

中华人民共和国化工行业标准



HG/T 20643—2012

代替 HG/T 20643—1998

化工设备基础设计规定

Specification for design of equipment foundations in chemical industry

2012-05-24 发布

2012-11-01 实施



中华人民共和国工业和信息化部 发布

中华人民共和国化工行业标准

化工设备基础设计规定

Specification for design of equipment foundations in chemical industry

HG/T 20643—2012

主编单位：中国寰球工程公司

湖南化工医药设计院

批准部门：中华人民共和国工业和信息化部

实施日期：2012年11月1日

中国计划出版社

2012 北 京

中华人民共和国工业和信息化部

公 告

2012 年 第 20 号

工业和信息化部批准《无气喷涂机》等 464 项行业标准(标准编号、名称、主要内容及起始实施日期见附件 1),其中:机械行业标准 170 项、轻工行业标准 105 项、纺织行业标准 47 项、冶金行业标准 23 项、有色行业标准 30 项、化工行业标准 38 项、石化行业标准 5 项、建材行业标准 2 项、制药装备行业标准 13 项、包装行业标准 1 项、黄金行业标准 2 项、船舶行业标准 6 项、民爆行业标准 13 项、电子行业标准 4 项、通信行业标准 5 项;批准《变形铝合金 3003 光谱标准样品》等 6 项有色行业标准样品(标准样品目录、成分含量见附件 2);批准 JB/T 3300—2010《平衡重式叉车 整机试验方法》1 项机械行业标准修改单(见附件 3),现予以公告。以上 6 项有色行业标准样品及 1 项机械行业标准修改单自公布之日起实施。

以上机械行业标准由机械工业出版社出版,纺织、有色、黄金行业标准由中国标准出版社出版,轻工行业标准由中国轻工业出版社出版,冶金行业标准由冶金工业出版社出版,化工行业产品标准由化工出版社出版,石化行业标准由中国石化出版社出版,建材行业标准由建材工业出版社出版,化工行业工程建设标准、包装行业标准及制药装备行业标准由中国计划出版社出版,船舶行业标准由中国船舶工业综合技术经济研究院组织出版,民爆行业标准由中国兵器标准化所组

织出版,电子行业标准由工业和信息化部电子工业标准化研究院组织出版,通信行业标准由人民邮电出版社出版。

附件:6项化工行业标准编号、标准名称及起始实施日期。

中华人民共和国工业和信息化部

二〇一二年五月二十四日

附件:

6 项化工行业标准编号、标准名称及起始实施日期

序号	标准编号	标 准 名 称	被代替标准编号	起始实施日期
408	HG/T 20684—2012	化学工业炉金属材料设计选用规定	HG/T 20684—1990	2012-11-01
409	HG/T 20643—2012	化工设备基础设计规定	HG/T 20643—1998	2012-11-01
410	HG/T 20588—2012	化工建筑、结构施工图内容、深度统一规定	HG/T 20588—1996	2012-11-01
411	HG/T 21608—2012	液体装卸臂工程技术要求	HG/T 21608—1996	2012-11-01
412	HG/T 21581—2012	自控安装图册	HG/T 21581—1995	2012-11-01
413	HG/T 20573—2012	分散型控制系统工程设计规范	HG/T 20573—1995	2012-11-01

前 言

本标准根据国家发展和改革委员会(发改办工业[2008]1242号文)和中国石油和化学工业协会(中石化协质发[2008]158号文)的要求,由中国石油和化工勘察设计协会委托全国化工建筑设计技术中心站组织中国寰球工程公司和湖南化工医药设计院等单位修订。

本标准自实施之日起代替原标准《化工设备基础设计规定》HG/T 20643—1998。

本标准在编制过程中,修编组进行了广泛的调查研究、收集资料,开展了专题研讨,总结了近年我国化工工程建设的实践经验,与国内相关规范进行了协调,并借鉴了有关国际工程公司的标准。在此基础上广泛征求有关单位的意见,经反复讨论修改,最后经审查定稿。

本标准共分10章和4个附录。主要内容包括:总则、术语、基本规定、机泵类设备基础、气柜基础、钢制低温储罐基础、球罐基础、换热器基础、工业炉基础、冷箱基础等。

本标准与原标准《化工设备基础设计规定》HG/T 20643—1998相比,主要变化如下:

1. 取消了原“钢制立式圆筒形储罐基础”一章,因已有现行国家标准《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473—2008。
2. 新增“钢制低温储罐基础”一章,因现行国家标准《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473—2008不适用于储存低温介质储罐地基基础设计,故而新增此章以填补空白。
3. 各章修订中充实了内容,参考国外工程公司标准和国内工程建设的经验,与现行国家标准进行了接轨,使标准更具先进性和可操作性。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出并归口。

本标准的技术内容由中国寰球工程公司(地址:北京樱花园东街7号,邮编:100029)和湖南化工医药设计院(地址:湖南省长沙市韶山中路398号,邮编:410007)负责解释。

本标准在执行过程中,请各单位结合工程实际总结经验。对本标准的意见或建议,请寄送中国寰球工程公司和湖南化工医药设计院。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人员和主要审查人员:

主 编 单 位:中国寰球工程公司

湖南化工医药设计院

参 编 单 位:中国天辰工程有限公司

华陆工程科技有限责任公司

中石化南京工程有限公司

中国成达工程有限公司

无锡恒禾工程设计有限公司

中国五环工程有限公司

主要起草人员:杨文君 朱渥恩 彭小洁 李艳霞 柳景虹 胡现兵 邹小松 方锦平

易宝生 邱道军

主要审查人员:李茂勋 赵冬梅 章 健 刘建新 贾桂敬 郝 衫 张维秀 孙亚非

目 次

1 总 则	(1)
2 术 语	(2)
3 基本规定	(3)
4 机泵类设备基础	(6)
5 气柜基础	(8)
6 钢制低温储罐基础	(14)
7 球罐基础	(17)
8 换热器基础	(21)
9 工业炉基础	(24)
10 冷箱基础	(26)
附录 A 地基均匀压缩刚度系数	(29)
附录 B 球罐基础顶面荷载计算	(30)
附录 C 偏心荷载作用下圆环形基础底面应力及作用面积计算	(34)
附录 D 冷箱基础热工计算	(37)
本标准用词说明	(39)
引用标准名录	(40)
附:条文说明	(41)

Contents

1	General	(1)
2	Terms	(2)
3	Basic requirements	(3)
4	Machine and pump equipment foundations	(6)
5	Gas holder foundations	(8)
6	Low temperature steel tank foundations	(14)
7	Spherical tank foundations	(17)
8	Heat exchanger foundations	(21)
9	Industrial furnace foundations	(24)
10	Cold box foundations	(36)
Appendix A	Stiffness coefficient of even compression of subgrade	(29)
Appendix B	Calculation for the load in the top of spherical tank foundations	(30)
Appendix C	Calculation of beneath stress and bearing area of ring foundation bearing eccentric load	(34)
Appendix D	Thermodynamic calculation of cold box foundation	(37)
	Explanation of wording in this standard	(39)
	Normative standard	(40)
	Addition: Explanation of provisions	(41)

1 总 则

1.0.1 为了在化工设备基础设计中贯彻执行国家的技术经济政策,做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于化工、石油化工及有关装置中各类常用设备基础的设计,不包括楼层上的设备基础。钢制储罐、塔型设备、活塞式及离心式压缩机等设备基础的设计见专门规定。

1.0.3 本标准中各类设备基础的设计,应根据设备和地基的特性,选择合理的地基方案和基础型式,确保地基和基础的承载力、变形和稳定性符合规范规定,以满足施工、生产和检修要求。

1.0.4 设计各类设备基础时,除应遵守本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。对于湿陷性黄土、多年冻土、膨胀土、地下采空区、腐蚀性地基土、液化土层等地基的处理及基础设计,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 基组 foundation group

基础和基础上的设备、基础底板上的填土的总称。

2.0.2 物料重 weight of matter

设备和管道内固态、液态、气态介质的总重量。

2.0.3 换热器胀缩摩擦力 P_t friction of expansion of heat exchanger

换热器正常操作时,由于温度变化产生的、作用于基础滑动墩顶部支座处的摩擦力。

2.0.4 抽芯力 P_b bundle Pull load

换热器停产检修时,抽拉管束产生的水平拉力,作用于抽拉管束的中心线。

3 基本规定

3.0.1 本标准所列设备基础的安全等级宜取二级,500kW 以下的机泵类设备基础的安全等级可取三级。

设备基础抗震设防标准应按有关化学工业建(构)筑物抗震设防现行国家标准和《石油化工建(构)筑物抗震设防分类标准》GB 50453 确定。

3.0.2 设备基础宜采用现浇的素混凝土或钢筋混凝土结构。素混凝土强度等级不得低于 C20;钢筋混凝土的混凝土强度等级不宜低于 C25;基础垫层的混凝土强度等级不应低于 C10。

普通纵向受力钢筋宜采用 HPB300 级、HRB335 级、HRB400 级钢筋;箍筋及构造钢筋宜采用 HPB235 级、HPB300 级、HRB335 级钢筋。

3.0.3 基础顶面的二次灌浆层的厚度宜为 30mm~50mm,或遵照设备制造厂的条件要求。基础螺栓预留孔内和基础顶面二次灌浆材料宜采用微膨胀或无收缩灌浆料,或采用强度等级高于基础本体一级的细石混凝土。当二次灌浆层的厚度小于 30mm 时,可采用 1:2 水泥砂浆。细石混凝土和水泥砂浆均要用微膨胀水泥配制或添加微膨胀剂。

3.0.4 室外设备基础顶面高出地面不宜小于 200mm,室内设备基础顶面高出地面不应小于 100mm。设备基础埋深不应小于 0.6m。

3.0.5 地基处理应根据设备特性、功率及重要程度采取经济、合理的方案,基础沉降及倾斜率应满足表 3.0.5 的要求。

表 3.0.5 设备基础的地基变形允许值

设备基础类别			变形允许值		
			中心沉降量(mm)		倾斜
			常压装置	高压装置	
压缩机基础	透平式压缩机（功率小于或等于 500kW）		60	60	0.001
	活塞式压缩机（功率小于或等于 500kW）				0.002
泵类基础	离 心 泵		100		0.002
	活 塞 泵	功率大于或等于 500kW	100~200	50~100	0.002
		功率小于或等于 500kW	100~200		0.002
钢制低温储罐	储罐及沿储罐周边		—		0.002
	储罐底板沿从储罐边缘到中心半径线方向				0.0033
气 柜			200~300		0.002
球 罐			100	50	0.002

续表 3.0.5

设备基础类别		变形允许值		
		中心沉降量(mm)		倾斜
		常压装置	高压装置	
换热器基础		100~200	100	0.003
工业炉基础	重 要	50~100	—	0.002
	一 般	100~200	—	0.003
冷 箱		100	—	0.003

3.0.6 基础中钢筋的混凝土保护层最小厚度宜取 50mm。

3.0.7 基础地脚螺栓的材质除特殊要求外,应采用未经冷加工的 Q235 钢或 Q345 钢,并按设备要求设置。

3.0.8 当地脚螺栓为埋入式时,其中心线至基础边缘距离不应小于 $4d$,且不应小于 100mm(当 $d > 20\text{mm}$ 时不应小于 150mm)和不少于锚板宽度之半加 50mm。地脚螺栓底面下混凝土净厚度不应小于 50mm(见图 3.0.8)。

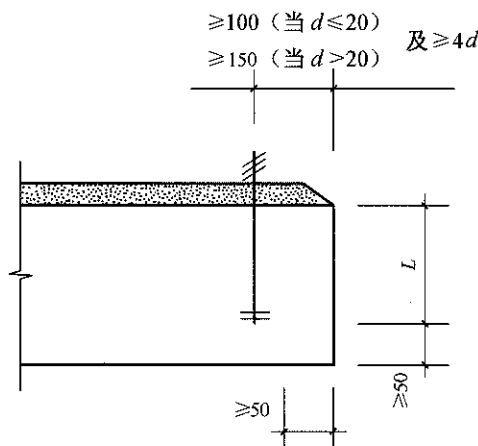


图 3.0.8 预埋地脚螺栓构造

3.0.9 当地脚螺栓采用预留孔埋置时,预留孔边至基础边缘距离不应小于 100mm,预留孔底至基础底面的距离不应小于 100mm。当孔边距不满足要求时,素混凝土基础宜在孔侧或孔底配置直径为 6mm~8mm,间距为 100mm~150mm 的钢筋网。地脚螺栓底端至预留孔底的距离不得小于 50mm(见图 3.0.9)。

3.0.10 对承受动力荷载和位于地震区的设备基础,地脚螺栓应采用双螺帽。

3.0.11 设备基础不宜设置温度缝。当矩形(圆型)基础底板边长(直径)超过 30m、环形基础周长超过 40m 时,宜预留后浇带。当基础带有支柱时,后浇带应设在支柱之间。后浇带宽度宜为 800mm~1000mm,配筋为原断面配筋的 1.2 倍,待基础浇筑 28 天后采用较基础本体混凝土强度等级高一级的无收缩混凝土浇筑。若采用在混凝土中掺加膨胀剂等可靠措施后,设置后浇带界限可适当放宽。

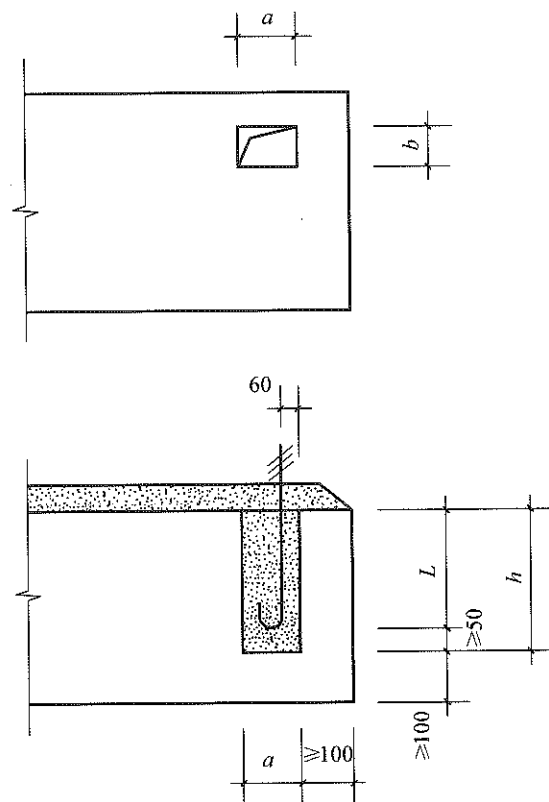


图 3.0.9 地脚螺栓预留孔构造

3.0.12 重要的大型气柜、钢制低温储罐、球罐、工业炉、冷箱等基础,应结合工艺要求在基础上设置沉降观测点并在施工、生产过程中,按以下几个阶段进行观测,当有专门规定时,尚应遵守有关规范。

- 1 设备基础施工完毕后,观测一次。
- 2 设备安装完毕后,观测一次。
- 3 充水预压(充水试压)后或试运转期间,观测一次。
- 4 投产运行后,每半年观测一次。

3.0.13 建在冻土地区的室外设备基础应防止地脚螺栓预留孔内积水。

3.0.14 设备基础应根据腐蚀性介质的情况和操作、检修等要求,按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 采取相应的防腐蚀和排污措施。

3.0.15 设备基础施工前,应将设计图纸与到货设备核对,符合一致后方可施工。

3.0.16 基础的混凝土宜一次浇筑完毕,不留施工缝。当施工要求必须留施工缝时,应在受力较小部位设置并严格遵守施工缝的构造、施工要求。当混凝土强度达到 70% 以上时,方可安装设备。基础四周的回填土应均衡分层回填夯实,压实系数不宜小于 0.92。

3.0.17 基础外露表面可用 1:2 水泥砂浆抹平。

4 机泵类设备基础

4.0.1 本章适用于可不作动力计算的各类工业泵、鼓风机、透平压缩机和活塞式压缩机等各类容积式压缩机的大块式基础的设计。

不作动力计算的条件为：

- 1 功率小于 500kW 的对称平衡型活塞式压缩机。
- 2 功率小于 80kW 的卧式、L 型、角度式活塞压缩机(立式压缩机除外)。
- 3 功率小于 500kW、除活塞式压缩机以外的容积式压缩机。
- 4 功率小于 500kW 的各类工业泵、鼓风机和透平压缩机。

4.0.2 设计机泵类设备基础时,应取得下列资料：

- 1 机泵类设备的型号、转速、功率、规格及轮廓尺寸图等。
- 2 机器自重及重心位置,或压缩机、电动机及辅助设备的质量分布图。
- 3 基础设计条件图:包括基础轮廓尺寸、基础顶面的设计标高、二次灌浆层厚度、地脚螺栓(或地脚螺栓孔)的位置、规格(或尺寸)等。
- 4 设备基础在生产装置中的平面(或坐标)位置。
- 5 建设场地的工程地质和水文地质勘察资料。

4.0.3 机泵类设备基础宜采用块式基础,机器底座边缘至基础顶面边缘的距离不宜小于 100mm。基础底板尺寸按本标准第 4.0.5 条计算确定,配筋底板悬臂长度不宜大于 2.5 倍板厚。

4.0.4 功率小于 100kW 的机泵类设备基础,当对沉降无特殊要求时,可设置在经分层夯实的回填土地基上,其压实系数不应小于 0.94。

4.0.5 基础底板尺寸宜由以下三个条件确定：

- 1 基础质量宜为机器质量的 3~5 倍。

- 2
$$P_K \leq 0.5 f_a$$
 (4.0.5)

式中: P_K ——相应于荷载效应标准组合时,基础底面处的平均静压力值(kPa);

f_a ——修正后的地基承载力特征值(kPa)。

- 3 基组总重心与基础底面形心宜位于同一铅垂线上,其相对偏心各向不超过 3%~5%。

4.0.6 基组总重心按下列各式计算：

$$x_0 = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} \quad y_0 = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i} \quad z_0 = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i}$$

