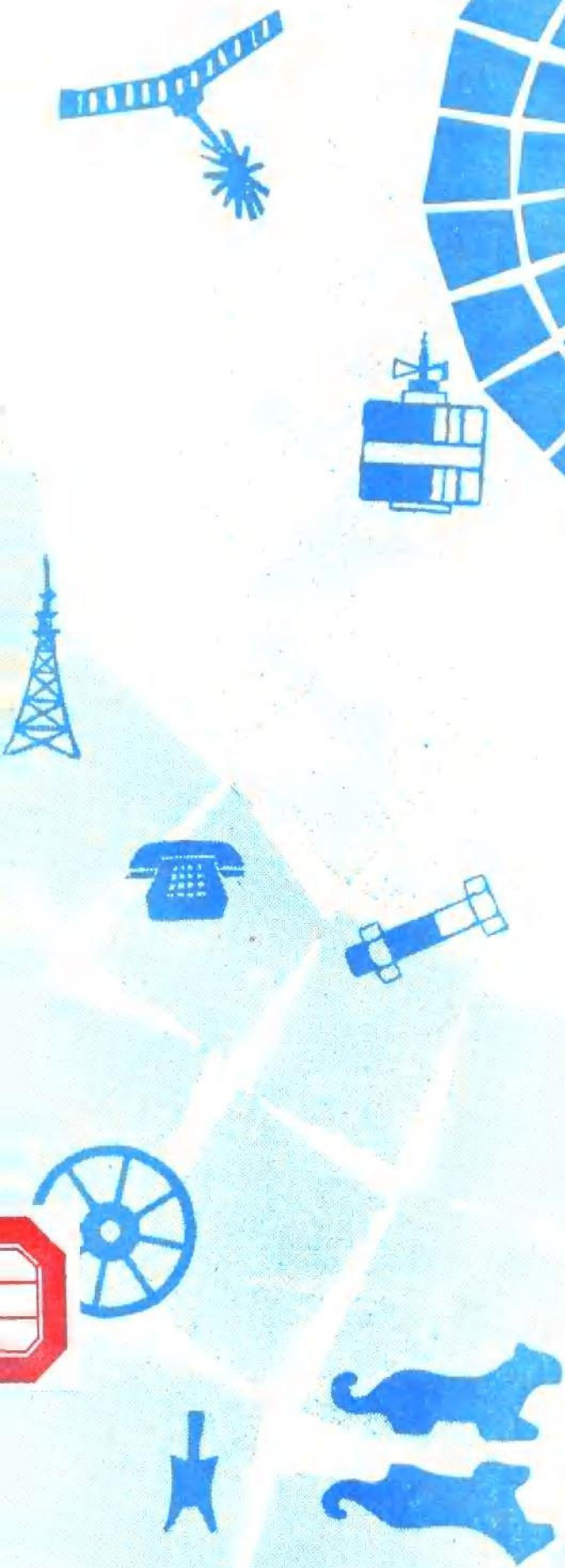




标准化系统工程

张锡纯 主编



标 准 化 系 统 工 程

主 编 张锡纯

副主编 杨育中

戚道伟

王德言

北京航空航天大学出版社

(京)新登字166号

内 容 简 介

现代标准化是以系统科学为指导的标准化。标准化系统工程的核心问题是组建标准化系统,并使之合理运转,以实现标准化目标。本书以此为中心内容,以行业、企业和型号标准化系统工程为例,从理论和实践两方面展开了全面、系统的分析和阐述,并以相当篇幅深入浅出地介绍了系统科学和系统工程的基础知识。对标准化管理信息系统、综合标准化、信息技术标准化和国际标准化等标准化新问题,也作了重点介绍。

本书可用作工科大、专院校本科和继续教育教材,也可供标准化理论工作者和工程技术人员,以及管理人员参考。

标 准 化 系 统 工 程

BIAOZHUNHUA XITONG GONGCHENG

主 编 张锡纯

副主编 杨育中

戚道伟

王德言

责任编辑 郭维烈

北京航空航天大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

通县觅子店印刷厂印装

787×1092 1/16 印张:24 6开插页一个 字数:627千字

1992年9月第一版 1992年9月第一次印刷 印数:7000册

ISBN 7-81012-309-2/TB·047 定价:12元

标 准 化 系 统 工 程

主 编 张锡纯

副主编 杨育中 戚道纬 王德言

编 委 (以姓名笔划为序)

