坏的情况实际上极少。然而砂质地基含水饱和以后，遇到地震，常常会产生液化现象，这样就会造成巨大的灾害。液化现象也叫做流态化，就是指砂质地基一部分变成泥水状态，强度完全丧失的现象。新泻地震造成的这种灾害的情况是众所周知的事实。

在这两种有代表性的地基中，含水量大的粘土地基常常是由于地震以外的其他原因发生问题。多半是由于地基的强度有不同程度的不足，或者是由于构筑物使用不当所造成的事故。

在建造构筑物的时候，为了能安全承载构筑物，要设置基础。如果将基础进行分类，就可以分为混凝土板在地基表面直接敷设的直接基础，以及构筑物的重量全部分配在地基深部的桩基础。更大的桩基础就成了墩基础。在选定上述的基础以及其相应的结构的时候，要取决于基础的条件，也就是取决于加在基础上的荷载与容许沉降量以及地基的强度。所谓容

许沉降量是指在安全使用构筑物的条件下所能容许的最大沉降量。

基础的条件是人为的，在设计过程中，可以作一定程度的加减。但是，地基却是建设中选定的具体地点，一点也不会变动，可以说这是天生注定的。地基有各种各样的性质，即便是在建设中预定的那块土地，也多半不是均质。经过质量管理浇制的混凝土以及制成的钢材等一类的工程材料，也存在着一定程度上的差异，地基的土壤种类和性质也极不相同，因此，

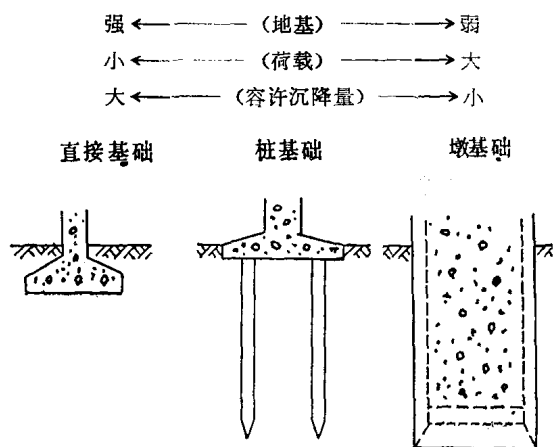


图 1-1 设计条件及基础的形式

对地基进行调查是极端重要的。

根据地基的强度、荷载的大小和容许沉降量的大小三个条件进行考虑，现将上述三个条件与可能采用的基础形式的相互关系作概括介绍，如图1-1所示¹⁾。由图可见，当地基的强度小时，基础工程的规模就要加大，基础的埋入深度也就大。一般情况下，地基的强度随着深度的增加而增大。如果土地表面的强度不够，除了尽可能利用大面积的土地强度以外，还要依靠土地深处的较大的强度。

因此，在一般情况下，由于条件恶劣，必须要加大基础工程，这样就增大了基础本身结构的工程费用。反之，在给定的设计条件下，如果地基的强度增加，就会使基础的费用减少。总之，不论用什么方法改良地基，提高其强度，虽然由于改良地基须要支付一笔工程费用，但结果却可以减少一笔修建基础的费用，从而就能够减少基础工程的总费用。

改良地基的目的就是要强化地基。具体地说往往就是排除土壤中所含的水分，增加土壤的密度。不论是粘土还是砂土，减少其中的水分就会增大它的密度，从而使剪切强度增大，荷载变形量减少。

饱和松砂地基在地震时会变成软弱地基，已如前所述。但是地震时，由于地基液化，使砂的密度增大的程度各有不同，砂质地基密度的增大，往往会使变形量变小，于是，在地震时会使地基的稳定性增大。

如图1-1所示，经过考虑构筑物与地基的相互关系以后，进行土力学设计时，要考虑地基、荷载和容许沉降量三个要素，以及改良地基的得失，从而将各种基础进行对比研究，就能选出有利的基础形式。