式中: x_0 、 y_0 、 z_0 ——基组总重心的 x 、 y 、 z 向的坐标(m);

m_i ——基础、基础上机器(包括机器、附件和液态介质)及底板上填土的分质量(t);

x_i 、 y_i 、 z_i ——基础、基础上机器(包括机器、附件和液态介质)及底板上填土的重心在 x 、 y 、 z 向的坐标(m)。

4.0.7 基础的混凝土体积小于 20m^3 时,可不配置表面构造钢筋;混凝土体积大于 20m^3 时,尚应在

基础四周和顶、底面配置直径为 10mm~12mm、间距 100mm~200mm 的钢筋网。

5 气柜基础

5.0.1 本章适用于钢制低压湿式气柜基础的设计。

5.0.2 设计气柜基础时,除应获得气柜图纸外,还应取得下列资料:

- 1 气柜基础所在的总图坐标位置、基础及进出气管阀门室布置图。
- 2 气柜水槽、各塔节及钟罩的外径、气柜全升起时的总高度及总重心高度等。
- 3 气柜水槽自重、各塔节及钟罩自重、配重、附件重、塔节间水封重、水槽内的水重。
- 4 基础顶面中心的设计标高,水槽底拱升值。

5 建设场地的工程地质和水文地质勘探资料。勘探点的数量不宜少于5个,宜沿基础周边均匀布置四个,中心一个。勘探点之间的距离宜为10m~30m(复杂地基取小值,简单地基取大值),并可根据地基复杂程度和气柜容积大小适当调整。勘探孔的深度不宜小于基础直径或至稳定土层,对于容积小于10000m³的气柜和软土地基,其深度应适当加大。

5.0.3 气柜基础宜采用周边为钢筋混凝土环墙、中间为分层振实的砂石垫层或夯入天然地基的碎石层的基础。环墙应具有较大刚度,其顶面宽度应大于水槽壁至钟罩壁板底垫块端部的距离和水槽底板加强圈的宽度。

环墙宜采用实心矩形截面;当计算所需截面底面宽度较大时,也可采用倒T形、工字形或箱形截面。如果采用桩基,则应设计成整板式承台,直径特别大的承台也可采用梁板式,小于1000m³的气柜基础可采用平板式基础。

5.0.4 气柜基础必须严格控制不均匀沉降。对高压缩性地基、承载力较低或均匀性较差的地基,应在整个水槽范围内对地基进行全面加固处理或布桩。

5.0.5 气柜基础计算应考虑下列荷载:

1 永久荷载:设备自重(包括保温层重、配重和附件重等)、水槽及水封槽内的水重、基础自重等,对由永久荷载效应控制的基本组合,分项系数取1.35。

2 可变荷载:风荷载,分项系数取1.4。

5.0.6 环墙式气柜基础计算包括地基承载力计算、地基变形计算、环墙结构计算。

地基承载力计算取荷载效应的标准组合,即取永久荷载标准值计算平均压力;取风荷载标准值计算地基所承担的弯矩值。

当存在下列条件之一时,应进行地基变形计算:

- 1 地基承载力特征值 $f_a \leq 130\text{kPa}$ 。
- 2 地基存在软弱下卧层。
- 3 $f_a \leq 200\text{kPa}$,且土层厚度很不均匀时。

环墙结构计算取荷载效应的基本组合,可不考虑风荷载。

5.0.7 环墙底面宽度应满足下列条件:

- 1 矩形截面:

$$b \geq \frac{q_{sx}}{q_{sm} - \beta r_w h_L - (r_c - r_m)h} \quad (5.0.7-1)$$

式中: b —— 环墙截面底面宽度(m);

r_w —— 水重力密度(kN/m³);

r_c —— 环墙混凝土重力密度(kN/m³);

r_m —— 环墙内各土层平均重力密度(kN/m³);

h_L —— 水槽内的液面高度(m);

h —— 环墙截面高度(m);

β —— 环墙顶面压力作用宽度与环墙底面宽度的比值 b_1/b (见本标准 5.0.8);

b_1 —— 环墙顶面压力作用宽度(m);

q_{sx} —— 作用在环墙上沿环线分布的设备自重线荷载(kN/m), 计算详见公式 (5.0.7-2);

q_{sm} —— 设备自重及水槽内水压力作用在基础环墙顶面的平均压力(kN/m²), 计算详见公式 (5.0.7-3)。

$$q_{sx} = \frac{G_s}{\pi D_i} \quad (5.0.7-2)$$

$$q_{sm} = \frac{G_s}{F} + q_w \quad (5.0.7-3)$$

式中: G_s —— 设备总荷重(kN), 包括水槽自重、各塔节及钟罩自重、配重、附件重、保温重、塔节间水封重等;

D_i —— 环墙上设备作用中心圆直径(m);

F —— 环墙外直径范围内基底面积(m²);

q_w —— 气柜水槽内水压力(kN/m²)。

2 倒 T 形、工字形、箱形等其他截面:

$$b_f \geq \frac{q_{sx}}{q_{sm} - \beta_f r_w h_L - (\eta r_c - r_m)h} \quad (5.0.7-4)$$

式中: η —— 截面折减系数, 取 A/A_c ;

b_f —— 环墙截面底面宽度(m);

A —— 倒 T 形、工字形、箱形等截面面积(m²);

A_c —— 取 $b_f \cdot h$ (m²);

β_f —— 环墙顶面压力作用宽度与环墙底面宽度的比值 b_1/b_f 。

5.0.8 基础环墙承受扭矩与环拉力计算简图见图 5.0.8, 内力可按下列各式计算:

$$T = T_i \cdot R \quad (5.0.8-1)$$

$$N = P \cdot R \quad (5.0.8-2)$$

式中: T —— 环墙截面的法向扭矩设计值(kN·m);

N —— 环墙截面的轴向力设计值(kN);

P —— 将水槽底板承受的压力 q_{sm} 折算成土压力时, 作用在环墙上的侧压力的合力设计值(kN/m); (取沿环梁每米长度上的作用力计算)

R —— 环墙的半径(m);

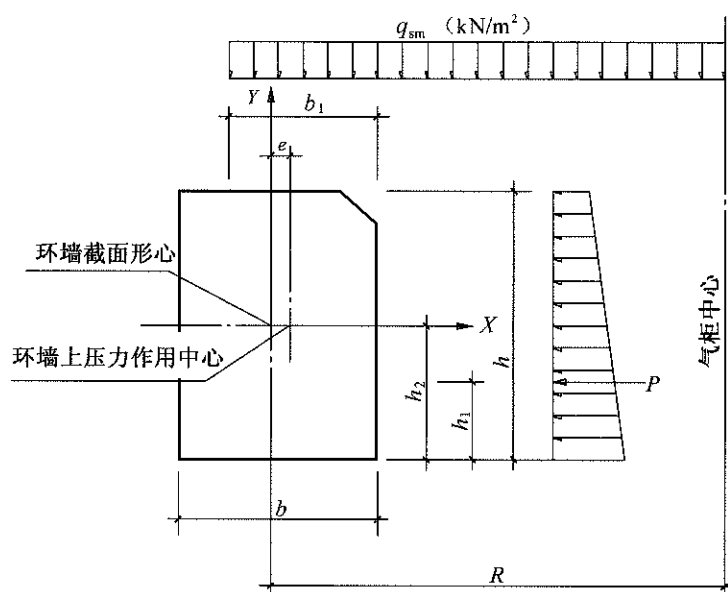


图 5.0.8 基础环墙计算图

T_i ——分配到环墙上的扭矩设计值(kN·m/m)。

P 可由下式求出：

$$P = (r_{Qw}q_{sm} + \frac{1}{2}r_{Qm}r_m h) \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})h \quad (5.0.8-3)$$

式中： φ ——环墙内各层土的平均内摩擦角；

r_{Qw} 、 r_{Qm} ——环墙顶面压力 q_{sm} 和环墙内各层土自重的分项系数。

T_i 可由下式求出：

$$T_i = T_T \frac{\frac{EI_x}{R^2}}{\frac{EI_x}{R^2} + \frac{C_\phi b^3}{12}} \quad (5.0.8-4)$$

式中： E ——钢筋混凝土弹性模量(kN/m²)；

I_x ——环墙截面绕 x 轴的惯性矩(m⁴)；

C_ϕ ——土的非均匀压缩刚度系数(kN/m³)；

T_T ——外载荷作用在每米环墙上所产生的扭矩设计值(kN·m/m)。

C_ϕ 可按下列式计算：

$$C_\phi = 2C_z \quad (5.0.8-5)$$

式中： C_z ——土的均匀压缩刚度系数(kN/m³)，见本标准附录 A。

T_T 可按下列式计算(见图 5.0.8)：

$$T_T = r_{Qw}q_{sm}b_1e + P(h_2 - h_1) \quad (5.0.8-6)$$

式中： b_1 ——环墙顶面压力作用宽度(m)；

e ——环墙顶面压力 q_{sm} 作用中心至环墙形心距离，即荷载的偏心距(m)；

h_1 ——侧压力的合力 P 的作用线与环墙底面的距离(m)；

h_2 ——环墙重心与环墙底面的距离(m)。

5.0.9 环墙的配筋计算:环墙是一个拉扭构件,分别由受拉和受扭计算出所需配筋,然后将两者叠加(见图 5.0.9)。

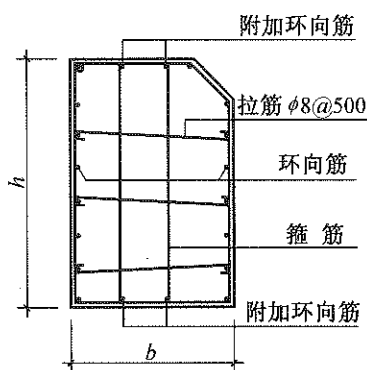


图 5.0.9 基础环墙配筋示意图

1 受拉钢筋可按下式计算:

$$A_s = \frac{N}{\psi_w f_y} \quad (5.0.9-1)$$

式中: A_s —— 环墙截面两侧所需全部抗拉环向钢筋的截面面积(mm^2);

f_y —— 钢筋抗拉强度设计值(N/mm^2);

ψ_w —— 为控制裂缝开展采用一个钢筋强度折减系数,可取 0.8;

N —— 环墙轴向拉力设计值(N)。

注:环墙可不进行裂缝计算。只有当环向钢筋由抗拉计算配置且采用 HRB335 或强度更高的钢筋时,应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 要求进行裂缝控制验算。

2 在扭矩作用下,如满足下式要求,可不进行抗扭配筋计算,按构造配置箍筋与抗扭环向钢筋。

$$T \leq 0.7 f_t W_t \quad (5.0.9-2)$$

式中: W_t —— 环墙截面受扭塑性抵抗矩(mm^3);

f_t —— 混凝土受拉强度设计值(N/mm^2)。

矩形截面 W_t 可由下式求得:

$$W_t = \frac{b^2}{6} (3h - b) \quad (5.0.9-3)$$

3 当不能满足公式(5.0.9-2)的要求时,应计算抗扭钢筋,同时环墙截面尚应满足下列公式要求:

$$\text{当 } h/b \leq 4 \text{ 时, } T \leq 0.2 \beta_c f_c W_t \quad (5.0.9-4)$$

$$\text{当 } h/b \leq 6 \text{ 时, } T \leq 0.16 \beta_c f_c W_t \quad (5.0.9-5)$$

当 $4 < h/b < 6$ 时,按线性内插法确定

式中: β_c —— 混凝土影响系数,当混凝土不超过 C50 时取 $\beta_c = 1.0$;当混凝土为 C80 时取 $\beta_c = 0.8$;其间取线性内插。

f_c —— 混凝土抗压强度设计值(N/mm^2)。

4 抗扭箍筋可按下列下式计算:

$$A_{stl} = \frac{T - (0.35f_t - 0.2 \frac{N}{A})W_t}{1.2\sqrt{\xi}f_{yv}A_{cor}} \quad (5.0.9-6)$$

式中: f_{yv} ——受扭箍筋抗拉强度设计值(N/mm²);

N ——与扭矩设计值相应的轴向拉力设计值,当 N 大于 $1.75f_tA$ 时取 $1.75f_tA$;

A ——构件截面面积(mm²);

A_{cor} ——箍筋内表面范围内的核心区面积(mm²);

ξ ——受扭的环向钢筋与箍筋配筋强度的比值,规定在 0.6~1.7 之间,可先确定一个值进行试算,取小值时箍筋偏大,根据计算的箍筋大小是否合适再调整取值,也可定为中间值 $\xi=1.2$;

A_{stl} ——受扭计算中沿截面周边配置的箍筋单肢截面面积(mm²)。

A_{cor} 可由下式求得:

$$A_{cor} = b_{cor} \times h_{cor} \quad (5.0.9-7)$$

式中: b_{cor} ——箍筋内表面核心区的宽度(mm);

h_{cor} ——箍筋内表面核心区的高度(mm)。

5 抗扭环向钢筋可按下式计算:

$$A_{stl} = \frac{\xi f_{yv} A_{stl} u_{cor}}{f_y s} \quad (5.0.9-8)$$

式中: f_y ——受扭环向钢筋抗拉强度设计值(N/mm²);

u_{cor} ——截面核心部分的周长(mm);

s ——箍筋间距,先确定一个值进行计算(可定为 200mm 或 250mm);

A_{stl} ——受扭计算中截面两侧对称布置的全部环向钢筋的截面面积(mm²)。

6 箱形与 T 形截面环墙可按《混凝土结构设计规范》GB 50010 中所提供的有关公式进行计算。

5.0.10 基础构造(见图 5.0.10)应符合下列要求:

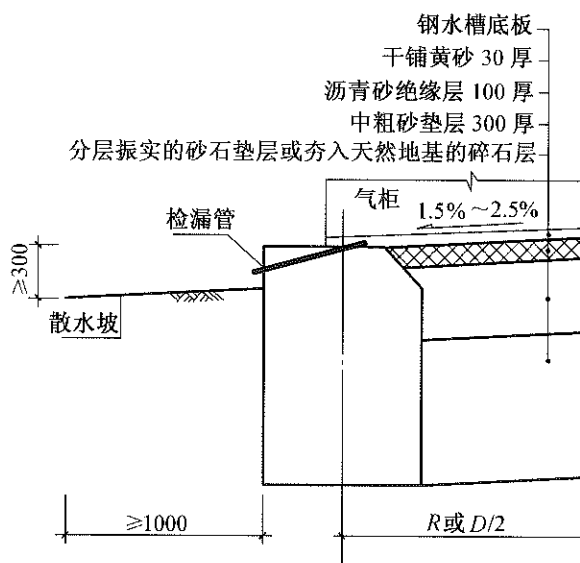


图 5.0.10 气柜基础示意图

1 沥青砂绝缘层不得在雨天施工,不得设施工缝,应一次施工完成。

2 沥青砂绝缘层的要求如下:

1) 材料及配比:砂应采用中、粗砂,含泥量不得大于 5%,沥青宜采用 30 号建筑石油沥青,也可采用 60 号的道路石油沥青。每立方米干砂(质量密度 $\gamma=1400\text{kg/m}^3$)加 130kg 热沥青。

2) 施工要求:砂加热到 $100^\circ\text{C}\sim 150^\circ\text{C}$ 时,加入温度达 $180^\circ\text{C}\sim 200^\circ\text{C}$ 的石油沥青,均匀拌合。碾压前温度不应低于 150°C ,碾压后温度不应低于 110°C 。压实可用平板振捣器或小型压路机,一次虚铺 125mm,压实至 100mm。

3 基础表面的干砂层应在防水层检查合格后铺设。砂层的厚度宜为 30mm,个别处由于防水层凸起,可相应减薄至 10mm,砂子粒径为 3mm 以下。如果砂层有下滑现象,可喷少量水后铺设。砂层铺设后应立即铺设气柜水槽底板。钢水槽就位后,在槽底外沿一圈用沥青胶泥封闭。

4 基础顶面中心应预先起拱,起拱高度宜为 $1.5\% D\sim 2.5\% D$ (D 为水槽底的直径)。若地基变形较大时,应相应加大起拱值。

5 箱形环墙顶、底及侧壁厚度均不宜小于 150mm,宜沿环向间隔 5m~6m 设置横隔板。倒 T 形、工字形截面各肢厚度不宜小于 300mm。

6 基础周边的顶面标高(考虑地基变形后)宜高出地面不小于 300mm;基础周边应设置散水坡。

7 钢筋混凝土环墙应沿罐周每隔 10m~20m 均匀设置 $\phi 30$ 的检漏管,从黄砂层中穿越环墙,出口处应设置卵石过滤层和塑料滤网。该检漏管以不小于 5% 的坡度坡向外侧,管口应高于设计地面,详见图 5.0.10 所示。

5.0.11 进出气管的地下阀门室宜对称布置。当有管道穿过环墙时,则环墙必须有补强措施;当管道在环墙以下穿过时,则必须与环墙底部有足够的距离。

5.0.12 环墙配筋构造可参照本标准图 5.0.9 的要求。环向受力钢筋接头应采用焊接或机械连接,接头应互相错开,同一截面试头不应超过 50%。

5.0.13 为控制基础沉降可采用水槽充水预压措施。注水预压应缓慢进行,不得一次注满。每次注水高度不得超过 1m,待基础沉降观测点半数以上其沉降速率小于 5mm/天时,再进行下一次加水。软弱地基更应严格控制沉降速率的加荷速度。预压后,再陆续安装水槽以上各塔节。

5.0.14 环墙的单侧环向受拉钢筋配筋率不应小于 0.2% 和 $0.45f_t/f_y$ 中的较大值,环墙顶部、底部均应各附加不小于 $2\times\phi 16\text{mm}$ 环向筋,周边环向钢筋间距均不应大于 200mm。环向钢筋宜采用 HPB235、HPB300 级钢筋。

当墙高 h 小于 2m 时,箍筋直径不小于 $\phi 10\text{mm}$;当墙高 h 大于或等于 2m 时,箍筋直径不小于 $\phi 12\text{mm}$,间距不大于 250mm。箍筋末端做成 135° 弯钩,末端平直段长为 10 倍箍筋直径。

