



中 国 船 级 社

潜水系统与潜水器入级规范
RULES FOR CLASSIFICATION OF
DIVING SYSTEMS AND SUBMERSIBLES

2018

2018年12月1日生效
Effective from December 1 2018

北 京
Beijing

目 录

第1章	总则	1
第1节	一般规定.....	1
第2节	规范.....	2
第3节	级的授予与保持.....	3
第2章	入级与检验	5
第1节	通则.....	5
第2节	入级符号和附加标志.....	5
第3节	级的检验和证书.....	6
第4节	授权的法定检验和证书.....	7
第5节	入级检验.....	7
第6节	图纸资料.....	12
第7节	保持级的检验.....	15
第3章	定义	19
第4章	耐压壳体设计	22
第1节	通则.....	22
第2节	承受内压力的耐压壳体.....	22
第3节	承受外压力的圆柱形壳体.....	25
第4节	承受外压力的圆锥形壳体.....	34
第5节	承受外压力的锥柱结合形壳体.....	38
第6节	承受外压力的球形壳体.....	40
第7节	开孔和加强.....	43
第5章	观察窗	48
第1节	通则.....	48
第2节	窗玻璃.....	48
第3节	法兰、窗玻璃座与密封.....	49
第4节	压力试验.....	50
第6章	材料	51
第1节	通则.....	51
第2节	结构用钢材.....	51
第3节	铝合金.....	53
第4节	浮力材料.....	54

第7章	制造	55
第1节	通则	55
第2节	加工与装配	55
第3节	焊接	56
第4节	焊缝检验与修补	57
第5节	铝合金焊接	59
第6节	外形测量	61
第8章	生命支持系统	63
第1节	通则	63
第2节	储气	64
第3节	供气	65
第4节	有害气体去除	66
第5节	应急生命支持系统	67
第6节	闭路呼吸系统	67
第7节	环境调节与控制	68
第8节	生活设施	69
第9节	试验	70
第9章	机械与设备及其管路系统	71
第1节	通则	71
第2节	泵和管系	71
第3节	压力容器	74
第4节	压气机	75
第5节	液压系统	75
第6节	推进轴系	76
第7节	压力补偿器	76
第10章	电气装置	77
第1节	通则	77
第2节	电源和配电	78
第3节	控制和设备	80
第4节	电气贯穿件	82
第11章	通信与航行设备	83
第1节	通信设备	83
第2节	航行设备与定位装置	83
第12章	消防	85
第1节	通则	85
第2节	防火	85
第3节	灭火	85
第4节	失火报警和探火	86

第13章 浮性和稳性	87
第1节 自由自航潜水器.....	87
第2节 潜水钟和系缆潜水器.....	88
第3节 ROV和AUV.....	89
第14章 吊放系统	90
第1节 通则.....	90
第2节 设计.....	90
第3节 零部件和绳索.....	92
第4节 试验.....	93
第15章 潜水系统和各种类型潜水器的特殊要求	95
第1节 通则.....	95
第2节 潜水系统.....	95
第3节 载人潜水器.....	96
第4节 水下客艇.....	97
第5节 遥控潜水器.....	100
第6节 常压潜水服.....	101
第16章 潜深大于500m的潜水器的补充规定	102
第1节 结构设计.....	102
第2节 浮性和稳性.....	104
第3节 钛合金的加工与制造.....	105
附录A 载人潜水器操作维护手册编写要求	108
附录B 吊放系统的设计要求	109
附录C 潜水钟应急定位装置(IMO)	115
附录D 耐压壳体应力有限元分析方法	117
附录E 耐压壳体极限承载力有限元分析方法	120

第1章 总 则

第1节 一般规定

1.1.1 目的

1.1.1.1 中国船级社(以下简称CCS)为办理潜水系统和潜水器入级业务,对潜水系统和潜水器提供合理和安全的入级标准,满足海洋开发、造船、相关的制造业和保险业的需要,特制订《潜水系统和潜水器入级与建造规范》(以下简称《规范》)。

1.1.2 等效与免除

1.1.2.1 除另有规定外,凡等效于或替代《规范》要求的内容,如计算方法、评定标准、制造工艺程序、材料、检验和试验方法等,只要能提供必需的试验、理论依据或使用经验、有效公认的标准等,经CCS总部同意后,均可被接受。

1.1.2.2 除另有规定外,在特殊情况下,如能提供必需的试验、理论依据或使用经验,经CCS总部同意后,可以免除《规范》的任一要求。

1.1.3 规范解释

1.1.3.1 《规范》各项要求的正确解释应由CCS总部做出。

1.1.3.2 如对《规范》的英文版有不同理解时,应以中文版为准。

1.1.3.3 验船师在执行检验活动中,不能提出或形成与《规范》要求相反的观点。

1.1.3.4 如CCS颁布的指导性文件和须知等与《规范》要求有不协调之处,应以《规范》要求为准。

1.1.4 非强制性要求与建议

1.1.4.1 《规范》中的非强制性要求与建议,可供设计、建造、管理、保养、修理和检验时参考。

1.1.4.2 为了更好地满足《规范》的要求,CCS还颁布有关的指导性文件和须知等。其中除《规范》有明确要求的内容外,其他内容可为非强制性的,可供设计、建造、管理、保养修理及检验时参考。

1.1.5 授权的检验

1.1.5.1 根据船旗国政府的授权,CCS可承担部分或全部的法定检验,并签发相应的证书。

1.1.5.2 对申请在CCS入级的潜水系统或潜水器,同时根据船旗国政府的授权对其进行法定检验时,CCS将入级检验与法定检验结合进行。

第2节 规范

1.2.1 基础

1.2.1.1 《规范》是潜水系统或潜水器及其产品的设计、制造、检验及使用的依据。《规范》的修改通报与《规范》具有同等效用。

1.2.1.2 就CCS办理入级责任而言，《规范》规定了结构和重要机械的尺寸、所用材料质量、机械建造标准、试验要求以及保持其良好状态的条件。

1.2.2 规范制订

1.2.2.1 制订《规范》的主要依据为：

(1) IMO(国际海事组织)、IACS(国际船级社协会)所通过的有关公约、规则、决议、统一要求等适用部分；

(2) 有关理论和科研成果；

(3) 使用经验。

1.2.2.2 《规范》或其修改通报的初稿，应发到有关主管机关、设计、制造、检验、业主、科研及高等院校等单位征求意见。

1.2.2.3 由CCS专家、船东或所有人、保险人、制造业、设计单位和高等院校等专家组成的CCS技术委员会或有关分委员会，或上述有关方面的专家对制订的《规范》及修改通报进行审议。

1.2.2.4 根据本节1.2.2.2及1.2.2.3的意见或建议，对《规范》或修改通报初稿进一步补充和完善后，由CCS总裁批准。

1.2.2.5 在特殊情况下，根据使用经验证明《规范》所涉及的规定中出现危及安全的情况，或IMO有关新决议、规则等生效，且涉及入级部分需要修改时，CCS将及时颁布修改通报。

1.2.3 规范生效与适用

1.2.3.1 除另有说明外，《规范》(含修改通报)颁布后，一般在3个月后生效。生效日期注明在出版物的扉页上。

1.2.3.2 新规范生效后，书面申请图纸审查的入级潜水系统或潜水器及产品应符合新规范的要求。

1.2.3.3 如经建造厂和业主同意，对建造中的潜水系统或潜水器可以采用新规范的要求；同样，如新规范的要求比较合理而可行时，CCS也可提出建造中的潜水系统或潜水器采用新规范的要求。不论何种情况，均应在相应技术文件中注明。

1.2.3.4 如新规范中特别指明适用于建造中潜水系统或潜水器或现有潜水系统或潜水器的要求时，则应予以满足。

第3节 级的授予与保持

1.3.1 授予与保持级的基础

1.3.1.1 授予级的基础是：

- (1) 经过图纸审查，确信所设计的潜水系统或潜水器符合《规范》对其适用的要求；
- (2) 经过检查和试验，确信所建造的潜水系统或潜水器符合《规范》和批准图纸的要求。

1.3.1.2 保持级的基础是：

- (1) 潜水系统或潜水器已按《规范》规定的检验制度进行检验，并确信其技术状况符合《规范》的要求；
- (2) 潜水系统或潜水器已按授予入级符号及附加标志的条件进行维护和管理。

1.3.2 申请

1.3.2.1 申请方一般应使用CCS统一的申请书格式，向CCS指定的审图和/或检验单位提交申请。

1.3.2.2 申请书应是定义明确、内容完整的书面文件。CCS应对申请进行评审并确认。

1.3.3 图纸审查

1.3.3.1 在CCS检验下建造的潜水系统或潜水器的图纸审查，按第2章第5节2.5.1~2.5.5和第6节的有关规定执行。

1.3.3.2 入级潜水系统或潜水器的修理、改装及更换设备的图纸审查，按第2章第7节2.7.1~2.7.5的有关规定执行。

1.3.3.3 不在CCS检验下建造的现有潜水系统或潜水入级的图纸审查，按第2章第5节2.5.6和第6节的有关规定执行。

1.3.4 检验

1.3.4.1 建造检验按第2章第5节2.5.5的规定执行。

1.3.4.2 不在CCS检验下建造的潜水系统或潜水器的入级检验按第2章第5节2.5.6的规定执行。

1.3.4.3 产品检验按第2章第5节2.5.7的规定执行。

1.3.4.4 保持级的各种检验按第2章第7节2.7.6的规定执行。

1.3.5 证书

1.3.5.1 产品证书的签发按第2章第5节2.5.7的规定执行。

1.3.5.2 各种检验签署按第2章第7节的规定执行。

1.3.5.3 入级检验、恢复级的检验及特别检验完成后，验船师应按规定编写记录报告等文件。

1.3.5.4 执行检验单位审核后签发临时入级证书，并将有关文件报总部管理部门。

1.3.5.5 总部管理部门审核所提交的有关文件，并请中国船级社船级委员会审议，确信入级的有关要求已符合后，按第2章2.3.2的相关规定签发入级证书。

1.3.6 船舶录

1.3.6.1 已授予级的潜水系统或潜水器，CCS将其主要要素编入CCS定期出版的船舶录中。如其主要要素发生变化时，船舶录将进行相应的修改。

第2章 入级与检验

第1节 通 则

2.1.1 入级条件

2.1.1.1 凡潜水系统或潜水器符合《规范》或等效要求的规定，CCS将授予相应的级，并载入CCS船舶录。

2.1.1.2 潜水系统除可作为一完整系统入级外，其主要部件，如甲板减压舱、潜水钟等也可以单独入级。

2.1.2 保持级的条件

2.1.2.1 已在CCS入级的潜水系统或潜水器，如能遵照本章第7节规定保持级的各种检验，并经检验后认为仍符合入级要求者，将继续保持其相应的级。

2.1.2.2 任何可能影响已授予的级的损坏或缺陷，应及时向CCS报告，并申请CCS检查。

2.1.2.3 凡经CCS批准入级的潜水系统或潜水器，在营运中应保持正常操作，并遵守经CCS批准的营运环境条件以及附加标志限制的条件。

第2节 入级符号和附加标志

2.2.1 入级符号

2.2.1.1 凡经CCS批准入级的潜水系统和潜水器，将根据不同情况分别授予不同的入级符号。

2.2.1.2 入级符号应符合下列规定：

- (1) ★ 表示在CCS检验下建造的潜水系统或潜水器；
- (2) ☆ 表示不在CCS检验下建造的潜水系统或潜水器；
- (3) CSA 表示潜水系统或潜水器经CCS检验符合《规范》要求，适宜于作业或航行。

2.2.2 附加标志

2.2.2.1 凡经CCS批准入级的潜水系统或潜水器，将根据其具体条件，在入级符号后加注一个或数个附加标志，如：

- (1) 类型附加标志

类型	附加标志	
	附加标志	说明
潜水系统	DS	Diving System
潜水钟	DB	Diving Bell
甲板减压舱	DDC	Deck Decompression Chamber
载人潜水器	MS	Manned Submersible
闸式潜水器	SL	Submersible With Lock-in Lock-out
遥控潜水器	ROV	Remotely Operated Vehicle
水下居住室	UH	Underwater Habitat
常压潜水服	ADS	Atmospheric Diving Suit
潜水模拟装置	SDCC	Diving Simulator
水下客艇	PSC	Passenger Submersible Craft
自主无人潜水器	AUV	Autonomous Underwater Vehicle
自主遥控无人潜水器	ARV	Autonomous & Remotely operated Vehicle

(2) 下潜深度附加标志

在类型附加标志之后，加注以m表示的最大工作深度值作为下潜深度附加标志。

(3) 营运限制附加标志

对限制在特定区域营运的潜水器，标注相应的营运限制附加标志。

(4) 除特别说明外，潜水系统或潜水器的附加标志应按照上述次序填入相应的入级证书中，例如：

在CCS检验下建造的最大工作深度30m，限制在大连老虎滩区域内营运的水下客艇，其入级符号和附加标志如下：

★ CSA PSC, 30m, Da Lian Lao Hu Tan

又例如：

不在CCS检验下建造，但符合CCS入级要求的最大工作深度为300m的潜水系统，其入级符号和附加标志如下：

★ CSA DS, 300m

第3节 级的检验和证书

2.3.1 检验

2.3.1.1 拟在CCS入级的潜水系统或潜水器，应按本章第5节的有关规定进行入级检验和试验。

2.3.1.2 已取得CCS级的潜水系统或潜水器，应按本章第7节的有关规定进行保持级的各种检验和试验。

2.3.2 证书

2.3.2.1 CCS对本节2.3.1.1所述潜水系统或潜水器进行的入级检验和试验合格后，由CCS总裁或其授权人员授予并签发相应的入级证书。

CCS在未签发上述证书前，如确认潜水系统或潜水器处于良好和有效状态，则可签发相应的临时入级证书(其有效期应不超过5个月)给申请潜水系统或潜水器入级的船东或所有人，以使潜水系统或潜水器能及时投入作业或航行。

2.3.2.2 CCS对本节2.3.1.2所述的潜水系统或潜水器进行了保持级的各种检验合格后，应核发新的入级证书或在入级证书上作相应的签署。

第4节 授权的法定检验和证书

2.4.1 授权的法定检验

2.4.1.1 CCS一经船旗国政府的授权，将代表其政府根据授权的范围，按授权国和国际安全公约的规定，对取得CCS级和悬挂授权国国旗的非CCS级的潜水系统或潜水器进行部分或全部的法定检验。

2.4.1.2 按授权进行的法定检验程序与入级检验程序相同。

2.4.2 证书

2.4.2.1 CCS对本节2.4.1.1所述的潜水系统或潜水器进行的法定检验合格后，应签发相应的法定证书。

第5节 入级检验

2.5.1 申请

2.5.1.1 新建潜水系统或潜水器的图纸审查，由设计单位或建造厂，向CCS总部或CCS指定的审图单位提交申请。潜水系统或潜水器制造检验，可由船厂直接向执行检验单位提交申请。

2.5.1.2 不在CCS检验下建造的现有潜水系统或潜水器图纸审查及初次入级检验，由船东或所有人向CCS总部或执行检验单位提交申请。

2.5.1.3 产品图纸审查，由制造厂向CCS总部或CCS指定的产品审图单位提交申请。但对一些单个产品图纸以及产品制造检验，均可直接向执行检验单位提交申请。

2.5.1.4 保持级的各种检验，由船东或所有人直接向执行检验单位提交申请。

2.5.2 对建造厂的要求

2.5.2.1 建造厂所实行的质量保证体系，包括检验、试验、试验设备、计量设备、管理制度等均应符合CCS的有关规定。

2.5.3 对产品制造厂的要求

2.5.3.1 对制造潜水系统或潜水器用材料、零部件、产品、设备等的工厂，应根据CCS建立的适用程序，申请CCS进行工厂认可、型式认可或质量体系认证。

2.5.4 对服务商的要求

2.5.4.1 凡为船东或所有人提供诸如测量、试验、安全系统和设备的维护等服务，而且服务的结果又可作为检验依据的服务商，应遵守CCS建立的程序和衡准，并经CCS认可。

2.5.5 新建潜水系统或潜水器入级检验

2.5.5.1 在开工前，申请单位应将本章第6节规定的批准图纸资料一式3份提交CCS指定的审图单位进行审查，其中1份退给申请单位。

2.5.5.2 检验、试验及工艺性文件，如焊接工艺、焊接规格表、无损检测图、机座安装工艺、倾斜试验大纲和报告、系泊和航行试验大纲等，以及潜水系统或潜水器用产品有关试验大纲、工艺文件等，均应提交执行检验单位审查。

2.5.5.3 已批准的图纸资料，如有原则性的修改或补充，应由申请单位将修改或补充部分提交原审图单位重新审查。

2.5.5.4 提交审查的图纸资料，应给出为验证符合规范要求所需的尺寸和有关数据。

2.5.5.5 经审查认为符合规范要求的图纸资料，则在规范规定批准的图纸资料上盖“批准”章。批准的条件和限制意见，可写在图纸资料上，也可在退图的信函中陈述。

2.5.5.6 批准的图纸仅在审图申请书上所指定的建造厂、建造工程编号或建造数量范围内有效。

2.5.5.7 凡属下列情况之一，已经批准的图纸即自行失效：

- (1) 审图申请书中填写的工程编号或数量全部建造完工时；
- (2) 自认可之日起4年内未开始建造者；
- (3) 设计单位或建造厂自行修改业经批准的图纸而同现行规范或公约相抵触时；
- (4) CCS规范修改通报或授权国政府接受的国际公约、规则及其修正案的生效影响批准图纸有效性，而图纸没有进行相应的修改和重新批准时。

2.5.5.8 在开工建造前，均应该经CCS验船师进行开工前检查，其焊接工艺、焊工资格、无损检测人员资格、材料(包括钢材、焊接材料、底漆等)、焊接规格表、无损检测图、密性试验图、安装公差标准和无损检测标准等，均应使验船师满意。

2.5.5.9 确认所用钢材的制造厂已经CCS认可。

2.5.5.10 确认所用材料、工艺、设备和装置符合规范要求，并取得CCS有关产品证书。

2.5.5.11 CCS验船师应按已批准的图纸资料进行检验，并对批准的条件和限制(审图意见书和回复意见)的执行情况进行确认。

2.5.5.12 可遥控和/或自动控制运行的重要机械，其控制、报警和安全系统的布置、安装和试验均应符合规范要求。

2.5.5.13 任何项目如与规范规定或批准图纸资料不符，或任何材料、工艺、设备和装置等不符合CCS规定时，应予纠正。

2.5.5.14 潜水系统或潜水器在建造中和建造完成后，应在验船师在场的情况下，按批准的试验大纲进行下列试验，并取得验船师认可：

(1) 耐压试验

- ① 所有承受内压力的耐压壳体、高压气瓶在建造或制造完毕后均应进行试验压力为最大工作压力1.5倍的内压试验。
- ② 所有承受外压力的耐压壳体，在建成并测量其圆度后，都应进行试验压力为最大工作压力放大一定系数的外压试验，系数如下表所示：

最大工作深度	载人潜器	无人潜器
≤1000m	1.25	1.25
1000m~4000m(含4000m)	1.25	1.25
4000m~6000m	插值	插值
≥6000m	1.15	1.15

试验后，应对所有耐压壳体焊缝进行检查，并测量耐压壳体的圆度，其偏差不应超过《规范》第7章的有关规定。

- ③ 对既承受内压力又承受外压力的耐压壳体应分别进行上述①和②规定的内压和外压试验。

(2) 潜水和航行试验

- ① 所有潜水器建造完成后，都应进行一次抵达最大工作深度的潜水和航行试验。试验时一般可先潜至30m左右处，在此深度上对所有接头及贯穿件作外观检查，对那些在工作时受到海水压力且要求安全操作的部件，例如耐压壳体上的阀件，应尽可能作操作检验。焊缝、接头及阀件的检验记录应保存。以后，每次按最大工作深度20%左右的深度下潜，在该深度上保持潜深，对焊缝及其他闭锁装置进行检验和转动阀件，直到潜至最大工作深度，潜水和航行试验还应验证生命支持系统、推进操纵系统、电气系统以及安全操作所需的各种项目和功能达到设计要求。

对潜深500m及以上的潜器，潜水试验的实施应遵循由浅到深的原则逐步进行。只有在一个深度上进行了充分合格的试验后，才可以进行下一个更深海域的试验。潜水试验由一系列不同深度的海试组成，通常包括浅海和深海试验。浅海试验一般为约50m和约300m深度的海试。深海试验一般包括最大工作深度在内的几个不同深度海域的海试。海试海域深度的增加可按约20%设计最大潜深确定。到达设定深度时，应对从内部可达的所有接头和贯穿件进行外观检查，对那些在工作时承受海水压力且安全作业所需的部件(例如：耐压壳体上的阀件)应尽实际可能进行操作试验。上述检查也可以报警装置替代目视检测。焊缝、接头、舱口盖、观察窗、贯穿件和阀体的检验记录应予以保存。

- ② 所有潜水系统的各部件建成并经过试验之后，如系装在母船或海上平台上，则当安装就绪后，进行一次抵达最大工作深度的操作试验，通过试验验证整个潜水系统(包括吊放系统)的操作和功能达到设计要求。

(3) 气密性试验

对承受内压力的潜水钟和甲板减压舱作最大工作压力下的舱室气密试验。试验介质应取拟充入舱内的最易泄漏的工作气体或与其有类似泄漏性能的气体，4h内的压力降应不超过1%，并应考虑温度变化的影响。

(4) 浮性和稳性试验

对建成的潜水钟或潜水器应进行浮性和稳性试验，其要求见《规范》第13章的有关规定。

(5) 系统、设备试验

各种系统、设备的试验均按《规范》各有关章节的规定进行。

- (6) 全部试验结束后，应对耐压壳体的圆度进行检查并对其全部焊缝进行无损检测。

2.5.5.15 建造厂应向CCS提交有关的检验、试验、测量等有关报告和记录。

2.5.5.16 执行检验的验船师，在检验和试验完成后，应按CCS指定的格式，填写或编写有关结构、机械、电气和设备的各种检验报告、记录、资料和临时入级证书。

2.5.5.17 完工图纸资料、证书、报告、记录、稳性资料(如有时)和其他指导性文件应保留在潜水系统或潜水器上。

2.5.5.18 通常在潜水系统或潜水器建造过程中，完成建造检验的日期作为完工日期，记录于船舶录。若由于某种原因，不正常地延长潜水器下水至使用之间的间隔期，应把潜水器下水日期、完工日期和使用日期分别记录于船舶录内。

2.5.6 不在CCS检验下建造的潜水系统或潜水器的入级检验

2.5.6.1 不在CCS检验下建造的潜水系统或潜水器，包括：

- (1) 已经开工但未向CCS申请入级检验的潜水系统或潜水器；
- (2) 已经完工但还没投入营运的潜水系统或潜水器；
- (3) 已投入营运的现有潜水系统或潜水器。

2.5.6.2 不在CCS检验下建造潜水系统或潜水器的入级检验，一般应由船东或所有人提出申请，并提交足够的图纸资料供审查/审核/评估和检验。必要时，应补充作验证性试验。

2.5.6.3 已开工建造的潜水系统或潜水器申请CCS入级检验时，一般应按新造潜水系统或潜水器的程序办理。

2.5.6.4 已完工但还没有投入营运的潜水系统或潜水器进行入级检验时：

- (1) 图纸资料的提交与审查，按新潜水系统或潜水器的程序办理；
- (2) 船东或所有人还应提交原建造过程中的有关试验、检验和测量记录、报告，以及主要产品的证书及试验等资料；
- (3) 验船师应对主要结构尺寸进行检查，同时应进行普遍检查，以确认该潜水系统或潜水器符合《规范》的有关要求；
- (4) 必要时，应进行确认试验或/和检验。

2.5.6.5 对现有潜水系统或潜水器进行转级或初次入级检验时：

- (1) 船东或所有人应把本章第6节中注有※号的图纸资料1套提交CCS审查。如按上述规定范围送审图纸资料有困难时，经CCS同意，可适当减少；
- (2) 除(1)中规定的图纸资料外，船东或所有人还应提交该潜水系统或潜水器在建造、改建和修理中的有关资料 and 文件以及其他船级社签发的证书和检验文件；
- (3) 初次入级检验的范围一般按2.7.9规定的特别检验的检验范围进行。根据该潜水系统或潜水器的实际技术状况，经CCS同意，可适当减免检验项目。

2.5.7 产品检验

2.5.7.1 拟在CCS入级的潜水系统或潜水器上使用的材料、零部件和设备等产品，在制造前，一般产品制造厂应将规范规定批准的图纸资料一式3份提交给CCS指定的审图单位进行审查。其中1份退给产品制造厂。如审图与检验为同一单位时，则可提交2份图纸资料。

2.5.7.2 在特殊情况下，经CCS同意，产品制造厂可直接将图纸资料提交给执行检验单位审查。

2.5.7.3 在潜水系统或潜水器图纸中已包含零部件图纸且已获得批准时，则可不必再提交。

2.5.7.4 验船师应按批准的图纸进行检验。

2.5.7.5 验船师应参加规定项目的试验。

2.5.7.6 经检验和试验并确认符合规范和批准的图纸的要求后，验船师应根据制造厂提供的技术资料编写“产品证书”。

2.5.7.7 产品证书除列出产品名称、制造厂等内容外，如有其他限制条件或/和安装后需补做的试验要求等也应注明。

2.5.7.8 对不在CCS检验下制造的产品，应提交1份图纸资料和相关试验报告供审查，必要时应进行确认试验或/和拆检。

第6节 图纸资料

2.6.1 一般要求

2.6.1.1 本节给出潜水系统或潜水器入级需要的送审图纸资料。各种类型的潜水系统或潜水器可按具体情况送审适用的图纸资料。CCS认为必要时，可要求增加送审图纸资料的范围。

2.6.2 需送审的图纸资料

2.6.2.1 总体和结构部分

※(1) 总体说明书，包括潜水系统或潜水器的使用条件和营运要求、正常操作和应急操作程序说明、主尺度、最大工作深度、额定乘员人数、海况承受能力、航区限定和旅客人数等；

※(2) 总布置图；

※(3) 基础及支座的配置图；

※(4) 浮性及稳性分析，包括正常和应急条件下的潜浮计算；

※(5) 可弃压载解抛原理及布置图；

※(6) 基础结构图；

※(7) 耐压壳体结构图；

※(8) 耐压壳体强度计算书；

※(9) 观察窗、贯穿件、舱口部件及吊环的详细结构和强度计算；

※(10) 结构材料规格；

(11) 制造公差。

2.6.2.2 机械部分

※(1) 推进与操纵系统说明书；

※(2) 轴系布置图及强度计算书；

(3) 推进器装配图；

(4) 停悬、操纵和定位装置布置图；

※(5) 管系原理图和材料规格；

(6) 机械设备、泵和管系计算书；

(7) 机械设备布置图；

(8) 机械手总装图；

(9) 机械设备明细表。

2.6.2.3 电气部分

※(1) 电气部分说明书；

※(2) 电力负荷计算书及电力系统图；

(3) 电动机、电池布置及接线图；

(4) 电气设备明细表；

(5) 通信导航系统布置图；

(6) 灯光照明系统布置图；

(7) 内部固定安装的电气设备详细技术资料和试验报告；

(8) 应急供电系统图；

(9) 短路电流计算；

※(10) 电力推进装置单线图和控制原理图。

2.6.2.4 生命支持系统

※(1) 系统原理说明书；

※(2) 氧气系统(包括储气)和CO₂去除系统布置、管系和容量计算；

※(3) 空气和呼吸混合气(包括储气)布置、管系和容量计算；

※(4) 应急生命支持系统布置、管系和容量计算；

(5) 环境控制系统和监测系统布置图；

(6) 取暖、热水供应系统；

(7) 脐带横截面图；

(8) 其他保证安全作业的生命支持设备，如一氧化碳去除等设备。

2.6.2.5 吊放系统

※(1) 吊放系统说明书；

※(2) 吊放系统布置图；

※(3) 起重机起升、变幅、回转和行走机构布置图；

※(4) 吊放系统结构图和材料规格；

※(5) 吊放系统的设计载荷和结构强度计算；

※(6) 组装脐带及吊索图及其计算；

(7) 活动零部件、绞车和卷筒等的图纸和规格；

(8) 液压机械和液压管路布置图；

(9) 配电板布置和电气线路系统图；

(10) 控制线路、联锁和报警系统原理图;

(11) 使用和操作说明书。

2.6.2.6 消防

※(1) 消防系统说明书;

(2) 防火、探火、灭火装置布置图。

2.6.2.7 其他资料:

※(1) 浮力材料的产品说明书(如有时);

※(2) 载人潜水器操作维护手册;

※(3) 非耐压壳体结构图及强度计算书(如有时);

※(4) 所有耐压壳体的耐压试验报告(如有时);

(5) 焊接工艺规程(WPS)及焊接工艺评定报告(PQR);

(6) 焊工/无损检测人员资质。

第7节 保持级的检验

2.7.1 重新入级

2.7.1.1 原在CCS入级后被取消级的潜水系统或潜水器,在重新入级时,CCS将根据其已营运的年限和其他具体情况进行检验。如检验表明潜水系统或潜水器处于良好有效状态时,CCS将重新授予级。

重新入级的日期将记载于船舶录。

2.7.2 级的恢复

2.7.2.1 原在CCS入级后被暂停级的潜水系统或潜水器,在恢复其级时,CCS将根据具体情况进行检验。如检验表明潜水系统或潜水器处于良好有效状态时,CCS将恢复其原授予的级。

级的恢复日期将记载于船舶录,有关检验的到期日期应按原证书的日期。

2.7.3 损坏和修理检验

2.7.3.1 损坏造成潜水系统或潜水器不能满足《规范》的要求而影响到其级时,应及时通知CCS进行检验,其检验范围应为验船师认为查明损坏程度和原因所必须的范围。

2.7.3.2 对潜水系统或潜水器做任何影响到级的修理时,修理工作应在验船师监督下根据适用的规范进行。如修理地点无CCS验船师时,应及时与CCS联系。

2.7.4 改装或更换设备检验

2.7.4.1 潜水系统或潜水器的结构尺寸或装置进行任何改装或更换而影响到其级时，改装或更换的图纸和资料应提交CCS批准，改装或更换检验应按新建的检验程序处理。

2.7.4.2 如潜水系统或潜水器的改装造成潜水系统或潜水器具有新的级的特征或附加标志(如乘客定额增加、类型的改变和航区的扩大)时，应发给新的入级证书。

2.7.5 级的暂停或取消

2.7.5.1 凡经CCS批准入级的潜水系统或潜水器，如遇有下列情况，CCS将暂停其级：

- (1) 潜水系统或潜水器没有按照《规范》规定的期限进行或完成有关检验时；
- (2) 潜水系统或潜水器遭受重大损坏事故而未及时申请检验时；
- (3) 影响级的修理、改建或改装未经CCS认可时；
- (4) 遗留项目或入级条件在规定的日期内未消除或达成展期协定时。

2.7.5.2 凡经CCS批准入级的潜水系统或潜水器，在发生下列情况时，CCS可取消其级：

- (1) 根据船东或所有人的要求；
- (2) 导致级的暂停的条件在规定时间内未更正时；
- (3) 潜水系统或潜水器在超出了入级符号和附加标志规定的条件下作业或航行时；
- (4) 未按时交纳检验费时。

2.7.5.3 级的暂停和取消都将在CCS船舶录或其补录中相应地注明。

2.7.6 保持级的各种检验

2.7.6.1 已在CCS入级的潜水系统或潜水器，为保持其已获得的级，应履行下列保持级的各种定期检验：

- (1) 年度检验；
- (2) 中间检验；
- (3) 特别检验。

2.7.6.2 在本节所列年度、中间和特别检验项目中，可按各种类型潜水系统或潜水器的具体情况进行适用项目的检验。

2.7.6.3 验船师认为必要时，可扩大检验和试验范围。

2.7.7 年度检验

2.7.7.1 所有潜水系统或潜水器应接受年度检验。年度检验应于完工、投入使用或特别检验日期(按其适用情况)的每周年前后3个月内进行。

2.7.7.2 年度检验的检验项目为：

(1) 耐压壳体的内外表面，包括所有附件、贯穿件、舱口、舱口围壁、封闭装置、提升吊环、观察窗、栓塞、填料及支架等。除有明显的腐蚀或验船师认为需要检查和作无损探伤以外，检验焊缝时，一般不需要除去防腐涂层；