王德言 叶茂芳 阎学发 阎清德

范大荣 周本林 杨育中 金烈元

张锡纯 张淑贞 张增模 唐龙章

龚 丰 黄世民 戚道纬

前 言

自从1979年10月我国著名科学家钱学森先生在北京系统工程学术讨论会上提出标准(化)系统工程这个专业名称以来,已经过了整整12个年头。本书是响应钱先生这一号召而大胆探索的一种尝试。

标准化活动几乎是与人类社会同时产生的。经过古代标准化和近代标准化两个历史阶段而形成了一门综合性的、始终与社会实践密切结合的工程技术学科。二战后,由于系统工程的产生和它在重大工程及军事装备上的广泛应用,标准化作为一种有效的现代化管理手段而进入系统工程领域,标准化学科本身也因学科交叉而发展到以系统工程方法论为指导的现代标准化阶段。60年代苏联综合标准化的产生和美国军用标准体系的发展应认为是这个新的历史阶段开始的标志。所以钱先生在70年代末期提出标准化系统工程的专业建设问题完全是现实根据的。

虽然在编写过程中对本书内容取舍有种种考虑,但对本书的编写目的和对标准化系统工程的基本认识是始终一致的,即,编写本书是想为工科大、专院校标准化课程提供一本教材或教学参考书,并向从事标准化工作的管理和工程技术人员提供一本职工作参考书,是教学与工作并重的;而标准化系统工程的基本性质应该是严格遵循钱学森先生的正确论断:标准化系统工程是对重大标准化活动的组织管理技术。本书就是在这种基本认识下研究了它的研究对象体系,对这几个对象的特征和各个参数作了初步探讨,并将这个分析作为标准化系统工程的研究主线,贯串在全书各个章节。全书共十三章,各章主要内容、章节布置及相互关系,详见第一章§1-3的本书梗概。

改革开放的十多年来,由于形势发展的需要,推行综合标准化在国内已积累一定实践经验,且已形成《综合标准化工作导则》(GB/T 12366)的一系列标准。另外,美国军标和其他国外标准正在大量引进;国内许多单位也在拟订系统工程的管理标准;刊物上陆续发表探讨系统科学和系统工程方法论应用于标准化工作的文章;本书提出的标准化工作系统,已在某些复杂工程系统的综合标准化实践中被采纳。这些事实说明,系统工程在国内的推行,正与我国的标准化实践密切结合起来。标准化的系统管理也必然导致其与依存主体的系统工程管理密切结合起来。这个形势是十分喜人的!然而,就标准化系统工程在国内的推行而言,还处于准备阶段,还缺乏实践经验,队伍还很小,系统工程的理论和方法还没有深入到我国标准化的广阔实践活动中去。所以,编写本书就感到非常缺乏实践依据,极为困难。

编写本书的另一困难是:钱先生所指出的标准化系统工程的特有学科基础(标准学)尚未建立。标准学应研究标准化的历史发展规律,研究标准化的运动规律,是介乎自然科学和社会科学之间的一门学科,我们能看到的标准化书籍(包括松浦四郎那本较有一些理论探讨的《工业标准化原理》)中确实也包含了一些标准学的内容,但内容不多而零碎,它们中的大量内容还是关于如何从事标准化工作的技术知识。我们在编写过程中深深体会到,无论是对于系统(如标准系统、标准化工作系统),或对于要素(如一个标准),或对于要素的分析和系统的运动规律等等方面,标准化原理的现状尚远远不能满足标准化系统工程对标准化

基础理论的需求。

还有一个小小的困难是：标准化工作者讲究说话、办事要有标准依据，国内虽已提倡系统工程多年，但许多已颁发的标准、规范未必全是在全面系统地经过统一协调的原则下制订出来的，而标准化系统工程又是一种尚未成为现实的设想，在现有标准、规范制约下去描述合理而协调的蓝图，其困难也可以想象。

总之，这些困难并没有把我们吓倒，经过编委会全体同志的共同努力，这本书终于可以出版了。从1987年冬季到现在，经过了近5年时间，我们这个编委会既是领导班子，又是工作班子，人人写稿，编写提纲已四易其稿，稿子写了三遍，内容也不断扩大和深化。我们力求把系统工程和系统科学的基本原理和方法介绍到标准化方面来，对标准化学科的若干主要方面根据系统科学理论重新作了阐述，对标准化中一些问题也提出了我们的虽然未必成熟，但也不无依据的观点和看法，我们认为有许多问题是值得从理论上来深入探讨的。在不同学科的交叉融合中总有许多新问题值得探索，我们希望在系统工程与标准化的学科交叉中抛砖引玉，提出一些粗浅见解，借以引起学术讨论，繁荣标准化学科。就我们自己来说，我们多数是长期从事标准化实际工作的，对标准化理论研究不多，对系统工程也涉猎不深，所以本书中的缺点和不足之处一定很多，我们热诚欢迎系统科学和标准化学科两方面专家和工作者都能对本书提出宝贵意见。本书如能真正引起我国标准化学术界的反应和批评，从而展开讨论和争鸣，我们编委会将非常感谢！