5.0.15 环墙基础沉降观测点宜沿周边约 15m 间距均匀设置,且不得少于 4 个。

6 钢制低温储罐基础

6.0.1 本章适用于有冷量导出的钢制低温储罐基础的设计。

6.0.2 设计低温储罐基础时应取得下列资料：

1 低温储罐基础所在的总图坐标位置。

2 低温储罐的直径、高度等几何尺寸，总重心标高，基础顶面中心设计标高，罐底平整度要求，锚栓的规格与尺寸及其布置要求等。

3 低温储罐自重与物料重、物料名称与密度、罐底温度等。

4 建设场地的工程地质和水文地质勘察资料等。

岩土工程勘察应查明土壤的渗透性和冻胀敏感性，还应给出土层中是否存在有利于排水的条件等。

勘探孔的数量及间距还应满足下列要求：储罐中心及边缘宜布置勘探点，勘探点数量应根据储罐的型式、容积、地基复杂程度等确定。每个低温储罐详勘点不宜少于3个，对于地基条件简单的小型（直径不大于5m）低温储罐，其详勘点不得少于1个。勘探孔深度不宜小于储罐直径并不得小于10m或钻至稳定土层。

5 建设场地的环境温度，包括最低、最高和平均温度。

6.0.3 钢制低温储罐基础可分为下列3种类型：

1 地面筏形基础：罐体直接支承于钢筋混凝土地面筏形基础之上。这时在罐体底部一般设有隔冷材料或电（蒸汽）伴热设施（见图6.0.3-1）。

2 柱（或墙板）支撑的高架板式基础：罐体置于由柱（或墙板）支撑的高架板式钢筋混凝土基础上（见图6.0.3-2）。

3 高桩承台基础：罐体置于由高桩支撑的钢筋混凝土承台板上（见图6.0.3-2）。

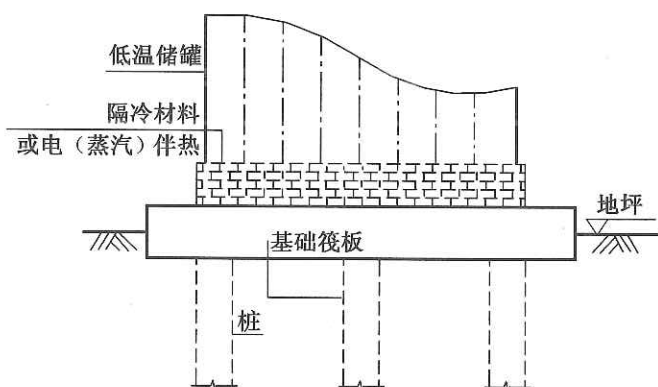


图 6.0.3-1 地面筏形基础

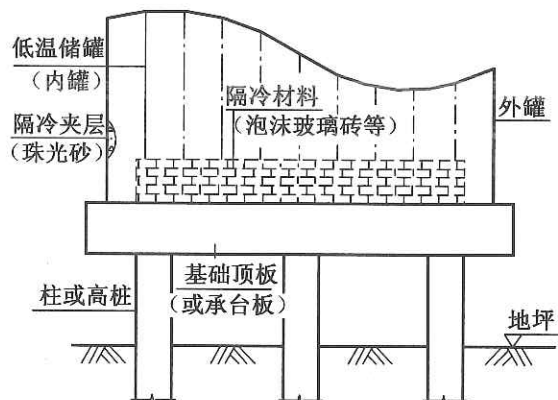


图 6.0.3-2 高架板式基础(或高桩承台基础)

6.0.4 钢制低温储罐基础选型宜遵守下列原则：

当钢制低温储罐底部与基础之间设有电加热设施、蒸汽伴热管或采用有效的隔冷材料及作法，

能阻隔低温储罐的冷量向下传递,基础下无地下水或地下水位较低且有可靠的防水作法保证地基不发生冻胀时,宜采用地面筏形基础(天然地基或桩基)。

当基础顶部安装和维护加热元件不适宜、不经济时,宜采用高架板式基础。

当需要采用桩基且安装和维护加热元件不适宜、不经济,同时采用高桩设计合理时,宜采用高桩承台基础。

6.0.5 低温储罐基础可采取以下防冻胀措施:

1 基础顶部采用电伴热或蒸汽伴热措施;当地面筏形基础顶部与罐底之间布置有电伴热或蒸汽伴热设施时,应控制基础底面的最低温度不低于 0°C 。

2 基础顶部采用有效的隔冷材料及措施。

3 采用高架板式基础或高桩承台基础,利用板下或承台下流动的空气带走冷量。高架板式基础的基础板(或高桩承台的承台板)底面距离自然地面的净空不宜少于 1.5m 。

6.0.6 低温储罐基础计算包括地基承载力计算、地基变形计算、钢筋混凝土结构构件的承载力计算。

6.0.7 低温储罐基础计算应考虑下列荷载:

1 永久荷载:储罐自重(包括隔冷层及附件自重)及物料重、基础自重和基础上的土重等,对由永久荷载效应控制的基本组合,分项系数取 1.35 。

2 可变荷载:储罐充水试验的水重,分项系数取 1.1 ;风荷载、雪荷载,分项系数取 1.4 ;温度作用,分项系数取 1.2 。

3 地震作用:对高桩承台基础、柱(或墙板)支撑的高架板式基础应进行水平地震作用计算。计算水平地震作用时,分项系数取 1.3 。

6.0.8 低温储罐基础计算应考虑下列荷载效应组合:

1 水压试验条件下:由永久荷载(扣除物料重)、储罐充水试验的水重、风荷载、雪荷载组合。风荷载的组合值系数取 0.6 ,其他荷载的组合值系数取 0.7 。

2 正常操作条件下:由永久荷载、风荷载、雪荷载及温度作用组合。风荷载的组合值系数取 0.6 ,雪荷载的组合值系数取 0.7 。

3 储罐放空检修条件下:由永久荷载(扣除物料重)、风荷载组合。

4 地震作用条件下:由永久荷载、水平地震作用、雪荷载及温度作用组合。雪荷载组合值系数取 0.7 。风荷载不参与组合。

6.0.9 材料要求、基础构造要求:

1 支撑罐体的基础顶板的混凝土强度等级不应低于 $\text{C}40$,其相应的最大水胶比为 0.45 。混凝土的抗冻标号不应低于 $\text{D}100$,抗渗等级不应低于 $\text{P}12$ 。

2 除符合计算要求外,基础周边应配置直径不小于 14mm 、间距不大于 150mm 的钢筋网。

3 在基础底面宜设置测温点。

4 基础周围应设置排水沟;与基础不相连的沟宜做成混凝土明沟,不宜砖砌,不宜作盲沟。基础四周应设置混凝土护坡,当基础靠山时,应作截洪沟;整个区域必须排水畅通。

5 对于地面筏形基础应在基础底部做好隔水措施。

6.0.10 基础沉降观测点宜沿基础周边约 10m 间距均匀布置,应遵照本标准第3.0.12条的要求,在

充水试验及投产使用期间及时进行沉降观测;对于大型(储罐直径大于 20m 时)低温储罐基础,还宜在底板中加设十字形测斜管来观测储罐底板沿储罐边缘到中心半径线方向的沉降。

7 球罐基础

7.0.1 本章适用于化工、石油化工业储存各种气态、液态物料、由钢柱和斜拉杆支承的钢制球形储罐基础的设计。

7.0.2 设计球罐基础时应取得以下资料：

- 1 球罐基础的总图坐标位置、基础顶面的设计标高、物料名称和浓度(当物料有腐蚀性时)。
- 2 建设场地的工程地质和水文地质勘察资料。
- 3 由设备专业提供的基础柱墩顶面荷载(包括竖向荷载和水平荷载),或提供下列数据按本标准附录 B 计算：

球罐各部分几何尺寸,支承方式；

球罐自重(包括附件及支承重、保温重)、物料重、水压试验时的水重。

7.0.3 球罐基础选型宜遵守下列规定：

- 1 当地基为硬、中硬场地土,抗震设防烈度不高于 7 度时,宜采用在每个钢支柱下设置独立钢筋混凝土基础。
- 2 当不满足本标准第 7.0.3 条第 1 款的条件时,宜采用钢筋混凝土多边形或环形基础;也可采用由连梁连接的独立基础。
- 3 采用桩基时,应与支柱同轴布桩,避免偏心,桩承台宜用连梁连接。

7.0.4 球罐基础的计算应包括地基承载力验算、地基变形计算、基础内力与配筋计算。

当地基承载力特征值不小于 200kPa 且压缩层范围内无软弱层时可不作地基变形计算。

7.0.5 球罐基础计算应考虑下列荷载：

1 永久荷载:球罐自重(包括罐体自重、保温重、耐火层重、支柱和拉杆重、附件重)、物料重、基础自重、基础上的土重,对由永久荷载效应控制的基本组合,分项系数取 1.35。当其荷载效应对基础结构构件承载力有利时,其分项系数取 1.0。

2 可变荷载:水压试验时的水重,分项系数取 1.1;风荷载,分项系数取 1.4。

3 水平地震作用,分项系数取 1.3。

风荷载和地震作用分别考虑 A、B 两个水平方向的作用(见图 7.0.5)。

7.0.6 球罐基础计算宜考虑下列荷载效应组合：

1 设备安装(空罐无保温)或检修时:由永久荷载(扣除物料重,安装时还要扣除保温重)、风荷载组合。

2 正常操作条件下:由永久荷载、风荷载组合。风荷载组合值系数取 0.6。

3 水压试验条件下:由永久荷载(扣除物料重)、水压试验时的水重、风荷载组合。基本风压值取 0.15 kN/m^2 。

4 地震作用条件下:由永久荷载、水平地震作用、风荷载组合。风荷载组合值系数取 0.2。

7.0.7 球罐可视为一个单质点体系,其基本自振周期可按式(7.0.7-1)计算。

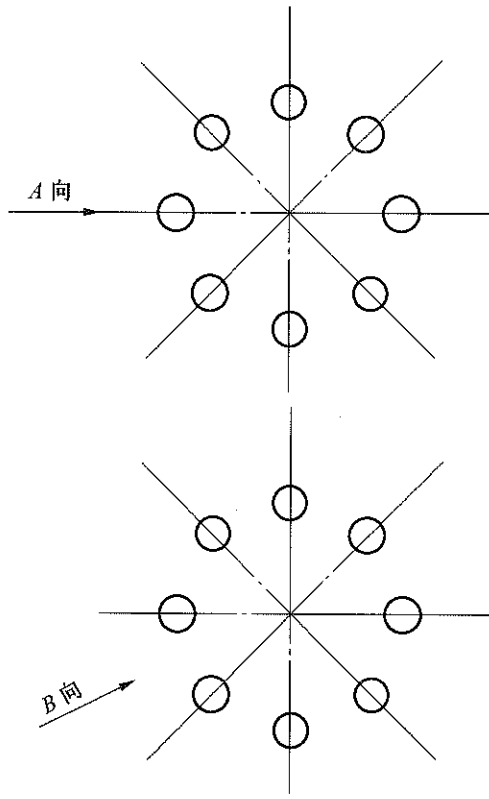


图 7.0.5 风荷载、地震作用计算方向

$$T = \pi \sqrt{\frac{m_0 H_0^3 \xi \times 10^{-3}}{3nE_s I}} \quad (7.0.7-1)$$

式中: T ——球罐基本自振周期(s);

E_s ——支柱材料的常温弹性模量(kN/m²);

H_0 ——支柱底板的底面至球壳中心的距离(mm);

n ——支柱数目;

I ——支柱横截面的惯性矩(mm⁴),按式(7.0.7-2)计算;

ξ ——拉杆影响系数,按式(7.0.7-3)计算;

m_0 ——球罐质量(kg)。

I 由下式求得:

$$I = \frac{\pi}{64} (d_0^4 - d_i^4) \quad (7.0.7-2)$$

式中: d_0 ——支柱外直径(mm);

d_i ——支柱内直径(mm)。

$$\xi = 1 - \left(\frac{l}{H_0} \right)^2 \left(3 - \frac{2l}{H_0} \right) \quad (7.0.7-3)$$

式中: l ——基础顶面至支柱与拉杆上端连接处的距离,即附录 B 中的 h_1 (mm)。

ξ 也可由表 7.0.7 查取:

表 7.0.7 拉杆影响系数

l/H_0	0.90	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.50
ξ	0.028	0.104	0.156	0.216	0.282	0.352	0.50
注:中间值用内插法计算。							

在本标准第 7.0.6 条列出的各种工作条件下球罐的质量 m_0 计算如下:

设备安装(空罐无保温)或检修时,按式(7.0.7-4)计算:

$$m_0 = m_1 + m_2 + m_3 \quad (7.0.7-4)$$

正常操作条件下按式(7.0.7-5)计算:

$$m_0 = m_1 + m_2 + m_3 + m_5 + m_6 \quad (7.0.7-5)$$

水压试验条件下按式(7.0.7-6)计算:

$$m_0 = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_6 \quad (7.0.7-6)$$

地震作用条件下按式(7.0.7-7)计算:

$$m_0 = m_1 + 0.5m_2 + m_3 + km_5 + m_6 \quad (7.0.7-7)$$

式中: m_1 ——球壳质量(kg);

m_2 ——支柱和拉杆的质量(kg);

m_3 ——附件质量,包括人孔、接管、液压计、内件、喷淋装置、安全阀、梯子平台等(kg);

m_4 ——水压试验时水的质量(kg);

m_5 ——物料质量(kg);

m_6 ——保温层质量(kg);

k ——球罐内物料(即储液)的等效质量系数,一般取 $k=0.7$ 。

7.0.8 风荷载可按下式计算:

$$W_k = \frac{1}{4} \pi D_0^2 \beta_z \mu_s \mu_c \mu_z W_0 \quad (7.0.8-1)$$

式中: W_k ——风荷载标准值(kN),作用于球罐形心;

μ_s ——风荷载体型系数,取 0.4;

μ_c ——球罐附件增大系数,取 1.1;

μ_z ——风压高度变化系数;

W_0 ——基本风压(kN/m²);

D_0 ——球壳外直径(有保温层时为保温层外直径)(m);

β_z ——球罐中心处的风振系数,按式(7.0.8-2)计算。

β_z 由下式求得:

$$\beta_z = 1 + 0.35\xi_1 \quad (7.0.8-2)$$

式中: ξ_1 ——系数,根据球罐的基本自振周期按表 7.0.8 选取。

表 7.0.8 系数 ξ_1

$T(s)$	<0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	≥ 5.0
ξ_1	1.0	1.4	1.7	2.0	2.3	2.5	2.7	3.0	3.2

注:中间值用内插法计算。

7.0.9 球罐基础可不考虑竖向地震作用。水平地震作用可按单质点单自由度体系计算:

$$F_{EK} = \alpha_1 G_E \quad (7.0.9-1)$$

$$F_E = \gamma_E F_{EK} \quad (7.0.9-2)$$

式中: F_{EK} ——水平地震作用标准值(kN),作用于球罐形心;

F_E ——水平地震作用设计值(kN),作用于球罐形心;

α_1 ——相应于结构基本自振周期的水平地震影响系数;

γ_E ——地震作用的分项系数,取 1.3;

G_E ——地震时结构总重力荷载代表值(kN),按式(7.0.9-3)计算。

$$G_E = m_0 g \quad (7.0.9-3)$$

式中 m_0 按本标准公式(7.0.7-7)计算; g 取 9.81m/s^2 。

注:阻尼比可取 0.035。

7.0.10 地震作用条件下,圆环形基础底面与地基土之间零应力区面积不应大于基底面积的 15%,验算方法见本标准附录 C。

7.0.11 多边形或环形基础可按基底均布荷载作用下的倒置圆弧形连续梁计算,梁上荷载即地基净反力(扣除基础自重和土重)。基础柱墩承载力应按偏心受压(拉)构件计算。

7.0.12 球罐基础构造除满足本标准第 3 章要求外,尚应符合下列规定:

1 基础埋深不宜小于 1.5m(基岩除外)。

2 基础柱墩截面中心应与球罐支柱中心重合。

3 基础柱墩竖向钢筋不宜小于 $\phi 14\text{mm}$,间距不宜大于 200mm。箍筋直径不宜小于 $\phi 8\text{mm}$,在地脚螺栓埋置范围内间距应采用 100mm,其他部位为 200mm。抗震设防烈度大于或等于 7 度的地区,箍筋间距均应采用 100mm。箍筋肢距不大于 250mm。

4 当采用环形基础时,环梁高宜为柱距的 $1/4 \sim 1/8$,底板边缘厚度不得小于 250mm,悬挑长度与根部厚度之比应不大于 2.5。

底板受力钢筋应按计算确定,其配筋率不得小于 0.15%;径向钢筋与环向钢筋的直径均不宜小于 $\phi 12$,间距不宜大于 200mm。

环梁配筋应按计算确定,环梁截面顶部、底部钢筋的最小配筋率均为 0.2%,直径不宜小于 14mm,箍筋直径不宜小于 8mm,间距不宜大于 200mm。

8 换热器基础

8.0.1 本章适用于卧式管壳式换热器基础的设计,对于类似结构的换热器基础的设计,也可参照使用。

8.0.2 设计换热器基础时,应取得下列资料:

- 1 换热器及附件的自重、操作重、充水重作用于滑动端和固定端顶部的荷载,重心标高。
- 2 抽芯力或管束自重(即清洗抽拉管束时的重量)。
- 3 换热器滑动端和固定端支座轮廓图,基础顶面的设计标高,地脚螺栓的位置、规格,二次灌浆层厚度。
- 4 换热器滑动端底板及基础滑动墩顶部钢板的材质及接触面加工要求。
- 5 换热器基础在装置中的坐标位置。
- 6 建设场地的工程地质和水文地质勘察资料。

8.0.3 换热器基础由两个支墩(固定墩、滑动墩)和底板构成,基础选型宜符合下列要求:

- 1 当固定墩和滑动墩相距较远,底板承受的水平力及力矩较小时,可采用分离式基础。
 - 2 当固定墩和滑动墩相距较近,底板承受的水平力及力矩较大时,可采用整体式基础。
 - 3 当固定墩和滑动墩相距较远,底板承受的水平力及力矩较大时,可采用下连梁式基础。
 - 4 当固定墩和滑动墩相距较远且基础较高,底板承受的水平力及力矩较大时,可采用上连梁式基础。
- 5 当换热器基础由三个及三个以上支墩和底板构成时,可设计为整体式基础。