(2) 生命支持系统，包括高压气瓶、气体管路、阀件、仪表、监控装置、气体净化系统、冷暖气、热水供应系统和应急设备等；

(3) 正常和应急潜浮系统；

(4) 通信和航行设备；

(5) 电气系统，包括贯穿件、电池和电机等；

(6) 推进和操纵装置和系统，包括轴承、密封、推进器、轴系、控制器和机座等；

(7) 消防系统；

(8) 腐蚀控制系统，包括牺牲阳极和防腐涂层；

(9) 监控仪器；

(10) 影响安全的特殊项目，如机械手、脐带、吊索和吊杆等。

上述分项检验和试验完成后，应进行一次潜水或航行试验，并作各系统的运行试验。潜水或航行试验的深度应取得验船师的同意，试验报告应提交验船师审核。

2.7.8 中间检验

2.7.8.1 所有特别检验间隔期超过3年的潜水系统或潜水器，在每一特别检验间隔期内应接受一次中间检验。中间检验应安排在特别检验间隔期的中间进行，或在靠近中间的一个年度检验时进行，该次的年度检验由中间检验代替。

2.7.8.2 中间检验除应包括本节2.7.7.2规定的项目外，尚应进行：

(1) 坞内、母船上、平台上或其他脱离浸水的适当场所，对整个耐压壳体、体外机械、电气设备、管系和电缆等部件的检验；

(2) 所有压载水舱的内部检验。

2.7.9 特别检验

2.7.9.1 所有潜水系统或潜水器应接受特别检验，除水下客艇外，检验间隔期为5年。第一次特别检验应在入级检验日期后5年内完成，以后的每次特别检验应从上次特别检验期满之日起5年内完成。

2.7.9.2 特殊情况下，可以考虑特别检验到期后不超过3个月的展期。在这种情况下，下次特别检验的日期仍应从展期前的特别检验到期之日算起。

2.7.9.3 水下客艇特别检验的检验间隔期为2年，且2.7.9.2的规定不适用于水下客艇。

2.7.9.4 特别检验时除应进行年度检验的所有检验项目外，还应检验下列项目：

(1) 潜浮系统的管系应用1.25倍的设计压力进行液压试验。压载舱柜应进行清洁并作内部检查；

(2) 所有生命支持系统的管系应用通常工作中使用的流体加压到设计压力，以检查其密性。固定的高压气瓶应作液压试验，试验压力为1.25倍的设计压力；

(3) 所有仪表及监控仪器应在特别检验前6个月内进行校准，表明校准合格的证件应提交验船师审查；

(4) 在验船师在场的情况下，进行下潜至最大工作深度的潜水和航行试验。对于特殊情况，CCS予以特殊考虑；

(5) 对潜水钟和潜水器的闸室，应用正常工作使用的混合气体，或与其有类似泄漏性质的气体，于最大工作压力下进行气密性检查。

第3章 定 义

3.1.1 潜水系统

在压力状态下运送潜水员进行潜水作业所需要的整套装置和设备，一般包括潜水钟、甲板减压舱、吊放系统以及储气设施等。

3.1.2 潜水钟

用于载人水下观察或在水下作业现场和甲板减压舱之间运送潜水员的装置，包括其装载的设备。

3.1.3 甲板减压舱

安装在母船或海上平台等上面，供潜水员加压、减压和饱和潜水时潜水员在高压下居住用的装置。通常舱内或舱外具有能控制舱内外压力差的装置。

3.1.4 吊放系统

在母船或海上平台等与水下工作现场或海面之间起吊、降放潜水钟或潜水器的装置和设备。

3.1.5 生活舱

甲板减压舱内配有必要的生活设施，主要作为潜水作业期间潜水员居住用的舱室。

3.1.6 过渡舱

供人员从不同环境中出入生活舱时使用的压力平衡舱室。

3.1.7 潜水器

各种水下运行器具的统称。一般包括载人潜水器和无人潜水器。

3.1.8 载人潜水器

由搭载的乘员操纵的潜水器。根据能源供给方式，可分为自身携带能源的自由自航潜水器和通过脐带由母船或海上平台等提供能源的系缆潜水器。后者又可分为有推进装置的自航式和无推进装置的拖曳式。

3.1.9 闸式潜水器

内部设有供潜水员出潜作业用闸室的潜水器。

3.1.10 水下客艇

载人潜水器中的一种，用于运送或搭载旅客，并能在水下观光游览的潜水器。对于运送或搭载超过10人(含10人)的水下观光潜水器，视为大型水下客艇。

3.1.11 自主无人潜水器

不搭载乘员，在水下不依靠母船物理连接自带能源的潜水器，是具有智能行为的无人潜水器。

3.1.12 自主遥控无人潜水器

不搭载乘员，在水下依靠与母船的光纤连接并自带能源的潜水器，具有智能行为同时可以切换为人工遥控操作的半自动无人潜水器。

3.1.13 遥控潜水器

不搭载乘员，在水下依靠甲板人员遥控方式操纵的自带能源或不带能源的潜水器。根据遥控方式，可分为通过脐带控制的系缆式和通过声波指令等直接遥控的无缆式。

3.1.14 水下居住室

设置在海底，供潜水员或其他人员工作、休息和居住的舱室。根据工作要求，舱室内可与外部环境等压或保持常压。

3.1.15 常压潜水服

外形拟人，四肢有活动关节，且内部始终保持常压的硬式潜水服。

3.1.16 潜水模拟装置

为培训潜水员和进行研究工作等提供模拟潜水环境的整套装置。

3.1.17 生命支持系统

在潜水作业或航行中，在所有压力范围和条件下，为潜水钟、甲板减压舱、载人潜水器或水下居住室内的人员提供安全环境所必需的储气、供气、有害气体去除、环境调节与控制、以及应急支持等系统的综合。

3.1.18 脐带

潜水钟、系缆潜水器或水下居住室等从母船或海上平台等获得电能、联络信号、气体和淡水的一束管线。

3.1.19 危险区

分为0类区，1类区和2类区。0类区：爆炸性混合气体持续出现或较长时间出现的区域；1类区：在正常操作条件下易产生爆炸性混合气体的区域；2类区：爆炸性混合气体不易产生，或即使产生也只存在一很短时间的区域。

3.1.20 最大工作深度

潜水系统或潜水器能安全使用的最大作业或航行深度，以m表示。

3.1.21 最大工作压力

相当于最大工作深度时的水压力，以MPa表示。

3.1.22 耐压壳体

能承受等于最大工作压力的内和/或外压力的壳体结构，其内部可容纳人员和必要的设备。

3.1.23 闭路呼吸系统

可供潜水员呼吸的气体循环使用系统。

3.1.24 母船

安置潜水系统或潜水器，并为其提供能源和安全保障的水上船舶。

第4章 耐压壳体设计

第1节 通 则

4.1.1 一般规定

4.1.1.1 本章适用于钢质耐压壳体(包括加强结构)的设计,其他材质耐压壳体的设计方法应经CCS同意。

4.1.1.2 本章所规定的设计方法和强度标准是以制造公差满足第7章的有关要求为前提,如果超差,则应采取适当的加强措施,否则需相应降低最大工作压力。

4.1.1.3 根据使用要求,既承受内压力又承受外压力的耐压壳体应按本章对承受内、外的压力耐压壳体的不同要求分别进行计算和校验,并需满足相应规定。

4.1.1.4 耐压壳体的壳板厚度应有适当的腐蚀余量。本章各节有关强度、稳定性和加强计算中均未计入腐蚀余量。

4.1.2 载荷和计算压力

4.1.2.1 耐压壳体的基本载荷是均匀的内压力或外压力。

4.1.2.2 承受内压力的耐压壳体以其最大工作压力作为设计压力进行强度计算。

4.1.2.3 考虑到可能存在的材料缺陷、计算公式误差、作业中的超深超压等不安全因素,承受外压力的耐压壳体应按计算压力进行设计计算,计算压力取为最大工作压力的1.5倍。

4.1.3 直接计算

4.1.3.1 可以采用有限元法对整个耐压壳体(包括加强结构)进行应力和屈曲分析。CCS接受MSC/ PA-TRAN、ABAQUS、ANSYS以及其他通用结构分析程序,但使用的计算压力和强度标准应符合本章规定。

第2节 承受内压力的耐压壳体

4.2.1 符号

4.2.1.1 本节采用下列符号:

t —— 壳板最小厚度, mm;
 p —— 最大工作压力, MPa;
 D_0 —— 壳体内径, mm;
 D_1 —— 封头外径, mm;
 $[\sigma]$ —— 许用应力, N/mm²;
 R_m —— 材料抗拉强度, N/mm²;
 R_{eH} —— 材料屈服强度, N/mm²。

4.2.2 圆柱壳体

4.2.2.1 承受内压力的圆柱壳体，其壳板的最小厚度应按下式计算：

$$t = \frac{pD_0}{2[\sigma] - p}$$

4.2.3 整球壳体

4.2.3.1 承受内压力的球壳体，其壳板最小厚度应按下式计算：

$$t = \frac{pD_0}{4[\sigma] - p}$$

4.2.4 封头

4.2.4.1 凹面受压力的椭球形、扁球形和半球形封头，如图4.2.4.1(1)~(3)所示，其壳板最小厚度应按下式计算：

$$t = \frac{pD_1 y}{2[\sigma]}$$

式中： y ——形状系数，根据 t/D_1 和 H/D_1 值，按图4.2.4.1(4)确定。对半球形封头 $y = 0.5$ 。

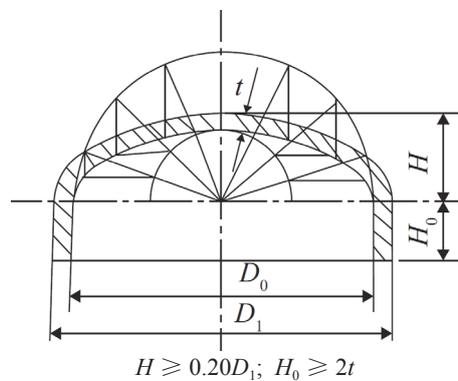


图4.2.4.1(1) 椭球形

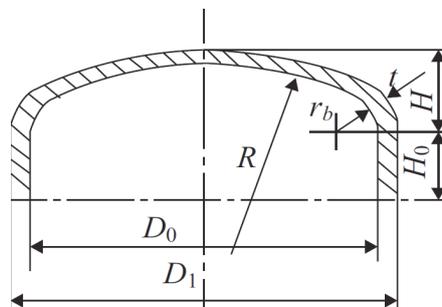


图4.2.4.1(2) 扁球形

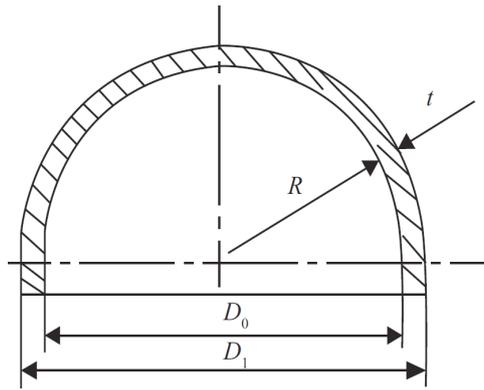


图4.2.4.1(3) 半球形

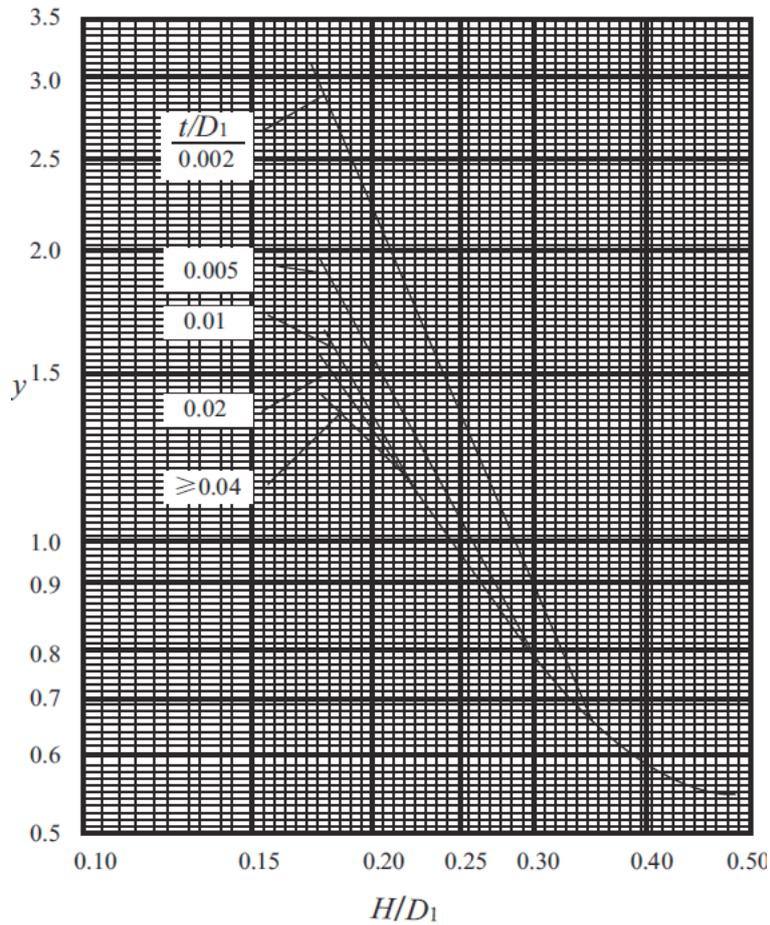


图4.2.4.1(4) 半球形

4.2.5 许用应力

4.2.5.1 承受内压力的耐压壳体壳板的许用应力 $[\sigma]$ 应按式确定，取其小值：

(1) 铁素体和奥氏体钢： $[\sigma] = \frac{R_m}{2.7}$ ， $[\sigma] = \frac{R_{eH}}{1.8}$ ；

(2) 马氏体钢： $[\sigma] = \frac{R_m}{2.7}$ ， $[\sigma] = \frac{R_{eH}}{1.5}$

第3节 承受外压力的圆柱形壳体

4.3.1 一般规定

4.3.1.1 圆柱形耐压壳体可采用无肋骨加强的结构形式，也可根据需要，采用全部由同一型号型钢或组合型钢作为环状肋骨加强的结构形式，或为减小舱段距离而在舱壁间设强肋骨的结构形式，见图4.3.1.1。

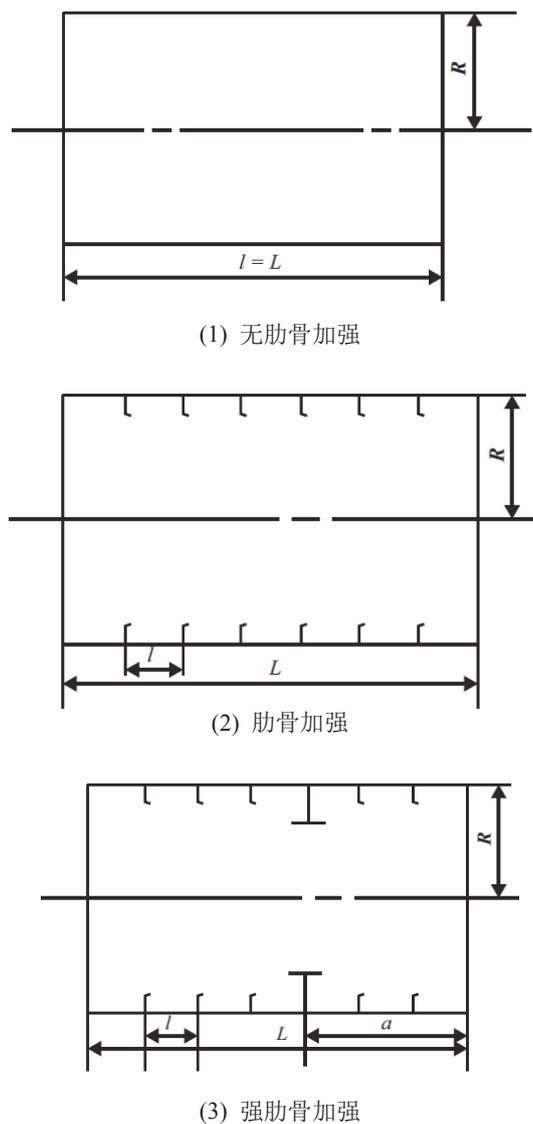


图 4.3.1.1

4.3.1.2 肋骨或强肋骨可以布置在耐压壳体内部或外部，成内肋骨或外肋骨形式，其强度分析和强度标准相同，以下不再区分。

4.3.1.3 如圆柱壳体与封头连接，则舱段长度(图4.3.1.1中的L)尚须增加40%的封头深度。

4.3.2 符号

4.3.2.1 本节采用下列符号：

P_j ——计算压力, MPa;
 P_e ——弹性临界压力, MPa;
 P_{cr} ——屈曲压力, MPa;
 R ——圆柱壳体平均半径, mm;
 l ——肋骨间距, mm;
 L ——舱段长度, mm;
 a ——强肋骨与最近舱壁的距离, mm;
 t ——壳板厚度, mm;
 F ——肋骨剖面面积, mm²;
 F_k ——强肋骨剖面面积, mm²;
 I ——肋骨剖面惯性矩(包括有效长度为 l 的带板), mm⁴;
 I_k ——强肋骨剖面惯性矩(包括有效长度为 $2l$ 的带板), mm⁴;
 E ——弹性模量, N/mm²;
 R_m ——材料屈服强度, N/mm²;
 C_s ——材料物理非线性修正系数。

4.3.3 应力计算与校验

4.3.3.1 相邻肋骨中点处壳板的周向平均应力 σ_1 按下式计算:

$$\sigma_1 = K_1 \frac{p_j R}{t} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: K_1 ——系数, 由参数 u 、 β 查图4.3.3.1决定, 而

$$u = 0.643 \frac{1}{\sqrt{Rt}}$$

$$\beta = \frac{lt}{F}$$

所得应力值应满足下式:

$$\sigma_1 \leq 0.85R_{eH}$$

4.3.3.2 肋骨处壳板的轴向应力 σ_2 按下式计算:

$$\sigma_2 = K_2 \frac{p_j R}{t} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: K_2 ——系数, 由参数 u 、 β 查图4.3.3.2决定。 u 、 β 与4.3.3.1同。

所得应力值应满足下式:

$$\sigma_2 \leq 1.15R_{eH}$$

4.3.3.3 强肋骨处壳板轴向应力 σ_3 按下式计算:

$$\sigma_3 = K_3 \frac{p_j R}{t}$$

式中: K_3 ——系数, 由参数 u 、 β_k 查图4.3.3.3决定。 u 与4.3.3.1同, 而 $\beta_k = \frac{lt}{F_k}$

所得应力值应满足下式:

$$\sigma_3 \leq 1.15R_{eH}$$

4.3.3.4 肋骨应力 σ_l 应按下列式计算:

$$\sigma_l = K_l \frac{p_j R}{t} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: K_l ——系数, 由参数 u 、 β 查图4.3.3.4决定。 u 、 β 与4.3.3.1同。

所得应力值应满足下式:

$$\sigma_l \leq 0.6R_{eH}$$

4.3.3.5 强肋骨应力 σ_k 应按下列式计算:

$$\sigma_k = K_k \frac{p_j R}{t} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: K_k ——系数, 由参数 u 、 β_k 查图4.3.3.5决定。 u 、 β_k 与4.3.3.3同。

所得应力值应满足下式:

$$\sigma_k \leq 0.6R_{eH}$$

4.3.4 屈曲计算与校验

4.3.4.1 肋骨之间的壳板按下式计算其屈曲压力:

$$p_{cr} = 0.75C_s p_e \quad \text{MPa}$$

式中: C_s ——由参数 σ_e/R_{eH} , 查图4.3.4.1确定。

$$p_e = E \left(\frac{t}{R} \right)^2 \frac{0.6}{\mu - 0.37} \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_e = \frac{p_e R}{t} \quad \text{N/mm}^2$$

u 与4.3.3.1同。

所得屈曲压力值应满足下式:

$$p_{cr} \geq p_j$$

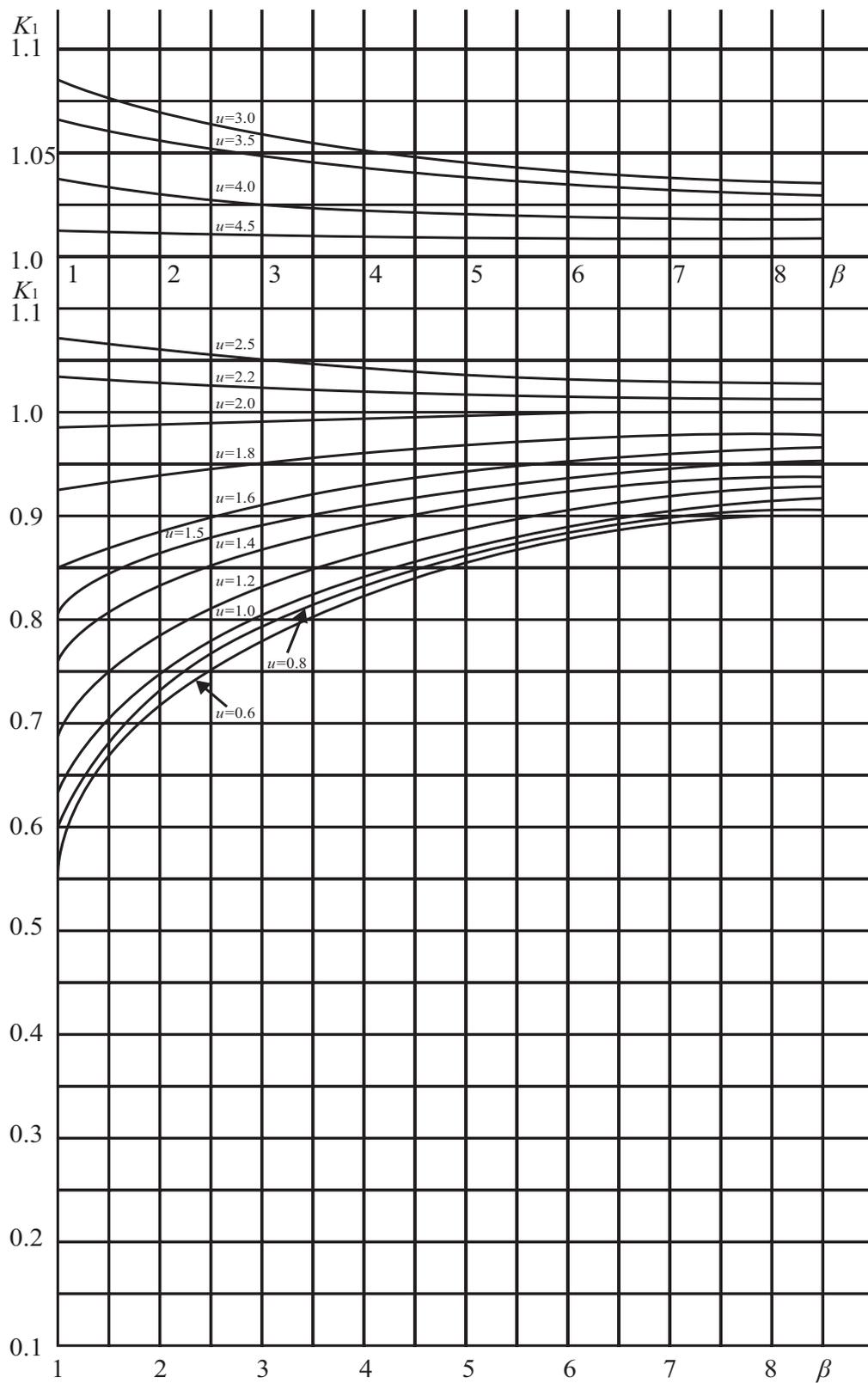


图 4.3.3.1

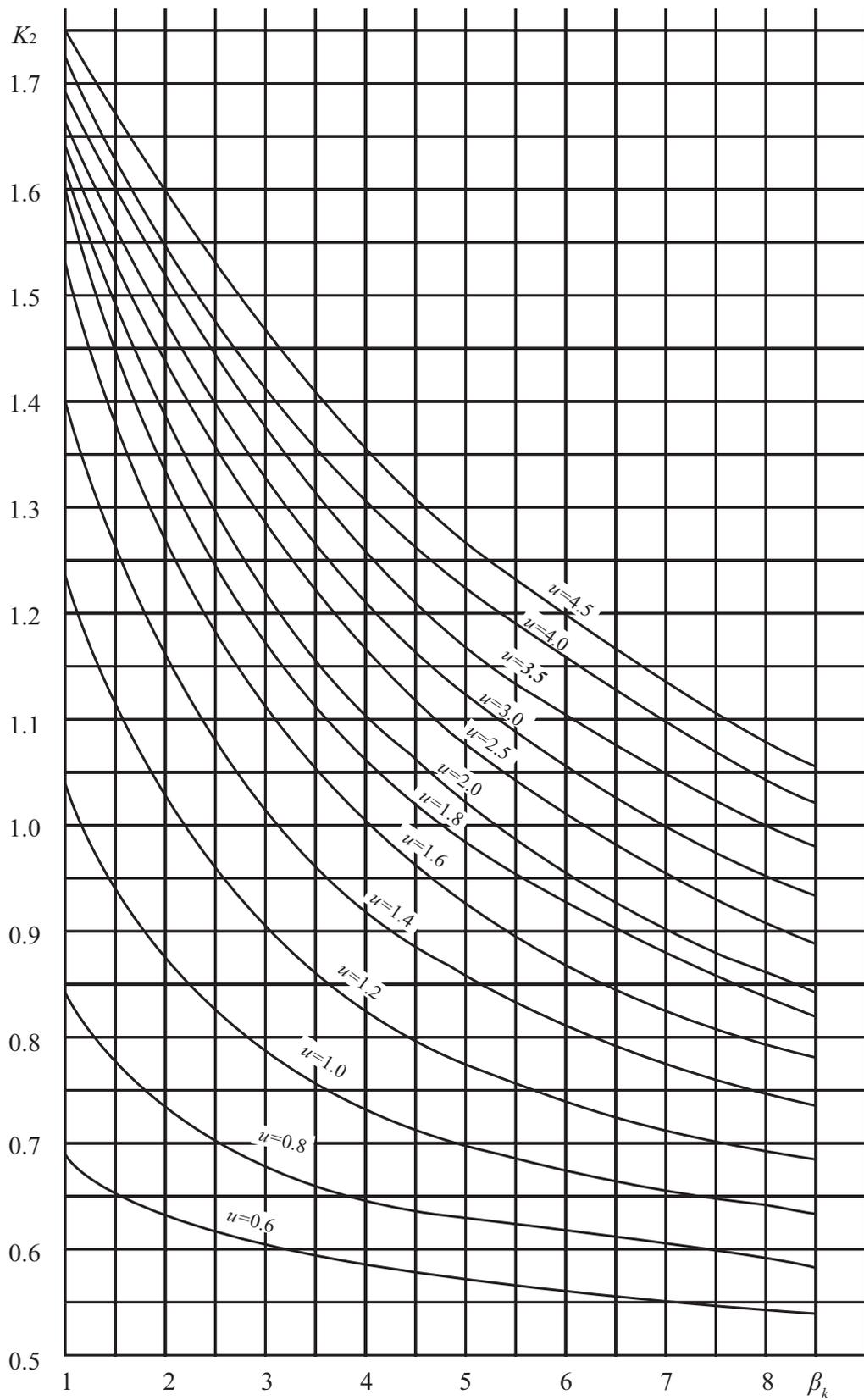


图 4.3.3.2

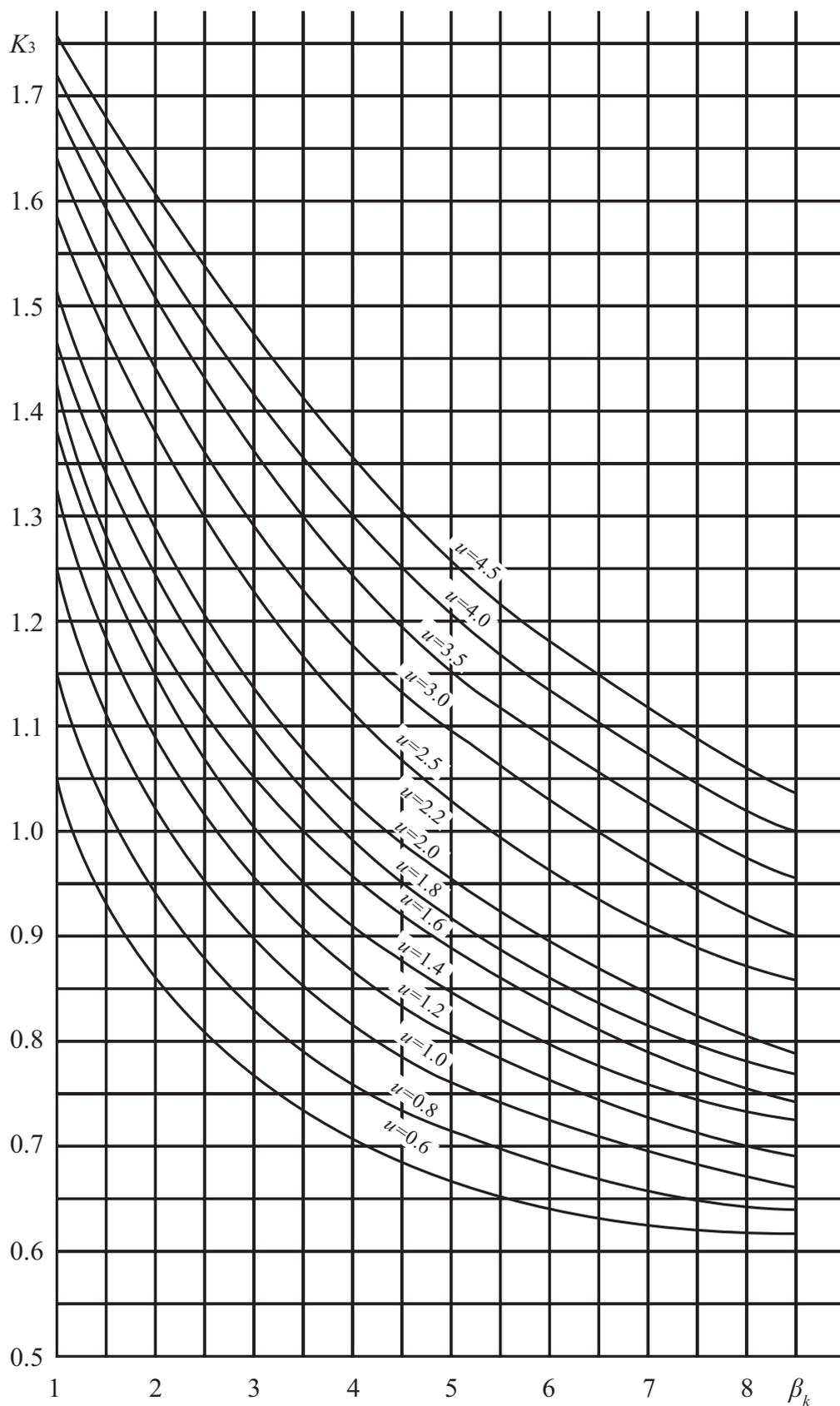


图 4.3.3.3

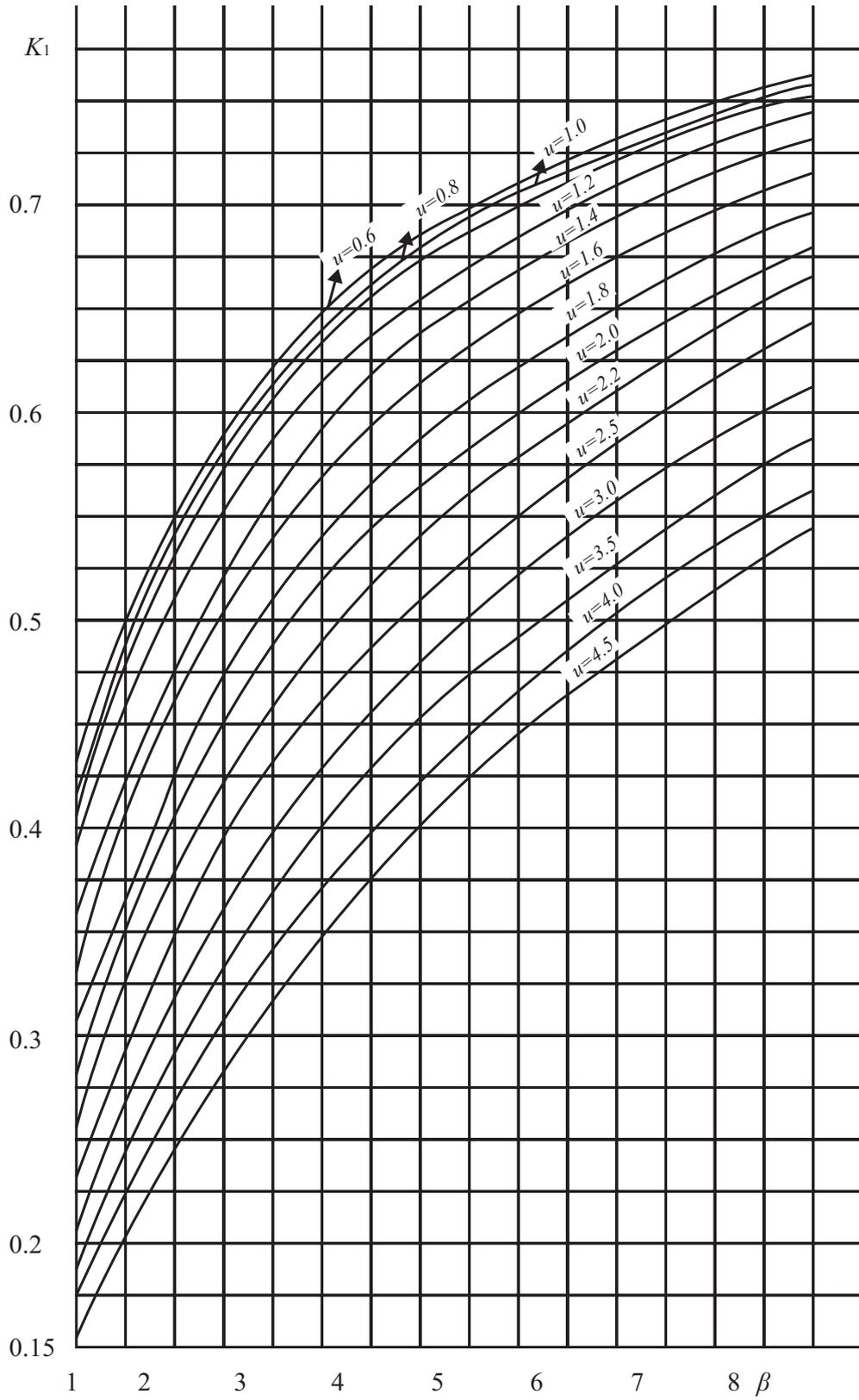


图 4.3.3.4

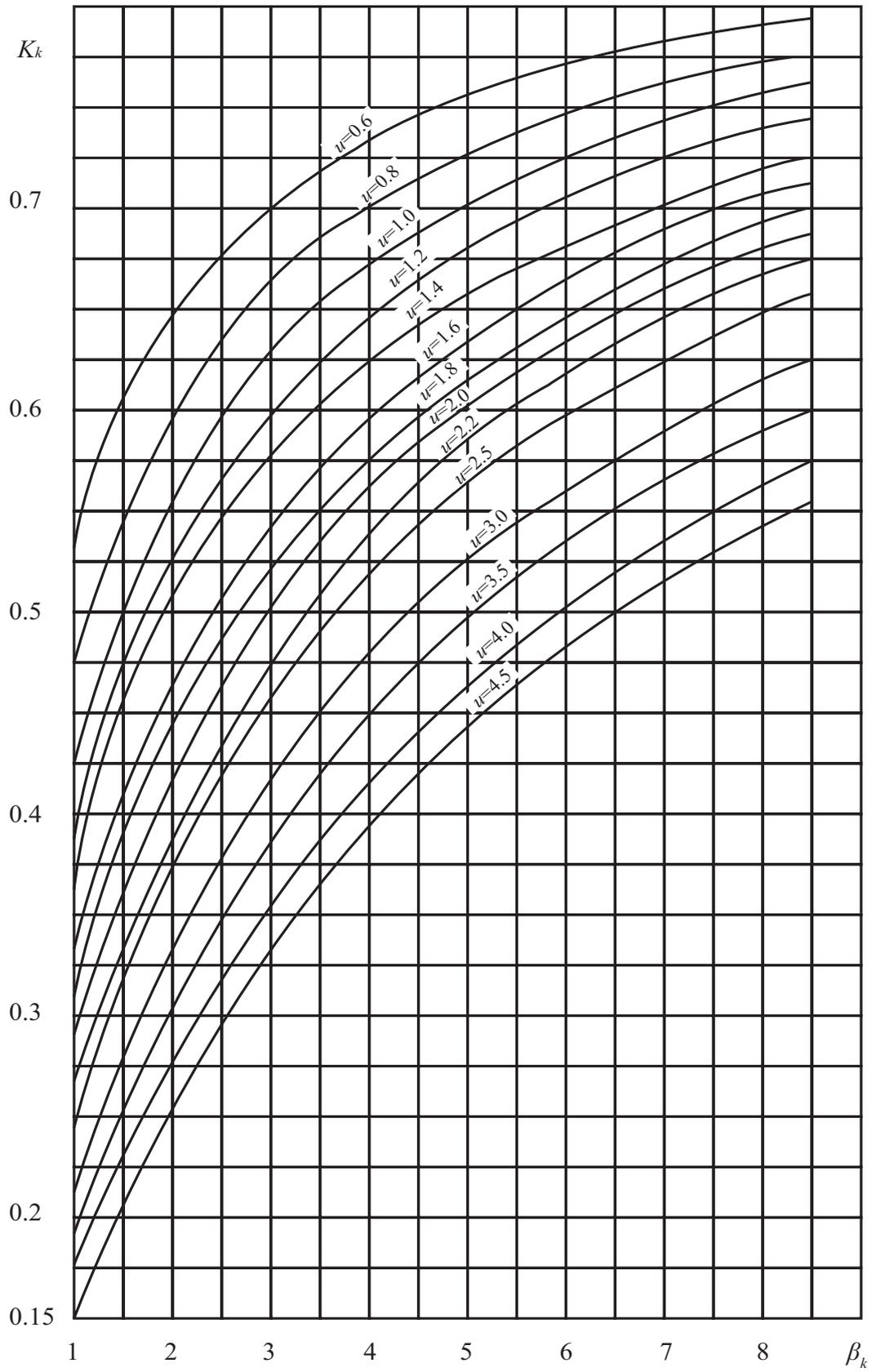


图 4.3.3.5

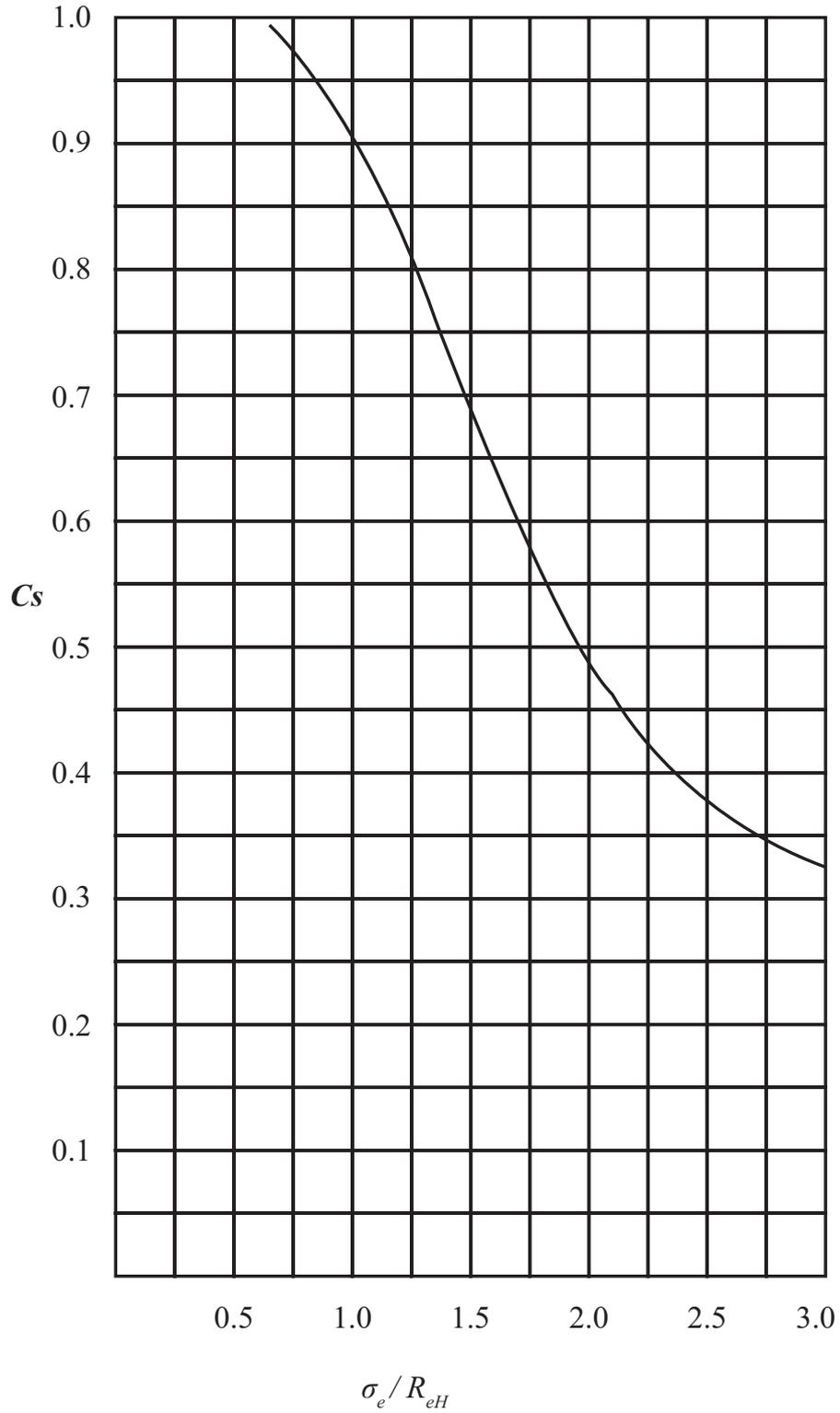


图 4.3.4.1

4.3.4.2 相邻舱壁之间(无强肋骨时)或舱壁与强肋骨之间的舱段，应按下列式计算其屈曲压力：

$$p_{cr} = 0.83 C_s p_e \quad \text{MPa}$$

式中： C_s ——由参数 σ_e / R_{eH} ，查图4.3.4.1确定。

$$p_e = \frac{E}{n^2 - 1 + 0.5\alpha^2} \left[\frac{t}{R} \frac{\alpha^4}{(\alpha^2 + n^2)^2} + \frac{I(n^2 - 1)^2}{R^3 l} \right] \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_e = \frac{p_e R}{t + F/l} \quad \text{N/mm}^2$$

$$\alpha = \begin{cases} \frac{\pi R}{L} & \text{无强肋骨时} \\ \frac{\pi R}{L - \alpha} & \text{有强肋骨时} \end{cases}$$

n —— 周向失稳波数，其值应使获得的 p_e 值为最小。

所得屈曲压力值应满足下式

$$p_{cr} \geq 1.2p_j \quad \text{MPa}$$

4.3.4.3 有强肋骨加强时，舱壁之间的舱段，应按上式计算其屈曲压力：

$$p_{cr} = 0.83C_s p_e \quad \text{MPa}$$

式中： C_s —— 由参数 σ_e/R_{eff} ，查图4.3.4.1确定。

$$p_e = \frac{E}{n^2 - 1 + 0.5\alpha^2} \left\{ \frac{t}{R} \frac{\alpha^4}{(\alpha^2 + n^2)^2} + \frac{(n^2 - 1)^2}{R^3} \left[\frac{I}{l} + \frac{2(I_k - l)}{L} \sin^2 \frac{\pi\alpha}{L} \right] \right\} \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_e = \frac{p_e R}{t + \frac{\sum F + F_k}{L - l}} \quad \text{N/mm}^2$$

ΣF —— 舱段内所有肋骨横剖面积之和。

$$\alpha = \frac{\pi R}{L}$$

n —— 周向失稳波数，其值应使获得的 p_e 值为最小。

所得屈曲压力值应满足下式：

$$p_{cr} \geq 1.3p_j$$

第4节 承受外压力的圆锥形壳体

4.4.1 一般规定

4.4.1.1 本节适用于截顶正圆锥形耐压壳体。

4.4.1.2 圆锥形耐压壳体可用肋骨或肋骨与强肋骨予以加强。由于壳体半径沿轴向变化，在两舱壁之间，壳板的厚度、肋骨剖面积以及肋骨间距可以变化，而形成若干上述各值为常数的段，其典型结构简图如图4.4.1.2所示。

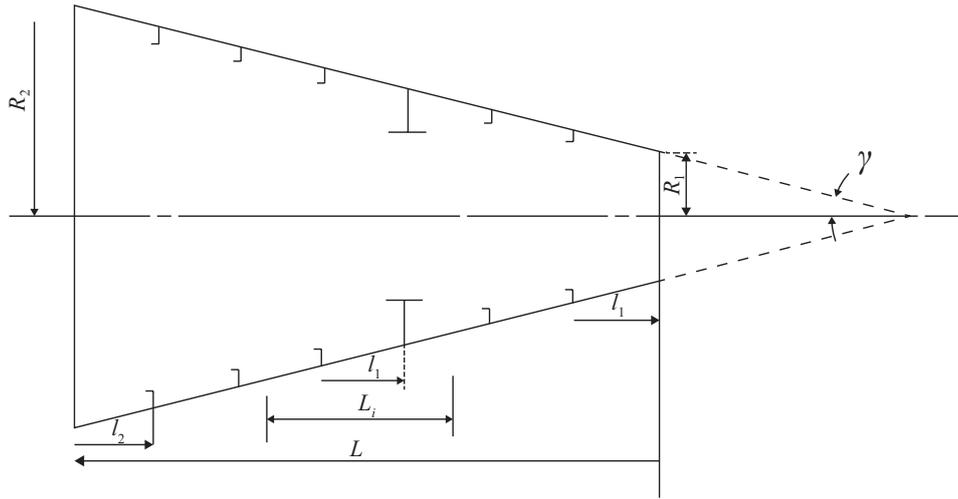


图 4.4.1.2

4.4.1.3 应分别校验每一段壳板的强度与稳定性和肋骨强度。并按要求校验舱段总体稳定性。

4.4.1.4 本章4.3.1.2和4.3.1.3的规定亦适用于圆锥形耐压壳体。

4.4.2 符号

4.4.2.1 除本章4.3.2.1规定的符号外，再采用下列符号：

L_i ——壳板厚度，肋骨剖面面积及肋骨间距相同的第*i*段长度，mm；

t_i ——第*i*段壳板厚度，mm；

l_i ——第*i*段肋骨间距，mm；

F_i ——第*i*段肋骨剖面面积，mm²；

R_1 ——圆锥体小端半径，mm；

R_2 ——圆锥体大端半径，mm；

R_c ——圆锥体平均半径， $R_c = (R_1 + R_2)/2$ ，mm；

γ ——半圆锥角，度。

4.4.3 应力计算与校验

4.4.3.1 第*i*段内相邻肋骨中点处壳板的周向平均应力 σ_1 按下式计算：

$$\sigma_1 = K_1 \frac{p_j R_c}{t_i \cos \gamma} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： K_1 ——系数，由参数u、 β 查图4.3.3.1决定；

R_{ic} ——第*i*段壳体中大端两格肋骨间锥体的平均半径，mm；

$$u = 0.643 \frac{l_i}{\sqrt{R_{ic} t_i \cos \gamma}}$$

$$\beta = \frac{l_i t_i}{F_i \cos \gamma}$$

所得应力值应满足下式:

$$\sigma_1 \leq 0.85R_{eH} \quad \text{N/mm}^2$$

4.4.3.2 第*i*段内, 肋骨处壳板的轴向应力 σ_2 按下式计算:

$$\sigma_2 = K_2 \frac{p_j R_i}{t_i \cos \gamma} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: K_2 ——系数, 由参数 u 、 β 查图4.3.3.2决定。 u 、 β 与4.4.3.1同。

R_i ——第*i*段内锥体的最大半径, mm。

所得的应力值应满足下式:

$$\sigma_2 \leq 1.15R_{eH}$$

4.4.3.3 强肋骨处壳板的轴向应力 σ_3 按下式计算:

$$\sigma_3 = K_3 \frac{p_j R_k}{t_k \cos \gamma} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: K_3 ——系数, 由参数 u 、 β 查图4.3.3.3决定;

t_k ——强肋骨处壳板厚度, mm;

R_k ——强肋骨处锥体半径, mm;

$$u = 0.643 \frac{l_k}{\sqrt{R_k t_k \cos \gamma}}$$

$$\beta = \frac{l_i t_i}{F_k \cos \gamma}$$

F_k ——强肋骨横剖面面积, mm²;

l_k ——强肋骨处肋骨间距, mm。

所得的应力值应满足下式:

$$\sigma_3 \leq 1.15R_{eH}$$

4.4.3.4 第*i*段内, 肋骨应力 σ_l 按下式计算:

$$\sigma_l = K_l \frac{p_j R_i}{t_i \cos \gamma} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: K_l ——系数, 由参数 u 、 β 查图4.3.3.4决定。 u 、 β 与4.4.3.1同;

R_i ——第*i*段内, 肋骨处的最大锥体半径, mm。

所得应力值应满足下式:

$$\sigma_l \leq 0.6R_{eH}$$

4.4.3.5 强肋骨应力 σ_k 应按下式计算:

$$\sigma_k = K_k \frac{p_j R_k}{t_k \cos \gamma} \quad \text{N/mm}^2$$

式中： K_k ——系数，由参数 u 、 β_k 查图4.3.3.5决定。 u 、 β_k 与4.4.3.3同。

所得应力值应满足下式：

$$\sigma_k \leq 0.6R_{eH}$$

4.4.4 屈曲计算与校验

4.4.4.1 第 i 段内，肋骨间壳板按下式计算其屈曲压力：

$$p_{cr} = 0.75C_s p_e \quad \text{MPa}$$

式中： C_s ——由参数 σ_e/R_{eH} 查图4.3.4.1确定；

$$p_e = E \left(\frac{t_i \cos \gamma}{R_{ic}} \right)^2 \frac{0.6}{\mu - 0.37}$$

R_{ic} ， u 见4.4.3.1；

$$\sigma_e = \frac{p_e R_{ic}}{t_i \cos \gamma}$$

所得屈曲压力应满足下式：

$$p_{cr} \geq p_j$$

4.4.4.2 相邻舱壁之间(无强肋骨时)或舱壁与强肋骨之间的舱段，应按下式计算其屈曲压力：

$$p_{cr} = 0.75C_s p_e \quad \text{MPa}$$

式中： C_s ——由参数 σ_e/R_{eH} 查图4.3.4.1确定；

$$p_e = \frac{E \cos^3 \gamma}{n^2 + 0.5\beta_1^2 - \cos^2 \gamma} \left[\frac{t}{R_1} \frac{2\eta}{1 + \eta} \frac{\beta_1^4}{(\beta_1^2 + n^2)^2} + \frac{\sum l_i \cos \gamma}{2R_1^3 (L - l_1 - l_2)} \eta(\eta + 1)(n^2 - 1)^2 \right], \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\beta_1 = \frac{\pi}{2 \ln \frac{R_2}{R_1}} \sin \gamma$$

$$\sigma_e = \frac{p_e R_c}{\left(\frac{\sum t_i L_i}{L} + \frac{\sum F_i \cos \gamma}{L - l_1 - l_2} \right) \cos \gamma}, \text{ N/mm}^2$$

n ——失稳波数，应取使 p_e 为最小的值。

以上 p_e 、 η 、 β_1 和 σ_e 各式只适用于舱壁间无强肋骨加强的结构形式。

当舱壁间有强肋骨加强时，应校验强肋骨与舱壁间的舱段稳定性。如强肋骨作为锥体的大端时，以上各式中的 R_2 应用 R_k 代替。如强肋骨作为锥体的小端时，以上各式中的 R_1 应用 R_k 代替。 l_2 或 l_1 亦分别取强肋骨近旁的肋骨间距。

所得屈曲压力应满足下式:

$$p_{cr} \geq 1.2p_j$$

4.4.4.3 有强肋骨加强时, 舱壁之间的舱段, 应按下式计算其屈曲压力:

$$p_{cr} = 0.83C_s p_e \quad \text{MPa}$$

式中: C_s ——由参数 σ_e/R_{eff} , 查图4.3.4.1确定;

$$p_e = \frac{E \cos^3 \gamma}{n^2 + 0.5\beta_1^2 - \cos^2 \gamma} \left[\frac{t}{R_1} \frac{2\eta}{1 + \eta} \frac{\beta_1^4}{(\beta_1^2 + n^2)^2} + \frac{\sum (I_i + I_k) \cos \gamma}{2R_1^3 (L - l_1 - l_2)} \eta(\eta + 1)(n^2 - 1)^2 \right. \\ \left. + \frac{2(n^2 - 1)^2 \cos \gamma}{L} \frac{I_k - I_j}{R_k^3} \sin^2 \frac{\pi \ln \frac{R_k}{R_1}}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \right]$$

I_j ——临近强肋骨大端的肋骨剖面惯性矩, mm^4 ; 其余符号同4.4.4.2, 但

$$\sigma_e = \frac{p_e R_k}{\left(\frac{\sum t_i L_i}{L} + \frac{\sum F_i + F_k - F_j}{L - l_1 - l_2} \cos \gamma \right) \cos \gamma} \quad \text{N/mm}^2$$

F_j ——临近强肋骨大端的肋骨剖面面积, mm^2 。

所得屈曲压力应满足下式:

$$p_{cr} \geq 1.3p_j$$

第5节 承受外压力的锥柱结合形壳体

4.5.1 一般规定

4.5.1.1 本节适用于半圆锥角 $\gamma \leq 30^\circ$, 且锥壳长度小于柱壳长度一半的锥柱结合壳结合处的结构要求及其强度校核。根据布置, 可形成凸形结合壳和凹形结合壳, 其典型的结构简图见图4.5.1.1。

(1) 凸形结合壳

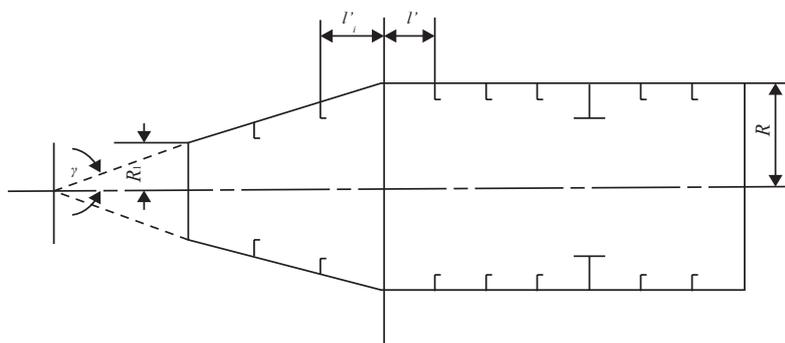


图 4.5.1.1(1)

(2) 凹形结合壳

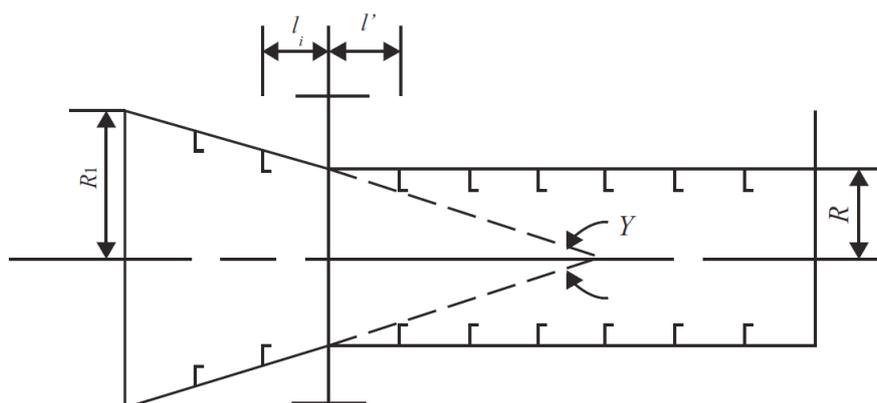


图4.5.1.1(2)

4.5.1.2 应尽可能将舱壁布置在凹形结合壳的折角处，以避免形成承载能力不良的凹形结合壳，否则应在该处设置强肋骨予以加强。

4.5.1.3 一般结合区域应用加厚板对柱、锥壳予以加强。加厚板的范围应延伸到邻近结合边的一档肋骨之处50mm。

4.5.2 符号

4.5.2.1 除本章4.3.2.1规定的有关符号外，本节采用下列符号：

l' ——折角处柱壳肋骨至折点的间距，mm；

l'_i ——折角处锥壳肋骨至折点的间距，mm；

R ——柱壳半径，mm；

l ——柱壳肋骨间距，mm；

t ——柱壳壳板厚度，mm；

I ——柱壳肋骨剖面连同有效宽度 l 带板的剖面惯性矩， mm^4

t_k ——加厚板厚度，mm；

I_k ——强肋骨连同有效宽度 $\frac{1}{2}(l'_i + l')$ 带板的剖面惯性矩， mm^4 ；

F_k ——强肋骨剖面面积， mm^2 ；

γ ——半圆锥角，度。

4.5.3 强度校核

4.5.3.1 强肋骨的剖面面积和惯性矩应分别满足下式：

$$F_k \geq \frac{p_j R}{2R_{eH}} (R \text{tg} \gamma + 2.644 \sqrt{Rt}) - \frac{\sqrt{Rt}}{0.643} t \quad \text{mm}^2$$

$$I_k \geq \frac{RI}{2l} \text{tg} \gamma \quad (\text{当 } l' \approx l'_i \leq l/2 \text{ 时}) \quad \text{mm}^4$$

$$I_k \geq I \left(I + \frac{R}{2l} \text{tg} \gamma \right) \quad (\text{当 } l' \approx l'_i \approx l \text{ 时}) \quad \text{mm}^4$$

4.5.3.2 凹形结合壳折角处加板中面周向应力 σ_{1k} 按下式计算:

$$\sigma_{1k} = \frac{p_j R}{t_k} \left[1 + 0.321 \sqrt{\frac{R}{t_k}} \frac{\text{tg}\gamma - 1.7 \frac{F_k}{R t_k}}{1 + \frac{F_k}{1.55 t_k \sqrt{R t_k}}} \right] \quad \text{N/mm}^2$$

所得应力值应满足下式:

$$\sigma_{1k} \leq 1.15 R_{eH}$$

4.5.3.3 凸形结合壳折角处加板中面周向应力 σ_{2k} 按下式计算:

$$\sigma_{2k} = \frac{p_j R}{2t_k} \left[1 + 1.165 \sqrt{\frac{R}{t_k}} \frac{\text{tg}\gamma - 1.7 \frac{F_k}{R t_k}}{1 + \frac{F_k}{1.55 t_k \sqrt{R t_k}}} \right] \quad \text{N/mm}^2$$

所得应力值应满足下式:

$$\sigma_{2k} \leq 2.0 R_{eH}$$

第6节 承受外压力的球形壳体

4.6.1 符号

4.6.1.1 本节采用下列符号:

- P_j —— 计算压力, MPa;
- P_e —— 弹性失稳压力, MPa;
- P_{cr} —— 屈曲压力, MPa;
- R —— 球壳半径, mm;
- t —— 壳板厚度, mm;
- E —— 弹性模量, N/mm²;
- R_{eH} —— 材料屈服强度, N/mm²;
- C_s —— 材料物理非线性修正系数。
- C_z —— 制造效应系数。

4.6.2 整球壳体应力计算与校验

4.6.2.1 球壳体壳板应力 σ 按下式计算:

$$\sigma = \frac{p_j R}{2t} \quad \text{N/mm}^2$$

所得球壳体壳板应力应满足下式:

$$\sigma \leq 0.85 R_{eH}$$

4.6.3 整球壳体屈曲计算与校验

4.6.3.1 球壳体板屈曲压力按下式计算：

$$p_{cr} = C_s C_z p_e \quad \text{MPa}$$

式中： C_s —— 由参数 σ_e/R_{eH} ，查图4.3.4.1确定；

C_z —— 由参数 σ_e/R_{eH} ，查图4.6.3.1(1)确定；

$$p_e = 0.84EC^2, \text{ MPa}$$

C —— 由比值 t/R ，查图4.6.3.1(2)确定；

$$\sigma_e = \frac{p_e}{2C} \quad \text{N/mm}^2$$

所得屈曲压力应满足下式：

$$p_{cr} \geq p_j$$

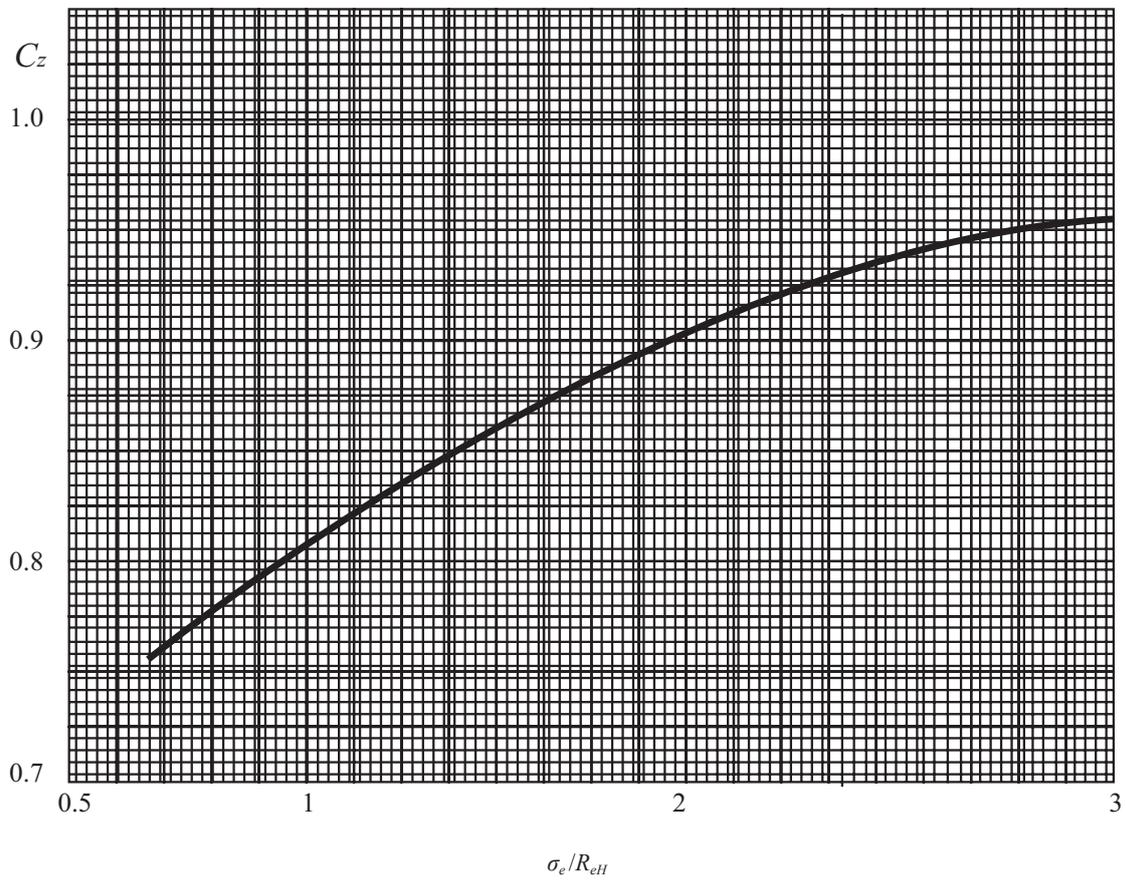


图4.6.3.1(1)

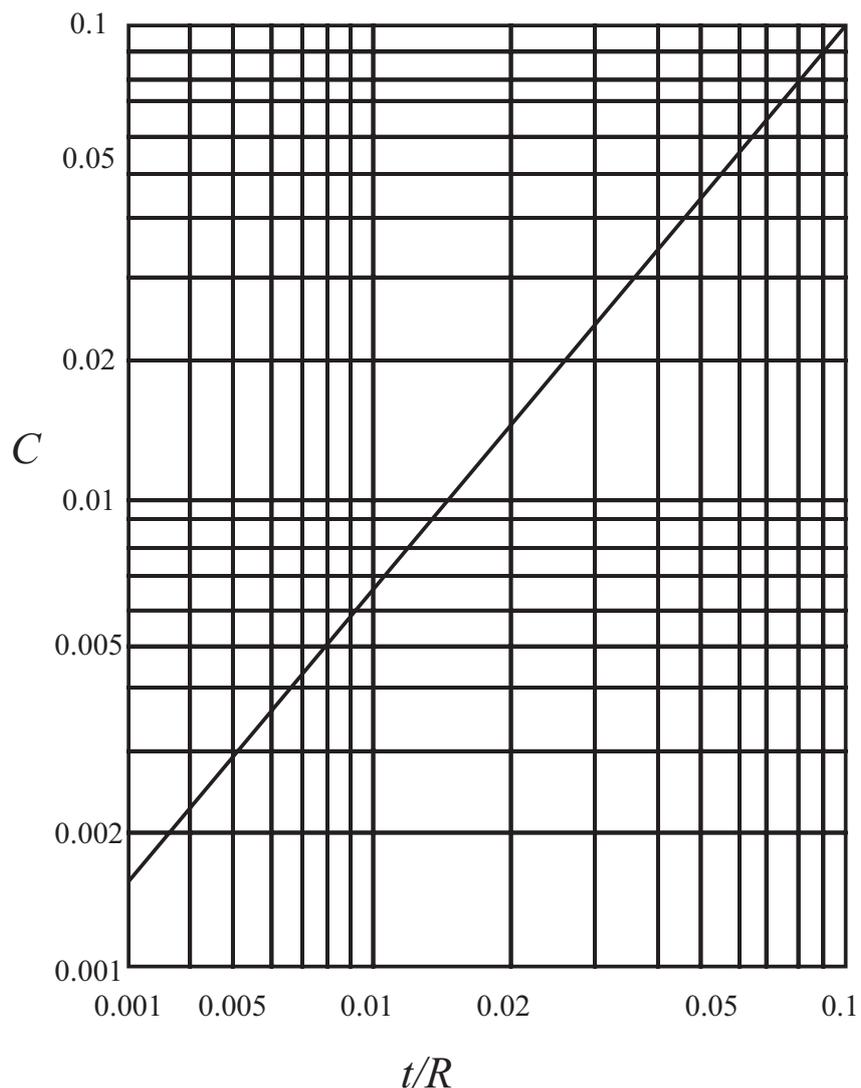


图4.6.3.1(2)