2 土的力学性质

2.1 地质与土质²⁾

日本土壤的特征是风化土少，平原部分全部是堆积土，特别是低洼地，全部是冲积土。另外，由于火山活动，土壤的特征之一就是火山性堆积土多，在日本只有六甲山以西瀬戸内海沿岸所见到的老土才是风化土，在工程上有重要价值。

日本洪积世时代的火山活动频繁，由火山喷出物形成的火山堆积物较多。关东的垆姆土就是这种火山灰土的代表。九州南部的白砂就是由轻石和溶岩片形成的火山堆积物。

日本的平原和称为沿海工业地带的是由冲积层构成的。冲积层下面是洪积层或第三纪层一类的古地层。冲积层下沿一般在-30~-60米，有时可达-100米。

遇有较厚的冲积层时，下部的基岩表面呈谷形。据说它的生长过程是在冰川期海面下降

达100米的时期，受到河流侵蚀，山谷没入海中，然后，流入海中的海成冲积层堆积，使谷地变浅，再经河成堆积物覆盖造成的。

由于冲积层的堆积时代较近，所以固结度较低。通常在沿海工业地带即所谓的软弱地带主要是粘土冲积层。砂质冲积层颗粒之间没有结合作用，因而会产生液化现象。

日本的洪积层以海成层、河成层和火山性堆积土层为主，构成了各地的岗丘、台地和丘陵地，分布在冲积层下。在冰川期与冰川期之间有一段较为温暖的气候，此时，海面上升。前一段冰川期中由于海水下降而冲成的谷地于此时侵入海水，形成堆积物。这就是海成洪积层。另一方面，在间冰期，由于海面升高，形成相应的河流堆积物，这就是河成洪积层。这种洪积层的生成时期在200万年至1万年前。

洪积层的土壤与冲积层相比，前者的密实度和固结度较大。古代的洪积层可以说近似于软岩。因而，可以说洪积层作为基础地基一般还是良好的。

洪积层中经常混有火山喷出物。从关东垆姆的例子可知，开凿这种土层的时候，经常会使土方工程作业困难。未经风化或未经挖掘破坏的天然地基具有相当大的强度。

2.2 土的物理性质

土作为工程材料使用时，土颗粒之间互相连结，形成土颗粒骨架。设想在骨架之间充满流体。在孔隙之间充满了水的土称为饱和土。如果在孔隙流体内混入空气，则称为不饱和土。

形成土骨架的颗粒，根据其大小，可分为：粘土颗粒（0.005毫米以下）、粉砂颗粒（0.005~0.074毫米）、砂土颗粒（0.074~2毫米）和砾砂颗粒（2毫米以上），天然地基的土不是由单一种类的土颗粒构成的。例如，粘土地基不过是粘土颗粒含量较多的地基。

根据图 1-2 所示，用密度和含水量等表示土的状态，对下列的术语定义如下：

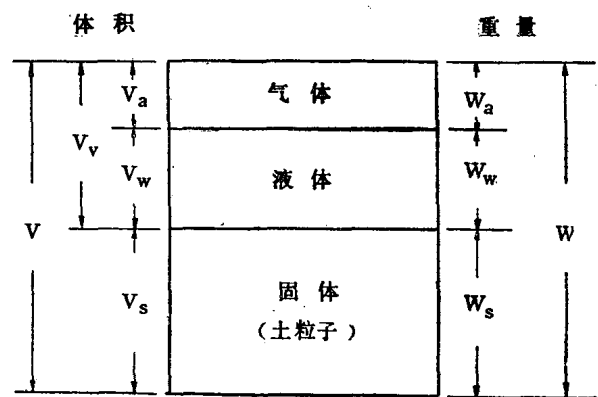


图 1-2 土成分模式图

孔隙比:
$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

孔隙度(%):
$$n = 100 \frac{V_v}{V} = \frac{100e}{1+e}$$

体积比:
$$f = \frac{V}{V_s} = 1 + e \quad (1-1)$$

含水量:
$$W = 100 \frac{W_w}{W_s}$$

饱和度(%):
$$S_r = 100 \frac{V_w}{V_v}$$

以 G_s 表示土颗粒的比重，则形成下列关系式：

$$e S_r = G_s W \quad (1-2)$$

另一方面，对于土的密度定义如下。 γ_w 为水的单位体积重量。

单位体积重量: $\gamma = \frac{W}{V}$

$$= \frac{G_s + eS_r/100}{1+e} \gamma_w = \frac{G_s(1+W/100)}{1+e} \gamma_w \quad (1-3)$$