上述各基础的型式如图 8.0.3 所示。

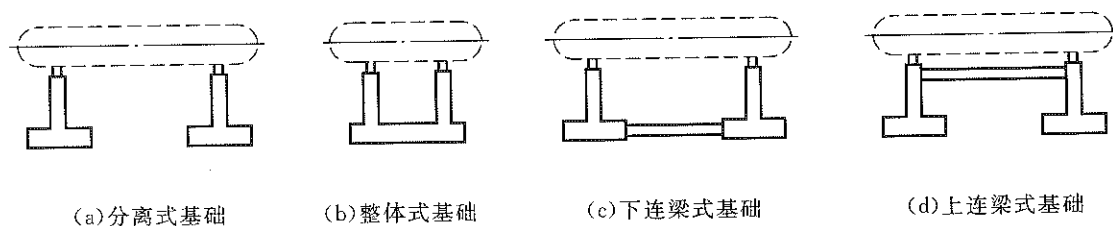


图 8.0.3 换热器基础的四种型式

8.0.4 换热器基础的计算包括地基承载力计算和基础支墩、底板及连梁各部件的承载力计算。

8.0.5 换热器基础计算应包括下列荷载:

- 1 永久荷载:换热器自重(含管束、配管、保温材料和梯子平台等附件重)、物料重、基础自重、基础底板上的填土重。对由永久荷载效应控制的基本组合,分项系数取 1.35。
- 2 可变荷载:设备胀缩引起的摩擦力,分项系数取 1.2;风荷载,分项系数取 1.4;抽芯力、充水重,分项系数取 1.1;工艺管道的作用力,分项系数取 1.3。
- 3 水平地震作用,分项系数取 1.3。

8.0.6 换热器胀缩摩擦力 P_t ,标准值按下式确定:

$$P_t = (G_1 + Q_1)\mu \quad (8.0.6)$$

式中: G_1 ——作用于滑动墩顶部的换热器自重标准值(kN);

Q_1 ——正常操作时,作用于滑动墩顶部的换热器内物料重标准值(kN);

μ ——换热器滑动端底板与基础滑动墩顶部预埋钢板之间的摩擦系数。

钢板与钢板间取 $\mu=0.3$;潮湿地区取 0.4;

当采用其他材质时,应根据实际情况取值。

胀缩摩擦力 P_t 为一对大小相等、方向相反的力,作用于基础滑动墩和固定墩顶面支座处。

8.0.7 换热器的抽芯力应由工艺、设备专业提供。当无此资料时,可按下式估算抽芯力 P_b 的标准值:

$$P_b = G_b \quad (8.0.7-1)$$

式中: G_b ——设备检修时,被抽拉的管束自重标准值(kN)。

当有适当的抽拉设备且有经验时,抽芯力 P_b 可按下式确定:

$$P_b = 0.5G_b \quad (8.0.7-2)$$

重叠式布置的换热器,仅考虑对结构计算不利的一台设备的抽芯力。

抽芯力 P_b 作用于抽拉管束的中心线。当采用上连梁式基础时,作用于支墩上的抽芯力可考虑由固定墩和滑动墩共同承担;当采用其他形式基础时,作用于支墩上的抽芯力应全部由基础固定墩承担。该抽芯力同时对两个支墩产生一对竖向力 N_b (见图 8.0.7)。

$$N_b = \frac{P_b h'}{L} \quad (8.0.7-3)$$

式中: h' ——设备中心线与基础支墩顶面的距离(m);

L ——基础固定墩与活动墩的距离(m)。

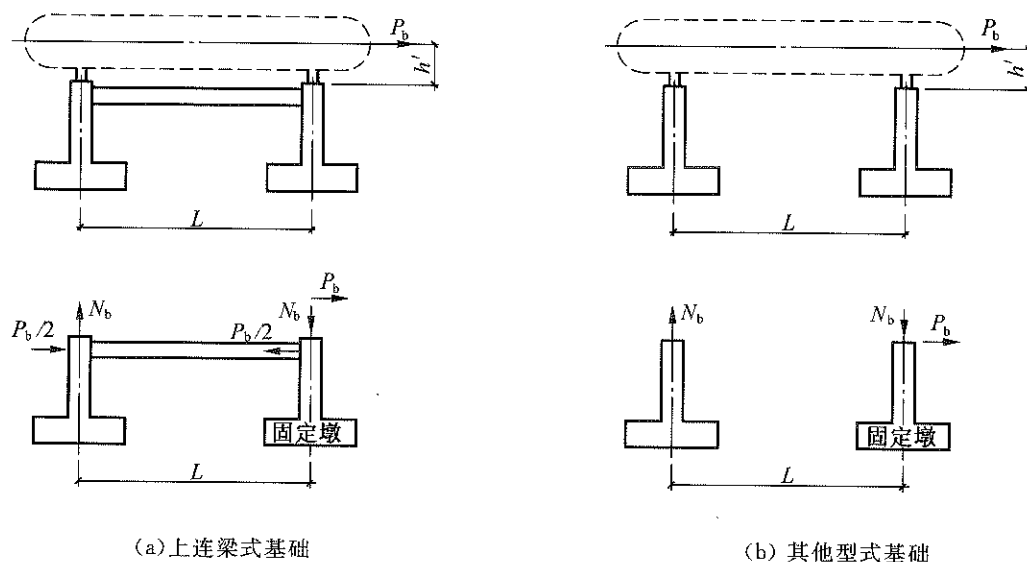


图 8.0.7 抽芯力 P_b 对基础的作用

8.0.8 换热器基础计算时应考虑下列荷载效应组合:

1 正常操作条件下:由永久荷载、管道作用力、设备胀缩摩擦力、风荷载组合;风荷载组合值系数取 0.6,其余可变荷载组合值系数取 0.7。

2 检修条件下:由永久荷载(扣除物料重)、抽芯力、风荷载组合;风荷载组合值系数取 0.6,其余可变荷载组合值系数取 0.7。

3 充水试压条件下:由永久荷载(扣除物料重)、充水重、风荷载组合;风荷载组合值系数取 0.6,其余可变荷载组合值系数取 0.7。

4 地震作用条件下:由永久荷载、水平地震作用组合。

8.0.9 整体式基础和上、下连梁式基础在验算地基承载力时,可不考虑设备胀缩摩擦力。

8.0.10 基础支墩应考虑由于设备胀缩摩擦力、抽芯力及设备偏心支腿产生的偏心作用,按偏心受压构件进行设计。

8.0.11 基础连梁可按其两端铰接进行模型简化,分别考虑正常操作和检修条件下的荷载工况,按偏拉或偏压构件进行设计。

8.0.12 换热器基础构造应满足下列要求:

1 支墩截面尺寸宜比设备支座底板四周各宽出 25mm,且支墩宽度不宜小于 300mm。

2 支墩顶部宜设置埋入式地脚螺栓。

3 固定墩顶面应设置二次灌浆层,滑动墩顶面钢板厚度不小于 10mm 或按设备要求设计。

4 下连梁式基础的混凝土连梁截面高度宜为梁的跨度 L 的 $1/8 \sim 1/12$ 。

5 当支墩长度较长时,上连梁式基础宜设置多根连梁,连梁间距不应大于 3000mm;混凝土连梁的截面高度宜为梁的跨度 L 的 $1/8 \sim 1/12$,钢连梁宜按受压构件确定截面尺寸。

8.0.13 当设备支座底部的温度低于 -30°C 时,应在基础顶面与设备支座之间设置隔冷层,隔冷层应满足隔冷和强度的要求。

9 工业炉基础

9.0.1 本章适用于各类管式加热炉、裂解炉、转化炉、气化炉等各类工业炉基础的设计。

9.0.2 设计工业炉基础时,应取得下列资料:

1 在竖向荷载、风荷载、地震和温度分别作用下,通过炉体支柱柱脚传递于基础顶面的效应值(竖向力、水平力和弯矩)。

2 工业炉基础在装置中的坐标位置、基础顶面的设计标高、基础顶面的温度。

3 建设场地的工程地质和水文地质勘察资料。

9.0.3 工业炉基础可采用下列四种型式(见图 9.0.3):

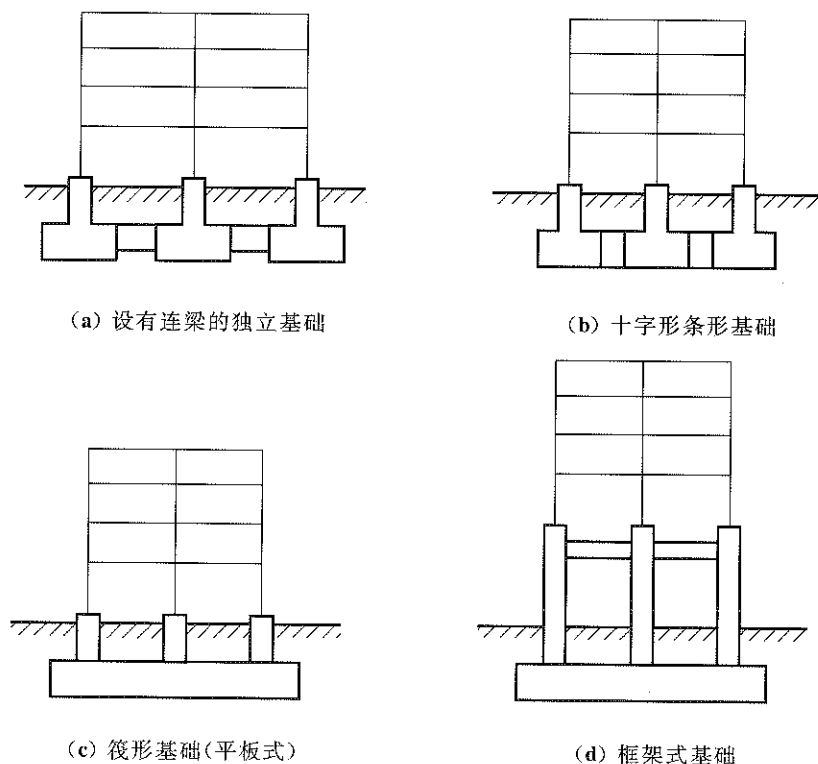


图 9.0.3 工业炉基础的四种型式

1 炉架支柱由设有连梁的独立基础支承。

2 炉架支柱由柱下环形基础或十字形条形基础支承。

3 炉架支柱由筏形基础(包括梁板式和平板式)支承。

4 炉架支柱由框架式基础支承。

9.0.4 工业炉基础选型除按照设备要求外宜遵守下列规定:

1 建造于抗震设防烈度为 8 度、9 度地区的软弱地基上的工业炉基础,宜采用筏形基础或桩基础(增设连梁)。

2 建造于抗震设防烈度为 6 度地区、地基承载力特征值不小于 160kPa 的工业炉基础,可采用

独立基础(增设连梁)。

9.0.5 工业炉基础的计算应包括地基承载力计算、基础构件承载力计算和地基变形计算。当工业炉内不进行化学反应,地基较均匀且承载力特征值不小于 130kPa 时,可不验算地基变形。

9.0.6 工业炉基础计算应考虑下列荷载:

1 永久荷载:竖向荷载(包括炉体和炉架自重、配管重、炉管重等)及基础自重。对由可变荷载效应控制的基本组合,分项系数取 1.2;对由永久荷载效应控制的基本组合,分项系数取 1.35;当其荷载效应对基础结构构件承载力有利时,其基本组合分项系数取 1.0。

2 可变荷载:平台活荷载,分项系数取 1.4;风荷载,分项系数取 1.4;温度作用,分项系数取 1.2。

3 地震作用:分项系数取 1.3。

9.0.7 工业炉基础计算应考虑下列荷载效应组合:

1 正常操作条件下:由永久荷载、平台活荷载、风荷载和温度作用组合。风荷载的组合值系数取 0.6,其他可变荷载的组合值系数取 0.7。

2 地震作用下:由永久荷载、平台活荷载、20%风荷载、温度作用和地震作用组合。平台活荷载的组合值系数取 0.5,其他可变荷载的组合值系数取 0.7。

立式炉(箱式炉)应在两个主轴方向分别考虑水平地震作用。

9.0.8 地震作用条件下,基础底面与地基土之间零应力区面积不应大于基底面积的 15%;环形基础验算方法见本标准附录 C。

9.0.9 柱下环形或十字形条形基础可按基底均布荷载作用下的倒置圆弧或直线连续梁计算。柱下筏板基础可按倒置楼盖或弹性地基板计算。梁板上的荷载即地基净反力(扣除基础自重和土重)。

基础柱墩承载力按偏压(或偏拉)构件计算。

9.0.10 筏形基础底板厚度不应小于 400mm,悬挑长度不宜大于 1.5m,板宜采用双层、双向配筋;基础埋置深度及其他构造要求同本标准第 7.0.12 条的规定。

9.0.11 当基础顶面设置有烟道等高温设施时,应采取隔热措施。

10 冷箱基础

10.0.1 本章适用于有冷量导出的空分装置冷箱基础的设计,不包括设备已采取隔冷措施,冷量不传入基础的设备基础设计。

10.0.2 设计冷箱基础时,应取得下列资料:

- 1 工艺条件图,包括设备布置、冷箱几何尺寸和箱底标高、冷箱设备总重、物料重、配管等附件重、隔冷填料重、冷箱底的温度、地脚螺栓的位置和规格、安装要求等。
- 2 冷箱基础在装置中的坐标位置、基础顶面的设计标高。
- 3 建设场地的工程地质和水文地质勘察资料。

10.0.3 冷箱基础不宜建在低洼积水和地下水位较高的位置。

当冷箱基础建造于高压缩性地基上时,应采用桩基等措施处理地基,防止较大的沉降及偏沉。

10.0.4 基础选型宜遵守下列规定:

1 大块式实体基础。对于非冻胀性地基,如基岩、砂卵石或中粗砂等土层,当地下水位较低时,可采用无通风的大块式实体基础。

2 设置通风孔的大块式基础。当地下水位较高时,可采用设置通风孔的大块式基础,且基础底部应设置隔水层。

1) 地面上设置通风孔的大块式基础,在实体基础高出地面范围设置若干孔径不小于 200mm 的通风孔,也可安装强制通风系统,在事故状态下送热风;

2) 地下设置通风孔和强制通风系统的大块式基础,适用于因工艺要求基础顶面必须布置于地下的情况。在装置运转过程中,强制通风系统应正常开启。

3 钢结构架空式基础。在实体基础上,用型钢将冷箱架起,型钢间形成通风通道(见图 10.0.4-1)。

4 构架式基础。构架柱支承于钢筋混凝土底板上,该底板顶位于地面以下 1.5m,并用粗砂填至地面(见图 10.0.4-2)。

5 柱墩式基础。基础底板以上用柱墩或混凝土墙体架空冷箱,基础底板以上用粗砂填至地面(见图 10.0.4-3)。

10.0.5 冷箱基础的计算应包括地基承载力计算和变形计算、隔冷层热工计算、构架式与柱墩式基础构件的承载力计算等。

隔冷层热工计算方法见本标准附录 D。

10.0.6 冷箱基础计算应考虑下列荷载:

1 永久荷载:设备重、隔冷填料重、物料重、基础自重,对由永久荷载效应控制的基本组合,分项系数应取 1.35。

2 可变荷载:风荷载、雪荷载,分项系数取 1.4。

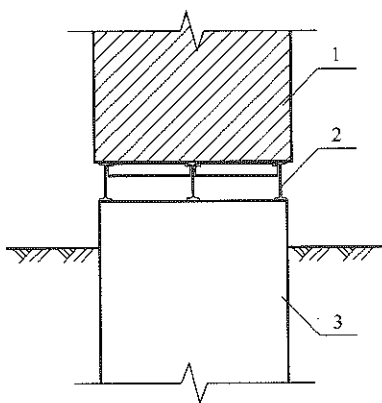


图 10.0.4-1 钢结构架空式基础

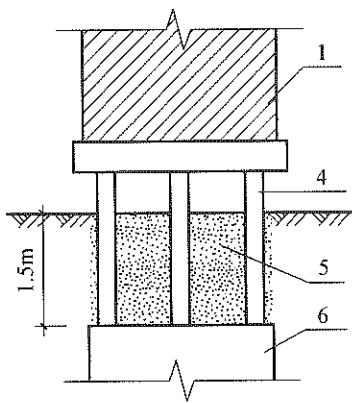


图 10.0.4-2 构架式基础

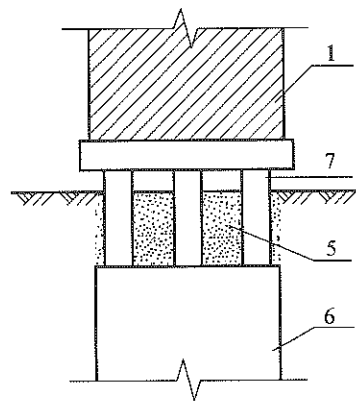


图 10.0.4-3 柱墩式基础

1—冷箱;2—钢结构架空层;3—基础;4—构架柱;5—粗砂填实;6—基础底板;7—柱墩或混凝土墙体

3 大块式实体基础可不考虑地震作用,构架式和柱墩式基础可按单质点体系计算地震作用,分项系数取 1.3。

10.0.7 验算天然地基风荷载作用下的竖向承载力时,基础底面不宜出现零应力区。

10.0.8 基础设计中必须采取有效的隔冷、散冷、防水、排水措施。

基础顶面至隔冷层底面范围内,严禁采用易燃材料。

10.0.9 冷箱基础构造(见图 10.0.9)宜遵守下列规定:

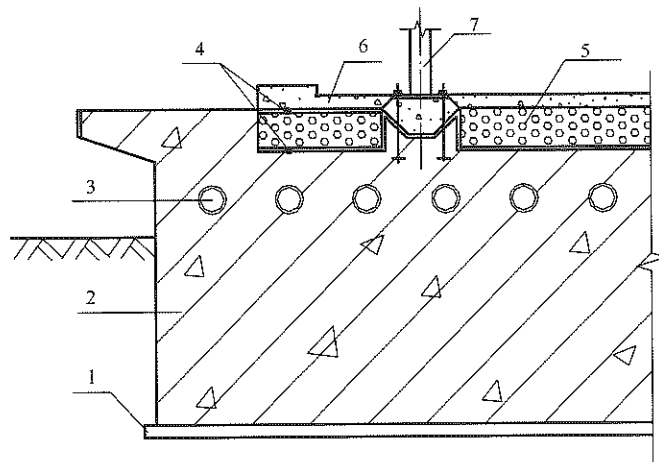


图 10.0.9 冷箱基础构造示意图

1—C15 混凝土垫层;2—C40 防渗抗冻配筋混凝土;3—通风孔;4—20mm 厚 1:2 防水水泥砂浆;

5—隔冷层;6—50mm~100mm 厚 C40 防渗抗冻配筋细石混凝土;7—冷箱钢柱

1 基础面层为 50mm~100mm 厚 C40 细石混凝土并配以间距 100mm 的双向钢筋网。混凝土抗渗等级不应小于 P12,抗冻标号不应小于 D100。钢筋网直径由计算确定,强度不足时应采取加强措施。

2 隔冷层宜采用树脂类的憎水膨胀珍珠岩制品,厚度根据热工计算确定并不得小于 300mm。

憎水膨胀珍珠岩的密度不宜大于 180kg/m^3 ,导热系数应小于 $0.062\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,抗压强度应大于 0.4MPa ,含水率应小于 5%。

3 隔冷层周边应设 20mm 厚 1:2 的防水水泥砂浆。

4 基础混凝土强度等级不应低于 C40,其水胶比不应大于 0.45,抗冻标号不得低于 D100,抗渗等级不得低于 P12。基础周边配以直径为 12mm~14mm、间距为 150mm 的钢筋网,顶部周边配以适当钢筋加强。

5 通风孔可预埋 200mm~300mm 钢管,中心间距宜取 500mm~600mm,通风孔至隔冷层底的净距离不宜小于 200mm,通风孔宜设 0.5%~1.0%的坡度。

10.0.10 在基础隔冷层顶面及基础底面宜设置测温点。

10.0.11 基础周围宜设置排水沟;与基础不相连的沟宜作成混凝土明沟,不宜砖砌,不宜作盲沟;空分设备排液管沟不得兼作排水沟。当基础靠山时,应作截洪沟;整个区域必须排水畅通。

10.0.12 基础施工养护中应采取有效的降温散热措施,以防止因大体积混凝土的水化热产生的裂缝。

10.0.13 冷箱基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定性要求。除岩石地基外,基础埋深不宜小于 1.5m。

附录 A 地基均匀压缩刚度系数

地基土的均匀压缩刚度系数即使单位面积地基产生单位均匀变形所需的荷载。地基土是一种非弹性材料,有弹性变形与残余变形两部分,现只取压力与变形呈线性关系的弹性变形部分求均匀压缩刚度系数。地基土的性能差异性很大,精确的压缩刚度系数应现场实验确定,当无条件做实验时,可参照现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—1996 中地基土均匀压缩刚度系数(见表 A-1)及《地基与基础》中岩石与碎石的均匀压缩刚度系数(见表 A-2)。

表 A-1 天然地基土均匀压缩刚度系数 C_z 值(kN/m^3)

地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)	土的名称		
	粘性土	粉土	砂土
300	66000	59000	52000
250	55000	49000	44000
200	45000	40000	36000
150	35000	31000	28000
100	25000	22000	18000
80	18000	16000	

表 A-2 天然岩石与碎石地基均匀压缩刚度系数 C_z 值(kN/m^3)

地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)	1000	800	700	600	500	400	300
岩石、碎石	176000	135000	117000	102000	88000	75000	66000

附录 B 球罐基础顶面荷载计算

B.0.1 重力荷载作用下,单个支柱的竖向荷载设计值:

1 正常操作条件下:

$$F_1 = \frac{\gamma_G G_{1k} + \gamma_{Q1} Q_{1k} + \gamma_{Q3} Q_{3k}}{n} \quad (\text{B.0.1-1})$$

式中: G_{1k} ——球罐自重标准值(kN);

Q_{1k} ——物料重标准值(kN);

Q_{3k} ——雪荷载标准值(kN);

γ_G 、 γ_{Q1} 、 γ_{Q3} ——球罐自重、物料重和雪荷载的分项系数,分别取 1.2、1.2、1.4;

F_1 ——正常操作条件重力荷载作用下单个支柱承受的竖向荷载设计值(kN);

n ——球罐支柱数。

2 水压试验条件下:

$$F_2 = \frac{\gamma_G G_{1k} + \gamma_{Q2} Q_{2k}}{n} \quad (\text{B.0.1-2})$$

式中: Q_{2k} ——水压试验时的水重标准值(kN);

γ_{Q2} ——水压试验时的水重的分项系数,取 1.1;

F_2 ——水压试验条件重力荷载作用下单个支柱承受的竖向荷载设计值(kN)。

B.0.2 风荷载 W_k 可视为作用于球壳中心的集中水平荷载,可将该荷载平移作用于支柱和拉杆的上端连接处并产生一个倾覆力矩(见图 B.0.2-1):

$$M_w = \gamma_{QW} W_k \cdot h_2 \quad (\text{B.0.2-1})$$

式中: M_w ——风荷载倾覆力矩设计值(kN·m);

γ_{QW} ——风荷载的分项系数,取 1.4;

h_2 ——罐体中心水平线至支柱与拉杆上端连接处的距离(m)。

1 风荷载倾覆力矩作用下,单个支柱的竖向荷载设计值按下式计算:

$$F_{wi} = \frac{2M_w \cos \theta_i}{nR} \quad (\text{B.0.2-2})$$

式中: F_{wi} ——风荷载倾覆力矩对 i 支柱产生的竖向荷载设计值(kN);当为负数时为压力,当为正数时为拉力;

R ——支柱中心圆半径(m);

θ_i ——支柱的方位角($^\circ$);按下式计算(见图 B.0.2-2)。

$$\text{当 A 向受力时: } \theta_i = i \frac{360^\circ}{n} \quad (\text{B.0.2-3})$$

$$\text{当 B 向受力时: } \theta_i = (i - \frac{1}{2}) \frac{360^\circ}{n} \quad (\text{B.0.2-4})$$

注: i 表示支柱在 0° 至 180° 范围的顺序号。

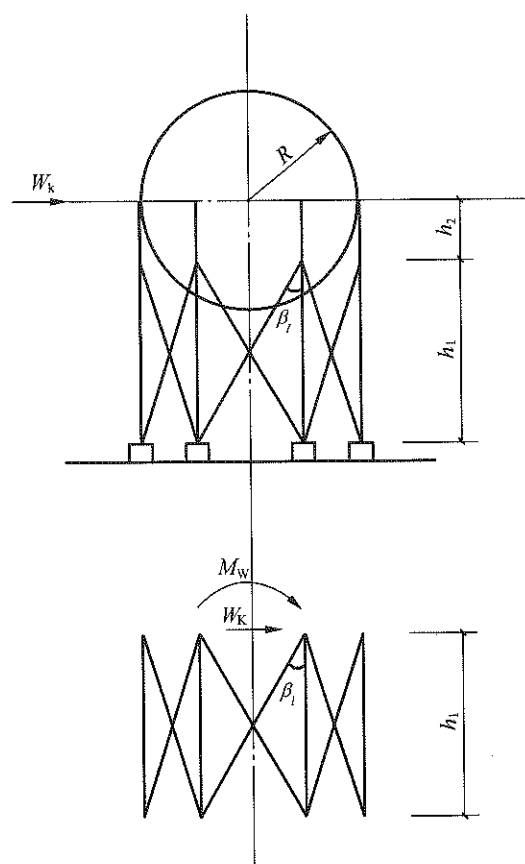


图 B.0.2-1 风荷载作用示意

2 风荷载集中水平力作用下,单个支柱柱脚处的水平荷载设计值按下式计算:

$$H_{wi-j} = \frac{2\gamma_{QW}W_k \sin\theta_j}{n} \quad (\text{B.0.2-5})$$

式中: H_{wi-j} ——风荷载集中水平力引起的 j 拉杆对 i 支柱柱脚处,即 i 支柱基础顶面处的水平荷载设计值(kN);其方向为沿拉杆水平投影方向;

θ_j ——拉杆的方位角($^\circ$),按下式计算(见图 B.0.2-3)。

$$\text{当 A 向受力时: } \theta_j = (j + \frac{1}{2}) \frac{360^\circ}{n} \quad (\text{B.0.2-6})$$

$$\text{当 B 向受力时: } \theta_j = j \frac{360^\circ}{n} \quad (\text{B.0.2-7})$$

注: j 表示拉杆在 0° 至 180° 范围的顺序号。

$i = j + 1, j = 0, 1, 2, 3, \dots$

3 风荷载集中水平力作用下,单个支柱柱脚处的竖向荷载设计值按下式计算:

$$F_{wi-j} = \frac{h_1 \gamma_{QW} W_k \sin\theta_j}{nR \sin \frac{180^\circ}{n}} \quad (\text{B.0.2-8})$$

式中: F_{wi-j} ——风荷载集中水平力引起的 j 拉杆对 i 支柱柱脚处,即 i 支柱基础顶面处的竖向荷载设计值(kN)。

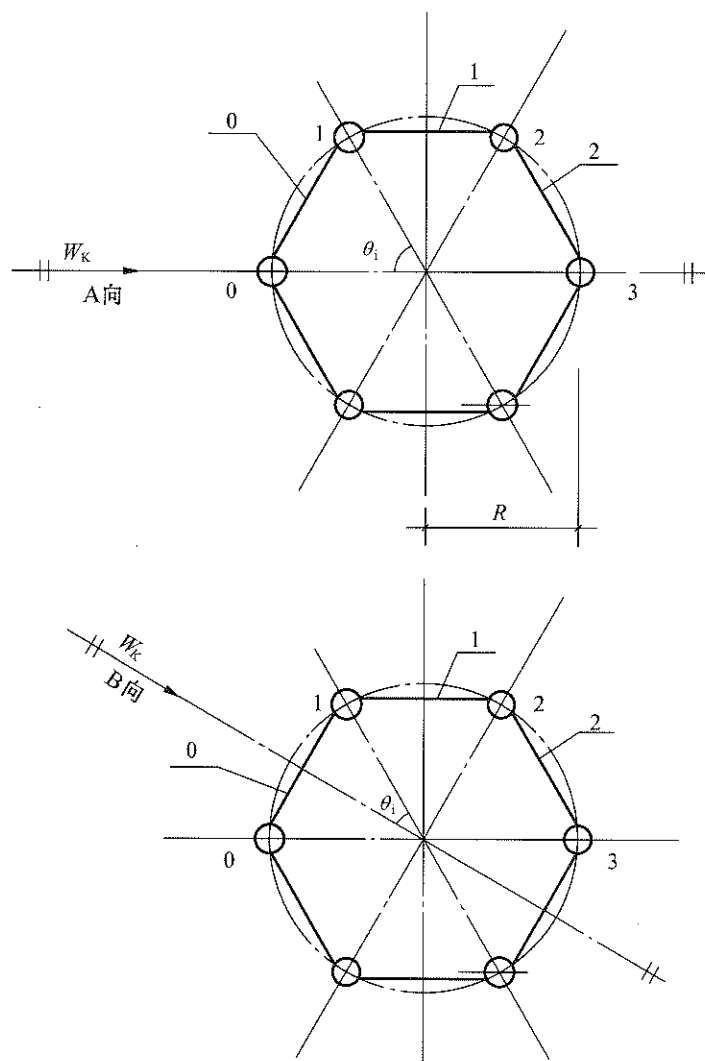


图 B.0.2-2 支柱的方位角

h_1 ——基础顶面至支柱与拉杆上端连接处的距离,即拉杆高度(m)。

B.0.3 地震作用集中水平荷载效应也可视为作用于支柱和拉杆上端连接处的集中水平荷载及倾覆力矩:

$$M_E = F_E h_2 \quad (\text{B.0.3})$$

式中: F_E ——水平地震作用设计值(kN),作用于球罐形心;

M_E ——地震作用倾覆力矩设计值(kN·m)。

地震作用倾覆力矩 M_E 对 i 支柱产生的竖向荷载设计值、集中水平力 F_{Ek} 对支柱柱脚产生的水平荷载设计值、竖向荷载设计值按本附录 B.0.2 条各式计算,仅把 W_k 代以 F_E , M_w 代以 M_E , γ_{QW} 代以 γ_E 。

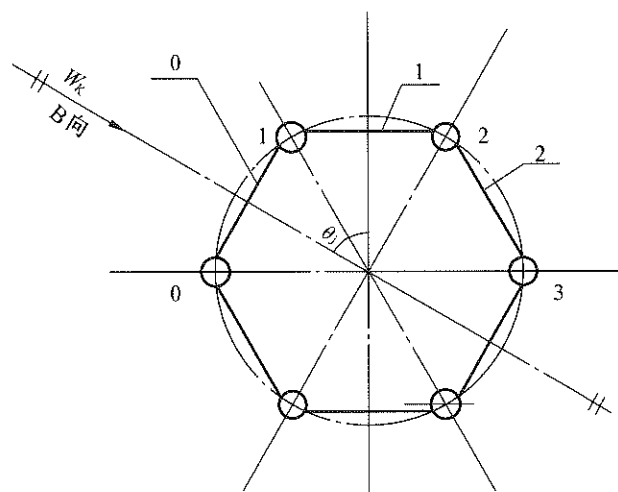
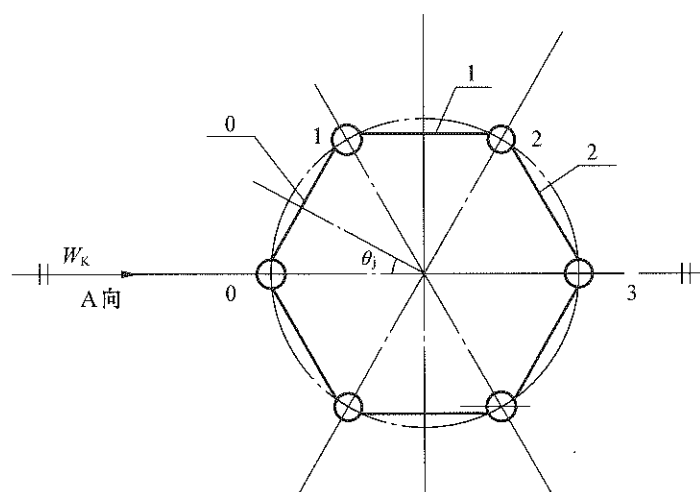


图 B.0.2-3 拉杆的方位角

附录 C 偏心荷载作用下圆环形基础底面应力及作用面积计算

圆环形基础在地震作用或风荷载作用下,基底产生偏心应力,当基础环梁高为柱距的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{8}$ 时,底面最大压应力可按下式计算:

$$P_{\max} = \frac{F+G}{\xi r_1^2} \quad (\text{C-1})$$

基底受压面宽度按下式计算:

$$a = \tau r_1 \quad (\text{C-2})$$

式中: r_1 ——圆环形基础外环半径(m);

a ——圆环形基础底面受压面积的宽度(m);

ξ, τ ——系数,根据 $\rho = \frac{r_4}{r_1}$ 及 $\frac{e}{r_1}$ 由表 C 查得;

F, G ——外荷载(kN);

r_4 ——圆环形基础内环半径(m);

e ——荷载偏心距(m)。

本标准第 7.0.10 条规定基底零应力区面积不应大于基底面积的 15%,可用以下公式验算:

$$A_T / [\pi(r_1^2 - r_4^2)] \leq 0.15 \quad (\text{C-3})$$

式中: A_T ——基础底面与地基土之间零应力区的面积(m²)。

A_T 可由下式求出:

当 $\frac{r_4}{r_1} \leq 0.7869$ 时:

$$A_T = \frac{r_1^2}{2} (2\alpha - \sin 2\alpha) \quad (\text{C-4})$$

式中: α —— A_T 弧夹角的一半(弧度)(见图 C)。

α 可由下式求得:

$$\alpha = \frac{\pi}{180} \arccos\left(\frac{a - r_1}{r_1}\right) \quad (\text{C-5})$$

当 $\frac{r_4}{r_1} > 0.7869$ 时:

$$A_T = \frac{r_1^2}{2} (2\alpha - \sin 2\alpha) - \frac{r_4^2}{2} (2\beta - \sin 2\beta) \quad (\text{C-6})$$