4.6.4 封头

4.6.4.1 承受外压力的半球形封头(见图4.2.4.1(3))应按4.6.2.1和4.6.3.1分别校验其强度和稳定性。

4.6.4.2 承受外压力的扁球形封头(见图4.2.4.1(2))应按4.6.2.1和4.6.3.1分别校验其强度和稳定性。但校验中以封头顶部的半径作为球壳体半径。

4.6.4.3 承受外压力的椭球形封头(见图4.2.4.1(1))应按4.6.2.1和4.6.3.1分别校验其强度和稳定性。但校验中以等效半径 R_d 作为球壳体半径， R_d 由下式算得：

$$R_d = \frac{D_0 D_1}{4H} \quad \text{mm}$$

式中： D_0 —— 椭球内径，mm；

D_1 —— 椭球外径，mm；

H —— 椭球深度，mm。

第7节 开孔和加强

4.7.1 一般规定

4.7.1.1 耐压壳体上的圆形开孔一般应予以加强，以保持耐压壳体的整体强度。但当开孔直径 d 为下式确定值时，可不必作特殊加强。

$$d \leq 0.14\sqrt{(2R+t)t} \quad \text{mm}$$

式中： R ——耐压壳体半径，mm；

t ——耐压壳壳板厚度，mm，但不得低于15mm。

4.7.1.2 本节规定的加强结构与计算仅适用于单个圆形开孔，但其轴线垂直相交于耐压壳体轴线，即正交开孔。

两个圆形开孔中心的间距如超过：

$$d_m + 3\sqrt{(2R+t)t} \quad (d_m \text{为两开孔直径的平均值})$$

则开孔均认作单个开孔。

4.7.1.3 耐压壳体上的开孔，一般应采用围壁的形式加强，参看图4.7.1.3(1)、(2)。应尽量避免采用复板形式的加强结构。

4.7.2 承受内压力耐压壳体的开孔加强

4.7.2.1 对承受内压力圆柱壳体、球壳体和封头上的开孔，采用等面积的原则予以加强。即有效的加强面积应不小于耐压壳体开孔部分需加强的截面积。

4.7.2.2 耐压壳体开孔需加强的截面积的一半(见图4.7.1.3(1)、(2))为：

$$\frac{d_1}{2} \times t_0 \quad \text{mm}^2$$

式中： d_1 ——需加强的开孔直径，mm；

t_0 ——按本章第2节规定计算的耐压壳体壳板所需厚度，mm。

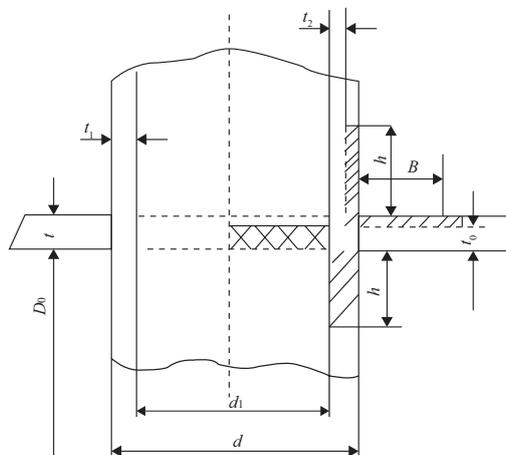


图4.7.1.3(1) 圆柱壳

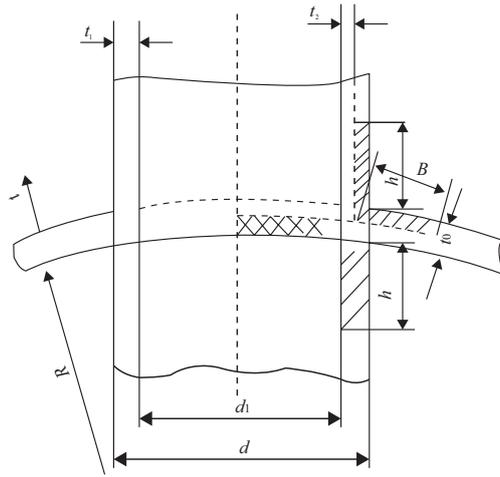


图4.7.1.3(2) 球壳或封头

4.7.2.3 有效加强面积的一半(见图4.7.1.3(1)、(2)), 分别取下列三部分面积之和:

(1) 耐压壳体的富余厚度×有效宽度, 即:

$$A_1 = (t - t_0)B \quad \text{mm}^2$$

(2) 承受载荷部分围壁的富余厚度×有效高度, 即:

$$A_2 = (t_1 - t_2)h \quad \text{mm}^2$$

(3) 不承受载荷部分围壁的厚度×有效高度, 即:

$$A_3 = t_1 h \quad \text{mm}^2$$

式中: t —— 耐压壳体壳板的实际厚度减去腐蚀余量, mm;

t_1 —— 围壁的实际厚度减去腐蚀余量, mm;

t_2 —— 按本章第2节规定算得的围壁所需厚度, mm;

B —— 有效宽度:

对圆柱体: $B = \sqrt{D_0 t}$, 但不大于 $0.5d$, mm;

对球壳体和封头: $B = \sqrt{2Rt}$, 但不大于 $0.5d$, mm;

D_0 —— 圆柱壳体内径, mm;

d —— 实际开孔直径, mm;

R —— 球壳体半径, 扁球形、椭球形封头顶部半径, mm;

h —— 有效高度:

对圆柱壳体: $h = 0.8\sqrt{d_1 t_1}$ mm;

对球壳体和封头: $h = \sqrt{d t_1}$ mm。

当凸出筒体内侧的实际高度小于有效高度时, 计算采用实际高度。

4.7.3 承受外压力圆柱形壳体的开孔和加强

4.7.3.1 由围壁加强的圆形开孔应进行下列强度校验:

$$\text{当 } 1.15\gamma \frac{R_{eH}}{R'_{eH}} \leq 1 \text{ 时 } \quad \frac{1.725R_{eH}t}{K_{\sigma}R} \geq p_j$$

$$\text{当 } 1.15\gamma \frac{R_{eH}}{R'_{eH}} > 1 \text{ 时 } \quad \frac{1.5R'_{eH}t}{\gamma K_{\sigma}R} \geq p_j$$

式中: p_j ——计算压力, MPa;

R_{eH} ——耐压壳体壳板材料的屈服强度, N/mm²;

R'_{eH} ——围壁材料的屈服强度, N/mm²;

$$\gamma = 1 - 0.22 \frac{F}{rt};$$

t ——耐压壳壳板厚度, mm;

R ——耐压壳体半径, mm;

K_{σ} ——孔边壳板的应力集中系数, 根据参数 $\frac{r}{R} \sqrt{\frac{R}{t}} \delta$ 和 $\frac{F}{rt}$ 查图4.7.3.1(1)确定;

$F = \delta t' \sqrt{rt'}$ ——围壁相当面积, mm²;

t' ——围壁板厚, mm;

r ——开孔半径, mm;

δ ——围壁有效高度系数, 由参数 ζ, η 查图4.7.3.1(2)确定, $\zeta = \frac{1.285h}{\sqrt{rt'}}, \eta = \frac{1.285C}{\sqrt{rt'}}$;

C ——围壁短端边缘至壳板中心线两个距离 C_1 和 C_2 的平均值, 见图4.7.3.1(3)。

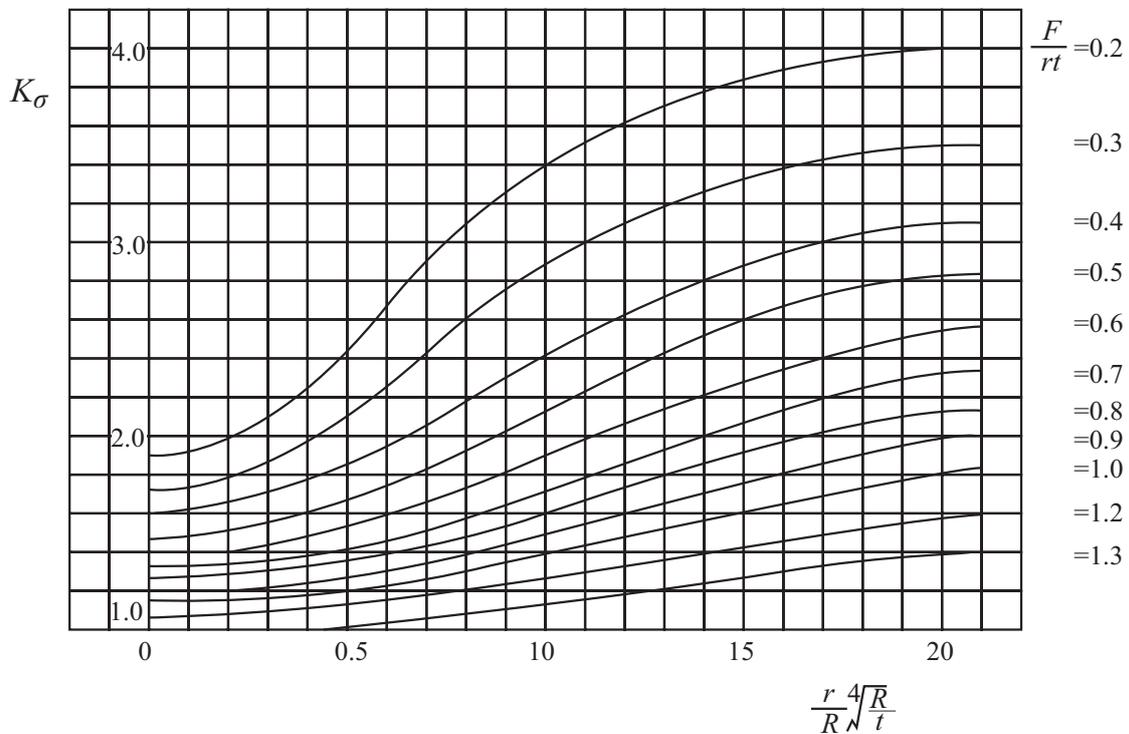


图4.7.3.1(1)

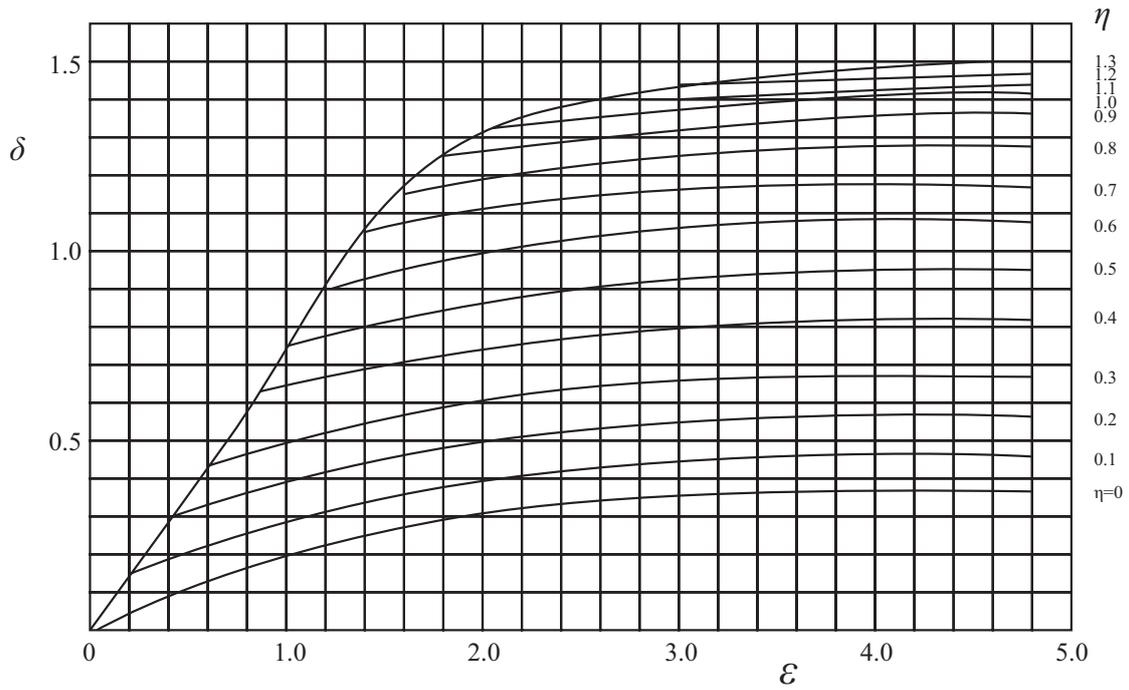


图4.7.3.1(2)

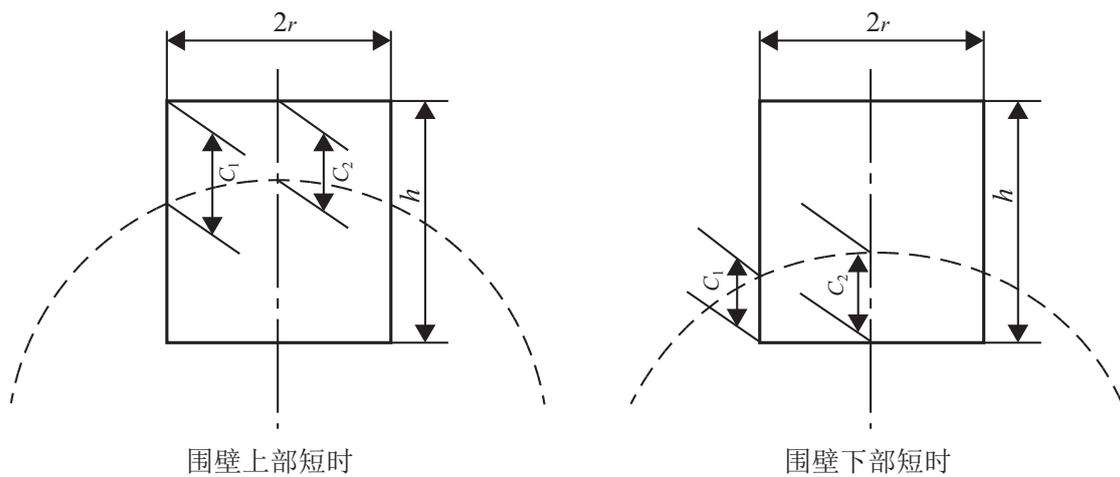


图4.7.3.1(3)

4.7.3.2 耐压壳体的局部屈曲压力 p_{cr} 按下式计算:

$$\text{当 } \frac{r}{R} < 0.3 \text{ 时 } p_{cr} = (\beta R_{eH} + \beta' R'_{eH}) \frac{t}{R} \quad \text{MPa}$$

$$\text{当 } \frac{r}{R} \geq 0.3 \text{ 时 } p_{cr} = \frac{1}{1 + 0.1(K_{\sigma} - 1)} (\beta R_{eH} + \beta' R'_{eH}) \frac{t}{R} \quad \text{MPa}$$

式中: $R_{eH}, R'_{eH}, t, R, K_{\sigma}$ ——与4.7.3.1同

β, β' ——壳板、围壁承载系数, 根据参数 $\frac{R}{r} \sqrt{\frac{t}{R}}$ 和 $\frac{F}{rt}$ 查图4.7.3.2确定。其中 F, r 见4.7.3.1。

所得局部屈曲压力应满足下式:

$$p_{cr} \geq p_j$$

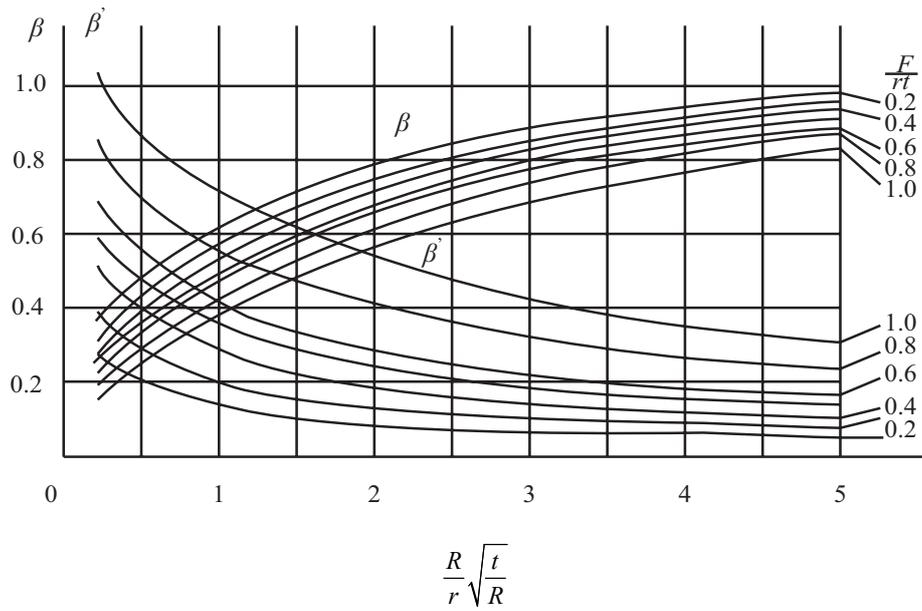


图4.7.3.2

4.7.4 承受外压力球壳体的开孔加强

4.7.4.1 承受外压力球壳体的开孔加强应采用直接算法进行校核计算。围壁板与球壳体连接处板边缘的中面周向应力不得超过材料屈服强度 R_{eH} 的1.15倍。

第5章 观察窗

第1节 通 则

5.5.1 适用范围

5.1.1.1 本章规定适用于以聚甲基丙烯酸甲酯(简称聚丙烯酸酯或有机玻璃)为窗玻璃材料的潜水系统或潜水器的观察窗。

5.1.2 使用条件

5.1.2.1 根据本章第2节设计和制造的有机玻璃观察窗,其使用条件应符合下列规定:

- (1) 使用的环境温度应在 $-18^{\circ}\text{C}\sim 66^{\circ}\text{C}$ 范围内;
- (2) 最大工作压力不超过138MPa;
- (3) 所接触的介质仅限于水、海水、空气或生命支持系统用的呼吸气;
- (4) 使用中载荷的变化(加压或减压)速率每秒不超过1MPa;
- (5) 在使用寿命期内,压力循环次数或总的持续时间分别不超过10000次或40000h;
- (6) 设计寿命:
 - ① 仅承受压应力或低拉应力的窗不超过20年;
 - ② 承受高拉应力的窗不超过10年。

5.1.2.2 凡使用条件与上述规定不符合者,需经CCS特别考虑。

第2节 窗 玻 璃

5.2.1 一般规定

5.2.1.1 观察窗窗玻璃的标准形状和尺寸、材料性能和设计参数等应符合CCS认可的ASME PVHO-1或其他等效标准。

5.2.2 制造

5.2.2.1 窗玻璃应由有经验的制造厂制造,工艺规程应提交CCS备查。制造过程中应做好各项检验记录,并提交CCS备查。

5.2.2.2 每块窗玻璃在成形、抛光作业完成后,都应进行退火处理。退火工艺由制造厂自行制定,并提交CCS备查。

5.2.2.3 窗玻璃制造厂应为每块窗玻璃提供相应的合格证书。合格证书应包括编号、材料规格、重量、尺寸、最大工作压力及使用环境温度范围等。

5.2.2.4 在首次制造窗玻璃时，制造厂应对原材料进行一次全面试验。必要时还应对制成的观察窗玻璃作短期临界压力试验。试验结果应提交CCS审查。未经CCS认可的窗玻璃不得用于潜水系统或潜水器的观察窗。

5.2.3 标记

5.2.3.1 制造厂应在每块窗玻璃上清晰地标以如下标记：

- (1) 编号；
- (2) 最大工作压力；
- (3) 最高设计温度；
- (4) 制造厂名或商标；
- (5) 制造日期。

5.2.3.2 所有标记都应为不易磨损的型板喷刷标记。不得采用可能引起裂纹传播的打印或标记。

5.2.3.3 标记应标在不影响观察的部位。

第3节 法兰、窗玻璃座与密封

5.3.1 一般规定

5.3.1.1 法兰与窗玻璃座应符合CCS认可的ASME PVHO-1或其他等效标准。

5.3.2 法兰

5.3.2.1 法兰的设计应满足《规范》第4章耐压壳体开孔加强的有关要求。

5.3.2.2 在开孔加强计算中不计窗玻璃对耐压壳体的加强作用。

5.3.3 密封

5.3.3.1 观察窗应具有可靠的密封。在窗受高压一侧的固定环和窗玻璃之间应装有柔性合成橡胶制成的主密封。主密封可用扁平垫圈或O、U、X形剖面密封圈。主密封的厚度应能在相应的压缩下不产生永久变形。

5.3.3.2 对圆板形窗、方边部分球形窗和整圆边半球形窗，还应在窗受低压一侧的窗玻璃与窗玻璃座之间装有合适的硬质材料(如注入尼龙的氯丁橡胶、硬度为90 Duro的氯丁橡胶和软木等)制成的垫圈作为次级密封。垫圈需用粘合剂粘结在窗玻璃座法兰上，垫圈厚度不得超过3mm。

5.3.3.3 用固定环压紧时，密封圈产生的初始压缩量应满足ASME PVHO-1或其他等效标准的要求。

5.3.4 保护

5.3.4.1 直径超过500mm且窗玻璃厚度小于90mm的大型观察窗应具有适当的防撞装置。

第4节 压力试验

5.4.1 试验要求

5.4.1.1 每块制成的窗玻璃在使用前均应进行压力试验。压力试验可把窗玻璃安装在观察窗法兰上或将窗玻璃安装在与实际使用情况相同的特制专用装置上进行。

5.4.1.2 用气体或水对窗玻璃加压，一直到最大工作压力，并至少保持1h，但不必超过4h；随后以每分钟不大于4.5MPa的速率减压。

5.4.1.3 压力试验时，加压介质的温度应与窗玻璃的设计温度相同，允许的误差范围为+0℃～-2.5℃。可允许有短暂的超差，但超差值不得大于5.5℃，且延续时间需小于10min。

5.4.1.4 可用一超过最大工作压力的水压或气压试验取代5.4.1.2和5.4.1.3规定的试验。在进行水压或气压试验时，压力应至少保持1h，但不必超过4h。试验压力应不超过1.5×最大工作压力或138MPa中的小值。为防止被试窗玻璃在超过最大工作压力下产生永久变形，试验时加压介质的温度应较设计温度低至少14℃，对设计温度为10℃的窗玻璃，加压介质的温度应在0℃～4℃范围。

5.4.2 检验

5.4.2.1 试验中如产生漏泄现象，则应更换密封重新进行试验，如继续存在漏泄现象，则终止试验，并做出密封不符合要求的试验结论。

5.4.2.2 试验结束后，应对窗玻璃进行外观检验。如发现窗玻璃有细微裂纹、破裂或永久变形，则该窗玻璃应予报废。

第6章 材 料

第1节 通 则

6.1.1 适用范围

6.1.1.1 潜水系统和潜水器结构、受压容器和机械等用的钢材、铸钢件、锻钢件、钢管及铝合金等材料的制造、试验和验收，除本章另有规定外，均应符合CCS《材料与焊接规范》第1篇的有关规定。

6.1.1.2 用于潜水系统和潜水器结构、压力容器和机械等的材料凡未列入本章的品种者，其化学成分、力学性能和试验方法，可按有关国家标准或经CCS认可的其他标准验收。

6.1.1.3 潜水系统和潜水器采用的塑料、玻璃、玻璃增强塑料及陶瓷等其他材料，应向CCS提交有关性能技术条件与标准，经同意后方可使用。

6.1.1.4 新材料应经CCS同意或认可后方可使用。

6.1.2 标志

6.1.2.1 所有经CCS认可或检验合格的材料均应标上CCS的标志。凡未具有CCS标志的材料，未经CCS同意，不应在潜水系统和潜水器上使用。

6.1.3 制造

6.1.3.1 潜水系统或潜水器建造厂应向经CCS认可的工厂订购潜水系统或潜水器用材料。

6.1.3.2 生产潜水系统和潜水器用材料的工厂，应具备必需的制造和试验设备及严格的检验制度，保持良好的产品质量。

6.1.4 检验

6.1.4.1 制造厂应为验船师进行工作提供方便，并向验船师提供必要的资料，使其能核实制造厂是否按已批准的工艺规程进行生产以及产品质量是否稳定。

6.1.5 试验

6.1.5.1 材料的各项性能试验和试样的制备均按CCS《材料与焊接规范》第1篇第2章的规定执行。

第2节 结构用钢材

6.2.1 钢材

6.2.1.1 潜水系统或潜水器结构一般应采用船用钢材，包括一般强度船体结构用钢A、B、D、E四个等级，高强度船体结构用钢A32、D32、E32、A36、D36、E36六个等级和高强度淬火回火钢420、460、500、550、620、690N/mm²六个屈服强度等级。上述各等级钢的化学成分、热处理、力学性能见CCS《材料与焊接规范》第1篇第3章第2节至第4节的有关规定。

6.2.1.2 经CCS同意，也可采用船用钢材以外的其他钢材品种，但这些钢材的力学性能、可焊性、耐腐蚀等技术指标不得低于船用钢材的相应水平，且有一定的实际使用经验。

6.2.1.3 潜水系统和潜水器结构用钢材的屈强比(屈服强度 R_{eff} /抗拉强度 R_m)规定如下：

- (1) 屈服强度最小值小于或等于275N/mm²的钢材，其屈强比应不大于0.7；
- (2) 屈服强度最小值大于275N/mm²的小于或等于620N/mm²钢材，其屈强比应不大于0.85；
- (3) 屈服强度最小值大于620N/mm²的钢材，其屈强比应不大于0.90。

6.2.2 钢级的选择

6.2.2.1 潜水系统或潜水器结构用钢材的钢级，可根据构件级别、构件厚度选定。构件类别的划分见6.2.2.2条。

6.2.2.2 根据构件的受力状况和破坏后造成的影响，将其分类为：

(1) 特殊构件

- ① 载人的耐压壳体；
- ② 可能引起载人结构完整性损坏的压力容器；
- ③ 直接与①、②焊接的结构件。

(2) 主要构件

- ① 虽不承受压力但易被腐蚀或支撑潜水系统或潜水器设备构件(如轻外壳等)；
- ② 不载人的耐压壳体；
- ③ 不会引起载人结构完整性损坏，但其损坏会减低潜水系统或潜水器安全性的压力容器；
- ④ 直接与前项②、③焊接的构件。

(3) 次要构件

除特殊构件和主要构件以外的其他构件。

6.2.2.3 用于特殊构件的钢级应符合表6.2.2.3的规定。

表6.2.2.3

厚度 (mm)	钢级
$t \leq 15$	B、A32、A36
$15 < t \leq 25$	D、D32、D36、D420
$25 < t \leq 35$	E、D32、D36、D420
$35 < t \leq 50$	E、E32、E36、E420

6.2.2.4 用于主要构件的钢级应符合表6.2.2.4的规定。

表6.2.2.4

厚度 (mm)	钢级
$t \leq 10$	A、A32、A36
$10 < t \leq 25$	B、A32、A36
$25 < t \leq 35$	D、D32、D36、D420
$35 < t \leq 50$	E、D32、D36、D420

6.2.2.5 用于次要构件的钢级应符合表6.2.2.5的规定。

表6.2.2.5

厚度 (mm)	钢级
$t \leq 25$	A、A32、A36
$25 < t \leq 50$	B、A32、A36

6.2.2.6 表6.2.2.3~表6.2.2.5规定的钢级，仅适用于潜水系统或潜水器的作业或营运环境温度高于-10℃的场合。如环境温度低于此值，则选用的钢级应经CCS特别批准。

6.2.2.7 屈服极限高于420N/mm²的钢材亦可使用，对其钢级的选择CCS将特别考虑。

6.2.2.8 焊后进行热处理的结构构件，其相对于各钢级的允许厚度可适当放宽。

6.2.2.9 厚度大于50mm的特殊构件，其应选用的钢级CCS将另行考虑。

第3节 铝合金

6.3.1 一般要求

6.3.1.1 下列铝合金可用于制造潜水器结构构件：

AlMg4.5Mn(5083)、AlMg4(5086)、AlMg5Mn(5456)。

6.3.1.2 如采用6.3.1.1规定以外的铝合金品种，则须经CCS特别批准。

6.3.1.3 AlMg4.5Mn(5083)、AlMg4(5086)和AlMg5Mn(5456)铝合金的化学成分和力学性能要求见CCS《材料与焊接规范》第1篇第8章第2节。

6.3.1.4 铝合金的制造与验收应符合CCS《材料与焊接规范》第1篇第8章的规定。

第4节 浮力材料

6.4.1 一般要求

6.4.1.1 潜水器所用浮力材料，其浮力变化的最低要求见表6.4.1.1。对于最大水下连续作业时间(不含上浮与下潜时间)小于24h的浮力材料，可进行24h静水压力试验，对于最大水下连续作业时间大于24h的浮力材料应进行168h静水压力下的吸水率试验。除此之外其浮力变化还应满足潜水器在最大工作深度下的工作时间与待救时间等设计要求。

浮力材料吸水率最低要求

表6.4.1.1

项目	24小时静水压力试验	168小时静水压力试验
吸水率(最大工作压力*安全系数)%	≤1.0	≤3.0

注：① 吸水率测试的安全系数见表6.4.1.2；

② 测试样品表面不应涂覆任何保护材料。

6.4.1.2 所选浮力材料的水压压溃强度及吸水性测试时的水压安全系数应不低于下表要求：

浮力材料安全系数

表6.4.1.2

最大工作深度	载人潜器		无人潜器	
	压溃	吸水率	压溃	吸水率
≤1000	1.50	1.25	1.50	1.25
1000~4000(含4000)	1.50	1.25	1.30	1.20
4000~6000	1.50	插值	1.30	插值
≥6000m	1.50	1.15	1.20	1.10

注：测试样品表面不应涂覆任何保护材料。

6.4.1.3 浮力材料可通过机加工或粘接方式加工成所需形状，但粘接后其拉伸强度、剪切强度均不能低于原浮力材料的性能，且测试中破坏部位不应在粘接界面。

6.4.1.4 所选浮力材料应考虑与海底或其他构件可能发生的碰撞，具有合适的抗冲强度。如在浮力材料外部涂覆抗冲击涂料，则该涂料应与浮力材料具有良好兼容性。

6.4.1.5 考虑到载体框架可能的变形(如吊起工况)，在浮力块尺寸计算时应考虑留有合适间隙。

第7章 制 造

第1节 通 则

7.1.1 适用范围

7.1.1.1 本章适用于潜水系统和潜水器耐压壳体的制造和检验。

7.1.1.2 除本章规定外，还应符合CCS《材料与焊接规范》第3篇焊接的有关规定。

7.1.2 工艺认可

7.1.2.1 潜水系统或潜水器的耐压壳体应由经CCS同意的制造厂承造。制造厂应有良好的建造和试验设备，以及完整的质量控制系统和检验制度。

7.1.2.2 制造厂应向CCS提交焊接工艺规程供审查。

7.1.2.3 制造厂在首次制造耐压壳体或采用新的焊接工艺时，应进行焊接工艺认可试验。焊接工艺认可试验应符合CCS《材料与焊接规范》第3篇第3章的有关规定，但缺口冲击试样应制备4组(每组3个)，缺口位置分别位于焊缝中心、熔合线、距熔合线2mm和距熔合线5mm处。

第2节 加工与装配

7.2.1 钢材加工

7.2.1.1 在布置和切割钢板时，应使完工后的耐压壳体的每一块钢板上都能清晰地保留CCS的印记。如果印有原始印记的钢板部分须切除，则应在切割前将印记转移到剩余部分钢板上。