应该附带说明：由于我们学识水平和工作经验的局限性，本书探讨范围只限于工业部门以下的工业技术标准化问题，没有触及更高层次的国家标准化问题。另外，鉴于许多概念和观点是新提出来的，新名称和习惯用语又无法偏废，所以虽经主编们在全书协调上作了重大努力，仍遵循“大统一，小争鸣”原则，尊重撰稿人观点，保留个别章节中的不同看法和用词的不完全统一，如系统和体系。

《标准化系统工程》编委会

1992.1.15

目 录

第一章 绪 论

§1-1 标准化的历史与现状.....	(1)
1-1-1 我国古代标准化的光辉范例	(1)
1 秦代在标准化方面的重大措施.....	(1)
2 从秦陵出土文物中见到的标准化水平.....	(2)
1-1-2 国外现代标准化简况	(4)
1 近代标准化.....	(4)
2 现代标准化.....	(4)
1-1-3 我国标准化现状	(5)
§1-2 标准化在我国现代化建设中的重要作用.....	(8)
§1-3 标准化系统工程的学科性质和基本任务.....	(11)
1-3-1 标准化系统工程的产生与学科性质	(11)
1-3-2 标准化系统工程的基本任务	(12)
1-3-3 本书梗概.....	(13)

第二章 系统工程的理论基础

§2-1 关于系统的基本概念.....	(16)
2-1-1 系统的三基元——物质、能量、信息	(16)
2-1-2 系统的共性和特性	(17)
1 系统的共性.....	(17)
2 系统的特性.....	(19)
2-1-3 系统的分类	(20)
1 以系统形成的原因为标准的分类.....	(20)
2 按照物质和精神两类现象来分类.....	(20)
3 按照系统的运动状态来分类.....	(20)
4 按系统与外部环境的关系来分类.....	(21)
5 按复杂程度来分类.....	(21)
6 按照系统的自动控制能力的特点来分类.....	(21)
§2-2 关于系统工程的基本概念.....	(21)
2-2-1 系统工程的含义和特征	(21)
1 整体性(总体性、全局性).....	(22)
2 综合性.....	(22)
3 有效性(含择优性).....	(23)
4 社会性.....	(23)

5 客观性	(24)
2-2-2 霍尔三维结构	(24)
2-2-3 系统科学的学科体系和各门系统工程学科	(26)
§2-3 系统科学的基础——系统学的基本知识	(29)
2-3-1 正在形成中的系统基础科学(系统学)的构筑材料	(29)
1 耗散结构理论	(29)
2 协同学	(32)
3 突变理论	(35)
2-3-2 系统的存在形式和运动规律·系统学第一定律和第二定律	(37)
1 系统的部分与整体·系统学第一定律	(37)
2 系统的结构和功能	(38)
3 系统之间的关系	(41)
4 系统有序结构的形成、发展和演化·序变能力·系统学第二定律	(43)
§2-4 系统工程的技术科学基础	(47)
2-4-1 运筹学简述	(47)
2-4-2 控制论概要	(48)
1 控制论的基本概念和理论	(49)
2 关于控制系统的基本知识	(53)
2-4-3 信息论概要	(56)
1 信息的概念和特征	(56)
2 信息的度量和信息熵	(58)
3 通信系统模型	(59)

第三章 系统工程分析方法

§3-1 系统分析和系统综合	(62)
3-1-1 系统分析的要点	(62)
3-1-2 系统分析的过程和步骤	(63)
§3-2 预测技术	(68)
3-2-1 预测的基本概念	(68)
3-2-2 定性预测的主要方法——德尔菲法	(69)
3-2-3 定量预测的因果关系分析法	(71)
3-2-4 定量预测的时间序列分析法——指数平滑法	(75)
§3-3 建模理论和方法·系统模拟	(78)
3-3-1 从系统科学方法论看建模和模拟	(78)
3-3-2 黑箱-灰箱-白箱方法	(79)
3-3-3 建模的基本知识和方法	(82)
3-3-4 系统模拟	(85)
§3-4 优化分析与层次分析法	(90)
3-4-1 一般优化分析	(90)