式中: $\cos \beta = \frac{r_1}{r_4} \cos \alpha$ 。

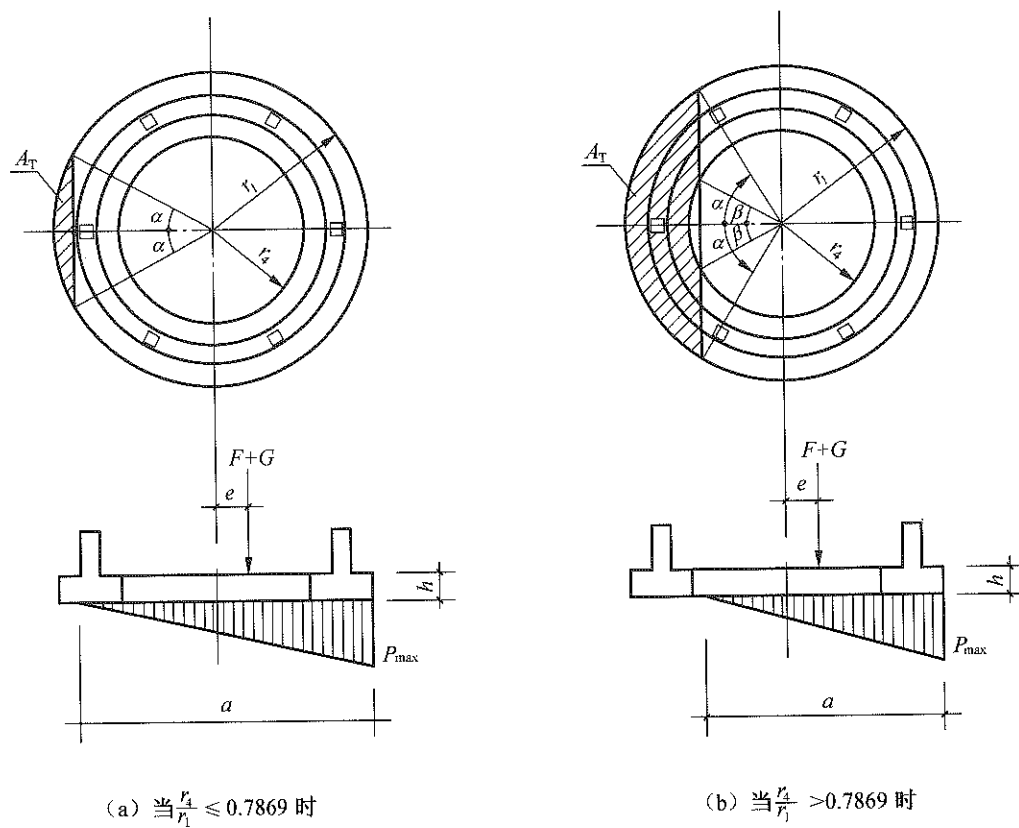


图 C 偏心荷载作用下环形底面压应力图

表 C 环形基础底面部分出现零应力区时基底压力计算系数 τ, ξ

	$\rho=0.50$		$\rho=0.55$		$\rho=0.60$		$\rho=0.65$		$\rho=0.70$		$\rho=0.75$		$\rho=0.80$		$\rho=0.85$		$\rho=0.90$	
$\frac{e}{r_1}$	τ	ξ	τ	ξ	τ	ξ	τ	ξ	τ	ξ	τ	ξ	τ	ξ	τ	ξ	τ	ξ
0.25																		
0.26																		
0.27																		
0.28																		
0.29																		
0.30																		
0.31	1.995	1.157																
0.32	1.975	1.163																
0.33	1.945	1.145	1.985	1.087														
0.34	1.915	1.127	1.960	1.073	2.000	1.005												
0.35	1.890	1.111	1.930	1.056	1.970	0.990												
0.36	1.860	1.092	1.900	1.039	1.945	0.977	1.990	0.903										
0.37	1.830	1.073	1.875	1.025	1.915	0.962	1.960	0.888	2.000	0.801								
0.38	1.805	1.058	1.845	1.007	1.890	0.948	1.935	0.877	1.980	0.793								
0.39	1.775	1.039	1.820	0.993	1.860	0.933	1.910	0.865	1.955	0.783	2.000	0.687						
0.40	1.750	1.023	1.790	0.975	1.835	0.919	1.880	0.851	1.930	0.773	1.975	0.679						
0.41	1.725	1.007	1.765	0.961	1.810	0.906	1.855	0.839	1.905	0.762	1.950	0.670	2.000	0.565				
0.42	1.695	0.988	1.740	0.946	1.785	0.893	1.830	0.828	1.880	0.752	1.925	0.661	1.975	0.558				
0.43	1.670	0.973	1.710	0.929	1.760	0.880	1.805	0.816	1.885	0.742	1.905	0.654	1.950	0.551	2.000	0.436		
0.44	1.640	0.954	1.685	0.915	1.730	0.864	1.780	0.804	1.830	0.732	1.880	0.645	1.930	0.545	1.980	0.432		
0.45	1.615	0.938	1.660	0.901	1.705	0.852	1.755	0.793	1.805	0.721	1.855	0.637	1.905	0.538	1.955	0.426	2.000	0.299
0.46	1.585	0.920	1.630	0.884	1.680	0.839	1.725	0.779	1.780	0.711	1.830	0.628	1.880	0.531	1.935	0.422	1.985	0.296
0.47	1.555	0.901	1.600	0.867	1.650	0.824	1.700	0.768	1.750	0.700	1.805	0.620	1.855	0.524	1.910	0.416	1.965	0.293
0.48	1.523	0.884	1.570	0.851	1.620	0.809	1.670	0.755	1.725	0.690	1.780	0.612	1.830	0.518	1.885	0.411	1.940	0.290
0.49			1.541	0.836	1.580	0.795	1.645	0.745	1.695	0.679	1.750	0.602	1.805	0.511	1.860	0.406	1.915	0.286
0.50					1.559	0.780	1.614	0.732	1.665	0.668	1.722	0.594	1.777	0.504	1.835	0.401	1.900	0.284
0.51											1.688	0.584	1.746	0.497	1.805	0.396	1.863	0.279
0.52													1.710	0.489	1.769	0.390	1.828	0.275

注:1 $\rho = r_2/r_1 > 0$ 时为环形基础。

2 $\rho = r_2/r_1$ 为中间值时, τ, ξ 值用内插法确定。

3 粗线以下表示基础的零应力区面积 A_T 已超过全面积的 15%。

附录 D 冷箱基础热工计算

由于热工计算的基本参数取值存在误差,因此一般计算取近似的平壁稳定热传导的方法,可建立以下公式:

$$q = \lambda_1 \frac{t_2 - t_1}{\delta_1} = \lambda_2 \frac{t_3 - t_2}{\delta_2} = \alpha(t_4 - t_3) \quad (\text{D-1})$$

式中: q —— 单位面积传热量(W/m^2);

λ_1 —— 憎水珍珠岩导热系数, $\lambda_1 = 0.062 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

λ_2 —— 基础混凝土导热系数, $\lambda_2 = 1.6268 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

t_1, t_2, t_3, t_4 —— 基础各部位温度($^{\circ}\text{C}$), (见图 D);

δ_1, δ_2 —— 基础各部位厚度(m), (见图 D);

α —— 自然通风孔混凝土表面处空气的传热系数, $\alpha = 11.62 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

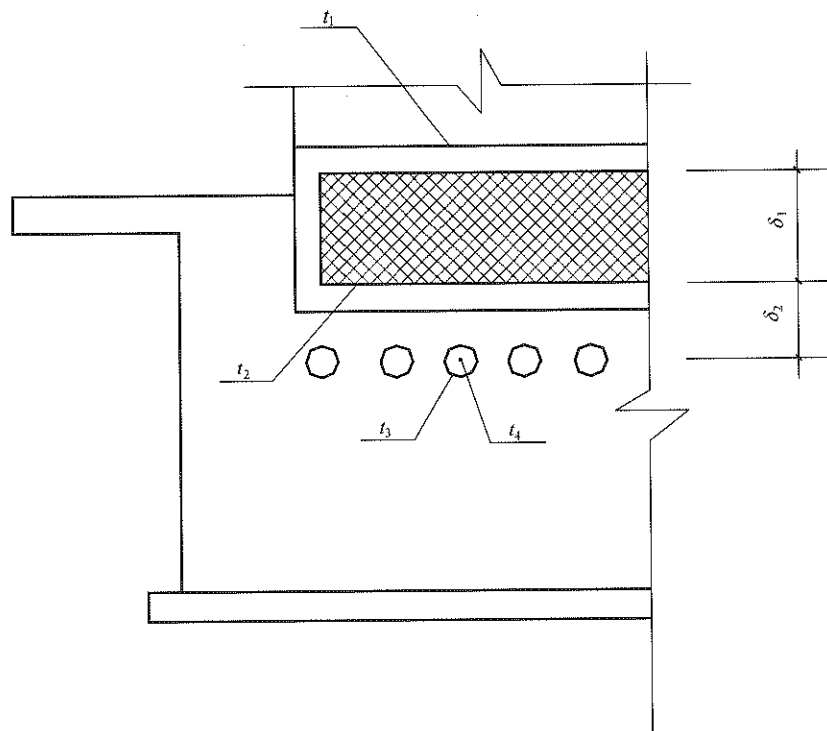


图 D 冷箱基础热工计算简图

其中, δ_2 可定为 0.300m;

t_4 为空气温度, 可定为 20°C ;

t_1 为基础表面温度, 在正常使用状态下可取 -20°C , 在事故状态下需设计人员调查后确定。

当漏液较严重时可考虑定为 $-70^{\circ}\text{C} \sim -100^{\circ}\text{C}$ 。

将公式(D-1)分解或两个联立方程:

$$\lambda_1 \frac{t_2 - t_1}{\delta_1} = \lambda_2 \frac{t_3 - t_2}{\delta_2} \quad (\text{D-2})$$

$$\lambda_2 \frac{t_3 - t_2}{\delta_2} = \alpha(t_4 - t_3) \quad (\text{D-3})$$

式中仅有 t_2 、 t_3 、 δ_1 三个未知数,可先假定 $\delta_1=0.3\text{m}$ 进行计算,求出 t_2 、 t_3 后代入公式(D-1)即可求出 q 值。

λ 与 α 中用的是热力学温度 K(开尔文), t 的单位为摄氏度。因摄氏度加 273 就等于热力学温度,而公式中用的是温差,摄氏度之差就等于热力学温差,所以 t 可直接用摄氏温度($^{\circ}\text{C}$)代入,提出的 Δt 的单位是摄氏度($^{\circ}\text{C}$)也是热力学温度开尔文(K)。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本标准中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046
- 《大体积混凝土施工规范》GB 50496
- 《石油化工建(构)筑物抗震设防分类标准》GB 50453
- 《钢制球型储罐》GB 12337—1998
- 《构筑物抗震设计规范》GB 50191—1993
- 《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473—2008
- 《地脚螺栓(锚栓)通用图》HG/T 21545—2006
- 《动力机器基础设计规范》GB 50040—1996

中华人民共和国化工行业标准

化工设备基础设计规定

HG/T 20643—2012

条 文 说 明

目 次

修订说明	(43)
1 总 则	(45)
3 基本规定	(46)
4 机泵类设备基础.....	(47)
5 气柜基础	(49)
6 钢制低温储罐基础	(53)
7 球罐基础	(56)
8 换热器基础	(57)
9 工业炉基础	(59)
10 冷箱基础	(60)

修 订 说 明

本标准《化工设备基础设计规定》HG/T 20643—2012,经中华人民共和国工业和信息化部于 2012 年 5 月 24 日以第 20 号公告批准发布。

本标准是在原标准《化工设备基础设计规定》HG/T 20643—1998 的基础上修订而成,1998 版是化工部标准定额司下达的计划,由化工部建筑设计技术中心站组织,主编单位是中国寰球化学工程公司和湖南省化工设计院,主要起草人员是杨文君、朱渥恩,审核人员是范迪恩、张大德。

依据 2008 年修编计划,本标准编制组经调查研究、收集资料、会议研讨、反复修改后,于 2010 年 5 月完成了“征求意见稿”,发往 27 个单位征求意见。共收到返回意见合计 95 条。

按照标准编制程序的要求,修编组召开会议,对“反馈意见”进行逐条讨论和提出处理意见,并于会后进行补充调查,于 2010 年 10 月完成标准“送审稿”。

标准审查会于 2010 年 12 月召开,审查委员对标准“送审稿”进行逐条认真的讨论,一致通过该“送审稿”并提出了修改意见。

审查会后编制组根据“纪要”的要求进行了认真的修改,完成了标准的“报批稿”和各项“报批文件”。

根据国家关于标准规范编制的原则,各类标准不能重复编制,不能交叉,以免给设计人员使用时带来困难。为此,标准编制组对原标准《化工设备基础设计规定》HG/T 20643—1998 的章节内容进行了以下调整:

1. 取消了原“钢制立式圆筒形储罐基础”一章,因已有现行国家标准《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473—2008。

2. 新增“钢制低温储罐基础”一章,因现行国家标准《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473—2008 不适用于储存低温介质储罐地基基础设计,故而新增此章以填补空白。

3. 保留并充实修订了“气柜基础、冷箱基础”章节,因为这两章内容在目前有关规范中均无此内容,属规范中的空白。

4. 保留并充实修订了“机泵类设备基础、球罐基础、换热器基础、工业炉基础”章节,因为这些内容在目前某些行业标准中有相似的内容,但由于行业不同造成工艺流程的差异,设备的差异,基础的设计也就大相径庭。

如本标准中的“换热器基础”章有化工的特点,基础类型不仅有分离式基础,还有整体式基础、下连梁式基础、上连梁式基础。

又如本标准中的“机泵类设备基础”章应用范围较宽在内容上也有其特点。

化工设备基础量大面广,在工程中设计工作量很大。本标准中包括七大类设备基础,从适用范围、应取资料、基础选型、计算内容、荷载及组合、构造要求等诸方面均给出详尽的规定,便于设计人员使用。

在本标准修订中收集了近十几年来我国工程建设的实践经验,同时参考了国外知名工程公司标准,体现了目前国内国际先进的技术水平。标准实施后将极大提高设计效率,保证设计质量。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,标准编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

1 总 则

1.0.1 由于化工、石油化工装置内各类设备基础的种类、数量和材料消耗多,设计工作量大,工程中常因设计概念不清盲目加大尺寸,增多配筋,造成浪费或因设计错误发生事故而影响生产。因此,有必要统一设计方法,以达到安全可靠、经济合理、确保生产的目的。

1.0.2 本标准适用于各类常见设备基础,即落地的独立设备基础;楼层上的设备基础不属本标准范畴。

常压立式圆筒形钢制储罐基础、塔型设备基础、活塞式压缩机基础和离心式压缩机基础的设计已有下列专门规定,本标准不再赘述。

《动力机器基础设计规范》GB 50040—1996

《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473—2008

《活塞式压缩机基础设计规定》HG 20554—1993

《离心式压缩机基础设计规定》HG/T 20555—2006

《石油化工塔型设备基础设计规范》SH 3030—1997

在采用上述规范时,若遇化工装置与规范使用范围有些差异,可分析后采用。如现行国家标准《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473—2008 中第 1.0.2 条规定适用于介质自重不大于 10kN/m^3 ,但化工常遇容重大于 10kN/m^3 的介质(有时可达 18kN/m^3),计算方法都是相同的,在计算竖向力、环向力时把介质的实际容重代入即可。对于重量很大的储罐,要考虑打桩,以保证管道连接安全。

另外,化工采用的塔型设备有些较高且细,中部与框架有固定连接,也可参照现行石化行业标准《石油化工塔型设备基础设计规范》SH 3030—1997 的规定进行设计,塔中部与框架的固定连接可作为安全度考虑。

1.0.3 设备基础设计的成功与否,与工艺和设备专业的密切配合关系极大,土建专业人员应深入了解设备的工作特性、安装和检修情况、荷重、地脚螺栓、方位以及对基础设计的要求等。

3 基本规定

3.0.1、3.0.2 设备基础上安装着价格较为昂贵的生产设备,若出现问题将危及生产,其后果严重,故安全等级一般取二级,基础宜采用整体性较好的现浇素混凝土和钢筋混凝土结构。钢筋种类与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 接轨,并考虑部分设备基础存在体积大、低温等特点,故保留强度等级较低的钢筋。

3.0.3 当采用高强无收缩灌浆料时,其强度不宜小于:一天为 20MPa,3 天为 40MPa,28 天为 50MPa,并具有较好的流动性。

本标准推荐采用工厂提供的袋装灌浆料,由于其掺入了添加剂,流动性能较好。

3.0.4 设备基础比较重要,埋深不能太浅;当有经验时很小的设备可置于加厚的地坪上。

基础埋深的要求不包括岩石基础。

3.0.5 化工设备基础施工中,待充水预压、沉降稳定后才能安装管道,此时应控制管道安装后的后期沉降(又称残余沉降),以与管道的柔性相适应,一般后期沉降取 25mm,这样可以保证不引起管道破坏。

3.0.6 基础地下部分的钢筋保护层厚度根据现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 的规定确定为 50mm,地上部分应遵照有关规范确定。保护层厚度指所有钢筋而不只是受力钢筋。

因防腐蚀要求,基础均设垫层,故钢筋保护层厚度可取 50mm。

3.0.7 地脚螺栓的构造及尺寸参见现行化工行业标准《地脚螺栓(锚栓)通用图》HG/T 21545—2006 的规定。

3.0.8 当地脚螺栓较多时,为提高埋设精度,螺栓应固定在型钢预制成的定位盘上。

3.0.9 由于孔边距不够而在预留孔侧面或底面配置的钢筋网片要满足保护层和锚固长度的要求。

3.0.11 当确有经验,采取减少混凝土温度变形或收缩的措施后,后浇带界限可放宽。

施工时,后浇带要加强养护。

工程中也可采用分段跳格的施工方法,长度约 20m 为一段,浇注时间间隔为 7 天。

3.0.12 沉降观测点一般设置在标高 0.50m、基础角点位置。

有些设备对沉降观测有严格的要求,如球罐基础要遵守现行国家标准《钢制球型储罐》GB 12337—1998 的规定。

3.0.14 腐蚀性介质应考虑作用于地面的介质和污染土、地下水对基础的作用。注意当地下水位较浅时,地面标高上、下 50cm 范围内易为干湿交替部位,腐蚀加重。

3.0.16 保证施工缝的质量很重要,工程中曾发生某磨机基础因施工缝没做好、振动过大的问题。

对于某些重要设备基础,当混凝土强度达到 100%时,方可安装设备。

大体积混凝土施工应遵照现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 的有关规定,防止出现裂缝。

4 机泵类设备基础

4.0.1 机泵类设备包括各类压缩机、鼓风机、通风机和工业泵等。

工业泵为输送各类液态介质的动力机器;压缩机、鼓风机、通风机为压缩和输送各种压力的气态介质的动力机器。

1 工业泵的类型主要为离心式,也有轴流式、往复式等。工业泵一般功率较小,重量较轻,扰力不大,机器转速为 1500r/min 或 3000r/min。据资料分析:当功率小于 500kW 时,一般机器质量小于 2t,扰力小于 2kN,可不作动力计算。当功率大于 500kW 时,扰力应由设备厂家提出。

当工业泵生产厂不能提供扰力数值时,可采用以下公式进行扰力估算:

$$F = (1.2 \sim 1.4)m_g e \omega^2 \quad (\text{kN})$$

式中: m_g ——转子的重量(kN);

e ——转子偏心(m);