7.2.1.2 在选择耐压壳体钢材和制定冷加工工艺规程时，应使冷加工成形后的构件的机械性能，特别是韧性，仍至少保持原钢板的相应最小规定值。

7.2.1.3 对弯曲半径与板厚比小于10的冷加工构件，应进行适当的热处理。热处理允许在焊后进行。

7.2.1.4 当构件采用热加工成形时，制造厂应预先编制热加工和加工后热处理工艺规程，并提交CCS备案。

7.2.1.5 构件经热加工成形后其材料的机械性能应不低于该等级钢的相应最小规定值。

7.2.2 装配

7.2.2.1 耐压壳体装配时，对接缝的错边应满足下列要求：

- (1) 圆柱壳体纵向接头的错边量应不超过板厚的10%，但不得大于3mm；
- (2) 圆柱壳体环向接头的错边量应不超过板厚的10%加1mm，但不得大于4mm；
- (3) 球壳体和封头接头的错边量应符合7.2.2.1(1)的规定。

7.2.2.2 不同厚度钢板对接时，板厚差如超过下列数值，则应将厚板边缘削斜，削斜宽度应大于板厚差的4倍：

- (1) 较薄板小于或等于10mm，板厚差为3mm；
- (2) 较薄板大于10mm，板厚差为4mm。

7.2.2.3 不要求焊透的角焊缝的构件可不开坡口。装配时构件间要贴紧，局部不能贴紧部件的间隙不得超过下列规定值：

- (1) 当构件厚度小于或等于10mm时，为2mm；
- (2) 当构件厚度大于10mm时，为3mm；
- (3) 处于仰焊位置时，为2mm。

第3节 焊 接

7.3.1 焊前准备

7.3.1.1 施焊前应清除焊件坡口及其两侧区域内的锈污、氧化物、油脂和油漆等污物。

7.3.1.2 焊接操作应在具有防雨、雪的遮蔽并考虑避风的条件下进行。施焊环境的最低温度不得低于0℃。当环境湿度较大时，可采取预热，以除去潮气。

7.3.2 预热

7.3.2.1 焊接构件的材料应尽量避免采用碳当量超过0.41%或含碳量超过0.2%的钢种。若根据实际情况，确须采用碳当量超过0.41%的钢种时，则施焊前应进行预热。碳当量超过0.45%时，除进行预热外，还应考虑进行焊后热处理。

7.3.2.2 预热温度和层间温度应根据钢材化学成分、碳当量、焊脚尺寸、施焊环境、焊接方法以及焊件的拘束状况等参数和焊接工艺认可试验的结果确定，并应提交CCS审核。

7.3.3 施焊

7.3.3.1 耐压壳体的焊接应采用优质低氢焊条和吸湿性小的焊剂。焊条和焊剂使用前应按规定加以干燥。

7.3.3.2 耐压壳体上所有纵向、环向对接焊缝应全部焊透，受力角焊缝也应全部焊透。

7.3.4 焊后热处理

7.3.4.1 对板厚超过20mm的耐压壳体，在耐压试验之前，应进行焊后整体热处理。若能证明焊接接头具有良好的断裂韧性，则经验船师同意可免做热处理。对过大的耐压壳体，在热处理炉内确无条件进行整体热处理时，可允许进行局部热处理，但应保证焊缝的整个长度均受到热处理。

7.3.4.2 碳钢或碳锰钢焊件的焊后热处理温度为580~620℃，保温时间以每厚25mm保温不少于1h计算。

第4节 焊缝检验与修补

7.4.1 一般规定

7.4.1.1 本节规定适用于钢质结构的焊缝检验与修补。

7.4.2 常规试验

7.4.2.1 每一耐压壳的焊缝均须作常规试验。若耐压壳体总的焊缝长度超过20m，则每20m焊缝应作一次常规试验。

7.4.2.2 常规试验的试板由2块300×150mm与壳体材料相同的钢板做成，并用定位焊焊在耐压壳体上，使试验焊缝成为实际焊缝的延续和模拟。该试板应能提供7.4.2.4所要求的试样。试板与壳体应由同一焊工采用同一焊接工艺焊成。

7.4.2.3 需作热处理的耐压壳体，其试板应与耐压壳体在同一炉子中进行热处理。

7.4.2.4 应从试板中截取如下试样：

(1) 1个宏观检查试样。焊缝整个横截面应作适当腐蚀，使熔合边界清晰可见；

(2) 1个接头拉力试样。试样抗拉强度不得低于母材的相应最小规定值；

(3) 2个接头弯曲试样，板厚小于20mm时，试样宽度为1.5倍板厚，作正弯和反弯试样各1个。板厚大于20mm时，试样宽度为10mm，作2个侧弯试样。弯芯直径不大于试样厚度的3倍。试样弯至120°，不应有裂纹；

(4) 2组冲击试样。1组位于焊缝中心，1组位于熔合线上，冲击韧性应符合母材相应最小规定值。

7.4.3 焊缝检验

7.4.3.1 所有焊缝在无损检测前应进行外观检查。焊缝表面不得有裂纹、咬边、夹缝、气孔、焊瘤等缺陷。

7.4.3.2 耐压壳体上的对接焊缝应100%进行射线检测。在特殊情况下，经验船师同意可用超声波探伤替代射线探伤。耐压壳体上的全焊透角焊缝应100%进行超声波检测。必要时验船师可要求增作磁粉或渗透检测。其他焊缝的探伤数量、方法和部位由制造厂编制检验规程，并取得验船师同意。

7.4.3.3 焊缝的无损检测应在焊后48h以后进行。

7.4.3.4 焊缝内部质量应符合表7.4.3.4的要求，如采用其他标准，应经CCS同意。

7.4.3.5 当焊缝中存在超过合格限度的缺陷，且返修困难时，经CCS同意允许执行以断裂力学为基础的焊缝缺陷的验收标准。

7.4.3.6 在耐压试验后应对耐压壳体上的焊缝作外观检查。对重要部分应作磁粉或渗透检测，检查的部位及数量应经验船师同意。

表7.4.3.4

内部缺陷		合格限度
气孔	分散性气孔	直径 $\leq t/4$ ，最大为4mm
	密集性气孔	在任何连续的300mm焊缝长度内不超过12mm直径的区域，单个气孔直径 $\leq t/8$ ，最大为2mm
	管状气孔	不得透出焊缝表面，气孔直径 $\leq t/8$ ，最大为2mm
夹渣	点状夹渣	长度 $\leq 2t$ ，最大为4mm，宽度 $\leq t/4$
	条状夹渣	长度 $\leq 2t$ ，最大为50mm，宽度 $\leq 2mm$
	车迹夹渣	每条平行渣线宽度 $\leq 1.5mm$
裂纹		不容许
未熔合		不容许
未焊透		不容许

7.4.4 缺陷修补

7.4.4.1 经无损检测发现焊缝中有超过合格限度的缺陷存在时，应进行必要的修补。修补时应完全消除焊缝中的缺陷。必要时可用磁粉法或渗透法进行检测，以证实缺陷确已清除。

7.4.4.2 耐压壳体上同一部位的缺陷修补不得超过两次。

7.4.4.3 凡有焊后热处理要求的焊接接头，焊补后应再次按要求进行热处理。

7.4.4.4 修补完毕后，仍应按本节有关要求对修补焊缝重新进行外观检查和内部质量检验。

第5节 铝合金焊接

7.5.1 一般规定

7.5.1.1 本节适用于熔化极(MIG)和非熔化极(TIG)惰性气体保护焊,若采用其他焊接方法,应经CCS同意。

7.5.1.2 铝合金的焊接工艺规程应提交CCS认可,焊接工艺规程中应包括防止焊接变形和变形矫正的措施。

7.5.1.3 必要时应进行焊接工艺认可试验,其方案应提交CCS审核。

7.5.1.4 从事铝合金焊接的焊工应经铝合金焊接的操作技能培训和考试,且须取得合格证书。

7.5.2 焊接工艺认可

7.5.2.1 制造厂应提供焊接工艺规程的下列资料:

- (1) 母材的牌号和规格;
- (2) 焊接材料的牌号和规格;
- (3) 焊接设备型号、参数和特性;
- (4) 焊接方法;
- (5) 坡口形状和加工要求;
- (6) 焊接位置;
- (7) 焊接参数(焊接电流、电弧电压、焊接速度、保护气体流量等);
- (8) 焊接预热温度和层间温度,焊后热处理及消除焊接热应力的措施等;
- (9) 其他有关的特殊要求。

7.5.2.2 焊接工艺认可试验的试件制备应符合下列规定:

(1) 对接焊试件应由2块400×150mm的试板组成,其厚度应根据实际板厚而定。试件取样应在焊缝检查合格后,用锯、刨等机械加工方法截取,见图7.5.2.2(1)。

(2) 角接焊试件应由2块100×300mm的试板组成,其厚度应取实际厚度的平均值。焊缝检验合格后按图7.5.2.2(2)截取试件。

7.5.2.3 焊缝的力学试验方法应符合CCS《材料与焊接规范》第3篇第1章的有关规定。

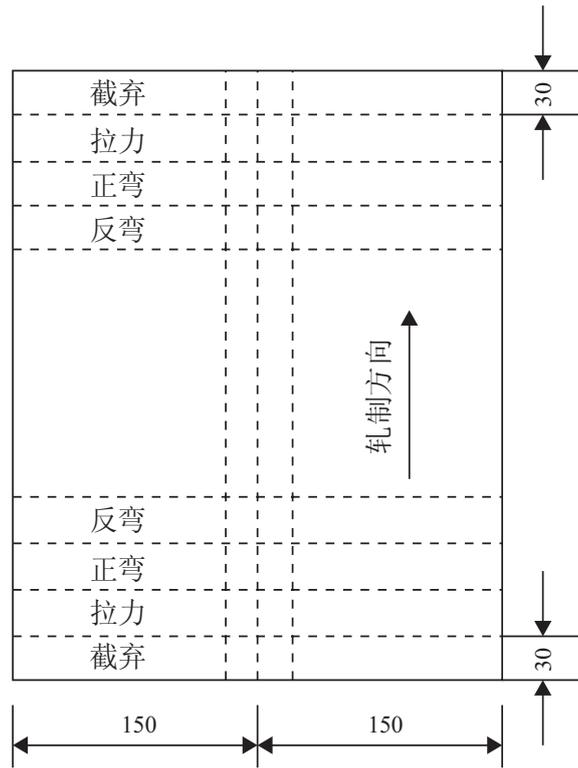


图7.5.2.2(1)

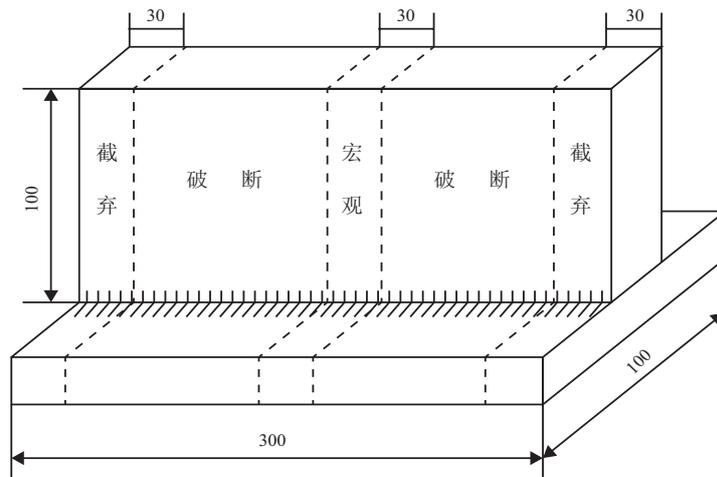


图7.5.2.2(2)

7.5.3 焊前准备

7.5.3.1 坡口一般应采用刨、锯或磨等机械方法制备。若采用其他方法应经验船师同意。

7.5.3.2 对焊丝、焊缝坡口及其临近区域应用汽油或丙酮、化学药剂、机械方法(如用刮刀)进行严格清洁,并保持干燥。清洁后,应在24h内施焊,若超过24h,应重新清洗,焊丝清洁后应贮于密闭器内。

7.5.3.3 环境温度低于0℃或湿度大于80%或板厚大于8mm时,焊接部件应进行预热。预热时不宜采用氧乙炔火焰加热。

7.5.4 焊接

7.5.4.1 重要对接焊缝的焊接，应在对接缝的两端焊有与母材相同材料的引弧板和熄弧板。

7.5.4.2 施焊时应保持焊接的连续性。若有中断，引弧前应清洁焊接处，焊接时焊道应重叠约25mm。

7.5.4.3 多道焊时，在焊后一道时，应将前一道焊缝表面清洗干净，层间温度应尽可能控制在60℃以下。

7.5.4.4 清理焊缝根部和清除焊缝缺陷时，应采用铲、刨等机加工方法。

7.5.5 焊缝检查与修补

7.5.5.1 完工焊缝应进行外观检查，要求为：

(1) 焊缝表面平滑光滑，成形良好；

(2) 焊缝表面及热影响区没有裂纹、气孔、未熔合、焊穿、过烧、未焊透、根部内凹，夹钨、焊瘤等缺陷；

(3) 板厚小于和等于3mm者，不应有咬边。板厚大于3mm者，咬边深度不大于0.5mm，其累计长度不超过单条焊缝长度的10%，且不大于100mm。

7.5.5.2 对焊缝内部质量应用无损检测方法进行检验，检测的方法和验收标准应经CCS同意。

7.5.5.3 焊缝修补分为焊缝表面修补和焊缝内部缺陷修补。同一焊缝部位的修补不应超过两次。

7.5.5.4 在修补焊缝内部缺陷时，应将缺陷除尽，并制定有专门修补的工艺方法，以保证修补一次完成。

第6节 外形测量

7.6.1 一般规定

7.6.1.1 承受外压力的耐压壳体建造完工、热处理以及耐压试验后均应测定其壳板的整体圆度、局部圆度和肋骨局部偏差，并符合7.6.2至7.6.4的要求。

7.6.2 整体圆度容差

7.6.2.1 整体圆度容差是指壳体的名义半径与实际半径之间的最大容许偏差。

7.6.2.2 球壳体、圆柱壳体的整体圆度容差不得大于名义半径的0.5%。

7.6.3 局部圆度容差

7.6.3.1 局部圆度容差是指半径等于壳体内或外半径的扇形样板与壳体之间的最大容许间隙。

7.6.3.2 扇形样板的弧长取下列值：

(1) 球壳体： $L_a = 4\sqrt{R_0 t}$

(2) 圆柱壳体： $L_a = 1.15\sqrt{l\sqrt{R_0 t}}$ 或 $L_a = 0.5\pi R_0$ ，取小值。

式中： L_a ——样板弧长，mm

R_0 ——壳体名义内半径，mm；

t ——壳板实际厚度，mm；

l ——肋骨间距，mm。

7.6.3.3 采用上述样板时，壳体的局部圆度容差为下式规定值：

$$e = \frac{0.01L_a}{1 + \frac{L_a}{R_0}}$$

式中： e ——局部圆度容差，mm；

L_a, R_0 ——同7.6.3.2。

7.6.3.4 当圆柱壳体的 $l/R_0 < 2.25\sqrt{t/R_0}$ 时，应检查壳体母线的局部直度，而不必测量局部圆度。局部直度容差是指肋骨间壳板和壳体母线之间的径向最大差值。其最大值不得超过7.6.3.3中规定的 e 值。

7.6.4 肋骨局部偏差

7.6.4.1 安装后的环形肋骨局部偏差应符合下列规定(见图7.6.4.1)：

(1) 腹板垂直度偏差 δ_1 不超过腹板高度的3%，当腹板高度大于300mm时，最大不超过10mm，

(2) 翼板平行度偏差 δ_2 不超过翼板宽度的5%。

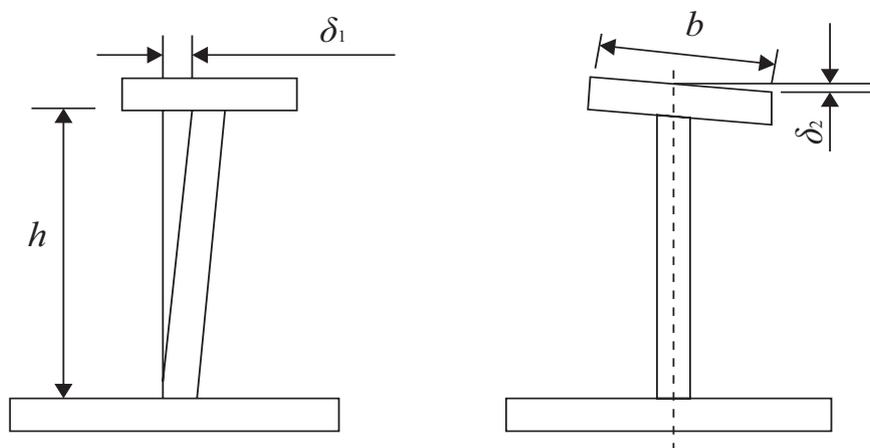


图7.6.4.1

第8章 生命支持系统

第1节 通 则

8.1.1 一般规定

8.1.1.1 生命支持系统的制造、安装和试验应符合本章规定，并使验船师满意。除满足本章规定外，机械、电气装置尚应符合《规范》第9章和第10章的有关规定。

8.1.2 设计原则

8.1.2.1 应提供在载人空间内生存、检测和通信所必需的全部仪器设备。

8.1.2.2 系统应设计成使载人舱室含氧浓度保持在18%～23%之间。

8.1.2.3 系统应提供在正常和应急情况最大工作压力下作业的足够呼吸气。

8.1.3 压力平衡

8.1.3.1 在开启出入口之前应采取措施平衡出入口两侧的压力。一般应通过在出入口的任一侧调节内部压力来实现。

8.1.4 通风与危险气体去除

8.1.4.1 潜水器在水面上的通风可以通过一个空气导管来进行，其布置应能防止浪花的溅入。

8.1.4.2 当电池舱位于潜水器内时，应装设风扇或类似设备，以便在充电时和充电前后适当的时间内，提供可靠的通风。电池舱的通风应独立于其他通风系统。一旦风扇不能运转，电池的充电应自动停止。

8.1.4.3 应提供措施，能在每次作业前清除居住舱和工作舱等内部可能产生的任何有潜在爆炸危险或有毒的混合气体。

8.1.5 闸式潜水器上的出潜潜水员

8.1.5.1 潜水器应设置对出潜潜水员必要的生命支持设备，并应符合本章关于潜水系统的相关规定。

8.1.5.2 应在潜水器的控制室内装设对潜水员闸室必要的控制和仪器监测。还可在闸室内设置补充的控制和仪器监测，在任何时候都应能从控制室内进行超驰控制。

8.1.5.3 应提供措施限制出潜潜水员的垂向偏移。

8.1.5.4 应建议配备潜水员系绳，以便潜水员在低能见度的水中返回潜水器。对较深深度的潜水，应考虑配备常备的潜水员系绳。

8.1.5.5 所储备的供潜水员用的呼吸气体及二氧化碳去除措施应满足本章的相关要求。

8.1.5.6 如果潜水员减压在水下进行，则潜水器上应设有减压设备和足够的呼吸气储备。潜水员的减压应能从闸室外进行控制。

第2节 储 气

8.2.1 一般规定

8.2.1.1 对于使用潜水系统和载人潜水器进行的每次潜水作业，应备有足够的适应预定任务的呼吸气体，以供正常和应急情况下使用。

8.2.2 氧气

8.2.2.1 氧气储备量应能满足预定的正常作业和应急生命支持的需要。氧气储备的计算应提交审查。

8.2.2.2 放置在载人舱室内的任一单一氧气源的总容积应限制在如下范围内，即从源内的非正常泄漏不会使舱内的压力升高值超过0.1MPa，也不会使舱内的氧浓度超过23%，可由计算来加以验证。如果计算压力升高值超过0.1MPa，或氧的容积浓度超过23%，则应将氧气源的储气瓶放置在载人舱室之外。

8.2.2.3 当自由自航潜水器的高压氧气瓶放置于耐压壳体外时，则氧气瓶应至少分成两组，且其供气管路应分别贯穿进潜水器耐压壳体内。两组供氧(包括氧气瓶和管路)应尽可能远离，以避免碰撞导致同时失效。

8.2.2.4 潜水系统所用的氧气瓶，应至少分成两组，且它们应通过各自互相独立的管路进行供气。

8.2.3 混合呼吸气

8.2.3.1 对自由自航潜水器应提供足够的设计工作时间所需的混合呼吸气。应急情况下呼吸气量的确定，参见本章第5节的相关规定。

8.2.3.2 对系缆潜水器、常压潜水服等应备有足够的设计工作时间所需的混合呼吸气。应急情况下呼吸气量的确定，参见本章第5节的相关规定。

8.2.3.3 对潜水系统，应备有足够的呼吸气，保证在正常作业及减压(或降低饱和度)期间，供所预定的最大数量的潜水员呼吸使用。应急情况下呼吸气量的确定，参见本章第5节的相关规定。

8.2.3.4 潜水系统所用的混合呼吸气瓶，应至少分成两组，且它们应通过各自互相独立的管路进行供气。

8.2.3.5 潜水系统的混合呼吸气瓶的充气 and 放置，应充分考虑瓶内各气体的均匀混合，一般应采用卧姿放置。

8.2.4 压缩气的储藏

8.2.4.1 压缩气的储藏，应使得从气瓶内无意的泄漏，不会导致有关舱室内的压力明显超过最大工作压力，或有资料证明，该压缩气的储藏符合CCS接受的标准。

第3节 供 气

8.3.1 供气系统

8.3.1.1 供气系统应能在正常作业及在应急生命支持时，对载人舱室提供合适的呼吸气。

8.3.1.2 对载人潜水器的载人舱室的氧气消耗和供应量的确定，应不少于一个大气压下每人每小时25L氧，供气系统应有相应的供气能力。

8.3.1.3 应急的供气要求参见本章第5节的有关规定。

8.3.1.4 供气系统应装设监测压力表，在每个表的根部应装有截止阀。

8.3.2 供气管路

8.3.2.1 管路材料规格和管路系统细节应提交审查。管路、管材和软管的破坏强度应至少4倍于设计压力。管路出口应装有截止阀。供气管路应固定以防止移动。

8.3.2.2 管路系统在采用拟定的呼吸气进行试验后，应进行内部脱脂处理和清洗。由系统的组装者或制造者出具的合格证书应提交给验船师。

8.3.3 阀件

8.3.3.1 阀件应有制造商的证明书，确保它们能在最大工作压力下作业时，供呼吸系统使用，并应有至少4倍于设计压力的破坏强度。

8.3.3.2 用在供氧系统上的控制阀应是慢启型的，如针阀。

8.3.3.3 供气系统应装设流量控制阀，并能提供从全开到全闭状态的气流平稳过渡。

8.3.3.4 如果一个系统的流量显示仪表可能承受到超过其设计压力的压力时，应装设适当的释放阀，并在释放阀前装设截止阀。

8.3.4 脐带

8.3.4.1 脐带软管应有至少4倍于系统工作压力的破坏压力，其额定压力不得低于系统压力。此外，脐带软管的额定压力应不低于相当于设计深度的压力再加2.8MPa。软管应是防缠绕的或布置成防止缠绕的。所带接头应是防腐的，能防止意外脱卸，且额定压力至少等于软管的额定压力。如果脐带拟用作回收潜水钟的补充设施，则脐带软管应有能承受起吊重量的强力部件。

第4节 有害气体去除

8.4.1 二氧化碳允许含量

8.4.1.1 载人潜水器中载人舱室的二氧化碳分压不得超过0.5kPa。

8.4.1.2 潜水系统的载人舱室的二氧化碳分压不得超过1kPa。

8.4.2 二氧化碳去除系统

8.4.2.1 应装设二氧化碳去除系统，去除系统的设计计算应提交审查，并考虑温度、湿度、预定深度的二氧化碳密度、吸收效率、流量，以及预定正常作业下的二氧化碳产气率等。系统去除二氧化碳的能力应不低于相当于一个大气压下每个乘员22L/h。

8.4.2.2 二氧化碳去除系统的结构应采用防腐无毒的材料。该材料应与二氧化碳去除剂相容。

8.4.2.3 固体吸收剂应是颗粒状的和低灰的(颗粒尺寸通常在4到20目的范围内)。过滤器应设计成无需任何特殊工具的帮助即可由舱内乘员容易进行调换的装置。

8.4.2.4 氢氧化锂 (LiOH)去除系统的布置应能防止其坠落到乘员、结构或设备上，氢氧化锂 (LiOH)过滤器或再生板应是整个单元一起调换。对装有其他碱性滤剂的过滤器应提供适当的加热装置，以保持其温度不低于15℃。

8.4.2.5 再生剂的使用应满足下列要求：

(1) 可以使用能够从呼吸气中去除二氧化碳且能使其再生的固体再生剂，但再生气中不能含有机物和潮气，同时还应具有适当处理二氧化碳的措施；

(2) 使用含水溶剂去除呼吸气中二氧化碳并能使其再生的液体清除系统(液体再生剂)，应有确保所供呼吸气去除有机物和潮气的措施，同时应有适当处理二氧化碳的措施。

8.4.2.6 使用不同于8.4.2.4和8.4.2.5所述的二氧化碳去除措施时，应提交相关数据资料供审查。该数据资料应证明所用措施在预定的作业条件下能满意地工作。

8.4.2.7 若某一系统未能事先证明可在8.4.2.1所述的设计条件和持续时间下工作，则应进行试验以证明该系统能满意地完成预定工作。

8.4.3 有害气体的去除

8.4.3.1 舱室内的乘员或设备可能产生的有害气体，如一氧化碳、总烃等应予以考虑。并应采取措施去除这些有害气体，使其在舱室内的浓度不超过正常范围。载人舱室的一氧化碳的持续分压不得超过1.2Pa。

第5节 应急生命支持系统

8.5.1 一般规定

8.5.1.1 除了正常的呼吸气和二氧化碳去除系统外，还应设置应急生命支持系统。应急生命支持系统应独立于任何水面支持系统，且应独立于正常的生命支持系统。如果使用了开路循环系统，舱室压力的增加影响应予考虑。

8.5.2 储气

8.5.2.1 应急生命支持的混合呼吸气和氧气的储备量，应能满足8.5.5的支持时间要求。

8.5.3 供气

8.5.3.1 应急呼吸气应用适合于预定用途的全面罩、口鼻面罩或自负式再呼吸器来进行供气。每个乘员都应有一个面罩。

8.5.4 二氧化碳去除

8.5.4.1 载人潜水器应有去除二氧化碳的能力，并使载人舱室内呼吸环境中的二氧化碳分压不超过1kPa。

8.5.4.2 潜水系统应有去除二氧化碳的能力，并使载人舱室内的二氧化碳分压不超过1.5kPa。

8.5.5 应急支持时间

8.5.5.1 自由自航潜水器的应急支持时间不少于72h。

8.5.5.2 潜水钟或具有两套独立起吊装置的系缆潜水器的应急支持时间不少于24h；其他载人潜水器以及常压潜水服和水下居住室的应急支持时间不少于为48h。

8.5.5.3 甲板减压舱应有足够的生命支持至作业减压结束。对于具有应急转移潜水员措施的潜水系统，支持时间可减至安全转移潜水员所需时间的两倍。

第6节 闭路呼吸系统

8.6.1 一般规定

8.6.1.1 设有闭路呼吸系统的潜水系统，应符合本节有关规定。

8.6.1.2 呼吸阻力和呼吸功在最大工作压力和每分钟呼吸通气量为40L/min条件下，应限制在 $\pm 1.5\text{kPa}$ 和1.3J/L以下，不允许超过 $\pm 2.5\text{kPa}$ 和2.1J/L。

8.6.1.3 若潜水深度超过150m，应有吸入气体加热装置。温度控制范围为 $20^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，控制精度不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

8.6.1.4 应具有潜水员过压和欠压的自动保护装置，其值不允许超过 $\pm 6\text{kPa}$ 。

8.6.1.5 应具有闭路转换为开路呼吸的应急方式。

8.6.2 补氧系统

8.6.2.1 应具有一套补氧控制系统，使潜水员吸气的氧分压保持在 $40\text{kPa}\sim 120\text{kPa}$ 范围内。

8.6.3 二氧化碳去除

8.6.3.1 应具有一套二氧化碳去除系统，并使潜水员吸气的二氧化碳分压不超过 1kPa 。

8.6.4 应急呼吸气系统

8.6.4.1 至少应有一套独立的呼吸气体应急供气系统，并使潜水员吸气的二氧化碳分压不超过 1.5kPa 。

第7节 环境调节与控制

8.7.1 一般规定

8.7.1.1 在设备、仪器等设施中，不得使用汞。

8.7.2 控制

8.7.2.1 控制可以是手动或自动的。但是对自动控制应提供手动备份。

8.7.2.2 自动控制系统应能维持混合呼吸气所要求的分压或浓度值。自动控制的失效应能在操纵台或控制室内产生信号报警，手动备份系统应能立即启用。

8.7.3 生命支持系统的监测

8.7.3.1 应有两套独立的压力监测仪表系统对舱室内外的压力进行监测，其中一套系统应是机械型的。

8.7.3.2 生命支持仪表系统应有对电子设备进行校准的保证措施。对于超过 24h 的潜水作业，生命支持系统(包括动力供应)的仪表系统应有一个备份，或提供一个可替换的测量方法。

8.7.3.3 下述内容应予以监测：

呼吸气中的氧含量和二氧化碳含量；

舱室内外压力；

载人舱室中的舱室温度；

载人舱室中的相对湿度；

使用了经回收的呼吸气中的一氧化碳含量；

使用了经回收的呼吸气中的甲烷、总烃含量。

8.7.3.4 混合呼吸气的分压值应能在操纵板上和控制室内连续地被监测。温度、湿度和分压的变化不应影响到分压值的准确显示。

8.7.4 温度和湿度控制

8.7.4.1 在一次潜水作业的各阶段，都应有隔热和温度控制措施。应考虑呼吸气的高热传导性，如对氦气。

8.7.4.2 应有措施在作业的各个时期都能对舱室的湿度进行控制。推荐的相对湿度控制范围为 $50\% \pm 20\%$ 。

8.7.4.3 如果装设了电热水器，除了正常的温控装置外应另加装高温断路器和一个超压释放装置。断路器应能断开所有未接地的导体，并能感知最高水温。对电气方面的要求，见《规范》第10章。

8.7.5 噪声控制

8.7.5.1 载人舱室内连续8h以上的噪声应低于65dB(A)；潜水员一般不应受到高于83dB (A)的噪声，如可能超过则应配备听力保护器。

8.7.6 空调系统

8.7.6.1 当装设了空调系统后，相关图纸应提交审查，且应满足《规范》第9章的有关要求。

8.7.7 过滤系统

8.7.7.1 如设置了灰尘过滤系统，则过滤材料应是阻燃型的。

第8节 生活设施

8.8.1 载人潜水器

8.8.1.1 如有必要，应考虑对载人潜水器提供厕所等必要的生活设施。

8.8.1.2 载人潜水器应备有应急条件下供食用的干粮和淡水。配备标准可为：干粮0.7kg/(人·天)；淡水2.7kg/(人·天)。

8.8.2 潜水系统

8.8.2.1 生活舱中应为每一潜水员提供一适宜的床铺。

8.8.2.2 在所有舱室和钟内，应有合适的照明。

8.8.2.3 潜水钟内应设有应急照明。

8.8.2.4 甲板减压舱应设有厕所等必要的生活设施。如设冲洗式厕所，则应装有安全联锁装置，保证在坐便时不会因误操作而发生排污。

8.8.2.5 设计与外部系统相连的卫生系统应考虑当卫生系统发生误操作或损坏时，不会引起外部系统中意外的压力升高。

8.8.2.6 对最大工作深度超过200m的潜水系统，生活舱内需配备一张桌子，至少应有一个厕所、一个淋浴喷头和一个洗水盆，并有排水除臭设施。卫生间应与生活舱隔开。

第9节 试 验

8.9.1 压力试验

8.9.1.1 除了压力传感元件外，对混合呼吸气系统，应用水、或去除了油的干燥空气或干燥氮气，按1.5倍的设计压力进行试验。该试验应在安装前且系统组合完毕、所有部件均到位的情况下进行。试验结束后，系统应进行清理和测试，以保证所有试验气体的痕迹已被清除。

8.9.2 气密性试验

8.9.2.1 安装结束后，系统应在设计压力下进行气密性试验。该试验应采用作业时正常使用的呼吸气体进行。泄漏率应足够低，使得压力降在4h内不超过1%。氧气系统不允许发生泄漏。

8.9.3 脐带软管压力试验

8.9.3.1 脐带软管及其接头应经压力试验，试验压力应不小于设计压力的1.5倍。

第9章 机械与设备及其管路系统

第1节 通 则

9.1.1 适用范围

9.1.1.1 潜水器和潜水系统的机械与设备及其管路系统的制造、安装和试验应符合本章规定。本章未作规定者应符合CCS《钢质海船入级规范》第3篇的有关规定。生命支持系统的机械与设备及其管路除满足本章要求外，还应符合第8章有关规定。

9.1.2 耐压壳体外的机械与设备及管路

9.1.2.1 潜水器、潜水钟和甲板减压舱耐压壳体外的机械与设备(包括压力容器和管路)应满足下列要求:

- (1) 其材料应尽可能是不燃的或滞燃的。如不可避免需采用可燃材料时，则应采取必要措施;
- (2) 应不产生或泄漏可燃气体或有毒气体。如不可避免时，应采取必要的安全措施;
- (3) 其结构和安装应能避免由于摩擦产生的火花或高温引起火灾的危险。

9.1.3 耐压壳体外的机械与设备及管路

9.1.3.1 安装在潜水器和潜水钟耐压壳体外部的机械与设备包括压力容器和管路应作适当保护，以防止在潜水器或潜水钟操作和运行中发生撞击和损坏。

9.1.4 防腐蚀

9.1.4.1 对安装在潜水器和潜水钟外部的机械与设备及其管路中容易受到腐蚀的部件应采取适当的防腐蚀措施。

9.1.5 监测仪表

9.1.5.1 机械与设备及其管路系统应设有必要的指示仪表，以保证机械与设备及其管路系统的正常运行。这些仪表应尽可能布置在相应的仪表板上。

9.1.5.2 对实行集中控制的机械与设备应在相应的控制台上装有足够的仪表，以保证对机械与设备进行有效的控制和指示。

第2节 泵和管系

9.2.1 一般规定

9.2.1.1 泵、阀件

- (1) 各专用泵应采用与其用途相适应的材料制成。
- (2) 阀件应由钢、不锈钢、铜或铜合金等材料制成。但氧气系统应采用铜和铜合金以及Cr-Ni含量在22%以上的奥氏体钢质阀件。
- (3) 阀和旋塞及其他附件一般应装在便于操作、检查和维修的部位。
- (4) 阀件应以手轮顺时针方向转动为关闭，反之为开启。
- (5) 重要的阀件和旋塞及其他附件应有标明其用途的铭牌。
- (6) 减压阀应尽可能装在贮气瓶的近处，以缩短高压部分管路的长度。
- (7) 氧气系统应装有缓慢开启的截止阀。球阀不应安装在氧气系统上，但直接装在耐压壳体上作为应急关闭使用的除外。

9.2.1.2 管系

- (1) 管子的材料可用钢、不锈钢、铜或铜合金，但氧气系统不应当使用钢管。
- (2) 铜和铜合金管子应是无缝的。钢管一般应是无缝型，采用焊接管时应经CCS同意。
- (3) 气体的容积含氧量超过25%的管路系统应符合本节和第8章第2节关于氧气系统的规定。
- (4) 管路和气瓶及其他压力容器应涂以表9.2.1.2中所规定的颜色，以示识别。

管路和压力容器的色标

表9.2.1.2

气体名称	符号	颜色
氧气	(O ₂)	白
氮气	(N ₂)	黑
空气	(Air)	黑和白
二氧化碳	(CO ₂)	灰
氦气	(He)	棕
氦氧混合气	(O ₂ He)	棕和白

注：每一气瓶或压力容器应标记所含上述气体的名称和符号，气瓶的标记和颜色代号应能在瓶头阀端见到。

- (5) 排气管路应在进口处装有防吸装置，如过滤器等防护装置。
- (6) 管路系统应按认可的清洗方法进行清洗。
- (7) 承受胀缩或其他应力的管子，应采取管子弯曲或膨胀接头等必要的补偿措施。
- (8) 管路连接方式应满足《钢质海船入级规范》第3篇第2章中的相关要求。

(9) 暴露在海水和海水环境中的管路、附件和贯穿件应能防止锈蚀且有满意的工作性能。

9.2.2 管壁厚度的计算

9.2.2.1 内压的管子壁厚应符合CCS《钢质海船入级规范》第3篇第2章的有关规定。

9.2.2.2 承受外压的管子壁厚一般按承受内压的管子壁厚计算公式确定，其中设计压力应为外压设计压力，不计管子的内压，除非有特别理由能肯定管子内压不会消失。

9.2.2.3 计算钛合金管管壁厚度时，可不考虑腐蚀余量。选取的许用应力不应超过管材屈服应力的90%，且焊接有效系数应按如下选取：

(1) 对于采用冷拔等方法生产的无缝管，该系数应取1；

(2) 对于采用焊接法或焊接-轧制法生产的焊接管，该系数应取0.85。

9.2.3 受压管子的焊接

9.2.3.1 所有呼吸气系统管子的焊接应符合CCS《钢质海船入级规范》对I级管系的有关规定。

9.2.3.2 所有I级管系的管子焊接接头，不论其外径大小都应进行X射线或等效方法检查。

9.2.4 贯穿耐压壳体的管路

9.2.4.1 潜水器耐压壳体被管子贯穿时，应在壳板的内表面装设一个截止阀。如管子在耐压壳体外有直接开口时，则除装设上述截止阀外，还应在靠近上述截止阀处再装设一个截止阀。

9.2.4.2 潜水钟耐压壳体被管子贯穿时，应在壳板的内表面装设一个截止阀。对于输送气体或液体进入潜水钟的管子，除装设上述截止阀外，还应在靠近上述截止阀处再装设1个止回阀。

9.2.4.3 甲板减压舱的耐压壳体被管子贯穿时，应在壳板的内外表面各装设一个截止阀，必要时其中一个截止阀应为止回阀。

9.2.4.4 如果上述截止阀不能安装在耐压壳体上时，则位于截止阀与耐压壳体之间的管子设计压力应不小于最大工作压力，并保证该管子的刚性，且尽可能短。

9.2.5 超压保护装置

9.2.5.1 容积泵一般应有安全阀，安全阀应调节在压力不大于管子设计压力时开启。若容积泵没有设安全阀，则应在排出管路上设置。

9.2.5.2 可能承受高于原设计压力的管路应装设安全阀或其他超压保护装置，当位于减压阀后面的管子不能承受减压阀前面管子设计压力时，减压阀后面的管子也应装设安全阀。安全阀和超压保护装置应使这些管子的压力不超过设计压力。

9.2.5.3 安装在耐压壳体内的气体管系中的超压保护装置，其可能释放的气体应不使耐压壳体内的压力升高值超过0.1MPa。否则应将释放的气体用管子输至耐压壳体的外部或采取其他等效措施。

9.2.6 液压试验和密性试验

9.2.6.1 泵和管路的液压试验和密性试验一般应按CCS《钢质海船入级规范》第3篇第2章的规定进行试验。但对于呼吸气系统的管路应按I级管系进行试验。

9.2.6.2 呼吸气系统安装完毕后，应按第8章8.9.2.1的规定进行密性试验。

9.2.6.3 承受外压的管路，除进行内压试验外，还应进行外压试验，其试验压力应不小于1.5倍设计压力。如受结构或试验条件的限制，经CCS同意，可另行考虑。

9.2.7 软管

9.2.7.1 除脐带软管外，所用的软管应尽可能短。

9.2.7.2 非金属软管的爆破压力应不小于管子设计压力的4倍。

9.2.7.3 软管接头应能抗腐蚀、防脱落，并具备与软管相同或更高的耐压能力。

9.2.7.4 每根软管应经液压试验，试验压力应不小于设计压力的1.5倍。

9.2.7.5 脐带软管应采用由无缝人造橡胶或性能相类似的热塑材料制成并有适当的编织物加强的认可型产品。

9.2.7.6 脐带软管和其他承受外压的软管除满足上述规定外，还应进行外压试验，见第8章8.9.3.1的规定。

第3节 压力容器

9.3.1 承受内压的压力容器

9.3.1.1 承受内压的压力容器应符合CCS《钢质海船入级规范》第3篇第6章的有关规定，手提式气包、可移动式气瓶及灭火器应按认可的标准进行设计、制造和液压试验。

9.3.2 承受外压的压力容器

9.3.2.1 承受外压的压力容器应符合《规范》第4章的有关规定或按经认可的标准进行设计。

9.3.2.2 承受外压的压力容器除进行必要的内压试验外，还应进行外压试验。当潜深不超过4000m时，试验压力不应小于1.25倍设计压力；当潜深达到6000m及以上时，试验压力不应小于1.15倍设计压力；当潜深在4000~6000m之间时，采用插值法确定。其中，设计压力应考虑及超深。

9.3.3 安全装置

9.3.3.1 承受内压的压力容器，当内压有可能超过设计压力时，应设有安全阀。

9.3.3.2 当压力容器安装在耐压壳体内时，其安全阀所释放的气体不应使耐压壳体的压力升高值超过0.1MPa，否则应采用管子将释放的气体输至耐压壳体外部。

第4节 压气机

9.4.1 一般规定

9.4.1.1 压气机应按规定的气体种类、压力和供气速率进行工作。压气机的容量和布置应符合现场验船师的要求。

9.4.1.2 压气机应装设为安全运行所必需的附件和仪表。

9.4.1.3 压气机输出的气体应防止被润滑剂污染，经过过滤器后，其纯度应符合认可的标准。

9.4.1.4 压气机的所有受压部件应进行1.5倍设计压力的液压试验。

9.4.1.5 氧气和容积含氧量超过25%的气体的压气机或增压泵应安装在专门的处所内。

9.4.1.6 压气机的压力释放装置应以既不影响舱室内的压力也不影响管路系统的工作完整性的情况下进行释放和排出。

第5节 液压系统

9.5.1 一般规定

9.5.1.1 液压系统的泵、阀件和管路应符合本章第2节的有关规定。

9.5.1.2 液压设备的密封件所用的材料应与液压介质的工作温度和压力相适应。

9.5.1.3 液压介质应具有良好的化学稳定性和粘温性能，建议采用防火无毒的液压介质。

9.5.1.4 液压管系中应装设滤油器。

9.5.1.5 液压泵的输出端应装设安全阀。安全阀排出的液体应回送至泵的吸入端或舱柜内。

9.5.1.6 采用液压控制的机械应设有手动控制机构或其他等效设施，以便在应急情况下使用。

9.5.1.7 液压管路应避免靠近氧气系统敷设，如不可避免时，应采取必要措施以防发生危险。

第6节 推进轴系

9.6.1 一般规定

9.6.1.1 推进系统和它们的支承结构应设计成能在所要求的潜水深度下持续工作。

9.6.1.2 助推器的数量和功率应根据潜水器的用途和航速确定。

9.6.2 推进轴的设计

9.6.2.1 轴的设计应符合CCS《钢质海船入级规范》第3篇第11章的有关适用规定或其他认可的标准。

9.6.3 轴的密封

9.6.3.1 贯穿耐压壳体的轴封装置应确保有可靠的水密性。必要时，应经试验证明轴封与轴系装置布置的适应性。

9.6.4 轴的防护

9.6.4.1 应防止工作于海水中的轴发生电化学腐蚀。

9.6.5 螺旋桨的设计

9.6.5.1 螺旋桨的设计计算应符合CCS《钢质海船入级规范》第3篇第11章的有关适用规定或其他认可的标准。

9.6.6 驾驶控制系统布置

9.6.6.1 驾驶控制系统的详细图纸应提交审核。控制系统应在试航时操纵良好并使验船师满意。

第7节 压力补偿器

9.7.1 一般规定

9.7.1.1 如机械设备和管系采用有压力补偿的非耐压设计，则压力补偿器应使系统内外压差保持在合理的范围内。

9.7.1.2 送审方应提交压力补偿设计的原理说明和保证非耐压设计的机械设备和管系正常工作的说明文件。

9.7.2 压力补偿器的设计

9.7.2.1 压力补偿器应根据压力、温度的变化以及压缩率计算补偿量，还应考虑空气残余量的影响。

9.7.2.2 压力补偿器一般应设有泄漏报警。

第10章 电气装置

第1节 通 则

10.1.1 一般规定

10.1.1.1 潜水系统和潜水器的电气装置，其设计、建造、安装和试验应符合本章规定，以及CCS《钢质海船入级规范》的有关规定或CCS接受的标准。对安装在海上平台上的潜水系统或潜水器，其电气装置的设计、建造、安装和试验，还应满足现行的CCS《海上移动平台入级与建造规范》的有关规定。

10.1.1.2 所有电气设备和电源布置，应确保在海上及水下工作的环境条件下，安全可靠地工作。对于可能引起失火、爆炸、电击和对人员散发毒气等危险，以及对壳体有害的电解作用等，均应减小到最低程度。

10.1.1.3 在危险区域内使用的电气设备，应符合该危险区域相应的环境要求。承压环境中的电气设备，应在加压、减压过程中不会损坏。

10.1.2 环境条件

10.1.2.1 除非另有规定，所有电气设备均应在下列环境下正常工作：

(1) 倾斜和摇摆：见表10.1.2.1(1)

倾 斜 角

表10.1.2.1(1)

系统和设备的安装处所	横摇	横倾	纵摇	纵倾
母船上的甲板减压舱	±22.5°	±15°	±10°	±5°
半潜式移动平台上的甲板减压舱		±15°		±15°
潜水钟	±45.0°	±22.5°		
潜水器	±60°注	±15°	±60°注	±30°

注：系对水面状态下使用的系统和设备的要求。对该状态下不使用的系统和设备不作规定，但潜水器经过了60°摇摆之后，这些系统和设备应仍能有效地工作。

(2) 温度、相对湿度、含盐量和压力范围见表10.1.2.1(2)

环境温度、湿度、含盐量和压力

表10.1.2.1(2)

位置	温度	相对湿度	含盐量	压力范围
在耐压壳体内部	5~55℃	95%	1mg/m ³ 空气	0.1N/mm ² 或0.1N/mm ² ~1.5倍最大工作压力
在空气中	-10~55℃	95%	1mg/m ³ 空气	0.1N/mm ²
在水中	-2~30℃		3.5%	0.1N/mm ² ~1.5倍最大工作压力

10.1.2.2 对于在特定海域使用的潜水系统或潜水器的环境温度和海水含盐量将给予专门考虑。

10.1.3 电压和保护

10.1.3.1 载人潜水器电气系统的最高电压，应不超过表10.1.3.1中的规定。

最高电压

表10.1.3.1

舱室内固定设置的动力和加热设备	250V
舱室内照明插座、接口、可便携式器具和其他软电缆供电的电器及通信设备和仪表	48V
潜水钟内所有电气设备	48V

特殊情况下，如有必要采用更高电压时，应经CCS审查同意。

10.1.3.2 电气系统均不得采用潜水系统或潜水器的金属壳体作回路，其各部分的绝缘应足以防止漏电故障，并使引起电化腐蚀的杂散电流降低到最低程度。

10.1.3.3 暴露在水中部分的电气设备，应考虑各种不同情况下尽可能减少故障电流的措施，以防止潜水员受到故障电流的伤害。

10.1.3.4 电路中应设有能断开所有电极的保护装置来进行过载和短路保护。除了在浸没式加热器电路和按正常操作难于设置过流保护装置的支路这两种情况下可以使用熔断器外，均应采用电流断路器作为保护电器。熔断器的型号和数据应供CCS审查。

10.1.3.5 贯穿耐压壳体的电源线，应在耐压壳体的供电一侧，设有漏电保护和过电流保护装置。这些装置应具有迅速断开故障电路的能力，且不应损坏贯穿件的水密完整性。必要时，CCS验船师可按规定要求进行试验。

10.1.4 外壳和接地

10.1.4.1 所有电气设备的外壳防护形式，应符合安装处所的环境要求。承压设备的外壳应按潜水系统或潜水器的最大工作压力的1.5倍进行设计。

10.1.4.2 电气设备非载流金属部分都应接地。每一绝缘的配电系统应设有漏电检测器或接地断路器。

10.1.4.3 所有潜水系统或潜水器的壳体应设有供外部连接用的接地连接器。

第2节 电源和配电

10.2.1 电源

10.2.1.1 每一潜水系统和载人潜水器应设有主电源和应急电源。自由自航无人潜水器应设有主电源和备用电源。

10.2.1.2 主电源的容量应能保证潜水器和潜水系统在水下运行时能够连续向重要设备供电。

10.2.1.3 对潜水员和潜水操作有关的重要电气设备，应从主电源和应急电源分别供电。如设有电源自动转换装置时，应有转换电源的报警设施。

10.2.1.4 潜水系统或潜水器由母船或海上平台供电时，应直接由母船或海上平台上的主配电板供电。此时发电机的容量应能同时向母船或海上平台和潜水器或潜水系统上的重要设备连续供电，也可由独立设置的自给电源供电。

10.2.1.5 潜水系统或潜水器应具备有独立的应急电源。应急电源应能在主电源失效时迅速供电维持潜水作业至安全结束。当母船(或海上平台)上的应急电源容量可同时供给潜水系统的应急负荷工作时，则可由该应急电源供电。

10.2.1.6 自给应急电源可配备由适当原动机驱动的发电机或蓄电池供电。当采用蓄电池作为应急电源时，该电池应在规定时间内承担应急负荷而不致产生过大的电压降。

10.2.1.7 自给应急电源应能在《规范》8.5.5规定的时间内向下列设备供电：

- (1) 内部应急照明；
- (2) 应急通信系统；
- (3) 应急生命支持系统(如为电动者)；
- (4) 吊放系统；
- (5) 环境监测设备；
- (6) 应急系统的控制装置。

10.2.1.8 应急电源的安装处所，应确保当主电源部位失火或发生其他事故时，不致妨碍应急电源的供电和配电。

10.2.1.9 安装在母船(或海上平台)上的应急电源，至少应满足10.2.1.7的要求。

10.2.1.10 潜水钟的自给应急电源，应足以确保生命支持系统的正常工作，供电时间至少为24h。

10.2.1.11 自由自航无人潜水器应具备有独立的备用电源。备用电源应能在主电源失效时迅速供电，确保潜水器应急上浮和定位设备的运行。备用电源容量应确保定位设备足够长时间的运行。

10.2.2 配电系统

10.2.2.1 所有配电系统均为绝缘系统并应有相对独立性，当系统中任一线路发生故障时，应不会影响其他线路的可靠工作或不会使其他设备在较长时间内失效。

10.2.2.2 下列各系统和装置的电气设备应由电源的主配电板或分配电板的独立支路供电：

- (1) 潜水钟的吊放系统(若是电动的);
- (2) 舱室和潜水钟的照明系统;
- (3) 生命支持系统的电气设备;
- (4) 通信系统, 电视监视系统。

第3节 控制和设备

10.3.1 控制和安装

10.3.1.1 舱室和潜水钟内的控制系统应经CCS审查同意。

10.3.1.2 所有用电设备至少使用1个多极开关进行控制。

10.3.1.3 应设置在应急状态下可单独切断舱室和潜水钟内各用电设备电源的设施, 这些设施应安装在控制台或便于操作的地方。

10.3.1.4 一切控制系统的设计, 应使耐压壳体上的电气贯穿件减至最低程度。

10.3.2 电机

10.3.2.1 除设有过载保护外, 对推进和其他重要用途的电动机应设有过载报警。潜水钟内的电动机的报警器可装在潜水钟内。自由自航无人潜水器可仅设置过载监测, 不设置报警。

10.3.2.2 电机的设计和选材, 应特别考虑盐雾、高湿、低温和冲击等因素的影响。

承压电机的设计, 应特别考虑环境腐蚀和压力影响, 并应提交适合于规定工作条件的试验数据和合格证书。当采用压力补偿器时, 应提交压力补偿器的全部设计文件和详细图纸。

10.3.3 电缆

10.3.3.1 潜水系统和潜水器的电缆, 一般应经CCS认可, 并证明其在规定工作条件下能确保安全使用。对于特殊类型电缆, 应证明其在规定工作条件下的适用性并经CCS同意。

10.3.3.2 载人舱室耐压壳体内的电缆应是滞燃和耐火型电缆, 并应为无卤电缆。水中电缆应为耐压水密型电缆。

10.3.3.3 脐带电缆应为柔性、不吸湿电缆, 并具有足够的拉伸强度。一般情况下, 应采取措施不使脐带电缆承受拉伸载荷。

10.3.3.4 凡贯穿耐压壳体的电缆, 在最大工作压力下, 应确保其纵向水密。

10.3.3.5 除安装在管子中的电缆外, 对电缆的布置, 应采取适当措施以防止其受到意外损坏。电缆的敷设, 一般应使其易于接近和便于检查。贯穿耐压壳体的电缆, 应机械地固定在耐压壳体外部。

10.3.4 蓄电池

10.3.4.1 一般应采用常规蓄电池，例如：铅酸或银锌电池和镍镉电池。若采用其他类型的电池，应经CCS审查同意。

10.3.4.2 每个电池上部的接线头封装剂，应具有良好的绝缘性能，应在压力下也不会吸收电解液、油或水。极板与绝缘外壳之间的绝缘电阻，用500V直流高阻表测量时，干燥绝缘电阻值应不小于50MΩ。

10.3.4.3 蓄电池压力补偿器的容积应有足够余量，并有可靠的安全排气装置。必要时，CCS可以要求对补偿器的性能进行复验。

10.3.4.4 耐压壳体外部的蓄电池，应安装在有足够强度的箱内，并满足冲击、摇摆情况下的安全要求。

10.3.4.5 潜水器耐压壳体内部的蓄电池布置，应符合下列要求：

(1) 主蓄电池应安置在专用的蓄电池室或箱内，并应与其他所有舱室隔离，特别是应与住人或设有易成为点燃源设备的处所相隔离，另外还应配备排水设备。如蓄电池安装在舱室平台板下时，则应采用全覆盖的平台板。为防止平台板上的积水流入蓄电池室内，蓄电池室舱口应设有高度不低于4cm的围板；

(2) 若根据电池制造商的要求电池室(或箱)应设有有效的通风设备，则每个电池室或箱至少应装设1个背压计，舱壁、顶板、通风口及风扇进风罩等处都应进行气密试验；

(3) 除使用密封蓄电池外，电池室内应设有吸收由蓄电池放出的氢气的装置。空气中含氢量应不大于3%，并应设有测氢仪和报警器。

10.3.4.6 每一蓄电池组应具备测量和读取蓄电池容量的措施。

10.3.4.7 蓄电池组的每一非接地极上均应设有过载和短路保护，保护装置的设计应与最大充电、放电电压和电流相适应，过载保护装置的热元件应在保护装置的最大设计压力下做动作试验。过载和短路保护装置应安装于与蓄电池室分开的处所内，但应使蓄电池与保护装置之间的连接电缆尽可能短。

10.3.4.8 蓄电池的充电设备应设有过电流保护。

10.3.4.9 蓄电池室应设有适当的防腐措施。

10.3.5 照明及其他

10.3.5.1 潜水系统和潜水器，应具有足够的正常照明和应急照明，正常照明的照度应在65~80lx范围内，便于居住人员观察仪表和进行必要操作。

内部照明的应急电源应由独立的应急电源供电，不必依靠水面供电。应急照明在应急情况下应能自动开启。

10.3.5.2 应考虑防止在各种情况下灯泡发生爆炸的可能性。

10.3.5.3 潜水系统和潜水器的电力驱动应急系统的控制器应有两个独立的电源，其中一个电源失效时不会影响另一个电源的使用。

10.3.5.4 潜水系统和潜水器的内部，可能出现碳氢化合物或其他爆炸性气体时，在此环境中工作的电气设备应采用合格防爆电气设备：

照明设备——增安型、隔爆型；
接线盒——增安型；
电动机——充气型、增安型、隔爆型，
电话、通信、测量设备——本质安全型。

10.3.5.5 无人潜水器可不必满足第10.3.5.1至10.3.5.3的要求。

第4节 电气贯穿件

10.4.1 贯穿件

10.4.1.1 由耐压壳体外部向内部供电时，馈电电缆应通过耐压壳体上的电气贯穿件进入壳体内。

10.4.1.2 所有电气贯穿件及其配件，应经CCS审查同意。

10.4.1.3 耐压壳体或压力容器上的电气贯穿件，应是气密和/或水密的。在连接电缆损坏时，也应保持其原有的性能。

10.4.1.4 同一组合脐带内的电缆贯穿件应和其他贯穿件分开布置，并应有明显的区别。

10.4.1.5 贯穿件的插座和电缆连接插头应紧固完好，并能承受作用在电缆上的拉力载荷而不致损坏。

10.4.2 试验

10.4.2.1 电气贯穿件均应进行下列规定的各项试验，试验前应提交试验大纲。试验后，应提交全部试验报告。必要时验船师将亲自参加各项试验：

(1) 介电强度试验：对每一导体和屏蔽层之间，各用1000V加上2倍设计电压试验1min。试验应在可遇到的最不利环境条件下进行。

(2) 水静力试验：用1.5倍设计压力进行水压试验，重复6次，其中最后一次应保持20min，试验时不得有任何渗漏。

(3) 气密试验：割断和敞开电缆，用2倍设计压力的空气或1.5倍设计压力的氦气进行气密试验，试验时不得有任何漏气。

(4) 绝缘试验：在设计压力下，以海水为介质测量导线间和各导线对地间以及导线对屏蔽层之间的绝缘电阻，其值不得小于 $5M\Omega$ 。

第11章 通信与航行设备

第1节 通信设备

11.1.1 载人潜水器

11.1.1.1 系缆载人潜水器与水面支持船或海上平台之间，应配备有声通信系统。此外，尚应设有独立于上述正常通信系统的应急通信系统，该系统应由应急电源供电。

11.1.1.2 自由自航载人潜水器应配备无线电通信设备，并能发出遇险呼救频率。

11.1.1.3 自由自航载人潜水器应配备与水面控制站之间的有效双向通信系统(如水声通信)。此外，尚应设有应急通信系统，该系统应由应急电源供电。

11.1.1.4 闸式潜水器如使用混合呼吸气时，应对声通信系统提供校音器。

11.1.1.5 潜水器如有一个以上居住舱室时，应设置舱室间的有线通信系统。

11.1.2 潜水系统

11.1.2.1 潜水系统控制站应与下列适用的处所或人员之间设有直接双向通信系统：

- (1) 水中潜水员；
- (2) 潜水钟；
- (3) 甲板减压舱的每一舱室；
- (4) 吊放系统操作处所和应急控制站；
- (5) 钻井平台的动力定位室；
- (6) 船舶指挥中心、钻台、钻井控制室。

11.1.2.2 潜水系统控制站和甲板减压舱以及潜水钟内的潜水员之间应设置应急通信设施。

11.1.2.3 出潜作业的潜水员与潜水钟或闸室内人员之间应设置通信联系设施。

11.1.2.4 使用氦气的潜水系统的通信设备应装有适用的氦校音器。

第2节 航行设备与定位装置

11.2.1 航行设备

11.2.1.1 载人潜水器应至少配备下列航行设备：

- (1) 二套深度仪，其中至少有一套为压力传感器型的；
- (2) 航向指示仪；
- (3) 速度仪连同测位装置(如时钟)；
- (4) 回声测深仪；
- (5) 姿态指示仪；
- (6) 声呐系统，可探测周围的障碍物。

11.2.1.2 自由自航无人潜水器应至少配备下列航行设备：

- (1) 深度仪；
- (2) 航向指示仪；
- (3) 航速和航程测量装置；
- (4) 姿态指示仪；

11.2.2 定位装置

11.2.2.1 潜水钟应根据A.831(19)决议案修正的IMO《潜水系统安全规则》第2.12.5条(见附录C)设置应急定位装置。

11.2.2.2 系缆载人潜水器应设有应急水下定位装置，使得在应急状态时，便于水面的救援。

11.2.2.3 自由自航潜水器应至少配备两种不同途径的水面定位装置，以便水面控制站对上浮至水面上的潜水器进行准确定位。

11.2.2.4 设有水面控制站的自由自航载人潜水器应配备水下定位装置。

第12章 消 防

第1节 通 则

12.1.1 一般规定

12.1.1.1 潜水系统和潜水器的消防及其设施的设计、制造、安装和试验应符合本章规定。

12.1.1.2 本章未作规定者应符合CCS《钢质海船入级造规范》第6篇和《海上移动平台入级规范》第7篇的有关规定。

12.1.1.3 凡用于潜水系统和潜水器消防的主要材料、设备和装置等均应经CCS认可。

12.1.2 潜水系统控制台上的设备

12.1.2.1 控制台应设有认可型的可携式自给压缩空气呼吸装具。供给该装具的压缩空气储量，应按每分钟消耗60L至少能供应30min计算。

12.1.2.2 控制台应至少设有一只认可型的手提式灭火器。

第2节 防 火

12.2.1 材料和设备的防火要求

12.2.1.1 潜水系统和潜水器所用的材料和设备，包括其内部所采用的涂料和胶合剂等应尽可能是阻火型的，以便使失火危险和着火源减至最小限度。

12.2.1.2 选用的材料和设备的布置应尽可能避免产生静电，并使由于电气故障或不同的材料相组合而产生火花的危险减至最低程度。

12.2.2 结构防火

12.2.2.1 潜水系统和潜水器如安置在母船或海上平台的封闭处所内时，该处所应以A-60级舱壁和甲板与相邻处所或房间分隔。并应设有每小时至少能换气8次的机械通风设备。

12.2.2.2 安置在母船或海上平台上的系缆潜水器的甲板控制室处所应符合《规范》15.2.1.6的规定。除相邻围蔽处所为极少有失火危险或无失火危险处所以外，如空舱、公共卫生间、二氧化碳间和类似处所，控制室与相邻围蔽处所之间的限界面舱壁和甲板应隔热至A-60级标准。

12.2.2.3 潜水器耐压壳体内，用于分隔有人处所和机器处所的舱壁和甲板，应尽可能隔热至A-60级标准。

第3节 灭 火

12.3.1 灭火装置

12.3.1.1 安置潜水系统或潜水器的处所内应设置认可型的手提式灭火器，其中一只应放在该处所的入口处附近。

12.3.1.2 当上述处所为封闭处所时，应设置对水平投影面积供水率为每分钟10L/m²的手动水雾系统，以便在外部失火时，冷却和保护潜水系统和潜水器。当这些装置位于露天甲板上时，母船或海上平台上的消防水带可取代上述水雾系统。

12.3.1.3 甲板减压舱的每一舱室至少应设有一个手动灭火装置，该装置应能对舱室内的任何部位快速而有效地散布灭火剂。

12.3.1.4 灭火剂的容量应能足以扑灭任何可能预见的火灾，舱室内的灭火装置应能在舱室不减压的情况下而重新补充。

12.3.1.5 当甲板减压舱备有加压喷射系统时，应考虑舱内压力对施放灭火剂的影响以及施放灭火剂后引起的舱内压力升高。

12.3.2 灭火剂

12.3.2.1 使用的灭火剂应能在所有压力和气体成分条件下，扑灭各种可能的火灾。

12.3.2.2 应尽可能避免使用有毒或对人体呼吸有害的灭火剂。

第4节 失火报警和探火

12.4.1 一般规定

12.4.1.1 安置潜水系统和潜水器的封闭处所内应设置自动失火报警和探火系统，并应在人员易于到达的适当地方安装一定数量的手动报警按钮。

12.4.1.2 对于可能存在易燃易爆气体和非经常有人监视的潜水舱室，应设置气体检测装置，并通过音响警报把信号传送到控制室。

12.4.1.3 上述报警系统的构造应能显示该系统本身发生的故障，控制室应备有适当的试验和校准设备。

第13章 浮性和稳性

第1节 自由自航潜水器

13.1.1 压载系统

13.1.1.1 自由自航潜水器都应配备压载系统。此系统的功能是实现潜水器的正常上浮和下潜以及必要时兼作纵倾调整。

13.1.1.2 压载水舱的强度应根据该舱的布置和使用情况设计成耐压或非耐压结构。

13.1.1.3 应有两套独立的排除压载水的手段，其中一套应不使用潜水器的正常电源。

13.1.2 深度和姿态控制

13.1.2.1 潜水器应有调整纵倾、补偿载荷变化以及控制水下状态浮力的能力。在任何预期的下潜深度和操作状态下都应具有保持零浮力的能力。

13.1.3 水面稳性

13.1.3.1 潜水器在水面状态时应有足够的干舷。

13.1.3.2 所有潜水器均应至少有一个舱口。在最不利的装载、预定的横倾和海况下，均不应从舱口进水。

13.1.3.3 所有潜水器正浮时，由水线至能够开启的舱口的围壁顶端之间的距离一般应不小于0.75m。

13.1.3.4 潜水器应有足够的完整稳性，除另有规定外，初稳性高度值应不小于0.10m。

13.1.3.5 对载人潜水器，每位乘员的体重应至少假定为75kg，也可根据实际情况增加。重心高度应假设等于：

—— 对于站立的乘员，在甲板面以上1.0m。

—— 对于坐着的乘员，在座位以上0.3m。

13.1.4 水下稳性

13.1.4.1 不论在任何情况下，水下稳性应是正值。

13.1.4.2 在正常装载和压载情况下，浮心在重心以上的高度 GB 值应不小于50mm或按下式计算所得值中的大者。

$$GB = \frac{\omega Nd}{W \text{tg} \theta} \quad \text{mm}$$

式中： ω —— 乘员人均体重；

N —— 乘员总人数的10%，但不小于1；

d —— 乘员在舱内可走动的最大距离，mm；

W ——水下排水量, kg;