3-4-2 对系统优化应有的认识	(93)
3-4-3 层次分析法	(94)

第四章 标准化系统工程概论

§4-1 标准化系统工程的基本概念	(102)
4-1-1 对标准化系统工程的基本认识	(102)
4-1-2 标准化系统工程的研究范围和研究对象	(103)
4-1-3 研究标准化系统工程的目的和意义	(105)
§4-2 标准化活动中的基本工作原理	(106)
4-2-1 有序化原理	(106)
4-2-2 统一/协调原理	(108)
4-2-3 系统优化原理	(110)
1 系统整体优化	(110)
2 系统结构优化	(112)
4-2-4 反馈控制原理	(113)
§4-3 标准化系统工程方法论	(115)
4-3-1 标准化工程学的六维结构	(115)
4-3-2 标准系统与依存主体系统平行分解法	(119)
1 工作分解结构 (<i>Work breakdown structure</i> , 简称 <i>WBS</i>)	(119)
2 平行分解法	(121)
4-3-3 参数系列优化的数学分析方法	(125)
1 用户损失最小法	(125)
2 寿命期费用最小法	(128)
4-3-4 网络分析技术	(129)
1 网络分析技术的特点	(129)
2 网络分析技术的基础——网络图	(130)
3 网络图的时间参数计算	(133)
4 网络图的分析	(134)
§4-4 标准化系统的结构与功效分析	(135)
4-4-1 系统的结构、功效和流通构成	(135)
4-4-2 标准化系统的结构和功效	(140)
1 标准化系统的一般分析	(140)
2 标准系统的特征、结构及其主要参数的探讨	(142)
3 标准化工作系统的特征及其主要参数的探讨	(150)
4 标准化系统工程师的职能和应具备的条件	(155)
§4-5 标准化系统工程的组织实施	(157)
4-5-1 标准化系统工作阶段的划分及各阶段的主要工作内容	(157)
4-5-2 前两阶段的工作特点	(159)
4-5-3 标准化系统的建立	(160)

4-5-4 标准系统的贯彻实施	(165)
4-5-5 控制和评审	(167)

第五章 标准化和标准化系统工程的若干方法

§5-1 简化和统一化	(169)
5-1-1 简化和统一化的必要性	(169)
5-1-2 简化和统一化的基本概念	(170)
5-1-3 简化和统一化的原则	(171)
§5-2 系列化	(171)
5-2-1 系列化的由来和定义	(171)
5-2-2 制订产品基本参数系列标准	(171)
5-2-3 编制产品系列型谱	(173)
5-2-4 开展系列产品设计	(175)
5-2-5 简化、统一化、系列化的工作程序	(175)
§5-3 通用化	(178)
5-3-1 概述	(178)
5-3-2 通用化的形式	(179)
5-3-3 通用化在工艺中的应用	(180)
5-3-4 通用化程度的评定	(180)
§5-4 组合化	(181)
5-4-1 概述	(181)
5-4-2 组合化的原则和方法	(182)
5-4-3 组合化的设计步骤和应用举例	(182)
§5-5 综合标准化	(183)
5-5-1 概述	(183)
5-5-2 综合标准化的主要程序图	(186)
5-5-3 综合标准化对象和任务的确定	(186)
5-5-4 综合标准化的系统分析	(187)
5-5-5 制订综合标准化计划大纲	(191)
5-5-6 综合标准化计划大纲的实施	(193)

第六章 标准化的效果-费用分析

§6-1 标准化效果	(195)
6-1-1 标准化效果的基本概念及分类	(195)
6-1-2 标准化社会性效果与技术性效果的评估方法	(199)
1 效用函数法的一般概念	(199)
2 效用函数在标准化中的应用	(201)
§6-2 标准化费用	(202)
6-2-1 标准化费用分析	(202)

6-2-2 标准化费用的构成	(202)
§6-3 标准化效果-费用分析	(204)
6-3-1 效果(效益)与费用	(204)
6-3-2 评价标准化经济效益的指标体系	(206)
6-3-3 价值工程在标准化活动中的应用	(207)
1 价值工程与标准化	(207)
2 应用实例——应用价值工程原理修订纸粕辊内控标准	(208)