$$\text{饱和重量: } \gamma_{\text{饱和}} = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w \quad (1-4)$$

$$\text{水下浮重: } \gamma = \gamma_{\text{饱和}} - \gamma_w = \frac{G_s - 1}{1+e} \gamma_w \quad (1-5)$$

$$\text{干燥重量: } \gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\gamma}{1+W/100} = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w \quad (1-6)$$

在以上诸值中, 砂的孔隙比为0.6~1.1; 粘土的孔隙比为1.5~3.0。土颗粒比重的代表值为2.7; 饱和状态的含水量, 砂为20~40%; 粘土为50~100%。饱和状态的单位体积重量, 砂为2.0~1.8吨/米³, 粘土为1.7~1.4吨/米³。

除了土颗粒的组成比以外, 能够用来判断土的性质的项目就是土的稠度。用液限 w_L 和塑限 w_P 表示。土的含水量增大时, 由可塑状态转化为液态的极限含水量就是液限; 反之, 当含水量减少时, 转化为半固体状态, 发生龟裂现象的极限含水量就称为塑限。根据土的稠度特性, 对下列指数定义如下:

$$\text{塑性指数: } I_P = w_L - w_P \quad (1-7)$$

$$\text{液性指数: } I_L = \frac{w - w_P}{I_P} \quad (1-8)$$

粘土含量增大时, 土的 w_L 与 I_P 增大; 粉砂颗粒和砂土颗粒的含量增大时, w_L 与 I_P 减小。从土力学的角度上考虑, 一般是将土大致分为粘性土与砂质土两大类, 在绝大多数的情况下, 都把 $I_P > 10$ 的土称为粘性土。

土的稠度特性为其固有的性质。如将土中的水排出, 使其密度增大, 结果使土的含水量减少。因此, 液性指数是判断土的状态或土的改良强化程度的尺度。所谓 $I_L = 10$ 的土, 是表示由于某种重要的原因, 使土能以转化为液态; I_L 小的土, 表示要转化为硬土。一般称为硬质粘土的土, 是指 $I_L < 0.5$ 的土。

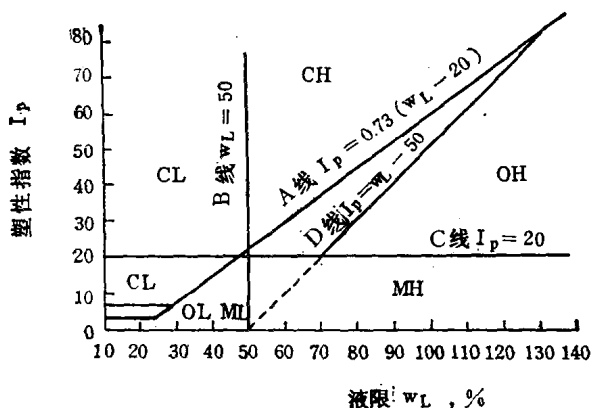


图 1-3 塑性图 (日本统一土质分类)

土质的分类方法有各种各样, 根据日本土质工学会基准中的日本统一土质分类, 取 w_L 与 I_P 绘成塑性图, 进行土质分类, 如图 1-3 所示。在这种分类中, 用了两位缩写字母。第一个字母的含义为: C = 粘土, M = 粉砂, O = 有机土, V = 火山灰质粘性土, 第二个字母中的 H 表示液限在 50% 以上。若在 50% 以下时, 则用字母 L 表示。另外, 在分类中还用 S 表示砂, 用 G 表示砾。日本的冲积粘性土, 在图 1-3 的塑性图中位于 A 线附近。

如前所述, 根据地基承受荷载作用的沉降量, 以及抗剪特性, 经常将土大致分为粘性土