ω ——旋转角速度(弧度/秒)。

式中系数(1.2~1.4)为工业泵中液态介质对扰力的贡献值,是根据国内有关工业泵生产企业取值确定。工业泵基础一般为块体基础,可参考现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040 中第 4 章“活塞式压缩机基础”的规定进行动力计算。

2 压缩机分类有:容积式压缩机和透平式压缩机。

容积式压缩机主要为活塞式压缩机,还有螺杆式、滑片式、隔膜式、摆动式等。后几类压缩机均为小型压缩机,一般功率较小,其扰力也较小,振动不大。但近年来工程上遇到螺杆式压缩机功率达 2300kW,故不作动力计算的条件中增加“功率小于 500 kW”的限制。活塞式压缩机中,立式压缩机因其底板尺寸较小,故以此确定的基础尺寸有时不能满足振动要求。

透平压缩机分离心式和轴流式两类,其输送气体压力大于 3.5 大气压且功率大、转速高。

3 与透平压缩机工作方式类似,依输送气体压力不同有通风机和鼓风机。离心式和轴流式通风机输送气体压力低于 1500mm 水柱,功率小、转速低、扰力也较小,一般可设在加厚的地坪上,不做基础。离心式鼓风机的气体压力、功率、转速、扰力均介于压缩机和通风机之间。透平压缩机和鼓风机当功率小于 500kW 时一般其扰力小于 10kN,转速大于 1500r/min,置于块式基础上时可满足振动要求。

4 对于功率较大(达到 2000kW),但转速很低(低于 100r/min)的设备(如磨机等),可参照现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040 中第 7.2 节规定,若为大块式基础,可不进行动力计算。

5 当上述机泵采用块式基础且满足不作动力计算条件时,可遵照本标准设计。

4.0.5 确定底板尺寸的三个条件中,第 1 条基础质量宜为机器质量的 3~5 倍,不要求大于 3~5 倍。

(1) 目前的机器制造中,有些机座重量做得很重,目的之一也是为了减少转子旋转引起的振动,故要使基础质量大于机器质量的 5 倍,不易做到。

(2) 总平面布置中,设备布置过于密集,致使基础底板无法扩大。

此时,设计人员可控制基础质量大于机器质量的3倍。

当基础采用了隔震措施时,可不遵守此规定。

第3款要求基组各向相对偏心不超过3%~5%。可根据地基承载力的情况来控制:当地基承载力特征值小于或等于150kPa时应采用不超过3%;当大于150kPa时可采用不超过5%。

4.0.7 本条所列基础计算模式为刚体,一般不必进行强度计算。所配表面构造钢筋的目的—是防止土建施工时因温度应力及混凝土收缩而引起的非受力裂缝,二是防止设备安装、检修时混凝土表面遭受撞击损坏。因此重要的是要注意基础的科学施工、加强养护和设备的合理安装。

根据目前基础混凝土强度等级提高,水泥标号相应提高,加之目前水泥生产中磨细度提高,致使养护前期水化热增加了很多,容易产生裂缝。因此对基础构造配筋的体积尺寸要求和钢筋直径、间距进行了调整。

原 4.0.8、4.0.9 考虑到设计计算、配筋、构造等尚应符合现行相关设计规范,设计人员基本能自行处理,故取消此两条。

5 气柜基础

5.0.1 本章适用于直升式(有、无导架)或螺旋升降式钢制低压湿式气柜基础的设计;不适用于预应力钢筋混凝土水槽等非金属气柜基础的设计,也不适用于储存毒性和危害极大的气体。

钢制低压湿式储气柜是目前我国众多行业用于气体的储存、缓冲、混合、稳压的主要设备。其构造简单,便于管理。

气柜的钢水槽一般做成圆形满堂水槽,也有极少数特大型气柜做成环形水槽,以利于地基处理时节省投资。

5.0.3 环墙建议选用实心矩形截面。工字形与箱形虽可减少混凝土量,但支模、浇捣都很麻烦。箱形环墙必须事先预制永久性内胎模,先施工箱底、放置胎模,再施工侧壁与箱顶,隔一定距离还要加肋板,施工很不方便,工期也会较长。环墙与受弯构件不同,受弯构件中工字形与箱形减少的混凝土是不参加受力或受力较小的部位,而环墙是扭拉构件,工字形与箱形所减少的混凝土本来就要承受扭矩,减少了混凝土后受扭塑性抵抗矩相应减少,混凝土抗扭能力就相应减少,所以采用工字形与箱形截面并不能节省混凝土量。

当计算环墙底面宽度 b 较大,又想减小钢筋混凝土用量,也可采用倒 T 形、工字形和箱形截面,但各肢必须满足构造与计算要求,且不宜小于 300mm。

5.0.4 作用在基础与地基上的垂直荷载,主要是通过气压传下来的设备自重及水槽内的水重,它们均匀的分布在整个基底上。当软弱地基处理或布桩时,应对整个基础作用范围进行,不能仅处理环梁部位,以防止槽底中心部位沉降过大,破坏槽体。

当气柜均匀下沉过大时,会造成进出管道与水槽及阀门室池壁连接处破坏,不但影响生产,还会发生事故。

如果气柜基础偏沉,气柜倾斜到一定程度时,导轮会在轨道上卡轨,塔节和钟罩升降受阻;严重时导致水封槽密封失效。过大的地基变形将造成槽底钢板开裂,大量漏水。某化工厂曾发生气柜基础偏沉,导轮卡轨,甚而导致气柜爆炸的事故。因此,本标准限制基础偏沉在 0.2% 以内,而控制偏沉最有效的办法就是尽量减少绝对沉降量。

5.0.5 设备自重包括水槽重、各塔节重、钟罩重、配重、塔节间水封重、保温和附件重,附件包括操作平台、栏杆、扶梯、配管等。在北方高寒地区气柜外侧周边采用墙体保温。

水槽内的水是长期存放不变的,所以按永久荷载考虑。

可变荷载只考虑风荷载。基础计算中不考虑地震作用,因为水槽是搁置在基础上的,并没有紧密连接,地震作用只对基础产生偏压,基础面积非常大,最大压力时承载力特征值可乘 1.2 系数,同时还可乘抗震调整系数,一般地基可用 1.3,所以很容易满足要求,可不计算。

雪荷载所占比例很小,故可不予考虑。

5.0.6 基础计算:

(1) 竖向荷载作用下地基承载力计算:

荷载效应标准组合作用在持力层处的竖向力值 F_k 包括设备总重 F_k (含水槽自重、各塔节及钟罩自重、配重、附件重、保温重、塔节间水封重等), 持力层以上各土层、沥青砂绝缘层或钢筋混凝土层、及黄砂层的自重 G_k (kN) 在持力层处产生的竖向力值以及气柜水槽内水压力 (kN/m²) 之和。

(2) 风荷载作用下地基偏压验算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 承载力计算要求。水槽底直径 D 范围内圆形截面的抗弯截面抵抗矩 (m³), $W = \frac{\pi}{32} D^3$ 。

(3) 地基变形计算:

地基变形计算可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中的分层总和法进行计算, 并按本标准表 3.0.5 的要求控制沉降与沉降差。

5.0.7 气柜自重作用在基础上考虑两种工况:

一种是满储气时钟罩与各塔节都升起, 通过气压使设备自重均匀作用在基础上。水槽壁作用在环墙上, 但也近似将其均匀分摊在整个基础上。

另一种工况是气柜完全放空, 各塔节与钟罩都落在环墙上, 只有计算环墙宽度时所用 q_{sx} 是自重作用在环墙上的线荷载。

多节塔气柜高度较大, 所产生的风荷载弯矩也较大, 需考虑作用在水槽底处的弯矩、偏压值通过水槽底传至地基。

气柜对基础偏沉比较敏感, 但当土层厚度较均匀时计算不出基础的偏沉值。只有当土层较软弱时, 才进行地基变形计算, 一般情况都应用概念设计控制持力层与下卧层的地基强度来满足沉降要求。

地基变形计算可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中第 5.3 节的规定进行。当计算点不在基础中心时, 平均附加应力系数 α , 可由现行国家标准《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473 中附录 A 查得。

环墙的宽度应满足设备对其构造上的要求, 但同时也必须满足底部地基承载力的要求, 当环墙底部压力大于同一标高中部基底压力时, 环墙可能产生大于气柜底板中间基础的沉降, 而达不到“箍”的作用。

公式(5.0.7-1)就是以此原理推导出来的:

$$\text{先列出公式: } \frac{q_{sx} + r_w h_L \beta b + r_c h b}{1 \times b} \leq q_{sm} + r_m h$$

式中: q_{sx} ——设备自重作用在环墙上的线荷载, 按气柜完全放空的工况考虑;

q_{sm} ——设备自重作用在整个基础底面上的面荷载, 按满储气工况考虑;

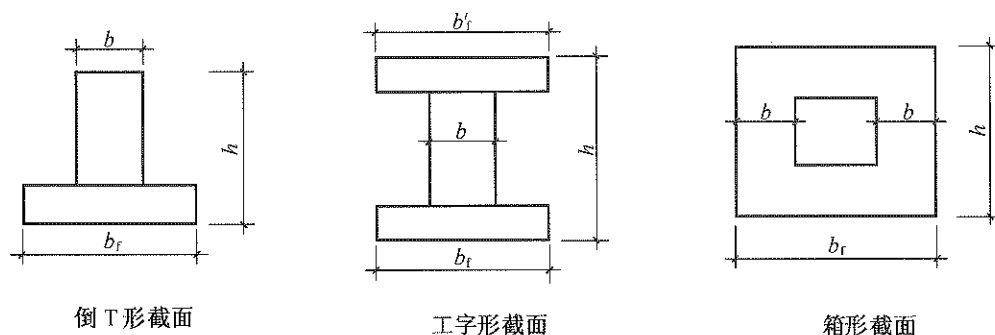
公式左边三项是设备自重、作用在环墙上水槽中的水重、及混凝土环墙自重;

公式右边是环墙内作用在与环墙底同标高地基上的压力, 其中 q_{sm} 为设备自重与水槽内水重; $r_m h$ 为环墙内各土层自重(含沥青砂绝缘层和干铺黄砂层)。

$$\text{将上式变换后得出: } b \geq \frac{q_{sx}}{q_{sm} - \beta r_w h_L - (r_c - r_m) h}$$

得出公式(5.0.7-1)。如果按此公式计算出的 b 值太大, 设计中可以采用倒 T 形、工字形和箱形截面环墙。除环墙自重有变化外, 其他各项均无变化, 所以公式(5.0.7-4)中引进了截面折减系数 $\eta = A/$

A_c , 水压力作用的环境宽度与环墙底部宽度的比值 $\beta = b_1/b_f$, 由于环墙截面型式的变化有所不同, b_f 详见截面简图如下:



5.0.8、5.0.9 环墙是一个同时承受拉力与扭矩的构件,两者配筋计算没有影响,所以我们按纯受拉构件与拉扭构件分别进行计算,拉扭构件抗扭钢筋的计算考虑了拉力对混凝土抗扭性能的不利影响。

受拉构件配筋计算按理应该控制裂缝宽度,但设计中反映:当设计中按 0.4% 构造配筋时,裂缝完全可以满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求,不需计算。

环墙计算得出的受拉、受扭纵筋均应配置在环墙两侧,环墙顶部与底部另配构造钢筋。

在现行国家标准《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473—2008 中环墙配筋计算公式(4.2.1),未考虑裂缝宽度,钢筋抗拉强度取设计值,在条文说明“进行过相关检测,有限元分析结论与按规范公式计算的结果比较接近”。

本标准也不计算裂缝宽度,但为控制裂缝开展增加了一个钢筋强度折减系数 ψ_w ,一般取 0.8。

当环向钢筋由环向拉力计算确定且采用 HPB235 钢筋时,取此折减系数可不进行裂缝计算。如果采用高强钢筋,则应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定进行裂缝控制验算。

环墙的抗扭计算方法是按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 中第 6.4 节的规定编写的,为了设计中使用方便对公式进行了一些变换。

矩形实心墙混凝土部分有很大的抗扭能力。800mm×2000mm 的环墙,混凝土为 C30 时可承担 550kN·m 的扭矩。应该首先对环墙按公式(5.0.9-2)进行验算,如果混凝土可承担全部扭矩时,则可构造配置受扭钢筋。建议尽量使混凝土承担全部扭矩。如果扭矩太大,可以调整环墙顶部构造,减小偏心距 e ,也可适当提高混凝土强度增加其抗扭能力。如果必须配置抗扭钢筋,则可按公式(5.0.9-6)与公式(5.0.9-7)直接算出所需的抗扭箍筋与抗扭环向钢筋,抗扭环向钢筋与计算出的抗拉钢筋相加后再配置;在配抗扭钢筋承受扭矩时,也不能让混凝土首先被压碎,所以截面必须满足公式(5.0.9-4)和公式(5.0.9-5)的要求。

5.0.10 当天然地基不能满足要求时,可用砂卵石换土处理地基,砂卵石可取天然级配原状砂卵石,也可由粗砂加 50% 左右卵石拌匀配成,适当加水用插入式震捣器分层振实,层厚度可取 1m~1.5m。

中粗砂垫层则应用大功率平板振动器分层反复振实。

水槽底板的锈蚀是在潮湿环境中铁与水中带电离子的交换与结合过程,是一种电化学反应,沥青砂层不但是很好的防水层,而且是很好的绝缘材料,可阻止钢板电化学反应,因此称为沥青砂绝缘层。只有沥青砂绝缘层在雨季或冬季不便施工时才可用 C20 的 200mm 厚钢筋混凝土板代替,为了弥补混凝土防潮绝缘功能差的缺点应在混凝土板表面刷沥青冷底子油和沥青胶泥涂层。

30mm 厚黄砂层是非常必要的。首先是为了在底板凹凸不平时,保证基础受力均匀设置的;其次是为了防止钢水槽底板焊接时,高温不会直接接触沥青砂绝缘层;第三是为了水槽底板下少量水能沿透水黄砂层外排而设置的。但黄砂层施工不太方便,当干砂沿斜坡下滑而无法铺设时,可喷少量水拌匀后再铺设。建议在黄砂层内埋入等厚钢块,将钢板垫好,施工人员在钢板上行走,砂层外圈用沥青胶泥封堵,以防止黄沙被风吹跑,且可承受气柜侧壁的酸雨、酸雾向下流淌造成的腐蚀。

5.0.11 管道从环墙下穿过时,管道与环墙底部留有足够距离,是为了满足环墙下沉时不影响管道安全使用。

5.0.14 环墙受拉、受扭计算环向钢筋均配置在截面两侧,单侧受拉配筋应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 受拉钢筋最小配筋率的要求,顶部与底部按构造配筋。

6 钢制低温储罐基础

6.0.1 钢制低温储罐的形式一般有单防罐和双防罐。单防罐的形式为在钢制罐的底部及罐壁外侧设有保冷材料及防水层;钢制双防罐内外罐均为钢制储罐。本章内容不适用于外罐为钢筋混凝土罐或预应力钢筋混凝土罐的双防罐以及全防罐和膜式罐等低温储罐基础。

一般钢制储罐底部与基础之间设有加热系统或隔冷材料及作法(加热系统也可设在基础内)。

6.0.3 钢制低温储罐基础的类型在本标准中只列出了地面筏形基础、柱(或墙板)支撑的高架板式基础和高桩承台基础三种类型,没有给出“环墙基础”这种形式,原因是目前搜集到的工程实例中缺乏环墙基础的工程经验。当地基表层土及深层土的工程性能都足够好,比如地基为基岩、密实的碎石土等低压缩性地基土且无地下水,同时土壤的含水率低,不会发生冻胀现象,低温储罐基础可以采用环墙基础。

6.0.4 钢制低温储罐基础的选型首先要满足工艺、设备专业的条件要求。

对于地面筏形基础,一般储罐底部应设有电加热系统或蒸汽盘管加热措施,以阻隔罐体的冷量向基础传递。

高架板式基础及高桩承台基础,一般高架板或承台板底标高应高于地面 1.5m 以上,这样有利于空气的流通、带走冷量,同时满足人员除冰操作及检修的要求。因此降低了设备运行成本并且提高了安全性。

高桩承台基础的高桩设计应符合抗震规范的要求,在低烈度地区设计合理时可采用。

6.0.5 低温储罐基础的防冻胀措施:

低温储罐基础设计必须采取有效的防冻胀措施,避免地基及基础在 0°C 以下发生冻胀,造成储罐受力不均而发生破坏。对低温储罐基础的防冻胀措施是阻隔或撤走由低温储罐传入基础的冷量。对于基底的控制温度,在欧洲标准 BS EN 14620-4—2006 中第 6.4.2.2 条对地面筏形基础底的温度要求不低于 0°C ;原英国标准 BS 7777-3—1993 中第 7.5.5 条对基础底的温度要求不低于 4°C 。

基础顶部的电加热系统或蒸汽盘管加热措施及采用隔冷材料的作法,均由相关专业根据低温储液的温度、使用要求等提供。

隔冷材料及作法在现行石化行业标准《立式圆筒形低温储罐施工技术规范》SH/T 3537—2002 中第 14.2 节罐底保冷中有相关作法及施工要求,此处简单列出作法,不含具体的施工要求:

(1) 罐座底铺设干砂垫层,厚度应符合设计文件要求(有的设计文件要求 50mm 厚),整平后用水平尺或水准仪测量。

(2) 保冷层采用泡沫玻璃,层间铺设沥青毡时,毡间应对接。在最上层泡沫玻璃砖上铺防潮薄膜(如聚乙烯、聚丙烯、聚酯等),然后在防潮薄膜层上铺设干砂层(有的设计文件要求 50mm 厚)。

(3) 内罐壁板下罐底保冷层顶层铺设珍珠岩混凝土圈作为承重圈时,珍珠岩混凝土圈与泡沫玻璃之间铺沥青毡。珍珠岩混凝土承重圈可采用预制珍珠岩混凝土填装块,也可采用现场浇筑珍珠岩混凝土。