第七章 行业标准化系统工程

§7-1 行业标准化	(212)
7-1-1 行业的划分和行业标准化的形式	(212)
1 行业的划分和行业管理	(212)
2 行业标准化的形式	(213)
7-1-2 行业标准化的基本任务	(214)
1 行业标准化的工作范围	(214)
2 行业标准化的基本任务	(214)
§7-2 行业标准化系统工程的一般分析	(215)
7-2-1 航空行业标准化系统工程的工作对象和基本任务	(215)
7-2-2 航空行业标准化系统工程依存主体的分析	(218)
1 航空行业的环境	(218)
2 航空行业的目标和航空产品的特点	(218)
3 飞机的工作分解结构	(219)
4 航空行业的组织机构	(219)
5 航空行业的系统工程管理	(219)
6 航空行业的发展过程	(219)
7-2-3 航空行业标准系统的分析	(221)
1 航空行业标准化系统的目标	(221)
2 航空行业标准系统目标的分析	(221)
3 航空行业标准系统要素和结构的分析	(224)
4 航空行业标准系统的可行方案	(226)
7-2-4 航空行业标准化工作系统的分析	(229)
1 航空行业标准化工作系统目标的分析	(229)
2 航空行业标准化工作系统结构的分析	(230)
§7-3 航空标准化系统管理的应用实例	(232)
7-3-1 航空行业标准化的阶段规划	(232)
7-3-2 航空环境标准化的系统管理	(235)
7-3-3 航空材料和热工艺标准化的系统管理	(239)

第八章 型号标准化系统工程

§8-1 概 述.....	(242)
8-1-1 型号标准化系统工程的研究对象和基本任务	(242)
8-1-2 型号标准化系统工程的主要特点	(243)
§8-2 型号标准系统.....	(244)
8-2-1 型号标准系统的结构和特点分析	(244)
8-2-2 型号标准化系统目标与型号标准系统的关系	(245)
§8-3 型号标准化工作系统.....	(248)
8-3-1 型号研制的设计师系统和行政指挥系统	(248)
8-3-2 型号标准化工作系统的组织结构	(252)
8-3-3 型号标准化工作系统的组织管理	(255)
§8-4 型号标准系统目标决策与实现目标的控制方法.....	(258)
8-4-1 标准系统目标决策的原则、方法和步骤	(258)
8-4-2 实现标准化目标的宏观控制方法	(260)
§8-5 型号标准化阶段划分和工作内容.....	(262)
8-5-1 型号标准化的阶段划分	(262)
8-5-2 型号标准化各阶段的工作内容	(264)

第九章 企业标准化系统工程

§9-1 企业标准化和企业标准化系统工程的基本概念.....	(269)
9-1-1 企业标准化系统工程的含义	(269)
9-1-2 企业标准化及其主要特性	(270)
9-1-3 企业标准化的工作对象和基本任务	(272)
9-1-4 企业标准化系统工程的研究(工作)对象和基本任务	(274)
9-1-5 用系统工程管理企业标准化的意义	(276)
9-1-6 企业标准化规划、计划的系统管理	(278)
§9-2 企业标准系统的建立.....	(280)
9-2-1 企业标准系统	(280)
9-2-2 如何建立企业标准系统	(281)
9-2-3 企业标准系统的结构型式	(293)
9-2-4 企业标准体系表的作用	(285)
9-2-5 企业标准系统方案的评审准则	(286)
§9-3 企业标准化工作系统的建立.....	(288)
9-3-1 企业标准化工作系统的现有组织形式及存在的问题	(288)
9-3-2 企业标准化工作系统的组织原则	(289)
9-3-3 企业标准化工作系统的合理结构型式	(290)
9-3-4 企业标准化工作系统的评审准则	(293)
§9-4 新产品研制全过程标准化工作的系统管理.....	(295)

9-4-1	新产品研制全过程标准化的基本任务	(295)
9-4-2	新产品研制全过程的标准化工作	(297)
9-4-3	新产品研制标准系统的建立与管理	(300)
9-4-4	新产品研制标准化工作系统的建立与管理	(303)
9-4-5	新产品研制全过程标准化工作的系统管理	(304)
§9-5	企业技术引进标准化工作的系统管理	(311)
9-5-1	技术引进及其主要形式	(311)
9-5-2	企业技术引进与标准化的关系	(312)
9-5-3	企业技术引进全过程的标准化工作	(313)
9-5-4	企业技术引进中标准化系统管理的几个主要问题	(316)