θ ——主要设备可运转、电解液不溢漏和人员能保持座位的最大倾角, 一般可取 25° 。

13.1.5 应急上浮

13.1.5.1 除压载系统外, 所有潜水器均应有应急上浮至水面的手段或系统。

13.1.5.2 可采用置于耐压壳体外部的可弃固定压载(重物) 或者附体或两者的组合形式来实现应急上浮。

13.1.5.3 可弃压载的总重量, 应保证当其解抛后, 最大可单独浸水的容积(耐压壳内有人居住的舱室除外)被注满时, 潜水器仍能以不低于正常上升速度上浮。

13.1.5.4 应能在耐压壳内启动可弃压载解抛系统。启动解抛系统应至少有两步可靠的手动操作装置。但如以手动作为后备时, 也允许采用电动、气动或液压操作。

13.1.5.5 也可采用载人耐压壳与潜水器所有其他部分相解脱的方法, 但解脱了的耐压壳应具有正浮力。

13.1.5.6 可弃压载解抛后的潜水器仍应具有正稳性。

13.1.6 稳性试验

13.1.6.1 对建成的潜水器应进行验证水上和水下稳性的倾斜试验, 但同一类型潜水器的后续者除外。

第2节 潜水钟和系缆潜水器

13.2.1 一般规定

13.2.1.1 潜水钟或系缆潜水器应在正常操作或航行的所有状态下以及应急状态时均应有足够的稳性。

13.2.1.2 回收潜水钟或系缆潜水器至少应有1套正常系统和2套独立的应急系统。其中1套应急系统可用正常系统吊索、导索或脐带, 但其驱动源应与正常系统所用的分开。另一套应急系统应与吊索、导索或脐带无关。

13.2.1.3 与吊索、导索或脐带无关的应急系统可采用本身自浮方式或应急解抛压载方式。

依靠自浮应急上浮的潜水钟或系缆潜水器, 在与吊索、脐带和吊放系统解脱后, 应有足够的正浮力。

应急解抛的压载重量, 当其解脱后, 应保证潜水钟或系缆潜水器(包括没有解脱的脐带和绳索)以一定的速度上浮。潜水钟或系缆潜水器应急上浮至水面的时间应不超过应急生命支持系统所能提供的支持时间的一半。

解抛系统应至少有两步可靠的手动操作装置, 但如以手动作为后备时, 也允许采用电动、气动或液压操作。

第3节 ROV和AUV

13.3.1 一般规定

13.3.1.1 ROV和AUV在水下或水面操作时应有足够的稳性，水面状态时，初稳性高度应为正值。稳性分析中应考虑可能的最大负载重量。

13.3.1.2 AUV应具备应急系统上浮系统或采用本身自浮方式。若采用应急上浮系统，则应能在主电源失效的情况下操作。

第14章 吊放系统

第1节 通 则

14.1.1 适用范围

14.1.1.1 本章适用于安置在支持结构，如船舶(母船)、海上平台等上吊放潜水器或潜水钟的吊放系统。

14.1.1.2 吊放系统作业海况等级不能超过蒲氏风级5级。如需在超过蒲氏风级5级海况作业时，将予以特别考虑。

14.1.2 等效

14.1.2.1 CCS承认的有关标准，可考虑作为本章的等效来设计吊放系统，但此标准应考虑到吊放系统每种工况的运行方式所产生的力。

14.1.2.2 CCS承认的有关零部件标准一般均可作为本章的等效。

14.1.2.3 等效于本章要求的替代设施或零部件可同意采用。

14.1.3 定义

14.1.3.1 安全工作负荷(SWL):

(1) 吊放系统的安全工作负荷，是指经正确安装的吊放系统在设计作业工况下证明能吊放的最大静载荷；

(2) 活动零部件的安全工作负荷，是指活动零部件经设计和试验证明能承受的最大载荷。此最大载荷应不小于吊放系统在安全工作负荷下，活动零部件会受到的最大载荷。

14.1.3.2 额定能力：系指在设计条件下，卷筒缠满绳索并以额定速度运行时能起吊的最大载荷。

第2节 设 计

14.2.1 一般规定

14.2.1.1 吊放系统的结构设计应符合本节14.2.2的规定。

14.2.1.2 制造吊放系统结构的材料应符合CCS《材料与焊接规范》第1篇关于船体结构用钢的要求。符合国家标准并与上述规范要求合理等效的钢材亦可同意使用。

14.2.1.3 吊放系统的机电设备和焊接工艺均应分别符合CCS《钢质海船入级规范》第4篇和《材料与焊接规范》第3篇的有关规定。

14.2.1.4 设计吊放系统时，应使其具有下列功能和相应的设备：

(1) 在正常情况下下放潜水器或潜水钟时，应采用绞车传动系统，不应使用机械制动；

(2) 绞车的制动器应能停住绞车额定载荷1.5倍的静载荷；

(3) 当动力供应发生故障时，吊放系统能就地锁紧在原位置上；

(4) 当采用A形等类型的吊架时，如动力系统单独向每一主撑杆供应动力，应考虑当一根主撑杆的动力失效时，吊放系统的结构件能承受该状态下所受到的载荷。对这种类型的吊架亦可采用向两主撑杆同步供应动力，当同步动作失准时，应发出警报并停止操作；

(5) 吊放系统应配备当起升电机停止时能自动起动的机械制动装置；

(6) 吊放系统应有能使潜水钟或潜水器停止在其最高位置和最低位置的装置。

14.2.2 结构

14.2.2.1 吊放系统结构构件可按一般通用的工程设计方法进行设计。

14.2.2.2 吊放系统的设计工况、载荷确定以及安全系数和许用应力等应符合《规范》附录B的规定。

14.2.2.3 结构构件的厚度不得小于6.5mm，且应有良好的防腐措施。

14.2.3 材料

14.2.3.1 吊放系统的结构材料除需满足本节14.2.1.2的规定外，制作主要构件(见14.2.3.2)的材料尚须有良好的冲击韧性。

在设计环境温度等于或低于-10℃区域作业的吊放系统，其主要构件的韧性标准应符合14.2.3.3的规定。如作业区域的设计环境温度高于-10℃，主要构件材料的韧性指标，可根据过去成功的使用经验或作类似于14.2.3.3的适当冲击试验来确定。

14.2.3.2 吊放系统的下列构件属主要构件：

(1) A形吊架、门字架或吊桅、桁弦；

(2) 吊杆、起重臂桁弦；

(3) 绞车和吊架基座；

(4) 承载梁；

(5) 与主要构件相连接的眼板和肘板；

(6) 升降系统机构;

(7) 销和轴。

14.2.3.3 应有可靠的资料和试验数据表明主要构件的材料完全适合于其最低设计温度。如没有充分的资料和数据证明, 则应做材料的冲击试验。试验温度为最低设计温度减10℃, 结果应满足CCS《材料与焊接规范》第3章第2节至第4节中对不同强度等级材料的冲击值要求。

第3节 零部件和绳索

14.3.1 一般规定

14.3.1.1 固定零部件、活动零部件以及钢索和纤维索, 一般均应按CCS承认的标准制造。未按上述标准设计的固定零部件或活动零部件均须经CCS审查同意。

14.3.1.2 所有零部件的安全工作负荷应不小于其所在部位上按本章相应要求的载荷。

14.3.1.3 活动零部件, 如吊钩、吊环、转环和卸扣等均不得使用铸铁或铸钢件。

14.3.2 固定零部件

14.3.2.1 连接起吊滑车、千斤索滑车和稳索用的眼板, 应穿过吊杆的头部, 并应沿眼板的四周焊透。采用其他结构的眼板, 应经CCS同意。

14.3.2.2 吊杆的承座可采用焊接组合件或铸钢件。承座的转轴须装有挡圈并配有贯通的销轴和开口销, 以防止转轴跳出承座。

14.3.2.3 千斤索眼板座架可采用锻造、焊接组合件或铸钢件, 并应设有合适的装置以防止销轴转动或脱出座架。

14.3.2.4 各眼板的布置应尽可能使之在工作中不受横向弯曲力, 眼板或座架的形式应与相连接的部件相配合。眼板设置的部件应具有足够的强度, 必要时应作局部加强。

14.3.3 活动零部件

14.3.3.1 滑车的滑轮与外壳隔板之间应保持较小的间隙, 以免卡住绳索。

14.3.3.2 滑车应具有有效的润滑, 并能在不拆卸情况下对所有轴承和头部吊环加注润滑剂。

14.3.3.3 滑轮或卷筒节圆直径与绳索直径的最小比值需符合表14.3.3.3的规定。

表14.3.3.3

绳索种类	滑轮卷筒类型	最小比值
钢索	负载滑轮	16
	负载起升滑轮	18
	负载起升卷筒	18
	吊杆起升滑轮	15
	吊杆起升卷筒	15
纤维素	各种	8

第4节 试 验

14.4.1 活动零部件试验

14.4.1.1 每个活动零部件均应进行验证试验，验证试验负荷应不小于表14.4.1.1的规定值。验证试验可用试验机或悬重法进行，保持试验负荷的时间应不少于5min。

表14.4.1.1

名称	试验负荷(kN)
单饼滑车	$4 \times \text{SWL}$
多饼滑车： $\text{SWL} \leq 245\text{kN}$ $245\text{kN} < \text{SWL} \leq 1568\text{kN}$ $\text{SWL} > 1568\text{kN}$	$2 \times \text{SWL}$ $0.933 \times \text{SWL} + 265$ $1.1 \times \text{SWL}$
链、吊钩、环、卸扣、转环等 $\text{SWL} \leq 245\text{kN}$ $\text{SWL} > 245\text{kN}$	$2 \times \text{SWL}$ $1.22 \times \text{SWL} + 196$

注：① 单饼滑车，包括有绳眼的单饼滑车的安全工作负荷应取吊环上载荷的一半。

② 多饼滑车的安全工作负荷应取吊环载荷。

14.4.2 绳索的破断试验

14.4.2.1 钢索的破断试验可采用下述两种方法中的一种：

- (1) 从整根钢索上割取试样进行破断试验。试样的试验长度为36倍钢索直径。
- (2) 钢索的破断负荷以单根钢丝的破断拉力总和乘换算系数确定。换算系数可按通用标准选取。

14.4.2.2 纤维素的破断负荷应从整根纤维素上割取试样进行破断试验来确定。试样的试验长度，对天然纤维取1800mm，对人造纤维取900mm。

14.4.3 静载试验

14.4.3.1 组装完成的吊放系统结构部件应进行200%额定能力的静载试验。

14.4.4 功能试验

14.4.4.1 吊放系统建成使用前，应进行1.5倍安全工作负荷的试验，以验证驱动装置、应急吊放装置以及制动装置等的操作可靠性。

14.4.4.2 吊放系统还应在最大速度下放时，用1.1倍安全工作负荷进行制动试验，此种试验应模拟动力故障进行。

14.4.4.3 吊放系统试验后，应进行全面检查，以核查是否有变形和其他缺陷。

第15章 潜水系统和各种类型潜水器的特殊要求

第1节 通 则

15.1.1 一般规定

15.1.1.1 所有潜水系统和各种类型潜水器均须满足《规范》1~14章的适用规定。

15.1.1.2 除15.1.1.1规定外，潜水系统和各种类型潜水器将根据其组成、结构特点、使用要求以及安全要求等分别满足本章以下各节的特殊要求。

第2节 潜水系统

15.2.1 一般规定

15.2.1.1 潜水系统的设计和制造应尽量合理和可行，使任何单一部件的损坏不致造成整个系统处于危险状态。

15.2.1.2 在系统和部件设计中，除了考虑设计参数，例如压力、温度、振动、操作和环境条件外，还应考虑吊放操作不当及意外事故的影响。

15.2.1.3 潜水系统的所有组成部件的设计、建造和布置应能使其便于进行清理、消毒、检查和维修。

15.2.1.4 甲板减压舱和潜水钟的出入舱口的内径应不小于600mm。

15.2.1.5 潜水钟与甲板减压舱对接的锁紧装置应采用机械式锁紧系统。

15.2.1.6 潜水系统不应安置在海上平台的危险区内。如不可避免地要安置在1类或2类危险区内时，应采取必要措施，并经CCS审查同意。

15.2.1.7 甲板减压舱舱室和潜水钟应装设安全阀或超压报警器。如装设安全阀，则在安全阀与舱室之间应安装一手动速闭阀，此阀应以一易断金属丝固定在开启状态，其位置应便于人员操作。

15.2.2 甲板减压舱

15.2.2.1 甲板减压舱应至少有两个舱室或两个连通的独立舱室，其中一个舱室应作为过渡舱。

15.2.2.2 甲板减压舱的舱室中应有一个是生活舱，最小的舱室也应能足够容纳2名人员。

15.2.2.3 生活舱最低净高度不应低于1.8m。对最大工作压力小于 2N/mm^2 的舱室，其最低净高度，经CCS同意，允许适当减少。

15.2.2.4 生活舱和拟作加压用的其他舱室应设有递物筒，当在高压下有人居住时，能通过该筒提供食品、药物和器件。递物筒的设计，应能防止当舱室处在压力状态下，递物筒两端门盖被同时意外地打开，一般应有联锁装置。

15.2.2.5 每一舱室都应设有观察窗，以便从外面观察到舱内所有居住人员的状况。

15.2.3 潜水钟

15.2.3.1 潜水钟应设有适当的保护装置，以防止在吊放操作中受到机械损伤。

15.2.3.2 潜水钟除应有主提升吊环外，还应有一附加的吊放系固点。其设计应足够吊起整个潜水钟的重量，包括压载、设备以及留在钟内的潜水员重量。

15.2.3.3 潜水钟的出入口盖应具有能承受外压力和内压力的密封，且应能从任何一侧开启。

15.2.3.4 每一潜水钟均应设有观察窗，并尽可能使钟内人员能够看到钟外的潜水员。

15.2.3.5 潜水钟的内部空间应足够容纳额定人数的潜水员，连同必要的设备和器件，且能顺利地开关底部出入口盖。

15.2.3.6 对潜水钟易受腐蚀的部位应考虑增加其厚度或根据所用材料的抗腐蚀性能和使用环境条件采取适当的保护措施。

15.2.3.7 潜水钟底部人员出入口的内径应不小于650mm。

15.2.3.8 一般应有钟内潜水员拖拉钟外失去知觉潜水员入钟的设施。

15.2.3.9 钟内的每一潜水员都应有一合适的座位，座位上应有安全带。

第3节 载人潜水器

15.3.1 一般规定

15.3.1.1 应为潜水器的乘员提供一安全和舒适的居住和操作环境。

15.3.1.2 在各种系统的设计中，应尽量避免当某一系统单独损坏时导致乘员处于危险状态。

15.3.1.3 潜水器的总布置应考虑便于接近各种设备系统，以便对其进行安全操作、维修和检验。

15.3.1.4 潜水器的每一舱室均应有一出入舱口，如需使用共用的出入舱口须经CCS同意。

15.3.1.5 舱口盖的关闭机械装置应能确保潜水器在水面状态时舱口盖的密封。

15.3.1.6 闸式潜水器还应符合15.2.2、15.2.3中对甲板减压舱和潜水钟有关规定中的适用规定。

第4节 水下客艇

15.4.1 一般规定

15.4.1.1 如水下客艇没有配备非常可靠的超深控制设备，则其航行区域的海水深度不得大于该艇最大工作深度的110%。

15.4.1.2 水下客艇一般应在限定的航行区域内营运，并有可靠的水面监督和支持。

15.4.1.3 水下客艇建成后，于海上潜水试验之前，应预先在水面作生命支持试验。试验时艇内应载有最大乘员数的人员。在关闭舱口盖的情况下，启动生命支持系统作正常水下持续时间的1.5倍时程的试验。试验时，相隔一定时间测量一次艇内的氧、二氧化碳成分和分压、相对湿度和温度，并作记录。全时程内所测得的各种数据均需满足对生命支持系统的有关规定。

15.4.2 布置

15.4.2.1 应有使旅客不妨碍驾驶员操作的严格措施，并应不使旅客受到伤害。

15.4.2.2 大型水下客艇应至少设有两处出入舱口。应能从艇内和艇外双向操纵舱口盖的开闭。

15.4.2.3 艇内的走廊应有足够宽度，净空的高度应足够人员站立。一般应不低于1.8m。

15.4.2.4 甲板上上下下旅客的通道应有足够宽度，且有护栏等保护设施，确保旅客上、下艇时的安全。

15.4.2.5 水下客艇采用靠岸上、下旅客的方法时，应有可靠的系固设备；当旅客上、下客艇时，客艇不能产生过大的摇晃。

15.4.2.6 水下客艇采用通过母船或其他水上设施上、下旅客时，除应有可靠的系固设备外，还应考虑两者的甲板高度、摇摆周期的差异和波浪作用等因素。

15.4.2.7 水下客艇一般应设有两个吊环，在正常或应急状态时，可通过两个吊环起吊。吊环处的艇体结构应有足够强度，以承受最大载重重量和静、动力作用下的载荷。

15.4.3 浮性和稳性

15.4.3.1 在水下状态时，一般应使艇保持有小量的正常浮力，以便当艇的动力或其他重要系统失灵时，能自浮返至水面。在正浮力下航行时，可用垂直推进器来保持一定的深度。

15.4.3.2 在计算水下客艇稳性时，应考虑甲板上站立着能容纳的最多数量旅客(艇内有旅客或无旅客)时的状态。旅客重心高度应取不小于距甲板面以上1.0m，旅客体重取为75kg。

15.4.4 生命支持系统

15.4.4.1 氧气应贮存在耐压壳外的至少两个单独的瓶内。每一个瓶都应有完全独立的高压管路系统，通过耐压壳接至装在艇体内的独立减压装置上。

15.4.4.2 水下应急支持时间可根据艇的类型(自由自航、系缆等)，环境的安全性以及救助打捞的条件等因素确定，并经CCS同意。

15.4.4.3 氧气供应量按每位旅客每小时30L的消耗率来考虑。

15.4.4.4 应为全体乘员提供应急固定式呼吸系统，并能至少使用30min，旅客应能不离开座位而取戴面罩。如采用开式呼吸系统，应考虑艇内压力升高的问题。不得使用开式的纯氧气呼吸系统。

15.4.4.5 艇内一般应备有足够全体乘员在应急支持时间内用的应急食品和水。

15.4.4.6 应有收集、贮存或排泄产生的废物的装置。该装置的容量应足够容纳正常潜水时间加上应急支持时间内产生的废物。

15.4.4.7 艇内应有“严禁吸烟”的标牌，不能使用火柴和打火机。

15.4.5 航行设备和定位装置

15.4.5.1 水下客艇一般应按第11章11.2.1.1的规定配备航行设备。

15.4.5.2 对具有观察窗或水下电视系统供驾驶员作有效的视力观察航行的水下客艇可免装避碰声呐系统。

15.4.5.3 对限定航区的水下客艇，当有该航区内的准确海深资料时，可免装回声测深仪。

15.4.5.4 水下客艇应有水下应急定位装置。如采用释放系统时，释放装置应为手动或手操作-液压的。浮体的大小和绳索的长度应确保当预期的海流作用在绳索上时不妨碍浮体浮至水面。

15.4.6 救生设备

15.4.6.1 客艇的每一舱室内都应有救生衣，其数量应为舱室内总人数加1。救生衣应为充气型，以便于储存和旅客通过出入舱口。

15.4.6.2 在客艇的登乘处一般应备有适当数量的救生圈。如救生圈放在耐压壳外，它应具有承受最大工作压力的强度。

15.4.6.3 客舱内应备有急救包。

15.4.7 消防

15.4.7.1 每一舱室内都应有适用的灭火设备。可用手提灭火器，但其介质不应处于密闭空间内的人员健康造成危险。CO₂和干粉灭火器一般不适用于水下客艇。

15.4.7.2 每一舱室内应装有能发声的火灾警报器，人员不能接近的舱室应装设自动探火设备。

15.4.8 通信设备

15.4.8.1 水下客艇一般应按第11章11.1.1的规定配备通信设备。

15.4.8.2 对限定在离岸区较近或距水面支持结构较近航区内航行的自由自航水下客艇，可用适用有效的声通信系统(如对讲电话等)替代供水上状态时使用的无线电通信设备。如此类水下客艇的最大工作深度较浅时，亦可用适用有效的无线电或声通信系统代替供水下状态时使用的水声通信系统。

15.4.9 电气装置

15.4.9.1 水下客艇的应急电源应由独立的蓄电池组构成，其容量应足以在应急支持时间内向下列设备供电：

(1) 应急照明；

(2) 应急通信；

(3) 电驱动的生命支持系统；

(4) 艇的深度、混合呼吸气的参数、下潜、上浮和补偿系统的遥控阀的位置、耐压壳漏水、蓄电池放电和探火等的监测和报警电力系统。

15.4.9.2 在航行中释放出爆炸和损及人身健康气体的蓄电池，应安装在水下客艇耐压壳的外面。蓄电池室的设计应使氢气积聚的可能性减为最小。蓄电池应固定安装以防移动。在打开蓄电池室之前，亦应有解除氢气形成的压力的措施，气体应释放至安全处所。

15.4.10 推进系统

15.4.10.1 推进装置和助推器应有足够的功率以满足水下客艇机动性所需的航速。

15.4.10.2 水下客艇使用内燃机时应给予特别考虑。

15.4.11 舱底水系统

15.4.11.1 水下客艇应装设固定的舱底排水系统，以便能排除所有舱室内的积水。如果装有贯穿耐压壳体的舷外排出口时，应在尽可能接近壳体处装设一个截止止回阀并且在泵的排出端装设一个止回阀。

15.4.11.2 应在水下客艇的操纵台装设舱底水报警器，以便探测舱底水水位。

第5节 遥控潜水器

15.5.1 一般规定

15.5.1.1 除《规范》第2章第6节规定中对遥控潜水器适用的送审图纸和资料以外，还需向CCS提供下列图纸和资料供审查：

- (1) 推进、操纵控制原理图和必要的说明；
- (2) 声呐系统图；
- (3) 电子计算机系统的组成框图、功能示意图及其安装位置图；
- (4) 操作手册；
- (5) 维修保养手册。

15.5.1.2 钢质压力容器的设计一般应符合《规范》第4章的适用规定，特殊形状或几何尺寸比例的压力容器以及其他材质的压力容器设计可用通用的工程设计方法。

15.5.1.3 遥控潜水器的机械设备和电气装置可分别按《规范》第9章和第10章适用的规定进行设计和计算，也可采用经CCS同意的其他工程设计方法。

15.5.1.4 在遥控潜水器的各种设备和仪器的周围应留有足够的空间，以便于安装和维修这些设备和仪器。

15.5.1.5 遥控潜水器控制台上应有必要且充分的显示设备，便于对遥控潜水器的操纵和作业进行有效和可靠的控制。

15.5.1.6 遥控潜水器控制室不应安置在海上平台的危险区内。如不可避免地要安置在1类或2类危险区内时，应采取必要措施，并经CCS审查同意。

15.5.1.7 遥控潜水器的稳性应符合《规范》13.2.1的有关规定，但经CCS同意可以不设应急吊放系统。

15.5.1.8 应在CCS验船师在场情况下进行下列试验：

- (1) 压力容器的外压试验，试验压力为最大工作压力的1.25倍；

- (2) 承受内压力的部件的内压试验，试验压力为设计压力的1.5倍；
- (3) 管子的静水压力试验，试验压力为内部工作压力的1.5倍；
- (4) 各种仪表的功能试验；
- (5) 电气设备的绝缘试验；
- (6) 最大工作深度上的系统功能试验。静、动稳性和操纵控制系统的验证。

第6节 常压潜水服

15.6.1 一般规定

15.6.1.1 对常压潜水服的活动关节应进行下列液压试验：

- (1) 在试验压力下，作各活动关节的整套试验；
- (2) 在操作压力下，活动关节在双幅姿态下的运动调节试验。

15.6.1.2 如采用非金属的耐压壳(如缠绕纤维加强的聚合物)，则其结构强度分析应提交CCS审核。选择材料时应考虑失火的危险性。

15.6.1.3 应根据测定的氧分压值，而不是减压估计来运作氧分压调节系统。

15.6.1.4 应配备由人员可打开的应急纯氧闭式呼吸装置(供应时间3h)。

15.6.1.5 热量损失分析应提交CCS审查。

15.6.1.6 应有解救在海底被缠结等事故的措施。

第16章 潜深大于500m的潜水器的补充规定

第1节 结构设计

16.1.1 一般规定

16.1.1.1 本节规定适用于承受外压力的钛合金耐压壳体和诸如载体框架、轻外壳、稳定翼等非耐压结构。本节未规定者应符合《规范》中其他适用要求和/或公认标准。

16.1.1.2 潜水器结构材料的制造、试验和验收应符合本章第3节的规定。

16.1.2 直接计算

16.1.2.1 应采用公认的有限元结构分析程序对耐压壳体(包括加强结构)进行应力和极限承载能力分析(方法分别见附录D和E),但最大工作压力和强度衡准应符合本节规定。

16.1.3 最大工作压力

16.1.3.1 最大工作压力应按照最大工作深度及规定的超深予以确定。超深值由业主/设计者规定,建议不小于50m。

16.1.4 承受外压的耐压壳体的极限承载压力

16.1.4.1 耐压壳体的极限承载压力(压溃压力)应满足下列要求:

(1) 至少应为最大工作压力的1.5倍;

(2) 耐压壳体的极限承载压力应考虑材料非线性、几何非线性和球壳制造偏差等影响因素,通过非线性有限元分析得到;

(3) 在初步设计阶段,球壳的极限承载压力可按下式计算:

$$P_u = (1 - k) \left(\frac{R_m t}{R_i} + \frac{R_m t}{R_{mid}} \right) \quad \text{MPa}$$

式中: P_u ——球壳的极限承载压力, MPa;

t ——球壳厚度, mm;

R_i ——球壳内半径, mm;

R_{mid} ——球壳中面半径, mm;

R_m ——材料抗拉强度, MPa;

k ——制造偏差修正系数,按下式计算:

$$k = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + a_6 x^2 y + a_7 xy^2 + a_8 y^3 + a_9 x^2 y^2 + a_{10} xy^3 + a_{11} y^4 + a_{12} x^2 y^3 + a_{13} xy^4 + a_{14} y^5$$

其中: $x = 346.74 \times (\Delta/R_i - 0.0055)$;

$y = 57.7 \times (t/R_i - 0.0525)$;

Δ ——球壳制造最大允许偏差，mm。

各项系数按下表取值：

$a_0 = 0.1359$	$a_1 = 0.04525$	$a_2 = -0.04942$	$a_3 = 0.001285$	$a_4 = -0.02327$
$a_5 = 0.02278$	$a_6 = -0.0002337$	$a_7 = 0.01138$	$a_8 = -0.01032$	$a_9 = -0.003564$
$a_{10} = -0.001883$	$a_{11} = 0.003514$	$a_{12} = 0.002121$	$a_{13} = -0.000643$	$a_{14} = -0.0006772$

(4) 在初步设计阶段，圆柱形耐压壳体的极限承载压力可按下式计算：

$$P_u = 0.85C_s P_e \quad \text{MPa}$$

式中： C_s ， P_e ——按《规范》4.3.4.1确定。

(5) 在初步设计阶段，封头的极限承载压力可按《规范》4.6.4确定。

16.1.5 耐压壳体的应力衡准

16.1.5.1 计算耐压壳体承受最大工作压力时，要对包括开孔在内的球壳结构进行有限元应力分析，且符合下述衡准：

(1) 远离开孔处耐压壳体的平均膜应力应不超过材料屈服强度的2/3。

(2) 不计局部应力集中的平均膜应力和弯曲应力的组合应力，应不超过材料屈服强度的3/4。

(3) 计及局部应力集中的耐压壳体任一点处的最大峰值应力应不超过材料屈服强度；但如果最大峰值应力是压应力，则最大峰值压应力可允许超过材料拉伸屈服强度，但应不超过材料拉伸极限强度。

16.1.5.2 在初步设计阶段，耐压壳体平均膜应力应按下式进行计算：

(1) 圆柱形耐压壳体

$$\sigma_m = \frac{PR_0^2}{R_0^2 - R_i^2} \left[1 + \left(\frac{R_i}{R_{mid}} \right)^2 \right] \quad \text{MPa}$$

(2) 球形耐压壳体

$$\sigma_m = \frac{PR_0^3}{2(R_0^3 - R_i^3)} \left[2 + \left(\frac{R_i}{R_{mid}} \right)^3 \right] \quad \text{MPa}$$

式中： σ_m ——耐压壳体平均膜应力；

P ——最大工作压力，MPa；

R_0 ——耐压壳体外半径，mm；

R_i ——耐压壳体内半径，mm；

R_{mid} ——耐压壳体中面半径，mm。

16.1.6 耐压壳体的开孔加强

(1) 对耐压壳体的开孔加强应采用直接算法进行校核，应力应符合16.1.5.1的适用衡准。

(2) 载人耐压壳体出入舱口和观察窗的开口加强的方式建议如图16.1.6(2)所示。加强处剖面形状的设计应使力 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 对环剖面形心的力矩尽可能接近零。

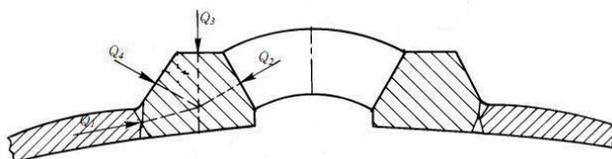


图16.1.6(2)

16.1.7 疲劳强度

16.1.7.1 根据规定的载荷谱(下潜深度频次曲线)、依据目前业界普遍接受的分析方法进行计算，耐压壳体应具有足够的疲劳强度。

16.1.8 非耐压结构

16.1.8.1 载体框架

(1) 载体框架除了为潜水器各系统、设备、管道、浮力块和轻外壳提供支撑外，也是起吊装置的支撑结构。

(2) 应对载体框架在潜水器吊放、回收和放置的工况进行强度校核，并符合《规范》第14章及附录B对载荷和强度衡准的适用规定或公认的标准。

16.1.8.2 轻外壳

(1) 轻外壳系指安装在载体框架上的流线型轻质材料整流罩，如：玻璃纤维增强塑料的整流罩等。

(2) 轻外壳的设计工况包括漂浮、拖航及吊放出入水工况。设计载荷应考虑波浪拍击作用。

16.1.8.3 稳定翼

(1) 稳定翼系指布置在潜水器尾部保障潜水器纵横稳定性的附属件。

(2) 稳定翼的设计工况包括水面和水下工况。设计载荷应考虑流体静、动压力，并计及潜水器运动和波浪拍击的影响。

第2节 浮性和稳性

16.2.1 一般规定

16.2.1.1 潜水器的浮性和稳性应符合第13章对自由自航潜水器的规定。但当如果在水面状态下潜水器的出入舱口始终保持关闭，则可免除《规范》13.1.3.3的要求。在应急情况下必须打开出入舱口舱盖时，应采取有效措施确保海水不会进入舱内。

第3节 钛合金的加工与制造

16.3.1 一般规定

16.3.1.1 本节适用于钛合金作为结构材料的加工、焊接和制造。

16.3.1.2 除本节规定外，还应符合《规范》第7章的适用规定。

16.3.1.3 制造钛合金耐压壳体的材料应用满足CCS《材料与焊接规范》第1篇第9章第3节的相关要求。

16.3.1.4 从事钛合金焊接工作的焊工应参照CCS《材料与焊接规范》第3篇第4章的方法，采用钛合金材料，考核合格并取得相应的资格证书。

16.3.1.5 采用的钛合金焊接工艺应参照CCS《材料与焊接规范》第3篇第3章的方法，对钛合金材料进行焊接工艺评定，并满足16.3.4.2的要求。

16.3.1.6 从事钛合金无损检测的人员应具有与所从事的检测工作相应的无损检测人员资格，并经钛合金无损检测的知识培训。

16.3.2 钛材加工

16.3.2.1 钛材切割加工通常应采用机械加工方式。如采用热加工(如等离子)切割方法时，应预留足够的加工余量。在切割后，应采用机加工方式，将受热影响的部位去除。

16.3.2.2 钛合金加工场所应经常清理，防止切屑等杂物在加工处所积聚。在采用冷/热加工方法对构件进行变形加工前，应对材料的表面和加工工具表面进行清理，并采取适当的措施，防止杂物对加工表面的损坏。

16.3.2.3 当对钛材进行机加工时，应避免产生局部温升过高。建议采用适当的水溶性润滑/冷却剂。氯化的润滑剂不允许用于钛合金的机加工。

16.3.2.4 当采用打磨方式时，应采用清洁的以氧化铝或碳化硅为磨料的打磨工具。并避免打磨工具沾染污物和杂质。

16.3.2.5 当结构件采用温度超过600℃的热加工方法成型时，应采用适当的措施对钛材表面进行防氧化保护。必要时还应考虑留有一定的去除表面氧化层的机加工余量。

16.3.2.6 加工完成后，应对表面进行检查。必要时可采用无损检测的方法对可疑部位进行检查。

16.3.3 热处理

16.3.3.1 在加工过程中或结束后，如有必要，可对钛合金耐压壳体进行退火处理。

16.3.3.2 热处理采用的所有设备和工艺应保证氧、氮、氢、碳对工件的污染程度为最低。

16.3.3.3 钛合金焊接结构通常应进行消除应力退火热处理，重要结构通常进行完全退火热处理。热处理温度可按表16.3.3.3选取。保温时间为材料厚度为25mm时保温60min的基础上，每增加5mm至少再增加10min。