土,两种施工方法分别有具体的施工要求。

珍珠岩混凝土承重圈及防潮薄膜层上铺设的干砂层上表面都有较严格的平整度要求。

另还有如下工程实例：

罐壁下端采用珍珠岩混凝土承重圈梁；

罐底其余部位保冷层：采用珍珠岩混凝土找平 75mm 厚，铺砌泡沫玻璃砖（层数应根据具体相关专业条件，如储罐内的温度、钢筋混凝土基础的表面温度要求等进行的热工计算确定），在最上层泡沫玻璃砖上铺防潮薄膜（如聚乙烯、聚丙烯、聚酯等），然后在防潮薄膜层上铺设干砂层 50mm 厚。

6.0.6 低温储罐基础计算：

低温储罐基础设计时，荷载效应最不利组合与相应的抗力限值应符合下列规定：

(1) 验算地基承载力或按单桩承载力确定桩数时，传至基础或承台底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合；相应的抗力应采用地基承载力特征值或单桩承载力特征值。

(2) 计算地基变形时，传至基础或承台底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合，不应计入风荷载和地震作用；相应的限值应为低温储罐地基容许变形值。

(3) 计算基础构件的内力、承载力时，传至基础的荷载效应组合和相应的基底反力（桩反力）应按承载力极限状态下的荷载效应基本组合，并应采用相应的分项系数。当需验算基础裂缝宽度时，应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合。

高架板式基础或高桩承台基础的计算：

高架板式基础一般采用柱（或墙板）支撑，柱或墙板的下端计算嵌固点应为地下天然地基基础或桩承台顶面，地下部分的基础或承台之间应采用基础梁相互拉结；高桩承台基础采用高桩支撑，一般地面以下无基础梁拉结，此时桩应按现行建工行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008 的高承台基桩进行构件设计。

6.0.7 1 低温储罐基础计算应考虑充水试验的水重。

对于试验水重的取值按照《大型低压焊接储罐设计与建造》API 620 要求：充水试验阶段基础顶的总荷载不得超过允许荷载的 1.25 倍。

本标准的条文里没有给出此限值，建议参照使用。比如下列几种介质的容重远小于水的容重，如果充水试验按罐内充满水计算，该工况的荷载过大。

液氮密度：707.6 kg/m³；

液化天然气(LNG)：486.3 kg/m³；

乙烯(液体，-10℃)：386.3 kg/m³。

2 对高架板式基础、高桩承台基础的水平地震作用计算，可按单质点单自由度体系计算。

当承台板的厚度及桩或柱、墙的纵筋在承台内有充分的锚固长度，能够达到承台对桩、柱、墙的嵌固作用，其节点宜按嵌固考虑，并进行相应的设计。

地震作用计算，考虑储罐中的储液重，不考虑充水试验阶段的水重。

$$F_{Ek} = \alpha_1 G_{eq}$$

$$F_E = \gamma_E F_{Ek}$$

式中： F_{Ek} ——水平地震作用标准值(kN)，作用于结构总重力荷载的重心；

F_E ——水平地震作用设计值(kN)，作用于结构总重力荷载的重心；

α_1 —— 相应于结构基本自振周期的水平地震影响系数,对于公称容积小于 10000m^3 的储罐,可采用水平地震影响系数最大值,按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 取值(此内容的依据是现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191—1993 中第 19.2.6 条)。

γ_E —— 水平地震作用的分项系数,取 1.3;

G_{eq} —— 地震时结构总重力荷载代表值(kN);应取永久荷载(基础自重部分仅包括地面以上部分的基础自重)的标准值和可变荷载组合值之和。

依据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中第 5.4.1 条,结构构件的抗震承载力验算时,风荷载组合值系数,一般结构取 0.0(不计风荷载),风荷载起控制作用的建筑应采用 0.2。

地面筏形基础可不进行基础的抗震承载力计算。

3 在欧洲标准 BS EN 14620-4—2006 中尚规定了偶然荷载,包括内罐泄漏、管道滴漏、罕遇地震以及外部火灾和爆炸。其中内罐泄漏、罕遇地震和外部爆炸可能影响罐基础设计。基础设计应当根据实际情况需要考虑偶然荷载作用时,可参照 BS EN 14620-4 进行设计计算。

6.0.8 温度作用:

对于直径较大或物料温度较低的罐基础,温度作用产生的基础内力不容忽视。此种情况下应根据各工况可能传至基础的温度及环境温度,进行温度作用计算,也可采用提高安全度的方法考虑温度作用。

6.0.9 基础材料及构造要求:

1 混凝土强度等级不低于 C40,其相应的最大水胶比为 0.45。此条参考了现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476—2008 中 I—C、II—C 类环境对混凝土强度等级的要求。

混凝土的抗冻标号不应低于 D100,此条来源于现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082—2009。

目前较大型的低温储罐,多数采用高桩承台基础或高架板式基础,由于承台板内的温度与罐底的温度接近,正常运行时温度较低,停运时会恢复至大气的环境温度;且正常运行时承台板的不同部位温度也会有区别,所以混凝土材料的温度变化较大,从而对混凝土的密实度、抗冻融有较高的要求。

5 基础底部的隔水措施可采用如下的防水做法:C20 素混凝土垫层,上铺 3mm 聚乙烯防水膜,然后再加 50mm 厚 C20 混凝土保护层。

6.0.10 根据国外工程公司的经验及作法,在储罐基础板(或高桩承台内)埋设专用的十字交叉形水平测斜管,用于检测储罐底板沿储罐边缘到中心的半径线方向的沉降值。

7 球罐基础

7.0.1 钢制球形储罐广泛应用于石油、化工、冶金和国防工业。作为大容量的有压储存容器,主要用来储存石油液化气、液化天然气、液氨、液氧等易燃、易爆或有毒物料,若遇地震,次生灾害严重,故基础设计应特别注意安全。

7.0.2 球罐基础上的荷载由球罐支柱与拉杆传来,应由设备专业提供。为方便设计,本标准附录 B 提供计算方法,一般仍应由设备专业计算并提供。

7.0.6 本次修订增加了设备安装和检修这一工况,因为在此工况下柱墩很有可能出现最大拉应力,且基础也有可能处于最不利状态。对于此工况下地基零应力区的面积,以前是按 25% 控制,但现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中对此没有明确要求,因此建议当零应力区的面积大于 25% 时,应进行基础的稳定性计算。

7.0.7 对于球罐的基本自振周期的计算,有些行业规程采用了不同的公式,但其基本原理是相同的,只是对柱间支撑的影响采用了不同的修正方法;本标准采用了与现行国家标准《钢制球形储罐》GB 12337—1998 相同的基本自振周期计算方法,以便基础的计算与上部球罐相协调。

储液在地震中一般可分为自由液体和固定液体两个部分。地震时,主要是固定液体参与结构的整体震动,因此引入等效质量系数 k 。

8 换热器基础

8.0.1 换热器种类很多。在化工工程中,应用最广泛的换热器为管壳式换热器。该换热器结构可靠,经济合理,易于制造检修。

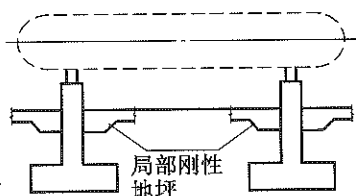
管壳式换热器由许多管子组成管束,管束固定在管板上,管板与外壳箍连在一起。

管壳式换热器分卧式和立式两种,应用较多的为卧式。卧式换热器由两个马鞍形支座支承在两个基础支墩上,其中一个为固定端,另一个为滑动端。滑动端底板上设有椭圆孔,当设备因温度胀缩时,可自由滑动。

其他类型的换热器,如喷淋式蛇管换热器、套管式换热器等应用于不同场合,具有不同优势。只要其结构型式和上述管壳式换热器相似,即可参照本标准的规定设计。

8.0.3 本次修编新增“上连梁式基础”,适用于支墩较高,水平抽芯力较大时。由于上连梁把固定墩、滑动墩顶部连接,故水平抽芯力由固定墩、滑动墩共同承受,每个支墩受力便减少一半。工程设计时要注意与管道专业配合,使上连梁的布置错开管道的走向。

当固定墩和滑动墩相距较远,连梁设置不经济时,在保证回填土质量的情况下,也可采用局部增加刚性地坪的做法,如下图所示。



8.0.5 换热器设备连接进、出管道,管道作用力数值不容忽视。该荷载有时设管道支座予以承受,就不传至设备基础。故在工程设计中要向管道专业索取传至基础的管道拉力。

8.0.6 换热器滑动端底板与基础滑动墩顶部预埋件之间的摩擦系数,当材质为钢板时取 0.3,在潮湿地区钢板易锈蚀,加大了滑动端滑移的摩擦力,故摩擦系数可取 0.4。

当钢板上涂有聚四氟乙烯以减少摩擦力时,摩擦系数可取 0.1,但考虑涂料磨损等影响,为安全起见,设计宜取 0.3。

当换热器滑动端采用聚四氟乙烯板的方式时,通常采用基础顶部设置聚四氟乙烯板,设备支座底部安装聚四氟乙烯板或不锈钢板做法。根据相关设计手册数据,摩擦系数均可取 0.1。对采用聚四氟乙烯材料的换热器底板,应考虑其不适用于高温状况。

当介质温度小于 80°C 时,可不考虑设备温度变化引起的胀缩摩擦力。

8.0.7 根据经验,本次修编对抽芯力 P_0 的取值未予提高。当有适当抽拉设备时,稍微修改。当采用固定管板式换热器时,不考虑抽芯力。

规定“当采用除上连梁式以外的其他形式基础时,作用于支墩上的抽芯力全部由基础固定墩承

担”,偏于安全。因为活动墩受到向上的竖向力 N_b 作用,所能承担的摩擦力减少,本标准对活动墩承担的部分抽芯力予以忽略。

8.0.9 确定整体式和连梁式基础底板面积时,将两个支墩顶部所承受的一对设备温度胀缩产生的拉力(或推力)平移至基底,因其大小相等,方向相反,故相互抵消。但底板或连梁构件承受该水平拉力(或压力)及平移产生的弯矩。

8.0.12 滑动墩顶部钢板传统做法系采用预埋法。近年来,参照国外工程公司的设计方法,并经国内外工程的实践检验,滑动墩顶部钢板可不预埋,而是在设备安装中,将切割成型的钢板直接放置在支墩顶部的二次灌浆层中,既保证了钢板顶部的平整性,又给施工带来很大的方便。

8.0.13 对于隔冷层的做法,《化工设备设计手册》中建议采用 150mm 厚的浸透沥青的松木作为垫木。由于当前材料和技术的发展,现在多采用聚氨酯隔冷垫块(120mm)或高压石棉水泥板。

9 工业炉基础

9.0.1 工业炉是化工、石油化工等行业生产过程中的高温反应设备和高温加热设备。由于工艺流程不同,原材料不同,故炉型多样,有立式、箱形、圆筒形等。因炉体温度高,大多设有耐火砖衬里,故要求基础整体性能强,利于抵抗不均匀沉降。

工业炉以多个钢支柱与基础顶面相连,温度一般不直接传至基础。

本基础不适用于卧式或立式燃烧炉(即焚烧炉)基础的设计。

9.0.5 用以进行化学反应的工业炉,若基础偏沉较大,引起管子破裂并泄露,造成工程事故。

9.0.9 柱下环形基础、十字形条形基础和柱下筏板基础的设计参见现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中第 8.3 节、第 8.4 节。

9.0.10 筏形基础底板厚度最小限值参见现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中第 8.4.5 条、第 8.4.7 条。

9.0.11 混凝土基础表面温度不应高于 60°C ,温度过高对混凝土性能会有不利影响。

10 冷箱基础

10.0.1 空分装置中冷箱是由分馏塔(包括上塔、下塔、氩塔)及液态空气吸附器、冷凝蒸发器、蓄冷器等深冷设备、保温材料及外围钢结构构架组成的箱体,箱内通常填满膨胀珍珠岩(也称珠光砂)保温材料。

本章适用于有冷量导出,基础表面温度低于 -30°C 的冷箱基础设计。由于空分基础表面的工作温度都很低,通常都在 $-30^{\circ}\text{C}\sim-90^{\circ}\text{C}$ 。若冷箱内设备本身已采取玻璃砖等其他隔冷材料或基础中已采用电伴热等调节措施,使冷量不传入基础者,可按普通设备基础进行设计。

冷箱内的设备在事故状态下,可能泄漏液态空气,最低可达 -190°C 以下。超低温的液体会沿混凝土内部的毛细孔渗入基础直至地基,含水的地基土可能结冰膨胀,将基础上顶开裂,使设备偏斜,致使生产不能正常进行,最终造成混凝土基础呈冻胀破坏,发生严重的安全事故。

10.0.4 基础选型:

1 大块式实体基础不能阻止冷量传至地基,只可用于基岩、砂卵石等非冻胀性地基且要求地下水位很低。如广西某厂 $3200\text{m}^3/\text{h}$ 空分装置、湖北某厂 $3350\text{m}^3/\text{h}$ 空分装置和某厂 $1500\text{m}^3/\text{h}$ 空分装置等的冷箱基础都曾设计成埋入地下的实体基础,20 世纪 70 年代初均发生过地基冻胀事故,基础上胀分别达 32mm、46mm、84mm。

2 地面上设置通风孔的大块式基础,由于孔内空气流动可带走大量冷量,地基冻胀危险大为减小,这是大块实体基础出事故以后普遍采用的基础型式。但大块式基础通风孔之间的实体部分仍可将部分冷量传至地基,因此也可能存在着安全隐患。如某厂改建后的 $6000\text{m}^3/\text{h}$ 空分装置冷箱基础即为地面上设通风孔的基础,1978 年 5 月地基冻胀上升 22mm。后采用接管向通风孔吹蒸汽的办法,才将地基内的冰溶化,使基础沉降稳定。因此,该类基础在设备漏冷后应及时向通风孔内送热风。

地下设置通风孔的大块式基础必须经常强制通风,消耗能量较大,仅在基顶标高与地面接近、不能升高时采用。为降低能耗,也可通过局部降低基础四周回填土标高,使之低于通风管底,并且做好排水工作,尽量使通风管能正常发挥作用。

设置通风孔的大块式基础底部的隔水层可采用防水性能较好的卷材(如聚乙烯丙纶、SBS),也可采用土工合成材料。

3 钢结构架空式基础通风面积大,自然通风较好,很少冻胀事故。

4 构架式基础通风面积更大,可将冷量大量带走,防止地基冻胀。但一般工艺专业不允许基础设置过高,因此构架应埋至地面下 1.5m,地面以下用粗砂填实。

5 柱墩式基础是将构架式基础地面以上部分用短柱墩或混凝土墙肢代替而成。湘江氮肥厂的冷箱基础就采用这种型式,使用良好。

10.0.6 构架式和柱墩式基础可按单质点体系计算地震作用。结合近几年工程设计经验,为便于计算,取消了按现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191—1993 中的抗震计算水准 A。

构架式和柱墩式基础的柱子若为短柱,要遵守抗震构造要求。

10.0.7 随着冷箱规模的不断增大,上部钢构架的高宽比愈来愈大(大者超过4),风荷载和地震作用对基础影响都很大,正常风荷载作用下规定基底不能出现零应力区。

10.0.8 国内外因空分塔下面采用有机易燃材料(如木材、油毡等),遇火星燃烧引起空分设备爆炸事故曾发生多起,因此严禁采用易燃材料。

10.0.9 基础本体混凝土经常处于负温下,应有抗冻要求;而含水率直接影响抗冻性能,因此对混凝土应有抗渗要求,故混凝土应同时具有抗渗、抗冻能力。

某些空分厂家在基础构造中采用在室外地坪以下设置0.5mm的紫铜板或0.8mm~1mm的不锈钢板作为隔水层,该做法对基础抗渗及抗冻会有好处,但施工过程中钢筋排放困难,影响结构整体性,设计人员在项目中使用时应综合考虑。

抗冻混凝土制作时,可采用引气混凝土,即在混凝土内加入加气剂,可使混凝土内孔隙充满很多小气泡,能起到防水作用;温度变化时还有一定的弹性,使混凝土不致开裂,从而达到抗冻效果。

基础面层配置的钢筋网或小梁由计算确定,以承受设备自重。

现在国外大型空分厂家都采取相关措施,减少冷量直接向混凝土基础传递,取消了隔冷层。

目前如仍选用隔冷层,大多做法为珠光砂混凝土或制品(也称膨胀珍珠岩混凝土或制品),是以珠光砂为主要骨料,普通水泥为胶结料,加入掺合料及外加剂拌合而成。珠光砂混凝土的强度等级和导热系数是两个互斥指标,很难同时满足,其配比需通过反复试验调整确定。在相同配比条件下,选用的珠光砂密度越小,其成品混凝土导热系数愈小,但强度等级也低,反之其导热系数和强度等级均增大,市场上珠光砂松散密度由 $50\text{kg}/\text{m}^3 \sim 150\text{kg}/\text{m}^3$ 不等,因此珠光砂密度等级选择尤为重要。以下为某项目珠光砂混凝土不同重量配合比及检测指标,仅供设计参考:

水泥:砂:珠光砂:水=1:1.12:0.21:0.7;28天抗压强度为8.9MPa、导热系数为 $0.2129\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

10.0.11 冷箱基础的事故源于地基冻胀,所以除做好隔冷、散冷措施外,还要防止地基中含水量增加。

10.0.12 冷箱基础混凝土硬化时会产生较大水化热,施工中可通过选用低水化热水泥、掺加膨胀剂等措施,并结合环境条件,做好保温保湿养护工作,体积较大时,宜优先考虑混凝土中预留冷水管加强养护,也可采取通风散热等措施。

10.0.13 冷箱基础埋置深度除满足承载力变形和稳定性外,尽量浅埋,由于冷箱基础顶面标高及平面尺寸较大,埋置太深时致使基础混凝土体积增大,水化热产生裂缝使基础抗渗、抗冻性能减弱,工程造价增加。通过近年来设计工程调查,冷箱基础埋深对于桩基大多在1.0m~1.5m之间,对于天然地基,埋深在1.5m~2.5m之间较多,结合上部钢结构高度,建议基础埋置深度不宜小于1.5m。