第十章 标准化管理信息系统

§10-1	概 述	(319)
10-1-1	标准化管理信息的分析	(319)
10-1-2	标准化系统的信息流	(321)
10-1-3	标准化管理信息系统及其在标准化系统工程中的作用	(322)
§10-2	标准化管理信息系统的功能	(323)
10-2-1	信息采集、处理、存储的功能	(323)
10-2-2	向不同管理层次传递信息的功能	(324)
10-2-3	分析、预测和辅助决策的功能	(324)
10-2-4	事务处理、辅助管理的功能	(324)
10-2-5	与本标准化系统以外交换信息的功能	(325)
10-2-6	辅助标准化技术工作的功能	(325)
§10-3	标准化管理信息系统的结构	(325)
10-3-1	行业(部)标准化管理信息系统	(325)
10-3-2	企业标准化管理信息系统	(328)
§10-4	标准化管理信息系统的开发	(329)
10-4-1	系统开发阶段的合理划分	(329)
10-4-2	系统开发中应注意的几个问题	(330)

第十一章 信息技术标准化

§11-1	信息技术标准化的发展和特点	(332)
§11-2	概念、定义、名词术语的标准化	(333)
§11-3	原始信息采集的标准化	(333)
§11-4	信息分类编码的标准化	(336)
§11-5	信息记录格式和通用文件格式的标准化	(338)
§11-6	计算机网络和数据通信的标准化	(339)
§11-7	数据库系统的标准化	(340)
§11-8	软件工程标准化	(340)

§11-9 中文信息处理的标准化	(341)
------------------------	---------

第十二章 国际标准化

§12-1 国际标准化团体和国际标准体系	(342)
12-1-1 国际标准化团体ISO和IEC	(342)
12-1-2 国际标准体系	(343)
§12-2 国际贸易和技术引进中的标准化管理	(343)
12-2-1 国际贸易和技术交流中的障碍	(343)
12-2-2 国际标准化——克服国际贸易和技术交流障碍的有力工具	(344)
12-2-3 国际贸易和技术引进中的标准化管理	(344)
§12-3 美国军用标准化及其对标准化系统工程的推动	(346)
12-3-1 美国军用标准体系	(346)
12-3-2 美国军用标准化工作机构和管理程序	(349)
12-3-3 美国军用标准化对标准化系统工程的推动	(351)

第十三章 展 望

§13-1 新技术革命对标准化需求的趋势	(354)
13-1-1 新技术革命的特点及其影响	(354)
13-1-2 新技术革命对标准化需求的趋势	(355)
§13-2 标准化在理论和实践上的发展展望	(357)
13-2-1 标准化向新技术领域的拓宽和倾斜	(357)
13-2-2 标准化与新技术开发融为一体	(358)
13-2-3 标准体系动态性的增强	(359)
13-2-4 标准体系的复杂化	(359)
13-2-5 标准化研究和管理方法及手段的现代化	(360)
13-2-6 标准化理论的发展, “标准学”和“标准化系统工程”的形成	(360)
附录 I 企业标准体系表	(插页)
附录 II 有关信息技术方面的国家和国际标准目录	(361)
参考文献	(370)

第一章 绪 论

§1-1 标准化的历史与现状

作为一种促进人类进步的社会活动的标准化，它的历史是从人类社会形成的最初阶段就开始了。系统论认为，时间是不可逆的。而历史也是不可分割的，必然要在原来的基础上发展。没有过去的古代标准化历史经验，就不会有今天现代标准化的现实。因为标准化不是一些理论设想，它首先是一种社会实践，不可能脱离社会现实而存在。从另一种意义上看标准化，即把它看成一种指导社会更好地推行标准化活动的工程学科，也包括我们正要讨论的标准化系统工程，它也不能脱离社会发展阶段和环境条件而单独发展。任何一种有生命力的社会活动或工程学科，总是在现实历史许可条件下不断的继承和创新中发展前进，标准化也不例外。我们今天探讨标准化系统工程，也应该按照系统演化规律所揭示的，首先考察一下，人类推行标准化的历史是怎样演进过来的。

1-1-1 我国古代标准化的光辉范例

我国是一个具有悠久历史的国家，在与自然界作斗争，推动历史的发展中，我国古代人民创造了光辉灿烂的华夏文化，对人类历史文明做出了重大贡献。历史研究和考古证实，我们的先人在标准化方面也创造了令人钦佩的业绩，特别是秦代的标准化，其内容之丰富、推行区域之广大、贯彻标准之彻底，均堪称为古代标准化的伟大创举。

公元前221年（秦始皇26年）秦统一了六国，结束了诸侯割据称雄的分裂局面，建立了空前辽阔统一的封建帝国。为了巩固这个中央集权的国家，秦始皇采取了一系列措施强化中央政权，其重要内容之一就是在全国范围内推行标准化，并以法律形式贯彻到全国各地。