钛合金热处理温度范围 (°C)

表16.3.3.3

牌号	通用合金名	消除应力热处理	完全退火热处理
TA7	Ti-5Al-2.5Sn	540~650	705~845
TA18	Ti-3Al-2.5V	370~595	650~790
TC4	Ti-6Al-4V	480~650	705~870
TC4 ELI	Ti-6Al-4V-ELI	480~650	705~870
TA31	Ti-6Al-3Nb-2Zr-Mo	600~670	750~900

16.3.4 钛合金焊接

16.3.4.1 钛合金焊接以及缺陷修补应符合CCS《材料与焊接规范》第3篇第5章第6节的有关规定。

16.3.4.2 在钛合金容器的焊接制造过程中，应按《规范》第7章第4节要求进行产品常规试验。其各项试验的要求应符合下列规定：

(1) 焊接接头的抗拉强度不应低于母材退火状态的规定抗拉强度；

(2) 弯曲试样经按表16.3.4.2(2)规定直径的压头弯曲180°后，其受拉表面不应有任何方向大于3mm的裂纹：

弯曲试验的压头直径(mm)

表16.3.4.2(2)

材料牌号	TA9、TA9-1	TA2、TA3、TA10	TA7、TA18、TA31	TC4、TC4ELI
压头直径 mm	8t	10t	14t	16t

注：表中t为试样的厚度。

(3) 常温夏比冲击试验的冲击值应予报告。

16.3.5 圆度测量

16.3.5.1 除本节16.3.5.2规定外，压力容器的外形圆度测量应满足《规范》第7章第6节的有关要求。

16.3.5.2 球形压力容器的整体圆度和局部圆度可采用真球仪或其他测量方法进行测量。当采用三点支撑式球面形状测量仪(见图16.3.5.2)进行局部圆度测量时，测量前应对测量装置各支点至圆心位置的距离(即测量半径)进行校准。量具的测量半径r可按下式计算：

$$r = R_0 \sin\left(\frac{360}{\pi} \times \sqrt{\frac{t}{R_0}}\right) \quad \text{mm}$$

式中：R₀ —— 为容器的内半径，mm

t —— 为容器的壁厚，mm

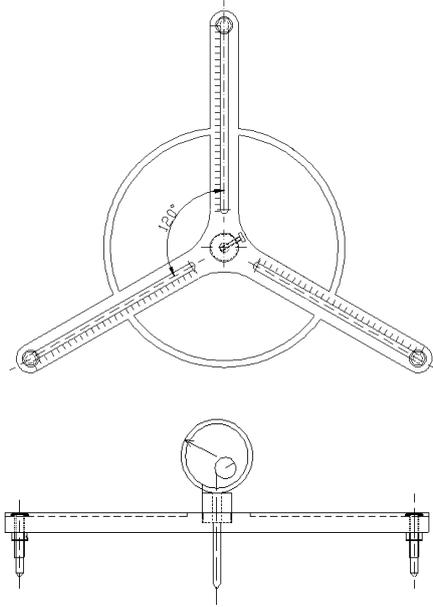


图16.3.5.2 三点支撑式球面形状测量仪

16.3.5.3 圆度测量时，测点的分布应合理密集，以足够精确地反映球体的真球度。

16.3.6 无损检测

16.3.6.1 耐压壳体应按《规范》7.4.3的规定的进行无损检测。

16.3.6.2 在需要对钛合金构件表面进行裂纹检测时，可采用渗透方法。

16.3.6.3 钛合金耐压壳体无损检测的结果应满足JB/T 4730.2、JB/T 4730.3和JB/T 4730.5标准中的I级要求。

附录A 载人潜水器操作维护手册编写要求

A.1 载人潜水器操作维护手册

A.1.1 载人潜水器(以下简称潜水器)上应备有一套经CCS批准的可供所有相关人员随时使用的操作维护手册,作为在正常情况和预料到的紧急情况下对潜水器进行安全操作、定期检查和维护的指南。该手册除了介绍潜水器的总体情况外,还应包括对人员和潜水器安全至关重要的操作程序及指导和限制条件。该手册应简明扼要易懂。每本手册都应有目录表和索引,且可互相参照,能方便查到有关的详细资料。在潜水器上至少保存一份简明的正常和应急操作程序。每次作业和维护的记录应予以保存,并可供所有有关人员随时使用。

A.1.2 手册应包括但不限于下列适合的内容:

- (1) 潜水器的说明和特性;
- (2) 作业检查表,包括每次下潜前《技术状态检查表》和下潜后的《维护记录表》;
- (3) 作业持续时间和作业深度;
- (4) 潜水海域的限制,例如:作业海域水深、最大海流、夜晚/有限能见度作业等的限制及应予避免的危险等;
- (5) 与设计 and 作业条件的独特性有关的专门限制;
- (6) 生命支持系统的说明和操作限制条件;
- (7) 电气系统的说明和操作限制条件;
- (8) 吊放系统的说明和操作限制条件;
- (9) 与母船的联络,包括通信、供给和正常作业期间全面负责的指挥系统;
- (10) 浮态和稳性的说明,包括压载及状态调整;
- (11) 正常下潜和上浮程序的说明;
- (12) 根据风险识别和分析所制订的一整套应急预案和措施。
- (13) 应急救助计划和相应应急生命支持系统的说明;
- (14) 颜色标记的说明;
- (15) 应急情况下可能有用的重要图纸和示意图一览表;
- (16) 维护计划,包括耐压壳体和其他重要部件和设备(例如:观察窗、蓄电池等)的预定使用年限、生命支持、电力、压载和控制等系统再充装的方法,以及重要设备的维修须知。

附录B 吊放系统的设计要求

B.1 定义

B.1.1 质量载荷：不包括在起升载荷中的吊放系统部件的重量。

B.1.2 起升载荷：吊放系统安全负荷和吊放系统运动部件自重之和。这些部件与安全工作负荷直接相连，吊运中，与安全工作负荷作相同的运动。

B.1.3 运载系数：在吊放系统工作时，考虑所有动载效应的一个系数。此系数乘以起升载荷后，代表包括所有动载效应作用于系统上的载荷。

B.1.4 作业系数：考虑吊放系统作业频次和作业状态所给的余度系数。

B.2 载荷和力

B.2.1 根据吊放系统的类型、作业特性，在其作业时应考虑如下几种载荷和力：

- (1) 质量载荷(见B.1.1)；
- (2) 起升载荷(见B.1.2)；
- (3) 吊放系统起重机的各种运动所产生的惯性力(如有时)；
- (4) 由支持结构(如母船或海上平台等)倾斜所产生的力；
- (5) 荷重非垂直吊运时，由荷重摆动所产生的力；
- (6) 风力和环境的影响；
- (7) 通道和平台上的载荷(如有时)。

B.2.2 吊放系统的结构和放置设施对下述状态亦应进行核算：

- (1) 由支持结构运动和倾斜所产生的力；
- (2) 风力和环境影响。

B.3 作业系数和动载系数

B.3.1 作业系数按作业频次和吊运的繁重程度决定，并假定在正常条件下的工作寿命(工作循环次数)不超过 6×10^5 次，起升载荷和质量载荷等均应考虑作业系数的影响。对潜水系统或潜水器吊放系统，比系数一般可取为1.2。

B.3.2 考虑到被起吊的潜水器或潜水钟需穿过空气/水界面这一特殊工况，动载系数一般不应小于1.7。如取更小的值，应提交足够的证明，并经CCS同意。

B.4 支持结构倾斜载荷

B.4.1 设计吊放系统时应考虑其支持结构产生倾斜的影响。如支持结构为船舶，其横倾角和纵倾角可分别取为5°和2°。对安置吊放系统的海上平台等结构，可根据其类型和固定程度取较小的倾角值或没有倾斜。支持结构倾斜时，吊放系统的质量载荷和起升载荷均将产生各向水平分力。

B.5 船舶运动载荷

B.5.1 安置在船舶上的吊放系统，在处于放置状态下，因船舶运动，其放置设施和该处的结构在设计中应考虑承受下列两种情况的组合力：

- (1) 垂直于甲板的加速度为±1.0g；
前后方向平行于甲板的加速度为：±0.5g，
静纵倾30°；
风速55m/s，作用于前后方向。
- (2) 垂直于甲板的加速度为：±1.0g；
横向平行于甲板的加速度为：±0.5g；
静横倾30°；
风速55m/s，作用于横向。

B.6 风载荷

B.6.1 由风速产生的风压 q 按下式计算：

$$q = 0.613V^2 \quad \text{Pa}$$

式中： V ——风速，m/s。吊放系统作业时的风速应取20m/s，放置状态时风速应取55m/s。

B.6.2 作用在起升载荷上的风力，一般按下式计算：

当安全工作负荷 SWL 不超过490kN时：

$$\text{风力} = 37 \times SWL \quad \text{N}$$

当安全工作负荷 SWL 超过490kN时：

$$\text{风力} = 815 \times \sqrt{SWL} \quad \text{N}$$

式中： SWL ——安全工作负荷，kN。

对起升载荷的形状和尺度为特殊者，亦可按其外形和尺度来考虑风的作用力。

B.6.3 作用在吊放系统结构上或单根构件上的风力 F_w 按下式计算：

$$F_w = cqA \quad \text{N}$$

式中： q ——作用风压，Pa；

c ——风力系数，方向与风向同，见表B.6.3和图B.6.3；

A —— 构件的投影面积，方向与风向垂直， m^2 。组合结构的投影面积为结构上每根构件的投影面积之和。

$$\text{空气动力长细度} = \frac{\text{构件的长度}}{\text{截面(垂直于风向)的宽度}} = \frac{l}{b} \text{ 或 } \frac{l}{D}$$

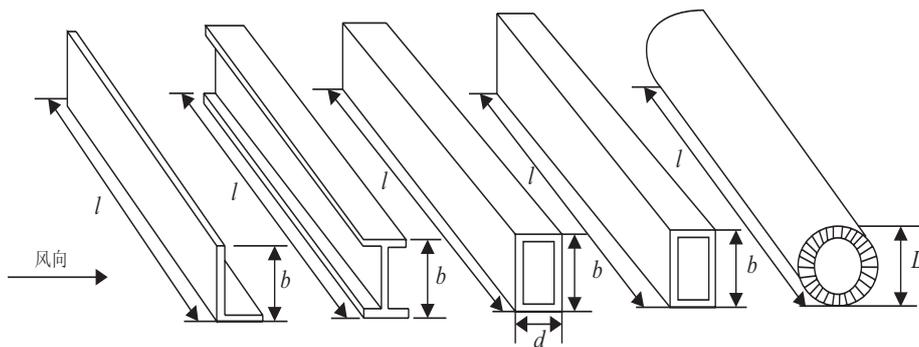
$$\text{截面比(箱形)} = \frac{\text{截面(垂直于风向)的宽度}}{\text{截面(平行于风向)的深度}} = \frac{b}{d}$$

B.6.4 在迎风面后被部分遮挡的构架或构件，其被遮挡部分的风载荷可适当折减。

表B.6.3

类别	说明	空气动力长细度(l/b 或 l/D)						
		5	10	20	30	40	50	
单根构件	型钢、矩形型材、空心型材、板材	1.3	1.35	1.6	1.65	1.7	1.8	
	圆形型材	$DV < 6m^2/s$	0.75	0.80	0.90	0.95	1.0	1.1
		$DV \geq 6m^2/s$	0.60	0.65	0.70	0.70	0.75	0.80
	箱形构件 正方形: $350 \times 350mm^2$ 以上 矩形: $250 \times 450mm^2$ 以上	$b/d \geq 2$	1.55	1.75	1.95	2.1	2.2	—
		$b/d \geq 1$	1.40	1.55	1.75	1.85	1.9	—
$b/d \geq 0.5$		1.0	1.2	1.3	1.35	1.4	—	
$b/d \geq 0.25$		0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	—	
单个构件	平侧面型材	1.7						
	圆形型材	$DV < 6m^2/s$	1.2					
		$DV \geq 6m^2/s$	0.8					
机房等	安装在地面或满实底层上的长方建筑，底部空气不能流通	1.1						

D 为圆形型材直径，m；
 V 为风速，m/s



图B.6.3 空气动力长细度和截面比

B.7 缓冲器和碰撞力

B.7.1 采用行走式起重机的吊放系统，应考虑碰撞缓冲器时作用在吊放系统上的碰撞力。

B.8 载荷工况和载荷组合

B.8.1 吊放系统设计应考虑下述四种工况所产生的载荷组合：

(1) 工况1: 吊放系统工作于无风状态, 应考虑的载荷如下:

- ① 质量载荷+支持结构倾斜(横倾和纵倾)所产生的质量载荷水平分力;
- ② (起升载荷+支持结构倾斜(横倾和纵倾)所产生的起升载荷水平分力)×动载系数
- ③ 其他最不利的水平力(通常由回转加速度产生)。该工况的载荷组合可用下述方式表示:

$$[(1) + (2) + (3)] \times \text{作业系数}$$

(2) 工况2: 吊放系统工作于有风状态, 应取的载荷组合为:

工况1所表示的载荷组合加上最不利的风载荷。

(3) 工况3: 吊放系统处于放置状态, 应取下述各载荷的组合; 支持结构倾斜、支持结构(船舶)运动所产生的力和风的作用力。如有锚定、锁紧和绑扎等情况时, 亦应考虑在内。

(4) 工况4: 吊放系统承受特殊载荷, 这些载荷为:

- ① 碰撞缓冲器的作用力;
- ② 起吊索破断或带平衡重的起重机平衡重突然跌落;
- ③ 吊放系统进行试验时的试验负荷。

B.8.2 对载荷组合中的起升载荷, 尚应考虑起吊时吊索呈偏斜状态的起升工况。对作业于近海敞开水域环境的吊放系统, 由于支持船舶和潜水器运动较大, 所取的偏斜角不应小于 10° , 但对安置在海上平台或专用于吊放潜水钟的吊放系统, 吊索的偏斜角可特别考虑。

B.9 许用应力

B.9.1 强度校核许用应力应按下述规定:

(1) 吊放系统构件在各种工况下的安全系数 n 值见表B.9.1(1), 相对于安全系数的应力许用值 $[\sigma]$ 为:

$$[\sigma] = R_{eH}/n \quad \text{N/mm}^2$$

式中: R_{eH} ——材料的屈服强度, N/mm^2 ,

表B.9.1(1)

工况	1	2	3	4
安全系数 n	1.5	1.33	1.15	1.15

(2) 钢材在弹性应力范围内, 各种应力状态的强度校核许用应力应按表B.9.1(2)选取。

表B.9.1(2)

应力状态	拉伸应力	压缩应力	剪切应力	承压应力	相当应力
许用应力值	1.0[σ]	1.0[σ]	0.58[σ]	1.0[σ]	1.1[σ]

B.9.2 构件许用屈曲应力应符合下述规定:

(1) 单纯受压构件的许用屈曲应力 $[\sigma_{cr}]$ 为:

$$[\sigma_{cr}] = \sigma_{cr} / n \quad \text{N/mm}^2$$

式中: σ_{cr} —— 临界屈曲应力, N/mm²;

n —— 安全系数, 见表B.9.1(1)。

构件的临界屈曲应力可采用下式计算:

$$\sigma_{cr} = \begin{cases} \sigma_E & \sigma_E \leq R_{eH} / 2 \\ R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_E}\right) & \sigma_E > R_{eH} / 2 \end{cases} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: σ_E —— 理想弹性屈曲应力, N/mm²;

R_{eH} —— 材料的屈服强度, N/mm²。

(2) 同时承受轴向压力和弯矩作用的构件, 应按下列应力衡准校核稳定性:

$$\frac{\sigma_m}{R_{eH}} + \frac{\sigma_c}{\sigma_{cr}} \leq \frac{1}{n}$$

式中: σ_m —— 构件承受的弯曲应力, N/mm²;

σ_c —— 构件承受的压应力, N/mm²;

R_{eH} 、 σ_{cr} 、 n 同上(1)。

B.10 安全系数

B.10.1 吊索的安全系数根据其材质和吊放的潜水装置类型按表B.10.1确定。

表B.10.1

	载人潜水器或潜水钟	无人潜水器
钢索	8	7

B.10.2 吊索的最小破断负荷 Q_b 应按下式算得:

$$Q_b = nW \quad \text{N}$$

式中: n —— 吊索安全系数(见表B.10.1);

W —— 吊索上的安全工作负荷, 包括吊索通过滑轮的摩擦力, N。

B.11 制动安全系数

B.11.1 吊放系统各机构制动器的制动安全系数系指制动力矩与换算到制动器轴上可能产生的最大静力矩(包括风和支持结构倾斜载荷所产生的力矩)之比。吊放、变幅机构制动器的制动安全系数应符合表B.11.1的规定。

表B.11.1

机构名称	制动安全系数
吊放机构	≥ 1.5
变幅机构	≥ 1.5

附录C 潜水钟应急定位装置(IMO)

C.1 一般要求

C.1.1 IMO Res.A.831(19)通过的IM0《潜水系统安全规则》的修正，第2.12.5条对潜水钟应急定位装置提出要求。

C.1.2 潜水钟应配备应急定位装置，其频率为37.5kHz，以便当通到水面的脐带被割断时，用来协助水面人员和沉入水下的潜水钟取得并保持联系。该装置应包括下列设备：

C.2 发射——应答器

C.2.1 发射——应答器应有至少能在200m深度工作的耐压外壳，其中装有电池并应配有海水启动触点。电池应采用快速适用的“碱性”电池；如可能，这种电池应能与潜水员和水面询问接收机的电池互换。

C.2.2 发射——应答器应有下列操作参数：

通用应急应答频率	37.5kHz
专用询问频率：	
A频道	38.5±0.05kHz
B频道	39.5±0.05kHz
接收机灵敏度	+15dB相对于1μbar
最小询问脉冲宽度	4ms
往返滞后时间	125.7±0.2ms
应答频率	37.5±0.05kHz
最大询问频率：	
持有20%以上电池寿命时	每秒1次
持有小于20%电池寿命时	2秒1次
最小发射应答器功率	85dB相对于1μbar(在1m处)
发射器最小极线圈	-6dB于±135°立体角(对发射——应答器垂直轴并向水面传送)
水中最小收听时间	10星期
以85dB应答的电池最小寿命	5天

C.3 潜水员自携询问——接收器

C.3.1 询问——接收器应配有至少能在200m水深工作的耐压外壳，并有手枪式握把和指南针。前端应装有定向水听器天线阵，后端装有以m标定的数字显示的三位数电子显示器(LED)。应采用“开/关接收增益”和“频道选择”进行控制。电池应采用快速适用的“碱性”电池；如可能，应能与询问器和发射——应答器的电池互换。

C.3.2 询问——接收器应具有下列操作参数：

通用应急应答频率	37.5kHz
专用询问频率:	
A频道	38.5kHz
B频道	39.5kHz
最小传送输出功率	85dB相对于1μbar(在1m处)
传送脉冲	4ms
定向性	±15°
发射——应答器零范围能力	
最大探测范围	大于500m

除上述通信系统之外，在钟内潜水员与援救潜水员之间应采用下列标准的潜水钟应急通信敲击码。此码的复制件应显示在钟内和钟外以及潜水控制室内。

潜水钟应急通信敲击码

敲击码	情况
3.3.3	通信开始(钟内和钟外)
1	是或肯定或同意
3	不或拒绝或不同意
2.2	请重复
2	停止
5	你是否作好密封?
6	作好拖拉的准备
1.2.1.2	准备通过水界面(打开你的出入舱口盖)
2.3.2.3	不得解脱你的压载物
4.4	在30min内解脱你的压载物
1.2.3	增高你的压力
3.3.3	通信结束(在钟内和钟外)

附录D 耐压壳体应力有限元分析方法

D.1 一般规定

D.1.1 适用范围

D.1.1.1 本附录适用于第16章要求的潜深大于500m的潜水器耐压壳体应力有限元分析计算。

D.1.1.2 本附录适用于圆柱和球形耐压壳体的有限元分析计算。

D.1.1.3 本附录不计及材料的塑性影响，但对于有观察窗的载人耐压球壳计及接触影响。

D.2 单元选择和网格划分

D.2.1 模型范围

D.2.1.1 有限元模型范围一般取耐压壳体整体结构和贯穿件锻件开孔的加强围壁。对于载人耐压壳体，还应包括出入舱口加强围壁和观察窗基座。

D.2.2 单元类型

D.2.2.1 有限元计算分析时应采用多节点的高精度单元对结构进行模拟。

D.2.2.2 耐压壳体应力分析模型一般选用6面体单元或4边形壳单元。

D.2.3 网格划分

D.2.3.1 应尽量按实际情况对耐压壳体的几何特性进行模拟。在载荷传递节点和开口处网格划分要尽可能良好，网格细密程度应能体现结构突变区域的应力变化情况。

D.2.3.2 为了能够体现沿耐压壳体厚度方向的应力变化情况，耐压壳体沿厚度方向应至少保证2层网格。

D.2.3.3 一般情况下，球壳最大周向处(圆柱壳最大半径的周向处)划分40-50个网格。

D.3 载荷工况

D.3.1 一般要求

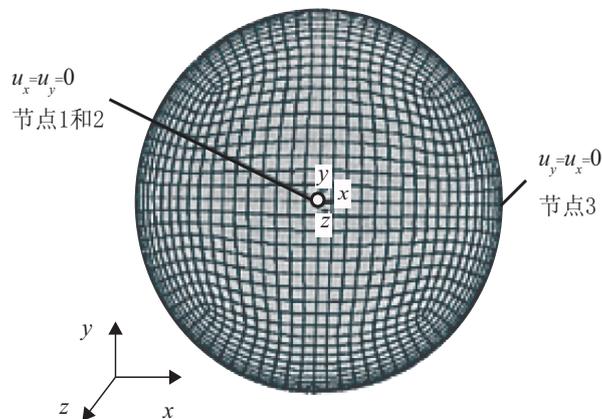
D.3.1.1 耐压壳体的应力分析时所施加的载荷取最大工作压力。

D.3.1.2 出入舱口和观察窗加强围壁锥面上的压力可通过舱口盖和窗玻璃的力平衡换算得到，即锥面上均布压力的合力应和舱口盖或观察窗实际承受压力的合力大小相等，方向相反。

D.4 边界条件

D.4.1 完整结构

当对耐压壳体整体进行分析时，壳体需3点支持，约束6个位移分量，边界条件对称设置，这样既可以消除整个刚体位移又不妨碍相对变形，即在壳体位于x和z坐标轴的位置上(相隔90°)取三个节点：在z坐标轴上的节点1和2，其 $u_x = u_y = 0$ ；在x坐标轴上的节点3，其 $u_y = u_z = 0$ (圆柱壳取柱壳中点)。有限元模型边界条件见图D.4.1。由于节点1和节点2对称于原点，故在图中是重合的。如有限元程序具备自动刚体位移约束功能可不施加刚体位移约束，但需确保耐压壳体整体外载荷平衡。



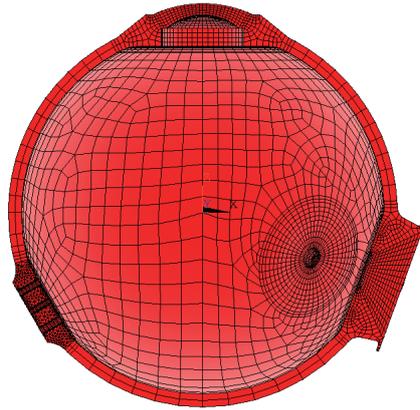
图D.4.1 耐压壳体模型的边界条件

D.4.2 具有舱口盖和观察窗的耐压壳体

D.4.2.1 边界条件的设定应能消除刚体位移。

D.4.2.2 当舱口盖和窗玻璃不包含在有限元模型中时，相关加强围壁锥面上的压力根据D.3.1.2施加；当舱口盖和窗玻璃包含在有限元模型中时，通过定义接触来实现接触压力和摩擦力的传递。

D.4.2.3 定义接触时，舱口盖和出入舱口围壁、窗玻璃和窗基座的摩擦系数根据摩擦试验确定。初步设计阶段可分别取0.35和0.25。



图D.4.2.2 有接触模型的单元划分

D.5 结果验证

D.5.1 计算应力应增加2%~5%后进行校核，以消除数值误差等因素的影响。

D.5.2 应力分析衡准应符合16.1.5.1的要求。

D.5.3 耐压壳体的开孔处、主球壳与各加强围壁过渡处、相互靠近的加强围壁之间的区域易发生应力集中，为典型的校核位置。

附录E 耐压壳体极限承载力有限元分析方法

E.1 一般规定

E.1.1 适用范围

E.1.1.1 本附录适用于第16章要求的潜深大于500m的潜水器耐压壳体非线性有限元计算。

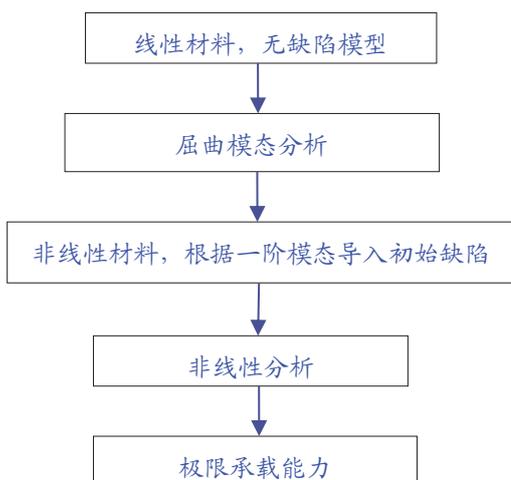
E.1.1.2 本附录描述了潜水器圆柱形和球形耐压壳体非线性有限元分析的计算流程。

E.1.1.3 本附录适用于同时计及几何非线性和材料非线性影响的非线性方法。

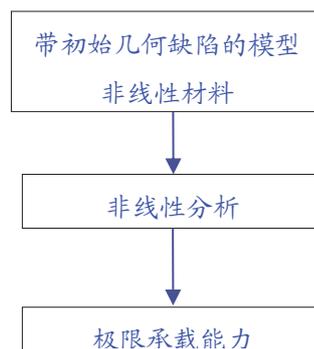
E.2 耐压壳极限强度非线性分析方法

E.2.1 非线性分析流程

E.2.1.1 潜深大于500m潜水器耐压壳体非线性分析一般基于两种缺陷分析方法。一种是基于屈曲模态的几何初始缺陷分析方法(流程 I)，另一种是基于物理几何初始缺陷分析方法(流程 II)。



图E.2.1.1(1) 流程I



图E.2.1.1(2) 流程II

E.2.2 非线性因素

E.2.2.1 对于潜深大于500m潜水器，主要的非线性因素考虑材料非线性和几何非线性影响两种因素。

E.2.2.2 在非线性分析中应计及材料的非线性影响，使用包括应变硬化影响的双线性材料模型进行分析。

E.2.3 几何非线性

E.2.3.1 几何非线性主要包括结构几何初始缺陷和结构大变形影响。

E.2.3.2 几何初始缺陷处理

(1) 基于屈曲模态的几何初始缺陷分析方法即流程 I，首先对无缺陷结构进行模态分析，得出屈曲模态，通过转换得到初始几何缺陷，然后进行非线性有限元分析。其中，对于球形结构，屈曲模态取1阶；对于圆柱形结构，屈曲模态选择1-6阶，取对结构最不利所在阶的屈曲模态。

(2) 基于物理几何初始缺陷分析方法即流程 II，是在建模过程中将实际(或虚拟的)缺陷“预埋”在模型中，然后直接进行非线性有限元计算。其中，对于球形结构，缺陷可预埋在任意部位；对于圆柱形结构，缺陷预埋在柱壳段中间位置。

E.2.3.3 缺陷容差

几何初始缺陷包括整体圆度容差和局部圆度容差。缺陷容差应满足《规范》7.6.2和7.6.3的要求。

E.3 单元选择和网格划分

E.3.1 模型范围

E.3.1.1 有限元模型范围一般取耐压壳体整体结构进行分析。

E.3.2 单元类型

E.3.2.1 在有限元分析计算时采用多节点的高精度单元模拟结构。耐压壳体模型一般选用6面体单元或4边形壳单元。

E.3.3 网格划分

E.3.3.1 网格应充分细密以描述结构局部变形和屈曲发展期间的应力分布。

E.3.3.2 为了能够体现出沿耐压壳体厚度方向的非线性关系，耐压壳体沿厚度方向至少保证2层网格单元。

E.3.3.3 一般情况下，球壳最大周向处(圆柱壳最大半径的周向处)划分40-50个网格

E.3.3.4 当耐压壳体厚度和半径之比变化时，需要调整周向网格个数使非线性求解收敛。

E.4 载荷工况

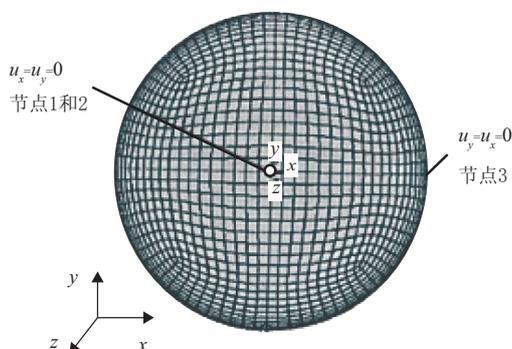
E.4.1 一般要求

E.4.1.1 耐压壳体的极限承载压力至少应为最大工作压力的1.5倍。

E.5 边界条件

E.5.1 一般要求

E.5.1.1 当对耐压壳体整体进行分析时，壳体需3点支持，约束6个位移分量，边界条件对称设置，这样既可以消除整个刚体位移又不妨碍相对变形，即在壳体位于 x 和 z 坐标轴的位置上(相隔 90°)取三个节点：在 z 坐标轴上的节点1和2，其 $u_x = u_y = 0$ ；在 x 坐标轴上的节点3，其 $u_y = u_z = 0$ (圆柱壳取柱壳中点)。有限元模型边界条件见图E.5.1.1。由于节点1和节点2对称于原点，故在图中是重合的。



图E.5.1.1 耐压壳体模型的边界条件

E.6 增量和求解运算

E.6.1 增量求解方法

E.6.1.1 非线性分析中应使用弧长法进行增量求解。可设置几个步长增量历程，如在屈服强度之前设置比较大的步长，在接近屈服点处设置小的步长，以搜寻出耐压壳体的极限能力。增量求解运算也可使用其他等效方法，如牛顿拉普森法。

E.7 结果验证

E.7.1 载荷-端缩曲线

E.7.1.1 应仔细观察载荷与总体位移参数的载荷-端缩曲线(LS曲线)，以判断耐压壳的计算响应是否稳定收敛。E.7.1.2给出了进一步的描述。

E.7.1.2 图E.7.1.2中，3个载荷-端缩曲线所示为针对具有不同缺陷的耐压壳体分析。可以看到，菱形标记和十字标记曲线光滑和连续，表示一个稳定的屈曲行为。但方块标记曲线却没有达到一个最大值而止停了，该现象为十分普遍的非稳定现象，表明虽然该耐压壳体可能有能力再承受更多的载荷，但不能取用该值作为能力的预估值。

E.7.1.3 为确保用于计算中的缺陷是合理的，缺陷模式图形应包含在计算文件中。

E.7.2 耐压壳垮塌前后应力和变形情况

E.7.2.1 为了能够更好地观察和评估耐压壳垮塌前后的应力变化情况和结果的正确性，应对耐压壳达到屈服限、极限强度以及耐压壳垮塌之时结构的应力变化和变形大小情况予以记录，并包含在提交的计算报告中。

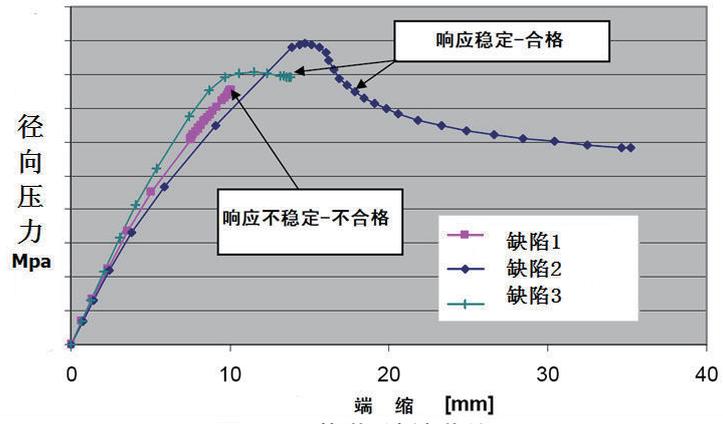


图7.1.2 载荷-端缩曲线