1. 秦代在标准化方面的重大措施

当时秦帝国所面临的是战国时期遗留下来的混乱局面。“田畴异亩，车涂异轨，律令异法，衣冠异制，语言异声，文字异形”就是这种局面的具体反映。另如度量衡制度、货币形制、文化心理状态等也都有极大差异。所有这些，都在相当程度上妨碍着国家的统一，因此秦始皇在全国范围内开展了大规模的标准化活动。

（1）书同文 统一以后的秦帝国当然会感受到战国时期各国异形文字所造成的障碍，这就需要制订统一的文字标准。李斯订定文字，制成小篆，程邈制成隶书，笔划省便，利于书写运用。有了统一的文字，就减轻了方言造成的困难，可使政令通达全国，促进文化交流。文字标准化是我国在历史上长期保持国家统一的重要因素，其意义深远重大。

（2）车同轨 战国时期各国车轨宽窄不同，使车辆通行困难。秦规定车宽六尺，一车可通行全国。

（3）修驰道 以秦京咸阳为中心在全国修筑驰道（行车大路），驰道宽50步（6尺为步），中央宽3丈，是皇帝独用的专路，专路两旁人民得自由行走。驰道修成，陆地交通称便，也进一步巩固了封建帝国的大一统局面。

(4) 统一币制 战国时期币制紊乱,各诸侯国分别铸造钱币,如三晋布币、齐燕刀币、楚国金币等。统一六国后,秦始皇废六国旧币,行“半两”铜钱。秦“半两”的推行,基本上改变了各地区货币纷杂的局面。

(5) 统一度量衡 秦在统一前,对度量衡标准就非常重视。公元前344年(秦孝公18年)秦国政府下令在秦国范围内统一度量衡,实行标准化。推行度量衡标准的方法是由政府统一制造标准量器与衡器发至各地执行。上海博物馆所藏“商鞅方升”就是标准器之一。统一六国后,原东方六国混乱的度量衡制度严重影响各地的经济交流,秦始皇下令推行度量衡标准化,“一法度衡石丈尺”,把秦国原有度量衡标准推行到全国。

(6) 统一田亩制 战国时期各诸侯国田亩大小不同,秦规定二百四十方步为一亩,后世一直沿用秦亩制不改。田亩制度的统一,有利于耕田数量和租税的计数。

(7) 行同伦 春秋战国的长期分裂割据导致了各诸侯国在伦理道德、风俗人情、行为规范等方面的很大差异,为促进共同文化上的共同心理状态,秦始皇制订了各种律令制度,大规模移民,经济上采取各种统一措施,促进了全国范围内“行同伦”的巨大改革。

2. 从秦陵出土文物中见到的标准化水平

秦代标准化见诸文字记载者,其内容是很丰富的。近年来,由于秦汉考古工作的巨大进展,大量珍贵文物的出土,尤其是秦陵出土的兵马俑、兵器、铜车马及木车马等,进一步提供了秦代标准化确凿无疑的实物例证:

(1) 秦俑制作中的标准化 秦始皇陵一、二、三号兵马俑坑出土的兵马俑计有7000件以上,陶马500多匹。兵马俑在所用材料、烧成温度、制作工艺等方面,都表现出了相当高的标准化水平。

a. 材料 通过对大量兵马俑陶片的检测分析,发现其主要材料成分是氧化硅、氧化铝和氧化铁,断茬表面有白色小砂粒。用秦始皇陵附近骊山北麓的黄色粘土、黑色垆土、掺入适量砂粒作模拟试验,烧制出的陶俑,其陶质、陶色、硬度等与秦俑极其相似,说明陶俑材料有统一标准,云母类粘土、多元低共熔混合物、少量砂粒的配料必须有一定比例。

b. 烧成温度 测试分析结果,发现大量的陶俑除极少数次品外,绝大多数色泽纯,密度大,硬度高,烧成温度约在1000℃左右,温度过高或过低均不能保证质量。同真人真马一样大小的兵马俑的烧制成功,不但体现了秦人娴熟的焙烧技术,也体现了当时在烧成温度方面标准化的严格要求。

c. 陶俑部件的互换性 对于那些形状相同,式样一致的部件采用模制方法分件制作,这样不但提高了工效,也解决了通用互换问题。秦俑具有互换性的标准件有足踏板、甲带、甲丁、俑手、发髻等。

大多数俑头是模制的,先用模具制成初胎,后在面部进行细部雕饰,形成形神各异的面部表情。耳和鼻模制后粘接于俑头初胎上,这些耳鼻均可互换。发髻和发辫模制后粘贴在俑头上,再用尖器刻划或用多纹状工具滚压成型,也可通用。俑头和躯干,俑手和腕部的接口均可对应互换。

(2) 兵器标准化 出土的双翼镞,镞首长度最大尺寸为36.24mm,最小尺寸为34.28mm,平均尺寸为35.35mm。以平均尺寸计算,所有制件的相对加工误差小于2.3%。镞的对角棱边距离最大尺寸为11.96mm,最小尺寸为10.98mm,平均尺寸为11.43mm,尺寸符合正态分布。代表尺寸离散度的标准差为0.214mm,所有制件的相对加工误差不超过4%。在投

影仪上对所抽样件进行检测,同一镞或不同镞棱面轮廓的不重叠误差小于0.2mm;同一镞两对平行镞面的差值为0.02~0.03mm,精度很高。

秦俑坑出土的铜镞,镞首长度有大中小三种规格,折合成秦尺分别为1分,1.25分及1.53分,其数值排列近似符合优先数系 R_{10} 系列。按镞的全长有四种规格,分别为16、24.5、33及41厘米,这样的数系也基本符合 R_{10} 系列(1.00, 1.25, 1.60, 2.00, 2.50, 3.20, 4.00……)。

弩机是弩箭上的主要部件,由零件郭、勾、牙、悬刀及键组成。从木车马坑出土的弩机,其结构与兵马俑坑出土的完全相同,尺寸基本一致,零件可以通用互换。

(3) 铜车马木车马的零件标准化

a. 轮辐数量 铜车轮与木车轮的轮辐均为三十根,这与春秋末期的《考工记》所载:“轮辐三十根,以象日月也”的规定相符合,过去出土的春秋战国车子的轮辐有25、26、28、30、34、44根不等,说明秦统一前各诸侯国车子轮辐数量标准不同,秦在统一车的轨距同时,也统一了轮辐的数量。

b. 轮辐形制 轮辐是一个变截面几何形体的构件。不同轮辐相应截面的形状和尺寸相同,标准化程度很高。

c. 金银络头(笼头) 铜马头上都载有金银络头,络头是用金泡、银泡、金当卢及百余件用子母扣衔接的金银管组成,这些零件都可以互换。

d. 银环 木车马坑出土的银环,按尺寸不同,计有四种规格,将银环外径尺寸折合为秦尺,则分别为5分、6分、8分及1寸。与铜镞一样,其数值的选择,也基本符合优先数系的 R_{10} 系列(……5, 6.3, 8, 10)。同样,其内径尺寸为1.25分, 1.40分, 1.46分, 1.55分。这个数值排列,接近优先数系 R_{10} 系列(……1.25, 1.32, 1.40, 1.50, 1.60……)。我国秦代不但开始实行了产品的系列化,而且其数值选择已接近现代的优先数系,这是历史的巧合还是秦人已具备了这方面的知识和经验尚不得而知。虽然秦代数系概念及其应用是比较原始和初步的,但却比欧洲首次提出优先数系的1877年早二千多年。

观察分析秦俑坑车马坑出土制件可知,这些制件尺寸精确,离散度小,轮廓不重叠,误差均控制在0.1~0.2mm左右,表面粗糙度 R_z 值可达0.4~3 μm ,批量生产零件的加工尺寸符合正态分布,零件可以通用互换,这说明秦代在批量生产中对制件的尺寸、形状及表面质量都有了严格要求。

据《吕氏春秋·孟冬纪》载:“物勤工名,以考其诚,功有不当,以行其罪,以究其情。”考察中发现,很多制件,如大小金银泡、盖弓帽、轡、轭、挡圈、银环、方策等,在其不加工的内表面或加工后粗糙的表面刻有明显的记号,这是秦代“物勤工名”制度的标志,表明秦代在生产上有着严格的质量管理和检验制度。据《秦律·效律》上规定,官府器物上不刻“工名”,主管人员就要受到处罚。《秦律》中记载了大量管理标准和产品质量标准。有些管理标准和质量标准要求十分具体,也极为严格,说明秦代很重视管理和质量。

秦代标准化相对当时的条件来说已达到了相当高的水平,正象英国人李约瑟(Joseph Needham)所评论的那样:“从度量衡直到马车和战车的尺寸,一切都标准化了”。标准化对促进政治统一,经济往来,文化交流都起到了重要作用。秦代开创的标准化业绩,确为后世树立了光辉范例。